

그린수소 세미나, 제10차 전기차 엑스포
제주 ICC, 2023. 5. 2.

꿈의 에너지 수소-어떻게 대비할 것인가?

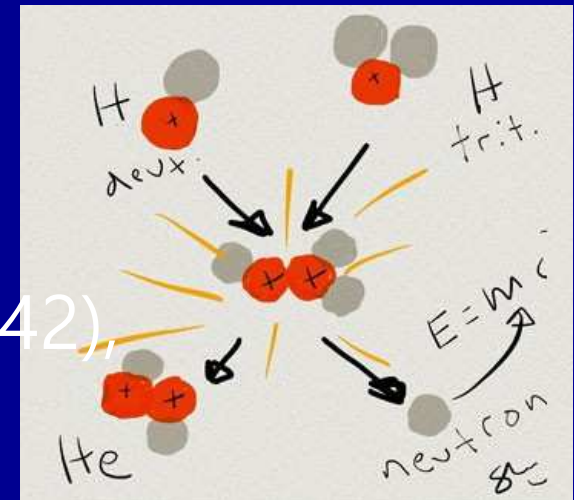
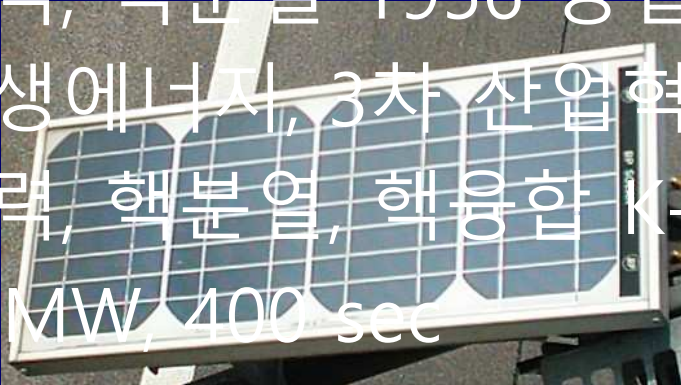
김하석
에너지과학부, DGIST

발표순서

- 에너지의 변천 과정
- CO₂ 배출과 지구온난화 → CoP 21과 26
- Hydrogen Economy
- Clean Energy - 꿈의 에너지 수소
- 수소의 생산과 이용
- 미래에너지 scenario
- 요약

에너지의 변천

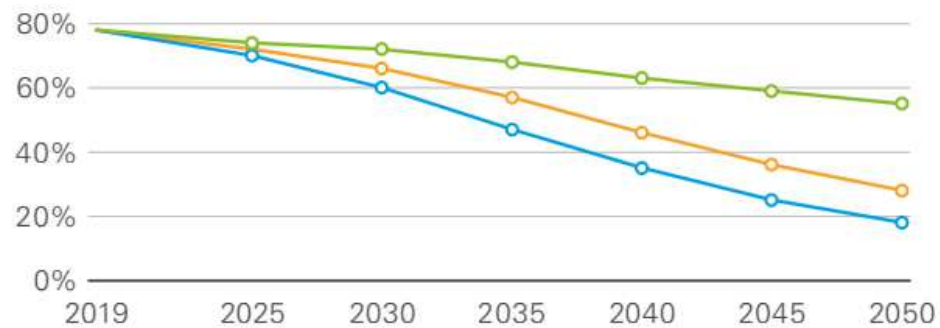
- 화산, 번개, 산불
- 불의 활용-140여만년전-나무
- 석탄-4000 BC발견, 1차 산업혁명으로 대량사용(1760-1830)
- 석유-400 BC, 1859 채굴시작, 1912 정유시작
- 전기-1866 지멘스-발전기, 2차 산업혁명
- 원자력, 핵분열-1956 상업발전, 영국 셰필드
- 신재생에너지, 3차 산업혁명
- 원자력, 핵분열, 핵융합 K-star, ITER (1985-2042),
500 MW, 400 sec



