

수소전기차 기술 경쟁력 확보를 위한 과제 및 전망

2019. 4. 5.

서울 모터쇼, KINTEX (일산)



김 민 수



서울대학교 기계항공공학부 교수

목차

1. 세계 환경 이슈와 규제

2. 수소전기자동차의 개요

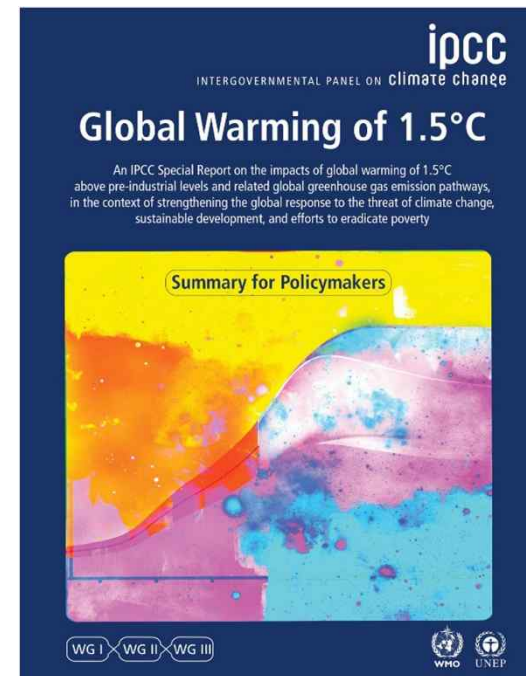
3. 관련 산업 세계 동향

4. 관련 산업 국내 동향

5. 수소전기자동차 기술

6. 미래 시장 전망

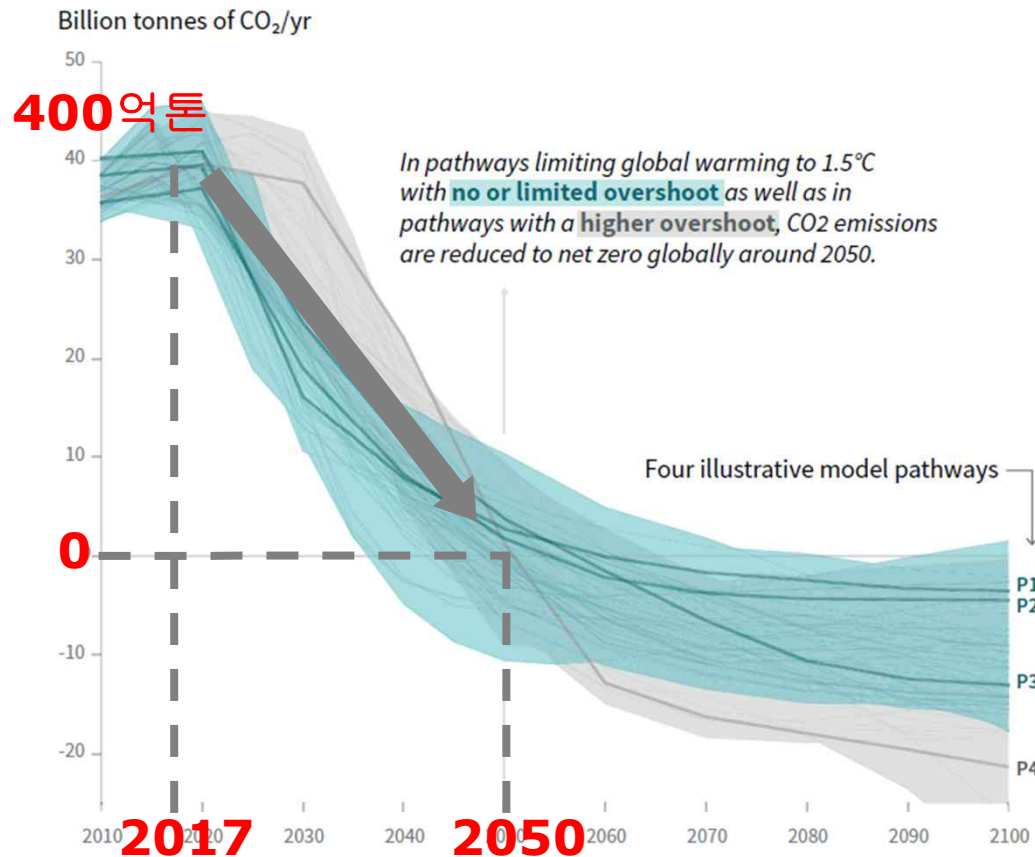
- ❖ ('18.10, 인천) **IPCC Special Report Global Warming of 1.5°C** 채택
- ❖ 기후변화에 대한 과학적인 평가를 위해 세계기상기구(WMO)와 유엔환경계획(UNEP)이 '88년 공동 설립



IPCC : Intergovernmental Panel on Climate Change 기후변화에 관한 정부간(IPCC) 협의체

1.5°C 기온 상승 제한

❖ **온실 가스 저감**을 위해 기존 화석연료에서 친환경에너지원으로의 전환 필요



1.5°C 시나리오를 위한 연간 CO₂ 배출량 감축

환경 시나리오

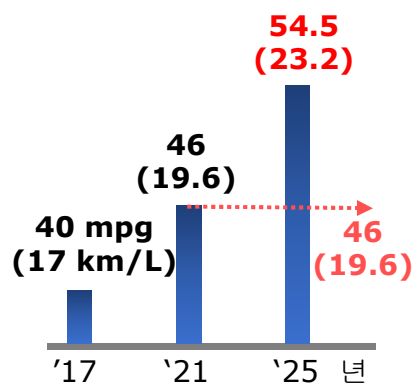
- ❖ '20년 이후, CO₂ 배출량 감소를 위한 전환점
- ❖ ('30년) '10년 대비 CO₂ 45% 감축
- ❖ ('50년) 'Non-zero'* 달성
(기존 '70년에서 감축)
* CO₂ 배출 대 흡수로 완전 상쇄 의미
- ❖ 목표 달성을 위해 사회 시스템이 친환경 에너지원 체제로 빠르게 변화해야 함

주요국의 자동차 연비/탄소배출량 규제

- ❖ 주요 자동차 시장의 연비 규제 강화, CO₂ 배출량 규제
- ❖ 환경 규제를 통한 친환경차 보급 확대 유도
- ❖ 높은 가격과 인프라 부족 → 원가절감 기술 개발 및 수소충전인프라 보급

미국

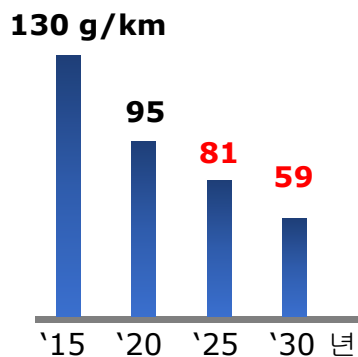
❖ 연비 규제 (CAFE)



→ 트럼프 행정부 연비 규제 완화 움직임 ('18. 08. 02)

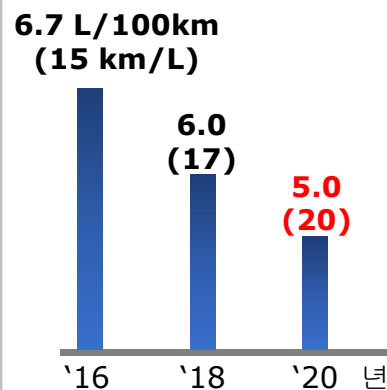
유럽

❖ CO₂ 규제



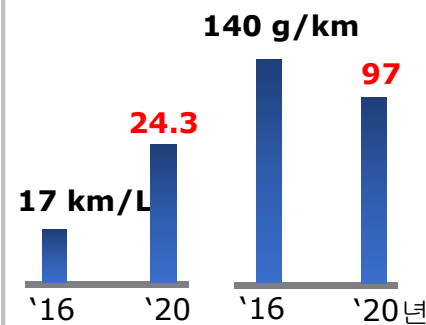
중국

❖ 연비 규제



한국

❖ 연비 및 CO₂ 규제



※ CAFE: Corporate Average Fuel Economy (기업평균연비)

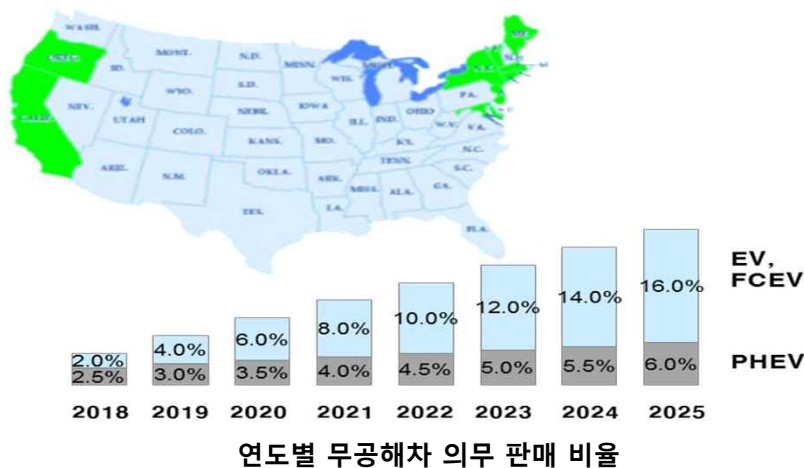
주요국의 친환경차 보급 정책

❖ 신재생에너지차 시장 확대를 위한 의무 판매 및 구매 지원 정책

미국, ZEV 크레딧

❖ 캘리포니아 '20년 100만대, '25년 150만대

- 18MY ZEV 의무적 2% 판매 (매년 2%씩 증가)
- 위반시 1크레딧 당 벌금 \$5,000
- 채택 주: 캘리포니아, 오레곤, 뉴욕 등 10개 주



※ ZEV: Zero Emission Vehicle
※ MY: Model Year

중국, 신에너지차 정책

❖ '15년까지 50만대, '20년 500만대 보급

- 공공기관 차량 구매 시 신에너지차 30% 구매
- '20년까지 수소전기차 보조금 (20만 위안) 유지
- *기타 신에너지차(EV/PHEV) 보조금 점진적 축소 추진

