

# 2050 탄소중립

2021. 6. 29

김종남

한국에너지기술연구원 원장

(Korea Institute of Energy Research)

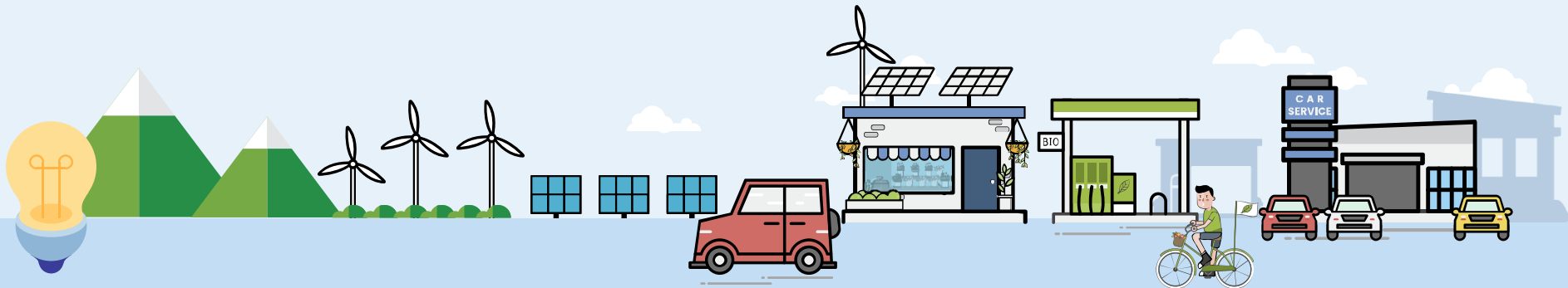


# 목 차

---

I. 한국에너지기술연구원

II. 2050 탄소중립



더 맑은 지구와  
더 강한 경제를  
만들어가는

**KIER**



| .

# 한국에너지기술연구원

Korea Institute of Energy Research

(KIER)



2050 탄소 중립을 실현할 수 있는 탁월한 연구성과를 창출하여  
국가와 인류의 기후 위기를 해결하겠습니다.

기후 위기 극복 기술로  
일자리 창출 및 경제 성장에 기여하겠습니다.

## 2. Campus

대전 본원



부안 연료전지실증연구센터



울산 차세대전지연구개발센터



광주 바이오에너지연구개발센터



제주 제주글로벌연구센터



제주

# 3. 연구분야

 <p><b>재생 에너지</b></p>	<b>태양광</b>	· 태양광 발전 밸류 체인 전 분야
	<b>태양열</b>	· 제로에너지 주택, 계간 축열 등 태양열 융합
	<b>풍 력</b>	· 육해상 풍력발전 및 수용성 연구분야
	<b>바이오연료</b>	· 발전용/수송용, 바이오 디젤, 바이오 항공유, 바이오 증류, 바이오가스
	<b>해 양</b>	· 염분차 발전 등 해양에너지
	<b>재생에너지자원지도</b>	· 재생에너지원별 시장 잠재량(용량 및 발전량) 측정
	 <p><b>신 에너지</b></p>	<b>수 소</b>
<b>연료전지</b>		· 연료전지 소재 및 부품, 스택, 시스템 연구분야
 <p><b>효율향상</b></p>	<b>에너지ICT</b>	· D.N.A 기반 분산 자원 제어를 통한 지능형 에너지시스템 연구분야
	<b>수요관리</b>	· 산업/건물/가정에서 에너지절감과 에너지효율향상을 위한 EMS 연구분야
	<b>에너지네트워크</b>	· Smartenergycommunity, 열-전기에너지네트워크연구분야
	<b>냉동 공조</b>	· 산업 및 건물 등의 고효율 냉동 공조 및 공기청정 분야
	<b>플러스 에너지 건물</b>	· 에너지 생산, 에너지 손실 최소화 건물
 <p><b>화석에너지 청정 활용</b></p>	<b>미세먼지</b>	· 미세먼지 저감을 위한 연구분야
	<b>온실가스</b>	· CO <sub>2</sub> /Non-CO <sub>2</sub> 포집, 저장, 활용 분야
	<b>청정발전</b>	· 초임계 CO <sub>2</sub> 발전, 굴뚝 없는 청정 발전 (Oxy-CFBC)
	<b>청정연료</b>	· 청정연료 생산 및 고부가가치화 분야
<p><b>자원순환</b></p>	<b>플라스틱 순환</b>	· 폐플라스틱에서 나프타, 케미칼, 수소 등 생산
 <p><b>공통기반</b></p>	<b>ESS</b>	· 재생에너지 보급 확대에 따른 grid scale의 전력 저장 및 차세대 이차전지 분야
	<b>에너지소재</b>	· 에너지시스템 한계 극복용 차세대 기능성 소재 연구분야

더 맑은 지구와  
더 강한 경제를  
만들어가는

**KIER**

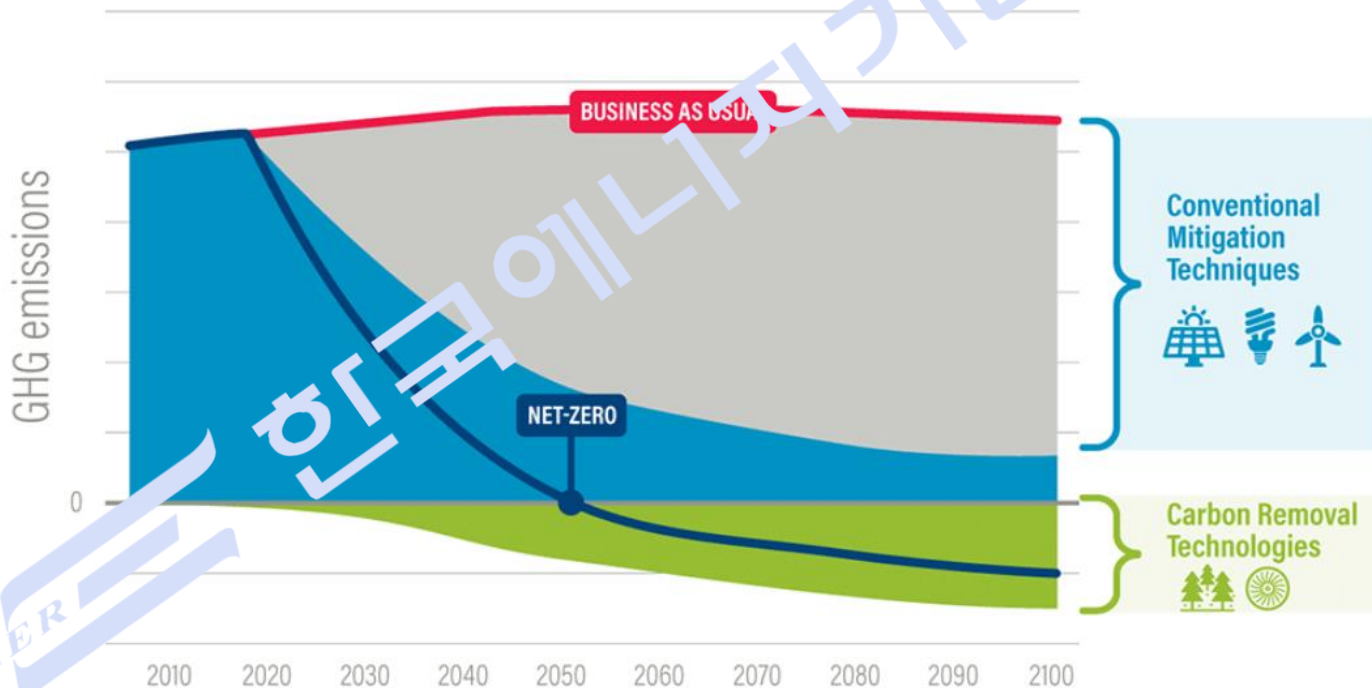


## II. 2050 탄소중립

# 탄소중립 (Net-Zero Emissions)

탄소중립:

인간 활동으로 발생된 온실가스를 최대한 줄이고 남은 온실가스는 흡수(삼림 등), 제거하여(CCUS) 대기 중으로 순배출이 Zero가 되게 하는 것

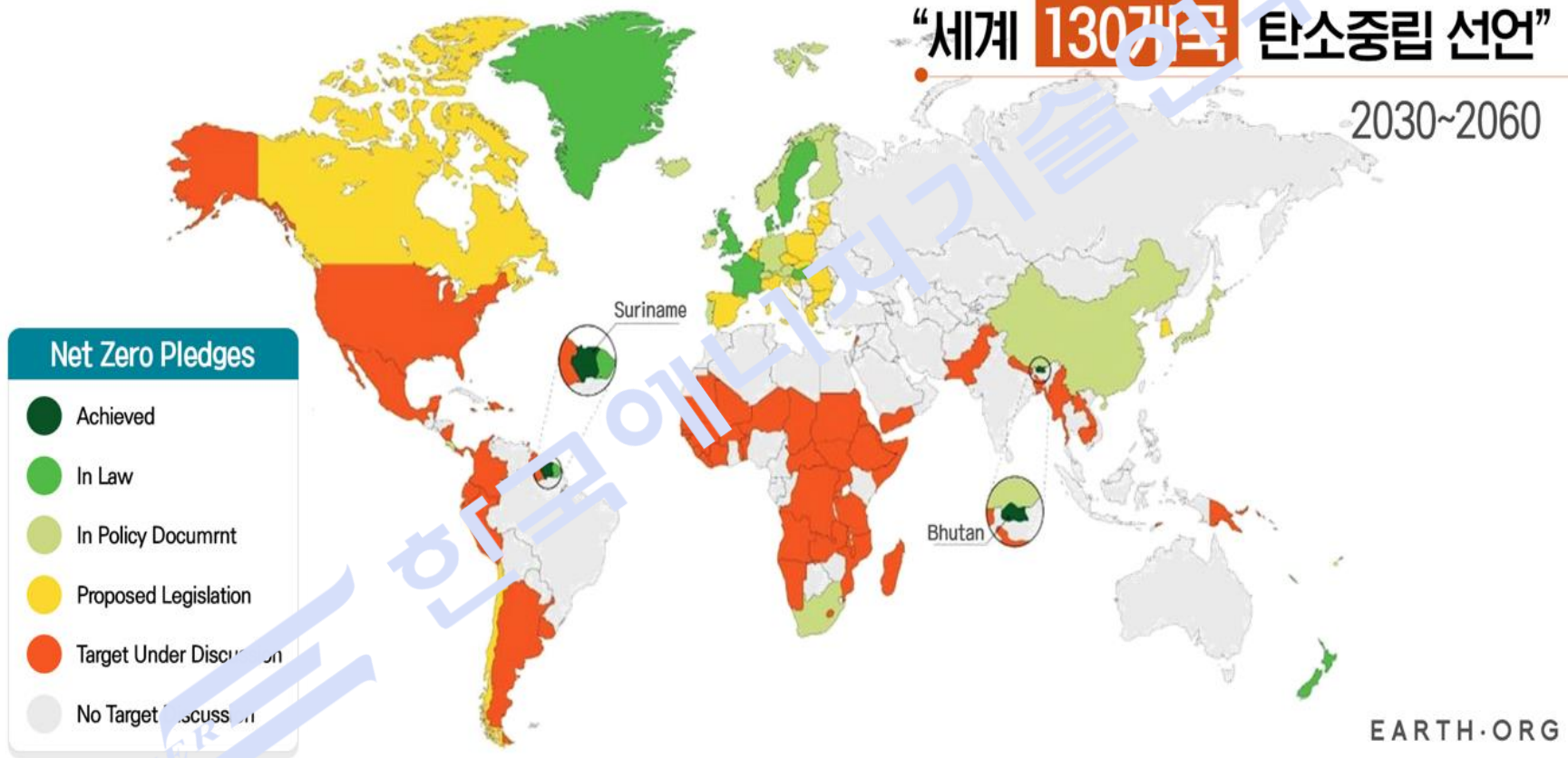




우리나라 (20.10.28)

“세계 130개국 탄소중립 선언”

2030~2060



It's the economy, stupid.

(과거-현재)



It's the climate, stupid.

(미래)

❖ climate change:

- 향후 30년 동안 정치, 경제, 사회의 핵심

❖ Green New Deal

- 기후변화 해결, 경제활성화,  
인종과 경제의 형평성(equity) 확보

ESG 경영



TIME, April 26–May 2, May 2021

## 주요국 석탄 발전 퇴출 시기

60기(현재) → 30기(2034)  
2020년 신규 건설 중 7기  
(7.2GW)

오스트리아('20)



이스라엘



아일랜드



핀란드



캐나다



벨기에('16)



프랑스



영국



이탈리아



네덜란드



덴마크



독일



한국



퇴출 완료

2022

2024

2025

2029

2030

2038

2050?

## 내연기관차 판매 금지 추진 국가

20 나라 이상



2035

 <b>노르웨이</b>	• 2025년부터 판매 금지
 <b>네덜란드</b>	• 2025년부터 판매 금지
 <b>독일</b>	 <b>덴마크</b>  <b>스웨덴</b> • 2030년부터 판매 금지
 <b>인도</b>	• 2030년부터 판매 금지
 <b>아일랜드</b>	• 2030년부터 내연기관차 등록 금지
 <b>영국</b>	• 2030년부터 판매 금지(당초 계획 '35년보다 5년 앞당김)
 <b>중국</b>	• 2035년부터 판매 금지(중국자동차공정학회, '20.10)
 <b>미국</b>	• (캘리포니아) 2035년부터 판매 금지
 <b>프랑스</b>	• 2040년부터 판매 금지

## EU

- 탄소 국경세: EU로 수입되는 제품 중 이산화탄소 배출이 많은 국가에서 생산된 제품에 관세를 부과하는 조치
- 제안 배경
  - EU의 상대적으로 높은 탄소배출 규제로 인한 EU 역내 기업들의 비용부담을 상쇄
  - EU 기업이 역외로 빠져나가는 이른 바 탄소 누출을 억제하여 경제 재건
- 향후 전망
  - EU는 2021년 2분기 법안 마련 후 유럽의회 및 EU 이사회 동의를 거쳐 **2023년 시행 목표**
  - 러시아, 중국 등 타 국가들의 반대, 정확한 탄소량 측정과 같은 기술적 난제 등으로 시행까지는 많은 난관 예상

## 미국

**Biden, We can no longer separate trade policy from our climate objectives.**

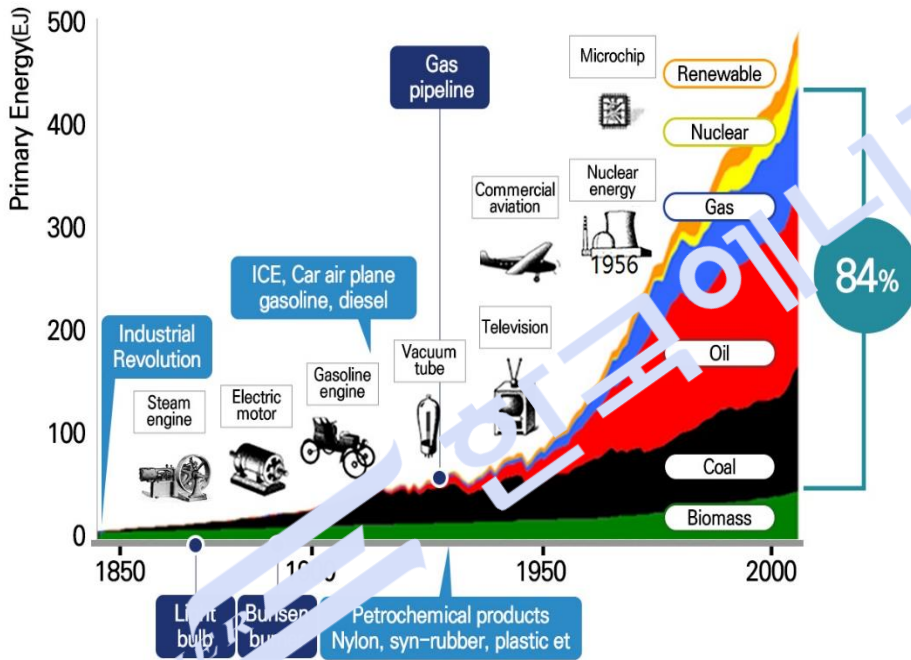
파리 기후협약 복귀	파리 기후협약 탈퇴를 취소하고 복귀 (2021. 1. 20)
2050 Net Zero	2050년 탄소 중립 추진
탄소 국경세 도입	2025년까지 탄소 배출이 많은 국가나 기업 제품에 관세 부과
기후변화 대응 투자	10년간 1조 7,000억 달러 투자
전기차 충전소	2030년까지 미국 내 50만개 이상 공공 충전소 보급
주택에너지효율 제고	2035년까지 건물 에너지효율을 향상시켜 탄소 발자국 50% 감축

- 2050년까지 기업 소비 전력의 100%를 재생전력으로 전환하는 글로벌 캠페인
  - 세계적인 대기업(Fortune 1000), 또는 전력 다소비 기업(100 GWh/년) 대상
- 애플, 구글, 마이크로소프트, BMW, 제너럴모터스 등 313개 기업 가입 ('21.6.4 현재)
  - 글로벌 기업들이 선도적으로 RE100에 가입하고, 협력업체에도 RE100이행을 독려하고 의무화하는 추세
  - 가입 기업의 75%가 2030년에 100% 달성 목표 (2020년말 현재 41%, 애플, 구글, MS 등 53개는 이미 달성)
  - 한국 기업 : SK 그룹(8개 계열사), LG에너지솔루션, 아모레퍼시픽, 한화큐셀 등 가입
- 재생전기로 부품을 만들지 않으면 수출 불가? 재생전기 풍부한 국가로 공장 이전?

대표 기업		RE100 달성년도	추가 목표
IT 업체	구글	2017	2020년까지 모든 생산과 사업을 무탄소 에너지로 운영
	애플	2018	2030년까지 Supply chain 제품에 100% 탄소중립 목표
	마이크로소프트	2014	2050년까지 회사 설립 이래로 배출한 탄소 전량 제거
상거래	아마존	2030	파리협정을 10년 앞당겨 달성하는 '기후 서약 (Climate Pledge)' 참여
	나이키	2025	2030년까지 글로벌 밸류체인인 탄소배출 30% 저감 목표
자동차	Daimler	2039	Ambition 2039 서명 요구, 납품 제품 CO <sub>2</sub> 원단위 목표초과 시 공급사가 탄소비용 보상
	BMW	2050	5세대 배터리 셀 제조에 친환경 전력만을 사용해 배터리 셀을 만들도록 제조사들에게 요구 (2020. 6)

- 탄소기 : 1800~2100 (300년)
- 1.5 °C by 2100 (현재 1.2°C 상승, 413 ppm CO<sub>2</sub>)

➔ Net-zero by 2050



## 지난 200년 동안 구축된 화석연료 문명

### 세계 인구 8배 증가

1800년 9.9억명 ➔ 2020년 78억명

### 세계 GDP 120배 증가

1820년 \$0.7조 ➔ 2018년 \$86조

### 세계 1차에너지 30배 증가

1800년 5,653TWh ➔ 2019년 173,340TWh

향후 30년 내에 전환?

# 한국, Energy Balance Flow – 2019년



**에너지 수입 의존도 93.5%**  
**석유 중동 의존도 70.2%**

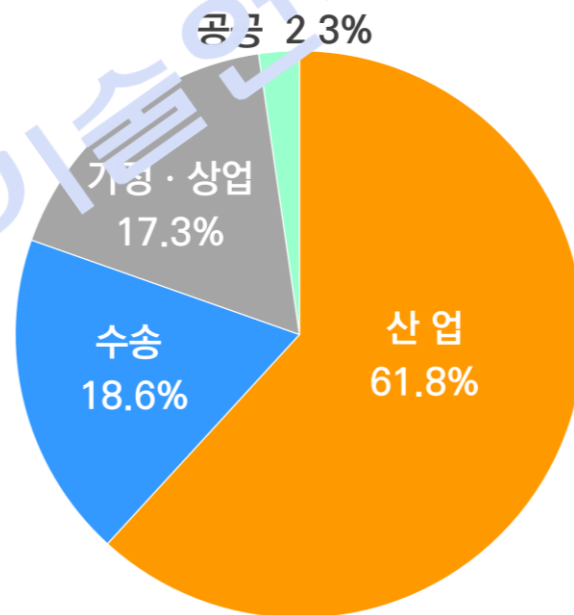
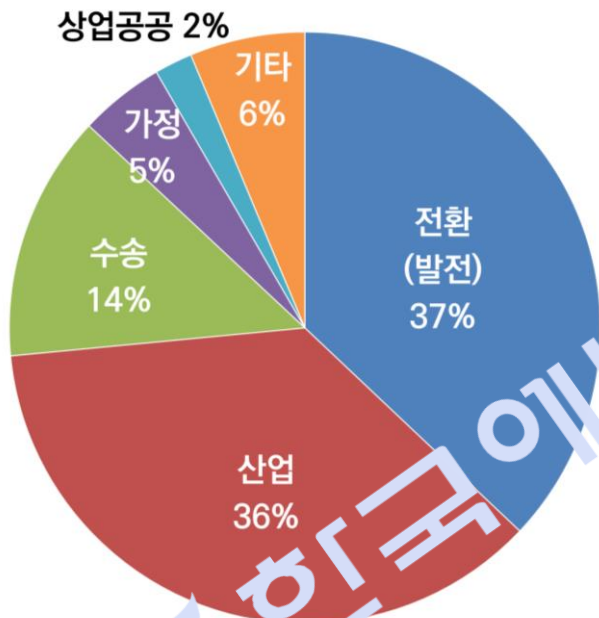
**화석연료 : 83.5%**



# 온실가스 배출량과 최종에너지 소비

국가 총 배출량(2018) : 7.3 억 t-CO<sub>2</sub>

최종 에너지 소비 (2019)



[ 에너지 (연료연소/탈루) 배출 : 6.3억톤 (87%) ]

231,353천TOE

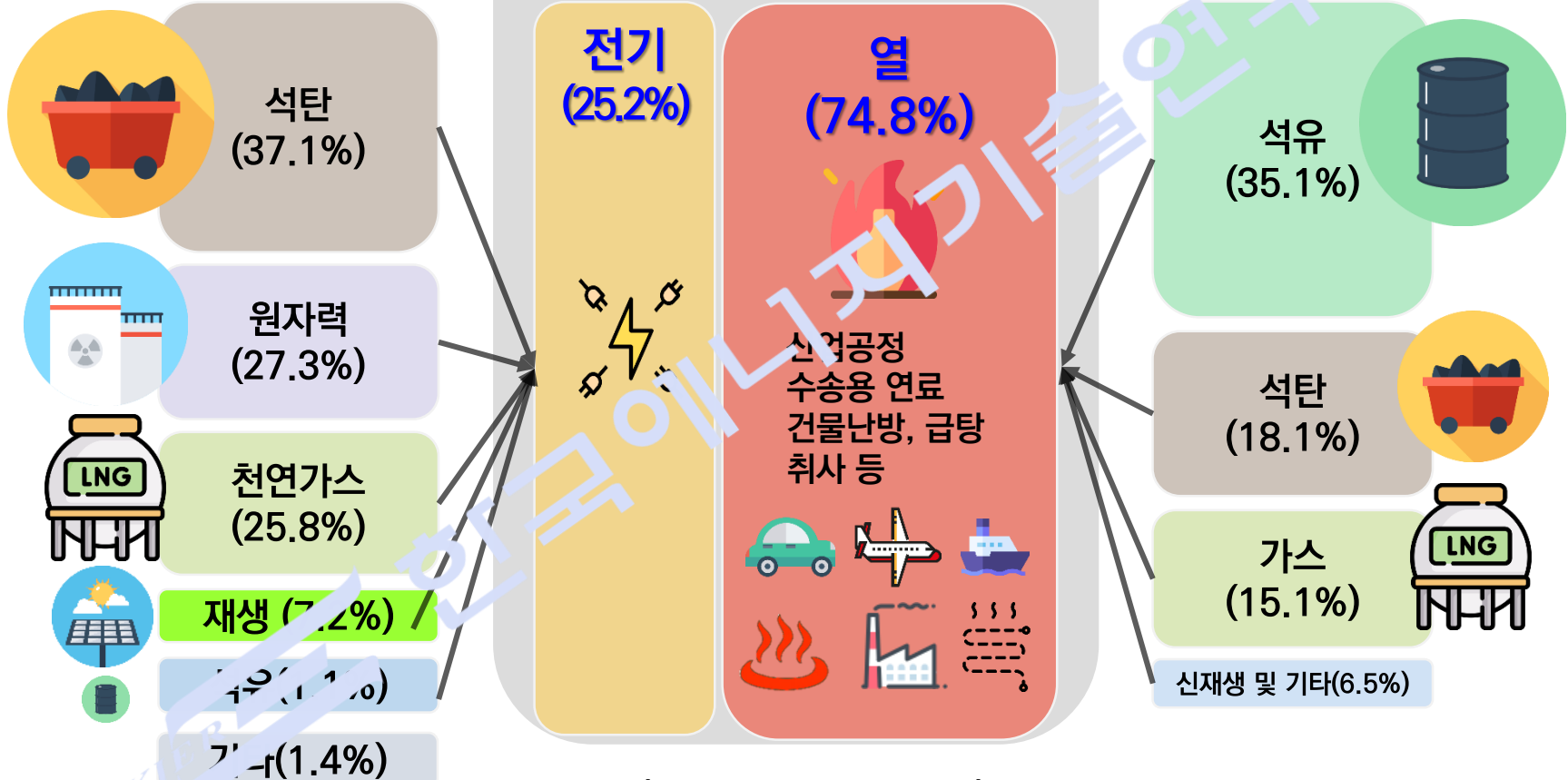
- 2020 국가 온실가스인벤토리 보고서, 2021.1

# 최종에너지 소비 – 전기 vs 열

에너지분야 전체 온실가스의 87%

2020년 총발전량  
552TWh

## 최종에너지 소비

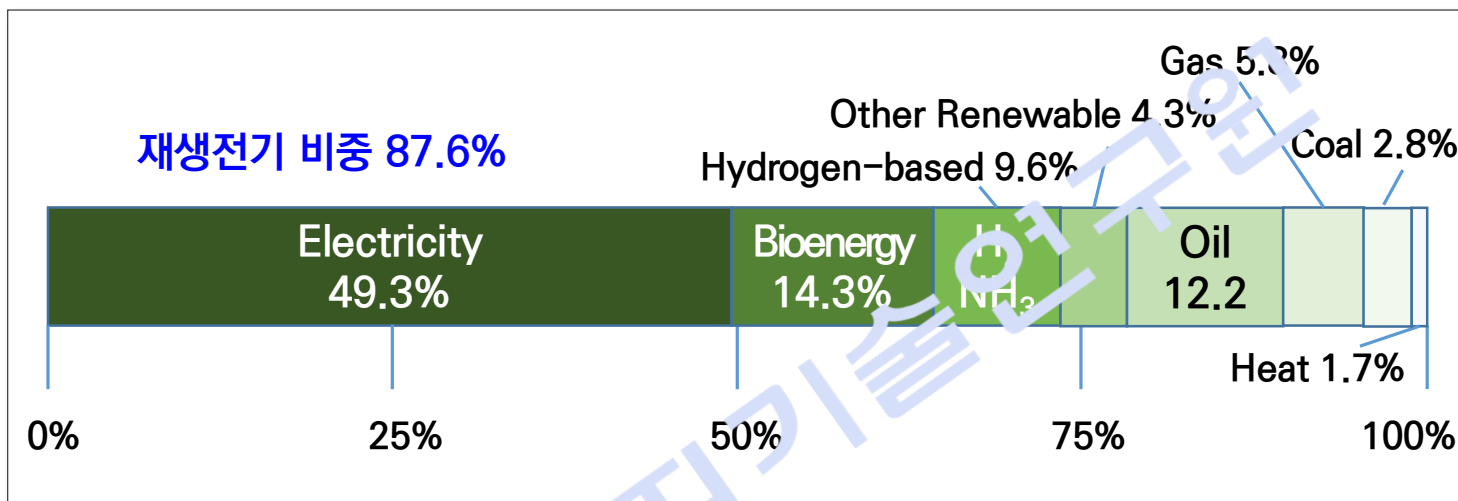


<2020년 전력믹스>

(산업원료용 소비 제외)

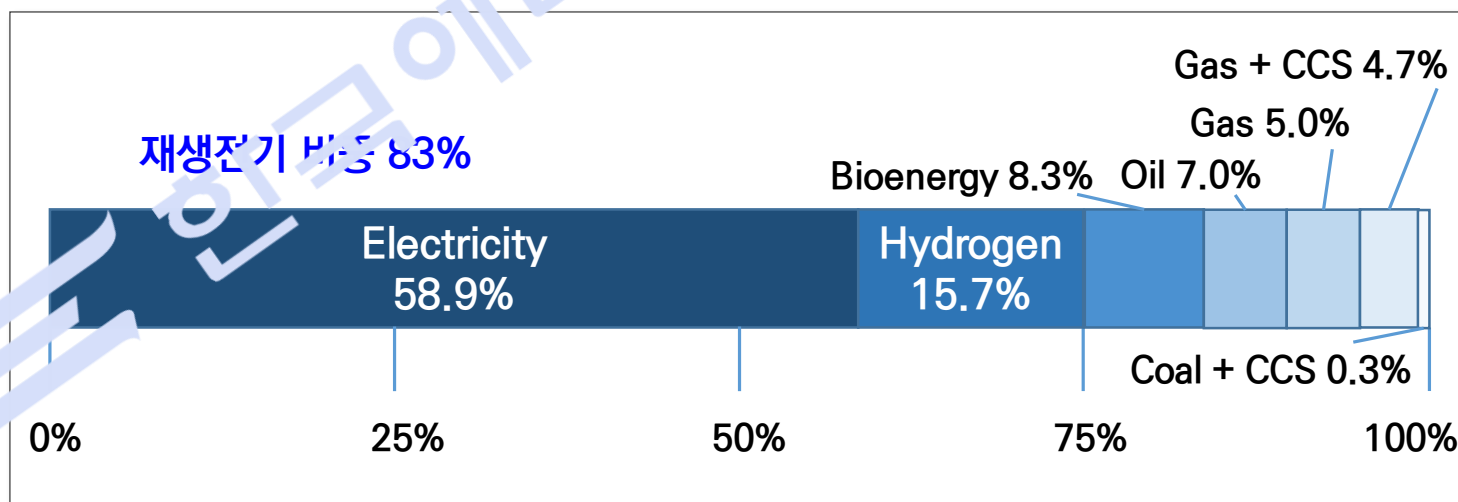
# 탄소중립을 위한 최종에너지 Mix

IEA (2050)



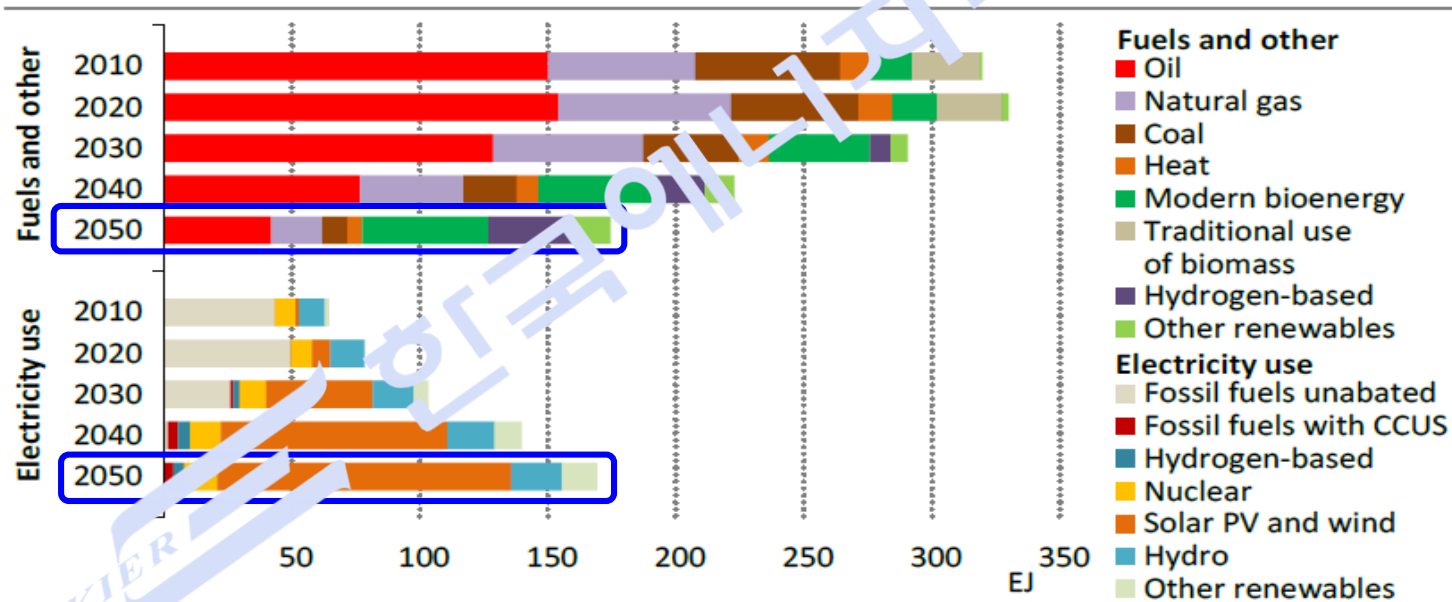
- Hydrogen-based : hydrogen, ammonia and synthetic fuels

BP (2050)



# IEA, 2050 Net Zero roadmap

- 총에너지 공급: 80%(재생, 원자력) + 20%(석유,가스,석탄)
- 최종에너지 중 **전기 50%**
  - 전기 필요량: 2020년에 비해 2.6배 증가 (26,800 TWh → 70,000 TWh)
  - 재생전기(88%) + 원자력(7.7%) : (태양광+풍력) 68%
- 수소: 0%('20) → 9.6% ('50)

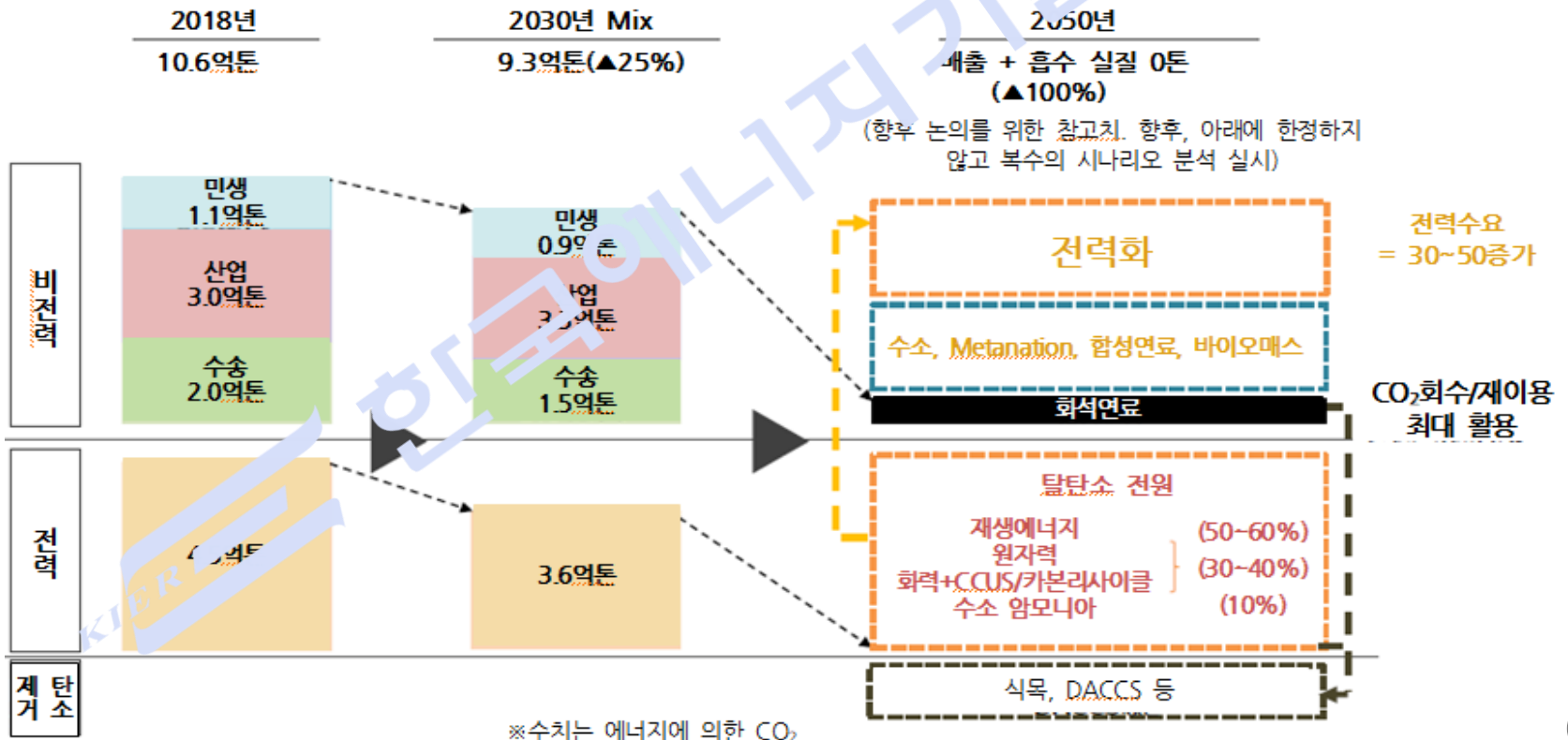


IEA. All rights reserved.

