

한국에너지학회-한국자원경제학회
제2차공동세미나

합리적인 온실가스 감축을 위한 차기정부의 과제

2021. 11. 18.(목) 14:00~16:30

비대면 실시간 웨비나 (Zoom URL, Youtube)



사단법인

www.koes.or.kr

한국에너지학회
KOREAN ENERGY SOCIETY



한국자원경제학회
Korean Resource Economics Association

한국에너지학회-한국자원경제학회 제2차 공동세미나 합리적인 온실가스 감축을 위한 차기정부의 과제

■ 2021. 11. 18.(목) 14:00-16:30 비대면 실시간 웨비나(Zoom, YouTube)

■ 프로그램

사회 : 임종세 교수 (한국해양대학교)

14:05-14:10	인사말씀	박진호 회장 (한국에너지학회)
14:10-14:15		박호정 회장 (한국자원경제학회)
14:15-14:40	주제 발표	우리나라 온실가스 감축의 쟁점과 향후 과제 조영탁 교수 (한밭대학교)
14:40-15:05		차기정부의 에너지정책에 대한 거시경제적 제언 조흥중 교수 (단국대학교)
15:05-15:30		탄소중립 시나리오의 개선 방향 (전환부문을 중심으로) 박중배 교수 (건국대학교)
15:30-15:40	Coffee Break	
15:40-16:30	토론	좌 장 : 강승진 교수 (한국산업기술대학교) 토론자 : 이종수 교수 (서울대학교) 최봉석 교수 (국민대학교) 박은덕 교수 (아주대학교)

Contents

우리나라 온실가스 감축의 쟁점과 향후 과제 / 1

조영탁 교수(한밭대학교)

차기정부의 에너지정책에 대한 거시경제적 제언 / 25

조홍중 교수(단국대학교)

탄소중립 시나리오의 개선 방향 (전환부문을 중심으로) / 60

박종배 교수(건국대학교)

토론문 / 87

이종수 교수(서울대학교) / 최봉석 교수(국민대학교) / 박은덕 교수(아주대학교)

우리나라 온실가스 감축의 쟁점과 향후 과제

- ‘진단’ ‘성찰’ ‘과제’ -

2021년 11월 18일

조 영 탁

(한밭대학교 경제학과)

1. 서론

- 모든 국가가 협력하여 빠른 시간내에 탄소중립을 달성하는 것은 21세기의 인류에게 주어진 가장 중요한 과제
- 우리나라도 2009년 COP15와 최근 COP 26의 2차례에 걸쳐 대통령이 직접 국제사회에 감축목표를 약속한 바 있음
 - 2009년 COP15에서 약속한 2020년 목표는 언급하기 부끄러울 정도의 격차로 달성하지 못했음
 - 최근 선언한 COP26에서 약속한 2030년 NDC목표 역시 국내적으로 논란이 많았고 달성 가능성도 희박
- 감축목표가 우리에게 다소 부담이지만 달성이 가능한 수준이라면 전 국민들이 협력하여 노력 가능
 - 하지만 두 차례 모두 목표 제시 시점부터 비현실성이 지적되었으나 그대로 대외적으로 선언되었음
 - 두가지 모두 ‘과감한 수치 목표’에만 관심이 있을 뿐 감축에 필요한 제도개혁/내부준비는 부진할 실정
- 30년 NDC 달성가능 여부와 무관하게 한국경제는 자연환경과 미래세대를 위해 현실적이고 합리적인 감축을 추진해야 함
- 본 발표는 이러한 배경 하에서 다음과 같은 3가지 사항을 다루고자 함
 - 진단: 지난 두차례의 감축목표 결정과정을 약술하고 비현실적 설정이란 ‘오류반복의 원인’을 진단
 - 성찰: 이러한 진단과 성찰을 통해 향후 설정 오류와 제도 부진이 반복되지 않도록 ‘정책거버넌스의 개선방향’을 제안
 - 과제: 정책거버넌스 개선과 함께 그 동안 많은 전문가들이 제기하였던 온실가스감축에 필수적인 ‘제도개선 과제’를 정리

II. 우리나라 온실가스 감축계획의 진단: '수치집착 현상'

1. 우리나라 온실가스 감축계획의 문제점: '허수'에 의한 비현실적 목표 설정

1) 2009년 COP15의 중기감축계획: '감축량 중복계산'과 '비현실적 수치' 문제

o 2009년 COP15에서 선언한 2020년 기준 중기감축계획의 감축목표 및 결과

- 2020년 BAU(7.76억톤)대비 30% 감축으로 2020년에 5.43억톤 달성 선언

- 코로나 영향의 2020년 잠정치(6.48억톤) 대비 **1.05억톤 초과**, 2018년 확정치(7.27억톤) 대비 **1.84억톤 초과**

o 오차 수준이 아닌 '부끄러울 정도의 엄청난 격차'가 발생한 이유

- 단기간에 불가능한 양의 전력수요 절감에 의한 감축량 설정: 비현실적이기는 하나 계산상 오류는 아님

- 전력수요 감축량을 **발전부문의 감축량**(‘발전량믹스개선’ 등)으로 **중복 계산**(0.5~0.6억톤 내외): ‘불가사의한 계산 오류’

- 산업구조상 비현실적인 전력수요의 감축도 문제지만 **이를 중복산정한 것이 더 문제**

cf) 감축량 중복산정을 제외하면 중기목표는 BAU대비 30%가 아니라 **BAU대비 22% 내외**로 하는 것이 올바른 셈법

(조영탁, 전력부문과 온실가스 감축문제, 2016 / 전력수요와 INDC전력부문 온실가스 감축, 2016)

- 불가능한 목표선언의 불이행 및 폐기로 한국은 ‘**기후악당국가**’라는 신뢰 추락과 불명에 감수

cf) 2009년 감축목표의 미이행/폐기 = **한국을 기후악당국가로 명명**

(“South Korea leads list of 2016 climate villains”; https://www.climatechangenews.com/2016/11/04/south_korea_climate_villains/)

2) 2021년 COP26의 NDC 40% 감축안 : ‘중기목표의 기간이동과 비현실적 수치 추가’

○ 감축로드맵 수정안(2018)과 BAU기준의 30년 INDC안

- 30년 BAU(8.51 억톤)대비 37% 감축으로 ‘30년 5.36억톤’ 목표의 로드맵 수정안 마련

* 수정안(2018)은 감축주체/방식의 불명확성을 해결한 것으로 설명하나 내용상 중기목표의 중복산정을 봉합한 것으로 판단됨

* 애초에 감축주체/방식이 불명확한 것은 중복산정을 논리적으로 수정하려는 과정에서 발생한 것으로 판단됨

- 중기목표(‘20년 5.43억톤’)과 로드맵 수정안(‘30년 5.36억톤’)간의 ‘어색한 봉합’: 중기목표의 후유증

* 중기계획(당시 배출량 5.8억톤)이 십년후인 20년 배출량을 5.43억톤으로 설정했으면 이십년 후에는 더 낮은 수치가 나와야 함

* 하지만 수정안(2018)의 30년 국내기준 목표배출량(5.74억톤)은 20년 목표배출량(5.43억톤)을 오히려 상회

* 여기에 해외감축 0.38을 상정하여 국내외합산 목표배출량을 20년 목표에서 근소하게 낮춘 5.36억톤으로 설정(No Backsliding)

○ 파리협약 출범에 즈음한 30년 기준 26.3% NDC 제출

- 파리체제(pledge-and-review)에 따른 NCD 초안은 로드맵 수정안(2018) 수치를 절대량 기준으로 환산하여 제출

- 2018년(2017년) 배출량 대비 26.3(24.4)% 감축목표의 NDC안

* 중기계획이후 다른 논리와 수단이 동원되었지만 내용상으로 수치목표의 내부정합성을 높인 것임

* 논리와 수단의 변경에도 외형수치상으로는 중기목표의 10년 연기의 평행이동에 불과

cf) OECD(‘한국의환경성과검토’, 2017): 30년 대비 37% 감축은 “2009년에 정한 2020년 목표달성을 위한 감축노력을 뒤로 늦춘 것에 불과하다”(신뢰 손상)

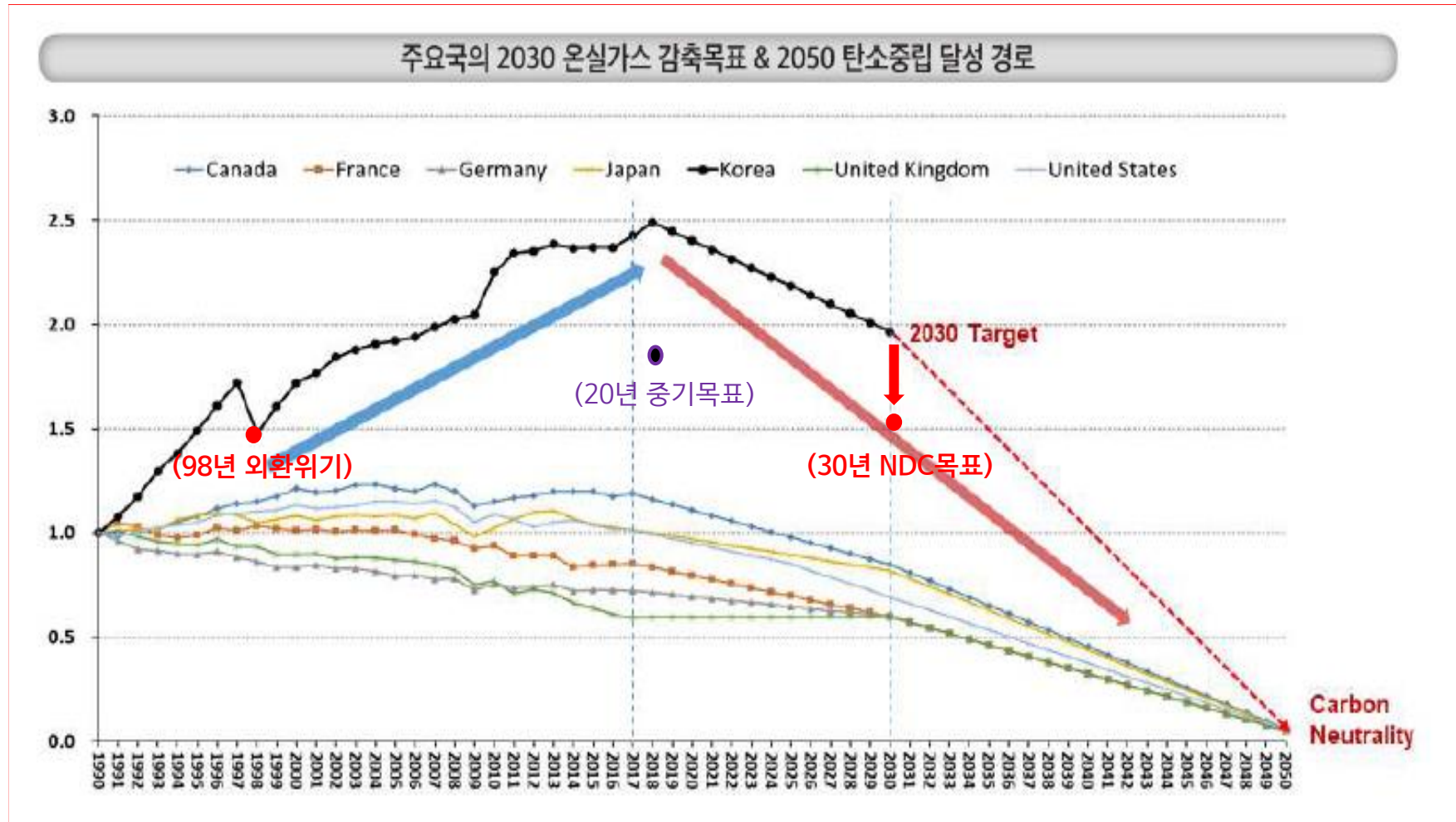
o COP 26에서 2030년 40% 감축의 NDC 서약(30년의 4.36억톤 배출)

- 탄중위 주도의 2050 탄소중립 시나리오 수립과 그 연속선상에서 2030년 NDC 상향논의
cf) 2050 탄소중립 시나리오는 실현가능성보다 스스로 표방한 'Backcasting 방식'에 어긋나는 자기모순이 더 문제
- 35% 이상의 법안 통과와 여기에 5%를 더하여 COP26에서 40% 감축으로 상향한 NDC 서약
- 중기목표의 계산오류를 기간연장으로 봉합한 상태에서 다시 비현실적 허수를 가미하여 목표 상향
- COP 26의 40% NDC안 역시 중기목표와 마찬가지로 기술적, 경제적, 사회적 실현가능성이 떨어지는 허수 포함
cf) 본 토론회의 조홍중(2021) 및 박종배(2021) 참고

o 두차례의 설정과정 진단: 제도 준비와 현실 근거없이 정치적 의지와 당위성으로 감축목표만 높이는 '수치집착 현상' 반복

- 20년 중기목표 및 30년 NDC목표의 결정과정상 유사성
 - * 여러가지 허수들을 포함시켜 수치상향
 - * 실질적인 감축에 필요한 기술, 제도, 시장개선의 노력 및 로드맵 결여
 - * 정치외교적 효과('국제적 책무/도의적 차원', '선진국과 개도국간 중재/가교역할')만 강조
 - 온실가스 감축문제의 무임승차적 특성과 한국의 과감한 수치 설정
 - * 기후변화의 free-riding 및 형평성 문제로 개도국 등 대다수 국가들은 신뢰문제와 비용부담을 고려하여 무리한 감축목표 기피
 - * 한국은 허수까지 포함하면서 비현실적 중기목표('개도국 권고 최대치 BAU30%)와 NDC 목표설정('부속서 선진국 상회의 감축율/기간')
- ➡ 한국은 개도국(중국 등)의 목표상향을 견인할 '외교력'과 선진국(미국/EU)보다 뛰어난 '감축기술/제도'를 갖춘 나라인가? ⁵

〈주요국 대비 우리나라 온실가스 배출추이와 감축목표〉



자료: 에너지경제연구원

2. 반복되는 목표설정 오류의 배경과 원인

1) 국제적 배경: 양적 제한중심의 국제적 감축체제의 결함

o 국제적 강제/협력 메커니즘이 결여된 국가별 양적 제한방식의 한계

- 초국가적 거버넌스(세계정부)가 없는 한 국가별 양적 할당과 강제이행 애로 = 미국 등 탈퇴와 교토체제 중단
- 국제적 협력/유인이 없는 한 개별국가의 NDC방식('pledge-and-review')의 이행 애로 = 파리체제의 불안정성

o 이론적 측면: '개별 기여에 의한 목표달성'의 논리적 결함

- 공공재 게임: '개별 기여'에 의한 '사회적 최적 달성'은 이론상 불가능(윤리/책무 문제가 아니라 문제 자체의 성격)
- NDC 게임: '개별국가 기여'(NDC)'에 의한 '생태적 최적 달성(탄소중립)' 역시 마찬가지임

cf) 공공재의 free-riding이란 문제본질을 생각하지 않고 한국/개도국에 대한 정치외교적 압박/도덕적 비난으로만 일관

cf) 양적 제한의 'Pledge-and-Review'는 '상호신뢰의 국제적 협력/신뢰의 Common Commitment'가 전제되어야 가능(공공재게임의 해법)

cf) 기후변화방지를 위한 모든 양적 제한은 '국제적 공동협력(C/C)'으로 이어지지 못함(Nordhaus, Stiglitz)

cf) 양적 접근의 'Pledge-and-Review' v.s 가격 접근의 'Global Carbon Pricing'(Cramton et al, 2017)

o 현실적 측면1(이중성): '기후변화 방지'와 '세계 정치/경제패권 유지'(Biden: America is back!+ 세계공급망 재구축!)

- 미국/EU연대하에 셰일가스/녹색기술 우위에 기초한 자국의 산업/중산층/일자리유지에 탄소중립을 정치적으로 활용
- 교토체제때와 달리 현재 양적 제한은 배출급증/세계 공급망 중심인 중국/인도/러시아에 타격(ex, 미-중 패권 문제)
- 1인당 누적기준으로 '기후악당'인 미국/EU의 여건 불문한 50년 탄소중립이란 공동전선에 중국 등 개도국 협력/합의 난망

cf) 이재승(2021), 美와 '기후동맹' 강화하며 中 견제(https://www.chosun.com/opinion/specialist_column/2021/07/26/ENRDS7S5BMNBTGKRSGY5ZBKI/)

○ 현실적 측면2 (형평성): ‘공동협력’의 방해요인

- 1인당 (누적) 배출량기준 문제

- * 원칙상 지구공유자원의 인류 1인당 권리 동일
- * 그 기준으로 하면 미국/EU가 절대적으로 불리

- 국가별 배출기준하에서 소비기준(CBE)과 생산기준(PBE)의 문제(‘탄소누출’ 문제와도 관련)

- * 국가 기준으로 하더라도 선진국은 무역을 통해 탄소를 수입/소비하므로 탄소무역수지는 선진국과 무관하지 않음
- * 이를 감안하여 소비기준배출량(CBE)기준으로 산정하면 선진국의 탄소배출량이 증가(그림 참고)

- 국가별 생산기준(PBE)으로 하더라도 국제분업의 해석 문제 발생

- * 국가의 생산기준배출로 하더라도 개별 국가의 배출량은 국제분업의 결과
- * 에너지다소비업종의 선진국-중진국-개도국으로의 이전은 '도덕적 선택'이 아닌 선진국 혹은 개도국의 '경제적/비교우위의 선택'
- * 이를 국제적 책임/윤리적 차원으로 해석하면 환경경제학의 '환경쿠즈네츠곡선'은 '환경무책임곡선'으로 해석해야 함
- * 국제분업하의 다배출 제조업 국가에 대해 미국/EU와 유사한 강도의 감축을 요구하는 것 자체가 불공정(만원버스 타기문제)

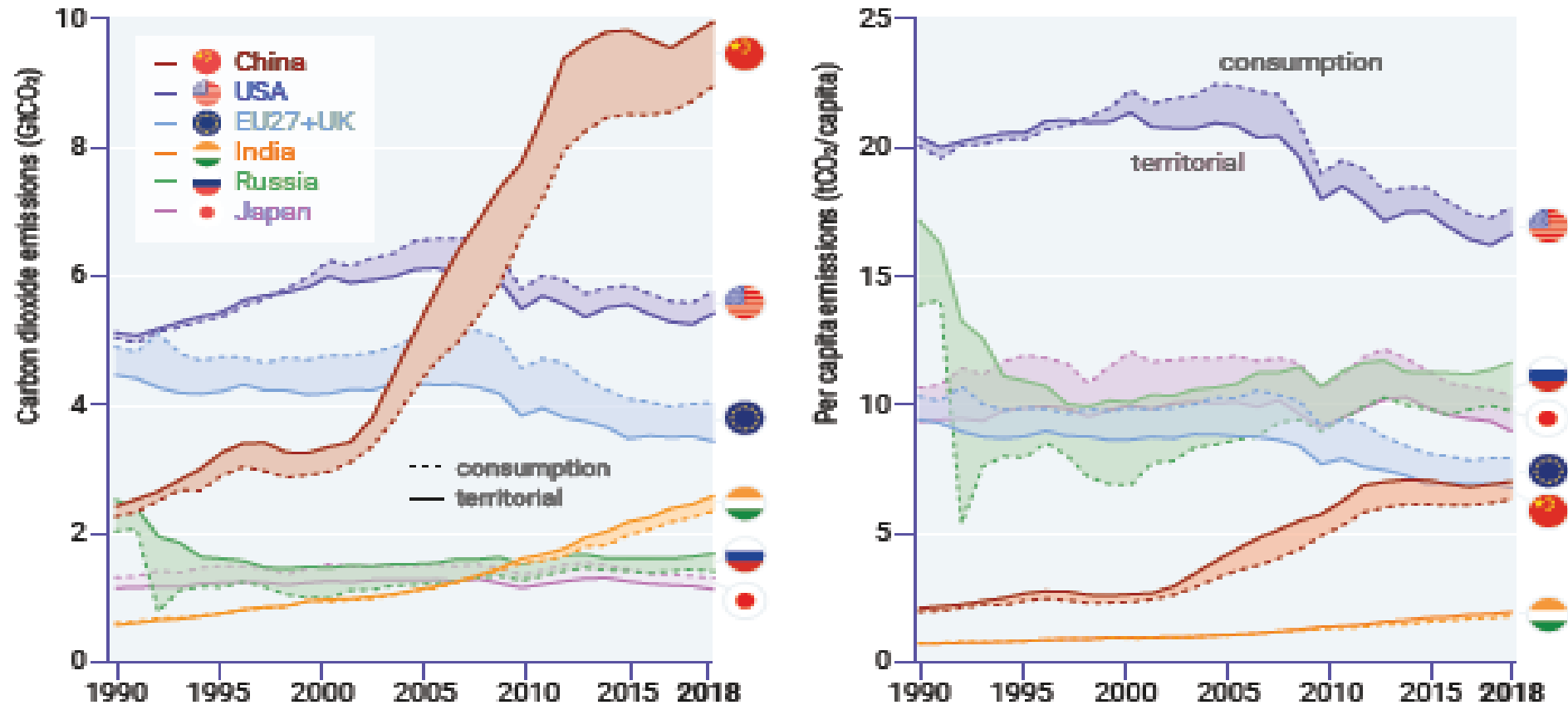
- 정점시기와 탄소중립 도달기간의 불공정 문제

- * 국가별 정점시기 차이/미도달 국가도 있는데 무조건 동일시점의 탄소중립을 주장하는 것은 스스로 강조하는 ‘공정한 전환’와 배치됨
- * 미국/EU는 ‘50년 상당량의 마이너스 배출’을 전제로 2050년 전지구의 탄소중립을 주장해야 할 것임 ⁸

cf) VPP 논리의 불공정성: 기후변화로 인한 피해가 현재 개도국에 더 크다고 개도국의 과감한 감축주장 역시 불공정

〈주요 탄소배출국의 PBE와 CBE 추세〉

Figure 2.3. Consumption-based CO₂ emissions (dotted line) compared with territorial-based CO₂ emissions (solid line) for the top six emitters



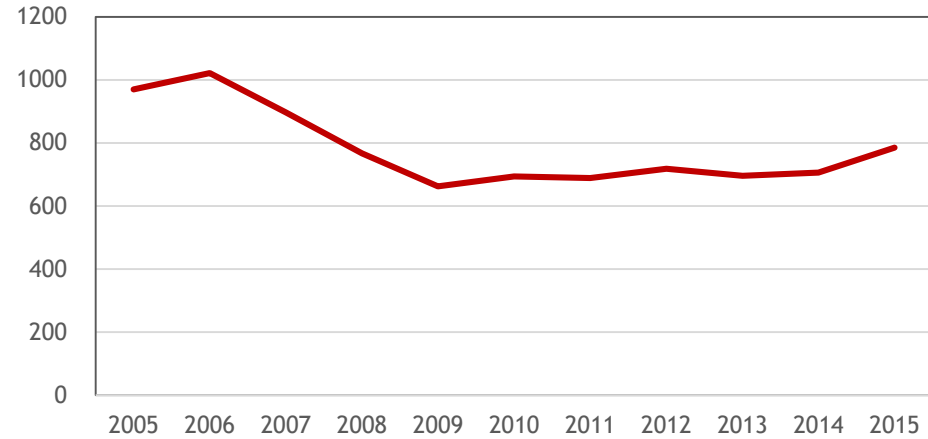
Note: Shading shows the net trade difference for absolute emissions (left) and per capita emissions (right).

Source: Friedlingstein et al. (2019)

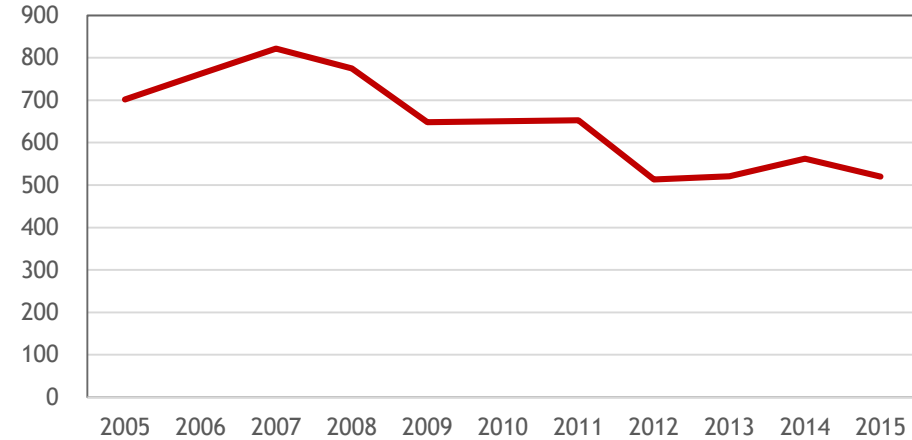
* 자료: UNEP, Emissions Gap Report 2020.

〈주요국가/지역별 탄소무역수지〉

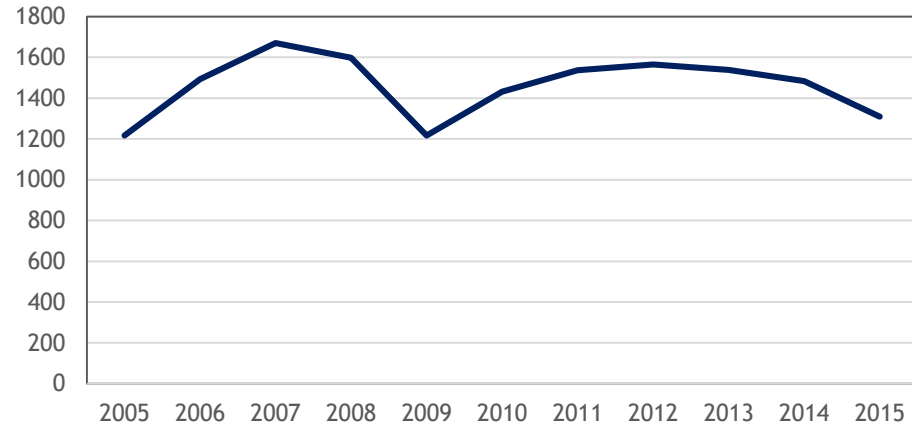
미국의 탄소순수입



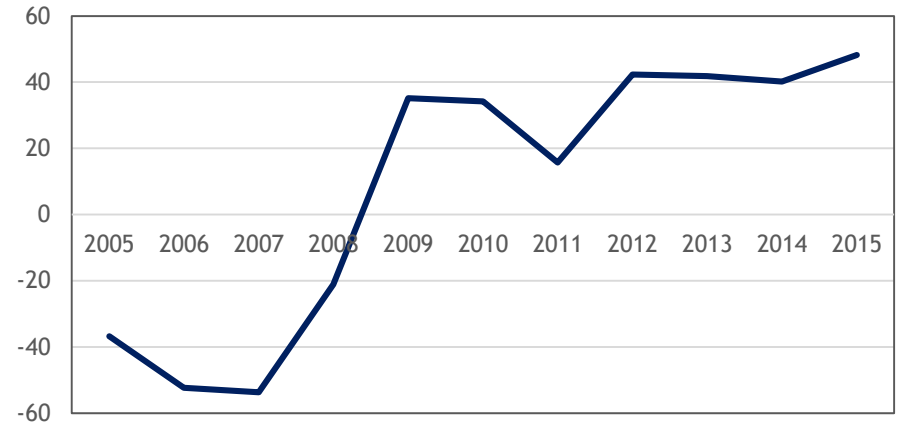
EU15 탄소순수입



중국의 탄소순수출



한국의 탄소순수출



* 단위 : 백만톤

* OECD STAT. Dataset: 2021년 10월 현재

○ 이론 및 현실적 측면에서 본 NDC의 이행신뢰성 문제(‘자발적 기여’와 ‘목표달성’간의 필연적 긴장관계)

- 기후변화의 심각성에도 불구하고 NDC 방식의 불안정성 상존

* 현재 탄소중립압박은 공정성 논란으로 기후문제 해결에 가장 중요한 국제적 협력/유인을 저해

* 파리체제하에서 설령 모든 국가가 탄소중립선언을 하더라도 이행신뢰성 문제 상존(CBAM의 유인/강제효과의 평가/전망 문제)

○ CBAM의 국제적 유인/강제효과: 대응준비는 하되 시행시에는 **선진국/개도국 협력에 부정적 영향** 예상

- 명분: 기후변화협약의 CBDR 및 WTO의 MFN/환경규제 예외조항문제(WTO의 개정? /Climate Club? /무역 전쟁?)

