

수소 · 저탄소 녹색산업을 통한 탄소중립으로의 전환

김기세

재단법인 강원테크노파크
GANGWON TECHNOPARK

수소안전융합학과
Kangwon Hydrogen Safety



Contents

I.

기후변화와 지구온난화

II.

에너지 패러다임의 전환
강원 수소산업 육성 현황

III.

탄소중립 실현을 위한
CCUS 신산업 추진 현황

Contents

I.

기후변화와 지구온난화

II.

에너지 패러다임의 전환
강원 수소산업 육성 현황

III.

탄소중립 실현을 위한
CCUS 신산업 추진 현황

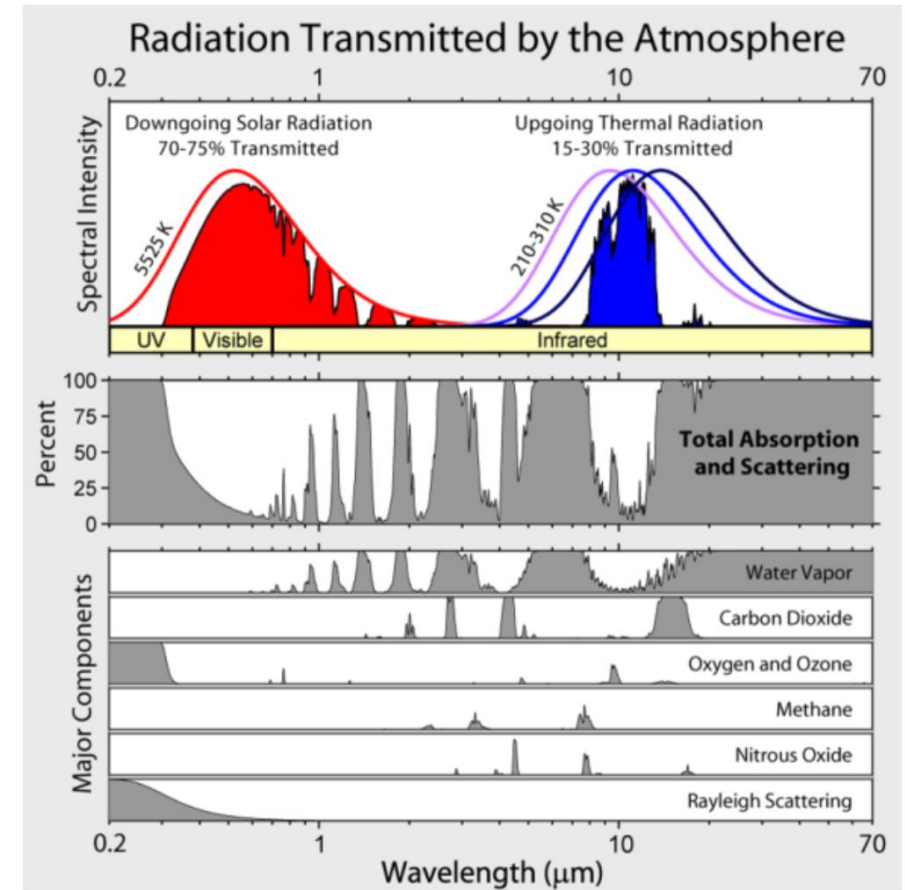
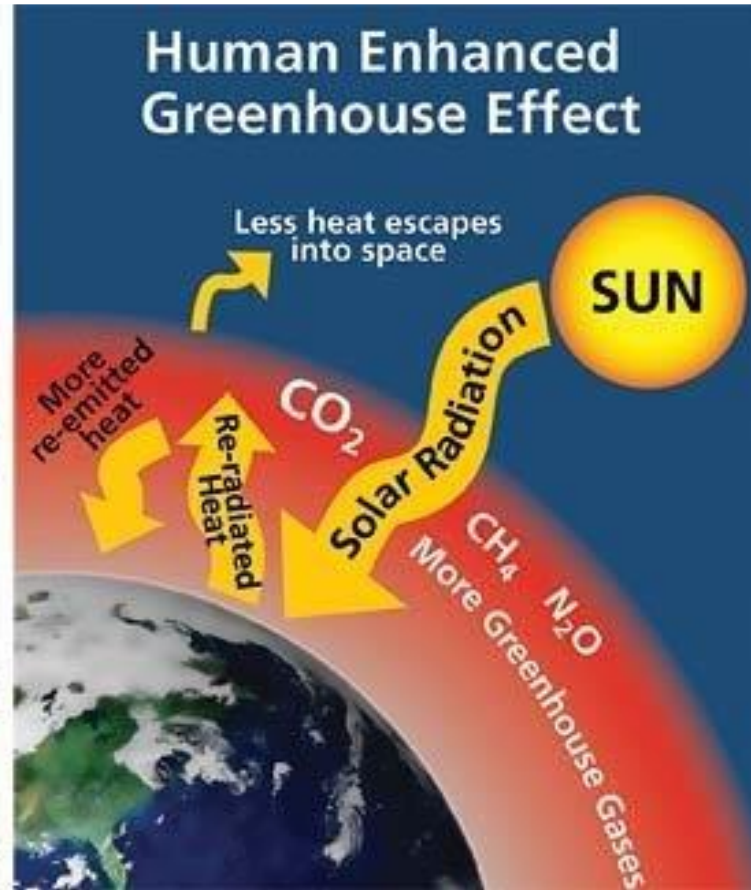
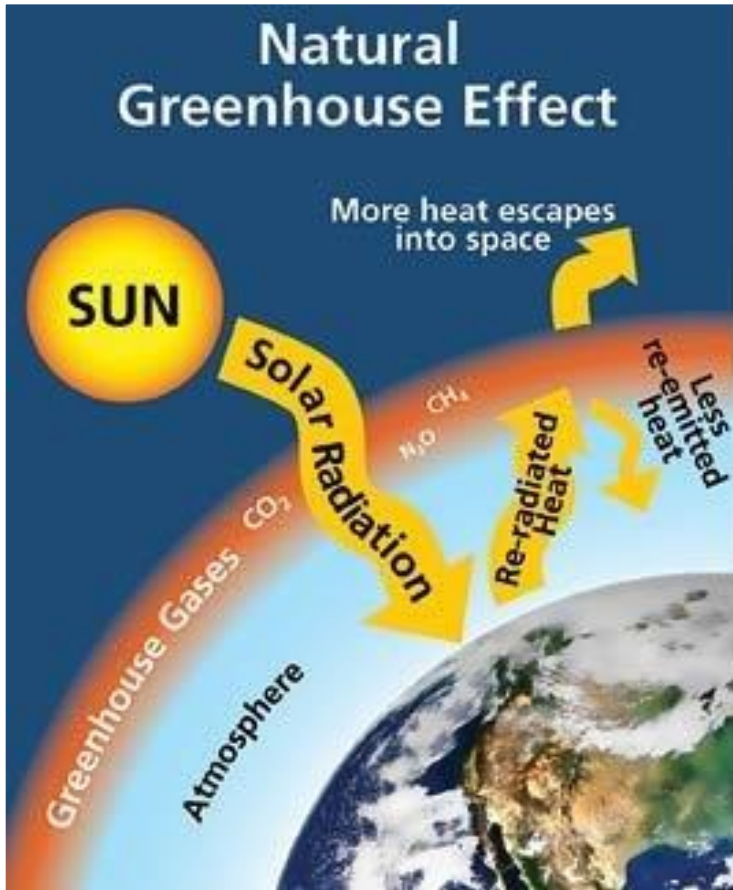
I. 기후변화와 지구온난화



“We are on a **highway to climate hell** with our foot still on the **accelerator**”
- Antonio Guterres, UN Secretary-General of the United Nations, 2022 -