The share of electricity in final energy use jumps from 20% in 2020 to 50% in 2050

# 일본 - 2050 탄소중립 실현 전략

- **전력화 - 탄소중립은 전력화 사회** : 2050 전력수요는 현재보다 30~50% 증가 전망 (1,300~1,500 TWh)
  - 재생발전 확대(2050 발전량의 50~60%), 수소발전 도입, 화력 + CO<sub>2</sub> 회수, 원자력(의존도 축소, 지속 활용)
- **열 수요** : 최대한 전력화, 남은 열 수요는 수소, 바이오연료, CO<sub>2</sub> 회수
- **전력 저장 - 디지털 인프라 강화** : 스마트그리드, 재생발전 수급 조정, 수송수단의 자동 운행, 제조공정 자동화



# 탄소중립을 위한 대전환

## 무탄소 전기 생산

태양광, 풍력, 조력, 연료전지  
화력+CCS, 원자력 등

탄소중립 연료 / 제품  
(H<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, biofuel)  
(bio-based products)

발전, 수송, 산업, 건물

## 에너지 시스템 전기화

수송, 산업, 건물

## 효율향상 / 자원순환

산업, 건물, 수송

Sector coupling  
에너지 통합  
인프라

발전소, 산업공정 배출  
온실가스 처리

발전, 철강, 시멘트, 석유화학

# 1. 무탄소 전기생산



## 전력계통의 수직적 구조 탈피 (From Centralized to Distributed)

### 기존 전력계통



중앙집중형 발전



석탄화력, 원자력 발전 중심



대규모 AC 네트워크



대형 발전 위주 전력 시장



대용량 & 장거리 송전

A  
S

①  
S



T  
o

B  
e

### 미래 전력계통



중앙집중형 + 분산형 발전



신재생에너지 연계 증가



ESS, DC 전력기기 보급



전력시장 개방, 민간 참여 확대

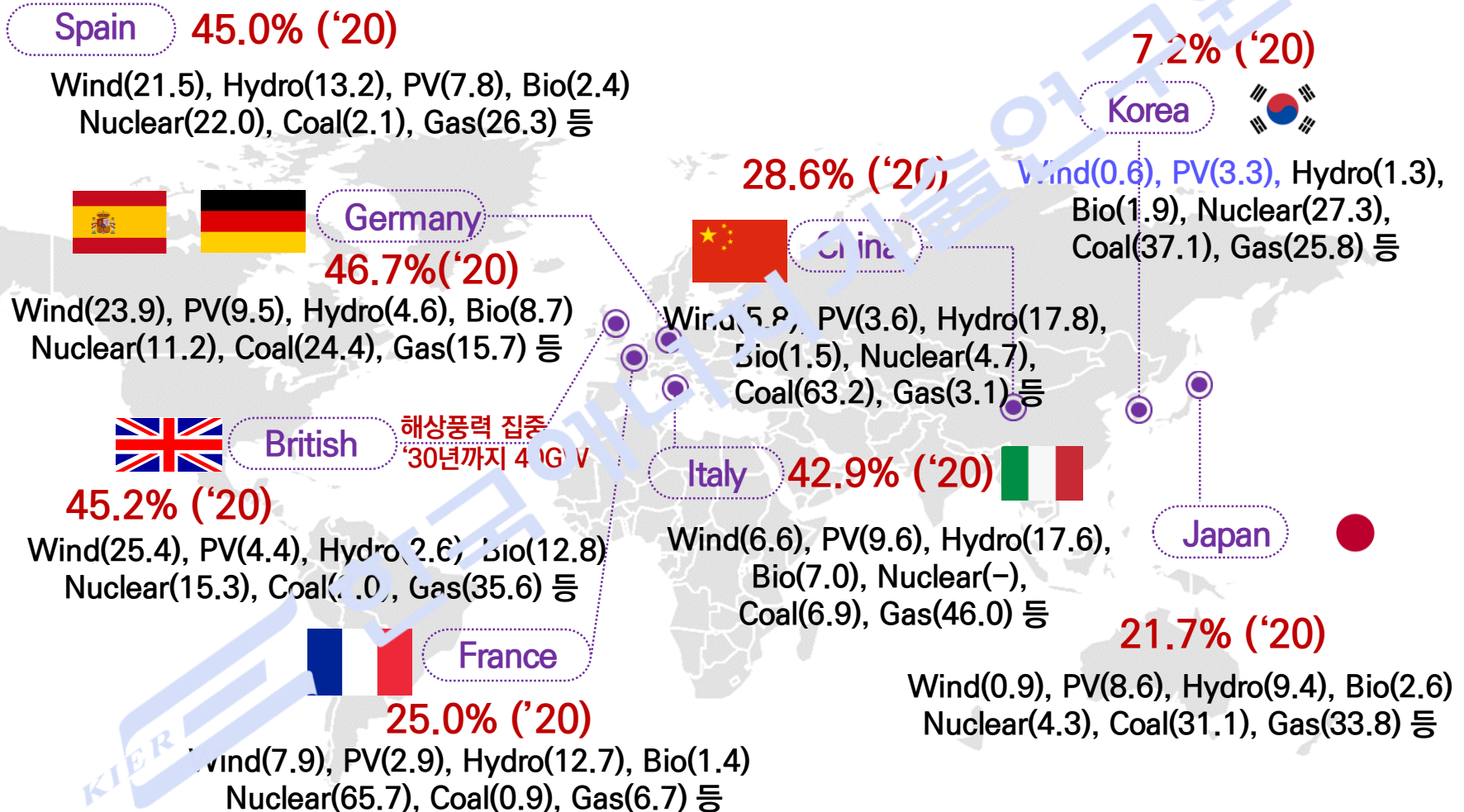


소용량 & 국가간 계통연계



# 글로벌 에너지 전환의 시대 (재생 전력 비중)

EU, 2020년 처음으로 재생전력이 화력발전을 추월 (38.2% : 37.0%)

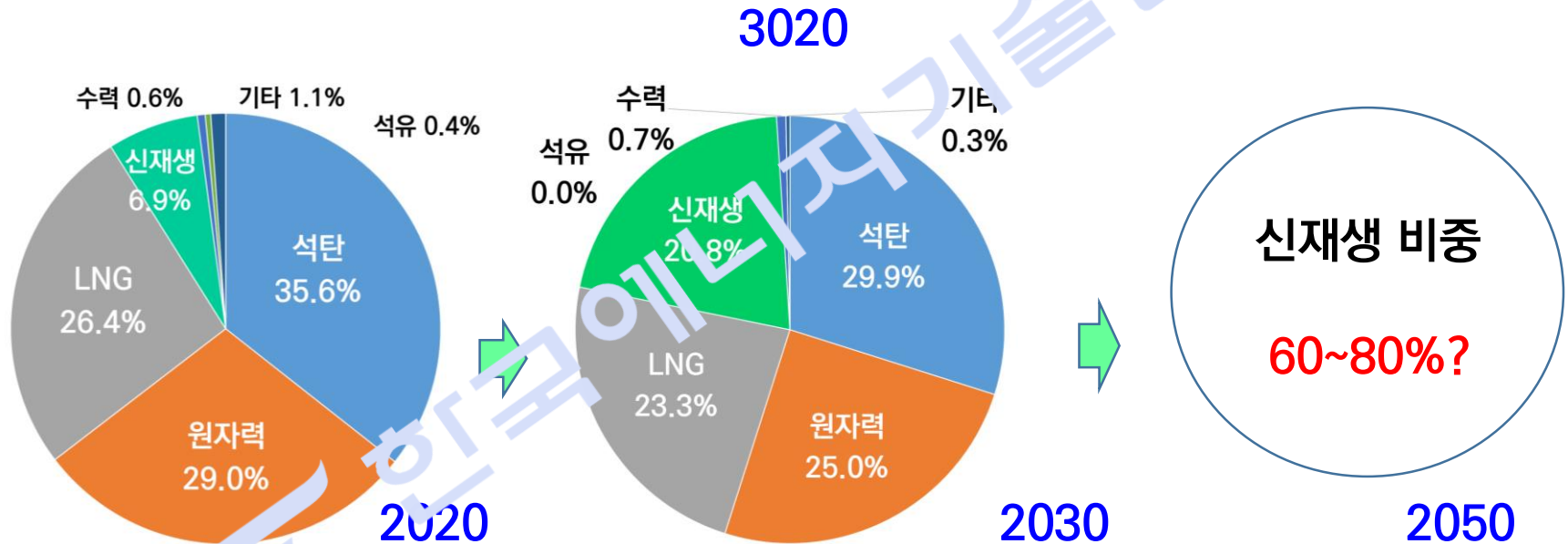


# 전력: 에너지 전환 3020/4035

## 발전량 현황 (2020)

- 총 발전량(2020년 실적) : **552 TWh** (신재생에너지 : 37.8 TWh)
  - 석탄 35.6%, 원자력 29.0%, LNG 26.4%, **신재생에너지 6.9%**, 수력(양수) 0.6%, 석유 0.4%, 기타 1.1%

- 전력통계월보, 한국전력공사(2021.4)



**화석연료 비중 62.4%**

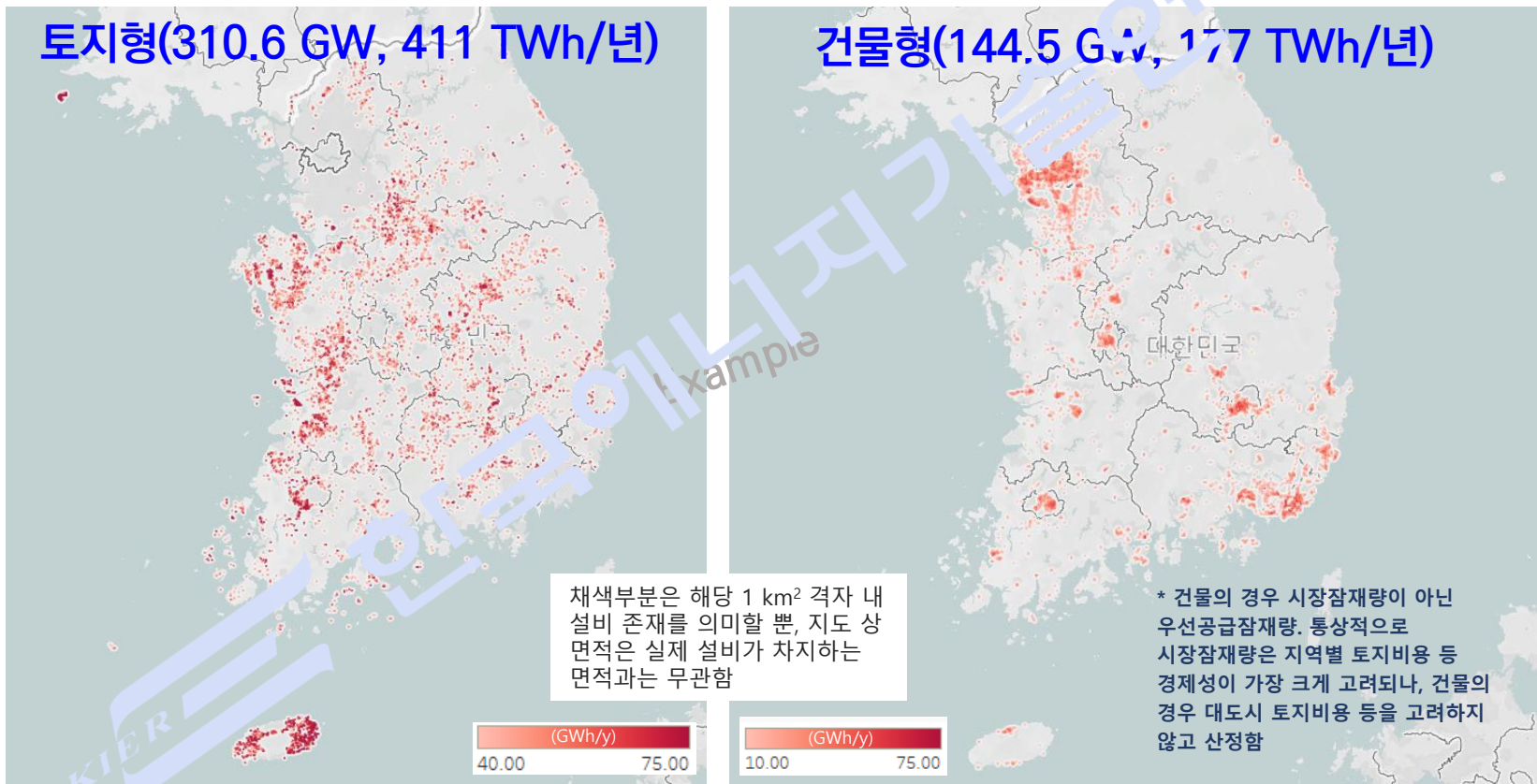
- 전력통계월보, 한국전력공사(2021.4)

- 제9차 전력수급기본계획(2020.12)

# 2050 태양광 잠재량 전망(안)

\*주의: 자원지도와 잠재량 산정은 지속적인 연구개발 투자가 수반되어야 고도화 가능한 R&D 영역임. 다수의 가정과 방법론 적용에 의해 그 수치가 크게 영향 받으므로 하기 전망과 지도는 예시임을 인지할 것.

- 2050년 잠재량 전망은 480.1 GW, 623.5 TWh/년 (국토면적 4.8%, 건물 포함)  
(건물 등 우선공급 가능한 지역 고려, 2050년 태양광 모듈 효율 34% 기준)

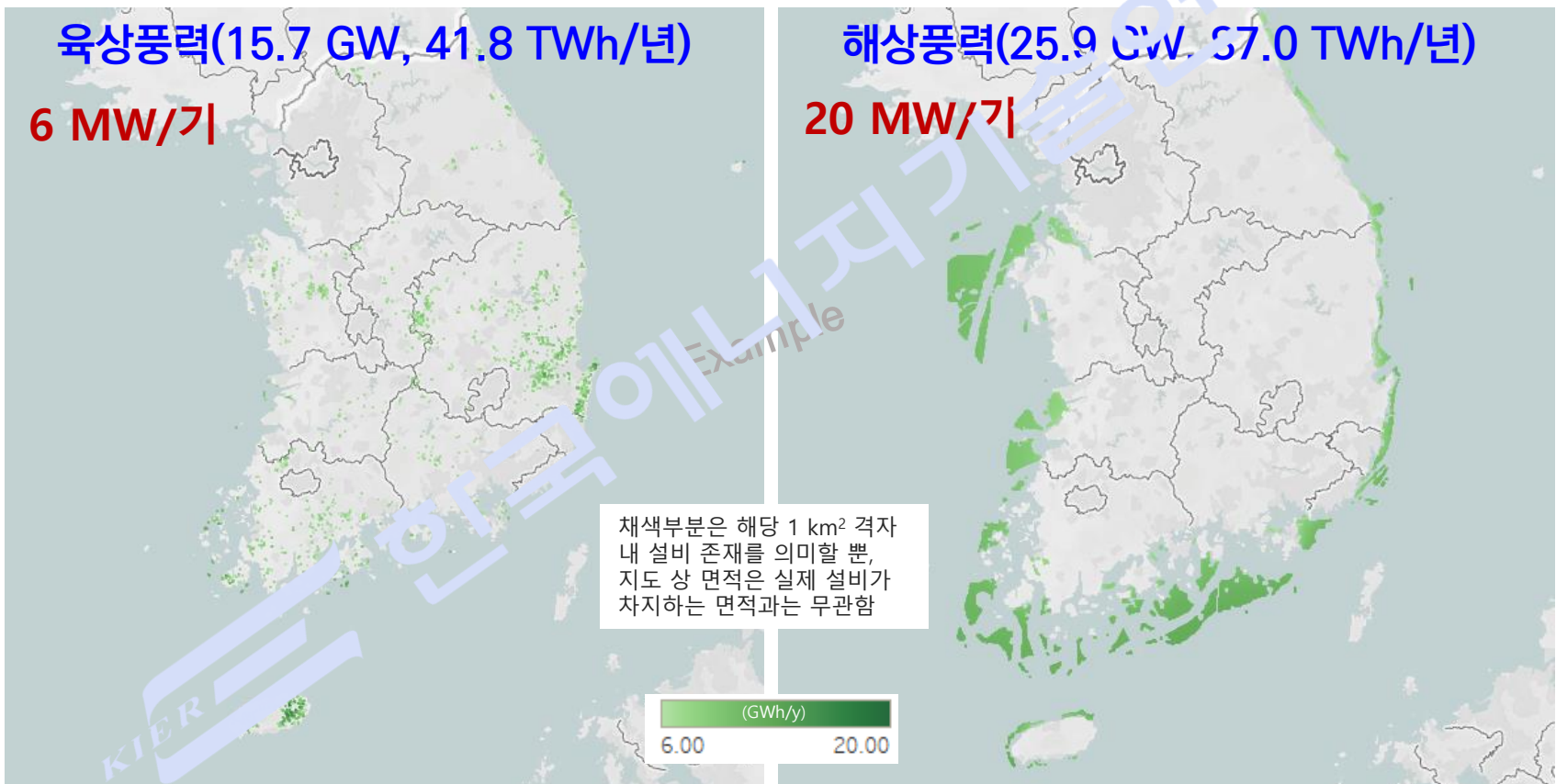


+ 수상(저수지, 담수호, 새만금 등)(25 GW, 35.5 TWh/년)

# 2050 풍력 잠재량 전망(안)

\*주의: 자원지도와 잠재량 산정은 지속적인 연구개발 투자가 수반되어야 고도화 가능한 R&D 영역임. 다수의 가정과 방법론 적용에 의해 그 수치가 크게 영향 받으므로 하기 전망과 지도는 예시임을 인지할 것.

- 2050년 시장잠재량 전망은 41.6 GW, 128.8 TWh/년  
(국내 설치용량 육상 4 MW/km<sup>2</sup>, 해상 3 MW/km<sup>2</sup>, 육상풍력 이용률 26%, 해상풍력 40%)



\* 단, 기존 풍력 단지의 리파워링 가정

# 2050 전력수요 중 태양광/풍력 비중

2020년 총발전량: 552 TWh

2050년 전력수요: 1240~1290 TWh ? (2050 탄소중립 시나리오(안))

태양광 (623TWh) + 풍력(129TWh) + 기타 = 759 TWh ?

2050 총 전력수요의 59.5~61.9%?

	2020	2050	증가율 (배)
태양광 (TWh)	18	623	35
풍력 (TWh)	3	129	43

- (산업구조) 태양광 산업은 소재.부품.장비를 생산하는 “제조“ 산업과 태양광 설비를 이용해 전기를 생산.판매하는 “발전“ 사업으로 크게 구분
- (밸류체인) 태양광 제조산업은 [폴리실리콘-잉곳/웨이퍼-태양전지(셀)-모듈] 등 일관된 제조공정에 따라 각각의 사업영역이 구분
- 폴리실리콘-잉곳 : 단가의 40% 이상 전기료, 중국이 세계 시장의 90%
- 한화솔루션(한화큐셀), OCI, LG전자, 신성이엔지, 현대중공업(현대그린에너지)

**모듈기준 국산화 제품 비중 : 87% ('20년 상반기)**

[태양광 Value-Chain별 제조공정]

폴리실리콘	잉곳	웨이퍼	셀	모듈	시공 · O&M
					
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 태양전지 핵심 소재</li> <li>• 모래 등에 있는 규소를 용융 · 정제</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 폴리실리콘을 고온으로 녹여서 가공이 용이하게 성형</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 잉곳을 200<math>\mu</math>m 이하로 자른 조각</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 전극(+,-)을 붙여 성형 가공</li> <li>• 빛을 전기로 바꿔주는 태양전지</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 약 72개의 셀 연결 후 강화 유리 등으로 마무리</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 모듈, 인버터 등 시스템 운용 및 관리</li> </ul>

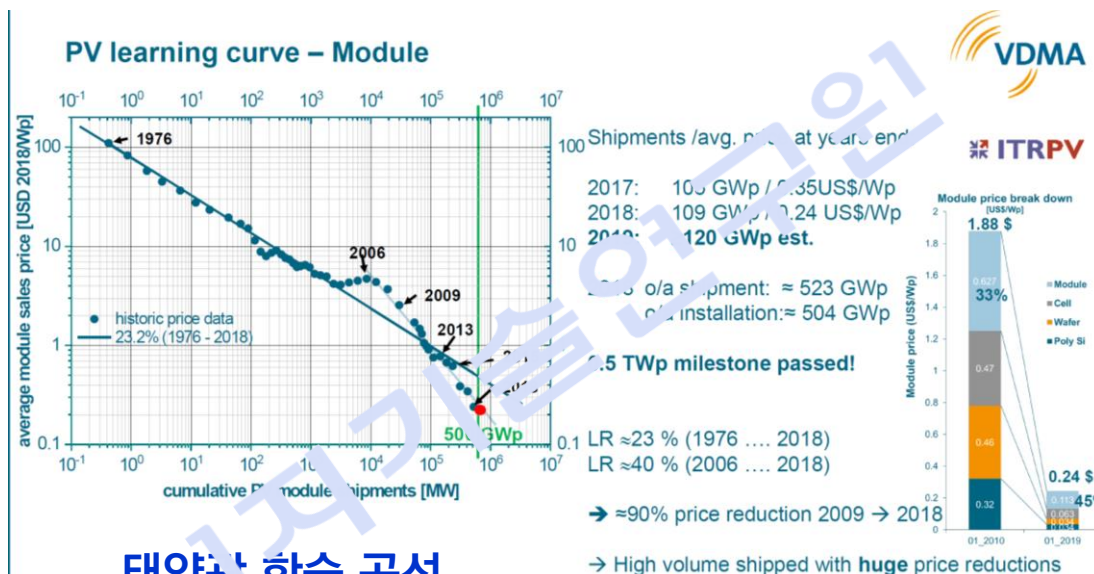
## 태양광 발전단가

포르투갈: 0.0132 USD/kWh

중국: 0.064

독일: 0.105

한국: 0.115



## 태양광 학습 곡선

### 국내 태양광 설치비

2006년 65억원/MW ≫ 2020년 12억원/MW

(모듈 4억원, 인버터 0.96억원, 주변장치&설치비용 6.6억원 등)

(계획) 안동도 폐염전+목초지, 229MW, 사업비 6909억원, 30억원/MW

안남도 폐염전, 300MW, 사업비 5000억원, 16.7억원/MW

(계획) 새만금 수상 태양광, 300MW, 시설 6600억원, 송전선로 5000억원, 39억원/MW



(오마이뉴스, 2010. 8. 25)



(충원도민일보, 2020. 8. 31)



(연합뉴스, 2019. 12. 12)



- 태양전지 : 주민 수용성 문제로 태양전지 설치 면적 감소
  - 고효율화, 도심형 다기능화 (설치 면적과 형태, 장소 제약 극복)
- 결정질 실리콘 태양전지, 효율 20~24% (공정 이론 효율 29.4%)
- 다기능 유연박막 태양전지(BIPV, Mobile 등), 효율 12~20%

## 차세대 태양전지 개발



[ 결정질 편덤 태양전지 ]

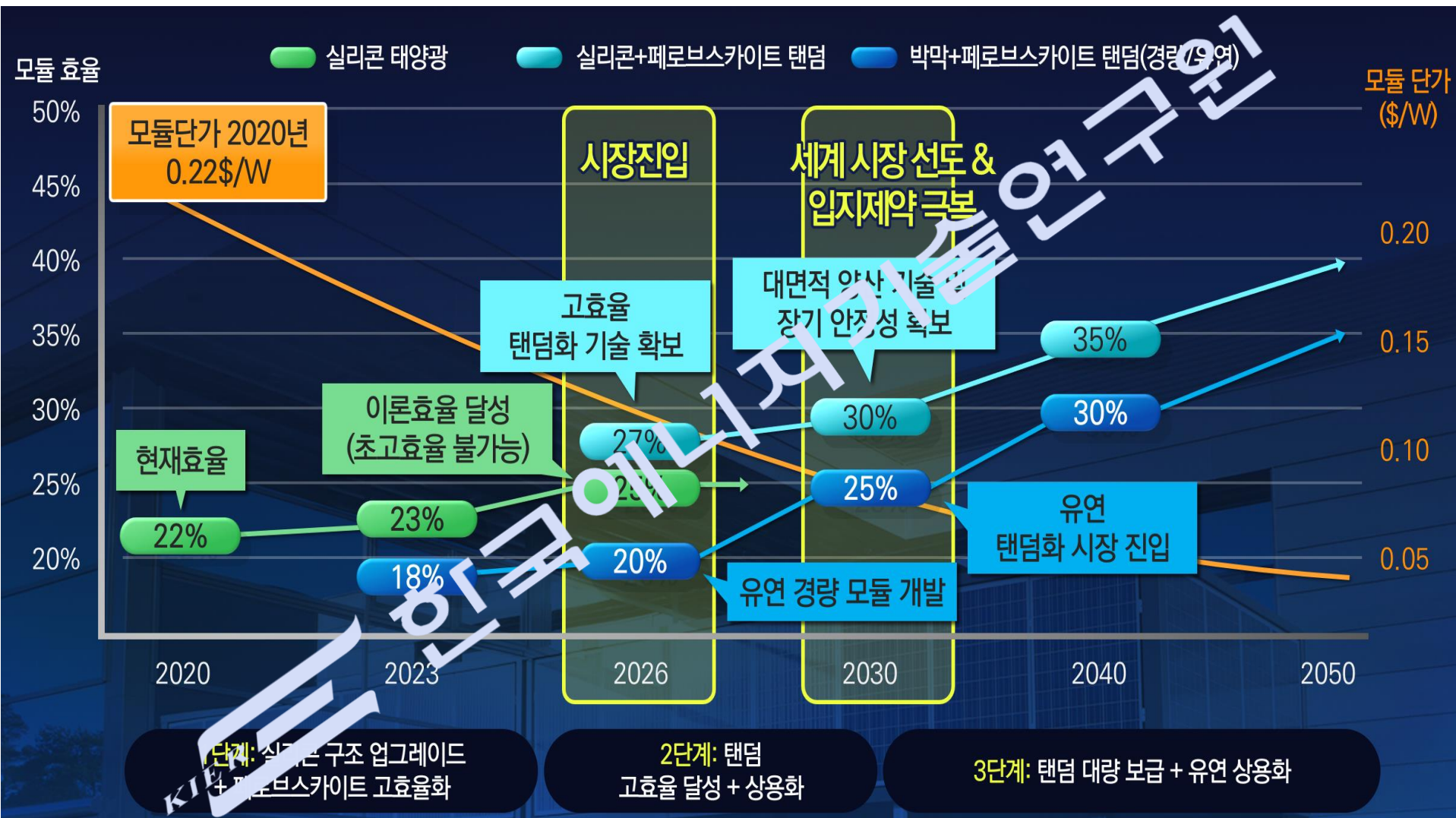
모듈 효율 > 30% 상업화 ('30)



[ 다기능 박막 태양전지 ]

모듈 효율 > 25% ('30)

# 고효율 태양전지 Roadmap



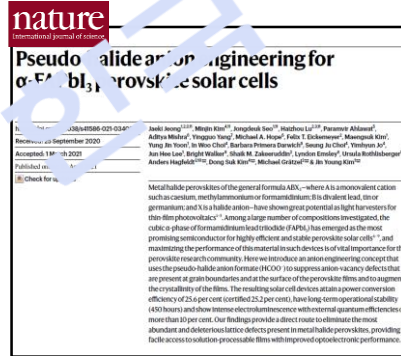
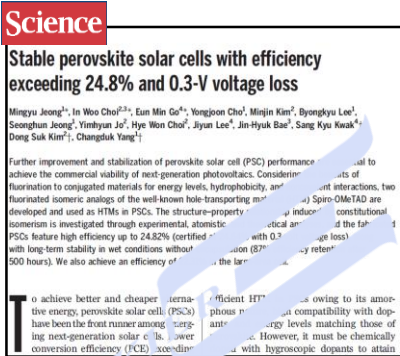
## 페로브스카이트 태양전지

### • 기술개요

- 국내 순수기술로 고효율 · 고안정성 페로브스카이트 태양전지 세계 최고 효율 달성(25.39%)
- 실험값으로 얻을 수 있는 한계값(0.3 V 손실) 도달이 가능한 세계 최고의 전지 제조 기술력 보유

### • 대표 성과

- 부가가치 창출을 위한 원천기술 (특허 6건) 확보 및 상용화가 가능한 1,000시간 이상의 안정성 확보
- 세계 최고 기술을 인정 받아 국제 최고 논문인 Science(2020.10), Nature(2021.4)에 게재



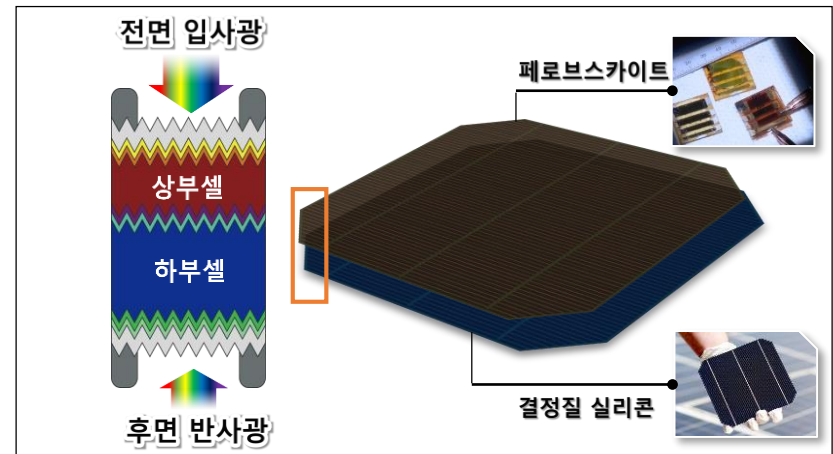
## 탠덤태양전지

### • 기술개요

- 실리콘 태양전지와 이온 효율을 뛰어넘는 고효율 페로브스카이트/실리콘 탠덤 태양전지
- 전/후면 모두에서 빛을 받을 수 있는 양면수광 구조 적용 (발전 효율 극대화)

### • 대표 성과

- 양면수광형 탠덤 태양전지 기대효율 31.5 % (4단자형), 24.8 % (2단자형) 달성



자원평가/단지설계	핵심 부품	시스템	운송/설치/시공, 계통 연계	운영·유지보수
				
<p>풍황 자원을 평가하고 이를 활용하여 풍력단지 설계 등을 수행</p>	<p>블레이드, 발전기, 전력변환기, 베어링, 피치/요 시스템 등 시스템 구성 부품</p>	<p>바람으로 전력을 생산하는 시스템의 설계 및 제작 기술</p>	<p>육상 및 해상에 풍력발전기를 운송/설치/시공하여 계통 연계 수행</p>	<p>상업 운영 중인 풍력발전단지를 운영하고 유지·보수하는 기술</p>

출처: 에너지기술연구원 기획보고서

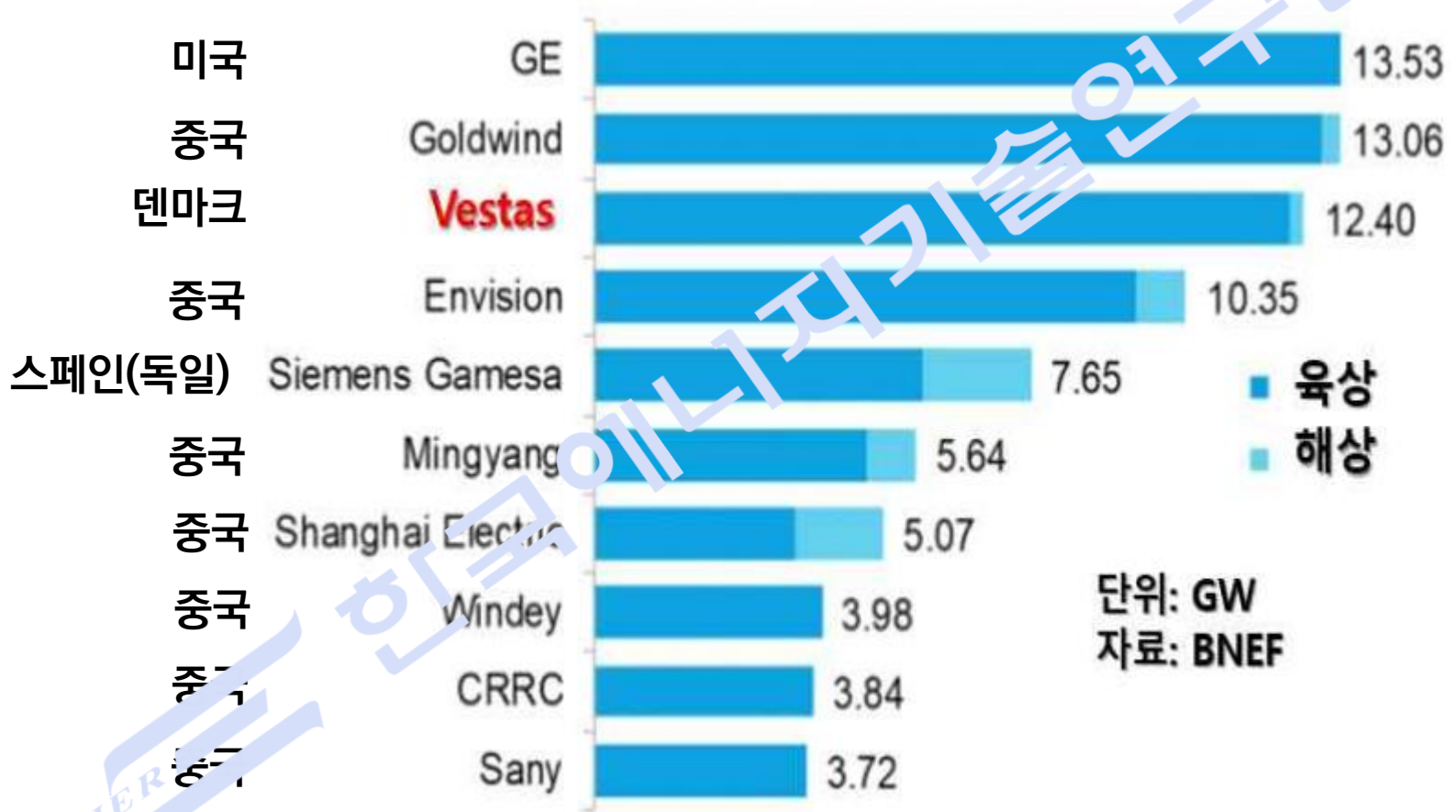
- 2019년 국내에 건설된 풍력발전단지에 두산, 유니슨 등 국내 풍력발전기 제작사는 단 한기의 풍력발전기도 공급하지 못했음

(협소한 내수시장, 규모의 경제에 밀려 가격경쟁력 떨어짐)

- 설치된 55기의 풍력발전기는 100% 수입 제품

발전소	용량(MW)	기수	사업자	제작사
울진 현종산	53.4	15	SK D&D	Siemens
완도 신지	17.325	5	아일랜드발전투자	Siemens
청송 노래산	19.2	6	대명에너지	Siemens
제주 수망	25.2	7	수망풍력	Vestas
영양 양곡	75.9	22	영양에코파워	Vestas

## • 글로벌 풍력시장 점유율 (2020)



[2020년 글로벌 풍력 터빈 업체 공급량 순위]

## • 한국 풍력 기업

기업명	풍력 타워 & 터빈	해상풍력 하부구조물	풍력발전 시스템	풍력 발전 관련 부품
씨에스윈드	→	타워		
동국 S&C	→	타워		
유니슨	→	터빈		
두산중공업	→	터빈	→	발전사업, EPC사업
삼강엠앤티		→	→	자켓, 모노파일, 파이프랙 등
세진중공업		→	→	해상풍력 설비의 하부 부유체 생산 예정
세아제강		→	→	모노파일, 재킷식 하부 구조물 강관
SK디앤디	발전사업, EPC사업		→	
코오롱글로벌	발전사업, EPC사업		→	
대한그린파워	EPC사업		→	
우리기술	EPC사업 (해상풍력 전문 대형 설치선 보유)		→	
LS		육해상풍력 발전용 송전 케이블		→
효성중공업		중속기, 발전기		→
씨에스네이빙		베어링, 피치		→
대우중공업		Main Shaft, Tower Flange, 베어링		→

## 국내 산업 현황

내수시장 위축 → 보급 부진 → 풍력산업 침체

(2019년 전기사업허가신청 : 약 3.5GW)

- 밀양풍력 : 주민반대 및 진입도로 허가 불허로 사업철수
- 난산풍력 : 지역민(찬성)과 영농조합(반대) 대립으로 사업철수
- 거제풍력 : 지역주민 반대로 중단
- 의령 한우산풍력 : 착공 후 사업자 vs 주민 소송 후 조건부 합의
- 강릉 대기리풍력 : 합의과정 소외 주민 허가 취소 소송 (패소)





산지 70%, 주민 수용성 문제 → 해상풍력

## [ 한국판 뉴딜 종합계획 (2020) ]

- 재생에너지 발전용량 확대 (해상풍력, 태양광 중심)
  - 124 MW('19) → **12 GW ('30)**
- 대규모 해상풍력단지 구축을 위해 최대 13개 권역에 대한 타당성 조사 및 실증단지 구축
  - 전남 신안 : 8.2 GW
  - 전북 서남권 : 2.4 GW



- 신안 해상풍력 **8.2GW** by 2030년  
사업비: 48조원, **58.5억원/MW**
- 충남 서해 풍력 **4GW** by 2026년  
사업비: 20.3조원, **50.7억원/MW**

## 두산중공업

5.5MW 상업화  
8MW 개발 중 ('22)

## 유니슨

4.3MW 상업화  
10MW 개발 중 ('23)

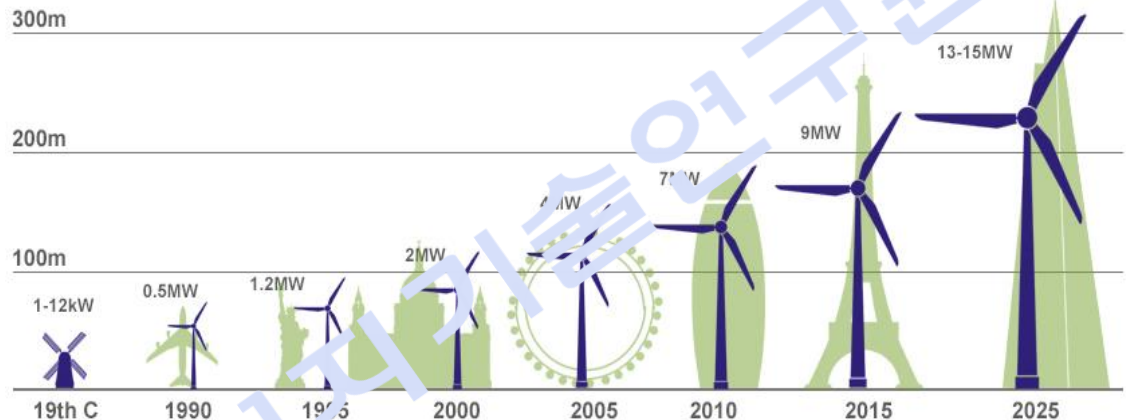
## 해외 해상풍력

- 8MW 설치 중
- 12MW 실증 중 (GE)

## 설치비

- 육상 : 25억 원/MW
- 해상 : 50억 원/MW

Evolution of wind turbine heights and output



Sources: Various; Bloomberg New Energy Finance

## 10 MW 이상 초대형 해상 풍력발전기 개발 필요

- 부유식 해상풍력
- 초대형 (10MW 이상), 초장수명 풍력발전
- 부품기업 육성  
(발전기, 기어박스, 블레이드, 베어링 등)
- 대규모 풍력단지 개발, 운영기술(O&M)

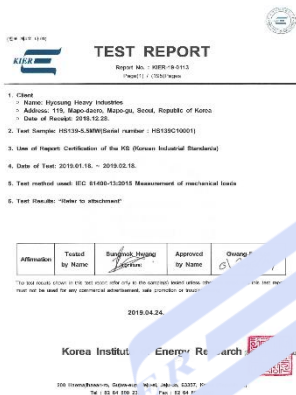
## 대형 풍력발전 시험인증 국산화

### • 기술개요

- 국내 소형 · 중형 · 대형 풍력터빈 시험기술 개발 및 국내 공인 성능시험(KOLAS, KS) 수행
- 기존 외국에 의존했던 대형 풍력발전 형식시험을 국내 기술로 수행 및 국제 인증 체계 가입 추진

### • 대표 성과

- 국내 순수 기술로 국산 최대 대형 풍력발전기 (5.5MW) 성능시험(출력성능, 기계하중) 완료



[시험성적 (2020)]



언론보도 (2020)

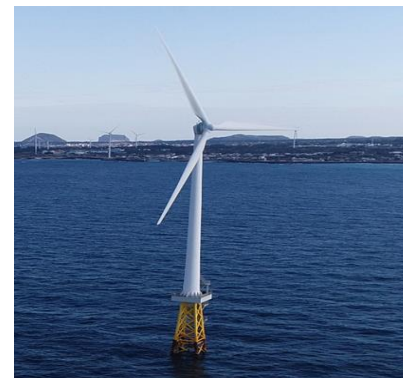
## 국내 최초 해상풍력 실증

### • 기술개요

- 국내 최초 해상(2MW) · 육상(1.5MW) 풍력터빈 구축
- 지능형 해상풍력 유지보수 상용화 플랫폼 개발 중
- 해상풍력 보급 확산을 위한 해상풍력 지원항만 운영기술 및 물류관리 기술 개발 중

### • 대표 성과

- 기술이전(2015.06, 기술료 10억) : 해상풍력 실증단지 건설 및 운영에 관한 기술



[국내 최초 해상풍력(제주)]



[유지보수 플랫폼]



\* 수두

\*\* 해수 (3.5wt.%), 사해 (20wt%) : 000.

참고문헌 "Recent developments in salinity gradient power", Doherty Lecture, 2001.

"Membrane-based production of salinity-gradient power", G. Z. Ramon et al., *Energy Environ. Sci.* 2011.

"Optimizing the global wave power resource", K. Gunn, *Renew. Energy*, 2012.

"Assessing the global wave energy potential", G. S. Mork et al., In *proceedings of OMAE2010 (ASME)*, 2010.

"Satellite and diurnal tidal dissipation from TOPEX/Poseidon altimetry", G. D. Egbert et al., *Geophys. Res. Lett.*, 2003.

