
수소경제 활성화 로드맵 수립 연구

2019. 4.

**에너지경제연구원
산업통상자원부**

제 출 문

산업통상자원부 장관 귀하

이 보고서를 “수소경제 활성화 로드맵 수립 연구”의 최종보고서로 제출합니다.

2019. 4.

에너지경제연구원장

<에너지경제연구원 참여 연구진>

- ☐ 연구책임자 : 김재경 연구위원
- ☐ 원내참여자 : 노동운 선임연구위원
조철근 부연구위원

<수소융합얼라이언스 추진단 참여 연구진>

- ☐ 원외참여자 : 이승훈 사무총장
이예빈 선임연구원
조운성 선임연구원

수소경제 활성화 로드맵 수립 전문위원회 위원명단

분과	성명	소속 및 직위	위원회 직책
총괄 전문위원회	이승훈	수소융합얼라이언스 추진단 사무총장	총괄위원장
	김재경	에너지경제연구원 연구위원(팀장)	총괄간사
	유상석	충남대학교 교수	민간위원(당연직)
	구영모	자동차부품연구원 실장	민간위원(당연직)
	한종희	한국과학기술연구원 본부장	민간위원(당연직)
	임성대	한국에너지기술연구원 선임연구원	민간위원(당연직)
	박진남	경일대학교 교수	민간위원(당연직)
	양희승	한국가스공사 차장	민간위원(당연직)
	유영돈	고등기술연구원 센터장	민간위원(당연직)
	강승규	한국가스안전공사 차장	민간위원(당연직)
	양태현	한국에너지기술연구원 박사	민간위원
	최동원	산업연구원 부연구위원	민간위원
	박재형	한국에너지기술평가원 선임연구원	민간위원
	이재훈	한국가스안전공사 부장	민간위원
	손효진	과학기술정보통신부 사무관	정부위원
	안세희	국토교통부 사무관	정부위원
	장준희	기획재정부 사무관	정부위원
수소활용 제1분과 (수송) 전문위원회	유상석	충남대학교 교수	분과위원장
	구영모	자동차부품연구원 실장	분과간사
	권태구	한국산업기술진흥원 선임연구원	민간위원
	류준형	한국철도기술연구원 박사	민간위원
	이제명	부산대학교 교수	민간위원
	백승욱	한국표준과학연구원 선임연구원	민간위원
	허윤실	한국가스안전공사 부장	민간위원
	박부민	한국항공우주연구원 박사	민간위원
	남연우	선박안전기술공단 책임	민간위원
	김성균	현대자동차 박사	민간위원
	이용규	에어리퀴드코리아 부장	민간위원

분과	성명	소속 및 직위	위원회 직책
수소활용 제2분과 (발전·산업) 전문위원회	한종희	한국과학기술연구원 본부장	분과위원장
	임성대	한국에너지기술연구원 선임연구원	분과간사
	김주한	전자부품연구원 박사	민간위원
	류창기	한국에너지공단 팀장	민간위원
	정시교	국토교통과학기술진흥원 박사	민간위원
	문상진	두산중공업 상무	민간위원
	정기석	포스코에너지 그룹장	민간위원
	박종승	LG퓨얼셀 책임	민간위원
	전희권	S퓨얼셀 대표	민간위원
	안한근	LH한국토지주택공사 부장	민간위원
	차광석	현대건설 부장	민간위원
	형찬우	한국에너지공단 대리	민간위원
	박성수	산업통상자원부 사무관	정부위원
수소생산 분과 전문위원회	박진남	경일대학교 교수	분과위원장
	양희승	한국가스공사 차장	분과간사
	김창희	한국에너지기술연구원 책임연구원	민간위원
	구준모	한국수소산업협회 팀장	민간위원
	조현석	제이앤케이히터 이사	민간위원
	박정주	현대자동차 책임연구원	민간위원
	장지욱	울산과학기술원 조교수	민간위원
	김희식	한국생명공학연구원 센터장	민간위원
	김수현	고등기술연구원 책임연구원	민간위원
수소 저장·운송 분과 전문위원회	유영돈	고등기술연구원 센터장	분과위원장
	강승규	한국가스안전공사 차장	분과간사
	윤창원	한국과학기술연구원 책임연구원	민간위원
	이영철	한국가스공사 박사	민간위원
	최병일	한국기계연구원 박사	민간위원
	유계형	일진복합소재 박사	민간위원
	박지혜	현대자동차 박사	민간위원
	김서영	하이리움산업 박사	민간위원
	조병옥	원익머티리얼즈 박사	민간위원
	장성혁	수소지식그룹 사장	민간위원
	이찬수	덕양 이사	민간위원

제목 차례

I	서 론	
	I -1. 연구의 배경과 목적	1
	제1절 연구의 배경	1
	제2절 연구의 목적	4
	I -2. 연구추진 체계 : 수소경제 로드맵 수립 민관 전문위원회	5
	I -3. 선행연구와의 차별성	8
II	수소경제 활성화 추진 배경	
	II-1. 수소경제의 의미와 중요성	1
	제1절 수소경제의 의미	11
	제2절 수소경제의 경제적 함의: 전·후방 경제적·산업적 파급효과가 큰 미래 성장동력 ...	17
	1. 수소경제 활성화의 전방산업 파급효과	17
	2. 수소경제 활성화의 후방산업 파급효과	18
	제3절 수소경제의 에너지·환경적 함의: 온실가스 감축 등 친환경 에너지로 에너지 자립에 기여 ...	21
	II-2. 세계 각국의 수소경제 추진 동향	2
	제1절 세계 수소경제 전망	25
	제2절 주요 국가의 수소경제 추진 동향	27
	1. 일본	27
	2. 미국	30
	3. 독일	33
	4. 호주	35
	5. 중국	37
	제3절 수소차 및 연료전지 세계시장에서의 경쟁과 협력 상황	39
	1. 수소차 및 연료전지 세계시장에서의 경쟁 심화	39
	2. 세계 수소산업 밸류체인별 기업 및 국가 간 글로벌 협력 플랫폼 확산	42
	II-3. 우리나라 수소경제의 잠재력과 현황	51
	제1절 우리나라 수소경제의 잠재력	45
	1. 우리나라 수소경제의 물적 기반	45

2. 우리나라 수소경제의 기술적 기반	46
제2절 우리나라 수소경제의 현 주소	47

III	수소경제 활성화 로드맵
------------	---------------------

III-1. 수소경제 활성화를 위한 국가 비전	5
III-2. 수소경제 활성화 추진을 위한 이행 로드맵	45
제1절 수소 수송부문 확대 로드맵	54
제2절 수소 연료전지 부문 확대 로드맵	55
제3절 수소 공급부문 확대 로드맵	56

IV	수소경제 활성화 추진방안
-----------	----------------------

IV-1. 수소경제 활성화 추진방안 요약	5
IV-2. 수소 활용부문 확대 추진방안	6
제1절 수소 활용부문 확대 전략의 논리적 틀	60
1. 개관	60
2. 에너지 신기술 적용 상품 보급 확대에 의한 “학습효과”와 “규모의 경제”	60
제2절 수소 수송부문 확대 추진방안 (1) : 수소차	65
1. 수소차 시장 확대 추진방향	65
2. 수소 승용차 보급 확대 방안	68
3. 수소상용차 보급 확대 방안	73
제2절 수소 수송부문 확대 추진방안 (2) : 수소충전소 구축	83
1. 수소충전소 구축 추진방향	83
2. 구축 목표	86
3. 구축 추진 전략	89
4. 수소충전 가격의 하향 안정화 추진	98
제3절 수소 수송부문 확대 추진방안(3) : 기타 수송부문 개발 지원	101
1. 기타 수송부문 개발 지원 분야 선정	101
2. 수소선박	105
3. 수소열차	108
4. 수소드론 : 장거리·장시간·원격비행 장점 적극 활용	111
5. 수소건설기계	112

제3절 수소 연료전지 부문 확대 추진방안	114
1. 수소 연료전지 시장 확대 추진방향	114
2. 발전용 연료전지 보급 확대 방안	118
3. 자가용(가정·건물용) 연료전지 보급 확대 방안	130
4. 수소가스터빈 개발 지원	135
IV-3. 수소의 안정적·보편적 공급 시스템 구축방안	8
제1절 수소 생산 및 공급 시스템 구축	138
1. 수소 생산 및 공급 시스템 구축 방향	138
2. 부생수소 활용 전략	143
3. 추출수소 공급 시스템 구축 전략	146
4. 재생에너지 연계 수전해 공급 시스템 구축 전략	154
5. 해외 생산수소의 국내 도입 시스템 구축 전략	158
제2절 수소 저장 및 운송 시스템 구축	163
1. 수소 저장 및 운송 시스템 구축 방향	163
IV-4. 수소경제 산업생태계 조성 및 안정성 확보 방안	8
제1절 수소경제 산업생태계 조성을 위한 정책적 지원 과제	178
1. 범부처 수소기술개발 로드맵 수립	178
2. 수소 전문인력 양성	181
3. 수소 국제표준 선점	182
4. 수소경제 활성화 이행 기반 구축을 위해 추진체계 및 지원기관 설립	183
5. 수소경제 제도적 기반 완비를 위해 법 제정	186
6. 글로벌 수소경제 협력 주도	187
7. Hydrogen Korea 실현을 위한 수출산업화 지원	188
8. 수소경제 산업생태계 강화를 위한 소재·부품분야 중소·중견기업 육성	189
제2절 수소경제 안전성 확보를 정책적 지원 과제	192
1. 체계적 안전관리 제도 마련	192
2. 수소 부품 및 제품 안전성 기준 강화	192
3. 2021년까지 '수소 전주기 제품 안전성 지원센터' 구축	193
4. '수소안전' 국민 인식 제고 및 신뢰 확산 추진	193

V	수소경제 활성화 기대효과
---	----------------------

V. 수소경제 활성화 기대효과	16
------------------	----

제1절 수소경제 활성화에 따른 경제적 파급효과	196
1. 수소경제 매출 발생으로 인한 경제적 파급효과	196
2. 수소경제 신규 투자로 인한 직간접적인 경제적 파급효과	200
3. 수소경제 활성화에 따른 경제적 파급효과(종합)	202
제2절 수소경제 활성화로 인한 환경개선 효과	204
1. 수소경제 활성화로 인한 온실가스(이산화탄소) 저감효과	204
2. 수소차 보급에 따른 미세먼지 저감효과	208

<표 차례>

<표 I-2-1> 수소경제 활성화 로드맵 수립 전문위원회 구성(위원명단)	6
<표 II-1-1> 수소와 석유제품(휘발유 및 경유)의 특성 비교	13
<표 II-1-2> 탄소경제와 수소경제의 비교	14
<표 II-1-3> 자동차 종류별 부품 비교	18
<표 II-1-4> 수소차 산업생태계 현황	19
<표 II-1-5> 연료전지 산업생태계 현황	20
<표 II-1-6> 기존 자동차를 수소차로 대체시 차종별 연간 미세먼지 저감량	22
<표 II-1-7> 석탄 및 가스발전과 연료전지 비교	22
<표 II-2-1> 일본 로드맵 주요내용	29
<표 II-2-2> 일본의 수소차, 수소충전소 현황 및 보급 전망	29
<표 II-2-3> 미국의 ZEV 배출권(credit) 요구비율(2017년 생산된 차량부터 적용)	31
<표 II-2-4> 미국 ZEV credit 제도의 주요 내용	31
<표 II-2-5> 독일의 수소차, 수소충전소 현황 및 보급 전망	33
<표 II-2-6> 독일의 수소차 및 수소충전소 보급 체계	34
<표 II-2-7> 중국의 수소차, 수소충전소 현황 및 보급 전망	38
<표 II-2-8> 중국의 수소차 기술 개발 계획	38
<표 II-2-9> 수소차 주요기업의 연간 생산규모 현황 및 계획	39
<표 II-2-10> 발전용 연료전지 주요기업 현황	40
<표 II-2-11> 자가용(가정·건물용) 연료전지 주요기업의 현황	41
<표 II-3-1> 국내외 수소차 및 연료전지 연구개발 현황	48
<표 II-3-2> 국내외 수소 생산기술 현황	49
<표 IV-1-1> 국내산 수소차의 세계 시장 점유율 시나리오(2030년 기준)	65
<표 IV-1-2> 2018년 일반보급형 수소차 출시가 반영된 수소차 국내 보급계획(환친차 기본계획) ..	66
<표 IV-1-3> 수소차 및 수소충전소 국내 보급 계획(혁신성장 관계장관회의)	67
<표 IV-1-4> 미흡한 핵심부품 현재 상황	69
<표 IV-1-5> 수소차 가격비중 및 주요 수입부품	70
<표 IV-1-6> 수소차 핵심부품(기술)별 현황	71
<표 IV-1-7> 수소차 차종별 개발 및 출시 현황	73

<표 IV-1-8> 세계수소차 차종별 시장출시 및 상용화 전망(맥킨지, 2017)	73
<표 IV-1-9> 국내 수소차 차종별 시장출시 전망	74
<표 IV-1-10> 현재 출시된 전 세계 주요 수소버스 제원 비교	77
<표 IV-1-11> 향후 보급예정인 국내 수소버스 모델	78
<표 IV-1-12> 수소버스, CNG버스, 전기버스 비교	79
<표 IV-1-13> CNG버스 지원제도의 주요 내용	80
<표 IV-1-14> CNG버스 유가보조금 지원제도의 주요 내용	80
<표 IV-1-15> 현재 개발 중인 주요 수소트럭 제원 비교	81
<표 IV-2-1> 수소충전소 구축현황	83
<표 IV-2-2> 연료 유형별 차량 대비 상대적인 충전소 규모 비교	85
<표 IV-2-3> 2019년 구축예정인 수소충전소 현황	88
<표 IV-2-4> 수소충전소 설치보조금 및 운영 보조금 현황	91
<표 IV-2-5> 일본의 수소충전소 설치 및 운영 보조금 지원제도	92
<표 IV-2-6> HyNet(수소충전소 특수목적법인) 현황	93
<표 IV-2-7> 2019년 연내 추진될 수소충전소 규제완화 내용	94
<표 IV-2-8> 규제 샌드박스 제도의 주요내용	95
<표 IV-2-9> 독일 H2 Mobility의 수소충전소 사양	96
<표 IV-2-10> 수소충전소 유형별 기술 수준 및 전망	97
<표 IV-2-11> 수송용 에너지 상대가격 비교	98
<표 IV-2-12> 국가별 수소충전 (소매)가격 비교	98
<표 IV-2-13> 수소충전소 공급 수소가격(도매가격 기준) 목표	99
<표 IV-2-14> 수소 생산비용 전망	99
<표 IV-2-15> 수소 활용 가능 수송수단 사례	101
<표 IV-2-16> 기타 수송 활용 수송수단별 기술수준 및 전망	103
<표 IV-2-17> 수소 선박 · 열차 · 드론 · 건설기계 현황	104
<표 IV-2-18> 세계 Hydrogen PEMFC 실증 프로젝트	105
<표 IV-2-19> 해양분야 활용 형태에 따른 주요 기술개발 현황	106
<표 IV-2-20> 수소선박 상용화 및 시장출시 전망(맥킨지, '17)	107
<표 IV-2-21> 수소선박 기술 목표	108
<표 IV-2-22> 프랑스 Alstom의 수소연료전지 및 배터리 하이브리드 열차 주요사양	109
<표 IV-2-23> 수소열차 기술목표	110

<표 IV-2-24> 수소드론 기술목표	112
<표 IV-2-25> 수소건설기계 기술목표	113
<표 IV-2-26> 국내 연료전지 부문 현황	115
<표 IV-2-27> 국내 연료전지 주요기업 현황	116
<표 IV-2-28> 「제8차 전력수급기본계획」의 연도별 전력수급 전망	118
<표 IV-2-29> 연료전지 설치비 및 발전단가 전망	120
<표 IV-2-30> 연료전지 밸류체인별 기업 현황	122
<표 IV-2-31> 용도별 가스요금 (2019년 기준)	123
<표 IV-2-32> 연료전지 전용 LNG요금제(안)	123
<표 IV-2-33> 신재생에너지원별 가중치 현황	124
<표 IV-2-34> 태양광 장기가격계약 제도 주요 내용	126
<표 IV-2-35> 미흡한 주요핵심부품 현재 상황	127
<표 IV-2-36> 발전용 연료전지 가격비중 및 주요 수입부품	127
<표 IV-2-37> 발전용 연료전지 핵심부품(기술)별 현황	129
<표 IV-2-38> 가정, 건물용 연료전지 주요업체	130
<표 IV-2-39> 연료전지 설치비 및 발전단가 전망	132
<표 IV-2-40> 신재생에너지 자가소비용 전기요금 할인 제도 주요 내용	134
<표 IV-2-41> 수소 가스터빈의 국가별 기술수준 및 현황	136
<표 IV-2-42> 수소가스터빈 기술목표	137
<표 IV-3-1> 수소방식별 생산비용 전망	140
<표 IV-3-2> 수소 생산 구성 및 공급 목표	142
<표 IV-3-3> 국내 주요 수소생산 업체의 부생수소 생산 능력	144
<표 IV-3-4> 수소 파이프라인 및 튜브트레일러의 공급량	145
<표 IV-3-5> 국내 산업용 수소 파이프라인 설치 현황	145
<표 IV-3-6> 추출수소 생산방식별 주요 특성 비교	146
<표 IV-3-7> 수소추출기 규모별 적용처(요도)와 관련 업체 현황	151
<표 IV-3-8> 규모에 따른 개질기 특징	151
<표 IV-3-9> 수전해 방식별 특성 비교	154
<표 IV-3-10> 국내외 수전해 기술 현황	156
<표 IV-3-11> Power to Gas(P2G) : 재생에너지 전력 → 수소 생산(수전해)	157
<표 IV-3-12> 수전해 효율향상 및 경제성 확보를 위한 기술 개발 추진과제	157

<표 IV-3-13> 수전해 수소 대용량 장기 저장기술 개발 추진과제	157
<표 IV-3-14> 해외 생산 수소 도입 방안	161
<표 IV-3-15> 액화수소에 필요한 핵심기술 개발 추진과제	162
<표 IV-3-16> 수소운반선박 개발 기술목표	162
<표 IV-3-17> 수소 저장 방식별 비교	164
<표 IV-3-18> 국내외 주요 기업의 수소 저장·운송기술	165
<표 IV-3-19> 수소 저장·운송 주요 목표	166
<표 IV-3-20> 고압기체 저장용기의 종류(재질별 차이)	167
<표 IV-3-21> 종류 및 용도별 수소 저장 압력용기	167
<표 IV-3-22> 기체수소 저장기술 수준의 국내외 비교	168
<표 IV-3-23> 국내 수소액화플랜트 핵심기술 추진과제	168
<표 IV-3-24> 액체수소 저장 핵심 기술 별 국내 기술수준	169
<표 IV-3-25> 수소 저장기술 추진과제	172
<표 IV-3-26> 해외 튜브트레이일러 현황	175
<표 IV-3-27> 국내 수소파이프라인 설치 현황	177
<표 IV-4-1> 분야별 기술획득 전략	179
<표 IV-4-2> 대규모 실증 플랫폼의 기대효과 및 주요내용	179
<표 IV-4-3> 수소경제의 안정성을 위한 주요 내용	179
<표 IV-4-4> 범부처 수소 기술개발 로드맵(안)	180
<표 IV-4-5> 수소기술 분야 제안 내용	182
<표 IV-4-6> 연료전지 분야 제안 내용	182
<표 IV-4-7> 수소도시 내에서의 수소 활용 방안(예시)	185
<표 IV-4-8> 수소경제법 주요 내용(안)	187
<표 IV-4-9> 전력 신산업 펀드 현황	191
<표 IV-4-10> 안전한 수소 산업생태계 조성을 위한 제도적 기반	192
<표 IV-4-11> 수소 부품의 안전기준 개정 현황	192
<표 IV-4-12> P2G, 액화수소에 대한 안전기준	193
<표 IV-4-13> 수소안전 가이드북(안)	194
<표 V-1> 수소경제 매출 발생으로 인한 직접적인 경제적 효과	197
<표 V-2> 수소경제 활성화로 인해 발생하게 될 직간접적인 경제적 파급효과	198
<표 V-3> 수소경제 활성화로 인해 발생하게 될 직간접적인	198

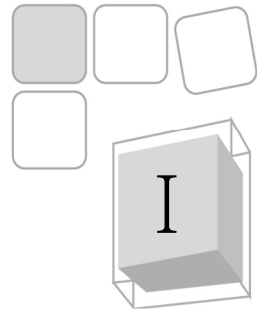
<표 V-4> 수소경제 활성화로 인해 발생하게 될 직간접적인 경제적	199
<표 V-5> 수소경제 활성화로 인해 발생하게 될 직간접적인 경제적	199
<표 V-6> 수소경제 활성화로 인해 발생하게 될 직간접적인	200
<표 V-7> 수소경제 신규 투자로 인한 직간접적인 경제적 파급효과	201
<표 V-8> 수소경제 신규 투자로 인한 직간접적인 경제적 파급효과의 산출내역(2022년)	201
<표 V-9> 수소경제 신규 투자로 인한 직간접적인 경제적 파급효과의 산출내역(2030년)	202
<표 V-10> 수소경제 신규 투자로 인한 직간접적인 경제적 파급효과의 산출내역(2040년)	202
<표 V-11> 수소경제 활성화에 따른 경제적 파급효과(종합)	203
<표 V-12> 추정에 활용된 유발계수표	203
<표 V-13> 수송부문에서 발생하는 온실가스(이산화탄소) 저감효과	205
<표 V-14> 보급목표 달성시 발전용 연료전지의 발전량 및 연간 필요 수소량	205
<표 V-15> 보급목표 달성 시 발전용 연료전지의 LNG 소비량과 CO2 배출량	206
<표 V-16> 동일 발전량을 LNG발전 활용 생산 시 LNG 소비량과 이산화탄소 배출량	206
<표 V-17> 발전용 연료전지 보급으로 인한 LNG소비량 및 온실가스(이산화탄소) 저감효과	206
<표 V-18> 보급목표 달성시 자가용 연료전지의 발전량 및 연간 필요수소량	207
<표 V-19> 발전용 연료전지 보급으로 인한 온실가스(이산화탄소) 저감효과	207
<표 V-20> 수소경제 활성화로 인한 온실가스(이산화탄소) 저감효과	208
<표 V-21> 차종별 연간 미세먼지 발생량	209
<표 V-22> 수소차 보급의 미세먼지 저감효과	209

[그림 차례]

[그림 I-2-1] 수소경제 로드맵 수립 민관 전문위원회 구성도	5
[그림 II-1-1] 수소 연료전지(스택) 내 전기 발생 원리	12
[그림 II-1-2] 수소차 연료전지 스택과 내연기관의 에너지 효율성 비교	12
[그림 II-1-3] 발전용 연료전지의 에너지 생산효율	13
[그림 II-1-4] 자가용 연료전지의 에너지 생산효율	13
[그림 II-1-5] 탄소경제에서 수소경제로 전이 모식도	14
[그림 II-1-6] 에너지 유통수단으로 수소를 활용하는 경제체계의 전환 개념화	15
[그림 II-1-7] 수소경제 활성화의 기대효과	16
[그림 II-1-8] 수소차 공기(미세먼지) 정화 기능 모식도	21
[그림 II-1-9] McKinsey(2018)의 수소경제 활성화의 대기환경개선 효과 전망	23
[그림 II-2-1] 주요 국제에너지 전망기관의 수소차 및 연료전지 시장전망	25
[그림 II-2-2] 수소 활용을 통해 생산된 최종에너지 규모 전망(수소위원회, 2018)	26
[그림 II-2-4] 일본 수소기본전략의 로드맵	28
[그림 II-2-5] 일본 「수소기본전략」 상의 「수소·연료전지전략 로드맵」	28
[그림 II-2-6] 일본의 수소 수입(호주) 계획 및 액화수소 운반선 모형	29
[그림 II-2-7] 미국 에너지부(DOE) 자동차 차종(에너지별) 시장전망	30
[그림 II-2-8] 독일의 H2 Mobility 참여기업	33
[그림 II-2-9] 독일의 H2 Mobility 수소충전소 보급 계획	34
[그림 II-2-10] 호주의 국가 수소로드맵 주요내용	36
[그림 II-2-11] 호주 국가 수소로드맵 상의 수소 생산비용 전망	37
[그림 II-2-12] 중국의 수소버스	38
[그림 II-3-1] 수소차 및 충전소 현황	47
[그림 II-3-2] 연료전지 현황	48
[그림 III-1-1] 수소경제 활성화를 위한 국가비전	53
[그림 III-2-1] 수소 수송부문 확대 로드맵	54
[그림 III-2-2] 수소 연료전지 부문 확대 로드맵	55
[그림 III-2-3] 수소 공급부문 확대 로드맵	57
[그림 IV-1-1] 수소경제 활성화 추진 방안(요약)	59

[그림 IV-1-1] 장기 평균 생산비용(생산단가) 곡선 상의 학습효과와 규모의 경제	62
[그림 IV-1-2] 시나리오별 국내산 수소차 시장규모 전망	66
[그림 IV-1-3] 수소차 및 수소충전소 보급목표(누적)	67
[그림 IV-1-4] 수소차 핵심부품	70
[그림 IV-1-5] 국내 보급예정인 수소트럭	82
[그림 IV-2-1] 2018년 수소충전소 현황(일반인 이용 가능 충전소)	84
[그림 IV-2-2] 수소충전소 구축 로드맵(종합)	86
[그림 IV-2-3] 2019년까지 수소충전소 구축 계획	87
[그림 IV-2-4] 2022년까지 수소충전소 구축계획	89
[그림 IV-2-5] 수소충전소 유형 및 설치비용	90
[그림 IV-2-6] 수소충전소 안전장치 종류(예)	97
[그림 IV-2-7] 수소유통센터의 기능 및 역할(개념도)	100
[그림 IV-2-8] Fuel cell hybrid 기술이 적용되어 2019 상용화 예정 선박	106
[그림 IV-2-9] 호라이즌 연료전지 파워팩	111
[그림 IV-2-10] 인텔리전트사 연료전지 드론	111
[그림 IV-2-11] 수소 건설기계	113
[그림 IV-2-12] 발전용 및 가정·건물용 연료전지 보급목표(누적)	116
[그림 IV-2-13] 보급 확대에 따른 발전용 연료전지 설치비(만원) 절감 시나리오	120
[그림 IV-2-14] 보급 확대에 따른 발전용 연료전지 발전단가(원/kWh) 인하 시나리오	121
[그림 IV-2-15] 발전용 연료전지 핵심부품	128
[그림 IV-2-16] 천연가스와 수소의 연소과정 비교	135
[그림 IV-3-1] 수소 활용부문별 수소 파생수요 창출 기여도	139
[그림 IV-3-2] 수소 생산능력 및 지역별 생산비율 현황	143
[그림 IV-3-3] 기업별 및 지역별 수소유통량 비율	144
[그림 IV-3-4] 수소추출과정	147
[그림 IV-3-5] 수소생산기지 구축 후보지	149
[그림 IV-3-6] 권역별 수소생산기지 개념도	150
[그림 IV-3-7] 바이오매스·생활폐기물 활용 방안	152
[그림 IV-3-8] 해양 바이오 수소 생산	153
[그림 IV-3-9] HySTRA 프로젝트 개념도	159
[그림 IV-3-10] 일본의 SPERA 프로젝트	160

[그림 IV-3-11] 액상 암모니아 활용 일본-호주간 대규모 수소이송 프로젝트 개념도	161
[그림 IV-3-12] 고압기체 저장용기의 종류	166
[그림 IV-3-13] 액상 유기 화합물(LOHC) 이용 대용량 수소저장·방출기술 개념도	172
[그림 IV-3-14] 국내 수소 운송 방법	174
[그림 IV-3-15] 수소 저장·운송 과정	174
[그림 IV-3-16] 액체(액상·액화수소)운송방식 및 장점 소개	175
[그림 IV-3-17] 운송용량 및 거리에 따른 최적 운송방식	176
[그림 IV-4-1] 수소산업 클러스터	184
[그림 IV-4-2] 수소시범도시 조감도	186



서론

I-1. 연구의 배경과 목적

제1절 연구의 배경

□ 최근 수소경제가 탄소경제를 대체하는 새로운 에너지 패러다임 전환을 추동하는 동시에 한국의 혁신성장의 핵심 분야로 주목받고 있음.

○ 에너지원으로서 탄화수소를 기반으로 한 ‘탄소경제(Carbon Economy)’를 대신해, 수소를 기반으로 운영되는 경제체계를 의미하는 ‘수소경제(Hydrogen Economy)’는 개념이 등장한 1970년대부터 대안적 이상향으로서 주목받아옴.

- 미국 저명한 미래학자 제레미 리프킨은 “수소혁명으로 수소가 인간문명을 재구성하고 세계경제와 권력구조를 재편하는 새로운 에너지 체계로 부상할 것 (The Hydrogen Economy, 2002년)”을 주창함.

- 조안 오그덴 미국 UC Davis 교수는 “지속 가능한 미래 에너지 확보에 수소와 연료전지는 핵심적인 기술(두산 포럼, 2015년)”이며, “수소차 비용 및 성능개선, 수소차 보급 확대, 인프라 투자 등으로 수소 및 연료전지 상용화가 다시 시작되는 전기 마련(The Hydrogen Transition, 2014년)”이라 주장함.

- 일본 도요타 사장 도요타 아키오도 “수소 연료전지 자동차 ‘미라이’를 ‘더 좋은 사회’로 이끄는 ‘더 좋은 자동차(미라이 출시 현장, 2014년)”라 언급한 바 있음.

○ ‘수소경제’의 개념 자체도 시간이 지나면서 구체화되어 왔으며, 최근에는 재생 에너지를 활용하여 수소를 생산하고, 에너지 수요와 공급 사슬 전체 영역에서 수소와 전기를 주요한 에너지 유통수단(energy carrier)으로 사용하는 경제체제로서, 주로 재생에너지로의 에너지전환 기조와 연계하여 인식되고 있음.

- 수소는 재생에너지의 활용도를 높이고, 온실가스 감축 문제를 해결할 수 있다는 점에서 에너지전환의 필수 요소임.

- 또한 다양한 에너지원으로 생산 가능하고, 해외에서 생산 후 수입도 가능하다는 점에서 에너지안보에 기여할 수 있다는 장점이 있음.

○ 더불어 에너지 차원을 넘어 산업적 차원에서 전후방 파급효과가 큰 혁신산업이라는 점에서 한국의 혁신 성장의 핵심 분야로 각광받고 있음.

- 수소활용 분야로서 수소차, 열차, 선박 등 수송 분야와 함께 연료전지, 수소 가스터빈 등 에너지 분야(발전·열)까지 다양한 에너지 신산업 창출이 가능함.

- 또한 수소 생산을 위한 화학·기계설계 분야와 배관·용기 등의 소재·부품 분야 등 다양한 분야에서 고부가가치 창출이 가능함.
- 수소충전소, 수소 파이프라인 등 관련 인프라 구축 과정에서도 대규모 자본, 인력이 투입되어 지속적인 설비 투자 수요를 창출할 수 있음.

□ 세계적으로 수소경제는 확대일로에 있는 수소차 및 연료전지 시장 중심으로 구축되고 있으며, 이를 활성화하기 위해 주요 선진국들은 수소 밸류체인 (생산, 운송·저장, 활용) 전단계의 기술적·산업적 완성도를 높이기 위한 지원 노력을 경주하고 있음.

- 현대차·도요타·혼다를 중심으로 수소차 보급을 견인하고 있으며, BMW·폭스바겐·GM 등 후발기업의 시장진출로 수소차 시장이 지속적으로 성장할 전망이다.
- 연료전지 시장도 일본(가정용), 한국(발전용) 등 아시아 시장을 중심으로 최근 5년간 빠르게 성장하고 있음.
- 이러한 수소차의 내구성·안전성을 확대하기 위한 노력과 함께 연료전지의 발전 단가 저감을 위한 효율성 제고 및 수명 연장을 추진 중임.
- 또한 재생에너지의 잉여전력을 활용한 P2G기술로 생산 확대도 추진 중이며, 대량 저장 및 운송을 위해 액체·고체 적용 기술 개발도 추진 중임.

□ 한편 국내 수소경제는 수소차, 연료전지 등 수소 활용 분야에서 최고 수준의 기술력 확보하고 있으며, 이에 수소를 충분히 공급할 수 있는 대규모 화학 산업 기반과 함께 전국 단위의 수소 유통을 지원할 발달된 LNG 공급망을 보유하고 있는 등 충분한 잠재력을 지니고 있다고 평가됨.

- 2018년 글로벌 경쟁력을 갖춘 수소차 일반 보급모델 “넥쏘”가 출시되었으며, 국내 연료전지 산업은 원천기술을 보유한 국내, 해외 기업과의 제휴·합병을 통해 최고 수준의 연료전지 기술을 확보하고 있음.
- 또한 울산, 여수, 대산 등 3개 석유화학단지를 중심으로 수소가 생산되고 있으며, 전국단위의 LNG 공급망을 보유, 이를 수소 공급에 활용하여 접근성 제고 및 운송비 절감이 가능하다고 평가됨.
- 수소차 약 25만대분인 약 5만톤 정도의 수소의 여유 생산 능력을 보유 중임.

- 그러나 수소의 수요 및 공급 인프라 부족, 원천기술 미비 등으로 국내에는 아직 자생력 있는 수소시장 자체가 형성되어 있지 않은 관계로, 다가올 세계적인 수소경제 시대의 도래를 준비하기 위한 정부지원이 요구되는 상황임.
 - 차량 가격부담이나 대중교통 적용의 어려움 등으로 수소차 보급은 지연되고 있으며, 수소차·발전용 연료전지 이외 분야 다른 활용분야의 성장은 아직 활발히 이루어지고 있지 않음.
 - 또한 수소의 원활한 생산 및 공급을 위해 노력 중이지만, 수소충전소, 수소파이프라인 등 공급 인프라가 부족하여 수소를 쉽게 활용하기 어려운 것이 현실임.
 - 더욱이 수전해 수소생산, 액화 저장·운송 등 친환경적 수소의 대량이용을 위한 원천기술은 낮은 수준으로서, 실제 탄소경제를 대체하는 수소경제 도래를 위해서는 상당한 연구개발 투자가 필요함.
- 이러한 국내 수소경제 활성화를 지원하기 위해 **2018년 6월 ‘혁신성장 관계장관회의’**를 통해 정부의 명확하면서도 확고한 지원 의지가 천명되었으며, 이를 구체화할 「수소경제 활성화 로드맵」 수립이 결의됨.
 - 2018년 6월 ‘혁신성장 관계장관회의’는 「혁신성장 전략투자 방향」을 통해 미래 친환경 수소에너지 기반 수소경제 활성화를 목표로 생산-저장·이송-활용 등 단계별 수소 밸류체인 구축과 수요기반을 확충하기 위해 2019년부터 연간 1,000억원 규모 이상의 재정투자 계획을 발표함.
 - 정부는 “수소경제”를 에너지 패러다임 전환, 에너지 안보, 미래산업 육성을 위한 핵심 플랫폼으로 인식하고 있지만, 수소차·연료전지 등 상용분야는 세계적 기술 수준이나 생산, 운송 등 생태계 조성이 미흡하다고 평가하고 있음.
 - 이에 수소산업의 밸류체인별 R&D 실증사업 및 생산 거점 구축을 위해 2019년부터 연간 1,000억원 규모의 재정투자가 의결됨.
 - 그리고 계획의 구체화와 추진전략 마련을 위해 「수소경제 활성화 로드맵」 수립이 결의됨.
- 이 같은 정부의 수소산업 육성 및 수소경제 실현 의지를 반영하여, 구체적인 추진 전략과 연차별 추진계획을 담은 「수소경제 활성화 로드맵」 수립을 지원하기 위한 수소산업 관련 민관 전문가들의 집단 지성을 바탕으로 한 정책연구가 필요함.

- 2005년 「수소경제 마스터플랜」이 수립된 바 있으나 연료전지 기술개발에만 초점이 맞추어져 전반적인 수소 수요 시장 예측에는 실패하는 등 보완이 요구됨.
- 현행 수소산업 육성 정책은 수소차 등 특정 분야만 다루고 있어, 장기적·거시적 관점에서의 정책설계가 필요한 시점임.
 - 더욱이 수소경제 도래에 대비하여 수소산업 육성 및 안전관리에 특화된 법·제도적 시스템 마련이 요구됨.

제2절 연구의 목적

- 본 연구는 수소산업 관련 민관 전문가들의 집단지성을 활용할 수 있는 플랫폼을 구축, 운영함으로써 정부의 「수소경제 활성화 로드맵」을 수립하는데 목적을 두고 있음.
 - 국내 수소경제 활성화를 위한 단기·중장기 추진과제가 담긴 「수소경제 활성화 로드맵 수립」을 수립함.
 - 이를 위해 민관 전문위원회를 구성하여 운영함.
 - 또한 수소의 생산·저장·운송·활용 등 전주기에 걸친 국내외 시장, 기술, 정책 동향을 분석함.

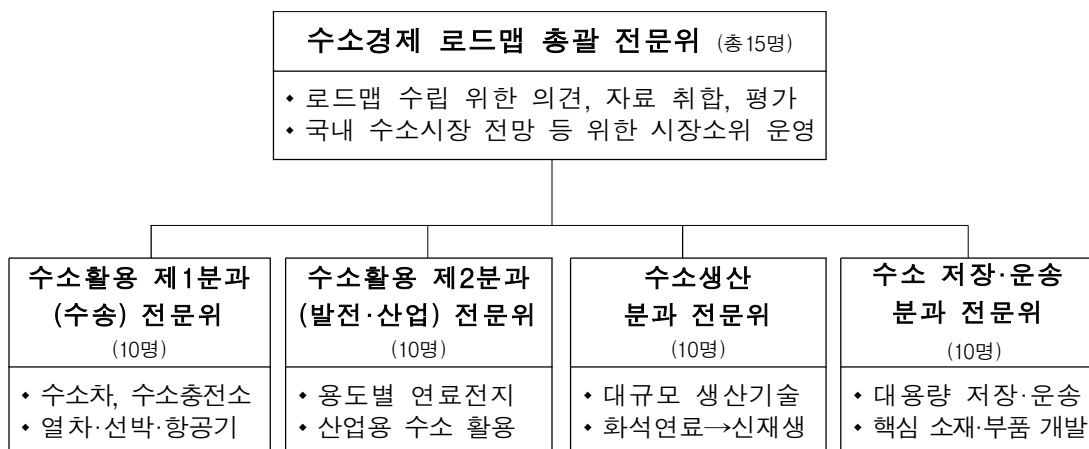
I-2 연구추진 체계 : 수소경제 로드맵 수립 민관 전문위원회

- 본 연구는 「수소경제 활성화 로드맵 수립」을 위해 수소경제 로드맵 수립 데스크 포스(DF)팀으로서, 수소산업 관련 민관 전문가들로 구성된 위원회인 수소경제 로드맵 수립 민관 전문위원회(이하 전문위원회)를 구성하여 운영함.
- 전문위원회는 수소산업 관련 민관 전문가들의 집단지성을 활용, 「수소경제 활성화 로드맵」을 수립하기 위해 구축될 플랫폼으로서, 전문가 의견 교환 및 각종 의사결정을 위한 기구로서 활용함.
- 「수소경제 활성화 로드맵」은 전문위원회를 통해 수립된 전문가들의 의견 및 전문지식을 바탕으로 작성됨.

※ 수소경제 로드맵 수립 민관 전문위원회 개요

- 총괄 전문위원회(15명)과 수소산업 밸류체인 4개 부문별 전문위원회로 나누어 총 55명의 위원으로 구성되며, 연구수행 기간인 1월부터 4월까지 총 4개월간 운영됨.
- 4개 부문별 전문위원회 : 생산(10명), 저장·운송(10명), 수송(10명), 발전·산업(10명) 등으로 구성됨.

[그림 I-2-1] 수소경제 로드맵 수립 민관 전문위원회 구성도



<표 I -2-1> 수소경제 활성화 로드맵 수립 전문위원회 구성(위원명단)

분과	성명	소속 및 직위	위원회 직책
총괄 전문위원회	이승훈	수소융합얼라이언스 추진단 사무총장	총괄위원장
	김재경	에너지경제연구원 연구위원(팀장)	총괄간사
	유상석	충남대학교 교수	민간위원(당연직)
	구영모	자동차부품연구원 실장	민간위원(당연직)
	한종희	한국과학기술연구원 본부장	민간위원(당연직)
	임성대	한국에너지기술연구원 선임연구원	민간위원(당연직)
	박진남	경일대학교 교수	민간위원(당연직)
	양희승	한국가스공사 차장	민간위원(당연직)
	유영돈	고등기술연구원 센터장	민간위원(당연직)
	강승규	한국가스안전공사 차장	민간위원(당연직)
	양태현	한국에너지기술연구원 박사	민간위원
	최동원	산업연구원 부연구위원	민간위원
	박재형	한국에너지기술평가원 선임연구원	민간위원
	이재훈	한국가스안전공사 부장	민간위원
	손효진	과학기술정보통신부 사무관	정부위원
	안세희	국토교통부 사무관	정부위원
	장준희	기획재정부 사무관	정부위원
수소활용 제1분과 (수송) 전문위원회	유상석	충남대학교 교수	분과위원장
	구영모	자동차부품연구원 실장	분과간사
	권태구	한국산업기술진흥원 선임연구원	민간위원
	류준형	한국철도기술연구원 박사	민간위원
	이제명	부산대학교 교수	민간위원
	백승욱	한국표준과학연구원 선임연구원	민간위원
	허윤실	한국가스안전공사 부장	민간위원
	박부민	한국항공우주연구원 박사	민간위원
	남연우	선박안전기술공단 책임	민간위원
	김성균	현대자동차 박사	민간위원
	이용규	에어리퀴드코리아 부장	민간위원

<표 I-2-1> 수소경제 활성화 로드맵 수립 전문위원회 구성(위원명단)(계속)

분과	성명	소속 및 직위	위원회 직책
수소활용 제2분과 (발전·산업) 전문위원회	한종희	한국과학기술연구원 본부장	분과위원장
	임성대	한국에너지기술연구원 선임연구원	분과간사
	김주한	전자부품연구원 박사	민간위원
	류창기	한국에너지공단 팀장	민간위원
	정시교	국토교통과학기술진흥원 박사	민간위원
	문상진	두산중공업 상무	민간위원
	정기석	포스코에너지 그룹장	민간위원
	박종승	LG퓨얼셀 책임	민간위원
	전희권	S퓨얼셀 대표	민간위원
	안한근	LH한국토지주택공사 부장	민간위원
	차광석	현대건설 부장	민간위원
	형찬우	한국에너지공단 대리	민간위원
	박성수	산업통상자원부 사무관	정부위원
수소생산 분과 전문위원회	박진남	경일대학교 교수	분과위원장
	양희승	한국가스공사 차장	분과간사
	김창희	한국에너지기술연구원 책임연구원	민간위원
	구준모	한국수소산업협회 팀장	민간위원
	조현석	제이앤케이히터 이사	민간위원
	박정주	현대자동차 책임연구원	민간위원
	장지욱	울산과학기술원 조교수	민간위원
	김희식	한국생명공학연구원 센터장	민간위원
	김수현	고등기술연구원 책임연구원	민간위원
수소 저장·운송 분과 전문위원회	유영돈	고등기술연구원 센터장	분과위원장
	강승규	한국가스안전공사 차장	분과간사
	윤창원	한국과학기술연구원 책임연구원	민간위원
	이영철	한국가스공사 박사	민간위원
	최병일	한국기계연구원 박사	민간위원
	유계형	일진복합소재 박사	민간위원
	박지혜	현대자동차 박사	민간위원
	김서영	하이리움산업 박사	민간위원
	조병옥	원익머티리얼즈 박사	민간위원
	장성혁	수소지식그룹 사장	민간위원
	이찬수	덕양 이사	민간위원

I -3. 선행연구(2005년 수소경제 마스터플랜)와의 차별성

- 2005년 정부는 “친환경 수소경제 구현을 위한 마스터플랜(이하 마스터플랜)”을 수립한 바 있지만, 본 연구를 통해 수립된 수소경제 활성화 로드맵은 다음 세 가지 점에서 차별화됨.

(1) 중점에서의 차별성

- 2005년 당시 수소 활용제품(수소차, 연료전지 등)이 아직 기술개발 단계로서 기술개발을 위한 정부 지원 전략이 필요한 시점으로 마스터플랜은 기술개발 로드맵의 중점이 될 수밖에 없었음.
- 반면 수소경제 활성화 로드맵은 수소 활용제품(수소차, 연료전지 등)이 이미 상용화 단계에 진입하여 시장 창출 및 육성을 위한 전략 마련이 필요한 시점에 수립되었으며, 이를 위한 정부 정책방향에 방점이 찍혀있음.

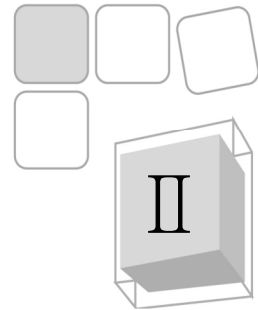
(2) 범위에서의 차별성

- 2005년 마스터플랜은 수소경제의 범위를 수소차와 연료전지로 한정함.
- 수소경제 활성화 로드맵에는 현재 개발 중인 수소선박, 수소열차, 수소드론, 수소가스터빈 등 수소활용 신기술 영역까지 확대 포함함.

(3) 이행 가능성에서의 차별성

- 가장 중요한 차이는 정책 환경의 변화라 할 수 있음.
- 사실 2005년 무렵에는 화석연료 중심의 에너지수급 구조를 탈피할 뚜렷한 에너지전환 정책이 마련되지 않은 상태였음. 이로 인해 당시 마스터플랜은 에너지정책 기조와는 별도로 수립된 일종의 신산업 육성 전략의 하나에 불과하였음.

- 반면 **2017**년부터 그 동안의 화석연료 중심에서 신재생에너지로의 전환이라는 명확한 에너지정책 기조가 수립되었으며, 이는 수소경제 활성화의 밑바탕이 마련된 것으로 볼 수 있음. 그 만큼 이번 로드맵은 정책적 정합성이 높음.
- 더욱이 수소경제 활성화 로드맵은 **2019**년 수립될 제**3**차 에너지기본계획과 제**9**차 전력수급계획에 반영될 예정이며, 마스터플랜에 비해 실제 실효성은 한층 강화될 예정임.
- 그만큼 **2005**년 마스터플랜의 실패가 재현될 가능성은 낮아진 것이며, 이행 가능성도 높아진 것으로 볼 수 있음.



수소경제 활성화 추진 배경

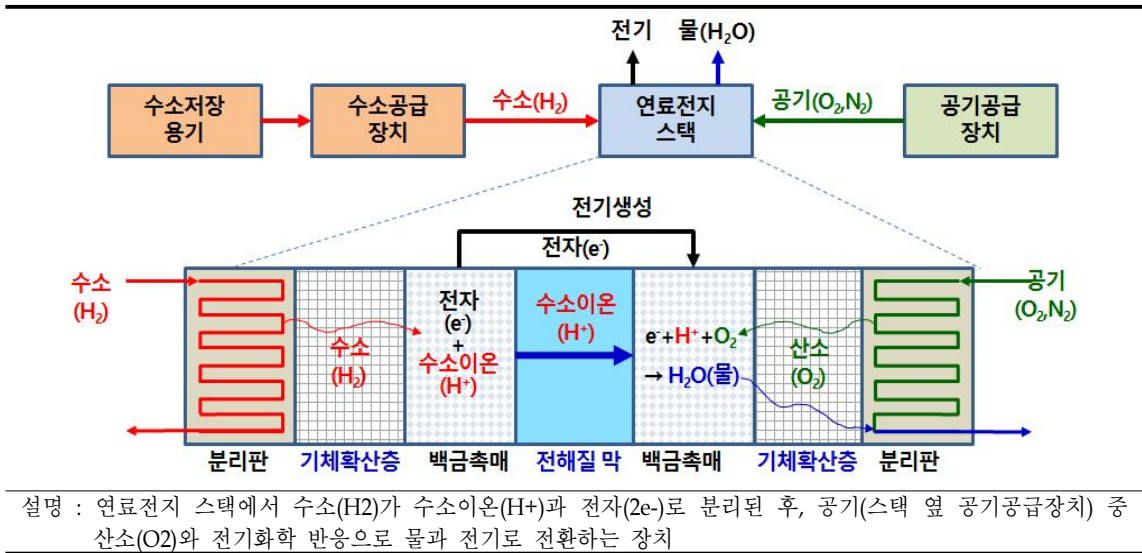
II-1. 수소경제의 의미와 중요성

제1절 수소경제의 의미

- 수소는 우주물질의 **75%**를 차지하며, 지역적 편중이 없는 보편적인 에너지 원인 동시에 매우 풍부한 자원임.
 - 원자번호 1번인 수소는 우주물질의 75%를 차지할 정도로 풍부하지만, 지구상에는 물이나 유기화합물 형태로 존재함.
 - 이로 인해 수소를 직접 활용하기 위해서는 기술적 난이도가 상대적으로 높지만, 지역적 편중이 없는 보편적인 자원인 동시에, 장기간·대용량 저장이 가능하다는 장점도 지님.
- 수소는 새로운 자원이 아니며, 우리 주변에서 한 세기 전부터 지속적으로 사용되고 있는 산업용 원료임.
 - 역사적으로 보면 수소는 한 세기 전부터 사용되어 왔으며, 현재도 세계적으로 매년 5천만 톤의 수소가 사용되고 있음.
 - 특히 수소는 반도체 및 디스플레이 제조, 암모니아 제조, 광섬유 제조, 석유정제, 화학원료(비료, 합성수지, 페인트, 세제 등), 전지 제조, 제철, 우주선 및 로켓 연료(액체수소) 등 다양한 분야에서 산업용 원료로 사용되고 있음.
- 이러한 수소는 공기 중 산소와 단순한 (촉매)화학반응(연료전지)을 통해 전기와 열, 즉 최종에너지를 생산할 수 있지만, 부산물은 단지 물(H_2O) 밖에 없기 때문에 친환경 에너지 자원으로도 활용이 가능함.
 - 수소는 공기 중의 산소와 결합, 연료전지에서 (촉매)화학반응을 통해 전기와 열을 생산하며, 이때 발생하는 전기를 자동차의 구동에너지로 활용하면 수소차, 단순히 전기와 열 발생장치(수소발전기 등)로 활용할 경우 발전용 연료전지나 자가용 연료전지가 됨.
 - 더욱이 화학적으로 수소는 탄소를 포함하지 않기 때문에, 탄화수소 연소과정에서 발생하는 온실가스 배출 문제로부터 자유로움.

- 이처럼 수소가 지닌 친환경 에너지 자원의 활용 가능성에 대해서 1973년 제1차 석유위기 이후 세간의 관심이 야기되었으며, 특히 21세기 들어 지구환경 문제가 심각한 문제로 대두되면서 더욱 부상하게 되었음.

[그림 II-1-1] 수소 연료전지(스택) 내 전기 발생 원리

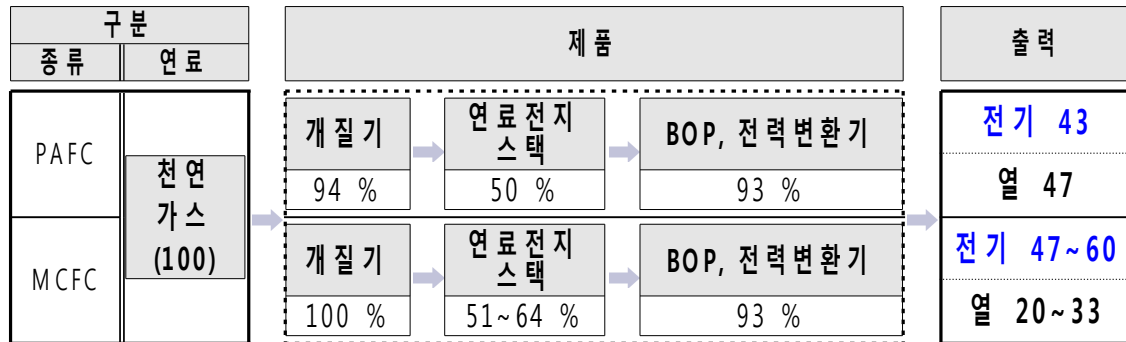


- 더욱이 수소를 연료로 연료전지에 투입, 전기와 열을 결합 생산할 경우 종합적인 에너지 생산효율이 **80~90%** 정도로서, 특히 대체재인 내연기관에 비해 고효율이라는 장점도 지님.

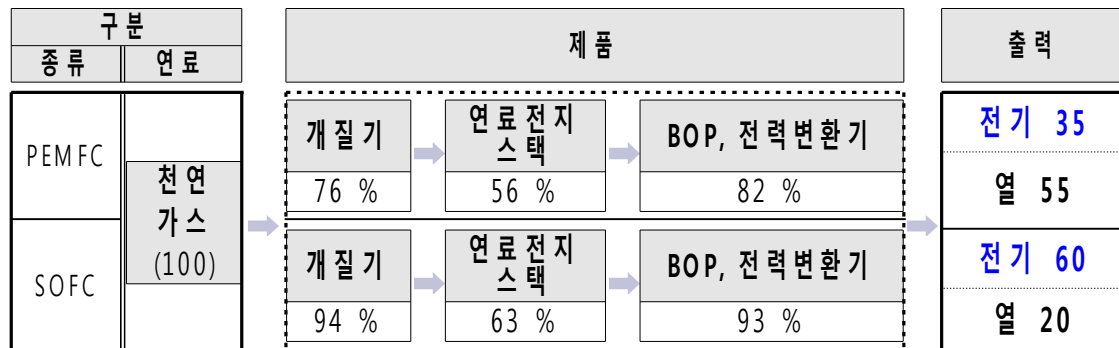
[그림 II-1-2] 수소차 연료전지 스택과 내연기관의 에너지 효율성 비교

구분		제품			출력
종류	연료				
수소차	수소 (100)	연료전지스택 → BOP/전력변환기/모터 64 % 95 %			60
	경유 (100)	엔진 (경유) → 동력전달 → BOP 35 % 95 % 95 %	32		
내연기관차	휘발유 (100)	엔진 (휘발유) → 동력전달 → BOP 25 % 95 % 95 %	23		

[그림 II-1-3] 발전용 연료전지의 에너지 생산효율



[그림 II-1-4] 자가용 연료전지의 에너지 생산효율



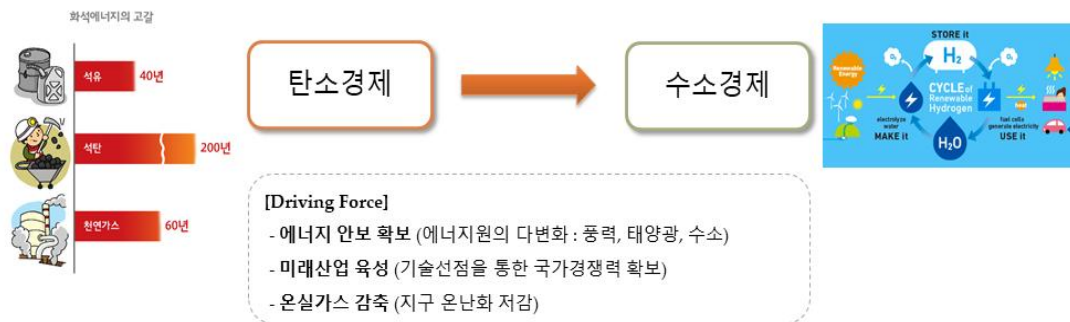
- 화학적으로 수소는 높은 에너지밀도를 가지고 있어, 수소의 단위 부피당 발열량은 탄화수소 등에 비해 낮지만, 단위 중량당 발열량은 휘발유나 경유에 비해 약 3배 정도 높음.

<표 II-1-1> 수소와 석유제품(휘발유 및 경유)의 특성 비교

구분	수소	휘발유	경유
분자식	H ₂	C ₈ H ₁₈ (C ₄ ~C ₁₂)	C ₁₂ H ₂₆ (C ₁₆ ~C ₃₂)
중량에너지밀도 (MJ/kg)	142	원유 44.9	
기체비중 (공기=1)	0.0695	702	876
고위 발열량 (25℃ 정압 kcal/kg)	34,000	11,362	10,685
저위 발열량 (25℃ 정압 kcal/kg)	28,600	10,550	10,135
연소범위(%)	상한 75	상한 4.7	상한 6
	하한 4	하한 1.5	하한 1
연소속도(m/s)	2.65	1.83	-
자연발화온도(℃)	572	250	225

- 에너지원으로서 탄화수소를 기반으로 한 ‘탄소경제(Carbon Economy)’를 대신해, 이러한 수소를 기반으로 운영되는 경제체계를 의미하는 ‘수소경제(Hydrogen Economy)’라는 개념이 등장한 1970년대부터 대안적 이상향으로 주목 받아옴.
- 이미 1972년 미국의 Bockris는 “산업, 운송 그리고 가정 부문의 에너지수요가 가솔린(즉, 석유)을 대체한 수소연료를 통해 충족되는 에너지시스템 및 경제”로서의 수소경제의 도래를 예언한 바 있음.
- 이후 2002년 발표된 “The Hydrogen Economy”를 통해 미국 저명한 미래학자 Rifkin은 “석유중심 경제체제(즉, 탄소경제)가 무공해 무한 에너지인 수소를 중심으로 한 경제체제로 전환된 미래사회”라는 의미에서 “수소경제(사회)”를 주창하였으며, 수소경제로의 전환을 의미하는 “수소혁명”으로 “수소가 인간문명을 재구성하고 세계경제와 권력구조를 재편하는 새로운 에너지 체계로 부상” 하게 될 것임을 예언함.

