



2022.12.31.

국회미래연구원 | 연구보고서 | 22-20호

기후변화 대응과 공급망 전략

박성준, 김은아, 안세진, 조해인



국회미래연구원
NATIONAL ASSEMBLY FUTURES INSTITUTE

기후변화 대응과 공급망 전략



연구진

내부 연구진

박성준 부연구위원(연구책임)

김은아 연구위원

외부 연구진

안세진 선임연구원(녹색기술센터)

조해인 박사후연구원(녹색기술센터)

- ◆ 출처를 밝히지 않고 이 보고서를 무단 전재 또는 복제하는 것을 금합니다.
- ◆ 본 보고서의 내용은 국회미래연구원의 공식적인 의견이 아님을 밝힙니다.

발 | 간 | 사

기후변화에 대한 위기의식이 높아지는 가운데 유럽연합의 탄소국경조정제도 도입이 점차 현실화되고 있습니다. 동 제도의 도입은 탄소누출을 방지하여 기후위기를 극복한다는 취지를 가지고 있으나, 한편으로는 유럽연합 내 산업을 보호한다는 목적도 가지고 있다는 평가를 받습니다. 이와 같은 대외환경의 변화는 철강 등 우리나라의 주요 산업에도 타격을 줄 것으로 우려됩니다. 또한, 향후 기후변화 대응의 영향으로 공급망이 변화할 가능성이 높습니다. 따라서 이러한 변화가 우리나라 경제에 미치는 영향을 분석하고 대응 전략을 마련해야 합니다.

본 보고서는 이러한 문제의식을 바탕으로 중장기 시계에서 유럽연합의 탄소국경조정제도 도입의 영향을 살펴보고, 이를 극복하려는 방안으로 기후변화 대응기술을 분석하였습니다. 먼저, 탄소국경조정제도에 대해 살펴본 후, 이와 관련된 무역 현황과 무역에 포함된 각국의 탄소 배출량을 분석하였습니다. 다음으로는 국제무역 일반균형모형을 바탕으로 동 제도의 도입이 산업별 무역에 미치는 영향을 분석하였습니다. 마지막으로, 범위를 확장하여 기후변화 대응과 관련하여 중요하다고 판단되는 다섯 가지 기술 영역을 분석하고 이를 통해 정책적 함의를 도출하였습니다.

보고서의 작성에는 국회미래연구원의 박성준 박사와 김은아 박사, 녹색기술센터의 안세진 선임연구원과 조해인 박사후연구원이 참여하였습니다. 본 보고서의 논의가 기후변화 대응과 관련하여 중장기 시계에서 우리나라의 전략을 모색하는 데 도움이 되기를 희망합니다.

2022년 12월

국회미래연구원장 김 현 곤

제1장 서론	1
제1절 연구 배경 및 필요성	3
제2장 탄소국경조정제도의 도입	7
제1절 탄소국경조정 개요	9
1. 논의의 배경	9
2. 탄소국경조정 세부 내용	13
제2절 탄소국경조정 품목 무역 현황	25
1. 품목별 무역 현황	25
2. 무역에 포함된 탄소	39
제3장 탄소국경조정제도의 영향	49
제1절 분석 모형	51
1. 모형	53
2. 데이터	61
3. 탄소 배출 비용의 계산	68
제2절 분석 결과	72
1. 생산성 분포의 추정	72
2. 탄소국경조정제도의 영향	73
3. 기후변화 대응기술의 효과	79