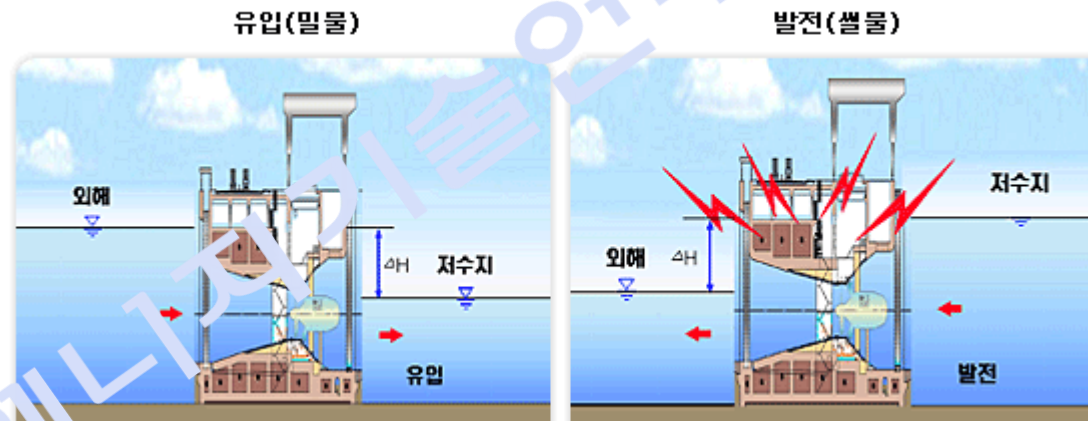
"Global observations of ocean-bottom subinertial current dissipation", C. J. Wright, *J. Phys. Oceanogr.*, 2013.

"A preliminary assessment of ocean thermal energy conversion resources", G. C. Nihous, *J. Energy Res. Technol.*, 2007.

시화호 조력발전소: 254MW, 세계 최대

# 시화 조력발전소 (254MW)

세계 최대규모 조력발전소

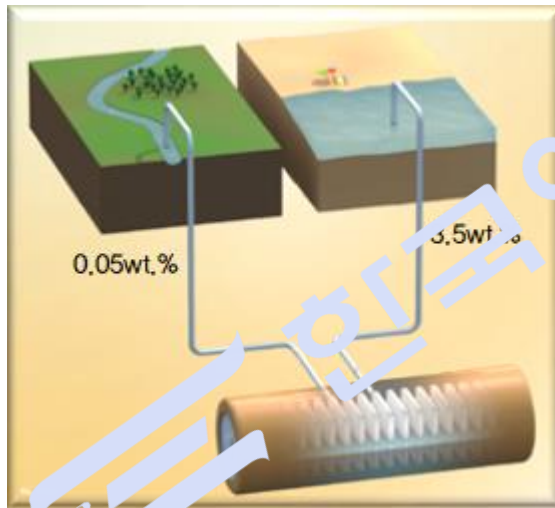


연간발전량: 552GWh

서해안? 새만금 등

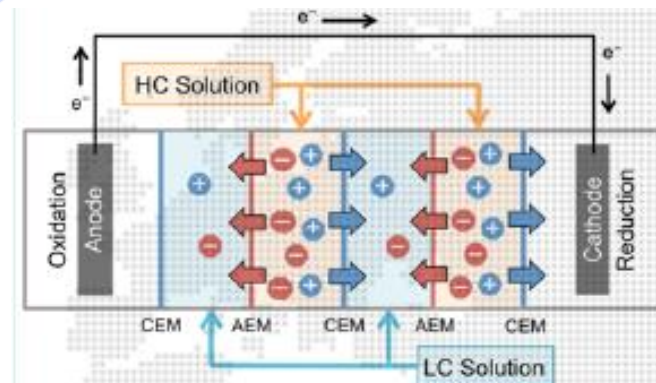
## • 해양염분차발전

- 무한 청정 바다와 담수 사이의 염 농도 차이를 이용해 전기를 생산하는 블루에너지 기술
- 글로벌 잠재량 2.6TW, 잠재시장규모 3조USD의 막대한 잠재량이 있는 재생에너지 기술
- 장점 : 전력생산 변동률 低, 이용률 高 (>90%), ESS 의존을 낮음
- 한국에너지기술연구원은 세계적 수준의 소재 및 부품 개발 기술력을 바탕으로, 2025년 부터 MW급 상용 플랜트를 개발 계획



[ 해양염분차발전의 원리 ]

## 역전기투석 (RED/Reverse Electrodialysis)



➢ 이온의 분리, 이동 현상 이용 (염수 → 담수)

# 에너지연, 해양염분차발전 기술 개발



[ 한국에너지기술연구원의 해양염분차발전 기술수준 및 개발전략 ]

	PEMFC	PAFC	MCFC	SOFC
용도	주택용·차량용 (1kW~200kW)	건물용·발전용 (20kW~수십MW)		주택용·건물용·발전용 (1kW~수십MW)
효율(수소, 복합화기)	39%, 60%(수소차)	42% (50%)	47% (60%)	>55% (70%)
전해질	고분자막	인산 (액상)	용융탄산염 (액상)	고체산화물 (세라믹)
작동온도	25~80℃	200℃	350℃	700~800℃
열 활용	저온수	중온수	중온수, 스팀	중온수, 스팀
사례				
국내사업자	두산 에너지퓨얼셀, 현대차	두산	포스코에너지	미코, 경동나비엔, 에이치엔파워, STX 중공업
해외사업자	도시바, 파나소닉, 도요타, 혼다 Mercedez	후지전기	Fuel Cell Energy	Bloom Energy, 아이신, Solid Power, MHPS, 미우라

\*PEMFC (Polymer Electrolyte Membrane FC, 고분자전해질형)

\*PAFC (Phosphoric Acid FC, 인산형)

\*MCFC (Molten Carbonate FC, 용융탄산염)

\*SOFC (Solid Oxide FC, 고체산화물형)

**발전용: 658MW; 기보급(95% 국산), 보급 중(60% 국산)  
설치허가 (외산 87%, 미국 Bloom Energy)**

**국내SOFC 개발 :**  
미코, STX중공업,  
두산, 에이치엔파워 등



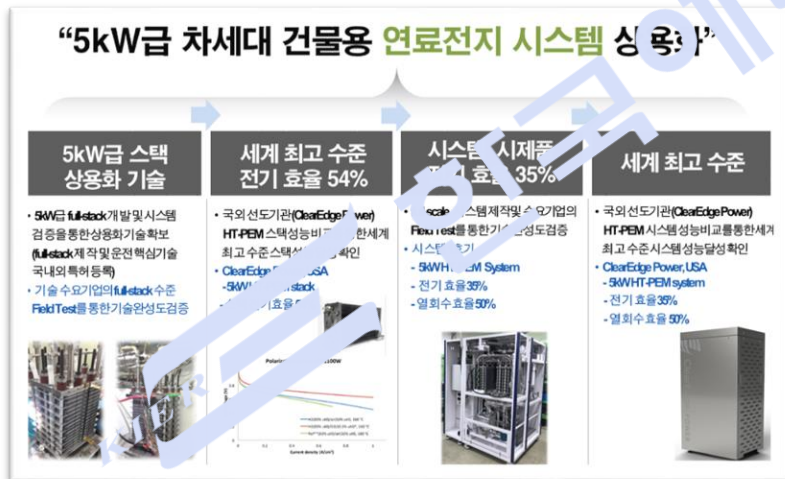
## 미국 Bloom Energy SOFC

프로젝트		위치	설비용량	완공일시
한국남동발전	분당 6단계 연료전지	성남시 분당구	8.35 MW	2018.11
KT 대덕	대덕 2 연구센터 연료전지	대전시 유성구	0.9 MW	2019. 8
화성	화성 연료전지	화성시 장안면	19.8 MW	2020. 6
창원	창원 에너지파크 연료전지	경남 창원시	2.4 MW	2020. 5
KT 대구 연료전지	KT 대구	대구 달서구	0.9 MW	2020. 9
파주 연료전지	파주 연료전지	파주시 월롱면	8.1 MW	2020. 9

SK에코플랜트: 블룸에너지 SOFC 대리점

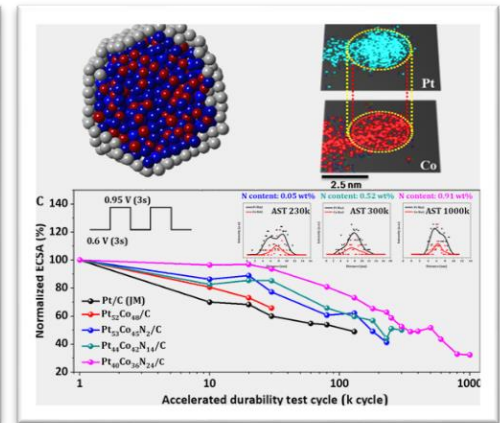
## 건물/발전용 연료전지 스택/시스템 기술

- 기술개요
  - 5 kW급 차세대 건물용 연료전지 스택 및 시스템 세계 최고 전기 효율 달성(54%/35%) 및 기술 상용화
  - 재생에너지 잉여 전력 활용 수소 사용 25 kW급 발전용 연료전지 스택 및 시스템 상용화
- 대표 성과
  - 동아퓨얼셀 기술이전(기술료 7억/경상2%, 2019.5)
  - HST 기술이전(기술료 10억/경상1%, 2021.4)



## 백금 저감 코어-셸 구조 전극 촉매

- 기술개요
  - 고성능 · 저가형 연료전지용 전극 촉매 기술 확보 (백금 촉매 대비 활성 면적 2배, 수명 5배 이상 확보)
  - 활성 금속 중심에 저가형 금속을 도입하면서도 구성 향상이 가능한 새로운 코어-셸 구조 촉매 제시
- 대표 성과
  - 1 백만 사이클 수명평가 검증결과를 통해 ACS Catal. (2021) 표지논문으로 선정



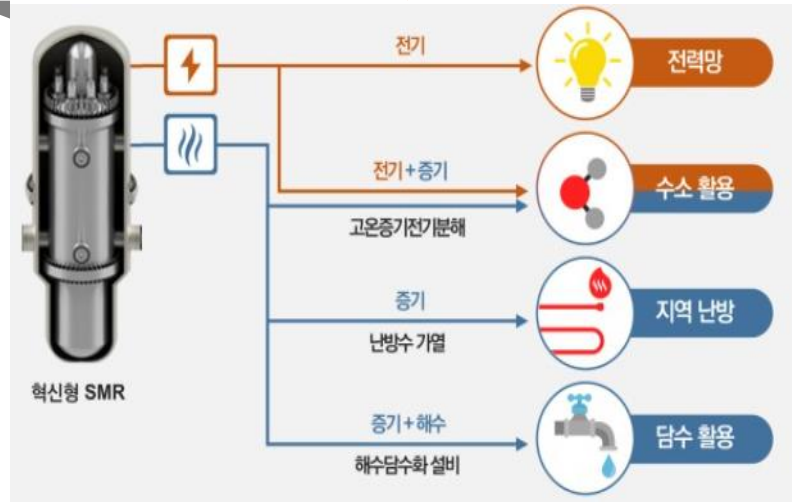
[ ACS Catal. (2021) Front Cover (Accepted) ]

## 소형 원자로(SMR) 개요

- 정의 : 300MW 이하의 원자로 (주로 군함, 핵잠수함에 사용되는 소형원자로를 발전용으로 전환)
- 안전성, 접근성, 활용성 등이 부각되면서 탄소중립 달성을 위한 수단으로 평가
- 대형원전에 비해 발전단가 높음. 30% up?
- 그러나 안전성, 유연성, 경제성 등에 대한 객관적 검증이 부족하다는 우려도 존재

**분산전원  
주민수용성?**

## SMR 활용처



## 대형 원전과 SMR 비교

대형원전		SMR
1,000~1,600 MW	발전용량	300 MW 이하
8~10조원	건설비용	1조 5,000억원
18개월	핵연료 교체주기	최대 20년
강제순환냉각	냉각방식	자연순환/강제순환

## • 발전원별 전력 구입단가 (2019)

2050 탄소중립  
전기 요금 올려야!!



- 원자력/유연탄/LNG (2019 한국전력통계), 신재생(서울경제 2020.11.23)

## • 가정용 전기 요금 (IEA, 2019)

- 한국(110.3 \$/MWh)
- 독일 (366 \$/MWh)의 1/3
- 일본(239 \$/MWh)의 1/2

## • 산업용 전기 요금 (IEA, 2019)

- 한국( 100.3 \$/MWh)
- 독일 ( 145.4 \$/MWh)의 67%
- 일본( 160.7 \$/MWh)의 62%

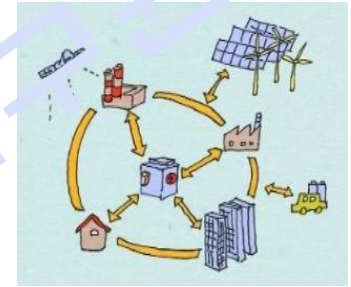
## 2. 에너지 통합 인프라

### ● 차세대 전력망

- 재생에너지 비중이 높아졌을 때,
- 전력 품질 저하
- 전력망 부족
- 발전설비 이용율 저하 (계통 미연계 전력 증가)

(제주 풍력발전기 2020년 상반기 발전 출력 제약 44회 발생, 제주 재생발전 허용량 590 MW, 설비 규모 556 MW)

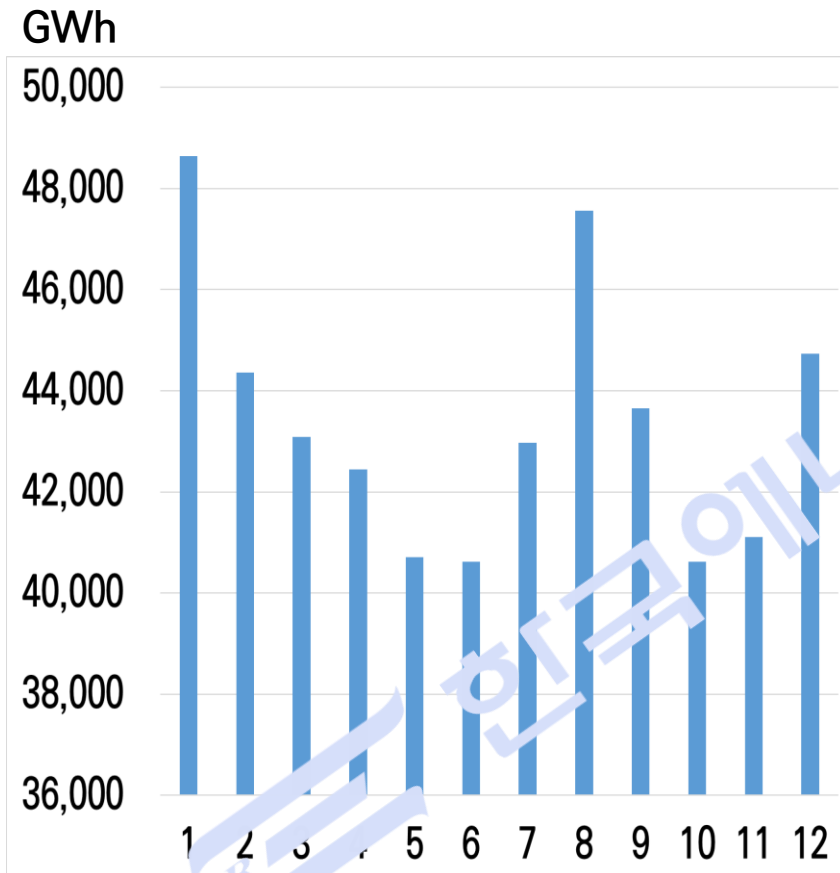
- ✓ 주파수 :  $60 \pm 0.2$  [Hz]
- ✓ 전압 : 최대  $\pm 10$  [%]
- ✓ AC망 vs DC망



### ● 가스망 : 천연가스, 수소

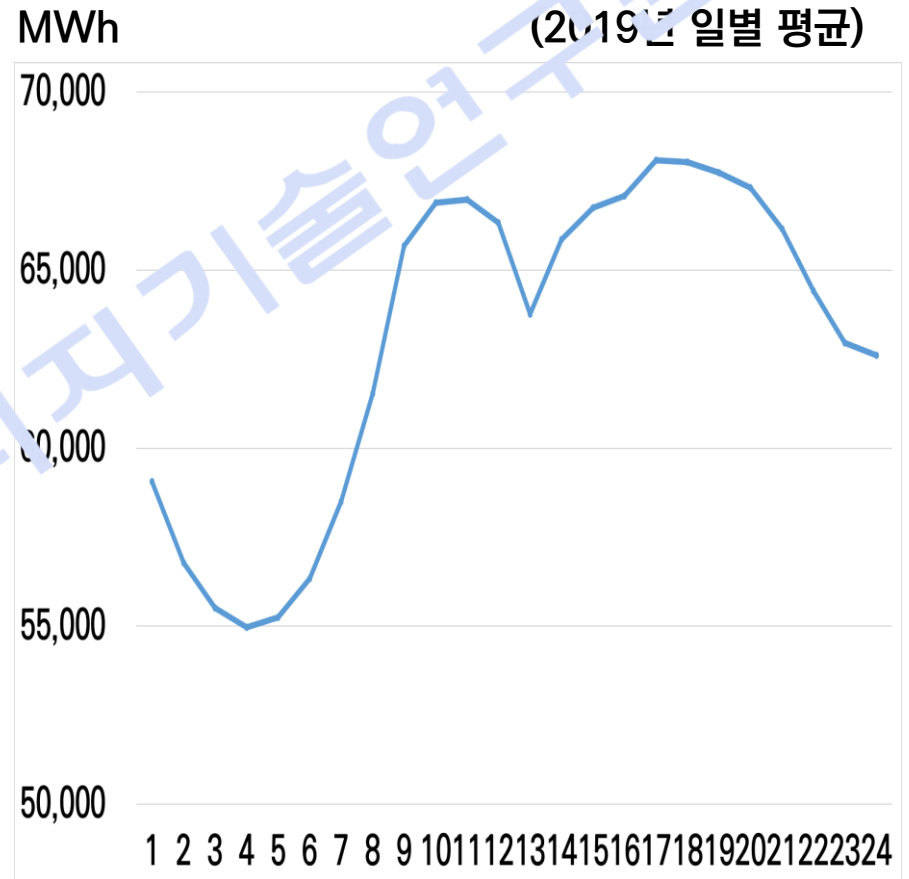
### ● 열그리드

## [월별 전력 수요 (2019)]



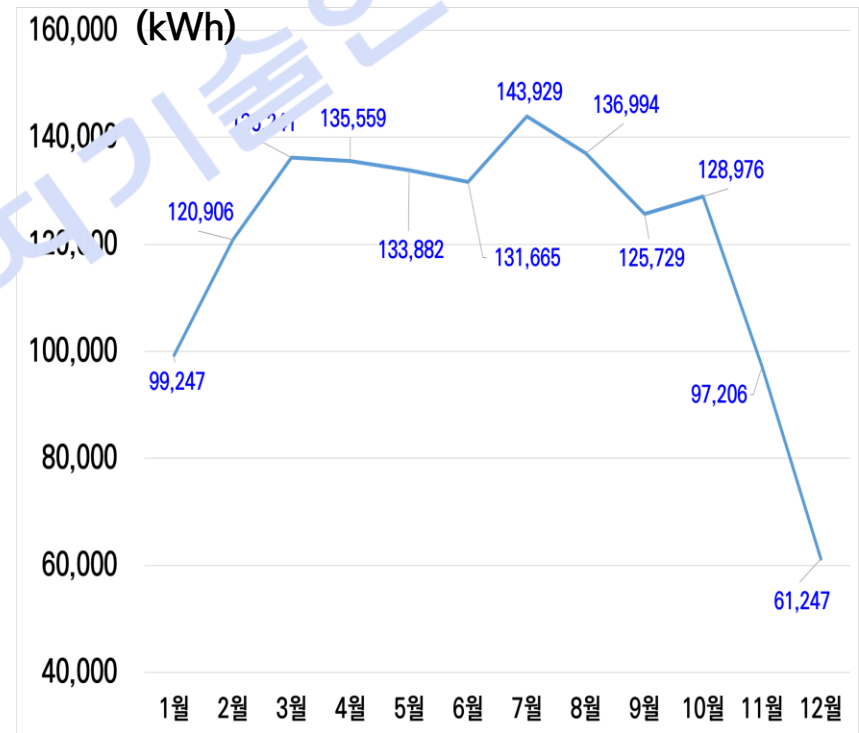
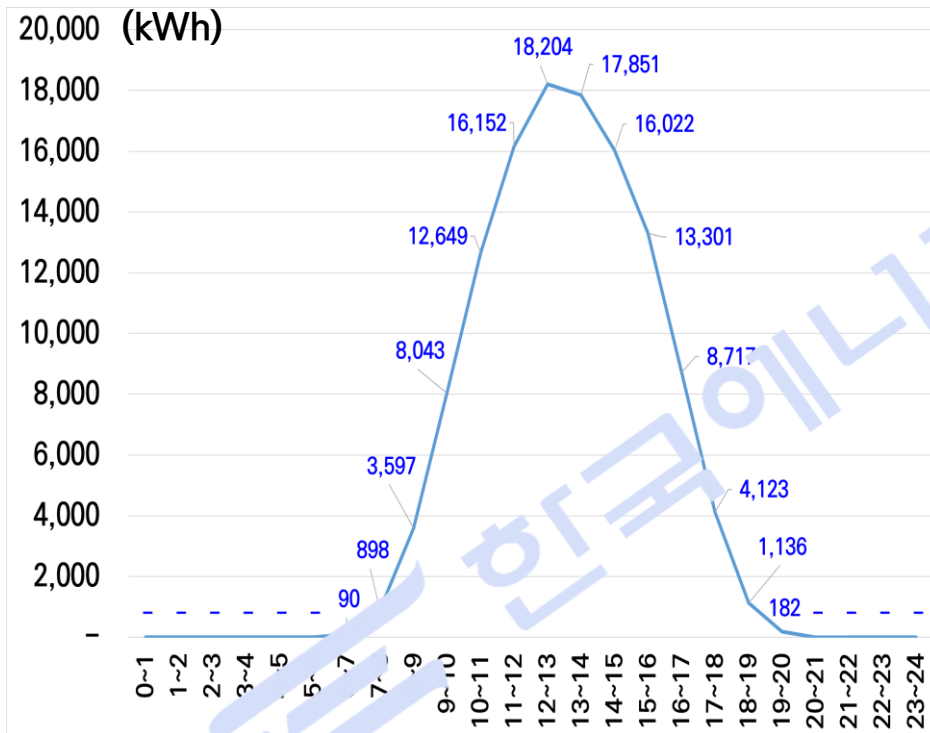
- 에너지통계월보, 2020.11 (수요부분별 소비의 합계)

## [하루 중 시간별 전력 수요(2019)]

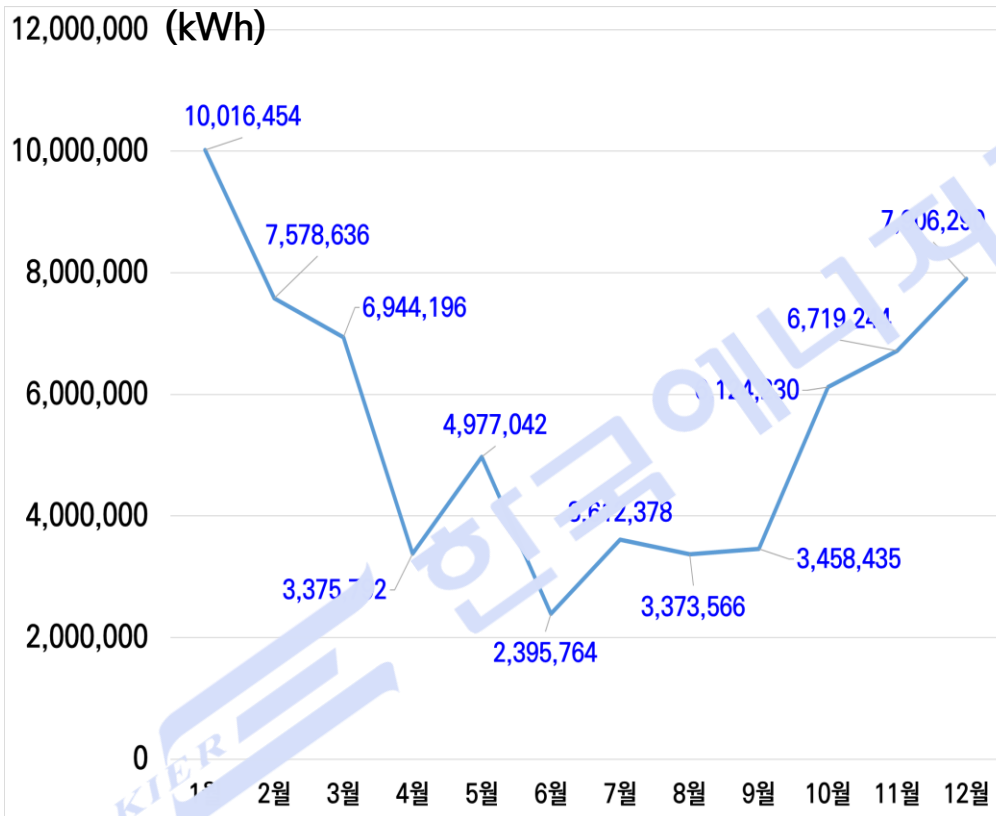


- 공공데이터포털의 '한국전력거래소 시간별 전력 수요량'  
(<https://www.data.go.kr/data/15065266/fileData.do>)

- 서부발전 안산: 1 MW 규모
- 연간 발전량 : 1,452 MWh (2018년), **이용률 16.6%**



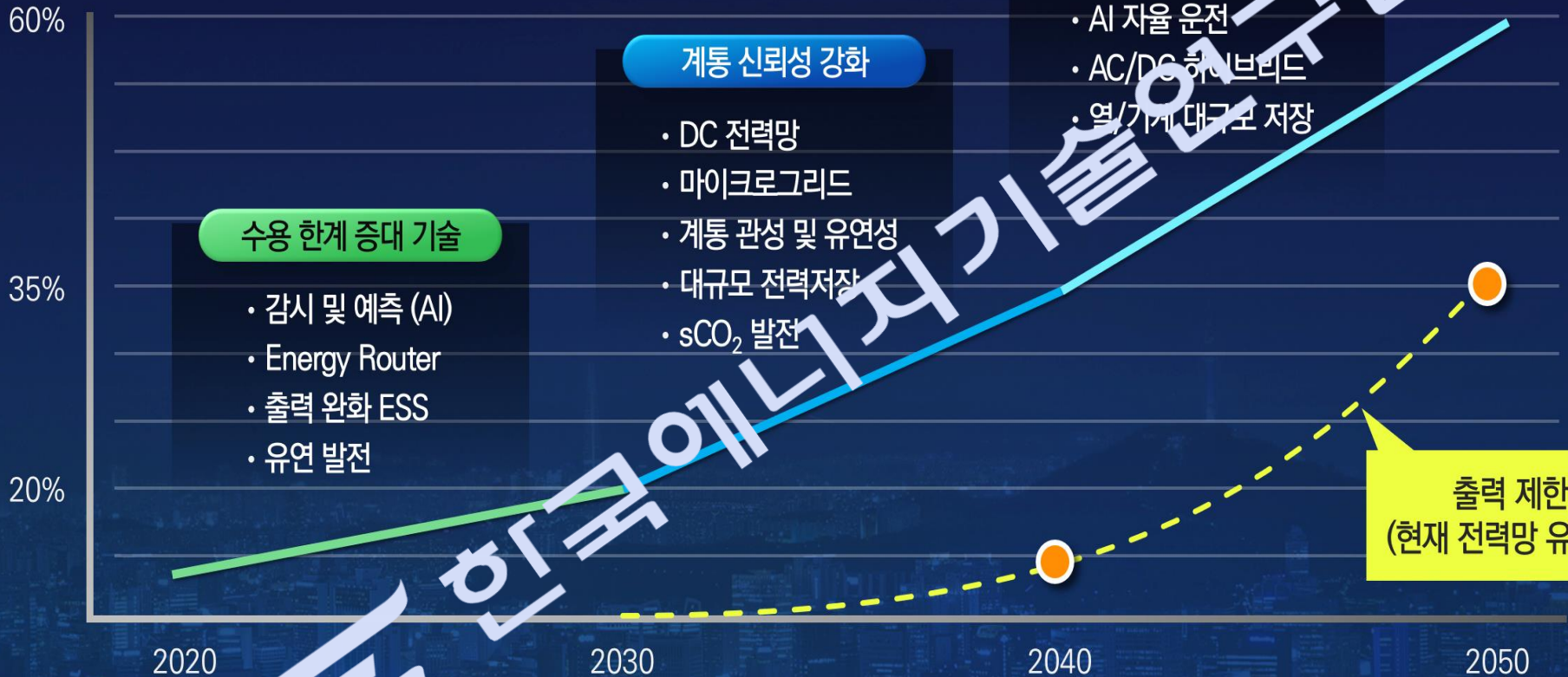
- 제주 가시리 풍력발전소 : 30 MW 규모 (3MW 10기)
- 연간 발전량 : 66,482 MWh(2019년), **이용률 25.3%**



월	평균 풍속 [m/s]	평균 이용률 [%]	단지 발전량 [kWh]
1	9.0	44.9	10,016,454
2	8.8	37.6	7,578,636
3	7.3	31.1	6,944,196
4	5.2	15.6	3,375,792
5	6.0	22.3	4,977,042
6	4.5	11.1	2,395,764
7	5.5	16.2	3,612,378
8	5.0	15.1	3,373,566
9	6.2	16.0	3,458,435
10	7.0	27.4	6,124,230
11	7.3	31.1	6,719,244
12	7.6	35.4	7,906,290



재생에너지 발전 비중 (%)



**수용 한계 증대 기술**

- 감시 및 예측 (AI)
- Energy Router
- 출력 완화 ESS
- 유연 발전

**계통 신뢰성 강화**

- DC 전력망
- 마이크로그리드
- 계통 관성 및 유연성
- 대규모 전력저장
- sCO<sub>2</sub> 발전

**자율 운전 전력망**

- AI 자율 운전
- AC/DC 하이브리드
- 열/기계 대규모 저장

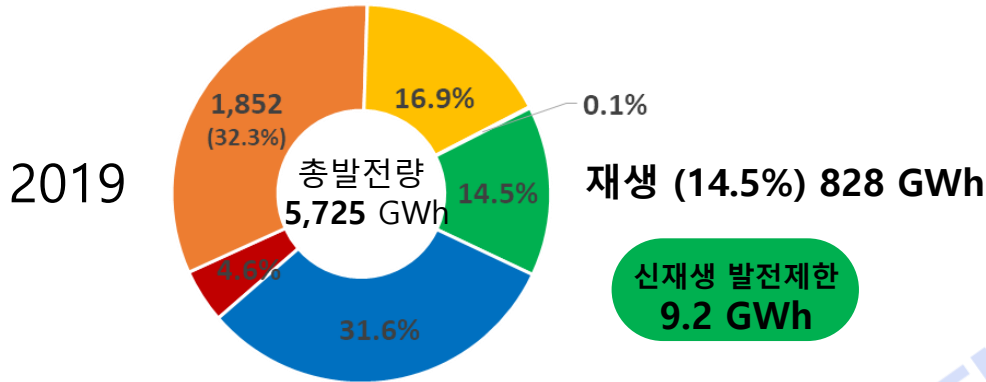
1단계: 수용 한계 증대 기술

2단계: 계통 신뢰성 강화 기술

3단계: 자율운전 전력망 기술

# 제주 재생전기 출력제한

화력(53.9%), 재생(14.5%), 육지공급(31.6%)

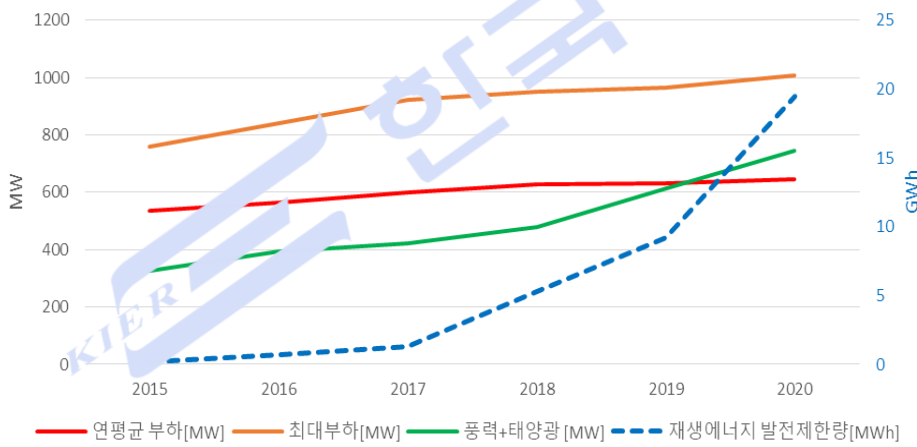


출력제한  
9.2GWh ('19) → 19GWh ('20)



출력제한 해소를 위한 재생E 수용한계용량 증대방안 필요

## 부하 증가량 대비 재생에너지 증가세, 출력제한 심화



## 수급 불균형 완화

### ① 지역 맞춤형 VPP/플러스 DR 기술 개발

[개념 및 특징]

- 재생E 예보(VPP) 및 부하 예측(플러스 DR) 기반 전력 수요 관리를 통해 재생E 초과 공급량 상쇄
- 해당 지역의 특징을 반영한 효과적 자원 모집
- 수소 및 수전해장비의 적극적 활용

### ② 통합저장시스템 구축 및 운영

[개념 및 특징]

- 수소, 전기차 및 열 저장장치 등 특성을 고려한 에너지 저장 통합 운용으로 재생E 저장량 최대화

## 계통 제약 완화

### ③ 가상관성 기술 개발 및 적용

[개념 및 특징]

- 계통 안정도를 유지시키는 관성을 부여하는 기술
- 필수운전 발전기 대체 가능, 재생E 수용성 증대

### ④ Energy-Router 설치 및 운영기술 개발

[개념 및 특징]

- 전력공급 인입지점 간 전력을 전송 및 제어
- 전력계통 제약해소(전압, 선로용량)에 기여해 재생E 수용성 증대

제주('19): 화력(53.9%), 재생(14.5%), 육지공급(31.6%)

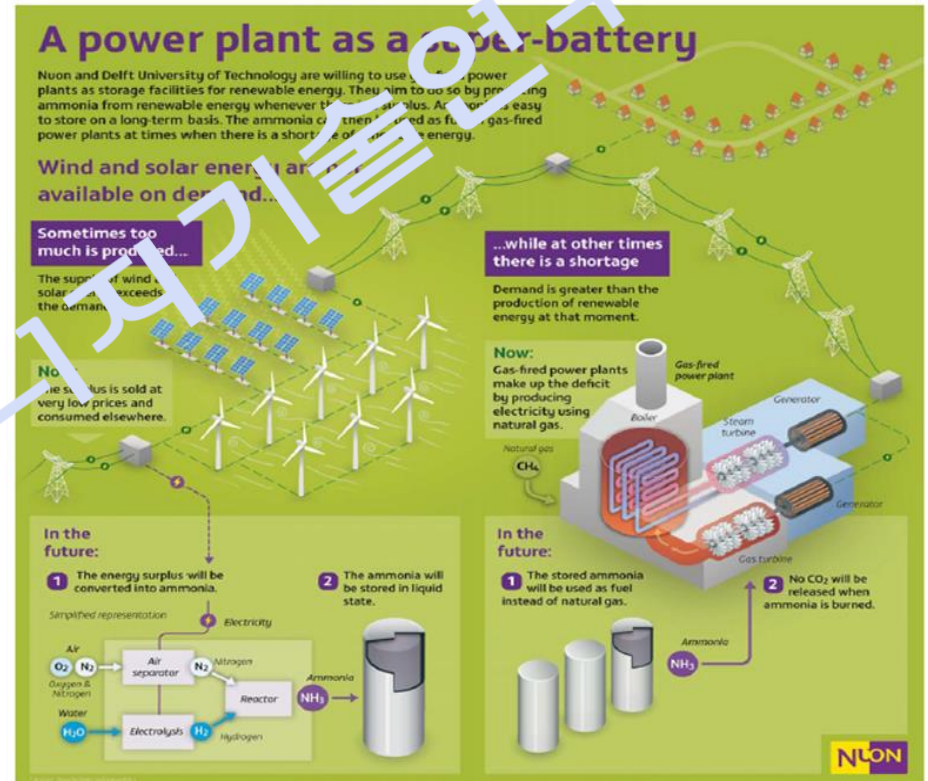
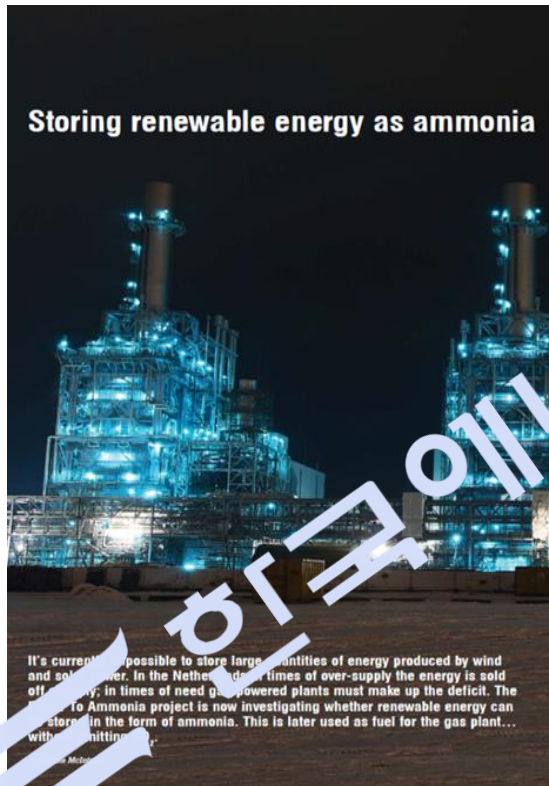
# 에너지 저장(ESS)

- ESS (Energy Storage System) : 생산된 전력을 저장했다가 전력이 필요한 시기에 공급하여 에너지 이용 효율을 높이는 시스템. 재생에너지 전기 품질 개선 및 전력계통 안정화 기여



# 네덜란드, P2A2P(Power to Ammonia to Power)

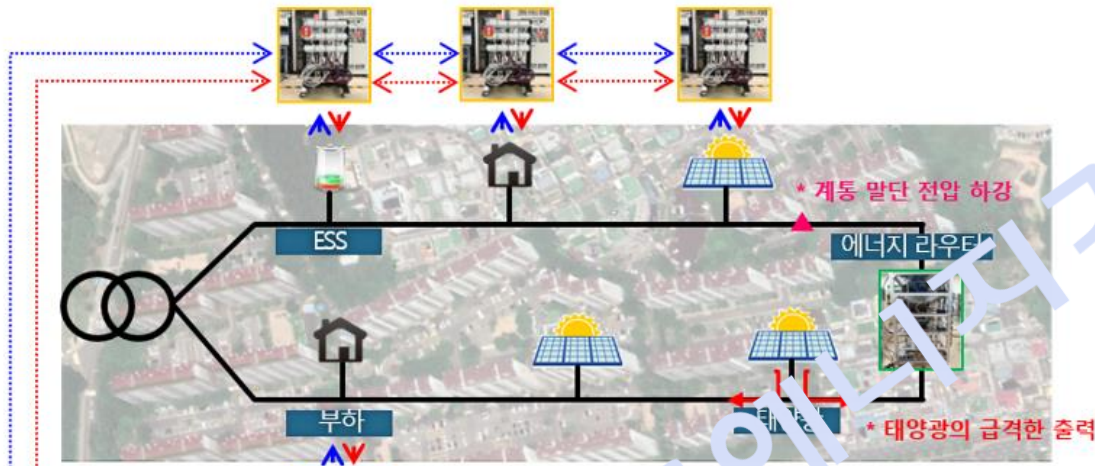
- **Power-to-Ammonia project: ISTP, Nuon/Vattenfall, TU Delft, University of Twente**
- **“Ammonia can be stored as a liquid; a standard tank of 60,000m<sup>3</sup> contains about 200Gwh of energy, equivalent to the annual production of roughly 30 wind turbines on land.”**



