

탄소중립 시대 기후기술의 경제·산업적
활용을 위한 연구

2023년 3월 31일

연구기관: 한국외국어대학교

제 출 문

한 국 연 구 재 단 이 사 장 귀하

본 보고서를 “탄소중립 시대 기후기술의 경제·산업적 활용을 위한 연구”
과제의 최종보고서로 제출합니다.

2023. 3. 31.

연구기관명 : 한국외국어대학교

연구책임자 : 정 인 석

연 구 원 : 오 완 근

연 구 원 : 유 종 현

연 구 원 : 윤 혜 선

< 목 차 >

요 약	1
제 1 장. 서론	5
I. 기후 정책 동향	6
II. 연구와 활동의 지향점	7
제 2 장. 국내외 탄소시장 동향 및 대응 방향	10
I. 기후변화와 탄소중립	11
II. 탄소 중립 국제 동향	13
III. 국내외 탄소 시장 동향	14
IV. 우리나라의 탄소시장 대응 방향	18
제 3 장. 기후경제학 관점에서의 기후기술과 기후변화 완화	29
I. 서론	30
II. 기후변화 경제학과 기후기술의 이해	30
III. 기후기술 연구 사례 - efuels의 잠재력 분석	41
IV. 결론 및 제언	47
제 4 장. 기술혁신의 관점에서 바라본 기후정책	49
I. 과학기술 혁신과 기후기술	50
II. 기후기술 혁신을 위한 주요국 과학기술 정책	54
III. 지속가능한 기후기술 혁신 가속화를 위한 5대 개선과제	64

제 5 장. 탄소중립을 위한 고탄소산업의 기술혁신과 정부정책	69
I. 서론	70
II. 기존문헌 연구	71
III. CO2 배출 및 고탄소산업 현황	76
IV. 데이터 및 분석방법	87
V. 연구결과: 실증분석	91
VI. 연구결과: 설문분석	95
VII. 결론 및 정책적 시사점	99
제 6 장. 기후변화와 친환경 기술혁신에 관한 경제학적 고찰	107
I. 서론	108
II. 기후문제와 경제학	110
III. 환경정책과 혁신정책	113
IV. 혁신정책과 혁신의 방향	121
V. 과점경쟁과 전략적 혁신 인센티브	123
VI. 포터의 가설	126
제 7 장. 탄소규제와 통상 연계의 국제동향과 대응전략	132
I. 서론	133
II. 국내 기후정책 현황과 환경·에너지 정책 제언	135
III. 탄소관세(Carbon Tariff)	141
IV. WTO와 탄소관세	146
V. 탄소규제의 통상 대응전략	150
제 8 장. 토론: 정책 제언	153

< 표 차례 >

<표 1> 주요국의 탄소중립 정책 현황	13
<표 2> 전세계 탄소시장 거래 규모	17
<표 3> 미국 장기 전략의 5대 정책 방향	56
<표 4> 신 EU 기후적응 전략별 주요 내용	59
<표 5> 1990년 2019년 CO2 배출량 상위 15개국 비교	77
<표 6> 1990년 및 2019년 1인당 CO2 배출 순위	78
<표 7> 분야별 국가 온실가스 인벤토리 및 연평균 증가율(1990-2020)	78
<표 8> 산업분류	81
<표 9> 고탄소산업 부가가치 추이	82
<표 10> 고탄소산업이 경제 전체에서 차지하는 GDP 및 CO2 비중 비교(2000, 2020)	85
<표 11> 고탄소산업과 주요산업의 혁신율 및 R&D 활동을	86
<표 12> 주요 요약통계량	92
<표 13> 고탄소산업 기술혁신 결정요인 추정 계수 및 한계효과	92
<표 14> 고탄소산업 제품혁신 결정요인 추정 계수 및 한계효과	93
<표 15> 고탄소산업 공정혁신 결정요인 추정 계수 및 한계효과	94
<표 16> 기술혁신, 제품혁신, 공정혁신 결정요인 결과 요약	94
<표 17> 고탄소산업과 주요산업의 기술혁신 저해요인	95
<표 18> 고탄소산업과 주요산업의 기술혁신 저해요인: 법정유형	97
<표 19> 고탄소산업과 주요산업의 정부지원제도 중요도	98
<표 20> 고탄소산업의 정부지원제도 중요도: 법정유형	99
<표 21> 2030년 전원별 발전량 비중 전망	138
<표 22> WTO CTE 10개 논의의제	147

<그림 차례>

[그림 1] 전세계 온실가스 배출량 및 기온 변화 추세와 1.5℃ 시나리오	12
[그림 2] 주요 탄소시장 가격 추이 (ICAP, 2022)	17
[그림 3] OECD 탄소가격 지수(CPS) 국가별 추세	19
[그림 4] 온실가스 감축에 따른 편익과 비용	32
[그림 5] 순편익의 최대화와 최적 온실가스 감축량	33
[그림 6] 온실가스 감축에 따른 한계편익과 한계비용	34
[그림 7] 맥킨지 & 컴퍼니의 한계비용곡선	35
[그림 8] EDF의 한계비용곡선	36
[그림 9] 태양광 모듈의 가격 및 생산 변화	37
[그림 10] 한계비용곡선의 이동	38
[그림 11] 한계편익곡선의 이동	39
[그림 12] 한계편익곡선과 한계비용곡선의 이동	40
[그림 13] 선진국과 개발도상국의 한계비용 차이	41
[그림 14] e-fuels 생산 과정	42
[그림 15] WITCH 모형	43
[그림 16] 시나리오별 전 세계 e-fuels 생산량(및 소비량)	44
[그림 17] 시나리오별 수송부문내에서의 e-fuels 수요 비중	45
[그림 18] 에너지 타입별 육상부문 차량 비중 변화	46
[그림 19] 제5차 과학기술기본계획 주요 내용	51
[그림 20] 기후변화 대응을 위한 국제사회의 노력	52
[그림 21] 탄소중립 달성을 위한 9가지 솔루션	54
[그림 22] Fit for 55 주요 내용	58
[그림 23] 일본 2050 탄소중립을 위한 녹색성장 전략	61
[그림 24] 온실가스 감축 및 기후적응 분야 R&D 투자규모(2021년)	62

[그림 25] 탄소중립 기술혁신 방향	63
[그림 26] 제1차 기후변화대응 기술개발 기본계획 주요 전략	64
[그림 27] 탄소중립 기술의 사회적 보급시점과 기술성숙도	65
[그림 28] 기후기술의 온실가스 감축량 및 비용효과 사례	66
[그림 29] 고탄소산업 세부산업의 GDP 비중(%)	83
[그림 30] 고탄소산업의 성장기여도(2000-2020)	84
[그림 31] 고탄소산업이 경제전체에서 차지하는 GDP 및 CO2 비중 추이	85
[그림 32] 1850-1900 기간 대비 상대적인 글로벌 지표 온도의 변화	111
[그림 33] 글로벌 온실가스 배출과 온난화 시나리오	112
[그림 34] EU 탄소국경제도 주요 내용	145

요 약

본 연구는 총 8개의 장으로 구성되어 있다. 제1장은 서론으로서 본 과제의 연구 내용과 본 보고서에 대해 소개한다. 기후문제에 대한 정책적 대응에 있어서 본 연구는 세 가지 관점의 지향점을 가지고 있다. 첫째, 기후문제에 대해서는 종합론적 접근이 필요하다는 점, 둘째, 기후 대응과 성장의 지속을 위해서는 혁신이 열쇠라는 점, 셋째, 기후문제에 대한 사회적 대응을 위해서 다양한 주체들의 긴밀한 소통과 협력이 요구된다는 점이다. 본 연구진은 본 과제를 통하여 이러한 세 가지 관점의 연구 및 활동을 추진하고자 노력하였으며, 모든 관점에서 완벽한 결과를 만들어내지는 못하였지만, 그것을 위한 시초가 되는 노력이 되었다는 점에서 의의를 찾고자 한다. 본 연구를 위해서 ‘기후연구회’를 조직화하여 수차례의 세미나를 개최하고, 유관기관과의 협력방안을 도모하였다. 본 보고서는 경제학 내의 다양한 시각에서 기후정책에 관한 이슈를 연구하고 정책 대안을 제시하고자 하였다. 그 연구의 결과는 본 보고서의 2장에서 7장에 제시되었으며, 아래에서 각 장의 내용을 간략히 소개한다. 본 연구 결과는 기후 문제 대응을 위한 국가 혁신정책을 수립 및 추진하는데 중요한 기초가 될 것이다. 본 연구의 연장을 위한 후속 연구를 통하여 기후 문제에 대한 우리 사회의 대응 노력에 크게 기여 할 수 있을 것으로 기대한다.

제2장은“국내외 탄소시장 동향 및 대응 방향”으로 주요 결과는 다음과 같다. 우리나라는 2015년부터 세계 최대 규모의 배출권 거래제도를 운영하고 있으나 전력시장의 탄소가격 왜곡, 정부의 불투명한 시장개입 및 이월 제한, 감축목표에 대한 번복과 과도한 무상할당 등으로 탄소 가격 기능을 충분히 발휘하지 못하고 있다. 이러한 문제를 해소하고 탄소시장을 정상화하기 위해서는 적절한 수준의 여유 배출권이 유지될 수 있도록 하고, 배출권의 이월 제한을 완화함으로써 현재와 미래 시장의 단절을 해소해야 한다. 또한 정부의 시장개입은 명확하고 투명한 규칙에 따라야 하며, 배출권의 할당은 중장기적 예측가능성과 신뢰성을 바탕으로 충분한 준비기간을 보장하도록 해야 한다. 배출을 많이 했던 기업에게 더 많은 배출권을 보장하는 할당 방식은 조속히 유상 할당 방식으로 전환되어야 하며, 그에 따른 재원은 공정한 에너지 전환과 고용 촉진 및 양극화 해소를 위해 활용되어야 한다. 이를 통해 효율적인 탄소중립으로의 전환을 달성한다면 우리나라는 탄소중립 경쟁에서 가장 큰 수혜자가 될 수 있을 것이다.

제3장 “기후경제학 관점에서의 기후기술과 기후변화 완화”는 경제학 관점에서 온실가스 감축 및 탄소중립을 실현하기 위한 기후기술의 역할을 이론적으로 설명하고, 관련 사례연구를 소개하였다. 기본적인 기후경제학 이론에서 기후기술은 온실가스 한계감축비용 곡선으로 나타낼 수 있다. 기후기술에 대한 기술개발 투자 혹은 지속적인 신기술 제품 생산은 한계생산비용을 감소시켜 온실가스 한계감축비용을

하락시킨다. 이로 인해 온실가스 감축량은 증대되고 기후변화를 완화시켜 사회적 편익을 발생시킨다. 일반적으로 기후기술의 한계비용은 시간이 흐를수록 하락하는 점을 감안할 때, 우리나라는 2030 국가온실가스감축목표 혹은 2050 탄소중립목표 달성을 위해 단기적으로는 기후기술의 한계비용 감소, 장기적으로는 기후기술을 이용한 적극적인 온실가스 감축 계획이 마련되어야 할 것이다.

제4장은 “기술혁신의 관점에서 바라본 기후정책”을 논의하고 있는데 주요 결과는 다음과 같다. 기후변화 대응은 인류의 생존과 직결된 글로벌 아젠다로, 교토의정서 및 파리기후협약 등의 채택을 통해 범지구적 공통 목표를 설정하고 온실가스 감축을 위한 노력을 추진하고 있다. 우리나라도 2050 탄소중립을 선언하고 관련 정책을 강화하는 등 노력을 확대하고 있다. 하지만 국내 산업구조와 자원 부족 등의 여건을 고려할 때 기후변화 대응은 매우 도전적 과제이다. 우리나라가 이러한 한계점을 극복하고 기후변화에 효과적으로 대응하기 위해서는 기후기술 혁신이 매우 중요하다. 미국, EU, 일본 등 주요국은 전략과 협력에 기반해 기후기술 혁신을 가속화하고 있다. 지난 2~3년 간 우리나라도 경쟁적으로 기후변화 대응 R&D 정책을 발표하고 있으나 정책 간 연계성과 체계성이 부족하다. 기후기술 혁신 가속화를 위해 일관성있는 기술혁신 정책 수립, 기술특성을 고려한 단계별 접근, 근거 기반의 전략 수립, 참여주체 간 협력 강화, 규제개선 및 세액지원 등 정책적 지원 강화가 필요하다.

제5장은 “탄소중립을 위한 고탄소산업의 기술혁신과 정부정책”에서는 고탄소제조업을 석유정제품, 화학, 비금속, 1차금속, 금속가공 5개 산업의 합으로 정의하고 고탄소산업 현황을 살펴본 후 KIS 2018 및 기업 재무제표 통계와 프로빗 모형을 적용하여 고탄소산업의 기술혁신에 대해 분석하였다. 실증분석 결과 매출액은 기술혁신, 제품혁신, 공정혁신 모두에 긍정적으로 유의하게 영향을 미쳐 기업규모가 커질수록 혁신이 촉진된다는 슈페터 가설이 성립하지만 매출액 제곱은 세 가지 혁신 모두에 계수는 음(-)이지만 유의하지 않아 역-U자형 곡선 가설은 성립하지 않는 것으로 나타났다. 연구인력비율과 정부지원제도 활용 둘 다 세 가지 혁신에 유의하게 긍정적인 영향을 미치며 정부지원제도 활용은 세 가지 혁신 모두에서 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 기업연령은 기술혁신과 공정혁신에는 영향을 미치지 못하나 제품혁신에는 긍정적인 영향을, 즉 설립된지 오래된 기업일수록 제품혁신을 촉진한다는 것을 보여주고 있다. 시장집중도는 시장이 집중될수록 기술혁신과 제품혁신에 부정적으로 작용하지만 공정혁신에는 긍정적임을 보여주고 있다. 이는 고탄소산업이 일종의 장치산업이어서 중소기업이 공정혁신을 추진하기가 쉽지 않은 것과 연관된 것으로 평가된다. 설문조사 분석 결과, 고탄소산업의 경우 혁신수요의 부족이 기술혁신의 가장 큰 저해요소라고 응답하였다. 정부지원제도의 활용 측면에서 고탄소산업의 경우 인증지원과 조세지원의 중요도가 높은 것으로 나타났으며, 구매지원과 인력지원의 중요도는 상대적으로 낮은 것으로 나타났다.

제6장은 “기후변화와 친환경 기술혁신에 관한 경제학적 고찰”이며, 주요 결과는

다음과 같다. 기후변화는 이미 환경과 사회에 부정적인 영향을 미치며, 그 영향은 악화되고 있다. 기후정책에 있어서 혁신의 역할, 혁신을 자극하기 위한 기후정책의 디자인 문제에 대한 관심과 이해가 필요하다. 기후문제는 다학제간 문제이고 경제학자들이 중심적인 역할을 해야 한다. 환경적 외부성에 기반한 환경정책과 지식의 시장실패에 기반한 혁신이 조화되어야 한다. 환경정책과 혁신의 관계에 대한 이해가 필요한데, 일반적인 인식과 달리 탄소세와 같은 환경정책의 도입이 친환경 기술 혁신을 억제할 가능성도 있다. 특히, 혁신의 방향이 내생화되는 경우, 경로의존성으로 인하여 초기에 집중된 적극적 친환경 기술 촉진 정책이 요구된다. 이것은 탄소세와 같은 전통적 환경정책 수단만으로는 달성하기 어려우며 직접적인 혁신 보조정책을 필요로 한다. 환경 혁신과 마켓파워(market power)는 어떤 관계도 중요하게 고려되어야 한다. 과점시장에서 경쟁자의 비용높이기 전략이 친환경 혁신의 동기가 된다. 포터의 가설은 잘 디자인된 환경규제는 기업에게 불리한 것이 아니라 기업의 이윤과 경쟁력을 높여줄 수 있다는 주장으로서, 전통적인 경제학의 인식과 모순되지만, 조직의 실패, 행동경제학적 요인, 그 외 다양한 시장실패 요인이 존재할 때 타당할 수 있음이 이론적, 실증적으로 밝혀져왔다. 또한, 과점상황에서 기업간 조정의 실패가 환경규제의 도입이 모든 기업에게 이득이 되는 것을 가능하게 한다.

제7장은 “탄소규제와 통상 연계의 국제동향과 대응전략”이다. EU 등 선진국을 중심으로 탄소감축의 목표 달성과 유효성 확보를 위하여 통상 및 무역을 규제 혹은 제한하는 추세이다. 수입품에 강화된 탄소 배출기준의 준수를 요구하거나 탄소규제가 느슨한 국가에서 생산된 제품에 대하여 기준 차이만큼 탄소관세를 부과하게 된다. 본 연구는 탄소관세 도입의 배경과 효과를 중심으로 각 국가의 사례 및 입장을 살펴보고, 자유무역을 근간으로 하는 세계무역기구(WTO) 규정과의 합치 여부를 타진한다. 미국은 자국 내 생산 전기차에만 보조금 혜택을 주는 인플레이감축법(IRA)을 통과시켰고, EU는 탄소국경세 도입을 포함하여 TV 에너지효율 기준을 강화할 예정이다. 이처럼 지구 환경보존과 연계한 자국 중심주의의 보호무역 파고가 더욱 거세질 것으로 예상됨에 따라 수출의존도가 높은 한국의 산업 및 경제에 미치는 충격을 최소화하는 데 필요한 대응전략을 제시한다.

마지막 8장은 위의 각 장의 논의를 바탕으로 도출한 정책 제언을 제시한다. 이것을 간략히 정리하면 다음과 같다.

- 탄소중립정책은 시장과의 연계를 통해서 보다 합리적으로 설계 및 집행될 수 있다는 점에서, 지원 대상 기술의 선택 및 평가를 위하여 탄소시장을 활용해야 한다.
- 정부 지원 대상 기술의 선택에 있어서, 현재의 기술성숙도, 기술 수요에 대한 기대치, 기술의 지역적 확장성, 기술간 연결성 등이 고려되어야 한다.
- 과학기술 혁신의 역할이 중요하며 다양한 이해관계자와의 소통과 협업이 필요하다. 온실가스 감축효과에 관한 가이드라인이 마련되어야 하며, 기술의 상용화를 위해서 민간기업 생태계 활성화가 필요하며, 정부 내 탄소중립 대응 거버넌스 개편이 필요하다.

- 기후 대응을 위해서는 고탄소산업의 기술혁신이 중요하며, 증거기반 정책을 위해서 이 산업에 대한 정부지원제도의 활용도와 정책 효과에 대한 검증이 필요하다.
- 기술변화의 경제학은 기후정책 수립에 유용하며, 환경정책과 기술정책은 보완적이다. 기후문제 대응에 있어서 환경정책만으로는 부족하며 혁신에 대한 직접적 보조가 필수적이다.
- 탄소관세, 탄소국경조정제도 등 자유무역을 제한하는 조치에 대한 대응이 필요하다. 신재생에너지 등 저탄소에너지 비중을 늘리고 에너지 소비의 절대량을 줄이는 대책이 강구되어야 한다. 정부의 에너지 가격통제 및 보조정책을 축소하고 지나치게 낮은 에너지 가격을 현실화해야 한다.

제 1 장

서론

I. 기후 정책 동향

인간에 의해 지구온난화가 진행되고 있고, 기후변화에 전지구적인 대응이 요구된다. 지구온난화는 극한 기후 현상을 동반하여, 가뭄, 홍수, 태풍 등 이상기후를 유발하고, 해수면 상승, 물부족, 사막화를 촉발하며, 기후이주민(climate migrants)이 발생하고 사회 불안과 갈등을 야기할 수 있다. 이로 인하여 장기 거시경제에 부정적 영향을 미치며, 노동생산성과 투자의 하락을 유발하며, 농업생산성 하락으로 식량부족이 발생하고, 이상기후는 인간의 건강을 해칠 수 있다.

지구온난화를 막기 위해서는 온실가스의 순배출을 0으로 만들어야 하며, 이에 대한 대응은 조속히 그리고 큰 스케일로 이루어져야 한다. 하지만 국제적 노력에도 불구하고 아직 탄소가격제와 같은 제도의 도입이 부진하며 탄소배출과 화석연료의 채굴도 증가하고 있으며, 우리나라를 포함하여 많은 국가에서 대응이 지연되고 소극적이다. 많은 학자들과 행동가들은 기후 목표 달성을 위해서 향후 글로벌 경제의 전례없는 구조적 대전환이 필요함을 역설하고 있으며, 조속히 행동을 취한다면 탄소중립 전환의 기회 요인이 비용을 증가할 것이라 주장한다.

2015년 파리협정에서, 산업화 이전 대비 2°C 이하로 유지하고 더 나아가 1.5°C 이하로 제한하기 위해 노력하자는데 합의하였고, 많은 국가가 2050년 탄소중립(중국은 2060년)을 선언하였다. 2021년 글래스코에서 열린 COP26에서 기후 대응에 대한 단합된 의지를 재확인하였지만, 획기적이고 적극적인 행동이 실현될지는 향후 지켜보아야 한다.

우리나라도 2020년에 2050 탄소중립을 선언하였고, 2021년에는 국가온실가스 감축목표(NDC)를 2018년 온실가스 총배출량 대비 40% 감축으로 기존 감축 목표인 2018년 배출량 대비 26.3% 감축에서 대폭 상향하였다. 이것은 연 평균 감축률이 4.17%로서 주요국 대비 매우 도전적인 목표이다. (EU 1.98, 미국 2.82, 영, 2.81, 일본 3.56) 2018년 대비 전환 44%, 수송 38% 등 상당한 감축을 목표로 설정하고 있는데, 많은 전문가들로부터 회의적인 반응과 비판이 나오고 있다. 목표가 과도하게 높게 설정되어 있어서 2030년까지 달성하기 어렵다는 회의적 의견이 많다.

주요국의 경우에는 대부분 배출 정점을 이미 지났으며 감소하는 추세인 반면, 우리의 경우에는 2018년을 정점이라 하지만 그 이후 현재까지도 증가하고 있을 가능성이 크다. 따라서 2050 탄소중립과 2030 NDC의 달성이 용이하지 않을 것으로 보여진다.

NDC의 세부적 목표를 도출한 근거와 그것을 달성하기 위한 전략이 없다는 문제점을 극복해야 한다. 배출 감소에 대한 목표치를 달성하는 것이 중요한 것이 아니라, 그것을 어떻게 달성하느냐가 더 중요하다. 단기간의 급격한 감소로 인한 경제적 손실을 최소로 하기 위한 치밀한 정책과 전략이 요구된다. 그러한 분석과 논의 없이 맹목적으로 목표치의 달성을 추구한다면, 그 목표를 달성한다고 해도 막대한

경제적 왜곡과 사회적 혼란이 발생할 것이다. NDC 세부 목표의 실현가능성, 영역별 경제적 손실, 감축량에 대한 최적 배분에 대한 치밀한 연구가 필요하며, 목표 달성을 위한 구체적인 전략을 도출해야 한다.

한편, 기후 대응 문제를 보는 보다 긍정적이고 적극적 태도가 보이지 않는다. 많은 기후경제학자들은 기후문제가 새로운 기회 요인이 될 수 있음을 지적하고 있다. 기후기술에 대한 투자는 경제활동의 새로운 활력으로 작용하여 다른 보완적 기술에 누수효과(spillover)를 발휘하고 고용창출에 기여할 수 있다. 즉, 기후문제로 인하여 어쩔 수 없이 발생하는 피해를 최소화하는 것이 아니라 근본적인 변혁을 통하여 새로운 도약의 기회가 될 수 있다는 것이다. 기후 문제에 보다 적극적으로 대처하기 위한 새로운 성장 전략이 필요하다. 새로운 성장 전략은 환경적 지속가능성을 확보하면서, 또한 기후변화 또는 그에 대한 대응이 야기하는 불평등의 증가를 막기 위한 포용적(inclusive) 전략이어야 한다.

II. 연구와 활동의 지향점

본 연구진은 기후문제에 대한 정책 논의 및 접근에 있어서 다음의 세 가지 관점을 중요하게 고려한다.

첫째, 기후문제에 대해서는 종합론적 접근(holistic approach)이 필요하다. 기후변화와 그 대응은 모든 산업에 정도를 달리하면서 영향을 미치며, 일반 국민의 일상생활과 직결되고 있다. 학술적으로도 기후문제는 더 이상 환경경제학에 국한되는 이슈가 아니며, 거시경제, 금융, 에너지, 환경, 기술, 산업, 경쟁, 소비방식 등 다양한 관점에서 중요한 이슈로 부상하며, 학술적 연구들이 점증하고 있다. 반면에, 이러한 연구 결과와 주장들을 비교 분석하면서 종합적으로 평가하고 핵심적인 지식을 도출하려는 노력은 부족하다. 특히, 개별 분야의 학술적 연구로부터 현실적으로 실행가능한 정책 함의와 시사점을 도출하기 위해서는 총체적 이해와 논의가 필요하다.

둘째, 기후문제 대응과 새로운 성장의 촉진을 위해서는 혁신이 열쇠이다. 새로운 저감기술을 개발하고 그것을 채택함으로써 기후문제로 인한 비용 상승을 회피할 수 있다. Aghion et al. (2009)은 녹색 성장 논의가 혁신 요인을 무시하고 과도하게 단순화된 방식으로 진행되고 있음을 지적한다. 즉, 기술이 고정되어 있거나 신기술의 등장이 우연적으로 이루어진다는 가정을 하고 있는데, 그 경우 비효율적 기술에 투자하거나 신기술 등장 때까지 기후 대응 행동을 지연할 것을 제안하는 등의 잘못된 정책 처방이 내려질 수 있다는 것이다. 따라서 기술의 변화 가능성을 중요하게 고려하여야 한다. Stern(2021)은 지속가능하고 포용적인 새로운 성장 전략의 필요성을 강조하면서 다양한 정책 수단이 필요하지만 그중에서도 혁신이 핵심임을 역설한다. 탄소중립 전환은 경제 전반에 대한 상당한 성장의 기회를 제공하며, 따라서 혁신 주도 지속가능 성장(innovation-led sustainable growth)을 추진해야 하는데

이에 대한 기회요인, 동인, 이를 위한 정책들에 대한 연구가 필요하다. 환경적으로 지속가능하고 포용적 성장 정책이 필요하며, 이러한 대응은 조속히 그리고 큰 스케일로(act quickly and at scale) 이루어져야 한다. 기후문제는 단순한 환경 오염의 문제 이상의 복잡한 이슈이기 때문에 탄소가격의 도입만으로 부족하다. 환경적 외부성 외에도 다양한 시장실패 요인이 작용하며 탄소가격 하나의 정책 수단 만으로는 기후문제에 대한 효과적 대응이 어렵다. 시장실패 요인으로서, 부정적 외부성 외에 경로의존성(네트워크효과, 전환비용 등에 기인), 정보 비대칭으로 인한 불완전 자본시장, 지식의 공공재적 성격 등이 기업의 기후기술 채택과 투자에 부정적으로 영향을 미친다. 또한, 탄소가격 외에 규제와 표준, 연구개발 지원 등 다양한 정책 수단을 복합적으로 활용하여야 한다.

이러한 관점에서 기후 대응을 위한 국가혁신정책의 전환이 요구된다. 국내 2050 탄소중립, 2030 NDC는 감축 목표 설정에 불과하며, 혁신정책 또는 국가 성장전략과 연계되어 있지 않다. 한국판 뉴딜 중에서 그린뉴딜은 기후변화 대응을 명시하고는 있으나 코로나19로 인한 경기침체 극복과 실업 구제의 성격이 강하며 기후문제와 연계된 체계적 성장전략으로는 부족하다.

셋째, 기후문제에 관해서는 학계, 정부, 시민사회의 긴밀한 소통과 협력이 중요하다. 기후문제가 사회 전반에 걸쳐 영향을 미치며, 더욱이 그 영향이 산업별 개인별로 정도를 달리할 것이다. 따라서 기후문제에 대한 대처는 정치적 문제가 되기 쉬우며, 그로 인한 소모적 논쟁이 야기되고 효율적 정책의 추진이 저지될 수 있다. 정부가 근거나 달성 방법에 대한 설명 없이 목표를 설정하고 일방적으로 그것을 실행하는 구태의 정책 방식은 필시 정책 실패로 귀결될 것이다. 이를 방지하기 위해서는 학계의 치밀한 분석연구 과정과 시민사회와의 소통의 과정이 필요하다.

이상의 세 가지 관점에 근거하여 본 과제가 지향하는 연구 및 활동을 다음의 세 영역으로 규정할 수 있다.

- ① 영역 또는 주제별 기후문제 대응정책과 기후기술과 경제의 관계 규명
- ② 기후 대응을 위한 국가혁신시스템 연구 및 국가혁신정책 도출
- ③ 기후 대응에 관한 정책 플랫폼 구축 및 소통의 활성화

본 보고서는 위의 ①과 ②의 영역에서 수행한 연구결과를 제시한다. ①의 연구를 위하여 환경경제학, 기술혁신 경제학 분야의 전문가들을 연구에 참여시켰다. 본 보고서의 2장에서 7장까지는 이들 전문가가 각 장을 맡아서 경제학 내의 다양한 시각에서 기후와 혁신의 문제를 논의하면서 다양한 정책 제안을 제시한다. 이러한 연구 결과는 궁극적으로 ②의 기후 분야 국가혁신정책의 수립에 기초와 방향을 제시한다. ②의 연구는 광범위한 영역의 장기간 연구를 요구한다. 따라서 본 과제의 연구에서 이 영역에서 충분히 구체적인 정책시스템을 제시하였다고 보기는 어렵다. 하지만 본 연구를 기초로 하여 정책연구가 지속될 수 있다면 국가 차원의 정책 체계의 도출이 가능할 것이며, 그러한 점에서 본 연구는 기후 관련 국가혁신정책 수립에 기여하고 있다고 평가한다. 마지막 ③과 관련하여 본 과제 수행 과정에서 기후

정책 분야의 공공기관과 협력 활동을 추진하였으나 시간과 자원의 부족으로 가시적 성과를 내지는 못하였다. 하지만 관련기관과의 소통과 연결을 구축함으로써 향후 적절한 환경과 기회가 주어진다면 큰 성과를 만들어 낼 수 있을 것으로 기대한다. 한편, 본 과제 연구진을 중심으로 기후 및 혁신 분야 학자들로 ‘기후연구회’를 조직하였으며 수차례의 세미나를 통하여 기후정책에 관한 소통과 학습의 기회를 가졌다. 향후 이 기구의 활동을 확대한다면 기후정책에 기여하는 종합적 정책 기구로서 발전시킬 수 있을 것이다.

제 2 장

국내외 탄소시장 동향 및 대응 방향

김용건
한국환경연구원

I. 기후변화와 탄소중립

2022년 역시 전세계는 극심한 기상이변으로 몸살을 겪었다. 3개월간 내린 폭우로 국토의 1/3이 물에 잠긴 파키스탄은 사망자 1100여명, 이재민 570만명, 피해액 100억달러에 달하는 피해가 발생했다. 전체의 2/3가 가뭄에 휩싸여 500년만에 최악의 가뭄을 기록한 유럽¹⁾, 가뭄과 폭염으로 인한 산불로 여의도 면적의 80배 정도가 태워진 미국 서부는 촉정을 시작한 이래 가장 심각한 상황이라고 평가되는 수준이다. 올 겨울에는 미국 동부 폭설로 뉴욕주에서만 35명이 사망하는 등 가뭄과 한파가 번갈아가면서 피해를 주고 있다. 일본에서도 12월말 동해 방면 지역에 기록적인 폭설이 쏟아 14명이 사망하고 34명이 중상, 53명이 경상을 입었다.

구글코리아가 발표한 올해의 검색어에서 기후변화가 1위를 차지했다. ‘카타르 월드컵’(4위)이나 ‘이상한 변호사 우영우’(2위) 보다도 더 많이 검색된 것이다. 3위에는 ‘초단기 강수 예측’이 자리잡아 기후 관련 주제가 가장 높은 관심을 받은 것이다.

이처럼 심각해지는 기후변화 문제를 근원적으로 해결하기 위해서는 지구온난화의 원인 물질인 온실가스의 배출을 완전히 제거해야 한다. 이는 온실가스의 순배출을 제로로 만드는 것인데, 이는 온실가스의 총 배출(화석연료 연소 등에서 발생)에서 흡수량(산림의 광합성 활동 등)을 제외한 양을 ‘0’으로 만드는 것을 뜻하며, 탄소중립(Carbon Neutrality) 혹은 넷제로(Net Zero)라 부른다.

기후변화에 대한 국제사회의 대응은 1988년 설립된 국제 연구조직 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)와 함께 본격화 되었다. IPCC는 세계기상기구(WMO)와 UN 환경계획(UNEP)이 공동으로 발족시킨 국제기구로서 기후변화에 관련 연구를 집대성하여 주기적으로 평가보고서를 발간함으로써 기후변화에 대한 국제사회의 대응을 선도하고 있다. 1990년 발간된 제1차 평가보고서를 기초로 1992년 UN 기후변화협약이 채택되었으며, 1995년 발표된 제2차 평가보고서를 근거로 1997년 교토의정서가 채택되었다. 이후 선진국의 구체적인 온실가스 감축의무와 국제 탄소시장을 도입되었으며, 2015년에는 이를 계승하는 파리협정이 출범하게 되었는데, 이러한 과정에서 IPCC의 정기적인 평가보고서는 중요한 과학적 근거를 제공해 왔다.

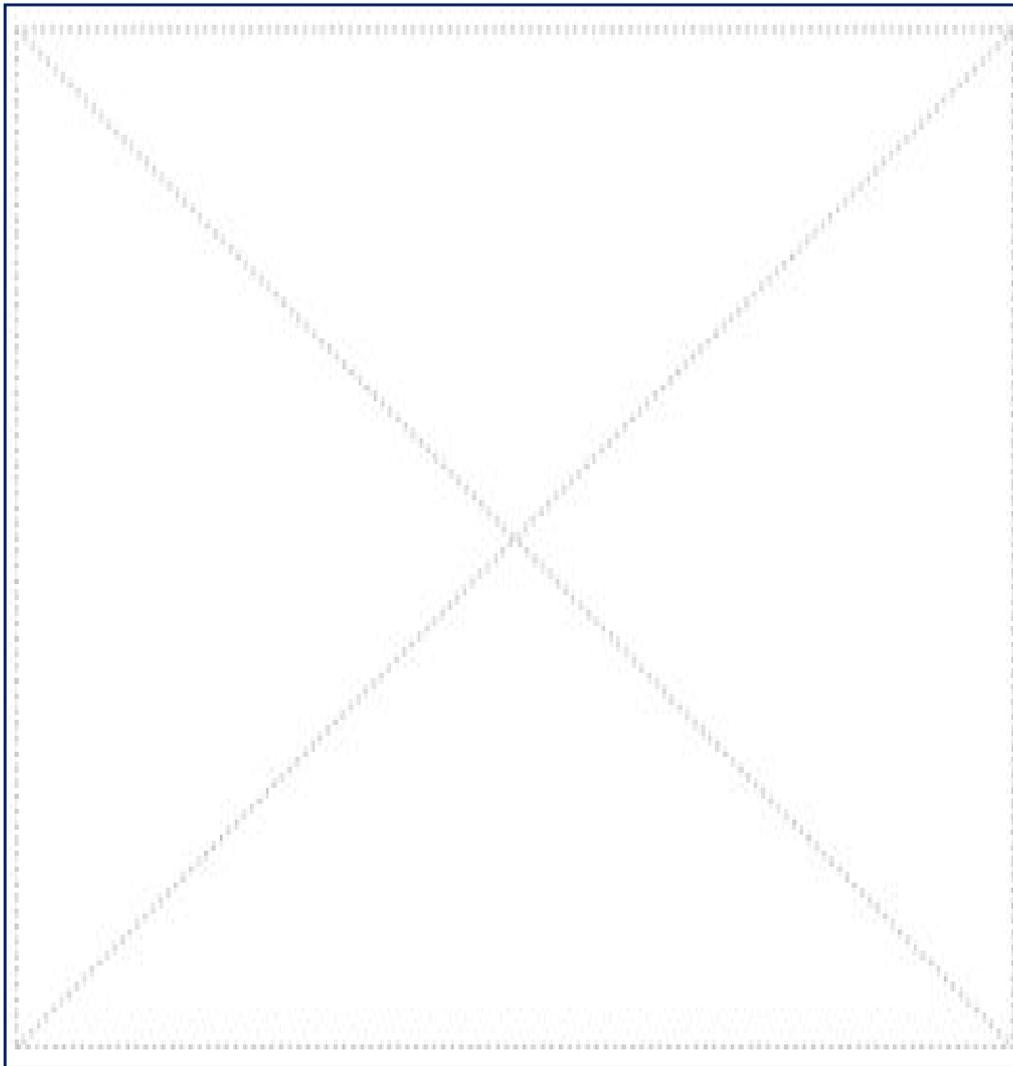
IPCC는 2018년 또 하나의 중요한 보고서를 발표하였는데, 『1.5℃ 특별보고서』가 그것이다. 이때까지만 해도 국제사회의 기후변화 대응 목표는 지구평균기온을

1) 유럽(EU) 집행위원회 산하 연구 조직인 세계가뭄관측(GDO)은 8월 23일 보고서를 통해 올해 초부터 유럽 수많은 지역에 가뭄이 발생해 8월 10일 현재 전체의 47%가 '경고', 17%가 '경계'에 해당했다고 분석했다. GDO는 가뭄 상태를 '주의'(watch), '경고'(warning), '경계'(alert) 등 3단계로 나누는데, 두 번째로 심한 '경고'는 땅이 이미 말라 붙은 상태, 가장 심한 '경계'는 식물에 악영향이 미치는 상태를 뜻한다. EU 집행위는 이번 보고서를 토대로 유럽 가뭄이 "최소 500년 만에 최악인 것으로 나타났다"고 진단했다. (연합뉴스 2022/8/24)

산업화 이전 대비 2°C 이내로 억제하는 것이었으며, 그마저도 행동이 뒤따르지 않는 이상적 목표에 불과한 상황이었다. 하지만 『1.5°C 특별보고서』는 2°C 목표는 너무 위험하며 1.5°C 이내로 지구온난화를 억제하지 않을 경우 심각한 피해가 우려된다는 과학적 근거를 보여주었다. 더 중요한 것은 1.5°C 이내 기온 상승을 억제하는 것인 기술적으로 가능하다는 점과 함께 그러한 노력을 위한 비용과 부담이 인류가 감당할 수 있는 수준이라는 근거를 제시하였다.

[그림 1]은 과거의 기온변화 추세와 함께 현재의 추세가 계속될 경우 2040년경에 1.5°C를 초과하는 온난화가 발생할 수 있다는 점과 함께, 2040~2055년 사이에 이산화탄소 배출을 완전히 중단할 경우 금세기말까지 1.5°C 이내로 지구온난화를 억제할 수 있다는 과학적 분석 결과를 보여주고 있다. 이러한 과학적 근거는 이후 탄소 중립을 향한 범지구적 노력을 촉발시키는 계기가 되었다.

[그림 1] 전세계 온실가스 배출량 및 기온 변화 추세와 1.5°C 시나리오



자료원: IPCC (2018)

II. 탄소 중립 국제 동향

IPCC의 『1.5℃ 특별보고서』를 계기로 전세계 각국은 탄소중립을 위한 노력을 본격화하였다. 2022년 12월 현재 전세계 198개국 중 133개국이 탄소중립을 약속하였는데, 이는 배출량 기준으로 83%, GDP 기준으로는 91%, 인구 기준 80%에 해당하는 것으로 달성 시기에 다소 차이가 있을 뿐 사실상 대부분의 국가가 탄소중립을 목표로 채택하고 있다. (Net Zero Tracker: zerotracker.net)

<표 1> 주요국의 탄소중립 정책 현황

국가	탄소중립 목표연도	2030년 감축목표 강화	탄소 시장	주요 정책 방향
EU	2050	1990년 대비 40% ⇒ 55%	EU-ETS 시장개혁 (MSR)	EU 그린딜- 재생에너지, 그린모빌리티, 건물 에너지효율향상 등 1조 유로 투자
미국	2050	2005년대비 35% ⇒ 52%	일부 주정부	세계기후정상회담(4/22); 발전부문 '35 탄소중립; 탄소의 사회적 비용(SCC) \$8 ⇒ \$51/tCO2
중국	2060	집약도 60~65% ⇒ 65% 이상	지역+전국	재생에너지, 탄소 포집/이용/저장(CCUS), BECCS, 에너지 저장, 수소
일본	2050	2013년 대비 26% ⇒ 46%	일부 지역 GX 리그	재생에너지, 수소 2천만톤도입('50), 암모니아/수소/SMR; 전기차
영국	2050	1990년 대비 53% ⇒ 68%	UK-ETS 최저가격제	발전부문 '35 탄소중립; 전기/수소화; CCS; 육류소비 저감, 단거리 항공 제한
독일	2045	1990년 대비 40% ⇒ 65%	EU-ETS + 수송/전물	내연/플러그인 차량 금지('32), 수송 부문 전력화, 수소환원 제철,

세계 최대의 탄소시장을 운영하고 있으며 글로벌 넷제로 노력의 리더 역할을 하고 있는 EU는 2019년 기후변화 대응 및 성장 전략으로서 유럽 그린딜을 발표하면서 2050년 탄소중립 목표를 선언하였다. 이와 함께 2030년 감축목표도 1990년 대비 40%에서 55%로 강화하였으며, 온실가스 감축을 위해 그린 모빌리티, 재생에너지, 건물에너지 효율화, 청정 및 순환경제 등에 대규모 투자를 진행하고 있다. EU는 강화된 감축목표의 달성을 위해 2021년 7월 14일 입법안 패키지 “Fit for 55”를 발표하였다.²⁾ 이 패키지에는 배출권 거래제의 확대 적용 및 개선, 탄소국경조정제

2) 'Fit for 55'는 공정하고 사회적으로 공평한 전환, 제3국과의 경쟁에서 EU 산업계의 경쟁력 유지, 전세계의 기후변화 대응 노력에서 EU의 리더십 강화 등을 목표로 하고 있다.

도의 도입, 탄소흡수원 확대, 항공 및 해운 분야의 친환경 연료 보급, 공정한 전환을 위한 지원 등이 포함되어 있다.

미국은 바이든 행정부가 들어서면서 트럼프 행정부에서 탈퇴한 파리협정에 재가입하고 2050 탄소중립을 선언은 물론 세계 기후정상회담 개최 등을 통해 국제 기후외교 리더십을 강화하고 있다. 2030년 감축목표 또한 기존의 35% 수준(2005년 대비)에서 50~52%로 대폭 강화하였으며 발전부문의 경우 2035년까지 탄소중립을 추진 중이다. 바이든 행정부는 인플레이션과 기후변화 대응을 지원하기 위한 인플레이션 감축법(Inflation Reduction Act: IRA)을 제정하였는데, 이는 태양광, 풍력, 전기차, 배터리 등 에너지 안보 및 기후변화 관련 활동에 3,690억 달러를 지원하는 등 총 7,370억 달러에 달하는 예산집행계획을 시행 중이다.

중국은 개도국 그룹의 대표로서 그동안 기후변화가 선진국 책임이라는 점을 강조하며 온실가스 감축에 소극적인 태도를 견지해 왔음에도 불구하고 탄소중립 대열에 동참하였다. 비록 목표 연도가 2060년이라는 점에서 타 선진국보다 10년 늦는 일정이라지만 수십년의 산업화 격차를 고려할 때 긍정적인 평가를 받을 만 한 것이다. 다만 2030년 목표와 같이 단기적인 감축 목표 강화에 있어서는 아직 유보적인 입장을 보이고 있다. 중국도 탄소 배출권 거래제를 온실가스 감축의 핵심 정책수단으로 채택하고 있다.

일본도 2050 탄소 중립 선언과 함께 세계 최초 탈탄소 사회의 실현을 목표로 다양한 분야의 기술개발과 투자를 계획하고 있으며, 신재생에너지, 수소 경제, 전력화 등을 중점 과제로 추진하고 있다. 일본은 이미 탄소세를 시행중이며 일부 지역에서는 탄소시장을 운영하고 있다. 영국은 2050 탄소중립을 위해 2035년까지 발전부문 탄소중립을 달성한다는 계획이며, 탄소시장에 최저가격제를 적용하여 발전부문을 중심으로 탈탄소화를 가속화하고 있다. 독일은 한발 더 나아가 2045년까지 탄소중립을 달성한다는 목표 하에 2030년 목표를 1990년 대비 65%까지 강화하였으며, 수송부문과 건물부문에 대해서까지 배출권거래제도를 확대 적용하고 있다.

우리나라도 2020년말 2050 탄소중립 목표와 달성 전략을 UN에 제출하였다. 이에 따르면 재생에너지, 동북아 슈퍼그리드 등을 통한 그린 전기 및 수소 활용 확대와 함께, 스마트 그리드, 자율주행차 등을 활용하여 디지털 기술과 연계한 혁신적 에너지 효율 향상을 추진할 계획이다. 또한 탄소 포집 및 이용/저장(CCUS), 수소 환원제철, 생물원료, 바이오플라스틱 등 탈탄소 미래기술 개발 및 상용화와 함께, 재활용 및 재사용을 통한 순환경제 실현으로 지속가능한 산업 혁신을 이룬다는 전략이다. 이와 함께 산림, 갯벌, 습지 등 자연/생태 탄소 흡수 기능도 강화할 계획이다.

III. 국내외 탄소 시장 동향

온실가스의 배출을 줄이기 위해서는 자발적 노력에만 의존할 수는 없으며, 다양

한 형태의 규제를 통해 정부가 개입하여야 한다. 유망한 저탄소 기술의 연구개발을 지원하는 정책, 배출 행위에 대한 규제, 배출량에 대한 세금 부과, 배출 쿼터의 할당 및 거래, 탄소 발자국과 같은 정보 제공을 통한 저탄소 제품 소비의 촉진, 기후 변화 관련 교육 등 정부는 여러 가지 정책 수단을 시행하게 된다. 그 중에서도 미리 정해진 배출 목표에 상응하는 배출 쿼터(배출권)를 발행하여 거래하도록 하는 온실가스 배출권 거래제가 점차 핵심적인 정책 수단으로 확산되고 있다. 온실가스 배출권 거래제는 탄소 시장이라 불리기도 하는데, 탄소세 정책과 함께 배출되는 온실가스에 가격을 부과하는 정책이라는 점에서 탄소 가격 정책(Carbon Pricing)으로 분류된다.

온실가스의 순배출량을 0으로 만드는 탄소중립을 실현하기 위해서는 경제구조 자체가 근본적으로 변화가 필요하다. 시장경제에서 이러한 변화는 모든 재화와 용역의 가격에 탄소의 가격이 반영될 수 있어야 가능해진다. 온실가스 감축목표 달성에 필요한 탄소 가격의 수준을 도출하고 이를 모든 제품의 시장 가격에 반영되도록 한다는 점에서 탄소 시장은 가장 효율적인 기후정책으로 평가받는다.

세계 각국은 각기 자국에 맞는 탄소시장을 설계하여 적용하고 있다. 2022년초 기준 전세계에는 34개의 배출권 거래제가 시행되고 있다. 2005년 EU 배출권 거래제(EU ETS)가 시작된 이래 8개의 국가(중앙정부), 19개의 지방정부, 그리고 6개의 도시에서 탄소시장을 운영중이며, 전세계 배출량에서 ETS가 관리하는 비중은 과거 16년간 5%에서 17%로 증가하였다. 경제규모 측면에서는 전세계 GDP의 55%를 점하는 지역에서 탄소시장이 운영되고 있으며, 전세계 인구의 1/3이 탄소시장의 관리를 받고 있다 (ICAP, 2022). 탄소시장과 함께 탄소가격 정책의 핵심 수단인 탄소세도 전세계적으로 30건이 시행중인데, 이를 포함하면 글로벌 온실가스 배출의 약 23%가 탄소 가격의 적용을 받고 있다. (World Bank, 2022)

EU(유럽연합)는 2005년부터 세계 최초이자 최대 규모의 배출권 거래제(EU ETS)를 운영중이다. EU 28개 회원국과 아이스란드, 리히텐슈타인, 노르웨이 등 총 31개국이 참여하고 있으며 전체 배출량의 45%가 배출권 거래제의 적용을 받고 있다. 시행 초기에는 배출권 가격의 급등락 등 불안정한 상황을 보이기도 하였고, 지나치게 낮은 배출권 가격이 장기간 지속되기도 하여 탄소 시장 무용론이 제기되기도 하였지만 지속적인 제도 개선 노력을 통해 명실 상부한 세계 최대이자 최고의 탄소 시장으로 발전하였다. 특히 2021년부터 시작하는 제4기부터는 배출권 수급 불균형을 해소하기 위한 제도적 장치로서 시장안정화 예비분(MSR: Market Stability Reserve)의 운영이 시작되었는데, 감축목표 강화와 함께 투명하고 예측가능한 시장안정화 조치의 영향으로 배출권의 시장 가격이 안정화되는 효과를 거두고 있다.

EU는 2030년까지 2005년 대비 55% 감축이라는 NDC 목표(Nationally Determined Contribution: 파리협정에 따른 국가별 감축의무) 달성을 체계적으로 이행하기 위해 'Fit for 55'라 부르는 법안 패키지를 준비중이다. 이 패키지는 EU

ETS의 개혁방안과 함께 탄소시장과 밀접히 연계된 탄소국경조정메커니즘(CBAM: Carbon Border Adjust Mechanism)을 포함하고 있다. 구체적으로는 EU ETS의 2030년 목표를 2005년 대비 62%까지 강화하고, 해양 수송, 항공 부문 및 CBAM 대상 업종에 대한 무상할당을 폐지, 국제항공 부문에서 시행중인 CORSIA와 EU ETS를 연계, 현대화 및 혁신 기금의 확대, 시장안정화 예비분(MSR)의 추가 개선 등을 포함하고 있다. 또한 Non-ETS 부분인 수송 및 건물 부문에 대해서도 별도의 배출권 거래제도를 시행하는 방안을 검토하고 있다.³⁾ CBAM은 EU 지역으로 수입되는 제품에 대해 수출국의 탄소가격 부담이 EU보다 낮을 경우 그 차이에 해당하는 탄소가격을 제품의 생산과정에서 발생한 온실가스 배출량에 대해 부담시키는 제도로써 일종의 탄소 관세(carbon tariff)에 해당하는 개념이다. 2022년 12월 현재 EU 위원회와 EU 의회의 잠정 합의안에 따르면 CBAM은 2023년 10월부터 시행하되 처음에는 온실가스 배출정보에 대한 보고의무만이 부과되며 철강, 시멘트, 비료, 알루미늄, 전기 및 수소를 대상으로 적용될 예정이다.⁴⁾

미국은 주정부 차원에서는 다수의 지역 단위 탄소 배출권 거래제가 시행중이다. 뉴욕 등 미국 동부 지역의 10개 주는 발전시설의 이산화탄소 배출에 대한 총량규제 및 배출권 거래제(RGGI)를 2009년부터 시행중인데, 할당 배출권의 거의 대부분을 유상 경매로 공급하는 획기적인 방식을 채택하였다. 일정 수준 이하로 시장가격이 떨어질 경우 배출권 할당 총량을 자동으로 감소시키는 시장 관리 제도를 적용하고 있다. 캘리포니아 주정부도 2012년부터 산업, 발전, 수송, 건물 분야를 대상으로 7종의 온실가스에 대한 배출권 거래제를 시행중이다. 할당은 경매와 무상할당을 병용하고 있으며, 경매의 경우 최소낙찰가(2019년 기준 \$15.6/톤)를 적용함으로써 지나친 가격 하락을 방지하고 있다. 배출권 가격이 너무 높아질 경우 단계별로 정부 보유 예비분을 매각하여 시장 가격을 안정시키는 시장 안정화 대책을 운영중이며, 2021년부터는 가격상한(\$65.0) 제도가 도입되었다. 캐나다의 퀘벡주 배출권 시장과 연계·운영중인데, 국가간 탄소시장 연계의 모범 사례로 평가받는다.

중국에서는 8개의 지역단위 배출권 거래 시범사업이 시행중이었는데, 2021년부터 2,225개 화력 발전시설을 대상으로 전국단위 탄소 배출권 시장을 출범하였다. 화력 발전에 따른 배출량을 중국 전체 배출량의 약 40%를 차지하는데, 이것만으로도 EU 탄소시장의 두 배에 달하는 큰 규모이다. 배출권은 배출원단위를 기준으로 할당하는 벤치마킹 방식이 적용되는데, 초기에는 원단위 기준이 높지 않아 배출권 수요가 크지 않을 전망이나 점차 원단위 기준이 강화될 계획이다. 대상 분야도 점차

3) 2022년 12월 현재 EU 위원회는 ETS 부문의 감축목표를 61%에서 62%로 추가 강화하는 데 대해 EU 의회와 합의하였다. CORSIA (Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation)는 국제 민간항공 분야에 대해 운영중인 ICAO (International Civil Aviation Organization) 주관 탄소시장으로 2018년 채택되어 2021년부터 적용되고 있다.

4) 유럽위원회의 법안에는 시멘트, 전기, 비료, 철강, 알루미늄의 5개 제품이 대상이었으나, 유럽의회에서 화학제품(유기화학제품, 수소, 암모니아 등)과 고분자 제품(플라스틱 등) 추가를 제안하면서 위원회와 의회간 협상이 진행중이다. (김성진 외, 2022)

다른 산업 부문으로 확대 적용될 예정이며, 중국 정부는 최근 발표한 2060년 탄소 중립 목표 달성의 핵심 정책 수단으로 탄소 시장을 활용할 계획이다.

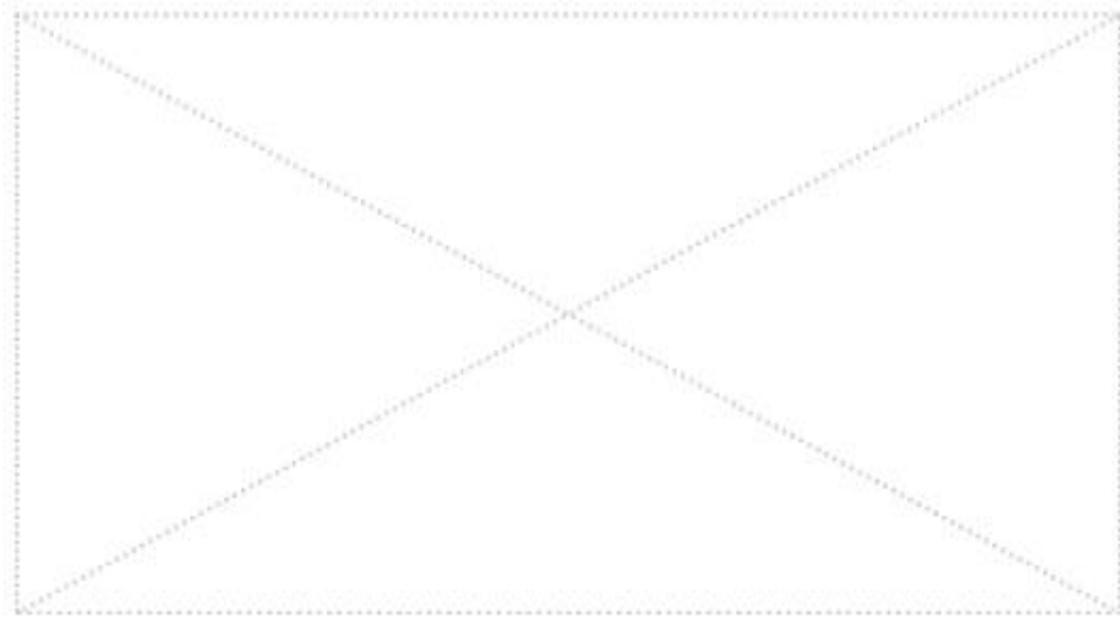
세계 탄소시장 거래규모는 급속한 성장세를 보이고 있다. Refinitiv(2022)에 따르면 2021년의 경우 전년 대비 162% 증가한 6,825억 유로(거래량 122억톤)에 달한다. EU ETS가 약 90%를 차지하는데, EU에서 탈퇴했지만 원래 EU ETS에 속해 있던 UK ETS를 포함하면 유럽이 전세계 탄소시장의 93%를 점유한다. 북미 지역 시장이 6%를 이상을 점하고 우리나라를 비롯한 나머지 시장은 지극히 미미한 수준에 불과한 실정이다. (<표 2> 참조) 우리나라는 거래량이 꾸준히 늘고 있음에도 거래금액은 2021년 전년 대비 8% 하락한 798백만유로에 그치고 있다. 전세계적으로 탄소시장이 급속한 증가세를 보이고 있는 반면, 우리나라의 시장 규모는 주요 탄소시장 중에서 유일하게 하락세를 보이고 있다. 이는 대부분의 탄소시장에서 가격이 상승하는 데 반해 우리나라의 탄소 가격은 하락세를 보였기 때문이다.

<표 2> 전세계 탄소시장 거래 규모

	2019		2020		2021		거래량 변화 (20~21)	거래액 변화 (20~21)	비중 (2021)
	Mt	백만 유로	Mt	백만 유로	Mt	백만 유로			
EU ETS	8,706	215,894	10,478	260,067	12,214	682,501	17%	162%	90%
UK ETS	N/A	N/A	N/A	N/A	335	22,847	N/A	N/A	3%
북미	1,673	22,365	2,010	26,028	2,680	49,260	33%	89%	6%
중국	130	249	134	257	412	1,289	207%	402%	<1%
한국	38	744	44	870	51	798	16%	-8%	<1%
뉴질랜드	30	433	30	516	81	2,505	170%	385%	<1%
CER	12	40	15	61	38	151	138%	148%	<1%
합계	10,589	239,725	12,712	287,799	15,811	759,351	24%	164%	

자료원: Refinitiv (2022)

[그림 2] 주요 탄소시장 가격 추이 (ICAP, 2022)



[그림 2]은 주요 탄소 시장 가격추이를 보여주는데, EU ETS 탄소 가격의 급증 추세가 잘 나타나 있다. 우리나라의 탄소 시장 가격은 2020년 초까지 세계 최고 수준을 유지한 적도 있으나 최근 코로나 사태 이후 급락세를 보이면서 \$10/톤 근처까지 하락하는 등 불안정한 장세를 보여주고 있다.

IV. 우리나라의 탄소시장 대응 방향

1. 우리나라의 탄소중립 대응 여건

전세계적인 탄소중립 노력은 우리나라에 여러 가지 기회와 함께 위협 요인을 제공한다. 가장 주목할만한 기회 요인은 전세계적인 온실가스 규제가 화석연료의 소비를 감소시키게 됨에 따라 화석연료 가격을 떨어뜨릴 것이며, 이는 우리나라와 같이 매년 막대한 양의 화석연료를 수입하는 국가에게 매우 큰 교역상의 이익을 가져다 줄 것이라는 점이다. 우리 스스로도 탄소중립을 추구하는 과정에서 화석연료를 덜 쓰게 될 것이므로 우리나라가 매년 화석연료 수입에 지출하는 100~200조원이 미래에는 더 이상 해외로 유출되지 않고 우리 국민의 소득으로 남게 된다는 점이다. 물론 화석연료를 대체하는 에너지의 발굴이 필요하며, 이를 위해 태양광, 풍력 등 재생에너지에 대한 대규모 투자가 필요하겠지만 그 과정에 지출되는 비용은 화석연료와 같이 단순히 해외로 지출되기 보다는 상당 부분 국내 기업의 수익으로 재환류 될 가능성이 높다.

또한, 탄소중립 추세는 전기/수소차와 같은 새로운 운송수단과 함께 배터리를 비롯한 에너지 저장장치 시장의 급속한 성장을 초래할 것이 확실시된다. 다행인 것은

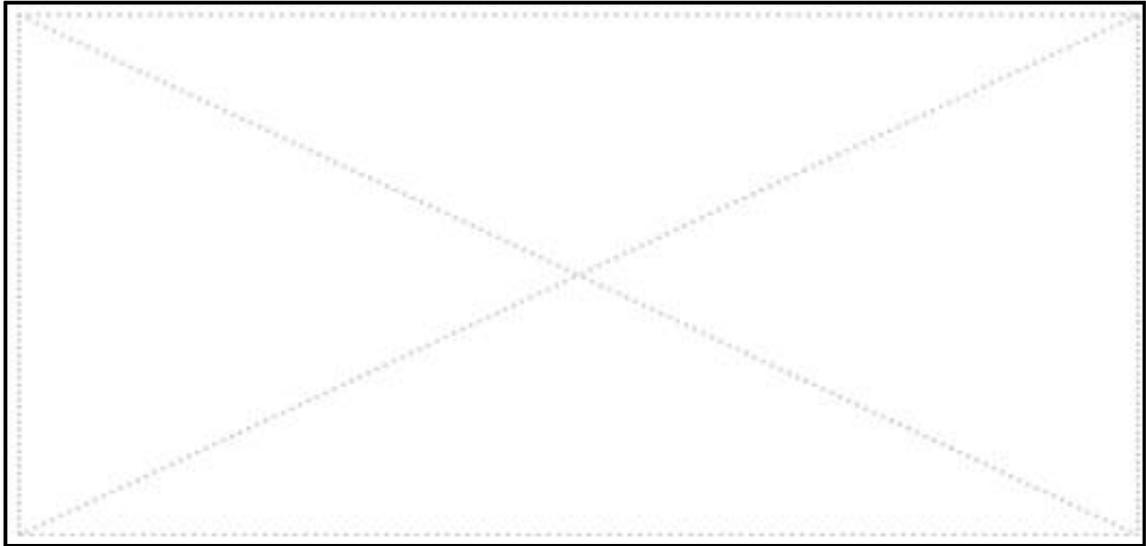
이러한 미래 시장과 관련 기술에서 우리나라의 기업들이 세계적인 경쟁력을 갖고 있다는 점이다. 이는 화석연료 가격 하락을 통한 교역조건 개선 효과와 함께 우리나라에 다양한 기회를 가져다 줄 것으로 보인다. 이와 함께 국내에서의 노력만으로 해결하기에 한계가 있는 미세먼지 오염문제도 중국과 여러 주변 국가가 화석에너지에서 탈피하게 되면 저절로 해결될 것이라는 점에서 또 하나의 이득으로 다가올 것이다.

반면에 탄소중립은 몇가지 심각한 위협 요인을 제공하기도 한다. 무엇보다 최근 EU에서 공표한 바 있는 탄소 관세(Carbon Tariff)와 이를 통해 촉발될 수 있는 보호무역주의 가능성이다. EU는 2021년 7월 탄소 국경조정 메커니즘(Carbon Border Adjustment Mechanism: CBAM)이라 명명한 탄소 관세를 2026년부터 본격 시행한다고 발표하였다. 처음에는 시멘트, 철강, 알루미늄, 비료, 전기 등 5개 품목을 대상으로 시작하지만 점차 확대시킬 예정인데, EU 탄소 시장의 배출권 가격에 상응하는 관세를 부과한다는 것이다. 미국, 캐나다 등 타 선진국도 탄소 관세 부과를 검토 중인데, 우리나라와 같이 탄소집약도가 높은 대외의존형 경제구조를 갖고 있는 상황에서는 매우 큰 위협이라 하지 않을 수 없다.

