

탄소중립을 향한 에너지 및 산업 패러다임 변화, 그리고 수소경제의 역할

KB경영연구소 산업연구팀장 채희근

2024. 04. 25

Contents

I. 탄소중립을 향한 여정 (동향, 전망, 전략)

II. 산업 부문의 세부 탄소중립 추진 전략

- 청정에너지 전환, 전동화, 수소경제, CCUS, 에너지효율향상

III. 맺음말

들어가며 (1): 중장기 글로벌 탄소감축 정책은 지속될까?

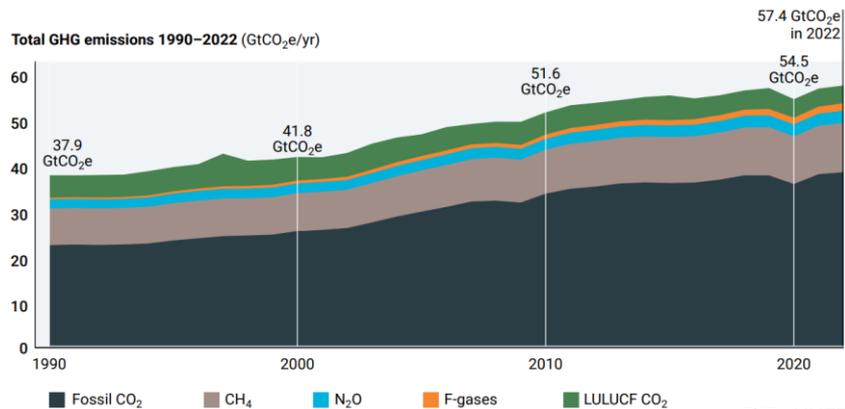
□ 중장기 탄소감축 정책의 방향성 자체는 지속될 전망

- 탄소배출량 증가와 온난화/이상기후 현상은 상당기간 지속 예상
- 이상기후에 따른 각종 자연재해 증가로 환경 목소리 지속될 것
- 경기 둔화, 고금리 영향으로 단기 속도 조절될 수 있지만, 환경 문제 이슈 계속되며 중장기 탄소중립 추진 정책 지속 전망

□ 산업 패권 경쟁 속에서 탄소 이슈 적극 활용될 것

- 글로벌 산업 패권과 일자리 확보 전쟁 심화 → 보호무역 강화
- 특히 유럽의 경제 및 산업 부진과 패권 쇠퇴 위기감 고조 (※전통 제조업은 물론, ICT, AI, 반도체, 전기차, 2차전지 등 미래산업 경쟁력도 암울 → 탄소 이슈를 적극 활용

전세계 온실가스 배출량 추이

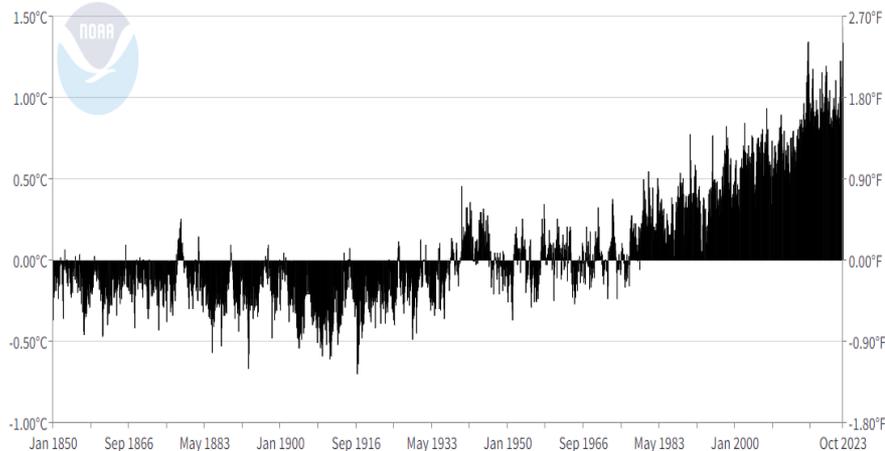


자료: UNEP

전세계 이상고온 추세 지속

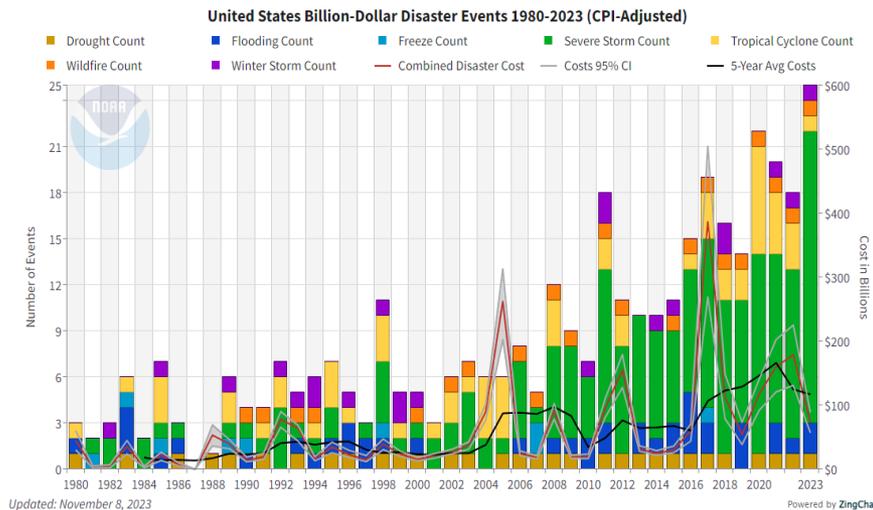
1901-2000년 평균 기준 대비 기온 추이

Global Land and Ocean Temperature Anomalies



Powered by ZingChart

미국의 대형 자연재해 건수와 피해 금액 추이



Updated: November 8, 2023

Powered by ZingChart

자료: NCEI (National Centers for Environmental Information)

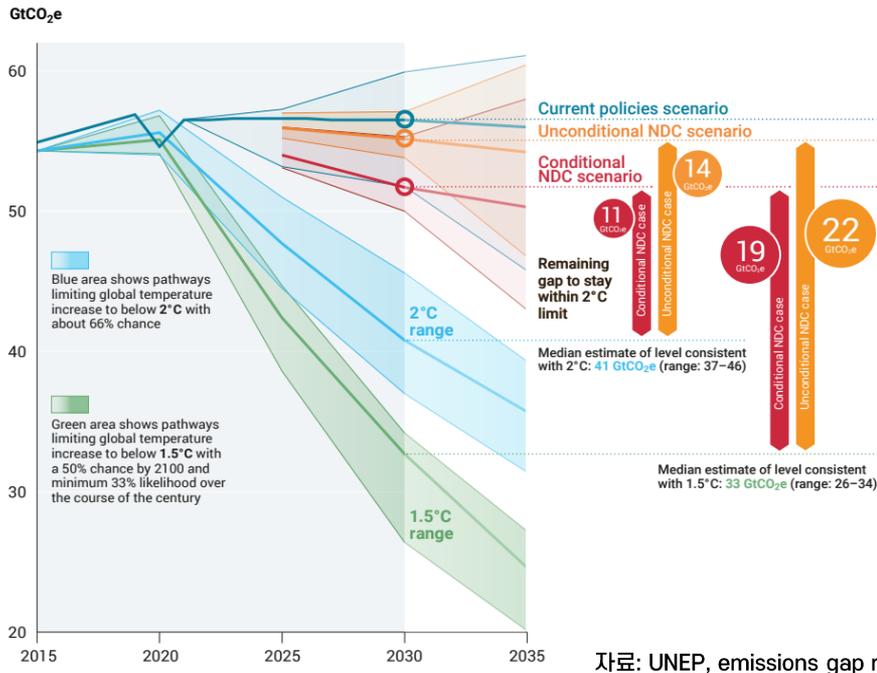
들어가며 (2): 글로벌 탄소감축 압력은 어떠한가?

□ 현 추세로는 탄소감축 목표 달성 불가능 → 규제 압력 ↑

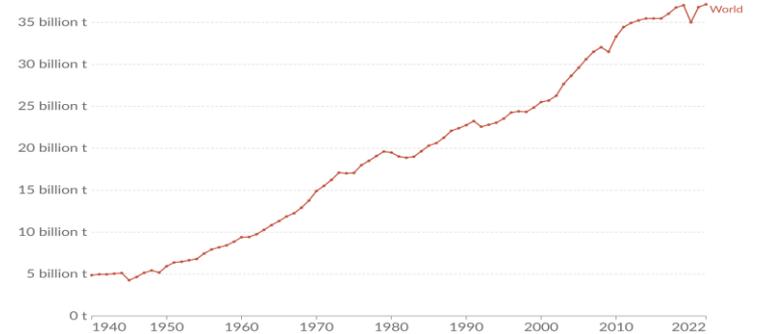
- 현재 탄소배출 추세와 각 국가의 NDC(자발적감축계획)으로도 장기 넷제로 시나리오인 1.5°C, 2.0°C 상승 이내 목표 도달 불가능
- 중장기적으로 환경 규제 압력 목소리 더 커질 가능성 높음
- 특히 유럽의 환경 규제 압력은 더 커질 가능성이 높음
- ✓ 유럽의 탄소 배출은 감소세이나 신흥국은 대부분 여전히 상승

□ 산업 수출 주도 선진국인 한국과 일본은 상당한 압력 부담

넷제로 목표에 못미치는 국가별 NDC(자발적감축) 시나리오

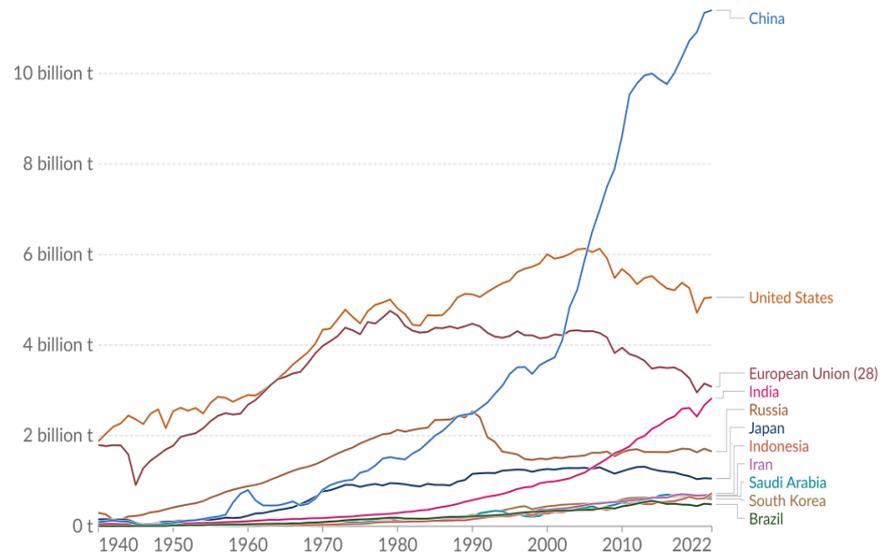


전세계 탄소 배출량 추이



국가별 탄소 배출량 추이

Carbon dioxide (CO₂) emissions from fossil fuels and industry¹. Land-use change is not included.



Data source: Global Carbon Budget (2023)

OurWorldInData.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions | CC BY

자료: Global Carbon Atlas

탄소 감축 전략은 현실적으로 발전, 운송, 산업 부문 위주로 우선 전개

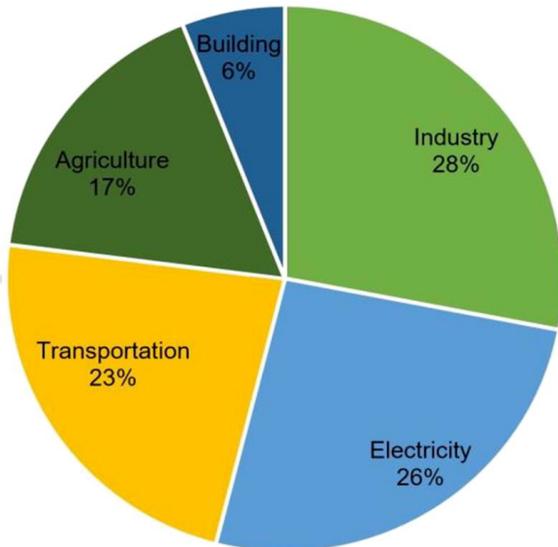
□ 현실적으로 CO₂ 감축 노력은 발전, 운송, 산업 부문 위주로 전개

- 발전, 운송, 산업 세 분야가 가장 CO₂ 배출이 많고, 현실적으로 감축이 더 용이
- 발전 부문: 저탄소 화력발전(가스, 합성연료), 재생에너지, 수소, 원자력 확대
- 운송 부문: 전기차 비중 확대(단, 최근 경제 상황으로 성장세 둔화). 선박과 항공기의 전기동력화는 장기 과제. 저탄소 및 이퓨얼 활용
- 산업 부문: 화학, 철강, 시멘트 등에서 생산 공정과 원료소재의 변화가 필요. 발전과 자동차 부문보다 상대적으로 더 복잡
- 농업 부문: 인구 문제와 더불어 식생활 구조의 변화 등 필요해 근본적으로 탄소감축 수단이 매우 제한적임

□ 각 부문 모두에서 CO₂ 감축 노력 불가피하지만 전략적으로 속도면에서 우선 중점 선택 부문 존재

□ 배출 노력 지속하지만 중장기적으로 상당기간 탄소배출 불가피 → 탄소 크레딧 시장 수요 지속

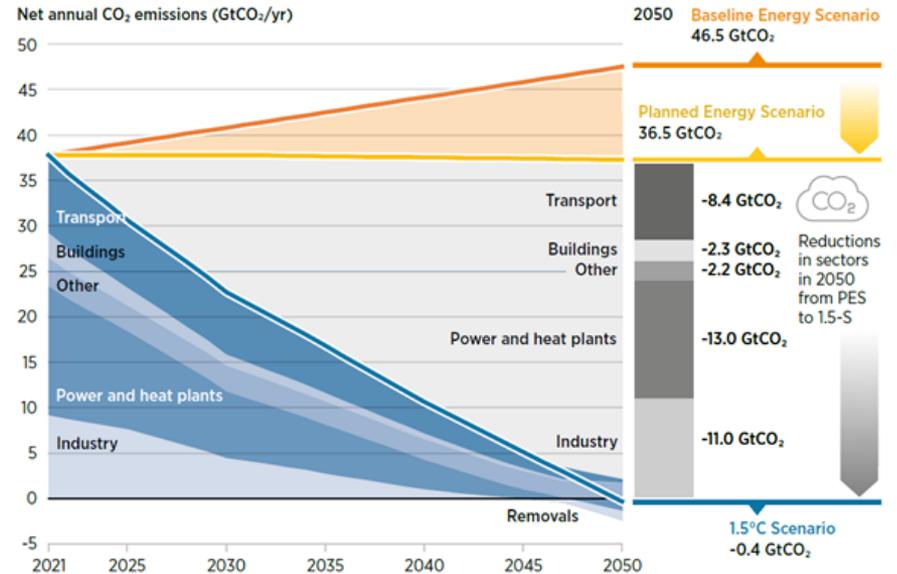
섹터별 CO₂ 배출 비중 (글로벌, 2020, IEA)



Global CO₂ emissions by sector (IEA 2020)

