탄소중립을 위한 신에너지 기술

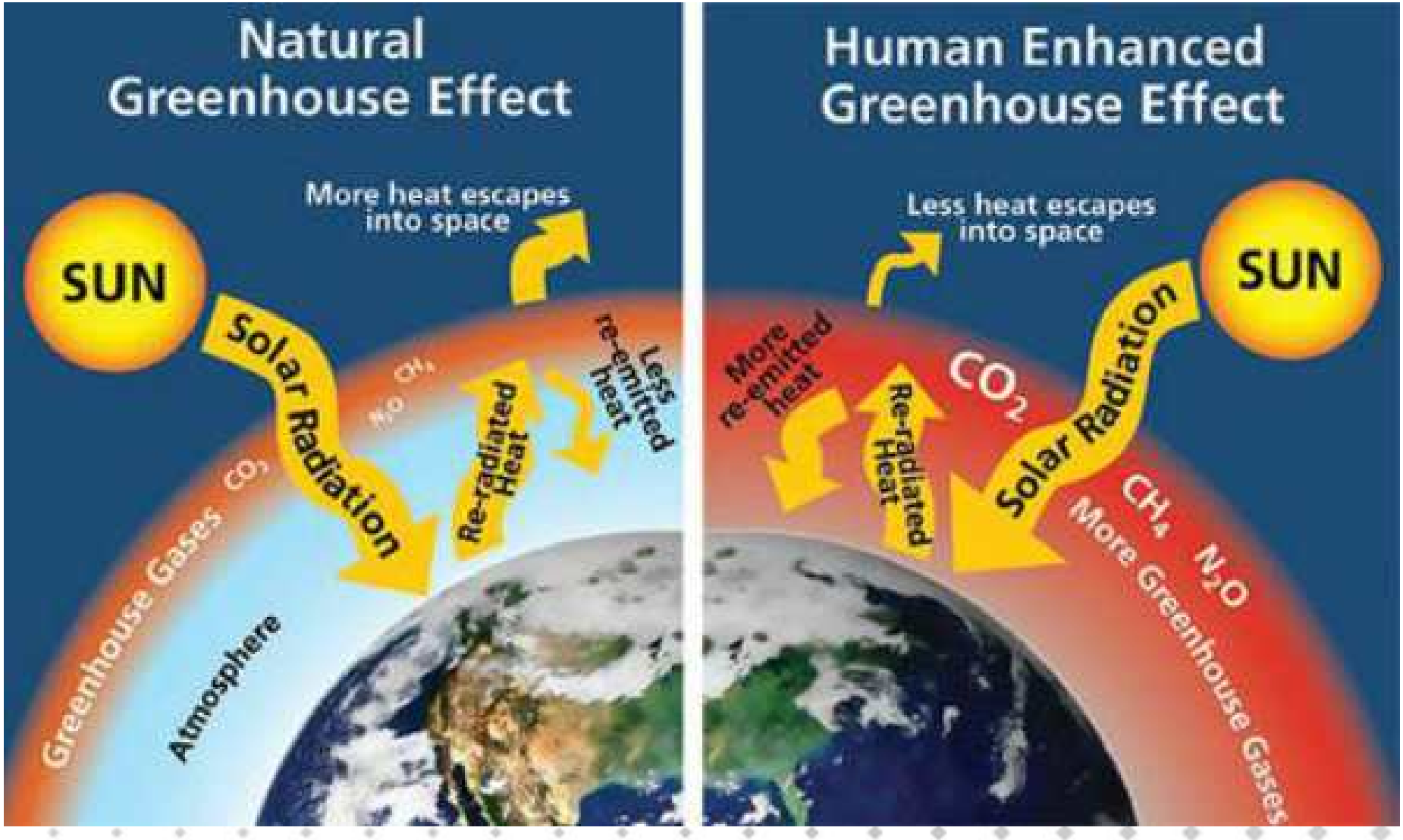
2025. 05. 26.

최인수 교수 (강원대학교 그린에너지공학과)

환경부 강원도 GANGWON PROVINCE 삼척시 SAMCHEOK CITY KNU 강원대학교

온실가스 배출과 지구온난화

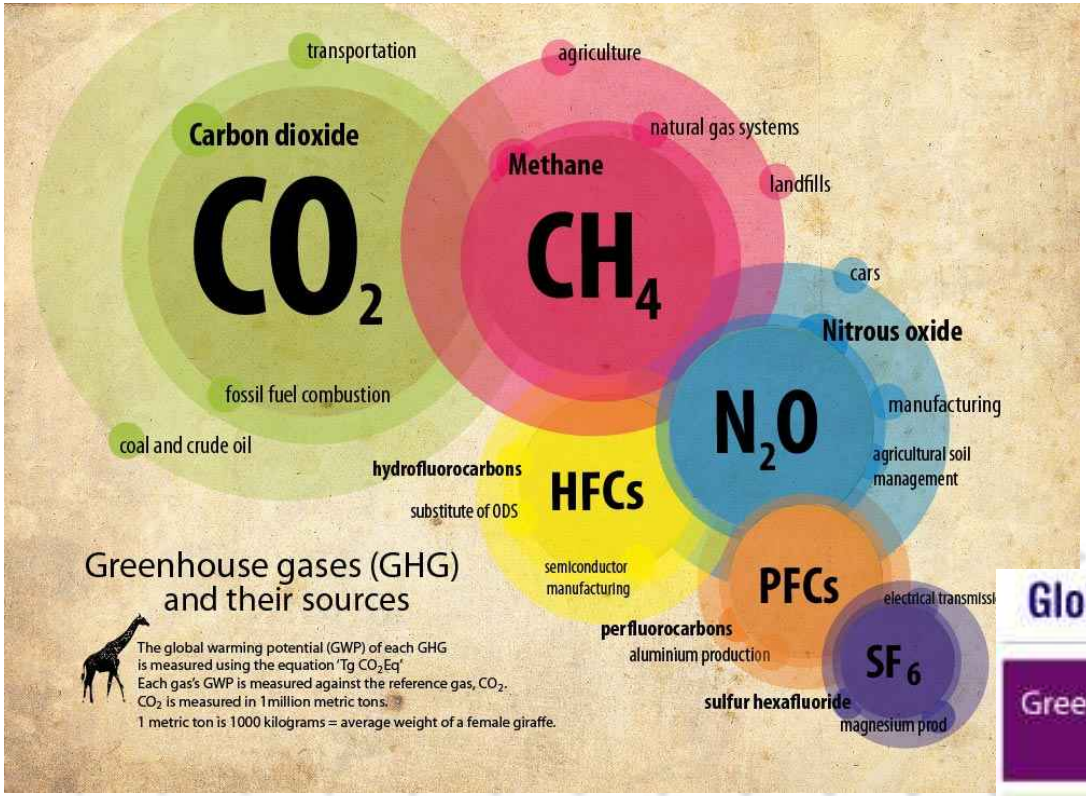
✓ 온실효과(Greenhouse effect)와 지구온난화(Global warming)



❖ 온실효과는 필수 불가결한 현상, 지구온난화는 온실효과의 가속화 현상

온실가스 배출과 지구온난화

✓ 온실가스와 지구온난화 지수(Global Warming Potential, GWP)



❖ 6대 온실가스: 이산화탄소(CO_2), 메탄(CH_4), 산화질소(N_xO), 수소불화탄소(HFC), 과불화탄소(PFC), 육불화황(SF_6)

❖ 이산화탄소는 상대적으로 낮은 GWP에도 불구하고 많은 배출량으로 온실효과에 기여

Global Warming Potential of Primary Greenhouse Gases

Greenhouse Gas	Chemical formula	Global Warming Potential [Time Horizon] 20 years	100 years
Carbon Dioxide	CO_2	1	1
Methane	CH_4	42-70	16-26
Nitrous Oxide	N_2O	280	310
Hydrofluorocarbons	HFCs	460 - 9,100	140-11,700
Perfluorocarbon	PFCs	4,400-6,200	6,500-23,900
Sulphur Hexafluoride	SF_6	16,300	23,900

온실가스 배출과 지구온난화

✓ 탄소배출

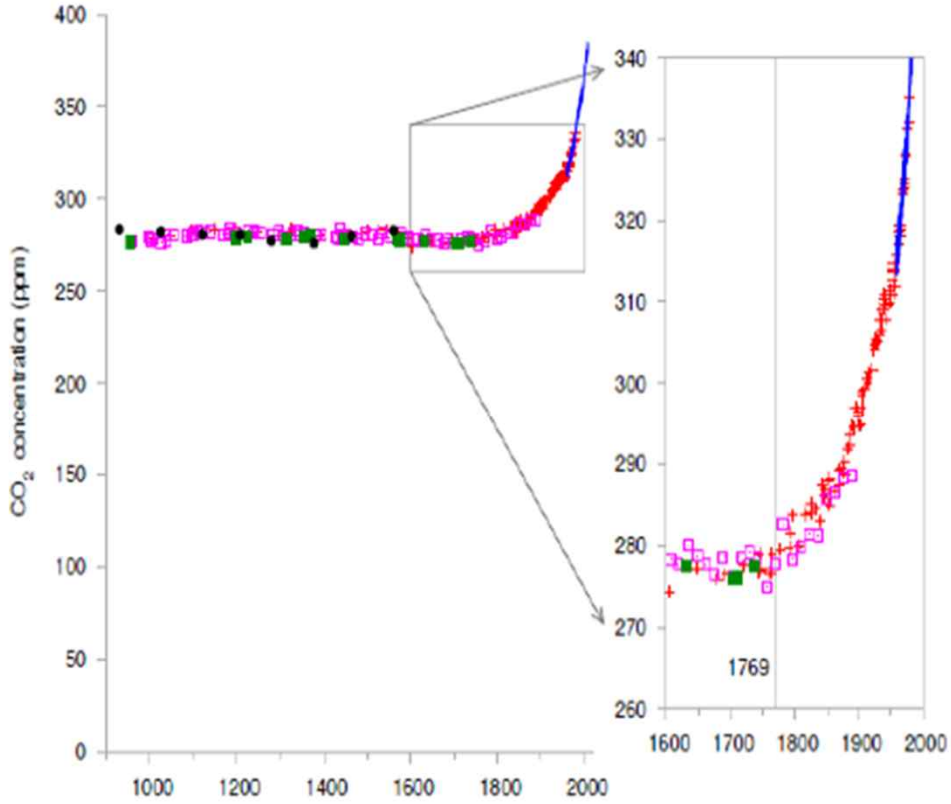
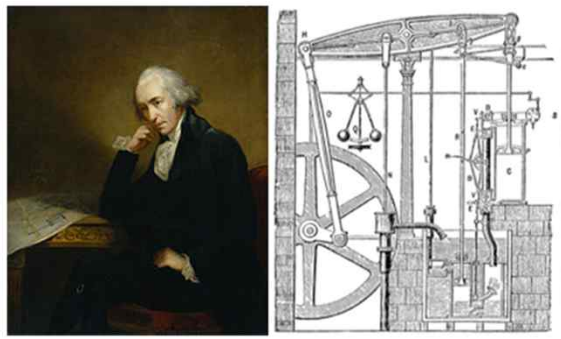


Figure 1.4. Carbon dioxide (CO_2) concentrations (in parts per million) for the last 1100 years, measured from air trapped in ice cores (up to 1977) and directly in Hawaii (from 1958 onwards).

I think something new may have happened between 1800 AD and 2000 AD. I've marked the year 1769, in which James Watt patented his steam engine. (The first practical steam engine was invented 70 years earlier in 1698, but Watt's was much more efficient.)



❖ 이산화탄소는 온실효과를 일으킨다.

❖ 인간이 이산화탄소를 배출하면 대기중의 이산화탄소 양이 늘어날 것이다.

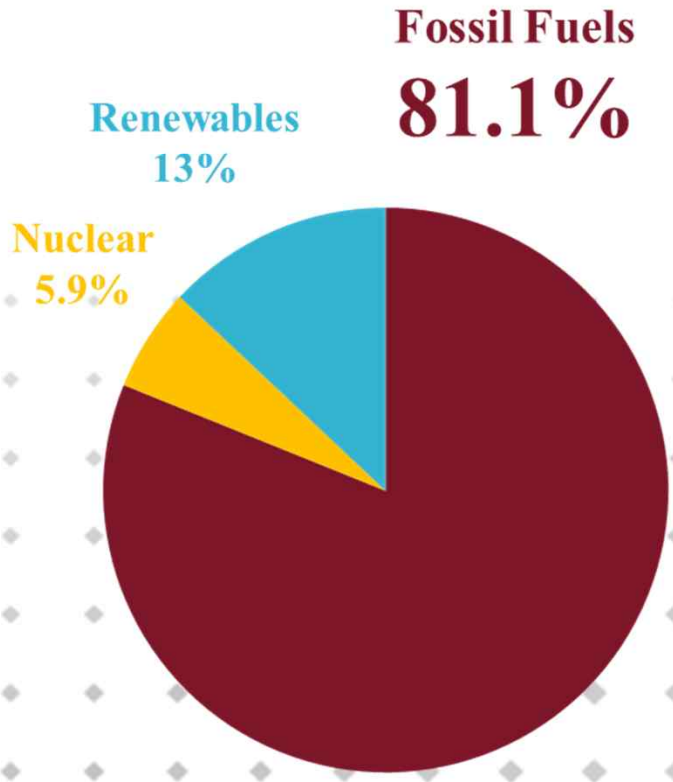
❖ 따라서 온실효과가 강해지고 그만큼 지구 기온이 높아질 것이다.

온실가스 배출과 지구온난화

✓ 우리는 아직 화석연료에 목마르다...

Today

- Fossil fuels
  (coal, gas and oil)
  represent **80%**
  of the global energy mix
- Renewables
  only account for 13%
  of our total energy supply



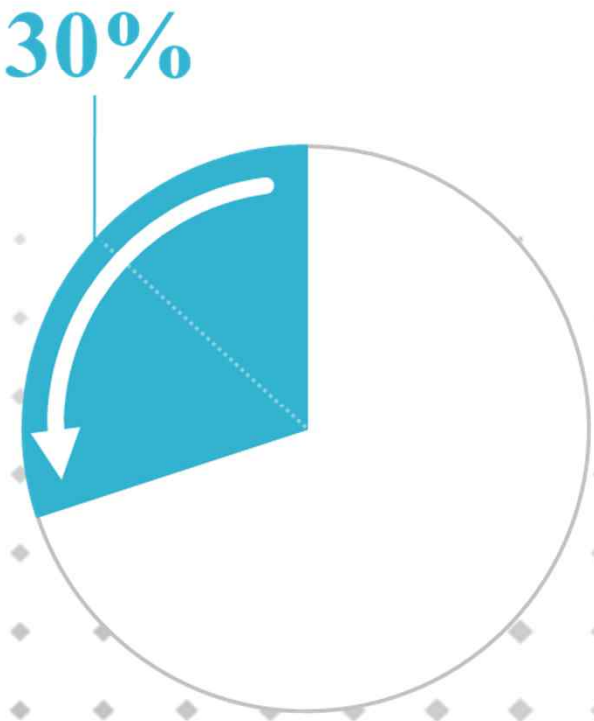
온실가스 배출과 지구온난화

✓ 재생에너지는...?

