

도심내 잉여전력을 이용한 도심형 수소모빌리티
확산 인프라 모델개발 및 검증

(기획보고서)

요 약 문

I. 서론

□ 추진배경 및 목적

- 세계적으로 온실가스, 미세먼지 등 환경규제가 강화되고 화석연료의 고갈 문제 및 탄소중립이 대두되면서, 방안으로 제시된 에너지 전환 가속화와 미래모빌리티로 전환이 경제구조의 저탄소화 핵심임.
 - 에너지 전환 가속화는 에너지 주공급원을 화석연료에서 신·재생에너지로 적극 전환. 송배전망 확충, 지역생산·지역소비의 분산형 에너지시스템 확충을 포함.
 - 미래모빌리티로 전환은 친환경차 가격·충전·수요 혁신을 통해 수소·전기차 생산, 보급확대, 전국 2천만 세대 전기차 충전기보급, 도시·거점별 수소충전소 구축을 포함하고 있음.
- 도시철도에서 발생하는 잉여전력은 신·재생에너지의 한 종류로서 발생이 간헐적이고 비균일하여 활용이 어렵기 때문에 대부분 버려지고 있으며 에너지저장장치(ESS)에 저장하여 사용할 수 있으나 효율이 낮고 비용이 많이 들기 때문에 경제적 부담도 높아 개선이 필요하며 직접 사용하는 방법도 검토되어야 함.
- 도시철도 잉여전력을 사용하는 방안으로 수소생산·충전에 사용할 경우 잉여전력의 사용효율이 높을 뿐만 아니라 도시철도 인프라를 활용하여 접근이 편리하고, 수소의 생산 단가를 낮춰 경제성을 향상하고, 위험도평가 및 통합운영관리 등으로 안전성 확보 가능함
- 2030년까지 85만대 보급할 계획인 수소모빌리티의 원활한 확산을 위해서는 무엇보다 접근성이 좋은 도심지역에서의 수소 생산·충전시설의 확충이 절실한 상황
 - 도심지 부지확보 어려움을 고려 소요부지를 최소화하고 안전성 확보를 통해 규제를 완화할 수 있는 도심형 수소 생산·충전시설 기술개발 필요
 - 특히 다양한 형태의 공간에 효율적으로 설치할 수 있도록 수소생산·충전시설의 소형화·모듈화·패키지화 및 공급이 불규칙한 회생전력 특성을 감안하여 시설 신뢰도 검증도 필요

II. 내용 및 범위

□ 사업비전 및 목표

사업비전

경제성·접근성·안전성을 갖춘 수소공급으로
도시철도 잉여전력 활용 극대화 및 탄소중립 구현

사업목표

- ◎ 도시철도 잉여전력활용 극대화를 위한 전력변환장치, 수소생산·충전 시스템개발
- ◎ 유희에너지원을 활용방안과 안전 모니터링 구축·도심형 수소 공급 인프라 실증
- ◎ 지역 맞춤형 도심형 수소기술 모델 확보를 통한 전국 확산 모델 구축

□ 사업내용

- “도심내 잉여전력을 이용한 도심형 수소모빌리티 확산 인프라 모델개발 및 검증”는 전동차 회생전력을 활용하여 경제성 있는 수소를 생산·충전하는 설비를 콤팩트하게 개발하고 모듈화하여 접근성 좋은 도시철도 인프라 근처에서 실증하는 것임
 - 전력변환장치는 회생전력을 별도의 전기에너지 저장장치 없이 변전소 교류 모선으로 환류 시켜 수소생산·충전에 사용하여 경제성 확보
 - 아직 국내에 기준이 마련되지 않은 도시철도 인프라 근처에서 분산형 수소충전소를 개발 및 실증하여 수소모빌리티 확대에 기여
 - 부지확보가 어려운 도심지 내부의 도시철도 인근 부지에 설치·운영이 가능하도록 설치면적을 최소화하고 모듈화 시켜 설치함으로써 접근성 향상
 - 수소충전소를 도시철도 인프라 근처에 설치하기 위해 수소생산, 충전효율, 안정성 및 충전소 면적 등이 정의되어 있지 않은 상태이고, 이를 위해 규제개선 항목들을 도출하고 경제성 및 위험성 평가 등을 포함



[도시철도 잉여전력 유희에너지 활용방안 및 도심형 수소생산·충전 시스템 연계 개념도]

□ 사업범위

- 사업범위는 열차가 감속·정지시 발생하는 잉여전력을 활용하기 위한 전력변환기술과 수소 생산·충전시스템 적용을 위한 패키지형 수소생산·충전 시스템 개발, 기술기준 및 통합운영관리체계 확보임
- 통합전력공급시스템 기술개발 및 성능평가
 - 전력변환장치 제작사양(국내 도시철도시스템 호환성 고려) 도출
 - 잉여에너지 활용 극대화를 위한 전력변환장치(2MVA급) 시제품 제작 및 성능평가(공인시험)
 - 단위용량 모듈형 전력변환장치 개발
 - 고조파 제거를 위한 파워필터 제작
 - 전력변환장치 최대효율 제어기술 개발(최대효율 : 95% 이상)
 - 도시철도 잉여전력/일반전력 블렌딩을 위한 계통연계 및 최적제어기술개발
 - 전력공급계통과 수소생산·충전시스템 연계를 위한 표준형 통합전력관제 기술 개발 및 성능평가(공인시험)
 - 통합전력공급을 위한 AC/DC차단기반 인터페이스 기술 개발 및 성능평가(공인시험)
- 신뢰성 확보를 위한 전력변환장치 상태진단 및 고장예측 시스템 개발
 - 고장신호처리 기법 및 고장분석시스템 구현을 위한 소프트웨어 개발 및 검증(공인시험)
 - 센서 신호처리용 디지털 신호처리 하드웨어 개발 및 검증(공인시험)
 - 인버터 수명가속 시험장치 제작사양 도출 및 개발
- 도시철도 현장(전력용량, 형태, 부지 크기 등) 조사 및 분석에 따른 수소생산·충전 모듈화패키지 및 컴팩트화(시스템 소형화 및 운전로직 단순화 등) 기술개발
 - 소형화된 모듈형 수소생산·충전시스템 및 패키지 기술 개발
 - 컴팩트화를 위한 수소생산(SMR, MR, WGS, PSA 등), 충전(압력탱크, 고속충전기술 등) 및 온실가스 처리(CO₂ 분리/액화 등) 핵심 부품 개발
 - 철도현장에 적용가능한 수소생산·충전시스템 자체 기술 기준개발
- 도시철도 회생전력 및 수소생산·충전 시설의 안전모니터링 및 자산관리 일원화한 관제 플랫폼 구축 및 실증을 통한 최적화 기술 개발
 - IoT 상태감시기반 수소생산·충전 자산관리 및 모니터링 시스템 개발
 - 수소생산·충전 통합안전(위험도)관리 시스템
 - 수소·충전 시스템에 대한 제3자 안전성 평가
 - 안전성 및 경제성 기반의 유지관리(무인화, 안전시나리오, 고장예측 등) 최적화 기술개발
- 도심형 수소모빌리티 인프라 모델 개발 및 확산을 위한 법/제도 개선

- 수소관련 안전사고 분석을 통한 설치될 수소인프라 주변 환경 평가 및 시설을 반영한 위험성 평가 및 사고 시나리오 작성
- 사고 시나리오 및 위험성 평가를 기반으로 도심형 수소 인프라 시설 보완 방안 도출
- 설치를 위한 안전도 평가 가이드라인 설정 및 확산을 위한 관련 법규/기준/제도 등 개정(안) 마련
- 도심형 수소모빌리티 확산 인프라 비즈니스모델의 단계별 안전성 가이드라인 도출 및 관련 법규/기준 개정(안) 마련

○ 현장적용성 제고를 위한 철도현장 조사 및 필요 기술 분석

- 도시철도 현장분석을 통한 지역별 그룹화 및 잉여전력기반 시스템 적용 가능성 조사
- 지역별 현장상황에 맞는 수소 생산·충전 시나리오 마련
- 도시철도 잉여전력 활용시스템(변전소 사이리스터 더블컨버터, 회생인버터 등) 전력 효율 비교 분석

○ 테스트베드 및 도심형 수소모빌리티 확산 인프라 모델 구축·검증

- 도심형 수소모빌리티 확산 인프라 모델 테스트베드 구축 및 검증
 - 도시철도 및 수소 관리시스템 종합연동시험 등 성능검증을 통한 시스템 최적화
 - 개발모델 테스트베드 검증 및 위험도 평가를 통한 안전성 검증
 - 기반시설(인프라, 설치 등) 구축* 및 시설활용을 위한 안전검사 승인
- * 관련 기관의 인허가 및 승인 필요
- 도심형 수소모빌리티 확산 인프라 비즈니스모델의 사전-제조-운용-유지보수 등 단계별 경제성 분석

○ 도심형 수소생산·충전 패키지시스템 실증 및 운영최적화

- 신뢰성 확보를 위한 도심형 수소충전인프라 고장진단 및 고장예측 시스템 개발
 - 고장신호처리 기법/고장분석시스템 구현을 위한 소프트웨어 개발 및 검증
 - 고장 유형 등을 파악하여 정비 및 점검 체크리스트 기술 개발
- 도심형 수소충전인프라 안정성 확보를 위한 최적 시운전 및 실증 지원
 - 도심형 수소충전인프라 시운전 및 실증
 - 도심형 수소충전인프라 실증형 운전매뉴얼

○ 국토교통부, 산업통상자원부 사업의 참여기관간 수소모빌리티 확산 인프라 개발을 위한 협의체 구성·운영

□ 지원의 필요성

- 탄소중립 대응을 위한 ‘2050 탄소중립 계획’에서는 △경제구조 저탄소화, △저탄소 산업생태계 조성, △탄소중립사회로의 공정전환의 3대 정책방향과 △탄소중립

제도기반 강화라는 3+1의 전략을 추진을 목표로 하고 있음

- 회생전력을 활용한 수소 생산·충전은 경제구조의 저탄소화의 핵심인 에너지전환 가속화의 ‘에너지 주공급원을 화석연료에서 신·재생에너지로 적극전환, 지역생산·지역소비의 분산형 에너지시스템 확산’에 부합하고, 또한 미래모빌리티로 전환의 ‘친환경차 가격·충전·수요 혁신을 통해 수소·전기차 생산, 보급확대, 도시·거점별 수소 충전소 구축’에 잘 부합함.

○ 도시철도에서의 발생하는 회생전력은 사용전력의 45%수준이며 이중 25%는 인접 철도차량에서 사용하고 나머지 20% 수준은 가선전선의 안정화를 위해 과전압저항기로 소모함.

○ 일부 역사에서는 회생전력의 일부를 ESS에 저장하여 피크전력을 낮추거나 역사용 전력으로 사용하나 발생량 대비 사용량은 극히 일부분으로 효과가 미미하기 때문에 효율적 사용을 위한 연구개발과 수소생산·충전과 같은 실질적인 사용방안 도출과 정부의 지원이 이루어져야 함.

○ 정부는 친환경차 확산을 가속화하는 사회시스템을 구축하여 ‘30년까지 온실가스 24%감축, 수소차 충전시설을 전국적으로 확대, 내연기관 수준의 경제성 확보 및 탄소중립을 실질적으로 구현하는 제도적 기반 구축 예정

- 수소차 보급 및 수소충전소 인프라 확보 추진에 발맞춰 도시철도 인프라를 활용한 도심형 수소생산·충전시스템을 개발 및 실증함으로써 수소차 확대에 따른 안정적인 수소공급 인프라를 확보가 필요

* 수소차 : (‘20)10,906대→(‘30)약 85만대 / 수소충전소 : (‘20)100개→(‘30)610대 (제4차 친환경차 기본계획 ‘21.02)

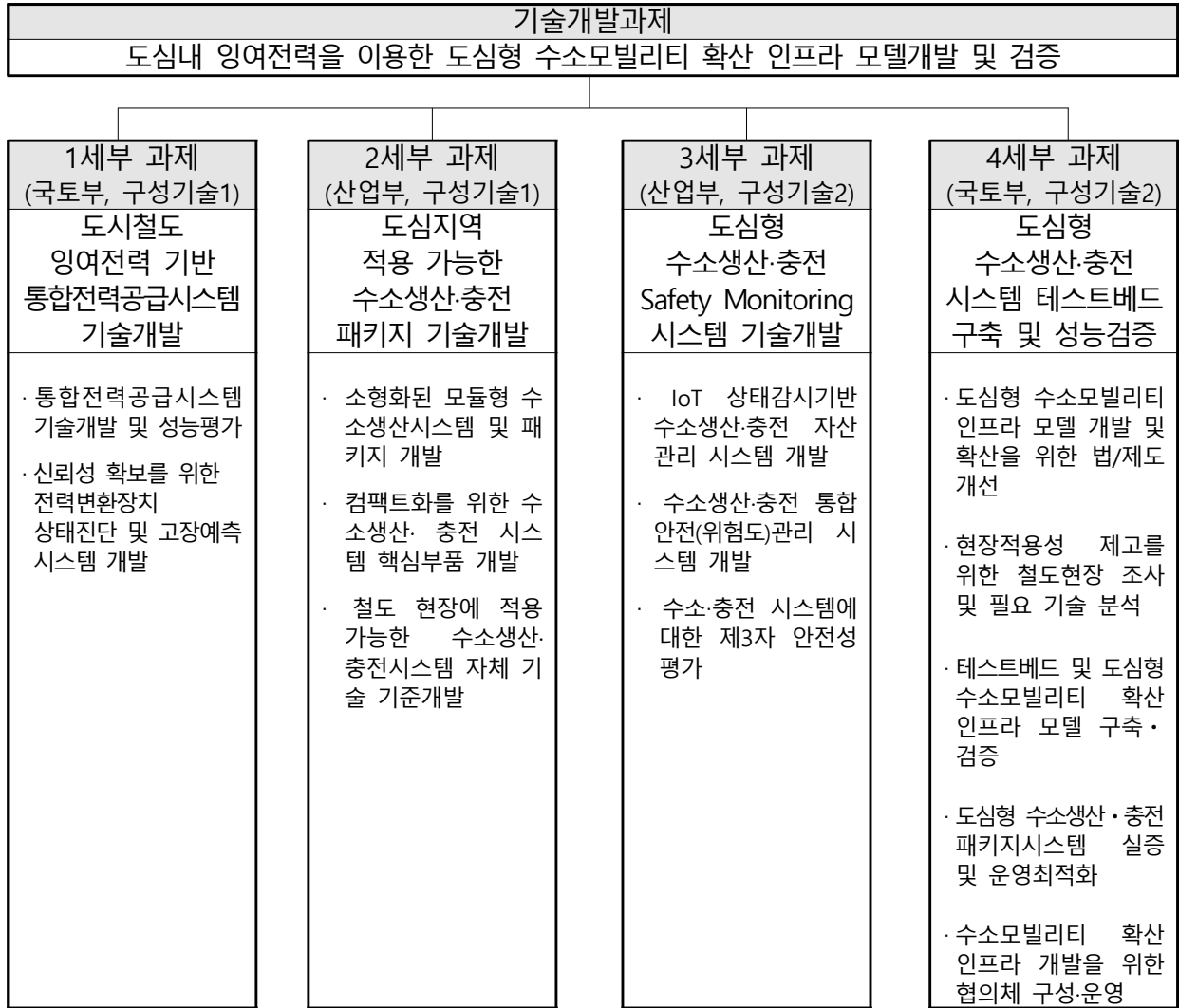
○ 수소산업 생태계 구축을 위한 경제성 있는 수소 공급 필수

- 도시철도 회생전력을 사용하면 버려지는 전기에너지를 수소생산·충전에 활용하여 경제성 있는 수소생산으로 수소모빌리티 활성화 필요

		2018년	2022년	2030년	2040년
공급·가격	공급량 (=수요량)	13만톤/年	47만톤/年	194만톤/年	526만톤/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 : 30% ② : 70%
	수소가격	(정책가격)	6,000원/kg	4,000원/kg	3,000원/kg

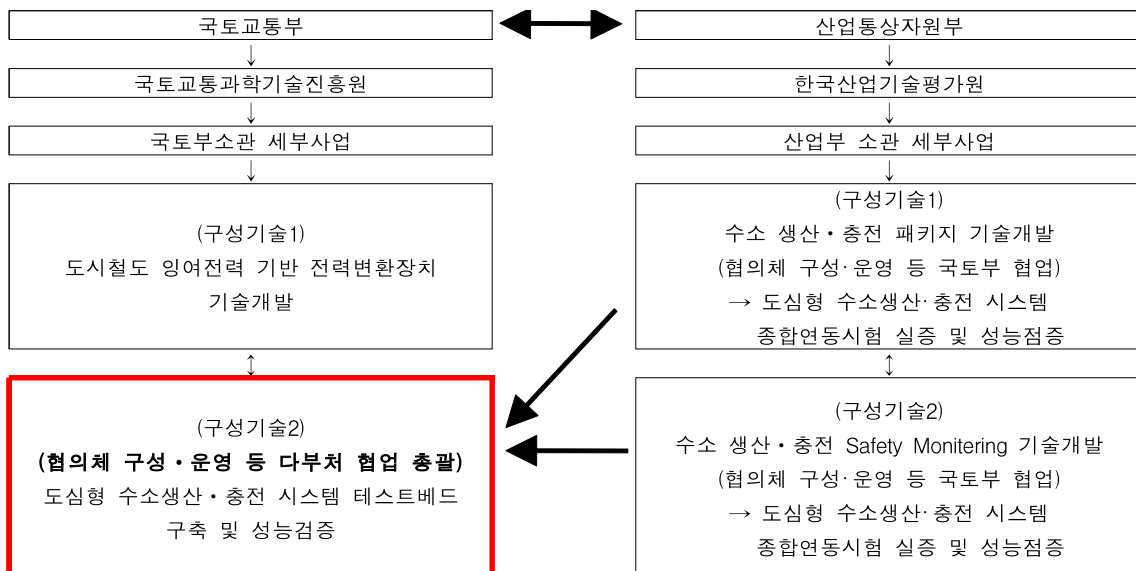
[수소공급 가격]

□ 사업구성 및 추진체계



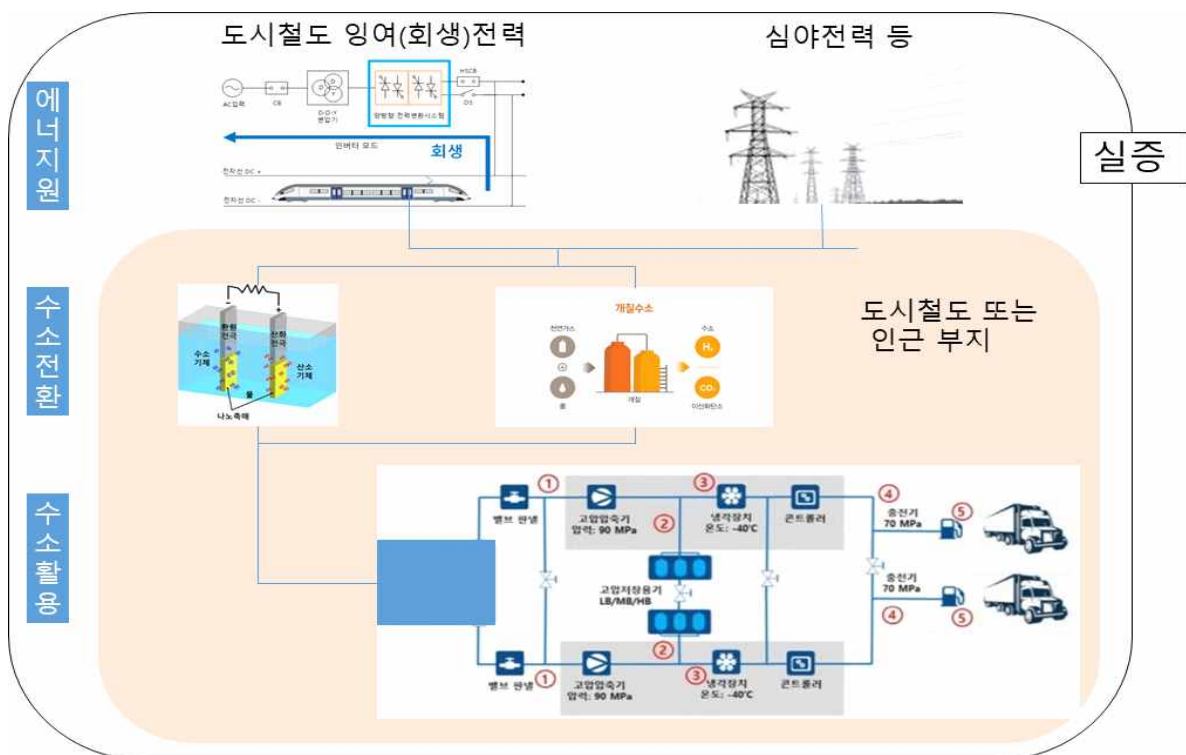
[사업추진 체계]

○ 본 과제는 다부처 협력사업으로 연구개발을 추진하며 아래와 같이 추진 체계를 구성함



【 추진체계 】

- 총 4개의 세부단위로 구성되며, 도시철도 잉여전력의 활용성을 높이면서 경제성을 확보하고, 현장적용성을 고려한 콤팩트형 수소생산·충전시스템 개발과 이에 대한 통합안전관리 및 제어 플랫폼 기술개발을 수행한 후 전국 확대를 위한 시스템의 실증 및 운영관리 최적화를 주된 내용으로 함
- 국토부과제는 도시철도 잉여전력의 효율적 활용을 위한 전력변환장치 기술 개발과 유희에너지 활용방안(철도시설 내 직접사용, 수소생산·충전 연계 활용)검증을 수행하며,
 - 산업부과제에서 기술개발을 통해 도출된 전력변환시스템, 수소생산·충전시스템, 통합안전 및 제어시스템 등을 적용대상 부지인 도시철도부지에 설치하여 중합연동시험 및 실노선 테스트 베드 실증을 통해 안전성, 성능검증 및 시스템 최적화 부분 수행
- 산업부과제에서는 기술개발을 통해 최종적으로 전달되는 회생전력의 수소생산·충전을 위해 관련 기술개발 및 기술기준 개발을 수행하며, 향후 실증을 위한 철도현장에 적용이 가능하도록 모듈화되고 콤팩트한 시스템 기술 개발 수행
 - 핵심요소인 잉여전력과 수소생산·충전시스템에 대한 안정성 확보가 중요하여, 이를 위해 자산관리시스템, 통합안전관리 시스템, 제3자 안전성 평가 등을 수행



□ 소요예산 및 연구기간

(단위 : 백만원)

구분	소요금액	자 금 형 태			비고
		국비	지방비	민간	
2022년	10,900	8,000	2,500	400	
2023년	14,400	7,000	7,000	400	
2024년	9,900	7,000	2,500	400	
2025년	7,800	7,000	500	300	
합계	43,000	29,000	12,500	1,500	

□ 추진일정

구분	주요과제	기술개발 및 실증			
		'22	'23	'24	'25
도시철도 잉여전력 기반 통합전력공급시 스템기술 개발 (국토부)	통합전력공급시스템 개발 및 성능평가 - 전력변환장치 제작사양 도출 - 전력변환장치(2MVA급) 시제품 제작/성능평가 - 도시철도 잉여전력/일반전력 블렌딩을 위한 계통연계 및 최적제어기술개발 - 전력공급계통과 수소생산·충전시스템 연계를 위한 표준형 통합전력관제 기술개발/성능평가 - AC/DC차단기 기반 인터페이스 기술개발/성능평가				
	신뢰성 확보를 위한 회생전력변환장치 상태진 단 및 고장예측 시스템 개발				
도심지역 적용가능한 수소생산·충전 패키지 개발 (산업부)	소형화된 모듈형 수소생산·충전시스템 개발				
	컴팩트화를 위한 생산·충전시스템 핵심부품 개발				
	철도현장에 적용가능한 수소생산·충전 시스템 자체 기술 기준개발				
도심형 회생전력, 수소생산·충전 Safety Monitoring 시스템개발 (산업부)	IoT 상태감시기반 회생전력, 수소생산·충전 자 산 관리 시스템 개발				
	회생전력, 수소생산·충전 통합안전(위험도)관리 시스템 개발				
	회생전력, 수소·충전 시스템에 대한 제3자 안 전성 평가				
도심형 수소 생산·충전시스템 테스트베드 구축 및 성능검증 (국토부)	도심형 수소모빌리티 인프라 모델개발 및 확 산을 위한 법/제도 개선				
	현장 적용성 제고를 위한 철도현장 조사 및 필요기술 분석				
	테스트베드 및 도심형 수소모빌리티 확산 인프라 모델 구축·검증				
	도심형 수소생산·충전 패키지시스템 실증 및 운영최적화				
	국토부, 산업부 사업의 참여기관간 수소모빌리티 확산 인프라 기술개발을 위한 협의체 구성·운영				

□ 기대효과

- 도시철도가 감속·정지시 발생하는 회생제동 전력은 사용전력의 45%수준이며 인접철도에서 사용하는 25%를 제외하면 약 20% 수준의 유향에너지가 발생하며 연간 27만MWh의 유향에너지가 과전압저항기에서 소모되고 있음.
 - 2019년 기준 도시철도 연간 전력사용량은 약 235만MWh이고 이 중 전철에서 사용되는 전력량은 135만MWh임.
 - 잉여전력의 간헐적, 비균일적 특성을 제어하고 인버터를 통해 에너지저장장치에 저장하거나 별도의 전기에너지 저장장치 없이 수소생산·충전에 활용할 경우 활용률을 극대화 할 수 있음.
- 회생제동 활용과 수소모빌리티 확대를 위한 수소 생산·충전 적용은 탄소중립관련 국가정책에 부합
 - 파리협정 및 유엔기후변화협약(UNFCCC)을 이행해야 하므로 국가의 핵심기반시설인 수소모빌리티 분야에서 저탄소경제로의 이행을 통한 국가 경쟁력 제고를 위한 선제적 대응에 기여
 - 잉여전력을 활용한 수소 생산·충전은 경제구조의 저탄소화의 핵심인 에너지전환 가속화의 ‘에너지 주공급원을 화석연료에서 신·재생에너지로 적극전환, 지역생산·지역소비의 분산형 에너지시스템 확산’에 부합하고, 또한 미래모빌리티로 전환의 ‘친환경차 가격·충전·수요 혁신을 통해 수소·전기차 생산, 보급확대, 도시·거점별 수소 충전소 구축’과 일치.
 - 정부는 수소경제 활성화 로드맵(2019.1), 수소경제 표준화 전략 로드맵(2019.4), 수소 인프라 및 충전소 구축방안(2019.10) 및 수소 기술개발 로드맵(2019.10) 등 온실가스 감축과 수소모빌리티 산업 육성을 추진해 왔으며, 최근 ‘21.02 제4차 친환경차 기본계획을 통해 “2025년 친환경차 중심사회·산업생태계 구축”을 비전으로 친환경차 확산 및 탄소중립 생태계로의 전환에 도움
- 수소모빌리티 보급에 어려움으로 작용하는 점은 수소충전소의 부족으로 충전 대기시간이 길거나 타 지역 충전소로 이동 및 충전소 운영시간이 제한되어 있어 원하는 시간에 충전이 곤란한 점 등이 불편 하였으나, 도시철도 인프라 인근에 분산형 수소충전소가 설치되면 이러한 불편함을 해소시킬 수 있으며, 이는 수소에 대한 사회수용성 개선에 도움
 - 수소연료는 경제성과 효율성을 위해 다양한 조건에 따라 적절한 형태로 공급되어야 하고, 효과적인 수소 공급망 구성을 위하여 수소생산시설을 포함한 충전소의 보급은 수소모빌리티 확대에 큰 도움
 - 기후변화와 연비향상, 온실가스 배출기준 강화 등 탄소중립 대응에 기여
- 수소모빌리티 확산과 수요증가의 선순환이 되도록 접근이 편리하고 경제성과 안

전성을 갖춘 수소관련 인프라 확대

- 수소모빌리티 확대 적용으로 수소수요 급증이 예상되고, 수요가 집중된 도심지 중심으로 수소 생산·충전 확대 가능
- 도시철도 인프라와 잉여전력을 활용하여 편리성과 경제성을 갖춘 분산형 수소충전소를 개발 및 실증하고 대도시 도심에 확대 적용
- 도시철도 잉여전력 유희에너지 활용을 통해 접근성이 좋은 지역에 수소모빌리티 충전시설을 구축하여 충전 불편 해소와 수용성 상승
- 법·제도 마련과 규제 정비 등을 이루어 국내 수소산업의 성장 토대를 마련

Ⅲ. 결론

과 제 명	도심내 잉여전력을 이용한 도심형 수소모빌리티 확산 인프라 모델개발 및 검증			
총개발기간	45개월 이내			
총사업비 (단위:백만원)	정부	지자체	민간	계
	29,000	12,500	1,500	43,000
1. 연구과제의 목표				
총개발목표	도심내 잉여전력을 이용한 도심형 수소모빌리티 확산 모델개발 및 검증 - 도시철도 잉여전력 활용 극대화를 위한 통합전력공급시스템 , 상태진단 및 고장예측 시스템 개발 - 도시철도 회생전력 활용 극대화를 위한 전력변환장치·에너지저장장치, 수소생산·충전 시스템 개발 - 유희에너지원을 활용방안 및 안전 모니터링 구축·수소 공급 인프라 실증 - 지역 맞춤형 도심형 수소기술 모델 확보를 통한 전국 확산 모델 구축			
2. 연구과제의 주요내용				
○ (1세부) 도시철도 잉여전력 기반 통합전력공급시스템 기술개발 · 통합전력공급시스템 개발 및 성능평가 - 전력변환장치 개발 - 도시철도 잉여전력/일반전력 블렌딩을 위한 계통연계 및 최적제어기술개발 - 통합전력관제 기술 개발 및 성능평가 - 통합전력공급을 위한 AC/DC차단기반 인터페이스 기술 개발 및 성능평가 · 신뢰성 확보를 위한 전력변환장치 상태진단 및 고장예측 시스템 개발 - 소프트웨어개발 및 검증 - 디지털 신호처리 하드웨어 개발 및 검증 - 인버터 수명가속 시험장치 제작 및 개발 ○ (2세부) 도심지역 적용 가능한 수소생산·충전 패키지 기술 개발 - 소형화된 모듈형 수소생산·충전시스템 및 패키지 개발 - 컴팩트화를 위한 모듈형 수소생산·충전시스템 핵심부품 개발 - 철도현장에 적용 가능한 수소생산·충전 시스템 자체 기술 기준개발 ○ (3세부) 도심형 수소생산·충전 Safety Monitoring 시스템 기술개발 - IoT 상태감시기반 수소생산·충전 자산관리 시스템 개발 - 수소생산·충전 통합안전(위험도)관리 시스템 개발 - 수소·충전 시스템에 대한 제3자 안전성 평가 ○ (4세부) 도심형 수소생산·충전 시스템 테스트베드 구축 및 성능검증 - 도심형 수소모빌리티 인프라 모델개발 및 확산을 위한 법/제도 개선 - 현장 적용성 제고를 위한 철도현장조사 및 필요 기술 분석 - 테스트베드 및 도심형 수소모빌리티 확산 인프라 모델 구축·검증 - 도심형 수소생산·충전 패키지시스템 실증 및 운영최적화 - 국토부, 산업부 사업의 참여기관간 수소모빌리티 확산 인프라 개발을 위한 협의체 구성·운영				

목 차

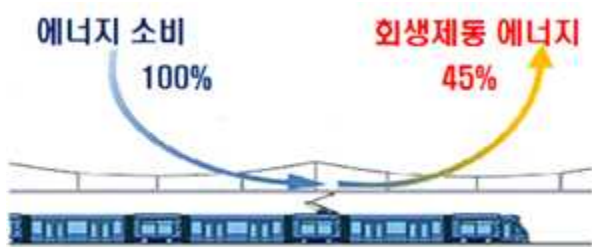
1. 서론	1
1.1 개념 및 정의	1
1.2 지원 필요성	3
1.2.1 산업적 필요성	3
1.2.2 기술적 필요성	7
1.2.3 정부지원 필요성	10
2. 산업환경 분석	15
2.1 산업구조 분석	15
2.1.1 회생전력분야	15
2.2.2 수소산업분야	21
2.2 시장환경 분석	31
2.2.1 국내외 시장 규모	31
2.2.2 향후시장 전망	42
2.3 향후 산업동향과 정책방향	53
3. 기술분석	60
3.1 기술동향	60
3.1.1 국내 기술개발 동향	60
3.1.2 선진국의 기술개발 동향	73
3.1.3 특허동향 조사 결과	84
3.2 기술 로드맵	104
3.3 세부기술 내용	104
4. 추진계획	105
4.1 추진 전략	105
4.2 총 소요예산 및 연구기간	107
4.3 상업화 추진 전략 및 계획	107
4.4 추진체계	108
5. 기술개발 효과	118
5.1 기술적 효과	118
5.2 경제적 효과	118
6. 결론	121
7. 참고 문헌	122

1. 서론

1.1 개념 및 정의

1.1.1 도시철도 잉여전력기반 도심형 수소생산·충전시스템

- 열차가 감속·정지시 발생하는 회생제동전력으로 수소를 깨끗하고 저렴하게 생산·공급하는 신개념 수소 충전소
 - 전동차는 제동 시 정차의 효율을 높이기 위해 회생제동을 사용하며, 회생제동시 발생하는 전력의 일부는 인접한 전동차에서 소모하고, 유향에너지원은 가선전압의 안정화를 위해 과전압 저항기로 소모됨



[도시철도에서 회생제동 에너지]

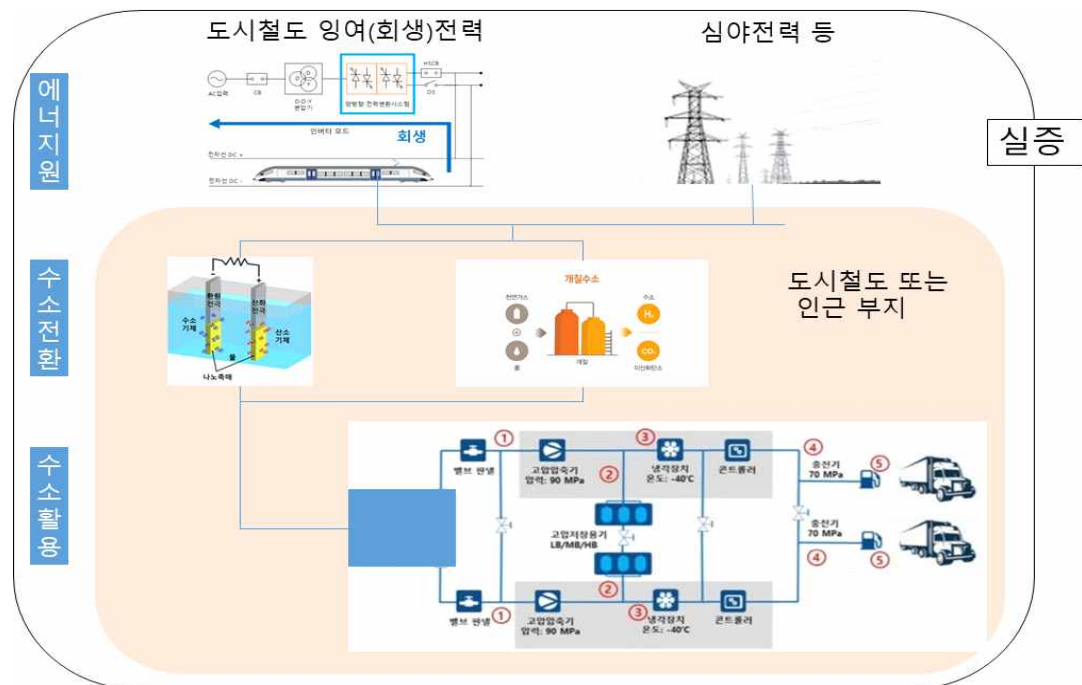


[회생전력 구성도]

- 정차·제동시 발생하는 회생전력은 인버터를 통해 별도의 전기에너지 저장장치 없이 변전소 교류 모선으로 환류시켜 재사용 가능하나 기술적 경제적 이유로 현재는 ESS에 저장하여 Peak 전류를 낮추거나 역사용 전원으로 활용하고 있으며 그 사용량은 미미한 수준이기 때문에 개선을 위한 연구개발이 필요함.
 - 회생전력을 일정부하 사용처에 공급할 경우 사용률이 높고 경제성을 갖추게 되며 특히, 수소생산·충전에 사용하면 수소가격을 낮추고 탄소중립에 기여할 수 있음
- 수소생태계 진입을 위하여 수소모빌리티 확산에 따른 수소수요 증가에 대비할 수 있도록 도심지에 콤팩트하게 설치하여 접근이 편리하고, 경제성이 있으며, 환경을 고려한 수소 생산 및 충전 인프라 임
 - 수소모빌리티 활성화를 위해 지하철 유향 부지를 활용하여 접근성 향상
 - 도시철도에서 발생하는 유향에너지원인 회생전력을 활용하여 경제성 있는 수소 생산 및 충전이 가능
 - 수소 생산 시에 발생하는 이산화탄소를 저감하여 탄소중립을 확보하고, 액화이산화탄소를 판매하여 추가 경쟁력 확보가 가능
 - 개발 및 실증된 모델을 바탕으로 도시철도를 운영하는 지역에 동 모델 확산
 - 본 사업의 “도시철도 회생전력 유향에너지를 이용한 도심형 수소모빌리티 확산

인프라 기술개발 및 실증”은 전동차 회생전력을 활용하여 경제성 있는 블루수소를 생산, 충전하는 설비를 콤팩트하게 개발하고 모듈화하여 접근성 좋은 지하철 인프라 근처에서 실증하는 것임

- 아직 국내에 기준이 마련되지 않은 지하철 인프라 근처에서 분산형 수소충전소를 개발 및 실증하여 수소모빌리티 확대에 기여
- 전력변환장치는 회생전력을 별도의 전기에너지 저장장치 없이 변전소 교류 모선으로 환류 시켜 수소생산·충전에 사용하여 경제성 확보
- 부지확보가 어려운 도심지 내부의 도시철도 인근 부지에 설치·운영이 가능하도록 설치면적을 최소화하고 모듈화 시켜 설치함으로써 접근성 향상
- 수소충전소를 도시철도 인프라 근처에 설치하기 위해 수소생산, 충전효율, 안정성 및 충전소 면적 등이 정의되어 있지 않은 상태이고, 이를 위해 규제개선 항목들을 도출하고 경제성 및 위험성 평가 등을 포함



[도시철도 잉여전력 유희에너지 활용방안 및 도심형 수소생산·충전 시스템 연계 개념도]

- 본 사업의 범위는 탄소중립을 위한 회생전력 변환장치, 수소생산·충전 기술개발, 기술기준 및 통합운영관리체계 확보하는 것임
- 도시철도에서 발생된 잉여전력을 유희에너지원으로 수소생산에 활용하는 전기에너지 공급시스템 기술개발
 - 현장적용성 제고를 위한 전국 철도현장 조사 및 필요 기술 분석
 - 도시철도 범용 회생전력변환장치·에너지저장장치 기술 개발
 - 신뢰성 확보를 위한 회생전력변환장치 상태진단 및 고장예측 시스템 개발
 - 회생전력 활용 방안(역사 직접 활용, 에너지저장장치 저장, 수소생산·충전 연계 활용)검증
 - 전력공급계통과 수소생산·충전시스템 연계를 위한 통합전력관제 기술 개발

- 도시철도 현장 조사 및 분석에 따른 수소생산·충전 모듈화패키지 및 컴팩트화 기술개발
 - 소형화된 모듈형 수소생산·충전시스템 및 패키지 기술 개발
 - 컴팩트화를 위한 수소생산·충전시스템 핵심부품 기술 개발
 - 철도현장에 적용가능한 수소생산·충전시스템 자체 기술 기준개발
- 수소생산·충전시설의 안전 모니터링 및 자산관리를 일원화 한 과제 플랫폼 구축 및 실증을 통한 관리 최적화 기술개발
 - IoT 상태감시기반 수소생산·충전 자산관리 시스템 기술 개발
 - 수소생산·충전 통합안전(위험도)관리 시스템 기술 개발
 - 수소·충전 시스템에 대한 제3자 안전성 평가
- 도심형 수소생산·충전시스템 설치 및 운영최적화 실증사업 수행
 - 실증 시나리오 및 부지 적합성 사전 검토
 - * 다양한 입지 분석을 통한 규제 완화 필요조건 도출 및 최적 실증 시나리오 모델 개발
 - 도시철도 잉여전력 기반 수소생산·충전시스템 설치 및 실증
 - * 수소생산·충전시스템 설치 및 통합관리시스템 간 종합연동시험 등 실증
 - * 입지 규제 완화를 위한 안전기술 및 위험도 실증 및 필요 데이터 도출
 - * 잉여전력사용 도심형 수소생산·충전소 BM모델 개발

1.2 지원 필요성

1.2.1 산업적 필요성

1) 탄소중립의 필요성

- 탄소중립이란 인간의 활동에 의한 온실가스 배출을 최대한 줄이고, 남은 온실가스는 흡수, 제거해서 실질적인 배출량이 0(Zero)이 되는 개념으로 배출되는 탄소와 흡수되는 탄소량을 같게 해 탄소 ‘순배출이 0’이 되게 하는 것으로, 이에 탄소 중립을 ‘넷-제로(Net-Zero)’라 함.
- 유엔기후변화 협약 (UNFCCC, United Nations Framework Convention on Climate Change, 1992) 제 21차 당사국 총회 (COP 21, 2015) : 지구 온도 2℃ 내 상승 억제 를 위한 온실가스 감축과 기후변화 적응 의무 부여
 - IPCC는 2018년 10월 우리나라 인천 송도에서 개최된 제48차 IPCC 총회에서 치열한 논의 끝에 「지구온난화 1.5℃ 특별보고서」를 승인하고 파리협정 채택 시 합의된 1.5℃ 목표의 과학적 근거를 마련
- 우리나라는 2030년 배출전망치 대비 37%를 감축 목표로 제출(2015년 6월)했고,

이후 ‘2030 국가 온실가스 감축 수정로드맵(2018년 7월)’을 마련하고 ‘저탄소 녹색성장 기본법 시행령’을 개정(2019년 12월)하는 등 감축목표 이행을 위해 노력해왔으며, 그간의 노력을 바탕으로 이번 국가온실가스감축목표 갱신안을 마련

- 이번 갱신안은 경제성장 변동에 따라 가변성이 높은 배출전망치(BAU) 방식의 기존 목표를, 이행과정의 투명한 관리가 가능하고 국제사회에서 신뢰가 높은 절대량 방식으로 전환하여 2017년 배출량 대비 24.4% 감축을 우리나라의 2030년 국가 온실가스 감축목표로 확정

○ 대통령은 2020년 10월 28일, 국회 시정연설에서 2050 탄소중립 계획을 처음 천명했고, 12월 7일 ‘제22차 비상경제 중앙대책본부회의’를 개최하여 ‘2050 탄소중립 추진전략’을 확정·발표

- 탄소중립·경제성장·삶의 질 향상 동시 달성을 목표로, △경제구조 저탄소화, △저탄소 산업생태계 조성, △탄소중립사회로의 공정전환의 3대 정책방향과 △탄소중립 제도기반 강화라는 3+1의 전략을 추진

	절대량 방식	배출전망치(BAU) 방식
2030 목표	■ '17년 배출량 대비 24.4% 감축	■ '30년 배출전망치(BAU) 대비 37% 감축
채택 국가	■ 유럽, 미국, 일본 등 100여 개국	■ 멕시코, 터키, 에티오피아 등 80여 개국
특징	■ 명확한 감축의지 표명 ■ 이행과정의 투명한 관리·공개 ■ 국제사회 높은 신뢰	■ 국제성장 변동에 따른 BAU 가변성 ■ 국제사회 낮은 신뢰

[감축목표 설정방식 비교 - 국가온실가스감축목표 확정 보도자료]

- 회생전력을 활용한 수소 생산·충전은 ‘경제구조의 저탄소화’의 핵심인 에너지전환 가속화의 ‘에너지 주공급원을 화석연료에서 신·재생에너지로 적극전환, 지역생산·지역소비의 분산형 에너지시스템 확산’에 부합하고, 또한 미래모빌리티로 전환의 ‘친환경차 가격·충전·수요 혁신을 통해 수소·전기차 생산, 보급확대, 도시·거점별 수소 충전소 구축’과 일치.

