

우리나라 탄소중립 전환의 의미와 시사점

2021. 8. 1.

KAIST 경영대학 기술경영학부
녹색성장대학원장
지속발전센터장

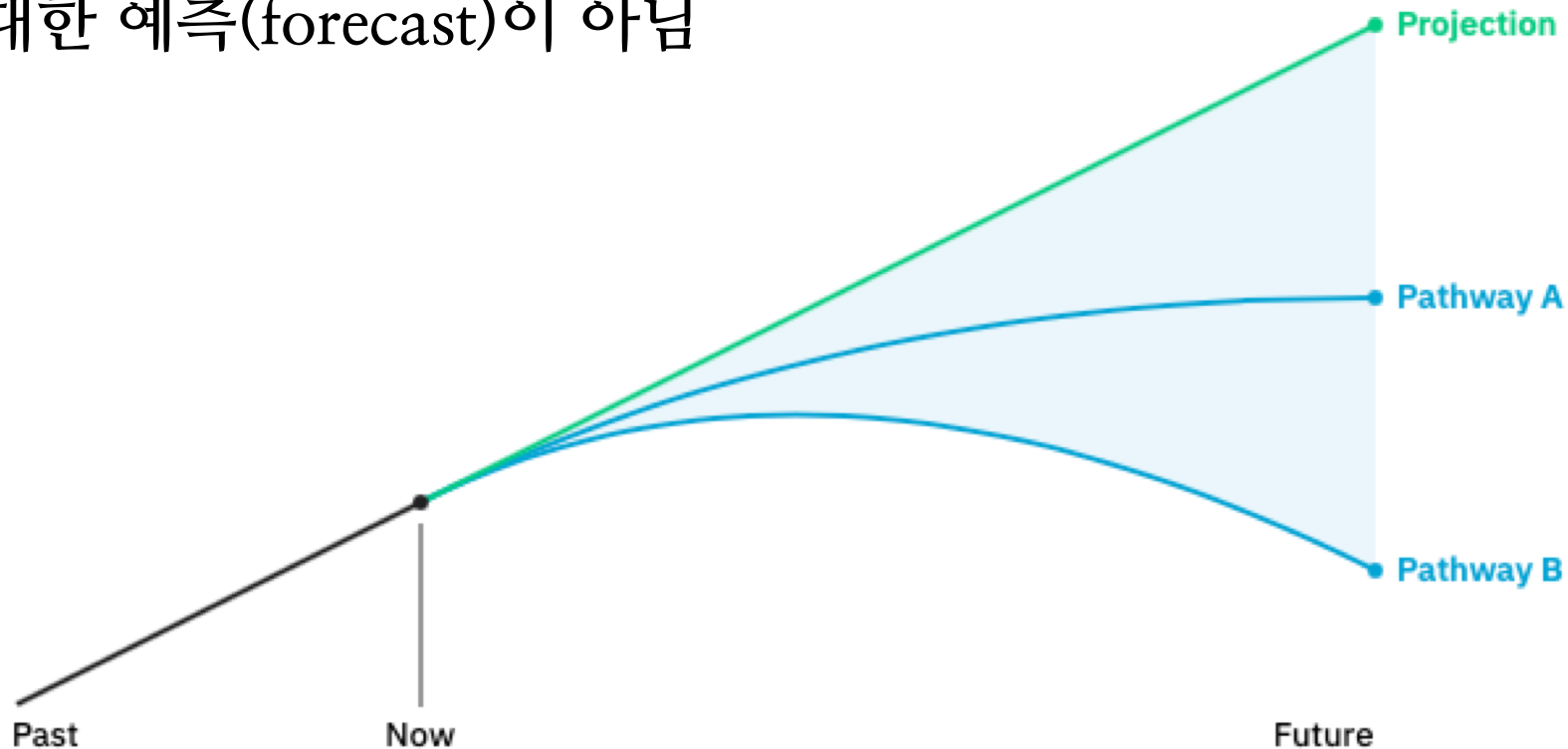
엄 지 용

eomjiyong@kaist.ac.kr

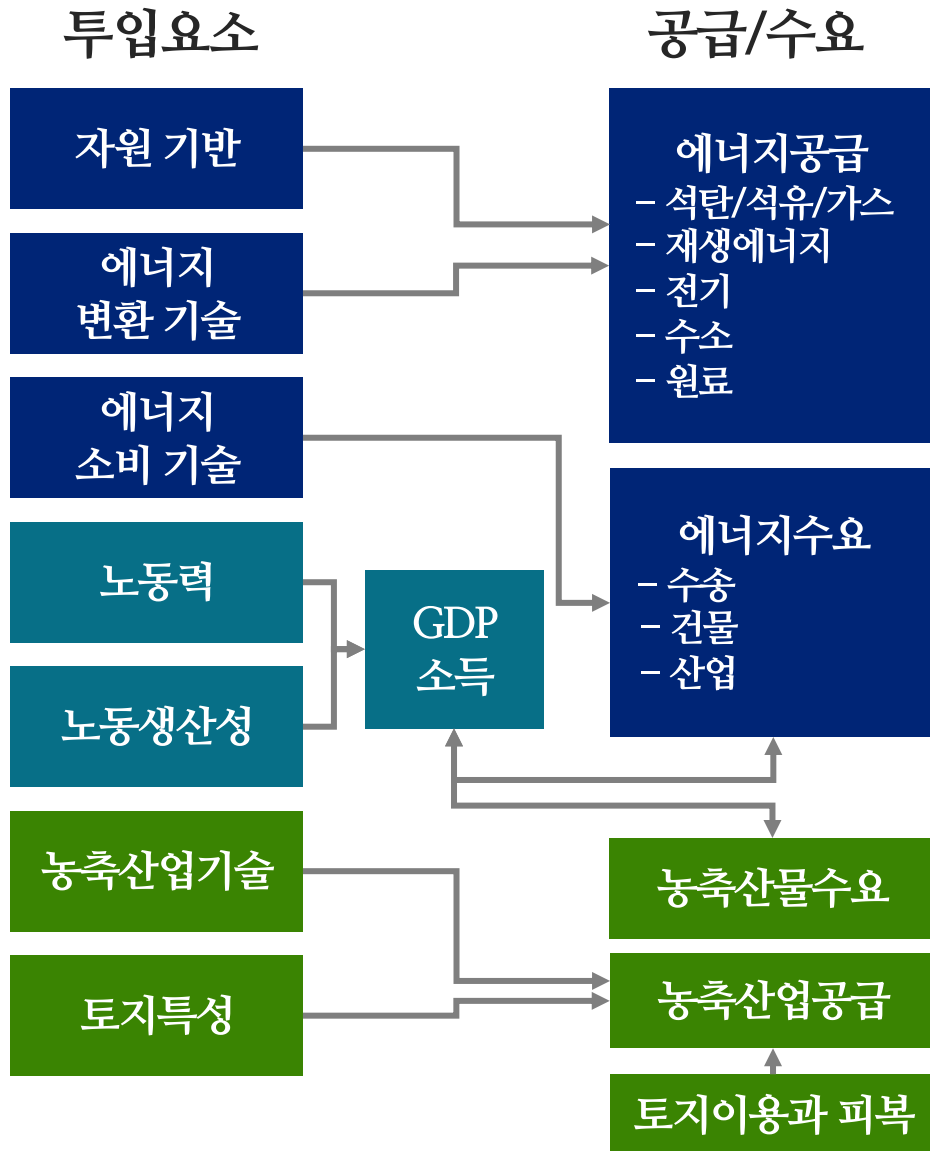
탄소중립 시나리오

온실가스 배출 시나리오란?

- 온실가스 배출과 미래 사회변화의 각종 지표에 대한 일관되고 개연성 있는 전망
 - 기술적 질문: 어떤 일이 일어날까?
 - 규범적 질문: 어떤 일이 일어나야 할까?
- 미래에 대한 예측(forecast)이 아님