❖ 신에너지차 크레딧

	PHEV	BEV	FCEV	
AER	50	250-350	350	250-350
가중치	2	3.8-6	5-6	4

❖ 신에너지차 의무 판매비율

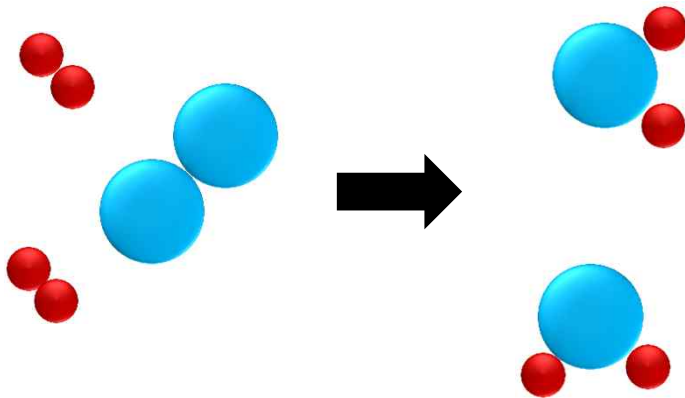
Year	2018	2019	2020
Case #2	8%	10%	12%

대상: 물량 ≥ 50,000 대/년

※ AER: All Electric Range

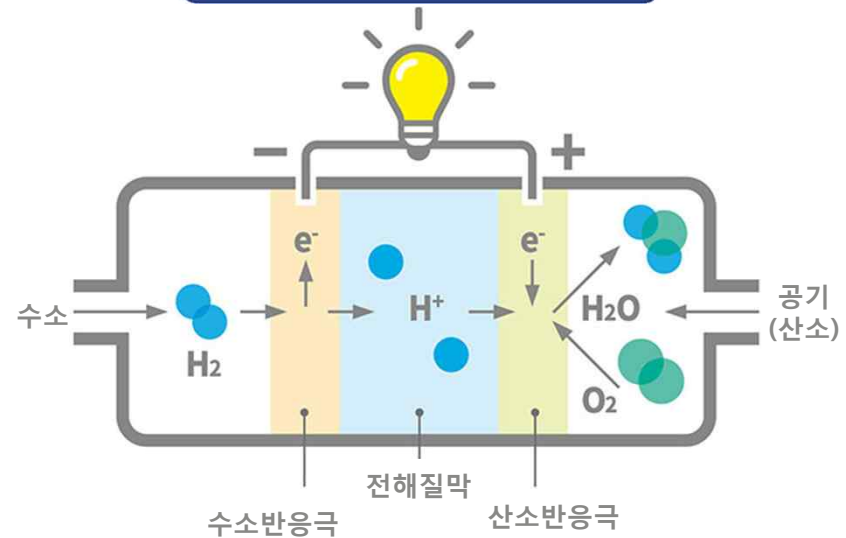
수소에너지 및 연료전지 개념

수소에너지의 개념



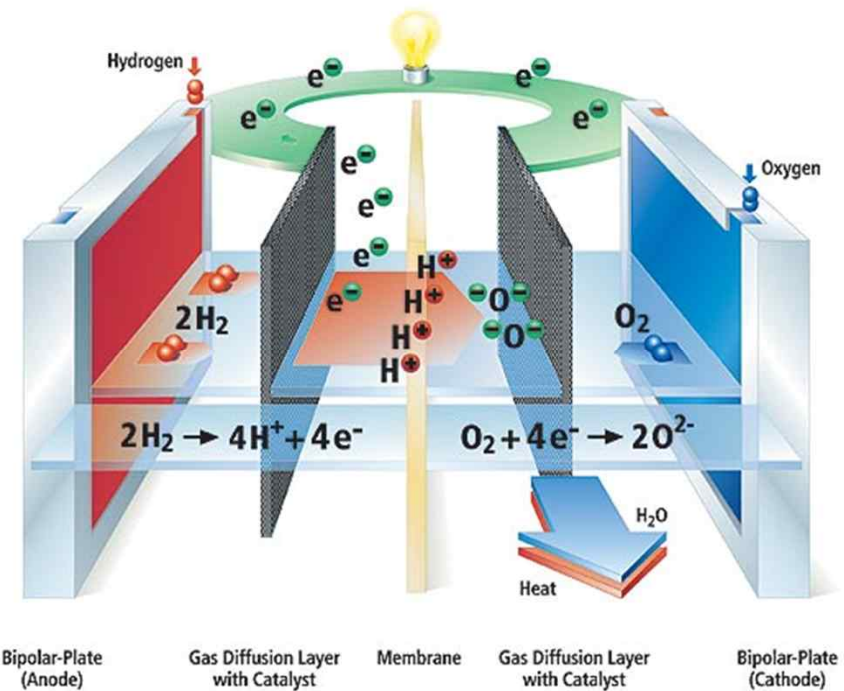
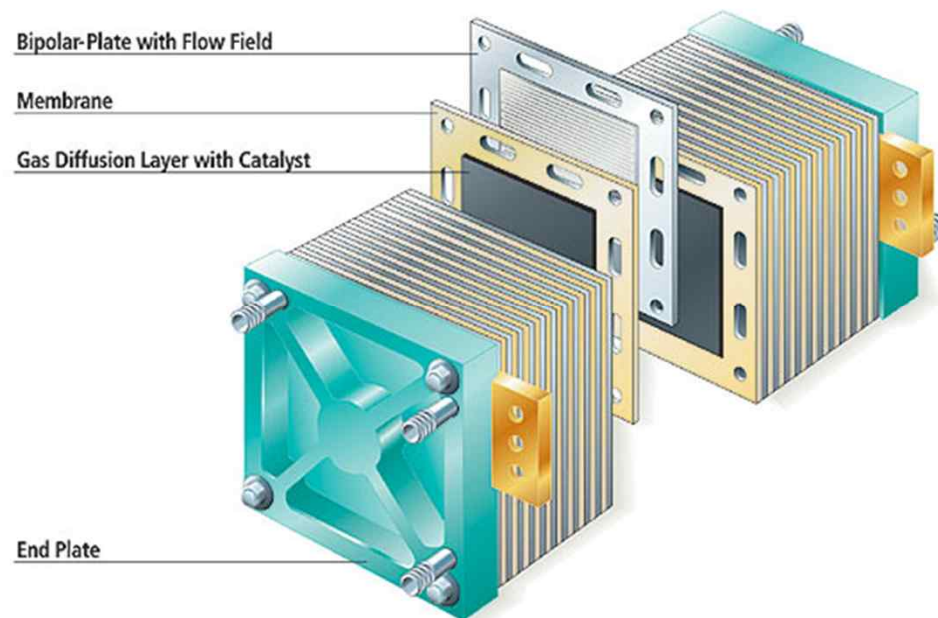
- ❖ 수소-산소 간 물 생성 반응 시 전자 교환
- ❖ 산화환원 반응
- ❖ 전하의 흐름 (=전류)

연료전지 원리



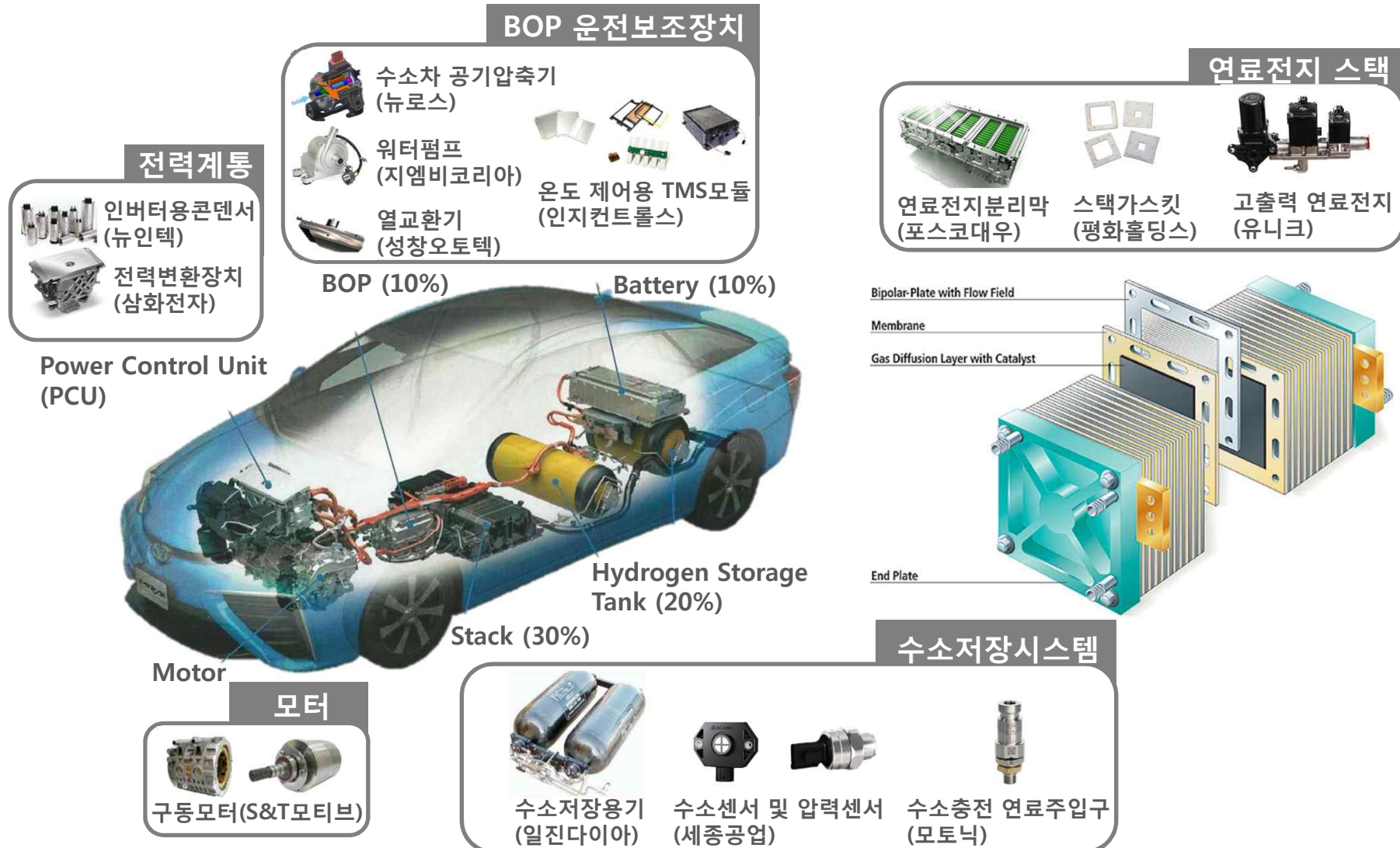
- ❖ 수소-산소 산화환원 이용 전기 생성
- ❖ 높은 에너지 효율
- ❖ 순수 상태의 물과 미활용 열만 배출