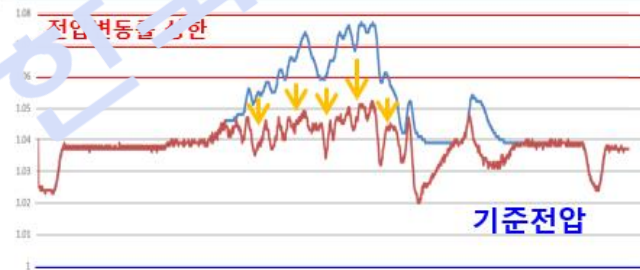
2025년부터 5~50천명의 거주 지역에 전력 저장/생산을 위한 그린 암모니아 설비 구축 계획, 61% 효율 및 전력 생산 단가 0.31 euro/kWh를 목표로 함

## 분산자원 에너지 네트워크 관리 플랫폼 기술 개요

### 제안 기술 개요 및 효과

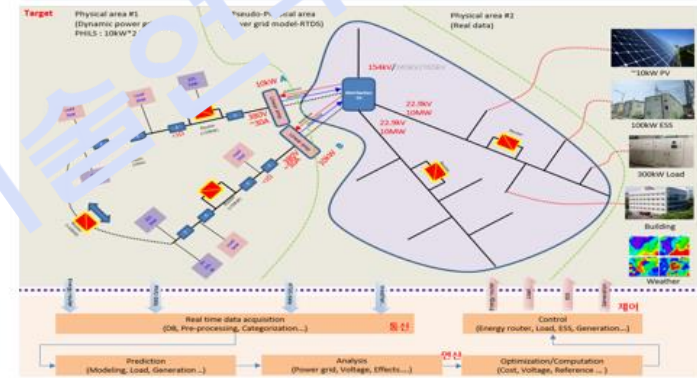


### 분산 협조 제어를 통한 전압 상승 최소화

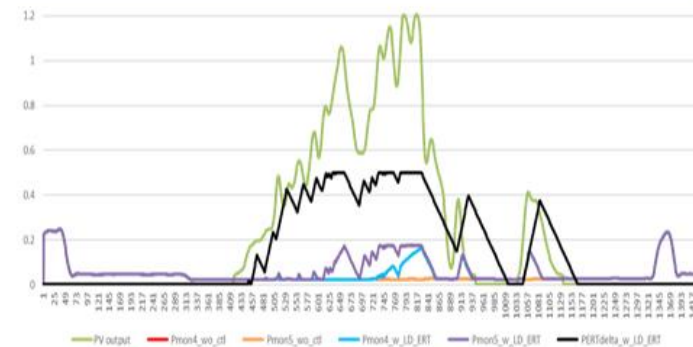


단독(고속)+협조(최적화) 제어 구조  
제어기간 비동기 message 통신

### 통합 플랫폼 구조



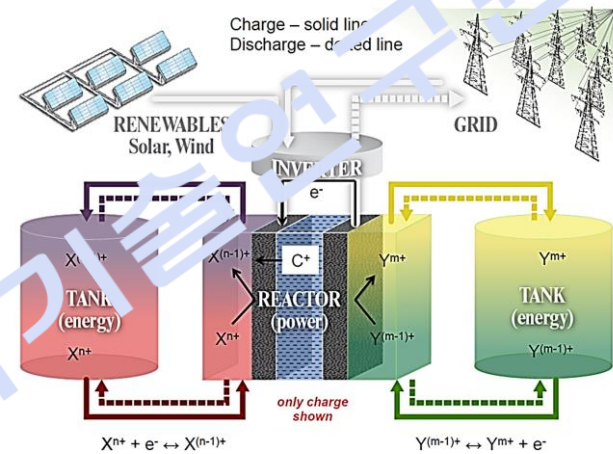
### 부하 및 태양광 발전 프로파일



## 미국 (ARPA-C): 현재보다 비용을 1/10인 에너지저장시스템

### 그리드 스케일 고안전성 플로우 전지 ESS

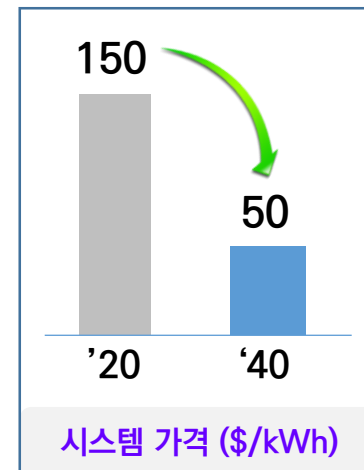
- 분자구조 제어 고용량 redox couple
- 고에너지밀도형 저가 대용량 플로우 전지



[ 그리드 스케일 RFB-ESS ]

### 기술개발 목표

- 대용량 에너지저장시스템(ESS) 및 운영 기술 개발
  - 100 Ah/셀급의 고용량 redox couple 개발로 혁신적인 저가 대용량 이차전지 기술 확보
  - 100 W/L 고출력 밀도 스택 개발로 ESS 고효율 및 저가화



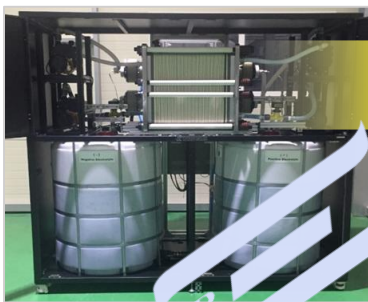
## 화재 위험이 없는 대용량 ESS 이차전지 기술

### • 기술개요

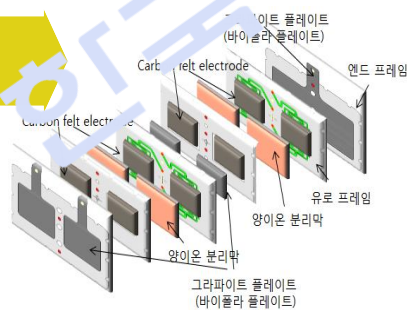
- 발화 위험이 있는 유기용액을 사용하지 않아 화재 및 폭발 위험성이 없는 수계 이차전지
- 텐덤전극 개발로 기존 대비 2배 전압상승, 에너지저장 및 효율 향상 (스택효율 >80%, 미국특허등록(2019))

### • 대표 성과

- 국내 최초 kW급 텐덤전극 기반 레독스 플로우 전지 기술 이전 (정액기술료 5억원, 2015)



[기술이전 (2015)]



[해외특허등록 (2019)]

## 고안전성 전고체전지 파우치셀 개발

### • 기술개요

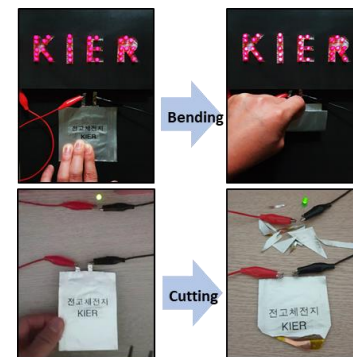
- 고용량 나노 양극/음극 소재, 신소재 물계 고체 전해질 적용 고안전성 전고체전지 파우치셀 개발
- 37개 LED 표시 구동 및 Bending/Cutting 등 다양한 외부 환경에서 폭발/누액 등의 안전성 이슈 없이 정상 구동

### • 대표 성과

- 자체 역량을 통해 개발한 소재의 특허출원 (3건)
- 개발 소재 및 전지에 대한 논문/기술이전 준비 중



[KIER 전고체전지]



[안전성테스트]



### 3. 에너지 시스템의 전기화

- 산업, 수송, 건물 등의 에너지를 무탄소 전기로 대체
  - 수송부문 : 내연기관차 → 전기차/수소연료전지차로 전환
  - 산업부문 : 전기보일러, 전기히터, 히트펌프 등 산업공정 열생산의 전기화
  - 건물부문 : 냉난방 시설의 전기화

전기 (25%) vs 열 (75%) 사용

2020년 총발전량: 552 TWh

2050년 전력수요: 1200~1300 TWh ?

## • 전기차 + 수소연료전지차

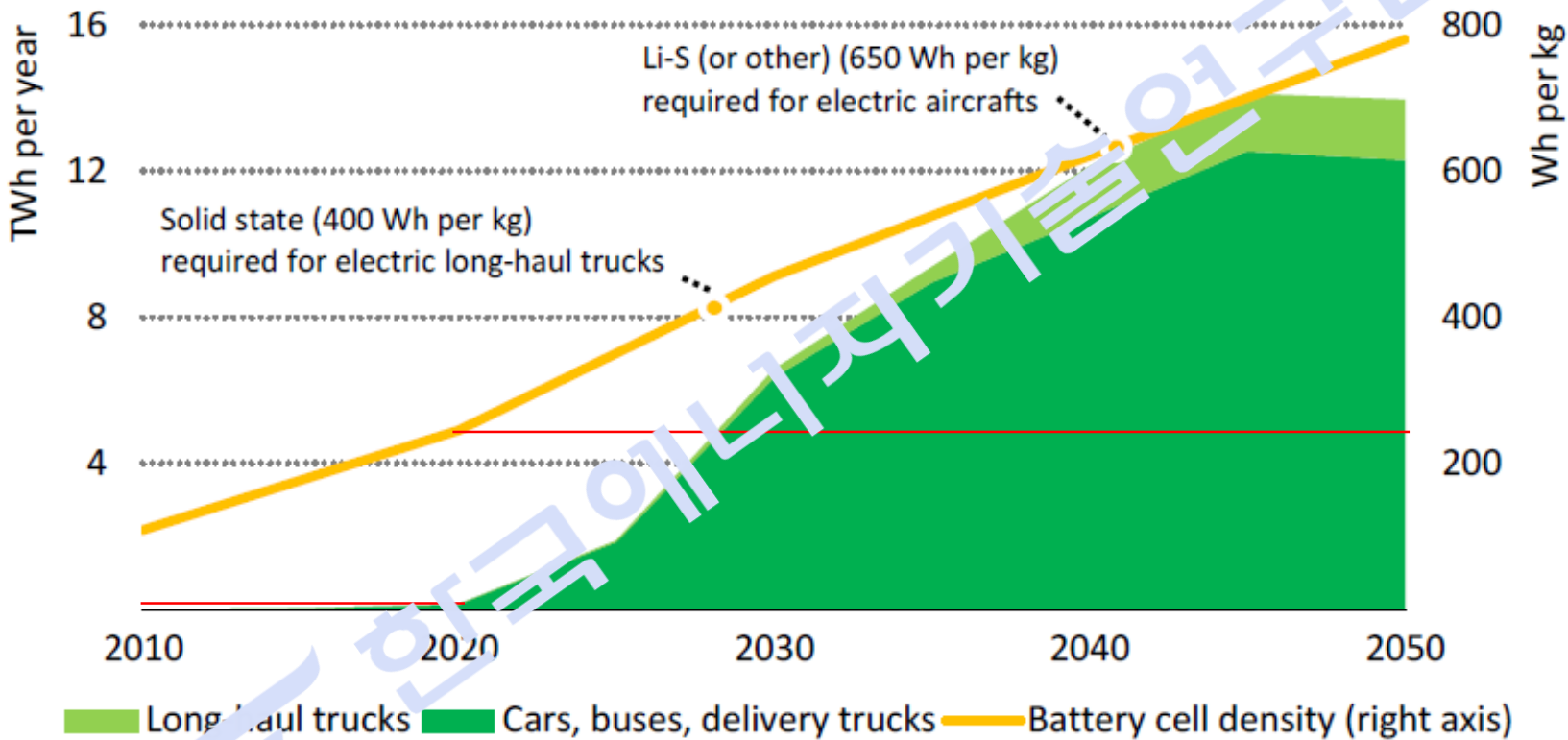


• 자동차: battery, 연료전지

✓ 수소연료전지 자동차용 수소 공급 설비 및 인프라

✓ 폐배터리 활용

## Battery demand growth in transport & energy density in the NZE



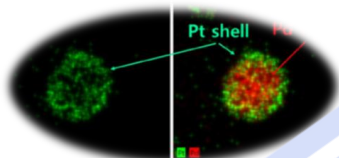
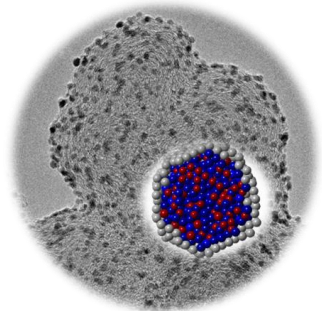
IEA. All rights reserved.

IEA, 2050 NZE

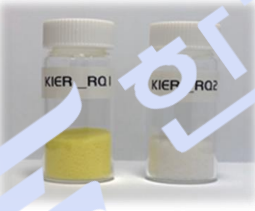
# 에너지연, 자동차용 연료전지(PEMFC) 개발

- 연료전지 자동차 : 내연기관 자동차와 유사한 수준의 시장가격 및 내구성(10년 이상) 확보
  - 핵심 소재·부품 기술 자립화, 세계시장 선도 위한 GVC (Global Value Chain) 구축
- 목표(美 DOE 2030) : 승용차(\$50→\$30/kW, 5000 시간), 중대형차(\$95→\$60/kW, 25,000 시간)
  - 고성능 코어셸 구조 촉매, 저가형 전해질막, 고성능 막전극접합체, 스택 연계 기술 확보
  - 촉매  $0.3 \text{ mg\_Pt/cm}^2$  이하, 셀성능  $840 \text{ mW/cm}^2$  이상(@  $0.7 \text{ V}$ )

## 원천소재 기술

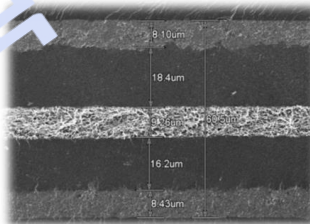
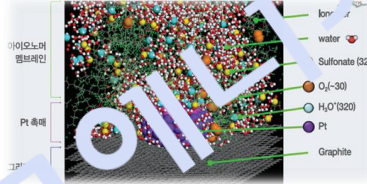


[코어-셸 구조 전극 촉매]



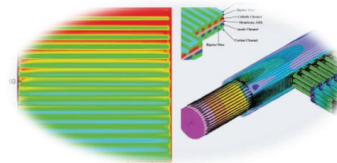
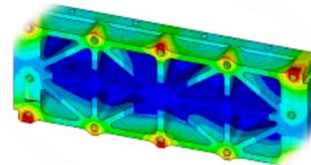
[저가형 고분자 전해질]

## 막전극접합체(MEA) 기술



[다차원 고성능 MEA]

## 설계 및 해석 기술



[연료전지 스택 설계/제작]

## KIER 기술 수준

전극촉매 질량 활성  
(상용 백금촉매 대비 2.5배)

>  $0.5 \text{ A/mg\_Pt}$   
@  $0.9 \text{ V}_{\text{IR-free}}$

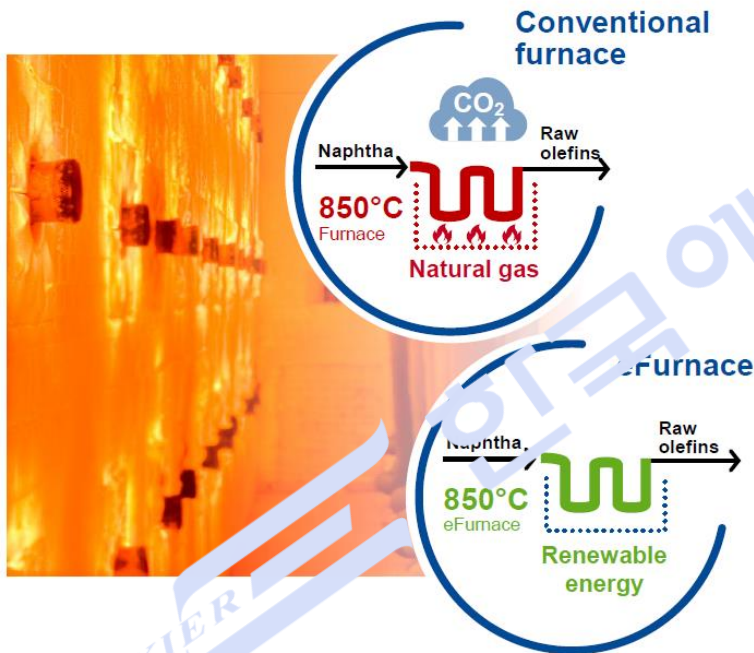
막전극접합체 성능  
(토요타 자동차 동등)

$2.5 \text{ A/cm}^2$  @  $0.6 \text{ V}$

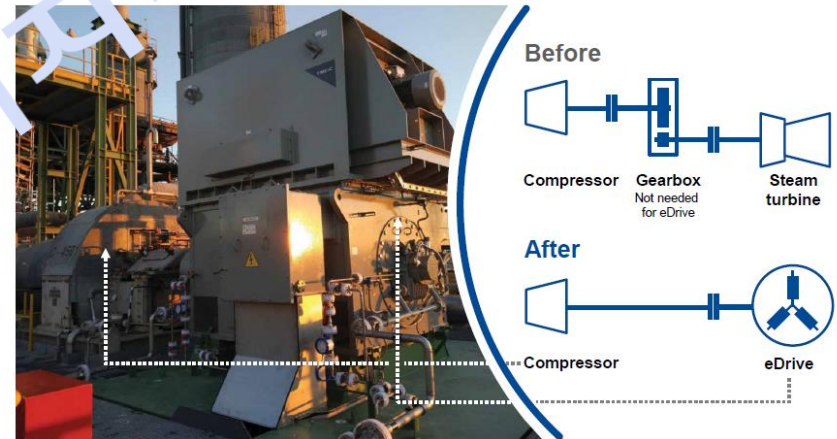
내구성 2배  
가격 1/2

## Electric Cracker

**SABIC and Linde, BASF** is working on the realization of a pilot furnace for the world's first **electrically heated steam cracker**. If the necessary funding is granted, start-up of the pilot plant is slated to begin as early as 2023.

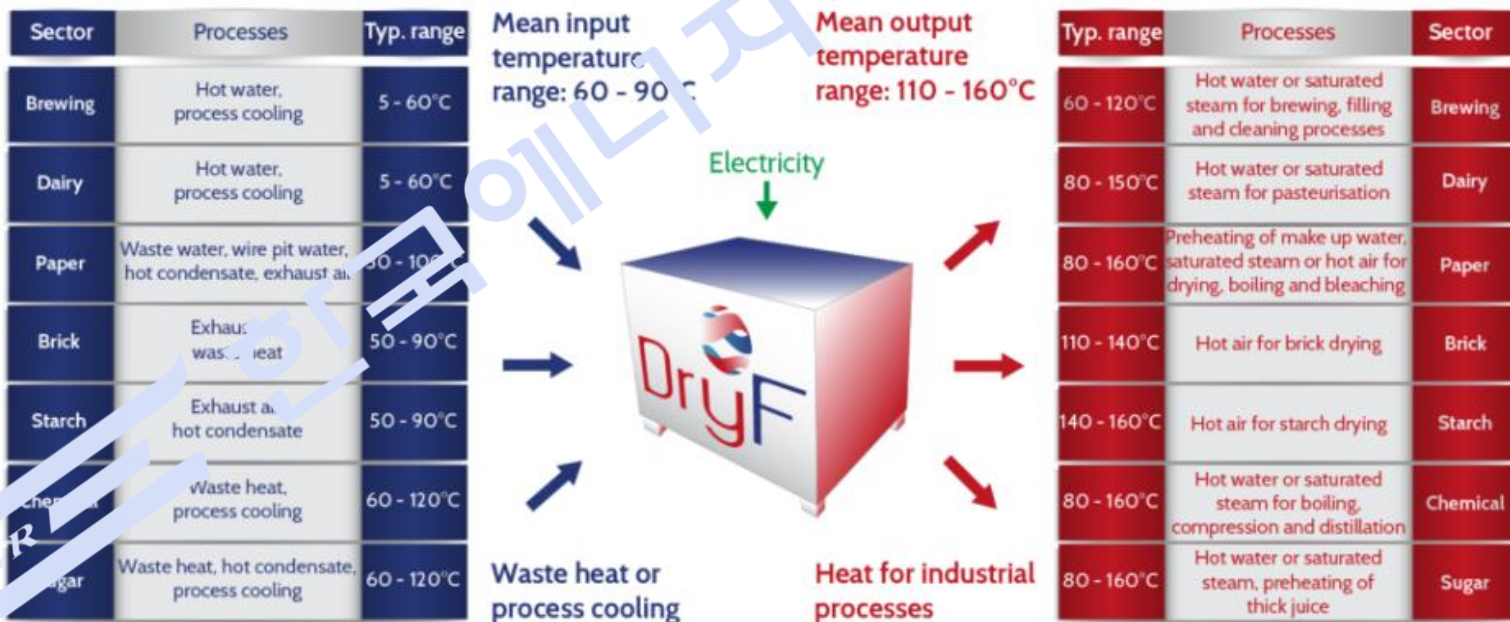
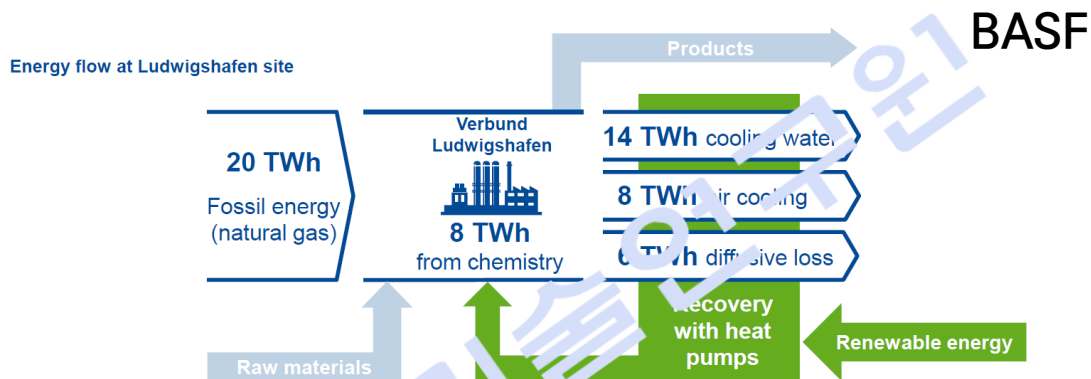


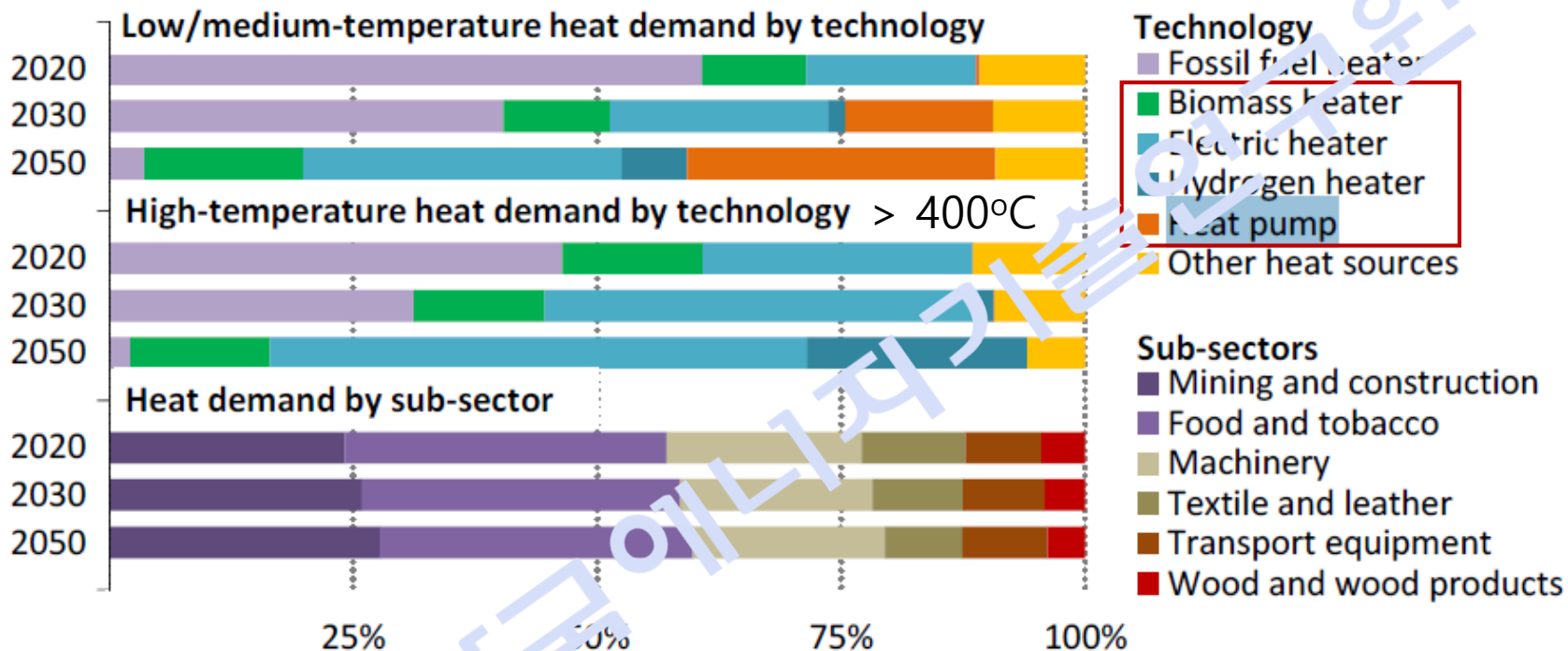
## E-Drive



Commercially available technologies can be adapted to local needs and opportunities – the right mix makes the difference

## Heat Pump





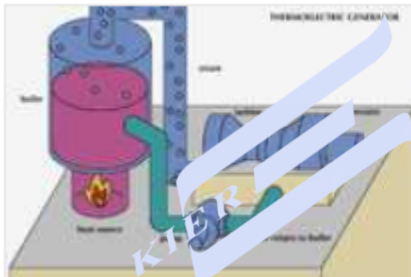
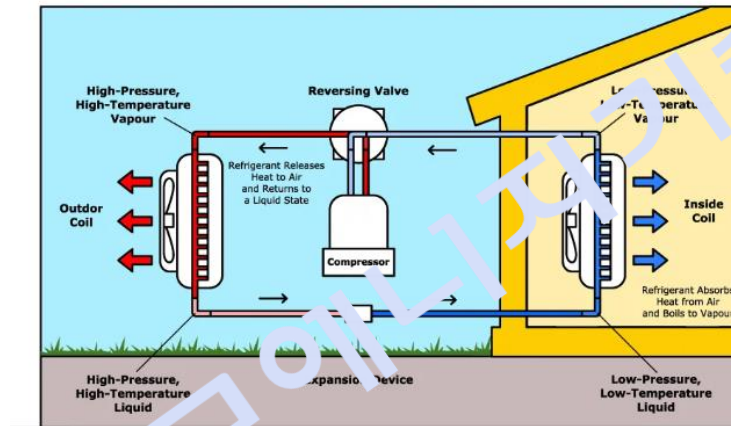
IEA. All rights reserved.

The share of electricity in satisfying heat demand for light industries rises from less than 20% today to around 40% in 2030 and about 65% in 2050

## - 냉난방시설 전기화

## Zero GWP heat pump

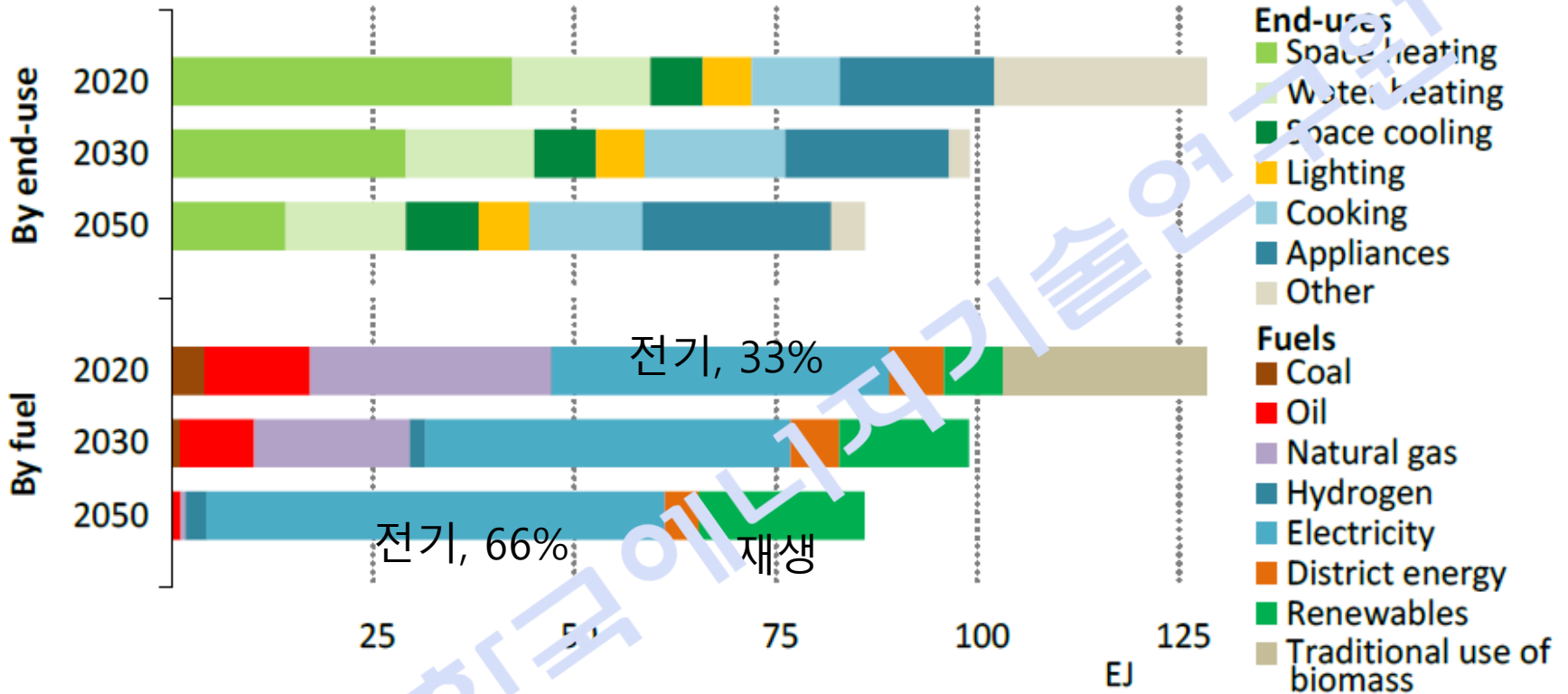
### Air Source Heat Pumps Cooling Cycle



### Heating: Heat pump

Another method for heating with electricity involves the use of the heat pump. Every refrigeration machine is technically a heat pump, pumping heat from an area of lower temperature (normally the space to be cooled or refrigerated) to an area of higher temperature...





IEA. All rights reserved.

Fossil fuel use in the buildings sector declines by 96% and space heating energy needs by two-thirds to 2050, thanks mainly to energy efficiency gains

출처: IEA, 2050 NZE

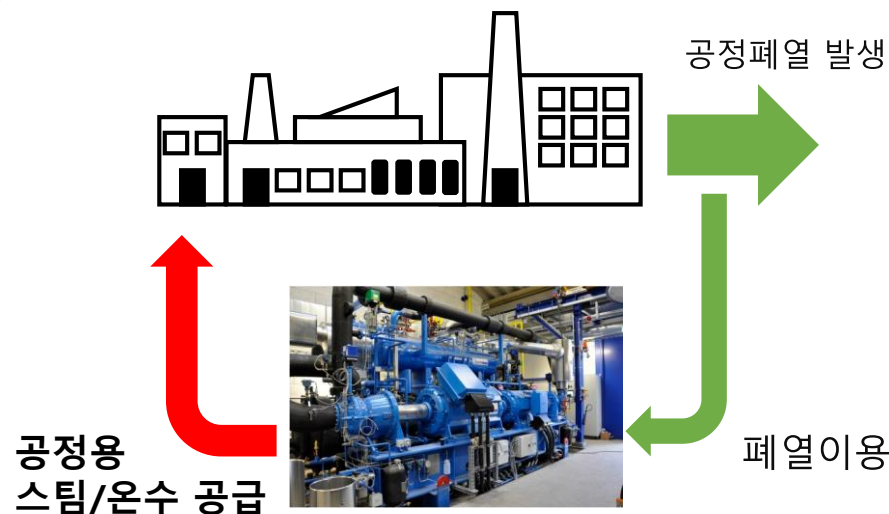
## • 건물용 히트펌프

- 냉난방 및 급탕 공급
- 수kW~수백kW (용량 다양)
- 작동 온도 범위는 용량 무관  
하계 10°C 전후 냉열 생산  
동계 50~60°C 전후 온열 생산



## • 산업용 히트펌프

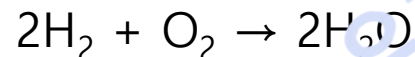
- 산업 공정용 온열(온수/스팀) 또는 냉열 공급
- 수백kW~수MW (대용량)
- 작동 온도 범위가 공정에 의존  
(예1) 증온 히트펌프 : 45~50°C 폐열 이용, ~90°C 전후 공정용 온수 생산  
(예2) 스팀 히트펌프 : ~70°C 폐열 이용, 120~160°C 스팀 생산



## 4. 탄소중립 연료/제품

- 탄소중립연료
  - H<sub>2</sub>
  - NH<sub>3</sub>
  - 바이오 연료: 바이오 항공유, 바이오 디젤, 바이오 중유
- 탄소중립 제품 :
  - 해조류로 만든 기저귀/생리대
  - 목조 건축 및 건축자재
- Low GWP refrigerants < 5
  - GWP: global warming potential

• 인류의 에너지 : 저탄소 연료로



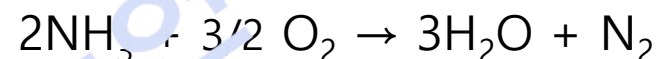
\* 바이오매스 → 석탄 → 석유 → 천연가스(CH<sub>4</sub>) → H<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> (탄소중립 연료)

(C/H=10)

(2)

(0.5)

(0.25)

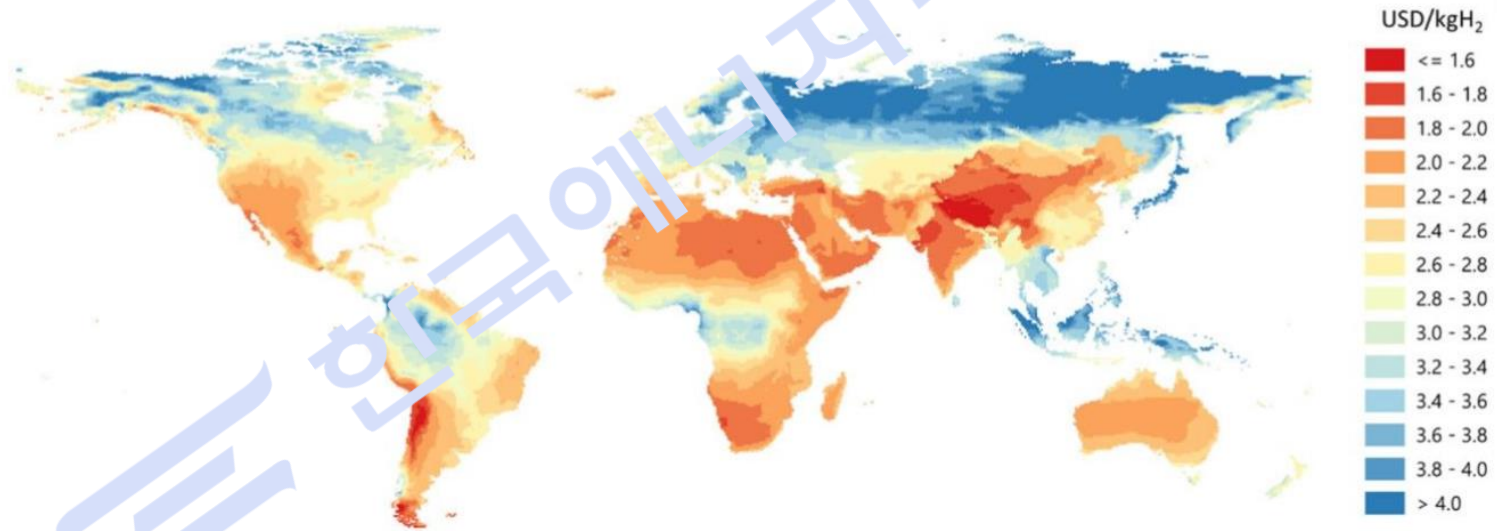


- 수송 분야 온실가스 저감 : 수소연료전지차, 암모니아자동차?
- 발전분야 온실가스 저감 : 연료전지발전, H<sub>2</sub>/NH<sub>3</sub> 터빈발전, 석탄/암모니아 혼소발전
- 산업분야 온실가스 저감 : 수소 환원제철, 수소 보일러
- 재생에너지 저장개 (P2G) : 잉여 전력 저장
- 재생에너지 간헐성 보완 : 바람이나 햇빛이 필요할 때 보완 (연료전지 또는 화력)
- 재생에너지 무역 : 화석연료 기반 에너지 무역 대체

## IEA Vision

- A **new era of international energy trade** based on renewables rather than fossil fuels

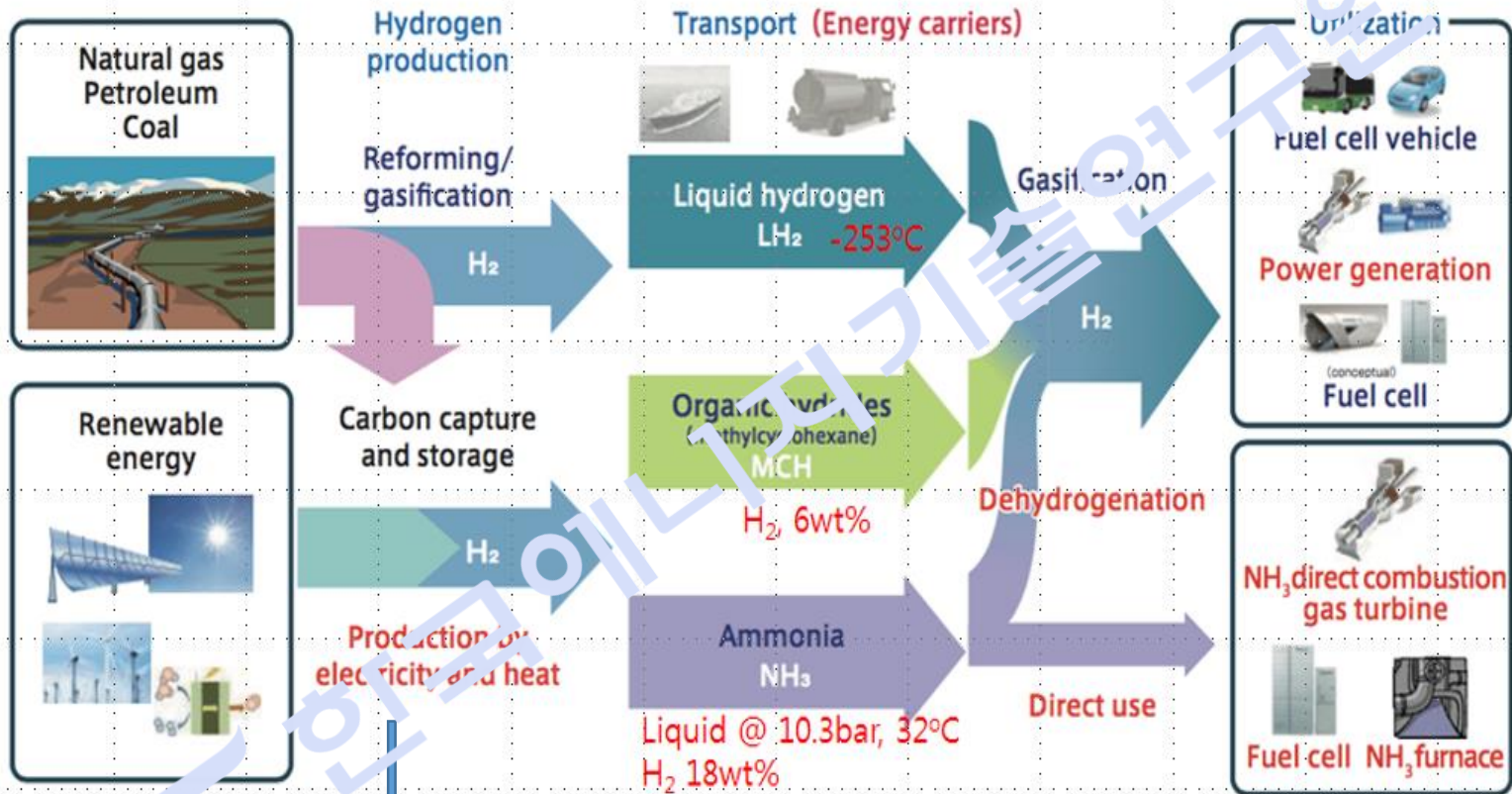
Hydrogen costs from hybrid solar PV and onshore wind systems in the long term