뿐만 아니라 우리나라는 과거 온실가스 감축목표를 크게 후퇴시킨 적이 있으며, OECD 국가 중 최고의 온실가스 배출 증가율을 기록함은 물론, 석탄 발전소의 과도한 건설 및 지원 등으로 ‘기후악당’이라는 오명을 갖고 있다. 이러한 대외 신인도의 하락 또한 탄소중립 시대에 우리가 극복해 나가야 할 위협요인의 하나로 등장하고 있다.

우리나라의 탄소중립 노력에 부정적 평가가 우세한 것이 현실이기는 하지만 긍정적 평가 또한 주목할 필요가 있다. 온실가스 규제 정책에 대한 종합적 평가지표의 하나로 OECD가 개발하여 발표하고 있는 탄소가격 지수(Carbon Pricing Score)에서 우리나라는 평가 대상 44개국 중 10위를 기록하였는데, 지수의 향상률에서는 세계 1위를 기록하고 있다. 탄소가격 지수가 탄소 시장 뿐만 아니라 탄소세와 다른 에너지 세제 등을 종합적으로 평가하여 유효 탄소세율(Effective Carbon Rates)이라는 지표로 집약한 결과라는 점에서 시사하는 바가 크다. 특히 탄소관세 전쟁이 벌어질 경우 유효 탄소세율은 관세를 면제받을 수 있는 근거로 활용될 수 있다.

[그림 3] OECD 탄소가격 지수(CPS) 국가별 추세



출처: OECD (2021)의 자료를 이용하여 저자 작성

2. 우리나라의 탄소시장 현황 및 문제점

탄소중립을 위한 전세계적인 변화에 대응하기 위한 최선의 전략은 국내적으로 탄소중립을 효율적으로 달성함과 함께 국제 시장에서의 경쟁력을 유지 혹은 제고해 나가는 것이다. 이를 위해서는 각 분야에서 다양한 정책적 노력이 필요할 것이다. 미래 저탄소 기술개발 지원, 신재생에너지 보급을 위한 규제와 인센티브, 교육 및 홍보, 탄소중립 관련 정보의 제공 등 여러 가지 정책이 모두 체계적으로 추진되어야 한다. 이 중에서도 가장 중요한 것은 온실가스 감축목표의 효율적 달성에 핵심적인 역할을 담당하고 있는 탄소시장 정책일 것이다.

탄소시장, 즉 온실가스 배출권 거래제는 우리나라 배출량의 70% 이상을 규제하는 정책수단으로 사실상 국가 감축목표 달성의 열쇠를 쥐고 있다. 국가 목표에 따라 허용가능한 총 배출한도에 대해 배출권을 할당하고, 배출량이 이를 초과할 수 없도록 탄소시장을 운영함으로써 온실가스 배출제한 목표는 가장 효율적으로 달성될 수 있는 것이다. 즉, 온실가스 감축목표 달성을 위해 누가 어떻게 얼마나 온실가스를 줄일 것인가를 시장에서 결정하도록 함으로써 가장 효율적인 감축노력의 배분이 이루어질 수 있다는 것이다. 탄소 시장이 효과적으로 작동하게 되면 국가 감축목표의 효율적 달성은 물론 탄소 관세 등 교역상의 불이익을 예방하는 데에도 최고의 무기를 제공하게 된다. 문제는 현재 우리나라의 탄소 시장이 여러 가지 심각한 문제점을 갖고 있다는 점이다.

우리나라는 온실가스 감축목표의 효율적 달성을 위해 일정 규모 이상의 온실가스 배출시설을 대상으로 2015년부터 배출권 거래제를 시행하고 있다. 3년 단위로 1차 및 2차 계획기간이 종료되고 현재 2021~2025년의 5년간에 대한 제3차 계획기간

이 진행 중이다. 배출권 거래제가 적용되는 시설의 배출량은 2020년 기준으로 총 554.4 백만톤이며, 이 중 산업부문이 314.0백만톤으로 56.6%를 점유하고 있으며, 그 다음으로 발전부문이 216.2백만톤으로 39.0%를 차지하고 있다. 제 1·2차 계획 기간 거래기간 (2015.1.1. ~ 2021.8.9.) 동안 장내·외 거래시장에서 거래된 총 거래규모는 198.0백만톤이며 평균 거래가격은 23,914원으로 나타나고 있다. (온실가스종합정보센터, 2020 배출권 거래제 운영결과 보고서)

우리나라의 배출권 거래제는 외형적으로 매우 합리적인 모습을 갖추고 있다. 국가 총 배출량의 70% 이상을 차지하는 포괄적인 규제범위는 다른 어느 선진국보다도 우수한 것으로 평가될 수 있다. 일정 규모 이상의 배출시설을 모두 규제를 받고 있으며, 대상 온실가스도 교토의정서가 대상으로 하는 온실가스를 모두 포함하고 있다. 할당방식도 유상과 무상을 아우르고 있으며, 시장안정화 조치가 다양한 수단을 포함하고 있다. 이러한 합리적인 설계에도 불구하고 우리나라 탄소시장을 몇가지 중대한 결함을 갖고 있다.

무엇보다도 전력시장의 왜곡으로 인해 탄소 시장가격이 발전소의 온실가스 감축을 유인하는 역할을 거의 하지 못하고 있다는 점이다. 탄소 배출권의 시장 가격이 높을수록 탄소 배출이 많은 석탄 발전기의 가동을 줄이고 보다 청정한 발전기의 가동을 늘리도록 에너지 구성이 변화하여야 함에도 불구하고, 우리나라의 발전시장은 탄소 가격의 기능을 근원적으로 막는 시장운영규칙을 시행하고 있다. 심지어 온실가스 배출권의 구입비용에 대해 보조금까지 지불함으로써 탄소 시장의 기능을 사실상 무력화하고 있다. 뿐만아니라 배출권의 이월을 극도로 제한함으로써 온실가스를 선제적으로 줄이려는 노력을 할 필요가 없게 한다. 또한 정부의 시장개입 과정이 투명하지 못하고 정부의 재량권이 지나치게 커서 시장의 예측가능성과 신뢰성을 저하시키고 있다. 특히 2020년 국가 목표의 후퇴와 함께 배출권을 추가 공급한 과거의 사례는 배출권이 부족하면 언제든지 정부가 추가로 배출권을 할당할 것이라는 잘못된 기대마저 불러 일으키고 있다.

이러한 탄소 시장의 왜곡은 극심한 유동성 부족과 가격 불안정을 초래하였다. 1년여 전만 해도 세계 최고 수준을 보였던 우리나라의 배출권 가격은 최근 세계 최저 수준으로 떨어질 정도로 폭락하는 심한 변동성을 보이고 있다. 우리나라의 시장의 거래회전율은 EU의 1/100 수준에 불과한 극심한 유동성 부족에 빠져 있는 것이다.⁵⁾

3. 우리나라의 탄소시장 개선방향

탄소중립을 효율적으로 달성하고 국제 탄소관세 전쟁에 효과적으로 대응하기 위해서 무엇보다 중요하고 시급한 과제는 탄소시장의 정상화이다. 극심한 공급 부족

5) 우리나라 탄소시장의 할당량 대비 거래량 비율(거래회전율)은 7.8% 수준으로 EU의 606%에 비해 지나치게 낮은 수준이다. (환경부, 2022)

과 구매자의 불안 심리를 완화하기 위해 적정한 수준의 여유 배출권이 유지될 수 있도록 해야 하며, 배출권의 이월 제한을 폐지하거나 대폭 완화함으로써 현재와 미래 시장의 단절을 해소해야 한다. 정부의 시장개입은 명확하고 투명한 규칙에 따라야 하며, 배출권의 할당은 중장기적 예측가능성과 신뢰성을 바탕으로 충분한 준비기간을 보장하도록 해야 한다. 배출을 많이 했던 기업에게 더 많은 배출권을 보장하는 할당 방식은 조속히 유상 할당 방식으로 전환되어야 하며, 그에 따른 재원은 공정한 에너지 전환과 고용 촉진 및 양극화 해소를 위해 활용되어야 한다.

전력부문은 배출권 거래제도에서 매우 중요한 역할을 담당하고 있다. 직접 배출량 기준으로 39%의 비중을 점유함은 물론 간접배출량 전체가 사실상 전력부문의 배출량에 대응함으로 전체 배출권 시장의 절반 가량이 전력부문 배출량에 연동되어 있다. 또한 배출감축 잠재력 측면에서도 연료 전환 다양한 기술적 대안이 적용가능함에 따라 배출권 수급에 가장 큰 역할을 담당하게 된다.⁶⁾ 그럼에도 불구하고 현재 우리나라의 전력시장은 발전기 운영과정에서 배출권 가격이 적절히 반영되지 못함에 따라 배출권 시장에서의 수급조정 역할을 충분히 하지 못하고 있다.⁷⁾

전력거래소의 “비용평가 세부운영규정(2021. 12. 29 개정)”에 따르면 발전기별 급전 우선순위의 기준이 되는 열량 단가에는 연료비와 환경비용 및 배출권 비용이 포함된다. 이 중 배출권 열량단가는 할당대상 발전사업자의 배출권 거래에 수반되는 순구매비용(=구매비용 -판매수입)을 기준으로 사용연료의 발열량 단위당 비용(원/Gcal)을 적용하는데, 2개월 전까지의 1년간 비용을 이동평균 개념으로 적용한다.⁸⁾ 이와 같은 배출권 비용반영은 탄소 배출권 비용이 적절히 반영되기에는 한계가 있다.

비용 최소화를 위한 효율적인 발전기 운영을 위해서는 변동비 수준에 따라 급전 우선순위를 정해야 함에도 불구하고, 현재의 운영규정은 변동비로서의 배출권 비용을 제대로 반영하지 못하고 있다.⁹⁾ 순구매비용이란 배출권 매매에 따른 순비용으로

6) 김용건 외(2019)에 따르면, 탄소가격 3만~7만원/tCO₂ 범위에서 발전부문은 연간 1억톤 수준의 배출권 수급잠재력을 갖고 있다.

7) Kim & Lim (2019)는 우리나라 전력시장에서 탄소가격 기능이 상실될 경우 2030 온실가스 감축목표 달성을 위한 경제적 부담(GDP 손실)이 정상적으로 탄소가격 기능이 작동할 경우보다 3배에 달할 것으로 평가하였다.

8) 순구매비용은 배출권 할당대상 발전사업자가 산정기간 동안 배출권 거래소 또는 그 외에서 배출권(상쇄배출권 및 KOC 포함)을 구입하기 위해 지출한 비용에서 기 확보한 배출권을 판매한 수입을 차감하여 산정하되, 산정 시 거래된 배출권에 대한 이행년도는 고려하지 않는다. (비용평가 세부운영규정 2장 2.3.4.1 ②항)

9) 발전기간 급전우선순위의 결정은 변동비 순서에 따르는 것이 효율적이다. 고정비 성격의 비용은 발전기의 추가 가동과 무관한 성격을 갖기 때문에 이미 설치가 완료된 발전기의 운영 여부에 따른 비용 발생은 변동비를 고려하는 것이 타당하다. 즉, 고정운영비와 건설비 등 고정비 성격의 비용은 어떤 발전기를 설치 할 것인지를 결정하기 위해서는 중요한 근거가 되지만, 기 설치된 발전기의 운영을 얼마나 할 것인가를 결정하는 데에는 유용한 근거가 되지 못한다. 예를 들어, 원자력 발전기의 투자비와 운영비가 가스 발전기보다 높다고 하여 운영할 때 가스발전기를 먼저 가동하는 것은 대단히 비효율적인 결정이 될 것이다. 비용평가 세부운영규정도 제1장 총칙의 ‘1.1 목적’에서 본 규정이 변동비반영 발전

서 변동비로서의 배출권 비용과는 다르기 때문에, 배출권과 관련된 변동비를 적절히 반영하지 못함으로써 발전기간 변동비 차이를 제대로 반영하지 못하는 것이다. 즉, 배출권 순구매비용은 무상할당을 많이 받을수록 작아지는데, 이는 석탄발전기와 같이 무상할당을 많이 받는 발전원에 크게 유리하게 작용하지만, 한 단위의 전력(예: MWh)을 생산함에 따라 발생하는 변동비로서의 배출권 비용은 무상할당과 무관하게 배출 원단위(tCO₂e/MWh)에 비례하여 발생하기 때문이다.

배출권의 이월은 배출감축의 동태적 효율성을 높이기 위해 꼭 필요한 장치이다. 온실가스의 배출에 따른 지구온난화와 기후변화는 수십년에서 수백년에 걸쳐 발생하므로 온실가스 배출의 관리는 어느 한 시점이나 한해에 한정시키기 보다는 여러 해에 걸쳐 평균적으로 관리하는 것이 합리적이다. 물론 매년 정해진 목표를 한해 한해 달성하는 것이 나쁠 이유는 없다. 그렇게 할 수 있다면 가장 바람직할 수 있을 것이다. 하지만 미래의 경제 상황이나 에너지 및 환경 문제와 관련된 내외부 여건이란 높은 불확실성에 직면할 수밖에 없는 것이 현실이다. 당장 내년에 경제가 얼마나 좋을지 나쁠지 알수 없고, 에너지 가격이 얼마나 변동할지 또한 정확히 예상하기는 불가능하다. 1년 동안의 배출목표를 고정시킬 경우 그해의 경제가 활황이 되면 배출권 가격이 폭등할 수 있는 반면, 경제가 침체될 경우 배출권 가격은 폭락하게 된다. 천연가스 가격이 높아지면 배출권 가격이 급등하게 되며, 석탄 가격이 높아지면 배출권 가격이 폭락할 수 있다.¹⁰⁾ 이처럼 단기적인 여건 변화가 배출권 가격에 큰 변동을 일으키게 되면 배출권 시장은 매우 불안정할 수밖에 없으며 이는 탄소시장의 기능을 크게 떨어뜨리게 된다. 온실가스 감축에 꼭 필요한 기술개발과 투자를 유인하기 위해서는 탄소시장의 가격 시그널이 안정적이어야 한다는 점에서 탄소가격의 지나친 변동성은 경제에 지나친 부담을 주게 된다.

시장의 불안정성을 완화하기 위해서는 연도간에 배출량 관리 목표를 보다 유연하게 조정할 필요가 있는데, 이를 위한 장치가 탄소 예산제와 배출권 이월이다. 탄소 예산제(carbon budget)는 각 연도별로 얼마씩 할당하여 이를 지키는 것보다는 5년 또는 10년 동안 얼마를 줄일지에 대해 목표를 세우고 관리함으로써 단기간내에 특정 수치의 배출량을 무리하게 달성하는 대신에 여유있는 기간을 설정하고 그 기간내에 특정량으로 배출을 제한하도록 함으로써 기간간에 감축노력의 배분을 보다 효율적으로 할 수 있도록 하는 것이다. 이러한 이유로 다수의 국가에서 감축목표를 단연도가 아닌 기간 단위로 설정하고 있으며, 특히 온실가스 배출권 거래제의 경우 대부분의 제도에서 여러 연도를 하나의 이행기간(compliance period)으로 설정하고

시장에서 비용평가 관련 업무를 공정하고도 효율적으로 수행하기 위하여 필요한 사항을 정함에 목적이 있다고 명시하고 있다.

10) 천연가스와 석탄은 발전의 상당 부분을 점하고 있는 에너지 원으로서 단기적으로 상호 대체 가능성이 높다. 석탄이 천연가스보다 단위 전력 생산량당 온실가스 배출계수가 3배 가량 높기 때문에 배출권 가격이 높을 경우 석탄 발전을 줄이고 천연가스 발전을 늘리는 유인을 제공하게 된다. 이러한 연료대체는 배출권 시장의 가격을 안정화 시키는 중요한 역할을 하는데, 천연가스와 석탄의 상대가격 변화는 연료 대체의 경제성에 영향을 주고 배출권 가격에도 큰 영향을 미치게 된다.

이행기간 단위로 배출권 이행을 감독하고 있다. 여러개의 연도를 하나의 이행기간으로 설정한다는 것은 이행기간 내의 연도간에는 배출량의 조정을 자유롭게 허용한다는 의미를 갖는데, 배출권 거래제 하에서는 연도간에 배출권의 이월과 차입을 허용하는 것과 같다. 또한 이행기간 사이에도 차입은 허용하지 않더라도 이월은 허용하는 것이 일반적이다. 차입의 경우는 이행기간 간에 연쇄적으로 무한히 차입할 경우 사실상 감축을 하지 않아도 되는 가능성이 있기 때문에 금지의 필요성이 있지만 이월의 경우는 미리 줄이는 노력을 하는 것이므로 이를 막을 이유가 없는 것이다. 기후변화협약에 따른 교토의정서의 경우 이행기간을 5~8년으로 설정하고 이월을 무제한 허용한 바 있으며, EU ETS의 경우 초기 시범사업은 3년을 대상으로 하였으나, 이후 5~10년을 단위 이행기간으로 이월을 무제한 허용하는 배출권 거래를 시행하고 있다.¹¹⁾

우리나라 1차 및 2차 계획기간은 3년으로 설정하였으며, 2021년부터 시작된 3차 계획기간부터는 단위 이행기간을 5년으로 정하고 있다. 하지만 연도간에 이월과 차입에 대해서는 엄격한 제한을 하고 있다. 차입에 대해서는 계획기간간 차입의 금지는 물론 계획기간 내의 연도간 차입에 대해서도 3차 계획기간의 경우 1차 이행연도에서는 15% 이내로, 2~4차 이행연도에서는 “직전 이행연도의 차입 한도 - (직전 이행연도에 제출해야 하는 배출권 수량 중 차입한 배출권 수량의 비율에 50%)”로 정함으로써 엄격하게 차입을 제한하고 있다. 또한 이월의 경우 3차 계획기간에서 4차 계획기간으로의 이월은 3차 계획기간의 연평균 순매도량 만큼만 가능하도록 하고 있으며, 3차 계획기간 내의 연도간 이월도 유사한 규모로 제한하고 있다. 즉, 배출권을 순 매도하는 경우에만 이월을 허용하고 있는데, 이는 배출권 가격 급등 현상이 발생한 상황에서 배출권 매도를 강요하기 위해 도입된 것으로 지금까지 지속되고 있다.

이처럼 이월을 제한하는 것은 할당 업체의 배출량 관리 유연성을 지나치게 저해하는 것이다. 산업계에서 미래의 감축목표 강화에 대비하기 위해 미래 대비하려는 노력을 하지 못하게 막을 뿐만 아니라, 미리 줄이는 노력을 할 경우 시장 가격의 하락을 초래하고 그에 따라 오히려 손해를 볼 수도 있게 되는 것이다. 이러한 규제는 시장의 안정성을 크게 떨어뜨리고 감축 유인을 약화시켜 탄소시장의 본래 기능을 훼손하게 된다. 불요불급한 이월 제한 규제는 조속히 철폐될 필요가 있다.

이월 제한의 폐지는 그 자체로 바람직한 것임에도 불구하고 이를 위해서는 몇 가

11) EU ETS에서는 시범사업으로서 시행된 1차 이행기간(2005~2008년)의 경우 이월을 금지한 바 있다. 이는 2008~2012년간 감축의무가 부과된 교토의정서의 이행을 위해 도입한 EU ETS에서 2008년 이전의 감축실적을 2008년부터 시행되는 이행기간에서 인정할 경우 교토의정서상의 국가 감축목표 이행에 문제가 발생할 수 있음을 고려한 것이다. EU ETS에서도 1차 이행기간을 제외한 이후의 이행기간에서는 배출권 이월을 무제한 허용하고 있다. EU ETS의 1차 이행기간 사례는 이월을 금지함에 따른 배출권 시장의 불안정과 탄소 시장 급등락의 대표적인 사례로 평가받는다. 1차 이행기간 말에 EU ETS의 배출권 가격은 거의 '0'에 근접한 수준으로 폭락한 바 있다. 이는 이월의 금지가 탄소시장에 얼마나 불필요한 혼란을 초래할 수 있는지를 보여주는 예로 흔히 인용되고 있다.

지 병행되어야 할 조치들이 있다. 우선 우리나라의 탄소 배출권 시장이 갖고 있는 만성적 공급부족 현상을 해소할 필요가 있다. 우리나라 탄소시장의 여유 배출권 규모는 다른 시장에 비해 크게 부족할 뿐만 아니라 할당량 규모에 비해 심각하게 부족한 수준이다. EU의 경우 연간 배출권 할당량의 22~46% 수준의 잉여 배출권이 유통중인데 반해 우리나라는 4% 수준에 불과한 수준이다.¹²⁾ 이는 배출권 수급 조절에 버퍼 역할을 할 수 있는 배출권이 너무 부족할 수 있음을 보여주는 것이다. 따라서 배출권 수요가 약간만 증가하더라도 배출권 가격은 급등할 가능성이 크다. 이러한 불안정성은 미래 불확실성에 대비하기 위한 할당 업체의 배출권 보유 수요를 증가시키게 되는데, 이는 배출권 공급부족을 더 심화시키는 악순환을 일으킬 수 있다.

배출권 공급 부족사태를 해소시키는 대안으로는 두가지 방법을 고려해 볼 수 있다. 첫 번째는 공급 자체를 늘리는 방법인데, 이는 할당량의 증가, 상쇄 배출권 허용량의 증가 등을 통해 가능하다. 할당량의 증가는 사전 할당량, 경매 할당량, 예비분 등의 확대를 통해 시행할 수 있으며, 상쇄 배출권 허용량은 허용한도를 현재의 5%에서 확대시키는 방법으로 적용할 수 있다. 물론 이러한 배출권 공급 확대는 국가 감축목표가 정해진 상황에서 추가적인 배출 증가와 감축목표 미달성이라는 부작용을 초래할 가능성이 있으므로 이에 대한 대비 또한 병행해야 한다. 우선 추가적인 배출권 공급이 배출량의 증가로 이루어질 것인지 아니면 단지 여유 배출권의 증가와 배출권 이월량의 증가로 추가적인 배출량 증가 보다는 시장의 유동성 증가라는 긍정적 효과만을 거둘 수 있을 것인지에 대해서 면밀한 감시와 평가 진행되어야 한다. 배출량의 지나친 증가라는 부정적 효과가 커질 경우 감축목표의 달성을 위해서 정부가 해외 배출권을 추가 구매한다든지 Non-ETS 부분에서의 배출량을 추가 감축함으로써 부족량을 해소해야 할 것이다.

배출권 공급 부족사태에 대한 또 하나의 대응방법은 시장 안정화 조치의 투명하고 합리적인 설계를 통해 대응하는 것이다. 시장 안정화 조치로는 EU ETS의 MSR과 같은 양적 관리 방식과 미국에도 주로 활용되는 가격 상하한제를 통한 가격 관리 방식이 가능하다. 우리나라에서는 배출권 가격의 급등락을 용인하는 정부의 의지가 타 선진국보다는 작을 것이라는 점에서 가격을 직접 관리할 수 있는 가격 상하한제가 보다 적절할 것으로 판단된다. 배출권 가격 상하한제는 이미 현행 배출권법 시행령에도 반영되어 있다. 이에 대한 구체적 이행방안이 결여되어 있을 뿐이므로 상세 시행방안을 설계함으로써 좋은 시장 안정화 장치를 확보할 수 있는 상황이다. 다만 가격 상하한제가 단지 가격 상한 또는 하한값에 대해 정부가 시장에 대해 구두 개입하는 방식으로 잘못 이해되어서는 안되며, 실질적으로 가격 상한 또는 하한

12) EU ETS는 MSR 제도를 통해 4억~8.33억톤의 여유 배출권이 시장에 유통되도록 하고 있는데, 이는 연간 할당량의 약 22~46%에 상당하는 양이다. 구체적으로 EU ETS는 매년 TNAC(Total Number of Allowances in Circulation)를 산정하고 그 규모가 4~8.33억톤의 범위를 벗어날 경우 초과분을 시장에서 매입하거나 부족분에 대해 비축분을 방출함으로써 범위내로 관리하도록 하고 있다.

을 실현할 수 있는 실질적 시장 개입이 가능하도록 해야 한다. 이는 정해진 가격 상한값으로는 정부가 배출권(예비분)을 추가 공급하여야 하며 가격 하한 수준으로는 정부가 배출권을 매입하여야 하는 것이다. 선진국의 사례에서와 같이 가격 상한 및 하한 수준의 설정과 이의 이행 과정 모두가 투명하고 객관적으로 관리되어야 하며, 정부의 재량권이 허용되어서는 안된다. 정부의 재량권이 허용되는 순간 시장의 불확실성은 높아지며 시장의 안정성 또한 훼손될 수 밖에 없다.

이월 제한의 폐지를 위해서는 온실가스 감축목표의 연도별 경로의 달성 방식에 대한 정부 정책 또한 명확히 정해져야 한다. 현재 우리 정부는 2030년에 대한 감축목표(NDC)와 함께 온실가스 감축로드맵을 통해 연도별 감축목표를 설정하고 있다. 물론 2021년 UN에 제출한 강화된 NDC에 대해서는 2023년 4월 탄소중립·녹색성장 국가전략 및 제1차 국가 기본계획이 확정되었으며, 2030년까지의 부문별, 연도별 감축목표가 확정되었다. 문제는 이러한 연도별 감축경로와 온실가스 배출권 거래제가 상호 일관성을 완전하게 확보하지 못하고 있다는 점이다. 예를 들면 온실가스 배출권 거래제는 5년을 계획기간으로 시행되는 반면 온실가스 감축경로는 1년 단위로 설정되어 있다. 이는 국가 감축목표의 이행은 1년 단위로 달성 여부를 평가하는 반면 탄소시장은 5년 단위로 이행함에 따라 서로 일관성이 부족해지는 문제를 야기하게 된다. 2030년의 경우 단일 연도 목표로서 달성해야 하고 그 이전 연도와 함께 일정 기간에 대한 탄소 예산의 달성을 허용하는 것은 아니라는 점인지가 명확하지 않다. 배출권 거래제도 하에서는 2026~2030년이 제4차 계획기간으로서 하나의 이행기간이므로 이 기간 내에서의 5년 동안은 이월과 차입이 허용되어야 하는데, 이렇게 되면 2030년 이전에 연도별 목표보다 덜 배출하고 배출권을 이월한 다음 2030년에 이월된 배출권을 사용하여 더 배출할 경우 2030년 배출량은 목표를 초과하게 된다. 이러한 경우를 2030년 목표를 달성하지 못한 것으로 평가할 것인지 2030년까지의 누적 배출량이 목표 탄소 예산을 초과하지 않았으므로 2030년 목표도 달성한 것으로 평가할 것인지에 대해 명확한 정책을 수립하여야 한다. 기후변화 문제가 초장기적인 문제라는 점에서 일정 기간을 대상으로 하는 탄소 예산의 관리가 특정 한 연도의 감축량 관리보다 훨씬 더 중요한 문제라는 점에서 탄소 예산을 중심으로 관리가 이루어져야 함에도 이러한 개념이 국내 정책이나 국제 협상에서 명확히 채택되지 못하고 있는 것이 현실이다. 이에 대한 보다 분명한 정책의 설계가 선행되지 않을 경우 이월의 자유로운 허용이 불필요한 혼란을 초래할 수 있는 상황이다.

배출권 거래제 비적용 부문(Non-ETS 부문)에 대한 배출량 관리과 배출권 시장과의 연계도 필요하다. Non-ETS 부문에 대해서는 정량적인 관리 방법이 부재한 상황이다. 따라서 Non-ETS 부문을 포함하는 전국 차원의 감축목표 달성을 위해서는 정량적인 관리가 어려운 Non-ETS 부문의 배출량이 목표 배출량과 괴리될 경우에 대한 대책이 필요하다. Non-ETS 부문과 배출권 거래제의 연계 관리를 통해 이러한 문제점을 해소할 수 있다. 예를 들면 Non-ETS 부문의 배출량이 목표 배출

량을 초과할 경우 정부가 배출권 시장에서 배출권을 매입하여 소각함으로써 국가 전체 배출량을 목표 배출량에 맞도록 관리할 수 있으며, 반대의 경우 배출권을 추가 판매(경매를 통해) 함으로써 역시 국가 총 배출량을 목표 배출량에 맞게 관리할 수 있다. 이러한 방식은 EU에서도 이미 시행중인 방식으로서 국가 배출량을 정량적으로 관리할 수 있는 효과적인 정책수단이다.¹³⁾

4. 맺음말

우리나라는 온실가스 배출량을 조사한 이래 온실가스가 1% 이상 줄어든 적은 단 두 번에 불과하다. IMF 외환위기의 여파로 2018년 17.1% 감소하였으며, 코로나 팬데믹이 발생한 2019년과 2020년 두 해에 전년 대비 3.4% 및 6.8% 감소하였다. 이처럼 온실가스를 줄이는 것은 쉽지 않는 것임을 짐작할 수 있다. 아직 공식 통계가 확정되지 않았지만 2021년과 2022년에는 다시 온실가스가 증가세로 돌아선 것으로 추정되고 있다.

2021년 말 우리 정부는 2030 국가 온실가스 감축목표(Nationally Determined Contribution: NDC) 강화안을 UN에 제출하였다. 2017년 대비 24.4% 감축에서 2018년 대비 40% 감축(291백만톤)으로 크게 강화하였다.¹⁴⁾ 이는 연간 1억톤 수준의 추가 감축이 필요한 매우 도전적인 목표이다. 이러한 목표를 달성하기 위해서는 매년 4~5%의 감축을 지속해야 가능한데, 이는 코로나 사태 수준의 충격이 매년 반복되어야 가능한 수준의 큰 규모이다. 획기적인 정책적 노력이 뒷받침되지 않는다면 달성하기 불가능한 수준인 것이다.

본고에서는 국내외 탄소중립 정책 및 탄소시장 동향을 살펴보았다. 그리고 우리나라 탄소시장의 현황과 문제점을 분석하였으며, 이를 토대로 개선방향을 제시하였다.

탄소시장은 온실가스 감축목표 달성에 핵심적인 역할을 담당하는 정책수단이다.

13) EU ETS에서는 2021년부터 시작되는 제4기 이행기간부터 일정한 조건을 만족하는 회원국에 대해서 Non-ETS 부문의 국가 목표(Effort Sharing Regulation에 따른 국가별 Non-ETS 부문 목표)를 달성하기 위해 일정한 범위 내에서 ETS 배출권을 사용할 수 있도록 허용하고 있다. 이러한 Non-ETS 부문 목표달성에 활용하는 ETS 배출권의 허용범위는 국가별로 2~4% 이내(2005년 Non-ETS 목표배출량 기준)로 제한되며 EU 전체적으로 연간 107 백만톤 이내로 제한된다. 참고로 EU는 Non-ETS 부문의 배출량 목표 달성에 토지이용부문의 감축량을 2021~2030년간 총 262백만톤까지 활용할 수 있도록 하는 유연성 조치도 병행하고 있다.

14) 강화 전 기존 NDC를 2018년 기준으로 환산하면 26.3% 감축에 상당한다. 한편, 새롭게 제시된 강화된 목표 40%는 2018년 기준배출량 산정은 총배출량(흡수원 흡수량 제외) 기준이며, 2030년 목표 배출량은 순배출량이라는 점에서 기준연도(2018년)와 목표연도(2030년) 간에 더로 다른 온실가스 통계방법론을 적용하고 있다. 강화된 NDC에서 기준연도 배출량을 순배출량으로 목표연도와 동일한 기준을 적용하면 2018년도(약 687만톤) 대비 36.4% 감축(감축량 약 250백만톤)에 상당한다. 목표 배출량은 순배출량 기준으로 기존의 536.0 백만톤에서 436.6 백만톤으로 약 1억톤의 추가 감축이 필요한 수준이다.

효율적인 탄소시장이 작동한다면 쉽지 않은 도전적인 목표이지만 2030 NDC 목표를 달성할 가능성은 남아 있다. 비록 탄소 가격이 높아지고 에너지 비용에 부담이 발생하겠지만 경제 전 부문에서 온실가스를 줄이고 이를 통해 배출권 수익으로 대박이 나는 세상이 오게 된다면 생각보다 높지 않은 비용으로 감축목표를 달성할 수 있을 것이다. 일부 부문과 계층은 피해를 보게 되겠지만 다양한 저탄소 기술과 사업이 활성화되어 새로운 성장동력을 얻게 될 수도 있다. 반도체와 배터리, 전기자동차와 같이 탄소중립 시대체 각광받는 기술 분야에서 우리나라는 이미 세계적인 강자가 되었다는 점은 더욱 고무적인 상황이다. 합리적인 제도 개혁을 통해 탄소시장이 정상화 된다면 화석연료의 퇴출이 가속화되는 글로벌 탄소전쟁에서 우리나라는 최고의 승자가 될 수도 있다. 하지만 그렇지 않다면 또 다시 감축목표를 지키지 못하게 될 것이며, 탄소 관세의 공격목표가 됨은 물론 역사상 최악의 기후사기군으로 전락할 수도 있다는 점을 유념하여야 할 것이다.

참고문헌

- 김성진 외, 2022, “탄소통상 시대 무역과 환경 관계의 변화와 한국의 대응 방안 연구”, 한국환경연구원
- 김용건 외, 2019, “혼합정수계획법을 이용한 발전부문 온실가스 감축잠재력 평가”, 한국환경정책·평가연구원
- 대한민국 정부, 2018.7, “2030 국가 온실가스 감축 목표 달성을 위한 기본 로드맵 수정안”.
- 온실가스종합정보센터, 2021, “2020 배출권 거래제 운영결과보고서”.
- International Carbon Action Partnership(ICAP), 2022, Emissions Trading Worldwide - Status Report 2021
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), Global Warming of 1.5°C, 2018
- OECD, 2021, Effective Carbon Rates
- Refinitiv, 2022, Review of Carbon Markets in 2021
- Yong-Gun Kim & Jong Soo Lim, Treatment of Indirect emissions from the Power sector in Korean emissions trading system, Environmental Economics and Policy Studies, 2021
- World Bank, 2022, “State and Trends of Carbon Pricing 2022”, Washington, DC: World Bank.

제 3 장

기후경제학 관점에서의 기후기술과 기후변화 완화

유종현
서울시립대학교

I. 서론

기후변화가 진행됨에 따라 전 세계 도처에서 기후변화에 따른 피해를 경험하고 있다. 기후변화는 폭염, 태풍, 홍수, 산불과 같은 자연재해뿐 아니라, 해수면상승, 생물다양성감소, 노동성 및 생산성 저하로 이어져 사람들의 삶에 직·간접적으로 영향을 미친다. 우리나라도 지난 겨울의 극심한 가뭄이나 지난 여름 수도권 홍수 및 태풍 힌남노 등 기후 관련 재해가 증가하고 있다. 이로 인해 기후변화 완화에 대한 관심 역시 증대되고 있다.

기후변화 완화에 있어 기후기술 혹은 저탄소기술은 핵심요소다. 기후변화의 시작점은 산업혁명의 화석연료 사용이라 할 수 있는데, 이를 다시 말하면 기후변화 완화의 시작점 역시 화석연료의 소비 감소라 할 수 있다. 그러나 화석연료 혹은 이를 기반으로 한 에너지는 현대 사회·경제의 원동력이며, 사용자 측면에서 화석연료 기반 에너지 소비의 감소는 현실적으로 쉽지 않은 과제다. 이러한 점을 감안할 때, 공급자 측면에서의 기후기술(혹은 저탄소기술) 활용을 통한 저탄소 혹은 무탄소 에너지 공급은 현대 사회·경제 유지와 기후변화 완화 목표를 동시에 달성시킬 수 있는 방안이라 할 수 있다.

그러나 기술은 단기간내에 공급할 수 있는 재화·서비스가 아니다. 현재 전 세계에서 소비되는 화석연료를 대체 가능한 규모의 저탄소 에너지 공급은 경제학적으로 불가능에 가깝다. 공학적으로는 대체 에너지 기술이 상당한 수준에 이르렀더라도, 가격적인 측면에서 시장이 반응할 수 없는 수준일 가능성이 크기 때문이다. 예를 들어, 현대 사회에서 태양광 및 풍력 발전이 화석연료 기반의 전력을 점차 대체하고 있으나, 지속적으로 증가하는 에너지 수요를 모두 충족시킬 정도의 발전 용량이 부족하다. 게다가 현재로써는 태양광 및 풍력 이외의 미래 에너지원은 화석연료와의 가격경쟁에서 비용우위를 점하기 쉽지 않은 상황이다.

경제학은 이에 대한 답을 찾고 있다. 파리협약 혹은 2050 탄소중립과 같은 기후변화 완화(혹은 온실가스 저감) 목표가 분명한 상황에서 기후기술을 고려한 장기적인 전략은 무엇인가? 특히 외부효과, 학습효과(Learning-by-doing effects), 누출효과(spillover effects) 등 기술의 특성을 감안할 때 국가의 장기적인 기후완화 계획은 어떻게 진행되어야 하는가?

본고는 다음과 같이 구성되어있다. 2장에서는 기후기술 및 기후변화 완화 관련 경제학 이론을 소개한다. 3장에서는 사례연구로써 미래 저탄소 혁신 에너지기술인 e-fuels의 잠재력에 관한 경제학 연구를 소개한다. 4장은 이를 요약한다.

II. 기후변화 경제학과 기후기술의 이해

기후변화는 다른 사회·경제 문제와 차별되는 요소를 지니고 있다. 첫째, 이산화탄소를 비롯한 온실가스의 배출은 다양한 사회적 비용(보건·건강 피해, 자연재해 증가

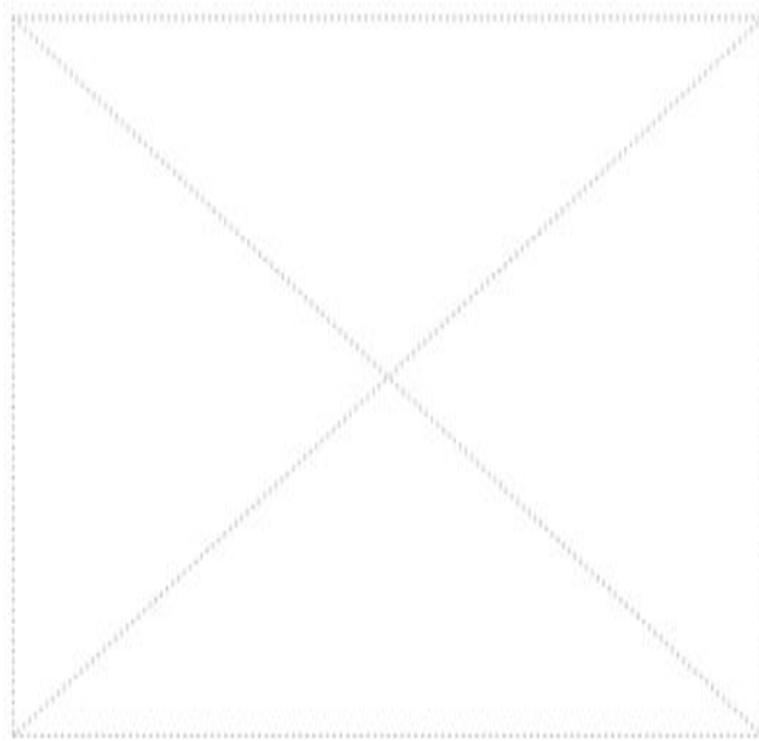
로 인한 경제자산·인명 피해, 생물다양성 감소 등)을 발생시키지만, 온실가스를 배출한 기업의 비용(사적비용)에 반영되지 않는다. 즉, 사회적비용과 사적비용의 합이 일치되지 않는 외부효과가 존재하는데, 이에 따라 온실가스 배출에 따른 사회적비용을 아무도 책임지지 않는다. 둘째, 온실가스는 글로벌 오염물질(global pollutant)으로써 지역성을 띠지 않으며 온실가스 감축에 따른 지역적 이득이 지역적 비용과 연결되지 않는다. 다시 말하면, 지역적으로 온실가스 감축에 따른 이득이 불분명하기 때문에 무임승차의 유인을 발생시킨다. 셋째, 온실가스는 일반 대기오염물질(SO₂, NO_x 등)과는 달리 대기 중에 축적되는 오염물질(stock pollutant)으로써, 온실가스의 배출은 대기 중 축적량을 증가시키고 기후변화 피해를 증폭시킨다. 따라서, 일반적으로 시간이 갈수록 기후변화에 따른 피해가 더욱 증가되는 경향을 갖는다.

기후변화는 상기 특징으로 인해 다른 사회·경제 문제와 비교해 해결하기 어렵다. 첫 번째 외부효과 문제는 기후변화가 시장에서 자체적으로 해결 불가능하며, 국가의 직·간접적 개입이 필요함을 역설한다. 다만, 두 번째 무임승차 문제로 인해 어느 국가도 국제사회에서 온실가스 감축 노력에 적극적으로 나서지 않는다. 즉, 각 국가는 자국의 재정을 투자해 온실가스를 감축하지 않고 다른 국가의 노력으로 인한 편익만을 누리려 하는데, 이러한 점은 과거 수 십년간 온실가스 감축 노력이 국제사회에서 효과적으로 진행되지 못한 채 지연된 이유를 설명한다. 그러나 세 번째 이유에서 나타나듯 온실가스 감축 행동의 지연은 기후변화를 가속화하고 관련 피해를 증가시킨다. 최근 전 세계에서 경험하고있는 기후관련 재해의 급증은 이로 인한 결과라 할 수 있다.

기후변화 완화에 있어 기후기술은 핵심적인 역할을 담당한다. 본 절에서는 상기 기후변화 특징을 고려한 기후변화 경제학 이론을 간단하게 소개하고자 한다. 아래 그림에서 x축은 온실가스 감축 노력(A)을 의미한다. 현재 상태는 A0(A=0)이며, 외부효과인 온실가스는 시장에서 전혀 감축되지 않고 있다. y축(W)은 금액을 나타낸다. 온실가스의 감축은 기후변화 피해를 감소시켜 편익(실선)을 발생시킨다. 즉, 온실가스 감축 노력이 많을수록 사회적 편익이 증가한다. 다만, 온실가스 감축에 따른 편익의 증가폭(편익의 증가률)은 점차 둔화되는데, 대규모 온실가스가 이미 감축된 상황에서의 소량의 온실가스 감축은 사회적으로 낮은 수준의 편익을 제공하기 때문이다.

접선은 온실가스 감축에 요구되는 비용을 의미한다. 온실가스 감축은 사회·경제적 감축 비용을 발생시키며, 감축 노력이 상승할수록 비용 역시 증가한다. 다만, 감축량이 증가함에 따라 비용은 지수적으로 급증하는데, 이는 기후기술의 특징에서 비롯된다. 소규모의 온실가스 감축은 낮은 수준과 저렴한 비용의 기후기술로 실현 가능하다. 그러나 대규모의 온실가스 감축을 위해서는 높은 수준 및 고비용의 기후기술 도입이 요구되며, 이에 따라 총 비용은 급증하게 된다.

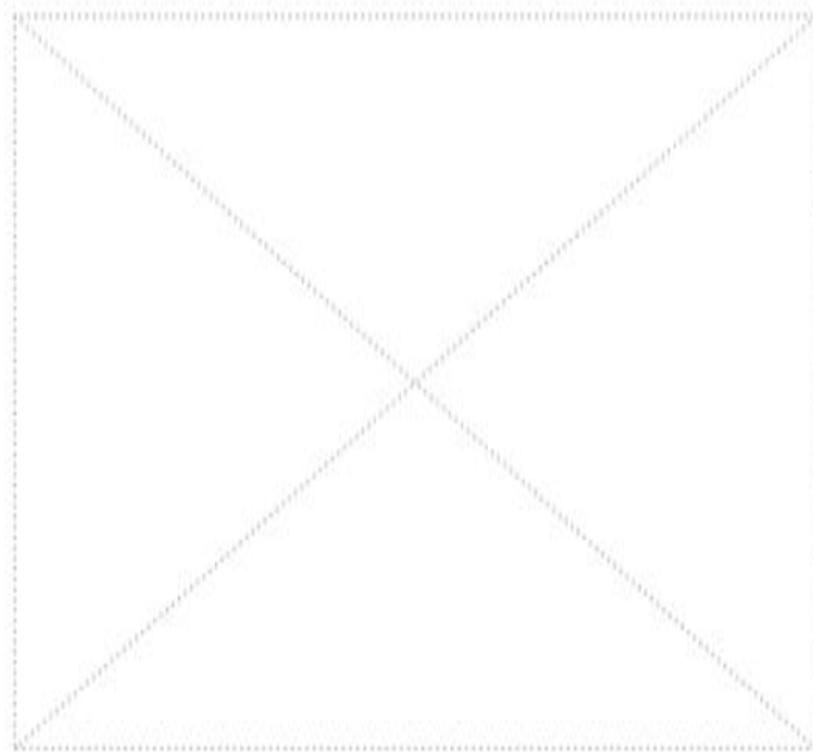
[그림 4] 온실가스 감축에 따른 편익과 비용



출처: 저자작성

국가의 목표는 온실가스 감축에 따른 순편익(편익-비용)의 최대화다. 혹자는 순편익의 최대화가 아닌 편익의 최대화(기후변화 피해의 최소화)를 주장할 수도 있다. 그러나 비용을 고려하지 않은 편익 최대화는 과대 감축비용을 발생시키고 이는 온전히 사회에 전가된다. 예를 들어 온실가스 감축 비용으로 인해 기업의 이윤이 감소되고 경제 성장이 지체될 경우, 고용률 하락과 개인 소득의 감소로 이어진다. 이러한 경제 상황의 악화는 결국 시민에게 또 다른 비용을 발생시킨다. 즉, 과도한 온실가스 감축시 자연재해 피해 감소나 보건비용 감소를 초과달성할 수 있으나, 사회 구성원의 소득 역시 초과감소할 수 있기 때문에 사회·경제적으로 이상적인 정책이라 할 수 없다. 이러한 측면에서 편익과 비용을 모두 고려한 순편익(편익-비용)의 최대화는 경제학적으로 국가가 추구해야하는 목표다. 이와 같은 이상적인 상황은 아래 그림과 같이 나타낼 수 있는데, 파란색 점선 화살표로 표시된 B^*-C^* 이 경제적인 순편익이며, A^* 가 이를 달성하기 위한 최적의 온실가스 감축량이다.

[그림 5] 순편익의 최대화와 최적 온실가스 감축량



출처: 저자작성

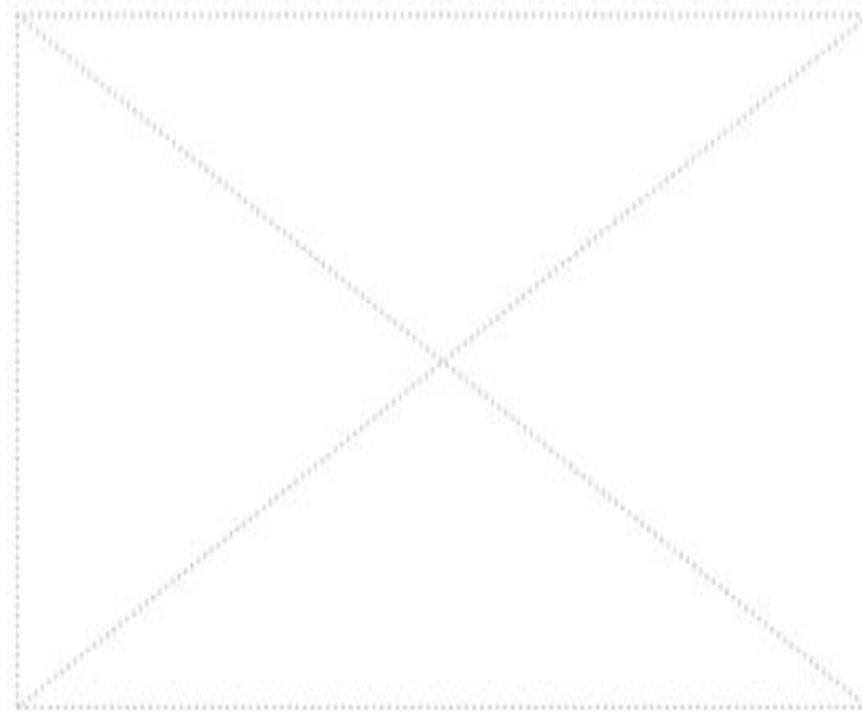
상기 그림을 한계적(marginal)인 개념에서 다시 나타내면 아래와 같다. 한계적인 개념은 한 단위 증감에 따른 변화를 나타내는데, 한계편익은 온실가스 감축 한 단위 증가로 인한 편익의 증가, 한계비용은 온실가스 감축 한 단위 증가로 인한 비용의 증가를 의미한다. 수학적으로는 편익곡선과 비용곡선을 일차미분한 값(기울기)을 의미한다. 앞에서 찾은 순편익(편익-비용)을 최대화하는 온실가스 감축량(A^*)은 아래 그림에서 한계편익과 한계비용 곡선이 교차하는 지점이며, 순편익(B^*-C^*)은 노란색으로 표시된 삼각형의 넓이와 같다. 수학적인 증명은 아래와 같다.

$$\max_A B(A) - C(A)$$

$$F.O.C.: \frac{\partial B}{\partial A} = \frac{\partial C}{\partial A}$$

$$\text{한계편익} = \text{한계비용}$$

[그림 6] 온실가스 감축에 따른 한계편익과 한계비용



출처: 저자작성

상기 한계편익/한계비용 그래프는 탄소 가격을 명시적으로 표현한다는 점에서 특히 중요하다. 한계편익과 한계비용이 교차하는 지점의 금액, 즉 P^* 는 탄소 가격을 의미한다. 이를 정책적으로 해석하면, 탄소세의 경우 P^* 에 해당되는 탄소세율(금액/탄소배출량) 부과가 필요하고, 우리나라가 현재 실시하고 있는 탄소배출권 거래제의 경우 시장의 탄소가격이 P^* 가 되는 수준의 탄소감축량(A^*) 설정이 필요함을 의미한다.

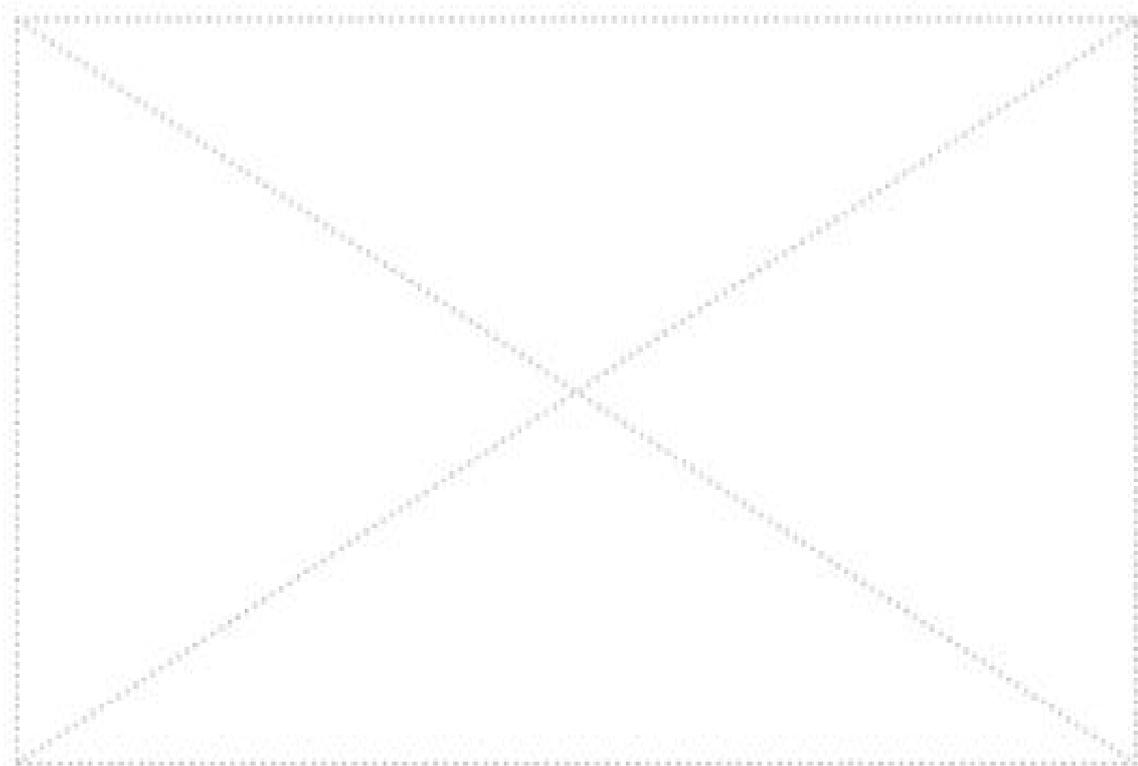
동 이론의 핵심 요소는 (한계)편익과 (한계)비용이며, 기후변화 경제학의 주요 관심사는 실증연구를 통한 (한계)편익과 (한계)비용 곡선의 추정에 있다. 그러나 현재 경제학계에서의 비용 및 편익 곡선의 실증연구는 대규모 불확실성이 내재된 제한적인 추정이라 할 수 있다. 주된 이유는 데이터와 경험의 부족인데 현 인류는 1°C 이상의 기온 상승을 겪어본 바 없으며, 이와 관련된 데이터 역시 존재하지 않는다. 즉, 제약된 정보 하에서의 데이터분석 기반 편익 및 비용 추정 연구는 한계점을 지닌다고 할 수 있다.

(한계)비용곡선은 본고의 주제인 기후기술 또는 온실가스 감축기술과 밀접하게 연관되어있다. 비용곡선 혹은 한계비용곡선은 온실가스 감축시 발생하는 비용을 평가하는데 이를 미시적으로(혹은 에너지시스템적으로) 접근할 경우 관련 기후기술(온실가스 감축기술)을 온실가스 감축량 기준의 한계비용 순서대로 나열한 것과 같다. 아래 그림은 글로벌 전략컨설팅 회사인 맥킨지 & 컴퍼니(McKinsey &

Company)가 기업조사를 통해 작성한 글로벌 한계비용곡선이다. 온실가스 감축을 위한 가능한 모든 기후기술(온실가스 감축기술)을 저렴한 가격부터 비싼 가격 순으로 나열하였으며, 각 기술의 온실가스 감축 잠재량을 x축에 한계비용을 y축에 나타냈다. 예를 들어, 건축물 단열재 보강을 통한 에너지 효율성 증대, 하이브리드 차량 전환을 통한 수송부문 에너지소비 감소, 폐자원 재순환을 통한 온실가스 감축 등은 매우 낮은 수준의 비용이 수반되는 기후기술이다. 반면, 태양광, 태양열, 풍력과 같은 재생에너지 및 CCS 기술은 온실가스 감축 잠재량이 상당하지만 높은 수준의 비용이 요구되는 기후기술이다.

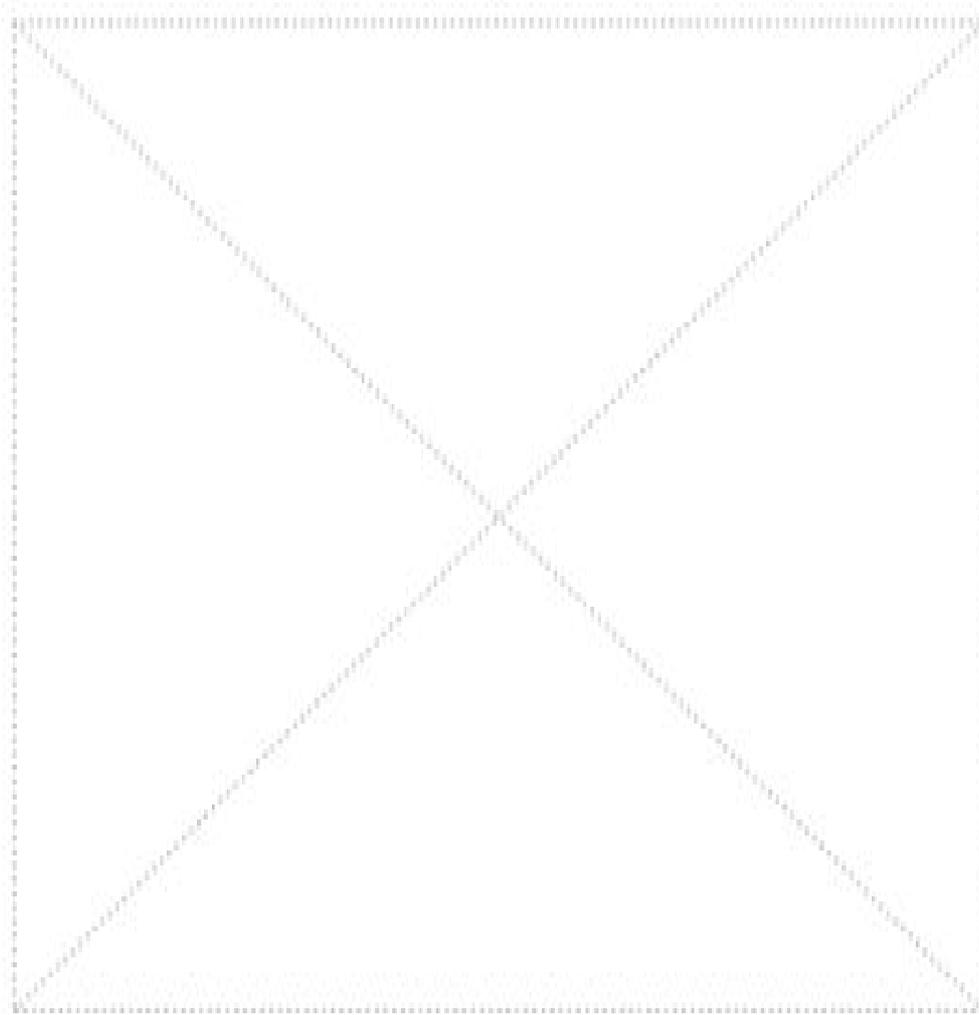
특징적으로 맥킨지의 한계비용곡선은 여러 기후기술의 한계비용을 음의 값(이득)으로 분류하였는데, 해당 기술의 도입시 실제로는 비용을 초과하는 이득이 발생한다고 간주했기 때문이다. 예를 들어 건축물 단열재 보강의 경우 설치와 유지보수에 따른 비용이 상당한 수준으로 발생되나, 그로 인한 에너지소비액 절감, 건강 증진으로 인한 보건비용 절감 등의 금전적 이득이 발생하며, 맥킨지는 이러한 이득을 한계비용곡선에 음의 값으로 포함하였다.

[그림 7] 맥킨지 & 컴퍼니의 한계비용곡선



출처: Pathways to a Low-Carbon Economy, McKinsey & Company. 2009.

[그림 8] EDF의 한계비용곡선



출처: Marginal Abatement Cost Curves for U.S. Net-Zero Energy Systems, Environmental Defense Fund, 2021.

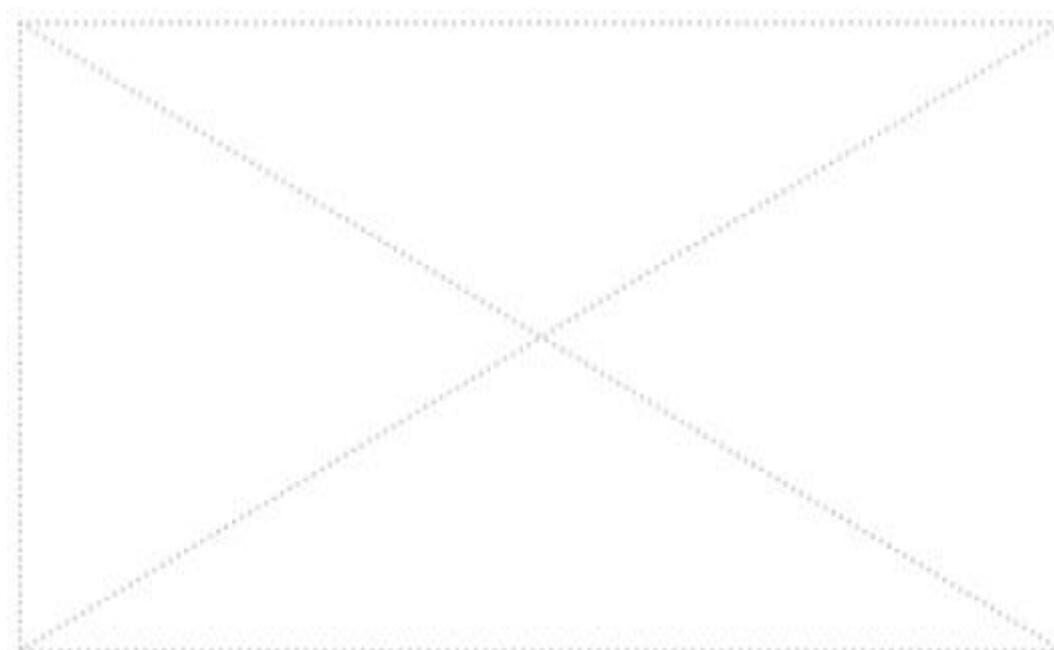
주: 앞서 맥킨지의 한계비용곡선과 x축, y축이 반대임.

맥킨지 & 컴퍼니의 한계비용곡선은 탄소감축을 위한 기후기술별 한계비용과 감축잠재량을 이해하기 쉽게 시각적으로 표현한 점에 있어 의미가 있다. 그러나 정태적인 분석으로 인한 기후기술 발전의 미고려, 기후기술간의 상호작용, 한계비용의 불확실성 배제 등의 한계점으로 인해 많은 비판이 학계에서 제기되었다 (Kesicki and Ekins, 2012). 최근 환경부문 대표적인 미국 비영리기관인 EDF(Environmental Defense Fund)는 이러한 한계점을 제한적으로 다룬 한계비용곡선을 발표하였다. 맥킨지 한계비용곡선과의 가장 큰 차이로 EDF는 기후기술간 상호작용을 고려하였다. 예를 들어 비용이 가장 저렴한 풍력, 태양광, 원자력 등의 저탄소 발전기술은 비용에 따라 순차적으로(풍력→태양광→원자력) 도입되는 것이 아니라, 서로 결합

된 상태로(풍력 & 태양광 & 원자력) 온실가스 감축에 기여하는 것으로 설정되었다.