제4장 기후변화로 인한 공급망 취약성 관련 기술개발 85

제1절 공급망 취약성과 기후변화 대응기술 87

제2절 공급망 관련 기술분류체계 및 투자현황 93

1. 공급망 기후기술 분류체계 정의 93

2. 공급망 기후기술 개발 투자현황 96

제3절 공급망 기후기술 특허출원 현황 100

1. 공급망 기후기술 특허출원인 국가별 출원 규모 변화 100

2. 공급망 기후기술 특허 출원 규모 및 피인용 현황 109

3. 향후 연구에서 보완할 점 115

제4절 공급망 취약성 관련 기후기술의 변화 116

제5장 결론 123

제1절 탄소국경조정제도 대응 125

제2절 공급망 기후기술 개발 전략 방향 128

참고문헌 133

1. 문헌자료 135

2. 웹사이트 140

Abstract 141

[표 2-1] G20 회원국 탄소중립 목표	9
[표 2-2] 탄소국경조정 적용 품목	16
[표 2-3] 탄소 배출량 산출 방법(부속서 Ⅲ)	22
[표 2-4] EU ETS 무상할당 감축안	24
[표 2-5] 제품군별 품목 수(6자리 HS 코드)	25
[표 2-6] 유럽연합 탄소국경조정 품목 수입액 요약 통계량(백만달러)	26
[표 2-7] 제품군별 주요 수출국	27
[표 2-8] 유럽연합 탄소국경조정 품목 역내 무역액 요약 통계량(백만달러)	30
[표 2-9] 유럽연합 내 무역 제품군별 주요 수출국	30
[표 2-10] 유럽연합 내 무역 제품군별 주요 수입국	31
[표 2-11] 한국의 탄소국경조정 품목 대(對) 유럽연합 수출 현황	33
[표 2-12] 한국의 유럽연합 탄소국경조정 품목 수출액 요약 통계량(백만달러)	33
[표 2-13] 유럽연합 시멘트 제품군 역내 및 역외 무역액	35
[표 2-14] 유럽연합 비료 제품군 역내 및 역외 무역액	35
[표 2-15] 유럽연합 철강 제품군 역내 및 역외 무역액	36
[표 2-16] 유럽연합 알루미늄 제품군 역내 및 역외 무역액	36
[표 2-17] 유럽연합 화학제품군 역내 및 역외 무역액	37
[표 2-18] 유럽연합 폴리머 제품군 역내 및 역외 무역액	37
[표 2-19] 제품군별 산업 분류	40
[표 2-20] 산업 분류별 탄소국경조정 제품군	41
[표 2-21] 화학물질 및 화학제품 제조업 무역에 포함된 탄소 배출량	43
[표 2-22] 의료용 물질 및 의약품 제조업 무역에 포함된 탄소 배출량	43
[표 2-23] 고무 및 플라스틱제품 제조업 무역에 포함된 탄소 배출량	44
[표 2-24] 기타 비금속제품 제조업 무역에 포함된 탄소 배출량	44
[표 2-25] 1차 금속 제조업 무역에 포함된 탄소 배출량	45
[표 2-26] 화학물질 및 화학제품 제조업 수출 백만달러 당 탄소 배출량(톤)	46

[표 2-27] 의료용 물질 및 의약품 제조업 수출 백만달러 당 탄소 배출량(톤)	46
[표 2-28] 고무 및 플라스틱제품 제조업 수출 백만달러 당 탄소 배출량(톤)	47
[표 2-29] 기타 비금속제품 제조업 수출 백만달러 당 탄소 배출량(톤)	47
[표 2-30] 1차 금속 제조업 수출 백만달러 당 탄소 배출량(톤)	48
[표 3-1] 국제산업연관표 비교	62
[표 3-2] OECD 국제산업연관표 산업 분류	64
[표 3-3] 국제산업연관표(중간재)	70
[표 3-4] 생산성 분포 θ 추정 결과	72
[표 3-5] 탄소국경조정제도 영향 분석 시나리오	73
[표 3-6] 유럽연합에 대한 수출액 변화(% , 시나리오 1)	75
[표 3-7] 유럽연합에 대한 수출액 변화(% , 시나리오 2)	76
[표 3-8] 유럽연합에 대한 수출액 변화(% , 시나리오 3)	77
[표 3-9] 유럽연합에 대한 수출액 변화(% , 시나리오 4)	78
[표 3-10] 기후변화 대응기술 영향 분석 시나리오	80
[표 3-11] 기후변화 대응기술과 수출량 변화(% , 시나리오 1)	81
[표 3-12] 기후변화 대응기술과 수출량 변화(% , 시나리오 2)	81
[표 3-13] 기후변화 대응기술과 수출량 변화(% , 시나리오 3)	82
[표 3-14] 기후변화 대응기술과 수출량 변화(% , 시나리오 2)	82
[표 4-1] 공급망 기후기술 분류체계	94
[표 4-2] 탄소국경조정 관련 대상국별 특허출원 규모 변화(2006~2021년)	103
[표 4-3] 에너지 안보 관련 대상국별 특허출원 규모 변화(2006~2021년)	104
[표 4-4] 친환경 화석연료 공급 관련 대상국별 특허출원 규모 변화(2006~2021년)	105
[표 4-5] 금속·광물 자원 안보관련 대상국별 특허출원 규모 변화(2006~2021년)	106
[표 4-6] 기후변화 적응 관련 대상국별 특허출원 규모 변화(2006~2021년)	107
[표 4-7] 공급망 기후기술 특허 규모 및 피인용 현황	110

[표 4-8] 특허시장별 공급망 기후기술 특허 규모 및 피인용 현황	111
[표 4-9] 특허시장별 공급망 기후기술 특허 규모 대비 피인용 현황(피인용 건수/출원 건수) ...	113
[표 4-10] 국내 공급망 기후기술 연구개발 투자 규모와 특허출원 규모	114
[표 4-11] 유망하고 진입장벽이 낮은(2사분면) 기술	119
[표 4-12] 한국, 미국, 중국 내 유망하고 진입장벽이 낮은 기술	120
[표 4-13] 한국, 미국, 중국의 쇠퇴기(4사분면) 기술	121