자료: IEA, 2020

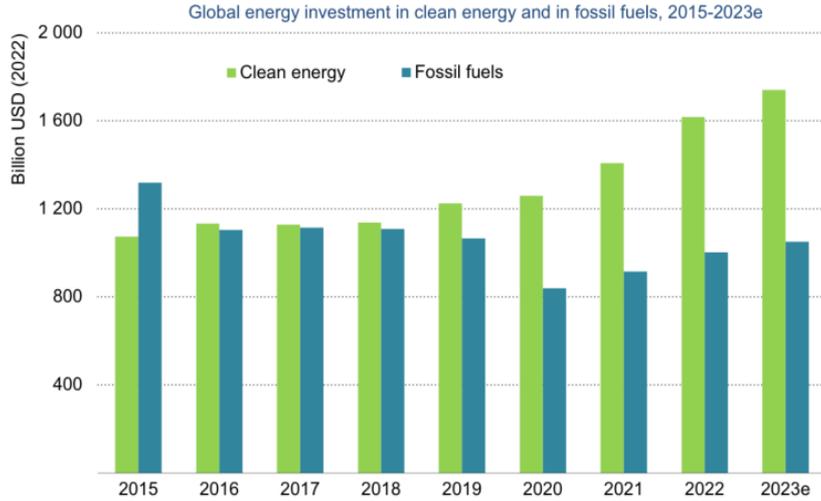
분야별 온실가스 감축 목표 - 전력, 운송, 산업 부문 감축 주력



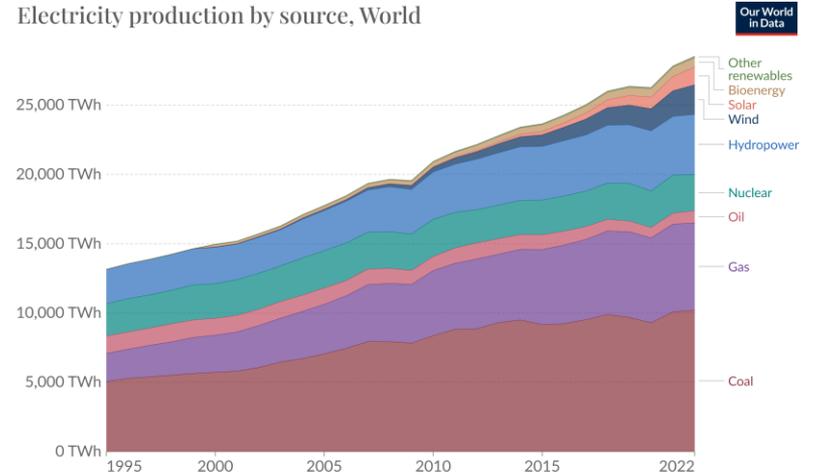
자료: IRENA (1.5°C Scenario)

발전 부문과 운송(자동차) 부문의 탄소감축 노력은 어느 정도 결실을 맺고 있음

전세계 에너지분야 투자 추이 (IEA, 2023)



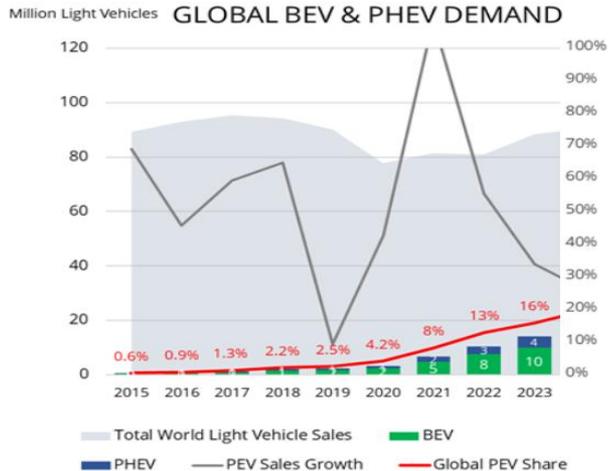
전세계 발전원별 전력 생산 추이



Data source: Ember's Yearly Electricity Data; Ember's European Electricity Review; Energy Institute Statistical Review of World Energy
 Note: 'Other renewables' includes waste, geothermal, wave and tidal.
 OurWorldInData.org/energy | CC BY

전세계 전기차 판매 및 비중 추이

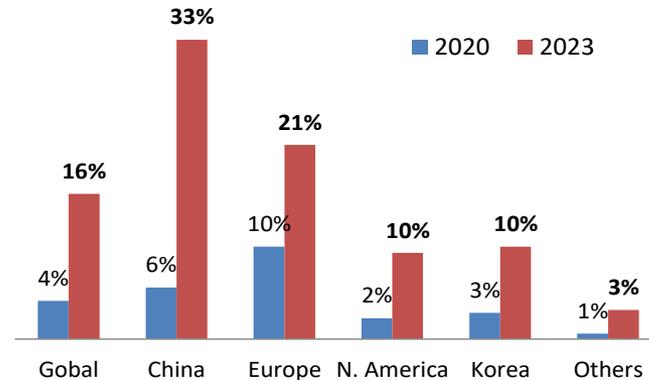
(단위: 천대, %)



자료 : EV Volumes

주요 지역별 전기차 비중 (2020 vs 2023)

PEV share of new registrations



자료 : EV Volumes

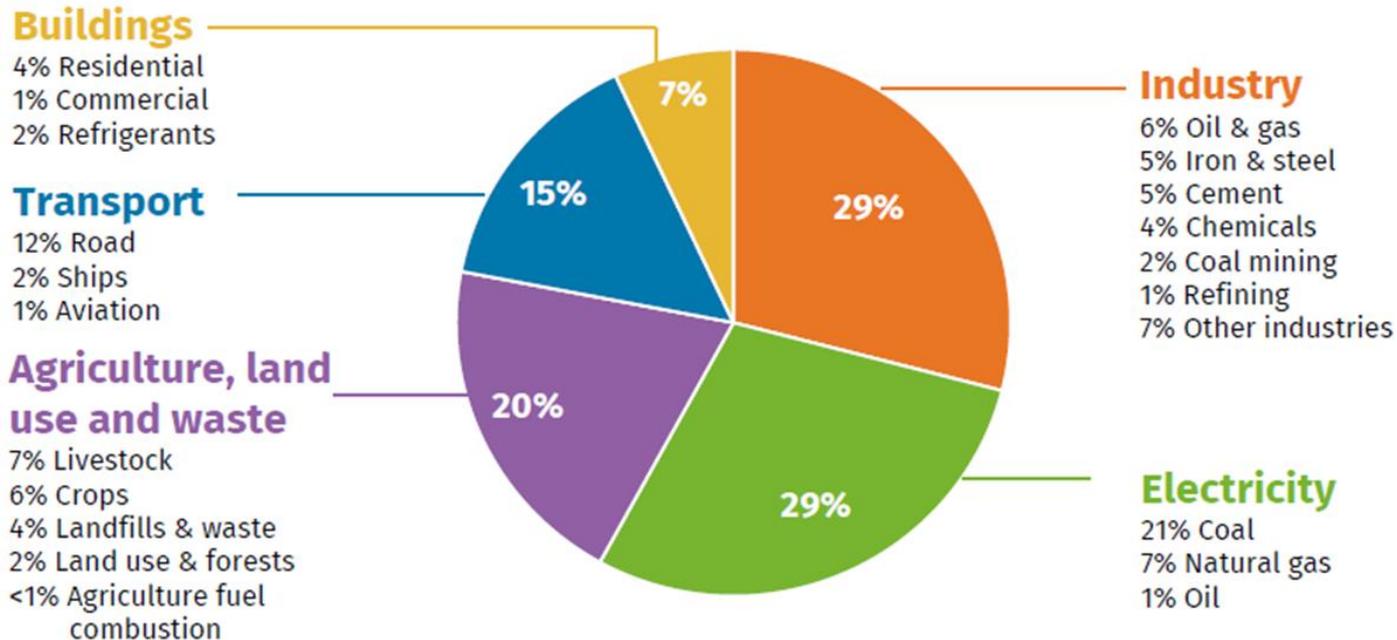
발전과 운송 부문에 이어 이제는 산업 부문의 탄소감축을 본격 독려할 차례

□ 상대적으로 발전(전력생산)과 운송(자동차) 부문의 탄소감축보다 산업, 농업 부문이 더 어려운 과제

- 산업 부문의 탄소감축은 산업 구조와 기존 제품 및 생활 방식을 대대적으로 바꿔야 하기 때문에 발전과 자동차부문보다 더 어려움
- 산업 부문에서는 화학, 철강, 시멘트 등의 분야에서 가장 많은 CO₂를 배출하는데, 근본적으로 기초 원료와 생산 공정을 바꾸어야 함
 - ✓ 크게 보면 ①화석원료(탄화수소계)를 기초로 하거나 첨가물로 활용하는 각종 원자재, ②화석연료(열)에 많이 의존하는 생산공정 구조가 문제
 - ✓ 이 중에서 가장 어렵고 시간이 오래 걸리는 것은 전자인 원료 물질의 탈탄소이며 상대적으로 생산공정의 탈탄소가 더 용이
 - ✓ 원료 물질의 탈탄소는 대대적인 기초 과학 R&D 투자와 시간이 필요해 매우 장기적인 과제일 수 밖에 없음

□ 발전 부문의 신재생에너지 확대, 운송 부문의 전기차 확대는 많이 진행되었으며, 이제는 산업 부문을 독려할 차례

전세계 세부 부문별 CO₂ 배출 비중 (2021년 기준)



자료: Rhodium Group

Contents

I . 탄소중립을 향한 여정 (동향, 전망, 전략)

II . 에너지 및 산업 부문의 세부 탄소중립 추진 전략

- 청정에너지 전환, 전동화, 수소경제, CCUS, 에너지효율향상

III . 맺음말

글로벌 주요 탄소감축 추진 전략의 개요

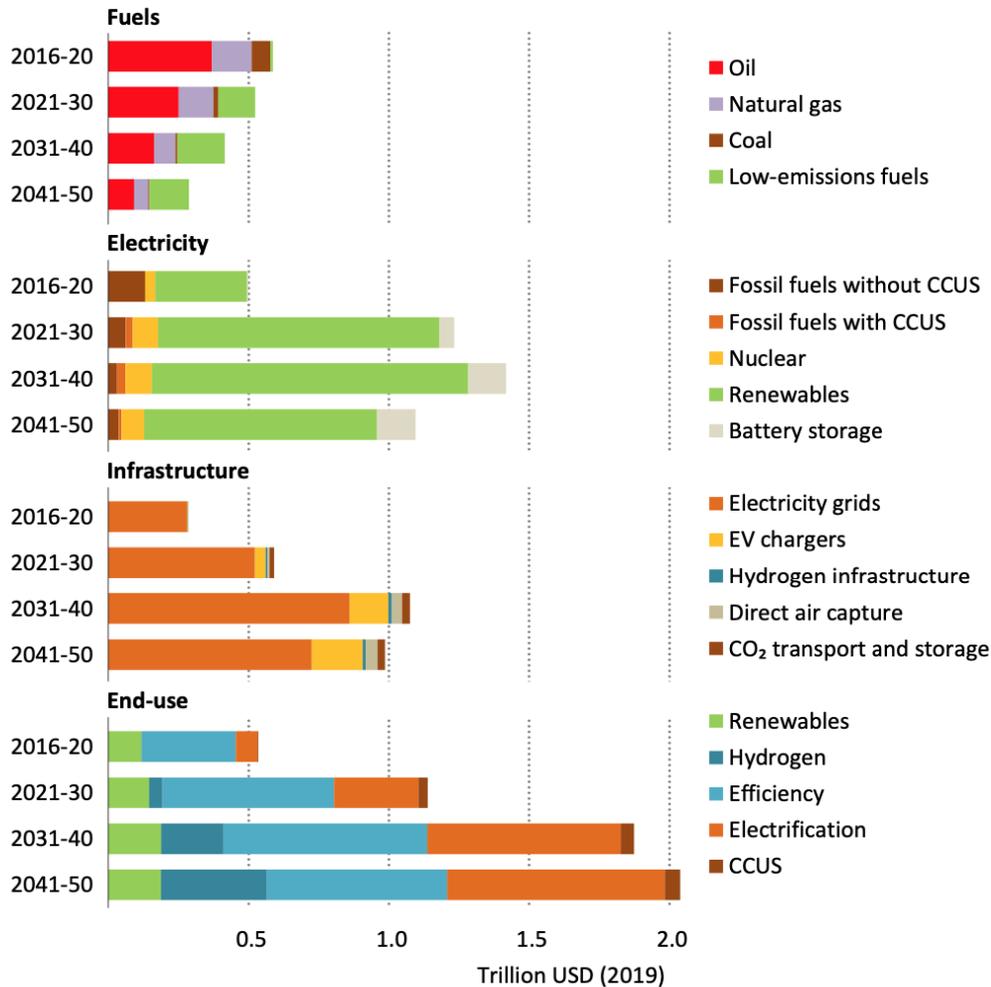
- **5대 전략: 에너지효율향상, 청정에너지 전환, 전동화, 탄소포집저장활용(CCUS), 수소경제**
- **‘에너지효율향상’은 가장 현실적이고 기본적인 감축 수단. 전 분야에 걸쳐 시도**
- **‘청정에너지 전환’: 신재생, 원자력, 수소**
 - 원자력도 활용 확대 불가피
 - 수소에너지는 증장기 과제이나 중요한 역할
- **탄소중립 여정에서 전기에너지와 전동화(electrification) 확대 매우 중요**
- **탄소배출의 완전한 종료는 현 세대에서도 현실적으로 불가능 → 탄소포집저장활용(CCUS) 시스템 필요성 큼**
- **수소경제는 재생에너지의 저장과 이동, 탄소물질 성분의 대체에 현존하는 유일한 대안**
 - 다만, 기술적인 진화 과제와 인프라 구축에 시간 상당히 소요

세부 부문		글로벌 탄소감축 추진 전략		
		단기(~2030)	중기(2031~2040)	장기(2041~2050)
공통		에너지효율 향상 및 소비 저감		
발전 부문		<ul style="list-style-type: none"> - 석탄발전 대폭 축소 - 재생에너지, 원자력 확대 - 수소.암모니아 실증 완료 및 초기 확대(연료 전지/화력혼소) 	<ul style="list-style-type: none"> - 화력발전 대폭 축소 (*2030년 화석발전피크 목표) - 재생에너지/원자력/수소.암모니아 확대 	<ul style="list-style-type: none"> - 화력발전 최소화 - 재생에너지/원자력/수소.암모니아 주력
산업 부문	생산 공정	<ul style="list-style-type: none"> - 전기에너지/전동화/히트펌프 확대 - 탄소포집활용저장(CCUS)실증 및 확대 - 수소.암모니아 혼소 실증 및 상용화 	<ul style="list-style-type: none"> - 전기에너지/전동화/히트펌프 대폭 확대 - 탄소포집활용저장(CCUS) 확대 - 수소.암모니아 확대 	<ul style="list-style-type: none"> - 전기에너지전동화의 최대화 - 화석연료활용공정 최소화 및 탄소포집활용저장(CCUS)극대화 - 수소.암모니아 성숙
	원료 소재	<ul style="list-style-type: none"> - 비탄소계 원료소재 연구개발 	<ul style="list-style-type: none"> - 비탄소계 원료소재 개발 및 실증 	<ul style="list-style-type: none"> - 비탄소계 원료소재 본격 양산
교통 운송 부문	자동차	<ul style="list-style-type: none"> - 하이브리드카전기차 확대 - 이퓨얼(e-fuel, 인공합성 연료) 실증개발 	<ul style="list-style-type: none"> - 전기차 대중화 - 내연기관 자동차에 이퓨얼 양산 본격 적용 	<ul style="list-style-type: none"> - 내연기관 판매 중단 (이퓨얼은 허용)
	선박 항공	<ul style="list-style-type: none"> - 바이오/이퓨얼 연료실증 및 상용화 - 암모니아 추진선박 연구 개발 	<ul style="list-style-type: none"> - 바이오연료 확대 - 이퓨얼 본격 상용화 및 혼합비율 확대 - 암모니아 추진선박 상용화, 전동화 개발 	<ul style="list-style-type: none"> - 2050년 탄소중립 달성 (바이오, 이퓨얼연료 최대한 사용, 전동화 확대)
농업/토지 부문		<ul style="list-style-type: none"> - 질소계 화학비료 감축, 바이오매스 확대, 유기농 확대, 태양광 사용 확대, 순환경제 확대 등 		
건물 부문		<ul style="list-style-type: none"> - 태양광수소연료전지 설치 확대, 히트펌프난방 확대, 지열 활용, 에너지효율 설계, 스마트빌딩관리시스템 등 		