연료전지 스택



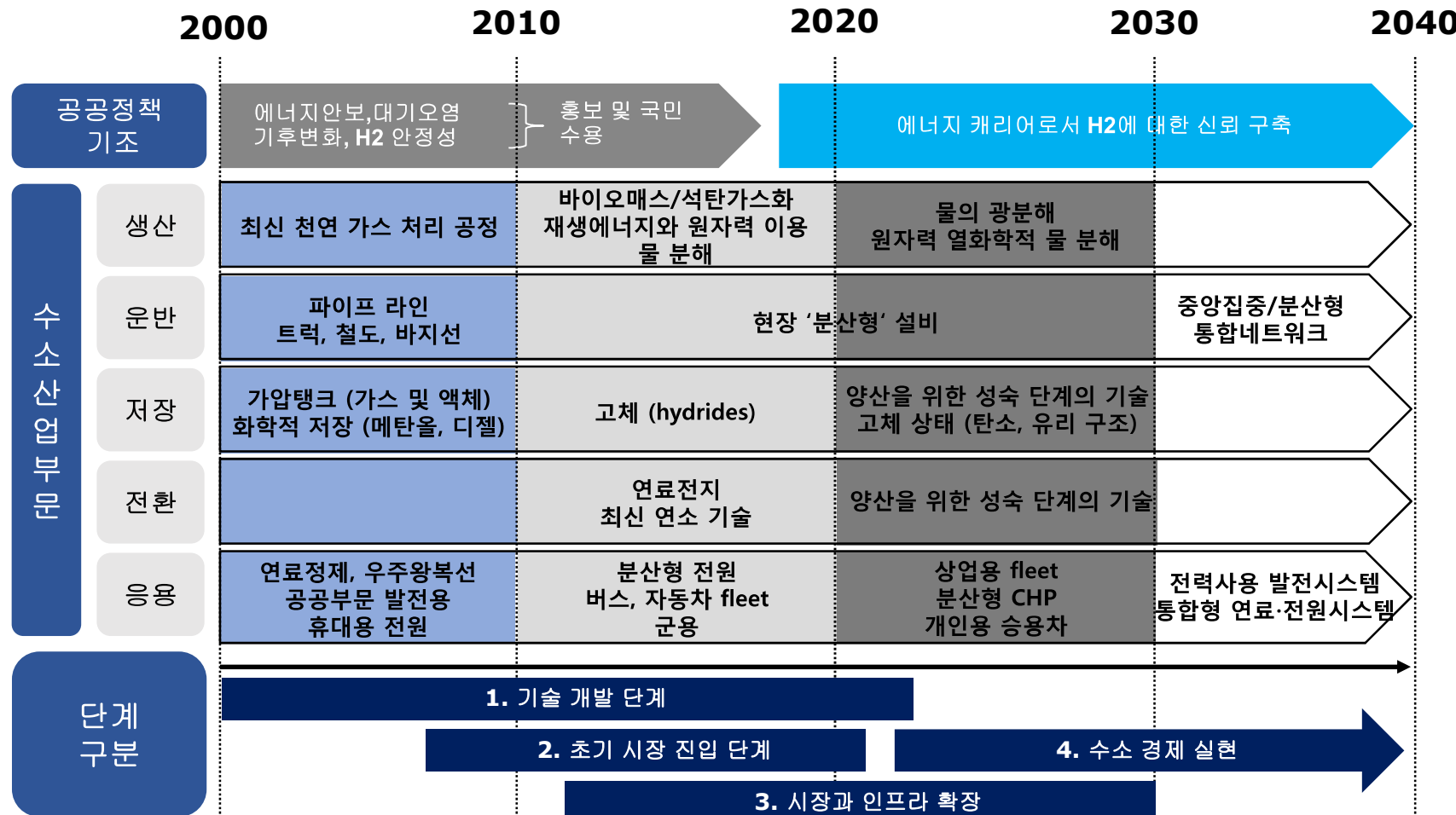
수소 연료전지 스택 구성품

수소전기자동차의 부품 구성

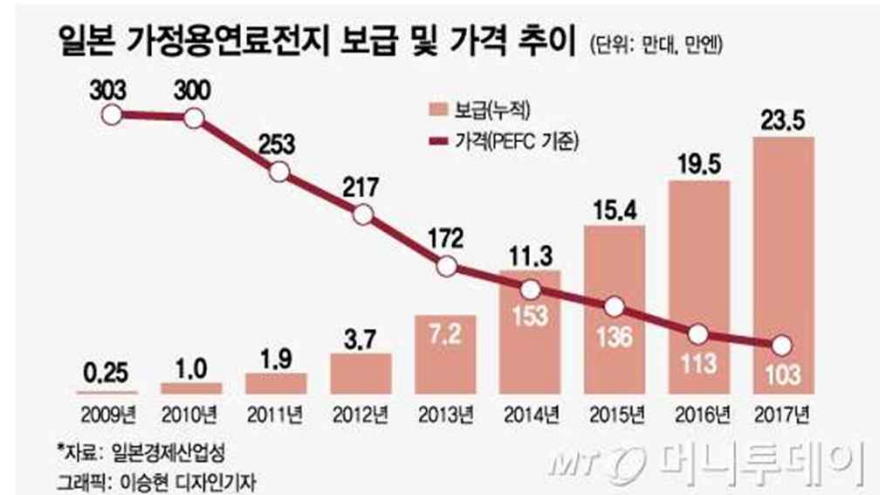
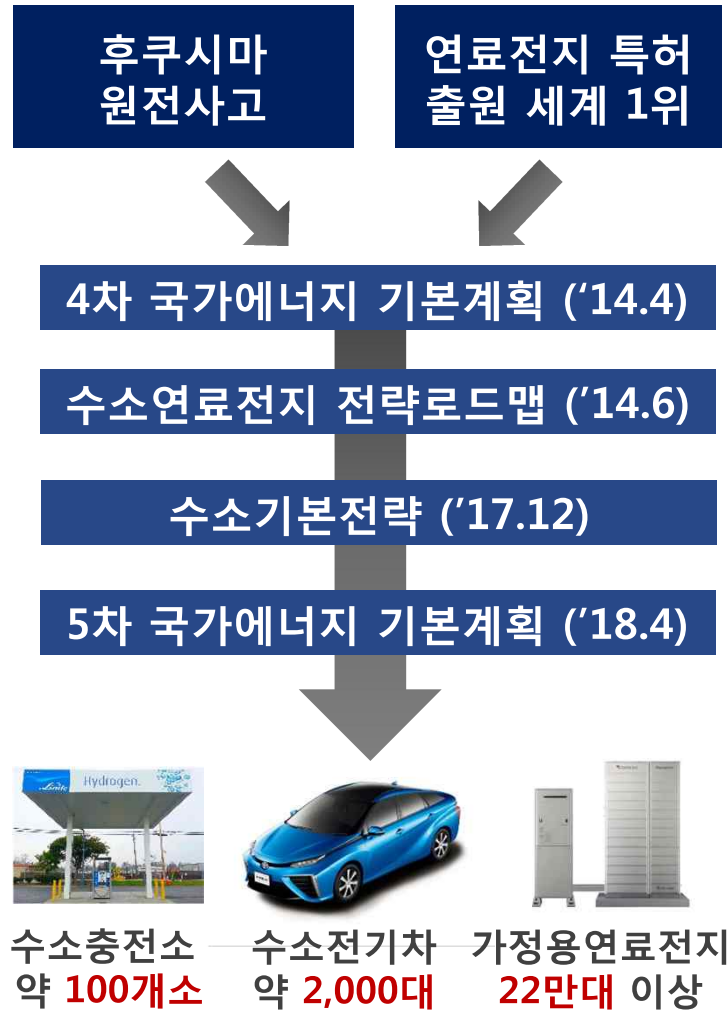


미국 수소경제 로드맵(2003)

- ❖ ('03년)부시 정부 "A Hydrogen Economy-To 2030 and Beyond" **최초로** 수소경제 로드맵 수립
- ❖ 수소연료발의(인프라 '03~'07), FreedomCAR(수소차 '02~'06) 등으로 5년 누적 총 **17억불** 투자