- 설계: 제도설계상 기술적 애로/분쟁 유발(탄소함유량 산정논란, 비가격 직접규제 처리, 디폴트수치의 역차별 효과)

- 효과: 고탄소/저탄소의 시장 양분화(시장분리로 무역의 기술혁신효과 저해), 자동차 등 간접누출 가능성

- 투자: EU-ETS연계의 배출권 변동성으로 인한 탄소혁신 투자 불확실성 및 ‘게이밍 가능성’ 증폭

- 정치: EU의 내부(무상축소 이견), 중국의 관점(무역전쟁 불사), 미국의 관점(탄소비용 ‘입법화 애로’/‘행정규칙 한계’)

cf) S. Koester et al., Unworkable Solution: CBAM and Global Climate Innovation(2021. 9)

Agora Energiewende, EU-China Roundtable on CBAM(2021.5)의 EU, 중국, 미국간의 입장차이

➡ ‘국제협력장치의 부재’와 ‘CBAM의 시행논란’하에서 **미국/EU의 정치적 압박만 지속**

CBAM의 추진(한국의 일부 제품만 해당)이 **비현실적 감축목표 상향 이유가 되지 못함**(산업 관점 ≠ 국민경제 관점)

11

cf) 압박(?) v.s. 유인(!): COP26의 ‘무의미/불공정한 석탄 퇴출압박’보다는 녹색기후기금의 일부로 전세계 석탄발전 대상으로 한 폐지/전환경매제 고려.

2) 국내적 요인: '단기 정치주의'와 '배타적 진영논리'의 문제

① 단기 정치주의

o 집권기간에 한정된 '정치 슬로건'의 영향

- 중기 목표: 저탄소 녹색성장의 영향
- NDC목표: 탈원전 및 에너지전환의 영향

o 동일한 어조로 '정치외교적 효과'만 부각

- 중기 목표: '글로벌 녹색성장의 중심국가 표방', 'GGGI 유치', '선진국과 개도국간 가교역할'
- NDC목표: '한국의 탄소중립의 정치적 의지 표방', 'COP 유치시도', '미국/EU와 중국(개도국)간의 중재적 역할'

o '기조상 과감한 감축목표와 어긋나는 정책고수'

- 중기목표: 과감한 목표상향하에서 'MB물가지수를 통한 전기요금 억제'
- NDC목표: 과감한 목표상향하에서 '전력요금의 공공성/요금통제 강조'

cf) 감축상향과 모순되는 정책기조는 모든 정부에서 반복되는 구조적 성격=실질적인 감축보다 감축선언이란 정치외교적 효과에만 치중

cf) 온실가스 감축에서 '정치의 역할'은 중요하나 '단기 정치주의'는 오히려 장애요인

② 배타적 진영논리

○ 정치진영의 **특정전원 집착**

- 중기 목표: 저탄소 녹색성장의 핵심으로서 **‘원전에 대한 비현실적인 집착’**

* 선언당시 시점으로 2020년 원전의 추가적인 진입은 불가능한 상황

* 장기적으로도 원전 59%는 고립계통망하에서 계통운영 불가

- 40% NDC목표: 탈원전의 핵심으로서 **‘재생에너지의 비현실적인 설정’**

* 발전량의 재생 30%는 입지, 계통망, 백업/저장설비, 비상시 수급대응으로 인해 30년까지 불가능

* 전통설비인 원전과 화력에 대한 배타적 전략은 실현가능성도 없고 사회적 갈등으로 감축의 장애요인으로 작용

cf) 특정전원(원전이든 재생에너지든)에 대한 정치적 집착이 커질수록 실현가능성은 오히려 감소함(부작용/반작용/후폭풍 발생)

○ 상호배타적 태도/사회적 합의 부재

- 중기 목표: **원전 올인**으로 여타 전원과의 믹스 무시

- 40% NDC목표: **원전 및 화력발전(석탄 및 가스복합)에 대한 배타적 태도**

➡ 한국의 온실가스 감축목표는 두번 모두 실현가능성보다 허수를 포함하는 **‘수치 과감성’ 중시**

비부속서국가/BAU기준하의 중기목표 미달성과 달리 **NDC목표 미달성은 파리체제하에서 신뢰 손상 및 비난 가중 전망**

오류를 3번째 반복하지 않도록 하는 ‘특단의 조치’와 30년 감축계획에 대한 ‘플랜 B전략’ 필요

III. 합리적 감축계획을 위한 전제조건: '탄소중립'보다 중요한 '진영중립'!

1. 합리적 온실가스 감축을 위한 선결과제

o 감축목표 오류방지와 합리적인 방안수립을 위한 2가지 선결과제

- 허수를 제거한 수치에 기초한 **플랜B의 전략수립**(실행가능한 수단의 총동원체제)
- 이와 함께 오류방지 및 '3+2'의 제도적 정비(후술)를 논의/실행할 **정책거버넌스 개선 필요**

o **플랜B의 기본방향**(차기정부의 추후 논의를 위한 예시에 불과)

- '규제일변도 감축전략'이 아닌 '신산업/신기술에 의한 성장연계형 감축전략'으로 접근
- '소모적인 수치논쟁'보다는 '생산적인 수단논쟁'으로 논의 중심 이동(제도개선 등)
- 2020년대에는 무리한 감축 및 비효율적 투자보다 '제도개혁 및 기술개발'에 모든 역량 집중
 - * **비전환부문**: 비현실적 목표에 바인딩되기 보다 가용한 기술옵션으로 최대한 감축하고 기술개발에 역량 집중
 - * **전환부문**: 제조업 여력부재로 적극 역할하되 원전계속운전(안전성 전제), 석탄 효율화, 가스복합에 의한 '무지개 브릿지' 전략
- 국내분 달성미달을 보완하는 '해외분의 추가상향 고려' (파리협약 6조의 '협력 메커니즘' 활용)
- '저감문제'에 비해 상대적으로 소홀히 다루었던 '적응문제' 및 '사회안전대책' 강화

cf) 박호정(2021): 탄소중립과 성장간의 균형과 양립과 적응대비의 성장 및 자본축적 중요

2. 온실가스 감축관련의 정책거버넌스 개혁

1) '탄소중립'보다 중요한 '진영중립'

- 탄소중립은 장기간에 걸친 혁신과정이므로 사회적 합의에 의한 긴 호흡의 일관된 의사결정구조가 중요
- 온실가스 감축계획, 국가에너지기본계획 등 최상위 정책결정에 단기정치/진영논리의 영향력 과대
 - 이로 인해 정부교체기 마다 에너지믹스와 정책방향이 급변하는 부작용 발생
 - 해당계획이 전망방식이 아니라 하위계획에 대한 수치바인딩으로 활용되면서 더 큰 부작용 유발
 - 에너지정책은 정부 및 민간장기투자자와 직접 연결되기 때문에 일관성과 장기지속성이 매우 중요
 - 무리한 감축목표 설정의 가장 주된 요인 역시 단기정치/진영논리의 영향
- 차기정부에서는 탄중위 등을 단기정치/진영논리 영향을 최소화하는 방식 필요(예시)
 - 목적: '전문성, 수용성, 일관성'에 기초한 독립적인 사회적 합의 구조
 - 구성: 분야별 전문가(전문성), 다양한 이해관계자(수용성), 집행부처(일관성) 등으로 구성기준의 사회적 합의 마련
 - 운영: 위원 임기를 정부집권기와 엇갈리게 배치하여 위원회의 일관성 유지

2) 정책집행상 '해당부처의 권한강화/연계성 강화'와 '규제와 정책의 분리'

○ 행정부처의 정책집행 권한 및 부처간 연계성 강화

- 정책 실행 및 집행에서 행정부처의 권한 강화('청와대 정부론' 탈피/권력의 분권화에도 부합)
- 부처간 정책의 부정합 방지를 위한 국무조정기능 강화
- 탄소중립정책에서 산업정책-에너지정책-통상정책간의 연계 중요

cf) 탄소중립/저탄소경제 구현에서 가장 중요한 것은 새로운 정책/제도도입이라기보다 이들간의 policy-alignment

○ 규제부서와 정책부서의 분리

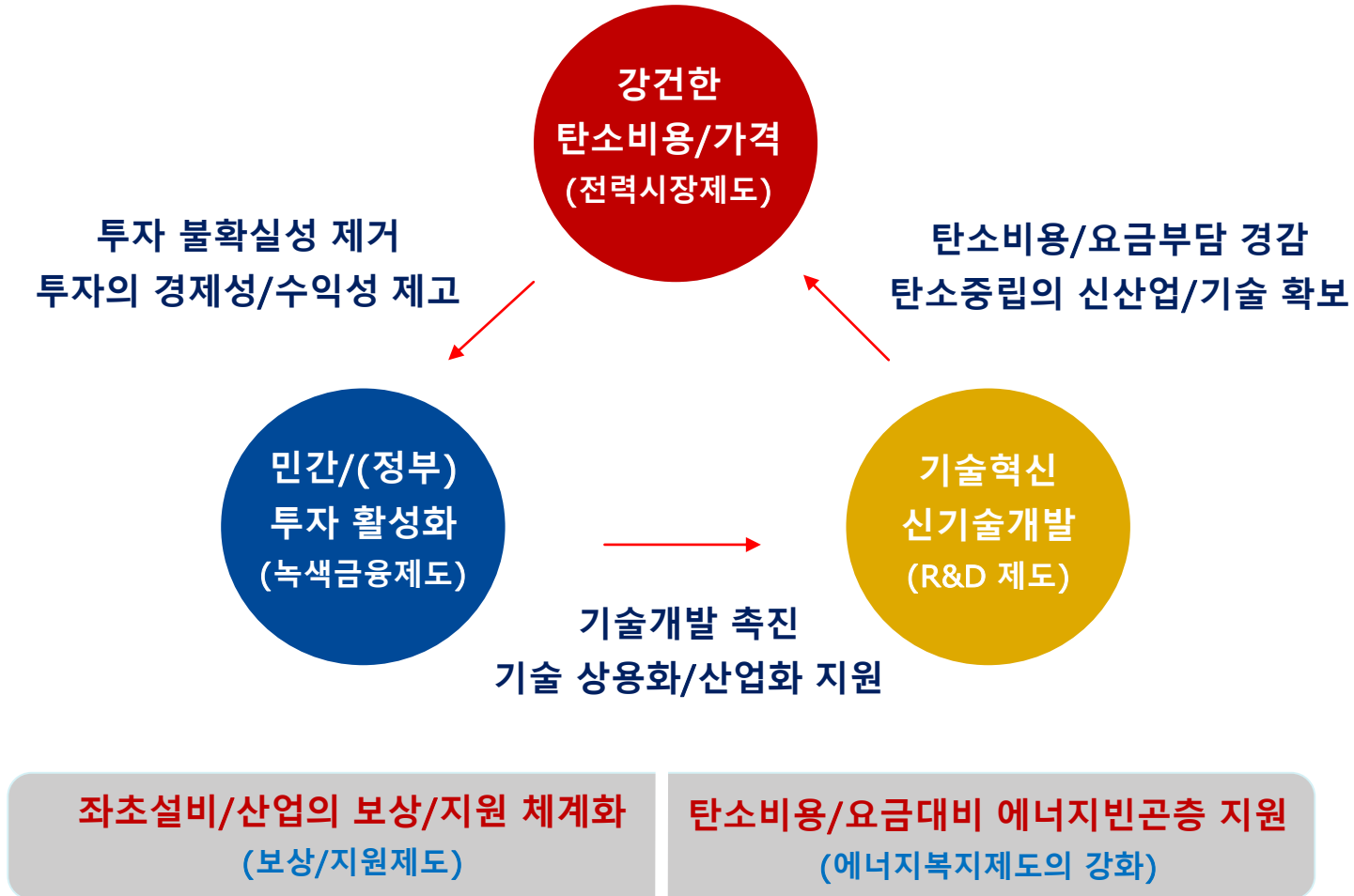
- 전기위원회 등 중요위원회의 확대 강화 및 정부부처와의 독립성 제고로 부처정책에 대한 심사/견제 기능 강화
- 특히 탄소중립의 핵심인 전력 등 에너지요금이 정부의 직접통제하에 있는 한 탄소중립은 매우 힘들
- 과도기적으로 전력요금 등을 독립적인 규제위원회에서 심의 결정(전기요금문제의 정치적 부담 경감에도 도움)
- 전력시장 및 계통에 대한 독립적인 규제 역할도 수행(전력부문 탄소중립에서 계통계획 및 운영은 핵심과제)

➡ '정책 거버넌스'의 개선과 함께 '3 + 2 제도개선' 필요: 개별제도 개선 및 '제도간 연계 효과 중요'

(3대 핵심제도는 '탄소비용+녹색금융+기술혁신'의 연계 효과 중요)

(2대 전환제도는 공정한 전환과 사회적 갈등 축소에 필요한 전환기 보상/지원 역할)

〈‘3+2’의 제도혁신 과제: 공정한 전환에 기초한 탄소, 금융, 기술간의 선순환체계〉



IV. 합리적 감축계획을 위한 제도개선 과제: '3대 핵심제도 + 2대 지원제도

1. 3대 핵심제도: 탄소비용제도, 녹색금융제도, R&D 제도

1) 강건한 탄소비용제도와 유연한 전력시장

○ 탄소비용의 중요성: 온실가스 감축의 충분조건은 아니지만 중요한 필요조건!!! (파이낸싱 및 기술혁신과 직결)

- 전력부문: 저탄소 믹스 및 관련산업 발전을 촉진하고 유연한 전력가격을 통한 수요절약 및 공급혁신 유도
- 비전력부문: 탄소감축을 위한 설비투자 및 파이낸싱(금융)의 전제이자 투자기준으로 작용

○ 특히 에너지전력화의 탄소중립 핵심인 전력부문은 현재 '이중적 제약(시장원가 및 탄소비용)'하에 있음

- 시장제도: '전력시장 및 요금제도'의 유연화/다변화

* 전력, 가스, 열 요금이 정부통제하에 있는 한 '카본 프라이싱'의 수요절감 및 에너지 신기술은 불가능

* 탄소중립/에너지전환의 핵심은 전원구성의 '탈원전'이 아니라 전력시장의 '탈국가'

cf) 전력시장구조의 개혁: 재생에너지 등 무탄소/유연성/분산형자원의 도입에 따른 에너지시장(도소매)/용량시장/AS시장 개선)

- 탄소비용제도: '탄소신호제도'의 정비

* 배출권거래제: 전력부문의 배출권거래제 분리(이중규제 해소), 밴드가격제(탄소세 하한)/거래활성화와 해외연계

* 탄소세: 수송/난방용에 탄소신호에 따른 세율재조정(중단기 세수중립하에서 단계적 세율조정 및 사전 시그널 제공)

2) 녹색금융의 제도정비 및 활성화

○ 녹색금융의 중요성

- 예산제약 및 재정안정성 고려시 재정자금에 의한 투자지원한계
- 실물과 금융간의 불가분관계에서 볼 때 실물경제의 탄소중립전환 및 위험관리에서 금융 역할 중요
- 한국의 경우 에너지부문만이 아니라 금융부문(직/간접금융) 역시 **규제개혁과 선진화의 구조적 애로 상존**

○ 단순 녹색금융상품을 넘어 관련 제도시스템 정비 중요

- 녹색금융의 기준인 ‘K-Taxonomy’ 문제
 - * 국제표준을 따르되 우리의 산업 및 에너지 여건을 반영하는 유연성 필요(가스발전 과도기인정, 원전 문제)
 - * 중립적/포괄적 관점에 입각한 정기적 검토를 통해 기준의 롤링 필요
- ‘심사 및 모니터링’ 기능과 ‘기업정보 공개’간 시기 및 역량 연계
 - * 금융기관의 심사와 모니터링 문제(한국의 금융/자본시장의 취약점/ESG 문제)
 - * 기업의 관련정보 공개/공시의 의무화 문제(중소기업의 대응능력 강화)
- 온실가스감축/녹색투자와 ‘금융건전성’ 문제
 - * 금융위기 이후 강화된 건전성 기준과 탄소/기후 리스크 문제(현행 시나리오로 가면 재정건전성은 물론 금융건전성 문제 가능성)
 - * 탄소중립 프로세스와 금융건전성간의 새로운 정립 필요(BIS, RBC)

3) R&D 체제 개혁

o R&D의 중요성

- 경제성장: 잠재성장을 하락 및 TFP 기여도 저위 타개,
- 기술성격: 4차산업혁명 및 탄소중립으로 인한 기술패러다임의 대전환(융합형/원천형 기술)
- 탄소중립: 현재 기술이 아닌 돌파형 신기술 필요(IEA의 Net Zero 보고서), 에너지 R&D 전략의 중요성
cf) 박진호(2020), 에너지 R&D 전략으로서 OECD(Optimize, Electrify, Capture, Decarbonize)

o 정부주도의 범용/추격형 R&D 체제에서 기술/민간주도의 창의/원천형 R&D체제로 전환

- 기획: 전문가 주도의 전략적 기획 및 자원배분 권한 강화 필요(정부의 과도한 개입/규제 지양)
- 역할: 촉진자로서 정부와 산업체/대학/국책연구간의 역할 재정립
- 과제: 분야별 연계 및 융합형 연구개발 촉진 및 유인
- 진행: 규제에 의한 성과 관리가 아닌 자율/협력에 의한 문제해결/프로세스 중심
- 평가: 전문가의 도덕적 해이 방지를 위한 독립적인 평가체제 구축(국내외의 전문가에 의한 글로벌 평가체제)

2. 전환이행제도: 보상/지원제도와 에너지복지제도

1) 보상/지원제도 마련

○ 온실가스 감축에 따른 좌초설비 혹은 산업전환 발생

- 중단기적으로 가능성이 높은 분야는 전력산업(석탄발전/원전) 및 자동차 산업(전기차 전환)
- 공공/민간의 차이는 있으나 고용문제에 대한 대책 필요(전환배치, 고용조정지원, 재교육 훈련 등)
- 이를 위한 법적 제도와 재정자금 마련 필요

○ 석탄설비의 (조기)폐지/전환을 위한 보상제도정비

- 법률: 폐지의 법적 근거와 제도 마련(독일: 탈석탄법)
- 방식: 폐지경매제와 같은 자율적이고 경제적 유인제도 고려
- 자금: 관련된 보상재원의 마련(기후기금 등 보상재원)
- 고용: 기존 설비 및 협력사의 일자리문제

○ 원전 신한울3/4문제와 계속운전 문제

- 이미 허가가 난 신한울 3/4호기의 추진 검토 및 안전을 고려한 계속운전 고려
- 상향된 NDC로 인한 불가피성 및 관련업계/일자의 업종전환상 시간적 여유제공

○ 자동차 산업의 일자리문제와 전기차 문제

- 전기차 보급과 부품산업/일자리 문제

- * 국민경제상 내연기관 관련 부품업체/일자리(9천여개 업체/22만명 수준)
- * 전기차 전환시 내연기관(부품 2.5~3만개)과 전기차(부품 1.5만개)의 차이로 인한 부품업계의 일자리 축소
- * 부품업체만이 아니라 관련된 주유 및 정비업계의 일자리 축소 전망

- 전기차 보급정책에 대한 조율

- * 전기차의 보급활성화에 주력하되 **현재까지 국내차 수요보다 수입차의 증대로 귀결되는 추세에 유의**
- * 전기차 보급이 시장결정 사안이기는 하나 보급지원정책은 완성차업체의 캐치-업과 부품업체 전환/적응과 연계 필요
- * 전기차 이외의 하이브리드 및 탄소중립 연료개발(e-fuel, 바이오연료) 병행 추진(다양한 기술옵션)

2) 에너지빈곤층에 대한 에너지복지제도 강화

- 탄소비용의 반영 및 우리나라 재생에너지비용 고려시 전환이행기에 전력요금 등 에너지가격 상승 불가피
- 핵심제도로써 전력 등 에너지시장제도의 유연화에 대한 수용성을 제고하기 위한 제도 개선 강화
- 시장기능의 활성화와 ‘가격지원과 직접지원’의 디커플링
- 탄소세와 배출권수입의 일부를 복지제도로 활용하거나 공기업의 복지제도성 출연금으로 보충하는 방안

V. 요약과 정리

- 두차례 온실가스 감축목표는 허수산입(이중계산 혹은 비현실적 수단)에 의한 불가능한 수치로 설정
 - 국제적 협력장치 없이 NDC의 양적 제한을 정치적으로 압박하는 방식이 국제적 배경
 - 다른 나라와 달리 한국의 특수성인 단기정치주의/진영논리에 의한 목표설정이 가장 주된 원인
- 차기정부는 감축목표 및 정책의 일관성과 장기지속성을 위해 이와 관련된 정책거버넌스 개선에 주력
 - 관련 위원회는 ‘탄소중립’이란 미션에 앞서 ‘진영중립’의 위원구성/운영 중요(단기정치/진영논리 영향력 최소화)
 - 해당정책부처의 권한 강화와 에너지관련 규제위원회의 독립성 강화(부처 권한 강화 + 규제/정책의 분리건제)
- 감축관련 거버넌스 개선하에 현실적이고 감축에 필요한 ‘3+2’ 제도개선과제
 - 3대 제도개선 과제: 탄소비용, 녹색금융, 기술혁신간의 제도 개선과 선순환 관계 형성
 - 2대 전환이행 제도: 탄소중립과정에서 발생하는 좌초설비/산업전환에 따른 보상/지원의 제도화/ 에너지복지의 강화
- 국가 감축목표 선언에서 중요한 것은 ‘무리한 감축수치 선언’으로 정치적 의지를 표방하는 것이 아니라 수십년간 표류중인 온실가스 감축을 위한 제도개선 및 사회적 합의를 이루려는 정치적 의지가 더 중요
- 무조건 **‘상향만 하는 감축목표’와 ‘정체된 감축수단’간의 분열증을 끝내는 것이 차기정부의 가장 중요한 과제!!**

경청해 주셔서

감사합니다!!!

차기정부의 에너지정책에 대한 거시경제적 제언

조 홍 종
(단국대 경제학과)

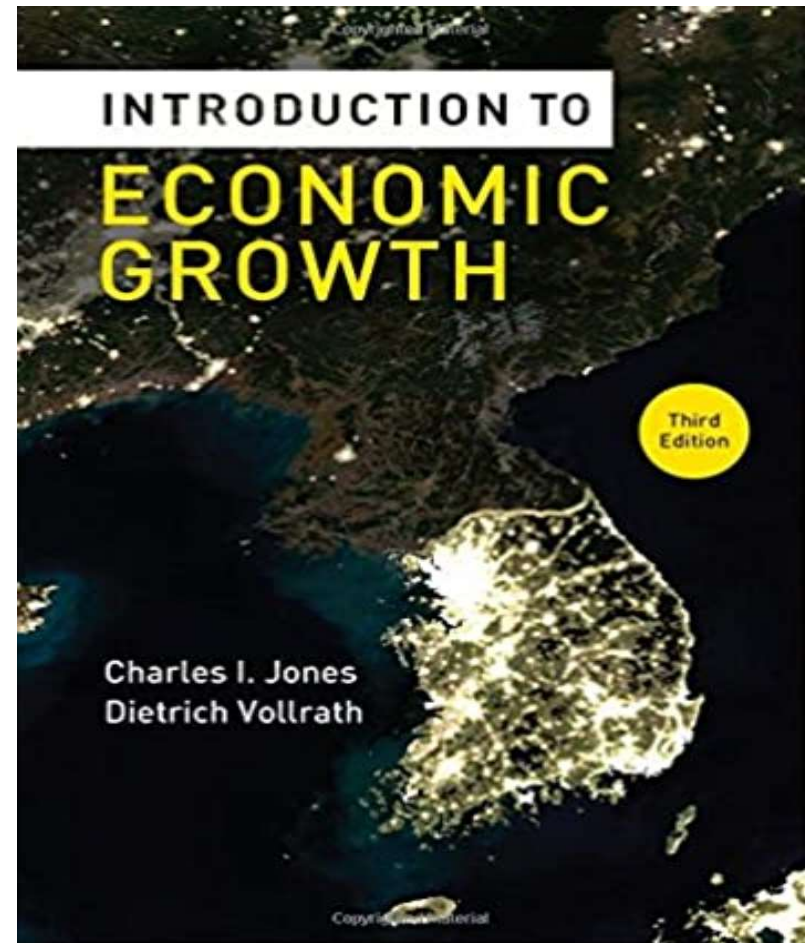
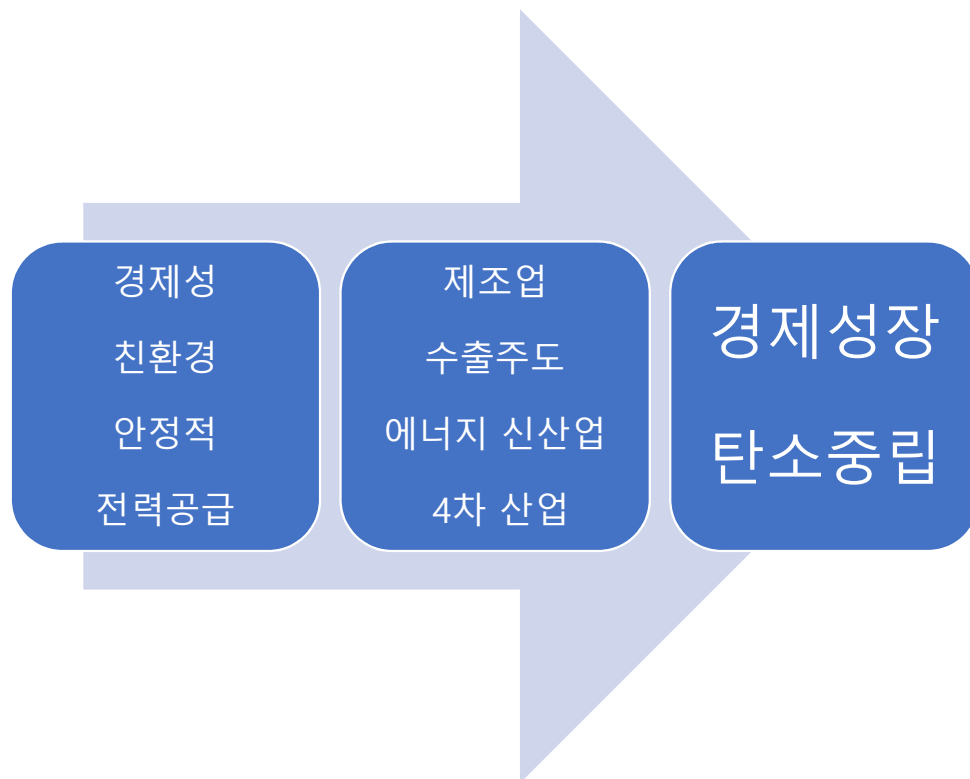
한국에너지학회-한국자원경제학회 제 2차 공동세미나
2021년 11월 18일

목차

1. 들어가며
2. 탄소중립 시나리오 검토 및 문제점
3. 거시경제적 파급효과
4. 차기정부에 대한 거시경제적 에너지정책 제언
5. 결론

1. 전력의 안정적 공급=> 경제성장+탄소중립

- 미국 경제성장론 교재 표지에 한국 사진 등장
- 경제성장과 탄소중립 핵심=전력화



출처: Introduction to Economic Growth By C. Jones(Stanford)

1. 에너지 가격 불확실성 증폭, 국제적 에너지 갈등 첨예화

● 천연가스 가격 불확실성 증가, 풍력감소=>유럽 전력 도매가격 대폭 인상

■ 천연가스 공급 부족

- 코로나로 인한 신규 FID 감소, 기존 FID 지연
- 환경규제 강화, 내전 등으로 대형 가스전 좌초
- 투자미비=> 최소 10년간 가격 변동성 증폭

