

2019년 중소기업 전략기술로드맵

ISSUE REPORT

중소기업기술정보진흥원



2019.11.

Vol. 7

수소 저장·운반 기술 동향

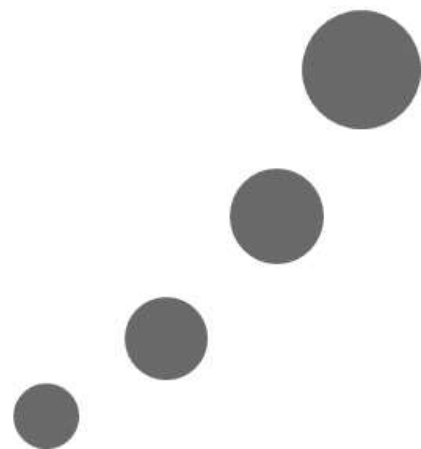


TIPA | 이슈 리포트

수소 저장·운반 기술 동향

아주대학교 서형탁 교수
(hseo@ajou.ac.kr)

1. 수소 경제의 성장과 수소 에너지 분야의 확대
2. 수소 에너지 정책 동향
3. 수소 저장·운반 소재 연구 동향
4. 결론 및 시사점

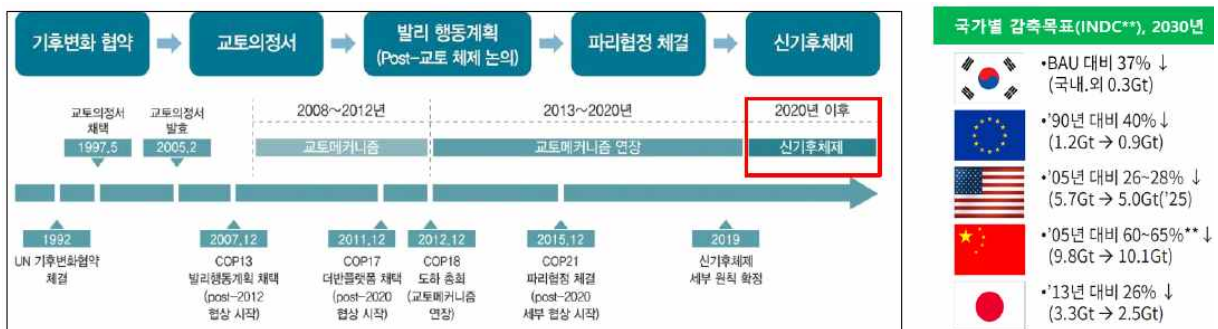


I. 수소 경제의 성장과 수소 에너지 분야의 확대

1 국제사회에서의 수소 에너지의 저변 확대

- 국제기후변화협약 제21차 당사국 총회에서 파리협정 (Paris Agreement)의 채택에 따른 신기후체제의 출범 ('15년 12월)
 - 전세계의 온실가스 배출량의 90% 이상을 차지하는 195개국이 참여, 지구 평균기온 상승을 2℃보다 상당히 낮은 수준으로 유지하기 위한 노력을 추구
 - '23년부터 5년마다 온실가스 감축 이행여부를 점검하는 구속력을 가지고 있는 협정
- 신기후체제의 출범으로 공공·민간 모두 청정에너지로 전환하기 위한 노력 경주
 - (공공 부문) '15년 청정 에너지 R&D 연구를 위한 미션 이노베이션(Mission Innovation) 발족
 - * 2019년 10월 현재 총 24개국 (대한민국 포함) 과 EU 참여
 - (민간 부문) '15년 Bill Gates를 중심으로 청정에너지 상업화를 견인하는 Breakthrough Energy Coalition 결성
 - * 2019년 10월 현재 총 10개국에서 30여명의 유명 기업인 (Jeff Bezos (Amazons), Reid Hoffman (Linkedin), Jack Ma (Alibaba), Masayoshi Son (SoftBank) 등) 참여

[신기후체제 로드맵 및 주요국가별 온실가스 감축 목표치]



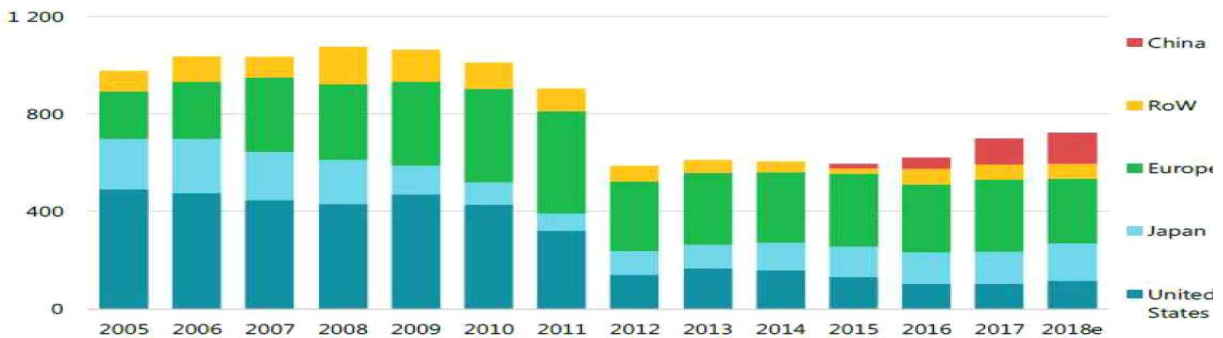
* 출처: Energy Technology Perspectives 2016, IEA

□ 청정에너지 시스템을 구현하기 위한 수소 에너지에 대해 전례없는 관심 증대

- 저탄소 에너지 운반체로서의 수소에 대한 가능성
 - 지난 수십 년 동안 생산, 운송, 저장 및 배출가스 없이 최종 에너지로 수소를 활용하는 방안에 대한 연구가 수행되었으며, 특히 운송부문에서 수소를 연료 전지에 사용하는 방법에 대한 관심이 집중
- G20 국가 및 EU 중 11개 국가는 수소 관련 정책이 마련되어 있으며, 9개 국가는 수소 에너지에 대한 국가 로드맵이 존재¹⁾

[주요국가의 수소와 연료 전지를 위한 정부 R&D 예산]

(단위: 백만 달러)



* 출처: IEA (2019. 6월), The Future of Hydrogen

[주요국 연료전지 주요 보급 지원 정책]

프로그램	대상	내용	실적	
미국	SGIP	발전용	<ul style="list-style-type: none"> • 인센티브 지원 - 연료전지 발전 : 190만원/kW - 바이오가스이용 연료전지 발전 : 350만원/kW - 분산발전, 에너지저장 : 20% 추가 부여 	106.1MW 보급
일본	민생용 연료전지 도입 지원사업	주택용	<ul style="list-style-type: none"> • 설치 보조금 : 300~400만원/대 • 2016년 예산 : 1,119억 원 	15만대 보급
	친환경자동차 도입 지원사업	수송용	<ul style="list-style-type: none"> • 대상 : 전기차, PHEV, 연료전지차, 클린디젤 • 연료전지차 보조금 : 2,000만원/대 • 2016년 예산 : 1,600억 원 	700대 보급
	수소충전소 개발 과제 지원사업	수송용	<ul style="list-style-type: none"> • 보조금 지원(대당) - 충전소 설치 : 18-29억 원 - 수소제조설비 : 6억 원 - 액화수소설비 : 4억 원 	81기
유럽	Ene-field	주택용	<ul style="list-style-type: none"> • 기간 : 2012~2017년 (총 6개년) • 예산 : 340억 원(2,600만 유로) • 11개 유럽국가, 26개 회사 참여 	1,000대

* 출처: 삼정KPMG 경제연구원, 연료전지 시장의 현재와 미래(2019.08)

1) 세계 에너지시장 인사이트 제19-22호 2019.6.24.