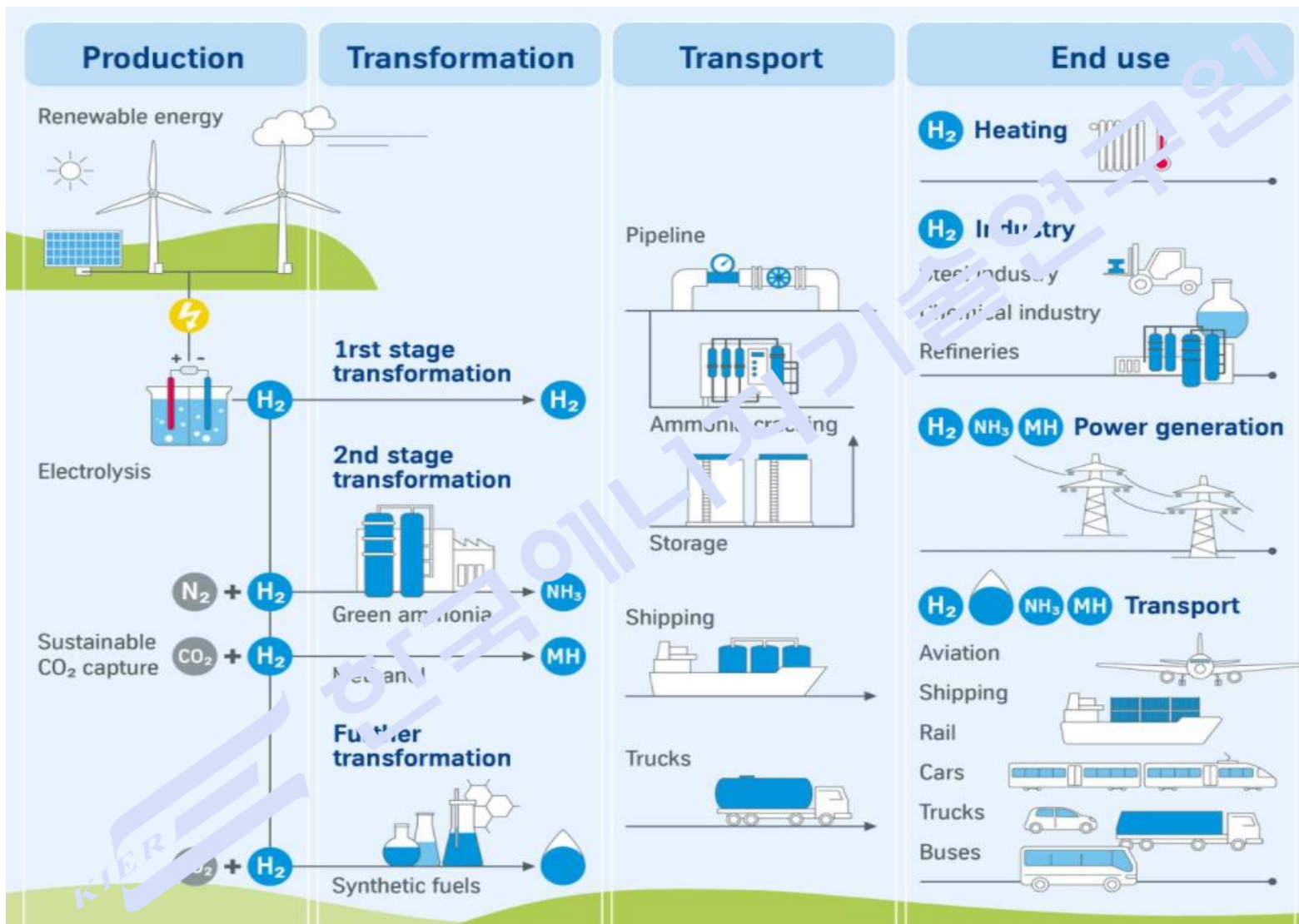


- The Future of Hydrogen, IEA, 2019

# CO<sub>2</sub>-free 수소 생산, 저장, 이송

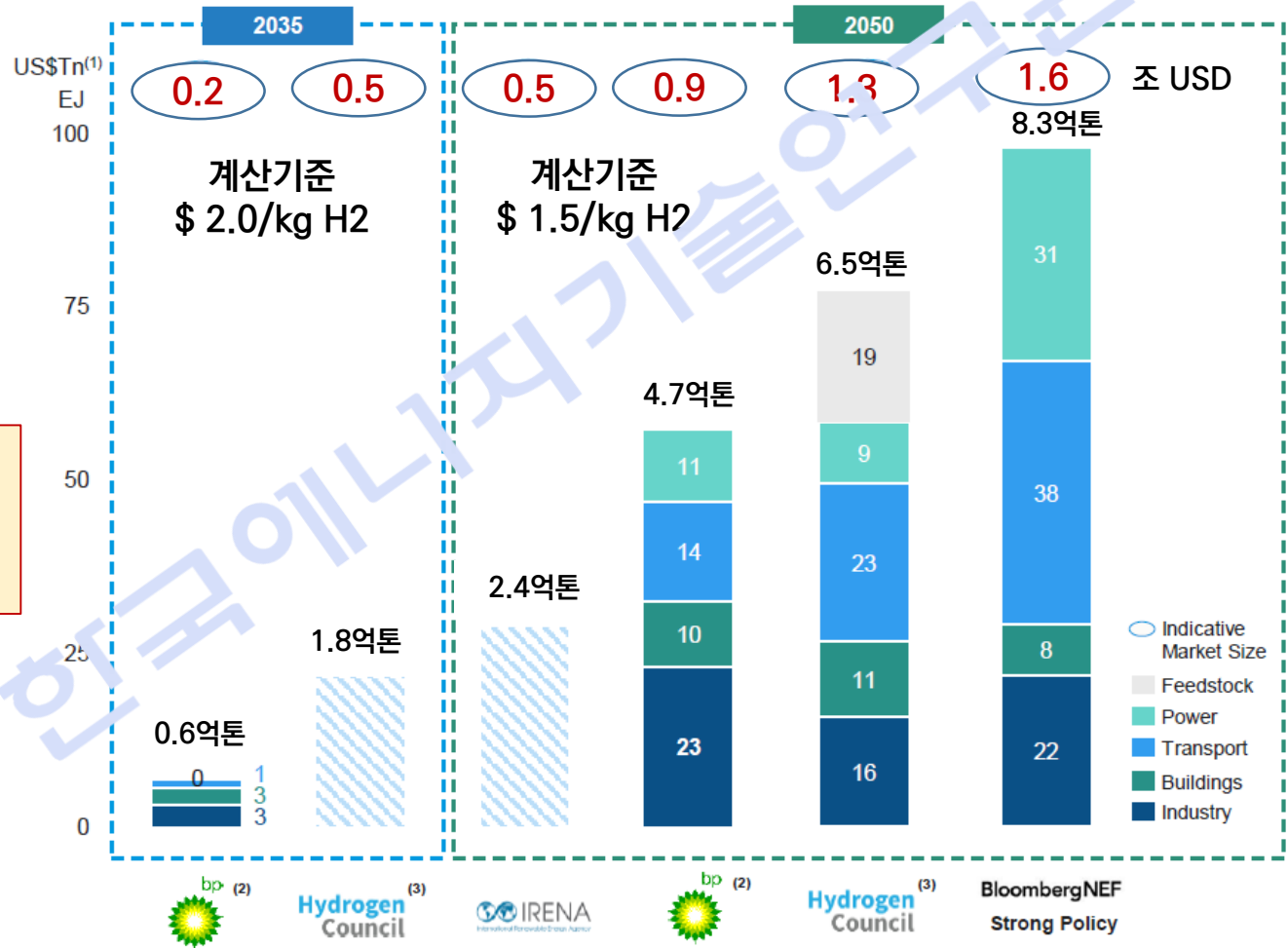
블루 수소





# 2035, 2050년 수소 시장 전망

## Global Hydrogen Demand and Market Size in 2035 and 2050



현재  
세계 에너지시장  
5조\$

4억~8억톤  
1000조~2000조원/년



# IEA, H<sub>2</sub> & H<sub>2</sub> based fuels

Sector	2020	2030	2050
<b>Total production hydrogen-based fuels (Mt)</b>	<b>87</b>	<b>212</b>	<b>528</b>
Low-carbon hydrogen production	9	150	520
<i>share of fossil-based with CCUS</i>	95%	46%	38%
<i>share of electrolysis-based</i>	5%	54%	62%
Merchant production	15	127	414
Onsite production	73	85	114
<b>Total consumption hydrogen-based fuels (Mt)</b>	<b>87</b>	<b>212</b>	<b>528</b>
Electricity	0	52	102
of which hydrogen	0	43	88
of which ammonia	0	8	13
Refineries	36	25	8
Buildings and agriculture	0	17	23
Transport	0	25	207
of which hydrogen	0	11	106
of which ammonia	0	5	56
of which synthetic fuels	0	8	44
Industry	51	93	187

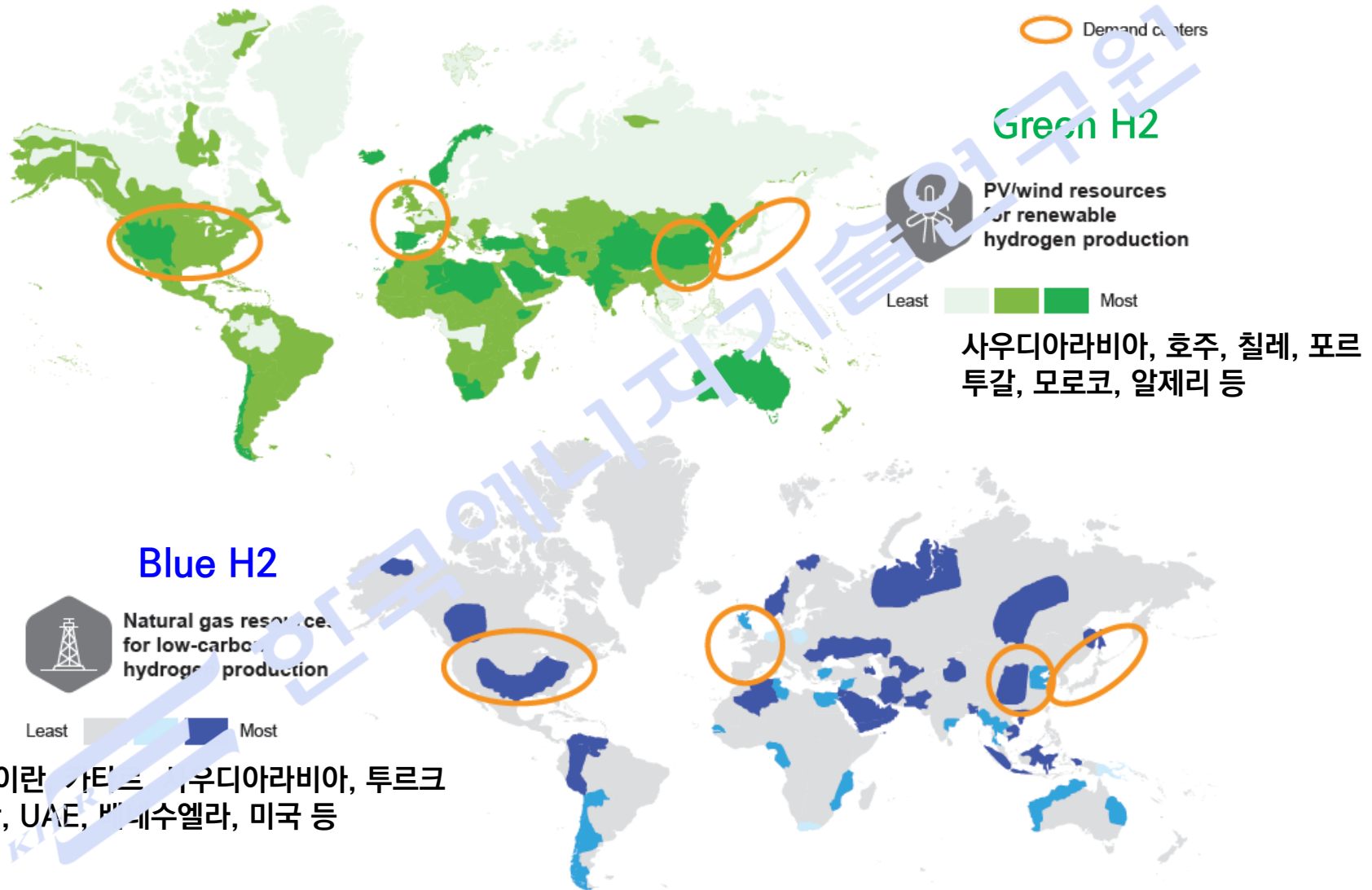
5.3억톤

블루수소  
그린수소

선박용

Note: Hydrogen-based fuels are reported in million tonnes of hydrogen required to produce them.

# Global H<sub>2</sub> resources and demand centers

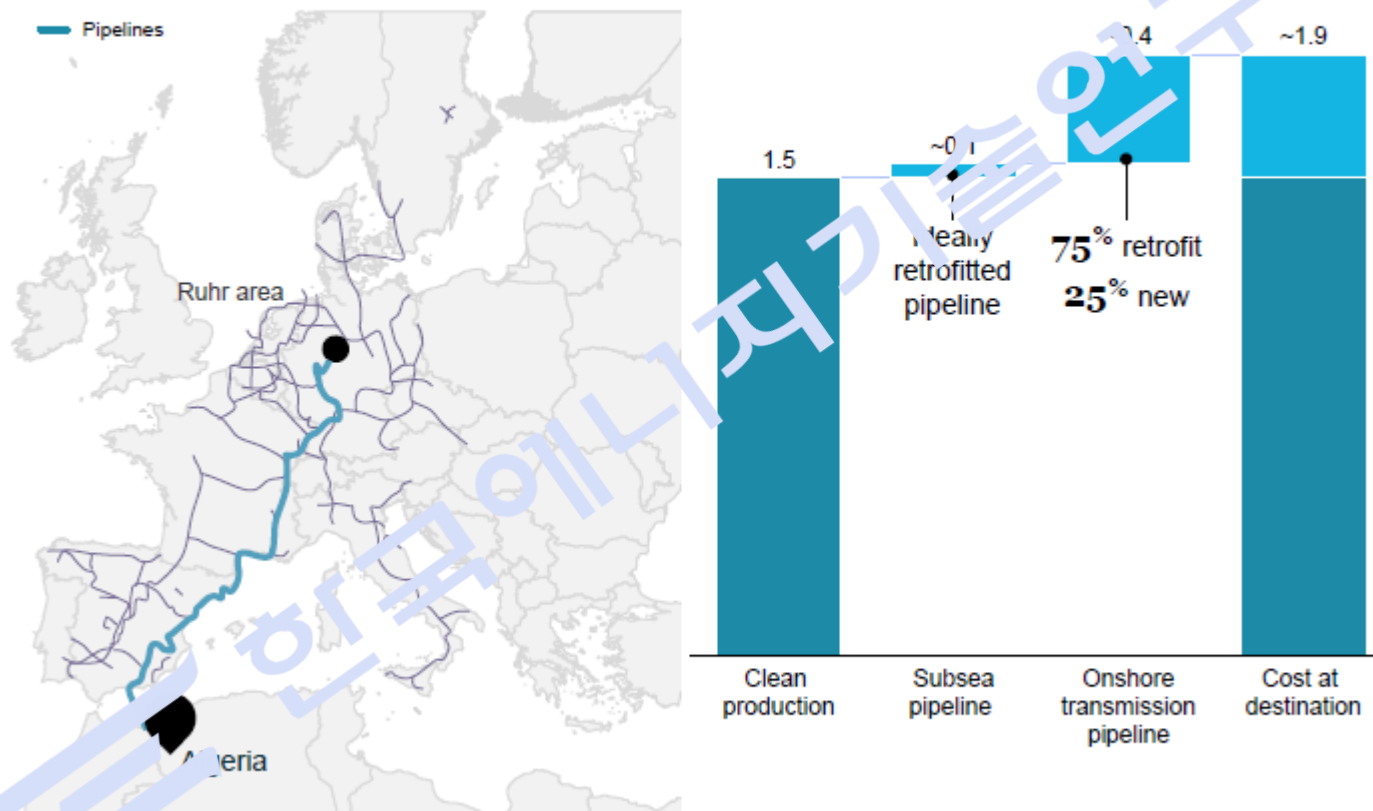


출처: Hydrogen Insight Report 2021

# Europe–Algeria using a pipeline

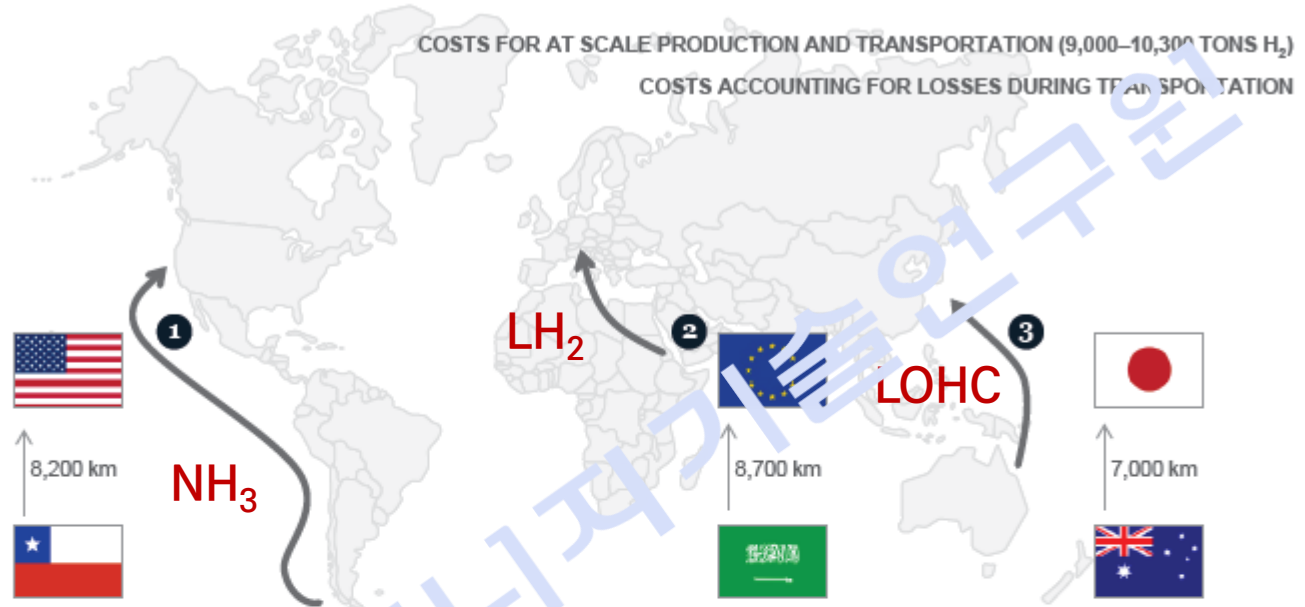
## Costs for at scale production and pipeline transportation<sup>1</sup> in 2030

### Pipeline from Algeria to Central Europe, 2,800km Costs, USD/kg

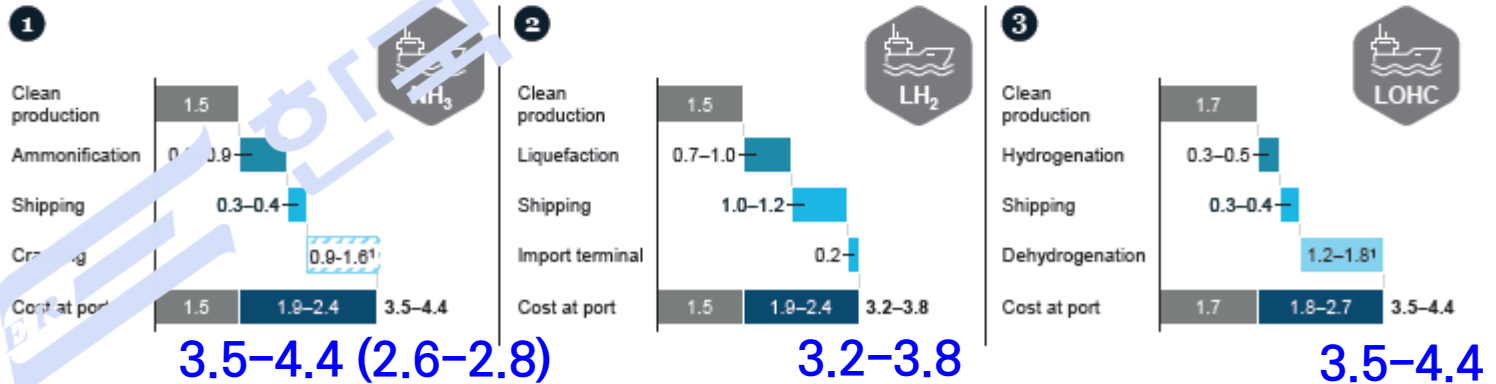


<sup>1</sup> Assuming route will be built out by 2030; full rollout of backbone (2035–40) depicted here

# Global H<sub>2</sub>, 2030



Illustrative routes modeled, USD/kg H<sub>2</sub>



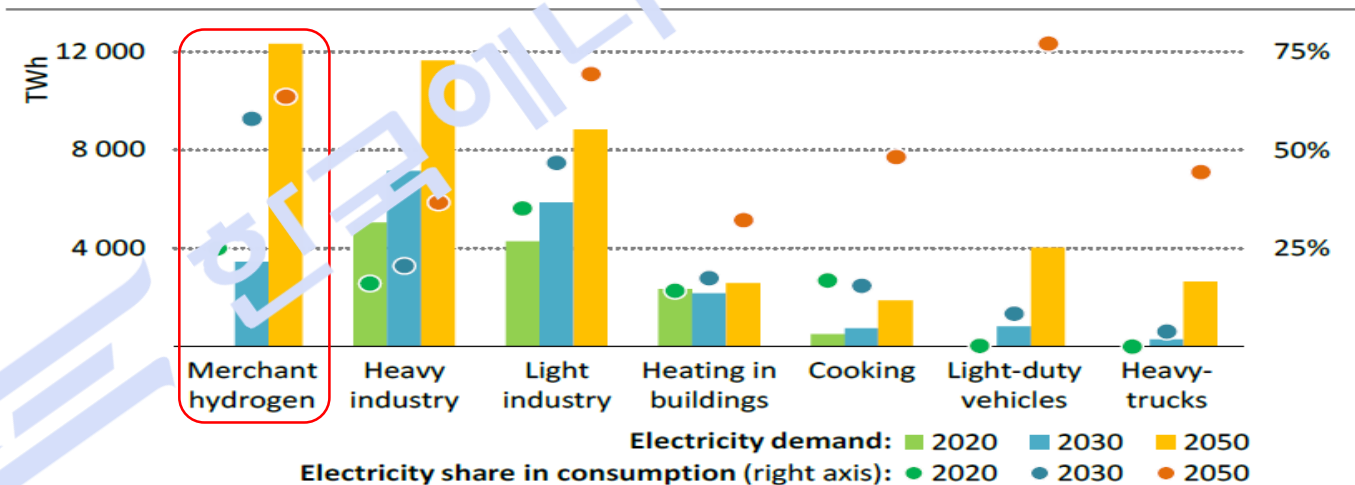
1. Dependent on whether hydrogen feedstock or heat from grid is used for dehydrogenation heating requirement

## ❖ 현재 수소 생산량 (7천만톤/년)

- 현재 효율의 수전해로(65~75%) 생산시 전력필요량: 3,600TWh (IEA 2019 report)
- EU (27개국, 영국 제외) 전기생산량: 2,753 TWh (2020년)

## ❖ 2050년 그린수소 3.224억톤 (5.2억톤의 62%)

- 전력필요량: 3.224억톤 x 39.3 kWh/kg = 12,670 TWh (현재의 미국+중국 전기보다 많음)
- 수전해 시장: 1300 GW x \$ 300/kW = \$ 3,900억



IEA. All rights reserved.

Global electricity demand more than doubles in the period to 2050, with the largest rises to produce hydrogen and in industry

## 2050 탄소중립 시나리오 (안)

□ (공급) 수입, 수전해, 추출 + CCUS 및 부생수소를 활용하여 공급  
 (단위 : 백만톤 H<sub>2</sub>)

부 문		2018년	2050년	
공급량	합계	-	20.97	100%
	① 해외 수입 수소	-	15.36	75.0%
	② 수전해 수소	-	2.58	12.6%
	③ 추출 수소 + CCUS	-	1.51	7.4%
	④ 부생 수소	-	1.03	5.0%
(필요 전력량, TWh)		-	(110.87)	

✓ 그린수소: 258만톤 (전력 110 TWh)

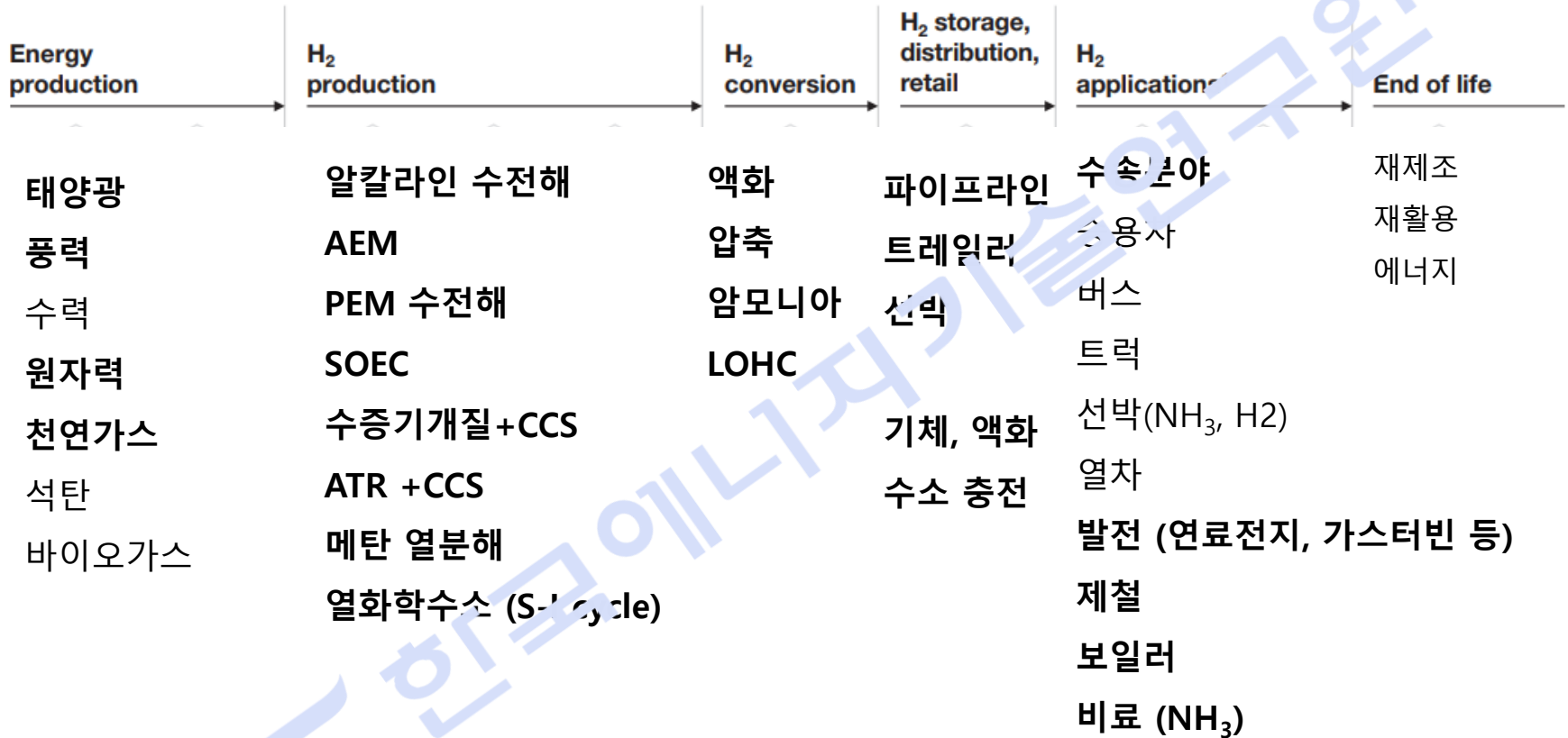
✓ P2G: 태양광 시장 잠재량, 623 TWh

풍력 시장 잠재량, 129 TWh

✓ SMR (500MW, 2.4TWh/년): **6만톤/년**

✓ 수소환원제철: 570만톤 H<sub>2</sub>/년 (포스코 370만톤 + 현대제철 200만톤)

Power to H<sub>2</sub>  
가능성 높음



Source: The Hydrogen Council, 2021

By 2030:

- o Fuel cell systems: \$80/kW, down from \$323/kW in 2021.
- o H<sub>2</sub> production costs: \$1/kg, down from \$5-\$6/kg in 2021.
- o H<sub>2</sub> delivery and dispensing costs: be \$2/kg, down from \$9.5-\$11/kg in 2021.
- o H<sub>2</sub> onboard storage: \$9/kWh, down from \$21/kWh in 2021.

- 수소 생산 비용이 \$1/kg 수준에 도달하면, 승용/상용차, 철도, 항공, 선박 등 교통분야 뿐만 아니라 철강, 화학, 시멘트, 비료 생산 등 다양한 산업의 시장이 열리게 될 것

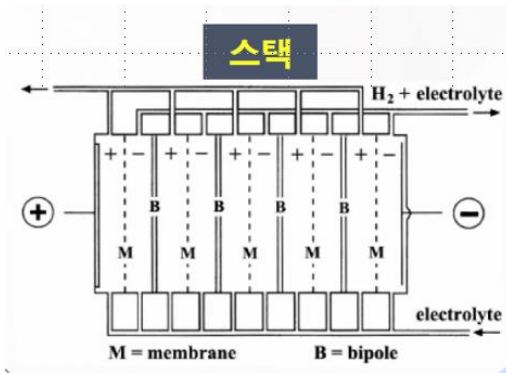


## 물전기분해기술(수전해)

: 알칼라인, PEM, SOEC

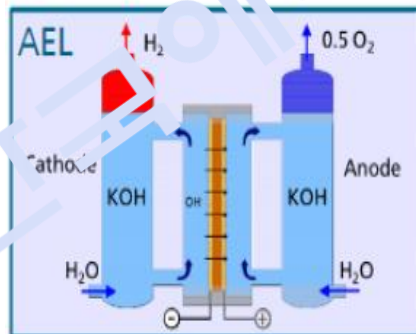
## 열화학적 고온 물분해

: 황-요오드 공정 (S-I)

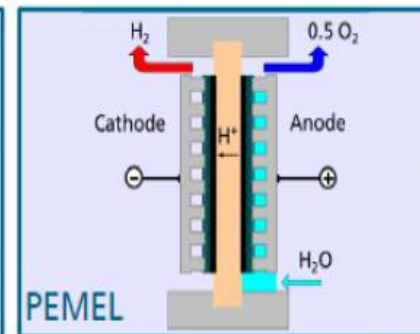


이론적 전기필요량  
39.4 kWh/kg H<sub>2</sub>

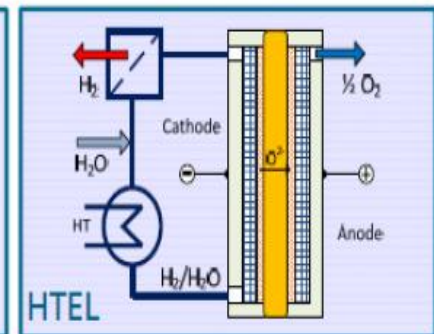
Technology	Temp. Range	Cathodic Reaction (HER)	Charge Carrier	Anodic Reaction (OER)
Alkaline electrolysis	40 - 90 °C	$2H_2O + 2e^- \Rightarrow H_2 + 2OH^-$	OH <sup>-</sup>	$2OH^- \Rightarrow \frac{1}{2}O_2 + H_2O + 2e^-$
Membrane electrolysis	20 - 100 °C	$2H^+ + 2e^- \Rightarrow H_2$	H <sup>+</sup>	$H_2O \Rightarrow \frac{1}{2}O_2 + 2H^+ + 2e^-$
High temp. electrolysis	700 - 1000 °C	$H_2O + 2e^- \Rightarrow H_2 + O^{2-}$	O <sup>2-</sup>	$O^{2-} \Rightarrow \frac{1}{2}O_2 + 2e^-$



Alkaline

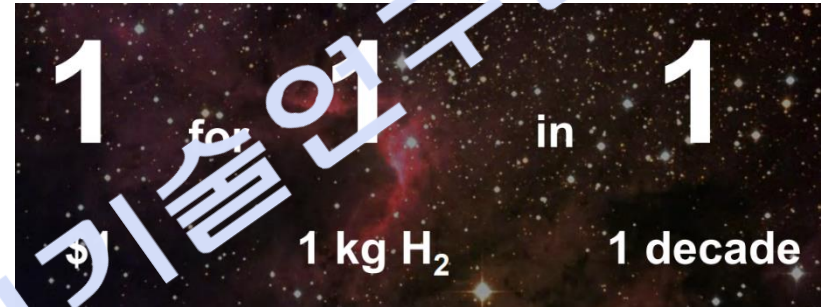
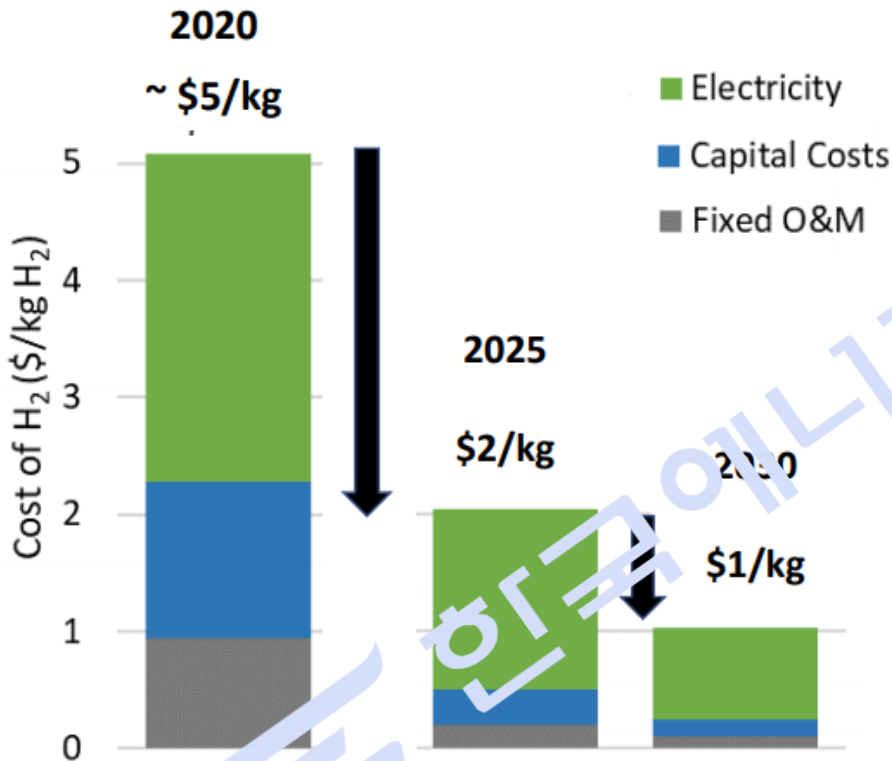


PEM



SOEC

## Cost of Clean H<sub>2</sub> from Electrolysis



(2020) PEM, \$1500/kW, 전기료 5/kWh  
 (2025) \$300/kW  
 (2030) \$150/kW

**Potential pathways exist for \$2/kg but \$1/kg is very challenging**

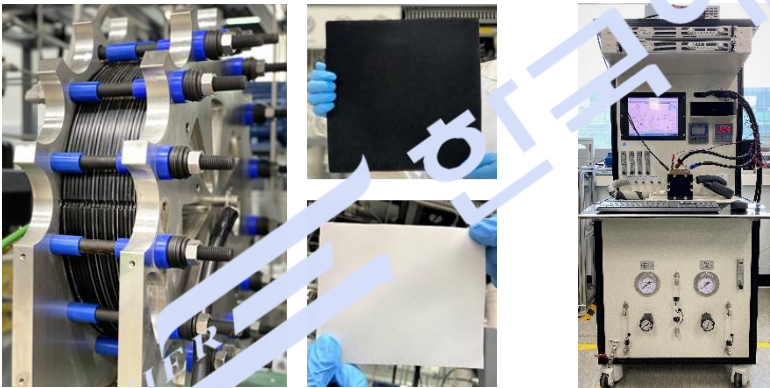
## 기술개요

- 재생에너지와 직접 연계 가능한 부하변동 대응형 알칼라인 수전해 스택 핵심 기술 국산화
- 세계 최고 수준 스택 효율 (82%, HHV, 0.4A/cm<sup>2</sup>) 및 부하운전범위 (10~110%) 달성

## 대표 성과

- 기술이전 : : 테크윈(스택기술), 테크로스(스택기술) 수경화학(평가장치)
- 기술사업화 : 평가장치 계약실적 2건

0.01~0.1MW



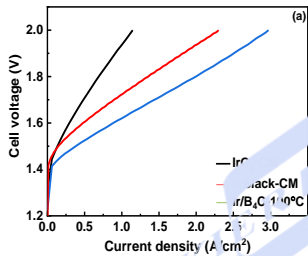
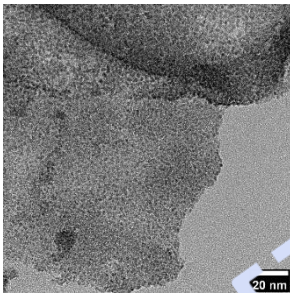
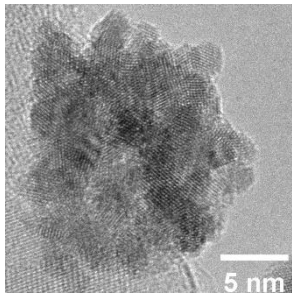
[알칼라인 수전해 스택 및 개발 전극/분리막] [수전해 평가장치]

## 알칼라인 수전해

기업명 (국가)	단일 스택 규모	최대 시스템 규모	스택효율 (HHV)
ThyssenKrupp (독일)	3.3 MW	20 MW	82%
NEL (노르웨이)	2.1 MW	17 MW	80.4%
McPhy (프랑스)	2 MW	20 MW	78.6%
Asahi Kasei (일본)	10 MW	35 MW (단일 스택) (`24년 목표)	82%
KIER	0.1 MW		82%

