

KEEI ISSUE PAPER

정책 이슈페이퍼 20-18

녹색에너지협동연구: 저탄소 에너지 전환의 이행 관리(계속)

김동구 · 손인성

KOREA
ENERGY
ECONOMICS
INSTITUTE

정책 이슈페이퍼 20-18

녹색에너지협동연구: 저탄소 에너지 전환의 이행 관리(계속)

김동구·손인성

목 차

- I. 연구 배경 및 목적 / 1
- II. 연구 범위 및 차별성 / 4
- III. 주요 연구 내용 / 5
- IV. 결론 / 25
- 〈참고자료〉 / 26

I 연구 배경 및 목적

- 온실가스 배출이 적거나 거의 없는 저탄소 에너지 시스템으로의 전환은 이제 우리를 비롯한 세계 각국에서 국가 에너지 정책의 핵심과제가 될 것임
 - 파리협정 채택('15.12.)으로 모든 당사국들은 지구 평균기온 상승폭을 산업화 이전 수준대비 2℃ 이하로 제한하는 목표를 위해 노력해야 함
 - 파리협정 세부 이행지침의 채택('18.12.)으로 이제 각국은 스스로 설정한 감축 목표를 실제 이행해야 할 단계로 접어들어, 저탄소 에너지 시스템으로의 전환이 각국 에너지정책의 핵심과제로 부상 중
- 저탄소 에너지 사회로의 전환 필요성에 대해서는 전 세계가 공감하나, 저탄소 에너지 사회로 가는 과정과 그 방식은 국가마다 다양함
 - 국가별 에너지 공급 구조와 에너지 소비 수준의 출발점이 다르고, 인구수, 생활방식과 문화, 경제발전과 산업화의 경로 등 에너지 환경이 다르기 때문에, 저탄소사회로의 전환 경로와 방식은 국가별로 다를 수밖에 없음
- 상충되는 가치와 목표를 정부가 얼마나 조화롭게 해결하느냐가 저탄소 에너지 사회로 순조롭게 전환하는 데 있어 핵심적 과제임
 - 이해관계자들마다 이상적이라고 생각하는 저탄소 에너지 사회에 대한 정의와 이를 위해 추구해야 할 가치와 목표가 상이함
 - 기후변화, 에너지 안보, 에너지 공정성, 에너지 빈곤, 에너지 민주주의, 환경 지속성, 에너지 경제성, 에너지 정의, 경제성장, 일자리, 글로벌 국가경쟁력 등 '저탄소 에너지 사회'에 도달하기 위해 추구해야 할 여러 가치와 목표는 조화를 이루기도 하고, 때로는 상충하기도 함

-
- ‘저탄소 에너지 사회’로의 전환 과정에서 가치충돌로 인한 갈등이 사회적 이슈로 부각되고 있음

□ 우리 정부는 ‘신기후체제에 대한 견실한 이행체계 구축’을 국정운영계획의 목표로 삼고 저탄소 에너지 체제로의 전환을 위한 정책을 추진 중임

- 제3차 녹색성장 5개년 계획(2019~2023), 제3차 에너지기본계획, 재생에너지 3020 이행계획(안), 제8차 전력수급기본계획, 2030 온실가스 감축 로드맵 개편 등 에너지 및 기후변화 관련 국가계획에 정부의 에너지정책 전환 기조가 반영됨
- 또한 미세먼지 감축, 탈원전 로드맵 수립, 에너지가격체계의 합리적 개편 및 분산형 전원 보급 확대 등 에너지 전환 정책을 적극적으로 추진 중임

□ 저탄소 에너지 전환을 성공적으로 이행해 나가기 위해서는, 저탄소 에너지 전환에 따라 발생하는 기회를 최대한 살리는 한편, 예상되는 문제점에 효율적으로 대처하는 것이 중요함

- 저탄소 에너지 전환의 이행에 따라 우리 경제나 에너지 시스템 전반에 새로운 기회가 창출될 것으로 기대되는 한편, 예상치 못했던 한계나 문제에 직면하게 될 가능성도 있음

□ 이에 본 연구는 저탄소 에너지 전환에 따라 발생 가능한 여러 기회와 도전 요인을 검토하여 대응 전략을 제시하는 것을 목적으로 함

- 화석연료 중심의 현 에너지 시스템에서 저탄소 에너지 시스템으로 전환하는 과정에서 예상되는 사회경제적 위기, 갈등 등 각종 문제점과 새로운 기회 요인을 파악하고자 함

- 선진국의 우수 전환사례 및 정책사례 분석과 저탄소 전환의 경제적 영향 분석 결과를 토대로 에너지, 기업경영, 정책지원, 과학기술의 측면에서 저탄소 에너지 시스템으로의 효과적인 전환을 위한 전략을 제시하고자 함
- 이와 같은 연구수행에는 에너지, 과학기술, 기업경영 등 다양한 분야에 대한 전문지식이 요구되어 본 연구는 관련 전문기관과 협동연구로 진행됨
 - 에너지경제연구원은 연구를 총괄 및 조율하고, 저탄소 에너지 전환 정책 사례, 경제적 영향 평가, 에너지부문 및 정책지원 전략을 담당함
 - 과학기술정책연구원은 에너지 전환기의 과제와 주요국의 사례, 전략의 방향성 및 과학기술 전략을, 전남대학교는 기업경영 전략에 대한 연구를 각각 수행함

Ⅱ 연구 범위 및 기존 연구와의 차별성

- 본 연구는 중장기적인 관점에서 우리나라 에너지 시스템의 근본적인 저탄소 에너지 시스템으로의 전환을 염두에 두고 진행됨
 - 본 연구의 범위는 현재 우리 정부가 추진하고 있는 에너지기본계획, 온실가스 감축 로드맵 등 구체적인 정책의 이행방안에만 한정되지는 않음
- 본 연구는 기존 연구들과는 달리 저탄소 에너지 전환을 ‘이행해 나가는 과정에서 경험하게 될 갈등 및 기회요인’에 중점을 둠
 - 기존 연구들은 저탄소 에너지 전환 정책이나 온실가스 감축의 ‘목표 달성 및 그 수단’에만 중점을 둠
 - 저탄소 에너지 전환 관련 기존 연구의 대부분은 저탄소 경제시스템의 목표가 무엇이며, 이를 달성하기 위해서는 어떤 정책적 및 기술적 수단들을 동원해야 하는지, 그리고 비용 측면에서는 어떠한지 등을 모형분석을 통해 제시함
 - 이들 선행연구는 특정연도의 감축목표 달성 가능성을 정성적·정량적으로 분석해 보았다는 점에서 의미가 있음
 - 그러나 저탄소 에너지 전환으로의 이행 과정에서 정책담당자, 경제주체들이 실제로 부딪치게 될 이슈들에 대해서는 다소 소홀한 것으로 평가됨
- 본 연구는 선행연구와는 달리, 에너지 트라일레마(Energy Trilemma) 개념 활용, 선진국의 사례분석, 경제적 영향 분석 등을 통해 보다 구체적이고 현실적인 주제들을 다뤘다는 점에서 차별성이 있음

