

탄소중립과 균형 있는 전원믹스를 통한 에너지 안보

조홍종
(단국대학교 경제학과)

에너지포럼 2022
(2022년 4월 28일)

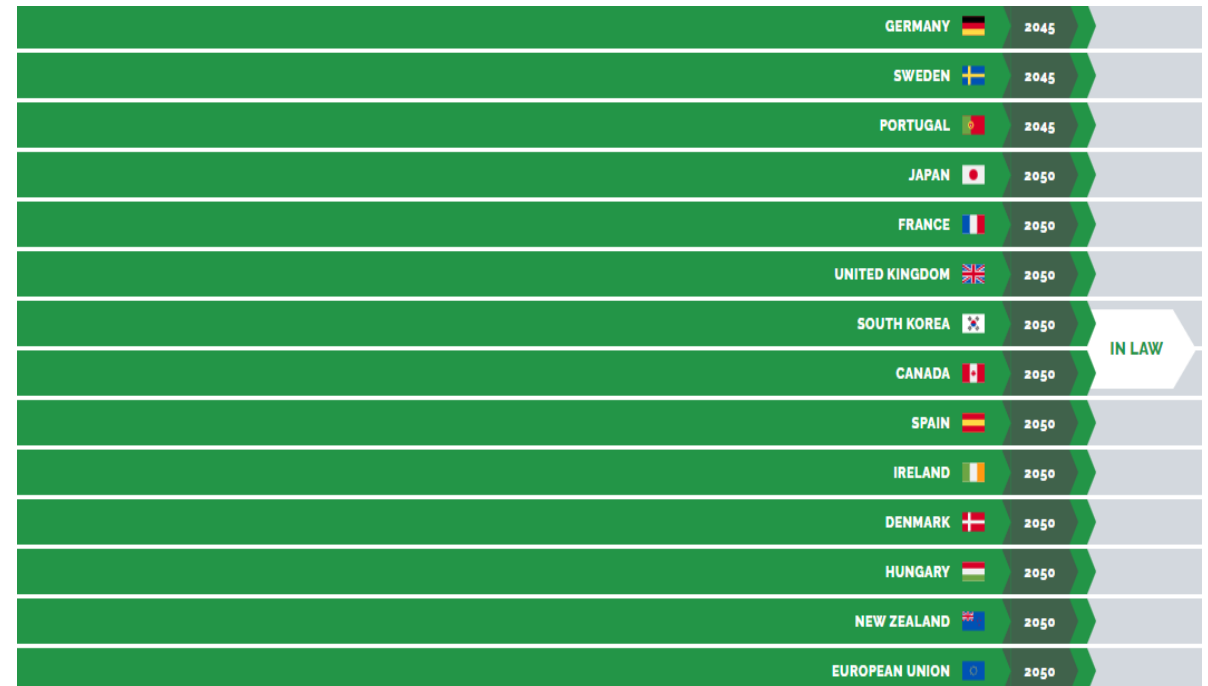
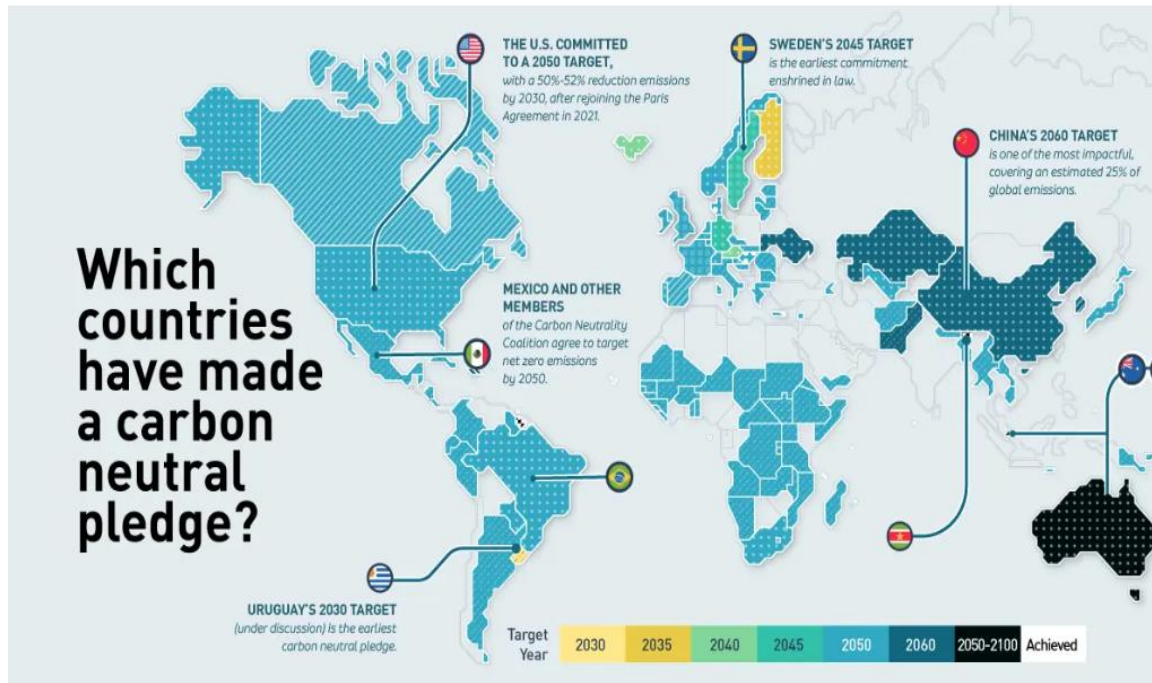
목차

1. 글로벌 탄소중립 선언과 이후 글로벌 환경 변화
2. 주요국의 탄소중립 정책 변화(현실화)
3. **NDC** 목표와 탄소중립 평가
4. 합리적 전원믹스와 에너지 안보

1. 글로벌 탄소중립 현황

● 글로벌 탄소중립 명시적 선언 안한 국가가 더 많음

- 주요국 2050년을 전후로 탄소중립 선언
- 법제화(In law): 14개국(유럽+한국, 일본, 뉴질랜드)
 - ✓ In policy Document(33개국), Declaration/Pledge(19개국)
 - ✓ 미선언/연기 국가가 수적으로 훨씬 많음



1. 글로벌 환경 변화: 초인플레이션 시대(Great Inflation Era) 진입

● Double Greenflation

- 화석연료 가격 폭등
- 재생에너지 발전단가+배터리 가격 폭등

● 공급망 교란 위험

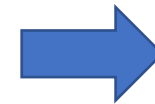
- 주요 광물, 원자재, 소재, 부품에 이르기까지 공급망 교란
- 자원 무기화, 자국 우선주의로 인한 국제 무역 감소와 분쟁
- 무리한 친환경 정책과 환경규제
- CBAM(Carbon Border Adjustment Mechanism)을 통한 비교우위 역전 시도
- 탄소가격을 자국 산업 보호 장치로 사용

● 중국 등 동북아시아 디플레이션 수출 마감=> 초인플레이션 시대 진입

- 중국의 저임금, 저에너지 가격을 배경으로 한 디플레이션 시대 마감
- 임금인상+탄소중립 발 더블 그린플레이션=> 전 세계 비용인상 인플레이션의 본격화
- 선진국 소비자들 새로운 인플레이션 인식 생기고 경제적 위협으로 인식하기 시작

● Covid-19의 이후 보복 소비는 아직 시작도 안함

- 비용인상 인플레이션은 시작됐으나 수요건인 인플레이션은 아직 시작도 안함
- 이자율 상승까지 겹칠 경우 경제 공황(recession)위험 현실화

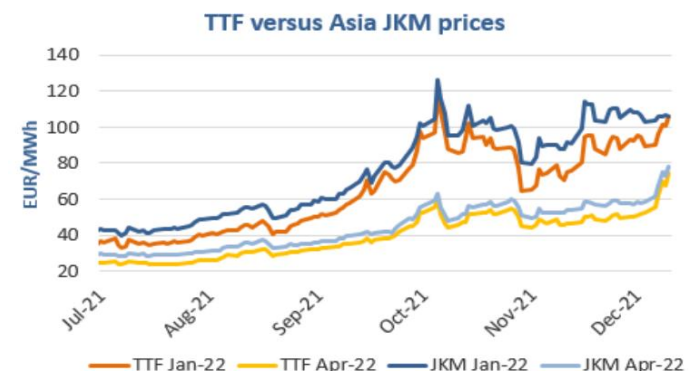


한국 실정에
맞는 에너지
·자원 안보

+

전력공급 안
정화를 통한
산업경쟁력
유지

1. 글로벌 환경 변화: Double Greenflation

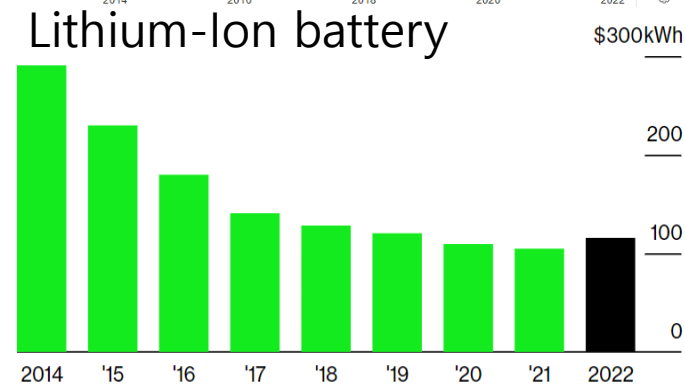
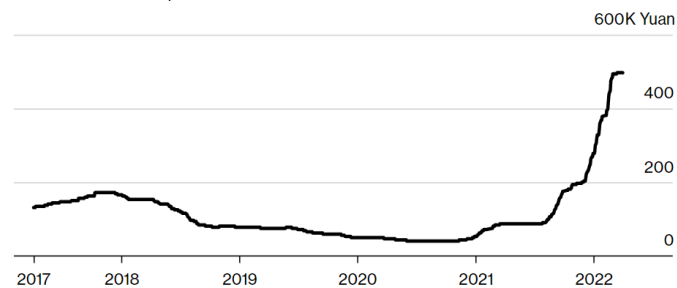