□ 국내 연료전지 보급 정책의 범위와 지원 수준 강화

- 신재생에너지원 개발이라는 목표와 수소경제에 대한 높은 관심도
- 2019년 신재생에너지 주택지원사업의 지원 규모는 총 700억 원으로 태양광 410억 원, 태양열 55억 원, 지열 72억 원이며, 연료전지는 150억 원
 - 2018년 39억 원에서 111억 원 증액된 규모
- 신재생에너지건물지원사업의 지원 규모는 총 350억 원으로, 연료전지는 50억 원의 보조금 지원 예정

[국내 연료전지 주요 보급 지원 정책]

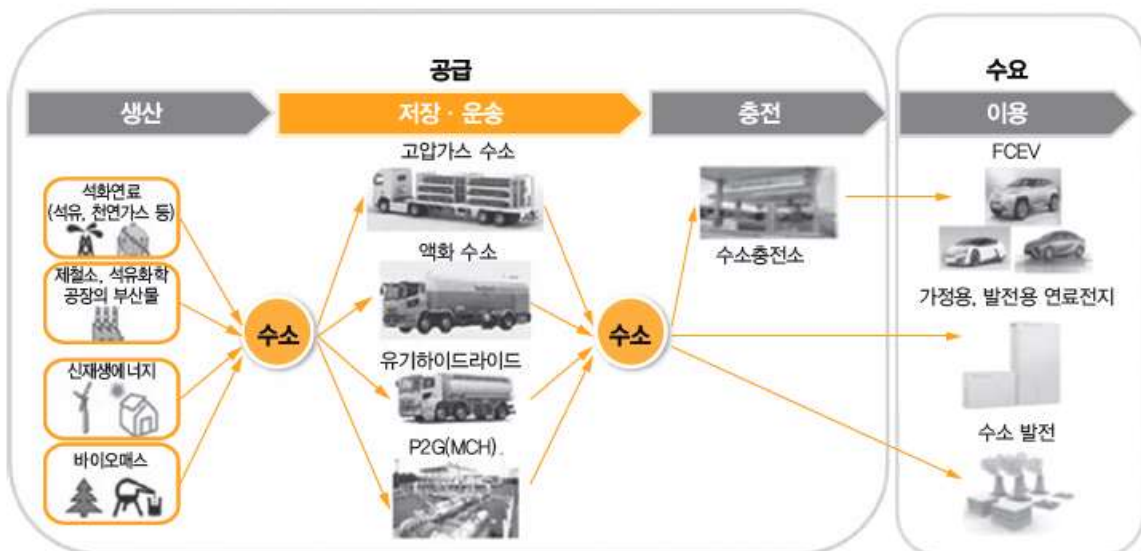
프로그램	대상	내용	실적
주택지원사업	주택용	<ul style="list-style-type: none"> • 1kW 이하 시스템 지원 • 1k당 연료전지 기준단가: 2,700만원 / 보조금: 2,199만원 (총 예산: 43억 원) 	2,249대 보급
연료전지차 구매 보조	수송용	<ul style="list-style-type: none"> • 보조금: 2,750만원/대 	-
연료전지차 충전소 설치 보조	수송용	<ul style="list-style-type: none"> • 보조금: 15억원/기 	-
공공건물 신재생에너지 설치의무화	건물용	<ul style="list-style-type: none"> • 공공기관 건축물의 신재생에너지 공급의무비율 강제 	2015년 15%, 2020년 30%
신재생에너지 생산량 산정지침	건물용	<ul style="list-style-type: none"> • 신재생에너지 공급의무에 따라 연료전지의 에너지 생산량 산정과 보정계수(가중치) 발표 	정부: 공공건물 한정, PEMEFC 단일 적용
신재생에너지 의무할당제도(RPS)	발전용	<ul style="list-style-type: none"> • 일정규모 이상의 발전 설비를 보유한 발전 사업자에게 총 발전량의 일정비율 이상은 신재생에너지를 이용하여 공급하도록 의무화한 제도 	163MW

* 출처: 삼경KPMG 경제연구원, 연료전지 시장의 현재와 미래(2019.08)

2 수소에너지의 개요 및 전망

- 수소에너지를 통한 수소경제는 공급·수요 부문으로 구성됨
 - (공급 부문) 수소의 생산, 저장·운송, 충전으로 구분
 - [생산] 화석연료 및 바이오매스로부터의 매탄가스등을 개질하여 얻거나 정유 및 제철 공장 등의 부생 수소 활용, 신재생에너지를 활용한 물의 전기분해 등을 통해 생산
 - [저장·운송] 기체, 액체 및 고체의 다양한 형태로 대규모 저장 및 운반
 - [충전] 수소 충전소 내의 저장 탱크에 보관되며, 수소에너지의 운반체에 따라 다양한 방식의 충전소를 운용
 - (수요 부문) 수소에너지는 대부분 연료전지를 이용하여 가정·산업, 수송, 발전용 기기 등의 모든 소비부문의 에너지원으로 사용
 - 수소에너지는 수소를 원료로 사용하여 부산물로 물만 배출. 만약 신재생에너지에서 생산된 전력을 통하여 수전해로 수소를 생산할 경우, 생산에서 소비까지의 전 과정에서 배출가스 제로 가능

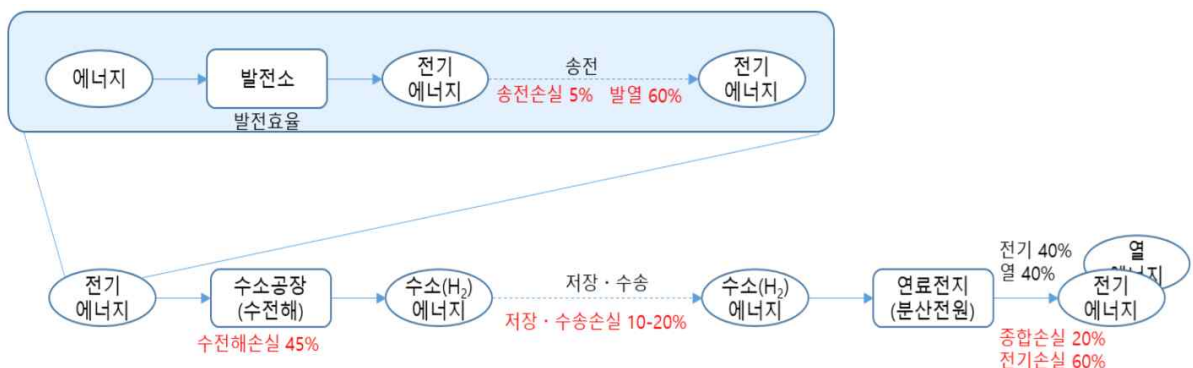
[수소에너지의 가치사슬 구조]