## PEM 수전해

- PEM 수전해 성능 및 내구성 향상 기술 개발
  - 셀(MEA) 성능 및 내구성 향상 기술 개발
  - 가속열화 시험 방법 개발
  - 고효성 고내구성 이리튬 담지 촉매 개발



기업명 (국가)	단일 스택 규모	최대 시스 템 규모	스택효율* (HHV)
NEL (노르웨이)	N.A.	Scalable	78%
Siemens Energy (독일)	0.73 MW <sup>1)</sup>	17.5 MW	75% (시스템 효율)
Plug Power (미국)	2 MW	Scalable	77% <sup>2)</sup>
KIER	셀 효율(면적 10cm <sup>2</sup> ) > 82%		

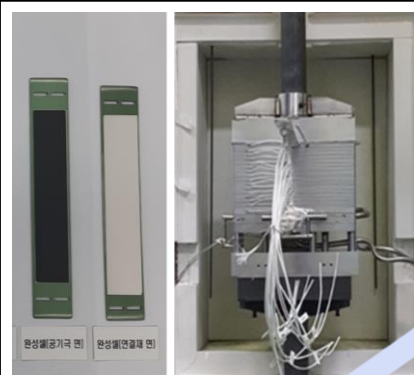
1) Silyzer 300

2) Allagash, DOE report

## 물전기분해기술(수전해) : SOEC

### • 저비용 고효율 그린 수소 생산기술 개발

- 1.5kW 급 스택
- 작동온도 700°C
- 스택 효율 85% (산업열 연계 시스템)
- 전력소모량 3.5 kWh/kg<sub>H<sub>2</sub></sub>



[고온 수전해 셀 및 스택]

- 다부처공동기획연구성과
- 소모전력 1.5 kW급
- 작동온도 750°C
- 효율 83%



예상 이미지

[차세대 SOEC 전용 스택]

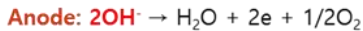
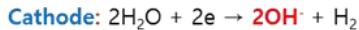
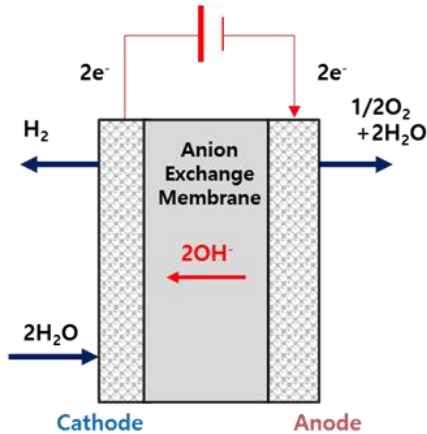
- 에기평 (21) 과제 준비 중
- 소모전력 5kW급
- 작동온도 700°C
- 효율 >85%

## SOEC 선도기업 및 제품 성능지표

기업명 (국가)	단일 스택 규모	최대 시스템 규모	스택효율 (HHV)
Sunfire (독일)	150kW	2,680 kW	<sup>1)</sup> 84 (산업열)
Fuelcell Energy (미국)	4.7 kW	25 kW	<sup>2)</sup> 90 (Nuclear)
KIER	1.5	-	83 (short stack)

1) GrInHy2.0, 유럽형 150~200°C 산업열 연계 시스템 (750°C)  
 2) 북미형 4세대 초고온 원자료(GEN4) 연계시스템 (> 800°C)

## AEM (= ALK + PEM) 수전해 기술적 요구사항



- AEM (Anion Exchange Membrane & Ionomer)
  - Trade-off for AEM (Stability vs.  $\text{OH}^-$  conductivity, and cost)
- Novel PTL (Porous Transport Layer)
  - Porous sintered Ni sheet (< 300  $\mu\text{m}$ )
- Scale-up unit size ( 2.5 kW to 2 MW)

### Non noble materials & Simplicity ( $\approx$ ALK + PEM)

- < 1.0 A/cm<sup>2</sup>, < 60 °C, < 35 bar
- Polymer electrolyte membrane with 1 M  $\text{KOH}$  or  $\text{NaHCO}_3$
- Ni, Fe, Co alloy catalyst
- Ni coated stainless steel
  - \*Pt coated Ti (PEM)

(에너지연) 폴리페닐렌 기반 전해질막, 다공질금속 PTL 원천기술 확보  
전극, 셀 및 스택 설계 기술확보 (ALK수전해 기술 호환)

(한국, KRICT) 폴리파라페닐렌 전해질막/이오노머 원천기술 확보

(미국, RPI) 폴리페닐렌기반 전해질막 원천기술 확보

(독일, Fuma-tech) 불소계 상용 전해질막

(일본, Tokuyama) 폴리에틸렌 기반 상용 전해질막 A201

(한국, Hanwha) '22년 상업화 목표 AEM수전해 셀 및 스택 기술개발 중  
(이탈리아, Enapter)

1 Nm<sup>3</sup>/h 소형 모듈 기반 50 kW급 기술 확보, Tokuyama A201전해질막  
'22년 목표 MW급 수전해 시스템 개발 중

# 국내외 수전해 기술 수준 비교



## 중점 기술

- 도시가스 이용 수소 충전소 국산화 기술개발
  - 수소 충전 가격 정책 목표인 6,800원/kg을 만족시킬 수 있는 수소 생산기술 확보  
(도시가스 가격 43% 인하시 6,000원/kg 이하 가능)
  - 중소형 (500 ~700 kg/day) 추출 수소 생산 유닛 100% 국산화 및 상용화



[ 추출 수소 생산 유닛 내부 구성 ]  
(200 kg/day급)



[ 추출 수소 생산 유닛 ]  
(643 kg/day급)

## 기술수준 (2020)

구 분	Saka Gas (일본)	KIER
수소 생산 효율 (%)	79%(HHV)	82.7
수소 생산 유닛 가격 (억원/기)	30	10

## 주요 성과

- 기술이전(2020.5) : (주)원일티엔아이  
기술료 50억원
- 6기 수주



# 에너지연, 블루 수소 (개질기+CCS)

- **Reformer** : H<sub>2</sub>, 200,000 Nm<sup>3</sup>/h 이상
  - 국내기술 개발 필요

- **수소 PSA**: 국내기술 확보, scale-up 필요



1995~1998  
99.99% H<sub>2</sub>  
150Nm<sup>3</sup>/h  
(현대오일뱅크)



2012  
99.999% H<sub>2</sub>  
10,000 Nm<sup>3</sup>/h  
(효성 용연공장)



2015  
99.5% H<sub>2</sub>  
54,000 Nm<sup>3</sup>/h  
(인도, HPCL)

KIERSOL 흡수공정  
SK머티리얼스 이전  
(173억원)

MAB 흡수공정  
기술이전 협상 중



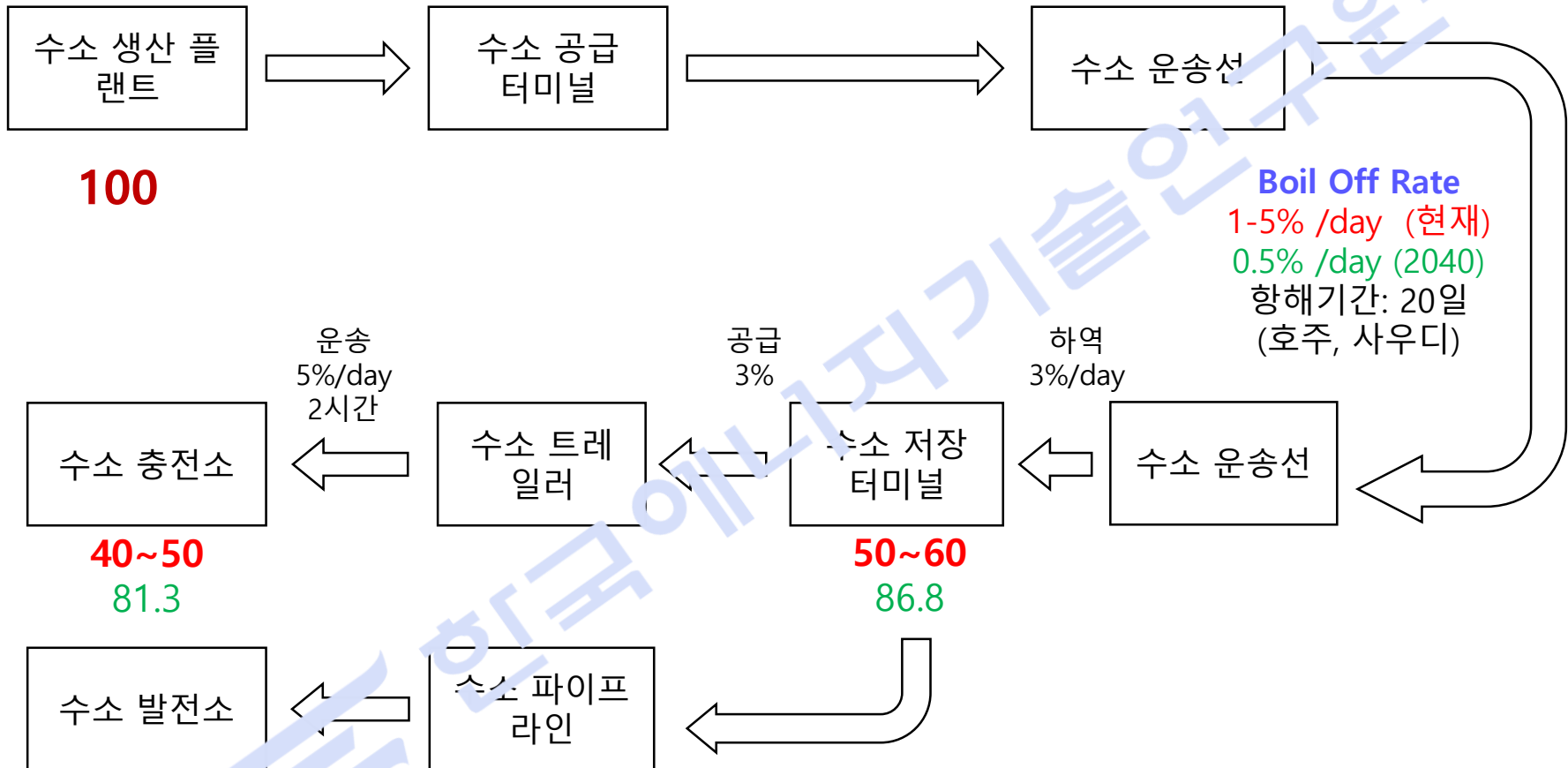
[태안 0.5MW 습식 포집 실증 설비]

구분	수소 함량 (wt, %)	부피당 수소 밀도 (kg-H <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> )	온도 / 압력 (°C / bar)	비고
액체 암모니아	17.6	121	-33.4 / 1 32 / 10.3	독성, 부식
LOHC (메틸사이클로헥산)	6.16	47.3	67.5 / 1	가연성, 자극
액체 수소	100	70.8	-253 / 1	가연성, 폭발
고압 수소	100	23	25 / 350	가연성, 폭발

Linde(독), Air Liquide(프), Air Products(미)

- **효성** : 액화수소 플랜트 13,000톤/년 (세계 최대 규모)
  - 독일 Linde 기술 도입, 2023년 초 완공 목표
  - 액화수소 충전소, 120곳
- **SK** : 2025년까지 18조5천억원 투자
  - SK인천정유화학, 30,000톤/년 액화수소 플랜트(세계 최대규모), 2023년
  - SK E&S, 보령LNG터미널, 블루수소 25만톤/년, 2025년
  - 액화수소 충전소, 100곳
  - 연료전지발전 400MW

# 액체 수소 공급시 문제점



# 암모니아 (NH<sub>3</sub>)

1940



NH3 Fuel Bus, Belgium

1960



NH3 Fuel, X-15

2000



NH3 Fuel Truck, USA

출처: NH3 fuel association

2013



암모니아 자동차, 대한민국

- NH<sub>3</sub> 추진 선박
- NH<sub>3</sub>+coal power plant
- NH<sub>3</sub> fuel cell
- NH<sub>3</sub> gas turbine
- NH<sub>3</sub> industrial furnaces



**VIRIDIS BULK CARRIERS (joint venture) - 노르웨이 deliveries from 2024**

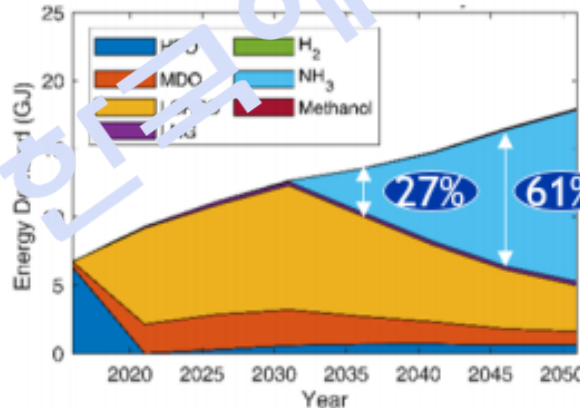
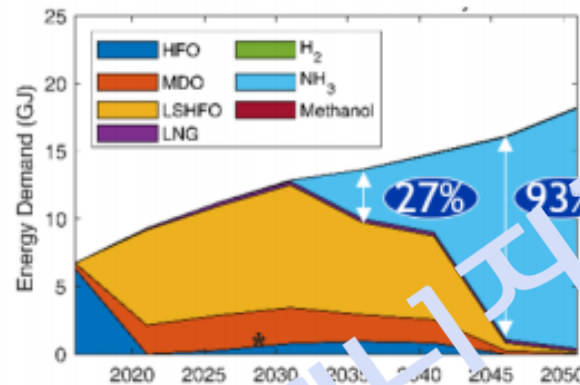
**Ammonia is the most promising carbon free marine fuel**

## IMO 선박 온실가스 규제

### Decarbonization trajectories for international shipping

Decarb.  
by 2050  
(1.5C  
aligned)

Decarb.  
by 2070  
(IMO  
aligned)



X% Zero emission  
fuel share of  
total energy

NH<sub>3</sub>

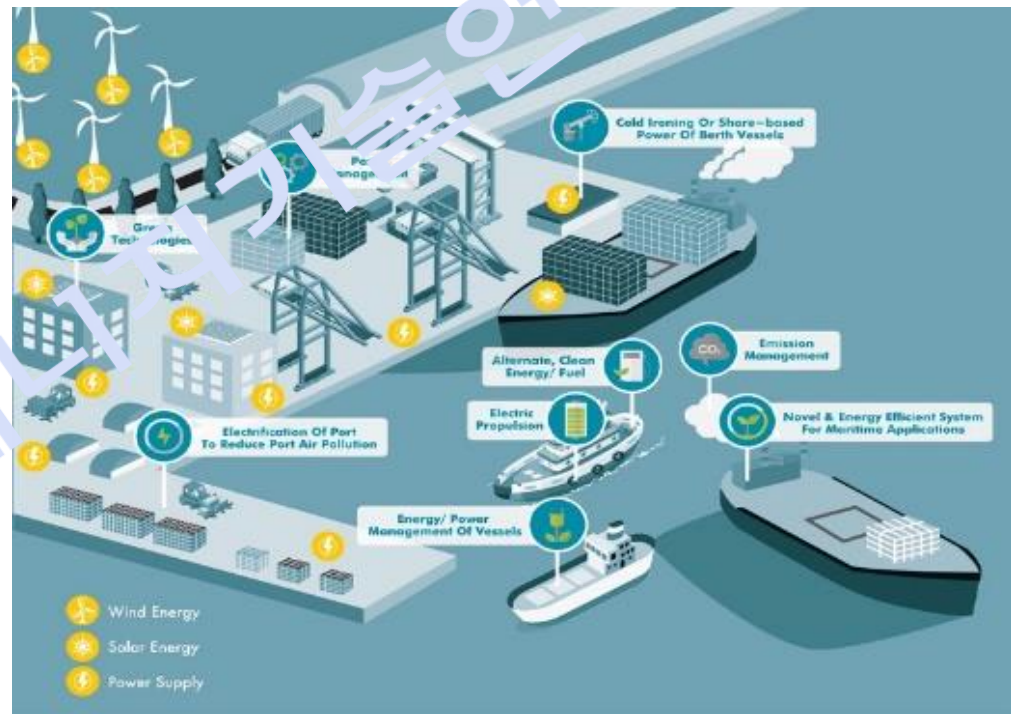
\* Or equivalent fuel that meets the GtZ zero carbon emissions definition

Source: UMAS GloTraM (2019), UK Clean Maritime Plan

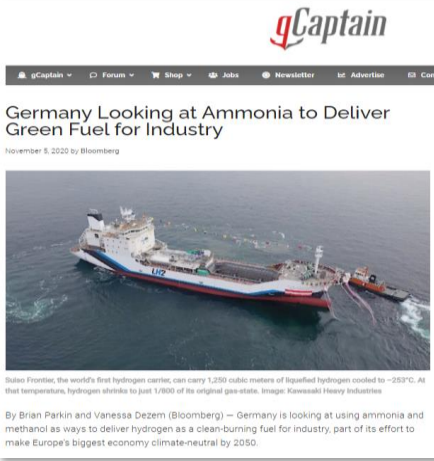
- ▶▶ Green ammonia bunkering hub: Singapore
- : Ammonia marine fuel port

출처:NTU  
Singapore

A.P. Moller – Maersk A/S  
Fleet Management Limited  
Keppel Offshore & Marine  
Sumitomo Corporation  
Yara International ASA

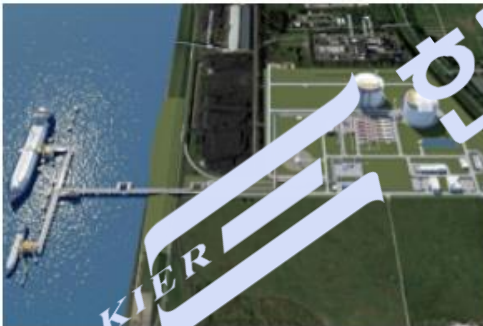


## ▶▶ 독일: 그린수소 저장체로 암모니아 고려



- 2050년 탄소 중립경제를 위한 수소 공급을 위해 암모니아 고려 중
- 독일은 80% 이상의 수소를 수입해야 한 암모니아 기반 수소 공급을 위해서 칠레, 캐나다, 호주 등과의 공급 계약을 검토하고 있음
- BloombergNEF에 의하면 암모니아 기반 해상운송이 가장 저렴함

## ▶▶ RWE(독일)-H2U(호주) 수소 무역



- 호주 그린 수소 생산-그린 암모니아로 전환하여 독일로 이송
- Brunsbuttel LNG 터미널에서 암모니아 수입 가능하게 협의



- 일본 경제산업성 발표, 온실가스 감축을 위해 암모니아 사용 계획 발표
- JERA, 2050년 zero carbon emissions 달성을 위한 로드맵 발표
- 초임계 석탄화력플랜트에서 수소/암모니아+석탄 혼소 비율을 높일 것
- 모든 석탄화력 발전, 2030년 20~30% ammonia co-firing rate (300만톤)  
2040년 100% 암모니아 계획

[호주, UAE에서 그린 또는 블루 암모니아 도입]

경제산업성(METI)  
암모니아에너지위원회  
2020. 10. 27

## Membership of METI's ammonia energy council

Members	Description
<b>Public-Sector Members</b>	
Agency for National Resources & Energy	METI agency
Japan Oil, Gas and Metals National Corporation	Independent administrative institution
Japan Bank for International Cooperation	Export credit agency
Nippon Export and Investment Insurance	Export insurance agency
<b>Private-Sector Members</b>	
Electric Power Development (J-POWER)	Electric utility
Green Ammonia Consortium	Industry association
IHI	Capital goods manufacturer
Institute of Energy Economics, Japan	Research institute
JERA	Electric utility
JGC	Engineering, procurement, construction
Marubeni Corporation	Trading company
Mitsubishi Corporation	Trading company
Mitsubishi Heavy Industries	Capital goods manufacturer
Nippon Yusen K.K. (NYK)	Shipping company

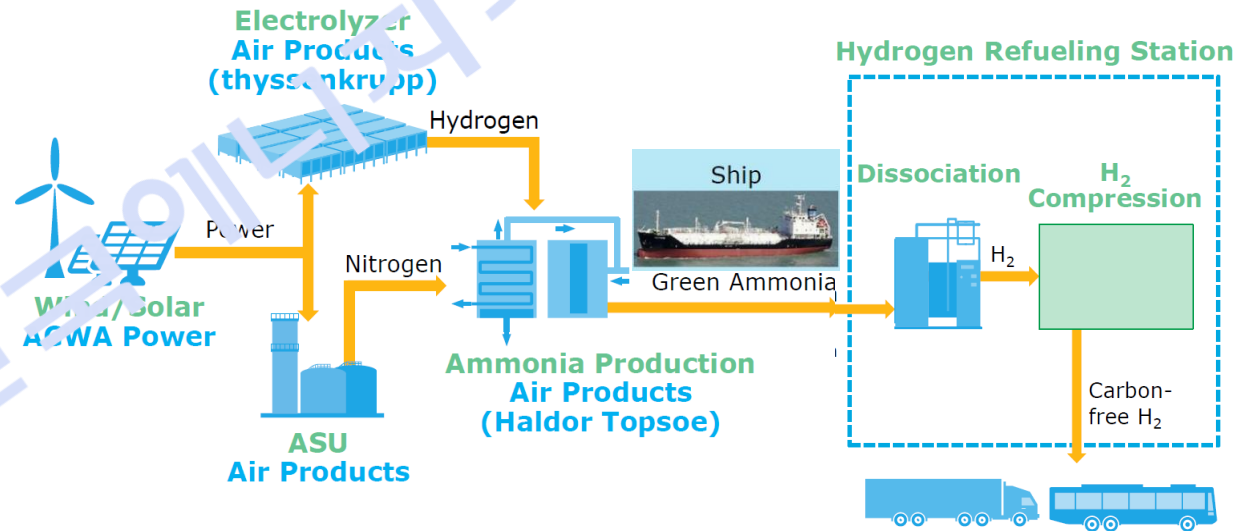
# 미국의 그린 암모니아

- 미국 : 사우디 NEOM – 미국 Air Products  
70억\$ (7조원) project (생산 50억\$, 유통 20억\$), **NH<sub>3</sub> 120만톤/년**  
2025년까지 설치

'30 그린수소 \$1.5/kg



Saudi Arabia



2만대 버스에 공급

## ▶▶ 호주+Yara, Engie: 대한민국, 일본 암모니아 수출



- 서호주 Pilbara 26GW Asian Renewable Energy Hub는 전기를 싱가포르로 수출하는 계획에서 암모니아 생산-수출로 바꿈
- 석탄화력발전의 대체 연료 생산
- 화학산업의 원료시장을 초점으로 하는게 더 경제적임
- 1,000만톤/년 생산 규모로 스케일업

출처:<https://www.abc.net.au/>

## ▶▶ 호주, Eyre Peninsula Gateway Project: 그린암모니아 수출 계획

South Australia unveils plans to build \$173m hydrogen project

By NS Energy Staff Writer 06 Nov 2020

COMPANY NEWS NEWS

The H2U Eyre Peninsula Gateway Hydrogen Project is expected to be the largest green ammonia plant in the world.



- 남호주 Port Bonython, 그린 암모니아 플랜트 건설
- **그린암모니아로 수소 수출**
- 초기 2천억 투자, 75MW electrolyzer, 4만톤/년
- 2022년 생산 예정

# 국내 그린 암모니아 현황

- (현대차) 호주 업체와 수소 대량 운송 기술 협약 ('20.08.21)

액화 암모니아 형태로 수소 운반

- (현대중공업)-Saudi Aramco MOU

현대오일뱅크에 2024년까지 blue NH<sub>3</sub> 도입 - LNG 보일러 연료

- (현대미포조선) 암모니아 추진 선박 2025년 상용화 목표  
현대-영국 로이드선급-MAN

- (삼성중공업) 2024년 상용화 목표, 암모니아 추진 선박  
아프라막스 (A-Max) 개발, 삼성중-MAN-로이드선급

- (대우조선해양) 암모니아 추진 컨테이너선 인증, 2020  
대우조선-로이드선급-MAN

- (포스코) 그린수소 사업 모델 발표 ('20.12.14)

암모니아 기반 수소 운송 기술 개발 포함

- (에기연) 암모니아 자동차 개발, 2013

기존 LPG 충전소 개조하면 암모니아 충전소로 사용 가능



## 암모니아 K동맹

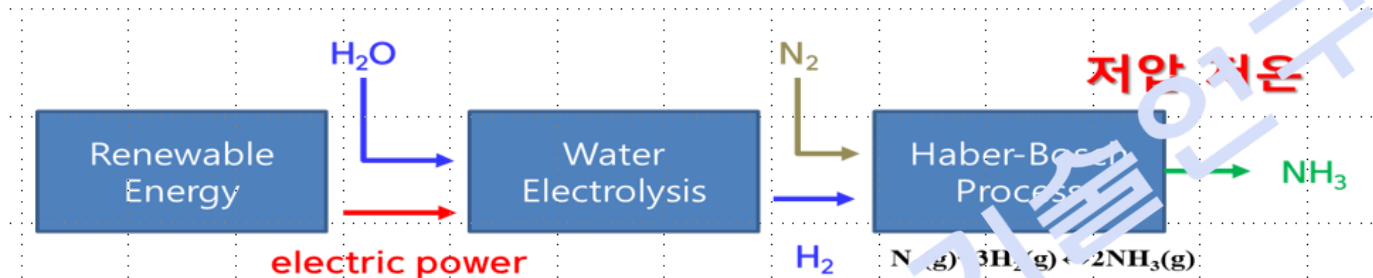
친환경 선박, 해운시장 선도를 위한 그린 암모니아 해상운송.빙커링 컨소시엄

2021. 5. 25



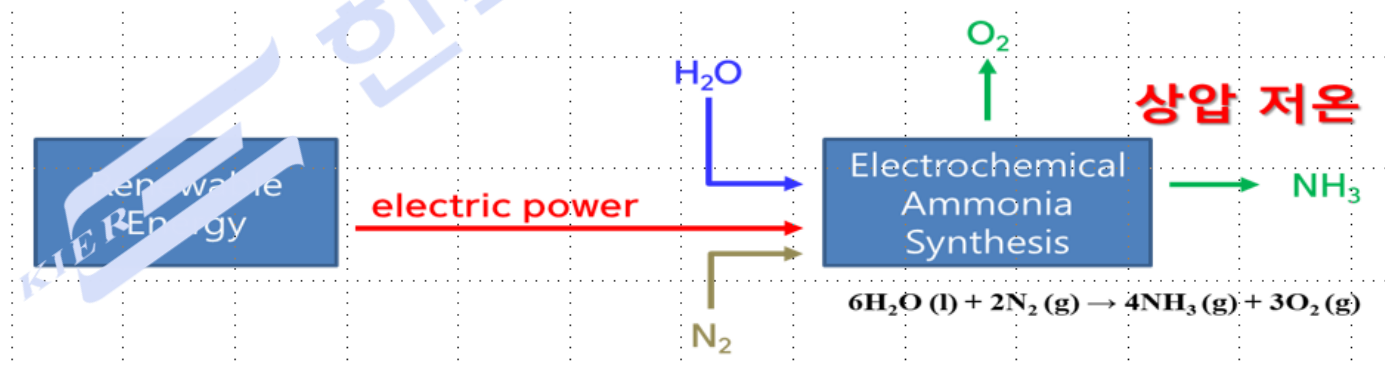
▲ 암모니아 추진선박 사업 협력에 대한 예시.(그림=HMM)

- 촉매화학적 암모니아 합성: **저온(300°C), 저압(50bar)** ← 기존 400°C, 250bar



- Currently, 12 MWh of electricity to produce 1 tonne of NH<sub>3</sub>
- Following large decline of the cost of solar energy and electrolysis

- 전기화학적 암모니아 합성



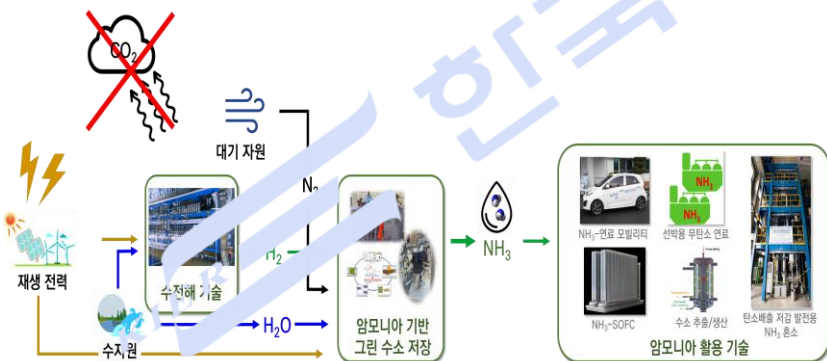
## 그린 암모니아 생산

### 기술개요

- 대용량 수소 저장 및 무탄소 연료 활용을 위한 저가 그린 암모니아 생산 기술 개발
- 상압·저온 전기화학적 그린 암모니아 생산 기술
- 저압·저온 촉매화학적 그린 암모니아 생산 기술

### 대표 성과

- 전기화학: 세계최고 암모니아 합성률 및 패러데이 효율 달성, 삼극특허 등록
- 촉매 화학: 50 bar 저압 암모니아 합성 성공  
\*기존 철촉매 200 - 300 bar



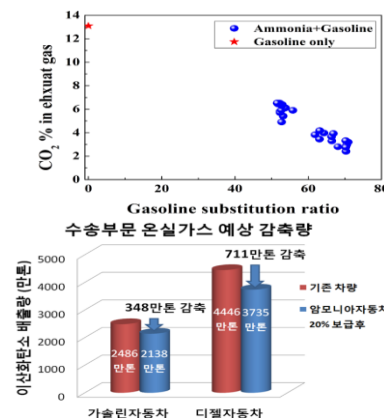
## 암모니아 자동차

### 기술개요

- 암모니아 대체연료 혼성을 통한 온실가스 감축
- 암모니아-가솔린 혼소 자동차 개발 (발열량 기준 혼소 비율: 암모니아 70/가솔린 30)

### 대표 성과

- 국내 최초 암모니아-가솔린 혼소 자동차 실증
- CO<sub>2</sub> 배출량 13.5 % (가솔린 전소)에서 2.5~3.5% (암모니아-가솔린 혼소) 저감 확인



# 에너지연, 암모니아 분해 수소 제조

## ▶▶▶ 그린 암모니아 수소 추출, 20 Nm<sup>3</sup>/hr, 에기평 사업 실증 완료

국가 연구개발사업으로 암모니아 분해 수소 생산/정제 시스템 개발 중

수소 생산량 20 Nm<sup>3</sup>/h급 NH<sub>3</sub> 분해 수소 생산 시스템 핵심기술 개발



암모니아 분해 수소생산 + 1kW PEMFC



국내 암모니아 그린수소 관련 산업 확대 기대



포스코 그린수소 사업모델





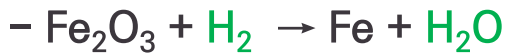
석탄(coke) 탄소계 환원제, 천연가스, 전기  
 → 수소 환원, 수소가열, 무탄소 전기

2톤CO<sub>2</sub>/톤 Fe

■ 기존 제철공정

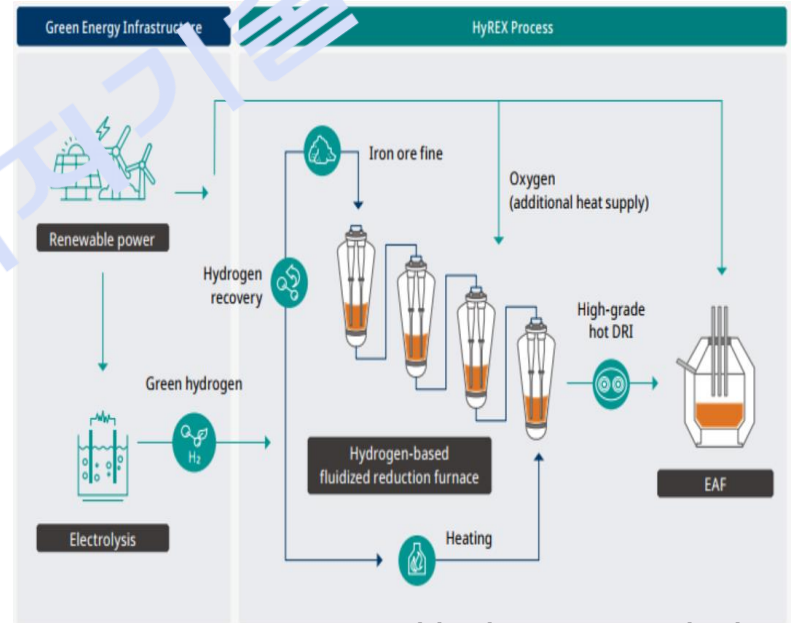


■ 수소환원 제철법



- ✓ 수소필요량: 500백만톤/년
- ✓ 수소 가격: 1000원/kg 이하?
- ✓ 공장 다지 건설
- ✓ 무탄소 전기가격은?

## POSCO 수소환원제철공정(HyREX)



수소환원 + 전기로

- 3500만톤 Fe, 수소 필요량 (370백만톤/년)

## • 온실가스 배출

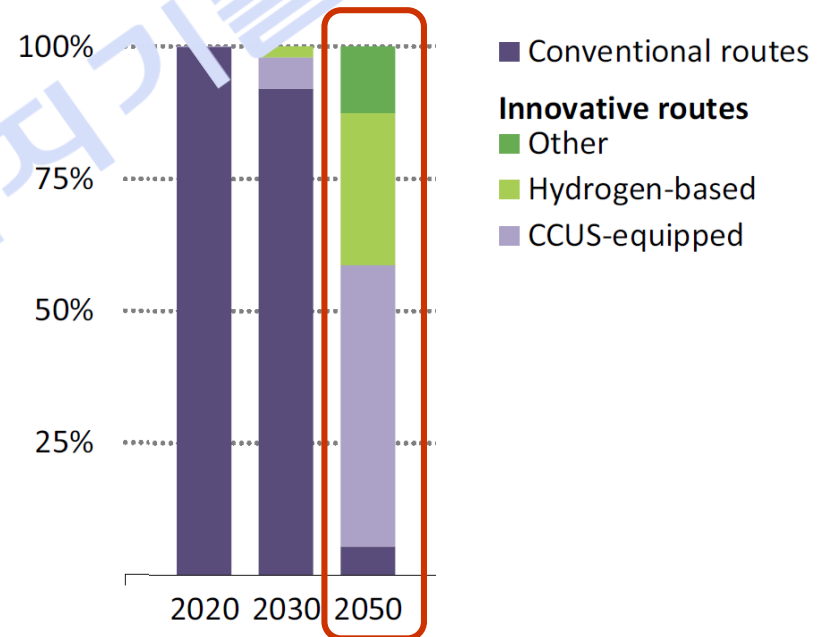
- (2020) 2.4 Gt → (2050) 0.2 Gt (2050년에도 막대한 양의 석탄을 사용하는 산업)

## • 2050 Net Zero를 위한 생산공정 구성

- Conventional 5.4%, CCUS-equipped 53.3%, Hydrogen-based 28.7%, Other 12.6%

## • 주요 감축 수단

- 고철을 사용하는 전기로(EAF) : 1차 철강제품 생산을 위한 에너지를 1/10로 감소
- 수소 기반의 직접환원철(DRI, Direct Reduced Iron)
- 철광석 전기분해 및 기타 기기 전기화
- 현재의 상용 용광로에 수소 주입
- CCUS
- 천연가스를 감축하고 이용할 수 있는 지역에서는 천연가스 기반 DRI 생산이 경쟁력있는 옵션



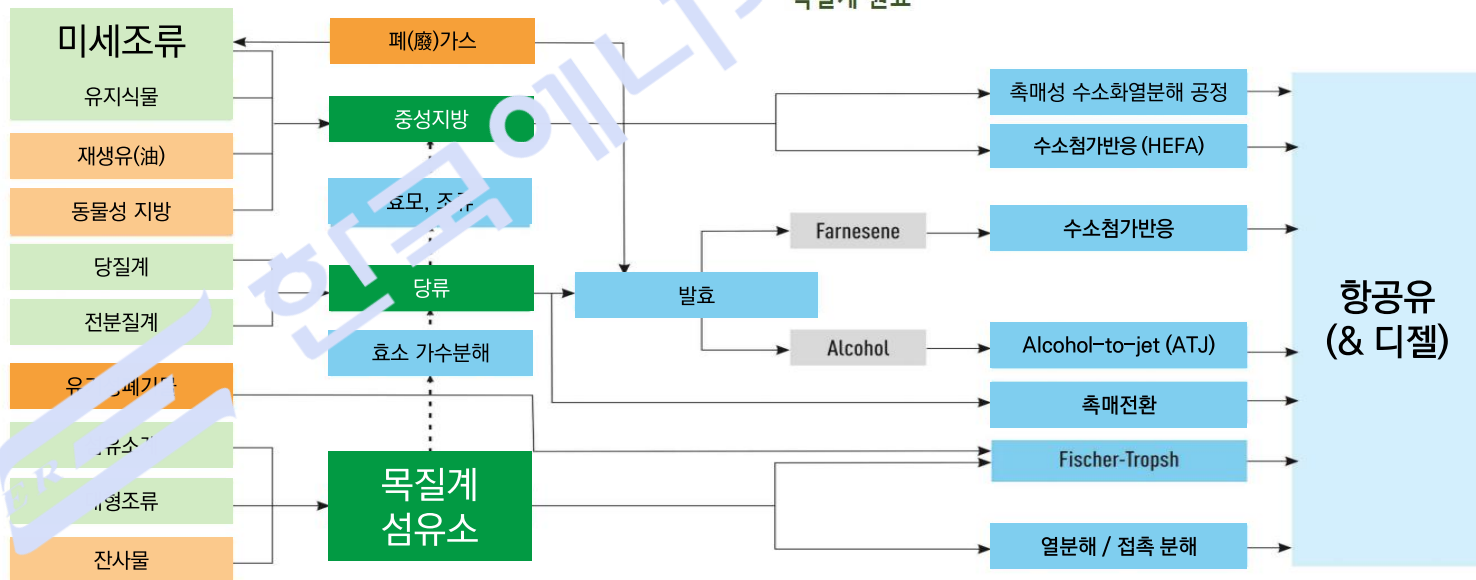
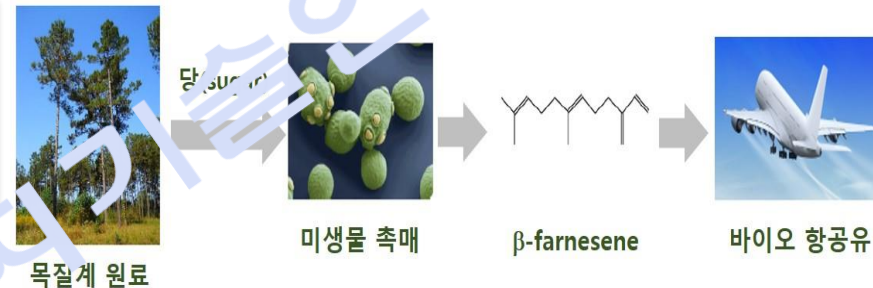
- IEA, Net Zero 2050 – A Roadmap for the Global Energy Sector (2021.5)

# 수송분야 : 바이오 연료

- 항공 및 해운 부문은 도로 운송 대비 탈탄소화가 매우 어려운 분야
- 바이오 항공유, 바이오 디젤, 바이오 중유, 바이오 메탄(BNG)

원유 1bbl (270만 B/D)  
 Bio-oil 1bbl  
 2.4그루 (20cm x 8m)

- 목질계 원료로부터 바이오 항공유 제조 기술
- 해외 팜유 등으로 부터 바이오 항공유 제조 기술



[바이오항공유 주요 원료 및 전환공정]

# 바이오가스 : 발전, 수송 등



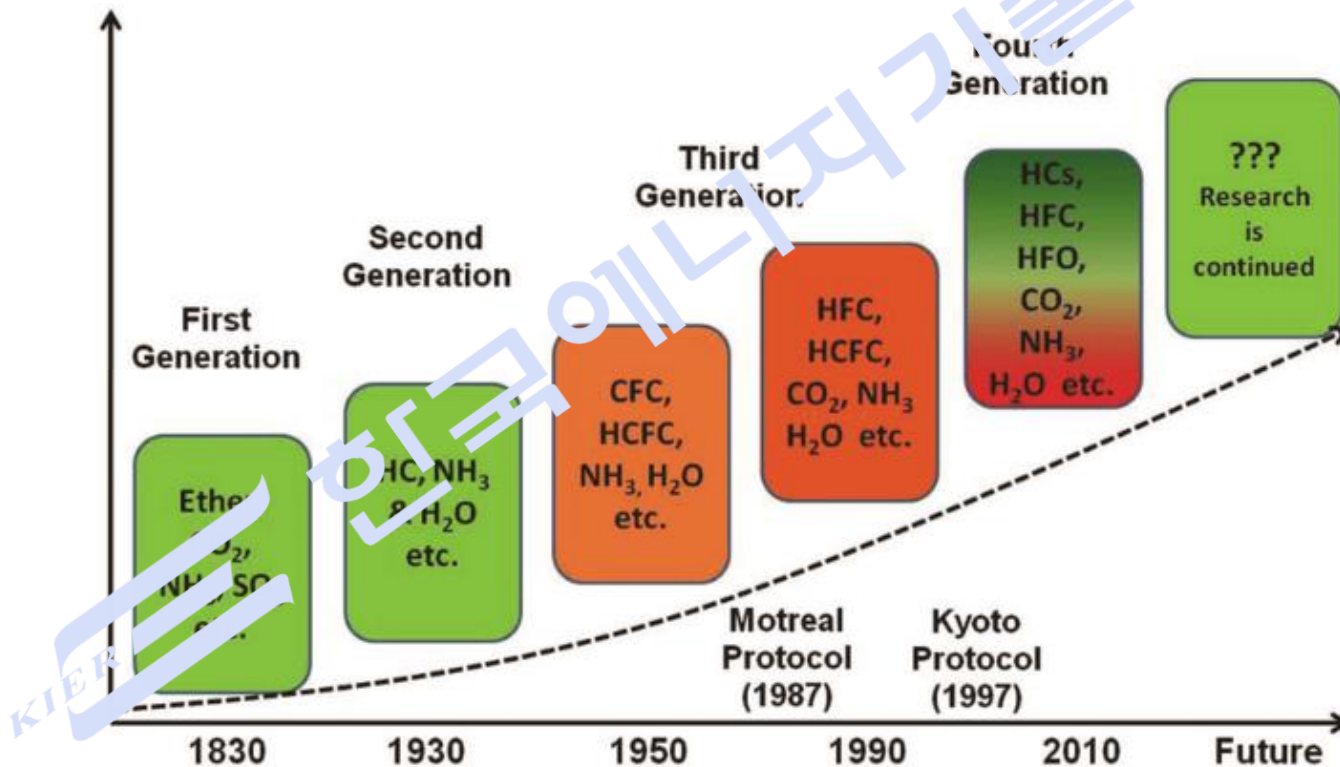
우리나라엔 2019년 말 현재 전국에 101개 바이오가스 시설이 있다. 그중에서 음식물쓰레기 전용이 21개, 축분 전용이 4개, 하수 슬러지 전용이 32개이고 3개 원료를 모두 사용하는 곳이 44개로 가장 많다. 유럽과는 격차가 크다. 독일은 이미 1만1000개에 육박하고 이탈리아는 1650여 개, 프랑스는 740여 개, 스위스는 630여 개, 영국은 610여 개에 달한다.