미래 글로벌에너지

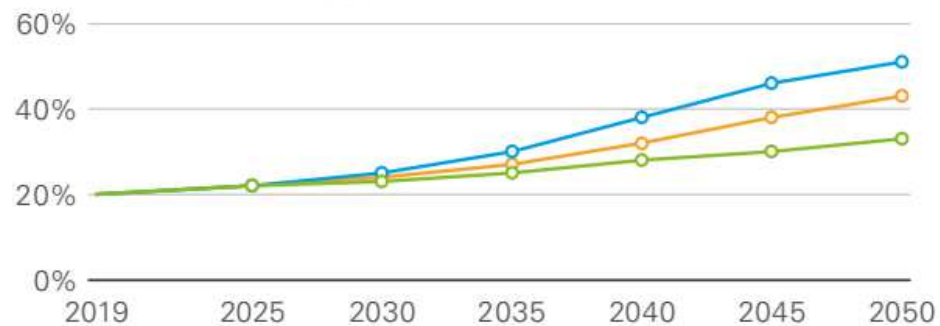
Fossil fuels

Share of primary energy



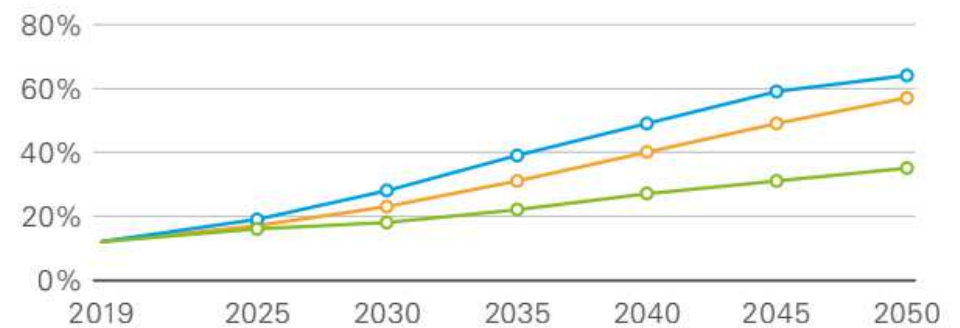
Electricity

Share of total final consumption



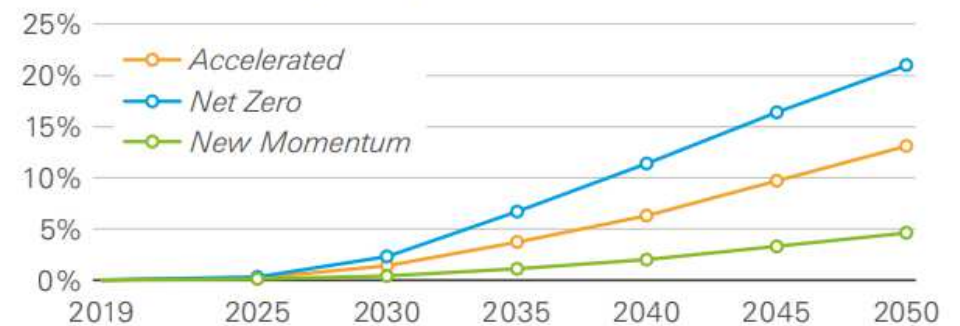
Renewables

Share of primary energy



Low-carbon hydrogen

Share of primary energy used in production of hydrogen



에너지분야 미래 트렌드 와 도전

1. 탈 탄소 (Decarbonization)

깨끗한 탄소-free 세계

신재생에너지, 원자력에너지, 전기차

그린수소, geothermal 에너지

2. 분산형 에너지 공급 (Decentralization)

탈 중앙집중형 에너지 공급

신재생에너지 활용, microgrid

단지별 에너지 공급망

3. 디지털 콘트롤 (Digitalization)

복잡한 에너지 수급의 효율화

지능형 AI, IoT, 수급의 디지털 시나리오

Bernard Marr, Forbes 2022.

Global CO₂ Emission

Source	%	
Power Generation	42	Renewables, Efficiency, CCS
Transportation	24	Electric cars
Industries	20	
Cooking	3	
Others		

Global CO₂, IEA 2022

Greenhouse Gas (온실가스) 저감 노력

Montreal Protocol, 1987
Ozone Layer

Kyoto Protocol, 1997

2005년-2020년 유효, 선진국에 대한 CO₂ 저감노력, 하향식 저감 요구



Paris협정, 유엔기후협약 당사국 회의 COP21 (Conference of Parties, 195 nations)

2020-2100년까지유효, 온도상승을 2°C 이내를 목표

각나라가 감축량 설정, 법적 구속력

중국 20.09%, US 17.89% Russia 7.53%, 인도 4.1%, 일본 3.79%, 독일 2.56%,

한국 1.85%, 영국 1.55%, 프랑스 1.34%, 스위스 0.14%

2050-2100년에 인간배출량이 자연배출량보다 적게

Glasgow 기후변화협정 (2021 COP26, 153 nations); ZEV, CO₂-연비, 1.5°C로 하향

탄소경제와 수소경제

	Carbon	Hydrogen
Energy Source	화석연료 (석탄, 오일, 천연가스) 수입의존	물, 자체생산
Energy Supply	중앙집중형 대규모 투자 입지적 제약 과 주민 수용성	분산형 소규모 투자 제약 과 수용성이 좋음
Energy Dependence	지역의존	기술의존
Energy Security	에너지 확보 및 자원개발	기술개발 필요
Energy Sustainability	에너지원 고갈 탄소포획 및 재활용 필요	물에서 물로
Environmental Effect	대기오염, CO2->기후변화	친환경적, H2O

수소경제(Hydrogen Economy) 시대의 도래



- Fossil fuel Era till 20th Century
- Abundant Resources
- Easy mining and drilling
- Inefficient use
- High cost of mining and drilling
- Pollution



- Oil Era from later 20th century
- Efficient use
- Diverse usages
- Pollution
- **Geography dependent**
- Depletable



- H₂ Era in 21st Century
- Efficient use
- No pollution
- **Technology dependent**
- High cost
- Transport and storage
- Safety

Hydrogen Economy, J. O'M Bockris, Science 176 (1972) 1323.