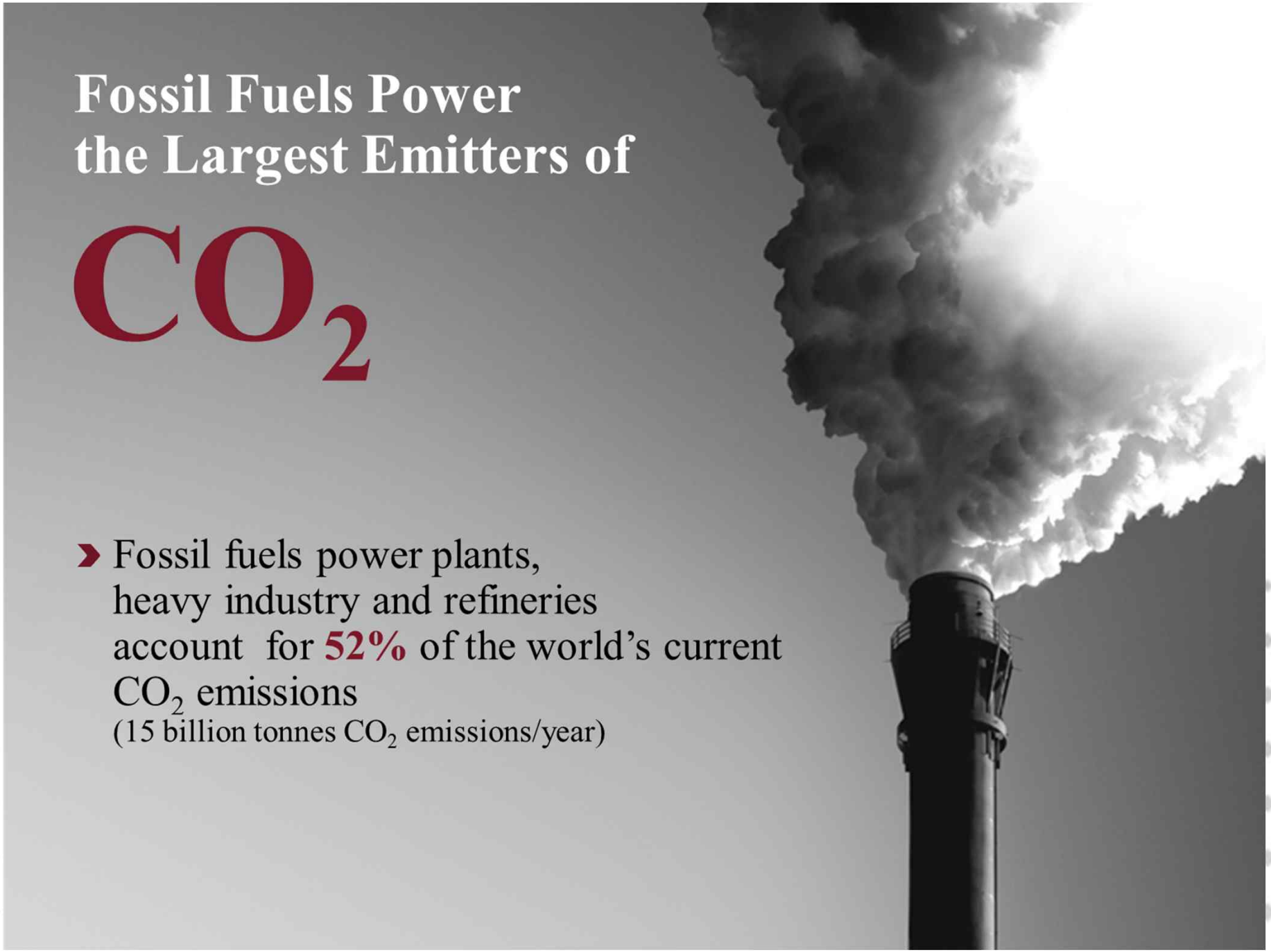
By 2030

But fossil fuels will remain our main source of energy for decades to come

Estimated share of renewables by 2030



온실가스 배출과 지구온난화



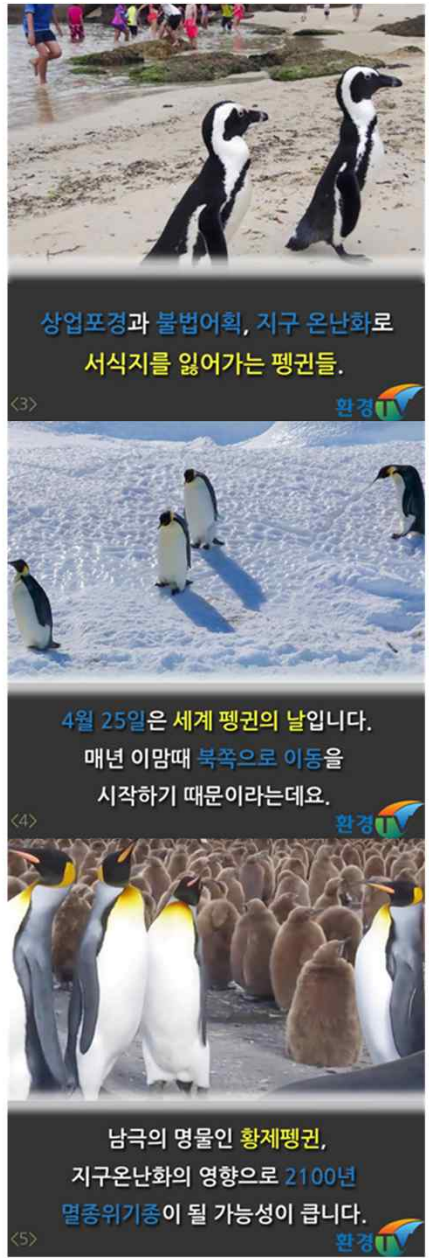
온실가스 배출과 지구온난화



온실가스 배출과 지구온난화

✓ 펭귄도 힘들다







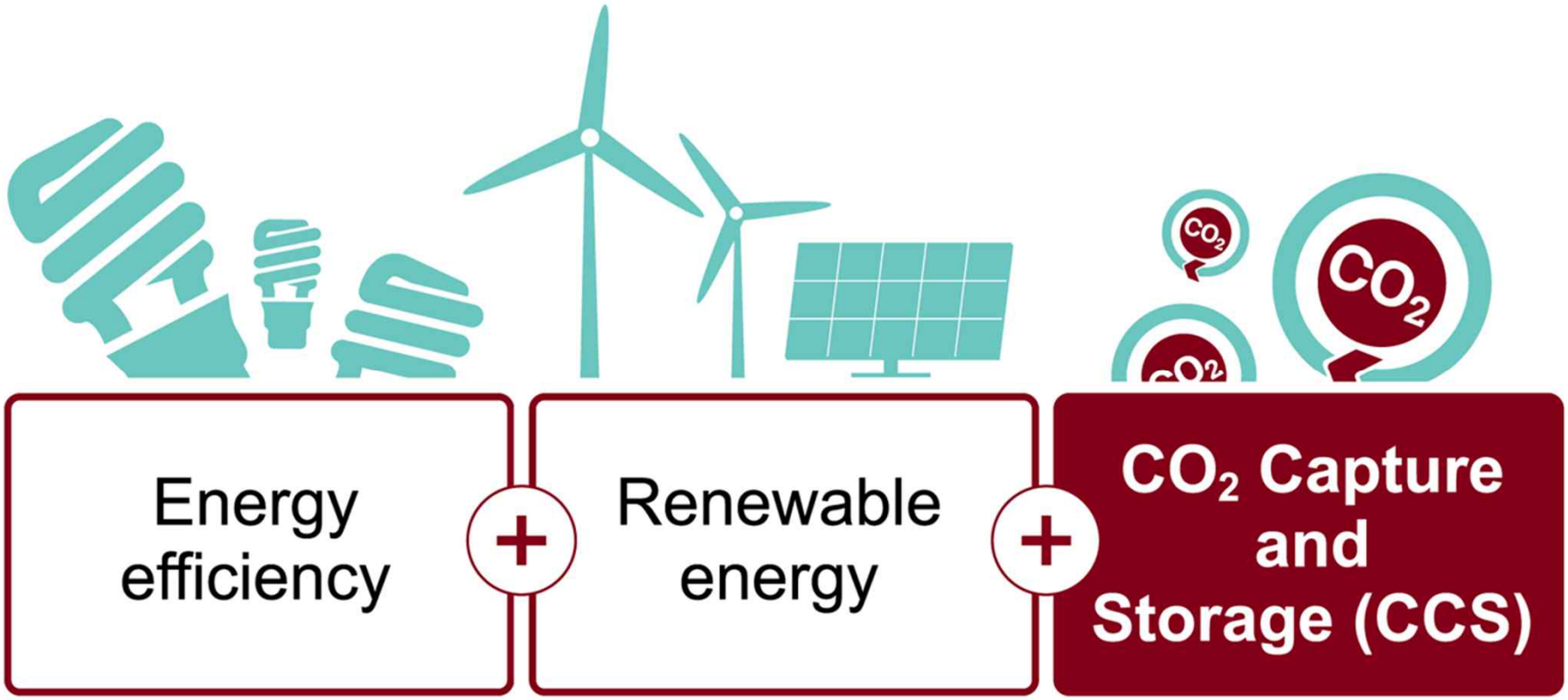
✓ 북극곰은 더 힘들다...



온실가스 배출과 지구온난화에 대한 우리의 대응은?

How do we Meet this Challenge?

By using a portfolio of solutions:



2050 탄소중립 비전

장기 저탄소 발전전략

(LEDS, Long-term low greenhouse gas Emission Development Strategy)

2050 대한민국 비전

- 우리나라는 장기저탄소발전전략으로서 2050년 탄소중립을 목표로 나아갈 것이다.
- 이를 위해 한국판 뉴딜에 그린과 디지털 기술을 접목하여 시너지 효과를 발휘하고 기후기술혁신을 위한 과감한 투자와 지원으로 2050년 탄소중립을 위해 노력할 것이다.
- 기후위기 대응을 위해선 우리나라뿐만 아니라 전 지구적인 노력과 참여가 중요하다.
- 국제사회 모두가 2050 탄소중립을 위해 공동의 노력을 펼칠 수 있도록 우리나라가 선도적인 역할을 할 것이다.

2050 탄소중립 기본방향

- 국가 전반의 녹색 전환을 위한 정책·사회·기술 혁신 방향 제시

01 깨끗하게 생산된 전기·수소의 활용 확대 + 02 에너지 효율의 혁신적인 향상 + 03 탄소 제거 등 미래기술의 상용화 + 04 순환경제 확대로 산업의 지속가능성 제고 + 05 탄소 흡수 수단 강화

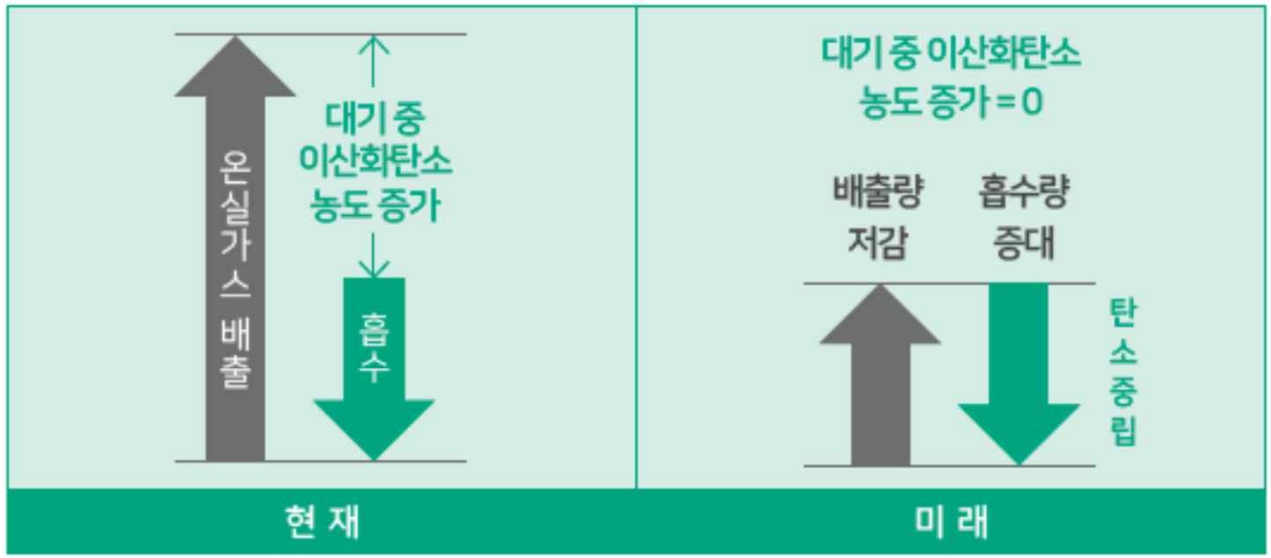
탄소중립

우리나라의 2018년 온실가스 총배출량(LULUCF 제외)은 1990년도에 비해 149.0% 증가했고 2017년도보다는 2.5% 증가했습니다. 1990년대는 경제성장에 따라 온실가스 배출량도 크게 늘었고 1998년 외환위기의 영향으로 온실가스 총배출량은 14.1% 감소한 이후로 2000년대는 경기가 회복되면서 온실가스 배출량이 꾸준히 증가했습니다. 탄소중립은 이렇게 인간활동에 의해 배출된 온실가스가 전 지구적 이산화탄소 흡수량과 균형을 이뤄 대기 중 이산화탄소의 농도가 더 이상 높아지지 않게 하는 것을 의미합니다.

우리나라 뿐만이 아니라 전세계에서 지속적으로 배출되고 있는 온실가스로 인해 기후 문제가 발생하고 있습니다. 국제사회에서는 기후 문제의 심각성을 인식하고 문제 해결을 위해 선진국에 의무를 부여하는 '교토의정서'에 이어 선진국과 개도국이 모두 참여하는 '파리협정'을 채택했습니 다. 파리협정은 산업화 이전 대비 지구 평균온도의 상승을 2℃보다 아래로 유지하고 더 나아가 1.5℃로 억제하는 것을 목표로 하고 있으며, 우리나라는 국제사회의 노력에 동참하고 건강하고 넉넉한 미래를 만들어가기 위해 2020년 10월 28일 '2050 탄소중립 선언' 및 12월 10일 '2050 탄소중립 비전'을 선포했습니다.

탄소중립 : 대기 중에 배출된 온실가스를 흡수, 제거하여 실질적인 배출량이 0이 되는 상태

2050 탄소중립 비전



* 네거티브 배출기술, NET : 발전소, 제철소 등에서 배출되는 이산화탄소 또는 대기 중 이산화탄소를 포집해 제거하는 기술을 말한다.

❖ 탄소중립을 달성하려면 차량과 공장의 화석 연료 연소 등과 같은 인위적 배출을 최대한 줄이고, 나머지 이산화탄소는 습지, 숲 복원 등 흡수원을 확대해 흡수량을 늘리거나 네거티브 배출 기술(Negative Emissions Technique, NET)*로 대기 중 이산화탄소를 제거

탄소중립(Carbon Neutral)과 넷 제로 (Net Zero)

❖ 넷 제로는 6대 온실가스, 탄소중립은 이산화탄소 순배출을 각각 제로화

엄밀한 의미에서 달리 봐야. 넷 제로는 기업에 새로운 기회 제공

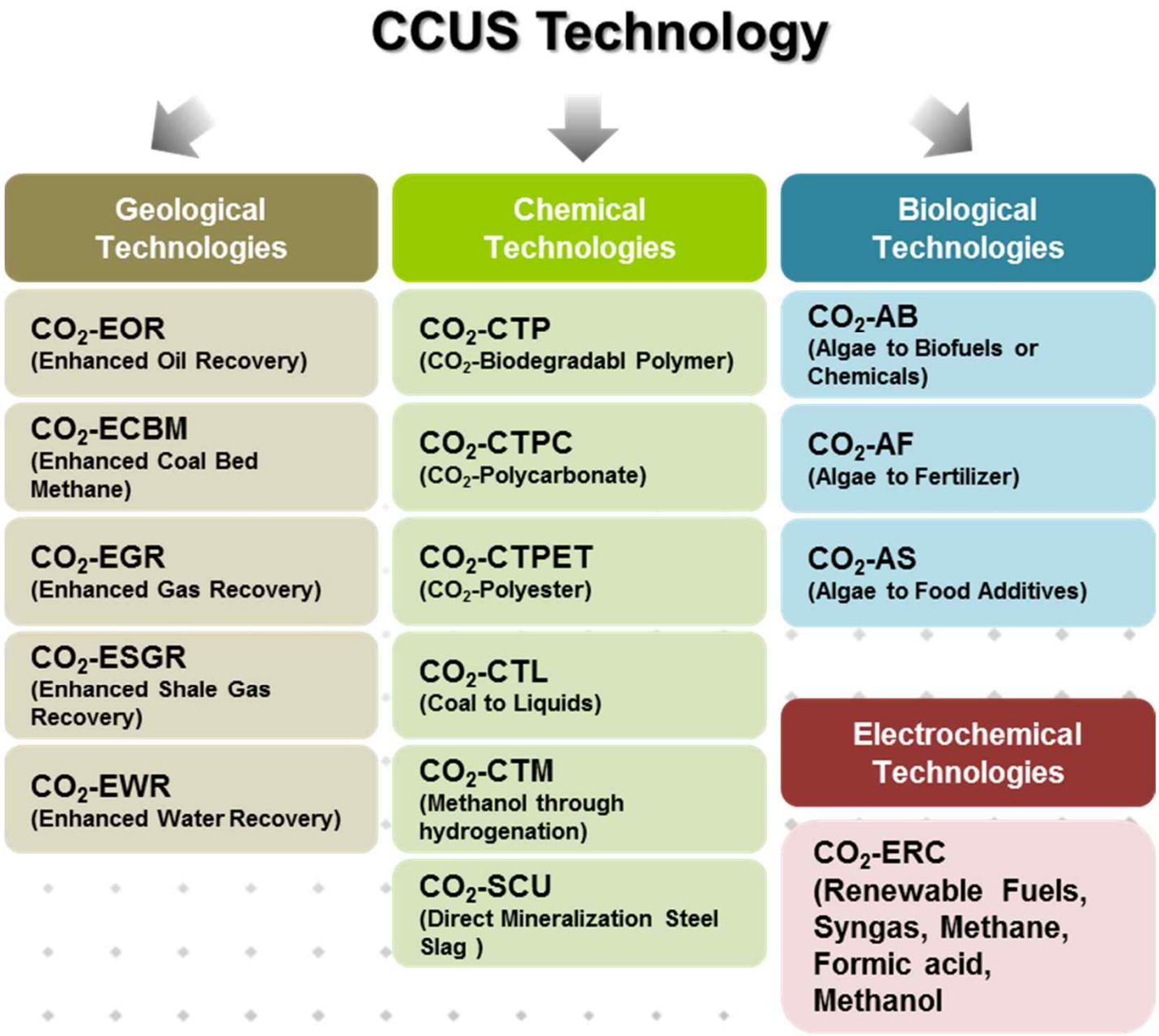
Net Zero

- 온실가스 배출량(+)과 흡수량(-) 을 갖게 하여 순배출을 제로화
- 이산화탄소 + 메탄, 이산화질소, 수소불화탄소, 과불화탄소, 육불화황
- 산림 조성을 통한 흡수량 증대 노력

Carbon Neutral

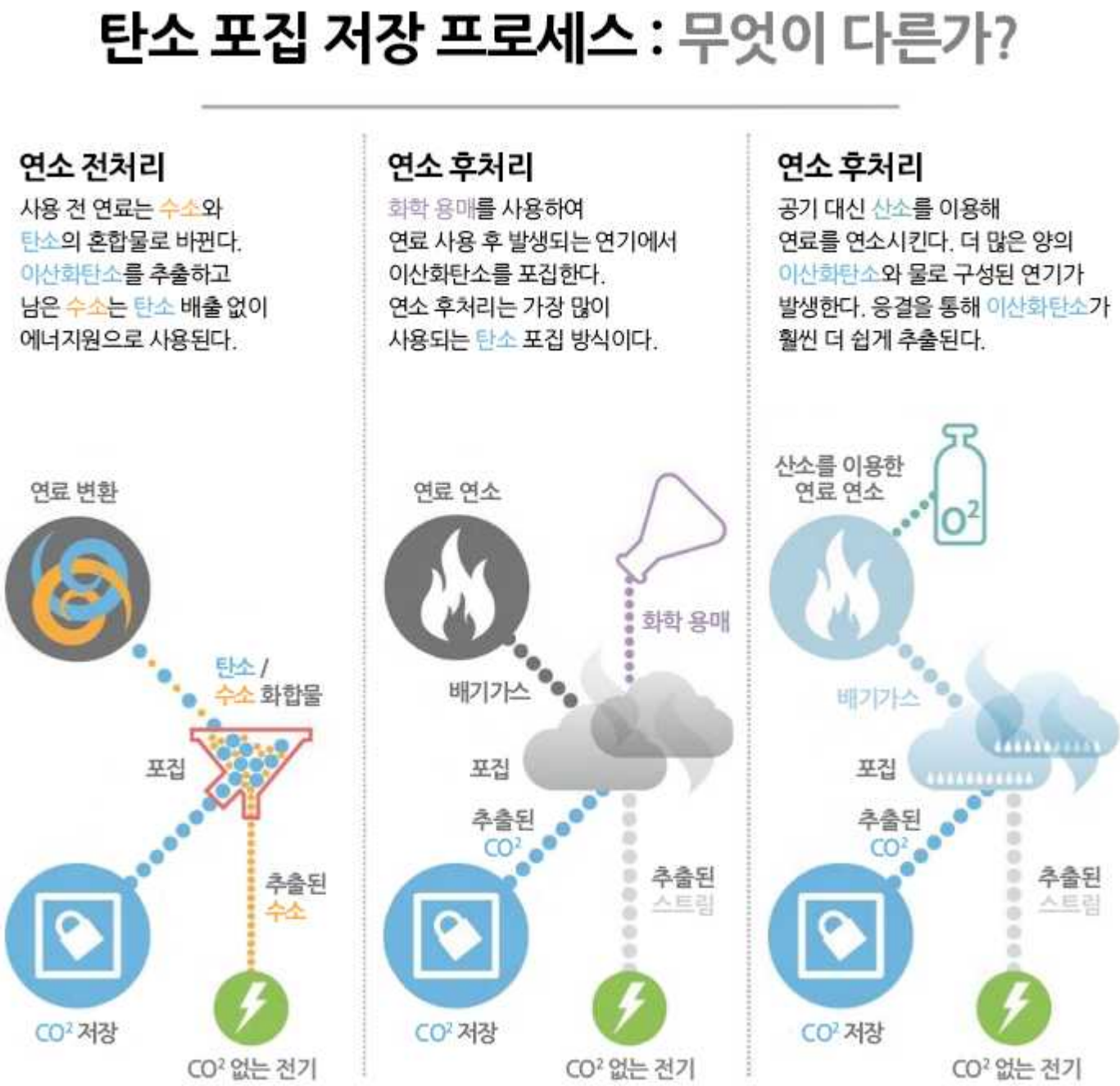
- 6대 온실가스 중 이산화탄소 배출에만 관여
- 배출량을 상쇄할 정도의 포집, 저장 대책 또는 탄소배출권 구매하는 등의 활동
- 넷 제로에 비해 다소 협의의 개념

탄소 포집/저장/활용 기술(Carbon Capture Utilization and Storage)

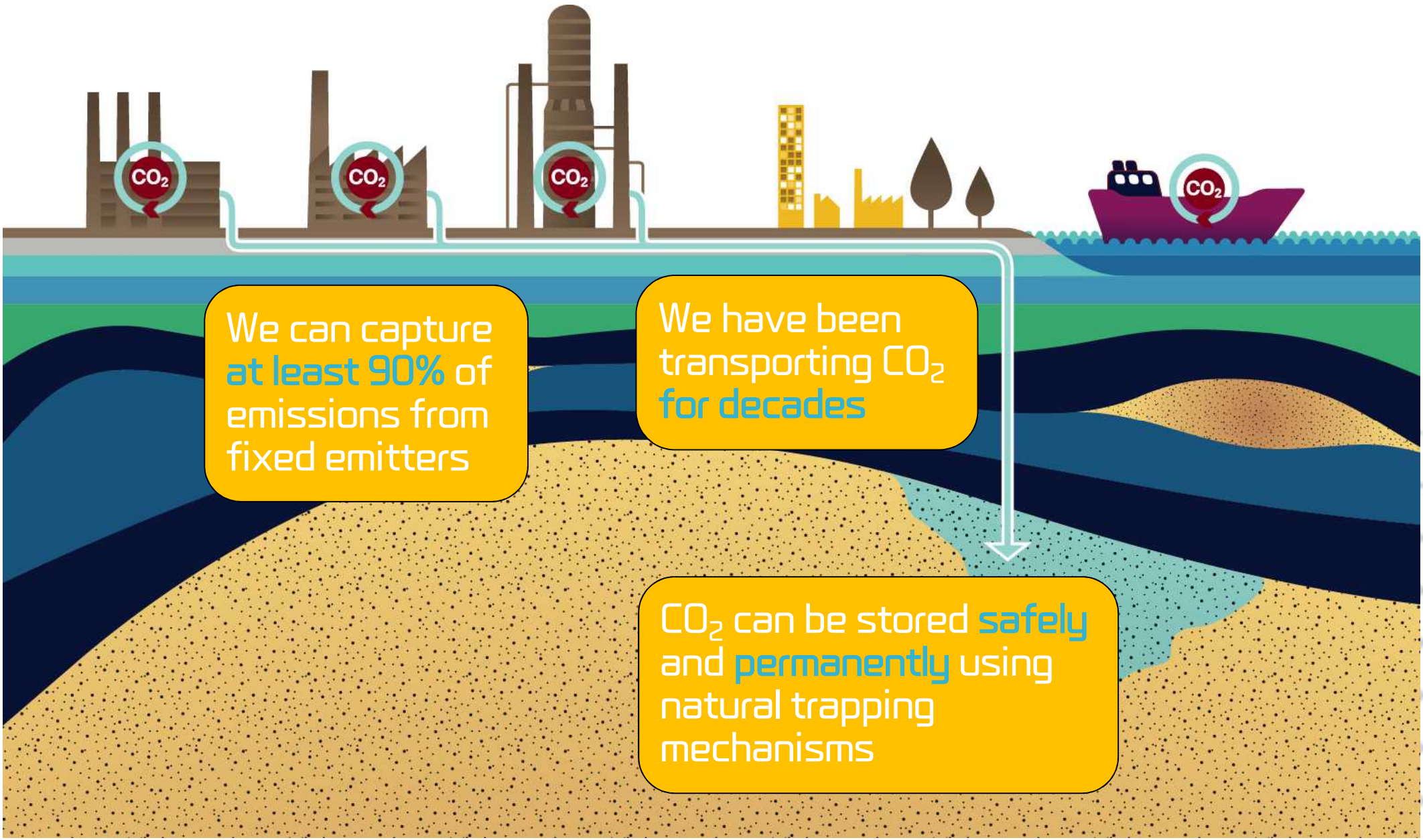


❖ CCUS 기술만으로도 우리가 2050년까지 감축해야할 탄소 배출량의 약 20%를 줄일 수 있음.