그림 목차

[그림 1-1] EU carbon permit 가격 변동 추이	5
[그림 1-2] 원자재 가격변동 추이	5
[그림 2-1] 부정적 외부효과	11
[그림 4-1] 현 정책 시나리오(Stated Policies Scenario) 기반 주요 연료 수요 추이	89
[그림 4-2] 석탄, 천연가스 가격변동 추이	90
[그림 4-3] 미래 기술과 산업에 사용되는 원료의 공급망 리스크	91
[그림 4-4] 공급망 유관 기후변화 R&D 정부투자 규모 분석 결과	96
[그림 4-5] 연구개발 수행 주체별 공급망 기후기술 정부투자 집중도	97
[그림 4-6] 연구개발 단계별 공급망 기후기술 정부투자 집중도	98
[그림 4-7] 부처별 공급망 기후기술 개발 투자 집중도	99
[그림 4-8] 공급망 기후기술 특허출원인 국가별(미국, 중국, 대한민국, 일본) 특허출원 규모 변화	102
[그림 4-9] 주요 5개 대상국(중국, 유럽, 일본, 한국, 미국) 공급망 기후기술 특허출원 규모 변화	109
[그림 4-10] 출원된 특허의 점유율과 증가율 수준에 따른 기술 구분 틀	116
[그림 4-11] 분석 결과	118

요 약

1 서론

□ 기후변화로 인한 공급망 변화 가능성

- 기후변화 대응으로 인한 공급망 변화에 대비가 필요
 - 유럽연합의 탄소국경조정제도 도입으로 무역환경이 변화.
 - 탄소국경조정제도와 관련된 무역 현황을 진단하고 향후 제도의 도입과 확대에 따른 무역환경의 변화와 우리나라에 대한 영향을 분석.
 - 기후변화 또는 기후변화 대응에 따른 공급망 재편과 밀접한 관련이 있는 5가지 영역을 정의하고 각 영역과 연관이 있는 기후기술 현황을 분석.

2 탄소국경조정제도

□ 논의의 배경

- 탄소 배출로 인한 사회적 비용의 내재화 필요성
 - 파리협정에서 제시한 1.5℃ 목표(지구의 평균 기온 상승을 산업화 전 대비 1.5℃ 이하로 억제) 달성이 어려울 것이라는 전망이 제시됨.
 - 탄소 배출로 인한 사회적 비용을 내재화하기위한 방안으로 탄소세나 온실가스 배출권거래제 등이 제시됨.
- 탄소누출과 탄소국경조정제도
 - 특정 국가에서만 탄소 배출에 가격을 부과하면 다른 국가의 생산자가 상대적으로 저렴하게 더 많은 양을 생산하여 전 세계적으로는 탄소 배출이 줄어들지 않음.

- 유럽연합이 도입하는 탄소국경조정제도는 이와 같은 탄소누출을 방지하기 위한 제도로 유럽연합으로 수출하는 제품에 대해 국가 간 탄소 가격의 차이만큼 비용을 부과.

□ 탄소국경조정제도 세부내용

● 제도의 도입 과정

- 통상적 입법절차보다 빠르게 진행되는 일반적 합의 절차(general approach)에 따라 입법이 진행.
- 2021년 7월에 유럽연합 집행위원회가 입법안(초안)을 제출하였고, 이와 관련하여 유럽연합 이사회가 2022년 3월에 안을 내놓고, 유럽연합 의회가 2022년 6월에 수정안을 제시.
- 2022년 12월에 세 기관 간 합의에 도달.

● 탄소국경조정제도 품목

- 집행위원회의 초안은 시멘트, 전기, 비료, 철강, 알루미늄 제품군을 포함하며, 의회 수정안은 화학제품과 폴리머 제품군을 추가.
- 세 기관 간 합의안에 포함된 품목은 집행위원회의 초안과 비슷한데, 수정안에서 추가된 제품 중 수소가 포함되었고 이 외에도 기존에 제시되지 않았던 철강 관련 일부 원료와 제품을 포함.
- 실제로는 비용을 부과하지 않는 과도기간이 끝나는 시점에 수정안에서 제시한 화학제품과 폴리머 제품군 등 EU ETS 대상 품목의 추가를 검토할 예정.

● 탄소 배출 범위(Scope)

- 제품 생산에서 배출되는 탄소의 규모는 다양한 범위에서 정의할 수 있으며, 통상적으로 scope 1, scope 2, scope 3의 범주를 논의.
- scope 1은 사업장 내에서 배출된 탄소만을 포함하고(직접 배출), scope 2는 scope 1 외에 전력 생산에서 배출된 탄소를 포함하고, scope 3은 scope 2 외에 중간재 생산 및 물류에서 배출된 탄소를 포함.

- 집행위원회 초안과 이사회 안은 scope 1의 범주이고 의회 수정안은 scope 2의 범주였으며 합의안은 특정 조건에서 간접 배출량을 탄소 배출량에 포함할 것을 명시.
- 탄소 배출 범위가 넓어질수록 우리나라 산업계에 부담 가증.

● 무상 배출권 할당

- 유럽연합의 탄소국경조정제도는 EU ETS와 연동되며, EU ETS는 탄소누출 고위험 산업부문에 배출권을 무상할당.
- 탄소국경조정제도의 도입과 함께 배출권 무상할당을 줄일 예정이나 역외 기업에 대한 차별 요인이 있어 논란이 되는데, 이는 WTO의 내국민 대우 원칙과 관련.