* 출처: 에너지경제연구원, Energy Focus 2017 봄호

- 수소경제 공급부문의 성공은 경제적이고 친환경적인 수소에너지의 대량 생산 및 저장·운송, 충전 인프라 구축과 관련
 - (생산 부문) 재생에너지를 활용한 수소 생산률은 매우 낮은 수준
 - 현재 국내 수소 생산의 90% 이상은 석탄의 가스화 (Gasification), 천연가스 개질화 (Vapor reforming) 등을 통해 생산. 이 과정에서 화석연료는 이산화탄소와 수소로 분리
 - 온실가스 배출이 없는 청정 수소는 높은 생산 단가 및 공급을 위한 재생에너지의 부족
 - (저장 부문) 기체수소의 압축 기술의 한계 직면
 - 압력탱크에 기체수소를 넣을 수 있는 압축 기술의 한계치에 도달(700-800Bar)
 - (운송 부문) 대량 수소액화 저장 및 해상운송 기술 초보 단계
 - 253도 이하가 필요한 수소의 액화기술과 액화수소의 해상수송은 현재 Pilot 추진 중으로 경제적·기술적인 성과는 미지수
 - 기술발전 트렌드를 고려하면 기술적으로는 가능해지겠지만 액화저장수송 비용은 상당할 것으로 예상
 - 파이프운송 중 수소가 파이프라인에 침투하여 강재의 물성이 변화되고 파이프라인 내구성에 문제 발생*
 - * 수소취성: 파이프 강 속에 흡수된 수소에 의해 강재의 연성 또는 인성이 저하되어 금속재료가 취화하는 현상
 - (충전 부문) 전기→수소 및 수소→전기 에너지전환 과정에서 에너지 효율 하락
 - 에너지 형태가 전환되는 발전소(다양한 에너지원 → 전기), 수전해 수소공장(전기→ 수소), 연료전지(수소 → 전기)에서 에너지 손실 발생

[수소에너지의 전환과정]



*출처: 포스코경영연구원, 수소경제의 경제적·기술적 이슈(2019.05.01.)

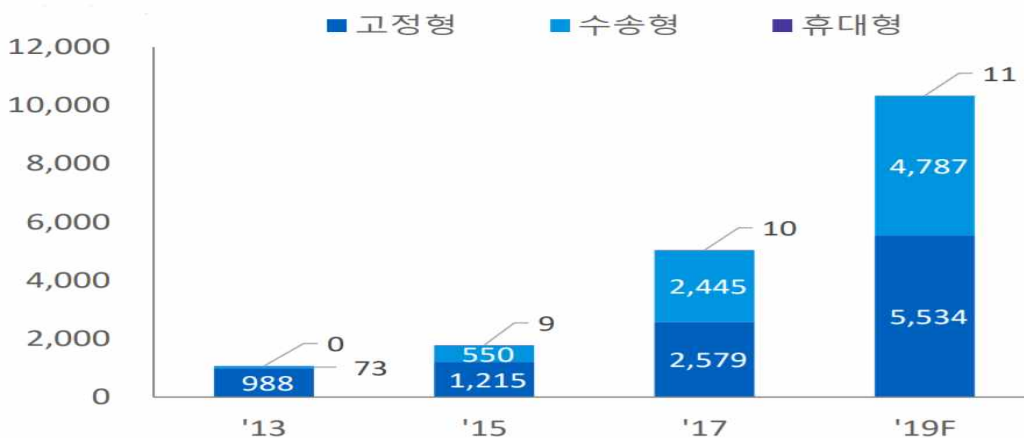
3 [수소]연료전지의 국내외 시장 규모 및 전망

- 연료전지는 수소와 산소의 전기화학반응을 통해 전기와 열에너지를 생산하는 고효율·친환경 발전시스템
 - 기존발전기와 달리 연료의 연소를 통한 에너지변환과정을 거치지 않고 바로 전기를 생산하기 때문에, 에너지 손실이 적어 발전효율이 높고 친환경적이며 분산전원으로 활용이 가능한 차세대 에너지원

- 전 세계 연료전지 시장은 최근 빠른 성장세를 보이고 있으며, 2017년 기준 50억 3,420만 달러를 기록
 - 2015년 총 17억 7,440만 달러 대비 184% 성장한 수치로 이러한 성장세는 2019년까지도 지속될 전망이며, 2013년부터 2019년까지 연평균성장률 46.1%를 기록할 것으로 전망

[세계 연료전지 시장 규모]

(단위: 백만 달러)



* 출처: 삼정 KPMG, 연료전지 시장의 현재와 미래(2019.08)

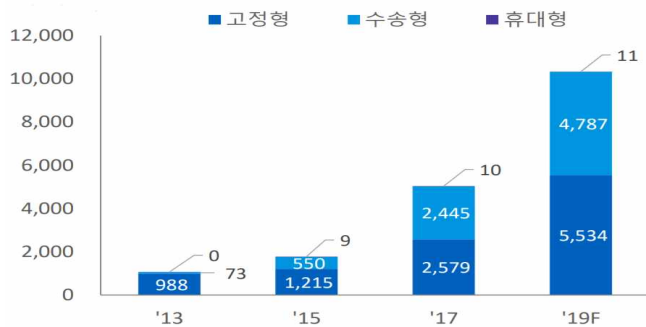
- 2015년까지는 발전용 연료전지를 위주로 고정형이 전체 연료전지 시장의 약 68% 이상의 시장을 점유하였으나, 자동차용 시장의 급격한 성장으로 2017년 이후부터는 수송형의 시장 점유율이 크게 성장하여 고정형과 비슷한 규모로 시장이 형성되고 있는 추세
- 시장의 규모가 상대적으로 미미한 휴대형 연료전지 시장은 2013년 이후 빠른 성장세를 보이며 2015년에는 940만 달러로 전체 시장의 0.5%를 차지
- 연료전지의 용도 중 현재까지 가장 상용화된 분야인 대형 발전은 큰 점유율을 보이고 있으며, 향후에도 지속적으로 성장할 전망

□ 2030년 글로벌 발전용 연료전지 시장은 19~38배 성장 전망

- 글로벌 발전용 연료전지 시장은 2013년/2015년/2017년에 각각 215MW / 299MW / 670MW로 연평균 33% 성장
- 글로벌 발전용 연료전지 시장규모는 2030년/2050년에 각각 12.7~25.4GW / 95GW로 연평균 7~11% 성장 전망

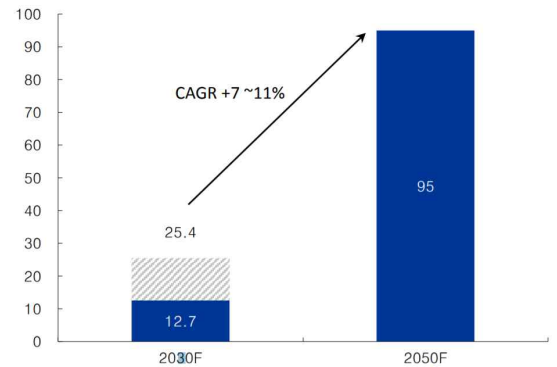
[세계 연료전지 시장 규모]

(단위: 백만 달러)



