

탄소중립 연료 생산에서 CCU 기술의 역할

2024. 07.

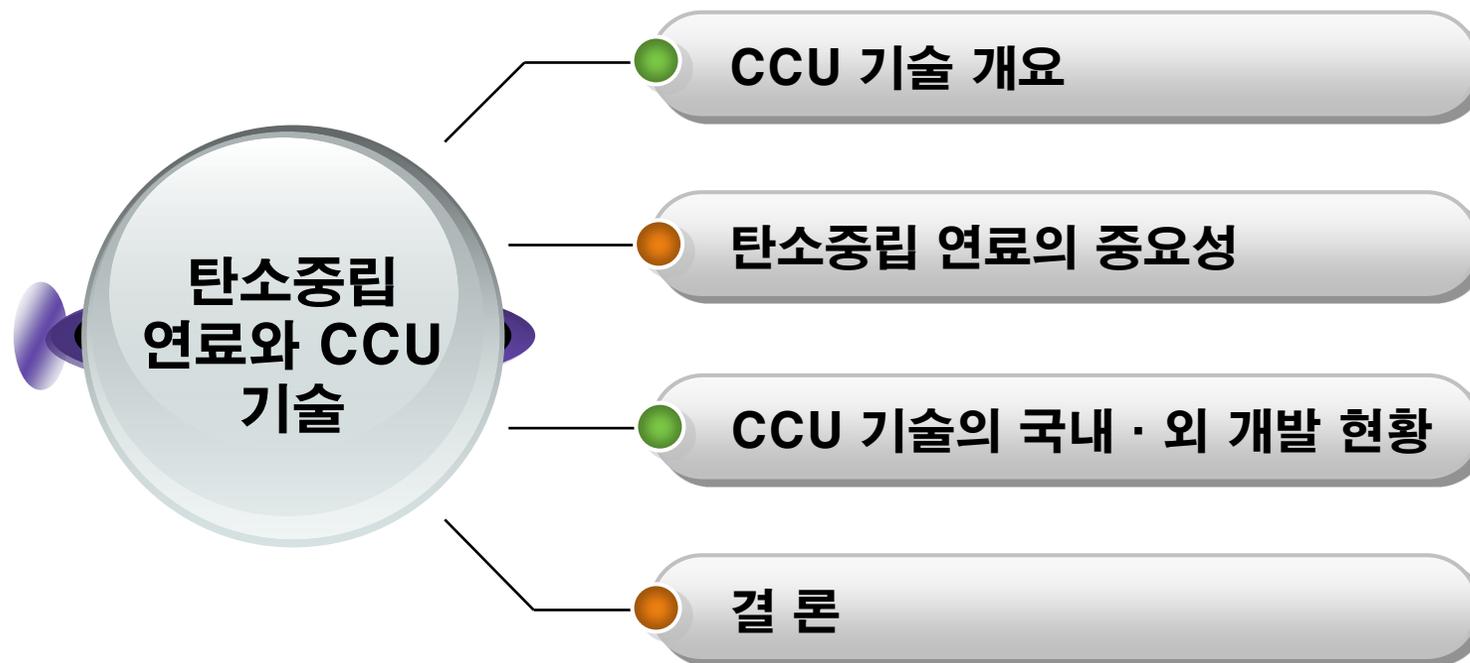
강 석 환

고등기술연구원/청정에너지전환센터





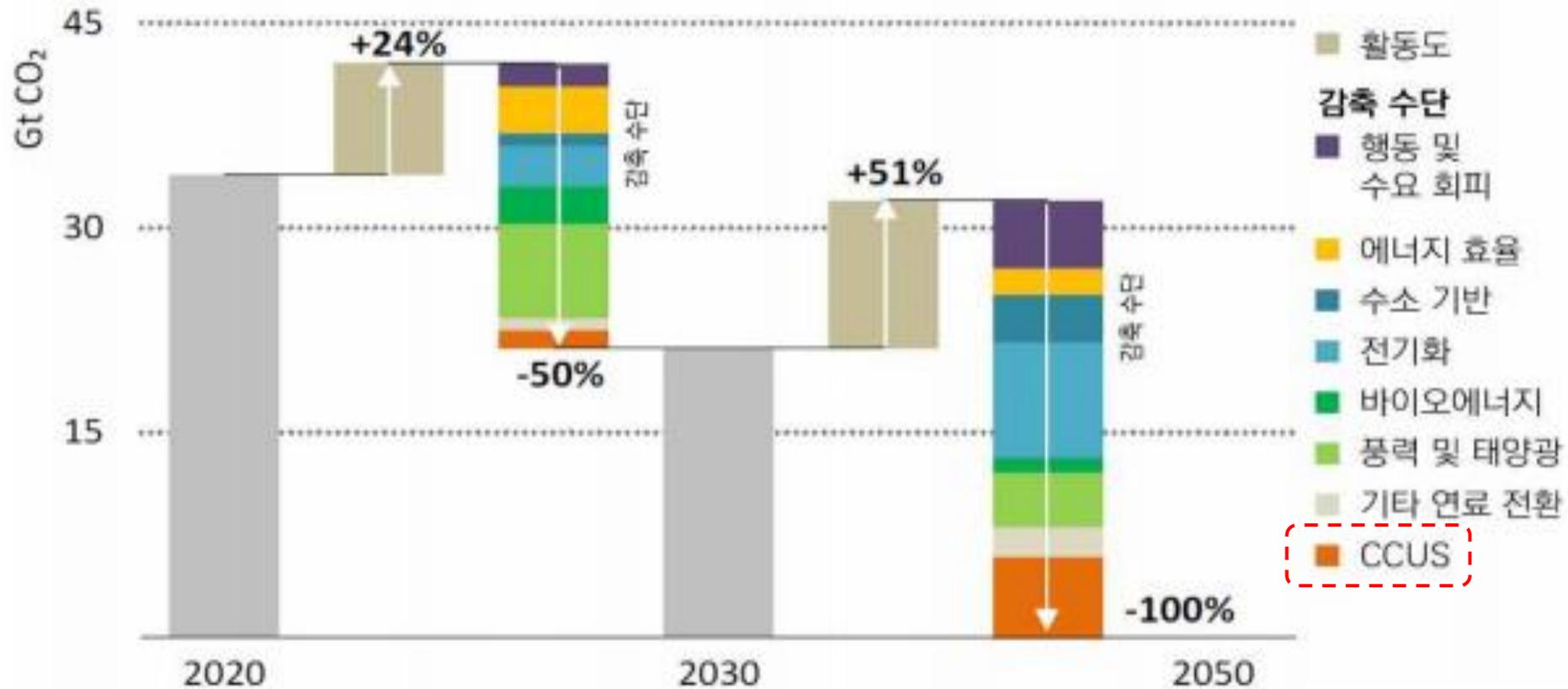
목 차





CCU 기술의 중요성 - 온실가스 감축 수단

✓ 에너지 효율 향상, 전기화, 재생에너지, 바이오에너지, 수요 회피, CCUS* 등이 있으며 **CCUS 기여도는 18%로 전망됨**



(출처: Net Zero by 2050, IEA, 2021)