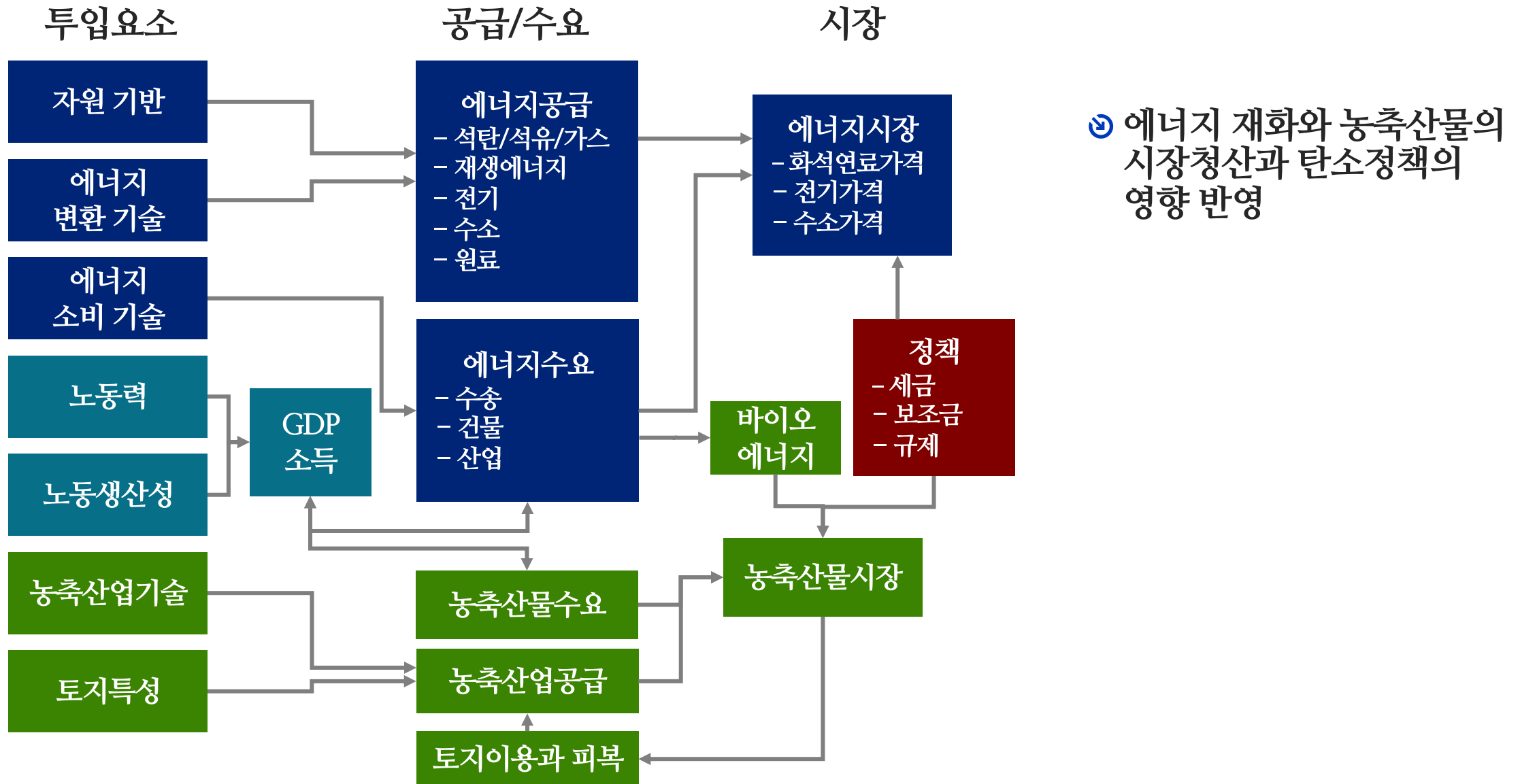


에너지-경제-환경 통합 모형 기반 시나리오 개발

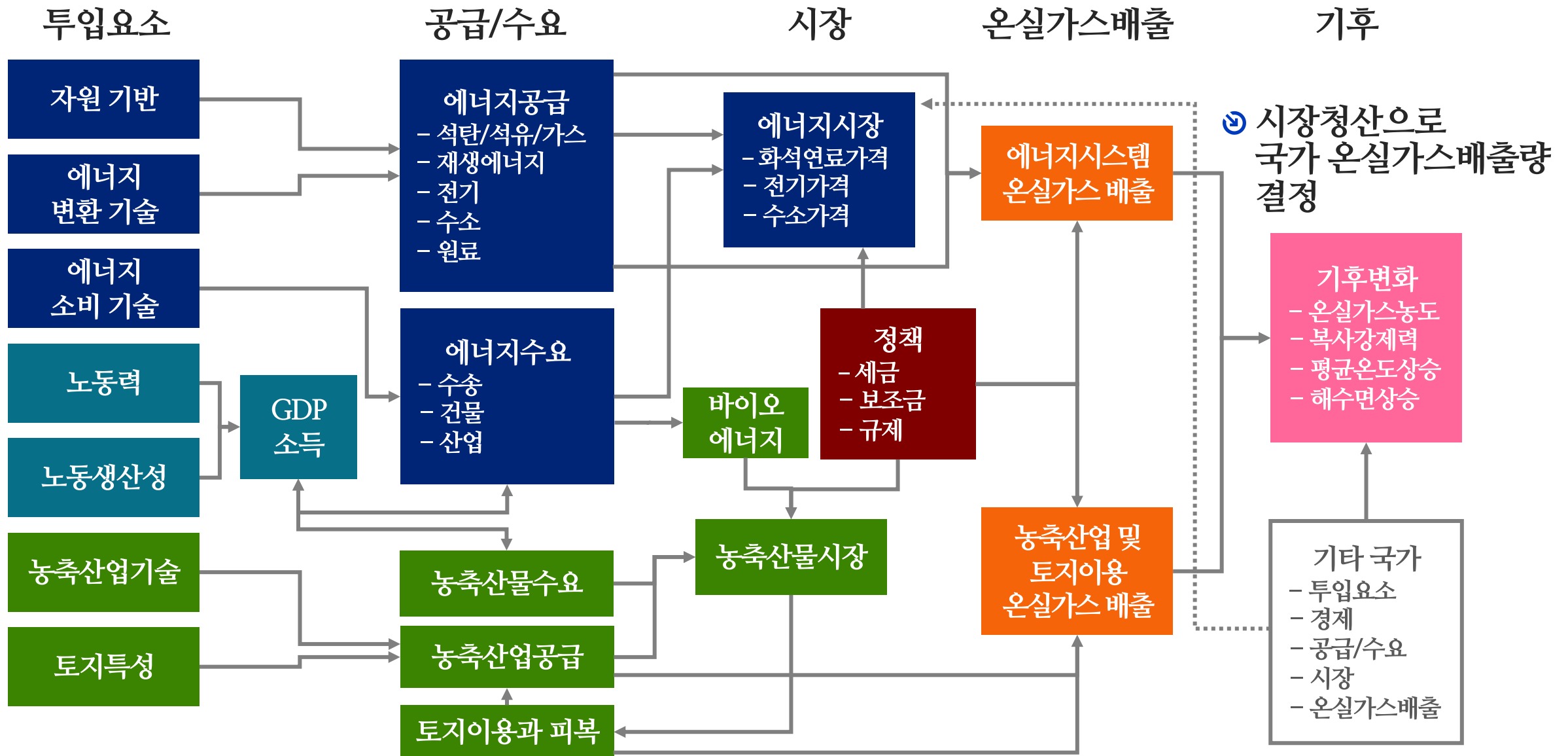


④ 국가별 자원 및 생산요소 투입량이 각종 에너지와 농축산물의 공급과 수요를 결정

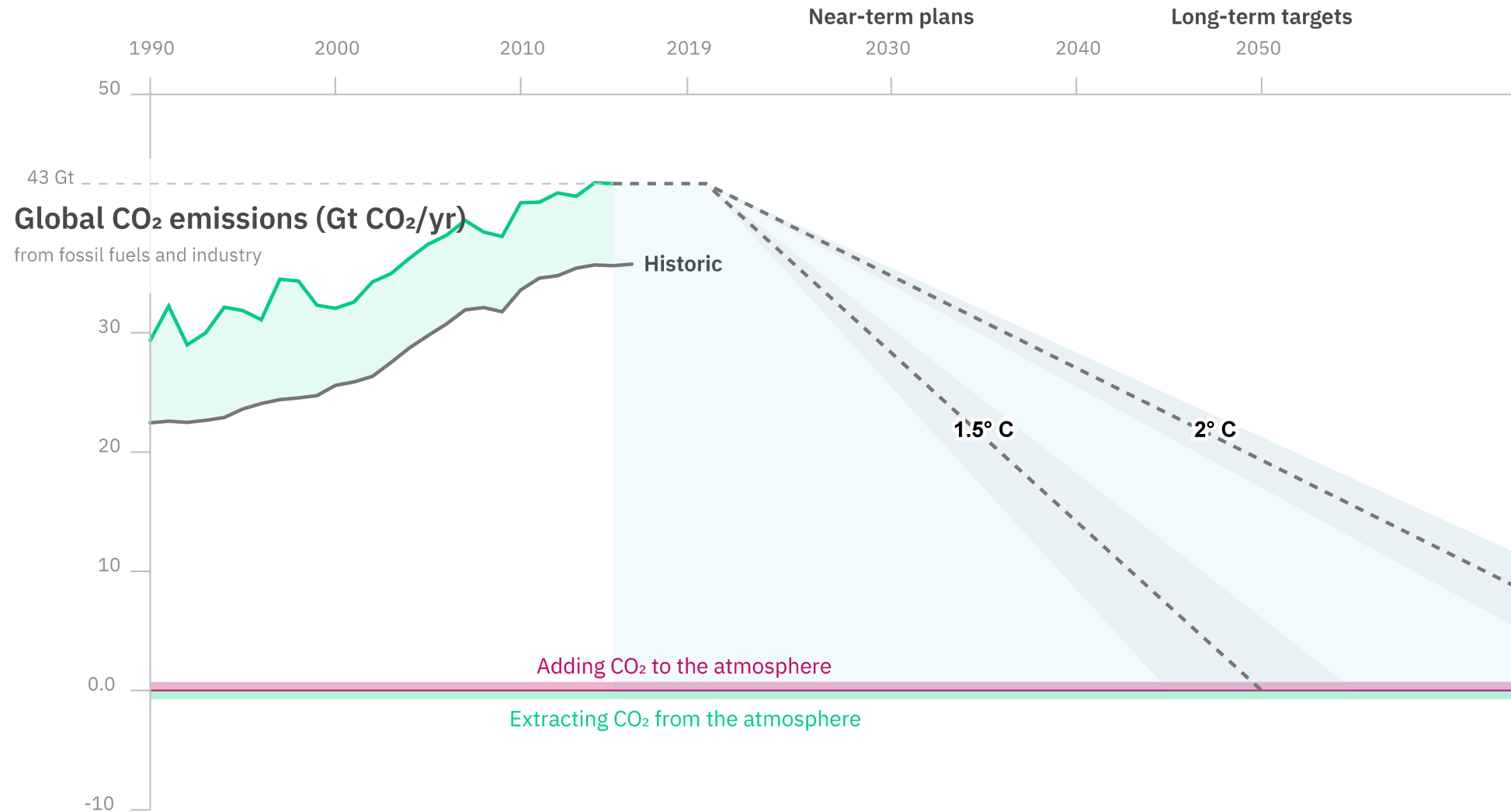
에너지-경제-환경 통합 모형 기반 시나리오 개발



에너지-경제-환경 통합 모형 기반 시나리오 개발

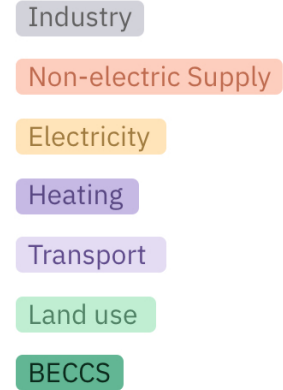


1.5°C와 2°C 달성을 위한 글로벌 이산화탄소 배출 경로



글로벌 1.5°C 달성을 위한 국가별 탄소중립 경로

Sectors decarbonization (2020 vs. 2050)



Decarbonization strategies

- Demand Reduction
- Electricity Decarbonization
- Electrification
- Non Electricity Decarbonization
- Land Use change and CDR

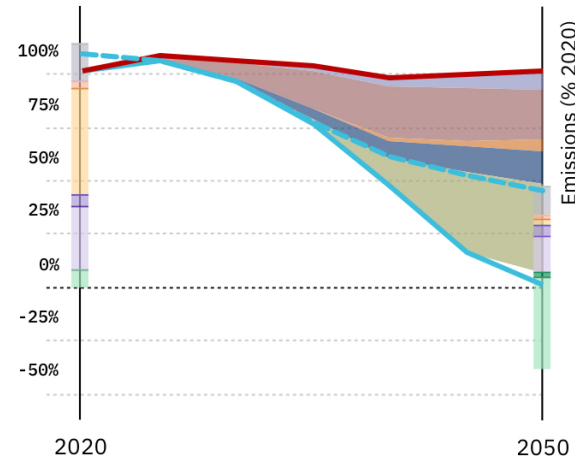
Emissions trends (% 2020)

Current Policies

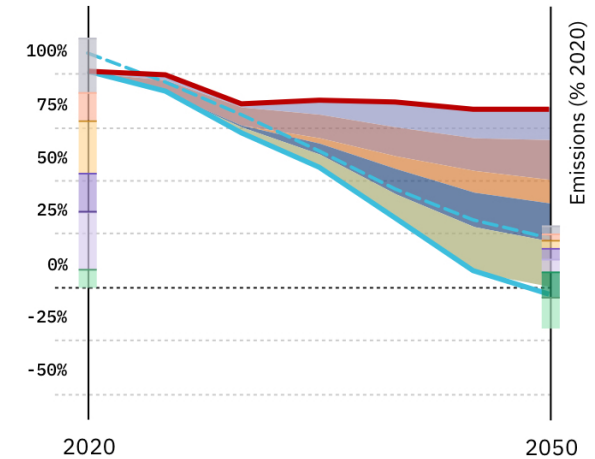
Net-zero (Gross)

Net-zero

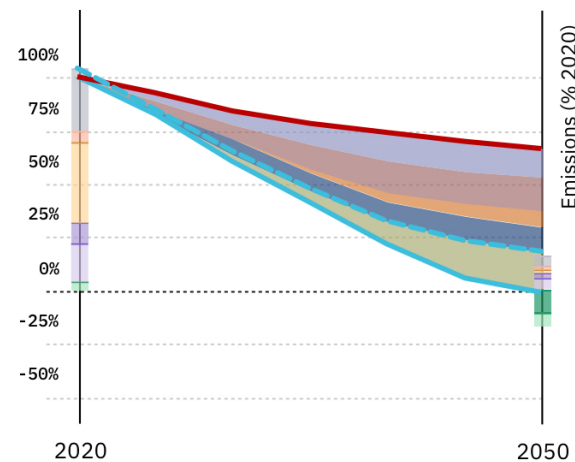
Australia



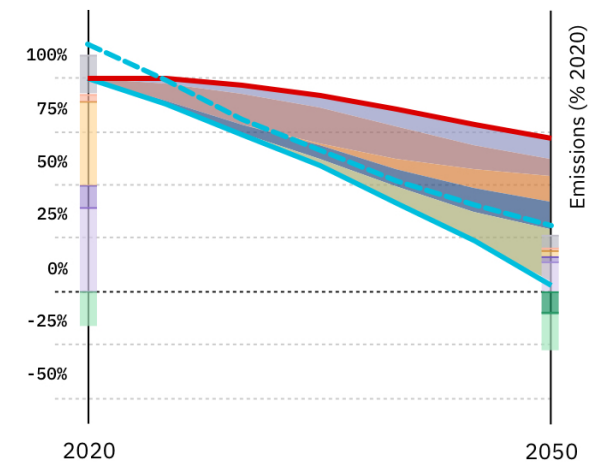
EU28



Japan



USA



미국의 2050 탄소중립 시나리오 평가(2020)

- 2050 탄소중립은 바이든 대통령 대선 공약, 美12개 주도 2050년까지 탄소중립 정책 시행
- Princeton 대학 주도로 ‘넷제로 아메리카’ 콘소시엄 연구 수행 (2019-2020)



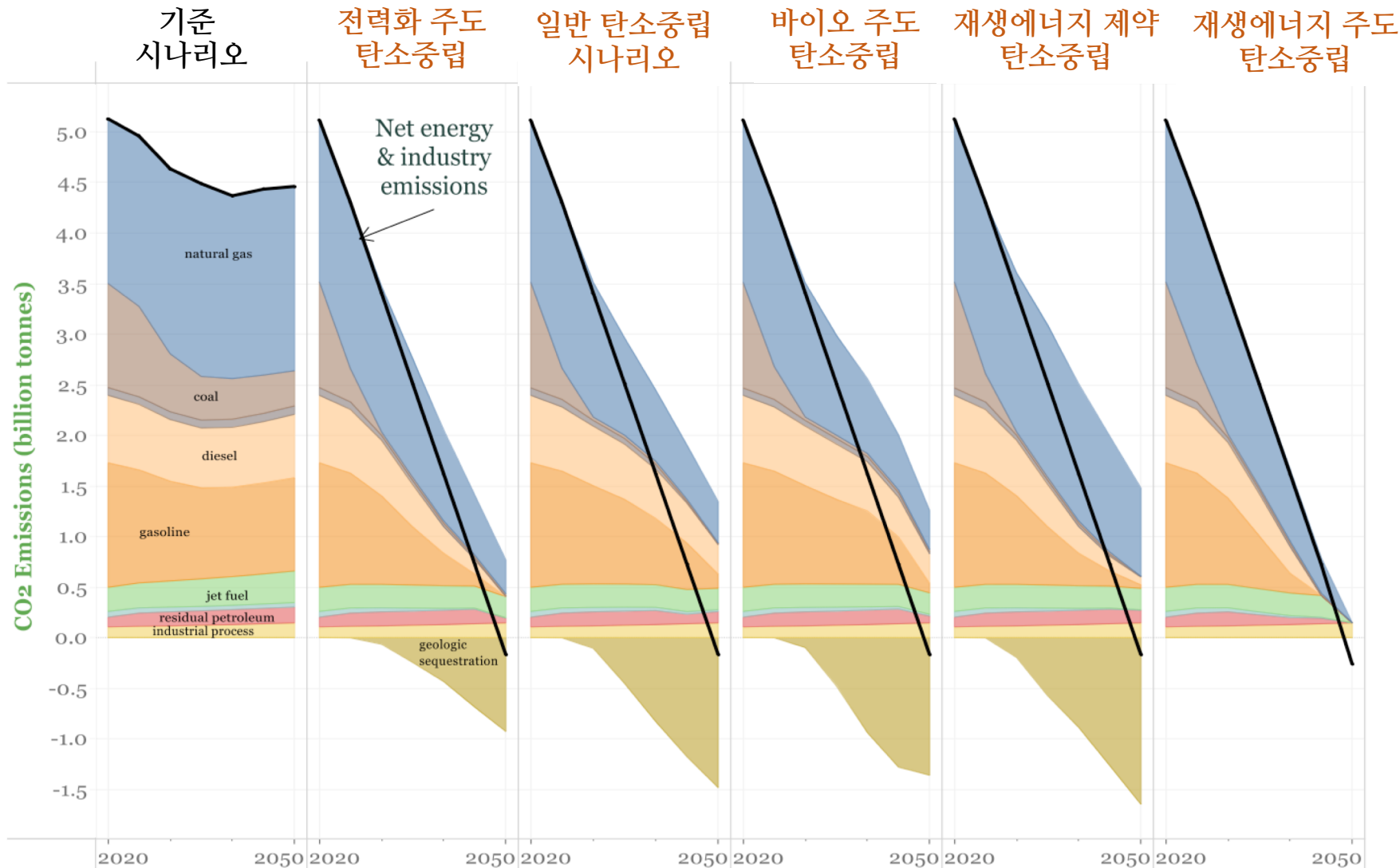
미국 2050 탄소중립 시나리오 구성 (넷제로 아메리카, 2020)

기준 시나리오 전력화 주도 탄소중립 일반 탄소중립 시나리오 바이오 주도 탄소중립 재생에너지 제약 탄소중립 재생에너지 주도 탄소중립

	REF ~AEO 2019	E+ high electrification	E- less-high electrification	E- B+ high biomass	E+ RE- renewable constrained	E+ RE+ 100% renewable
CO ₂ emissions target		- 0.17 GtCO ₂ in 2050				
Electrification	Low	High	Less high	Less high	High	High
Wind/solar annual build	n/a	10%/y growth limit	10%/y growth limit	10%/y growth limit	Recent GW/y limit	10%/y growth limit
Existing nuclear	50% → 80-y life	50% → 80-y life	50% → 80-y life	50% → 80-y life	50% → 80-y life	Retire @ 60 years
New nuclear	Disallow in CA	Disallow in CA	Disallow in CA	Disallow in CA	Disallow in CA	Disallowed
Fossil fuel use	Allow	Allow	Allow	Allow	Allow	None by 2050
Maximum CO ₂ storage	n/a	1.8 Gt/y in 2050	1.8 Gt/y in 2050	1.8 Gt/y in 2050	3 Gt/y in 2050	Not allowed
Biomass supply limit	n/a	13 EJ/y by 2050 (0.7 Gt/y biomass) [No new land converted to bioenergy]		23 EJ/y by 2050 (1.3 Gt/y biomass)	13 EJ/y by 2050 (0.7 Gt/y biomass) [No new land converted to bioenergy]	

☞ ‘넷제로 아메리카’: 주요 감축기술 가용성에 따른 복수의 시나리오에 기반해 탄소중립 이행 경로 도출 연구

탄소중립 달성을 위한 에너지 포트폴리오 (넷제로 아메리카, 2020)



Fossil fuel use declines significantly in all net-zero pathways; coal use all but disappearing by 2030.

- natural gas
- coal
- coke
- diesel
- gasoline
- jet fuel
- LPG
- residual petroleum
- industrial co2
- geologic sequestration

Carbon storage in long-lived products is included in the modeling, but is not shown explicitly here.