출처: Trading Economics, European Gas Hub

A Nearly 500% Surge

China and EV makers are getting worried about lithium's record rally

✓ Lithium carbonate prices in China



출처: Bloomberg, Trading Economics,

● Double Greenflation

- 화석연료 가격 폭등
- 친환경 규제로 신규투자 미비
- 여전히 화석연료는 공정과 연료의 약 70%를 차지하고 있음
- 석탄, 원유, 천연가스 모두 가격 폭등
- 재생에너지 관련 재화 가격 폭등
- 리튬, 니켈, 코발트, 망간, 구리 등 모든 원자재 가격 폭등
- 재생에너지 발전단가+ESS 가격 폭등
- 전기차 배터리 가격 상승=>테슬라 전기가 가격 \$10,000 이상 인상
- 재생에너지 solar panel도 가격 상승
- 화석연료+재생에너지 EPC+배터리+전기차 모두 가격 폭등

1. 글로벌 환경 변화: Supply Chain Risk

● 러시아의 우크라이나 침공

- 에너지 및 자원 무기화
- 러시아 글로벌 공급량 (원유 12%, 천연가스 16.6%, 밀 11%)
- 공급망 위기는 극심해지고 가격 인상 지속
- 유럽은 러시아 의존도 높아서 해결 불가능
- 특히 유럽 PNG->LNG 의존도 높아질 경우 LNG 가격 폭등

● 국제 무역 규모 감소

- 중국의 독점적 주요 광물 프로세싱 supply chain
- 글로벌 교역 규모 감소



출처: Euromonitor International

Russia's Share in Global Commodity Production

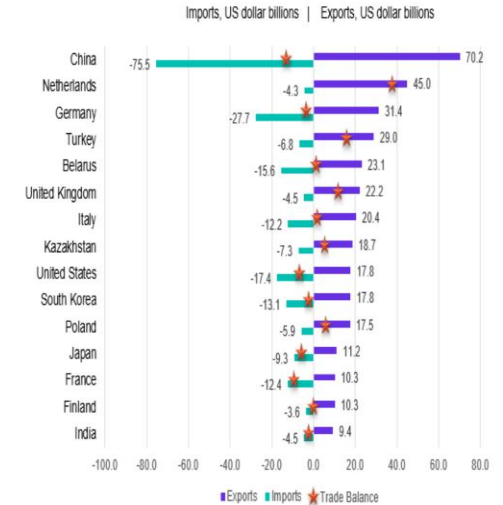
Data as of December 2020

Commodity	% of Global Production
Oil	12.1
Natural Gas	16.6
Coal	5.2
Copper	4.3
Aluminum	6.1
Nickel	6.1
Zinc	1.5
Gold	9.5
Silver	5.4
Platinum	14.1
Palladium	43.9
Wheat	11.0



Top Trade Partners

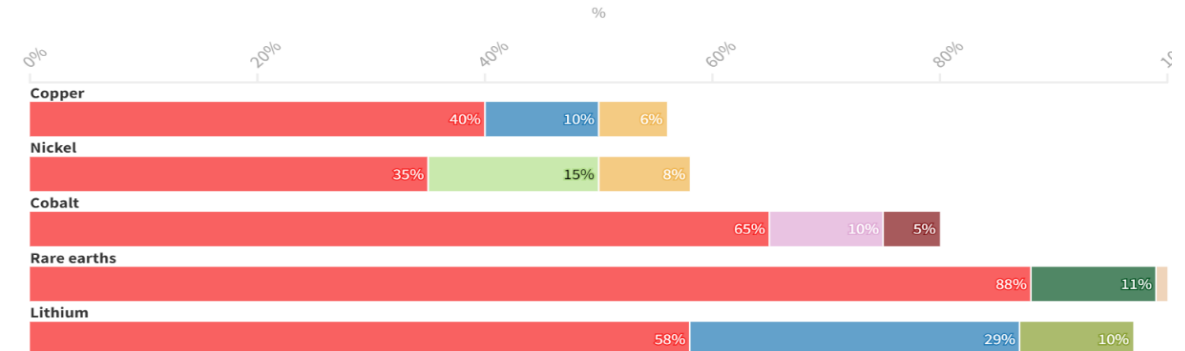
umber 2021, 12-months rolling sum



출처: Seeking Alpha(<https://seekingalpha.com>)

Where critical minerals are processed

China Chile Indonesia Japan Finland Belgium Malaysia Estonia Argentina



Source: IRENA, IEA

Figure 2: Critical minerals mining and processing / SOURCE: IRENA, IEA

1. 글로벌 환경 변화: China driven Deflation ends

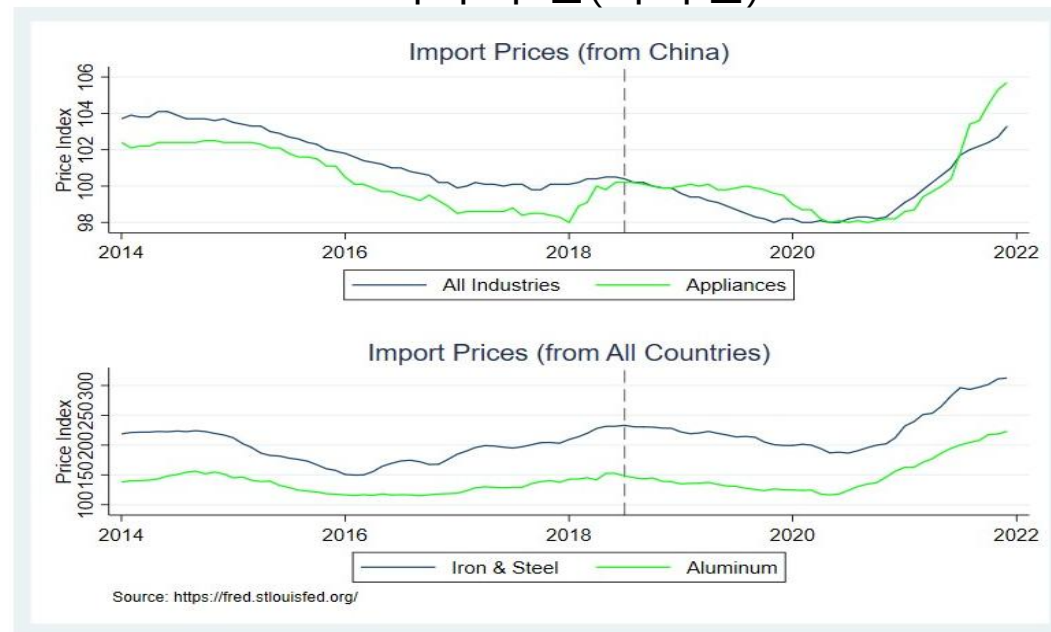
China, Long a Source of Deflation, Starts Raising Prices for the World

Pressured by supply-chain woes and commodities costs, Chinese manufacturers are increasing prices, adding to inflation fears

THE WALL STREET JOURNAL.

- 중국의 저임금, 저에너지 비용 생산기지 역할과 디플레이션 수출 마감
 - 원자재 가격 상승, 공급망 교란으로 중국 수출품 가격 상승
 - 특히 저임금과, 낮은 석탄 가격으로 유지되던 중국 제조업이 가격 상승할 수 밖에 없는 실정
 - 탄소중립으로 인한 석탄발전량 감소, 석유제품의 원가 상승
 - 중국 제조업 가격 인상=> 전 세계 가격 인상 요인
 - 글로벌 제조업의 비용 인상 인플레이션 현실화
 - 무역분쟁이 하나의 요인이나 그 이상의 인플레이션이 발생중임

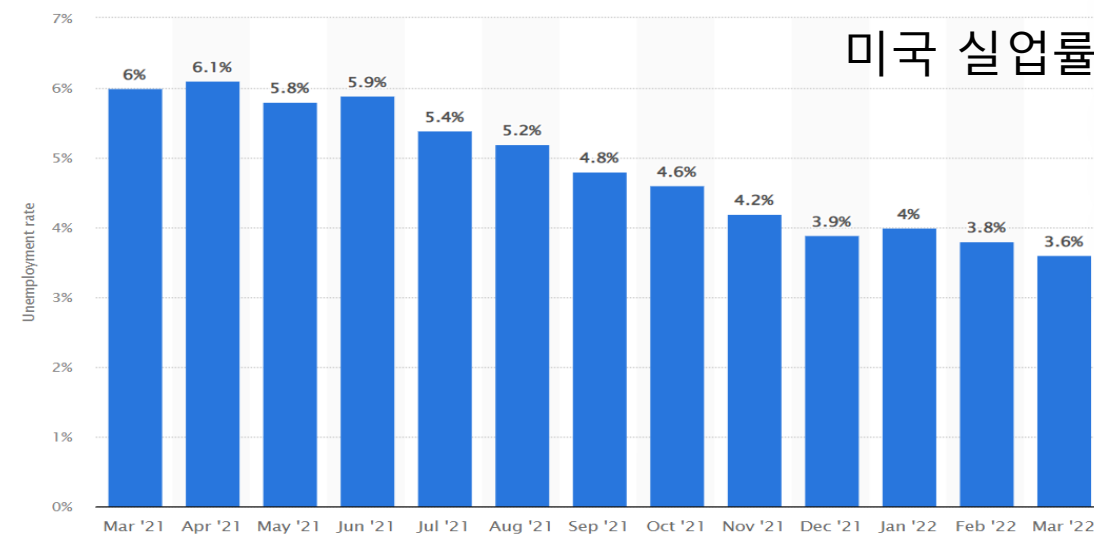
미국 수입(국가별)