○ 수소는 인류가 당면하고 있는 에너지 문제와 환경문제를 동시에 해결할 수 있는 저탄소 청정에너지원으로서 수소에너지 대두 및 미래 수소사회 대비 필요 함

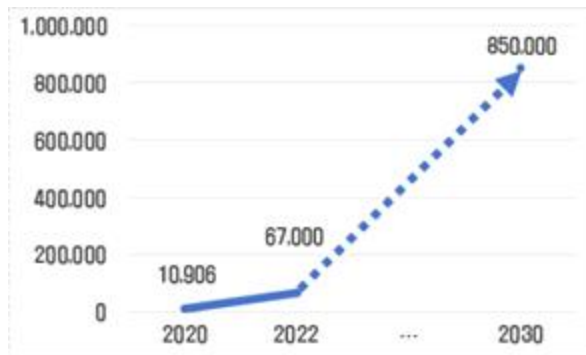
- 수소는 기존의 화석연료를 변환시켜 이용하거나 수소·산소 등의 화학반응을 통하여 전기 또는 열을 이용하는 새로운 에너지로, 전기, 열, 연료로 등으로 전환 가능함



[에너지 패러다임 변화]

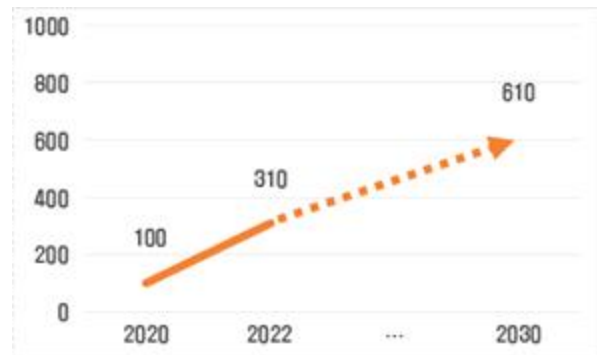
- 글로벌 환경규제는 점차 강화되고 있으며, 기후변화 대응과 지속가능한 성장의 조화를 위해 연비향상, 온실가스 배출기준 강화 등에 대한 대응으로 현재와 같은 내연기관 중심의 모빌리티 산업은 규제대응에 한계가 있어 친환경적인 모빌리티의 필요성이 더욱 부각됨
- 국가 에너지 수급에 효율적 대응을 위한 친환경 도시 구현, 에너지 수요 증가 및 에너지 안보 대비 에너지 자립화
 - 탈원전 및 화력발전소 규제에 따른 대체 에너지를 확보하고, 중소규모 분산 발전 및 지역간 에너지 교환 대응
 - 온실가스 감축, 미세먼지 대책 등 친환경 도시 구현 및 신재생에너지 확대하여, 향후 첨단도시 및 생활환경 변화에 따른 잠재에너지 수요 대응
- 2) 수소모빌리티 중심 산업생태계 구축
 - 친환경차 확산을 가속화하는 사회시스템을 구축하여 '30년까지 온실가스 24%감축, 수소차 충전시설을 전국적으로 확대, 내연기관 수준의 경제성 확보 및 탄소중립을 실질적으로 구현하는 제도적 기반 구축 예정
 - 정부가 에너지전환정책과 더불어 미래성장 동력으로 수소경제를 지목하고, 조기 진입을 위한 과제로 수소차 보급과 수소충전소 인프라 확보 추진 중
 - 수소차는 2020년 1만6454, 2022년 6만7천대, 2030년 85만대를 보급하고, 수소

차 확대에 따른 안정적인 연료공급 인프라 구축을 위해 수소충전소 역시 올해 100기, 2022년 310기, 2030년 610기로 확충해 나간다는 계획 임



[수소차 보급계획]

'20년 10,906대 → '30년 약850,000대



[충전소 보급계획]

'20년 100개 → '30년 610개

[수소차 및 수소충전소 보급계획 (출처 : 제4차 친환경차 기본계획 '21.02)]

3) 도시철도 인프라 활용하여 경제성과 접근성 있는 수소생산·충전

- 세계 각국은 철도 운영에 따른 비용과 정부 지원예산을 줄이기 위해 다각적인 방안을 추진 중이며, 국내의 철도기관도 운영 및 유지보수에 대한 비용 절감을 위해 새로운 기술 개발 및 생산성 향상 방안 필요
 - 국가 온실가스 감축정책(수송부문 2020년 전망치 대비 34.3% 감축(약 3,700만 톤))에 부응하는 도시철도용 변전설비 개발이 필요하고, 회생에너지를 사용하면 전동차 사용 전기량의 약 20% 절감 가능
 - 도시철도 운영 및 유지보수 효율화와 에너지 절감을 위해 전동차 정차 시 발생하는 회생에너지를 별도 전기에너지 저장장치 없이 변전소로 환류 시켜 역사의 전원으로 재사용하는 기술 필요
- 안정적인 수소모빌리티 확대를 위해 수소충전소 확충이 필요하지만 안전성, 접근성 및 부지 등을 고려하다보니 충전소 확보에 난항
 - 도시철도 잉여전력을 활용하여 수소생산·충전에 접근성 및 경제성을 확보하고, 분산형 충전소를 소형화, 모듈화 하여 도심 수소인프라 확대 필요
 - 도심지에 수소인프라를 확대를 위하여 안전성 확보, 수소생산·충전이 집적화되어 적은면적에 설치 가능한 새로운 기술개발 필요
- 수소산업 생태계 구축을 위한 경제성 있는 수소 공급 필수
 - 수소의 생산 단가는 2018년 기준으로 천연가스 추출 방식의 경우 1kg당 2,700 ~ 5,100원이고, 이중 전기요금은 약 20% 임
 - 도시철도 회생전력을 사용하면 버려지는 전기에너지를 수소생산·충전에 활용하여 수소생산 가격을 낮추어 수소모빌리티 활성화에 기여 가능

- 높은 초기 차량구매부담을 저렴한 연료비로 상쇄하기 위해 2030년까지 수소공급 단가를 kg당 4,000원으로 낮추기 위해 경제성 있는 수소공급 필요

		2018년	2022년	2030년	2040년
공급·가격	공급량 (=수요량)	13만톤/年	47만톤/年	194만톤/年	526만톤/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: 30% ②: 70%
	수소가격	(정책가격)	6,000원/kg	4,000원/kg	3,000원/kg

[수소공급가격]

1.2.2 기술적 필요성

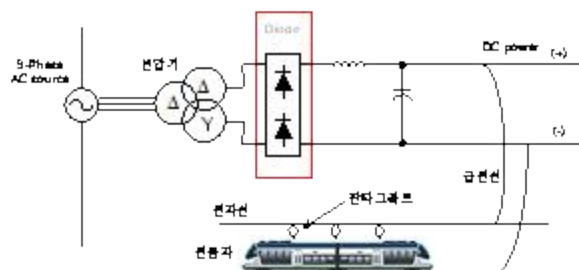
1) 도시철도 회생전력의 활용

- 2019년 기준으로 도시철도 연간 전력 사용량은 약 235만MWh이고, 이중 전철에서의 사용량은 135만MWh 임
- 도시철도에서 활용 가능한 회생전력은 전체 전력사용량의 20% 수준으로 약 27만MWh임
- 철도회생전력은 탄소중립 계획, 국가온실가스 감축목표를 달성하기 위한 방안으로 활용 가능

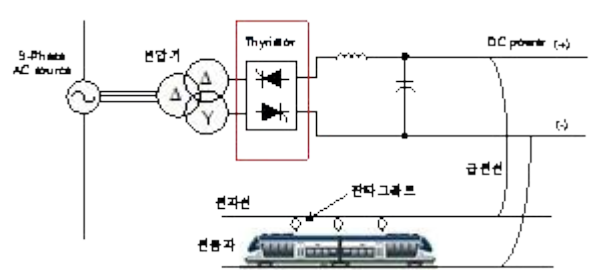
운영기관별	2019		합계
	전철	일반	전철+일반
	전력사용량 (MWh)	전력사용량 (MWh)	전력사용량 (MWh)
서울교통공사	836,977	524,933	1,361,910
서울메트로 9호선(주)	44,299	45,365	89,665
서울교통공사9호선운영부문	16,101	24,152	40,254
부산교통공사	201,627	143,324	344,951
대구도시철도공사	95,701	121,026	216,727
인천교통공사	77,379	86,021	163,401
광주광역시 도시철도공사	18,752	18,828	37,581
대전광역시 도시철도공사	17,396	19,063	36,459
부산-김해 경전철(주)	10,208	6,805	17,013
의정부경량전철(주)	6,330	4,956	11,287
용인 경량전철(주)	13,808	2,071	15,880
우이 신설경전철(주)	6,967	7,548	14,516
	1,345,545	1,004,092	2,349,644

[2019년 도시철도 전력사용량 - 통계청 자료 재편집]

- 전동차는 전차선에서 DC 750V나 1,500V의 전압을 공급받아 구동하고 있으며 교류를 직류로 변환하는 정류방식은 다이오드(Diode) 정류방식과 사이리스터(Thyristor) 정류방식을 사용
 - 다이오드 정류방식은 설비 구성이 간단하여 유지보수에 유리하나 전동차 제동시 발생하는 회생전력을 재사용할 수 없어 에너지 절감에 큰 단점을 가지고 있으며, 회생제동으로 발생하는 전력은 가선으로 수용하여 인접한 전동차에서 소모하고 유희에너지원은 가선전압의 안정화를 위하여 과전압저항기로 소모
 - 사이리스터를 이용한 양방향 전력변환장치 방식의 직류급전설비는 전동차 정차시 발생하는 회생전력을 별도의 전기에너지 저장장치 없이 변전소 교류 모선으로 환류시켜 재사용할 수 있어 도시철도 전기에너지를 절감하고 전차선 가선전압이 일정하게 유지하는 장점



[다이오드 방식의 DC 급전시스템]



[사이리스터 방식의 DC 급전시스템]

- 전동차로부터 발생하는 유희에너지는 인근의 전동차에서 사용되고, 일부는 가선전압 상승 및 임피던스 손실 등으로 실효되고, 나머지는 근접 변전소에서 열로 소모
 - 과전압 저항기에서 소모되는 잉여전력은 철도시스템의 에너지 효율을 낮춤
 - 열로 소모되는 잉여전력을 수소생산 및 충전에 활용하는 에너지 절감 기술로 철도부분의 경쟁력 강화 및 기술 수준 제고

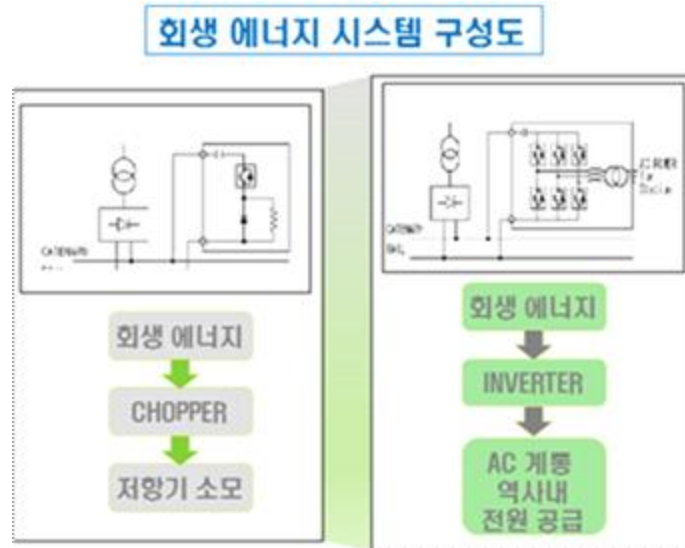


[회생전력을 발생과 사용]

- 전동차 잉여전력 사용을 위해서는 양방향 전력변환장치가 필요
 - 전동차 안전운행을 위한 전차선 설비 단순화, 부하변동에 따른 전차선에 안정된

전압을 공급하는 기능이 요구

- 전기에너지 저장장치 없이 변전소 교류 모선으로 환류시켜 타 전동차가 사용하고 남은 전력으로 수소를 생산·충전하는 전력으로 사용하여 수소단가의 경제성 확보 가능



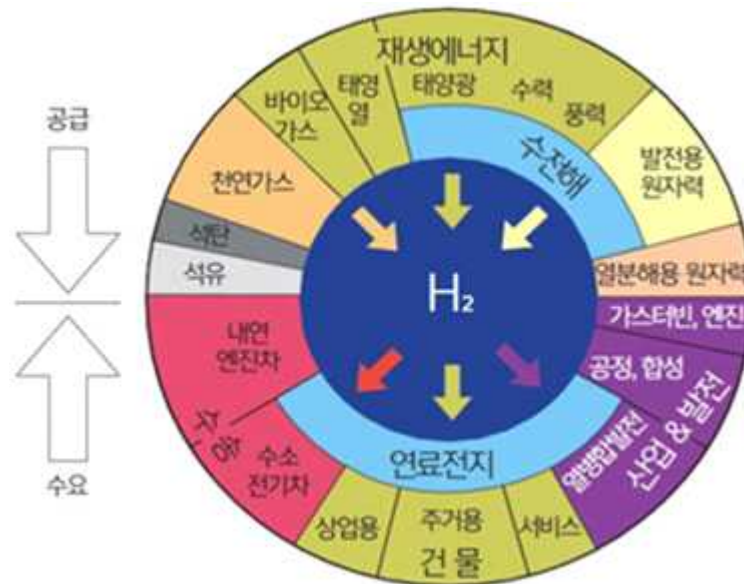
[회생 에너지 시스템 구성도]

- 최근에 도시철도 운영기관에서는 잉여전력을 사용하기 위해 에너지저장장치를 추가하나 이로 인한 설치비용 부담과 시설물 증가로 유지보수 비용이 증가
- 전동차용 급전설비는 에너지 저감을 위하여 전동차 회생전력 재사용, 전동차 안전운행을 위한 전차선 설비 단순화, 부하변동에 영향을 받지 않고 안정된 전압을 공급하는 기능이 요구

2) 수소모빌리티 확대를 위한 안정적인 수소공급

- 수소 수요 증가에 대비해야 하나 국내 수소 공급원인 부생수소는 생산량 확대에 한계가 있어 다양한 수소생산 기술 확보가 필요
 - 산업부 “수소 기술개발 로드맵”에서는 수요량(526만 톤/년(‘40)) 대응, 화석연료 수준의 가격경쟁력 확보, 기후변화 대응 및 탄소중립을 위한 단계별 기술 개발필요
 - 초기(~’25)에는 천연가스 개질 기술 개발을 통해 저가 수소 대량생산 기술 확보
 - 유럽, 일본에서 이미 상용화된 천연가스 개질 기술은 기술 적용이 용이하며 생산량, 가격 측면에서 이점이 있으나 이산화탄소를 발생
- 수소는 천연가스, 석탄, 석유, 바이오매스와 같은 다양한 공급원료(feedstock)와 재생에너지, 원자력과 같은 에너지를 사용하여 생산 가능
 - 수소는 화석연료에서 개질(reforming)하여 얻거나, 공업 프로세스의 부산물(부생 수소)을 활용하여 생산할 수도 있고, 신재생에너지를 이용한 물의 전기분해(수전해) 등 다양한 방식으로 수소를 생산할 수 있음

- 연간 7,900만 톤에 달하는 전세계수소생산량의 약 50%는 천연가스의 개질, 30%는 정유 및 화학부분의 부생수소, 18%는 석탄가스화 등 화석연료에서 생산되고, 나머지 2~4% 정도는 수전해 방법이 차지함



[수소의 공급과 수요관계 - 출처:<http://www.engineersjournal.ie>]

- 국내의 경우 석유화학단지에서 생산되는 부생수소가 주로 활용되고 있지만 부생 수소 생산·공급에 한계가 많아 점차 천연가스 개질 방식이 확산될 것으로 전망
 - 정유공장 및 나프타분해 공장 등에서 다량의 수소가 생산되지만 이는 자체적으로 모두 소비되고 부족분은 외부에서 구매할 만큼 기존 산업에서의 수소 활용도는 높아, 중·장기적으로 봤을 때 부생수소가 국내 수소소비량을 모두 담당하기에는 힘들
 - 친환경 수소생산 방식인 재생에너지 이용 수전해는 현재로선 비용이 많이 들고 고도의 기술개발과 실증이 필요해 수전해가 활성화되기 전까지는 천연가스 수소 개질이 가장 현실적인 방식
 - 또한, 탄소중립 실현 가능성을 향상하기 위해서는 천연가스 수소개질시 발생하는 이산화탄소를 포집하여 친환경성을 강화하여야 함
- 안정적인 수소생태계구축을 위하여 수소모빌리티 확산과 수소수요 증가의 선순환을 뒷받침할 수 있도록 생산이 일정하고, 경제성을 갖춘 소규모 도심형 수소생산·충전 시스템이 필요함

1.2.3 정부지원 필요성

(1) 자체 해결의 한계점

- 도시철도에서 발생하는 회생전력을 활용하는 방안으로 대용량 전력저장장치

(ESS)를 사용하여 전기에너지를 배터리에 저장 후 사용하는 방법이 제시되나 가격이 비싸고 효율이 낮아 투자대비 수익이 낮음.

- 일부 역사에서 ESS를 활용하여 피크전력을 낮추거나 역사용 전력공급으로 사용하나 투자대비 사용전력이 미미한 수준으로 수익성이 없음.
- 회생전력을 효율적으로 사용하는 방법으로 고정적인 부하 사용처를 발굴, 설치하여야 하나 철도시설관리법에 의해 제한받고 있어 발굴이 쉽지 않음.
- 도시철도의 회생전력 사용 극대화과 여유부지의 효율적 활용을 위해서는 민간차원의 접근보다 인허가 권을 가진 정부차원의 접근이 필요

○ 수소모빌리티-수소충전 인프라로 대변되는 고효율 수소에너지 시스템이 조기 산업화가 되질 못하는 이유는 기업이 투자하기에는 경제성이 낮음

- 보조금 없이도 가격경쟁력을 확보하는 것이 중요하지만 현실은 잠재시장 규모에 대한 불확실성과 초기투자비가 너무 높음
- 수소충전소는 공급방식에 따라 저장형(off-site) 충전소와 분산형(on-site) 충전소로 구분되고, 저장형(off-site)충전소에서 수소 공급은 다른 곳에서 생산된 수소를 튜브트레일러로 이송하는데 수소원가의 30% 정도임
- 아직 수소모빌리티가 활성화되지 않아 이용자가 적은 수소충전소를 설치·운영하기에는 큰 부담
- 수소충전 인프라(제조-수송-압축-저장-충전)는 기존 주유소와 같이 선제적으로 구축되어야만 수소모빌리티 시장의 성장을 견인할 수 있는 필수 조건

○ 수소충전소를 구축하기 위해 넓은 부지가 필요하고, 여러 가지 규제를 충족시키지 못하면 설치할 수 없음

- 수소충전소 구축이 가능한 단독 부지면적은 단독은 약 990m² 이상이고, 복합 충전소는 여유면적이 660m² 이상이 필요
- 공동주택과의 이격거리는 25m, 놀이터, 의료시설 및 교육시설과는 50m 및 이외에도 여러 가지 규제를 충족시키지 못하면 수소충전소를 지을 수 없음
- 땅값이 비싼 도심에서 990m² 이상의 부지와 이격거리 및 안전규제를 충족시킬 수 있는 부지를 확보하는 일은 곤란

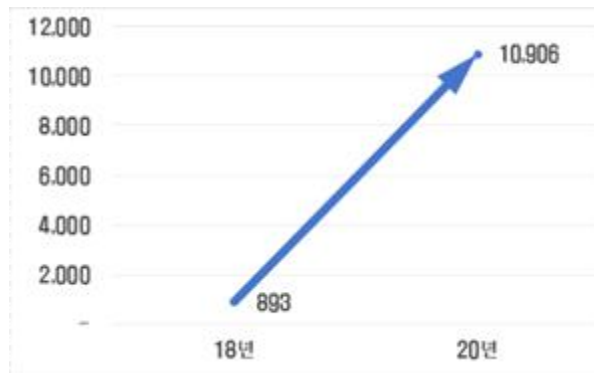
○ 수소는 미래에너지원으로서 적합하다고 평가받고 있고 넓은 활용범위를 가지는 등 기대가치가 풍부하지만, 주민 수용성 및 안전성 등 현실적으로 해결해야 할 많은 제약을 가지고 있음

- 제도 및 규제 완화는 수소산업이라는 신산업 분야의 활성화를 위해 필수적이지만, 안전과 결부된 문제이므로 그 해결책을 마련하기 위해 여러 면에서 많은 노력이 필요
- 수소 충전소 확대는 수소차 보급을 위한 필수불가결한 요소이지만 안전 문제 등으로 어려움을 겪고 있음

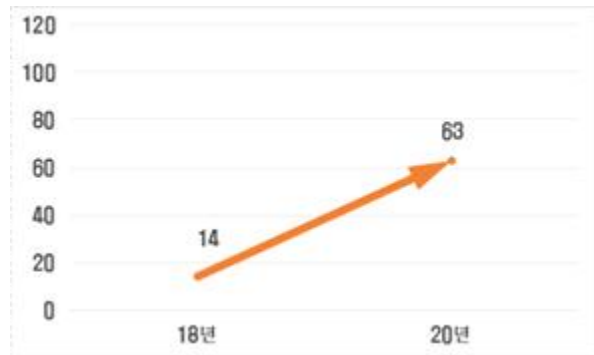
- 주민수용성 문제로 수소충전소설치는 인근 주민들이 안전성 등의 문제로 설치를 반대

(2) 정부 지원을 통한 해결방안

- 도시철도 인프라와 열차가 감속·정지시 발행하는 잉여전력 활용방안으로 수소를 깨끗하고 저렴하게 생산·공급하는 신개념 수소충전소 제시
 - 수소를 생산·압축·저장·충전 하는데 필요한 전기에 도시철도 회생전력을 사용함으로써 버려지는 회생전력 사용을 극대화하고 수소가격 인하로 인해 경제성 확보 가능
 - 도시철도 인근 여유 부지를 활용함으로써 수소충전소 구축에 필요한 부지면적을 확보하고 공공성 및 접근편리성 향상
 - 수소모빌리티 확산을 위한 새로운 기술, 소형화 및 모듈화 하여 적은 면적의 부지에 설치가능
 - 충전소 구축 전 안전평가제 도입 및 구축 후 모니터링·진단 강화를 통해 안전관리를 강화하고, 이에 대한 적극적인 홍보로 주민수용성을 확보 가능
 - 도시철도 인근 인프라와 회생전력을 활용하여 접근성과 경제성을 갖춘 수소 생산·충전 인프라가 필요
- 수소차의 경우 정부가 계획한대로 보급 가능하지만, 고압설비 시설을 기반으로 한 수소충전소의 경우 부지선정에 있어 부지면적, 안전성과 접근성 그리고 운영 등을 반드시 고려해야 하다 보니 충전소 확보가 곤란
 - 수소차는 '18년에 893대에서 '20년에는 10,906대로 약 12배 증가하는 동안, 수소충전소는 '18년에 14개에서 '20년에는 63개로 약 4.5배 증가
 - 지난해까지 수소충전소는 총 63기가 구축됐고, 2019년 누적 36기대비 75%가 증가한 27기를 추가 구축했지만 당초 목표했던 100기를 달성하지 못함
 - 안정적인 수소모빌리티 확대를 위해 수소충전소 확보가 필요하지만 수익성이 없는 수소충전소 운영을 위해 별도의 부지를 확보하는 것은 경제성을 떠나 민간의 참여가 어려움



[수소차, 12.2배]
(‘18년 893대 → ‘20년 10,906대,)



[충전소, 3.6배]
(‘18년 14개 → ‘20년 63개)

수소차 및 충전소 보급 현황

- 수소모빌리티 확산을 위해서 선제적으로 수소 충전소 구축이 필수적인데 현재 수소 충전소는 수익성이 없어 민간자본이 유입되지 않으며, 수소의 생산과 유통의 비싼 가격으로 인해 경제성이 없음
 - 현시점에서 가장 경제적인 수소충전소는 운송비 및 최종 공급가 절감을 위해 수요지 인근에서 수소를 생산하여 충전하여 초기수요에 대응하여야 함
- 철도잉여전력을 사용할 수 있는 도시철도 인프라 인근에 수소충전시설과 도시가스 개질 방식을 이용한 생산설비를 추가하여 수소를 제조, 충전 및 판매하고, 블루수소화하여 친환경성 확보 가능
 - 인근 수소충전소에 파이프라인을 통해 공급하고, 일부를 튜브 트레일러를 통해 타 수소충전소로 공급
 - 포집된 이산화탄소는 인근 농장 및 산업시설에 공급·활용
 - 도시철도 인근에 수소모빌리티 확대에 기여하기 위해 대중교통망과 연계한 수소 복합스테이션 구축
 - 기존 도시가스를 이용하여 수소를 제조함으로써, 기존 도시가스업체 및 CNG/LPG 충전 사업자의 참여를 쉽게 유도할 수 있는 장점이 있어, 수소충전소의 초기 보급 유도 및 경제성 확보 가능

(3) 정부지원 기대효과

- 도시철도 잉여전력 유희에너지를 이용한 도심형 수소모빌리티 확산 인프라 기술 개발 및 실증 사업은 온실가스 저감을 통한 탄소중립관련 국가정책에 부합
 - 파리협정은 모든 국가가 기후변화 대응노력에 참여한다는 큰 틀에 따라 온실가스 유엔기후변화협약 (UNFCCC)을 따라야 하므로 국가의 핵심기반시설인 수소모빌리티 분야에서 저탄소경제로의 이행을 통한 국가경쟁력 제고를 위한 선제적 대응이 필요함
 - 정부는 수소경제 활성화 로드맵(2019.1), 수소경제 표준화 전략 로드맵(2019.4), 수

소 인프라 및 충전소 구축방안(2019.10) 및 수소 기술개발 로드맵(2019.10) 등 온실가스 감축과 수소모빌리티 산업 육성을 추진해 왔으며, 최근 '21.02 제4차 친환경차 기본계획을 통해 “2025년 친환경차 중심사회·산업생태계 구축”을 비전으로 친환경차 확산 및 탄소중립 생태계로의 전환을 발표

- 제4차 친환경차 기본계획에서 수소차는 2020년 1만6454, 2022년 6만7천대, 2030년 85만대를 보급하고, 수소차 확대에 따른 안정적인 연료공급 인프라 구축을 위해 수소충전소 역시 올해 100기, 2022년 310기, 2030년 610기로 확충해 나간다는 계획

○ 수소모빌리티 보급에 어려움으로 작용하는 점은 수소충전소의 부족으로 충전 대기시간이 길거나 타 지역 충전소로 이동 및 충전소 운영시간이 제한되어 있어 원하는 시간에 충전이 곤란한 점 등이 불편 하였으나, 도시철도 인프라 인근에 개질기를 포함한 수소충전소가 설치되면 이러한 불편함을 해소시킬 수 있으며, 이는 수소에 대한 사회수용성 개선에 도움

- 수소연료는 경제성과 효율성을 위해 다양한 조건에 따라 적절한 형태로 공급되어야 하고, 효과적인 수소 공급망 구성을 위하여 수소생산시설을 포함한 충전소의 보급은 수소모빌리티 확대에 큰 도움
- 기후변화와 연비향상, 온실가스 배출기준 강화 등 탄소중립에 대한 대응으로 블루수소로 전환

○ 수소를 생산·저장 및 수요관리 산업의 기반을 강화하고 경제성을 확보하기 위해서 수소 생산·충전 인프라 개발 및 실증 투자 필요

- 도시철도에서 발생하는 연간 27만MWh의 회생전력 유휴에너지를 수소 생산·충전에 활용할 수 있어 에너지 절약뿐만 아니라 수소가격 인하로 경제성 확보
- 도시철도 회생에너지 활용을 통해 접근성이 좋은 지역에 수소모빌리티 충전시설을 구축하여 충전 불편 해소와 수용성 상승을 위한 수소 생산·충전 인프라 개발 및 실증 필요
- 이와 함께 법·제도 마련과 규제 정비 등을 이루어 국내 수소산업의 성장 토대를 마련

○ 수소모빌리티 확산과 수요증가의 선순환이 되도록 접근이 편리하고 경제성과 안전성을 갖춘 수소관련 인프라 확대

- 수소모빌리티 확대 적용으로 수소수요 급증이 예상되고, 수요가 집중된 도심지 중심으로 수소 생산·충전 확대 가능
- 도시철도 인프라와 회생전력을 활용하여 편리성과 경제성을 갖춘 분산형 수소충전소를 개발 및 실증하고 대도시 도심에 확대 적용

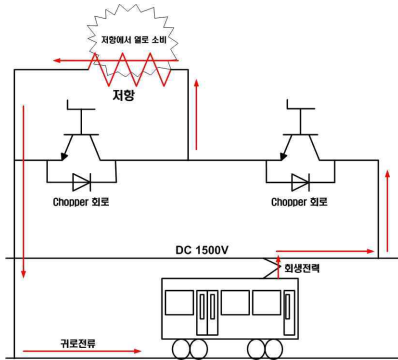
2. 산업환경 분석

2.1 산업구조 분석

2.1.1 회생전력 분야

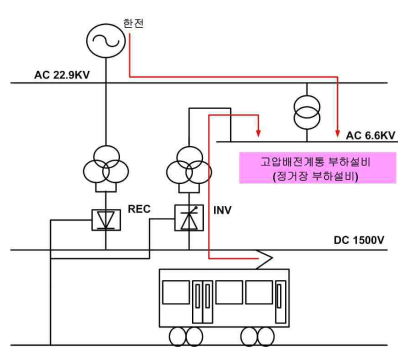
- 전기모터에 의해 구동되는 물체의 감속이나 정지시 브레이크와 같은 기계적 제동장치 대신 구동시 사용되는 모터가 발전기 기능을 하면서 발생하는 전력을 회생전력이라 함
 - 전기모터에 의해 구동되는 도시철도, 승강기, 크레인, 원심분리기, 자동창고, 주차타워 등 여러 산업분야에서 회생전력이 발생되며 활용되고 있음
 - 발전제동은 감속시 발생하는 발전기의 전기에너지를 차량내에 탑재된 저항기를 통해 열에너지로 소비하는 제동방식임.
 - 회생제동은 발전기에 발생한 전기 에너지를 모선을 통해 접속되어 있는 다른 장치에 공급하거나 또는 변전소에 설치된 회생전력흡수장치로 변환하여 제동하는 방식
- 전동차의 경우 회생제동에 의해 생성된 에너지의 흡수원이 없으면, 급전전압이 상승하여 제동능력이 저하되거나 무효화 되는 회생실효가 발생
 - 회생실효의 원인은 회생차의 회생작동에 의한 급전전압상승(회생중에 근교에 역행차가 없음)하거나 초퍼차의 노치오프에 의한 필터 콘덴서에서의 전압유출에 의해 급전전압상승이 있음.
 - 회생실효가 되면 전기제동이 기계적 제동으로 전환되면서 승차감이 나빠지고 정차위치를 벗어나거나 PSD가 열리지 않은 등 문제 발생
- 회생실효에 대한 대응방안으로 저항초퍼방식, 회생인버터 방식, 저장방식을 들 수 있음.
 - 저항 초퍼 방식은 회생에너지를 회생저항기로 공급하여 발열소비하는 방식임
 - 회생인버터 방식은 회생에너지를 회생인버터로 AC로 변환하여 AC계통으로 역전송하여 역사 설비 전원공급으로 사용
 - 저장방식은 지상저장장치에 공급한 후 인근 역행차량으로 전원을 공급함.
- 회생인버터 방식은 회생전력을 건물이나 역사 내 조명이나 전열설비의 전원으로 재사용이 가능
 - 고조파필터 등 부속설비가 필요하여 설치공간이 크고 순환전류 및 변환에 따른 장치 손실로 경제효과는 중간 정도이며 회생전력의 발생시점과 소비시점 불일치에 따른 손실이 발생할 수 있음
 - 저장방식은 전력저장장치에 저장 후 재사용함으로 변전소 및 역구내 설치가 가능하고 회생전력의 발생시점과 소비시점 불일치에 대한 대응이 가능할 뿐만 아니라 전력손실이 없어 에너지 효율이 큼

저항 쇼퍼 방식



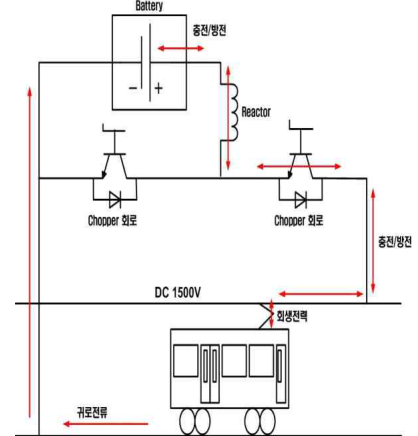
회생에너지
↓
회생저항기
↓
회생저항기 발열소비

회생인버터 방식



회생에너지
↓
회생인버터
↓
AC계통 역송전→역사 설비
전원공급

저장방식



회생에너지
↓
지상저장장치
↓
인근역행차량으로 전원공급

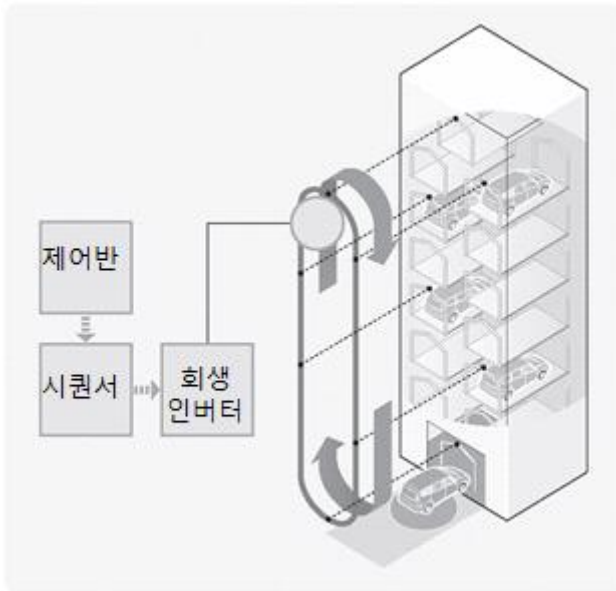
[도시철도의 회생전력 사용 방안, 출처: 일본의 회생에너지 활용사례, 김태규]

(1) 전력변환장치(회생인버터)

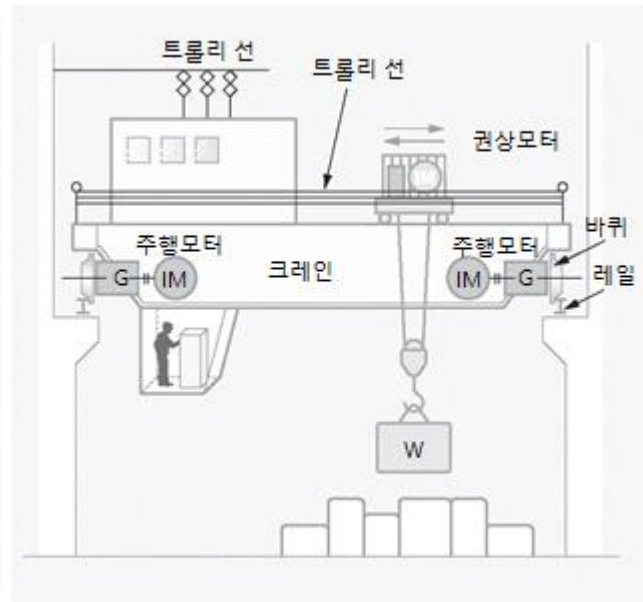
- 회생인버터는 교류전원을 직류로 변환해주는 PWM(Pulse Width Modulation) 컨버터를 이용해 출력전압의 균형을 맞춰주는 시스템을 말함.
 - 피드백 제어를 정확하게 하기 때문에 출력의 직류전압을 일정하게 제어할 수 있으며 전원·전압의 위상을 검출하고 역행시에는 입력전류의 역률을 '1', 회생시에는 '-1'로 제어함으로써, 회생 운전시 권상기 모터보다 발생하는 회생전력을 상용의 교류전원측에 되돌려 재생.
- 회생인버터시스템은 도시철도, 승강기, 크레인, 원심분리기, 자동창고, 주차타워 등 여러 산업분야에서 사용됨.
 - 승강기의 경우 두 가지 시스템에서 전력회생이 가능하며, 하나는 승강기가 상승하거나 하강할 때 균형추보다 무거운 카가 중력과 같은 방향으로 작용할 때이며, 두 번째는 균형추보다 가벼운 카가 상승할 때 권상기 모터가 발전기로 작동해 전기를 생산하는 경우임.
 - 회생인버터를 통해 생산된 전기에너지는 기존에는 제어반에 장착된 저항기를 통해 열로 태워 버렸으나 회생전력형 인버터를 장착한 승강기는 전기에너지를 빌딩의 조명·냉난방 기기 등에 되돌려주는 진기공급원 역할을 함.
- 회생제동장치의 설치를 권장하기 위해 한전에서 국가에너지 절감 정부지원정책 지원사업으로 설치 지원을 함
 - 지원금 지원 대상은 회생제동장치의 용량 7.5kW이상 110kW이하 범위에 해당하

는 승강기, 호이스트, 크레인 등에 설치하는 회생제동장치로 기존 저항제동장치를 대체하여 설치하는 경우

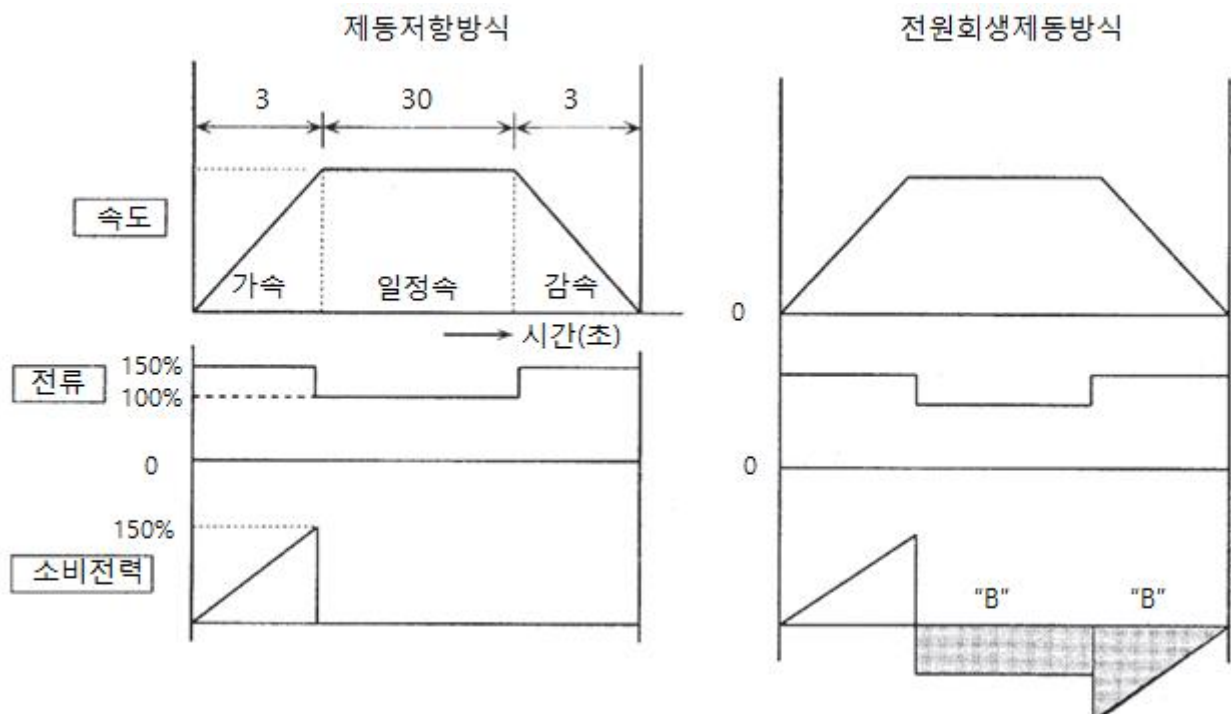
- 지원대상기기는 회생제동장치 제조사가 한전에서 인정한 지정시험기관에서 시행하는 성능시험에 합격하고 한전과 회생제동장치의 지원대상 기기인정 및 보급에 관한 계약을 체결하여야 함.



[주차타워 적용사례]



[크레인 적용사례]



[승강기에서의 일반제동 및 회생제동 비교 사례, 출처: 전원회생컨버터 일체형 인버터에 의한 에너지 절량, 서경섭, 2009]

회생 인버터(Pulse With Modulation) 시스템 의 원리와 비교

한국승강기안전연구원
Korea Research Institute of Elevator Safety

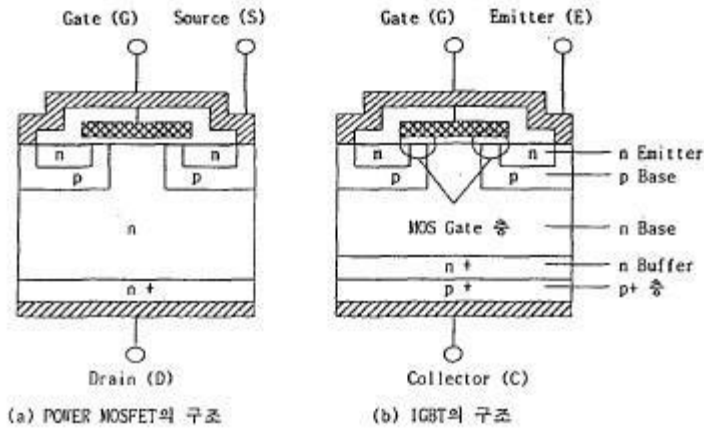
구분	티센크루프엘리베이터	현대엘리베이터	오티스, 엘리베이터	비고
개 념	▲.교류 전원을 직류로 변환 해 주는 컨버터를 이용해 출력 전압의 균형을 맞추는 시스템 ▲.피드백 제어를 정확하게 하여 직류 전압을 일정 하게 유지 하는 시스템			
원 리	● 엘리베이터가 상승,하강 할 때 균형추 보다 무거운 카가 중력과 같은 방향으로 작용 할 때 전력을 회생 ● 균형추 보다 가벼운 카가 상승할 때 권상기 모터가 발전기로 작동해서 전력을 회생 (대안광 이용 정속 시스템 진행 중)			
명 칭	CPIK-RM(고속~중,저속)	Lowatt(로와트) : 중,저속 PWM컨버터 일체형 인버터 - 300m/분 이상 고속기종	Regen Drive	
전력 절감	최대 55%	60% 이상	기존대비 75%	
특 징	1.중,저속 기어리스 : GL1 2.고속기어리스 : Elejet 3.기계실없는 MRL : Evolution ※ 대기중일때 자동으로 쉼,램프,표시기 등의 작동을 중지시켜 불필요한 대기 전력을 차단 =>에너지 소비량을 크게 줄임	1.Lowatt는 세계최초로 전해 콘덴서가 필요 없는 특수 기술을 적용 -인버터 사용수명을 대폭 늘린 획기적인 제품(신기술인증NET) 2.승강기 회생전력을 빌딩의 조명 냉난방 전력으로 사용 가능하게 전환 가능	1.전력 소비량의 획기적인 절감 2.25층 빌딩 14시간 운행 : 5,130Kw전기 발생 3.고주파 왜곡을 혁신적으로 감소 -전자파에 민감한 고가 첨단 장비 보호 효과 4.Gen2다이내믹 모델 : 친환경 엘리베이터로 영업전략	
장점	★ 대기모드 관리 국내 최고의 수준	★ 고층빌딩의 제로 에너지에 기여	★ 독일 엔지니어 협회 : 에너지 효율 등급 A	

※ 상기 자료의 무단 복사,복제,유포를 금합니다. (참고자료 :2016년 07월 06일 전기신문)

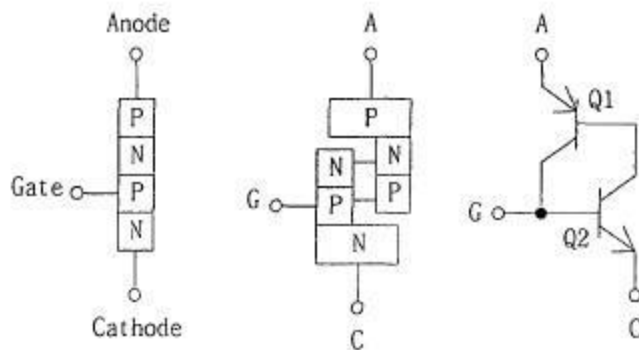
[국내 승강기 제조사의 회생제동 적용 사례 비교, 출처: 한국승강기안전연구원 자료]

- 회생인버터의 경우 직류회로에 콘덴서를 사용해서 전압을 일정하게 유지하면서 트랜지스터, IGBT(Insulated gate bipolar transistor), GTO(Gate turn-off thyristor)를 활용해 직류 전압을 스위칭 함.
 - IGBT 구조는 PNP bipolar transistor와 Power MOSFET를 접속한 형태로 Power MOSEFET의 Drain 측에 p+ 층을 추가한 구조임.
 - IGBT는 기술적으로 스위칭 속도가 빠르다는 MOSFET의 장점과 대용량화가 가능한 Bipolar transistor의 장점을 결합한 것으로 입력 특성은 입력 임피던스가 높은 MOSFET 특성과 유사한 전압구동형 소자이고, 출력특성은 포화전압이 낮은 bipolar transistor와 유사함.
 - GTO의 구조는 Anode, Cathode, Gate의 3단 소자이며 2개의 Transistor 모델로 설명됨
 - GTO는 Thyristor와 같이 NPN Transistor의 Base에 Gate signal을 인가하면 도통상태가 되며, Thyristor에서는 PNP와 NPN transistor의 전류이득이 turn-on시 Gate sensitivity를 최대로, on-stage 전압강하를 최소화 하기 위해 크기 때문에 Gate에서 turn-off되지 않음.
 - GTO와 thyristor의 차이점은 PNP transistor의 전류이득이 커나 작으냐에 있으며 GTO의 전류이득을 줄이기 위해 두 가지 방법이 있으며 GTO 소자의 특성

PNP transistor의 제조에 사용된 특별한 기술에 영향을 받기 때문에 Gold Doped GTO(Symmetrical Type)과 Anode Shorted GTO(Asymmetrical type) 방법이 있음



[Power MOSFET와 IGBT 구조, 출처:주전력변환장치개발, 현대중공업, 1999]



[GTO Thyristor의 일반적인 구조, 출처:주전력변환장치개발, 현대중공업, 1999]

- IGBT는 GTO에 비해서 제어전력이 적고 스위칭 시간이 짧은 특징을 가지고 있으며 IGBT의 스위칭 시간은 GTO의 약 1/6으로 고속임
- IGBT는 Gate의 제어전력을 GTO에 비해 1/1000이하정도 작으며 전압 전류의 안전동작 영역도 더 넓고 Gate 회로가 작아지므로 Snubber Condensor의 소용량화 되는 장점이 있음

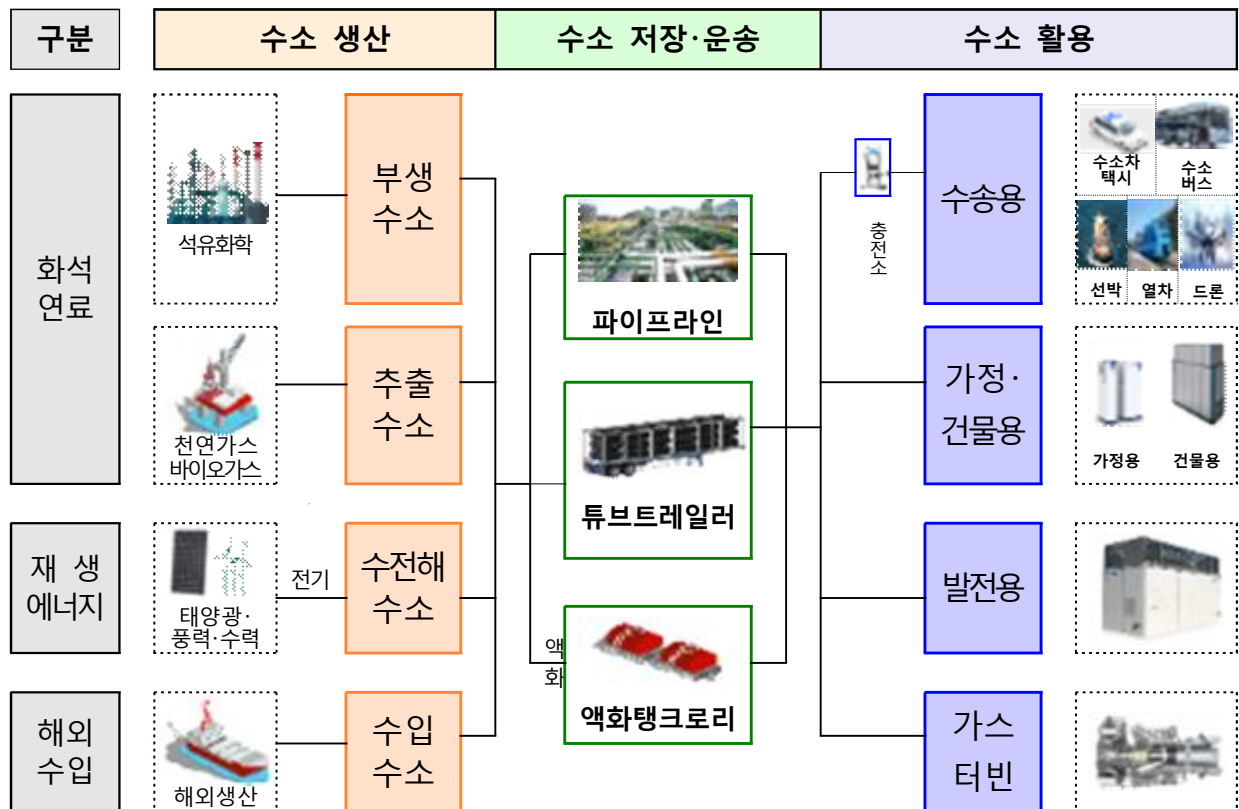
소자 종류	GTO	IGBT
Gate 회로	대형	소형
구동방식	전류구동	전압구동
구동회로	복잡	단순
전력손실	크다	작다
소자취부 방법	복잡하다	간단하다
Switching Frequency	작다	크다
자기소호 기능	있다	있다
Surge 내장	크다	작다
소자내압	4500V	3300V
소자전류	4000A	1200A
스위칭 손실	크다	작다
스위칭 속도	느리다	빠르다
Snubber 손실	크다	작다
Turn-on전압강하	낮다	높다
전도손실	크다	작다
소음	크다	작다
가격	저가	고가

[GTO와 IGBT 특성 비교]