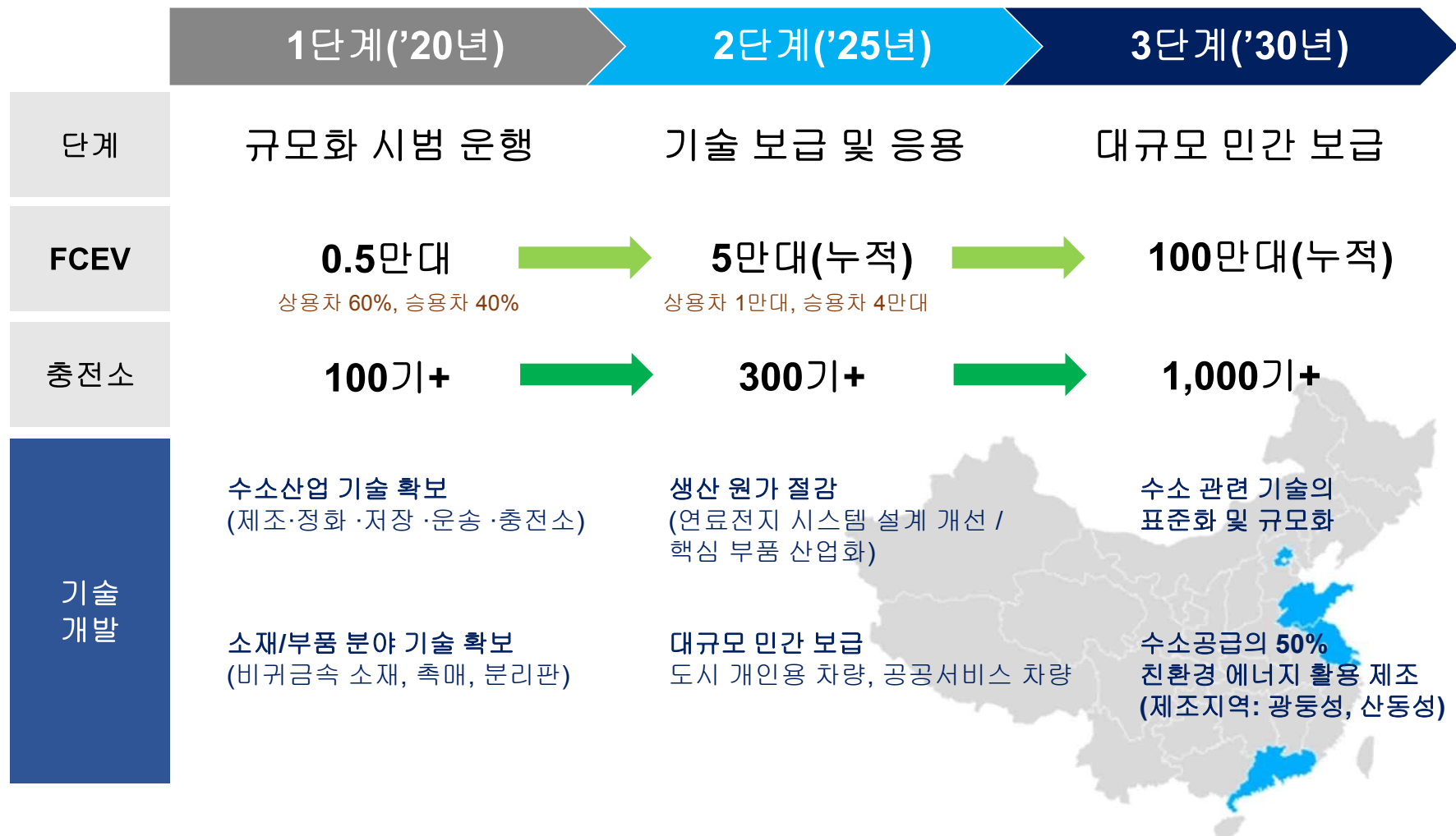


일본 수소전기자동차 보급 로드맵



중국 수소전기자동차 보급 로드맵(2016)

❖ 중국 정부 주도의 수소전기차 및 인프라 보급 계획

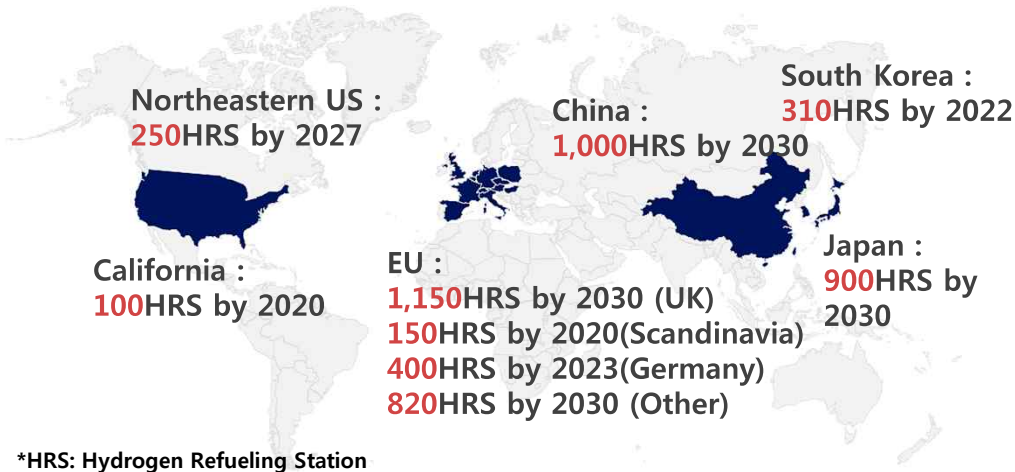


세계 충전소 동향

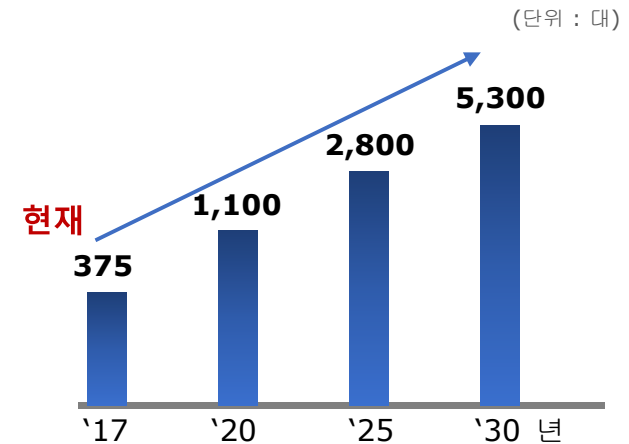
세계 수소충전소 보급 현황

- ❖ **구축** '17년 **전세계 375개소 충전소 가동** → '30년 5,300개소 (보급 로드맵 기준 15,000개소)
* 국가별 현황: ('17년 기준) 미국(65), 일본(96), 중국(7), 독일 (57), 프랑스 (16)
- ❖ **업체** 수소충전소를 구축 중인 대부분 글로벌 대표 충전설비업체 보유
* Linde(독일), Air Products(미국), Air Liquide(프랑스), H2Logic(덴마크), BP(영국), Hydrogenics(캐나다) 등
- ❖ **비용** 중소형 충전소 독일 13억원, 일본 40억원 → '30년 대형 충전소 1기당 약 16억원(독일)
* 비용 절감 요인: 설비 기술 향상, 충전 설비 규격화 및 충전소 규모 대형화 등

주요국의 수소충전소 구축 계획



세계 충전소 가동 현황 및 전망



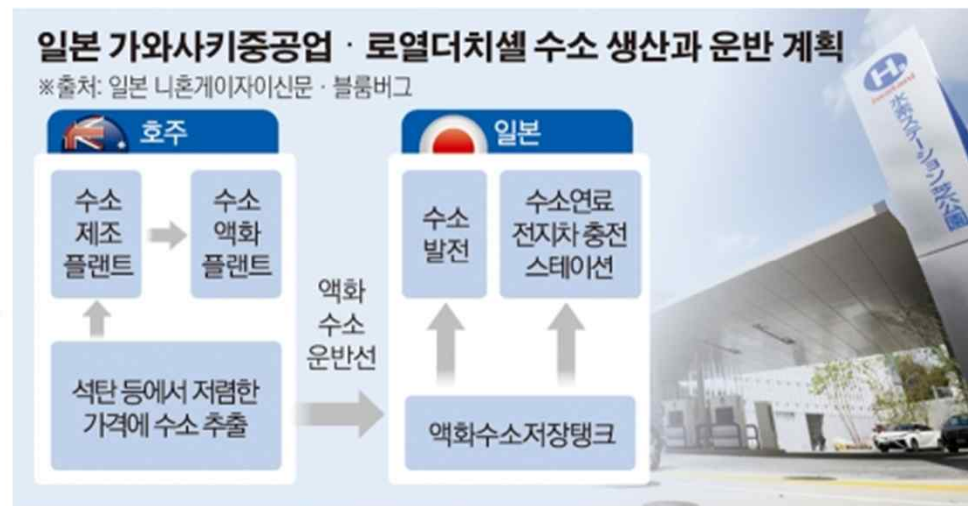
세계 수소 생산 및 공급 계획

주요국 수소 생산 현황

- ❖ **유럽** 수소, 메탄 가스, 전기의 순환 방식 **P2G** 기술 → 탄력적인 에너지 수요 대응
- ❖ **일본** 해외 생산 액화 수소 캐리어를 통한 액화 수소 저장 및 운송
 - ※ '가와사키 중공업' 액화수소 저장·운반 관련 기술 전담 개발
 - ※ 수소 운반 기술 개발 위해 로열더치셀(LNG 운반 기술 보유)과 제휴 ('16년)
- ❖ **호주** 잉여 재생에너지를 활용한 **수전해** 수소 제조 개발 중
 - ※ 갈탄에서 수소 추출 → 일본 수출
 - ※ 일본 자국 수소 생산 보다 50% 이하 가격에 수소 생산



액화 수소 캐리어 (가와사키중공업)



국내 수소전기자동차 보급 로드맵

정부 수소경제 로드맵 발표 ('19.01)

- ❖ '18년 **산업혁신 2020플랫폼**에 이은 현 정부 수소 관련 산업 육성 정책 발표
- ❖ 발표 중 “국가에너지시스템을 근본적으로 바꾸면서 신성장동력을 마련할 수 있는 기회”
- ❖ 수소차 생산량 확대, 수소충전소 확충, 수소 대중교통 보급, 수소 생산 및 공급 시스템 조성 등



문재인 대통령 전국경제투어



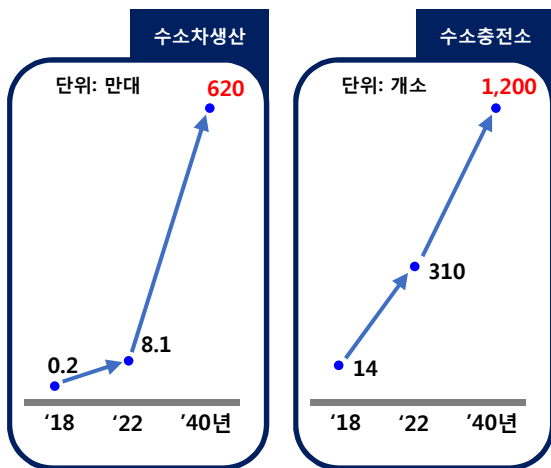
주요 기업 포함 **14**개 기관 고용투자 협약 체결

보급 로드맵 주요 내용



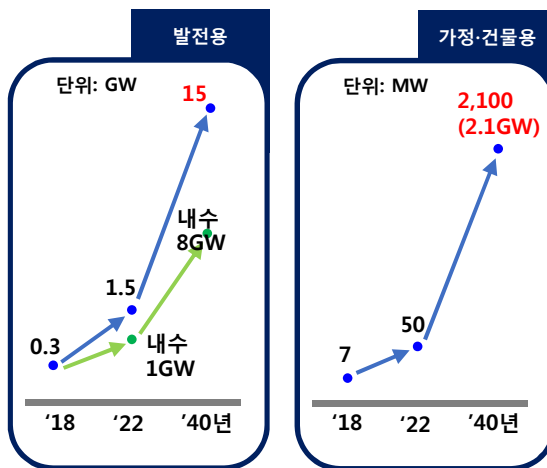
수소 모빌리티

- ❖ 620만대, 1200개소
- ❖ ('25년) 양산 체계 → **가격 하락**
※ 내연기관차 수준의 가격 목표
- ❖ SPC 확대 → 민간주도 충전소 확대
※ SPC: Special Purpose Company