■ 러시아 등 자원 무기화 가능성

- '21년 1월 극심한 추위, 러시아 재고 확충
- Nordstrom2 가동 지연+장기계약 성사 위한 전략적 행위

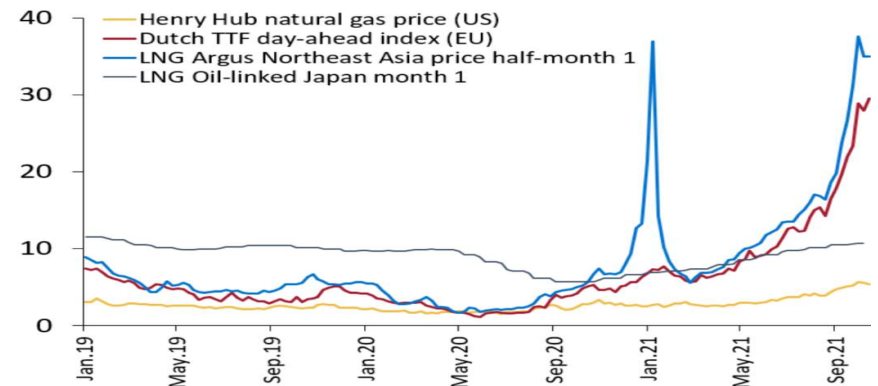
■ 유럽과 아시아의 LNG 확보 경쟁

- 유럽지수와 아시아 지수 동조화
- 유럽 재생에너지의 변동성, 간헐성=>전력난
- 유럽의 탄소중립 과정 문제점=>가격으로 나타남

■ COP26 & EU-Taxonomy

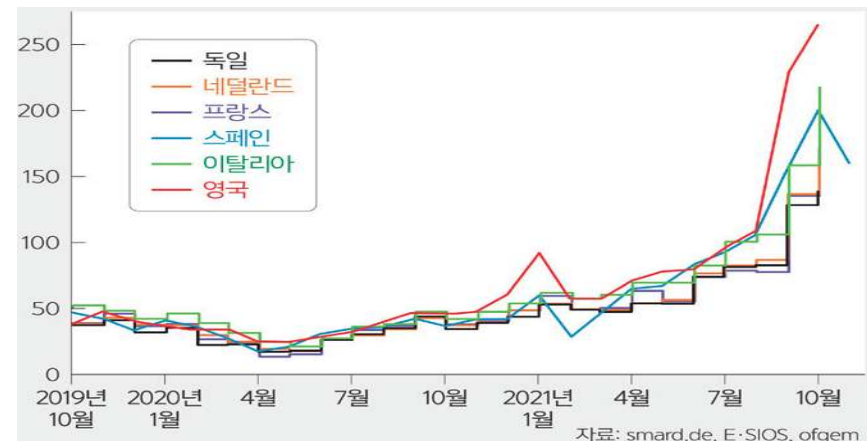
- Agreement of phase down of coal not out
- 원전 둘러싼 국가간 갈등
- 천연가스 청정연료 인정 문제
- 천연가스 둘러싼 국제 분쟁 가능성

< 천연가스 가격 변동성 확대 >



출처: IMFblog, <https://blogs.imf.org/2021/10/21/surging-energy-prices-may-not-ease-until-next-year/>

< 유럽 주요국 전력 도매가격 추이 >



출처: 세계일보(11.15)

1. 요소수 대란: GVC 대 전환기 중국 발 에너지, 원자재 인플레이션 서막

● 국외 원인

- 중국의 석탄 수급 부족: 호주산 수입 금지 및 대홍수
- 탄소중립 강한 드라이브+전력난=> 요소 생산 감소
- 요소 중국내 가격 2배 상승
- 10월 들어 수출 규제 및 통제

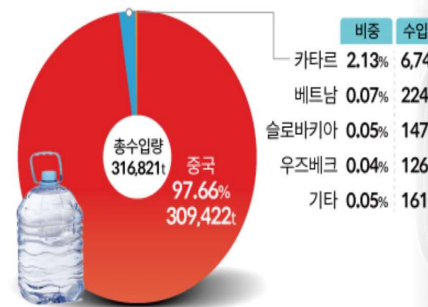


출처: MBN & 조선일보(11.02)

● 국내 원인

- 미세먼지 주범으로 디젤 지목(NOx만 기준 삼음, CO2는 더 적게 나옴)
- SCR+요소수=NOx 감축이 유일한 목표
- 화물차 60% 요소수 필요
- 2011년 이후 국내 요소 생산 업체 전무
- 전량 중국산 수입에 무방비 노출
- 안보적 위협, 치명적 사고, 일상마비

2021년 우리나라공업용 요소수입 현황



출처: 뉴스핌(11.04) & 매일경제(10.27)

요소수 필요한 차량 얼마나 되나

경유 화물차 333만대 중
화물차 200만대 추정

디젤 승용차 200만대 추정

소방차·건설차·크레인 등도 사용

*2021년 8월 말 기준. 자료=국토교통부·업계

2. 2050년 탄소중립 시나리오 검토

● 탄소중립 위원회 2050년 탄소중립 시나리오 A안, B안 발표

- A안: 화력발전 전면 중단
- B안: LNG일부 유지 안
- 전환: 석탄퇴출명시+재생에너지 대폭 확대
 - 재생에너지 비중 A안(70.8%), B안(60.9%)
 - 전기요금 인상+탄소비용 발전원가에 반영
- 산업: 연료전환+원료전환
 - 철강:수소환원제철 100%
 - 시멘트: 연료전환(유연탄->폐합성수지) 100% 전환
 - 석유화학, 정유: 전기가열로, 바이오납사
- 수송: 수요관리+친환경차 보급
 - 수요관리: 승용차 통행량 15% 감축
 - 전기, 수소 철도 100% 전환
 - A안: 전면 전기, 수소화
 - B안: 잔여 내연기관차 E-fuel 대체

< 2050 탄소중립 시나리오 >

구분	부문	'18년	초안			최종본		비고
			1안	2안	3안	A안	B안	
배출량		686.3	25.4	18.7	0	0	0	
배출	전환	269.6	46.2	31.2	0	0	20.7	· (A안) 화력발전 전면중단 · (B안) 화력발전 중 LNG 일부 잔존 가정
	산업	260.5	53.1	53.1	53.1	51.1	51.1	
	건물	52.1	7.1	7.1	6.2	6.2	6.2	
	수송	98.1	11.2 (-9.4)	11.2 (-9.4)	2.8	2.8	9.2	· (A안) 도로부문 전기수소차 등으로 전면 전환 · (B안) 도로부문 내연기관차의 대체연료(e-fuel 등) 사용 가정
	농축수산	24.7	17.1	15.4	15.4	15.4	15.4	
	폐기물	17.1	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	
	수소	-	13.6	13.6	0	0	9	· (A안) 국내생산수소 전환수준에 수소(그린 수소)로 공급 · (B안) 국내생산수소 일부 부생 추출 수소로 공급
	탈루	5.6	1.2	1.2	0.7	0.5	1.3	
흡수 및 제거	흡수원	-41.3	-24.1	-24.1	-24.7	-25.3	-25.3	
	이산화탄소 포집 및 활용 저장 (CCUS)	-	-95	-85	-57.9	-55.1	-84.6	
	직접 공기 포집 (DAC)	-	-	-	-	-	-7.4	· 포집 탄소는 차량용 대체 연료로 활용 가정

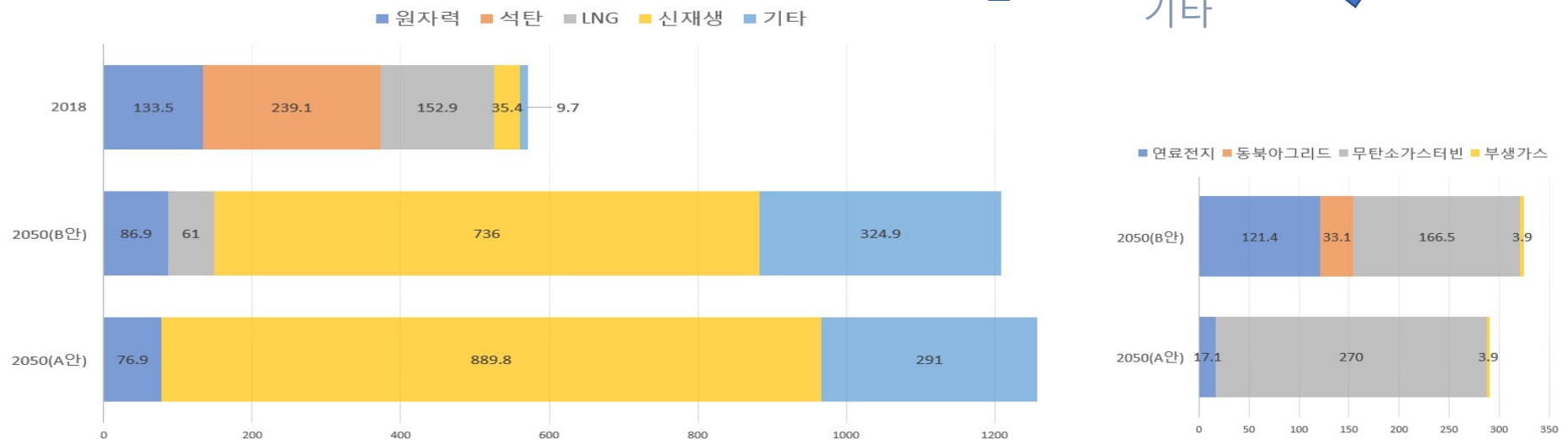
출처: 2050 탄소중립 시나리오 (2021.10.18)

1. 2050년 탄소중립 시나리오(전환부문)

● 2050년 탄소중립 발전믹스 시나리오

- 전력수요: 570.6Twh('18년)->1,208.8-1,257.7Twh 예상('50년), 약 2배 증가=> 전력화 수요 증감요인 분석 선행
- 재생에너지 증가: 20GW('20)-> 태양광 460GW+풍력(60GW)('50)=>재생에너지 물리적 가능성, 경제성 검증
- 원전: 24%('20년)->6-7%('50) =>원전의 역할 확대 검토
- 기타 부문 30배 증가: 연료전지+동북아그리드+무탄소가스터빈+부생가스=> 국제협력과 현실가능성 검토

< 2050 탄소중립 발전믹스 시나리오 >



출처: 저자 작성

원출처: 2050 탄소중립 시나리오 (2021.10.18)

1. 2050년 탄소중립 시나리오(산업부문)

● 2050년 탄소중립 산업부문 시나리오

- A, B안: 80.4% 감축, 260.5(백만톤CO₂)->51.1(백만톤CO₂)

< 2050 탄소중립 시나리오(산업부문) >

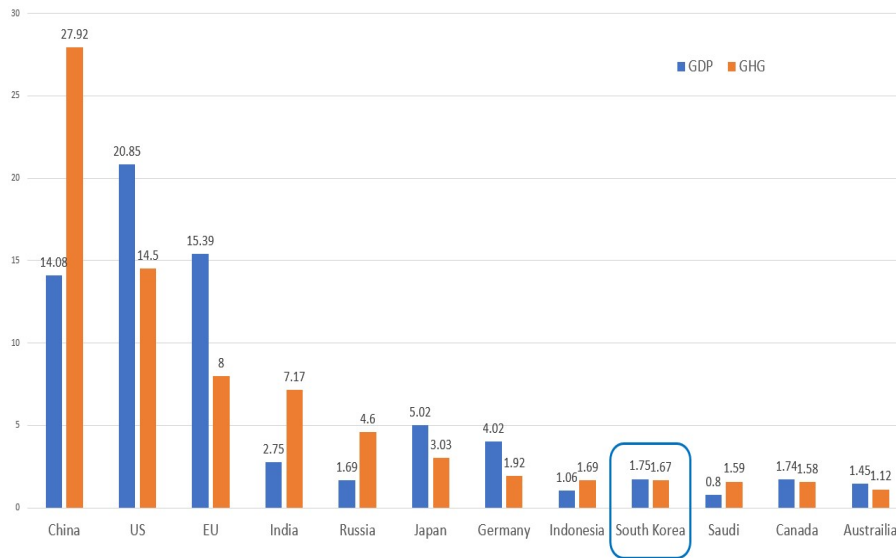
산업	감축비중	방법	문제점
철강	95%	수소환원제철 100 대체	유럽도 시제품 단계, 기술적 성숙도, 경제성 치명적 문제, GVC 변화에 한국이 유리
석유화학·정유	73%	연료전환: 전기가열로 57% 전환 원료전환: 바이오, 수소 활용 납사 대체 52% 페플라스틱 50% 재활용 생산구조 변화: 수소용 연료 축소	수출 2위 품목, 전환 자체가 대부분 불가능 현실성이 없음 급격한 비용 인상
시멘트	53%	연료전환 100%, 유연탄->폐합성수지 원료전환: 석회석->슬래그	대체 불가능, 국내생산 50%+수입 50%=>물가 인상+부동산 안정 불가능
반도체·디스플레이	78%	에너지 효율화 및 불소계 온실가스 저감	수출 1위, 대체 가능 산업이나 비용 증가

2. 탄소중립 목표 설정 적절성

● 무모한 도전+과도한 책임

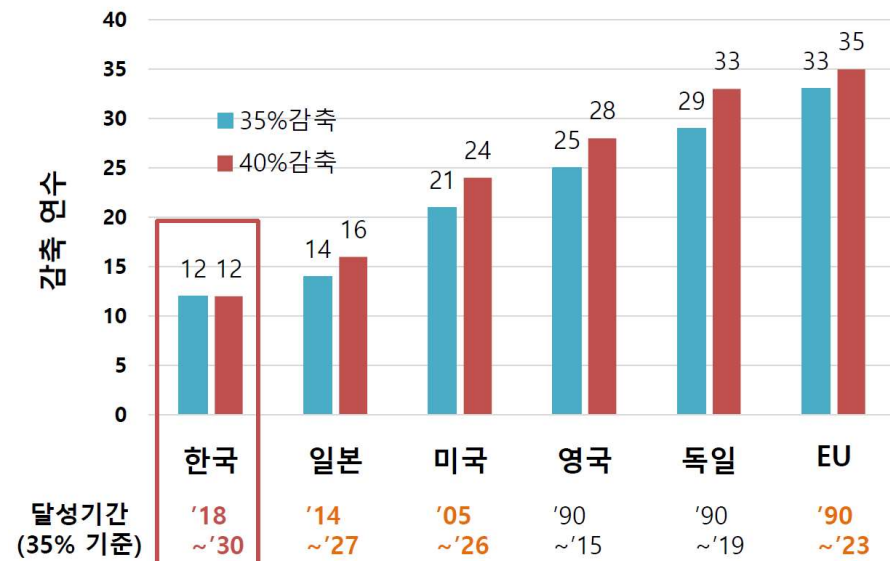
- 한국은 경제규모와 배출량 비중이 비례함
- 미국, 중국, 유럽이 90% 배출량 감소하면 IPCC 기준을 충족함.
- NDC 40% 감축은 한국은 12년 vs 선진국의 30년 이상 감축=> 시간적으로 불가능
- 탄소중립 목표도 기술의 혁신적 진보 없이 무리한 목표

< 주요국 글로벌 GDP 비중 & GHG 배출량 비중 >



출처: 저자작성

< NDC 목표 감축 기간 비교 >



출처: KEI, NRC 탄소중립연구단 6차세미나

2. 경제성(탄소중립녹색성장기본법)

재정수반요인	추계 여부	추계 여부
국가비전 및 국가전략(안 제7조)	○	•추계 가능
중장기 국가 온실가스 감축 목표 등(안 제8조)	×	• 규모 등 추정 곤란
시·군·구 계획의 수립 등(안 제12조)		
분과위원회 등의 설치(안 제19조)		
2050 지방탄소중립녹색성장위원회의 구성 및 운영 등(안 제22조)		
기후변화영향평가(안 제23조)		
온실가스감축인지 예산제도(안 제24조)		
탄소중립 도시의 지정 등(안 제29조)		
지역 에너지 전환의 지원(안 제30조)		
탄소흡수원 등의 확충(안 제33조)		
탄소포집·이용·저장기술의 육성(안 제34조)		
국가 기후위기 적응센터 지정 및 평가 등(안 제46조)		
기후위기 사회안전망의 마련(안 제47조)		
정의로운전환 특별지구의 지정 등(안 제48조)		
자산손실 위험의 최소화 등(안 제50조)		
국민참여 보장을 위한 지원(안 제51조)		
협동조합 활성화(안 제52조)		
정의로운전환 지원센터의 설립 등(안 제53조)		
탄소중립 지방정부 실천연대의 구성 등(안 제65조)		
탄소중립 지원센터의 설립(안 제68조)		
기후대응기금의 설치(안 제69조)	—	• 수입과 관련된 내용이기 때문에 비용 추계 대상으로 보기 어려움
기금의 용도(안 제70조)		
기금의 운용·관리(안 제72조)		

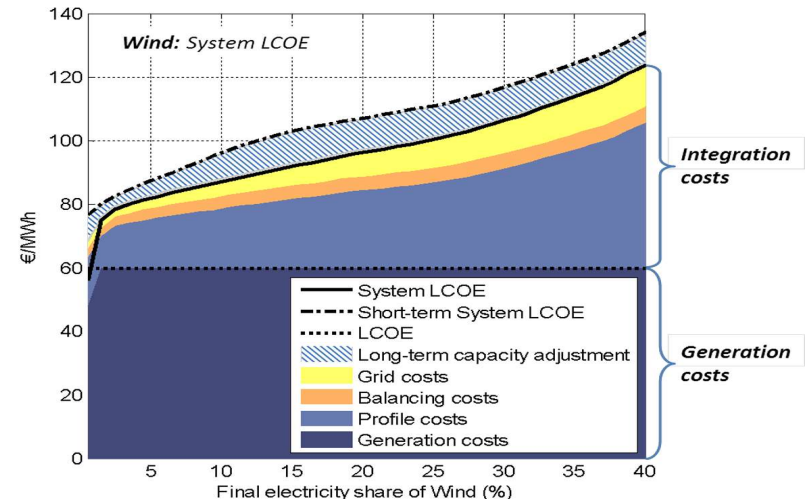
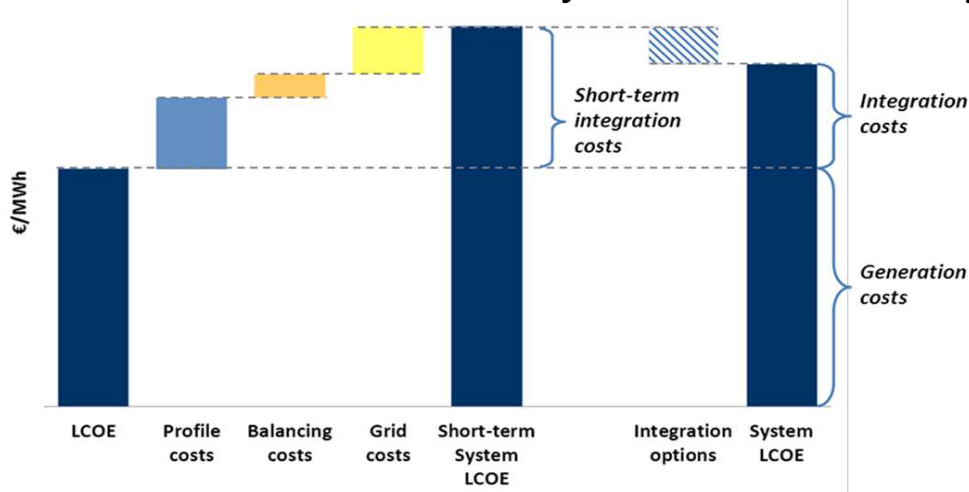
기후위기 대응을 위한
탄소중립·녹색성장 기본법안
【비용추계서 미첨부 사유서】

2. 경제성(비용측면)

● System LCOE ≠ LCOE

- 재생에너지 cost=generation cost+intergration cost
- **Integration cost=profile cost(간헐성)+balancing cost(변동성)+Grid cost(계통연계+부하관리)=>에너지저장 백업 설비+보조서비스 설비, 추가적으로 토지비용+폐기물비용도 제대로 반영해야**
- 국내 재생에너지 잠재력 고려해야 => 해외 LCOE 바로 인용하는 것은 무책임
- System LCOE > 2*LCOE 추가적으로 REC 지급비용=> 재생에너지 투자 대비 효율 매우 낮음, 특히 해상풍력
- 재생에너지 변동성과 간헐성=> 유럽 전력 가격 급등

< System LCOE 개념 & 풍력 system LCOE >



출처: Ueckerdt et. Al. (2013)

2. 경제성(비용측면)

● 에너지 전환 & 신산업 및 효율화 투자 비용

대분류	내용
전력공급	재생에너지 투자(태양광 460GW+풍력 60GW) *신안해상풍력 8.2GW, 48조원, 실효발전설비 2.87GW(35%효율가정)
	저장백업설비(양수+ESS) *ESS=3*solar(태양광 15% 효율가정) 1MW(solar)+3MW(ESS)투자비 15억
	계통연결 및 보강, 송배전망 확충, 변전소
	ESS+변전소비용=787조-1248조 *중앙일보(09.28)
	보조서비스 비용, 컷데일먼트 비용, 토지비용
	폐기물처리비용, 환경복구비용
	주민수용성비용
	동북아수퍼그리드
	-화석연료 감소분

대분류	내용
수소경제	수전해생산설비
	블루수소 생산설비
	수소수입터미널+액화터미널+기화기
	수소충전소
	수소차보급, 연료전지, 수소터빈
CCUS	CO2 포집
	CCU: CO2 화학, 생물 전환, 고체화
	CCS: CO2 운송, 저장
건축	ZEB, 그린 리모델링
	아파트 빌딩 전기냉난방
	에너지 효율향상
수송	전기차 보급, 충전소 등
R&D	수소터빈, 암모니아, 배터리, 자원순환 등

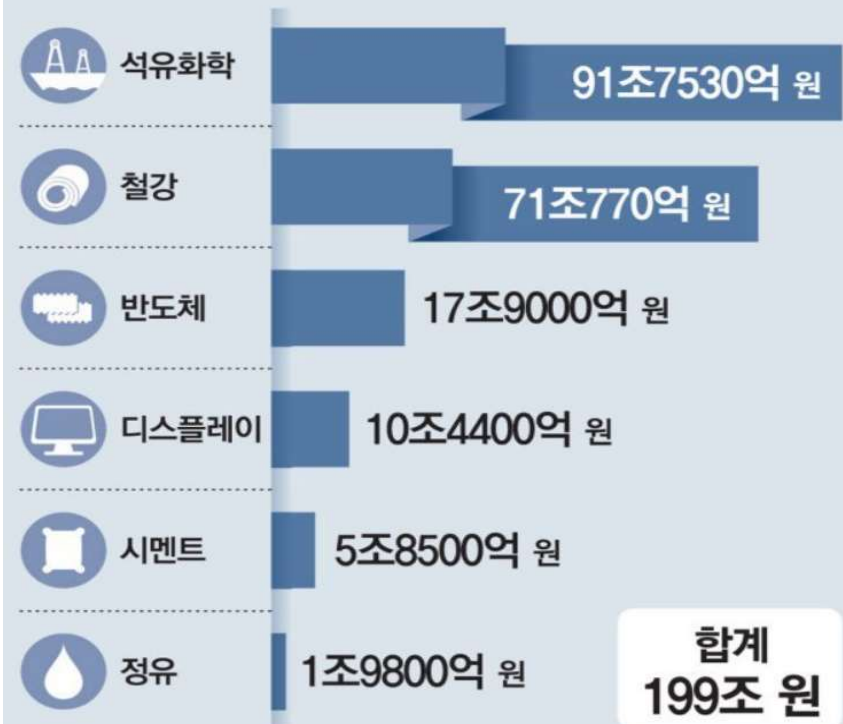
2. 경제성(비용측면)

● 산업전환 비용

대분류	내용
산업공정 및 연료 전환	철강: 70조원 이상 수소환원제철: 고로->수소환원로+수소연료 비용-화석 연료저감 포스코 단일기업 70조 이상 현대제철, 동국제강 등
	석유화학, 정유 총 130조원
	탄소저감기술 개발 3.7조원 석유정제시설 용도변환, 정유공장 무탄소 전환 76.5조원 기존시설 가동중지 및 보일러/가열로 해체 50조원
	도시가스
	도시가스 망자산가치 50조원 개별난방, 지역난방 보일러 교체 및 신규투자.
	시멘트
	연료전환, 공정전환 비용 20조원
	중소기업은 추정불가

주요 6개 산업별 탄소중립 비용 추정치

자본 매물비용 등은 미포함.