1. 글로벌 환경 변화: Great Inflation Woes

● 미국 금리 인상 시점 다가옴

- 미국 31년 만에 가장 높은 인플레이션 기록 중
- 미국 완전고용 상태(실업률 3.6%)
- Fed 금리 인상 여건 조성됨, 테이퍼링 실시
- 인플레이션기에는 실물 소유자의 시간 도래
- 코로나 회복 소비가 겹쳐질 경우 더욱 에너지 크런치 심화
- 항공유, 석유화학 제품 수요 증가
- 발전량 수요 증가와 발전량 공급 증가 미비 수급 미스 매치
- 재생에너지 근본적인 간헐성, 변동성 해결 불가능과 더불어 가격 폭등으로 경제성 담보 불가
- 화석연료 투자 미비 penalty time
- 탄소중립이 비현실적인 목표이며 속도조절 필요
- EU, 미국 등 탄소중립 주요 추진국가도 현실적인 난관으로 탄소중립 정책 대폭 수정 필요
- 그러나 특히 천연가스 크런치 심화, Shale 생산량 증가 매우 느림: 셰일 기업 파산+no working phase



2. 주요국의 탄소중립 정책 변화(현실화)

● 독일: 친환경 모범국조차 석탄 발전 증가

- '21년 상반기 전통에너지 발전량 8% 증가, 재생에너지 8% 하락, 전쟁효과 이전에 이미 발전량 변화 시작
- '21년 상반기(동기 대비) 석탄 발전량 38% 증가, 풍력발전 21% 감소
- 원자력도 여전히 유효
- 탈원전, 탈석탄 추진과정의 구조적 문제점과 구조적 변화 발생=> 전력가격 인상으로 저렴한 전통에너지로 회귀
- 러시아 침공과 Nord Stream 2 중단으로 전력가격 상승으로 전통에너지 의존도 증가 예상

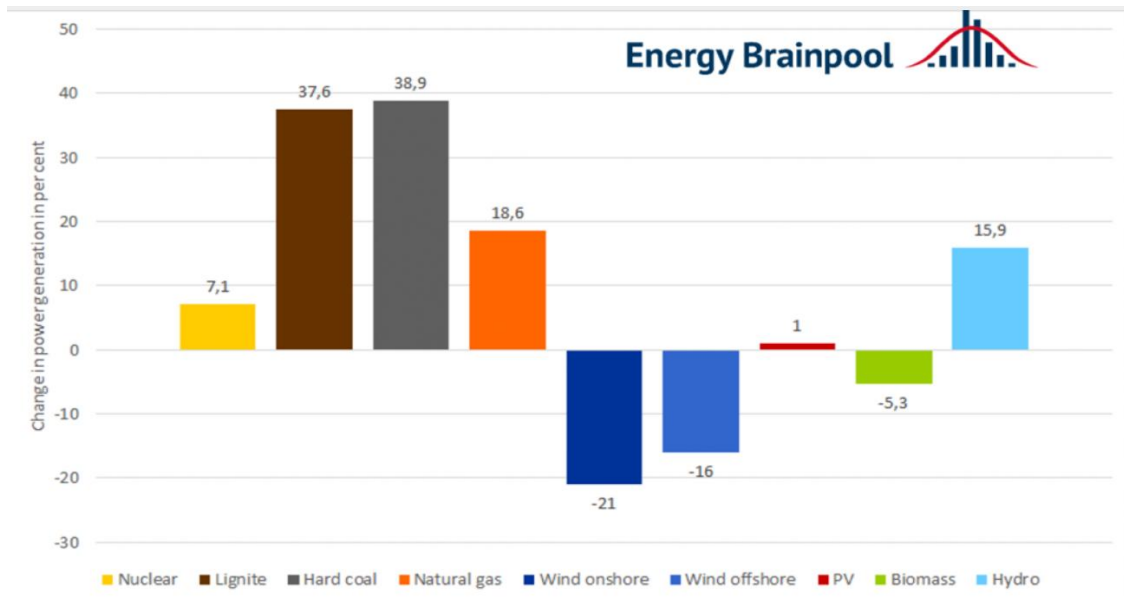
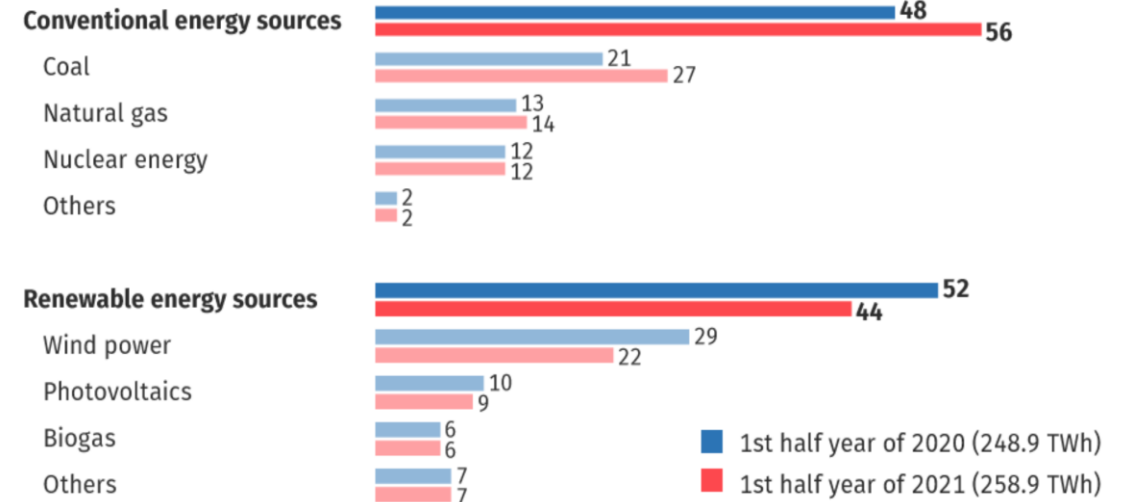


Fig. 2: Percentage change in electricity production comparing H1 2020 to H1 2021 / SOURCE: Energy Brainpool

출처: Energypost.eu

Electricity fed in from conventional and renewable energy sources, 2020/2021 in %



© Statistisches Bundesamt (Destatis), 2021

출처: NuclearNewswire

2. 주요국의 탄소중립 정책 변화(현실화)

● 영국: 새로운 Energy Security Strategy(22.04.07)

- 평균 가구 에너지 요금 54% 인상
- 신규 원전 8기 건설+시즈웰B 원전 20년 연장운영, 원전 비중 16%->25%로 상승, SMR 신규투자 증대
- Gas & oil 증대, North Sea에 새로운 라이선스 발급원유와 가스 자급도 높이는 노력
- CCUS 대규모 투자
- 해상풍력+수소생산 투자

● 프랑스: 신규원전 확대(감원전 정책 폐기)

- '50년까지 최대 14기 신규 원전 건설 계획 발표
- '17년 70% 비중 원전 비중 50%로 하향 정책 실현불가능
- 노후 석탄화력 대체시 원자력발전소로 대체, 재생에너지 대체 계획 폐기
- 노후 원전 수명 40년->50년으로 수명연장
- SMR 투자 확대
- EU-Taxonomy에 원전 포함에 적극 노력

● 벨기에: 원전 가동중단 시점 연장

- '25년에 가동중단 계획을 '35년으로 연장

Can the EU really decouple its energy from Russia?

러시아 PNG로 부터 자유로울 수 없다. 전쟁이 끝나면 러시아 의존도 증가할 것

LNG 물량확보 불가능, 가격 폭등 지속불가능

원전과 재생에너지 투자로 에너지 자립도 높이는 방향으로 진행, 원전에 대한 정책방향 우호적 선회

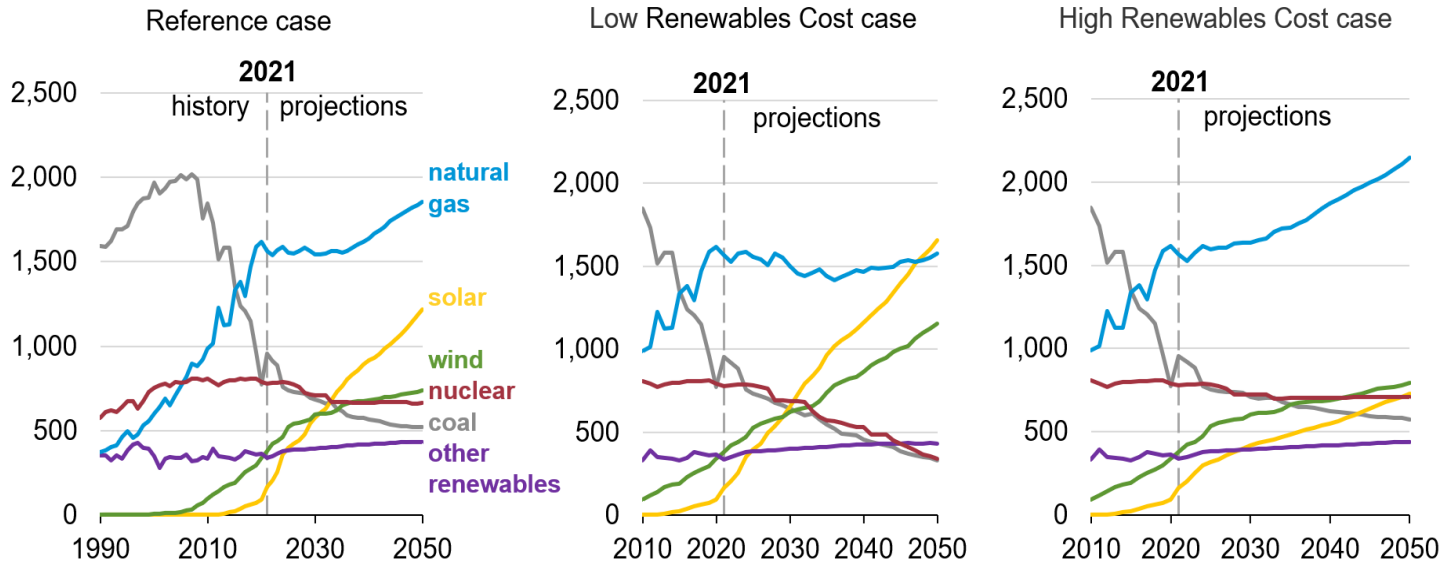
재생에너지 간헐성, 변동성 문제 빈번히 발생

2. 주요국의 탄소중립 정책 변화(현실화)