□ 탄소국경조정 품목 무역 현황

● 품목별 무역 현황(유럽연합 시장 기준)

- 아래의 현황은 유럽연합 전체를 하나의 시장으로 정의하기 때문에 유럽연합 국가 간 무역은 제외한 수치임.
- 수정안 기준 7개 품목 가운데 철강, 알루미늄, 화학제품, 폴리머 제품군의 수출액이 매우 크며, 이 가운데 합의안에 포함된 산업은 철강과 알루미늄.
- 전체 품목의 무역량을 살펴보면 중국(16.7%), 스위스(12.4%), 미국(11.3%) 등이 대(對)유럽연합 주요 수출국이며, 우리나라(4.5%) 역시 수출국 중 10위 안에 포함.
- 유럽연합으로 수출하는 주요 국가 가운데 스위스(12.4%), 노르웨이(4.0%)는 탄소국경조정제도가 적용되지 않고, 영국(4.3%)은 탄소 가격이 유럽연합과 비슷하므로 경쟁에서 유리할 것으로 전망됨.
- 우리나라는 철강(7.2%), 화학제품(2.1%), 폴리머(7.2%)에서 수출액 기준 상위 10위 안에 포함되며, 합의안 기준으로 철강 산업에서 큰 타격이 우려되고, 품목이 화학제품, 폴리머 등으로 확대된다면 역시 타격이 우려됨.

- **품목별 무역 현황(유럽연합 국가 간)**

- 탄소국경조정제도가 도입되면 유럽연합 역내 국가들은 상대적으로 유리한 교역조건을 갖게 되므로 역내 국가 간 교역이 활성화될 것으로 예상됨.
- 모든 산업(제품군)에서 역내 교역(수입액 기준) 규모가 역외 수입 규모보다 크게 나타남.
- 역내 무역을 살펴보면 주요 수출국과 주요 수입국이 비슷하게 나타나며, 특히 독일이 산업 대부분과 합계에서 가장 높은 비중을 차지함.

- **품목별 무역 현황(한국)**

- 한국의 유럽연합 수출량은 폴리머, 철강, 화학제품, 알루미늄 순이며 시멘트와 비료는 수출액이 매우 작음.
- 한국의 철강 및 폴리머 제품의 유럽연합 수출은 전체 수출 가운데 약 11%의 비중을 차지하며, 초안에 포함된 품목(시멘트, 비료, 철강, 알루미늄)을 기준으로 철강 제품은 전체 수출의 약 93.4%를 차지함.
- 합의를 기준으로 우리나라 철강 산업의 타격이 상당할 것으로 우려됨.
- 유럽연합 국가를 포함하면 한국은 수출액 기준으로 철강 산업에서 18위(1.94%), 화학제품 산업에서 18위(0.95%), 폴리머 산업에서 13위(1.87%)이며, 다른 산업은 순위와 비중이 상당히 떨어짐.
- 우리나라는 역외 국가 가운데 탄소 가격이 높게 형성되어 있으나, EU ETS 4기가 시작된 2021년 이후에는 가격 차이가 상당히 커서 유럽연합 국가들 및 스위스, 노르웨이, 영국과의 경쟁에서 불리.
- 탄소국경조정제도 실시로 인한 타격을 줄이기 위해서는 중장기적으로는 탄소중립 관련 분야 연구개발(R&D)이 필요하며, 지속적인 외교적 노력이 필요.

□ 무역에 포함된 탄소

• 탄소국경조정제도 적용 품목에 포함된 탄소 배출량

- 탄소국경조정제도 적용 품목은 HS 코드 기준으로 정의되어 있으나 이용 가능한 탄소 배출량 자료는 산업을 기준으로 작성되므로 품목을 산업 기준으로 재분류하여 분석함.
- 탄소 배출량은 탄소국경조정제도가 적용되지 않는 비유럽연합 국가에서 대체로 높게 나타남.
- 우리나라는 전체 탄소 배출량에서는 순위가 낮지만 백만달러 당 탄소 배출량은 대부분 10위권에 포함됨.
- 철강이 포함된 1차 금속 제조업은 다른 산업보다 탄소 배출량이 상당히 높으며, 따라서 탄소국경조정제도가 본격적으로 시행되면 이에 따른 부담액 역시 다른 산업에 비해서 높을 것으로 우려됨.

3 탄소국경조정제도의 영향 분석

□ 분석 모형

• 모형 개요

- Caliendo and Parro(2015)의 다국가·다산업 리카도 모형을 바탕으로 탄소국경조정제도의 영향을 분석함.
- 탄소국경조정으로 인한 추가적인 부담을 모형 내 관세에 포함.
- 탄소국경조정은 현재로서는 scope 1의 범주가 유력하고 특정 조건에서 간접 배출량도 탄소 배출량에 포함될 예정인데, 배출량 데이터의 특성과 장기적인 범주 확대 가능성을 고려하여 scope 2 범주와 scope 3 범주에 준해서 분석

□ 분석 결과

● 탄소국경조정제도 도입의 영향

- 유럽연합 시장에서 각국의 수출액 변화를 분석함.
- 탄소국경조정제도가 적용되는 산업의 경우, 유럽연합 역내 국가의 수출은 증가하지만 역외 국가의 수출은 감소하며, 이는 동 제도가 탄소 누출 방지라는 취지로 설계되었지만 동시에 보호무역 기제로도 작용함을 보여줌.
- 중국, 인도, 튀르키예, 러시아 등 수출액 당 탄소 배출량이 큰 국가들을 중심으로 수출액의 감소폭이 크게 나타남.
- 우리나라 산업에도 타격이 예상되는데, 중국, 인도, 튀르키예, 러시아 등 수출액당 탄소 배출량은 높고 탄소 가격이 낮은 국가보다는 타격의 정도가 작음.
- 수출액 당 탄소 배출량이 큰 철강 산업을 중심으로 기업의 비용 부담이 크게 증가할 것으로 우려됨.