Ⅲ 주요 연구 내용

1. 에너지 전환기의 과제와 주요국의 사례: 에너지 트라일레마

- 우리 사회가 현재의 고탄소 에너지체제에서 미래의 저탄소 에너지체제로 전환 되는 과정에서 경험하게 될 변화의 특성이 무엇인지를 파악하기 위해 주요 선진국의 다양한 사례를 조사·분석함
 - 1인당 GDP가 우리나라보다 높으면서 저탄소 에너지로의 전환을 우리보다 훨씬 앞서 시작하여 1차 에너지공급이 감소추세를 보이고 있는 영국, 독일, 일본, 미국의 사례를 분석함
- 본 연구는 전환 과정에서 다양한 이해관계자들이 경험할 변화에 초점을 맞추고, 각 이슈별로 한국 사회가 어떠한 갈등 혹은 기회 요인을 마주하게 될지를 예측하여 효과적인 대응방안을 마련하는 데 기여하고자 함
- 분석 대상 국가의 사례분석에 앞서 에너지 트라일레마 프레임¹⁾을 통한 국가별 저탄소 에너지 전환에 대한 평가를 확인해 봄
 - 에너지 트라일레마는 저탄소 에너지 사회로의 전환과정에서 많은 국가들이 추구하는 주요 세 가지 가치와 목표인 에너지안보¹⁾, 에너지공정성²⁾, 환경지속성³⁾을 기본축으로 국가별 에너지 지속가능성을 평가하는 프레임임

1) 에너지안보(Energy Security)는 1차 에너지원의 효율적 관리를 통한 에너지 인프라의 신뢰성, 현재와 미래 에너지 수요에 대한 에너지 공급자의 대응력을 의미

2) 에너지공정성(Energy Equity)은 사회 구성원 모두가 에너지에 접근 가능하고 에너지 구매가 가능한 것을 의미

3) 환경지속성(Environmental Sustainability)은 에너지수급의 효율성 확보 및 온실가스 배출 감소와 환경적 지속가능 발전을 의미

-
- 세계에너지위원회(World Energy Council: WEC)와 세계경제포럼(World Economic Forum: WEF)에서는 전 세계 국가를 대상으로 에너지 트라이레마 프레임을 사용해 국가별 저탄소 에너지 전환 속도와 성과를 평가함 (WEC, 2018; WEF 2018a)
 - 영국은 본 연구의 사례조사 대상국 중에 저탄소 에너지 전환단계가 가장 앞선 것으로 평가받음(국가별 평가결과는 〈표 1, 2〉 참조)
 - WEC 평가에서는 세 가치와 목표간 균형도 잘 맞춰졌을 뿐만 아니라, 안보·공정성·환경지속성 모두 세계 평균보다 높은 점수를 받음
 - WEF 평가에서도 비슷하나, 에너지안보의 수준이 조금 더 높게 평가받음
 - 독일은 두 기관으로부터 세 가지 측면 모두에서 세계 평균에 가까운 평가를 받으며, 세 가지 가치와 목표의 조화성 측면에서는 좋은 평가를 받음
 - 다만, 환경지속성 측면에서 WEC는 독일을 세계 평균 이하로 평가함
 - 일본에 대한 두 기관의 평가는 상이하였으나, 에너지공정성 측면에서는 두 기관 모두 세계 평균을 상회하는 것으로 평가함
 - 에너지안보 측면에서 WEC는 일본을 매우 불안정한 상태라 평가했으나, WEF의 경우에는 세계 평균을 상회하는 것으로 분석
 - 환경지속성 측면에서도 WEC는 일본을 세계 평균 이하로 평가했으나, WEF은 세계 평균과 거의 유사한 것으로 평가
 - 미국은 에너지안보, 에너지공정성 측면에서 높은 평가를 받은 반면, 환경지속성 측면에서는 세계 평균 이하로 평가됨
 - 에너지안보와 에너지공정성에서 높은 평가는 값싼 에너지의 풍부한 공급의 결과
 - 환경지속성에서의 낮은 평가는 최근 트럼프 행정부의 에너지 정책 기조에 대한 국제사회의 인식을 그대로 반영한 결과로 볼 수 있음

〈표 1〉 세계에너지위원회 에너지 트라일레마 지수 2018

구 분	영국	독일	일본	미국	한국
종합 순위	5위	7위	30위	14위	35위
균형 점수	AAA	AAB	CAB	AAC	BAC
· 에너지안보(Energy Security)	A	A	C	A	B
· 에너지공정(Energy Equity: Accessibility & Affordability)	A	A	A	A	A
· 환경지속성(Environmental Sustainability)	A	B	B	C	C

자료: WEC(2018)에 기반해 저자 정리

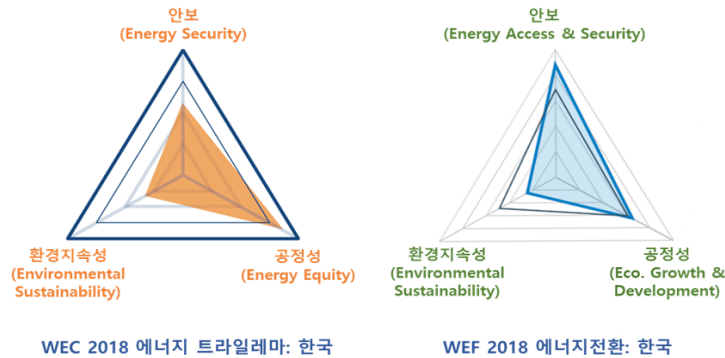
〈표 2〉 세계경제포럼 에너지 전환지수 2018

구 분	영국	독일	일본	미국	한국
시스템 평가(System Performance)	73 (9위)	65 (43위)	63 (50위)	67 (33위)	59 (63위)
· 에너지안보(Energy Access & Security)	90 (8위)	89 (14위)	87 (24위)	90 (12위)	88 (17위)
· 에너지공정(Economic Growth & Development)	70 (23위)	55 (83위)	56 (82위)	75 (11위)	65 (47위)
· 환경지속성(Environmental Sustainability)	60 (29위)	51 (61위)	47 (73위)	38 (88위)	25 (103위)

자료: WEF(2018b)에 기반해 저자 정리

- 한국은 에너지 전환 선진 4개국과는 다소 차이가 있는 모양의 트라일레마 수준 평가를 받음([그림 1] 참조)
 - 에너지 공정성 관점에서는 세계 최상위권을 차지할 만큼의 높은 공정성(혹은 저렴한 에너지비용) 수준을 유지하고 있는 것으로 평가됨
 - 안보측면에 대한 평가는 두 기관이 엇갈리고 있으며, 환경지속성 관점에서 한국의 상황은 세계 평균에도 훨씬 못 미치는 매우 낮은 점수를 얻음