자료: 산업연구원, 국민의힘 한무경 의원

출처: 동아일보(11.02)

2. 경제성(비용측면)

● 좌초 비용 & 공정한 전환

대분류	내용
석탄발전	현재 59기 석탄발전 '50년까지 전면 폐지 *신규 발전소 7기 포함
	정책적 퇴출 시에 보상, 지원
	퇴출 지역 보상 및 근로자 일자리 전환
	Carbon Tracker Initiative 추산 120조원 *재생에너지 LCOE 감소를 근거로 석탄 퇴출시기 결정, 현금흐름법, 가정이 매우 빈약함
LNG발전	시나리오상 퇴출 수준
	유연성 자원 활용으로만 가동
	약 180기 LNG 복합화력 퇴출
원전	7% 가량 남기고 모두 퇴출
	계속운전 여부에 따라 좌초 비용 상이해짐
	관련 산업 좌초, 기술 쇠퇴, 수출 경쟁력 하락

● 탄소중립 과정에서 정책변화로 퇴출되는 산업의 보상문제

- 좌초자산(Stranded Asset) 증가
 - 근로자, 관련 종사자, 지역주민에 대한 피해 별도
 - 탄소중립 이행 목표대로라면 LNG 복합발전도 조만간 좌초자산화

● 탄소중립 이행과정의 공정한전환 원칙 확립 필요

- 독일의 탈석탄법 통과('20.7)
 - 갈탄에 43억 5천만 유로 보상지급 실시
 - 석탄대체 비용, 고용조정지원금, 전력요금 상승 부담경감 조치 등 시행 전체적으로 400억 유로 소요 예상
 - 경매방식 활용

● 독일 '38년 탈석탄 완료 예정

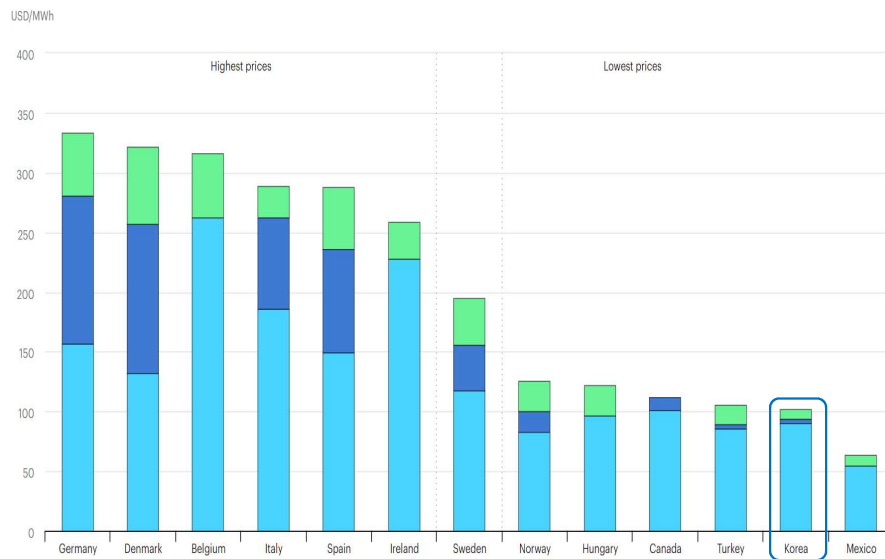
● 스위스 국민투표로 탄소저감법 부결

2. 경제성(전기요금 인상)

● 전기요금 현실화

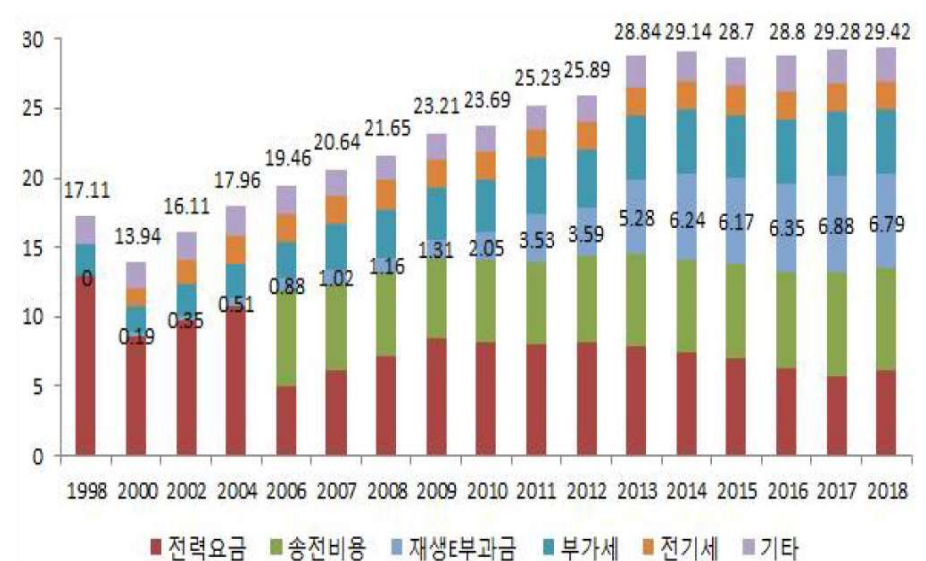
- 전기요금(가정용): 독일 \$0.34/kwh, 한국 \$0.1/kwh, 한국은 전세계에서 가장 저렴한 전기요금 수준
- 독일 에너지 전환과정('00-'18) 전력요금 약 2.5배 상승, 연간전기사용량(3360kwh), 미국(1만2305kwh)의 1/4 수준
- **전기요금 현실화=> 최소 `50년 까지 3배 인상 수용해야 탄소중립 가능**
- 전력요금 독립결정 기구: 미국 FERC(연방에너지규제위원회) 위상의 기구에서 요금 결정(예산, 인력 독립성 보장)

< 주요국 가정용 전기요금('19) >



출처: IEA(2020)

< 독일 가정용 전기요금 추이('98-'17) (유로센트/kwh) >



출처: 에너지공단(2020)

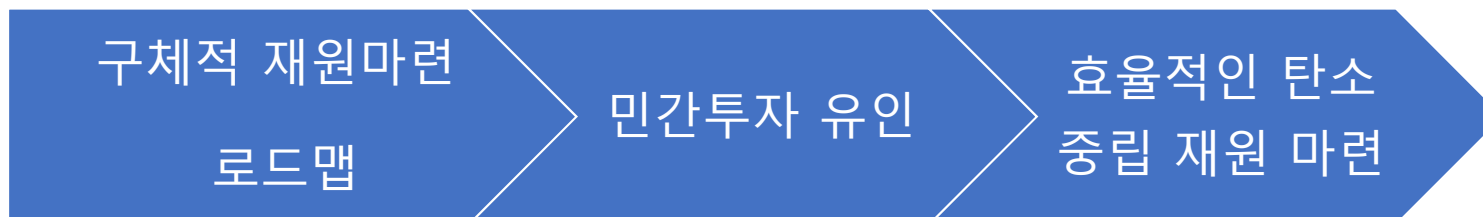
2. 경제성(자원 조달 가능성)

● 자원조달 가능성

- '22년 탄소중립 관련예산 12조원(전체 예산의 2%, 국가 R&D 예산의 40%)
- **재원: 배출권 유상할당(9천억원)+교통에너지환경세금 일부(지속적 감소예정)+전력산업기반기금(연 2-3조원)+에 특회계**
- **새로운 재원이 없으면 불가능**

● 탄소세 도입 필요성

- 기재부: 탄소세 도입 이론적 검토 중, 당장 도입에 신중=> **carbon tax design 연구 필요**
- 탄소세 도입시 기존 세금(법인세 등)조정을 통해 추가 세부담 억제해야=> **세부담 중립적 탄소세**
- 탄소세 환류 방식: 복지적 지출 지양하고 탄소저감 기술에 투자해야 => **탄소저감 기술 투자에 활용**
- ETS 시장의 존폐 및 역할 분담 조정해야, hybrid? Or 탄소세 vs 탄소배출권=> **이중 과세 방지**

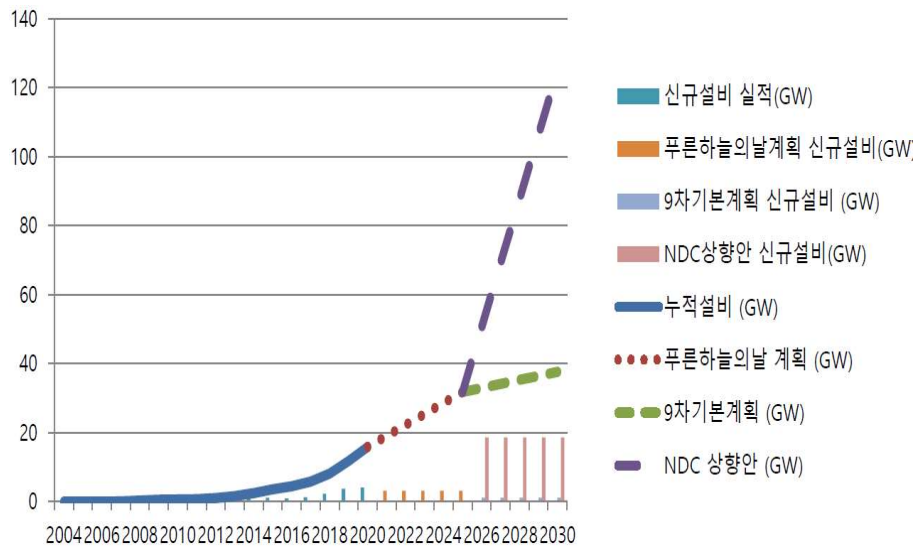


2. 물리적 가능성

● 물리적으로 불가능한 설비 확충 계획

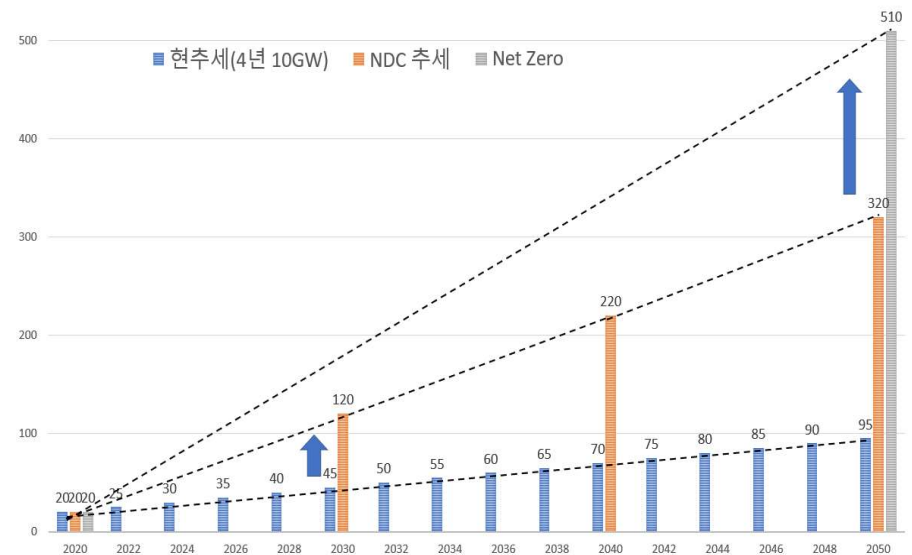
- NDC(125GW), Net Zero(510GW) 재생에너지 설비 확충 계획은 시간상, 물리적으로 불가능
- 현재 재생에너지 설비 확충 속도=4년간('17-'20) 10GW 신규 설비 확충됨
- 태양광 발전 효율이 현재 2배, 30%가 되어도 불가능, 풍력도 마찬가지
- 잠재량 보다 더 큰 목표, 입지 면적 확보는 또다른 난제임=>수용성 문제와도 결부됨

< NDC 재생에너지 목표 검토 >



출처: KEI, NRC 탄소중립연구단 6차세미나

< 재생에너지 목표 비교 >



출처: 저자작성

2. 수용성

● 신규 LNG 발전소 건설의 불확실성 증가

- LNG 발전소 건설이 주민 수용성 문제로 난항을 겪고 있음, 온실가스 문제 상존
- SK하이닉스 청주LNG+발전공기업 하동, 삼천포, 음성, 대전 LNG 발전소 착공 난항 또는 무산 위기
- 지역 주민들 반대로 적기에 착공 불가능
- 현재 건설 중 15.1GW(석탄 7.1GW)

● 신규 대형 원전 건설+사용후핵처리 시설 포화

- 주민 수용성 해결 불가능, 재생에너지 출력 증가 시 감발 할 수 밖에, 국내 원전 부하추종 기술적 어려움
- SMR 등 수용성 높은 기술 고려해야

● 태양광 및 풍력, 해상풍력도 주민 수용성 문제

- 재생에너지도 입지, 산림, 농업, 어업권과 충돌
- 계통연결시 지역 갈등 심화, ESS 대량 증설 부지 갈등

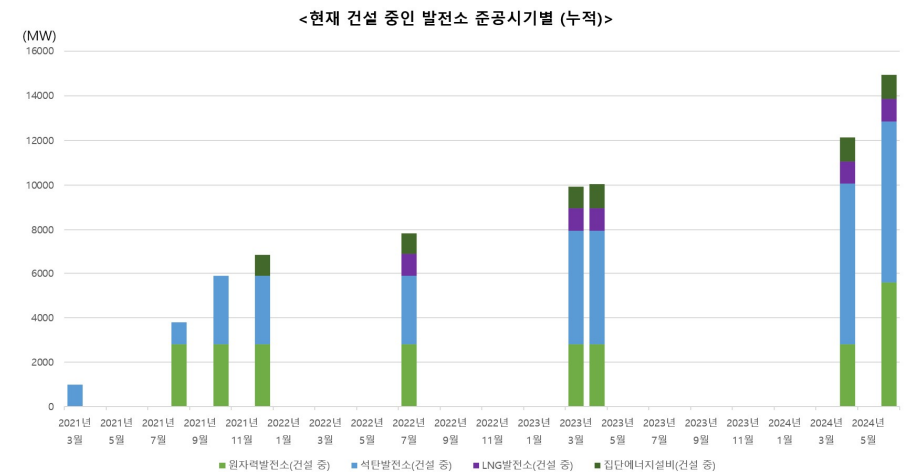
전국서 LNG발전소 건설 표류...대구 LNG발전소 무산

출처: 에너지신문(2021.04.01)

태양광·풍력 이격거리 둘러싼 입장		간척지 토양염도 측정기준	
자료: 산업통상자원부, 각 지자체			
정부	이격거리 제한하는 지자체	현행	지자체 주민 건의 사항
태양광 이격거리 규제 원칙적 폐지 혹은 100m 이내로 최소화 *풍력은 규정 없음	태양광(총 129개 시군) ▶ 전남 신안·구례·장흥군 ①1000 ②500 ▶ 경북 청송군 ①1000 ②500 ▶ 경남 함양군 ①800 ②500 ▶ 강원 고성·영월·정선·철원·화천·횡성군 ①500 ②500 ▶ 강원 양양군·충남 부여 ①300 ②1000 ▶ 제주시 ①200 ②200 ▶ 경기 동두천·파주시 ①100 ②100 ▶ 경기 양주시 ①80 ②50 ▶ 충남 논산시 ①20 ②300	풍력(총 53개 시군) ▶ 경북 봉화군·상주시·영주시 ①2000 ②2000 ▶ 전남 광양시·순천시·영암군 ①2000 ②2000 ▶ 전북 창수군·진안군 ①2000 ②2000 ▶ 경북 구미시 ①1000 ②1000 ▶ 경북 안동시 ①500 ②500 ▶ 충남 부여군 ①300 ②1000 ▶ 전남 나주시 ①100 ②100 ▶ 전남 구례군 ①없음 ②2000	▶ 토양 염도 기준: m당 5.50dS (대사지엔스) 이상인 경우 태양광 발전소 설치 가능 ▶ 측정 대상: 심토(30~60cm)
			▶ 비농사는 지표에서 20~30cm의 땅만 이용 ▶ 염도 측정 대상을 작토층(20cm 미만) 으로 변경해야
		① 도로(m)	② 주거(m)

*대사지엔스: 전기가 통하는 정도를 나타내는 단위

출처: 아시아경제(2021.10.20)



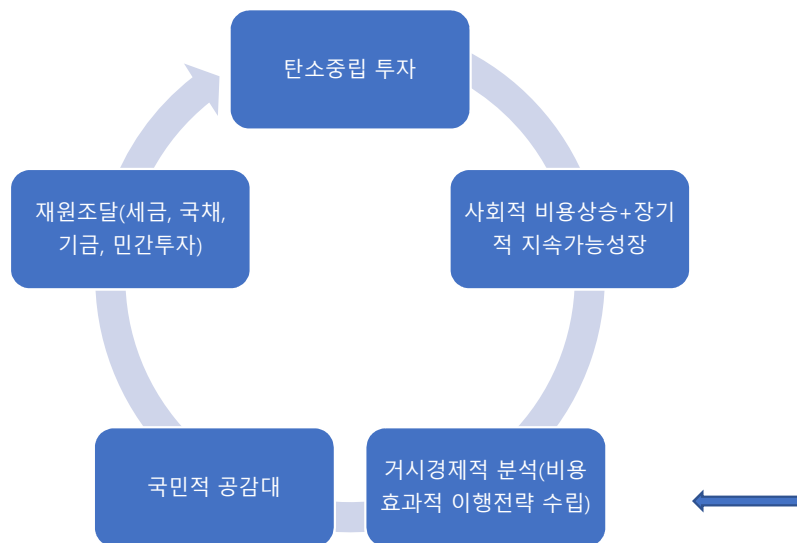
출처: 저자작성

3. 경제적 효과는 경로 의존적임

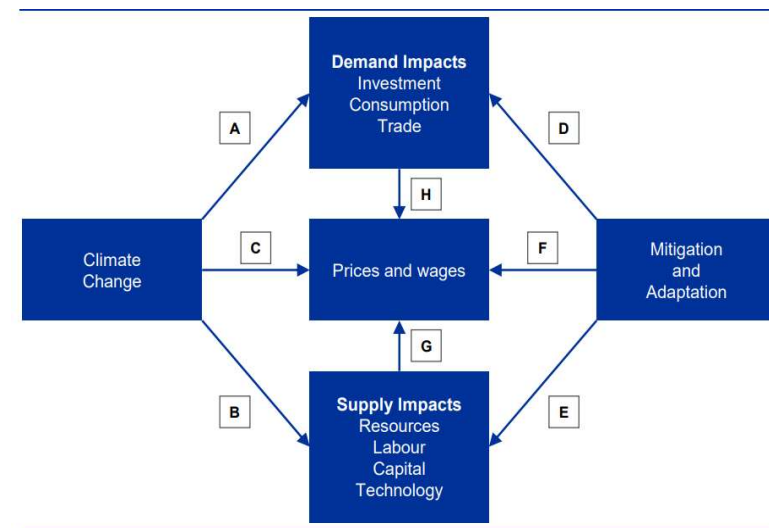
- 탄소저감의 경제적 효과는 투자규모와 방식, 자원규모와 조성 방식 경로에 의존함

- 탄소저감 사회적 비용 추계 및 투자규모, 자원마련 경로 별 효과 분석 필요
 - 단기적 탄소배출 비용 증가로 전력가격 등 에너지 가격 상승=>원가상승, 소비자 물가 상승
 - 장기적인 탈탄소화로 지속가능 성장 확보와 국민적 공감대를 바탕으로 자원조달 합의, 탄소세 등
 - 재원을 적절하고 효율적인 친환경 온실가스 저감 분야 투자에 활용해야 함
 - 기후 변화에 대한 정책적 대응에 대한 경로는 투자, 자원마련 경로 등에 따라 매우 복잡하고 불확실

<탄소중립 투자와 국민경제의 순환체계>



<기후, 정책 그리고 경제와의 방대한 연결 고리>



출처 : European Central Bank(2020)

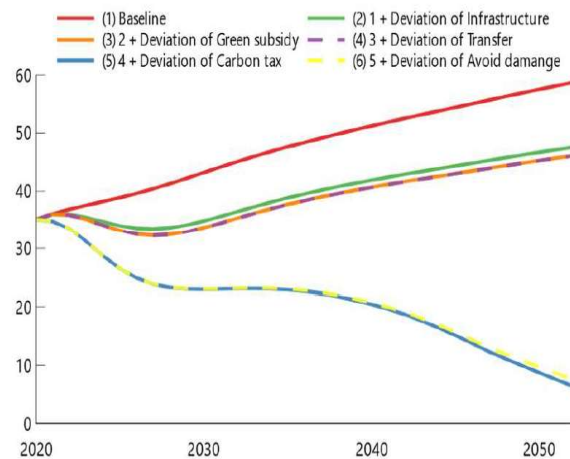
3. 탄소중립 정책조합의 경제적 효과

● 탄소중립을 달성하기 위한 다양한 정책조합의 글로벌 경제 효과 분석(IMF)

- 녹색보조금, 탄소세, 인프라투자, 가계보조(1/4*탄소세), 기후변화피해구조투자
- Baseline 대비 경제 효과: 재정투자 지속적으로 4%/GDP까지 증가 by '50
 - 탄소가격 시나리오: \$6-\$20('21)->\$10-\$40('30)->\$40-\$150('50)
 - 단기적: 그린투자 증가로 15년간 실질경제성장률 0.7% 증가+ 장기적: 탄소가격 부담으로 '50년에 -1% 경제위축
 - 지역별로 OPEC, 러시아, 중국 경제위축, EU 상승 가장 크고, 다른 국가들은 소폭 변동

<탄소중립 정책조합 CO2 감소효과>

Global CO2 emissions (gigatons)



출처 : IMF(2021)

<탄소중립 정책조합 실질경제성장률에 대한 효과>

Figure 4: Global Real GDP

(percent deviation from baseline)

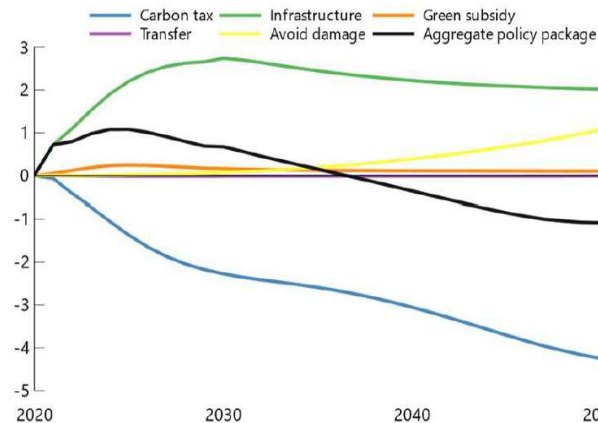
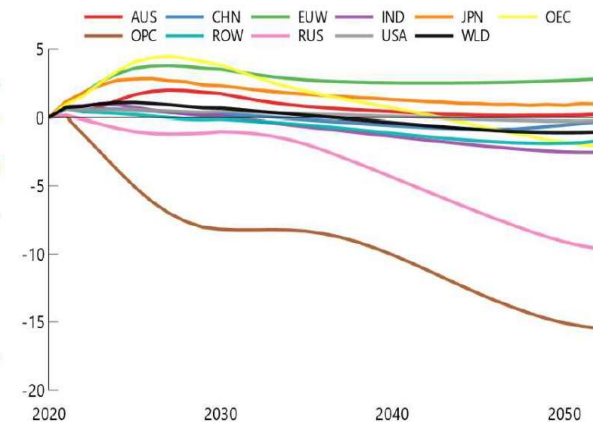


Figure 11: Regional Real GDP

(percent deviation from baseline)



3. 기후정책 거시경제 영향

● 탄소중립 정책이 거시경제 효과(BOK)

- 기후변화 억제 시나리오=>GDP 감소, 소비자물가 상승 for sure
- 탄소저감 투자 방식과 규모에 따라
=> GDP 감소, 소비자 물가 상승의 효과 상이함
- 탄소세 부과 후 저감기술 투자=> 경제 부정적 영향 최소화

〈표 4〉 BOKDSGE 시나리오별 정책대응의 거시경제효과¹⁾

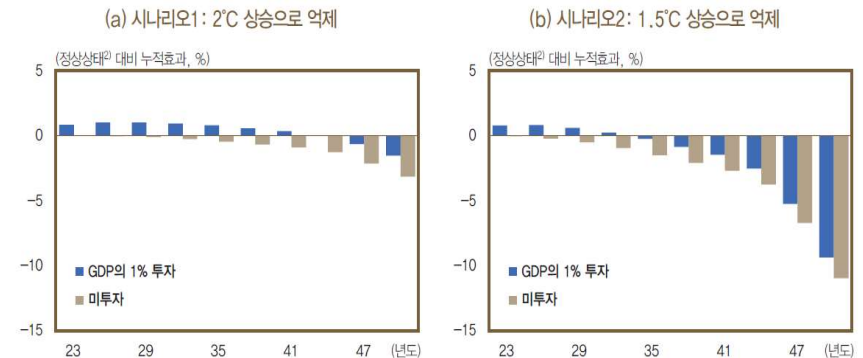
(정상상태²⁾ 대비 누적효과, 연평균, %p)

시나리오	거시변수	2021~2050년 연평균
시나리오 1 (2°C 상승으로 억제)	GDP 성장률	-0.08
	소비자물가 상승률	0.02
시나리오 2 (1.5°C 상승으로 억제)	GDP 성장률	-0.32
	소비자물가 상승률	0.09

주: 1) 탄소포집·활용·저장기술 보급 효과 포함
2) 기후변화 정책대응이 없는 균형경제 상태

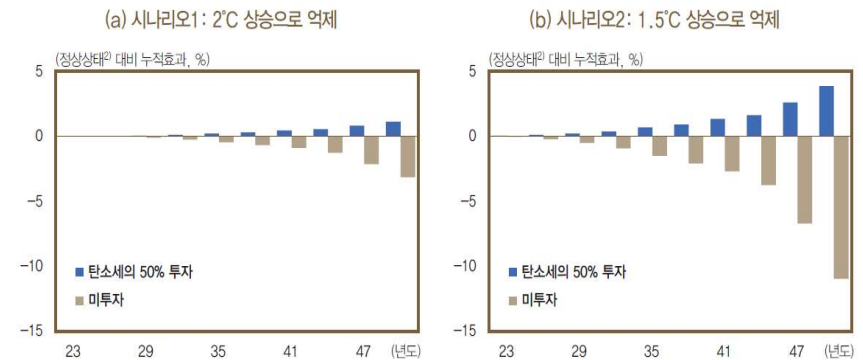
<탄소중립 정부투자 효과>

〈그림 7〉 시나리오A 정부투자의 GDP 효과¹⁾



주: 1) '미투자'는 탄소세 시나리오별 효과, 'GDP의 1% 투자'는 탄소세 시나리오별 효과와 정부투자 효과의 종합 효과를 의미
2) 기후변화 정책대응이 없는 균형경제 상태

〈그림 8〉 시나리오B 정부투자의 GDP 효과¹⁾



주: 1) '미투자'는 탄소세 시나리오별 효과, '탄소세의 50% 투자'는 탄소세 시나리오별 효과와 정부투자 효과의 종합 효과를 의미
2) 기후변화 정책대응이 없는 균형경제 상태

3. 탄소세 DSGE 모형(by 이지훈 & 조홍종)

- DSGE(Dynamic Stochastic General Equilibrium) 모형

정부의 탄소저감

➤ 배출량 변화 함수 :

$$E_{t+1} - E_t = (b_1 \overline{CE})(b_2 \overline{NCE}) - \chi(\tau_{ce} \overline{CE} + \tau_{nce} \overline{NCE}) - \gamma E_t$$

- ❖ E = 배출량(환경오염)
- ❖ 정부는 탄소세 전부를 배출량 감소에 활용한다고 가정
- ❖ b1 = CE가 배출량에 기여하는 정도, b2 = NCE가 배출량에 기여하는 정도
- ❖ χ = 정부의 환경 통제 역량
- ❖ γ = 자연적으로 정화되는 정도

➤ 탄소세충격(AR(1)) :

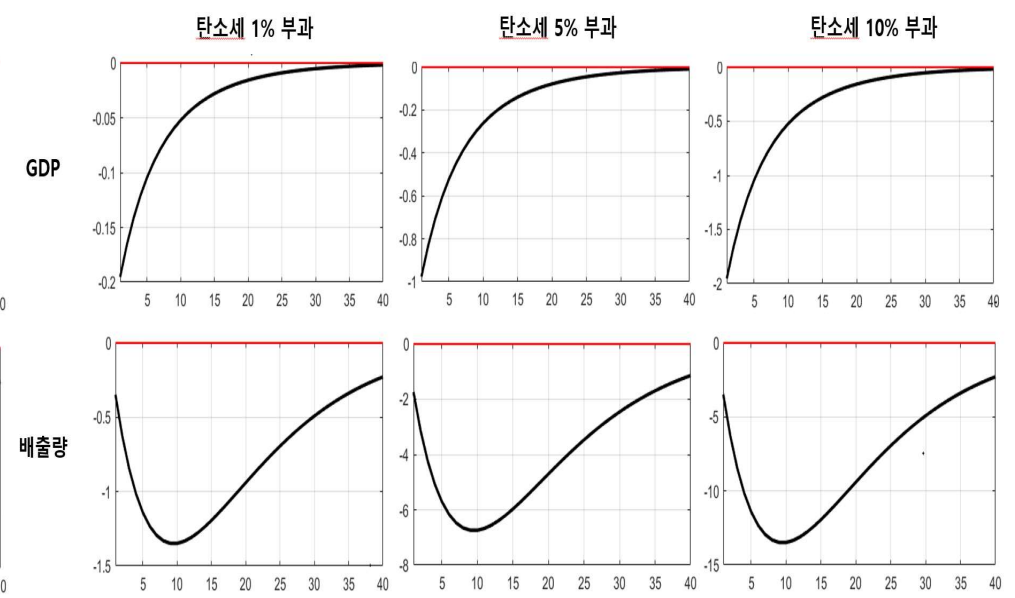
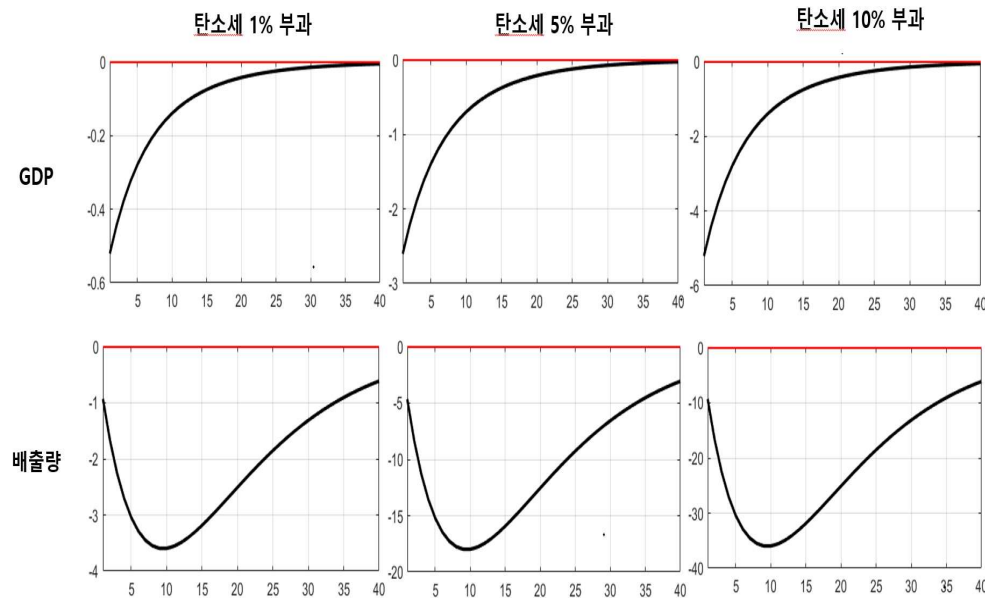
$$\tau_{nce,t+1} = \rho \tau_{nce,t} + \epsilon_t$$

- ❖ τ_{ce} 는 값을 고정시켜 놓고, τ_{nce} 에만 충격을 가함

3. 충격반응분석 결과 (탄소세 탄소저감 활용)