EDF 한계비용곡선은 흥미로운 정책적 시사점을 내포하고 있다. 동 곡선은 현재 태양광, 육상풍력, 원자력, 전기차 등 주요 저탄소 혹은 무탄소 기후기술의 한계비용을 \$0 이하로 표현하였는데, 이는 상기 기후기술이 현재 이미 충분한 수준으로 발전되었음을 의미한다. 또한 해상풍력과 같이 현재 널리 상용화되지 못한 다양한 기후기술도 \$60/tCO₂ 이하의 낮은 한계비용을 가진 것으로 표현되었는데, 이러한 점은 향후 국제적인 온실가스 감축노력에 따른 탄소가격 상승시 해당 기후기술의 도입이 충분히 가능함을 시사한다. 만약 동 기후기술을 결합할 경우 2050년 기준 전 세계 연간 온실가스 배출량 절반의 감축이 가능하다 (EDF, 2021).

[그림 9] 태양광 모듈의 가격 및 생산 변화



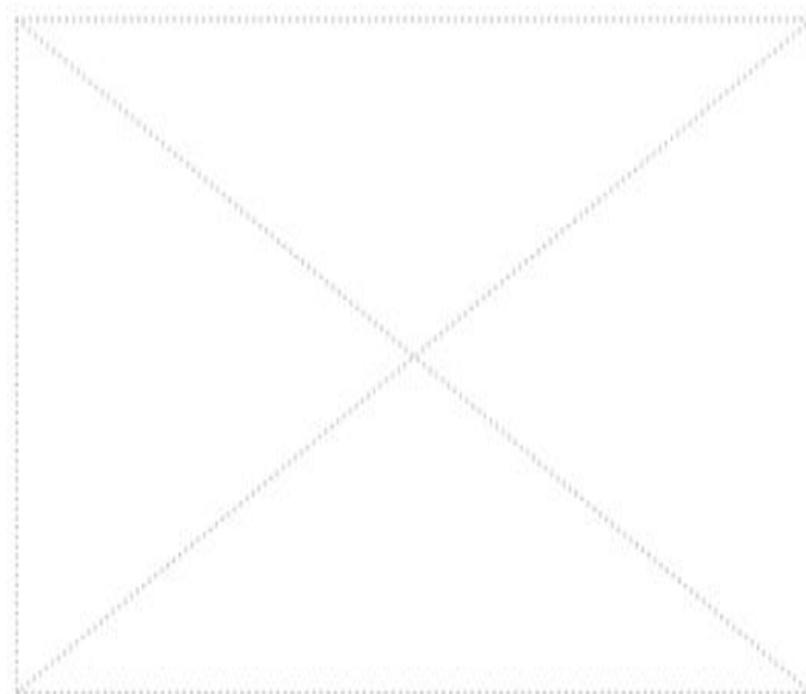
출처: Green Tech Media, 2019.

다만, 맥킨지 한계비용곡선과 같이 EDF 한계비용곡선은 기술 발전에 따른 한계비용곡선의 동태적인 변화를 나타내지 못한 한계점을 지니고 있다. 아래 그림은 태양광 모듈의 단위당 가격 및 생산 변화를 나타내고 있다. 지난 10년간 태양광 모듈의 가격은 급격하게 하락하였으며, 반대로 태양광 모듈의 생산량은 급격하게 증가하였다. 이와 같은 가격 하락과 생산량(혹은 소비량) 증가는 상호간에 밀접한 관계를 갖고 있다. 먼저 수요측면에서 태양광 모듈과 같은 기후기술에 대한 R&D 투자는 최종 생산품에 대한 생산 및 제반 비용을 절감시키고 가격을 하락시켜 시장에서의 판매량(혹은 생산량)을 상승시킨다. 반대로 공급측면에서 태양광 모듈과 같은

신제품이 지속적으로 생산될 경우 생산 과정에 대한 숙련도가 상승해 단위당 생산 비용이 절감는 현상(학습효과, learning-by-doing effects)이 나타날 수 있다. 또한 노동력 측면 외에 자본 측면에서도 신기술은 관련 자본을 증가시켜 단위당 생산 비용을 절감시킬 수 있다. 종합하자면, 수요측면이든 공급측면이든 일반적으로 시간이 지날수록 기후기술의 한계비용은 낮아지는 경향이 나타날 수 있으며, 이는 맥킨지 혹은 EDF의 정태적인 한계비용곡선에서 적극적으로 반영되지 못한 부분이라 할 수 있다.

기술 발전으로 인한 한계생산비용(혹은 한계감축비용)의 감소는 기후경제학 측면에서 한계비용곡선의 이동으로 표현할 수 있다. 만약 모든 기후기술의 한계비용이 일괄적으로 감소할 경우 그림에서 나타나는 바와 같이 한계비용곡선은 아래로 이동한다. 이로 인해 온실가스 최적 감축량은 상향조정($A_0^* \rightarrow A_1^*$)되는데 한계비용의 감소로 인해 같은 예산으로 더 많은 편익 발생이 가능하기 때문이다. 이로 인한 사회적 편익증가는 노란색으로 표시된 삼각형의 넓이와 같으며, 만약 한계비용의 감소가 기술투자로 발생했을 경우 기술투자에 따른 단기적인 효과로 해석할 수 있다. 다만, 이와 같은 효과는 장기적으로 지속되기 때문에 기술투자에 따른 장기적인 효과는 아래 삼각형의 넓이보다 훨씬 크다고 할 수 있다.

[그림 10] 한계비용곡선의 이동

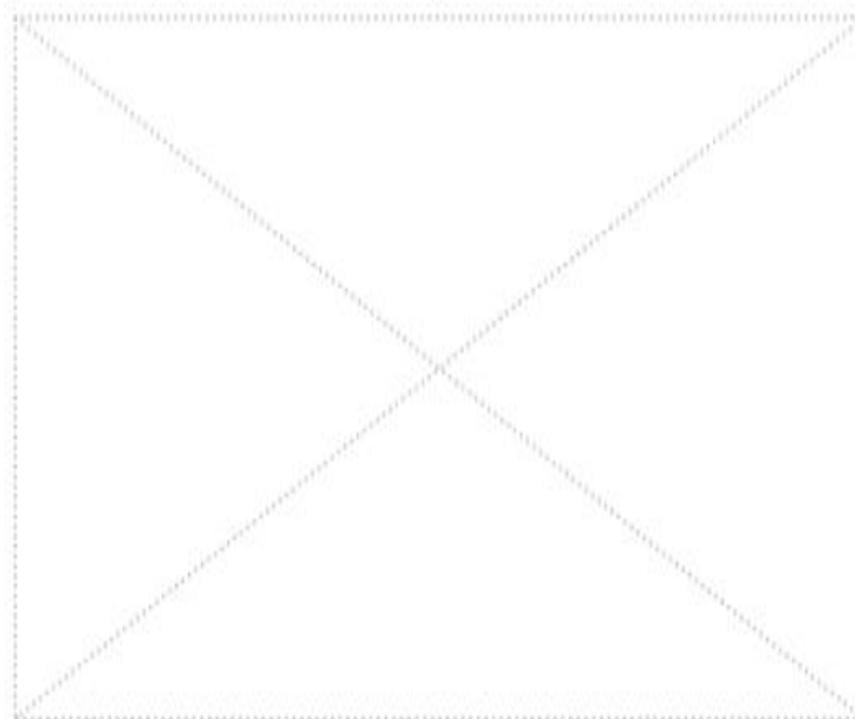


출처: 저자작성

동 이론이 나타내는 중요한 정책적 시사점은 한계비용의 감소는 온실가스 최적 감축량을 증가시킨다는 사실이다. 일반적으로 시간이 지날수록 기술 발전이 진행되는 점을 고려하면, 온실가스 감축 노력은 시간이 흐를수록 강화되어야함을 의미한다.

일반적으로 시간이 지날수록 한계비용곡선뿐 아니라 한계편익곡선 역시 이동한다. 이는 앞서 언급한 기후변화 문제의 특징 중 하나인 온실가스의 축적 때문인데, 시간이 지날수록 대기중에 축적된 온실가스는 기후변화를 가속화하고 그로 인한 피해를 가중한다. 즉, 일반적으로 한계피해 혹은 한계편익은 시간이 흐를수록 상승한다. 이와 같은 한계피해(한계편익)의 증가는 한계편익곡선의 이동으로 나타낼 수 있으며, 결과적으로 최적 감축량은 상승($A_0^* \rightarrow A_1^*$)한다. 이는 시간이 지날수록 온실가스 감축 노력이 강화되어야함을 시사한다.

[그림 11] 한계편익곡선의 이동



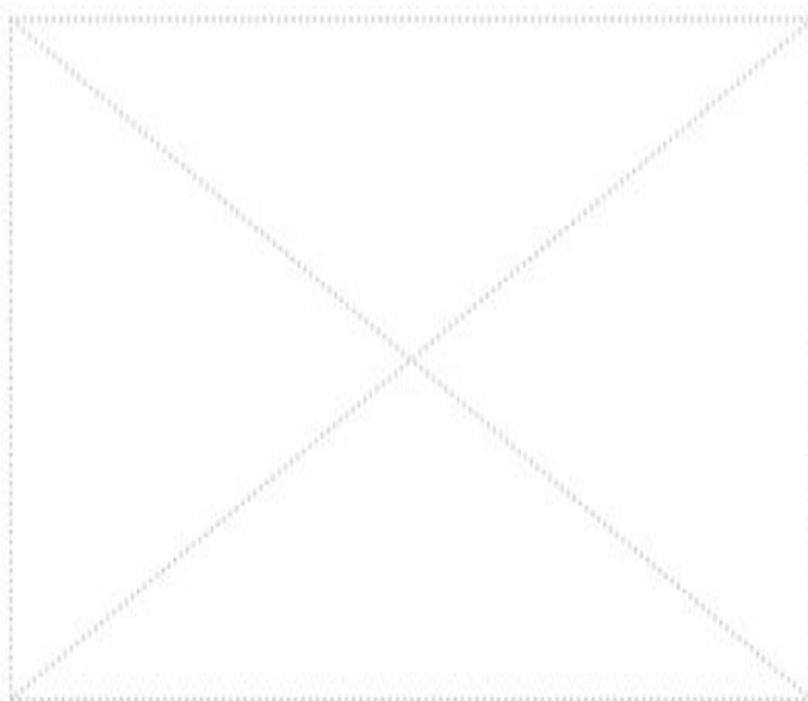
출처: 저자작성

결과적으로 시간이 지날수록 기후기술의 발전은 온실가스 감축 비용을 절감시키고, 온실가스의 축적은 기후변화 피해(혹은 온실가스 감축의 편익)를 상승시킨다. 이에 따라 최적 온실가스 감축량은 상승한다. 반대로 기후기술이 충분히 성숙하지 못한 단기간 내의 급격한 온실가스 감축은 대규모의 감축비용을 발생시켜 사회경제적인 부담을 가중한다.

이와 같은 이론적 결과는 2030년 국가온실가스감축목표 및 2050년 탄소중립을

공언한 우리나라의 온실가스 감축 정책에 중요한 시사점을 제공한다. 향후 온실가스 감축 장기계획에 있어 온실가스 감축 노력은 시간이 지날수록 강화되어야 한다. 단기적으로는 기후기술의 높은 한계비용을 고려한 현실적인 온실가스 감축 계획과 함께 적극적인 기술정책을 통한 한계비용 절감에 집중해야한다. 이후 낮은 한계비용의 기후기술을 적극적으로 활용해 2030년 혹은 2050년 목표 달성이 가능한 수준의 대규모 온실가스 감축이 진행되어야 할 것이다.

[그림 12] 한계편익곡선과 한계비용곡선의 이동

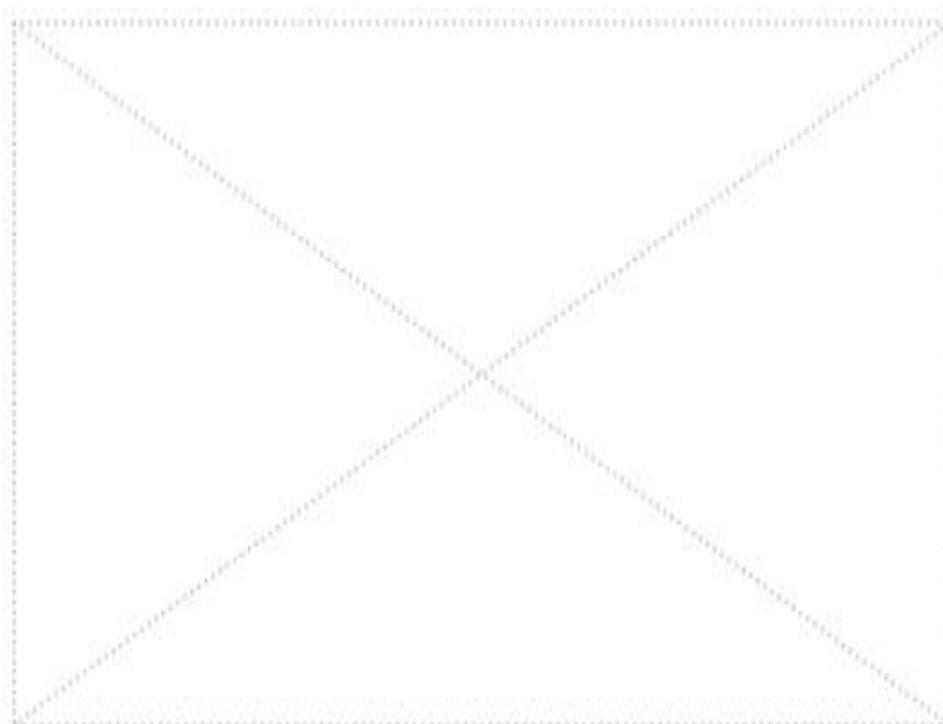


출처: 저자작성

마지막으로, 이산화탄소를 비롯한 온실가스가 글로벌 오염물질(global pollutants)이라는 점을 감안할 때, 기후변화 완화를 위한 국제사회의 공동 노력이 필수적이며, 이 때 국가별로 상이한 기후기술 수준이 고려될 수 있다. 국가별로 상이한 기후기술 수준은 한계비용 곡선의 차이로 나타낼 수 있다. 일반적으로 기후기술이 발전한 선진국의 경우 한계비용곡선이 매우 낮은 반면, 기후기술의 수준이 상대적으로 낮은 개발도상국의 경우 한계비용곡선이 높게 위치해있다. 이에 따라 단기적으로는 한계비용이 낮은 선진국에서 한계비용이 높은 개발도상국에 비해 많은 온실가스 감축 노력이 진행되어야 할 것이다. 다만, 지속적인 감소추세를 보이는 선진국의 온실가스 배출 경향을 감안할 때, 장기적으로 선진국의 온실가스 감축여력은 낮은 대신 중국, 인도와 같은 개발도상국의 온실가스 감축여력은 높을 것으로 예상된다. 즉,

선진국은 기후기술의 한계비용이 낮지만 더 이상 감축 가능한 온실가스가 많지 않을 것으로 예측되는 반면, 개발도상국은 기후기술의 한계비용이 높지만 대규모의 온실가스 감축이 요구되는 상황이 발생할 수 있다. 이러한 불균형을 해결하고자 국제사회는 국가간 기후기술의 적극적인 이전을 추진하고 있다. 이와 같은 국가간 기술이전은 상대적으로 높게 위치한 개발도상국의 한계비용곡선을 선진국의 한계비용곡선 위치로 낮추는 효과를 발생시킬 수 있으며, 이에 따라 개발도상국의 온실가스 감축량을 증가시킬 수 있다.

[그림 13] 선진국과 개발도상국의 한계비용 차이



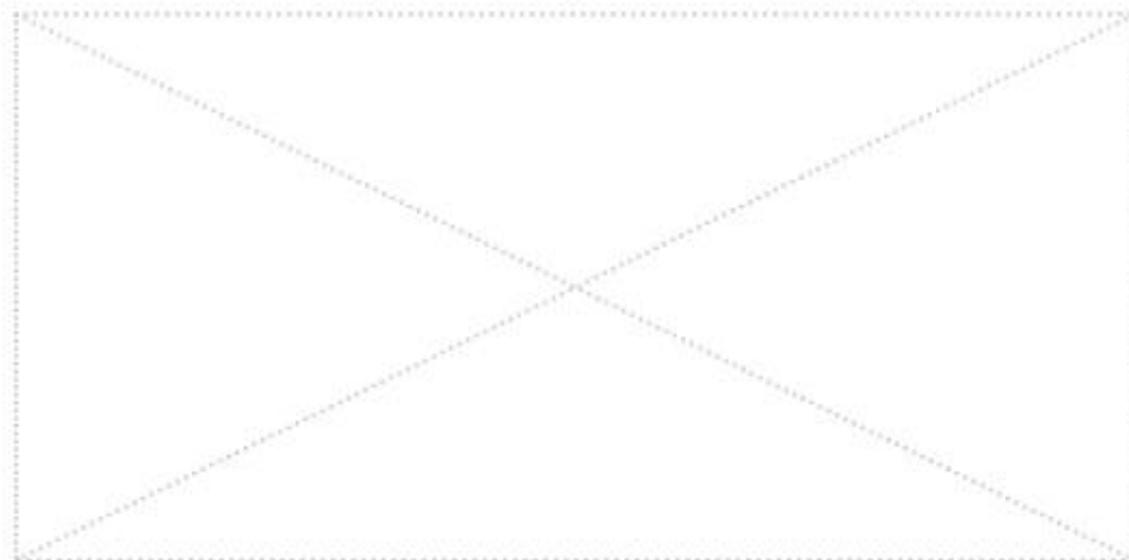
출처: 저자작성

Ⅲ. 기후기술 연구 사례 - efuels의 잠재력 분석

본 절은 저자가 IMF의 Massetti 선임경제학자, EIEE의 Naghash 연구원과 함께 수행한 기후기술 사례 연구에 대해 간략하게 소개한다. 본 연구(Massetti, Naghash, Yoo 2021)는 e-fuels이라 불리는 미래 에너지 기술의 경제적 및 기후적 잠재력을 분석한다. e-fuels은 탄화수소동력 연료를 생산하는 기술을 총칭한다. 화석연료는 연소시 탄소를 대기 중으로 방출하는 과정을 통해 기후변화를 야기하는

반면, e-fuels은 대기에 축적된 탄소를 이용해 연료를 생산하기 때문에 연소시 탄소를 방출하더라도 궁극적으로 순배출량이 0인 넷 제로 에너지다. 즉, 기후변화를 발생시키지 않는 클린 에너지라 할 수 있다.

[그림 14] e-fuels 생산 과정



출처: <https://www.ds-bremen.com/en>

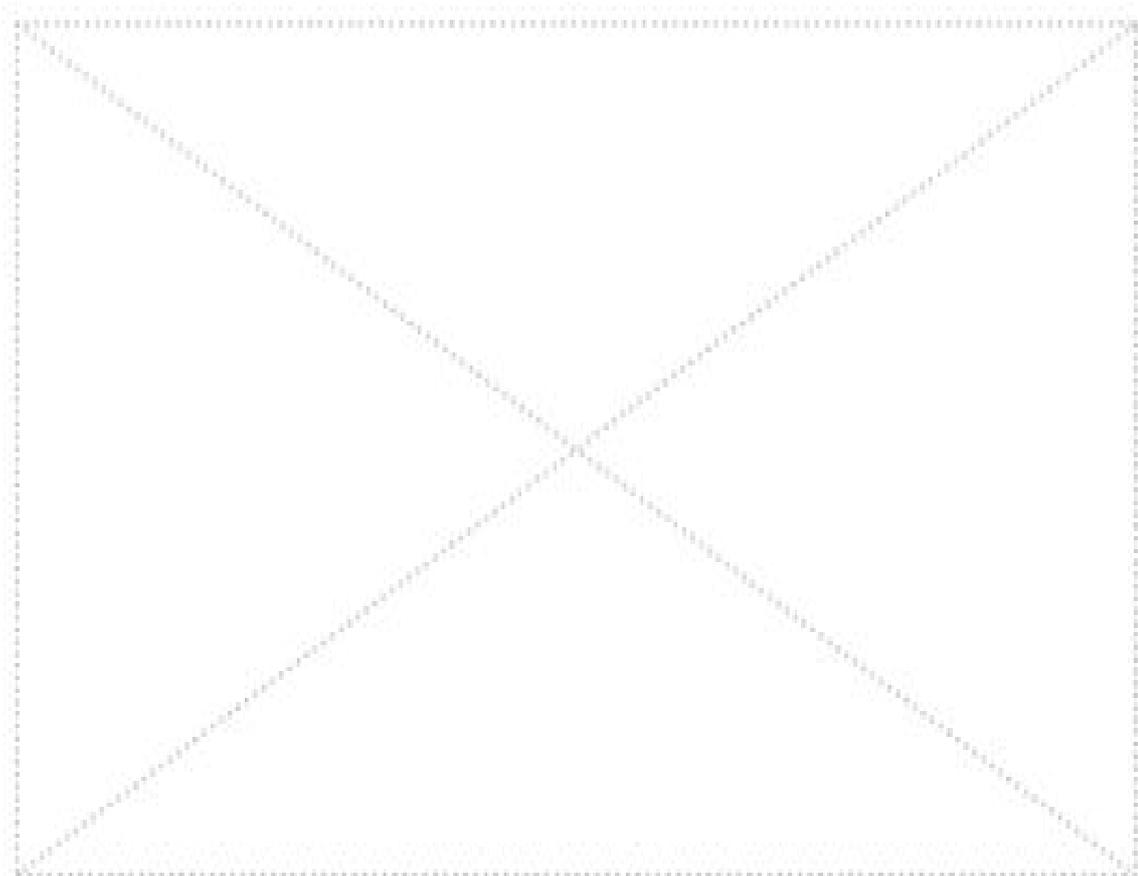
e-fuels은 특히 수송부문의 저탄소화를 견인할 수 있는 혁신적인 에너지 기술이다. 현재 수송부문의 온실가스 감축을 위해 내연기관 기반에서 하이브리드, 전기, 혹은 수소 기반으로의 전환이 빠르게 진행되고 있다. 그러나 e-fuels은 현재 내연기관 차량에서 연료로 사용되는 가솔린이나 디젤의 형태로 전환 가능하기 때문에 이론적으로 내연기관 차량을 유지하면서도 탄소중립의 달성이 가능하다. 즉, 차량의 저탄소화가 아닌 연료의 저탄소화를 통해 온실가스 배출 감축이 가능하다. 게다가 지난 수십년간 거듭된 발전을 통해 연료효율 기술력이 극대화된 내연기관의 사용이 가능하다는 점에서 온실가스 감축 외에도 전력을 비롯한 에너지 소비 절감, 에너지 안보 등 다양한 측면에서 이점을 누릴 수 있다. 특히 e-fuels을 이용할 경우 전기화 혹은 수소화가 매우 어려운 대형 트럭이나 중장비, 여객기 및 수송기, 여객선 및 수송선 등은 현재의 내연기관 엔진에 의존하면서도 탄소감축이 가능하다. 이러한 장점으로 인해 많은 나라는 2030 NDC 혹은 2050 탄소중립 달성을 위한 방법 중 하나로 미래 에너지 기술인 e-fuels을 적극 고려하고 있다. 우리나라 역시 최근 발표된 2050 탄소중립 시나리오에서 e-fuels 도입을 통한 수송부문의 저탄소화를 명시하였다 (관계부처 합동, 2021).

수송부문의 저탄소화 외에도 e-fuels은 재생에너지 저장장치로서의 역할이 가능하다. 현재 태양광, 풍력과 같은 재생에너지는 연중 에너지생산량이 불균형함에 따라 안정적인 에너지 공급을 위한 에너지저장장치의 역할이 매우 중요하다. 만약 태

양광, 풍력과 같은 재생에너지로 액체 혹은 기체 상태의 e-fuels을 생산해 보관할 경우, 이론적으로 영구 보관이 가능하다. 즉, e-fuels 기술을 통해 태양광 및 풍력과 같은 재생에너지를 언제든지 사용가능한 에너지로 전환한다.

상기 장점에도 불구하고 e-fuels 기술은 비싼 생산비용 문제로 인해 현재 상용화되고있지 않다. 앞서 온실가스 감축 한계비용곡선을 소개하였는데, e-fuels은 곡선상 가장 끝단에 위치한 매우 값비싼 기술이다. 이에 따라 수송부문의 경우 현재로선 한계비용이 훨씬 낮은 하이브리드나, 전기, 수소 기반 차량이 온실가스 감축에 비용효율적이다. e-fuels의 생산비용이 높은 이유 중 하나는 탄소를 대기중에서 흡수하는 기술(DAC; Direct Air Capture)이 아직 초기단계인 탓에 생산비용 매우 높은데 있다.

[그림 15] WITCH 모형



출처: <https://www.witchmodel.org/model>

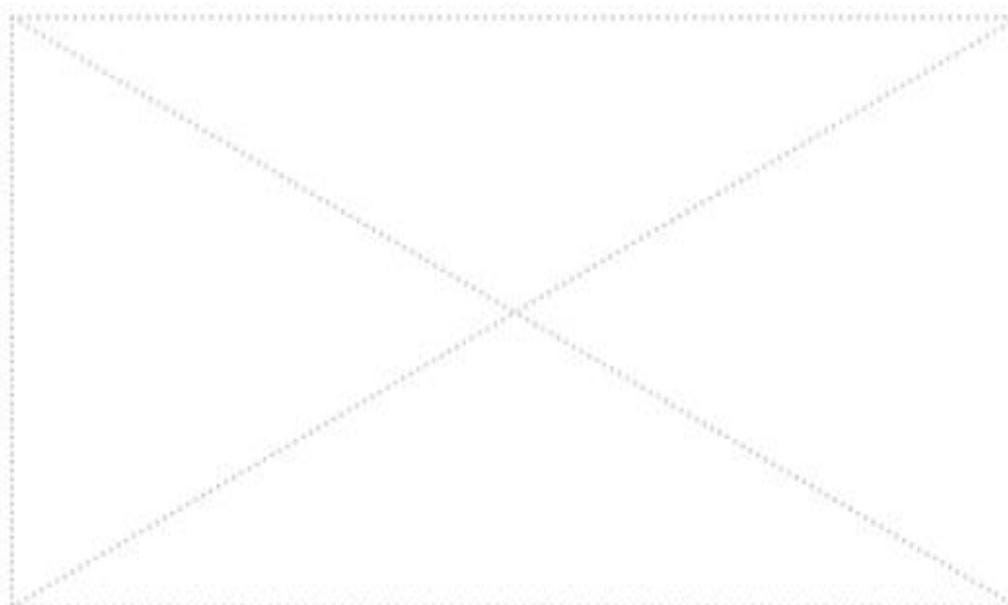
그러나 앞서 이론에서 설명한 바와 같이 기술 발전은 한계비용(혹은 한계생산비용)을 감소시킨다. 즉, 앞서 그래프로 보였듯이 기술의 발전은 한계비용곡선을 아래로 이동시키는데, 만약 기술개발(R&D) 투자가 보다 적극적으로 이뤄질 경우 한계비용곡선의 이동 속도가 가속화되어 e-fuels의 가격이 빠르게 하락한다. 특히 온실

가스 순배출을 0으로 하는 2050 탄소중립의 달성 혹은 파리협약(산업화 이전과 비교해 2°C 혹은 1.5°C 상승 제한) 목표 달성을 위해서는 한계비용이 상대적으로 높은 e-fuels의 도입이 요구될 수 있다. 즉, 현재 비싼 비용으로 인해 상용화가 불가능한 e-fuels 기술이 향후 지속적인 기술개발과 적극적인 탄소중립 정책으로 인해 도입 가능하다.

본 연구는 이러한 정책적 아이디어를 시뮬레이션 모형을 통해 실험하였다. 즉, 2050 탄소중립 혹은 파리협약 목표 달성 추진시 e-fuels의 상용화가 가능한지 살펴보았다. 이로 인해 e-fuels의 미래가치를 탐색하고 현재 시점에서의 기술개발 투자의 필요여부를 분석하였다.

본 연구는 WITCH(World Induced Technical Change Hybrid)라는 기후변화통합평가모형(Integrated Assessment Model)을 이용해 진행되었다. 동 모형은 장기적인 기후변화 양상과 사회경제 변화, 에너지 시스템 등의 통합적 분석이 가능하다. 또한 동 모형은 전 세계를 17여개의 국가/지역으로 세분화함으로써 지역적으로 상이한 사회경제 및 기술 특성을 반영하고 있다. WITCH 모형은 특히 에너지 기술발전예 특화된 모형으로써 Learning-by-doing, 유출효과(spillover effects), 기술개발 투자 등으로 인해 한계비용의 동태적 변화를 포함해 동 분석에 알맞은 모형이라 할 수 있다.

[그림 16] 시나리오별 전 세계 e-fuels 생산량(및 소비량)

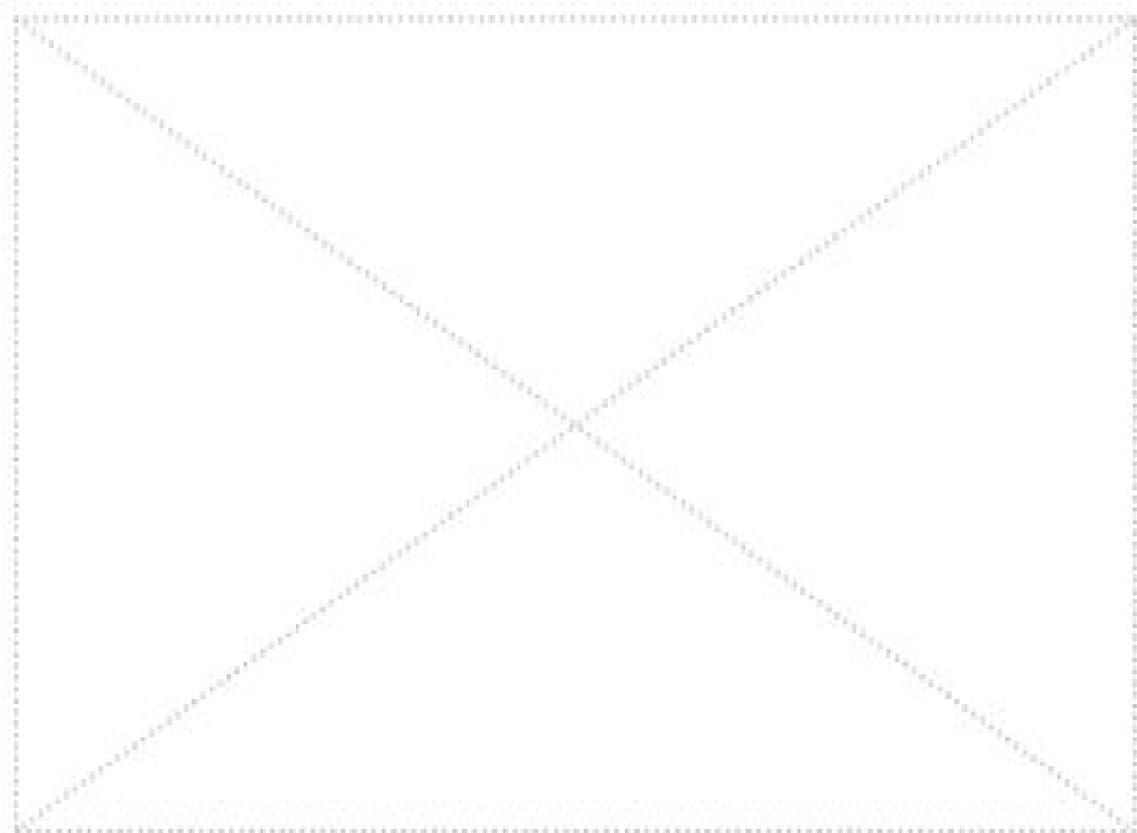


출처: Massetti, Naghash, Yoo (2021)

주: 시나리오에서 BAU는 아무런 탄소를 감축하지 않는 시나리오 (business-as-usual), A는 2100년 2°C 달성 시나리오, B는 1.5°C 달성 시나리오, C는 1.2°C 달성 시나리오를 의미

시뮬레이션 결과 e-fuels은 높은 생산비용으로 인해 모든 시나리오에서 2050년 이전 도입에 경제성이 부족한 것으로 나타났다. 다만, 지속적인 기술개발 투자로 인해 e-fuels의 가격은 빠르게 감소되어 2050년 이후 도입이 시작되고, 1.5°C 제한을 달성하는 B 시나리오에서는 10,000TWh가 넘는 에너지가 e-fuels로 공급된다. 심지어 탄소감축 노력을 진행하지 않는 BAU 시나리오에서도 장기적으로 e-fuels은 경제성을 갖춘 것으로 분석되었다.

[그림 17] 시나리오별 수송부문내에서의 e-fuels 수요 비중



출처: Massetti, Naghash, Yoo (2021)

주: 그림에서 파란색은 항공부문, 노란색은 해상부문, 주황색은 육상부문을 의미함.

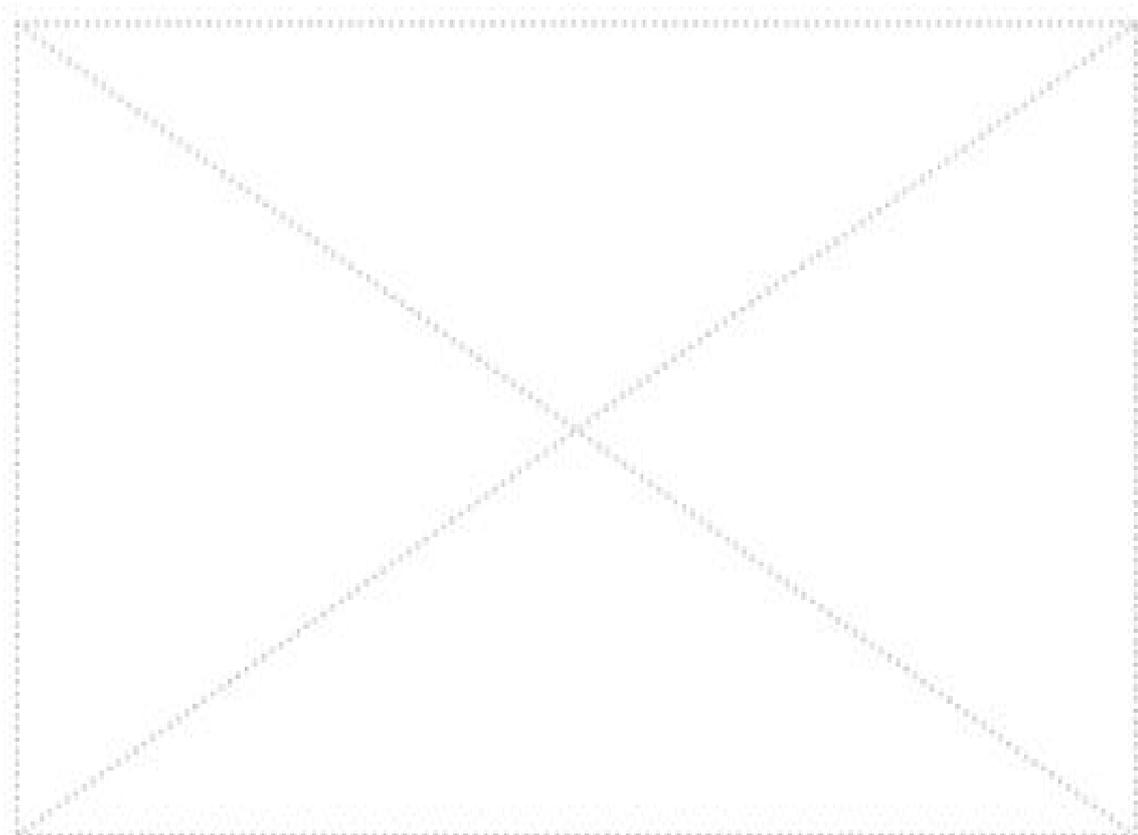
e-fuels을 수요하는 수송부문을 살펴보면 모든 시나리오에서 항공부문의 수요가 가장 높으며 그 다음으로 육상, 해상 부문으로 나타났다. 항공부문에서 e-fuels의 수요가 높은 이유는 시간이 갈수록 급증하는 전 세계 항공수요에 대응 가능한 저탄소 에너지가 부족하기 때문이다. 수송부문의 온실가스 감축은 일반적으로 화석연료의 전력화 혹은 수소화로 이뤄진다. 다만, 항공부문은 특성상 전력화, 수소화가 매우 제한적인데다가 지속적으로 증가하는 항공부문 에너지 수요를 전력 혹은 수소로

대처하기 어렵다. 이에 따라 에너지 효율성이 극대화된 기존 내연기관 기반 대형 항공기를 e-fuels와 함께 사용한다. 결과적으로 기온을 1.5°C로 제한하는 B 시나리오의 경우 2100년 기준 항공부문 내 e-fuels 비중이 50%이며, 1.2°C로 제한하는 C 시나리오의 경우 e-fuels 비중이 80%에 달한다.

해상부문의 경우 항공부문과 마찬가지로 대형 여객선, 화물선 등의 e-fuels 수요가 상당히 높게 나타난다. 그러나 항공부문과는 달리 해상부문의 장기 에너지수요는 현재와 비교해 소폭 증가할 것으로 예상되며, 이에 따라 항공부문에 비해 상대적으로 적은 e-fuels을 수요한다.

육상부문 역시 장기적으로 e-fuels에 대한 수요가 상당할 것으로 분석된다. 다만, 단기적으로는 e-fuels의 높은 가격으로 인해 가격경쟁력이 낮으며 상대적으로 가격경쟁력이 뛰어난 전기차량의 경제성이 높은 것으로 분석되었다. 이러한 이유로 탄소감축 노력이 강화될수록 전기차에 대한 수요가 급증하며, 앞서 항공부문과는 달리 e-fuels을 사용하는 내연기관 차량의 수요 증가는 단기적으로는 낮은 수준이다.

[그림 18] 에너지 타입별 육상부문 차량 비중 변화



출처: Massetti, Naghash, Yoo (2021)

주: 그림에서 초록색은 전기차, 보라색은 수소차, 노란색은 하이브리드, 파란색은 플러그인하이브리드, 빨간색은 내연기관차(e-fuels 포함)를 의미.

결과를 요약하자면 e-fuels은 비싼 생산비용(혹은 판매가격)으로 인해 현재로써는 경제성이 크게 떨어지는 상황이지만, 향후 기술발전시 생산비용의 급격한 하락이 예상되며, 궁극적으로는(2050년 이후) 상당량의 e-fuels이 전 세계에 도입될 것으로 분석된다. 특히 전력화 및 수소화가 어려운 항공부문 및 해상부문에서 중요한 역할이 기대되며, 육상수송에서도 전기차와 경쟁가능한 수준의 가격하락이 가능할 것으로 분석된다. 이러한 분석 결과는 e-fuels에 대한 장기적인 기술개발 투자의 필요성을 역설한다. 다만, e-fuels의 한계비용 하락 속도를 감안할 때 2050 탄소중립 달성을 위한 지대한 역할을 기대하기는 쉽지 않아 보이며, 이보다는 2100년 기준의 파리협약 달성과 밀접하게 관련이 있을 것으로 분석된다.

IV. 결론 및 제언

기후변화가 가속화됨에 따라 전 세계는 적극적인 온실가스 감축 노력을 펼치고 있다. 우리나라 역시 최근 2030년 국가온실가스감축목표를 상향조정하고 2050년 탄소중립을 공언하는 등 국제적인 온실가스 감축 노력에 동참하고 있다. 이러한 상황에서 본고는 기후기술 역할과 관련해 경제학적인 관점의 이론을 설명하고 사례연구를 소개하였다.

기술만능주의라는 비판이 제기될 정도로 국제사회의 2050년 탄소중립 혹은 파리협약 달성을 위한 기후기술 의존성은 매우 큰 상황이다. 경제학적인 관점에서 이에 대한 본고의 제언은 다음과 같다. 먼저, 단기적으로는 저탄소기술의 한계비용 감소를 위한 국내/국제사회의 노력이 집중되어야 하며, 이는 기술의 외부효과 문제를 해결하기 위한 직접/간접 지원책과 생산 증대를 통한 학습효과(learning-by-doing) 활성화를 포함한다. 이후 장기적으로는 낮은 수준의 한계비용을 지닌 기후기술의 적극적인 활용을 통해 대규모의 온실가스 감축이 진행되어야 할 것이다. 또한 글로벌 오염물질인 온실가스의 특성을 고려해 국제사회가 낮은 한계비용의 저탄소기술이 전 세계에 원활하게 보급되도록 노력해야한다. 특히 높은 수준(낮은 한계비용)의 기후기술을 보유한 선진국에서 상대적으로 낮은 수준(높은 한계비용)의 기후기술을 보유한 개발도상국으로의 기술이전이 전 세계 온실가스 감축에 매우 중요할 것으로 분석된다.

참고문헌

- McKinsey & Company, 2009. Pathways to a Low-Carbon Economy.
- Environmental Defense Fund, 2021. Marginal Abatement Cost Curves for U.S. Net-Zero Energy Systems.
- F. Kesicki and P. Ekins, 2012. Marginal abatement cost curves: a call for caution, *Climate Policy*, 12(2): 219-236.
- Green Tech Media, 2019. Solar Technology Got Cheaper and Better in the 2010s. Now What?
accessed at:
<https://www.greentechmedia.com/articles/read/solar-pv-has-become-cheaper-and-better-in-the-2010s-now-what>
- E. Massetti, H. Naghash, J. Yoo, 2021. Integrated Assessment of Renewable Hydrocarbons, Georgia Tech Strategic Energy Institute.
- 관계부처 합동, 2021. 2050 탄소중립 시나리오안.

제 4 장

기술혁신의 관점에서 바라본 기후정책

박노언

한국과학기술기획평가원

I. 과학기술 혁신과 기후기술

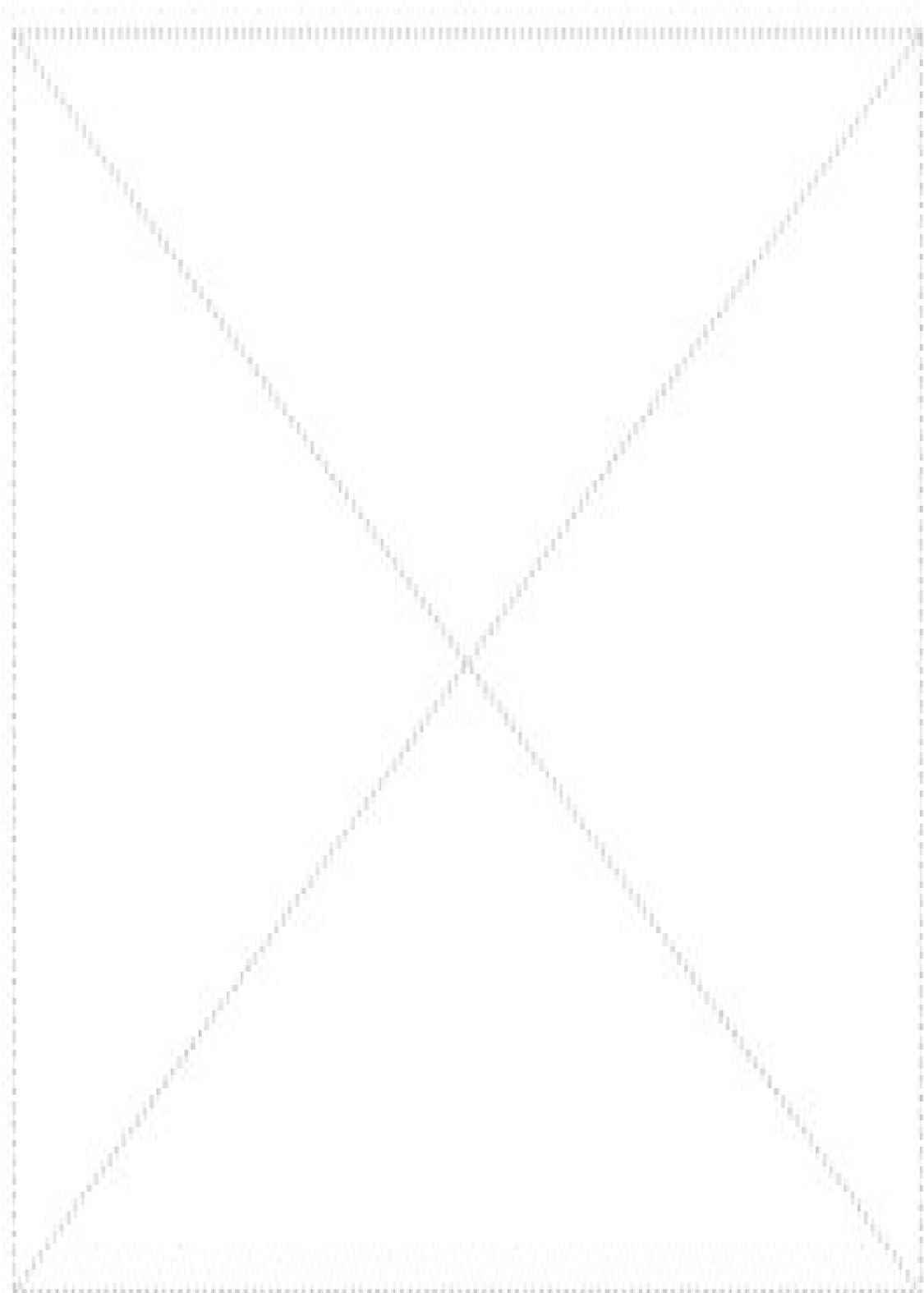
과학기술 혁신(Research and Innovation)은 과학기술, 제품, 공정으로 구현되는 아이디어가 새로운 가치를 창출하는 것으로, 다양한 부문(공공, 산업, 행정·제도 등)에서 일어난다. 과학기술 혁신활동을 통해 우리는 보다 안전하고 쾌적한 삶을 영위할 수 있으며, 국가는 경제발전과 글로벌 경쟁력을 제고할 수 있다. 정부는 이러한 사회환경 및 경제적 가치를 높이는 과학기술 혁신활동을 강화하기 위해 다양한 정책들을 발표하고 있다. 우리 사회는 기술패권 심화, 지구온난화, 디지털 전환, 저출산·고령화, 재난재해 등 다양한 시공간적 문제에 직면해있다. 대외적으로는 미·중 갈등 및 자국우선주의 심화, 원자재 및 자원 가격 상승 등으로 인한 경제 불확실성 증대, 지구온난화로 인한 이상기후 심화 등을 겪고 있으며, 대내적으로는 인구구조 변화로 인한 고령사회 진입, 지역소멸 위기, 경제성장 및 글로벌 기술경쟁력 둔화 등 어려움을 겪고 있다. 이러한 대내외적 이슈들을 과학기술 기반으로 해결하기 위해 정부는 최근 과학기술 분야 최상위계획인 「제5차 과학기술 기본계획('23~'27)」¹⁵⁾을 수립하여 발표했다. 동 계획은 '과학기술 혁신이 선도하는 담대한 미래'라는 비전 하에 향후 5년 간 중점적으로 추진할 3가지 전략을 제시하였다. 먼저 임무지향형 혁신정책 강화, 자율과 창의력을 높이는 연구환경 개선, 미래 핵심인재 양성·확보 등 질적성장을 위한 과학기술체계를 고도화할 계획이다. 두 번째는 민간 주도 혁신을 통한 성장동력 확보, 대학·공공연구기관의 혁신거점 역할 강화, 균형발전과 혁신성장을 이끄는 지역 혁신체계 구축 등 혁신주체의 역량 제고 및 개방형 생태계를 조성할 계획이다. 마지막으로 과학기술 기반 국가적 현안 해결 및 미래 대응으로 탄소중립, 디지털 전환, 의료복지, 재난재해, 국방·안보 등 우리가 직면한 문제들을 해결하는데 역량을 강화할 계획이다. 이와 함께 기술패권 경쟁 대응을 위해 12대 국가전략기술¹⁶⁾을 확보하여 정책·투자 집중 및 육성기반을 확충할 계획이다. 이를 통해 하이테크 산업 수출시장 점유율을 2020년 7.5%에서 2027년 10.0%로 높이고, OECD 삶의 질 지수를 2020년 32위에서 2027년 20위로 끌어올릴 계획이다. 과학기술 분야 최상위 계획을 뒷받침하기 위해 중앙행정기관은 분야별 하위 과학기술 정책을 마련하여 추진하고 있다. 한국과학기술기획평가원 보고서¹⁷⁾에 따르면 2020년도에 16개 중앙행정기관에서 총 90개 과학기술 분야 중장기계획을 수립하여 시행하고 있는 것으로 조사되었다. 기술분야별로 살펴보면 생명·의료 분야가 19개로 가장 많으며, 그 다음으로 에너지·환경 분야(18개) 순이다.

15) 관계부처 합동, 제5차 과학기술기본계획('23~'27), 2022.

16) 반도체·디스플레이, 이차전지, 첨단 모빌리티, 차세대 원자력, 첨단 바이오, 우주 항공·해양, 수소, 사이버 보안, 인공지능, 첨단 로봇·제조, 차세대 통신, 양자

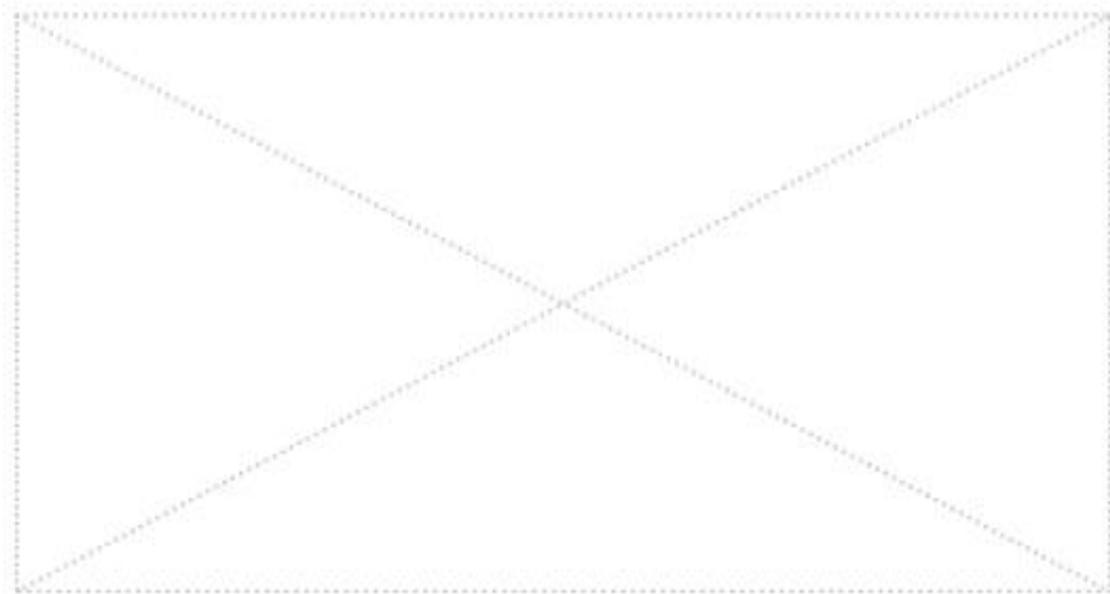
17) KISTEP, 2020년도 과학기술분야 중장기계획 조사·분석, 2022.

[그림 19] 제5차 과학기술기본계획 주요 내용



에너지·환경 분야 과학기술 혁신정책의 주요 미션(Mission) 중 하나인 ‘기후변화 대응’은 인류의 생존과 직결된 글로벌 아젠다이다. 국제사회는 이러한 기후변화 문제를 범지구적으로 대응하기 위해 UN 기후변화 협약, 교토의정서, 파리기후협약 등의 채택을 통해 공통 목표를 설정하고 글로벌 온실가스 감축을 위한 노력을 추진해 왔다. 1975년 미국 예일대 William D. Nordhaus 교수의 지구 평균기온 2°C 상승 제한을 시작으로 기후변화에 관한 정부 간 협의체(Intergovernmental Panel on Climate Change; IPCC)는 2018년 지구 평균기온 상승을 1.5°C 이하로 억제해야 한다는 특별보고서를 발표했다. 여기서 평균기온 1.5°C와 2°C 상승으로 인한 지구 환경 변화는 큰 차이가 있다. 2°C 상승의 경우 산호초의 99%가 멸종하며, 2100년 해수면 높이도 0.36~0.87m 상승하게 된다. 또한 육지 생태계의 약 13%가 변하게 되며 어획량도 300만t 감소하게 된다. 반면 1.5°C 이하로 지구 평균기온 상승이 억제되면 산호초 멸종률도 70~90%로 낮아지게 되며, 2100년 해수면 상승도 0.26~0.77m로 낮아지게 된다. 즉, 자연재해와 환경오염 등으로부터 인명과 재산 피해규모가 줄어들게 되며, 국민의 삶의 질 또한 극한 상황에서 벗어날 수 있게 된다.

[그림 20] 기후변화 대응을 위한 국제사회의 노력



출처 : 환경부, Europa Nostra and Global Heritage Community Contribute to COP26

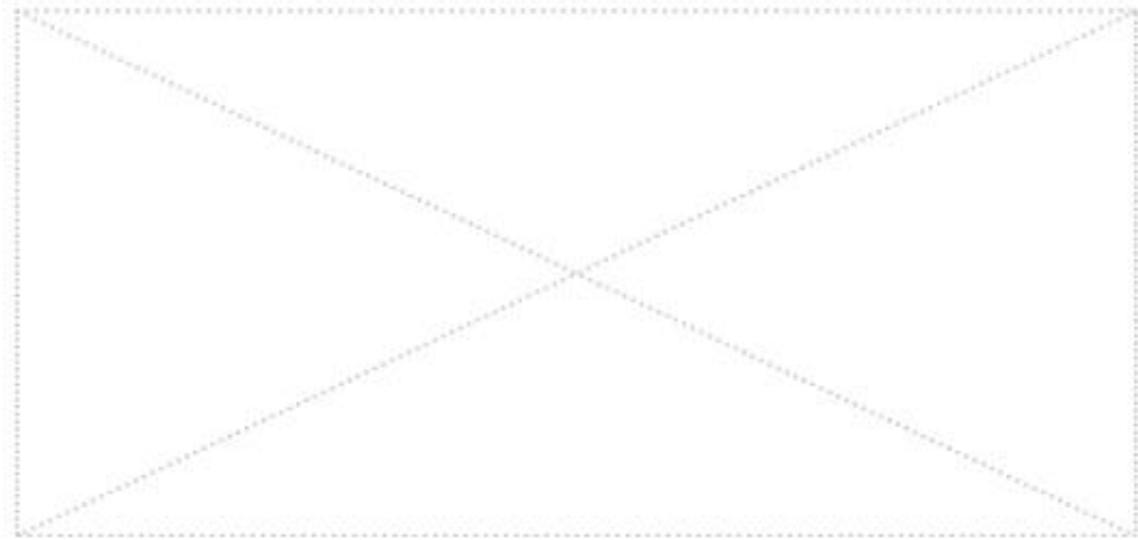
최근 우리는 그동안 겪어보지 못했던 기후변화로 인한 이상기후를 직접 체감하고 있다. 2022년 우리나라는 서울 관측 역사 상 가장 많은 양의 비가 내려 막대한 재산 손실과 인명 피해를 겪었으며, 유럽은 6~8월 극심한 폭염으로 에너지 소비 증가와 가뭄으로 인한 농작물 피해, 사망자 증가 등이 발생했다. 이러한 이상기후로 인한 피해강도는 더욱 더 심해지고 있는 추세이다. 기상청 자료¹⁸⁾에 따르면 적극적인 온실가스 감축 노력이 없으면 21세기 말에는 우리나라 남부지방 겨울이 사라진

다고 발표하였다. IPCC 기후변화 시나리오 2종에 대한 남한지역의 기후변화 전망 결과, 우리나라 17개 광역시도의 연평균 기온은 현재(10.5~16.1℃) 대비 21세기 후반기(2081~2100년)에 2.2~6.7℃ 상승하고, 고탄소 시나리오의 경우 서울과 경기도의 증가폭이 가장 크게 나타날 것으로 전망되었다. 또한 폭염/열대야일수는 현재(4.8~32.4일/2.2~22.5일) 대비 21세기 후반기 고탄소 시나리오에서 11.6~96.7일/11.4~84.8일 증가하고, 한파/서리일수는 현재(0~21.9일/10.1~123.7일) 대비 미래에 19.3~0일/67.0~7.3일 감소하는 것으로 전망되었다. 더불어 1일 최대강수량/호우일수도 65.3~94.4mm/0.1~1.9일 증가하며 제주도가 가장 많이 증가할 것으로 전망되었다. 만약 기후변화 문제에 적극적으로 대응하지 않는다면 우리가 살고 있는 현재의 모습과는 전혀 다른 환경속에서 지금보다 위험하고 불편한 삶을 살게 될 전망이다.

우리나라의 여건을 고려할 때 탄소중립 또는 기후변화 대응은 매우 도전적 과제이다. 주요국 대비 화력발전 비중이 약 40% 수준으로 상당히 높은 편이며, 철강 및 석유화학 등 고탄소 배출 업종 비중도 OECD 평균보다 높은 산업구조를 가지고 있다. 이러한 여건 속에서도 우리나라는 2050년까지 탄소중립을 실현하겠다고 선언(2020년)하였고, 탄소중립·녹색성장 기본법을 마련하는 등 법제화를 마무리하였다. 글로벌 시장조사전문기관인 맥킨지는 탄소중립 목표 달성을 위한 9가지 솔루션을 제시하였다. 기술혁신, 인프라, 자원 등 물리적 요소와 자원배분과 수요관리 등 사회경제적 요소, 협력 및 시민과 수요자의 지원 등 거버넌스 및 이행이 유기적으로 연계되어야 한다고 강조했다. 그리고 국제에너지기구(International Energy Agency; IEA)는 글로벌 에너지 부문의 탄소중립 로드맵을 발표하면서 탄소중립을 위한 핵심열쇠는 ‘기술혁신’이라고 강조하였다. 즉 현재 개발 중인 차세대 이차전지, 이산화탄소 포집 및 저장(Carbon Capture, Utilization, and Storage; CCUS) 등의 기술이 조속히 상용화되어 현장에 보급되어야 한다고 강조했다. 이처럼 과학기술 혁신은 탄소중립을 넘어 기후변화 대응을 위한 핵심수단이며, 탄소중립이라는 최종 목표를 향해 갈 수 있는 지름길이다.

18) 기상청, 보도자료(온실가스 감축 없으면, 21세기 말 우리나라 남부지방 겨울이 사라진다), 2022.

[그림 21] 탄소중립 달성을 위한 9가지 솔루션



출처 : 맥킨지, 2021

II. 기후기술 혁신을 위한 주요국 과학기술 정책

1. 미국

바이든 정부는 지난 정부와 달리 기후변화 대응 및 국제사회의 리더십 확보를 위해 친환경 정책을 강화하고 있다. 2022년 8월 ‘인플레이션 감축법(Inflation Reduction Act of 200)’을 발표¹⁹⁾하면서, 향후 10년 간 재정적자 약 3,000억 달러를 법인세 최저세율 설정 및 처방전 약값 인하 등을 통해 감축하고 이를 에너지 안보 및 기후변화 대응 분야의 세액공제 또는 보조금 등으로 재투입하는 방안을 발표하였다. 총 3,690억 달러 중 약 1,600억 달러가 청정전력에 대한 세액공제이다. 재생에너지 발전 등의 사업자에게 부과되는 세금의 경우 공제 수단을 지원하며, 원자력 발전 분야도 2024년부터 2032년까지 세액공제를 적용할 계획이다. 또한 태양광 패널, 풍력터빈, 이차전지 등의 생산 및 중요 광물 처리에 세액공제를 인정하고 10년 간 306억 달러를 상정한다. 그리고 소비자가 전기차 또는 연료전지자동차를 구매하거나 주택에 재생에너지 또는 히트펌프를 적용하는 경우 세액공제가 진행된다. 즉 인플레이션 감축법에 있어 기후변화 대응의 주된 정책수단은 세액공제이며, 특히 발전량 또는 생산량에 비례하는 생산세 공제이며, 이론상 생산 보조금과 같은 효과를 나타낸다. 이러한 인플레이션 감축법을 통해 2030년 온실가스 배출량은 2005년 대비 약 40% 감소할 것으로 기대하였다. 이와 함께 백악관 기후정책실

19) <https://criepi.denken.or.jp/jp/serc/discussion/download/22009dp.pdf>

(White House Climate Policy Office), 과학기술정책실(OSTP), 관리예산실(OMB) 등은 탄소중립 목표 달성을 위한 37개 게임체인징 R&D 방향을 2022년 발표²⁰⁾했다. 탄소중립 게임체인저 이니셔티브(Net-Zero Game Changers Initiative)는 미국이 2050년까지 탄소중립을 달성하는 것을 목표로 효율적인 건축물 냉난방, 탄소중립 항공, 탄소중립 그리드 및 전기화, 탄소중립 산업 제품 및 연료, 대규모 핵융합 등 5가지 우선과제를 제시하였다. 연방정부는 이러한 목표를 달성하기 위해 혁신, 실증, 보급 등 3가지 전략에 기반해 게임체인저형 기술을 개발해야한다고 강조했다. 미국의 탄소중립을 달성하기 위한 게임체인징 R&D를 분야별로 그룹핑하면 다음과 같다. 교통 분야에서는 첨단 배터리, 커넥티드 및 자율주행자동차, 전기 및 하이브리드 항공기, 초고속 및 전기 열차, 저탄소 선박 등이며, 전력 발전 분야에서는 첨단 원자력, 첨단 태양광, 첨단 풍력, 핵융합 에너지 등이 선정되었다. 산업 공정 분야에서는 저탄소 알루미늄, 저탄소 화학, 저탄소 콘크리트, 저탄소 산업 열 및 청정수자원, 저탄소 제철 등이 선정되었으며, 농업 및 메탄 저감 분야에서는 온실가스 제거 농업 기법, 저이산화탄소 온실 가축 시설, 비농업 메탄 저감 등이 주요 기술로 선정되었다. 기타 건축물 인프라 분야 및 탄소제거 등의 분야에서도 저탄소 건설, 저탄소 인프라, 공학적 및 자연적 이산화탄소 제거 기술이 선정되었다.

2021년에는 국가온실가스 감축목표와 2050년 탄소중립 달성을 위해 ‘미국의 장기 추진전략’을 발표했다. 동 전략은 2005년 대비 2030년까지 약 50~52%의 온실가스를 감축하고 최소 2050년 이전에는 탄소중립을 달성하는 목표를 달성하기 위한 구체적인 정책방향을 포함하고 있다. 발전 부문의 탈탄소화, 최종 사용 전기화 및 청정연료로의 전환, 에너지 효율 향상, 메탄 및 비이산화탄소 배출 저감 등 5대 정책을 추진하여 미국 경제를 현대화하고 환경오염 및 기후위기에 발생하는 불평등 및 비용을 해결하고자 하였다. 이외에도 국가기후전담부서에 기후혁신워킹그룹(Climate Innovation Working Group)을 신설하여 ARPA-C(Advanced Research Projects Agency-Climate) 프로젝트를 추진하며, 기후위기 대응을 위한 10대 중점 기술을 선정하여 발표²¹⁾하였다. 즉 미국은 기후변화 대응 및 2050 탄소중립 목표 실현을 위한 핵심수단으로 경제성 기반의 기술혁신을 강조하고 있다.