● 기후변화 대응기술의 영향

- 기후변화 대응기술의 발달로 우리나라 산업 전반에 걸쳐 탄소 배출량이 줄어드는 경우를 가정하여 효과를 분석하였으며, 이는 우리나라의 기술이 다른 국가보다 빠르게 발전하여 탄소 배출량이 더 많이 감소하는 일반적인 상황으로 해석 가능.
- 기후변화 대응기술의 발달로 탄소 배출량이 줄어들수록 유럽연합으로의 수출량이 증가.
- 다만, 탄소 배출량이 50% 감축되어도 탄소국경조정제도 도입 이전과 비교하면 여전히 유럽연합 수출은 감소.

4 기후변화로 인한 공급망 취약성 관련 기술개발

□ 공급망 취약성과 기후변화 대응기술

● 정책영역의 분류

- 기후변화에 기인하거나, 기후변화 대응 목적의 정책이 공급망 개편에 긴밀하게 연관되는 정책영역을 5개의 범주로 구분하였으며 일부 영역은 중첩됨.
- 탄소국경조정: 탄소누출 방지가 목적이지만 보호무역의 요소도 있으므로 탄소 배출 저감기술이 경쟁력 확보에서 유의미한 영향을 지님.
- 에너지 안보: 에너지 안보 리스크는 주로 화석연료 공급망 취약성과 연계되어 있으며, 이에 대한 대응과 관련한 기술은 신재생에너지 등 에너지 공급 관련 분야와 에너지 저장·수송 관련 분야 등을 포함.
- 친환경 화석연료: 천연가스 등 석탄·석유에 비해 탄소 배출량이 적은 연료와 관련된 기술을 포함.
- 금속·광물자원 안보: 태양광 발전, 배터리 생산에 필요한 희소광물은 공급망 리스크를 수반하며, 폐자원 재활용, 자원탐사, 자원 개발·처리 기술 등이 이와 관련됨.
- 기후변화 적응: 기후변화로 발생하는 식량 공급망 리스크에 대응하기 위한 식량작물 품종개량·재배, 수산자원 개발과 관련된 기술, 기후변화로 인한 피해를 줄이는 기술, 기상재해 감시·예측 기술 등을 포함.

□ 공급망 관련 기술분류체계 및 투자현황

● 분석 방법

- 기후변화 대응 특허를 중심으로 정책영역과 기술을 연계하여 분석함.

● 투자현황

- 기후변화 R&D 정부투자는 에너지안보(42%), 탄소국경조정(29%), 기후변화 적응(21%) 순으로 이루어짐.

- 연구개발 주체를 살펴보면 연구소를 중심으로 수행되고 있으며, 에너지 안보 관련 분야는 특히 연구소의 비중이 높음.
- 연구개발 단계를 살펴보면 에너지안보, 친환경 화석연료 분야의 개발연구 집중도가 높고, 상대적으로 탄소국경조정, 금속·광물자원 안보 및 기후변화 적응 부문의 기초연구 비중이 다소 높게 나타남.
- 부처별로는 산업부, 과기부의 연구에 집중됨.

□ 공급망 기후기술 특허출원 현황

● 특허 출원 대상국 및 출원인 국가별 기술 집중도

- 2006~2021년 사이에 주요 5개국(중국, 유럽, 일본, 한국, 미국)을 대상으로 출원한 특허의 5개 정책영역별 출원 규모의 변화를 분석
- 우리나라는 모든 정책영역에서 출원 규모가 분석 대상 국가 중 가장 작은 수준이며 2015년 이전에 정점에 도달한 후 지속적으로 감소하는 추세임.
- 한국 출원인은 국내 출원을 제외하는 경우 상대적으로 중국과 미국에 집중도가 높으며, 국내 출원이 2015년 이전에 정점에 도달한 이후 중국과 미국 출원의 정점이 시간 차를 두고 집중도가 높아지는 패턴을 보임.
- 한국을 대상국으로 한 외국인의 출원 규모는 2010년 이후 전반적으로 감소 추세에 있으며, 탄소국경조정 기술의 경우 타 기술군에 비해 국내 출원 대비 미국과 일본의 출원 비중이 상대적으로 높으며, 2015년 이전 기후변화 적응 기술의 미국인 출원 규모는 국내 출원과 유사한 수준임.
- 중국 출원인은 중국 내의 출원에 집중하였으며 중국 이외의 국가(유럽, 일본, 한국, 미국)에서 차지하는 비중은 미미함.
- 중국을 대상 국가로 하는 출원 규모는 친환경 화석연료 공급 정책영역 관련 기술군을 제외하면 중국인이 대다수를 차지.