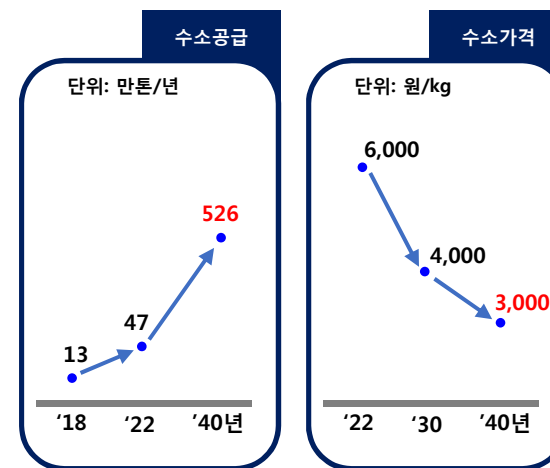
수소 에너지

- ❖ 연료전지 발전용 15GW
- ❖ ('25년) LNG 발전 수준 가격하락
※ 설치비 65%, 발전단가 50% 하락
- ❖ 신축 건물 연료전지 의무화 검토



수소 생산

- ❖ 연 526만톤, 3,000원/kg
- ❖ ('22년) **P2G** 기술 확보
※ 신재생에너지 - 수전해 생산 연계
- ❖ 수전해, 해외 생산으로 공급
※ 대량 공급으로 가격 하락 유도



국내 수소 모빌리티 전망

수소 모빌리티

- ❖ (~'40년) **목표** 수소전기차 620만대 생산 및 수소충전소 1,200개소 구축
- ❖ (~'25년) **가격** 연 10만대의 상업적 양산체계 구축 → **내연기관차 수준으로 가격 하락**
- ❖ (~'22년) **부품** 국산화율 99% → 100% 달성 핵심부품(막전극접합체, 기체확산층 등)
- ❖ 공공부문 및 민간 수소전기차 보급 확대



- ❖ ('19)35대 → ('22)2천대 → ('40)4만대
- ❖ ('19) 공공부문 버스 수소 버스 전환

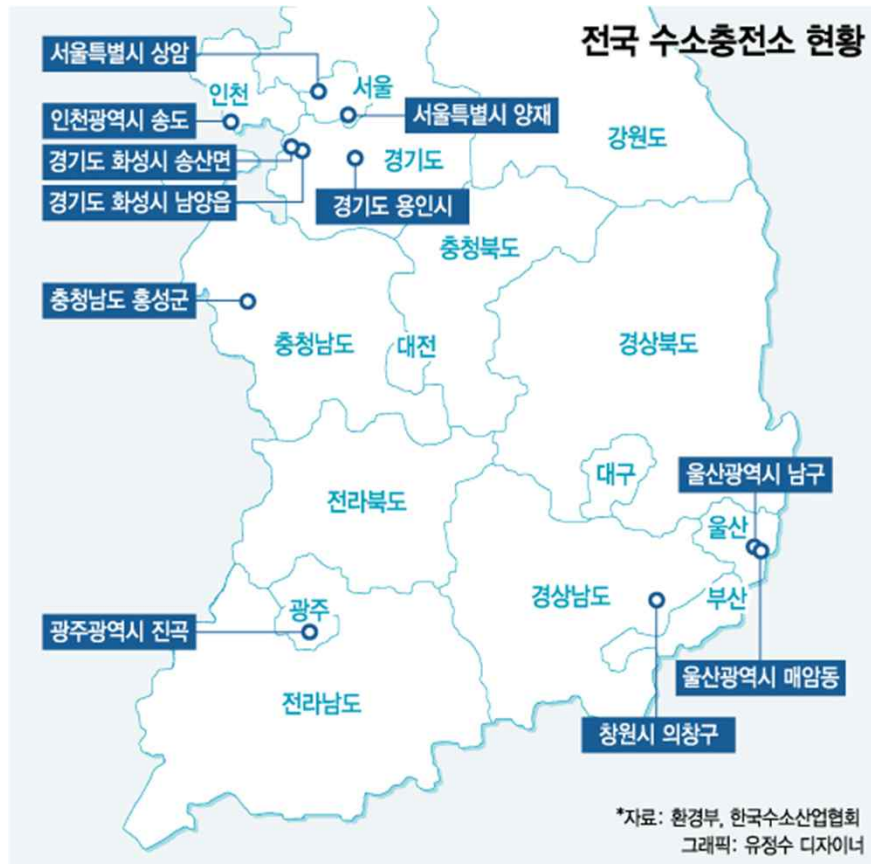


- ❖ ('19)서울시 택시시범사업 → ('21) 주요도시 보급 → ('40) 8만대



- ❖ ('20)상용트럭개발 → ('21) 쓰레기차 살수차 등 공공부문 보급 → ('40)3만대

국내 충전소 동향



전국 수소충전소 현황('18.2)

수소충전소 보급 계획

- ❖ (~'40년) **목표** 수소충전소 **1,200개소** 구축
 - ❖ ('19) 14개소 → ('22) 310개소 → ('40) 1,200개소
 - ❖ 설치 보조금 지원 및 운영 보조금 검토
 - ❖ SPC 참여 → 민간주도 충전소 확대
 - ❖ 규제샌드박스 활용 → 충전소 규제 완화
 - ❖ LNG, CNG 및 수소 충전이 가능한 융합형 충전소
- ※ SPC: Special Purpose Company



패키지충전소



융합형 충전소

수소충전소 건설비용 저감기술 개발

수소전기차 관련 기술개발 로드맵

10개년('19~'28년) 연구개발 로드맵

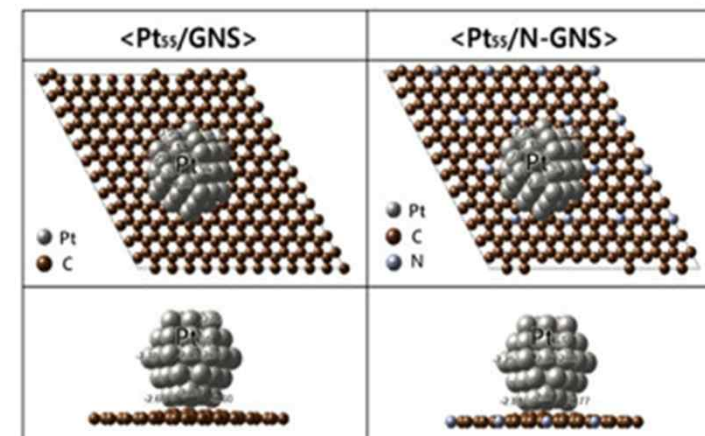
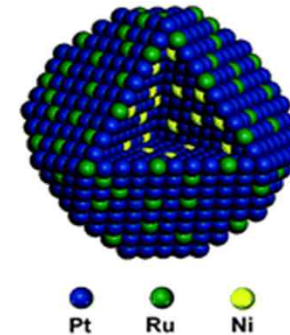
	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028
스택		고내구성 전극/촉매/담지체(MEA)								
		전해질막 / GDL 박막화 및 백금 저감형 촉매 개발								
운전 장치		가변압 수소/공기 공급시스템 모듈화								
		고성능 연료전지 냉각 기술								
수소 공급		700bar 수소저장용기 대량생산								
		수소 수송용 대용량 튜브 트레일러 개발								
신뢰성 향상	전력반도체 및 고전압 기능 부품									
		빅데이터/인공지능을 접목한 연료전지 고장 검출 및 진단 기술								
상용차 개발		상용차 전용 고출력 / 대면적 스택 개발								
		상용차 전용 시스템을 위한 운전장치 개발								
		글로벌 상용차용 수소탱크 대응을 위한 타입 / 저장 압력 별 탱크 개발								

전해질막 / GDL 박막화 및 백금 저감형 촉매 개발

- ❖ 원소재 사용량 최소화 및 원가절감을 위한 전해질막 / GDL 박막화 기술 개발
- ❖ 촉매 이용률 극대화 및 원가절감을 위한 저백금 / 비백금 촉매 개발

• 부품 별 상세 개발 계획

전해질막 /GDL 박막화	전해질막 박막화	원소재 (이오노머, ePTFE 등) 사용량 저감 기술 개발
	GDL 박막화	GDL 두께 절감을 통한 셀 박막화 기술 개발
저백금 촉매	단일 촉매	촉매 담지 비율 최적 설계 기술 등 (이용 백금 사용량 저감) 비백금 촉매 기술 개발
	합금 촉매	백금 - 전이금속 이용 합금 촉매 개발
	신기술	신 구조 적용 선행 촉매 기술 개발



※ GNS : Graphene Nano Sheet

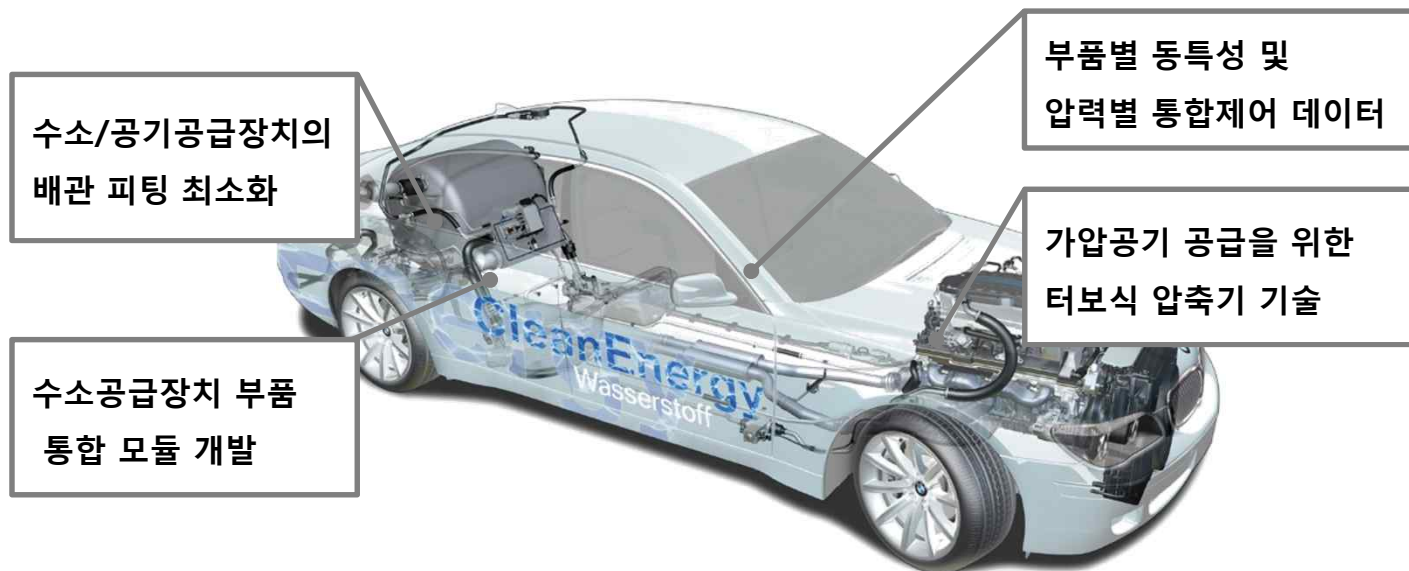
운전 장치 분야

가변압 수소 / 공기 공급시스템 모듈화

- ❖ 연료전지시스템의 압력 가변 제어 기술로 차량의 최대 출력 향상 가능

※ 단, 가변압력 조건의 운전 중 한 부품의 문제발생에도 압력차에 의해 스택 파손 우려가 있으므로
관련 계통의 부품 정밀도 중요 고압밸브, 배관, 안전장치 부품 개발 중