[그림 1] WEC 및 WEF의 에너지 트라이레마 국가별 평가: 한국



자료: WEC(2018) 및 WEF(2018b)에 기반해 저자 작성

주: 중심에서 멀수록 해당 항목 점수가 높고, 파란색 실선은 세계 평균값임

□ 에너지 트라이레마 프레임 내에서 저탄소 에너지 전환의 세 가지 목표들 간의 대립 및 균형에 관한 대표적 이슈⁴⁾들을 조사·분석한 결과, 다음의 세 가지 시사점을 도출함

□ 첫째, 에너지 전환 정책 추진 과정에서 나타나는 저탄소 시스템 구축과 자연 환경보존 가치 간의 대립 해소

○ 태양광발전 시설물 설치의 자연훼손 및 폐패널 문제

- 대규모 태양광발전 시설물 설치에 대량 벌목과 산림 훼손의 결과를 가져올 수도 있어 자연재해 피해를 경감시키는 방제 기능의 소실을 초래하기도 함
- 태양광패널은 향후 십 수 년 사이에 대량 폐기되기 시작해, 적절한 처리방법에 대한 이슈가 큰 문제로 부상할 것으로 예상됨

○ 원전 고준위 폐기물 처분 문제

- 탄소 배출을 저감하면서 안정적으로 에너지를 공급할 수 있는 원전을 유지하기로 결정한 영국도 고준위 폐기물 처리장 선정에 있어 난항

4) 세 가지 목표들 간의 대립에 대한 구체적 사례는 김동구·손인성(2019)에서 확인 가능하고, 본 원고에서는 그 사례들로부터 도출되는 시사점만을 살펴봄

□ 둘째, 에너지 체제 전환에 따른 불평등과 공정성 문제 해결

- 에너지 소비에 따른 부정적 외부효과의 내재화로 경제적 취약계층의 부담이 가중되어 사회적 정의와 공정성에 위배될 수 있다는 우려 존재
 - 재정여건으로 노후한 경유 차량을 계속 운행해야만 하는 1인 운송업자, 영세 사업자 및 일반 시민 운전자들
 - 필요전력을 자급자족하여 전기요금을 절약하고 싶지만, 태양광패널 설치 여건이 되지 않아 지속 인상될 수 있는 전기요금을 감당해야 하는 무주택자
 - 대규모 발전설비의 설치·운영으로 환경 피해를 감수해야 할 지역주민들과 대규모 발전으로 값싼 전기를 이용하게 되는 대도시 소비자들 간의 혜택과 부담의 불균형

□ 셋째, 저탄소 에너지 사회의 기회 활용을 위한 구체적 준비 필요

- 저탄소 에너지 체제 하에서의 글로벌 에너지 시장 선도, 기회 요인 활용 극대화 등을 위한 구체적인 준비가 필수적
 - 미국은 저탄소 에너지 사회에서 새롭게 재편될 에너지산업과 시장에서의 리더십 확보를 위해 에너지기술 연구개발 등의 노력을 강도 높게 진행

2. 주요국의 저탄소 에너지 전환 정책

□ 주요국의 저탄소 에너지 전환 정책 사례분석⁵⁾을 통해, 향후 우리나라의 저탄소 에너지 전환 이행 과정에서 지향해야 할 정책 방향을 모색 가능함

5) 주요국의 저탄소 에너지 전환 정책의 구체적 사례는 김동구·손인성(2019)에서 확인 가능하고, 본 원고에서는 그 사례들로부터 도출되는 시사점만을 살펴봄.

- 주요국의 저탄소 에너지 전환 정책의 특징은 1) 에너지믹스 변화를 통한 저탄소 전환 정책, 2) 에너지 절감을 통한 탄소배출량 저감 정책, 3) 저탄소 인식 확산을 위한 에너지 정책으로 요약할 수 있음(〈표 3〉 참조)

〈표 3〉 선진 4개국의 저탄소 에너지 전환 정책

주요국 정책	상세 내용
에너지믹스 변화를 통한 저탄소 전환 정책	· 탈(脫)탄소를 위한 세제 정책 · 태양광, 풍력 등의 재생에너지 보급 확대를 위한 FIT 등 보조금 지원 정책 · 지속가능한 정책지원을 위해 재생에너지 보급에 시장 메커니즘 정책 도입
에너지 소비 절감을 통한 탄소배출량 저감	· 에너지 효율 개선 의무화 등을 통한 에너지 절감 정책
저탄소 인식 확산을 위한 정책	· 기자재의 에너지 효율 개선 및 절감을 통해 저탄소 에너지 전환에 대한 국민들의 인식 개선 · 에너지 소비자들을 대상으로 한 자발적인 저탄소 에너지 전환 참여 유도 정책

자료: 저자 작성

- 선진국들은 공통적으로 환경성과 경제성을 함께 고려하여 지속가능한 저탄소 에너지 정책을 펼치고 있음. 선진국 사례를 참고하여 효율적이고 지속가능한 제도 마련이 필요함

- 독일의 에너지 전환(Erneuerbare-Energien-Gesetz: EEG) 정책 개정에 나타난 재생에너지 지원정책의 방향성
 - 재생에너지 발전 차액지원제도(Feed-In Tariff: FIT)가 재생에너지 보급에 크게 기여했으나, 전력요금 상승에 따른 소비자 부담 완화와 보다 지속가능한 저탄소 에너지 믹스 실현을 위해 에너지 전환(EEG) 정책을 수차례 개정
 - 현재 독일은 재생에너지 발전에 경매 입찰 방식의 시장 메커니즘을 도입하여 효율적이고 장기적으로 지속가능한 정책을 펼치고 있음

- 영국은 재생에너지 발전 확대에 크게 기여한 재생에너지 의무공급제도(Renewable Obligation: RO)를 폐지했고, 2020년에는 전력 공급사와 발전사 간 계약 자율화를 통한 단가 결정 등 시장 메커니즘이 포함된 스마트전력망 보장제도(Smart Export Guarantee: SEG)를 도입할 계획(강준희, 2019)
 - SEG는 전력 판매사업자와 발전사업자가 자율적 계약을 통해 재생에너지 전력을 생산·공급하게 함으로써 장기적으로 지속가능하고 경제적 효율성과 환경친화성을 함께 달성할 수 있도록 해줌(BEIS, 2019)
- 우리나라도 저탄소 에너지 전환을 위해 재생에너지 보급 확대에 힘쓰고 있으나, 선진국 사례를 참고해 과도한 비용 투입을 지양하며 정부-전력사업자-전력소비자 모두에게 효율적이며 지속가능한 제도를 마련해야 할 것임
- 저탄소 에너지 사회로의 용이한 전환을 위해 국민 모두가 저탄소 에너지 사회로의 전환에 동참할 수 있는 다양한 정책 도입과 에너지 소비자가 에너지 이용의 환경적 영향을 직접 체감할 수 있는 여건 조성 필요
- 탈탄소 및 재생에너지 보급 확대에 에너지 소비자가 자발적으로 참여할 수 있게 유인하는 선진국의 주요 제도
 - 영국의 연료 유형 및 CO₂ 배출량에 따라 부과하는 자동차세(Vehicle Excise Duty: VED), 일본의 탄소세, 미국의 재생에너지 생산세액공제(Production Tax Credit: PTC)와 재생에너지 투자세액공제(Investment Tax Credit: ITC) 등