국가 온실가스 감축목표(NDC) - 부문별 목표

2050 탄소중립 시나리오 최종안

- A안** 화력발전 전면 중단 등 배출 자체를 최대한 감축
- B안** 화력발전이 잔존하는 대신 CCUS 등 신기술을 적극 활용

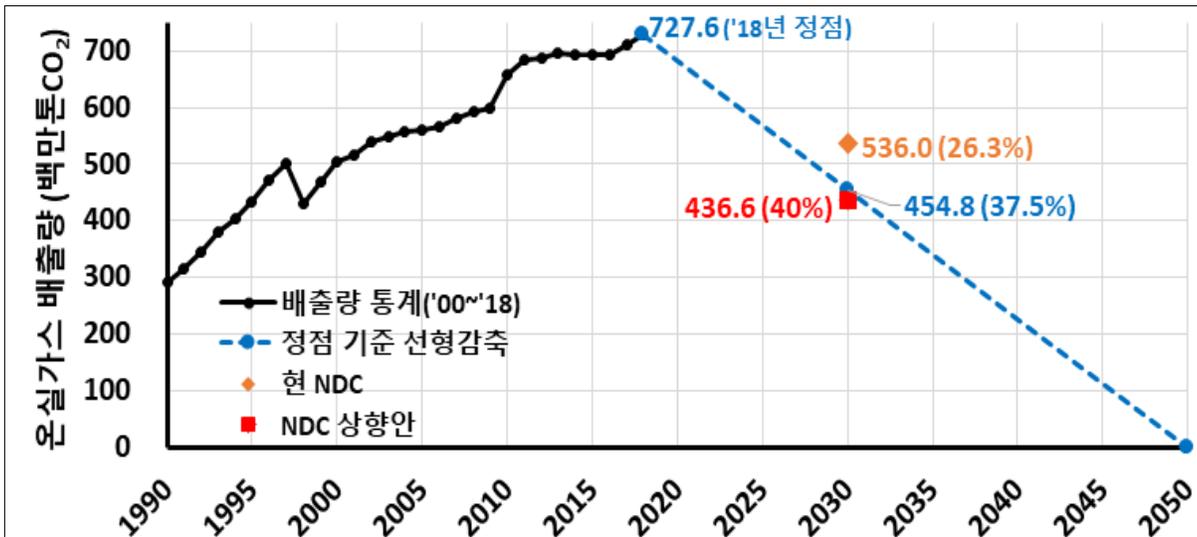
**'50년
국내 순배출량 0**

◆ '18년 배출량(727.6백만톤) 대비 **△40%***(291백만톤) 감축 ⇒ '30년 배출량: **436.6백만톤**

* NDC 상향안(△40%)은 ('18년 총배출량 - '30년 순배출량) 적용 시 감축률

◆ NDC 상향안의 연평균 감축률(기준→목표)은 **4.17%/년**, 주요국 대비 도전적인 목표

* 주요국 연평균 감축률(%/년, 기준→목표): (EU) 1.98, (美) 2.81, (英) 2.81, (日) 3.56



부문	미래	비교
에너지	저탄소 신기술 기반 에너지 생산	원전 발전 비중 (21) 27.4% → (30) 32.4% 신재생 발전 비중 (21) 7.5% → (30) 21.6%+α*
산업	산업의 저탄소 전환	배출권거래제 배출효율기준 함당(BM) (21) 65% → (30) 75%
건물	성능개선을 통한 에너지 효율 향상	그린리모델링(누적) (22) 약 7.3 만건 → (30) 약 160 만건 제로에너지 건축물(누적) (22) 2,950 건 → (30) 약 47,000 건
수송	무공해차 중심 수송체계	무공해차 등록 비중(전기차 및 수소차, 누적) (22) 1.7% → (30) 16.7% (43만대 보급) → (450만대 보급)
농축수산	저탄소 농축산 기술 개발·보급 어선의 연료전환 개선으로 온실가스 ↓	스마트온실 (22) 7,076 ha → (27) 10,000 ha 스마트축사 (22) 6,002 호 → (27) 11,000 호 메탄저감사료 보급률 (22) 0% → (30) 30%
폐기물	전주기(생산·유통·소비) 원천 감량, 자원순환 활성화로 재활용률 향상	생활 폐기물 재활용률 (21) 56.7% → (30) 83% 사업장 폐기물 재활용률 (21) 84.4% → (30) 92.5%
수소	모빌리티 등 수소 활용처 확장, 청정수소 중심 생태계	수소차 (22) 29,733 대 → (30) 300,000 대 청정수소 발전 (22) 0% → (30) 2.1%
흡수원	산림 순환경영·보전으로 흡수능력 강화, 갯벌 복원 확대	습기꾸기 면적 (21) 21 만ha → (30) 32 만ha 갯벌 복원(누적) (21) 1.5 km → (30) 10 km
CCUS	기술혁신을 통한 탄소의 대규모 포집·저장 신산업 창출	기술수준 최고국(美) 대비 (20) 80% → (25) 90%



NDC 목표 달성 - CCUS 기술의 기여도

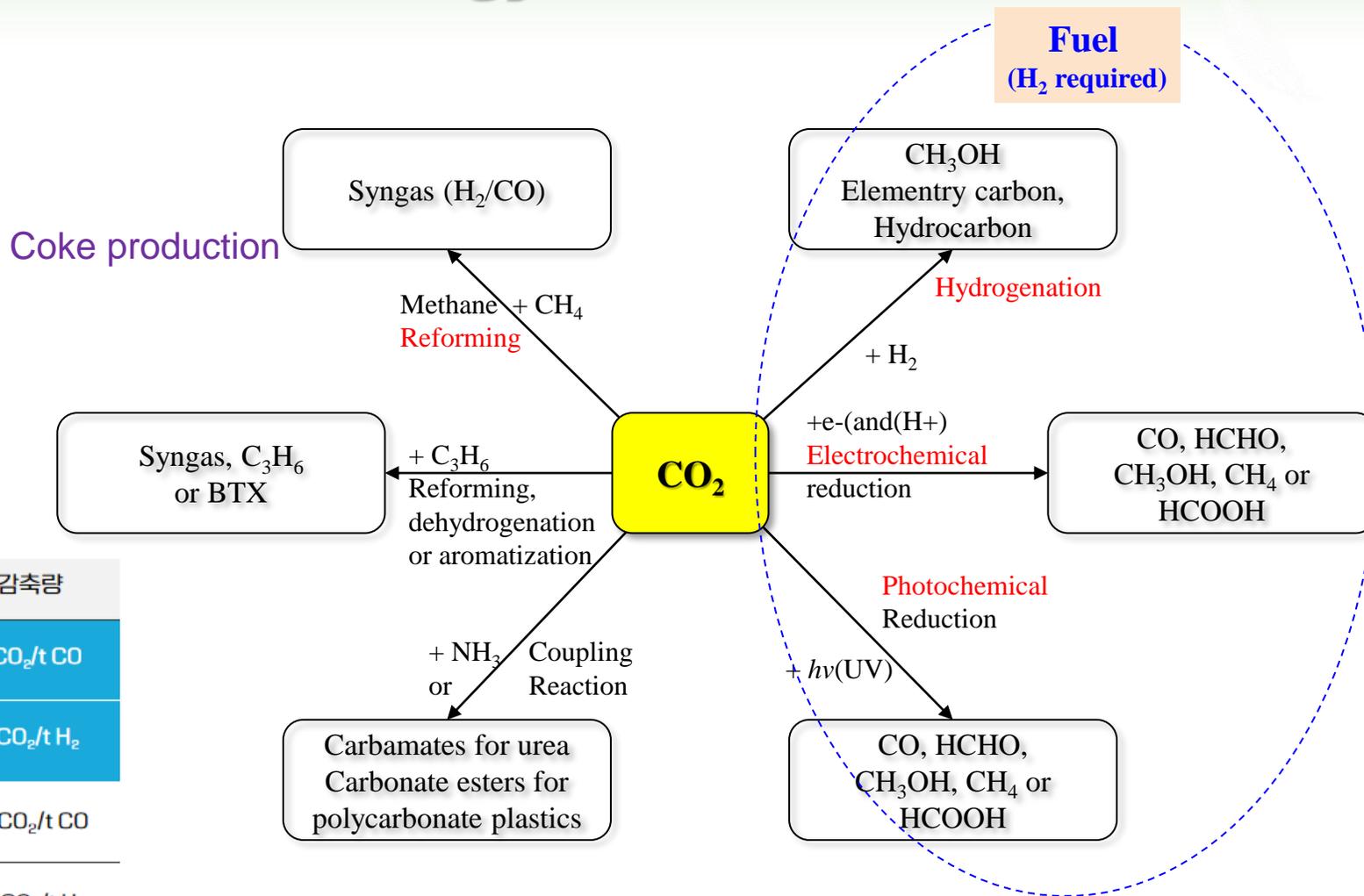


* 북미 & 유럽 : 대규모 저장소 확보, 상용 CCS 프로젝트 진행 중

(출처: 한국에너지기술연구원 심층분석보고서, 2023)



CO₂ conversion technology



Reforming method	Output	CO ₂ 감축량
CDR (Carbon dioxide dry reforming)	CO	0.23t CO ₂ /t CO
	H ₂	3.03t CO ₂ /t H ₂
SMR (Steam methane reforming)	CO	-2.73t CO ₂ /t CO
	H ₂	-7.13t CO ₂ /t H ₂



Reforming

Reaction

CO₂ Reforming of Methane (DRM)

Steam Reforming of Methane (SRM)

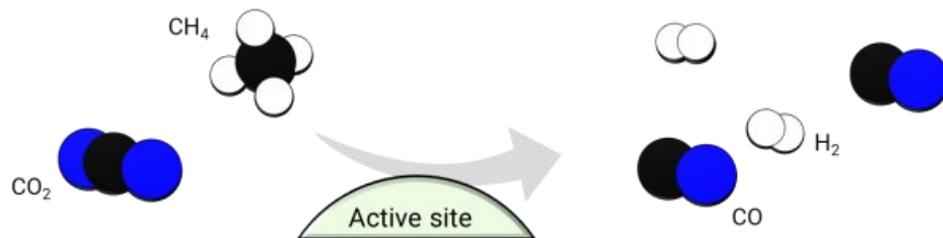
Partial Oxidation of Methane (POM)

Catalytic Combustion of Methane (CCM)

Stoichiometry



Enthalpy



Endothermic reaction

High temperature

Coke formation

Low pressure

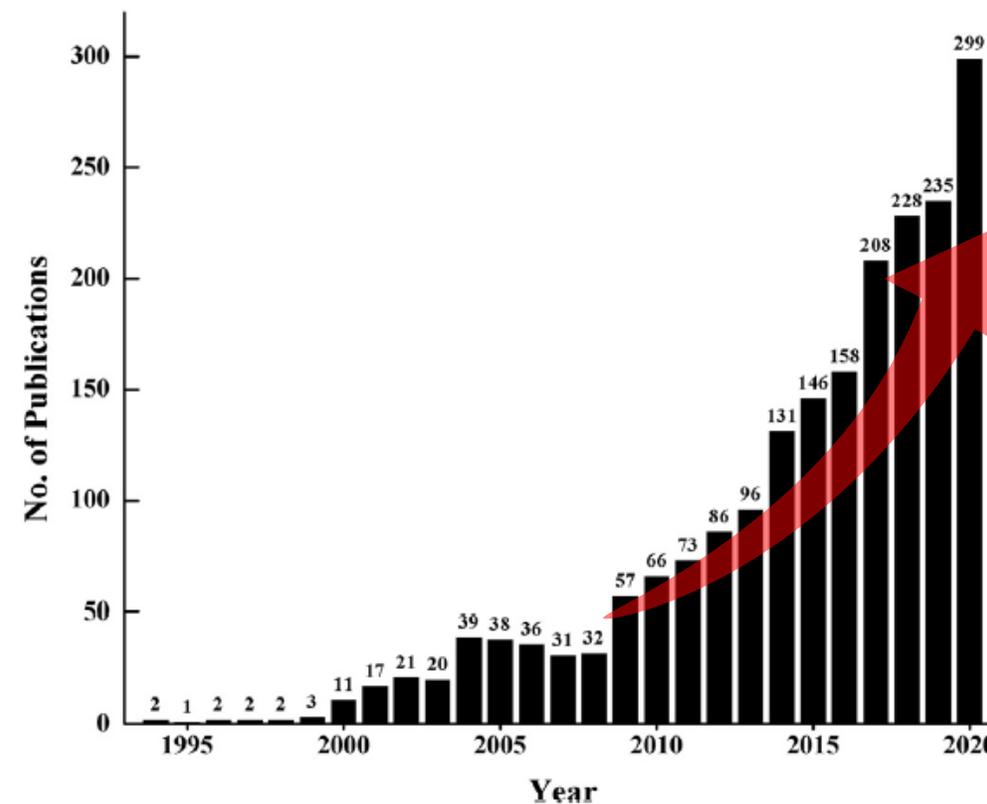


Fig. 1. Number of publications versus years (1994-2020) extracted from citation database of Scopus (Elsevier) retrieved using the keywords “dry reforming of methane” and limited to keywords “Synthesis Gas, Catalysts”.