- 전 세계 열차들은 대부분 GTO(Gate turn-off thyristor) 방식을 적용하고 있으며 일부 IGBT(Insulated gate bipolar transistor) 방식을 적용하고 있음
 - GTO방식은 일본의 신간선 500계, WIN 350(West railway's Innovation for operation at 350km/h), STAR21(Superior Train for the Advanced Railway toward tile 21st century), 독일의 ICE3(Inter-City Tilting trains)등이 적용하고 있음
 - IGBT방식은 프랑스의 TGV-NG(New Generation)에서 적용하고 있으며 GTO에 비해 소형·경량화 되었음

2.1.2 수소산업 분야

- 세계적으로 온실가스, 미세먼지 등 환경규제가 강화되고 화석연료의 고갈 문제 및 탄소중립이 대두되면서, 대안으로 친환경성이 높은 수소에너지가 다시 부상
 - 특히 원유 수입국인 우리나라는 화석연료를 대체하여 수소를 에너지원으로 활용함으로써 에너지 자립에 기여할 수 있는 수소에너지의 중요성이 강조
- 수소를 주요 에너지원으로 사용하는 경제산업구조를 ‘수소경제’라고 말함
 - 수소경제는 현재의 화석연료 중심의 에너지 시스템에서 벗어나 수소를 에너지원으로 활용하는 모빌리티 또는 전기발전, 열 생산 등을 늘리고 이를 위해 수소를 안정적으로 생산-저장-운송하는 데 필요한 모든 분야의 산업과 시장을 새롭게 만들어내는 경제 시스템
- 수소경제는 수소가 국가경제, 사회 전반, 국민생활 등에 근본적 변화를 초래하여 경제성장과 친환경 에너지 공급의 원천이 되며, 기존 화석연료 등 탄소에 기반한 하부 경제구조가 수소 중심으로 전환된 미래 경제사회라 할 수 있음
- 수소산업은 크게 수소에너지를 공급하는 부문과 수소를 활용하는 수요 부문으로 구성
 - 공급 부문은 수소에너지를 생산하고, 생산된 수소가 최종 구매자(소비처)에 의해 활용되기 전까지의 과정으로 저장, 운송 등의 활동으로 정의되며 이동 및 운반을 위해 필요한 저장용기 등 다양한 장치 및 인프라를 포함
- 수소는 새롭게 발굴 또는 개발된 에너지가 아니고 한 세기 전부터 현재까지 지속적으로 사용하고 있는 산업용 원료임
 - 수소는 우리가 글로벌 경쟁우위를 보유한 반도체와 디스플레이 제조, 암모니아 제조, 광섬유 제조, 석유정제, 화학원료, 전지 제조, 제철, 우주선 및 로켓연료 등 광범위한 분야에서 매년 약 5,000만 톤의 수소가 사용
- 수소산업 생태계는 크게 수소의 생산, 저장·운송과 관련된 공급 부문과 수소의 용도에 따른 수요 부문으로 구분할 수 있음
 - 공급 부문은 수소의 생산, 저장·운송을 위한 다양한 장치산업 및 인프라로 구성
 - 수요 부문은 크게 건물용, 발전용, 수송용, 산업용 및 생활용품 등으로 구분되며 수소의 이용을 위한 연료전지 관련 산업이 중심임



[수소산업 생태계]

(1) 수소생산

○ 수소의 생산은 화석연료를 활용하는 기술과 비화석연료 방식 등 다양한 형태로 이루어짐

- 수소는 화석연료, 바이오매스 등으로부터 메탄가스등을 추출(reforming)하여 얻거나, 석유화학 및 제철공장 등 공업 프로세스의 부산물(부생수소)을 활용하여 생산할 수도 있고, 신재생에너지를 이용한 물의 전기분해(수전해) 등 다양한 방식으로 생산 가능

- 1세대 수소 생산 방식으로 일컬어지는 화석연료를 이용한 수소 생산방식으로는 수증기, 이산화탄소, 부분산화, 자열 개질 및 직접분해의방법 등이 있음

- 2세대 생산 방식으로 알려진 비화석연료를 활용하는 방법으로는 유헥에너지원 활용 등의 전기분해와 열화학분해, 생물학적분해 및 광화학적 분해 방법 등이 알려짐

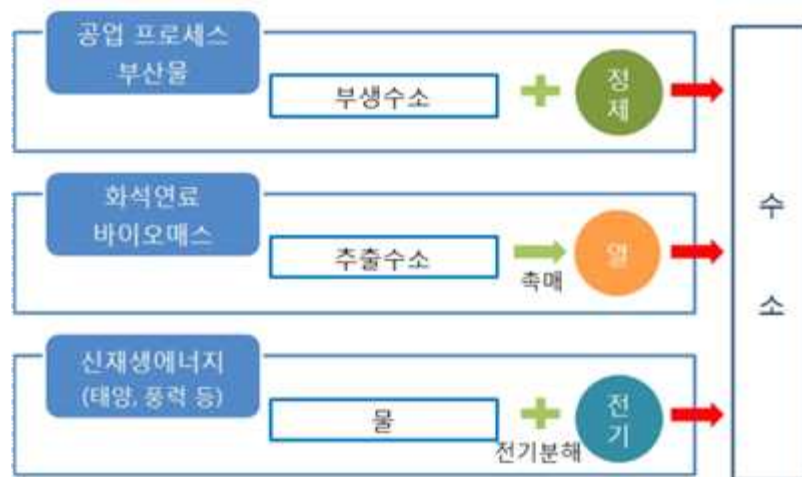
· 2세대 수소 생산 방식 중 현재 상용화 단계에 진입한 것으로 평가되는 기술은 전기분해방식이나 시장성을 확보할 만큼의 단계에는 진입하지 못하고 있는 실정

○ 세계적으로 수소를 생산하기 위해 활용되고 있는 원료 현황을 살펴보면 약 50%는 천연가스의 개질, 30%는 정유 및 화학부분의 부생수소, 18%는 석탄가스화 등 화석연료에서 생산되고, 나머지 2~4% 정도는 수전해 방법이 차지함

종류	생산방식	특징
부생수소	■ 다양한 공업 프로세스에서 부산물로 생산되는 수소	■ 생산가격이 저렴
개질수소	■ 천연가스나 나프타등의 화석연료를 개질하여 제조되는 수소	■ 천연가스 공급망과 연계 가능
수전해	■ 물을 전기분해하여 얻는 수소	■ 신재생 에너지와 연동

[수소생산 방식]

- 부생수소는 석유 정제과정, 코크스 등의 제철 프로세스, 에틸렌 제조 등 석유화학 공정, 소다 공장에서는 식염수의 전기분해 과정 등에서 부수적으로 수소가 발생하고 이를 저장하고, 활용
- 수소개질은 천연가스, LPG, 나프타 등 탄화수소로부터 수소를 제조하는 방법으로는 수증기 개질법(steam reforming), 부분산화법(partial oxidation) 등의 프로세서가 실용화
- 수전해는 물을 전기분해하여 수소를 제조하고 고온 수증기전해법, 알카리 수전해법이 있음



[수소생산 방식]

(2) 수소의 저장 및 운송

- 수소의 공급은 크게 저장과 운송 부문으로 구분할 수 있고, 저장은 수소의 상태에 따라 기체 저장, 액체 저장, 고체 저장, 물질 변환 저장 등으로 구분
 - 기체 저장은 기체 상태의 수소에 고압을 가해 저장하는 방식으로 현재 CNG를 운반하는 방식과 유사하며 기술이 이미 정립되었다는 장점이 있지만, 대용량 저장에는 한계를 가지며 압력용기가 비쌈
 - 수소는 -253℃에서 액체 상태가 되는데, 이때 부피가 기체수소 대비 1/800로 줄어들고 액체수소는 고압기체수소(200bar)의 4배 수준의 저장밀도를 가지며 대용량 저장이 가능하고 폭발 위험이 낮으나 액체수소플랜트 등 수소를 액화하기 위한 추가적인 시설 구축에 대규모 투자가 요구
 - 수소를 액상유기수소 저장(LOHC) 또는 암모니아 등으로 화학적 변환을 하여 저장하는 기술로 액상유기수소 저장은 상온·상압의 조건에서 대규모 이송이 가능하지만 탈수소화 공정을 필요로 하고 암모니아 저장 방식은 암모니아를 바로 연료로 사용해야 한다는 단점
 - 고체 저장 방식은 저장합금 등에 수소를 저장하는 방식으로 낮은 압력으로 수소를 저장하므로 가장 안전하지만 저장량에 한계가 있으며 합금의 비용이 비싸다는 단점

		방식	특징
기체수소		■ 가장 일반적으로 사용하는 방식으로 기체수소를 고압에서 압축하여 저장	■ 기술이 상용화되어 있으나 저장량의 한계, 용기의 경제성으로 인해 대용량 저장에 한계가 있음
액체수소	액화	■ -253℃까지 수소를 냉각하고 보온병과 같은 이중 구조의 용기에 넣어 보관	■ 저장밀도가 높고 안전하며, 폭발위험이 낮으나 대규모 시설 투자가 요구됨
	액상유기수소저장(LOHC)	■ 톨루엔 등을 활용하여 수소를 화학적으로 저장하여 이송	■ 상온·상압의 조건에서 대규모 이송이 가능하며, 가연성이 낮고 안전하나 낮은 운송 효율, 수소화와 탈수소화 공정이 필요함
	암모니아 저장	■ 수소를 암모니아 형태로 변환 하여 저장	■ 높은 온도에서 저장 및 운송 가능하나 독성에 따른 위험성이 있으며 탈수소화 공정이 필요함
고체수소		■ 금속에 수소를 흡착시켜 저장 하는 방법	■ 가장 안전한 기술이나 저장량에 한계가 있음

[저장방식 비교 - 출처: 월간수소경제(2019.7.1)]

- 기체수소는 파이프라인과 튜브트레일러 방식으로 운송되며, 액체수소는 탱크로리 방식을 주로 활용
 - 파이프라인은 공급지와 수요지에 배관을 연결하여 수소를 운반하는 방식으로 건설비용이 비싼 반면 운송비가 저렴한 특징을 가져 대량의 수요와 공급이 발생할 때 경제적

- 튜브트레일러 방식은 수소를 대용량 압축 및 저장을 통해 강제로 만들어진 실린더 또는 카트리지에 담아 운반하는 방식으로 시설비가 여타 운송 방식보다 저렴하나 안전성 측면에서 수용성이 낮다는 단점을 가져 소규모 단위의 수소 공급에 적합한 것으로 평가
- 액체수소는 탱크로리 방식으로 운반되는데 액화수소와 암모니아 및 액체유기금속 등에 의한 액상수소가 이에 해당하고, 액화 방식은 액화 수소플랜트를 통해 -253℃까지 수소를 냉각하여 액체 상태를 만든 후 탱크로리로 운송하는 방식인데 대기압으로 저장되기 때문에 상대적으로 안전하여 대도시에서도 사용 가능하다는 장점이 있지만, 액화시설에 대한 대규모 투자가 요구되며 더불어 시설 운영 단계에서 전력소비로 인한 온실가스 배출이 이루어진다는 단점

		운송 방식	운송 조건
기체 운송		파이프라인	■ 소규모, 단거리에 연속 공급하는 경우 ■ 대규모, 장거리에 연속 공급하는 경우 ■ 장거리 공급이 가능하고 에너지 손실이 적음 ■ 고정비가 높으며 변동비는 낮음
		튜브트레일러	■ 중·소규모, 중·장거리에 간헐적으로 공급하는 경우 ■ 저장 용량이 작고 단거리 운송에 적합하며, 에너지손실이 적음 ■ 고정비는 낮지만 변동비가 높음 ■ 330kg, 200bar 용기가 1억 8,000만~2억 원 수준임
액체 운송	액화	탱크로리	■ 액화 제조 및 저장 시설과 연계되는 경우 ■ 중·대규모, 중·장거리에 공급하는 경우 ■ 액화 시 소요되는 전력에 의한 온실가스 배출량 증가에 대한 고려가 필요 ■ 튜브트레일러와 파이프라인의 중간 정도의 저장 용량을 가지며, 장거리 운송이 가능하나 에너지 손실이 많음 ■ 고정비가 높으나 변동비는 낮음
	액상	탱크로리	■ 액상물질(암모니아, 액체유기금속 등) 제조 시설과 연계되는 경우에 적합 ■ 중·대규모, 중·장거리에 공급하는 경우

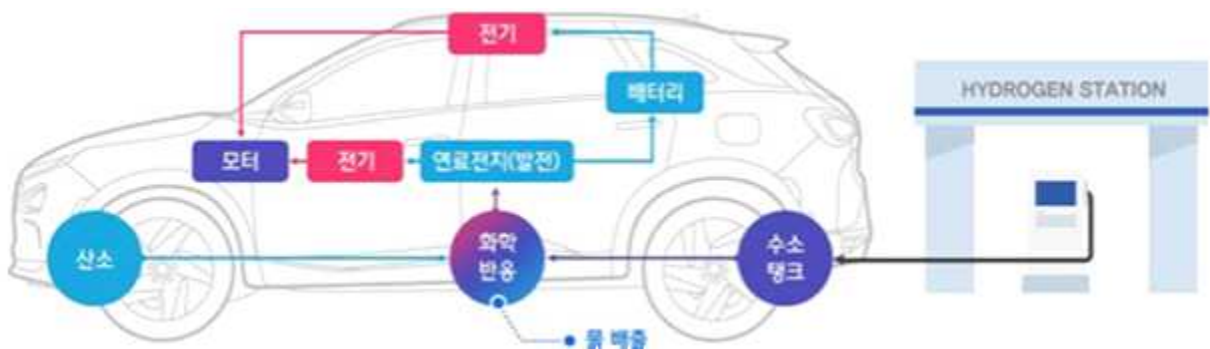
[운송방식 비교 - 출처: 월간수소경제(2019.7.1), 「수소 운송 '튜브트레일러 시장' 뜬다」]

(3) 수소의 활용

가. 수소모빌리티

- 수소모빌리티는 운송 분야에서 수소를 활용하여 새로운 산업생태계를 창출하고, 수소에너지 활용을 높여 수소산업의 경쟁력을 제고시킴으로써 수소경제로 전환할 수 있는 매개체 역할을 수행 가능
- 특히 운송 분야에서는 각국 정부가 환경규제를 강화하면서 기존 내연기관의 대안을 찾기 위한 연구개발 및 상용화가 진행 중이며 온실가스를 발생시키지 않는 에너지원 활용에 관련 업체들의 자원이 집중

- 수소차는 수소연료전지로부터 생산된 전기로 구동되는 전기차의 일종으로, 모터에서부터 바퀴에 이르는 구조는 기존의 전기차와 같은데, 배터리에 미리 저장된 전기를 사용하는 것이 아니라 전기를 만들면서 모터를 돌려 차량을 구동
- 수소차는 내연기관 수준의 긴 주행거리와 짧은 충전 시간이 장점이지만 충전소 구축비용이 비싸고 수소의 생산, 유통, 재처리 과정에서 광범위한 인프라 구축이 필요
- 시장 성장을 위해서는 수소차가 자동차로서의 상품성을 갖추는 것 외에도 수소 경제 생태계 구축을 위한 인프라 투자 정책 등이 종합적으로 뒷받침되어야 함



[수소차의 구동원리 (출처 : 현대자동차 홈페이지)]

- 수소연료전지를 동력원으로 하는 모빌리티에는 승용차, 버스, 트럭 등 자동차 분야 외에도 지게차, 드론, 선박, 열차 등 여러 가지 종류가 있음
- 이들 운송 수단도 자동차와 유사하게 온실가스 배출 저감과 운용 효율성 등의 이유로 개발되고 있으나 대부분은 기술개발 단계로 시제품 출시까지는 상당한 기간이 소요될 것으로 예상
- 지게차는 상용화 개발 중이고 인증, 표준화, 수소 인프라 제한으로 보급은 미비한 상황이며 미국, 일본 등은 상용화 지게차와 연료전지 모듈을 개발하여 활용 단계로 확산
- 수소연료전지 선박은 연료전지에 수소와 산소를 반응시켜 발생한 전기를 이용하여 모터를 회전시키고 프로펠러를 돌림으로 선박이 운항되는 동력으로 사용
- 수소연료전지 드론은 연료전지를 동력원으로 하는 드론이고, 현재 이용되고 있는 드론은 주로 배터리 등을 동력원으로 사용하는데, 연료전지를 사용하면 비행시간이 길어져 산업용으로 확대 가능
- 수소연료전지 철도차량은 기존의 전력선에서 직접 전기를 공급받는 철도차량과는 달리 수소를 구동에너지로 사용하는 연료전지를 사용하는 철도차량

나. 수소충전

- 수소충전소는 공급방식에 따라 분산형(On-site)과 저장형(Off-site)으로 구분
 - 분산형 충전소의 대표적인 수소생산기술은 기존에 잘 확충된 도시가스 인프라를 이용한 천연가스 개질과 풍력 및 태양전지와 같은 재생에너지 기반의 수전해 방식에 의하여 만들어지는 수소를 수요자에게 바로 공급하는 방식
 - 두 가지 방법 모두 운송을 위한 부대비용이 들지 않는다는 장점이 있지만, 수전해 방식은 개질 방식에 비하여 수소를 제조하는데 약 2.6배의 비용이 발생
 - 대규모로 수소를 생산하는 저장형의 경우, 수소 생산가격은 분산형에 비하여 상대적으로 낮지만 일차 생산한 후 충전소까지 이송하는데 필요한 튜브트레일러, 액화탱크, 파이프라인과 같은 수송 수단 비용이 추가적으로 필요
- 천연가스등 화석연료를 기반으로 하는 현재의 수소생산방식은 상당한 양의 온실가스를 배출하는 만큼, 탄소중립의 경제시스템을 달성하기 위해서는 신재생에너지를 기반으로 하는 그린수소가 필요
 - 수소생산비용은 '18년 기준 부생수소방식이 수소 1kg당 2,000원 미만으로 가장 경제적이며, 천연가스개질의 경우 2,700~5,100원 수준, 수전해 방식은 9,000원 ~ 10,000원 수준
 - 수전해 방식으로 수소를 생산하기에는 채산성이 맞지 않아, 개질로 생산된 그레이수소에서 블루수소로 전환이 필요
 - 또한, 수소개질 원가에서 원료비와 전기요금이 다수를 차지하며, 도시철도 회생 전력으로 수소를 생산·충전하면 수소단가를 낮추어 경제성 확보가 용이
- 미국 에너지성 산하 “에너지 효율 및 재생에너지 사무국”에서 분석한 수소비용 자료에 의하면 분산형 천연가스 개질이 가장 저렴하며, 저장형의 개질 및 파이프라인에 의한 단거리 수송이 그 다음을 차지하는 것으로 평가
 - 수소경제 초입단계에서는 수소모빌리티 차량수의 제한으로 인하여 현장 소규모 생산 방식이 절대 유리하며 보급 확산을 통한 활성화 단계가 되면 중압집중형의 대규모 생산방식이 고려
 - 우선은 석유화학공정에서 발생하는 부생수소 중 일부분인 약 10만톤 정도가 당장 사용될 수 있지만 이는 수송비 문제로 단거리 파이프라인 인프라가 구축된 석유화학공단 인근 도시에서만 활용가능한 제한성이 있음
- 따라서 현시점에서 가장 경제적인 수소 인프라의 핵심 구축 요소는 “분산형 수소충전 시스템”임
 - 초기 시설투자비가 높아 민간투자 진입 장벽이 커 초기 수소 인프라 구축을 위해 선도적인 연구개발 및 투자로 시장 형성에 기여
 - 수소모빌리티 확산을 위해서 자본의 유입이 필수적인데 현재 수소 충전소는 수

익성이 없어 민간자본이 유입되지 않으며, 수소충전소의 초기 경제성 문제를 해결하기 위해 정부지원 필요

- 도시철도 인프라와 회생전력을 사용하여 접근성, 경제성을 확보하고, 온실가스 포집장치를 추가하여 탄소중립 확보 필요

수소충전소	수소공급 방법	비고
저장형(Off-site) 수소충전소	■ 수소파이프라인을 이용하여 충전소에 수소공급	충전소 외부에서 수소공급
	■ 튜브트레일러로 수소를 이송하여 충전소에 수소공급	
분산형(On-site) 수소충전소	■ 전기분해를 통해 생산된 수소를 공급	충전소 내부에서 수소공급
	■ 도시가스를 개질하여 수소를 생산 및 공급	

[수소충전소 비교]

○ 저장식 공급방식 : 수소 대량생산지역에서 수소충전소까지 파이프라인 또는 트레일러(고압, 액화)로 이송하여 사용하는 방식

- 장점으로서는 대량으로 수소를 생산함으로써 비용이 저렴한 것이지만, 수소 이송에 따른 추가적인 운송비용이 발생하는 단점이 있음
- 생산지역에서 수소충전소까지 파이프라인으로 수소를 이송하는 방식



- 생산지역에서 수소충전소까지 튜브트레일러로 수소를 이송하는 방식



○ 분산공급방식 : 수소충전소에서 CNG, LPG 추출 또는 물을 수전해하여 수소를 생산하여 사용하는 방식

- 수소 생산 지역에서 거리상 많이 떨어져 이송 비용이 증가하는 경우에 유리하다는 장점이 있으나 수소를 생산하기 위해서는 개질 장치 및 수전해 장치가 필요

하기 때문에 초기 수소충전소 설치비용이 높다는 단점이 있음

- 수소충전소에서 도시가스 배관을 통해 수소를 생산하는 방식



- 수소충전소에서 물을 전기분해(수전해)하여 수소를 생산하는 방식



2.1.3 탄소중립 전략

- 수소경제 이행 추진에 있어 수소의 생산 및 공급전략의 주된 기조는 우선적으로 부생수소를 일부 활용하면서, 단기적으로 천연가스 추출방식으로 향후 확대될 수소 수요를 대응하기 위해 생산기반을 갖추고, 중장기적으로 반드시 친환경 CO₂-free 수소 공급 확대를 추진 필요
- 수소경제로의 이행을 위해서는 환경적 측면에서도 정당성을 확보해야 하며, 이는 궁극적으로 부생수소, 추출수소 등의 생산방식에서 벗어나 친환경 수소 생산 및 공급 확대를 통해 달성 가능
- 수소생산의 전과정적 차원에서 온실가스가 전혀 배출되지 않는 완전한 CO₂-free 수소 생산방식은 적어도 현재까지는 재생에너지 발전의 전기를 활용한 수전해 수소 생산방식이 유일
- 경제성 등을 감안하여 단기적으로 확대하는데 어려운 재생에너지연계 수전해 수소생산 방식 보다는, 수소 생산과정에서 발생하는 온실가스를 줄이는데 비용 효과적인 다양한 방식들도 함께 지원하는 체계 구축 필요
- 탄소 포집·저장·활용기술(Carbon Capture, Utilization & Storage, CCUS)은 산업시설 등에서 발생하는 이산화탄소를 포집하고 이를 지중 등에 저장(Carbon Capture & Storage, CCS)하는 기술과 더불어 이산화탄소를 활용(Carbon Capture & Utilization, CCU)하여 부가가치가 높은 유용 자원 물질로 전환하는 기술까지 포함
- 이산화탄소 포집기술은 연소 후 포집, 연소 전 포집 및 순산소 연소기술이 있음
 - 연소 후 포집기술은 연소공정을 거친 후 발생한 배기가스에 포함된 이산화탄소

- 와 질소를 분리하는 기술이고, 기존 발생원에 적용하기 가장 용이한 기술이며 대기압 및 상대적으로 낮은 온도에서 운전 가능
- 연소 전 포집기술은 석탄이나 천연가스를 부분 산화시켜 합성가스를 만들고 일산화탄소를 수소와 이산화탄소로 전환한 후 이를 분리하는 기술
 - 순산소 연소기술은 화석연료의 산화 과정에서 순산소로 연료를 연소시켜 배기가스의 대부분이 이산화탄소와 수증기로 구성되고, 배기가스 중에 수증기를 응축함으로써 고농도의 이산화탄소를 분리하는 기술
- 이산화탄소 저장기술은 육상이나 해저 지층 중 이산화탄소를 저장할 수 있는 곳을 선정하고, 저장지층에 포집된 이산화탄소를 주입해 대기/수층으로의 누출 없이 안전하게 저장·관리하는 기술
- 이러한 지중 저장기술은 저장 장소 탐사, 특성화, 평가, 선정, 심부지층으로의 효율적인 주입, 주입된 이산화탄소의 모델링, 모니터링, 환경, 안전관리 기술 등을 포함
- 배출원에서 발생하는 탄소를 산업적인 용도로 직접 이용하거나 고부가가치 제품으로 전환하여 활용하는 기술을 의미
- CCU 기술의 특징은 종래 CCS 기술이 이산화탄소 저감을 위한 포집공정과 이의 처리를 위한 수송, 압축 및 저장 공정 등이 필요한 반면 CCU 기술은 연소 배기가스 중의 이산화탄소를 산업적인 용도로 직접 활용하기 때문에 CCS에서와 같은 저장을 위한 일련의 공정(압축, 이송 및 저장)이 불필요

구분		정의 및 범위
포집	연소 후 포집	■ 연소 공정 후 배출되는 가스에서 이산화탄소를 포집
	연소 전 포집	■ 연료의 연소 전 가스화 혹은 부분산화를 통해 이산화탄소를 포집
	순산소 연소기술	■ 연소 시 고순도 산소를 공급하여 질소산화물 배출을 방지하고 이산화탄소를 포집
저장	지중저장	■ 포집된 이산화탄소를 적절한 심부 암층에 주입하여 저장
	해양저장	■ 포집된 이산화탄소를 해저에 분사하여 저장
활용	생물학적 전환	■ 광합성 등 자연계의 탄소순환 시스템을 이용하여 이산화탄소를 유용한 유기물질로 전환
	화학적 전환	■ 기존 또는 새로운 화학 반응 및 공정기술을 적용하여 이산화탄소를 유용한 화학물질로 전환

[탄소 포집, 저장 및 활용]

2.2 시장환경 분석

2.2.1 국내외 시장 규모

(1) 전력 회생형 인버터

- 수송기계의 감속·정지시 발생하는 회생제동전력을 별도의 전기에너지 저장장치 없이 변전소 교류 모선으로 환류 시켜 재활용할 수 있는 전력회생형 인버터의 시장 규모는 2012년 8.2억 달러에서 2025년 15.3억 달러로 증가 예상
 - 본 연구기획에서는 전력인버터 장치를 통해 확보한 회생제동 전력을 수소생산·충전 및 온실가스 포집에 사용하여 수소가격을 낮추고자 함
 - 기존 전력 회생형 인버터 응용 시장은 빠른 응답성과 절전효과로 승강기, 공작기계, 풍력 발전기, 정밀 전원 장치 등에 적용



[세계 전력변환장치 시장규모 (2012-2025)]

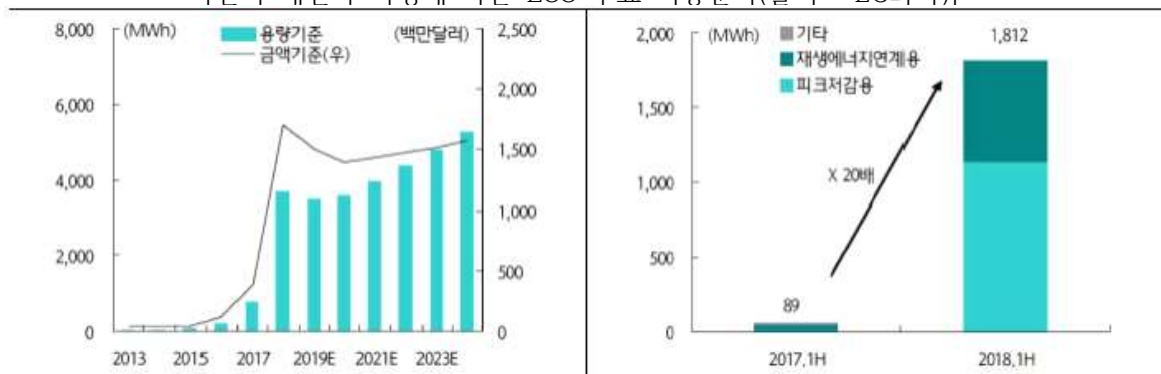
출처: 한국전기산업진흥협회, 2015년 전기산업 동향 및 전망, 2014

(2) 에너지저장장치(ESS, Energy Storage System)

- 전력은 다른 에너지원에 비해 환경에 따른 변동성이 크기 때문에 수요량을 예측하기 어렵고, 상시 공급체계를 유지하기 위한 비용이 높은 편임. 또한, 최근 전 세계적 트렌드인 친환경성 기조에 따른 신재생에너지 확대에 따라 에너지원의 불안정성 보완 및 품질 확보 방안으로 ESS 수요가 증가하는 추세에 있음
- ESS의 용도는 전력 수요가 낮을 때 충전하고, 높을 때 방전하여 비용을 줄이기 위한 부하이동, 발전량 예측이 어려운 재생에너지와의 연계, 주파수 조정 등을 통한 품질 유지의 목적으로 활용되고 있음
- '18년 상반기 ESS 설치용량은 1.8GWh로, '17년 대비 20배 이상 증가하였으며, 이후에도 연간 3.7GWh 수준의 설치량 증대가 이루어질 것으로 예측

구분	부하이동	재생에너지 연계	주파수 조정
패턴	Capacity (MWh) vs Time (24 Hours). Shows Charge (red) and Discharge (grey) cycles. Labels include 'Discharge', 'Reduction Generation / Transmission Investment Costs', and 'Generation / Transmission Investment Costs'.	Power (MW) vs Time (24 Hours). Compares 'ESS Pattern' (red line) and 'Natural Pattern (PV)' (grey line).	Frequency (Hz) vs Time (Secs). Shows frequency fluctuations with 'Charge' (red) and 'Discharge' (grey) periods.
특징	- Off-peak 시간에 충전 - Peak 시간대에 방전	- 충·방전을 통해 재생에너지 변동성 완화	- 계통 주파수 상승 시 충전 - 계통 주파수 하락 시 방전

[전력 패턴과 특징에 따른 ESS 주요 이용분야(출처 : LG화학)]



[국내 ESS 전망 및 용도별 설치현황(출처 : 하나금융경영연구소, 산업통상자원부)]

- 이러한 늘어난 설치원인은 ESS 특례 요금제, 공공기관 설치 의무화, 탄소중립과 연계된 정부의 ESS 지원정책 시행 등으로 판단되며, 향후 ESS의 가격 하락 및 재생에너지의 연계성이 증대되며 성장세는 유지할 것으로 전망되었음
 - 하지만 실제로는 '19년 코로나 상황등이 대한 악재로 외부 활동이 자제되는 등, 국내에서는 1.8GWh로 규모가 대폭축소 되었으나, '20년 상반기에만 2.0GWh 등으로 원래 전망치에 근접한 추세를 보였음(출처 : 한국전기안전공사)
- 해외의 경우 연평균 40%씩 증대되어 '25년에는 138.5GWh까지 증대될 것으로 예측(출처 : SNE리서치)
 - 최대 시장을 형성하고 있는 미국에서 전력 설비 노후화 및 전력망 불안정, 재생에너지 확대에 지속적으로 증가할 것으로 판단되었음
 - 유럽 및 호주는 전기요금 절감, 재생에너지 확대, 정전사태 대응 및 전력계통 불안정성 완화 등의 목적으로 ESS 설치를 확대하는 등 꾸준히 수요가 있을 것으로 예측됨



[ESS의 국내외시장규모 분석(출처 : '20년 경향신문)]

(3) 수소경제 전반

- 수소 경제의 가치사슬은 수소 생산-저장·운송-활용으로 구성되며, 활용 과정에서 유해 물질(온실가스, 미세먼지 등)을 전혀 발생시키지 않고 화석연료 대비 효율이 높아 미래 청정에너지로 부상



[수소 경제 밸류 체인]

(자료: 전국경제인연합회, 2020, "수소 경제 현황과 과제")

- (세계) Hydrogen Council(2017)은 2050년 경 연간 2조 5,000억 달러 규모의 세계 수소 생산 및 관련 장비 시장이 형성될 것으로 전망
 - 시장 형성의 50%는 수소 생산, 나머지 50%는 수소 자동차, 열차, 난방기, 산업용 장비 및 관련 부품이 차지할 것으로 예상되며 총 3,000만개(누적)의 일자리 창출
 - 2050년 수소에너지 수요는 약 78 EJ(엑사줄, 21,684 TWh)에 달할 것으로 예상되며, 2030년 이후 급격한 수요 증가 예상
 - 현재는 생산된 수소 대부분이 산업용 원료로 사용되고 있으나, 2030년 이후 수소자동차 등 운송부분의 수요가 급성장할 것으로 예상되며 2050년 약 22 EJ로 가장 큰 비중 차지 전망
 - * EJ(Exa Joule, 에너지 소비 단위), 1EJ: 1,018Joule = 석유 1억 7,000만 배럴= 전력 278TWh.
 - CO₂ 감축은 약 6 Gt이 기대되며, 이중 절반 이상은 수소자동차 등 운송부분에서 달성할 것으로 기대

Exhibit 5: Hydrogen demand could increase 10-fold by 2050

Global energy demand supplied with hydrogen, EJ

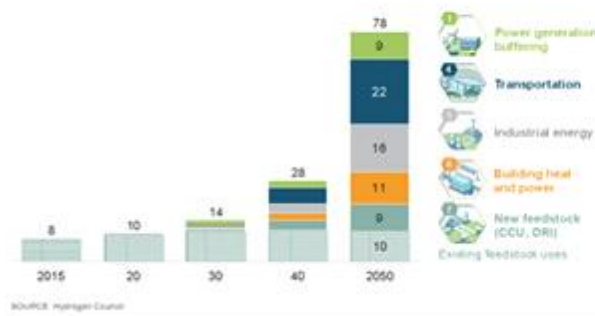


Exhibit 6: Annual CO₂ emissions could be reduced by 6 Gt in 2050

CO₂ avoidance potential 2050, Gt



[세계 수소 수요 증가 추세]

(자료: Hydrogen Council(2017.11.), "Hydrogen Scaling Up")

- (국내) 2050년 경 70조원의 시장 규모와 60만명의 신규 일자리 창출(누적)이 예상
 - 2050년 경 연간 전력생산의 10%를 차지하고, CO₂ 감축 목표의 약 20%가 수소 활용을 통해 감축되어 기후변화 대응에도 핵심적 역할을 할 것으로 기대
 - 우드맥킨지의 조사에 따르면 2020년 국내 수소 수요는 444만톤으로 세계 5위이며, 이 중 86%는 정유부문에서 발생할 것으로 예측
 - 우리나라 수소산업은 372개의 기업으로 구성되며, 중소기업(66%)과 중견기업(20%) 위주로 형성(산업연구원, 2019)
 - '19년 1월 '수소경제 활성화를 위한 로드맵' 발표를 통해 '수소차'와 '연료전지'를 양대 축으로 수소경제를 선도할 수 있는 산업생태계 구축 시도



[우리나라 수소경제 활성화 로드맵]

(자료: 한국무역협회 국제무역통상연구원(2020), 앞으로 다가올 수소경제의 미래)

- 2050년 한국의 수소사용량은 약 1,690만 톤으로 2015년 약 240만 톤보다 7배 증가할 것으로 전망(수소에너지 사용량 비중이 약 21% 차지)

(4) 수소모빌리티

국가		2014	2015	2016	2017	2018	2019	보급 ¹⁾ (‘14~‘19)
북미	미국	2	74	1,042	2,256	2,368	2,089	7,831(E)
	캐나다						79	79(E)
일본		7	411	1,055	849	575	644	3,541(E)
유럽	네덜란드		2	5	2	13	156	178(E)
	독일					39	140	179(E)
	영국		4	8	35	36	68	151(E)
	프랑스			4	11	35	63	113(E)
	벨기에		2	7	8	13	63	93(E)
	노르웨이			17	17	51	29	114(E)
	스위스					9	25	34(E)
	오스트리아					8	19	27(E)
	덴마크		5	5	8	5	8	31(E)
	스페인					1	1	2(E)
	스웨덴			3	14	5		22(E)
한국				80	61	744	4,194	5,068 ²⁾
총합계		9	498	2,226	3,261	3,902	7,578	17,474(E)

[전세계 수소차 연도별 시장 및 보급대수]

출처 Marklines(‘20.2월 기준) 자료의 2014~2019년의 합계, 국토부 자동차등록대수(‘19) 인용

- 수소차는 ‘13년부터 시범 보급되어 ‘19년 기준 약 17,474대 운영 중이며 미국이 7,831대로 가장 많이 보급되었으며 한국이 5,068, 일본이 3,541대로 보급
- 주요 판매시장은 한국, 미국과 일본으로 2019년 각각 4194대, 2089대, 644대 판매되었으며, 대부분 승용차
- 2019년 한국은 미국 제치고 수소차 글로벌 판매 1위 성과 달성하였으며, 전량 현대자동차의 넥쏘(Nexo)
- 주요 수소 승용차 브랜드는 현대 넥쏘, 일본 도요타 미라이(Mirai)와 혼다 클래리티(Clarity)

주요 특징	현대차 ‘넥쏘’	도요타 ‘미라이’	혼다 ‘클라리티’
판매 가격	6,890만 원(모던), 7,220만원(프리미엄)	724만 엔(7,180만 원)	766만 엔(7,595만 원)
주행거리(미국 EPA)	595km(370마일)	502km(312마일)	589km(366마일)
수소탱크 용량	6.33kg	5.0kg	5.46kg
수소탱크 압력	700bar	700bar	700bar
모터 출력/최대 토크	120kW / 40.3 kgf.m	113kW / 34.2 kgf.m	130kW / 30.6 kgf.m
공차 중량	1820kg	1850kg	1875kg
배터리 종류	Li-ion	NiH	Li-ion

[현대차, 도요타, 혼다에서 판매하고 있는 수소연료전지차 모델 비교]

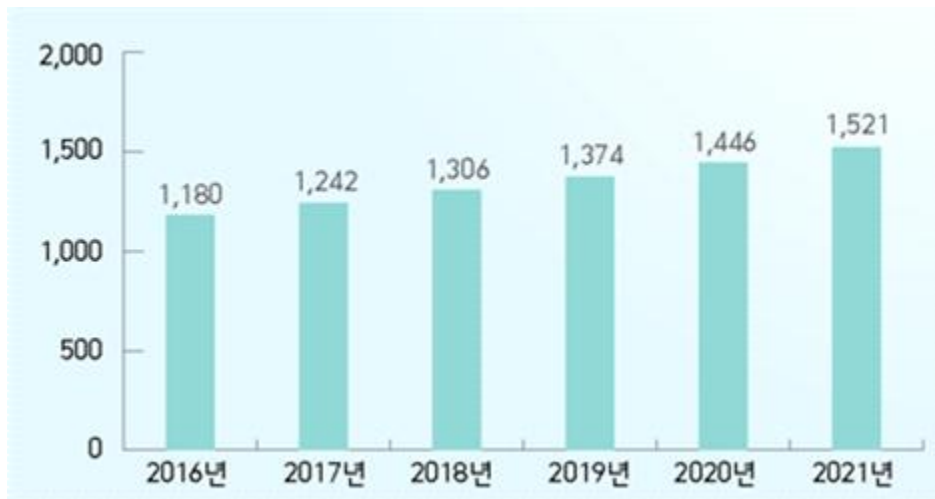
(자료: KOSEN 동향보고서, 수소자동차의 현황과 전망)

(참고) 세계 주요 기관의 수소 시장 규모 산출

- 2018년 10월 닛케이 BP클린테크연구소는 2050년 수소시장이 약 160조원으로 증가할 것으로 예상
- 2020년 5월 바클레이즈는 2050년 수소시장이 1조 달러(약 1,169조원)까지 커질 것이라고 전망. 맥킨지 전망 대비 40% 수준의 시장 성장 제시
- 2020년 9월 골드만삭스는 2050년 글로벌 수소시장 규모를 12조 달러(1경 4,000조원)로 기존 기관들의 전망치인 1~3조 달러보다 4배 이상 큰 규모로 전망

(5) 수소생산 및 저장·운송

- 2016년 기준 전 세계의 연간 수소 생산량은 약 6,500만 톤이며, 금액으로는 약 1,180억 달러. 2016년~2021년 사이 연평균 5.2% 성장
 - 수소의 이용 분야는 석유정제 및 회수 공정 47%, 암모니아 생산 45%, 메탄올 공정 4% 순으로 나타남
 - 이미 세계 수소생산 시장은 2021년 1,500억 달러를 돌파한 1,521억 달러 추정



[세계 수소생산시장 전망, 억달러]

(자료: 한국원자력연구원 미래전략연구부(2019), "수소경제 도래와 원자력의 역할", 원자력정책, Brief Report 통권 51호.)

- 미국, 유럽, 일본 등 주요국의 수소생산 현황을 간략히 살펴보면 각 국가의 특징에 따라 부생, 추출 혹은 수전해 등을 사용
 - (미국) 연간 1,200만 톤의 수소를 생산하고 있으며, 추출수소방식 채용
 - (유럽) 2017년 4월 기준 연간 900만 톤의 수소가 생산되고 있는 것으로 알려져 있으며, 신재생에너지를 이용한 수전해 방식을 택하고 있는 경우가 많음
 - (중국) 세계 최대의 수소 생산국으로 생산량은 2,000~2,200만 톤으로 추정
 - (일본) 2020년 12월 25일 발표한 '녹색성장전략'에서 자국 내 수소 공급량을

2030년 연간 최대 300만톤, 2050년에 연간 2000만톤으로 확대할 목표 제시. 추출수소 및 부생수소방식 주로 활용

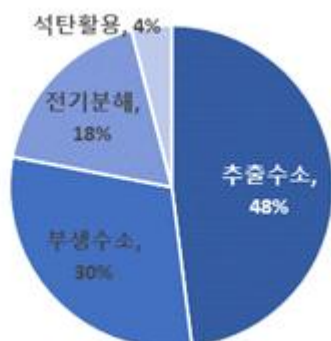
- (한국의 수소 생산) 대규모 석유화학단지(울산, 여수, 대산)를 중심으로 연간 164만 톤의 수소생산 중이며 생산방식은 부생수소에 집중
 - 석유화학 공정에서 부산물로 생산되고, 생산된 물량은 대부분 자체 이용되거나 석유화학 단지 내에서 소비. 추출수소는 주로 일본 수입산 이용

지역	생산량(톤/년)	비율(%)	외부유통(톤/년)	비율(%)
울산지역	816,167	49.7%	95,883	42.0%
여수지역	554,862	33.8%	96,627	42.4%
대산지역	180,668	11.0%	31,126	13.6%
기타지역	91,755	5.6%	4,466	2.0%
합계	1,643,452	100.0%	228,102	100.0%

[국내 수소 생산 현황]

(출처: 경기연구원(2019) 경기도 수소경제 미래를 생각하다)

- (수소 생산 방식별 비중) 현재 추출수소 및 부생수소 방식을 채용한 그레이 수소 비중이 80%에 육박하나, 기술 개선, 규모의 경제 효과를 통해 2035~2040년 수전해기술 기반 그린수소 가격은 그레이수소 수준까지 하락할 것으로 기대
 - 블루 수소는 그레이수소에 CCS(탄소포집·저장) 기술을 적용하여 온실가스 배출을 저감하는 데 기여.
 - 현재 수준에서 CCS 기술을 채택하여 생산되는 수소는 매우 적은 비중 차지. 수소를 천연가스 또는 석탄을 이용해 생산하는지에 따라 \$0.6/kg에서 \$1.1/kg 정도의 비용이 추가.
 - 그린 수소는 전기분해 과정에 신재생에너지 전력을 이용한 수전해수소 방식 채택, 재생에너지 발전원가 하락에 따라 추후 경쟁력 확보 기대



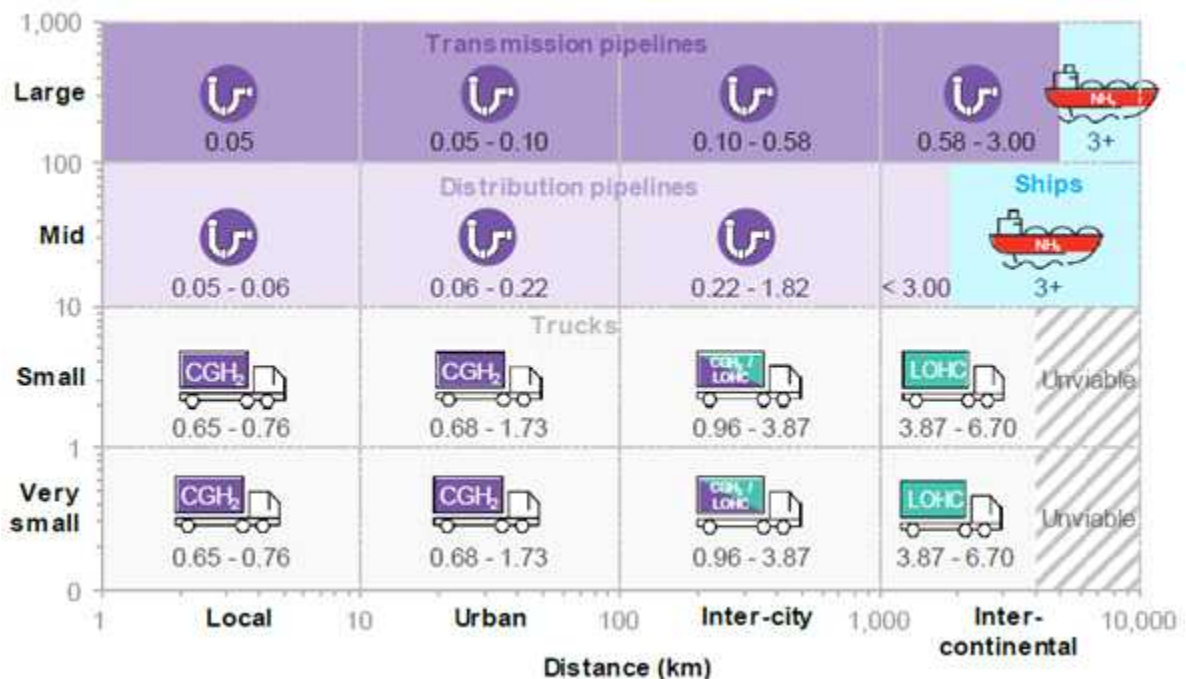
[전세계 수소 생산방식별 비중]

출처: 우리금융경영연구소(2020), 'Industry Watch 2020-10 뉴딜 인프라 산업 밸류체인 검토



[수소 생산원가 추이 전망]

- (수소 저장·운송) 수소는 천연가스에 비해 밀도가 낮고 부피가 크기 때문에 가벼움을 바탕으로 천연가스보다 3배 정도 빠르게 운송되는 것이 장점이나 천연가스 파이프라인 시스템과 호환되지 않아 기존 인프라를 수소 운송에 적합한 소재로 업그레이드하거나 새롭게 건설하는 것이 필요.
- (미국) 장거리인 경우 산업단지를 중심으로 구축되어 있는 2,600km에 이르는 파이프라인을 통해 이루어지고 있으며, 짧은 거리(150~300km)는 특장차 위에 수소가스 저장용기를 장착한 튜브트레일러 이용
- (유럽) 주로 천연가스 파이프라인 활용
- (한국의 수소 저장·운송) 최근까지 석유화학단지 내에서 생산되고 소비되어 운송 수요가 미미하였으나, 추후 튜브트레일러 수요 급증 예상
- 부생수소가 생산되는 울산에서 실제 사용장소까지 파이프를 연결하는데 높은 비용 발생(2018년 말 기준 석유화학단지인근에 200km 설치)
- 신생 생산기지과 충전소를 중심으로 튜브트레일러 수요가 증가하여 2030년까지 800대 이상의 신규수요가 창출될 것으로 추정(2018년 말 기준 약 500대 운영)
- 필연적으로 한국은 장거리·대용량 운송(해외 생산·수입)을 위한 액화 기술 확보가 시급하나, 대규모 비용 수반



[수소 운송수단별 비용 전망]

출처: Bloomberg(2020), 'Hydrogen-Economy-Outlook-Key-Messages', March, 2020.