● 미국: 최근 에너지 가격과 수급을 반영하여 에너지 및 전력믹스 변화 반영(Annual Energy Outlook 2022)

- 3가지 시나리오: Reference, Low Renewable Cost, High Renewable Cost
- 석유, 천연가스 의존은 2050년까지 여전히 유효함, 재생에너지(태양광, 풍력+수전해, 지열, 목재, 바이오매스 모두 포함) 증가 지속
- 재생에너지는 negative pricing 허용+curtail+저장방식에 따라 비용 차이 극심
- 천연가스 발전량 모든 시나리오에서 지속적으로 증가, 미국 원유 생산은 기록적으로 증가, 천연가스 수출 중심
- CO2 발생량은 '50년까지 현 수준 유지, 탄소저감 목표 달성 불가(포기?)

U.S. electricity generation
billion kilowatthours

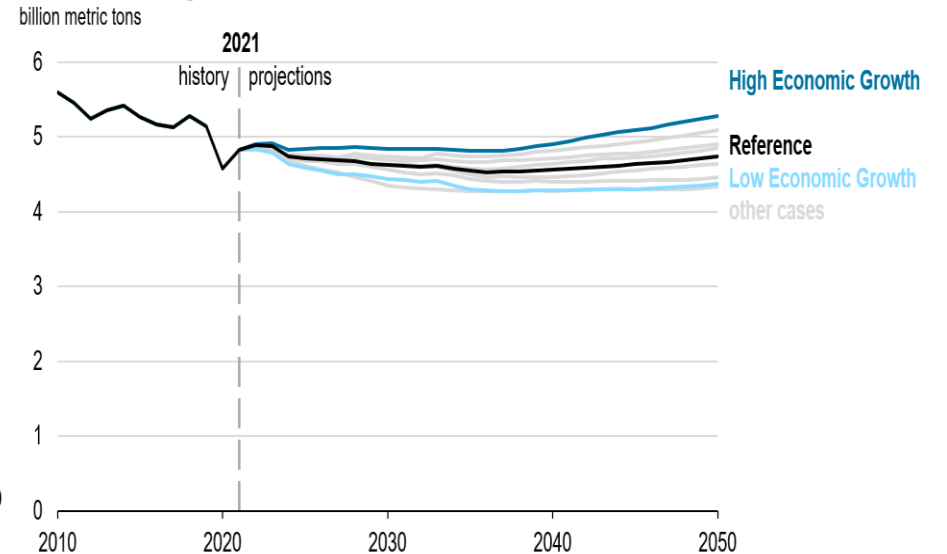


Note: Other renewables category includes electricity generation from hydroelectric, geothermal, wood, and other biomass sources.

출처: EIA, Annual Energy Outlook 2022

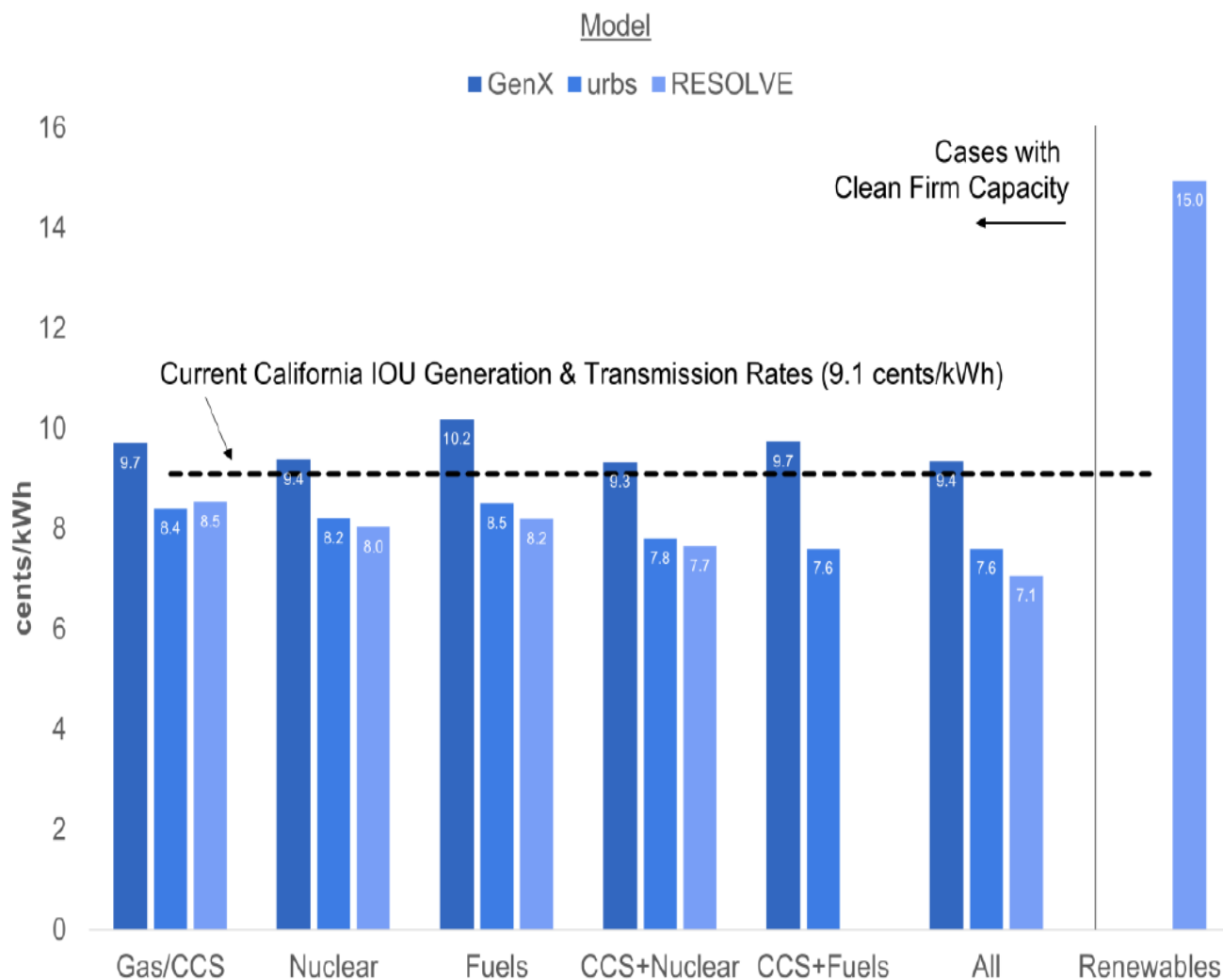
CO₂ emissions based on macroeconomic growth assumptions

U.S. energy-related CO₂ emissions
AEO2022 economic growth cases



2. 주요국의 탄소중립 정책 변화(현실화)

미국 캘리포니아 “Clean Firm Power” 연구



● 미국 캘리포니아 carbon-free 전력공급 모델링 결과

- Princeton, Stanford, Energy and Environmental Economics(E3) 각기 진행
- 결론: 태양광과 풍력만으로 저렴한 무탄소 전력 공급 불가
- Clean Firm Power 필요: 언제든지 필요한 만큼 전력 제공할 carbon-free power source 필요
- Gas with CCS
- Nuclear
- Fuels
- CCS+Nuclear
- CCS+Fuels

These results can help decision makers planning a decarbonized grid, not just in California but in other parts of the world as well

2. 주요국의 탄소중립 정책 변화(현실화)

● 일본: 제 6차 에너지기본 계획(21.07.21) 발표

- 2030년 온실가스 감축목표 및 2050년 탄소중립 초안
- 탈탄소에 원자력 포함
- 원자력은 '30년까지 20-22%까지 증대
- 재생에너지 증가
- 석탄화력 감소
- 신규 계획 발표 시에 최근 동향 반영될 전망