탄소 포집/저장 기술

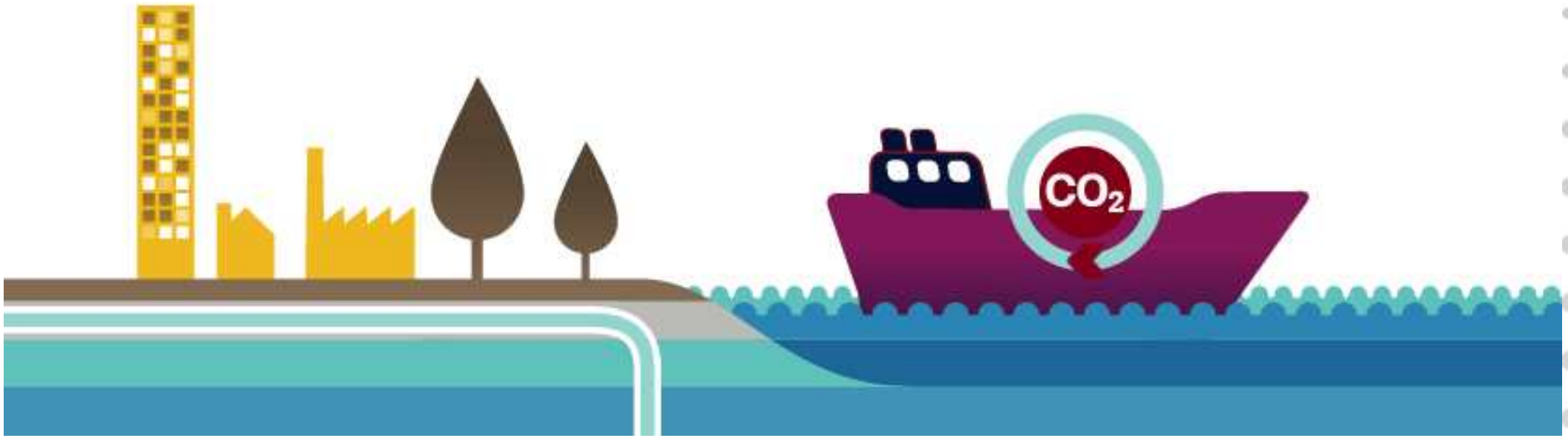

탄소 포집 저장 프로세스 : 무엇이 다른가?
연소 전처리
사용 전 연료는 수소와 탄소의 혼합물로 바뀐다. 이산화탄소를 추출하고 남은 수소는 탄소 배출 없이 에너지원으로 사용된다.
연소 후처리
화학 용매를 사용하여 연료 사용 후 발생되는 연기에서 이산화탄소를 포집한다. 연소 후처리는 가장 많이 사용되는 탄소 포집 방식이다.
연소 후처리
공기 대신 산소를 이용해 연료를 연소시킨다. 더 많은 양의 이산화탄소와 물로 구성된 연기가 발생한다. 응결을 통해 이산화탄소가 훨씬 더 쉽게 추출된다.
연료 변환
탄소 / 수소 화합물
포집
추출된 수소
CO² 저장
CO² 없는 전기
연료 연소
화학 용매
배기가스
포집
추출된 CO²
추출된 스트림
CO² 저장
CO² 없는 전기
산소를 이용한 연료 연소
O²
배기가스
포집
추출된 CO²
추출된 스트림
CO² 저장
CO² 없는 전기

탄소 포집/저장 기술


CO_2
CO_2
CO_2
CO_2
We can capture at least 90% of emissions from fixed emitters
We have been transporting CO_2 for decades
CO_2 can be stored safely and permanently using natural trapping mechanisms

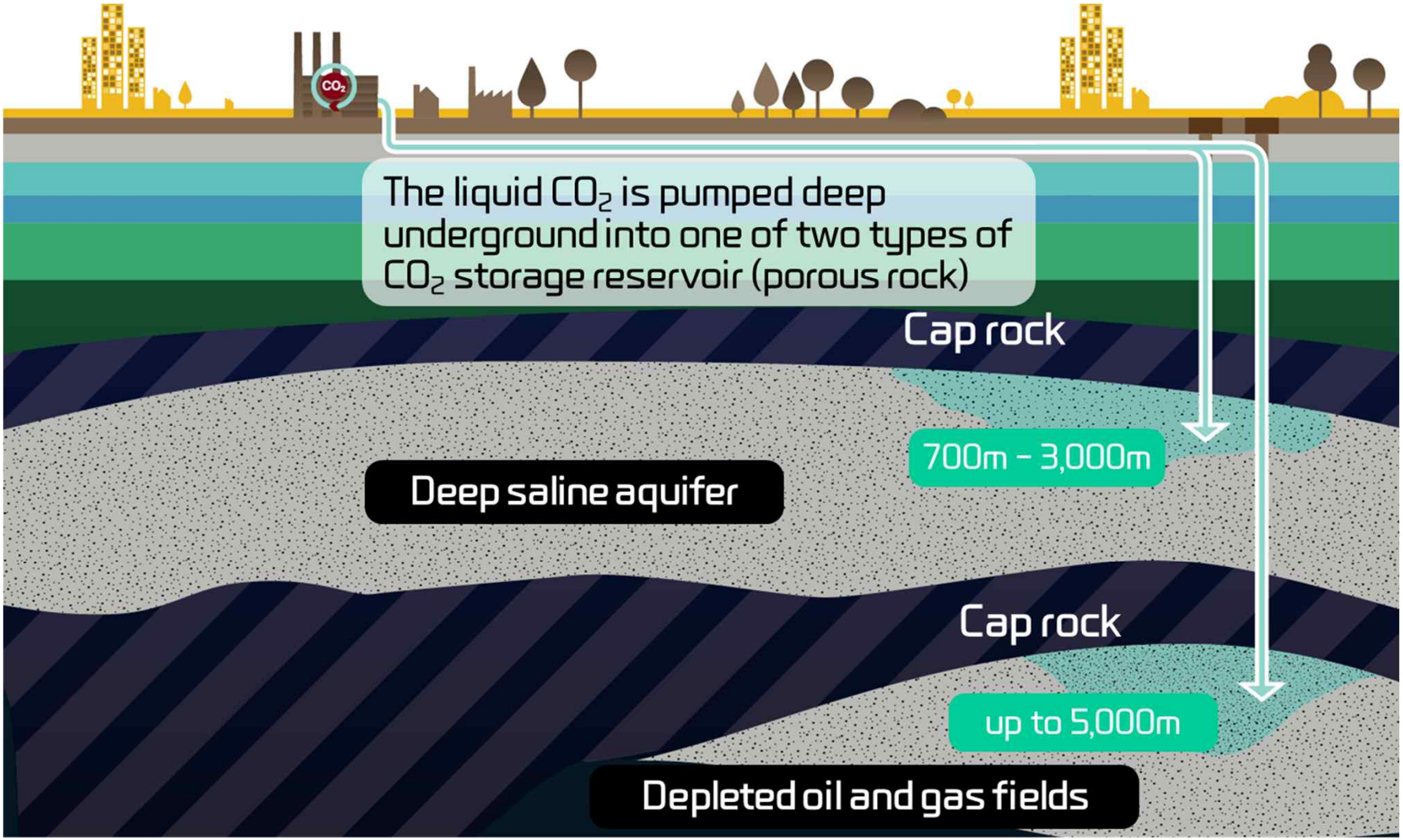
탄소 포집/저장 기술

- ❖ 포집된 이산화탄소는 이송과 운반을 위해 압축되어 액체상태 변화하고 탈수됨.
- ❖ 이산화탄소는 지중 매립된 파이프라인을 통해 안전하게 운송됨.
- ❖ 또는 원거리 이송을 위해 CCS 포집 장소에서 선박에 탑재됨.

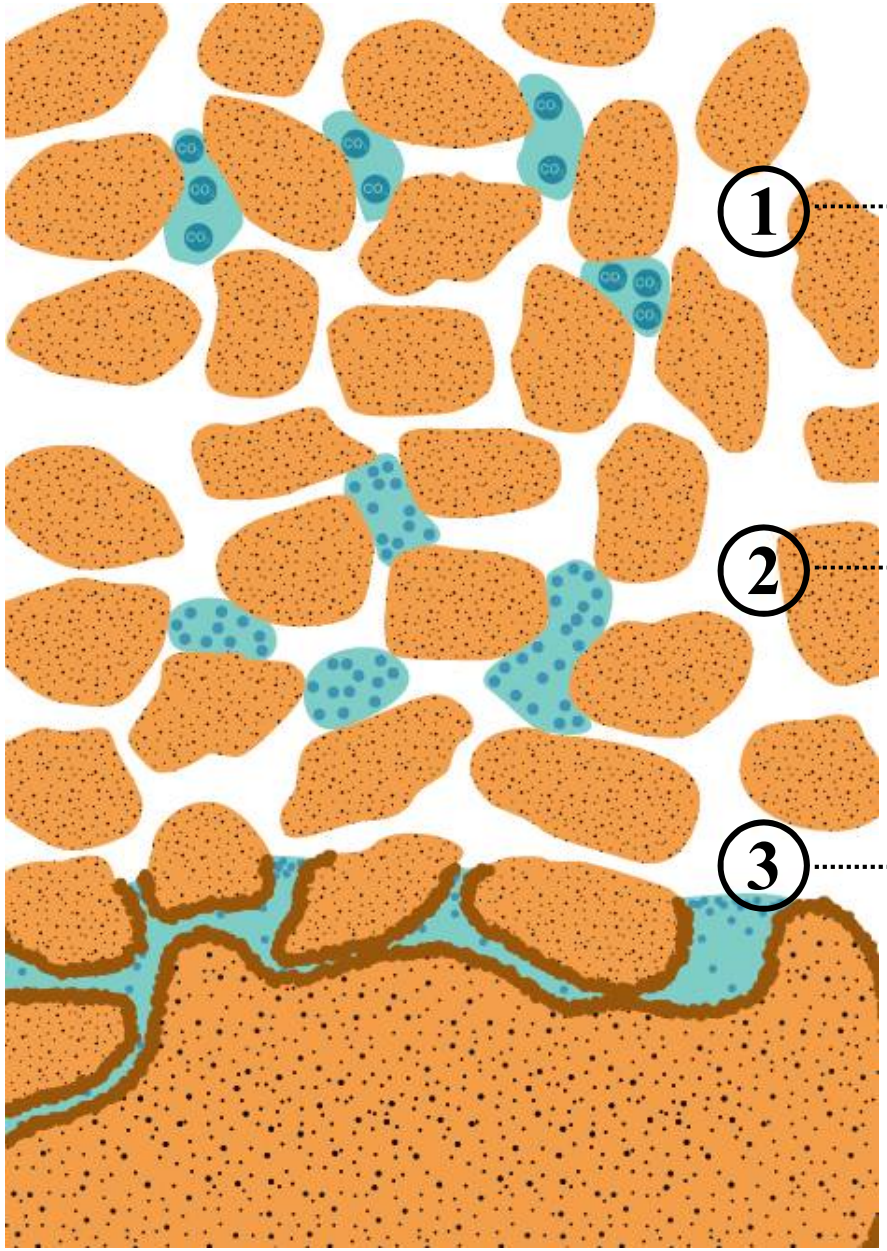


탄소 포집/저장 기술

- ❖ 이산화탄소 지중 저장은 전통적인 방식으로 이루어짐 (1) 지하수층, (2) 석유/가스 시추층
- ❖ 두 저장소에는 다공성의 암반이 위치하여 이산화탄소를 효과적으로 저장 가능



탄소 포집/저장 기술



... due to 3 natural mechanisms

Residual trapping

CO_2 is trapped in tiny rock pores and cannot move

Dissolution trapping

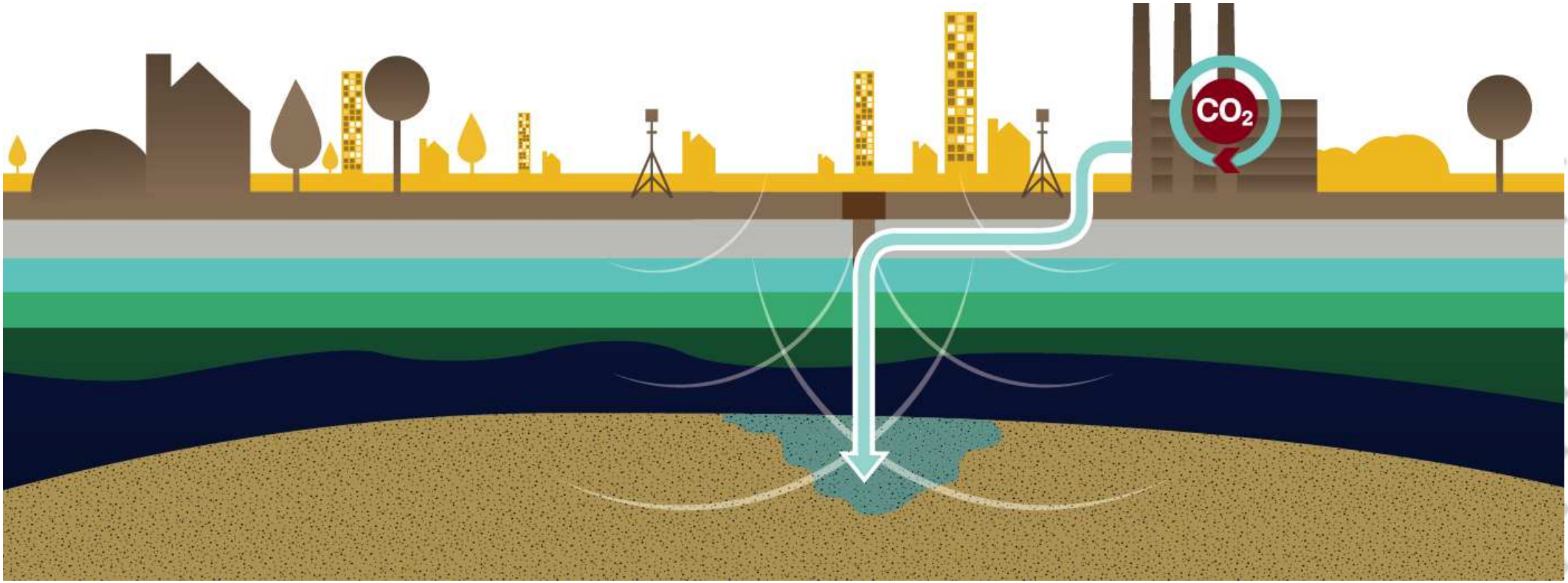
CO_2 dissolves into surrounding salt water

Mineral trapping

CO_2-rich water sinks to the bottom of the reservoir and reacts to form minerals

탄소 포집/저장 기술

- ❖ 이산화탄소 저장소가 정상 작동하는지 확인하기 위해 엄격한 모니터링 필요.
- ❖ 이산화탄소 주입 유정이 폐쇄된 후에도 법령에 따라 이산화탄소를 안전하고 영구적으로 지하에 보관해야함.



탄소 포집/저장 기술

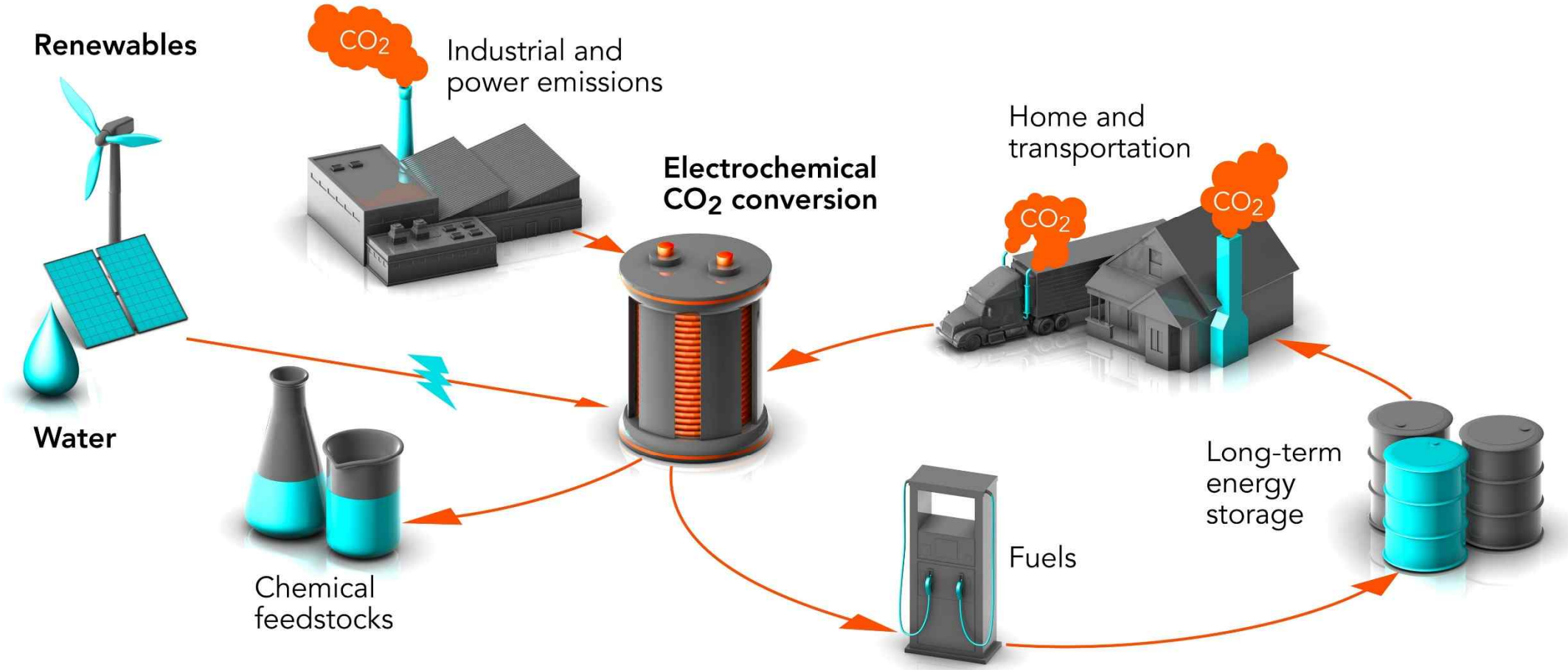
Rapid & Widespread Deployment of CCS

We need to move from the successful small-scale CCS projects in operation today to **building 3,400 commercial-scale projects worldwide by 2050** if CCS is to provide 20% of the CO_2 reductions needed*



*IEA –Technology Roadmap, Carbon capture and storage

탄소 활용 기술



https://scitechdaily.com/turning-co2-into-fuels-plastics-and-other-valuable-products

- 전기화학적, 화학적, 생물학적, 광전기화학적 CO_2 전환 등 다양한 전환 기술 존재
- CO_2 포집/저장 후, 유용 자원으로 전환하는 실질적인 온실가스 감축 기술