● CE : 20%, NCE : 80% 경제

● CE : 70%, NCE : 30% 경제



탄소경제

GDP 하락+물가인상
+탄소저감

탄소중립 경제

4. 차기 정부의 에너지 정책 목표와 제약조건

- 2050 탄소중립 이행과정을 위한 정부의 역할

- 탄소중립 실현을 위한 최적 이행계획 로드맵 구축(Optimal Transition Road Map)
- 기술, 비용, 자원, 경제적 파급효과 종합적 로드맵 구축(Technology, Cost, Funding, Benefit)

- 정부의 목적함수와 제약조건

Min Net Zero

이행전략 t

s.t by 2050

전환부분: 전력공급 안정성 & 에너지안보 & 재생에너지 확대 & 화석연료 퇴출

재생에너지 한계점 극복: 재생에너지 변동성과 간헐성 극복 & ESS 대폭 확대

신산업투자: CCUS+수소경제 투자 & 경제적 기술성 담보

산업부문: 국내 산업 경쟁력 유지 & CBAM을 포함한 통상적 압력 대응 & 국제 에너지 협력

국민합의: 공정한 전환 & 국민 수용성

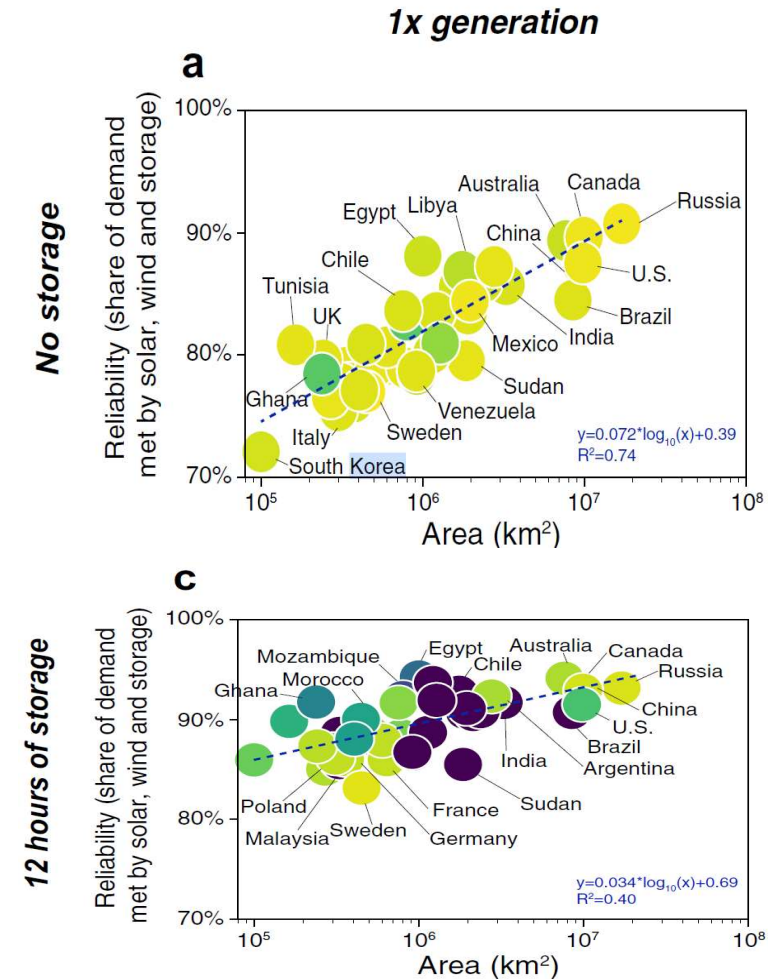
자원배분의 공정성: 충분한 자원조달 & 세대간, 계층간 공평 비용 배분

모든 조건을 만족하는 최적 solution은 존재하지 않음 => 2nd best solution+정책우선순위 결정

4. 최상위 목표: 전력의 안정적 공급

● 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**



출처: Tong et. Al.(2021)

4. 최상위 목표: 에너지 안보

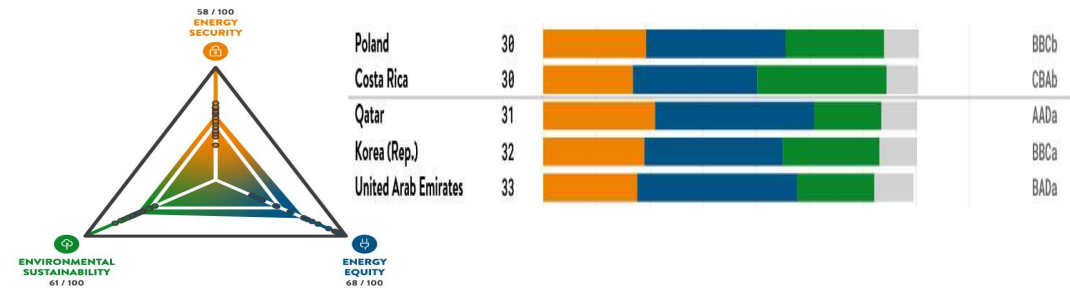
● 에너지 안보: 특히 에너지 공급 안보

- WEC Energy Trilemma Index 발표
 - 3가지 기준: Energy Security, Energy Equity, Environmental Sustainability
- 한국 32위, 해외 자원 의존도 97%
- 화석연료를 당분간 사용+글로벌 환경규제+물량 규제=>가격 변동성 극심해질 전망
 - 연료: 석탄, 천연가스 가격 변동+물량부족
 - 원료: 석유화학 제품 수요는 바이오로 대체 어려워 수요 지속

● 주요 재생에너지 관련 광물자원 안보

- 재생에너지+배터리 관련 인플레이션
 - 전 세계가 모두 재생에너지와 배터리 투자 확대
 - 관련 광물 자원 가격 급등
 - 시장 성숙할 때까지 10여년간 인상될 수 밖에
- 수입선 다변화와 통상적 접근
 - 대부분 원자재, 자원 중국 의존도 높음
 - 전 세계 생산자, 소비자 물가 인플레이션 지속

2021 WORLD ENERGY TRILEMMA INDEX



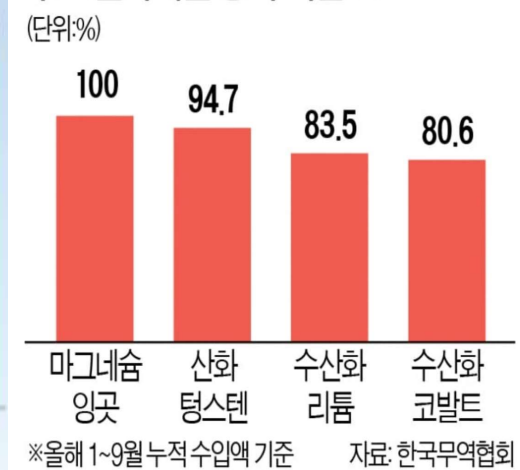
출처: World Energy Council(2021)

주요 광물 가격 추이 (단위:톤당 달러)



출처: 서울경제(10.16) & 한국경제(11.07)

주요 원자재별 중국 의존도 (단위:%)



※올해 1~9월 누적수입액 기준 자료: 한국무역협회

4. 산업부문 탄소중립 속도조절

● 산업의 글로벌 경쟁력 유지 위한 에너지 정책: 경제성장을 포기한 탄소중립은 누구를 위해서?

- 한국의 제조업은 GDP의 약 30%, 산출에서 50%, 수출에서 95% 이상을 점함('19년 기준),
- 전세계 최고 수준의 경쟁력+energy efficiency 최고 수준=>탄소가격인상으로 비교우위 역전, 수출 감소 우려
 - 조선, 반도체, 디스플레이 등은 세계 3위권
 - 자동차, 석유화학, 정유, 철강 등은 세계 7위권 이내
- 글로벌 금융위기, 코로나 19, 원자재 인플레이션=> 제조업이 있어야 타개 가능

[주요국 산업구조 (%)]

(단위 : %)

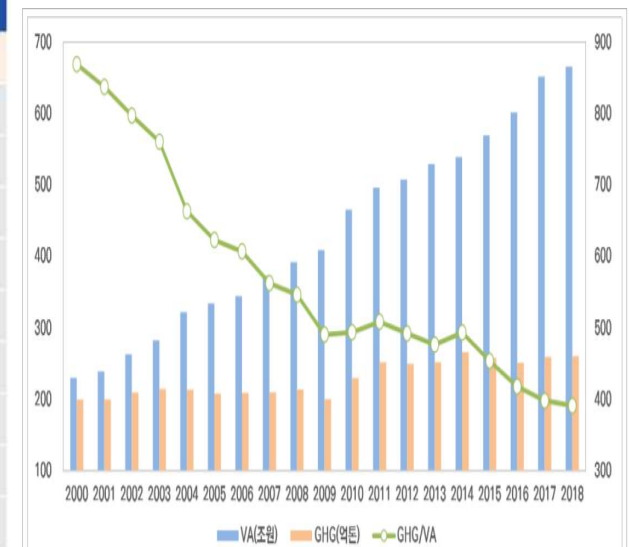
구분	한국	EU	프랑스	독일	이탈리아	스페인	영국	미국	중국	일본
농림어업	2.2	1.6	1.6	0.7	2.0	2.5	0.5	0.8	7.4	1.2
광업	0.2	0.3	0.1	0.1	0.2	0.2	1.3	1.6	2.0	0.1
제조업	28.4	16.4	10.4	20.7	15.8	13.2	9.4	11.0	29.3	20.3
철강·금속·주조	4.1	2.0	1.2	2.6	2.4	1.7	1.1	1.0	3.2	2.6
코크스 및 석유정제품	0.8	0.2	0.0	0.2	0.1	0.3	0.2	0.7	1.0	0.9
화학	2.9	2.4	1.6	2.4	1.5	1.8	1.5	1.8	3.5	2.0
시멘트	0.3	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.8	0.2
기타비금속광물	0.2	0.2	0.1	0.2	0.3	0.2	0.1	0.1	0.3	0.2
(소계)	8.4	5.0	3.0	5.6	4.5	4.2	2.9	3.7	8.8	5.8
고무플라스틱	1.3	0.7	0.5	0.9	0.7	0.5	0.5	0.4	0.9	0.9
유리·자기	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.9	0.2
음식료품	1.3	2.0	2.0	1.5	1.8	2.6	1.5	1.3	4.1	2.4
섬유·의복	1.2	0.5	0.2	0.2	1.4	0.5	0.3	0.1	2.1	0.3
종이·목재	0.7	0.9	0.5	0.8	0.8	0.7	0.6	0.6	1.0	0.9
전기전자	7.4	1.5	0.8	2.6	1.2	0.7	0.7	1.8	5.0	2.8
기계	3.1	2.0	0.7	3.5	2.6	1.1	0.6	0.8	3.1	3.4
수송장비	4.4	2.2	1.3	4.2	1.1	1.7	1.3	1.5	2.6	3.3
기타 제조업	0.5	1.4	1.5	1.4	1.5	1.1	0.9	0.8	0.7	0.4
전기·가스·수도	3.3	2.9	2.6	2.7	2.9	3.2	2.4	2.0	2.8	2.9
건설	5.2	5.1	5.1	4.8	4.6	5.7	5.9	4.0	6.7	5.1
서비스	60.7	73.7	80.2	71.0	74.5	75.3	80.4	80.6	51.8	70.5
총계	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

자료 : IHS, 2019년, 부가가치 기준

<주요 산업의 글로벌 순위>

순위	자동차	조선	철강	석유화학	정유	반도체	디스플레이
1	중국 (27.9)	한국 (37.2)	중국 (53.3)	미국 (21.4)	미국 (20.0)	미국 (48.8)	한국 (41.9)
2	미국 (11.8)	중국 (33.8)	인도 (5.9)	중국 (15.4)	중국 (16.2)	한국 (23.6)	중국 (24.1)
3	일본 (10.5)	일본 (13.0)	일본 (5.3)	사우디 (10.1)	러시아 (7.0)	일본 (9.1)	대만 (20.0)
4	독일 (5.5)	이태리 (4.5)	미국 (4.7)	한국 (5.6)	인도 (6.2)	유럽 (8.6)	일본 (12.8)
5	인도 (4.9)		러시아 (3.8)	인도 (4.3)	일본 (3.7)	중국 (3.8)	
6	멕시코 (4.3)		한국 (3.8)	이란 (4.2)	한국 (3.5)		
7	한국 (4.3)		독일 (2.1)	일본 (3.7)	사우디 (3.1)		
8			터키 (1.8)	독일 (3.3)	이란 (2.7)		
9			브라질 (1.7)	캐나다 (3.1)	캐나다 (2.2)		
10			이란 (1.7)	태국 (2.6)	독일 (2.1)		

[한국 산업의 온실가스 배출집약도 추이]



출처: 산업연구원(2020)

4. 산업부문 투자 확대: 제조업 경쟁력 제고를 통한 글로벌 경쟁력 유지 및 GVC 선점

제조업 경쟁력 제고 투자

- 국내 제조업(철강, 석유화학 등)의 혁신공정 전환하는 생산구조를 고도화
- 저탄소 기술 경쟁력 확보 기술 투자
- 순환경제 이행을 위한 전주기적 탄소절감 이행
- 그린 인프라 확보(전력, 수소 등 연계)

산업계 탄소중 립 비용

- 철강: '40-'50년 수소환원제철 시설로 전면 전환해야 탄소 중립 가능, 동기간 수소환원제철 설치비 51.6조 원+수소 순비용증가 21.6조원('50년 2천원/kg 기준)
- 석유화학, 정유, 도시가스: CCS 기술투자, 연료전지 산업 투자
- 시멘트: 연료 전환 투자

수입대체 투자

- 신재생 투자 부품 소재 분야에서 국산화 투자 필요
- '20년 태양광 모듈 22%만 국산
- 해상풍력 국산화비율 반영제(LCR, Local Content Rule) 시행
- 재생에너지 분야 국산화를 통한 수입대체 유발

4. GVC 전략적 분석과 통상적 대응

● 국제협상과 통상적 대응을 통한 피해 최소화

- EU CBAM(Carbon Border Adjustment Mechanism) 2026년 실시 예정
 - 적용대상: 철강, 알루미늄, 시멘트, 전력, 비료
 - EU-ETS에 연동전망이나 가격 조정 메커니즘 필요
 - '35년 전량 배출권 유상할당=> 100유로/tCO2 돌파 예측
- 미국 탄소국경제 도입 가능성
 - EU와 철강분쟁 합의=> 유럽산 철강 무관세 수입
 - 전국단위 탄소가격제 없으나 탄소국경조정 준비중
 - 탄소세 형태로 도입될 가능성이 큼

● 수입, 수출 선 다변화

- 자원 수입 선 다변화를 통한 자원 안보
 - 가격 급등 시 수입 가능한 수입선 확보
 - 에너지 광물 물류조달 위한 통상적 네트워크 구축과 협상력 필요
 - 수출선도 다변화하여 과도기적 대응력 확보

● 글로벌 VC 변화 기회 포착 및 전략적 대응

- 미국의 중국 압박과정에서 중국의 대응력 약화에 따른 한국경제의 새로운 기회 포착, 생산기지화 및 데이터 거점화

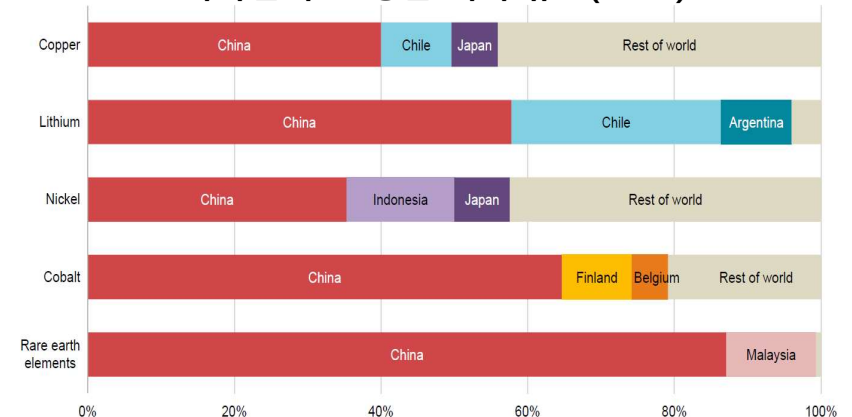
주요국의 대EU 제조업별 수출 변화

(단위: %)

산업	한국	중국	인도	일본	미국	EU	러시아
석유, 의복	0.04	0.2	0.5	-0.03	-0.06	-0.18	0.47
석탄석유	0.01	0.04	0.08	0	-0.01	-0.01	0.08
화학제품	0.13	0.26	0.44	0.05	0.05	-0.07	0.34
1차 철강	-11.36	-22.42	-35.35	-3.39	-3.91	2.9	-23.62
금속 제품	-14.45	-27.23	-42.62	-4.36	-5.01	3.63	-28.74
비금속 광물 제품	0.17	0.3	0.43	0.1	0.1	-0.03	0.48
비철금속	0.31	0.51	0.67	0.23	0.23	0.03	0.85
자동차, 운송 장비	0.23	0.36	0.57	0.15	0.15	-0.13	0.54
전기, 전자	0.15	0.3	0.54	0.05	0.05	-0.25	0.68
기타 기계류	0.41	0.58	0.84	0.3	0.31	-0.17	0.92
기타 제조업	0.17	0.32	0.57	0.06	0.07	-0.11	0.61

출처: 문진영, KIEP(2021)

< 국가별 주요 광물 처리 규모(2019) >



출처: IEA, Role of Critical Mineral in Cleal Energy Transition(2021)

4. 전환부문 투자 확대: 탄소중립 선도 기업 육성으로 지속가능한 성장 동력 확보

에너지 전환 대비 투자

- 석탄발전 감소 및 조기 폐쇄로 인한 전력 가격 상승 대비
- LNG복합화력 발전소 신규 건설
- 노후발전소 조기 폐쇄, LNG발전소의 적기 착공 위한 수민 수용성 확보 비용
- LNG복합화력의 정지, 재가동 비용 증가 해결(보조서비스 시장 보상 확대)

재생에너지 투자 확대

- 태양광, 풍력발전설비투자 확대
- 에너지 저장장치 투자: ESS, 양수, 그린수소 투자
- 재생에너지 증가로 인한 계통보강비용 투자, 보조서비스 전원 비용 지불, 폐기물비용 등 추가 투자
- 전력거래 시스템 선진화와 중개시장 활성화를 통한 분산형 전원시장 확대

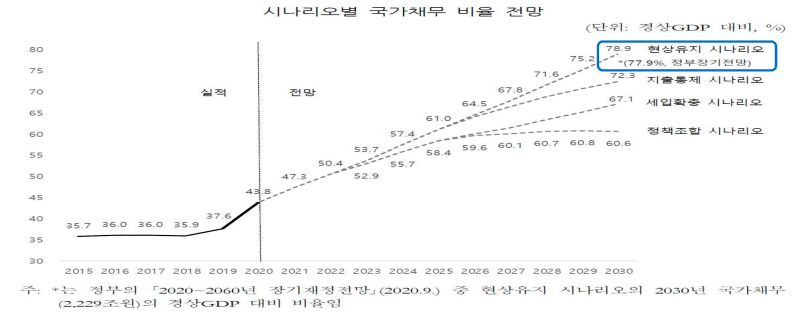
신시장 개척

- 수소산업 활성화: 수전해 경제성 확보와 수전해조 설치 공간 문제 해결, 수소에너지 기술 개발, 국내 대기업과 공기업 협력, 해외 수소시장 진출
- 해외 재생에너지 발전사업 부문 진출: 해외 재생에너지 투자, 에너지 디지털 기술 확보
- CCS 기술투자: 현실적인 경제성 확보와 물리적 저장장소 발굴 중요

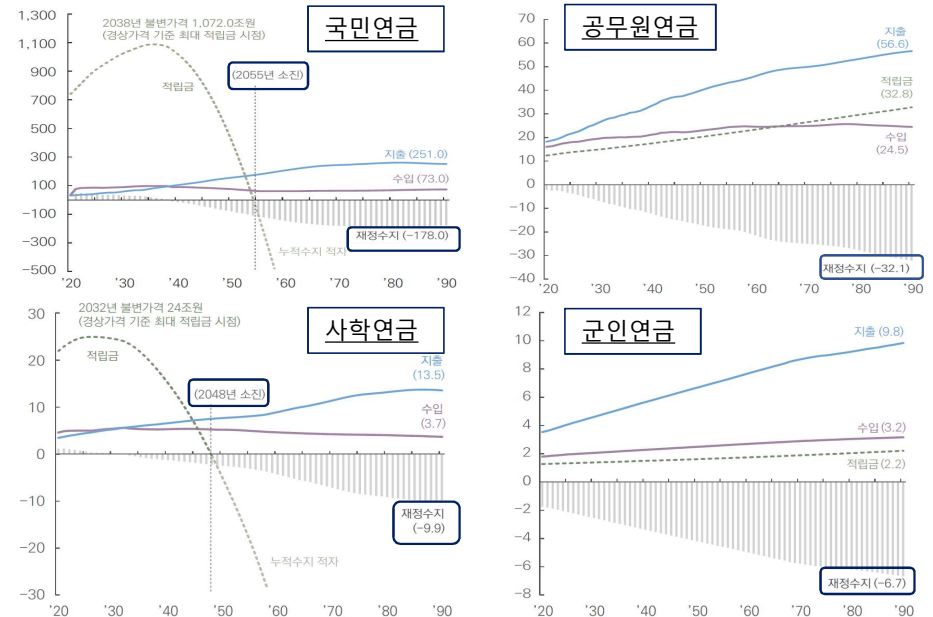
4. 사회변화로 인한 장기재정 건전성 확보

● 저출산·노령화와 국가부채 증가

- 탄소중립 투자 과정에 사회·재정적 변화를 고려해야
- 저출산·노령화 급격, 재정적 여력 파악
 - D1=중앙정부채무+지방정부채= 43%/GDP
 - D2=D1+비영리 공공기관채무=810.7조
 - D3=D2+공기업채무=1,132조 6,000억원
 - D4=D3+공공연금충당부채(1,044조 7,000억원)=2,289조원
=106%/GDP (*국민연금부채는 국가부채가 아님)
- 탄소중립 제외하고 현 재정 정책 유지 시 D1 전망: '30년 78.9%/GDP 늘어남(2배)
- 저출산·노령화 심화에 따라 D4는 급속히 증가할 것임
- 국민연금 부채는 D4에 포함 안됨, 정부가 책임질 것임
- 탄소중립 과정에 무차별한 재정투자는 향후 저출산 미래세대의 부담을 가중시킬 것임(1인당 재정부담 급증)
- 탄소중립 친환경투자는 미래의 경쟁력 있는 산업 창출에 기여하는 투자여야 함
- 기후환경변화에 적응적 대응을 위한 자본축적이 필요



출처: Nabo, 중기재정전망(2021)



출처: Nabo, 4대 공적연금 장기 재정전망(2020.07)

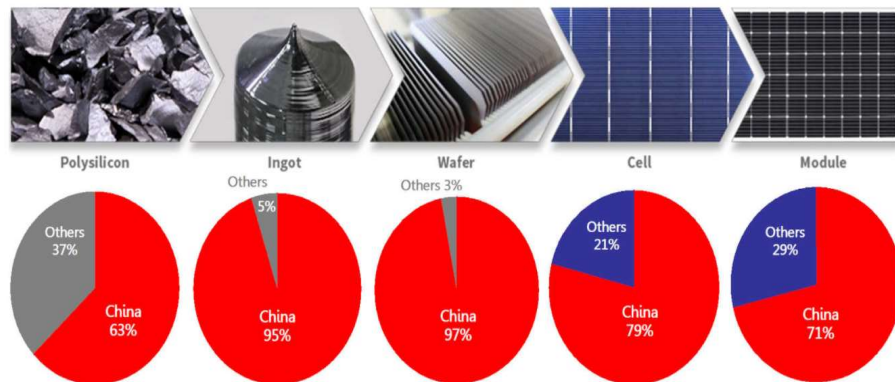
4. 친환경 기술 국산화 및 자원 순환 경제 지원

● 태양광, 풍력 VC 대부분 중국 또는 유럽 독식

- 태양광, 풍력 주요 소재, 부품 국산화 필요성
 - 미국의 재생에너지 증대 딜레마: solar power value chain 대부분 중국산
 - wind도 중국, 덴마크 대부분 차지, 미국 GE 일부
 - 재생에너지 확대 과정의 국산화 절실

< Solar Power Value Chain(2019) >

China's share in production volumes along the solar value chain in 2019



China more or less dominates the solar value chain from polysilicon to panels – Sources: Bernreuter Research (polysilicon), Bloomberg New Energy Finance (ingot), China Photovoltaic Industry Association (wafer/cell/module); Graphic: Bernreuter Research

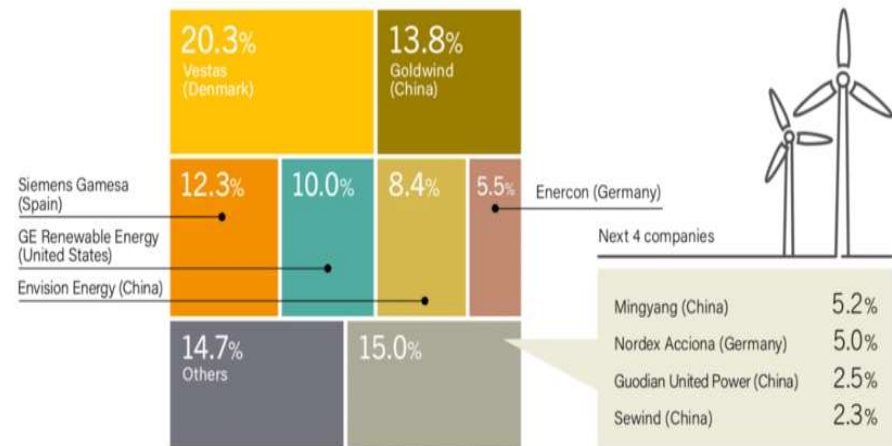
출처: Bernreuter Research(<https://www.bernreuter.com/solar-industry/value-chain/>)

● 자원 순환, 폐기물 재활용 산업 육성

■ 폐기물 재활용 산업화 및 육성

- 플라스틱 재활용율 20%: 대폭확대 필요
- 폐배터리, 폐패널 등 재활용 R&D 지원
- 재생 납사, 플라스틱 열분해유 등 재활용 확대
- 폐자원 활용 인센티브 제도 확대

< Wind Power Turbine Value Chain(2019) >



출처: Ren21 Renewables 2019 Global Status Report(2019)

4. 민간투자 유인+친환경 규제 속도조절

● 장기적 탄소중립은 민간투자 유인 정책 개발로

- 탄소감축 기술 R&D 세제 혜택 및 금융지원 및 인센티브 제도 확대
 - 금융비용 저감: 탄소중립 투자에 대한 저리 상품 개발 및 확대
 - 보증 확대: 투자 risk 감소 위한 보증 확대 및 리스크 관리
 - 세율, 세액 공제 확대: 탄소중립 투자 및 기술 이전, M&A 등 세제 혜택 확대
 - 전환 과정의 인센티브 확대: 연료전환, 공정전환 및 일자리 전환 등에 지원 확대

● K-Taxonomy, K-ESG 부담 완화 방안 마련

- 무리한 선행적 환경 규제의 속도 조절
 - 기업들의 비용 인상=> 결국 소비자 비용 인상 및 국제 경쟁력 하락으로 연결
 - 국내 기업 보호를 위한 글로벌 규제-ε 차이 전략
 - 산업 지원을 위한 규제 완화도 고려
 - 인증, 인정, 공시 등 회계적 행적 비용 감소 위한 지원

● RE100 현실적 가능한 제도 설계

- 현실적 가격 제도 운영
 - 제3자 PPA 가격, RE100 전력 요금 인상=> 국제 경쟁력 하락으로 연결
 - 현실적인 가격 유인책 필요: 기존 요금보다 비싼 가격제 받아드릴 수 없음
 - K-RE100 가격, ETS 가격, REC 가격 등 복합하고 불편한 시장구조 개혁

4. 사회적 수용성 확보를 통한 갈등 비용 감소

- 사회적 수용성을 높이지 않으면 사회적 비용이 추가로 증가함(IEA, 2021)

- 탄소중립과 지속가능한 성장목표들과의 연계를 위한 선행조건들
 - 정책목표와 이행과정의 합치성과 일치성
 - 이해당사자들의 협조
 - 목표결정과정에서 다양한 이해당사자들의 참여 기회제공
 - 효율적인 선후를 고려한 시점적 이행방안 선정
 - 포괄적이고 통합적인 재정전략
 - 모니터링 리포팅 시스템 구축