3. 우리나라 저탄소 에너지 전환의 경제적 영향 평가

- 거시적·미시적 분석을 통해 우리나라가 저탄소 에너지 전환을 이행해가는 과정에서 경제에 미치는 부정적인 영향을 최소화하고 긍정적인 효과를 극대화하기 위해서 어떠한 접근법이 필요한지 살펴봄

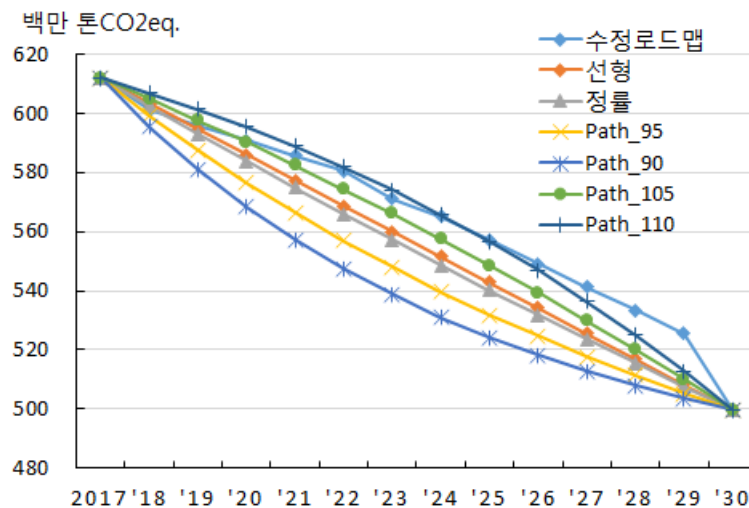
□ 저탄소 에너지 전환의 거시적 경제 영향 평가결과, 2030 온실가스 감축 로드맵 수정안 상의 온실가스 감축경로는 목표연도인 2030년에 감축부담이 집중되는 형태로 다른 경로들에 비해 부정적 경제 영향이 큰 것으로 분석됨

○ 연료연소 부문을 대상으로 2030 온실가스 감축로드맵 수정안의 온실가스 감축경로를 비롯하여 2018~2030년 기간 전년대비 감축률이 서로 다른 감축경로들을 설정

- 2030년 연료연소부문 국내 목표배출량 달성을 위해 2017년 배출량 실적에서부터 동일한 감축률으로 감축을 이행하는 선형경로와 전년대비 감축률을 일정하게 유지하는 정률경로를 설정

- [그림 6]의 $Path_{\delta}$ ($\delta=90, 95, 105, 110$)로 명명된 경로들은 전년대비 온실가스 감축률이 매년 $(100-\delta)\%$ 씩 감소($\delta < 100$) 또는 $(\delta-100)\%$ 씩 증가($\delta > 100$)하는 것으로 설정

[그림 2] 온실가스 배출경로



자료: 저자 작성

- 감축경로 달성을 위한 기준선(Baseline) 대비 감축률을 계산하였으며, 다양한 할인율을 적용해 감축경로 달성의 부정적 경제 영향을 비교·평가함
 - t 연도의 감축노력이 없었다면 발생하였을 배출량(Baseline)을 기준으로 감축률 계산
 - 부정적 경제 영향은 t 연도 감축률에 대한 지수함수로 가정
- 상대적으로 고른 감축률 분포를 보인 다른 경로들에 비해 특정연도 또는 특정 시기에 감축이 집중되는 경우 부정적 경제 영향이 크게 나타남([그림 6], <표 4> 참조)

<표 4> 온실가스 배출경로별 부정적 경제영향 순위

배출경로 \ 할인율(ρ)	0.5%	1.5%	2.0%	3.0%	4.5%
2018수정로드맵	7	7	7	7	6
선형경로	4	4	3	1	3
정률경로	3	3	2	2	4
Path_90	2	1	4	6	7
Path_95	1	2	1	4	5
Path_105	5	5	5	3	2
Path_110	6	6	6	5	1

자료: 저자 작성

주: 부정적 경제영향이 크게 평가될수록 순위가 낮음

- 2030년 목표배출량을 달성하고 온실가스 감축의 부정적 영향을 최소화하기 위해서는 온실가스 감축 기술 개발과 감축 수단 발굴에 집중하고, 가급적 조기에 감축 기술과 수단이 적용될 수 있는 여건 마련이 필요
- 우리나라 감축목표가 절대적 목표로 전환된 상황에서 초기의 낮은 감축률은 목표연도의 절대적 감축량 부담을 증가시킬 우려가 있음

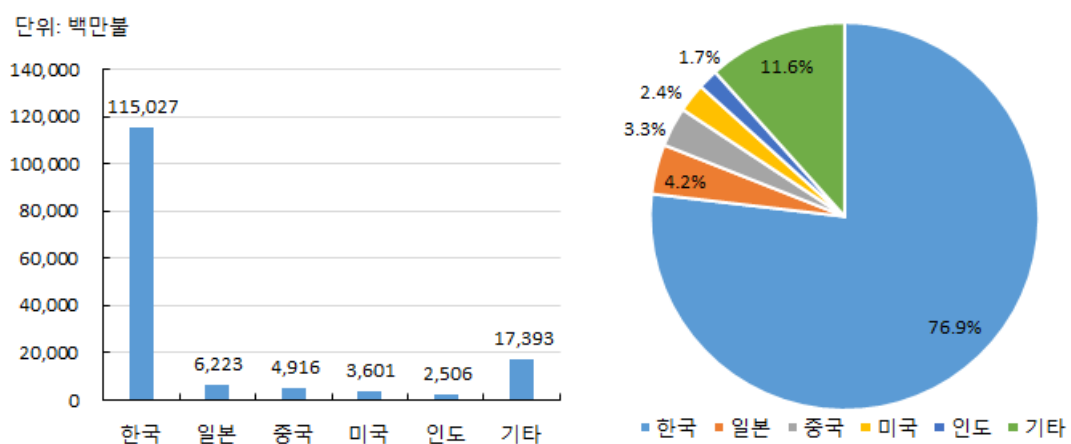
□ 저탄소 에너지 전환의 미시적 경제 영향 평가 결과, 경쟁국에 비해 상대적으로 온실가스 배출원단위가 좋은 국내 산업업종에 대해 우리나라만 단독으로 과도하게 온실가스 감축을 추진하는 것은 국내 경제 측면에서나, 글로벌 온실가스 감축 측면에서 바람직하지 않은 것으로 나타남

□ 먼저 미시적 경제 영향 평가를 위해 글로벌 가치사슬(Global Value Chain: GVC)의 관점에서 세계 투입산출표(World Input-Output Table: WIOT)로부터 1차 금속 제조업의 생산자와 소비자 간의 글로벌 연결구조를 확인함