[글로벌 발전용 연료전지 시장 규모 전망]

(단위: GW)



* 자료: 삼정 KPMG, 연료전지 시장의 현재와 미래(2019.08), Hydrogen Council, IBK투자증권

□ 국내 연료전지 시장은 2013년 1억 9천만 달러 규모에서 2015년에는 4억 1,350만 달러로 약 117% 대폭 증가하였으며, 이러한 성장세가 계속되어 2019년에는 12억 5,400만 달러 규모로 성장 전망2)

- 공공기관 신축 건축물에 대한 신재생에너지 설치의무화 사업과 친환경 건축물 인증제도, 신재생에너지 이용 건축물 인증제도, 에너지 사용계획 협의 등으로 잠재적 연료전지 보급 시장 활성화
- 국내 내수시장은 발전용 연료전지의 규모 확대로 인해 고정형을 중심으로 시장이 크게 성장('13~'19년 연평균성장률 34.2%)
- 육상 교통분야의 온실가스 배출저감 요구에 따라, 수송용 연료전지의 국내시장은 연평균성장률 64.3%를 기록하며 가장 큰 성장률을 보일 전망

2) 삼정 KPMG, 연료전지 시장의 현재와 미래(2019.08)

II. 수소 에너지 정책 동향

1 수소경제 및 수소에너지의 해외 정책 동향

- (미국) 기후변화 대응 관련 R&D 투자 규모가 '12년 약 4,125백만 달러 수준에서, 연평균 6.6 %씩 증가하여 '16년에는 5,322백만 달러 규모로 확대
 - 캘리포니아주 - 저탄소 연료표준을 개정, '30년까지 탄소 집약도를 엄격하게 낮추어 수소 저장소의 개발을 장려하고, CCUS 운영자가 저탄소 수소로부터 크레딧을 받을 수 있게 함
 - 캘리포니아 연료 전지 파트너십은 중국의 목표에 부합하는 '30년까지 1만개 수소 충전소와 1백만 연료 전지 자동차 (FCEV)의 보급 목표를 제시
 - 수소 경제 확산을 위한 조치로 이산화탄소 지중 저장 (CCS) 기술에 대한 보상으로 45Q³⁾ 세액 공제 확대 및 이산화탄소를 다른 제품으로 전환 (CCU)하는 것에 대한 보상 조항이 추가

[미국의 기후변화 대응 관련 R&D 투자 규모]

(단위 : 백만 달러)

구분	2012	2013	2014	2015	2016
기후변화 대응 관련 R&D 투자 (A)	4,125	4,111	4,355	4,447	5,322
전체 R&D 투자 (B)	143,737	132,477	136,160	137,173	146,478
기후변화 대응 관련 R&D 투자 비중 (A/B)	2.9%	3.1%	3.2%	3.2%	3.6%

* 출처: OECD Science, Technology and R&D Statistics DB

- (미국) 미션 이노베이션 이행을 위해 '16년 투자 규모인 64.15억 달러를 기준선으로 하여, 5년 후인 '21년에는 기준선의 2배인 128.3억 달러의 투자목표 제시
 - (미션 이노베이션) 11개 청정에너지 R&D 분야 전체를 중점적으로 추진하는 포트폴리오를 제시

[미국의 미션 이노베이션 청정에너지 R&D 중점 분야 개괄 중 수소에너지 관련 발췌]

분야명	추진여부
차량과 기타 교통수단	◎
바이오 기반 연료 및 에너지	◎
태양, 풍력 및 기타 신재생 에너지	◎
수소 및 연료 전지	◎
이산화탄소 포집, 활용 및 저장	◎
에너지 저장	◎
기초 에너지 연구	◎

* 출처: Mission Innovation Secretariat (2016)

3) 내국세입법(IRC,1986)의 조항인 45Q (CO2 저장 및 CO2-EOR 활용에 대한 인센티브 조항)의 영구화 및 신규시설에 대한 크레딧(인센티브) 상향 조정

□ (일본) '17.12 '수소 기본 전략'을 확정하면서 수소 경제 실현의 선도국으로 부상

- '11년 동일본대지진 이후 원전 가동이 중단되고 LNG 수입 급증으로 인한 무역수지 악화로 대체 에너지원 확보 요구 급증
- 수송부문에서 수소자동차(FCV)를 2020년까지 4만대, 2025년까지 20만대, 2030년까지 80만대 보급하고, 수소충전소를 2020년까지 160곳, 2025년까지 320곳으로 확충할 계획
 - 산업부문에서는 산업연료로써 수소의 잠재력을 높이 평가하고, 산업부분 연료 청정화를 위해 수소 활용을 확대하고자 함
- '14년 6월 구체적 시행 대책을 담은 [수소·연료전지 전략 로드맵]을 발표함
 - 가정용 연료전지 (Enefarm) 보급 확대, FCV 및 수소충전소 자립화 정량 목표
 - '22년 수소제조 비용을 12엔/Nm³까지 감축 및 CCS 기술의 실용화 (2000엔/t-CO₂)

[일본의 수소전략 이행 재정 투입 : 연료전지 및 충전소 확충]

기본 전략 목표	예산(억엔)		사업목적
	2018	2019	
청정에너지자동차 도입 사업비 보조금	130.0	140.0	- 에너지효율 개선 및 CO2 배출량 감축에 기여하는 청정에너지자동차 (EV, FCV, PHV, 클린디젤차 등)도입 지원
연료전지 이용 확대를 위한 에네팜 (ENE·FARM) 등 도입 지원사업비 보조금	76.5	58.2	- 에너지 고효율 및 CO2 감축에 기여하는 에네팜(가정용 연료전지)이 2020년부터 보조금 지원 없이도 보급될 수 있도록 지원 - 2017년부터 시장에 투입된 고효율 상업·산업용 연료전지(고체 산화물 연료전지: Solid Oxide Fuel Cell, SOFC)의 보급·확대를 위한 지원
차세대연료전지의 실용화 (저비용화·내구성 향상 등)를 위한 연구·개발사업비	29.0	40.0	- 고효율 및 내구성·저비용의 차세대형 연료전지 시스템을 실현을 위한 촉매·전해질 등 관련 기반 기술 개발 및 실용화 기술 개발 지원 - 고발전 효율(65% 이상) 연료전지 기술개발 지원
연료전지자동차 (FCV)보급 촉진을 위한 수소충전소 정비사업비 보조금	56.0	100.0	- 연료전지자동차(FCV)의 보급·확대를 위한 지자체 수소충전소 정비사업 보조 - 신규 사업자의 수소공급 사업 촉진을 도모하기 위해 수소충전소 확충 활동 지원 - 4대 도시권(수도권, 주쿄권, 간사이권, 북부 규슈권)의 공백지대 및 4대 도시 권역을 잇는 간선지역 수소충전소 확충 보조 - 2020년까지 수소충전소를 160곳, 2025년에 320곳까지 확대 목표
新에너지 등 보안규제 고도화 사업 위탁비 지원	6.0	6.4	- 수소충전소의 원격감시 및 신기술 도입 등과 관련된 기술의 기준 검토 등 - 수소충전소 및 연료전지자동차, 수소배관공급 시스템 보급에 필요한 규제 완화 및 안전성 관련 기술기준 재고 등을 위한 조사 지원

* 출처: 일본 수소사회 실현을 위한 기본전략(II) (세계 에너지시장 인사이트 제18-45호 2018.12.24.)