(6) 수소충전

- 세계적으로 수소충전소에 대한 지속적인 투자가 진행 중이며 '18년 12월 기준 전세계에 370개의 수소충전소가 구축, 운영 중(산업연구원, 2019)

- 2014년 321개 대비 약 39개 증가
- 중앙생산방식(Off-site)은 41.4%, 현지생산방식(On-site)은 14.8%의 비중 확보하였으나 정보가 없는 경우도 40% 상회

대분류		Off-site (중앙생산방식)	On-site (현지생산방식)	정보 없음	합계
수소충전소 (개소)		157	55	158	370
		74.1%	25.9%		
비중		41.4%	14.8%	43.8%	100%
경제성	시설비	중	중		
	운송비	중	하		
	부대비용	하	상		
	가격변동성	불안정	안정		
	안전성	중하	상		

[전 세계 수소충전소 현황 및 수소공급 방식에 따른 경제성]

출처: 국토교통과학기술진흥원, 상용급 액체수소 플랜트 핵심기술 개발사업

- 한국 내 구축된 수소충전소 중 일반인이 충전 가능한 충전소는 54-56개 소로 파악
 - 현대차가 수소차 개발을 위해 '01년 경기도 화성의 남양연구소에 최초로 구축
 - 2014년 14개, 2019년 말 34개 설치를 고려하면 최근 상당히 빠르게 충전소가 확충됨을 확인
 - 정부 계획에 따라 2022년 누적 310기, 2030년 누적 660기 구축이 목적: 2022년의 경우 환경부 보급사업으로 150개소, 국토부 보급사업으로 고속도로 및 국도 등에 160개소 확보 추진
- 전 세계적으로 수소충전소 용량은 10년 이전에 1일 100kg 이하의 수소충전소에서 현재 수백kg급으로 증가한 상태
 - 독일은 2010년 이전 충전소 용량은 1일 약 100kg급이었으나 이후 200kg급으로 바뀌었으며 최근 370~670kg급으로 구축 중
 - 일본은 가장 큰 수소충전소가 1일 약 600kg급이며 97개소의 수소충전소 중 32개소가 250kg급 이하의 이동식 수소충전소
- Business Wire('17)는 '32년 충전소의 수소충전량을 3백만kg/day로 전망하며 수소차 보급대수를 산출
 - 수소전기차(승용) 1회 수소충전량을 5kg으로 가정하면 1일 60만대가 충전하는 양으로 수소차 보급대수는 최소 300백만에서 최대 600만대로 전망

수소충전소 용량	250kg/day	500kg/day	1,000kg/day
개소(누적)	12,000개소	6,000개소	3,000개소

[전 세계 수소충전소 시장 전망(누적) - (출처 : Business Wire 2032년 전망치)]

(7) 이산화탄소 저감

- 모든 수소생산방식이 CO₂-free 방식은 아니며, 친환경 CO₂-free 수소 공급 확대를 위해 중장기적인 방안이 필요
 - 장기적으로 이산화탄소 배출이 없는 그린수소 재생에너지 연계 수전해 방식으로 생산된 수소의 공급 비중 확대가 필요하고, 추출수소가 지닌 이산화탄소 배출 문제로 천연가스 추출수소에서 이산화탄소 포집 및 활용기술 적용
- 2015년 기준 CCUS 세계 시장은 연간 약 8,000만톤, 금액 기준으로는 153억 달러이며, 가장 큰 수요처는 북미의 원유회수증진(CO₂-EOR)
 - Visiongain (2011)는 세계 CCS 시장은 2011년 119억 달러에서 2021년 243억 달러로 성장할 것으로 전망

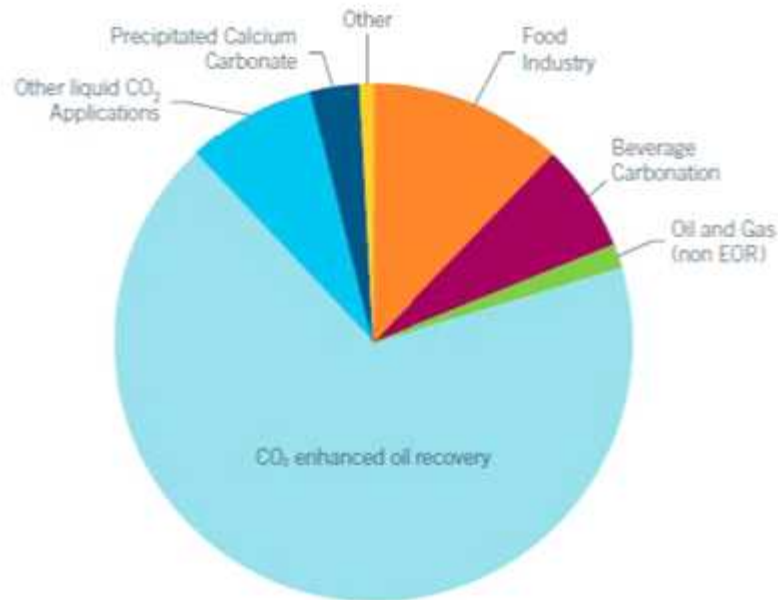
(단위 : 십억 달러)

	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	CAGR (%)
유럽	3.9	4.1	4.4	4.8	5.2	5.6	6.1	6.7	7.3	8.0	8.8	8.6
북미	2.2	2.4	2.6	2.7	2.9	3.2	3.4	3.7	4.1	4.4	4.9	8.0
아시아	1.9	2.0	2.1	2.3	2.4	2.6	2.8	3.1	3.3	3.6	3.9	7.6
호주	1.6	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.6	5.2
중동	1.4	1.4	1.5	1.6	1.6	1.7	1.8	1.9	2.1	2.2	2.4	5.7
남미	1.0	1.1	1.1	1.1	1.2	1.3	1.3	1.4	1.5	1.6	1.8	5.6
계	11.9	12.6	13.4	14.3	15.3	16.4	17.7	19.0	20.6	22.3	24.3	7.4
한국	0.25	0.26	0.28	0.31	0.33	0.35	0.38	0.41	0.44	0.47	0.51	7.6

[세계 CCUS 시장 전망 (2011-2021)]

(출처: 한국에너지기술평가원, 2015.11.13 이산화탄소 저감 및 자원화 기술 미국의 CCUS 산업 동향 분석)

- 8,000만톤 중 과반 이상인 5천만 톤이 원유회수증진(EOR)에 사용되고 있으며, 대부분은 미국과 캐나다에서 사용



[세계 CO₂ 수요 현황(2011년 기준)]

(출처: 한국에너지기술평가원, 2015.11 이산화탄소 저감 및 자원화 기술 미국의 CCUS 산업 동향 분석)

- 북미의 원유회수증진(CO₂-EOR) 응용은 2020년까지 누적 5억 톤(0.5 Gt)에 달할 것으로 전망된 바 있으며, 이외 우레아 생산수율 증대, 메탄올, 광물탄산화를 이용한 CO₂ 고정 등에서 대규모 수요 확인
- CCU 제품의 특징 및 2011년 수요

Chemical Product or Application	Annual Market (Mt/yr)	Mt CO ₂ used per Mt Product	Lifetime
Urea	100	70	6 months
Methanol	40	14	6 months
Inorganic carbonates	80	30	decades to centuries
Organic carbonates	2.6	0.2	decades to centuries
Poly(urethane)s	10	<10	decades to centuries
Technological	10	10	decades to years
Food	8	8	months to years

출처: 한국에너지기술평가원, 2015.11.13 이산화탄소 저감 및 자원화 기술 미국의 CCUS 산업 동향 분석

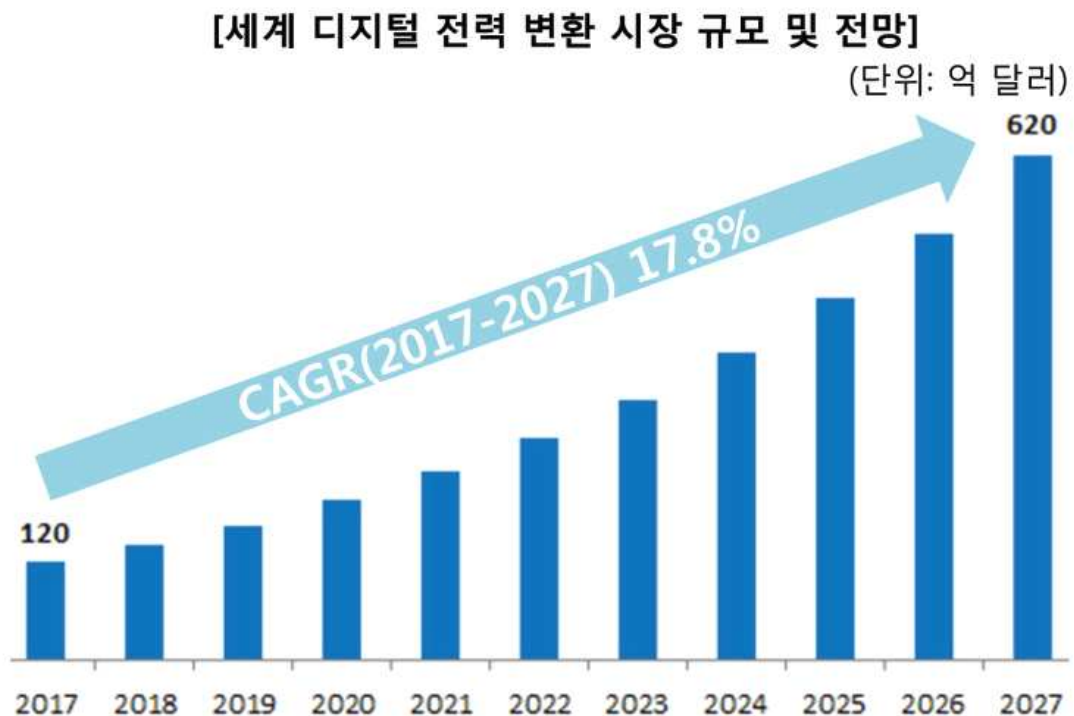
- GCCSI(2011)의 조사 결과 CCUS의 활용처는 약 21개에 달함: EOR, 우레아 생산수율 증대, 정유 및 가스산업에서의 시추 생산성 증대, 탄산음료 제조, 와인 제조, 식품 가공·방부·저장, 디카페인 커피, 약품 가공, 원예(비닐하우스 작물), 제지·종이 가공, 수처리, 불활성 가스, 강철 제조, 금속 가공, 초임계 CO₂ 용매, 전자산업, 압축 동력원, 용접, 냉매, 소화기 및 소방용 가스, 인명 구조 및 군사용 설비
- CCUS 시장 확대 시 국제에너지기구는 이산화탄소 포집·저장 플랜트 수요가 2020년 100개에서 2050년 3,400개로 대폭 확대 될 것으로 예측 (International Energy Agency (2009), CCS Roadmap)

2.2.2 향후 시장 전망

(1) 전력변환장치(전력반도체)

○ 2027년까지 620억달러 규모로 연평균 17.8% 성장 예상

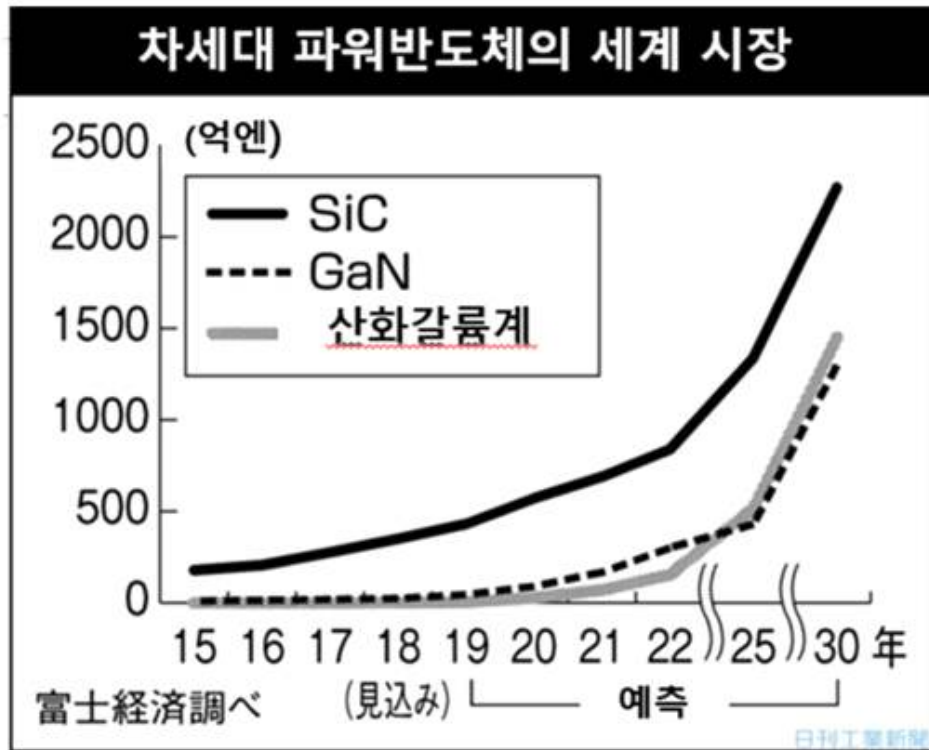
- SiC 전력반도체 참여업체의 증가, 응용분야 확대 및 2016년부터 6" SiC Wafer 적용에 따른 SiC 전력반도체 가격인하로 인해 전력반도체 시장이 2012년 90백만\$규모에서 2020년 1,095백만\$로 성장 전망
- Future Market Insights에 의하면 세계디지털 전력변환 시장은 2017년 120억 달러에서 연평균 17.8%로 성장하여 2027년 620억 달러까지 증가할 것으로 전망



자료: Future Market Insights, 2017.10

[디지털 전력 변환시장 규모 및 전망]

- 질화 갈륨(GaN) 전력 반도체의 세계 시장규모는 2017년 대비 2030년에는 72.2배의 1,300억엔으로 증가
 - 업체들이 600볼트 범위 이상 중 내압영역 용으로 제품군을 확충하고 있으며 2019년 이후 시장확대가 본격화 전망
 - DC/DC 컨버터 및 온보드 충전기에서 채용 움직임이 활발해지고 있는 자동차·전장 분야의 성장기대
 - 공작기계 및 의료기기 등 고주파 펄스가 필요한 저원회로의 수요 증가를 전망



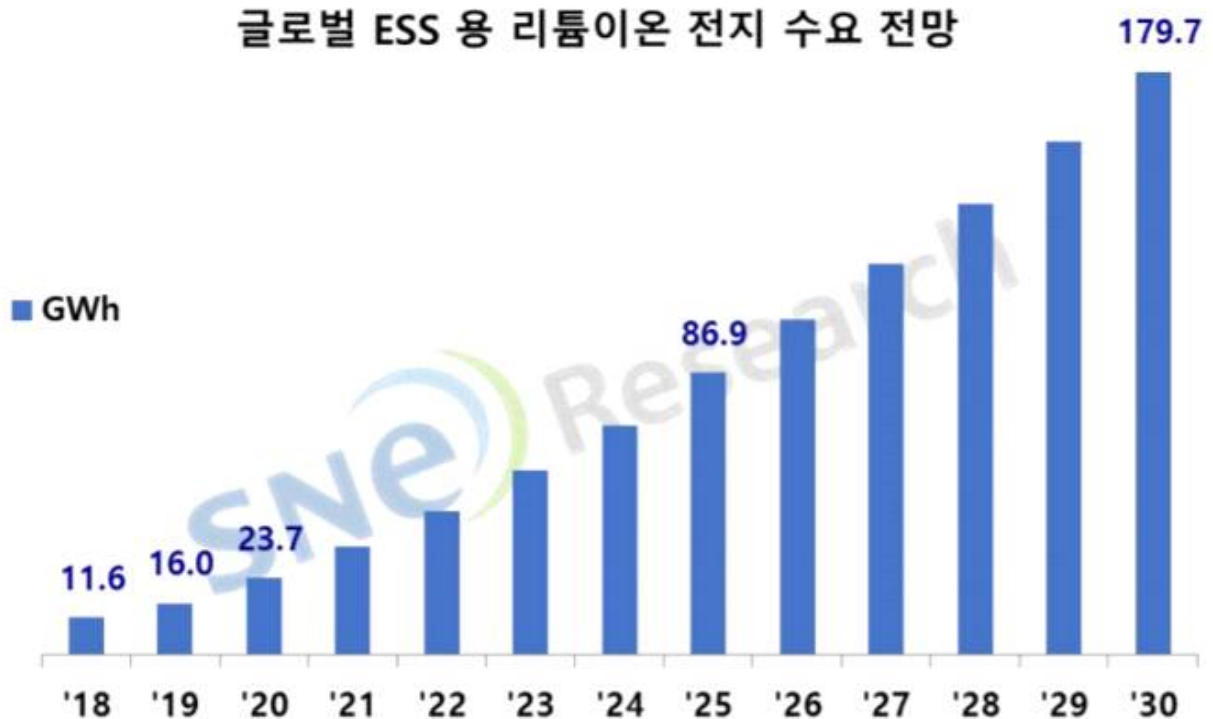
[차세대 파워반도체 세계시장 전망]

(3) 에너지저장장치

○ 글로벌 ESS산업은 2018년부터 급격히 성장

- 2017년까지 4.5GWh에 불과했던 규모는 2018년 11.6GWh로 급성장했고 한국과 미국이 주도(한국시장은 2017년 1.2GWh에서 2018년 5.6GWh로, 미국은 0.8GWh에서 1.9GWh로 증가)
- 2019년 글로벌 시장규모는 2018년보다 38% 성장한 16GWh 기록했으며 북미, 유럽, 일본의 성장세가 돋보였음.
- SNE 리서치에 따르면 2025년 전세계 ESS시장은 86.9GWh, 2030년 시장규모는 179.7GWh에 달할 것으로 예상, 성장은 정부차원에서 강력한 드라이브를 걸고 있는 북미가 주도할 것으로 예측.

글로벌 ESS 용 리튬이온 전지 수요 전망



[글로벌 ESS용 리튬이온 전지 수요전망, 출처: SNE리서치]

(3) 수소모빌리티

- Market and Markets(2018)은 2025년 세계 수소자동차 시장 규모를 26.8만대로 예상하고 있으며, 그중 승용차(PC)가 25만 대로 압도적인 비중 차지

Vehicle Type	2016	2017	2018-e	2020-p	2022-p	2025-p	CAGR (2018-2025)
Buses	53	94	219	858	2,958	12,970	79.21%
LCV	15	25	58	183	677	2,107	67.16%
PC	2,564	4,332	7,442	19,706	64,784	249,963	65.21%
Trucks	-	1	55	479	1,522	3,746	82.77%
Total	2,632	4,452	7,774	21,226	69,941	268,786	65.89%

[전세계 수소차 시장전망 (Markets and Markets, 2018)]

- 2030년까지의 수소차에 대한 국가별 보급 목표는 한국은 85만 대, 독일 180만 대, 미국 100만 대, 일본 80만 대, 중국 100만 대 등이며, 전세계적으로 최대 1,300만대로 성장할 전망
 - (승용차) 북미 370만대, 유럽 420만대, 아시아 510만대
 - (상용차) 북미 30만대, 유럽 4.5만대, 아시아 65만대



[2030년 전세계 수소전기차 보급 전망]

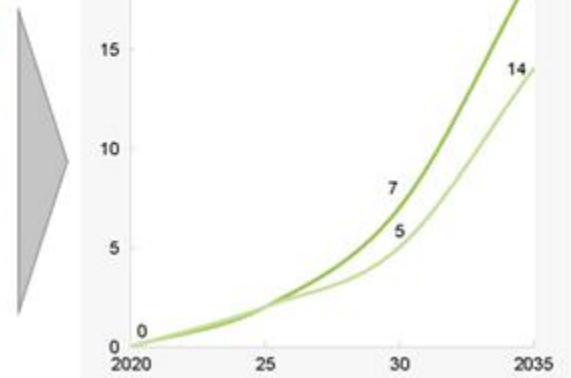
(자료: 자동차부품연구원(2020) 수소연료전지를 활용한 상용차, 승용차 기술 동향, 모빌리티인사이트 2020년 9월호(통권 제9호))

- 한국에서 추정된 수소차 보급에 따른 수소 수요 전망을 활용했을 때, 2030년 수소차 1,300만대 보급 시 약 5백만~7백만 톤의 수소 수요 발생 예상

모빌리티용 세계 수소 수요 전망 (백만톤)

2030년 한국의 수소자동차 보급 및 수소 수요 추정

구분	차량 보급	수소 수요
승용차	81만대	12.2만톤
버스	2만대	19.4만톤
택시	1만대	0.8만톤
트럭	1만대	5만톤
수요량	85만대	37.4만톤



[2030년 수소차 보급 예측에 따른 수소 수요 전망]

(출처 : 관계부처합동(2020). 수소산업 생태계 경쟁력 강화 방안, Hydrogen Council(2018), Hydrogen Meets Digital 2018 참고하여 재구성)

- 국제에너지기구(IEA)는 2050년 수소차 시장규모를 전체 자동차 시장의 17% 정도인 3,400만 대로 추정
- 국내 수소차 시장은 '18년에 511억 원 규모, '24년에는 3조 3천억 규모로 전망됨
 - 국내 수소차 판매현황은 2018년 731대, 2019년 4,197대, 2020년 상반기 3,292대가 판매 되었으며, 최근 국내 시장 성장률을 토대로 63.7% 성장으로 추정하여

2024년에는 3조 3천억 원 규모 전망

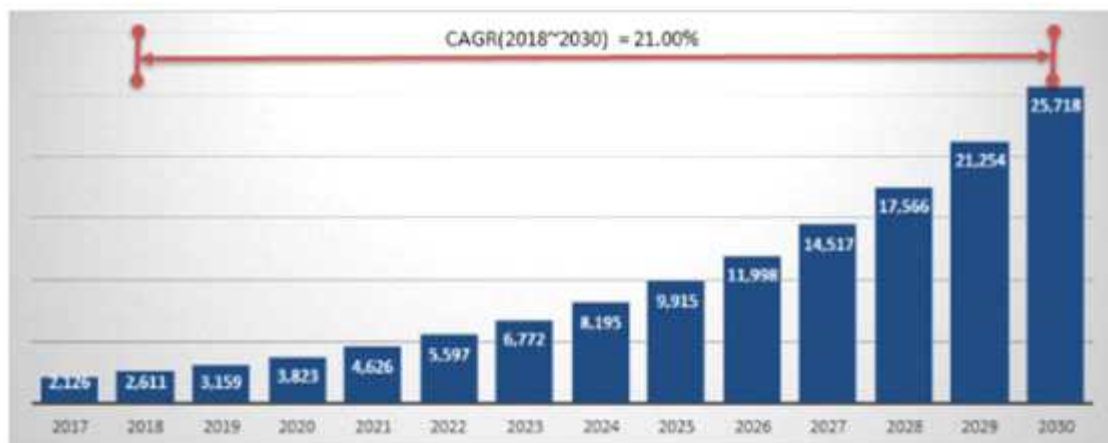
- 수소차 시장 성장에 따른 국내 연료전지 시장을 예측해보면, 2030년 약 2조 5,718억 원 규모로 성장할 것으로 전망

* () : 내수

		2018년	2022년	2040년
모 빌 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

[수소 수송부문 확대 로드맵]

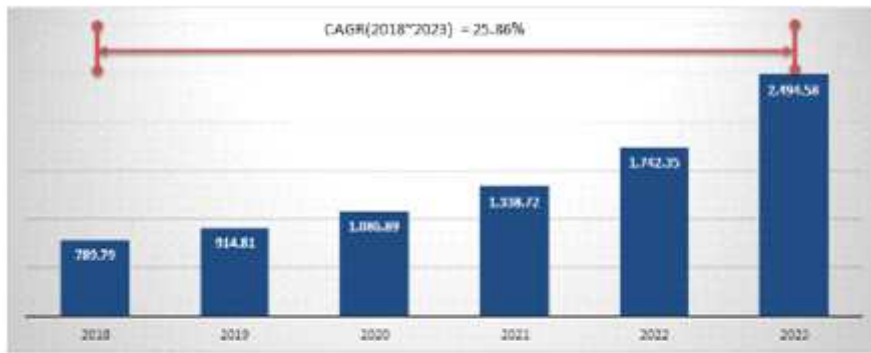


[연료전지 국내 시장 규모(억 원)]

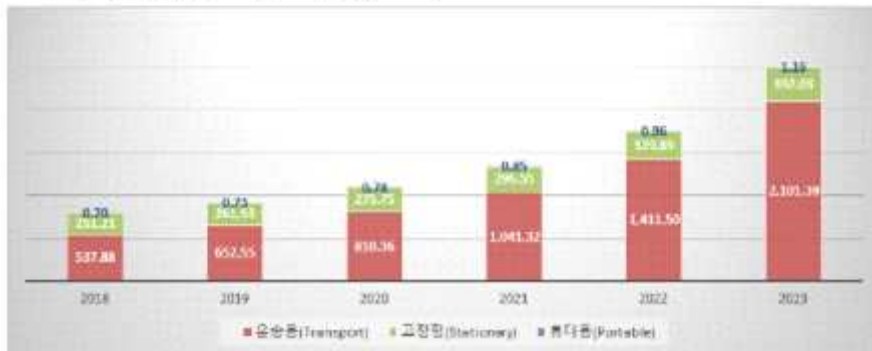
(자료: 한국IR협의회, 2019.7.25., 산업테마보고서 연료전지 2019-17)

- TechNavio의 'Global Fuel Cell Market 2019-2023'에 따르면, 세계 연료전지 시장은 2018년 789.79MW에서 연평균 25.86% 성장하여 2023년 2,494.58MW의 시장규모를 형성할 것으로 전망되며, 이중 수소차에 적용되는 운송용 시장이 전체의 70% 가량 차지 전망

1. 연료전지 세계 시장 규모(MW)



2. 연료전지 용도별 시장(MW)



[연료전지 세계 시장 규모 및 용도별 시장]

(자료: 한국IR협의회, 2019.7.25., 산업테마보고서 연료전지 2019-17)

(4) 수소생산 및 저장·운송

- 수소 생산 시장은 '20년 1,296억 달러에서 '25년 2,014억 달러로 연평균 약 9.2% 성장 전망(Markets & Markets, '21)
- 아시아태평양 및 북미, 유럽 주도의 시장 형성 확인

Region	2018	2019	2020-p	2021-p	2025-p	CAGR (2020-2025)
North America	31,367	34,966	31,999	34,045	49,261	9.0%
South America	5,683	6,121	5,273	5,688	6,676	4.8%
Europe	28,143	31,377	27,898	30,271	43,543	9.3%
Middle East	5,385	5,505	4,648	4,657	6,246	6.1%
Asia-Pacific	56,973	63,012	58,042	62,914	93,468	10.0%
Africa	1,903	2,031	1,758	1,840	2,191	4.5%
Total	129,454	143,012	129,618	139,415	201,385	9.2%

[세계 수소 생산 시장 전망(2018년~2025년, 백만 달러)]

(자료: MarketsandMarkets, 2021, Hydrogen Generation Market – Global Forecast To 2025)

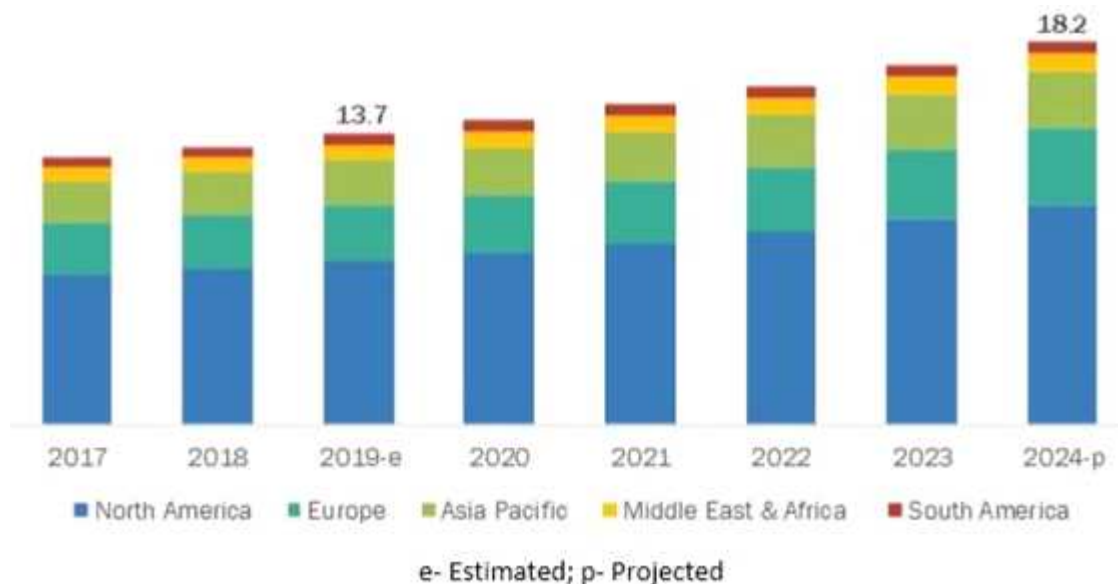
- 응용분야별로는 석유정제, 암모니아 생산의 지배적 비중이 지속될 것으로 보이나, 수소차 시장 성장에 따라 성장률은 운송 부문이 가장 높을 것으로 기대

Application	2020-e	2021	2022	2023	2024	2025-p	CAGR (2020-2025)
Petroleum Refinery	64,262	69,447	75,613	82,807	91,136	102,386	9.8%
Ammonia Production	52,650	56,332	60,821	65,828	71,596	79,529	8.6%
Methanol Production	5,163	5,549	6,017	6,512	7,120	7,938	9.0%
Transportation	1,909	2,075	2,287	2,496	2,778	3,140	10.5%
Power Generation	1,630	1,762	1,926	2,074	2,297	2,577	9.6%
Other Applications	4,005	4,249	4,713	4,842	5,288	5,815	7.7%
Total	129,618	139,415	151,376	164,560	180,215	201,385	9.2%

[응용 분야 별 세계 수소 시장 전망(2018년~2025년, 백만 달러)]

(자료: MarketsandMarkets, 2021, Hydrogen Generation Market – Global Forecast To 2025)

- (국내) 우드매킨지의 보고서에 따르면 우리나라의 2020년 수소 수요는 444만톤이며, 100% 자체 공급 고려 시, 금액 기준으로는 약 73.6억 달러에 이를 전망
 - 수소시장 규모가 세계 5위, 이 중 86%는 정유부문에서 발생할 것으로 예측
 - Markets and Markets의 낙관적 시나리오(2020년~2025년 사이 수소 생산 연평균 12.2% 증대) 채택 시, 2025년 국내 수소 생산 시장은 130.8억 달러 기대
- (세계) 수소 저장 시장은 2019년 137억 달러에서 2024년 182억 달러로 연평균 약 6% 성장 전망(Markets & Markets, '19)
 - 북미 및 유럽 시장 중심으로 시장 형성되나 향후 아시아태평양 지역 성장률도 유망할 것으로 판단



[지역별 세계 수소 저장 시장 전망(십억 달러)]

출처: MarketsandMarkets, Hydrogen Energy Storage Market by State (Liquid, Gas, Solid), Storage Technology (Compression, Liquefaction, Material based), End-User (Industrial, Commercial, Utilities), and Region - Global Forecast to 2024

- 저장형태로는 압축가스 형태가 70%를 차지할 것으로 예상되며, 액체(27%), 기체(3%) 순으로 전망

- 활용 분야로는 수소의 이용 분야는 석유정제 및 회수 공정, 암모니아 생산, 메탄올 공정 등 석유화학 분야 비중이 압도적이나, 고정형 연료전지(Stationary Fuel Cells)를 포함하는 발전 분야의 성장에 주목

1. 유형 별 수소 저장 시장 규모(백만 달러)

State	2017	2018	2019-e	2024-p	CAGR (2019-2024)
Liquid	3,658.3	3,757.0	3,873.4	4,853.6	4.6%
Gas	8,478.6	8,867.7	9,308.8	12,712.7	6.4%
Solid	555.6	567.6	580.1	651.7	2.4%
Total	12,692.4	13,192.3	13,762.3	18,218.0	5.8%

2. 활용 분야 별 수소 저장 시장 규모(백만 달러)

End-User	2017	2018	2019-e	2024-p	CAGR (2019-2024)
Industrial	11,950.8	12,423.4	12,962.9	17,188.7	5.8%
Commercial	567.9	586.6	607.4	764.8	4.7%
Utilities	173.7	182.3	192.0	264.5	6.6%
Total	12,692.4	13,192.3	13,762.3	18,218.0	5.8%

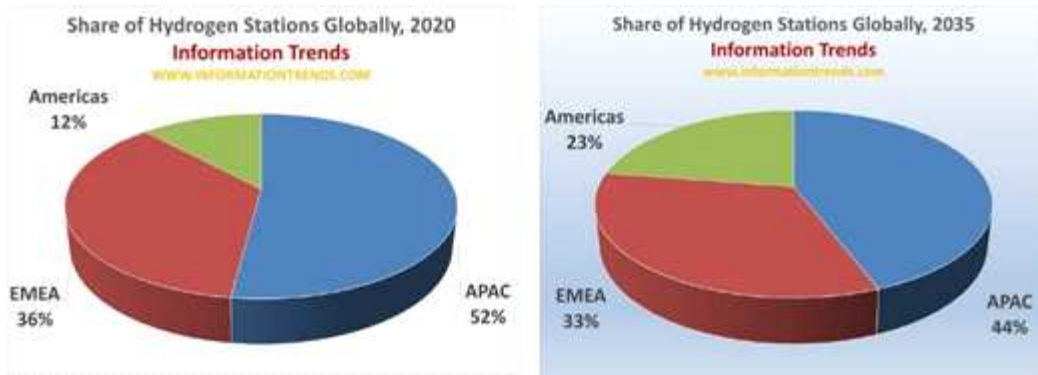
[유형별, 활용 분야별 세계 수소 저장 시장 규모]

출처: MarketsandMarkets, Hydrogen Energy Storage Market by State (Liquid, Gas, Solid), Storage Technology (Compression, Liquefaction, Material based), End-User (Industrial, Commercial, Utilities), and Region - Global Forecast to 2024

- 아시아 태평양 지역 수소 저장 시장은 2017년 19.7억 달러에서 2024년 27.3억 달러로 연평균 5.1% 증대 예상됨. 아시아 시장 내에서는 중국의 비중이 압도적일 것으로 사료됨

(5) 수소충전

- (세계) 2020년 말까지 33개국에 584개의 충전소(Stations)가 설치되었으며, 향후 EMEA(Europe, the Middle East and Africa)의 비중 확대 전망
- 향후 연료전지 승용차를 넘어 버스, 트럭 등의 상용차와 기차, 항공기, 선박 등에서도 연료전지 탑재에 따라 충전소 수요 확대 예상
- 일본은 150개의 충전소 설치, 세계 1위 실적 달성하였으나 가장 빠른 성장을 보이는 국가는 중국으로 확인
- 일본과 중국의 빠른 성장에도 불구하고 2035년 EMEA 지역의 비중이 50%를 상회할 것으로 전망



[세계 수소충전소 설치에 따른 지역별 비중 전망(2020년과 2035년)]

출처: Research and Markets, Global Market for Hydrogen Fueling Stations, 2021

○ (국내) 정부는 계획에 따라 2022년 충전소 누적 310기, 2030년 충전소 누적 660기, 2040년 충전소 누적 1,200개 구축이 목표

- 충전소 설치 비용 30억 원 고려 시, 2022년 수소 충전 시장 규모는 약 3.6조원에 이를 전망

		2018년	2022년	2030년	2040년
충전소(기)	누적	86	310	660	1,200
수소차(대)	누적	6,395	6.7만	85만	290만

[국내 수소 충전소 설치 전망]

출처: 관계부처합동(2019) 수소경제 활성화를 위한 수소 인프라 및 충전소 구축 방안

- 수소충전소 부지조사 및 기자재발주 장기간 소요 등의 지연은 시장 확대를 저해하는 요소임. 현재 상당수의 수소 충전소가 지자체에 의해 운영되고 있으며, 높은 유지관리비, 각종 세금, 검사, 안전관리책임자와 충전원의 인건비 등의 높은 비용 구조는 시장 성장을 저해하는 요소

(6) 이산화탄소 저감

- 향후 개발될 것으로 예상되는 CCU 기술에 의한 기술별 예상수요량을 GCCSI(Global Carbon Capture and Storage Institute)에서 분석한 결과, CCU 기술에 의한 추가적 CO₂ 수요량은 연간 13억 톤에서 22억 톤 사이로 예상

EMERGING USES	POTENTIAL NON-CAPTIVE CO ₂ DEMAND (MTPA)
Enhanced coal bed methane recovery (ECBM)	30<demand<300
Enhanced geothermal systems – CO ₂ as a heat exchange fluid	5<demand<30
Power generation – CO ₂ as a power cycle working fluid	<1
Polymer processing	5<demand<30
Chemical synthesis (excludes polymers and liquid fuels/hydrocarbons)	1<demand<5
Algae cultivation	>300
Mineralisation	
Calcium carbonate and magnesium carbonate	>300
Baking soda (sodium bicarbonate)	<1
CO ₂ concrete curing	30<demand<300
Bauxite residue treatment ('red mud')	5<demand<30
Liquid Fuels	
Renewable methanol	>300
Formic acid	>300
Genetically engineered micro-organisms for direct fuel secretion	>300
CO ₂ injection to conventional methanol synthesis	1<demand<5

[미래 CO₂ 추가 수요 전망(백만톤)]

출처 GCSCI(2011), 'Accelerating uptake CCS industrial use captured carbon dioxide'

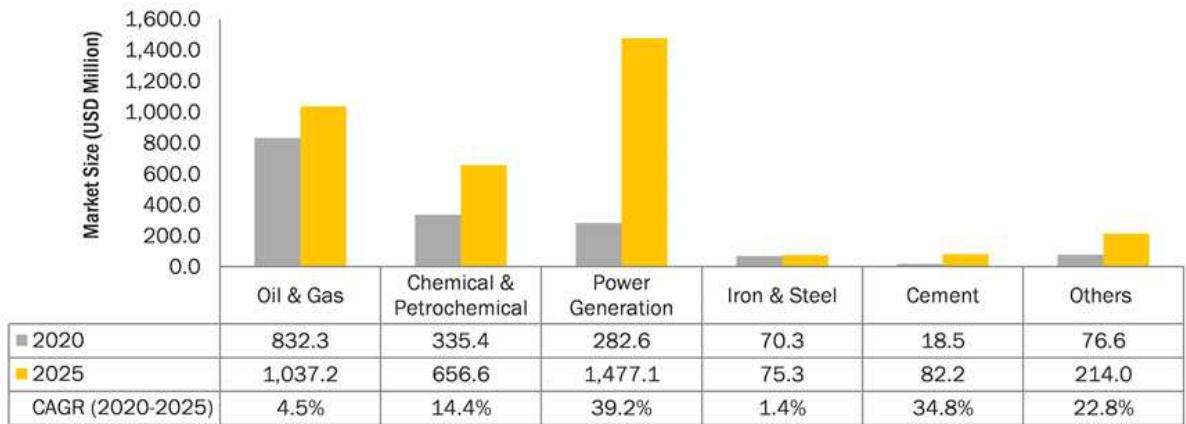
- 시장조사기관 Markets and Markets는 CCUS(Carbon Capture, Utilization, and Storage) 시장 규모는 2020년 16억 달러에서 2025년 35억 달러로 성장, 연평균 17.0% 성장 기대
- 2020년 이전에는 완만한 성장을 보이다 이후 빠르게 증가하는 양상을 보이며, 부문별로는 이산화탄소 포집의 비중이 가장 높음을 확인

Service	2018	2019	2020	2025	CAGR ('20-'25)
Capture	1,036	1,141	1,194	2,765	18.3%
Transportation	207	223	245	413	11.0%
Utilization	115	118	132	198	8.5%
Storage	28	42	45	166	30.0%
Total	1,386	1,524	1,616	3,542	17%

[미래 CCUS 시장 규모 전망(2020년, 2025년)]

출처 MarketsandMarkets, 2020, Carbon Capture, Utilization, and Storage Market by Service (Capture, Transportation, Utilization, Storage), End-Use Industry (Oil & Gas, Iron & Steel, Cement, Chemical & Petrochemical, Power Generation), and Region - Global Forecast to 2025

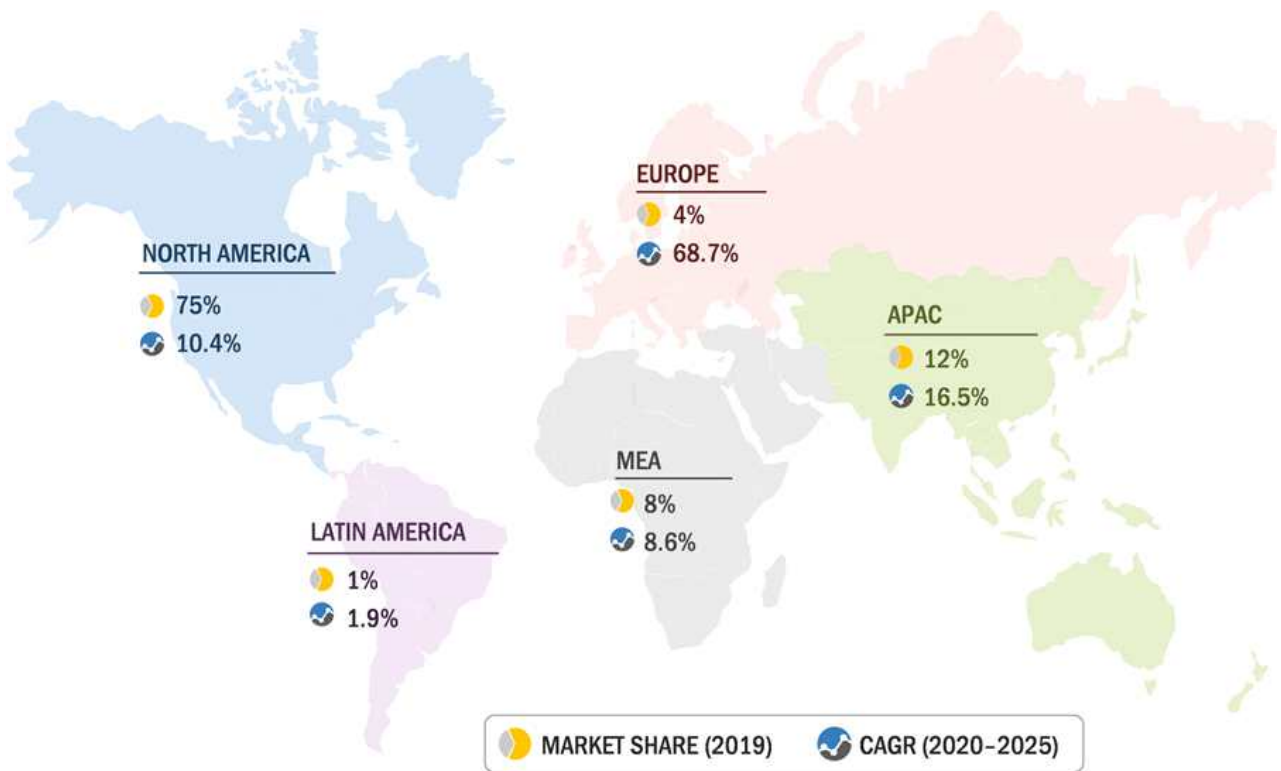
- 석유화학, Oil&Gas 및 발전용 플랜트의 CO₂ 감축 니즈 확대가 가장 큰 시장 성장 동인이며, 유럽 등을 중심으로 성장 확대 기대



[수요 분야별 미래 CCUS 시장 규모 전망(2020년, 2025년)]

출처 MarketsandMarkets, 2020, Carbon Capture, Utilization, and Storage Market by Service (Capture, Transportation, Utilization, Storage), End-Use Industry (Oil & Gas, Iron & Steel, Cement, Chemical & Petrochemical, Power Generation), and Region - Global Forecast to 2025

- 지역별로는 2019년 현재 북미지역의 비중이 압도적이나, 2025년까지 유럽의 성장세가 두드러질 전망



[지역별 CCUS 시장 비중 및 성장 전망(2020년, 2025년)]

출처 MarketsandMarkets, 2020, Carbon Capture, Utilization, and Storage Market by Service (Capture, Transportation, Utilization, Storage), End-Use Industry (Oil & Gas, Iron & Steel, Cement, Chemical & Petrochemical, Power Generation), and Region - Global Forecast to 2025

2.3 향후 산업동향과 정책방향

2.3.1 향후 산업동향

1) 전력변환장치(전력반도체)

○ 고성능 내환경성 요구에 따른 소재의 변화

- 1960년에 정류다이오드, Thyristor 등이 상용화되고 1980년대 후반 Si-IGBT가 개발된후 이를 적용한 인버터의 보급으로 전력이용효율이 크게 향상
- 지금까지는 주로 Si기반의 반도체가 사용되었으나 고내압, 고전류, 고온작동, 고주파수 환경에서의 사용과 고속 스위칭, 전력소실 최소화, 소형 칩 사이즈 등의 요구에 대응할 수 있는 SiC와 GaN 기반의 전력반도체 소자가 차세대 파워반도체로 개발이 활발
- Si-MOSFET 소자는 전압 블로킹 성능이 두배가 되면, 온저항(RDS(on))이 5배 증가하게 되어 각 응용 분야에서 요구하는 높은 내압특성과 고주파 특성 등을 충분히 만족시킬 수 없음.
- SiC 반도체와 GaN 반도체는 실리콘에 비해 물질 특성이 우수해 약 8배 높은 전압을 견딜 수 있고 전류는 100배까지 흘릴 수 있으며, 열전도성이 뛰어나고 누설 전류가 작아 에너지 절약에 적합

○ 가격인하 및 품질, 생산 공정개선 등 개발 러시

- 전 세계적으로 Infineon, Cree, STMicroelectronics, Rohm, 후지쯔, 도시바, 르네사스 등 20여개 기업에서 600V, 1200V, 1700V 등 SiC Shorted diode 양산중
- JFET, MOSFET(Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor), BJT(Bipolar junction transistor) 등의 제품이 개발, 양산되고 있음.

○ 자동차, 신재생에너지 확대에 따른 시장 확대

- SiC 전력반도체는 높은 전력변환효율을 바탕으로 고전압, 고내열용 전력소자에 활용되고 있음
- Low-Voltage 분야에서는 PFC(power factor corrector) inverter, 이동통신 스위칭 전원 등에 응용되고 있으며 Medium-Voltage분야는 전기자동차의 인버터, UPS, High-Voltage 분야에서는 Wind turbine, Rail traction, 송배전 분야 전력 제어에 광범위하게 응용되고 있음.
- 시스템의 크기와 전력손실을 줄일 수 있어 현재 PFC와 태양광용 인버터 분야를 중심으로 SiC 전력소재 채용이 확산되고 있음.