[그림 II-1-5] 탄소경제에서 수소경제로 전이 모식도



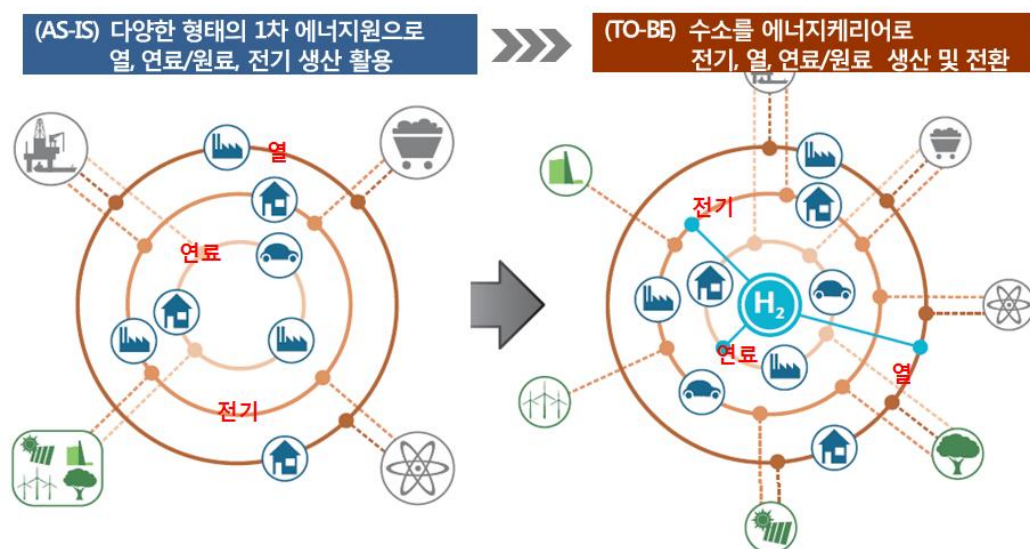
<표 II-1-2> 탄소경제와 수소경제의 비교

	탄소경제	수소경제
에너지 패러다임	탄소자원(석유, 석탄, 가스 등) 중심 수입 의존(99%)	탈탄소화 수소 중심 국내 생산으로 에너지 자립 기여
에너지 공급	대규모 투자가 필요한 중앙집중형 에너지 수급 입지적 제약이 크고 주민 수용성이 낮음	소규모 투자로 가능한 분산형 에너지 수급 입지적 제약이 적고 주민 수용성이 높음
경쟁 양상	자원개발 및 에너지 확보 경쟁	기술경쟁력 확보 및 규모의 경제 경쟁
환경성	온실가스, 대기오염물질 배출 * CO ₂ , NO _x , SO _x 등	온실가스 배출이 적어 친환경적 * 부산물 = 물(H ₂ O)

□ ‘수소경제’의 개념 자체도 시간이 지나면서 구체화되어 왔으며, 최근에는 재생에너지를 활용하여 수소를 생산하고, 에너지 수요와 공급 사슬 전체 영역에서 수소와 전기를 주요한 에너지 유통수단(**energy carrier**)으로 사용하는 경제체제로 인식되고 있음.

- 수소경제의 구체적인 정의는 2005년 미국 국립과학원(The US National Academy of Science)에 의해 내려진 바 있으며, “석탄, 천연가스, 원자력, 신재생에너지를 이용하여 수소를 생산하고, 생산된 수소를 운반하고 저장하는 인프라를 구축하고, 수소를 직접 연소하거나 연료전지를 이용하여 전력을 생산하여 최종적으로 소비하는 에너지수급시스템에 기반 한 경제”로 정의됨.
- 한편 2005년 수행된 “수소경제 국가비전 및 실행계획 수립 연구”는 수소경제를 "탈탄소화 정도에 따라 다르나, 탄소에 기반한 하부경제구조(에너지기반)가 수소 중심으로 전환된 미래 경제사회"로 정의하되, 중단기적 및 장기적 시계를 동시에 충족시키는 광의로 개념화한 바 있음.
 - 중단기적 수소경제 : 석유, 석탄, 천연가스, 원자력, 신재생에너지 등을 이용하여 수소를 생산하고, 연료전지 등을 통해 활용하는 고효율 저탄소 경제사회
 - 장기적 수소경제 : 태양에너지 등 재생에너지를 활용하여 직접 또는 물을 분해하여 수소를 생산하고, 연료전지 등을 통해 활용하는 고효율 무탄소 경제사회

[그림 II-1-6] 에너지 유통수단으로 수소를 활용하는 경제체제로의 전환 개념화



출처 : Energy System in near and future, Technology Roadmap(Hydrogen and Fuel Cells)(‘15년, 세계에너지기구)

- 특히 장기적 수소경제의 정의는 최근 정부에서 추진 중인 “재생에너지 3020 이행계획” 등 재생에너지 확대 정책과 궤를 같이하여, 향후 확대될 재생에너지를 활용하여 수소를 생산하고, 에너지 수요와 공급 사슬 전체 영역에서 수소와 전기(와 열)를 주요한 에너지 유통 수단(energy carrier)으로 사용할 수 있는 플랫폼이 될 수 있을 것으로 기대를 모으고 있음.
- 그 동안의 선행연구들을 종합하여 본 연구는 수소경제를 “수소를 중요한 에너지원으로 사용하고, 수소가 국가경제, 사회전반, 국민생활 등에 근본적 변화를 초래하여, 경제성장과 친환경 에너지의 원천이 되는 경제”로 정의함.
- 그래서 수소경제 활성화는 석탄·석유·가스 등 탄화수소계열 화석연료를 대체하여 수소가 자동차 등의 연료로 사용되고, 전기와 열(난방·온수)을 생산하는 등 경제·사회 및 국민 생활 전반에 수소가 주요한 에너지원으로 사용함으로써,
- 경제적 측면에서 혁신성장의 동력인 동시에 에너지를 보다 친환경적으로 사용하도록 이끌어주는 수단으로서 수소가 지닌 무한한 잠재력이 실제 구현된 사회를 지향한다는 의미임.
- 이를 통해 국가 경제적으로는 새로운 성장동력 육성 및 친환경 에너지 전환에 기여함으로써, 국가경제, 사회, 국민생활 전반에 근본적 변화를 기대할 수 있음.

[그림 II-1-7] 수소경제 활성화의 기대효과



제2절 수소경제의 경제적 함의

: 전·후방 경제적·산업적 파급효과가 큰 미래 성장동력

1. 수소경제 활성화의 전방산업 파급효과

- 우선 경제적 측면에서 수소 활용산업은 수소차를 중심으로 한 수송 분야에서 전기, 열 등 에너지 분야까지 다양한 새로운 미래 신산업으로 육성이 가능함.
 - 특히 단기적으로는 수소차나 연료전지 등 기술선도 분야에서의 시장 창출 및 확대 가능성이 높음.
- 먼저 수소승용차에서 상용차, 열차, 선박, 드론, 건설기계 등 모든 수송 분야에 수소가 활용이 가능하며 이를 통해 새로운 산업 생태계가 조성 가능함.
- 특히 2017년 기준 2조 달러 규모의 세계 자동차 시장을 고려했을 때, 이 중 약 10%만 수소차로 전환되어도 디스플레이시장(1.3천억달러)의 약 1.5배, 반도체시장(4.2천억달러)의 약 1/2 규모가 될 수 있음.
 - 더욱이 내연자동차 퇴출 등 글로벌 환경규제 강화에 따라, 우리나라 주력 산업인 자동차의 친환경 성장동력화는 선택이 아닌 생존의 문제일 수 있음.
 - ※ 친환경차 규제 현황: 내연기관차 신규판매 금지(네덜란드, 노르웨이('25), 프랑스, 영국('40), 중국 신에너지차 판매 쿼터('19년 : 10% → '22년 : 16%)
- 또한 연평균 22% 이상 성장하고 있는 세계 연료전지 시장을 고려할 경우, 분산전원의 최적 에너지전환 기술 및 설비로서 친환경이면서 고효율로 전기와 열을 생산하는 연료전지의 경제적 가치도 무시할 수 없음.
 - 수소는 높은 에너지밀도를 가지고 있어, 수소를 활용한 발전(연료전지)은 대규모·초고속 데이터 처리 등 에너지 소모가 많은 IoT 혁신시대의 핵심 에너지 인프라가 될 잠재력이 높음.
 - 최근 세계 발전용 연료전지 시장도 급격히 성장하고 있어, 보급규모가 2013년 215MW 수준에서 2015년 299MW으로 2017년에는 670MW로 확대되어 연평균 22% 이상 성장하고 있음.

2. 수소경제 활성화의 후방산업 파급효과

□ 또한 수소 활용산업은 수소 생산·저장·운송·활용 등의 밸류체인 전반에 걸쳐 다양한 산업과 연계되어, 상당한 부가가치 및 고용유발효과를 거둘 수 있음.

- 휘발유, 경유 사용 자동차가 수소 사용 자동차로 전환됨에 따라 새로운 자동차 시장 형성 및 관련 부품, 소재 협력 기업이 성장할 수 있으며,
- 기존에 거의 없던 연료전지 발전과 열 공급이 확대됨에 따라 연료전지 제조산업 및 관련 부품업체 성장도 유도할 수 있음.
- 또한 수소 생산·저장·운송(튜브트레일러, 파이프라인), 수소충전소 등 인프라 관련 새로운 시장 창출이 가능함.

□ 먼저 수소차 및 연료전지의 협력부품업체가 대부분 중소·중견기업으로, 활용 확대에 따라 협력기업의 성장과 고용창출로 연계될 가능성이 높음.

- 만일 차량 부품 수가 3만개 정도인 내연기관차를 부품 수가 1.9만개에 불과한 전기차로 대체할 경우, 그 만큼 부품을 생산 공급하는 협력부품업체들도 타격을 받아 축소될 수밖에 없음. 반면 수소차의 부품 수는 2.4만개로서 전기차 비해 약 5천개 많아 협력부품업체들이 받는 타격도 상대적으로 적을 수 있음.

<표 II-1-3> 자동차 종류별 부품 비교

구분	수소차		전기차		내연기관차	
	부품 수	비중(%)	부품 수	비중(%)	부품 수	비중(%)
엔진부품	-	-	-	-	6,900	23
구동장치,제동장치 부품	8,500	36	3,600	19	5,700	19
차체부품	4,500	19	4,500	24	4,500	15
서스펜션*, 제동부품	4,500	19	4,500	24	4,500	15
전자부품장치	900	4	900	5	3,000	10
기타	5,400	22	5,400	28	5,400	18
계	23,800	100	18,900	100	30,000	100

* 서스펜션 : 노면의 충격이 차체나 탑승자에게 전달되지 않도록 충격을 흡수하는 장치

- 수소차의 약 2.4만개 부품 중 특히 주요 부품을 생산, 공급하는 협력부품업체 중 대부분이 중소·중견기업으로 수소차 활용 확대는 이러한 중소·중견 협력부품 기업의 동반 성장을 유도할 수 있음.

<표 II-1-4> 수소차 산업생태계 현황

구분	주요 구성품	주요기업
연료 전지 시스템	<ul style="list-style-type: none"> • (스택) 수소+산소로 전기 생산 - 막전극접합체(MEA), 가스확산층, 분리판, 가스켓 등 	<ul style="list-style-type: none"> • 1차 : 현대제철(금속분리판), 모비스(모터), 한온시스템(공기압축기), 인지컨트롤스(밸브) • 2차 : 유한정밀(금속분리판), 평화오일셀공업(가스켓)
	<ul style="list-style-type: none"> • (수소공급) 수소 공급 - 수소재순환, 밸브 등 	
	<ul style="list-style-type: none"> • (공기공급) 연료전지에 산소 공급 - 공기압축기, 막가습기 등 	
	<ul style="list-style-type: none"> • (냉각) 스택의 열 방출(라디에이터 등) 	
수소 저장 장치	<ul style="list-style-type: none"> • 수소탱크, 고압밸브, 배관 등 - (수소탱크) 수소저장 용기 - (고압밸브, 배관) 고압용기로 이동 	<ul style="list-style-type: none"> • 1차 : 일진복합소재(수소탱크), 세종공업(센서) 등 • 2차 : 오토산업(센서), 세아FS(배관) 등
전장 장치	<ul style="list-style-type: none"> • 구동모터, 전력변환 등 - (구동모터) 전기에너지를 기계에너지로 변환 - (전력변환) 전압을 차량 전자기기에 맞게 변환 (AC전력→DC전력) 	<ul style="list-style-type: none"> • 1차 : 현대모비스(모터), 현대케피코(BMS 등) 등 • 2차 : 원진일렉트로닉스(전장센서), 대우전자부품(전자제어) 등

- 또한 연료전지도 발전용 연료전지의 약 1만개, 가정·건물용 연료전지 4천개 이상 부품 수가 필요하며, 연료전지 주요 부품의 생산, 공급업체들 역시 대부분이 중소·중견기업으로 연료전지 활용 확대는 이러한 중소·중견 협력부품기업의 동반 성장을 유도할 수 있음.

<표 II-1-5> 연료전지 산업생태계 현황

구분	주요 구성품	주요기업
개질기·스택	개질기 (천연가스 → 수소+산소)	<ul style="list-style-type: none"> • 1차: (주)두산, 포스코에너지 • 2차: 중견(에스퓨얼셀, 하이에어코리아) • 3차: 중소기업(파워셀코리아, 코켓, 원테크, 태양산업, 에코프로 등)
	스택 (수소+산소=전기, 열)	<ul style="list-style-type: none"> • 1차: (주)두산, 포스코에너지, OCI, 현대차, LG화학, 유니온머티리얼 • 2차: 중견(에스퓨얼셀, 동아화성, 미코, 진성티이씨, 코오롱글로벌 등) • 3차: 중소기업(백상엔지니어링, 제이엔엘테크, 영진기기, 일도에프앤씨, 오토엔 등)
BOP*·시스템	공기공급장치 (공기 → 스택)	<ul style="list-style-type: none"> • 1차: 대(-) • 2차: 중견(하이룩코리아 등) • 3차: 중소기업(뉴로스, 황해전기, 영진블루텍, 한국필터텍, 상아뉴매틱 등)
	열관리시스템 (운전온도 조절)	<ul style="list-style-type: none"> • 1차: 대(-) • 2차: 중견(코오롱글로벌 등) • 3차: 중소기업(대홍라디에이터, 대양이앤씨, 날코코리아, 동일브레이징 등)
	연료전지 제어 (제어 시스템)	<ul style="list-style-type: none"> • 1차: 대(현대차, 현대제철, 경동나비엔 등) • 2차: 중견(세방전기 등) • 3차: 중소기업(KCC정공, 태영산전, 데스틴파워, 지필로스, 다스테크, 백산이앤씨, 비에스시시 등)

주 : BOP = Balance of Plant(주변기기)

□ 이와 함께 수소 생산, 운송·저장, 충전소 등 인프라 구축은 금속·화학·기계 설비 등 관련 산업의 투자와 시장 및 고용 확대를 유발할 수 있음.

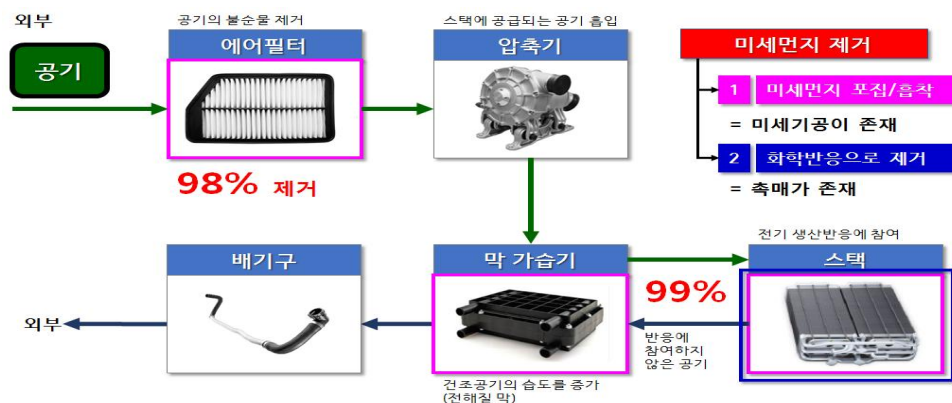
- 수소 생산, 운송·저장 등의 밸류체인상의 수전해, 초고압, 액화·액상 기술 등의 고도화를 위한 연구개발(R&D)과 자본투자가 확대될 경우 해당 부문에서 자체적으로 새로운 시장 형성에 기여할 수 있음.
- 수소충전소, 수소파이프라인 등 관련 인프라 구축과정에서도 대규모 자본, 인력이 투입되어 지속적인 설비 투자 수요가 발생할 수 있음.
- 더욱이 수소 생산을 위한 화학·기계설계 분야와 배관·용기 등 소재·부품 분야의 고부가가치 창출도 가능함.

제3절 수소경제의 에너지·환경적 함의

: 온실가스 감축 등 친환경 에너지로 에너지 자립에 기여

- 에너지·환경 측면에서 수소를 활용할 경우 온실가스 감축 및 미세먼지 저감 등을 통해 깨끗하고 안전한 청정사회 진입을 촉진하는데 기여 가능함.
- 석탄·석유·가스 등 탄화수소 계열 에너지를 활용할 경우 온실가스, 미세먼지 등 오염물질 배출이 많지만, 수소는 온실가스 배출이 적거나 경우에 따라서는 없으며, 특히 수소차의 경우 미세먼지 정화 능력도 우수하여 친환경 에너지 확대에 기여할 수 있음.

[그림 II-1-8] 수소차 공기(미세먼지) 정화 기능 모식도



- 우리나라는 2030년까지 BAU 대비 37% (314.8백만톤)의 온실가스를 감축하는 것을 국가적 목표로 설정하고 있으며, 그 중 수송부문은 전체 감축량의 10%에 해당하는 30.8백만 톤을 감축해야 함(2030 국가 온실가스 감축목표 달성전략).
- 우리나라 미세먼지 발생량은 2014년 기준 직접배출(PM10, PM2.5) 91,460톤과 미세먼지 전구물질(NOx, SOx, VOCs)을 통한 간접배출 262,649톤을 합쳐 324,109톤임(미세먼지 관리 종합대책).
- 수송부문 미세먼지 발생량은 2014년 기준 90,361톤이며, 특히 경유차, 그 중에서도 경유 버스나 트럭 등 중대형 상용차에서 미세먼지 배출이 많음.

<표 II-1-6> 기존 자동차를 수소차로 대체시 차종별 연간 미세먼지 저감량

(단위 : kg/대·년)

차종	대기오염물질 발생량				비 고
	NOx	SOx	VOC	PM2.5	
경유 승용차	18.8	0.006	0.5	0.53	
LPG 택시	3	0.008	0.5	0	
경유 버스	66.5	0.023	2.1	1.087	
경유 트럭	63.5	0.022	3.5	1.963	

주 : 미세먼지 산출 방식 = $(\text{NOx} \times 0.079) + (\text{SOx} \times 0.345) + (\text{VOC} \times 0.024) + \text{PM}_{2.5}$

자료 : 수송용 에너지 상대가격 합리적 조정방안 연구(한국조세재정연구원, '17)

- 발전부문에서도 석탄화력발전이나 가스화력발전 등은 다량의 온실가스와 함께 미세먼지 및 미세먼지 전구물질을 배출하지만, 수소 연료전지 발전은 적어도 미세먼지나 미세먼지 전구물질의 배출에서 자유로움.

<표 II-1-7> 석탄 및 가스발전과 연료전지 비교

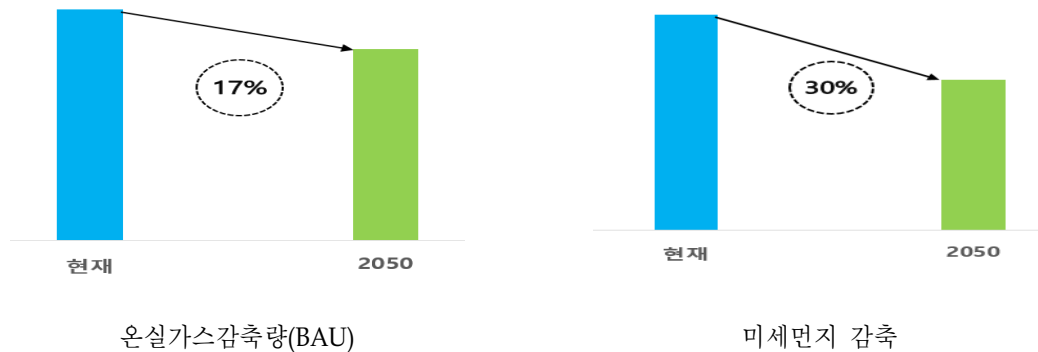
구분		석탄	가스(복합)	연료전지
용 량		800~1,000MW	400MW 이상	1KW~100MW
전기효율(%)		38~45	55~60	36~60(열포함90)
환경성	SOx(ppm)	50	-	없음
	NOx(ppm)	50	25	
	미세먼지 (Mg/Sm3)	10	10	
건설기간/입지조건		수년/입지 제약이 큼		수개월/도심내

- 결국 발전, 수송, 산업 및 건물을 비롯한 다양한 부문에서 수소를 활용할 경우 온실가스 감축과 함께 미세먼지, 황산화물 등 대기오염문제 개선 기여하여, 깨끗하고 안전한 청정사회 진입을 촉진할 수 있음.

- 앞서 언급한 바와 같이 수소는 탄소를 포함하지 않기 때문에, 탄화수소 연소과정에서 발생하는 온실가스 배출 문제로부터 자유로우며, 궁극적으로는 공기 중 산소와 단순한 화학반응으로 전기와 열을 생산하고, 부산물로 물(H_2O) 밖에 배출하지 않기 때문에 상대적으로 대기오염에 기여하는 정도가 낮음.

※ McKinsey는 2018년 자체적으로 작성한 “Korean Hydrogen Roadmap”을 통해 한국에서 수소경제가 활성화 될 경우 2050년까지 온실가스는 BAU 대비 17% 정도 추가로 감축이 가능하며, 미세먼지는 30% 정도 감축할 수 있을 것으로 전망함.

[그림 II-1-9] McKinsey(2018)의 수소경제 활성화의 대기환경개선 효과 전망



자료 : McKinsey(2018)

- 덧붙여 수소는 다양한 에너지원으로 생산가능하고, 해외에서 생산한 후 수입도 가능하다는 점에서 장기적으로 에너지원의 다각화, 해외 에너지 의존도 감소 등을 통해 에너지 도입·공급 리스크를 완화하고 에너지 자립에도 기여할 수 있음.
 - 우리나라 일차에너지 공급의 94.7%를 국외에서 수입하고 있으며, 도입 비용만 809.4억 달러에 이르고 있는 실정임.
 - 수송부문은 전체에너지 중 약 19.4%를 소비하고 있지만, 연료의 95.45%가 석유 계열이고, 이 중 약 85.9%를 중동에 의존하고 있음, 전력생산에 투입되는 화석 연료의 97% 이상도 수입에 의존함(2017 에너지통계연보).
 - 이로 인해 우리나라의 에너지자급률은 2016년 기준 18%이며, 이는 OECD 35개국 (2016년 기준) 중 33번째로 낮은 수준임.
 - 기존 탄화수소계열 화석연료를 대체하여 수소를 활용할 경우, 석유, 석탄, 천연가스, 원자력 등 다양한 방식으로 수소 생산이 가능하여, 상대적으로 에너지 도입·공급 리스크를 분산, 에너지 안보 제고에 기여할 수 있음.

- 해외 에너지원으로 국내 수소 생산하는 방식 외에도 해외에서 직접 수소를 생산한 후 수입도 가능하며, 에너지 도입의 특정지역(특히 중동)·국가 의존도를 낮춤으로서, 도입선 다변화를 통한 에너지 도입·공급 리스크를 분산 및 완화에 기여할 수 있음.
- 궁극적으로는 태양광이나 풍력 등 재생에너지를 활용하여 직접 또는 수전해를 통해 수소를 생산할 경우, 사실상 해외 에너지원 도입에 의존하지 않고 국내에서 자체적으로 생산하는 것이 됨으로 에너지 자립에도 기여할 수 있음.

II-2. 세계 각국의 수소경제 추진 동향

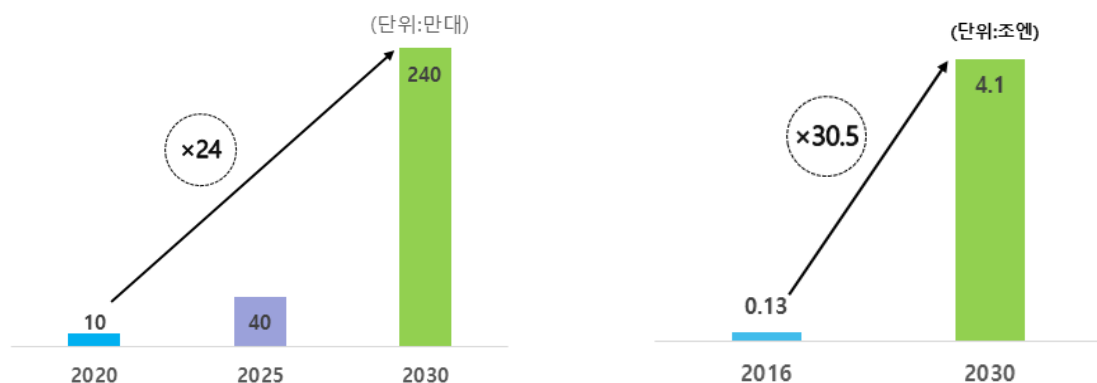
제1절 세계 수소경제 전망

- 맥킨지(2017)¹⁾는 향후 전세계 수소 수요가 급증하여 2050년 경에는 수소산업이 연간 2.5조 달러의 부가가치와 누적 3,000만개의 신규 일자리 창출하는 산업으로 성장할 것으로 전망함.
 - 이에 덧붙여 2050년경에는 에너지부문의 수소 활용을 통해 하루 2천만 배럴의 원유 소비를 절감하여, 연간 약 6G톤의 이산화탄소(CO₂) 배출량을 저감하는 효과를 기대할 수 있을 것으로 전망함.
- 특히 맥킨지(2017)는 에너지로 수소를 활용하는 부문에서 수소차 부문이 초기시장 수요 확대를 견인하고, 향후 연료전지 보급도 빠르게 성장하여 수소 소비를 촉진하게 될 것으로 전망함.

[그림 II-2-1] 주요 국제에너지 전망기관의 수소차 및 연료전지 시장전망

< 수소차 시장전망(IEA) >

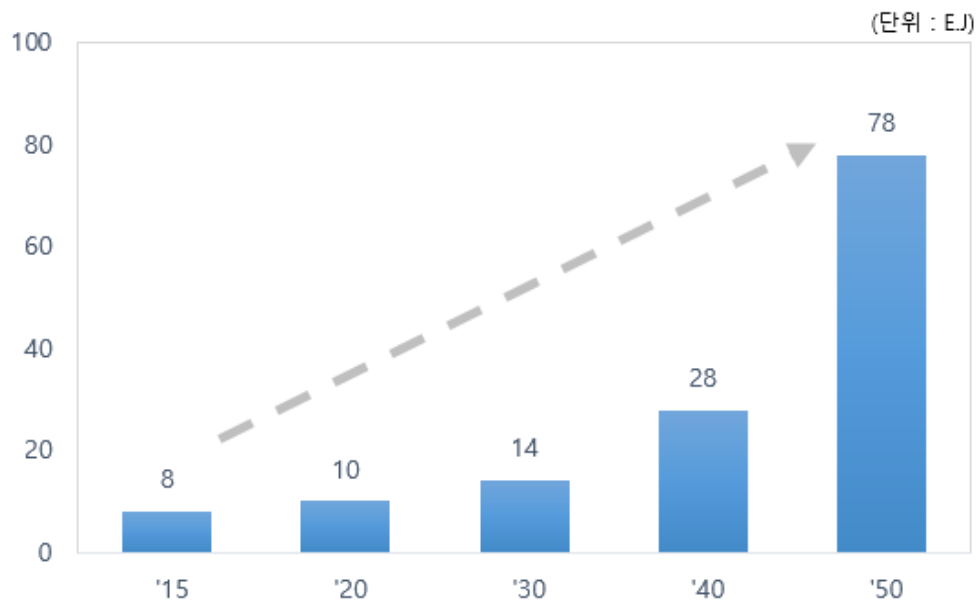
< 연료전지 시장전망(후지경제) >



1) 맥킨지 (2017), "Hydrogen scaling up : A sustainable pathway for the global energy transition"

- 2050년 운송 수단의 평균 20~25%를 차지하는 4억대의 승용차와 1,500~2,000만대의 트럭 및 500만대 이상의 버스가 수소 활용부문으로 편입될 것으로 예측함.
 - 또한, 선박의 25%, 기차의 20% 및 일부 항공기 등에서 수소기반 연료가 사용될 것으로 예측함.
 - 이와 함께 2050년 건물에서의 전세계 열 수요의 약 10%가 수소를 통해 충당될 것으로 예측함.
- 에너지로 수소를 활용하는 부문의 성장에 힘입어 전 세계 수소를 통해 생산된 최종에너지 규모도 **2015년 8EJ(석유 13.6억 배럴 상당)에서 2050년 78EJ(석유 132.6억 배럴 상당)로 급속하게 증가하여 전체 에너지 수요의 약 18%를 차지할 것으로 전망됨(수소위원회, 2018).**

[그림 II-2-2] 수소 활용을 통해 생산된 최종에너지 규모 전망(수소위원회, 2018)



주 : 1EJ(엑사 줄) : 1018Joule = 석유 1.7억만배럴 = 전력 278TWh

제2절 주요 국가의 수소경제 추진 동향

□ 소위 “**H2 Race**”라 이름 붙여진 수소경제 구축을 위한 국가 간 경쟁은 이미 치열하지만 아직 초기 단계로 보여짐.

○ 특히 미국, 일본 등 선진국을 중심으로 친환경 에너지 전환에 따른 재생에너지 기술과 연계한 수소 활용 에너지 신산업의 기술 선점을 위해 국가차원의 기술 개발(R&D), 정책지원(보조금, 세제혜택 등) 및 실증 프로젝트 등을 수행하고 있음.

1. 일본

□ 일본은 **2011년 3월** 발생한 후쿠시마 원전사고 후 자립형 에너지 공급 시스템 구축을 위해 수소경제를 집중 육성하고 있음.

○ 2011년 후쿠시마 원전 사고 이후 일본 전력 공급의 30%를 차지하던 원전 재가동이 늦어짐에 따라 대체 에너지 확보 차원에서 수소연료에 큰 기대를 걸고 있음.

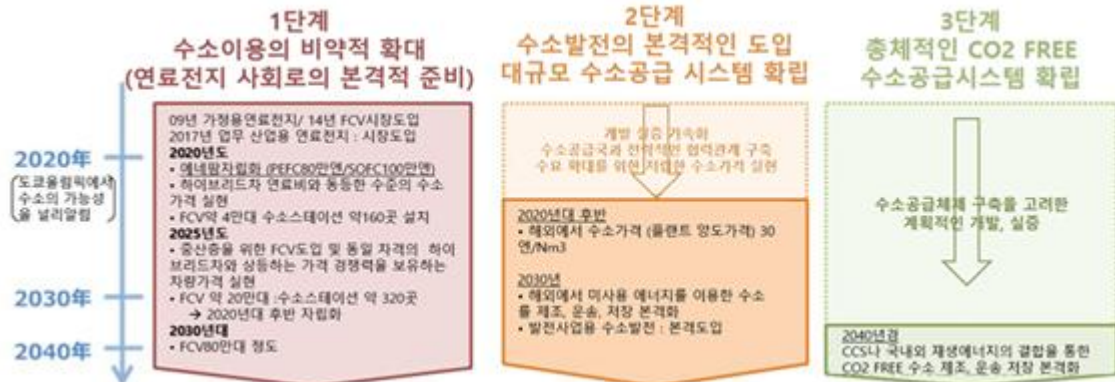
□ 특히, **2014년 4월** 「에너지 기본계획」에 수소사회 실현을 국가적인 아젠다로 설정, 세계 최초로 국가 차원의 구체적인 실행 단계에 돌입하였으며, 이를 바탕으로 **2014년 6월**에는 「수소·연료전지전략 로드맵」을 발표하였음.

일본 로드맵 발표 이력

- 2014년 6월 : 수소·연료전지전략 로드맵 발표
- 2016년 3월 : 수소·연료전지전략로드맵 개정
- 2017년 12월 : 수소기본전략 발표
- 2019년 3월 : 수소·연료전지전략 로드맵 개정

- 2016년 3월에 로드맵 세부 이행계획을 정립하였으며, 2017년 12월 「수소기본전략」을 발표하여 2050년까지의 방향성을 제시함.

[그림 II-2-3] 일본 수소기본전략의 로드맵

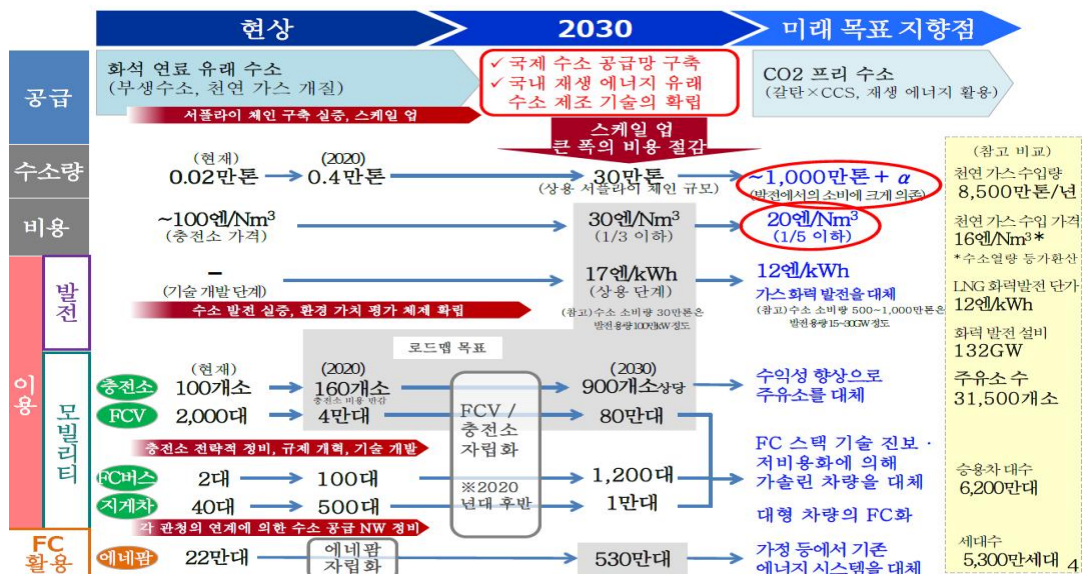


출처 : 에너지청

- 또한 이는 2018년 일본 「에너지 기본계획」에 포함, 수소에너지 생산, 이송, 공급, 활용 분야의 기술개발 방향성을 제시함.
- 2019년 3월에 수소사회 실현을 위한 산학관의 액션 플랜을 포함한 개정된 「수소·연료전지전략 로드맵」을 재발표하여, 정부의 강력한 의지를 표시함.

- 「수소기본전략」상의 「수소·연료전지전략 로드맵」의 주요내용은 다음과 같음.

[그림 II-2-4] 일본 「수소기본전략」상의 「수소·연료전지전략 로드맵」



<표 II-2-1> 일본 로드맵 주요내용

	일본 로드맵 주요내용
공급	<ul style="list-style-type: none"> ▶국제 수소 공급망 구축 : 호주 갈탄 등 해외 미이용 에너지를 활용 <ul style="list-style-type: none"> * '30년 이후 연간 30만톤 조달, 공급비용 30엔/Nm² 수준으로 저감 ▶재생에너지, 미이용 지역자원(폐플라스틱, 부생수소 등) 적극 활용
활용	<ul style="list-style-type: none"> ▶수소발전을 통한 안정적, 다량 소비 <ul style="list-style-type: none"> * '30년 상용화, 17엔/kWh, 수소 조달 연간 500만~1,000만(발전용량 15~30GW) 목표 ▶수소차, 선박, 기차, 지게차 등 수송부문 분야의 수소 이용 확산 <ul style="list-style-type: none"> * (FCV) '25년 20만대, (충전소) '25년 320개소 구축 ▶가정용 연료전지(Enefarm)를 활용한 에너지 절감 <ul style="list-style-type: none"> * '20년 시장자립화 실현, '30년 530만대 도입 달성

- 일본은 2030년까지 수소차 80만대, 수소버스 1,200대, 수소충전소 900개소, 가정용 연료전지 530만대, 수소 발전단가 17엔/kWh를 수소사회로 가기 위한 목표로 제시함.

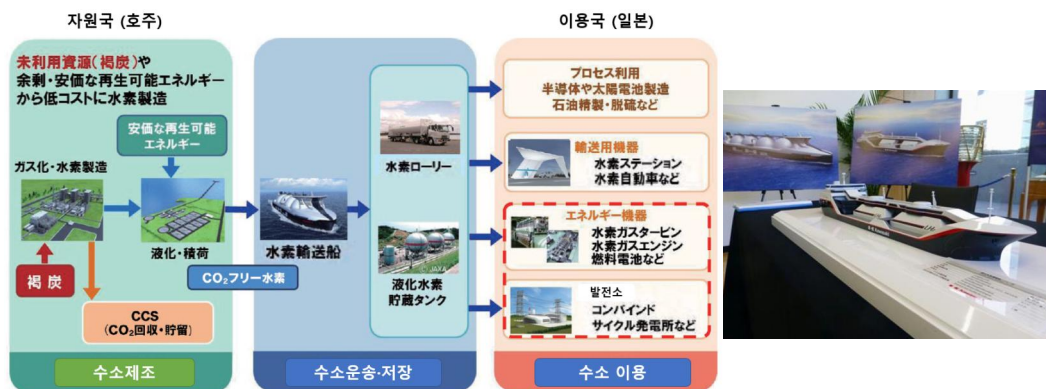
<표 II-2-2> 일본의 수소차, 수소충전소 현황 및 보급 전망

구분	현황	보급 전망(누적)	
		2025년	2030년
수소차	1,800대	20만대	80만대
수소충전소	92개소	640개소	900개소

자료 : 국토교통부('18.2.6) 등

- 이를 달성하기 위해 2030년까지 해외수입을 통한 수소 제조, 운송, 저장을 포함한 수소 공급망을 본격적으로 도입하기 위하여 호주의 갈탄(매장량 400억톤)에서 수소를 생산하여 액화 후 일본으로 운송하는 전략을 세웠음.

[그림 II-2-5] 일본의 수소 수입(호주) 계획 및 액화수소 운반선 모형

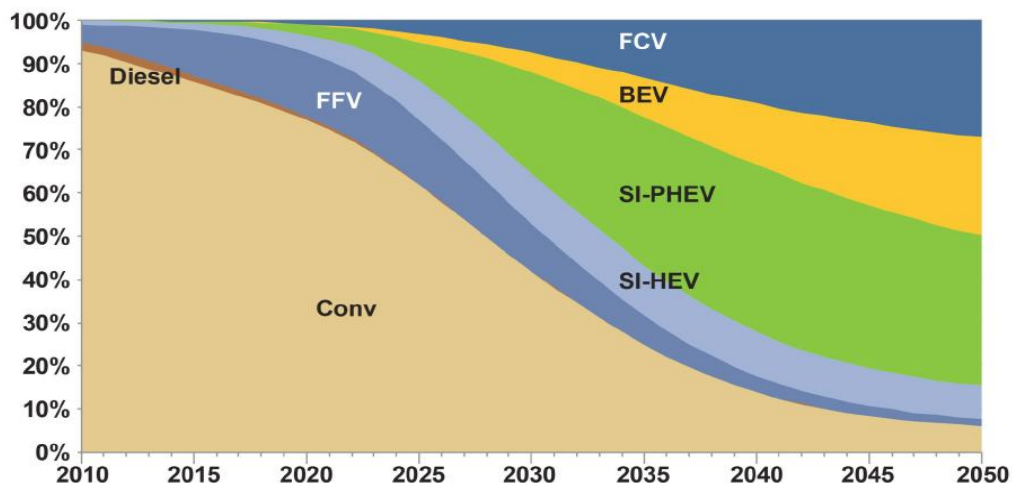


- 이를 실행하기 위해 2016년 12월 호주 정부와 이 사업에 대한 합의를 한 후 기본설계에 착수했음.
- 호주 정부와 빅토리아주는 기본설계 비용 중 일부인 300만 달러(25억원)를 투자하였고 이후 2017년 1월에는 일본 국토교통성과 호주 해사안전청이 “액화수소 운반선” 안전기준 관련 양해각서를 체결하였음. 액화수소 운반선의 제조는 가와사키중공업이 진행함.
- 또한, 수소기차와 가정용 연료전지 확대 보급을 기반으로 저비용 수소 이용과 액화수소, P2G, 해외 수소생산을 통한 자국 수소 공급 체인 개발에 주력하기로 함.

2. 미국

- 미국은 **2050년까지 약 27%의 친환경차(전기차/수소차)** 보급을 목표로 하고 있으며, **2030년까지 자동차의 석유 사용량을 50%로 축소**하고, **2050년까지 석유사용량과 공해물질 배출을 80% 감축**하는 목표가 제시됨.

[그림 II-2-6] 미국 에너지부(DOE) 자동차 차종(에너지별) 시장전망



- 이러한 목표 달성을 위해 미국은 캘리포니아 주를 포함한 11개 주에서 “**ZEV credit**” 제도를 시행하여 수소차와 수소충전소 보급을 확대 중임.
- “ZEV credit”제도는 자동차의 환경오염, 배출량, 주행거리 등을 고려하여 credit을 제조사에게 부여하며, 기준 credit에 미달할 경우 벌금을 부과하는 제도로 벌금은 1 credit당 5,000달러에 달함.

<표 II-2-3> 미국의 ZEV 배출권(credit) 요구비율(2017년 생산된 차량부터 적용)

모델년도	배출권(credit) 요구비율	모델년도	배출권(credit) 요구비율
2018	4.5%	2022	14.5%
2019	7.0%	2023	17.0%
2020	9.5%	2024	19.5%
2021	12.0%	2025 & 이후	22.0%

<표 II-2-4> 미국 ZEV credit 제도의 주요 내용

구분	내 용
시행 지역	· 캘리포니아, 코네티컷, 메인, 매리랜드, 메사추세츠, 뉴저지, 뉴욕, 오레곤, 로드 아일랜드, 버몬트, 워싱턴 D.C
의무 대상업체	· 기준 : 이전년도 CA州 3년 평균 차량 판매량 기준('18년부터 기준 강화) - 대형업체 : (기존) 60,000대 초과 → ('18년~) 20,000대 초과 - 중형업체 : (기존) 4,501~60,000대) → ('18년~) 4,501~20,000대 - 4,500대 이하의 소형업체로 분류되어 ZEV 의무대상에서 제외 - 이에 따라 현대자동차는 2018년부터 대형업체로 분류 전망
ZEV 종류	· ZEV(Zero Emission Vehicle) : BEV, FCEV 등 순수 전기차 - 주행가능 거리에 따라 근거리용 전기차는 NEV(Neighborhood Electric Vehicle)로 별도 표현 · TZEZ(Transitional ZEV) : PHEV(Plug-in Hybrid Electric Vehicle, 플러그인하이브리드차) · AT PZEZ(Advanced Technology Partial ZEV) : HEV(Hybrid Electric Vehicle, 하이브리드차) · PZEZ(Partial ZEV) : SULEV(Super Ultra-Low Emission Vehicle, 고효율 내연기관차)
ZEV 의무판매비율	· ('17년) 14% → ('18년) 4.5% → ('25년) 22% cf '18년 의무판매비율이 갑자기 감소된 것은 규정강화를 감안한 조치
2018년 ZEV 규정강화	· ZEV 크레딧 부여 차종 제한 - (기존) 하이브리드차(AT PZEZ), 고효율 내연기관차(PZEZ) 판매시에도 부여 - ('18년) 오로지 순수 전기차(ZEV), 플러그인하이브리드차(TZEZ) 판매시에만 ZEV 크레딧 부여 ⇒ 자동차사의 전기차, 수소차 판매 확대 전망 · ZEV 크레딧 최대 부여점수 축소 : (기존) 최대 9점 → ('18년) 최대 4점

자료 : 한국경제연구원, 산업연구원, 한국자동차산업협회, 환경부, 언론종합 등

□ 또한 미국은 수소경제 실현에 도달하는 과정을 4단계로 구분하여 단계별 과제와 행동계획을 발표함.

- 제1단계(2000~2015) 기술개발 : 본격적인 인프라 투자에 앞서 애로기술의 해결과 안정성 확보 및 교육 홍보, 기술 및 제품 평준화
- 제2단계(2010~2025) 초기시장침투 : 휴대용, 가정 상업용, 수송용 시스템의 상업화와 정부주도의 인프라 투자 개시
- 제3단계(2015~2035) 시장 확대 및 인프라 정비 : 발전용, 수송용 연료전지 상업화, 인프라의 상업적 운영
- 제4단계(2025~) 수소경제의 실현 : 연료전지 시장 성숙과 수소 공급 인프라 완비로 수소경제의 정착

□ 또한 이를 추진하기 위해 연방정부(에너지부)는 H2USA를 캘리포니아 주는 CaFC 등 ‘민·관 파트너십’을 결성하여 운영 중임.

- H2USA : 2013년 전 세계 다른 민관 파트너십(영국 수송부문, 독일 수송부문, 하이수트 등)과 정신과 원칙이 비슷한 민관 파트너십(H2USA)을 출범, 비용 효율적인 인프라 구축을 위한 옵션에 초점을 둠.
- CaFCP : 캘리포니아 주정부가 주관하는 수소 고속도로(Hydrogen Highway) 확충 사업, 2015년부터 FCEV 예비 인프라 구축에 매년 \$2,000만 투자를 시행할 예정임.

□ 한편 주 단위에서는 캘리포니아 주가 “A California Road Map”를 수립, 수소차 보급촉진을 목표로 2013년 9월 AB 8법안이 주의회에서 통과됨으로써, 수소차 보급을 위한 주정부의 자금투자 계획이 법제화되었음.

- AB 8법안은 캘리포니아주가 2023년까지 매년 2,000만 달러(224억 원)를 지원하여 최소 100개의 수소충전소를 확보한다는 목표를 설정함.
- 이에 따라 주 정부는 기존 자동차 등록비, 신차 구입자의 스모그 완화비용 납부액 등 연간 1억 8,000만 달러 규모의 세입을 관련 예산으로 편성할 수 있게 됨.
 - 캘리포니아 주에는 LA와 샌프란시스코를 중심으로 약 60여개의 수소충전소가 설치됨.
 - 수소버스는 2012년부터 OEM사(Van Hool, ENC 등)에서 제작된 버스로 실증 사업이 시작되었으며, 현재 약 30여대의 수소버스가 실증사업에 활용됨.

- 실증사업을 위하여 약 225백만 달러(약 2,500억)가 투입, 2018년 775대, 2019년 1,019대, 2030년 12,000대의 ZEB(Zero Emission Bus)를 도입할 예정임.

3. 독일

- 독일은 CO₂ 배출을 줄이기 위해 전기차(BEV, PHEV)와 함께 수소차를 확대 보급하는 목표를 수립함.
 - 2020년까지의 CO₂ 배출량을 1990년 대비 40%미만, 2050년까지는 80% 저감을 목표로 함.
 - 이를 위해 2020년과 2030년까지 전기차 및 수소차를 각각 100만대, 600만대를 보급하는 목표를 수립함.
- 한편 독일은 2025년까지 400개의 수소충전소 구축 계획을 세웠으며, 2019년까지 100개의 수소충전소를 수소차의 보급과 관련 없이 우선 설치할 예정임.

<표 II-2-5> 독일의 수소차, 수소충전소 현황 및 보급 전망

구분	현황	보급 전망(누적)	
		2025년	2030년
수소차	-	65만대	180만대
수소충전소	50개소	400개소('23년)	1,000개소

자료 : 국토교통부('18.2.6) 등

- 수소 충전소 보급을 위하여, 2015년 1월 독일 기업체들과 합작 투자 및 정부의 50% 자금 지원을 통해 H2 Mobility Industry Initiative를 설립함.
- H2 Mobility은 Air Liquid, DAIMLER, Linde, Shell, Tatal, OMV 등이 참여하고 있으며, 특히 다국적 정유사인 Shell과 Total이 수소에너지의 확산과 함께 감소할 것으로 예상되는 화석연료를 대비해 수소에너지 산업에 참여하고 있음.

[그림 II-2-7] 독일의 H2 Mobility 참여기업



- H2 Mobility는 독일정부와 유럽연합에서 수소충전소 건설비용의 2/3를 지원받아 수소차 시장에 따라 4년 이내 100개의 충전소와 2023년까지 400개의 충전소 건설을 목표로 하는 수소 연료 공급망 구축 계획을 합의함.
- 전체적인 투자액의 규모는 약 3.5억 유로이며, 대도시에는 10개소 이상, 대도시를 잇는 고속도로는 최소 90km당 1개의 충전소를 설치할 목표로 함.

[그림 II-2-8] 독일의 H2 Mobility 수소충전소 보급 계획



- 향후 독일의 수소충전소의 보급은 H2 Mobility가 계획, 설치 및 운영을 담당하고 NOW(National Hydrogen Organization, 국가수소기구)와 프로젝트에 참가한 기업들이 자금을 지원하는 체계로 운영됨.

<표 II-2-6> 독일의 수소차 및 수소충전소 보급 체계

기능	주체
설계/운영	H2 Mobility
계획	NOW, Federal Ministry of Transport, H2 Mobility
재정 지원	

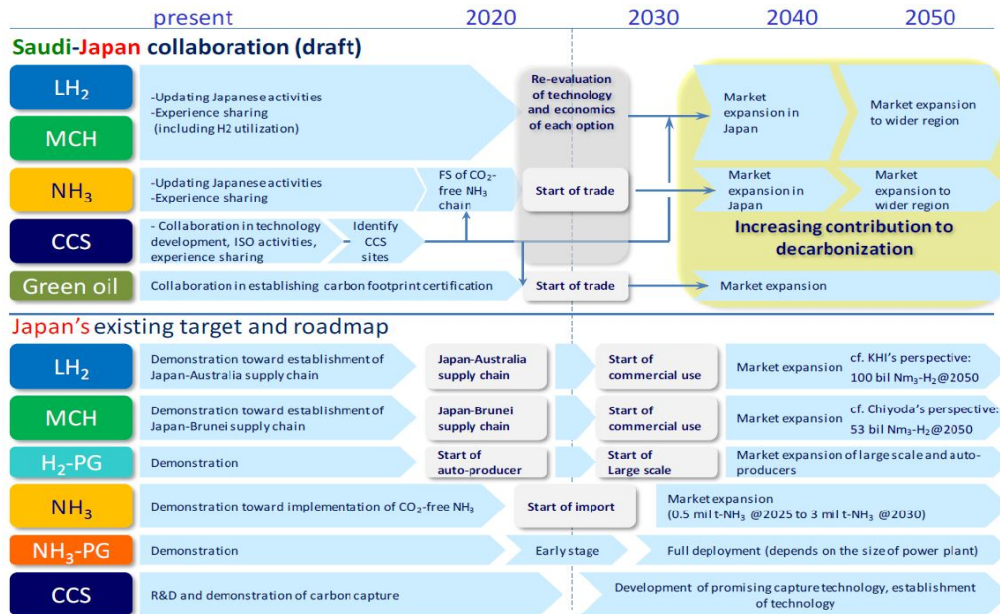
자료 : 산업연구원('16.8월)

- 또한 독일은 **2030년까지 발전량의 50%를 신재생에너지로 충당하는 정책과 수소경제를 융합한 정책을 추진하고 있음.**
 - 독일은 발전량에서 신재생에너지 비중을 2020년 35%에서 2050년 80%까지 확대하는 것을 에너지정책의 목표로 설정함.
- 이에 따라 태양광 및 풍력의 잉여전력을 활용하는 수전해 연계 수소생산 프로젝트(P2G)와 함께 가스 그리드를 활용하는 프로젝트가 추진 중임.
 - 태양광 및 풍력의 잉여전력을 활용하는 수전해 연계 수소생산 프로젝트(P2G)는 라인란트정유소에 세계최대 규모(연간 1,300만톤)의 수전해 시설을 2017년부터 2020년까지 설치 및 운영할 예정임.
 - 가스 그리드 활용 프로젝트는 Audi가의 e-gas 프로젝트가 대표적이며 가스 그리드에 메탄가스(수전해 수소+CO₂)를 공급하는 사업을 2016년 실증한 바 있음.
- 이와 별도로 수소생산을 재생에너지 시스템으로 통합하기 위한 **The National Innovation Program for Hydrogen and Fuel Cells(NIP II)**이 수립됨.
 - NIP II는 2025년까지 500개의 충전소, 500,000대의 FCEV, 2,000대의 FC버스, 1,500MW의 수전해 용량(electrolysis capacity), 500,000개의 미세 CHG PC장치, 수소생산을 재생에너지 시스템으로 통합하는 등의 목표를 달성하기로 계획함.
 - 이 목표를 달성하기 위해 2014년부터 2023년까지 예상되는 비용은 약 39억 유로이며, 업종별로 약 60%의 비용을 지불해야함
 - 독일에는 15개의 수소연료 보급소가 존재하며, 향후 4년간 100개의 보급소와 2023년까지 200개의 보급소를 포함하는 공공 수소 기반시설을 건설하는 계획을 구상함.

4. 호주

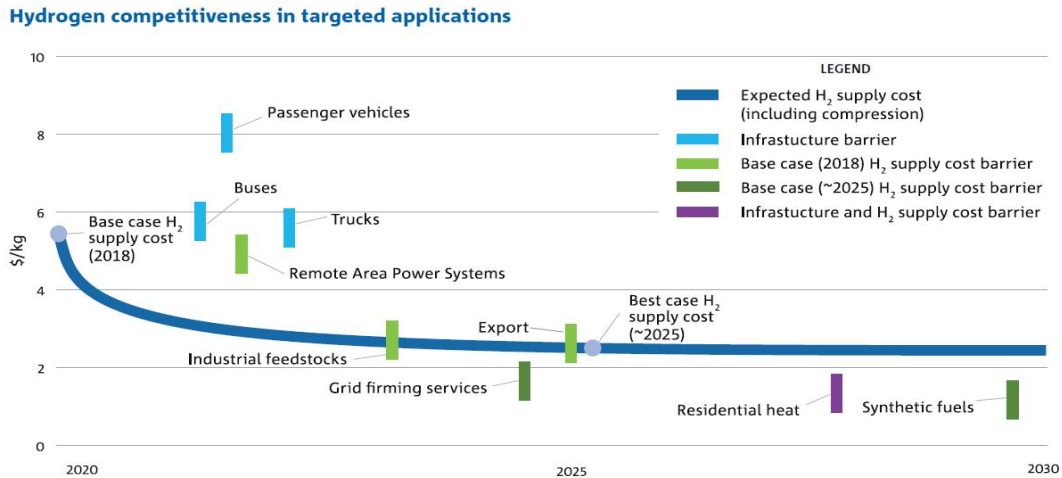
- 호주는 **2018년 8월** 발표된 국가차원의 수소로드맵을 통해 호주의 갈탄 및 재생에너지를 이용한 수소의 수출 자원화를 위해 세계 최대 수소생산 및 수출 전략을 마련함.

[그림 II-2-9] 호주의 국가 수소로드맵 주요내용



- 호주는 2030년경 중국, 일본, 한국, 싱가포르 등의 수입 수소 잠재적 수요를 약 380만 톤(AUD 95억)으로 예측함.
- 수소의 수출기술은 LNG 수출기술과 많이 유사하기 때문에, LNG 수출로 획득한 생산, 저장, 운송 등의 기술을 활용하여 수소 수출시장에서 중추적인 역할을 담당할 수 있다고 기대하고 있음.
- 이를 위해 우선 갈탄에서 수소 추출 후 일본에 수출하는 프로젝트를 진행 중이며, 주 정부 차원에서도 연료전지 발전소 구축 및 수소차 보급이 추진되고 있음.
- 빅토리아 주 Latrobe Valley에서 생산된 갈탄에서 수소를 추출, 액화하여 일본 고베시로 수송하는 프로젝트를 2021년까지 실증을 완료하고, 2030년 상업적 규모의 생산을 추진함.
- 2030년 기준 상업적 규모의 발전소에서 갈탄을 활용하여 수소를 약 \$2.14 ~ 2.74/kg의 비용으로 생산 가능할 것으로 전망하고 있음.

[그림 II-2-10] 호주 국가 수소로드맵 상의 수소 생산비용 전망



5. 중국

□ **2015년 「중국제조 2025」**에서 내연기관차는 선진국에 열세함을 인정하고 수소차를 포함 신에너지차로 만회하는 차원에서 신에너지차를 핵심 사업으로 선정, 기술개발 지원 및 보급 확대를 추진하기로 함.

- 「중국제조 2025」는 7대 신흥 전략산업 중 하나로 신에너지자동차(전기차(BEV, PHEV) 수소차)를 핵심 육성산업으로 선정하고 2020년까지 500만대 보급목표 설정함.
- 목표를 달성하기 위해 2019년부터 중국은 연간 자동차 생산량 혹은 수입량이 5만대 이상인 기업에게 의무적으로 신에너지차(전기차, 수소차)를 전체 판매대수 중 일정 비율이상 판매하도록 하는 의무판매제를 도입함.

□ 이에 따라 중국은 **2016년 11월** 수소차를 **2020년 5천대, 2025년 5만대, 2030년 100만대**를 보급하겠다는 계획을 수립함.

- 수소차 구매 보조금은 2020년까지 수소차는 20만위안(약 3,400만원), 수소 미니 버스 및 트럭은 30만위안, 수소버스는 50만위안이 지급될 예정임.
- 2015년 4월 「2016-2020년 신에너지 차량 확대 보급 사용」 발표를 통해 전기차, 플러그인 하이브리드차는 단계적으로 보조금을 축소하는 반면 수소차에 대한 보조금은 유지하는 계획을 밝힘.

- 또한 정부가 충전소 설치비의 60%까지 지원함을 통해, 수소 충전소는 2025년 300개소에서 2030년 1,000개소까지 확대하는 것을 목표로 함.

<표 II-2-7> 중국의 수소차, 수소충전소 현황 및 보급 전망

구분	현황	보급 전망(누적)	
		2025년	2030년
수소차	60대	5만대	100만대
수소충전소	5개소	300개소	1,000개소

자료 : 국토교통부('18.2.6) 등

- 현재 중국은 캐나다 발라드사와 기술합작을 통해 연간 **5,000대** 규모의 수소 버스용 연료전지 공장을 **2017년** 내에 완공하였으며, 약 **13개**의 자동차 제조사가 수소승용차, 수소승합차, 수소버스 등을 개발하고 있음.