□ (중국) 친환경 에너지를 포함한 수소 에너지, 수소차 지원 방안 등을 국가 중점 발전전략에 포함

- '13.5 계획(발전계획): 수소연료 기반의 운송 변혁 등을 통한 성장 기회 모색
- 중국제조 2025: '25년까지 수소제조 및 충전설비 기초 인프라 구축 및 소규모 운행 실현 등을 제시
- 아울러 '중국 수소에너지산업 기초 인프라 발전 청서'에서 '30년까지 수소 충전소 1,000곳, 수소차 200만 대를 목표로 제시
- 전반적으로 핵심기술 부재, 높은 생산원가, 충전 인프라 부족 등으로 어려움을 겪는 상황이나 정부 주도의 강력한 지원 정책과 대규모 내수시장을 기반으로 성장 가능성은 클 것으로 예상

[중국의 수소경제 정책 현황]

구분	정책명	부처	내용
2017.4	자동차산업 중장기발전계획	발전개혁위원회·과학기술부·공업정보화부	- 수소전기차 등 신에너지차 혁신체계 구축, 기술개발 및 보급목표 제시
2016.12	13.5 국가 전략성 신흥산업발전계획	국무원	- 신성장 동력 및 경쟁력 확보를 위한 핵심 분야 중 하나로 수소전기차 등 신에너지차 산업 포함 * 전략성 신흥산업 : 새로운 과학기술의 혁명과 산업혁명을 대표하는 산업
2016.10	에너지절감 및 신에너지차 기술 로드맵	공업정보화부 (중자동차공업학회)	- 2030년까지 수소차 200만대, 수소충전소 1000개 보급
2016.7	13.5 국가과학기술 혁신계획	국무원	- 현대 산업체계 구축을 위한 중점기술 분야로 고효율 청정에너지산업 내 수소에너지 기술 포함
2016.4	에너지기술혁명 혁신 행동계획 (2016~2030)	발전개혁위원회·국가에너지국	- 2030년 글로벌 에너지기술 강국 진입을 목표로 15가지 중점업무 중 '수소/연료전지 기술혁신' 포함
2015.5	중국제조 2025	국무원	- 수소에너지 및 연료전지 목표 구체화 2020년까지 주요 부품 대량생산체제 구축 - 2025년까지 주요 부품 국산화
2015.4	신에너지차 보급 재정지원 정책방안	재정부·발전개혁위원회·과학기술부·공업정보화부	- 수소전기차 보조금(대당) 확정 - 승용차 20만 위안, 소형 버스·화물차 30만 위안, 대형중형 버스·화물차 50만 위안
2014.6	에너지발전전략 행동계획 (2014~2020)	국무원	- 20개 에너지과학기술 중 혁신항목으로 수소에너지·연료전지 선정

* 출처: 포스코경영연구원 Issue Special 6월호

2 수소경제 및 수소에너지의 국내 정책 동향

□ 산업통상자원부에서 '19년 1월 수소경제 활성화 로드맵 발표

- 우리나라가 강점이 있는 '수소차'와 '연료전지'를 양대 축으로 수소경제를 선도할 수 있는 산업생태계 구축
 - 수소차 누적 생산량을 '18년 2천대에서 '40년 620만대(내수 290만대, 수출 330만대)로 확대하고, 세계시장 점유율 1위 달성
 - 국내 보급 : '17년 국내 177대(신규 51대) → '18년 누적 889대 (신규 712대) → '19년 4,000대 이상 신규 보급
 - 수소충전소 확충: ('18) 14개 → ('22) 310개 → ('40) 1,200개소
 - 수소 대중교통 확대 : '40년 수소택시 8만대, 수소버스 4만대, 수소트럭 3만대 보급

- CO₂ 배출이 전혀 없고 도심지에 소규모로도 설치가 가능하여 진정한 의미의 친환경 분산전원으로 부상하고 있는 발전용 연료전지를 재생에너지 활용 수소 생산과 연계하여 '40년까지 15GW(수출 7GW 포함) 이상으로 확대하고 수출산업화 추진
 - 가정·건물용 연료전지도 '40년까지 2.1GW(약 94만가구) 보급
 - 수소 활용을 수소차 외에 수소선박, 수소열차, 수소건설기계 등으로 확대하고 미래 유망품목으로 육성

- 경제적·안정적인 수소 생산 및 공급시스템 조성
 - 수소 공급은 수전해 및 해외생산·수입 등 CO₂ Free 그린 (green)수소 비중을 확대하여 '18년 13만톤 수준에서 '40년 526만톤 이상으로 확대
 - 수소 저장방식을 현재의 저용량·기체에서 고효율·액체 등으로 다양화하고, 전국적인 파이프라인 공급망도 구축
 - 원활하고 경제적인 수소 유통체계 구축을 통해 수소 가격을 '40년까지 3,000원/kg 이하로 하락 유도

- 국민이 안심하고 신뢰할 수 있는 수소경제 이행 기반 마련
 - 수소생산·저장·운송·활용 쉼주기에 걸쳐 안전관리 기준 및 부품·제품의 안전성평가를 강화하고, 안전관리 법 제정
 - 범부처 수소 기술개발 로드맵 수립, 국제표준 선도, 촘촘한 중소·중견기업 생태계 조성, 범부처 협력추진체계 운영 등

[수소경제 활성화 로드맵 요약]

구분		2018년			2022년			2040년	
수소경제	모빌리티	수소차	1.8천대 (0.9천대)		8.1만대 (6.7만대)	< 2030 > 수 차종 생산라인 구축		620만대 (290만대)	
		승용차	1.8천대 (0.9천대)	< ~ 2022 > 핵심부품 100% 국산화 年 생산량 3.5만대	7.9만대 (6.5만대)	< 2023 > 전기차 가격수준	< 2025 > 상업적 양산 (年 10만대 생산) 내연차 가격수준	590만대 (275만대)	
		버스	2대		2천대		80만km 이상 내구성 확보	6만대 (4만대)	
		택시	-	< 2019 > 10대 시범 사업	-	전국 확대	50만km 이상 내구성 확보	12만대 (8만대)	
		트럭	-	< 2021 > 주요 대도시 적용 5톤 트럭 출시	10톤 트럭		핵심부품 100% 국산화	12만대 (3만대)	
		수소충전소	14개소 (1,000만원/kg)		310개소		300만원/kg 핵심부품 100% 국산화	1,200개소	
		선박, 열차, 드론, 기계 등		R&D 및 실증			'30년까지 상용화 및 수출		
	에너지	연료전지							
		발전용	307MW	< 2019 > 전용 L NG 요금제 신설	< 2022 > 설치비 380 만원/kW	1.5GW (1GW)	< 2025 > 중소형 가스터빈 발전단가 수준	< ~ 2040 > 설치비 35% 발전단가 5 0%	15GW (8GW)
		가정·건물용	7MW		설치비 1,700 만원/kW	50MW		설치비 600 만원/kW	2.1GW
	수소가스터빈		R&D		실증	'30년 이후 상용화 추진			
수소공급	수소공급량	13만톤/年		47만톤/年			526만톤/年		
	생산방식	화석연료 기반 부생수소 추출수소	수요처 인근 대규모 생산	수전해 활용		수전해 수소의 대용량 장기 저장 기술개발	해외수소 도입 대규모 수전해 플랜트 상용화	그린 수소 활용 (수전해+ 해외생산)	
	수소가격	-		6,000원/kg (現 휘발유의 5 0%)		4,000원/kg	3,000원/kg		