美 탄소중립 달성을 위한 기술 수요 (넷제로 아메리카, 2020)

1. 효율 및 전력화(Efficiency & Electrification)

소비자 에너지에 대한 투자 확대와
사용행태 변화 유도

- 개인용 전기차 300만 대
- 130만 가구에 히트펌프 난방

산업 효율 증대

- 생산성의 신속한 증가
- 전기로(EAF) 증설 및
직접환원철(DRI) 활용한 제강 방식

4. CO₂ 포집 및 저장(CO₂ Capture & Storage)

0.9-1.7 GtCO₂/년 규모 지중저장

- 1,000개 이상 시설에서 포집
- 21,000-25,000km 길이의 주간(州間)
CO₂ trunk pipeline 네트워크
- Trunk pipeline으로 CO₂를 운송하는
85,000km 규모의 spur pipeline
- 수 천 개의 주입정(注入井)

2. 청정 전력(Clean Electricity)

풍력·태양광 발전

- 매년 수십-수백 GW급 발전단지 지속
구축
- 현재의 3-5배 송전망

원자력 발전

- 재생에너지 제약 탄소중립 하에서 1GW
규모 신규 원자로 최대 250기 (또는
SMR 3,800기)
- 사용후 핵연료 처리시설

CCS 연계 천연가스 및 CCS

- '재생에너지 제약 탄소중립' 하에서
750MW급 발전소 300곳 이상

유연성자원

- 수소연소터빈
- 유연성 수요 확대: 수전해, 전기보일러,
직접공기포집(DAC)
- 6시간 지속 배터리 50-180GW

5. Non-CO₂ 가스(Non-CO₂ Emissions)

메탄, 아산화질소, 불소가스

- 2050년까지 2020년 배출량 기준
20% 감축 (CO₂e 기준)

3. 제로 탄소 연료(Zero-Carbon Fuels)

주요 바이오에너지 산업

- 수 백 개의 신규 전환시설
- 620만 톤/년 규모의 바이오매스
원료(feedstock) 생산

수소 및 합성연료 산업

- CCS 연계 바이오매스, 수전해, 메탄
개질을 통해 8-19 EJ 규모 수소 생산
- 대부분의 탄소중립 시나리오에서
수소는 연료합성 목적으로 가장 많이
사용됨

6. 탄소흡수원 확대(Enhanced Land Sinks)

산림 관리

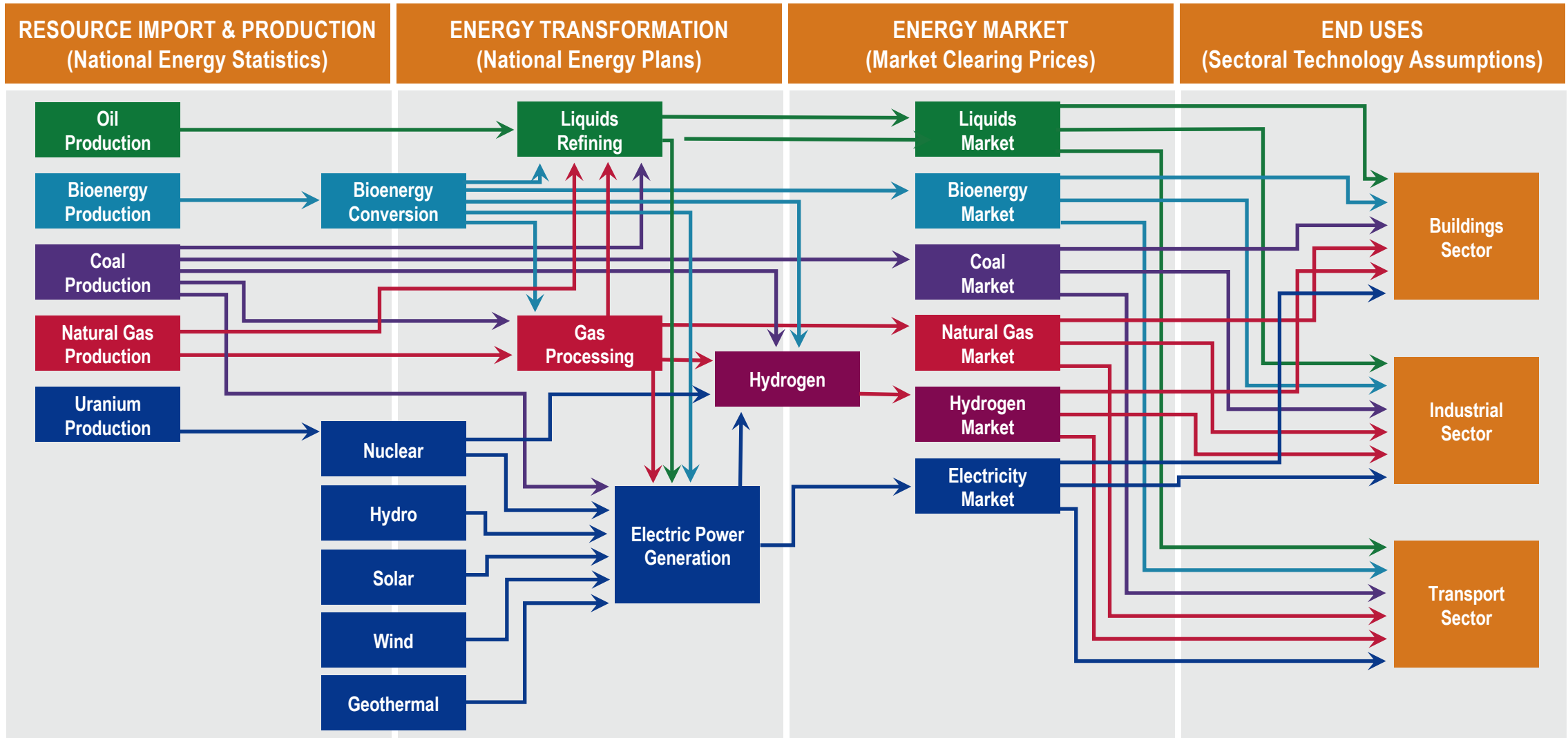
- 0.5-1 GtCO₂e/년 규모의 흡수
잠재량이 있으며 미국 전체 산림
면적 중 절반 이상에 영향

저탄소 농업

- 1-2백만 곳 농장을 대상으로 하는
보호 조치가 채택될 경우 최대 0.20
GtCO₂e/년 규모의 흡수 잠재량

우리나라 탄소중립 시나리오: GCAM-KAIST 1.0

GCAM-KAIST1.0의 개요



우리나라 온실가스 배출 시나리오(GCAM-KAIST1.0)

■ **현정책지속 (CurPol)**

- 석탄발전은 과감하게 원전은 점진적으로 감축해 나가는 9차 전력수급계획 및 3차 에너지기본계획을 포함한 현재 시행 중이거나 계획된 정책수단을 반영한 시나리오

■ **탄소중립 (NZ2050)**

- 9차 전력수급계획 및 3차 에너지기본계획 기초를 유지하면서, 2050년까지 매년 온실가스 배출량을 일정한 속도로 감축하면서 2050년에 넷제로를 달성하는 시나리오

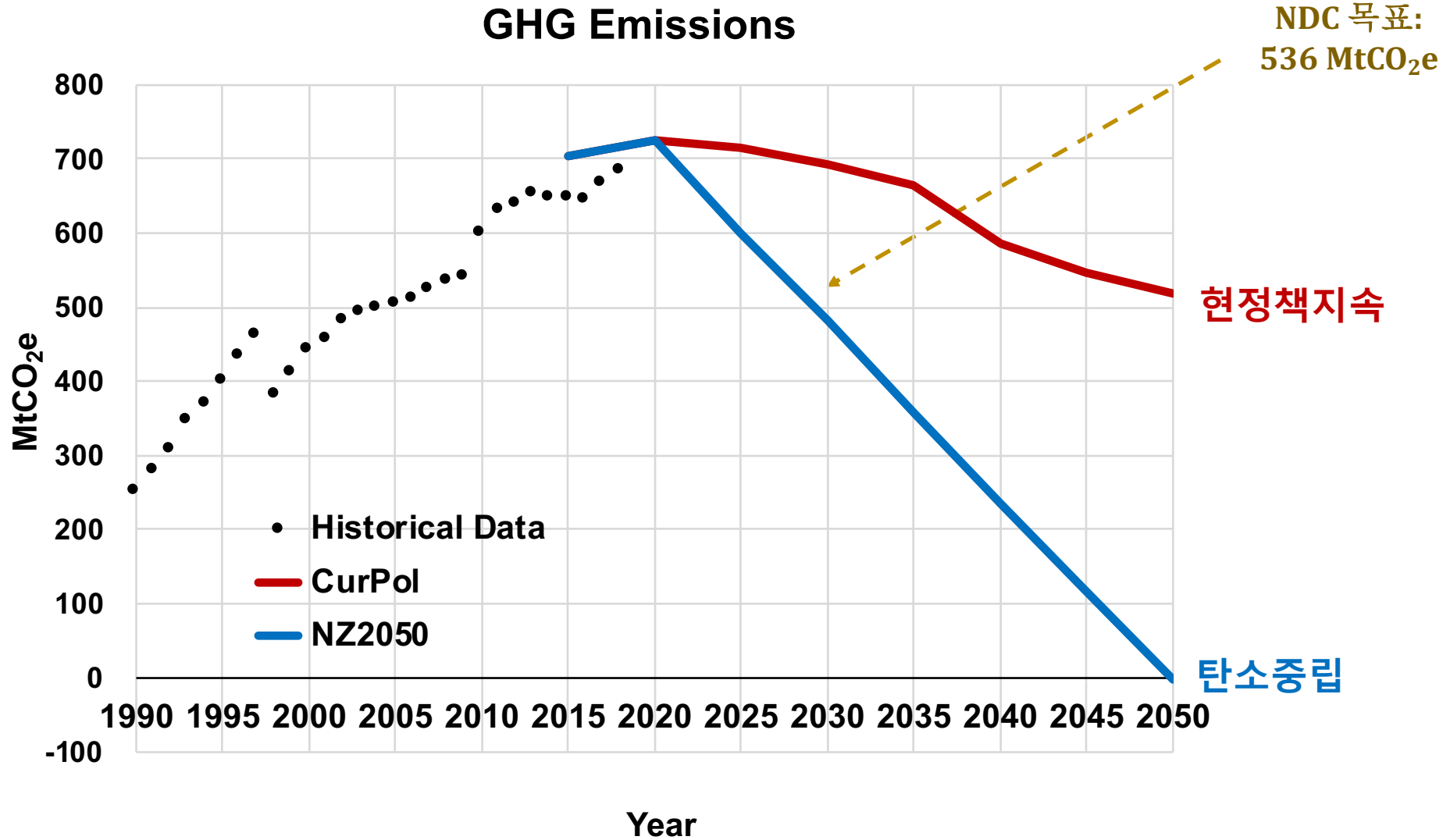
■ **탄소중립_Nuc (NZ2050_Nuc)**

- 탄소중립(NZ2050)의 기본 가정을 유지하되, 경제성에 기반해 원자력발전의 확대가 허용되는 시나리오

■ **탄소중립_limCCS (NZ2050_limCCS)**

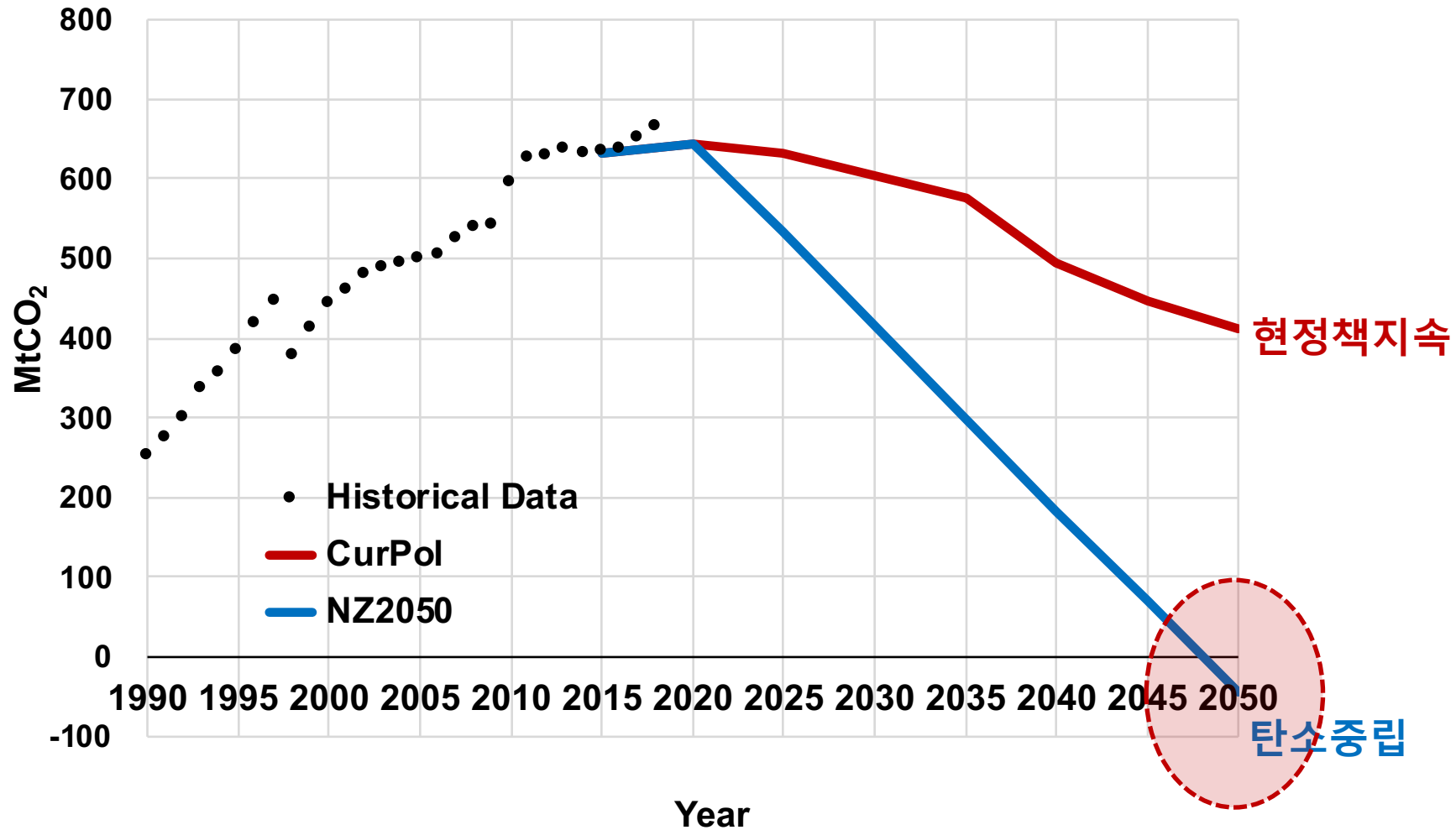
- 탄소중립(NZ2050)의 기본 가정을 유지하되, CCS와 DAC 기술은 경제성이 낮아 제한적으로 활용되는 시나리오

우리나라 온실가스 배출량(GCAM-KAIST1.0)

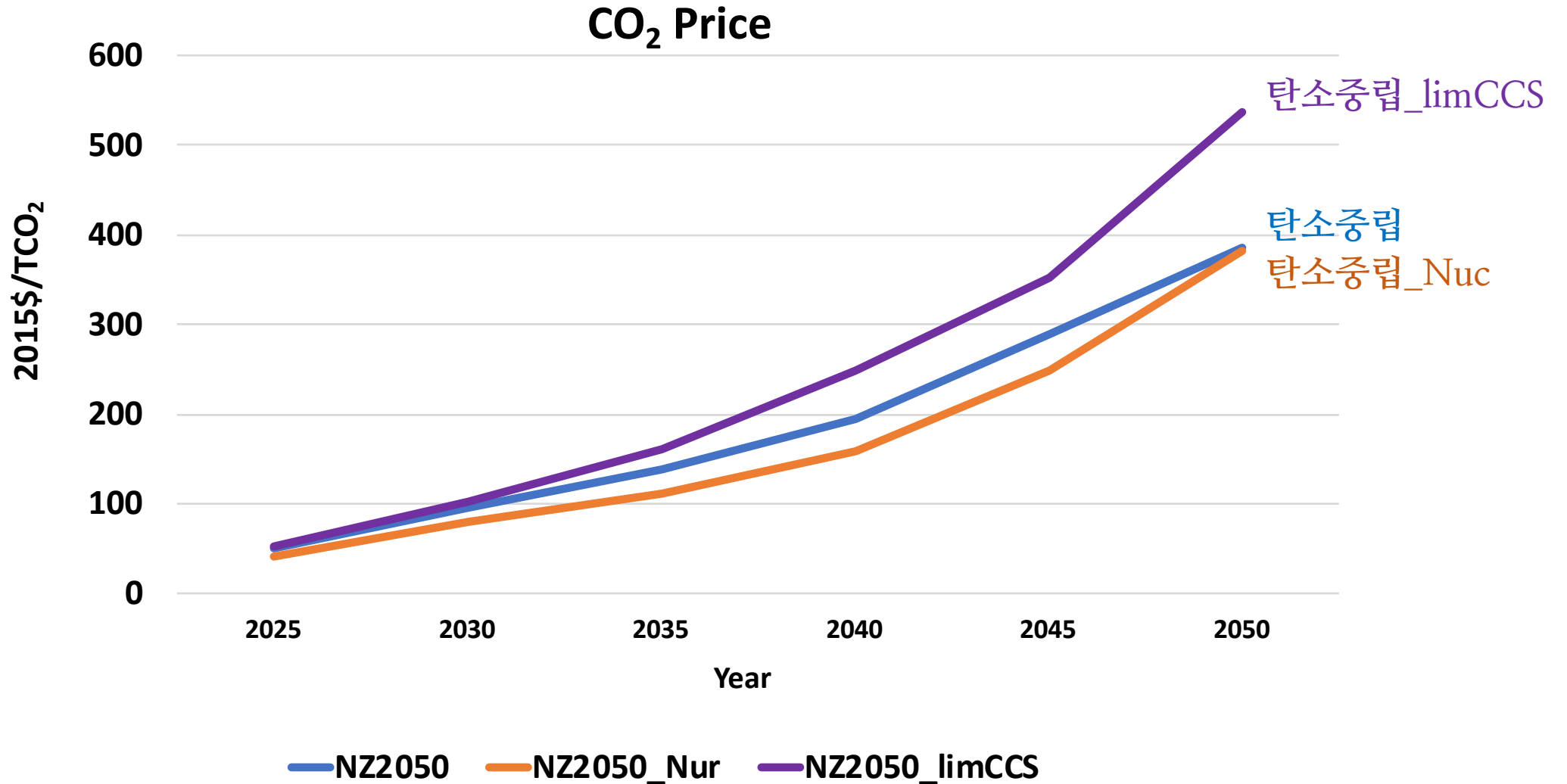


우리나라 CO₂ 배출량(GCAM-KAIST1.0)