20)

<https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2022/11/U.S.-Innovation-to-Meet-2050-Climate-Goals.pdf>

21) ① 저탄소·무탄소 소재 기반 제로에너지 빌딩, ② 현재 비용 대비 1/10 수준의 에너지 저장 시스템, ③ 무탄소 플랜트를 통한 그리드 전력 발전과 향상된 에너지 관리시스템, ④ 저탄소·무탄소 기반 모빌리티, ⑤ 대체연료 기반 해양 및 항공 기술, ⑥ 경제성을 갖춘 냉장·냉방 및 히트펌프 기술, ⑦ 이산화탄소 포집·저장·전환 기술(CCUS), ⑧ 무탄소 배출 기반의 수소 생산 기술, ⑨ CO₂ 토양 저장 기술, ⑩ 직접 포집 이산화탄소 기술(DAC)

<표 3> 미국 장기 전략의 5대 정책 방향

발전 부문의 탈탄소화	<ul style="list-style-type: none"> ■ 청정전력 시스템으로의 전환은 태양광과 풍력 발전의 비용 하락, 연방 정부와 지방 정부의 정책, 소비자의 수요 변화로 인해 최근 빠르게 진행 ■ 최근 성공에 힘입어 미국은 2035년까지 청정 발전을 달성할 목표를 제시하였으며, 이는 2050년까지 탄소중립을 달성하는데 중요한 기반을 제공할 것으로 기대
전기화 및 청정연료로의 전환	<ul style="list-style-type: none"> ■ 자동차에서 건축물, 산업공정에 이르기까지 경제 대부분을 저렴하고 효율적으로 전기화 할 수 있으며, 전기화에 대한 기술적 과제가 있는 항공, 선박, 일부 산업공정 등의 부문은 그린수소나 지속가능한 바이오 연료 등의 청정 연료를 우선 활용
에너지 절약	<ul style="list-style-type: none"> ■ 에너지 효율 가전제품, 건축물의 효율성 개선, 지속가능한 제조 공정 등 다양하고 검증된 접근법을 통해 에너지를 절약하고 청정에너지로의 전환을 촉진
메탄 및 비이산화탄소 배출 저감	<ul style="list-style-type: none"> ■ 메탄은 현재까지 진행된 지구온난화의 절반 정도에 기여하는 등, 메탄, 수소불화탄소(HFCs), 아산화질소(N₂O) 등의 비이산화탄소 온실가스는 지구온난화에 상당한 기여 ■ 석유나 가스 시스템에서 메탄 유출 방지, 냉방 기기에서 수소불화탄소(HFCs) 냉매 사용 등 경제적인 비CO₂ 온실가스 감축 옵션이 많이 존재 ■ 미국과 파트너는 글로벌 메탄 서약(Global Methane Pledge)을 통해 2030년까지 글로벌 메탄 배출을 최소 30% 저감하는 방안을 모색하고, 대폭적인 배출 저감을 위해 필요한 혁신을 가능하게 만드는 R&D를 우선 과제로 설정
이산화탄소 제거 확대	<ul style="list-style-type: none"> ■ 농업 활동에서 배출되는 비이산화탄소 온실가스 등 일부 분야에서는 완전한 탈탄소화가 쉽지 않을 것으로 예상 ■ 해당 부문에서의 탄소중립을 달성하기 위해서는 엄밀하게 평가되고 검증된 공정과 기술을 활용해 대기 중의 이산화탄소를 제거하는 것을 필요로 하며, 이는 토지 탄소에 흡수(land carbon sink)를 확대하는 것은 물론 공학적인 전략 마련 필요

※ 출처 : 글로벌 과학기술 정책 정보서비스. 미국, 2050년 탄소중립 달성을 위한 장기 전략 발표

2. EU

글로벌 기후변화 대응 정책에 선도적 역할을 수행하고 있는 EU는 2050년까지 탄소중립 목표를 달성하겠다는 목표를 선언하고 청정에너지 전환, 지속가능한 산업·건물·수송 정책 강화 및 순환경제(Circular Economy) 실행계획 등과 연계 등을 추진하고 있다. 2019년 12월 유럽연합 집행위원회(EC)는 2050년 기후중립 대륙 전

환을 위한 사회 전 분야의 전환 로드맵인 ‘유럽 그린딜(European Green Deal)’을 발표했다. 즉 생산, 소비, 인프라, 복지 등 EU 사회 전 분야에 걸쳐 기후중립을 지향하기 위한 정책수단을 제시했으며, 주요 내용은 다음과 같다. 우선 2050년 넷제로(Net-zero) 목표 달성과 함께 2030년 온실가스 감축목표를 당초 1990년 대비 40% 감축에서 50~55%로 상향 조정하고 주요 감축수단으로 탄소세 강화 및 탄소 국경조정 메커니즘(Carbon Border Adjustment Mechanism)을 강조했다. 두 번째, 탈석탄 및 천연가스의 탈탄소화를 이루는 동시에 재생에너지 비중을 확대하고, 스마트그리드, CCUS 및 ESS 등의 에너지기술과 디지털 기술의 융합을 강조했다. 세 번째는 청정·순환경제로의 산업 전환을 위해 폐기물 재사용·재활용 확대, 상품 또는 소비가 환경에 미치는 영향정보 제공 등 지속가능한 소비 촉진을 강화했다. 그리고 에너지다소비 업종인 철강 부문의 기술혁신을 통해 2030년까지 철강 공정에서의 기후중립을 이루겠다고 제시했다. 에너지 부문의 기술혁신을 촉진하기 위해 EU-ETS의 혁신기금(Innovation Fund)의 지원방안도 고려하고 산업의 녹색전환에 있어 인공지능, 5G 등 DNA(Data, Network, Artificial Intelligence) 기술과의 융합 또한 강조했다. 이에 대한 후속조치로 2050 탄소중립의 중간경로인 2030 온실가스 목표를 1990년 대비 55% 감축을 유럽기후법으로 법제화하였으며, 유럽 내 다양한 조직 및 기관 등이 친환경적 기후행동에 참여하고 기후 문제에 대한 지식 및 정보 전달을 통해 국민들의 인식제고를 위한 유럽 기후협정을 발표했다. 그리고 2050 탄소중립 목표 실현 및 지구 평균기온 상승폭을 산업화 이전 대비 1.5°C 이하로 유지하는 2030 기후 목표 계획을 발표하였다. 이와 함께 2021년에는 유럽 그린딜의 정책수단으로 ‘Fit for 55’을 제시하고 온실가스 목표 달성을 위한 입법 패키지를 제시했다. 새로운 형태의 사회 기후 기금 또는 혁신 펀드를 마련하여 배출권 거래제 강화 및 신규 도입, 규제 및 지침 개정, 인프라 구축 등을 추진할 계획이다.

EU는 성공적 기후적응 정책 추진을 위해 2021년에 ‘신 EU 기후적응 전략’을 발표했다. EU는 미래 인적·환경·물적 손실 최소화, 경제적 이익 창출, 사회·문화·환경적 혜택 등 3가지 효과를 창출하기 위해 기후적응이 중요하다고 강조했다. 스마트(Smarter), 체계적(More systemic), 신속한(Faster) 적응 및 국제협력 강화를 기후적응의 핵심전략으로 제시하고 세부전략 및 구체적인 이행방안을 마련했다. 스마트한 기후 적응을 위해 최첨단 과학기술을 적용한 기후 의사결정, 정확한 기후 리스크 데이터의 기록·수집·공유 등을 제시하고, Horizon Europe 및 Digital Europe 등을 활용하여 기후 지식격차 해소를 지원하고 산발적 정보처리 메커니즘의 통합 등을 이행방안으로 제시했다. 두 번째, 체계적 기후 적응을 위해 기후적응 측정 기준 마련, 지역별·개인별 기후적응의 공정성 증진, 자연 기반 솔루션 촉진 등을 세부전략으로 제시하고, 이행방안으로 국가 기후적응 전략 지침 마련, 자연 기반 솔루션의 재무적 영향을 활용한 금융기법 개발 등을 제시했다. 세 번째, 신속한 기후적응을 위해서는 기후적응 지원 시스템에 대한 접근성 제고, 기후보호격차의 감소 등을 제시하였다. 이를 위해 EU Taxonomy의 지속 개발, 중요 인프라 건축 및

개조 시 기후 적응 기준 반영 등의 이행방안을 제시했다. 그리고 회원국의 기후적응 계획 및 NDC 수립·이행을 지원하기 위해 국제협력을 강화하고, 기후적응 기금, GCF 등을 활용하여 글로벌 기후금융을 확산하고 민간투자를 유인할 계획이다. 이러한 기후 적응전략을 뒷받침하기 위한 미션 프로그램에 18개 회원국 118개 지역이 참여하고 있으며, 2021~2023년 기간 동안 3.7억 유로의 자금이 지원되고 있다.

[그림 22] Fit for 55 주요 내용

가격 책정	목표	규정
<ul style="list-style-type: none"> · 항공 분야를 포함한 배출 거래제의 체계 강화 · 해운, 수송, 건물 분야의 배출권거래제 신규 도입 · 에너지 조세지침 개정 · 탄소국경조정제도 신규 도입 	<ul style="list-style-type: none"> · 노력 분담 규정 개정 · 토지 이용, 토지 이용변화 및 삼림에 대한 규제 개정 · 재생에너지지침 개정 · 에너지 효율 지침 개정 	<ul style="list-style-type: none"> · 승용차 및 승합차 배출 규제 기준 강화 · 대체연료를 위한 인프라 규정 개정 · Refuel-EU: 지속가능한 항공유 마련 · Fuel-EU: 친환경 선박유 마련
지원대책		
<p>새로운 형태의 사회 기후 기금 또는 혁신 펀드 마련</p>		

※ 출처 : EC COM(2021) 550 final.

<표 4> 신 EU 기후적응 전략별 주요 내용

구분	세부전략	이행방안
스마트한 기후적응	최첨단 과학기술을 적용한 기후 의사결정	Horizon Europe, Digital Europe, Copernicus 등을 활용하여 기후 지식격차 해소 등
	정확한 기후 리스크 데이터의 기록·수집·공유	데이터 기록·수집·공유의 기준 마련, Risk Data Hub를 통한 중앙 기록 지원 등
	Climate-ADAPT를 공식 지식플랫폼으로 활용	산발적 정보처리 메커니즘 통합 등
체계적 기후적응	기후적응 측정 기준 마련 및 정책 일관성 유지	회원국 협력으로 국가 기후적응 전략 지침 마련 등
	지역·개인별 기후적응의 공정성 증진	지역 기후적응 전략 및 지원기구 운영 등, ESF+, Erasmus+ 등 프로그램을 통한 근로자 지원
	국가 재정 프레임워크에 기후적응 내용 반영	공공재정에 미치는 기후 리스크의 잠재적 영향 측정방법 개발, 역내 기금과의 상호보완 강화 등
	자연기반 솔루션(Nature-based Solutions) 촉진	자연기반 솔루션의 재무적 영향을 활용한 금융기법 개발 등
신속한 기후적응	기후적응 지원 시스템에 대한 접근성 제고	EU Taxonomy의 지속 개발 등
	인프라 구축을 통한 기후적응 리스크 경감	주요 인프라 건축·개조 시 기후적응 기준 반영 등
	기후보호격차의 감소	유럽보험연기금청(EIOPA)과의 협력을 통한 금융상품 개발, 역내 자연재해 보험 촉진 등
	물의 지속가능성 확보	제품의 질수 요건 강화, 지속가능 토지이용 계획 촉진 등

※ 출처 : KDB미래전략연구소 이슈브리프, 신 EU 기후적응 전략의 주요 내용, 2021.

3. 일본²²⁾

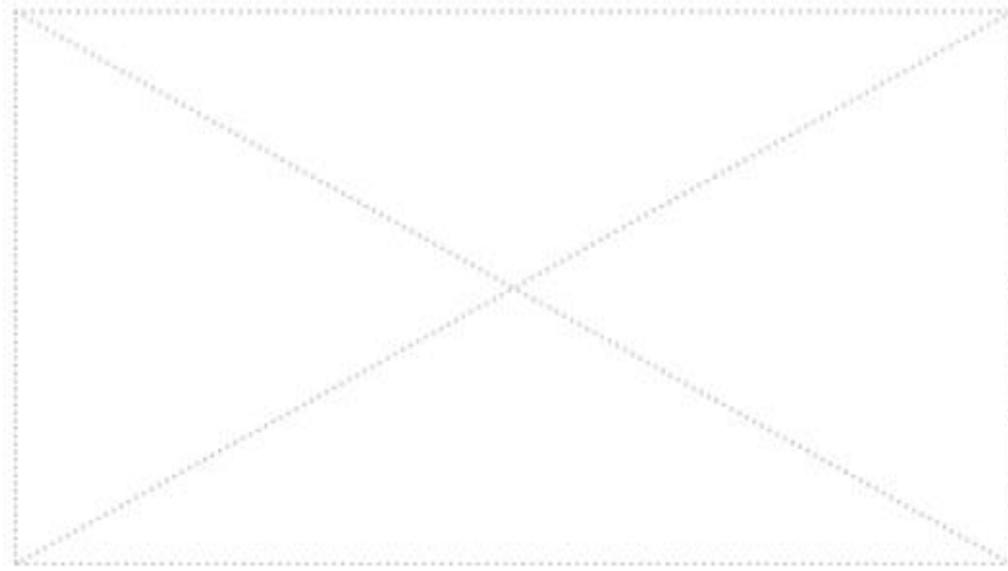
정부는 2020년 10월 환경과 경제의 선순환을 근간으로 하는 2050 탄소중립을 선언하고 2021년 ‘지구온난화대책추진법’ 개정을 통해 2050년까지의 탈탄소사회 실현방향을 명시했다. 일본 경제산업성은 이러한 정책을 실현하기 위한 녹색성장전략을 2020년 마련하고, 에너지 안보 및 안전 중심의 기후에너지 정책 기조 전환 및 5대 정책수단을 제시했다. 우선 녹색혁신 기금을 10년 간 2조엔을 투입하고 15조

22) 국가기후기술정보시스템(www.ctis.re.kr) 자료 재인용

엔 규모의 민간 R&D 투자를 활성화할 계획이다. 그리고 전환 금융 가이드라인 수립 및 글로벌 ESG 투자 유치를 위한 보조금(사업규모 기준 3년 간 1조엔) 계획 수립, 세액 공제 및 규제 개정, 국제협력 강화 등의 정책수단을 제시했다. 더불어 14개 녹색성장 분야(해상풍력, 수소, 자동차 및 이차전지, 자원재활용 등)에 대한 로드맵을 제시했다. 이와 함께 일본 정부는 「제6차 에너지기본계획」을 통해 청정에너지 전환 및 탄소중립 목표 실현을 위한 에너지 부문의 정책경로를 제시했다. 전력 부문에서 재생에너지, 원자력 등 상용화 단계에 있는 탈탄소에너지 전원을 적극 활용하고, 암모니아 발전과 CCUS 등 차세대 기술의 혁신을 가속화할 계획이다. 비전력 부문에서는 수소 또는 합성연료 등의 활용을 확대하고 특히 산업 부문에서는 수소환원제철과 인공광합성 등의 혁신을 강조했다. 그리고 이산화탄소 배출이 불가피한 분야는 DACCS와 BECCS 산림 흡수원 등으로 기후변화에 적응 대응할 계획이다. 산업 부문에서는 에너지 소비 원단위의 개선을 위해 에너지 절약 기술 개발·도입 지원 강화 등을 추진하며, 업무·가정 부문에서는 전기차 인프라 도입 확대, 이차전지 등 전력 관련 기술·공급망 강화 등을 추진할 계획이다. 이와 함께 수요 측면에서는 에너지전환을 뒷받침하기 위한 에너지 절약법 개정을 검토하고, 분산에너지 자원을 활용한 통합 사업 추진과 마이크로그리드 구축을 확대할 계획이다. 그간 기후변화 완화 중심의 정책에서 탈피하여 기후적응을 강화하기 위해 정부는 2018년 기후변화 적응법을 마련하고 기후적응의 종합적 추진, 정보 기반의 정비, 지역의 기후적응 강화, 기후적응의 국제 전개 등을 주요 내용으로 제시했다. 특히 도도부현 및 시정촌은 단독 또는 공동으로 지역 기후변화 적응 계획을 수립하도록 노력해야 하며, 해당 지역에 있어 기후변화 영향 및 적응에 관한 정부의 수집, 정리, 분석, 제공 및 기술적 조언을 하는 거점체제를 확보하도록 했다.²³⁾

23) 김잔디, 일본 기후변동 적응법의 주요내용과 시사점, 2017.

[그림 23] 일본 2050년 탄소중립을 위한 녹색성장 전략

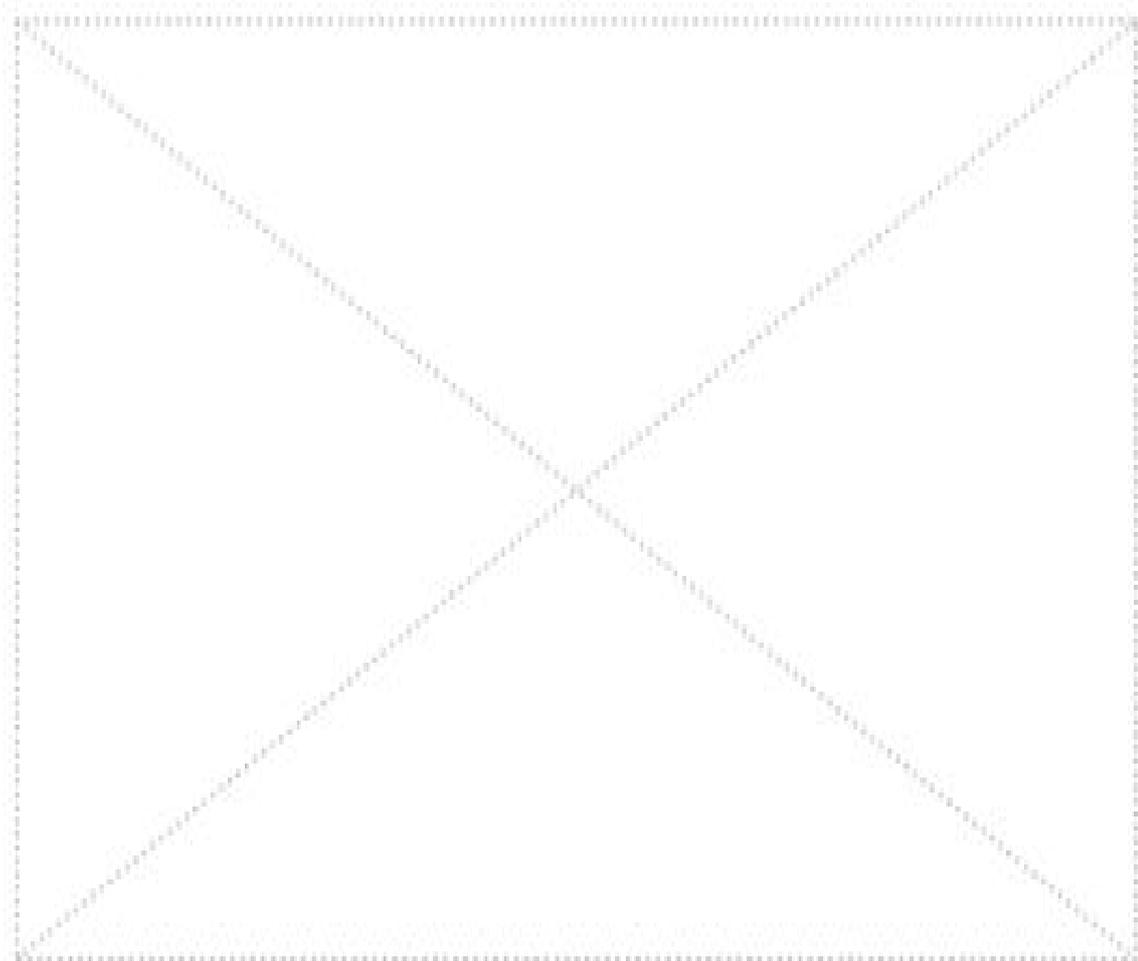


출처 : 국가나노기술정책센터(<https://www.nnpc.re.kr>)

4. 한국

정부는 글로벌 아젠다인 기후변화 이슈에 적극 대응하고 참여주체의 기술혁신을 촉진하기 위해 기후변화 대응 연구개발(Research and Development, R&D) 투자규모를 지속적으로 확대하고 있다. 국가녹색기술연구소 보고서에 따르면, 2021년 기후변화 대응 R&D 투자규모는 3.4조원으로 최근 6년(2016~2021) 간 연평균 6.2%로 증가하고 있으며, 전년대비 12.5% 증가하였다. 온실가스 감축 분야에서는 수송 효율화(8.7%) 및 전력저장(8.4%)의 투자비중이 상대적으로 높게 나타났으며, 적응 분야에서는 기후 예측 및 모델링(3.81%) 및 감염 질병 관리(3.78%) 등에서 R&D 투자비중이 높게 나타났다. 그리고 기후변화 대응 연구를 수행하는 주체별 투자비중을 살펴보면 중소기업이 27.1%로 가장 높으며, 그 다음으로 출연연구소(26.6%) 및 대학(19.2%) 등이 높게 나타났다.

[그림 24] 온실가스 감축 및 기후적응 분야 R&D 투자규모(2021년)

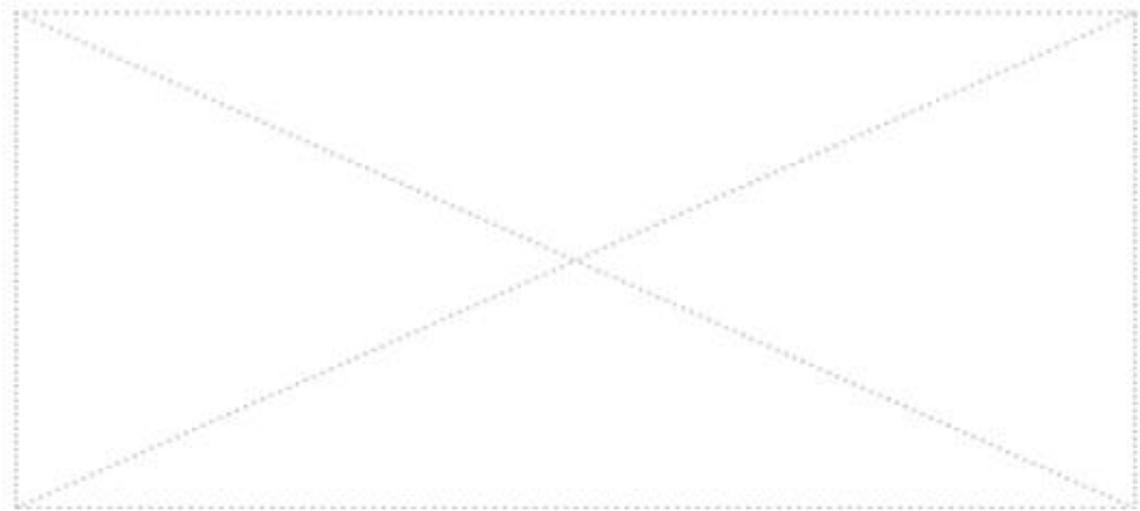


출처 : 과학기술정보통신부·녹색기술센터, 2021년도 기후기술 국가연구개발사업 조사·분석 보고서, 2022.

이러한 R&D 투자규모 확대와 함께 기후변화대응 기술개발을 촉진하기 위한 기후기술법 시행(2021.10) 및 2050년 탄소중립 목표 실현을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법 시행(2022.3) 등 법적 기반을 마련하였다. 또한 2050 탄소중립 선언과 함께 2030년 국가온실가스 감축목표를 당초 2018년 대비 26.3%에서 40.0%로 상향 조정하는 등 기후변화 대응에 적극적으로 동참하고 국제사회의 위상을 강화하였다. 문재인 정부의 기후변화 대응 분야 주요 정책아젠다는 탄소중립으로, 관계부처 합동으로 탄소중립 기술혁신 추진전략을 2021년 3월에 마련하였으며, 2021년 8월에는 탄소중립 목표를 실현하기 위한 39개 중점기술을 발표하였다. 탄소중립 시나리오를 고려하여 각 부문별로 탄소중립 목표 달성을 위한 중점기술을 선정하여 발표하였다. 에너지전환 부문에서는 태양광, 풍력, 발전용 연료전지, 수소 생산·저장·이송, 전력저장 등이 중점기술로 선정되었으며, 산업 부문에는 철강, 석유화학·정유, 시멘트 등 온실가스 다배출업종을 대상으로 수소 환원제철, 바이오 기반 원료·제품

생산, 공정 에너지 효율화, 대체연료 적용 등이 중점기술로 선정되었으며, 수송·교통 부문에서는 전기차용 이차전지, 수소전기차용 연료전지, 무탄소 선박 등이 중점기술로 선정되었다. 이와 함께 고성능·다기능 외피, 유용자원 회수, CCUS 등도 건물·도시·ICT 및 환경 등의 부문에서 39개 중점기술로 선정되었다. 즉 2050 탄소중립 목표 실현을 위한 주요 기술혁신 방향은 ①전기화, ②수소화, ③CCUS, ④에너지 효율향상, ⑤저탄소 연·원료 사용, ⑥자원순환 등으로 요약할 수 있다.

[그림 25] 탄소중립 기술혁신 방향

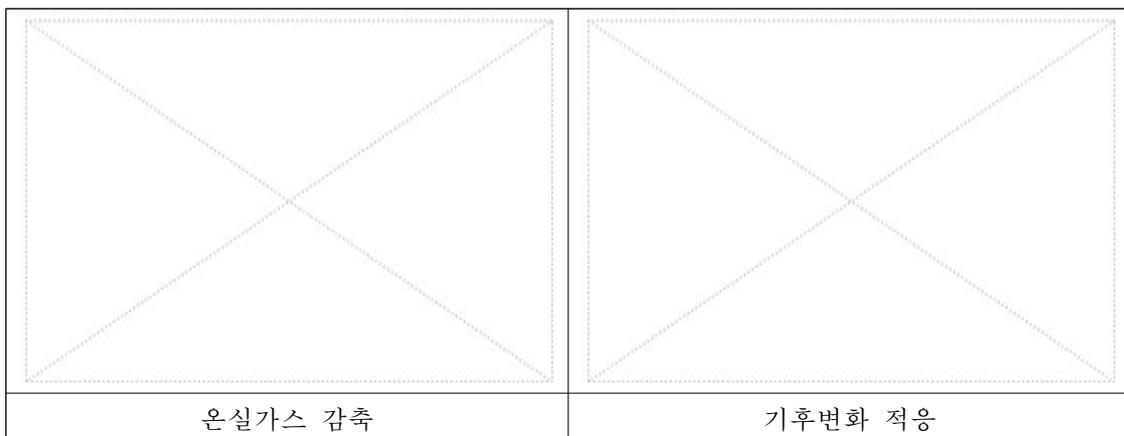


출처 : 박노언, 2022 미래전략 컨퍼런스 발표자료, 2022.

하지만 윤석열 정부가 출범하면서 신재생에너지 확대, 에너지효율 향상, 친환경 연·원료 대체, CCUS, 자원순환 등 지난 정부의 탄소중립 주요 기술혁신 방향은 유지되었으나, 문재인 정부의 탈원전 정책이 폐기됨에 따라 에너지전환 분야에서 차세대 원자력 발전 기술(소형모듈형 원자로)이 12대 국가전략기술로 선정되는 등 중요성이 높아지게 되었다. 2022년 12월에 발표된 제1차 기후변화대응 기술개발 기본계획을 주요내용을 살펴보면 다음과 같다. 첫 번째 전략은 온실가스 감축 영역으로 그간 각 부처 관련 정책에서 선정된 기술과 주요 선진국의 기술동향을 기반으로 6대 세부전략별 핵심기술을 제시하였다. 무탄소 에너지 생산 부문에서는 태양광 및 풍력 등 재생에너지 보급 확대를 위한 경제성·성능 개선·고도화 R&D, 원자력, 핵융합 등 에너지의 안정성 및 지속성 제고, 수소·암모니아 발전 기술 등 신에너지 기술개발을 강화할 예정이다. 그리고 산업, 건물, 수송 부문에 사용되는 에너지의 전기화, 수소 및 바이오매스, 폐플라스틱 및 폐배터리 등을 활용한 탄소배출 연·원료의 대체기술 개발, 에너지 소비효율 향상, CCUS 및 Non-CO2의 온실가스 저장·흡수·활용 등이 감축 부문의 핵심기술로 제시되었다. 두 번째 기후변화 적응 영역

에서는 기후변화로 인한 피해 저감과 회복력 강화를 위해 기후위기 적응 전과정 및 대상별 과학기술 기반의 적응기술을 체계적으로 개발할 계획이다. 우선 자연·생태계 회복력 강화를 위해 생태계·산림 건강성을 증진하고 해양·연안 취약성을 선제적으로 대응할 계획이다. 그리고 기후변화로 인한 감염병 위기 대응 및 기후적응형 식량 생산 기술을 확보할 계획이다. 이와 함께 기후 적응형 도시·인프라 구축, 과학기술 기반 기후변화 감시·예측 및 영향평가, 과학기술 기반 재난재해 관리 등이 세부전략으로 제시되었다. 세 번째 전략으로는 기후변화 대응을 위한 혁신생태계를 조성할 계획이다. 기후기술 산업을 활성화하기 위해 혁신기술 검증 패스트트랙 지원체계 및 실증·시험 인프라 구축, 탄소중립 규제자유특구 및 규제샌드박스 등을 활용한 규제 개선, 지역·사회문제 해결을 위한 리빙랩 프로젝트 확대 등을 추진할 계획이다. 이와 함께 연구·산업 현장 맞춤형 우수 인재양성을 확대하고, 국제사회와의 공동협력 및 기술이전·확산을 강화할 계획이다. 마지막으로 탄소중립 사회-기후기술의 연계성 강화를 위해 산·학·연·관, 범부처 및 중앙정부-지자체 간 협업 거버넌스를 운영하고 기후기술 정책의 점검·평가를 위한 전문 지원체계를 구축할 계획이다.

[그림 26] 제1차 기후변화대응 기술개발 기본계획 주요 전략



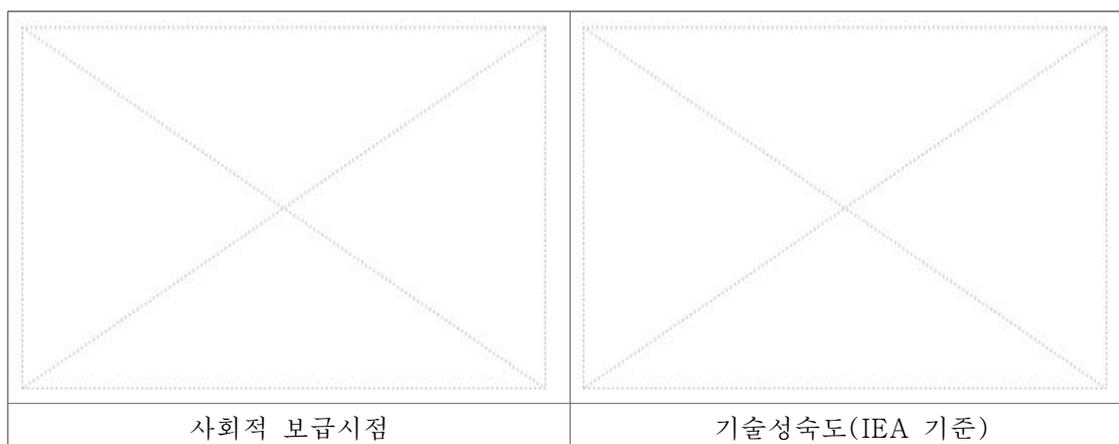
출처 : 관계부처 합동, 제1차 기후변화대응 기술개발 기본계획, 2022.

III. 지속가능한 기후기술 혁신 가속화를 위한 5대 개선과제

2020년 10월, 정부의 2050 탄소중립 선언 이후 각 부처는 경쟁적으로 탄소중립 또는 기후기술 관련 정책을 수립하여 발표하고 있다. 「탄소중립 연구개발 투자전략(2021.3)」, 「탄소중립 기술혁신 추진전략(2021.3)」, 「탄소중립 중점기술(2021.8)」,

「탄소중립 산업·에너지 R&D 전략(2021.11)」, 「제1차 기후변화대응 기술개발 기본 계획(2022.12)」 등 다수의 과학기술 정책들이 발표되고 있으며, 주요 기술혁신 방향은 전기화, 수소화 등 대체적으로 일치한다. 하지만 각 정부계획에서 제시하고 있는 핵심(중점)기술의 범위와 내용은 해당계획에 따라 일부 상이하여 연구현장의 혼선 야기 및 정부 정책의 체계성·일관성이 다소 부족한 것으로 보여질 수 있다. 예를 들면 「탄소중립 연구개발 투자전략(2021.3)」의 핵심기술로 선정된 핵융합기술이 타 계획에서는 미래기술로 분류되어 핵심기술에 포함되어 있지 않다. 따라서 지속가능한 기술혁신을 촉진하기 위해서는 기후기술 혁신을 위한 컨트롤타워의 역할을 보다 명확히 하고 일관성있는 정책마련이 필요하다. 다수의 정책을 경쟁적으로 수립하여 발표하기 보다는 정책이행을 강화하고, 환경변화에 유연하게 대응할 수 있는 정책수립이 무엇보다 요구된다. 두 번째, 앞선 정부계획에서 선정된 핵심기술들이 실제 현장에 보급되어 탄소중립 및 기후변화 대응에 활용되기 위해서는 최소 10~15년 전에는 해당기술이 상용화되기 시작되어야 한다. 탄소중립 기술의 약 70%가 프로토타입 또는 개념단계에 있어 기술혁신이 무엇보다 중요하며, 한정된 자원 내에서 모든 유망기술을 동일하게 접근하기 보다는 2030년까지는 기존 기후기술의 상용화에 보다 집중하고, 2050년까지는 미래기술의 기초연구부터 상용화까지 중장기적 개발이 요구된다. 따라서 기후기술의 특성과 기술개발 단계 등을 종합적으로 고려하여 전략적 접근이 필요하다.

[그림 27] 탄소중립 기술의 사회적 보급시점과 기술성숙도

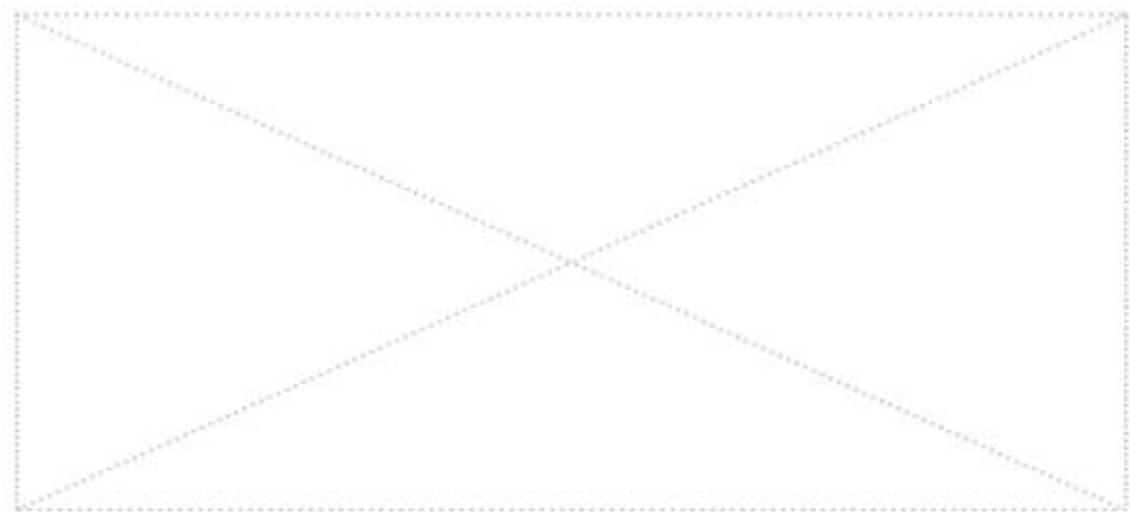


출처 : 탄소중립기술특위, 탄소중립 중점기술, 2021.

세 번째, 기후기술 혁신정책을 효과적으로 추진하기 위해서는 근거 기반의 전략 수립이 필요하다. 그리고 대내외 환경변화에 따른 무빙타겟(Moving Target) 설정을 위해서는 각 성과지표별 현수준을 점검하여 목표 변경 및 전략 수정이 필요하다. 하지만 한국형 기후기술에 대한 온실가스 감축기여도 산정방법이나 비용효과분

석에 대한 명확한 가이드라인이 부재함에 따라 정책기획 및 전략 수립에 있어 전문가 의견에 의존적이다. 에너지전환, 산업, 수송·교통 등 각 부문별로 배출되는 온실가스에 대한 인벤토리 구축과 함께 우리나라에서 개발된 기후기술이 온실가스 배출저감에 어느정도 기여하는지, 그리고 국내외 여건을 고려할 때 경제성을 확보하여 상용화 추진이 가능한지 정량적 분석이 요구된다. 또한 4차 산업혁명기술의 발전과 함께 기후기술과의 융합이 가속화됨에 따라 다양한 기후데이터가 생산되고 있어 이에 기반한 정책 환류체계 마련이 필요하다.

[그림 28] 기후기술의 온실가스 감축량 및 비용효과 사례



출처 : McKinsey, Pathway to a low carbon economy, 2009.

네 번째, 중앙정부-지자체, 국내-국외 간 협력체계 강화가 필요하다. 우리나라의 기후기술 수준은 세계 최고국 대비 60~90% 수준이며 기술격차도 1~7년으로 활용 가능한 기후기술은 제한적이다. 이차전지, 원자력 등 일부 기후기술을 제외하고 해상풍력, 수소, 가스터빈 등 대부분의 기후기술은 국내 기술수준이 낮아 글로벌 경쟁력 강화가 필요하다. 또한 기술패권 심화, 보호 무역주의 심화 등 미래사회 변화로 인해 청정연료 및 필수자원 확보에 있어 철저한 대비가 요구된다. 특히 기후기술은 주민수용성, 환경문제 등으로 국내 지자체 실증에 있어 어려움을 겪은 사례가 빈번하여 당초 계획대비 지연되지 않도록 철저한 대안 마련이 필요하다. 따라서 기술수준이 낮은 기후기술은 기술을 확보한 국가와 공동연구를 통해 경쟁력을 제고하고, 개발된 기술은 국내외 실증을 통해 트랙레코드를 확보할 수 있도록 해외 실증 대상국 또는 국내 지자체와 유기적 협력체계를 마련하여 끊임없는 연구가 필요하다. 무엇보다 주민참여형 사업 확대 및 소통을 강화하여 기후기술 실증·상용화에 있어 갈등을 사전 예방하는 노력이 필요하다.

마지막으로 국내 기후산업 생태계 활성화를 위한 규제개선 및 세액지원 등 정책적 지원 강화가 필요하다. 국내 기후산업의 매출액²⁴⁾은 2021년 기준 200조 3,651억 원으로 전년대비 18.7% 성장하였으며, 연구개발비도 10조 6,858억 원으로 전년대비 46.5% 증가하였다. 그리고 기후기술 산업의 수출액도 34조 3,481억 원으로 에너지저장 분야가 10조 8,827억 원으로 가장 높게 나타났으며, 그 다음으로 에너지 수요(9.7조 원) 및 신에너지(4.2조 원) 등의 순으로 나타났다. 이처럼 국내 기후산업은 지속적으로 성장하고 있으며, 이를 미래 먹거리로 전환하고 기후변화 대응에 활용하기 위해서는 기술혁신과 함께 규제개선, 세액지원, 금융지원 등 비R&D적 요소들의 정책 지원도 보다 강화되어야 한다. 기후 신기술 관련 규제수요를 선제적으로 발굴하여 규제샌드박스 실증 및 표준·인증체제로 이어져야 한다. 또한 기후혁신 기술에 대한 세액공제 우대 및 탄소중립 기술혁신 펀드 조성 등 정책금융 자금을 확대해야 한다.

24) 녹색기술센터, 2021년도 기후기술 산업통계, 2022.

참고문헌

- KDB 미래전략연구소 이슈브리프(2021), 신 EU 기후적응 전략의 주요 내용.
- McKinsey(2009), Pathway to a low carbon economy, 2009.
- 과학기술정보통신부·녹색기술센터(2022), 2021년도 기후기술 국가연구개발사업 조사·분석 보고서.
- 관계부처 합동(2022), 제1차 기후변화대응 기술개발 기본계획.
- 관계부처 합동(2022), 제5차 과학기술기본계획('23~'27).
- 국가기후기술정보시스템(www.ctis.re.kr)
- 국가나노기술정책센터(<https://www.nnpc.re.kr>)
- 글로벌 과학기술 정책 정보서비스. 미국, 2050년 탄소중립 달성을 위한 장기 전략 발표
- 기상청(2022), 보도자료(온실가스 감축 없으면, 21세기 말 우리나라 남부지방 겨울이 사라진다).
- 박노언(2022), 2022 미래전략 컨퍼런스 발표자료.
- 유럽 그린딜
(https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en)
- 탄소중립기술특별위원회(2021), 탄소중립 중점기술.
- 탄소중립녹색성장위원회(<https://www.2050cnc.go.kr/base/main/view>)
- 한국과학기술기획평가원(2022), 2020년도 과학기술분야 중장기계획 조사·분석.
- 환경부(2021), Europa Nostra and Global Heritage Community Contribute to COP26
- EC COM(2021) 550 final.
<https://criepi.denken.or.jp/jp/serc/discussion/download/22009dp.pdf>
- <https://www.mckinsey.com/capabilities/sustainability/our-insights/solving-the-net-zero-equation-nine-requirements-for-a-more-orderly-transition>
- <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2022/11/U.S.-Innovation-to-Meet-2050-Climate-Goals.pdf>

제 5 장

탄소중립을 위한 고탄소산업의 기술혁신과 정부정책

오완근

한국외국어대학교

I. 서론

최근 세계 많은 지역에서 기후변화가 발생하고 있다. 이러한 기후 위기에 대응하기 위해 세계 각국은 2015년 프랑스 파리에서 열린 유엔기후변화협약(UNFCCC) 당사국총회(COP21)에서 2100년까지 지구의 평균 온도 상승 폭을 산업화 이전(1850~1900년)의 2도 아래로 유지하고, 1.5도로 제한하도록 노력한다는 내용의 파리기후협약을 맺었다. 이와 같이 지구온난화를 방지하기 위한 노력이 UN을 중심으로 활발히 진행되고 있다. 지구 기온변화 1.5도를 달성하기 위해서는 2050년까지 탄소중립 달성이 필요하다.

한국도 이에 발맞추어 2050 탄소중립을 선언(2020.10)하였으며 동 선언의 후속 조치로 기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법을 제정(2021.09.24.)하였다. 또한 정부는 2021년 11월 제26차 유엔 기후변화협약 당사국총회(COP26)에서 2030 국가 온실가스 감축목표(Nationally Determined Contribution: NDC) 상향안(온실가스 배출량 2018년 727.6백만톤 → 2030년 436.6백만톤으로 40% 감축)을 발표하였다.

그동안 한국은 탄소배출 감축을 위해 노력해 왔지만 1990년 CO₂ 배출량이 전세계에서 상위 15위였지만 2019년에는 배출량 9위가 되었다. 기간 중 배출 증가량 순위는 전세계에서 5위에 위치하였다. 1인당 배출의 경우 한국은 1990년 61위에서 2019년 14위로 순위가 대폭 상승하였다. 이와 같이 CO₂ 배출의 상대적 순위가 악화한 원인 중의 하나는 빠른 경제성장과 함께 고탄소 중심의 산업구조를 들 수 있다.

주지하는 바와 같이 그동안 한국은 수출지향적 제조업 중심의 성장전략을 성공적으로 수행해 왔으나 이는 동시에 에너지다소비산업(고탄소산업)²⁵⁾이 주력산업으로 성장을 이끌어온 것이라 할 수 있다. 고탄소산업의 GDP 비중은 2000년 9.70%에서 2020년 7.18%로 2.51%p 감소한 반면 CO₂의 비중은 2000년 30.06%에서 2020년 30.18%로 0.12%p 증가하였다는 사실은 고탄소산업 중심의 산업구조 문제점을 보여주고 있다. 이는 한국이 기후변화 리스크와 외국의 탄소통상정책에 쉽게 영향을 받게 되는 구조를 지니고 있음을 시사해 주는 것으로서 경제를 저탄소 산업구조로 전환하는 것이 필수적임을 말해주는 것이다.

최근 한국은 저성장이 고착화되는 모습을 보이고 있다. Solow(1956) 성장모형은 자본, 자본, 기술을 성장동력으로 제시하고 있다. 노동은 2022년 합계출산율 0.78명²⁶⁾에서 알 수 있는 바와 같이 2020년부터 생산가능인구가 감소하고 고령화 진전으로 성장을 제약하는 요인으로 작용할 것으로 예상된다. 자본수익률도 점차 하락하고 있다. 따라서 기술혁신을 통한 생산성 향상이 인구구조 변화가 가져올 악영향을 극복할 수 있는 핵심수단이라 할 수 있다(김지연 외, 2022; 이종화, 2023). 기

25) 고탄소산업의 정의는 후술한다.

26) 통계청(2023). 이는 OECD 최하위이며 OECD 평균의 절반에도 못 미치는 수준이다.

술혁신을 통한 생산성 향상이 주도하는 혁신성장이 Krugman(1994)의 질적성장이며 Nordhaus(2008), Hartwig(2011, 2012), Oh and Kim(2015) 등은 중요소생산성 증가가 경제성장률을 지속시킨다고 주장한 바 있다. OECD/APO(2022)도 경제 성장과 관련한 중요소생산성의 중요성을 강조하고 중요소생산성 변화의 주요 동인 중의 하나로 혁신 및 새로운 지식과 기술의 실험 촉진을 들고 있다.

기후변화 리스크에 대응하기 위해서는 고탄소산업이 중요하고, 생산성 향상은 기술혁신에 의해 이루어지므로 고탄소산업의 기술혁신이 중요하다고 할 수 있다. 따라서 본 연구는 고탄소산업의 현황을 살펴보고 기술혁신 결정요인을 분석하며 혁신 저해요인과 정부지원제도 활용에 대해 살펴보고자 한다.

본 연구의 기여는 다음과 같다. 첫째, 고탄소산업에 대해 종합적으로 연구한다. 고탄소산업의 부가가치 및 CO2 배출 현황에 대해 살펴보고 동 산업의 기술혁신 결정요인 분석에 초점을 둔다. 본 연구는 이에 관한 첫 번째 시도로 판단된다. 둘째, 고탄소산업의 제품혁신 및 공정혁신의 결정요인에 대해서도 분석한다. 셋째, 기술혁신 관련 데이터베이스인 한국기업혁신조사(KIS)와 기업 재무제표 데이터베이스(KISVALUE)를 동시에 활용하여 실증분석을 수행한다. 넷째, 실증분석과 설문분석을 통합적으로 시도한다. 설문분석에서는 고탄소산업의 혁신 저해요인과 정부지원제도의 활용에 대해 검토한다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. 제2장에서는 기존문헌 연구를 검토하며 제3장에서는 한국의 CO2 배출 및 고탄소산업 관련 현황을 살펴본다. 제4장에서는 데이터 및 분석방법을 설명하며 제5장에서는 고탄소산업의 기술혁신, 제품혁신, 공정혁신 각각의 결정요인을 살펴본다. 제6장은 고탄소산업의 혁신 저해요인과 정부지원정책 활용에 대한 설문분석을 수행한다. 마지막으로 제7장은 결론을 정책적 시사점을 제시한다.

II. 기존문헌 연구²⁷⁾

Schumpeter(1934)는 기술혁신 활동이 생산성 증가를 가져와 경제성장을 촉진하는 원동력이며 기술혁신은 자본가 정신을 지닌 기업에 의해서 주도된다고 주장하였다. 특히 대기업은 규모에 비례하는 것보다 더 혁신적이며, 독점적 기업이 혁신을 더 많이 한다고 하였다. 즉, 기업규모가 클수록 그리고 시장구조가 독점적일수록 기술혁신이 증가한다고 주장하였는데 이를 슈페터 가설이라 부른다. 그간 많은 연구자들이 동 가설을 검증한 바 있는데 이에 대해 학자들 간에 명확하게 일치된 결론은 없다. 그 이유 중의 하나는 슈페터 가설을 뒷받침하는 이론이 충분히 개발되지 않았을 뿐만 아니라 실증분석에 사용된 분석방법, 대상국가, 대상기간이 다양했음에 기인하는 것으로 보인다.

그동안 기업규모와 혁신 간의 관계에 대해서 많은 연구가 이루어져왔다.

27) 오완근(2020)을 참조하여 작성하였다.

Syrneonidis(1996)는 대기업이 중소기업보다 더 혁신적인 이유로 대기업은 (i) 연구개발 프로젝트에 실패시 발생할 수 있는 자본손실을 감당 가능, (ii) 연구개발에 필요한 자금을 조달 용이, (iii) 연구인력 확보 유리, (iv) 기술혁신이 규모의 경제 특성을 지니고 있어 대규모 연구개발 투자가 가능한 대기업은 기술개발로부터 큰 이익 향유 가능, (v) 다양한 연구개발 프로젝트 동시 추진으로 연구개발 활동에 따른 위험 분산 가능, (vi) 기업규모가 클수록 혁신성과에 대한 전용능력(appropriability)이 커지는데 전용능력에 의해서 발생하는 이익이 기업의 기술혁신 활동을 유인하는 인센티브로 작용할 수 있다는 점 등을 제시하였다.

Scherer(1965a, 1965b)는 혁신지표로서 연구개발비 지출, 연구인력 및 특허 등을 활용한 연구에서 기업규모와 혁신지표 간에 역U자형(inverted U-shape) 관계가 성립함을 발견하였다. 이는 기업규모가 일정수준이 될 때까지는 혁신활동이 활발하게 일어나다가 규모가 일정 수준을 넘어서면 혁신활동이 오히려 감소함을 의미한다. Acs and Audretsch(1987)는 혁신건수 지표를 사용한 분석을 통하여, 인적자본의 역할이 중요한 초기단계의 산업에서는 중소기업이 혁신에 보다 유리하지만 자본집약도, 시장집중도 및 광고비 집약도가 높은 산업에서는 대기업이 혁신에 더 유리하다고 주장하였다. Soete(1979), Freeman(1982), Rothwell and Zegveld(1982) 등은 기업규모와 연구개발집약도 사이에는 비교적 약한 관계만 존재한다고 보고하였다. 한편 Kamien and Schwartz(1982)와 Acs and Audretsch(1990, 1991) 등은 기업규모와 혁신 간에 선형관계가 존재하지 않는다는 결과를 주장하였다.

한편 혁신과 시장구조간의 관계에 대한 연구도 다수 존재하며 이들 선행연구를 보면 아직까지 명확하게 일치된 결론은 도출되지 않고 있다. Acs and Audretsch(1988)는 시장집중도가 높아지면 혁신건수가 감소한다고 하였으며 Peneder and Wörter(2013)는 스위스의 미시데이터를 이용하여 혁신과 경쟁간의 관계를 연구하였는데 혁신과 경쟁 간에는 강한 역U자형 관계가 있음을 발견하였다. 경쟁이 낮은 수준에서는 경쟁자들의 수가 늘어남에 따라 기업들의 연구 노력이 증가되지만 그 속도는 점차 둔화되고, 높은 경쟁수준에서는 연구노력이 감소되는 현상이 나타났다. 이들은 역U자형 곡선의 기울기가 환경순응형 기업들보다는 창조적인 기업들에서 더 가파르다는 점을 발견하였다. Lunn(1986)은 혁신을 제품혁신과 공정혁신 두 가지로 구분하고, 혁신건수를 혁신지표로 삼아 제품혁신 혹은 공정혁신과 시장집중도 사이에 존재하는 상관관계를 분석하였다. 동 연구에 의하면 공정혁신과 시장집중도는 상호 유의한 영향을 주고받는 반면 제품혁신과 시장집중도 간에는 유의한 관계가 성립하지 않는다고 주장하였다. Koeller(1995)는 혁신과 시장집중도의 관계를 연립방정식 체계로 설정하여 양자 간의 관계를 분석하였는데, 대기업의 경우 왕성한 혁신활동이 시장집중도를 높이는데 반해 중소기업의 경우는 높은 시장집중도가 동 기업의 혁신활동을 저해하는 것으로 나타났다. 이외에도 시장구조와 기술혁신 상호간의 관계를 분석한 연구로 Farber(1981), Levin and

Reiss(1988) 등이 존재한다.

한편 산업효과의 존재로 인해 혁신과 시장집중도 간에는 유의한 관계가 존재하지 않거나 관계가 존재하더라도 변수들의 영향력이 매우 미미하다는 결론을 제시하고 있는 연구들도 있다. 예를 들면 Scott(1984)은 산업 및 기업효과를 고려했을 경우 시장집중도의 연구개발집약도에 대한 영향이 사라지는 것으로 분석하였다. Levin et al.(1985)은 산업변수와 산업 간 변수를 고려한 실증분석을 통해 시장집중도와 연구개발집약도 사이에 역U자 관계가 성립하기는 하나 산업간 전용능력 및 기술적 기회의 차이를 나타내는 변수들을 고려하는 경우에는 양자 사이에 유의한 관계가 발견되지 않는다고 하였다.

다른 한편으로 시장구조를 단순히 혁신에 대한 외생변수로 보는 대신 시장구조가 모형 내에서 결정되는 내생적 변수라는 점을 바탕으로 최근 연구들은 시장구조를 내생변수로 가정하여 기술혁신과 시장집중도를 연결하는 메커니즘을 찾고자 하였다. 연구 결과에 의하면 기술혁신과 시장집중도는 기술적 기회(technological opportunity)와 수요 특성(demand mechanism) 등에 의해 연계되는 것으로 나타났다. 이에 관한 대표적인 연구인 Sutton(1996)은 연구개발 집약도와 시장집중도를 연결하는 주요 메커니즘으로서 산업특성을 지닌 두 가지 외생변수를 제시하였다. 첫째는 기술적 특성인 R&D 비용함수의 탄력성으로서 기존 제품의 품질이나 성능 등을 개선하여 얻을 수 있는 수익을 나타낸다. 둘째는 수평적 제품다각화로서 소비자의 다양한 기호 등에 의해 제품 수요가 분화되는 정도를 뜻하며 신제품 도입에 의한 수익을 간접적으로 나타낸다. 기술적 기회가 많은 산업에서는 제품개선을 목적으로 한 연구개발 지출과 신제품 개발을 목적으로 한 연구개발 지출 사이에 상충관계(trade-off) 관계가 발생한다. 즉, 제품의 개선을 목적으로 한 연구개발 활동의 결과로 시장집중도가 상대적으로 상승하는 반면 신제품 개발을 목적으로 한 연구개발 활동에 의해서는 시장집중도가 상대적으로 낮아진다는 것이다.

한편, 기업규모나 시장구조 이외에 다른 요인들도 기업의 기술혁신 활동에 큰 영향을 미치는 요소라고 주장하는 연구들도 있다. 예를 들면 Pavitt et al.(1987)은 기업의 기술혁신이 기업규모 차이보다는 산업부문간 차이에 의해 영향을 받으며 이러한 부문 간 차이는 기술적 기회 이외의 산업특성(sectoral characteristics)을 반영하는 것으로 보고하였다. 이때 산업특성은 전용능력 정도와 다각화 범위를 나타내며, 전용능력은 대규모의 고정비용과 학습효과에 의존하고 다각화 범위는 기술혁신이 기술특성에 의해 발생하였는지 아니면 수요특성(소비자 선호)에 의해 발생하였는지 여부에 달라진다(Pavitt, 1984). Cohen et al.(1987)도 기업간 연구개발 집약도 차이가 기업규모 차이보다는 산업 차원의 전용능력과 기술적 기회에 의해 설명된다고 주장하였다. Cohen and Klepper(1996)는 기업규모 보다는 경영단위가 혁신에 더 중요한 것으로 보았다.

혁신지표로서 연구개발집약도 대신 혁신전수를 이용한 실증연구도 있다. Acs and Audretsch(1988)는 혁신전수가 연구개발비 지출과 숙련노동자 비율이 높아질 때

증가하는 반면 시장집중도가 높아지면 혁신건수가 감소한다고 하였다. Geroski(1990)는 잠재적인 경쟁압력이 커지고 기업의 시장지배력이 약화될수록 기업의 혁신활동이 활발해진다고 하였다. Geroski and Pomroy(1990)는 혁신이 기업의 시장지배력을 약화시킨다고 보았다.

보다 최근 연구에서는 혁신 척도로서 정량 변수인 혁신건수 대신 정성 변수인 혁신결과의 유무를 선호하는 경향을 보이는 가운데 기업규모, 시장집중도 및 기술적 기회 등과 같은 산업특성이 기업 혁신에 미치는 영향을 분석하고 있다. Bhattacharya and Bloch(2004)는 혁신지표로서 혁신의 유무를 이용한 연구를 통해서로 상이한 기술적 기회를 갖는 산업에서 기업의 기술혁신 결정요인이 어떻게 다른지를 분석하였다. 이들은 여러 산업을 기술적 기회를 기준으로 고기술(high-technology) 산업과 저기술(low-technology) 산업으로 구분하였는데, 고기술산업에서는 기업규모, 시장집중도, 수출 및 연구개발집약도 등이 혁신활동에 양(+)의 영향을 미치는데 비해 저기술산업에서는 기업규모와 수익성 등이 혁신활동에 양(+)의 영향을 준다고 주장하였다. 즉, 기술혁신 활동의 결정요인은 산업의 기술적인 특성에 의해 달라진다는 것이다.

혁신을 위한 자금조달원으로서 주식시장의 역할을 강조한 연구도 있다. Rajan(2012)에 따르면 주식시장이 외부자본의 주요 조달원으로서 자본비용을 낮춰준다고 하였다. 또한 Acharya and Xu(2014)은 주식시장 상장이 기술혁신에 양(+)의 영향을 미쳤음을 보였다. 한편 Harris and Moffat(2011)는 영국 데이터로 수출, R&D, 혁신간의 관계에 대해 연구한 결과 제조업 부문에서는 이들 변수간에 긍정적인 연계가 있고 수출기업이 R&D 지출을 더 많이 하는 경향이 있지만 비제조업 부문의 경우 변수들간 긍정적인 연계가 없다고 주장하였다.

한편 민간의 연구개발투자가 실패위험, 불확실성 등의 이유로 사회 최적 수준에 미달하므로 정부가 혁신지원정책을 통하여 민간의 혁신활동을 촉진하고자 한다. 정부 혁신정책이 기술혁신에 긍정적인 역할을 수행하였다는 해외연구로는 Amara and Landry(2005), Arranz and Arroyabe(2008), Czarnitzki and Bento (2011) 등을 들 수 있으며, 국내연구로는 김호·김병근(2012), 김민정(2013), 김원규·오완근(2014), 신범철·이필규(2016), 송치웅 외(2011), 오완근(2017) 등이 있다.

기업의 기술혁신 결정요인에 대해서는 국내에서도 많은 연구가 축적되어 있다. 하성근·정갑영(1988)은 독점과 경쟁의 중간적 시장구조에서 기업의 연구개발 활동이 가장 활발하게 발생한다고 주장하였다. 강명현(1994)은 국내 제조업에서는 혁신과 시장구조 사이에 역U자 관계가 있고 시장집중도가 중간 수준에서 기술혁신 활동이 가장 활발하다는 결과를 제시하였다. 그리고 시장집중도가 유사한 산업들의 경우 기업규모가 평균적으로 클수록 혁신활동이 덜 활발하게 이루어지는 것으로 보고하였다. 신태영(1999)은 혁신과 기업규모 사이에는 역U자 관계가 성립하기 때문에 기업규모가 일정 수준 이상으로 커지면 혁신활동이 감소하게 된다고 주장하였다. 또한 동 연구에서는 기업의 혁신활동이 제품혁신에 더 집중되어 있고 기업규모

가 일정 수준 이상으로 증가하는 경우 공정혁신이 제품혁신 보다 더 빠르게 감소한다고 보았다. 한편 유승훈(2003)은 연구개발 투자 규모가 비IT기업에 비해 IT기업의 경우에서 더 크고 외국인 투자 비율과 양(+)¹의 관계를 지니고 있다고 주장하였다. 또한 매출액 및 종사자수 등 기업규모가 큰 대기업일수록 연구개발 지출이 크다고 하였다.

성태경(2005)은 제품혁신 또는 공정혁신과는 상관없이 기술혁신이 외부와의 네트워크와 정의 관계를 가지고 있음을 보이고 기업의 혁신활동에서 업체간 협력의 중요성을 강조하였다. 또한 기업의 기술혁신 결정요인이 제품혁신인지 공정혁신인지 여부에 따라 다르다고 지적하면서 공정혁신의 경우는 기업규모, 해외지분, 이윤율 등과, 제품혁신의 경우는 연구개발 착수여부와 산업별 연구개발 집약도 등과 각각 양(+)²의 관계를 지닌다고 주장하였다. 한편 기업규모가 기술혁신과 유의한 상관관계를 갖는다고 하였다. 송치웅·오완근(2010)은 기업규모와 시장집중도가 모두 혁신의 유무에 양(+)³의 영향을 주는 것으로 나타났음을 근거로 슈페터 가설을 지지하는 한편 연구개발 활동과 소비자지향성(광고선전비 집약도)도 혁신에 긍정적인 영향을 주었다는 연구결과를 제시하였다.

국내 특정산업의 기술혁신을 대상으로 한 연구도 있다. 송치웅(2007)은 부품산업에서 혁신과 기업규모 사이에 역U자 관계가 성립하며 시장집중도가 높아질수록 혁신의 가능성이 감소한다고 보고하였다. 오완근(2020)은 KIS2016을 이용하여 바이오헬스산업의 기술혁신, 제품혁신, 공정혁신 각각의 결정요인을 실증적으로 분석하였다. 실증분석 결과 기술혁신의 경우 매출액 계수는 양(+)⁴이어서 기업규모 확대에 따른 혁신 촉진이라는 슈페터 가설이 성립하며 매출액제공은 음(-)⁵이어서 매출액관련한 역-U자형 곡선(inverted U-shape) 가설도 성립하는 것으로 나타났다. 연구인력비율은 기술혁신에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났지만 시장집중도는 유의하지 않은 것으로 나타났다. 정부지원활용 변수는 10% 유의수준에서만 양(+)⁶의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 문성배·전현배·이은민(2005)은 국내 ICT기업의 혁신활동 결정요인에 대한 분석을 수행하였다.