● 특허 출원 규모 및 피인용 현황

- 전반적으로 에너지 안보 분야(신재생에너지, 에너지 저장, 수송교통, 건물 에너지) 특허 규모가 높게 나타남.

- 금속·광물자원 안보와 기후변화 적응 영역은 규모가 빠르게 증가.
- 특허출원 대상국별 출원 기술 간 연계성을 살펴보면 중국과 유럽이 낮고, 한국과 일본은 중간 수준이며, 미국은 가장 높음.
- 우리나라 연구개발 투자 규모와 특허출원 규모를 비교하면 상대적으로 산업 지식재산권의 규모가 압도적으로 큰 에너지 안보 분야(72.9%)는 연구개발 투자에서도 가장 큰 비중(42.2%)을 차지하고 있으나 전반적으로는 상관관계가 미약.
- 특허출원 규모 대비 피인용 건수가 낮은 분야, 즉 기술 간 밀집도(연계성)이 낮은 분야에서 기초연구의 비중이 높는데, 이 경우 원천기술을 선제적으로 확보하거나 밀집도가 높은 산업화에 근접한 개발단계 기술의 방어 전략이 필요.

□ 공급망 취약성 관련 기후기술의 변화

● 분석 방법

- 출원된 특허의 점유율과 증가율을 바탕으로 경쟁이 치열하나 유망한 기술, 진입장벽이 낮고 유망한 기술, 잠재기술, 쇠퇴기술로 분류.
- 진입장벽이 낮고 유망한 기술은 기술시장에서 유망하나 아직 상대적으로 진입장벽이 낮은 기술군을 포함하고 있어 선제적인 특허 점유 전략이 요구되므로 이를 중심으로 분석함.

● 분석 결과(진입장벽이 낮고 유망한 기술)

- 에너지 안보 기술, 탄소국경조정, 금속·광물자원 관련 기술 순서로 높은 비중.
- 에너지 안보 분야에서는 에너지 송배전 관련 기술이 꾸준히 주목받음.
- 금속·광물자원 분야에서는 건설부문 재료 재활용과 재생자원 에너지원 사용 관련 기술이 주목을 받음.
- 탄소국경조정 관련 기술은 온실가스 배출감소 기술이 주목을 받음.
- 국가별(한국, 미국, 중국)로 살펴보면 세부적으로 상당한 차이가 관찰됨.

□ 결론 및 시사점

● 탄소국경조정제도 대응

- 기술개발을 통해 공정에서 발생하는 탄소 배출량을 줄이는 노력과 외교적인 노력을 병행하여야 함.
- 탄소 배출량 감축을 위한 연구개발에 대한 적극적인 정책적 지원이 필요.
- 탄소국경조정제도가 가지는 WTO 원칙 위배 요소(역외 기업에 대한 차별)에 대해 다른 국가들과 공동으로 대응.
- 우리나라의 배출량 거래제가 탄소국경조정제도 부담액 산출 과정에서 잘 반영되도록 외교적 노력이 필요.
- 탄소클럽 등 탄소국경조정제도 면제와 관련된 논의가 있으므로 관심을 기울일 필요가 있으며, 환경 등 다양한 분야에서 유럽연합과 지속적인 협력 관계를 구축할 필요가 있음.

● 기후기술 개발 전략

- 탄소국경조정 관련 기술은 상대적으로 유망하면서 진입장벽이 낮으므로 적극적인 기술개발이 필요하며, 철강 산업 온실가스 배출감소와 관련한 기술 개발에 노력을 기울여야 함.
- 에너지 안보 분야는 유망하면서 경쟁이 치열한 분야이며, 기술안보 측면에서 에너지 송배전 관련 기술 육성에 노력을 기울일 필요가 있음.
- 친환경 화석연료 공급 기술은 탄소중립 정책에 부합하는 세부적인 기술에 집중할 필요가 있음.
- 금속·광물자원 안보 분야는 잠재 기술을 발굴하면 유망기술군으로 빠르게 진입할 여지가 있으므로 잠재기술군 중에서 선제적으로 기술을 점유할 수 있는 분야를 선정하고 집중할 필요가 있음.
- 기후변화 적응 분야는 이미 존재하는 밀집도 높은 기술을 방어하면서 유망한 분야의 기술의 특허출원에 집중할 필요가 있음.

제1장

서론

제1절 연구 배경 및 필요성

제 1 절

연구 배경 및 필요성

NATIONAL ASSEMBLY FUTURES INSTITUTE

기후변화에 대한 위기의식이 높아지고 주요국을 중심으로 탄소중립 선언이 이어지는 가운데 유럽연합의 탄소국경조정제도 도입이 점차 구체화되고 있다. 수년 전부터 관련 논의가 이어진 가운데 2021년 7월 유럽연합 집행위원회(European Commission)가 정식으로 입법안(초안)을 제시하였고, 2022년 6월 유럽의회(European Parliament)가 수정안(amendment)을 제시하였다. 한편, 유럽연합 내 입법의 또 다른 한 축을 맡는 유럽연합 이사회(Council of the European Union)는 유럽의회의 수정안 발표에 앞서 2022년 3월에 집행위원회 초안에 대한 견해를 발표하였다. 유럽연합 내 탄소국경조정제도 입법은 통상적인 절차가 아닌 일반적 합의 절차(general approach)에 따라 빠르게 진행되고 있으며, 2022년 12월에는 세 기관이 잠정적인 합의안을 도출하기에 이르렀다.¹⁾