Off-Shore wind / Nuclea Power



Electrolysis, on site



Hydrogen



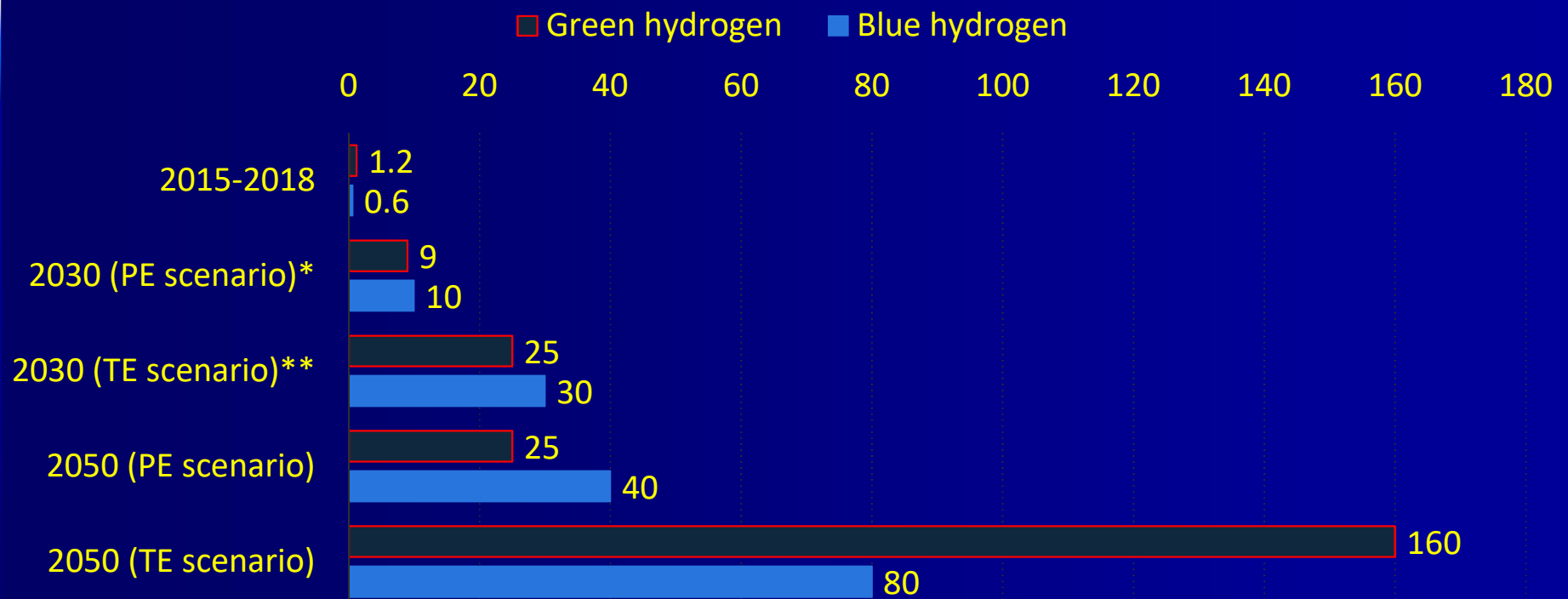
Transport, ship/pipelines



Industries and Electricity with Fuel Cells

NO POLLUTION

Production of H₂, worldwide, projection, M tons



Global hydrogen production outlook by type 2015- 2050

Published by N. Sönnichsen, Aug 29, 2022

수소의 생산과 소비

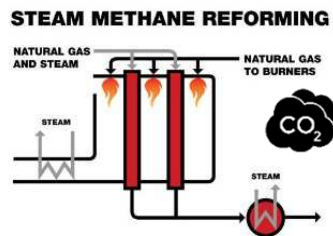
생산, 10 ⁶ ton/y			소비, 10 ⁶ ton/y		
SRM	70	70-80%	정유	23	35%
Partial Oxidation	10	10-15%	암모니아	16	25%
Coal Gasification	8	5-10%	메탄올	7	10%
전기분해	1-2	2-6%	철강	3	5%
Biomass	0.1	<1%	전자산업	3	5%
			전력생산	3	5%
			식품	10	10

H₂ Color

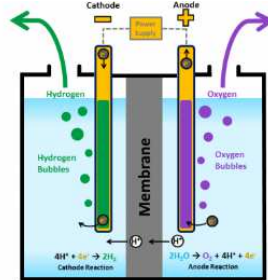
- Green; Produced with No CO₂ emission-신재생에너지 전기, 수전해
- Blue; Steam Reform form CH₄-탄소포획이 필수-Low-Carbon H₂
- Gray; Steam Reforming-No Carbon Capture and Storage-가장 흔한 수소
- Black or Brown; 석탄이나 갈탄으로부터 얻은 수소-Green의 정 반대
- Pink; 원자력을(전기나 열) 이용한 수전해
- Purple; 원자력을(열) 이용한 물의 chemo-thermal electrpysis
- Red; 원자력을 이용한 물의 고온 catalytic splitting
- Turquoise; methane pyrolysis-고체 탄소와 수소
- Yellow; 태양에너지를 이용한 전기분해