Source : Journal of the Indian Chemical Society (2021)



CCUS 전주기 개념도





CO₂ 활용 기술의 경로

- ▶ **Mineralization** of CO₂ is the only CO₂U technology used for the building market
- ▶ **Catalytic conversion** of CO₂ is widely used for production of chemical intermediates, biofuels, and polymers
- ▶ **Fermentation** for CO₂ conversion is less well established. Two companies that are at scale, Lanzatech and NewLight Technologies, use CO and methane as the main carbon sources for their processes, respectively.
- ▶ **Photocatalytic and electrochemical** conversion technologies require more development and evidence of scalability.

Catalytic conversion technology and mineralization are the most well developed technologies.



Source : CO₂ Utilization Roadmap (2016)

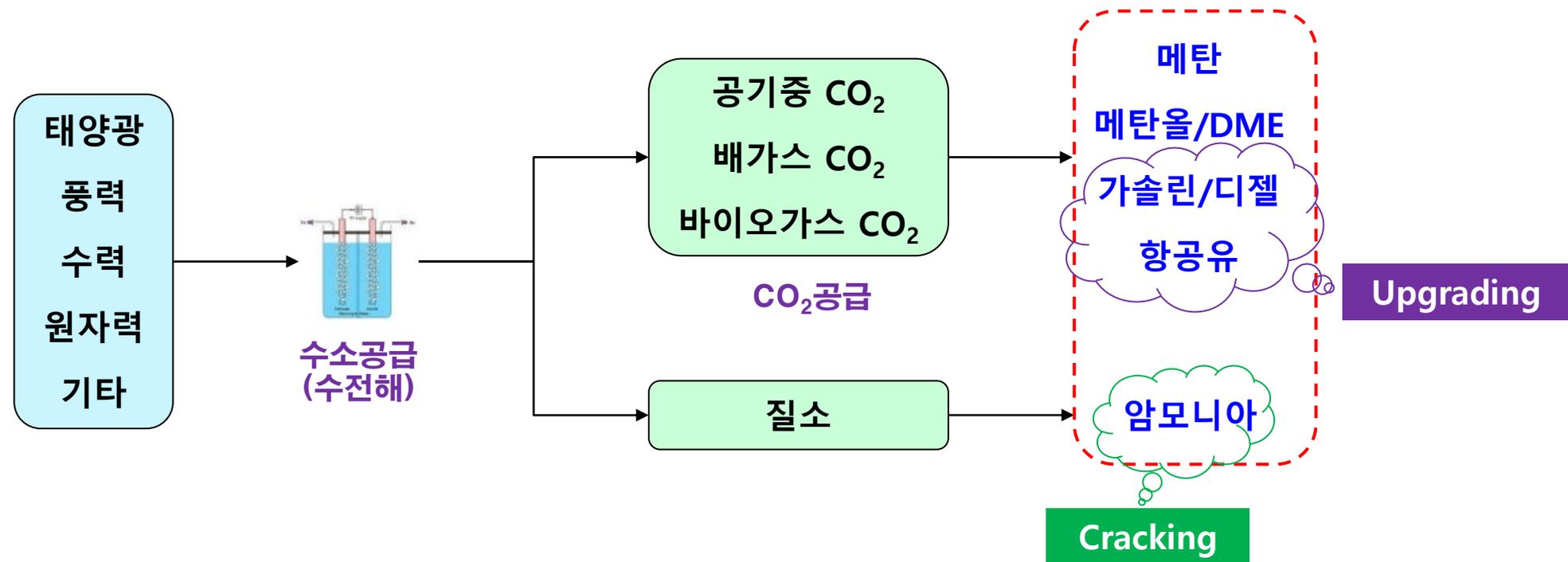


e-Fuel의 정의?

e-Fuel (or electro-fuel)은 전기 기반 연료(**electricity based fuel**)의 줄임 말로써, 물을 전기분해로 얻은 수소(H_2)에 이산화탄소(CO_2)나 질소(N_2) 등을 합성하여 만든 연료

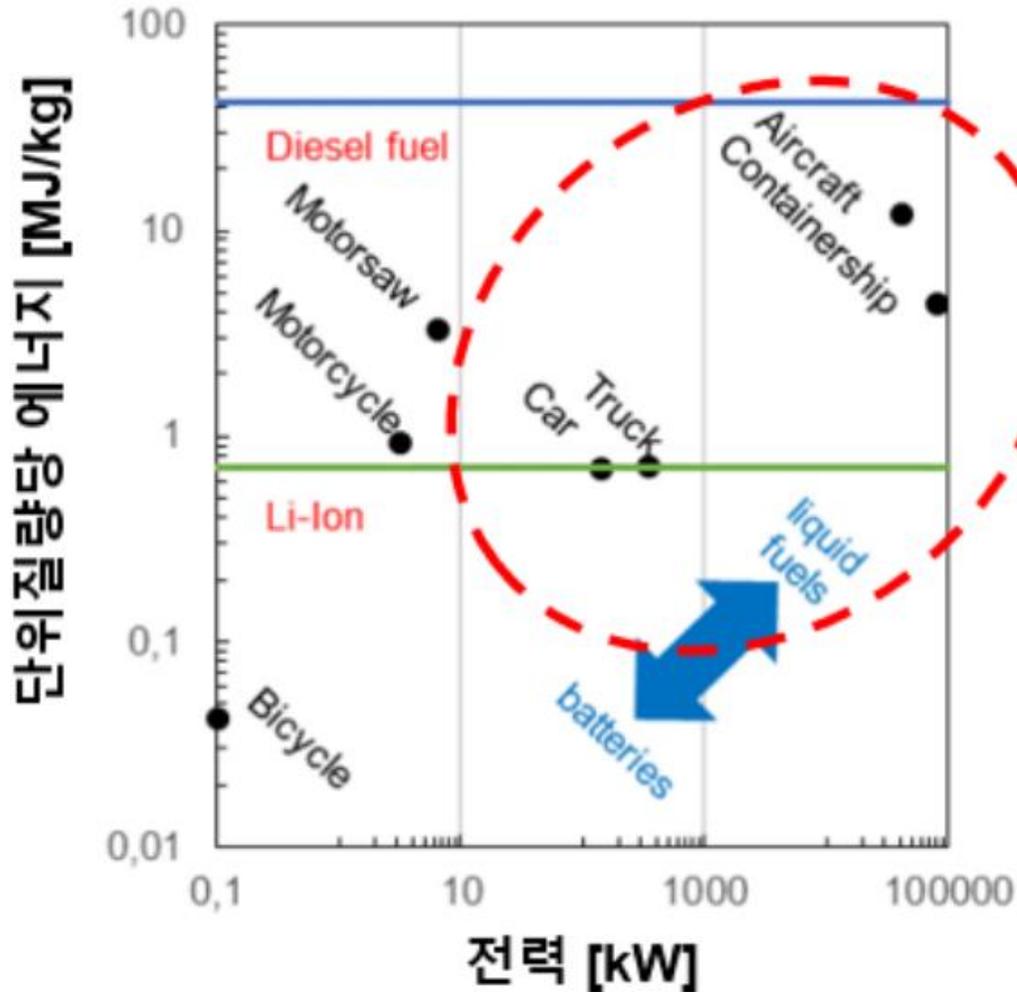
긍정 : 재생에너지로 생산할 경우 친환경적이면서도 내연기관에 그대로 적용 가능

부정 : 기존 내연기관을 탈피하지 못하며, 내연기관 자동차사들의 영향력에서 벗어나지 못함





e-Fuel의 필요성



❖ 배터리로 대체할 수 없는 높은 에너지밀도 요구

☞ 수송부문(항공기, 선박, 상용차), 건설기계 및 내연기관 차량(군용차, 특수차 등)에 고밀도 연료 필요

❖ 신재생에너지의 지역적 불균형 극복

☞ 낮은 에너지 자급률과 신재생에너지 자원이 부족한 우리나라의 경우, 에너지 밀도가 높은 e-Fuel (메탄올, 암모니아 등: 수소 대비 3~5배)을 수입할 경우 운송 및 저장에 유리



국제해사기구의 탄소중립 목표

IMO 국제 해운 탄소중립 목표

IMO, 7일 제 80차 해양환경보호위원회(MEPC) 회의서
온실가스 감축 전략(GHC) 개정안 채택



2030년

온실가스 2008년
총배출량 대비
최소 20% 감축
(30%까지 노력)

2040년

온실가스 2008년
총배출량 대비
최소 70% 감축
(80%까지 노력)

2050년경

국제 해운 부문
'넷제로' 달성
(탄소 순배출량 0)

* 의무 목표가 아닌 점검 차원의 지표

Source : 국제해사기구 (IMO)



친환경 선박 연료

; 액화천연가스(LNG), 압축천연가스(CNG), 액화석유가스(LPG), 메탄올, 수소, 암모니아
(단기적 - 저탄소 연료로 전환 중)

글로벌 컨테이너 선사의 선박 발주 및 대체연료 채택 현황(2023.4., Clarksons Research)

LPG, 바이오연료

선사	발주 선박(척)	LNG	메탄올	기타
1. MSC	75	63	0	12
2. MAERSK	19	0	19	0
3. CMA CGM	85	45	24	16
4. COSCO	15	0	9	6
5. Haapa-Lloyd	18	12	0	3

Source : 탈탄소화 국제해사 동향 (2023)