[참고] 글로벌 탄소중립 부문별 투자 추이 및 전망

전세계 탄소중립을 위한 부문별 세부 투자 추이 및 전망

Figure 4.2 ▶ Global average annual energy investment needs by sector and technology in the NZE



[산업공정 및 생활 연료 부문]



- 화석연료(석탄, 석유, 천연가스) 사용 감축
- 저탄소 연료(전기, 수소, 합성연료 등) 투자 확대

[발전 부문]



- 화석연료 사용 감축
- 신재생에너지, 원자력, 배터리(ESS) 투자 확대

[인프라 부문]



- 전력인프라, 전기충전소, CO₂ 포집시설, 수소 투자 확대

[최종 에너지 사용 측면(종합)]



- 에너지효율화, 전동화(electrification), 신재생에너지, 수소, 탄소포집저장활용(CCUS) 투자 확대

자료 : IEA (World Energy Investment 2023)

글로벌 : 전기수요 증가 전망 및 청정에너지 전환

□ 전기에너지 수요 증가 전망

- 산업과 건물 냉난방의 화석연료 사용 축소 → 전동화 확대
- AI와 디지털의 발달은 전기에너지 수요 증가 초래
- 에너지효율 측면에서도 전동화가 내연기관보다 유리

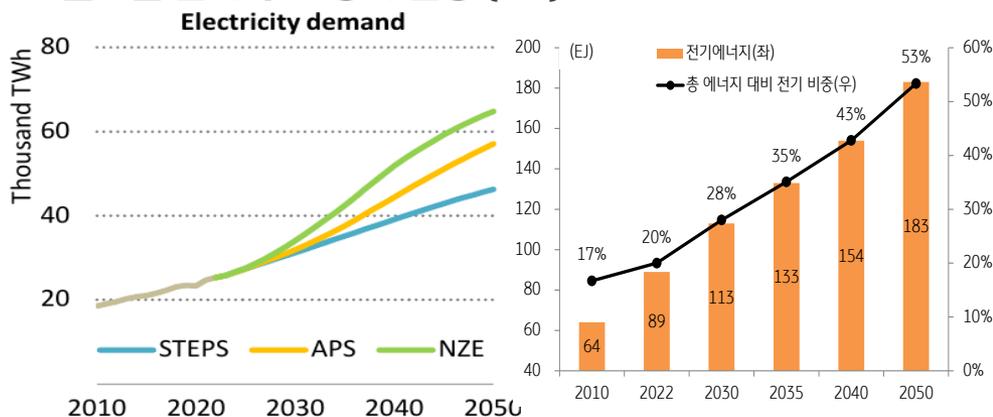
□ 최근 수년간 신재생에너지 구축 크게 확대

- 전쟁 계기로 에너지 안보 중요성 대두

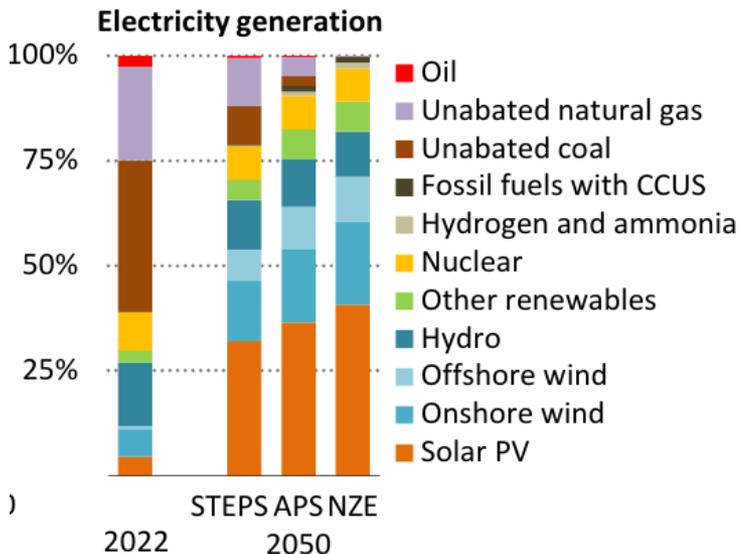
□ 최근 해외 주요 국가들 원자력 활용 확대 기조

□ 중장기적으로 상당기간은 탄소 배출 불가피

글로벌 전기 수요 장기 전망 (IEA)

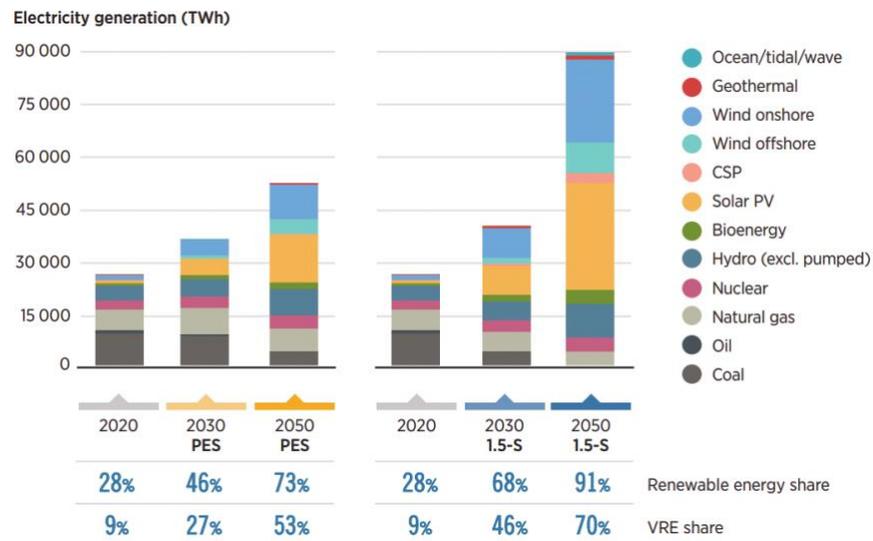


글로벌 2050 발전 에너지 비중 전망 (IEA)



주: STEPS는 정부 발표 자료 취합, APS는 중장기 비전 선언 포함, NZE는 넷제로 시나리오
 자료: IEA, 'World energy outlook(2023)'

글로벌 2030, 2050 발전 에너지 전망 (IRENA)



자료: IRENA, 'World energy transition outlook(2023)'

[참고] IEA의 글로벌 에너지 및 전력 부문 전망

IEA, 주요 국가들의 에너지원별 정책 평가

Region	Major policy	Combined impact on outlook for:			
		Renewables	Nuclear	Unabated natural gas	Unabated coal
China	14th Five-year Plan and updated Nationally Determined Contribution	●	●	●	●
India	Revised Nationally Determined Contribution aiming for 50% non-fossil power generation capacity by 2030	●	●	●	●
European Union	Renewable Energy Directive III (42.5% of gross final consumption in 2030), including nuclear-based hydrogen	●	●	●	●
United States	Inflation Reduction Act with USD 370 billion for clean energy technologies	●	●	●	●
Canada	Investment Tax Credits for electricity, hydrogen, CCUS and manufacturing	●	●	●	●
Korea	10th Basic Plan for Long-term Electricity Supply and Demand	●	●	●	●
Japan	6th Strategic Energy Plan and Green Transformation (GX) policy initiative	●	●	●	●

● Favourable ● Unfavourable ● Neutral

IEA, 글로벌 에너지원별 공급 비중 전망 (넷제로 시나리오)

	Shares (%)					
	2010	2022	2030	2035	2040	2050
Total energy supply	100	100	100	100	100	100
Renewables	8	12	29	45	58	71
Solar	0	1	6	12	18	26
Wind	0	1	4	8	12	16
Hydro	2	2	3	4	5	6
Bioenergy	9	2	3	16	18	18
Nuclear	6	5	8	10	12	12
Natural gas	21	2	3	14	10	6
Oil	32	30	26	21	15	8
Coal	28	2	3	9	5	3

IEA, 글로벌 에너지원별 발전량 전망 (넷제로 시나리오)

World electricity sector

	Net Zero Emissions by 2050 Scenario (TWh)							Shares (%)						CAGR (%)	
	2010	2021	2022	2030	2035	2040	2050	2010	2022	2030	2035	2040	2050	2030	2050
Total generation	21,533	28,346	29,033	38,207	47,427	59,111	76,838	100	100	100	100	100	100	3.5	3.5
Renewables	4,209	7,964	8,599	22,532	36,739	50,459	68,430	20	30	59	77	85	89	13.0	7.7
Solar PV	32	1,023	1,291	8,177	15,439	22,241	31,237	0	4	21	33	38	41	26.0	12.0
Wind	342	1,865	2,125	7,070	11,923	16,826	23,442	2	7	19	25	28	31	16.0	9.0
Hydro	3,456	4,299	4,378	5,507	6,530	7,435	8,225	16	15	14	14	13	11	2.9	2.3
Bioenergy	309	666	687	1,313	1,885	2,396	3,056	1	2	3	4	4	4	8.4	5.5
CSP (Concentrated solar power)	2	15	16	139	414	831	1,486	0	0	0	1	1	2	31.0	18.0
Geothermal	68	96	101	306	508	662	862	0	0	1	1	1	1	15.0	7.9
Nuclear	2,756	2,810	2,682	3,936	4,952	5,583	6,015	13	9	10	10	9	8	4.9	2.9
Hydrogen and ammonia	0	0	0	373	745	1,028	1,161	0	0	1	2	2	2	n.a.	n.a.
Fossil fuels with CCUS	0	1	1	220	681	847	996	0	0	1	1	1	1	105.0	30.0
Unabated fossil fuels	14,479	17,456	17,636	11,066	4,241	1,121	158	67	61	29	9	2	0	-5.7	-15.0
Coal	8,669	10,247	10,427	4,988	1,379			40	36	13	3	0	0	-8.8	n.a.
Natural gas	4,847	6,526	6,500	5,943	2,834	1,119	158	23	22	16	6	2	0	-1.1	-12.0
Oil	963	683	709	135	28	2	1	4	2	0	0	0	0	-19.0	-23.0

자료: IEA, 2023

국내 : 전기수요 증가 및 다양한 저탄소에너지 확대 추구 전망

□ 전기 수요는 지속 증가 전망. 재생에너지, 원자력, 수소 암모니아 확대

- '23년 10차 전력수급계획에 따르면 국내 총발전량은 2021년 576TWh에서 2030년 622TWh, 2036년 667TWh으로 증가할 전망
- 발전원별로 보면 화석연료 비중은 크게 낮추고, 대신 재생에너지 비중은 크게 확대하며 원자력과 수소·암모니아 비중도 늘릴 계획
- 원자력과 재생에너지 비중에 대해서는 여야 의견 다르지만, 여러 불리한 지리 환경에서 다양한 저탄소 에너지 활용 불가피할 전망

제 10차 전력수급기본계획 ('23년 1월)

■ 발전량

(TWh)	원자력	석탄	LNG	신재생*	수소 암모니아	기타	계
2019년	146	227	144	36		9	563
2020년	160	196	146	37		13	552
2021년	158	198	168	43		9	576
2030년	202	123	142	134	13	8	622
2036년	231	96	62	204	47	27	667

■ 신재생에너지 내 세부 발전량

(GWh)	태양광	풍력	수력	해양	바이오	수소 연료전지	IGCC	소계
2022년	27,391	3,381	3,961	457	12,481	5,491	2,377	55,939
2023년	31,812	3,881	3,983	457	13,329	6,827	2,377	62,667
2027년	47,747	10,562	4,095	457	13,329	12,044	2,377	82,671
2030년	58,921	38,887	4,219	457	13,329	15,956	2,377	134,146
2036년	82,185	77,282	4,559	459	13,365	24,172	2,384	204,406

■ 발전량 비중

	원자력	석탄	LNG	신재생*	수소 암모니아	기타	총계
2019년	25.9%	40.4%	25.6%	6.5%		1.6%	100%
2020년	29.0%	35.6%	26.4%	6.6%		2.4%	100%
2021년	27.4%	34.3%	29.2%	7.5%		1.6%	100%
2030년	32.4%	19.7%	22.9%	21.6%	2.1%	1.3%	100%
2036년	34.6%	14.4%	9.3%	30.6%	7.1%	11.1%	100%

■ 신재생에너지 내 세부 발전량 비중

	태양광	풍력	수력	해양	바이오	수소 연료전지	IGCC	소계
2022년	49.0%	6.0%	7.1%	0.8%	22.3%	9.8%	4.2%	100%
2023년	50.8%	6.2%	6.4%	0.7%	21.3%	10.9%	3.8%	100%
2027년	57.8%	12.8%	5.0%	0.6%	16.1%	14.6%	2.9%	100%
2030년	43.9%	29.0%	3.1%	0.3%	9.9%	11.9%	1.8%	100%
2036년	40.2%	37.8%	2.2%	0.2%	6.5%	11.8%	1.2%	100%

- 주1 : 2022년 신재생 비중은 9.2%

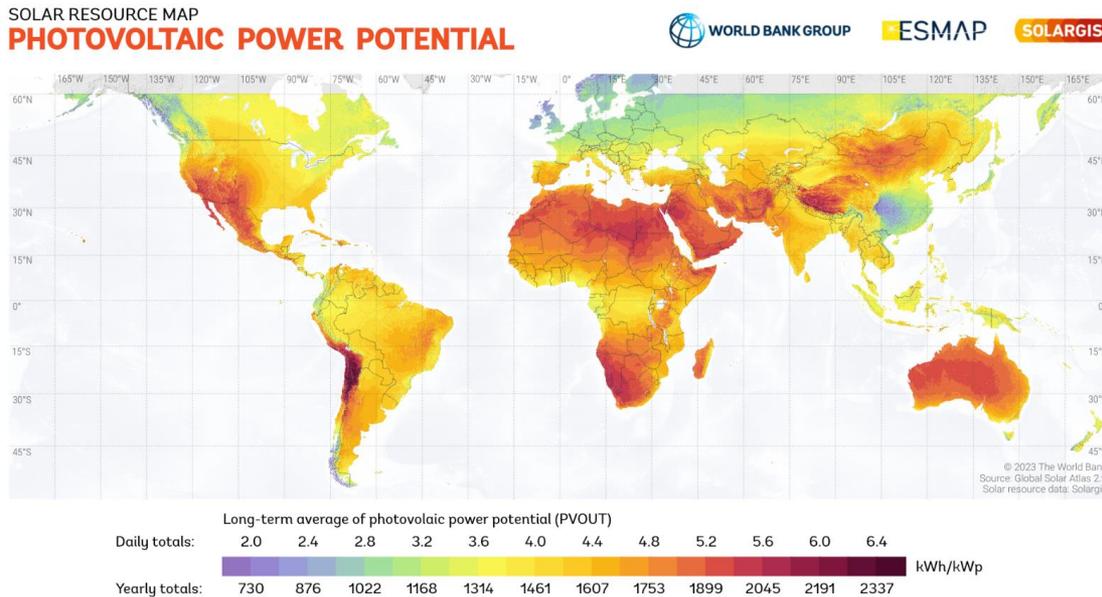
- 주2 : 상기 발전량에서의 수소·암모니아는 가열을 통한 혼소 화력발전, 신재생에너지의 수소연료전지는 수소-산소의 화학반응 과정에서 발생하는 전기를 활용한 발전을 의미