유럽연합의 탄소국경조정제도 도입은 기후변화 대응을 계기로 주요국이 통상과 환경을 연계하는 움직임을 잘 보여주는 사례이다.²⁾ 동 제도는 탄소누출을 방지한다는 취지를 가지고 있는데, 역외에서 생산한 탄소 집약적인 상품의 역내 유입을 규제한다는 점에서 공격적인 친환경 통상정책의 성격을 가진다(이효영, 2021). 실질적으로는 제도가 적용되는 제품에 대한 관세가 상승하는 효과를 가진다는 점에서 보호무역의 성격도 나타난다. 동 제도는 과도기간을 거쳐 3~4년 후에 본격적으로 시행될 것으로 예상되는데, 제도가 본격적으로 시행되면 탄소국경조정제도가 적용되는 산업의 무역구조에 상당한 변화가 발생할 것으로 보인다. 또한, 우리나라 역시 철강 산업 등에서 상당한 타격이 우려된다.

이러한 사례는 향후 기후변화에 대한 대응이 공급망의 변화를 초래할 수 있음을 보여준다. 기후변화의 심각성과 동 문제에 대한 국제적인 합의 도출의 어려움을 고려한다면 이와 같은 제도의 도입이 정당성을 갖지만, 한편으로는 세계무역기구(WTO) 원칙 위배 문제가 불거진다. 다만, 현실적으로 탄소국경조정제도가 곧 본격적으로 시행된다고 본다면

1) 유럽연합 내 입법절차와 관련한 논의는 제2장에 구체적으로 기술하였음.
2) 미국도 바이든 행정부가 이와 유사한 제도의 도입을 추진할 가능성이 있다.

동 제도의 영향에 대한 분석과 대비가 필요하다. 본 연구에서 논의할 기후변화 대응기술 육성은 중장기적인 시계에서 탄소국경조정제도에 대응하는 주요 방안의 하나이다.³⁾

한편, 유럽연합의 탄소국경조정 외에도 다양한 요인이 기후변화와 관련하여 공급망에 영향을 미칠 것으로 예상된다. 에너지 안보, 친환경 화석연료, 금속·광물자원 안보 등이 대표적이다.⁴⁾ 이러한 요인은 기후변화와 관련성이 높은 동시에 지정학적 요인에 따른 글로벌 공급망 문제와도 긴밀하게 연결되는데, 한동안 세계의 공장 역할을 해온 중국의 글로벌 공급망에서의 비중은 점점 더 낮아지는 추세이며, 섹터에 따라 아세안 국가들이 새로운 대체안으로 떠오르고 있다. 미국을 중심으로 중국을 공급망에서 배제하려는 움직임도 눈에 띄는 변화의 하나이며, 중동지역 분쟁, 러시아-우크라이나 전쟁, 기후변화로 인한 극한 날씨로 인해, 생산에 필수적으로 요구되는 에너지 공급의 균형이 무너지고, 연료와 필수재 수급이 불안정해지며, 이는 산업과 에너지의 공급망에 교란을 야기하고 있다.

Caufield et al.(2022)에서는 글로벌 공급망 경색을 초래한 대외적인 여건으로 코로나 19 발생, 러시아의 우크라이나 침공, 미·중 패권경쟁 및 브렉시트 등의 지정학적 여건 변화, 디지털화 및 녹색전환 등의 글로벌 경제 패러다임 전환을 주목하였고, 탄소가격 급등[그림 1-1]과 원자재가격 급등[그림 1-2]의 결과로 이어졌다고 분석하였다. [그림 1-2]에서 볼 수 있듯이 2022년 2분기 니켈 가격지수는 글로벌 금융위기가 발생했던 2007년 이후 최고점을 기록했으며 알루미늄, 리튬, 희토류 가격지수는 2020년부터 급등하고 있다. 이와 같은 공급망 경색 추이를 단기적인 현상으로 볼지 여부에 따라 국가 전략의 성격이 달라지는데, 지정학적인 요인과는 다르게 기후변화 요소는 중장기적으로 지속될 것으로 예측되므로 이에 대응하는 중장기적 공급망 취약성 대응 전략을 도출할 필요가 있다.

공급망의 불확실성 아래에서 기업이 생존하려면 변화에 유연하게 대처할 회복탄력성이 필수적이다. 삼정회계법인(2021)은 회복탄력성을 원래 상태로 회복하는 수준을 넘어 이전보다 더 전진하여 경쟁력을 갖는 것으로 정의하며, 핵심역량에 집중하고 혁신적 아이디어를 실행해 나가야 함을 강조한다. Caufield et al.(2022)의 보고서에서는 공급망의

3) 제4장에서 논의할 기후변화 대응기술의 범주는 탄소국경조정제도 대응에 한정되지 않는다. 제4장에서는 공급망과 관련된 기후기술 전반을 다루며, 탄소국경조정제도 관련 기술은 이러한 기후기술의 하나이다.