에너지다소비산업 내지는 고탄소산업에 대한 연구들도 있다. 한민정·김영덕(2011)은 오차수정모형과 수입재의 가격과 인건비를 주요한 설명변수로 사용하여 에너지다소비제조업의 가격설정력을 실증분석한 결과 석유제품, 화학제품, 비금속광물제품, 섬유제품, 자동차 제조업은 가격설정력이 있는 것으로 분석되었으므로, 이들 산업은 온실가스 저감정책에 대해 경쟁력을 가지고 있다고 볼 수 있다고 주장하였다. Song and Oh(2015)는 한국기업혁신조사 2008년 데이터를 이용한 프로빗 분석에서 에너지다소비산업과 에너지저소비산업의 기술혁신 결정요인을 비교·분석한 바 있다. 동 연구에 따르면 에너지다소비산업의 경우 연구인력비율이 제품혁신과 공정혁신 모두에 양(+)⁷의 영향을 미치는 데 비해 R&D 집약도가 공정혁신에만 양(+)⁸의 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 한편 기업규모가 제품혁신에는 유의한 영향을 미치지 못하는데 비해 공정혁신에는 유의한 정의 영향을 미치는 것으로 나타

났는데 이는 에너지 다소비 산업을 구성하는 산업이 주로 장치산업이라는 점을 고려할 때 규모가 큰 기업일수록 공정혁신을 수행하기가 수월함을 의미한다.

고재경 외(2022)는 경기도 에너지다소비사업자가 전국 최다 규모이지만 이들의 신재생에너지 자가 생산량은 0.23%에 그치고 있으므로 도내 에너지다소비사업자의 온실가스 배출을 줄이기 위한 정책 방향 및 인프라 구축방안을 제시하고 있다. 또한 에너지다소비사업자 관리 권한의 지방이양은 탄소중립을 위한 중앙정부-지자체 역할 분담 측면에서 고려돼야 한다며 예산, 인력, 조직 등 지자체 정책집행 기능 확충과 함께 에너지원단위 목표 관리 등 규제 강화 및 인센티브 확대, 온실가스 배출량 통계와의 정합성 확보 등 중앙정부 차원의 제도개선이 동시에 필요하다고 주장하고 있다.

오완근 외(2016)는 1990-2015 기간 동안 지수분해분석과 구조분해분석 방법론을 적용하여 에너지다소비업종의 CO₂ 배출에 대한 요인을 분해하였다.

III. CO₂ 배출 및 고탄소산업 현황

1. CO₂ 배출 현황

<표 5>는 1990년 및 2019년 각각의 CO₂ 배출량 상위 15개국 국가들을 비교한 표이다. 한국은 1990년 배출량이 247,680kt로 상위 15위였지만 2019년에는 1990년 대비 약 2.5배, 363,110kt 증가한 610,790ktCO₂로 배출량 9위가 되었다. 기간 중 증가량은 전세계에서 5위에 해당하는 것이다. 참고로 같은 기간 동안 CO₂ 배출량이 중국은 약 4.9배, 미국은 약 1.0배가 증가하였다.

<표 5> 1990년 2019년 CO2 배출량 상위 15개국 비교

(단위: kt)

순위	1990년		2019년	
	국가	배출량	국가	배출량
1	미국	4,844,520	중국	10,707,220
2	중국	2,173,360	미국	4,817,720
3	러시아	2,163,530	인도	2,456,300
4	일본	1,090,530	러시아 연방	1,703,590
5	독일	955,310	일본	1,081,570
6	우크라이나	688,620	독일	657,400
7	인도	563,580	이란	630,010
8	영국	561,770	인도네시아	619,840
9	캐나다	419,490	한국	610,790
10	이탈리아	405,260	캐나다	580,210
11	프랑스	356,240	사우디아라비아	523,780
12	폴란드	350,210	멕시코	449,270
13	멕시코	269,580	남아프리카공화국	439,640
14	호주	263,630	브라질	434,300
15	한국	247,680	튀르키예	396,840

자료: World Bank(2023)

<표 6>은 1990년과 2019년의 1인당 CO2 배출순위의 변화를 나타낸 표이다. 1990년과 2020년 모두 10위권 내에 오른 국가는 아랍에미리트와 카타르, 바레인, 미국, 쿠웨이트, 캐나다, 룩셈부르크와 호주로 대체로 산유국과 에너지생산국에서 높은 인당 CO2 배출량 순위를 보이는 것을 확인할 수 있다. 한국의 경우 1990년에는 인당 5.78mt로 61위의 인당 배출량 순위를 기록하였으나 2019년에는 11.80mt로 14위의 인당 배출량을 기록하며 순위가 대폭 상승하였다.

<표 6> 1990년 및 2019년 1인당 CO2 배출 순위

(단위: mt)

순위	1990		2019	
	국가명	1인당 배출량	국가명	1인당 배출량
1	룩셈부르크	29.57	카타르	32.76
2	아랍에미리트	29.06	바레인	22.26
3	카타르	28.39	쿠웨이트	20.86
4	에스토니아	22.48	아랍에미리트	20.50
5	바레인	20.76	오만	16.52
6	미국	19.41	브루나이	15.96
7	쿠웨이트	17.39	캐나다	15.43
8	호주	15.45	룩셈부르크	15.31
9	캐나다	15.15	호주	15.25
10	러시아 연방	14.62	미국	14.67
	한국(61위)	5.78	한국(14위)	11.80

자료: World Bank(2023)

<표 7>은 우리나라의 분야별 온실가스 인벤토리 및 1990-2020 기간의 연평균 증가율을 보여주고 있다. 2020년 총배출량은 656.22백만 톤CO₂eq이며 순 배출량은 618.35백만 톤CO₂eq, 에너지부문의 인벤토리는 569.92백만 톤CO₂eq로 나타났다. 분야별로 보면 산업공정과 에너지의 배출량 연평균증가율이 2.83%으로 높게 나타났으며, 그 뒤로 폐기물이 1.55%로 뒤따르고 있다. 농업의 경우 연평균증가율이 0.01%로 배출량의 변화가 거의 일어나지 않는 것으로 확인된다. IMF 외환위기가 있었던 1998년에는 총배출량이 전년대비 약 14% 감소하였고 전 분야에서 배출량이 감소하였다. 그렇지만 세계금융위기가 발생하였던 2008-2009 기간에는 총배출량, 순 배출량, 에너지, 농업은 모두 증가하였다.

<표 7> 분야별 국가 온실가스 인벤토리 및 연평균 증가율(1990-2020)

(단위 : 백만 톤CO₂eq)

연도	총배출량	순배출량	에너지	산업공정	농업	LULUCF	폐기물
1990	292.11	254.17	240.29	20.45	20.97	-37.94	10.39
1991	315.35	281.40	258.11	24.35	21.24	-33.96	11.65
1992	343.35	310.23	279.00	29.96	21.64	-33.13	12.76
1993	378.55	347.01	308.50	34.42	22.11	-31.54	13.52
1994	403.57	369.65	327.80	38.74	22.55	-33.92	14.47
1995	433.79	401.64	352.00	43.15	22.82	-32.15	15.82
1996	470.28	434.44	385.58	44.77	23.33	-35.84	16.59
1997	501.91	461.31	411.62	49.64	23.34	-40.60	17.31
1998	431.43	382.52	351.49	40.77	23.07	-48.92	16.11
1999	469.41	412.35	382.11	48.42	21.94	-57.07	16.94
2000	502.73	442.65	411.58	50.87	21.37	-60.08	18.91

2001	516.01	456.48	425.93	49.39	20.87	-59.53	19.82
2002	538.46	481.11	445.25	53.68	20.73	-57.34	18.79
2003	548.81	491.95	452.96	56.49	20.47	-56.86	18.88
2004	557.06	498.79	460.07	58.66	20.57	-58.27	17.76
2005	561.52	505.21	469.37	54.56	20.74	-56.31	16.85
2006	567.06	509.62	474.78	54.32	20.84	-57.44	17.10
2007	580.47	522.36	492.41	51.14	21.07	-58.11	15.85
2008	594.05	535.01	506.56	50.73	21.15	-59.03	15.61
2009	598.04	539.20	513.04	47.79	21.65	-58.84	15.56
2010	656.12	600.04	565.69	53.01	22.07	-56.08	15.35
2011	684.76	629.53	594.66	52.95	21.12	-55.23	16.03
2012	688.04	638.79	596.00	54.43	21.47	-49.25	16.13
2013	697.30	652.28	604.53	55.06	21.35	-45.02	16.36
2014	692.09	646.22	596.95	57.92	21.37	-45.87	15.85
2015	692.63	646.07	600.27	54.49	20.98	-46.56	16.88
2016	693.69	646.75	602.23	53.47	20.81	-46.93	17.18
2017	710.65	668.96	615.64	56.45	20.96	-41.69	17.59
2018	726.98	686.64	632.63	55.80	21.14	-40.33	17.42
2019	701.21	663.50	611.57	52.17	20.96	-37.71	16.51
2020	656.22	618.35	569.92	48.53	21.05	-37.88	16.73
CAGR	2.65	2.91	2.83	2.83	0.01	-0.01	1.55

자료: 온실가스종합정보센터(2022)

주: CAGR=연평균증가율은 연구진 자체 계산.

2. 고탄소산업 현황

1) 고탄소산업 분류

본 연구는 고탄소산업의 현황을 살펴보고 기술혁신 결정요인을 실증분석하며, 동산업의 혁신 저해요인과 정부지원제도 활용을 다루고 있다. 이를 위해서는 먼저 고탄소산업을 분류할 필요가 있다. 이러한 분류는 기관마다 학자마다 범위가 상이하다. CO2 배출량 계산은 에너지원별 소비 각각에 해당 배출계수를 곱하여 구하므로 고탄소산업을 에너지다소비산업으로 말하기도 한다. 에너지다소비산업은 이에 대한 엄밀한 과학적 정의는 없지만 일반적으로 평균 소비량보다 많이 소비하는 산업을 의미한다. 이에 기초하여 Liddle (2012)는 에너지다소비업을 펄프 및 종이, 석유화학, 1차금속, 비철금속, 비금속광물제품 제조업의 5개 산업의 합으로 정의하였다. Song and Oh(2015)는 이와 유사하게 에너지다소비업을 펄프, 종이 및 종이 제품 제조업, 코크스, 정제석유제품, 핵연료제조업, 비금속광물제품 제조업, 1차금속산업 4개 산업으로 정의하였다. 오완근 외(2016)는 에너지수급밸런스에 기초하여 CO2 배출량을 계산 후 석유화학, 비금속, 1차금속, 금속제품을 에너지다소비 제조업으로 분류하였다.

한편 김재윤·이나연(2021, p. 52)은 산업별 온실가스 배출량 통계와 산업별 투

입산출표를 결합하여 부가가치 한 단위를 창출하기 위해 직·간접적으로 배출하는 업종별 온실가스 배출량 지표(Transition Vulnerability Factor: TVF)를 산출하였다. TVF 지표의 크기에 따라 중분류 77개 업종을 ‘높음’, ‘중간’, ‘낮음’ 3단계로 구분하고, ‘높음’에 해당되는 업종을 고탄소산업으로 분류하였다. 분류 결과, 전기공급업(석탄발전 등), 화학물질·화학제품(석유화학 등), 비금속 광물제품(시멘트 등), 1차금속(철강 등), 석유정제품(정유 등), 섬유제품(방직, 직조 등), 금속가공제품(금속구조물 등), 기타 운송장비 제조업(선박 등), 금속광업(철, 비철금속 등) 이상 9개 업종이 고탄소산업에 해당한다고 하였다.

본 연구에서는 김재윤·이나연(2021), 오완근 외(2016), Song and Oh(2015)의 연구결과와 한국기업혁신조사(KIS 2018)의 기초인 통계청의 한국표준산업분류에 기초하여 고탄소산업을 정의한다. KIS 2018은 한국표준산업분류 제9차 기준 중분류 코드(2자리)으로 통계가 작성되고 있고 김재윤·이나연(2021)의 중분류는 산업연관표와 관련이 있으므로 이것들을 이용한다. 고탄소산업으로서 석유화학, 석유정제, 비금속, 1차금속, 금속제품 산업은 공통되는 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 고탄소산업을 한국표준산업분류 기준으로는 석유정제품, 화학, 비금속, 1차금속, 금속가공 5개 산업의 합으로 정의한다. 이들 산업 외에 김재윤·이나연(2021)에서는 고탄소산업에 금속광업을 포함하고 있는데 본 연구에서는 제조업의 기술혁신이 핵심이므로 제외하며, 섬유제품은 오완근 외(2016)나 온실가스종합정보센터(2022)를 보면 경제전체에서 차지하는 섬유제품의 CO₂ 배출 비중이 미미하여 제외한다. 김재윤·이나연(2021)의 기타 운송장비 제조업(선박 등)도 산업연관표의 중분류 및 온실가스종합정보센터(2022) 산업분류와 불일치하여 제외한다. 본 연구의 고탄소산업에 포함되지 않았지만 실제로 CO₂ 배출 비중이 매우 높은 산업에는 전기공급업과 육상운수가 있다. 전기공급업은 발전원과 관련이 깊으며 육상운수는 전기차 보급확대 등과 깊은 관련이 있다.

<표 8> 산업분류

한국표준산업분류 제조업		본 연구
코드	산업명	
10	식료품 제조업	
11	음료 제조업	
12	담배 제조업	
13	섬유제품 제조업; 의복 제외	
14	의복, 의복 액세서리 및 모피제품 제조업	
15	가죽, 가방 및 신발 제조업	
16	목재 및 나무제품 제조업; 가구 제외	
17	펄프, 종이 및 종이제품 제조업	
18	인쇄 및 기록매체 복제업	
19	코크스, 연탄 및 석유정제품 제조업	고탄소
20	화학 물질 및 화학제품 제조업; 의약품 제외	고탄소
21	의료용 물질 및 의약품 제조업	
22	고무 및 플라스틱제품 제조업	
23	비금속 광물제품 제조업	고탄소
24	1차 금속 제조업	고탄소
25	금속 가공제품 제조업; 기계 및 가구 제외	고탄소
26	전자 부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업	
27	의료, 정밀 제조업	
28	전기 장비 제조업	
29	기타 기계 및 장비 제조업	
30	자동차 및 트레일러 제조업	
31	기타 운송장비 제조업	
32	가구 제조업	
33	기타 제품 제조업	
합계		고탄소산업

2) 고탄소산업의 경제 및 CO2 현황²⁸⁾

<표 9>는 2000년부터 2020년까지의 고탄소산업의 부가가치 추이를 나타내고 있다. 고탄소산업의 부가가치의 경우 2000년부터 2020년까지 연평균 2.08%의 성장을 기록한 것으로 확인된다. 고탄소산업의 하위분류 중 금속가공제품제조업과 비

28) 이하에서 고탄소산업의 GDP 통계는 한국은행의 세부 GDP 통계에서 구하였으며 CO2 통계는 온실가스종합정보센터(2022)에서 고탄소산업에 해당되는 통계를 구하였다.

금속광물제품 제조업, 화학물질 및 화학제품 제조업의 경우 고탄소산업 부가가치 연평균 성장률보다 높은 각각 2.66%, 2.33%, 2.35%의 연평균 성장률을 보여주었으나, 1차금속 제조업과 코크스 및 석유정제품제조업의 경우 각자 1.16%과 1.65%의 고탄소산업 연평균 성장률보다 낮은 수치를 보여주었다.

<표 9> 고탄소산업 부가가치 추이

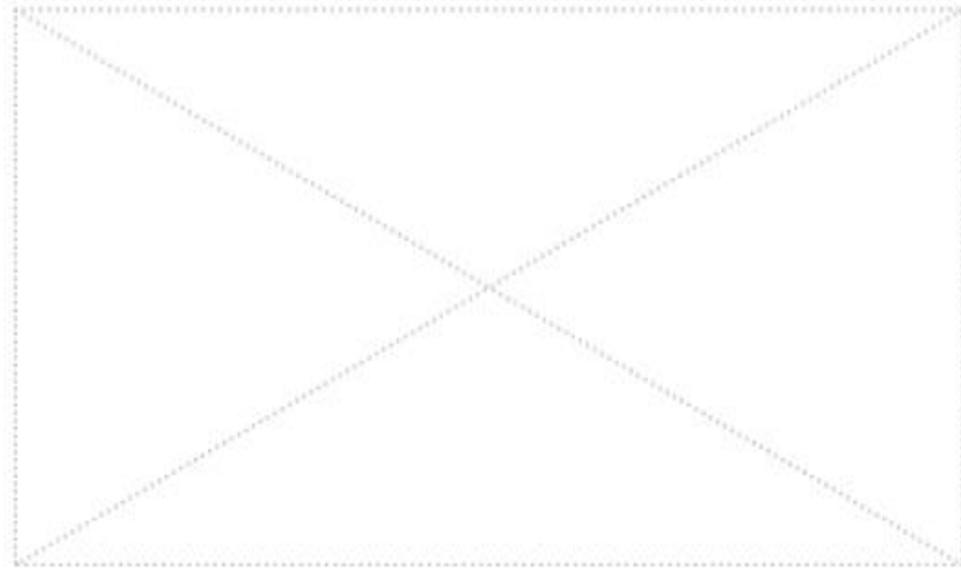
(단위: 백만원, %)

	2000	2010	2020	CAGR (2000-2020)
코크스 및 석유정제품 제조업	9,511,626.98	14,256,924.02	13,193,887.56	1.65
화학물질 및 화학제품 제조업	25,748,360.68	42,091,602.97	40,950,588.86	2.35
비금속광물제품 제조업	8,898,887.79	12,510,649.60	14,099,756.00	2.33
1차금속 제조업	22,276,845.73	27,494,017.93	28,078,278.35	1.16
금속가공제품 제조업	21,171,447.67	31,133,049.30	35,815,056.57	2.66
고탄소산업	87,607,168.84	127,486,243.82	132,137,567.35	2.08

주: CAGR=Compound Annual Growth Rate=연평균증가율(2000-2020, %)

<그림 29>는 2000년부터 2020년까지의 고탄소산업 세부산업의 GDP 내 비중의 변화를 보여준다. 그림을 통해서 고탄소산업이 GDP에서 차지하는 비중이 2000년부터 2020년까지 지속적으로 하락해왔음을 확인할 수 있다. 또한 고탄소산업을 구성하는 세부 산업들 중 화학물질 및 화학제품 제조업과 금속가공제품 제조업, 1차금속 제조업이 2000년대부터 2020년까지 고탄소산업 전체에서 꾸준히 높은 비중을 차지하였고 비금속광물제품 제조업과 코크스 및 석유정제품 제조업은 상대적으로 낮은 비중을 차지하고 있었다는 사실을 확인할 수 있다.

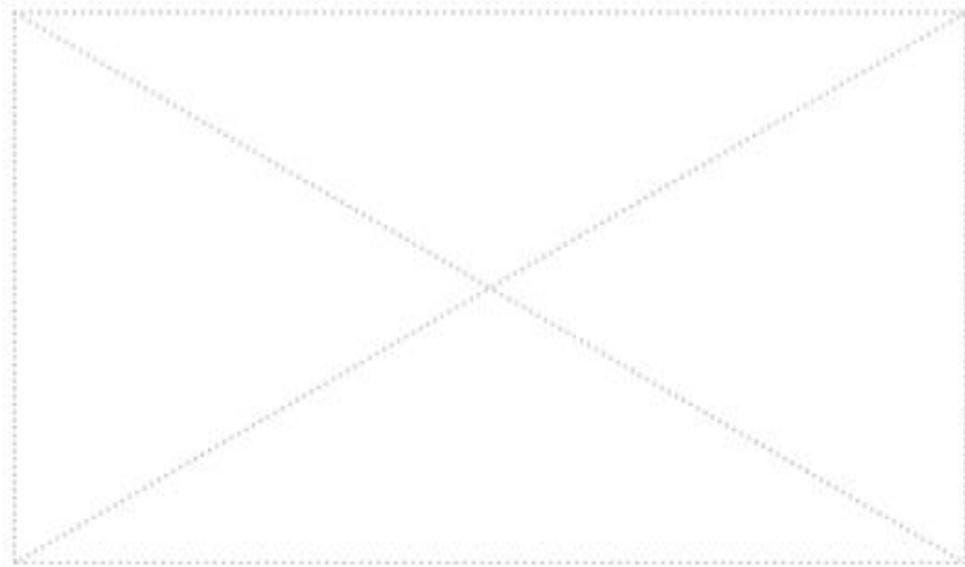
[그림 29] 고탄소산업 세부산업의 GDP 비중(%)



[그림 30]은 2000년부터 2020년까지의 고탄소산업의 성장기여도를 보여주고 있다. 그림을 보면 2008년과 2020년을 제외하고는 2000년부터 2020년까지 고탄소산업이 대체적으로 양(+)¹⁾의 성장기여도를 보여주었음을 알 수 있다. 예외가 되는 2008년과 2020년은 각자 2008년 세계금융위기와 COVID-19 팬데믹이라는 외부적 요인으로 인해 경기침체가 진행되었던 시기라는 공통점이 있다. 이러한 외부적 요인으로 인한 경기침체가 고탄소산업의 성장기여도 감소에 영향을 끼친 것으로 판단된다.

[그림 30] 고탄소산업의 성장기여도(2000-2020)

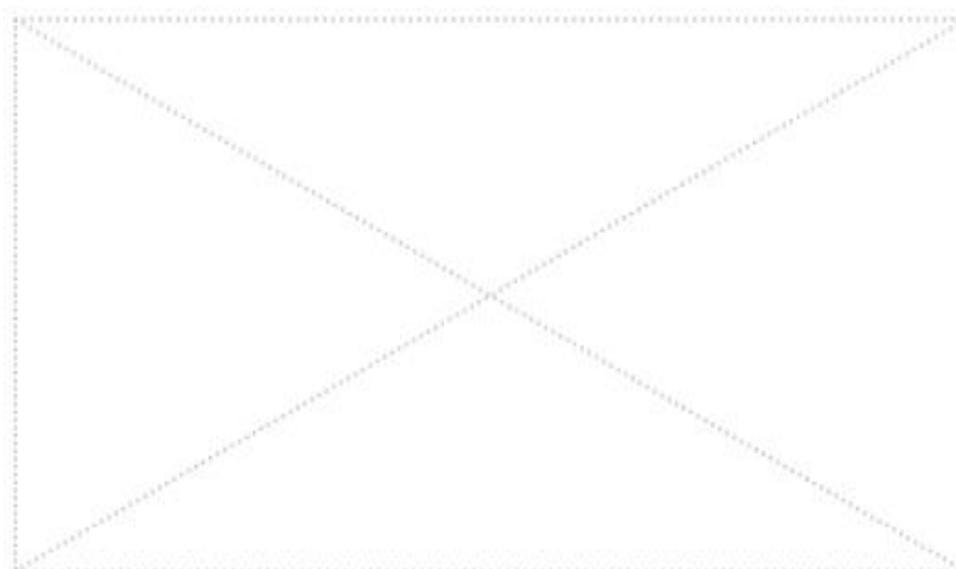
(단위: %p)



자료: 저자계산

[그림 31]은 고탄소산업이 경제 전체에서 차지하는 GDP와 CO2 각각의 비중이 2000년에서 2020년까지 어떻게 변화하였는지 보여주고 있다. GDP에서 차지하는 비중은 2004년에 정점에 도달한 후 지속적으로 하락하고 있다. 반면에 CO2 비중은 2009년까지 하락하다가 2015년까지 상승, 2018년까지 하락, 이후 다시 상승하는 패턴을 보여주고 있다.

[그림 31] 고탄소산업이 경제전체에서 차지하는 GDP 및 CO2 비중 추이



자료: 저자계산

<표 10> 고탄소산업이 경제 전체에서 차지하는 GDP 및 CO2 비중 비교(2000, 2020)

	2000	2020	(단위: %, %p) 차이(2020-2000, %p)
GDP	9.70	7.18	-2.51
CO2	30.06	30.18	0.12

자료: 저자계산

<표 10>은 고탄소산업이 경제 전체에서 차지하는 GDP와 CO2 비중의 2000년과 2020년의 수치를 비교하여 보여주고 있다. 2000년의 고탄소산업의 GDP 비중은 9.70%이었으나 2020년에는 그 비중이 7.18%로 총 2.51%p 감소하였다. 반면 CO2의 비중은 2000년 30.06%에서 2020년 30.18%로 0.12%p 증가하였다. 동 표는 CO2 감축 관련 산업구조의 중요성을 말해주고 있다. 고탄소산업은 한국의 주력산업임에도 불구하고 에너지다소비산업이어서 CO2를 많이 배출하는 문제를 지니고 있다. 이에 따라 경제전체에서 차지하는 CO2 비중이 GDP 비중에 비해 월등히 높다. 또한 2000년과 2020년을 비교시 고탄소산업이 전체 GDP에서 차지하는 비중은 감소한 반면 CO2에서 차지하는 비중은 오히려 증가하는 심각한 문제를 지니고 있다. 따라서 이러한 괴리를 극복해야 하는 노력이 매우 필요한 상태이다.

3) 고탄소산업의 혁신 현황

<표 11>은 고탄소산업과 주요산업의 혁신율(기술혁신율), 제품혁신율, 공정혁신율, R&D 활동률을 보여주고 있다. 동 수치들은 과학기술정책연구원에서 발표하고 있는 한국기업혁신조사 2018에서 구하였다. 먼저 혁신율은 해당산업 전체기업 중에서 제품혁신과 공정혁신 중 하나라도 수행한 기업이 차지하는 비중을 의미한다. 고탄소산업의 혁신율은 22.6%로 나타났다. 고탄소산업 내에서는 ‘화학물질 및 화학제품’, ‘비금속광물제품’, ‘금속가공(기계, 가구제외)’, ‘1차 금속 제조업’, ‘코크스, 연탄 및 석유정제품’이 각각 38.6%, 28.7%, 18.8%, 13.4%, 7.7%를 보여주고 있어 ‘화학물질 및 화학제품’ 산업이 고탄소산업 중 가장 혁신이 활발했음을 알 수 있다.

<표 11> 고탄소산업과 주요산업의 혁신율 및 R&D 활동율

	혁신율	제품혁신율	공정혁신율	R&D활동률
전체	28.7	23.5	15.9	34.2
식료품	56.3	46.2	40.9	45.2
음료	18.8	18.8	12.5	12.5
섬유제품(의복제외)	14.0	12.0	3.0	12.0
의복, 악세서리, 모피제품	35.2	27.3	29.5	34.1
가죽, 가방 및 신발	29.6	29.6	3.7	33.3
목재 및 나무(가구제외)	46.7	33.3	20.0	30.0
펄프, 종이 및 종이제품	15.8	15.8	3.9	17.1
인쇄, 기록매체 복제업	42.0	32.0	32.0	28.0
코크스, 연탄 및 석유정제품	7.7	7.7	0.0	7.7
화학물질 및 화학제품	38.6	35.2	12.4	37.2
의료용물질 및 의약품	24.1	24.1	10.3	34.5
고무제품 및 플라스틱제품	39.1	35.1	24.8	40.4
비금속광물제품	28.7	16.4	20.5	31.1
1차 금속 제조업	13.4	5.7	10.8	15.3
금속가공(기계, 가구제외)	18.8	14.2	9.0	21.8
전자, 음향, 통신	35.0	23.5	19.9	44.8
의료, 정밀	19.7	18.2	5.1	49.6
전기장비	25.0	22.4	8.6	50.4
기타기계 및 장비	34.8	32.2	19.3	31.2
자동차 및 트레일러	22.2	15.3	10.6	42.8
기타운송장비	14.2	12.3	10.4	21.7
가구	3.2	1.6	1.6	21.0
기타제품	13.2	13.2	5.3	15.8
고탄소산업	22.6	16.5	11.6	24.5

자료: 저자계산

제품혁신율이란 해당 산업 전체기업 대비 제품혁신을 실행한 기업들의 비중을 말한

다. 고탄소산업의 제품혁신율은 16.5%이고, 고탄소산업 내에서의 제품혁신율은 높은 순서대로 ‘화학물질 및 화학제품’이 35.2%, ‘비금속 광물제품’은 16.4%, ‘금속가공(기계, 가구제외)’는 14.2%로서 혁신율의 경우와 비슷한 순위를 보여주고 있다.

공정혁신율이란 해당산업 전체기업 중에서 공정혁신을 실행한 기업들의 비중을 말한다. 고탄소산업의 공정혁신율은 11.6%로 나타났다. 고탄소 세부산업의 공정혁신율을 살펴보면 높은 순서대로 ‘비금속 광물제품’은 20.5%, ‘화학물질 및 화학제품’은 12.4%, ‘1차 금속 제조업’은 10.8%, ‘금속가공(기계, 가구제외)’는 9.0%, 그리고 ‘코크스, 연탄 및 석유정제품’의 경우 0%를 보여주고 있다.

R&D활동률이란 해당산업 전체기업 중에서 R&D 활동을 한 기업이 차지하는 비중을 말한다. 구체적으로는 내부 R&D와 외부 R&D 가운데 하나라도 수행한 기업들의 비중을 의미한다. 고탄소산업의 R&D 활동률의 경우 24.5%로 나타났다. 고탄소산업의 세부 항목들의 R&D활동률의 경우 ‘화학물질 및 화학제품’의 경우 37.2%, ‘비금속 광물제품’이 31.1%, ‘금속가공(기계, 가구제외)’이 21.8%, ‘1차 금속 제조업’이 15.3%, ‘코크스, 연탄 및 석유정제품’이 7.7%를 보여주며 ‘화학물질 및 화학제품’의 산업에서 가장 높은 수치를 보였다.

IV. 데이터 및 분석방법

1. 데이터²⁹⁾

본 연구는 고탄소산업의 기술혁신 결정요인을 분석하기 위해 과학기술정책연구원에서 2018년 조사한 ‘한국기업혁신조사(KIS 2018): 제조업부문’ 자료를 활용한다. 본 혁신조사에 대해 간략히 설명하면 다음과 같다.³⁰⁾ 동 조사는 우리나라 제조업의 혁신활동 전반에 대한 현황과 특성을 파악하여 국가 혁신정책 수립 및 혁신 연구에 필요한 기초 자료를 확보하고 제공하는데 그 목적이 있다(조가원 외, 2018). 본 조사는 1996년에 처음으로 시작되었으며 2002년부터 제조업부문과 서비스부문으로 구분되어, 제조업 조사는 2002년에, 서비스 조사는 2003년부터 매 3년마다 각각 다른 해에 실시하였으며, 2012년부터는 OECD CIS(Community Innovation Survey) 조사 주기에 맞추어 2년마다 조사하고 있다. 본 통계는 2003년도에 국가 승인통계(제39501호)로 지정되었으며 국내에서 수행되는 기업단위 혁신활동에 대한 대표적인 조사로서 혁신 관련하여 매우 중요하고 필수적인 통계조사라 할 수 있다. KIS 2018 제조업 조사의 모집단은 2018년 이전 3년 동안(2015-2017년) 기업 활동을 수행한 상시 종사자 수 10인 이상의 제조업체(기업체)이다. 표본 추출틀은 2016년 기준으로 한 통계청의 전국사업체조사 결과로 작성된 기업명부 및 사업

29) 오완근(2020)과 조가원 외(2018)을 참조하여 작성하였다.

30) 이에 대한 자세한 내용은 조가원 외(2018)를 참조.

체 명부이며 51,553개 업체 중 선정된 3,500개이다. 표본추출을 위한 층화 기준은 한국표준산업분류코드(제9차 개정)의 중분류 코드 34개 업종별 분류(담배제조업 제외)와 상시종업원수에 기준 규모별 분류 등을 사용하였다. 종업원수 500인 이상의 기업에 대해서는 전수조사하였으며 500인 이하의 기업체는 5개 그룹(10-49인, 50-99인, 100-299인, 300-499인, 500인 이상)으로 분류하고 네이만(Neyman) 할당법을 적용하여 추출하였다.

한국기업혁신조사의 설문 내용은 일반적인 기업 사항, 연구개발 관련 사항, 혁신률, 혁신성과, 혁신개발주체, 혁신비용, 혁신 협력활동, 혁신목적, 혁신효과, 혁신 보호방법, 혁신활동 저해요인, 정부혁신정책, 규제영향 등으로 구성되어 있다. 한국기업혁신조사는 OECD(2005) 오슬로 매뉴얼에 의거하여 혁신활동을 제품혁신, 공정혁신, 조직혁신, 마케팅혁신 네 가지로 분류하고 있다. 조가원(2018, p. 17)은 네 가지 혁신 각각을 다음과 같이 정의하고 있다. 제품혁신은 제품의 본질적 특성, 기술적 사항, 사용자 친화성 및 용도 면에서 새롭거나 획기적으로 개선된 제품을 도입하여 시장에 출시하고 회사매출에 영향을 준 혁신활동을 의미한다. 공정혁신은 생산 공정과 납품 및 유통 등 물류방식에서 완전히 새로운 방식 혹은 크게 개선된 방식을 실제 운영에 적용하여 물류비용 절감, 품질향상 등에 영향을 준 경우를 의미한다. 조직혁신은 조직의 기업역량 향상 및 업무 흐름의 효율성 개선을 위하여 기존 방식에 비해 새로운 업무수행 방식, 지식관리 방식, 업무유연성 강화 및 외부 조직과의 관계 개선 등 기업 내부에 새로운 조직 운영방식을 도입한 경우를 의미한다. 마지막으로 마케팅혁신이란 제품의 매력과 소비자 인지도를 높이기 위해 제품 상품디자인, 상품 판매채널, 상품홍보수단, 가격 책정방식 등의 면에서 기존과는 다른 새로운 변화를 도입한 경우를 의미한다. 한국기업혁신조사에서는 제품혁신과 공정혁신을 묶어 '기술혁신'으로, 조직혁신과 마케팅혁신을 묶어 '비기술혁신'으로 부른다. 본 연구에서도 이와 동일하게 기술혁신을 중심으로 분석하되 제품혁신과 공정혁신에 대해서도 분석한다.

본 연구에서 사용하고 있는 과학기술정책연구원의 '한국기업혁신조사(KIS 2018): 제조업부문' 조사는 혁신성과 유무를 조사하기 때문에 제품혁신과 공정혁신은 각각 1 또는 0이라는 이산적 값을 지닌다. 즉, 1은 혁신성과가 있는 경우를, 0은 혁신성과가 없는 경우를 나타낸다. 기술혁신은 제품혁신이나 공정혁신 중 둘 다 혹은 둘 중 하나를 수행한 경우 1, 그렇지 않은 경우 0이라는 이산적 값을 갖는다. KIS 2018은 한국표준산업분류 제9차 개정을 기준으로 작성하고 있는데 앞서 살펴본 바와 같이 고탄소산업은 석유정제품, 화학, 비금속, 1차금속, 금속가공 5개 산업의 합으로 정의한다.

본 연구에서 사용되는 종속변수는 기술혁신, 제품혁신, 공정혁신 세 가지 각각을 다룬다. 설명변수로는 기업관련 변수로서 매출액, 매출액제곱, 정부지원제도 활용, 매출액영업이익률, 광고비집약도, 주식시장 상장 여부, 수출집약도를 사용한다. 또한 연구개발 설명변수는 연구인력비율, 시장구조 변수는 시장집중도이다. 연구인력비율

변수는 연구개발전담인력이 상시종사자수에서 차지하는 비율이다. KIS 2018에 연구인력비율 통계가 2017년 수치만 존재하여 이것을 사용하였다. 매출액의 경우 백만원 단위로 2015년부터 2017년까지의 합계를 나타낸 것이다. 시장집중도를 나타내는 시장집중도(CR3=상위 3개 기업의 매출액/해당 산업의 총매출액)는 2015-2017 연도의 평균치를 사용하였다. 정부지원제도 활용은 여덟 가지 정부지원제도(조세지원, 자금지원, 금융지원, 인력지원, 기술지원, 인증지원, 구매지원, 기타) 중 하나라도 활용했다면 1, 그렇지 않다면 0 인 이산적 값을 갖는다. 광고선전비 집약도는 광고선전비가 매출액에서 차지하는 비중이다. 매출액영업이익률은 영업이익(손실)이 매출액에서 차지하는 비중이다. 매출액 외에도 영업이익(손실)도 2015-2017년 3년간 합계를 구하여 매출액영업이익률을 계산하였다. 주식시장 유무는 코스피, 코스닥, 코넥스³¹⁾ 중 한 곳에라도 상장하였으면 1, 그렇지 않다면 0 인 이산적 값을 갖는다. 수출집약도는 수출액이 매출액에서 차지하는 비중이다.

데이터 출처는 KIS 2018과 기업재무제표 데이터베이스인 KISVALUE이다. KIS 2018에서는 매출액, 연구인력비율, 정부의 혁신정책, 주식시장 상장, 기업연령 변수를 사용하였으며, KISVALUE에서는 기업별 매출액, 산업별 매출액, 영업이익(손실) 등의 데이터를 구하여 시장집중도, 매출액영업이익률 등을 계산하였다. KIS 2018에는 고탄소 기업수가 804개 있으며 실제 추정에는 특정 변수 데이터 결측에 따라 773개의 관측치가 사용되었다.

2. 분석방법³²⁾

기술혁신 결정요인을 분석하기 위해서는 무엇보다도 먼저 혁신지표로 어떤 변수를 사용할 것인지를 결정할 필요가 있다. 투입요소의 하나인 연구개발비 또는 연구개발비 집약도, 산출요소의 하나인 혁신건수(특허등록건수 또는 출원건수) 등의 변수를 혁신지표로 활용하는 방법을 고려해 볼 수 있다. 그런데 투입요소는 혁신을 창출하기 위해 투입되는 투자의 성격을 지닐 뿐 그 자체로 혁신결과를 의미하지 않는다. 또한 혁신이 연구개발을 위한 지출(flow)에 의해 영향 받기보다는 연구개발스톡(stock)에 의해 영향 받는 점을 감안하면 혁신지표로서 연구개발비 등과 같은 투입요인을 사용하는 것은 적절치 않다. 특허건수를 혁신지표로 삼는 경우 특허별로 경제적 가치가 서로 다르기 때문에 기업 또는 산업 간 비교가 용이하지 않다는 한계가 존재한다. 뿐만 아니라 제품혁신, 공정혁신, 조직혁신, 마케팅혁신 등 서로 상이한 성격을 지니고 있는 혁신의 결과를 동질적인 혁신활동의 결과로 간주하게 된다는 문제가 발생할 수 있다(신태영, 1999).

이러한 이유로 Bhattacharya and Bloch(2004), Song and Oh(2015), 성태경(2005), 송치웅·오완근(2010) 등에서는 기업 혁신에 영향을 미치는 요인을 분석하

31) 코넥스 시장은 KIS2018에 처음 포함되었다.

32) 오완근(2020)을 참조하여 작성하였다.

기 위해 종속변수로 일정기간 동안에 발생한 기업의 혁신실적 유무를 혁신지표로 사용하였다. 본 연구에서도 이들 연구와 마찬가지로 기업의 혁신에 미치는 영향을 분석하기 위해 종속변수로 혁신결과 유무를 이용하였다.

본 연구의 분석모형인 프로빗 모형은 종속변수가 연속 변수가 아닌 1과 0의 값을 갖는 이산변수라는 점에서 통상적인 회귀분석과 차이를 지닌다. 본 연구에서 종속변수로 사용한 혁신유무 변수는 기술혁신의 실적이 있는 경우 1의 값을 갖고 혁신실적이 없는 경우에는 0의 값을 갖는 변수이다. 일정기간 동안에 기업의 혁신실적 유무가 일단의 설명변수에 의해 설명되는 경우 추정식은 다음의 식 (1)과 같이 나타낼 수 있는데 종속변수와 설명변수는 비선형(nonlinear)의 관계를 갖게 된다.

$$P(y=1) = F(\mathbf{x}\boldsymbol{\beta}), \quad P(y=0) = 1 - F(\mathbf{x}\boldsymbol{\beta}) \quad (1)$$

여기에서 P 는 혁신성과의 발현 확률, F 는 확률분포함수, y 는 혁신성과의 유무를 나타내는 종속변수, \mathbf{x} 는 설명변수, $\boldsymbol{\beta}$ 는 모수(parameter)를 각각 나타낸다. 식 (1)에서 $y=1$ 일 확률, 즉 기술혁신 실적이 존재할 확률은 $\mathbf{x}\boldsymbol{\beta}$ 의 함수로 나타낼 수 있는데 함수 $f(\cdot)$ 가 정규확률분포함수인 경우 주어진 모형을 프로빗(probit) 모형이라 한다. $\boldsymbol{\beta}$ 는 혁신이 일어날 확률의 크기를 결정하는 설명변수 \mathbf{x} 에 대한 계수이다. 프로빗 모형에서 $y=1$ 일 확률은 식 (2)와 같이 계산될 수 있다.

$$P(y=1) = \int_{-\infty}^{\infty} \phi(t) dt = \Phi(\mathbf{x}\boldsymbol{\beta}) \quad (2)$$

이때 ϕ 와 Φ 는 각각 표준정규분포의 확률밀도함수(standard normal pdf)와 누적확률밀도함수(standard normal cdf)이다. 프로빗 모형 추정을 위해 최우추정법을 이용하게 되는데 본 연구에서는 수치최적화(numerical optimization)기법으로 quadratic hill-climbing 기법을 사용하였다.

일반적인 선형모형의 경우에는 조건부 기대치 $E[y|\mathbf{x}]$ 가 $\mathbf{x}\boldsymbol{\beta}$ 와 동일하기 때문에 계수 $\boldsymbol{\beta}$ 는 종속변수 y 에 대한 한계효과(marginal effect)를 나타낸다. 반면 프로빗 모형의 경우에는 표준정규 누적 확률밀도함수가 종속변수에 대한 증가함수이고 $E[y|\mathbf{x}]$ 가 $\Phi(\mathbf{x}\boldsymbol{\beta})$ 이기 때문에, $\boldsymbol{\beta}$ 값 자체는 한계효과로 해석될 수 없다. 다만, $\boldsymbol{\beta}$ 의 부호를 통해 기업이 혁신활동을 실행할 확률에 정의 효과를 미치는지 아니면 부의 효과를 미치는지 여부만을 알 수 있다. 프로빗 분석에서는 한계효과를 구하기 위해서는 별도의 방식을 이용하여야 한다. 통상적으로 한계효과는 설명변수의 변화에 따른 종속변수 기대치의 변화를 나타낸다. 즉, 설명변수가 한 단위 증가할 때 기업의 혁신활동 실행 확률이 평균적으로 얼마나 증가하는가를 나타낸다. 프로빗 모형에서 한계효과는 종속변수 y 의 기대치 $E[y|\mathbf{x}]$ 를 설명변수 \mathbf{x} 로 미분한 결과로 다

음과 같이 산출할 수 있다.

$$\frac{\partial E[y|\mathbf{x}]}{\partial \mathbf{x}} = \phi(\mathbf{x}\beta)\beta \quad (3)$$

그런데 식 (3)과 같은 한계효과는 설명변수 \mathbf{x} 에 의존하기 때문에 각 개체 (individual)별로 다른 값을 지닌다. 따라서 개체별로 다르게 계산된 한계효과를 하나의 값으로 요약하여 제시할 필요가 생긴다. 한계효과를 요약하여 제시하기 위해 개체별 \mathbf{x} 를 개체별 \mathbf{x} 들의 평균값 즉, $\bar{\mathbf{x}}$ 로 대체하여 구한 값을 흔히 이용한다.³³⁾ $\bar{\mathbf{x}}$ 를 이용하여 계산된 한계효과는 PEA (partial effect at the average)로 불리는데 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$PEA = \phi(\bar{\mathbf{x}}\beta)\beta \quad (4)$$

V. 연구결과: 실증분석

<표 12>에는 본 연구에서 사용되는 변수들에 대한 요약통계량이 제시되어 있다.³⁴⁾ 먼저 고탄소산업 소속 기업 중 약 23%의 기업들이 기술혁신을 수행한 것으로 나타났다. 제품혁신을 수행한 기업 비중은 약 17%, 공정혁신을 수행한 기업은 약 12%로 나타나 제품혁신을 조금 더 많이 수행한 것으로 나타났다. 매출액은 최대 22조 5,031억원, 최소 3억원, 평균 1,367억원으로 조사되었다. 시장집중도는 약 20.1%로 나타났다. 연구인력비율은 평균 6.2%이며, 정부지원제도를 활용한 적이 있는 기업은 약 68.4%이다.

33) 평균 대신 분위수, 중위수 등을 사용하는 방법도 검토할 수 있지만 평균값이 가장 많이 사용된다.

34) 매출액영업이익률, 광고비집약도, 수출집약도는 기술혁신, 제품혁신, 공정혁신 모든 경우에 유의하지 않게 나와 제외한다.

<표 12> 주요 요약통계량

변수	평균	표준편차	최대값	최소값
기술혁신	0.234	0.424	1	0
제품혁신	0.172	0.378	1	0
공정혁신	0.119	0.324	1	0
매출액	134,681	854,782	22,503,171	307
매출액 제공	7.E+11	2.E+13	5.E+14	93974
기업연령	19.608	10.887	73	5
시장집중도(CR3)	20.124	12.966	72.216	10.319
연구인력비율	6.201	10.112	100	0
정부지원제도 활용	0.684	0.465	1	0

본 연구에서는 기술혁신, 제품혁신, 공정혁신 세 가지 혁신 각각에 대한 결정요인을 분석한다. 먼저 <표 13>은 기술혁신 결정요인을 추정한 계수와 해당하는 한계효과를 보여주고 있다. 매출액 계수는 양(+)이며 유의한 것으로 나타나 기업규모가 큰 대기업일수록 혁신이 증가한다는 슈페터 가설이 성립함을 알 수 있다. 그렇지만 매출액 제공의 계수는 음(-)이지만 유의하지는 않아 매출액 관련한 역-U자형 곡선(inverted U-shape) 가설은 성립하지 않는 것으로 나타났다. 시장집중도를 나타내는 CR3 변수는 계수가 음(-)이고 유의한 것으로 나타났다. 이는 산업이 집중되면 될수록 혁신이 촉진된다는 슈페터 가설과는 반대로 산업이 집중될수록 혁신이 저해됨을 시사하고 있는 것이다.

연구인력비율은 1% 유의수준에서 양(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났는데 이는 연구변수는 혁신에 긍정적인 영향을 미친다는 대부분의 연구와 일치하는 것이다. 또한 정부지원활용 변수도 1% 유의수준에서 양(+)의 영향을 미치는 것으로 나타나 정부지원제도가 고탄소산업의 기술혁신에 긍정적인 영향을 끼침을 밝혀주고 있다. 기업연령은 기술혁신에 비유의적으로 나타났으며 매출액영업이익률, 광고비집약도, 주식시장 상장 변수들은 고탄소산업의 기술혁신, 제품혁신, 공정혁신 모두에 유의한 영향을 미치지 못하는 것으로 나타나 표에서 제외한다. 한계효과를 통하여 변수들의 상대적 영향력을 비교해보면 정부지원제도 활용(0.156)이 가장 크게 영향을 미치고 그 다음으로 연구인력비율(0.003)임을 알 수 있다.

<표 13> 고탄소산업 기술혁신 결정요인 추정 계수 및 한계효과

설명변수	계수	p-값	한계효과
매출액	1.34E-07	0.0205**	6.8E-08
매출액 제공	-4.49E-15	0.3843	-2.2E-15
기업연령	0.001	0.103	0.000
시장집중도(CR3)	-0.002	0.0001***	-0.001
연구인력비율	0.006	0.0000***	0.003
정부지원제도 활용	0.272	0.0000***	0.156

주: ***, **, * 는 1%, 5%, 10%에서 유의함을 의미.

다음으로 <표 14>는 고탄소산업의 제품혁신 결정요인에 대한 실증분석 결과를 보여주고 있다. 기술혁신의 경우와 마찬가지로 매출액 계수는 양(+)이며 유의하지만 매출액 제공의 계수는 음(-)이지만 유의하지는 않아 기업규모가 큰 대기업일수록 혁신이 증가한다는 숄페터 가설이 성립하지만 매출액 관련 역-U자형 곡선(inverted U-shape) 가설은 성립하지 않는 것으로 나타났다. 시장집중도 CR3 변수도 기술혁신 경우와 동일하게 계수가 음(-)이고 유의한 것으로 나타나 산업이 집중될수록 제품혁신에는 부정적인 효과를 가져올 수 있다.

연구인력비율과 정부지원제도 활용 둘 다 1% 유의수준에서 양(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이는 연구인력비율 및 정부지원활용 변수가 제품혁신에 양(+)의 영향을 미치는 것을 의미한다. 기업연령은 기술혁신 경우와 다르게 5% 유의수준에서 양(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 변수들의 상대적 영향력을 한계효과를 통하여 살펴보면 정부지원제도 활용이 가장 크게 영향을 미치고 그 다음으로 연구인력비율, 기업연령 순서임을 알 수 있다.

<표 14> 고탄소산업 제품혁신 결정요인 추정 계수 및 한계효과

설명변수	계수	p-값	한계효과
매출액	1.34E-07	0.0101**	6.8E-08
매출액 제공	-4.28E-15	0.2694	-2.1E-15
기업연령	0.001	0.0234**	0.001
시장집중도(CR3)	-0.002	0.0000***	-0.001
연구인력비율	0.006	0.0000***	0.003
정부지원제도 활용	0.195	0.0000***	0.108

주: ***, **, * 는 1%, 5%, 10%에서 유의함을 의미.

마지막으로 <표 15>는 고탄소산업의 공정혁신 결정요인에 대한 실증분석 결과를 보여주고 있다. 매출액과 매출액 제공 변수는 기술혁신 및 제품혁신과 동일한 모습을 보이고 있다. 즉, 매출액 계수는 양(+)이며 유의하지만 매출액 제공의 계수는 음(-)이지만 유의하지는 않아 기업규모가 큰 대기업일수록 혁신이 증가한다는 숄페터 가설이 성립하지만 매출액 관련 역-U자형 곡선(inverted U-shape) 가설은 성립하지 않는 것으로 나타났다. 기업연령은 기술혁신 경우와 동일하게 양(+)이지

만 유의하지 않게 나왔다. 반면에 기업집중도는 기술혁신 및 제품혁신과 반대로 나타났다. 즉, 계수가 양(+)으로 10%에서만 유의하게 나타나 공정혁신의 경우 산업이 집중되면 될수록 공정혁신이 촉진된다는 스펀더 가설이 성립함을 보여주고 있다. 한계효과를 계산하여 변수들의 상대적 영향력 크기를 비교해보면 정부지원제도 활용, 연구인력비율, 시장집중도 순이었으며 정부지원제도 활용의 크기는 기술혁신(0.156)과 제품혁신(0.108)에 비해 훨씬 작게(0.072) 나타났다.

<표 15> 고탄소산업 공정혁신 결정요인 추정 계수 및 한계효과

설명변수	계수	p-값	한계효과
매출액	1.08E-07	0.0193**	5.5E-08
매출액 제곱	-5.06E-15	0.7976	-2.5E-15
기업연령	0.000	0.6124	0.000
시장집중도(CR3)	0.000	0.0657*	0.000
연구인력비율	0.002	0.0000***	0.001
정부지원제도 활용	0.135	0.0000***	0.072

주: ***, **, * 는 1%, 5%, 10%에서 유의함을 의미.

<표 16>은 기술혁신, 제품혁신, 공정혁신의 결정요인에 대한 결과를 요약한 표이다. 각 모형별로 변수들의 유의여부를 유의(5%, O), 약한 유의(10%, △), 비유의(X) 세 가지로 구분하였으며 영향의 방향을 양(긍정, +), 음(부정, -) 두 가지로 구분하였다. 매출액은 세 가지 혁신 모두에 긍정적으로 유의하게 영향을 미쳐 기업규모가 커질수록 혁신이 촉진된다는 스펀더 가설이 성립하지만 매출액 제곱은 세 가지 혁신 모두에 계수는 음(-)이지만 유의하지 않아 역-U자형 곡선 가설은 성립하지 않는 것으로 나타났다. 연구인력비율과 정부지원제도 활용 둘 다 세 가지 혁신에 유의하게 긍정적인 영향을 미치며 정부지원제도 활용은 모든 혁신에서 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.

기업연령은 기술혁신과 공정혁신에는 영향을 미치지 못하나 제품혁신에는 긍정적인 영향을, 즉 설립된지 오래된 기업일수록 제품혁신을 촉진한다는 것을 보여주고 있다. 시장집중도는 시장이 집중될수록 기술혁신과 제품혁신에 부정적으로 작용하지만 공정혁신에는 긍정적임을 보여주고 있다. 이는 고탄소산업이 일종의 장치산업이어서 중소기업이 공정혁신을 추진하기가 쉽지 않은 것과 연관된 것으로 평가된다 (Song and Oh, 2016, p. 129).

<표 16> 기술혁신, 제품혁신, 공정혁신 결정요인 결과 요약

설명변수	기술혁신	제품혁신	공정혁신
매출액	+ (O)	+ (O)	+ (O)
매출액 제곱	- (X)	- (X)	- (X)
기업연령	+ (X)	+ (O)	+ (X)
시장집중도(CR3)	- (O)	- (O)	+ (△)
연구인력비율	+ (O)	+ (O)	+ (O)
정부지원제도 활용	+ (O)	+ (O)	+ (O)

주: +=긍정, -=부정, O=유의함(5%), △=약하게 유의함(10%), X=유의하지 않음.

VI. 연구결과: 설문분석

1. 혁신 저해요인

본 장에서는 고탄소산업에 대한 설문분석으로 고탄소산업의 혁신 저해요인과 정부지원제도 활동에 대해 살펴본다. 먼저 <표 17>은 고탄소산업과 주요산업의 기술혁신 저해요인을 보여준다. 기술혁신의 저해요인은 크게 자금문제, 기업역량요인, 시장요인, 그리고 필요요인의 네 가지로 구분 가능하다. 그리고 자금문제의 경우 다시 내부자금부족과 기업외부자금부족, 정부지원획득의 어려움과 과도한 혁신비용의 문제로 구분되고 기업역량요인은 우수인력 부족, 기술에 대한 정보부족, 시장에 대한 정보부족, 협력파트너의 부재, 좋은 아이디어의 부재로 나뉜다. 시장요인의 경우 시장 경쟁 과다로 혁신수행 어려움과 시장수요 불확실성으로, 필요요인의 경우 추가 혁신 불필요와 혁신수요부족, 시장 경쟁 압력이 낮음으로 세분화가 가능하다.

고탄소산업의 경우 기술혁신 저해요인으로 필요요인 중 혁신수요가 부족한 것이 96.6으로 가장 높게 나왔다. 반면 자금문제 중 내부자금의 부족은 75.7로 다른 기술혁신 저해요인들보다 고탄소산업의 혁신 저해에 낮은 영향을 끼치는 것으로 나타났다.

고탄소산업의 세부산업들의 기술혁신 저해요인 분석결과는 다음과 같다. ‘코크스, 연탄 및 석유정제품’의 경우 자금문제 중 과도한 혁신비용과 기업역량요인 중 시장에 대한 정보부족, 협력파트너의 부재, 필요요인 중 시장경쟁압력이 낮은 것이 모두 100.0으로 기술혁신 저해에 중요한 영향을 주는 것으로 나타났다. 반면 시장요인 중 시장경쟁과다의 경우 76.9로 다른 요인들에 비해 기술혁신저해에 영향이 적은 것으로 나타났다. ‘화학물질 및 화학제품’의 경우 필요요인 중 혁신수요부족과 시장 경쟁압력이 낮은 것이 95.9로 혁신저해에 영향을 많이 주는 것으로 나타났으며, ‘비금속 광물제품’의 경우 필요요인이 대체로 혁신저해에 영향을 크게 주는 것으로 나타나는 중 특히 혁신수요부족이 95.1로 가장 높게 나타났다. ‘1차 금속 제조업’의 경우 필요요인 중 추가 혁신 불필요와 혁신수요의 부족이 98.1로, ‘금속가공(기계,

가구제외)'의 경우 시장경쟁압력이 낮은 것이 97.3으로 혁신 저해에 가장 큰 영향을 주는 것으로 나타났다.

<표 17> 고탄소산업과 주요산업의 기술혁신 저해요인

혁신활동 저해요인 중요도 '보통 이상': 업종별	자금문제				기업역량요인					시장요인		필요요인		
	내부 자금 부족	기업 외부 자금 부족	정부 지원 획득의 어려움	과다한 혁신 비용	우수 인력 부족	기술에 대한 정보 부족	시장에 대한 정보 부족	협력 파트너의 부재	좋은 아이디어 부재	시장 경쟁과다로 혁신 수행 어려움	시장 수요 불확실성	추가 혁신 불필요	혁신 수요 부족	시장 경쟁압력이 낮음
전체	77.9	84.6	79.2	82.6	85.4	87.7	87.8	89.3	86.3	87.6	86.7	89.6	93.0	93.3
식료품	79.8	84.1	83.2	91.3	86.1	89.4	88.9	91.8	87.5	90.9	88.5	94.2	94.2	93.8
음료	81.3	93.8	100.0	93.8	81.3	87.5	87.5	100.0	93.8	93.8	87.5	100.0	100.0	100.0
섬유제품(의복 제외)	81.0	89.0	83.0	88.0	92.0	95.0	93.0	97.0	93.0	86.0	84.0	84.0	98.0	96.0
의복, 악세서리, 모피제품	85.2	87.5	86.4	87.5	92.0	96.6	96.6	97.7	92.0	94.3	95.5	98.9	95.5	97.7
가죽, 가방 및 신발	59.3	92.6	37.0	85.2	59.3	77.8	66.7	96.3	92.6	59.3	92.6	92.6	96.3	92.6
목재 및 나무(가구제외)	60.0	86.7	80.0	73.3	93.3	93.3	93.3	93.3	96.7	86.7	93.3	93.3	86.7	90.0
펄프, 종이 및 종이제품	82.9	89.5	72.4	73.7	77.6	73.7	77.6	76.3	67.1	76.3	75.0	71.1	71.1	69.7
인쇄, 기록매체 복제업	72.0	70.0	66.0	88.0	88.0	92.0	92.0	94.0	90.0	86.0	74.0	96.0	94.0	96.0
코크스, 연탄 및 석유정제품	84.6	92.3	84.6	100.0	92.3	92.3	100.0	100.0	92.3	76.9	84.6	92.3	92.3	100.0
화학물질 및 화학제품	73.8	84.8	84.1	82.1	78.6	85.5	85.5	84.8	82.8	84.1	85.5	83.4	95.9	95.9
의료용 물질 및 의약품	86.2	93.1	89.7	93.1	93.1	96.6	93.1	96.6	96.6	93.1	96.6	100.0	100.0	100.0
고무제품 및 플라스틱제품	77.0	86.0	78.3	84.5	89.1	88.8	87.6	95.0	89.4	89.1	86.0	87.0	96.6	97.2
비금속 광물제품	79.5	81.1	73.8	93.4	84.4	77.9	85.2	89.3	79.5	81.1	86.9	94.3	95.1	94.3
1차 금속 제조업	83.4	91.1	92.4	86.0	91.7	92.4	95.5	93.6	94.9	92.4	91.7	98.1	98.1	96.2
금속가공(기계, 가구제외)	71.7	90.2	87.2	82.3	84.7	93.2	93.5	92.1	87.7	89.1	89.9	89.4	97.0	97.3
전자, 음향, 통신	83.0	76.8	81.4	87.9	88.2	87.9	85.9	88.6	87.6	95.1	94.4	96.7	97.7	98.4
의료, 정밀	75.2	76.6	61.3	60.6	62.0	74.5	70.1	66.4	59.1	73.7	66.4	65.0	72.3	68.6
전기장비	85.3	90.5	76.3	82.8	88.8	84.9	89.7	90.5	88.8	87.5	91.4	86.2	91.8	92.2

기타 기계장비	70.7	80.0	75.2	81.5	84.5	90.2	91.2	89.2	88.0	90.4	88.4	97.6	94.9	96.9
자동차 및 트레일러	77.2	82.2	73.1	73.3	85.3	83.1	83.6	84.7	81.1	80.0	77.5	80.3	86.1	85.3
기타 운송장비	90.6	89.6	91.5	89.6	89.6	89.6	87.7	94.3	92.5	95.3	91.5	99.1	98.1	99.1
가구	85.5	93.5	82.3	69.4	87.1	87.1	69.4	72.6	87.1	85.5	77.4	72.6	75.8	83.9
기타 제품	86.8	89.5	84.2	84.2	86.8	86.8	89.5	97.4	92.1	94.7	89.5	100.0	97.4	97.4
고탄소산업	75.7	88.1	85.6	85.0	85.1	89.3	91.3	90.8	87.1	87.4	88.9	90.8	96.6	96.4

자료: 저자계산

<표 18>은 법정유형에 따른 고탄소산업과 주요산업의 기술혁신 저해요인을 보여준다. 법정유형에 따라 기업은 대기업, 중기업, 소기업, 벤처기업의 네 종류로 나뉘며, 모든 기업에 공통적으로 필요요인 중 혁신수요의 부족과 시장경쟁압력이 낮은 것이 기술혁신을 저해하는 중요한 요인으로 나타났으나 자금문제, 그리고 기업 역량요인 중 좋은 아이디어의 부재, 그리고 시장요인은 대체로 기업의 크기가 클수록, 즉 대기업, 중소기업, 소기업, 벤처기업의 순으로 기술혁신을 저해하는 정도가 큰 것으로 나타났다. 또한 중기업의 경우는 시장경쟁 과다로 인한 혁신 수행의 어려움이 93.5로 다른 기업유형에 비해 높게 나타났으며, 소기업의 경우 필요요인 중 추가 혁신 불필요가 95.4로 다른 기업유형에 비해 높게 나타났다.