- 주3 : 암모니아는 수소로부터 생산되며, 액화&운송이 용이한 장점. 수소경제의 일부

[참고] 주요 산업 경쟁 국가들 대비 열위한 재생에너지 환경

- 국내 태양광, 풍력, 그린수소 생산 잠재력이 중국, 미국, 유럽 등 다른 주요 산업 경쟁 국가들보다 상대적으로 열위
 - 태양광 발전은 태양에너지 밀도와 계절적 특성 등을 감안할 때 상대적으로 경쟁 잠재력이 열위. 일본도 우리와 유사한 입지 환경
 - 풍력발전은 육상의 경우 보급 확대가 어려움. 해상풍력은 상대적으로 삼면이 바다이고 서남해안은 수심이 낮아 입지조건이 양호하나 풍력 밀도와 높은 양질의 바람이 동남해안 등 일부를 제외하고는 우량입지가 부족한 실정. 또한 아직 선진국에 비해 기술경쟁력이 상당히 뒤떨어져있으며 국내시장 규모가 작고 설비 및 운용분야의 기술적 노하우가 축적되지 않아 상대적으로 설치비용이 높은 실정. 이러한 높은 설치비용과 낮은 설비이용률로 인한 높은 발전단가가 보급 장애요인

글로벌 태양광 잠재력 지도 - 열위한 국내 현실



자료: Global Solar Atlas

글로벌 풍력발전시스템 설비투자비 단가 분포

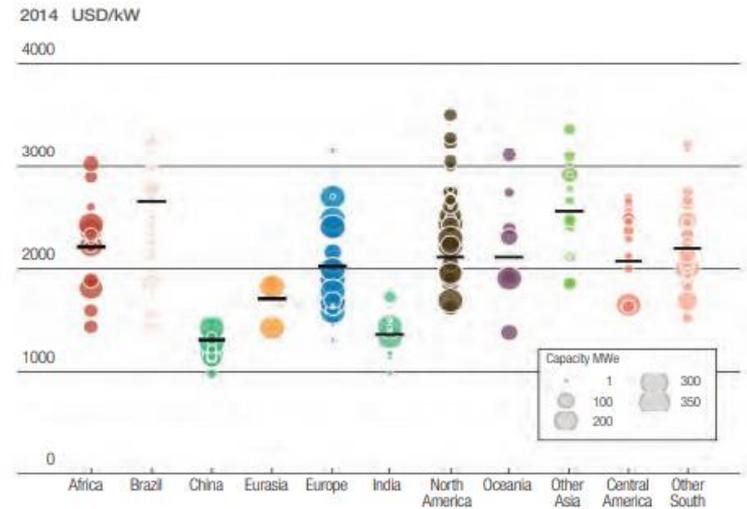


그림 4 | 국가별 풍력발전시스템 설비투자비 단가분포

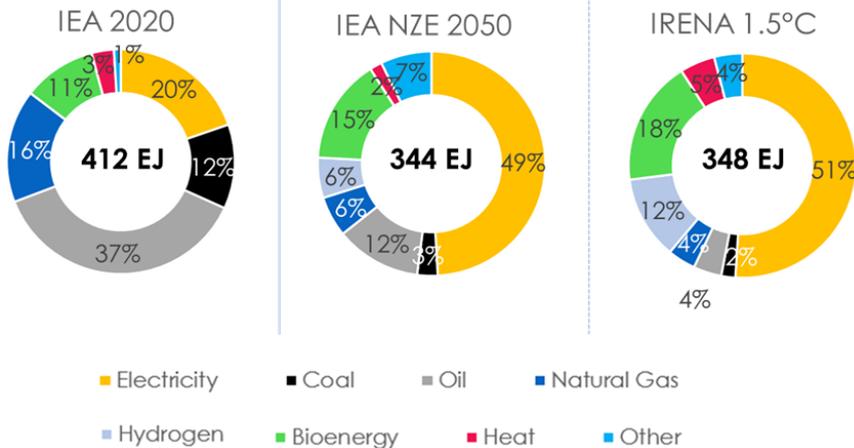
자료: 전기저널

전기를 사용하는 ‘전동화’는 탄소중립과 에너지 패러다임 변화에서 중요한 역할

- **에너지 패러다임 변화의 가장 큰 골격은 ‘화석연료 중심의 열에너지 → 신재생에너지 중심의 전기에너지 기반 사회’**
 - ‘화석연료 에너지 축소와 재생에너지(태양광, 풍력, 수력) 및 수소’의 확대는 필연적으로 각종 ‘전기동력’ 사용의 확대가 전제 조건
- **탄소중립 여정에서 전기에너지와 전동화(electrification) 확대는 매우 중요한 역할**
 - 탄소중립 여정에서의 주요 CO₂ 감축 수단은 청정에너지, 전동화, 에너지효율강화, 탄소포집저장활용(CCUS), 수소
 - 전동화는 환경 측면은 물론 시스템의 에너지효율과 구조(공정 및 부품 단순화) 측면에서도 내연기관 시스템보다 강점
- **전기에너지를 활용한 전동화는 화석연료를 사용하는 기존 열에너지/내연기관을 상당부분 대체할 전망**
 - 전기에너지는 기존 화석연료 기반의 열에너지/내연기관을 사용하는 각종 산업생산공정 (전동식보일러, 히트펌프, 스마트팩토리), 가정/빌딩용 난방설비(히트펌프 등), 모빌리티(전기차, 소형 항공, 선박 등), 로봇, 스마트시티, 스마트팜 등에서 활용

에너지원별 총 에너지 소비 비중 : 2020년 VS 2050년

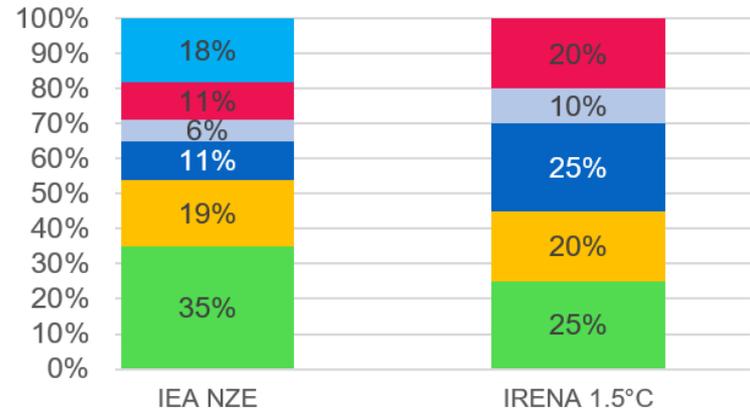
Total Final Energy Consumption



자료 : IEA, IRENA

2050 탄소중립을 위한 CO₂ 배출량 감축 수단별 기여

Emissions reduction by mitigation measures



자료 : IEA, IRENA

산업 패러다임 변화는 전력 수요의 증가와 시스템 개편을 초래

- ‘기계시대/화석연료시대 → 전동화/디지털/전기시대’의 산업 패러다임 변화는 전력 및 전력설비 수요 증가 초래
 - ICT/AI의 발달로 전통 산업의 패러다임이 크게 변화 중. 이 변화 속도는 시간이 갈수록 더욱 빨라질 전망
 - 이러한 차세대 산업 (전기자율주행 자동차 및 항공, 로봇, IoT, 스마트팩토리, 메타버스 등)은 대부분 막대한 전기에너지를 기반
 - ✓ 일례로 자율주행차는 그 자체로 일반 차량 대비 전력 소모가 30~35% 더 크며 클라우드 기반의 빅데이터 센터가 필수
 - 특히 고성능컴퓨팅/빅데이터/클라우드가 필수이기 때문에, 필연적으로 전력 소모가 큰 데이터센터 수요가 고성장 할 것
- 전통적인 화석연료 가열식의 중화학 생산공정도 탄소배출이 적은 전기식/화학적 공정으로 변화 중
 - 전력/전력설비/효율화 수요 증가
 - 전통적인 중화학 생산공정은 화석연료를 직접 가열해 탄소 다량 배출. 최근 스마트팩토리 개념도 환경/에너지효율 우선으로 변화

중장기 산업의 패러다임 변화와 ‘전력 수요 증가 및 시스템 개편’ 메커니즘

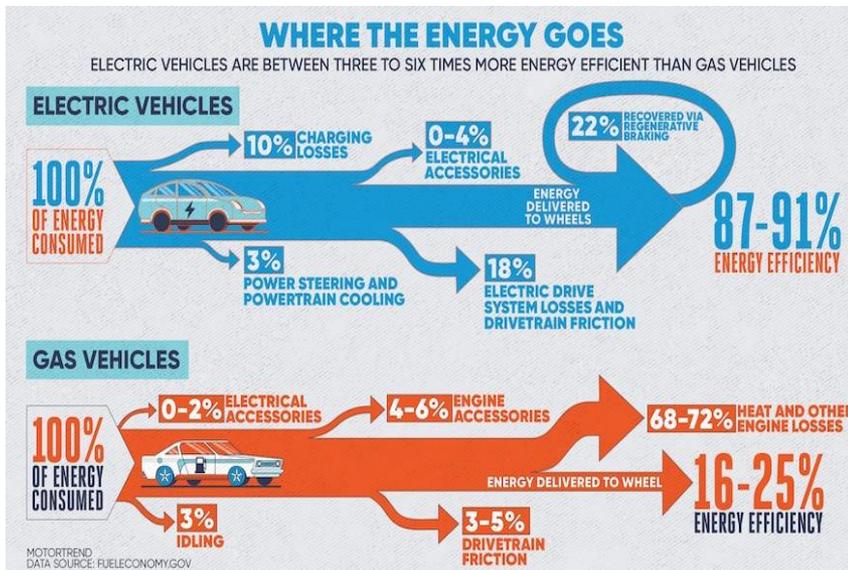
< 분야 >	< 기존 패러다임 >	< 신규 패러다임 >	< 신규 패러다임 산업 분야 예시 >
	기계시대/열에너지시대	전동화/디지털•AI/전기시대	→ 전력/전력설비/전력효율화 수요 증가 !!
수송/발전/생산설비/제품/건물 등	기계식	전동화/전자식/디지털	전기 자동차/항공/선박, 로봇, 스마트팩토리, 스마트시티, IoT, 전기보일러 등
소비자 접점 및 경험	오프라인/개별	온라인/플랫폼	온라인 플랫폼, 메타버스/디지털트윈 등
분석/시스템제어/의사결정/데이터	인간/수동/개별제어	AI/빅데이터/중앙제어	온라인 플랫폼, 클라우드/데이터센터, 고성능 컴퓨팅, 로봇, 자율주행 자동차/항공 등
중화학공업 생산공정	화석연료 직접 가열이나 전기 이용한 생산/추출	직접가열 대신 전기/화학적 공정 확대	철강, 화학, 기계 등의 생산공정에서 전기에너지 활용

전동화는 내연기관보다 에너지효율도 높은 장점 보유

□ 전기동력은 화석연료 가열 방식의 일반 내연기관보다 에너지효율 높아 산업의 진화와 CO2 감축에 유리

- 내연기관은 '에너지원 투입-동력발생' 과정에서 외부에 상당부분 열에너지로 방출되기 때문에 전기동력보다 효율이 낮음
- 투입되는 에너지 대비 최종 동력 발생의 효율을 나타내는 에너지효율은 전기차가 80% 이상, 내연기관차는 30% 미만
- 송배전 시 전력 손실까지 고려해도 전기동력이 내연기관보다 에너지효율이 높음
- 전기동력은 내연기관 대비 에너지 효율도 높고 최대 동력 성능 도달까지 걸리는 시간도 짧음
 - ※ 따라서 전기차의 가속성이 더 좋음. 예를 들어 제로백(출발 후 100km/h에 도달하는 시간)이 내연기관차보다 짧음
- 대표적인 열에너지 가열식 활용 설비인 보일러의 경우에도 전기히트펌프가 에너지효율이 훨씬 높음

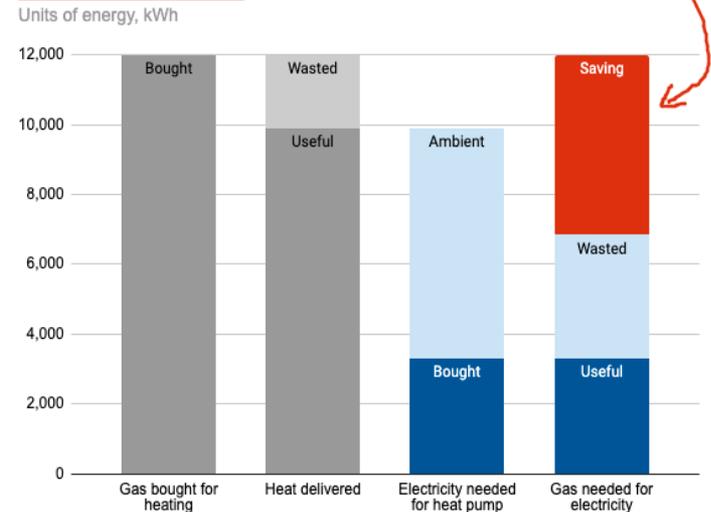
내연기관차와 전기차의 에너지 효율 비교



자료 : Motor trend

화석연료 난방시스템과 전기히트펌프의 에너지효율 비교

Shifting from gas boilers to electric heat pumps would cut gas demand by two-fifths, even running on 100% gas power



CarbonBrief
CLEAR ON CLIMATE

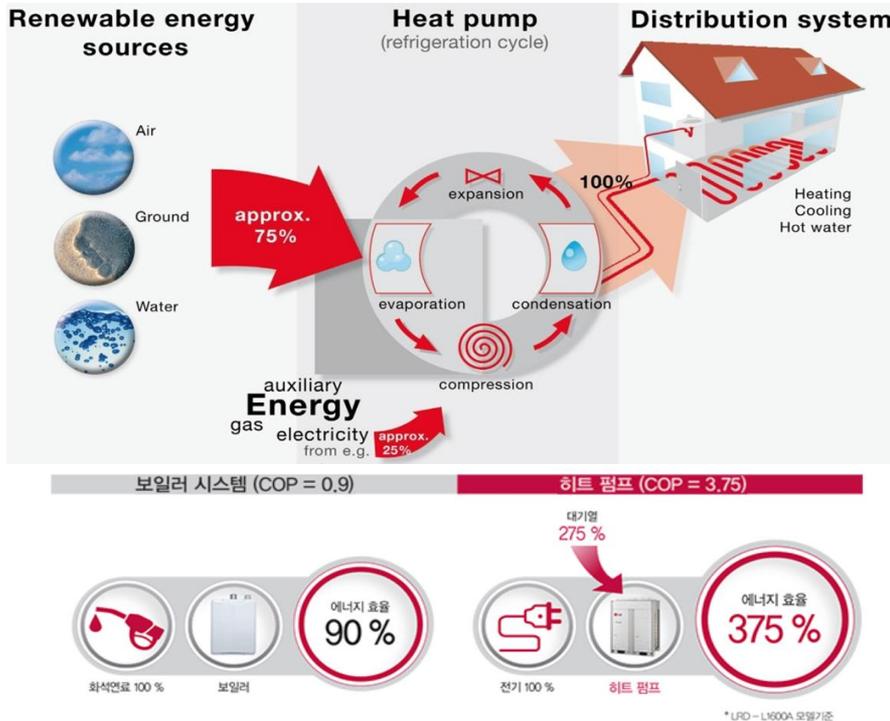
Avg gas use; 83% efficient boiler; COP=3; gas power efficiency 48%

자료 : Carbon Brief

[참고] 히트펌프 (Heat Pump)