[그림 II-2-11] 중국의 수소버스



<표 II-2-8> 중국의 수소차 기술 개발 계획

구분	내용
2016-2020	대용량 전력 배터리와 혼합된 중형 연료 전지를 특정 지역의 공공 차량 서비스에서 대규모 연료전지 차량 시연을 실현해 나갈 것으로 기대
2021-2025	중형 전력 배터리와 혼합된 대용량 연료 전지를 연료 전지 자동차의 대규모 상업화를 실현할 것으로 기대
2026-2030	폴 파워 연료 전지가 민간 승용차와 대형 상용차 백만 단위 상용화 추진을 실현해 나갈 것으로 예상, 수소 에너지 공급 시스템은 주로 연료 전지 차량 개발을 지원할 재생 에너지로 공급될 예정

자료 : MIIT/SAE China

제3절 수소차 및 연료전지 세계시장에서의 경쟁과 협력 상황

1. 수소차 및 연료전지 세계시장에서의 경쟁 심화

- 수소차 세계시장은 현대차 및 도요타, 혼다 등 양산 선두업체 외에서도 일부 후발 메이저 업체도 시장진출 준비하는 등 장 선점을 위한 기업 간 경쟁이 치열해지고 있음.
- 2019년 유럽의 메르세데스 벤츠가 수소차(GLC F-CELL)를 출시하여 일반인 리스 중인 판레로, 수소차 제조사는 현대, 도요타, 혼다, 벤츠 등 4개사로 확대된 상황임.








<표 II-2-9> 수소차 주요기업의 연간 생산규모 현황 및 계획

현 대 차	도 요 타	혼 다	메르세데스 - 벤츠
<ul style="list-style-type: none"> • '13년 200~300대 • '18년 1천대 내외 • '19년 6천대 규모 증설 	<ul style="list-style-type: none"> • '14년 1,500대 규모 • '18년 3천대 규모 • '20년 3만대 계획 	<ul style="list-style-type: none"> • '16년 200대 내외 • '17년 1천대 규모 	<ul style="list-style-type: none"> • '19년 일반인 리스 • 생산규모 미발표
			
넥쏘	미라이	클라리티	GLC F-CELL

- 현대, 도요타, 혼다 메르세데스-벤츠 외에도 BMW, 아우디, GM 등 일부 후발 메이저 자동차 제조업체도 수소차 시장의 진출을 준비 중임.
- 후발 메이저 자동차 제조업체 수소차 출시 목표 : 아우디(2020년), BMW(2021년), GM(2021년)
- 2018년 10월 기준 수소차는 북미 5,715대, 일본 3,359대, 유럽 926대, 한국 893대가 보급되어, 전 세계적으로 약 11,800여대가 보급됨.

- 연료전지 세계시장에서는 주로 한국과 일본기업 간 경쟁구도가 정착되었지만, 일본기업(파나소닉, 아이신 등)은 주로 가정용 연료전지 분야에서, 한국기업(두산, 포스코 등)은 발전용 연료전지 분야에서 주도권을 가지고 기술개발 및 상용화 경쟁을 전개하고 있음.

<표 II-2-10> 발전용 연료전지 주요기업 현황

국내 기업	포스코 에너지 (MCFC)	<ul style="list-style-type: none"> - '15년 연산 100MW규모 MCFC 생산공장 구축 - 총 6,200억 투자, 170MW 보급 - 종업원 300명, 국내 협력사 54개 	
	두산 (PAFC)	<ul style="list-style-type: none"> - '17년 연산 180MW규모 PAFC 생산공장 구축 - 총 3,600억원 투자, 국내 136MW 보급, 英 2MW 수출 - 종업원 250명, 국내 협력사 63개 	
	LG (SOFC)	<ul style="list-style-type: none"> - '12년 볼스로이스퓨얼셀시스템즈 (美) 인수 - 총 1,800억 투자, 종업원 30명 (국내) - '20년 250kW급 SOFC 실증 목표로 제품개발 중 	
	기타	<ul style="list-style-type: none"> - '18년, SK건설-미BloomEnergy 사업제휴 - '19년초, GS에너지-일MHPS 사업제휴 예정 	
해외 주요 기업	Bloom Energy (美)	<ul style="list-style-type: none"> - 전세계 SOFC 상용화 선도기업 - 미국을 중심으로 누적 328MW 설치 ('18.2Q 기준) - 200~300kW SOFC 제품 보유 - 3조원 규모의 IPO 성공 ('18.7, \$270mil) 	
		<ul style="list-style-type: none"> - 日 Soft Bank와 JV 설립 - 일본 내 4개소 200kW 제품 9기 설치운전 중 	
	MHPS (日)	<ul style="list-style-type: none"> - MHI와 Hitachi의 화력발전 부문 통합 JV 설립 (Japan) - 250kW급 SOFC-가스터빈 복합시스템 상용화 ('17.8) - '20년 도쿄올림픽 시, 제품설치 및 홍보 예정 	
	Fuji Electric (日)	<ul style="list-style-type: none"> - 100kW급 PAFC 생산업체 - 전세계 90여 사이트 운영 중 (일본, 한국, 미국, 독일, 남아프리카) - 2016년 에스퓨얼셀과 PAFC공급 MOU체결 	

<표 II-2-11> 자가용(가정·건물용) 연료전지 주요기업의 현황

국내 기업	에스 퓨얼셀 (PEMFC)	<ul style="list-style-type: none"> - PEMFC 주택/건물용 생산업체 - '17년 연산 3MW규모 생산공장 구축 - '17년 까지 약 2MW 주택/건물용 연료전지 보급 - 국내 협력사 80여개, 본사 종업원 40명, 협력사 500명 	
	두산 (PEMFC)	<ul style="list-style-type: none"> - PEMFC 주택/건물용 생산업체 - 총 500억 투자, 종업원 90명 - '16년 연산 5MW PEMFC 생산공장 구축 - 17년까지 약 3MW 주택/건물용 연료전지 보급 - 국내협력사 100여개, 협력사 종업원 800명 	
해외 주요 기업	파나 소닉 (日)	<ul style="list-style-type: none"> - 일본 주택용 연료전지 PEMFC 선두주자 - '17년 주택용 연료전지 누적 24만대 보급 - '16년말 독일시장 진출 2,000대 판매 	
	도시바 (日)	<ul style="list-style-type: none"> - PEMFC 주택/건물용 연료전지 생산 업체 - '17년 주택용 연료전지 누적 7만대 보급 - 100KW PEMFC 수소용 연료전지 100대 보급 - '17년 웨스팅하우스 원전 이슈 후 LNG용 주택용 - 연료전지 사업 철수 및 수소용 연료전지 개발 집중 	

2. 세계 수소산업 밸류체인별 기업 및 국가 간 글로벌 협력 플랫폼 확산

가. 개별기업 간 협력 강화

- ☐ 최근 세계 수소산업의 생산, 운송·저장, 활용 등 밸류체인 전분야에서 개별 기업 간 협력이 확대, 강화되고 있음.

1) 수소 생산부문 협력 대표사례

- ☐ 일본 **HySTRA**와 호주 **AGL에너지**가 호주 갈탄에서 수소추출, 일본으로 운송하는 공동 프로젝트를 수행하고 있음.

※ HySTRA (CO2-free Hydrogen Energy Supply-chain Technology Research Association): 호주 갈탄으로부터의 수소제조, 수송·저장, 이용에 이르는 CO2 free 수소 공급체인 구축 및 2030년경 상용화를 목표로 관련 기술 개발 등 관련 사업 실시하기 위한 목적으로 구성된 일본의 컨소시엄

※ AGL에너지: 호주 최대 가스 공급업체

2) 수소 저장·운송부문 협력 대표사료

- ☐ 독일 하이드로지니어스와 중국 중산 대양전기가 수소 액상운송기술을 공동으로 개발 협력하기로 함.

※ 하이드로지니어스 (Hydrogenious): 독일소재 스타트업 기업이며, 액체 수소저장 기술 '액상 유기물 수소 저장체(LOHC: Liquid Organic Hydrogen Carrier)' 개발

3) 수소활용 부문 협력 대표사료

- ☐ 미국 블룸에너지와 일본 소프트뱅크가 합작법인 블룸에너지 재팬을 구성, 한국 시장으로 진출을 시도하고 있음.

※ 블룸에너지(Bloom Energy): 미국의 SOFC 연료전지(200~300kW제품 보유) 상용화 선도 기업이며, 미국을 중심으로 누적 328MW 설치('18.2Q 기준)

※ 소프트뱅크(Soft Bank): 일본 최대 IT회사 겸 세계적인 투자회사이며, 미국 블룸 에너지와 '블룸에너지 재팬'을 설립하여 연료전지 시장 진출

나. 국가 간 글로벌 협력 플랫폼 구성 및 운영

1) 수소위원회(Hydrogen Council)

□ 수소위원회는 세계경제포럼(WEF: World Economic Forum; 다보스포럼) 산하 수소·연료전지 기업 협의체로서 2017년 의장사인 Air Liquid, 현대차를 포함 53개 기업이 참여 중임.

- 설립배경·목적 : 수소·연료 전지 분야의 기술 개발 및 상용화 투자 가속화를 위해 설립된 민간 협의체
- 참여자 : 총 53개사(현대차, 도요타, BMW 등 완성차 업체와 Air Liquid, 셀, 토털 등 에너지 기업)
- 개최현황 : 연 1회 개최(의장사 : Air Liquid, 현대차)
- 주요활동 : 세계 수소에너지 시장분석 보고서 등 보고서 발간

2) 국제 수소에너지 파트너십(IPHE: International Partnership for the Hydrogen Economy)

□ 국제 수소에너지 파트너십은 한·미·일 등 총 18개국이 참여하는 국제에너지 기구(International Energy Agency: IEA) 내 협의체

- 설립배경·목적 : 2003년 국제에너지기구(IEA) 내 협의체로 설립, 연료전지 및 수소 기술 활용한 깨끗하고 효율적인 에너지 전환 가속화 추진
- 참여자 : 한국, 미국, 영국, 독일, 일본, 중국, 캐나다 등 총 18개국
- 개최현황 : 연 2회 개최
- 주요논의 : 수소 및 연료전지 관련 기술 소개 및 정책 공유

3) 수소각료회의(Hydrogen Energy Ministerial Meeting)

- 수소각료회의는 일본 주도로 한·미·호주·UAE 등 참여하여 수소 기술개발, 표준 협력, 안전 등의 분야에서 협력하는 협의체
 - 설립배경·목적 : 일본 경제산업성 및 신에너지·산업기술진흥기구 주최, 도쿄성명 채택 및 글로벌 수소 활용 촉진을 위한 국제 협력 증진을 위해 2018년 설립
 - 참여자 : 총 15개국(한국, 미국, 일본, 호주 등), 민간기업(ENGIE, 현대자동차, 도요타 등), 국제기구(IEA, Mission Innovation, Hydrogen Council 등) 참여
 - 개최현황 : 연 1회 개최
 - 주요논의 : 도쿄선언문 초안 및 국제 협력 논의(수소기술협력 및 표준개발, 수소안전 및 공급망 공동연구, 수소의 CO2 감축 잠재력 연구, 수소 관련 교육 및 홍보)

II-3. 우리나라 수소경제의 잠재력과 현황

제1절 우리나라 수소경제의 잠재력

1. 우리나라 수소경제의 물적 기반

- ☐ 먼저 우리나라는 수소경제의 물적 기반이 잘 갖추어져 효과적으로 수소경제를 활성화시킬 수 있음.
- ☐ 현재 대규모 석유화학단지(울산·여수·대산)를 중심으로 수소 파이프라인과 고순도 수소생산 기술이 확보되어 있으며, 이미 연간 약 164만톤 정도의 수소가 생산, 유통, 활용되고 있음.
 - 대규모 석유화학단지(울산·여수·대산)를 중심으로 수소 파이프라인, 고순도 수소 생산 기술을 보유하고, 수소를 활용 중임(연간 약 164만톤).
- ☐ 이로 인해 수소 공급에 필요한 석유화학 및 플랜트 산업 기반과 경험이 풍부하여 충분한 수소 수요와 경제성이 확보될 경우, 설비증설, 공정전환 등을 통해 대규모 부생수소 공급이 가능함.
 - 현재 추정되는 부생수소의 생산 여력은 약 5만톤(수소차 약 25만대 분량) 수준임.
- ☐ 더구나 발달된 LNG 공급망을 활용할 경우 추가적인 인프라 투자 없이도, 쉽게 안정적이면서도 경제적으로 전국 단위의 수소 생산 및 공급체계 구축이 가능함.
 - 전국 LNG 공급망에 추출기를 설치하여 추가적인 인프라 투자 없이도, 쉽게 안정적이고 경제적인 수소 생산·공급이 가능함.
 - 특히 전국 4개 인수기지(인천, 평택, 삼척, 통영)에서 공급받은 천연가스를 적정 압력으로 조정하는 정압관리소(142개소) 등을 중간 생산·공급기지로 활용할 수 있음.

2. 우리나라 수소경제의 기술적 기반

□ 이러한 물적 기반과 함께 수소 활용산업도 이미 세계적 수준의 기술력이 확보된 상태임.

- 수소차의 경우 2013년 세계 최초 양산에 성공한데 이어 세계 최장 주행거리를 자랑하는 일반보급형 모델이 2018년 출시됨.
- 국내 수소차는 2000년대 초부터 기술개발을 시작하여 2013년 세계 최초 양산에 성공하였으며, 2014년 6월부터 국내 공공기관 및 법인 업무용으로 차량을 보급 시작함.
 - 수소차 핵심부품의 99%(부품수 기준)가 국산화되는 등 기술적으로도 글로벌 경쟁력을 이미 확보한 상태로 평가됨.
- 연료전지 부문에서도 원천기술을 보유한 국내외 기업과의 제휴 및 M&A 등을 통해 최고 수준 기술력 보유하고 있음.

□ 세계 최고 수준의 활용분야와 우리의 강점을 살린다면 글로벌 수소경제를 선도하고 미래 핵심산업이 될 잠재력과 가능성 충분하다고 평가되지만, 각국의 경쟁이 치열해지고 있는 바, 골든타임은 향후 3~4년일 수 밖에 없음.

□ 결국 수소경제 활성화는 에너지를 넘어 경제·산업 구조의 근본적 변혁까지도 요구되는 바, 아직 세계적으로도 누구도 가보지 않은 ‘새로운 길’인 초기 단계로 평가되며, 그 만큼 이를 선점하는 것이 중요함.

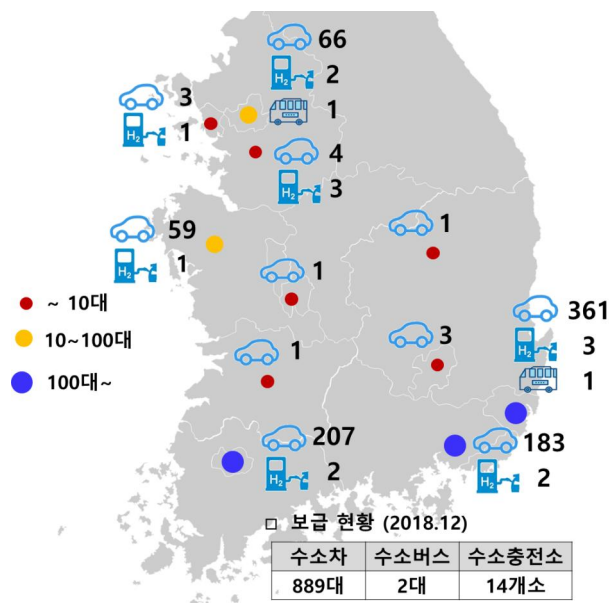
제2절 우리나라 수소경제의 현 주소

□ 이처럼 우리나라 수소 활용분야의 최고 수준의 기술력에도 불구하고, 수소차와 연료전지의 국내 시장규모는 아직 ‘시장’이라고 이름 붙이기 민망한 수준임.

○ 수소차는 7천만원이 넘는 가격부담, 연료전지 스택 내구성 문제로 인해 대중교통 적용의 어려움, 충전인프라 부족 등으로 2018년말 기준 보급된 수소승용차는 889대에 불과하며, 수소버스는 2대만이 시범적으로 울산에서 운행 중임.

- 2018년말 기준 수소충전소는 총 14개소에 불과하며, 이 중 연구용 4개소를 제외한 10개소에서만 일반인이 수소차를 충전할 수 있음.

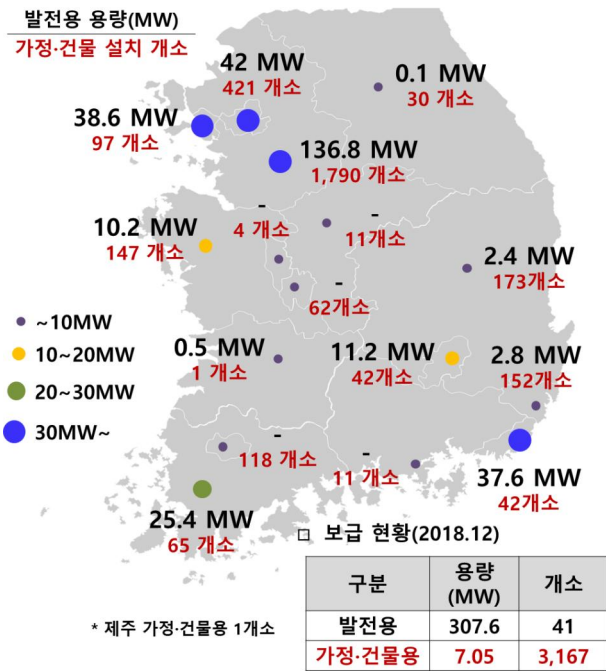
[그림 II-3-1] 수소차 및 충전소 현황



○ 연료전지도 상황이 비슷한데, 설치비 부담이나 높은 연료비 등으로 인해 보급 실적이 저조하지만, 정부의 신재생에너지 공급인증서(REC) 지원 등에 힘입어 발전용 연료전지는 41개소 307.6MW, 가정·건물용 연료전지는 3,167개소 7MW 정도 보급됨.

- 가정·건물용 연료전지 설치단가 2,700만원/KW으로 일본의 1,100만원/KW 보다 2배 이상 높은 편임.

[그림 II-3-2] 연료전지 현황



- 이를 타개하기 위해 적극적인 수요창출과 보급 확대를 통해 경제성 확보와 자생적 확산의 동력 창출이 요구됨.
- 한편 유망 수소활용 분야인 선박·열차·드론 등은 아직 연구개발 시작단계로, 실증 및 상용화 단계인 미국·유럽 등에 비해서는 미흡한 것이 현실임.

<표 II-3-1> 국내외 수소차 및 연료전지 연구개발 현황

		○연구 / ◐실증 / ●상용화			
구 분		국내	일본	미국	유럽
이동형	수소차	●	●	◐	●
	기타	○(선박, 열차 등)	◐(열차, 선박 등)	●(지게차 등)	●(열차 등)
연료전지발전		●(가정·건물용)	●(가정·건물용)	●(가정·건물용)	●(가정·건물용)
		●(발전용)	◐(수소터빈발전)	●(발전용)	-

- 또한 국내 수소 생산부문에서는 아직 부생수소 외에 천연가스 추출수소 및 수전해 등에 대한 핵심 원천기술과 상용화 실증 자체가 부족함.

<표 II-3-2> 국내외 수소 생산기술 현황

○실증 / ●상용화

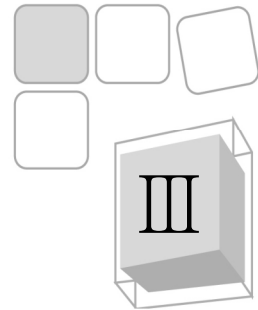
		한국	일본	미국	유럽
생산	부 생	●	●	●	●
	추 출	○	●	●	●
	수전해	○	○	●	●

- 부생수소는 특성상 생산가격이 저렴하다는 장점이 있으나, 석유화학단지(울산, 여수, 대산)의 공정전환 없이는 추가적으로 대량공급이 어렵다는 단점도 있음.
- 한편 천연가스 추출수소는 이미 구축된 천연가스 공급망과 연계할 수 있는 잠재력이 있으나, 기술력 부족으로 초기 단계의 소형추출기 정도를 활용할 수 있음.
 - 대량생산을 위해서 필수적인 대형 추출기 기술은 독일이나 일본 등만이 보유하고 있어, 기술 확보가 절실함.
- 수전해 기술은 선진국에 비해 대규모 재생에너지 단지가 부족하여 재생에너지 활용하는데 한계가 있으며, 아직 수전해 기술개발 및 실증·상용화 기술 확보도 지연되고 있음.
- 특히 장기적으로 재생에너지 연계 대규모 수전해 방식(P2G)이 필요하나, 국내 기업의 기술경쟁력은 선진국 대비 60~70% 수준으로 매우 미흡함.
 - 미국, 독일 등이 상용화 수준으로 가장 앞선 기술 보유하고 있으며, 일본은 이미 북해도에 수력발전을 활용한 수소생산설비를 구축함.

- 역시 국내 수소 저장도 고압기체 저장은 가능하나, 장거리·대용량 운송에 필요한 액화·액상기술은 아직 개발단계에 머물고 있음.

- 현재 고압기체는 500bar 수준의 저장·운송 상용화 기술을 확보하고 있지만, 해외 생산·수입을 위해 필요한 액화·액상기술은 중소기업에서 기술개발 중이지만 아직까지는 미흡한 것이 현실임.

- 특히 액상기술은 세계적으로 개발단계이지만, 액화기술은 이미 유럽과 미국 등 앞서 확보한 상태임.
- 마지막으로 운송방식으로 파이프라인과 튜브트레일러가 가능하지만, 운송 비용 절감을 위해 고압, 대용량화 등이 요구됨.
- 일본, 미국, 유럽 등은 글로벌 경쟁력을 갖춘 다수 업체가 기술개발 및 상용화를 적극 추진 중이나, 우리는 활용분야와는 달리 기술개발 역량과 투자 여력이 부족한 소수의 중소기업 위주로 산업생태계가 형성되고 있음.
- 정책적 측면에서도 수소차, 충전소, 연료전지 개발 및 보급 등 단편적인 지원은 있으나, 종합적인 수소경제 활성화 전략이 부재함.
- 또한 체계적인 수소경제 활성화를 지원하고, 국민이 안심할 수 있는 수소 전주기 안전관리에 대한 법·제도적 기반 마련이 요구됨.
- 결국 수소경제 선도국가 도약을 위해서는 적극적인 시장 창출, 활용분야에 비해 취약한 생산 및 저장·운송분야 기술경쟁력 제고와 함께 산업생태계 조성, 제도기반 정비 등이 시급함.
- 이러한 시대적 요구를 반영하여 구체화한 국가 수소경제 활성화 로드맵 수립이 요구됨.

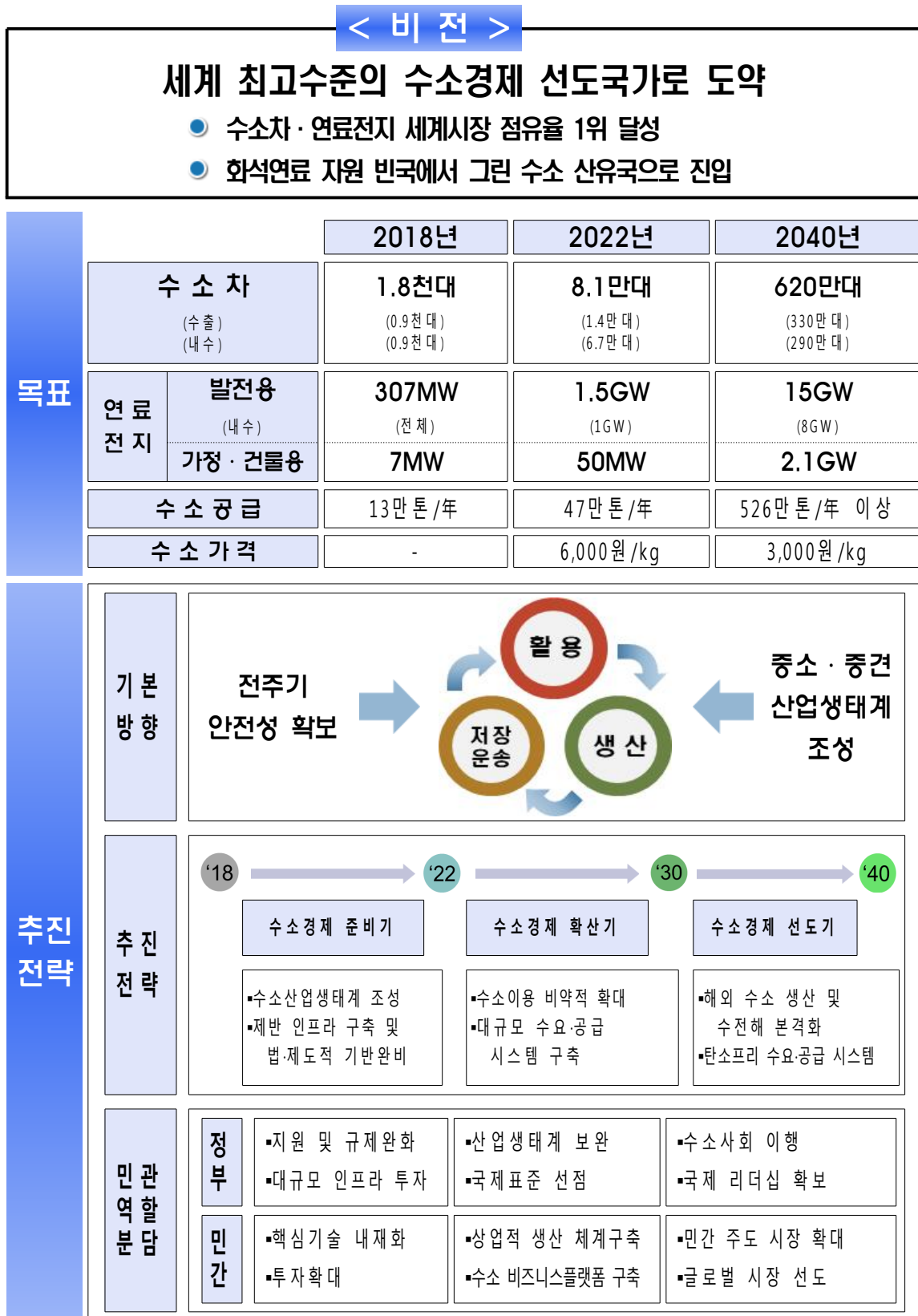


수소경제 활성화 로드맵

Ⅲ-1. 수소경제 활성화를 위한 국가 비전

- 수소경제 활성화라는 시대적 요구에 부응하고자 우선 본 연구는 다음과 같이 수소경제 활성화를 위한 국가 비전을 설정함.
- 수소경제 활성화를 위한 국가 비전으로서 먼저 “수소차 및 연료전지 세계시장 점유율 1위 달성”을 목표로 수소 활용산업에서의 시장창출과 육성에 우선적인 방점을 찍음.
- 물론 수소를 활용하는 제품은 수소차나 (발전용, 자가용)연료전지 외에도 선박, 열차, 드론 등 광범위함.
- 그러나 현 시점에서 기술성숙도 측면에서 이미 상용화되었으며 일정 정도 정부의 지원노력이 있을 경우 바로 시장창출이 가시적으로 가능한 세 가지 부문을 중심으로 우선적으로 육성하고,
- 기술개발 지원을 통해 기술적 성숙도를 높이는 한편, 추후 충분히 성숙할 경우 선박, 열차, 드론 등 기타 활용산업으로 지원범위를 확대할 예정임.
- 그리고 정부의 의도대로 수소 활용산업이 육성, 확대되면, 파생수요로서 수소 자체에 대한 수요가 확대되며, 자연스럽게 에너지 부문을 중심으로 수소시장의 규모도 커지게 될 것으로 전망됨.
- 이를 통해 수소경제 활성화 로드맵은 “화석연료 자원 비국에서 그린 수소 산유국으로 진입”이라는 추가적인 목표도 함께 제시함.

[그림 III-1-1] 수소경제 활성화를 위한 국가비전



Ⅲ-2. 수소경제 활성화 추진을 위한 이행 로드맵

제1절 수소 수송부문 확대 로드맵

- 먼저 수소차의 시장창출을 위해 수소차 양산체계 구축 및 보급 확대, 수소 택시·버스 등 대중교통 전환, 공공부문 수소 트럭 활용 등이 구체적인 방안으로 시행될 예정이다.
- 이를 통해 내수 및 수출물량 포함 **2018년 약 1,800대인** 수소차 시장의 규모를 **2022년 81,000대, 2040년에는 620만대 이상** 규모로 확대시킬 계획임.
 - 물론 수소차는 차량만으로 운행이 불가능하며, 충전용 수소를 공급할 수 있는 인프라, 특히 수소충전소가 함께 확대 구축되어야 함. 이를 위해 2018년 14개소에 불과한 충전소를 2022년 310개소, 2040년에는 1,200개소까지 확대할 예정임.
- 한편 선박, 열차, 드론 등 기타 수송부문 부문은 기술개발 지원을 통해 기술적 성숙도를 높이는 한편, 추후 충분히 성숙할 경우 지원범위를 확대할 예정임.

[그림 Ⅲ-2-1] 수소 수송부문 확대 로드맵

* () : 내수

		2018년	2022년	2040년
목 표 리 티	수소차	1.8천대 (0.9천대)	8.1만대 (6.7만대)	620만대 이상 (290만대)
	승용차	1.8천대 (0.9천대)	7.9만대 (6.5만대)	590만대 (275만대)
	택시	-	-	12만대 (8만대)
	버스	2대 (전체)	2,000대 (전체)	6만대 (4만대)
	트럭	-	-	12만대 (3만대)
	수소충전소	14개소	310개소	1,200개소 이상
열차·선박·드론		R&D 및 실증을 통해 '30년 이전 상용화 및 수출프로젝트 추진		

주 : 위 수소차 목표는 내수와 수출을 포함한 생산량임

제2절 수소 연료전지 부문 확대 로드맵

- 발전용 연료전지는 설치규모를 현재 **307.6MW**에서 **2022년 1.5GW** 수준으로 확대하며, 양산을 통해 설치비와 발전단가를 대폭 절감하여 **2025년** 경에는 중소형 가스터빈 수준까지 인하함으로써, **2040년** 수출 및 내수물량을 합산하여 **15GW** 이상으로 확대할 계획임.
- 연료전지 전용 LNG요금제를 신설하고, 일정기간 연료전지의 신재생공급인증서(REC) 가중치를 유지하여 투자 불확실성 제거 및 경제성 확보를 지원함으로써, 발전용 연료전지의 설치 확대를 유도함.
- 또한 재생에너지 단점을 보완하는 차원에서 중장기적으로는 수소가스터빈 발전 기술을 추진하는 한편 실증 인프라도 동시 구축하여 2030년 이후부터 상용화할 계획임.
- 자가용 연료전지는 현재 **7MW** 정도의 보급규모를 **2022년 50MW**, **2040년에는 2.1GW** 이상으로 확대할 계획임.
- 정부 보급사업 예산의 단계적 확대, LNG 전용 요금제 신설, 전력계통 부담 완화에 따른 전기요금 특례제도 연장 등 경제적 인센티브 제공과 함께 공공기관, 민간 신축건물에 연료전지 의무화를 통해 확산을 지원할 예정임.

[그림 Ⅲ-2-2] 수소 연료전지 부문 확대 로드맵

* () : 내수

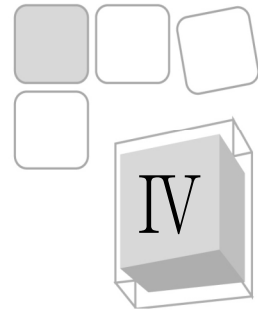
			2018년	2022년	2040년
에너지	연료전지	발전용	307.6MW	1.5GW (1GW)	15GW 이상 (8GW)
		가정·건물용	7MW	50MW	2.1GW 이상
	수소가스터빈		'30년까지 기술개발 완료 → '35년경 상용 발전		

제3절 수소 공급부문 확대 로드맵

- 앞서 언급한 바와 같이 수소 활용산업이 육성 및 확대되면, 파생수요로서 수소 자체에 대한 수요가 확대되며, 자연스럽게 에너지 부문을 중심으로 수소시장의 규모도 확대됨.
- 현재 수소차와 연료전지 등 수소 활용산업에서 창출되는 수소수요는 연간 13만톤 정도이지만, 로드맵대로 수소 활용산업이 성장할 경우, **2022년에는 연간 47만톤, 2030년에는 194만톤에서 2040년에는 526만톤까지** 확대될 전망이다.
- 수소수요가 충분치 않은 초기에는 천연가스 추출수소를 핵심 공급원으로 삼아, **LNG 공급망, 수요처 인근 등에 규모별 수소생산기지를 구축해 나갈** 예정임.
 - 수소수요가 이와 같이 확대되면, 수소 생산단가가 가장 저렴한 생산방식(기술)부터 수요를 충족시키기 위한 공급이 이루어짐.
 - 현재 수소차에는 석유화학 공정 등의 부산물인 부생수소가, 연료전지는 주로 천연가스 추출수소가 공급됨.
 - 그러나 수소수요가 확대될 경우, 상대적으로 생산단가가 높아 현재는 경제성이 낮은 재생에너지 잉여전력을 활용한 친환경 수소 생산이 확대될 전망이다.
- 추가적으로 제한적인 친환경 수소 생산여력을 감안하여 **2030년부터는** 해외 재생에너지, 갈탄 등을 활용하여 생산된 친환경 수소를 수입, 부족분을 보충함으로써 **2040년에는 전체 수소수요량의 70%를 이산화탄소가 발생하지 않는 친환경 수소로** 공급할 계획임.
- 한편, 현재 수소충전소에서 판매되는 수소가격(소매가격)은 정책적으로 **8,000원/kg** 수준임. 수소경제 활성화를 위해 저렴하면서 안정적인 수소가격 유지 관리가 필요하다는 점에서, 수소충전소 공급가격(도매가격) 기준으로 **2022년에는 시장 초기 가격이라 할 수 있는 6,000원/kg을** 목표로 하며, 추후 **2030년에는 4,000원/kg, 2040년에는 3,000원/kg으로** 인하할 계획임.

[그림 Ⅲ-2-3] 수소 공급부문 확대 로드맵

		2018년	2022년	2030년	2040년
공급 · 가격	공급량 (=수요량)	13만 톤/年	47만 톤/年	194만 톤/年	526만 톤/年 이상
	공급방식	①부생수소 (1%) ②추출수소 (99%)	①부생수소 ②추출수소 ③수전해	①부생수소 ②추출수소 ③수전해 ④해외생산 ※ ①+③+④ : 50% ② : 50%	①부생수소 ②추출수소 ③수전해 ④해외생산 ※ ①+③+④ : 70% ② : 30%
	수소가격	- (정책가격)	6,000원/kg (시장화 초기가격)	4,000원/kg	3,000원/kg



수소경제 활성화 추진방안

IV-1. 수소경제 활성화 추진방안 요약

[그림 IV-1-1] 수소경제 활성화 추진 방안(요약)

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

IV-2. 수소 활용부문 확대 추진방안

제1절 수소 활용부문 확대 전략의 논리적 틀

1. 개관

- 앞서 언급한 바와 같이 본 연구는 수소경제 활성화를 위한 국가 비전으로서 먼저 “수소차 및 연료전지 세계시장 점유율 1위 달성”을 목표로 수소 활용 산업에서의 시장창출과 육성에 우선적인 방점을 찍음.
- 특히, 현 시점에서 기술성숙도 측면에서 이미 상용화되었으며 일정 정도 정부의 지원노력이 있을 경우 바로 시장창출이 가시적으로 가능한 수소차나 (발전용, 자가용)연료전지를 중심으로 지원할 계획임.
- 본 절에서 이러한 정부의 지원 전략의 논리적 틀로서 특히 학습효과와 규모의 경제 효과를 중심으로 살펴보고자 함.

2. 에너지 신기술 적용 상품 보급 확대에 의한 “학습효과”와 “규모의 경제”

- 화석연료에 기반한 기존 에너지 기술은 개발이 충분히 이루어졌고 경제적인 반면, 수소 활용부문과 같은 에너지 신기술 적용 산업은 자본 집약형 산업으로서 충분한 규모의 시장을 형성할 수 있는 파급력과 경쟁력을 갖기에는 막대한 자본 비용이 요구됨.
- 수소 활용부문과 같은 에너지 신기술이 적용된 상품은 기존 에너지 기술, 특히 화석연료 기반 기존 에너지 기술 적용 상품과 자연스럽게 경쟁관계를 형성하게 될 수밖에 없음.

- 이처럼 수소 활용부문과 같은 에너지 신기술 적용 산업의 확산 초기 단계에서는 정부 지원이 필요한 경우가 있으며, 이때 “학습효과(즉, 경험곡선 효과)”와 “규모의 경제”는 해당 사업 지원 전략 수립에 고려되어야 할 중요한 요인이 될 수 있음.
- 왜냐하면 규모의 경제를 통한 산출량 증가가 누적 생산량을 증가시키고, 더 나아가 학습 효과를 촉진시키기 때문에 규모의 경제와 학습 효과가 상호 작용을 통해 단위당 생산비용(즉, 생산단가)을 낮출 수 있기 때문임.

가. 학습효과(Learning effects)

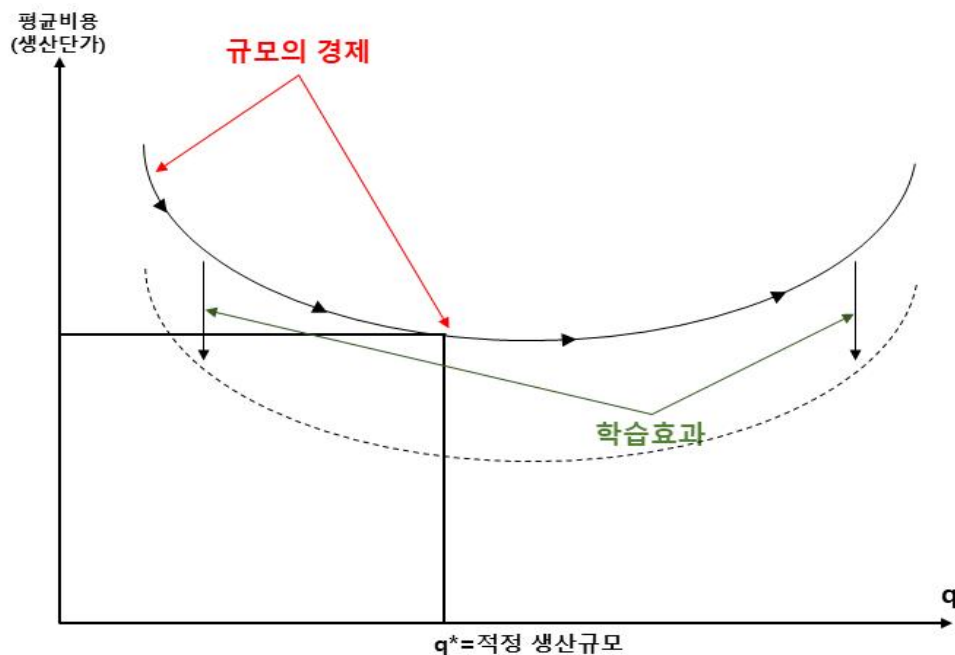
- 학습효과란 현재 산출량에 관계없이, 누적 생산량으로 대표되는 경험의 누적될수록 단위당 생산비용(즉, 생산단가)이 감소하는 현상을 의미함.
 - 가령 노동자들이 작업 경험을 통해 학습되면서 작업시간이 단축되면, 그만큼 생산비용이 줄어 듦.
 - 보통 학습효과는 학습곡선 효과와 경험곡선 효과로 구분하여 정의되지만, 주로 비용에 영향을 미치는 모든 학습효과를 내포한 개념으로서 후자의 정의가 많이 사용됨.
 - 학습곡선 효과는 단위비용 당 노동자의 학습효과로서 상대적으로 협소한 의미이지만,
 - 경험곡선 효과는 단위비용 당 모든 경험(학습, 기술 및 경영 향상)에 대한 효과로 좀 더 포괄적인 의미임.
- 기업의 의사결정에 이러한 학습효과가 반영되면, 신기술 도입 초기단계에는 낮은 가격을 책정하여 시장점유율을 높여 경험을 축적하고, 생산비용 절감 효과를 활용할 수 있어 경쟁기업에 대한 기술적 우위를 차지, 궁극적으로 시장의 선도자로서 성장할 수 있게 됨.

나. 규모의 경제(Economy of Scale)

- 규모의 경제는 생산규모가 증가할 때 단위당 평균비용(즉, 생산단가)이 감소하는 현상으로 규모의 수익(Returns to Scale)이라는 개념으로 설명하면 규모의 수익 체증 현상과 밀접하게 관계된 개념임.

- 생산규모 한 단위 확대에 따라 한 단위만 생산되어 추가적인 증감이 없는 경우에는 규모의 수익 불변, 한 단위보다 추가적으로 감소한 생산은 규모의 수익 체감인 반면, 오히려 한 단위 추가적으로 생산이 증가할 경우 규모의 수익 체증이라고 하며, 이 규모의 수익 체증 현상이 “규모의 경제”로 해석됨.
- 모든 생산요소를 한 단위 증가시킴에 따라 한 단위 이상(또는 이하)로 추가적으로 증가(감소)하는 생산의 정도를 규모의 수익>Returns to Scale), 즉 “생산 규모 확대에 발생하는 이익”이라 함.
- 생산 규모가 상대적으로 작을 경우, 장기적인 평균 생산비용(즉, 생산단가) 곡선 상에서 규모의 수익 체증 현상나타며, 반대로 생산규모가 상대적으로 커지면 규모의 수익 체감 현상이 나타남. 이로 인해 생산규모와 규모 수익의 역함수 관계가 형성되어, 보통 장기 평균 생산비용(즉, 생산단가) 곡선은 U자 형태로 나타남.

[그림 IV-1-1] 장기 평균 생산비용(생산단가) 곡선 상의 학습효과와 규모의 경제



- 보통 자동차나 연료전지 등 생산을 위해 대규모 장치가 필요한 산업에서는 대규모 (고정)자본투자가 필요한데, 이처럼 고정자본 규모가 큰 대규모 장치 산업에서는 규모의 경제(즉, 규모의 수익 체증 현상)가 나타나는 경향이 있음.
- 규모의 경제가 나타나는 상황에서 기업은 단위당 평균 생산비용(즉, 생산단가)을 낮추기 위해, 대규모 생산(즉, 양산)을 통해 가격 경쟁력을 갖출 수 있음.

다. 학습효과와 규모의 경제가 지닌 수소활용 부문 확대 전략과 관련한 함의

- 앞서 살펴본 바와 같이 학습효과와 규모의 경제는 모두 생산규모 확대에 따른 생산비용(생산단가)을 낮추는 효과를 지니고 있지만, 규모의 경제가 주로 상대적으로 단기적 현상이라면 학습효과는 주로 장기적인 현상으로 볼 수 있음.
 - 규모의 경제(즉, 규모의 수익 체증 현상)는 현재 생산 규모 확대에 따라 장기 평균 생산비용(즉, 생산단가) 곡선을 따라 생산비용이 낮아지는 현상임.
 - 반면 학습효과는 현재 생산 규모와는 상관없이, 동태적으로 그 동안 누적된 생산 규모가 증가할수록 장기 평균 생산비용(즉, 생산단가) 곡선이 전체적으로 아래로 이동, 생산비용이 낮아지는 현상임.
- 이러한 학습효과와 규모의 경제는 수소 활용부문 확대와 같이 에너지 신기술 보급 확대 전략과 관련하여 다음과 같은 함의를 지님.
- 수소 활용부문 등 에너지 신기술 적용 상품은 생산규모가 일정한 임계수준에 도달하기 전까지는 규모의 불경제(즉, 규모의 수익 체감 현상)가 나타남.
 - 이러한 현상은 산업이 상당 수준의 파급력과 성숙도를 갖추기 전까지 초기 투자를 필요로 하는 에너지 신기술 적용 산업에서 대해 일반적으로 나타남.
 - 이때 생산자는 자연스럽게 손실과 위험을 회피하는 경향을 가지게 되며, 이는 해당 분야의 확대를 방해하는 장애물로 작용함.
- 그러나 만일 정부의 지원으로 일정 정도 산출 규모를 확대, 임계수준에 도달하게 되면, 수소 활용부문 등 에너지 신기술 적용 산업에서도 규모의 경제(즉, 규모의 수익 체증 현상)가 발생하게 됨.
- 이에 덧붙여 규모의 경제로 생산단가 하락을 경험하게 되면, 자연스럽게 가격 경쟁력을 확보할 수 있게 되며, 이는 다시 내수시장을 넘어 해당 부문의 수출로도 이어져 장기적으로 누적 생산량 확대로도 이어질 수 있음.
- 누적 생산량 확대로 생산 경험이 축적되면 학습효과가 발생, 생산비용 절감 효과를 더욱 끌어올려, 경쟁기업에 대한 기술적 우위를 차지, 궁극적으로 시장의 선도자로서 성장할 수 있게 하는 선순환 구조를 만들 수 있음.

- 이처럼 학습효과와 규모의 경제를 고려할 경우, 수소 활용부문의 생산규모가 일정한 임계수준에 도달하기 이전까지 정부 등 공공부문의 지원을 통해 일정 정도 생산규모를 확대하는 전략이 요구됨.

제2절 수소 수송부문 확대 추진방안 (1) : 수소차

1. 수소차 시장 확대 추진방향

가. 국내산 수소차 시장 규모 전망

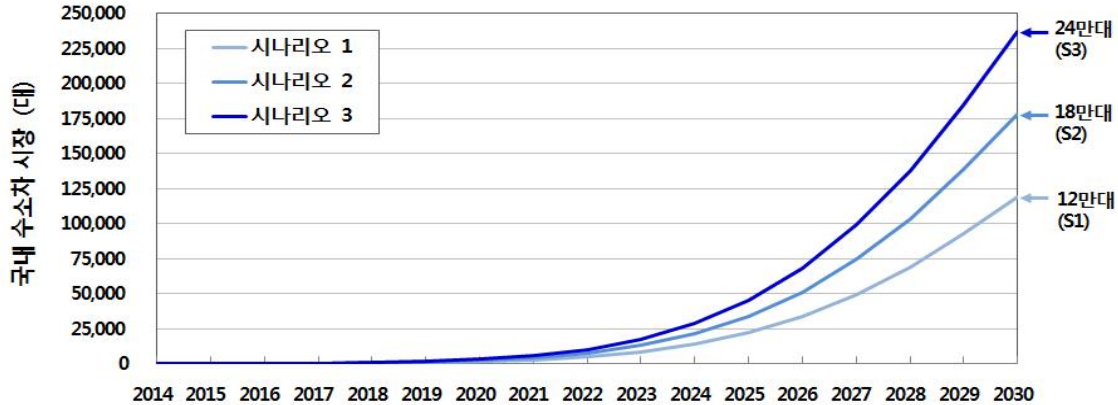
- 국내산 수소차 시장 규모는 국제에너지기구(IEA)의 2030~2050년 수소차 세계시장 전망치를 기반으로 추정할 경우, 2030년 40만대(누적), 2050년까지 약 600만대(누적) 규모가 될 것으로 전망됨.
 - 국제에너지기구(IEA)는 전 세계 자동차 시장에서 수소차는 2030년에는 240만대, 2050년에는 3,530만대로 전망함(2DS 기준).
 - 여기에 현재 전 세계 자동차 시장에서 국내산 자동차시장 판매 점유율인 8%를 적용하여 누적대수로 환산하면 2030년에는 약 40만대, 2050년에는 약 600만대 규모가 될 것으로 추정됨.
- 그러나 향후 국내산 수소차의 세계 시장 판매 점유율은 증가할 가능성이 있기 때문에, 수소차 세계 판매 점유율을 2030년 기준 10%, 15%, 20%로 상정하여, 국내산 수소차 시장 규모를 조정함.
 - 2017년 기준 세계 수소차 보급은 3,816대가 이루어 졌으며, 이 중 국내산 수소차 판매 비중은 약 8% 수준임. 그러나 2018년 에는 전 세계적으로 약 5천대 정도 보급된 수소차 중 국내산 수소차의 판매 비중이 약 15%(750대)로 상승한 바 있음.

<표 IV-1-1> 국내산 수소차의 세계 시장 점유율 시나리오(2030년 기준)

시나리오 1	시나리오 2	시나리오 3
세계 수소차 시장 10%	세계 수소차 시장 15%	세계 수소차 시장 20%

- 시나리오 1을 적용 시 2030년 기준 국내산 수소차 신규 판매대수는 약 12만대, 시나리오 2를 적용 시 약 18만대, 시나리오 3을 적용할 경우에는 24만대가 될 것으로 전망됨.

[그림 IV-1-2] 시나리오별 국내산 수소차 시장규모 전망



- **2015년** 관계부처합동으로 마련된 「제3차 환경친화적 자동차 개발 및 보급 기본계획」 (이하 환친차 기본계획)은 시나리오 2(세계 수소차 시장 판매점유율 15% 적용)가 채택됨.
- 다만, 2018년 환친차 기본계획 상의 수소차 보급계획을 일반보급형 수소차 출시를 감안하여 조정한 바 있음.

<표 IV-1-2> 2018년 일반보급형 수소차 출시가 반영된 수소차 국내 보급계획(환친차 기본계획)

(단위 : 대)

구분		2018	2019	2020	2025	2030
수소차 보급 시나리오 2	신규	590	1,180	2,290	33,800	178,000
	누적	1,070	2,250	4,540	84,600	626,000
2018년 일반보급형 출시 반영(최종)	신규	2,000	2,600	3,700	35,000	180,000
	누적	2,500	5,100	9,000	100,000	630,000

- 한편 미세먼지 특별대책(2016)에 의해 2020년 누적보급대수를 9천대에서 1만대로 상향 조정함.

- 이를 연장하여 **2018년 6월** 혁신성장 관계장관회의에서 **2040년** 수소차 국내 보급목표를 **320만대(누적)**로 발표한 바 있음.

<표 IV-1-3> 수소차 및 수소충전소 국내 보급 계획(혁신성장 관계장관회의)

구분		'18	'19	'20	'21	'22	'25	'30	'40	'50
수소차1) (천대)	신규	0.7	1.1	3.2	4.3	6.5	35	180	450	600
	누적	0.9	2	5.2	9.5	16	100	630	3,200	7,200
수소충전소 (개소)	신규	18	41	50	70	110	30	40	60	80
	누적2)	39	80	130	200	310	400	600	1,200	2,000

주1) 수소차 : 승용, 택시, 버스, 화물 등이 포함

주2) 당해연도 수소충전소 구축을 위해 신규로 지원된 개소를 합산

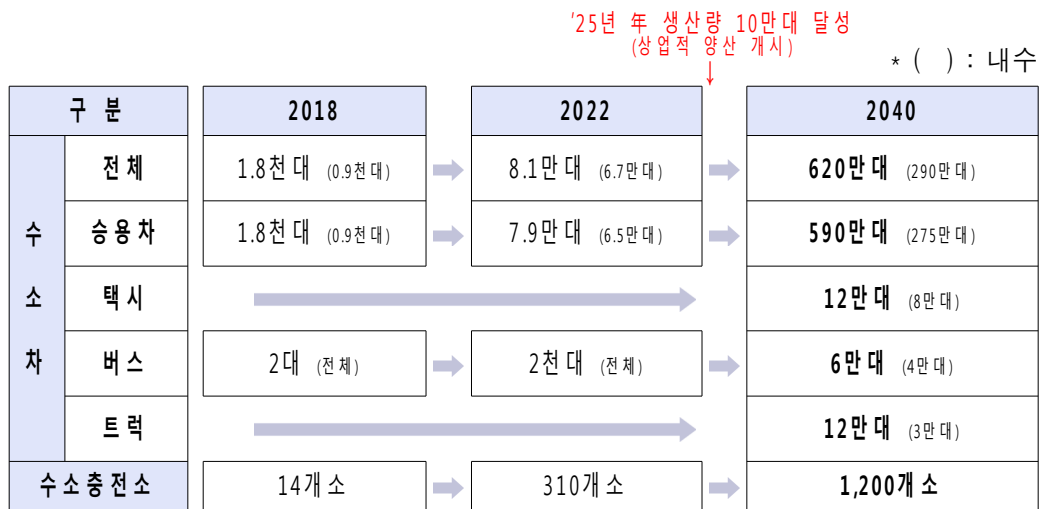
- 이러한 기존 보급계획의 맥락 하에서, 국내산 수소차 시장창출을 위해 내수 및 수출물량 포함하면 2018년 약 1,800대인 수소차 시장의 규모를 2022년 8만천대, 2040년에는 620만대 이상 규모로 확대하는 목표를 설정함.

○ 2018년 14개소에 불과한 수소충전소도 2022년 310개소, 2040년에는 1,200개소까지 확대함.

- 특히 학습효과와 규모의 경제를 고려하여, 수소차 생산규모가 임계수준인 연간 10만대(상업적 양산 가능 규모)에 도달하기 이전까지 내수시장을 중심으로 일정 정도 판매규모를 확대하도록 지원함.

○ 연간 10만대 이상의 생산 규모가 달성되면, 생산단가 하락으로 자연스럽게 가격 경쟁력을 확보할 수 있으며, 이는 다시 내수시장을 넘어 해당 부문의 수출 확대로 연결될 수 있음.

[그림 IV-1-3] 수소차 및 수소충전소 보급목표(누적)



□ 이를 위해 다음과 같은 방향으로 수소차 시장 확대를 추진함.

(1) 우선 2022년까지 수소 승용차, 버스, 택시 등 청정 교통인프라를 확대하고, 이를 위한 수소충전소 대폭 확대함.

- 2030년까지 승용차, 버스, 택시, 트럭 등 수소차 전체 차종의 생산라인 구축함.

(2) 이를 위해 수소차 차종별 보조금을 차등 지급하고, 버스, 택시 등 수소 상용차의 연료비를 보조 지원함.

- 수소차와 수소 충전 가격 하락에 맞춰 단계적으로 보조금은 축소함.

(3) 결국 궁극적으로 차량용 연료전지 시스템 모듈을 단독 판매 및 수출하여 차량용 연료전지 시장을 선점하고, 중소 및 중견기업의 동반성장까지를 유도함.

2. 수소 승용차 보급 확대 방안

가. 보급 목표

□ 수소차 생산규모가 연간 생산량 35만대를 달성할 수 있도록 내수시장을 중심으로 일정 정도 판매규모를 확대하기 위해, 수소승용차의 국내 보급 목표를 2022년 6.5만대, 2040년 275만대로 설정함.

○ 수소차 생산능력을 확충하고 핵심부품 100% 국산화를 목표로 함.

나. 추진 전략

1) 수출확대까지 감안하여 가격 경쟁력 확보를 위해 연간 수소차 생산규모가 임계수준 이상이 되도록 지원함.

□ **2022년 연간 생산량 3.5만대를 달성하고, 2025년까지 상업적 양산 수준인 연간 10만대(내수 6만대 및 수출 4만대)로 확대할 계획임.**

- 학습효과와 규모의 경제를 고려할 경우, 수소차 생산규모가 증가함에 따라 생산 단가도 함께 하락할 수 있는데, 만일 연간 생산규모가 3.5만대 달성하면 수소차 판매가격이 5천만원 수준이 될 것으로 전망됨.
- 수소차 판매가격이 내인기관차 유사차종의 판매가격인 4천만원 수준이 되기 위해서는 생산규모가 연간 약 10만대 이상이 되어야 할 것으로 보이며, 이를 늦어도 2025년까지 달성하도록 목표함.
- 또한 수소차 판매가격 하락 추세에 맞추어 구매보조금을 단계적으로 축소하고, 내연기관차 수준의 경쟁력 확보 시에는 보조금을 완전 폐지함.

2) 수소차 양산을 대비해 2022년까지 부품도 양산하는 기술 개발을 지원하며, 특히 핵심부품은 100% 국산화하도록 유도함.

□ 수소차 양산을 위해 **2022년까지 부품도 양산하는 기술 개발을 지원해야 하며, 특히 핵심부품인 연료전지 스택이나 수소탱크 등의 가격 저감 기술을 확보할 수 있도록 지원함.**

□ 특히 기술개발 지원 확대를 통해 핵심부품 국산화율을 **2022년까지 100%** 달성하도록 유도함.

- 핵심부품 개발계획 목표로서 충전기술을 선진국 대비 40%에서 80% 수준까지 향상시키고, 막전극접합체, 기체확산층, 공기압축기, 수소탱크 등도 개발을 지원함.

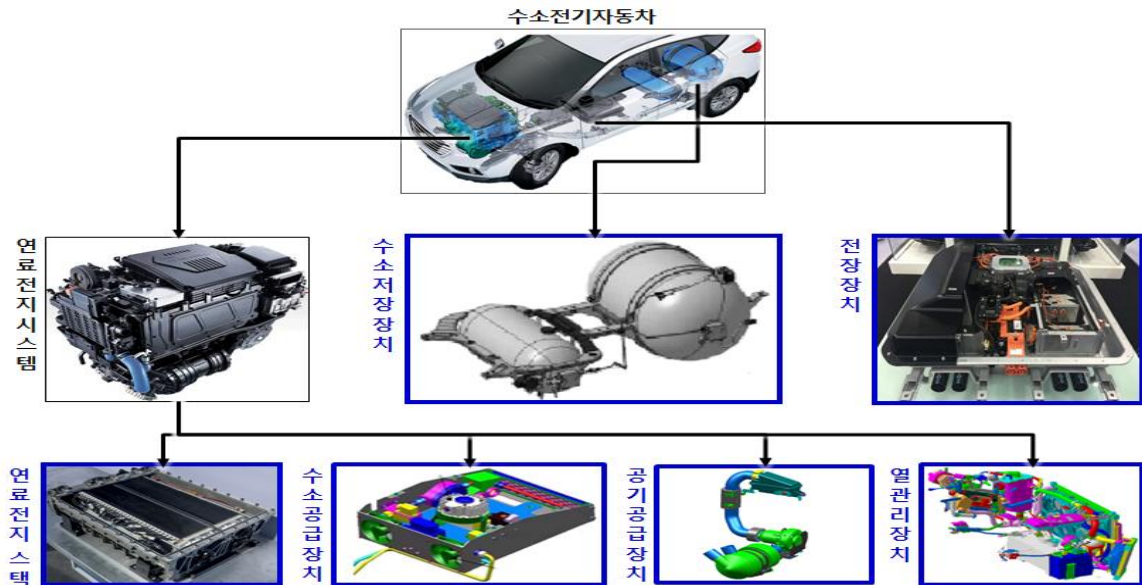
<표 IV-1-4> 미흡한 핵심부품 현재 상황

핵심부품	현재 상황
막전극접합체	국내 기술은 2015년에 확보, 아직 일본 대비 미흡하지만 기술개발 중
기체확산층	현재 해외부품 전량 수입, 국산화 추진 중
고압용기	2015년 부품국산화 성공, 핵심소재(카본복합소재) 수입 의존

※ 수소차 핵심부품의 국산화 수준

- 수소차의 주요 핵심부품은 연료전지시스템, 수소저장장치, 전장장치로 구성되며, 이 중 연료전지시스템은 스택, 수소공급장치, 공기공급장치, 열관리장치로 구분됨.