CO₂ Emissions

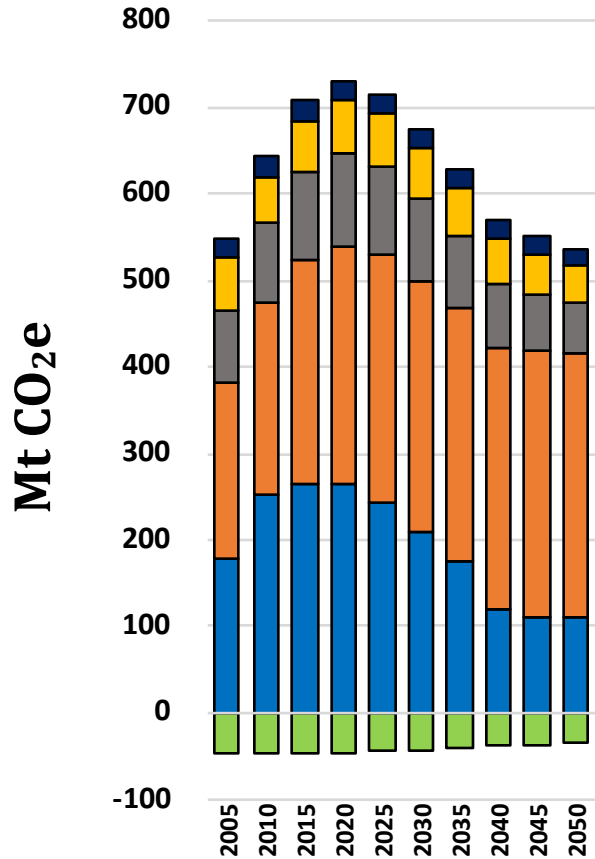


감축목표 달성을 위한 탄소 가격(GCAM-KAIST1.0)

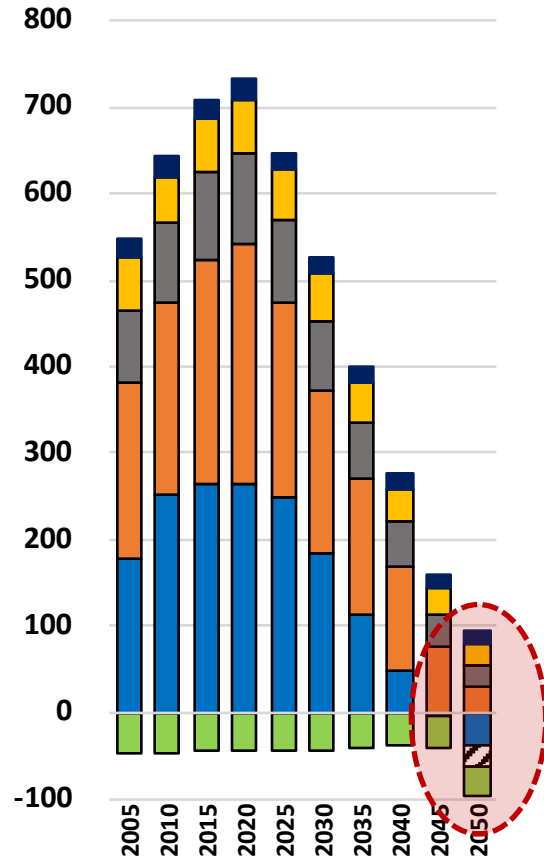


부문별 온실가스 배출량(GCAM-KAIST1.0)

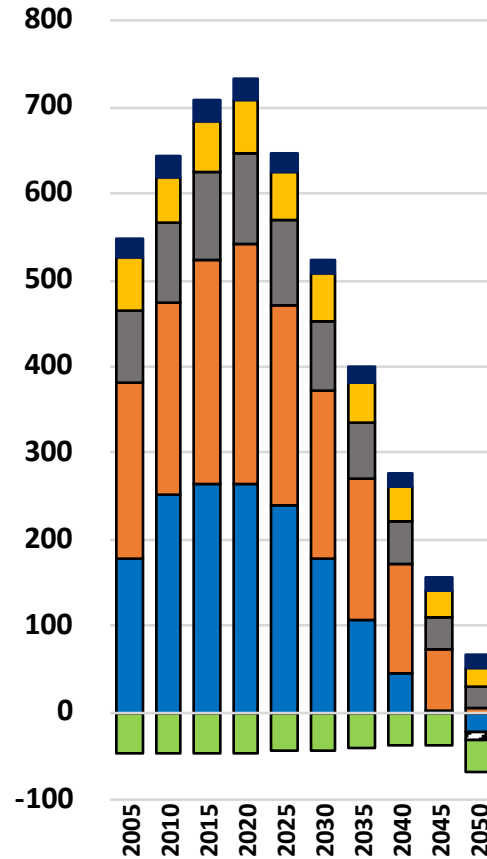
현정책지속



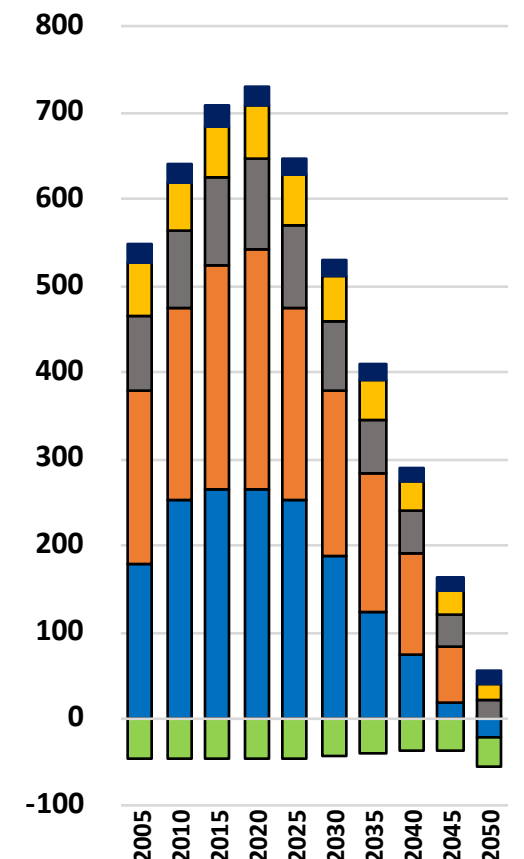
탄소중립



탄소중립_Nuc



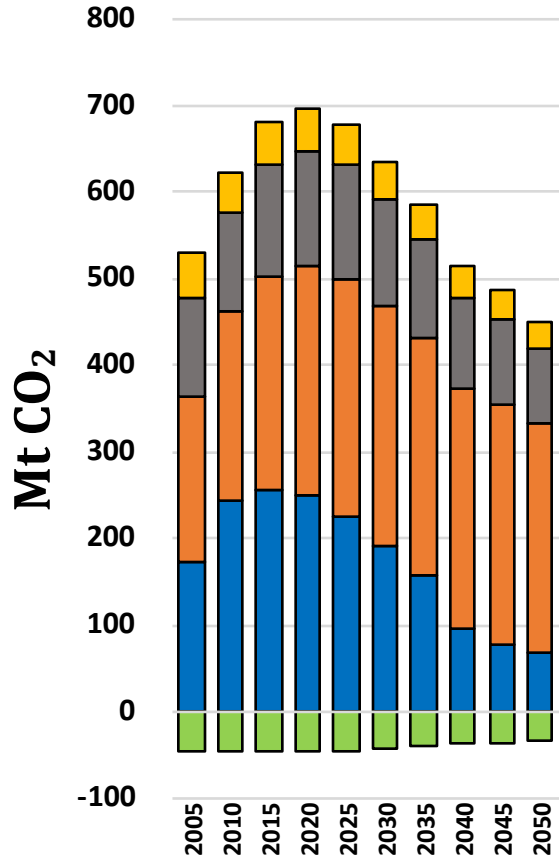
탄소중립_limCCS



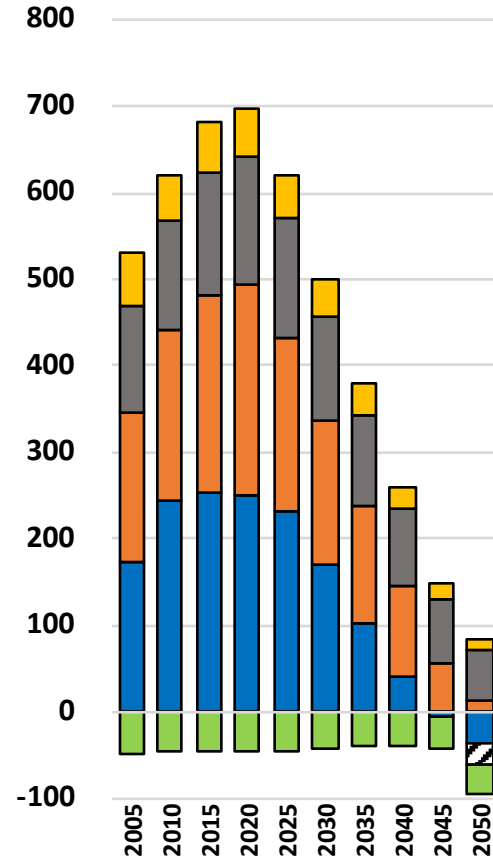
- Agriculture
- Building
- Transportation
- Industry
- Electricity
- ▨ DAC
- LULUCF

부문별 CO₂ 배출량(GCAM-KAIST1.0)