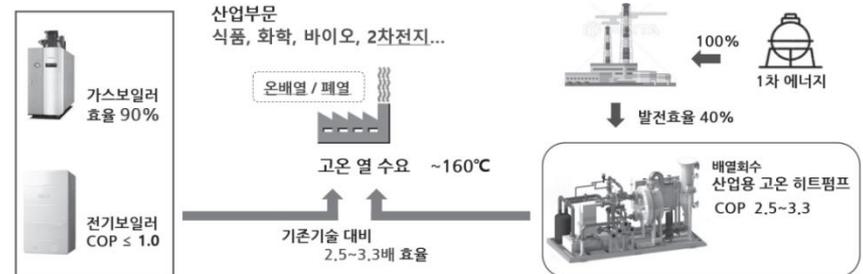
- 히트펌프는 외부와의 온도차와 냉매(특수가스)의 응축과 팽창을 활용해 열을 흡수하거나 방출해 냉난방하는 원리
 - 냉방의 경우 냉장고, 에어컨, 건조기 등의 동작원리와 같으며 역으로 하면 난방이 됨
 - 난방은 대용량(공기/지하 등 실외) 저온의 열원(대기, 각종 폐열 등)에서 열을 얻어 소용량(실내, 기기) 고온의 열을 취함
 - 일반 전열기보다도 적은 전력으로 가온 가능하며 에너지 투입 시 전동식이나 내연기관 구동식 모두 가능
- 가정이나 산업 현장에서 보일러를 대신해 난방이나 가열이 가능해 최근 주목 받고 있는 탄소저감형 시스템
 - 최근 실증 연구와 설치 증가세. 가정/건물 · 산업에서 기존 보일러를 상당수 대체 기대. 산업용에서는 지열, 폐열회수 등도 병행 활용

히트펌프의 원리와 에너지 효율



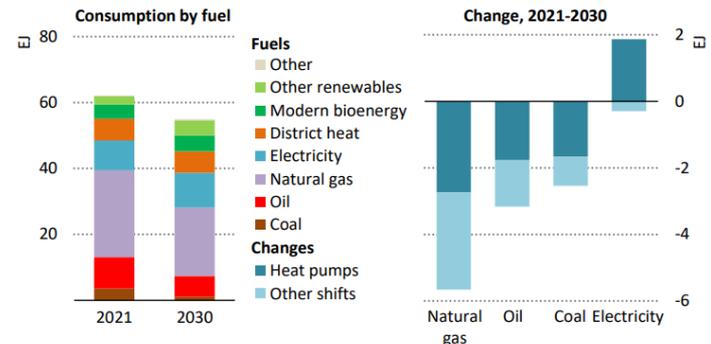
자료 : eebc, LG전자

미사용 열 활용을 병행한 산업용 히트펌프의 개요



자료 : 한국산업기술평가관리원 (산업용 고온 히트펌프 기술개발 동향, 2022.11)

건물 부문의 탄소감축에 히트펌프 큰 역할 기대



자료 : IEA

[참고] 유럽(上)과 미국(下)의 산업/건물용 전동화 관련 전망

자료 : .wts energy, Deloitte

Achievable rate of direct electrification of EU industrial energy demand

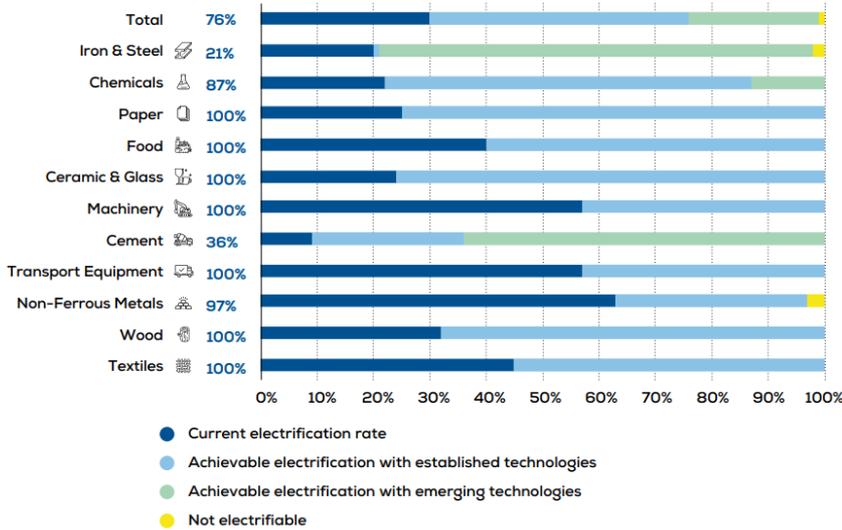
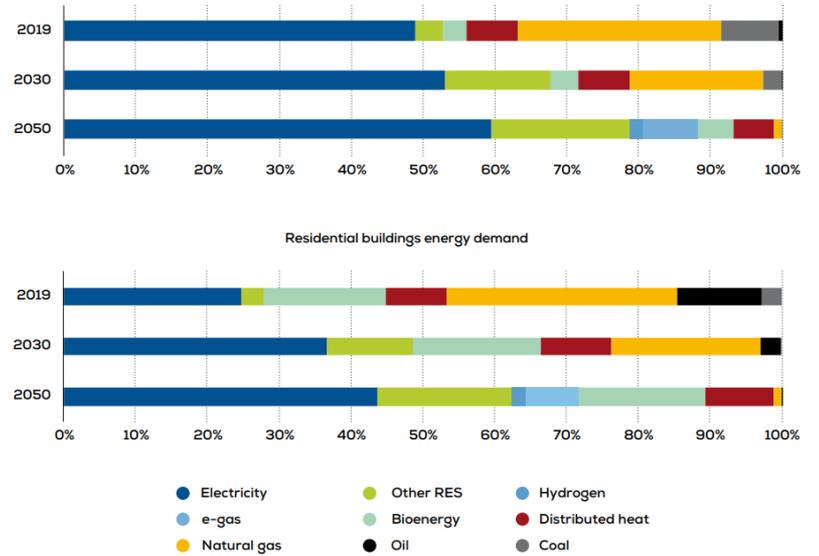


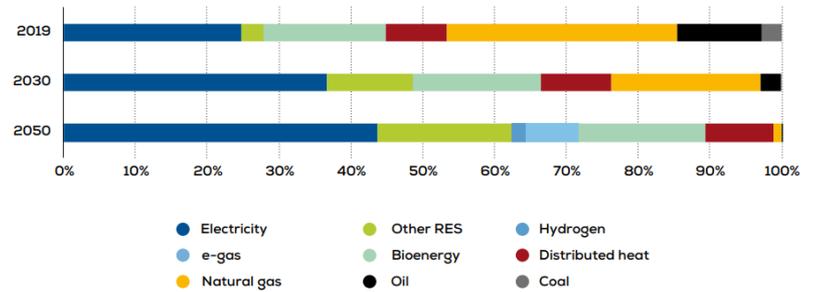
Figure 15. Achievable direct electrification rate of EU's industry's useful heat and power consumption (excluding feedstock production). Source: ETIPWind based on Madeddu et al 2020²⁸.

Commercial buildings energy demand



NOTE: other RES include ambient heat extracted from heat pumps.

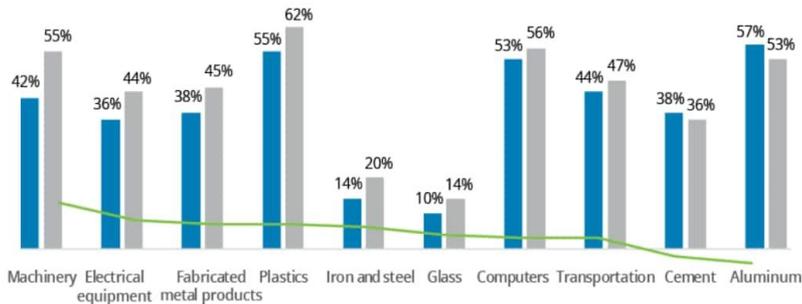
Residential buildings energy demand



How various industrial sectors are set to move toward electrification

Change in electricity adoption

■ 2020 ■ 2050 — Change in adoption (percentage points)

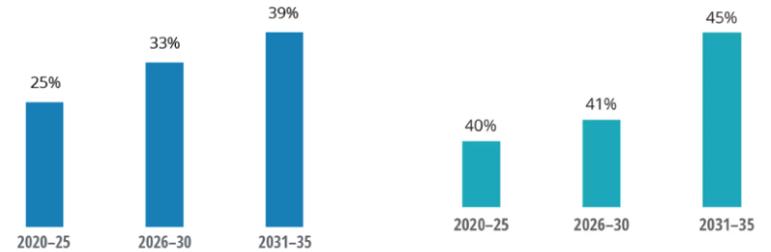


Source: US Energy Information Administration.

Deloitte Insights | deloitte.com/insights

Fleet electrification adoption targets set by US manufacturers

Fleet electrification adoption



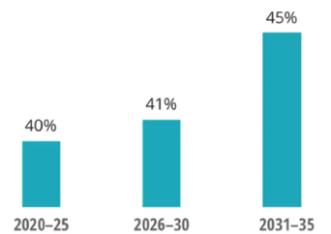
Question: Please provide more details about your organization's goals and timelines for electrifying energy use for transportation fleet.

Source: Insights from the Deloitte 100 Percent Renewable Transition Survey.

Deloitte Insights | deloitte.com/insights

Industrial processes electrification target set by US manufacturers

Processes electrification adoption



Question: Please provide more details about your organization's goals and the timeline for electrifying energy use for industrial process.

Source: Insights from the Deloitte 100 Percent Renewable Transition Survey.

Deloitte Insights | deloitte.com/insights

전기차 단계적 성장 전망

- 경기 부진과 고금리 등으로 단기 성장 둔화 예상되지만, 장기적으로는 대세 성장성 유효 (*친환경성, 소비자효용, 상품성, 스마트카 및 자율주행과의 적합성 우수)

전기차 성장 사이클 전망

1.0 단계
(도입 및 초기 성장기)

- 규모의 경제 미달
- 높은 비용, 적자
- 보조금 & 내연기관 규제 시작
- 가격경쟁력 열위

2.0 단계
(본격적인 성장기)

- 규모의 경제 향상
- 비용↓, 소폭 흑자
- 보조금↓, 내연기관 규제 지속
- 가격경쟁력↑, 모델 수↑

3.0 단계
(성숙기)

- 규모의 경제 완성
- 흑자폭 증가 (내연기관차보다 이익)
- 내연기관차 거의 판매 금지
- 다양한 모델과 세그먼트

- 전기차 캐즘(정체) 원인
 - 얼리 어답터들 이미 구매
 - 구매 가격 여전히 비쌌
 - 보조금과 혜택은 감소
 - 여전히 인프라 불편
 - 전통 자동차업체들 저항

경기 둔화와 전기차 캐즘으로 일시 둔화

부분자율주행과 전기차 동반 성장

- 전기차 캐즘 돌파
 - 기술 발달과 원가 하락 (내연기관과 비슷)
 - 정부 보급 정책 재강화

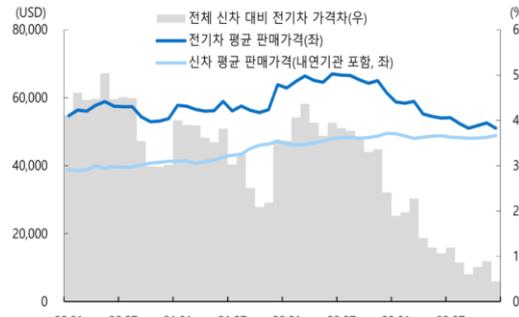
현재

- 높은 구매 가격
- 높은 정부 보조금
- 전기차 모델 빈약
- 충전 인프라 부족 및 불편

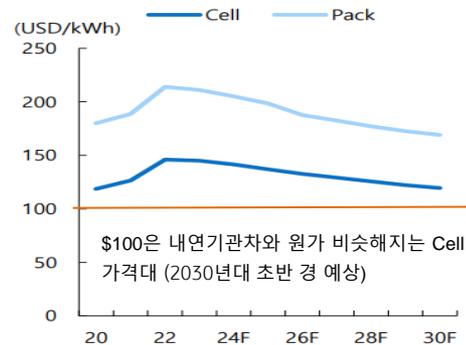
- 가격↓, 보조금↓
- 다양한 세그먼트: 중저가, 고가, 럭셔리
- 여전히 충전 불편하지만, 지속 개선

- 보조금 없어도 내연기관차보다 저렴
- 내연기관차 신규 판매 금지
- 다양한 모델로 많은 선택 옵션
- 충전 불편함이 없음

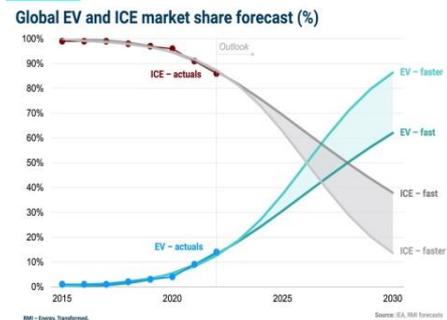
[미국의 2023년 EV와 ICE 평균 가격 추이]



[전기차 배터리 가격 추이] 및 전망



[Global EV, ICE M/S 추이 및 전망]



자료: IEA, 하이투자증권, Cox Automotive

자동차
제조사

소비자

발전/운송/산업/인공합성연료 부문에서의 수소·암모니아 사용

□ 수소·암모니아는 재생에너지의 단점과 한계(저장성, 이동성)를 보완하는 역할로 광범위하게 활용 가능

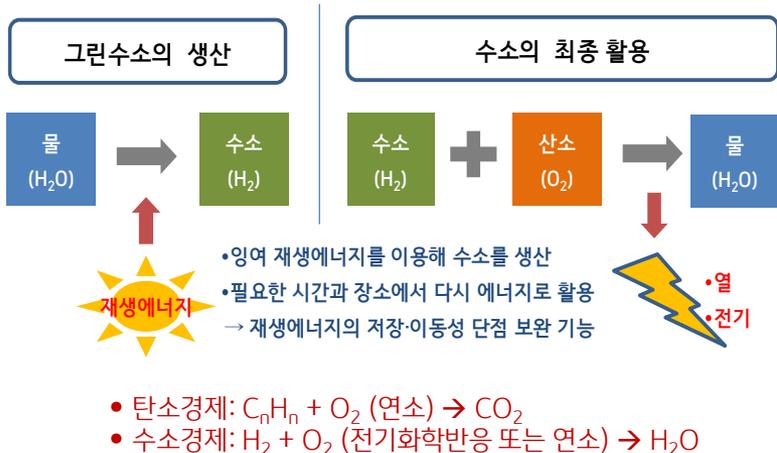
- 태양광, 풍력 등 재생에너지는 잉여구간 에너지의 저장과 이동성이 약점. 일부 ESS(배터리)를 활용하고 있으나 장기 저장과 이동 제약
- 수소는 궁극적으로 이러한 잉여에너지를 활용해 그린수소를 생산하고 이를 저장 이동해 필요한 장소와 시간에서 전기를 생산해 사용
- 주력이 될 재생 전기에너지의 잉여를 보완·활용해 장기간 이동성을 갖고 광범위하게 사용할 수 있는 거의 유일한 청정에너지 수단

□ 수소·암모니아는 발전/운송(대형)/산업/인공합성연료 부문에서 광범위하게 활용 가능

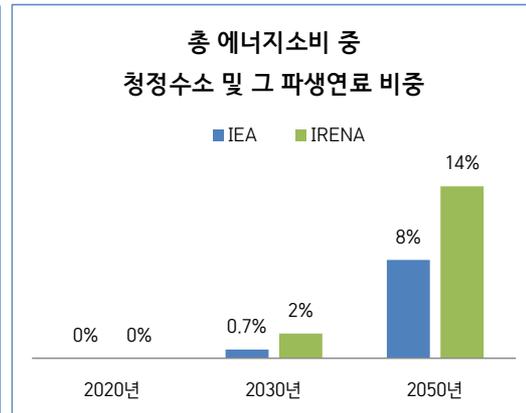
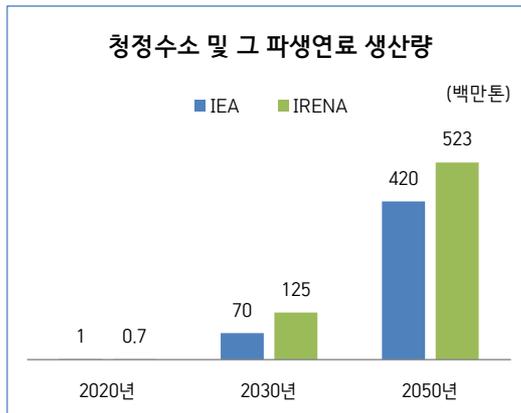
- 발전: 수소연료전지발전(분산형 발전에 유리), 기존 석탄 및 가스 발전 시 수소/암모니아 혼소 추진(혼합 연소 시 탄소배출 감소)
- 운송: 수소전기자동차, 수소전기 대형트럭(배터리전기차의 한계 분야), 암모니아 연소 추진선, 수소전기 추진 항공 및 선박(장기 과제)
- 산업: 탄소 다배출 생산공정의 수소에너지 투입(열에너지, 전기에너지), 탄소계 원료 물질의 대체(매우 장기 과제)
 - ✓ 원료물질의 대체: 철강 생산 시 환원제인 석탄과 석회석을 수소로 대체해 탄소저감, 정유/화학의 석유계 원료물질을 수소로 대체
- 탄소중립형 합성연료(e-fuel): 청정수소와 CO₂를 합성해 인공 석유/메탄올(CH₄)을 생산. 기존 내연기관에 그대로 연료로 사용 가능