# 냉방 – Zero GWP Refrigerants

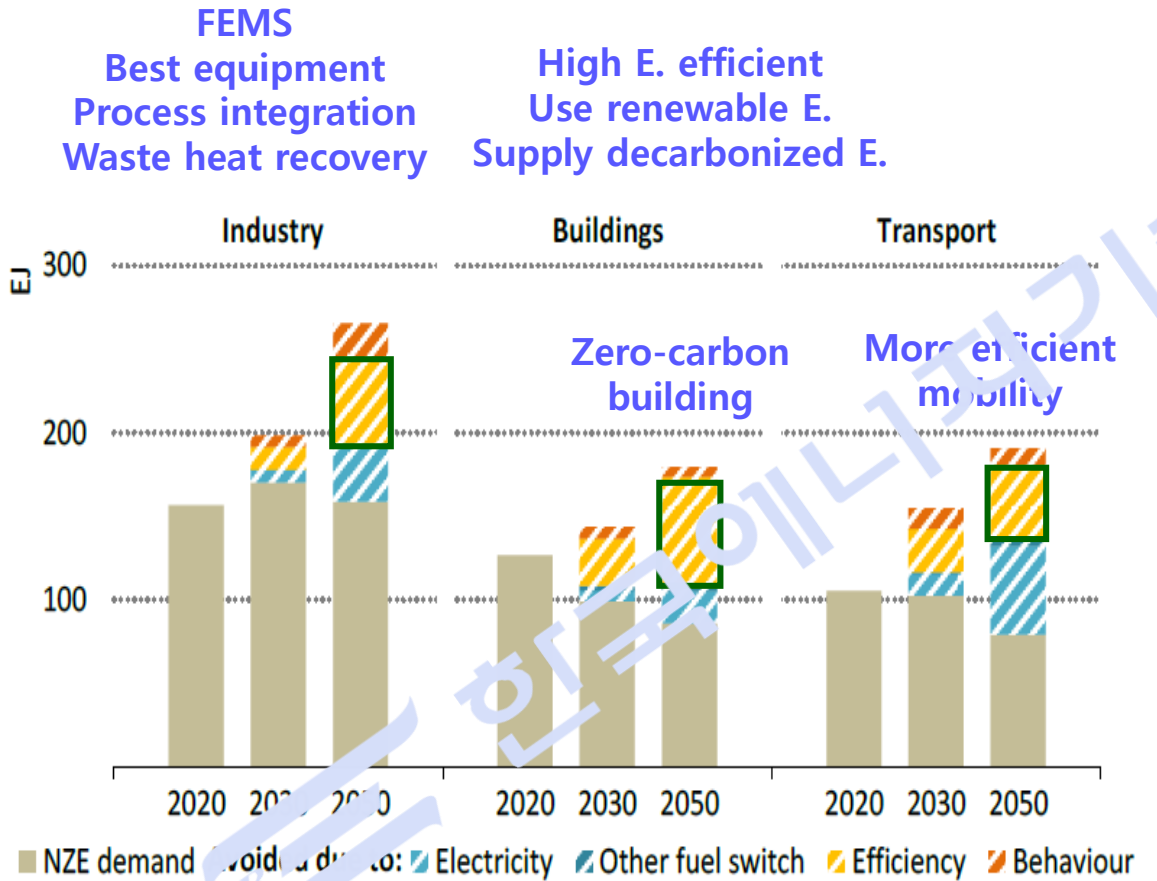
Cooling is essential; it keeps vaccines safe, food fresh and buildings comfortable. It is also energy intensive; the electrical energy used by cooling equipment accounts for more than 7% of global greenhouse gas emissions.

Low global warming potential (GWP) refrigerants < 5

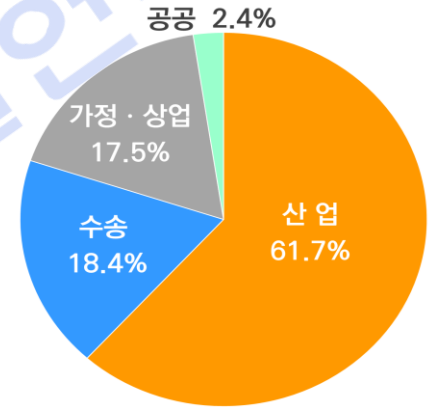


# 5. 효율향상 / 자원순환

## 산업분야, 건물분야 (가정.상업.공공 등)



[최종에너지 소비 비중 (2019)]



[상업·공공부문 용도별 소비 (2016)]



IEA. All rights reserved.

Energy efficiency plays a key role in reducing energy consumption across end-use sectors

IEA, 2050 NZE

## 최종 소비부문의 에너지 다소비 공정 및 기기 고효율화

### 산업공정 고효율화

- 정유 공정 고효율화
- 석유화학 공정 고효율화
- 철강 공정 고효율화
- 기타 산업공정 고효율화

### 고효율 화력 발전

- S-CO<sub>2</sub> 발전
- 초임계 순산소 연소 발전

### 탄소중립 건물

- BIPV
- 벽체 창문 단열
- 열원기기
- 조명기기, 가전기기 등

### 산업용 공통기기 초고효율화

- 요·로, 건조기, 전열기, 보일러, Heat pump 등 (대용량 산업용 전동기, 지능형 전기 공업로 등)
- 저전력 에너지절약 반도체 등

### 미활용에너지 활용 확대

- 산업폐열, 수열 등
- 미활용 에너지 활용 기술의 경제성 확보 및 신재생 에너지 연계 활용 추진
- 미활용 폐열 이용 발전 시스템, 에너지 다소비 산업(철강·석유화학·시멘트) 적용 모듈형 시스템 등

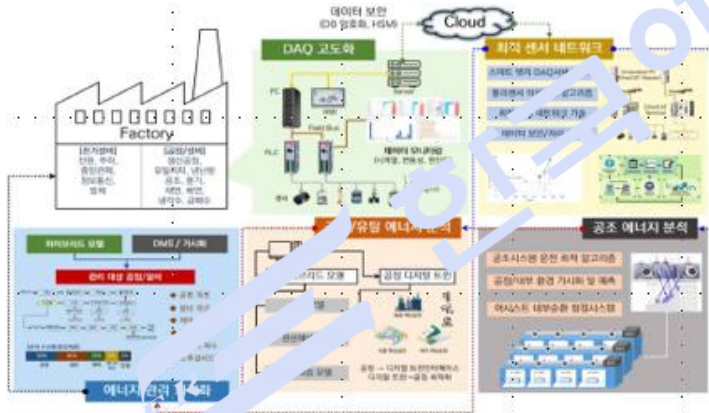
### 친환경 고효율 냉난방

- 친환경 냉매(Zero GWP) 기반 에너지절약형 heat pump 기술

## 에너지효율 향상과 D.N.A.(Data, Network, AI) 기술의 융합

### 공장에너지관리시스템(FEMS)

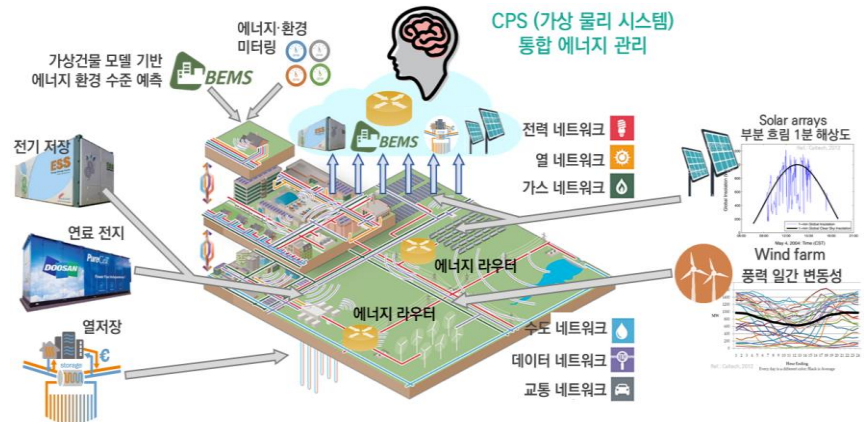
- 설비 효율향상 및 최적 공정 에너지관리기술 개발
  - 산업 공정 에너지 모델 및 FEMS 표준 정립
  - 업종별 공정 효율 최적화 실증
  - 빅데이터 기반 공정 최적화



[에너지 절감형 스마트 EMS 개념도]

### 건물에너지관리시스템(BEMS)

- 에너지 다소비 건물 맞춤형 BEMS 솔루션 확보
  - 디지털 모델 기반 에너지·환경 성능진단 및 통합관리 기술
  - 빅데이터 기반 자율 운전이 가능한 용도별 BEMS 기술 실증
  - 커뮤니티 제로 에너지화 기술 실증



[다양한 전기-열 에너지 시스템 통합 개념도 (Digital Autonomous Grid)]



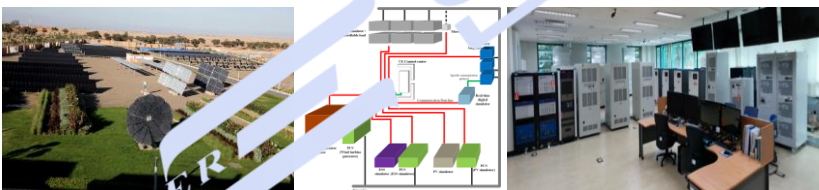
## ICT 기반 차세대 분산 자원 제어 기술

### • 기술개요

- 탄소 중립을 위한 재생에너지 전력공급 확대 대응 고신뢰도 분산 자원 제어 성공률 달성(97%)
- 세계 최고 수준의 고성능 하이브리드(50/2.5 $\mu$ s) 양방향 통합 에너지 플랫폼을 통한 분산형 제어 핵심기술 확보

### • 대표 성과

- ODA 연계 (모로코 IRESEN, MASESN) 기술 이전
- 기술료 (2020) : 2억원 (노하우 기술)



[ODA 연계 모로코 기술이전]

[분산자원 통합운영 플랫폼]

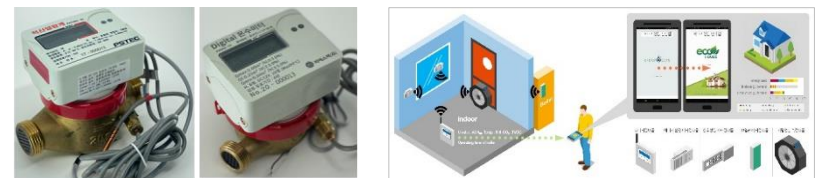
## ICT 기반 에너지 성능 정량화 기술

### • 기술개요

- 노후 공동주택 세대용 난방, 온수 스마트미터 기술 기계학습 진단, 수요 반응 효율 향상(최대 17.7% ▲)
- 건물 부문 탄소중립 달성을 위한 그린리모델링용 현장 실측 기반 에너지 및 환경 성능 진단 플랫폼 (측정 오차율  $\pm 5$  미만)

### • 대표 성과

- COVID-19 영향 열에너지 소비 증가량 예측
- 진단 플랫폼 기술료 (2020) : 1.86억원 (노하우 기술)



난방 스마트미터      급탕 스마트미터



세대 무선단말기      동 중계기

[무선 보안 난방, 온수 스마트미터] 기존 건축물 에너지 및 환경 진단 플랫폼

# 에너지연, Zero-carbon 빌딩

## 신·재생에너지기반 플러스에너지 커뮤니티 플랫폼(K-PEC; KIER Plus Energy Community)



[주거용 건물 ZeSH의 리모델링 전·후]



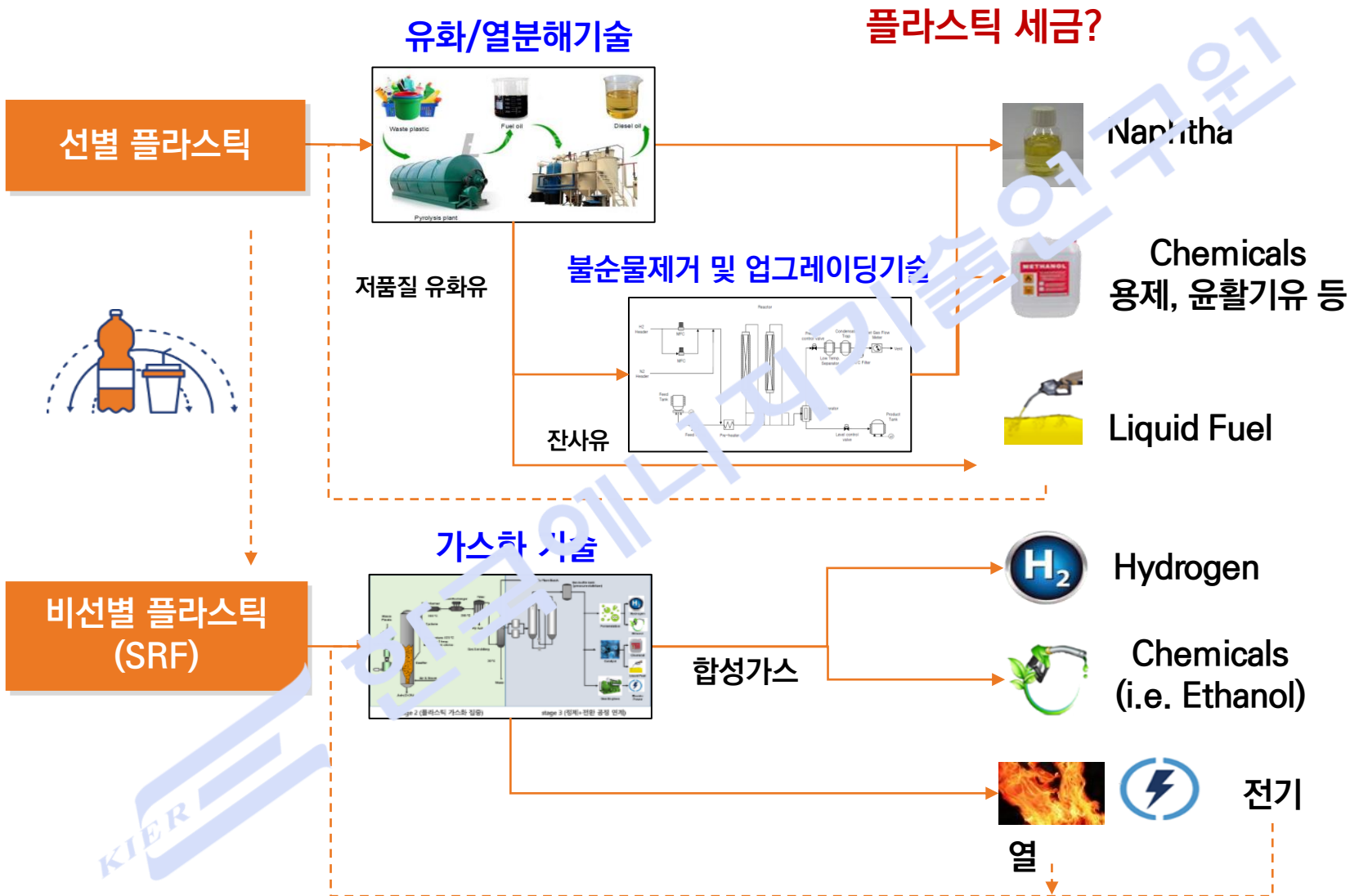
[흰색 태양광 모듈 '슬라스킨'이 시공된 PEB-2]



부산 EDC 스마트빌리지 조감도

- 주거용 건물, 1-4월 실증 에너지자립률 144% 달성
- 비주거용 건물, 에너지자립률 100% 목표
- 커뮤니티 에너지공유 최적화 실증 추진 예정
- : 커뮤니티 단위 제로에너지 1등급 설계, 전기·열 복합에너지공유 플랫폼 설계, 커뮤니티간 열거래용 열네트워크 설계, 국내 최초 프로슈머간 열거래기술 등 구현으로 도시형 보급모델 확보 목표

# 자원순환 [석유화학, Plastic Circular Economy]



## 연속식 폐비닐 열분해 오일 생산 시스템 개발

### • 기술개요

- 친환경적이고, 경제성을 확보한 연속식 폐비닐 열분해 오일 생산 시스템 구축 (오일 수율 : 62%)
- 국내 유일의 고성능 · 연속식 열분해 플랜트로서 2022년부터 사업화에 근접한 실증 플랜트 추진 (10톤/일 처리 규모)

### • 대표 성과

- 기술 이전 (2021.3.) : 1.9억원(매출액 3%), (주)새한리사이클링



실비 권역 : (주)KIER, (주)PCT, (주)KIER, (주)KIER, (주)KIER  
 - 기술 이전 : (주)PCT, (주)KIER, (주)KIER, (주)KIER, (주)KIER  
 - 원소 투자/고부 : (주)KIER, (주)KIER, (주)KIER, (주)KIER, (주)KIER  
 - 열소 제거 : (주)KIER, (주)KIER, (주)KIER, (주)KIER, (주)KIER

[연속식 폐비닐 열분해 플랜트 전경(2020)]

## 바이오디젤 및 플랫폼 케미칼 생산 기술

### • 기술개요

- 경제적 활용이 불가능한 저급 폐유지로부터 바이오디젤 및 고부가 케미칼 생산 기술 개발 (세계최고 효율 대비 97.5% 달성)
- 저가 원료 경쟁으로 바이오디젤 원가경쟁력 확보 및 26만톤CO<sub>2</sub>/년 저감(10만kL BD/년 1기 기준)

### • 대표 성과

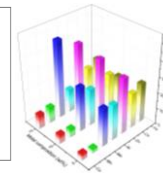
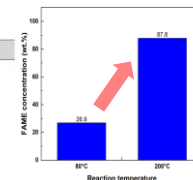
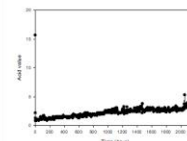
- 기술이전 : (주)무진기공, 2.4억원(매출액 1%) (2017)  
 (주)에코솔루션, 1.02억원(매출액 1%) (2018)

고체 산촉매 파일롯 연속식 전처리 공정 (2,000L/일)



벤지 연속식 전처리 시스템(20L/일)

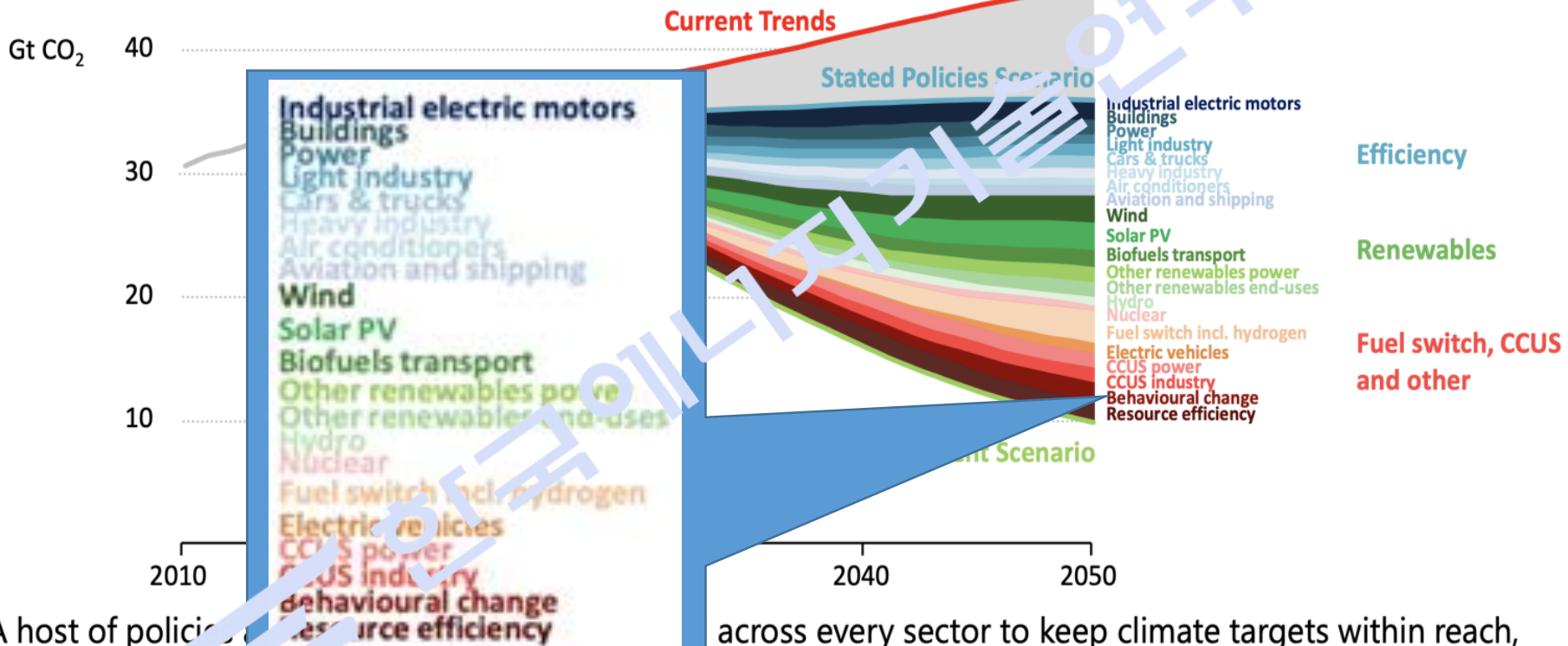
저가 음폐유의 장기 연속 전처리 실증



[바이오디젤/케미칼 전환 설비 및 성능 확보 촉매]

# 6. 발전, 산업공정 배출 온실가스 처리

Energy-related CO<sub>2</sub> emissions and reductions in the Sustainable Development Scenario by source



A host of policies and further technology innovation will be essential to aid the pursuit of a 1.5°C stabilisation across every sector to keep climate targets within reach,

(출처 : IEA, World Energy Outlook, 2019)

## [CO<sub>2</sub> 대량 발생원]

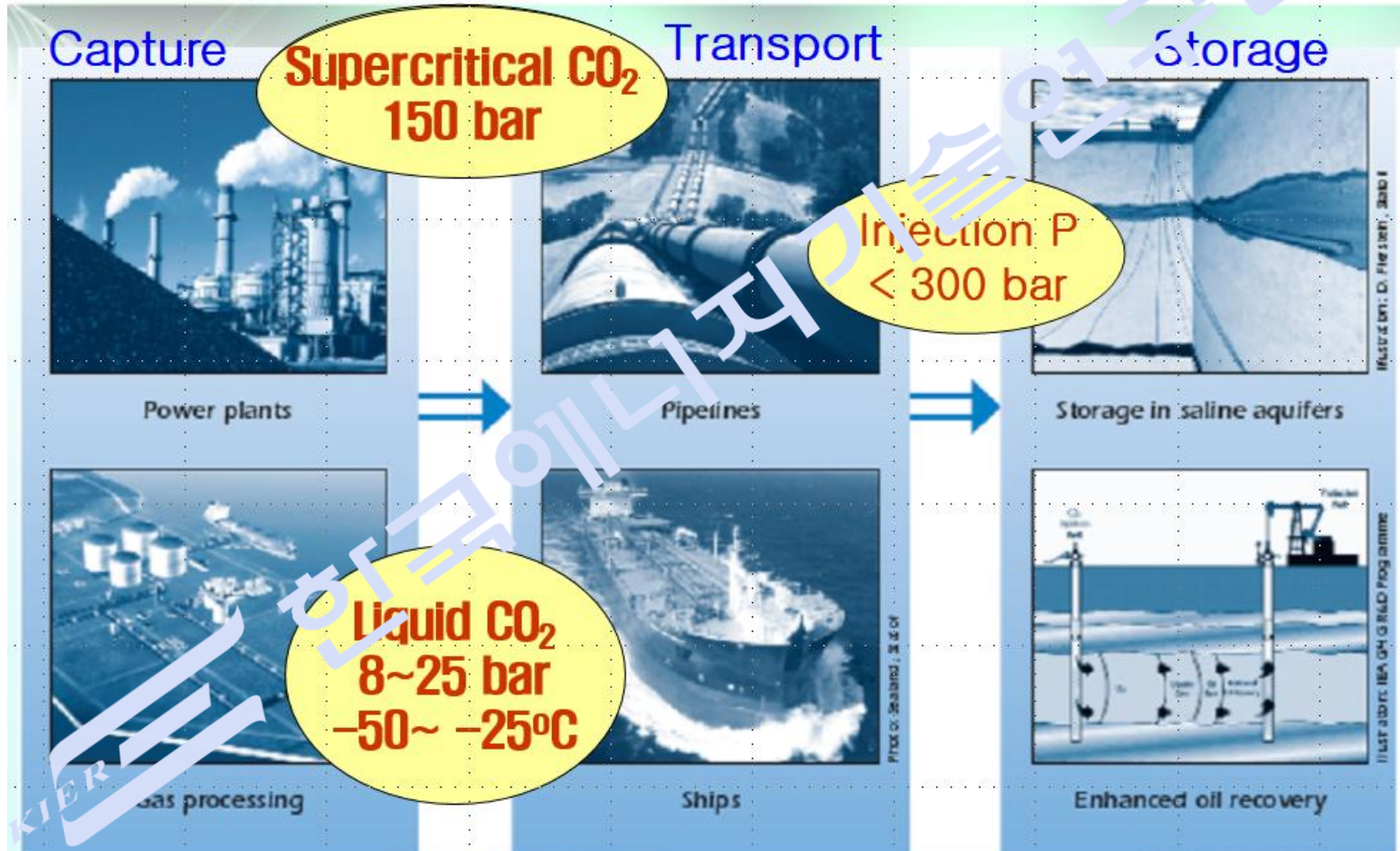
배출원	조성	CO <sub>2</sub> 배출량 (백만톤/년)
석탄 화력발전	14% CO <sub>2</sub> , 5% O <sub>2</sub> , 81% N <sub>2</sub>	203
LNG 화력발전	4% CO <sub>2</sub> , 15% O <sub>2</sub> , 81% N <sub>2</sub>	61
철강산업	20~23% CO <sub>2</sub> , CO, N <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , H <sub>2</sub>	118
시멘트산업	18~20% CO <sub>2</sub> , 10% O <sub>2</sub> , 70% N <sub>2</sub>	36
정유/석유화학산업	5~50% CO <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> , CO, N <sub>2</sub> , C <sub>n</sub> H <sub>m</sub>	71
블루수소 생산	53% CO <sub>2</sub> , 3% O <sub>2</sub> , 74% N <sub>2</sub>	?
계		489

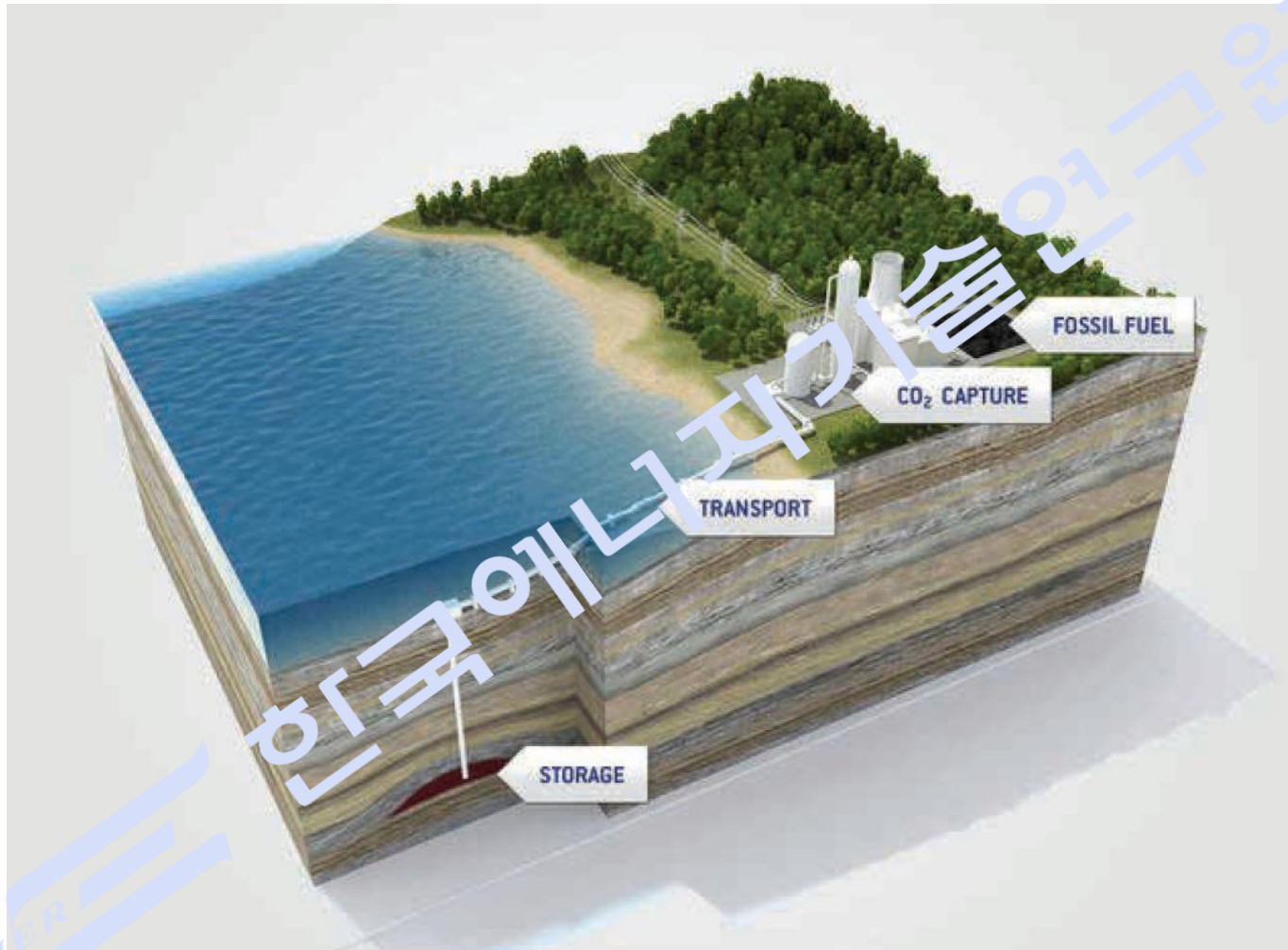
- 블루수소 : (천연가스 개질, 석탄가스화) + CCS

- 2020 국가 온실가스인벤토리 보고서, 2021.1
- 8차 전력수급 기본계획
- 철강협회

# CO<sub>2</sub> 포집·저장 (CCS)

목표 : 저비용으로 대량의 CO<sub>2</sub>를 포집하여 저장하는 기술 개발





Source: Bellona



# 세계 CO<sub>2</sub> 저장 후보지역 및 가능량

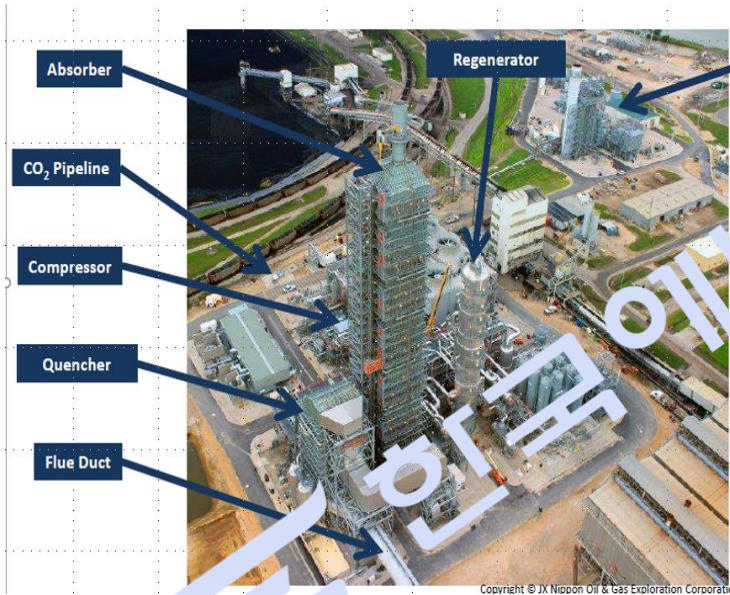


출처: GCCSI, 2020

**GEOLOGICAL STORAGE RESOURCES FOR CO<sub>2</sub> IN SALINE FORMATIONS IS HUNDREDS OF TIMES LARGER THAN THE RESOURCES OF OIL OR GAS FIELDS SHOWN IN THIS FIGURE.**

## Petra Nova CCS plant (미국)

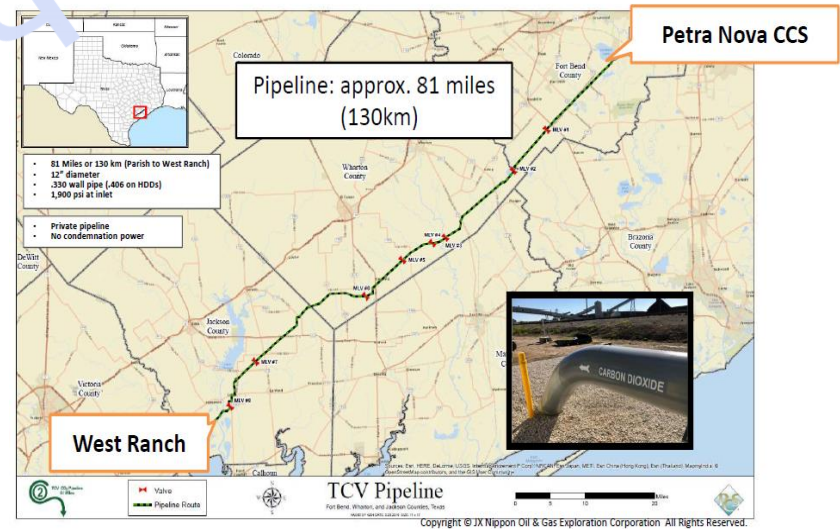
Parish 석탄발전소, 240MW 배가스  
 Input CO<sub>2</sub> 농도 13%, 포집효율 90%  
 140만톤 CO<sub>2</sub>/년 포집



## 포집된 CO<sub>2</sub> 저장 (EOR)

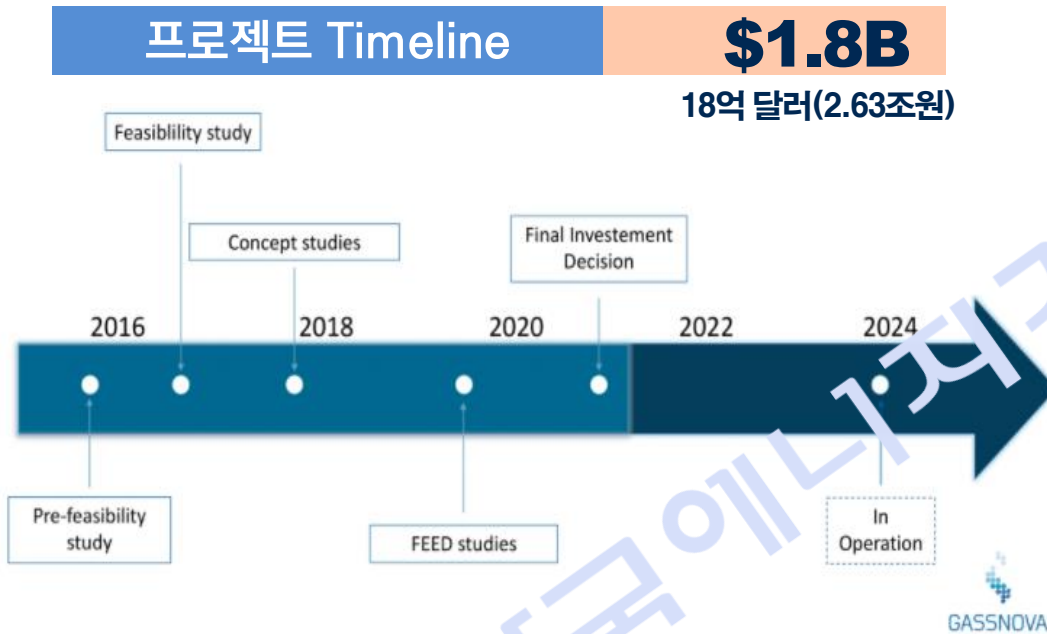
포집된 CO<sub>2</sub>는  
 EOR (Enhanced Oil Recovery)에 이용  
 총 130 km의 파이프라인으로 이송

### CO<sub>2</sub> Pipeline Route



# 노르웨이 Longship Project

## 노르웨이 Longship (Langskip) 프로젝트



- **포집** : Fortum Oslo Varme (폐기물 소각 설비), 400,000톤CO<sub>2</sub>/년 (Aker 아민 포집기술)  
Norcem (시멘트생산설비), 400,000톤CO<sub>2</sub>/년 (Cansolv 아민 포집기술)
- **수송** : 포집기 당 배 1척, 수송거리 700 km, 액화 CO<sub>2</sub>(15 barg, -26°C),  
1,100 km 파이프라인 (직경 12')
- **저장** : 북해 해저 3000 m 저장