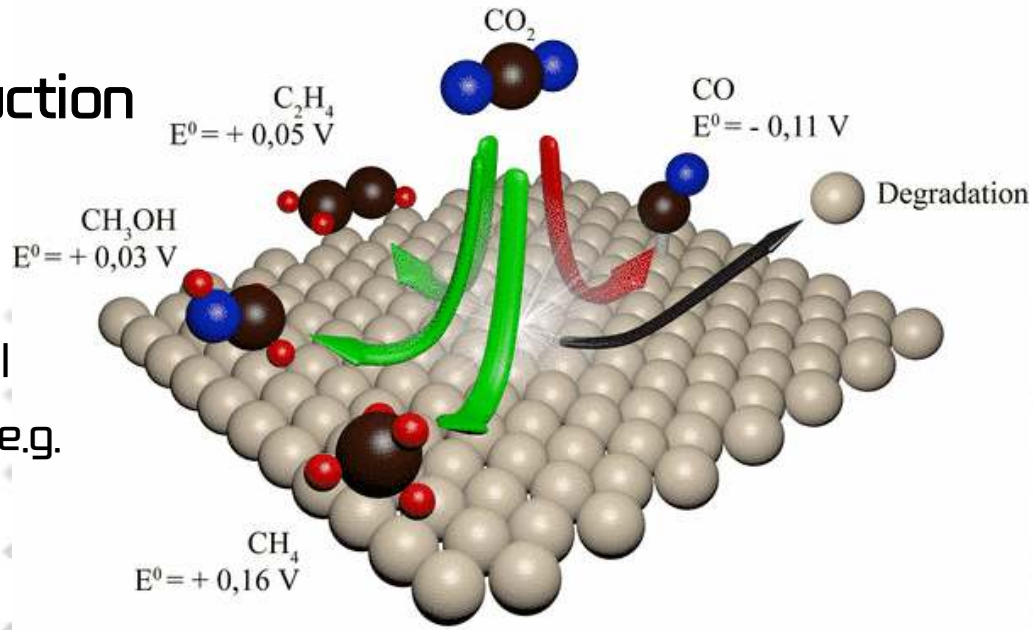
전기화학적 탄소 전환 기술

Electrochemical Reduction of CO_2 (ERC)

: Conversion of CO_2 into more useful chemical species by using electrical energy

Advantages of electrochemical CO_2 reduction

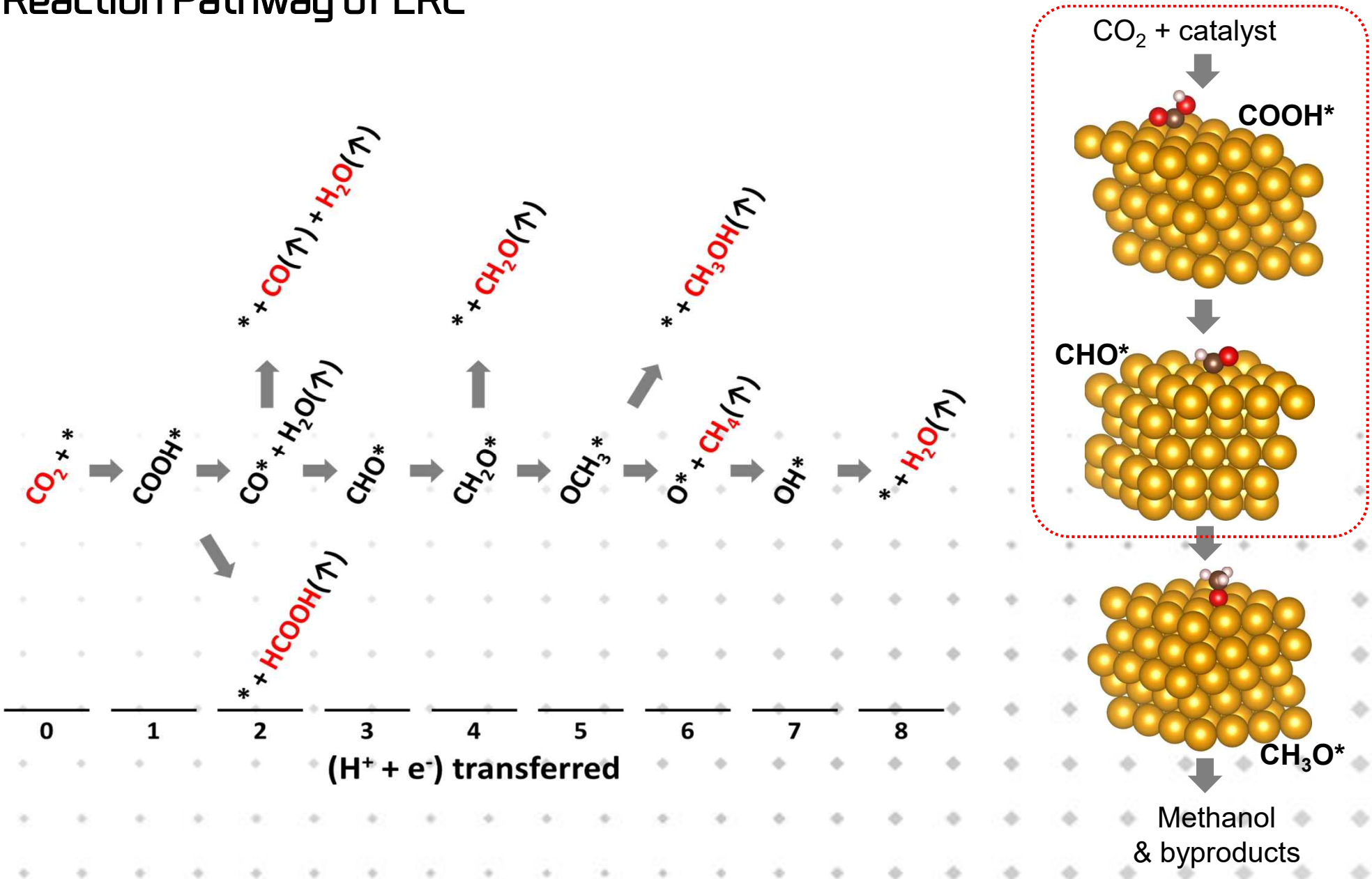
- High selectivity (potential-controlled)
- Possible at ambient temperature and pressure
- Can be a sustainable integrated energy or chemical loop when combined with renewable energy source, e.g. solar, wind, geothermal, hydro, etc.
- Compact design of the electrochemical systems & scalability (MEA-based ERC cell)



Carbon Dioxide Utilization
Electrochemical Conversion of CO2 – Opportunities and Challenges,
Research and Innovation, Position Paper 07 - 2011

전기화학적 탄소 전환 기술

Reaction Pathway of ERC



전기화학적 탄소 전환 기술

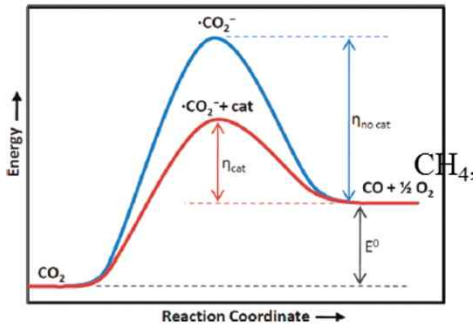
Research of Interest in ERC

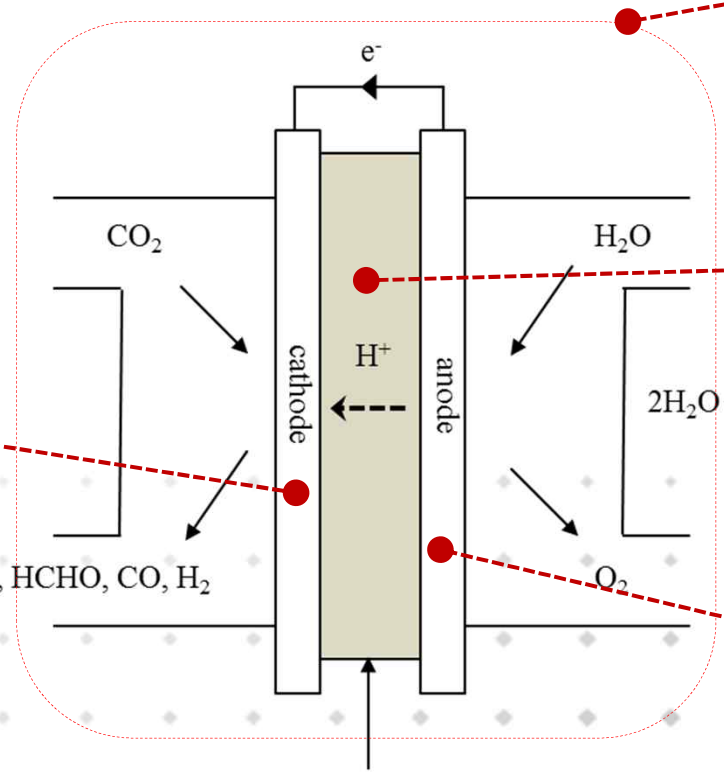
Electrochemical System

- Pressurized
- Buffer layer

Cathode Reaction (ERC)

- Target products
- Catalysts (metal, enzyme, etc)
- Over-potential





Polymer Membrane

- Permeability
- Durability

Anode Reaction (OER)

- Electro-catalyst for OER
(Ir-, Ru-, Ni-based)

CO_2	$+ 2H^+$	$+ 2e^-$	$\longrightarrow$	$CO + H_2O$	$E^0 = -0.53$ V
CO_2	$+ 2H^+$	$+ 2e^-$	$\longrightarrow$	HCO_2H	$E^0 = -0.61$ V
CO_2	$+ 4H^+$	$+ 4e^-$	$\longrightarrow$	$HCHO + H_2O$	$E^0 = -0.48$ V
CO_2	$+ 6H^+$	$+ 6e^-$	$\longrightarrow$	$CH_3OH + H_2O$	$E^0 = -0.38$ V
CO_2	$+ 8H^+$	$+ 8e^-$	$\longrightarrow$	$CH_4 + H_2O$	$E^0 = -0.24$ V
CO_2		$+ e^-$	$\longrightarrow$	$CO_2^{\bullet-}$	$E^0 = -1.90$ V

전기화학적 탄소 전환 기술

Electro-catalyst for Fuel Production via ERC

: Selectivity and efficiency also depend on the potential, and electrolysis time.

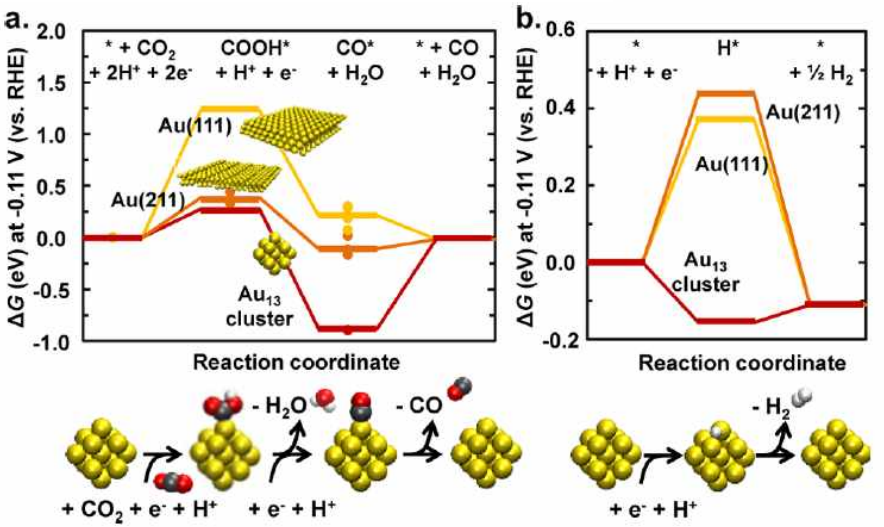
Table 1. Various products from the electroreduction of CO_2

Electrode	Potential (V) vs. *nhe*	Current density (mA cm^{-2})	Faradaic efficiency/% CH_4	C_2H_4	EtOH	PrOH	CO	$HCOO^-$	H_2	Total
Cu	−1.44	5.0	33.3	25.5	5.7	3.0	1.3	9.4	20.5	103.5*
Au	−1.14	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	87.1	0.7	10.2	98.0
Ag	−1.37	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	81.5	0.8	12.4	94.6
Zn	−1.54	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	79.4	6.1	9.9	95.4
Pd	−1.20	5.0	2.9	0.0	0.0	0.0	28.3	2.8	26.2	60.2
Ga	−1.24	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	23.2	0.0	79.0	102.0
Pb	−1.63	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	97.4	5.0	102.4
Hg	−1.51	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	99.5	0.0	99.5
In	−1.55	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1	94.9	3.3	100.3
Sn	−1.48	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.1	88.4	4.6	100.1
Cd	−1.63	5.0	1.3	0.0	0.0	0.0	13.9	78.4	9.4	103.0
Tl	−1.60	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	95.1	6.2	101.3
Ni	−1.48	5.0	1.8	0.1	0.0	0.0	0.0	1.4	88.9	92.4†
Fe	−0.91	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	94.8	94.8
Pt	−1.07	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	95.7	95.8
Ti	−1.60	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	tr.	0.0	99.7	99.7

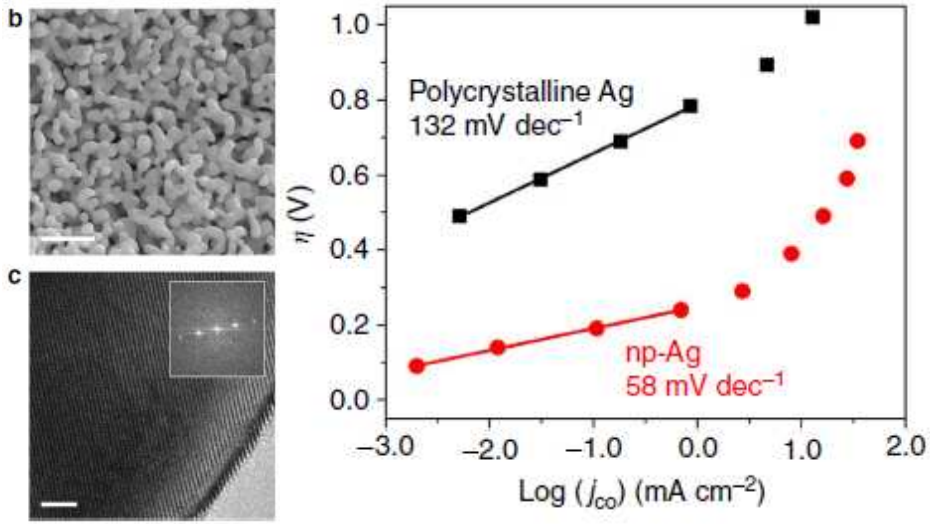
Electrochim. Acta. 39 (1994) 1883.

전기화학적 탄소 전환 기술

CO production

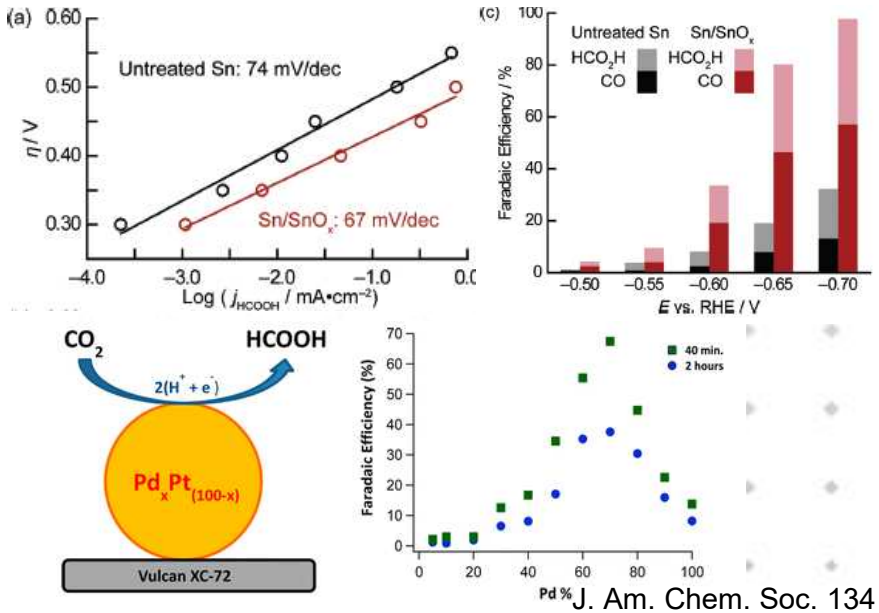


J. Am. Chem. Soc. 135 (2013) 16833.



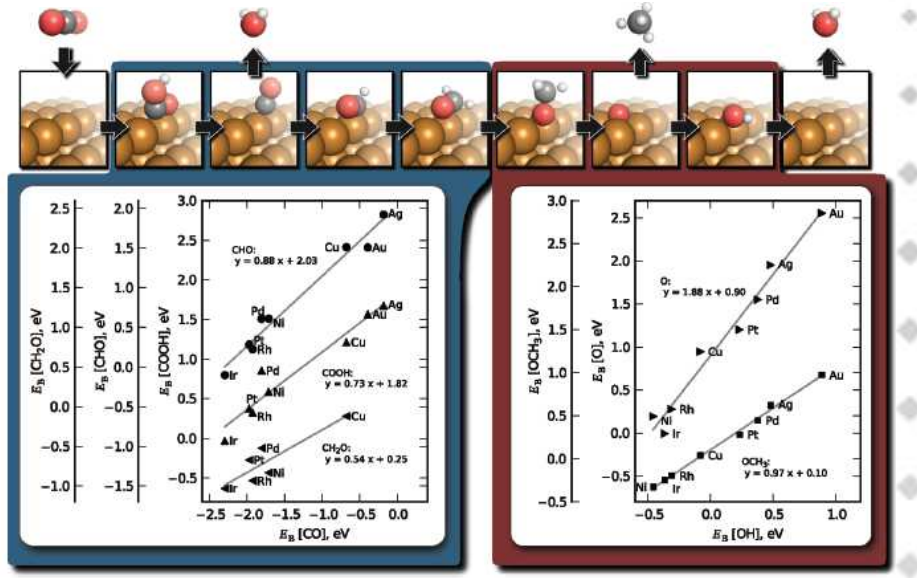
Nat. Commun. 5 (2014) 3242.

COOH production



J. Am. Chem. Soc. 134 (2012) 1986.
ACS Catal. 5 (2015) 3916.

CH_4 production

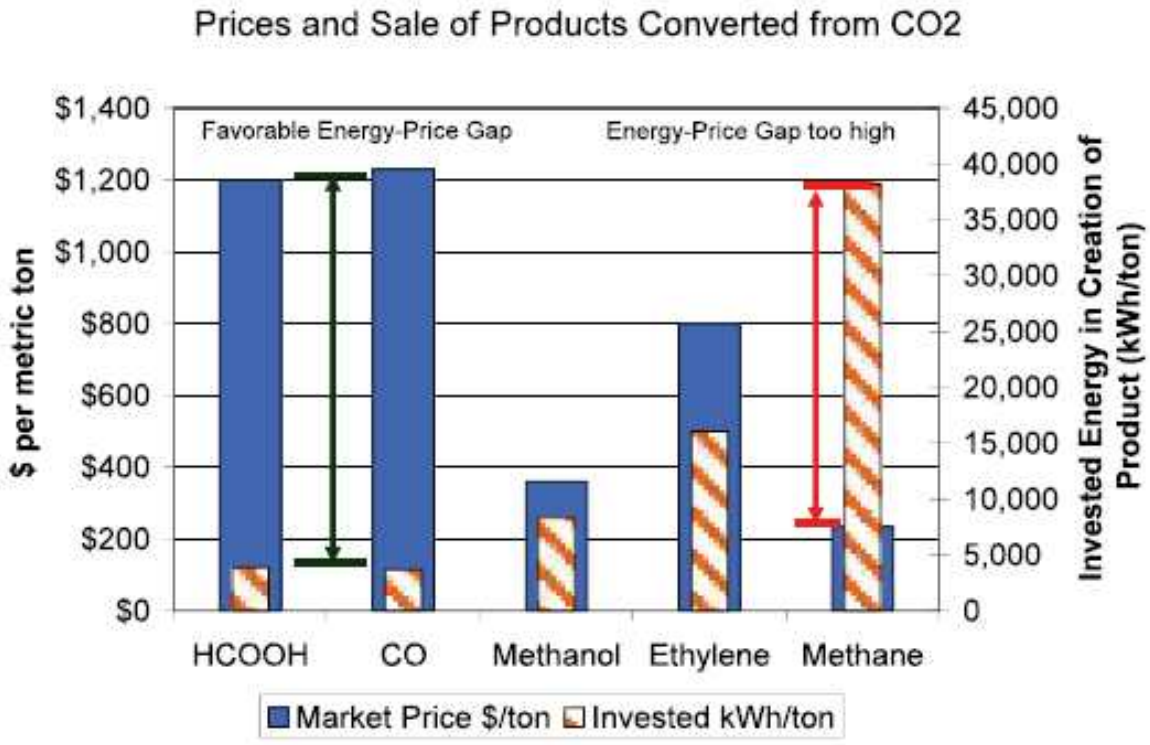


J. Phys. Chem. Lett. 3 (2012) 251.

전기화학적 탄소 전환 기술

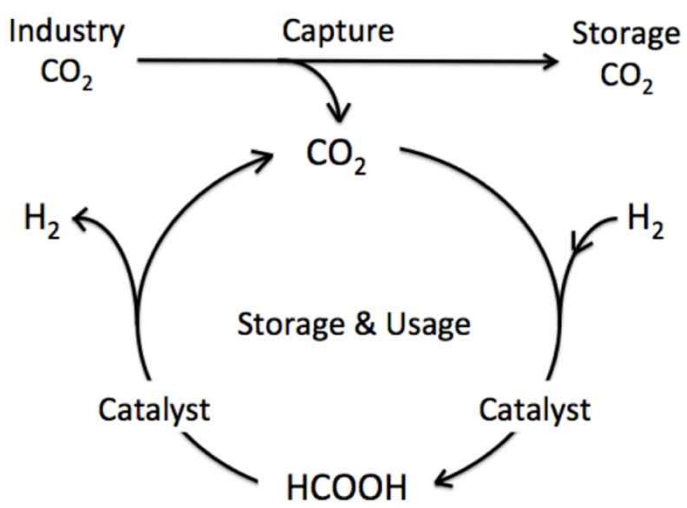
Economic Value of CO and HCOOH

: HCOOH and CO have higher value from the energy required for their creation than conventional fuels such as CH_3OH or CH_4.