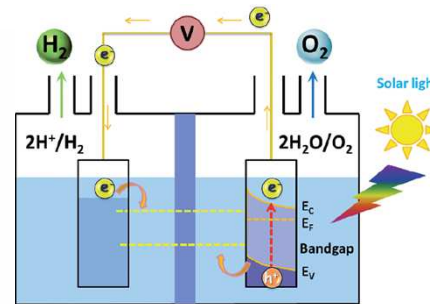
수소 생산



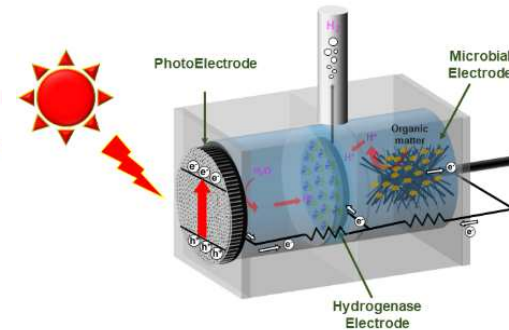
SMR



ECs



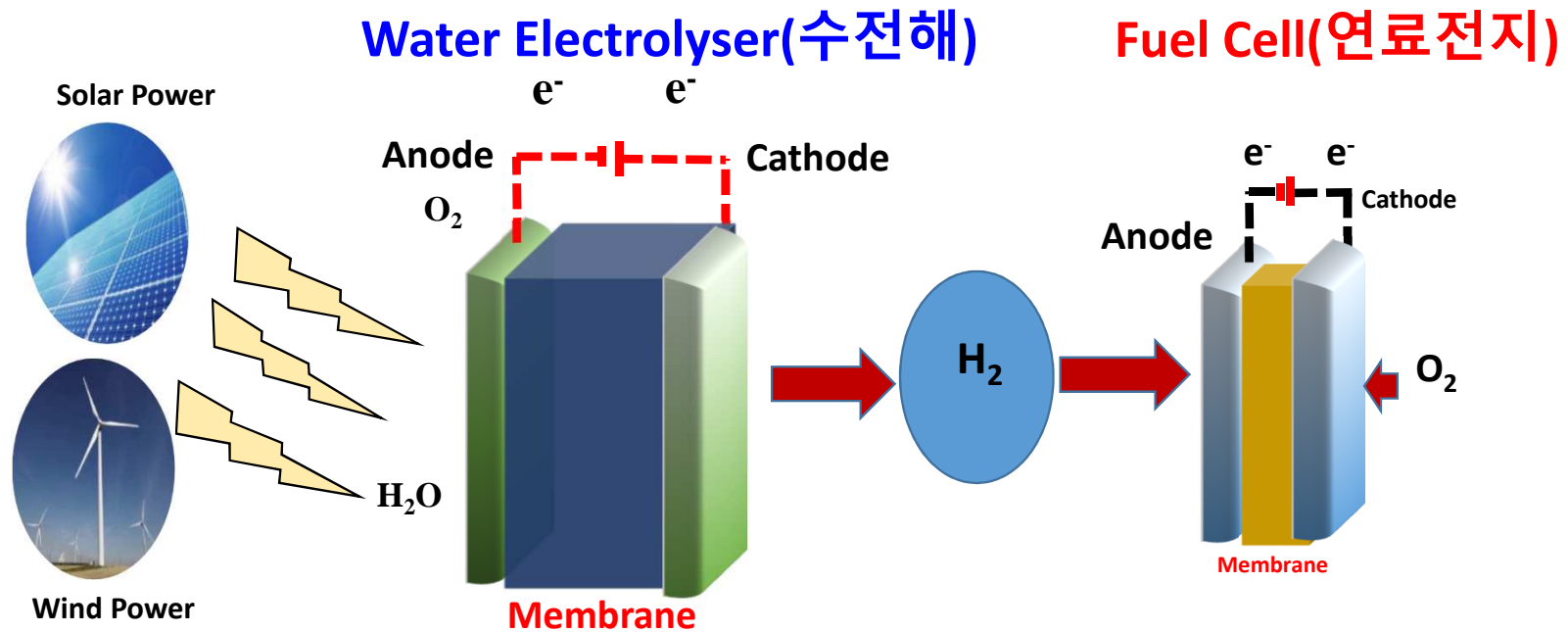
PECs



photo·bio

- 기존의 대표적인 수소 제조 방법은 수증기 메탄 개질(SMR; Steam Methane Reforming), 수전해(Water electrolysis), 광전기화학전기(PECs; Photoelectrochemical cells)가 있음.
- 수증기 메탄 개질 방법은 화석 연료를 사용하기에 CO₂를 배출하므로 친환경적이지 못한 방법임.
- 수전해는 수소를 제조하기 위해 상당량의 전기가 필요하며 비용이 많이 소요됨.
- 광전기화학전기(PECs)는 운전하기 위해 Bias 전압을 가해주어야 하며, 수전해 효율이 낮음.
- 광·바이오 수소 제조 방법은 Bias 전압이 필요 없어 경제적이고 부산물로 CO₂를 배출하지 않아 친환경적임.