□ 다만, 현재 초기 국면으로 기술 진화와 인프라 구축에 상당한 시간 소요 불가피. 국내는 수소 상당량 수입 불가피

수소경제의 개요

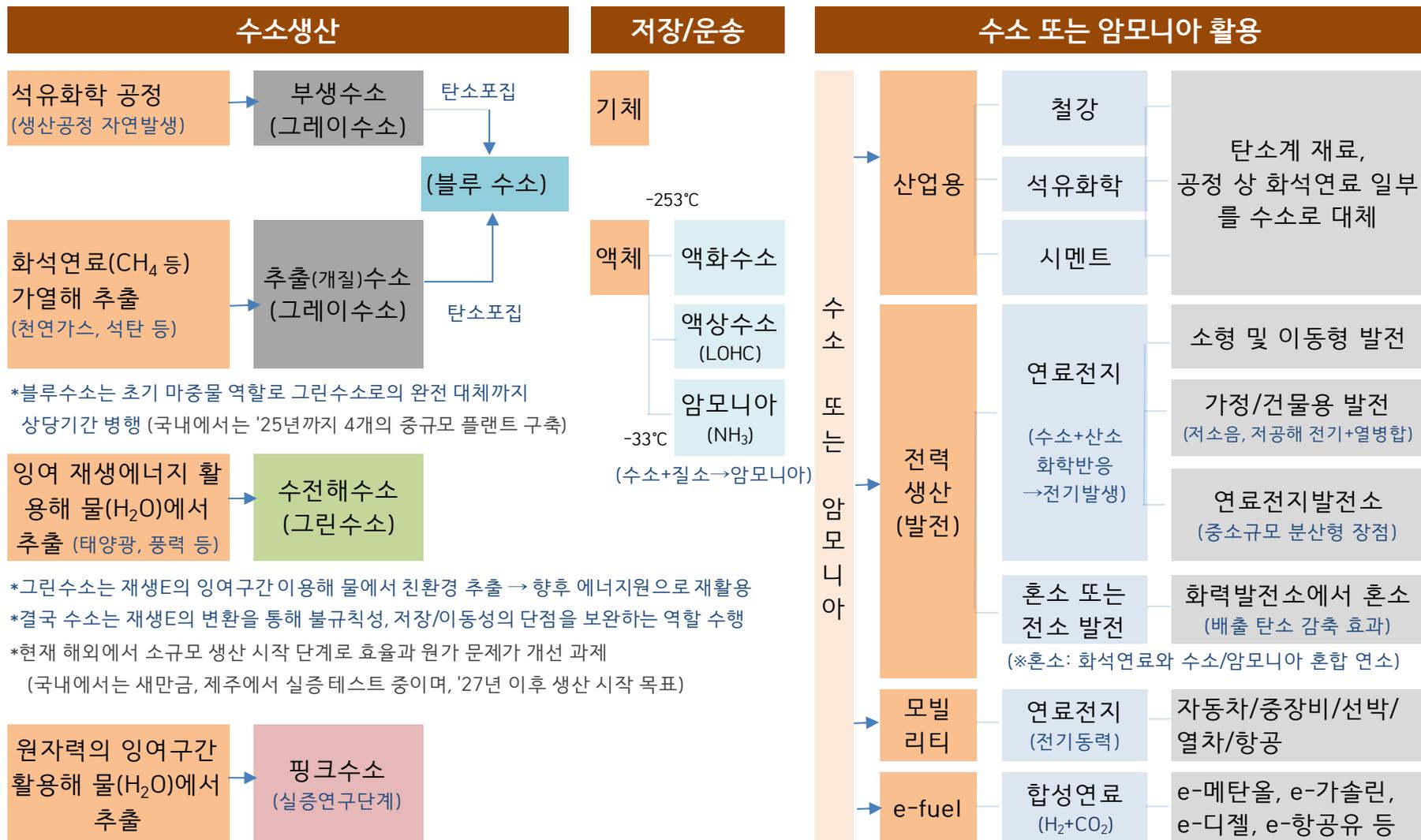


글로벌 수소 수요 전망



자료 : IEA, IRENA (2023)

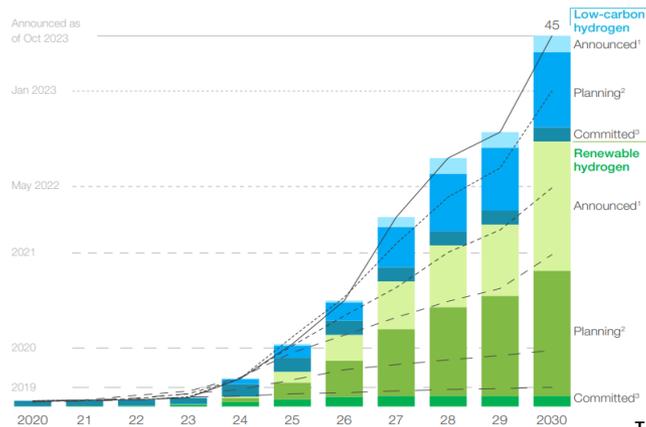
[참고] 수소경제 모식도 : 생산 - 저장 운송 - 최종 활용



[참고] 국내외 수소·암모니아 관련 동향 및 전망 자료

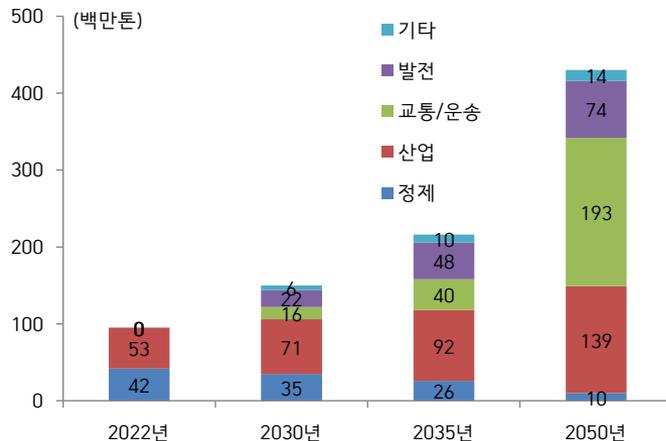
기 발표된 전 세계 수소 생산설비 구축 계획(누적)

Cumulative production capacity announced, Mt p.a.



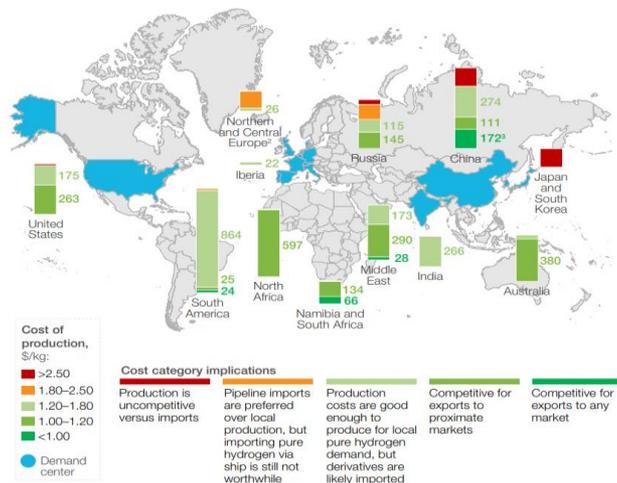
자료 : hydrogen Council

글로벌 주요 분야별 수소 수요 전망 (IEA, 2023)



2050년 지역별 수소 생산 잠재력 - 열위한 국내 여건

Hydrogen production potential, 2050, million tons per annum



1. Potential for renewables and low-carbon hydrogen, constrained by a maximum of 0-3% land availability.
 2. Only includes third-tier production potential, assuming that the higher-tier locations use renewable power.
 3. Low-cost production in western China that requires long-distance transport to eastern China.

국내 수소경제 정책 목표 (2023)

	2022년	2023년	2030년	2036년	2050년
수소공급	47만 톤	-	390만 톤	-	2,700만 톤
* 청정수소	0톤	0톤	80만 톤	-	-
수소암모니아 발전량	5.5TWh	6.8TWh	29.0TWh	71.6TWh	-
* 수소암모니아혼소	0.0TWh	0.0TWh	13.0TWh	47.4TWh	-
* 수소연료전지	5.5TWh	6.8TWh	16.0TWh	24.2TWh	-
수소암모니아 발전비중	0.9%	1.2%	4.7%	10.7%	-
* 수소암모니아혼소	0.0%	0.0%	2.1%	7.1%	-
* 수소연료전지	0.9%	1.2%	2.6%	3.6%	-
수소차 누적 보급	29,733대	34,217대	30만대	-	-
* 수소버스	340대	582대	21,200대	-	-
수소총전소	229기	274기	660기	-	2,000기
* 액화총전소	0기	0기	280기	-	-

- 주 : 2023년 수소차 및 총전소 개수는 11월 누적 기준

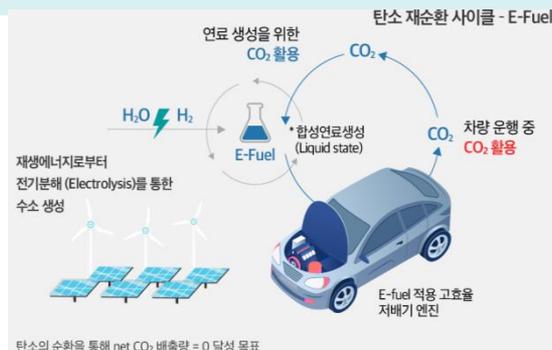
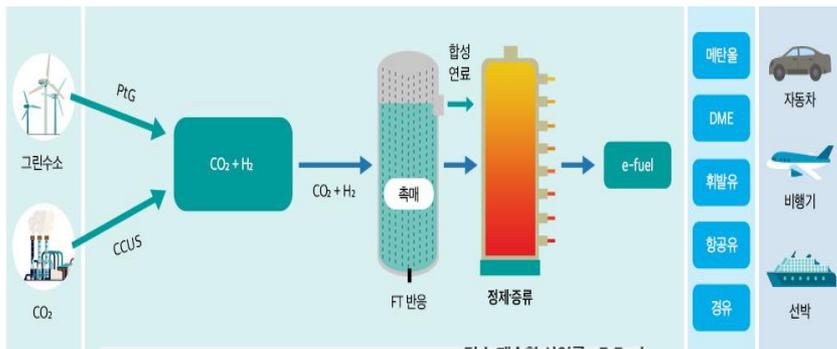
[참고] 국내외 수소경제 전망

	~2030년	~2040년	~2050년
세계 전망	<p><인프라 구축 가속화 단계></p> <ul style="list-style-type: none"> - 블루/그린수소 공급 확대 - 액화수소/암모니아 해외 유통 본격 시작 - 산업공정/발전/대형상용차 등에서 본격 활용 시작 	<p><대중화 초기 진입 단계></p> <ul style="list-style-type: none"> - 화석연료 규제 크게 강화 - 상당수 지역에서 그린 수소 원가 화석연료 추월 - 블루수소 투자 둔화 - 다양한 분야에서 활용 대중화, 활용 분야 확대 	<p><대중화 단계></p> <ul style="list-style-type: none"> - 화석연료 기반 발전 모두 퇴출 - '재생에너지&수소, 원전' 기반 발전 체계 완성 - 그린수소 위주 일반화
국내 세부 전망	<p>[수소 생산/공급/유통 측면]</p> <ul style="list-style-type: none"> - 블루수소, 액화플랜트 확대 - 그린수소 생산 시작 - 해외 수소 수입 본격 시작 - 유통망 인프라 구축 가속화 	<p>[수소 생산/공급/유통 측면]</p> <ul style="list-style-type: none"> - 그린수소 위주로 공급 확대(그린수소 50% 이상 계획) - 청정수소 수입 비중 70% 이상 	<p>[수소 생산/공급/유통 측면]</p> <ul style="list-style-type: none"> - 대부분 그린수소로 공급 (그린수소 70% 이상 계획) - 청정수소 수입 비중 80% 이상
	<p>[수소의 최종 활용 측면]</p> <ul style="list-style-type: none"> - 연료전지발전 의무 확대 (2030년 수소발전 비중 2.1%) - 충전소, 수소차 점진적 확대 - 산업공정에서 활용 시작 - 수소·암모니아 혼소발전 시작 - 암모니아 수송선 투입 시작 	<p>[수소의 최종 활용 측면]</p> <ul style="list-style-type: none"> - 다양한 분야에서 활용 적용 분야 확대 - 의무화, 보조금 의존 아닌 자연 성장 단계 	<p>[수소의 최종 활용 측면]</p> <ul style="list-style-type: none"> - '재생에너지, 수소, 원전' 기반 발전 체계 완성 - 다양한 분야에서 활용 대중화

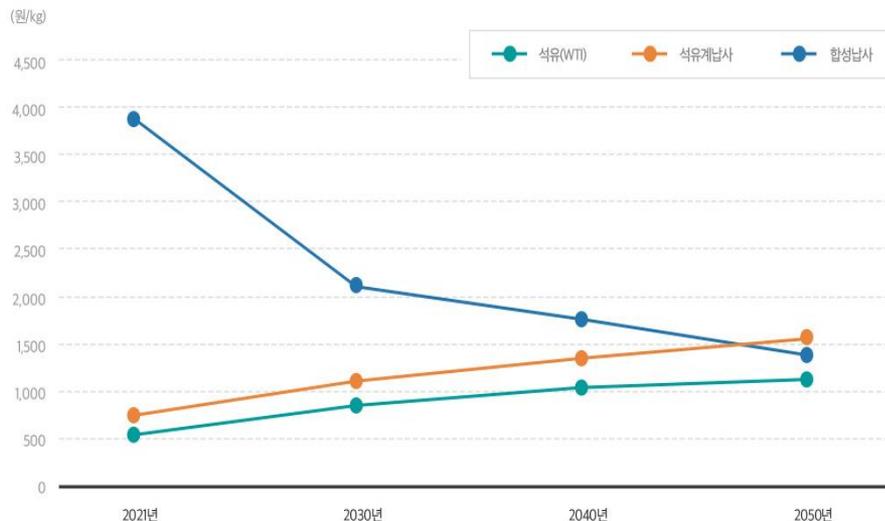
[참고] 수소와 탄소를 활용한 인공합성연료 이퓨얼(e-fuel)