HCOOH

- Chemical feed stock for C1 chemistry
- Fuel for fuel cell (DFAFC)
- H-carrier (4.4 wt% H_2 storage)

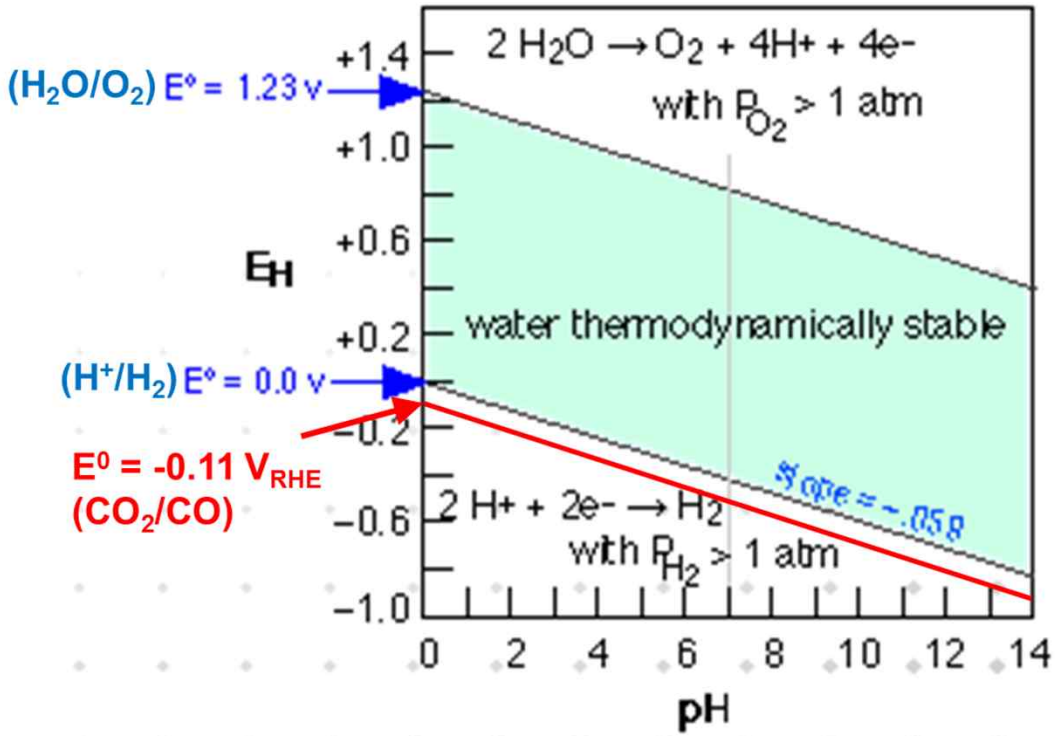


http://www.dnv.com/binaries/DNV-position_paper_CO2_Utilization_tcm4-445820.pdf

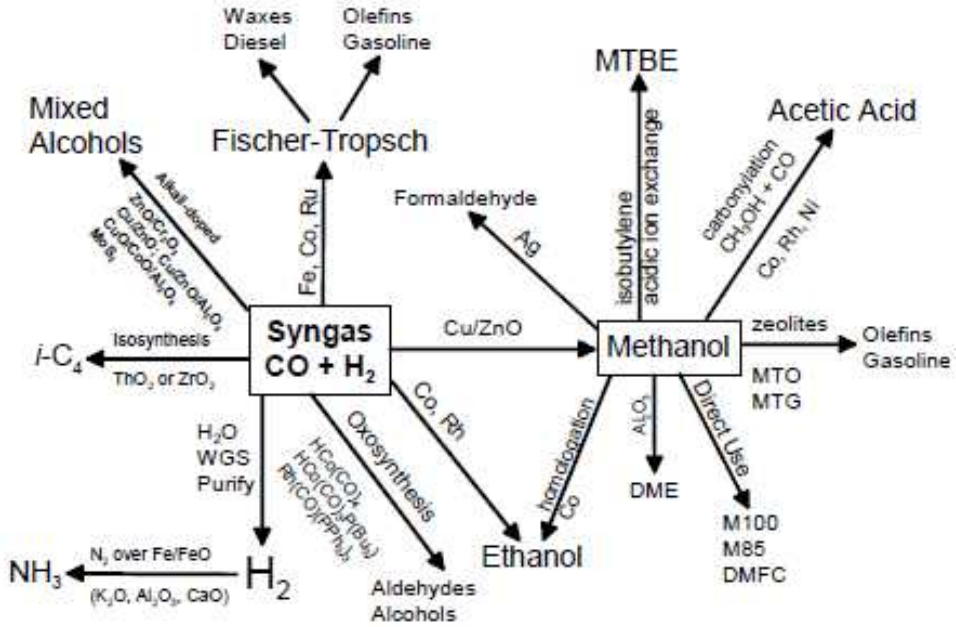
전기화학적 탄소 전환 기술

Syngas ($CO+H_2$) Production via ERC

: which involves CO production from ERC & H_2 production from HER



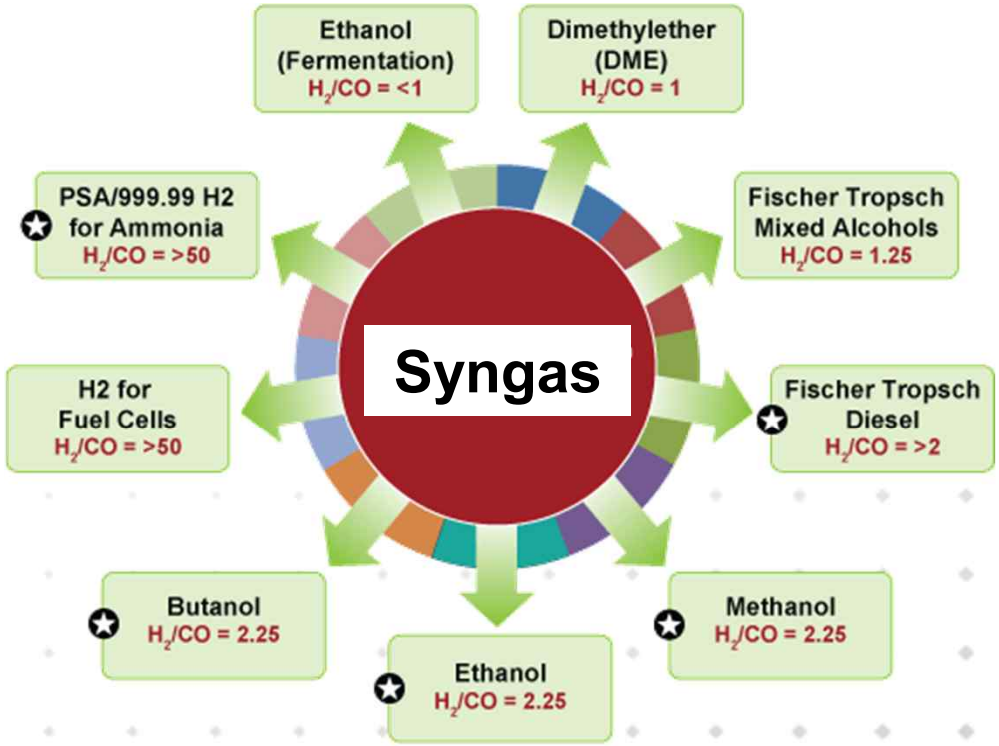
A Variety Downstream Processes for Several Different Fuel Products Coupled with Syngas

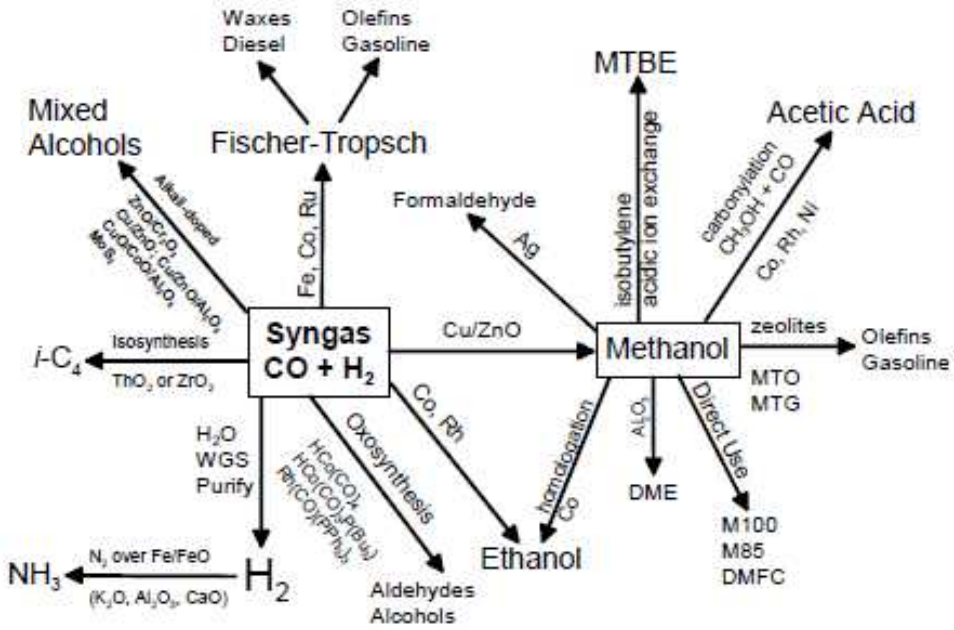


http://chemwiki.ucdavis.edu/Analytical_Chemistry/Electrochemistry/Electrochemistry_4%3A_The_Nernst_Equation

전기화학적 탄소 전환 기술

❖ A Variety Downstream Processes for Several Different Fuel Products Coupled with Syngas



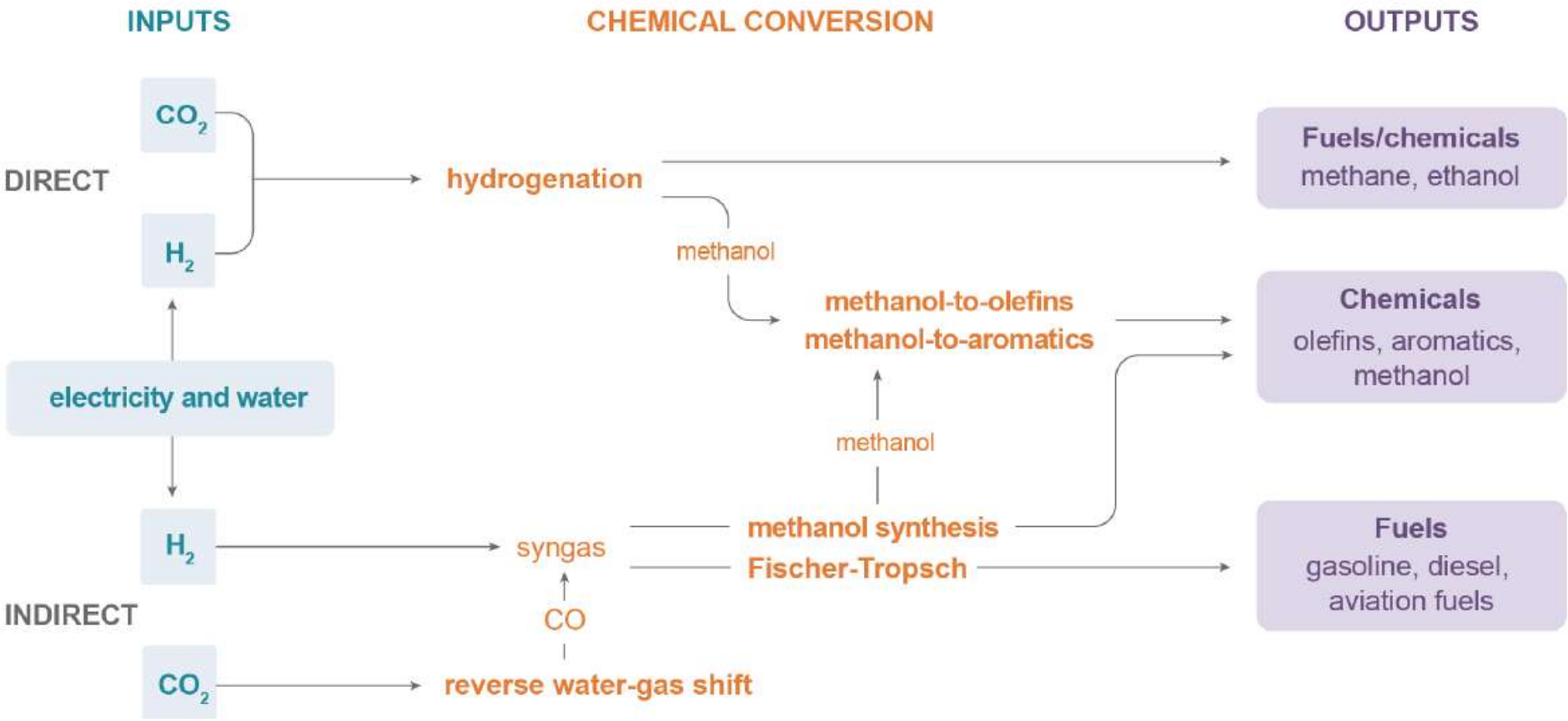


Technical report,
Preliminary Screening -Technical and Economic Assessment of Synthesis Gas to Fuels and Chemicals with Emphasis on the Potential for Biomass Derived Syngas

⇒ It requires specific selectivity of H_2/CO (≒1~2) for each process.

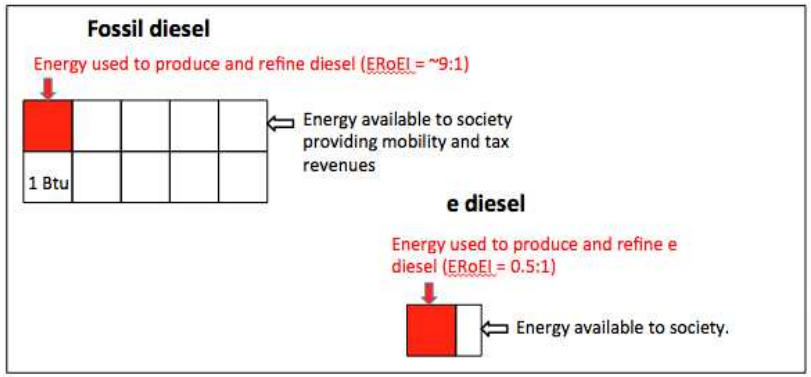
열화학적 탄소 전환 기술(e-Fuel)

- e-Fuel: 친환경 그린수소로부터 합성된 탄소중립연료
- CO_2 직접적 또는 간접적 화학적 전환을 이용한 대체 연료 생산
- 기초 탄화수소화합물($C_{1\sim6}$) 및 육상, 항공 모빌리티 연료로 사용



IEA 2019. All rights reserved.

열화학적 탄소 전환 기술(e-Fuel)



Production process e-diesel

Planning of Audi e-diesel plant in Laufenburg
11/17

1. Renewable electricity
Renewable energy obtained from hydropower.

2. Electrolysis
Electrolysis splits water into hydrogen and oxygen. Oxygen dissipates into the surrounding air.

O_2

H_2

CO_2
CO_2 from sustainable sources or from the air.

Chemical synthesis
In the first step, hydrogen and CO_2 are converted to synthesis gas in the reverse water-gas shift reactor.

The Fischer-Tropsch reactor then uses this to build hydrocarbon chains.

3. Conversion
A two-step process turns CO_2 and hydrogen into hydrocarbon chains.

Infrastructure compatibility
e-diesel is compatible with existing infrastructure and engine technologies. It replaces fossil fuel.

e-diesel

Heat for use in residential areas or in industry.

Renewable waxes for cosmetics, foodstuffs and chemical industries

Almost CO_2-neutral e-diesel for mobility

https://euanmearns.com/the-thermodynamic-and-economic-realities-of-audis-e-diesel/

열화학적 탄소 전환 기술(e-Fuel)

태백시, 청정메탄올 생산거점 도시로 탈바꿈 추진



우리나라 대표적 광산도시인 태백시가
청정메탄올 생산거점 도시로 탈바꿈한다.



11일 열린 청정메탄올 신산업 촉진 컨퍼런스에서 기관, 지자체, 기업 등 13개 민관 참석자들이 태백시를 청정메탄올 생산거점 도시로 조성하기 위한 업무협약을 맺고 기념 촬영을 하고 있다.

한국광해광업공단과
탄소중립녹색성장위원회, 강원특별자치도, 태백시,
민간기업, 정부 출연기관은
11일 태백시를 청정메탄올 생산거점 도시로
조성하기 위한 업무협약을 체결했다.



탄소중립녹색성장위원회 주최로 열린
'청정메탄올 신산업 촉진 컨퍼런스'에서 참석자들은
이날 업무협약을 통해 태백시를
청정메탄올 생산, 활용, 운송, 신산업 촉진 거점 도시로
조성하기 위해 공동 협력키로 했다.



대한석탄공사



장성광업소

내년 대한석탄공사 장성광업소 폐광이 예정된
태백시는 풍부한 신재생에너지와 철도 물류를 활용한
청정메탄올 생산시설 조성사업을 위해
정부에 예비타당성 조사를 신청한 상태다.

주요 협약 내용

- KOMIR — 지원 및 연계사업 추진
- 탄소중립녹색성장위원회 — 법·제도 검토 및 지원방안 발굴
- 강원도 & 태백시 — 사업부지, 투자유치 보조금 제공, 각종 인·허가 지원
- 민간기업 — 시설구축, 운영과 시장 확보
- 출연연구기관 — 연구개발 및 기술지원 제공



태백시
PLAGEN
EWP
GLOBAL SAE·A GROUP
쌍용건설
LF ENERGY
HANBIT ENERGY
HYUNDAI corporation
INFRA FRONTIER
(주)에스텍코리아
OptimumTrading

열화학적 탄소 전환 기술(chemical product)

❖ CO_2 촉매 및 고에너지 반응을 통해 유기화합물로 전환(PC, PEC, PU, Polyol, Polyester)

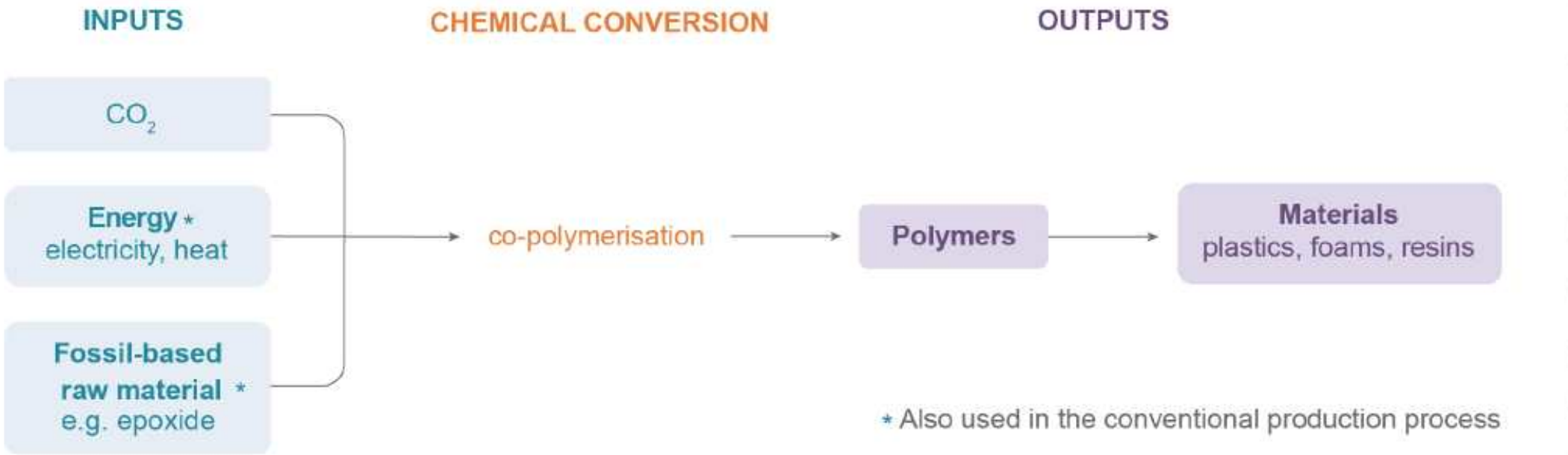
CO_2 + epoxide → PC-polyol : 도료, 접착제

CO_2-derived polyol → PU : 단열재, 매트리스

CO_2 + propylene oxide → PPC: 전자재료, 코팅제

CO_2 + methanol → DMC : 이차전지 전해질





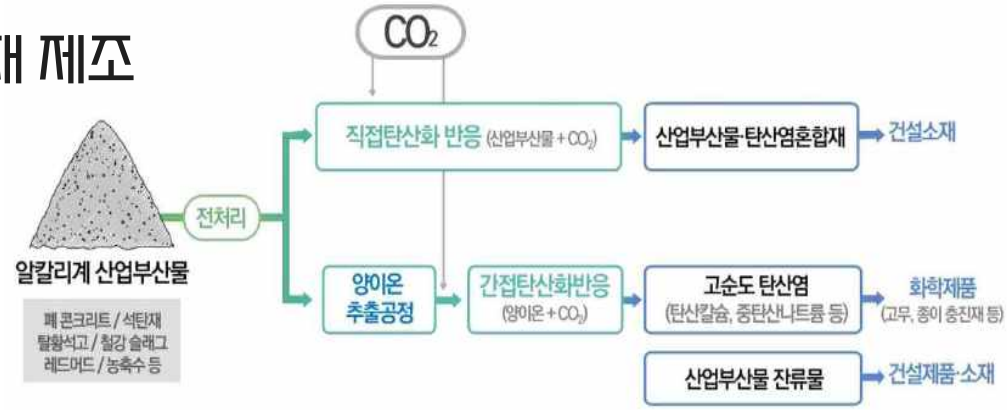
IEA 2019. All rights reserved.