지속가능한 수소생산과 전기발전



Water to H₂ with high efficiency

- Low cost, efficient electrocatalysts
- Durable electrodes

기타 수소생성 방법

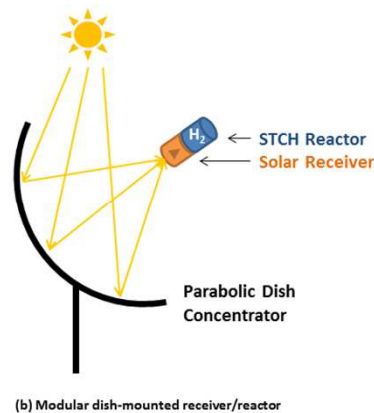
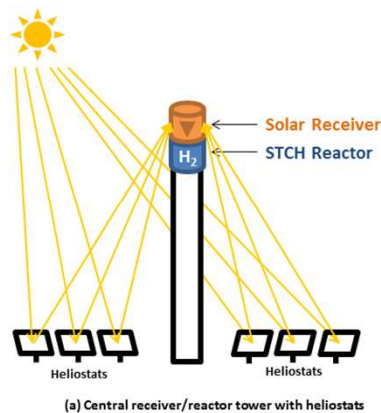
고온 수전해-원자력 (SMR) 연계

Microwave plasma 열분해 (biomass, plastic, 잔사유, 폐유)

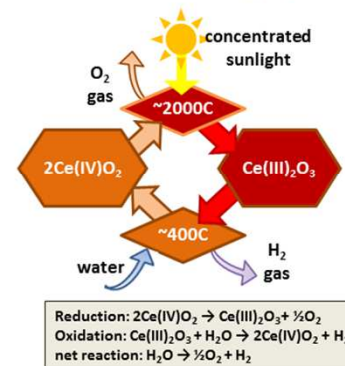
E-beam, 물, 메탄, 암모니아 분해

Solar Thermochemical 수소 생성

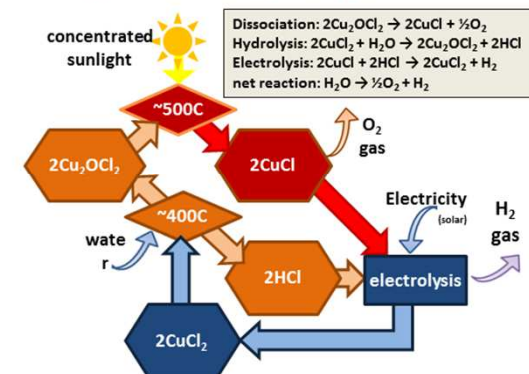
Enzyme반응을 이용한 수소생성- Green algae, Cyannobacteria.



cerium oxide two step cycle



copper chloride hybrid cycle

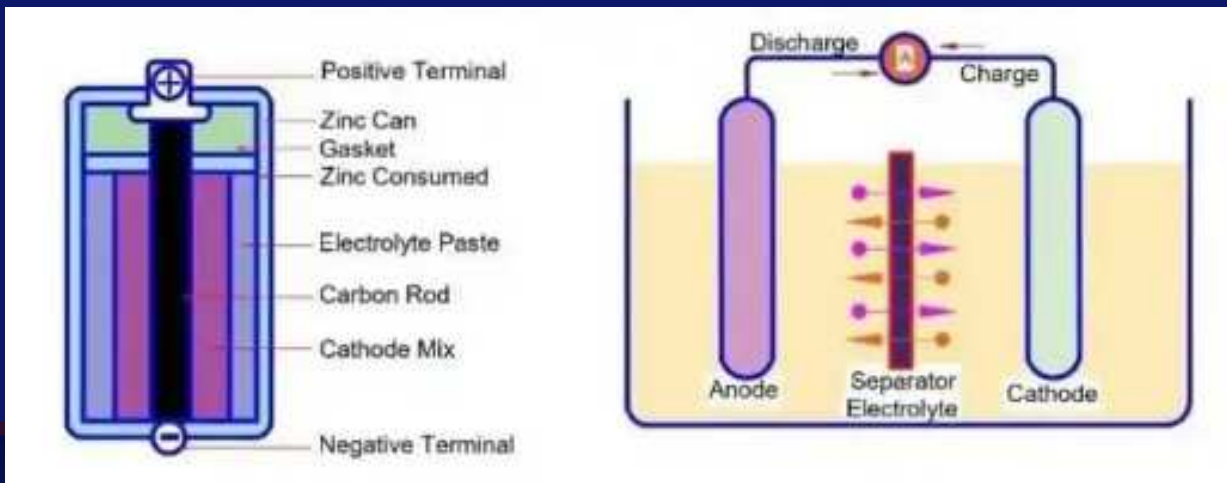


왜 그린수소인가?