<표 18> 고탄소산업과 주요산업의 기술혁신 저해요인: 법정유형

혁신활동 저해요인 중요도 '보통 이상': 규모, 매출액 및 법정유형별															
	자금문제				기업역량요인					시장요인		필요요인			평균
	내부 자금 부족	기업 외부 자금 부족	정부 지원 획득의 어려움	과다한 혁신 비용	우수 인력 부족	기술에 대한 정보 부족	시장에 대한 정보 부족	협력파트너의 부재	좋은 아이디어 부재	시장경쟁과다	시장수요 불확실성	추가 혁신 불필요	혁신수요 부족	시장경쟁압력이 낮음	
전체	75.7	88.1	85.6	85.0	85.1	89.3	91.3	90.8	87.1	87.4	88.9	90.8	96.6	96.4	88.4
대기업	94.4	88.9	88.9	88.9	83.3	83.3	77.8	94.4	94.4	83.3	94.4	88.9	100.0	100.0	88.9
중기업	86.8	90.3	89.5	88.6	90.5	89.5	90.8	91.4	89.5	93.5	91.6	85.7	97.6	95.9	84.9
소기업	65.1	86.1	82.0	81.5	80.3	89.4	92.3	90.1	84.6	82.2	86.3	95.4	95.7	96.6	94.7
벤처기업	68.8	78.9	81.7	73.4	78.9	88.1	89.0	85.3	84.4	76.1	79.8	89.9	92.7	96.3	89.0

자료: 저자계산

2. 정부지원제도 활용

<표 19>는 고탄소산업과 주요산업의 정부지원제도 중요도를 보여준다. 정부지원

제도의 경우 조세지원, 자금지원, 금융지원, 인력지원, 기술지원, 인증지원과 구매지원으로 구분되는데, 고탄소산업의 경우 그 중 인증지원(48.3)과 조세지원(47.1)의 중요도가 가장 높은 것으로 나타났다. 반면 구매지원(38.7)과 인력지원(38.6)의 중요도는 상대적으로 낮은 것으로 나타났다.

고탄소산업의 세부적인 산업분류를 확인했을 때, '코크스, 연탄 및 석유정제품', '화학물질 및 화학제품'의 경우 조세지원의 중요도가 각자 69.2와 69.0으로 높게 나타났다으며 '비금속 광물제품'의 경우 기술지원이 50.8로 가장 높은 중요도를 보이는 것으로 나타났다. '1차 금속 제조업'의 경우 조세지원이 50.3으로, '금속가공(기계, 가구제외)' 인증지원이 44.7로 가장 중요도가 높은 것으로 나타난다.

<표 19> 고탄소산업과 주요산업의 정부지원제도 중요도

정부지원제도 중요도('보통 이상'): 업종별							
	조세지원	자금지원	금융지원	인력지원	기술지원	인증지원	구매지원
전체	51.7	45.9	43.3	44.2	48.5	52.5	41.5
식료품	38.9	42.8	40.9	54.3	55.8	57.2	35.6
음료	56.3	50.0	50.0	56.3	56.3	62.5	50.0
섬유제품(의복제외)	52.0	52.0	44.0	54.0	51.0	56.0	54.0
의복, 악세서리, 모피제품	51.1	37.5	39.8	42.0	46.6	48.9	38.6
가죽, 가방 및 신발	33.3	37.0	22.2	22.2	25.9	29.6	18.5
목재 및 나무(가구제외)	53.3	46.7	46.7	43.3	43.3	50.0	43.3
펄프, 종이 및 종이제품	52.6	55.3	52.6	52.6	50.0	50.0	50.0
인쇄, 기록매체 복제업	52.0	40.0	36.0	44.0	62.0	68.0	34.0
코크스, 연탄 및 석유정제품	69.2	53.8	53.8	53.8	53.8	61.5	61.5
화학물질 및 화학제품	69.0	66.9	60.0	55.2	55.2	65.5	60.7
의료용 물질 및 의약품	82.8	79.3	72.4	72.4	72.4	65.5	55.2
고무제품 및 플라스틱제품	27.6	30.1	26.1	30.1	48.4	49.1	28.9
비금속 광물제품	39.3	36.9	35.2	36.1	50.8	40.2	32.8
1차 금속 제조업	50.3	40.1	49.0	45.9	41.4	45.9	41.4
금속가공(기계, 가구 제외)	39.0	30.5	30.8	29.2	30.2	44.7	30.0
전자, 음향, 통신	61.4	42.8	41.2	47.4	53.3	51.6	47.1
의료, 정밀	67.2	62.8	59.9	47.4	53.3	54.0	50.4
전기장비	60.8	56.9	54.7	55.2	52.6	58.6	51.7
기타 기계장비	58.7	44.8	40.7	37.9	45.6	50.3	34.6
자동차 및 트레일러	59.4	58.6	54.2	53.1	57.8	61.1	53.9

기타 운송장비	51.9	50.9	49.1	50.0	45.3	52.8	43.4
가구	53.2	51.6	50.0	46.8	45.2	48.4	45.2
기타 제품	47.4	50.0	31.6	55.3	42.1	50.0	36.8
고탄소산업	47.1	40.3	40.7	38.6	40.4	48.3	38.7

자료: 저자계산

<표 20>은 법정유형에 따른 고탄소산업의 정부지원제도 중요도를 보여주고 있다. 법정유형은 대기업과 중소기업, 소기업과 벤처기업으로 나뉘며, 대기업의 경우 조세지원이 83.3으로 가장 중요하게 나타났으나 중소기업의 경우 기술지원과 인증지원이 63.5로 중요하게 나타났으며, 소기업의 경우는 인증지원과 조세지원이 각자 34.1과 32.9로 중요하게 나타났다. 벤처기업의 경우 조세지원이 64.2로 가장 중요하게 나타났으며 인증지원이 54.1로 뒤를 따랐다.

<표 20> 고탄소산업의 정부지원제도 중요도: 법정유형

정부지원제도 중요도('보통 이상'): 법정유형, 매출액규모, 종사자규모별								
		조세지원	자금지원	금융지원	인력지원	기술지원	인증지원	구매지원
	전체	47.1	40.3	40.7	38.6	40.4	48.3	38.7
법정유형	대기업	83.3	72.2	61.1	72.2	50.0	61.1	61.1
	중기업	61.4	53.8	54.6	59.2	63.5	63.5	60.3
	소기업	32.9	26.9	27.4	18.8	19.5	34.1	18.5
	벤처기업	64.2	50.5	52.3	44.0	42.2	54.1	41.3

자료: 저자계산

VII. 결론 및 정책적 시사점

본 연구에서는 기후변화 리스크 대응, 특히 NDC 2030 달성을 위한 방안 중의 하나로 고탄소 중심의 산업구조에 초점을 맞추어 분석하였다. 고탄소제조업을 석유정제품, 화학, 비금속, 1차금속, 금속가공 5개 산업의 합으로 정의하고 고탄소산업 현황을 살펴본 결과 고탄소산업의 GDP 비중은 2000년 9.70%에서 2020년 7.18%로 2.51%p 감소한 반면 CO₂의 비중은 2000년 30.06%에서 2020년 30.18%로 0.12%p 증가하였다는 문제를 파악하였다.

KIS 2018 및 기업 재무제표 통계와 프로빗 모형을 적용하여 고탄소산업의 기술혁신에 대해 분석한 실증분석 결과 매출액은 기술혁신, 제품혁신, 공정혁신 모두에 긍정적으로 유의하게 영향을 미쳐 기업규모가 커질수록 혁신이 촉진된다는 스펀더가설이 성립하지만 매출액 제공은 세 가지 혁신 모두에 계수는 음(-)이지만 유의하지 않아 역-U자형 곡선 가설은 성립하지 않는 것으로 나타났다. 연구인력비율과 정부지원제도 활용 둘 다 세 가지 혁신에 유의하게 긍정적인 영향을 미치며 정부지원제도 활용은 세 가지 혁신 모두에서 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 기

업연령은 기술혁신과 공정혁신에는 영향을 미치지 못하나 제품혁신에는 긍정적인 영향을, 즉 설립된지 오래된 기업일수록 제품혁신을 촉진한다는 것을 보여주고 있다. 시장집중도는 시장이 집중될수록 기술혁신과 제품혁신에 부정적으로 작용하지만 공정혁신에는 긍정적임을 보여주고 있다. 이는 고탄소산업이 일종의 장치산업이어서 중소기업이 공정혁신을 추진하기가 쉽지 않은 것과 연관된 것으로 평가된다.

설문조사 분석 결과, 고탄소산업의 경우 혁신수요의 부족이 기술혁신의 가장 큰 저해요소라고 응답하였다. 정부지원제도의 활용 측면에서 고탄소산업의 경우 인증지원과 조세지원의 중요도가 높은 것으로 나타났으며, 구매지원과 인력지원의 중요도는 상대적으로 낮은 것으로 나타났다.

OECD(2022)는 NDC 2030은 1.5°C 달성에 여전히 미흡하여 보다 강력한 기후행동 필요하다고 주장하고 있다. 이에 비추어 볼 때 국제사회는 NCD 2030 보다 강화된 안을 요구할 가능성이 있다. IEA(2023)는 에너지 효율향상을 통한 석유 수요 절감 노력을 강조하고 있다. 따라서 한국의 기후변화 리스크 대응 성공 여부는 고탄소산업의 기술혁신이 핵심이라 할 수 있으므로 이를 촉진하는 방안을 주도면밀하게 마련할 필요가 있다.

본 연구의 한계로 실증분석에서 사용된 혁신 변수가 1 또는 0의 값을 갖는 이산 변수임을 들 수 있다. 이는 OECD Oslo 매뉴얼을 따르는 모든 통계에서 발생하는 한계이기는 하지만 여전히 기술혁신 측정이 일종의 더미변수와 같다는 점은 유의할 필요가 있다. 향후 연구과제로는 세부 정부지원제도별로 효과를 검토할 수 있고, 정부 전체 규제 혹은 세부 규제별로 기술혁신에 미치는 영향을 분석할 수 있다.

참고문헌

- 강명헌(1994), “경제력 집중과 기술혁신,” 「경제학연구」, 제41권, 제3호, pp. 3-25.
- 고재경, 황지현, 예민지, 김한수, 김동영, 강식, 이정임(2021), “경기도 탄소중립 추진 전략과 과제”, 『정책연구』, 2021-67. 경기연구원.
- 관계부처 합동, 2021. 2050 탄소중립 시나리오안.
- 기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법([시행 2022. 9. 25.] [법률 제 18469호, 2021. 9. 24., 제정])
- 고재경·김동영·이정임·예민지(2022), 경기도 탄소중립을 위한 에너지다소비사업자 관리 방안, 정책연구 2022-81.
- 김원규·오완근(2014), 「신기술별 정부 연구개발지원의 효과분석」 ISSUE PAPER pp. 2014-364, 산업연구원.
- 김지연·정규철·허진욱(2022), “장기경제성장률 전망과 시사점,” KDI 경제전망, 2022 하반기.
- 김재윤·전은경(2021), “기후변화 이행리스크와 금융안정,” 『조사통계월보』, 제75권 제12호, pp. 16-52.
- 김호·김병근(2012), “정부보조금의 민간연구개발투자에 대한 효과분석”, 「기술혁신학회지」, 제15권, 제3호, pp. 649-674.
- 김현석(2022), “온실가스 감축정책이 제조업 경쟁력에 미치는 영향,” KDI 정책포럼, 2022.10.13.
- 문성배·전현배·이은민(2005), 「국내 ICT기업의 혁신활동 결정요인 분석」, 정보통신정책연구원(KISDI) 연구보고, 05-03.
- 박경훈, 박종욱, 박상우, 임준혁, 김찬우, 이종웅, 곽윤영(2021), “기후변화 대응이 거시경제에 미치는 영향,” BOK 이슈노트 제 2021-23호.
- 박종욱·이나연(2021), “기후변화 대응이 산업에 미치는 영향,” 조사통계월보, 제75권 제9호. pp. 16-35.

- 성태경(2005), “기업의 기술혁신성과 결정요인 : 기업규모와 외부네트워크의 역할을 중심으로”, 『대한경영학회지』, 제51권, pp. 1767-1788.
- 송치웅(2007), “부품소재 중핵기업의 기술혁신 결정요인 분석”, 『기술혁신학회지』, 제10권, 제3호, pp. 431-457.
- 송치웅·오완근(2010), “제조기업의 연구개발활동과 소비자지향성이 기술혁신에 미치는 영향”, 『기술혁신학회지』, 제13권, 제1호, pp. 124-139.
- 송치웅·이정원·오완근(2011), “정부연구개발 투자가 중요소생산성에 미치는 영향: 민간부문 지원사업을 대상으로”, 『생산성논집』, 제 25권, 제2호, pp. 237-257.
- 신범철·이필규(2016), 「기술혁신형 기업에 대한 유형별 정책지원의 생산성 효과 분석」, 『생산성논집』, 30(1), pp. 29-51.
- 신태영(1999), “제조업 기업의 기술혁신행태와 결정요인: 기업규모와 기술혁신”, 『기술혁신학회지』, 제2권, 제2호, pp. 169-186.
- 오완근, 유종현, 하혜진(2016), 『국가 온실가스 증감요인 분해분석 연구』, 온실가스종합정보센터.
- 오완근(2020), “바이오헬스산업의 기술혁신 결정요인 분석”, 『바이오경제연구』, 제3권 1호, pp. 37-88.
- 온실가스종합정보센터(2022), 국가 온실가스 인벤토리(1990-2020)
<https://www.gir.go.kr/home/board/read.do?pagerOffset=0&maxPageItems=10&maxIndexPages=10&searchKey=&searchValue=&menuId=36&boardId=58&boardMasterId=2&boardCategoryId=>
- 이종화(2023), “인구가 감소하는 성장 모형과 한국 경제에의 적용”, 2023 경제학 공동학술대회.
- 조가원·조용래·강희종·김민재(2018), 「2018년 한국기술혁신조사: 제조업 부문」, 조사연구 2018-06-01, 과학기술정책연구원.
- 통계청(2023), 2022년 인구동향조사 출생·사망통계(잠정), 2023. 2. 22.
- 한국은행, 경제통계시스템, <https://ecos.bok.or.kr/>
- 한국은행(2021), 『2019년 산업연관표』.
- 한국은행 금융안정보고서(2022), “온실가스 배출권 가격 급등이 산업별 부가가치에 미치는 영향,” pp. 102-105.

- Acharya, V. & Xu, Z.(2014). “Financial Dependence and Innovation: The Case of Public versus Private Firms”, European Corporate Governance Institute Working Paper 400/2014.
- Acs, Z. J. and D. B. Audretsch(1987), “Innovation, Market Structure and Firm Size,” Review of Economics and Statistics, Vol. 69, pp. 567-575.
- Acs, Z. J. and D. B. Audretsch(1988), “Innovation in Large and Small Firms: An Empirical Analysis,” American Economic Review, Vol. 78(4), pp. 678-690.

- Amara, N., and Landry, R.(2005), "Sources of information as determinants of novelty of innovation in manufacturing firms: evidence from the 1999 statistics Canada innovation survey", *Technovation*, 25, pp. 245–259.
- Arranz, N.; Arroyabe, J.C.F.(2008), "The choice of partners in R&D cooperation: an empirical analysis of Spanish firms", *Technovation*, Vol. 28, pp. 88–100.
- Bertschek I.(1995), "Product and Process Innovation as a Response to Increasing Imports and Foreign Direct Investment," *Journal of Industrial Economics*, Vol. 43, pp. 341–357.
- Bhattacharya, M. and H. Bloch(2004), "Determinants of Innovation," *Small Business Economics*, Vol. 22, pp. 155–162.
- Cohen, W. M.(1995), *Empirical Studies of Innovative Activity* in P. Stoneman, (ed), *Handbook of the Economics of Innovation and Technological Change*, Oxford: Blackwell.
- Cohen W. M. and S. Klepper(1996), "A Reprise of Size and R&D," *Economic Journal*, Vol. 106, pp. 925–951.
- Cohen, W. M., R. C. Levin, and D. C. Mowery(1987), "Firm Size and R&D Intensity: A Re-examination?" *Journal of Industrial Economics*, Vol. 35, pp. 543–563.
- Comanor, W. S.(1967), "Market Structure, Product Differentiation, and Industrial Research," *Quarterly Journal of Economics*, Vol. 81, pp. 639–657.
- Czarnitzki, D. and C. Lopes Bento(2011), "Innovation Subsidies: Does the Funding Source Matter for Innovation Intensity and Performance? Empirical Evidence from Germany", Discussion Paper No. 11–053, Center for European Economic Research.
- European Commission(2011), *Bio-based Economy for Europa—state of play and future potential*.
- Farber, S.(1981), "Buyer Market Structure and R&D Effort: A Simultaneous Equations Model," *The Review of Economics and Statistics*, Vol. 63(3), pp. 336–345.
- Freeman, C.(1982), *The Economics of Industrial Innovation*, 2nd edition, Frances Pinter, London.
- Gambardellaa, Alfonso, Paola Giurib, and Alessandra Luzzic(2007), "The Market for Patents in Europe," *Research Policy*, Vol. 36(8), 1163–1183.
- Ginarte, Juan Carlos and Walter J. Park(1997), "Determinants of Patent Rights: A Cross-National Study," *Research Policy*, Vol. 26(3), pp. 283–301.
- Harris, R., & Moffat, J. (2011). *R&D, Innovation and Exporting*, SERC Discussion Paper 73.

- Hartwig, J.(2011), "Testing the Baumol–Nordhaus Model with EU KLEMS Data," *Review of Income and Wealth*, Vol. 57(3), pp. 471–481.
- Hartwig, J.(2012), "Testing the Growth Effects of Structural Change," *Structural Change and Economic Dynamics*, Vol. 23(1), pp. 11–24.
- Hatzichronoglou, T.(1997), "Revision of the High Technology Sector and Product Classification," STI Working Paper, OECD/GD 216, Paris, OECD.
- International Energy Agency(IEA)(2023), *Oil Market Report Highlight*, January 2023.
- Kamien, M. I. and N. L. Schwartz(1982), *Market Structure and Innovation*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Kim, Yong–Gun, Jonghyun Yoo, and Wankeun Oh(2015), "Driving Forces of Rapid CO2 Emissions Growth: A Case of Korea," *Energy Policy*, Vol. 82, pp. 144–155.
- Koeller, C. T.(1995), "Innovation, Market Structure and Firm Size: A Simultaneous Equations Model," *Managerial and Decision Economics*, Vol. 16, pp. 259–269.
- Krugman, Paul(1994), "The myth of Asia's miracle", *Foreign Affairs*, Vol. 73(6), pp. 62–78.
- Lee, Kihoon and Wankeun Oh(2006), "Analysis of CO2 emissions in APEC countries: a time–series and a cross–sectional decomposition using the log mean Divisia method," *Energy Policy*, Vol. 34, No. 17, pp. 2779–2787.
- Levin, R. C., W. M. Cohen and D. C. Mowery(1985), "R&D Appropriability, Opportunity, and Market Structure: New Evidence on Some Schumpeterian Hypothesis," *American Economic Review*, AEA Papers and Proceedings, Vol. 75, pp. 20–24.
- Levin, R. C. and P. C. Reiss(1988), "Cost–Reducing and Demand–Creating R&D with Spillovers," *Rand Journal of Economics*, Vol. 19, pp. 538–556.
- Liddle, B.(2012), "The importance of energy quality in energy intensive manufacturing: evidence from panel cointegration and panel FMOLS," *Energy Economics*, 34, pp. 1819–1825.
- Lunn, J.(1986), "An Empirical Analysis of Process and Product Patenting: A Simultaneous Equation Framework," *Journal of Industrial Economics*, Vol. 34, pp. 319–330.
- Mansfield, E.(1963), "Size of Firm, Market Structure, and Innovation," *Journal of Political Economy*, Vol. 71, pp. 556–576.
- Markham, J. W.(1965), "Market Structure, Business Conduct, and Innovation," *American Economic Review Proceedings*, Vol. 55, pp. 343–373.

- Mueller, W. F. and R. T. Rogers.(1980), “The Role of Advertising in Changing Concentration of Manufacturing Industries,” *The Review of Economics and Statistics*, Vol. 61(1), pp. 89–96
- Nelson, R. R., M. J. Peck, and E. D. Kalachek(1967), *Technology, Economic Growth and Public Policy*, Washington D. C.; Brookings Institution.
- Nordhaus, W.D.(2008). “Baumol’s Diseases: A Macroeconomic Perspective.” *B.E. Journal of Macroeconomics*, Vol. 8. doi: 10.2202/19351690.1382.
- OECD(2022), *OECD Economic Surveys: Korea 2022*.
- OECD/APO(2022), *Identifying the Main Drivers of Productivity Growth: A Literature Review*, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/00435b80-en>.
- OECD(2022), *Climate Tipping Points: Insights for Effective Policy Action*, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/abc5a69e-en>.
- Oh, W. and K. Kim(2015), “The Baumol Diseases and the Korean Economy,” *Emerging Markets Finance and Trade*, Vol. 51, pp. S214–S223.
- Oh, Wankeun and Jonghyun Yoo(2020), “Long–Term Increases and Recent Slowdowns of CO2 Emissions in Korea,” *Sustainability*, 12(17), 6924, pp. 1–13.
- Oh, Wankeun(2022), “The Effect of Regulations on Technology Innovation: the case of Korea,” *Asia Pacific Innovation Conference 2022*.
- Pavitt, K., M. Robinson, and J. Townsend(1987), “The Size Distribution of Innovating Firms in UK: 1945–1983,” *Journal of Industrial Economics*, Vol. 35, pp. 297–316.
- Peneder, M. and M. Wörter(2013), “Competition, R&D and Innovation: Testing the Inverted–U in a Simultaneous System,” *WIFO Working Papers*, 448.
- Rajan, R. G. (2012). “Presidential Address: The Corporation in Finance”, *Journal of Finance*, Vol. 67, pp. 1173–1217.
- Rothwell, R. and W. Zegveld(1982), *Innovation and Small and Medium Sized Firm*, Frances Pinter, London.
- Scherer, F. M.(1965a), “Firm Size, Market Structure, Opportunity, and the Output of Patented Inventions,” *American Economic Review*, Vol. 55, pp. 1097–1125.
- Scherer, F. M.(1965b), “Size of Firm, Oligopoly, and Research,” *Canadian Journal of Economics and Political Science*, Vol. 31(2), pp. 256–266.
- Scherer, F. M. and K. Huh(1992), “R&D Reactions to High–Technology Import Competition,” *Review of Economics and Statistics*, Vol. 74, pp. 202–212.
- Scientific American Worldview, *Scientific American Worldview Scorecard*, each year.

- Scott, J. T.(1984), Firm versus Industry Variability in R&D Intensity, in Z. Griliches(eds.), R&D, Patents, and Productivity, University of Chicago Press, Chicago.
- Schumpeter, J.(1934), The Economic Theory of Development, Harvard Univ. Press.
- Soete, L.(1979), “Firm Size and Innovative Activity: The Evidence Reconsidered,” European Economic Review, Vol. 12, pp. 319–304.
- Solow, Robert M.(1956), “A Contribution to the Theory of Economic Growth,”Quarterly Journal of Economics, pp. 65–94.
- Song, ChiUng and Wankeun Oh(2015), “Determinants of Innovation in Energy Intensive Industry and Implications for Energy Policy,” Energy Policy, Vol. 81, pp. 122–130.
- Syrneonidis, G.(1996), “Innovation, Firm Size and Market Structure: Schumpeterian Hypothesis and Some New Themes?” OECD Economics Working Paper 161.
- UN Environment Programme(2022), Emissions Gap Report 2022, 2022.10.27.
https://www.unep.org/resources/emissions-gap-report-2022?gclid=CjwKCAjw2OiaBhBSEiwAh2ZSP13vfpotd8Kx_j7dpfiEBFQZADq3ogoF4QHgfYhA3KPuISrICHrGghoC-JsQAvD_BwE

(통계 및 자료)

과학기술정책연구원 기술혁신조사 : <http://kis.stepi.re.kr/>

KISVALUE 홈페이지 : <http://www.kisvalue.com/web/index.jsp>

산업통상자원부·에너지경제연구원(2023), 에너지밸런스

http://www.kesis.net/sub/sub_0003.jsp?M_MENU_ID=M_M_002&S_MENU_ID=S_M_012

온실가스종합정보센터(2022), 2022 국가 온실가스 인벤토리 보고서.

http://www.gir.go.kr/home/board/read.do;jsessionid=Egp4BvteeJu1061fe1D2UGLUcJ5kIAMPpJuFrlUAKWKtSshMxN1eQ2E5ItDEx7Zi.og_was2_servlet_engine1?pagerOffset=0&maxPageItems=10&maxIndexPages=10&searchKey=&searchValue=&menuId=36&boardId=58&boardMasterId=2&boardCategoryId=

http://www.kesis.net/sub/sub_0003.jsp

World Bank(2023), World Development Indicators,

<https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators>

제 6 장

기후변화와 친환경 기술혁신에 관한 경제학적 고찰

정인석
한국외국어대학교

I. 서론

기후변화는 이미 우리의 환경과 사회에 부정적인 영향을 미치고 있으며, 그 영향은 더욱 악화되고 있다. 기후정책 관련하여 제기되는 질문은 기후정책에 있어서 혁신의 역할은 무엇인가, 정책이 그린혁신을 효과적으로 증진할 수 있는가, 그리고, 글로벌 기후정책이 이러한 혁신을 자극하려면 어떻게 디자인되어야 하는가 하는 것이다. 즉, 혁신을 고려한 최적의 기후정책을 도출해 내야 한다. 기후문제는 다학제간 문제이고 경제학자들이 중심적인 역할을 해야 한다. 탄소 예산이라는 희소한 자원을 관리하여 인류의 발전을 도모하면서 동시에 기후 피해를 최소화하는 목표를 달성하는 것이라는 점에서 경제학의 영역에 속하는 과제인 것이다. 경제학자들은 탄소배출에 대한 최적의 시간 경로를 도출해야 하며, 그러한 경로를 사회에 대한 최소한의 비용으로 달성할 수 있는 정책을 디자인해야 한다. 이를 위해서는 기후 피해의 비용을 분석하고, 배출과 관련되는 인센티브와 행동을 이해해야 한다. 경제성장을 보장하면서도 환경 보호라는 목표를 달성하기 위한 열쇠는 혁신이다. 혁신이 어떤 방향을 일어날 것인지는 인센티브와 정책에 달려있는데, 클린혁신 쪽으로 혁신이 일어날 수 있도록 정책에 치밀하게 디자인되어야 한다.

환경정책은 환경적 외부성으로 인한 비효율, 즉, 시장실패의 문제를 완화 또는 해소하기 위하여 기업이 외부성을 극소화할 인센티브를 높이려는 노력이다. 그리고 환경정책의 효과를 추정하거나 최적 정책을 디자인함에 있어서 기술변화는 반드시 고려되어야 한다. 환경정책은 다양한 경로를 통하여 기술변화에 영향을 주게 되며, 특정 정책의 궁극적인 환경에 대한 영향을 예측함에 있어서, 정책이 기술변화를 야기하고 기술변화가 환경에 영향을 미치는 효과가 고려되어야 한다. 또한, 환경정책이 기술변화에 미치는 영향을 이해하려면 기술 혁신의 주체인 기업의 의사결정 과정에 대한 이해가 필요하다. 더욱이 새로운 환경친화적 기술을 개발할 인센티브를 제공하는 것은 그래서 환경정책의 핵심이 되고 있다.

전통적인 환경적 외부성에 더해 지식에 대한 시장실패의 중요성이 강조되고 있다. 이것은 지식의 공공재적 특성에 관한 것이며, 환경 관련 기술 개발의 문제에도 이러한 시장실패가 고려되어야 한다. 즉, 환경적 외부성과 지식의 시장실패 문제가 같이 고려되어야 한다. 기술변화의 경제학에 의하면 지식의 공공재 특성에 의한 과소투자의 문제, 환경적 부정적 외부성과의 관계, 불확실성의 영향, 동태적 규모의 경제(학습효과 및 네트워크효과), 정보비대칭에 의한 과소투자의 문제 등이 강조되고 있다. 환경외부성과 지식시장실패의 두 요인이 정책이 친환경 기술의 개발을 촉진할 수 있는 두 가지 가능한 경로를 제시한다. 환경과 기술정책이 함께 작동할 때 제일 좋다는 연구결과들을 제시되어 왔다.

탄소세 도입의 혜택은 두 가지이다. 하나는 오염의 외부성을 내부화한다는 것이며, 다른 하나는 가격의 부과가 친환경 기술의 혁신을 촉진한다는 것이다. 첫 번째는 경제학적으로 이미 잘 알려져 있는 반면, 두 번째의 것은 상대적으로 덜 주목을

받아왔다. 탄소세 도입 효과에 관련해서 전통적인 입장은 Hicks(1932)의 유발된 혁신(induced innovation) 이론이다. 한 요소가격이 높아지면 반드시 그것을 덜 사용하는 쪽으로 혁신이 일어난다는 이 이론에 대해서 반드시 그렇지 않다는 주장이 제기되었다. 첫째, 탄소가격제는 생산량 감소를 유발한다. 그러면 화석연료의 사용도 감소하고, 그에 따라 그 연료의 생산에 대한 기여도를 높이는 기술개발의 인센티브가 감소한다. 규모의 효과(scale effect)이다. 둘째, 기후정책은 경제 전반의 생산량을 감소시키며, 그것 때문에 친환경적 기술에 대한 투자 인센티브도 줄어든다. 따라서 기후변화 정책의 효과에 대해서 일반균형적 접근이 필요하다. 이것이 정책에 주는 시사점은 첫째, 탄소가격 정책이 더 강해지면, 화석연료 생산성을 높이는 기술혁신은 감소한다는 것이고, 기후변화 정책이 강해지면 대체에너지의 생산성 증가 기술을 개발 및 채택할 인센티브가 반드시 증가하는 것이 아니라는 것이다. 즉, 환경정책 강화가 경제활동의 위축을 유발하고 그것이 친환경 혁신 인센티브 약화를 초래할 수 있다는 것이다. 중요한 시사점은 환경정책 만으로는 부족하다는 것이며, 친환경 정책의 강화와 더불어 친환경 혁신 보조 정책이 도입되어야 한다는 것을 시사한다.

혁신의 방향이 내생화되고 정책에 의해 영향을 받는다는 이론 연구도 제시되었다. 이러한 분석에 의하면 정책 개입이 없는 경우 혁신의 방향에 있어서 경로의존성이 있다. 또한, 혁신의 방향을 바꾸고 배출을 줄이는 것이 가능하다. 친환경 연구 개발에 대한 직접적인 보조금은 연구자를 클린혁신 쪽으로 유도할 것이고, 일시적인 개입이 혁신의 경로에 영구적인 결과를 가져올 수 있다. 기술진보가 외생적인 경우에 비해서 정책은 시기적으로 더 앞쪽에 맞추어져야(front-loaded) 하며, 최적 정책은 탄소세에 국한되지 않으며, 클린연구에 대한 보조금을 포함한다. 정책 개입이 없으면 혁신은 화석연료기술 쪽으로 방향 지워질 가능성이 크기 때문에 정책은 더티기술에서 클린기술로 혁신을 방향지워야 한다. 이것은 클린연구 보조와 탄소세의 결합으로 달성될 수 있으며, 이상적으로는 정책이 신속한 전환을 도모할 수 있도록 프론트로드해야 한다.

환경 혁신과 마켓파워(market power)는 어떤 관계도 중요하게 연구되어야 하는 영역이다. 최종재 시장의 경쟁이 친환경 혁신 인센티브에 어떻게 영향을 주는가, 경쟁과 혁신의 일반적 관계와 어떻게 다른가, 그것을 다르게 만드는 요인은 무엇인가, 친환경 혁신의 특수성은 무엇인가 등의 과제이다. 과점상황에서의 그린 R&D의 분석의 결과는 대체로 환경규제와 같은 정책적 개입이 그린 R&D의 원천이 되지만, 궁극적으로 기업의 이윤성과에 해가 된다는 것이다. 그러나 이것은 혁신이 소비자 선호의 변화에 의해 유도되는 수요의 변화의 결과라는 점, 즉, 그린 소비자주의의 결과라는 점을 무시한다. 또한, 환경규제와 혁신의 관계에 대해서 포터가설을 무시한 것이다. 규제가 가격경쟁을 하는 경쟁자들로 하여금 환경 기술에 대해 효율적으로 투자하도록 유도하는가의 문제에 있어서, 혁신 후 기업의 이득은 경쟁자의 비용 높이기(raising rivals' costs)에 기인하며 그것이 혁신의 인센티브를 제공하기도 한

다.

Porter(1991)는 환경규제가 산업에 미치는 영향에 관하여 기존의 전통적인 인식에 반대하여, 잘 디자인된 규제는 사실상 기업의 경쟁력을 높인다고 주장하였다. 환경규제에 관한 전통적인 인식은, 오염과 같은 외부성을 줄이도록 기업에 요구하는 것은 기업의 옵션을 줄이며 이윤을 감소시킨다는 것이다. 포터가설은 이윤극대가설에 모순된다는 점에서 비판을 받았다. 즉, 이 가설은 기업이 수익성의 기회를 무시한다는 사고에 기반한다. 수익성이 있는 사업 기회를 놓치는 경우가 있다고 한다면, 그 다음 단계의 질문은 어떻게 환경규제가 그러한 상황을 변화시키느냐는 것이다. 왜 규제자가 매니저보다 사업기회를 찾아내는데 더 탁월한 입장에 있는가? Porter의 주장은, 환경규제가 기업으로 하여금 비효율적인 자원의 이용을 알아내는데 도움을 준다는 것이다. 그 기업들은 새로운 정보를 창출 및 확산하여 조직 이너시아(inertia)를 극복하는데 도움을 준다. 환경규제가 새로운 투자 기회를 열어줄 수 있고, 기업들이 혁신하고, 규제 순응 비용을 부분적으로 또는 완전 이상으로 상쇄할 수 있는 장기적 이익을 창출하도록 촉진할 수 있다. 가설은 모든 규제가 혁신으로 이어진다는 것이 아니고 잘 디자인된 규제가 그러하다는 것이다. 약한 버전은 '적절히 디자인된 환경규제는 혁신을 촉발할 수 있다'는 것이고, 강한 버전은 '혁신이 종종 추가적인 규제가 유발하는 비용을 상쇄하고도 남는다'는 것이다.

포터의 가설에 관하여 여러 이론적 접근이 가능하다. 첫째는 이 가설은 이윤극대화 가설을 부정하는 것이지만, 조직 또는 행동경제적 측면을 반영하며, 이윤극대화와는 다른 동기와 목적을 추구하거나, 위험기피적인 면, 비용변화에 대한 거부, 제한적 합리성 등을 고려하는 것이다. 다른 한 접근은 조직 실패(organization failure)에서 찾는다. 기업 내 정보비대칭과 거버넌스 구조의 문제에 관한 것이다. 포터의 가설이 가지는 이윤극대화와 모순의 해소를 위해서 시장실패를 전제로 할 수 있다. 차별화된 과점에서 환경적 상품 품질의 최저기준을 설정하는 것이 조정의 문제(coordination problem)를 해소함으로써 모든 기업에게 혜택을 줄 수 있다.

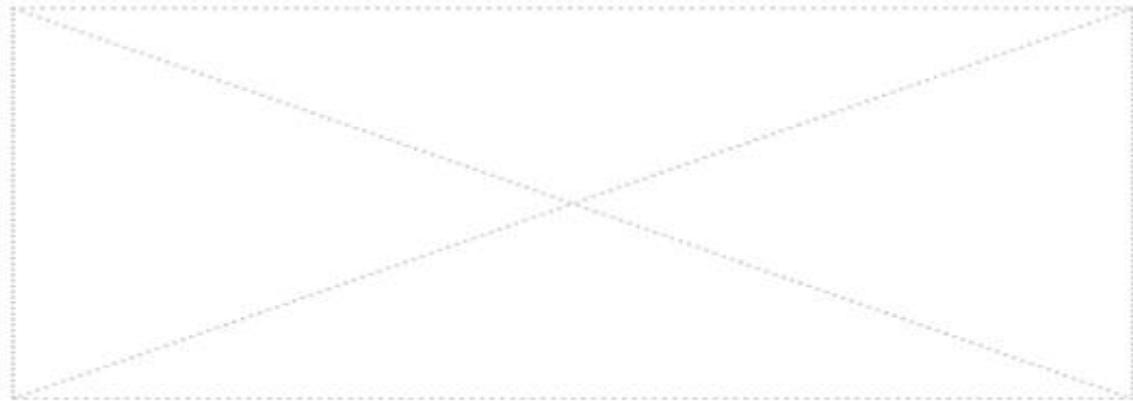
II. 기후문제와 경제학

전지구적 현상으로서 기후변화는 이미 우리의 환경과 사회에 부정적인 영향을 미치고 있으며, 그 영향은 더욱 악화되고 있다. 향후 얼마나 더 악화될 것인지는 온실가스 배출을 억제하는 인간의 능력과 의지에 달려있다. 일상적인 생활 수준을 유지 또는 향상시키면서 동시에 오염 배출을 줄이는 것은 혁신을 통해서만 가능하다. 혁신은 과학자와 기업에 의해서 수행되는 것이면서, 시장과 정책 인센티브에 반응한다. 그리고 혁신을 클린기술 쪽으로 유도하는 것은 정부에 달려있다. 기후정책 관련하여 중요한 질문은 기후정책에 있어서 혁신의 역할은 무엇인가, 정책이 그린혁신을 효과적으로 증진할 수 있는가, 그리고, 글로벌 기후정책이 이러한 혁신을 자극하려면 어떻게 디자인되어야 하느냐는 것이다. 즉, 혁신을 고려한 최적의 기후정책을

도출해 내야 한다.

IPCC AR6 리포트에 의하면, 2010년대의 평균 글로벌 온도는 1850~1900년 기간보다 1.09도 더 높았으며, 기후변화는 이미 진행중에 있다. 아래의 그림은 지난 2000년 기간에는 최근과 같은 기온의 상승과 그 속도는 없었다(Hemous 2021).

[그림 32] 1850-1900 기간 대비 상대적인 글로벌 지표 온도의 변화



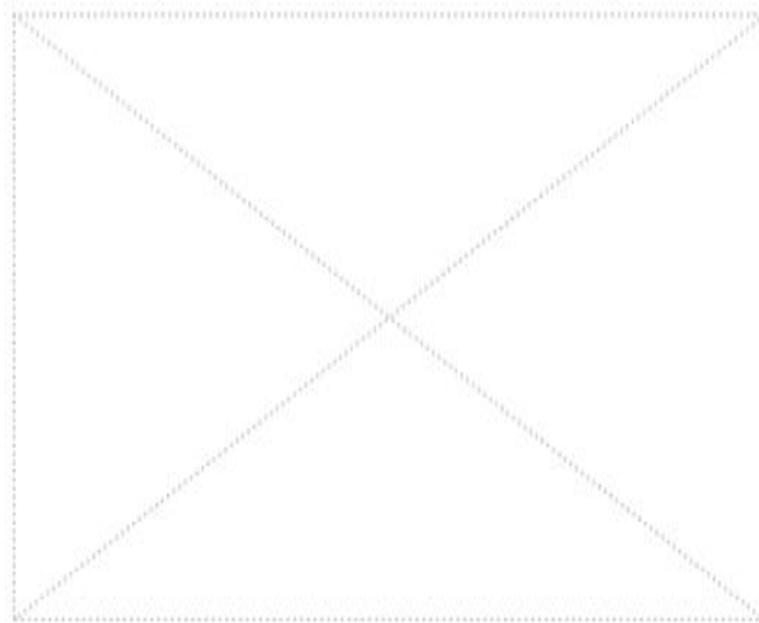
Hemous (2021) 재인용, IPCC report. 1-2000 기간은 재구성된 것이고, 1850-2020은 관측된 수치

지구 온난화는 인간의 활동에 기인한 온실가스(이산화탄소, 메탄가스, 아산화질소 등)의 축적의 결과이며, 전적으로 화석연료의 사용에 기인한다. 기후변화는 홍수, 열돔(heat dome), 홍수, 자연화재(wild fire) 등의 재해를 야기한다. 평균적으로 전 세계 기온이 상승하면서 그 변동성이 커졌고, 폭염, 강수량의 증가 및 강수 변동성 증가로 인하여 가뭄과 홍수가 더욱 빈번해지고 있다.

이산화탄소 배출은 해양의 산화에도 기여한다. 기후변화는 직접적으로 생태계, 생산, 건강과 더불어, 궁극적으로 인간의 복지에 부정적인 영향을 준다. 향후 그 강도는 더욱 커질 것인데 그 정도는 앞으로의 온실가스 배출에 달려있다. 1850년 이후 추적한 이산화탄소 배출은 2,390Gt으로 추정된다. 지구온난화를 1.5도로 제한하려면 추가로 500Gt만 더 방출할 수 있는데, 2019년에만 36.4Gt을 방출했다고 한다. 따라서 그 목표를 달성하는 것은 불가능하다. 2도로 목표를 상향하면 1,350Gt을 더 방출할 수 있는데, 그것이 2019년 방출량의 37배로 역시 쉽지 않은 목표이다 (Hemous, 2021).

다소 고무적인 것은, 지구 이산화탄소 배출량은 1950년에서 2012년 사이에 급속하게 증가하였으나 이후 다소 둔화되고 있다는 사실이다. 2019년까지 증가하다가 2020년에 코로나팬더믹 덕에 7% 감소하였다. 유럽, 미국 등의 선진국에서 배출이 감소하고 있으며, 중국의 경우에도 최근에는 배출 증가가 둔화되고 있다.

[그림 33] 글로벌 온실가스 배출과 온난화 시나리오



Hemous (2021) Fig. 4 인용

미래에 벌어질 일에 대한 다양한 예측이 있는데, Hemous(2021)가 정리한 바에 의하면, 기후정책이 없다면 기온이 4도 증가하고 끔찍한 결과가 발생할 것이라 한다. 현재의 정책은 이미 온난화를 2.7~3.1도로 제한하고 있다. 현재 각국이 제시한 약속이 지켜진다면 2.4도로 낮출 수 있다. 하지만 여전히 1.5도로 제한해야 한다는 IPCC의 제안을 달성하기에 불충분하며, 그러려면 배출이 더 빠르게 감소해야 한다. 재앙적 기후 재난을 피할 것 같기는 하지만, 심각한 기후변화와 그로 인한 피해를 막는데 현재의 정책은 충분하지 않다는 것이다.

많은 사람들이 기후변화는 자연과학자 또는 온실가스 배출을 줄이는 해법을 찾는 공학자의 문제라고 인식하고 있지만, 현실적으로 기후문제는 다학제간 문제이고 경제학자들이 중심적인 역할을 해야 한다. 탄소 예산이라는 희소한 자원을 관리하여 인류의 발전을 도모하면서 동시에 기후 피해를 최소화하는 목표를 달성하는 것이라는 점에서 경제학의 영역에 속하는 과제인 것이다. 기후변화는 현재와 미래 간의 상충관계(trade-off)에 관한 것이다. 현재의 생산과 복지 증진을 위하여 화석연료를 사용하는 것은 미래 생산과 일반 복지에 부정적 영향을 준다는 것이다. 이러한 상충관계는 선진국에서도 존재하지만, 아마도 개발도상국에서 더욱 두드러진다. 개발도상국에서는 현 시점에 화석연료를 이용한 산업화가 기아로부터 수백만을 구할 수 있기 때문에 더욱 필요한 반면, 그 국가의 국민들은 선진국 국민보다 기후 피해로부터 더 큰 고통을 받을 것이다.

이러한 맥락에서 경제학자의 임무를 상정해 볼 수 있다. 우선, 탄소배출에 대한 최적의 시간 경로를 도출해야 하며, 그러한 경로를 사회에 대한 최소한의 비용으로

달성할 수 있는 정책을 디자인해야 한다. 경제학자들은 오랫동안 균일한(uniform) 탄소가격제의 도입을 주장해 왔다. 그것이 소비자와 기업이 기후변화의 비용을 내부화하게 만들기 때문이다. 다음으로, 경제학자는 생산(가령, 농업생산의 감소량), 건강(폭염이 사망률이 미치는 영향), 사회안전성(기후변화가 전쟁을 일으킬 수 있는가?), 자연 생태계에 대한 영향(바이오다양성의 손실) 등에 대한 기후 피해의 비용을 분석해야 한다. 더 나아가, 배출과 관련되는 인센티브와 행동을 이해해야 한다. 온실가스 배출의 감소는 인간 행동에 의존하며, 소비자, 기업, 정부에 대해 올바른 인센티브를 필요로 하며, 인센티브와 행동 간의 연계성을 이해하는 것이 경제학자 임무의 핵심이다.

경제성장을 보장하면서도 환경 보호라는 목표를 달성하기 위한 열쇠는 혁신이다. 하지만 화석연료에 대한 인간의 의존도를 줄이는 단 하나의 혁신은 없다. 에너지 절약, 클린 기술에 대한 다양한 혁신이 필요할 수 있다. 또한, 혁신이 반드시 반드시 클린한 것이 아니다. 혁신이 어떤 방향을 일어날 것인지는 인센티브와 정책에 달려있는데, 클린혁신 쪽으로 혁신이 일어날 수 있도록 정책에 치밀하게 디자인되어야 한다.

III. 환경정책과 혁신정책

1. 환경경제학과 기술변화

전통적인 환경경제학의 핵심은, 경제활동이 환경에 피해를 주며 그 피해로 인한 피해는 경제활동의 주체가 아닌 다른 주체가 부담하게 된다는 점에서 그 피해는 외부성을 야기한다는 데에 있다. 가령, 공기, 물, 토양을 오염하는 공장은 사회에 피해를 가하게 된다. 그 공장을 소유한 기업은 생산을 위해 고용하는 노동자나 철강과 같은 중간재를 적절한 수준으로 사용할 경제적 인센티브를 가진다. 그러한 투입요소들이 그 기업에게 비용요인이 되기 때문이다. 즉, 노동과 철강이 그 공장에서 사용되는 사회에 대한 비용은 그 기업의 부담이 되는 것이고, 그런 점에서 그 비용이 내부화된다고 한다. 그러나 환경에 대한 피해라는 사회적 비용은 그 기업이 부담하는 것이 아니라 다른 주체들이 부담하는 것이므로 외부성이 발생하는 것이며, 그로 인하여 기업은 오염의 비용을 극소화할 경제적 인센티브를 가지지 않는다. 기업이 생산을 많이 할수록 환경에 대한 비용이 증가할 것이므로, 자신의 이윤을 추구하는 기업은 사회적 관점에서 볼 때 너무 과도하게 많은 양을 생산하고 그 결과 과도하게 많은 양의 오염을 발생시킨다.

환경정책은 이러한 외부성으로 인한 비효율, 즉, 시장실패의 문제를 완화 또는 해소하기 위하여 기업이 외부성을 극소화할 인센티브를 높이려는 시도라 해석할 수 있다. 일반적으로 두 가지 방법을 통하여 그 목적을 추구한다. 하나는 재무적으로 환경비용을 내부화하여 오염 주체들이 올바른 의사결정을 하도록 유도하는 것이며,

다른 하나는 환경 오염의 수준에 대해 직접적으로 제한을 두는 것이다.

오염을 유발하는 생산활동을 교정하려는 환경정책은 다양한 비용을 유발할 것이다. 우선, 생산을 감소시킨다. 가령, 발전소에서 집진기의 설치는 주어진 연료의 양으로부터의 전력 생산의 양을 줄인다. 환경오염의 문제를 야기하는 문제의 투입요소 이외에 다른 가변투입요소의 사용을 증가시킨다. 가령, 굴뚝에서 특정 가스를 제거하려면 더 많은 연료를 태우게 해야 하고 오염 통제 설비 유지를 위해 추가적인 노동을 필요로 할 수도 있다. 자동차 촉매변환기와 같이 특화된 오염통제 설비를 구입하거나, 또는 오염을 유발하는 상품이나 방법을 회피하기 위하여 열등하거나 또는 더 비싼 생산물 또는 생산 방법으로 대체해야 한다. 가령, DDT 금지할 때 덜 효과적인 제초제를 이용하는 것이다. (Popp 2009)

기술 요인을 고려하지 않는다면 환경정책은 오염의 감소를 위하여 생산을 줄이거나 특정 투입요소의 이용을 줄이도록 유도하는 것이 된다. 하지만 환경정책의 효과를 추정하거나 최적 정책을 디자인함에 있어서 기술 변화는 반드시 고려되어야 한다. 환경문제에 대한 대응은 장기간을 상정한다. 그래서 기술변화가 중요하게 고려되어야 하고 또 그 영향이 크다. 장기간을 고려하니까 그 기간 기술 변화는 상당할 것이므로 기술변화를 무시하면 안된다. 또한, 기술이 얼마나 어떻게 변할지는 불확실하다. 그것에 대한 예측은 환경문제 예측에 상당히 큰 영향을 주며, 약간의 예측 차이가 큰 결과의 차이를 가져올 수 있다.

현재의 기술이 계속 고정되어 있을 것으로 가정한다면 예측이 잘못될 가능성이 크며, 그 예측에 기반하여 만들어진 정책도 잘못된 것이 된다. 환경에 대한 예측을 기본으로 하고 정책 대안이 미래환경에 어떻게 영향을 주는가를 추정하게 되는데, 현재의 기술이 유지되거나, 또는 특정 속도로 발전하는 것을 가정하는 경우에는 기술변화를 외생적으로 간주하는 것이다. 하지만 기술변화는 일정 부분 내생적이고 이것이 정책 고안에 반영되어야 한다. 즉, 환경정책은 다양한 경로를 통하여 기술변화에 영향을 주게 되며, 따라서 특정 정책의 궁극적인 환경에 대한 영향을 예측함에 있어서, 즉, 정책의 효과를 추정함에 있어서 정책이 기술변화를 야기하고 기술변화가 환경에 영향을 미치는 효과가 감안되어야 하는 것이다. 즉, 기술변화의 내생화가 필요하다.

환경정책이 기술변화에 미치는 영향을 이해하려면 기술 혁신의 주체인 기업의 의사결정 과정에 대한 이해가 필요하다. 즉, 기업이 환경기술에 투자하고 그것을 채택할 인센티브가 어떤 요인에 의하여 영향을 받으며 어떤 과정을 통하여 결정되는지를 설명할 수 있어야 한다. 그러한 영향을 미치는 요인들은 매우 다양할 것인데, 시장과 산업의 특성, 시장구조, 경쟁 양상 등의 요인들과 환경정책의 대안(가령, 탄소세, 투자 보조금 지원 등) 등이 될 것이다. 한편, 많은 경우 환경문제는 현재의 기술을 이용해서는 해결이 안되거나 상당한 비용이 들어야 해결될 수 있다. 새로운 환경친화적 기술을 개발할 인센티브를 제공하는 것은 그래서 환경정책의 핵심이기도 하다.

전반적인 기술변화의 환경적 영향은 경제성장의 장기 지속가능성을 추정하는데 중요하다. 경제성장이 계속 환경에 부정적인 영향을 주면 그것 때문에 성장이 지속되기 어렵다. 기술변화가 환경에 긍정적인 영향을 더 많이 준다면 지속가능 성장이 달성될 수 있다. 환경적 제약을 약화 또는 해소하기 위해서 성장을 둔화시켜야 할 수 있지만 기술변화가 이것을 필요 없게 만들 수 있다. 경제활동이 환경에 얼마나 영향을 줄 것인가는 기술변화의 속도와 방향에 의해서 영향을 받는다. 시간이 흐름에 따라 새로운 기술이 등장하는데, 새로운 기술은 오염을 창출 또는 촉진할 수도 있고 기존 오염활동을 대체할 수도 있다. 많은 환경문제와 정책 대응은 수십년, 수백년에 걸쳐서 평가되므로 기술변화의 축적된 영향은 매우 크다. 미래 기술변화의 속도와 방향에 대한 불확실성이 종종 환경문제의 심각성 예측에서 중요한 민감요인이다.

여기서 말하는 기술은 환경기술이라 할 수 있는데 크게 두 가지 유형을 나눌 수 있다. 하나는 오염저감 기술이고 다른 하나는 생산공정을 개선하는 기술이다. 오염을 줄이는 기술은 산업 굴뚝에 적용하는 집진기(scrubbers), 자동차 촉매변환기(catalytic converters) 등을 말하며, 생산 방식의 변화 없이 오염의 배출을 줄이는 장치에 관한 것이다. 생산 공정의 개선의 사례는 환경에 대한 부정적 영향을 줄이기 위해 에너지 효율을 증진하는 기술이다.

효율적인 환경정책을 위해서는 오염 저감의 한계비용을 정화된 환경의 한계 편익과 비교해야 한다. 다른 것이 모두 동일하다면 매우 해로운 오염물질의 방출은 억제되어야 한다. 왜냐하면 그렇지 않으면 오염물질은 큰 한계비용을 사회에 만들어 내기 때문이다. 그러나 다른 모든 것이 같다면 제거하기에 매우 큰 비용이 드는 오염물질의 방출은 인내해야 한다. 그것을 줄이는 한계비용이 높기 때문이다.

한편, 기술이 고려될 때에는 오염 통제의 한계비용과 한계 사회편익의 상충관계가 변하게 된다. 새로운 오염통제설비, 청결한 생산방법, 환경적으로 해로운 상품에 대한 새로운 대체물 등의 기술혁신은 한 단위의 오염 저감을 달성하는 한계비용을 낮춘다. 이러한 혁신은 또한 그 한계비용의 모양과 기울기를 변화시키는데, 대개의 경우 기술변화는 특정한 환경개선의 수준을 더 낮은 총비용으로 달성할 수 있게 해준다. 새로운 혁신은 더 낮은 총 오염수준을 달성하는 것을 가능하게 한다. 즉, 기술이 변하면 한계비용과 한계편익이 변하고, 더 나은 기술은 통상 저감의 한계비용을 낮춘다. 기술혁신에 의해서 더 낮은 비용으로 낮은 오염수준을 달성할 수 있고, 혁신으로 한계비용이 낮아지면 최적 저감 수준이 높아진다.

2. 기술변화의 경제학

기술변화에 대한 환경경제학적 연구가 증가하면서 전통적인 환경적 외부성에 대해서 지식에 대한 시장실패의 중요성이 강조되고 있다. 특히, 환경친화적 R&D에 대한 정부의 지원을 지지하는 입장은 그러한 시장실패를 극복할 필요성에 의해서

촉발된다. 지식의 외부성 문제는 환경 관련해서만 있는 것이 아니다. 지식의 공공재적 특성에 관한 것이며, 이점은 환경기술도 마찬가지이다. 즉, 환경 관련 기술 개발의 문제에 있어서도 이러한 시장실패가 같이 고려되어야 한다. 환경적 외부성과 지식의 시장실패 문제가 같이 고려되어야 하는데, 둘 간의 관계가 어떻게 되는가? 환경외부성에 대한 정책대응은 그것을 내부화하도록 하는 것이고, 남에게 주는 비용을 자신이 부담하도록 하는 것이다. 달리 보자면, 오염 저감이 남에게 긍정적 효과를 주는 것을 자신의 이득으로 여기게 만드는 것이다. 지식의 시장실패 문제는 마찬가지로 지식의 이득이 남에게 발생한다는 것이다. 그것은 내재화하지 못하는 것이 출발점이며 내재화하도록 보조금 주는 것이 하나의 적절한 정책처방이 된다.

혁신 과정을 통한 지식의 창출은 오염에 의한 부정적 외부성과 대조된다. 지식의 공공재 성격 때문에 새로운 기술에 투자하거나 실행하는 기업은 모든 비용을 부담하면서 타인에게 편익을 창출한다. 그 기업은 기술에 투자함으로써 그러한 편익을 증가시킬 인센티브가 없다. 반면에, 오염은 부정적 외부성을 창출하며, 시장기구는 과도한 수준을 만들어낸다. 반면에, 기술은 긍정적 외부성을 창출하여, 사회적으로 너무 과소한 수준을 만들어낸다. 환경적 외부성을 교정하는 정책이 도입되더라도 환경적 R&D의 수준이 최적 이하일 수 있다. 그러한 정책이 R&D에 의해 창출되는 긍정적 외부성을 무시하기 때문에 기업은 연구활동에 과소투자할 것이다.

환경외부성을 교정하는 정책이 도입되는 경우, 그렇지 않은 경우에 비해서 R&D 실패의 정도는 줄어들 수 있다. 자신의 오염으로 인한 부정적 외부성을 내부화할 것이고, 따라서 자신의 R&D도 자신의 활동이 유발하는 외부성을 반영할 것이다. 하지만 타인의 생산과 관련하여 그 R&D가 주는 영향은 고려되지 않는다. 그렇다면, 환경정책의 도입이 지식의 실패를 더 가중시킬 수 있는 가능성을 완전히 배제하기 어렵다. 가령 지식의 실패 교정을 위한 연구개발 지원정책이 연구개발을 촉진하는 정도가 약해질 수도 있다.

불확실성도 혁신의 중요한 이슈이다. 모든 투자는 불확실성을 갖기 때문에 혁신 투자에 대한 보수와 관련된 불확실성은 종종 크며 기대수익 분포의 분산이 다른 투자의 경우보다 더 크다. 환경정책에서 불확실성은 더욱 문제가 된다. 제안된 규제에 순응하기 위해 필요한 기술이 정책이 일단 도입된 후에 불확실한 방식으로 진화할 것이고, 그래서 규제자가 진정한 순응비용을 알기 어려워지기 때문이다.

최근에 경제학자들은 새로운 기술의 채택과 확산에서 나타나는 추가적인 시장실패를 제기한다. 여러 이유에서 새로운 기술이 한 이용자에게 주는 비용이나 가치가 얼마나 많은 다른 이용자들이 그 기술을 채택하고 있느냐에 의존할 수 있다. 일반적으로 이용자는 더 많은 다른 사람들이 같은 기술을 이용할수록 더 좋아진다. 기술채택의 규모와 연계된 편익은 종종 '동태적 규모의 경제'라 불리며, 이용에 의한 학습, 실행에 의한 학습, 또는 네트워크 외부성에 기인한다. 그래서, 기술 자체의 창출과 마찬가지로 한 기술의 성과에 대한 정보가 중요한 공공재 요소를 가진다.

새로운 기술의 채택은 주인-대리인 문제(principal-agent problem)에 의해서 저

지될 수 있다. 건축주나 지주가 건물의 에너지 효율성에 대한 투자수준을 선택하지만, 이후 건물의 구매자 또는 임차인이 에너지 비용을 지불한다. 구매자가 그러한 투자로 인한 에너지 절감의 정도에 대한 불완전 정보를 가진다면 건축주는 그러한 투자의 비용을 회수할 수 없고 따라서 투자를 수행하지 않을 것이다. 이러한 새로운 기술채택에 관한 시장실패는, 비용-효율적으로 보이지만 널리 이용되지 않는 에너지 절감 기술에 대한 과소투자의 패러독스를 설명한다. 이 점에서 새로운 기술에 대한 홍보가 도움이 될 것이다. 그러면 구매자가 건물에 새로운 기술이 채택되었는지를 알아볼 것이고, 건축주가 그 기술을 설명하면 그에 대한 대가를 지불할 것이다.

정리하면, 기술변화의 경제학에 의하면 지식의 공공재 특성에 의한 과소투자의 문제, 환경적 부정적 외부성과의 관계, 불확실성의 영향, 동태적 규모의 경제(학습 효과 및 네트워크효과), 정보비대칭에 의한 과소투자의 문제 등이 지적된다.

3. 환경정책과 기술정책에 대한 시사점

환경외부성과 지식시장실패의 두 요인이 환경적 혁신에 대한 인센티브를 제공할 때 정책입안자가 다루어야 할 두가지 허들을 제공하며, 정책이 친환경 기술의 개발을 촉진할 수 있는 두 가지 가능한 경로를 제시한다. 즉, 환경적 외부성의 교정과 지식 시장실패의 교정이다. 지식시장실패가 일반적으로 여러 기술에 걸쳐서 적용되기 때문에, 지식시장실패를 다루는 정책은 더 일반적이고 경제전체의 문제를 다루는 것이다. 특허보호, R&D 세제혜택, 기초연구에 대한 펀딩 등과 마찬가지로이다. 그런 정책은 전체적으로 혁신의 속도, 또는 얼마나 혁신 활동이 일어나는지에 초점을 둔다.

반면에 환경에 특화된 정책은 혁신의 방향에 집중한다. 이것이 탄소세나 배출권 거래제(cap-and-trade system)와 같이 외부성을 규제하는 정책을 포함하면서도 환경에 초점을 두는 더 일반적 R&D 정책 메커니즘을 사용하는 환경 및 에너지 정책을 포함한다. 에너지에 특화된 기술정책은 특정 에너지 채택을 위한 타겟 정부 지원과 특화된 기초와 응용연구를 위한 펀딩을 포함한다.

이러한 다양한 정책 옵션의 효과성을 평가하는 연구는 환경과 기술정책이 함께 작동할 때 제일 좋다는 연구결과들을 제시하였다. 기술정책이 새로운 친환경 기술의 창출을 촉진하는 반면, 그러한 기술을 채택할 인센티브에는 별로 영향을 주지 못한다. Fischer(2008)는 이론적 분석을 통해, 오염통제 R&D에 대한 정부의 지원은 그 기술의 채택을 촉진하는 어느 정도의 환경정책이 도입되어 있을 때에만 효과적임을 밝혔다. Schneider and Goulder(1997)는 일반균형모델(general equilibrium model)을 이용하여 기후변화 감축을 위한 에너지 연구개발의 잠재적 효과를 연구하였는데, 주된 결과는 지식누수효과를 다루는 정책은 대체에너지에 관한 연구개발에만 배타적으로 집중하는 대신 모든 지식 누수효과를 다룰 때 더 효과적이라는 것

이다. 기술보조금만 있다면 환경적 외부성을 직접적으로 다루는 정책보다 더 작은 환경적 영향을 준다. 즉, 기술정책만 쓰는 것은 적절하지 못하며, 환경정책이 병행되어야 한다. 환경정책이 없어서 환경적 외부성을 내재화하지 않으면 환경 기술 개발에 힘을 쓸 필요를 못 느낀다는 것이며, 이런 점에서 두 정책은 보완적이며, 연계되어야 한다. Popp(2006)는 최적으로 고안된 탄소세(탄소 절감의 한계편익과 그러한 감축의 한계비용이 일치시키도록 설정된다.)와 최적으로 고안된 R&D를 비교하였는데, 두 정책을 결합할 때 후생이 더 가장 큼을 밝혔다. 탄소세만 도입하는 경우 둘을 결합하는 정책의 후생 이득의 95%를 달성한 반면, 최적 R&D보조 정책만 도입하면 11%에 불과하였다.

4. 혁신에 대한 환경정책의 영향

기후정책이 환경친화적 혁신을 유도하는가? 다양한 기후정책 수단이 있으며, 각각이 혁신에 여러 채널을 통해서 영향을 준다. 중요한 것은 기업 등의 경제주체의 인센티브를 봐야 한다는 것이다. 즉, 환경규제나 정책에 대응하여 기업이 어떻게 반응하느냐는 것이다. 환경정책은 궁극적으로 혁신을 이끌어 낼 수 있어야 한다. 조세나 배출제한 등은 정태적인 효과를 낳는다. 배분적 효율성에는 효과가 있겠지만, 환경개선과 오염 감축에는 한계가 있다. 결국 혁신을 자극해야 한다. 한편, 혁신정책 수단과 환경정책 수단이 조화를 이루어야 한다. 어떤 경우에는 서로 상쇄될 수도 있고, 의도치 않은 효과가 생길 수도 있다는 점을 명심할 필요가 있다.