3 수소 저장·운송 기술의 국내 정책 동향

□ 고압기체, 액체, 액상, 고체 등 저장방식 다양화·효율화

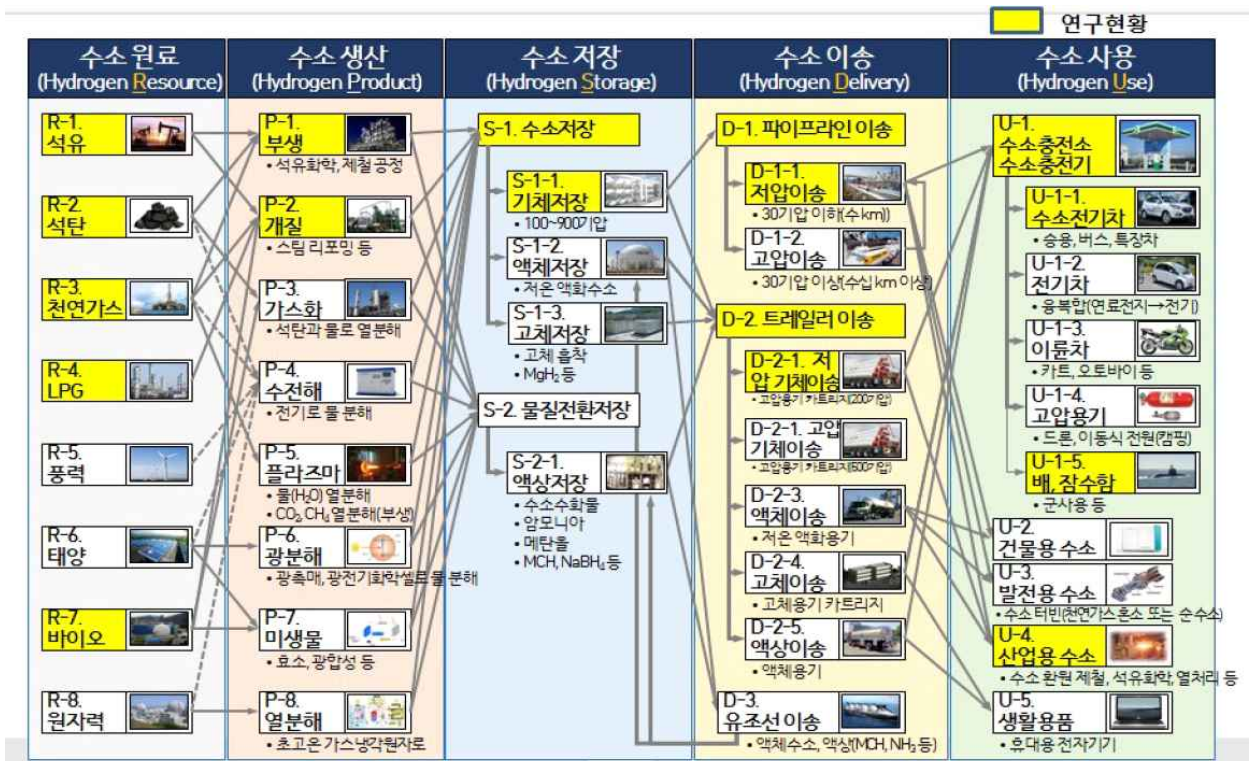
- 수소경제 활성화 로드맵에서는 안정적이고 경제성 있는 수소 유통체계 확립을 목표로 고압기체 저장과 관련된 규제를 완화*하고, 안정성·경제성이 우수한 수소 액화·액상 저장 기술을 개발하고자 하는 계획을 수립 중임
 - *충전압력 35MPa → 45MPa 이상, 내부용적 150L → 450L 이상으로 상향
- 수소 수요 증가에 맞춰 튜브트레이일러 및 파이프라인 활용 확대
 - 고압기체수소 튜브트레이일러 경량화를 통해 운송비를 절감하고, 장기적으로 전국을 연결하는 수소 주배관 건설을 2030년까지 완성하기로 계획 중
 - * (단기) 민간주도로 수소 수요가 많은 곳에 파이프라인 건설 → (장기) 전국 확대
- 중소·중견기업 육성을 통해 생태계 강화
 - 구매조건부 기술개발 및 핵심인력 지원, 설비투자 및 운영비 지원 확대 등을 통해 수소 전주기 소재·부품 중소·중견기업의 성장 지원
- 수소융합단지 구축 기획사업 추진
 - 산업통상자원부는 지역에 특화된 수소융합실증단지 구축을 위한 기획 및 사전 타당성 조사 실시 중 (2019.03.27)
 - * 현재 2차 수소융합단지실증사업 공고 진행 중 (2019.10.18.~2019.11.11)
- 제 3차 에너지기본계획에 수소에너지 전략 명시
 - '19년 6월 정부는 제3차 에너지기본계획 ('19~'40)을 확정하였으며, 온실가스 감축 및 안전한 에너지를 추구한다는 기치로 5대 중점 추진과제를 선정
 1. '40년 에너지 소비효율 38% 개선, 수요 18.6% 감축
 2. 재생에너지 비중 확대 ('40년 30~35%)
 3. 재생에너지, 연료전지 등 수요지 인근 분산 전원 비중을 확대
 4. 재생에너지·수소·효율연계 등 미래에너지 산업 육성 및 전통에너지 산업 고부가가치화
 5. 에너지전환을 촉진하기 위한 전력·가스·열 시장제도 개선
 - 5대 중점 추진과제 중 처음으로 수소 에너지에 대한 명시가 이루어짐
- 중소기업 적합품목 연구
 - 한국가스공사 및 가스안전연구원을 중심으로 중소기업과 상생 가능한 개발품목에 대한 정책 연구 실시 (2017년 12월, 수소산업 안전관리 정책 연구)
 - 수소산업 전주기 제품 실증 기반 테스트 베드 구축 사업 등의 추진을 통한 중소기업 기술력 향상 및 수출지원 모색

III. 수소 저장 · 운송 소재 연구 동향

1 수소 저장 · 운송 소재 기술의 정의

- 수소 경제의 밸류체인 (Value Chain)에서 수소 저장 · 운송은 중간 단계에서 속하며, 다양한 소재 기술이 필요한 단계
 - (수소 저장) 수소저장 기술 (기체수소, 액체 수소, 고체 저장) 및 물질전환기술 (액상 저장)으로 나눌 수 있으며 모든 단계에 소재 기술이 존재
 - (수소 이송) 수소 이송에는 파이프라인, 트레일러, 유조선 이동 등이 있으며, 각 이송에 따른 연계된 수소 저장 기술이 존재

[수소경제의 밸류체인]