[그림 IV-1-4] 수소차 핵심부품



- 주1) (스택) 수소와 공기를 반응시켜 전기를 생산하는 장치
(수소 및 공기 공급장치) 연료전지 스택에 수소 및 공기를 공급하는 장치
(열관리장치) 스택에서 발생되는 열을 제거하는 장치
주2) (수소저장장치) 수소를 저장하고 공급하는 장치
주3) (전장장치) 연료전지 스택에서 생산된 전기를 모터 및 전장부품으로 분배하는 장치

- 주요 핵심부품 중에서 스택, 수소저장장치 비용이 수소차의 원가에서 차지하는 비중이 가장 높으며, 특히 단일부품으로 막전극접합체(스택)와 고압용기(저장) 비중이 가장 높음.

<표 IV-1-5> 수소차 가격비중 및 주요 수입부품

구분	스택	운전장치	수소저장장치	전장장치	차체 등
가격비중(%)	40	15	20	10	15
가격비중이 높은 부품	막전극접합체	공기압축기	고압용기	공용부품	
수입부품	전해질 막	-	카본복합소재	전력소자	

- 주요 부품생산 기술은 스택의 막전극접합체, 수소저장장치의 고압용기에서 뒤쳐져있으나 부품 수가 많은 운전장치는 전세계 최고 기술 보유함으로써, 전반적으로는 해외대비 동등 또는 이상이나, 소재기술만은 미흡한 것으로 평가됨.
- 막전극접합체 : 국내 기술은 2015년에 확보하여 H사에서 생산 계획이지만, 일본 대비 기술수준은 미흡하여 기술개발 중임.
 - 기체확산층 : 해외부품 전량 수입하는 관계로 국산화를 추진 중임.
 - 고압용기 : 2015년에 부품국산화는 성공하였으나 핵심소재인 카본복합소재를 수입에 의존하여 가격경쟁력에서 열위에 있음.

<표 IV-1-6> 수소차 핵심부품(기술)별 현황

구분	핵심기술 핵심부품	국내 기술 현황	부품 수입현황			사유	
			국산화율	주요수입부품	국가	가 격	기 술
스택	막전극접합체	추격	50%	막전극접합체 국내 생산 (단, 전해질 막 소재수입) '20년 국산화 예정(단, 소재는 수입)	미국		○
					미국		○
	기체확산층	추격	-	'19년 국산화 예정(단, 소재는 수입)	독일	○	○
					일본	○	○
	분리판/가스켓	경쟁	100%	(부품기준)			
	셀전압 모니터링	경쟁	100%	(부품기준)			
운전 장치	체결기구	경쟁	100%	(부품기준)			
	인클로저 /인터페이스	경쟁	100%	(부품기준)			
	공기공급장치	경쟁	95%	화학필터, 고속베어링 소재부품 수입	미국		○
					독일	○	○
	수소공급장치	경쟁	100%	(부품기준)	캐나다	○	○
	열관리장치	경쟁	99%	이온제거 소재	미국		○
					일본		○
	공조장치	경쟁	100%	(부품기준)			

<표 IV-1-6> 수소차 핵심부품(기술)별 현황(계속)

구분	핵심기술 핵심부품	국내 기술 현황	부품 수입현황			사유	
			국산화율	주요수입부품	국가	가격	기술
전장 장치	구동모터	경쟁	100%	(부품기준)			
	감속기	경쟁	100%	(부품기준)			
	전력변환장치	경쟁	40%	파워소자, IC, Cap 필름 등 소재 수입	일본	○	○
					일본	○	○
					독일	○	○
	EMI/윤활/냉각	경쟁	100%	(부품기준)			
	ECU 및 제어장치	경쟁	100%	(부품기준)			
수소 저장 장치	수소저장용기	추격	50%	카본파이버 소재수입	일본	○	○
	고압 밸브/배관/ 레귤레이터	추격	90%	고압실링소재 수입 '20년 국산화 예정	미국	○	○
					미국	○	○
					캐나다	○	○
	안전장치	추격	90%	고압실링부품 수입 '20년 국산화 예정	미국	○	○
					캐나다	○	○
	수소충전/ 수소저장제어기	경쟁	100%	(부품기준)	유럽	○	○

3) 수소차 양산을 위한 보급확대는 수소차의 수요 확대가 전제되어야 함을 감안하여, 수요 확대를 위한 수소차 전용 통계, 보험상품 등 기반 확충을 지원함.

□ 2020년까지 수소차에 대한 통계를 기반으로 전용 보험상품 개발을 지원함.

- 현재 수소차 대중화가 부족하고, 통계 자료가 취약하여 보험상품 개발에 한계가 있음.
- 2022년까지 충돌·전복·화재를 대비하고, 2030년까지 수소저장밀도 향상을 통해 안전성을 제고할 계획임.

3. 수소상용차 보급 확대 방안

□ 1990년 초반부터 미국, 유럽, 일본 등에서 승용차 중심으로 기술개발이 시작되어 현재 수소 승용차 시장이 형성되어 가고 있지만, 수소버스나 트럭 등 수소 상용차 분야는 아직 대부분 상용화 이전단계에 머물고 있음.

○ 수소 승용차에서 개발된 연료전지시스템(100kW)이 버스, 화물차, 특장차 형태로 확장되는 형태로 기술개발이 진행 중임.

<표 IV-1-7> 수소차 차종별 개발 및 출시 현황

구 분	승용차	버스	화물차	덤프트럭	특장차
한국	출시 (‘13.2)	시범보급 (‘19)	개발 중	미확인	개발 중 (쓰레기 수거)
	현대차	현대차	현대차	-	현대차
유럽	출시예정 (‘18)	실증 중	출시예정 (‘18, 27톤)	미확인	실증 중 (쓰레기 수거)
	벤츠	Vanhool	scania	-	Faun
일본	출시 (‘14.12)	출시 (‘18.4)	출시예정 (‘19, 3톤)	미확인	미확인
	도요타	도요타	도요타	-	-
미국	출시(군용) (‘18)	실증 중	출시예정 (‘20, 36톤)	미확인	미확인
	GM	New Flyer	Nikola	-	-
중국	실증 중	출시 (‘17)	출시 (‘17, 3.2톤)	미확인	미확인
	상하이차	Yutong	Dongfeng	-	-

□ 그러나 맥킨지(2017)는 수소버스나 트럭 등 수소 상용차도 늦어도 2025년까지는 상용화되어, 본격적으로 시장이 형성될 것으로 전망함.

<표 IV-1-8> 세계수소차 차종별 시장출시 및 상용화 전망(맥킨지, 2017)

구 분	승용차	버스		화물차		덤프트럭	특장차
		시내	시외	벤	트럭		
시장출시	출시	출시	~2019	~2018	~2022	N.A.	N.A.
상용화	~2023	~2021	~2026	~2026	~2025	N.A.	N.A.

- 수소 택시는 승용차 대비 내구성이 요구되는 바, 수소 시내버스 출시 이후 고속버스 시범운행 시기인 2022년 내외에 시장 출시가 가능할 것으로 전망됨.
- 수소 시내버스는 2019년 약 20대의 수소버스 시범생산을 통해 2020년부터 양산이 가능할 것으로 보이지만, 수소 고속버스는 2020년 이내 시범운행 후 2022년부터 시장출시가 이루어질 전망이다.
- 수소 트럭 중 중형트럭(5톤급)은 2021년 출시를 위해 기술개발 중이며 빠르면 2019년부터 실증이 가능하며, 민간에 보급은 2025년 이후로 전망됨.
- 반면 수소 대형트럭(10톤 이상 급)은 2019년 내외로 기술개발 진행, 2024년 내외에 시장 출시가 가능할 것으로 전망됨.
- 주로 수출용으로 출시될 것으로 전망되며, 국내에서는 우선적으로 항만 등의 미세먼지가 높은 곳에 먼저 적용되고, 민간 보급은 2030년 전후에 이루어질 것으로 전망됨.

<표 IV-1-9> 국내 수소차 차종별 시장출시 전망

구분		‘13	~’17	‘18	‘19	‘20	‘21	‘22	‘23	‘24
승용	관용	출시		출시						
	자가용		R&D							
	택시		시범운행						출시	
상용	시내버스		R&D		시범	출시				
	고속버스			시범운행				출시		
	중형트럭		R&D				시범	출시		
	대형트럭				R&D				시범운행	출시

- 결국 수소 상용차는 각 차종별 기술개발 진행 수준을 감안하여 개발을 지원하며, 시장 출시를 유도할 수 있도록 다양한 시범사업을 지원하는 것이 바람직함.

가. 수소택시 보급 확대 방안

1). 보급 목표

- 수소택시는 내구성 향상을 지원하고, **2019**년부터 시범사업을 실시하고, **2023**년부터 보급을 시작하여, **2040**년까지 **8만대**를 보급하는 것을 목표로 설정함.

2) 추진 전략

- 수소택시는 이미 개발, 상용화된 수소 승용차 기술을 그대로 적용할 수 있다는 장점이 있지만, 수소 승용차 주요 부품의 내구한계(**20만km**)로 인해 내구성 향상을 위한 추가적인 기술 개발이 요구됨.
 - 택시 주행거리는 9년을 기준으로 개인택시 약 53만km, 법인택시 약 72만km로 수소택시는 9년 운영 시 최소 1~2회 5천만원 상당의 스택 등 부품 교환이 필요함.
 - 핵심모듈은 연료전지 스택, 운전장치(공기공급, 수소공급, 열관리계), 수소저장장치, 전장장치 등 내구성능에 영향을 미치는 10여종 부품임.
- 수소택시 상용화를 위해서는 우선적으로 내구성 향상을 위해 기술 개발 지원을 추진함.
 - 2018년 16만km, 2022년 30만km, 그리고 2030년까지 50만km 이상 주행을 위한 기술 개발을 지원함.
 - 주행거리가 긴 수소택시를 통해 수소차의 내구성 및 성능을 입증하고, 수소차 및 부품업체의 수요와 생산 증대에 기여함.
- 또한 도심형 수소충전소와 연계하여 수소택시 시범사업을 서울에서 추진하고, **2021**년 주요 대도시에 수소택시를 보급, **2023**년부터 전국적으로 보급을 확대할 계획임.
 - 시범사업은 수소택시 10대를 실 도로 환경에서 내구한계(20만km) 까지 운행하여 핵심부품 성능을 실증 및 분석하고 개선하는 것임.
 - 이를 위해 수소차 임대 등 택시 실증에 필요한 비용을 지원함.

- 차량가격은 보조금 지원을 포함하여 LPG택시 약 2,500만원, 수소차 3,700만원로 수소차가 1.5배 높음.
- 택시업체 참여유인 제공을 위해 수소차 임대 및 연료비 등 지원이 필요함.
 - 택시업체 선정을 위해 서울택시운송사업조합과 협의가 필요함.

나. 수소버스 보급 확대 방안

1) 보급목표

- ☐ 전국 시내버스 및 광역버스에 수소버스 보급을 확대함으로써, **2022년 2천대, 2040년까지 4만대를 보급하는 것을 목표로 설정함.**

2) 추진 전략

- ☐ 수소버스 시장 창출을 위해서는 우선적으로 수소버스의 연비 및 내구성 향상과 함께 가격 경쟁력 확보를 위한 기술 개발이 필요함.
- ☐ 또한 개발된 기술을 적용, 다양한 기후/생활 환경/교통 상황 등을 반영한 수소버스 운전 실증이 필요함.
 - 유사한 시점에 기술 개발이 진행된 수소 승용차에 비해, 수소버스는 아직 실제 실증 운행 실적이 부족함.

(1) 수소버스 연비·내구성 제고 및 안전을 강화하기 위한 기술 개발을 지원함.

- ☐ 수소버스의 현재 연비 대비 **50% 이상, 현재 내구성 대비 5배 이상** 향상을 위한 기술 개발을 지원함.
 - 연비에 대해 2018년 10km/kg, 2022년 12km/kg, 2030년 이후 15km/kg 이상을 추진함.
 - 내구성에 대해 2018년 16만km, 2022년 50만km, 2030년 이후 80만km 이상을 추진함.
- ☐ 또한 수소버스의 전복 또는 충돌 상황에 대한 안전성 제고를 위해서도 기술

개발 및 안전기준을 마련함.

- 수소버스의 승객 등을 보호할 수 있는 차량 및 부품 관련기술을 개발하고, 국제기준 GTR(Global Technical Regulation)을 반영하여 국제적으로 수소차 기술을 선도함.

- 이와 함께 가격 경쟁력 확보를 위해 수소버스용 스택, 모터, 고압용기, 고전압 컨버터 등도 개발을 지원함.

<표 IV-1-10> 현재 출시된 전 세계 주요 수소버스 제원 비교

업체구분	모터출력	연료전지	수소탱크	주행거리	비고(동력원)
 (한국)HMC	240kw (120×2)	190kWh (95×2(FE))	38kg / 700bar	485km	수소연료전지(전기)
 (일본)TOYOTA	226kw (113×2)	228kWh (114×2(Mirai))	24kg / 700bar	306km(추정)	수소연료전지(전기)
 (중국) 우통	240kw (120×2)	140kWh	34kg / 350bar	434km(추정)	수소연료전지(전기)+ 배터리(전기)
 (독일) Benz	240kw (120×2)	140kWh	34kg / 350bar	434km(추정)	수소연료전지(전기)+ 배터리(전기)

(2) 수소 시내버스 보급 확대를 위한 시범사업을 실시함.


- 2019년 7개 주요도시에 수소 시내버스 35대 보급을 시작으로, 2022년까지 시내버스 2,000대를 수소버스로의 대체를 추진함.

- 2019년 35대 시범사업을 시작으로 2020년 300대, 2021년 665대, 2022년 1,000대를 보급할 계획임.

- 2019년 시범사업으로 서울 7대, 부산 5대, 울산 3대, 광주 6대, 창원 5대, 아산

4대, 서산 5대가 보급할 예정임.

<표 IV-1-11> 향후 보급예정인 국내 수소버스 모델

시내버스('20 소량양산)	경찰버스('21년 양산)
	
시내버스, 승객수송	경찰병력 수송

- ☐ 수소버스 생산 확대와 수소충전소를 연계하여 **2021년**부터는 광역버스 노선에도 투입을 시작하여, **2030년**까지 모든 노선에 수소 시내버스를 투입할 계획임.

2) 수소 고속버스로 경찰병력 수송용 버스를 대체하는 것을 추진함.

- ☐ **2019년** 수소 고속버스 **2대**가 개발되면, **2020년** 말까지 실증할 예정임.
 - H사는 경찰버스의 승차인원, 적재 공간 등에 맞는 전경용 수소버스를 개발 중이며, 2019년 하반기 개발을 완료하여 경찰청에 인도할 예정임.
- ☐ 실증 이후 **2021년**부터 소요 연한 **8년**이 경과한 경찰병력 수송용 버스부터 우선적으로 교체하여 향후 경찰버스 전체를 교체하는 것을 추진함.

3) 수소버스 충전·정비 인프라를 확대 구축함.

- ☐ **2021년**까지 수도권 주요 교통축별로 충전·정비 인프라를 갖춘 수소복합환승 센터를 구축하고, 경유하는 신규·중차 노선에 수소버스를 적용할 예정임.
- ☐ 또한 고속도로 휴게소, **CNG** 충전소, 혁신도시 등에도 수소충전소 구축함.
 - 버스 공영차고지 등에 수소충전소 구축을 위해 지자체·운송연합회 등 MOU를 2019년에 체결함.

4) 수소버스 보급 확대를 위해 경제적·제도적 지원을 강화함.

- 수소버스의 미세먼지 저감 효과 등을 감안하여, 연료비 지원은 연구용역 등을 거쳐 검토하고, 기존버스 대·폐차시 버스 구입비용을 지원함.

<표 IV-1-12> 수소버스, CNG버스, 전기버스 비교

구 분		수소버스 (저상버스 기준)	CNG버스 (저상버스 기준)	전기버스 (저상버스 기준)
가 격	출시 가격	8.3억원*('19년)	2.2억원	4.8억원
	보조금	(국고) 환경부 2억 국토부 1억 (지자체) 2억 (제작업체) 2억	(국고) 환경부 6백만 국토부 1억 (지자체) 6백만	(국고) 환경부 1억 국토부 1억 (지자체) 2천~1억
1회 충전 시 주행거리		300km이상	350km	290km
내구		10만km (‘20년 25km)	100만km	20만km 이하 (급속 충전 시 성능저하)
연비 (①)		13km/kg (유럽 FCH JU)	1.9km/m ³	0.8km/kWh (미국 NREL)
연료 판매가격 (②)		8,000원/kg	740원/m ³ (유가보가 보조 제외)	313원/kWh (전기충전 할인 제외)
1km당 연료비 (②÷①)		615.4원/km	389.5원/km	391.3원/km
충전시간		100%(10분 내외) 50%(5분 내외)	100%(10분 내외) 50%(5분 이내)	100%(70분) 50%(35분) *200kW 고속 기준
겨울철 차량 성능		연비저하 미미	연비저하 미미	30% 감소

* 2020년 수소버스 양산체계 구축 시 출시가는 약 6억내외 수준으로 낮아질 전망

- CNG 버스의 경우 구입비(정부, 지자체), 충전소 보조금(지자체), 버스연료비, 유가보조금 등을 다양하게 지원함.

<표 IV-1-13> CNG버스 지원제도의 주요 내용

- 버스 구입비 지원현황(2018년 기준) : 2018년 기준 국비 155.4억원

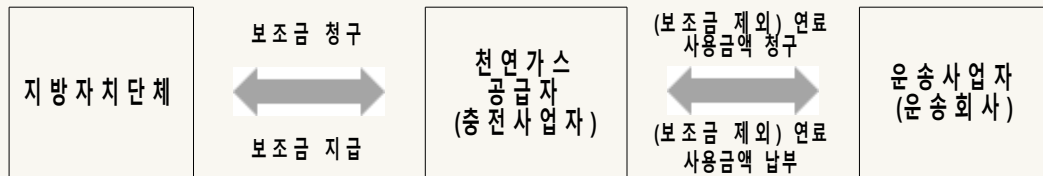
<CNG버스 구입비 지원현황 (2018년기준)>

구분	총	국비	지방비
CNG하이브리드 버스	1,200만원	600만원	600만원
대형버스(배기량 11,000 cc이상)	6,000만원	3,000만원	3,000만원
중형버스(배기량 11,000 cc미만)	700만원	350만원	350만원

주 : 일반 CNG버스(대형 및 중형버스) : 모든 지역의 시외버스, 마을버스, 전세버스, 공항출입 버스, 시내 버스(특광역시는 경우 → CNG버스로 교체하는 경우) 등

- CNG버스 연료비 지원제도 개요

[CNG버스 연료비 지원제도 체계]



주 : 보조금액 산정방식(2018년 기준) = (기준대수-충전대수) × (4,209Nm³) × (121.7원/Nm³)

<표 IV-1-14> CNG버스 유가보조금 지원제도의 주요 내용

- CNG버스 유가보조금 현황(2018년 기준)
 - 노선버스 : 천연가스(CNG) 사용 연료에 대한 유류세
 - 전세버스 : 천연가스(CNG) 사용 연료에 대한 유류세의 50%
- 지급절차 및 방법
 - 버스 및 일반택시운송사업자가 결제카드 충전금액 결제
 - 카드협약사(KB, 신한, 우리)는 가맹점(주유소, 충전소)에 대금 지급
 - 카드협약사는 유가보조금에 해당하는 금액은 관할 관청에, 나머지는 버스 또는 일반택시 운송사업자에게 청구

□ 2019년 상반기에 수소버스 등 친환경차 도입 시 버스운송사업 면허기준을 완화하고 광역급행버스 사업자 선정 시 가점 부여 등의 인센티브를 제공함.

- 시내버스 운송사업 면허대수 산정 시 수소버스 등 친환경 버스에 대한 가중치를 상향 검토함.

다. 수소트럭 개발 및 보급확대 방안

1) 보급 목표

□ 수소트럭을 개발하여 **2040년까지 3만대** 보급하는 것을 목표로 함.

○ 2021년 5톤급 중형트럭을 출시하고, 2025년 5톤 이상 대형트럭을 출시할 전망이다.

나. 추진 전략

□ 수소트럭은 현재 기술 개발이 진행 중에 있으나, 아직 실증 사례가 전무한 관계로, 개발과 실증을 지원하고, 출시가 이루어지면 공공영역에서 민간으로 보급을 확대하는 것이 요구됨.

<표 IV-1-15> 현재 개발 중인 주요 수소트럭 제원 비교

업체구분	모터출력	연료전지	수소탱크
 HMC 메가 (중형 청소차)	240kW	190kWh (95×2(FE))	25.6kg / 700bar
 중국 중기 (중소형 청소차)			
 BYD (대형 전기청소차)	180kW	-	-

□ **2020년까지 5톤급 수소 중형트럭(화물특수차)의 기술 개발 및 실증을 완료할 계획임**



○ 5톤급 중형트럭은 정부과제로 2019년 선행차 2대를 제작, 시범운행 후 소량생산 추진 중임.

- 화물특수차는 청소차(쓰레기수거 포함), 노면청소차, 살수차 등을 말함.

□ 실증이 완료된 수소 중형트럭은 **2021년부터는 공공부문의 관용 화물특수차를 전환하는 시범사업을 실시함.**

- 국내 관용 화물특수차(약 1.4만대) 중 5톤급부터 순차적으로 수소 중형트럭으로 전환 추진함.
 - 5톤급 수소트럭에 쓰레기수거, 노면청소, 살수 등의 특수장치를 장착 및 확대함.
- 시범사업 성과분석을 토대로 공공부문 친환경차 의무구매 대상에 상용차 포함 검토함.

[그림 IV-1-5] 국내 보급예정인 수소트럭

중형트럭('21년 출시)	대형트럭('25년 출시)
	
쓰레기수거차 / 노면청소차	풀카고

□ **2020년까지 10톤급 수소 대형트럭의 부품 기술개발을 완료하도록 지원하고, 2022년까지는 실증을 완료할 계획임.**

- 10톤급 대형트럭은 스위스 물류트럭 요구(1,000대)에 대응하여 현재 개발 진행 중임.
- 2021년부터 화물일반을 수소 대형트럭으로 전환하는 물류운송 실증사업을 추진함.
 - 2018년 기준 화물일반 등록대수는 253만대(소형 207, 중형 31, 대형 15)임.

□ **2025년까지 5톤 이상 중대형 수소트럭 전용부품의 가격저감 기술을 확보하고, 2030년까지 수소트럭 부품 국산화율 100%를 달성하도록 유도할 계획임.**

- 전장부품, 모터·감속기, 연료전지 스택의 성능 개선을 위해 예비타당성조사가 진행 중임.

제2절 수소 수송부문 확대 추진방안 (2) : 수소충전소 구축

1. 수소충전소 구축 추진방향

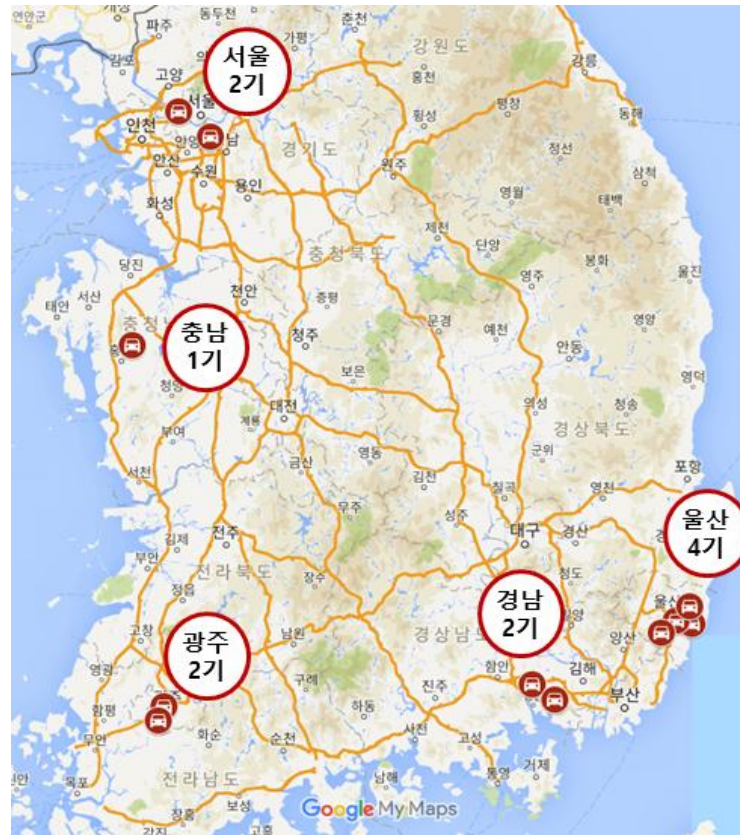
□ 수소차는 차량만으로 운행이 불가능하며, 충전용 수소를 공급할 수 있는 인프라, 특히 수소충전소가 함께 확대 구축되어야 함.

○ 2018년 기준 서울 등 수도권과 함께 지방자치단체의 수소차 보급 의지가 강한 울산, 창원, 광주 등 거점도시를 중심으로 수소충전소 14개소가 구축, 운영(4개소 연구용, 11개소만 일반인 이용 가능) 중임.

<표 IV-2-1> 수소충전소 구축현황

구분	지자체	구축	위 치	운영기관	공급방식	비고
운영(14)	서울(2)	'10	서울 양재	현대차	부생수소	
		'10	서울 상암	서울특별시	매립가스 추출	
	인천(1)	'07	인천 송도	한국가스공사	천연가스 추출	연구용
	경기(3)	'05	경기 마북	현대차	부생수소	연구용
		'09	경기 남양	현대차	부생수소	연구용
		'09	경기 화성	자동차안전연구원	부생수소	연구용
	충남(1)	'15	충남 내포	충청남도	부생수소	
	창원(2)	'17	창원 팔룡	창원시	부생수소	
		'18.12	창원 성주	창원시	부생수소	
	울산(3)	'12	울산 매암	현대차	부생수소	
		'17	울산 남구	옥동충전소	부생수소	
		'18	울산 북구	경동가스충전소	부생수소	
	광주(2)	'14	광주 진곡	광주광역시	부생수소	
		'18	광주 동곡	해양도시가스	부생수소	
건설(1)	울산(1)	'18.12	울산 울주군	신일충전소	부생수소	

[그림 IV-2-1] 2018년 수소충전소 현황(일반인 이용 가능 충전소)



- ☐ 이때 ‘닭과 달걀(chicken and egg)’ 문제로 인해 수소차나 수소충전소 중 어느 한쪽이 부족할 경우에는 상호간 보급·확산을 저해하는 요인으로 작용하는 악순환 구조가 형성될 수 있음.
- ☐ 결국 ‘닭과 달걀(chicken and egg)’ 문제 해결을 위해서 적어도 손익분기점에 도달할 수 있을 정도로 수소차가 충분히 보급되기 이전까지는 한시적으로 공공부문에서 공적재원을 활용 충분한 수소충전소를 구축할 필요가 있음.
- ☐ 그러나 활용 및 확보에 제약이 있는 정부 예산만으로 충분한 자원 확보가 한계가 있어, 장기적으로는 자생력 있는 민간 수소충전소 운영사업자를 육성하여 민간 투자를 유도, 시장을 통해 수소충전소를 구축하는 것이 유효한 방향임.
- ☐ 이로 인해 장기적인 수소충전소 구축 목표는 수소차 이용자의 편의성이 고려된 절대적 규모와 함께 민간 수소충전소 운영사업자가 자생할 수 있도록 수소차와 비교해서 상대적 규모를 동시에 감안하여 설정할 필요가 있음.

- 수소충전소 구축에 있어 수소차 보급을 저해하는 심리적 장애요인, 소위 ‘주행가능 거리에 대한 우려(Range Anxiety)’ 문제 해소를 위해서, 전국 어디서든 최소 15분 거리 내 수소차 이용자들이 마음 편하게 충전할 수 있도록 수소충전소의 절대적인 규모를 확보하는 것이 필요함.
- 여기서 주행가능거리에 대한 우려(Range Anxiety)란 차량에 충전된 수소가 다 소진되어, 도로 한가운데서 꼼짝달싹할 수 없게 될 수도 있다는 두려움을 의미함. 수소충전소의 절대적 규모가 부족할 경우 수소충전소 이용자가 느낄 수 있는 심리적 반응으로서, 이를 적절히 해소해주지 않으면 수소차 자체의 보급을 저해하는 주요한 원인으로 작용할 수 있음.
- 반면 수소충전소 운영의 경제성은 충전소 1개소가 평균적으로 상대할 수 있는 수소차 규모 등과 같이 상대적인 수소충전소 규모 지표로 가늠할 수 있으며, 장기적으로 수소충전소의 자생력 확보를 위해서는 반드시 이를 감안하여 구축 전력을 마련하는 것이 요구됨.

<표 IV-2-2> 연료 유형별 차량 대비 상대적인 충전소 규모 비교

연료	차량(만대)				충전소(개소)			
	2018	2022	2030	2040	2018	2022	2030	2040
수소	0.1 (891대)	6.7	85	290	14 (60대 /개소)	310 (220대 /개소)	660 (1300대 /개소)	1,200 (2400대 /개소)
전기	5.4 (53,685대)	43	300	-	3,561 (15대 /개소)	10,000 (43대 /개소)	15,000 (200대 /개소)	-
내연기관 (휘발유, 경유, 하이브리드)	2,089	-	-	-	11,585 (1800대 /개소)	-	-	-
LPG	206	-	-	-	2,030 (1000대 /개소)	-	-	-
CNG	3.9	-	-	-	198 (130대 /개소)	-	-	-

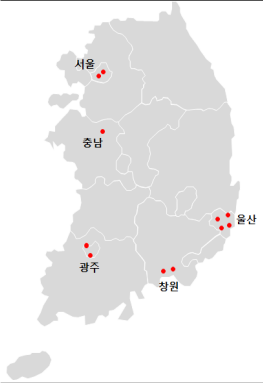

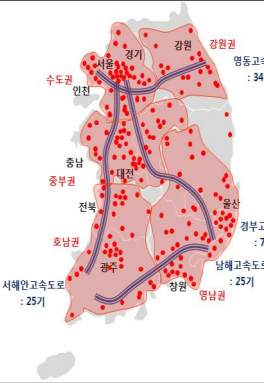
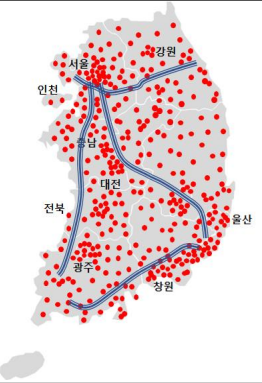
- 2018년 기준 국내 주유소 1개소는 약 1800대 정도의 내연기관차(휘발유, 경유, 하이브리드차 등)에게 석유제품을 판매함으로써, 개별 주유소가 자체적으로 독립된 사업자로서 사업을 영위할 수 있음.

- 반면 LPG 충전소 1개소는 약 1,000대 정도의 LPG차에게, CNG충전소 1개소는 약 130대 정도의 CNG버스에 LPG와 CNG를 각각 공급하는데, 주유소에 비해 상대적으로 적은 규모이지만, LPG차량이나 CNG차량이 대부분 택시나 버스 등 상용차로서 일반 승용차보다 단위 시간당 연료소모량이 많아 역시 개별 충전소가 자체적으로 독립된 사업자로서 사업을 영위할 수 있음.

2. 구축 목표

- 수소차 보급 확대에 요구되는 절대적·상대적 수소충전소 규모를 감안하여, 수소충전소를 **2022년에는 310개소, 2040년에는 1,200개소** 구축하는 것을 목표로 설정함.

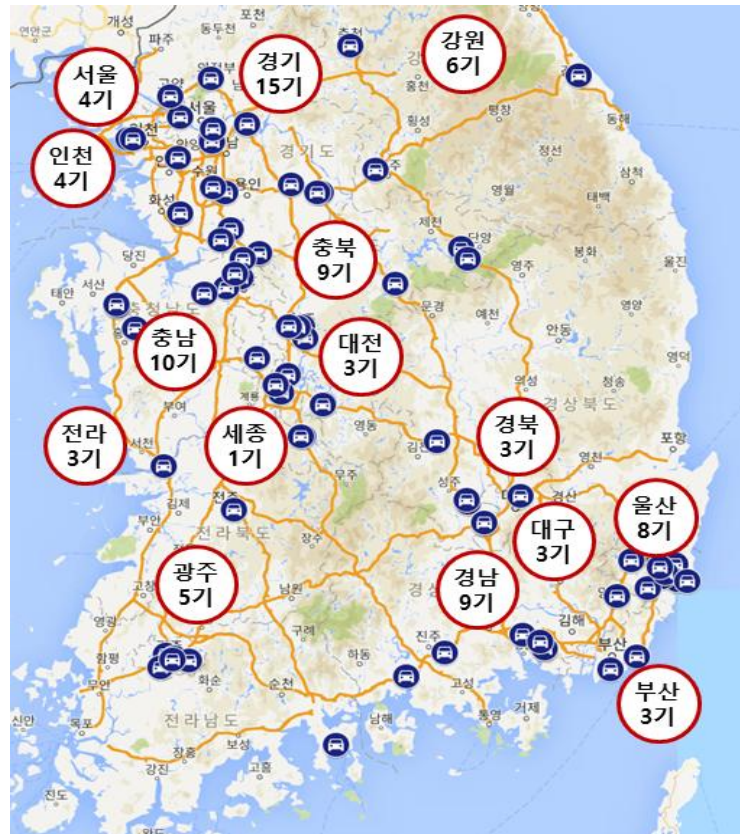
[그림 IV-2-2] 수소충전소 구축 로드맵(종합)

2018년	2019년	2022년	2040년
			
◆ 거점도시 중심으로 충전소 14기 구축	◆ 권역별 교통망 거점에 충전소 86기 구축	◆ 권역망 확대·연결로 전국 310기 구축	◆ 전국에 수소충전소 1,200기 구축

- 특히 시·도별 수소차 보급과 연계하여 도심지·고속도로 휴게소 등 교통망 거점 및 버스·택시 차고지 등에 수소충전소를 구축함.

(1) 2019년까지 권역별 충전망 및 교통망을 거점으로 수소충전소 86개소를 구축함.

[그림 IV-2-3] 2019년까지 수소충전소 구축 계획



- 지역별 수소차 및 충전소 보급계획을 고려하여 2019년 말까지 수소충전소 누적 86개소를 구축할 예정임.
- 2018년 이미 구축된 14개소와 구축과정에 있는 29개소, 그리고 2019년 신규로 43개소를 추가로 구축할 예정임.
- 주로 5개 권역(수도권, 중부권, 영남권, 호남권, 강원권)별로 도시와 연계하여 수소충전소 권역망을 중심으로 68개소를 구축할 예정임.
- 수도권 17개소(서울6개소, 경기6개소, 인천5개소), 중부권 12개소(충남4개소, 충북5개소, 대전3개소), 영남권 15개소(울산7개소, 경남6개소, 부산2개소), 호남권 9개소(광주8개소, 전북1개소), 강원권 5개소, 민간 10개소 등이 포함됨.
- 이와 함께 차량 통행량이 많은 경부고속도로 등을 따라 교통망 거점으로 수소

충전소 18개소가 구축될 예정임.

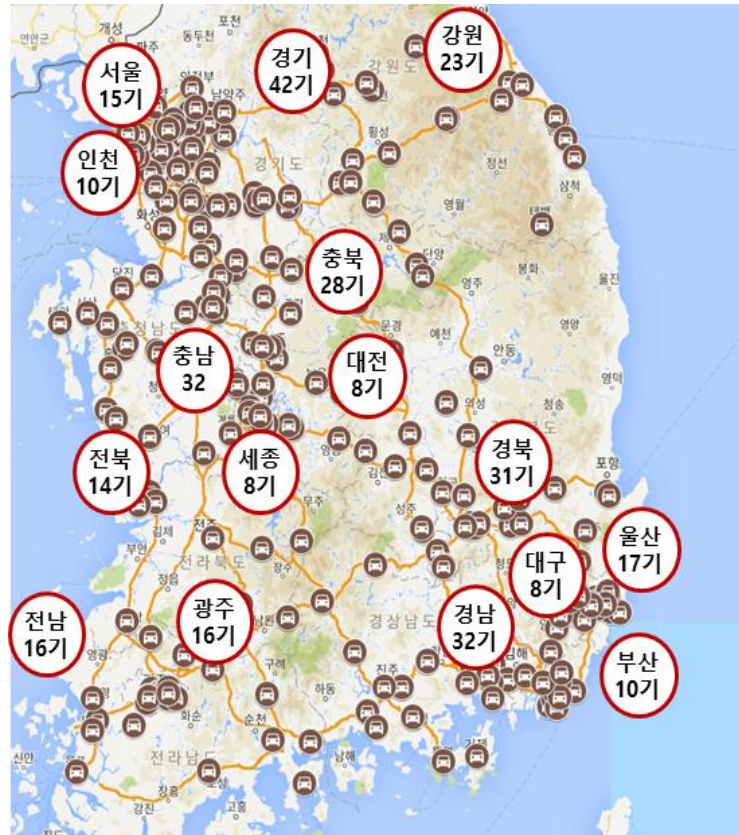
<표 IV-2-3> 2019년 구축예정인 수소충전소 현황

구분	지자체	구축	위 치	운영기관	공급방식	비고
건설 (14)	인천(1)	'19.1	인천 서구	태양LPG충전소	천연가스 추출	
	대전(1)	'19.5	대전 동구	중도가스	부생수소	
	울산(2)	'19.2	울산 울주군	그린주유소	부생수소	
		'19	울산 울주	언양(서울)충전소	부생수소	고속도로
	경남(1)	'19.4	창원 덕동	창원시	부생수소	
	부산(1)	'19	부산 강서구	엔케이텍	부생수소	
	광주(3)	미정	광주 서구	해양도시가스	부생수소	
		미정	광주 남구	광주광역시	부생수소	
		'19	광주 광산구	용복합충전소	CNG개질	연구용
	경기(3)	'19	경기 안성	안성(부산)휴게소	부생수소	고속도로
		'19.4	경기 여주	현대차	부생수소	고속도로
		'19.6	경기 안성	현대차	부생수소	고속도로
	경북(1)	'19	경북 성주	남성주(양평)휴게소	부생수소	고속도로
	전남(1)	'19	전남 장성	백양사 휴게소	부생수소	고속도로
예정 (14)	'19년 8기 건설 예정 (대전1, 강원2, 울산2, 경남(창원)1, 충남2) (환경부)					
	서울(2)	'19	서울	현대차	부생수소	
		'19	서울	현대차	부생수소	
	인천(1)	'19	인천	현대차	부생수소	
	부산(1)	'19	부산	현대차	부생수소	
	경기(1)	'19	하남	현대차	부생수소	고속도로
	경남(1)	'19	함안	현대차	부생수소	고속도로
신규 (43)	'19년 신규 30기 지자체 및 민간 보급(환경부)					
	'19년 신규 10기 고속도로 보급(국토부)					
	'19년 신규 3기 추출형 수소충전소 보급(산업부)					

(2) 2022년까지는 권역망 확대 및 연결을 통해 전국적으로 수소충전소 310개소를 구축할 예정임.

- 2022년까지 누적 310개소의 수소충전소를 구축하며, 이 중 100개소는 민간SPC를 통해 구축할 예정임.
- 5개 권역별 충전소를 대폭 확대하여 권역망을 확장하는 한편, 권역 내에서도 촘촘히 수소충전소를 확보하여, 총 150개소를 구축할 계획임.
- 또한 정부·서해안·영동·남해 등 주요 고속도로 및 교통거점에 구축하고, 권역 간 연결하여 160개소를 구축할 예정임.

[그림 IV-2-4] 2022년까지 수소충전소 구축계획



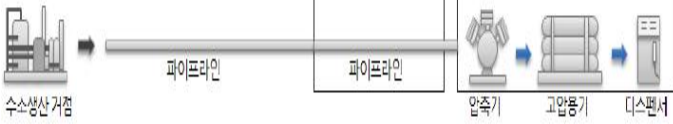

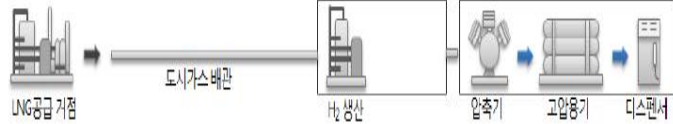
- 이후 2040년까지는 자생력 있는 민간 수소충전소 운영사업자를 육성하여 민간 투자를 유도함으로써 시장 주도로 전국적으로 총 1,200개소를 구축할 예정이다.
- 시장 주도형 수소충전소 구축 전략 마련을 위해 추가적인 연구용역을 시행할 계획임.

3. 구축 추진 전략

1) 수소충전소 구축 및 운영을 위한 경제적 지원 확대

- 우선 지역 특성에 맞는 다양한 수소충전소의 보급 확대를 위해 수소충전소 유형별로 설치보조금을 차등 지원함.
- 수소충전소는 특히 수소조달 방식의 유형별로 설치비용 차이가 존재함.

[그림 IV-2-5] 수소충전소 유형 및 설치비용

❶ 수소 파이프라인 연결형 (3개 도시 기존 구축망 활용, 200km) 	◆ 약 27억원 소요 ▶설비 구축비용 : 18억원 ▶현장 공사비용 : 9억원
❷ 수소가스 운반형 (튜브트레일러 활용) 	◆ 약 26억원 소요 ▶설비 구축비용 : 17억원 ▶현장 공사비용 : 9억원
❸ 도시가스 추출형 (추출기 설치) 	◆ 약 56억원 소요 ▶추출기 구축비용 : 22억원 ▶설비 구축비용 : 21억원 ▶현장 공사비용 : 13억원

- 수소생산지에서 파이프라인으로 연결해서 수소를 조달받는 수소 파이프라인 연결형 충전소는 1개소당 설치비용이 약 27억원 정도 소요됨.
- 수소생산지에서 튜브트레일러를 활용하여 수소를 조달받는 수소가스 운반형 충전소는 1개소당 설치비용이 약 26억원 정도 소요됨.
- 천연가스(도시가스)를 원료로 수소충전소 내 수소 추출기를 설치, 직접 수소를 생산하여 조달받는 도시가스 추출형 충전소의 경우 추가적으로 추출기 구축비용 (약 22억원 상당)이 발생하게 되어 1개소당 설치비용이 약 56억원 정도 소요됨.
- 수소충전소 지원 현황으로 환경부는 1개소당 설치비용의 50%(15억원 한도)를, 국토부는 고속도로 1기당 7.5억원을 지원함.

□ 수소충전소 운영보조금 신설을 검토하고, 구축비용 절감 및 추가 수익 창출을 유도함.

- 수소충전소 운영사업자는 수소차가 충분히 보급되기 이전까지, 저조할 수밖에 없는 충전소 가동률에도 불구하고 사업을 영위하기 위해서 일정 정도 공공부문의 운영 보조를 필요로 함.

- 수소충전소 운영보조의 필요성으로 인해 이미 미국이나 유럽, 일본 등은 일정 정도의 운영보조금을 지급하고 있음.

<표 IV-2-4> 수소충전소 설치보조금 및 운영 보조금 현황

구분	설치보조금	운영보조금
한국	50% (지자체 보조금 별도)	없음
일본	50% (지자체 보조금 별도)	전년도 운영비의 2/3 (상한액 2,200만엔)
중국	60%	없음
미국	70%	60~100% (최대 3년간, 가동률에 따라 차등지원)
유럽	50%	50%

- 특히 일본은 수소충전소 유형별 설치비의 50~66%(약 18~29억원)가 지원되는 설치보조금과는 별도로 전년도 운영비를 기준으로 66%(최대 2.2억원)를 운영보조금을 지원하고 있음을 참고할 필요가 있음.

<표 IV-2-5> 일본의 수소충전소 설치 및 운영 보조금 지원제도

- 수소충전소 설치비용 보조 : 구축 방식, 규모, 투자비용 등 다양한 기준으로 차등지원
- 보조금 신청액에 대해 보조대상경비의 1/2과 수소 공급 시설의 수소 공급 능력 등에 따른 보조 상한액 중 낮은 금액으로 지원함.

<일본의 수소충전소 설치 보조금 지원제도 현황>

충전소 규모	수소 공급 능력 ¹⁾ (Nm ³ /h)	공급방식		보조율	보조상한액 (백만 엔)
소규모	100 이상 300 미만	On-Site ²⁾	패키지형 ⁵⁾	2/3	220
			非 패키지형	1/2	220
		Off-Site ³⁾	패키지형	2/3	180
			非 패키지형	1/2	180
		이동식 ⁴⁾		2/3	180
중형	300 이상	On-Site	패키지형	2/3	220
			非 패키지형	1/2	220
		Off-Site	패키지형	2/3	180
			非 패키지형	1/2	180
		이동식		2/3	180
수소 생산 설비 ⁶⁾ * 공급처 수소공급시설 1시설 당 보조금, 10 시설 상한				1/2	60
액화수소 지원 설비 ⁷⁾				1/2	40

- 수소 공급 능력 : 연료 전지 자동차 등의 평균적인 수소 충전 능력
- On-Site : 수소충전소 내 개질장치, 수전해 장치가 있는 수소충전소
- Off-Site : 튜브트레이일러 수소충전소
- 이동식 : 수소충전설비를 튜브트레이일러에 탑재하여 이동이 가능한 충전소
- 패키지 : 주요시설이 케이스에 내포 된 시설 형태이며 부지 35M² 이하
- 수소 생산 설비 : 공급처 수소공급설비에 수소를 집중적으로 생산 및 공급
- 액화수소 지원 설비 : Off-Site방식 설비에 대한 액체수소를 받아 공급

□ 장기적으로 시장주도형 수소충전소 구축을 위해 수소충전소의 자생력 확충을 지원함.

- 우선 시장주도 시장자율형 수소충전소를 확대하는 차원에서 수소충전의 경제성 확보를 위해, LPG·CNG 충전소를 수소충전이 가능한 융복합 충전소로 전환할 수 있도록 유도함.
- 2018년 10월 기준 전국 2,027개 LPG 충전소를 융복합 충전소로 활용함.
- 민간 특수목적법인(SPC)이 다수의 충전소 계약을 허용하고, SPC 금융을 지원하며, 수소충전소에서 가능한 수소차 리스 등 비즈니스 모델을 개발함.

- HyNet(Hydrogen Network)는 가스공사, 현대차, 공급업체, 충전설비업체 등이 참여하고, 정부지원을 통해 2022년까지 수소충전소 약 100기를 구축할 예정임.

<표 IV-2-6> HyNet(수소충전소 특수목적법인) 현황

- 설립목적 : 수소차 보급 확대 등을 위한 수소충전 인프라 구축·운영(2028년 12월까지 10년간 운영 예정)
- 설립 자본금 13.5억원, 출자 예정금 1,350억원
- 참여기관 및 출자금액 : 한국가스공사, 현대차 등 13개사

<HyNet 출자사 지분구성 현황>

구분	지분율(%)
가스공사	22.22
현대차	21.85
에어리퀴드	14.81
에코바이오	7.41
우드사이드	4.07
넬코리아	3.70
범한산업	3.70
제이엔케이히터	3.70
코오롱인더스트리	3.70
효성중공업	3.70
SPG케미칼	3.70
덕양	3.70
발맥스	3.70
총계	100

- HyNet의 수소충전소 구축 계획 : 2022년까지 100기 구축

<수소충전소 구축계획>

구분	2019	2020	2021	2022	계
설치개수(기)	20	30	35	15	100

※ 일본은 2009년 민관협의체인 수소공급이용기술연구조합(HySUT)를 설립하여 인프라와 기술개발을 시작하였으며, 2018년 올해 수소차에 대응하기 위한 수소충전소 보급을 위해 11개 회사 (도요타, 닛산, 혼다, JXTG, Idemitsu, Iwatani, Tokyo Gas, Toho Gas, Air liquide Japan, Toyota Tsusho, 일본개발은행) 공동으로 일본수소 수송부문 합자법인을 신설함. 건설 비용의 50%를 정부가 지원하며 합자법인과 투자자가 분담하는 형태의 인프라 구축 사업을 계획함.

- CNG충전소는 충전소 규모에 따라 기준대수를 설정하고 미달 시 보조금을 지급함.

2) 수소충전소 규제완화 추진

□ 수소충전소 입지제한 및 이격거리나 운전자 셀프충전 방안을 마련하는 등 규제를 완화함.

- 2018년까지 융복합충전소 및 이동형 충전소 설치 허용, 액화수소 충전소 설치기준 마련, 개발제한구역 내 버스차고지 수소충전소 설치 허용 등이 완료됨.
- 2019년까지 친환경차 충전소에 광고(자사·타사) 허용, 수소충전소 설치 시 철도로부터 30m 이격거리 완화, 국·공유지 내 친환경차 충전소 설치 시 수의계약 허용, 수소운반용기(Type4) 기준 개선, 수소차 운전자 셀프충전 허용 방안 마련 등 규제를 완화함.

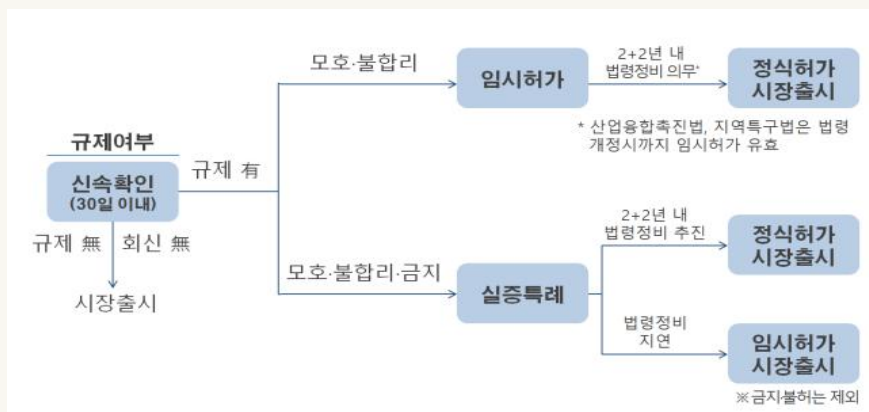
<표 IV-2-7> 2019년 연내 추진될 수소충전소 규제완화 내용

세부과제	완화내용	소관	일정
친환경차 충전소에 광고(자사·타사) 허용	수소충전소에 자사·타사광고 허용 → 부가수익 창출	행안부	'19.1
수소충전소 설치시 철도로부터 30m 이격거리 완화	연구용역으로 안전성 검증 후 규제완화	산업부	'19.3
국·공유지 내 친환경차 충전소 설치시 수의계약 허용	「친환경자동차법」 개정을 통해, 국·공유재산 임대시 수의계약 허용, 임대료 경감	산업부	'19.3
수소운반용기(Type4) 기준 개선	충전압력(35→45Mpa)과 내부용적(150→450L) 상향	산업부	'19.3
수소차 운전자 셀프충전 허용 방안 마련	연구용역 및 업계 의견수렴 후 규제완화	산업부	'19.3
수소충전소(3,000m ³ 초과)를 도시 계획 시설 결정 없이 설치	도시계획시설 결정 없이 수소충전소 설치 허용	국토부	'19.6
준주거·상업시설 내 수소충전소 설치 허용	지자체 협의 등을 통해 준주거·상업지역지 제한 완화 추진	국토부	'19.6
수소충전소 안전관리자 자격요건 개선	가스기능사 외 양성교육 이수자도 허용	산업부	'19.6

- 또한 규제완화가 완료되기 전까지 「산업융합촉진법」의 ‘규제 샌드박스’를 활용하여 도심지, 공공청사(정부세종청사 등) 등에도 수소충전소 설치할 수 있도록 허용함.

<표 IV-2-8> 규제 샌드박스 제도의 주요내용

- 규제 샌드박스 개요 : 기존 규제에 발목이 잡혀 새로운 제품과 서비스가 싹도 트지 못하는 일이 없도록 규제혁신을 위해 다음과 같이 세 가지 제도를 시행함.
 - (ㄱ) 기업이 신기술·신산업 관련 규제 존재 여부와 내용을 문의하고 30일 이내 회신 받는 규제 신속 확인 제도 시행 : 만일 30일 이내 회신하지 않는 경우 관련 규제가 없는 것으로 간주
 - (ㄴ) 안전성과 혁신성이 뒷받침된 신제품·신서비스임에도 관련 규정이 모호하거나 불합리하여 시장 출시가 어려울 경우 : 임시허가로 시장 출시 가능
 - (ㄷ) 관련 법령이 모호하고 불합리, 금지규정 등 사업화가 제한될 경우 일정 조건하에서 기존 규제의 적용을 받지 않는 실증특례 가능



3) 수소충전소의 기술 고도화 및 안전성 제고 추진

- 수소충전소의 압축기, 고압밸브, 저장용기 등 핵심부품과 충전기술 국산화 등을 통해 **2030년까지 수소충전소 국산화율 100%**를 달성함.

- 수소충전소의 핵심부품 및 설비기술의 국산화율은 40% 이하로 평가됨.
 - 압축기, 배관 및 피팅, 필터, 센서기술 등 압축장치 분야는 일부 제품개발 과제가 수행되어 왔으나, 내구성과 수명을 만족하는 제품 개발이 가능하기 위해 원천기술 개발에 대한 지원이 필요함.

- 노즐, 호스, 질량유량계, 밸브, 필터, 배관 및 피팅 등 충전장치의 핵심 부품과 설비는 대부분 수입 중임.

□ 중장기적으로는 1일 1~2톤급 수소 충전 기술, 액화수소 충전소 기술 등 대규모 수소충전 기술개발을 지원함으로써, 수소충전소 설비비용의 절감을 추진함.

○ 현재 국내 수소충전소는 250~300kg/day급(시간당 수소차 5~6대 정도 충전가능)의 소형 충전소만 보급되고 있어서 향후 보급될 대형 수소충전소를 위한 추가적인 수소충전 기술 개발이 필요함.

- 물론 세계적으로도 현재까지는 200~300kg/day급 소형 충전소가 대세이지만, 향후 수소 상용차(수소택시, 트럭, 버스)나 수소열차 등의 보급 확대를 위해서는 대형 수소충전소의 설치가 필요함.

※ 독일 H2 Mobility는 200kg/day급을 소형, 400~500kg/day급을 중형, 1000kg/day급 이상을 대형 충전소로 정의함.

<표 IV-2-9> 독일 H2 Mobility의 수소충전소 사양

	초소형 (Very small)	소형 (Small)	중형 (Medium)	대형 (Large)
디스펜서 개수	1	1	2	4
일 최대 충전 횟수	20	38	75	180
일 최대 수소 충전량(kg/day)	80	212	420	1000
충전소 당 보급 차량 대수	100	400	800	1600

자료 : H2 Mobility 수소충전소 사양서

- 수소충전소의 대형화를 위해 400~700bar 고압 튜브트레이일러나 액화수소 충전소 등 기술 개발 지원이 필요함.

<표 IV-2-10> 수소충전소 유형별 기술 수준 및 전망

기술	구분	소분야	현재	~2022년	~2030년	미래
수소 충전 기술	저장식	트레일러 수소충전소	보급 중	고압 이송	대용량 이송	-
		파이프라인 수소충전소	없음	실증	파이프라인 구축	구축 확대
	제조식	개질 수소충전소	개발 중	실증 및 보급	초기시장	대용량 확대
		수전해 수소충전소	개발 중	실증	초기시장	대용량 확대
	이동식	이동식 수소충전소	없음	실증 및 보급	특수 시장	-

- 충전소 대형화를 통해 2018년 1,000만원/kg인 수소충전소 설비비용을 2022년 600만원/kg에서 2030년 이후 300만원/kg 이하로 절감하는 것을 추진함.

□ 수소충전소 설치에 대한 주민 수용성 제고 등을 위해서 충전소의 성능 및 부품의 안전성 평가기술 등 안전성 제고 방안 마련을 추진함.

- 수소충전소는 전 세계적으로 현재 미국(56개), 유럽(100개), 일본(77개) 등 선진국에서 10년 이상 운영해 왔고, 현재까지 안전사고는 없었지만, 여전히 존재하는 주민들의 안전에 대한 불안감을 불식시켜 수용성을 높일 필요가 있음.

※ 현재 국내 수소충전소도 선진국과 동일하게 ISO 국제기준에 따른 안전검사를 통과한 부품 사용, 충전소 구축 후 안전검사 실시, 방폭 및 안전 구조물 설치, 안전 관리자 상주 등의 안전 조치를 시행하고 있으며, 수소충전소 시설에는 압력 이상 발생시 긴급차단장치, 가스누출 경보장치 등 이·삼중의 안전장치가 설치됨.

[그림 IV-2-6] 수소충전소 안전장치 종류(예)



4. 수소충전 가격의 하향 안정화 추진

가. 수소충전 가격 목표

□ 수소차 보급 확대를 위해서는 대체재인 다른 수송용 에너지(휘발유, 경유, LPG 및 수송용 전기)와 비교했을 경우 상대가격 측면에서 경쟁력이 있어야 함.

○ 현재 100km 주행 시 연료비는 수소차(8,300원)가 내연기관차(11,600원)에 비해서는 경제적이지만, 유사한 친환경차인 전기차(4,900원)에 비해서는 열위에 있음.

<표 IV-2-11> 수송용 에너지 상대가격 비교

구분	수소	휘발유	경유	가스(LPG)	수송용 전기
기준가격	8,000원/kg	1,630원/ℓ	1,487원/ℓ	949원/ℓ	244.1원/kWh
연비	96km/kg	14km/ℓ	17km/ℓ	9km/ℓ	5.5km/kWh
주행 비용(km당)	83원	116원	87원	105원	44원
100km 주행 시 주행비용(원)	8,300	11,600	8,700	10,500	4,400

- 상대가격 비교는 2018년 11월 20일 기준 가격(전기차 충전은 최대 비용 적용)과 연비(국내 차량 중 1위~10위 평균)가 적용됨.
- 수소 충전가격은 정책가격인 8,000원을 기준으로 하였는데, 이는 휘발유 가격의 71% 수준이며, 경유 가격과 유사함.