경제학에서, 탄소세 도입의 혜택은 두 가지이다. 하나는 오염의 외부성을 내부화한다는 것이며, 다른 하나는 가격의 부과가 친환경 기술의 혁신을 촉진한다는 것이다. 첫 번째는 피구세의 도입의 예로서 잘 알려져 있는 반면, 두 번째의 것은 상대적으로 덜 주목을 받아왔다. 질문은 탄소 가격(carbon pricing)이 탄소를 줄이는 새로운 기술에 대한 투자 인센티브를 주느냐는 것이다. 직관적으로 탄소세 도입 이후 탄소를 줄이면 그만큼 탄소세 지출을 줄일 수 있기 때문이라 할 수 있다. 하지만 이러한 논리는 완벽하지 않다. Gans(2012)는 그러한 주장이 맞지 않을 수 있음을 피력하였다. 그가 제기하는 질문은 탄소세 도입과 같은 환경정책의 강화가 혁신을 유발하느냐는 것, 그리고 만일 그것이 맞다면 탄소가격제의 도입만으로 충분하느냐는 것이다. 만일 그렇지 않다면 탄소가격의 도입과 더불어 추가적인 조치가 필요할 수 있다.

탄소세 도입 효과에 관련해서 전통적인 입장은 Hicks(1932)의 유발된 혁신(induced innovation) 이론이다. 그의 논점은 생산요소의 상대적 가격의 변화가 발명의 원천이 될 수 있다는 것이다. 상대적으로 어떤 요소가 비싸진다면 그 요소의 사용을 줄이는 쪽으로 혁신이 일어날 것이다. 가령, 탄소를 많이 방출하는 요소가 탄소가격의 도입으로 더 비싼 요소가 된다면 그것의 사용을 줄이는 쪽으로 혁신을 하게 될 것이다. 미시경제학의 기업이론에 의하면 요소가격의 상승은 그 요소에 대

한 수요의 감소를 유발한다. 이것은 공급의 법칙(law of supply)에 따른 것이다. 문제는 혁신 인센티브이다. 한 요소가격이 높아지면 반드시 그것을 덜 사용하는 쪽으로 혁신을 할 것인가? 이 질문에 대해서 Gans는 반드시 그렇지 않음을 주장하는 것이다.

탄소가격의 도입과 화석연료의 사용의 경우에 적용해보자. 탄소가격 도입이 화석연료의 이용을 줄이고 그것을 대체하는 에너지로 전환할 것인데, 동시에 화석연료를 절약하는 기술의 개발과 도입이 촉진될 것이다. 즉, 화석연료의 상대가격이 높아지면 화석연료 단위당 더 많은 생산을 할 수 있는 기술을 개발하게 될 인센티브가 있다는 말이 된다. 이유는 그런 기술을 개발하고 채택하는 데서 얻는 이득이 커지기 때문이다. 하지만 이에 대해서는 두 가지 문제가 있다. 첫째, 탄소가격제는 생산량 감소를 유발한다. 그러면 화석연료의 사용도 감소하고, 그에 따라 그 연료의 생산에 대한 기여도를 높이는 기술개발의 인센티브가 감소한다. 규모의 효과(scale effect)이다. 둘째, 기후정책은 경제 전반의 생산량을 감소시키며, 그것 때문에 친환경적 기술에 대한 투자 인센티브도 줄어든다. 따라서 기후변화 정책의 효과에 대해서 일반균형적 접근이 필요하다.

Gans는 세가지 방식의 친환경 기술을 구분하였다. 첫째는 화석연료 증진기술(fossil fuel augmenting technology)로서 연료 단위당 생산을 늘리는 기술이다. 생산성을 높여서 연료를 덜 쓰게되는 효과를 낸다. 둘째는 대체에너지 증진 기술(alternative energy augmenting technology)로서, 태양력, 풍력과 같이 역시 화석연료 당 생산량을 증가시키는 것이라 말할 수도 있지만 기존과는 다른 투입요소를 이용하는 기술이다. 셋째, 탄소 오염 상쇄기술(technology that offset carbon pollution)로서, 탄소오염을 직접적으로 감소시키는 기술이다. 오염 지점에서의 탄소포집, 공기중 탄소 격리가 이에 속한다. 이 기술의 경우 다른 경우와는 달리 탄소가격이 없으면 혁신 인센티브가 없다.

Gans의 주장은 다음과 같다. 첫째, 탄소가격 정책이 더 강해지면, 화석연료 생산성을 높이는 기술혁신은 감소한다. 화석연료의 상대가격 상승으로 화석연료 이용이 줄며, 화석연료 이용이 줄어든다면 그것의 생산성을 높이는 기술에 투자할 인센티브는 감소한다. 둘째, 기후변화 정책이 강해지면 대체에너지의 생산성 증가 기술을 개발 및 채택할 인센티브가 반드시 증가하는 것이 아니다. 대체에너지로의 대체가 증가하면 대체에너지의 생산성을 높이는 기술에 대한 인센티브가 증가한다. 하지만 그 대체효과가 연료 희소성의 증가로 인한 경제 전반의 생산 감소에 비해서 약하다면, 그러한 혁신은 저해될 수 있다. 기후정책이 강화되면, 대체에너지 효율성 증진 기술에 투자할 것인가? 화석연료의 이용이 줄고 대체에너지가 증가하니깐 더 많이 쓰는 요소의 생산성 증가 인센티브가 생긴다. 하지만 기후정책으로 화석연료가 더 희소해지고 경제 전반의 생산이 감소하면 대체에너지 생산성 증대 목적의 기술혁신에서 얻어지는 이득이 감소한다. 대체에너지 기술을 개발해도 그것으로 얻는 이윤이 얼마가 되느냐가 문제인데, 화석연료가 희소해지면 생산을 증가시켜도 그것에서

얻는 이윤이 작아진다. 중요한 요소가 줄어들어서 생산물에 대한 수요가 감소하고, 전반적인 경제의 생산 감소는 수요의 감소를 유발한다. 셋째, 기후정책이 탄소 오염을 상쇄하는 혁신을 보상한다면, 그러한 기술에 대한 수요가 증가하고, 따라서 그 기술의 개발 및 채택 인센티브는 증가할 것이다.

이러한 주장의 정책에 대한 시사점은 다음과 같다. 첫째, 기후변화 정책만으로 친환경 기술 혁신을 충분히 기대하기 어렵다. 따라서 혁신에 대한 정부 보조정책을 지지하는 근거가 된다. 특히, 화석연료의 생산성을 높이거나 대체에너지의 생산성을 높이는 기술 혁신에 있어서 그러하다. 이유는 정책이 혁신 인센티브를 직접적으로 줄일 수도 있고, 경제활동의 규모를 감소시켜서 혁신의 펀딩을 줄이고 이득을 얻기 어렵게 만들기 때문이다. 둘째, 기술변화의 내생성을 고려하지 않거나 파생된 혁신을 순수하게 상대가격변화의 함수로만 보게 되면 감축의 기대 비용을 저평가하게 된다. 즉, 감축을 너무 쉽게 달성할 수 있다고 보게 된다는 것이다. 그것을 달성하는 비용이 더 높기 때문이다.

Gans(2012)의 결론은 포터가설(Porter Hypothesis)을 반박한다. 포터가설은 환경규제가 기업을 더 효율적 기술을 채택하도록 유도함으로써 기업의 경쟁력을 높인다는 주장으로, 환경규제가 생산성을 해치는 것이 아니라 더 높이는 것이며, 그래서 윈-윈 상황이 된다. Gans(2012)는 기후변화 정책의 강화는 혁신의 감소를 유발하거나 전반적인 생산성의 하락을 가져올 수 있다는 것이다. 또한, 환경정책 강화가 친환경 기술혁신을 촉진하는가의 문제를 다루고 있는데, 혁신의 유도된 혁신 가설이 직관적으로 명백해 보이지만 꼭 맞는 것은 아니라는 것이다. 일반균형적 고려가 있어야 하는데, 환경정책 강화가 경제활동의 위축을 유발하고 그것이 친환경 혁신 인센티브 약화를 초래할 수 있다는 것이다. 혁신인센티브는 기술 개발 및 채택으로 얼마나 이득을 얻느냐는 것에 관한 것인데, 경제 활동이 위축되면 그 이득이 작아진다. 중요한 시사점은 환경정책 만으로는 부족하다는 것이며, 친환경 정책의 강화와 더불어 친환경 혁신 보조 정책이 도입되어야 한다는 것을 시사한다.

5. 환경정책의 혁신에 대한 영향의 사례

기술변화의 페이스와 방향은 정해질 수 있는 것인가? 경제적 조건과 정책에 의해서 영향을 받을 수 있는 것인가? 그린기술 발전을 촉진하는 것이 가능한가? 경제학 연구의 답은 명확하다. 혁신의 방향은 내생적이며 정책에 의해서 바뀔 수 있다는 것이다.

Newell, Jaffe and Stavins(1999)는 가전 제품의 에너지 효율성이 에너지 가격에 반응하여 변화함을 확인하였다. 에어컨의 기술변화는 1970년대 에너지가격 충격 이후 에너지효율성을 높이는 방향으로 전환되었다. 즉, 더 높은 에너지 가격이 더 에너지를 절약하는 혁신으로 이어진다는 것이다. 에너지의 탄소집약도를 낮추는 일은 어떠한가? Aghion et al.(2016)은 석유 가격의 변화는 자동차산업의 혁신에 영향을

준다는 것을 보였다. 이들은 혁신을 클린, 더티, 그레이 혁신으로 구분하였다. 그레이 혁신은 화석연료의 연료소비를 줄이는 혁신이다. 이것은 자동차 이용을 증가시키는 효과를 낼 수 있어서 총 배출의 감소를 유도할지는 모호하다. 더티혁신은 화석연료 엔진의 에너지 효율과는 다른 기능에 관한 혁신을 의미한다. 통상 더 높은 배출을 유발한다. 데이터를 이용하여 연료 가격의 상승과 혁신의 방향에 있어서의 변화의 관계를 도출하였다. 결과는 연료가격의 10% 상승은 클린혁신의 8.5% 증가를 유도하며, 2년 후 시점의 더티혁신의 8.3% 감소를 유발한다. 크레이혁신에 대한 영향은 유의하지 않았다. 또한 혁신 방향에 대한 경로의존성(path dependence)도 확인하였는데, 이것은 클린 지식을 더 많이 축적한 기업의 경우 클린 혁신에 대한 성향이 높았다는 것, 클린 지식에 더 노출되는 기업의 경우 클린 혁신을 더 수행하는 경향이 있다는 것, 더티 지식을 더 많이 갖거나 더티 지식에 더 노출되는 기업은 더티혁신을 더 많이 수행하는 경향이 있다. 경로의존성은 양날의 칼인데, 정책이 없을 때 클린기술과 더티기술의 갭을 더 넓히지만, 또한 의미있는 정책이 있는 경우에 클린기술이 더티기술을 추격하는 것이 더 쉬워진다. 방향만 틀어주면 경로의존성으로 갭이 자동적으로 좁아진다는 것이다.

IV. 혁신정책과 혁신의 방향

기후변화의 과제를 극복하려면 클린기술의 발전이 요구된다. 하지만 경제학에서는 오랫동안 외생적 기술변화 모형에 집중하였다. 거기에서는 정책이 기술변화의 속도에 영향을 주지 못한다. Nordhaus의 DICE 모델이 그러하다. 거기서는 기술진보는 인간 행동과 무관하게 일정한 속도로 화석연료를 새로운 백업 기술이 대체한다. 그런 모델에서는 기후변화를 다루는 최적의 정책은 사회가 에너지를 덜 사용하고 배출을 줄이도록 인센티브를 부여하는 탄소세가 된다. Acemoglu et al.(2012)는 혁신의 방향이 내생화될 때의 기후정책을 분석하였다. 더티요소 또는 그것을 대체할 수 있는 클린 요소로 재화를 생산하는 경제를 상정한다. 이런 상황은 에너지의 탄소집약도의 변화에 대해 고려하는 경우에 적합하다. 예를 들어 전력생산에서 재생에너지/원자력 에너지와 화석연료의 대체, 또는 전기차와 화석연료 차의 선택, 전통적인 플라스틱과 바이오플라스틱의 선택에도 적용된다. 기업은 클린 또는 더티기술을 향상시킬 지를 선택할 수 있다. 더티요소의 생산은 이산화탄소 배출을 야기하여 환경과 복지를 해친다.

이런 상황에 대한 분석의 주요 결론은, 첫째, 정책 개입이 없는 경우 혁신의 방향에 있어서 경로의존성이 있다. 더티기술이 처음에 더 발전해 있으면 화석연료가 클린에너지보다 더 저렴하여 더티영역이 더 커진다. 경제는 화석연료에 더 의존하게 된다. 두 요소가 대체재이므로 더 발전된 영역은 더 높은 수입을 얻는다. 더티요소를 향상시킨 혁신은 클린요소를 향상시키는 혁신보다 더 큰 시장을 차지한다. 기업가는 더티영역에서의 혁신을 선호할 것이고 더 많은 연구자를 고용하여 연구개발을

강화한다. 이러한 경로의존성으로 인하여 정책 개입이 없다면 클린기술에 대한 혁신이 촉발될 것을 기대하기 어렵다.

둘째, 혁신의 방향을 바꾸고 배출을 줄이는 것이 가능하다. 클린연구에 대한 직접적인 보조금은 연구자를 클린혁신 쪽으로 유도할 것이다. 탄소세는 더티요소에 대한 시장을 축소시키고 클린요소 시장을 증가시킨다. 이것이 현재의 배출을 감소시키지만 간접적으로 혁신의 방향을 클린기술 쪽으로 바꾼다. 흥미로운 것은 일시적인 개입이 혁신의 경로에 영구적인 결과를 가져올 수 있다는 것이다. 연구보조금이 충분히 오랜 기간 유지되어 클린기술이 실제로 더티기술보다 더 낮게 될 수 있다면, 전에는 더티혁신 쪽으로 쫓겨하던 동일한 시장의 힘이 이번에는 미래에 클린혁신을 선호하게 될 것이다. 그래서 미래에 보조금을 불필요하게 만든다. 여기서도 경로의존성은 양날의 검이다. 클린과 더티요소가 충분히 대체적일 때 클린기술에서의 기술진보와 함께 오염은 시간이 흐름에 따라 감소한다.

셋째, 기술진보가 외생적인 경우에 비해서 정책은 시기적으로 더 앞쪽에 맞추어져야(front-loaded) 한다. 진보된 더티기술에서 뒤진 클린기술로의 혁신 방향의 전환은 공짜가 아니다. 클린기술이 더티기술을 상당히 앞선다면 기술의 대체 후에도 이전과 동일한 속도의 경제성장이 이어질 수 있을 것이다. 하지만 그러한 전환이 이루어지는 기간, 즉, 클린기술이 더티기술을 추격하는 기간에는 성장의 둔화가 있을 것이다. 경제가 기존과 다른 기술을 가지고 에너지를 생산하는 방법을 새롭게 배워야 하기 때문이다. 에너지 전환을 늦추면 더티와 클린 기술 간 갭이 더 커지기 때문에 전환에 따른 비용이 더 커진다. 즉, 성장이 낮은 더 장기화된 추격의 국면이 있어야 한다는 것이다. 이러한 프론트로드된 정책의 시사점은 외생적 기술진보 모델로부터 얻어진 점증하는(progressive) 탄소세의 제안과 대조된다.

넷째, 최적 정책은 탄소세에 국한되지 않으며, 클린연구에 대한 보조금을 포함한다. 경제학자는 종종 탄소가격이 가장 중요하고 기후변화에 대한 유일한 도구라고 주장한다. 하지만 이 연구에서는 그러한 배타적 인식이 잘못된 것이라 주장한다. 클린연구 보조금도 마찬가지로 중요하다. 혁신은 일반적으로 외부성을 내포하므로 최적정책은 연구 보조를 포함한다는 결론은 놀랍지 않은데, 놀라운 것은 최적 탄소세가 있는 상황에서도 클린연구에 특화된 보조(임의의 보편적 일반적 연구보조금에 더해서)를 필요로 한다는 것이다. 그 이유는 혁신의 사적 가치와 그것의 사회적 가치가 서로 다른 시간대(time horizon)를 가진다는 점에 있다. 혁신의 사회적 가치는 혁신의 시점 이후의 모든 할인된 혜택의 합이다. 사적 가치는 그보다 더 근시안적이다. 그 이유는 첫째, 특허가 만료되고 혁신 모방될 수 있다는 점, 또는 미래에 더 나은 상품을 개발하는 혁신자에 의해서 대체될 수 있다는 점이다. 둘째는 오늘의 혁신가는 미래의 혁신가들이 자신의 작업 위에 구축하는 것을 가능하게 한다는 점이다. 이것은 더티와 클린 혁신 모두에서 사실이지만, 최적 정책은 에너지 전환을 요구하므로 더티기술이 오늘을 지배하더라도 클린기술이 미래에 지배할 것이다. 그래서 클린혁신의 사회적 가치의 더 큰 부분은 백로드(backloaded), 즉, 시간적으로

더 미래에 맞추어져있다. 즉, 오늘 풍력터빈을 더 개발하는 것의 가치는 100년 후에 더 나은 풍력을 가능하게 한다는 사실에 있다는 것이다. 이것은 더티혁신의 경우에는 그렇지 않다. 오늘의 더 나은 가스터빈을 개발한 가치는 100년 후에는 낮을 것이다. 화석연료가 더 이상 사용하지 않을 것이기 때문이다.

Aghion et al.(2012)는 정책 개입이 없으면 혁신은 화석연료기술 쪽으로 방향 지워질 가능성이 크다는 것을 주장한다. 정책은 더티에서 클린기술로 혁신을 방향지워야 한다는 것이다. 이것은 클린연구 보조와 탄소세의 결합으로 달성될 수 있으며, 이상적으로는 정책이 빠르고 신속한 전환을 도모할 수 있도록 프론트로드해야 한다.

V. 과점경쟁과 전략적 혁신 인센티브

환경 혁신과 마켓파워(market power)는 어떤 관계인가? 이것이 중요한 이유는 시장구조와 경쟁상황에 따라 환경 혁신에 대한 인센티브와 결정과정이 다를 수 있기 때문이다. 일반적인 혁신과 마켓파워의 관계는 경제학에서 오랜 논쟁의 대상이었다. Schumpeter는 마켓파워가 혁신을 촉진한다고 주장하였고 Arrow는 약화시킨다고 하였다. 환경기술에서의 혁신의 경우에도 이러한 일반론은 타당할 수 있다. 그것은 그린기술에 대한 투자 인센티브에 있어서 사적 인센티브와 사회적 인센티브의 차이에 대해서 논하는 것이고 과점적 상호작용이 있는 상황에 특히 초점을 맞춘다. 환경혁신의 특징이 환경적 외부성에 있다는 점에서 그 외부성의 성격이 혁신과 마켓파워의 관계에 대해 어떠한 시사점을 주는지는 흥미로운 과제라 하겠다.

구체적으로 제기되는 질문은 다음과 같다. 최종재 시장의 경쟁이 친환경 혁신 인센티브에 어떻게 영향을 주는가, 경쟁과 혁신의 일반적 관계와 어떻게 다른가, 그것을 다르게 만드는 요인은 무엇인가, 친환경 혁신의 특수성은 무엇인가 등이다. 또한, 환경기술이 채택 확산되는 과정에 있어서 환경정책, 기업간 경쟁 상호작용이 어떻게 얽혀있고 영향을 주고 받는가, 환경정책이 강화되면, 가령, 탄소가격이 도입되면, 기업간 경쟁이 환경기술 채택인센티브를 크게 하는가, 일반적으로 경쟁이 강하면 친환경 기술 채택에 소극적이지 않을까? 친환경 기술은 비용이 들지만 상품의 품질에는 일반적으로 영향을 주지 않는다. 기술채택이 고정비용일 수도 있지만 관계비용을 높일 수도 있다. 가령 더 비싼 에너지 이용. 경쟁이 소극적으로 만든다.

한편, 그린 소비자주의(green consumerism)가 환경기술 채택의 인센티브를 준다. 이 경우 경쟁은 채택을 촉진할 것이다. 혁신은 품질 상승과 유사하기 때문이다. 따라서 정부가 그린소비자주의를 증진하는 노력이 필요하다. 대부분의 환경정책이 공급 측면인 반면 소비자주의에 관련되는 정책은 수요 측면의 개입이라 할 수 있다.

과점상황에서의 그린 R&D의 분석의 결과는 대체로 환경규제와 같은 정책적 개입이 그린 R&D의 원천이 되지만, 궁극적으로 기업의 이윤성과에 해가 된다는 것이다. 그러나 이것은 혁신이 소비자 선호의 변화에 의해 유도되는 수요의 변화의 결

과라는 점, 즉, 그린 소비자주의의 결과라는 점을 무시한다.

과점적 경쟁상황이 기업의 환경기술 혁신과 어떠한 관계를 갖는지에 대해서는 많은 이슈를 상징할 수 있다. 그 중에서 경쟁자 대비 경쟁력을 강화하려는 목적에서 환경기술에 대한 투자를 강화하는 전략적 현상을 살펴본다. Innes and Bial(2002)는 환경규제가 가격경쟁을 하는 경쟁자들로 하여금 환경 기술에 대해 효율적으로 투자하도록 유도하는가에 대해 논의하는데, 혁신 후 기업의 이득은 경쟁자의 비용높이기(raising rivals' costs)에 기인하며, 그것이 혁신의 인센티브를 제공한다. 기업의 최적 행동이 환경세만으로는 이끌어내기 어렵다고 해도 최적의 상황은 환경세와 함께 더 우수한 환경기술을 달성하는 기업에게 더 높은 수준을 적용하는 환경성과기준(environmental performance standards)에 의해서 달성될 수 있음을 주장하였다. 이러한 정책에 직면하여 성공적인 혁신기업은 규제에 의한 사실상의 처벌에도 불구하고 자발적으로 자신의 발명기술을 정부에 공개한다.

이 논문은 환경세 만으로는 부족하다는 주장의 한 근거가 될 수 있다. 환경세만 도입하면 투자가 과도해진다는 것이 이 상황에서의 문제이다. 투자인센티브를 잘 조율하려면 다른 어떤 수단이 있어야 하는데, 여기서는 환경성과기준이 개별기업의 혁신 결과에 따라 달리 적용될 수 있는 경우를 논하고 있다. 독점의 경우에는 혁신 성과에 따라 기준을 조정하여 적용하는 방식의 기준 변경은 혁신 인센티브를 약화시킨다. 한편, 사전적으로 미리 기준을 정해 놓는 정부의 약정(commitment)은 시간 불일치(time inconsistency)의 문제가 있다.

이 논문의 주장은, 사후적인 오염 배출에 있어서의 효율성만을 고려한 피구세가 적용되는 경우에, 경쟁자 비용높이기의 유인으로 인하여 혁신 인센티브가 과도하다는 것이다. 피구세 도입 시에 독점의 경우에도 혁신 인센티브는 있다. 환경 성과를 높여서 피구세를 회피하려고 할 것이기 때문이다. 과점의 경우에 혁신으로 환경 성과를 높이면 혁신을 못한 경쟁자를 불리하게 해서 자신에게 더 이득이다. 그러니 이것이 추가적인 혁신의 인센티브가 된다. 혁신 인센티브가 과도해지는 문제에 관해서 이 논문이 제안하는 것은 혁신의 실패자에게 좀 더 혜택을 주어서(즉, 낮은 기준을 허용하여 경쟁자 비용높이기의 작동을 둔화시킨다.) 승리자의 렌트를 줄이는 역할을 하라는 것이다.

한편, 과점 경쟁에서 정부가 혁신 결과에 따라 규제 기준을 조정하면, 경쟁자 비용높이기로 인하여 두 기업이 계속 규제 기준 높이기 경쟁을 할 것인가? 한가지 이에 대한 부정적 결과를 낳은 요인은 기업간 담합이 될 것이다. 혁신게임은 자신들에게는 죄수의 딜레마가 될 수 있으며, 기업들은 혁신을 안하도록 담합할 수 있다. 그 경우 실패자에게 낮은 기준 허용하는 것이 좋다는 이 논문의 주장은 맞지 않을 수 있다.

위의 논문과 달리, 독점보다 과점인 경우 혁신이 낮을 수 있는 이유도 있다. 친환경기술 혁신이 상품의 품질이 동일하고, 친환경기술 도입으로 생산비용이 상승한다면 혁신 인센티브는 없다. 그래도 한다면, 소비자주의, 탄소가격 등의 규제가 그 이

유가 될 수 있다. 그 경우, 혁신 투자의 혜택을 비용보다 높게 되도록 해야 한다. 가령, 소비자홍보 교육을 강화하거나, 탄소세 수준을 높이는 것이다. 독점의 경우와 비교하면 혁신을 이끌어내기 위한 정부 개입의 정도는 과점의 경우에 더 작을 수 있다. 경쟁자로부터 소비자를 뺏어오는 사업탈취효과(business stealing effect)가 작동할 것이기 때문이다. 그렇다면 이 경우 과점경쟁에서 환경기술 혁신이 촉진된다고 할 수 있을 것이다.

Puller(2006)도 과점시장에서 규제 기준에 영향을 주기 위한 혁신의 인센티브를 논하고 있다. 위의 논문과 마찬가지로 기업은 환경규제의 수준에 영향을 주려는 전략적 행동을 취하게 되는데, 규제자는 특정한 기준을 약정할 능력이 없다. 이러한 약정력의 결여가 기업으로 하여금 혁신을 전략적으로 선택하게 만든다. 이 경우 기업은 기준을 낮추기 위해서(ratchet down) 혁신을 억제하는 인센티브를 가지며 그로 인하여 후생이 낮아진다. 이 논문은 이를 상쇄하는(countervailing) 인센티브를 제시한다. 과점 상황에서 기업은 규제를 높이고 경쟁자 비용높이기를 위해서 혁신을 할 강한 인센티브를 가진다. 또한 사전적으로 강한 규제 기준을 약정할 수 없는 규제자는 약정력이 있는 규제자의 경우보다 더 클린 기술을 유도할 수 있는 능력을 가진다.

과점 경쟁 양상과 그린 혁신 인센티브의 관계에 대한 또 다른 연구는 Iwata(2020) 인데, 여기서는 Cournot와 Bertrand 경쟁에서 그린혁신의 인센티브를 비교하고 있다. 환경규제가 부과될 때 그린혁신에 대한 성공확률의 효과는 두 경쟁 양상에서 다르게 나타나며, 또한 이 경우 포터가설이 성립할 수 있음을 보였다. 모델은 과점 상황이고 기술은 브라운과 그린 두 가지이다. 기업이 혁신에 투자하면 확률적으로 그린기술을 얻을 수 있다. 그린기술의 경우 환경적으로 부정적 영향이 작지만 한계생산비용이 상승한다. 환경세는 배출하는 탄소량에 비례하며, 그린기술을 이용하면 탄소량이 작아서 환경세 지출을 줄일 수 있지만 생산비용이 상승한다. 브라운 기술은 그 반대이다.

이러한 경우, 생산 한계비용이 상승해서 불리해지는 정도보다 그린기술을 얻어서 환경세 부담을 줄일 수 있는 이득이 더 커야 투자가 이루어진다. 환경세가 없는 상황에서는 혁신 투자 인센티브가 없었으나 환경세로 그린 인센티브 생겼다. 과점의 상황에서 혁신 없으면 둘 다 한계비용이 높아져 있는 상황이다. 거기서 한 기업이 투자하면 확률적으로 한계비용이 낮아질 수 있다. 그 경우 그 기업은 시장을 더 차지한다. 독점의 경우에는 그러한 효과가 없다.

Wang et al(2020)은 정부가 오염에 대한 기준을 강화하려 할 때 새로운 기준을 충족할 수 있는 기업의 비율(자발적 채택수준)을 고려한다는 점에 착안하여, 더 강한 기준이 적용될 확률이 산업의 자발적 채택기준에 따라 증가하는 규제 모형을 제시하였다. 이 모델에서는 새로운 그린기술의 혜택이 불확실하고 기업간 상관성을 가지며 기업의 결정은 전략적 대체성(strategic substitutability)을 가지며, 또한 더 많은 기업이 그린기술을 채택할수록 기준이 강화될 가능성이 높다는 의미에서 보완

성(complementarity)을 가진다. 이런 상황에서 기업의 의사결정 간의 전략적 상호작용을 분석하기 위하여 글로벌게임을 적용하였다.

분석의 결과는 산업의 자발적채택수준을 감안하는 규제는 그렇지 않은 규제에 비해서 그린기술의 개발을 더 효과적으로 촉진할 수 있다는 것이다. 이윤의 불확실성은 어떤 경우에는 새로운 그린기술 개발을 촉진하는데 도움이 된다. 더 공격적인 규제는 일단 새로운 기술이 얻어진 이후에는 그것을 채택하는 것을 촉진하지만 애초에 더 강한 경쟁에 직면하는 기업의 경우 그것을 개발할 인센티브를 약화시킬 수 있다. 따라서 경쟁이 강한 산업의 경우에 정부는 너무 과도하게 공격적인 규제가 혁신을 억제할 수 있으니 주의해야 한다.

VI. 포터의 가설

Porter(1991)는 환경규제가 산업에 미치는 영향에 관하여 기존의 전통적인 인식에 반대하여, 잘 디자인된 규제는 사실상 기업의 경쟁력을 높인다고 다음과 같이 주장하였다. “엄격한 환경규제는 외국 기업에 대한 국내기업의 경쟁적 우위를 반드시 저해하는 것이 아니며, 실제로 종종 그것을 높여준다.” 이를 포터의 가설이라 한다. 환경규제에 관한 전통적인 인식은, 오염과 같은 외부성을 줄이도록 기업에 요구하는 것은 기업의 옵션을 줄이며 이윤을 감소시킨다는 것이다. 오염을 줄이는 더 수익성 높은 기회가 있다면 이윤극대 기업은 당연히 그러한 기회를 이용했을 것이다. 지난 20여년간 포터의 가설에 대해 논쟁이 있었으나 아직도 상반되는 증거가 나오고 있고, 그 가설을 설명하는 대안적 이론이 등장한다. 이론과 증거를 잘 검토하면 규제 수단의 디자인에 대한 중요한 정책 시사점을 얻을 수 있다.

전통적인 인식은 환경보호는 기업에게 추가적인 비용으로 작용한다는 것이고, 그래서 글로벌 경쟁력을 잠식한다는 것이다. 기술적 표준, 환경세, 배출권거래제와 같은 환경규제는 기업으로 하여금 오염 감축에 투입요소를 배분하도록 하며, 그것은 기업의 입장에서는 비생산적이다. 기술표준은 기술이나 인력의 선택을 제약하기 때문이다. 세금과 배출권거래제는 배출오염에 대해서 과금하며, 오염은 이전에는 무료이면서 생산과정의 결과물이었다. 그러한 부과는 자본을 생산적투자로부터 배제하게 만든다.

포터의 주장은 오염은 종종 자원의 낭비를 의미하며 오염의 감축은 자원을 사용하는 생산성에서의 향상으로 이어진다는 것이다. 더 엄격하지만 적절히 디자인된 환경규제, 특히 시장 기반의 도구(세금, 배출권거래제)는 규제를 순응하는 비용을 부분적으로 상쇄하거나 완전히 상쇄하는 혁신을 촉발할 수 있다고 주장하였다. 즉, 엄격하지만 유연한 환경규제가 혁신을 촉발하고 그것은 환경 성과를 높이는 동시에 비즈니스 성과를 높인다는 것이다. 이에 대해 최소한 다음과 같은 다섯 가지 이유를 제시하였다(Ambec 2010).

- 규제는 자원 비효율과 잠재적인 기술 개선에 대한 시그널을 준다.
- 정보 수집에 집중하는 규제는 기업의 인식을 증진시켜 혜택을 달성한다.
- 규제는 환경문제를 겨냥한 투자가 가치있는 일인지에 대한 불확실성을 줄여준다.

- 규제는 혁신과 진보에 동기를 부여하는 압력을 창출한다.
- 규제는 기업들이 전환(transformation)하는 여건을 동등하게 만든다.

미국에서 포터의 가설은 정치적 논쟁에서 크게 활용되었다. 환경보호가 항상 경제성장을 해치는 것은 아니라는 점에서 정치적인 유용성이 있었고, 기업들에게 환경규제를 받아들이도록 설득하는데 활용되었다. 잘 디자인된 환경규제는 파레토 개선, 즉, 위-윈 상황이 된다는 것이고, 환경을 보호할 뿐 아니라, 생산과정의 개선 또는 상품 품질의 개선을 통하여 이윤과 경쟁력을 향상시킨다는 것이다.

포터가설은 이윤극대가설에 모순된다는 점에서 비판을 받았다. 가설은 기업이 수익성의 기회를 무시한다는 사고에 기반한다. 기업이 이윤증진 혁신을 채택하기 위해서 규제가 필요하다는 이유가 무엇인가하는 의문이 제기된다. 즉, 사실상 포터가설은 기업이 이윤극대 추구한다는 가설에 의문을 제기한다. 기업이 늘 최선을 선택을 한다는 믿음에 맞지 않는다. 기업이 최적 선택을 하지 않게 만드는 요인이 있을 때 포터가설의 타당성이 가능할 수 있다.

수익성이 있는 사업 기회를 놓치는 경우가 있다고 한다면, 그 다음 단계의 질문은 어떻게 환경규제가 그러한 상황을 변화시키느냐는 것이다. 왜 규제자가 매니저보다 사업기회를 찾아내는데 더 탁월한 입장에 있는가? Porter의 주장은, 환경규제가 기업으로 하여금 비효율적인 자원의 이용을 알아내는데 도움을 준다는 것이다. 그 기업들은 새로운 정보를 창출 및 확산하여 조직 이너시아(inertia)를 극복하는데 도움을 준다.

가설은 모든 규제가 혁신으로 이어진다는 것이 아니고 잘 디자인된 규제가 그러하다는 것이다. 이것은 성과 기반 또는 시장 기반 환경규제로의 트렌드와 상통한다. 또한 가설은 이러한 혁신이 반드시 규제의 비용을 상쇄하는 것은 아니라는 것이다. 규제가 항상 공짜점심인 것이 아니다. 많은 경우에 이러한 혁신이 규제의 비용을 상쇄하고도 남는다는 것이다.

포터가설은 몇 가지 버전으로 구분되었다. 약한 버전은 '적절히 디자인된 환경규제는 혁신을 촉발할 수 있다는 것이다. 이것은 혁신이 기업에게 좋은지 아닌지에 대해서 말하지는 않는다. 규제가 혁신을 촉발할 수 있다는 것 자체는 경제학에서 새로운 것은 아니라고 할 수 있다. 강한 버전은 '혁신이 종종 추가적인 규제가 유발하는 비용을 상쇄하고도 남는다'는 것이다. 즉, 환경규제가 기업경쟁력 향상으로 이어진다는 것이다. 마지막으로 좁은 버전이라 불리는데, 유연한 규제정책이 기업에게 혁신의 강한 인센티브를 주고, 따라서 처방적 규제 방식보다 더 낫다는 것이다.

포터의 가설에 관하여 두 가지 이론 접근이 가능하다. 첫째는 이윤극대화 가설을 부정하는 것이다. 조직 또는 행동경제적 측면을 반영하며, 이윤극대화와는 다른 동

기와 목적을 추구하거나, 위험기피적인 면, 비용변화에 대한 거부, 제한적 합리성 등을 고려하는 것이다. 좋은 투자 기회를 놓치는데, 그 이유는 너무 리스크가 커서, 비용이 많이 들어서 또는 매니저의 습관이나 관행 때문일 수 있다. 매니저가 현재 편향적 신호를 가지는 경우, 수익성은 있지만 투자비용이 높은 기회를 지연시키는 경향이 있다. 혁신의 비용은 현재 부담하지만 그 혜택을 미래에 실현되기 때문에 현재 편향적 매니저는 혁신 투자를 연기하는 경향이 있다. 그러한 투자를 더 수익성 있게 만들거나 의무화함으로써 환경규제는 매니저가 자신의 자기통제문제(self control problem)를 극복하는데 도움을 준다.

다른 한 접근은 조직 실패(organization failure)에서 찾는다. 기업 내 정보비대칭과 거버넌스 구조의 문제에 관한 것이다. 매니저는 R&D 투자의 결과에 대해 사적 정보를 가진다. R&D 투자로부터 생산성 향상과 오염 감소를 얻기 위해서 매니저는 정보 렌트를 추출한다. 대신에 정부가 환경규제를 부과하면, 매니저는 정보렌트를 잃어버린다. 이것은 환경규제가 조직 이너시아를 극복한다는 포터의 아이디어를 구체화한 것이다.

포터의 가설이 가지는 이윤극대화화 모순의 해소를 위해서 시장실패를 전제로 할 수 있다. 과점 상황에서 정부는 더 엄격한 환경규제를 도입함으로써 국내 산업에 전략적 우위를 준다(Simpson and Bradford 1996). 차별화된 과점에서 환경적 상품 품질의 최저기준을 설정하는 것이 조정의 문제(coordination problem)를 해소함으로써 모든 기업에게 혜택을 줄 수 있다(Andre et al 2009). Mohr(2001)는 기술 누수효과가 있을 때 유사한 조정 실패의 논점을 제시하였다. 기업의 R&D 투자에 대한 수익이 부분적으로 그 경쟁자에 의해서 포착되는 경우, 기업들은 더 클린하면서 더 생산적인 기술에 과소투자한다. 채택을 의무화하는 환경규제는 산업을 낮은 R&D 투자의 균형에서 높은 투자의 파레토 개선 균형으로 전환할 수 있다.

Andre et. al(2009)는 포터의 가설을 지지하는 수직적 차별화 모형을 제시했다. 모형에서 두 기업이 동시에 친환경적(높은 품질) 상품 또는 표준적(낮은 품질) 상품 선택하고, 그 후에 가격을 선택한다. 낮은 품질 상품을 선택하는 내쉬균형은 그린상품 쪽으로 기업들이 선택하는 다른 전략에 의해서 파레토 지배된다. 이 경우 두 기업이 친환경적 상품 생산을 거부하는 기업을 처벌하는 규칙을 도입하는 경우 두 기업 모두 이득을 얻을 수 있다는 것이다. 소비자도 또한 그러한 규제로부터 이득을 얻는다. 이것은 낮은 품질에서 높은 품질 생산으로의 전환이 비용효율성 증가를 초래하는 경우에 항상 타당하다.

전통적인 경제 사고는 엄격한 환경규제의 도입이 항상 사적 비용을 의미한다. 그것이 기업을 최선에서 멀어지게 하기 때문이다. 포터의 가설은 이러한 입장에 도전하여 그반대가 사실일 수 있다고 주장하였다. 그의 주된 주장은 환경규제가 새로운 투자 기회를 열어줄 수 있고, 기업들이 혁신하고, 규제 준수 비용을 부분적으로 또는 완전 이상으로 상쇄할 수 있는 장기적 이익을 창출하도록 촉진할 수 있다는 것이다.

환경규제가 이윤증진 혁신을 촉진하는 기업 내 매카니즘으로는, 더 엄격한 환경규제는 기업의 다운사이징과 현대화를 유발할 것이라 할 수도 있다. 기업은 규제가 있는 경우에만 리스크가 큰 R&D를 시도하는 경향이 있기도 하다. 또한, 환경규제가 기업과 매니저 간 정보의 갭을 줄여줄 수도 있고, 더 엄격한 환경정책이 기업들의 배출감축 기술에 대한 투자를 촉진하고, 환경정책이 조정의 실패 문제를 해소함으로써 경쟁력을 높일 수 있다. Andre et al.(2009)은 새로운 기술을 채택하는 개별기업의 인센티브와 산업 전체의 이해 간의 차이로 인한 조정의 실패 문제에 의존하여 포터가설에 대한 매카니즘을 제시하였다. 이러한 연구들은 산업 내 환경기준의 효과에 관한 관련된 연구들과 마찬가지로 시장의 공급 사이드만 배타적으로 포커스한다. 대조적으로 시장 수요, 즉, 소비자 선호가 기업이 높은 품질 상품을 높은 가격에 판매하는 데에서 이득을 얻는 규제된 환경의 창출에 유리하게 작용한다. 이 모형은 베르뜨랑 복점모형에서 수직적 차별화가 있으며 두 기업이 동시에 친환경적 상품이나 표준적인 상품을 선택한 후 가격경쟁을 하며 환경적 품질을 이산변수로 다룬다.

이 논문의 결과에 대한 경제적 원리는 다음과 같다. 기업들이 표준적인 상품을 생산하다가 새로운 기술이 등장하고 그것으로 새로운 더 친환경적인 상품 생산이 가능해졌다. 각 기업은 새로운 기술을 채택할지 말지를 결정한다. 친환경상품은 더 높은 비용을 요구한다. 그래서 규제가 없으면 개별 기업들은 그것을 회피하려고 한다. 소비자들은 종종 클린 상품에 대해서 더 높은 가격을 지불할 용의가 있는데, 더 높은 생산비용이 여전히 이들 기업을 경쟁자 대비 가격 면에서 불리하게 만들 것이다. 왜냐하면 경쟁자는 더 낮은 가격에 저품질 상품으로 시장의 대부분을 획득할 수 있기 때문이다. 그런데 규제에 의해서 모든 기업이 높은 품질 상품을 채택해야 하는 상황이 된다면 결과는 다르다. 이 경우 모든 기업이 소비자의 높은 지불의향으로부터 이득을 얻으며 누구도 경쟁자에 의해서 착취될 것을 우려하지 않는다. 이 상황은 죄수의 딜레마이다. 이 게임의 내쉬균형은 균형이 아닌 다른 전략에 의해서 파레토 지배된다. 환경규제는 모든 기업이 그린 생산으로 이동하게 만들고 그 결과 환경과 기업들 자신이 모두 더 나아진다.

여기서는 친환경 상품 생산으로의 전환이 생산비용의 상승을 유발하는 경우에도 윈윈 상황이 가능하다. 한편, 규제가 소비자에게 주는 효과는 모호하다. 환경규제가 기업들의 담합을 촉진함으로써 해서 기업에게 이득이 되는 상황이 된다면 소비자는 더 나빠질 수 있다. 규제는 생산비용의 상승으로 생산량이 감소할 수 있고 가격이 상승할 것이다. 이것이 이윤증가를 가져오지만 소비자에게는 불리하며 그것이 환경 개선으로 인한 소비자 혜택과 비교되어야 한다. 환경규제는 소비자에서 생산자로의 잉여의 이전을 촉발할 뿐 아니라 기업으로 하여금 소비자들이 더 원하는 그린상품을 생산하도록 유도함으로써 새로운 가치를 창출한다. 이러한 소비자에 주는 가치가 부분적으로 가격상승에 의해 잃어버린 잉여를 상쇄한다.

참고문헌

- Acemoglu, Daron, Philippe Aghion, Leonardo Bursztyn, and David Hemous (2012), “The Environment and Directed Technical Change.” *The American Economic Review*, 102 (1): 131-166.
- Aghion, Philippe, Antoine Dechezlepretre, David Hemous, Ralf Martin, and John Van Reenen (2016), “Carbon Taxes, Path Dependency, and Directed Technical Change: Evidence from the Auto Industry.” *Journal of Political Economy*, 214 (1): 1-51.
- Ambec, Stefan, Mark A. Cohen, Stewart Elgie and Paul Lanoie (2010), “THE PORTER HYPOTHESIS AT 20: CAN ENVIRONMENTAL REGULATION ENHANCE INNOVATION AND COMPETITIVENESS?”, TSE working paper.
- Andre, Francisco J., Paula Gonzalez, Nicolas Porteiro (2009), “ Strategic quality competition and the Porter Hypothesis,” *Journal of Environmental Economics and Management* 57, 182-194.
- Fischer, C. (2008). “Emissions pricing, spillovers, and public investment in environmentally friendly technologies”. *Energy Economics* 30(2), 487-502.
- Gans, Joshua S. (2012), “Innovation and Climate Change Policy,” *American Economic Journal: Economic Policy* 2012, 4(4): 125-145.
- Hemous, D. (2021), “Green Innovation Policies; Economics and Climate Change,” UBS Center Public Paper #10.
- Hicks, J. (1932), *The Theory of Wages*. Macmillan, London.
- Innes, Robert and Joseph J. Bial (2002), “INDUCING INNOVATION IN THE ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY OF OLIGOPOLISTIC FIRMS,” *THE JOURNAL OF INDUSTRIAL ECONOMICS* 0022-1821, Volume L September 2002.
- Iwata, Hiroki (2020), “Effects of competition forms and market structure on green innovation incentives”, unpublished.
- Lambertini, Luca (2017), “Green Innovation and Market Power,” *Annual Review of Resource Economics* 9:231-52.
- Luigi Aldieri, Fabio Carlucci, Concetto Paolo Vinci, Tan Yigitcanlar (2019), “Environmental innovation, knowledge spillovers and policy implications: A systematic review of the economic effects literature,” *Journal of Cleaner Production* 239, 1-10.
- Mohr R.-D. (2002), “Technical Change, External Economies, and the Porter Hypothesis,” *Journal of Environmental Economics and Management*, 43(1), 158-68.

- Newell, Richard G., Adam B. Jaffe, and Robert N. Stavins (1999), "The Induced Innovation Hypothesis and Energy-Saving Technological Change." *The Quarterly Journal of Economics*, 114(3): 941-975.
- Popp, D., R. Newell and A.B. Jaffe 2010. "Energy, the Environment, and Technological Change." In *Handbook of the Economics of Innovation: vol. 2*, Bronwyn Hall and Nathan Rosenberg, eds., Academic Press/Elsevier, 873-937.
- Porter, M. (1991), "America's Green Strategy," *Scientific American*, 264(4), 168.
- Puller, Steven L. (2006), "The strategic use of innovation to influence regulatory standards," *Journal of Environmental Economics and Management* 52 (2006) 690-706.
- Schneider, S., Goulder, L. (1997). "Commentary: achieving low-cost emissions targets". *Nature* 389(4 September), 13-14.
- Simpson D. and R.L. Bradford (1996), "Taxing Variable Cost: Environmental Regulation as Industrial Policy," *Journal of Environmental Economics and Management*, 30(3), 282-300.
- Wang, Xin, Soo-Haeng Cho Alan Scheller-Wolf (2020), "Green Technology Development and Adoption: Competition, Regulation, and Uncertainty - A Global Game Approach", *Management Science*, Vol. 67, No. 1. 201-219.

제 7 장

탄소규제와 통상 연계의 국제동향과 대응전략

이명헌
인하대학교

I. 서론

지구온난화에 따른 범지구적인 기후변화의 현상은 온실가스의 지속적인 발생과 누적으로 초래된 결과라고 할 수 있다. 가축의 트림이나 분노 등에서 나오는 메탄가스처럼 농축산업 분야에서의 자연 발생적인 온실가스를 제외하면 인류의 경제활동 과정에서의 화석연료 사용을 얼마만큼 억제하느냐에 따라 기후변화의 인명·재산적 피해 및 생태계 고갈·손상을 늦추거나 완화시킬 수 있다. 기후변화에 취약한 빈국들이 최대 피해자가 되는데, 특히 인구집중과 도시화가 급속히 진행되는 아시아에서 타격이 클 것이며, 아프리카 역시 상당한 피해에서 자유롭지 못할 것으로 예상된다. 온실가스 배출과 별로 관련 없는 나라들이 큰 피해를 보는 역설적인 상황을 근거로 선진국 책임론은 설득력을 넘어서 이미 국제적으로 보편화된 주장으로 받아들이고 있다. 지구환경보전은 한 나라만의 노력으로 해결되지 않은 인류공동체의 과제로서 각국은 경제·기술적 능력의 범위에서 국제사회에 차지하는 위상에 맞게 온실가스 감축에 적극 참여해야 한다.

온실가스 감축의 국제동향은 1992년 유엔환경개발회의(UNCED)에서 유엔기후변화(UNFCCC)를 채택한 이후 국가별 감축 도출과 이행을 논의하기 위하여 1995년 베를린 제1차 당사국 총회(COP)를 시작으로 교토의정서가 채택된 1997년 제3차 COP와 파리협정을 채택한 2015년 제21차 COP를 거쳐 2022년 이집트 샤름 엘 셰이크에서 개최된 제27차 COP까지 이어지고 있다. 교토의정서는 당시 CO₂ 최대 배출국인 미국이 부시 정부의 집권 이후 자국 산업 보호를 위하여 탈퇴함으로써 유명 무실화되었다. 교토의정서 후속으로 체결된 파리협정은 미국 트럼프 정부가 불공평성을 이유로 탈퇴하여 최대 위기에 처했으나 바이든 정부의 재가입으로 유효성을 유지하게 되었다. 파리협정의 경우 195개 당사국 모두 국가별 온실가스 자발적 감축목표(INDC)를 설정하고 이행 상황 및 달성 경과보고를 의무화하였다. 하지만 선진국 위주로 온실가스 감축의무를 부여했던 1997년 교토의정서와 달리 각국의 감축 목표 달성의 국제법상 구속력이 빠졌다는 점이 한계로 지적되고 있다.

국제기구를 통한 환경회의나 국제협정은 모든 회원국들이 자발적인 참여와 실행이 동반될 경우 온실가스를 감축하는 데 가장 효과적이고 강력한 방안이 될 수 있다. 감축 수단으로서 탄소배출권제나 탄소세 등 경제적 유인수단을 도입하거나 탄소 배출량 기준을 설정한다. 하지만 개도국을 중심으로 일부 회원국이 국제협정을 이행하는 데 소극적인 자세를 보일 경우 탄소규제를 엄격히 실시하는 국가의 산업경쟁력이 약화될 뿐만 아니라 탄소 집약적 산업이 이들 국가로 몰리게 되면 지구 전체의 탄소배출 감축효과는 현격히 떨어질 수 있다. 이러한 현상을 방지하기 위하여 수입 제품에 대하여 자국 제품과 동일하게 탄소 배출량 기준을 요구하거나, 국경조정세(Border-Tax Adjustments: BTAs) 개념의 탄소관세(carbon tariff)를 부과하는 방안들이 논의되고 있다.³⁵⁾ 탄소관세는 수입품에 대한 자국 시장의 경쟁조

35) 국경조정세는 수입품에 대하여 국내 간접세와 균형을 맞추기 위하여 이에 상응한 세금

건을 왜곡시켜 공정하고 자유로운 국제무역 체계를 확립하는 데 장애요인으로 작용할 수 있다. 실제 몇몇 선진국들은 기후변화 대응정책의 실행을 빌미로 외국 기업의 자국 시장 접근을 제한함으로써 자국 환경산업 기업의 경쟁력 확보를 꾀하기도 한다.

유럽연합(EU) 지역에 자동차를 수출하는 데 악영향을 가져다 줄 수 있는 EU의 신차에 대한 CO₂ 배출규제는 지속적으로 강화되고 있다. 2017년 11월 EU 집행위원회는 EU의 파리협정 공약 달성과 EU 자동차산업의 경쟁력강화 및 고용증진을 목적으로 post-2020 자동차 CO₂ 배출기준 규정안 676을 제출하였다. 이는 EU의 2030 기후·에너지체계 하에서의 운송부문 CO₂ 배출 감축목표를 설정하고, 이동성에 대한 저배출 전략 및 청정 패키지와 제로 배출 및 저배출 차량으로의 이동 등을 주요 골자로 하고 있다. CO₂ 배출과 관련하여 핵심 내용으로는 EU 차량 전체의 목표를 강화하고 구체적 목표를 부과하고 있다. 신규 자동차의 CO₂ 배출량 감축목표는 2030년까지 2021년 대비 30%대로 설정되었다. 중간 목표도 제시하였는데 유럽 지역에서 판매하는 자동차 제조업체는 2025년까지 2021년 평균 CO₂ 배출량의 15%를 줄여야 한다. 현재 EU가 생산되는 차의 전체를 대상으로 규정한 2021년 평균 CO₂ 배출량 기준은 승용차와 승합차에 대하여 각각 95g/km와 147g/km 이다. 이는 자동차 제조업체는 일정 비율을 전기차 등 친환경차로 생산해야 함을 뜻하는 것이다. 국제 표준 배출가스 측정방식을 도입하며 배출량 초과에 할증료를 높게 부과한다. 제로탄소 혹은 저탄소 배출 차량에 대해서는 인센티브를 제공한다.³⁶⁾ EU의 강화된 자동차 CO₂ 배출 규제는 유럽지역에 자동차를 수출하는 국가에도 동일하게 적용될 전망이며, EU 기준을 충족시키지 못할 경우 자동차 수출의 어려움에 직면하게 된다.

본 연구에서는 탄소관세 도입의 배경과 효과를 중심으로 각 국가의 사례 및 입장을 살펴보고, 자유무역을 근간으로 하는 세계무역기구(WTO) 규정과의 합치 여부를 타진한다. 이어서 선진국을 중심으로 한 탄소규제 강화의 국제 동향에 대응한 효과적인 전략을 모색한다.

을 지칭하며 나라에 따라서 탄소관세와 상호 혼용되기도 한다.

36) 제조사가 최적의 상태에서 자동차 배기가스를 검사하여 실제 배출량을 반영하지 못하는 한계를 지닌 기존 유럽연비 측정방식(New European Driving Cycle: NEDC)을 대체하여 가속, 제동, 정차시의 배기가스를 검사하는 강화된 측정방식이다. EU는 2017년 9월 1일부터 실주행 배기가스(Real Driving Emissions: RDE) 검사와 함께 시행했으며, 국내에는 2018년 9월 1일 도입되었다. 회원국 정부는 2017년 9월 1일 이후 WLTP 검사 방식을 통과한 자동차 모델만이 판매가 허용된다. WLTP를 적용할 경우 기존 방식보다 테스트 주행시간과 거리는 각각 620초와 12.26km로 늘어나며, 평균 속도와 최고속도는 각각 12.9km/h와 11.3km/h로 높아진다. 주행거리가 늘어나고 속도가 빨라지면 엔진 온도가 상승하여 CO₂는 더 많이 배출된다.

II. 국내 기후정책 현황과 환경·에너지 정책 제언

1. 2050 탄소중립

문재인대통령은 2020년 10월 국회 시정연설에서 아시아에서 중국과 일본에 이어서 3번째로 ‘2050년 탄소중립’을 선언하였다. EU는 이미 2019년에 탄소 중립을 선언한 바 있다. 산업통상자원부와 한국전력공사는 2020년 12월 2013년 이후 7년 만에 전기요금체계 개편안을 확정, 발표하였다. 주요내용으로는 연료비 변동분을 주기적으로 반영하는 ‘연료비 조정요금’ 신설과 기존 신재생에너지 발전의 추가 비용과 온실가스 감축을 위한 배출권거래제 비용을 전기요금에 투명하게 분리해 고지하는 ‘기후환경요금 분리고지’와 ‘주택용 계시별 요금제’ 도입이다. 경직적인 기존 전기요금체계는 가격시그널의 효율적 기능이 제대로 작동되지 않아서 탄소중립사회로의 지향과 효율적이고 선진 전력시장체계의 구축을 위해서는 요금체계에 대한 근본적인 개혁의 필요성이 지적되어 왔다.

애플, 소니, 폭스바겐·BMW·GM 등 주요 완성차 기업 등을 중심으로 RE100이 글로벌 친환경 표준으로 부각되자 SK 그룹 8개 회사는 2020년 11월 한국 RE100위원회에 국내 최초로 가입신청서를 제출했다. RE100은 기업이 사용하는 전력량의 100%를 2050년까지 풍력, 태양광 등 재생에너지를 통해 발전된 전력으로 조달하겠다는 것을 의미한다. 이들 8개사는 재생에너지 발전사업자·한국전력과 계약을 맺고 재생에너지를 공급받는 ‘전력직접구매계약(PPA)’, 한국전력에 프리미엄 요금을 지불하고 전력을 구매하는 ‘녹색요금제’, 재생에너지 발전사업의 지분 투자 등으로 재생에너지 사용 비율을 확대할 계획이다.

바이든 미국 대통령은 트럼프 전대통령이 2017년 탈퇴한 파리기후변화협약에 다시 가입하였으며, 탄소배출량 ‘순제로’를 2050년까지 도달하도록 정책을 추진하기로 하였다. 또한 2035년까지 발전부문에서의 제로탄소배출을 공약하며, 약 2400조원의 예산을 투입해 재생에너지 투자를 확대하고 에너지효율을 대폭 개선할 계획이다.

2. 그린뉴딜정책

(1) 도시·공간·생활 인프라 녹색전환: 인간과 자연이 공존하는 미래 사회를 구현하기 위하여 녹색 친화적인 국민의 일상생활 환경을 조성하고, 2025년까지 총사업비 30조1천억원을 투자하여 일자리 38만7천개를 창출한다. 세부적으로 첫째, 그린리모델링과 그린스마트 스쿨 구축을 통하여 국민생활과 밀접한 공공시설의 제로에너지화를 추진한다. 둘째, 스마트 그린도시 및 도시숲 조성 및 생태계 복원을 통하여 국토·해양·도시의 녹색 생태계를 회복한다. 셋째, 스마트 상수도 및 스마트 하수도

구축과 먹는물 관리를 통하여 깨끗하고 안전한 물 관리체계를 구축한다.

(2) 저탄소·분산형 에너지 확산: 지속 가능한 신재생에너지를 사회 전반으로 확산하는 미래 에너지 패러다임 전환 시대를 준비하며 2025년까지 총사업비 35조8천억원을 투자하여 일자리 20만9천개를 창출한다. 세부적으로 첫째, 전력수요 분산 및 에너지 절감을 위한 스마트 전력망과 디젤엔진 발전기의 오염물질 배출량 감축을 위한 친환경 발전시스템 설계를 통하여 에너지관리 효율화 지능형 스마트 그리드를 구축한다. 둘째, 대규모 해상풍력단지 입지발굴과 태양광의 주민참여형 이익공유사업 도입 등을 통하여 신재생에너지 확산기반을 구축하고 석탄발전에서 신재생에너지업종으로의 공정한 전환을 지원한다. 셋째, 전기차·수소차 등 그린 모빌리티 보급 확대와 충전인프라 확충을 추진한다.

(3) 녹색산업 혁신 생태계 구축: 기후변화와 환경위기에 대응해 전략적으로 도전할 녹색산업 발굴 및 지원 인프라 확충으로 혁신 여건을 조성하며 2025년까지 총사업비 7조6천억원 투자하여 일자리 6만3천개 창출한다. 세부적으로 첫째, 환경·에너지 분야 녹색기업 지원 및 5대 선도 분야의 기술개발과 지역거점 「녹색 융합 클러스터」 구축, 마이크로그리드 기반 스마트 에너지 플랫폼 조성, 스마트 생태공장·클린팩토리 구축 등을 통하여 녹색 선도 유망기업을 육성하고 저탄소·녹색산단을 조성한다. 둘째, 온실가스 감축, 미세먼지 대응, 자원순환 촉진, 녹색금융을 포함하는 연구개발(R&D)·금융 등의 녹색혁신 기반을 조성한다.

3. 전력수급기본계획³⁷⁾

(1) 제9차 전력수급기본계획(2022~2034)

문재인정부는 제9차 전력수급기본계획에서 석탄발전과 원전발전 비중을 줄이고 신·재생에너지 설비를 대폭 늘리며, 2030년 전환 부문 온실가스 배출량 목표 달성 방안을 구체화하였다. 정부는 경제성장률 및 인구 전망, 산업구조 변화, 기온 데이터 등을 바탕으로 2034년 최대 전력 목표 수요를 102.5GW로 전망했으며, 이는 기존 2034년 최대 전력 기준 수요 117.5GW보다 12.6%를 감축한 수치이다.

기존 설비예비율은 2017년 8차 전력수급기본계획과 같은 22%이다. 따라서 목표 설비용량은 목표수요 102.5GW보다 22% 많은 125.1GW로 설정됐다. 이는 기존 설비계획 122.2GW보다 약 2.8GW가 부족한데, LNG 발전 1GW와 양수발전 1.8GW를 확보해 충당할 계획이다.

37) 전력수급기본계획은 정부가 전기사업법에 따라 전력 수급의 안정을 위해 2년마다 세우는 15년 단위의 중장기 계획으로서 전력 수요를 예측하고 전력 설비와 전원 구성 설계를 계획한다.

2034년까지 가동연한 30년의 석탄발전 30기(설비용량 15.3GW)를 폐쇄하며, 수급 안정을 위해 이 중 24기(12.7GW)는 LNG발전으로 전환한다. 기상 조건에 취약한 신·재생에너지 발전량이 초래할 수급 불안을 우려하여 LNG 위주로의 에너지 전환 정책 기조를 유지한 것이다. 원자력발전은 신규 및 수명연장 금지 원칙에 따라서 신한울 1·2호기가 준공되는 2022년 26기(26.1GW)로 정점을 찍은 후 2034년까지 17기(19.4GW)로 감소된다.

재생에너지 3020, 수소경제활성화 로드맵, 그린뉴딜 계획 등을 반영하여 신·재생에너지 설비용량은 2020년 20.1GW에서 2034년 77.8GW로 약 4배 확대한다. 이에 따라 우리나라 전체 에너지 설비 대비 신·재생에너지 설비 비중은 2020년 15.8%에서 2034년 40.3%로 약 2.6배 증가하고, 석탄은 28.1%에서 15%로, 원자력은 18.2%에서 10.1%로 축소된다.

2030년 국가 온실가스 감축목표(NDC) 목표를 반영해 2030년 기준 온실가스 배출 목표치를 1.93억t으로 정하였다. 2030년 에너지원별 발전량 비중은 신·재생 20.8%, 석탄 29.9%, 원자력 25%가 된다. 따라서 2019년 대비 신·재생은 14.3% 확대되고 석탄은 10.5%, 원자력은 0.9%씩 줄어든다. 아울러 발전부문 미세먼지 배출도 2019년 2만1000t에서 2030년 9000만t으로 약 57% 줄어들 것으로 전망했다. 2050 탄소중립 목표를 달성하기 위하여 제10차 전력수급기본계획에서 전력수요 전망, 중장기 전원믹스 등을 법제하고 상위계획과의 정합성을 확보할 계획이다.