구분	사용 Voltage	주요 Application
IT & Consumer	<500W	• PFC/Power Supply : 가전(에어컨, 냉장고 등), PC, Server 등
	1 ~ 5kW	• Converter/Inverter : UPS (IT용), 가전 제품
Automotive	30 ~ 350kW	• DC/AC Inverter, DC/DC Converter : Hybrid 자동차, EV, 전기충전기
Industry	5 ~ 100kW	• Inverter : PV, Rail Traction, 산업용 Motor, ESS 등
	100 ~ 1MW	• Inverter : 산업용 UPS
	>1MW	• Inverter : Wind Turbines

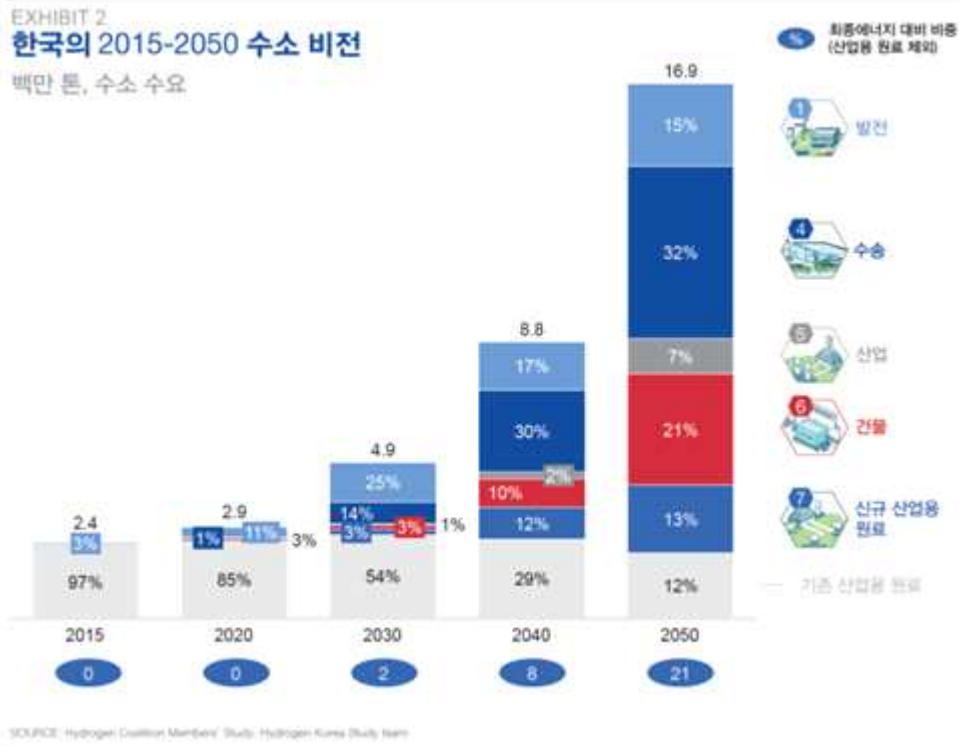
(출처 : INI R&C의 SiC/GaN 전력반도체 개발동향 및 시장전망 Report)
[응용분야별 SiC 전력소자 적용 사례]

○ 전기자동차, 에너지분야의 새로운 시장 형성

- 후지경제는 급속충전 및 차량용 충전기의 수요증가로 인해 자동차·전장분야의 성장을 개대함으로써 SiC 전력반도체의 세계시장 규모가 2030년에는 17년 대비 8.3배의 2270억엔으로 예측
- 2017년 세계시장 규모는 275억엔이었으며 용도별로 서버전원을 위한 주류의 정보통신 분야가 가장 많지만 다른 용도분야도 늘어나기 때문에 점차 감소, 자동차·전장분야의 비율이 높아지고 에너지 분야의 파워컨디셔너로 채택도 예상

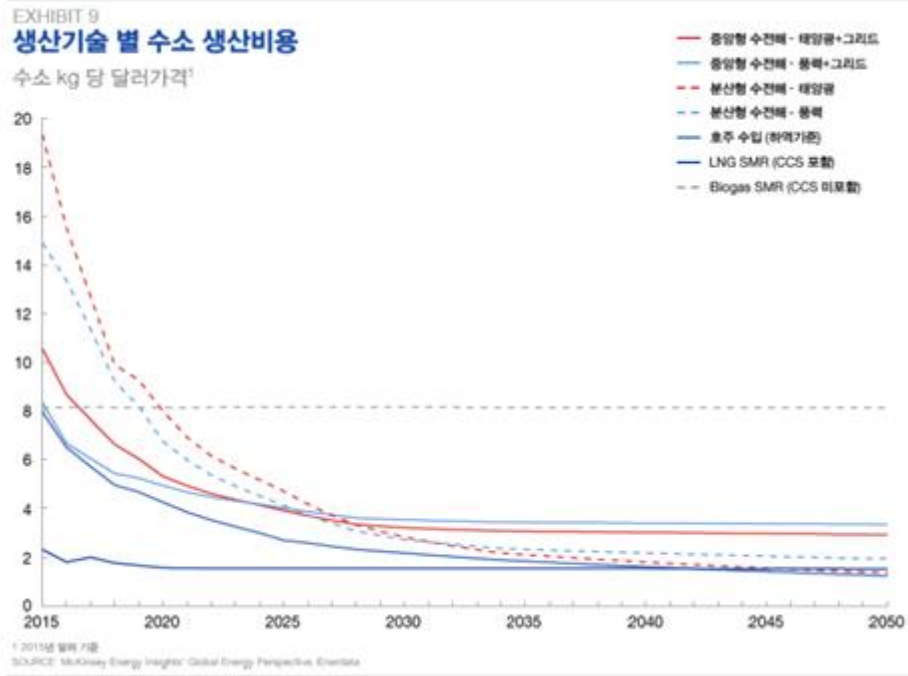
2) 수소단가

- 한국의 수소 총수요는 2050년에 약 1,690만 톤에 달할 것으로 추정 (현재는 약 240만 톤)
- 수소 총수요는 2030년까지 서서히 증가한 후 투자, 기술발전, 고객 확보, 누적된 최종소비 어플리케이션(수소차 등) 구매로 이어지는 선순환으로 인해 2030년 이후에는 급격히 증가할 것으로 기대



[한국의 2015-2050 수소비전]

- 언제나 생산단가가 가장 싼 수소는 부생 수소가 되겠지만, 가까운 장래에는 개질을 통해 생산한 수소가 그 다음을, 그리고 호주 등지로부터의 수입 수소 및 국내 태양광, 풍력 기반의 수전해 수소가 그 뒤를 따를 것임
 - 개질수소 단가는 원재료 메탄의 가격에 따라 달라지고 수전해 단가는 전력 가격에 크게 영향을 받기 때문에 이들 요소가 변화하면 그에 따라 가격과 순위도 바뀔 수 있음
- 2050년에는 태양광을 통한 수전해 (1.36달러), CCS설비를 갖춘 개질 (1.75달러), 풍력을 통한 수전해(1.95달러)가 모두 호주로부터의 수입비용 (1.23달러) 대비 높은 비용을 보임
 - 가격요건을 제외하고도 해당 년도 한국의 총 수소 수요가 국내 최대 생산 가능량 합계를 초과하므로 어느 정도의 수입은 불가피 함
 - 수입에만 의존하는 것이 공급 안정성 측면에서 바람직하지 않기 때문에 재생에너지 기반 수전해나 개질을 통한 국내 생산설비 또한 적절한 수준으로 유지하는 것이 필요



[생산기술 별 수소 생산비용]

2) 분산형 소규모 수소생산기지 구축

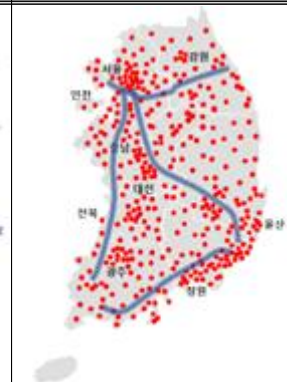
- 도시가스 배관망을 활용하여 수요처 인근 도심지에 LPG 및 CNG 충전소 또는 CNG 버스 차고지 등에서 중형급 이상의 수소추출기를 설치, 권역별로 충전소에 공급하는 일종의 권역별 수소생산기지(Mother station)로 운영함.
- 2019년 총 150억원을 투입하여 수소 생산기지를 구축하고 수소차의 확산 및 충전소의 구축 등과 연계하고 2020년 5곳을 추가하고, 연차적으로 확대할 예정임.



권역별 수소생산기지 개념도

4) 수소충전소 확대

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

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

수소충전소 구축 로드맵(종합)

5) 탄소중립

- 화석연료 발전 중심의 전력공급 체계를 재생에너지와 그린수소 중심으로 전환하고 온실가스포집(CCUS) 기술 등을 적극적으로 활용하여 전력부문의 탄소중립을 위해 나아갈 예정
- 태양광과 풍력 등 재생에너지를 중심으로 전력 공급체계를 전환하고, 화석연료 발전은 온실가스포집 기술과 연계하여 현재의 기저발전원에서 재생에너지의 불완전성을 보충하는 전력원으로 역할을 변경
- 아울러, 2050 탄소중립의 핵심인 수소 에너지원의 저렴하고 안정적인 공급체계를 구축하고 지리적(계통섬) 한계를 극복하기 위해 동북아 그리드와 같은 보완수단도 적극적으로 검토할 예정

2.3.2 정책방향

1) 탄소중립 추진전략

- 2020년 10월 28일 대통령은 국회 시정연설에서 2050 탄소중립 계획을 처음 천명했고, 12월 7일 ‘제22차 비상경제 중앙대책본부회의’를 개최하여 ‘2050 탄소중립 추진전략’을 확정·발표했고, 15일 국무회의에서 ‘2050 장기저탄소발전전략(LEDS)’과 ‘2030 국가온실가스감축목표(NDC)’ 정부안이 확정
- 탄소중립추진전략은 탄소중립·경제성장·삶의 질 향상 동시 달성을 목표로, △경제구조 저탄소화, △저탄소 산업생태계 조성, △탄소중립사회로의 공정전환의 3대 정책방향과 △탄소중립 제도기반 강화라는 3+1의 전략을 추진
- 탄소중립 5대 기본방향은 △깨끗하게 생산된 전기·수소의 활용 확대, △디지털 기술과 연계한 혁신적인 에너지 효율 향상, △탈탄소 미래기술 개발 및 상용화 촉진, △순환경제(원료·연료투입↓)로 지속가능한 산업 혁신 촉진, △산림, 갯벌, 습지 등 자연·생태의 탄소 흡수 기능 강화 임

2) 수소경제 활성화 로드맵(2019.01)

- 산업통상자원부 등 범정부 부처 차원에서 ‘세계 최고 수준의 수소경제 선도국가로 도약’의 비전하에 2040년을 목표로 한 ‘수소경제 활성화 로드맵’이 발표되었다. 여기에는 수소 활용을 수소차, 수소열차, 수소선박 등으로 확대하고 경제적으로 안정적인 수소 생산 및 공급 시스템 조성 목표가 담겨 있음
 - 수소차 분야의 경우 수소차 620만 대 생산 및 수소충전소 1,200개소구축을 목표로 하고 있다. 2040년까지 수소차 620만 대(내수 290만 대, 수출 330만 대) 생산, 수소충전소 1,200개소를 구축할 계획
 - 2018년 현재 수소충전소는 14개소가 있으며, 2022년 310개소로 확대하여 1,200개소까지 점진적으로 확대한다는 계획
 - 수전해 및 해외 생산·수입 등 그린수소 확대와 연계하여 수소 생산량을 2018년 13만 톤에서 2040년까지 526만 톤으로 확대할 계획
 - 또한 대량의 수소를 경제적으로 공급하기 위해 수소유통체계를 구축하고, 수소가격을 3,000원/kg 이하로 공급할 예정

3) 수소경제 표준화 전략 로드맵(2019.04)

- 산업통상자원부는 수소경제 선도국가 도약을 실현하기 위해서는 글로벌 표준의 선점이 중요하다는 인식하에 ‘수소경제 표준화 전략 로드맵’을 수립
 - 글로벌 시장 선점을 위해 우리가 강점을 가진 건설기계 등 신수요 분야에서 국제표준을 선점하고 2030년까지 국제표준 전체에서 20%를 점유하는 것을 기본방향으로 설정
 - 2030년까지 수소모빌리티와 에너지, 수소 공급·계량 부문에서 우리나라 최고 기술을 국제표준으로 15건 이상 제안하는 것을 목표
 - 3대 전략은 국내 선도 기술의 국제표준화 제안 시스템을 구축하고 수소 제품·서비스의 품질과 안전 확보, 수소산업의 표준 경쟁력 강화 기반 조성 등이고, 9개 과제는 R&D 표준 연계, 표준화 전 주기 지원, 국제협력 강화, KS표준 확대, 인증 기반 구축, 계량 신뢰성 확보, 업계 표준화 주도 및 표준 포럼운영, 안전성 시험 기반 구축 등 임

4) 수소 인프라 및 충전소 구축방안(2019.10)

- 산업통상자원부 등 범정부 차원의 수소경제 활성화를 위한 ‘수소 인프라 및 충전소 구축 방안’이 발표
 - 2019년 1월에 마련된 수소경제 활성화 로드맵상의 수소차 및 수소충전소 보급의 구체적 계획이라 할 수 있는데 수소 생산 및 공급의 경제성을 확보하고, 수소충전소 구축·이용의 편의성 제고, 수소의 안전성 강화를 핵심 고려 사항으로 설정
 - 2040년까지 단계적으로 충전소와 수소차를 각각 1,200기 와 290만 대를 보급하

며, 효율적인 수소 생산·공급 및 수소 가격 안정화와 수소충전소의 균형 배치 및 자생적인 확산 기반 마련을 목표

5) 수소 기술개발 로드맵(2019.10)

- 정부는 수소에너지 분야에서 국내 기술 경쟁력 제고를 통해 수소경제 이행을 뒷받침하기 위한 ‘수소 기술개발 로드맵’ 추진안 수립
 - 수소경제 활성화 로드맵의 기본방향을 바탕으로 생산, 저장·운송, 활용(수송수단), 활용(발전·산업), 그리고 안전·환경·인프라 등의 5개 대분류를 마련하고 세부기술 분류체계를 정립
 - 2040년까지 세계 최고 수준의 기술력 확보로 수소경제 선도국으로 도약 하기위해 5대 목표를 제시하고 있고, △수소 생산, 저장·운송 및 운송 인프라, △연료전지시스템 기반의 수송수단저변 확대, △발전용 연료전지시스템의 고효율·저가화 기술 확보, △수소안전·제도의 완비와 표준 선점 및 △보급기반 확대 등 임

6) 제4차 친환경자동차 기본계획(2021.02)

- 정부는 2030년까지 친환경차 785만대를 보급하고 수출을 현재 세 배 규모로 확대하고, 자동차 온실가스를 24% 감축해 탄소중립을 앞당기고, 2030년까지 1000개 부품 기업을 미래차관련 기업으로 전환하는 등 생태계를 키우기 위해 제4차 친환경차 기본계획을 확정
 - 제4차 기본계획의 비전을 '2021년 친환경차 대중화 원년' '2025년 친환경차 중심 사회·산업생태계 구축'으로 설정했고, 이를 위해 △친환경차 확산을 가속화하는 사회시스템 구축, △기술혁신을 통해 탄소중립시대 개척, △탄소중립 산업생태계로 전환 가속화를 3대 추진전략으로 수립
 - 친환경차 수출을 현재의 3배 규모로 확대하고, 미래차 생태계를 키우기 위해 2030년까지 1천개의 부품기업을 미래차 관련 기업으로 전환
 - 정부는 2030년 자동차 온실가스 24% 감축을 목표로 2025년까지 친환경차 283만대, 2030년까지 785만대 보급을 추진
 - 수소차의 경우 전국 어디서든 30분 이내에 충전소에 도달할 수 있게 2025년까지 450기를 구축
 - 탄소중립 산업생태계 조성을 위해 2025년까지 500개, 2030년까지 1000개 부품기업을미래차 관련 기업으로 전환

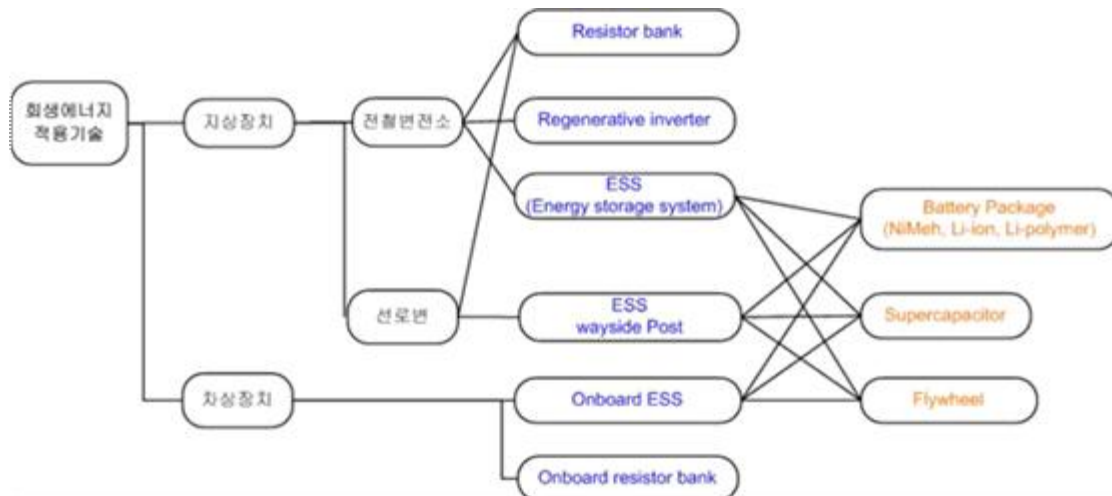
3. 기술분석

3.1 기술동향

3.1.1 국내 기술개발 동향

1) 전력변환장치(회생인버터)

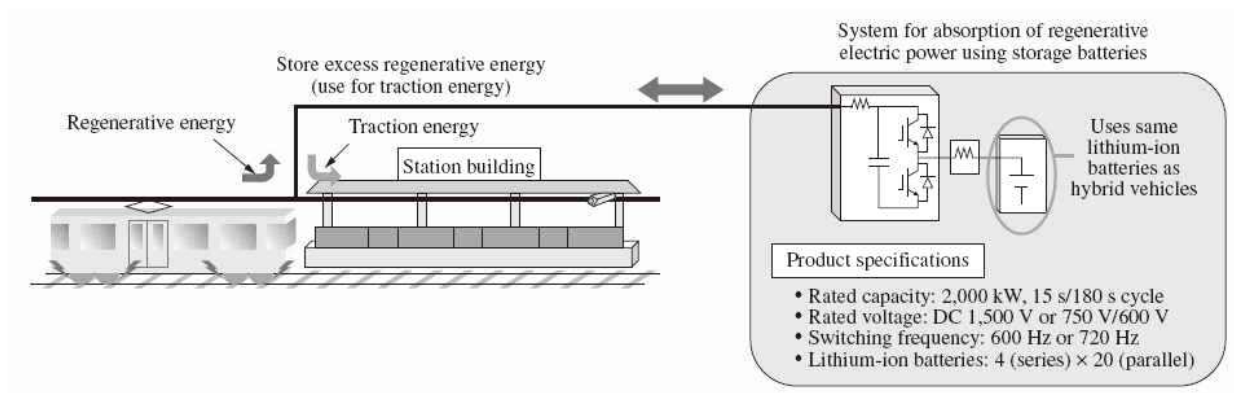
- 전기철도차량이 제동 시에 발생시키는 회생에너지에 대한 재이용 기술은 직류전 기 철도시스템에서 지속적인 주요 연구주제였으며, 회생에너지 이용률을 높이기 위한 다양한 전력변환 기술들이 개발되어져 왔음
 - 직류전기철도 변전소에 설치되는 회생용인버터와 에너지 저장장치 기술은 국내를 비롯하여 국외 일부 변전소에 설치되어 그 이용 가능성을 확인받음
 - 최근 유럽 및 일본을 비롯한 여러 선진 전장품 기업에서 국내 시장에도입하기 위한 다양한 시도가 예상



[직류전철시스템 회생에너지 활용 장치]

- 직류철도시스템의 유헴 회생에너지를 활용하는 방법으로 회생에너지를 저장하거나 회수하는 등의 연구 개발 진행, 저장하는 방식은 슈퍼캐패시터, 플라이휠, 2차전지 등의 에너지 저장장치를 이용하여 유헴에너지를 저장하고 필요시 방출하는 시스템
 - 회생에너지 저장시스템은 전차선 가선전압 상승 시 DC 저장장치에 에너지를 저장하여 전동차 기동 시 재사용하고 일부는 AC로 변환하여 역사에 재사용토록 개발하였으나 유지보수 효율성 저하와 컨버터부, 인버터부 또는 저장장치에서 각각의 에너지 손실요인 발생 등으로 종합효율이 기대수준에 미치지 못함
- 한국철도기술연구원에서는 5개년도(2003년~2008년)에 걸쳐 회생전력을 3상 교류측으로 보내어 가선전압의 상승을 억제하는 직류 회생 인버터 연구

- 2010년도 한국철도기술연구원은 광주광역시철도공사 및 (주)비츠로시스와 김대중컨벤션센터역 변전소에 750kW급 회생용 인버터 시스템 도입
- 서울의 지하철 7호선에는 제동시 발생하는 회생에너지를 저장하였다가 출발시 사용하는 방법으로 월 평균 51,525kWh의 전력사용량을 절감하는 것으로 알려짐
 - 2012년 개통된 7호선 연장구간인 상동변전소에 1,350kW급 에너지 저장/재이용 장치를 설치, 3개역 구간에서 월평균 51,525kWh,의 회생전력을 사용하고 있음
 - 지하철 9호선과 경전철 노선에도 확대 적용하고 있는 추세임
 - 회생인버터는 직류 회생전력을 인버터를 통해 교류로 변환 후 고압배전계통 (6.6kV)로 역송전하여 역사 부대설비에서 소비하도록 하였음.
 - 일본 히타치사의 축전지식 회생저장장치(B-CHOP)가 적용되었으며, 회생전력을 2차전지(리튬이온 배터리)에 흡수 저장한 후, 가선전압 저감을 감지하여 전동차의 역행 소비전력으로 재사용



[서울 지하철 9호선의 Hitachi B-Chop 시스템]



[서울 지하철 9호선에 적용된 에너지저장장치의 구성 개념도]

- 고려대 및 한국철도기술연구원은 ‘철도 변전소 공유를 통한 직류 도시철도 시스템 회생에너지 이용률 향상방안 연구’를 통해 각 지하철 호선 시스템간의 전력교류가 일어나게 하여 손실을 줄이고 효율을 높이는 시뮬레이션을 모의하였으며 지하철 5호선과 7호선을 대상으로 개별 운전시와 통합 운전시 결과를 비교, 통합운전시 효율을 1.1% 향상시킬 수 있다는 연구결과를 발표
- 기존에는 제동시 발생하는 회생에너지로 인하여 가선의 전압을 크게 상승시키거나, 저항회로를 통해 강제적으로 소비

2) 수소생산

- 수소경제 이행 추진에 있어 수소의 생산 및 공급전략의 주된 기조는 우선적으로 부생수소를 일부 활용 하면서, 단기적으로 천연가스 개질방식으로 향후 확대될 수소 수요를 대응하기 위한 대규모 생산기반을 갖추어야 함
- 수소경제로의 이행을 위해서는 환경적 측면에서도 정당성을 확보해야 하며, 이는 궁극적으로 부생수소, 개질수소 등의 생산방식에서 벗어나 친환경 수소 생산 및 공급 확대를 통해 달성 가능
- 수소생산에는 다양한 방식이 있으나, 대표적으로는 대규모 석유화학공정에서 나프타를 분해하여 생산하는 부생수소, 수전해 방식을 통해 물을 전기분해, 탄화수소(C_nH_{2n+2})를 개질하는 개질수소, 암모니아(NH_3)분해 등의 방식이 있음
- 국내에 유통되는 약 190만 톤의 수소 중 정유공정에서 자체공정에 재투입되는 수소를 제외하고 외부로 공급되는 수소는 약 26만 톤이며, 그 중 약 33.4%가 천연가스 개질을 통해서 외부로 공급

구분	비율
납사분해	47.4%
천연가스 개질	33.4%
CA 공정	12%
기타유화	6%
기타	1.3%

[유통수소 생산비율]

(출처 : 수소융합얼라이언스, 수송용 수소연료의 가격 설정 및 수급체계 구축 방안, '17.12)

업체명	원료공급처	지역	제조 방식	생산 능력(m ³ /hr)	
				2017	비고
덕양	한화케미칼	여수	소금물 분해	35,000	190,000*
	SK어드밴스드	울산	프로판탈수소	10,000	
	롯데정밀화학	울산	소금물 분해	13,000	
	한화토탈	서산	나프타 분해	9,000	
	태광화학	울산	프로판탈수소	13,000	
	LG화학	여수	소금물 분해	11,000	
	백광화학	군산	소금물 분해	5,000	
		여수	소금물 분해	1,500	
	롯데케미칼	서산	나프타 분해	3,000	
		여수	나프타 분해	3,000	
	롯데BP화학	울산	B-C 분해	2,500	
	덕양(울산3공장)(자체 생산)	울산	NG(LPG) 분해	50,000	
	덕양(남동공단)	인천		100	
소계				156,100	

업체명	원료공급처	지역	제조 방식	생산 능력(m ³ /hr)	
				2017	비고
SPG 케미칼	SPG케미칼	안산	메탄올 개질	2,000	
	현대제철	당진	COG 정제	1,500	
	롯데케미칼, LG화학	대산	나프타 분해	10,000	
	현대오일				
	롯데케미칼, LG화학	여수	나프타 분해	45,000	
	소계			21,200	
에어리 퀴드	에어리퀴드 1	여수	개질	10,000	
	에어리퀴드 2	여수	개질	38,000	
	소계			311,500	
린데	린데	기흥	천연가스 개질	1,200	
	린데	기흥	나프타 분해	1,200	
	소계			0	
에스디지 (SDG)	대한유화	울산	나프타 분해	5,300	
	태광산업	울산	나프타 분해	2,000	
	효성	울산	프로판탈수소	6,000	
	SK어드밴스드	울산	프로판탈수소	10,000	
	소계			0	
대성산업 가스	대성산업가스	파주	메탄올	2,000	
창신화학	롯데케미칼, LG화학	서산	나프타 분해	5,200	
SPG산업	롯데BP화학	울산	나프타 분해	6,000	
	SK어드밴스드	울산	프로판탈수소	8,000	
	효성	울산	프로판탈수소	2,000	
	소계			0	
	총계**			311,500	

[국내 수소 생산 업체]

자료: 산업통상자원부 · 한국에너지공단 신재생에너지센터(2018), 「2018 신재생에너지 백서」.

주: * 덕양 자료.

** 총 유통 가능량: 31만 1,500m³/hr은 24시간, 연 330일 가동 기준 22만 275톤 H₂/yr에 해당.

*** 24만 톤(한국에너지공단(2017), 부생수소를 활용한 실증화단지 산업발전 로드맵

가. 수전해 방식

- 수전해 방식은 물의 이온화에 활용되는 전해질(electrolyzer)에 전력을 공급하여 물을 수소와 산소로 분해하는 기술로서 전해질의 종류에 따라 알칼라인(Alkaline), 고분자 전해질막(PEM, proton exchange membrane), 고체산화물(SOEC, solidoxide electrolysis cell) 수전해 방식으로 구분되며, 이 중 알칼라인 수전해 방식이 현재 상업적으로 이용되고 있음
- 알칼라인 수전해는 현재 수전해 기술 중 상용화가 많이 진척되어있고, 주로 알칼리 전해액을 이용하여 물을 전기분해하는 기술
 - 알칼라인 수전해 기술에서 단위전지의 각 전극에서 발생하는 반응
 - 양극(Anode) : $4\text{OH}^- \rightarrow \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^-$
 - 음극(Catode) : $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{OH}^- + \text{H}_2$
- 고분자 전해질막(PEM) 수전해는 양극으로 공급된 물이 수소양성자와 산소로 분해가 되고, 수소양성자는 양성자교환막을 통하여 음극으로 이동한 후 전자와 결합하여 수소분자를 형성하게 됨
 - PEM 수전해의 각 전극에서 발생하는 반응
 - 음극(Cathode) : $4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2$
 - 양극(Anode) : $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$
- 고체산화물 수전해(Solid Oxide Electrolyzer Cell: SOEC) 또는 고온수증기 수전해는 고체산화물 전해질을 이용해 800 이상의 고온수증기를 전기분해하여 수소를 생산하는 기술로서 수전해 기술 중 전력 사용량은 가장 작으나, 고온을 유지하기 위해 가열이 필요
 - SOEC 수전해 단위전지의 각 전극에서 발생하는 반응
 - 음극(Cathode) : $2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2(\text{gas}) + 2\text{O}_2^-$
 - 양극(Anode) : $2\text{O}_2^- \rightarrow \text{O}_2(\text{gas}) + 4\text{e}^-$
- 기술의 성숙도 측면에서는 장기간 연구 개발되어 온 알칼라인 수전해의 기술적 완성도가 가장 높아 앞서 언급한 바와 같이 상용화단계에 진입 국내에도 일부 시판되고 있음



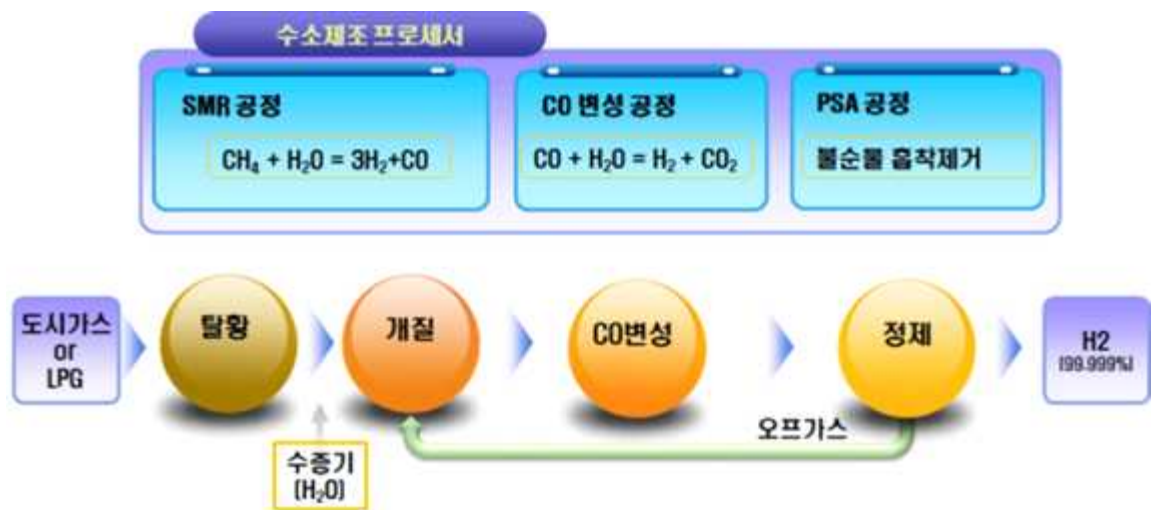
[수소에너지 Model A]



[엘컴텍 H2Gen]

나. 수소개질

- 수증기개질 (SMR : Steam Methane Reforming)은 탈황공정, 개질공정, 일산화탄소 변성, 그리고 고순도 정제공정으로 구성
 - 탈황공정은 개질촉매나 수성 가스 전환 촉매 활성을 저하시키는 천연가스 내 황 성분을 제거하기 위한 공정
 - 개질공정은 천연가스 개질을 통해 수소를 생산하는 공정
 - 일산화탄소 변성공정은 수증기개질 공정에서 배출되는 일산화탄소의 농도를 낮추기 위한 공정
 - 마지막으로 고순도 정제공정은 PSA(Pressure Swing Adsorption) 공정을 통해 고순도의 수소를 생산하는 공정



[수증기 개질 프로세스]

- 국내 수소생산 업체는 덕양/SPG/에어리퀴드/린데 등 대규모 플랜트 공정(대형 PSA 등)을 통해 수소를 생산



[덕양의 5,000Nm³/h급 PSA 플랜트 설비]

- 대형 플랜트급 설비 이외에, 수소충전소를 타겟으로 한 100 ~ 300Nm³/h 규모의 수소추출시스템들이 개발 및 상용화 되고 있으며, 산업부와 한국가스공사의 수소 생산거점 구축 계획에 따라 수소추출시스템들의 보급이 진행 중에 있음
 - 산업부는 '22년까지 소규모(분산형) 수소생산기지 18개소를 구축예정이고, 한국 가스공사는 '30년까지 거점형 수소생산기지 25개소 구축 예정
- 제이앤케이히터는 산업통상자원부 '수소충전소용 대용량 수소제조장치 개발 ('17~'20) 과제를 통해 HIIS-250(수소생산량 약 117Nm³/h)와 HIIS-500(수소생산량 약 233Nm³/h) 모델을 개발하였으며, 서울 상암수소충전소, 창원 성주수소충전소 등에 설치하여 실증 및 시운전을 계획 중에 있음



[HIIS-250(좌), HIIS-500(우)]

- 한국에너지기술연구원은 과학기술정보통신부 '가압형 모듈화 고순도 수소생산유틸 국산화 설계기술('17~'22)'을 통해 HyPU-100(약 100Nm³/h)와 HyPU-250 (약 100Nm³/h) 모델을 개발하였으며, HyPU-250 모델을 원일티엔아이에 기술이전



[HyPU-100(좌), HyPU-500(우)]

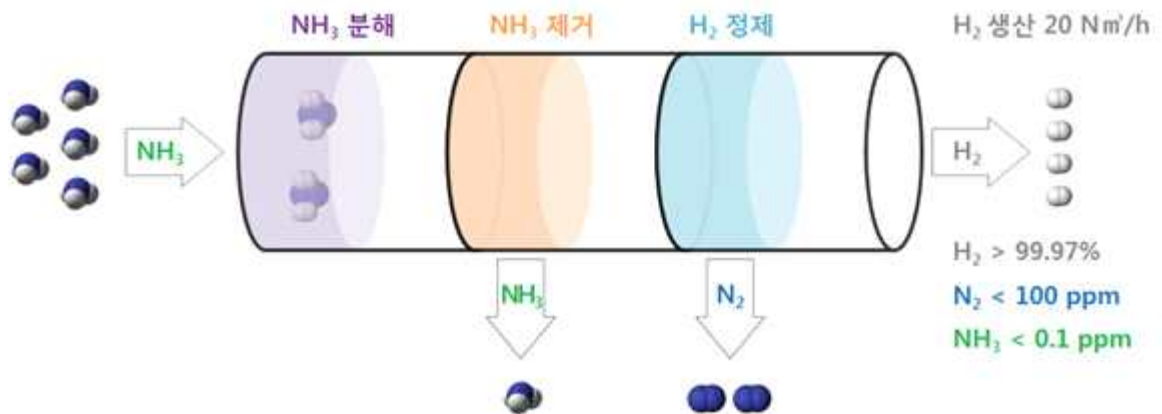
- 현대자동차는 일본의 오사카가스엔지니어링의 Hyserve-300(300Nm³/h) 기술을 이전받아, 관계사인 현대로템에서 경기도 의왕연구소에 수소리포머 공장을 건설하여, 연간 20대 규모의 수소추출시스템 공장을 구축할 계획



[현대로템 의왕 수소리포머 공장 조감도 및 Hyserve300]
(출처 : 가스신문, 현대로템 의왕에 수소리포머 공장 구축 10월 가동, '20.08)

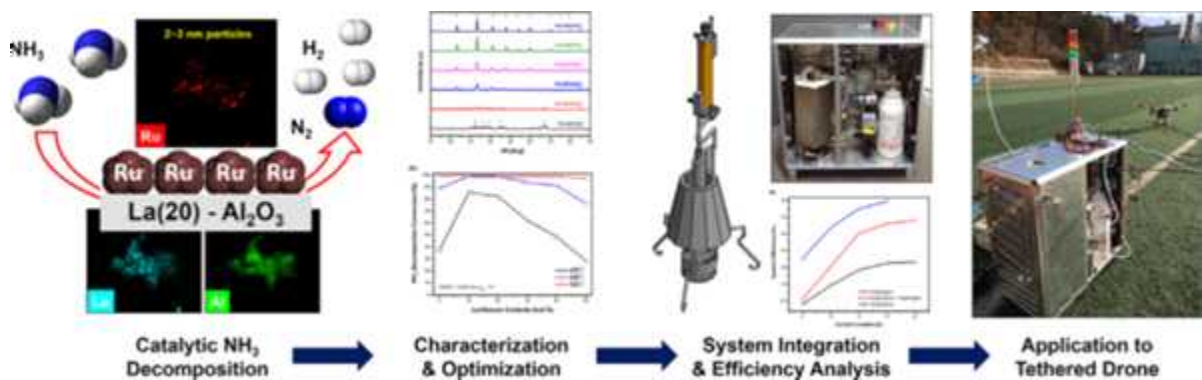
다. 암모니아 분해를 통한 수소 생산방식

- 암모니아(NH₃)는 질소에 3개의 수소 원자가 결합된 혼합물로서 주로 비료의 생산원료로 전 세계적으로 가장 많이 합성되는 물질 중 하나로서, 생산, 저장, 이송 기술이 이미 개발되어 국제적인 교역 품목 중 하나
 - 수소의 대량 저장 및 이송을 위한 수소의 대용품으로서 암모니아를 활용하는 논의나 기술 개발이 한창
 - 암모니아를 분해하게 되면 질소와 수소만 생성되며, 이산화탄소 등 온실가스 배출이 없다는 장점이 있음



[암모니아 분해를 통한 수소 생산 개념도]

- 원익머티리얼즈는 2014년부터 2017년까지 산업통상자원부의 지원으로 “1 KW급 암모니아 기반 수소발생기 개발 및 이의 연료전지 실증”과제에서 액화 암모니아 저장 및 고체 암모니아 저장 소재 개발을 진행하였으며, 참여기관인 한국과학기술연구원에서는 암모니아 개질기, X zeolite 흡착제 및 1kW급 PEMFC을 연계하여 드론을 2시간 이상 운전



[KIST의 암모니아 연료전지 시스템]

- 씨이에스는 산업통상자원부의 지원으로 2018년부터 2021년까지 “암모니아 분해 수소 생산/정제 시스템 개발” 과제를 에너지기술연구원, KIST, 현대자동차 및 센스엔지니어링과 수행 중, 수소 생산량 20Nm³/h의 개질기와 흡착장치를 개발하여 수소충전소에서 사용이 가능한 고농도 수소 생산을 목표로 연구를 진행 중에 있음



[에너지기술연구원의 암모니아 분해반응기]



[젠스엔지니어링의 PSA 설비]

3) 수소충전소

○ 국내 경우 현대차가 수소차 개발을 위해 '01년 경기도 화성의 남양연구소에 최초로 구축

- 구축된 수소충전소 중 일반인이 충전 가능한 충전소는 56개소임

순번	지역	개수	전국 수소충전소 현황
1	서울특별시	4	
2	부산광역시	2	
3	대구광역시	1	
4	인천광역시	2	
5	광주광역시	4	
6	대전광역시	3	
7	울산광역시	9	
8	세종특별자치시	1	
9	경기도	7	
10	강원도	2	
11	충청북도	5	
12	충청남도	4	
13	전라북도	3	
14	전라남도	2	
15	경상북도	1	
16	경상남도	6	
	합계	56	

[국내 일반인이 충전가능한 수소충전소 현황]

○ 국내의 수소 충전 분야는 수소 저장·운송 분야와 같이 중소기업 비중이 높은 구조이며, 국내의 수소충전소는 대부분 초기에는 완성차나 가스업체들이 프로젝트

성격으로 튜브, 개질, 수전해 등 다양하게 구축하였고, 이후에는 대부분 튜브트레일러 형태가 주류

- 국내 충전소 튜브트레일러 및 자동차용 고압 부품에 대한 국산화를 촉진하기 위해 수소산업 전주기 제품 안전성 지원센터 구축사업 사업자가 최근에 선정 대전광역시 됐으며 이 시설을 통해 각종 부품의 시험 검사 및 개발 단계에서 지원체계를 마련할 예정
- 수소충전소를 구축하는 주요 파트는 고압 수소압축기부문 저장설비부문 충전기부문 고압배관 및 연결 피팅류 부문의 4가지로 분류
 - 국내의 고압압축기 기술개발 현황은 과거 400기압 압축용 다이어프램 압축기를 광신기계에서 개발하였으며, 2012년 광신기계에서 700기압 압축기를 추가 개발해 덕양에서 운영 중인 울산의 수소충전소 등에 설치한 바 있음
 - 수소충전소용 고압수소 저장용 용기는 국내에서 용기만 사용할 수 있으며 수소 저장용 복합용기에 대한 국내 기준은 제정되어 있지 않음
 - 가스공사는 프린터 타입의 수소냉각장치 개발 완료했으며 최근에는 냉동기와 냉각탑 열교환기 등 3개 제품을 수소냉각 패키지화하고 있음
- 국내의 수소충전소 관련 주요 기업으로는 효성중공업이 대표적이며 이엠코리아, 제이엔케이히터, 에코바이오, 디케이락, 엔케이 등이 있음
 - 효성중공업은 충전기, 압축기 등 자체 모델로 국산화를 상당 부분 이룬 것으로 평가받고 있으며, 국내 수소충전소 구축 실적도 가장 높은 것으로 파악
 - 수전해 방식의 충전소 구축은 이엠코리아가 강점을 가지고 있는데, 이엠코리아는 물을 분해하여 수소를 생산하는 자체 기술력을 보유하고 있고 자회사인 이엠솔루션과 함께 효성중공업 다음으로 수소충전소 구축 실적이 높음
 - 제이엔케이히터는 가스 개질 방식, 에코아이는 바이오가스 기반의 수소 충전 분야를 각각 주력으로 하고 있음

기업명	주력(강점) 분야	비고
효성중공업	충전기, 압축기(자체 개발)	국내에서 공사 실적 1위
이엠코리아	수전해 방식의 수소충전소	자회사 이엠솔루션
광신기계	개질 설비 충전소(플랜트 기술 기반)	수소충전소용 압축기 개발
제이엔케이히터	수소차 충전용 개질기	-
에코바이오	바이오가스 기반 수소 충전	-
엔케이	수소충전소용 수소저장탱크	-
디케이락	수소충전소용 고압밸브	-

[국내 수소충전소 관련 주요 기업 현황]

- 효성은 현대차(남양·양재), 동덕산업(울산 매암), SPG(여수), 신재생에너지센터(여수)등 다수의 오프사이트형 수소 충전소 구축 경험을 보유하고 있으며, '18년 9

월 울산광역시에 구축한 복합충전소가 운영 시작

- 기존 주유소 및 LPG·CNG 충전소의 여유 부지에 수소충전설비를 설치한 ‘국내 1호 복합에너지충전소’임



[효성중공업이 건립한 울산 북구 경동 수소 충전소]

- 미국, 유럽 등에서 채택하고 있는 수전해 방식 수소 충전소 상용화 기술을 개발하는 전문업체인 이엠코리아는 물을 전기분해 하여 제조된 수소를 압축, 저장하여 디스펜서를 통해 공급하는 방식으로 35MPa, 70MPa로 충전 가능



[이엠코리아 수전해 방식 수소 충전소 위치]

- 제이앤케이히터는 서울 상암수소충전소, 창원 성주수소충전소에 도시가스를 이용한 분산형 수소충전소를 실증 및 시운전 중에 있음



[상암]



[창원]

4) 탄소중립을 위한 온실가스 저감

- 아민계열의 액상 흡수제를 활용하며 이산화탄소를 포함한 연소가스와 흡수제가 흡수탑에서 혼합되면서 이산화탄소가 흡수제에 결합되고 이후 분리탑에서 가열을 통해 분리되는 원리
 - 일반적으로 50~ 70℃분위기에서 흡착되고 120℃ 이상 분위기에서 분리되기 때문에 발전소 등에서 발생하는 연소가스의 경우 물 분사를 통해 냉각시켜 흡수탑으로 공급되고 분리탑에서는 보일러를 통해 분위기 온도를 가열
 - 이들 기술들은 발전사와 한국전력연구원, 한국에너지기술연구원 등에서 개발하였으며 중부발전 보령화력과, 남부발전 삼천포화력에서 실증
- 고상 흡수제를 사용하는 경우는 대부분 CaO을 흡수제로 사용하여 CaCO₃로 변환시키고 800℃이상조건에서 환원공정을 통해 고농도 이산화탄소를 분리하여 지하에 저장하는 기술이 일반적 임
 - 그러나 CaCO₃의 경우 고순도일 경우 제지의 표백제로, 저순도일 경우에는 비료 등으로 사용되기 때문에 이산화탄소 화합물 자체가 생상품
 - 한국지질연구원에서는 CaO 수용액에 연소가스를 가압하여 용해시킴으로써 CaCO₃를 생성하고 이를 제지 표백제로 적용한 사례가 있음
 - 또한 한국기계연구원과 공동으로 국가전략과제의 일환으로 진행된 탄소광물화사업단과제를 통해 6톤급 실증설비를 구축한 사례가 있음
- 개질기에서 발생하는 이산화탄소를 포집하는 방식은 수소생산 공정 중 하나인 PSA(Pressure Swing Absorbtion)에서 개질가스를 대상으로 포집하는 방법과 PSA에서 수소를 제외한 나머지 혼합가스를 보일러로 공급하고 보일러 후단에서 이산화탄소를 포집하는 방법이 있음
 - 전자의 경우 개질기의 성능에 영향을 줄 수 있기 때문에 개질기와 같이 개발되어야 하며 포집효율은 50~60%수준
 - 후자의 경우에는 개질기와 관계가 크지 않기 때문에 거의 성능에 영향을 미치지 않으며 포집효율은 전체 발생량의 80~90% 수준이지만 처리가스 용량이 크기 때

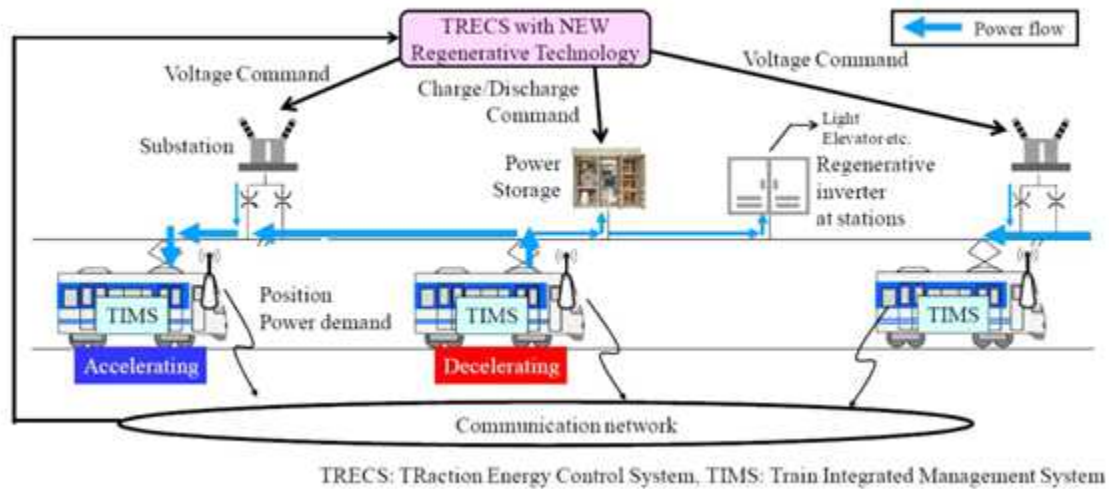
문에 시스템이 전체적으로 크지는 단점

- 제이엔케이히터의 경우 마아크로파 플라즈마토치기술을 적용하여 수소추출시 배출되는 이산화탄소를 재사용함으로써 배출량을 절반으로 줄이는 기능을 갖추
 - 그린사이언스의 경우에도 플라즈마토치기술을 개질기에 접목한 PSMR기술로 수소생산과정에서 이산화탄소를 전혀 배출하지 않는 것으로 알려져 있으며 하루 100kg의 수소를 생산할 수 있는 설비를 구축
 - 유사한 기술을 보유한 제이엔텍히터와 함께 속초의 개인택시가스충전소에 하루 250kg 수소를 생산하는 온사이트형 수소충전소 사업에 참여
- 플라즈마 탄소전환 기술을 보유한 리카본코리아 대표를 영입한 효진오토테크는 이산화탄소 전환장치인 건식 개질기를 통해 H_2 , CO 합성가스를 생산해 다양한 분야에서 고부가가치 화학원료(DME 등)로 사용할 수 있는 수소-탄소 융복합 플랜트 사업을 추진
- 현대로템은 2017년 현대차가 한국에너지기술연구원으로부터 기술 이전받은 CCU 기술을 On-site 수소생산시설에 접목할 계획
- (주)금강씨엔티는 2019년부터 산업통상자원부로부터 지원을 받아 “이산화탄소 포집과 수소생산 동시공정을 위한 수소분리/이산화탄소 흡수 하이브리드 공정개발” 연구를 진행
 - PSA의 분리막 외곽에 이산화탄소 고체흡수제를 배치하여 수소 분리와 함께 이산화탄소를 흡수하는 방식임