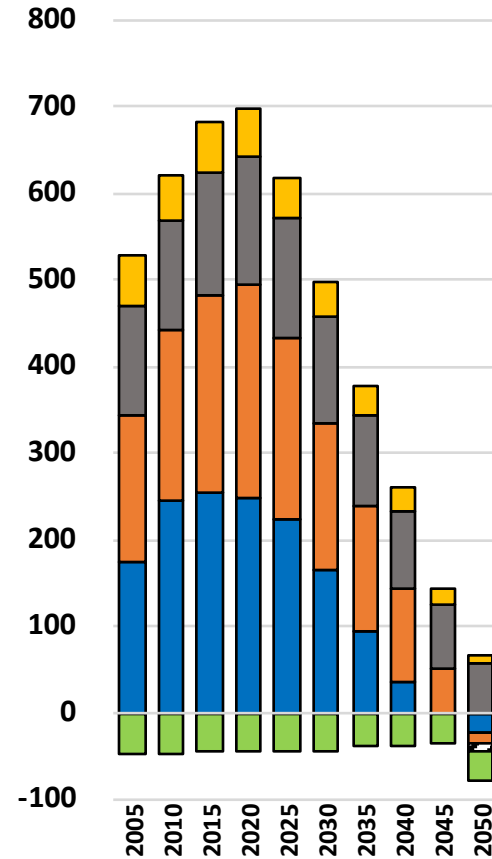
현정책지속



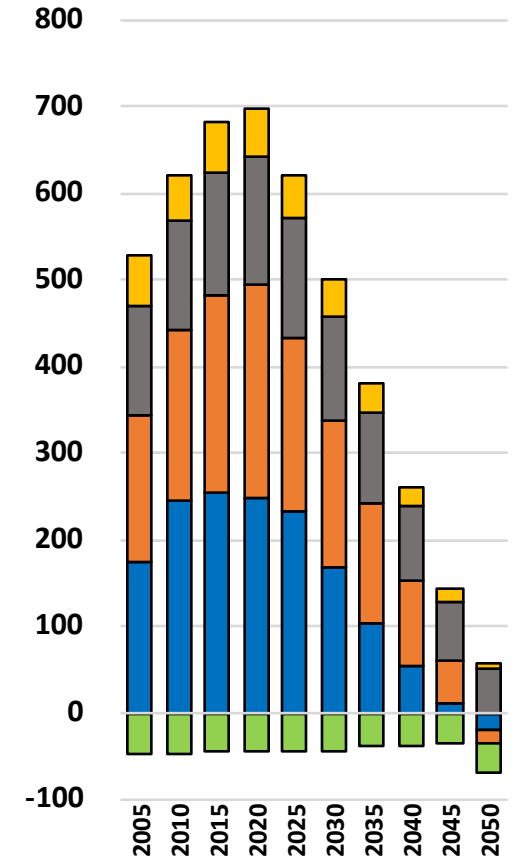
탄소중립



탄소중립_Nuc

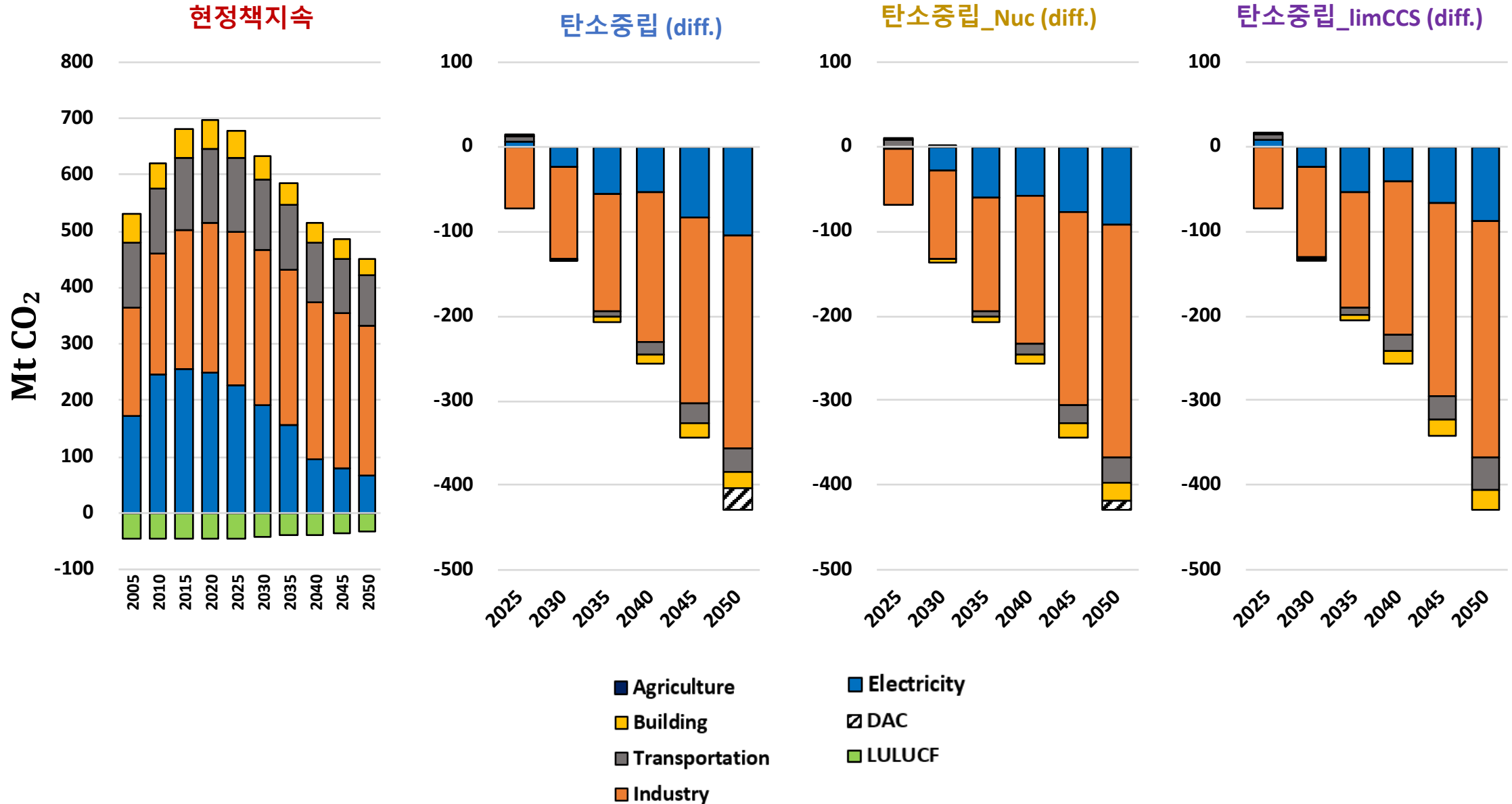


탄소중립_limCCS

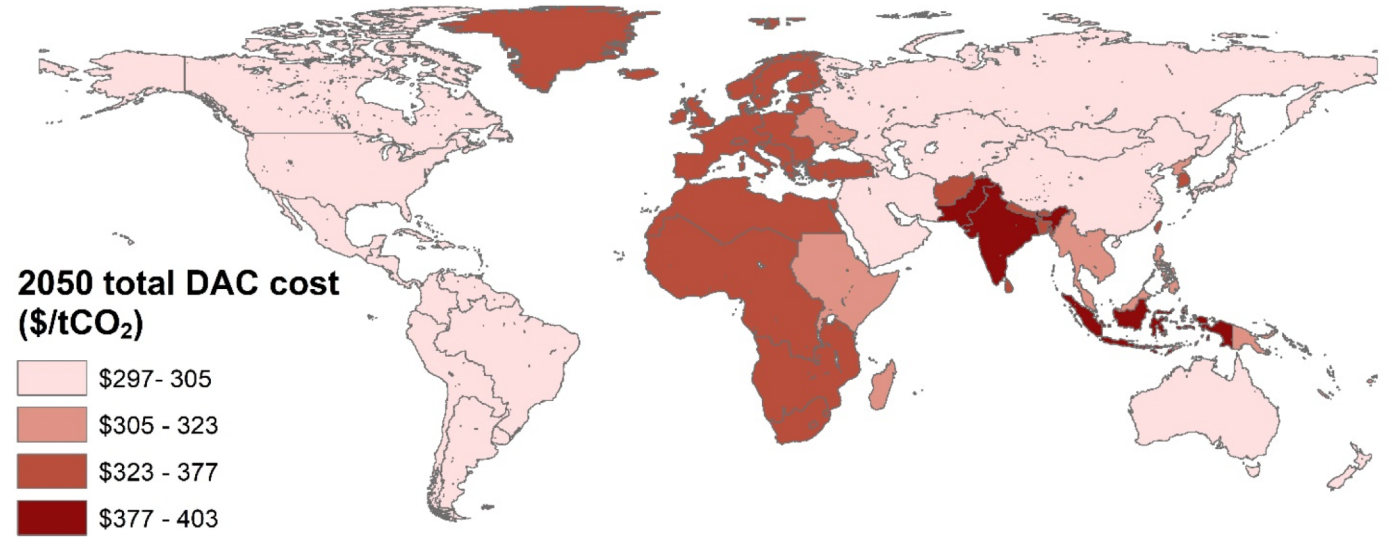


- Agriculture
- Building
- Transportation
- Industry
- Electricity
- ▨ DAC
- LULUCF

부문별 CO₂ 배출량(GCAM-KAIST1.0)



공기중 CO₂ 직접 포집기술

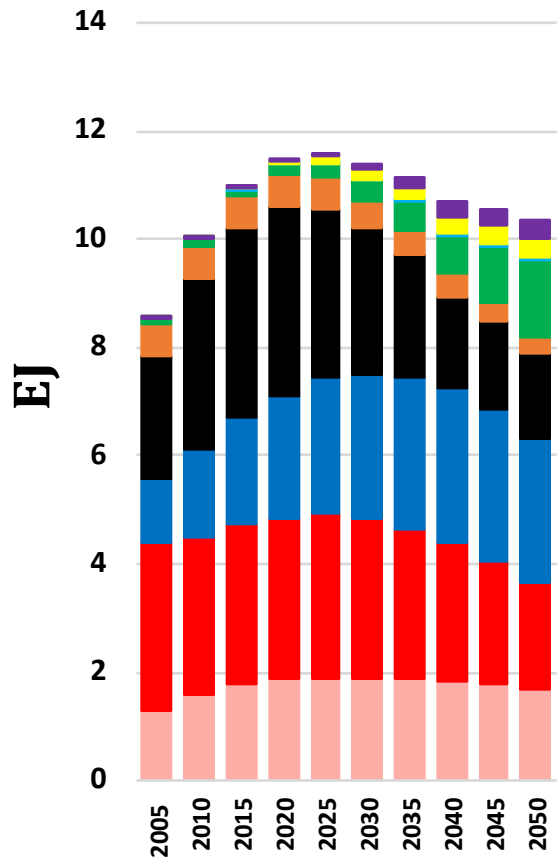


Technology	Natural Gas (GJ/tCO ₂)	Electricity (GJ/tCO ₂)	Water (m ³ /tCO ₂)	Non-Energy Cost (2015 \$/tCO ₂)
Low cost DAC (in main)	5.3	1.3	4.7	180
High cost DAC	8.1	1.8	4.7	300

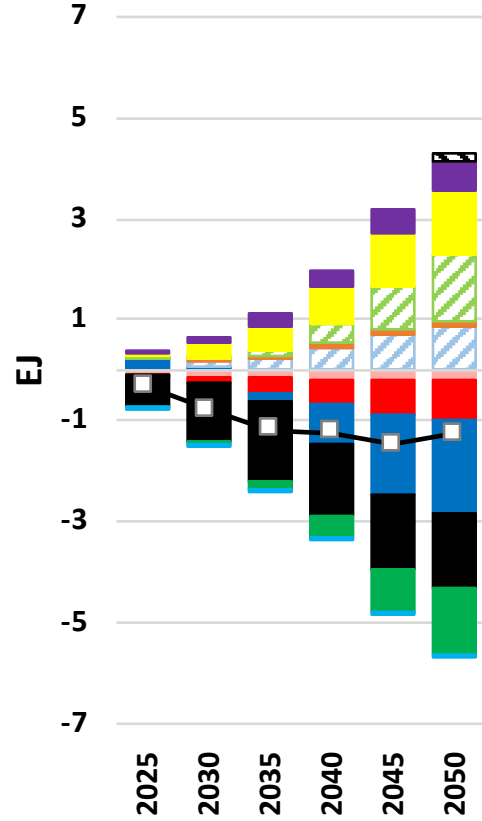
Source: Fuhrman et al. 2020, Nature Climate Change

1차 에너지 소비(GCAM-KAIST1.0)

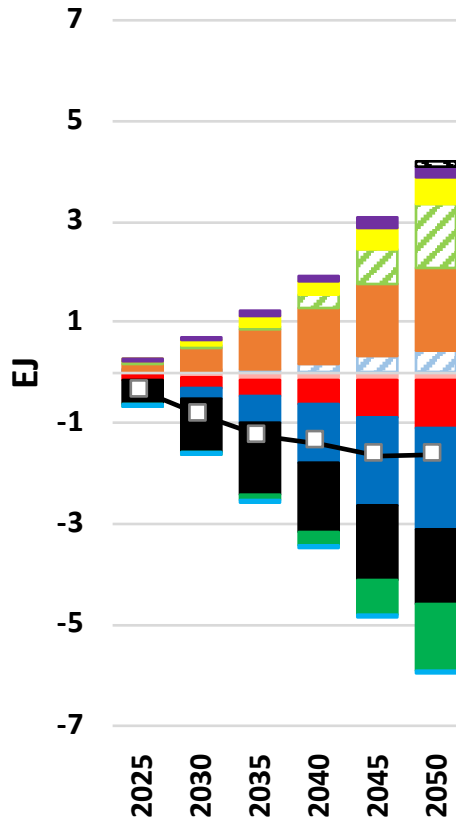
현정책지속



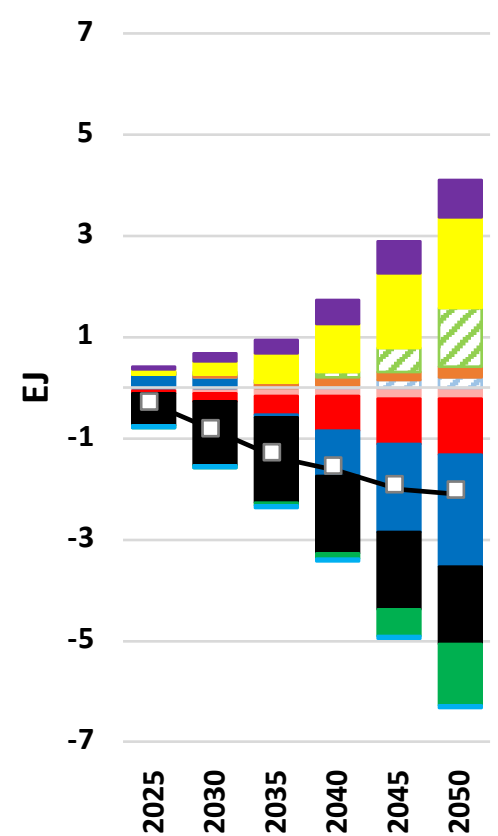
탄소중립 (diff.)



탄소중립_Nuc (diff.)



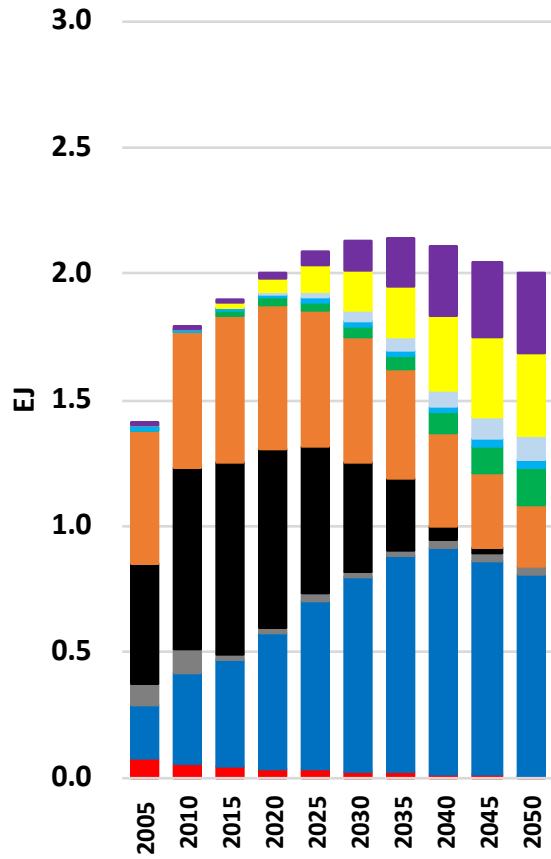
탄소중립_limCCS (diff.)



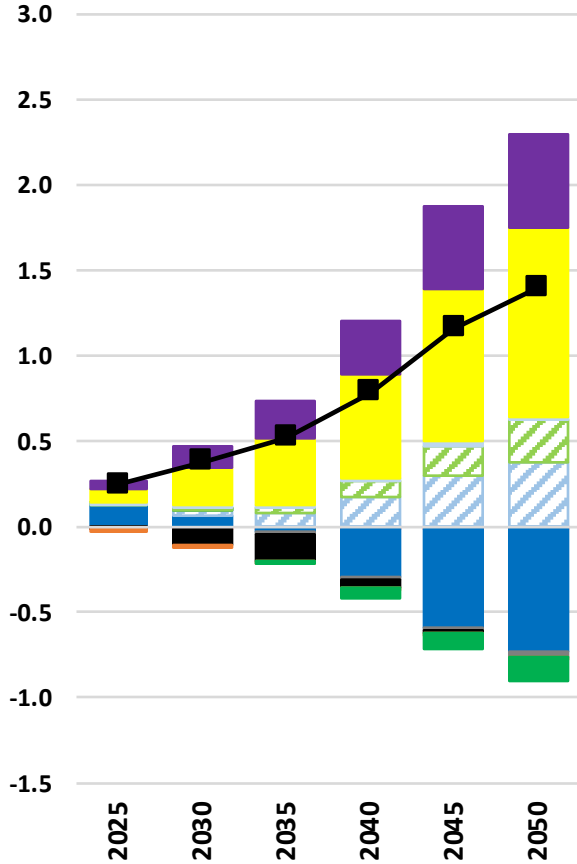
- ☒ DAC
- ☒ Biomass CCS
- ☐ Coal CCS
- ☒ Gas CCS
- ☒ Wind
- ☒ Biomass
- ☐ Coal
- ☒ Gas
- ☒ Solar
- ☒ Nuclear
- ☐ CHP
- ☒ Oil
- ☐ Feedstock

전력 부문의 변화(GCAM-KAIST1.0)

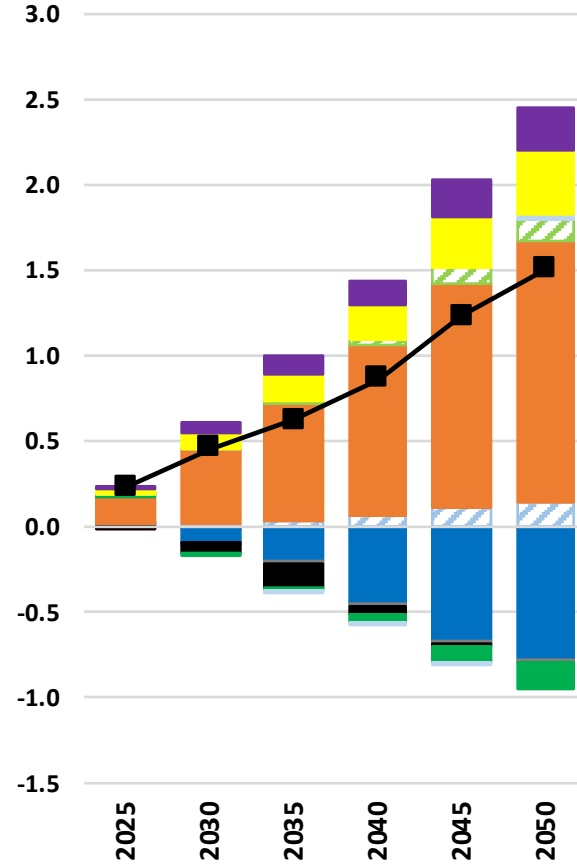
현정책지속



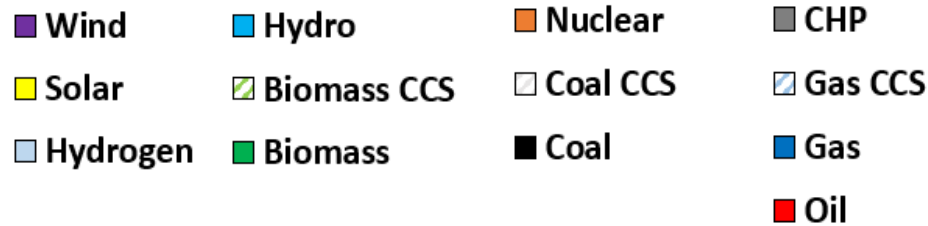
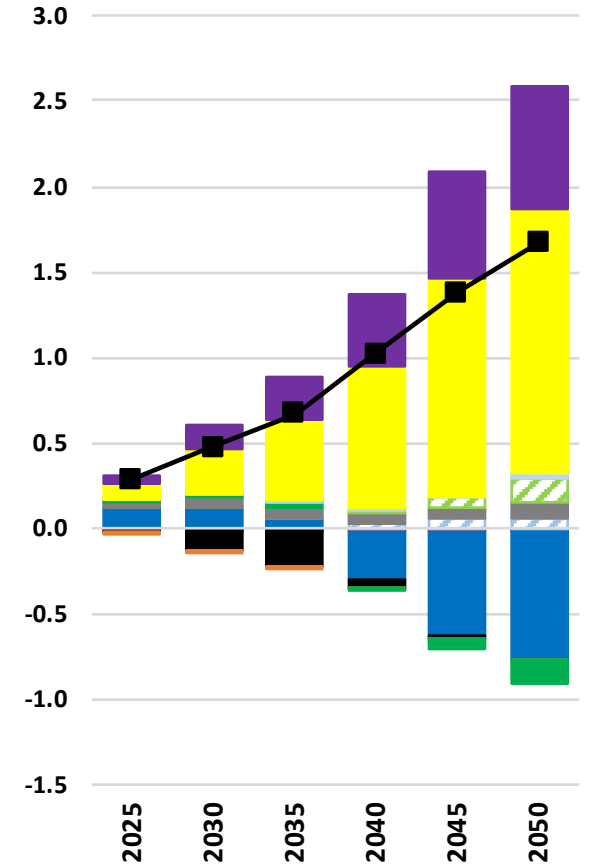
탄소중립 (diff.)