<표 IV-2-12> 국가별 수소충전 (소매)가격 비교

단위 : 원/kg				
한국	일본	중국	미국	독일
약 8,000	9,600 ~ 10,500	9,900 ~ 13,300	10,600 ~ 13,800	약 13,000

주 : 중국, 미국, 독일 가격 정보 없음

자료: 수소융합얼라이언스추진단(2017), “수소 수급 및 가격체계 구축 방안”

- 수소차 보급 확대를 위해 수소충전소에 공급되는 수소가격(도매가격)을 기준으로 2022년 6,000원/kg에서 점진적으로 인하를 추진하여, 2030년 4,000원/kg, 2040년 3,000원/kg까지 가격 인하하는 것을 목표로 설정함.

<표 IV-2-13> 수소충전소 공급 수소가격(도매가격 기준) 목표

구분	현재	2022년	2030년	2040년
가격	- (정책가격)	6,000원/kg (시장 초기 가격)	4,000원/kg	3,000원/kg

나. 수소충전 가격 목표 달성을 위한 추진전략

- 우선 수소 생산비용 절감을 위해 천연가스 추출수소 대규모 생산을 추진하여 규모의 경제를 실현하고, 수전해 효율 향상 및 대량의 수소를 해외에서 국내로 수입하는 등 수소생산 확대 전략과 연계하여 추진함.
- 수소 생산비용(생산단가)은 현재는 수소 1kg당 1,750~9,500원 수준이지만, 2040년에는 가장 비싼 수전해 수소도 현재의 추출수소 생산단가(3,900원/kgH₂)보다 낮아져, 최대 수소 1kg당 3,000원대 이하가 될 것으로 전망됨(맥킨지, 2018).

<표 IV-2-14> 수소 생산비용 전망

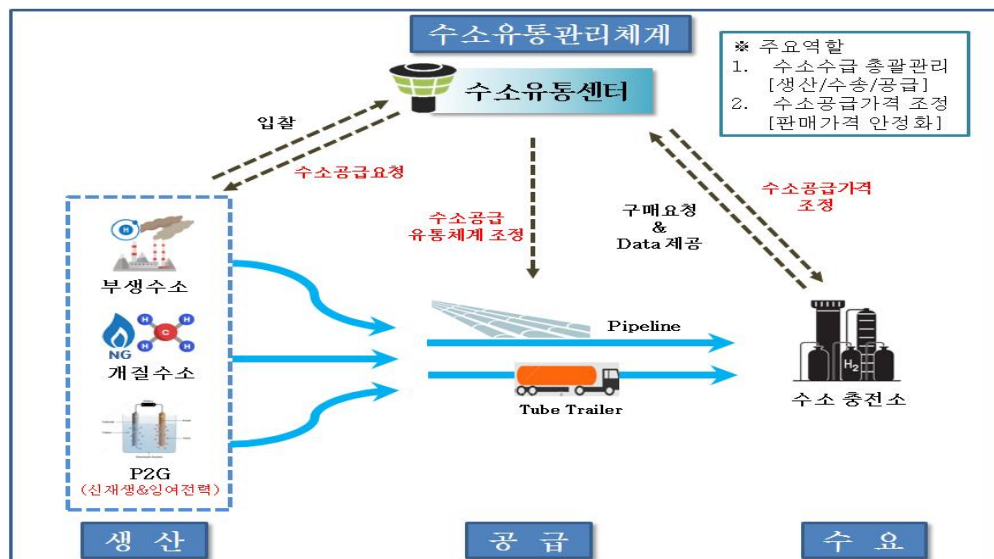
생산방식	기준	단위	2018	2022	2030	2040
추출수소	생산단가	원/kg H ₂	3,900	2,960	1,705	1,689
부생수소	생산단가	원/kg H ₂	1,750	877	220	156
수전해	생산단가	원/kg H ₂	9,500	6,848	3,558	3,231
수입수소 (호주산)	도입단가	원/kg H ₂	0	0	2,421	1,788

자료: 맥킨지(2018)

- 이에 따라 부생수소(울산·여수·대산), 추출수소(서울·경기·강원 등), 재생에너지(전남·경남·제주 등) 등 각 지역별 특성에 맞춰 가장 저렴한 최적 수소 생산방식 전략을 마련 및 적용함.
- 또한 바이오매스, 미생물 등 수소 생산 방식의 다양화를 통해 경제성 있는 수소 생산 포트폴리오를 구성함.

- 수소 운송비 절감을 위해 액화나 액상수소 기술개발을 지원, 저장 효율을 제고하고, 수소 파이프라인을 활용한 대규모 운송 체계 마련 등을 수소 저장 및 운송 전략과 연계하여 추진함.
 - 특히 주요 거점별 수소 저장설비를 구축하여 수소 수급을 안정화하고, 일정한 가격으로 수소를 유통할 수 있는 기반을 마련할 예정임.
- 수소충전소 공급 수소가격이 목표한 수준이 될 때까지 수소충전소 설치 보조금을 유지하고, 운영 보조금도 신설, 지속적인 지원을 추진함.
 - 다만, 수소충전소 공급 수소가격이 목표한 수준에 근접, 하향 추세가 지속되면 이에 맞춰 점진적으로 설치 및 운영 보조금을 축소할 예정임.
- 전국단위의 수소충전 가격의 적정 기준가격을 마련 및 제시하고, 수소 수급 관리 및 거래시스템 구축을 통해 시장가격의 안정화를 추진함.
 - 수소충전 가격의 안정화를 추진하기 위해 수소의 수급관리 및 거래시스템을 운영·관리할 '수소유통센터' 설치를 검토함.

[그림 IV-2-7] 수소유통센터의 기능 및 역할(개념도)





제3절 수소 수송부문 확대 추진방안(3) : 기타 수송부문 개발 지원

1. 기타 수송부문 개발 지원 분야 선정

- 수소를 활용할 수 있는 수송수단은 크게 도로, 철도, 항공, 해운(해양) 등 4가지로 구분되며, 이 중 도로 수송수단 중 전철에서 살펴본 수소차 외에도 개인 이동 수단(동력 발생장치 탑재)이나 도로 운행이 가능한 건설기계 등이 포함됨.

<표 IV-2-15> 수소 활용 가능 수송수단 사례

분류	수소 활용 가능 수송수단			
도로				
	휠체어	썸그웨이	자전거	스쿠터
				
	골프카	승용(초소형)	승용(세단)	승용(SUV)
				
	승용(밴)	버스(시내)	버스(고속)	트럭(택배)
				
	트럭(소형물류)	트럭(대형물류)	트럭(항만)	특수차(도로청소)
				
	특수차(쓰레기수거)	특수차(공항)	특수차(항만트랙터)	캠핑카(concept)
				
	지게차	건설(포크리프트)	군용(지프)	군용(트럭)

<표 IV-2-15> 수소 활용 가능 수송수단 사례(계속)

분류	수소 활용 가능 수송수단			
철도 (열차)				
	일반열차(독일)	일반열차(캐나다)	도시열차(일본)	도시열차(중국)
항공				
	무인기(고정익)	드론	무인통신(성충권)	소형 항공기
				
	유인비행기(소형)	여객기(보조전원)	우주선(로켓연료)	비행선(concept)
해양				
	요트	여객선(소형)	여객선(대형)	운송선(보조전원)
				
	잠수함	무인잠수정	수소수송선	

□ 수소차를 제외한 수소를 활용할 수 있는 수송수단 중 현재 내지는 가까운 장래(대략 2022년 전후)에 상용화되어 시장 진입 단계에 도달할 수 있는 분야는 도로부문의 수소건설기계(수소 지게차), 수소열차, 수소드론 및 수소선박 일부가 해당됨.

- 수소 활용 도로 수송수단 중 수소차를 제외할 경우, 수소 지게차 등 수소건설기계 정도가 실증단계를 넘어 상용화 단계에 도달함.
- 수소열차는 독일, 중국 등에서 일부 상용화되어 운행 중이며, 유럽을 중심으로 디젤열차를 수소열차로 대체하려는 계획이 수립됨.

<표 IV-2-16> 기타 수소 활용 수송수단별 기술수준 및 전망

분류	수소 활용 수송수단	현재	~2022년	~2030년	미래
도로	지게차	미 보급	시장 진입	시장 확대	저변 확대
	개인이동수단	미개발	기술 개발	초기 시장	시장 확대
철도	고속열차	미개발	-	개발 타당성 분석	기술개발
	일반열차	미개발	기술개발	실증 및 초기시장	시장 확대
	도시열차	미개발	기술개발	실증 및 초기시장	시장 확대
	기관차	미개발	-	개발 타당성 분석	기술개발
항공	여객기	미개발	개발 타당성 분석	보조전원	시장 확대
	드론	초기시장	적용범위 확대	시장 확대	저변 확대
	헬리콥터	미개발	-	개발 타당성 분석	기술개발
	비행선	미개발	개발 타당성 분석	기술개발	초기 시장
	우주비행체	미개발	개발 타당성 분석	액화연료 확보	기술개발
해양	상선	미개발	기술 개발	소형선 시장	중/대형선 시장
	특수작업선	미개발	기술 개발	실증	초기 시장
	군사용함정	보급 중	초기 시장	적용범위 확대	시장 확대
	어선	미개발	기술 개발	기술 개발	실증
	부유식 해상구조물	미개발	개발 타당성 분석	기술 개발	실증

- 프랑스의 Alstom이 여객용 디젤열차 대체를 위해 수소열차 'Coradia iLint'를 실용화하였고, 2018년부터 14대를 편성, 순차적으로 독일의 Cuxhaven - Bremervörde 노선에서 운행할 계획임. 또한 오스트리아도 2018년 Zillertal Rail 수소열차 도입 계획을 수립하였으며, 영국 역시 Eversholt Rail에서 2040년 까지 모든 디젤열차를 수소열차로 대체하는 계획을 수립함.
- 중국은 최초로 만든 3량의 수소트램이 시험운행 중이며, 2020년까지 3,600억 달러 이상 투자할 계획임.
- 항공분야에서 수소활용 수송수단으로 수소드론의 초기시장이 형성 중이지만, 중·대형 항공분문은 상용화 이전 개발단계에 머물고 있음.
- 2018년 국내 D사가 수소드론 시장에 진출하기 위해 2019년 제품 출시를 준비 중임.

- 해양분야에서 수소활용 수송수단인 수소선박은 선박의 크기와 형태는 다양하나 상선, 군사용함정, 특수작업선의 경우 현재 기술 선진국을 중심으로 실증 프로젝트가 수행되고 있으며, 실증이 완료된 일부 선박은 운항 중에 있음.

<표 IV-2-17> 수소 선박 · 열차 · 드론 · 건설기계 현황

구분	수소선박	수소열차	수소드론	수소건설기계
한국	<ul style="list-style-type: none"> - 액체수소 운송선CCS 개발 과제 수행 중 - 한국선급+조선3사 - CO2 포집 및 저장 	<ul style="list-style-type: none"> - 수소열차 연구개발 진행 중 - 안정성 및 효율성 검증 후 상용화 	<ul style="list-style-type: none"> - 액화수소 저장 기술 적용 실증 (하이리움산업) - 비행시간 5시간 - 연료전지 스택/파워팩 개발(두산) 	<ul style="list-style-type: none"> - (지게차) 시제품 개발 완료 (프로파워) - (굴삭기) 시제품 개발 중 (범한산업)
일본	<ul style="list-style-type: none"> - 액체수소 및 액화 운송선 개발 - 가와사키/미쓰비시 ('17~'20) 	<ul style="list-style-type: none"> - 수소+축전지 하이브리드 열차 시험 	<ul style="list-style-type: none"> - 초기 개발 수준 - 비행법규로 산업 전무 	<ul style="list-style-type: none"> - 수소 지게차 보급 (도요타) - 80대 판매
EU	<ul style="list-style-type: none"> - 수소연료 여객선 개발 및 운행 - (독일)Hamburg Alster 지역 운행 중 - 대형선박 기술개발 시작 - (독일)지멘스 - (스웨덴) Power Cell - (스웨덴)ABB - (캐나다) Ballard 	<ul style="list-style-type: none"> - 세계 최초 수소연료 전지 열차 상업 운행 - 독일 니더작센州 상업운행(알스톰 제작) 	<ul style="list-style-type: none"> - 수소연료전지 파워팩 적용 - 비행시간 2시간 	<ul style="list-style-type: none"> - BMW-린데 연료전지 사용 수소지게차 개발 중
미국	<ul style="list-style-type: none"> - 액체수소연료 선박 건조 중(상용화 단계) - 최초 수소선박(페리) 건조 계획 	<ul style="list-style-type: none"> - 시험용 수소연료전지 하이브리드 기관차 개발 - 재난 시 예비동력용 	<ul style="list-style-type: none"> - 군용 액화수소 무인 드론 개발 시험 중 - 액화 수소 사용 Air Taxi 개발 	<ul style="list-style-type: none"> - 수소지게차 분야 최대 상용화 시장 (플러그파워) - 코카콜라, 월마트 등에 물류운송에 지게차 적용






2. 수소선박

□ 유럽을 중심으로 국제해사기구(IMO) 환경규제에 대응하여 연료전기를 선박의 발전 및 추진동력으로 활용하는 기술개발 및 실증이 진행 중임.

○ 2000년부터 노르웨이, 덴마크, 독일 등 환경정책을 우선하는 유럽을 중심으로 국가주도 성격의 기술개발 및 실증 프로젝트가 수행되고 있고, 최근에는 2018년 국제해사기구(IMO)의 환경규제로 인해 기술선점을 위한 요소기술 개발 및 연구가 진행 중임.

- 육상용 혹은 차량용으로 이미 개발된 연료전지시스템을 소형 상선에 적용시켜 실증연구 형태의 기술개발을 진행하거나, 선박 선종별 크기를 구분하여 연료전지(PEMFC, MCFC, SOFC) 타입별 적용성에 관한 기술개발 및 실증연구가 수행 중임.

<표 IV-2-18> 세계 Hydrogen PEMFC 실증 프로젝트

Hornblower Hybrid	NEMO H2	ALSTERWASSER	Class 214 Submarines	SF-BREEZE
<ul style="list-style-type: none"> • 미국 • 32kW PEMFC • 2012~ 	<ul style="list-style-type: none"> • 유럽 (네덜란드) • 60kW PEMFC • 2012~ 	<ul style="list-style-type: none"> • 유럽 (독일) • 96kW PEMFC • 2006~2013 	<ul style="list-style-type: none"> • 유럽 (독일) • 120kW PEMFC • 2003~ 	<ul style="list-style-type: none"> • 미국 • 2.5MW PEMFC • 2015~
				
상선	상선	상선	군사용 함정	상선

- 차량과는 달리 먼 거리의 항해가 필요하고, 항해 시 연료의 공급이 어려운 선박의 특성상 수소의 부피효율이 매우 중요시 되므로, 영하 253도 이하의 환경에서 액화 형태로 연료를 운송/저장하는 것이 가장 합리적인 관계로 관련 연구개발도 진행 중임.

- 또한 다른 이동원에 비해 대용량을 저장, 소비하는 선박에 액화수소를 활용하기 위한 연구가 활발하게 진행 중이며, 미국은 액화수소를 중심으로 관련 산업을 확대 중에 있음.

<표 IV-2-19> 해양분야 활용 형태에 따른 주요 기술개발 현황

구분	기술개발 현황
상선	• 수소연료전지 실증 프로젝트 다수 수행 → 일부 실증완료 선박은 운항 중
특수작업선	• TowBoat에 관한 실증 프로젝트 수행
군사용함정	• 디젤엔진과 수소연료전지의 Hybrid 형태로 기술개발 및 실증연구 수행 (2003년 독일)
어선	• 어선을 대상으로 한 실증 프로젝트 보고된 바 없음
부유식 해상구조물	• 일본선급협회로부터 H2/CO2 FPSO 기본승인(AIP) 획득. 실증연구는 수행된 바 없음

- 또한 선박 운용이 해상이라는 특수한 환경을 고려해야함에 따라 유사시 (emergency)를 고려하여 설계, 제작 및 운용이 되고 있음. 선박 동력원으로 특정기술이 단독으로 적용되기보다 타 기술과 함께 적용되고 있음. 최근 수행 되고 있는 선박 실증연구들을 분석해보면 연료전지, 배터리를 활용한 하이브리드 기술을 적용하고 있음

[그림 IV-2-8] Fuel cell hybrid 기술이 적용되어 2019 상용화 예정 선박



- 이로 인해 소형 수소선박은 2020년부터, 중대형 수소선박은 2030년 이후 상업적 이용이 가능한 시장형성 단계로 접어들 전망임 (Hydrogen Council, 2017).

<표 IV-2-20> 수소선박 상용화 및 시장출시 전망(맥킨지, '17)

구분	해양				
	상선	특수작업선	군사용함정	어선	부유식 해상구조물
출시	'00	'03	'88	N.A.	N.A.
상용화	'20~	'20~	'10~	'25~	'25~

- 상선은 2000년대 소형 수소 연료전지 보트 개발을 출발로 하여, 유럽 각국 및 미국을 중심으로 레저 보트, 페리선, 유람선, Ro-Ro 선 등 다양한 선종에 대해 프로토 타입 검증이 수행되고 있음.
 - 특수작업선은 2010년 내외 노르웨이, 독일, 핀란드 등을 중심으로 실증에 관한 프로젝트가 수행, 2020년부터 시장이 형성될 전망이다.
 - 군사용 함정은 이미 1988년 독일에서 프로토 타입의 검증이 수행된 바 있으며, 독일의 다수 기업이 참여하여 개발한 대표적 Class 212A, 214 Submarine이 상용화 단계에 접어들었음. 타 국가의 잠수정 개발에도 참여하여 지속적 시장 확대가 예상되는 상황임.
 - 어선은 2010년대 중반 프랑스에서 12m 길이의 연안 소형 어선을 대상으로 선박 실증에 관한 계획을 발표하였으나, 현 시점 기준으로 개발 선박에 관한 사례를 찾아보기 어려움. 이러한 이유로 시장출시가 다소 늦어질 것으로 전망임.
 - 부유식 해상구조물은 2014년 일본의 미쓰비시 중공업(MHI)과 치요다(Chiyoda) 그룹이 참여하여 일본선급협회(ClassNK)로부터 기본승인(AIP)을 획득했다고 발표하였으나, 실증 프로젝트는 아직 수행하지 않음. 그러나 2025년 이내 상용화가 실현될 전망이다.
- 이처럼 수소선박은 친환경 선박으로서, 미래 유망 품목으로서 성장 가능성이 높기 때문에 정부 차원의 지속적인 지원 육성이 필요함.
- 이를 위해 중·소형 연안선박과 대형 대양선박으로 구분하여 기술개발 방향을 수립하고 이에 대한 인프라를 동시에 구축하는 것을 목표로 함.

<표 IV-2-21> 수소선박 기술 목표

구분		현재	2022년	2025년	2030년 이후
기술 목표	연안 선박	선박 기술개발 추진 중	선박 적용 연료전지 시스템 검증	실증을 통한 기술검증 및 성능개선	실선 적용 확대
	대양 선박		스택 모듈화 기술 개발	MW급 대용량 연료 전지 시스템 검증	대형 선박 확대

□ 우리나라는 **2017년부터** 미세먼지 무배출 선박용 **PEMFC** 시스템 개발 및 실증사업(**2017~2021, 한국선급, 63억원**)을 시행해오고 있음.

- 글로벌 전장기업과 연료전지 제조사 간 기술 제휴를 통해 수소선박에 필요한 대형 PEMFC 연료전지 기술도 개발 중임.

□ 향후 **2022년** 수백 kW이내 선박용 연료전지시스템을 개발하고, **2025년** 실증을 통한 기술을 검증하여, **2027년** 민간분야로 확대할 계획임.

- 관공선 대상으로 우선 적용하고, 기술 검증 후 민간으로 확대 보급할 계획임.
- 2025년 스택의 모듈화와 통합시스템을 개발하고, 2027년 MW급 연료전지 시스템의 성능 및 안전성을 확보하고, 2030년 대형선박에 적용할 계획임.
- 대형선박은 시스템 용량에 따라 보조전원과 추진동력원으로 구분하여 적용함.
- 수소연료전지 선박에 대한 병커링 인프라, 법·제도적 지원, 선박에 연료전지 적용에 따른 지원금을 운영함.

3. 수소열차

□ 온실가스 배출 저감을 위해 비전철 구간에 친환경 열차를 운행하고, 전력인프라 절감을 위한 에너지 독립형 철도 차량이 필요한 가운데, 수소열차가 하나의 대안이 될 수 있음.

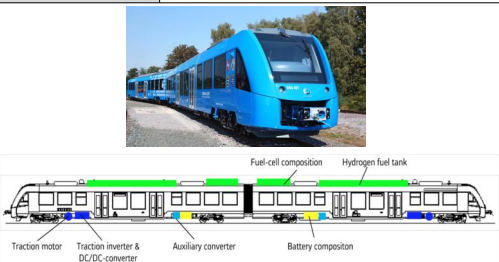
- 현재 철도 수송부문의 온실가스 배출량 24.6% 감축을 목표로 하고 있는 가운데 이를 실현하기 위해 수소열차에 대한 개발이 진행 중임.
- 비전철 구간을 운행 중인 디젤열차는 철도분야 대기오염물질 배출의 주요 원인이므로 환경오염 저감이 가능한 대체 친환경 열차 도입이 필요함.

- 특히 디젤열차의 사용 내구연한이 25년이지만, 현재 내구연한을 초과한 디젤열차도 운행 중에 있어 친환경 열차로의 대체가 시급함.
- 비전철 구간에서 전력인프라 필요 없이 기존 노선도 자유롭게 운행할 수 있는 차세대 에너지 독립형 철도 차량이 필요함.

□ 일본, 중국, 미국, 프랑스 등이 수소열차 개발에 선도적인 지위를 가지고 있으며, 특히 프랑스 Alstom은 2020년 운행을 목표로 독일에서 수소열차를 시험 운행하는 등 상용화 및 시장진출에도 다가서고 있음.

- JR 동일본은 2006년 연료전지와 축전지를 조합한 하이브리드 열차 주행시험을 공개한 바 있음.
- 2015년 3월 중국 칭다오의 시팡 공장에서 수소연료전지 추진 트램 Skoda15T(3량)이 발표되었으며, 3분 충전으로 최고운행속도 70km/h 속도로 100km 주행이 가능하고 최대 380명까지 탑승 가능, 현재 칭다오 등에서 운행 중임.
- 미 국방부는 민간 재난구조에 차량 동력원의 예비용으로 사용하기 위해, 디젤 배터리 하이브리드 차량을 개조, 최대 127톤을 수송할 수 있는 연료전지-납축전지 하이브리드 열차를 개발함.
- 프랑스 Alstom은 연료전지-배터리 하이브리드 여객열차 Coradia iLint를 개발하여, 독일에서 디젤 기차를 대체할 예정임.

<표 IV-2-22> 프랑스 Alstom의 수소연료전지 및 배터리 하이브리드 열차 주요사양

최고설계속도	140km/h	주행거리	최대 800km (2량1편성기준)
전원방식	연료전지 및 배터리 하이브리드	탑승승객	300명 (2량1편성기준)
연료전지용량	400kW		
수소연료압력	350 bar		
주 전동기 용량	628kW (314 kW X 2)		
연료전지효율	약 60%		
배터리 충전기 효율	약 96%		

출처 : Development of Business Cases for Fuel Cells and Hydrogen Application, 2017

- 수소 저장탱크를 차량 지붕에 장착하여 차량 1량당 약 94kg의 수소를 저장하고 있으며, 한 번 충전으로 약 1000km 주행이 가능함.
- 독일과 연료전지 열차 공급계약을 체결함에 따라 오는 2021년까지 Neddersassen Salzgitter 공장에서 총 14량으로 이뤄진 수소열차를 제작해 LNVG에 납품하게 되며, 이를 통해 기존 디젤열차를 퇴역시킬 예정임.

□ 우리나라에서도 수소열차를 개발, 디젤열차부터 점진적으로 수소열차로 대체하고, 수소동력 열차 운영방안을 마련하여 **2022년까지 기술개발 후 실증 추진을 목표로 함.**

<표 IV-2-23> 수소열차 기술목표

구분	현재	2022년	2025년	2030년 이후
기술목표	수소열차 R&D진행	수소연료전지-2차전지 하이브리드 동력시스템 개발	실증을 통한 기술검증 및 성능개선	디젤열차를 수소열차로 대체하는 등 보급 확대

□ **2018년 4월부터 2022년까지 총 260억 규모로 한국철도기술연구원에서는 수소열차(수소연료전지 철도) 운용 기술개발 사업을 수행 중이며, 개발이 완료되면 수소열차의 안정성 및 효율성 등에 대한 검증을 거쳐 상용화까지 추진할 계획임.**

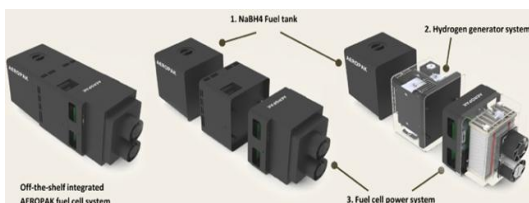
- 상용화된 수소열차를 경전철 구축 계획에 따른 신규노선(9곳, 85.32km)에 도입할 경우, 기존 급전방식 대비 연간 탄소배출 5,000톤 추가 저감을 기대할 수 있음.
- 현재 운용 중인 디젤열차(4,400호대, 59량)를 대체할 경우 연간 탄소배출 3만톤, 질소산화물 486톤, 미세먼지 89톤 저감 등 환경개선 효과가 예상됨.
- 또한 수소열차가 도입되면 기존 전기기관차에 필요한 변전소, 전차선 등 전력인프라 건설·유지보수비용이 절감되며, 안전사고 예방에도 도움이 됨.
- 전력인프라 건설비용은 24.3억원/km이고, 유지보수비용은 연간 5억원/km임.
- 철도감전사고는 2014년 7건에서, 2015년 7건, 2016년 4건으로 줄어듦.

4. 수소드론 : 장거리·장시간·원격비행 장점 적극 활용

□ 수소 활용 항공분야는 소형 드론을 중심으로 시장이 형성되고 있으나 중대형 드론의 경우 아직 기술 성숙도가 낮아서 상용화 단계에 이르지 못한 상태임.

- 소형 드론의 경우, 배터리 비행시간 한계(30분~1시간)를 해결하기 위해 연료전지 드론에 대한 연구가 이루어지고 있어 가장 빠르게 시장이 형성될 전망이다.
 - 배터리의 에너지 밀도가 지금보다 많이 높아지지 않는 한 배터리만으로는 항공기의 에너지 소모를 충당할 수 없으므로, 결과적으로 에너지 밀도가 높고 운송 및 저장이 비교적 손쉬운 액화수소와 같은 액체 연료가 드론의 에너지원으로 가장 적합함.
- 최근 소형 드론용 연료전지 파워모듈에 대한 연구가 활발히 진행 중이며 상업화 시장이 초기단계에 있음.
 - 세계 드론 시장은 연 29%씩 성장해 2026년에 이르면 820억달러 규모까지 성장할 전망으로 비율은 예측하기 어려우나 일정부분 연료전지를 이용한 드론이 활용될 것으로 전망됨.

[그림 IV-2-9] 호라이즌 연료전지 파워팩



[그림 IV-2-10] 인텔리전트사 연료전지 드론



□ 특히 리튬배터리 드론에 비해 장시간 비행이 가능하여 농업용 등 비행시간 확대가 필요한 상업용 드론을 중심으로 시장 진출이 가능함.

- 비행시간으로 리튬배터리 드론은 30분, 수소연료전지 드론은 1~2시간임.

○ 다만, 높은 가격으로 초기시장 창출을 통한 양산시기 단축이 필요함.

* 리튬배터리 드론 가격은 2,500만원이고, 수소연료전지 드론은 5,000만원임.

□ 현재 국내 기업(두산)이 2016년부터 2018년까지 자체 개발한 드론용 연료전지와 중소기업의 드론플랫폼을 결합한 수소드론을 2018년 말에 개발 완료할 예정임.

- 중국과 영국 등 주요국은 드론 및 수소연료전지 기업을 중심으로 연료전지 드론을 개발 중이나, 대부분은 현재 R&D 단계임.

- 해당 드론을 **2019년까지 전력설비 진단 등 공공분야 실증을 통해 안정성·신뢰성을 확보하고, 2019년 말 제품이 출시되면, 2020년 이후 양산하도록 유도하여 연간 100대를 생산하도록 할 계획임.**

<표 IV-2-24> 수소드론 기술목표

구분	현재	2020년	2025년	2030년 이후
기술목표	비행안전성, 신뢰성 확보 검증	실증을 통한 유망 서비스시장 진출	물류, 재난용 드론서비스 상용화	수소연료전지 시장 활성화

- 특히 양산된 수소드론은 제한된 비행시간으로 시장 확대에 어려움을 겪는 물류 배송 등의 분야를 중심으로 시장 창출이 가능할 것으로 기대됨.
- 2020년부터는 농업이나 임업 분야에 적용하여 특히 광범위한 지역의 작황을 파악하고 병해충 예찰하는데 활용하도록 하며,
- 2021년부터는 도서산간 지역 도입으로 배송시간을 단축하고 비용을 절감하는데 기여하도록 함.
- 2022년부터는 재난발생 시 인명수색 등 초동 대응용 드론도 상용화할 예정임.

5. 수소건설기계

- 물류창고와 지하 공간 건설 등 장시간 친환경 작업이 요구되는 대규모 건설 및 물류 작업에 투입되는 소형 건설기계에 수소를 활용할 수 있는 가능성이 최근 부각됨.
- 특히 수소 지게차 및 수소 굴삭기를 중심으로 상용화 개발 중이지만, 아직 인증이나 표준화 및 수소 인프라 제한 등으로 보급은 미비함.

[그림 IV-2-11] 수소 건설기계



- 2012년부터 2016년까지 실내 물류운반차용 연료전지 파워팩 상용화 기술이 개발되었으며, 2016년부터 2019년까지 2톤급 전동식 건설 중장비용 연료전지 파워팩 개발이 이루어짐.
- 이미 상용화 지게차(Linde, Still)가 출시되었으며, 연료전지 모듈도 함께 개발 (PlugPower)되어, 코카콜라, 아마존, 월마트 등에 도입됨.
- 2009년부터 미국에서만 15,000여대의 연료전지 지게차를 판매 중임.

□ 국내에서도 지게차 및 소형 건설기계용 연료전지 팩 상용화를 개발하고, 인증·표준·내구 신뢰성 기술도 함께 개발할 계획임.

- 지게차의 충전시간을 6시간에서 5분으로, 작업시간은 2배 이상 증가하고, 운전 비용은 10년 사용 시 10% 감소하여 여러 측면에서 개선 효과를 예상함.
- 굴삭기의 지하 및 도시공간 작업 시 매연 미배출 및 소음 저감도 예상됨.

<표 IV-2-25> 수소건설기계 기술목표

구분		현재	2022년	2025년	2030년 이후
기술목표	굴삭기	파워팩 R&D	소형 굴삭기 파워팩 상용화 개발	실증을 통한 기술검증 및 성능개선	보급 확대
	지게차	표준·인증	물류기지 도입 (자체 수소충전 인프라)	물류기지 도입 (공공 수소충전 인프라)	기종 및 활용 영역 확대







제3절 수소 연료전지 부문 확대 추진방안

1. 수소 연료전지 시장 확대 추진방향

- 수소 활용 부문은 전철에서 살펴본 수송부문 외에도 연료전지를 통해 수소를 전기 및 열에너지로 전환하여 직간접적으로 활용하는 발전용, 건물용 및 가정용 연료전지 부문이 존재함.
 - 발전용 연료전지는 수백kW급~수MW급의 연료전지 시스템으로 주로 분산 발전용으로 활용되고 있으며, 수소로부터 전기와 열을 동시에 생산 및 공급함.
 - 건물용 연료전지는 5kW급~수백kW급의 연료전지 시스템으로 병원, 공공건물 등의 건물에 전기와 열을 공급함.
 - 가정용 연료전지는 1~5kW급 연료전지 시스템으로 일반 가정에 설치되어 전기와 열을 생산 공급하며, 잉여로 생산된 전기는 전력망에 되팔 수 있음.
- 이러한 연료전지 부문은 대규모 중앙집중식 공급 시스템에서 분산전원, 에너지자립으로 전이되는 에너지 패러다임의 최근 변화에 최적화된 친환경 에너지 전환기술로 주목 받고 있음.
 - 가정, 건물, 공장 등에 최소 면적으로 설치 가능하여 입지 제약이 상대적으로 적음.
 - 대규모 중앙집중식 전력공급 시스템 구축을 위한 송배전망 건설에 따른 사회적 갈등 비용을 크게 감소시키는 분산전원 역할을 할 수 있음.
- 이러한 연료전지의 세계시장은 **2030년 20GW에서 2050년에는 100GW 규모로 성장할 것으로 전망됨(맥킨지, 2017).**
 - 2015년 기준 세계 연료전지 시장규모는 약 36억 달러 규모이며, 2024년에는 255억 달러로 7배 이상 성장이 예견됨(Global Market Insight, 2016).
- 그러나 세계적으로 아직 상용화된 기술을 보유한 업체가 7~8개 업체에 불과하고, 연료전지 기술을 우리나라가 주도하고 있어 향후 해외 수출 확대로도 연결할 수 있는 잠재력을 지님.

- 발전용 연료전지는 국내기술을 바탕으로 해외선진 기술을 도입해 국산화 및 수직계열화를 완성하였으며, (주)두산, 포스코에너지, LG, SK건설 등이 대규모 투자로 신규산업 창출 중임
- 가정·건물용 연료전지도 정부과제를 통한 국내 자체기술을 개발, (주)두산과 에스퓨얼셀 등이 상용화에 성공한 바 있음.

<표 IV-2-26> 국내 연료전지 부문 현황

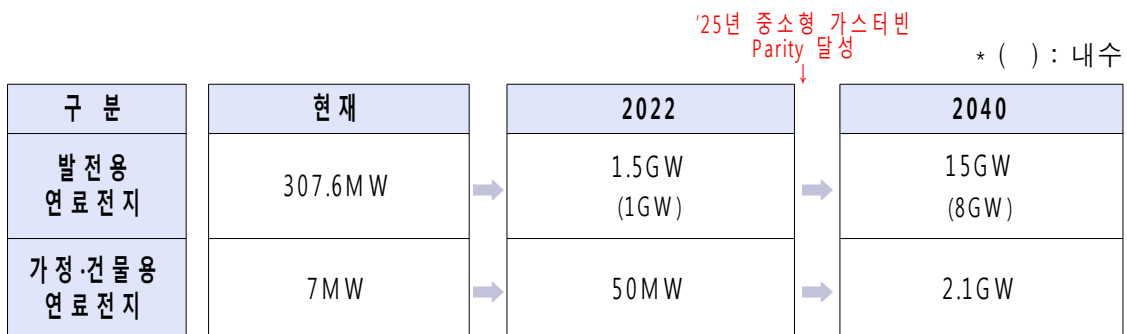
발전용	포스코 에너지 (MCFC)	<ul style="list-style-type: none"> - '15년 연산 100MW규모 MCFC 생산공장 구축 - 총 6,200억 투자, 180MW 보급 - 종업원 292명, 국내 협력사 90개 	
	두산 (PAFC)	<ul style="list-style-type: none"> - '17년 연산 180MW(국내 90MW, 미국 90MW, 3교대 기준) 규모 PAFC 생산공장 구축 - 총 3,600억원 투자, 국내 100MW 보급, 英 2MW - 종업원 297명, 국내 협력사 63개 	
	SK건설 (SOFC)	<ul style="list-style-type: none"> - '18년, SK건설-美BloomEnergy 사업제휴 - 남동발전 분당 8.35MW 설치 - 국내 제조공장 설립 검토 중 	
	LG (SOFC)	<ul style="list-style-type: none"> - '12년 롤스로이스퓨얼셀시스템즈 (美) 인수 - 총 6,500억 투자, 종업원 25명 (국내) - LG전자 중심으로 사업개편 예정 (사업철수도 검토) 	
	기타	<ul style="list-style-type: none"> - '19년초, GS에너지-日MHPS 사업제휴 예정 - 에스퓨얼셀-日Fuji전자와 JV 설립 예정 	
가정·건물용	에스퓨얼셀 (PEMFC)	<ul style="list-style-type: none"> - PEMFC 가정·건물용 생산업체 - '17년 연간 3MW 규모의 생산공장 구축 - '17년까지 약 2MW 주택/건물용 연료전지 보급 - 국내 협력사 80여개, 본사 종업원 40명, 협력사 500명 	
	두산 (PEMFC)	<ul style="list-style-type: none"> - PEMFC 주택/건물용 생산업체 총 500억 투자, 종업원 90명 - '16년 연산 5MW PEMFC 생산공장 구축 - 17년까지 약 3MW 주택/건물용 연료전지 보급 - 국내협력사 100여개,협력사 종업원 800명 	

<표 IV-2-27> 국내 연료전지 주요기업 현황

구 분	기업명 (연료전지 유형)	보급 실적 (누적: 2017년)
발전용	포스코에너지 (MCFC)	179.0 MW
	두산 (PAFC)	122.3MW
	SK건설 (SOFC)	5.7MW
	에스퓨얼셀(PAFC)	0.6W
주택·건물용	두산 (PEMFC)	3.7MW
	에스퓨얼셀 (PEMFC)	3.3MW

- 이러한 잠재력이 충분한 국내산 연료전지 시장창출을 위해 우선 발전용 연료전지는 설치규모를 현재 **307.6MW**에서 **2022년 1.5GW(누적)** 수준으로 확대하며, **2040년까지** 수출 및 내수물량을 합산하여 **15GW(누적)** 이상으로 확대하는 것을 목표로 설정함.
- 또한 자가용 연료전지도 현재 **7MW** 정도의 보급규모를 **2022년 50MW**, **2040년에는 2.1GW** 이상으로 확대하는 것을 목표로 설정함.

[그림 IV-2-12] 발전용 및 가정·건물용 연료전지 보급목표(누적)



□ 그리고 이를 위해 다음과 같은 방향으로 수소 연료전지 시장 확대를 추진함.

- 연료전지 설치비 및 발전단가가 중소형 가스터빈 수준으로 대폭 절감될 수 있도록 국내 내수용 연료전지 설치의 확대를 지원함.
 - 특히 학습효과와 규모의 경제를 고려하여, 발전용 연료전지의 생산규모가 임계 수준에 도달하기 이전까지 내수시장을 중심으로 일정 정도 설치규모를 확대 하도록 지원함.
 - 이를 통해 설치비와 발전단가를 대폭 절감되면 2025년 경 에는 중소형 가스터빈 수준까지 발전단가가 인하될 수 있을 것으로 전망함.
 - 설치 확대와 연계하여 부품 국산화율 100% 달성을 통해 산업생태계를 조성함.
- 연료전지 전용 가스요금제 도입과 그린 수소 신재생에너지 공급인증서(REC) 우대 등을 통해 투자 불확실성을 제거하고 추가적인 경제성 확보를 지원함.
- 중장기적으로 수소가스터빈 발전의 기술개발을 통해 2030년 이후 상용화를 추진함.

2. 발전용 연료전지 보급 확대 방안

가. 보급 목표

- 국내 발전용 연료전지 시장은 **2018년** 현재 설치규모 기준으로 **307.6MW**로, 한정된 시장규모로 인해 규모의 경제 등의 실현에 한계가 있어 충분한생산 비용 절감 및 발전단가 인하를 기대하기 어려운 것이 현실임.
- 그러나 발전용 연료전지는 일종의 발전기로서 전력계통과 연계될 수 밖에 없으므로 발전용 연료전지의 보급 규모는 중장기 전력설비 확충 계획인 「전력수급기본계획」 과 정합성을 유지해야 할 필요가 있음.

<표 IV-2-28> 「제8차 전력수급기본계획」의 연도별 전력수급 전망

(단위 : GW)

연도	최대전력	확정설비	적정설비	과부족	신규 설비		최종 설비규모	설비 예비율
					LNG	양수		
2017	85.2	107.8	101.4	6.4			107.8	26.5%
2018	87.2	110.7	103.7	7.0			110.7	27.1%
2019	88.5	113.4	105.4	8.0			113.4	28.0%
2020	90.3	116.9	107.5	9.4			116.9	29.4%
2021	92.1	119.9	109.6	10.3			119.9	30.2%
2022	93.3	122.6	111.0	11.5			122.6	31.4%
2023	94.5	121.9	112.5	9.4			121.9	29.0%
2024	95.7	122.2	113.8	8.3			122.2	27.7%
2025	96.7	120.7	115.0	5.7			120.7	24.9%
2026	97.6	119.5	119.0	0.5			119.5	22.5%
2027	98.4	118.4	120.1	△1.7	1.8		120.2	22.1%
2028	99.1	117.9	120.9	△3.0	1.4		121.1	22.1%
2029	99.8	117.7	121.8	△4.1		0.8	121.7	21.9%
2030	100.5	118.3	122.6	△4.3		0.6	122.8	22.2%
2031	101.1	118.3	123.3	△5.0		0.6	123.5	22.2%
소계	-	-			3.2	2.0	-	-

- 2017년 12월 수립된 현행 「제8차 전력수급기본계획」은 발전용 연료전지 보급을 설비용량 기준으로 2022년 611MW, 2030년 746MW로 설정함.
 - ※ 「전력수급기본계획」은 중장기(15년) 전력수요 전망 및 이에 따른 전력설비 확충을 위해 전기사업법 제25조 및 시행령 제15조에 따라 2년 주기로 수립되는 정부의 법정 계획임.
 - 다만, 「제8차 전력수급기본계획」은 2031년까지 신규 필요설비 용량을 4.3GW로 가스터빈 단독 운전이 가능한 LNG 발전기(3.2GW)와 양수발전기(1.4GW)를 신규로 구축하는 방안을 상정하였지만, 이 중 일부를 발전용 연료전지로 전환할 수 있는 가능성은 열려있음.
 - 발전용 연료전지 보급 확대 전략과 이 같은 「제8차 전력수급기본계획」상의 괴리는 향후 2019년 12월 수립될 「제8차 전력수급기본계획」에서 일부 조정될 여지를 가지고 있음.
- 결국 국내산 연료전지 시장창출을 위해 발전용 연료전지를 설치규모 확대의 필요성과 「전력수급기본계획」과의 정합성을 종합적으로 고려하여, 발전용 연료전지의 총 국내 보급 용량을 누적 기준으로 **2022년 1GW에서 2040년 8GW로 확대하는 것을 목표로 설정함.**
- 이러한 발전용 연료전지의 설치 확대를 통해 경제성을 확보하여 수출 산업화로 진출하게 하는 것도 목표로 함.

나. 추진 전략

1) 발전용 연료전지 부문의 학습효과와 규모의 경제 실현 지원

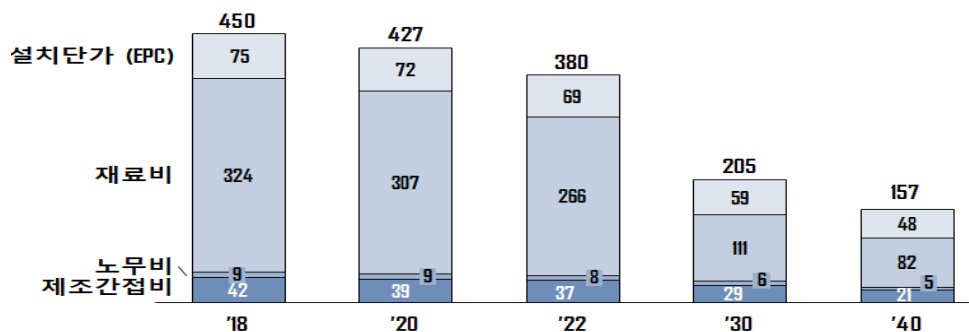
- 발전용 연료전지 보급 확대는 결국 발전용 연료전지의 수요자인 발전사업자들이 구매, 설치를 위한 투자를 해주어야 가능하며, 이는 투자의 기대수익을 결정하는 발전단가 인하가 전제되어야 함.
- 이를 감안하여 우선 학습효과와 규모의 경제가 발현되도록 발전용 연료전지의 생산규모가 임계수준에 도달하기 이전까지 내수시장을 중심으로 일정 정도 설치규모를 확대하도록 지원하는 것이 요구됨.
- 만일 2022년 누적 1GW를 보급할 경우, 학습효과와 규모의 경제를 통해 생산단가 절감이 가능하여, 2040년까지 현재 대비 설치비 35%를 절감하여 결국 현재 대비 발전단가를 절반(50%) 수준까지 낮출 수 있음.

<표 IV-2-29> 연료전지 설치비 및 발전단가 전망

구분		2018년	2022년	2030년	2040년
발전용	설치비(만원/kW)	450	380	205	157
	발전단가(만원/kW)	250	224	141	131

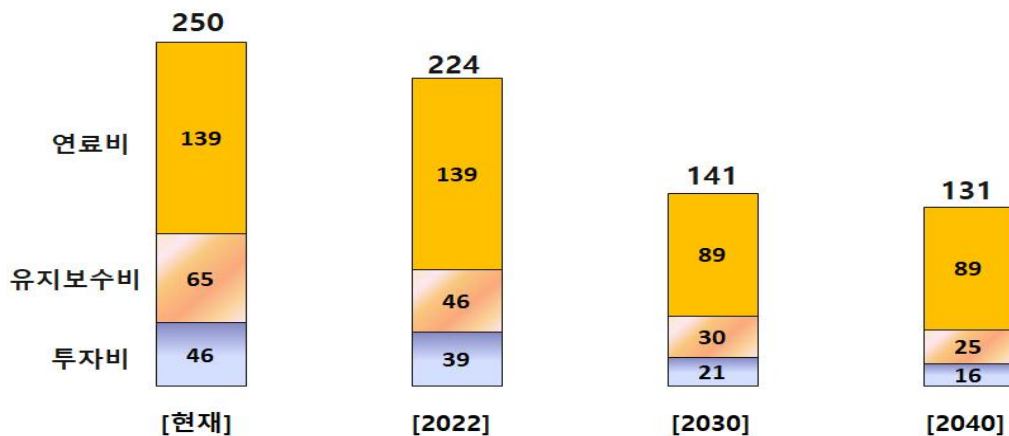
- 발전용 연료전지 설치비는 2018년에 450만원/kW에서 2022년 380만원/kW, 2040년에 157만원/kW으로 점진적으로 감소할 것으로 전망됨.

[그림 IV-2-13] 보급 확대에 따른 발전용 연료전지 설치비(만원) 절감 시나리오



- 이처럼 설치비가 인하되면, 설치비가 반영된 발전단가도 2018년에 250원/kWh 수준에서 2022년 224원/kWh, 2040년에는 131원/kWh까지 점진적으로 인하될 것으로 전망됨.
- 특히, 인하 추세가 지속되면 2025년 경에는 국내 중소형 가스터빈 발전단가 (190~200원/kWh)와 대등한 수준에 도달할 것으로 예측됨.

[그림 IV-2-14] 보급 확대에 따른 발전용 연료전지 발전단가(원/kWh) 인하 시나리오



- 이처럼 보급 규모 확대 위한 민간 투자의 마중물 차원에서 **2022년**에 새만금 **100MW**급 연료전지 등의 국·내외 대규모 사업을 추진하고, 중장기적으로 산업단지 등의 전력다소비 시설에도 보급 확대를 검토함.

※ 전력다소비 시설(에너지다소비사업자)은 전력을 많이 사용하는 건물, 공장 등의 시설로, 「에너지이용합리화법」에 따라 연료·열 및 전력의 연간 사용량의 합계가 2천TOE(석유환산톤, Ton of Oil Equivalent) 이상인 사업자로 규정함.

- 또한 **2030년**까지는 연료전지 부문의 밸류체인 전반의 생태계를 확충함으로써, 설치비 및 발전단가 인하를 더욱 가속화하는데 기여함.

- 연료전지 관련 부품 협력업체 수는 2018년 224개에서 2022년 400개, 2025년 600개, 2030년에 1,000개로 점진적으로 증가할 것으로 전망됨.

<표 IV-2-30> 연료전지 밸류체인별 기업 현황

구분		소재업체	스택제조업체	개질기제조업체	부품업체	시스템업체
PEMFC (가정, 건물, 수송용)	해 외	Gore, dupont, Tanaka JM, SGL, 3M, Toray	Ballard, Toyota, AFC, Honda, Panasonic, Toshiba	Osaka Gas, 신일본석유	Bosch, Aisin, Seiki, Perma Pure	Toyota, Honda, Panasnic, Toshiba, GM, Daimler
	국 내	포스코에너지, 하이스코, 오텍, 한화, 동아화성, 협진	현대기아자동차, 두산퓨얼셀, 에스퓨얼셀,	한국가스공사, 코켈	현대모비스, 한라공조, 두원공조, 명화공업, 코오롱	현대기아자동차, FCP, GSFC, 하이스코
SOFC (가정, 건물, 발전용)	해 외	Kyocera, VPS		Osaka Gas, 신일본석유	후지전기, 도쿄가스, FCE, GTI, 마쓰시다	Bloom Energy, CFCL, Kyocera, Siemens, VPS, NGK
		Hitachi, MMC, Tosoh, FCM, Nextech	MHI, Siemens, TOPSOE, Staxera			
	국 내	포스코에너지		한국가스공사		한국전력, 포스코에너지, 삼성SDI, 경동나비엔, 하이스코
		한창산업, 삼전화학, LTC, 세라파워, 코미코	삼성SDI, 삼성전기, 한국전력, HnPowr	코켈	삼천리, 삼성엔지니어링, 효성	
MCFC (발전용)	해 외	FCE, MTU, Ansaldo, IHI				
		Incoc	-	ABB, SatCon	-	-
	국 내	두산퓨얼셀				
		트윈에너지, 단단, 나노기공소재, 삼전, 대정화금, 전영전기, 보림	오토엔, 백상엔지니어링	YPP, 태양산업, 비전 효성중공업, 한중, CES Eng	-	한전 및 발전자회사, 한국가스공사

2) 발전용 연료전지의 안정적 수익 확보 지원

- ☐ 발전용 연료전지 보급 확대를 위해서는 발전사업자들의 투자의 기대수익 확보와 함께, 투자의 불확실성을 함께 제거하는 조치가 병행되어야 함.
- ☐ 투자 불확실성 제거 차원에서 연료전지 전용 LNG요금제를 신설하고, 일정 기간 동안 연료전지 신재생에너지 공급인증서(REC)를 유지하도록 함.

① 발전용 연료전지 전용 LNG 요금제 신설

- 발전용 연료전지는 독립적으로 설치되기도 하지만 주로 LNG 열병합 발전소 내에 구축되는 경우가 많으며, 특히 LNG 열병합 발전소와 같이 천연가스를 통해 추출한 수소를 활용하기 때문에, 현재까지는 수소생산용 천연가스 요금을 ‘열병합용’ 가스요금 그대로 적용 받고 있음.

<표 IV-2-31> 용도별 가스요금 (2019년 기준)

단위 : 원/MJ

용도	주택용	영업용	산업용	열병합용	열전용	수송용	일반발전용	집단 에너지용
요금	15.34	15.15	13.46	14.14	15.79	13.36	13.60	13.27

* MJ(메가줄): 열량단위이며, 주택용의 경우 가구당 月 2천MJ 정도를 사용

- 발전용 연료전지 보급 확대 차원에서 연료전지용 천연가스에 대해 현행 ‘열병합용’에서 분리하여 별도 용도로 신설하고, 제세부담금 완화하는 방안을 추진함.

<표 IV-2-32> 연료전지 전용 LNG요금제(안)

항목	내용
배경	현재 연료전지는 열병합용 가스요금 적용 중
내용	전용요금제를 신설하고, 연료전지 가스요금을 인하
계획	가스공사 「천연가스 공급규정」 개정(~'19.3월) → 요금신설 및 적용(~'19.5월)

- 발전용 연료전지는 LNG 열병합 발전과 수요 차별성이 인정되며, 과거에 비해 사용물량 성숙으로 2017년 기준 용도 신설 기준물량인 연간 15만톤을 넘어 17.3만톤을 기록, 별도 요금 신설 조건을 충족함.
 - 또한 제세부담금을 완화하여 연료전지용 천연가스에 부과하는 개별소비세를 42/kg에서 8.4원/kg로 인하하고, 수입부과금도 기존 24.2원/kg에서 폐지하는 방안을 추진함.
- 이를 통해 연료전지용 가스요금은 현행 대비 **15%인하(14.14→12.02원/MJ)** 되어 모든 발전시설 중 가장 저렴한 요금을 적용 받게 됨.

② 친환경 분산형 전원으로서 연료전지의 신재생에너지 공급인증서(REC) 가중치 유지

※ 신재생에너지 공급인증서(REC: Renewable Energy Certificate)는 발전사업자가 태양광, 연료전지 등 신·재생에너지 설비로 전기를 생산·공급하였음을 증명하는 증서를 의미함. 신재생에너지 공급인증서를 발급받을 때 대통령령으로 정하는 바에 따라 실제 공급량에 가중치(REC 가중치)를 곱한 양을 공급량으로 하는 공급인증서를 발급할 수 있음.

<표 IV-2-33> 신재생에너지원별 가중치 현황

구분	공급인증서 가중치	대상에너지 및 기준	
		설치유형	세부기준
태양광 에너지	1.2	일반부지에 설치하는 경우	100kW미만
	1.0		100kW부터
	0.7		3,000kW초과부터
	0.7	임야에 설치하는 경우	-
	1.5	건축물 등 기존 시설물을 이용하는 경우	3,000kW이하
	1.0		3,000kW초과부터
	1.5	유지 등의 수면에 부유하여 설치하는 경우	
	1.0	자가용 발전설비를 통해 전력을 거래하는 경우	
	5.0	ESS설비(태양광설비 연계)	'18년, '19년
	4.0		'20년
기타 신·재생 에너지	0.25	IGCC, 부생가스, 폐기물에너지, Bio-SRF	
	0.5	매립지가스, 목재펠릿, 목재칩	
	1.0	수력, 육상풍력, 조력(방조제 有), 기타 바이오에너지(바이오중유, 바이오가스 등), 자가용 발전설비를 통해 전력을 거래하는 경우	
	1.0~2.5	지열, 조력(방조제 無)	고정형
			변동형
	1.5	수열, 미이용 산림바이오매스 혼소설비	
	2.0	연료전지, 조류, 미이용 산림바이오매스(바이오에너지 전소설비만 적용)	
	2.0	해상풍력	연계거리 5km이하
	2.5		연계거리 5km초과 10km이하
	3.0		연계거리 10km초과 15km이하
	3.5		연계거리 15km초과
	4.5	ESS설비(풍력설비 연계)	'18년, '19년
	4.0		'20년

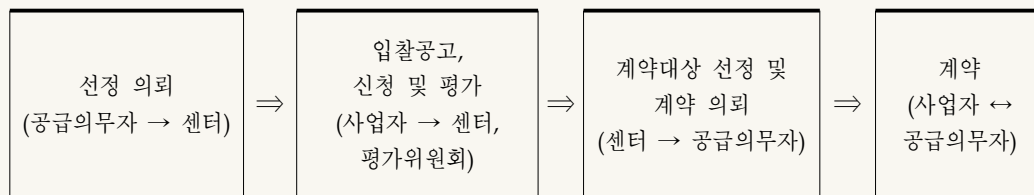
출처: 신·재생에너지 공급의무화제도 및 연료 혼합의무화제도 관리·운영지침<별표 2>

- 현재 발전용 연료전지는 신재생에너지 공급인증서(REC) 가중치 2를 부여받고 있는데, 단순히 발전용 연료전지의 경제성 확보 차원을 넘어 친환경 분산형 전원으로서의 기능을 고려할 경우 현행 신재생에너지 공급인증서 가중치를 유지하는 것이 바람직할 것으로 보임.
 - 분산형 전원 시스템은 송전선로 건설을 최소화 할 수 있는 소규모 및 적정규모의 수요지 발전설비를 포함하여, 권역별 마이크로 분산발전을 통해 현재 대부분 중앙 전력계통을 이용하는 중앙집중식 에너지 체계의 대안 차원에서 에너지의 생산과 소비가 소그룹 단위에서 이뤄질 수 있는 전원 시스템을 의미함.
 - 현행 재생에너지와 배터리 ESS 중심으로 신재생에너지 공급인증서를 부과하는 것은 간헐성 극복에 도움이 되지만, 재생에너지의 장점인 분산성 극대화에는 한계가 있음.
 - 현행 신재생에너지 공급인증서의 주된 정책방향은 재생에너지원으로 생산한 전기를 궁극적으로 전력계통으로 투입하는 것으로서, 전력계통의 중앙 집중성 개선에는 한계가 있을 수밖에 없음.
 - 재생에너지의 확대에 인한 송전선로 증설에 대해 생기는 사회적 비용과 갈등구조를 예방하고, 송전손실을 포함한 에너지의 효율적 생산과 활용을 추구하여 궁극적으로 에너지절약에 기여하는 차원에서라도 발전용 연료전지를 분산형 전원의 하나로, 보급 지원하는 것이 바람직할 수 있음.
- 또한 2020년에는 안정적으로 연료전지 사업을 추진할 수 있도록 현재 태양광에만 적용되어 있는 장기 고정가격계약제도의 도입을 검토함.
- 중장기적으로는 재생에너지 생산 수소(P2G), 해외 수입 등 온실가스 미배출 수소인 ‘그린 수소’를 활용한 경우 신재생에너지 공급인증서(REC) 가중치를 우대해주는 방안을 검토함.

<표 IV-2-34> 태양광 장기가격계약 제도 주요 내용

- 개요 : 발전사업자의 투자경제성 확보 및 판로지원을 위해 발전사업자와 공급의무자간 SMP+REC 고정가격으로 장기간(20년) 계약·거래하는 제도
- 운영방식 : 공급의무자는 매년 2회 신재생센터로 고정가격계약 경쟁입찰 사업자 선정을 의뢰하고, 센터는 1개월 이내 선정 공고
- 의뢰물량 : 총 150MW(발전5사는 각 24MW, 한수원은 30MW이상) 이상
- 신청자격 : 발전사업 허가를 취득한 민간 태양광발전소(태양광+ESS 포함)
- 추진절차 : 공급의무자의 입찰 의뢰에 따라 신재생센터는 선정공고·평가 등의 절차를 통해 계약대상 사업자 선정 및 계약 체결

[고정가격 경쟁 입찰 추진 절차]



- 선정방법 : 계량(입찰가격) 및 비계량(계획서 평가)를 통해 대상 선정
 - 100kW 미만 소규모 태양광사업자 50% 이상 우선 선정
- 계약주체 : RPS 공급의무자(구매자) ↔ 민간 태양광 발전소(판매자)
- 계약방법 : SMP+REC 고정가격으로 20년 내외의 계약을 체결

3) 연료전지의 핵심부품 국산화율을 100%로 달성함.