(2) 제10차 전력수급기본계획(2022~2036)

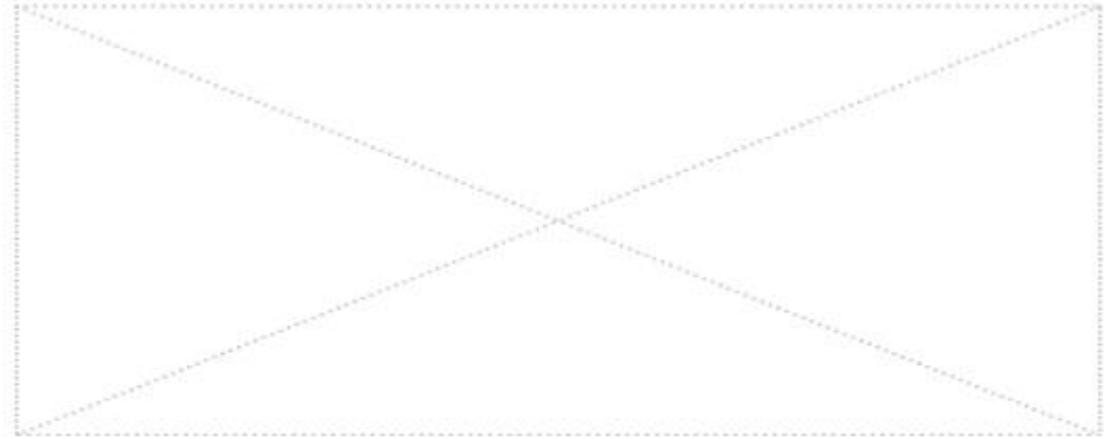
윤석열 정부 출범 후 제시한 제10차 전력수급기본계획에 따르면, 2030년 발전량 비중은 원전이 32.8%로 가장 높고 신재생(21.5%), 석탄(21.2%) 순으로 나타났다. 문재인 정부의 2030 NDC 상향안과 비교하여 원전 비율은 8.9%포인트 올라가고 신재생에너지는 8.7%포인트 낮아졌다.³⁸⁾ 4차 산업혁명의 핵심 동인인 데이터센터 및 전기화를 감안하여 최대전력수요는 2022~2036년 기간 동안 연평균 증가율 1.4%로 추정하고 2036년에 117.3GW로 전망하였으며, 목표설비 용량은 143.1GW까지 확대한다. 원전은 2036년까지 12기의 계속운전을 통한 10.5GW와 준공 예정 원전 6기(8.4GW)를 반영했다.

석탄발전의 경우 2036년까지 가동 후 30년이 도래하는 26기(13.7GW)를 폐지하고 LNG로 전환하며, 신규 5기(4.3GW) 예정 설비를 반영했다. 신재생발전은 발전허가를 받는 물량, 계획입지 등 실현 가능한 물량 수준과 주민 수용성 등을 반영했다. 9차 계획 때와 NDC 상향안과 비교해 원전 비중 대폭 확대와 신재생발전의 축소가 특징으로 꼽을 수 있다. <표 21>에서 알 수 있듯이 9차 계획과 비교하여 원전과 신재생에너지 비중은 각각 7.8%포인트와 0.7%포인트 높고 석탄은 8.7%포인트

38) NDC 상향안은 2050 탄소중립을 위한 ‘중간목표’ 성격으로 설정된 것으로 2030년까지 온실가스를 2018년 대비 40% 감축하는 내용을 담고 있다.

트 낮다.

<표 21> 2030년 전원별 발전량 비중 전망



인용: 전기저널(<http://www.keaj.kr>)

4. 국가별 자동차 탄소 배출 규제 현황

유럽연합(EU)의 엄격한 CO₂배출 규제가 친환경차 개발과 판매 확대로 이어지고 있다. EU는 파리기후협정에 따라 2020년부터 이산화탄소 배출을 약 27% 감축하기로 했다. 규제를 맞추지 못하면 CO₂배출량이 1g 초과할 때마다 95유로의 벌금을 내야 한다. 완성차 업체 입장에서선 막대한 벌금을 피하기 위해 전기차처럼 CO₂를 배출하지 않거나 CO₂배출량이 적은 차량을 개발하고 판매하는 데 주력할 수밖에 없다.

(1) EU

EU 이사회와 유럽의회는 중장기 친환경 로드맵을 통하여 기존 자동차 이산화탄소 배출기준을 2021년까지 95g/km로 정하였다. 이는 2017년 유럽 판매 자동차의 평균 이산화탄소 배출량 118.5g/km과 비교하면 4년간 배출가스를 20%나 감축해야 하는 수준이며, 일본(105g/km), 미국(113g/km), 한국(97g/km) 등 타 국가들과 비교해도 가장 엄격한 기준이다. 향후 이산화탄소 배출가스 기준을 한층 더 강화하여 2025년까지 15% 더 낮추고, 2030년에는 21년 대비 37.5%를 낮추는 목표치를 설정하였다. 이를 배출량으로 환산하면 2025년에는 80.8g, 2030년에는 59.4g의 이산화탄소만 허용되며, 기존 가솔린, 디젤 등 내연기관으로는 물리적으로 도달할 수 없는 목표이다. 2021년에 주요 글로벌 완성차 중 이러한 유럽 규제안에 맞출 수 있는 업체는 3~4곳에 불과하여 중국 쿼터제와 마찬가지로 전기차, 수소차 등 친환경차

판매를 통해 배출가스 믹스를 개선시켜야 하는 상황이다.

(2) 미국 및 일본

미국은 2010년 평균 연비기준과 자동차 평균 온실가스 배출량 규제 법안을 발표하였다. 2016년 온실가스 배출 기준 155g/km (연비 15.1km/L)에서 2025년까지 101g/km (연비 23.2km/L) 달성을 목표로 수립하였다. 평균 연비가 기준치에 미달할 경우 0.04km/L당 5.5달러 벌금을 부과한다. 일본은 2006년 승용차 등을 대상으로 새로운 연비 기준을 발표하였는데 2020년까지 2009년 실적대비 24.1% 개선을 의무화하였다. 온실가스 배출량 기준으로 2015년 130g/km (연비 16.8km/L)에서 2020년 105g/km (연비 20.3km/L)로 상향 조정하였다.

(3) 한국

2021년 한국은 2050 탄소중립을 위한 2030년 1,820만 톤 이상의 온실가스 감축을 목표로 자동차 온실가스 배출량 기준을 확정하였다. 환경부는 ‘자동차 온실가스 관리제도’의 이행실적(2012~2019년)을 공개하고, 2021년부터 2030년까지 적용되는 기준을 확정할 바, 2021년 97g/km, 2025년 89g/km, 2030년 70g/km으로 단계적으로 강화된다. 저탄소 녹색성장 기본법에 의거하여 수송부문 온실가스를 감축하기 위하여 2012년부터 시행된 ‘자동차 온실가스 관리제도’에 따르면 2012년 140g/km을 기점으로 2019년에는 110g/km, 2020년에는 97g/km으로 기준이 지속적으로 강화되었다. 2018년까지는 제작업체 대부분 기준을 만족하였지만 2019년에는 전체 19개 업체 중 12개 업체가 기준을 달성하지 못하였으나, 이중 9개 업체는 과거 초과달성분을 이월할 경우 기준을 충족시켰다. 온실가스 기준을 달성하지 못한 나머지 3개 업체는 ‘대기환경보전법’에 따라 과징금이 부과된다. 미달성분 1g/km에 대한 과징금은 2019년까지는 3만원, 2020년부터는 5만원의 과징금 요율이 적용되며, 자동차 제작업체별 매출액의 1%를 상한으로 한다. 과징금 부과를 회피하기 위해서는 향후 3년간의 초과달성분으로 미달성분을 상환하거나 타 업체와의 실적거래를 통해 미달성분을 해소해야 한다.

또한 2025년에는 중간 검토과정으로서 국제동향, 국가 온실가스 감축목표, 자동차 제작업체별 기준 이행상황 등을 토대로 2026년 이후 온실가스 기준의 적정성에 대하여 검토할 예정이다. 2030년 온실가스 배출 기준 70g/km을 달성하기 위해서는 전기·수소차, 하이브리드차, 내연기관차 판매비율이 각각 1/3씩 되어야 가능한 것으로 전망하였다.

5. 기후변화 대응 지속가능한 환경·에너지 정책 제언

사실 2년마다 발표하는 전력수급기본계획에서 제시한 에너지원별 발전비중 변화의 실효성과 성과는 각 에너지의 상대가격 변화, 발전 기술 및 규모, 에너지 집약도 등 발전 산업의 생산함수 특성 관련 제반 요인들에 의해 영향을 받는다. 이명헌(2021)은 국내 발전 산업을 대상으로 계량 모형을 사용하여 실증적으로 에너지 정책 변화의 성과를 예측, 평가하였다. 에너지원간 특히 원자력과 신재생에너지의 대체 정도를 측정하고, 원전 및 신재생발전 비율의 변화가 CO₂ 잠재발생량에 미치는 파급효과를 분석하였다.³⁹⁾

이명헌(2021)의 분석결과를 요약하면, 우리나라 전력생산 구조적 측면에서 신재생에너지의 투입 확대는 탄소 함량이 가장 많은 석탄을 강하게 대체하지 못하여 효과적인 CO₂ 감축으로 이어지지 않는 것으로 나타났다. 반면 원전 확대는 대체관계를 보인 석탄 투입의 감소로 CO₂ 배출은 큰 폭으로 줄어들었다.⁴⁰⁾ 원자력과 신재생에너지는 상호 보완적인 것으로 나타났으며, 원전 확대에 의한 신재생발전 증가 효과가 신재생발전 확대의 원전 증가효과를 압도하였다. 이는 신재생발전의 비율 목표를 효과적으로 달성하는 데 있어서 원전 비중의 유지 또는 축소 정책보다 병행 확대가 더 유효한 전략임을 시사한다.

2050 탄소중립 목표를 수립하고 에너지의 전력화를 추구하는 데 문재인정부의 원전 축소지향의 탈원전과 신재생에너지 이상주의식 확대정책은 실효성에서 현실적 한계가 예상된다. 그러므로 2022년 러시아의 우크라이나 침공으로 유발된 전세계적인 에너지 가격 폭등과 이로 인한 우리나라 무역수지 최대 적자(480억 달러 전망) 상황을 개선하기 위한 에너지 자립도 제고까지 고려하여 사회적 적정 수준의 원전 비율을 산정하고 이를 토대로 신재생발전과 원전 비중의 동시 확대가 바람직할 것이다.

강화되는 온실가스 기준의 적용에 따라 전기·수소차 등 친환경차 판매 비중 증가가 예상되며, 정부는 자동차 판매사의 저공해차·무공해차 보급의무를 강화하기 위하여 2020년부터 무공해차 보급목표를 신설하는 등 ‘저공해차 보급목표제’를 단계적으로 강화할 계획이다. 2016~2020년 기간 동안 적용한 전기차·수소차, 하이브리드차에 대한 판매실적 추가인정 인센티브(슈퍼크레딧)를 2026년까지 연장하고, 경차, 액화석유가스(LPG)차에는 배출량 일부를 차감하여 적용할 계획이다. 2016~2020

39) 원전의 CO₂ 배출량은 화력발전의 1%에 불과하며, 태양광과 풍력 발전보다도 적었으며, 전력 생산단가에서도 LNG, 신재생에너지, 석탄, 원자력 순으로 낮았다. 원전은 기술 특성상 첨단기술이 종합된 기술집약형 발전방식이므로 과학 및 연계 산업의 발전을 촉진시키는 장점을 갖고 있다. 이밖에 원전은 화력이나 신재생발전에 비해 안정적인 에너지 공급이 가능하다. 석유, 유연탄, LNG 등의 연료가격은 대외 변수들에 의한 영향을 많이 받고, 태양광, 풍력 등은 자연환경, 기상변화에 취약하여 안정적 전력공급을 할 수 없다. 발전소 부지면적을 반영한 설비 이용효율에서 원자력이 태양광, 풍력보다 4~9배 정도 높다(이명헌, 2017).

40) 이명헌(2021)의 연구결과를 일부 인용하거나 요약 정리하였다.

기간 동안 전기차, 수소차 1대당 3대의 판매실적을 인정하기로 하였으나 이를 2023년까지 연장하고 2024년에는 2.5대, 2025년 2대, 2026년 1.5대, 2027년부터는 1대로 점차로 낮추기로 하였다. 한국과 국내 자동차 주요 수출 국가인 미국, EU 간 향후 자동차 온실가스 배출기준을 비교하면, EU가 가장 높았고, 미국은 한국보다 낮게 설정되었다. 앞으로 국내 제조업체가 EU에 자동차를 수출할 때 강화된 배출기준을 충족시켜야 하는 상황에서 연비 개선 등을 위한 생산비용 증가로 가격경쟁력 하락의 어려움에 직면할 수 있다. 이를 극복하기 위해서는 전기 배터리의 기술 혁신을 통하여 가격 인하와 더불어 1회 충전 주행가능거리 증가 등 성능이 개선된 전기차 생산 비중을 확대하는 전략이 요구된다.

III. 탄소관세(Carbon Tariff)

탄소관세는 온실가스 배출 감축을 위한 국제협약에 가입하지 않거나 감축 목표를 이행하지 않은 국가로부터 수입되는 물품에 대해서 부과하는 일종의 범칙금의 관세를 지칭한다. 2009년 덴마크 코펜하겐에서 개최된 제15차 COP를 앞두고 프랑스 사르코지 대통령은 처음으로 탄소관세를 EU 차원의 공동 안건으로 올릴 것을 제안하였다. CO2 감축을 성실히 이행하는 국가와 무임승차하려는 국가 간 기업의 생산 원가에 차이가 나는 만큼 공정한 경쟁을 보장하기 위하여 CO2 감축에 비협조적인 국가의 제품에 추가 관세를 물리자는 논리이다. 미국도 2008년 CO2 를 많이 배출하는 국가의 수입품에 대하여 2020년부터 탄소관세를 부과할 수 있는 법안을 통과시켰다. 이에 대하여 중국, 인도 등 주요 개도국들은 보호주의 수단으로 악용한다며 결사적으로 반발하였다. 탄소관세의 구체적인 부과형태는 CO2 배출량을 규제하는데 어떤 정책수단을 사용하고 있느냐에 따라 좌우된다. 탄소배출권거래제를 도입하는 국가는 다른 국가 또는 기업으로부터 배출권 구입을 요구하게 되며, 탄소세를 운영하는 국가는 CO2 배출량에 비례하여 수입품에 직접 과징금을 부과하게 된다.

1. 논의 배경

오염원의 공해배출량 만큼 조세를 부과하는 데 정당성의 근거로 오염자부담원칙(PPP)을 제시하였다. 즉, 환경오염의 피해비용을 발생시킨 원인을 제공한 주체에게 부담시켜야 한다는 원칙으로서 탄소세의 경우 CO2를 배출한 기업은 기후변화에 영향을 미친 만큼 온실가스 배출량에 비례한 외부비용을 지불해야 한다는 논리이다. 이는 세계적으로 지속가능하고 적정 수준의 CO2 배출을 달성하기 위하여 국경을 초월한 국내외 기업 모두에게 적용되는 원칙이다. 지구온난화는 개별 국가에 한정되지 않은 범지구적인 문제이므로 UNFCCC에 참가하지 않거나 탈퇴하는 경우는 물

론이고 가입 후 회원국이 대외적으로 공언한 감축목표 달성을 이행하지 않는다면 가격경쟁력 확보의 형태로 무임승차의 반사이익을 누리는 수입품을 대상으로 외부 피해비용의 지급을 강제할 수 있다.

온실가스 감축규제를 엄격하게 집행하는 국가에서 제품을 생산하는 기업(A)은 규제가 아예 없거나 규제 강도가 느슨한 국가의 기업(B)보다 생산비용의 상승으로 제품의 가격경쟁력에서 비교열위에 처하게 된다. 이를 피하기 위하여 A기업은 B기업이 위치한 국가로 제품 공장을 이전하거나, 상대적으로 비교우위를 확보한 B기업이 생산을 늘리는 과정에서 에너지가 과다하게 사용되는 상황에 이르게 된다. 그 결과 범지구적인 온실가스 감축정책의 실효성은 반감되는 이른바 탄소누출(carbon leakage) 현상이 발생하게 된다. 실제 EU의 경우 CO2를 많이 배출하는 철강, 시멘트, 화학분야의 다수 공장들이 탄소배출 규제가 없는 국가로 이전되었다. 이러한 탄소누출현상을 방지하기 위해서는 모든 국가가 참여하는 국제 공조가 먼저 확립되어야 한다. 하지만 교토의정서처럼 개도국에게 온실가스 감축의무를 유예하거나 파리협정처럼 감축목표 달성의 구속력이 결여될 경우 탄소관세를 부과하여 온실가스 감축효과의 실효성을 담보하자는 논리가 제기되었다. 탄소관세 부과가 시행되면 탄소규제를 반대하거나 미온적인 국가를 국제협상에 끌어들이는 효과를 얻을 수 있고, 탄소규제를 받는 기업의 입장에서 국제경쟁력의 불공정한 차별로부터 벗어나게 되어 탄소규제의 부담을 긍정적으로 받아들여지게 된다.

2. 실효성

탄소관세는 통상적으로 CO2 배출규제를 엄격히 집행하는 선진국이 규제에 소극적이거나 미온적인 개도국의 수출품을 대상으로 부과하는 형태이다. 하지만 1장에서 서술한 것처럼 작금의 지구온난화현상의 주원인 제공자는 역사적으로 산업혁명 이후 경제성장을 이룩한 선진국임에는 다툼의 여지가 없다는 점에서 개도국 입장에서 이를 쉽게 받아들이기는 쉽지 않다. 기후변화협약 조항에서 ‘공동의 그러나 차별화된 책임원칙(common but differentiated responsibility principle)’이 명시된 만큼 선진국 규정을 적용하여 일방적으로 개도국에 대한 과세를 실행하기가 현실적으로 어려운 상황이다.

탄소관세 도입은 환경보존을 명목으로 실행하는 보호무역주의의 한 수단으로 비쳐줄 수 있다. 이는 관세 철폐와 국제무역 확대를 도모하기 위하여 1947년 체결된 '관세 및 무역에 관한 일반협정(General Agreement on Tariffs and Trade: GATT)'과 GATT체제를 승계한 WTO 협약을 위배하는 결과를 초래할 수 있다.⁴¹⁾

41) GATT의 주요 협정내용은 다음과 같다. 첫째, 회원국 상호간의 다각적 교섭으로 관세를 인하하고 회원국끼리는 최혜국대우를 베풀어 관세의 차별대우를 제거한다. 둘째, 기존 특혜관세제도(영연방 특혜)는 인정한다. 셋째, 수출입 제한은 원칙적으로 폐지하며, 넷째, 수출입 절차와 대금 지불의 차별대우를 하지 않는다. 다섯째, 수출 증대를 위한 어떠한 형태의 보조금 지급을 금지한다.

환경보호를 위한 예외 조항(GATT 20조)에 부합하기 위해서는 수출국의 환경정책 상황을 반영한 차별적인 국경세 조정이 필요하다. 오늘날 제품을 생산하는 과정에서 원료 공급, 부품 및 소재 개발, 조립 및 제조완성 등 단계별로 다국적 기업으로 운영되는 글로벌 분업과 공급체인 체계에서는 제품의 원산지 규정이 모호하고 제조 공정별 온실가스 배출량을 추적하는 것이 간단하지 않다. GATT 조항에 위배되지 않은 탄소관세의 설계는 현실적으로 거의 불가능하다는 것이 보편적 견해이다.

선진국이 탄소규제가 느슨하여 상대적으로 가격이 상대적으로 싼 국가의 제품을 수입할 때 국경조정세로서 탄소관세를 부과하면 국내 시장에서 제품가격과 수입품 가격 차이를 축소시켜 수입량을 줄이는 무역수지 개선효과를 거둘 수 있다.

3. 국가별 도입 논의 사례

범지구적인 기후변화 대처에 긍정적인 영향을 미칠 수 있지만 국가 간 이해관계의 대립으로 무역 분쟁의 소지를 안고 있는 탄소관세의 도입과 시행은 국제적으로 매우 민감한 사안이다. EU를 중심으로 탄소관세의 도입 논의가 중점적으로 논의가 되고 있으며 프랑스, 이탈리아, 벨기에 등은 지지한 반면 독일, 북유럽 등 대부분의 유럽 국가들은 반대를 하고 있다. 미국은 2009년 탄소관세조항이 포함된 탄소배출권거래법이 하원에서 통과되었으나 경제주체별로 찬반 의견이 엇갈려 합의가 이루어지지 않고 있다. 중국, 인도 등 주요 개도국들은 WTO에 위배된다고 탄소관세 도입에 결사적으로 반대하고 있다.

(1) 미국

미국은 산업계 입장을 옹호하는 공화당과 달리 민주당 행정부가 출범할 때 기후변화의 관심을 갖고 정책적으로 온실가스 감축의 실행의지를 보여 왔다. 미국 하원 에너지통상위원회는 2009년 기업 간 온실가스 배출권거래제의 기초 토대를 제공한 청정에너지안보법안(American Clean Energy and Security: ACES)을 통과시켰으나 상원에서는 통과되지 못하였다. 특히 주요 조항 가운데 청정에너지 경제로의 전환을 위한 조치로서 국제배출권거래와 연계하여 온실가스 감축을 이행하지 않은 국가로부터 수입하는 철강, 시멘트, 유리 등 탄소집약적인 제품에 대하여 2020년까지 국경조정세를 부과할 수 있는 내용을 담고 있다. 특징적으로는 국제협약의 온실가스 감축 이행을 준수하는 국가의 수입품에 대하여 탄소관세를 면제하거나 미국 기업의 국제경쟁력 저하를 방지하기 위하여 리베이트를 제공할 수 있는 규정을 명시하였다.

미국 내 탄소관세 도입 여부를 놓고 이해관계자의 견해가 첨예하게 엇갈리고 있다. 환경단체 등은 범지구적인 기후변화 문제를 해결하고, 공정무역을 실현하며, 탄

소누출현상을 억제하는 방안으로 탄소관세 도입을 찬성한 반면, 산업계 등은 중국, 인도와의 통상마찰, WTO 규정 위배 등을 이유로 반대하는 입장을 견지하고 있다. 경제학자 크루그만(P. Krugman)교수는 2009년 기업과 제도의 효율적 생산과 운영을 위하여 탄소배출권거래, 탄소관세 등의 조항이 담긴 ACES를 지지하고, 특히 미시간, 디트로이트 등 제조업 중심인 주출신의 상원의원 등은 미국 산업경쟁력 악화를 방지하기 위하여 미국 수준의 온실가스 감축 규제를 실행하지 않은 국가들에 대하여 탄소관세 부과를 강력히 주장하였다. 이에 대하여 무역마찰을 유발시킬 수 있음을 밝힌 오바마 대통령과 공화당 출신 상원의원 대부분은 에너지세 부과는 기업 및 소비자에 전가되어 경제를 위축시킨다며 탄소관세의 도입을 반대하였다. 또한 IPCC는 탄소관세는 WTO 원칙에 위배되며 UNFCCC의 ‘공동의 차별화된 책임원칙’에도 부합하지 않다는 의견을 제시하였다. 미국은 트럼프 행정부 출범 후 2017년 파리기후협약 탈퇴 선언과 함께 개도국, 빈국의 온실가스 저감 노력을 지원하기 위하여 약정한 GCF 출연금 20억 달러를 보류하였다. 하지만 바이든 정부 이후 2050 탄소중립 추구, IRA 법안 통과 등 미국의 온실가스 감축의지가 한층 강화된 상황을 고려할 때 향후 탄소관세 도입 여부를 타진할 전망이다.

(2) EU

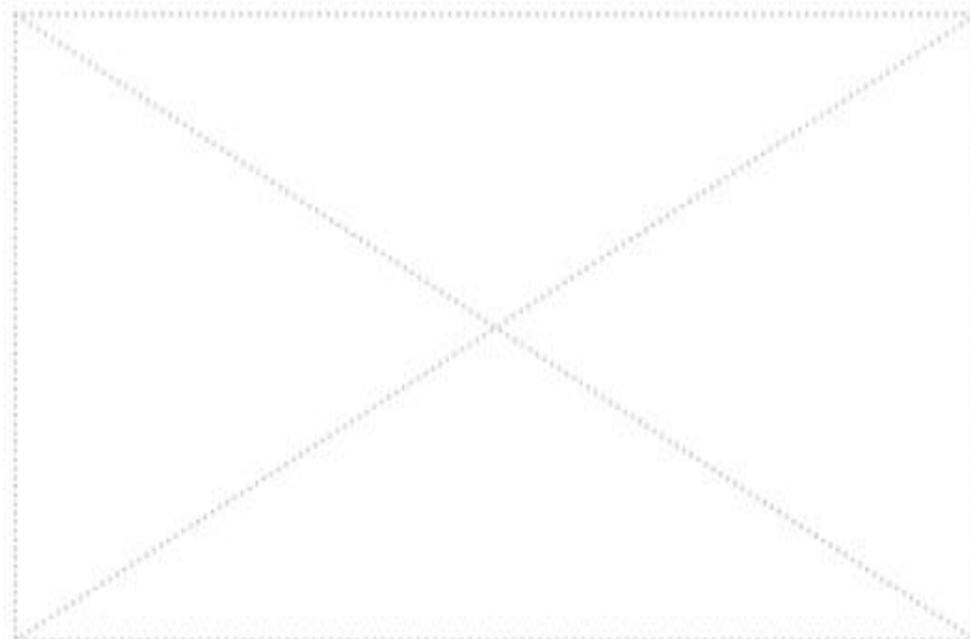
EU 환경장관 이사회가 2008년 EU ETS 개정안 제시와 함께 탄소관세 도입 의견을 타진한 이후, 프랑스는 온실가스 규제가 미흡한 역외국가로부터 제품을 수입할 때 지역 생산자의 경쟁력 저하를 막기 위하여 수입업자의 EU 탄소배출권 구입을 요구하는 탄소관세 도입을 제안하였다. 프랑스 사르코지 대통령은 EU의 탄소규제가 강화되면 역내 탄소누출 현상이 발생할 것으로 전망하고 이를 억제하기 위한 탄소관세 부과의 정당성을 주장하였다. 회원국 간 합의가 이루어지지 않은 경우 프랑스 단독으로 시행할 것을 밝히기도 하였으며, 이에 이탈리아가 프랑스 제안에 동조하였다. 프랑스는 공정경쟁과 실질적인 탄소균형조치를 위하여 수입업자가 탄소규제가 느슨한 국가로부터 제품을 수입할 때 에너지집약적인 산업 제품의 탄소함유량에 근거하여 산정된 가격의 EU 배출권을 구입해야 한다는 것이다. 반면, 독일, 스웨덴 등 기타 회원국은 탄소관세 도입을 새로운 형태의 녹색보호주의 및 환경 제국주의로 규정하며 반대하였다.

EU 집행위는 탄소관세 부과는 WTO 규정에 위반될 소지가 있고 중국, 인도 등 개도국과의 무역분쟁과 보복조치를 야기할 수 있다며 부정적인 입장을 보였다. 일부 학자들을 중심으로 탄소관세의 수익을 개도국 저탄소기술 지원을 위한 재원으로 활용하자는 견해가 있다. 결국 온실가스 감축과 역내 대외경쟁력의 영향 분석을 통한 탄소관세 도입효과의 정확한 진단과 함께 관세 부과 대상 및 국가별 도입 시기의 차이를 극복할 수 있는 국제적 대응 노력에 따라 탄소관세의 실행 여부가 결정될 것으로 전망된다.

2021년 7월 EU 집행위는 2030년 유럽의 온실가스 배출량을 1990년 대비 55% 감축하기 위하여 탄소국경조정제도(CBAM: Carbon Border Adjustment Mechanism)를 포함한 입법 패키지 ‘핏 포 55 (Fit for 55)’를 발표하였다. CBAM이 시행되면 수입품이 동일 제품을 EU내에서 생산하는 과정에서 발생하는 탄소 배출량보다 많을 경우 초과분만큼 국내 수입업자 (또는 외국 수출업체)는 탄소배출권을 구매하여 충당해야 하므로 관세 인상효과를 초래한다. 초안에 따르면 EU는 우선 2023년부터 전기, 시멘트, 철강, 알루미늄 등 탄소 배출이 많은 품목에 CBAM을 적용하되 3년의 과도 기간을 거쳐 2026년부터 전면 도입을 계획하고 있다.

이에 대하여 대외경제정책연구원(KIEP)은 'EU CBAM에 대한 통상법적 분석 및 우리 산업에의 시사점' 보고서를 통하여 국내 CBAM 대상품목의 대EU 총수출에서 가장 높은 비중 (95.2%, 31억5천만 달러)을 차지하는 철강 및 철강제품은 EU 수입업자가 CBAM으로 인한 탄소비용을 수출기업에 일부 전가할 경우 국내 철강산업의 수출 경쟁력이 약화할 수 있다는 전망을 제시하였다. EU-ETS 무상할당 품목은 CBAM 인증서 매입·제출 의무를 감면받게 되지만 한국의 EU 철강 수출액에서 해당 품목 비중은 0.15%에 불과하며, 79.5%가 무상할당 감면 혜택을 받지 못하는 것으로 나타났다. 전국경제인연합회가 발표한 'EU CBAM 주요 내용 및 시사점' 보고서에 따르면 EU CBAM 도입으로 한국 철강 제품을 수입하는 EU 업체가 부담해야 할 비용이 연간 최대 3천390억원에 이를 것으로 분석하였다 ([그림 34] 참조).

[그림 34] EU 탄소국경제도 주요 내용



(3) 중국

중국정부는 기후변화 대책 수립의 국제적 공조 필요성은 인정하나 수입품에 부과하는 탄소관세는 환경보호의 미명하에 보호무역의 수단으로 악용될 수 있으며, UNFCCC의 ‘공동의 차별화된 책임원칙’에도 부합하지 않을뿐더러 WTO 기본원칙에 위배되므로 강한 반대를 표명하였다. 반면, 산업혁명 이후 화석연료를 성장 동력의 에너지원으로 사용하여 경제발전을 이룩한 선진국은 지구온난화의 원인 제공자로서 온실가스 감축 의무부여와 함께 규모와 속도를 더욱 확대해야 하며 기후변화의 피해당사국인 개도국의 탄소배출 저감기술 및 재정 지원에 적극적으로 나서야 한다고 주장하였다. 또한 중국 탄소배출량의 25%가량이 미국, EU 수출품을 생산하는 과정에서 발생되므로 이에 근거하여 관세를 부과하는 것은 불공정하고 부당하다는 주장이다. 중국정부는 합당한 다자간 협상 없는 선진국의 일방적인 탄소관세 부과는 선진국, 개도국 간 무역보복이 야기되고 무역전쟁으로 확산될 수 있음을 경고하였다.

한편, 일각에서는 탄소관세 실행에 대비하여 장기적인 대처방안을 논의해야 한다는 의견을 개진하였다. 즉, 현재의 화석에너지 의존도가 높은 산업구조에서 탈피하여 대체에너지 집약적인 생산경제로 전환하는 산업 및 에너지정책을 수립해야 한다는 것이다. 인도 역시 중국 입장을 지지하며 WTO내 기후변화 관련 협상을 거부하고 탄소관세 도입을 강력 반대하였다.

IV. WTO와 탄소관세

1. 무역환경위원회(CTE)

1972년 스톡홀름 인간환경선언 이후 GATT 체제에서 무역과 환경문제의 연계 필요성에 관한 논의가 이루어졌으나 국제적 관심을 받지 못하여 지지부진하였다. 1992년 6월 브라질 리우의 UN 환경개발회의에서 무역과 환경에 대한 기본입장을 정리하면서 관심이 부각되기 시작하였다. 그 내용은 첫째, 환경보호를 목적으로 시행하는 무역규제 조치가 자의적 혹은 부당한 차별적 방법이나 위장된 수단을 포함해서는 안 되고, 둘째, 국가 간 또는 지구적 차원의 환경문제 해결을 위한 조치는 가능한 한 국제적 합의에 기초해야 하며, 셋째, 환경과 개발 분야의 국제 활동 시 개도국 입장을 충분히 고려해야 한다는 것이다.

환경과 무역에 대한 논의는 1994년 마라케시 각료회의에서 ‘무역과 환경에 관한 결정문’을 채택하고 WTO 산하에 무역환경위원회(Committee on Trade and Environment: CTE)를 설치키로 결정하면서 본격적으로 이루어졌다. CTE는 무역과 환경에 관한 10개 의제를 채택, 1995~1996년까지 13차례 공식회의를 갖고 그 결과를 1996년말 싱가포르 각료회의에 제출했다. 그러나 싱가포르 각료회의에서는 의

제별로 국가 및 선·후진국간에 입장차이가 뚜렷하여 구체적인 합의를 이루지 못하고, 향후 CTE를 상설화하고 추가적인 논의를 계속하여 일반이사회에 보고한다는 선에서 마무리되었다. <표 22>에서 제시한 바와 같이 WTO/CTE에서는 무역과 관련된 환경문제를 10개 의제(item)로 나누어 논의하고, 국제적 규범을 도출하기보다는 각 국의 상이한 경제·사회적 여건을 감안하여 의제별 구체사례 및 경험에 입각한 분석과 토의 위주로 논의가 전개된다.⁴²⁾ 현재 무역협상위원회 내 특별회의에서 이러한 의제들을 논의하고 회원국 간 이해충돌 및 이견을 조율하고 분쟁을 해결하고 있다.

<표 22> WTO CTE 10개 논의의제

의제 1	○ 다자간 무역체제의 규정과 환경목적의 무역조치와의 관계(국제환경협약상의 무역조치 포함)
의제 2	○ 다자간 무역체제의 규정과 현저한 무역효과를 수반하는 환경정책과의 관계
의제 3	○ 다자간 무역체제의 규정과 다음 조치와의 관계 환경목적의 부과금과 조세 표준, 기술규정, 환경마크, 포장, 재활용 등 환경관련 제품요건
의제 4	○ 환경목적의 무역조치와 현저한 무역효과를 유발하는 환경조치의 투명성에 관한 다자무역체제의 규정
의제 5	○ 다자간 무역체제의 분쟁해결 절차와 국제환경협약상 분쟁해결 절차와의 관계
의제 6	○ 환경조치가 시장접근에 미치는 효과(특히 개도국과 후진국에 대한) ○ 무역제한과 왜곡의 제거에 따른 환경적 편익
의제 7	○ 국내 판매금지물품의 수출문제
의제 8	○ 서비스 교역과 환경
의제 9	○ 지적재산권 협정의 환경관련 조항
의제 10	○ 민간단체와의 협력 및 문서의 투명성 증진을 위한 적절한 방안

42) 환경관련 무역규제란 자국이 추구하는 환경정책의 목적을 달성하거나 유효성을 확보하기 위하여 직접적으로 무역을 규제 혹은 제한하는 것을 말한다. 일례로 미국은 자국법에 근거하여 돌고래를 해치는 방식으로 잡은 참치수입을 금지하고 있으며(Tuna-Dolphin 사건), 환경오염을 유발하는 상품 및 제품의 생산, 사용, 교역을 금지 및 제한하고 있다. 또한 각 국의 환경기준 차이만큼 상계관세를 부과하는 상계관세제도, 제품에 대한 환경목적의 부과금·세금의 차이만큼을 국경세로 조정하는 것 등은 대표적인 환경관련 무역규제 사례이다. 무역효과가 있는 환경정책은 의도적으로 무역에 영향을 미치는 것이 아니더라도 환경보전을 위하여 취한 각종 조치가 결과적으로 제품의 생산·소비·폐기에 영향을 주어 경제활동을 제약하는 요소로 작용하는 것을 말한다. 예를 들어 특정제품 관련 우수 선진기술을 바탕으로 환경기준이나 규정을 설정하고 수입품에도 같은 규정의 적용을 요구하거나, 준수의 강제성은 없지만 제품 수입 시에 자국의 규격획득을 요구하고 있는 것 등이 있다. 또 환경에 부담이 적은 상품에 표지를 부착하는 환경마크제도는 환경친화적인 생산과 소비를 촉진하는 부분이 있으나 수출국 입장으로는 각 수입국의 기준에 맞는 제품을 생산해야 하는 부담이 따른다. 포장폐기물의 감량을 위한 사용량 및 재질을 규제하거나 포장폐기물의 제조·수입업자에게 회수처리 의무를 부과하는 것 등도 무역효과가 있는 환경정책의 범주에 포함된다.

2. 탄소관세와 WTO 규정

탄소관세 부과는 자유무역에 제약을 가하는 결과를 초래하므로 WTO 규정에 부합하지 않을 가능성은 높지만 환경보호를 위한 예외 조항(GATT 20조)을 적용하면 위배되지 않을 수도 있다. WTO 협정에 부합하려면 GATT 1조 최혜국대우 원칙과 3조 내국민대우 원칙을 준수해야 한다. 두 원칙은 GATT 체제의 양대 주축으로서 수출국 간 또는 수입국 내 국내 제품과 수입품 간 공정한 경쟁을 보장하여 무역장벽의 제거를 추구한다. 본 항에서는 탄소관세 부과가 최혜국대우와 내국민대우 원칙에 부합하는지, 그리고 환경보호의 예외 조항에 적용가능한지 여부에 대하여 살펴보기로 하자.

(1) 최혜국대우(Most Favored National: MFN)

GATT 1조의 최혜국대우 규정은 특정 국가가 상대국과 무역거래를 하며 차별을 두지 말아야 한다는 것이다. 예컨대 어떤 국가의 수입품에 대하여 관세인하조치처럼 특혜를 제공하면 동종 제품에 대하여 다른 모든 WTO 회원국에게도 동일한 대우를 해줘야 한다. GATT 1조 2항의 규정에 의하면 동종의 국내산 제품에 부과된 직·간접적 세금을 초과하여 수입품에 과세할 수 없다. 동종 제품의 여부는 관례적으로 제품의 관세분류, 물리적 특성, 최종용도, 소비자의 기호와 습관 등을 근거로 결정되어 왔다. 탄소집약적인 제품은 이에 대한 비교가 모호하여 논란이 될 여지가 있으나, 제조과정에서 배출된 온실가스 양이 다른 제품을 상이한 제품으로 분류하는 것은 적절하지 않다는 의견이 다수이다. 또한 WTO는 제품의 생산 과정 및 방법에 따라 부과하는 관세를 물리적 특성의 차이로 인정하지 않는 입장이므로 생산공정의 위반이나 사용된 연료를 대상으로 부과하는 탄소관세 역시 GATT 규정에 부합하지 않는 것으로 볼 수 있다.

(2) 내국민대우(National Treatment: NT)

GATT 3조의 내국민대우는 수입품과 국내 제품은 서비스, 상표, 저작권 및 특허를 포함하여 최소한 외국 제품이 국내 시장에 진입한 후 불리한 대우를 받지 않고 동등하게 취급되어야 한다는 것이다. 1항과 2항은 각각 국내 산업을 보호하기 위한 세금이나 규제의 사용제한과 동종 제품에 대한 재정적 차별금지를 규정하고 있다. NT 원칙을 위반하지 않기 위해서는 과징금을 수입품에 부과하는 방식이 국내 제품과 동일해야 한다. 하지만 탄소관세의 경우 탄소세든 탄소배출권이든 모든 국가에 동일한 규제를 적용하는 것은 현실적으로 한계가 있다. 특히 동일한 탄소배출량에 대하여 국내외 기업 간 부담이 똑같아야 하는데 사용 연료나 생산기술에 따라 수입품의 탄소배출량이 달라질 수 있는 상황에서 사실상 관련 정보를 얻기란 용이하지

않다.

(3) 일반적 예외 조항

GATT 20조는 회원국 일반의무가 면제되는 특정한 상황의 10개의 예외조항 관련 조치를 제시하고 있다. 예외 사유를 요약하면, ①공중도덕 보호 ②인간 및 동식물 생명, 건강 보호 ③금, 은의 무역거래 ④지적재산권 보호 등 ⑤교도소 노동 상품 ⑥국보 보호 ⑦유한 천연자원 보존 ⑧국가 간 무역협정 의무 ⑨국내 원료 확보 ⑩공급부족의 상품 등이다. 이중 탄소관세와 관련한 예외 조항은 인간 생명 및 건강 보호와 천연자원 보존을 위한 조치 등을 들 수 있다. 탄소관세 부과가 GATT 1조와 3조를 위반하여 차별적 조치로 판단되더라도 GATT 20조의 예외조항에 해당될 경우 WTO 규정에 위배되지 않을 수 있다. 하지만 WTO는 그동안 20조 항목을 실제 사례 및 관행에 따라 제한적으로 해석하여 왔다. GATT 20조 ②항은 인간 생명과 건강 보호를 위한 필요성을 요구하지만, ⑦항은 천연자원 보존을 위한 관련성만 요구하므로 탄소관세 부과가 예외 사유로 인정받을 가능성은 ⑦항이 ②항보다 상대적으로 높다고 할 수 있다. ⑦항을 적용받기 위해서는 탄소관세가 대기 및 기후보존과 관련된 조치이어야 하는데 실제로 탄소누출 현상을 억제하는 데 효율적인 방법인가에 대한 부정적인 견해가 다수 존재하며, 탄소감소의 실제 효과도 제한적으로 보고 있다. 또한 지구의 기후변화가 고갈 위험이 있는 천연자원인가에 대한 회의적인 의견을 제시하기도 한다(WMO). 탄소관세의 합법성에 대한 WTO의 명확한 입장은 없으나 구체적 사례별로 내용에 따라 수용여부가 갈라질 것으로 예상된다.

하지만 미국이 자국 내 생산 전기차에만 보조금 혜택을 주는 인플레이감축법(IRA)을 통과시키고, EU 또한 탄소국경세 도입을 포함하여 2023년 3월부터 한층 강화된 TV 에너지효율 기준 규제를 시행하는 등 자국 중심주의의 보호무역 파고가 수출의존도가 높은 한국의 산업 및 경제에 악영향을 미치며 부정적으로 작용할 것으로 예측된다. EU는 내년 3월부터 기존 4K(초고화질) TV까지 적용되던 에너지효율지수를 전력 소비량이 많은 8K와 마이크로 LED TV 제품군까지 확대하고 기준을 준수하지 못하면 EU내 판매가 원칙적으로 금지된다. 2022년 현재 삼성전자, LG전자 8K TV 제품 가운데 강화된 기준을 충족시키는 제품은 없는 것으로 파악된다. 내년 3월까지 소비 전력을 줄이는 것은 기술적으로 어려운 상황에서 그렇다고 밝기를 낮출 경우 기존 4K TV와 차별성이 떨어져 판매량 감소로 이어질 것이다. 디스플레이 서플라이 체인 컨설턴트(DSCC)에 의하면 지난 해 36만대를 기록한 8K TV시장에서 EU 판매 비중은 31%에 달한다. 따라서 IRA 완화의 외교·통상적 노력과 함께, 전기차 제조 기술 경쟁력 강화, 탄소 감축을 위한 에너지 절약 및 에너지 효율 향상 등을 지속적으로 추구하며 이를 위한 정부의 법적, 제도적, 정책적 지원이 뒷받침되어야 한다.

V. 탄소규제의 통상 대응전략

기후변화협약은 두 가지 측면에서 중요한 의미를 갖고 있다. 첫째, 세계 각 국이 함께 노력해서 지구온난화의 주범인 이산화탄소 등 온실가스를 감축하기로 한 것이고, 둘째, 온실가스를 줄이기 위해 에너지 소비를 줄이거나 에너지 효율이 높은 제품을 생산·수출해야 하므로 이는 경제나 무역·통상문제와 직결될 수 있다.

우리나라의 산업구조는 철강, 자동차, 석유화학, 조선 등 에너지 다소비 산업구조이기 때문에 에너지 가격이 상승하면 산업 전반적으로 생산비용이 상승하고 이는 가격경쟁력 하락으로 이어져 성장 둔화가 초래될 수 있다. 장기적으로 에너지 절약 산업 등의 새로운 환경산업이 성장할 것이며, 환경친화적 기술개발이 촉진된다면 산업구조도 환경친화적으로 전환될 수 있을 것이다. 많은 기존 연구결과는 이산화탄소 배출감축은 우리나라의 전반적인 경제활동을 위축시킬 수 있다는 점을 공통적으로 지적하고 있다.

우리나라는 2021년 기준 세계 8위의 에너지 소비국(2억3466만 TOE)이며, 에너지소비량의 약 93%를 수입에 의존하고 있다.⁴³⁾ 에너지 수입액은 1,372억 달러로 우리나라 총수입액의 22.3%에 이른다(에너지통계월보, 2022.9). GDP 대비 에너지 소비량인 에너지 원단위는 0.16(TOE/백만원)으로서 38개 OECD 회원국 가운데 35위로 최하위 수준이다.⁴⁴⁾ 지난 10년간 OECD 회원국 에너지 소비는 연간 평균 0.2% 감소한 반면 우리나라는 연 0.9% 늘었다.

그러므로 산업구조를 에너지저소비형 구조로 전환해 나가는 것이 시급한 과제이며, 정부부처 간 기후변화대책을 체계적으로 추진해 나가기 위해 강화된 대응체계를 구축하고 관계법의 제정을 추진해 나가야 한다. 수출의존도가 높은 경제 및 산업구조를 갖고 있는 우리나라는 소극적이고 방어적인 자세로 대응하기 보다는 저탄소 지향의 국제 동향에 빨리 참여하여 에너지효율 개선 등 기술개발과 경쟁력 제고를 도모하며, 산업·수송·가정·상업 등의 부문에서 에너지절약, 에너지효율 개선, 천연가스 등 청정연료 공급확대, 신재생에너지와 원전의 보급·촉진 등을 추진해야 한다. 특히 원전의 경우 기존 대용량 발전 원자로 보다는 안전성, 기술성, 지역입지 용이성 등에서 우위가 있는 발전 용량 300MW 이하의 소형모듈원자로(SMR)를 개발하여 활용하는 것이 바람직하다. 환경부문에서는 전기차, 수소차 등 친환경자동차의 보급 확대, 매립지 가스의 자원화, 에너지 이용 효율 향상기술과 신재생에너지 분야 기술개발도 적극 추진해야 한다.

에너지 소비절약과 효율성제고를 위해서는 원가에 비해 지나치게 낮은 에너지 가격을 현실화해야 한다. 러시아의 우크라이나 침공으로 원유, 가스, 석탄 국제가격이 폭등했음에도 오랫동안 정부가 전기요금이나 기름, 가스 값을 눌러온 탓에 에너지

43) TOE(석유환산톤)는 석유 1톤이 연소할 때 발생하는 에너지이다.

44) 에너지 원단위는 경제활동에 투입된 에너지의 효율성을 평가하는 지표로서 에너지 원단위가 높다는 것은 단위 부가가치를 생산하는 데 에너지를 더 많이 사용한다는 의미이다.

절감의 필요성을 못 느끼고 이로 인해 한전과 가스공사의 부실화가 점점 가속화되고 있다. 정부가 에너지시장에 개입하여 가격을 통제하는 가격보조 정책은 실은 1970년대 경제개발시대에서 도입되어 기업의 가격경쟁력 강화에 기여하며 압축 성장이란 성과를 성취했음은 누구도 부인을 못한다. 하지만 경제규모 세계 10위안에 진입한 이후에도 에너지가격 보조는 지속되고 있다.

국제 에너지가격 사이트 글로벌페트롤프라이스닷컴에 의하면 2022년 3월 기준 국내 주택용 전기 요금은 126.4원/kWh으로 세계 148국 가운데 97번째로 낮았다. 우리나라보다 싼 나라는 러시아(102위), 사우디아라비아(116위) 등 에너지 부국이 많다. OECD 38국 중에서도 37위이며, 1위인 덴마크의 1/5에 못 미치고, 일본과는 40% 수준이다. 전기 요금 인상률은 최근 1년 반 사이 우리나라가 17.9%인 반면 이탈리아(200%이상), 영국(89%)·스페인(45%)·독일(43%)도 가파르게 올랐다. 중동·미국 등에서 전량 수입하는 천연가스 가격도 2022년 6월 기준 17.98/MJ원으로 크게 낮은 수준이다. 러시아의 우크라이나 침공으로 유럽국가는 물론 미국의 가스값도 대폭 올랐으나 우리나라는 제자리걸음이다. 유류가 역시 OECD 국가 중 아주 싼 편이다. 국제 유류가격이 폭등하여 국내 유류가가 오르면 소비를 줄여야 하는데 오히려 유류세 인하를 고유가 대책으로 제시하는 실정이다. 에너지 가격 현실화와 함께 영세 사업자, 저소득층에게는 에너지 요금 감면이나 소득보조를 지원해야 한다.

참고문헌

- 권순우, 『수소전기차 시대가 온다』, 가나출판사, 2019.
- 김수일, 2006, 『계량경제모형을 통한 발전부문의 연료대체에 관한 연구』, 경기: 에너지경제연구원.
- 김유진·전진환·편석준, 『전기차 시대가 온다』, 미래의창, 2018.
- 외교통상부, 『WTO 이해하기』, 간행물발간등록번호: 11-1260000-000367-14, 2007.
- 이명헌, 2017, 『탄소경제학』, 경기: 학현사.
- 이명헌, 2015, “국내 제조업에 대한 비가격 신재생에너지의 암묵가격, 대체가능성, 생산성 파급효과 분석,” 『자원·환경경제연구』, 24(4), pp.727-745.
- 이명헌, 2021, “환경을 고려한 에너지 전환정책의 잠재적 효과분석,” 『자원·환경경제연구』, 30(2), pp.325-345.
- 정재호·김정아·박지우, “탄소관세 도입에 관한 외국 사례와 주요 논점 연구” 『관세연구』, 10-03, 한국조세연구원, 2010.
- Brown, R.S. and L.R. Christensen, 1982, “Estimating Elasticities of Substitution in a model of Partial Static Equilibrium: An Application to U.S. Agriculture 1947 to 1974”, in: E.R. Berndt and B.C. Field (eds.), Modeling and Measuring Natural Resource Substitution, Cambridge, Massachusetts: M.I.T. Press.
- Halvorsen, R. and T.R. Smith, 1986, “Substitution Possibilities for Unpriced Natural Resources: Restricted Cost Function for the Canadian Metal Mining Industry”, Review of Economics and Statistics, Vol. 68, 398-405.

제 8 장

토론: 정책 제언

여기서는 2~7장의 논의에 근거하여 기후정책에 관한 정책적 시사점과 제언을 제시한다. 제2장(국내외 탄소시장 동향 및 대응 방향)은 탄소시장의 역할을 강조하였다. 우리나라의 온실가스 감축정책은 탄소 배출권 시장이 핵심적인 역할을 하고 있다. 시장은 기술중립적이며 경제성에 따라 기술이 선택된다. 경제성에 근거한 기술중립적 선택은 그 자체로 매우 합리적이지만 탄소시장에서 중장기적인 기술의 중요성이 국가적 관점에서 잘 평가되기는 어렵다. 따라서 탄소 시장과 함께 국가적 관점에서의 중요 기술에 대한 정부 지원은 필요하다. 탄소중립 달성을 위해서는 이처럼 국가 차원에서 중장기적인 기술 지원 정책이 시급한데, 지원 기술을 선택함에 있어서 탄소시장에서의 기술 동향정보는 매우 유용한 근거를 제공할 수 있다. 탄소 시장을 통해 선택 받는 기술은 정부의 추가 지원 없이도 경제성을 확보한 것으로 판단할 수 있으므로 지원 대상 기술을 선택하거나 지원 수준을 조정하는 데 유용한 정보를 제공한다. 또한 정부의 중장기적인 기술개발 지원 정책을 수립하고 이행하는 과정에서 선정된 기술이 탄소 시장에서 어떤 평가를 받는가에 대한 면밀한 모니터링을 통해 정부 지원 정책의 효과를 조기에 평가하고 향후 정책 개선에 근거자료로 활용할 수 있다. 이처럼 정부의 탄소중립 기술 지원 정책은 탄소 시장과의 긴밀한 연계를 통해 보다 합리적으로 설계될 수 있고, 보다 효과적으로 집행될 수 있을 것이다.

3장(기후경제학 관점에서의 기후기술과 기후변화 완화)에서 저탄소기술 혹은 탄소중립기술의 한계비용 감소는 2050년 탄소중립 달성을 위한 필수요소임을 강조하였다. 탄소중립기술의 발전은 향후 30년간 순 탄소배출량을 0으로 만들기 위해 요구되는 탄소가격의 급격한 상승을 억제할 수 있기 때문이다. 또한 이를 통하여 급격한 탄소감축으로 인한 거시경제 및 산업경쟁력 악화에 대한 우려를 어느정도 완화시킬 수 있다. 다만, 정부차원에서 우선적 지원책의 대상 기술 선택에 대해서는 다양한 요소를 고려한 면밀한 분석이 선행되어야 할 것이다. 예컨대 한계비용(공급) 측면에서 현재의 기술성숙도가 낮을수록, 수요측면에서 향후 해당 기술수요가 충분히 높게 기대될수록 높은 정책효과(투자대비 효용)가 가능할 것이다. 이 외에도 기술의 지역적 확산성, 기술간 연결성 등을 고려한 단·장기적인 기술 지원정책이 계획되어야 할 것이다.

4장(기술혁신의 관점에서 바라본 기후정책)은 기후 분야의 기후정책을 심도있게 다루었다. 2050 탄소중립 목표를 달성하기 위해서는 지속가능하며 비용효과적 핵심 수단인 '과학기술 혁신'의 역할이 무엇보다 중요하다. 최근 EU 등을 중심으로 과학기술 혁신정책의 임무지향성을 강조하고 있으며, 우리나라도 국가전략기술과 함께 탄소중립 분야를 임무지향적 기술혁신 정책의 주요 영역으로 제시하고 있다. 공급자 중심의 기술개발 정책에서 벗어나 국가적 목표 달성 또는 사회적 문제해결을 위한 임무지향적 혁신정책을 효과적으로 추진하기 위해서는 근거에 기반한 다양한 이해관계자와의 소통과 협업이 중요하다. 탄소중립 대응 기술개발 예산의 지속적 확대와 함께 어느 정도의 온실가스 감축효과를 나타내는지 가이드라인 마련이 필요하다

며, 이에 따라 기술개발 전략 수립이 요구된다. 또한 탄소중립 관련 연구자/민간기업(기술 공급자), 시민(사회적 수용), 정부/지자체(규제) 등 이해관계자 간 상호 협력 및 소통이 필요하다. 과기정통부, 산업부, 국토부 등 다수 부처에 분산되어 추진 중인 우리나라 R&D시스템의 특징과 탄소중립이라는 글로벌 아젠다를 고려할 때 국가 내 및 국가 간 협업과 소통이 중요하다. 두 번째, 탄소중립 핵심원천기술이 연구에 머무르지 않고 상용화를 통해 국내 또는 해외 현장에 보급되기 위해서는 국내 민간기업 생태계 활성화가 필요하다. 하지만 타 국가 대비 우리나라 탄소중립 분야 내수시장이 크지 않으며, 기술패권 시대 도래로 인한 글로벌 경쟁 심화로 국내 시장의 외국기술 점유율이 점진적으로 확대되고 있다. 국산기술을 보호하고, 해외시장 진출을 위한 트랙레코드 확보를 위해 적정 수준의 규제와 보조금 정책, 그리고 테스트베드 구축 및 시험·평가 등 정부 지원이 필요하다. 세 번째, 지속가능하며, 일관성있는 탄소중립 정책 실행을 위해서는 단기적으로 책임부처 중심의 정책 실행이 필요하며, 중장기적으로 기후변화 대응 전담부처 신설에 대한 고려가 필요하다. 탄소중립 목표 실현을 위해서는 에너지전환, 산업, 수송·교통, 환경 등 모든 분야의 적극적인 기술개발이 필요하다. 하지만 각 부처 간 역할이 명확한 R&D 분야도 있으나 수소, 이산화탄소 저장 및 활용 기술 등과 같이 부처 간 역할이 모호한 분야도 다수 존재하므로 부처 간 역할을 보다 명확히 하고 책임부처를 중심으로 임무지향적으로 기술을 개발할 필요가 있다. 또한 탄소중립에 있어 기술혁신이 중요한 핵심 수단이나 금융, 제도 등이 통합적으로 고려되어야 한다. 따라서 현재 각 부처에서 분산되어 추진 중인 각종 수단들이 일관성있게 제시되기 위해서는 탄소중립 대응 거버넌스 개편에 대한 고려가 필요하다.

다음 5장(탄소중립을 위한 고탄소산업의 기술혁신과 정부정책)은 정량적 분석과 더불어 고탄소산업의 정책방안을 도출하였다. 한국의 탄소배출 감축을 위한 그동안의 노력이 그리 성공적이지 못한 이유 중의 하나로 고탄소 중심의 산업구조를 들 수 있다. 이는 그동안 한국이 수출지향적 제조업 중심의 성장전략을 성공적으로 수행해 왔으며 동시에 에너지다소비산업(고탄소산업)이 주력산업으로 성장을 이끌어 온 것에 기인한다. 특히 고탄소산업의 GDP 비중은 2000-2020 기간 중 감소한 반면 CO₂ 비중은 증가하였다는 심각한 문제를 지니고 있다. 기후변화 리스크에 대응하기 위해서는 고탄소산업이 중요하고, 생산성 향상은 기술혁신에 의해 이루어지므로 고탄소산업의 기술혁신이 중요하다. 따라서 동 산업의 기술혁신 결정요인을 심도있게 파악할 필요가 있다. 이러한 과정에서 고탄소산업의 기술혁신 요인과 저탄소산업의 기술혁신 요인을 비교 검토할 수 도 있다. 고탄소산업의 기술혁신 저해요인은 구체적으로 무엇인지와 그 정도는 어느 정도인지도 연구할 필요가 있다. 이를 통해 고탄소산업의 애로사항을 파악하고 기술혁신을 위해 정부의 정책 방향 및 수단을 점검할 수 있다고 판단된다. 현재 정부는 기술혁신 관련 여러 가지 지원제도(조세지원, 자금지원, 금융지원, 인력지원, 기술지원, 인증지원, 구매지원, 기타)를 운영하고 있다. 고탄소 산업의 정부지원제도 활용 정도를 실증적으로 분석하여 정

부지원제도 전체 및 세부 지원제도별 상대적 정책 효과를 검증할 필요가 있다. 이는 정책의 우선 순위 결정을 위한 기초자료로서 증거기반(evidenced-based) 정책을 위해 필수적이다. 나아가 기술혁신 촉진을 위한 정부의 혁신정책 및 세부 정부 혁신정책(연구개발/혁신 관련 정부 보조금 및 투융자 확대, 지식재산권 획득·보호·활용 지원, 혁신성과의 사업화 지원, 인력난 해소를 위한 정책적 지원, 산·학·연·지역 협력 지원, 불합리한 규제 개혁, 대·중소기업 상생·협력 촉진, 글로벌시장 개척 지원)이 고탄소산업의 기술혁신에 미치는 영향을 분석하는 것도 필요하다. 또한 정부의 각종 규제정책이 있는데 이들 각각이 과연 기업의 기술혁신을 촉진하는지 저해하는지와 그 정도는 어떠한지도 분석할 필요가 있다.

6장(기후변화와 친환경 기술혁신에 관한 경제학적 고찰)은 환경정책과 혁신정책의 관계에 관한 경제이론의 논점들을 제시하고 논의하였다. 기후정책에 있어서 혁신의 역할은 무엇인지, 그런 혁신 증진을 위한 정책은 무엇이며 그 정책은 어떻게 디자인되어야 하는가가 중요한 과제이다. 이를 위해서는 기후정책 추진에 있어서 기술변화를 중요하게 고려해야 한다. 기술변화의 경제학으로부터, 지식의 공공재적 특성이 야기하는 과소투자의 문제, 환경적 외부성과의 상호작용, 불확실성의 영향, 동태적 규모의 경제성, 정보비대칭 등 요인에 대한 이해가 첨가될 수 있다. 환경정책과 기술정책이 함께 작동할 때 가장 효과적이라는 점에서 두 정책은 보완적이다. 탄소세와 같은 환경정책 수단만으로는 부족하며 혁신에 대한 직접적인 보조 정책이 요구된다. 또한 환경정책과 혁신 인센티브의 관계에 있어서는 일반균형적인 접근과 고려가 필요하다. 기후정책은 기술의 방향에 영향을 준다. 정책적 개입이 없으며, 기업들은 클린기술보다 더티기술(가령, 화석연료 기술)의 개발에 집중할 가능성이 크다. 이것을 바로 잡기 위해서 정책은 클린기술로 혁신을 유도해야 한다. 그것을 위해서는 탄소세와 같은 환경정책만으로는 부족하며, 클린기술에 대한 직접적이면서도 초기에 집중되는 방식의 보조금 지원 정책이 필요하다. 환경정책에 기업의 친환경 기술 투자에 어떻게 영향을 주는가에 대한 이해가 필요한데, 여기에는 기업의 마켓파워, 경쟁의 정도와 양상, 소비자의 행태 등 다양한 요인들이 영향을 줄 것이며, 이에 대한 이해가 필요하다. 과점경쟁의 활성화와 기후문제 대한 소비자 인식의 강화를 위한 정책이 강화되어야 한다. 환경규제가 기업에게 추가적인 제약요소가 되지만, 규제가 혁신과 진보에 대한 동기를 부여하는 압력을 만들어낼 수도 있다는 포터의 가설이 성립할 수도 있다. 기업의 친환경기술에 대한 투자를 자극하는 요인과 정책에 대한 연구가 필요하다.

마지막 7장(탄소규제와 통상 연계의 국제동향과 대응전략)은 글로벌 규제 강화 추세에서 부각되는 정책적 대응 이슈를 논하였다. 한국은 대외 의존적 소규모 개방 경제에 해당한다. GDP 대비 수출입 규모는 약 70%에 이르기 때문에 FTA 체결을 통한 통상 무역 확대는 물론 탄소관세, EU 탄소국경조정제도 도입 등 자유무역을 제한하는 제도, 법안 등의 부당함을 알리는 동시에 효과적인 탄소 감축으로 산업 피해를 최소화하는 대비책을 마련하는 것이 매우 중요하다. 글로벌하게는 기후변화

파리협정에서 제시한 온실가스 감축목표의 단계적 이행을 높이기 위해서 산업 및 에너지부문을 대상으로 장단기 정책과 세부 전략의 수립이 요구된다. 한국은 철강, 자동차, 석유화학, 조선 등 제조업 위주의 에너지 다소비 산업구조를 갖고 있고, OECD 국가 가운데 거의 최하위 수준의 전기 요금과 유류가로 에너지를 과다하게 소비하고 있다. 에너지원의 상당 부분을 화석연료가 차지하는 작금의 현실에서 장기적으로 신재생에너지, 원전 등 저탄소 대체에너지 비중을 늘리고, 에너지 소비의 절대량을 줄이는 대책이 강구되어야 한다. 에너지저소비형 산업구조로 지속적으로 전환해 나가고, 산업, 수송, 가정 등의 부문에서의 에너지절약과 에너지효율 개선과 기술개발을 통한 경쟁력 제고를 도모할 필요가 있다. 신재생에너지와 소형 SMR 개발을 통한 원전의 보급 및 촉진 등을 추진하고, 수송 부문에서는 전기차, 수소차 등 친환경자동차의 기술 혁신 및 보급 확대를 꾀한다. 에너지 소비절약과 효율성제고를 위해서는 정부의 에너지시장에 대한 가격 통제 및 가격 보조 정책을 점차적으로 축소하여 원가에 비해 지나치게 낮은 에너지 가격을 현실화해야 한다.