3.1.2 선진국의 기술개발 동향

1) 전력변환장치(회생인버터)

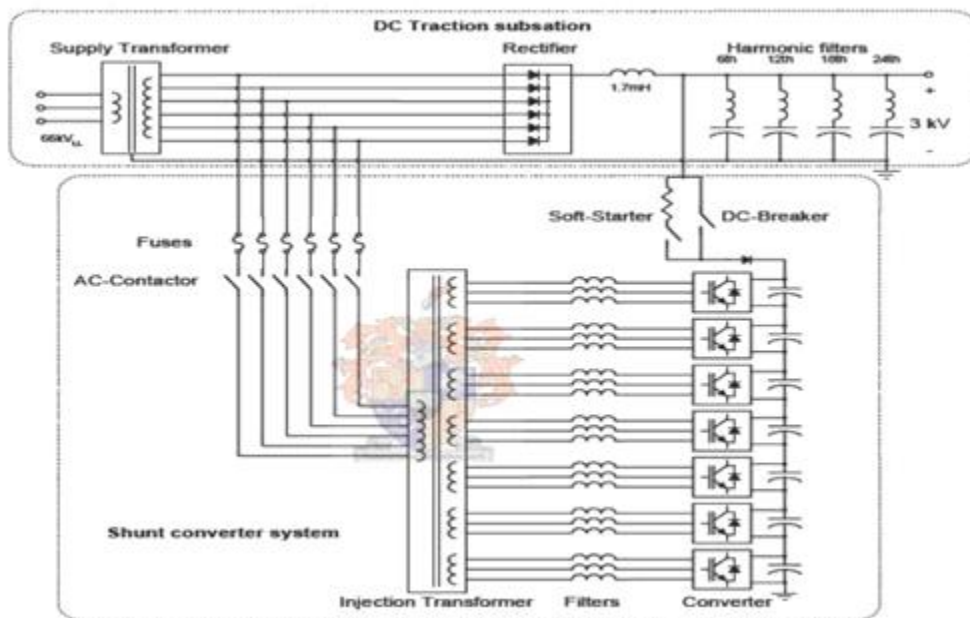
- 일본 Mitsubishi사에서는 열차에 장착된 TIMS(Train Integrated Management System)를 이용하여 열차의 위치와 가속 및 감속 상태 데이터를 취합하여 전기철도변전소의 가선전압을 제어하는 방법을 제안
 - 열차 내에서 열로 소모 되는 회생에너지의 80 % 까지 감소시킬 수 있으며, 가선전압의 높은 상승을 억제할 수 있는 효과가 기대
 - 회생인버터(Regenerative inverter)와 연동하여 과도한 회생전력발생시 재활용이 가능한 장점



[일본 Mitsubishi사의 TIMS 개념도]

(출처 : <http://www.mitsubishielectric.com/news/2013/0214-c.html>)

- 남아프리카공화국 3000Vdc 1.5MW IGBT multi-level 회생인버터는 Stellenbosh 대학의 연구과제로 개발하여 현장 시운전시험을 마친 회생인버터 개발품으로, 회생전력 흡수기능과 능동전력필터기능도 구현 가능
- 직류 3000V의 높은 직류링크단 전압을 사용하므로 멀티레벨인버터 형식이며, 계통연계변압기를 추가로 설치하지 않고 다이오드 정류용 변압기 2차측과 연계
- 아래 그림들은 1.5MW용량의 직렬 적재된 컨버터는 DC전압을 공급하는 변전소에 설치



[South Africa Stellenbosh university 회생인버터 개념도]

(출처 : Pieter Hendrik Henning, the University of Stellenbosch, April 2015)

- 일본 신마루코 변전소의 1MW 회생인버터는 도쿄의 동경급행선에 있는 사이리스터 타입의 계통연계형 회생인버터가 설치
 - 신마루코 변전소에서는 4.8 MVA용량의 실리콘정류기를 통해 직류 1500V를 급전하고 있으며 정류기는 $\Delta/\Delta/Y$ 의 결선방식으로 12펄스 전류파형을 만들어 5차 및 7차 고조파를 저감
 - 회생인버터는 사이리스터 소자를 사용한 1MW의 용량으로 설계되었으며 500% 1분의 과부하정격을 갖고 회생인버터로부터 발생하는 11차 및 13차 고조파를 제거하기 위한 수동필터가 설치

정류기 변압기		실리콘 정류기	
절연등급	D-class	절연등급	D-class
정격용량	4830kVA	정격용량	3000kW
주파수	3상 50Hz	정격전압	1500V
결선방식	$\Delta/\Delta/Y$	정격전류	3000A

[신마루코변전소의 정류기 기본사양]

인버터 변압기		사이리스터 인버터	
절연등급	S-class	절연등급	S-class
정격용량	1800kVA /820kVA×2	정격용량	1000kW
주파수	3상 50Hz	과부하정격	500% 1분
결선방식	$\Delta/\Delta/Y$	정격전압	1520V

[신마루코변전소의 회생인버터 기본사양]



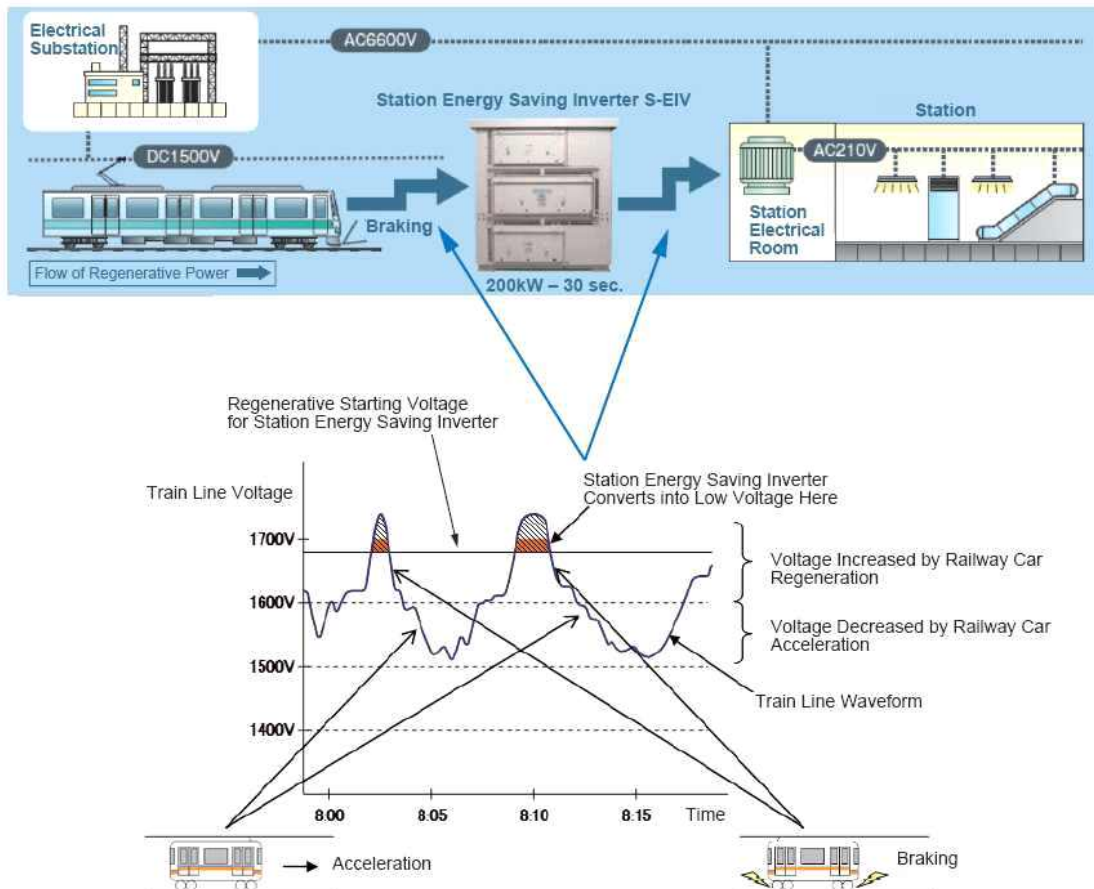
[일본 신마루코변전소의 회생인버터 및 변압기]

- Mitsubishi社の Station Energy saving inverter S-EIV(200 kW 30 sec)는 전력변환장치로서 직류 1500V 전기철도 시스템에 설치되어 전동차에서 발생 되는 회생전력을 High-frequency DC-DC converter와 SiC Power module inverter를 통해 변전소 고압배전단으로 전달하여 변전소의 공조장치, 등구류, 이송장치

등에서 재활용 될 수 있도 함

- S-EIV는 SiC power module을 사용하여 전력손실을 최소화하고, JEAC 9710-2010 규격을 만족하도록 설계
- 모니터링 및 데이터 로깅 기능을 갖추어 동작상태와 실시간 전기 에너지 모니터링이 가능한 장점을 가짐

Basic Concept or Summary



[Mitsubishi社の S-EIV 개념도]



Power Unit Appearance

Main Circuit Type	High-frequency link type DC/DC converter + SiC power module inverter
Rated Capacity	200kW - 30 sec. (3 min. interval)
Input Voltage	DC900 - 1850V
Output Voltage	AC210V±5%, 3 phase, 50/60Hz
Power Factor	0.85 - 1 (leading)
Distortion	Overall: 5% or less Each level: 3% or less (Up to 40 th level)
Dust Proof / Splash-Proof / Anti-Rust	IP54 JEM-TR144
Cooling System	Self-cooled

Power Unit Specifications

[Mitsubishi社の S-EIV 형상 및 제원]

- ABB 사의 ENVILINE는 직류전기철도변전소의 다이오드 정류기와 병렬로 접속되어 4상한 전류전압 동작기능을 구현
 - ENVILINE는 Thysitor converter이며, 회생전력발생시 직류 회생전력을 교류계통으로 송전하는 역할을 수행할 수 있으며 또한, 인버터로도 동작하는 기능이 있어, 회생전력흡수 기능이 없을 때에는 교류 전력을 직류전력으로 변환하여 부하 전동차들에게 공급
 - ENVILINE는 스위스의 Alpiglen변전소에 두 개의 다이오드 정류기와 병렬로 설치되어 운용된 사례가 있는데, 여기서는 ENVILINE이 16.5kV 계통단에 연계되어 있으며, 회생전력이 발생되면 회생인버터는 신속히 회생전력 흡수하여 모선으로 전달하도록 동작
 - ABB 사의 ENVILINE는 가선전압이 무부하시보다 높아지면 에너지 회생을 시작하며, 가선시스템에 회생하는 전류는 인버터 특성곡선에 따라 동작



[ABB사의 ENVILINE 외형]

2 수소생산

가. 수전해 방식

- 국외의 경우는 미국, 유럽, 일본 등이 신재생 1에너지원 기반 수소생산 및 활용 중심의 기술개발을 진행

- 알칼리 수전해와 관련해, 넬(노르웨이), Asahi Kasei(일본) 등 주요기업은 수전해 시스템 및 수소 가격 경제성 확보를 위해 대용량화(10~50 MW급)·장수명화·고효율화 기술 및 부하 변동성 대응 기술 개발 추진
 - 노르웨이 NEL은 수소충전소(H2 LOGIC) 및 PEM수전해(Proton Onsite, 2015)을 인수하여 50MW급 알칼리 수전해 기술을 확보하고 다수의 유럽 PtG 실증사업에 참여
 - 일본 Ashai KASEI는 PtG 선진국인 유럽 국가에 많은 지소 설립 및 공동 연구 수행하고 10MW급 대형 시스템 개발 추진
- 고분자전해질(PEM) 수전해와 관련해, Proton onsite(미국), ITM power(독일), Siemens(독일) 등 주요기업은 귀금속 촉매 저감 등을 통한 스택 및 시스템 저가화, 고전류밀도·고내구성·고효율화 기술 개발 추진하고 있으며 1MW급 수전해장치를 상용화
 - 미국 Proton onsite는 소형 10~30Nm³/h급, 4bar, 6kWh/Nm³, 대형 100~400Nm³/h급, 30bar, 5.5kWh/Nm³ 수준의 시스템 기술 보유, 미국 Giner는 DOE 지원하에 PEM기반 연료전지 및 수전해 핵심소재 기술을 개발하고 미국 NREL과 파트너십을 통해 재생전력 연계 P2G(~15MW) 실증 연구 수행
 - 일본 ITM Power 재생에너지 기반 수전해 수소 on-site 수소충전소 최초 설치(15년, 로테르담)후 다수의 실증사업을 추진, 일본 산요는 1MW 이하급 PEM 수전해 기술 확보



[Siemens사의 SILYZER 300]



[ITM Power사의 HGas]

- 고체산화물(SOEC) 수전해 기술과 관련해, 고온 수전해 소자의 내구성 및 신뢰성 향상을 중심으로 정부주도의 대형 실증 프로젝트들이 수행 중
 - 미국 INL는 SOEC 스택·시스템의 내구성 향상 연구 및 원자력-신재생 하이브리드 에너지 시스템 연계 기술 개발
 - 독일 SunFire는 최초의 상업적 SOEC stack 모듈 제작 및 잘츠기어와 보잉사에 각각 150kW 및 200kW급 모듈 공급하고 시제품 제작을 통한 PtG 프로젝트 참여했으며, 100kWAC급 SOEC 성능을 지닌 가역 산화물셀 실증, 제철소의 폐열,

스팀, COG를 활용해 전력을 생산하거나 수소생산을 하는 가역 산화물 셀을 스택 수준에서 실증을 추진

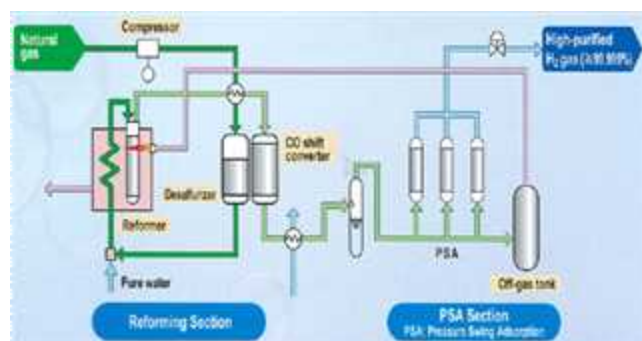
- 핀란드VTT는 유럽 Horizon2020 고온 수전해 기술 개발 프로젝트(BALANCE) 수행, (SunFire) 150-200 kW급의 상업용 모듈 제작 및 공급, (Halder Topsoe) 바이오가스의 합성천연가스 전환용 수소 공급 모듈 제작 및 일관 공정 기술개발 추진



[Sunfire사의 HYLINK HL40 SOEC 수전해 시스템]

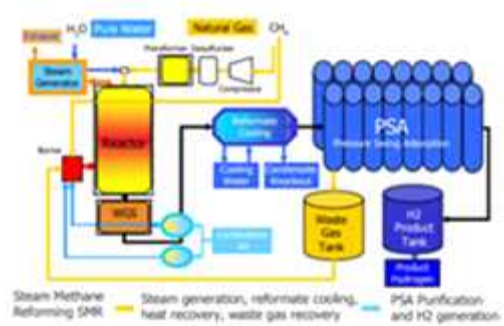
나. 수소개질

- 국외의 경우는 일본은 90년대 초반부터 수소충전소용 수소추출시스템의 개발을 시작하여, 현재는 오사카가스엔지니어링(Hyserve 시리즈)과 미쯔비시 화공기(HyGeia 시리즈)에서 상업화하여 제품들이 판매 및 보급되고 있는 상황
- 일본, 오사카가스엔지니어링 Hyserve 시리즈는 수소생산량에 따라 3가지 모델(Hyserve-30, 100, 300)로 구분되며 40~100%의 부하운전 및 대기모드가 가능하며 약 99.999 vol% 순도의 수소 생산이 가능



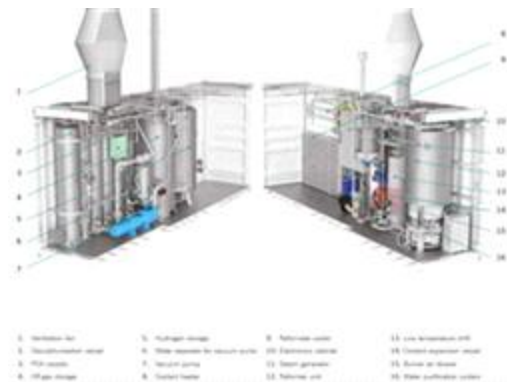
[오사카가스엔지니어링/Hyserve-300 모델(좌), 미쯔비시화공기/HyGeia-300 모델(우)]

- 미국, Air Liquide는 '09년 H2Gen Innovations(미국)로부터 HGM(Hydrogen Generation Module) 기술을 인수하여, 기술개발을 진행하였으며 모델에 따라 85Nm³/h에서 1,130Nm³/h의 수소생산량을 가지며 수소 순도 99.999%와 55%~100%의 부하 운전이 가능



[Air Liquide HGM-10k 모델(좌), 공정개략도(우)]

- 네덜란드, Hygear는 수소생산량에 따라 3가지 모델(HyGEN-50, 100, 150 / 각각 최대 수소 생산량이 47Nm³/h, 94Nm³/h 및 141Nm³/h)로 구분되며 약 99.5~99.9999vol% 순도의 수소 생산이 가능함



[HY.GEN 모델 설치 사이트(좌), HY.GEN 모델 내부개략도(우)]

다. 암모니아 분해를 통한 수소 생산방식

- 일본의 Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion (SIP) 프로그램의 Energy Carriers 분야에서는 산업기술종합연구소, 쇼와전공, 도요타자동차 및 히로시마대학이 참여하여 모니아를 사용하여 10Nm³/h의 수소를 생산하는 시스템을 검증할 예정이며, 기후대학과 사와후지는 대기압 플라즈마를 이용해 상온에서 암모니아를 분해하는 기술을 개발



[쇼와전공 등이 개발한 암모니아 분해 및 제거장치]

- 호주 연방과학원(CSIRO, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation)은 암모니아 개질기와 바나듐 멤브레인 기술을 이용한 수소 충전소를 현대차의 넥쏘와 도요타의 미라이를 대상으로 실증



<CSIRO의 V 멤브레인>



<CSIRO의 암모니아기반 수소 충전소>

3 수소충전소

- 수소충전소의 설치 및 유지보수에 많은 비용이 들어가는 압축기의 저가화, 신뢰성 개선, 대용량화에 대한 단기 개발 지원과 장기 기술개발 지원이 이루어짐
 - 호라이즌(Horizon) 2020, H3REF 700bar 수소전기차의 충전을 위한 수소 충전소에 이용되는 신뢰성 있고 가격 경쟁력이 있는 압축기시스템 개발, 6-15대 충전/h, 10년의 내구성, 300,000유로/시스템의 가격임
 - 호라이즌 2020, COSMHYC, 수소충전소용 압축기 개발로 제품의 가격과 에너지 그리고 유지비용을 50%이상 낮추는 것을 목표로 진행, 금속수소화물을 이용한 하이브리드 압축기술 개발 중
 - 미국 DOE의 수소저장용기의 저가화 연구, 금속수소화물을 이용한 고압 컴프레서 개발 중
- 유럽의 린데와 다임러가 공동 개발한 이오닉 압축기(준등온 압축형 고압압축기)는 레시프로 압축기의 피스톤이 안정한 무기화합물(염)의 불휘발성 이온 액체(상온 온도 영역, -30~300°C)로 대체함으로써 기존 피스톤에 의한 압축 수소의 오

염문제 해결

- 린데 이오닉 압축기의 이온 액체에는 오스트리아의 프로이오닉사가 개발한 것이 사용
- 수소 유량은 81kg/h일 때, 소비전력이 45kW이며 이오닉 압축기의 압축비는 3배가 되므로, 우선 30MPa로 승압한 후 이오닉 압축기로 90MPa 까지 승압을 하게 됨



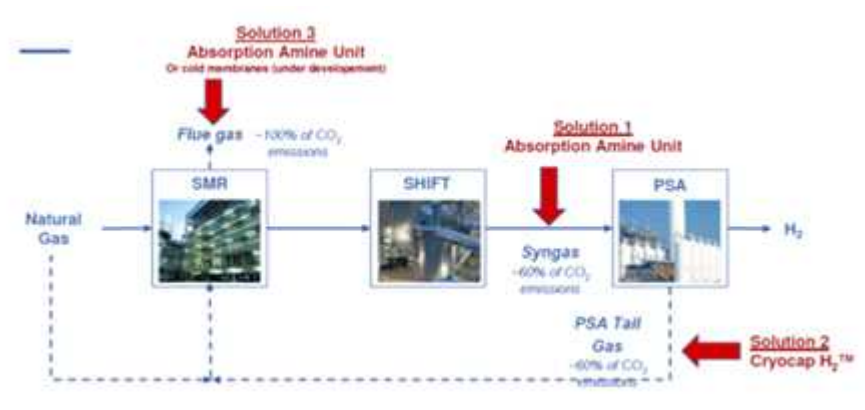
[이오닉 압축기 원리]

- 일본의 (주)플랜트테크놀로지 사는 수소충전소용 100MPa급 수소압축기를 2002년부터 2007년까지 NEDO의 지원을 받아 개발을 완료함
 - 흡입압력 0.6MPa에서 토출압력 100MPa까지이며 용량은 300m³/h급
- 수소충전시간을 단축시키기 위한 기술개발에 대해서 일본의 경우, 수소 충전을 높이기 위한 단계별 실험을 실시하여 현재는 약 1.7kg/min(최대 2.6kg/min)까지 수소충전이 가능하다고 보고됨
 - 충전압력 70MPa에서 5kg을 3분 이내 급속 충전을 하려고 할 경우에는 압축열이 발생되기 때문에 용기 내부의 온도가 85℃ 이상 올라가는 것을 방지하기 위해 수소충전소 디스펜서 전단에 프리쿨러 및 쿨링블럭 적용

4 탄소중립을 위한 온실가스 저감

- DNV GL사는 오일 수요는 현재 피크를 지나갔고 가스 수요도 2030년 초반에 피크가 될 것으로 예상하나, 2050년에도 전세계 에너지의 절반은 여전히 화석연료, 특히 가스로부터 얻어질 것으로 예상
 - 앞으로 수년 동안 화석연료는 에너지믹서에 여전히 남아있기 때문에 발전분야에서 CCS의 사용이 증가하고 수소생산에서도 탈탄소가 이산화탄소 배출감소에 기여할 것으로 예상
 - 국제에너지기구(IEA)의 지속가능한 개발 시나리오 2050에 제안한 내용은 연간 280억톤의 이산화탄소가 포집되어야하고 이를 위해 연간 15백만톤의 포집용량의 CCS 1,800개가 전 세계에 설치되어야 함

- 노르웨이의 Equinor사는 유럽의 주요 오일 생산업자와 이산화탄소 저감과 블루 수소 생산을 위해 Longship CCS 프로젝트 파트너십을 2020년 12월에 맺음
 - 천연가스가 풍부한 노르웨이는 천연가스로부터 수소를 생산하는데 있어 CCS 기술을 적용하여 이산화탄소를 95%이상 처리할 계획
- 영국은 지난해 6월 350백만 파운드를 투자하여 그린수소생산을 포함하여 산업의 탈탄소화를 지원할 계획
 - 이중 139백만 파운드는 천연가스로부터 수소에너지로 전환하는데 있어 CCS 기술을 확대하는데 지원
- 핀란드 기업인 VVT사는 대규모 수소생산시설에 CCS 설비를 적용할 뿐만 아니라 포집된 이산화탄소를 활용하여 PtX(Power-to-fuels)를 통해 합성천연가스(SNG: Synthetic natural gas), 메탄올(MeOH), 피셔-트롭쉬 생산물(FT) 등 탄소중립 수송용 연료로 전환
- 에어리퀴드사는 SMR플랜트에 온실가스 포집기술을 적용하여 기술별 우위를 평가
 - 포집위치는 3군데, 포집방법은 아민흡수제 방법과 냉각방식 2가지를 적용하였고, 먼저 PSA전단에서 아민 흡수제를 사용하여 합성가스를 대상으로 이산화탄소를 포집할 경우 포집효율은 60%수준이며 비용은 톤당 30~40\$ 정도 소요
 - 동일한 방법으로 배기가스에서 포집할 경우 이산화탄소 포집효율은 90%로 증가하나 비용은 톤당 60 ~ 80\$로 두배로 증가
 - PSA후단에서 냉각할 경우 저감효율은 60% 수준으로 유사하지만 비용은 20 ~ 40\$로 비슷하거나 조금 감소하지만 수소생산량이 13%에서 20%로 증가하고 천연가스 사용량도 4%감소하여 CAPEX도 개선되는 것으로 나타남



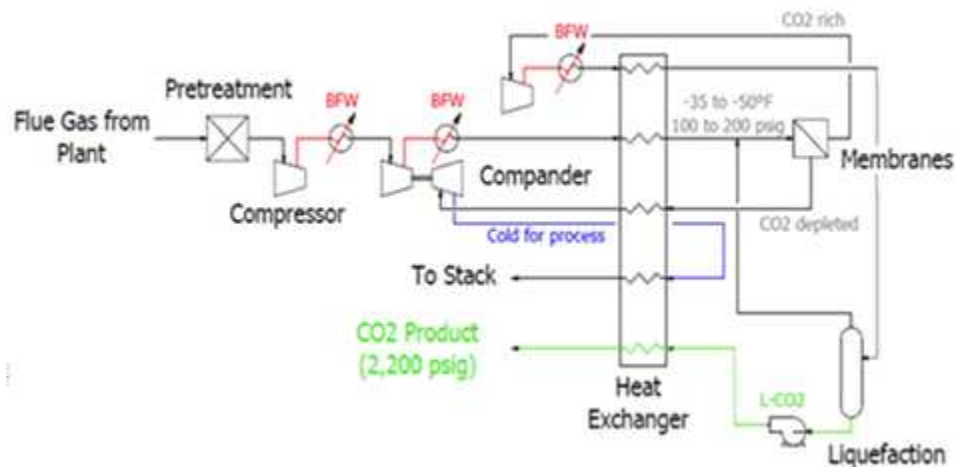
[Air Liquide사의 SMR에서의 CO2 포집 전략]

- 아민 흡수제를 적용한 사례는 캐나다 Northern Alberta에 위치한 2016년도 생산설비로 161,000Nm³/h의 수소를 생산하며, 합성가스로부터 1,200mtpd의 온실

가스를 포집

- 현재 기준으로 80기 이상의 장치에 대해 설계하거나 건설중이고, 운전중인 설비도 20개 이상

- 냉각방식은 2015년 프랑스 Port Jerome에 위치한 50,000Nm³/h의 수소를 생산하는 플랜트로 PSA에서 배출되는 가스 17,000m³/h를 처리하고 300 ton/day의 액체 이산화탄소(99.9%)를 생산
- 새로 개발한 기술로는 DOE와 공동개발하는 하이브리드 멤브레인 및 냉각 기술로서 현재 10ton/day의 크기에서 개발하고 있으며 CO₂ 회수율이 높고 생산된 CO₂를 직접 펌핑하거나 액화할 수 있는 장점

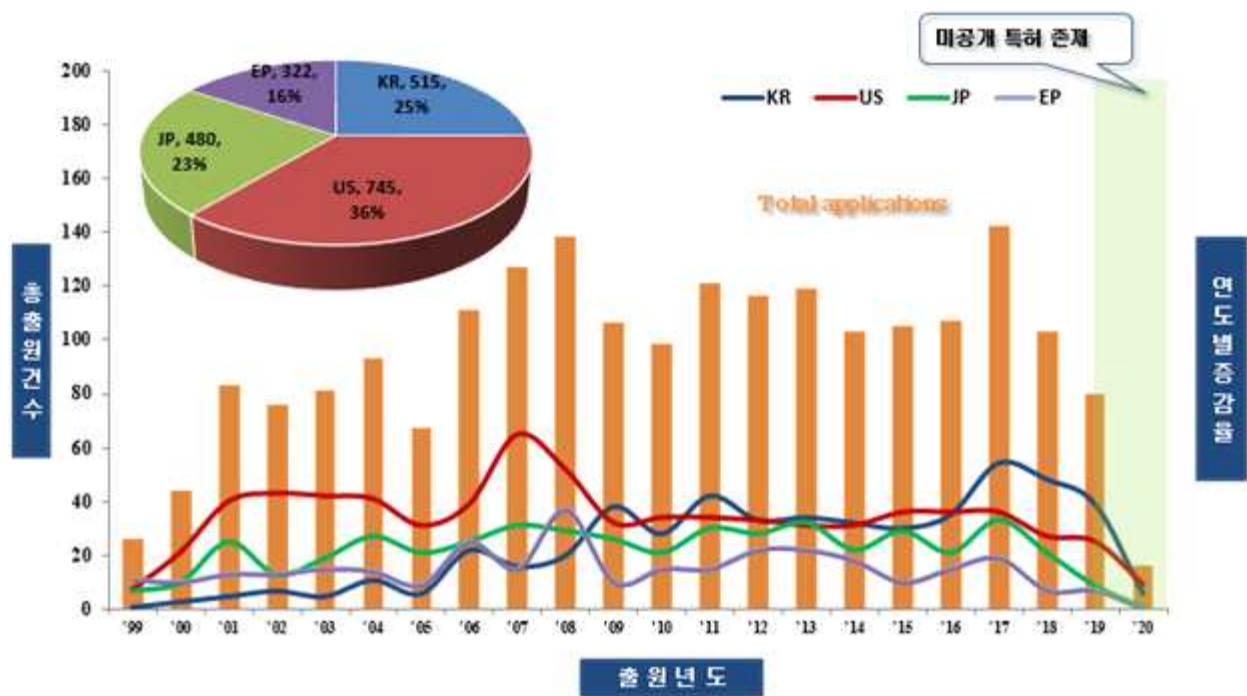


[하이브리드 멤브레인 및 냉각 방식]

3.1.3 특허동향 조사 결과

1) 국가별 전체 특허 동향

- 한국(KR), 미국(US), 일본(JP), 유럽(EP) 국가별 특허기술 출원 점유율을 통해 해당 기술을 선도하는 국가 파악
- 과거부터 최근까지의 국가별 특허기술 출원의 양적 트렌드를 비교하여 타 국가 대비 국내의 기술적 위치 파악



[전체 국가별 - 연도별 출원 동향]

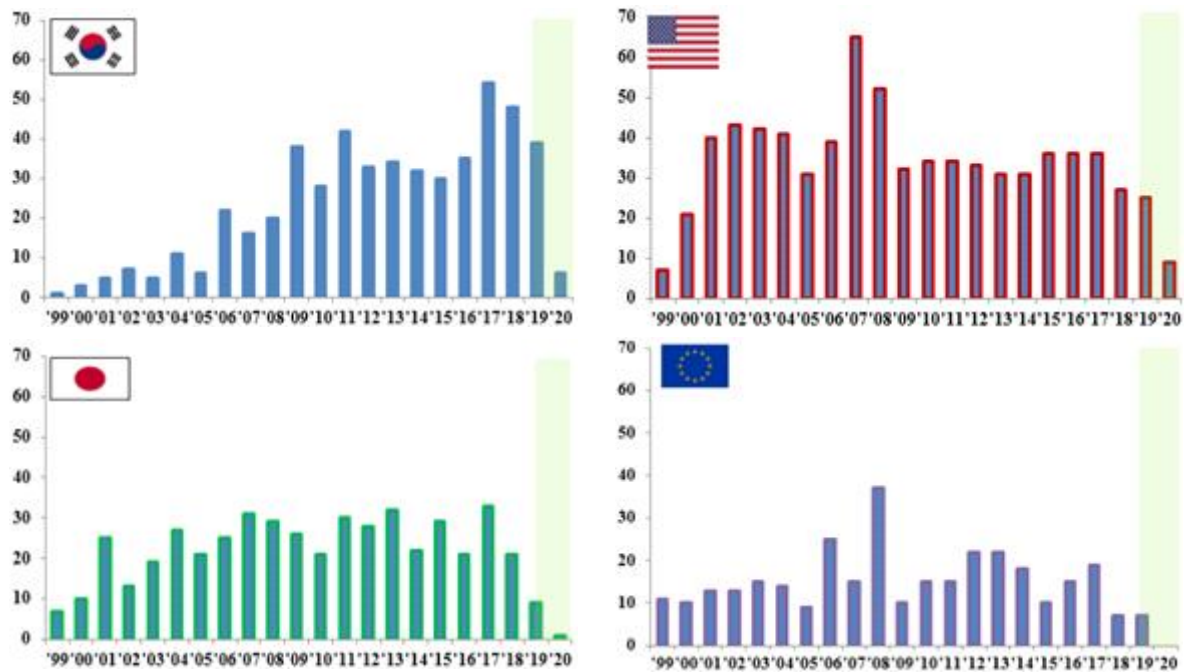
○ 잉여전력 기반 수소 에너지 기술 분야 관련하여 1999년 이후 국가별-연도별 전체 출원 특허 동향을 살펴보면, 2000년을 시작으로 계속 증가하는 추세였으나, 2007년을 최고점으로 소폭 감소하는 추세였으나, 점차 감소세가 줄어들면서 2015년부터 소폭 증가하기 시작하는 것으로 나타남

○ 전체 국가별 점유율을 살펴보면 미국이 36%로 전체시장에서 가장 높은 점유율을 차지하고 있으며, 한국 25%, 일본 23%, 유럽 16% 순으로 시장을 점유하고 있는 것으로 나타나, 미국이 화생전력 기반 수소 에너지 기술관련 시장을 선도하고 있는 것으로 판단됨

2) 주요 국가별 특허동향

○ 개별 국가별-연도별 화생전력 기반 수소 에너지 기술 관련 출원동향을 살펴보면, 한국특허는 전체적으로 점차 증가하는 추세이며, 특히 2007년을 기점으로 감소세를 보이다가 2015년을 기점으로 다시 증가하는 것으로 나타났음.

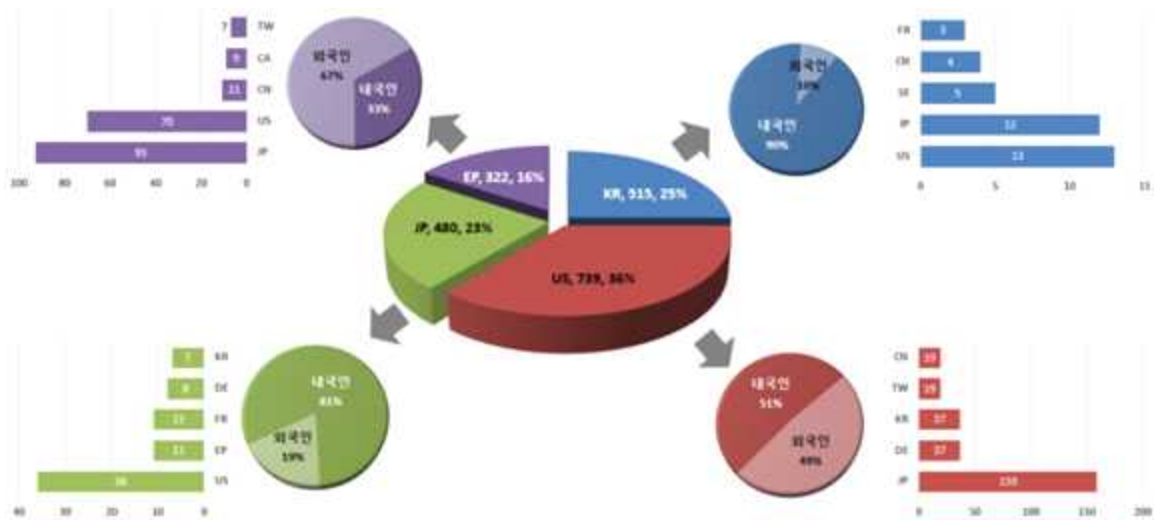
- 최근 수소 에너지 기술에 관한 관심도가 높아지면서, 기술 개발상 다양한 시도가 있는 것으로 인한 것으로 판단됨



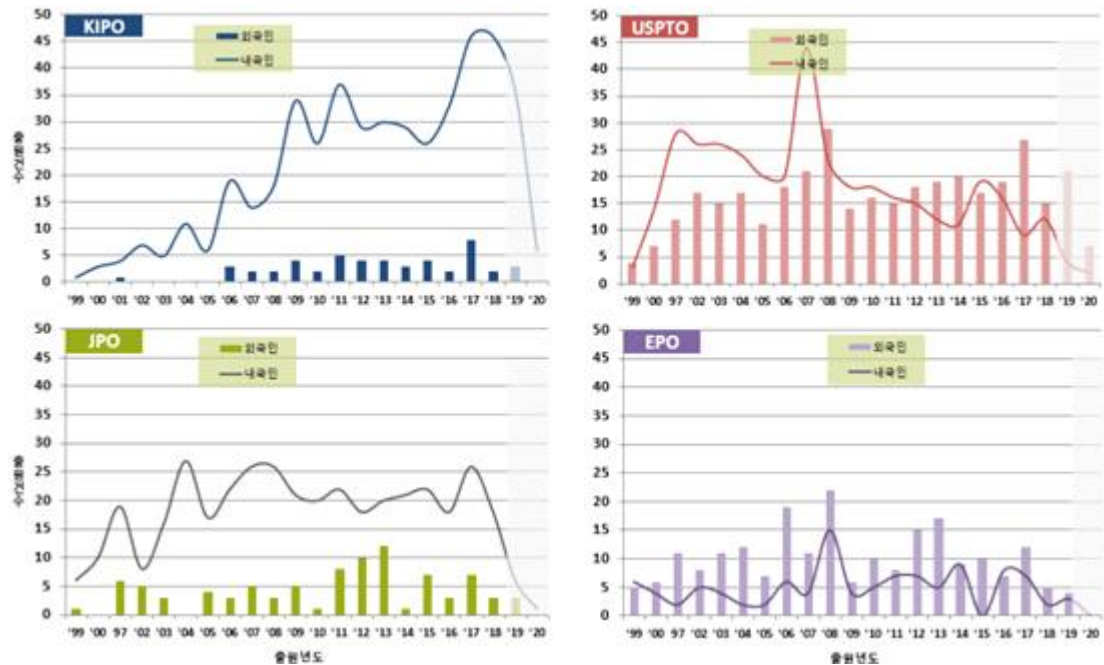
[주요출원국 연도별 출원 동향]

- 미국특허의 1999년부터 2007년까지 증가하는 추세였으나 2007년을 고점으로 서서히 감소하는 추세이며, 2015년을 기점으로 일시적으로 증가하는 변곡점을 보이고 있음.
 - 2010년대 중반 국제 원유가격이 최고점을 기록하면서, 미국 내에서 수소가 대안 에너지로 각광받으며, 기술개발이 증가하는 것으로 판단되며, 이후 국제유가가 감소하면서 수소관련 기술개발도 줄어드는 것으로 판단됨
- 일본특허는 분석구간 초기부터 2004년까지 급격히 증가하였으며, 2004년을 고점으로 급격히 감소하고 있는 것으로 나타남.
 - 국제유가 상승으로 인해, 에너지 자립율이 낮은 일본의 특성상 수소가 새로운 에너지로 각광받으면서 증가한 것으로 판단되며, 이후 장기적인 경기 불황과 기업의 연구개발 활동의 감소로 인해 줄어드는 것으로 판단됨
- 유럽특허는 전반적으로 타국가 대비 낮은 수준의 출원활동을 보이고 있으며, 큰 변화 없이 꾸준한 출원이 유지되고 있는 것으로 나타남.
 - 유럽 내 기업의 출원보다, 시장을 확보하기 위한 외국인 출원인의 영향인 것으로 판단됨

3) 내·외국인 특허동향



[주요출원국 연도별 출원 동향]



[주요출원국 연도별 출원 동향]

- 잉여전력 기반 수소 에너지 기술에 대한 국가별 특허 점유율은 미국(US) 36%, 한국(KR) 25%, 일본(JP) 23%, 유럽(EP) 16%이며, 내·외국인의 특허출원 비율의 경우 한국과 일본은 내국인 비중이 높지만, 미국과 유럽의 경우 외국인 출원의 비중이 높은 것으로 나타남
- 한국(KR)의 내·외국인 특허출원 비율 및 현황을 살펴보면, 내국인 90%, 외국인 10%의 비율이 나타남
 - 타 기술분야에서 통상적으로 나타나는 한국의 특허출원 경향이 내국인 출원 비율 약 60~70%인 것과 비교하여, 본 회생전력 기반 도심형 수소 생산·충전 기술

은 내국인 평균 출원비율 보다 높은 것으로 나타나며, 내국인의 출원 비율은 90%로 내국인 출원의 비중이 월등히 높은 것으로 나타남

- 한국의 외국인 출원인의 경우 미국국적의 출원인이 13건으로 가장 많은 비중으로 나타났으며, 그 뒤를 이어 일본 국적의 출원인이 12건으로 2위를 차지하고 있는 것으로 나타남, 이는 일본과 미국 출원인이 국내 시장 진출을 시도한 것으로 파악됨
- 내외국인 연도별 출원동향을 살펴보면, 내국인이 동향을 주도하고 있는 것으로 나타났으며, 외국인의 경우 특별한 동향 없이 꾸준히 출원을 이어나가고 있는 것으로 나타남

○ 미국(US)의 내·외국인 특허출원 비율 및 현황을 살펴보면, 내국인 51%, 외국인 49%의 비율이 나타남

- 타 기술분야에서 통상적으로 나타나는 미국의 특허출원 경향이 내국인 출원 비율 약 55% 내외인 것과 비교하여, 미국은 외국인의 출원 경향이 비교적 높게 나타나며, 외국인의 출원 비율은 49%로 출원의 다소 비중이 높은 것으로 나타남
- 미국의 경우, 일본국적의 출원인이 139건으로 가장 많은 비중으로 나타났으며, 그 뒤를 이어 독일 국적의 출원인이 37건으로 2위를 차지하고 있는 것으로 나타나며 일본이 미국 시장 진출에 적극적인 시도를 한 것으로 파악됨
- 내외국인 연도별 출원동향을 살펴보면, 내국인과 외국인의 출원 동향은 서로 유사한 것으로 나타남

○ 일본(JP)의 내·외국인 특허출원 비율 및 현황을 살펴보면, 내국인 81%, 외국인 19%의 비율이 나타남

- 타 기술분야에서 통상적으로 나타나는 일본의 특허출원 경향이 내국인 출원 비율 약 80% 내외인 것과 비교하여, 일본은 회생전력 기반 도심형 수소 생산·충전 기술에 대한 내국인 출원비중이 통상적인 것으로 나타나며, 외국인의 출원 비율은 19%로 외국인 출원의 비중이 낮은 것으로 나타남
- 일본의 경우, 미국국적의 출원인이 36건으로 가장 많은 비중으로 나타났으며, 그 뒤를 이어 유럽의 출원인이 다수를 차지하고 있는 것으로 나타남
- 일본(JP) 특허기술의 내·외국인 출원 현황에서, 분석 구간 내에 내국인의 출원 비중이 상당히 높은 것으로 나타나, 전반적으로 해당 기술의 자국 중심 연구·개발 특성이 강하다는 것을 시사하는 것으로 해석할 수 있음
- 외국인의 출원 동향의 경우, 특징 없이 꾸준히 출원되고 있는 것으로 판단됨

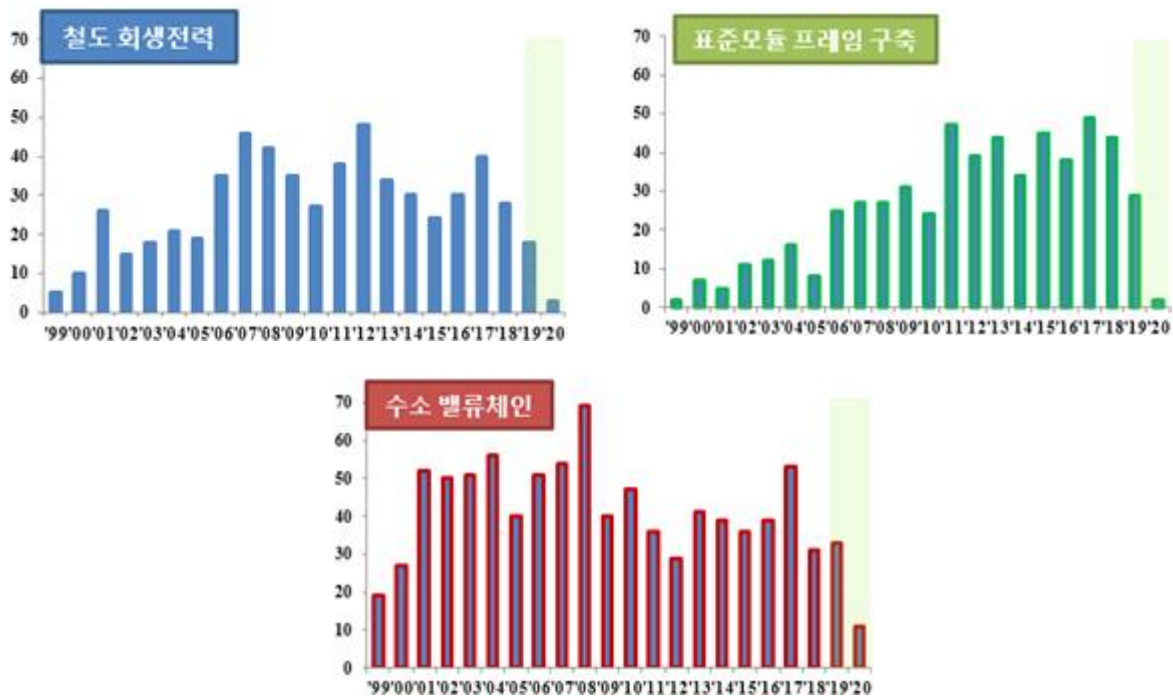
○ 유럽(EP)의 내·외국인 특허출원 비율 및 현황을 살펴보면, 내국인 33%, 외국인 67%의 비율이 나타나며 유럽 특허에서의 내국인은 유럽연합(EU)가입국 국적의 출원인을 의미하고 외국인은 그 외 국적의 출원인을 의미함

- 본 회생전력 기반 도심형 수소 생산·충전 기술의 유럽특허는 외국인의 출원 비율이 67%나 차지하여, 내국인 출원비중보다 높은 것으로 나타남
- 유럽 경우, 일본국적의 출원인이 93건으로 가장 많은 비중으로 나타났으며, 그 뒤를 이어 미국 국적의 출원인이 70건으로 2위를 차지하고 있는 것으로 나타남

4) 기술분야별 특허동향



[기술별 연도별 출원 동향]



[기술별 연도별 출원 동향]

○ 잉여전력 기반 도심형 수소 생산·충전 기술과 관련하여 전체 출원동향을 거시적으로 살펴보면, 1999년 이후 국가별-연도별 전체 출원 특허 동향을 살펴보면,