메탄올 연료 공급을 위한 MAERSK의 파트너십 현황

회사	연료	공급(연간)	회사 개요
1. CIMC ENRIC	Bio-methanol	5만 톤	<ul style="list-style-type: none"> 중국회사로서 2004년 설립된 중국 가스 에너지 및 제조 업체 2007년 CIMC 그룹이 인수하였으며, 2008년 LPG 및 LNG 시장 진입 2020년 노르웨이 Hexagon社와 4형식 수소 용기 개발에 착수
2. European Energy	e-methanol	30만 톤	<ul style="list-style-type: none"> 덴마크 회사로서 2004년 설립 2022년 3월 MAERSK社에 2025~26년 30만톤/년 e-메탄올 연료 공급 의향서 체결 덴마크 최대의 e-메탄올 시설 건립을 위해 정부자금(€53 million) 지원
3. GTB	Bio-methanol	5만 톤	<ul style="list-style-type: none"> 중국 과학기술부 지원으로 2016년 설립 주로 녹색, 저탄소, 순환 경제 및 지속가능한 개발 관련 솔루션 제공
4. Orsted	e-methanol	30만 톤	<ul style="list-style-type: none"> 덴마크 회사로서 2006년 설립한 글로벌 전력회사 미국 멕시코만 연안에서 30만톤/년 e-메탄올을 MAERSK의 추진 선박 12척에 공급
5. Proman	Bio & e-methanol	10만 톤	<ul style="list-style-type: none"> 세계에서 두 번째로 큰 메탄올 생산업체 트리니다드 토바고에 있는 세계 최대 독립형 메탄올 공장 중 하나인 M5000을 소유·운영하고 있으며 북미 최대의 메탄올 생산시설 소유
6. WasteFuel	Bio-methanol	3만 톤	<ul style="list-style-type: none"> 최신 기술을 활용하여 도시 쓰레기 및 농업 폐기물을 저탄소 연료, 재생가능한 천연 가스 및 그린 메탄올로 변환하는 사업을 중점 수행
7. Debo	Bio-methanol	20만 톤	<ul style="list-style-type: none"> 중국의 바이오 에너지 기업으로서 연료생산 및 유통 등을 중점 수행 발주된 12척의 친환경 컨테이너 선박용 친환경 메탄올을 공급하는데 협력할 예정
8. Carbon Sink	e-methanol	10만 톤	<ul style="list-style-type: none"> 낮은 비용으로 재생 전력을 사용해 포집된 이산화탄소를 그린 메탄올로 변환하고, 이를 기반으로 생활에 필요한 화학제품을 만들어 공급 특히, e-fuel 변환을 위한 공법 개발

Source : 탈탄소화 국제해사 동향 (2023)



각국의 친환경 항공유 의무화 관련 정책

각국 SAF 관련 정책

- | | | |
|---|---|--|
|  | 미국 2050년까지 항공 연료 수요 100% SAF로 대체 목표 | IRA 통해 갤런당 최대 1.75달러 세액공제 |
|  | 일본 2030년까지 항공사 연료 소비량의 10%를 SAF 대체 의무화 | 그린이노베이션 기금으로 자금 지원 |
|  | EU 2050년까지 항공사 연료 소비량의 70%를 SAF 대체 의무화 | 기술적 장벽 제거, 혁신기금 우선 제공 |
|  | 한국 SAF 관련 법률 미비 | 저탄소 항공 연료 관련 기술을 조세특례
제한법상 신성장·원천기술로 지정
(투자세액공제율 3%) |