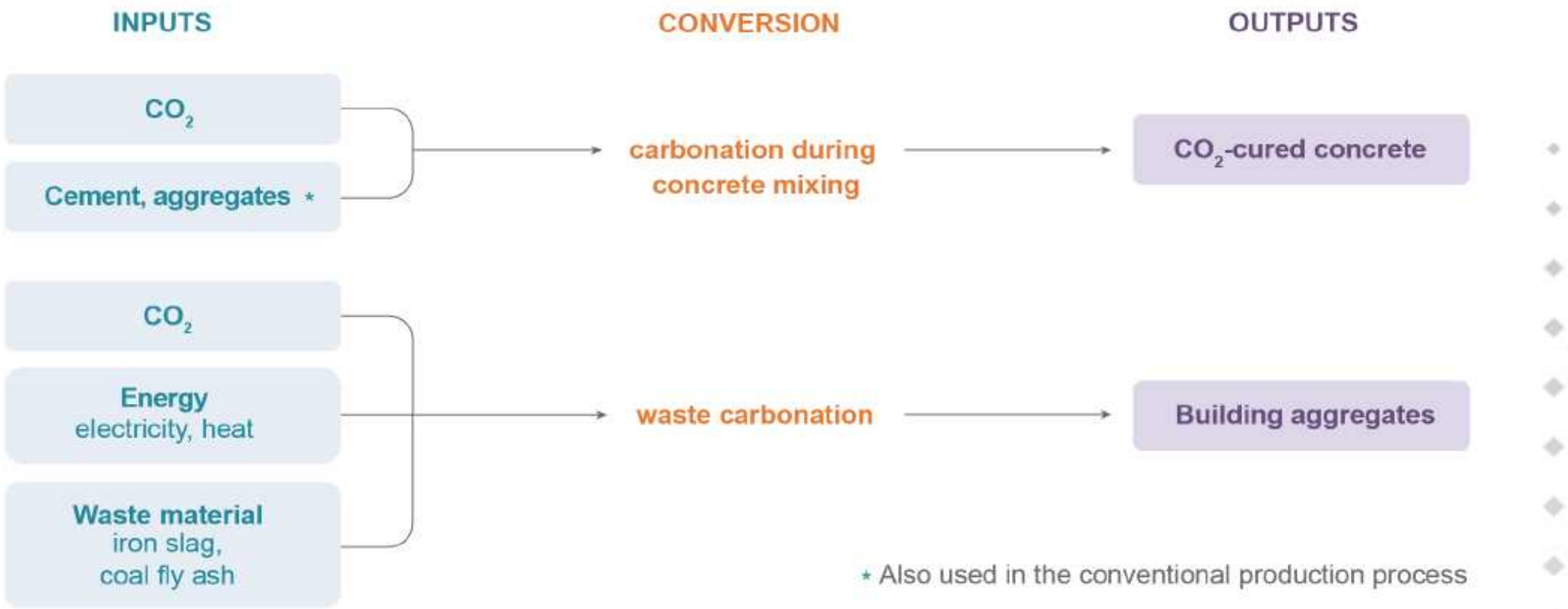
광물화 탄소 전환 기술(building materials, fine chemicals)

❖ CO_2 광물탄산화를 이용한 이산화탄소 활용 소재 제조

건식/습식 탄산화 기반 시멘트계 건축제품 탄산화 양생

습식탄산화 + 무기계 건설폐기물 활용 $CaCO_3$ 제조



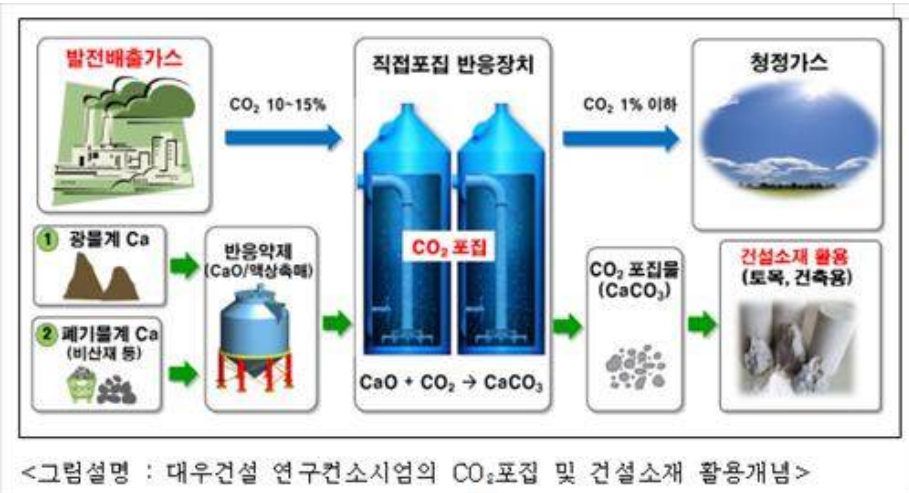


IEA 2019. All rights reserved.

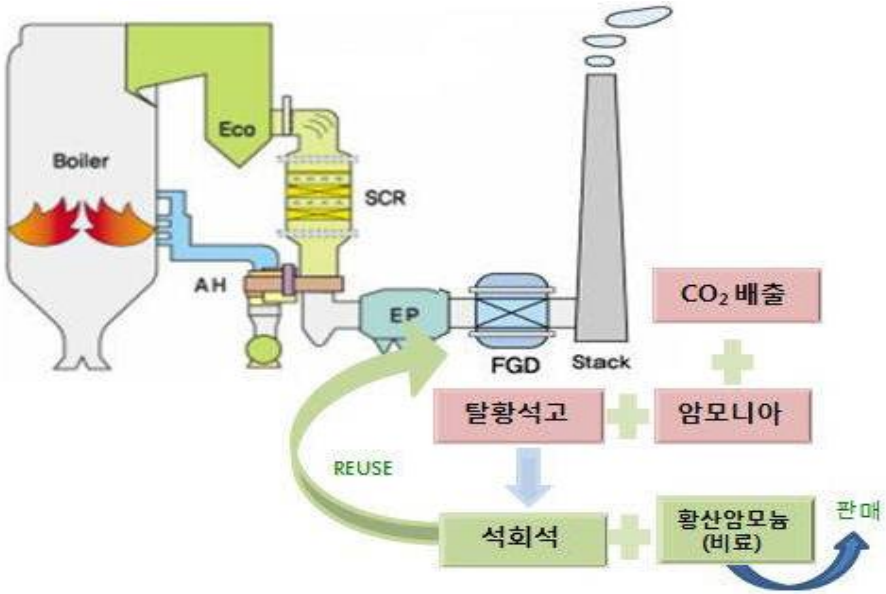
광물화 탄소 전환 기술(building materials, fine chemicals)

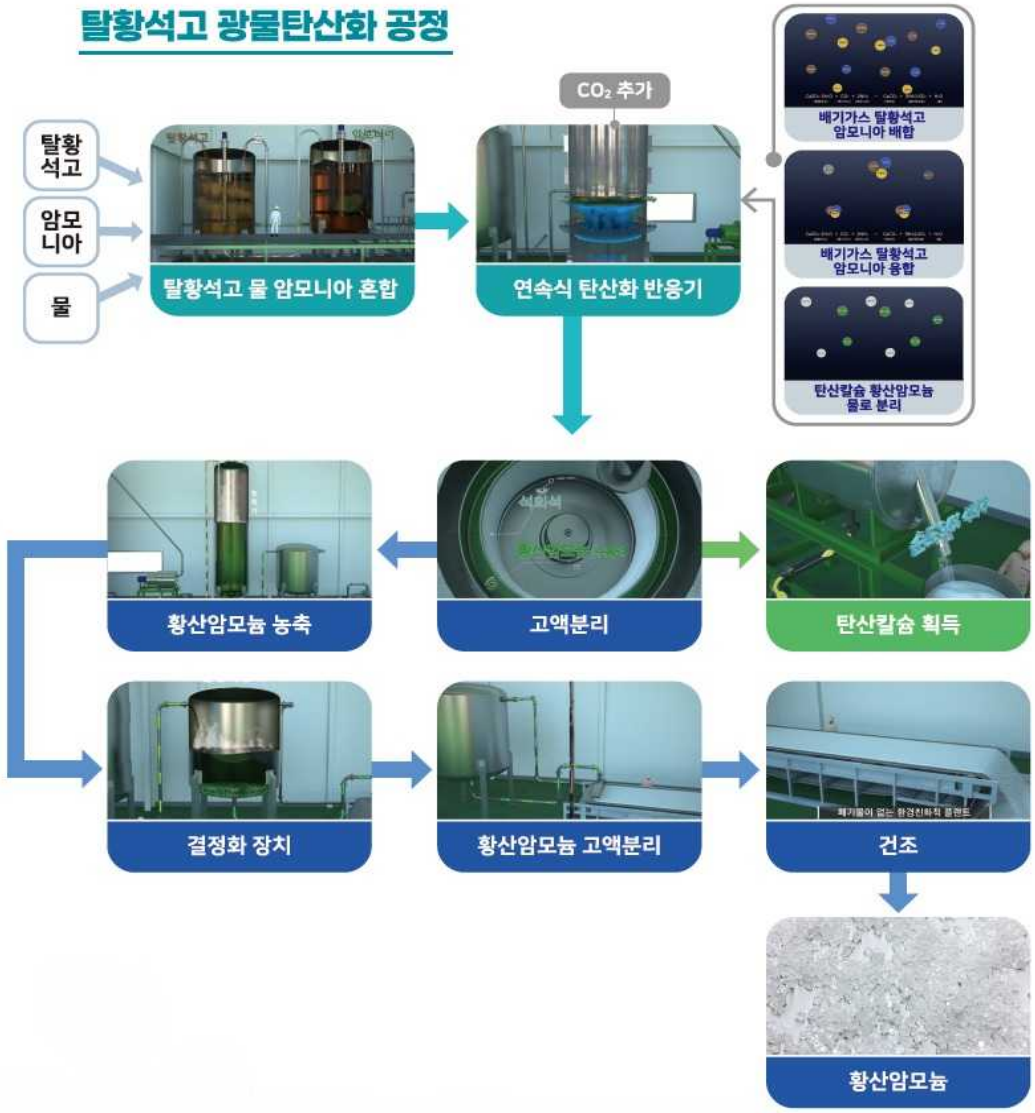
❖ CO_2 광물탄산화를 이용한 이산화탄소 활용 소재 제조

CO_2 + 탈황석고 + 암모니아 → 석회석(재생) + 황산암모늄



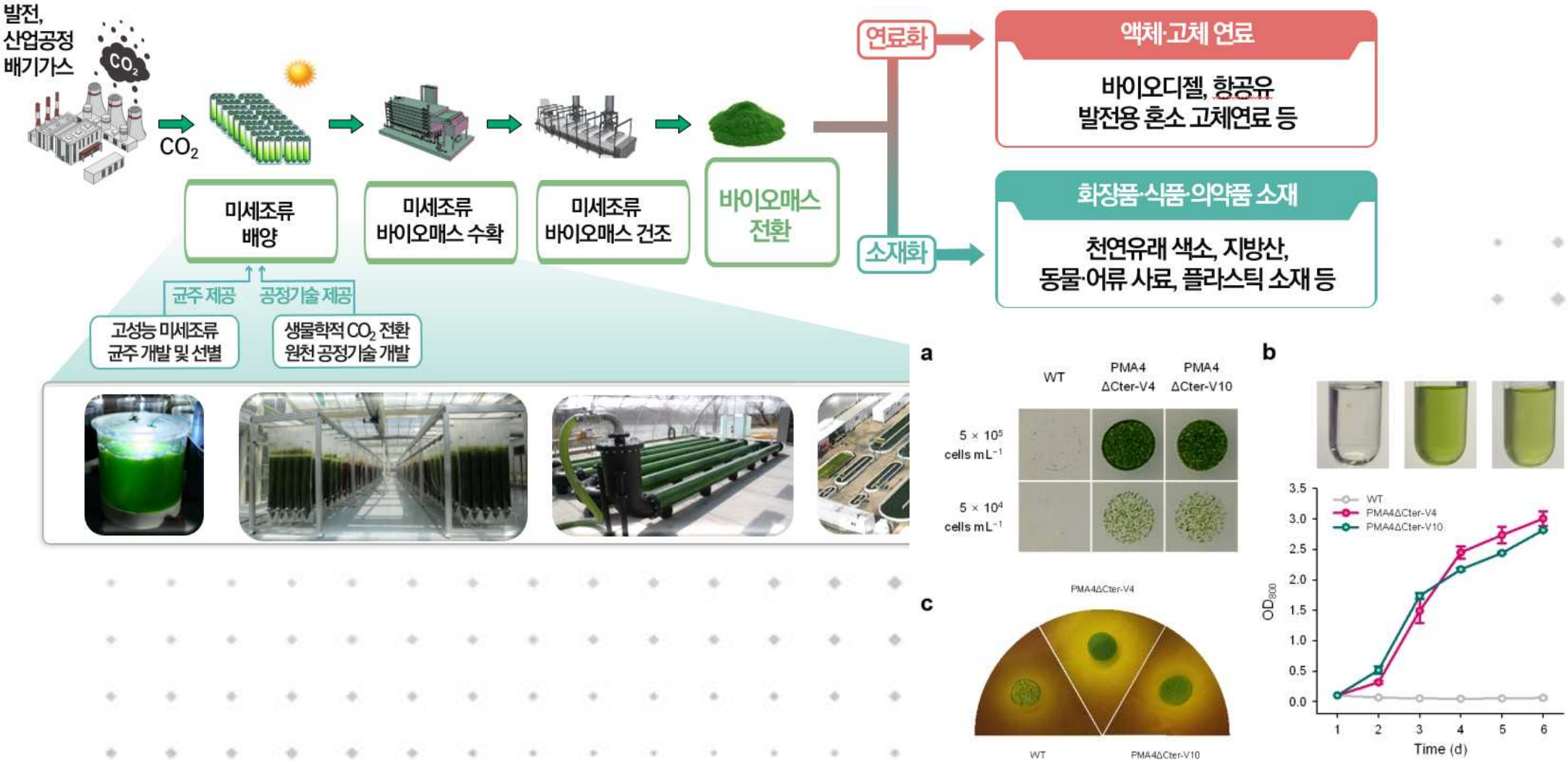
<그림설명 : 대우건설 연구컨소시엄의 CO_2포집 및 건설소재 활용개념>





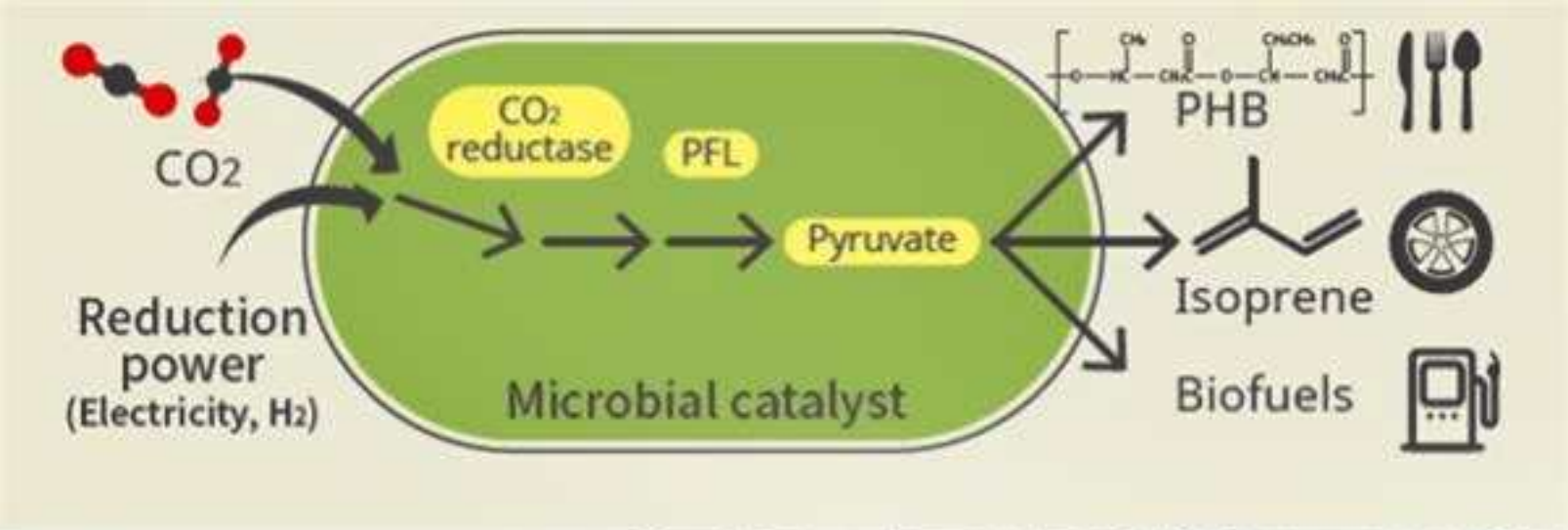
생물학적 탄소 전환 기술

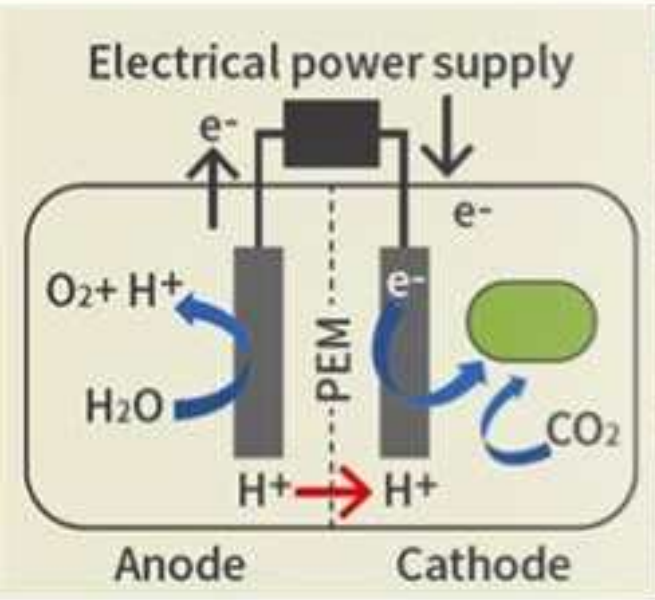
❖ 미세조류의 광합성 반응을 통해 CO_2를 생물 내에 고정하여 미세조류 바이오매스를 생산하고, 이를 바이오연료·소재 등으로 제품화하는 기술