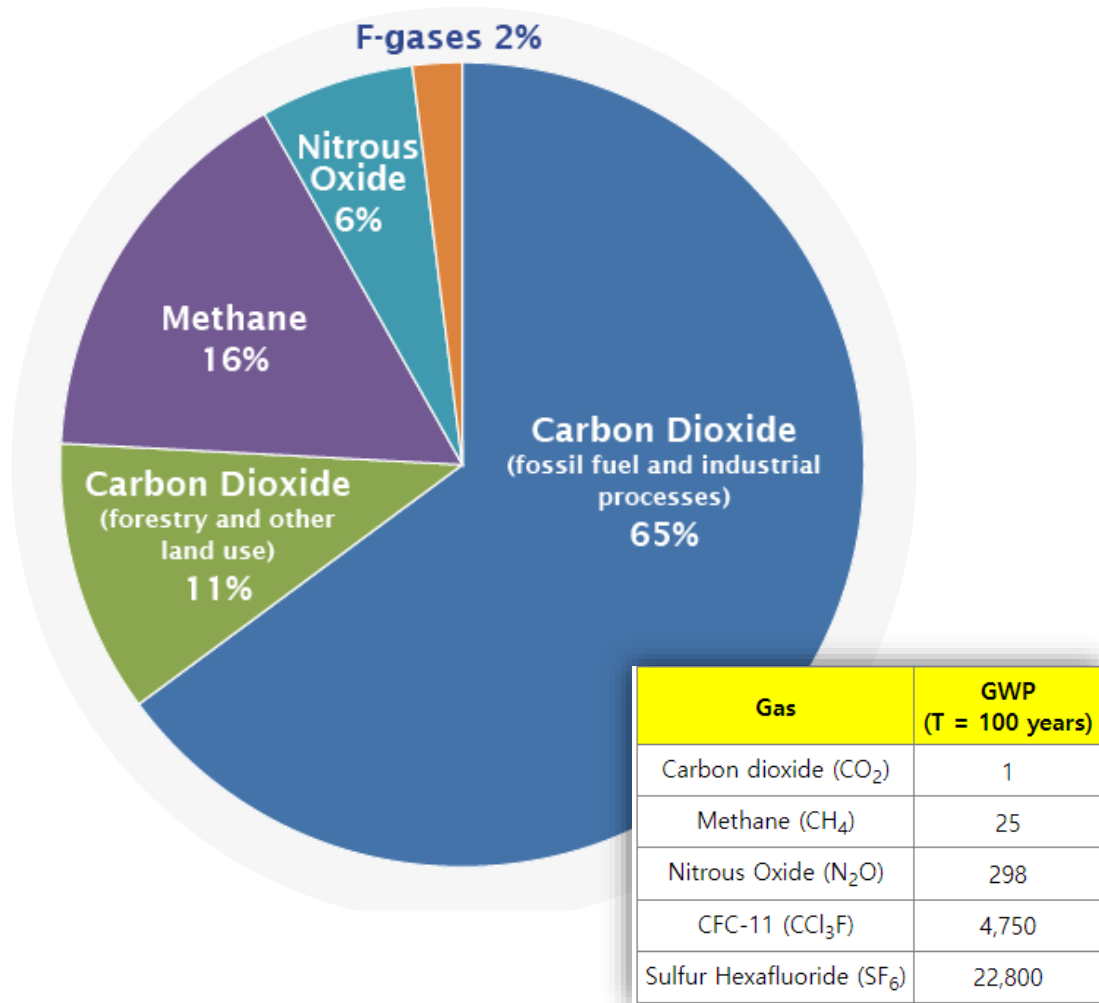


I. 기후변화와 지구온난화 온실가스 효과(Greenhouse Effect)

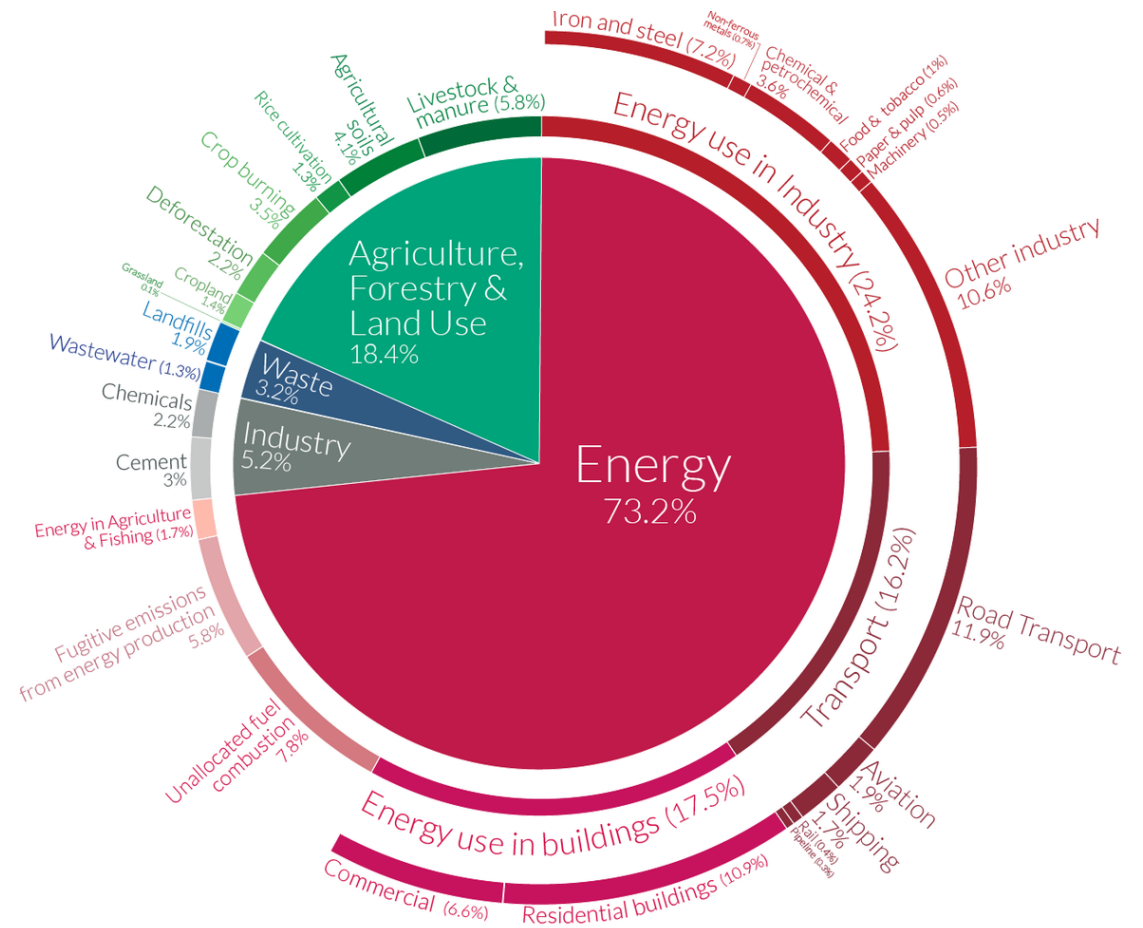


*Source: William Elder, National Park Service.

I. 기후변화와 지구온난화 Sector에 따른 온실가스 배출 분포



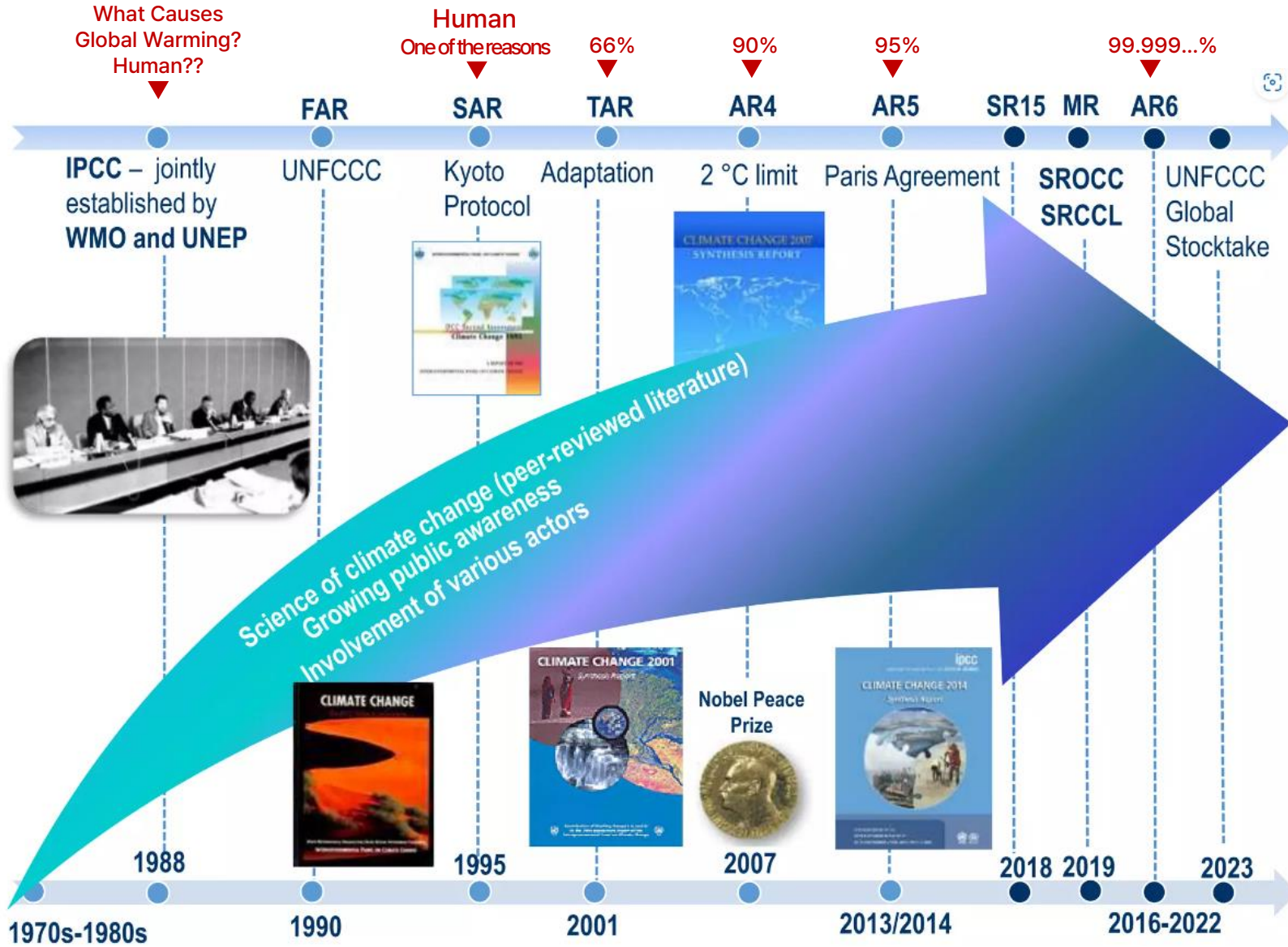
*GWP: Global Warming Potentials



OurWorldinData.org – Research and data to make progress against the world's largest problems.
 Source: Climate Watch, the World Resources Institute (2020).
 Licensed under CC-BY by the author Hannah Ritchie (2020).

*Source: <https://www.epa.gov/ghgemissions/global-greenhouse-gas-emissions-data>

I. 기후변화와 지구온난화 Human-Induced Climate Change

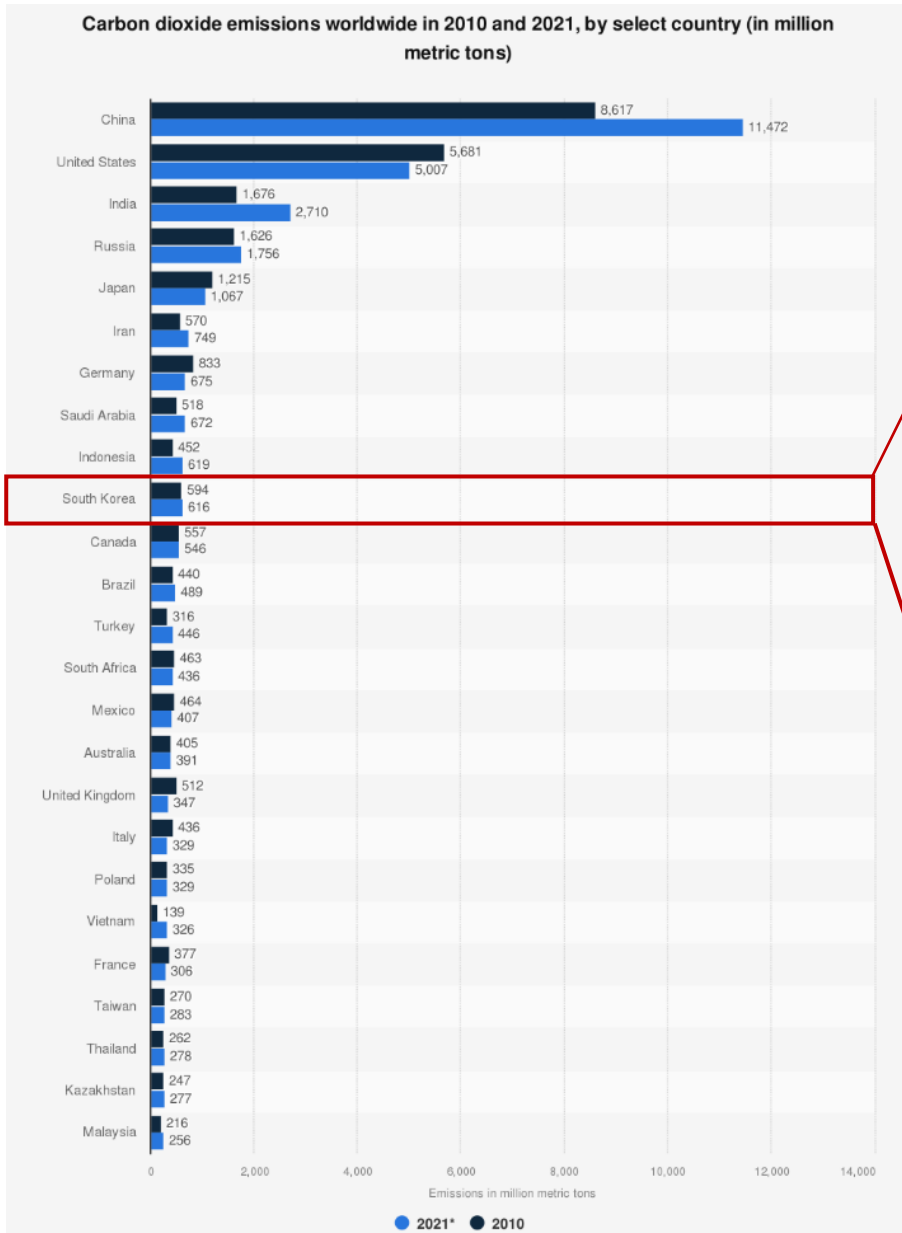


- 1995**
“인간의 영향력을 시사”
(Suggest)
- 2001**
“더 강력한 증거”
(Stronger Evidence)
- 2007**
“개연성이 높다”
(Very Likely)
- 2014**
“개연성이 극도로 높다”
(Extremely Likely)
- 2023**
“의심의 여지가 없다”
(Unequivocal)