- ☐ 발전용 연료전기 보급 확대에 대비하는 차원에서 **2022년까지** 백금과 같은 촉매 등의 수입소재를 제외한 전 부품의 국산화를 완료하고, 장기적으로 수입소재에 해당하는 촉매, 전극, 분리판 등의 기술개발을 추진함.
- ☐ 또한 연료전기 부품의 표준화 및 공용화를 통해 설비가격 인하 및 협력업체 규모의 경제를 확보함.

<표 IV-2-35> 미흡한 주요핵심부품 현재 상황

항목	내용
셀 전극·촉매	국내에서 전극, 촉매 제조 기술개발 중, '19~'22년 중 확보 가능
연료변환기 촉매	전량 수입, 기술은 있으나 작은 시장규모에 따른 국내 기업 未 진출

※ 연료전기 핵심부품의 국산화 수준

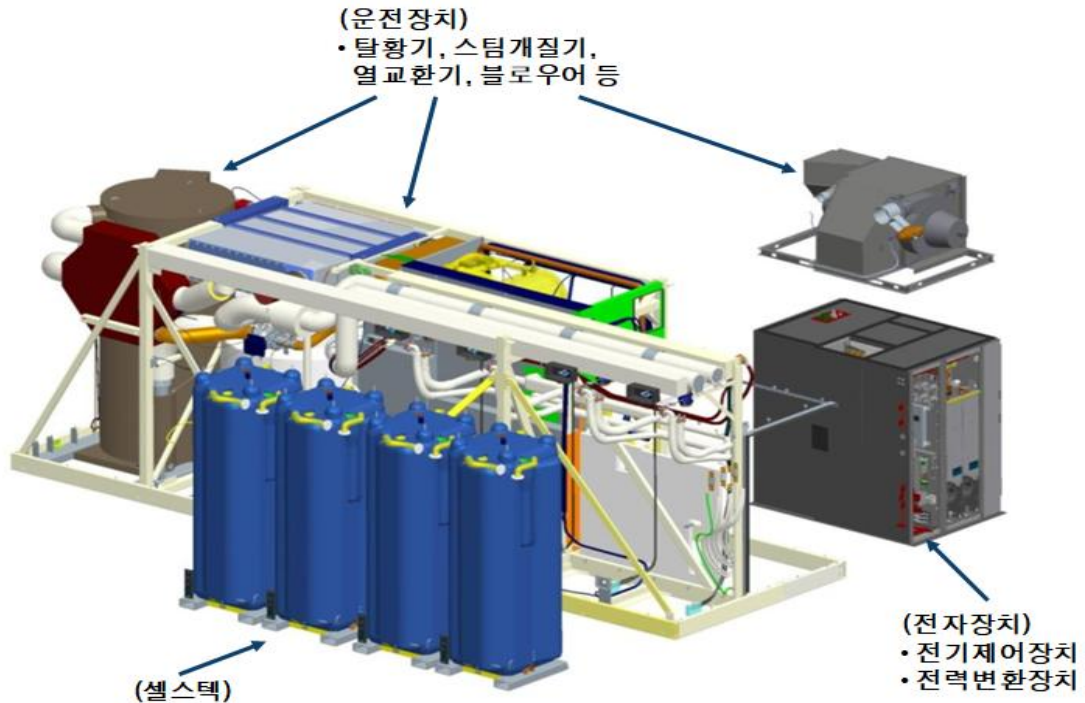
- ☐ 주요 핵심부품은 연료전지시스템, 수소저장장치, 전장장치로 구성되며, 이 중 주요 핵심부품은 셀스택, 운전장치, 전자장치로 구성됨.
 - 또한 운전장치는 탈황기, 스팀개질기, 열교환기, 블로워 등으로 구분되며, 전자장치는 전기제어장치, 전력변환장치로 구분됨.
 - 주요 핵심부품 중에서 스택, 연료변환기, BOP 및 전장장치 비용은 연료전지의 원가에서 차지하는 비중이 비슷하지만, 단일부품으로 전극촉매(백금) 및 연료변환 촉매(니켈) 비중이 높음.

<표 IV-2-36> 발전용 연료전기 가격비중 및 주요 수입부품

구분	셀스택	연료변환기	BOP	전자장치	기타
가격비중(%)	30	35	15	12	8
가격비중이 높은 부품	전극, 촉매 분리판	촉매(개질, 탈황) 반응기	밸브, 블로워 류	전력변환기, 제어기	전선류
수입부품	전극, 촉매	촉매(개질, 탈황)	밸브, 블로워 류	전력변환기, 제어기	

주 : BOP(Balance of Plant) : 연료전지에서 스택을 제외한 구성 부품 및 주변 기계장치

[그림 IV-2-15] 발전용 연료전지 핵심부품



- 주1) 셀스택 : 수소와 공기를 반응시켜 전기를 생산하는 장치
 주2) 운전장치 : 연료변환기 및 BOP(공기공급장치, 열관리장치 등)으로 구성된 장치
 주3) 전자장치 : 연료전지 스택에서 생산된 전기를 계통으로 공급하는 장치

□ 주요 부품생산 기술은 전반적으로는 시스템 제작 및 운영기술은 동등 수준이지만, 부품·소재기술은 미흡하여 스택의 셀 전극·촉매, 연료변환기 촉매는 전량 수입 의존 중임. 단, 대부분의 열교환장치, 공기공급장치 및 전자장치 등은 단기간 내 **100% 국산화** 달성 가능할 것으로 전망됨.

- 셀 전극·촉매는 국내에서 전극, 촉매 제조 기술이 개발 중이며, 대략 2019~2022년 중에는 기술 확보가 가능할 것으로 보임.
- 연료변환기 촉매는 전량 수입에 의존하고 있는데, 이는 국내 기술 부족보다는 국내 시장규모 작아서 국내 기업 중 이 분야를 하는 기업이 없기 때문임.

<표 IV-2-37> 발전용 연료전지 핵심부품(기술)별 현황

[illegible]

3. 자가용(가정·건물용) 연료전지 보급 확대 방안

가. 보급 목표

- 가정용 연료전지는 국내외 시스템 제조사와 가정용 연료전지 시장의 보급 사례들을 비취 볼 때 통상 **0.7~1kW**급 내외의 제품군이 현재까지 누적 약 **2MW**정도의 보급됨. 보급실적이 형성되어 있음.
- 건물용 연료전지는 누적 설치용량이 가정용과 비슷한 수준이지만 **2014년** ‘신재생에너지 의무화’시장에서 ‘연료전지의 원별 보정계수’가 적용되기 시작하면서 성장세가 가팔라지고 있어, **2018년** 한 해 동안 설계용량만 대략 **5MW** 정도이며 실제 보급량도 **3MW**정도 수준의 시장을 형성함.
- 건물용 연료전지는 단위모듈의 크기가 일반적으로 가정용 연료전지보다 용량이 큰 3kW급 ~ 250kW급 정도로 시스템이 소개 되고 있으며, 이 중에서 10kW급 이하는 PEMFC와 SOFC 시스템들이, 100 ~ 250kW급은 PAFC와 SOFC 시스템이 소개됨.

<표 IV-2-38> 가정, 건물용 연료전지 주요업체

국내		국외	
PEMFC	두산 퓨얼셀		- 연료전지 개발초기 10개이상의 제작사가 참여하였으나 현재 도시바와 파나소닉 중심으로 시스템 제작/보급이 진행되고 있으며, Ene-Farm으로 연간 5만대 판매 진행 중
	에스 퓨얼셀	파나소닉 도시바	- 파나소닉은 주로 동경가스에 제품을 판매하고 있으며, 집합주택용 에너지팩을 상용화하였음 - 도시바는 도시가스, LPG연료용은 물론 2016년부터 수소용 연료전지 판매

<표 IV-2-38> 가정, 건물용 연료전지 주요업체(계속)

국내			국외	
PEMFC	현대제철	- 5kW 연료전지 시스템 개발 - 백업전원용 5kW 시스템 개발 - 2018년 현재 사업 철수	도쿄가스 오사카가스	- 1kW 이하급 연료처리장치를 개발하였고, 가정용 연료전지 시스템에 적용하여 시스템 보급을 추진하고 있음
	한국가스공사	- 1/5/10kW급 연료전지용 연료처리장치 개발 - 5kW급 연료전지용 연료처리장치 사업화 중 - 연료전지 제작사와 공동으로 5kW급 고온 PEMFC시스템 개발 실증 중		
SOFC	경동나비엔	- 0.7kW SOFC 시스템개발/실증 중 - 미코에서 평판형 스택 공급	아이신	- 0.7kW 시스템, 발전효율 52%, 종합효율 87% 달성, 주요 부품(스택, 개질기, 탈황 장치 등)의 최적화, 부품의 생산 공정 개선, 부품의 표준화를 통하여 가격저감 개발에 주력
	STX중공업	- 1kW SOFC 시스템개발/실증 중 - 쌍용머티리얼즈에서 평판형 스택 공급		

* 건물, 가정용 연료전지 주요업체, 출처: 신·재생에너지백서(2016)

- ☐ 특히 자가용(가정·건물용) 연료전지가 지닌 분산전원으로서 특·장점을 감안하여 국내 누적 보급목표를 **2022년 50MW**에서 **2040년 2.1GW**로 확대하는 것을 목표로 설정함. 또한 보급 확대를 통해 수출기반도 함께 마련함.

나. 추진 전략

1) 정부의 지원을 통해 주택·건물에 분산전원으로서 보급을 확대함.

- ☐ 자가용 연료전지 보급 확대도 발전용 연료전지와 같이, 수요자가 구매, 설치를 위한 투자를 해주어야 가능하기 때문에 투자의 기대수익을 안정적으로 확보할 수 있도록 지원해야 함.
- ☐ 이를 감안하여 우선 학습효과와 규모의 경제가 발현되도록 자가용 연료전지의 생산규모가 임계수준에 도달하기 이전까지 내수시장을 중심으로 일정 정도 설치규모를 확대하도록 지원하는 것이 요구됨.
- ☐ 만일 **2040년까지** 누적 **2.1GW**를 보급할 경우, 학습효과와 규모의 경제를 통해 설치비와 발전단가 인하가 가능함.

- 설치비는 2018년에 450만원/kW에서 2022년 380만원/kW, 2040년에 157만원/kW으로 점진적으로 감소함.
- 연간 1kW급 기준으로 1만대가 신규 설치될 2022년의 목표 보급단가는 1,000만원/kW 정도로 예상되며, 이보다 10배가량 양산성이 높아지는 2040년경에는 700만원/kW 아래로 가격이 떨어질 것으로 예상됨.
- 연간 10kW급 기준으로 5만대가 신규 설치될 2022년의 목표 보급단가는 800만원/kW 정도로 예상되며, 이보다 10배가량 양산성이 높아지는 2040년경에는 약 500만원/kW 정도까지 가격이 떨어질 것으로 예상됨.
- 인하된 설치비가 반영되어 발전단가도 2018년에 250원/kWh에서 2022년 224원/kWh, 2040년에 131원/kWh으로 점진적으로 인하됨.

<표 IV-2-39> 연료전지 설치비 및 발전단가 전망

구분		2018년	2022년	2030년	2040년
가정용	설치비(만원/kW)	2,640	1,600	700	410
	발전단가(만원/kW)	158	149	146	146
건물용	설치비(만원/kW)	2,750	1,800	900	410
	발전단가(만원/kW)	158	149	146	146

□ 이를 위해 정부의 ‘신재생에너지 보급 지원 사업’ 예산을 단계적으로 확대하여, 자가용 연료전지 보급의 확산을 지원함.

- 신재생에너지 보급 지원 사업의 일환으로 현재 주택 및 일반건물에 신재생에너지원을 설치할 경우 설치비 일부를 보조해 주는데, 자가용 연료전지의 보조율이 약 70% 수준임.
- 2019년 기준 총 126억원에 달하는 ‘신재생에너지 보급 지원’을 통해 주택용 연료전지는 kW당 23.4백만원, 건물용 연료전지는 kW당 22.4백만원을 지원함.
- ※ 일본은 가정용 연료전지 시장 성장세를 고려하여 보조율을 점진적으로 축소하고 있으며, 2019년에 폐지할 예정임.
- 일본 가정용 연료전지 보조율 추이: (‘09) 46.2% → (‘12) 32.3% → (‘15) 21.5% → (‘19) 폐지

- 또한 공공기관 가스냉방 의무화 제도를 원용하여, 공공기관, 민간 신축건물에 연료전지 설치 의무화를 검토함.

※ 공공기관 가스냉방 의무화 제도 : 연면적 1,000m² 이상 건축물 신·증축 또는 냉방설비 전면 교체 시 냉방설비용량의 60% 이상을 에너지효율 향상을 위한 시설로 설치토록 하는 제도임.

- 에너지효율 향상을 위한 시설 : 심야전기, 도시가스, 지역냉방, 열병합, 신·재생에너지 등을 이용한 냉방방식을 활용한 시설

※ 공공기관 신재생에너지 설치 의무화 제도 : 연면적 1,000m² 이상 신축, 증축, 개축 건축물의 예상에너지 사용량의 공급의무비율(2019년 27%) 이상 신재생에너지(태양광, 태양열, 지열, 연료전지, 수열, 집광채광, 목재펠릿 등)로 공급하도록 하는 제도

- 이와 함께 병원, 데이터센터 등에 활용중인 디젤, 가솔린 등의 사용 발전기와 같은 비상전원을 ‘건물용 연료전지+ESS 시스템’으로 대체하도록 지원함.

- 수소를 저장용기에 저장하는 경우, 장기간 동일한 양으로 보관이 가능한 점에서 비상전원용 ESS의 배터리 열화 감소에도 기여할 수 있음.

2) 자가용 연료전지의 안정적 수익 확보를 지원하여 시장 창출을 도모함.

- 발전용 연료전지와 유사하게 자가용 연료전지 수요자의 투자 기대수익 확보와 함께, 투자의 불확실성을 함께 제거하는 조치가 병행되어야 함.

- 이를 위해 LNG 전용 요금제 신설하고 전력계통 부담 완화에 따른 전기요금 특례제도(신재생에너지 자가소비용 전기요금 할인제도)연장의 검토 등 추가적인 인센티브를 2022년까지 마련함.

- 자가용(가정·건물용) 연료전지를 설치, 연료전지를 통해 생산된 전기를 자가소비 할 경우, 2020년까지 적용받을 수 있는 전기요금 특례제도(신재생에너지 자가소비용 전기요금 할인제도)를 2022년까지 연장함으로써, 자가용(가정·건물용) 연료전지 설치의 인센티브로 활용함.

<표 IV-2-40> 신재생에너지 자가소비용 전기요금 할인 제도 주요 내용

- 개요 : 한국전력에서 신재생에너지 발전으로 생산된 전기를 자가 소비하는 산업용 및 일반용 고객을 대상으로 자가소비로 절감되는 전기요금의 50% 할인해주는 제도로써 2020.12.31.까지 한시적으로 적용됨.
- 할인금액 계산식 = 자가 소비량 × 전년도 해당 중별 중간 및 최대부하시간대 평균 판매단가 × 50%

※ 신재생에너지+ESS 설치 고객에 대해서는 추가적인 인센티브를 제공

<계약전력 대비 ESS 배터리용량 비율에 따른 추가 할인금액 및 예시>

계약전력 대비 ESS 배터리용량 비율	추가 할인금액
5% 미만	없음
5% 이상 ~ 10% 미만	신재생에너지 할인금액의 20%
10% 이상	신재생에너지 할인금액의 50%

※ 요금계산 (예시)

- (신재생)발전량 8,000kWh, 송전전력량 1,000kWh (자가소비 8,000-1,000)
- 전년도 해당 중별 중간 및 최대부하시간대 평균 판매단가 : 150원(가정)
- 계약전력 대비 ESS 배터리용량 비율 : 7.5%

❶ 신재생에너지 자가소비용 전기요금 할인 : 525천원

= 7,000kWh × 150원 × 50 % = 525천원

❷ 신재생에너지+ESS 추가 전기요금 할인 : 105천원

= 525천원 × 20 % = 105천원

3) 수요자 맞춤형 모델 개발을 지원함.

☐ 설치장소 또는 사용유형별 특징을 고려하여 다양한 모델을 출시하도록 유도함.

- 1kW에서 700W로의 변화를 가정하는 경량화 모델과, 건물의 모듈화, 10kW에서 25kW로의 변화를 가정하는 대용량 모델 등이 존재함.

☐ IoT 기술과 연계하여 원격, 자동으로 연료의 사용과 생산된 전기와 열의 활용을 관리 및 향상시키는 스마트 관리시스템을 개발함.

☐ 태양광 대여사업을 원용한 ‘연료전지 대여사업’이나 연료전지 열 및 전기 중개사업 등 새로운 비즈니스의 모델을 발굴함.

○ 연료전지 대여사업은 사업자가 해당주택에 설비를 설치 및 관리하여 임대료와 인센티브 수익으로 투자비를 회수함.

※ 태양광 대여사업 : 대여사업자가 설치 희망자(주택)에 설비를 무상으로 설치·관리하고 대여료와 추가 인센티브 수익으로 투자비를 회수하는 제도임.

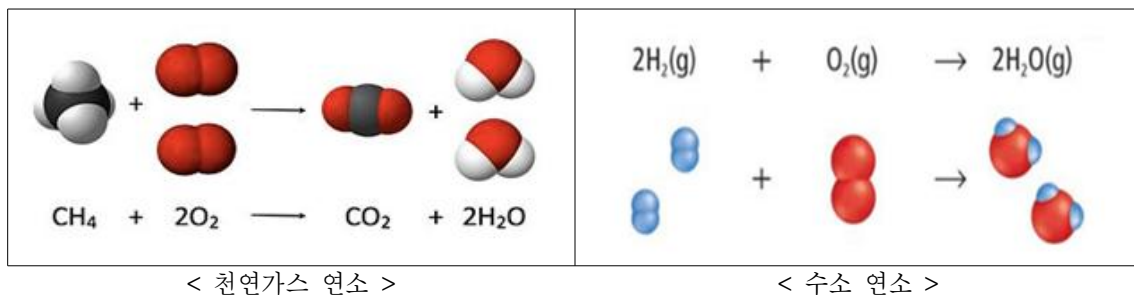
○ 연료전지 열 및 전기 중개 사업은 중개사업자가 연료전지로 생산한 열과 전력을 모집 및 관리 후 거래를 중개함.

※ 열 및 전기 중개사업 : 중개사업자가 연료전지로 생산한 열·전력을 모집·관리하여 전력 구매자와 중개하는 사업임.

4. 수소가스터빈 개발 지원

□ 수소가스터빈은 수소의 연소를 통해 터빈을 구동하여 전기를 생산하는 방식으로 전통적 화석연료(C_xH_y)와 달리 수소(H_2)만 연소되어 연소과정에서 원천적으로 이산화탄소(CO_2)가 발생하지 않는다는 장점이 있음.

[그림 IV-2-16] 천연가스와 수소의 연소과정 비교



○ 수소가스터빈은 열과 함께 결합생산(병합발전) 할 경우 80% 이상의 고효율 달성이 가능하며, 상용화 시 설치비, 수명 등이 연료전지에 비해 우수할 전망이다.

- 또한 기존에 개발된 터빈 제조·운영기술을 활용하여 안정적인 발전이 가능하고 산업저변 확대가 용이하다는 장점이 있음.

○ 그러나 빠른 연소속도, 높은 연소온도로 인한 위험성(Flashback), 다량의 질소산화물 발생, 연소 불안정 등의 문제 해결은 숙제로 남아있음.

· 수소의 빠른 반응속도로 인해 연료공급속도가 연소속도를 따라가지 못해 화염이 점화원 쪽으로 역행할 위험이 높음.

- 이미 일본은 **NEDO** 프로젝트의 일환으로 글로벌 중·소형 가스터빈 제작사인 가와사키중공업에서 **2018년 4월 1MW급 수소터빈 연소기**를 실증한 바 있음.

※ NEDO(New Energy and Industrial Technology Development Organization) : 2003년 10월 설립된 일본의 신에너지산업기술종합개발기구로서, 에너지 환경 분야와 산업기술을 담당하는 독립행정법인임.

- 특히 수소-천연가스 혼소 운용부분에서 2017년 12월을 기준으로 수소 20% 사용에서 2018년 4월 기준으로 수소를 100% 사용으로 확대함.

<표 IV-2-41> 수소 가스터빈의 국가별 기술수준 및 현황

국가	기업명	기술수준
한국	서부발전	한국형 300MW급 석탄가스화(CO 61%, 수소 28%) 복합발전(IGCC) 실증플랜트 구축 운용
	한전 전력연구원	발전용 가스터빈 연료다변화를 위한 IGCC용 가스터빈 실증 연소시험 설비 구축
일본	가와사키중공업	MW급 가스터빈 수소 혼소 연소기술 개발(0~100%), 1MW급 가스터빈 발전 실증 (20% 수소 혼소)
	MHPS(Mitsubishi Hitachi Power Systems)	30% 수소 혼소 700 MW 가스터빈 연소기 개발
유럽	Siemens	50MW급 수소혼소(15%) 가스터빈 실증
미국	GE	IGCC용 200MW급 Syngas(CO 61%, 수소 28%) Turbine 상용화

- 국내에서도 2020년부터 수소 혼소 및 전소용 가스터빈의 R&D를 추진하고, 2030년까지 상용화를 추진함.

<표 IV-2-42> 수소가스터빈 기술목표

구분		현재	2022년	2025년	2030년 이후
기술목표	수소 혼소	-	수소 혼소비율 최대 30% 연소기 설계변경기술 및 운영기술개발	수소혼소 연소기 개조 및 적용	상용 적용 추진
	수소 터빈 (전소)			대형수소터빈 연소기 기본설계 (혼소/전소)	대형수소터빈 연소기 실증 (혼소/전소)
			수소터빈 연소 기술개발		
				1MW 터빈 개발	상용 적용 추진

- 특히 수소 혼소(대형)와 수소 전소(소형)로 구분하여 기술개발을 추진하고, 실증 인프라도 동시에 구축함.

- 2022년 수소 혼소 연소기의 설계기술 및 운영기술 개발 후, 2024년 시제품 실증을 통한 기술을 검증하고 2026년 대형 가스터빈의 적용을 확대함.
 - 혼소부분은 국내 운용중인 발전 용량 150MW급의 F급 가스터빈의 연소기 개조에 적용함.
- 전소부분은 2022년 가스터빈 연소진단의 실증기술을 개발하고, 2024년 연소기 설계 및 제작기술 개발, 2026년 1MW 수소가스터빈 공동개발·실증 후 2028년 사업화를 목표로 함.
- 인프라 부분은 개발된 수소가스터빈 기술을 적용한 발전소 실증을 활용해 수소 혼소기술의 확대 및 적용함.
 - 1MW급 마이크로그리드 연계형 소형 수소터빈의 실증 및 중소기업의 기술이전을 통한 공급망을 구축함.

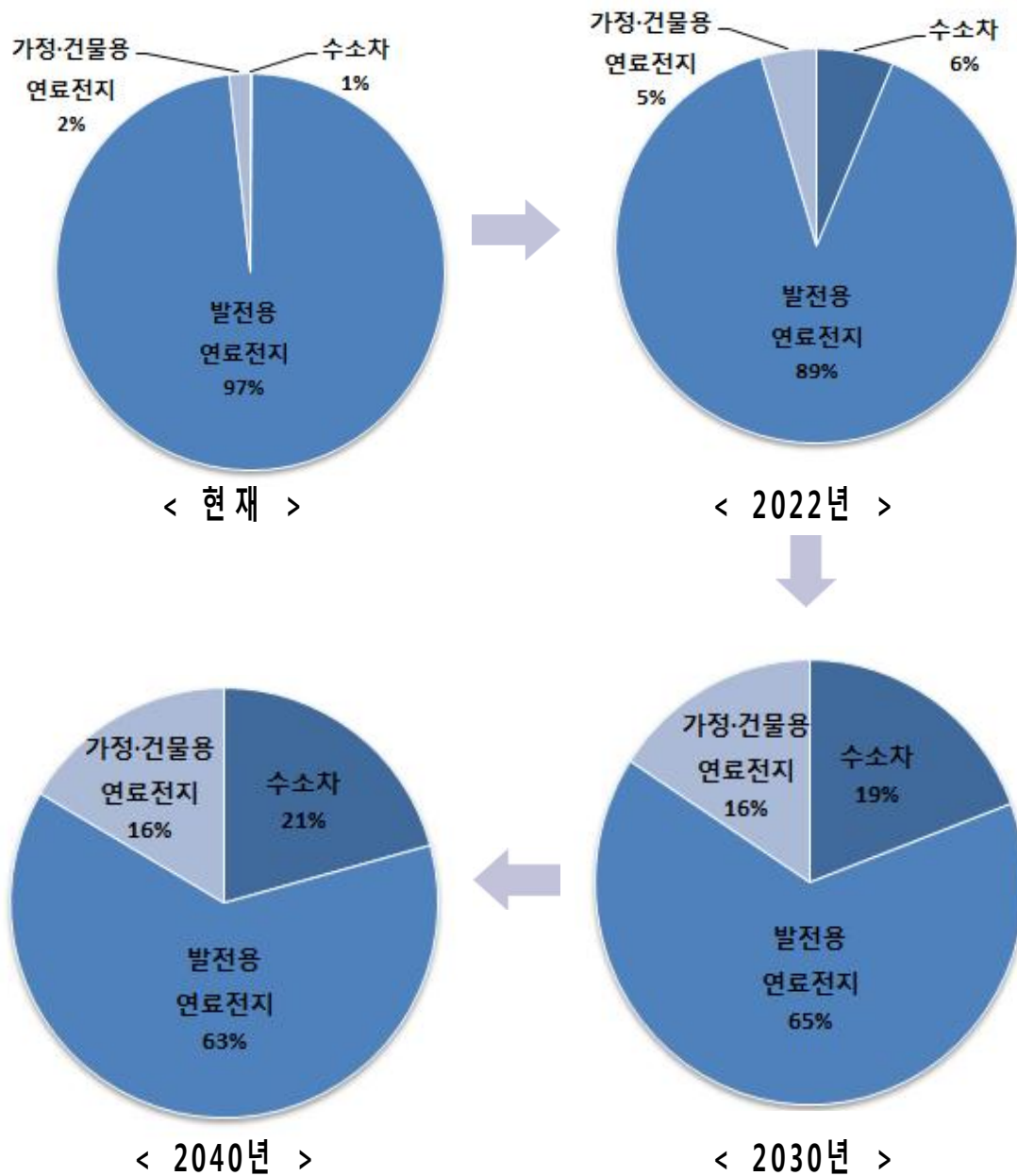
IV-3. 수소의 안정적·보편적 공급 시스템 구축방안

제1절 수소 생산 및 공급 시스템 구축

1. 수소 생산 및 공급 시스템 구축 방향

- 전장에서 살펴본 바와 같이, 수소경제 활성화를 위한 국가 비전으로서 먼저 “수소차 및 연료전지 세계시장 점유율 1위 달성”을 목표로 수소 활용산업에서의 시장창출과 육성에 무게 중심이 있음.
- 만일 전장에서 제시된 목표들이 달성되어 국내 수소 활용부문이 충분히 육성·확대되면, 자연스럽게 파생 수요로서 ‘수소’ 자체에 대한 수요 역시 확대될 수밖에 없으며, 이로 인해 기존 산업용 원료 수요를 넘어 새로운 영역에서 수소시장이 창출·확대될 수 있음.
- 수소차 및 연료전지 등 수소 활용부문의 국내시장 규모 확대에 따라 파생적으로 창출되는 수소수요는 **2018년** 현재 연간 **13만톤** 정도이지만, 전장에서 제시된 목표에 따라 수소 활용부문이 성장할 경우, **2022년에는** 연간 **47만 톤**, **2030년에는 194만 톤**에서 **2040년에는 526만 톤**까지 확대될 전망이다.
 - 2018년 기준 산업용 원료 수요를 제외하고, 순수하게 수소차 및 연료전지 등 수소활용 부문에서 창출되는 수소수요는 연간 13만 톤이며, 이 중 97%는 발전용 연료전지 부문에서 소요됨.
 - 다만, 향후 수소차 및 자가용 연료전지 부문의 확대로 발전용 연료전지의 수소 조달로 인해 창출되는 수소 수요의 비중은 2020년 89%에서 2040년에는 63%까지 점진적으로 축소될 것으로 전망됨.

[그림 IV-3-1] 수소 활용부문별 수소 파생수요 창출 기여도



□ 수소수요가 이와 같이 확대되면, 수소 생산단가가 가장 저렴한 생산방식(기술)부터 수요를 충족시키기 위한 공급이 이루어짐.

○ 수소생산 방식별 생산비용(생산단가)은 2018년 기준 부생수소 방식이 수소 1kg당 2,000원 미만으로 가장 저렴하며, 천연가스 추출방식은 2,700~5,100원 수준, 수전해 방식은 최소 9,000원 이상 10,000원 수준임.

- 부생수소 생산단가 : 현재 유통되는 수소의 제조 공급가격 기준임.
- 천연가스 추출방식 생산단가: J&K Heater 제공 자료이며 설비용량은 10,000~300 Nm³/hr, 가동률 80% 가정, 원료비는 수소제조 가격의 50~90%임.
- 수전해 방식: 2030년 및 2050년 각각의 전기요금을 kWh당 50원과 30원으로 가정하였으며, 시스템가격 100만원/kW로 가정하여 산정함.
- 해외수소 도입가격: 일본 수소수입 상업화(2030년)로 일본 도착기준 300엔/kg 목표가격을 적용함.

<표 IV-3-1> 수소방식별 생산비용 전망

(단위 : 원)

생산방식	2018년	2022년	2030년	2050년
부생수소	1,500~2,000	1,500~2,000	1,500~2,000	1,500~2,000
천연가스 추출	2,700~5,100	2,600~4,800	2,500~4,300	2,400~3,900
수전해	9,000~10,000	7,000~8,000	3,000	2,000
수입	-	-	3,000	2,000
기타	-	-	-	-

- 현재 수소차는 주로 저렴한 석유화학 공정 등의 부산물인 부생수소가, (발전용·자가용)연료전지는 주로 천연가스 추출수소가 공급됨.
 - 발전용 연료전지의 수소 조달은 천연가스를 사업장 외부로부터 조달받아, 사업장 내에서 수소를 추출하여 활용하거나 사업장 외부에서 생산된 수소를 직접 조달받아 활용하는 두 가지 방식이 있음. 이 중 현재는 주로 전자의 방식을 활용하지만, 향후 후자의 방식이 확대될 수 있음.
- 2030년경에는 가장 비싼 수전해 방식도 현재의 추출수소 평균 생산단가(약 3,900원/kgH₂)보다 낮아져, 최대 수소 1kg당 3,000대가 될 것으로 전망됨.
- 수소수요가 충분치 않은 초기에는 천연가스 추출수소를 핵심 공급원으로 삼아, LNG 공급망, 수요처 인근 등에 규모별 수소생산기지를 구축해 나가는 것이 가장 경제적이면서도 효율적임.

□ 그러나 천연가스 추출을 통한 수소생산에서 이산화탄소(CO_2)가 소량 배출되는 문제로 인해 천연가스 추출수소 위주의 공급방식은 한시적으로 운영해야 하며, 이를 위해 추출수소의 비중을 2030년에는 전체 파생수소 대비 절반(50%) 수준으로, 2040년에는 30% 수준까지 단계적으로 축소하는 방향을 검토해야 함.

○ Salkuyeh et al.(2017)나 맥킨지(2018) 등은 천연가스 수소추출기 효율을 약 66% (=생산된 수소의 저위발열량 ÷ 투입된 천연가스(메탄)의 저위열량 × 100)을 사정하여, 수소 1kg을 생산할 경우 천연가스 수소추출기를 통해 이산화탄소 9.8kg이 배출되는 것으로 추정하여 상정함.

○ 그러나 최근 개발되어 판매 중인 천연가스 수소추출기 효율이 약 75% 이상으로, 이 경우 수소 1kg 생산 시 이산화탄소 배출량은 8.6kg으로, 향후 천연가스 수소추출기 효율 향상에 따라 점진적으로 이산화탄소 배출량도 감소할 것으로 전망됨.

□ 대신, 이산화탄소 배출이 없는 그린수소(Green Hydrogen)의 비중을 확대하는 것이 바람직하며, 전체 파생수소 대비 절반(50%) 수준으로, 2040년에는 70% 수준까지 단계적으로 확대하는 방향을 검토해야 함.

○ 수소 생산방식을 이산화탄소 배출 유무에 따라, 이산화탄소 배출이 동반되는 그레이수소(Grey Hydrogen)와 이산화탄소 배출이 없는 그린수소(Green Hydrogen) 그리고 바이오매스를 활용하는 수소 생산방식과 같이 전과정적으로 이산화탄소 배출이 중립적인 블루수소(Blue Hydrogen)로 구분됨.

○ 이 중 그린수소는 재생에너지원으로 생산된 전기를 활용한 수전해 방식이나 해외에서 재생에너지를 활용하여 국내로 도입하든지 또는 해외 그레이수소에서 탄소포집 및 저장(CCS)을 적용, 해당 국가에서 이산화탄소 문제를 해결하고 국내로 도입하는 수소로 한정됨.

□ 결국 2030년 재생에너지를 기반으로 한 수소 산유국으로의 도약을 목표로 다음과 같은 방향으로 수소 생산 및 공급 시스템 구축을 추진함.

(1) 우선적으로 석유화학 공정 등의 부산물인 부생수소를 일부 활용함.

- 2017년 석유화학 등의 산업용 Feedstock과 같은 공정 내 사용량은 164만톤이고, 여유 생산능력은 수소차 25만대 분량에 해당하는 약 5만톤 정도임.

(2) 단기적으로 수소 수요처 인근을 중심으로 수소생산기지를 구축함.

- 전국 LNG 공급망을 활용하여 거점형 수소생산기지를 구축하고 도심지에 위치한 LPG, CNG 충전소 또는 CNG 버스 차고지 등을 활용하여 수요처 인근에서 소규모 추출형 수소생산·충전소를 구축함.

(3) 중장기적으로 재생에너지의 잉여전력을 활용하여 친환경 수소의 생산을 확대함.

(4) 2030년부터는 해외 재생에너지와 갈탄 등을 활용하여 수소를 생산하고 운송함.

<표 IV-3-2> 수소 생산 구성 및 공급 목표

구분	현재	2022년	2030년	2040년
구성	①부생수소 ②추출수소	①부생수소 ②추출수소 ③수전해	①부생수소, ②추출수소 ③수전해, ④해외생산 ※ ①+③+④ : 50%, ② : 50%	①부생수소, ②추출수소 ③수전해, ④해외생산 ※ ①+③+④ : 70%, ② : 30%
	-	수도권 인근 대규모 생산	해외 수소 활용	CO2 free 수소 대량 도입
공급	13만톤/년	47만톤/년	194만톤/년	526만톤/년

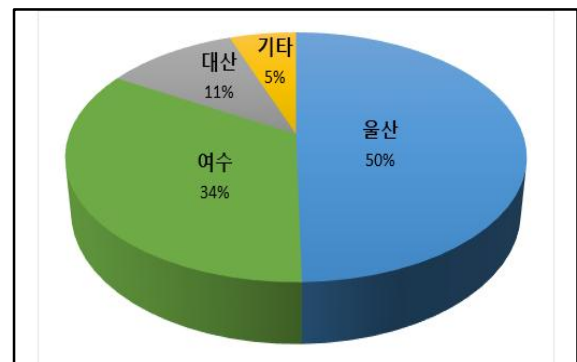
2. 부생수소 활용 전략

- 부생수소는 납사의 개질이나 분해, 제철 등 공정에서 발생하는 부산물 중에 수소가 많이 포함되어 있는 혼합가스를 압력순환 흡착공정(**PSA: Pressure-Swing Adsorption**) 등으로 정제하여 순도를 높여 생산하는 수소를 의미함. 현재까지는 국내에서 가장 경제적인 수소 제조방법임.
- (정유산업) 납사 개질공정에서 국내에서 생산되는 75%의 수소가 생산되지만, 정유공장 내부에서 수소첨가 탈황공정이나 수소첨가 분해공정 등에 직접 사용, 정유공장 외부로의 공급은 사실상 없음.
- (석유화학산업) 납사에서 에틸렌과 프로필렌을 생산하는 납사분해 공정이나 염소와 가성소다를 생산하는 클로르-알칼리 공정에서 수소가 부산물로 발생함.
- (제철산업) 철광석 환원 시 사용하는 코크스를 생산하는 과정에서 다량의 수소를 포함하고 있는 COG(코크 오븐 가스)가 발생함.
 - 제철산업은 부생수소 순도가 낮아 정제하여 활용하기보다는 연료로 자체 소모함.
- 현재 울산, 여수, 대산 등 석유화학단지를 중심으로 부생수소가 생산되고 있으며, 충분한 대규모 공급 여력을 보유하려 함.
- 2017년 국내 수소 생산능력은 연간 192만톤 정도이며, 울산 50%, 여수 34%, 대산 11% 등 주로 석유화학단지에 분포함.

[그림 IV-3-2] 수소 생산능력 및 지역별 생산비율 현황

지역	생산능력 현황(톤/년)
울산	949,677
여수	645,626
대산	210,222
기타	106,764
합 계	1,912,289

<수소 생산능력현황>



<지역별 생산비율>

- 주요 수소생산 업체는 덕양, SPG, 에어리퀴드, SDG, 에어리퀴드, 린데 등이 있음.

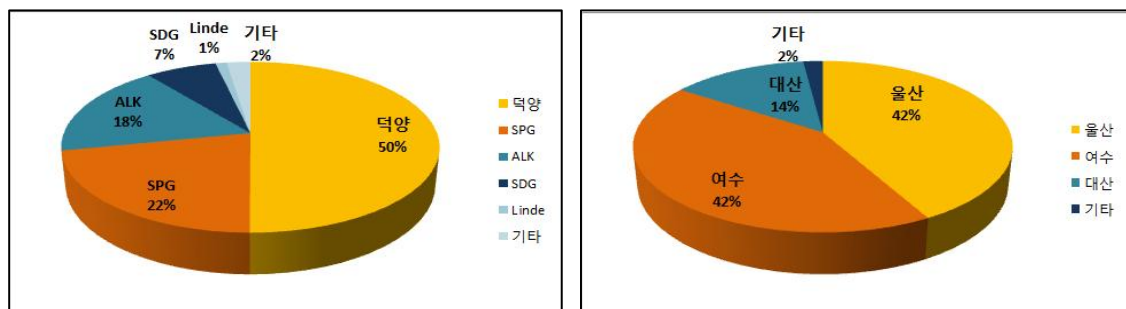
<표 IV-3-3> 국내 주요 수소생산 업체의 부생수소 생산 능력

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

○ 2017년 실제 수소 생산량은 약 164만톤이며, 자체 소비(특히 정유공장, 석유화학 업체 등) 141만톤과 외부 활용 23만톤으로 구성됨.

- 외부 활용 23만톤은 제강산업(철강 압연 시 표면처리, 비철금속 환원용 가스, 스테인리스 냉연가공 시 표면처리)나 반도체(실리콘 반도체, 디스플레이, 실리콘 웨이퍼 제조 공정에 사용), 용접 및 절단, 광섬유, 유리제조, 식품산업 등에서 사용되며, 덕양이 약 50%를 유통하고 SPG, 에어리퀴드 순으로 공급하고 있음.

[그림 IV-3-3] 기업별 및 지역별 수소유통량 비율



<기업별 수소유통량 비율>

<지역별 수소유통량 비율>

- 이러한 부생수소는 주로 수소 파이프라인이나 튜브트레일러 등으로 유통됨.

<표 IV-3-4> 수소 파이프라인 및 튜브트레일러의 공급량

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

- 국내 수소 파이프라인은 대략 193km로 주로 울산이나 여수, 대산 등 석유화학단지 내에서 산업체 사용 수소의 93% 정도를 공급함.

<표 IV-3-5> 국내 산업용 수소 파이프라인 설치 현황

(단위 : km)

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

- 한편 부생수소 중 외부 유통물량 일부(약 1.7만톤, 약 7%)만이 약 500대 정도 운영되고 있는 튜브트레일러를 통해 공급됨.
- 석유화학 공정의 가동률과 연계되는 부생수소의 특성을 고려하였을 때, 부생수소의 생산량은 큰 변동이 없을 것으로 전망하며, 장기적으로는 외부 유통량 중 일부를 전용해서 활용할 수 있을 것으로 전망함.
- 이러한 부생수소는 일종의 수소경제 준비 물량으로 인식, 활용이 가능할 것으로 보이며, 특히 여유생산능력을 감안할 경우 수소차 약 25만대에 소요되는 약 5만 톤의 수소를 단기적으로 활용할 수 있을 것으로 보임.
- 다만, 다른 분야에 비해 미래 전망이 어려운 점, 정책의지 반영이 곤란한 점, 새로운 성장동력 창출 및 친환경 에너지와 연관성이 상대적으로 적은 점 등을 고려하여, 향후 수소 활용부문 확대에 의해 추가 창출된 수요를 충당하는 로드맵 상의 주된 수단에서는 제외함.

3. 추출수소 공급 시스템 구축 전략

□ 추출수소는 주로 탄소와 수소의 화학적 결합체인 탄화수소(특히 천연가스, 석유가스(LPG), 납사 등)에서 화학적 반응을 통해 수소를 추출하는 생산방식으로 현재까지 가장 보편적으로 ‘수증기 메탄 추출방식(SMR: Steam Methane Reforming)’이 활용됨.

○ 추출수소 생산방식에서는 수증기 메탄 추출방식(SMR), 부분 산화 추출방식(POR: Partial Oxidation Reforming), 자열 추출방식(AR: Autothermal Reforming) 등이 있음.

<표 IV-3-6> 추출수소 생산방식별 주요 특성 비교

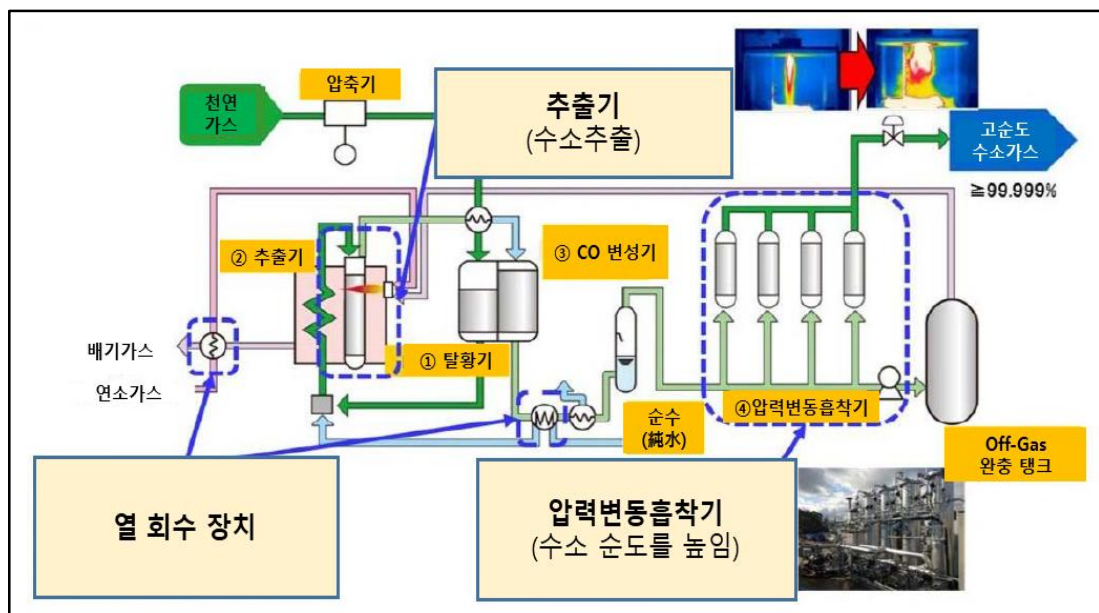
구 분	반응식	장단점	
수증기 개질반응 (SR : Steam Reforming)	$\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + 3\text{H}_2$ (흡열반응)	장점	고농도 수소제조 : 75% 이상 (Dry gas 기준)
		단점	정상상태 도달시간이 오래 걸림
부분산화반응 (POX : Partial Oxidation)	$\text{CH}_4 + 1/2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO} + 2\text{H}_2$	장점	정상상태 도달시간이 짧음 낮은 반응온도, 에너지 사용량 적음
		단점	수소농도가 낮음 : 35% 이하 (Dry gas 기준)
자열개질반응 (ATR : Autothermal Reforming)	$\begin{aligned} \text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} &\rightarrow \text{CO} + 3\text{H}_2 \\ \text{CH}_4 + 1/2\text{O}_2 &\rightarrow \text{CO} + 2\text{H}_2 \end{aligned}$	장점	정상상태 도달시간이 짧음 흡열/발열반응이 동시에 일어나므로 열 관리 유리
		단점	수소농도가 낮음 : 55% 이하
CO ₂ 개질반응 (CDR : Carbon Dioxide Reforming)	$\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{CO} + 2\text{H}_2$	장점	반응물로 CO ₂ 사용 (온실가스 배출 저감)
		단점	높은 CO 생성량 및 반응온도 높음, 효율 낮음 Coke formation 발생빈도 높음

○ 이중 단위 메탄(천연가스) 당 생산되는 수소의 양이 가장 많은 메탄과 고온의 수증기를 반응시키는 수증기 메탄 추출방식(SMR)이 가장 보편적으로 활용도가 높음.

- 수증기 메탄 추출방식(SMR)은 메탄(천연가스)과 물을 연료로 700℃ 이상의 고온에서 촉매 반응시켜 수소를 추출하는 방식으로 흡열 반응으로 외부에서 열 공급이 필요하며, 정제 장치와 연계하여 고순도 수소 제조가 가능함.

- 반응식: $\text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{H}_2 + \text{CO}_2$
- 수소 추출과정은 다음과 같음.
 - ① (탈황기) 도시가스 경우, 첨가된 유황계 부취제 제거 필요(유황성분이 추출촉매를 피독시켜 촉매수명에 영향을 미침).
 - ② (추출기) 1단계 수소 추출($\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + 3\text{H}_2$)
 - ③ (CO 변성기) 2단계 수소 추출($\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$)
 - ④ (압력변동흡착기, PSA) 제조된 수소의 순도를 높임

[그림 IV-3-4] 수소추출과정



- 수소 수요가 충분치 않은 초기에는 단기적으로 수소 대량공급의 기반으로써, 추출수소, 특히 추출수소(특히 수증기 메탄 추출방식)를 수소경제 이행의 핵심 공급원으로 활용하는 전략이 가장 경제적이면서도 효율적임.
- 이에 따라서 다음과 같은 추출수소 공급 시스템 구축 전략을 추진함.

1) 거점형 중·대규모 수소생산기지의 천연가스 공급망에 중대형(300~1,000Nm³/h)급 이상 지역별 수요에 맞추어 수소추출기를 설치하여 수소를 대량으로 생산, 공급함.

□ 전국 LNG 공급망에 추출기를 설치하여 추가적인 인프라 투자 없이도, 쉽게 안정적이고 경제적인 수소 생산·공급이 가능함.

○ 이를 활용할 경우 추가적인 인프라 투자 없이도, 쉽게 안정적이면서도 경제적으로 전국단위의 수소 생산 및 공급체계 구축이 가능함.

□ 특히 전국 4개 인수기지(인천, 평택, 삼척, 통영)에서 공급받은 천연가스를 적정 압력으로 조정하는 한국가스공사의 정압관리소(142개소) 등이 수소 생산기지 후보지가 될 수 있음.

○ LNG 생산기지는 인천, 평택, 삼척, 통영에 총 4개가 존재함.

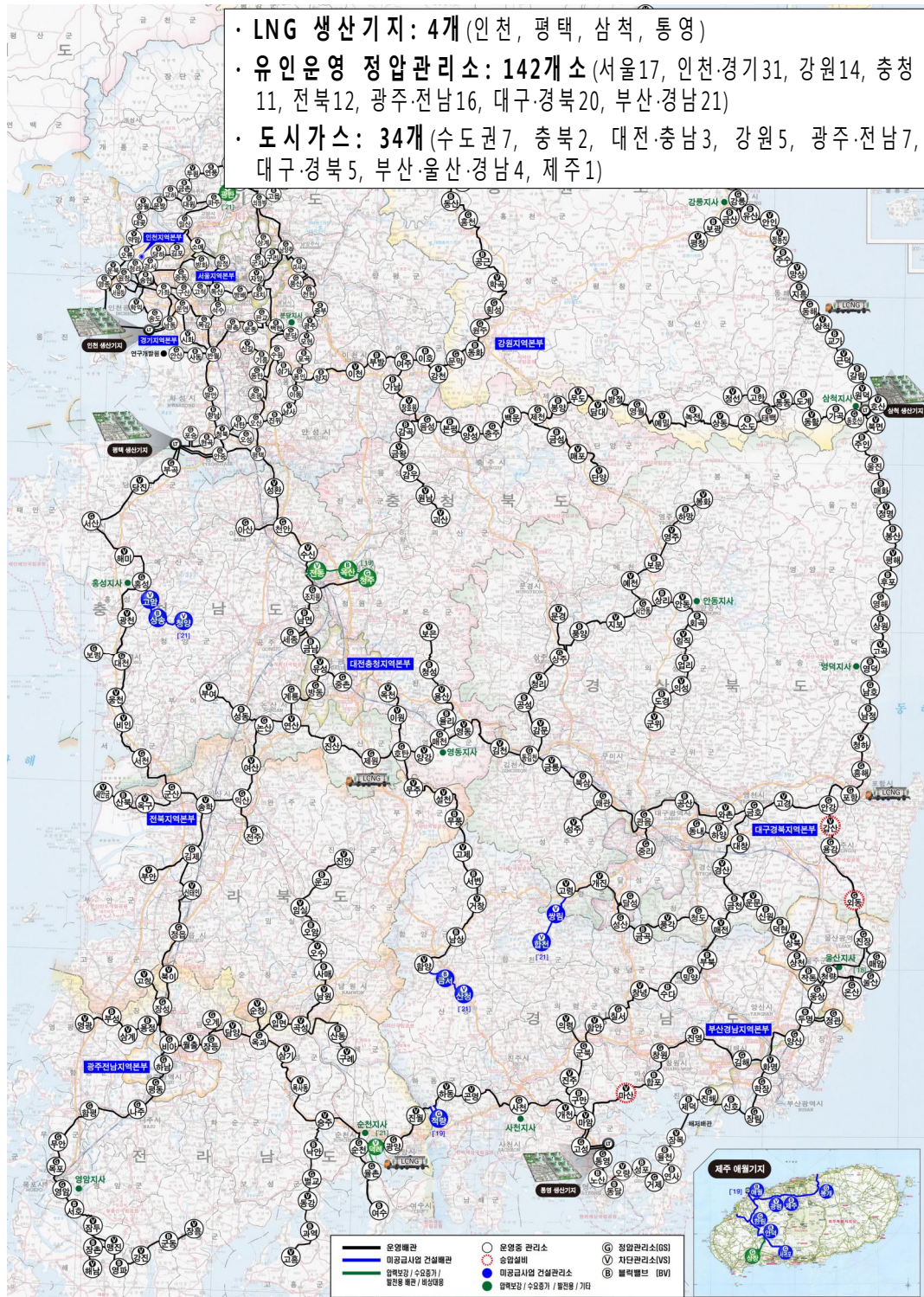
○ 또한 한국가스공사 유인 운영 정압관리소는 서울 17개소, 인천·경기 31개소, 강원 14개소, 충청 11개소, 전북 12개소, 광주·전남 16개소, 대구·경북 20개소, 부산·경남 21개소를 포함하여 국내에 총 142개소가 존재함.

○ 도시가스 운영사는 수도권 7개, 충북 2개, 대전·충남 3개, 강원 5개, 광주·전남 7개, 대구·경북 5개, 부산·울산·경남 4개, 제주 1개를 포함하여 총 34개가 존재함.

□ 이러한 정압관리소 부지 내에 2019년 수소 생산기지 1기를 우선 구축하고, 수소 수요를 감안하여 연차적으로 확대를 추진함.

○ 현재 도시가스법상 정압관리소의 가스공급시설을 제외한 다른 시설물의 설치가 불가능하기 때문에 실증평가 후 도시가스법령 개정을 추진함.

[그림 IV-3-5] 수소생산기지 구축 후보지



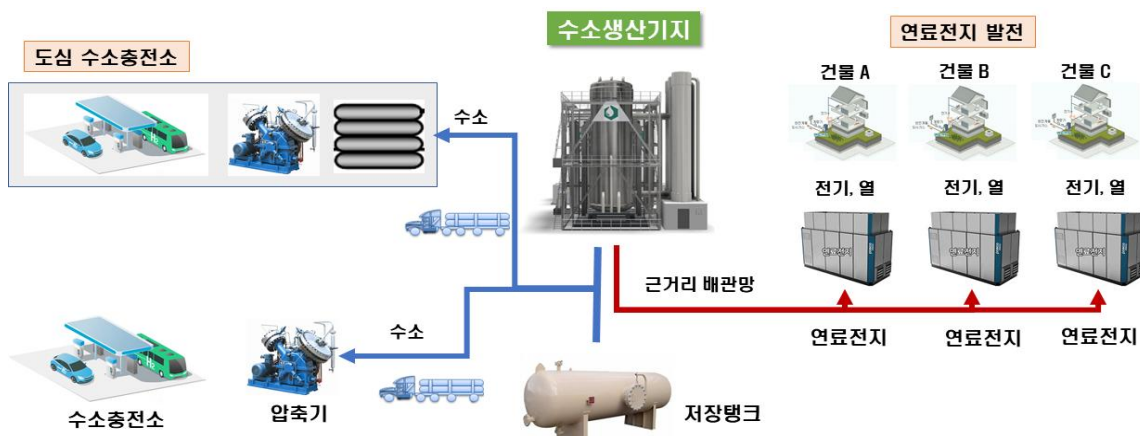
2) 분산형 소규모 수소생산기지로 수요처 인근 도심지에 **LPG** 및 **CNG** 충전소 또는 **CNG** 버스 차고지 등에 중형급($300\text{Nm}^3/\text{h}$) 수소추출기를 설치, 운영함.

※ 중형급($300\text{Nm}^3/\text{h}$) 수소추출기의 1일 수소 생산량은 500kg 이며, 이는 수소버스 20대와 수소차 90~100대 분량에 해당됨.

□ 도시가스 배관망을 활용하여 수요처 인근 도심지에 **LPG** 및 **CNG** 충전소 또는 **CNG** 버스 차고지 등에서 중형급 이상의 수소추출기를 설치, 권역별로 충전소에 공급하는 일종의 권역별 수소생산지기(**Mother station**)로 운영함.

○ 2019년 총 150억원을 투입하여 수소 생산기지를 구축하고 수소차의 확산 및 충전소의 구축 등과 연계하여 연차적으로 확대할 예정임.

[그림 IV-3-6] 권역별 수소생산기지 개념도



3) 대규모 국산 수소추출기 개발, 효율화를 통해 구축비용 절감을 추진함.

□ 고효율·대규모 추출 기술을 확보하고, 수소추출기 국산화를 통해 수소생산기지 구축비용 절감을 추진함.

○ 현재 소형 추출기 기술은 오사카가스, 중·대형 추출기는 린데 등이 선도하고 있음.

- 수소추출기에 대한 국내 기초설계 기술이 부족하여, 현재까지는 외국의 기초설계 기술을 라이선싱하여 상세설계 및 제작을 하고 있는 실정임.

<표 IV-3-7> 수소추출기 규모별 적용처(요도)와 관련 업체 현황

규 모 [Nm ³ /h]	1 ~ 3	5 ~ 10	20 ~ 30	50	100~150	150~500	1,000 ~
적용처	가정용 연료전지	상업용 연료전지	분산발전용 연료전지 (PEMFC, PAFC, MCFC, SOFC)				H ₂ Plant MeOH/DME Plant
	이동형 전원, APU		실증형 수소충전소	수소충전소, 제철, 유리공업, 반도체			GTL Plant NH ₃ Plant
핵심 설계기술	이중관형 원통형 Convection Heat Transfer			단일관형 이중관형 Convection Heat Transfer			단일관형 Radiation Heat Transfer
	Tokyo Gas H&Power KOGAS 두산퓨얼셀 온시스	HyGear KOGAS	MHI	Osaka gas	Osaka Gas Linde (Hydro-CHem) MKK (三菱化工機) Air Liquide (舊 H2GenInno.) Air Products (舊 Harvest E. Tech.) Mahler AGS GmbH HNK Heaters		Linde Jacobs Hardor-Topsoe Lurgi GmbH Air Products Air Liquide Mahler AGS GmbH

<표 IV-3-8> 규모에 따른 개질기 특징

	대형 개질기	중형 개질기	소형 개질기
용도	수소 플랜트 (NH ₃ 및 정유공정) GTL 및 메탄올 플랜트	중-대형 연료전지 발전 수소충전소	가정용 및 소규모 연료전지 발전 이동형 전력, APU
규모	1,000 ~ 수 백만 Nm ³ /h	100 ~ 1,000 Nm ³ /h (50 ~ 2,000 kg/day)	1 ~ 50 Nm ³ /h (1 ~ 50 kw)
주요 특징	단일관형 Reactor (tube 개수 몇 백개 ~ 몇 천개 이상) 고온, 고압 운전 (~850℃/~35barg)	단일관형, 이중관형 Reactor (tube 개수 8 ~ 30개 정도) 중압운전 (~800℃/~20barg)	단일 구조 이중관형 Reactor WGS 일체형 저압운전 (~700℃/~7barg)
Process Steam 공급방식	별도의 HP Steam Boiler 사용	자체 폐열 회수(Flue gas 및 Reformate의 폐열 회수)를 사용한 소형 Steam Generator 사용 개질기 뿐 아니라 주변장치의 공간이 제약되어 있기 때문에 장치의 모듈화 및 단순 설계 필요	
촉매계	Ni		Ru, Pt, Ni
개질연료	NG, LPG, Naphtha	NG, LPG	NG, LPG, MeOH, Kerosene, Diesel, Toluene
개질방식	Steam Reforming		Steam Reforming Auto-thermal Reforming Partial Oxidation

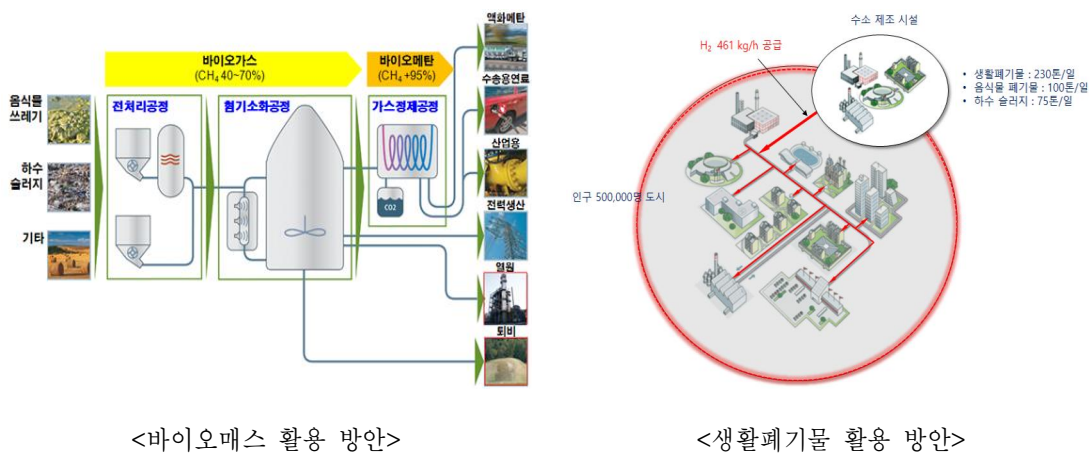
- 구체적으로는 **2022년까지 25Nm³/h** 급 소형 수소추출기 국내 기술을 확보하고,
2030년까지는 1,000Nm³/h급 이상 대형 수소추출기 국내 기술도 추가적으로
 확보하여, 생산효율을 **75%** 이상 달성을 추진함.