- 이퓨얼(e-fuel)이란 청정수소에 이산화탄소를 합성해 만든 인공 합성 메탄올/가솔린/디젤 등을 말함
 - 천연석유와 물성이 같아 기존 내연기관 시스템에 사용할 수 있으며 순환 이론적으로는 'CO₂ 배출 = 합성에 이용'으로 넷제로 가능
- 독일과 일본 업체들은 이를 활용해 기존 내연기관차의 헤게모니 연장을 시도: EU 신규 내연기관차 등록 금지 예외
- 이퓨얼은 경제성, 효율성, 그린워싱 우려로 자동차에서는 논란 많을 것. 전동화 어려운 항공과 선박에서는 적극 활용
 - 주원료인 청정수소 원가가 장기간 매우 고가 불가피 (현재 8배, '30년대에도 3배 전망?). 경제성 있을 즈음에는 전기차 더 저렴할 전망
 - 이퓨얼을 가장한 천연석유의 사용으로 그린워싱 우려 불가피 (현실적으로 정확한 주유소 경로 추적이 어려움. 특히 신흥국 난항 예상)
 - 중대형 항공기는 대안이 거의 없어 이퓨얼(지속가능연료, SAF) 단계적으로 확대 계획. 선박 분야도 e메탄올, e암모니아 추진선 기대

e-fuel의 생산 구조와 자동차 분야 활용 모식도



천연석유와 e-fuel 제품의 가격 전망



* 가정 시나리오: (유가 상승률)3.6%(21~40년), 1.2%(40~50년), (CO₂ 포집 비용)50원/kg (수소 가격)8,000/kg (21년, 보수적) → 4,000원/kg(30년, 수소로드맵) → 3,200원/kg(40년) → 2,400원/kg(50년)

* e-Fuel은 원유보다 합성납사+가솔린에 가까우며, 납사는 원유보다 10~20% 고가

자료 : GS Caltex (※'e-fuel research' data replication)

탄소포집저장활용(CCUS, carbon capture, utilization and storage)

- 화석연료 급감속 쉽지 않아 CCUS의 과도기 역할 매우 중요
 - IEA 2070 글로벌 탄소중립 시나리오에서 CCUS 기여도 15% 제시
- 다만, 설비구축 및 저장운송 비용 부담으로 초기 속도 부진
- CCS(저장): 해외 선진 에너지기업들 중심으로 초기 증가 국면
 - 미국, EU, 산유국 위주로 폐 유정/가스전 활용 포집탄소 저장
 - 포집탄소를 석유회수증진(EOR) 기술에 사용 시작한 정유사들 적극적
 - 국내는 저장공간 매우 부족해 현실적으로 포집탄소는 향후 대부분 해외 이송 불가피 (호주, 동남아, 중동)
- CCU(활용)은 매우 장기적인 과제로 초기 연구 단계
 - 대형 화학기업들은 다양한 화학전환 기술개발 중이며 일부 상용화

할당업체 탄소배출량과 주요 산업 탄소중립 비용 추정

(단위 : 백만톤)

구 분	2017년	2018년	2019년	비중
산업 부문	317.2	323.5	340.3	57.0%
철 강	102.6	104.9	120.1	20.1%
석유화학	54.6	58.3	57.7	9.7%
시멘트	44.9	36.5	42.2	7.1%
정유	28.9	30.6	32.1	5.4%
반도체	14.2	17.1	17.9	3.0%
기타	72.0	76.1	70.3	11.7%
전환 부문(발전·집단에너지)	257.1	266.8	235.4	39.5%
기타 부문(건물·수송·공공폐기물)	26.0	25.4	20.8	3.5%

(단위 : 조원)

석유화학	철강	반도체	디스플레이	시멘트	정유	합계
91.7	71.1	17.9	10.4	5.9	2.0	199.0

자료 : KDB 미래전략연구소 (국가온실가스종합관리시스템 자료 및 산업연구원 자료 인용)

선진국의 주요 포집탄소활용 기술 상용화 현황

분야	주체	개발 현황
EOR	(美)정유사	CO ₂ -EOR을 통해 '20년 기준 일당 27만배럴 이상의 원유를 생산중이며, 총 1,350억 배럴 회수 전망(DOE, 국립에너지기술연구소)
화학 전환	(美)Albemarle & Novomer	도료 등의 원료인 폴리프로필렌 카보네이트(PPC) 상용화
	(美)Sandia National Lab	약 1.5조원 투자, 친환경에너지 기반 디젤연료 생산기술 개발
	(日)아사이 카세이	'02년 에틸렌 카보네이트 생산기술 상용화 후 5개국 6개 기업에 기술 수출하여 총 연간 90만톤의 카보네이트 생산중
광물 탄산화	(英)Carbon8	광물탄산화를 통한 건설소재 생산 상용화 성공
	(네덜란드) Twence	중탄산나트륨 생산기술 실증(연 3,000톤) 완료

국내 탄소포집기술 연구 현황

포집기술	개발기관	특징
습식	한국전력 연구원	· 보령화력본부 10MW급 습식포집 플랜트 시험운용 통해 최적화와 장기 운전연구 수행 중 · 산성축매 코팅기술을 적용한 실증화 시도
	한국에너지기술연구원	· 에너지 소비량 : 기존 습식 흡수제 대비 57% · 흡수제 손실율 : 기존 습식 흡수제 대비 3% · SK머티리얼즈, 현대차 등 6개 업체에 기술이전 완료 · 글로벌 혁신기술상(美정부, 상위 10%에 수여) 수상 등 기술력 인정
건식	한국전력 연구원 (실증 성공)	· CO ₂ 포집률 : 85% · 흡수제 손실률 : 2.45%(650시간 가동기준) · 회수 온도 200°C, PSA 공정 이용 · 하동 10MW급 건식포집 플랜트 운용, 1,000시간 연속 운전 달성

자료 : KDB 미래전략연구소, 국내 산업의 탄소중립 달성을 위한 CCUS 역할('22.04)

현실적으로 탄소감축 여정에서 에너지 절감 및 효율 향상에 큰 기대

□ 에너지효율 향상은 가장 현실적이고 기본적인 감축 수단

- 산업이나 생활 측면에서 새로운 큰 혁신은 많은 시간과 비용 소요
- 에너지절감 및 효율 향상은 현실적으로 가장 기본적인 감축 수단

□ 에너지효율 향상 방안에서 전동화 큰 역할 기대

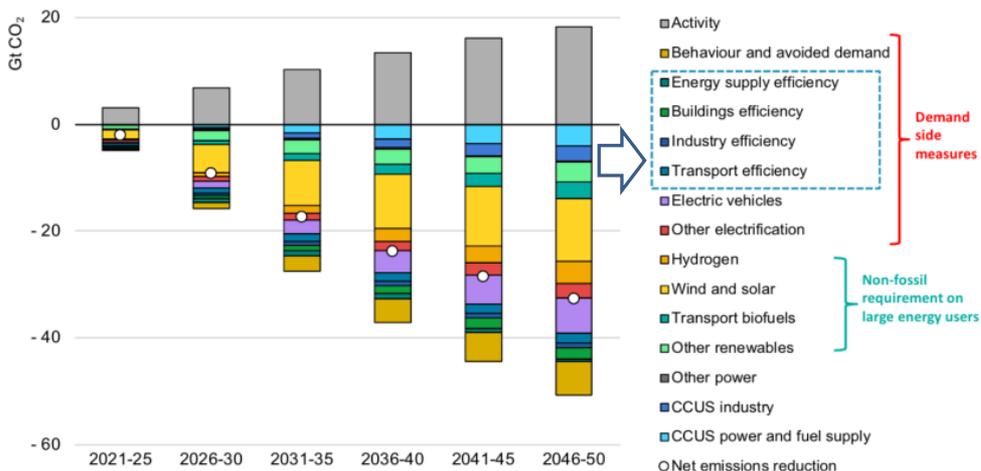
- 에너지효율 향상 방안은 제품 효율 향상, 생활 속 에너지절감, 발전/송배전 효율 향상, 산업공정 효율 향상, 순환경제 확대 등
- 각 부문에서 전동화가 큰 역할: 전기차, 산업공정, 히트펌프 등
- 전동화는 앞서 언급한대로 에너지효율 측면에서 많은 장점 보유

에너지효율 향상 방안 (IEA) – 전동화가 많은 역할

	Regulation	Incentives	Information
Buildings	Building codes ↳ Solar PV ↳ Demand response MEPS for appliances ↳ Demand response	Energy Efficiency Obligations ↳ Carbon-based obligations ↳ Peak demand targets	Energy Performance Certificates ↳ Fuel to GHG
Transport	Fuel economy standards ↳ Fuel to GHG ↳ ICE phase-out ↳ EV bonus ↳ EV to Grid bonus	Demand incentive schemes ↳ Subsidies directed to EVs ↳ EV charger subsidies	Energy label ↳ Fuel to GHG ↳ EV to Grid bonus
Industry	Industry agreements ↳ Energy to GHG ↳ Electrification (e.g., heat pumps) ↳ DR requirements	Subsidies, grants ↳ Carbon-reduction based	Energy and carbon reporting ↳ Adding GHG reporting ↳ DR reporting

탄소중립 여정에서 에너지효율 향상은 중요한 비중

Demand side measures play a significant role in the IEA Net Zero Scenario, 2021-2050



자료 : IEA, 2023

2022- 2030 에너지효율 2배 향상 전략 (IEA)

Share of electricity in energy demand increases by over a third, and smart grid investment more than doubles

In industry, annual energy productivity grows by 2.3% per year, and electricity accounts for 30% of energy use by 2030

Retrofit rates for buildings more than double to 2.5% per year saving enough energy to power all the buildings in China and India today.

Appliances including ACs and refrigerators require 30% to 40% less energy to do the same job. All markets mainly sell LED lighting

Cars become 5% more efficient each year, largely through electrification and a switch to smaller vehicles

Consumers make active and ongoing behaviour changes in everyday life, like limiting heating to 19-20 °C

자료 : IEA, 2023

ESG 강조되며 스마트팩토리/디지털트윈의 진화 성장

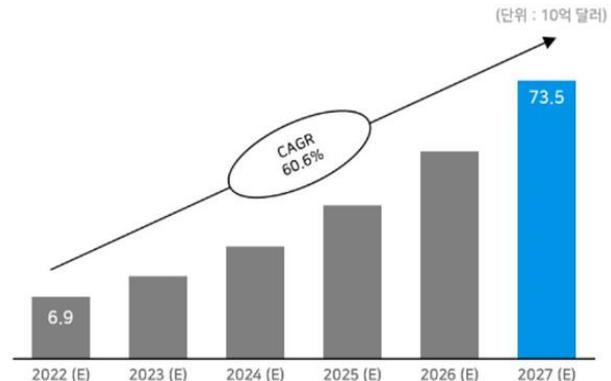
□ 스마트팩토리의 효용 관점이 에너지효율(탄소감축)로 확장

- 기존 스마트팩토리의 개념은 생산성 효율에 중점
- 탄소감축 이슈가 커지면서 이제는 에너지효율향상&탄소저감 관점 확대

□ 디지털트윈(Digital Twin)의 급부상

- 국내외 다수의 자동차, 기계, 화학 등 제조업 뿐만 아니라 스마트시티 등 공공인프라 산업에서도 디지털트윈 도입 시도 크게 증가
- 디지털트윈은 물리적 공간을 가상공간에 그대로 복제 재현함으로써 사전 시뮬레이션과 실시간 대응을 통해 개발/부품조달/생산/관리에 여러 이점
- 여기에 회사는 물론 협력업체 전 밸류체인에 걸쳐 에너지/탄소 흐름 제어

디지털트윈 시장 전망



※마켓앤마켓은 글로벌 디지털 트윈 시장이 27년까지 연평균 60.6%로 성장하여 730.5억달러(94조 8천억원)규모가 될 것으로 전망³⁾

자료 : S-core (2022년 Markets and Markets 자료 인용)

디지털트윈의 개념

<디지털 트윈의 개념과 적용>



자료 : (좌)“가상공간 속의 진짜 세상...‘디지털 트윈’ 기술은 무엇이며, 어떻게 활용하는 것이 좋을까?”, 인공지능신문(2022.08.27.)/(우) “디지털 트윈이란?”, SBIZ뉴스(2022.02.16).

자료 : 경기일보

해외 디지털트윈 사례

국가	기업	디지털 트윈 사례	효과
독일	SIEMENS	SIMATIC 부품 생산에 디지털트윈 도입	· 부품 생산 공정 시간 11초→8초 단축 · 생산성 8배 증가
이탈리아	Maserati	신규모델 설계 및 생산공정 최적화 위해 디지털 트윈 도입	· 신규 모델 대규모 맞춤 생산 진행 · 차량 개발 시간 30% 이상 절감
독일	BMW	맞춤형 차량 생산 위한 공정 최적화 위해 디지털 트윈 도입	· 생산 계획 시간을 단축 · 효율성 30% 개선
스페인	Modumaq	물류 분류 시스템 자동화 사전 테스트 과정에 디지털 트윈 활용	· 물류 처리량 3배 증가 · 3년 만에 투자비용 회수
스위스	Ruggli AG	부품 프로그래밍 과정에 디지털트윈 도입	· 20%의 개발 시간 절감 · 의사소통 간결화

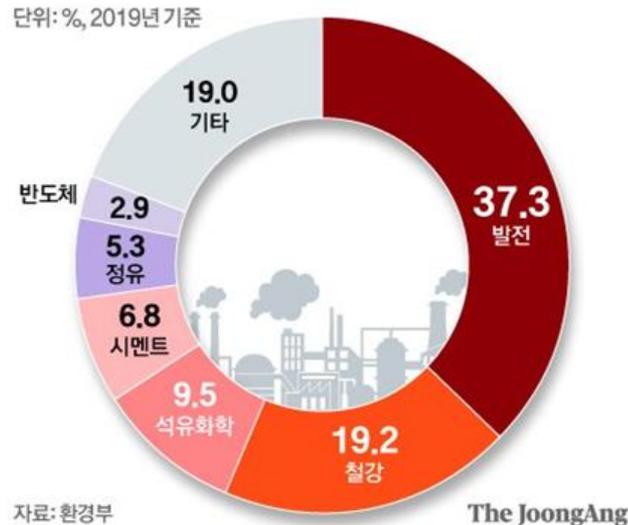
주: 국내 기업은 현대차, GS칼텍스, 삼성전자, HD현대 등에서 일부 도입

자료 : S-core

[참고] 국내 주요 온실가스 다배출 산업별 탄소중립 전략과 이슈

- 발전: 다른 국가들 대비 재생에너지 및 수소 생산 효율 약점 → 장기적으로 태양광, 풍력, 원자력, 수소 등 다양한 발전원 추진 불가피 (※원자력은 폐기물 저장 한계와 추가 신설의 주민 반대 문제 잔존, 수소는 현실적으로 상당수 수입 의존 불가피)
- 철강: [중단기] 공정효율향상과 저전력 전기로 확대에 중점. [장기] 석탄 대체하는 수소환원제철로 전환
- 석유화학: [중단기] 공정효율향상 및 연료전환(LNG, 전기화), 폐플라스틱 재활용에 중점. [장기] 납사원료의 바이오합성/수소 전환
- 시멘트: [중단기] 공정 효율향상 및 개선, 연료전환 및 절감(폐플라스틱 활용). [장기] CCUS와 석회석의 비탄산소재 전환 연구
- 반도체/디스플레이: [중단기] 스마트팩토리/에너지효율향상/불소계가스저감 등에 중점. [장기] 새로운 공정가스 개발 연구 과제
- 자동차: 스마트팩토리(디지털트윈, 공정개선)을 통한 효율 향상 추진. 탄소국경세에 대비한 전 밸류체인의 탄소감축 관리가 큰 이슈 될 것

산업별 국내 온실가스 배출 비중 (2019년 기준)



주요 온실가스 다배출 산업들의 탄소중립 전략

세부 산업		중단기(~2030s)	장기(~2050)
산업공통 (생산공정/설비 측면)		에너지 및 공정효율 향상, 친환경 전력 등 저탄소에너지, 탄소포집 저장활용(CCUS), 히트펌프, 폐열회수시스템 등 확대	
철강	생산공정	고로 비중 축소, 전기로 비중 확대 추구	탄소중립 공정 확립
	소재·원료	수소환원제철(환원제로 석탄 대신 수소 투입)실증연구	수소환원제철 양산
석유화학	생산공정	LNG, 폐플라스틱연료, 전기에너지 확대	탄소중립 공정 확립
	소재·원료	납사 원료의 바이오합성·수소전환 연구	납사 원료의 바이오합성·수소전환 양산
시멘트		석회석의 비탄산소재 전환에 대한 연구개발	석회석의 비탄산소재 전환 양산 적용
정유		COTC(Crude Oil To Chemical) 등 융복합화	CCUS 확대, 친환경 저탄소 에너지 추진(수소, 이퓨럴 등)
반도체/디스플레이		온실가스 저감장치 확대, 대체가스 연구개발	생산공정 온실가스 대체원료 양산 적용