- ❖ 수소저장장치를 포함해 관련 부품을 통합할 수소 / 공기 공급시스템의 모듈화 기술 필요

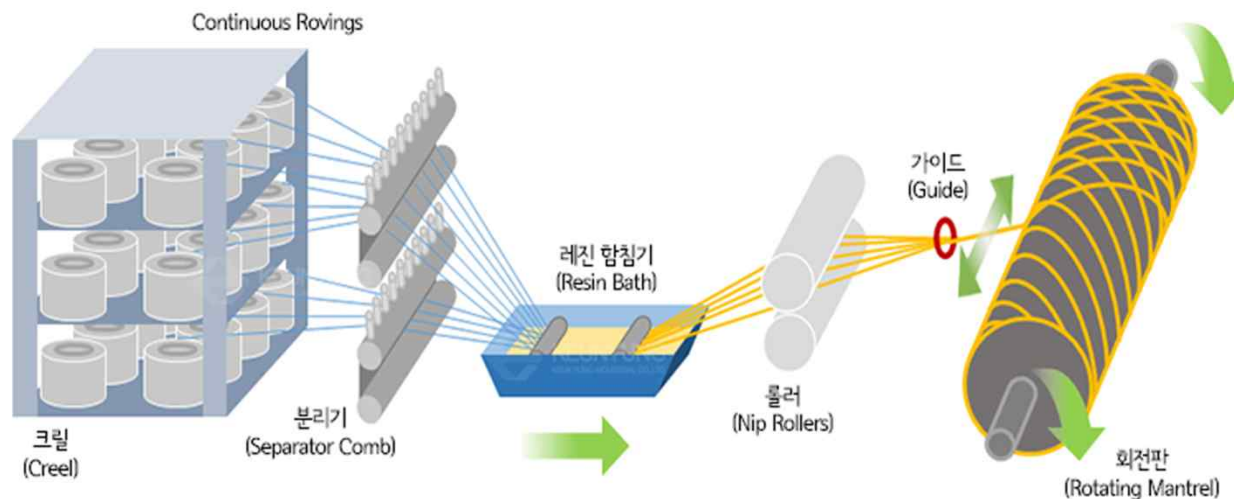


수소 공급 분야

700 bar 수소저장용기 대량생산

- ❖ 수소 내 투과 라이너 소재, 고강성 탄소 소재, 고가 탄소 소재 절감을 위해서 **필라멘트 와인딩 공법**을 수소저장용기 생산기술에 적용함
- ❖ 수소저장용기는 수소전기차 가격의 약 15%로 제조비용 절감을 위해 대량생산 기술 개발
- ❖ 해당 분야 선도기업으로 Toyota, 다이네텍이 있으며 국내 수소전기차 부품 기술 중 가장 미흡함

• 필라멘트 와인딩 공정

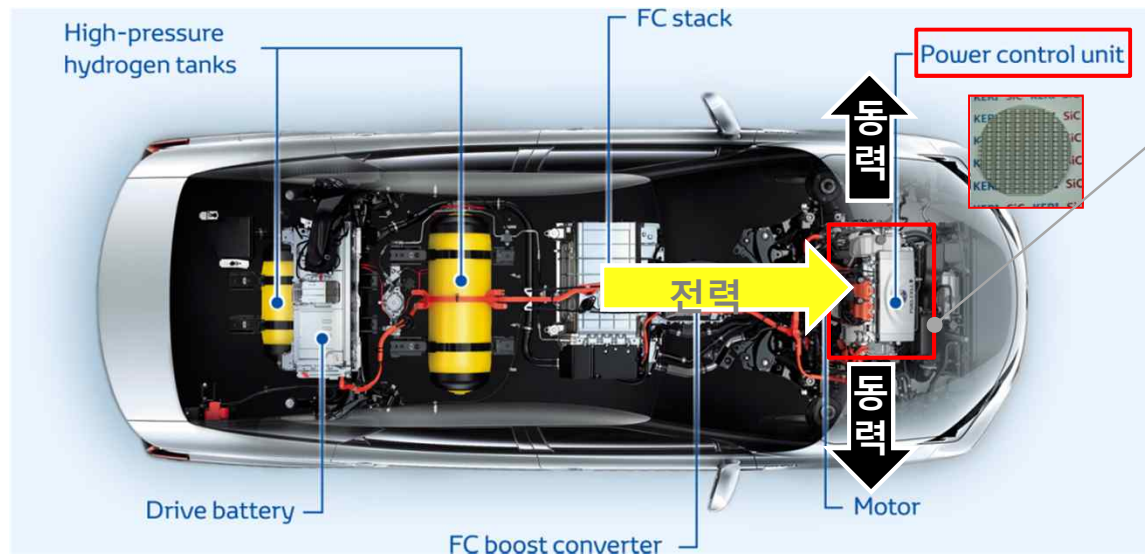


- 저렴한 비용으로 제조단가저감
- 조인트가 없어 고압력용기 적합
- 자동화로 연속적인 공정 수행 가능

신뢰성 향상 분야

전력반도체 및 고전압 기능 부품 기술

- ❖ '자동차관리법'에 명기된 고전압 전기 안전 기준 이상의 기술을 확보하기 위해 스택 및 전용 모듈의 내구성, 안전성 영향 부품의 성능 개선
- ❖ 전기 안전 문제는 한순간 안전사고로 나타나기 때문에 이를 사전 방지하는 기술 필요
- ❖ 전력반도체는 전류/전압 제어 부품으로 손상 시 동력 차단 등 문제 → 高신뢰성 필요



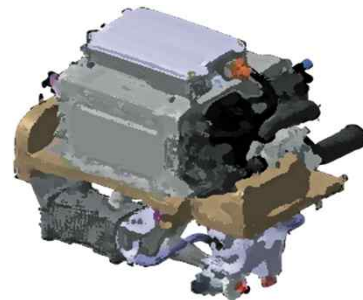
- SiC 전력반도체 특성
(기존 실리콘 기반 반도체 대비)
 - 높은 항복 전압 특성 (10배)
 - 우수한 열전도도 (3배)
 - 높은 주파수에서 동작 가능

상용차 스택 분야

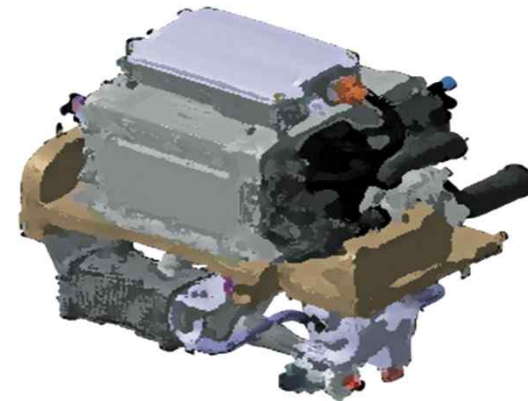
상용차 전용 고출력 / 대면적 스택 개발

- ❖ 트럭 등 일부 상용차 주행환경 고려 시 승용 연료전지스택으로 출력 수준 만족 어려움
- ❖ 수소전기 트럭의 순항 요구 출력 만족을 위한 고출력 / 대면적 스택 개발 필요

스택 출력	기존 승용 연료전지스택 대비 요구출력 2배 수준 (100kW → 200kW급)
스택 사양	<ul style="list-style-type: none"> - 요구 출력 확보 위한 전극 면적 증대 필요 (최대 인가 전류 증가) - 발열량 및 운전장치 부품 유량 증가 → 변경사항 고려 부품 개발 필요



승용/상용 저출력

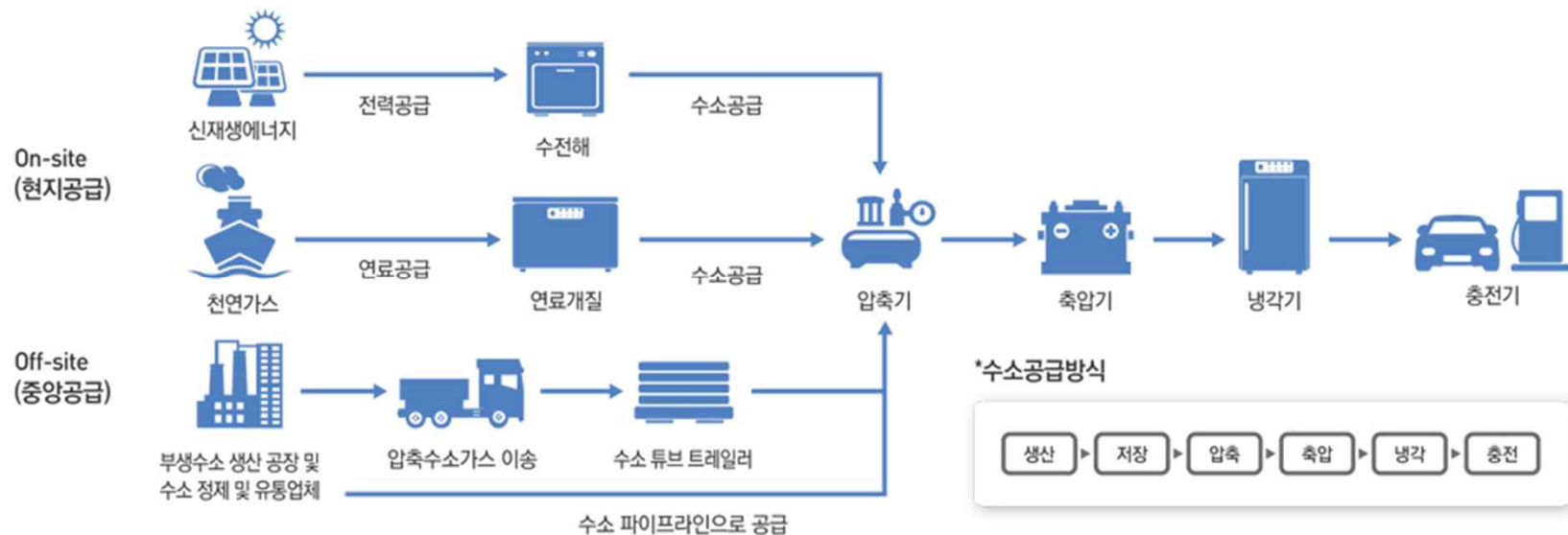


상용 고출력 전용

부생수소 활용 방안

부생 수소 활용 전략

- ❖ **개념** 화학 공정 중 발생한 수소를 이용하는 기술
- ❖ **공급** 울산 · 여수 등 석유화학, 제철 단지의 부생수소를 파이프라인 및 트레일러로 공급
- ❖ **생산** ('16년) 국내 수소 생산의 **75%** → 정유 공장