- 불필요한 사회적 비용을 줄이는 방식이 가장 효율적(IMF, 2021)

- 사회적 갈등 비용 최소화가 가능한 정치적, 정책적 디자인 필요
 - Political cost matters: 탄소세, 국채, 전력기반기금 등 자원마련 국민적 동의, 발전소 입지 수용성
 - Timing matters: 기술적 가격 효율성이 달성되는 시점적 선택이 중요, 기술마다 상이하며 에너지 가격 중요
 - Inequality matters: losing sector to growing sector로 변환, 소외되는 계층과 산업 보호 없이는 불가능

5. 결론

● 전력의 안정적 공급과 에너지 안보 최우선 에너지 정책

- 전력의 안정적 공급과 경제성과 친환경성을 고려한 분산형 에너지 시스템 구축
- 재생에너지 확충에 따른 전력인프라, 백업설비, 보조서비스, 전력요금위원회 등 전반적 에너지 체계 혁신
- 분산형 에너지 시스템 위한 전력, 가스 등 망중립성을 포함한 공기업 개혁과 유연한 시장구조 개혁
- 에너지 안보 측면의 글로벌 시장 모니터링과 자원물자(원자재,광물,부품,소재) 준비태세

● 산업과 거시경제 파급효과를 고려한 글로벌 관점의 에너지 정책

- 한국의 경제·사회 현실을 고려한 목표 설정과 거시경제 파급효과 분석
- 전환부문의 기술 인프라 투자는 미래 지속가능한 성장동력을 갖춘 선도 글로벌 선도기업 육성이 목표여야 함
- 글로벌 경제환경 변화와 산업 경쟁력 유지 위한 목표와 과업 결정
- 탄소국경조정을 대비한 국제 통상적 에너지 시장 접근

● 장기재정 관점의 구체적인 비용 추계와 자원 마련

- 비용과 자원마련 로드맵
- 산업 전반의 효과를 고려한 에너지 세제 개편
- 민간 참여 유도 위한 인센티브 제도(금융, 세제혜택, 기술제공 등)
- 공정한 전환



한국에너지학회 – 한국자원경제학회
제2차 공동세미나 (2021.11.18)

탄소중립 시나리오의 개선 방향 (전환 부문을 중심으로)

건국대학교 전기전자공학부
박종배 교수

글로벌 전력시스템 안정화 관련 이슈

극단적 기상

- 글로벌 극단적인 기상 현상 : 폭염, 폭한, 산불, 홍수, 가뭄, 스나미, 태풍,

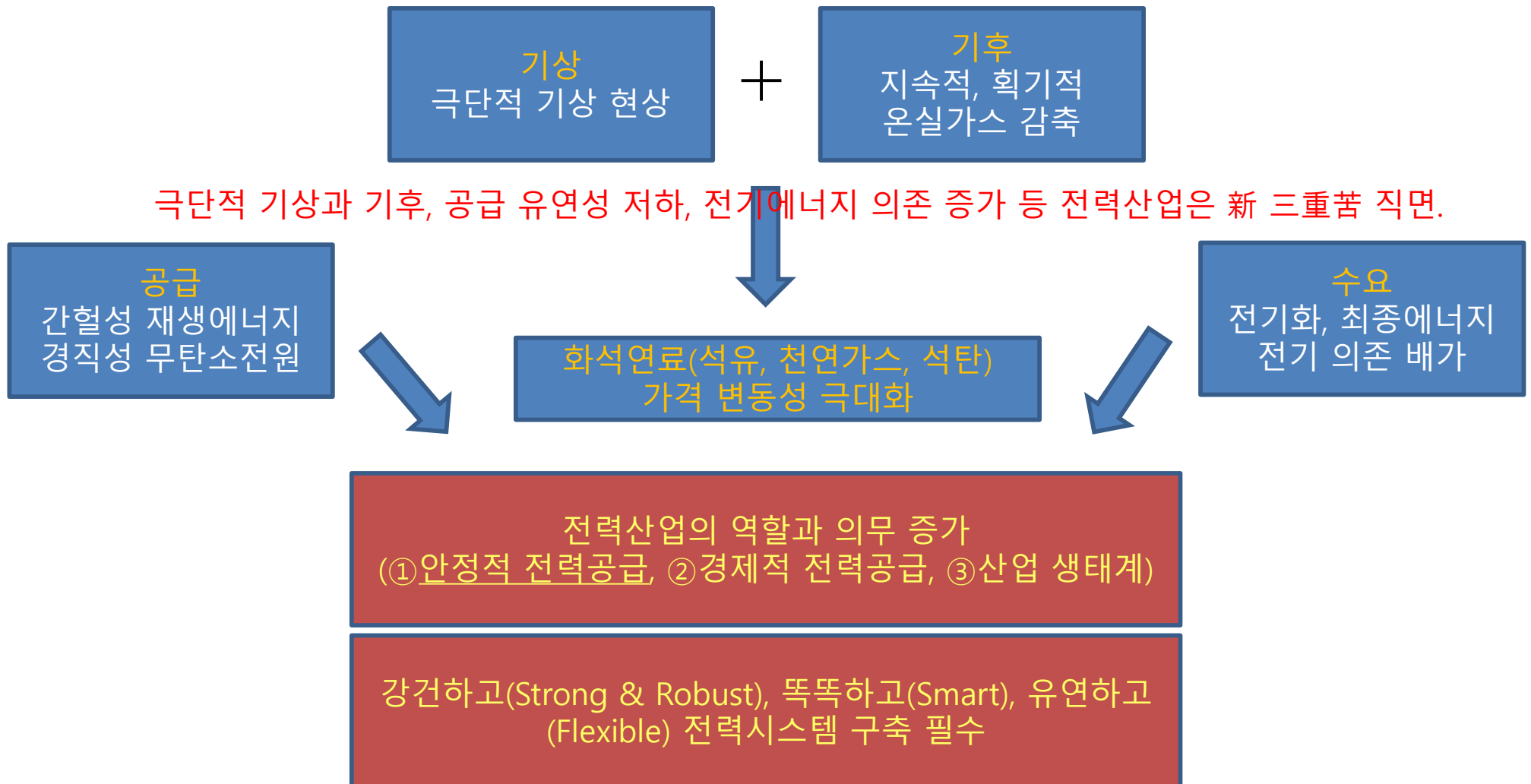
글로벌 전력공급 안정성의 급격한 저하

- 대부분 전력시스템 신뢰도 기준은 10년에 1회의 상황을 바탕으로 구현
➔ 최근 100년에 한번, 심지어 1,000년에 한번 상황도 발생(CA 가뭄)
- 극단적 기상에 따른 공급 실패로 글로벌 블랙아웃 빈발
- HILP(High Impact Low Probability) ➔ **HIHP**(High Impact High Probability) 상황으로 변화 중

지역	일시	1차 요인	2차 요인
미국(TX)	2021. 2.	기상 (한파)	• 규정 미비, 공급력 부족
미국(CA)	2020. 8.	기상 (폭염)	• 수요예측 실패, 공급력 부족
영국	2019. 8.	기상 (낙뢰)	• 낙후된 전력망 운영 규칙
영국	2020. 2.	기상 (태풍)	
호주(SA)	2017. 2.	기상 (폭염)	• 수요예측 실패
호주(SA, WA)	2016. 9. & 2020. 5.	기상 (태풍)	
EU	2021. 1.	기상 (한파)	• 주파수 하락과 송전망 단절 (수급불균형 실패)

탄소중립과 안정적 전력공급

- 기후 및 환경 변화, 수요와 공급 급변, 화석 연료 가격 변동성 극대화 등에도 전력 산업의 안정적이고 경제적인 전력공급의 필요성은 더욱 커짐



지난 40년 전력산업의 평가 (긍정적 평가)

'82년 한국전력공사, '01 발전경쟁 도입으로 전력산업은 점진적으로 경쟁 체제 전환, 전력산업의 역할과 의무를 비교적 성공적으로 수행

● 안정적 전력공급 및 에너지 안보

- 호당 평균 정전시간 : 한국 (8.6분/호), 미국(4.7시간/호), CA(10시간/호)
- '11년 순환 정전 이외 블랙아웃 없음 (CA 정전횟수: 연간 400여회 내외)
- (에너지 안보) 원자력, 석탄, LNG, 신재생 포트폴리오 구성

※ 안정적 전력계통 운영의 근간이 되는 예비력은 화력(석탄,LNG) 및 양수 제공

● 경제적 전기요금

- 선진국 대비 극단적으로 저렴한 전기요금으로 소비자 및 산업 경쟁력 확보
('18 기준 상대비교 우리나라 100, 미국 106, 영국 179, 일본 206, 독일 311)

● 전기산업 국산화와 산업 생태계 확보

- 원자력 및 표준화력(석탄) 국산화, 전통 중전기기 국제경쟁력 확보 등

지난 40년 전력산업의 평가 (부정적 평가)

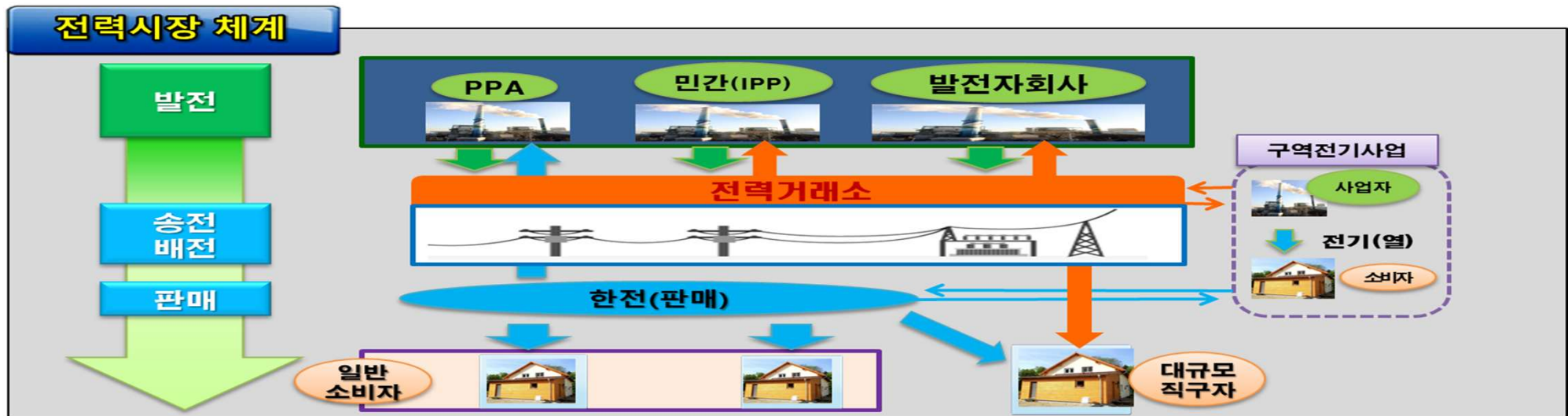
원전/석탄 대단지화, 밀양사태(765kV 송전선 건설), 전기요금 정치 개입으로 인한 수요관리 실패, 극단적으로 낮은 신재생 비중('18, 6.2%)과 전력부문 온실가스 배출(전체 배출의 37%) 지속적 증가

- **중앙집중식 전력시스템(발전/송전) 고착화와 사회적 갈등**
 - 세계적 사례가 없는 대규모 원전(10기) 및 석탄(10기) 단지 구축, 765kV/345kV 송전설비 건설 갈등 (밀양사태)
- **전력회사의 만성적 적자와 전력 수요관리의 후진화**
 - 한전의 적자 구조화와 후진적인 전력 수요관리
 - 저렴한 전기요금 → 전기수요 증가 → 수요관리 생태계 상실과 온실가스 배출 증가 → 한전의 만성적 적자 (악순환 고리 고착)
 - 시장기반 가격 신호 제공 실패 (도매전력시장 및 소매전력시장)
- **미래산업 생태계 구축 미비**
 - 가스터빈(수소터빈), 에너지효율(EE), ICT기반 수요관리(DR, VPP), 풍력 등 미래 주력산업 성장 동력화 준비 미비 (태양광 셀/모듈, 배터리 등만 국제 경쟁력 확보)

전력시장 및 전기요금 현황

도매 전력시장(CBP)은 20년 前 모습, 소매 전기요금은 30년 前 모습

- 발전경쟁의 도매 시장가격(SMP)은 하루전 수요-공급, 비용(Cost), 1시간 단위, 규제적으로 결정되는 후진적 모습. 유연성을 유인하는 보조서비스 시장 부재.
- 소매 전력시장은 한전의 판매 독점, 요금의 정치 개입, 소비자의 공급자(연료) 선택권 부재 등 후진적 모습.
- 가격 기반 수요관리 시스템 구축 실패. 유연성 제공 신기술 전력시장 진입 유인 실패.



도소매시장 (Mandatory Pool)

- 모든 도매거래는 전력시장을 통해야 함

- 한전 비용 : 전력구입비, 신재생(REC), CO2 비용(ETS), 미세먼지(석탄감발), 전력망비용

비용기반 도매시장 (Cost Based Pool)

- "가격"이 아니라 "비용"을 입찰
- 발전 부문만 입찰(수요측 입찰은 없으며, 전력거래소에서 하루전 예측수요 반영)

- 종별 전기요금으로 소비자 부과(소비자 선택권 부재)
- 발전사업자와의 계약 부재(리스크)
- 전기요금 체계개편으로 리스크 경감

NDC 상황, 탄소중립에 따른 전력산업 변화

'30년 NDC 상황, '50 탄소중립 추진으로, 향후 30년간('21-'50) 전력산업 환경의 극단적 변화할 것이다

- 전기화에 따라 전력수요는 지속적으로 증가할 것이다.
 - 변동성 재생에너지(태양광, 풍력) 비중이 지속적으로 늘어날 것이다.
 - 경직성 무탄소 전원(원자력, 수소 연료전지) 또한 필요하고 운영된다.
 - 기존 화력설비(석탄, LNG)의 출력 증감발과 기동정지 요구가 급증하고, 곧 한계에 달한다.
 - 기존 화력의 유연성 한계로 신규 유연성 자원(양수, ESS, 수요반응, P2X) 필요량이 급격하게 증가한다.
 - 국내 및 해외 연계 전력망의 신규 건설 요구도 급격하게 증가한다.
- ➔ 유연성 자원의 확보와 강력한 전력망 구축이 NDC 상황과 탄소중립의 필수 조건이다. 그렇지 않으면 현재와 같은 고품질의 전력이 보장되지 않는다.

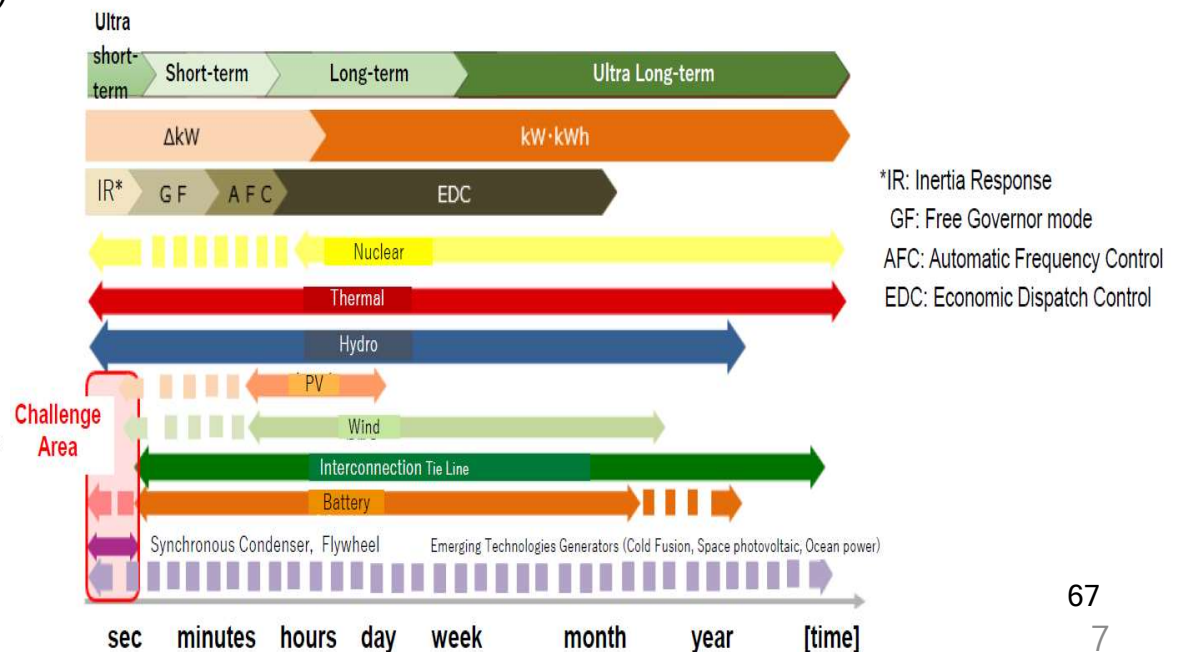
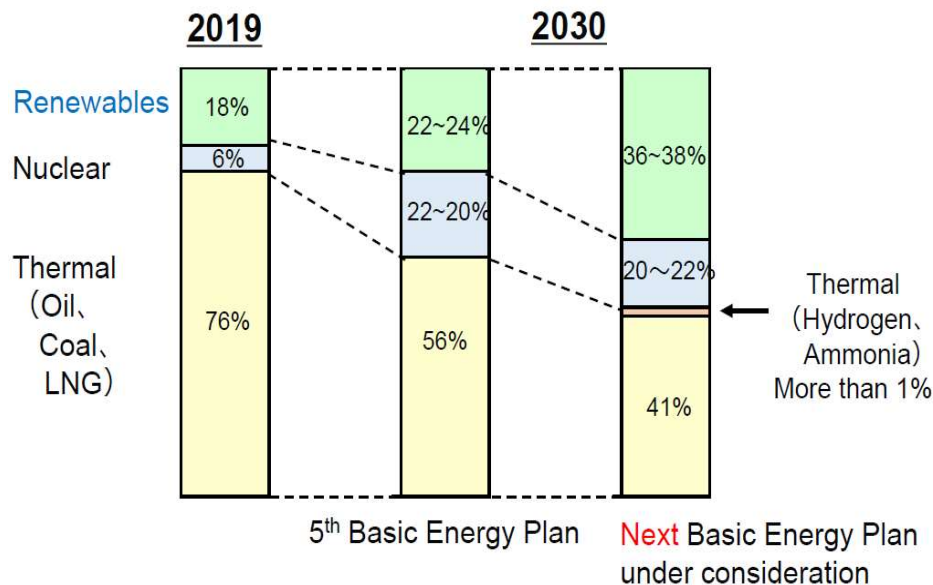
(일본) NDC 상황, 탄소중립에 따른 전력망 안정화 대책 사례

- '30년 NDC 상황에 따라 신재생 확대, 원자력 확대, 수소/암모니아 발전을 통하여 화력발전 비중을 76%(현재)에서 41% 수준으로 낮추는 것을 차기 에기본('22)에서 검토 중.

➔ 4대 전력공급 핵심 기술 : 해상풍력, 암모니아, 수소, 원자력

- 신재생의 확대에 따라 안정적 전력공급을 가장 도전적인 과제로 인식하고 대안을 마련

➔ 기존의 발전설비(원자력, 석탄, LNG 등)가 제공하던 관성(Inertia) 대체가 첫 번째 과제로 인식하고 있으며, 차세대 계통안정화 프로젝트 실증 중임 (실시간 관성 측정, 감시, 추정 및 가상 관성 등 대체 기술 개발 중임)



2030 전환부문 NDC 급격한 상황

● '30 NDC 상황 (전체 40% 감축, 전환 44.4% 감축 설정)

전 환 ^(18년)269.6 → ^(30년)192.7(△28.5%, 현 NDC) → ^(30년)149.9백만톤(△44.4%, 상향안)

(2020.12 9차수급,
2021.10 NDC 상향)

<2030년 전원믹스 구성안 (NDC 상향)>

(단위: TWh)

	원자력	석탄	LNG	신재생	암모니아	양수·기 타	합계
발전량	1464	1332	1195	1852	221	60	6124
비중	23.9%	21.8%	19.5%	30.2%	3.6%	1.0%	100.0%

* 출처: 관계부처 합동, 2030 국가온실가스 감축목표 상향안 (2021.10.18)

<9차수급 '30 전원믹스 구성안>

	원자력	석탄	LNG	신재생	기타	계
'19년(실적)	25.9%	40.4%	25.6%	6.5%	1.6%	100%
'30년(전망) [8차계획]	25.0% [23.9%]	29.9% [36.1%]	23.3% [18.8%]	20.8% [20.0%]	1.0% [1.1%]	100%

- 향후 대책 : 백업전원(가스, 양수, ESS), 전력망 구축, 신재생 확보 방안 등 과제 산적 (Plan B 고민 필요)

2050 전환부문 탄소중립 시나리오 결과

- **A안 : 화력발전 전면 중단*으로 전환부문 배출량 제로**

* 단, 산업 및 가정·공공 열 공급용 LNG는 유지 (산업, 건물부문에서 각각 배출량 포함)

- **B안 : 화력발전 일부 유지*(LNG)하여 배출량 잔존**

* 석탄발전 중단, LNG 발전은 유연성 전원으로 활용

< 시나리오 상 전원별 발전량 및 온실가스 배출량 >

(단위 : TWh, 괄호 안은 전체 에너지 소비량 중 부문별 소비량 비중)

구분	원자력	석탄	LNG	재생E	연료전지	동북아 그리드	무탄소 가스터빈	부생 가스	합계	예상 배출량 (백만톤)
A안	76.9 (6.1%)	0.0 (0.0%)	0.0 (0.0%)	889.8 (70.8%)	17.1 (1.4%)	0.0 (0.0%)	270.0 (21.5%)	3.9 (0.3%)	1257.7 (100%)	0
B안	86.9 (7.2%)	0.0 (0.0%)	61.0 (5.0%)	736.0 (60.9%)	121.4 (10.1%)	33.1 (2.7%)	166.5 (13.8%)	3.9 (0.3%)	1,208.8 (100%)	20.7

* 석탄발전 중단은 근거 법률 및 보상방안 마련 전제

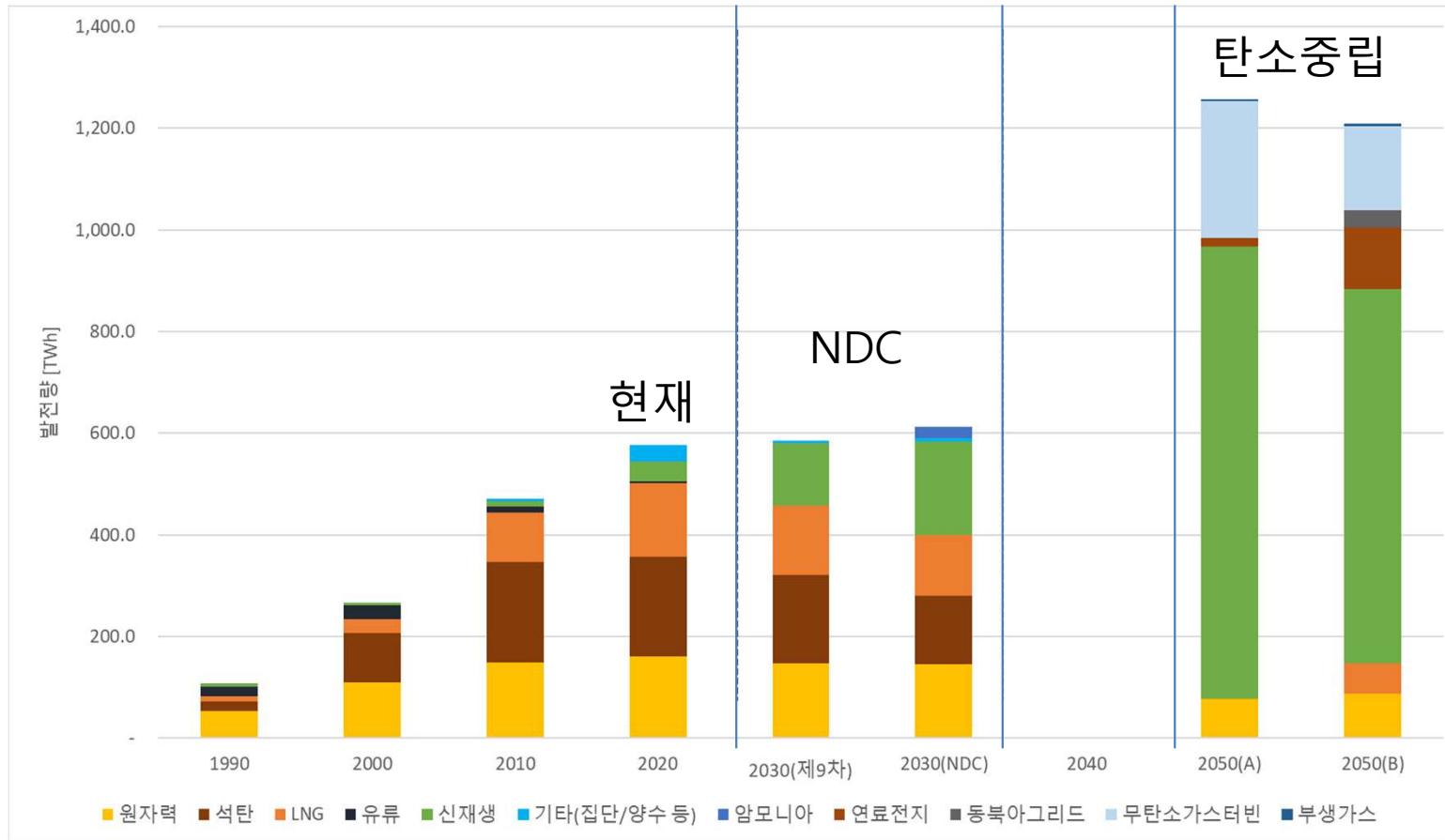
** 환경급전, 배출권거래제 등 시장 메커니즘 활용 전환 추진

- 출처: 관계부처 합동, 2050 탄소중립 시나리오안 (2021.10.18)

- ❖ 재생에너지와 청정수소(연료전지, 무탄소가스터빈) 비중이 93.7%(A안), 84.8%(B안)
- ❖ 추가적으로 6개의 간략한 정책 제언 포함. 목표(수치)에 집중.