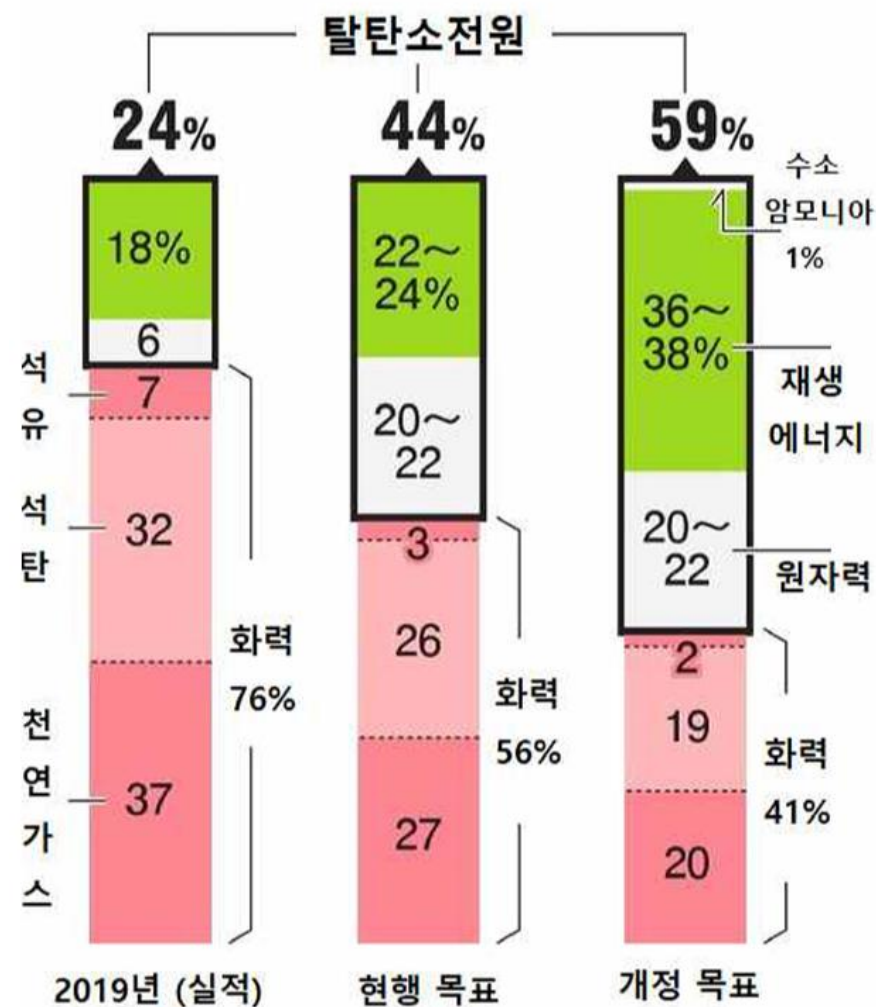
● 최근 에너지 안보위해 러시아 자원사업 유지

- 미츠이, 미쓰비시: 사할린2 지분 보유 유지
- 일본 정부와 종합상사 대책: 철수 시에 2조엔 추가 전기·가스요금 증가
- 러시아 제제와 에너지 안보 측면 동시 고려

● 해외자원개발 지속 및 해외 에너지 수출

- JERA & ExxonMobil: 베트남 하이퐁시에 4.5GW LNG화력발전소 건설
- JERA 필리핀 전력회사와 1GW LNG화력발전소 건설
- JERA 텍사스주 Freeport 프로젝트에 25.7% 지분확보
- 오사카가스 해외에너지사업 40% 투자 증가
- INPEX, JOGMEC: 해양가스전 신규 탐사개발(330억엔 출자)

〈 2030년 전원구성 목표 〉

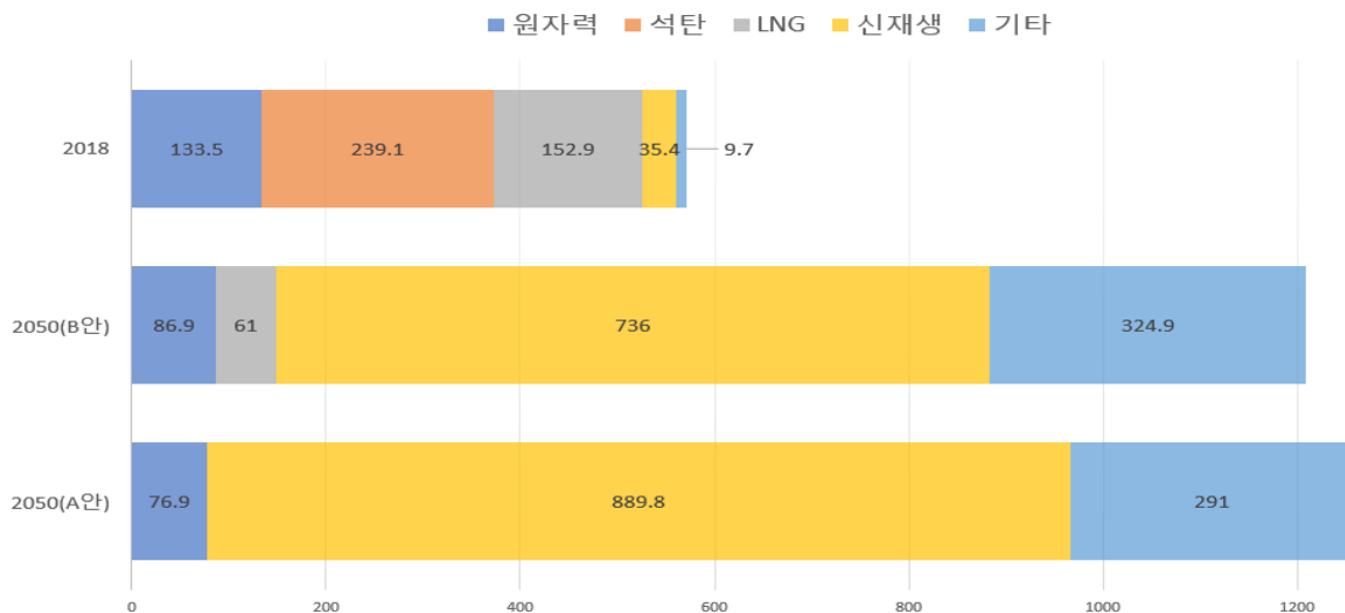


3. NDC 목표와 탄소중립 시나리오 평가

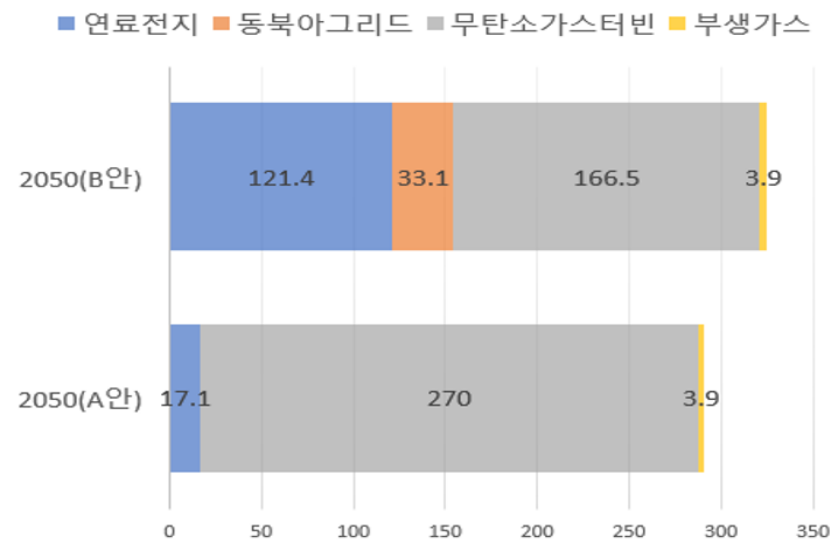
● 2050 탄소중립 시나리오(전환부문)의 다양한 문제점

- 전력수요: 570.6Twh('18년)->1,208.8-1,257.7Twh 예상('50년), 약 2배 증가=> 전력화 수요 증감요인 분석 선행
- 재생에너지 증가: 20GW('20년)-> 태양광 460GW+풍력(60GW)('50년)=>재생에너지 물리적, 경제적 불가능
- 원전: 24%('20년)->6-7%('50년) =>신정부 탈원전 정책 폐지 & 수용성 문제 검토
- 기타 부문 30배 증가: 연료전지+동북아그리드+무탄소가스터빈+부생가스=> 국제협력과 현실가능성 검토

< 2050 탄소중립 발전믹스 시나리오 >



기타



출처: 저자 작성

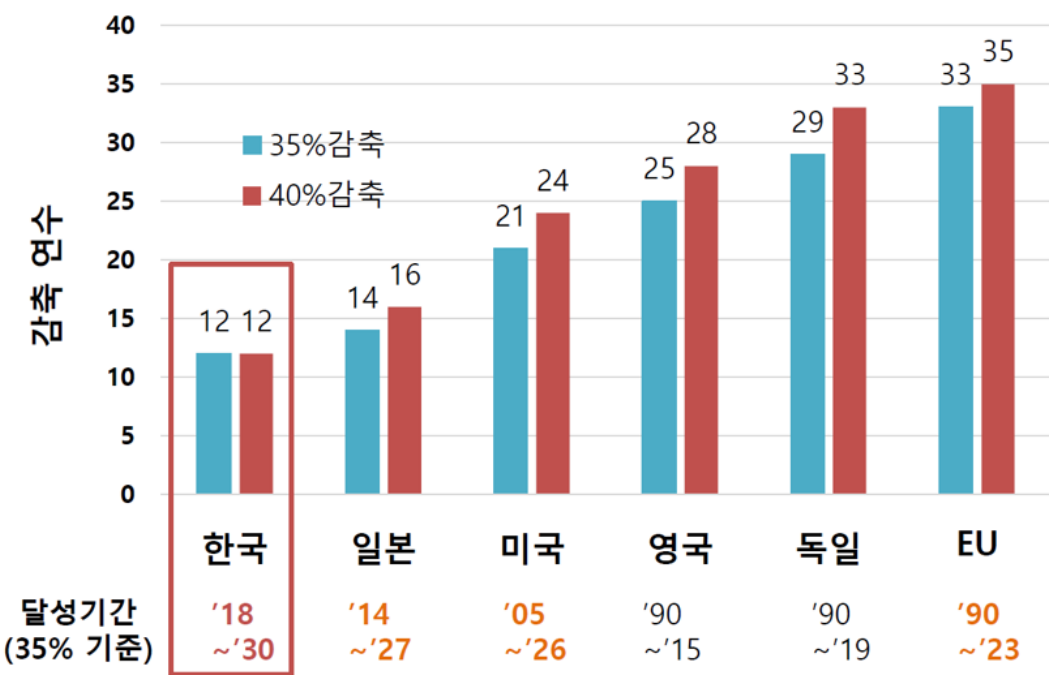
원출처: 2050 탄소중립 시나리오 (2021.10.18)