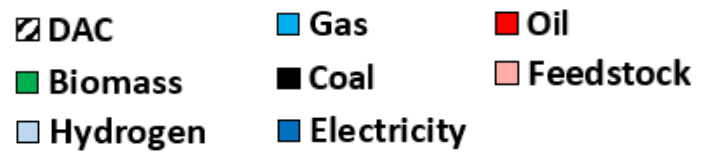
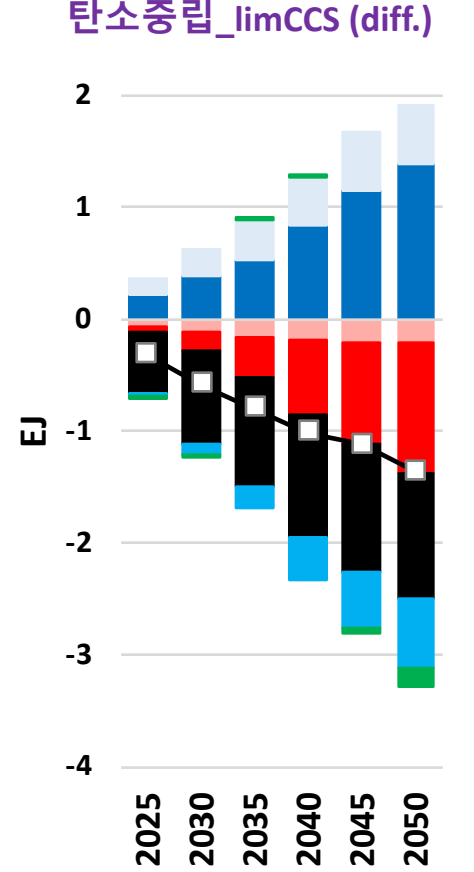
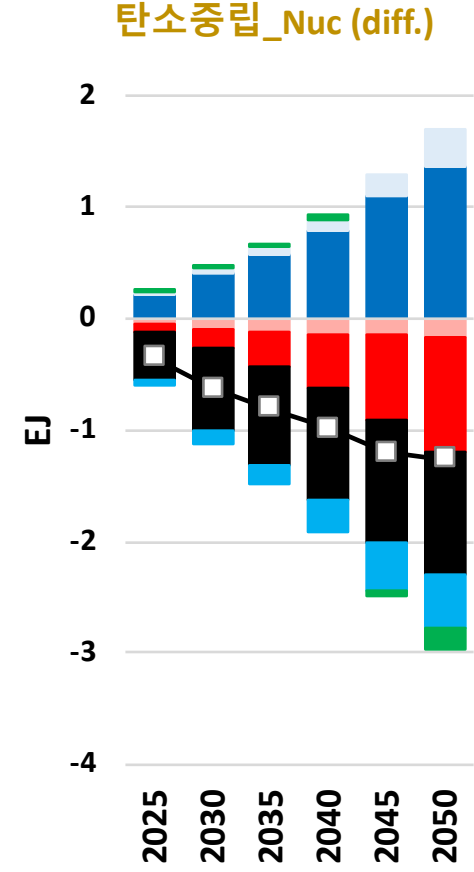
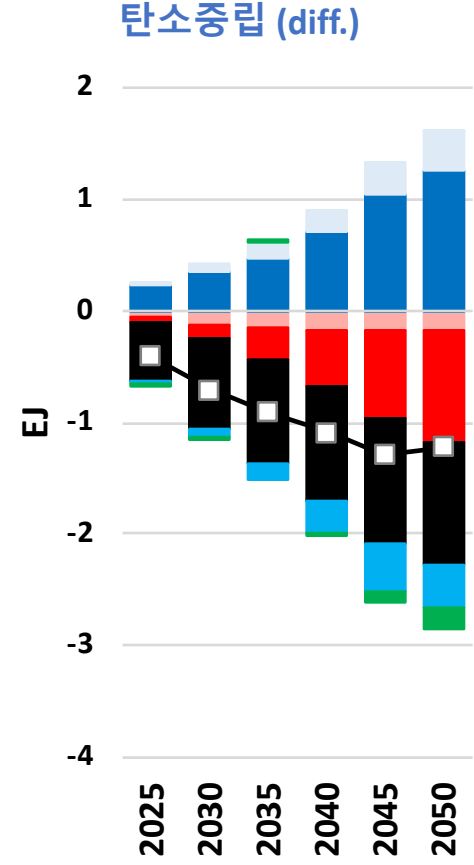
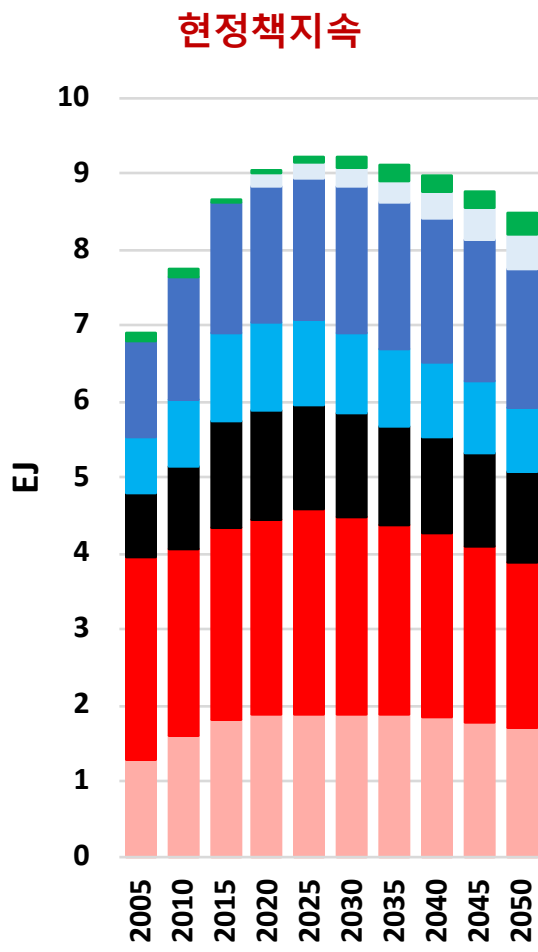
탄소중립_Nuc (diff.)



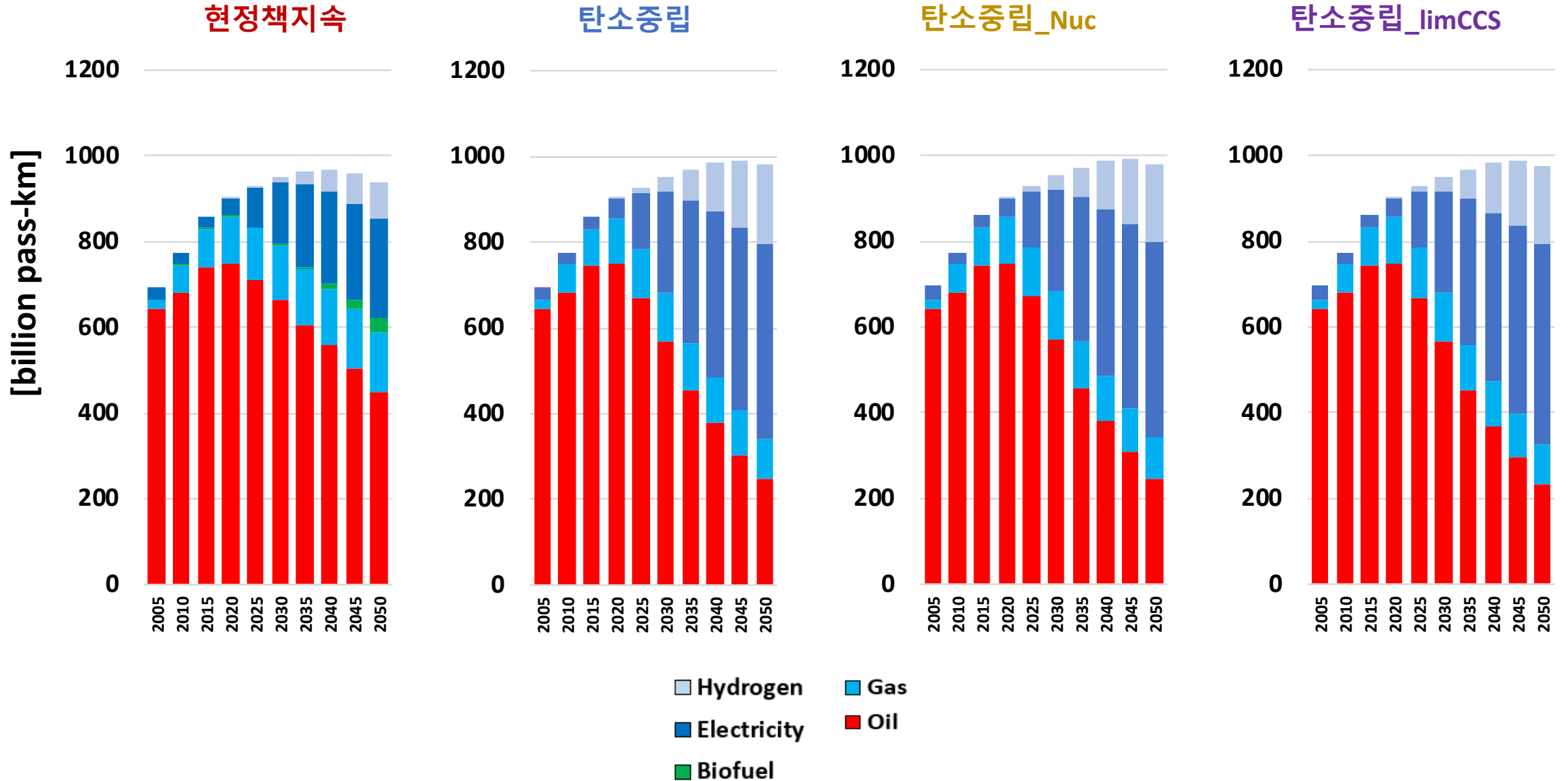
탄소중립_limCCS (diff.)



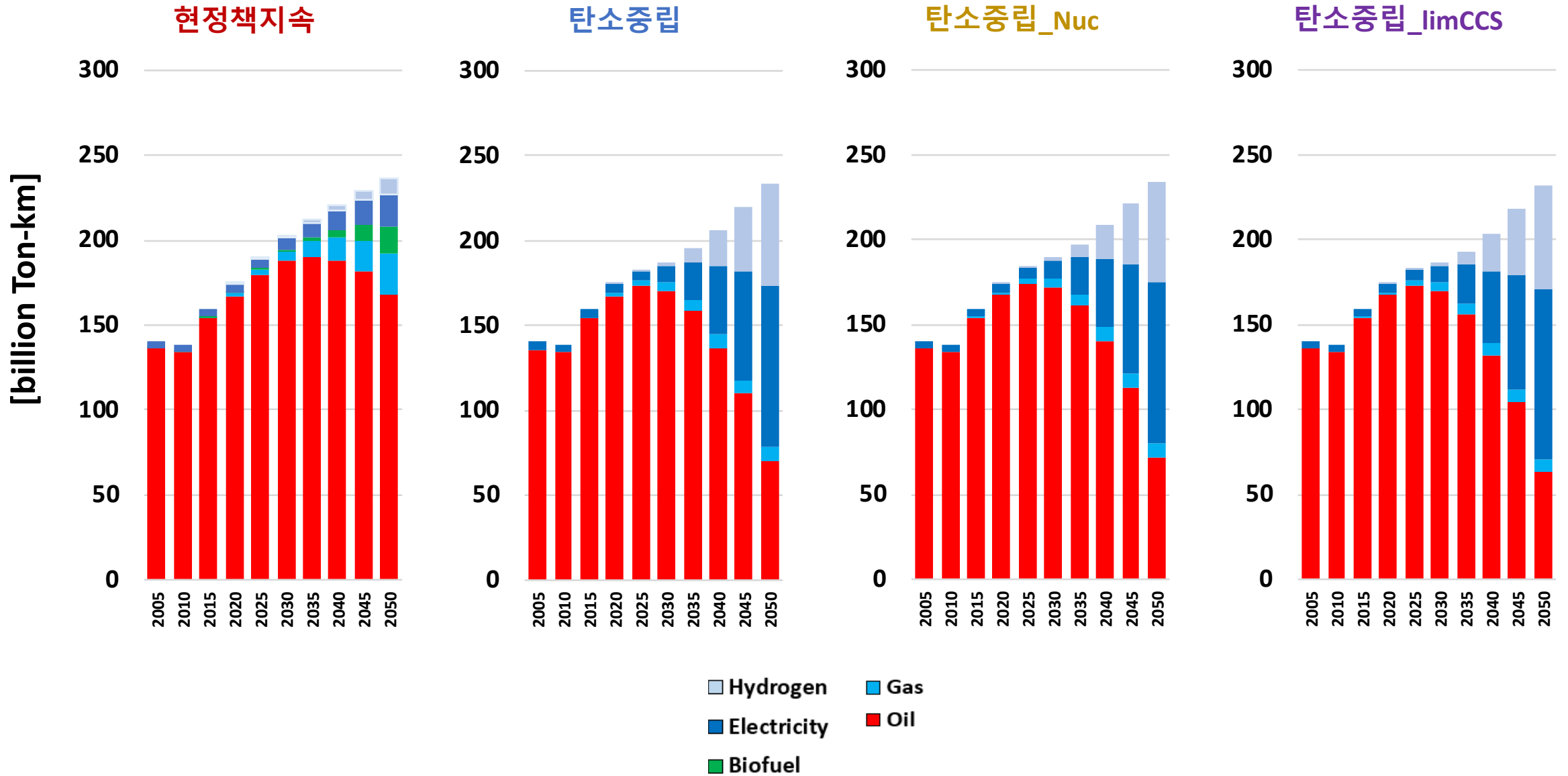
최종에너지 소비(GCAM-KAIST1.0)