Contents

I . 탄소중립을 향한 여정 (동향, 전망, 전략)

II . 산업 부문의 세부 탄소중립 추진 전략

- 청정에너지 전환, 전동화, 수소경제, CCUS, 에너지효율향상

III . 맺음말

탄소중립 및 전동화 등의 노력이 국내 산업에 미치는 영향/대응전략/시사점 ①

□ 중장기 탄소감축 압박은 계속될 전망 → 경제와 산업의 생존 문제

- 기후이변현상에 따른 온난화 이슈 지속+산업 패권 경쟁/보호무역/일자리 확보 전쟁 → 유럽/미국 등의 압박 강화 추세 지속 전망
- 다만, 막대한 경제적 비용 소요. 유럽의 경제 부진과 그린인플레이션에 따른 반대 여론과 일부 수정 가능성
(※ 탄소 규제의 방향성 자체는 지속될 것)

□ 에너지 및 산업 패러다임 변화의 가장 큰 틀은 '저탄소/무탄소 전기에너지 수요 증가와 전동화 확대'

- 국내 경제와 산업이 크게 쇠퇴하지 않는 한 중장기 전력 수요는 예상한 것보다 더 클 가능성 높음
- 저탄소/무탄소 전기에너지와 전동화 인프라가 향후 산업과 국가의 경쟁력에 큰 영향을 미치는 요소로 부상할 것
- 차기 에너지 패러다임(재생에너지, 원자력, 수소)에서도 지리·지형적으로는 국내 경쟁력 상대적으로 열위
- 현실적 관점에서 민관 지혜를 모아 다양한 에너지를 바탕으로 최적의 비율로 대응해야

□ 산업계 측면에서는 온실가스 다배출 업종의 공정 및 에너지효율 향상, 전동화가 우선 과제

- 유럽의 경우, 온실가스 다배출 업종의 탄소배출공정 개선, 에너지 효율화, 수송/난방/산업설비의 전동화를 우선 과제로 추진 중
- 비화석연료계 대체 신소재 개발과 포집탄소활용(ccu) 등은 매우 장기 과제
- 공정의 에너지효율 적극 개선 필요. 설비/공정 교체 시, 에너지효율 크게 고려해야 하며 가능하면 스마트팩토리/디지털트윈 활용 필요
- 다만, 당분간 경기가 어려운 상황에서 기업들의 투자 부담이 상당하기 때문에 유럽 조차도 산업계의 저항이 커질 전망

□ 전기차의 경우 일시 성장 둔화 불가피. 장기적으로는 내연기관차보다 우월한 점이 많아 성장 지속 전망

- 경기 부진과 고금리 등으로 전기차의 단기 성장 둔화 예상되며, 탄소 감축 추세 측면에서도 당초 기대보다는 다소 둔화 불가피
- 장기적으로는 전기차가 여러 장점이 많아 대세 성장성에는 변함 없을 전망
- 친환경성, 소비자효용, 상품성, 스마트카 및 자율주행과의 적합성 등의 측면에서 내연기관차보다 우월

탄소중립 및 전동화 등의 노력이 국내 산업에 미치는 영향/대응전략/시사점 ②

□ 전세계적으로 탄소 배출권 및 크레딧 역할은 중요해질 가능성 높음

- 글로벌 경제 부진, 기술적인 제약으로 에너지 및 산업계의 탄소 감축 현실이 당초 기대보다는 속도 못 내고 있음
- 에너지 측면에서는 전력 수요가 생각보다 커지고 있고, 지정학 리스크가 지속되면서 경제에 부담
→ 따라서 청정에너지 전환 투자도 경제적으로 부담 불가피
- 탄소 크레딧 측면과 수소경제는 반대의 방향성이나, 매우 초기 단계이고 본격 성장기까지는 상당기간 소요 불가피
- 산업계의 탄소 감축 현실은 당초 기대보다 쉽지 않은 상황에서 탄소 감축 정책의 방향성은 유지될 가능성이 높기 때문에 탄소 배출권 및 크레딧 수요와 활용이 증가할 수 있음

□ 산업계의 에너지 및 탄소 측면에서는 상대적으로 불리한 국내 여건 → 탄소 크레딧 적극 활용 불가피

- 탄소국경조정제도/RE100 등 탄소 규제에 대비해, 전 밸류체인(Scope3) 탄소관리와 더불어 탄소 배출권 및 크레딧 적극 활용 필요
- 탄소국경조정제도 시행 앞두고 2025~2026년 부터 기업과 벤더들에게 탄소배출현황과 감축 방안 요구 크게 증가할 가능성이 높으며, 탄소 크레딧 관련 수요도 본격 증가할 수 있음
- 국내 대기업들은 보통 Scope1 관점에서는 탄소 규제 강화 대비가 상당부분 되어 있으나, Scope2~3 관점에서는 아직 준비가 안됨

□ 전동화/전기차/전력인프라/에너지효율/수소경제 관련 산업 성장 전망

- 전동화 관련 부품: 모터, 인버터/컨버터, 배터리, MLCC, 전력반도체 등
- 전력설비 관련: 전선, 변압기, 송배전설비, 전력반도체 등
- 에너지효율 및 공장자동화 관련: 스마트그리드(전력효율화), 고효율 기계설비, 폐열회수, 스마트팩토리/디지털트윈 등
- 수소경제 관련: 수소·암모니아의 생산/수입, 운송, 활용.
- CCUS(탄소포집저장활용), 비화석연료계 신소재 개발

탄소중립 및 에너지 패러다임 변화, 그리고 수소경제의 역할

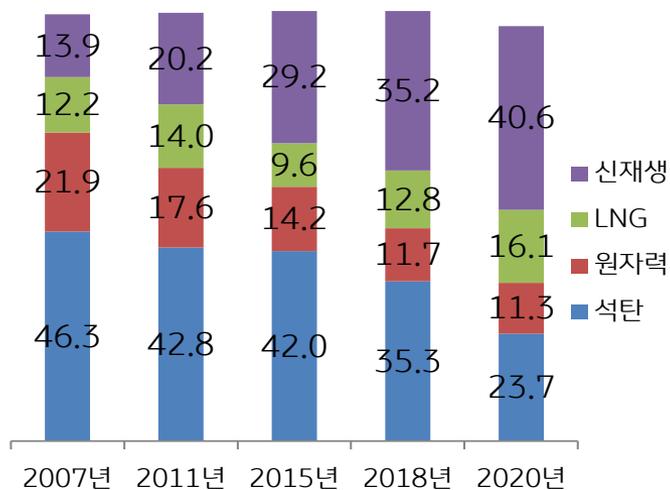
※ 본 자료의 내용은 발표자 개인의 의견이며, 당사의 공식 입장이 아님에 유의하시기 바랍니다

[정오표 및 추가자료]

IEA, 글로벌 에너지원별 공급 비중 전망 (12페이지)

	Shares (%)						CAGR (%) from 2022	
	2010	2022	2030	2035	2040	2050	2030	2050
Total energy supply	100	100	100	100	100	100	-1.2	-0.6
Renewables	8	12	29	45	58	71	10.0	6.0
Solar	0	1	6	12	18	26	23.0	11.0
Wind	0	1	4	8	12	16	16.0	9.0
Hydro	2	3	3	4	5	6	2.9	2.3
Bioenergy	9	10	13	16	18	18	14.1	35.9
Nuclear	6	5	8	10	12	12	5.0	3.0
Natural gas	21	23	21	14	10	6	-18.6	-46.9
Oil	32	30	26	21	15	8	-2.8	-5.2
Coal	28	27	17	9	5	3	-44.1	-70.6

독일 주요 발전원 비중 추이



자료 : Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung

국내 제 10차 전력수급기본계획 (13페이지)

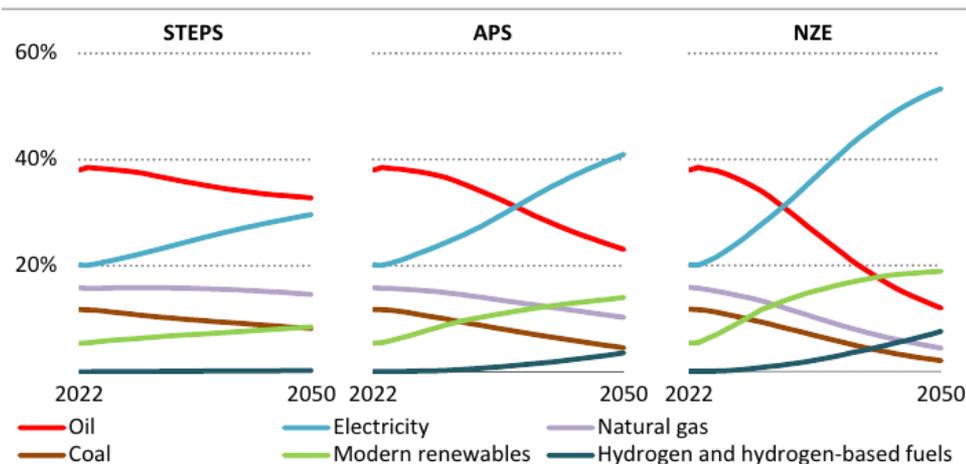
발전량

(TWh)	원자력	석탄	LNG	신재생	수소암모니아	기타	계
2019년	146	227	144	36		9	563
2020년	160	196	146	37		13	552
2021년	158	198	168	43		9	576
2030년	202	123	142	134	13	8	622
2036년	231	96	62	204	47	27	667

발전량 비중

	원자력	석탄	LNG	신재생	수소암모니아	기타	총계
2019년	25.9%	40.4%	25.6%	6.5%		1.6%	100%
2020년	29.0%	35.6%	26.4%	6.6%		2.4%	100%
2021년	27.4%	34.3%	29.2%	7.5%		1.6%	100%
2030년	32.4%	19.7%	22.9%	21.6%	2.1%	1.3%	100%
2036년	34.6%	14.4%	9.3%	30.6%	7.1%	4.0%	100%

IEA, 글로벌 최종에너지소비 비중 전망

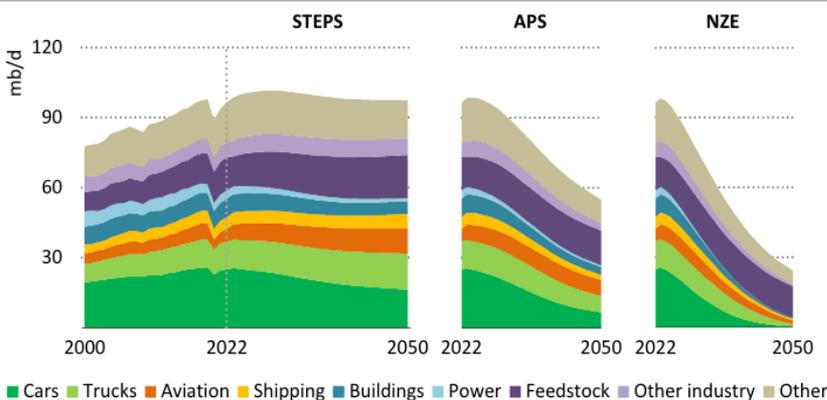


자료 : IEA, 2023

[추가자료]

IEA, 글로벌 석유 수요 전망

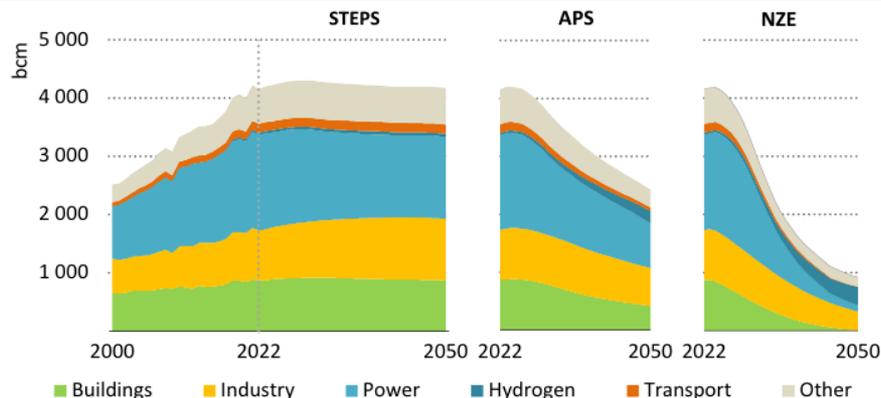
Figure 3.20 > Global oil demand by sector and scenario, 2000-2050



* 2022년 기준: Road 41%, Aviation&Shipping 11%, Industry 21%, Building&Power 11%

IEA, 글로벌 천연가스 수요 전망

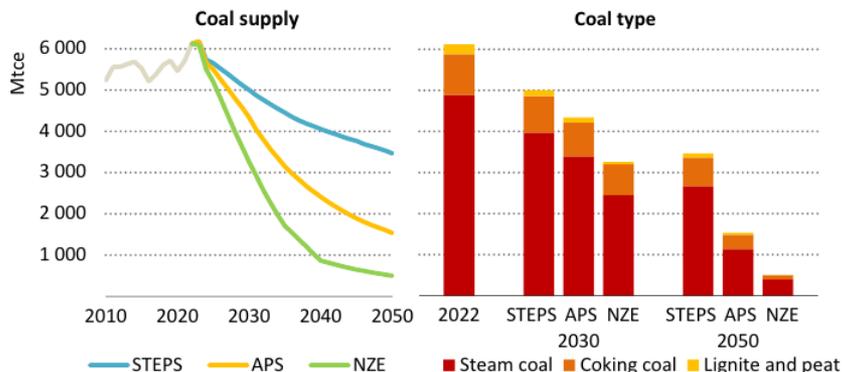
Figure 3.23 > Global natural gas demand by scenario, 2000-2050



* 2022년 기준: Power 39%, Industry 21%, Building 21%, 기타 19%

IEA, 글로벌 석탄 공급 전망

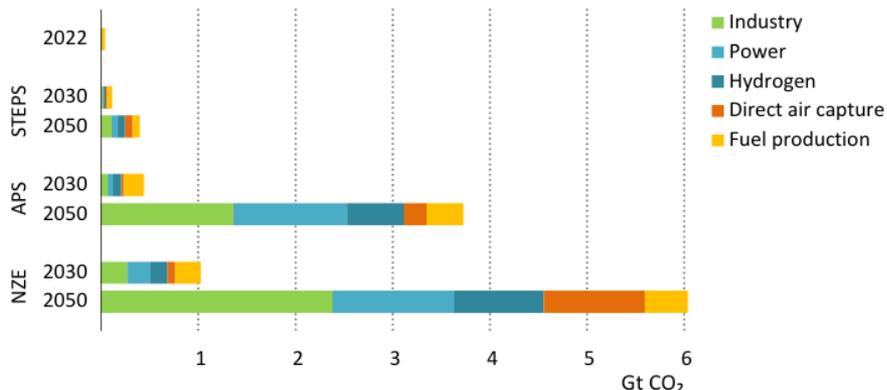
Figure 3.28 > Global coal supply and type by scenario



주: STEPS는 정부 발표 자료 취합, APS는 중장기 비전 선언 포함, NZE는 넷제로 시나리오
자료: IEA, 'World energy outlook(2023)'

IEA, CCUS에 의한 탄소 포집 전망

Figure 3.37 > Global CO₂ captured by source and scenario, 2022-2050



IEA. CC BY 4.0.

More CCUS projects become competitive as climate ambitions rise and sectors need to fully mitigate emissions; NZE Scenario projects 6 Gt CO₂/year captured and stored by 2050