수소 생산 전략

수소 추출 기술

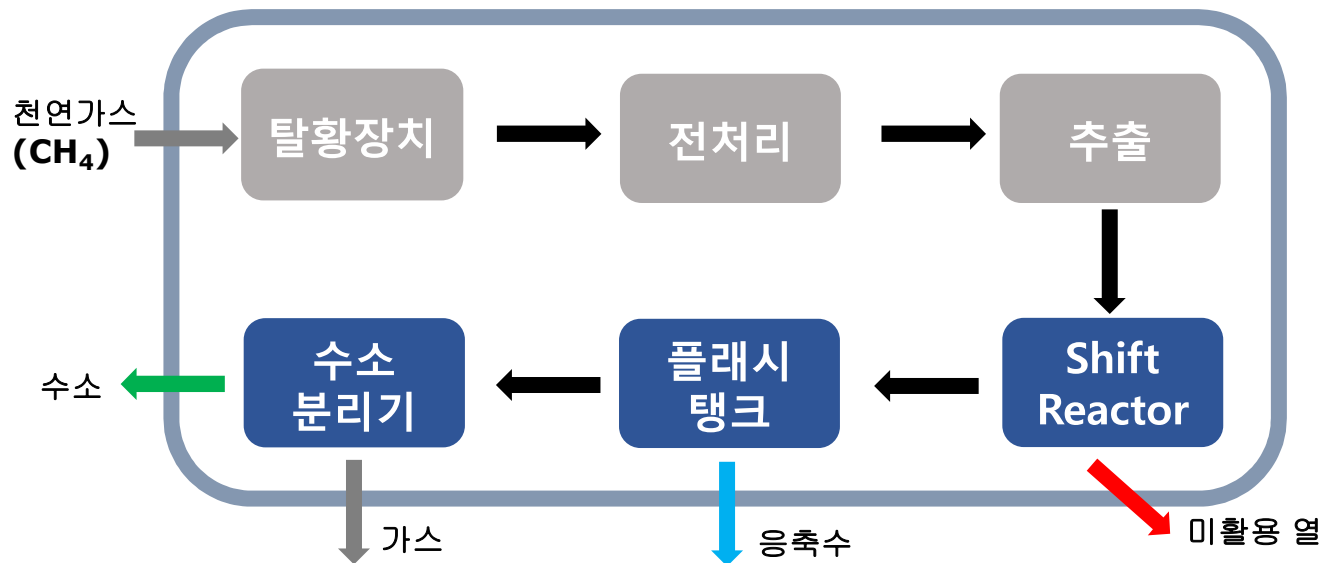
추출을 이용한 수소 생산 기술

- ❖ 천연가스를 원료로 화학적 분해·결합 반응을 이용한 수소 생산

※ 추출 반응식: Steam reforming (SMR) $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + 3\text{H}_2$

- ❖ 수소 추출 기술을 도입으로 CNG 및 수소 공급이 가능한 복합 충전소 설치

※ 서울상암수소충전소: 난지도립매장의 매립가스를 추출하여 수소 생산·공급



수소 추출 과정 및 부산물

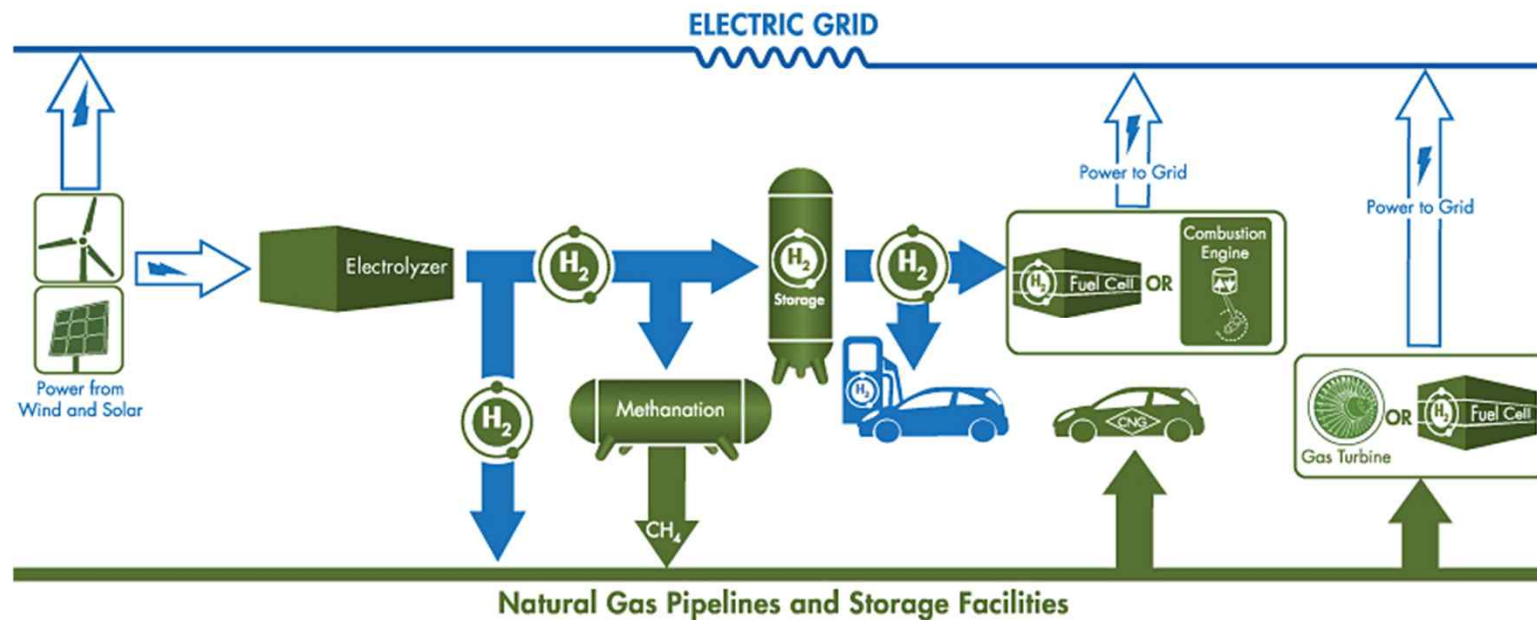


상암동 수소충전소 ('11년 설립)

신재생에너지 이용 수소 생산 기술

가스전력화 P2G(Power to Gas) 기술

- ❖ **개념** 재생에너지의 잉여 전력 → 수전해 수소 / 메탄 생산 → 에너지 저장 및 Peak 대비
- ❖ **진행** 미국 캘리포니아, 일본, 유럽 등 주요국 중심으로 P2G 기술 실증 개발 중
- ❖ **기술** 수소 생산 장치, 수소 공급망, 수소 액화 장치, 메탄화 과정 장치 등 기술 개발 필요
- ❖ 호주 일본과 연계해 P2G 기술 개발 및 수소 수출 계획 중



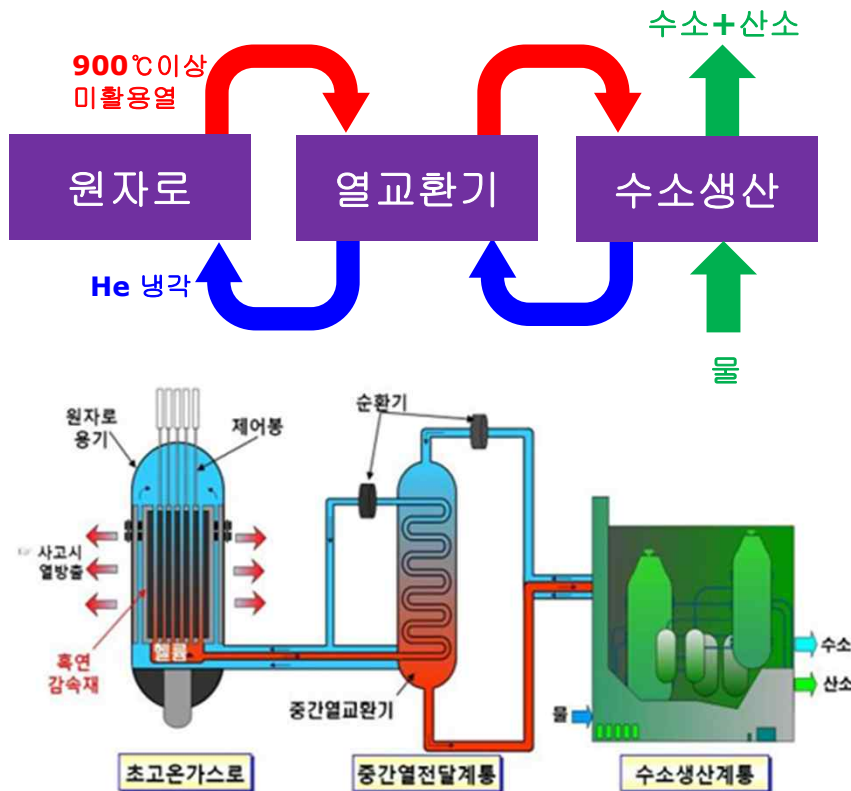
P2G(가스전력화)기술 흐름

초고온 가스로 이용 수소 생산 기술

초고온 가스로 (VHTR)