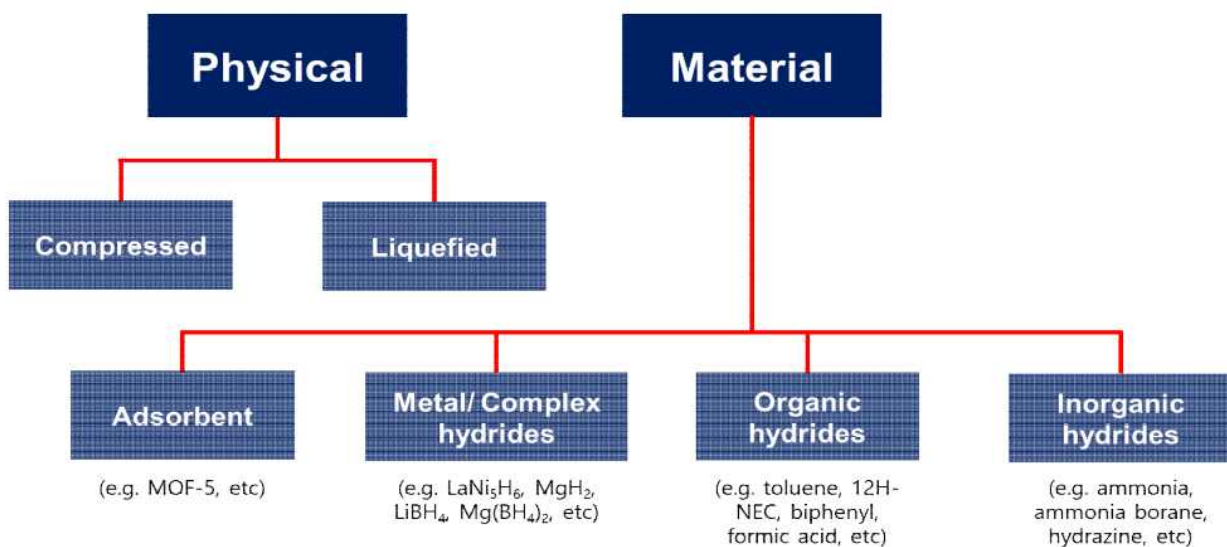


* 자료: 융합연구리뷰, 융합연구정책센터 2019.09.

□ 수소에너지의 저장 기술은 크게 물리적 저장 기술과 소재 기술로 나눌 수 있음

- (고압 기체수소 저장) 수소전기차의 경우 내부에 고압 수소탱크가 탑재되어 있으며, 350~700 bar의 압력으로 압축하여 사용함
 - 수소 압축시 5.2~5.5 wt%의 수소저장
 - 고압 탱크 제조에 있어서 복합 탄소섬유 소재의 기술개발이 필수적임
- (저온 액화수소 저장) 수소를 -253°C 로 액화시켜 저장하는 방식으로 상압에서 약 70g/L의 높은 부피대비 수소저장밀도를 가진다는 장점이 있으나, 지속적인 기화로 인한 수소 누출로 장기간 수소 저장이 어려움
- (금속수소화물/복합수소화물) 팔라듐, 마그네슘, 란타넘 혹은 알루미늄 등과 같은 가벼운 금속 합금으로 이루어지며 금속 격자내에 수소 원자 형태로 수소를 저장하는 방식
- (유기수소화물) C=C 이중 결합을 포함하는 고리화합물, 질소화 같은 이중원자를 포함하며 C=C 이중 결합을 포함하는 고리화합물(homocycles) 등과 같은 유기화합물을 이용하여 수소를 저장하는 방식
- (무기수소화물) 암모니아, 암모니아보란, 히드라진 등과 같이 탄소 원자를 포함하지 않은 무기화합물을 이용하여 수소 저장 및 추출하는 방식
- (흡착제) 제올라이트(Zeolite)와 같은 미세기공을 가진 소재에 수소를 흡착시키는 방법

[수소저장 방법의 분류]



* 자료: 융합연구리뷰, 융합연구정책센터 2019.09.

2 수소 저장·운송 소재 연구 동향

□ 나노소재를 이용한 수소 저장 기술 개발

- (Metal-Organic Framework, MOF) MOF는 개개의 분자가 엮이면서 가운데 공간을 비워둔 형태, 즉 육면체 가운데가 비어 있는 구조로, 유기 분자들의 연결과 금속 이온간의 결합으로 이루어진 다공성 소재
 - 구조적으로 가스가 출입하는 출입구는 작지만, 내부 공간이 넓어 보관이 용이
 - MOF 구조내의 수소 분자의 운동량을 감소시키기 위한 추가 공정이 필요
- (제올라이트, Zeolite) 3차원 골격구조를 가지고 있으며, 미세 결정체 내부에 전체부피의 약 50%가 빈 공간인 동공으로 구성된 소재
 - 동공들은 3차원으로 연결되어 분자 차원의 입구를 가진 채널과 window를 형성
 - 1960년대 초부터 수소의 저장 시스템으로 활용하고자 연구들이 수행
- (탄소나노튜브, CNT) 질산 혹은 초음파를 이용하여 수소가 들어갈 수 있는 구조를 형성시킨 후 수소를 저장하는 방식
 - 물리적 결합을 통한 수소 저장으로 CNT와 수소와의 약한 인력을 해결하려는 노력 경주

□ 금속수소화물을 이용한 수소 저장 기술 개발

- (희토류 금속수소화물) 1968년 필립스 연구소에서 LaNi₅ 합금이 수소저장합금으로 최초 발견 되었으며, 국내는 이차전지용 AB₅계 합금에 대한 연구가 처음 진행되었음. 최근 연료전지용 AB₂계 수소저장합금에 대한 연구 또한 가속됨
 - 9~15 wt%의 수소를 저장할 수 있는 금속붕소수소화물 (Metal boronhydride)이 최근 주목
 - 수소방출온도를 낮추고, 가역성을 높이기 위한 전세계적 연구가 경주
- (마그네슘계 금속수소화물) 마그네슘은 금속 자체의 낮은 밀도로 인하여 7 wt%정도의 수소를 저장할 수 있는 소재임. 반응속도가 희토류계 합금에 비해 느리므로, 수소화물의 안정화 및 반응속도 개선을 목표로 연구
 - 마그네슘계 분말에 대한 연구가 중심이며, 나노결정 및 비정질 Mg계 수소저장합금 연구
- (티타늄계 금속수소화물) 티타늄을 일부분 함유한 TiFe 합금은 가장 오래전부터 알려진 금속수소화물 소재 중의 하나임. 저렴한 합금가격 및 낮은 수소화 조건을 가지고 있지만, 표면 산화피막에 의한 초기 활성화가 어려운 단점이 있는 소재임
 - V을 이용한 원소치환을 통해 전기화학적 활성화가 가능하다는 것이 밝혀짐 (수소화율: 2 wt%)
 - Fe-V를 이용한 합금으로 가격 경쟁력을 확보하는 연구 지속

□ 유기수소화물을 이용한 수소 저장 기술 개발

- 액상유기수소운반체 (Liquid Organic Hydrogen Carrier, LOHC)는 상온 안정성 및 높은 수소저장용량으로 인하여 최근 많은 관심이 증대
 - 매우 높은 부피대비 수소저장용량(>55kgH₂/m³; >1.83 MWh/m³, 소재기준) 및 높은 무게대비 수소저장용량 (>6wt%, 소재기준)
 - 현존하는 화석연료 저장·운송 인프라를 거의 그대로 이용할 수 있으므로 대용량의 수소를 경제적으로 저장·운송 가능
 - 국내에서는 연구소 (KIST), 대학 단위에서 신규 LOHC 소재 개발 연구 진행 중