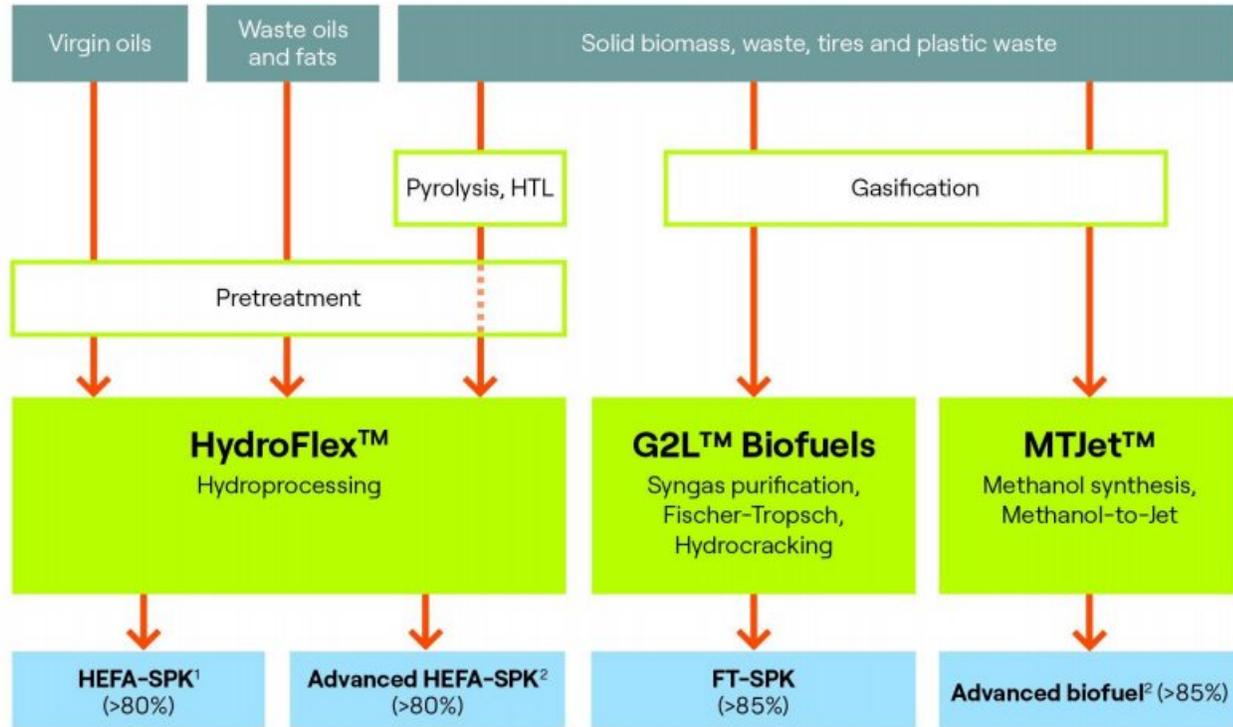




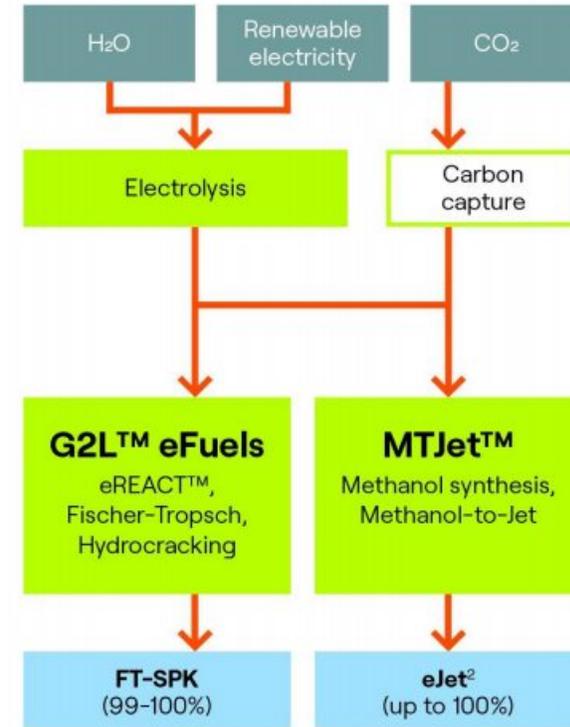
항공유 제조 경로



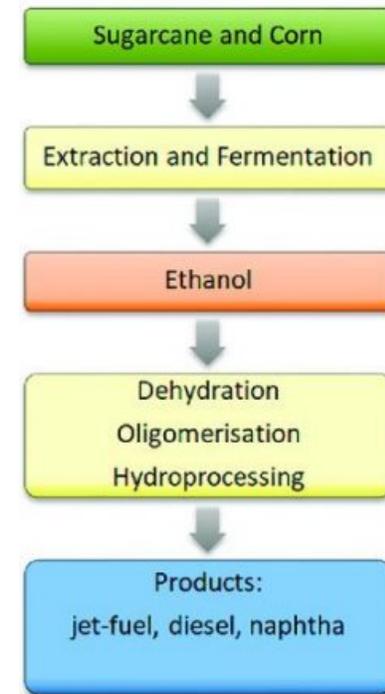
RENEWABLE FUELS



eFUELS



ATJ-SPK

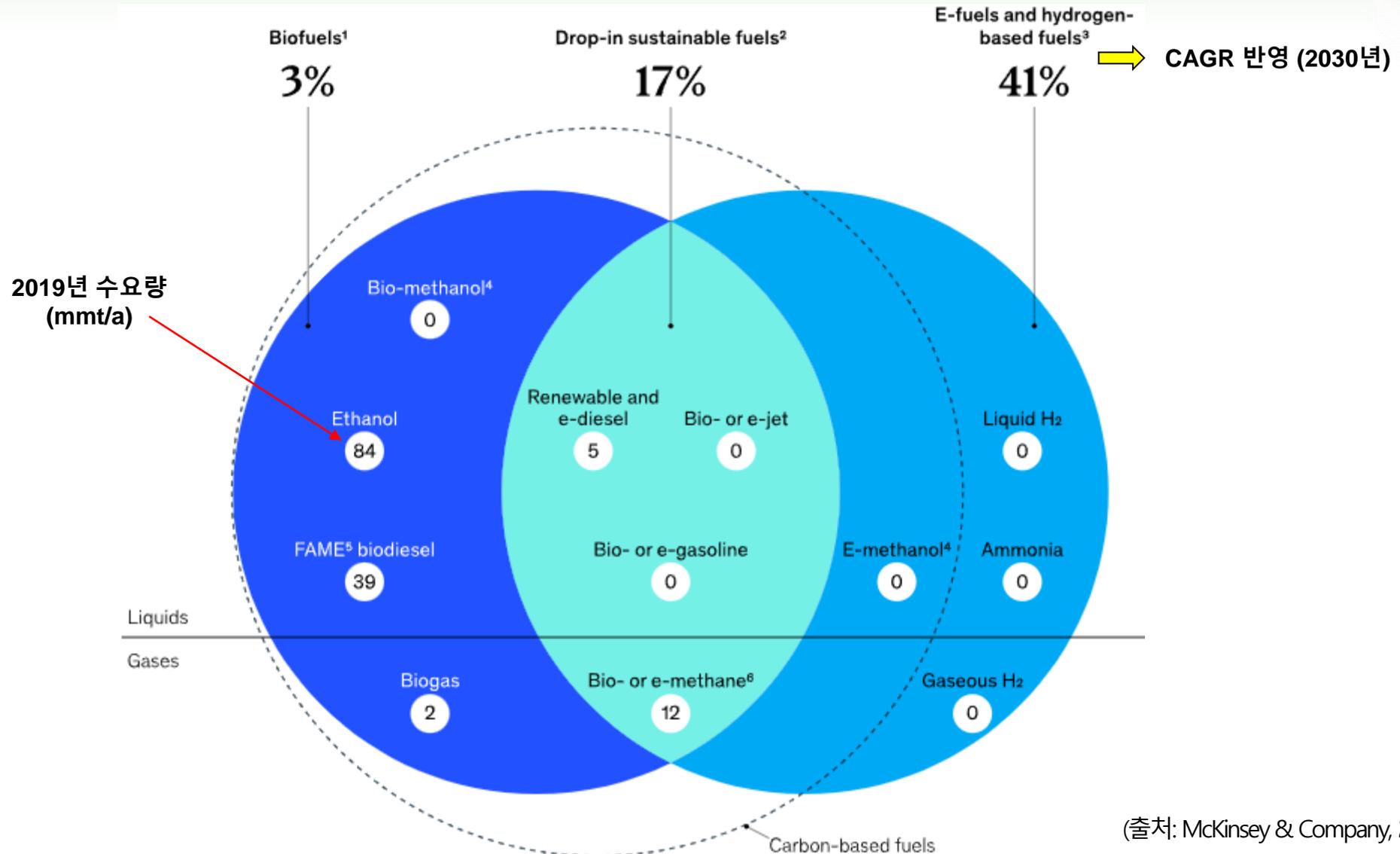


● Feed ○ Process ● Process (Topsoe) ● Product (GHG emissions savings)

1. From waste oils and fats. 2. Not approved ASTM pathways yet



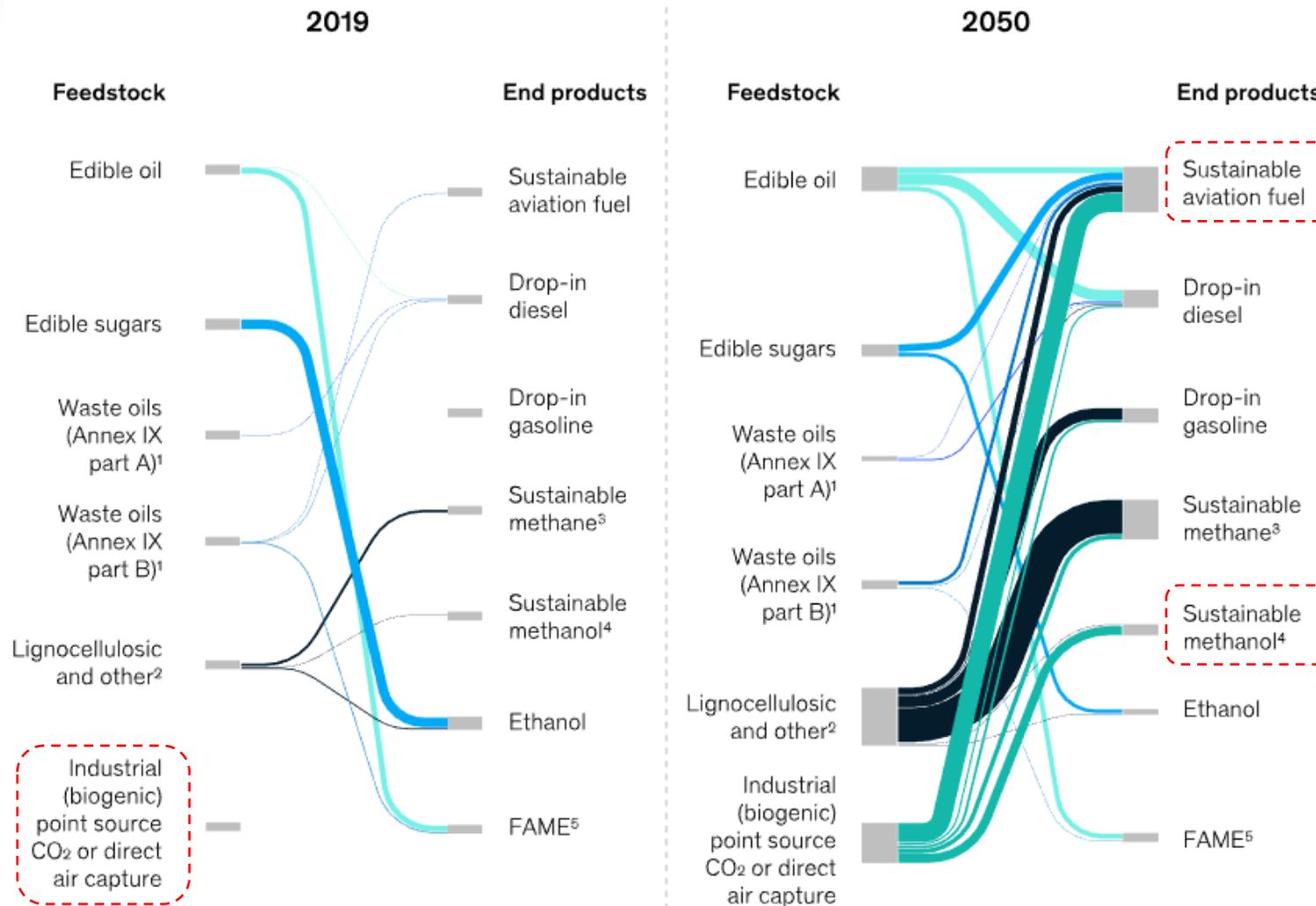
지속가능 연료의 시장 현황



(출처: McKinsey & Company, 2023)



2050년 지속가능 연료의 생산



(출처: McKinsey & Company, 2023)



국외 그린수소 실증프로젝트

Country	Name of project	Announced electrolysis capacity (GW)	Start year	End year	Total funds (billion KRW)
Europe (Spain, France, Germany)	Hydeal ambition	67	2020	2030	-
Kazakhstan	Kazakhstan green hydrogen project	20	-	2030	65,000
Oman	Al Wusta green H2 project	11.4	2028	2038	390,000
Mauritania	AMAN project	10	2021	2030	520,000
Mauritania	Project Nour	10	2022	2030	45,500
Australia	Desert Bloom	10	2022	2027	130,000
Spain	HyDeal Espana	7.4	2021	2030	-
Netherlands	NorthH2	6.4	2020	2040	-
Denmark	Hydrogen island	6.4	2022	2030	-
France	H2V	3	2016	2030	34,000

(출처: JHNE, 2024)



국내 그린수소 실증프로젝트

Country	Specific location	Name of project	Electrolysis type				Total electrolysis capacity (MW)	Start year	End year	Total funds (billion KRW)
			AWE	PEMWE	SOEC	AEMWE				
Korea	Haengwon, <u>Jeju-do</u>	Development and demonstration of hydrogen (600 kg) and battery (2 MWh) storage system technology using renewable energy-linked green hydrogen production technology	O	O	-	-	3.3	2020	2023	205
	Yeonggwang, Jeollanam-do	Development of performance evaluation and operation technology of green hydrogen production system	O	O	-	-	2.2	2021	2024	227
	Dongbok, <u>Jeju-do</u>	Development of large scale green hydrogen demonstration technology connected with 12.5 MW renewable energy	O	O	O	O	12.5	2022	2026	622
	Buan, Jeollabuk-do	Hydrogen production facility construction project based on water electrolysis	-	O	-	-	2.5	2022	2025	119
	Pyeongchang, Gangwon-do		-	O	-	-	2.5	2022	2025	121
	Donghae, Gangwon-do		-	O	-	-	2.5	2023	2026	128
	Boryeong, Chungcheongnam-do		-				2.5	2023	2026	116

(출처: JHNE, 2024)



제주, 그린수소 글로벌 허브

- 10MW급 이상 대규모 그린수소 실증사업 (30MW 추진 중)
- 수전해 시스템 4종 모두로 수소생산 적용
- 가동률 60% 기준, 연간 1176톤 규모의 수소생산

청소차 200여대
시내·외 버스 300여대



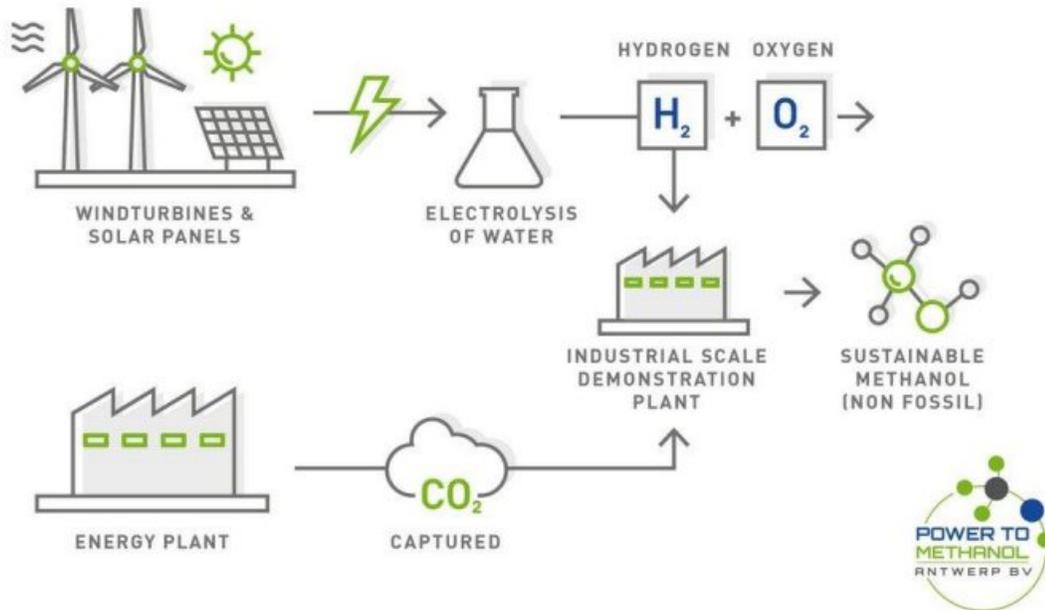
(출처: 제주 그린수소 생산 실증단지, 2022)



The Power to Methanol project in Antwerp, INOVYN Lillo, Belgium

Following the initial Joint Development phase, a consortium was established at the beginning of 2020 to facilitate the construction of the Power to Methanol demonstration plant by 2022.