○ WIOD(2016)에 따르면, 국내산 1차금속제품은 2014년 기준으로 149,667백만 불만큼 생산되었고, 그 중 76.9%인 115,027백만 불만큼은 한국 내에서, 나머지 23.1%인 34,640백만 불만큼은 수출되어 해외에서 사용됨

- [그림 3]에서 확인되듯이 국내산 1차금속제품은 일본에 4.2%(6,223백만 불), 중국에 3.3%(4,916백만 불), 미국에 2.4%(3,601백만 불), 인도에 1.7%(2,506백만 불) 순으로 공급되어 사용됨(WIOD, 2016)

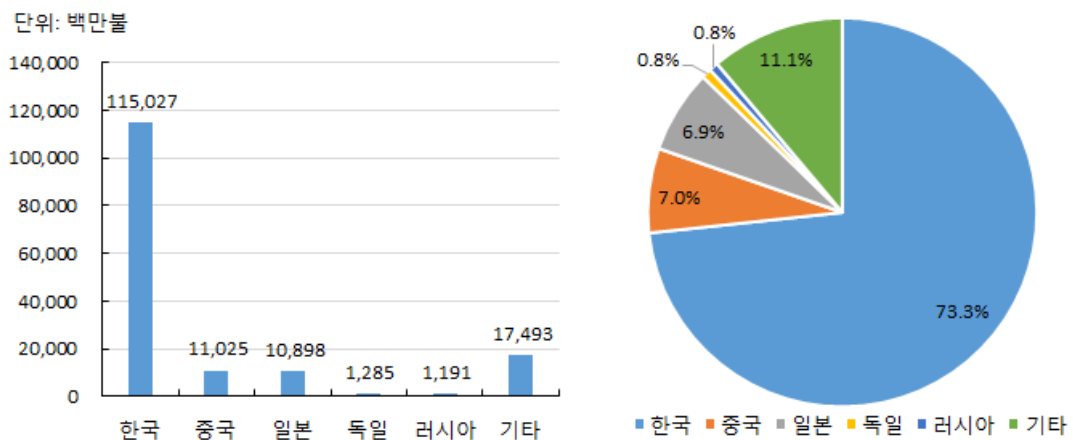
[그림 3] 국내산 1차금속의 글로벌 사용구조



자료: WIOD(2016)에 기반해 저자 작성

- WIOD(2016)에 따르면, 한국에 투입된 1차금속제품은 2014년 기준으로 156,920백만 불 규모이고, 그 중 73.3%인 115,027백만 불은 국내산 제품이며, 나머지 26.7%인 41,893백만 불은 수입산임
- [그림 4]에서 확인되듯이 수입산 1차금속제품의 비중은 중국산 7.0% (11,025백만 불), 일본산 6.9%(10,898백만 불), 독일산 0.8%(1,285백만 불), 러시아산 0.8%(1,191백만 불) 순으로 파악되며, 나머지 11.1%인 17,493백만 불은 전 세계 나머지 국가들로부터 공급됨(WIOD, 2016)

[그림 4] 한국에 투입된 1차금속의 글로벌 공급구조



자료: WIOD(2016)에 기반해 저자 작성

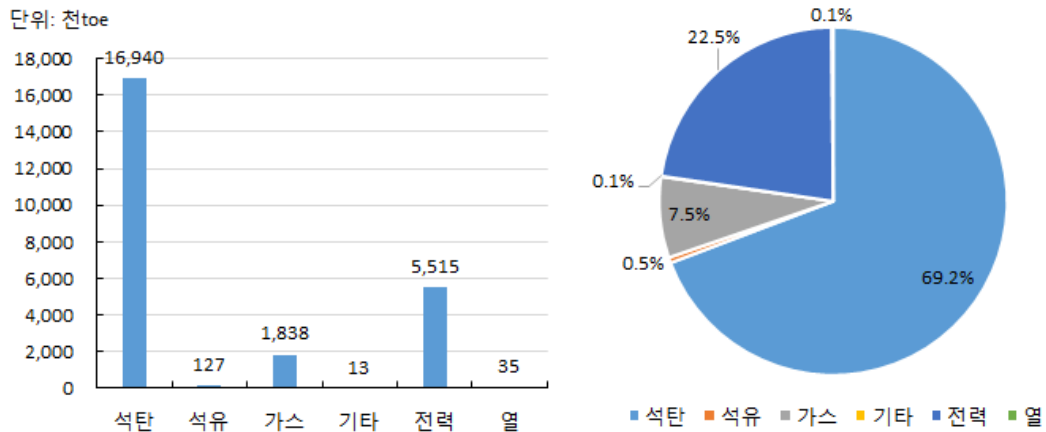
- 국내산 1차금속제품의 수출비중이 높은 일본, 중국, 미국, 인도에 투입된 1차금속제품의 글로벌 공급구조를 차례로 살펴봄
- 일본에 투입된 1차금속제품의 87.2%인 281,728백만 불은 일본산 제품이며, 수입산 1차금속제품의 비중은 국내산 1.9%(6,223백만 불), 중국산 1.8% (5,710백만 불), 러시아산 0.9%(2,829백만 불), 인도산 0.8%(2,722백만 불) 순으로 파악됨(WIOD, 2016)

- 국내산 1차금속제품이 일본 내 수입비중에서 1위이나, 그 규모가 일본산 제품의 한국 내 투입액보다는 낮음
- 중국에 투입된 1차금속제품의 93.3%인 1,724,311백만 불은 중국산 제품이며, 수입산 1차금속제품의 비중은 일본산 0.6%(11,296백만 불), 호주산 0.4%(8,142백만 불), 국내산 0.3%(4,916백만 불), 대만산 0.2%(4,619백만 불) 순으로 파악됨(WIOD, 2016)
- 국내산 1차금속제품이 중국 내 수입비중에서 3위에 불과하며, 그 규모도 중국산 제품의 한국 내 투입액보다 낮음
- 미국에 투입된 1차금속제품의 73.7%인 250,854백만 불은 미국산 제품이며, 수입산 1차금속제품의 비중은 캐나다산 6.8%(22,997백만 불), 멕시코산 2.7%(9,295백만 불), 중국산 2.1%(7,079백만 불), 브라질산 1.3%(4,415백만 불) 순으로 파악됨(WIOD, 2016)
- 인도에 투입된 1차금속제품의 80.1%인 146,238백만 불은 인도산 제품이며, 수입산 1차금속 제품의 비중은 중국산 2.1%(3,849백만 불), 국내산 1.4%(2,506백만 불), 일본산 1.3%(2,288백만 불), 영국산 1.2%(2,217백만 불) 순으로 파악됨(WIOD, 2016)

□ IEA(2019)의 2014년 기준 세계 에너지 밸런스(World Energy Balances)를 이용해, 한·중·일의 1차금속 제품 생산의 에너지 사용구조를 살펴봄