1. Green House Gas의 감소-지구온난화, 기후변화, 해면상승
2. Energy Storage-신재생에너지의 간헐성 보완
3. 에너지 독립성 확보-보존자원 부족 국가
4. 기초연구-창의적인 생산기술의 확보
5. 일자리 창출-국부의 창출

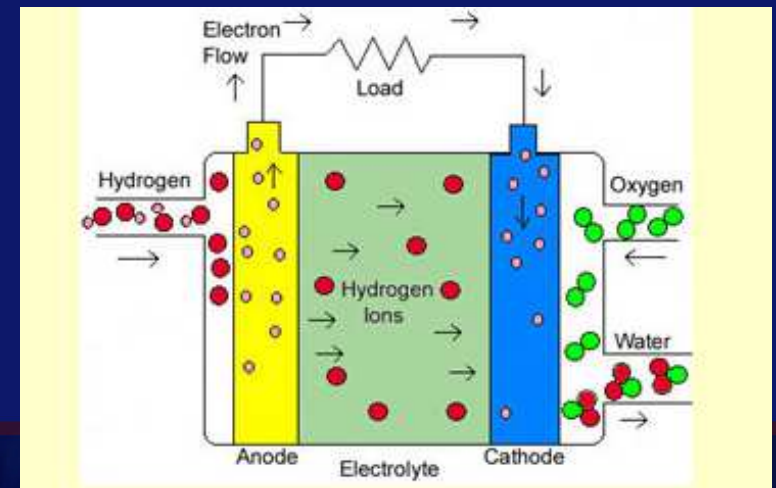
전지의 종류

일차전지 (건전지)



이차전지 (재충전전지)

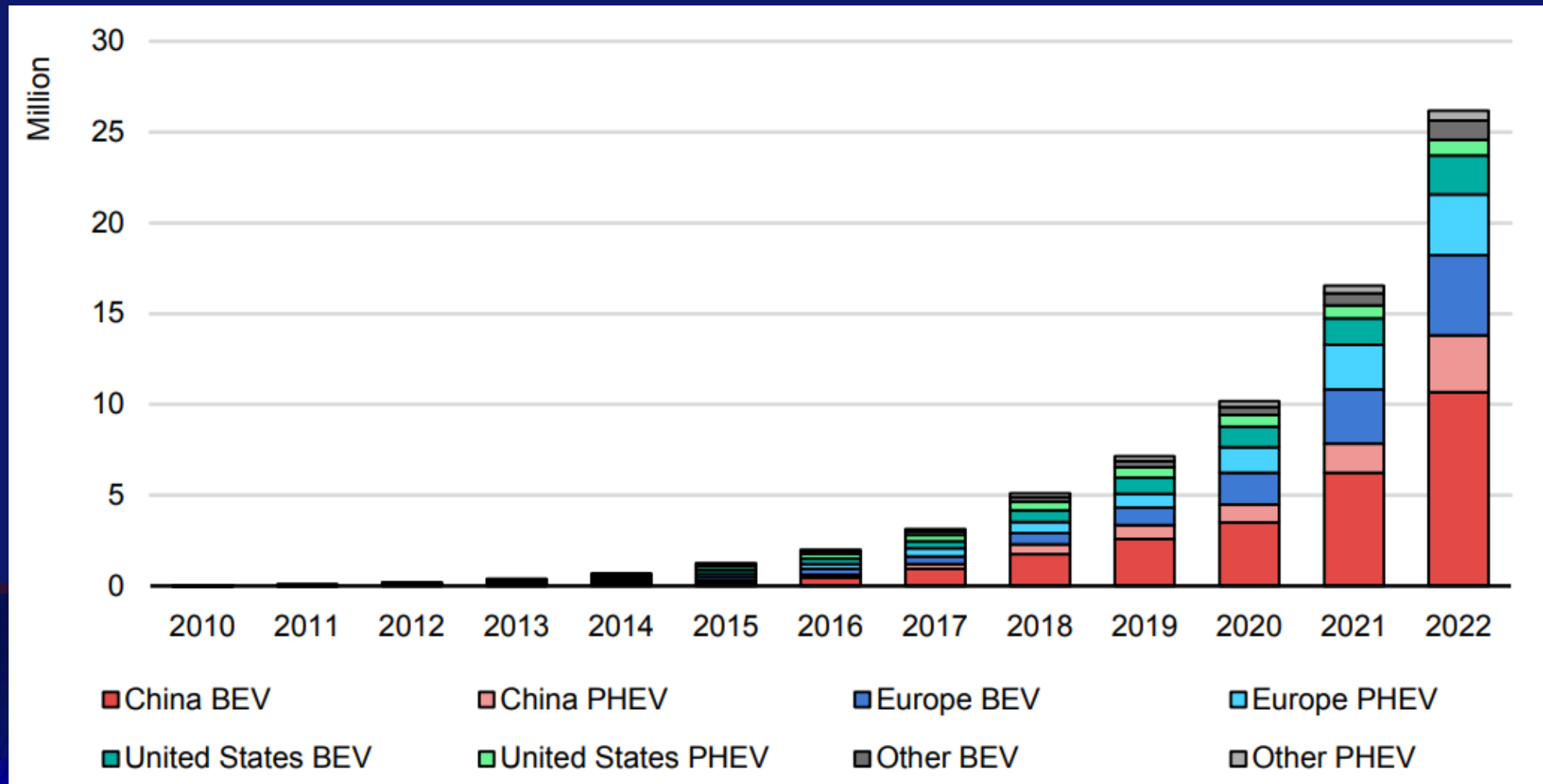
연료전지 (수소전지)