2000년을 시작으로 계속 증가하는 추세였으나, 2008년을 최고점으로 소폭 감소하는 추세였으나, 점차 감소세가 줄어들면서 2017년부터 소폭 증가하기 시작하는 것으로 나타남

- 철도 회생전력 기술분야는 전체적으로 점차 증가하는 추세이며, 특히 2007년을 기점으로 감소세를 보이다가 2016년을 기점으로 다시 증가하는 것으로 나타났음. 이는 최근 회생전력 기술에 관한 관심도가 높아지면서, 기술 개발상 다양한 시도가 있는 것으로 인한 것으로 판단됨
- 표준모듈 프레임 구축 기술 기술분야는 전체동향과 유사한 패턴을 보이고 있는 것으로 나타났으며, 이는 수소 생산과 가장 밀접한 기술이기 때문에 동시에 개발되고 있는 영향인 것으로 판단되며, 2011년을 고점으로 꾸준히 출원을 유지하고 있는 추세이며, 에너지 효율화가 주목을 받음에 따라 효율적인 회생전력 시스템 기술 연구는 지속되고 있는 것으로 보여짐
- 수소 생산·충전 기술 분야는 전체 출원동향과 유사한 패턴을 보이고 있는 것으로 나타났으며, 이는 수소 생산시 가장 밀접한 기술이기 때문에 개발이 활발한 것으로 판단되며, 2008년을 고점으로 서서히 감소하고 추세이나, 수소의 에너지화가 주목을 받음에 따라 수소를 에너지원으로 이용할 수 있는 기술 연구는 지속되고 있는 것으로 보여짐

5) 주요출원인 특허동향

가. 주요출원인 현황 및 집중기술 분석

(1) 다출원 기준 주요 출원인 현황 분석

- 잉여전력 기반 수소 에너지 기술과 관련하여 일본 국적의 기업인 HITACHI社가 가장 많은 특허를 보유하고 있는 것으로 나타났으며, 뒤이어 일본 국적의 기업인 TOSHIBA社가 한국 국적의 기업인 한국철도기술연구원社가 상대적으로 다수의 특허를 보유하고 있으며, 대부분 일본기업과 한국 기업이 TOP10 출원인의 대부분을 차지하고 있는 것으로 나타남
- 출원 기준 상위 10위에 해당하는 주요 출원인의 국적 비중을 살펴본 결과, 일본 국적의 기업이 8개로 80%를 차지하고 있으며, 한국기업은 각각 2개로 20%를 차지하였음. 주요 출원인의 기관특성을 살펴본 결과, 대부분의 주요출원인이 산업계에 속하는 것으로 나타나, 해당 기술은 산업계를 중심으로 연구개발 활동이 이루어지고 있는 것으로 판단할 수 있음

- 다출원 기준 상위 10위의 주요 출원인은 대부분 자국에 출원권을 보유하고 있는 것으로 나타났으며, 또한 미국, 유럽등 주요 시장국에 출원을 동시에 진행하고 있으며, 한국에도 출원을 진행하고 있는 것으로 나타남

No.	출원인명	국적	주요국출원 건수				주요 시장국	집중기술 분야	최근 5년간 증가율
			KR	US	JP	EP			
1	HITACHI LTD	일본	2	14	58	11	일본	회생전력	-61%
2	한국철도기술연구원	한국	57	0	0	0	한국	회생전력	-65%
3	TOSHIBA	일본	0	7	40	7	일본	회생전력	91%
4	HYUNDAI MOTOR	한국	29	19	2	0	한국	수소 밸류체인	8%
5	TOYOTA MOTOR	일본	0	19	23	4	일본	수소 밸류체인	500%
6	mitsubishi electric	일본	1	14	12	10	미국	회생전력	-15%
7	HONDA MOTOR	일본	0	14	8	5	미국	수소 밸류체인	-40%
8	RAILWAY TECHNICAL RESEARCH INSTITUTE	일본	0	0	25	0	일본	회생전력	-50%
9	MEIDENSHA	일본	0	0	24	1	일본	회생전력	-25%
10	JFE STEEL	일본	2	0	21	0	일본	표준모듈 프레임	0%

- 다출원 주요 출원인별 최근 5년 출원 증가율은 최근 10년 범위 내에서 과거 5년 대비 최근 5년의 출원 증가율로 각 출원인별 보유 특허기술의 부상도를 가늠할 수 있음. 상위 1위 다출원인인 일본의 HITACHI社의 출원증가율은 -61%로 보유건수 대비 낮은 수치의 출원 증가율을 보여주고 있으며, 일본의 TOSHIBA社는 출원증가율이 97%로 나타나, 높은 증가율을 보이는 것으로 나타남

(2) 국가별 주요 출원인 현황 분석

- 잉여전력 기반 수소 에너지 기술과 관련하여 한국, 미국, 일본, 유럽 특허청별 다출원 기준 주요 기관 및 기업을 살펴본 결과, 한국(KIPO)은 한국철도기술연구원社를 비롯해 HYUNDAI MOTOR, 엘지전자 社 등 자국 국적의 기업 및 연구기관이 다수의 특허를 출원한 것으로 나타났으며 산업계뿐만 아니라 연구계에서도 본 기술에 대한 특허를 출원한 것으로 나타남
- TOYOTA MOTOR 社 등 자국 기업이 뿐만 아니라, 미국 국적의 기업인 GM Global Technology 社가 상위 출원인을 차지하고 있는 것으로 나타남. 대부분

에너지 및 자동차 산업과 관련된 기업인 것으로 나타남

순위	KIPO		USPTO		JPO		EPO	
	출원인	출원 건수	출원인	출원 건수	출원인 (국적)	출원 건수	출원인 (국적)	출원 건수
1	한국철도기술 연구원	57	HYUNDAI MOTOR CO LTD	19	HITACHI LTD	58	HITACHI LTD	11
2	HYUNDAI MOTOR CO LTD	29	TOYOTA MOTOR CORP	19	TOSHIBA	40	MITSUBISHI ELECTRIC CORP	10
3	엘지전자 주식회사	15	Tai-Her Yang	14	RAILWAY TECHNICAL RESEARCH INSTITUTE	25	TOSHIBA	7
4	한국조선해양 주식회사	8	MITSUBISHI ELECTRIC CORP	14	MEIDENSHA CORP	24	SAUDI ARABIAN OIL COMPANY	6
5	현대모비스 주식회사	8	HITACHI LTD	14	TOYOTA MOTOR CORP	23	SHELL INT RESEARCH	6
6	한국전력공사	7	HONDA MOTOR CO LTD	14	JFE STEEL CORP	21	HONDA MOTOR CO LTD	5
7	대우조선해양 주식회사	6	GM Global Technology Operations LLC	13	MITSUBISHI ELECTRIC CORP	12	SIEMENS AKTIENGESELL SCHAFT	5
8	한국에너지기 술연구원	5	NANOPTEK CORP	12	HONDA MOTOR CO LTD	8	PANASONIC IP MANAGEMEN T CORP	5
9	(주)지필로스	4	FORD GLOBAL TECH LLC	11	MAZDA MOTOR CORP	7	NISSAN MOTOR CO LTD	5
10	포항공과대학 교 산학협력단	4	GENERAL ELECTRIC COMPANY	9	NISSAN MOTOR CO LTD	7	ENERGY CONVERSION DEVICES INC	4

- 일본(JPO)은 자국 기업인 HITACHI 社, TOSHIBA社등 대부분 일본기업이 상위출원인을 차지하고 있는 것으로 나타났으며, HONDA MOTOR社, NISSAN MOTOR社 같은 자동차 기업 뿐만 아니라, JRAILWAY TECHNICAL RESEARCH INSTITUTE와 같은 연구원이 다수를 차지하고 있음
- 유럽(EPO)는 일본 기업인 HITACHI社가 상위 출원인으로 나타났으며, 뒤를 이어 일본의 MITSUBISHI ELECTRIC社, 사우디아라비아의 SAUDI ARABIAN OIL社, SHELL INT RESEARCH社이 상위출원인을 차지하고 있는 것으로 나타났으며, 국외 출원인이 대부분임. 출원인의 경향을 살펴보면 에너지 관련 기업이 대부분인 것으로 나타남
- 회생전력 기반 회생전력 기반 수소 에너지 기술분야에서 통상적으로 주요 출원

인의 기관 성격을 살펴보면, 한국(KIPO)의 경우, 기업 및 연구소 모두 특허 출원이 활발하고, 반면 미국(USPTO)등 해외에서는 산업계의 특허 출원이 활발한 것으로 나타났으며, 이외에도 다수의 산업계 출원인이 순위 내 진입해 미국의 경우 본 기술은 산업계에서 활발하게 연구개발이 진행되고 있는 것으로 나타났고, 대부분 자동차 및 에너지 관련 기업인 것으로 나타남

나. 철도 회생전력 기술 주요출원인 현황 및 집중기술 분석

(1) 다출원 기준 주요 출원인 현황 분석

No.	출원인명	국적	주요국출원 건수				주요 시장국	최근 5년간 증가율
			KR	US	JP	EP		
1	HITACHI LTD	일본	2	5	50	8	일본	-48%
2	한국철도기술연구원	한국	57	0	0	0	한국	-65%
3	TOSHIBA	일본	0	3	32	6	일본	56%
4	MITSUBISHI ELECTRIC CORP	일본	1	13	9	10	미국	-25%
5	RAILWAY TECHNICAL RESEARCH INSTITUTE	일본	0	0	25	0	일본	-50%
6	MEIDENSHA CORP	일본	0	0	21	1	일본	-38%
7	HYUNDAI MOTOR CO LTD	일본	12	2	2	0	한국	33%
8	RENAULT	미국	3	1	4	3	일본	25%
9	GENERAL ELECTRIC COMPANY	한국	0	6	0	1	미국	0%
10	TOYOTA MOTOR CORP	일본	0	0	7	0	일본	0%

○ 철도 잉여전력 기술과 관련하여 일본 국적의 기업인 HITACHI社가 가장 많은 특허를 보유하고 있는 것으로 나타났으며, 뒤이어 한국 국적의 연구원인 한국철도기술연구원, 일본 국적의 기업인 TOSHIBA차社, MITSUBISHI ELECTRIC社 순인 것으로 나타났으며, 일본, 한국 출원인이 대부분인 것으로 나타남

○ 출원 기준 상위 10위에 해당하는 주요 출원인의 국적 비중을 살펴본 결과, 대부분 일본 국적의 기업이 대부분으로 70%를 차지하고 있으며, 한국과 미국 국적의 출원인이 나머지를 차지하였음. 주요 출원인의 기관 특성을 살펴본 결과, 대부분의 주요출원인이 산업계에 속하는 것으로 나타나, 해당 기술은 산업계를 중심으

로 연구개발 활동이 이루어지고 있는 것으로 판단할 수 있음

- 다출원 기준 상위 10위의 주요 출원인은 대부분 자국에 출원권을 보유하고 있는 것으로 나타났으며, 또한 미국, 유럽등 주요 시장국에 출원을 동시에 진행하고 있으며, 한국에도 출원을 진행하고 있는 것으로 나타남

(2) 국가별 주요 출원인 현황 분석

순위	KIPO		USPTO		JPO		EPO	
	출원인	출원건수	출원인	출원건수	출원인 (국적)	출원건수	출원인 (국적)	출원건수
1	한국철도기술연구원	57	MITSUBISHI ELECTRIC CORP	13	HITACHI LTD	50	MITSUBISHI ELECTRIC CORP	10
2	HYUNDAI MOTOR CO LTD	12	GENERAL ELECTRIC COMPANY	6	TOSHIBA	32	HITACHI LTD	8
3	한국조선해양주식회사	4	HITACHI LTD	5	RAILWAY TECHNICAL RESEARCH INSTITUTE	25	TOSHIBA	6
4	주식회사우진산전	3	TOSHIBA	3	MEIDENSHA CORP	21	ALSTOM Transport Technologies	4
5	연세대학교 산학협력단	3	Goldstein Biomedical Consultants LLC	3	MITSUBISHI ELECTRIC CORP	9	RENAULT	3

- 철도 잉여전력 기술과 관련하여 한국, 미국, 일본, 유럽 특허청별 다출원 기준 주요 기관 및 기업을 살펴본 결과, 한국(KIPO)은 한국철도기술연구원을 비롯해 HYUNDAI MOTOR社, 한국조선해양社 등 자국 국적의 기업 및 연구기관이 다수의 특허를 출원한 것으로 나타났으며 산업계뿐만 아니라 연구계에서도 본 기술에 대한 특허를 출원한 것으로 나타남
- 미국(USPTO)의 경우, 일본 국적 기업인 MITSUBISHI ELECTRIC社가 최상위 출원인을 차지하고 있으며, 자국 기업인 GENERAL ELECTRIC 社가 뒤를 이어 상위출원인으로 나타났음. 대부분 전기전자 산업과 관련된 기업인 것으로 나타남
- 일본(JPO)은 자국 기업인 HITACHI LTD社, TOSHIBA社 등 대부분 일본기업이 상위출원인을 차지하고 있는 것으로 나타났으며, RAILWAY TECHNICAL RESEARCH INSTITUTE社 같은연구원 뿐만 아니라, MITSUBISHI ELECTRIC社와 같은 전자기술 관련 기업이 다수를 차지하고 있음
- 유럽(EPO)는 일본 기업인 MITSUBISHI ELECTRIC社가 상위 출원인으로 나타났

으며, 뒤를 이어 일본 기업인 HITACHI社가 상위출원인을 차지하고 있는 것으로 나타났으며, 일본 국적의 출원인이 상위를 차지하는 빈도가 높은 것으로 나타남

다. 표준모듈 프레임 구축 기술 주요출원인 현황 및 집중기술 분석

(1) 다출원 기준 주요 출원인 현황 분석

No.	출원인명	국적	주요국출원 건수				주요 시장국	최근 5년간 증가율
			KR	US	JP	EP		
1	JFE STEEL CORP	일본	2	0	21	0	일본	0%
2	TOYOTA MOTOR CORP	일본	0	7	8	1	일본	100%
3	엘지전자 주식회사	한국	14	0	0	0	한국	-50%
4	HYUNDAI MOTOR CO LTD	한국	9	1	0	0	한국	0%
5	GM Global Technology Operations LLC	미국	0	6	0	1	미국	-60%
6	HITACHI LTD	일본	0	1	4	1	일본	-100%
7	ROBERT BOSCH GMBH	독일	0	2	2	2	미국	-50%
8	FORD GLOBAL TECH LLC	미국	0	6	0	0	미국	-100%
9	현대모비스 주식회사	한국	6	0	0	0	한국	0%
10	YANMAR POWER TECHNOLOGY	일본	0	0	5	0	일본	0%

- 표준모듈 프레임 구축 기술과 관련하여 일본 국적의 기업인 JFE STEEL社, TOYOTA MOTOR社가 가장 많은 특허를 보유하고 있는 것으로 나타났으며, 뒤 이어 한국 국적의 기업인 엘지전자社, HYUNDAI MOTOR社 순인 것으로 나타났으며, 일본, 한국 출원인이 대부분인 것으로 나타남
- 출원 기준 상위 10위에 해당하는 주요 출원인의 국적 비중을 살펴본 결과, 일본과 한국 국적의 기업이 각각 4개로 40%를 차지하고 있으며, 한국과 미국 국적의 출원인이 나머지를 차지하였음. 주요 출원인의 기관특성을 살펴본 결과, 대부분의 주요출원인이 산업계에 속하는 것으로 나타나, 해당 기술은 산업계를 중심으로 연구개발 활동이 이루어지고 있는 것으로 판단할 수 있음
- 다출원 기준 상위 10위의 주요 출원인은 대부분 자국에 출원권을 보유하고 있는

것으로 나타났으며, 또한 미국, 유럽등 주요 시장국에 출원을 동시에 진행하고 있으며, 한국에도 출원을 진행하고 있는 것으로 나타남

(2) 국가별 주요 출원인 현황 분석

순위	KIPO		USPTO		JPO		EPO	
	출원인	출원건수	출원인	출원건수	출원인 (국적)	출원건수	출원인 (국적)	출원건수
1	엘지전자 주식회사	14	TOYOTA MOTOR CORP	7	JFE STEEL CORP	21	ArvinMeritor Technology, LLC	3
2	HYUNDAI MOTOR CO LTD	9	FORD GLOBAL TECH LLC	6	TOYOTA MOTOR CORP	8	ROBERT BOSCH GMBH	2
3	현대모비스 주식회사	6	GM Global Technology Operations LLC	6	YANMAR POWER TECHNOLOGY CO LTD	5	TNO	2
4	한국에너지기 술연구원	5	TOYOTA ENG & MFG NORTH AME	3	HITACHI LTD	4	SCHNEIDER TOSHIBA INVERTER EUROPE SAS	2
5	포항공과대학 교 산학협력단	4	OVONIC BATTERY CO	3	NISSAN MOTOR CO LTD	4	SIEMENS AKTIENGESSELL SCHAFT	2

- 표준모듈 프레임 구축을 기술과 관련하여 한국, 미국, 일본, 유럽 특허청별 다출원 기준 주요 기관 및 기업을 살펴본 결과, 한국(KIPO)은 HYUNDAI MOTOR를 비롯해 LG전자社, 한국에너지기술연구원 등 자국 국적의 기업 및 연구기관이 다수의 특허를 출원한 것으로 나타났으며 산업계뿐만 아니라 연구계에서도 본 기술에 대한 특허를 출원한 것으로 나타남
- 미국(USPTO)의 경우, 일본 국적 기업인 TOYOTA MOTOR社가 최상위 출원인을 차지하고 있으며, 자국 기업인 FORD GLOBAL TECH社, GM Global Technology社가 뒤를 이어 상위출원인으로 나타났음. 대부분 차량 산업과 관련된 기업인 것으로 나타남
- 일본(JPO)은 자국 기업인 JFE STEEL 社, TOYOTA MOTOR社 등 대부분 일본기업이 상위출원인을 차지하고 있는 것으로 나타났으며, YANMAR POWER TECH社, HITACHI社 같은 전기전자 기업 뿐만 아니라, NISSAN MOTOR社와 같은 자동차 관련 기업이 다수를 차지하고 있음
- 유럽(EPO)는 프랑스 기업인 COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE社가 상위 출원인으로 나타났으며, 뒤를 이어 미국 기업인 ENERGY CONVERSION DEVICES 社, 일본의 MATSUSHITA ELECTRIC 社가 상위출원인을 차지하고 있

는 것으로 나타났으며, 다른기술분야와 다르게 유럽국적의 출원인이 상위를 차지하는 빈도가 높은 것으로 나타남

라. 수소 생산·충전 기술 주요출원인 현황 및 집중기술 분석

(1) 다출원 기준 주요 출원인 현황 분석

No.	출원인명	국적	주요국출원 건수				주요 시장국	최근 5년간 증가율
			KR	US	JP	EP		
1	HYUNDAI MOTOR CO LTD	한국	8	16	0	0	미국	0%
2	HONDA MOTOR CO LTD	일본	0	12	6	5	미국	-50%
3	TOYOTA MOTOR CORP	일본	0	12	8	3	미국	800%
4	HITACHI LTD	일본	0	8	4	2	미국	-100%
5	NANOPTEK CORP	미국	0	12	0	1	미국	-75%
6	SANYO ELECTRIC CO LTD	일본	0	7	1	4	미국	-100%
7	SHELL INT RESEARCH	영국	1	4	0	6	유럽	-63%
8	TOSHIBA	일본	0	4	6	1	일본	600%
9	PANASONIC IP MANAGEMENT CORP	일본	0	5	0	5	미국 유럽	0%
10	SAUDI ARABIAN OIL COMPANY	사우디	1	2	0	6	유럽	0%

- 수소 생산·충전 기술과 관련하여 한국 국적의 기업인 HYUNDAI MOTOR社가 가장 많은 특허를 보유하고 있는 것으로 나타났으며, 뒤이어 일본 국적의 기업인 HONDA MOTOR社, TOYOTA MOTOR社 순인 것으로 나타났으며, 일본, 한국 출원인이 대부분인 것으로 나타남
- 출원 기준 상위 10위에 해당하는 주요 출원인의 국적 비중을 살펴본 결과, 일본과 한국 국적의 기업이 각각 6개로 60%를 차지하고 있으며, 한국과 미국 국적의 출원인이 나머지를 차지하였음. 주요 출원인의 기관 특성을 살펴본 결과, 대부분의 주요출원인이 산업계에 속하는 것으로 나타나, 해당 기술은 산업계를 중심으로 연구개발 활동이 이루어지고 있는 것으로 판단할 수 있음
- 다출원 기준 상위 10위의 주요 출원인은 대부분 자국에 출원권을 보유하고 있는 것으로 나타났으며, 또한 미국, 유럽등 주요 시장국에 출원을 동시에 진행하고 있으며, 한국에도 출원을 진행하고 있는 것으로 나타남

(2) 국가별 주요 출원인 현황 분석

순위	KIPO		USPTO		JPO		EPO	
	출원인	출원건수	출원인	출원건수	출원인(국적)	출원건수	출원인(국적)	출원건수
1	HYUNDAI MOTOR CO LTD	8	HYUNDAI MOTOR CO LTD	16	TOYOTA MOTOR CORP	8	SHELL INT RESEARCH	6
2	대우조선해양주식회사	4	NANOPTEK CORP	12	TOSHIBA	6	SAUDI ARABIAN OIL COMPANY	6
3	지에스칼텍스주식회사	3	TOYOTA MOTOR CORP	12	HITACHI PLANT MECHANICS CO LTD	6	PANASONIC IP MANAGEMENT CORP	5
4	(주)케이워터크레프트	2	HONDA MOTOR CO LTD	12	HONDA MOTOR CO LTD	6	HONDA MOTOR CO LTD	5
5	주식회사삼정이앤씨	2	MILLENNIUM CELL	9	HITACHI LTD	4	SANYO ELECTRIC CO LTD	4

- 수소 생산·충전 기술과 관련하여 한국, 미국, 일본, 유럽 특허청별 다출원 기준 주요 기관 및 기업을 살펴본 결과, 한국(KIPO)은 HYUNDAI MOTOR社, 대우조선해양社 등 자국 국적의 기업이 다수의 특허를 출원한 것으로 나타났으며 산업계뿐만 아니라 연구계에서도 본 기술에 대한 특허를 출원한 것으로 나타남
- 미국(USPTO)의 경우, 한국 국적 기업인 HYUNDAI MOTOR社가 최상위 출원인을 차지하고 있으며, 자국 기업인 NANOPTEK社가 뒤를 이어 상위출원인으로 나타났음. 대부분 에너지 및 자동차 산업과 관련된 기업인 것으로 나타남
- 일본(JPO)은 자국 기업인 TOYOTA MOTOR社 등 대부분 일본기업이 상위출원인을 차지하고 있는 것으로 나타났으며, HONDA MOTOR社 같은 자동차 기업 뿐만 아니라, HITACHI PLANT社와 같은 중공업, 철강, 에너지 관련 기업이 다수를 차지하고 있음
- 유럽(EPO)는 영국 기업인 SHELL INT RESEARCH社가 상위 출원인으로 나타났으며, 뒤를 이어 사우디 기업인 SAUDI ARABIAN OIL COMPANY 社, 일본의 PANASONIC IP MANAGEMENT社가 상위출원인을 차지하고 있는 것으로 나타났으며, 다른기술분야와 다르게 유럽국적의 출원인이 상위를 차지하는 빈도가 높은 것으로 나타남

6) 핵심특허 분석

- 회생전력 기반 수소 에너지 기술 관련 핵심특허는 크게 3단계를 거쳐 선정함
- 기술의 내용, 권리상태, 주요출원인, 권리범위를 고려하여 기술분야에 대한 검

색결과 2,062건의 특허 도출함

- 수행기관에 의해 검색결과에 따른 대상특허 2,062건 중 기술내용 파악을 통해 유효성이 검증된 100건의 유효특허를 선정함
- 수행기관의 심층 검토결과 연구관련성이 높은 특허 선정하였으며, 개인 출원을 제외한 기관, 기업 출원인 및 등록 유지된 69건을 특허분석을 진행함



[핵심특허 도출 프로세서]

○ 핵심특허 리스트

번호	국가	특허번호	출원일	발명의 명칭	출원인	기술 분야
1	KR	10-2207942	2019-11-19	에너지저장시스템을 포함하는 직류전기 철도 급전시스템 설계 방법	한국철도공사	회생전력
2	KR	10-2138818	2018-11-05	추진제어 인버터 시스템 냉각방식에 따 른 차상 에너지저장장치의 용량산정 방 법	한국철도기술연구원	회생전력
3	JP	2017-24960 6	2017-12-26	철도용 전력 저장 장치	GS YUASA CORP	회생전력
4	JP	6829069	2016-12-28	철도 차량용 회로 시스템	TOSHIBA CORP	회생전력
5	KR	10-1636898	2014-04-02	철도 역사 전력 관리 장치	한국철도기술연구원	회생전력
6	JP	5452371	2010-06-01	철도 차량의 구동 장치	HITACHI LTD	회생전력

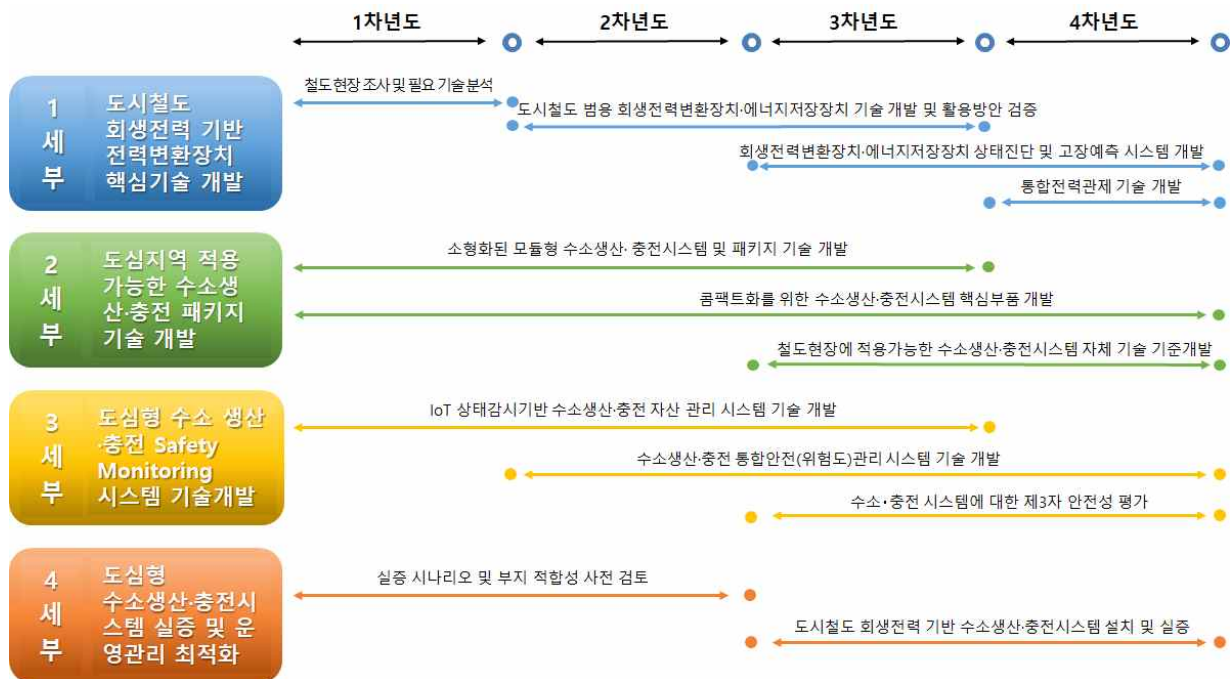
7	KR	10-0865167	2006-12-19	전철변전소의 회생인버터 제어방법	한국철도기술연구원	회생전력
8	KR	10-0998873	2006-08-18	직류 전기 철도의 전력 저장 장치	메이덴사 코포레이션	회생전력
9	KR	10-0794901	2003-12-24	직류전철용 가변 회생저항기 및 그 제어방법	한국조선해양 주식회사	회생전력
10	KR	10-1966539	2017-08-21	회생에너지를 활용한 제동 시스템 및 방법	한국철도기술연구원	회생전력
11	US	10677354	2017-06-22	Hydraulic vehicle incorporating efficient energy storage and regeneration system	Energy Spring Ltd.	회생전력
12	US	10279686	2017-03-01	Locomotive regenerative electric energy feedback system with ice melting function and control method	NR ELECTRIC CO., LTD	회생전력
13	US	10023071	2016-07-28	Train control method for maximizing utilization of regenerative energy	Beijing Jiaotong University	회생전력
14	US	10843715	2016-04-01	Regenerative railway braking system	Transnet Soc Limited	회생전력
15	US	10135255	2016-02-18	Motor control apparatus in which power regeneration are adjusted, controller for converter, machine learning apparatus and method thereof	FANUC CORPORATION	회생전력
16	KR	10-1182252	2010-06-30	회생전원을 이용한 철도차량 충,방전시스템	서울메트로	회생전력
17	US	8862356	2010-03-02	Regenerative brake system reset feature and adaptive calibration for hybrid and electric vehicles	International Truck Intellectual Property Company, LLC	회생전력
18	US	8710702	2009-12-16	Regenerative power storage system mounted on DC electric railway car	한국철도기술연구원	회생전력
19	US	8255106	2008-11-12	Method for controlling the regenerative braking of a vehicle including at least one electric motor	Renault S.A.S.	회생전력
20	KR	10-0981305	2008-06-19	전기철도 차량의 회생 에너지 저장 시스템	한국철도기술연구원	회생전력
21	KR	10-0863458	2007-05-14	A C계통 연계 변압기를 사용한 D C 회생 인버터출력시험장치	한국철도기술연구원	회생전력
22	KR	10-0890951	2007-04-16	전기이중층 커패시터를 이용한 도시철도의 회생전력저장시스템	한국철도기술연구원	회생전력
23	KR	10-0862288	2006-12-19	전철변전소 회생인버터의 순환전류감시 장치 및 제어방법	한국철도기술연구원	회생전력

24	KR	10-0803327	2006-06-19	지하철 변전소의 회생인버터 커패시터 충전장치	한국철도기술연구원	회생전력
25	KR	10-0744482	2006-06-19	지하철 변전소의 회생인버터 직류링크 단 전압안정화장치	한국철도기술연구원	회생전력
26	KR	10-0713840	2005-12-20	전동차의 회생전력 저장시스템	한국철도기술연구원	회생전력
27	KR	10-0659366	2004-12-24	도시철도의 회생전력 저장시스템	한국철도기술연구원	회생전력
28	KR	10-0603993	2004-04-13	능동형 전력 필터 기능을 갖는 전동차 시스템의 전력회생장치	한국철도기술연구원	회생전력
29	KR	10-2213266	2018-12-27	도시 철도 교통 회생 제동 에너지 회수 장치의 배치 방법 및 시스템	씨알알씨 칭다오 쓰팡 롤링 스톡 리서치 인스티튜트 컴퍼니 리미티드	표준 모듈
30	US	10821843	2019-11-12	Systems and methods for power management and control	TAE TECHNOLOGIES, INC.	표준 모듈
31	KR	10-2164392	2019-05-07	축전식 탈염 모듈을 이용한 에너지 회생 장치 및 방법	재단법인 포항산업과학연구원	표준 모듈
32	KR	10-2161309	2020-04-29	전기에너지 재활용을 위한 하이브리드 팩토리 회생시스템	주식회사 영일 메카텍	표준 모듈
33	KR	10-2137778	2018-05-11	회생제동 시스템	서울과학기술대학교 산학협력단	표준 모듈
34	JP	6689478	2019-10-28	컨버터 및 모터 제어 시스템	MITSUBISHI ELECTRIC CORP	표준 모듈
35	US	10608555	2016-06-17	Inverter circuit comprising a circuit arrangement for regenerative damping of electrical oscillations, and method for regenerative damping of electrical oscillations	Robert Bosch GmbH	표준 모듈
36	KR	10-2061988	2015-09-30	무정전 전원 장치	TOSHIBA MITSUBISHI-ELECTRIC INDUSTRIAL SYSTEM CORP	표준 모듈
37	KR	10-2054206	2018-02-12	회생제동 시스템 및 회생제동 시스템을 포함하는 장치	서울과학기술대학교 산학협력단	표준 모듈
38	JP	6609700	2017-04-14	SR모터 제어 시스템 및 SR모터 제어 방법	MITSUBA CORP	표준 모듈
39	US	10447172	2016-07-21	Power regenerative converter and motor control device	Mitsubishi Electric Corporation	표준 모듈

40	JP	6450019	2015-09-30	무정전 전원 장치	TOSHIBA MITSUBISHI-ELECTRIC INDUSTRIAL SYSTEM CORP	표준 모듈
41	EP	2641323	2011-10-21	VARIABLE-SPEED DRIVE PROVIDED WITH A SUPERCAPACITOR MODULE	Schneider Toshiba Inverter Europe SAS	표준 모듈
42	KR	10-1794858	2015-03-12	회생 에너지 전력변환장치	(주)지필로스	표준 모듈
43	JP	6105228	2012-08-20	전동 유압식 다이내믹 브레이크 시스템 및 제어 방법	ROBERT BOSCH GMBH	표준 모듈
44	JP	6068445	2012-05-03	퍼지 논리 베이스 브레이크 제어	ROBERT BOSCH GMBH	표준 모듈
45	KR	10-1572755	2014-04-09	회생 제동 에너지 충전용 전력 변환 시 스템 및 그것의 콘덴서 수명 측정 방법	엘에스오토모티브 주 식회사	표준 모듈
46	EP	2164742	2008-04-28	QUASI SELF-CONTAINED ENERGY STORAGE AND POWER SUPPLY SYSTEM	SERISE TECHNOLOGIES INC.	표준 모듈
47	JP	5717865	2011-10-21	슈퍼 커패시터 모듈을 구비하는 가변속 드라이브	SCHNEIDER TOSHIBA INVERTER EUROPE SAS	표준 모듈
48	KR	10-1498524	2013-11-12	전기철도차량의 회생제동 전력을 이용 한 주공기 압축기 동작 제어 시스템 및 그 방법	한국철도기술연구원	표준 모듈
49	JP	5546664	2013-03-15	파워 반도체 모듈, 전력 변환 장치 및 철도 차량	MITSUBISHI ELECTRIC CORP	표준 모듈
50	KR	10-1263160	2008-10-08	회생제동 시스템	주식회사 한라홀딩스	표준 모듈
51	JP	4983968	2010-08-19	PWM 사이클로컨버터 장치	YASKAWA ELECTRIC CORP	표준 모듈
52	JP	4785189	2006-03-14	교류 스위치 회로	NAGAOKA UNIV OF TECHNOLOGY	표준 모듈
53	US	10722841	2018-06-15	Hydrogen supply system	PANASONIC INTELLECTUAL PROPERTY MANAGEMENT CO., LTD.	수소 밸류 체인
54	US	10590552	2018-03-15	Hydrogen production apparatus and hydrogen production system	Kabushiki Kaisha Toshiba	수소 밸류 체인

55	JP	6822927	2017-09-14	감시 제어 시스템, 그 제어 방법 및 제어 프로그램	TOSHIBA CORP TOSHIBA ENERGY SYSTEM&SOLUTION CORP	수소 밸류 체인
56	US	10900130	2017-08-30	Fuel preparation reaction system, peak regulation system for power generation plant and power generation plant	HEPU ENERGY ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY CO., LTD.	수소 밸류 체인
57	JP	6483735	2017-02-27	수소 연료 보급 스테이션용 제어 시스템	NEL HYDROGEN A S	수소 밸류 체인
58	KR	10-1908706	2016-11-22	전력기반설비의 부분방전 진단 및 종합 관리시스템	(주) 에코투모로우 코리아	수소 밸류 체인
59	JP	6441542	2016-11-04	수소 관리 시스템 및 수소 관리 방법	TOSHIBA CORP TOSHIBA ENERGY SYSTEM&SOLUTION CORP	수소 밸류 체인
60	JP	6708505	2016-07-14	고압수소의 팽창 터빈식 충전 시스템	HITACHI PLANT MECHANICS CO LTD	수소 밸류 체인
61	JP	6462951	2016-03-16	수소 관리 시스템 및 통합 수소 관리 장치	TOSHIBA CORP TOSHIBA ENERGY SYSTEM&SOLUTION CORP	수소 밸류 체인
62	JP	6442785	2015-04-06	수소 운반 관리 장치, 수소 운반 관리 시스템 및 수소 운반 관리 프로그램	TAIYO NIPPON SANSO CORP	수소 밸류 체인
63	JP	6306397	2014-03-31	수소 스테이션	ENEOS CORP	수소 밸류 체인
64	JP	6005503	2012-12-21	수소 전력 공급 시스템	TOSHIBA CORP	수소 밸류 체인
65	KR	10-1192885	2010-07-29	수소 압축-저장 시스템 및 수소 압축-저장 방법	지에스칼텍스 주식회 사	수소 밸류 체인
66	EP	2138456	2008-12-24	METHOD FOR STOPPING THE OPERATION OF HYDROGEN GENERATOR	Panasonic Intellectual Property Management Co., Ltd.	수소 밸류 체인
67	US	8065243	2008-04-18	Optimizing operations of a hydrogen pipeline system	Air Liquide Large Industries U.S. LP	수소 밸류 체인
68	EP	1963547	2006-12-21	SAFETY WARNING AND SHUTDOWN DEVICE AND METHOD FOR HYDROGEN STORAGE CONTAINERS	Quantum Fuel Systems LLC	수소 밸류 체인
69	EP	1177154	2000-04-28	ENERGY DISTRIBUTION NETWORK	STUART ENERGY SYSTEMS CORPORATION	수소 밸류 체인

3.2 기술 로드맵



3.3 세부기술 내용

분 야	세부 연구추진 대상과제
도시철도 잉여전력 기반 통합전력공급 시스템기술개발 (국토부)	○ 통합전력공급시스템 개발 및 성능평가 - 전력변환장치 제작사양 도출 - 전력변환장치(2MVA급) 시제품 제작/성능평가 - 도시철도 잉여전력/일반전력 블렌딩을 위한 계통연계 및 최적제어기술개발 - 전력공급계통과 수소생산·충전시스템 연계를 위한 표준형 통합전력관제 기술개발/성능평가 - AC/DC차단기반 인터페이스 기술개발/성능평가 ○ 신뢰성 확보를 위한 회생전력변환장치 상태진단 및 고장예측 시스템 개발
도심지역 적용가능한 수소생산·충전시스템 패키지 개발 (산업부)	○ 소형화된 모듈형 수소생산·충전시스템 및 패키지 기술 개발 ○ 콤팩트화를 위한 수소생산·충전시스템 핵심부품 개발 ○ 철도현장에 적용가능한 수소생산·충전시스템 자체 기술 기준개발
도심형 회생전력, 수소생산·충전 Safety Monitoring 시스템 개발 (산업부)	○ IoT 상태감시기반 수소생산·충전 자산관리 시스템 기술 개발 ○ 수소생산·충전 통합안전(위험도)관리 시스템 기술 개발 ○ 수소·충전 시스템에 대한 제3자 안전성 평가
도심형 수소 생산·충전시스템 테스트베드 구축 및 성능검증 (국토부)	○ 도심형 수소모빌리티 인프라 모델개발 및 확산을 위한 법/제도 개선 ○ 현장 적용성 제고를 위한 철도현장 조사 및 필요기술 분석 ○ 테스트베드 및 도심형 수소모빌리티 확산 인프라 모델 구축·검증 ○ 도심형 수소생산·충전 패키지시스템 실증 및 운영최적화 ○ 국토부, 산업부 사업의 참여기관간 수소모빌리티 확산 인프라 기술개발을 위한 협의체 구성·운영

4. 추진계획

4.1 추진 전략

사업비전 경제성 · 접근성 · 안전성을 갖춘 수소공급으로 도시철도 잉여전력 활용 극대화 및 탄소중립 구현	
사업목표 ○ 도시철도 잉여전력 활용 극대화를 위한 통합전력공급시스템 기술 개발 ○ 유휴에너지 활용 방안 및 안전 모니터링 구축 · 도심형 수소 실증 인프라 실증 ○ 지역 맞춤형 도심형 수소기술 모델 확보를 통한 전국 확산 모델 구축	
추진전략	
도시철도 잉여전력 기반 도심형 수소생산 시스템 기술개발	■ 유휴 에너지원(잉여전력)을 활용한 에너지 전환 기술 개발 및 검증 ■ 도심형 수소생산·충전 시스템 부품 및 패키지기술 개발 ■ 신규 부지를 확보할 필요 없는 현장 적용 가능한 철도차량부지 또는 인근부지 활용
최적 모듈 개발 및 통합관리시스템 개발 통한 도심 내 안정성 확보	■ 현장적용성을 확보한 컴팩트형 수소 생산기술 및 충전인프라 모듈 최적화 기술 개발 ■ 수소생산·충전 안전평가 및 안전 기준 개발 ■ 수소생산·충전 통합안전(위험도)관리 위한 시스템 통합 관제 및 제어 플랫폼 기술 개발
도심형 수소생산·충전 시스템 실증 및 운영관리 최적화	■ 수소생산·충전시스템-통합관리시스템 간 종합연동시험 및 실증 ■ 도심형 수소생산·충전시스템 확장을 위한 적합성 사전 검토 ■ 안전평가 개발 및 실증 등 최적화를 통한 운영 안전성 확보 ■ 도시철도 회생전력사용 도심형 수소생산·충전소 BM모델 개발

[사업 비전 및 사업목표]

4.1.1 연구개발과제 구성

- (1세부) 도시철도 잉여전력 기반 통합전력공급시스템 기술개발
 - (목표) 도시철도에서 발생하는 잉여전력 기반 유희에너지원으로 수소생산에 활용하는 전기에너지 공급시스템 기술 개발
 - (개발기술)
 - 전력변환장치 개발
 - 도시철도 잉여전력/일반전력 블렌딩을 위한 계통연계 및 최적제어기술개발
 - 통합전력관제 기술 개발 및 성능평가
 - 통합전력공급을 위한 AC/DC차단기반 인터페이스 기술 개발 및 성능평가
 - 소프트웨어개발 및 검증
 - 디지털 신호처리 하드웨어 개발 및 검증
 - 인버터 수명가속 시험장치 제작 및 개발
- (2세부) 도심지역 적용 가능한 수소생산·충전시스템 패키지 기술 개발
 - (목표) 도시철도 현장 조사 및 분석에 따른 수소생산·충전 모듈화 패키지 및 컴팩트화 기술개발
 - (개발기술)
 - 소형화된 모듈형 수소생산·충전시스템 및 패키지 개발
 - 컴팩트화를 위한 수소생산·충전시스템 핵심부품 개발
 - 철도현장에 적용가능한 수소생산·충전시스템 자체 기술 기준개발
- (3세부) 도심형 수소생산·충전 Safety Monitoring 시스템 기술 개발
 - (목표) 도시철도 회생전력 및 수소 생산·충전 시설의 안전모니터링 및 자산관리 일원화한 관제 플랫폼 구축 및 실증을 통한 최적화 기술 개발
 - (개발기술)
 - IoT 상태감시기반 수소생산·충전 자산관리 시스템 기술 개발
 - 수소생산·충전 통합안전(위험도)관리 시스템 기술 개발
 - 수소·충전 시스템에 대한 제3자 안전성 평가
- (4세부) 도심형 수소생산·충전 패키지시스템 실증 및 운영관리 최적화
 - (목표) 도심형 수소생산·충전 시스템 테스트베드 구축 및 성능검증
 - (개발기술)
 - 도심형 수소모빌리티 인프라 모델개발 및 확산을 위한 법/제도 개선
 - 현장 적용성 제고를 위한 철도현장조사 및 필요 기술 분석
 - 테스트베드 및 도심형 수소모빌리티 확산 인프라 모델 구축·검증
 - 도심형 수소생산·충전 패키지시스템 실증 및 운영최적화
 - 국토부, 산업부 사업의 참여기관간 수소모빌리티 확산 인프라 개발을 위한 협의체 구성·운영

4.2 총 소요예산 및 연구기간

(단위 : 백만원)

구분	소요금액	자 금 형 태			비고
		국비	지방비	민간	
2022년	10,900	8,000	2,500	400	
2023년	14,400	7,000	7,000	400	
2024년	9,900	7,000	2,500	400	
2025년	7,800	7,000	500	300	
합계	43,000	29,000	12,500	1,500	

4.3 상업화 추진 전략 및 계획

- “도심내 잉여전력을 이용한 도심형 수소모빌리티 확산 인프라 모델개발 및 검증”으로 구축되는 설비는 수소차용 수소충전소의 도심지 보급을 확대하는 것도 있지만 중장기적으로 국내 부품의 성능 및 신뢰성을 확보하여 국내 시장 및 해외시장 진출에 기여하는 것에 있음
- 이러한 이유로 “도심내 잉여전력을 이용한 도심형 수소모빌리티 확산 인프라 모델개발 및 검증”은 사업기간에는 정부, 지자체 매칭으로 운영되고 사업이후 장비의 운영 수익과 실증사업에 참여한 지자체 매칭으로 지속적인 운영 필요
- 개발된 장비는 정부의 분산형 수소생산설비 보급계획과 수소충전소 국내 구축계획에 따라 정부의 지원금을 받으면서 확대 보급

		2018년	2022년	2030년	2040년
충전소(기)	누적	86	310	660	1,200
수소차(대)	누적	6,395	6.7만	85만	290만

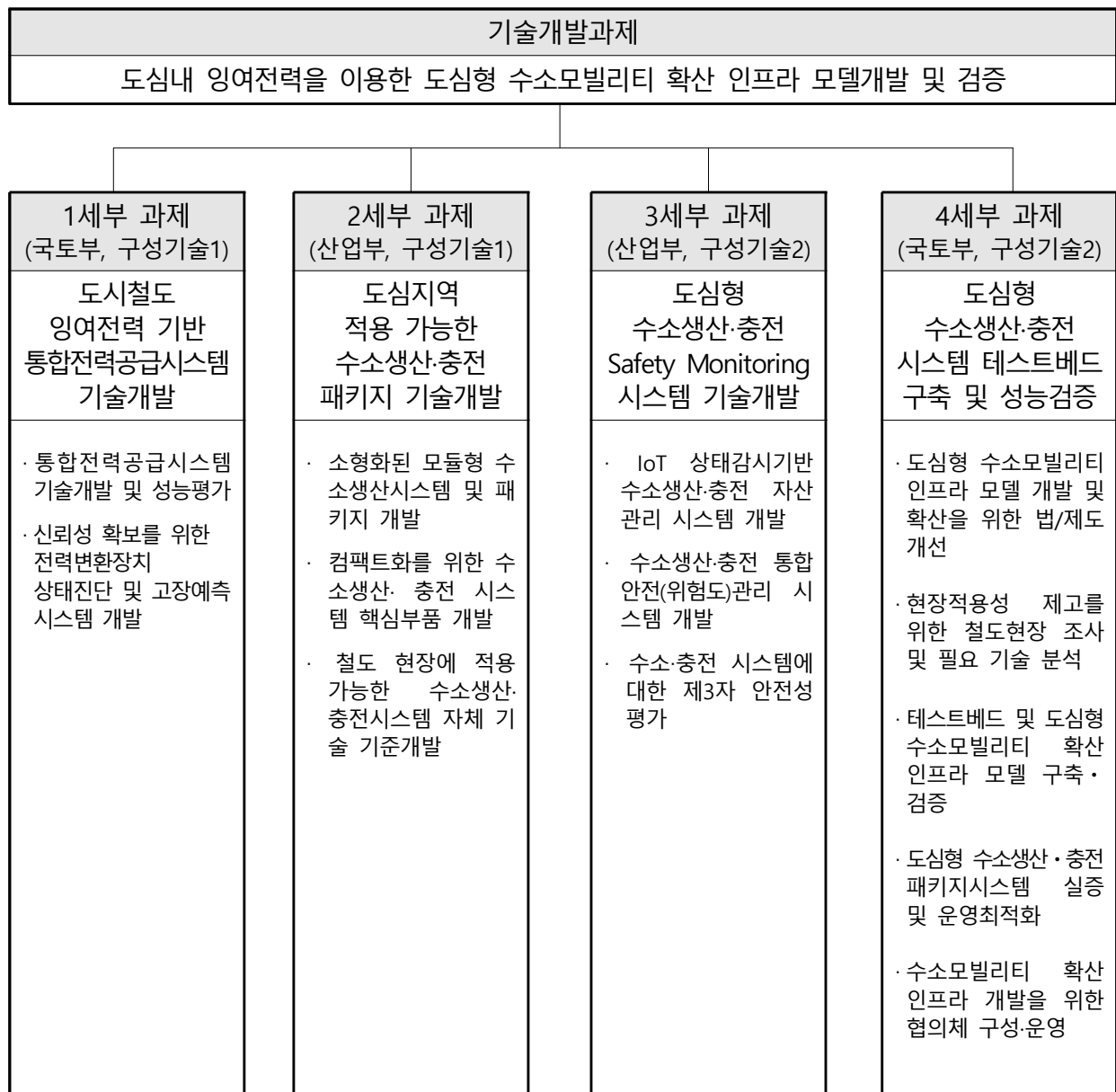
[국내 수소 충전소 설치 전망]