Methanol : 8,000tpa
(수전해 수소 + 포집 CO₂)

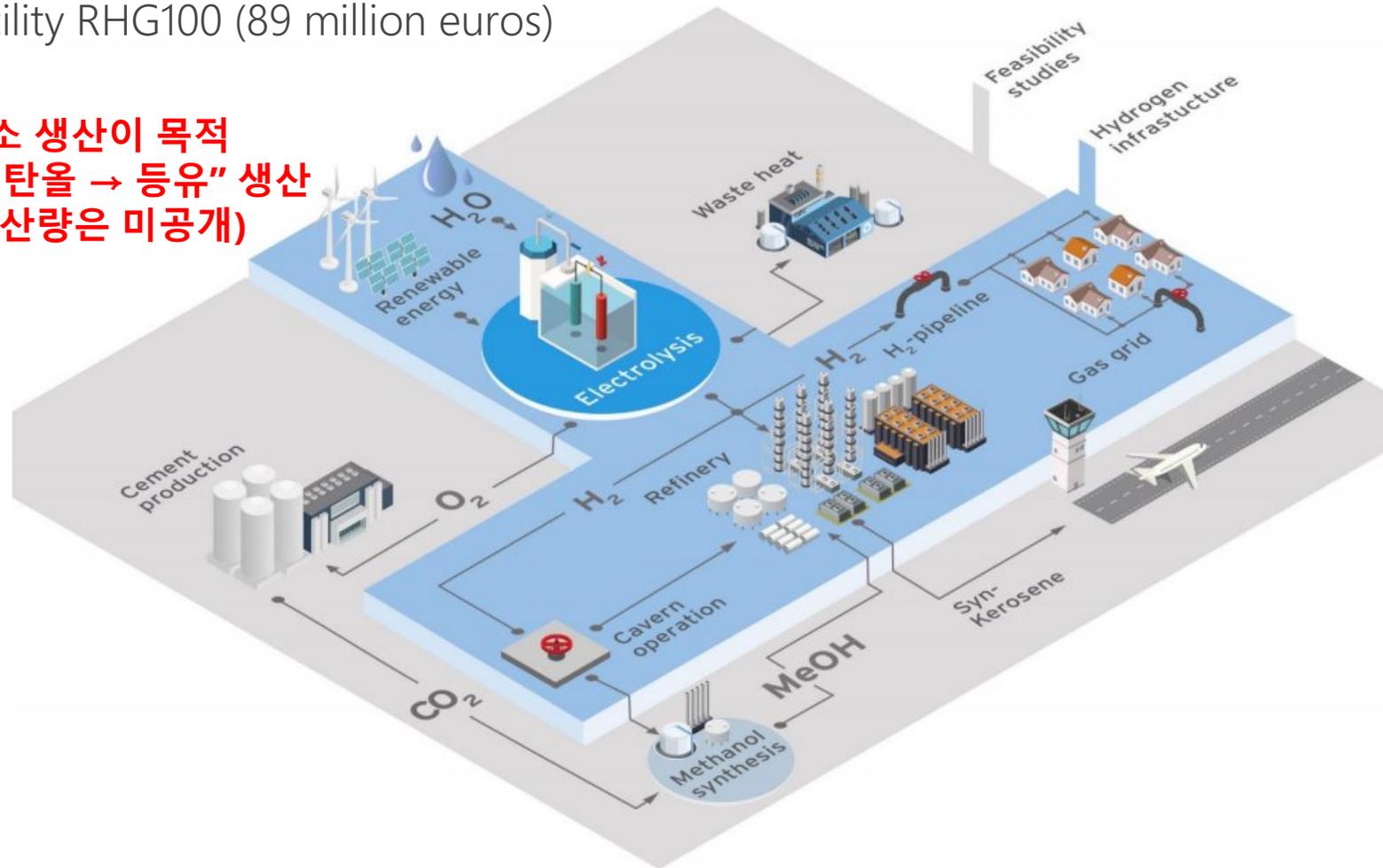




WESTKÜSTE100 project, ~2025, Germany

Concept and test-run of a **30-MW electrolysis** facility RHG100 (89 million euros)

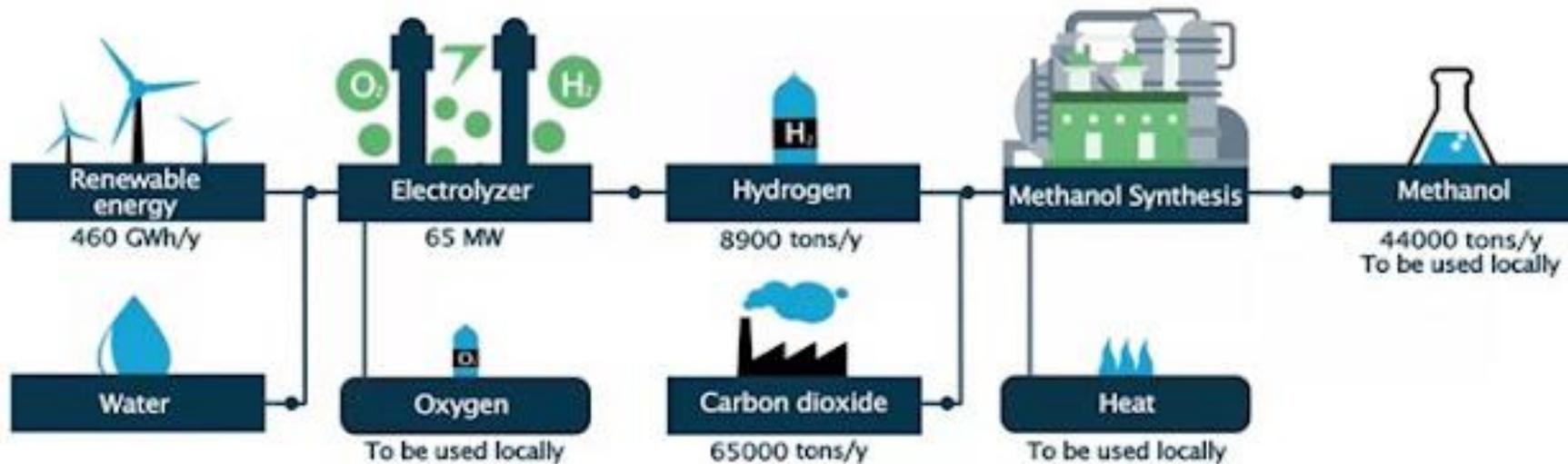
수소 생산이 목적
“메탄올 → 등유” 생산
(생산량은 미공개)





North-C-Methanol, Belgium

- A gradual increase of the Methanol capacity from 65 MW in 2024 to 600 MW in 2030
- **Methanol : 44,000t/y**
- a gradual increase of the North-C-Methanol capacity from 65 MW in 2024 to 600 MW in 2030





Mitsui-Celanese, Texas site (2024)