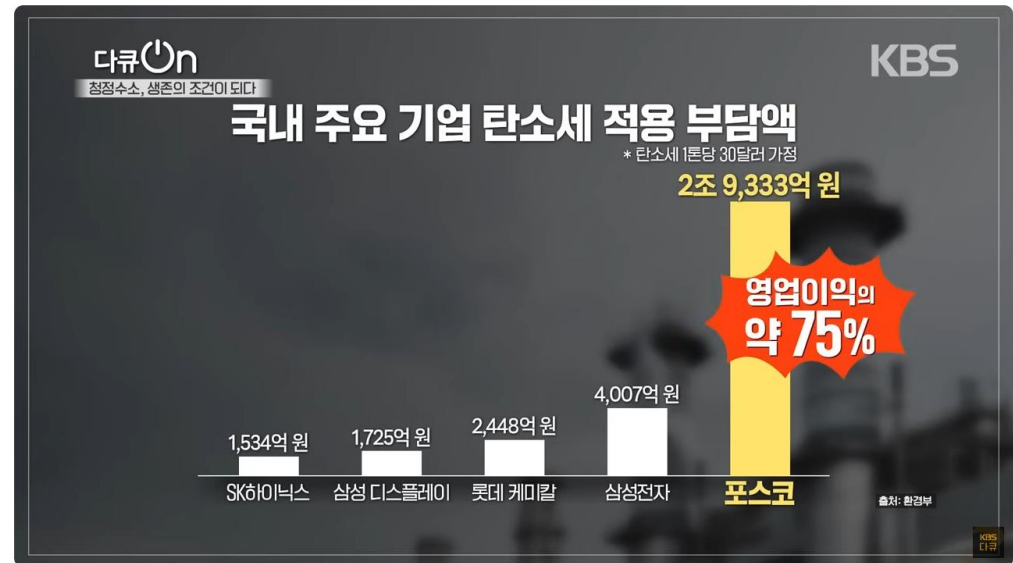
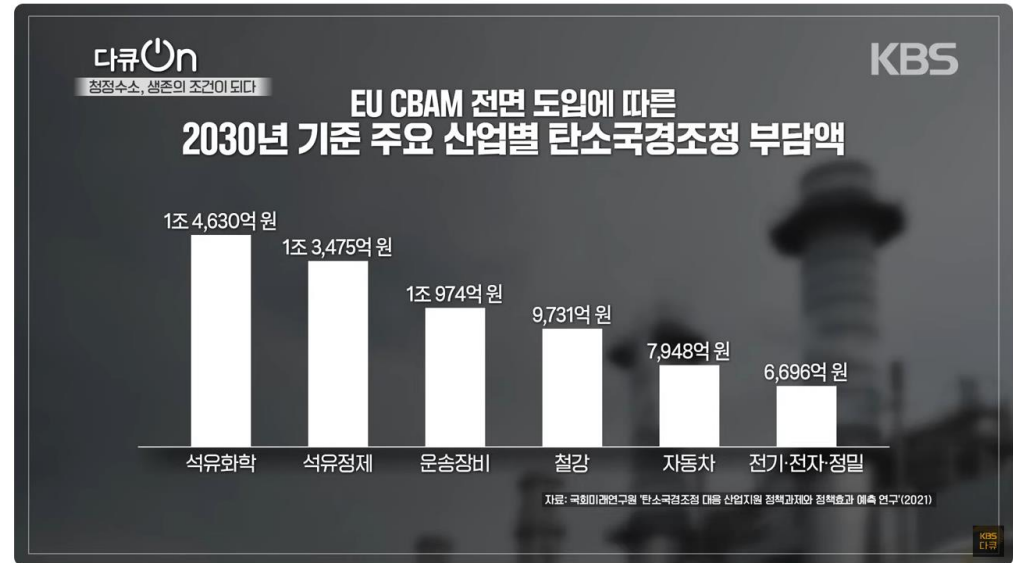
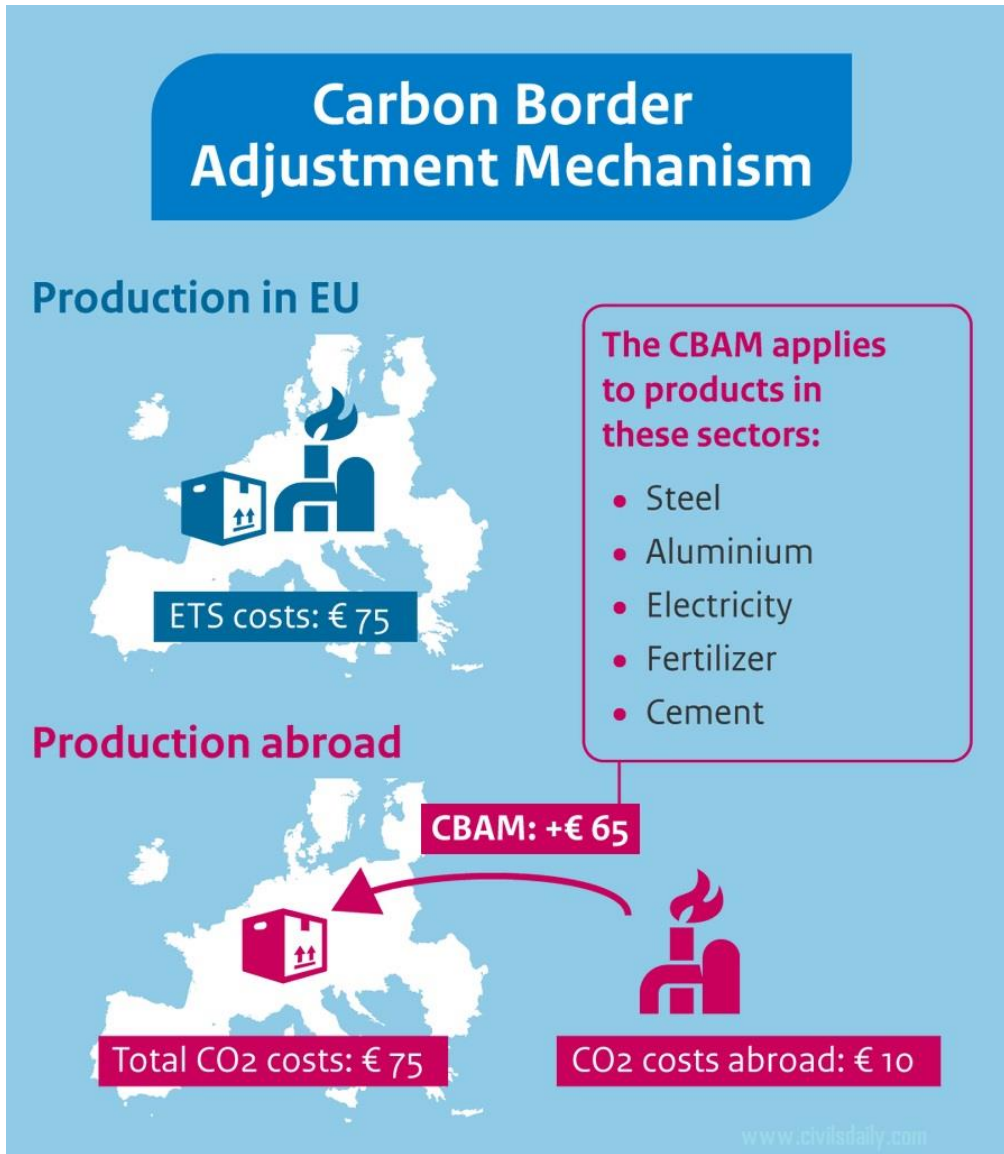
WMO: World Meteorological Organization (세계기상기구)
 UNEP: United Nations Environment Program (UN 환경 계획)

IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change (기후변화에 관한 정부간 협의체)
 UNFCCC: United Nations Framework Convention on Climate Change(기후변화협약)

I. 기후변화와 지구온난화 우리나라의 CO₂ 배출량(~ 2021)



순위	회사명	온실가스 배출량 (톤 CO ₂ eq)	에너지소비량 (TJ)	배출계수 (톤 CO ₂ eq/TJ)
1	포스코	75,669,968	382,757	198
2	한국남동발전	42,521,216	483,780	88
3	한국동서발전	34,905,112	420,898	83
4	한국중부발전	34,775,156	427,322	81
5	한국서부발전	30,422,589	359,490	85
6	한국남부발전	29,006,534	370,693	78
7	현대제철	28,623,105	122,203	234
8	삼성전자	12,531,900	177,122	71
9	쌍용양회공업	9,868,739	56,509	175
10	S-Oil	9,579,376	125,785	76
11	LG화학	8,176,631	152,392	54
12	GS칼텍스	7,788,771	101,519	77
13	현대오일뱅크	6,934,967	70,956	98
14	SK에너지	6,920,461	80,050	86
15	GS동해전력	6,797,741	76,329	89
16	삼표시멘트	5,984,233	34,526	173
17	롯데케미칼	5,570,916	100,847	55
18	포스코에너지	5,442,966	108,023	50
19	한국지역난방공사	5,214,198	103,844	50
20	한화토탈	4,801,448	106,417	45
21	성신양회	4,792,421	25,974	185
22	엘지디스플레이	4,748,200	56,668	84
23	한라시멘트	4,699,387	25,189	187
24	SK하이닉스	4,691,884	80,758	58
25	삼성디스플레이	4,631,823	77,508	60
Total	1,061개 회사	587,096,541	7,379,646	80



I. 기후변화와 지구온난화 탄소중립 전략

- 파리협정(2015년)에 따라 구속력 있는 온실가스 감축 목표인 **국가온실가스감축목표(NDC)** 설정 및 발표
- 2050년 **장기 저탄소 발전전략(LEDs)** 수립 및 발표(2020.12)
 - *NDC: National Determined Contribution
 - *LEDs: Long-term greenhouse gas Emission Development Strategy