4) 천연가스 수소 추출방식 외 추출수소 생산 방식의 다양화를 추진함.

□ 천연가스 수소 추출방식 외에도 도시발생 하수슬러지 및 생활폐기물 등 바이오매스를 활용하여 수소를 생산하는 기술 개발을 지원함.

- 하수 슬러지, 음식물 폐기물 등 유기성 폐기물은 혐기성 소화 공정을 통해 바이오메탄을 생산한 후, 수증기 메탄 추출방식 등을 활용하여 수소를 생산할 수 있음.

[그림 IV-3-7] 바이오매스·생활폐기물 활용 방안



- 이때 메탄, 수소, 일산화탄소, 이산화탄소 등이 혼합된 바이오가스에서 고순도 수소를 얻기 위해서는 추가적인 공정에 대한 기술 개발이 필요함
- 바이오매스의 미생물 발효로 얻은 바이오가스 중의 일산화탄소를 수소로 전환시키거나, 생산된 수소를 정제하는 기술은 개질시스템 개발의 요소기술과 유사하며 바이오매스의 공급량 및 하수처리의 필요로 인해 입지 및 생산량에 제한이 있음.
- 바이오매스 열분해 및 개질시스템 기술을 이용하여 수소를 생산할 수 있으나, 국내는 원료의 안정적인 공급이 어려움
- 현재 이와 관련하여 에너지기술연구원 등에서 생활폐기물, 하수슬러지로 합성가스 생산 관련 연구가 수행되고 있음.

- 또한 NA1과 같은 해양미생물을 촉매로 하여 일산화탄소와 해수를 원료로 수소를 생산하는 기술 개발을 지원함.

[그림 IV-3-8] 해양 바이오 수소 생산



- ▶ 바이오수소 생산기술 개발
- ▶ $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2 + \text{CO}_2$
- ▶ 세계 최고 수준의 원천 기술 보유

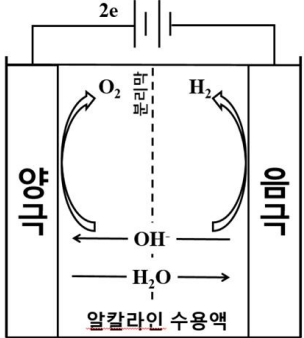
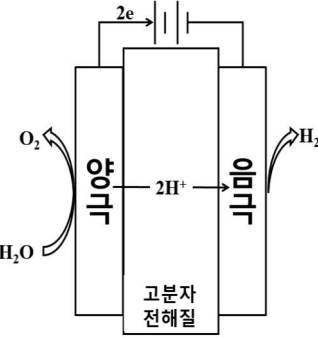
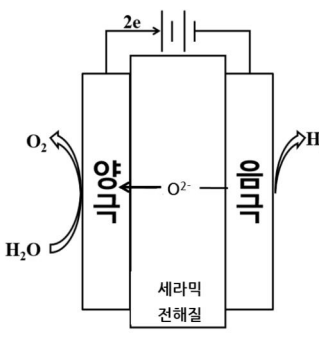
- 이미 국내에는 해양 미생물을 이용한 수소 생산의 원천 기술이 확보된 상태임.
 - 2002년 해양과학기술원의 해양 탐사선 온누리호에 의해 서태평양 파푸아뉴기니 해역 심해열수구(수심 1650m)에서 “써모코크스 온누리스 NA1” 분리에 성공함.
 - 이렇게 분리된 야생형 NA1균주의 유전자 조작 통해, 2008년 100배 이상 수소 생산성 향상하여 현존 미생물 중 최다의 수소화 효소를 보유(8종)한 NA1균주를 개발, 국제특허를 취득한 바 있음.
 - 또한 2017년 당진 제철소 부생가스를 원료물질로 활용하여 해양 열수구 유래 NA1을 이용한 바이오 수소 실증시설 구축 및 연속생산 실증에 성공함.

4. 재생에너지 연계 수전해 공급 시스템 구축 전략

□ 수전해(물 전기분해) 방식은 물의 이온화에 활용되는 전해질(electrolyzer)에 전력을 공급하여 물을 수소와 산소로 분해하는 기술로 전해질의 종류에 따라 알칼라인(Alkaline), 고분자 전해질(PEM), 고체 산화물(SOEC) 수전해 방식으로 구분됨.

○ 알칼라인 및 고분자 전해질(PEM) 수전해 방식은 현재 상업적으로 이용되고 있으며, 장치수명은 약 10년, 전력-수소변환 효율은 70~80% 정도임.

<표 IV-3-9> 수전해 방식별 특성 비교

구분	알칼라인 수전해	고분자 전해질(PEM) 수전해	고체 산화물 수전해(SOEC) 수전해
개념	 <p>양극: $2\text{OH}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- + 1/2\text{O}_2$ 음극: $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{OH}^- + \text{H}_2$</p>	 <p>양극: $\text{H}_2\text{O} \rightarrow 1/2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$ 음극: $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$</p>	 <p>양극: $\text{O}^{2-} \rightarrow 1/2\text{O}_2 + 2\text{e}^-$ 음극: $\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + \text{O}^{2-}$</p>
효율	~80%	~80%	~95%
작동 온도	20~100℃	20~100℃	700~1000℃
특징	저가 소재(가격경쟁력高) 대면적&대형화 가능 변동성 흡수능력 중간	귀금속 소재(가격경쟁력低) 대면적&대형화 가능 변동성 흡수능력 높음	세라믹 소재(가격경쟁력中) 낮은 수명(연구 초기 단계) 변동성 흡수능력 낮음

주: 변동성 흡수능력이 높을수록 재생에너지 등 변동성이 큰 전력공급 환경에서 안정적으로 수전해 가능

○ 알칼리 수전해 방식은 알칼리 수용액을 전해질로 사용하여 물을 전기분해하는 수전해 기술 중 가장 상업화가 많이 진척되었음.

○ 고분자 전해질(PEM) 수전해 방식은 고분자 전해질 연료전지(PEMFC)용 전해질막을 전해질로 이용하여 물을 전기분해하는 방식으로 본격 상업화는 되지 않았으나 실용화에 근접하고 있음.

- 고체산화물 수전해(SOEC: Solid Oxide Electrolyzer Cell)는 연료전지용 고체산화물(SO)을 전해질로 이용하여 물을 전기분해하는 방식으로 수전해 기술 중 전력 사용량은 가장 작으나, 고온을 유지하기 위해 가열이 필요함.
- 특히 발전용 연료전지와 수전해기를 겸용으로 사용이 가능하며, 수소 저장과 연계하면 에너지 저장 및 발전 시스템으로 활용이 가능함.
- 단, 높은 생산효율(95%)에도 불구하고 아직 소재 내구성 문제 및 낮은 수명으로 인하여 연구단계에 머물러 있음.

□ **추출수소가 지닌 이산화탄소(CO₂) 배출 문제로 인해 천연가스 추출수소 위주의 공급방식은 한시적으로 운영할 수밖에 없으며, 대안은 이산화탄소 배출이 없는 그린수소(Green Hydrogen)로 재생에너지 연계 수전해 방식으로 생산된 수소의 공급 비중 확대가 필요함.**

- 수전해 방식은 그 자체에서 이산화탄소를 포함한 어떠한 대기오염물질도 배출하지 않지만, 전과정적인 관점에서 수전해 방식에 사용되는 전력도 생산과정에서 어떠한 대기오염물질 배출도 없어야 진정한 그린수소가 될 수 있음.
- 현재 일반 계통전력은 발전과정에서 석탄 화력발전에 의존할 수밖에 없기 때문에 일반 계통전력을 활용한 수전해 수소는 엄밀한 의미에서의 그린수소라 보기 어렵다는 문제가 있음.
- 결국 태양광, 풍력 등 재생에너지원을 통해 생산된 전력을 활용한 수전해 수소만이 진정한 의미에서의 그린수소가 될 수 있음.
- ※ EU의 “그린수소 인증제도(CertifHy)”에서는 재생에너지(바이오, 수력, 풍력, 태양광)와 연계하여 생산된 수소만을 “그린수소(Green Hydrogen)로 인정함.

□ **국내에서는 2016년부터 재생에너지 연계 수전해 기술 개발이 시작되어, 현재 핵심기술은 선진국 대비 약 70% 수준이지만, 수소 공급원으로서 활용 가능한 대규모, 고효율 수전해 기술 등에 대한 기술개발이 필요한 상태임.**

- 국내 수전해 기술개발은 개별 단전지 성능을 높이는데 주력하여 단전지 성능은 선진국 수준에 근접하였으나 대규모, 고효율 수전해를 위한 스택이나 장기 안정성 기술 개발은 상대적으로 미진함.

<표 IV-3-10> 국내외 수전해 기술 현황

구분	국외			국내
	독일	미국	일본	
기술 및 시장 상황	EU 프로젝트 (HORIZON2020) - 독일과 북유럽 중심 컨소시엄구성 - 재생전력과 가스망을 통합운용 실증 사업 중	DOE : NREL*, - 수요기업 중심 개발 및 실증 - 재생에너지 연계 수소생산실증 운전 데이터 확보(10년) - PEM수전해 집중	NEDO의 R&D 지원과 수요 기업 중심 - 대용량 알칼라인 수전해 집중 (후쿠시마 단지조성) - 재난대비 비상전력 (72h)용 PEM수전해 기술확보	중소기업 위주 소형 수소발생기 중심 - 선진국 대비 핵심기술수준(약70%) - 2016년부터 재생 에너지 연계 수전해 연구과제 지원
기술 수준	효율: 70~80% 용량: 4~10 MW			효율: 50~60% 용량: 0.25 MW
대표 기업	알칼라인 수전해 기업			
	NEL Hydrogen (노르웨이)		Asahi Kasei(일본) Hitachi Zosen(일본)	수소에너지 EM솔루션
	PEM 수전해 기업			
	Siemens(독일) ITM Power(영국)	Giner ELX(미국) Hydrogenics (캐나다)	Toshiba(일본)	엘캠텍

* Department of Energy ; National Renewable Energy Laboratory (미국, 정부출연)

☐ 이에 따라서 다음과 같은 재생에너지 연계 수전해 공급 시스템 구축 전략을 추진함.

1) 대규모·고효율 수전해 기술 개발을 지원함.

☐ 먼저 **2022년까지 MW급** 재생에너지 연계 수전해 기술을 개발하고, 특히 **100MW급** 재생에너지 발전과 연계하여 그린수소를 대량 생산하는 실증사업을 시행함.

<표 IV-3-11> Power to Gas(P2G) : 재생에너지 전력 → 수소 생산(수전해)

구분	1단계 R&D ('19~'21)	2단계 실증 ('22~'23)
P2G	<ul style="list-style-type: none"> · 수전해 및 제어기술 개발 · 전력·가스 등 그리드 연계 	<ul style="list-style-type: none"> · MW급 실증플랜트 구축·운영 (1,000시간 이상)

- ☐ 또한 2022년까지 수전해의 효율을 55%에서 70%로 향상하고, 경제성 확보를 위한 기술 개발을 지원함.

<표 IV-3-12> 수전해 효율향상 및 경제성 확보를 위한 기술 개발 추진과제

연도	추진과제
~2022	대용량 알칼리 수전해 기술(단일스택 기준 15kg-H ₂ /h 이상) 확보 고분자전해질 수전해 기술(단일스택 기준 15kg-H ₂ /h 이상) 실증
~2025	수전해시스템 전력소비량 50kWh/kg-H ₂ 이하 달성 수전해 기반 수소 생산 플랜트 상용화 및 국산화
2025~	수전해시스템 전력소비량 43kWh/kg 대 달성

- ☐ 2025년까지 Mwh이상 급에 해당하는 수전해 수소의 대용량 장기 저장기술 개발을 지원함.

<표 IV-3-13> 수전해 수소 대용량 장기 저장기술 개발 추진과제

연도	추진과제
~'22	재생에너지 연계 비기계식 수소 압축 및 저장 기초·실증 연구 수행
~'25	MWh급 이상 비기계식 수소 압축 및 저장 기술 확보, 전력망 연계 실증
'25~	비기계식 수소 압축 및 저장 기술 기반의 대용량 전력저장 상용화

2) 재생에너지 발전단지와 연계하여 대규모 수전해 수소 생산을 추진함.

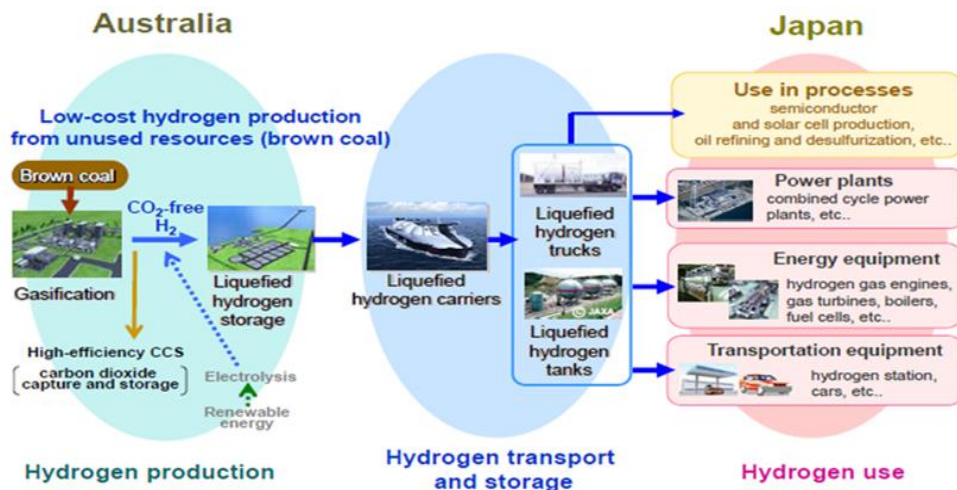
- ☐ 해상풍력 등 대규모 재생에너지 발전단지에서 수소를 대량으로 생산하도록 추진함.
- 지멘스(SIEMENS)사는 풍력발전을 활용한 P2G 실증플랜트에 참여함.
- ☐ 폐도로·도로상부, 매립지·매립예정지 등에 대규모 태양광을 설치하고, 수소를 생산하는 ‘태양광+P2G’를 추진함.

5. 해외 생산수소의 국내 도입 시스템 구축 전략

- 이산화탄소 배출이 없는 그린수소(**Green Hydrogen**) 확대를 위해 이상적으로는 재생에너지 연계 수전해 방식으로 생산된 수소의 공급 비중을 확대하는 것이 바람직하지만, 충분한 재생에너지 전력을 확보하는 문제가 숙제로 남아 있음.
 - 이처럼 국내에서 제한된 그린수소 생산여력을 감안할 경우, **2030년부터는** 해외 재생에너지, 갈탄 등을 활용하여 생산된 그린수소를 수입, 상당량의 부족분을 보충해야 할 필요가 있음.
 - 수소 해외 생산은 안정적 수소 수급과 가격 안정, 국내 온실가스 감축, 수소경제 선도 등과 함께 수소운반선박 등 관련 산업 육성에도 기여할 수 있음.
 - 더욱이 국제적으로 수소경제가 활성화되면, 에너지 운반체(**energy carrier**)로서 수소는 수소의 ‘대규모 저장과 장거리 운송’ 능력에서 진가를 발휘, 궁극적으로 에너지 교역의 패러다임을 변화를 주도할 수 있음. 국제적인 수소경제 활성화로 인한 에너지 교역 패러다임 변화에 대비하기 위한 중장기적인 준비가 요구됨.
 - 우리나라와 유사한 여건을 갖추고서 수소경제를 추진하는 일본의 경우, 자국내 부족한 그린수소 생산여력 보충과 수소 교역을 대비하여 호주나 브루나이 등과 함께 해외 생산 수소의 일본 수송 프로젝트를 추진 중임. 이를 벤치마킹할 필요가 있음.
 - 특히 일본의 해외수소 운송 프로젝트는 수소 운송 상 밸류체인별로 특화 기술을 갖춘 기업들의 협의체가 중심이 되어 수행하고 있으며, 정부가 이를 지원하는 방식으로 진행 중임.
- ※ **일본 - 호주 갈탄 추출수소의 액화방식 운송 프로젝트(HySTRA 프로젝트)**
- 호주 빅토리아에 매장된 갈탄에서 수소를 생산하고 저장, 운송, 이용까지 한번에 가능한 액화 수소 공급망 구축을 하는 일본(NEDO) 시범 프로젝트를 일본 4개사 공동으로 HySTRA를 설립, 각 기업의 특화 기술을 중심으로 협업을 추진 중임.

- HySTRA (CO2-free Hydrogen Energy Supply-Chain Technology Research Association)은 일본 경제산업성(METI)의 수소공급망 수립전략 로드맵(2014.6)에 따라 NEDO에서 프로젝트 시행(2015.6)을 위해 가와사키 중공업, J파워, 이와타니 산업, 셀 재팬 등에 의해 설립(2016.2)된 협의체임.

[그림 IV-3-9] HySTRA 프로젝트 개념도

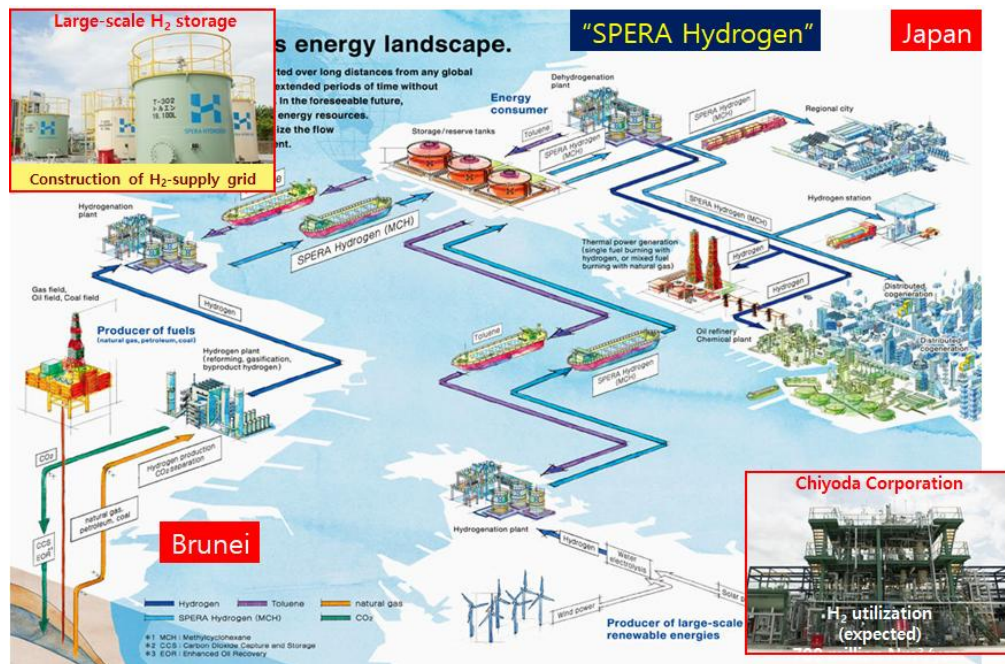


- HySTRA 구성원(역할): J파워(호주 현지에서 갈탄에서 수소추출(가스화 플랜트), 와타니 산업(수소 액화 및 탱크저장, 유통), 가와사키 중공업(액화 수소 수송선 개발), 셀 재팬(해상운송 담당)
- 갈탄의 가스화, 액화수소의 장거리 대량운송, 액화수소 하역 등 기술을 개발 진행하여 2030년 일본 도입을 목표로 추진 중임.

※ 일본 - 브루나이 천연가스 추출수소의 액상(MCH) 방식 운송 프로젝트(SPERA 프로젝트)

- 미쓰비시의 브루나이 생산 천연가스의 LNG액화기지에 치요다 화공건설이 수소화 플랜트시설 건설, 천연가스에서 수소분리, 니폰유센이 선박을 이용하여 일본으로 2020년부터 수소 수송을 개시할 계획으로 진행 중이며, 실증단계에서는 4만대 분 (210톤/년)의 수소가 공급될 예정임.
- 이를 위해 치요다 화공건설 등 일본계 4사가 AHEAD(Advance Hydrogen Energy Chain Association for Tech.Develop) 수소에너지 체인 기술 연구조합 결성, 프로젝트를 수행 중임.

[그림 IV-3-10] 일본의 SPERA 프로젝트

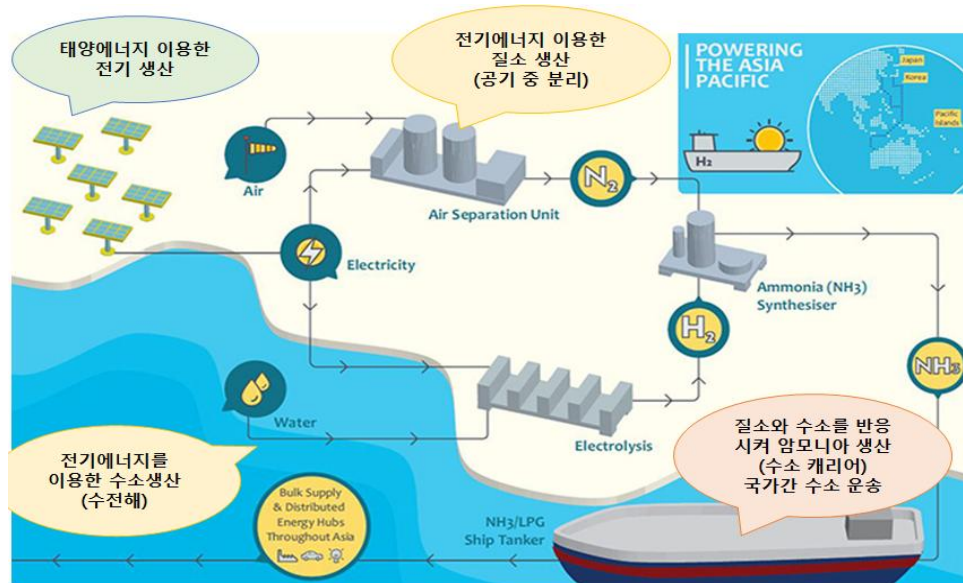


- 특히 치요다 화공건설이 현지에 건설 중인 수소화 플랜트에서는 천연가스 추출수에 톨루엔을 첨가, 액상 MCH(Methylcyclohexane)로 변환하여 일본으로 수송하고, 일본에 하역 후 가와사키에 탈수소 플랜트를 건설하고 다시 수소로 전환하여 가스터빈 발전의 연료로 사용 예정임.

※ 일본 - 호주 재생에너지 연계 수전해 수소의 액상(암모니아) 방식 운송 프로젝트

- 호주는 태양광 발전의 전력을 활용하여 수전해 방식으로 수소를 생산함과 동시에 공기로부터 질소를 분리하여, 수소와 질소를 결합, Haber-Bosch 공정을 통해 암모니아를 합성하는 프로젝트를 추진 중임.
- 호주의 암모니아 제조사 Yara가 태양광 발전 연계 암모니아 파일럿 플랜트를 2019년부터 운영할 계획임.
- 일본은 호주가 생산한 대규모 액상 암모니아를 LPG선박을 활용하여 저장 후 일본으로 운송하는 프로젝트를 함께 추진 중임.
- 일본 Oita대학은 암모니아를 부분 산화시켜 RuO₂/Al₂O₃ 촉매를 이용하여 수소를 생산하는 시스템을 개발 중임.

[그림 IV-3-11] 액상 암모니아 활용 일본-호주간 대규모 수소이송 프로젝트 개념도



□ 이를 위해 다음과 같은 해외 생산수소의 국내 도입 시스템 구축 전략

1) 2022년부터 수소 액화·액상기술, 수소운반선박, 액화 플랜트 등 관련 인프라·기술개발 등을 통해 해외 생산 수소 인수기지 건설을 추진함.

- LNG 인수기지 건설 기술 및 경험을 바탕으로 액화수소를 우선적으로 추진하고, 이에 필요한 핵심 기술을 개발 및 국산화를 추진함.

<표 IV-3-14> 해외 생산 수소 도입 방안

해외 생산		수입(운반)		대량 공급
거점 지역 수소 생산 기지 건설	→	생산 수소 수입	→	국내 인수 기지 건설 및 공급

□ 우선 장기적인 수소 대량소비에 대비하여 해외 수소를 유기화합물의 형태인 액체 또는 액상 형태로 저장하여 선박으로 대량 운송이 가능하도록 추진함.

- 액화저장은 수소를 극저온(-253℃) 저장을 위한 단일기술이 핵심이며, 가장 많은 수소를 저장·운송이 가능한 반면, 액상저장은 화합물에 화학결합을 통해 수소를 저장하고, 암모니아 등을 운반하는 기존선박에도 활용이 가능함.
- 현재 2016년부터 액화수소 화물창에 대한 기술개발을 시작하여 설계기술, 극저온

단열기술, 안전성 평가 등을 수행 중임.

- 2016년부터 2020년까지 총 26억원을 투자하여 한국전력 주관으로 조선3사, 대학이 참여하여 관련 기술을 개발 중임.

<표 IV-3-15> 액화수소에 필요한 핵심기술 개발 추진과제

연도	추진과제
~2022	암모니아 분해/액상유기수소 저장·추출 기초 및 실증 연구 수행
~2025	상용급 암모니아 분해/액상유기수소 저장·추출 기술 실증 및 확보 액화수소운송선박 상용화 및 국산화
2025~	암모니아 분해/액상유기수소 저장·추출 상용화 수소수입 핵심 기자재 100% 국산화 수입수소 수송용 대용량 탱크 개발

- 또한 2030년까지 수소 해외 생산 및 수입과 연계하여 개발 및 실증을 완료함.

<표 IV-3-16> 수소운반선박 개발 기술목표

구분	현재	2022년	2025년	2030년 이후
기술목표	화물창 기술시작	화물창 설계 및 단열, 적하역, BOG 처리기술 확보	실증선박 건조	시험운항 및 상용화

- 액화수소 운송 선박 핵심기술(극저온 단열 기술, 적하역 기술, **BOG** 처리 기술)을 집중적으로 지원하고, 유기화합물과 같은 액상 운반선에 대한 장기적인 기초연구를 진행함.
- 조선 3사가 핵심기술 개발을 주도하고, 기자재업체와의 협업을 통해 대·중소 상생 산업생태계를 조성하도록 지원함.

2) 2025년까지 해외 수소수입과 2030년까지 재생에너지 및 수소 생산의 거점 구축 등으로 글로벌 수소경제를 선도를 추진함.

- ‘갈탄을 활용한 추출수소 및 액화운송’, ‘석유를 활용한 추출수소-액화운송’, ‘LNG를 활용한 추출수소-암모니아 운송’ 등을 협력하고 실증함.

제2절 수소 저장 및 운송 시스템 구축

1. 수소 저장 및 운송 시스템 구축 방향

- 앞서 언급한 바와 같이 국내 수소 활용부문이 충분히 육성, 확대되면, 자연스럽게 파생 수요로서 ‘수소’ 자체에 대한 신규 수요 역시 확대될 수밖에 없으며, 이로 인해 수소에 대한 생산 및 공급이 확대됨.
- 그리고 수소의 생산 및 공급 확대는 국내 유통되는 수소의 물류 규모의 확대로 이어져 자연스럽게 수소를 저장하고 운송해야 할 필요성이 커지며, 수소 저장 및 운송 부문의 확대도 유도함.
- 현재 다양한 형태의 수소 저장 및 운송방식이 개발 중이지만, 현재 상용화된 기술은 고압기체 수소나 액체수소 형태로 수소를 저장 및 운송하는 방식임.
 - 현재 국내 수소 저장은 고압기체 저장은 가능하나, 장거리·대용량 운송에 필요한 액화·액상 저장기술은 아직 개발단계에 머물고 있음.
 - 현재 고압기체 저장은 500bar 수준의 고압기체 수소 저장기술을 상용화하여 확보하고 있지만, 액화나 액상수소 저장기술은 일부 중소기업에서 기술개발 중이기는 하지만 아직까지는 미흡한 것이 현실임.
 - 특히 액상수소 저장기술은 세계적으로 개발단계이지만, 액화수소 저장기술은 이미 유럽과 미국 등에 앞서 확보한 상태임.
 - 한편 운송방식으로 파이프라인과 튜브트레일러가 가능하지만, 운송비용 절감을 위해 고압, 대용량화 등이 요구됨.
- 현재 500대 정도 운행 중인 중·저압기체 튜브트레일러나 울산, 여수 등 수요처 인근에 구축된 약 200km 정도의 수소 파이프라인으로는 앞으로 증가하게 될 수소 물류량을 수용하기 어려울 수 있음.

<표 IV-3-17> 수소 저장 방식별 비교

구분		고압기체	액화	액상(암모니아)
특징		수소기체를 고압으로 압축	극저온 상태로 수소를 액체화	암모니아(NH ₃) 등 화합물 형태로 액상 저장
저장조건		700 기압	-253 ℃	-33.4 ℃
수소저장 (wt.%)		100	100	17.8
저장밀도 (kg/m ³)		39.6	70.8	120
운송방식		튜브 트레일러	탱크로리, 수소선박 등	기존 가솔린(디젤) 인프라, 선박 등
장점		<ul style="list-style-type: none"> - 기존 인프라 활용 - 고순도 수소 저장 	<ul style="list-style-type: none"> - 고압 압축기 불필요 - 고순도의 수소 저장 및 대용량 운송 가능 	<ul style="list-style-type: none"> - 기존 암모니아 인프라 활용 가능 - 일반 압력용기 저장 가능 - 직접 연료로 사용 가능
단점		<ul style="list-style-type: none"> - 고압 저장에 에너지 소모 大 - 낮은 에너지 저장밀도 	<ul style="list-style-type: none"> - 액화에 에너지 소모 大 - 장기간 저장 및 기화 가스 제어 어려움 - 액화플랜트 설치비용 大 	<ul style="list-style-type: none"> - 수소 발생에 에너지가 필요하고, 유독·폭발·부식성이 있음
기술 수준	국내	실증단계	초기 개발 단계	초기 개발 단계
	국외	실증단계 (미국, 캐나다)	상용화 완료 (독일, 프랑스, 미국 등)	실증 단계 (일본, 호주 등)

<표 IV-3-18> 국내외 주요 기업의 수소 저장·운송기술

○연구 / ●실증 / ●상용화

구분	기업명	분야	기술	기술내용
한국	엔케이 (45명/170억)	고압기체	●	저장탱크·튜브트레일러 운송 기술 보유 (200/400/900bar 기술)
	일진복합소재 (72명/203억)	고압기체	●	350~700bar 수소탱크 제조기술 보유 (현대차 납품, 북미시장 진출 등)
	하이리움산업 (20명/5억 미만)	액화	○	자체개발 액화수소 저장 기술을 드론 적용·실증
	메타비스타 (40명/50억 미만)	액상	○	극저온/액체수소 연구 진행 (저장용기, 플랜트)
일본	JSW (Japan Steel Works)	고압기체	●	고압저장탱크 제조기술 보유 (990bar(Type1) 초고압 저장용기 국내 수입 중)
	이와타니	액화	●	극저온(-253℃) 수소 액화수소 기술 보유
	치요다화공 건설	액상/ 액상운송	●	톨루엔 ⇄ 수소를 액상으로 저장·이송기술 개발(LOHC)
	가와사키 중공업	액화운송	○	수소 액화운반선 및 액화 수소탱크 등 기술개발 추진
유럽	린데	고압기체 /액화	●	상용화된 자체 원천 고압기체·액화기술 보유 (전세계 충전시장 진출)
	에어리퀴드			
	하이드로 지니어스	액상	●	디벤질톨루엔 ⇄ 수소를 액상으로 저장·이송기술 개발(LOHC)
미국	에어프로덕트	액화/ 액상	●/○	상용화된 자체 액화기술 보유 및 에틸카바졸 ⇄ 수소를 액상으로 저장·이송기술 개발(LOHC)
	헥사곤컴포지트	고압기체	●	저장탱크·튜브트레일러 운송 기술 보유(500bar)
	링컨컴퍼짓			
	프렉스에어	액화	●	자체 수소 액화기술 상용화 기술 보유
중국	글로벌 기업과 협력하여 수소 인프라 구축			
	(유럽) 린데, (미국) 에어프로덕트			

- 향후, 크게 확대될 가능성이 높은 수소 물류량을 충분히 수용할 수 있도록 경제성 있으면서도 안정적인 대규모 수소 저장 및 운송 체계 마련이 필요함.

<표 IV-3-19> 수소 저장·운송 주요 목표

구분	현재	2022년	2030년 이후
튜브 트레일러	500대	대규모 기체 저장·운송	액화, 액상 및 고체 수소 저장·운송
파이프라인	200km	부생수소 거점(울산, 여수, 대산) 인근에 수소파이프라인 구축	전국 단위의 고압용 수소 파이프라인 구축 검토
추진방향	-	수요처 중심 공급 기반 구축	전국 단위 공급 인프라 구축

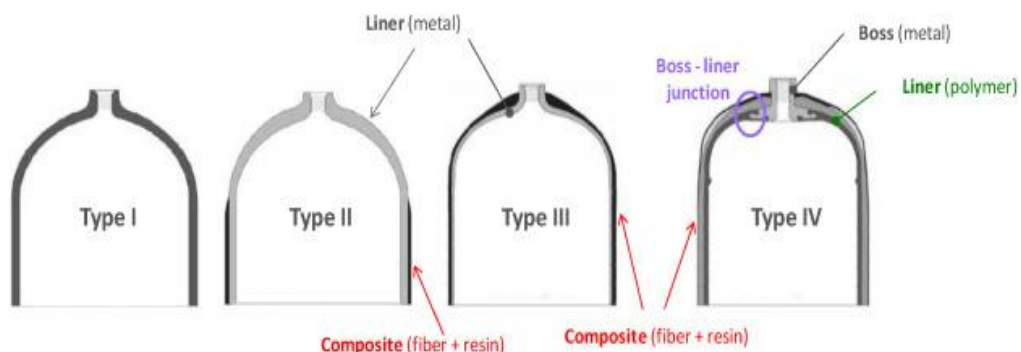
- 이를 위해 다음과 같은 수소 저장 및 운송 시스템 구축 전략을 추진함.

1) 다양하고 고도화된 수소 저장 기술 개발을 지원함.

① 먼저 고압기체 수소에 대한 고압 저장 및 운송의 효율성을 확대할 수 있는 기술 개발을 지원함.

- 수소기체를 고압으로 압축하여 제한된 체적의 용기에 저장하는 방식(고압기체 저장)은 용기에 다량의 수소를 저장하기 위해서 수소(기체)를 고압으로 가압할 필요가 있으며, 이때 압력용기는 Type1~Type4로 구분됨.

[그림 IV-3-12] 고압기체 저장용기의 종류







<표 IV-3-20> 고압기체 저장용기의 종류(재질별 차이)

용기	Type	내용
금속재료	Type1	강철(steel), 알루미늄 등 금속만으로 제작된 고압용기로, 무게가 무겁고 고압 수소 저장의 경우 사용 소재의 제약이 있음
	Type2	Type 1 용기의 몸통부분만 복합재료로 보강하여 제작된 고압용기로, 몸통부분에 복합재료(유리섬유)를 사용하여 제작된 용기
복합재료	Type3	금속재료로 만든 라이너(내측 용기, Al 6061 T6) 전체를 복합재료로 보강하여 제작한 고압용기로, 금속재료(Type1, Type2) 용기에 비해 무게가 가볍지만 내구성이 높지 않음
	Type4	비금속재료(플라스틱)로 만든 라이너 전체를 복합재료로 보강하여 제작한 고압용기로, 무게가 가장 가볍고 내구성이 우수하며 대형용기 제작이 용이하지만, 비금속 라이너 벽을 통한 수소가스 투과현상이 있음

- Type 1 금속재료 용기는 튜브트레일러용 또는 수소충전소용 저장용기로 사용되는 반면, 수소차용 저장용기로는 Type 3나 Type 4 복합재료 용기가 사용됨 (다만, 버스, 트럭용 내용량 저장용기 개발은 추가적으로 필요함).

<표 IV-3-21> 종류 및 용도별 수소 저장 압력용기

명칭	산업용			수소충전소용	
	실린더	실린더번들	튜브트레일러	고압 튜브트레일러	고압저장용기
저장압력 (bar)	120	120	200	400~500	400~1,000
내용적 (liter)	47	47 x 12	18,000~21,000	15,000~25,000	50~150
저장량 (kg)	0.5	6	350	450~800	30
재질	Type 1	Type 1	Type 1	Type 3, 4	Type 1, 2
사진					

□ 튜브트레이일러용 **400bar** 이상 고압 저장용기 기술은 개발 지원이 필요하며, 추가적으로 압력기준 등과 같은 관련 규제를 완화하여 효율성 제고 추진함.

○ 현재 충전압력은 35MPa(=350bar)이고, 내부용적은 150L로 규정되어 있지만, 이를 45MPa 이상, 450L 이상으로 상향하는 것을 추진함.

- 200bar 미만의 산업용 저압 저장용기의 경우, 국내기술과 해외기술이 큰 차이가 없지만, 400bar 이상 (수소충전소용) 고압 저장용기는 기술개발 지원이 필요함.

<표 IV-3-22> 기체수소 저장기술 수준의 국내외 비교

	항목	2018 (국내)	2018 (해외)	비고
산업용 (> 200 bar)	수소저장밀도 (kg/L)	0.02	0.02	국산/해외 기술 수준 비슷함
	수소저장시스템 가격	60만원/kg	60만원/kg	
수소충전소용 (400~500 bar)	수소저장밀도 (kg/L)	0.04	0.05	국내 400bar, 해외 500bar 기준
	수소저장시스템 가격	125만원/kg	100만원/kg	
수소충전소용 (1000 bar)	수소저장밀도 (kg/L)	0.08	0.09	국내 Type1, 해외 Type2 기준
	수소저장시스템 가격	NK 가격 모름	150만원/kg	
수소전기차용	수소저장밀도 (kg/L)	0.033	0.030	
	수소저장시스템 가격	150만원/kg	N.A.	

② 액화수소는 수소 대량 저장 및 공급에 필요한 핵심기술로, 기술개발을 지원하여 국산화를 추진함.

□ **2030년까지 액화 플랜트 및 액화탱크, 펌프, 밸브 등 국산화 기술 개발 지원을 추진함.**

<표 IV-3-23> 국내 수소액화플랜트 핵심기술 추진과제

연도	추진과제
~'30	액화 플랜트 및 액화탱크, 펌프, 밸브 등 국산화 기술 개발 국내 기술수준(최고기술 보유국 : 100) : 압축기 53, 플랜트 설계·건설·운영 55~59 등

- 국내 액화수소 저장기술 수준을 해외 선진국 수준 대비 압축기 기술은 53%로, 플랜트 설계·건설·운영 기술은 55~59%로 끌어올리는 것이 목표임.

<표 IV-3-24> 액체수소 저장 핵심 기술 별 국내 기술수준

대분류	중분류	(소분류) 전략기술명	국내 기술수준 조사 결과			
			최고기술 보유국/기관	기술 수준 (최고 대비%)	기술 격차 (년)	국내산학연기관
수소 액화	고효율 수소 액화 공정	수소 액화 공정	미국/APCI, 독일/Linde	57.3	5.3	KIST
		냉열 활용 통합 공정	미국/APCI, 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, 이노월, 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/운영	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

<표 IV-3-24>액체수소 저장 핵심 기술 별 국내 기술수준(계속)

대분류	중분류	(소분류) 전략기술명	국내 기술수준 조사 결과			
			최고기술포유국/기관	기술수준 (최고 대비%)	기술격차 (년)	국내산학연기관
액체수소 활용	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/EIC, 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	-

□ 액체수소는 안전성, 경제성 측면에서 기체수소보다 유리함.

- 액화수소(liquid hydrogen)는 극저온 상태(대기압 기준 영하 253℃)로 냉각하여 액화된 수소이며, 기체수소에 비해 부피가 약 1/800로 감소, 동일 압력에서 기체 수소 대비 800배의 체적 에너지 밀도(대기압기준 약 71kg/m³)를 가지고 있음.
 - 고압 기체수소 (200 bar) 대비 약 4배의 저장밀도
- 또한 액화수소는 대기압에서 저장이 가능하고, 이에 따라 저장용기의 안전성 부분에서 장점을 가지고 있으며, 낮은 온도로 인해 기존 고압 기체수소에 비해 폭발 위험성이 낮음.
- 다만, 액화수소는 기체수소에 비해 추가비용(1,680원/kg)이 발생하지만, 기체수소 대비 부피가 1/800이고, 운송비용은 1/10이기 때문에 더 큰 경제성을 확보함.

□ 액화수소 상태로 저장하기 위해서는 온도가 액화점인 영하 **253℃** 이상이 될 경우 수소 증발에 의한 압력상승이 발생하므로 내압 성능이 우수한 압력용기가 필요함.

○ 압력용기의 단열 성능이 우수하더라도 증발 가스 (BOG; boil-off gas)의 발생은 필연적임.

□ 현재 미국, 유럽, 일본 등은 수소액화 플랜트를 상용 운영 중이지만, 국내 수소액화 플랜트는 없으므로 핵심기술의 국산화를 추진해야 함.

○ 미국은 1950년대부터 수소의 액화기술을 꾸준히 개발, 1960년대에 우주개발 프로그램과 맞물려 급격하게 성장하였으며, 오늘날에는 저장용기 용량이 300,000m³ 이상, 저장기간이 1,000일 이상인 상용화 시설을 갖추었음.

- 특히 NASA Kennedy Space Center가 지난 30년간 우주왕복선 프로그램들을 관리·운영하면서 액화수소 기술 개발을 주도함.

○ 일본은 수소에너지 연구개발 계획인 WE-NET(World Energy NETwork)을 중심으로 해외수소를 액화하고 액화수소 운반선을 통해 수소수요지에 수송하여 공급·활용하는 액체수소 기반의 수소 공급 시스템을 추진 중이며, 같은 맥락에서 수소 액화기술 개발을 진행 중임.

○ EU는 액화수소에 대해서는 IDEALHY(액화수소생산), CRYOPLANE(액화수소항공기), EIHPII (액화수소 규정) 프로그램을 통하여 액화수소 연구개발을 지원함.

○ 현재 상용화된 수소 액화플랜트 제조사는 크게 Air Product & Chemicals(미국), Praxair(미국), Linde(독일), Air Liquide(프랑스) 등 4개 회사로 건설 및 운영까지 담당함.

- 일본 Iwatani 중공업과 중국 CALT(China Academy of Launch Vehicle Technology) 등도 수소 액화플랜트를 운영하고 있지만, 주요 4개 회사의 원천기술에 의존함.

- 일본은 독자적인 수소 액화플랜트 기술의 확보를 위하여, 2016년 Kawasaki 중공업에서 독자기술로 수소 액화플랜트를 건설하여 시운전중임.

③ 액상 및 고체수소 저장기술은 안전하고 안정적인 수급에 필요하기 때문에 관련 기술 개발 지원을 추진함.

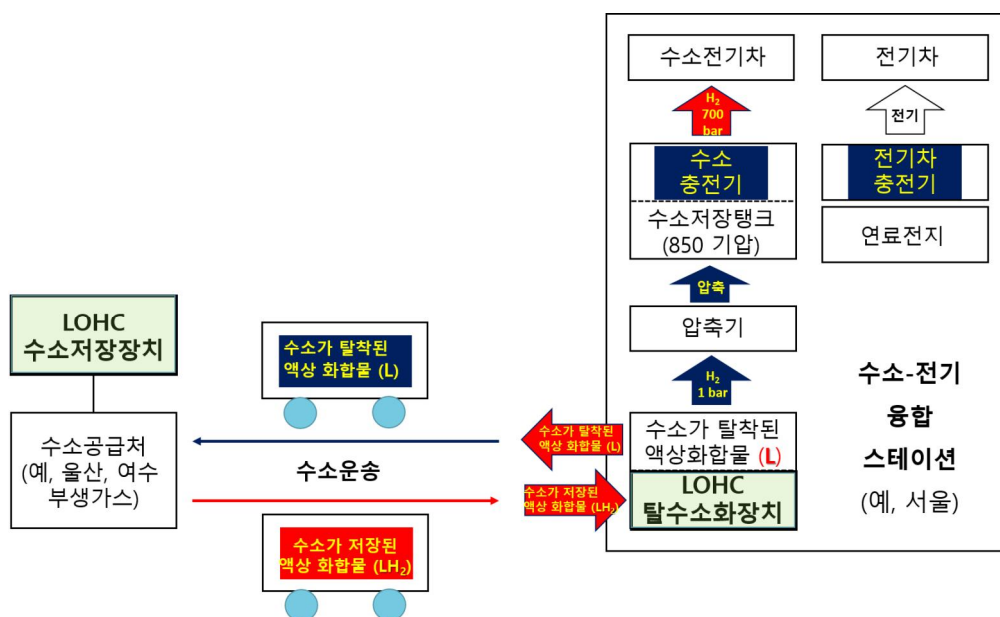
- 2030년까지 액상 및 고체 저장기술 적용 상용급(27kg-H₂/h) 저장시설의 실증과 상용화를 추진함.

<표 IV-3-25> 수소 저장기술 추진과제

연도	추진과제
~'30	액상 및 고체 저장기술 상용급(27kg-H ₂ /h) 실증·상용화

- 액상수소를 얻기 위해 톨루엔, 암모니아 등 유기화합물의 형태로 수소를 변환하면, 상온·상압 수준에서 수소를 안전하고 대량으로 저장 및 운송이 가능함.
- 액상수소 저장기술은 유·무기 화합물 또는 혼합물(L)을 이용하여 상온·상압과 유사한 온도 및 압력 조건하에서 고용량의 수소를 액상형태의 화합물(LH₂)로 안전하게 저장하고 필요시 저장된 수소를 재방출할 수 있으며, 이러한 반응을 가역적으로 수행할 수 있는 소재 및 시스템 관련 기술을 의미함.
 - 수소저장 소재가 액상유기화합물인 경우, 통상적으로 Liquid Organic Hydrogen Carrier (LOHC)로 명명되고 있으며, 대표적인 LOHC는 methylcyclohexane(MCH), N-methyl carbazole, dibenzyltoluene 등 수소화된 화합물이 있으며, 유기 화합물 이외에 유·무기 복합체 등이 있음.

[그림 IV-3-13] 액상 유기 화합물(LOHC) 이용 대용량 수소저장·방출기술 개념도



- 유·무기 화합물 기반 액상 화합물 및 혼합물의 경우, 국내는 현재 연구 초기 단계이지만, 암모니아 기반 액상 화합물 및 혼합물의 경우, 국내는 현재 원천기술개발 및 초기 응용기술개발 단계에 도달함.
- 향후 액상 화합물 기반 대용량 수소저장기술 개발을 위한 체계적인 원천, 응용 및 실증 연구 지원이 필요함.
- 일본 및 독일의 경우, 지속적이며 체계적 지원 하에 실증 및 상용화 단계로 진입함.

□ 고체수소는 수소저장합금 등 고체물질의 내부 또는 표면에 수소를 고체형태로 저장하여 안전하고 효율적으로 저장하고 운송함.

- 수소를 고체물질의 내부 또는 표면에 고체형태로 낮은 압력으로 안전하게 저장하고 필요 시 저장된 수소를 재방출하는 기술임.
- 상온 부근에서 작동하는 AB, AB₂, AB₅ 형태의 금속간 화합물 또는 BCC 구조의 금속합금을 이용하는 저장기술과 중고온 부근에서 작동하는 Mg/Mg합금 또는 금속이온이 AlH_x와 BH₄과 같은 착이온과 결합한 금속착수소화물 형태의 고체 저장기술, 그리고 저온에서 나노다공체 등 표면적이 큰 소재의 표면수소흡착에 기반한 고체 수소저장기술과 앞의 세 가지 분류에 포함되지 않는 기타 고체수소 저장기술로 분류할 수 있음.
- 저장 밀도와 에너지 효율 및 경제성을 고려했을 때 수소저장합금을 적용한 고체수소저장 기술을 바탕으로 한 정치형, 스테이션용 저장 기술의 상용화가 가장 유망함.
- 고체저장은 수소 저장 방식 중 가장 안전하여 잠수함 등 특수목적용으로도 활용할 수 있지만 세계적으로 아직 초기 단계이므로 장기적으로 기술 확보 및 지원의 확대가 필요함.

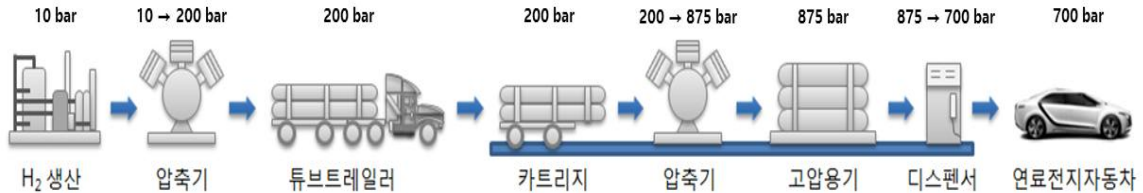
2) 수소 운송 방식의 효율화를 추진함.

- 앞서 언급한 바와 같이 국내 수소 운송체계는 대규모 수요처에 공급하는 파이프라인 운송방식과 중소규모 수요처를 대상으로 공급하는 튜브 트레일러 운송방식으로 나눌 수 있음.

[그림 IV-3-14] 국내 수소 운송 방법



[그림 IV-3-15] 수소 저장·운송 과정



① 먼저 튜브트레일러를 활용하여 고압 기체 운송에서 액상·액화 운반으로 확대를 추진함.

□ **2022년까지** 고압기체수소의 저장·운송 용량 향상 및 트레일러 경량화를 통해 운송비용을 절감하고, 수소 공급 가능지역 확대함.

○ 현재 튜브트레일러 중량은 40톤으로 서울시내 교량 이용에 제한이 존재하기 때문에 20톤으로 감축이 필요함.

○ 또한, 수소충전소의 경제성을 확보하기 위해서 1톤 수준의 수소 운송이 가능한 700bar 이상의 튜브 설치의 확산이 필요함.

- 이는 튜브트레일러 1대로 중소규모 도시의 버스차고지의 수소충전소를 대응 할 수 있는 수준으로 운송비를 63%까지 절감할 수 있음.

<표 IV-3-26> 해외 튜브트레일러 현황

	주요내용
미국	500bar 튜브트레일러 상용화 → 700bar 튜브트레일러 실증 중 용기의 용량 제한이 없으므로, 용기 용량 확대를 통해 대용량 운송 가능
일본	450bar 튜브트레일러 상용화 용기 용량 제한(350L) → 400kg/회 운송으로 버스용 등 대용량 충전소 이용 불가
한국	200bar 튜브트레일러 상용화 → 340kg/회 운송 가능 용기 용량 제한(150L)

□ 장기적으로, **2030년까지 탱크로리를 활용하여 액체수소(액상·액화수소) 운반하여 운송의 효율성을 제고함.**

○ 액체수소(액상·액화수소) 운송방식은 대기압 수준(1~2 bar이하)로 대용량 수소를 저장하여 안전하며, 탱크로리를 사용한 대용량 운송이 가능하여 고압 기체수소 운송대비 운송비를 1/10이상 대폭 절감 할 수 있음.

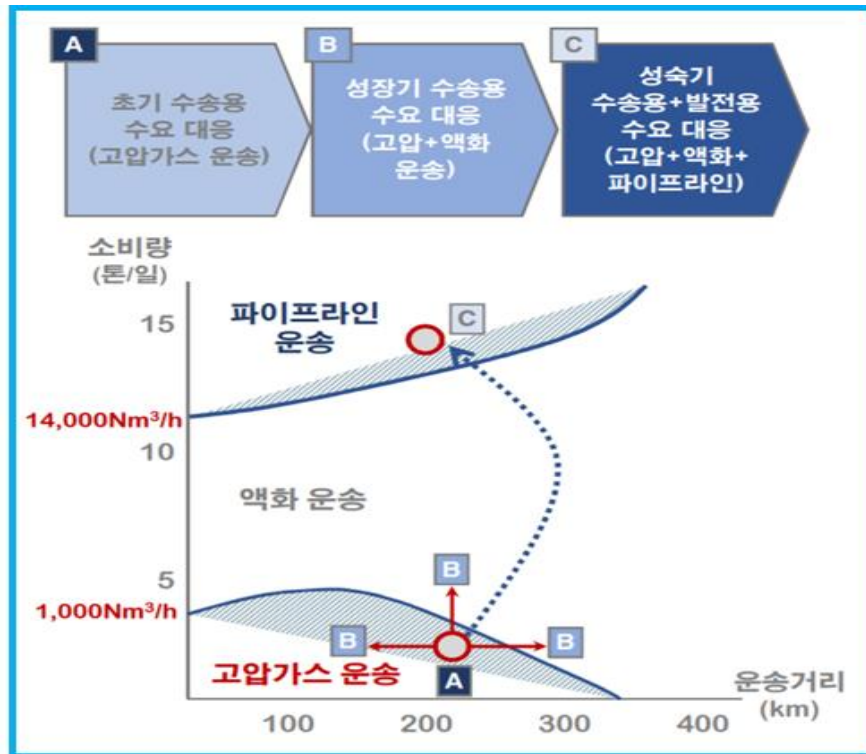
- 특히 대량 수요대응 및 고압관련 규제회피가 가능하며 대도시 내 수소공급에 적합한 방식임.

[그림 IV-3-16] 액체(액상·액화수소)운송방식 및 장점 소개



- 수소 생산규모 확대 초기에는 고압기체 운송이 대부분을 차지하지만, 성장기에 접어들면 고압기체와 액체수소 운송방식의 결합이 이상적이며, 성숙기에는 파이프라인 운송도 함께 이루어져야 함.

[그림 IV-3-17] 운송용량 및 거리에 따른 최적 운송방식



- ② 주요 수요처 중심으로 수소 파이프라인 공급망을 전국으로 확대 추진 함.

□ 수소 파이프라인 운송방식은 소비지가 주로 수소 생산시설과 인접하고, 파이프라인 연결비용이 사용량 대비 효율성이 있을 때 주로 사용되는 방식임.

- 파이프라인을 통한 수소 운송은 원래 다수의 사용자를 위해 도입된 것이 아니며 석유화학산업 내 수소 잉여기업과 수소 수요기업간의 근거리 1:1 수소 운송을 위해 도입된 것임.

- 국내의 수소 파이프라인은 약 200km 정도 구축되어 있는데, 석유화학단지를 중심으로 집중적으로 형성되어 있음.
- 산업용 수소파이프라인의 경우 덕양, SPG, SDG, 에어리퀴드 4개사가 대부분

보유하고 있으며 공급압력은 20bar 내외이며, 설치비용은 대략 10억원/km임.

<표 IV-3-27> 국내 수소파이프라인 설치 현황

파이프라인(km)	합계	울산	여수	대산/서산	안산	군산
덕양	90.9	50.0	33.1	4.0		3.8
SPG	59.3	26.6	10.2	9.6	12.9	
SDG	30.0	30.0				
에어리퀴드	20.0		20.0			
합계	202.2	106.6	63.3	13.6	12.9	3.8

- 따라서 전국에 분산된 사용자에게 수소를 공급하기 위해 파이프라인을 도입하는 것은 비용적인 측면에서 타당성도 깊이 검토하여야 함.

※ 수소 전용 파이프라인 구축비용은 약 4억원/km임.

- 파이프라인 건설비용은 100m당 1억원으로 매우 고가, 단, 배관환경, 도로사정, 시공방법에 따라 많은 차이를 보이고 있음.
- carbon steel(탄소강관)/seamless 파이프를 사용할 시 일반도로매설기준으로 환경이 100A이면 6억원/km, 200A이면 8억원/km 정도의 비용이 소요됨.

□ 주요 수요처에 파이프라인을 우선 설치하고, **2030년까지 LNG 생산기지, 수소 인수기지 등과 전국을 연결하는 주 배관 구축을 추진함.**

- 2022년까지 수소수요가 많은 도시는 민간 주도로 파이프라인을 구축하고 2025년부터 수입기지에 파이프라인을 구축하여 인근에 대규모로 수소를 공급하며, 2030년부터 장기적으로 수소수요 증가에 대응하여 전국을 연결하는 수소 주 배관을 건설하려 함.