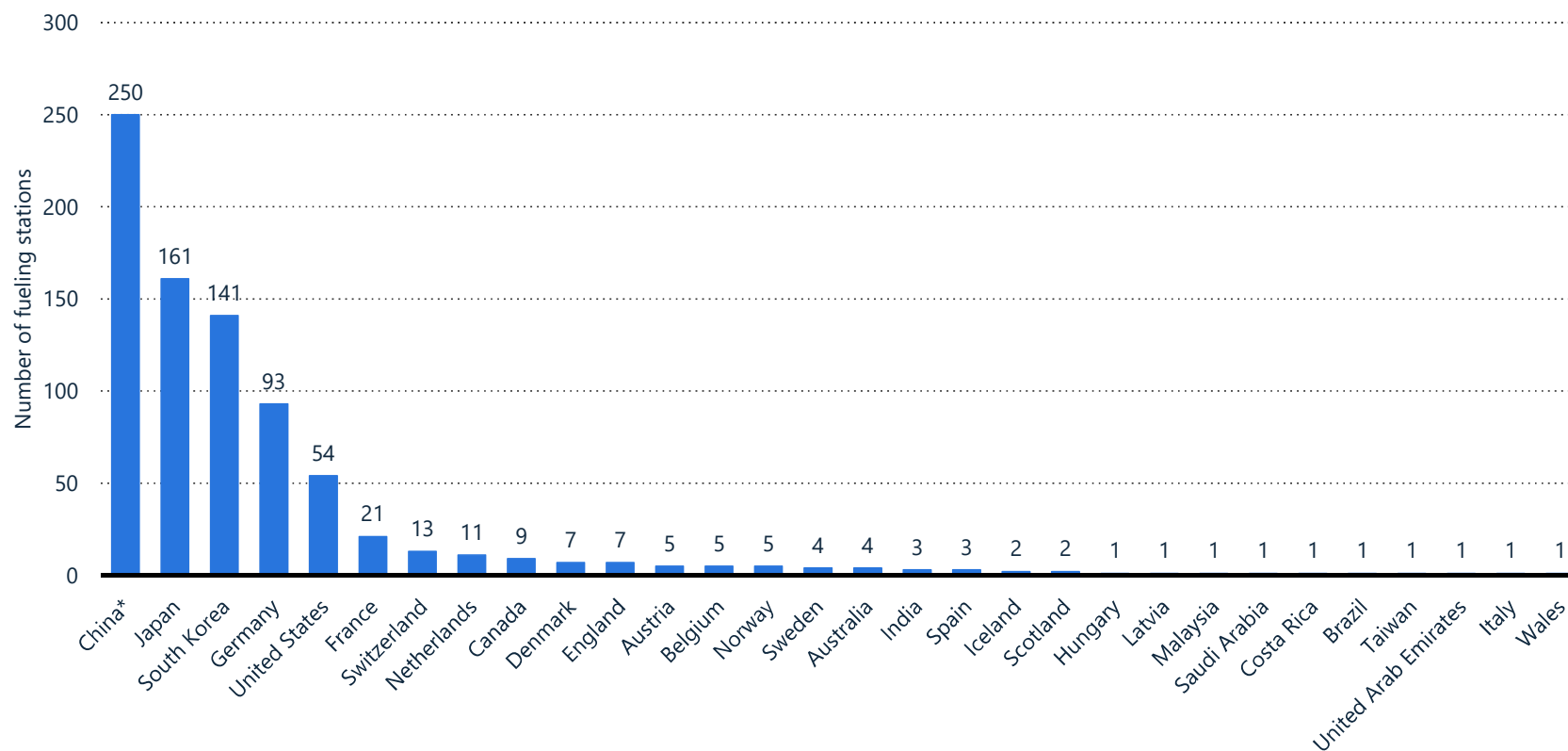
<https://www.electricalvolt.com/>

<https://americanhistory.si.edu/fuelcells/basics.htm>

Global Electric Vehicles



Global hydrogen fueling stations as of 2022



Note(s): Worldwide; US Department of Energy; Hydrogen Tools; September 2022

Source(s): US Department of Energy; Hydrogen Tools; [ID 1026719](#)