- 한국의 1차금속 부문의 에너지원별 소비비중은 석탄이 69.2%(16,940천toe)로 가장 높았고, 전력 22.5%, 가스 7.5%, 석유 0.5%순임([그림 5] 참조)
- 중국, 일본에 비해 상대적으로 전력 비중이 높은 것이 특징임

[그림 5] 한국의 1차금속 부문 에너지 소비

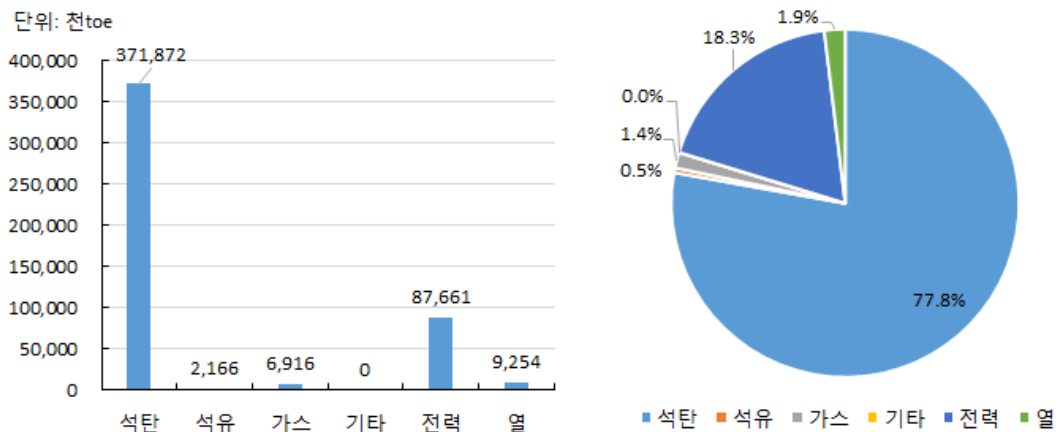


자료: IEA(2019)에 기반해 저자 작성

주: 기타는 바이오연료 및 폐기물

- 중국의 1차금속 부문의 에너지원별 소비 비중은 석탄이 77.8%(371,872천toe)로 월등히 높았고, 전력 18.3%, 열 1.9%, 가스 1.4%, 석유 0.5%순임([그림 6] 참조)
- 한국, 일본에 비해 상대적으로 석탄 비중은 높고, 석유, 가스 비중은 낮음

[그림 6] 중국의 1차금속 부문 에너지 소비

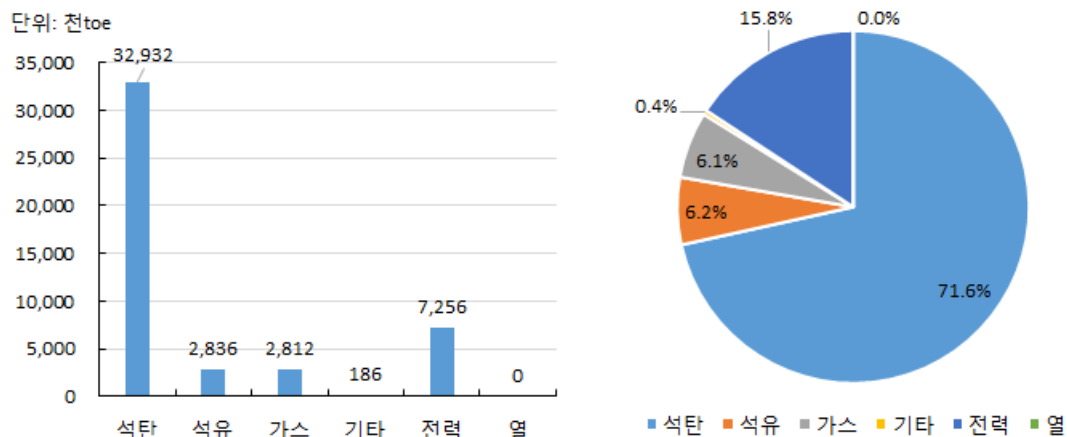


자료: IEA(2019)에 기반해 저자 작성

주: 기타는 바이오연료 및 폐기물

- 일본의 1차금속 부문의 에너지원별 소비 비중은 석탄이 71.6%(32,932천toe)로 가장 높았고, 전력 15.8%, 석유 6.2%, 가스 6.1%순임([그림 7] 참조)
- 한국, 중국에 비해 상대적으로 석유 비중이 높은 것이 특징임

[그림 7] 일본의 1차금속 부문 에너지 소비



자료: IEA(2019)에 기반해 저자 작성
 주: 기타는 바이오연료 및 폐기물.

- 한국 철강산업의 배출원단위는 삼국 중 가장 낮은 것으로, 1차금속업 전체 배출원단위는 중국보다 낮고, 일본과 큰 차이가 나지 않는 것으로 평가됨(<표 5> 참조)
- 총배출량 기준으로 한국 철강산업 배출원단위는 중국의 0.61배, 일본의 0.85배 수준으로 낮고, 한국 1차금속 배출원단위는 중국의 0.55배, 일본의 1.27배 수준임

〈표 5〉 한국, 중국, 일본의 1차금속 부문 온실가스 배출량 및 배출원단위

(단위: 천톤CO₂eq., 천톤, 톤CO₂eq./톤, 백만USD, 톤CO₂eq./백만USD)

		1차금속 배출량			철강		1차금속	
		철강산업 (A)	비철금속	계 (B)	조강 생산량 (C)	조강생산량 기준 배출원단위 (A/C)	총산출액 (D)	총산출액 기준 배출원단위 (B/D)
한국	직접 배출	71,533	677	72,211		0.9999		0.4825
	간접 배출	29,145	4,589	33,735		0.4074		0.2254
	총 배출	100,679	5,267	105,945		1.4072		0.7079
	기타 자료				71,543		149,667	
중국	직접 배출	1,426,219	79,825	1,506,043		1.7336		0.8313
	간접 배출	477,542	345,458	823,001		0.5805		0.4543
	총 배출	1,903,761	425,283	2,329,044		2.3140		1.2856
	기타 자료				822,698		1,811,694	
일본	직접 배출	143,064	3,538	146,602		1.2928		0.4222
	간접 배출	39,829	6,651	46,480		0.3599		0.1338
	총 배출	182,893	10,189	193,083		1.6527		0.5560
	기타 자료				110,666		347,272	