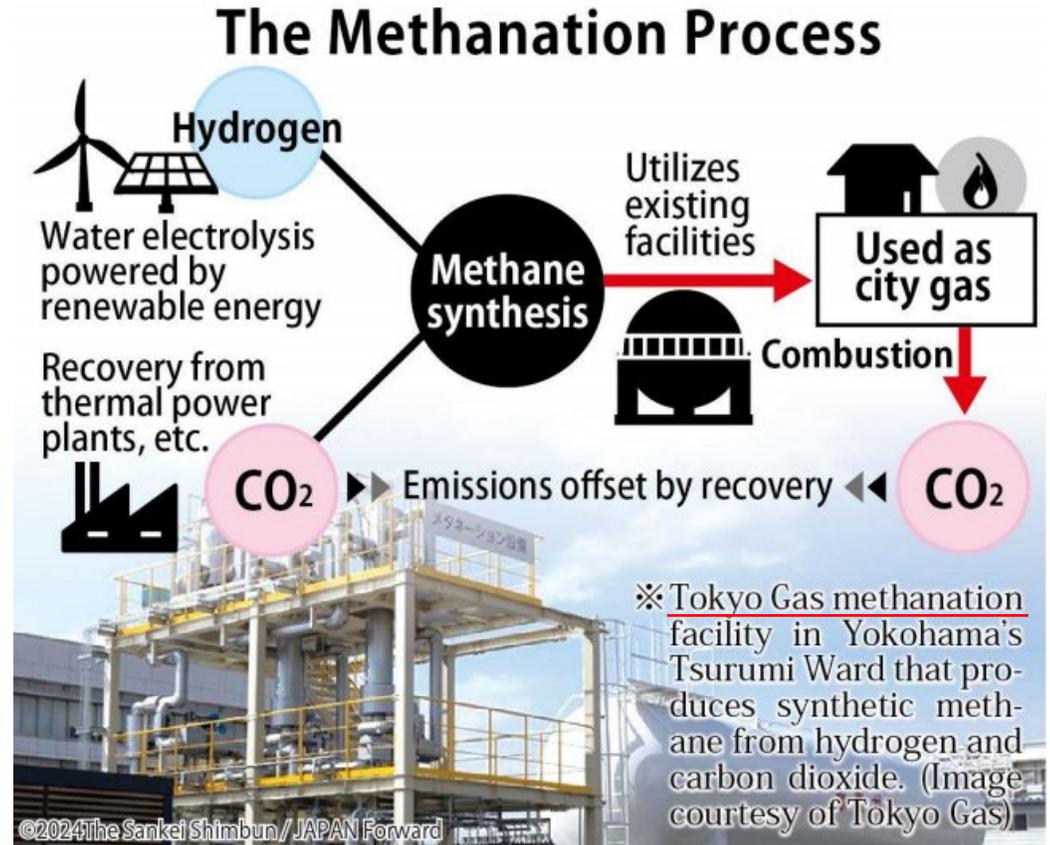
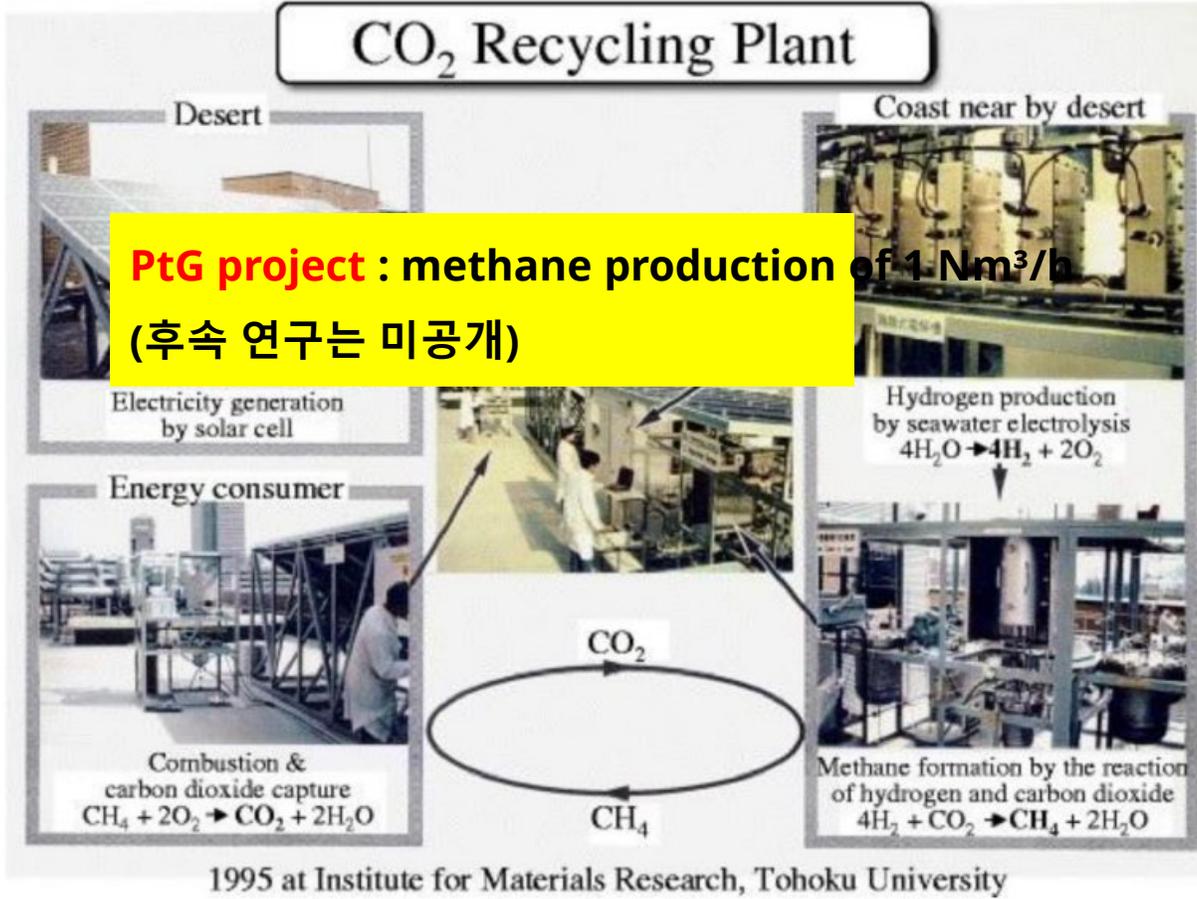
- expected to capture 180,000 metric tons of CO₂
- produce **130,000 metric tons** of low-carbon **methanol** per year

Celanese : acetic acid, vinyl acetate monomer (VAM) 등 제조 기업





Prototype CO₂ recycling plant



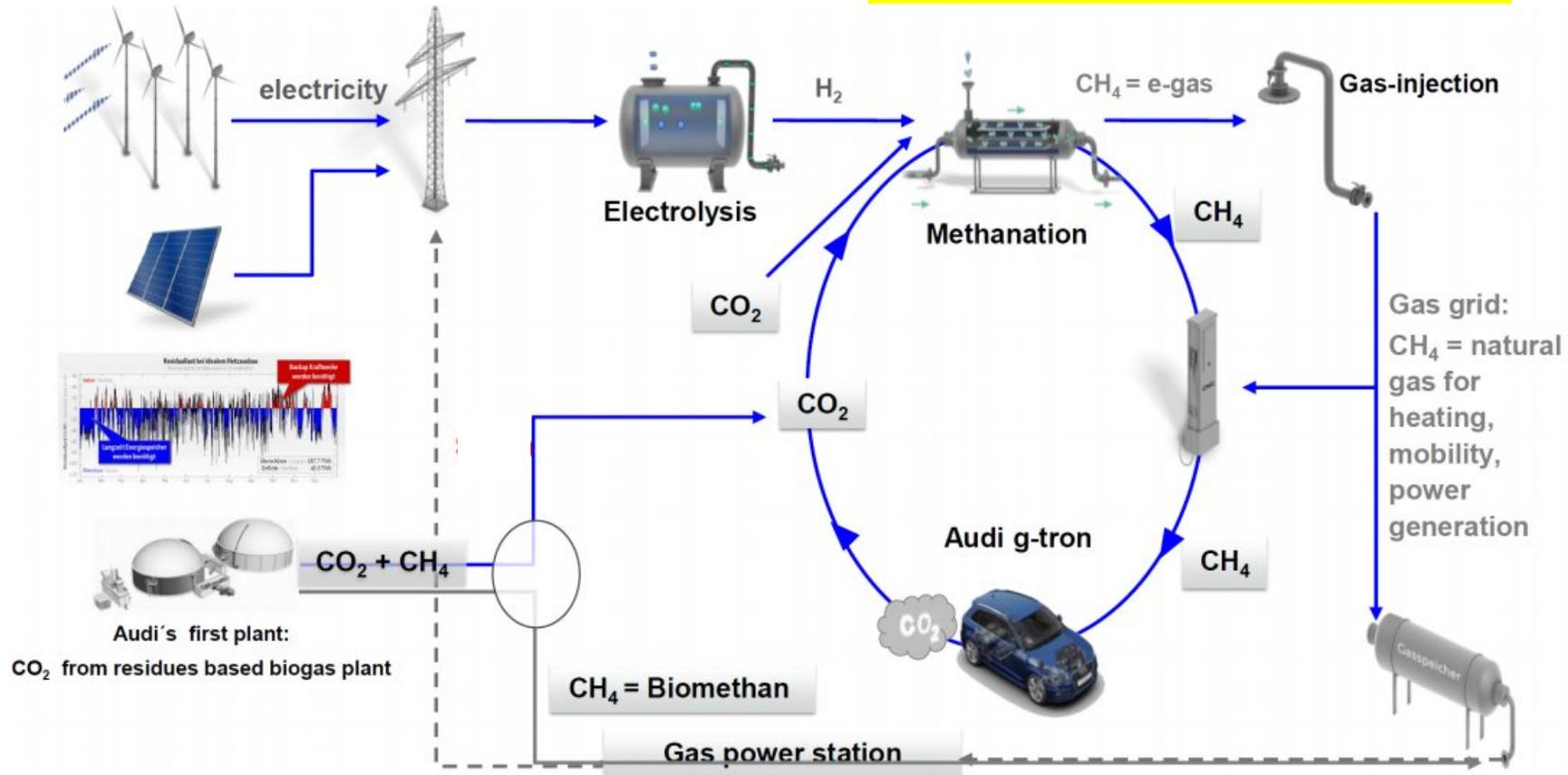
Status: unknown, plants built in 1995 and 2003
 The capacity for hydrogen production is 4 Nm³/h and for methane production 1 Nm³/h
 Project partners: Tohoku University, Tohoku Institute of Technology



E-gas Project (Audie, Germany)