현대 Nexso (연료전지차 SUV)



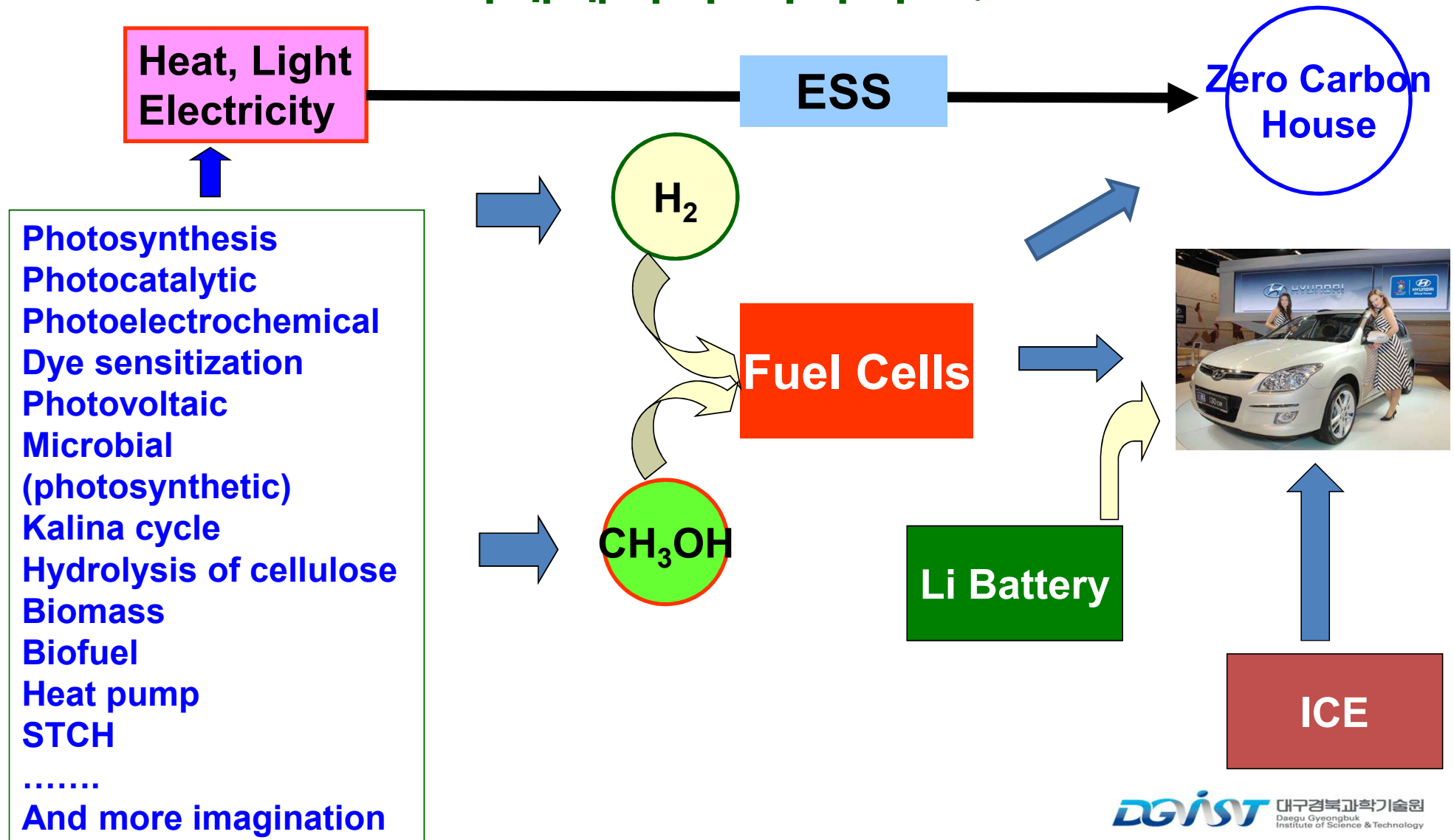
2019년 출시
\$60,000
주행거리: ~600Km
출력: 120 KW

Toyota Mirai (sedan)



Toyota FCV 2015말 시판 시작
\$50,000
2023 말 Mirai 2.0 출시예정

미래에너지 시나리오?



요 약

- Post-fossil fuel의 대안으로 수소 → 수소경제시대
- CO₂배출이 없이 수소를 만들어 내는 방안
- 기초과학의 육성
- 연료전지에의 수소 공급 → 수소자동차
- 기술기반 경제체제를 기대
- 에너지 미래기술

고맙습니다!