생물학적 탄소 전환 기술

❖ E-바이오리파이너리: 전해전지 시스템+미생물 대사과정을 이용한 이산화탄소 전환

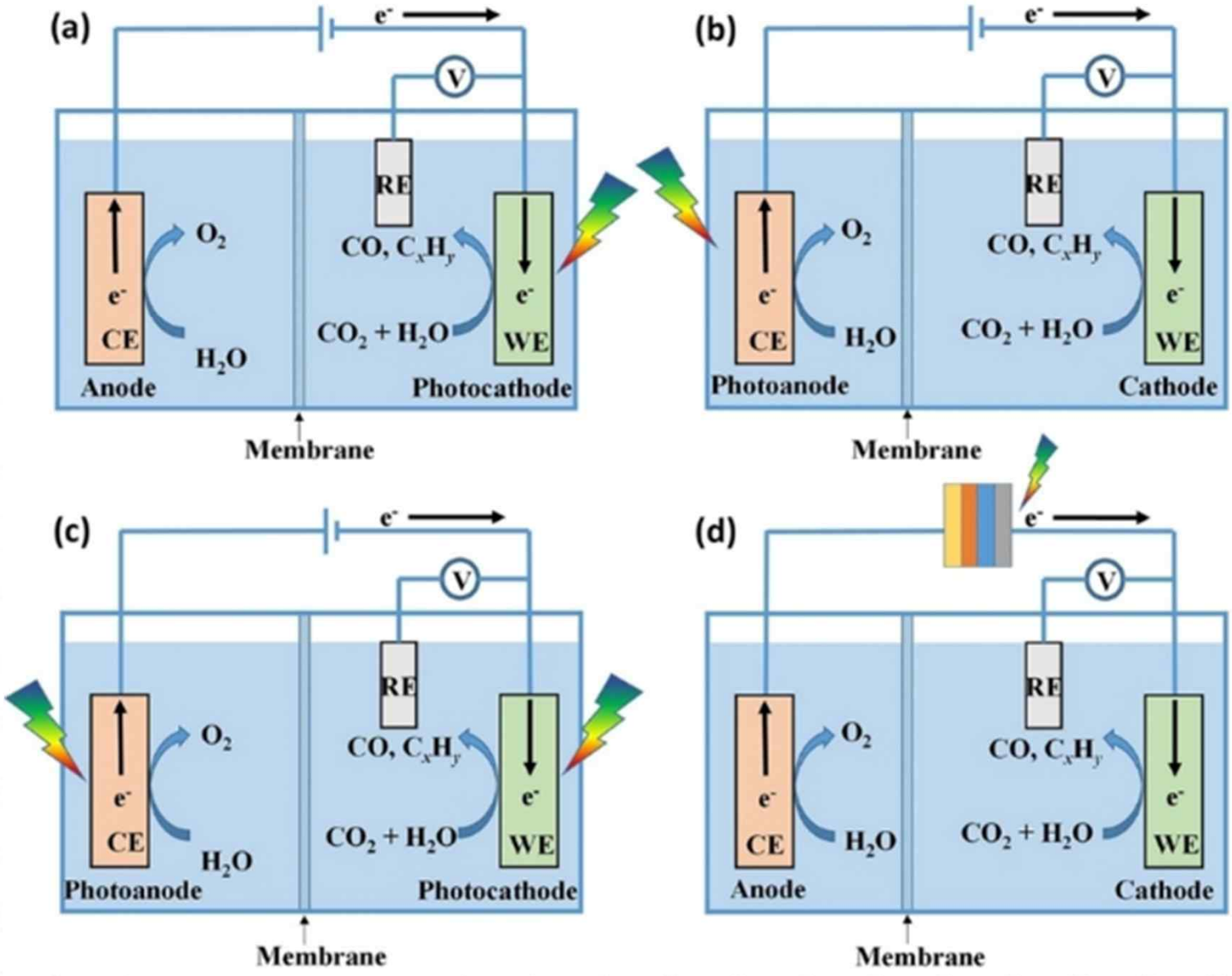






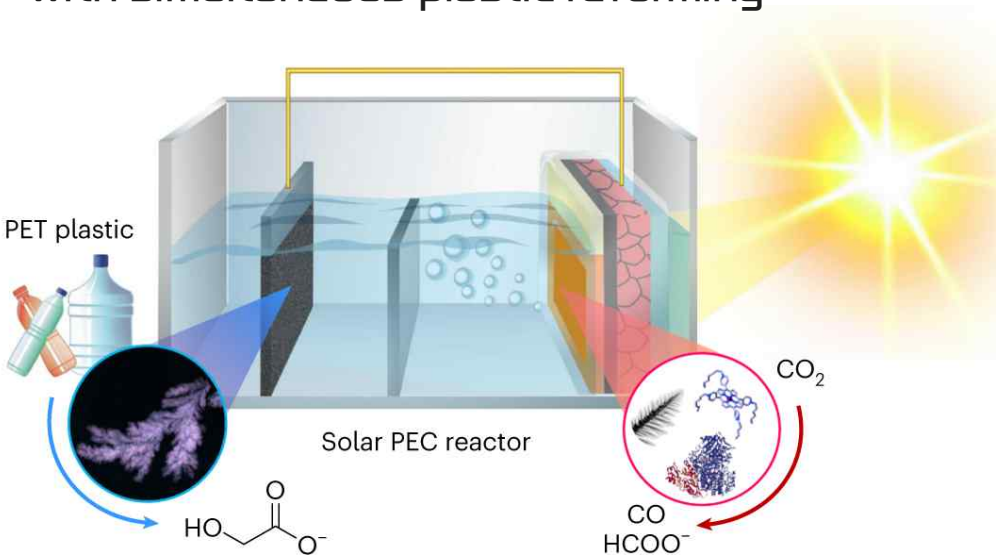
광전기화학적 탄소 전환 기술

❖ 태양광을 활용해 CO_2를 유용한 화합물(ex. CO, CH_4, CH_3OH, HCOOH)로 전환하는 인공 광합성 기술

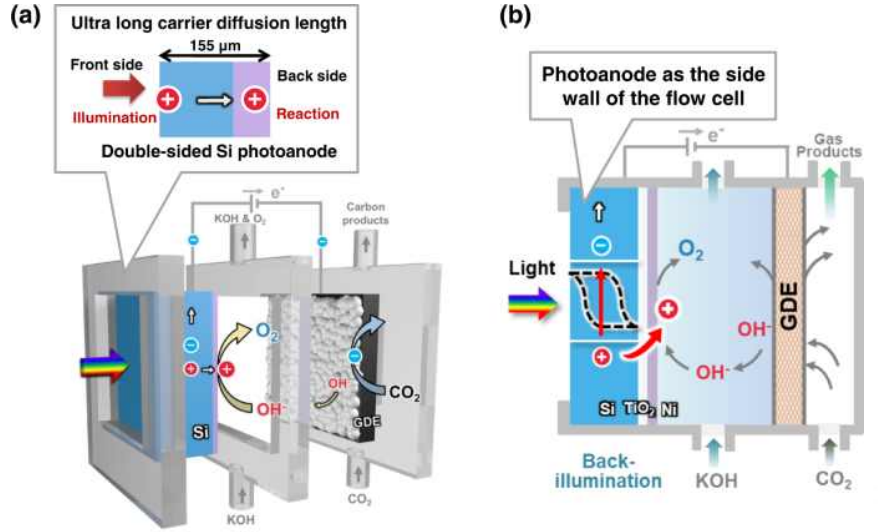


광화학적 탄소 전환 기술

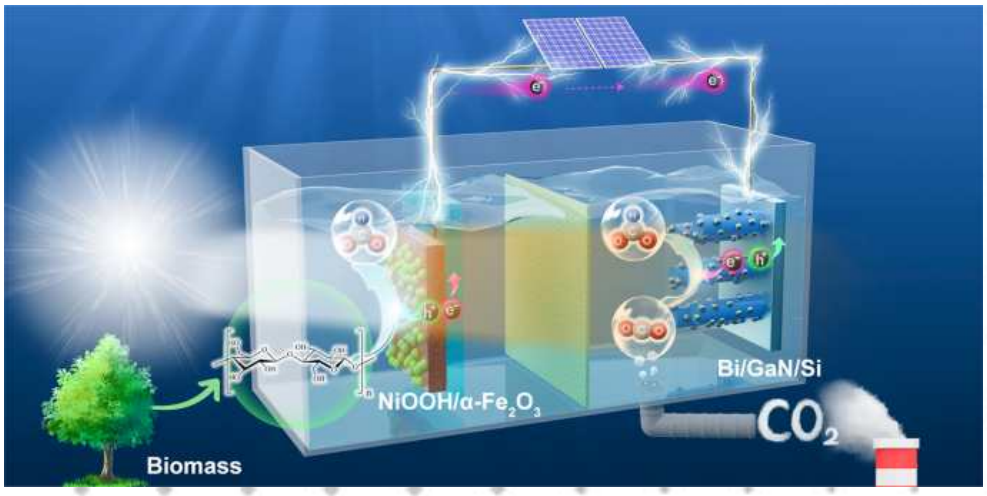
Photoelectrochemical CO_2-to-fuel conversion with simultaneous plastic reforming



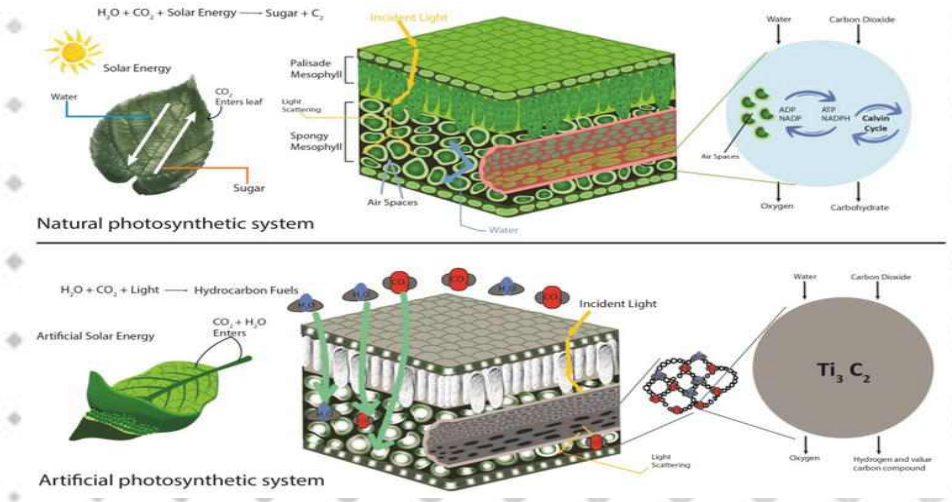
Back-illuminated photoelectrochemical flow cell for efficient CO_2 reduction



Tandem PEC cell for formate production from biomass and CO_2



Engineering artificial leaf for CO_2 conversion

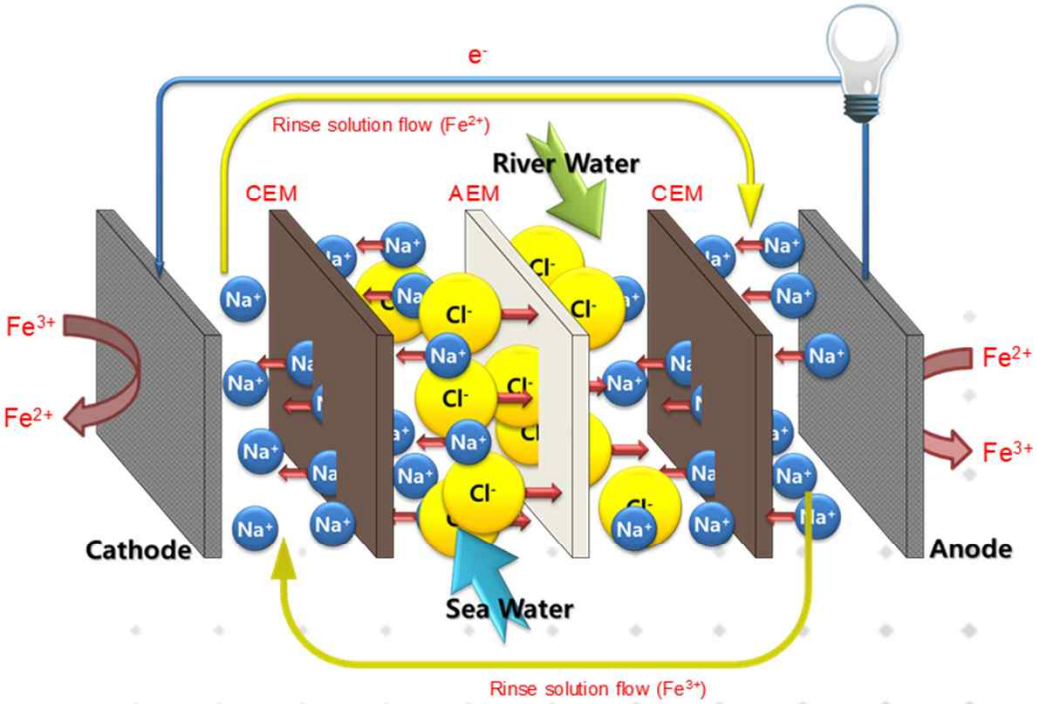


탄소 농도차 발전 기술

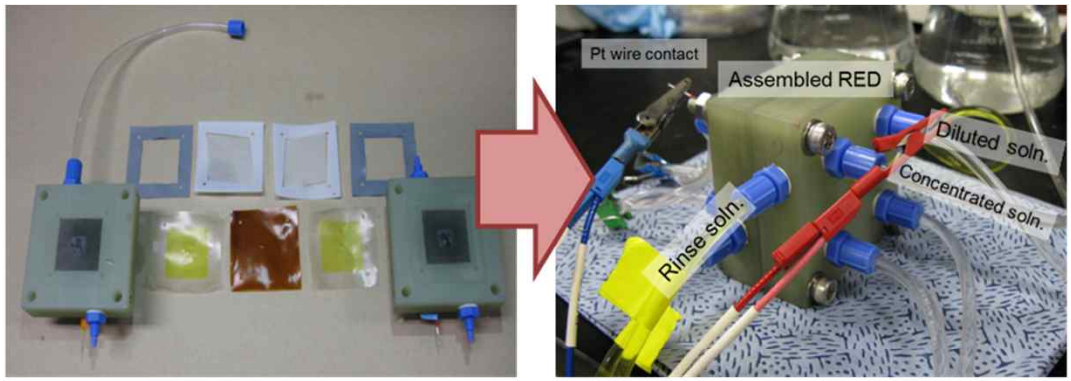
❖ 기존 역전기투석 기반 염분차 기술 + 탄소 농도 구배 활용 기술

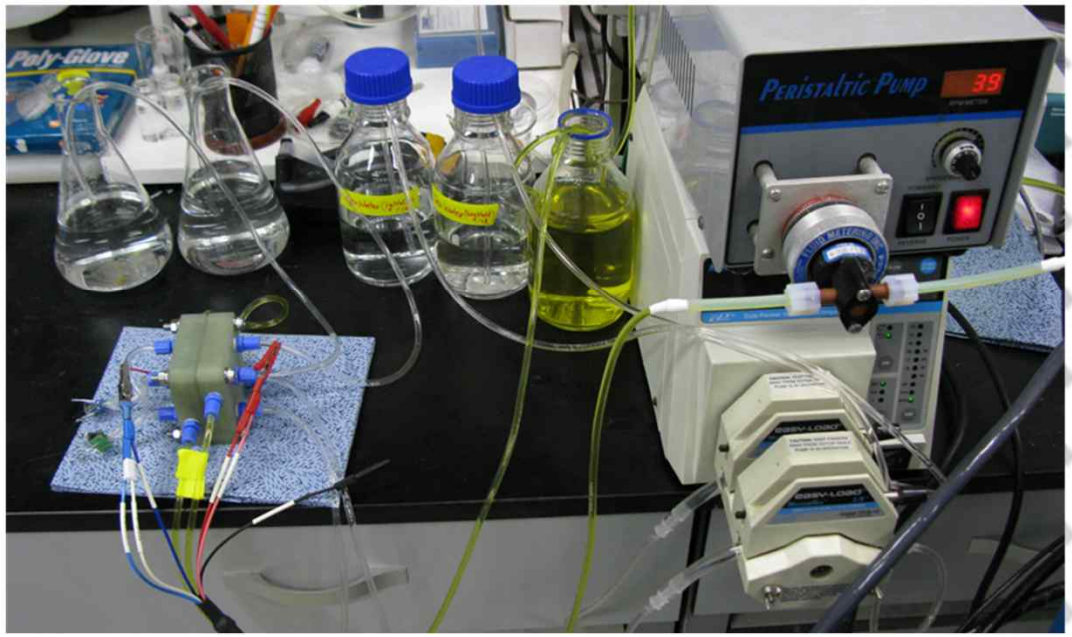
Salinity Gradient Power (SGP)

〉 Reverse Electrodialysis (RED)

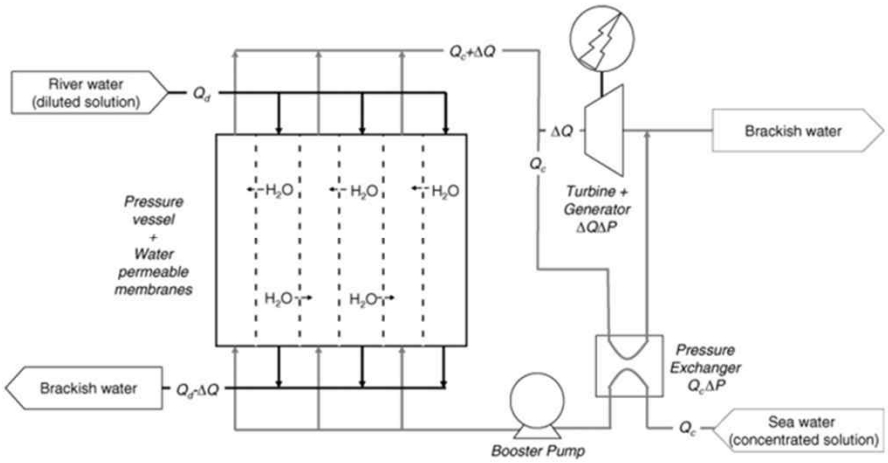


* Working Voltage = sum of Nernst potential difference over CEM and AEM

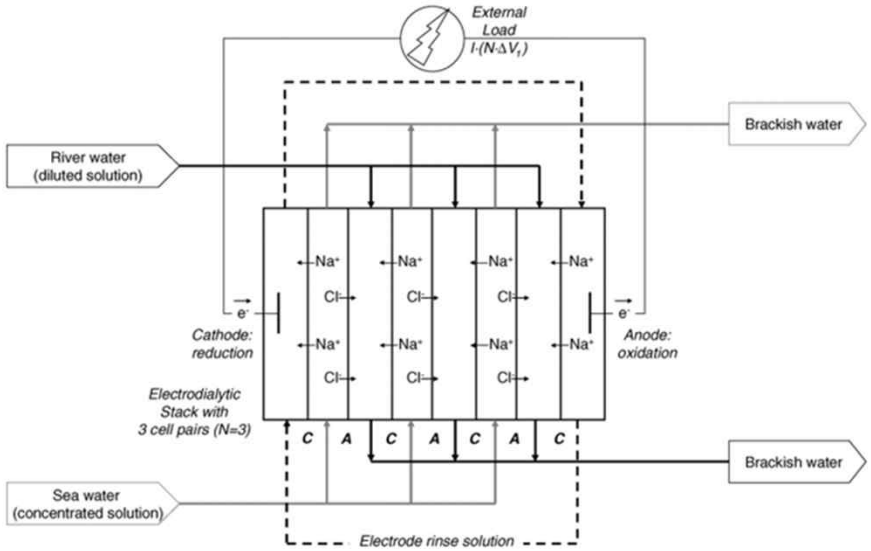




탄소 농도차 발전 기술



PRO (Pressure retarded osmosis)



RED (Reverse electro-dialysis)

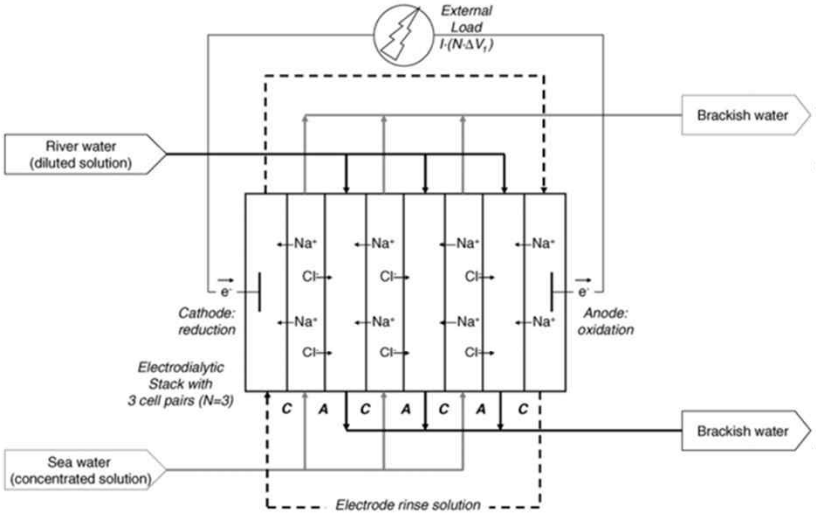
J.W. Post *et al.*, *J. Membr. Sci*, **288** (2007), pp. 218–230

	Pressure retarded osmosis	**Reverse electro-dialysis**
Driving force	Osmotic pressure	Electrochemical reaction
Mechanism	Mechanical conversion of *SG to °EE	Direct conversion of *SG to °EE

*SG: salinity gradient, °EE: electrical energy

➔ RED is promising because it directly produces electrical energy from salinity gradient.