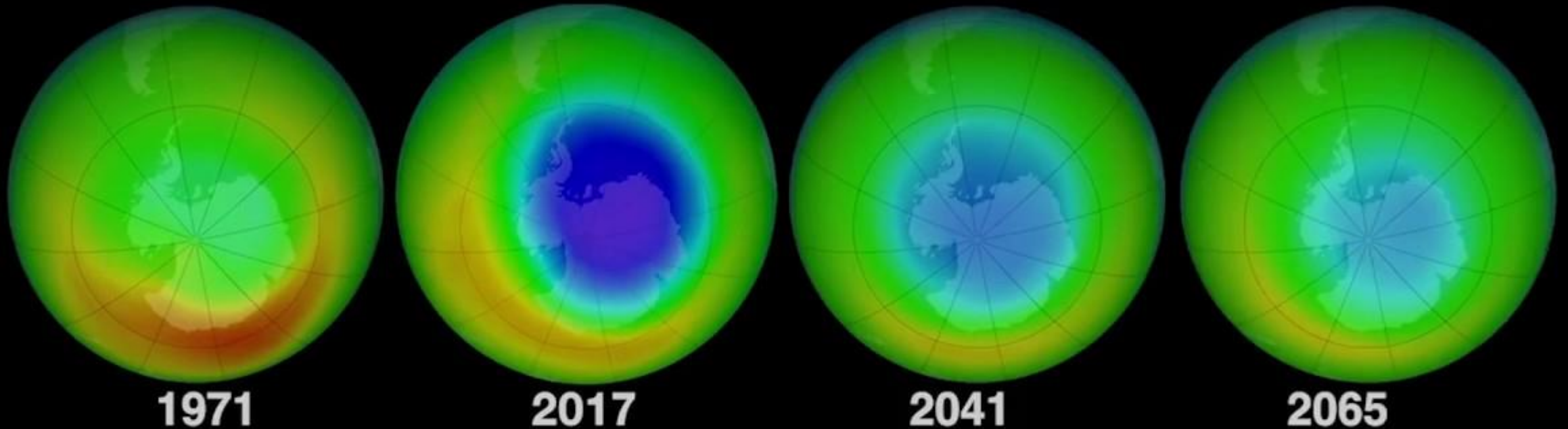


구분	1안	2안	3안	4안	5안
에너지공급부문	<ul style="list-style-type: none"> 석탄화력발전 비중 4% 재생에너지 발전비중 60% 	<ul style="list-style-type: none"> 석탄화력발전 비중 4% 재생에너지 발전비중 60% 	<ul style="list-style-type: none"> 석탄화력발전 비중 8% 재생에너지 발전비중 50% 	<ul style="list-style-type: none"> 석탄화력발전 비중 8% 재생에너지 발전비중 50% 	<ul style="list-style-type: none"> 석탄화력발전 비중 12% 재생에너지 발전비중 40%
산업부문	<ul style="list-style-type: none"> 전면적 전환과 융복합 확대 자원 재활용 최대화 및 획기적 공정개선 	<ul style="list-style-type: none"> 스마트 에너지 관리 시스템 전면 보급 자원 재활용 및 단계적 공정개선 	<ul style="list-style-type: none"> 스마트 에너지 관리 시스템 보급 확대 자원 재활용 및 단계적 공정개선 	<ul style="list-style-type: none"> 스마트 에너지 관리 시스템 보급 확대 산업공정 고효율 저감설비 도입 	<ul style="list-style-type: none"> 스마트 에너지 관리 시스템 일부 적용 전동기, 보일러 기기 에너지 소비효율 개선
건물부문	<ul style="list-style-type: none"> 녹색건물 정착 미활용 열 등 신재생에너지 소비 극대화 	<ul style="list-style-type: none"> 녹색건물 정착 신재생에너지 보급 확대 강화 	<ul style="list-style-type: none"> 녹색건물 일반화 신재생에너지 보급 확대 강화 	<ul style="list-style-type: none"> 녹색건물 일반화 신재생에너지 보급 추진 	<ul style="list-style-type: none"> 녹색건물 관리 강화 신재생에너지 보급 추진
수송부문	<ul style="list-style-type: none"> 내연차 급격한 퇴보(비중 7%) 친환경차 대중화(비중 93%) 자율주행, 인공지능 확산 	<ul style="list-style-type: none"> 내연차 급격한 퇴보(비중 7%) 친환경차 대중화(비중 93%) 도로체계 변화 본격화 	<ul style="list-style-type: none"> 내연차 점진적 퇴보(비중 18%) 친환경차 보편화(비중 82%) 도로체계 변화 본격화 	<ul style="list-style-type: none"> 내연차 점진적 퇴보(비중 18%) 친환경차 보편화(비중 82%) 도로체계 변화 가시화 	<ul style="list-style-type: none"> 내연차 감소(비중 25%) 친환경차 확대(비중 75%) 도로체계 변화 가시화

*Source: 2050년 부문별 주요 사회상(자료출처: 2050 저탄소사회 비전 포럼)



※ 청색(blue)과 자색(purple) 영역은 오존층 구멍(ozone depletion)을 의미



- 국제 공동체가 오존 파괴 물질을 금지하기로 합의한 몬트리올 의정서(Montreal Protocol, 1987) 협약 이후 36년이 경과
- 현재의 흐름대로 진행된다면, 2066년까지 오존층이 완전히 회복될 것으로 예측

Contents

I.

기후변화와 지구온난화

II.

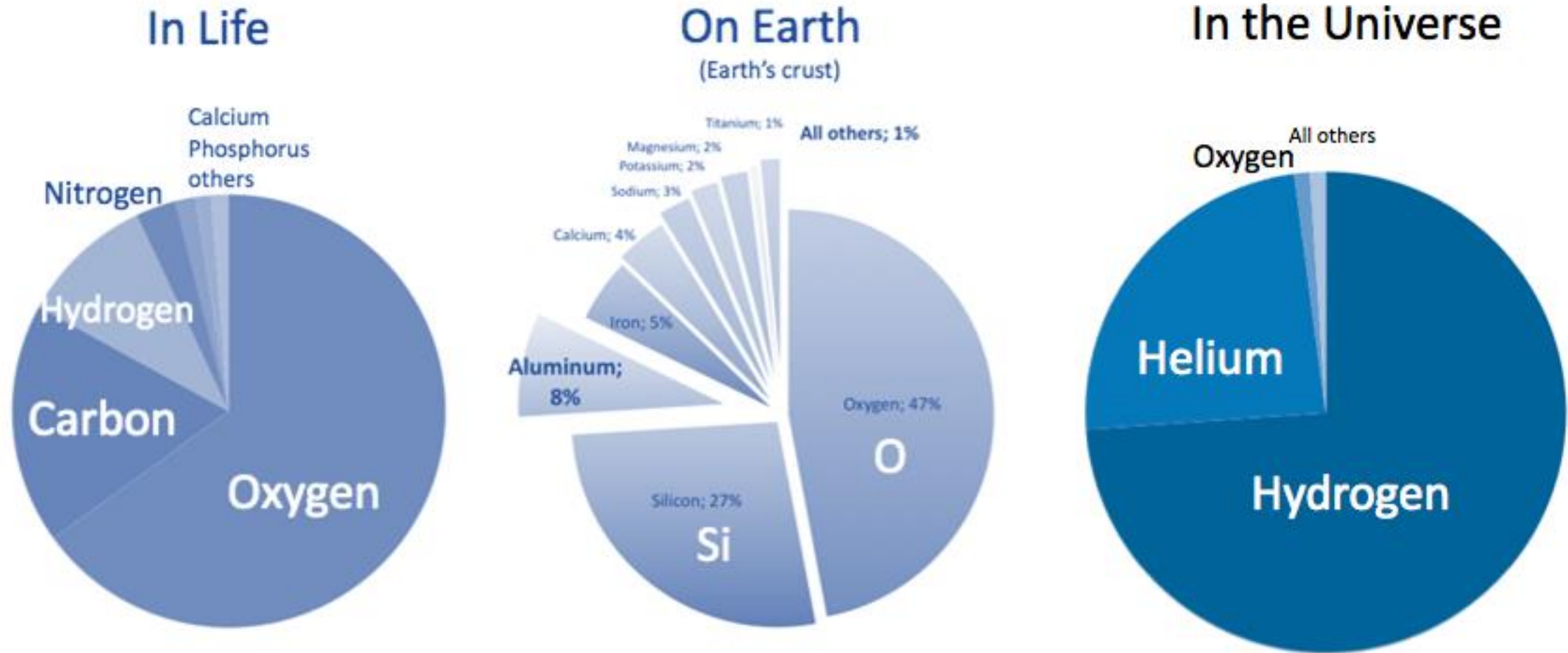
에너지 패러다임의 전환
강원 수소산업 육성 현황

III.

탄소중립 실현을 위한
CCUS 신산업 추진 현황

II. 에너지 패러다임의 전환, H₂ The Most Abundant Element in the Universe

9/28



>> 75% of all mass in the universe

Relative elemental abundances in the universe



Q. You talked earlier, Iron is abundant, Oxygen is abundant , Hydrogen is also very abundant in the universe.

A. **Universe, but not on Earth.**

Q. Do you think hydrogen has a role to play if we really want to accelerate the transition away from fossil fuels?

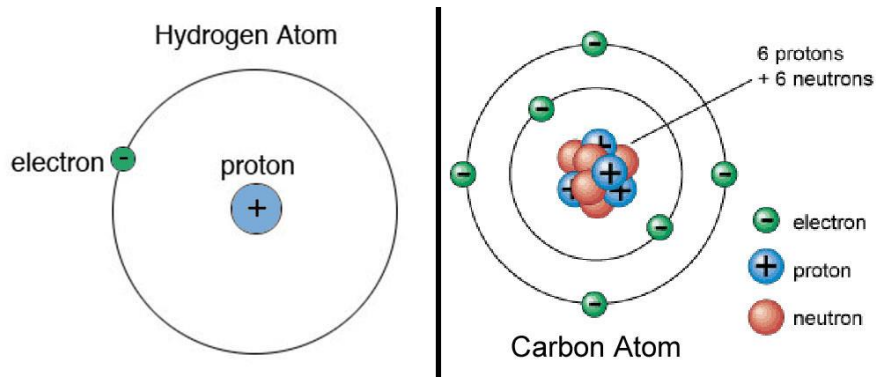
A. **No**

II. 에너지 패러다임의 전환, H₂ The Lightest Element in the Periodic Table

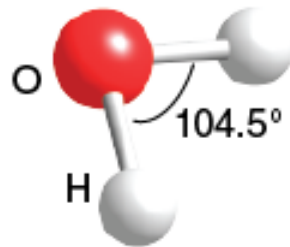
Group	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Period 1	1 H																	2 He
Period 2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
Period 3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
Period 4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
Period 5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
Period 6	55 Cs	56 Ba	* 71 Lu	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
Period 7	87 Fr	88 Ra	* 103 Lr	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Nh	114 Fl	115 Mc	116 Lv	117 Ts	118 Og
			* 57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb		
			* 89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No		

(H) Hydrogen (1)
Hydrogen is the lightest element found in the periodic table.