탄소중립 시나리오 (발전량 구성)

- 역대 발전량 및 탄소중립 시나리오(A안, B안) 발전량 구성

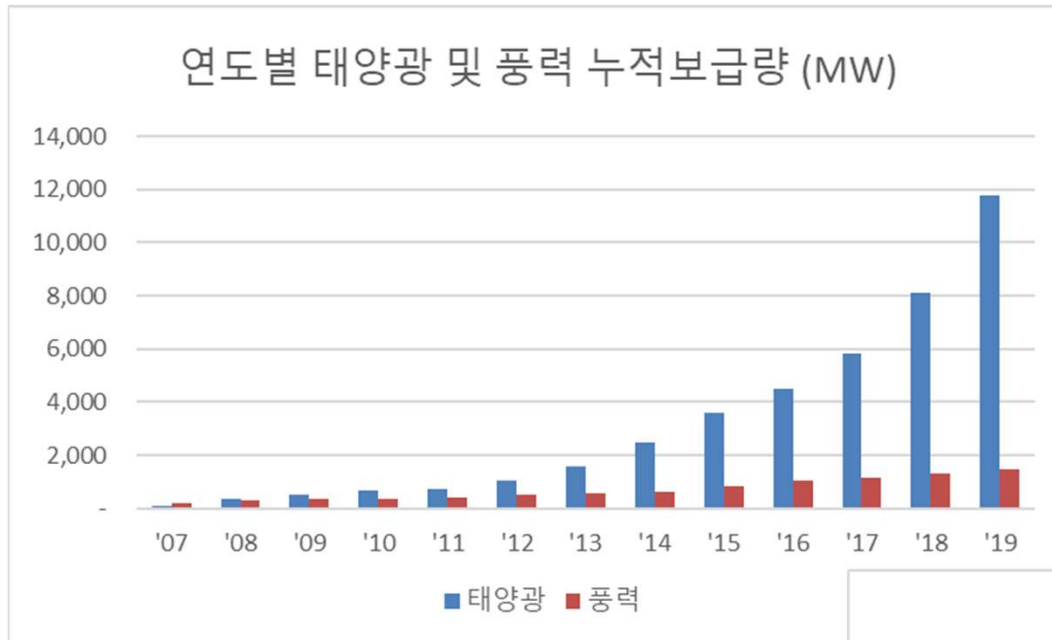


(단위 : TWh, 괄호 안은 전체 에너지 소비량 중 부문별 소비량 비중)

구분	원자력	석탄	LNG	재생E	연료전지	동북아그리드	무탄소가스터빈	부생가스	합계	예상배출량(백만톤)
A안	76.9 (6.1%)	0.0 (0.0%)	0.0 (0.0%)	889.8 (70.8%)	17.1 (1.4%)	0.0 (0.0%)	270.0 (21.5%)	3.9 (0.3%)	1257.7 (100%)	0
B안	86.9 (7.2%)	0.0 (0.0%)	61.0 (5.0%)	736.0 (60.9%)	121.4 (10.1%)	33.1 (2.7%)	166.5 (13.8%)	3.9 (0.3%)	1,206.8 (100%)	20.7

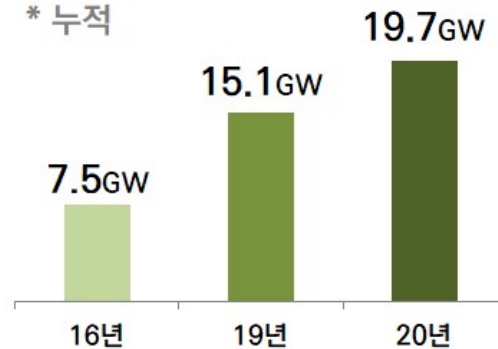
우리나라 신재생 보급 실적 ('07-'19)

● 우리나라 신재생 보급 추이 (에너지공단)



신재생 보급추이('16-'20)

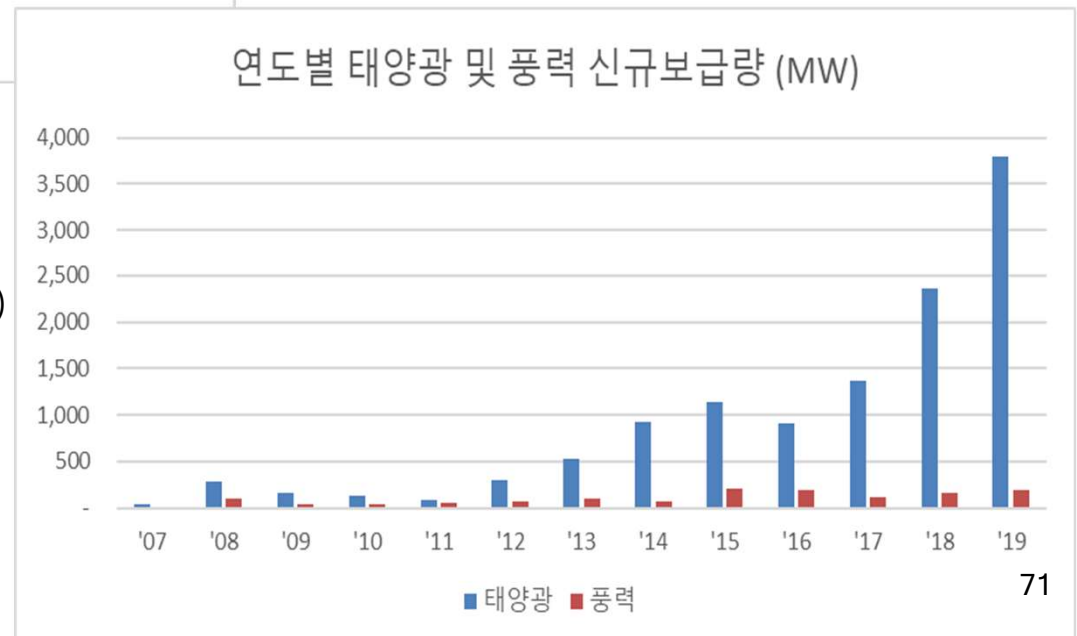
* 누적



자료: 산업부

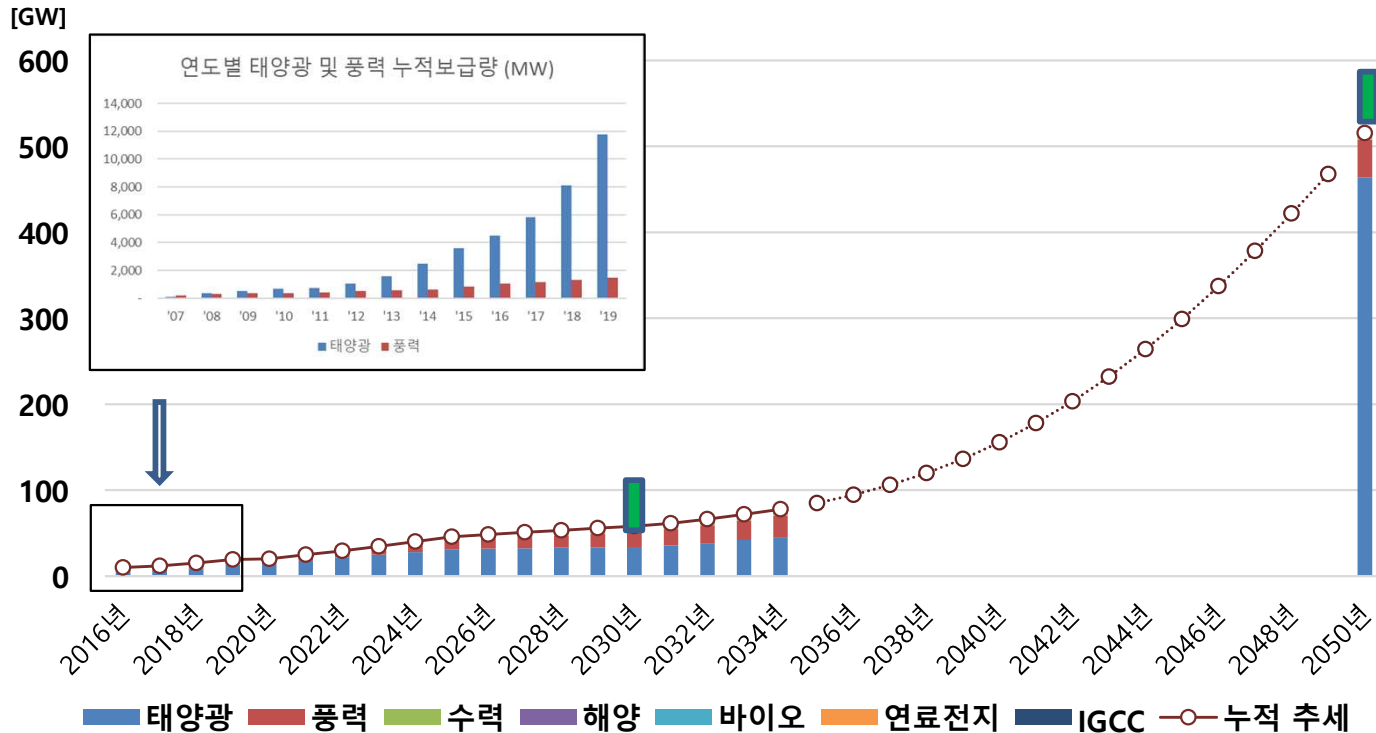
풍력 : 연간 200MW 내외 보급
태양광 : 연간 4GW 수준 내외로 급증

(해상)풍력의 획기적 확대 없이는 9차수급(20%)
'30년 NDC 상향(30%) 달성 불확실
- 연간 8GW 수준의 신재생 보급 필요
- 태양광에 편중될 경우, 덕-커브 현상으로
대규모 저장장치(양수, ESS) 필요



탄소중립 시나리오와 재생에너지 필요 공급량

• 전력부문 재생에너지 공급량(GW) 추정



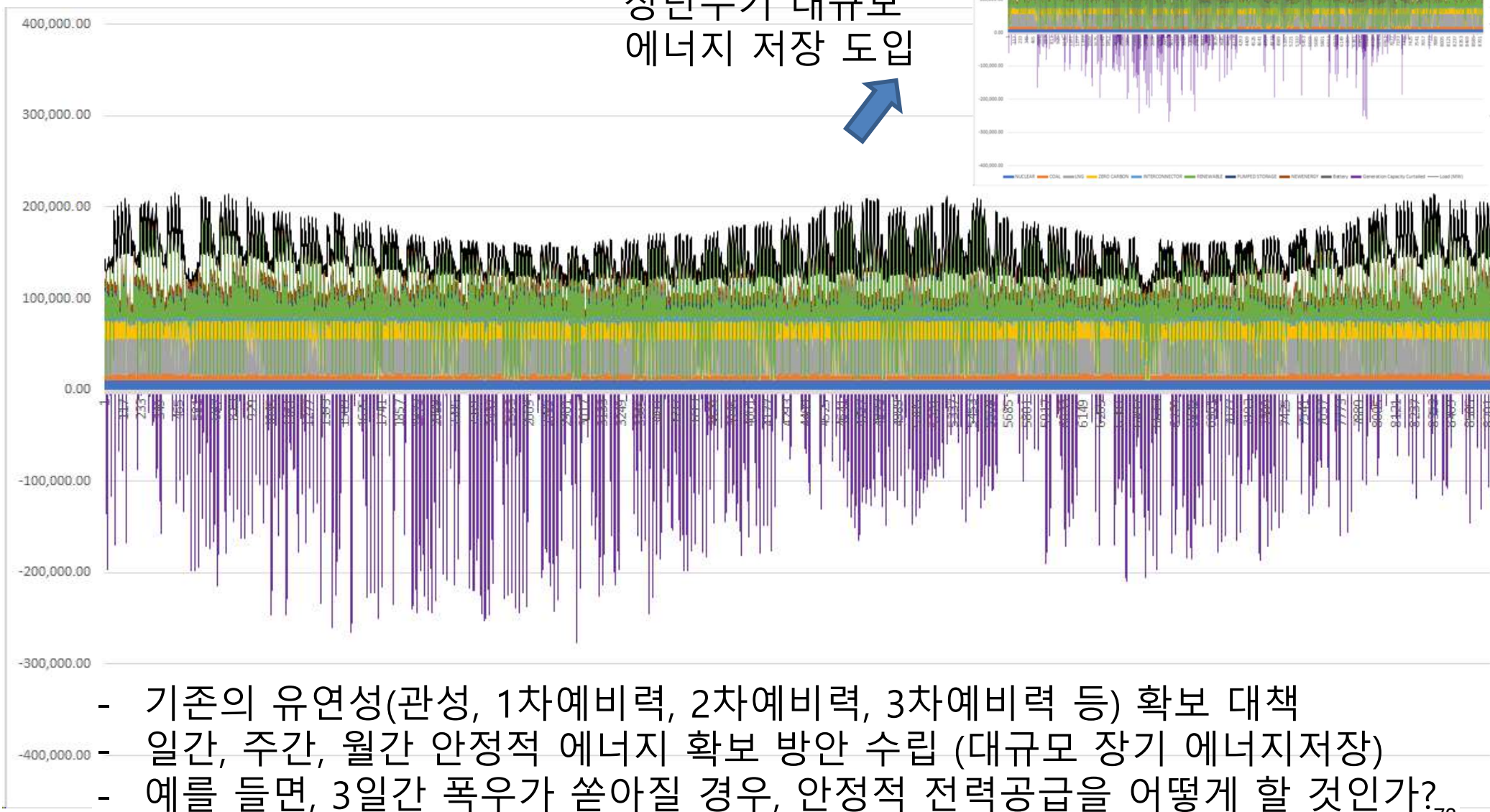
가정: 2016-2019(실적), 2020-2034(9차수급), 2035-2049(근사함수), 2050(조선일보)

- ① 신재생 보급 가능 여부
- ② 전력망 보강(동북아 연계), 양수, ESS 등 확보 방안과 안정적 전력 공급 방안
- ③ 소요재원과 경제와 산업 영향
- ④ 소비자 요금 영향
- ⑤ 국내 산업화 연계 전략 등 과제 산적

탄소중립에 따른 특별한 안정적 전력공급 방안 필요

• 재생에너지 중심 전력계통의 영향

장단주기 대규모
에너지 저장 도입



- 기존의 유연성(관성, 1차예비력, 2차예비력, 3차예비력 등) 확보 대책
- 일간, 주간, 월간 안정적 에너지 확보 방안 수립 (대규모 장기 에너지저장)
- 예를 들면, 3일간 폭우가 쏟아질 경우, 안정적 전력공급을 어떻게 할 것인가?

탄소중립에 따른 안정적 에너지(전력) 공급

● 탄소중립과 안정적 에너지 공급의 전제



안정적 계통 운용 방안 확보
(계통보호, 운용)

투자유인과 적절한 보상을 위한 시장 개혁

신규 기술 도입에 따른 공급망과 인력 확보

효율적 규제를 통한 전력 인프라 적시 구축

통합에너지계획 모형 확보 (신뢰도와 회복 탄력성 확보)

탄소중립을 달성하기 위한 수 많은 고민과 연구 (영국)

- 영국의 탄소중립을 위한 부문별 지속적인 준비

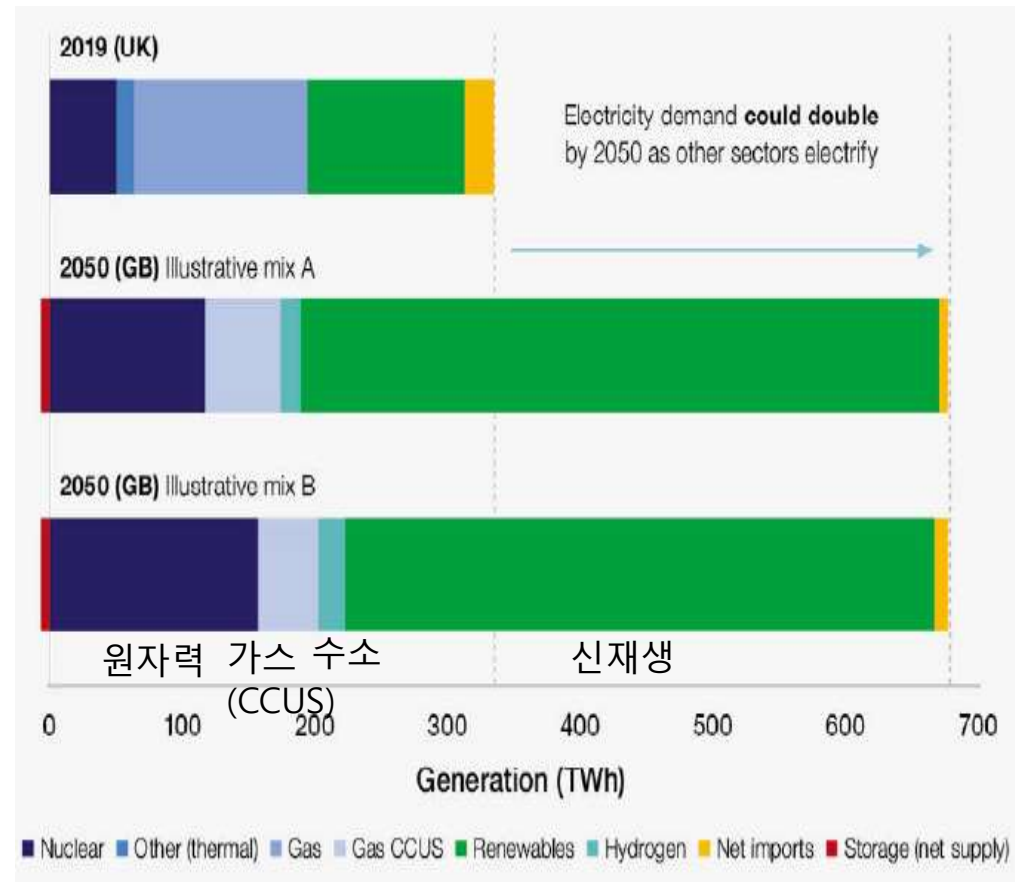
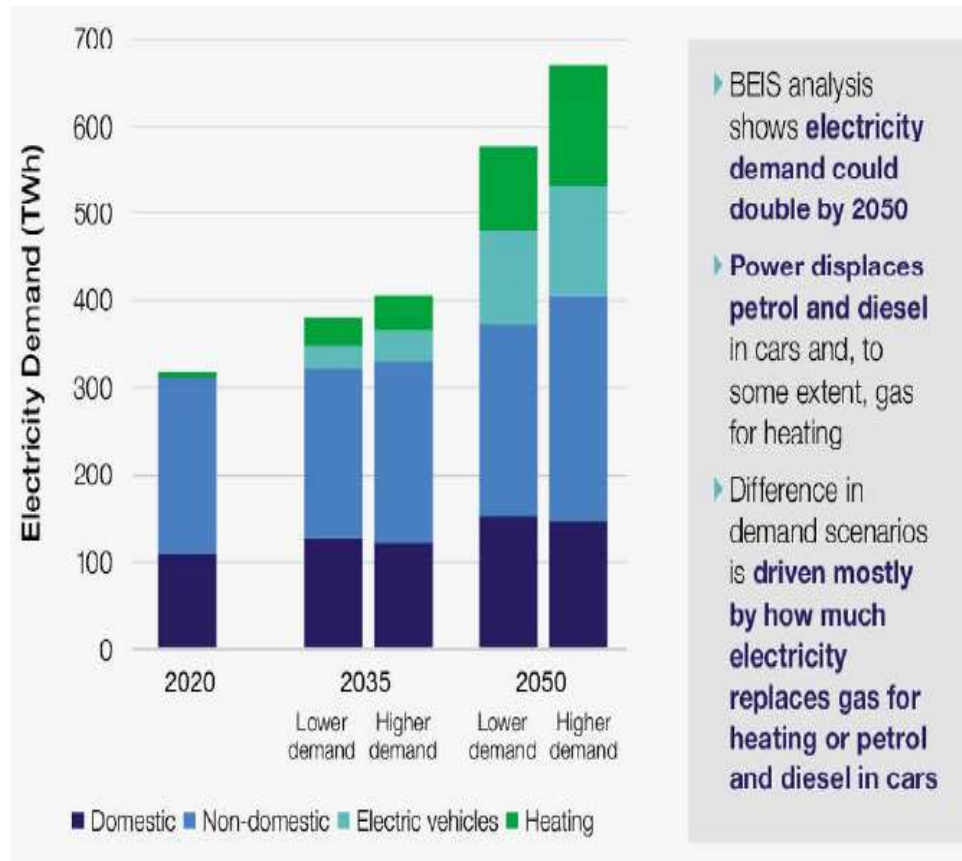
UK Government has set high climate ambition



* 출처: Eric Brown, Catapult (2021)

영국의 전환 부문 탄소중립 전망

● 2050 탄소중립 시나리오의 전력부문 수요와 공급 전망



- 전력수요는 전기화(수송, 난방)으로 2배 이상 성장 전망
- 최종에너지 소비는 '20년 대비 '50년에는 25%~30% 감소할 것으로 전망

- 주요 전력공급 자원
 - 해상 풍력('30까지 40GW), CCUS('30까지 최소 1개 프로젝트), 원전(기존, SMR, AMR), 에너지저장, 스마트미터와 혁신적 요금제도 등

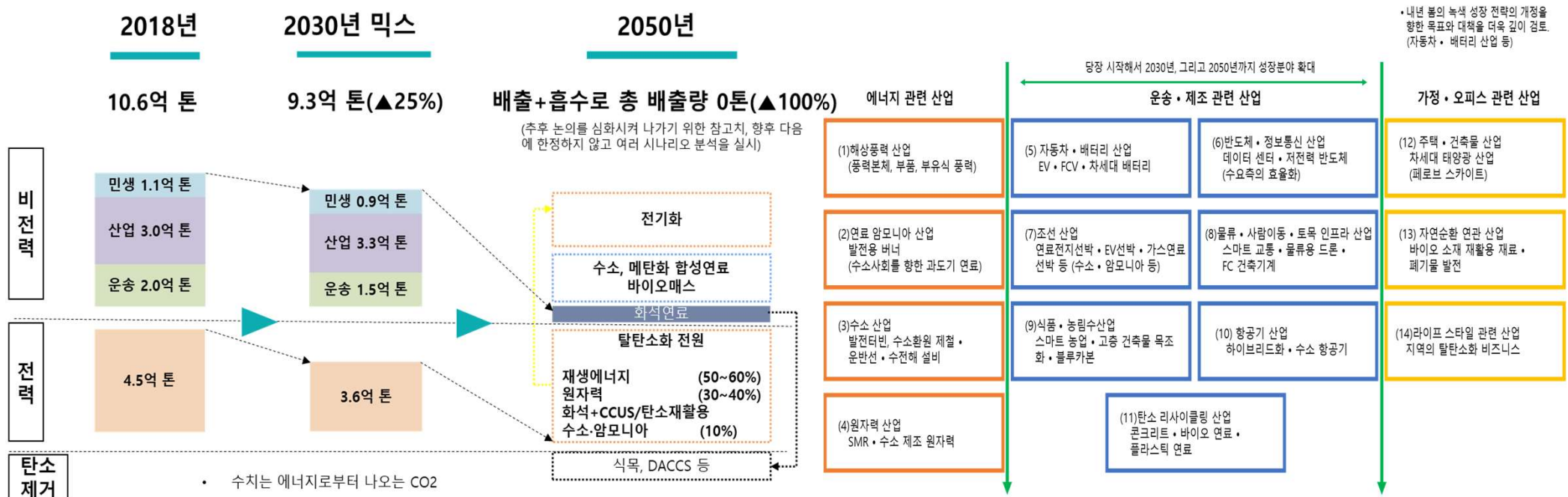
* 출처: Energy White Paper, Powering our Net Zero Future, HM Government, 2020.12.

* 2050년 에너지 믹스는 전망(Outlook) (다양한 에너지저장 포트폴리오)

일본의 탄소중립 시나리오

● 2050 탄소중립 전략 (경제산업성, 2020.12.)

- '18년 온실가스 배출량 : 10.6[억톤] (전력 37%, 산업 25%, 수송 17%, 빌딩/가정 10% 등)



<2050년까지 일본의 탄소중립 실현방안>

- **해상풍력**의 용량 확대 ('30년까지 10GW, '40년까지 부유식 해상풍력을 포함하여 30~45GW로 확대)
- **암모니아** 혼소를 통한 화력발전 탄소 배출량을 감축 ('23년까지 20% 혼소기술에 대한 실증을 거친 후, 2030년까지 상용화 목표, '50년까지 50% 이상 또는 전소 암모니아 화력발전기술을 실용화 목표)
- **수소생산** 및 연료전지의 활용 ('30년까지 수소 공급비용 30원/Nm3, '50년까지 20원/Nm3을 목표, '50년까지 수소터빈과 수전해 설비 지속적 확대)
- **원자력**(기존, SMR) 기술 확보

<일본의 탄소중립을 위한 분야별 실행계획 로드맵>

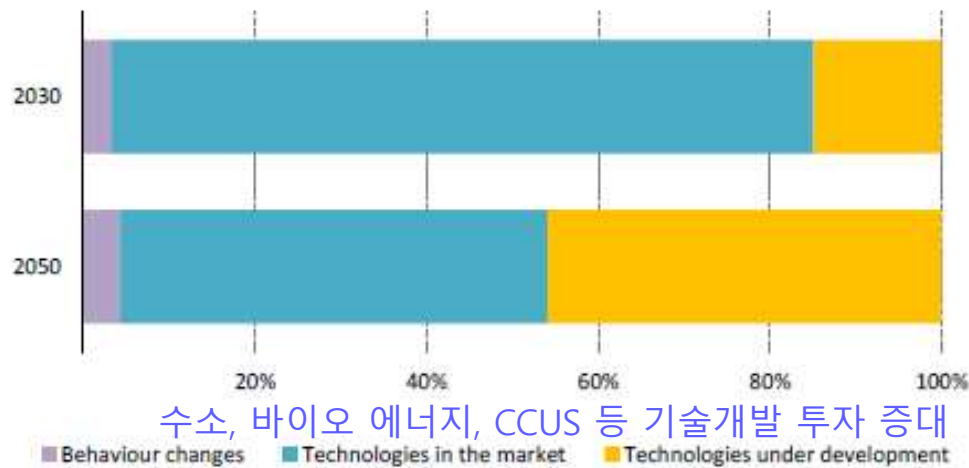
* 출처: 일본 경제산업성, 2050 탄소중립에 따른 녹색성장 전략, 2020.12.