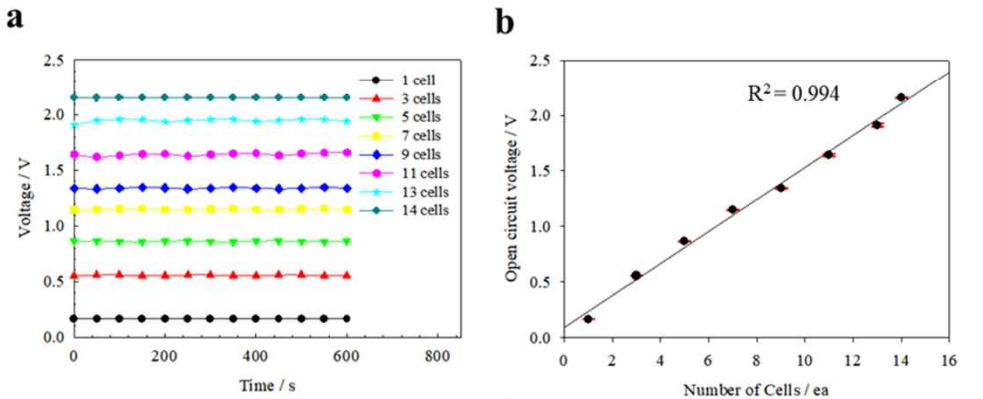
탄소 농도차 발전 기술

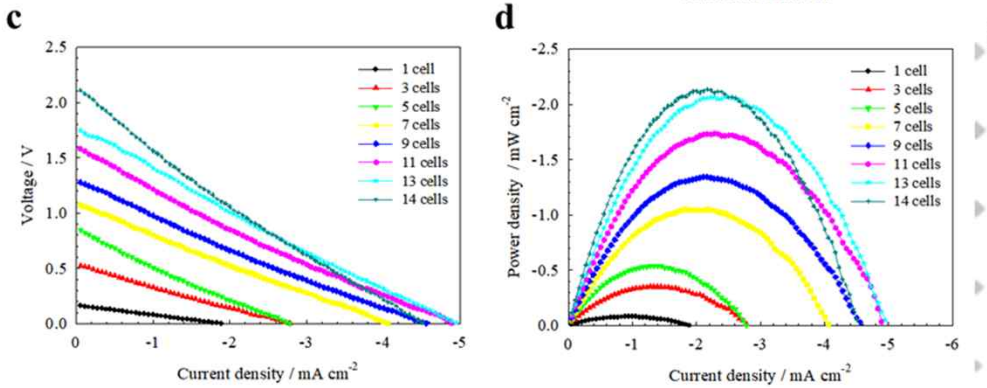


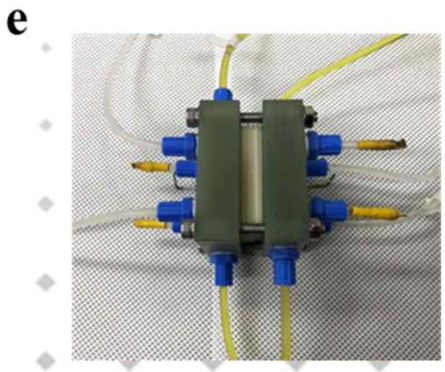
RED (Reverse electro-dialysis)

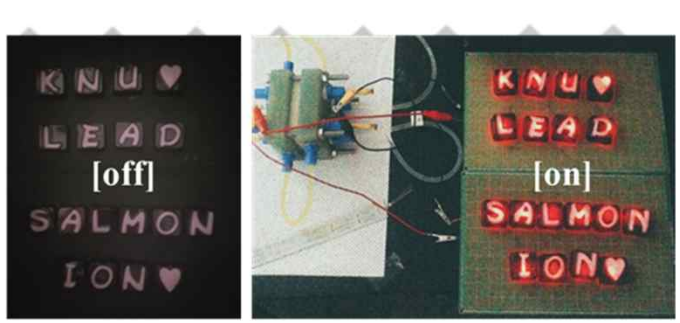
Component	Properties
Membrane	Conductivity, selectivity, cost, osmotic behavior, mechanical strength
Operating condition	Flow rates, flow direction
Water quality	Salt concentration, purity, temperature
Rinse solution	Composition, purity, temperature

These topics have been studied rarely compared to the membrane.

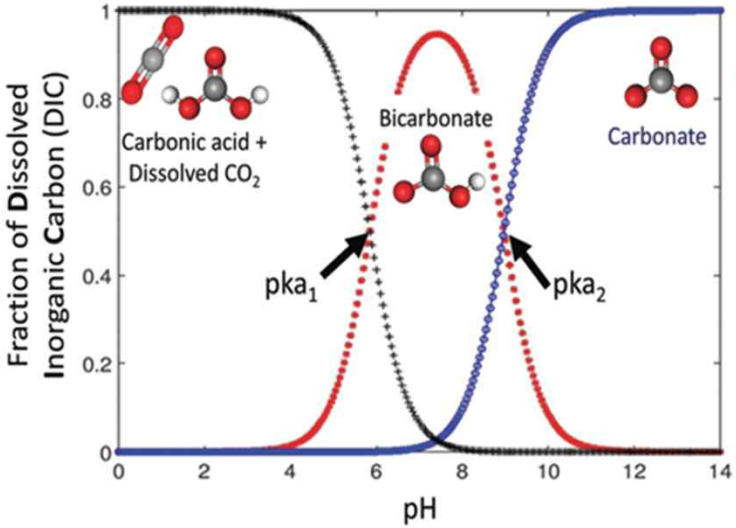


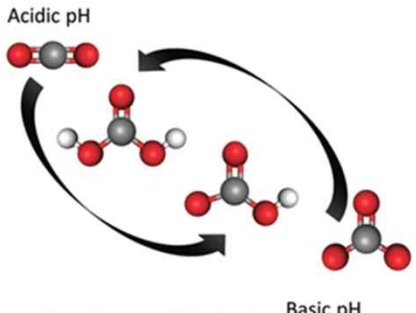




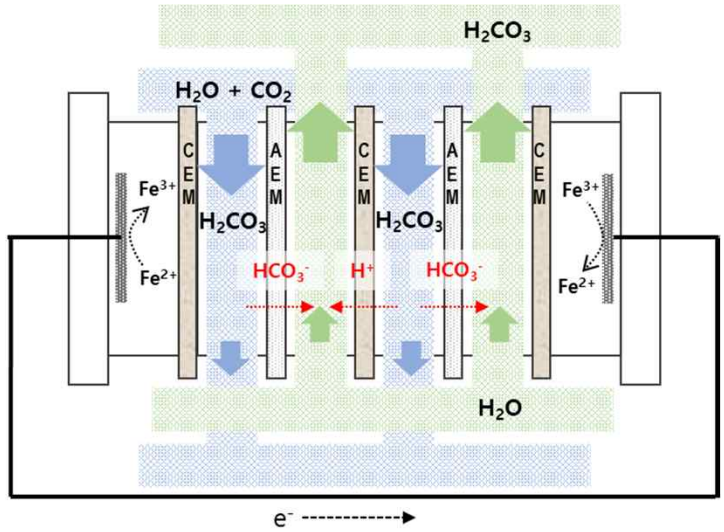


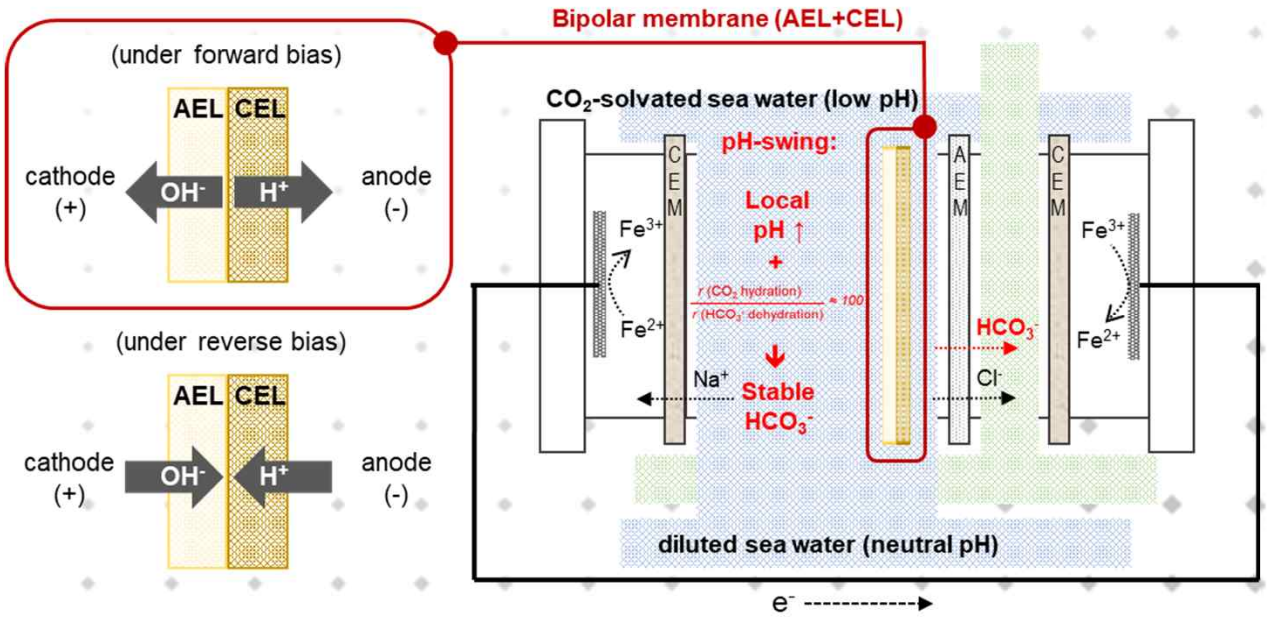
탄소 농도차 발전 기술

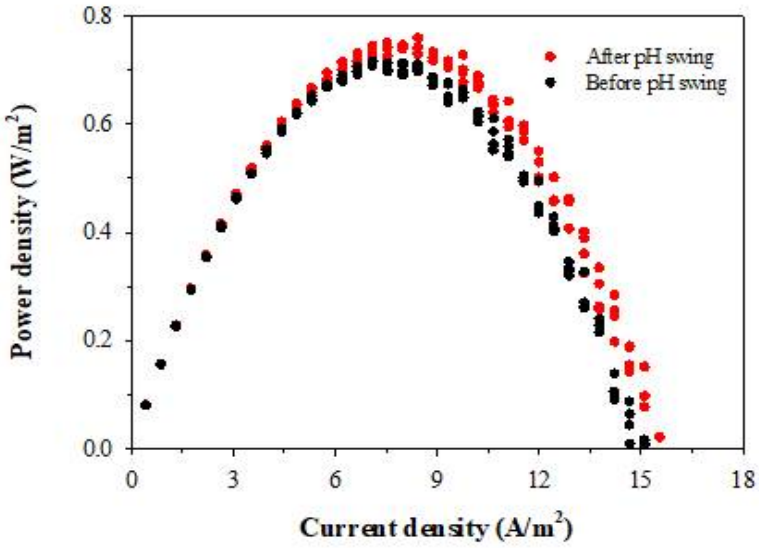




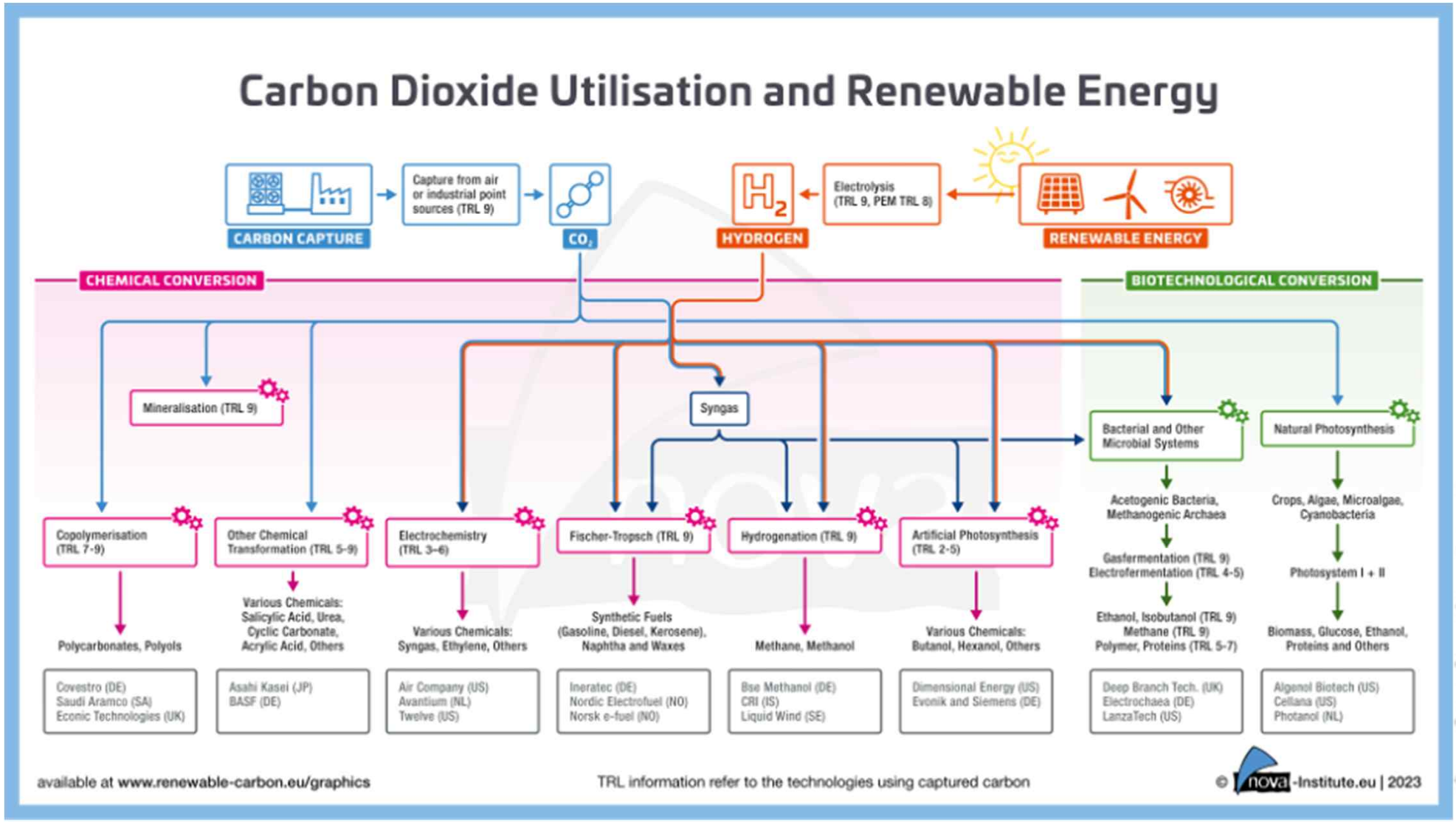
$$CO_2(g) \rightleftarrows CO_2(aq)$$
$$CO_2(aq) + H_2O \rightleftarrows H_2CO_3$$
$$CO_2(aq) + OH^- \rightleftarrows HCO_3^-$$
$$OH^- + H^+ \rightleftarrows H_2O$$





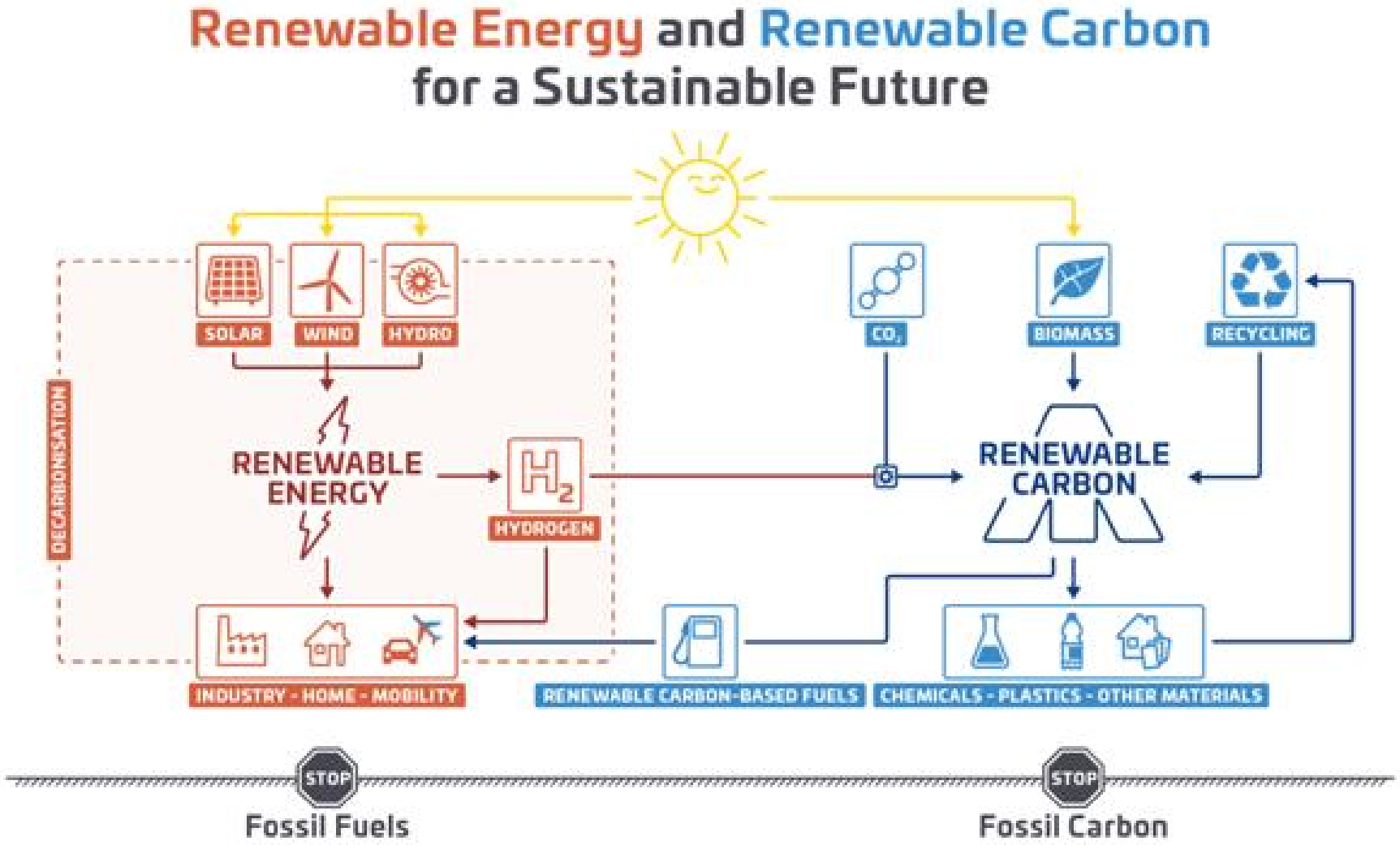


탄소 전환 기술 성숙도(TRL: Technology Readiness Level)



- 대부분 시제품 제작 및 평가 단계 도달 (TRL 5 ~), 일부 기술은 아직 Lab-scale (~TRL3)
- 실용화 사전 단계에 머물러 있으며, 수요-공급 시장이 아직 형성되어 있지 않음 (∝경제성)

Renewable Carbon (재생 가능한 탄소)



https://www.gigkarasek.com/blog/co2-verwertung-methoden-herausforderungen

- Renewable Carbon: Carbon을 중심으로 하는 자원 순환 체계
- Renewable Energy (에너지 패러다임) ←→ Renewable Carbon (자원 패러다임)

삼척시 탄소중립 콜로퀴엄

감사합니다.