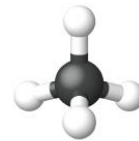
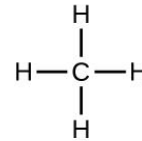
H₂ is so light that it can **easily escape from the earth's gravity!**



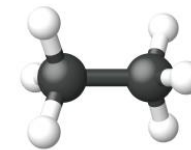
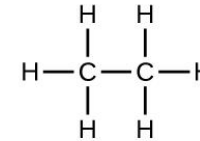
Highly reactive, existing in a compound with other elements (like water & hydrocarbon), **making it hard to produce!**



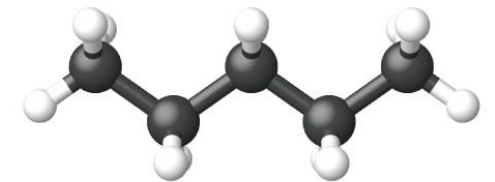
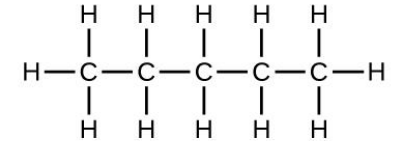
H₂O



methane
CH₄



ethane
CH₃CH₃ or C₂H₆



pentane
CH₃CH₂CH₂CH₂CH₃ or C₅H₁₂



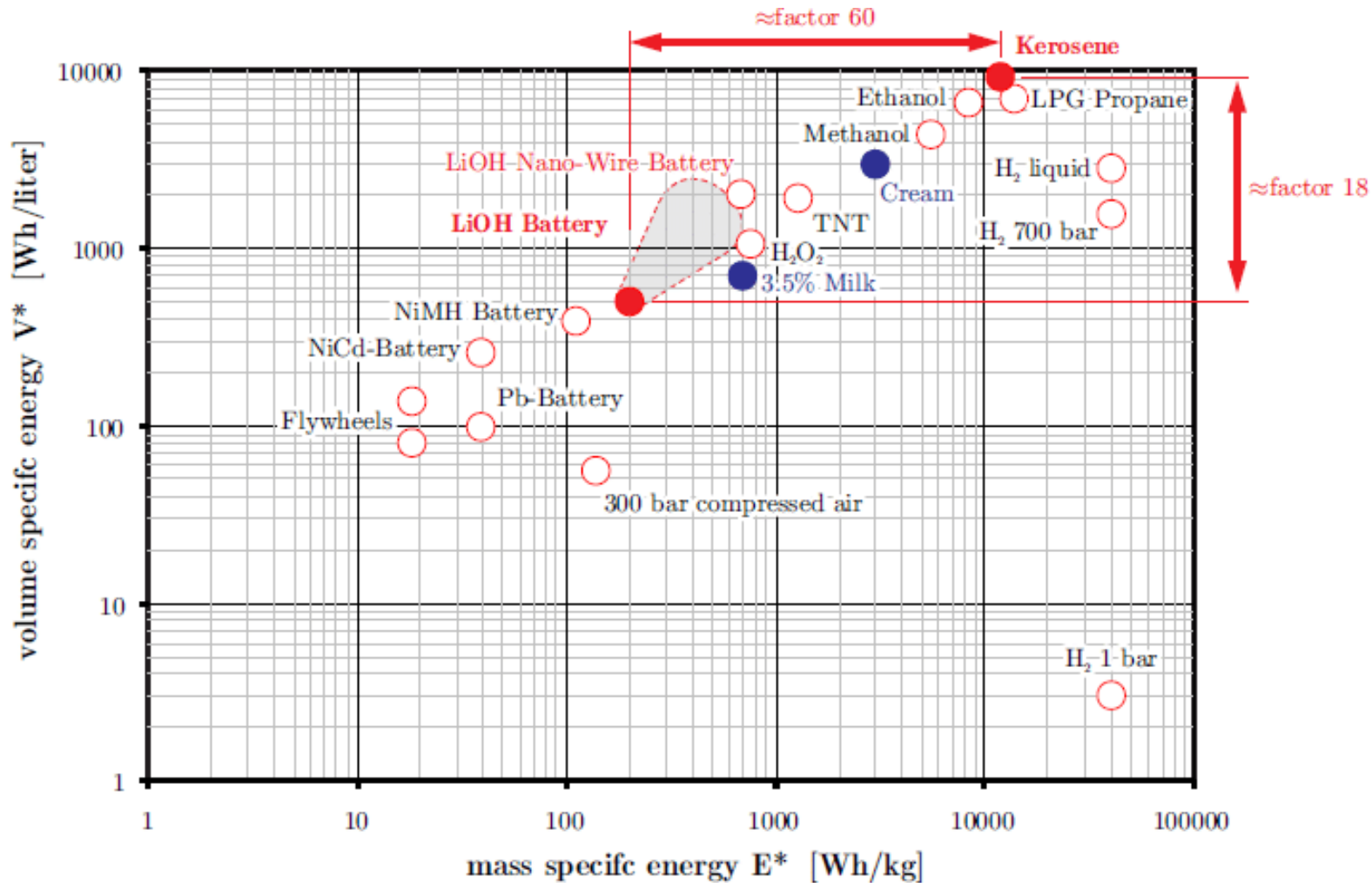
Q. Why so critical of hydrogen fuel cells?

A. I'm sure another pathway a zero-emission vehicles.

I don't want to turn this into a debate about hydrogen fuel cells because I think they are extremely silly.

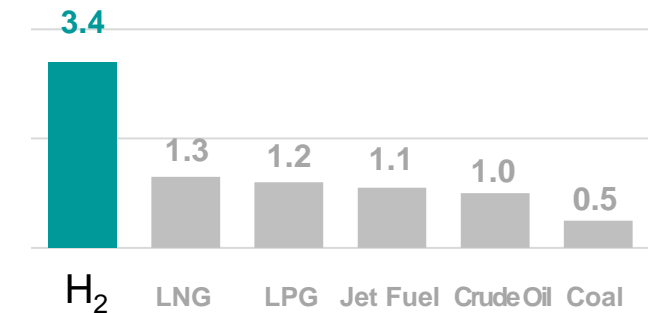
... electrolysis extremely inefficient, extremely high pressure, very low density, pernicious molecules, metal embrittlement, extremely flammable, invisible flame ...

II. 에너지 패러다임의 전환, H₂ Carbon Free with High Energy Density



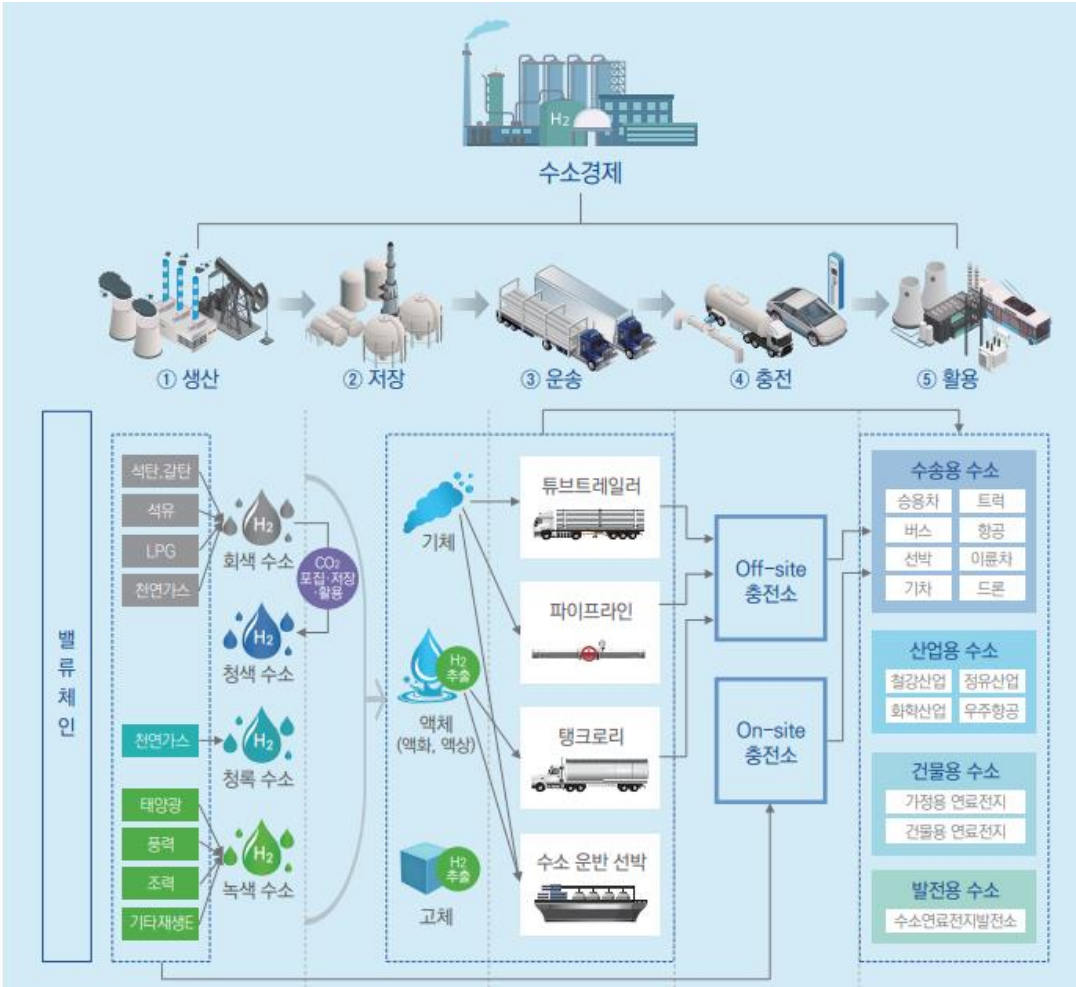
Energy Source	Specific energy		Energy Density
	MJ/kg	Wh/kg	Wh/L
Gasoline	46.4	12,888.9	9,500
Diesel	45.6	12,666.7	10,722
AvGas	44.0	12,222.2	8,775
Jet Oil	43.15	11,990	9,600
Liquid Hydrogen	141.86 119.93	39,405.6 33,313.9	2,790.0 2,358.6
Li-ion Battery	0.36 ~0.875	100~243	250~730

Tonnes of Oil Equivalent for Different Energy Sources



3~7X higher energy density than fossil fuels, implying great potentials to replace them as **new energy carrier in net-zero era!**

II. 에너지 패러다임의 전환, H₂ 수소경제 - 생산, 저장, 운송, 충전 및 활용

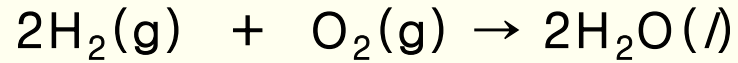


주요 기업 수소 밸류체인 추진 현황

*괄호 안은 해당 밸류체인 내 기술 개발을 통한 간접 참가. 자료=각 사

그룹	생산		저장	유통	활용		
	그레이·블루	그린수소			모빌리티	발전	기타
HYUNDAI	부생 (리포머)	수전해	-	충전소 (튜브트레일러)	차 트램	연료전지	환원제철
SK	개질 부생	수전해	액화수소	충전소 (탱크로리, 파이프라인)	드론	연료전지 혼소	지게차
POSCO	부생 개질	풍력	암모니아	충전소 수소트레이딩 수소터미널	-	혼소	환원제철
롯데	부생	-	(연료탱크)	충전소 그린암모니아 벙커링	-	연료전지	-
Hanwha	부생	태양광	(연료탱크)	연료탱크 활용 운송 (수소 컴프레서)	-	연료전지 혼소	-
GS	부생 개질	-	액화수소	충전소	-	연료전지	-
현대중공업	부생	수전해	-	충전소	선박	연료전지	건설장비
DOOSAN	개질	풍력	액화수소	-	드론	연료전지	수소터빈
HYOSUNG	부생	풍력	액화수소 (연료탱크)	충전소	-	-	-