# 전 세계 CO<sub>2</sub> 저장 현황

- 가동되는 CCS 설비의 저장 용량 약 **40MtCO<sub>2</sub>/yr** (GCCSI, 2020)
  - 포집용량 0.4MtCO<sub>2</sub>/년 이상 설비 18개 (EOR 13개, 지중저장 5개)

Application (CO <sub>2</sub> destination)	CCUS Project	Country	Capacity (MtCO <sub>2</sub> /yr)	Operational year	CO <sub>2</sub> source
Enhanced Oil Recovery	Shute Creek	U.S.	7.00	1986	Natural Gas Processing
	Century Plant	U.S.	5.00	1992	Natural Gas Processing
	Petrobras Santos Basin	Brazil	4.00	2013	Natural Gas Processing
	Great Plains Synfuels Plant	U.S.	3.00	2000	Synthetic Natural Gas
	Qatar LNG CCS	Qatar	1.10	2019	Natural gas processing
	Alberta Carbon Trunk Line	Canada	1.40	2020	Oil refining
	Boundary Dam	Canada	1.00	2014	Power generation (coal)
	Air Products SMR	U.S.	1.00	2013	Hydrogen production
	Coffeyville Gasification Plant	U.S.	1.00	2013	Fertilizer Production
	Uthmaniyah CO <sub>2</sub> -EOR Demonstration	Saudi Arabia	0.80	2015	Natural gas processing
	Abu Dhabi CCS	UAE	0.80	2016	Iron and Steel Production
	CNPc Jilin	China	0.60	2018	Natural gas processing
	Verde	U.S.	0.40	1972	Natural Gas Processing
Dedicated Geological Storage	Barrow	Australia	4.00	2019	Natural Gas Processing
	Quest	Canada	1.20	2015	Hydrogen Production
	Sleipner CO <sub>2</sub> Storage	Norway	1.00	1996	Natural Gas Processing
	Illinois Industrial CCS	U.S.	1.00	2017	Ethanol Production
	Snøhvit CO <sub>2</sub> Storage	Norway	0.70	2008	Natural Gas Processing

## 습식공정

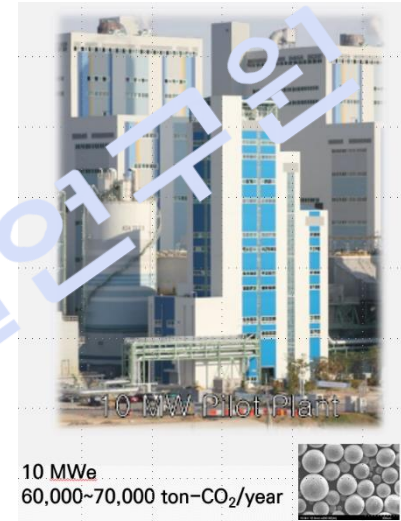
태안 0.5MW (10 ton CO<sub>2</sub>/day)

서부발전  
태안  
0.5MW



## 건식공정

남부발전  
하동  
10MW



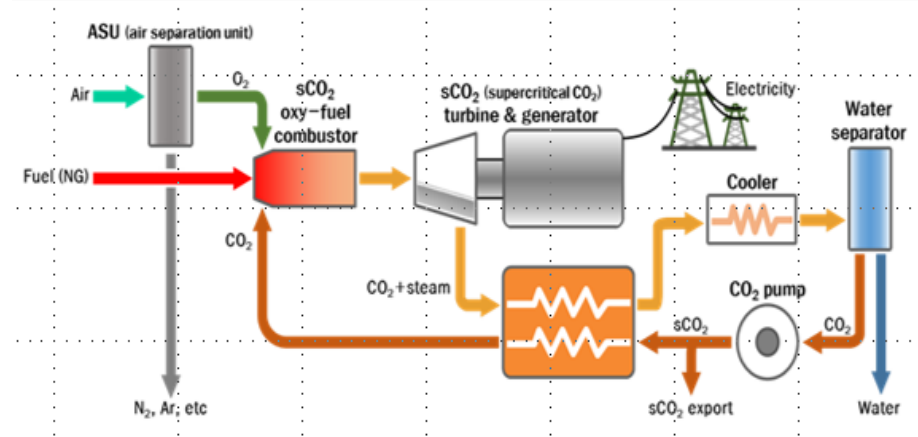
## Chemical Looping Combustion

0.5MWth



## Oxy-Fuel Combustion

효율 > 50%, 200~300bar 운전



## CO<sub>2</sub> 포집 기술 (KIERSOL)

### • 기술개요

- 전 산업에 적용 가능한 범용적 CO<sub>2</sub> 포집 기술
- 세계 최고 수준의 낮은 재생열용량 (2.2 GJ/tCO<sub>2</sub>)
- 낮은 포집 액화비용 : \$51/tCO<sub>2</sub> (일 MHI : \$55/tCO<sub>2</sub>)

### • 대표 성과

- 국가연구개발우수성과 100선 (2012)
- SK머티리얼즈(주) (국내 + 북미) (2021)
- \* 누적 기술료 : 27.3억원(정액) + 경상 1~1.5% (30년)



[KIERSOL 흡수제]



[KIERSOL Mobile plant]

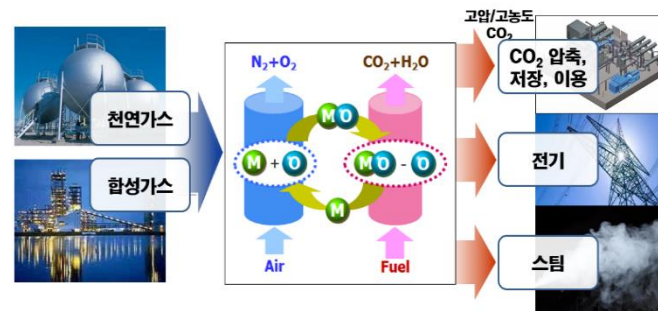
## 케미컬 루핑 연소기술

### • 기술개요

- 이산화탄소를 별도의 분리 설비없이 98%이상 원천적으로 분리
- 초미세먼지, 유해물질 질소산화물 저감

### • 대표 성과

- 국가연구개발우수성과 100선 (2020년)
- 신규 천연가스 발전소 및 보일러 적용 기대
- \* 연간 운영이익 144억원, 발전효율 4% 향상
- \* 포집비용 30% 절감, 연간 15만톤 CO<sub>2</sub> 절감



[케미컬루핑 연소기술 개념도]

## 굴뚝 없는 순산소 순환유동층 발전 기술

### • 기술 개요

- (세계 최고) 다양한 고체 연료들의 연소 중 CO<sub>2</sub>를 별도의 설비 없이 96 vol.% 이상 원천 분리
- 오염물질 배출없이 고순도 CO<sub>2</sub>만 농축, 배출함으로써 CCUS 공정과 연계하여 ‘굴뚝 없는 발전소’를 구현

### • 대표 성과

- (세계 유일) 전력생산이 가능한 순산소 순환유동층 연소 실증 플랜트 및 운전 기술 보유
- 국가연구개발 우수성과 100선 (2019년)



[순산소 순환유동층 연소 실증 플랜트(10 MWth/100 kWth)]

## CO<sub>2</sub> 포집 기술 (MAB 흡수제)

### • 기술개요

- Korea CCS 2020 사업(과학기술부, 21-30년)에서 개발된 폴리아민/비산 용액으로 구성된 흡수제
- 세계 최고 수준의 낮은 재생열 (< 2.2 GJ/tCO<sub>2</sub>)
- 물 함량을 대폭 낮춘 비수계 흡수제(Water Lean Solvent)

### • 대표 성과

- 석탄화력발전 연계 소규모 실증 완료 (0.5MW) (태안#5, 4,000시간 이상 실증 운전)
- 대규모 CCUS 실증 기반 구축을 위한 추가 실증 (다부처 150MW 실증 기반구축, 21~23년)



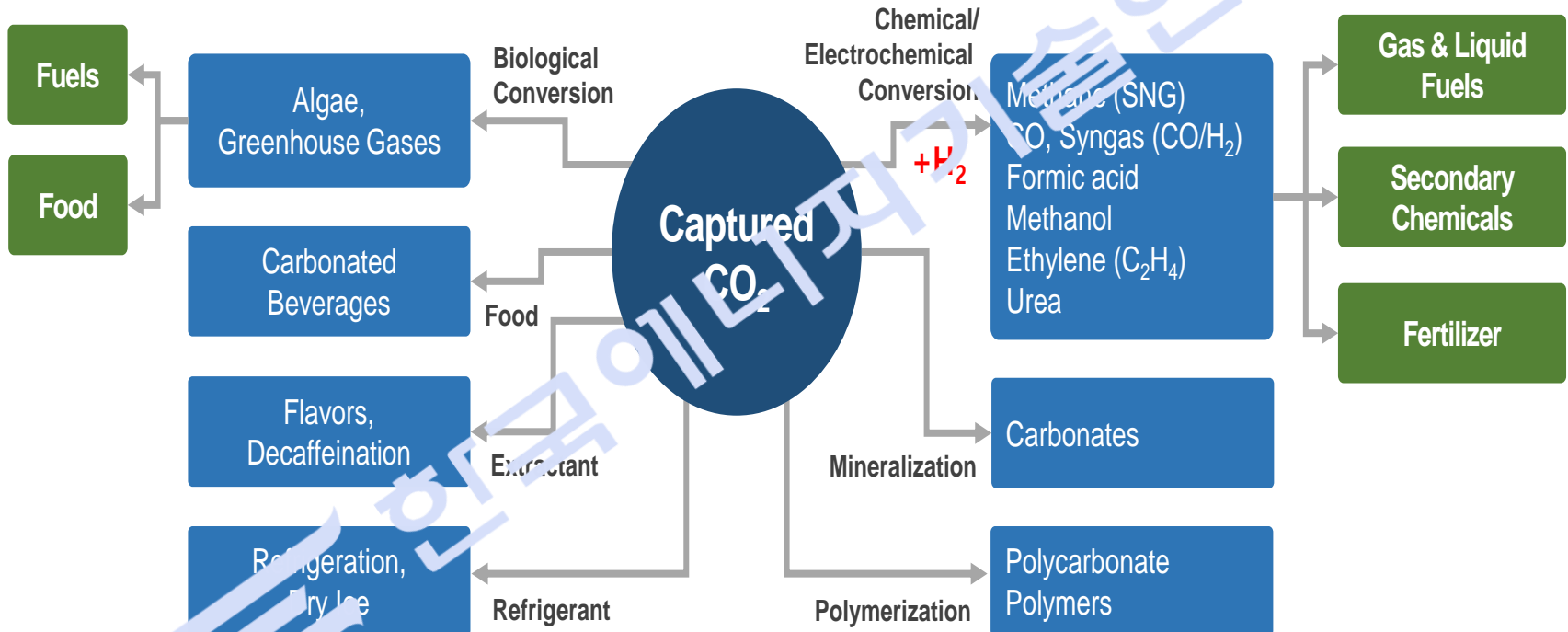
[태안 0.5MW 습식 포집 실증 설비]  
(19년 준공, 다용도 Test bed로 활용 중)

연간 1억톤 이상 CO<sub>2</sub> 발생

1 ton CO<sub>2</sub> 전환시 150kg H<sub>2</sub> 필요

저가 수소 공급? 대량 활용처?

(+ 열 또는 전기)



IEA, 2050 NZE : 포집된 CO<sub>2</sub>의 95% 지중 저장, 5% 합성연료 생산에 활용



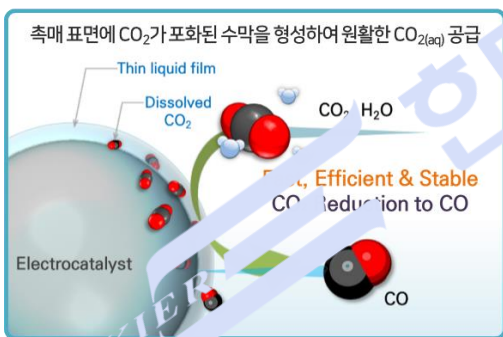
## 전기화학적 이산화탄소 전환 기술

### • 기술개요

- 전기에너지를 이용하여 CO<sub>2</sub>로부터 다양한 고부가 화합물 생산
- 전해액을 사용하지 않는 신개념 원천기술 개발로 세계최고 에너지 전환 효율 달성

### • 대표 성과

- “전기화학적 이산화탄소 전환 개미산 제조” 기술이전 2.5억원 (‘21.05)
- Angewandte Chemie (2018), Green Chemistry (2021) 등 최우수 저널 게재



[KIER CO<sub>2</sub> 전환 기술 개념도]



[벤치규모 설비]

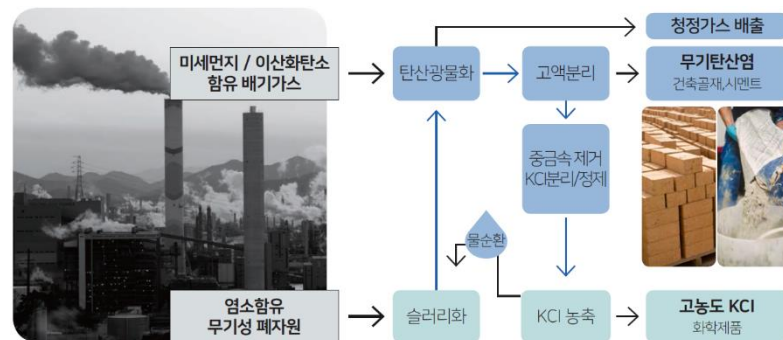
## 이산화탄소 광물화 기술

### • 기술개요

- 이산화탄소와 폐기물을 유용한 탄산광물로 전환시키는 기술
- 실효성있는 온실가스 전환 기술의 유일한 사례 (CO<sub>2</sub> 감축/유가치물질(CaCO<sub>3</sub>, KCl) 생산 /페트라스틱 저감/폐기물 처리)

### • 대표 성과

- “소각로 배출 온실가스 전환 기술” 기술이전(‘21.04)



[시멘트산업 적용 기술 개념도]

- ❖ 2050년 CO<sub>2</sub> 발생 예상: 1~2억톤/년
  - LNG발전 (5천만톤), 철강산업 (1억톤, 수소환원제철 아려울시)
  - 시멘트산업 (3천만톤), 정유/석유화학산업 (3천만톤)

## ✓ 고비용 및 상용화 불확실성

- CO<sub>2</sub> 포집: 고비용(\$60~70 / ton-CO<sub>2</sub>), 대용량 설계/실증(국내 10MW, 해외 240MW)
- CO<sub>2</sub> 전환: CO<sub>2</sub>를 전환하기 위해 필요한 H<sub>2</sub>, energy 조달 / 대량의 end product 있나?

## ✓ CO<sub>2</sub> 저장: 국내 저장소 미확보 및 낮은 사회적 수용성

## ✓ 민간투자 유인책 부족

## • 혁신 기술 및 온실가스 감축 잠재량

기술 분류	Project 명	주요 특성
Reducing Clinker to cement ratio*	Hoffmann Green Cement Technology (프)	<ul style="list-style-type: none"> <li>blast furnace slag, clay, gypsum 첨가</li> <li>250,000t/y</li> </ul>
Fuel Switching	CemZero(스), Solcement(노), Leilac(네)	<ul style="list-style-type: none"> <li>재생에너지 + CCUS</li> </ul>
CCUS	Recodel(EU), Cimentalgue(EU) Catchment Climate(독), Cleanker(이) CO <sub>2</sub> MENT(캐), LafargeHolcim(미) CO <sub>2</sub> 탄산염(일), CO <sub>2</sub> 탄산염(한)	<ul style="list-style-type: none"> <li>적용 가능한 모든 CCUS 기술 평가(Capture, Oxyfuel, Chemical Looping, Microalgae)</li> <li>건자재(CaCO<sub>3</sub>), 메탄올, 항공유, 시멘트 첨가제 제조</li> </ul>

\* 국내출하 Slag Cement : 8,772천톤 (2019, 국내 출하량 중 18%), 한국시멘트협회

# 시멘트산업, IEA in the NZE by 2050

## • 온실가스 배출

- 시멘트 생산 공정의 배출 : 0.6 t.CO<sub>2</sub> / 시멘트 1톤 (2/3는 원료(석회석) 사용으로부터 배출)

## • 2050 Net Zero를 위한 생산공정 구성

- Conventional 7.0%, CCUS-equipped 85.7%, Hydrogen-based 4.6%, Other 2.7%

## • 주요 감축 수단

- 클링커 대체 물질(철강 슬래그 등)의 혼합 확대

: 시멘트 중 클링커 비중 감소

(0.71 (2020) → 0.57 (2050))

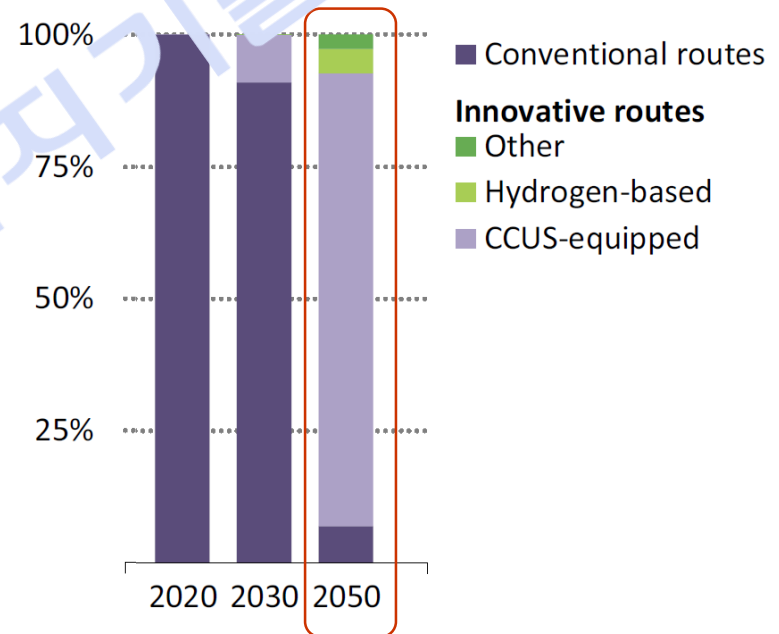
- CCUS

- 바이오매스, 재생 폐기물 확대

- 수소 (킬른의 열에너지)

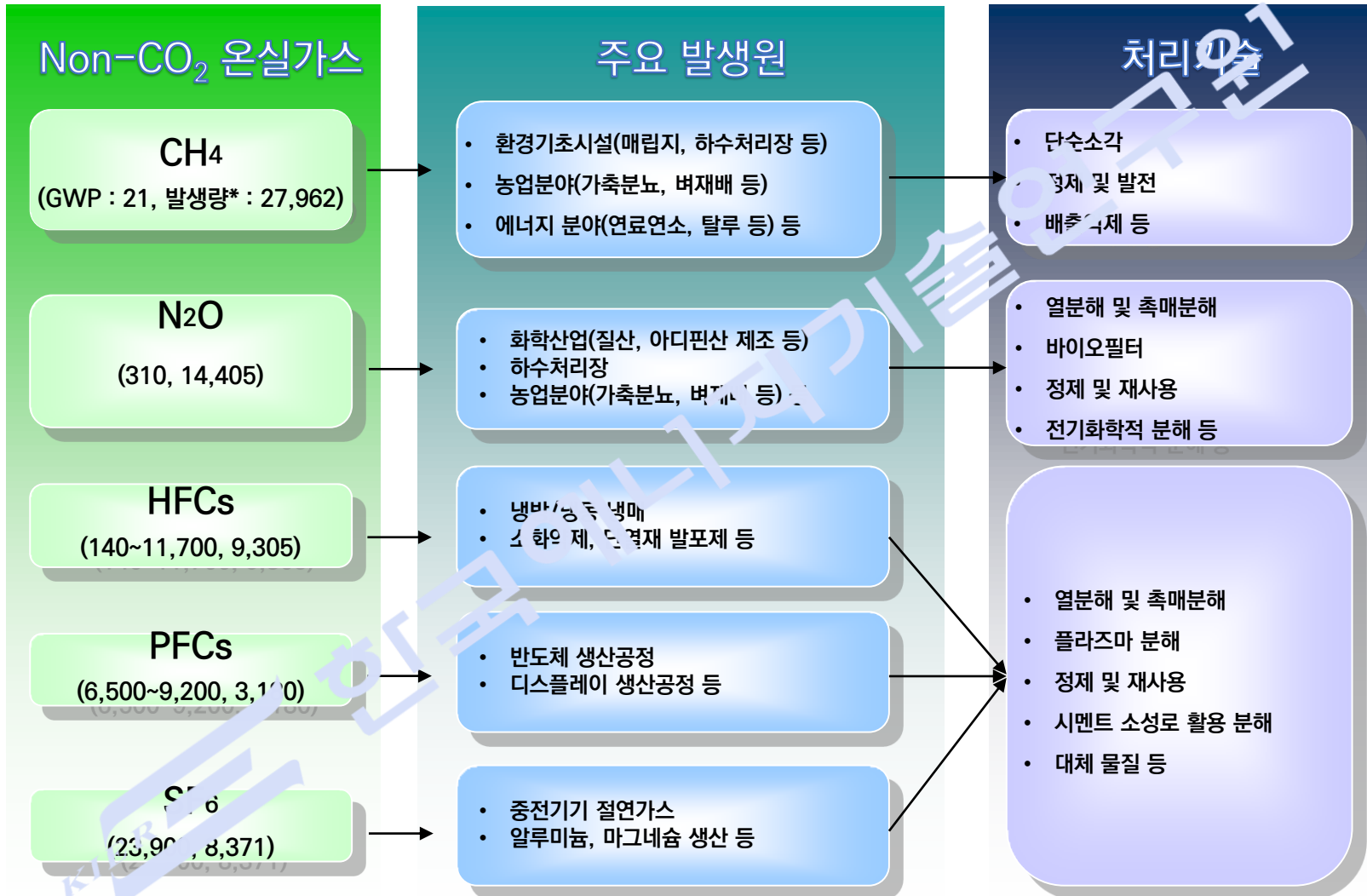
- 시멘트 킬른의 전기화

(현재 소규모 prototype, 2040년 이후 채택 가능)



- IEA, Net Zero 2050 – A Roadmap for the Global Energy Sector (2021.5)

# Non-CO<sub>2</sub> 온실가스 발생원 및 처리기술



\* 발생량 2018년 기준, 단위 : 천톤CO<sub>2</sub>eq.

**전자산업 발생 F-gas는 주로 식각공정에 사용되는 가스이며  
Cleaning 가스로 SF<sub>6</sub>와 NF<sub>3</sub> 등이 사용됨**

- 우리나라는 NF<sub>3</sub>가 아직 온실가스로 분류되지 않아 SF<sub>6</sub>에서 NF<sub>3</sub>로 대체되고 있는 추세임
  - 향후 우리나라도 2006 IPCC G/L 적용될 예정이므로 NF<sub>3</sub>도 온실가스로 포함될 예정
  - F-gas 외에 최근 N<sub>2</sub>O 사용도 증가하고 있음

**F-gas 고도처리기술 개발  
- Low GWP 가스 개발**

산업	발생가스 (GWP)
반도체	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CF<sub>4</sub> (6,500)</li> <li>• C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> (9,200)</li> <li>• c-C<sub>4</sub>F<sub>8</sub> (8,700)</li> <li>• CHF<sub>3</sub> (11,700)</li> <li>• CH<sub>2</sub>F<sub>2</sub> (650)</li> <li>• SF<sub>6</sub> (23,900)</li> <li>• NF<sub>3</sub> (17,000)</li> </ul>
디스플레이	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CF<sub>4</sub> (6,500)</li> <li>• c-C<sub>4</sub>F<sub>8</sub> (8,700)</li> <li>• CHF<sub>3</sub> (11,700)</li> <li>• CH<sub>2</sub>F<sub>2</sub> (650)</li> <li>• SF<sub>6</sub> (23,900)</li> <li>• NF<sub>3</sub> (17,000)</li> </ul>

### 식각(Etching)공정

: 회로의 패턴 중 필요한 부분만 남기고 불필요한 부분은 깎아 내는 공정



(출처 <http://www.skcareersjournal.com/194>)

- ❖ 온난화대응을 경제성장의 제약이나 비용측면으로 생각하는 시대를 종료하고 국제적으로 성장기회로 파악하는 시대 돌입
- ❖ 국가는 가능한 구체적 전망을 제시하고 높은 목표를 수립하여 민간기업이 도전하기 쉬운 환경조
- ❖ **정력** 부문의 탈탄소화는 대전제
  - 재생에너지 최대한 도입
  - 수소발전 최대한 추구
  - 화력+CCS: 선택사항으로 최대한 추구
  - 원자력: 가능한 의존도는 줄이면서 지속적인 최대 활용
- ❖ **전력** 이외 부문
  - 열 수요는 전기화 중심, 수소화, CO2 회수로 대응
  - 산업: 제조프로세스의 변혁 (수소환원제철 등 )
  - 수송: 전기와 바이오연료, 수소연료
  - 상업·가정: 전기화, 수소화, 축전지 사용
- ❖ 전력저장: 탄소중립은 전기화 사회
- ❖ 녹색성장전략을 지탱하는 것은 강인한 디지털 인프라

## 온난화 대응 : 경제성장 제약 시대에서 성장과 기회의 시대로

### 에너지관련 산업

① 해상 풍력 산업  
풍차 본체 · 부품 · 부유식 풍력

② 연료 암모니아 산업  
발전용 버너  
(수소사회를 위한 전환기의 연료)

③ 수소산업  
발전터빈 · 수소환원제철 ·  
운반선 · 수전해장치

④ 원자력 산업  
SMR · 수소제 · 원자력

### 운송 · 제조 관련 산업

⑤ 자동차·축전지 산업  
EV · FCV · 차세대전지

⑦ 선박산업  
연료전지선박 · EV선박 ·  
가스연료선박 등  
(수소 · 암모니아 등)

⑨ 시공 · 농림수산업  
스마트 농업 · 고품 건축물 목조화 ·  
블루카본

⑪ 탄소재활용 산업  
콘크리트 · 바이오연료 ·  
플라스틱 원료

⑥ 반도체 · 정보통신산업  
데이터센터 · 에너지 절약 반도체  
(수소 표면처리 효율화)

⑧ 물류 · 토목 인프라산업  
스마트 교통 · 물류용 드론 ·  
FC건설기기

⑩ 항공산업  
하이브리드화 · 수소 항공기

### 가정 · 사무 관련산업

⑫ 주택 · 건축산업/  
차세대태양광산업  
(페로브스카이트)

⑬ 자원순환관련산업  
바이오소재 · 재활용 재료 ·  
폐기물 발전

⑭ 라이프스타일 관련  
지역의 탈탄소화 사업

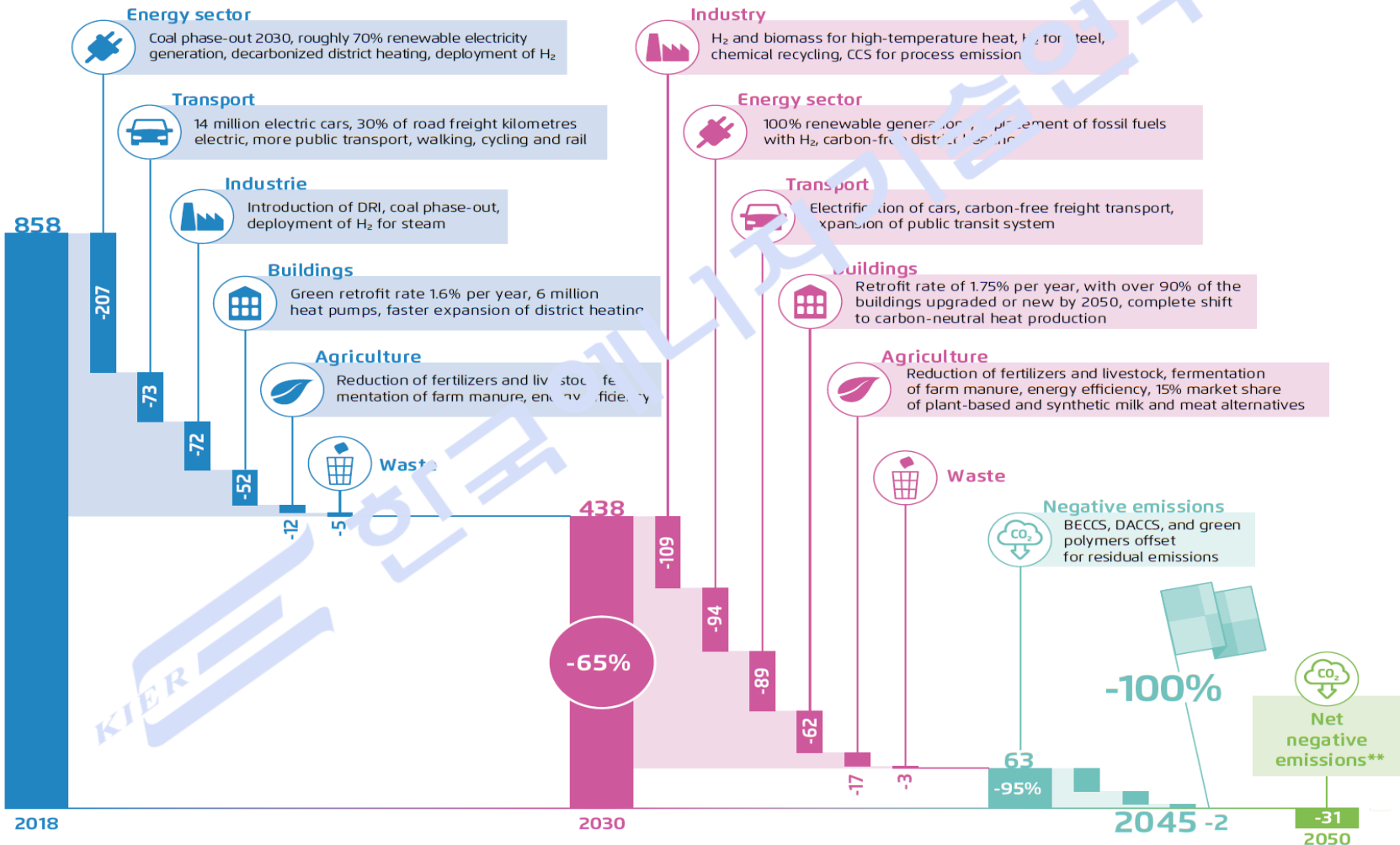


# 독일, Towards a Climate-Neutral by 2045

작성: Agora Energiewende, Europe's leading energy and climate policy think tanks

Measures for the climate-neutral 2045 scenario (CN2045)  
(Greenhouse gas emissions in Mt CO<sub>2</sub>e)

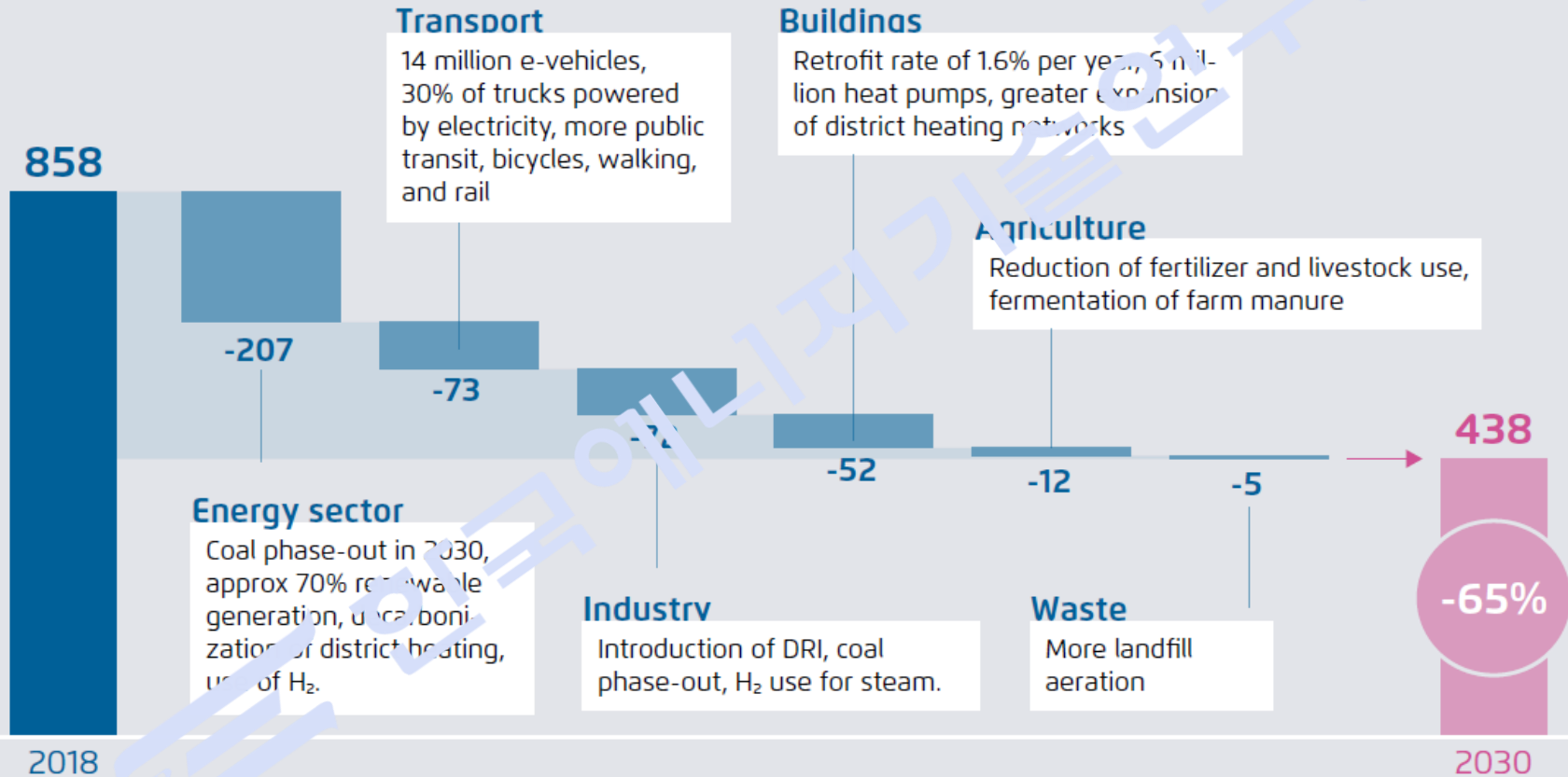
Figure E5



# 독일, Towards a Climate-Neutral by 2045

Three steps to climate neutrality: Step 1 – 65% reduction by 2030 (in relation to 1990)  
(Greenhouse gas emissions in Mt CO<sub>2</sub>e)

Figure 1



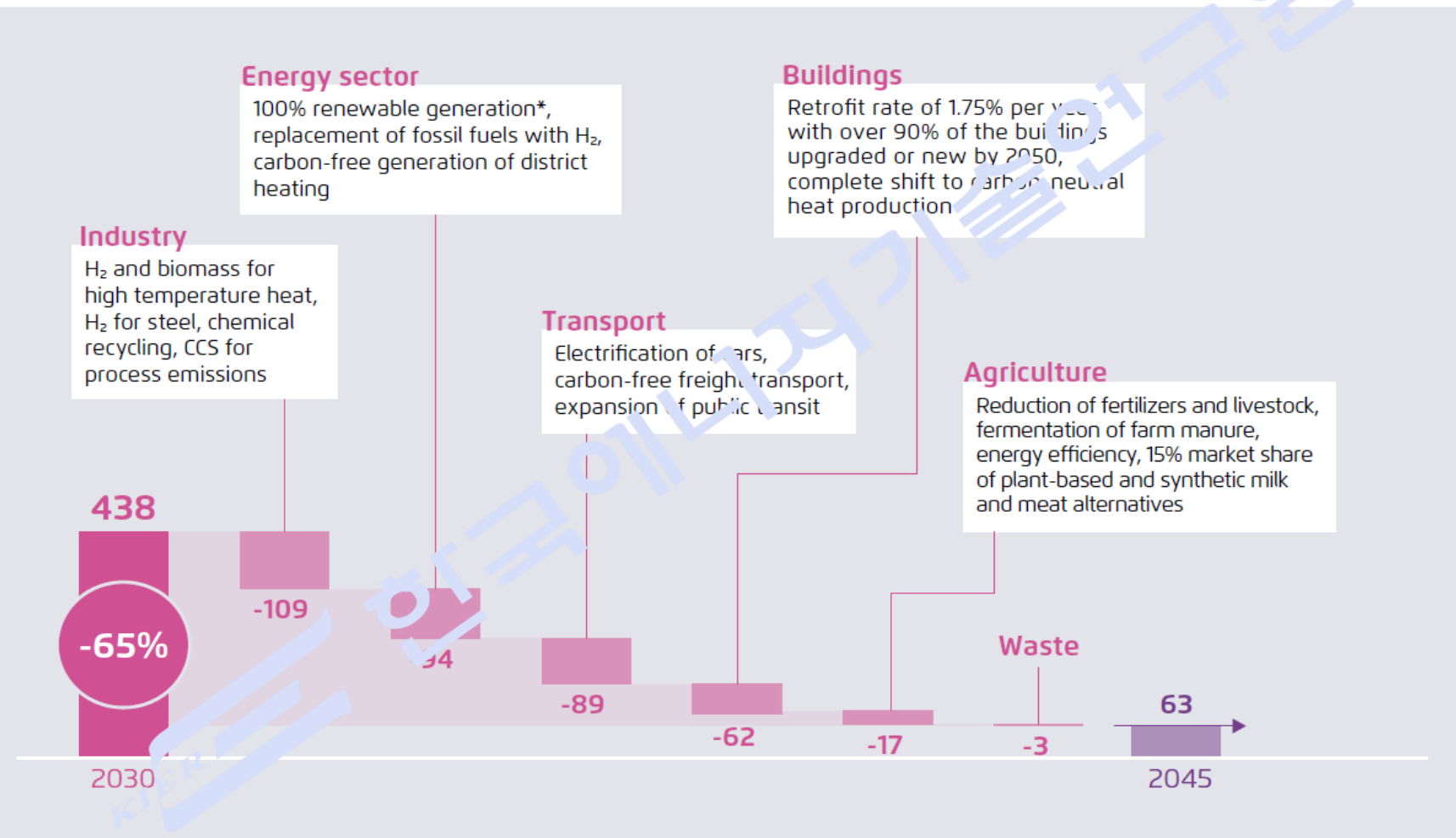
Prognos, Öko-Institut, Wuppertal Institut (2021)

Note: H<sub>2</sub> = Hydrogen

# 독일, Towards a Climate-Neutral by 2045

Step 2 – 95% reduction without negative emissions  
(GHG emissions in Mt CO<sub>2</sub>e)

Figure 5



Prognos, Öko-Institut, Wuppertal Institut (2021)

\* This includes power generation from renewable hydrogen as well as stored and imported renewable electricity.

- 2050 탄소중립 달성 방안
  - 무탄소 발전 - 재생전력으로 에너지 전환
  - 에너지 시스템의 전기화
  - 무탄소 연료( $H_2$ ,  $NH_3$ )로의 전환, 수소환원제철 - 수소경제사회 실현
  - 바이오 기반 항공유, 경유, 석유화학 원료/제품, 건축자재
  - 산업공정 (시멘트, 석유화학 등) 분야 발생 온실가스 CCUS 적용
  - 효율향상기술 (에너지 손실 최소화, 고효율 기기, D.N.A. 활용)
    - 고효율 저탄소사회 구축
  - 자원순환경제 실현
- 탄소중립 : 경제성장과 기회의 시대로

# 더 맑은 지구와 더 강한 경제

## KIER Great 1<sup>st</sup>

 한국에너지기술연구원  
KOREA INSTITUTE OF ENERGY RESEARCH