□ 무기수소화물을 이용한 수소 저장 기술 개발

- 주로 암모니아 (NH₃)를 활용하여 액상으로 대용량의 수소를 저장 및 안정적으로 운송하고자 하는 연구에 대한 관심 증대.
 - 다만, Harber-Bosch 공정 기반의 암모니아 생산은 지속적인 이산화탄소를 배출함
 - 최근 재생에너지를 이용한 암모니아 생산 공정 개발 연구 경주
 - 무게 및 부피대비 수소저장용량이 각각 17.7 wt% 및 120 kg-H₂/m³로 LOHC 및 다른 액상 수소 저장체에 비해 높음
 - 암모니아는 분해 후 질소와 수소만 생성하고, 수소와 달리 액화가 용이함 (8 bar, 20 oC)
 - 암모니아 저장 및 이송 인프라 활용 가능 (경제성 확보)

IV. 결론 및 시사점

- 수소 경제의 발전으로 인한 수소에너지 개발에 대한 수요 지속 발생
 - 환경 및 에너지 이슈에 대응하기 위한 전세계적인 노력이 지속됨에 따라, 화석에너지에서 재생에너지로의 에너지 패러다임 전환은 지속적으로 이행
 - 탈(脫)탄소화 및 에너지 안보 향상을 위한 국내 정부의 관심이 비상한 수준이며, 2020년 수소경제 관련 예산을 2019년도 2배인 5000억 규모로 편성
 - 산업통상자원부 및 과학기술정보통신부에서 수소 저장·운송 소재 관련 예산을 책정함에 따라, 원천 기술 및 사업화에 가속 전망

- 수소 산유국의 지위를 차지하기 위해서는 국내 수소 생산·저장 기술의 국산화로 사회인프라 (SoC) 구축 필요
 - 수소충전소 설치 및 수소 저장소재의 국산화율은 40% 수준('18년)이고, 특히 핵심 소재 (수소저장탱크, 멤브레인 등)의 국산화율은 미비한 수준임. 경쟁우위 유지를 위해 선제적 기술개발이 중요하며 개발에 따른 평가 및 도입을 위해 장비-소재산업 간 협력 필요
 - 현재 차세대 수소 저장·운송 소재는 독점적인 기업이 없으며, 기체수소 및 액화수소의 적용을 통한 플랜트 사업이 주축임. 차후 금속수소화물 및 유·무기수소화물의 대체가 예상됨에 따라, 원천기술의 확보에 대한 정부의 R&D지원 및 인력육성 등의 정책적 지원 필요

- 기술로드맵 등 조사·분석을 통해 향후 중소기업의 중요성이 증가하거나 새롭게 출연하는 공정을 실현 할 수 있는 장비에 대한 집중 투자 및 정부 R&D 지원 사업 추진 필요
 - 수소저장소재 및 장비 업체가 개발 사업에 참여하여 신개념 수소저장소재 개발 시 공정개발과 함께 장비 개발 동시 추진
 - 관련 수소 저장소재에 대한 대기업의 전향적 수요 평가 및 정부의 정책적 (후속 R&D 및 연구인력 육성) 지원 필요

□ 국내 기술수준은 최고 보유국인 미국 대비 64%이고, 최고기술 보유국인 미국과는 8년의 기술격차가 나타나는 것으로 조사된 바 있으며⁴⁾, 현재 국내에서는 공공연구기관 중심으로 연구가 이루어지고 있어 중소기업 진입이 용이함

- 현재 수소저장기술은 수소자동차와 연계된 연료전지에 적용가능한 수소공급장치 용도로 금속계 및 착체계 재료는 수소와 고체재료의 반응에 의해 수소화물이 형성되어 수소를 저장하는 화학 저장기술의 전망이 밝은 편이나, 해당 분야의 경우 대기업과 공공연구기관에 중심으로 특허 출원이 다수 이루어져 있으므로, 중소기업의 특허 출원시 기존 기술을 회피할 수 있는 방안을 마련해야함
- 중소기업의 수소 저장 기술로 글로벌 수소 모빌리티 선도 시장 육성과 선도하는 이동형 연료전지 시장 육성
- 중소기업의 강점을 살리고 역량이 부족한 부문을 인수하거나 제휴하여 부족한 기술역량 확보
- 빠르게 성장하는 신흥개도국 시장에서 활발한 시장 진출로 글로벌 경쟁력 강화

□ 중소·중견기업과 대기업의 상생협력을 위한 대응 전략

- 수소경제의 태생 상 정부·대기업 중심의 산업으로, 수소 에너지 소재·장비 기업과의 긴밀한 협조관계에 의한 대기업과의 상생협력 체계 구축
- 대기업에서 접근하기 힘든 요소 기술들에 대한 중소기업의 성과제품에 대한 정부의 적극적인 지원 (R&D, 창업·성장, 대기업 수요 매칭 등) 필요
- 차별화된 기술력을 바탕으로 장기적으로 없어서는 안 될 핵심적인 소재와 부품개발을 통한 제품들의 경쟁력 확보 및 새로운 시장 개척 노력
- 해외 경쟁기업 분석을 통한 대응전략 수립 및 국내 대학·출연연 장비 관련 재료, 소재, 부품 관련 기술의 적극적인 검토와 장비개선에 반영하기 위한 오픈이노베이션 전략 필요
- 정부 R&D 정책 관련, 대기업 중심의 외연(外宴) 확장식 정책이 아닌 핵심 원천기술확보 전략 (대학·출연연·기업 협업) 및 수요창출 정책 (대기업 지원)에 지원 집중 필요
- 대학·출연연의 공공기술 도입을 통한 중소기업의 반도체 장비 제품 경쟁력을 높이는 동시에 국내·외 특허권을 확보하고, 연구실의 핵심 인력을 수급 받는 채널로 활용
- 기업 간 컨소시엄 및 전문가 그룹 구성을 통한 사외 전문가 네트워크 적극 활용

4) 중소기업기술로드맵(2018, 중소기업기술정보진흥원)

참고문헌

1. 주요국과의 비교를 통한 국내 수소산업의 발전 방안 도출, 에너지경제연구원, 2017
2. 주요국별 기후변화 대응 정책 및 정부 R&D 투자 분석, 녹색기술센터, 2016
3. 수소경제 활성화 로드맵, 산업통상자원부, 2019
4. 수소 기반 저탄소 에너지 시스템의 구현을 위한 해외 정책 동향, 세계 에너지시장 인사이트, 에너지경제연구원, 2019
5. 친디아 플러스 Issue special, 포스코경영연구원, 2019
6. 고용량 수소저장합금의 개발 동향, 한국과학기술정보연구원, 2013
7. 수소저장합금 기술개발 동향, 국가환경정보센터, 2016
8. 융합연구리뷰, 융합연구센터, 2019
9. 대한민국정책브리핑, 산업통상자원부, 2019
10. 수소경제, 주목되는 기술 · 제품, 월간수소경제, 2019