1. 청정에너지원



2. 에너지 안보 확립

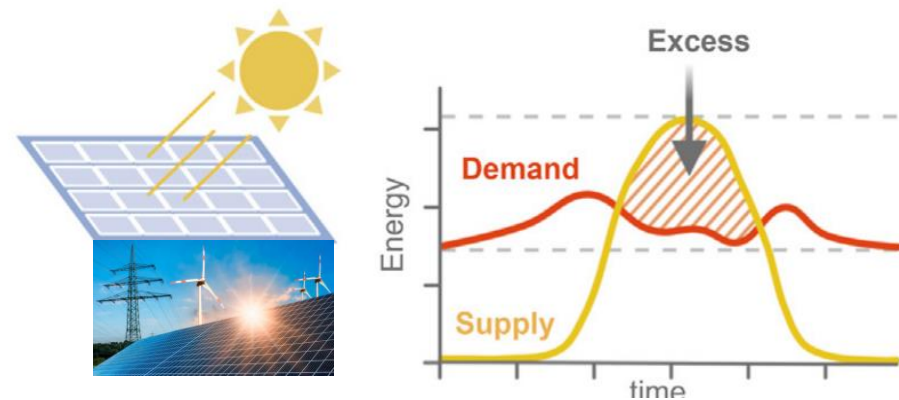


3. 기존 주력산업 연계 신성장 동력 확보

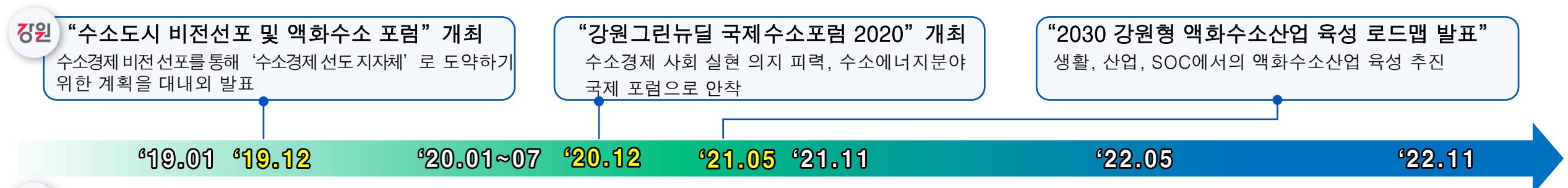


4. 재생에너지 확산을 위한 보완적 역할

Intermittent generation of solar power leads to excess supply



II. 에너지 패러다임의 전환, H₂ 국내 수소정책 동향



<p>수소경제 활성화 로드맵 수립</p> <p>수소산업 밸류체인별 확장 목표 수립</p>	<p>수소법 제정 및 수소전담기관 지정</p> <p>수소산업 육성 기반 마련</p>	<p>제1차 수소경제 이행 기본계획 수립</p> <p>청정수소 중심, 수소산업 구조 전환</p>	<p>新정부 국정과제 발표</p> <p>청정수소 기반 수소산업 육성</p>	<p>수소경제 3대 성장 전략 발표</p> <p>청정수소 생태계 확장, 청정수소 활용 촉진기반 마련</p>
<ul style="list-style-type: none"> • 수소시장 확대에 집중한 목표 설정 <ul style="list-style-type: none"> - 2040년 연간 수소 526만톤 공급 및 2030년 수소 유통가격 4,000원/kg 달성 - 충전소 확대를 위한 규제샌드박스 도입 				
<ul style="list-style-type: none"> • 부생, 추출수소 및 공급자 중심 수소시장 형성 <ul style="list-style-type: none"> - 생산 규모, 경제성이 우수한 부생, 추출수소 중심 시장 형성 (Blue, Green 수소생산 상용화 기술 미흡) - 국내 석오화학 기업 및 해외 산업용 가스 기업이 수소 물량을 공급하는 구조 				
<ul style="list-style-type: none"> • 수소활용: Mobility 중심 시장 확대 				<ul style="list-style-type: none"> • 수소활용: Mobility 확대와 함께 발전, 철강 산업 분야 영역 확대

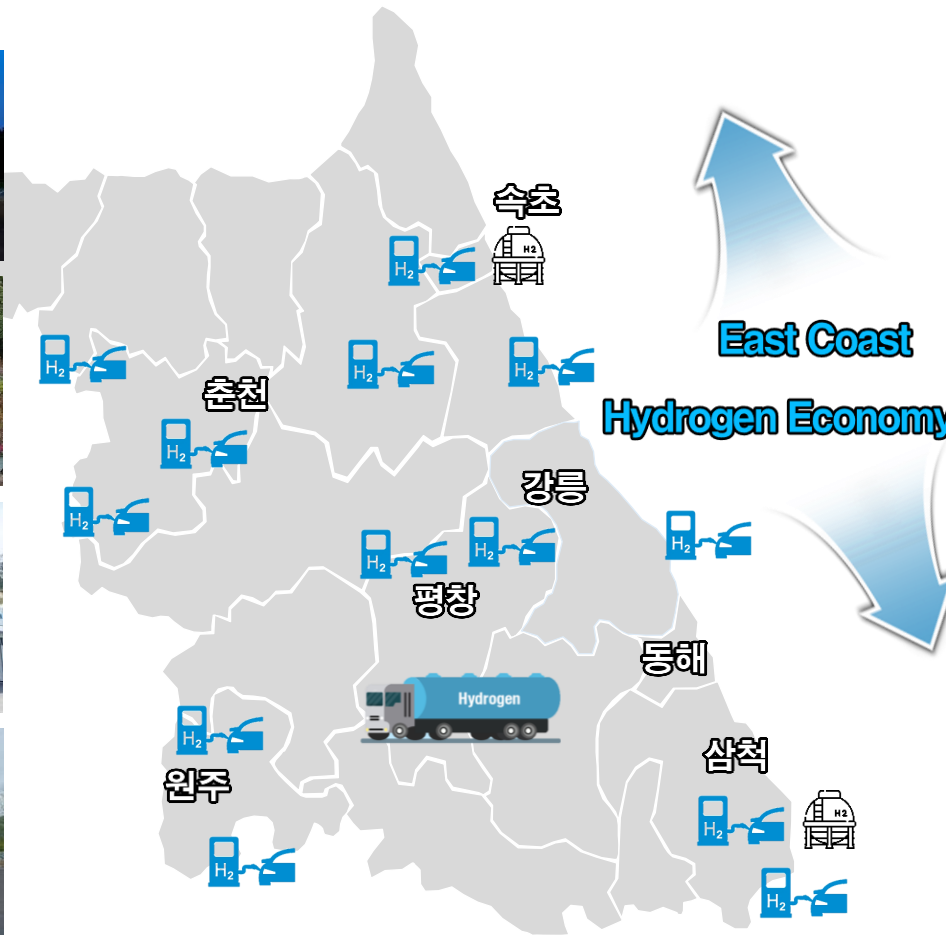
II. 에너지 패러다임의 전환, H₂ 강원 수소생태계 조성 & 수소산업 육성

수소생태계 조성: (기체, 액체) 수소생산시설 및 충전소 구축

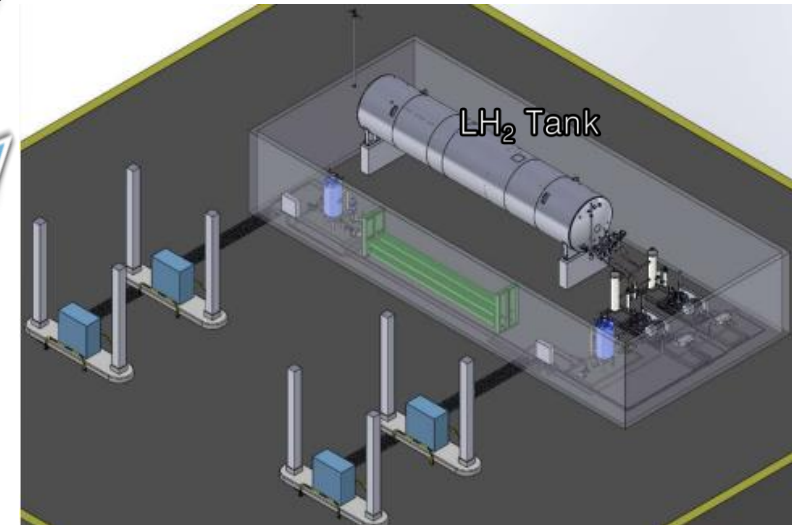
 수소충전소(13)



 수소 생산시설(2)



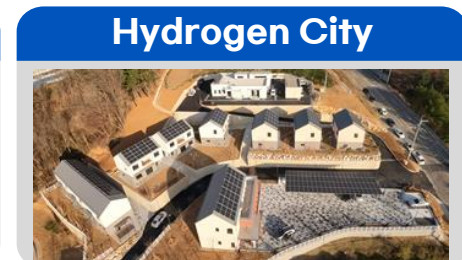
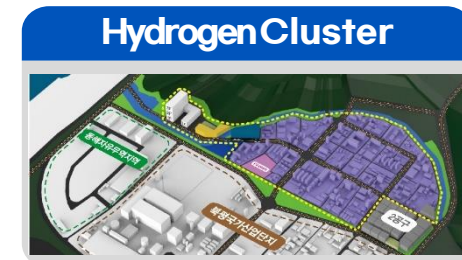
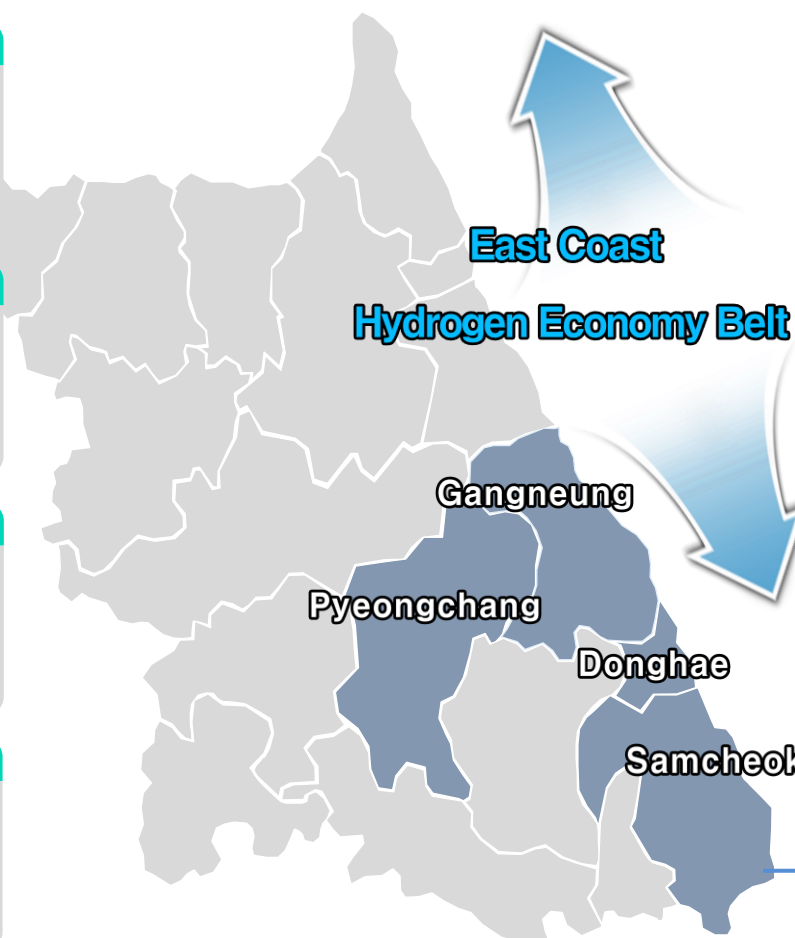
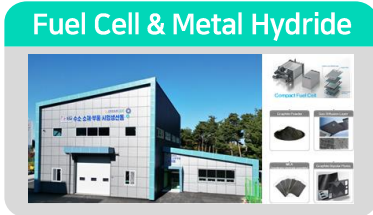
액화수소 충전소 (2)