3. NDC 목표와 탄소중립 시나리오 평가

● 2030 NDC 목표 상향: 과도한 목표로 저감 수단의 다양성 저해

- 2030 국가 온실가스 감축목표(NDC) 무리한 상향으로 전원믹스 다양성을 제한함, 서구권 비해 과도한 기간 단축
 - ▶ 재생에너지 일변도 목표(30.2%(’30)): 달성 불가능 수단
 - ▶ 계속운전+신규원전 가동할 수밖에 없음: 안전규제 정비기간, 인허가, 환경평가 기간 고려하면 더욱 어려움, 수용성문제
- NDC 목표 달성위한 합리적이고 물리적으로 가능한 전원믹스 구현해야

< NDC 목표 감축 기간 비교 >



출처: KEI, NRC 탄소중립연구단 6차세미나

< 2030 NDC 감축목표 >

(단위: 백만톤CO₂eq)

구분	부문	기준연도(’18)	現 NDC (’18년 比 감축률)	NDC 상향안 (’18년 比 감축률)
배출량*		727.6	536.1 (△191.5, △26.3%)	436.6 (△291.0, △40.0%)

① 전환 (’18년) 269.6 → (’30년) 192.7(△28.5% 現 NDC) → (’30년) 149.9백만톤(△44.4% 상향안)

<2030년 전원믹스 구성안>

(단위: TWh)

	원자력	석탄	LNG	신재생	암모니아	양수·기타	합계
발전량	146.4	133.2	119.5	185.2	22.1	6.0	612.4
비중	23.9%	21.8%	19.5%	30.2%	3.6%	1.0%	100.0%

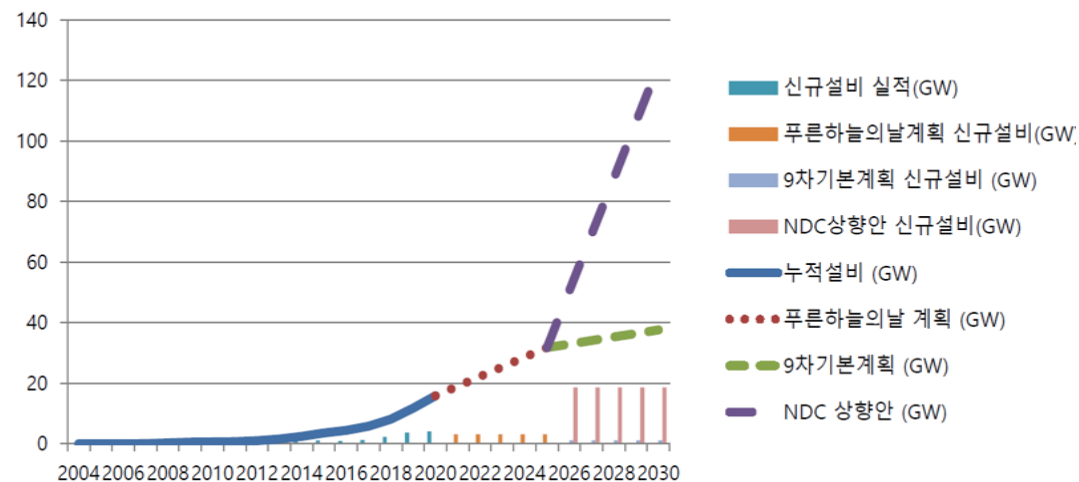
4. 합리적 전원믹스와 에너지 안보

● 온실가스 배출 저감 경로에 적합한 전원믹스 재검토:

diversification of electricity mix

- 석탄발전: '30년 기준 NDC 목표 34%→21%감축 무리
 - 석탄발전 상한제 잠정적 중단, 국제 천연가스 가격 상승으로 석탄 발전 가동할 수 밖에
- 재생에너지 발전 설비 확충의 비현실성
 - '30년 재생에너지 125GW 설비 비현실적: 4년간('18-'21) 20GW 설치수준, 8년 남은 기간 동안 불가능
 - 계통보강, 폐기물, ESS 비용, 수용성 고려시 비경제적+변동성 보조 서비스 전원 필요
- 원전 계속운전 및 신규 원전 건설 등 소요 기간 필요
 - 신규원전 건설 기간 필요, 계속운전(10기): 안전성 확보 & 사용후핵처리시설 확보 우선 해결
- LNG 복합화력, CHP도 석탄대비 0.4배 CO₂ 발생, 국제 천연가스 가격 리스크 노출
 - CO₂ 저감에 대한 대책: CCUS 기술적 문제 해결, 가격리스크 헷징을 위한 계약구조와 트레이딩 기법 필요
 - NDC 상향을 맞추기 위해서는 LNG 수요 추정 추가 필요

< NDC 재생에너지 목표 검토 >



출처: KEI, NRC 탄소중립연구단 6차세미나

<발전용 LNG 수요 추정(제 9차 전력수급계획)>

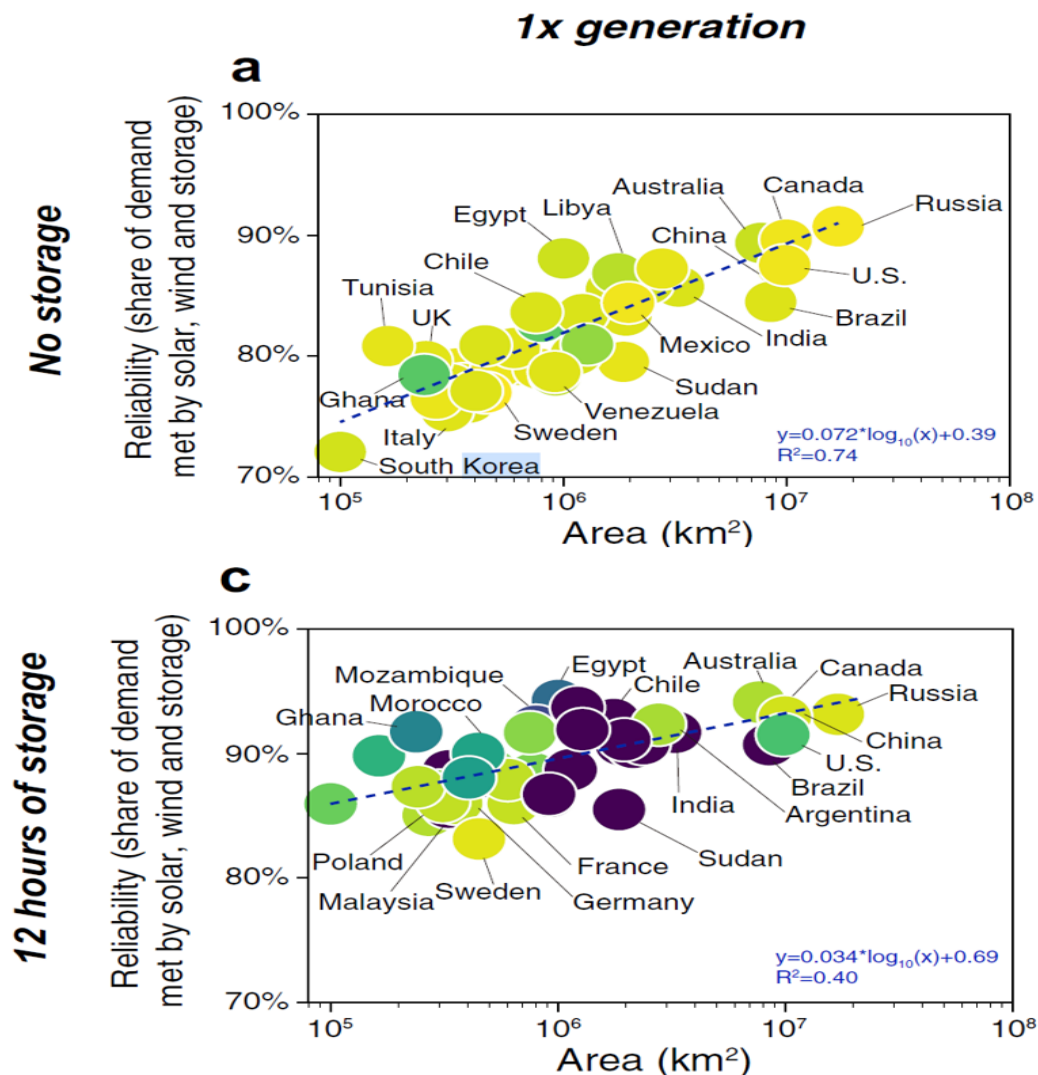
(단위: 만톤)

연도	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
LNG	1421	1042	792	461	392	373	430
COGEN	291	252	248	274	312	406	406
LNG(planned)	0	40	88	115	290	416	482
LNG 종합	1712	1334	1128	850	994	1195	1317
연도	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
LNG	485	434	462	434	425	393	360
COGEN	419	530	528	522	506	474	447
LNG(planned)	609	742	984	1040	1088	1087	1053
LNG 종합	1513	1707	1974	1997	2019	1953	1860