6 MWe Wind
(Alkaline + Chemical methanation)

Power input electrolyzers : 3×2 MW
Max. H₂ output : 1,300 Nm³/h
CH₄ : 2,500 t/y





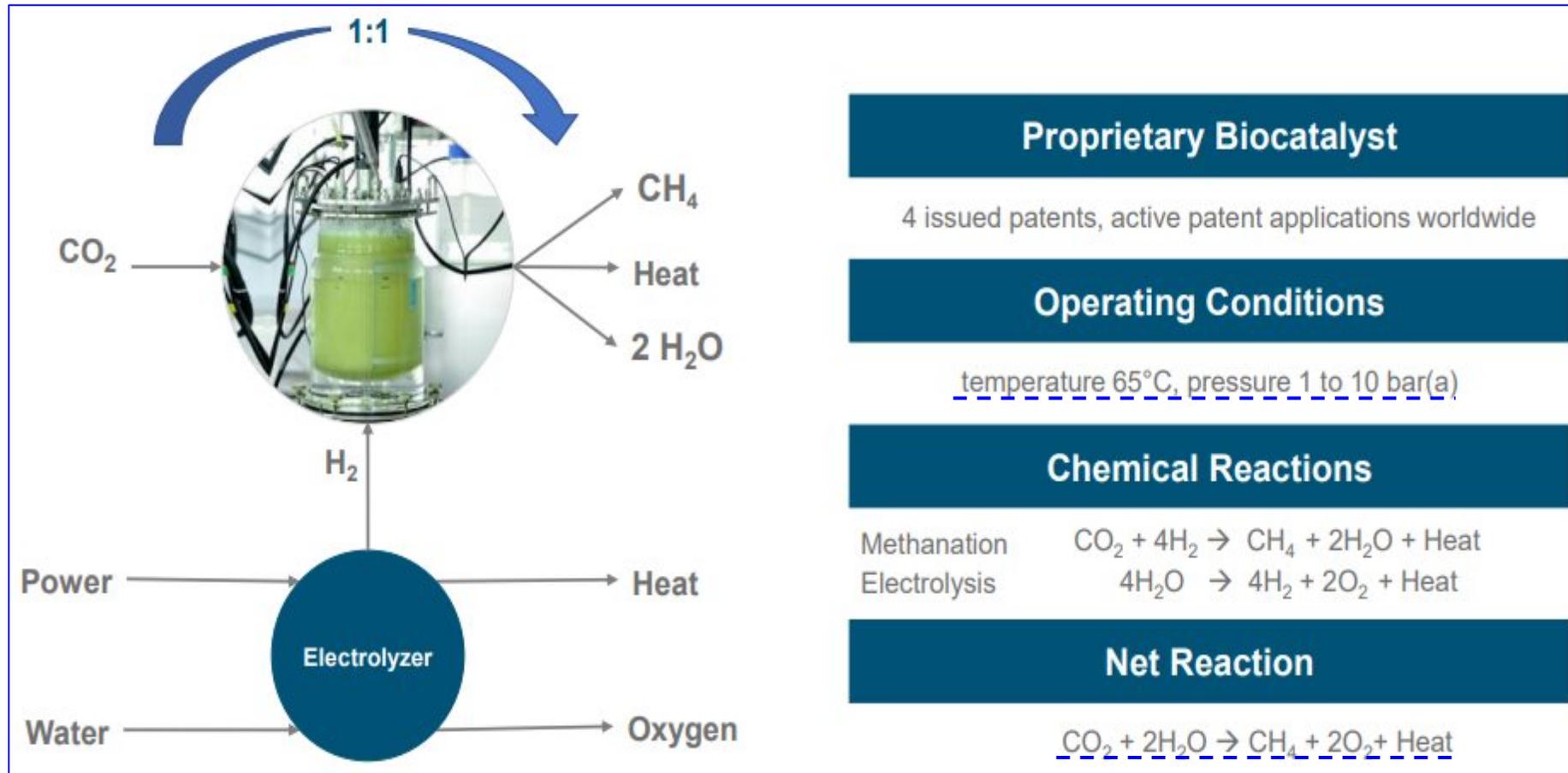
BioCat project (Electrochaea, Denmark)

1 MWe commercial scale operation commissioned in 2016

1 MWe plant erected in 2017-2018

10 MWe study for Hungary

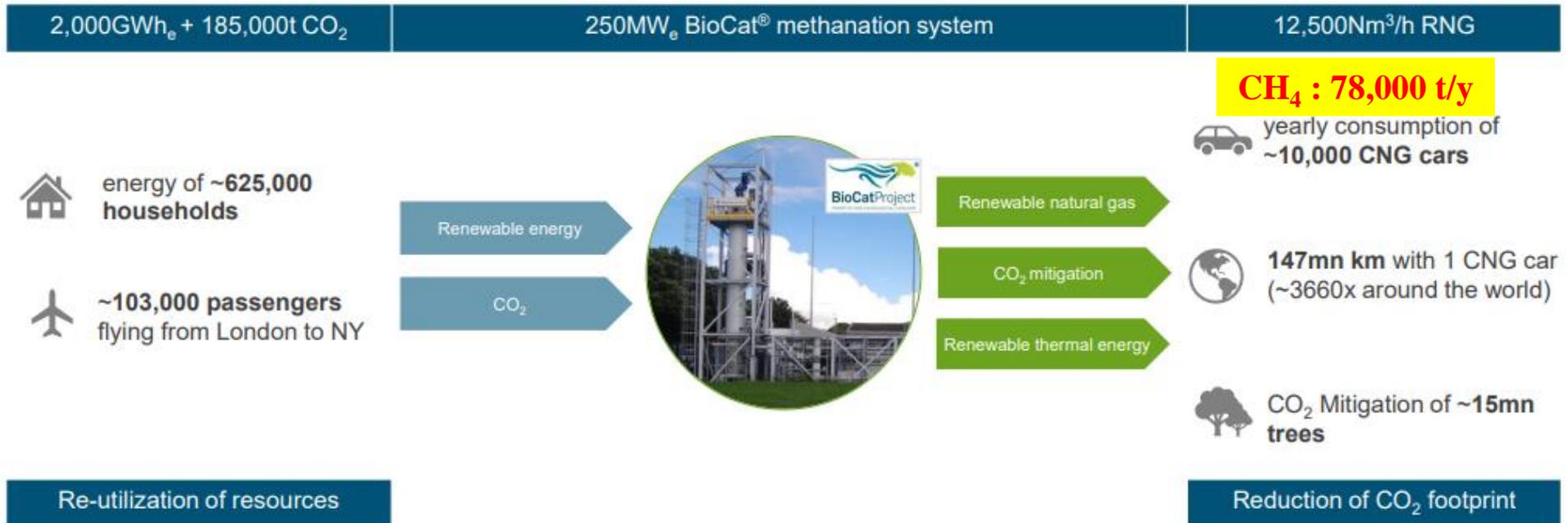
(Alkaline + Biological methanation)





BioCat project (Electrochaea, Denmark)

Impact of a 250 MW biomethanation plant



*assumptions:

- Heat and electricity for one year 3,200 kWh in a household with 4 person in Germany (2013)
- Consumption average CNG car: 4.5kg CNG/100km, yearly distance: 15,000km/year
- 8,000 h/a of operation, electrolysis included
- One beech binds 12,5 kg CO₂ /year
- CO₂ emissions calculator www.atmosfair.de



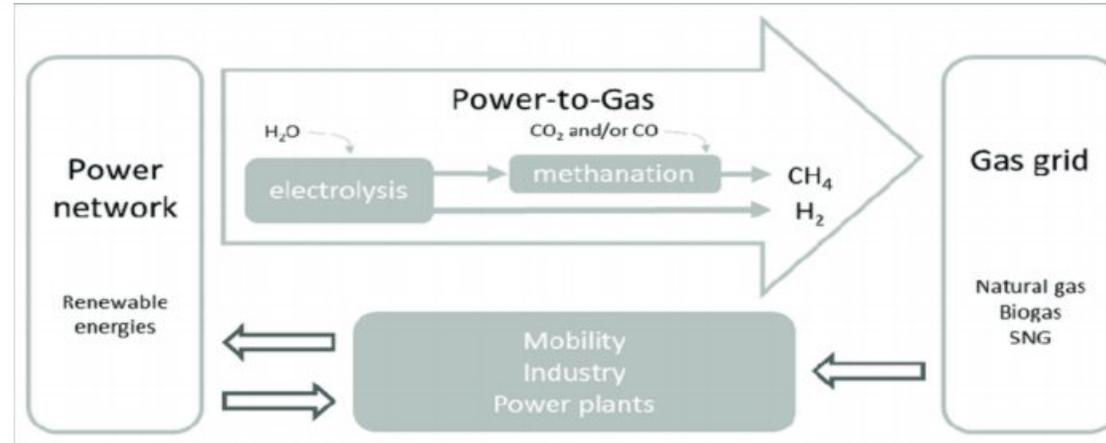
e-Fuel 프로젝트 현황

탄소중립 대응을 위해 선박과 항공 분야의 연료에 관심

Location	Year	Institute or Company	Type of Fuel	Plant size	Current status
Svartsengi, Iceland	2015	Carbon Recycling International	Methanol	4,000 t/y	Operating
Anyang, China	2022	Carbon Recycling International	Methanol	110,000 t/y	Under construction
Jiangsu, China	2022	Carbon Recycling International	Methanol	100,000 t/y	Operating
Herøya, Norway	2024	Nordic Electrofuel	Jet fuel	10M L/y	Announced
Patagonia, Chile	2026	Siemens Energy, Porsche AG	Gasoline	550M L/y	Under construction
Herøya, Norway	2026	Norsk e-Fuel	Renewable fuel	100M L/y	Announced



CO2 활용 메탄화공정 개발 - PtG 1단계 완료



<p>Equipment 상세설계완료/제작</p>	<p>철골구조해석</p>	<p>철골 설계 완료/제작</p>	<p>파일럿 플랜트 구축중(12/31현재)</p>	<p>고압가스 공급설비 구축</p>	<p>플레어스택 구축 완료(~12/21)</p>
<p>주요 Equipment 3D 모델링</p>			<p>배관경로 확정용 3D 모델링</p>		



결론

- **주요 산업의 에너지 전환 대응**
 - 탄소배출량의 약 37%를 차지하는 철강, 석유화학, 시멘트 산업
 - 신재생에너지 전환을 위한 투자와 연계 필요
- **CCU 상용화를 위한 대규모 프로젝트 지원**
 - 과기부의 "CCU 메가프로젝트" 추진 중
 - 지속적인 제품 생산으로 탄소중립을 위한 CCU 기술의 가능성 확보
- **CCU 제품의 사업화 지원**
 - 정책적 지원

Thank you for your attention!

(shkang@iae.re.kr)