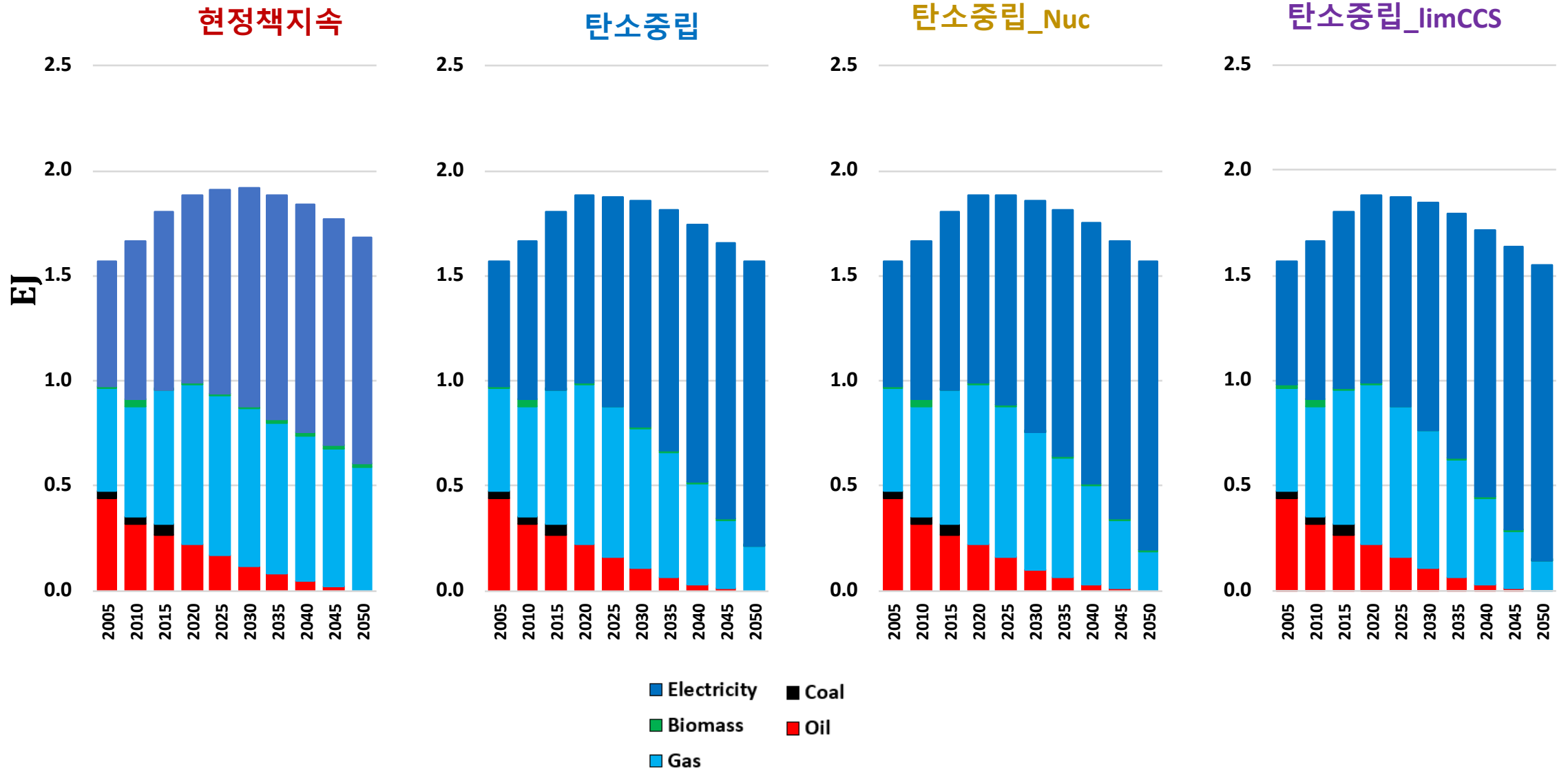
여객수송 서비스(GCAM-KAIST1.0)



화물수송 서비스(GCAM-KAIST1.0)

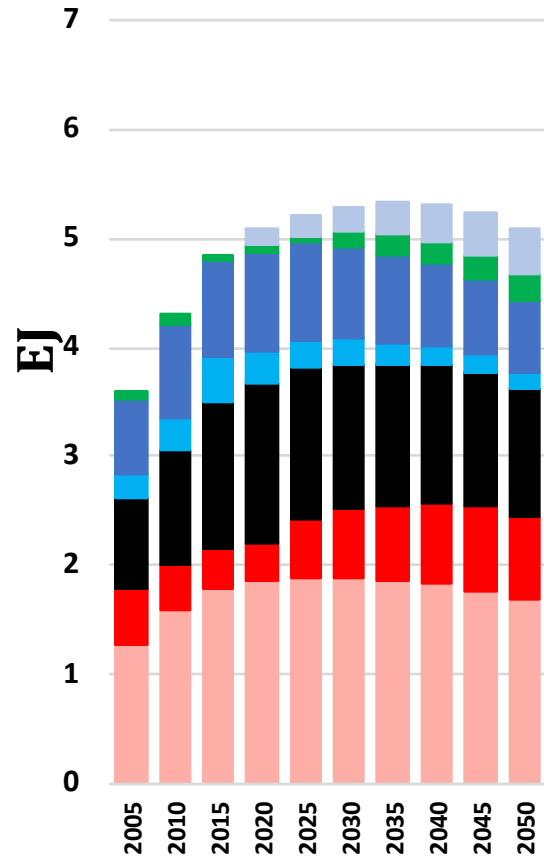


건물부문 에너지 소비(GCAM-KAIST1.0)

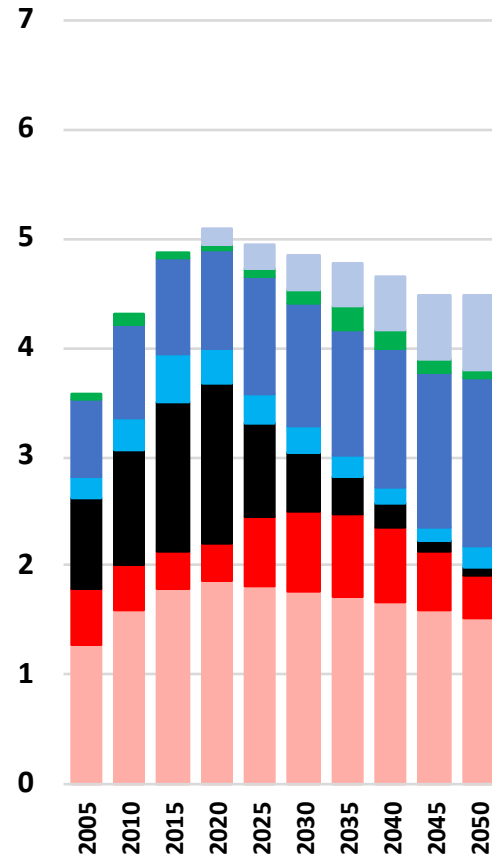


산업부문 에너지 소비(GCAM-KAIST1.0)

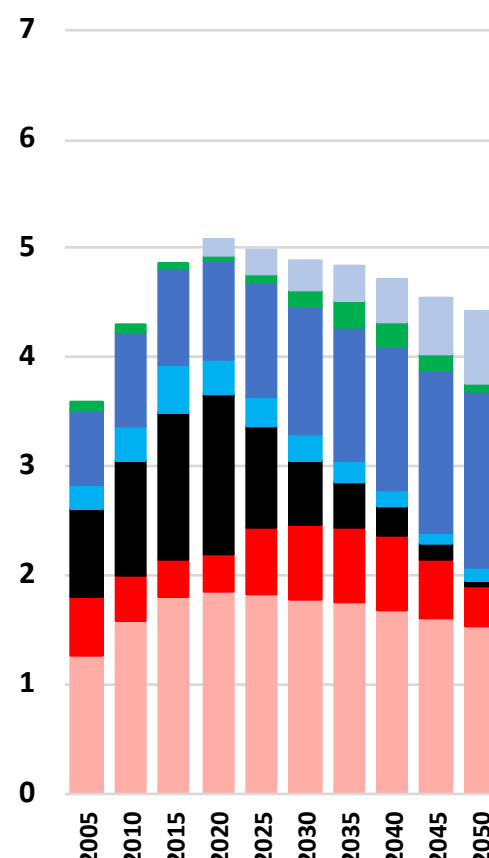
현정책지속



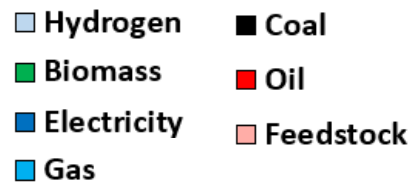
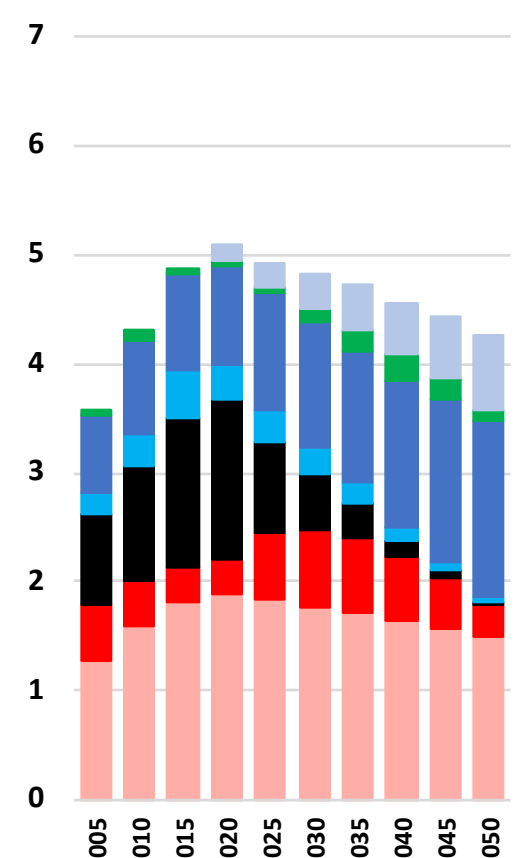
탄소중립



탄소중립_Nuc

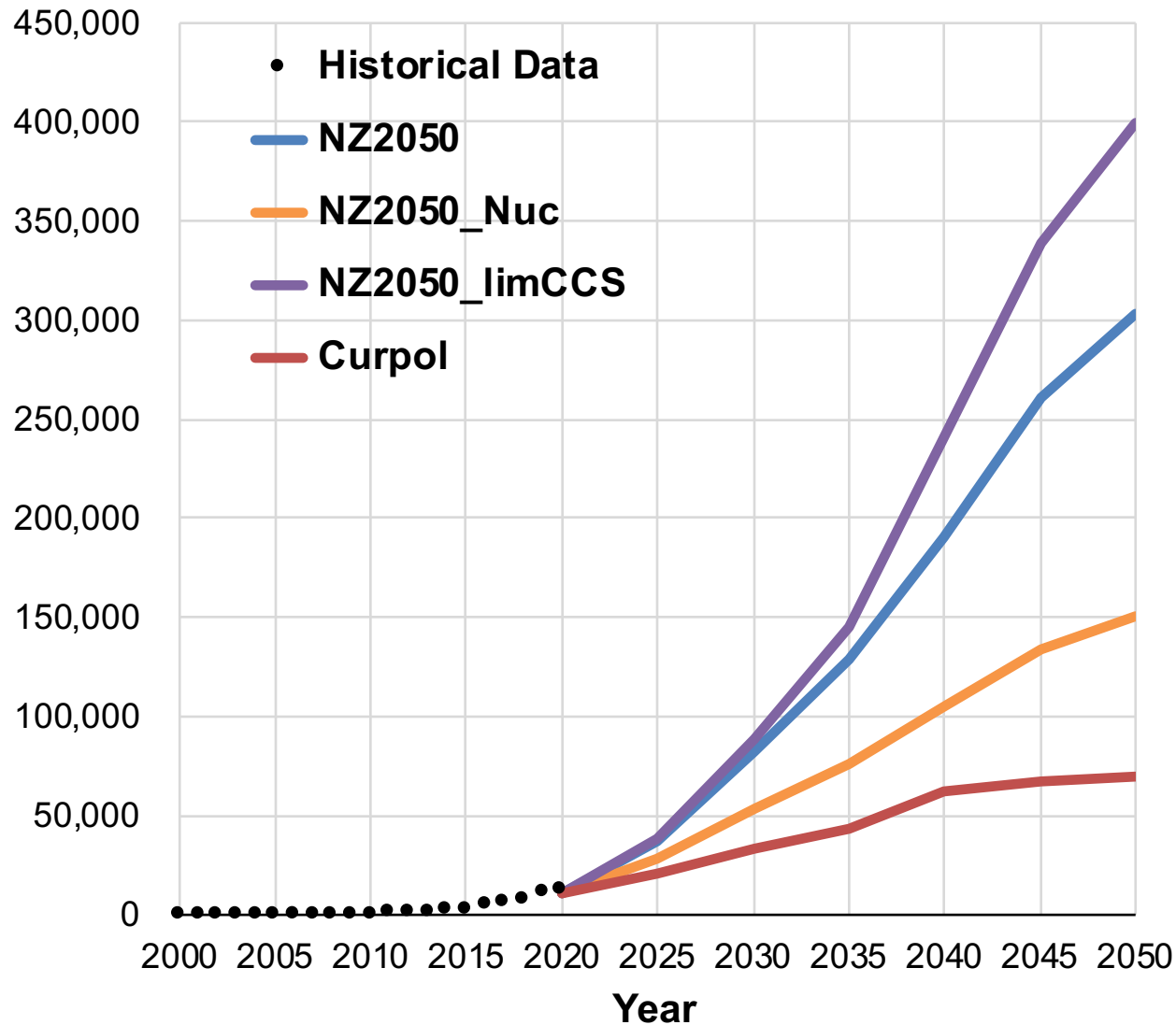


탄소중립_limCCS

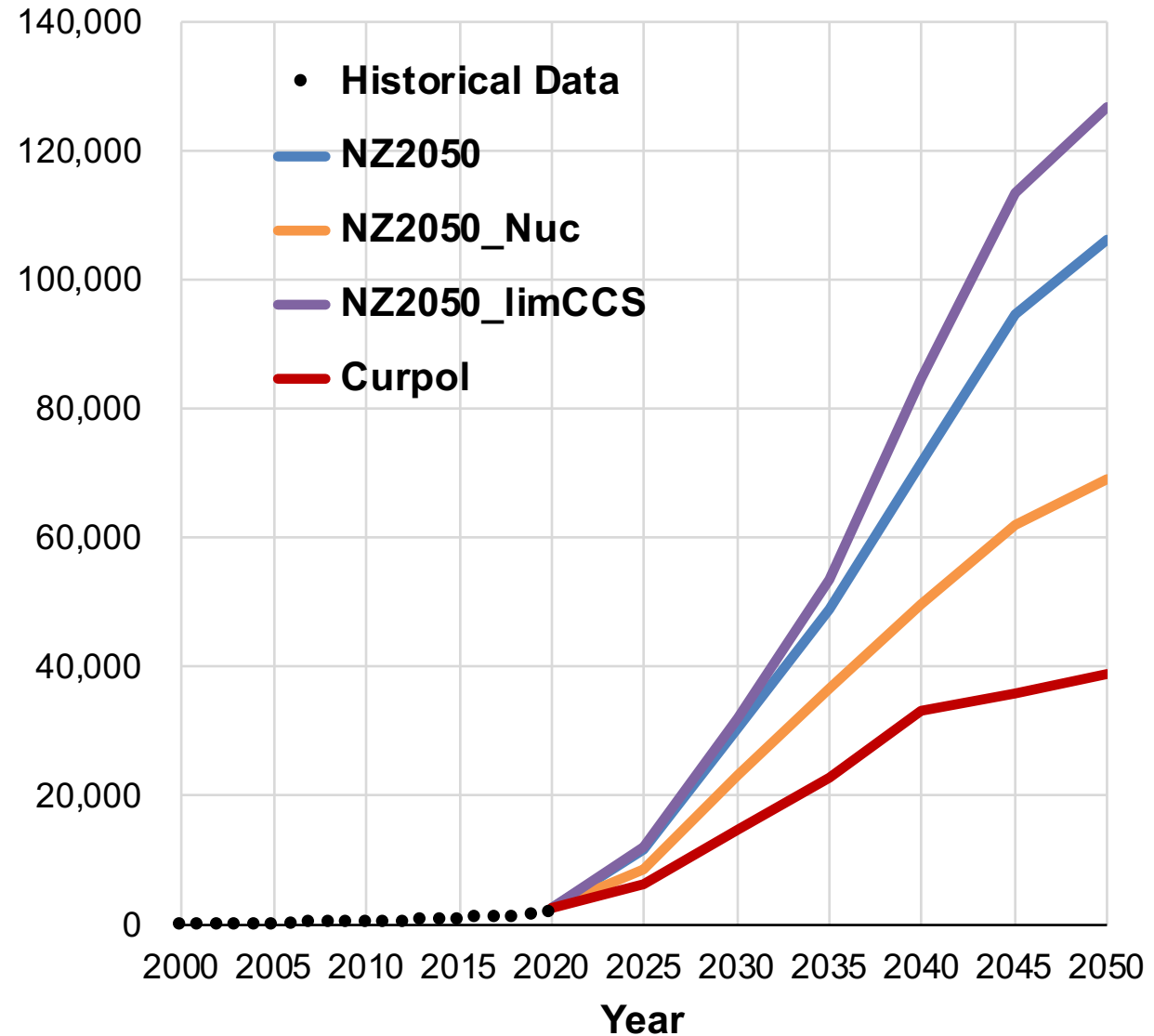


재생에너지 발전 설비 용량

Solar Installed Capacity [MW]