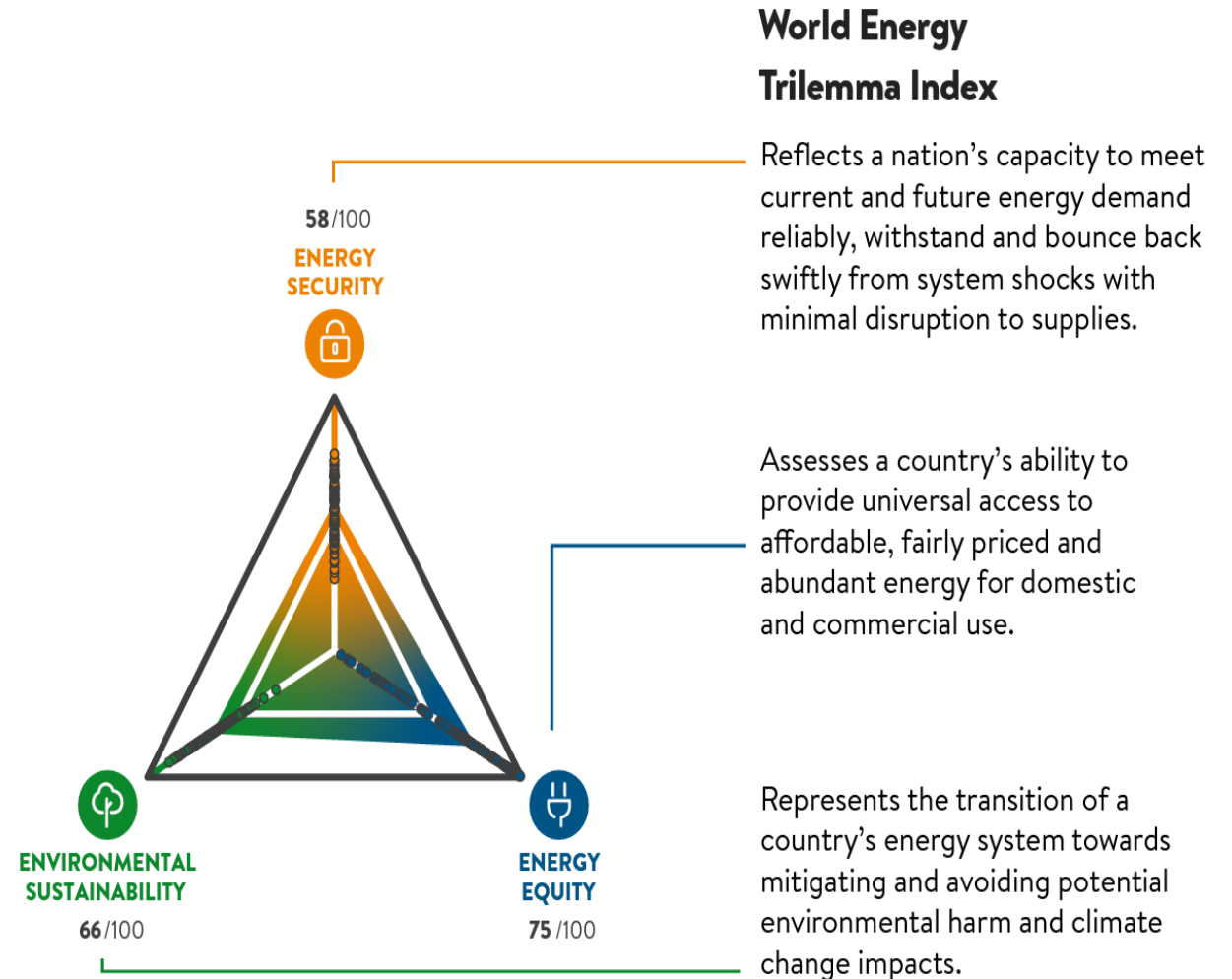
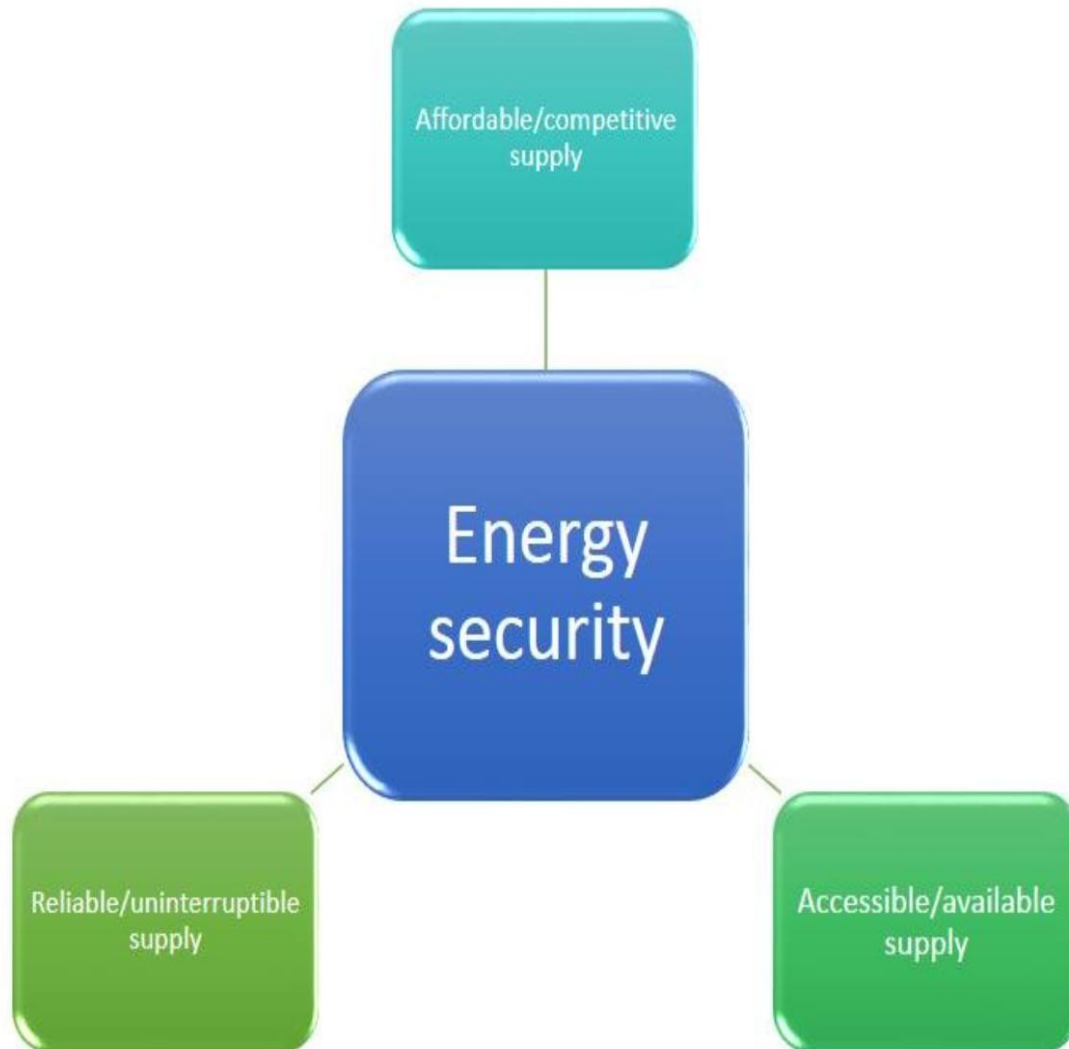
4. 합리적 전원믹스와 에너지 안보

● 전력의 안정적 공급: 재생에너지에 맡긴 전력 안정성 달성 불가능

- 한국은 지리적으로 재생에너지 reliability 최저 수준(42등/42개국)
- Best: (1) wind 75+solar 25% without storage
(2) wind 50%+solar 50% with 12 hours storage
- Best combination=> demand 충족비중
(1) 70% 수준
(2) 85% 수준
- Wind cost > 2* solar cost, 설치 기간도 5년 이상
- 재생에너지에 전력 안정성을 맡기는 나라는 없음
- 적도근처, 국토 면적이 커서 태양이 비추는 시간이 길거나 극지방에 위치하여 풍력의 질이 우수한 나라들의 reliability 높음=> 러시아, 미국, 중국, 호주 등
- 원전, 화석연료, 재생의 diversification 필요+송배전망 확충+분산화 위한 전력시장 개선