자료: IEA(2019), WSA(2015), WIOD(2016)에 기반해 저자 산정

주: 철강산업 배출량은 고로, 코크스로, 철강 부문의 배출량을 합산한 값

- 국내산 1차금속 제품을 경쟁국 제품으로 대체할 경우, 생산량 감소로 국내 경제에 부정적인 영향을 미칠 수 있고, 탄소누출(Carbon Leakage)과 비슷한 효과를 유발해 글로벌 온실가스 총 배출량 증가를 초래할 수 있음
 - 1차금속업을 대상으로 세계 투입산출표(WIOT)에 에너지 사용량 및 온실가스 배출량을 접목하여 분석함
 - 국내산 1차금속 공급량이 1% 감소하는 대신 이를 전부 중국이 대체 공급할 때, 글로벌 온실가스 배출량은 총 86.5만CO₂eq.톤 증가 추산
 - 국내산 1차금속 공급량이 1% 감소하는 대신, 이를 중국과 일본이 절반씩 대체 공급할 때, 글로벌 온실가스 배출량은 총 31.9만CO₂eq.톤 증가 추산
- 탄소누출을 방지하고 온실가스 감축 효과의 극대화 위해 우리나라 산업의 온실가스 배출원단위를 경쟁국 대비 우수한 수준으로 유지·개선해야 함
 - 이를 위해, 기업이 감축기술 개발, 에너지효율 개선 등을 위한 투자에 적극 나설 수 있도록 정책적인 지원을 강화할 필요가 있음
 - 또한 UN 기후변화협상과 한·중·일 간 협상 등을 통해 경쟁국도 해당 업종의 온실가스 감축에 적극 동참하도록 유도해야 할 것임

4. 저탄소 전환 이행을 위한 부문별 전략

- <표 6>은 저탄소 에너지 전환 과정에서 경험하게 될 갈등 및 기회 요인을 정리하여 보여줌.
 - 분석 국가들의 거의 모든 사례는 앞으로 우리의 저탄소 에너지 전환 이행 과정에서도 비슷하게 나타날 수 있는 갈등 및 기회 요인인 것으로 파악됨
 - 이를 시민, 산업, 지자체, 정부, 주변국가 다섯 가지의 이해관계자별로 구분하여 저탄소 에너지 전환 과정에서 직접 경험하게 될 이슈들로 정리함

〈표 6〉 이해관계자별 갈등·기회요인

이해관계자	갈등·기회요인
시민	- 폐기물 안전처리(원전 폐기물, 태양광패널 등) 관리부재로 인한 주민건강위험, 환경오염 - 노후경유차 운행 중단으로 저공해차량 대체 부담 및 영세업자 및 1인 운송사업자 생계 악화 - 에너지 분권화와 에너지민주주의 이상의 한계 - 대규모 재생에너지시설 건설로 인한 산림 차별에 따른 환경파괴 및 재해방지기능 소실 - 전기요금 및 유류세 인상으로 중산 노동계급 부담 증가 및 삶의 질 저하 - 기존 에너지산업 종사인력의 재교육 및 재취업 - 산업경쟁력 약화 및 생산시설의 해외 이전에 따른 소득감소 및 실업
산업	- 발전시설 조기 폐쇄로 인한 재산권 침해 및 추가비용 발생 - 배출비용 부담, 탄소세 부과로 인한 경제적 부담 증가, 산업경쟁력 약화, 생산시설의 해외 이전 부담 - 충분한 지원 없는 경유차 규제는 중소 영세업자 폐업 위험 초래 - 프로슈머 등장으로 전력생산 및 판매 권한의 갈등, 전력시장 독점 포기 및 전통적 고객과의 경쟁관계 성립 - 에너지산업 재편에 따른 필요 기술력 및 전문인력 부족 - 에너지기술 선도 및 표준을 통한 유망시장 선점 - 태양광패널 폐기 및 재활용 기술을 통한 사업 기회 - 배출원단위 우위 지속을 통한 글로벌 상품시장 선도
지자체	- 지역주민과 대형 에너지발전시설 사업자간의 갈등 조정을 위한 거버넌스 (예: 조례) 부재와 조정비용 발생 - 에너지 거대기업의 대규모 발전설비 투자로 인한 분산형 에너지 발전과 지역경제 발전 한계 - 폐기물 안전처리(원전 폐기물, 태양광패널 등) 규제와 대규모 처리장 확보 - 재생에너지(태양광) 발전설비 난립으로 환경피해 및 재난 대응 기회비용 증가 - 재생에너지시설 건설에 대한 규제 부재 및 지자체 조례의 법적구속력 실효성 부족 - 온실가스 다배출 지역 산업체의 폐업 및 해외 이전에 따른 실업 및 세수부족 대책 강구
정부	- 에너지산업 재편에 따른 필요 전문인력과 기술연구개발 - 전력중심 에너지산업, 사이버안보와 전력망 안전 및 재해 복원력(Resilience) - 향후에 배출될 폐기물의 양과 재활용을 위한 제반 비용 파악, 관련 제도 (예: 비용적립 의무화) 수립 - 특정지역 내 화력발전 및 공기오염 희생 발생, 지역 간 공정성 - 온실가스 감축경로 설정에 따른 이해관계자 간 갈등 조정 - 온실가스 다배출 산업의 폐업 및 해외 이전에 따른 산업공동화 방지, 실업 및 세수부족 대책 강구
주변 국가	- 인접국가의 원전증설 반대(영국원전 증설에 대한 오스트리아의 국제사법재판소 소송) - 잉여전력의 마이너스 수출 - 탄소누출에 따른 갈등 고조 - 온실가스 감축목표 이행에 대한 압박 증대

자료: 저자 작성

-
- 에너지 시스템 전환 이행을 위한 전략의 방향성을 고려해, 저탄소 에너지 전환 이행을 위한 에너지부문 전략, 기업경영 전략, 정책지원 전략, 과학기술 전략을 제시함
 - 에너지 시스템 전반에서 저탄소 전환 이행을 위한 전략을 다음 세 가지 측면에서 제시함
 - 첫째, 에너지 시스템 전환 과정에서 최근 가장 각광을 받고 있는 신재생에너지 보급 전략
 - 둘째, 상대적으로 온실가스 배출량이 적은 화석연료로써 상당 기간 동안 저탄소 에너지 전환 이행을 위한 ‘브리징 연료(Bridge Fuel)’로서 기능할 천연가스 전략
 - 셋째, 저탄소 에너지 전환 이행과정에서 고려되어야 할 기존 에너지 인프라의 처리 방안
 - 신재생에너지 보급 확대를 위해서는 경매제도 도입 등 신재생에너지 시장 경쟁 활성화, 주민 수용성 제고를 위한 이익공유제 실현과 지역 주민의 실질적 참여 확대, 태양광 폐패널 재활용 의무화, 신재생에너지 전력 계통 통합을 위한 에너지 시스템 구축이 필요함
 - 가스 부문에서는 가스 공급 안정성 확보를 위한 천연가스 도입선 다변화 노력의 지속, 천연가스 도입계약 조건의 유연화, 천연가스 이용 확대를 위한 기술 개발이 필요함
 - 기존 에너지 설비의 처리를 위해서는 에너지 인프라 대응 계획(EIAP)의 수립과 원자력 및 석탄 화력 발전의 처리 방안에 대한 고려가 필요함

- 특히, 에너지 인프라 대응 계획의 수립 시에는 WEC(2019)가 제시한 5가지 원칙에 대해 고려할 필요가 있음
 - 1) 해체와 좌초 자산화의 부정적 영향 최소화, 2) 기존 설비의 전용과 수명 연장을 위한 노력, 3) 탈탄소화 유도, 4) 기존 설비의 정보 공개 장려, 5) 이해관계자들의 공조 촉진