IEA 탄소중립(NZE) 시나리오 (1)

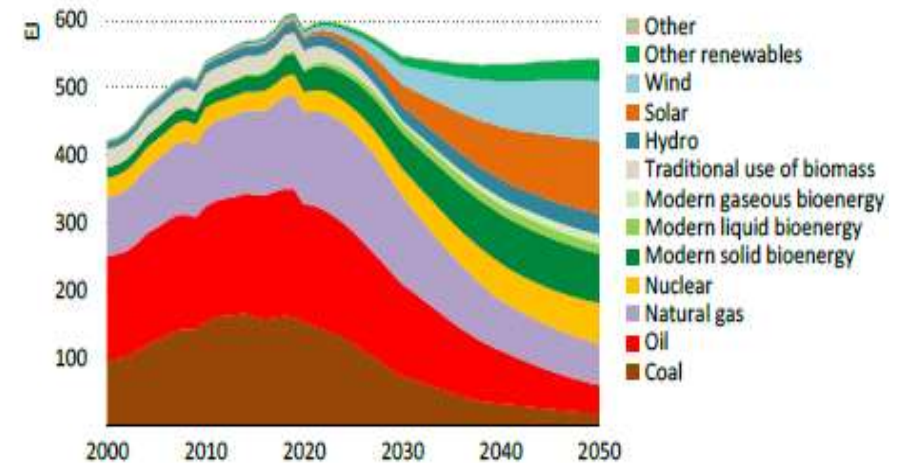
● 에너지 부문 탄소중립 관련 주요 이슈

< 기술개발 중요성 증가 >

Annual CO₂ emissions savings in the net zero pathway, relative to 2020

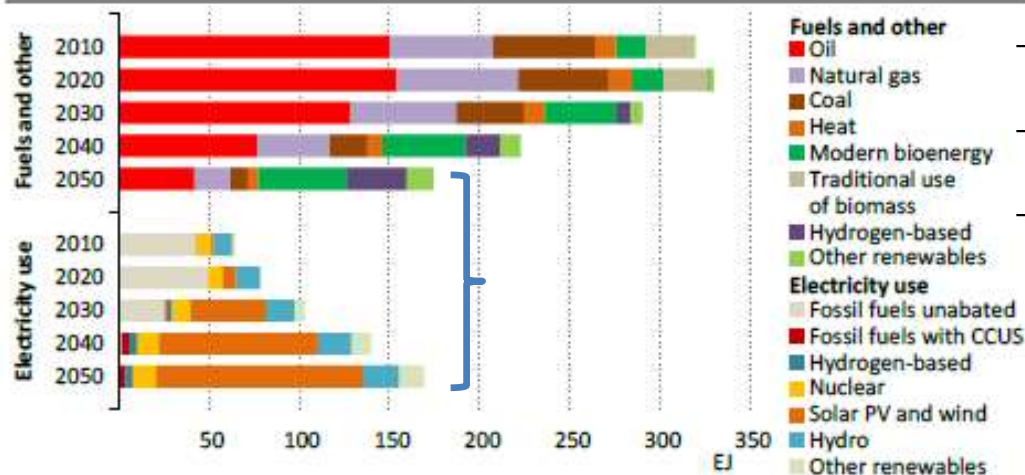


< NZE 시나리오의 에너지 공급 구성 >



- 에너지 공급원의 다양화, 화석연료(20%), 저탄소원(80%)

< 원별 최종에너지 소비와 전기에너지 비중 >



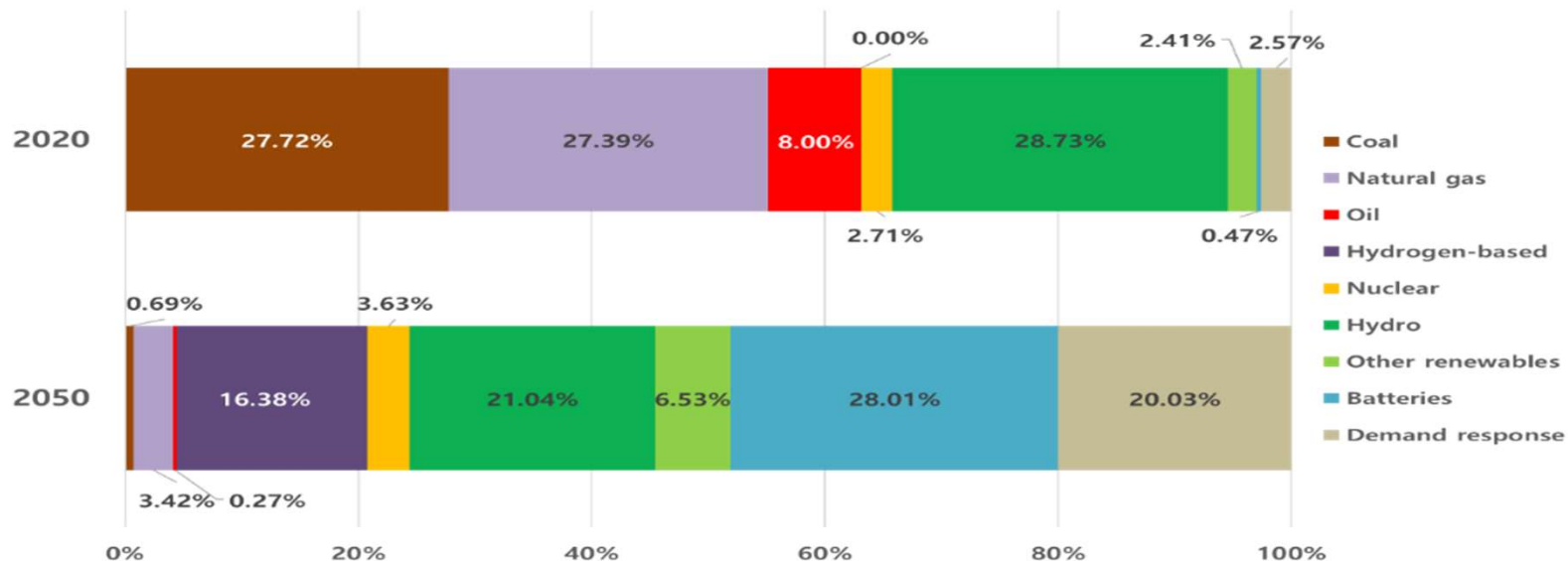
- 최종 에너지소비 22% 감소
· 에너지효율, 전기화, 소재혁신, 행동양식 변화
- 최종 에너지소비에서 전기에너지 비중 증가
: '20 (20%) → '30 (26%) → '50 (49%)
- '50 전기에너지 공급 비중 : 재생에너지 88%, 저탄소 12%
· 저탄소 : CCUS, 원자력, 수소 등

IEA 탄소중립(NZE) 시나리오 (2)

● 전력계통 안정화 대책

유연성 자원은 기존 발전원 퇴출 및 재생에너지 발전량 증가로 인해 용량이 2020년 대비 4배 증가할 것으로 전망

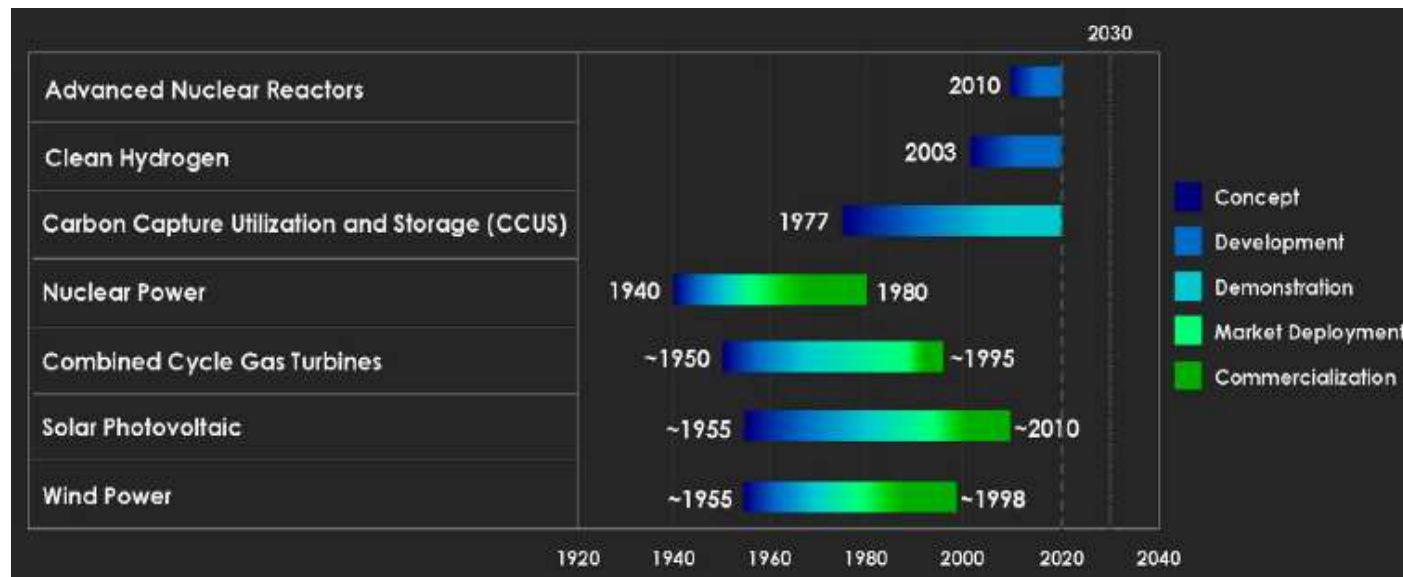
- 향후, 수력/양수, 배터리(BESS), 수요반응(DR), 수소 발전이 '50년 NEZ 시나리오에서 핵심 유연성 자원이 될 것임
- '50년 까지 BESS, 양수·수력, 수요반응 등 유연성 자원 투자를 위한 신호를 시장에 제공해야 함 (차기시장 설계)
- 송전망 보강도 상당 수준 이루어져야 함 ('50 전체 전력공급비용의 20% 수준)



< NZE 시나리오에서의 유연성 자원 전망 >

향후 추진 방향 - 1 (탄소중립 전환기술 개발)

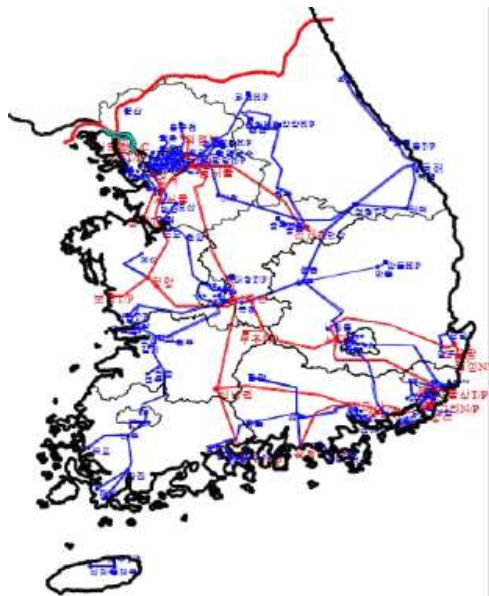
- 탄소중립은 **기술 전환(Technology Transition)**이며, 이 결과로 나타나는 것이 **에너지 전환(Energy Transition)**이다.
 - 향후 30년은 탄소중립 기술의 글로벌 경쟁이 치열할 것이며, 각 국의 탄소중립 정책은 이들 기술의 확보와 경쟁력, 에너지 안보 등을 고려하여 제 각기 다른 모습으로 나타날 것이다.
 - 어떤 기술이 새로운 승자가 될지 모르기 때문에 2050 탄소중립 방안은 지속적으로 갱신(Rolling Plan)되어야 하며, 중립적 관점에서 기술을 봐야 한다.



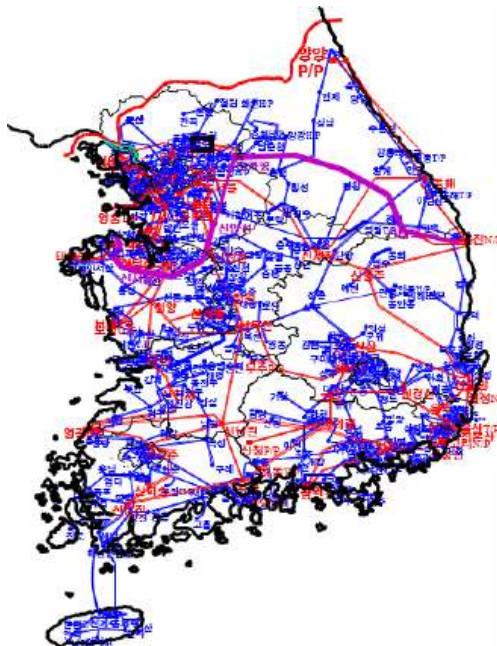
- 암모니아, e-Fuel, 바이오연료 (생산, 수송, 저장, 배달)
- 기존 인프라 Upgrade (원자력, 풍력, 송배전망)
- 대규모 신기술 에너지저장
- Grid Interactive Demand (DR: 수요반응)
- 초전도, 핵융합 등

향후 추진 방향 - 2 (강건한 전력망 구현)

- 사회적 갈등 극심, 장기간(10년+) 소요되는 전력 인프라의 지속적 추진
➔ **강건한 전력시스템 (Strong and Robust Power System) 구현**
 - 송변전(배전) 건설, 보강, 디지털화
 - 동북아 슈퍼그리드 (한-중, 한-일, 한-러, 한-몽 등)
 - 양수발전(PS), 압축공기발전(CAES), 중력발전 등 신기술 저장장치
 - (원자력) 고준위 폐기물 처리



<1981년>



<2020년>

2030년도 (9차 수급 + α) - 9차수급 전력망 조기 구축

양수(1.8GW), ESS(1.4GW), 복합화력(1GW),
345kV변전소(4개소), 345kV선로(51회선),
154kV선로(376회선) 등

2050년도

- 현재의 2배 수준, 동북아 연계 등
막대한 전력인프라 구축 필요

향후 추진 방향 - 3 (도매전력시장의 개선)

● 도매전력시장의 개선 - 실시간시장, 보조서비스시장, 가격입찰

차기 에너지 시장 도입

실시간 시장 도입

- 재생에너지 수용성 확대 (예측 및 입찰 반영)
- 시장참여자 거래 기회 확대 및 실시간 수급 균형에 대한 시장역할 강화

계약기반 가격제도

- 시장 가격결정발전계획과 계통운영의 운영발전계획 일원화
- 전력시장 역할 확대

(기저, 일반) 가격입찰 도입

- 자원 배분의 합리성 제고 가격경쟁을 통한 효율성
- 비용평가 한계 극복 (환경개선비용 등 정책비용 자체 반영)

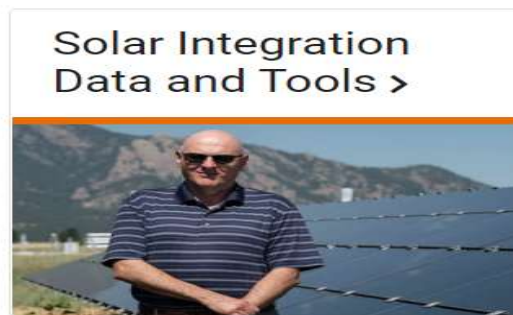
● 보조서비스 시장의 도입

- 가격입찰 기반 보조서비스 시장 도입 (에너지-예비력 동시최적화).
예비력 상품 다양화 및
DR/ESS/VPP/MG 등 참여 자원 시장 개방



향후 추진 방향 - 4 (시스템 기반 전력공급 안정화 대책)

- 변동성 재생e 급격한 확대에 따른 발·송·배전 신뢰도 기준의 전면 개정 필요. 자원 적정성(RA), 안정도, 회복력, 에너지 안보, 안전 등을 체계적으로 고려하는 **전력망 평가 시스템 구축과 탄소중립 시나리오 개발**
 - 확률적 분석 기반으로 거시경제, 탄소배출, 전력수급, 계통계획 및 계통운용, 신뢰도 및 복원력 평가 등 통합적 기능을 가진 모형 개발을 통한 탄소중립에 대한 체계적인 의사결정 지원 시스템 구축
 - * 미국 전력연구원(ERPI)의 US-REGEN(Regional Economy, Greenhouse Gas, and Energy Model)
 - 미국 재생에너지연구소(NREL)의 제반 평가 시스템 (Data and Tools)



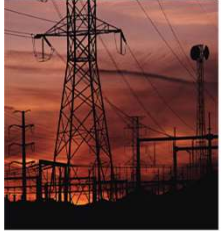
* 100여개의 데이터와 툴을 활용한 시스템 기반 접근

결론 및 제언 (1)

- 탄소중립은 목표설정보다 치밀한 **이행계획의 수립**이 중요하다.
- 탄소중립 **기술 전환**(Technology Transition)의 결과가 에너지 전환(Energy Transition)이다. 기술 개발은 폭 넓고 모든 가능 영역을 포함해야 한다.
- 현 탄소중립 방안은 공급측(신재생에너지 집중) 중심 계획이다. **수요관리에 대한 혁신적 방안이 우선**되어야 한다.
 - 해외는 최종에너지 감축이 20% 내외인데 우리나라는 탄소중립 초안에 따르면 0.3%-2.9% 감축에 불과하다. 가격 정상화와 시장 기능에 의한 에너지 수요관리를 통하여 혁신적인 수요 감축이 우선이 되어야 한다.
- 원자력 수명연장(NDC 상향 대비) 옵션에 대한 고민이 필요하다.
 - '30년까지 폐로 예정 원전 10기를 수명연장 할 경우, 연간 2,000만톤~5,000만톤 온실가스 감축 잠재력이 있다. 고준위 폐기물 처리 방안을 전제로 활용 방안에 대한 국민적 논의가 필요하다.
 - 수
- 강건한 전력 인프라의 구현이 필요하며, 이를 위한 제도 구축과 갈등 완화 시스템 구축이 필요하다.

결론 및 제언 (2)

- 데이터와 시스템(툴) 기반의 탄소중립 시나리오의 수립과 평가가 필요하다.
- 도매 전력시장과 소매 전기요금의 개혁을 서둘러야 한다.
 - 정확한 가격과 요금 신호 제공을 통한 에너지저장장치(ESS), 수요반응(DR), 섹터 커플링(P2X) 시장 창출과 민간 투자 유인 필요하다. 지역별 전기요금제도 도입을 검토할 시점이다.
- 전통적 공기업 중심의 에너지 산업에서, 과감한 규제 개혁을 통한 민간진입 유인과 시장 기반의 에너지 신산업을 육성하여야 한다.



감사합니다

토론문

서울대학교 공학전문대학원 교수 이종수

장기목표와 단기목표의 차이

2050 탄소중립의 달성은 30년에 가까운 기간 동안 경제가 적응하면서 대응할 수 있는 시간을 가지고 있는 장기목표이다. 하지만, 지난 10월에 발표된 NDC 상향안은 2030년 목표이며 이는 2050 탄소중립 목표와는 완전히 다른 성격을 가진다. 에너지 산업은 계획-투자-운영에 이르는 기간이 매우 길다는 점을 고려할 때 NDC 상향안은 목표연도가 10년도 채 남지 않은 단기 목표라고 할 수 있다. 단기목표와 장기목표의 결정적인 차이는 개발 진행 중인 기술의 상용화, 설비의 전폭적인 변화가 가능하냐 여부에 있다. 에너지 업계는 물론 우리나라 산업 전체가 지금 당장 행동을 시작해도 2030년 목표를 달성하기에는 시간이 턱없이 모자라다.

목표의 난이도

2030년 목표 달성을 위한 연평균 감축률이 유럽연합(EU) 1.98%, 미국 2.81%, 일본 3.56%인 것과 비교하면, 연평균 4.17% 감축하겠다는 우리의 목표는 상당히 급진적이다. 또한, EU는 1990년, 미국은 2007년에 이미 배출량이 정점을 지나 감소하고 있는 추세인 반면, 우리는 국가통계 기준 가장 최신 자료인 2018년의 배출량 수준이 통계상 가장 높은 배출량을 보이기 때문에 아직 정점을 지났는지도 확인하기 어려운 상황이다.

NDC 상향안 달성의 장애요인

또한 NDC 상향안의 달성에는 여러 장애들이 존재한다. 예를 들어 제9차 전력수급기본계획은 우리나라에서 현재 운영되는 총 60기의 석탄화력발전소 중 30기를 폐지하고 대신 24기의 LNG 발전소를 신규 건설하도록 계획되어 있다. 이 중 6기는 2025년까지 LNG 발전소로 전환해야 하는데, 주민들의 반대 등의 장애요인이 있다. 또한 CCUS 감축분 1000만톤 역시 실현이 어려울 것으로 판단된다. 탄소 포집기술의 완성도도 문제지만 포집된 탄소를 저장하거나 활용할 수 있는 환경이 조성되어있지 않기 때문이다. 가장 큰 문제는 산업부문의 감축의 실행 문제이다. 예를 들어 대표적인 에너지 다소비 업종인 철강 부문의 경우 수소환원제철 기술이 상용화되기 이전까지는 에너지 효율화 등을 통해 온실가스 배출을 감축할 예정이나, 2030년까지 추가적으로 감축할 수 있는 여력이 극히 낮은 상황이다. 강화된 NDC가 배출권 할당으로 직접 연

결될 경우 극도의 산업경쟁력 약화로 이어질 것으로 판단되며, 이는 철강 부문 뿐만 아니라 정유, 석유화학 등 다른 산업도 상황은 크게 다르지 않다. 2030년은 탄소중립이 전제하고 있는 미래기술 상용화 이전 단계라는 사실이 고려되지 않았기 때문이다.

정부의 역할

정부가 해야 할 일은 국가 체면이나 정치적인 이유로 감축 목표를 제시하는 것이 아니라, 장기적인 관점에서 실리를 따져 실현 가능한 구체적인 목표를 제시하는 것이다. 경쟁하듯 높은 목표 수치를 먼저 정하고 가능성이 낮은 수단까지 모두 끌어모아 실행 계획을 제시하는 것이 아니라, 우리 산업과 경제에 미치는 영향, 에너지 가격 상승에 따르는 국민부담, 현재 기술 수준과 감축비용 및 파급효과를 정교하게 분석하여 최적의 목표를 설정하고 근거 자료를 투명하게 공개하여 전문가 그룹과 시민사회의 검증을 받아야 한다. 무엇보다 국민들이 에너지 가격 및 경제 및 고용에 미치는 영향에 대해서 정확하게 이해할 수 있도록 정보를 제공하고 NDC가 경제에 미치는 파급효과를 정확하게 분석하여 투명하게 공개하여 국민과의 공감대를 마련하는 것이 시급하게 필요하다.

토론문

국민대학교 국제통상학과 교수 최봉석

1. 기술 중심의 사고방식 그리고 하향식, 형식적 의사 결정

- 본래 “환경”이란 상품은 시장에서 거래되지 않는 상품으로 그 편익과 비용을 정확히 파악하기 어려움. 따라서 편익과 비용을 비교하며 경제성을 논하기 전에 편익과 비용에 대한 국민적 합의 과정이 필수임
- 소위 기후변화 선진국에서는 정부가 주도하여 몇십 년에 걸쳐 난해한 기술·정책 내용을 알기 쉽고 투명하게 공개하고 오랜 토론을 통해 국민 공감대를 형성하여, 국민 수용성이 높은 것은 당연한 결과임.
- 따라서 “환경”이란 상품의 편익과 비용에 대한 국민 공감대가 충분히 형성된다면 그 경제성에 대한 신뢰도가 높은 것도 당연한 결과임. 반면, 공감대가 하향식·형식적으로만 형성된다면 그 편익과 비용에 대한 갈등은 확대될 수 밖에 없고 결국 미래 세대를 위한 숭고한 탄소중립의 모든 논의는 “돈” 문제로 귀결될 수 밖에 없음.
- 정부의 탄소중립안은 편익과 비용의 구체적인 논의 없이 기술 중심의 해결 방안만 제시하여 실제 “환경”이란 상품이 거래될 시장제도와 정책 효과의 지속가능성 고민이 결여됨. 발표자가 언급한 탄소중립·녹색성장 기본법안의 비용추계서 미첨부 사유만으로도 그 심각성이 확인됨.
- 탄소중립은 국민들의 생활과 기업 생산, 국가 경제에 장기간, 직접적인 영향을 미치는 매우 중요한 사안이고 국민 및 기업과 교감은 필수이나 정부와 국회에서는 과거의 하향식, 형식적 의사 결정의 틀에 갇혀있음.
- 표면상 탄소중립 이행 실제 주체인 국민·기업과 대화로 풀어간다고 하나 그간 일들을 보면 논의의 대상이라보다 계몽의 대상으로 보고 있는 것은 아닌지 의문임. 특히, 탄중위원회의 인터뷰나 기사 내용을 살펴보면 정책 설계자조차 본인들이 강조하는 기술혁신, 비용 등 내용을 정확히 파악하지 못하고 전문가·실무자 그룹에 떠넘기는 상황임.

2. 경제학적 문제는 단순 사업의 경제성·사업성 문제로 둔갑

- 그동안 환경·자원 문제의 경제학적 이슈는 非경제학 전공과 결합되어 정부와 국가가 부담스러워하는 시장가격 논의는 배제된 채, 해당 사업의 경제성·사업성 논의로 빠지는 경우가 다수였고, 현 정부에서도 다르지 않음.
- 국내 에너지 가격과 시장의 순기능에 관한 깊은 고민 없이 “저비용으로 편익만 크면 경제적이라든지”, “정부 보조금 중심의 사업성 보장이라든지”, “해외 사례를 무분별하게 적용한다든지” 비전문적 분석으로 경제학적 질문에 답변함.
- 그 결과, 탄소중립에 앞서 에너지 시장의 가격 왜곡으로 비합리적 에너지 소비는 정작 다배출 업종 외에서 발생함. 기술 논의에 앞서 이러한 낭비만 줄어도 탄소중립을 향해 진일보하는 것은 아닌지.
- 그나마 탄소중립이 국가 경제에 미치는 영향을 살펴보는 주된 경제모형도 미래세대를 위한다며 “오늘”만 바라보는 정태적 모형 중심으로 분석이 이루어져서 그 한계점은 명확함.
- 발표에도 언급된 최근 에너지 가격 불확실성 증폭, 요소수 대란 등 불확실성도 경제분석에 충분히 반영되어야 하나 “단순 평균 추세선 긋기”에 불과한 연구의 결과로 시나리오 안 제시.
- 오늘 소개된 DSGE 모형은 오늘과 내일을 모두 바라보는 동태적 모형으로 그 과정은 복잡하나 외부 충격에 따른 단기 불확실성도 반영되므로 탄소중립의 경제분석에 적합하고 유용할 수 있음.

3. 새 술을 새 부대에

- 독일, 덴마크 등 재생에너지 정책 선진국에서는 중앙정부가 주도하나 독립적인 재정으로 갈등중재기관을 운영하고 전문적 갈등중재자를 육성하여 형식적 정보공개와 의사소통을 탈피하고 구체적인 사안을 논의함. 더불어 편익과 비용에 관한 명확한 논의는 당연히 이루어짐.
- 결국 한국형 탄소중립의 미래가 어두운 이유는 “새 술을 낡은 부대에 담는 우리나라 고질적인 나쁜 관성 때문은 아닐까”라는 의문점이 남겨짐.

토론문

아주대학교 에너지시스템학과 교수 박은덕

피할 수 없는 탄소중립의 길

기후변화에 관한 정부간 협의체 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)는 2100년까지 지구 평균온도상승폭을 1.5°C 이내로 제한하기 위해서는 전지구적으로 2030년까지 이산화탄소 배출량을 2010년 대비 최소 45% 이상 감축하여야 하고, 2050년경에는 탄소중립(Netzero)을 달성하여야 한다는 경로를 제시했다. 탄소중립은 미래세대가 아닌 현세대가 담당해야 할 당면문제가 된 것이다. 우리나라는 2018년 온실가스 배출량으로 보면 세계 11위로 전세계 비중의 1.51%만 차지한다고 하지만 1인당 CO₂ 배출량을 보면 12.1톤으로 러시아(11.8톤), 일본(9.5톤), 독일(9.7톤), 중국(7.1톤)보다 높다. 2018년을 기준으로 보면 우리나라의 경우 전환부문과 산업부문의 온실가스 배출량이 순배출량 기준으로 각각 39%와 38%를 차지하고 있다. 특히 간접배출량을 고려한 부문별 배출량을 보면 산업부문이 54%를 차지하여서 건물(24.6%)과 수송(13.7%) 등 타 부문에 비하여 절대적으로 높은 비중을 차지하고 있다. 이는 우리나라의 제조업과 에너지다소비업종 비중이 각각 28.4%와 8.4%로 EU(16.5%, 5%)나 미국(11%, 3.7%)에 비해서도 매우 높으며 GDP대비 수출비중이 약 40%로 타 주요국에 비해 2배 가까이 높은 우리나라의 경제구조와도 관련이 깊다. 2018년 기준, 전체 산업 부문 배출량중 에너지 소비로 인한 배출량은 약 78.4%를 차지하며, 산업공정 배출량은 약 21.6%를 차지하고 있으며 업종별로 보면 철강(101.2백만톤, 38.8%), 석유화학 및 정유(62.8백만톤, 24.1%), 시멘트(34.1백만톤, 13.1%)순이다.

올해 2050 탄소중립위원회는 국가 온실가스 감축목표(NDC)는 “2018년 온실가스 총배출량대비 40% 감축”으로 기존 감축 목표인 2018년 온실가스 배출량 대비 26.3% 감축에서 대폭 상향하는 것으로 발표하였다. 특히 전환과 산업부문에서 18년 대비 감축률이 기존 NDC대비 대폭 상향조정됨으로써 관련 산업에 막대한 영향을 끼치게 될 것이다. 2020년 12월에 발표한 정부의 탄소중립전략을 보면 경제구조 탈탄소화를 표방하며 에너지 전환 가속화와 고탄소산업구조 혁신을 주장하고 있다. 이에 따라 2050년 전력수요는 2018년 전력소비량에 대비하면 221.7% ~ 230.7%로 크게 증가한, 1,166.5 ~ 1,213.7 TWH로 추정되며 산업과 건물부문의 전력수요가 60%를 넘으며, 수전해 수소생산이나 이산화탄소 포집 및 저장·활용(CCUS)에 필요한 새로운 전력수요도 30% 정도로 예측하고 있다. 2050년 산업부문 에너지 수요는 139.3백만 TOE로 2018년 148.7백만TOE와 유사할 것으로 전망하며 전력소비는 2018년 22.9백

만TOE에서 2050년 43.3백만TOE로 크게 증가할 것으로 예측하고 있다.

두 마리의 토끼를 잡을 수 있는 방법

최근에 발생한 영국 북해의 풍력발전량 감소에 의한 천연가스 가격 폭등과 호주와 중국간의 석탄분쟁으로 인한 국내의 요소수 사태를 보면 향후 2050 탄소제로를 달성하면서 동시에 안정적인 경제성장이라는 두 마리의 토끼를 잡는 길이 험난함을 예상할 수 있다. 현재 정부의 계획대로 신재생에너지를 통한 산업부문의 필요한 에너지 수요 좀 더 구체적으로 얘기하면 전력수요를 안정적으로 감당할 수 있을지 면밀한 검토가 필요하다. 철강이나 석유화학/정유 산업은 안정적인 조업이 매우 중요한데 간헐성으로 대표되는 재생에너지를 통한 안정적인 전력공급이 불안한 이유이다. 또한 관련 산업부문이 특정 지역에 편재되어 있어서 재생에너지와 같은 분산전원이 그 역할을 감당할 수 있을지도 검토가 필요하다. 문제의 해결책을 선정하기 위해서는 모든 가능한 해결책을 제시하고 당위성과 필요성을 고려하여 최적의 해법을 도출해야 하는데 이러한 과정이 충분한 논의를 통하여 이루어졌는지 재검토가 필요해 보인다.