□ **향후 수소 파이프라인 전국망 확대를 위해서 파이프라인의 공급압력 향상과 수명 증가를 위한 소재 개발 등도 추진함.**

- 50bar 이상의 취성을 극복할 수 있는 수소 전용 파이프라인 재질을 개발해야 함.
- 또한 현재 파이프라인의 공급압력은 약 20bar이지만, 미국 에너지부의 목표치인 100bar 이상으로 향상이 필요함.
- 파이프라인 설치 기술 자체는 범용적인 기술이라서 큰 편차가 없는 것으로 판단됨
- 그러나 고압용 수소 배관은 수소취성을 예방할 수 있는 별도의 개발이 필요하며

현재 20기압보다 고압으로 운송하는 것이 배관 자체에 수소를 저장하는 효과 및 운송 효과도 극대화할 수 있다는 측면에서 필요함.

IV-4. 수소경제 산업생태계 조성 및 안정성 확보 방안

- 수소경제 활성화 로드맵이 추구하고자 하는 수소활용, 생산, 저장·운송 등 수소경제 시장창출과 성장은 궁극적으로 건강한 수소경제 산업생태계라는 토대가 있어야 가능함.
- 건강한 수소경제 산업생태계를 조성하기 위해서는 수소경제 전 밸류체인 상의 혁신체계(**Innovation system**)가 구축되어야 하며, 이를 위한 기술개발, 인력양성, 표준화, 안전기준 등 혁신을 지원할 수 있는 제도적, 법적 뒷받침이 필요함. 이를 위한 추진과제들은 다음과 같음.

제1절 수소경제 산업생태계 조성을 위한 정책적 지원 과제

1. 범부처 수소기술개발 로드맵 수립

- 산업통상자원부, 과학기술정보통신부 등 관련부처 공동으로 **2019년** 연내 수소경제 이행 상세 기술개발 로드맵을 수립함.
 - 또한 범부처 수소기술개발 예비타당성조사도 추진함(2021년부터 2030년까지 2조원)
- 이때 수소차 및 연료전지 부문에서는 글로벌 초격차 유지를 위한 핵심기술중 업계 의견수렴을 통해 경제적·기술적 파급효과가 큰 분야를 도출하여 국산화를 추진함.
 - 수소차 국산화 추진 분야 : 막전극접합체(전해막질), 기체확산층, 고압용기용 카본소재 등임.
 - 발전용 연료전지 국산화 추진분야 : 셀 전극 및 촉매, 연료변환기 촉매 등임.
 - 자가용(가정·건물용) 연료전지 분야 : 막전극접합체 등임.

□ 수소생산 및 저장·운송분야는 기초·원천 연구개발부터 실증 및 상용화단계 전주기 연구 개발을 연계하여 추진함.

○ 특히 수소 액체(액화·액상)저장 및 운송기술 등 원천기술 확보가 시급한 분야는 해외 선진기업과 공동개발 등 유연한 기술획득 전략을 추진함.

<표 IV-4-1> 분야별 기술획득 전략

분야		기초·원천	부품·제품	확산 지원
생산		알칼리·PEM 수전해 기술 등	P2G 기술개발 및 실증	부지제공 (폐도로 등)
운송·저장	액화	초진공 액화수소 저장 등	액화 탱크로리 및 충전기술	도심內 대규모 실증
	액상	수소↔유기화합물(암모니아) 변환	액상 유기화합물 운송기술	
선박	추진	전극·촉매소재 등	선박용 연료전지 제조 등	항만에 수소공급 및 저장 인프라 구축
	운반	극저온 단열, 적하역 기술 등	저장용기 등 기본설계	

□ 차세대 기술 및 서비스 상용화를 위해 수소융합단지 등 대규모 실증 플랫폼을 구축함.

<표 IV-4-2> 대규모 실증 플랫폼의 기대효과 및 주요내용

구 분	기대 효과	주요 내용
수소융합단지	산업경쟁력 제고	수소기업, 연구기관과 인프라가 밀집된 지역 대상 기반시설 조성, 특화기업 지정, 전문인력 등 지원
특화실증	선도기술 확보	생활폐기물 등 바이오매스 활용 수소 생산 실증

□ 수소경제를 안정적으로 뒷받침하는 밸류체인 전분야 안전성 확보를 추진함.

<표 IV-4-3> 수소경제의 안정성을 위한 주요 내용

	주요 내용
연료전지·수소차 부품	발전용 연료전지 제품에 대한 안전성 시험 및 인증기준 마련 저장용기 등 차량용 부품 및 충전 시스템 안전성 제고
수소열차·선박	상용화 기술개발과 연계하여 안전성 검증 및 안전기준 개발

2. 수소 전문인력 양성

□ 수소 안전관리 전문인력을 양성하기 위해 전문 교육 프로그램을 신설하고 운영을 추진함.

- 수소 생산, 저장·운송, 활용 등 전주기에 걸쳐 수소 안전을 전문으로 관리하는 국가전문자격(수소안전관리자(가칭))을 신설함.
 - 수소 법적기반 마련 시 전문자격시험의 운영 등에 관한 내용 반영을 추진함.
- 충전소의 설계·운영 및 안전 관리 등 수소충전소 관리자를 육성함.
 - 한국가스안전공사 위탁 또는 교육기관에 「수소충전소 관리자(가칭)」 과정을 신설·운영함.
- 부품(저장용기)의 설계·생산단계 안전검사 관련 특화 교육과정을 신설함.
 - 용기·특정설비 위탁교육 또는 전문교육 과정을 신설·운영함.

□ 수소 핵심기술 개발인력 양성을 위해 석·박사급 지원 프로그램 운영을 추진함.

- 부품협력 업체의 기술 고도화에 필요한 전문인력을 파견하고 채용을 지원함.
 - ‘기술혁신형 중소기업 연구인력 지원 사업’을 통해 공공 연구원 인력의 중소기업 파견을 지원(기업별 1회, 최대 3년)하고, 연구인력 채용지원(기업별 1~2명, 최대 3년)함.
 - 수전해 생산 기술(에기연·KIST 등과 중소기업 연계) 및 액체(액화·액상)저장 기술 고도화(KIST·기계연구와 등과 중소기업 연계) 고도화를 지원함.
- 수소차·연료전지 등의 설계, 생산 프로세스, 정비 등의 교육프로그램을 신설하여 수소산업 인력 수급 안정화를 도모함.
 - 수소차 제조·생산기업 등과 폴리텍대학(마이스터고 포함) 간 교육프로그램을 운영함.
 - 연료전지 제조·생산기업과 대학 간 협업 인턴프로그램을 운영함.

3. 수소 국제표준 선점

- 2030년까지 ISO/TC197(수소기술), IEC/TC105(연료전지) 및 GTR(Global Technical Regulation) 등 15건 이상(전체의 20% 이상)의 국제표준 제안을 추진함.

○ 먼저 수소기술 분야에서 2022년까지 2건, 2030년까지 총 5건 이상 제안을 추진함.

<표 IV-4-5> 수소기술 분야 제안 내용

분야	주요 내용
수소 제조	대용량(300m ³ /hr) 추출기의 성능·안전성 평가기술(~'22) 연료전지 기반 고효율 전기·열·수소 생산시스템의 성능·안전성 평가기술(~'30)
저장 용기	충전소 저장용기 Type 3, 4에 대한 안전성 평가기술(~'30) Type3(금속에 탄소섬유를 감은 용기), Type4(비금속재료에 탄소섬유를 감은 용기)
충전 시스템	수소충전 시스템의 종합 성능·안전성 평가기술(~'22) 이동식 수소충전소의 성능·안전성 평가기술(~'25)

○ 또한 연료전지 분야에서도 2022년까지 3건, 2030년까지 총 10건 이상 제안을 추진함.

<표 IV-4-6> 연료전지 분야 제안 내용

분야	주요 내용
건설 장비용	굴삭기, 건설용트럭 등 건설장비 분야에서 연료전지 파워시스템에 대한 일반 요구사항 및 성능 평가기술 등 3건(~'22)
운송용	드론, 선박, 기차 등 이동용·운송용 연료전지 분야에서 일반 요구사항 및 성능·안전성 평가기술 등 4건(~'30)
차세대 기술	既 제정된 고정형, 마이크로형 연료전지 분야에서 국제표준 개정에 필요한 차세대 고효율 성능 평가기술 등 3건(~'30)

- 2018년 12월 출범한 수소경제표준포럼의 분과 운영을 통해 국제표준 검토·제안 및 산업계 지원 로드맵 개발 등 전략적 국제표준화를 추진함.

※ 수소경제표준포럼의 분과로는 정책, 수소기술(제조, 저장, 충전 분과 등), 연료전지(발전용, 수송용 분과 등) 분야가 있음.

- 수소경제 이행 R&D 사업 연계 및 산업계의 국제표준화 대응을 지원함.
- 국제 세미나·포럼 등을 통한 산업계 참여를 확대하고, 한·중·일 표준협력 체계 구축 등을 추진함.
- 국제표준 제안 통과조건은 5개국 이상이 작업반 참여에 찬성해야 함.

4. 수소경제 활성화 이행 기반 구축을 위해 추진체계 및 지원기관 설립

가. 범부처 수소경제 추진체계 구성을 추진함.

- 정부 내 여러 부처와 관련되는 로드맵의 초기 차질 없는 이행과 성과창출을 위해서는 관련 부처 및 민·관 협력 추진체계가 필요함.
 - 수소경제 이행 정책방향을 수립하고, 부처 간 역할 및 협력방안을 조정하고, 이행 목표(기술개발, 인프라, 산업생태계 등)를 점검하고, 규제 개선 등을 논의해야 함.
- 이를 위해 수소경제 관련 법 제정과 연계하여 정책 총괄·조정 기구로 범부처 수소경제 추진위원회 구성을 추진함.
 - 범부처 수소경제 추진위원회의 위원장은 국무총리이며, 위원은 관계부처 장관 및 민간전문가로 구성됨.
- 우선 산업통상자원부 자체적으로 추진하고, 향후 정책 수요 등을 고려하여 관계부처 협의를 거쳐 범부처 지원체제로 확대 검토함.
 - 범부처 지원체계는 법·제도 제·개정, 규제완화, 지원예산 확보, 수송 및 에너지분야 활용 확대, 수소 생산, 저장·운송, 충전소 등 인프라 구축, 기술개발·실증 등을 수행하게 됨.
- 중장기적으로는 수소경제 산업육성을 전담할 전문기관 설립을 검토함.
 - 현재 2016년 설립된 민관 협의체인 수소융합얼라이언스 추진단은 인력규모 등 역할을 수행하기에는 제한적 측면이 있음.
 - 관련 기능은 한국에너지공단, 에너지기술평가원 등도 분산 수행 중임.

나. 2021년부터 '수소산업 클러스터' 조성을 추진함.

□ 수소의 생산, 저장·운송, 활용 등 전 밸류체인 관련 기관·기업·연구소가 집적된 클러스터 조성을 추진함.

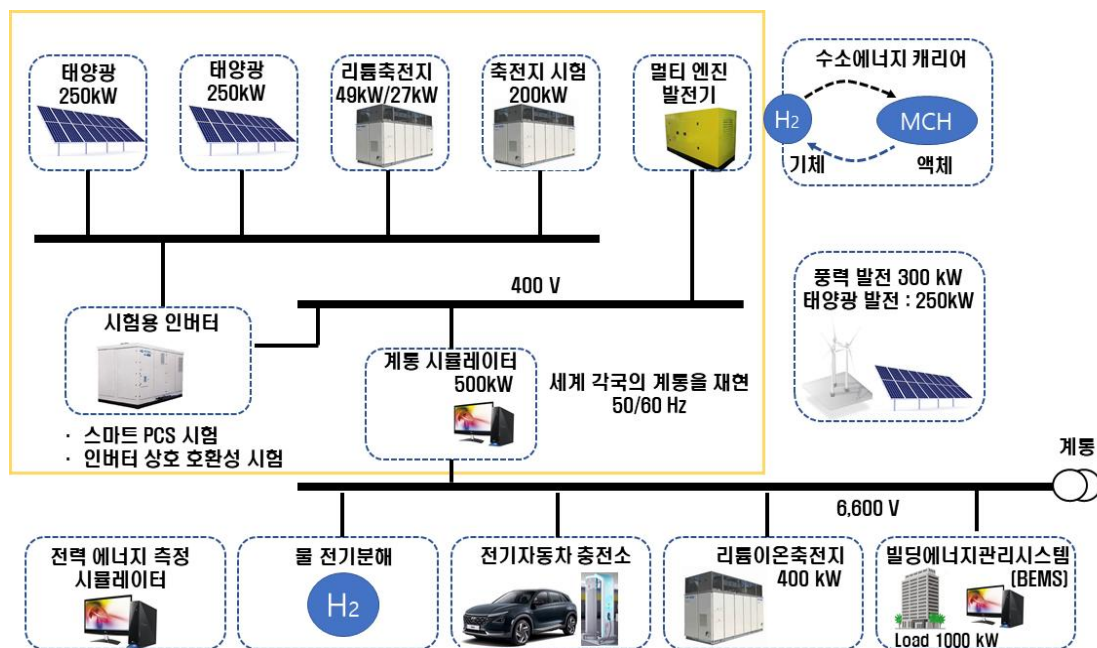
○ 예를 들어, 재생에너지 수전해, 차세대 연료전지(가정·건물·발전), 수소차·드론·철도 등이 있음.

□ 주요 기능은 수소 전반의 기술개발 및 대규모 실증 테스트베드를 수행하게 됨.

○ 클러스터 내에 수소 생산, 저장·운송, 인프라를 구축하고 기업·연구소 공동 R&D 및 대규모 실증을 추진함.

○ 2019년 3월부터 2020년 8월까지 실증단지 설계를 위한 타당성을 검토하여, 연구 개발을 추진함.

[그림 IV-4-1] 수소산업 클러스터



다. 수소 도시(H₂ City)를 조성하기 위해 2022년까지 3개 시범도시 구축을 추진함.

□ 수소 활용 기술·제품·시스템을 실제 적용한 수소 도시 조성을 목적으로 추진함.

- 수소경제의 조기 구현 모델로 도시 내 주거, 교통, 사업 등 수소 활용이 가능한 전 분야에 수소가 적용되는 수소도시를 조성할 계획임.

□ 구축 전략으로 신도시·혁신도시, 수소 활용 선도지역 등을 선정, 수소 시범 도시를 조성하고 인프라 구축 지원, 규제특례 등을 제공하도록 함.

- 수소차, 연료전지, 수소메가스테이션 등 수소 생산, 저장·운송, 활용 등을 실제 도시에 적용함.

<표 IV-4-7> 수소도시 내에서의 수소 활용 방안(예시)

-
- ◆ 도심 공동주택, 상업시설에서 생산된 신재생에너지의 미활용 전기를 활용한 전력 생산 또는 수소 충전 연계
 - ◆ 산업단지(석유화학단지 화학공정 등) 부생수소, 하수·폐기물 처리장 부생수소를 활용한 수소 충전 또는 전력 생산 연계
 - ◆ 버스차고지(고속버스터미널, 환승터미널 포함) 및 물류기지(내륙-수소화물차·지게차, 항만-수소 선박 연계)를 활용한 수소차(승용차, 지게차, 버스, 화물차 등) 충전소 및 수소메가스테이션* 구축
* 수소 저장·공급 및 수소↔전기/난방열 전환·공급 기능을 갖춘 도시 거점
-

- 수소메가스테이션은 수소전기차, 수소버스에 수소를 충전할 수 있는 수소충전 스테이션과 도시내 분산발전을 통해 전기와 열을 공급하는 시스템 그리고 일정 지역내 수소를 공급기지를 겸할 수 있는 융·복합 시스템임.
- 수소도시는 수소에너지 자급자족 도시로 도심 공동주택, 상업시설에서 생산된 신재생에너지의 미활용 전기를 활용하여 생산된 수소 또는 산업단지, 하·폐수 처리장 내에서 생산되는 부생수소를 활용할 수 있는 수소충전스테이션 및 수소메가스테이션 등을 설치하는 도시 모델로 향후 국내 수소생태계 구축은 물론 수출형 도시 모델로 발전될 수 있음.
- 2019년 6월 수소시범도시를 설계하고, 2019년 하반기에 도시별 수소 생산·공급 여건, 수용성 검토를 진행 및 1기 시범도시를 선정하고, 그리고 2020년에 2기 시범도시를 선정할 계획임.

- 도시 내에서 수소의 생산-이송-저장-활용까지 전주기 수소생태계 구축을 위한 도시기반 수소인프라 건설 및 수소 활용성, 가용성, 안전성을 확인하기 위한 수소 시범도시 구축
 - (1기 시범도시) 도심내 환승센터, 버스차고지, 물류기지 내 수소충전소 시범구축 및 안전성 확보 기술, 수소 공동주택·오피스 실증, 수소 에너지 통합관리시스템 기술 개발 및 운영 플랫폼 구축
 - (2기 시범도시) 수소파이프라인, 수소메가스테이션 등 수소그리드망 구축 및 태양광, 바이오매스를 활용한 도심 내 수소생산 시설 실증

[그림 IV-4-2] 수소시범도시 조감도



5. 수소경제 제도적 기반 완비를 위해 법 제정

□ 2019년 중에 「수소경제법(가칭)」을 제정할 예정임.

- 수소경제 기본계획 수립, 수소전문기업 지원, 규제 개선, 안전관리 기준·규정 등 수소경제 활성화를 위한 법적 기반을 마련하게 됨.
- 수소 관련 선도적 중견·중소 기업에 R&D·사업화·인력·세제·금융 등 종합적인 지원 내용이 포함될 예정임.

<표 IV-4-8> 수소경제법 주요 내용(안)

-
- 수소경제사회 이행을 위한 5개년 기본계획 및 연도별 시행계획 수립
 - 수소경제 관련 법령의 개선 권고 (산업부장관 → 해당 중앙행정기관의 장)
 - 수소전문기업 지원(보조금, 세제 등), 특화단지 지정, 충전소설치 촉진, 인력양성 등
 - 수소 관련 제품·시설 등의 안전관리 규정, 사업자의 안전 등록·허가 기준
-

6. 글로벌 수소경제 협력 주도

가. 민·관 글로벌 수소경제 협력네트워크를 구축함.

☐ 수소경제 국제파트너쉽(IPHE), 수소위원회(Hydrogen Council) 등 국제협력체에 적극 참여하여 글로벌 기업들과의 협력을 강화함.

☐ 한·중·일 협력 강화를 통한 글로벌 수소경제 주도권을 확보함.

○ 수소차 개발을 선도하는 한국과 일본이 공동으로 제3의 신시장을 개척하고, 한·일 산업장관회의(한국의 산업통상자원부와 일본의 경산성) 등 고위급 회의 개최 및 논의를 추진함.

○ 한·중·일 수소 협의체를 구성하고, 기술교류 및 해외 공동 사업 등을 추진함.

- 국가 간 인증기관 교류협력 강화 및 한·중·일 공동 국제표준화 대응체계를 구축함.

나. 해외 수소 생산 거점 구축을 위한 전략적 협력을 강화함.

☐ 호주에서는 저렴한 갈탄을 활용하고 동남아, 중동, 중남미 등에서는 태양광·풍력 등 재생에너지를 활용하여 현지에서 수소생산 후 국내로 운반함.

○ 자원협력위(장·차관급)를 활용하여 수소 실무협력채널을 구축하고 협력을 의제화하여 수전해 기술을 공동개발하고 해외 대규모 재생에너지 단지에서 실증을 추진함.

다. 수소경제 밸류체인별 분야별 기술 협력을 확대함.

□ 수전해 기술, LNG 추출형 수소생산기지를 위한 탄소포집기술, 중대형 액체 수소 생산 플랜트 기술을 통해 생산 및 저장·운송함.

□ 유럽시장 진출을 위한 기술협력과 수소가스터빈 기술개발 및 실증 등을 바탕으로 수소를 활용함.

○ 예를 들면, 독일 프라운호퍼와 KIST간 공동연구 등이 있음.

7. Hydrogen Korea 실현을 위한 수출산업화 지원

가. 수소차 수출을 위한 공공부문 지원을 강화함.

□ 인도, 동남아 등 신흥국에 수소차와 생산, 운송, 충전 등 수소인프라가 연계된 최적의 패키지 모델 형태로 수출을 지원함.

○ 동 패키지 모델에 필요한 자금 확보를 위해 AIDB 등 국제 자금 확보를 지원함.

□ 현대차와 아우디 간 특허공유 사례를 다른 글로벌 자동차 회사로 확대하여 국내 수소차 부품기업의 해외 수출을 지원함.

○ 산업기술유출방지법이 승인되면서 2018년 6월 현대차와 아우디 간 특허공유 계약서를 합의하였고, 2018년 9월 12일 효력 발휘를 통해 스택을 제외한 국내 19개 부품기업의 해외수출을 지원함.

□ 수소차 프랑스 수출을 계기로 타 국가로 수소차 수출이 확산될 수 있도록 무역보험 등을 통한 리스크 공유 및 수출을 지원함.

○ 수소차 수출은 무역보험 한도 1.5배를 우대하고, 중소·중견 부품업체는 보험료 20%를 할인함.

나. 연료전지와 부품·소재 동반 진출을 지원함.

- ☐ 발전공기업과 해외 발전사업의 동반진출, 부생수소(중소) 및 플레어가스(카자흐스탄 등) 등 저가연료를 활용하여 대규모 발전 사업이 진출함.
- ☐ 기술개발 해외 실증사업과 연계하여 국내 연료전지 신뢰성 담보 **Track-Record** 확보 및 수출 프로젝트를 추진함.
 - 국내는 연료전지 부품·시스템의 시험·실증·평가를 위해 공동장비 구축 및 평가 센터를 지원하고, 국내외는 Track Record 하여 해외 수출을 추진함.
- ☐ 정부 및 공공기관(금융기관 등)에서 협약보증 금융상품을 개발하여 해외 대규모 프로젝트 참여를 지원함.
 - 예를 들면, 해외 진출에 필요한 장기저리 금융지원과 해외기업 M&A 지원 등이 있음.

8. 수소경제 산업생태계 강화를 위한 소재·부품분야 중소·중견기업 육성

가. 소재·부품 중소·중견기업의 혁신역량 강화를 지원함.

1) 구매 조건부 연계형 연구개발을 추진, 부품·소재기업 성장을 지원함.

- ☐ 수소차, 연료전지 생산 대기업은 필요한 부품·소재 사양을 제시함.
 - 수소차는 성장 초기산업이므로 부품·소재 업체의 초기 투자에 대한 불확실성 해소를 위해 수요기업의 구체적 기술 사양 제시가 중요함.
 - 기존 내연차와 달리 연료전지 스택, 수소공급장치, 공기공급장치 등 새로운 부품·소재에 대한 수요기업의 구체적 요구기술 공유와 협력이 필요함.
 - 연료전지는 형태(MCFC, PAFC, SOFC, PEMFC 등)에 따라 협력업체가 분산되어 있으나 공용부품에 대한 기술공유로 업계 대형화가 가능함.

☐ 수요기업의 구매 및 실증으로 연계되는 선순환 구조를 구축하기 위해서 정부가 연구개발을 지원함.

- 2019년부터 수요기업과 부품·소재 기업이 공동 연구개발하고, 이후 수요기업의 구매·실증 테스트로 연계되도록 하는 정부지원을 설계함.
- 신재생에너지의 핵심기술개발과 수소 연료전지차부품 실용화사업 등에 시범 실시함.
- R&D 결과물이 구매 및 실증 테스트로 연계되어 부품·소재 기업의 전문화·대형화를 지원함.

2) 수소차 및 연료전지 부품·소재 협력업체에 전용 기술역량 프로그램을 운영함.

☐ 수소차와 연료전지 생산업체가 자체 상생협력센터 등을 통해 전문 기술 교육과정을 신설하고, 신기술 전시회 등을 운영함.

- 수요기업의 기술지원단 운영을 통해 부품소재 개발 상시 현장지도를 실시함.

3) 출연연구원 및 전문연구원 등의 핵심 고급인력 지원 프로그램을 실시함.

☐ 출연연구원과 전문연구원이 확보한 원천기술과 실증·상용화 기술을 협력부품 업체에게 이전할 수 있도록 협력 프로그램을 신설함.

나. 투자 설비 및 운영 자금을 지원함.

☐ 수소차 협력업체 장기저리 정책자금 융자 및 투자비를 지원함.

- 대규모 양산까지 협력업체의 경영 어려움이 예상되므로 장기저리 정책자금 및 수요기업의 협력사 지원 등을 통해 동반성장을 촉진함.
- 평균이자 1.75%, 5년거치 10년 분할상환, 시설투자비의 90%이내를 산업은행 등이 지원함.
- 수요기업은 협력부품업체에 최대 400억원 투자비를 지원할 예정임.

□ 전력 신산업 펀드 5,000억원 등을 활용하여 연료전지 협력업체를 지원함.

- 연료전지 중소·중견기업의 양산 설비 구축을 위한 금융지원을 추진함.

<표 IV-4-9> 전력 신산업 펀드 현황

- 개요 : 신재생에너지, ESS, 전기차, 스마트그리드, 마이크로그리드 등 에너지 신산업 조성을 목적으로 5,050억원(한전 5천억, 미래에셋대우 12.5억, 운용사 37.5억 출자) 규모로 조성된 펀드
 - 2016년 1월 최대 2조원 규모의 전력신산업펀드 조성계획을 발표하였지만, 추가 출자기준 미충족으로 투자금이 당초 2조에서 5천억으로 축소됨.
 - 2016년 12월 한전이 펀드운용사(2016년 11월 설립)에 투자자금 5천억원 출자함.
- 에너지인프라자산운용사(지분구성: 미래에셋대우 90.1%, 한전 9.9%)이 2016년 12월 30일부터 30년간 운용함.
 - 상위펀드로 대규모 '프로젝트' 투자(3,535억원), 하위펀드로 유망 '벤처·중소·중견기업' 투자(1,515억원)하기로 계획
 - 2017년 12월까지 프로젝트 투자금액의 2/3이상이 투자되었으며, 상위펀드 투자실적 없으며(29개 사업 투자검토 중), 하위펀드는 11개 벤처·중소기업에 215억원이 투자됨.

다. 중소·중견기업의 글로벌 히든챔프 성장을 지원함.

□ '수소 Hidden Champ 20(가칭)'을 추진함.

- 수출가능성, 기술역량(R&D투자 비중) 등 일정 요건을 갖춘 수소 소재·부품 분야 중소·중견 기업을 글로벌 기업으로 육성함.
 - 선정기준의 예를 들면 매출액 400억원부터 1조원까지, 수출비중 30% 또는 R&D 투자비중 3%가 있음.
- 2020년부터 매년 4~5개 기업을 선정하여 20개까지 확대할 계획임.

□ 선정 기업에 대해 R&D, 인력, 수출, 금융 등을 종합적으로 지원함.

- 기업이 필요로 하는 지원을 우대하고, 패키지로 지원하여 글로벌 시장에서 경쟁할 수 있는 혁신역량을 확보함.

제2절 수소경제 안전성 확보를 정책적 지원 과제

1. 체계적 안전관리 제도 마련

- ☐ **2019년에 국민들이 안심하고 사용 중인 ‘천연가스’ 수준으로 안전성을 확보할 수 있도록 수소산업 안전관리에 대한 법적 근거를 마련함.**
 - 현재 10bar 이상의 고압 수소는 「고압가스안전관리법」을 적용하고 있으며, 수소산업의 중요성·특성을 고려하여 저압 수소까지 포함하는 별도 안전관리법을 제정함.
 - 현재 2건의 수소안전법안이 발의된 상태임.
- ☐ **수소산업 전주기 제조, 저장·운송, 활용에 대한 안전성을 확보하는 제도적 기반을 마련하여 안전한 수소 산업생태계를 조성함.**

<표 IV-4-10> 안전한 수소 산업생태계 조성을 위한 제도적 기반

수소의 안전한 이용·보급을 위한 수급상황 예측 및 이용·보급시책 수립
수소의 제조·충전·저장·판매·사용 시설 및 관련 제품의 안전관리규정
수소사업자 등의 등록·허가기준 및 제반 품질기준, 시설기준, 기술기준 등

2. 수소 부품 및 제품 안전성 기준 강화

- ☐ **충전소, 부품, 시스템 등의 안전기준을 국제기준에 맞게 제·개정함.**

<표 IV-4-11> 수소 부품의 안전기준 개정 현황

수소 충전소	수소충전소 부품이 초고압(82Mpa ↑)에 견딜 수 있도록 KS기준 개정 IoT 기술을 활용한 수소충전소 모니터링 및 원격제어 시스템 개발
튜브 트레이일러	압력용기 허용압력 기준을 일본, 미국 수준으로 상향 (35 → 45Mpa ↑)
발전용 연료전지	대규모 확산이 예상되는 발전용 연료전지 제품(스택)에 대한 안전성 시험 및 인증기준 신설

- ☐ 향후 수요가 증가할 것으로 예상되는 **P2G**, 액화수소 등에 대한 안전기준을 조속히 마련해야 함.

<표 IV-4-12> P2G, 액화수소에 대한 안전기준

P2G	<ul style="list-style-type: none"> 재생에너지의 잉여전력을 활용하여 물분해를 통해 수소를 생산하는 수전해 기술에 대한 안전성 평가 기술 개발
액화수소 저장운송	<ul style="list-style-type: none"> 액화수소 저장·이송 핵심부품(액화장치, 저장탱크, 배관, 밸브 등)에 대한 안전성 시험 및 인증기준 마련 충전소용 액화수소탱크-주차장 이격거리(일본 2m) 등 시설기준 마련

3. 2021년까지 ‘수소 전주기 제품 안전성 지원센터’ 구축

- ☐ 생산, 저장·운송, 충전 등 수소산업 전 주기의 관련 부품 및 제품 안전성 제고를 위한 기술 개발과 성능 평가를 지원함.
- 안전성 ‘기술개발 → 인증 → 표준’ 체계 수립 및 안전성 확보를 위한 소재·부품·기계·기술의 내구성·신뢰성 등을 평가함.
- ☐ 중소 부품업체의 안전성 기술개발 및 국내기준의 글로벌 표준화를 지원함.
- 미국 등과 수소안전에 대한 공동연구 및 국제기준 마련 협력을 추진함.
 - 2017년부터 2020년까지 한국가스안전공사와 미국 SNL의 공동 수소충전소 위험성 평가 기술을 개발 중임.

4. 수소안전 국민 인식 제고 및 신뢰 확산 추진

- ☐ ‘수소안전 가이드북’ 보급 및 교육과정을 반영함.
- 가이드북을 통해 수소에 대한 정확한 정보를 전달하여 안전에 대한 우려를 해소하고, 학교 안전교육 프로그램에 반영함.

<표 IV-4-13> 수소안전 가이드북(안)

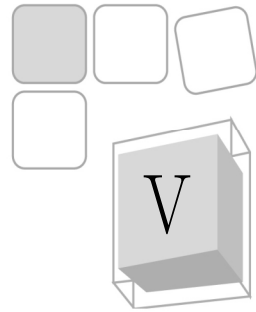
항목	내용
수소폭탄	수소분자는 수소폭탄의 물질 및 작동원리와 전혀 다름
화재폭발	수소는 공기보다 14배 가벼워 누출 시 빠르게 확산, 폭발가능성이 낮음
인체영향	수소는 독성가스를 배출하지 않아 질식과 화상위험이 낮음

□ ‘수소의 날’ 지정 및 박람회를 개최함.

- ‘수소의 날’을 지정하고 우수기업, 우수충전소 등 유공자 포상 및 Best Practice 발굴·홍보, 웹툰·디자인 공모전을 개최함.
- 미국은 2015년부터 10월 8일을 수소의 날로 지정하였으며, 2018년 상·하원에서 공식 지정함.
- 수소 안전기술 전시회, 비즈니스 프로그램, 수소드론·수소자전거 등의 신제품 체험프로그램 등의 박람회를 개최함.

□ 수소안전 체험관을 구축함.

- 수소업계, 지자체 등과 협력하여 주요 도시에 수소안전 교육과 안전 문화 확산의 거점으로서 수소안전 체험관 건립을 추진함.
- 일본은 도쿄 수소정보관과 돗토리 수소학습관을 구축·운영 중임.



수소경제 활성화 기대효과

V. 수소경제 활성화 기대효과

제1절 수소경제 활성화에 따른 경제적 파급효과

- 수소경제 활성화 로드맵에 따라 **2040**년까지 목표가 달성될 경우를 상정하여, 수소경제 활성화의 경제적 파급효과를 추정함.
- 수소경제 활성화의 경제적 파급효과는 크게 수소경제 밸류체인 상 발생하게 되는 매출로 인한 파급효과와 신규 (설비)투자로 인한 파급효과로 구분하여 추정, 최종적으로 합산함.

1. 수소경제 매출 발생으로 인한 경제적 파급효과

- 수소경제는 수소나 수소활용 제품을 생산, 판매하여 매출(가격×판매량)을 발생시키며, 발생한 매출에서 중간재(원료, 부품 등) 구입비용을 공제한 만큼 ‘부가가치’를 창출하게 됨.
- 또한 매출 발생을 위해 투입된 인력규모만큼 일자리도 창출(취업인원, 고용인원)됨.
※ 취업인원 = (피)고용인원+자기고용인원(예: 치킨집 사장 등)

가. 수소경제 활성화의 직접적인 경제적 효과

- 수소경제가 활성화될 경우 **2040**년 기준으로 수소경제의 직접적인 총 매출액 규모는 약 **61조원**, 이중 중간재 비용을 공제할 경우 직접 부가가치 총 규모는 약 **16조원**에 이를 것으로 추정됨.
- 그리고 이러한 매출 창출을 위해 투입된 인력규모(일자리, 고용인원 기준)는 약 6.2만명임.

<표 V-1> 수소경제 매출 발생으로 인한 직접적인 경제적 효과

연도	시장(매출)규모 (억원)	부가가치액 (억원)	취업인원 (명)	고용인원 (명)
2018년	5,827	2,185	2,026	1,359
2022년	99,360	28,159	23,417	19,152
2030년	228,457	60,743	28,980	26,461
2040년	611,566	158,734	65,046	61,459

나. 수소경제 활성화로 인해 발생하게 될 직간접적인 경제적 파급효과

- 수소경제의 수소나 수소활용 제품 생산을 위해서는 원료나 부품 등 중간재가 필요하며, 이로 인해 수소나 수소활용 제품 판매는 부수적으로 해당 제품의 중간재의 생산 및 판매를 함께 유발하게 됨.
- 결국 이는 수소경제의 후방 연관산업(즉, 중간재 산업)에서 수소경제의 직접적인 매출 외에 추가적인 간접적인 매출을 발생하게 되며, 수소경제로 인해 발생하게 될 경제적 파급효과는 직접적인 효과와 함께 간접적으로 파급되어 유발된 효과까지 포괄해야 함(즉, 생산유발액 = 수소경제 매출 + 수소경제 유발 매출).
 - 후방 연관산업으로 유발된 매출은 중간재 구입비용 공제를 통해 역시 간접적인 부가가치를 창출(즉, 부가가치유발액)과 일자리 창출(즉, 취업유발인원, 고용유발인원)에 기여할 수 있음.
- **2040년 기준 수소경제와 수소경제의 후방 연관산업(중간재 산업)에서 유발된 총 매출규모(즉, 생산유발액)는 총 149조원, 이중 중간재 비용을 공제할 경우 유발된 총 부가가치 규모(즉, 부가가치유발액)는 약 42조원임.**
 - 또한 2040년 기준 수소경제와 수소경제 후방 연관산업(중간재 산업)에서 유발된 전체 매출 창출을 위해 투입된 인력규모(일자리, 고용인원 기준)는 총 35만명임.

<표 V-2> 수소경제 활성화로 인해 발생하게 될 직간접적인 경제적 파급효과

연도	생산유발액 (억원)	부가가치유발액 (억원)	취업유발인원 (명)	고용유발인원 (명)
2018년	11,432	4,038	3,871	2,653
2022년	233,154	68,576	84,068	64,176
2030년	551,436	157,727	175,135	135,339
2040년	1,489,000	421,868	458,064	354,357

□ 수소경제 활성화로 인해 발생하게 될 직간접적인 경제적 파급효과의 각 연도 상세 산출내역은 다음과 같음.

<표 V-3> 수소경제 활성화로 인해 발생하게 될 직간접적인 경제적 파급효과의 산출내역(2018년)

구분		연간 판매량 (A)	(단위)	판매단가 (만원) (B)	시장 (매출) 규모 (억원)	생산 유발액 (억원)	부가가치 유발액 (억원)	취업 유발인원 (명)	고용 유발인원 (명)
					A×B=C	C × 생산 유발계수	C × 부가가치 유발계수	C × 취업 유발계수	C × 고용 유발계수
수 소 차	승용차	996	대	7,000	697	1,785	480	563	438
	택시	-	대	-	-	-	-	-	-
	버스	2	대	65,336	13	30	9	10	8
	트럭	-	대	-	-	-	-	-	-
수소충전소		15	기	300,000	448	921	313	2,102	1,377
발전용 연료전지		280	MW	497,000	13,911	30,462	9,528	11,635	9,412
자가용 연료전지		5	MW	2,700,000	1,322	2,895	906	1,106	894
수소생산판매		120,000	톤	388	4,654	8,662	3,225	1,182	820
합 계					21,046	44,756	14,461	16,598	12,949

<표 V-4> 수소경제 활성화로 인해 발생하게 될 직간접적인 경제적
파급효과의 산출내역 (2022년)

구분		연간 판매량 (A)	(단위)	판매단가 (만원) (B)	시장 (매출) 규모 (억원)	생산 유발액 (억원)	부가가치 유발액 (억원)	취업 유발인원 (명)	고용 유발인원 (명)
					$A \times B = C$	$C \times$ 생산 유발계수	$C \times$ 부가가치 유발계수	$C \times$ 취업 유발계수	$C \times$ 고용 유발계수
수 소 차	승용차	70,000	대	7,000	49,000	125,460	33,764	39,593	30,796
	택시	30	대	7,280	22	56	15	18	14
	버스	1,650	대	61,897	10,213	24,516	7,172	8,252	6,419
	트럭	0	대	15,978	0	0	0	0	0
수소충전소		90	기	300,000	2,700	5,551	1,886	12,665	8,296
발전용 연료전지		500	MW	414,000	20,700	45,327	14,177	17,312	14,005
자가용 연료전지		20	MW	1,700,000	3,400	7,445	2,329	2,844	2,300
수소생산판매		470,000	톤	284	13,325	24,800	9,233	3,384	2,347
합 계					99,360	233,154	68,576	84,068	64,176

<표 V-5> 수소경제 활성화로 인해 발생하게 될 직간접적인 경제적
파급효과의 산출내역 (2030년)

구분		연간 판매량 (A)	(단위)	판매단가 (만원) (B)	시장 (매출) 규모 (억원)	생산 유발액 (억원)	부가가치 유발액 (억원)	취업 유발인원 (명)	고용 유발인원 (명)
					$A \times B = C$	$C \times$ 생산 유발계수	$C \times$ 부가가치 유발계수	$C \times$ 취업 유발계수	$C \times$ 고용 유발계수
수 소 차	승용차	300,000	대	5,000	150,000	384,062	103,359	121,203	94,275
	택시	1,500	대	5,200	780	1,997	537	630	490
	버스	4,000	대	44,212	17,685	42,451	12,418	14,290	11,115
	트럭	6,000	대	11,413	6,848	16,206	4,763	5,533	4,304
수소충전소		50	기	300,000	1,500	3,084	1,048	7,036	4,609
발전용 연료전지		650	MW	205,000	14,885	32,594	10,195	12,449	10,070
자가용 연료전지		100	MW	800,000	8,000	17,518	5,479	6,691	5,412
수소생산판매		1,616,667	톤	178	28,760	53,524	19,927	7,303	5,064
합 계					228,457	551,436	157,727	175,135	135,339

**<표 V-6> 수소경제 활성화로 인해 발생하게 될 직간접적인
경제적 파급효과의 산출내역 (2040년)**

구분	연간 판매량 (A)	(단위)	판매단가 (만원) (B)	시장 (매출) 규모 (억원)	생산 유발액 (억원)	부가가치 유발액 (억원)	취업 유발인원 (명)	고용 유발인원 (명)
				$A \times B = C$	$C \times$ 생산 유발계수	$C \times$ 부가가치 유발계수	$C \times$ 취업 유발계수	$C \times$ 고용 유발계수
수 소 차	승용차	1,000,000	대	4,500	450,000	1,152,185	310,076	363,608
	택시	26,000	대	4,680	12,168	31,154	8,384	9,832
	버스	4,000	대	39,791	15,916	38,206	11,177	12,861
	트럭	12,000	대	10,271	12,326	29,171	8,574	9,959
수소충전소		68	기	300,000	2,040	4,194	1,425	9,569
발전용 연료전지		1,300	MW	157,000	22,750	49,816	15,581	19,027
자가용 연료전지		250	MW	600,000	15,000	32,845	10,273	12,545
수소생산판매		4,815,000	톤	169	81,366	151,428	56,378	20,662
합 계					611,566	1,489,000	421,868	458,064

2. 수소경제 신규 투자로 인한 직간접적인 경제적 파급효과

□ 수소경제 활성화의 경제적 파급효과 중 신규 (설비)투자로 인한 파급효과를 추정하기 위해 투입되는 2040년까지의 수소경제 신규 (설비)투자 규모는 다음과 같음.

- 수소차 연간 100만대 생산규모 생산시설 신설(약 15조원, 누적)을 상정함.
 - 수소차 2040년까지 연간 판매량(생산량) 100만대 달성을 가정하여 수소차 연간 50만대 규모 생산시설 2개소(1개소 당 약 7.6조원 투자, 현대차 청주공장 기준) 구축을 위한 신규 설비투자 규모를 추정함.
- 발전용 연료전지 연간 1GW 생산규모 생산시설 신설(약 1.3조원, 누적)을 상정함.
 - 발전용 연료전지 2040년까지 연간 판매량(생산량) 1.3GW 달성을 가정함.
 - 발전용 연료전지 연간 100MW 추가 생산을 위한 생산시설 신설(약 1300억원 투자, 두산 PAFC 기준)을 기준으로 연간 1GW 생산시설 구축을 위한 신규 설비투자 규모를 추정함.

○ 추정된 누적 투자금액은 기간별로 균등하게 연간 투자된 것으로 가정함.

□ 2040년 1년 동안 수소경제에 약 9.6천억원이 투자된 것으로 간주하여, 이를 통해 유발된 총 매출규모는 약 2.4조원, 이중 중간재 비용을 공제할 경우 부가가치 규모는 약 6.6천억원으로 추정됨.

○ 매출 창출을 위해 투입된 인력규모(일자리, 고용인원 기준)는 약 6만명임.

<표 V-7> 수소경제 신규 투자로 인한 직간접적인 경제적 파급효과

연도	(설비)투자규모 (연간:억원)	생산유발액 (억원)	부가가치유발액 (억원)	취업유발인원 (명)	고용유발인원 (명)
2022년	8,196	20,508	5,642	66,591	52,131
2030년	7,402	18,769	5,098	59,949	46,758
2040년	9,606	24,164	6,614	77,944	60,929

□ 수소경제 신규 투자로 인해 발생하게 될 직간접적인 경제적 파급효과의 각 년도 상세 산출내역은 다음과 같음.

<표 V-8> 수소경제 신규 투자로 인한 직간접적인 경제적 파급효과의 산출내역(2022년)

구분	연간 균등 투자규모 (억원) (D)	생산유발액 (억원)	부가가치유발액 (억원)	취업유발인원 (명)	고용유발인원 (명)
		D × 생산 유발계수	D × 부가가치 유발계수	D × 취업 유발계수	D × 고용 유발계수
수소차	6,909	17,690	4,761	55,827	43,423
발전용 연료전지	954	2,088	653	7,977	6,452
자가용 연료전지	333	730	228	2,788	2,255
합 계	8,196	20,508	5,642	66,591	52,131

<표 V-9> 수소경제 신규 투자로 인한 직간접적인 경제적 파급효과의 산출내역(2030년)

구분	연간 균등 투자규모 (억원) (D)	생산유발액 (억원)	부가가치유발액 (억원)	취업유발인원 (명)	고용유발인원 (명)
		D × 생산 유발계수	D × 부가가치 유발계수	D × 취업 유발계수	D × 고용 유발계수
수소차	6,909	17,690	4,761	55,827	43,423
발전용 연료전지	279	610	191	2,330	1,885
자가용 연료전지	214	469	147	1,792	1,450
합 계	7,402	18,769	5,098	59,949	46,758

<표 V-10> 수소경제 신규 투자로 인한 직간접적인 경제적 파급효과의 산출내역(2040년)

구분	연간 투자규모 (억원) (D)	생산유발액 (억원)	부가가치유발액 (억원)	취업유발인원 (명)	고용유발인원 (명)
		D × 생산 유발계수	D × 부가가치 유발계수	D × 취업 유발계수	D × 고용 유발계수
수소차	8,444	21,621	5,819	68,233	53,073
발전용 연료전지	939	2,056	643	7,852	6,352
자가용 연료전지	222	487	152	1,859	1,503
합 계	9,606	24,164	6,614	77,944	60,929

3. 수소경제 활성화에 따른 경제적 파급효과(종합)

- ☐ 수소경제 활성화의 종합적인 경제적 파급효과는 구분 추정하되 수소경제의 매출로 인한 파급효과와 신규 (설비)투자로 인한 파급효과를 합산하여 추정함.
- ☐ 2040년 기준 수소경제 활성화로 인해 한국경제에서 유발된 총 매출규모는 약 151조원, 이중 중간재 비용을 공제할 경우 총 42.8조원의 부가가치가 직간접적으로 창출됨.
- 수소경제와 수소경제 후방연관산업 전반에서 직간접적으로 유발 창출된 약 42.8조원의 부가가치는 2017년 GDP의 2.5% 수준임.

- 또한 매출 창출을 위해 투입된 인력규모(일자리, 고용인원 기준)는 약 42만명으로 2018년 국내 자동차 산업 고용인원의 약 75%에 해당하는 규모임.

<표 V-11> 수소경제 활성화에 따른 경제적 파급효과(종합)

연도	생산유발액 (억원)	부가가치유발액 (억원)	취업유발인원 (명)	고용유발인원 (명)	부가가치유발액의 GDP 비중
2018년	44,755	14,461	16,598	12,949	0.09%
2022년	253,662	74,218	150,659	116,307	0.41%
2030년	570,205	162,825	235,084	182,097	0.76%
2040년	1,513,164	428,482	536,007	415,285	1.76%

※ 추정에 활용된 유발계수표(2014 산업연관표 연장표 기준(2016년 발행))

<표 V-12> 추정에 활용된 유발계수표

구분		산업연관표상 부문명	생산유발계수	부가가치 유발계수	취업유발계수 (매출 10억원: 명)	취업유발계수 (매출 10억원: 명)
수 소 차	승용차	승용차	2.560	0.689	8.080	6.285
	택시	승용차	2.560	0.689	8.080	6.285
	버스	버스	2.400	0.702	8.080	6.285
	트럭	트럭	2.367	0.696	8.080	6.285
수소충전소		기타, 건설	2.056	0.699	46.908	30.725
발전용 연료전지		발전 및 전동기	2.190	0.685	8.364	6.765
자가용 연료전지		발전 및 전동기	2.190	0.685	8.364	6.765
수소생산관 매		산업용 가스	1.861	0.693	2.539	1.761

제2절 수소경제 활성화로 인한 환경개선 효과

- 수소경제 활성화 로드맵에 따라 **2040년까지** 목표가 달성될 경우를 상정하여, 수소경제 활성화로 인한 환경개선 효과를 추정함.

1. 수소경제 활성화로 인한 온실가스(이산화탄소) 저감효과

- 수소경제 활성화로 인한 온실가스(이산화탄소) 저감효과는 수소경제 활성화 로드맵에 따라 **2040년까지** 수소생산 방식 구성(수소생산 포트폴리오) 목표가 달성될 경우를 상정하여 효과를 추정함.
 - 2030년부터 2040년까지 수소경제 활성화 로드맵에 따라 전체 수소경제에서 천연가스 추출수소(그레이 수소)와 그린수소의 비중을 적용함.
 - 단, 2022년은 수송부문의 경우 생산방식별 비중을 추출수소 75%, 수전해 15%, 부생수소 10%로 적용하였으며, 연료전지 부분은 전량 추출수소 100%를 사용하는 것으로 사정함.
 - 수소생산 방식별 이산화탄소 배출계수(kg CO₂/kg H₂)는 맥킨지(2018) “Korea Hydrogen Roadmap”에 따라 추출수소 9.8, 부생수소 5.5, 바이오가스 0.58, 수전해 및 수입수소는 0을 적용함.

가. 수송부문에서 발생하는 온실가스(이산화탄소) 저감량

- **2040년 기준** 수소경제 활성화로 수송부문에서 발생하는 온실가스(이산화탄소) 저감량은 약 **9.8백만톤**임.
 - 수소차 1대로 경유차 1대를 직접 대체한다는 가정에서 각 차량의 연도별 평균 온실가스(이산화탄소) 배출량의 차이로 저감량을 추정함.
 - 저감량은 2022년 5.2만톤에서 2030년 165만톤, 2044년에는 980만톤으로 확대되는데, 이는 충전용 수소에서 그린수소의 비중이 확대된 것에 따른 효과임.

<표 V-13> 수송부문에서 발생하는 온실가스(이산화탄소) 저감효과

연도	2022년	2030년	2040년
경유차 1 대당 온실가스 배출량(tCO ₂ /년)(A)	4.20	4.09	4.41
수소차 1 대당 온실가스 배출량(tCO ₂ /년)(B)	3.42	2.15	1.03
수소생산 배출량(가중평균)(kg CO ₂ /kg H ₂)	7.90	4.90	2.94
수소차 1 대당 온실가스 저감효과(tCO ₂ /년)(A-B)	0.77	1.94	3.38
수소차 1 대당 온실가스 저감율 (tCO ₂ /년)(A-B/A)	18.5%	47.5%	76.7%
수소차 도입 온실가스 저감효과(만tCO ₂ /년)	5.2	165.1	980.1

나. 발전용 연료전지에서 발생하는 온실가스(이산화탄소) 저감량

- **2040년 기준 발전용 연료전지 8GW를 국내 보급하면, 가동률 80%(제8차 전력수급계획 발전용 연료전지 평균 가동률)를 가정할 경우, 예상되는 연간 발전량은 55,949GWh로 2017년 국내 전체 발전량의 약 10% 정도임.**

<표 V-14> 보급목표 달성시 발전용 연료전지의 발전량 및 연간 필요 수소량

연 도	보급목표량(MW)	예상 연간발전량(MWh)	연간 필요 수소량 (톤 H ₂)
2022년	1,000	6,993,563	451,709
2030년	3,000	20,980,688	1,164,209
2040년	8,000	55,948,500	3,036,610

- 이를 위해 소비되는 수소량은 3,037천톤이며, 2040년 기준 수소 필요량의 30%를 추출수소로 생산시 LNG는 3,243천톤이 소비되며, CO₂는 6,249천톤(=약 6.3백만톤)이 발생함.

<표 V-15> 보급목표 달성 시 발전용 연료전지의 LNG 소비량과 CO2 배출량

연 도	LNG 소비량(톤)	LNG 소비량(TOE)	CO2 배출량(tCO2)	CO2 배출량(tCO2)* (공정폐열 공제)
2022년	1,608,084	1,894,323	4,426,749	3,098,724
2030년	2,072,292	2,441,160	5,704,625	3,993,237
2040년	3,243,100	3,820,372	8,927,634	6,249,344

* 실제 CO2 배출량에서 공정폐열을 고려하여 30%를 공제한 배출량임.

- 반면 연간 예상 발전량(55,949GWh)을 LNG복합화력 발전으로 생산 시, LNG는 7,525천톤이 소비되며, CO2는 20,281천톤(=약 2천만톤)이 발생함.

<표 V-16> 동일 발전량을 LNG발전 활용 생산 시 LNG 소비량과 이산화탄소 배출량

연 도	LNG 수요량(톤)	LNG 수요량(TOE)	CO2 배출량(tCO2)
2022년	940,634	1,108,067	2,535,166
2030년	2,821,902	3,324,201	7,605,499
2040년	7,525,073	8,864,536	20,281,331

- **2040년 기준 발전용 연료전지 8GW 보급으로 온실가스(이산화탄소) 발생량은 14,032천톤(=약 1.4천만톤)이 감소하였으며, LNG 소비량도 4,282천톤 감소시키는 효과를 보임.**

- 발전용 연료전지와 동일 발전량을 생산하는 LNG 복합화력 발전기를 대체한다는 가정에서 연도별 온실가스(이산화탄소) 배출량의 차이로 저감량을 추정함.
- 추출수소의 비중을 100%로 상정한 2022년에는 온실가스가 증가하는 효과가 나타나지만, 점진적으로 추출수소의 비중을 2030년 50%, 2040년 30%로 축소함에 따라 저감효과가 2030년 3.6백만톤에서 2040년 14백만톤까지 확대됨을 확인 가능함.

<표 V-17> 발전용 연료전지 보급으로 인한 LNG소비량 및 온실가스(이산화탄소) 저감효과

연 도	LNG 수요량(톤)	LNG 수요량(TOE)	CO2 배출량(tCO2)
2022년	-667,450	-786,256	-563,558
2030년	749,610	883,041	3,612,262
2040년	4,281,974	5,044,165	14,031,987

다. 자가용 연료전지에서 발생하는 온실가스(이산화탄소) 저감량

- **2040년 기준 자가용 연료전지 2.1GW를 국내 보급하면, 연간 예상 발전량은 11,068GWh(에너지통계연보 2017 평균 가동률 60.2% 적용)이며, 이를 위해 소비되는 수소량은 790천톤임.**

<표 V-18> 보급목표 달성시 자가용 연료전지의 발전량 및 연간 필요수소량

연 도	보급목표량(MW)	예상 연간발전량(MWh)	연간 필요수소량 (톤 H ₂)
2022년	50	263,535	18,824
2030년	730	3,847,606	274,829
2040년	2,100	11,068,456	790,604

- **2040년 연간 예상 발전량(11,068GWh)을 가정용 연료전지로 생산시 온실가스(이산화탄소) 1,627천톤(공정폐열 30% 공제 적용)이 발생하지만, 동일 발전량을 계통전력으로 활용하면, 온실가스(이산화탄소) 5,075천톤이 발생함.**

- **이로 인해 2040년 기준 가정용 연료전지 보급으로 온실가스(이산화탄소)를 3,448천톤(=약 3.4백만톤) 저감할 수 있음.**

- 가정용 연료전지와 동일 발전량을 생산하는 전력 계통상의 평균적인 발전기와 대체한다는 가정에서 연도별 온실가스(이산화탄소) 배출량의 차이로 저감량을 추정함.

<표 V-19> 발전용 연료전지 보급으로 인한 온실가스(이산화탄소) 저감효과

연 도	가정용 연료전지 CO ₂ 발생량	가정용 연료전지 CO ₂ 발생량* (공정폐열 공제) (A)	동일발전량 계통전력 생산시 CO ₂ 발생량** (B)	CO ₂ 저감량 (B-A)
2022년	184,474	129,132	120,831	-8,301
2030년	1,346,662	942,664	1,764,127	821,464
2040년	2,324,376	1,627,063	5,074,887	3,447,824

* 실제 CO₂ 배출량에서 공정폐열을 고려하여 30%를 공제한 배출량임.

** 소비전력 국가평균 CO₂ 배출계수(0.4585 tCO₂/MWh) 적용

라. 수소경제 활성화로 인한 온실가스(이산화탄소) 저감효과

- 수소경제 활성화로 인한 온실가스(이산화탄소) 저감량은 수송부문 및 발전용·자가용 연료전지 보급으로 인한 온실가스(이산화탄소) 저감량을 합산하여 산정함.
- 2040년 기준 수소경제 활성화로 인해 온실가스(이산화탄소)는 약 **2,728만톤**으로 온실가스 BAU 대비 **4.1%** 정도이면서 **500MW**급 석탄 화력발전소 **9기**의 온실가스 배출량에 상당하는 양임.

<표 V-20> 수소경제 활성화로 인한 온실가스(이산화탄소) 저감효과

(단위: tCO₂)

구 분	2022년	2030년	2040년
수송부문 저감량	51,886	1,650,792	9,800,975
발전용 연료전지 저감량	-563,558	3,612,262	14,031,987
가정용 연료전지 저감량	-8,301	821,464	3,447,824
합 계	-519,974	6,084,518	27,280,787
온실가스 BAU 대비 비중	-0.08%	0.88%	4.12%

2. 수소차 보급에 따른 미세먼지 저감효과

- 2040년까지 수소경제 활성화 로드맵에 따라 수소차를 보급하였을 경우, 수송부문에서 발생하는 미세먼지 저감량을 추정함.
- 미세먼지 무배출 차량인 수소차 1대로 경유차 1대(수소택시는 LPG택시)로 직접 대체한다는 가정에서 차종별 평균 미세먼지 배출량과의 차이로 저감량을 추정함.

<표 V-21> 차종별 연간 미세먼지 발생량

승용차	2.0293kg/대·년	경유 승용차(NOx, SOx, PM2.5, VOC 합계)
택시	0.2518kg/대·년	LPG 승용차(NOx, SOx, PM2.5, VOC 합계)
버스	6.3988kg/대·년	경유 버스(NOx, SOx, PM2.5, VOC 합계)
트럭	7.0711kg/대·년	경유 화물차(NOx, SOx, PM2.5, VOC 합계)

자료 : 한국조세재정연구원(2017)

- 2040년까지 수소경제 활성화 로드맵에 따라 수소차를 보급하면, 연간 약 7,489톤 정도의 미세먼지를 저감할 수 있음.

<표 V-22> 수소차 보급의 미세먼지 저감효과

(단위 : 톤/년)

구분	2018	2022	2030	2040
전체	1.84	145	2,023	7,489
승용차	1.83	132	1,644	5,580
택시	-	-	180	1,441
버스	0.01	13	128	256
트럭	-	-	71	212

- 2040년 기준 연간 약 7,489톤 정도의 미세먼지 저감량은 성인 3,577만명이 마실 수 있는 공기를 수소차 보급을 통해 정화한 효과에 상당함.
 - 성인 공기흡입량 150mL/min·kg(대한소아알레르기호흡기학회, '05)을 기준으로 산정함.
 - 65kg 성인 1명당 공기흡입량 9.75L/min(연령 40대, 남자 72kg, 여자 58kg, 문화체육관광부, '15)
- 또한 약 3.5만개의 공기청정기를 24시간 365일 가동한 것과 같은 효과임.
 - 약 1백만원 수준의 실내 공기청정기 공기흡입량 분당 1만 리터 기준, 실내 공기청정기 24시간 365일 가동 시 연간 525.6천만 리터의 공기를 흡입함.