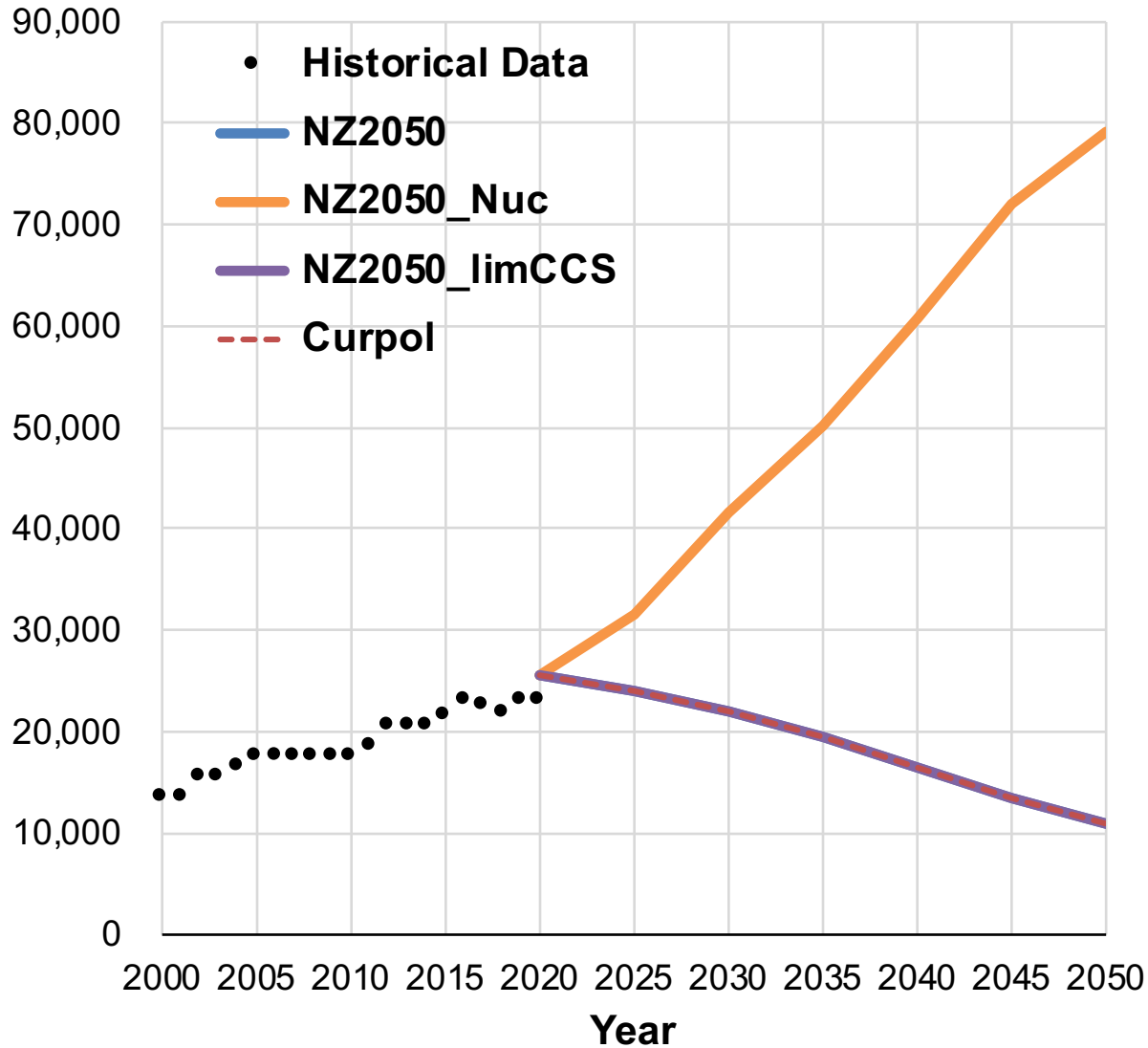


Wind Installed Capacity [MW]

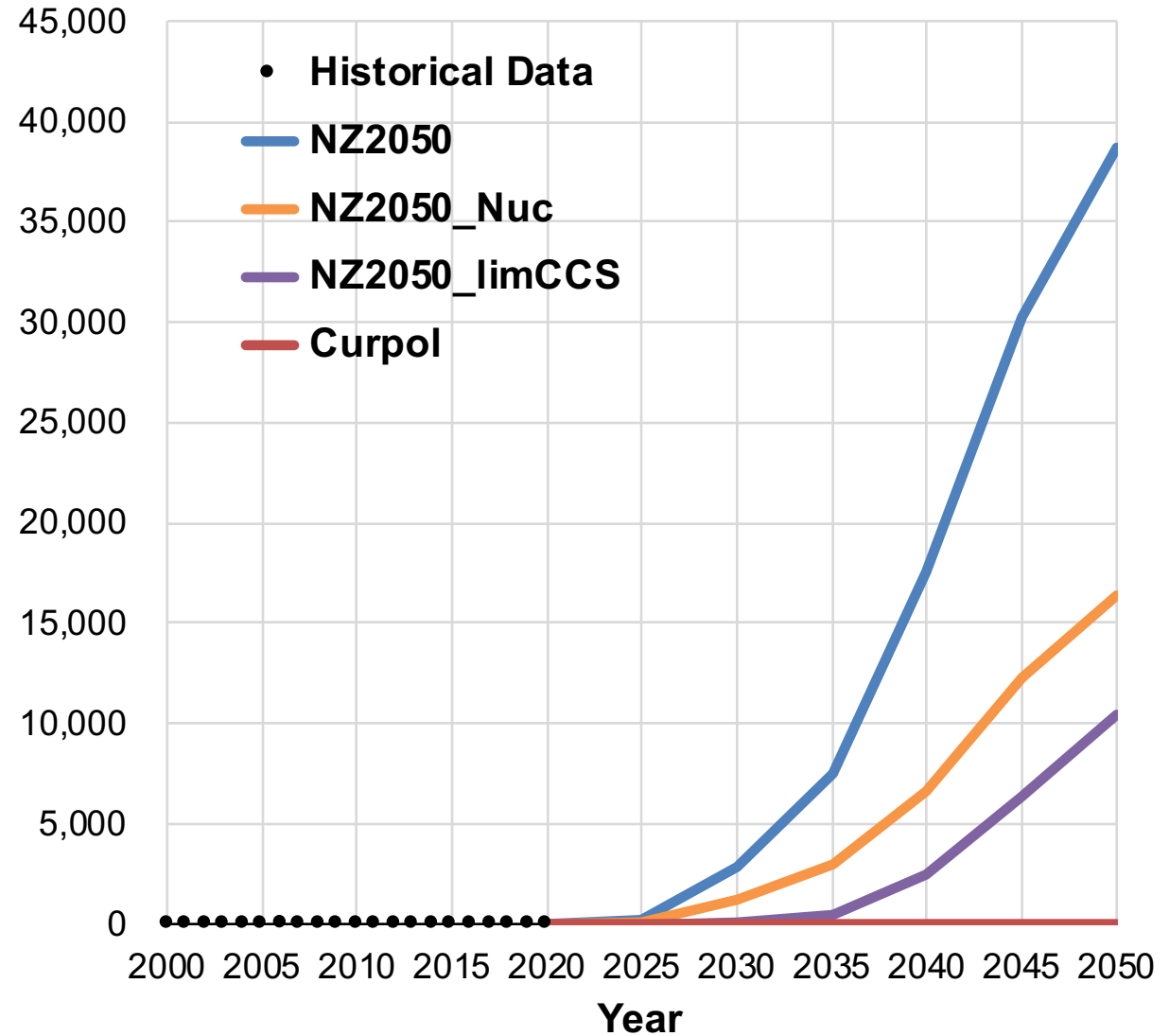


원자력과 CCS 발전 설비 용량

Nuclear Installed Capacity [MW]

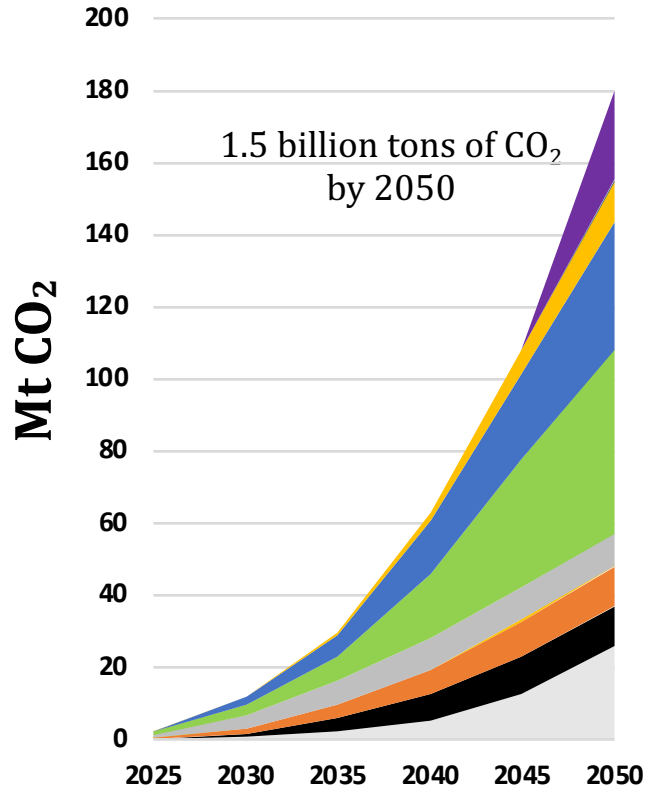


CCS Installed Capacity [MW]

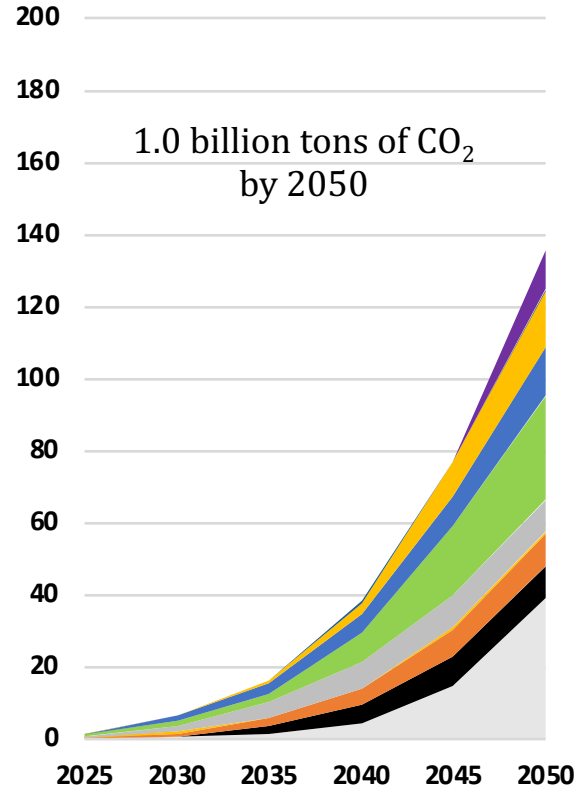


부문별 CO₂ 포집량(GCAM-KAIST1.0)

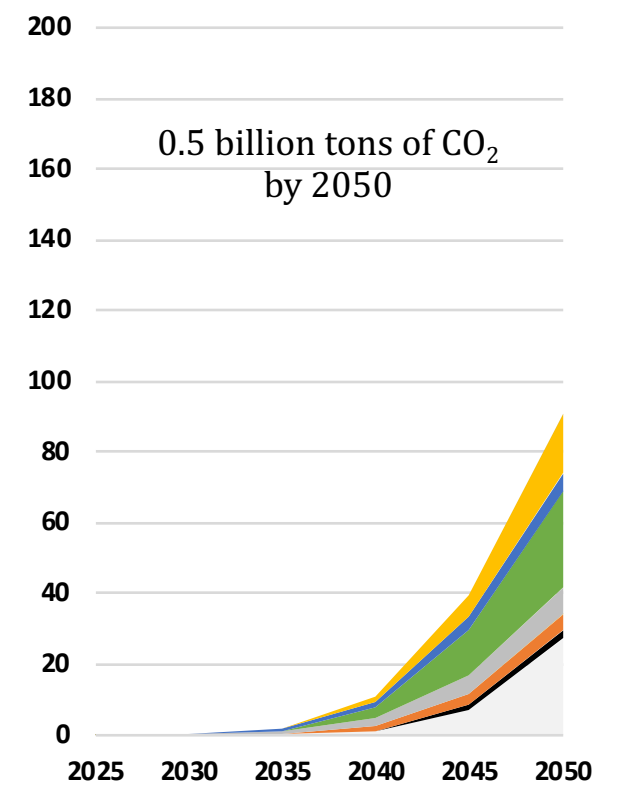
탄소중립



탄소중립_Nuc



탄소중립_limCCS



- Biohydrogen CCS
- Coalhydrogen CCS
- Gashydrogen CCS
- Fertilizer CCS
- Cement CCS
- Biopower CCS
- Gaspower CCS
- Biofuel CCS
- Coalfuel CCS
- AirCapture CCS

탄소중립 이행의 난관과 기술적 기회

■ 3대 탈탄소 역량 집중 부문:

1. 안정적인 전기 서비스: 탈탄소(재생에너지, 수소, CCS) + 부하추종(급전가능전원, P2G, ESS, EV, 수요관리, 부하추종 원자력)
2. 장거리 수송서비스: 그린수소, 바이오연료, EV
3. 탄소 순흡수: 탄소를 화학제품 원료로 활용하는 기술, 탄소를 재생/바이오 연료로 전환하는 기술, 광물탄산화를 통해 건축자재 생산하는 기술, 바이오발전/바이오수소/CCS, 공기중 직접 탄소 포집기술(DAC) 등

탄소중립 R&D와 기술보급 정책의 시사점

1. 국가 온실가스 감축 목표와 연계(policy credibility)
2. 기술 중립적, 시스템 지향적 접근(technology neutrality & system orientation)
 - 탈탄소 역량 집중 부문별 탄소집약도 목표 수립(technology competition)
3. 주기적 정책 평가와 개선(adaptive pathways)
 - 시장 및 소비자 지향(social science)
 - 기술보급과 이용, 시장정책에 대한 소비자 및 기업의 행태 연구
4. 초장기 게임체인저 R&D(mid-century strategy)

감사합니다.