- 다음으로 저탄소 전환 이행을 위한 기업경영을 위해서 정부와 산업계는 탄소 배출을 줄이면서 산업 및 기업 경쟁력을 높이기 위한 효과적인 저탄소 에너지 전환 경로의 선택이 필요함
 - 정부와 기업은 지금까지 취해왔던 일단 지연시키는 전략에서 벗어날 필요가 있음
 - 정부는 1) 순차적이면서 조기 대응 수준을 높이는 정책과 2) 기후 기업가정신 (climate-entrepreneurship)을 고취하고 선도적으로 대응하는 기업에 유인책을 제공하는 제도의 마련이 필요
 - 기업은 글로벌 저탄소화 흐름에 적극 동참할 필요가 있고, 정부는 이에 필요한 인프라와 제도적 장치를 원활히 제공해야 함
 - 이를 위해 상호 공감대 형성과 실천적 협력방안 마련이 필요함

- 정책지원 전략으로는 저탄소 에너지 사회로의 전환에 대한 국민적 인식의 확산, 에너지 효율설비 설치를 통한 에너지효율 리모델링 확대, 고탄소 에너지 산업에서의 사회적 비용 보전책 마련, 저탄소 전력 구매 선택권 부여 등이 있음
 - 저탄소 전환의 필요성에 대한 국민적 인식의 확산을 위해서는 무엇보다 국민들의 일상생활과 가장 밀접한 재화나 서비스를 통해 화석에너지 사용이 이제는 비싸고 작별해야 할 대상이라는 점을 인식시켜줄 필요가 있음
 - 이러한 측면에서 현행 자동차세를 영국과 같이 CO₂ 배출량을 기반으로 개선하는 것도 하나의 방안임

-
- 기존 건물들에 대한 그린리모델링 확산을 위해 에너지 다소비 공공 건축물부터 녹색건축물로 전환을 의무화하고, 이후 단계적으로 민간 건축물까지 확대시켜 나갈 필요가 있음
 - 또한 에너지효율향상 리모델링보다 설치가 비교적 용이한 외부 전동차양(sunshade) 설치 등을 의무화해, 건물주의 부담을 줄이며 에너지를 절약할 수 있는 방안을 도입하는 것도 고려 필요
 - 에너지 전환으로 인해 영향을 받을 전통에너지원 산업의 근로자들을 위한 보호 조치를 사전에 마련해 ‘공정한 전환(Just transition)’이 달성될 수 있어야 함(WEC, 2019)
 - 한계기업의 구조조정을 유예해주는 기업구조조정 촉진법처럼 기존 고탄소 부문 근로자들의 실직 대비 및 기존 고탄소 기업의 구조조정 시간 확보를 위한 법률을 마련하는 것이 필요함
 - 전력 구매자들이 저탄소 전원 선택권을 보장받을 수 있도록 인프라, 제도, 요금제 등을 개편해 나갈 필요가 있음
- 저탄소 사회로의 전환 계획에는 반드시 관련 기술개발이 수반되어야 하며, 이를 위해 관련 R&D를 구체적·체계적으로 수행할 필요가 있음

IV 결론

- 주요 선진국의 저탄소 에너지 전환 과정 및 정책 사례, 우리나라에 미치는 경제적 영향 분석 결과, 그리고 이를 토대로 제시한 분야별 전략을 통해 저탄소 에너지로의 전환이 어려운 과정임을 다시 확인할 수 있음
- 또한, 저탄소 전환을 성공적으로 이행해가고 있는 것처럼 보이는 선진국도 수많은 시행착오와 실패를 겪으면서 저탄소 에너지 시스템으로 전환해가고 있다는 것을 알 수 있음
- 에너지 트라일레마의 세 축에서 확인되듯이, 서로 상충되는 가치를 모두 만족시키는 정책이나 대안을 마련하는 것은 현실적으로 매우 어려운 일임. 그러나 우리는 선진국이 힘겨운 가운데에도 이제껏 걸어왔고, 지금도 나아가고 있는 저탄소로의 길을 우리만의 방식으로 찾아 헤쳐 나갈 필요가 있음
- 저탄소 사회로의 전환을 이행하는 과정에서 가장 중요한 것은, 에너지 시스템과 경제 및 환경 측면에서 우리 사회와 국민들이 중요시하고 시급한 가치가 무엇인지 파악하고 합의해 나가는 것임
- 또한, 정책의 실행 과정에서 예기치 않은 부정적인 결과가 발생하지 않도록 지속적인 조사와 적절하고 현실적인 후속조치를 마련해야 할 것임

〈 참고자료 〉

1. 참고문헌

<국내 문헌>

강준희 (2019). 영국 FiT 제도 폐지와 SEG 도입 배경. 주간 KDB 리포트 제818호 (2019.3.4.). pp.3~5, 국내산업은행 미래전략연구소.

김동구, 손인성 (2019). 녹색에너지협동연구: 저탄소 에너지 전환의 이행 관리. 경제·인문 사회연구회 협동연구 총서 19-70-01 기본연구보고서 19-27. 에너지경제연구원.

<국외 문헌>

BEIS (2019). The Future for Small-Scale Low-Carbon Generation: Response to Consultations on Policy Proposals for a Smart Export Guarantee, and on Proposed Amended Licence Conditions. (2019.6). Department for Business, Energy and Industrial Strategy.

WEC (2018). World Energy Trilemma Index 2018. World Energy Council.

WEC (2019). Energy Infrastructure - Affordability Enabler or Decarbonisation Constraint? World Energy Council.

WEF (2018a). Fostering Effective Energy Transition 2019 Edition. World Economic Forum.

WSA (2015). Steel Statistical Yearbook 2015. World Steel Association.

<웹사이트>

IEA (2019). World Energy Balances database. International Energy Agency. 접속일: 2019년 3월 12일

https://www.oecd-ilibrary.org/energy/data/iea-world-energy-statistics-and-balances/world-energy-balances_data-00512-en

WEF (2018b). Energy Transition Index (2018 methodology). World Economic Forum. 접속일: 2019년 10월 1일

<http://reports.weforum.org/fostering-effective-energy-transition-2018/ranking/>

WIOD (2016). WIOT 2014, 접속일: 2019년 3월 12일

http://www.wiod.org/protected3/data16/wiot_ROW/WIOT2014_Nov16_ROW.xlsb

정책 이슈페이퍼 20-18

녹색에너지협동연구: 저탄소 에너지 전환의 이행 관리(계속)

2020년 5월 31일 인쇄

2020년 5월 31일 발행

저 자 김 동 구·손 인 성

발행인 조 용 성

발행처 에너지경제연구원

44543 울산광역시 중가로 405-11

전화: (052)714-2114(代) 팩시밀리: (052)714-2028

등 록 제 369-2016-000001호(2016년 1월 22일)

인 쇄 (사)한국척수장애인협회 인쇄사업소 (031)424-9347