II. 에너지 패러다임의 전환, H₂ 강원 수소생태계 조성 & 수소산업 육성

수소산업 육성: ① 수소 클러스터, ② 액화수소 규제자유특구, ③ 수소도시 (총 4,500억 규모)

액화수소 신뢰성센터, 수소연료전지·저장합금 지원센터, (풍력, 태양광 활용) 그린수소 생산 및 충전, LNG, Ammonia Terminal 등 산업 기반 인프라 구축



The regions shaded on the map denote Regulation Free Special-Zones

II. 에너지 패러다임의 전환, H₂ 강원 수소 저장·운송 클러스터

① 수소저장·운송 클러스터 (2024 ~ 2028, 3,177억) → 수소특화단지 지정(2024.11. 1)

- 동해: 수소산업진흥센터, 수소안전성시험센터, 수소 저장·운송 테스트베드 구축
- 삼척: 수소 액화플랜트, 강원대 산학캠퍼스 구축

West Sea Hub

East Sea Hub

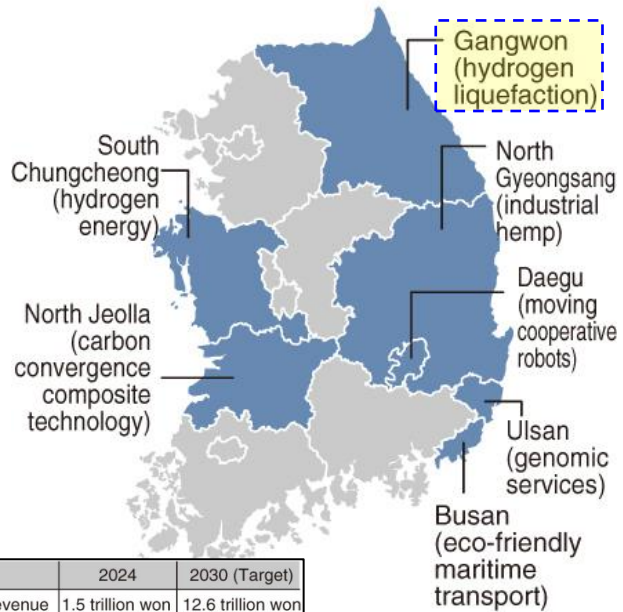
South Sea Hub



② 액화수소 규제자유특구(2021 ~ 2024, 311억)

- 액화수소 생산 및 저장제품, 액화수소충전, 액화수소 모빌리티 실증을 통한 신산업 발굴 및 조기 상업화

New Regulation Free Special Zones



I. LH₂ Production & Storage Facility

LH₂ Production Facilities: Pipes and Valves



LH₂ Storage Facilities: Tank



LH₂ Storage & Transportation



II. LH₂ Refueling Station

LH₂ Refueling Stations



Mobile LH₂ Refueling Station



III. LH₂-Powered Mobilities

LH₂-Powered Fishing Boat



LH₂-Powered Drone



	2024	2030 (Target)
Revenue	1.5 trillion won	12.6 trillion won
Jobs	4,390	57,374
New businesses	174	1,544

II. 에너지 패러다임의 전환, H₂ 수소 도시

③ 수소도시(2020 ~ 2023, 316억)

- 수소 · 재생에너지(태양열, 지열), 친환경 건축기술 융합을 위한 수소주거단지 조성
- 외부 전력 공급 없이 최소 1주일에서 최대 1개월까지 독립 운전 가능



Contents

I.

기후변화와 지구온난화

II.

에너지 패러다임의 전환
강원 수소산업 육성 현황

III.

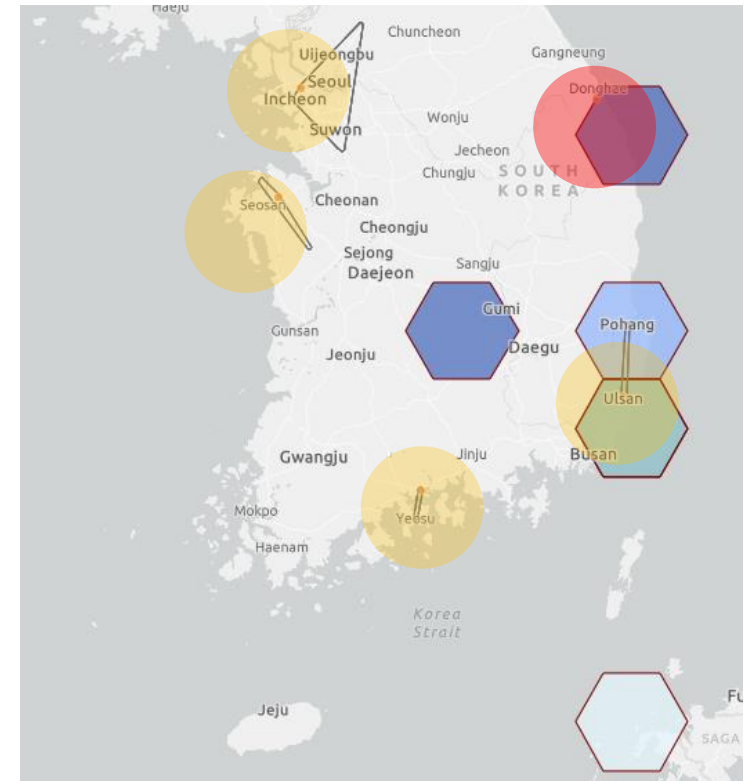
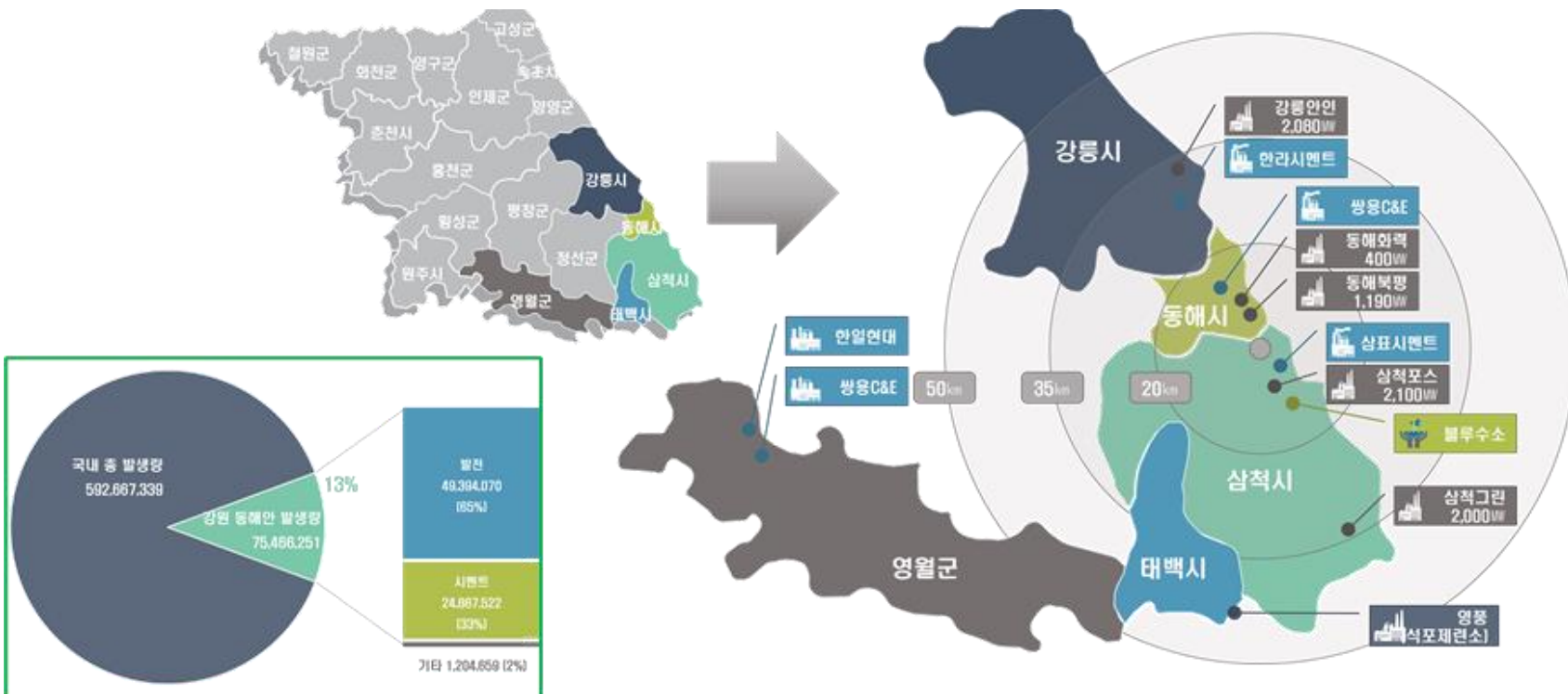
탄소중립 실현을 위한
CCUS 신산업 추진 현황

III. 강원 탄소중립산업 육성 CCUS 신산업 거점 도약의 기회

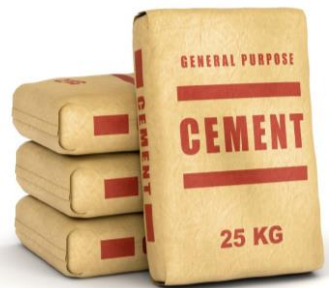
강원은 최대 석회석 생산 지역(국내 71.5%), 시멘트는 최대 CO₂ 배출원(도 내 약 51%)

OGCI(Oil and Gas Climate Initiative)와 BCG(Boston Consulting Group)에서 식별한 한국의 잠재적 CCUS Hub (삼척, 인천, 울산, 서산, 광양)

“이산화탄소 포집 수송 저장 및 활용에 관한 법률안” 국회통과('23. 2.22, 이철규 의원 대표 발의, '24.1.9 국회 통과)