출처: 관계부처합동(2019) 수소경제 활성화를 위한 수소 인프라 및 충전소 구축 방안

- (추출수소) 천연가스 공급망과 연계한 거점형 대규모 생산기지 및 분산형 수소생산기지를 중심으로 추출수소 공급 지속 확대
 - (거점형) LNG 인수기지, 정압관리소 등 천연가스의 대규모 유통 지역 인근에 1,000~5,000Nm³/h의 중·대형 추출기 구축
 - (분산형) 지역별 열병합발전소, PLB(보일러) 등 분산형 열원, 도시가스 배관망

- 등에 300Nm³/h의 소규모 추출기 2~3기 구축
- (패키지형 충전소) 기존 대비 설치 면적 17%, 설치 기간 40%, 구축 비용 33% 이상 절감 가능한 패키지형** 충전소 활용 확대
 - 수소충전소의 주요 설비가 컨테이너 안에 설치된 형태의 충전소
 - (면적) 1,200m² → 1,000m², (기간) 10개월 → 6개월, (비용) 30억원 → 20억원
 - 수소충전소 보급 목표(누적): ('19) 86기 → ('22) 310기 → ('40) 1200기
 - 국내 실증 완료된 장비는 사업 종료 이후 2~3년 후부터 해외마케팅을 통한 수출 및 확대

4.4 추진체계



[사업추진 체계]

4.4.1 세부추진계획

관리번호	미 작성		사업구분	미 작성		
산업기술분류	대분류	에너지,자원	중분류	신재생에너지	소분류	수소-인프라
과제명	도심내 잉여전력을 이용한 도심형 수소모빌리티 확산 인프라 모델개발 및 검증					
1. 개요 및 필요성						
○ 정부는 향후 2030년까지 누적기준 수소차량을 1만여대에서 85만대로, 수소충전소를 60여개에서 610개로 보급 확대할 계획('21년 '제4차 친환경차 기본계획') - 정부계획에 맞춰 수소차량 보급을 하기 위해서는 무엇보다 수소충전소의 확충이 필요하나, 수소충전소는 안전성 논란, 경제성 부족 등으로 보급에 어려움을 겪고 있으며 접근성이 좋은 도심지역보다는 교외지역 중심으로 보급 중 ○ 경제성·접근성·안전성을 확보한 수소충전소 보급과 탄소중립을 위해서 도시철도 잉여전력 유희에너지를 이용한 도심형 수소모빌리티 확산 인프라 기술개발 및 실증 필요 - (경제성) 도시철도 회생(제동)전력은 열차 감속·정지시 발생하는 활용 가능한 유희에너지원이나, 대부분의 도시철도에서 상당량(전국 전철 전력사용량 135만MWh 중 20% 수준 추정)이 버려지고 있어 전기에너지로 활용시 후단 설비 경제성 확보 가능 - (접근성) 도시철도는 인구밀도가 높고 교통이 집중되는 도심지역을 가로지르고 있어 도시철도내 여유부지를 활용하여 도심지역에 수소충전소 구축시 교외지역 대비 높은 접근성 확보 가능 - (안전성) 그간 수소충전소 운영경험을 토대로 고장장비에측, 안전모니터링 등 안전 관련 기술개발 및 실증을 통해 수소충전소 안전성 추가 확보 및 도심지역 설치를 어렵게 하는 입지규제 완화 가능 ○ 기존의 생산 방식에서 전기 에너지를 이용한 수소 생산의 대중화를 위해서는 다음과 같은 적용 기술 개발이 필요 * (전력 분야) 고압의 전력을 이용한 시스템 효율 증대 기술 개발 * (생산/충전 분야) 잉여 전력 특성을 고려한 수소 생산·충전 설비의 동특성 향상을 위한 기술 개발 * (모듈패키지) 모듈 프레임 구축 및 컴팩트 패키지 검증 기술 개발 * (모니터링 안전분야) 상용화 가능한 생산 기술에 대한 경제성, 안전성 분석						
2. 연구목표						
□ 최종목표 : 도심내 잉여전력을 이용한 도심형 수소모빌리티 확산 인프라 모델개발 및 검증 (TRL : [시작] 4단계 ~ [종료] 7단계) ○ (1세부) 도시철도 잉여전력 기반 통합전력공급시스템 기술개발 - 통합전력공급시스템 개발 및 성능평가 · 전력변환장치 개발 · 도시철도 잉여전력/일반전력 블렌딩을 위한 계통연계 및 최적제어기술개발 · 통합전력관제 기술 개발 및 성능평가 · 통합전력공급을 위한 AC/DC차단기반 인터페이스 기술 개발 및 성능평가 - 신뢰성 확보를 위한 전력변화장치 상태진단 및 고장예측 시스템 개발						

- 소프트웨어개발 및 검증
- 디지털 신호처리 하드웨어 개발 및 검증
- 인버터 수명가속 시험장치 제작 및 개발

○ (2세부) 도심지역 적용가능한 수소생산·충전시스템 및 기술기준 개발

- 소형화된 모듈형 수소생산·충전시스템 및 패키지 개발
 - 철도현장 조사결과를 바탕으로 수소 생산 및 수소 충전 시스템 최적 규모 도출
 - 수소 생산·충전시스템 핵심 부품·장치 소형화 기술 개발
 - 수소 생산·충전시스템 주요 공정별 모듈화 기술 개발
 - 모듈 간 열 및 시스템 통합 엔지니어링 설계 및 개발
- 컴팩트화를 위한 수소생산·충전시스템 핵심부품 개발 기술 개발
 - 수소생산 설비중 SMR/MR, WGS, PSA 효율향상 및 소형화 개발
 - 고속 수소충전기술 개발(압력탱크 최적화, 비압축유체 활용 충전기술)
 - 온실가스 분리 및 액화 기술 개발
- 철도현장에 적용가능한 수소생산·충전시스템 자체 기술 기준개발
 - 회생전원과 일반전원을 혼합한 수소 생산 및 충전 시험절차 개발
 - 도심형 수소 안전 표준 개발 / 관계 법령 검토
 - 고장분석 수행 등으로 사고시에도 안전 확보

○ (3세부) 도시철도 회생전력 기반 도심형 수소생산·충전 통합관리시스템 기술 개발

- IoT 상태감시기반 수소생산·충전 자산관리 시스템 기술 개발
 - 수소 생산·충전 설비 모니터링을 위한 IoT 센서 및 유무선 네트워크 구축
 - 고장/유지보수 이력 및 상태감지 데이터 기반 자산관리 시스템 개발
 - 자산관리 효율화 통한 유지관리 비용 최적화
- 수소생산·충전 통합안전(위험도)관리 시스템 기술 개발
 - 인공지능 Station 위험도 평가 시스템 개발
 - 고장진단 및 상태예측을 통한 적은 인력으로 효율적인 관리체계 구축
 - 자산 위험도 확률론적 분석 및 사고 결과에 따른 Consequence Analysis 수행
- 수소·충전 시스템에 대한 제3자 안전성 평가
 - 위험도 분석 (HAZOP)을 통한 수소충전소 설계 (안전) 요구사항 도출
 - 국제 규격 기반의 화재/폭발에 대한 안전성 평가
 - 설계, 구현된 수소충전 시스템에 대한 현장 심사

○ (4세부) 도심형 수소생산·충전시스템 테스트베드 구축 및 성능검증

- 도심형 수소모빌리티 인프라 모델개발 및 확산을 위한 법/제도 개선
- 현장 적용성 제고를 위한 철도현장조사 및 필요 기술 분석
- 테스트베드 및 도심형 수소모빌리티 확산 인프라 모델 구축·검증
- 도심형 수소생산·충전 패키지시스템 실증 및 운영최적화
- 국토부, 산업부 사업의 참여기관간 수소모빌리티 확산 인프라 개발을 위한 협의체 구성·운영

○ 개발목표

성능지표			단위	달성목표	국내 최고수준	세계최고수준 (보유국, 기업/기관명)
1세부	1	고전압 부하추종형 전력변환 장치 설계(기본-상세)	건	2건(설계)	-	설계기술보유 (독일/지멘스,인피니언)
	2	전력변환장치 최대효율	%	≥ 95		
	3	전력변환장치 상태진단 연산속도	ms	≤ 100	-	100ms(미국/TI)
	4	전력변환장치 고장예측 정확도	%	≥ 95	-	90(독일/인피니언)
	5	멀티통신 프로토콜 지원	EA	DNP3, IEC 60870-5 -101/104,OPC	DNP3, IEC 60870-5 -101/104	DNP3, IEC 60870-5 -101/104, MODBUS (미국, GE社 XA/21 EMS)
	6	회생전력 및 수소생산 전력제어시스템 완성도	EA	GS인증	-	-
2세부	7	PAS 수소 회수율	%	85		
	8	CO ₂ 회수율	%	90		
	9	수소 패키지 인증	건	1		
	10	성능평가 보고서	건	1		
	11	안전평가 실험방안	건	3		
	12	LCA 보고서	건	1		
3세부	13	안전 가이드 표준	건	1		
	14	통합모니터링 신뢰도	%	> 90 %	>70%	>80% (독일/프라운호퍼)
	15	최적효율 운영 예측도	%	> 90 %	>70%	>80% (독일/프라운호퍼)
	16	이상진단 예측도	%	> 90 %	>70%	>80% (독일/프라운호퍼)
	17	시 기반 자산모니터링 위험도 평가 정확도	%	> 80 %	>70%	>80% (미국/구글)
	18	제3자 안전성 평가/ 심사보고서	건	1	-	(독일/TUV)
4세부	19	시나리오 모델	건	3	-	
	20	LCC 보고서	건	1		
	21	안전기술 및 위험도 평가	건	1		
	22	수소 순도	%	99.999		
	23	성능평가 보고서	건	1		

3. 지원기간/예산/추진체계

- 기간 : 4년 이내 ○ 정부출연금 : '22년 80억원 이내(총 정부출연금 65억원 이내)
- 주관기관 : 제한없음(중소·중견기업 참여필수)

관리번호		미 작성		사업구분		미 작성																																								
산업기술분류1		대분류	전기,전자	중분류	충전기기	소분류	전력변환기기																																							
총괄 과제명		도심내 잉여전력을 이용한 도심형 수소모빌리티 확산 인프라 모델개발 및 검증																																												
1세부		도시철도 잉여전력 기반 전력변환장치 핵심기술 개발																																												
1. 개요 및 필요성		○ 도시철도 잉여전력은 현재 인근에서 운행 중인 전동차에서 일부 사용되고 남은 유휴 에너지원은 도시철도 전력시스템의 안정을 위하여 저항기를 이용해 열로 버려지고 있음 ○ 버려지고 있는 도시철도 유휴 잉여전력을 수소생산 및 충전에 활용할 경우 수소모빌리티 확산을 위해 필요한 경제성 있는 수소 공급이 가능해질 것으로 기대 ○ 도시철도 잉여전력을 이용할 수 있게 해주는 전력변환장치와 수소생산·충전시스템 연계는 국내·외 기술개발이 부재하며, 국내 대도시별 도시철도간 규격 차이도 존재 ○ 따라서, 도시철도 범용 회생전력변환장치와 함께 시스템 안전성, 운영효율성 등을 고려한 상태진단·고장예측 시스템, 회생전력과 일반전력 공급을 위한 통합전력관제 기술개발 필요																																												
2. 연구목표		○ 최종목표 : 도시철도 잉여전력 기반 통합전력공급시스템 기술개발 – 통합전력공급시스템 개발 및 성능평가 · 전력변환장치 개발 · 도시철도 잉여전력/일반전력 블렌딩을 위한 계통연계 및 최적제어기술개발 · 통합전력관제 기술 개발 및 성능평가 · 통합전력공급을 위한 AC/DC차단기반 인터페이스 기술 개발 및 성능평가 – 신뢰성 확보를 위한 전력변환장치 상태진단 및 고장예측 시스템 개발 · 소프트웨어개발 및 검증 · 디지털 신호처리 하드웨어 개발 및 검증 · 인버터 수명가속 시험장치 제작 및 개발																																												
○ 개발목표		<table><tr><th colspan="2">성능지표</th><th>단위</th><th>달성목표</th><th>국내 최고수준</th><th>세계최고수준 (보유국, 기업/기관명)</th></tr><tr><td rowspan="4">1</td><td>고전압 부하추종형 전력변환장치 설계(기본-상세)</td><td>건</td><td>2건(설계)</td><td>-</td><td>설계기술보유 (독일/지멘스,인피니언)</td></tr><tr><td>전력변환장치 최대효율</td><td>%</td><td>≥95</td><td></td><td></td></tr><tr><td>전력변환장치 상태진단 연산속도</td><td>ms</td><td>≤100</td><td>-</td><td>100ms(미국/TI)</td></tr><tr><td>전력변환장치 고장예측 정확도</td><td>%</td><td>≥95</td><td>-</td><td>90(독일/인피니언)</td></tr><tr><td>6</td><td>멀티통신 프로토콜 지원</td><td>EA</td><td>DNP3, IEC 60870-5 -101/104, OPC</td><td>DNP3, IEC 60870-5 -101/104</td><td>DNP3, IEC 60870-5 -101/104, MODBUS (미국, GE社 XA/21 EMS)</td></tr><tr><td>7</td><td>잉여전력 및 수소생산 전력제어시스템 완성도</td><td>EA</td><td>GS인증</td><td>-</td><td>-</td></tr></table>						성능지표		단위	달성목표	국내 최고수준	세계최고수준 (보유국, 기업/기관명)	1	고전압 부하추종형 전력변환장치 설계(기본-상세)	건	2건(설계)	-	설계기술보유 (독일/지멘스,인피니언)	전력변환장치 최대효율	%	≥95			전력변환장치 상태진단 연산속도	ms	≤100	-	100ms(미국/TI)	전력변환장치 고장예측 정확도	%	≥95	-	90(독일/인피니언)	6	멀티통신 프로토콜 지원	EA	DNP3, IEC 60870-5 -101/104, OPC	DNP3, IEC 60870-5 -101/104	DNP3, IEC 60870-5 -101/104, MODBUS (미국, GE社 XA/21 EMS)	7	잉여전력 및 수소생산 전력제어시스템 완성도	EA	GS인증	-	-
성능지표		단위	달성목표	국내 최고수준	세계최고수준 (보유국, 기업/기관명)																																									
1	고전압 부하추종형 전력변환장치 설계(기본-상세)	건	2건(설계)	-	설계기술보유 (독일/지멘스,인피니언)																																									
	전력변환장치 최대효율	%	≥95																																											
	전력변환장치 상태진단 연산속도	ms	≤100	-	100ms(미국/TI)																																									
	전력변환장치 고장예측 정확도	%	≥95	-	90(독일/인피니언)																																									
6	멀티통신 프로토콜 지원	EA	DNP3, IEC 60870-5 -101/104, OPC	DNP3, IEC 60870-5 -101/104	DNP3, IEC 60870-5 -101/104, MODBUS (미국, GE社 XA/21 EMS)																																									
7	잉여전력 및 수소생산 전력제어시스템 완성도	EA	GS인증	-	-																																									
3. 지원기간/예산/추진체계		○ 기간 : 4년 이내 ○ 정부출연금 : '22년 25억원 이내(총 정부출연금 90억원 이내) ○ 주관기관 : 제한없음(중소·중견기업 참여필수)																																												

관리번호	미 작성		사업구분	미 작성																																												
산업기술분류1	대분류	에너지,자원	중분류	신재생에너지	소분류	수소-인프라																																										
총괄 과제명	도심내 잉여전력을 이용한 도심형 수소모빌리티 확산 인프라 모델개발 및 검증																																															
2세부	도심지역 적용가능한 수소생산·충전 패키지 기술개발																																															
1. 개요 및 필요성																																																
○ 현재 보급 중인 수소 생산·충전시설은 1,000m² 이상 넓은 부지가 필요하고 이격거리 등 안전규제도 준수해야 하여 대부분 접근이 불편한 도심 외곽지역에 위치 ○ 2030년까지 85만대 보급할 계획인 수소모빌리티의 원활한 확산을 위해서는 무엇보다 접근성이 좋은 도심지역에서의 수소 생산·충전시설의 확충이 절실한 상황 ○ 도심지역에서의 부지확보 어려움을 감안하여 소요부지를 최소화하면서도 추가 안전성 확보를 통해 안전규제를 완화할 수 있는 도심형 수소 생산·충전시설 기술개발 필요 ○ 특히 다양한 형태의 공간에 효율적으로 설치할 수 있도록 시설의 소형화·모듈화·패키지화와 함께 공급이 불규칙한 회생전력 특성을 감안하여 시설 신뢰도 검증도 필요																																																
2. 연구목표																																																
○ 최종목표 : 도시철도 현장 조사 및 분석에 따른 수소생산·충전 모듈화 패키지 및 컴팩트화 기술 개발 - 소형화된 모듈형 수소생산·충전시스템 기술 개발 · 절도현장 조사결과를 바탕으로 수소 생산 및 수소 충전 시스템 최적 규모 도출 · 수소 생산·충전시스템 핵심 부품·장치 소형화 기술 개발 · 수소 생산·충전시스템 주요 공정별 모듈화 기술 개발 · 모듈 간 열 및 시스템 통합 엔지니어링 설계 및 개발 - 컴팩트화를 위한 수소생산·충전시스템 핵심부품 개발 기술 개발 · 수소생산 설비중 SMR/MR, WGS, PSA 효율향상 및 소형화 개발 · 고속 수소충전기술 개발(압력탱크 최적화, 비압축유체 활용 충전기술) · 온실가스 분리 및 액화 기술 개발 - 철도현장에 적용가능한 수소생산·충전시스템 자체 기술 기준개발 · 회생전원과 일반전원을 혼합한 수소 생산 및 충전 시험절차 개발 · 도심형 수소 안전 표준 개발 / 관계 법령 검토 · 고장분석 수행 등으로 사고시에도 안전 확보 ○ 개발목표																																																
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">성능지표</th> <th>단위</th> <th>달성목표</th> <th>국내 최고수준</th> <th>세계최고수준 (보유국, 기업/기관명)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>PAS 수소 회수율</td> <td>%</td> <td>85</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>CO₂ 회수율</td> <td>%</td> <td>90</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>수소 패키지 인증</td> <td>건</td> <td>1</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>성능평가 보고서</td> <td>건</td> <td>1</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>안전평가 실험방안</td> <td>건</td> <td>3</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>LCA 보고서</td> <td>건</td> <td>1</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>							성능지표		단위	달성목표	국내 최고수준	세계최고수준 (보유국, 기업/기관명)	1	PAS 수소 회수율	%	85			2	CO ₂ 회수율	%	90			3	수소 패키지 인증	건	1			4	성능평가 보고서	건	1			5	안전평가 실험방안	건	3			6	LCA 보고서	건	1		
성능지표		단위	달성목표	국내 최고수준	세계최고수준 (보유국, 기업/기관명)																																											
1	PAS 수소 회수율	%	85																																													
2	CO ₂ 회수율	%	90																																													
3	수소 패키지 인증	건	1																																													
4	성능평가 보고서	건	1																																													
5	안전평가 실험방안	건	3																																													
6	LCA 보고서	건	1																																													
3. 지원기간/예산/추진체계																																																
○ 기간 : 4년 이내 ○ 정부출연금 : '22년 30억원 이내(총 정부출연금 100억원 이내) ○ 주관기관 : 제한없음(중소·중견기업 참여필수)																																																

관리번호	미 작성		사업구분	미 작성																																												
산업기술분류	대분류	지식서비스	중분류	연구개발/엔지니어링서비스	소분류	사업설비-시설물 조사/설계/예측/평가/관리기술																																										
총괄 과제명	도심내 잉여전력을 이용한 도심형 수소모빌리티 확산 인프라 모델개발 및 검증																																															
3세부	도심형 수소생산·충전 Safety Monitoring 시스템 기술개발																																															
1. 개요 및 필요성																																																
○ 현행 수소 생산·충전시설은 예정부지 인근 시민들의 안전에 대한 우려 등으로 도심 지역에 설치하는 것이 매우 어려운 실정 ○ 도시철도 회생전력 기반의 도심형 수소 생산·충전시스템 확산을 위해서는 안전에 대한 시민들의 우려를 불식시킬 수 있는 안전한 수소 운용 및 모니터링 기술이 필수적 ○ 수소 충전 시스템에 대한 안전 기반 설계 검증 및 제3자 평가 필요 * 위험도 기반 시스템 설계, 구현에 대해 제3 전문기관(전문가)에 의한 안전성 검증이 요구됨 ○ 이와 함께 수소공급가격 인하여력 확보를 위해 회생전력변환장치와 수소 생산·충전 시설을 효율적으로 통합운영·관리할 수 있도록 해주는 최적화 기술도 필요 ○ 따라서 안전 및 효율 확보를 위한 기술과 함께 데이터에 기반한 AI기반 알고리즘을 적용한 위험성 진단과 운용효율 최적화 기술 연구개발 병행 추진																																																
2. 연구목표																																																
○ 최종목표 : 수소생산시설, 충전시설의 안전모니터링 및 자산관리를 일원화 한 관제 플랫폼을 구축 및 실증을 통한 관리 최적화 기술개발 - IoT 상태감시기반 수소생산·충전 자산관리 시스템 기술 개발 · 수소 생산·충전 설비 모니터링을 위한 IoT 센서 및 유무선 네트워크 구축 · 고장/유지보수 이력 및 상태감지 데이터 기반 자산관리 시스템 개발 · 자산관리 효율화 통한 유지관리 비용 최적화 - 수소생산·충전 통합안전(위험도)관리 시스템 기술 개발 · 인공지능 Station 위험도 평가 시스템 개발 · 고장진단 및 상태예측을 통한 적은 인력으로 효율적인 관리체계 구축 · 자산 위험도 확률론적 분석 및 사고 결과에 따른 Consequence Analysis 수행 - 수소·충전 시스템에 대한 제3자 안전성 평가 · 위험도 분석 (HAZOP)을 통한 수소충전소 설계 (안전) 요구사항 도출 · 국제 규격 기반의 화재/폭발에 대한 안전성 평가 · 설계, 구현된 수소충전 시스템에 대한 현장 심사 ○ 개발목표																																																
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">성능지표</th> <th>단위</th> <th>달성목표</th> <th>국내 최고수준</th> <th>세계최고수준 (보유국, 기업/기관명)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>안전 가이드 표준</td> <td>건</td> <td>1</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>통합모니터링 신뢰도</td> <td>%</td> <td>> 90 %</td> <td>>70%</td> <td>>80% (독일/프라운호퍼)</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>최적효율 운영 예측도</td> <td>%</td> <td>> 90 %</td> <td>>70%</td> <td>>80% (독일/프라운호퍼)</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>이상진단 예측도</td> <td>%</td> <td>> 90 %</td> <td>>70%</td> <td>>80% (독일/프라운호퍼)</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>AI기반 자산모니터링 위험도 평가 정확도</td> <td>%</td> <td>> 80 %</td> <td>>70%</td> <td>>80% (미국/구글)</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>제3자 안전성 평가/ 심사보고서</td> <td>건</td> <td>1</td> <td>-</td> <td>(독일/TUV)</td> </tr> </tbody> </table>							성능지표		단위	달성목표	국내 최고수준	세계최고수준 (보유국, 기업/기관명)	1	안전 가이드 표준	건	1			2	통합모니터링 신뢰도	%	> 90 %	>70%	>80% (독일/프라운호퍼)	3	최적효율 운영 예측도	%	> 90 %	>70%	>80% (독일/프라운호퍼)	4	이상진단 예측도	%	> 90 %	>70%	>80% (독일/프라운호퍼)	5	AI기반 자산모니터링 위험도 평가 정확도	%	> 80 %	>70%	>80% (미국/구글)	6	제3자 안전성 평가/ 심사보고서	건	1	-	(독일/TUV)
성능지표		단위	달성목표	국내 최고수준	세계최고수준 (보유국, 기업/기관명)																																											
1	안전 가이드 표준	건	1																																													
2	통합모니터링 신뢰도	%	> 90 %	>70%	>80% (독일/프라운호퍼)																																											
3	최적효율 운영 예측도	%	> 90 %	>70%	>80% (독일/프라운호퍼)																																											
4	이상진단 예측도	%	> 90 %	>70%	>80% (독일/프라운호퍼)																																											
5	AI기반 자산모니터링 위험도 평가 정확도	%	> 80 %	>70%	>80% (미국/구글)																																											
6	제3자 안전성 평가/ 심사보고서	건	1	-	(독일/TUV)																																											
3. 지원기간/예산/추진체계																																																
○ 기간 : 4년 이내 ○ 정부출연금 : '22년 10억원 이내(총 정부출연금 80억원 이내) ○ 주관기관 : 제한없음(중소·중견기업 참여필수)																																																

관리번호	미 작성		사업구분	미 작성																																						
산업기술분류	대분류	에너지,자원	중분류	신재생에너지	소분류	수소-인프라																																				
총괄 과제명	도심내 잉여전력을 이용한 도심형 수소모빌리티 확산 인프라 모델개발 및 검증																																									
4세부	도심형 수소생산·충전시스템 테스트베드 구축 및 성능검증																																									
1. 개요 및 필요성																																										
○ 도시철도는 많은 시민들이 이용하는 대표적인 대중교통으로서 도시철도에 새로운 시설이 설치되더라도 최대한 운행중단 없이 운영될 필요 ○ 이와 함께 대규모 설비들이 다중 중첩되어 있는 복잡한 전력시스템인 도시철도는 새로운 시설 추가시 전체 시스템에 대한 안정성을 반드시 확인할 필요 ○ 따라서 도시철도 회생전력 기반 도심형 수소 생산·충전시스템의 원활한 확산을 위해서 설치시 고장 등 운행중단 최소화할 수 있도록 사전 검토와 시설 실증이 필수적 ○ 이를 통해 도시철도 회생전력 기반 도심형 수소 생산·충전시스템에 대한 경제성 분석과 함께 입지규제 완화를 위한 안전기술 및 위험도 평가도 가능할 것으로 기대																																										
2. 연구목표																																										
○ 최종목표 : 도심형 수소생산·충전 시스템 테스트베드 구축 및 성능검증 - 도심형 수소모빌리티 인프라 모델개발 및 확산을 위한 법/제도 개선 - 현장 적용성 제고를 위한 철도현장조사 및 필요 기술 분석 - 테스트베드 및 도심형 수소모빌리티 확산 인프라 모델 구축·검증 - 도심형 수소생산·충전 패키지시스템 실증 및 운영최적화 - 국토부, 산업부 사업의 참여기관간 수소모빌리티 확산 인프라 개발을 위한 협의체 구성·운영 ○ 개발목표																																										
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">성능지표</th> <th>단위</th> <th>달성목표</th> <th>국내 최고수준</th> <th>세계최고수준 (보유국, 기업/기관명)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>시나리오 모델</td> <td>건</td> <td>3</td> <td>-</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>LCC 보고서</td> <td>건</td> <td>1</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>안전기술 및 위험도 평가</td> <td>건</td> <td>1</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>수소 순도</td> <td>%</td> <td>99.999</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>성능평가 보고서</td> <td>건</td> <td>1</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>							성능지표		단위	달성목표	국내 최고수준	세계최고수준 (보유국, 기업/기관명)	1	시나리오 모델	건	3	-		2	LCC 보고서	건	1			3	안전기술 및 위험도 평가	건	1			4	수소 순도	%	99.999			5	성능평가 보고서	건	1		
성능지표		단위	달성목표	국내 최고수준	세계최고수준 (보유국, 기업/기관명)																																					
1	시나리오 모델	건	3	-																																						
2	LCC 보고서	건	1																																							
3	안전기술 및 위험도 평가	건	1																																							
4	수소 순도	%	99.999																																							
5	성능평가 보고서	건	1																																							
3. 지원기간/예산/추진체계																																										
○ 기간 : 4년 이내 ○ 정부출연금 : '22년 2억원 이내(총 정부출연금 16억원 이내) ○ 주관기관 : 제한없음(중소·중견기업 참여필수)																																										

4.4.2 세부과제간 연계성



[세부과제간 연계성]

- 총 4개의 세부단위로 구성되며, 도시철도 회생전력의 활용성을 높이면서 경제성을 확보하고, 현장적용성을 고려한 컴팩트형 수소생산·충전시스템 개발과 이에 대한 통합안전관리 및 제어 플랫폼 기술개발을 수행한 후 전국 확대를 위한 시스템의 실증 및 운영관리 최적화를 주된 내용으로 함
- 1세부에서는 도시철도 잉여전력의 효율적 활용을 위한 전력변환장치 핵심기술 개발과 활용방안(철도시설 직접활용, 수소생산·충전연계 활용) 검증을 수행하며, 2세부 수소생산·충전시스템과 활용될 전력공급부분의 핵심장치 및 전력관제에 대한 기술개발 진행
- 2세부에서는 1세부 기술개발을 통해 최종적으로 전달되는 회생전력의 수소생산·충전을 위해 관련 기술개발 및 기술기준 개발을 수행하며, 향후 실증을 위한 철도현장에 적용이 가능하도록 모듈화되고 컴팩트한 시스템 기술 개발 수행
- 3세부에서는 본 사업에서 활용되는 핵심요소인 회생전력과 수소생산·충전시스템에 대한 안정성 확보가 중요하여, 이를 위해 자산관리시스템, 통합안전관리시스템, 제3자 안전성 평가 등을 수행
- 4세부에서는 1,2,3세부에서 기술개발을 통해 도출된 전력변환시스템, 수소생산·충전시스템, 통합안전 및 제어시스템 등을 적용대상 부지인 도시철도부지에 설치하여 종합연동시험 및 실노선 테스트 베드 실증을 통해 안전성, 성능검증 및 시스템 최적화 부분 수행

4.5 추진일정

구분	주요과제	기술개발 및 실증			
		'22	'23	'24	'25
도시철도 잉여전력 기반 통합전력공급시 스템기술 개발 (국토부)	통합전력공급시스템 개발 및 성능평가 - 전력변환장치 제작사양 도출 - 전력변환장치(2MVA급) 시제품 제작/성능평가 - 도시철도 잉여전력/일반전력 블렌딩을 위한 계통연계 및 최적제어기술개발 - 전력공급계통과 수소생산·충전시스템 연계를 위한 표준형 통합전력관제 기술개발/성능평가 - AC/DC차단기 기반 인터페이스 기술개발/성능평가				
	신뢰성 확보를 위한 회생전력변환장치 상태진 단 및 고장예측 시스템 개발				
도심지역 적용가능한 수소생산·충전 패키지 개발 (산업부)	소형화된 모듈형 수소생산·충전시스템 개발				
	컴팩트화를 위한 생산·충전시스템 핵심부품 개발				
	철도현장에 적용가능한 수소생산·충전 시스템 자체 기술 기준개발				
도심형 회생전력, 수소생산·충전 Safety Monitoring 시스템개발 (산업부)	IoT 상태감시기반 회생전력, 수소생산·충전 자 산 관리 시스템 개발				
	회생전력, 수소생산·충전 통합안전(위험도)관리 시스템 개발				
	회생전력, 수소·충전 시스템에 대한 제3자 안 전성 평가				
도심형 수소 생산·충전시스템 테스트베드 구축 및 성능검증 (국토부)	도심형 수소모빌리티 인프라 모델개발 및 확 산을 위한 법/제도 개선				
	현장 적용성 제고를 위한 철도현장 조사 및 필요기술 분석				
	테스트베드 및 도심형 수소모빌리티 확산 인프라 모델 구축·검증				
	도심형 수소생산·충전 패키지시스템 실증 및 운영최적화				
	국토부, 산업부 사업의 참여기관간 수소모빌리티 확산 인프라 기술개발을 위한 협의체 구성·운영				

5. 기술개발 효과

5.1 기술적 효과

- 도시철도의 회생에너지 활용을 위하여 회생인버터를 사용하여 가선전압을 안정적으로 하고, 수소생산·충전용 전원장치로 제어 및 제작 기술 선점
 - 친환경 에너지인 수소에너지와 연계한 회생인버터의 실증 경험을 기반으로 국내외 수소에너지관련 기술 기준 및 표준을 선제적으로 제정 가능
- 도시철도에서 발생하는 잉여전력을 활용하여 분산형 수소충전시설 기술 확보
 - 도시철도에서 제동시 발생하는 회생전력은 대부분 저항을 통해 열로 전환되어 버려지고 있으며 일부 에너지저장시스템을 통해 저장, 역사에서 활용하고 있음
 - 도시철도의 회생제동전력을 AC 전력으로 변환시키고 수소생산 및 충전설비에서 활용기술 실증
- ➡ 범용 전력변환장치 개발로 전국 도시철도 운행 변전실에 적용, 수소생산 및 충전설비에 확대 보급 가능
- 도심지 협소 부지 설치 가능한 콤팩트한 패키지형 수소생산설비, 온실가스 제거설비, 수소생산설비 기술 확보
 - 크기 문제로 도심지내 공간 확보가 어려워 현재 수소생산 및 충전설비는 교외나 버스 공용주차장 등에 설치
 - 기존 주유소나 전기충전시설에 함께 설치가 가능하여 복합충전소 적용 가능
- ➡ 콤팩트, 패키지형 수소생산·충전설비로 도심 설치가 가능하여 수소모빌리티의 접근성 향상
- 연료개질 수소생산시 발생하는 온실가스 제거로 블루수소 전환하고, 포집된 이산화탄소를 액화하여 활용시 추가 수익 가능
 - 온실가스 포집 및 활용으로 블루수소 전환
- ➡ 탄소중립 산업생태계로 전환 및 수소충전소 수익제고

5.2 경제적 효과

(1) 매출증대 및 비용 절감 효과

- 전국 도시철도역 변전시설 319개소에 본 연구에서 개발한 수소 생산 및 충전설비를 보급할 경우 신규시장 2조 735억원 규모
 - 전국 도시철도 951개 역 중에서 평균 3개역마다 1개 변전소가 있으며, 수소생산 및 충전설비의 예상 장비 금액 65억원(수소추출기 금액 300Nm³/h 기준 20억, CO₂회수장치 금액 15억, 수소충전기 금액: 30억)으로 추정.
 - 전체시장 규모 : 65억 × 319개소 = 2조 735억원

- 전국 도시철도역 319개 변전소에 수소생산 및 충전설비를 설치하고 필요한 전력을 도시철도 회생제동 전력으로 사용할 경우 절약되는 연간 금액은 865억 5,700만원임
 - 일반 수소생산 단가(일반) 5,497원/kg이며 회생전력을 사용하여 수소를 생산할 경우 단가(회생전력 사용시) 4,258원/kg임.
 - 연간 차액 : $(5,497 - 4,258) \times 69,861,000\text{kg/년} = 86,557$ 백만원/년
- 전국 도시철도역 변전시설 319개소에 수소생산능력 600kg/일 규모의 수소생산설비와 충전설비를 갖출 경우 수소 승용차량 추가보급 가능 대수는 267,960대로 수소차 확대보급에 기여
 - 충전가능 차량은 하루 기준으로 승용차는 1회 충전량을 5kg으로 가정할 때 38,280대, 버스는 1회 충전량을 20kg으로 가정할 때 9,570대 임.
 - 승용차 기준 수소 1kg당 100km 주행가능하기 때문에 5kg 충전시 500km 주행이 가능하고 주1회 충전으로 일주일 운행 가능

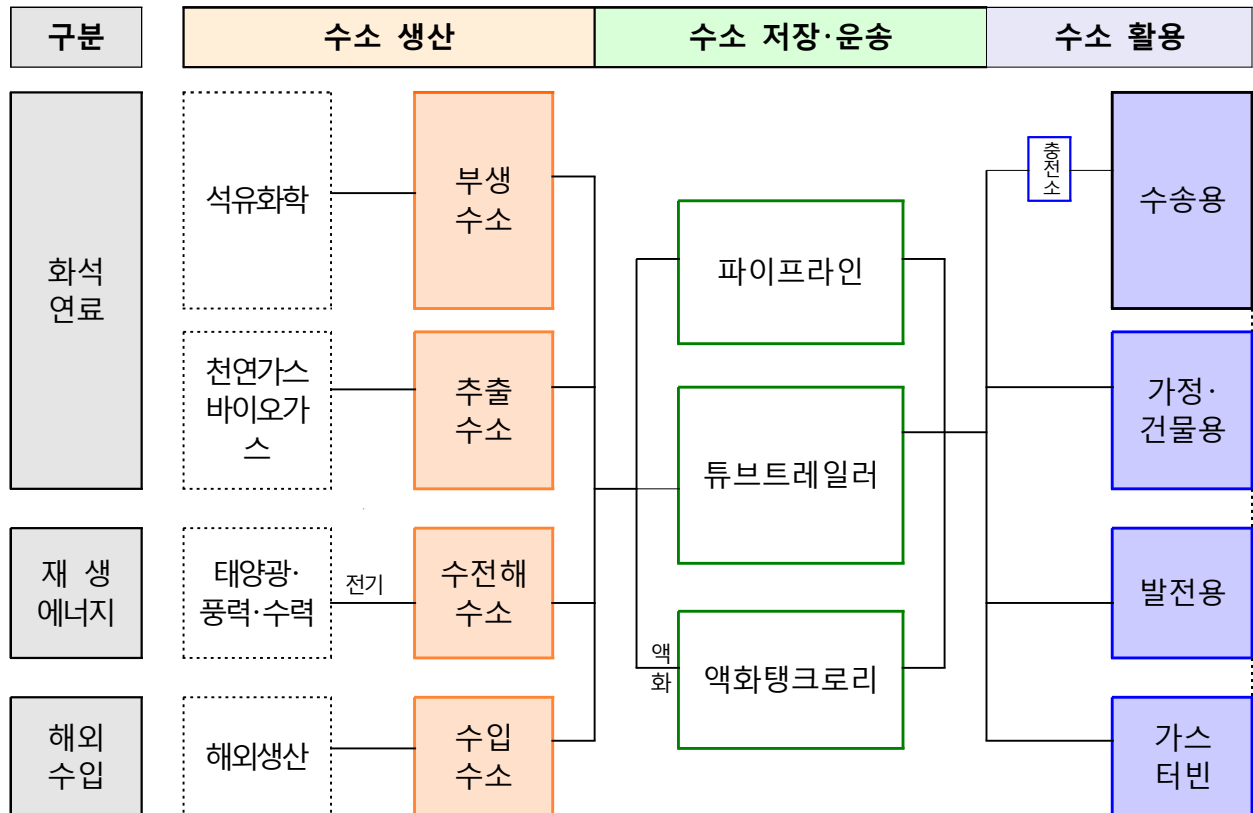
(2) 수출 증대 및 수입 대체 효과

- 국내에서 중·소규모 수소추출기 및 수소충전소 부품 국산화가 이루어지고 있으나 필드데이터가 부족하여 대부분 해외부품 적용되고 있어, 본 과제를 통해 소형화·모듈화·패키지화를 통해 수입의존도를 낮출 수 있음
 - 수소추출기의 국산화율 80%정도이나 핵심부품은 수입이어서 가격비로 보면 더 떨어질 것으로 전망
 - 국내 승용차용 250kg/day급 수소충전소의 국산화율은 30~40%로 대부분이 해외제품을 이용하고 있기 때문에 충전용량이 500kg/day급 수소충전소의 국산화율은 더 떨어질 것으로 전망 (출처 수소융합얼라이언스추진단)
- 수소생산·충전 시장은 수소차와 달리 각국의 정부주도로 구축되어 있어 연간 100개소 이상으로 시장이 형성될 것으로 전망하고 있어, 개발이 완료되고 실증이 완료되면 국내 수소 생산·충전 인프라 부품업계의 해외 시장진출을 가능케 함

(3) 연관 산업에 미치는 효과

- 수소산업은 전후방산업 연관 및 파급효과가 큰 새로운 성장동력 분야로서 국가차원에서의 육성 필요성이 높다. 수소에너지의 생산에서 저장·운송 및 활용 등 수소산업의 공급사슬 또는 밸류체인 전반에서 다양한 산업과 연계
 - 수소차 및 연료전지 분야는 협력 부품업체가 많으며 활용 확대에 따라 협력업체의 성장, 고용 창출과 연계된다
 - 수소 생산과 운송·저장, 충전소 등의 인프라 구축은 금속·화학·기계설비 등 관련 산업의 투자와 시장 및 고용 확대를 유발

- 전방 분야에서는 수소모빌리티와 전기, 열 등 에너지 분야까지 다양한 미래 신산업 창출이 가능
- 승용차에서 상용차, 열차, 선박, 드론 및 건설기계 등 모든 운송 분야에 수소가 활용되면서 새로운 산업생태계 창출이 가능할 것으로 예상
- 수소연료전지가 분산전원의 최적 에너지 전환 기술 및 설비로 부상할 전망



[수소산업 생태계]

6. 결론

과 제 명	도심내 잉여전력을 이용한 도심형 수소모빌리티 확산 인프라 모델개발 및 검증			
총개발기간	45개월 이내			
총사업비 (단위:백만원)	정부	지자체	민간	계
	29,000	12,500	1,500	43,000
1. 연구과제의 목표				
총개발목표	도심내 잉여전력을 이용한 도심형 수소모빌리티 확산 모델개발 및 검증 - 도시철도 잉여전력 활용 극대화를 위한 통합전력공급시스템 , 상태진단 및 고장예측 시스템 개발 - 도시철도 회생전력 활용 극대화를 위한 전력변환장치·에너지저장장치, 수소생산·충전 시스템 개발 - 유희에너지원을 활용방안 및 안전 모니터링 구축·수소 공급 인프라 실증 - 지역 맞춤형 도심형 수소기술 모델 확보를 통한 전국 확산 모델 구축			
2. 연구과제의 주요내용				
○ (1세부) 도시철도 잉여전력 기반 통합전력공급시스템 기술개발 - 통합전력공급시스템 개발 및 성능평가 · 전력변환장치 개발 · 도시철도 잉여전력/일반전력 블렌딩을 위한 계통연계 및 최적제어기술개발 · 통합전력관제 기술 개발 및 성능평가 · 통합전력공급을 위한 AC/DC차단기반 인터페이스 기술 개발 및 성능평가 - 신뢰성 확보를 위한 전력변환장치 상태진단 및 고장예측 시스템 개발 · 소프트웨어개발 및 검증 · 디지털 신호처리 하드웨어 개발 및 검증 · 인버터 수명가속 시험장치 제작 및 개발 ○ (2세부) 도심지역 적용 가능한 수소생산·충전 패키지 기술 개발 - 소형화된 모듈형 수소생산·충전시스템 및 패키지 개발 - 컴팩트화를 위한 모듈형 수소생산·충전시스템 핵심부품 개발 - 철도현장에 적용 가능한 수소생산·충전 시스템 자체 기술 기준개발 ○ (3세부) 도심형 수소생산·충전 Safety Monitoring 시스템 기술개발 - IoT 상태감시기반 수소생산·충전 자산관리 시스템 개발 - 수소생산·충전 통합안전(위험도)관리 시스템 개발 - 수소·충전 시스템에 대한 제3자 안전성 평가 ○ (4세부) 도심형 수소생산·충전 시스템 테스트베드 구축 및 성능검증 - 도심형 수소모빌리티 인프라 모델개발 및 확산을 위한 법/제도 개선 - 현장 적용성 제고를 위한 철도현장조사 및 필요 기술 분석 - 테스트베드 및 도심형 수소모빌리티 확산 인프라 모델 구축·검증 - 도심형 수소생산·충전 패키지시스템 실증 및 운영최적화 - 국토부, 산업부 사업의 참여기관간 수소모빌리티 확산 인프라 개발을 위한 협의체 구성·운영				

7. 참고 문헌

- 수소 기술개발 로드맵 (2019), 과학기술관계 장관회의
- 수소경제 활성화를 위한 수소 인프라 및 충전소 구축방안 (2019), 관계부처 합동
- 제4차 친환경자동차 기본계획(2021), 관계부처 합동
- 김재경 (2019), 수소경제 활성화 로드맵 수립 연구, 산업통상자원부
- 김재경 (2019), 친환경 CO₂-free 수소생산 활성화를 위한 정책연구, 에너지경제연구원
- 김선재 외 (2020), 한국형 수소경제의 지속가능한 실현을 위한 정부 연구개발 역할, 한국과학기술기획평가원
- 김선재 외 (2019), 수소경제 연계형 주력산업 연구개발 전략 연구, 한국과학기술기획평가원
- 최용호 (2020), 수소경제의 본격화 시점, 결코 먼미래가 아니다, 딜로이트 컨설팅
- 임성민 (2019), 수소에너지 - 정부정책에 기반, 지속적 성장 예상, 한국IR협회
- 제4차 에너지기술개발계획(2020), 이노베이션로드맵, 한국에너지기술평가원
- 정기대 (2019), 수소경제의 경제적·기술적 이슈 (Value Chain 5단계 중심), 포스코경영연구원
- 김종기 외 (2019), 한국 수소산업 생태계 분석과 발전과제, 산업연구원
- 배창한 (2016), 직류 전철 변전소의 실시간 회생실효에너지 추정 알고리즘 개발, 한국철도기술연구원
- 김명한 외(2016), “전동차 소비전력 영향요인 분석 및 예측 방안 연구,” 한국철도학회 춘계학술대회 논문집
- 한국철도기술연구원(2018), “도시철도 역사에너지 절감기술 개발 최종보고서,” 국토교통과학기술진흥원
- Mitsubishi electric Coporation, “Mitsubishi Electric Expands Lineup of Integrated 400V AC-output Station Energy Saving Inverter,” Mitsubishi electric For Immediate release No.3154
- 심재구 (2016), CCU 기술개발 국내외 기술동향, 한국전력공사 전력연구원
- 글로벌기술협력기반육성사업(GT) 심층분석보고서 - 이산화탄소 저감 및 자원화 기술 : 미국의 CCUS 산업 동향분석, 한국에너지기술평가원
- 김한해 외 (2018) 이산화탄소 포집·저장·활용기술, KISTEP 기술동향브리프
- IEAGHG Technical Report(2017), Techno-Economic Evaluation of SMR Based Standalone(Merchant) Hydrogen Plant with CCS, IEA GREENHOUSE GAS R&D PROGRAMME
- Hydrogen Roadmap Korea - A vision, roadmap and recommendation to develop Korea's hydrogen economy(2018)
- Hydrogen Economy Outlook - key messages(2020), BloombergNEF