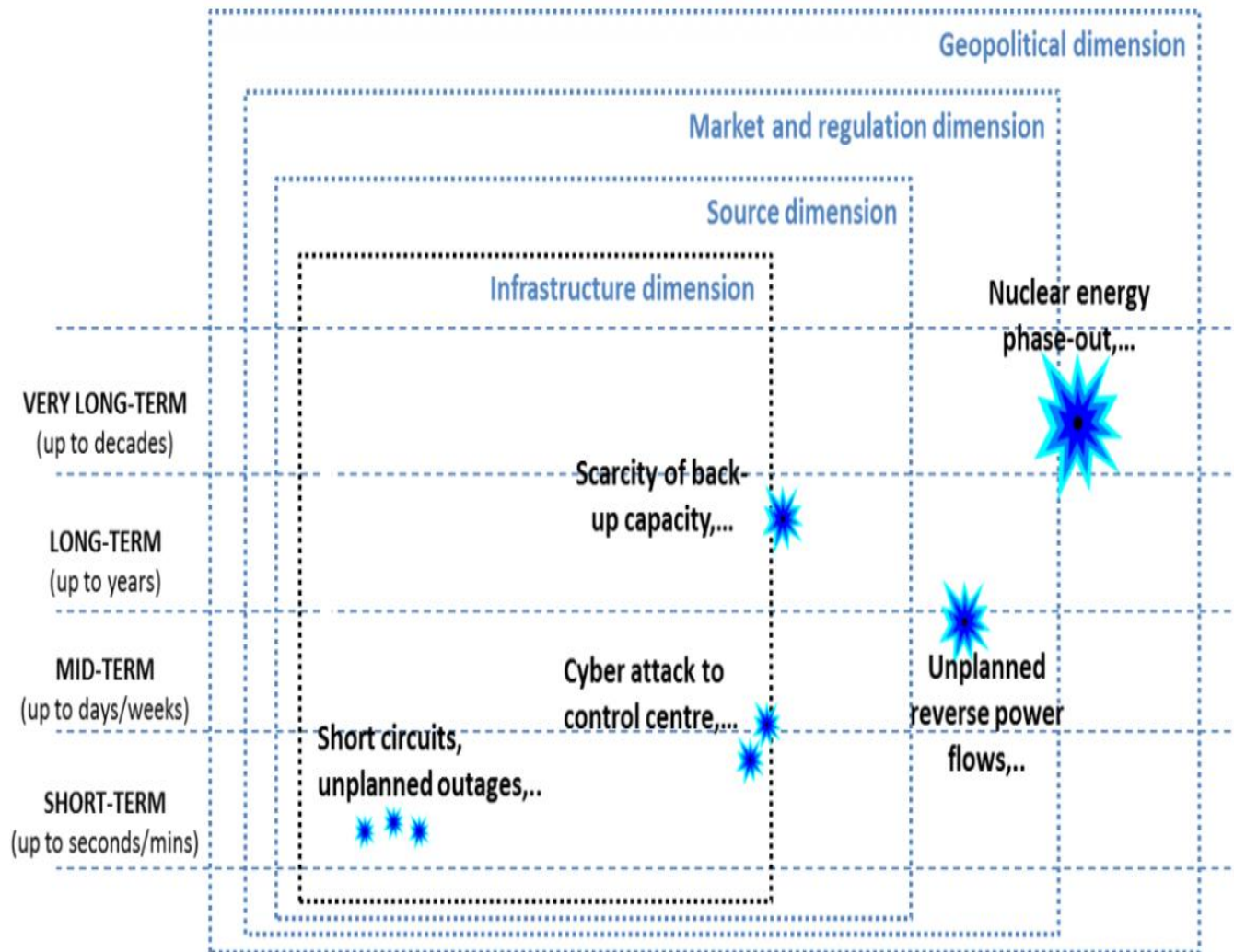


4. 합리적 전원믹스와 에너지 안보



Source: World Energy Council

4. 합리적 전원믹스와 에너지 안보



In the **infrastructure** dimension, electricity security is assessed in terms of the power system (i.e. the electricity value chain) capability to supply end users with minimum service standards/criteria.

In the **source** dimension, electricity security is assessed in terms of the energy system capability to ensure the accessibility, in the various timeframes, to primary sources to be converted in the power plants to meet the required total demand of electricity.

In the **regulation and market** dimension, electricity security is assessed in terms of the power system and market capability to adequately fulfil their electricity delivery mission with a set of laws, rules, market arrangements and price schemes.

In the **geopolitical** dimension, electricity security is assessed in terms of the energy/power system capability to assure the availability of primary sources and/or cross-border electricity exchanges in case of economic or geopolitical constraints/stresses (e.g. unilateral primary energy cut by international players outside the considered region).

4. 합리적 전원믹스와 에너지 안보

● 안정적 에너지공급과 신에너지 산업 육성을 통한 지속가능 성장동력 확보를 위한 합리적인 전원 믹스 필요

- 단기적: 재생에너지 일변도의 지나친 보급 목표 지양+원전 계속운전+석탄발전 상한제 한시적 유보
- 중기적: LNG(w/ CCS)를 탄소중립 이행 전원으로 활용 및 LNG VC 확대와 암모니아, 수소경제 무탄소 전원 기술 개발
- 장기적: 수소전소터빈 개발과 수소전소발전소 확대+섹터커플링+분산화

●단기적

- ⑩원전가동률 증대 및 계속운전, 신규 원전 건설
- ⑩석탄발전 상한제 잠정유보
- ⑩태양광 일변도 지나친 보급 중단

●중기적

- ⑩석탄 암모니아 혼소
- ⑩LNG(w/ CCS)를 탄소중립 이행 전원으로 적극 활용
- ⑩무탄소(암모니아, 수소) 터빈 개발

●장기적

- ⑩CCUS기술개발 저장고 확보=>블루수소 시장 확대 및 선점
- ⑩수소전소터빈 활용 수소발전소
- ⑩섹터커플링, 분산화, 전력데이터 확대를 통한 VPP 활성화

4. 합리적 전원믹스와 에너지 안보

● 잠재성장률 제고를 위한 에너지 공급망 관리

- 원유, 석탄, 천연가스 공급안정성 확보
- 기저 전원 공급망 관리
 - 우라늄, 석탄 안정적 공급망 관리
 - 가격의 안정화를 위한 장기공급계약
- LNG 공급 안정화
 - 러Vs우 전쟁 지속시 글로벌 천연가스 가격 상승으로 인한 LNG 현물가격 급등 대책
 - 장기공급계약 체결
 - 가스전 upstream 투자 등을 포함한 해외자원개발
- 주요 광물자원 확보를 통한 재생에너지 EPC와 배터리 산업 육성
 - 광물자원 해외자원개발 투자
 - 민간영역과 공적영역의 역할 분담을 통한 주요 광물자원의 공급망 관리
- Cyber 공격 등에 대비한 데이터 및 정보 관리
 - 주요 에너지 자원, 기간 시설 디지털 관리
- 글로벌 네트워크 육성
 - 상사 기능 회복을 통한 에너지원 공급과 주요 자원에 대한 access 관리

국내 산업
국제경쟁률
제고
+
한국 잠재
성장률
향상

4. 합리적 전력믹스와 에너지 안보: 에너지요금 현실화

● 에너지 가격 현실화

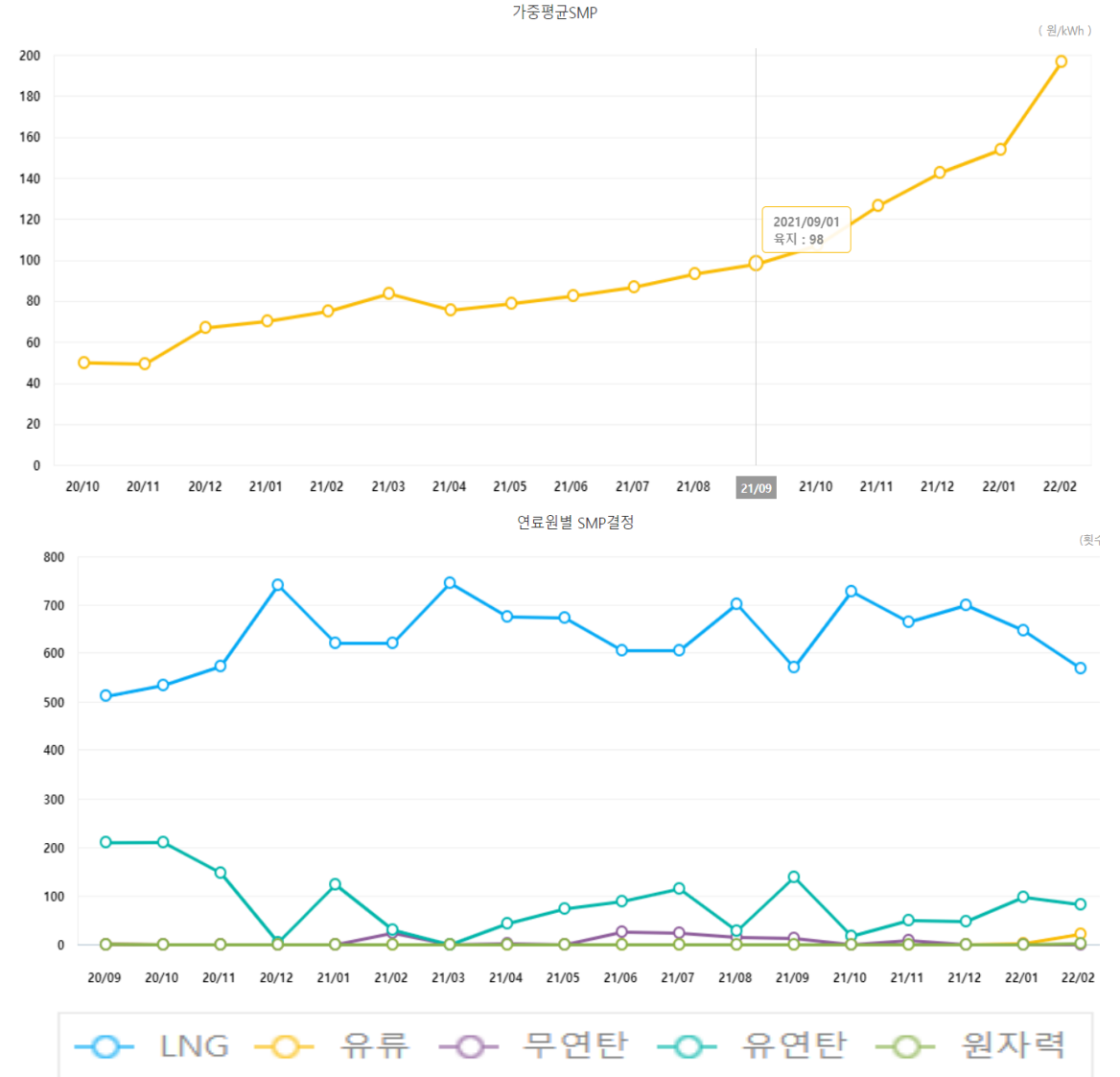
- SMP(육지)>200원/kWh, LNG 연료 단가 상승
- 전력요금 원료비 연동제 유보
- 한전의 누적적자 150조, 부채비율 250% 초과
- 발전사의 발전원가 반영 못하고 있음
- 한전과 발전사 경영 부실 심화 지속

● 전기요금 현실화를 통한 가격 시그널 회복

- 독일의 ¼에 해당하는 한국 가정용 요금 수준
- 현재 소비자의 미징수 전기요금을 미래 소비자와 미래 세대에 전가하고 있음, 효율적인 전기소비 유인 불가
- 가격에 따른 수요효율화가 없기 때문에 자원 낭비
- 효과적인 에너지 전환과 탄소저감을 위한 기술 투자 자원 마련해야

● 에너지요금 독립 결정위원회 필요

- 정부의 물가관리 수단이 아닌 인력과 예산이 독립적인 에너지요금 결정위원회 필요(금융통화위원회 또는 방통위원회에 준하는)



감사합니다.