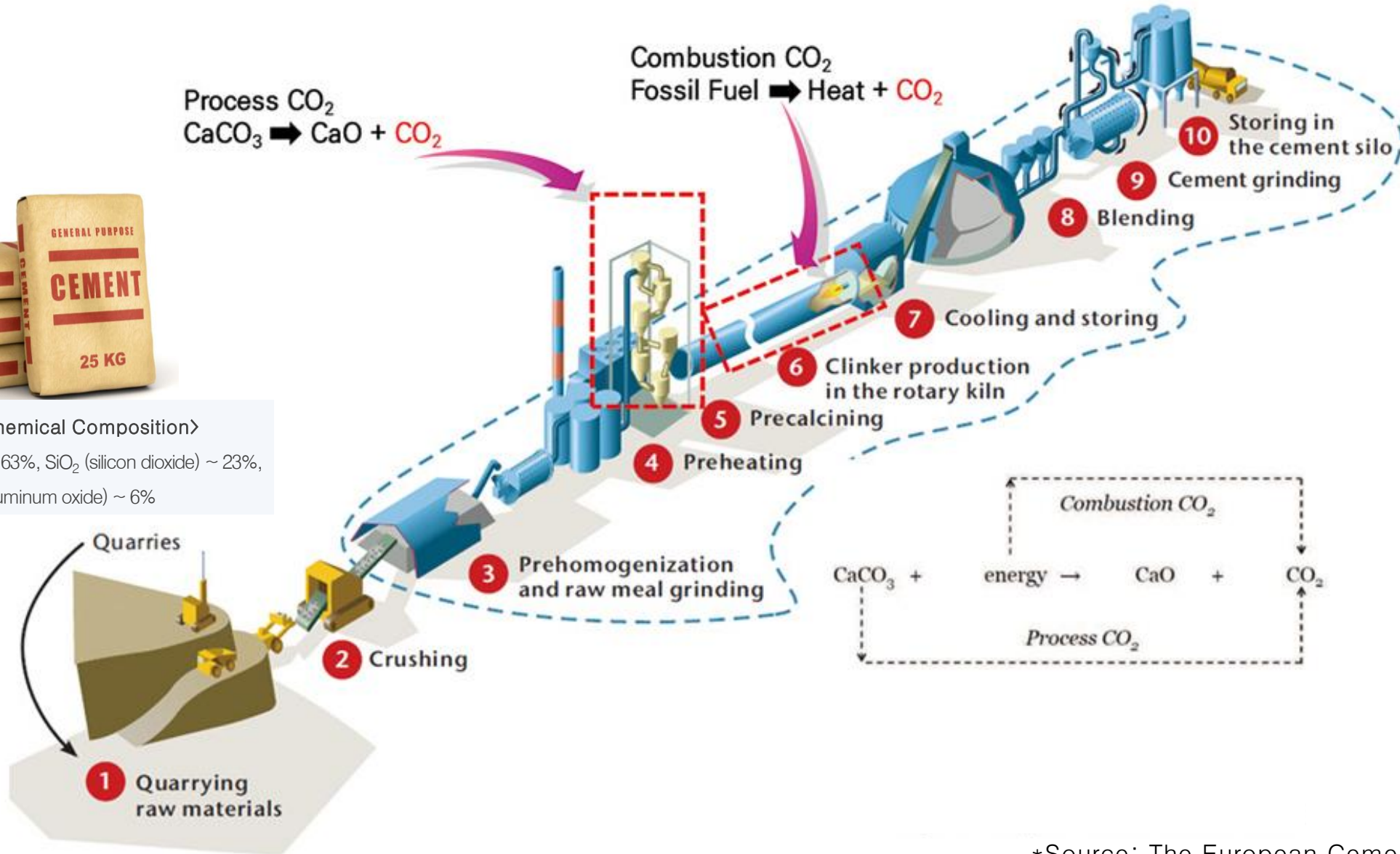


III. 강원 탄소중립산업 육성 시멘트 제조 공정과 온실가스 배출



<Cement Chemical Composition>

CaO (calcium oxide) ~ 63%, SiO₂ (silicon dioxide) ~ 23%,
Al₂O₃ (aluminum oxide) ~ 6%



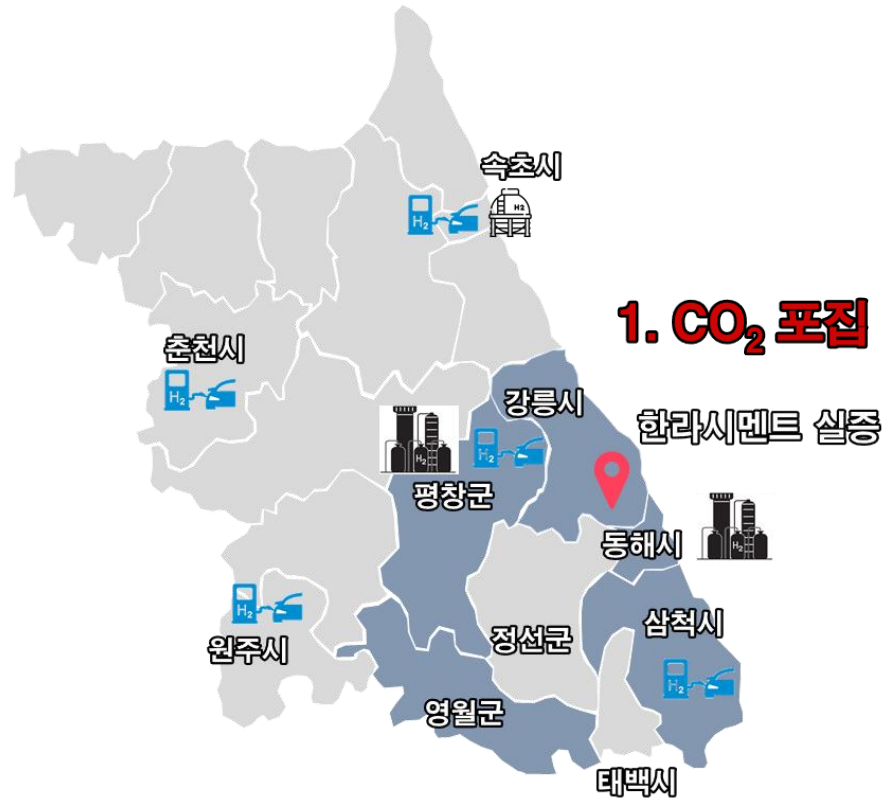
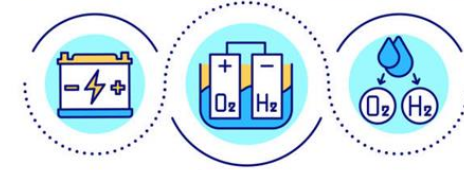
*Source: The European Cement Association

1. 그린수소 생산

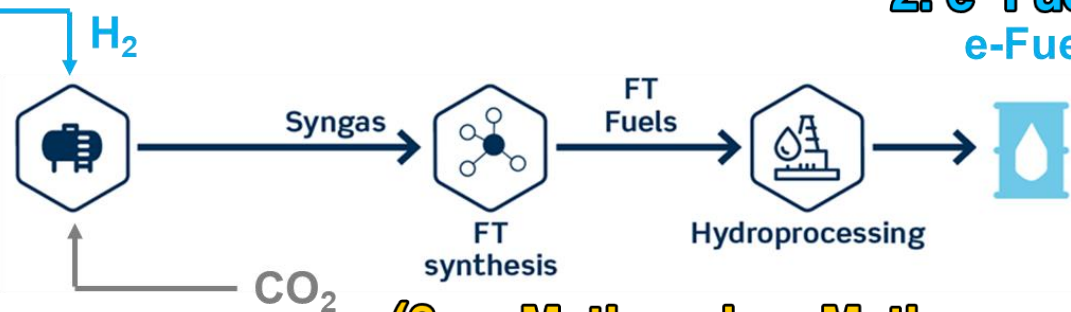
Wind-to-Green Hydrogen



Solar-to-Green Hydrogen



1. CO₂ 포집



2. e-Fuel 생산

e-Fuel

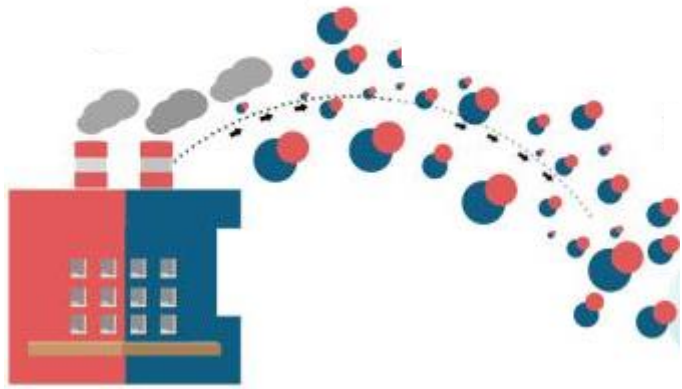
(3. e-Methanol, e-Methane, e-Kerosene . . .)

III. 강원 탄소중립산업 육성 ② 광물 탄산화(Mineral Carbonation)

CCUS 기술 기반 제품 표준화

시멘트산업 CO₂ 저감 실증 및 방법론 제시

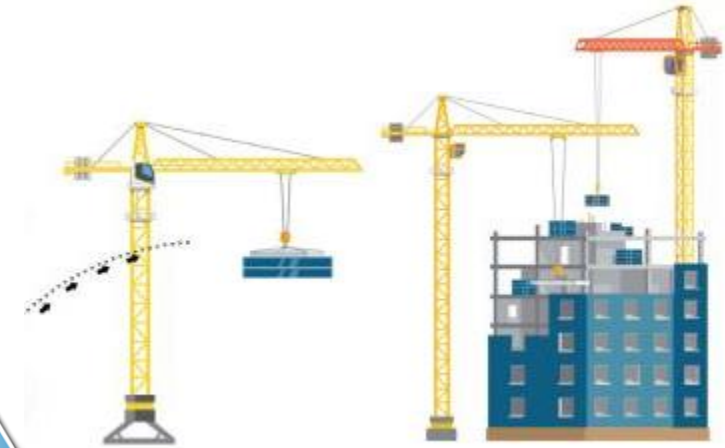
저탄소 제품 시험·평가·인증



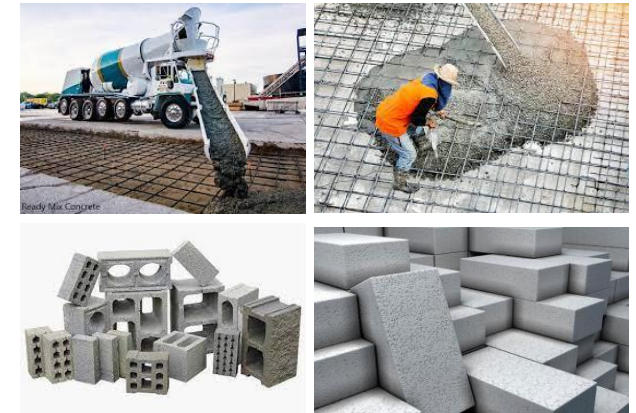
1. CO₂ 포집



2. CO₂ 광물 탄산화



3. CO₂ 활용 新산업 육성



과거 1차에너지 중심지였던 강원, 재생에너지 및 미래수소에너지의 중심지로 도약!



60~80년대 경제발전의
에너지원을 담당했던 강원도



천연자원 기반 재생에너지와
인프라를 기반으로



탄소중립 사회 실현 및
미래 에너지 거점으로 도약!



감사합니다!

강원특별자치도

재단 | 강원 테크노파크

수소특별자치도, 동해안 수소경제벨트 완성!

수소 저장·운송 클러스터(예타)

- 지형사상 용지
- 산업진흥사업 14,456㎡
- 산업시설 용지
- 실증 테스트베드 5,314㎡
- 기업입주공간 319,207㎡

수소 소재 부품 기반 구축 사업

액화수소 규제자유특구

액화수소 신뢰성센터

사업대상지

청정수소 생산기지 구축사업

P2G 수소 생산 실증단지 구축

수소 R&D 특화도시

수소 생산 시설 및 충전소

사업대상지

액화수소 플랜트(예타)



LNG 인수기지(호산항)