- ❖ 900°C 이상의 원자로 미활용 열을 이용한 수소 제조법
- ❖ '물 → 수소' 로 고온 분해 / 고온 가스로 전기 생산

※ VHTR: Very High Temperature gas-cooled Reactor



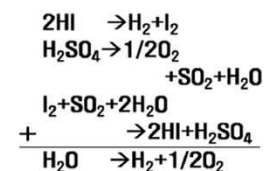
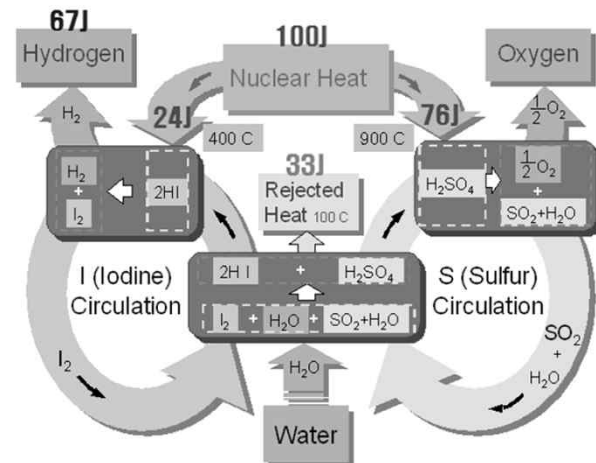
- 900°C, 수소·전기 생산시설 개념설계 연구 완료
- 현재 고온 전기분해 수소생산 연구 집중



- '10년 50일간 950 °C 운전 성공, 실증 추진
- 600 MW급 수소·전기 생산 상용로 개발 연구 중



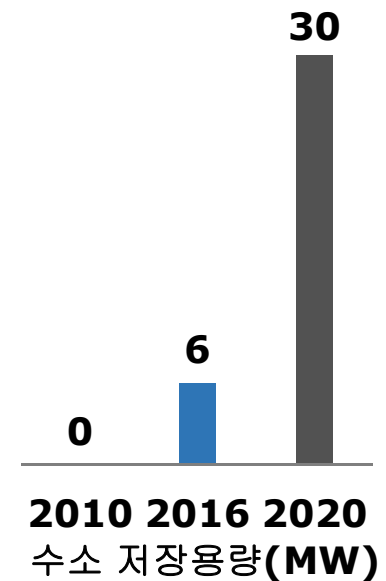
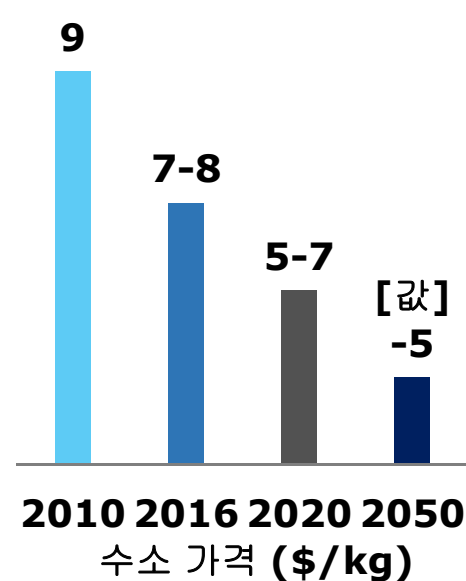
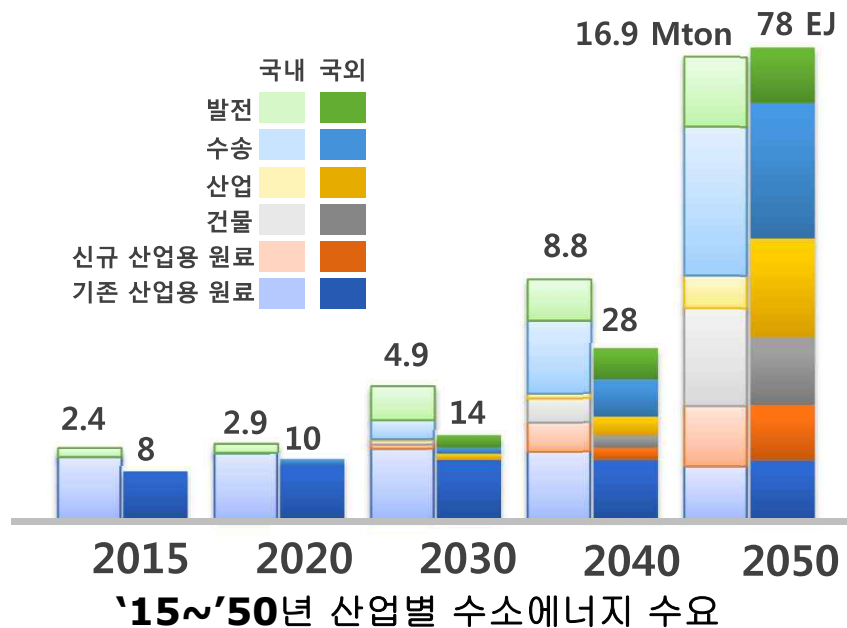
- 초고온가스로 계통개념연구 완료
- 설계해석코드, 핵연료, 초고온재료 개발 중



수소전기자동차 시장 전망

세계 수소에너지 사용량 증가

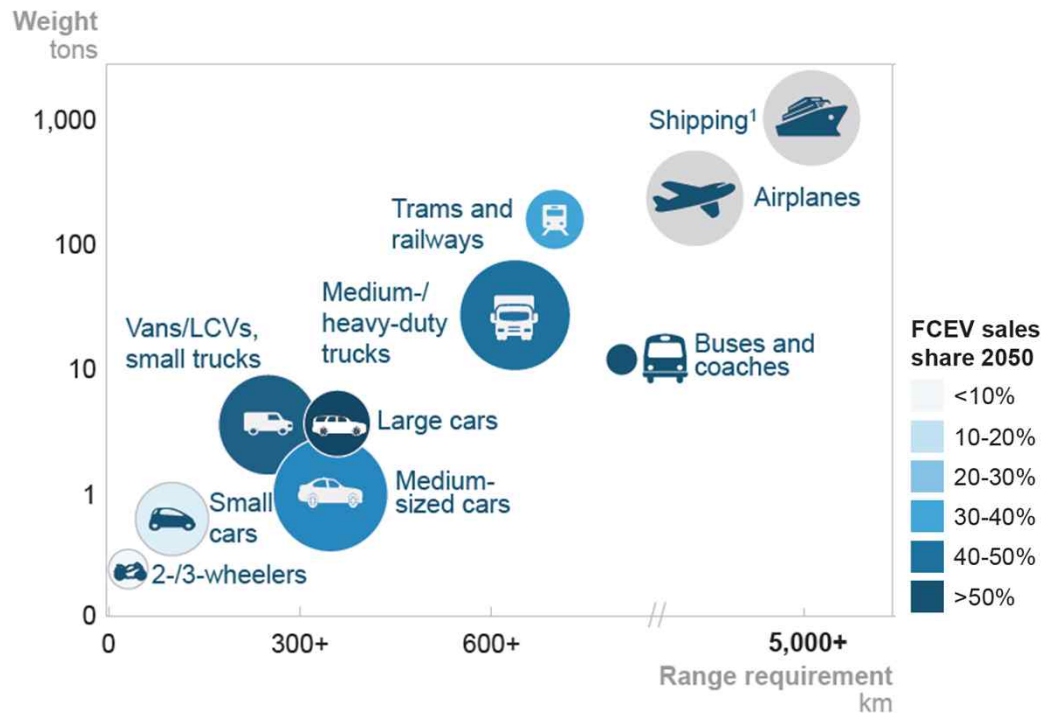
- ❖ **수요** 세계 에너지 수요 **18%** 수준으로 확대될 것으로 전망
(국외) '15년 8 EJ → '50년 78 EJ (국내) '15년 2.4백만톤 → '50년 16.9백만톤
※ 1 EJ (Exa)= 1018J로 전세계 하루치 에너지 수요에 해당하는 수준
- ❖ **운송** '50년 연간 22 EJ 수소에너지를 운송 부문에 사용 (수소에너지 중 약 28% 차지)
- ❖ **수소** 가격 ('16년) 7~8 \$/kg 수준 가격 → ('30년) **2~5** \$/kg 전망 (Hydrogen council)



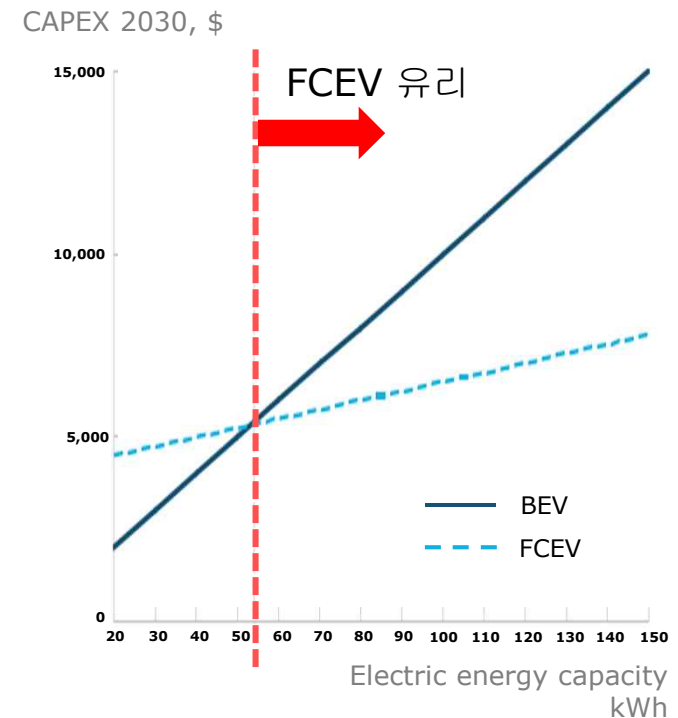
수소전기자동차 시장 전망

수소전기차 시장 전망

- ❖ 높은 에너지 저장 밀도로 상용차량 부문(트럭, 버스, 대형차량 등)에서 높은 점유율 차지 할 것으로 전망 (Hydrogen council, 2017)
- ❖ 장거리 운송용 차량 개발 시, 약 60 kWh 이상 에너지 용량에서 FCEV 개발 유리
- ❖ 수소전기자동차 연료전지 기술 기반 다양한 어플리케이션에서 응용 가능



'50년 차종 및 운송수단 별 시장 점유 전망



'30년 상용차량 개발 자본적지출(CAPEX) 비용 비교



감사합니다