4) 본 보고서에서 구체적으로 논의하지는 않지만, 2022년 미국에서 통과된 인플레이션 감축법(Inflation Reduction Act) 가운데 전기차 관련 조항 역시 통상과 환경이 연계된 사례라고 볼 수 있으며, 금속·광물자원 안보와도 관련이 있다. 한편, 동 조항은 중국에 대한 견제를 명시적으로 포함한다는 측면에서 탄소국경조정제도와 차이가 있으며 공급망 이슈와 더욱 밀접하게 연결된다.

불안정성에 대응해 기업들이 실제 활용하고 있는 해결 방식을 조사한 결과, 제품 혁신, 디지털화, 첨단기술 실현을 중심으로, 예기치 못한 상황에도 유연하게 대처할 수 있는 체제 확보를 위해 노력을 기울이고 있다는 결과를 제시하였다.

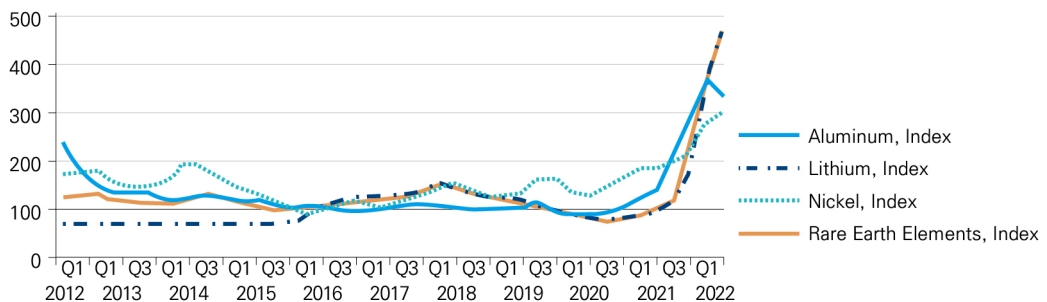
(가로축 단위: 연도, 세로축 단위: 유로)



[그림 1-1] EU carbon permit 가격 변동 추이

출처: <https://tradingeconomics.com/commodity/carbon>, 검색일: 2022.09.26.

(가로축 단위: 분기, 세로축 단위: 없음(인덱스))



[그림 1-2] 원자재 가격변동 추이

출처: <https://data.imf.org/>, 검색일: 2022.09.26.

이와 같은 배경에서 본 연구는 탄소국경조정제도의 주요 내용을 검토하고 이와 관련된 무역 현황과 무역에 포함된 탄소 배출량을 살펴본다. 또한, 국제무역 일반균형모형을 응용하여 탄소국경조정제도가 산업별 무역구조에 미치는 영향을 살펴본 후 기후변화 대응 기술의 육성을 통한 탄소 배출량 저감이 동 제도의 영향을 얼마나 상쇄할 수 있는지 분석한다. 이와 더불어 탄소국경조정을 포함하여 기후변화에 기인하거나 기후변화 대응 목적의 정책이 공급망 개편에 긴밀하게 연결되는 5가지 영역을 정의하고, 그와 연결된 기후기술 현황을 분석한다. 이상의 분석 결과에 기반하여 국내 공급망 복원력 강화를 위한 기술 개발 및 산업 발전전략을 도출하고, 국가 간 협력에 관한 방향성을 제시하고자 한다.

제2장

탄소국경조정제도의 도입

제1절 탄소국경조정 개요

제2절 탄소국경조정 품목 무역 현황

제 1절

탄소국경조정 개요

NATIONAL ASSEMBLY FUTURES INSTITUTE

1 논의의 배경

기후변화가 심각해짐에 따라 탄소배출 감축은 국제사회의 주요 목표가 되었다. 특히 지난 2020년에 세계 곳곳에서 나타난 심각한 기상이변은 전 세계적으로 기후변화의 심각성을 드러내었다. 기후변화에 대한 문제의식이 높아짐에 따라 주요 선진국을 필두로 각국의 탄소중립 선언이 이어졌다. 우리나라 역시 2020년 10월에 탄소중립을 선언하였는데, 2050년까지 탄소중립을 실현하는 것을 목표로 제시하였다. G20 국가의 탄소중립 목표는 아래의 [표 2-1]에 나타난 바와 같다.

[표 2-1] G20 회원국 탄소중립 목표

국가	목표연도	국가	목표연도
아르헨티나	2050	이탈리아	2050
호주	2050	일본	2050
브라질	2050	멕시코	-
캐나다	2050	러시아	2060
중국	2060	사우디아라비아	2060
유럽연합	2050	남아프리카공화국	2050
프랑스	2050	한국	2050
독일	2045	튀르키예	2053
인도	2070	영국	2050
인도네시아	2060	미국	2050

자료: UNEP(2022), Emissions Gap Report 2022, table 3.4, p.24.

한편, 2015년 유엔 기후변화협약 당사자총회에서 채택된 파리협정(Paris Agreement)에서는 기후변화에 따른 위험을 감소시키기 위해 산업화 전 대비 지구의 평균기온 상승을

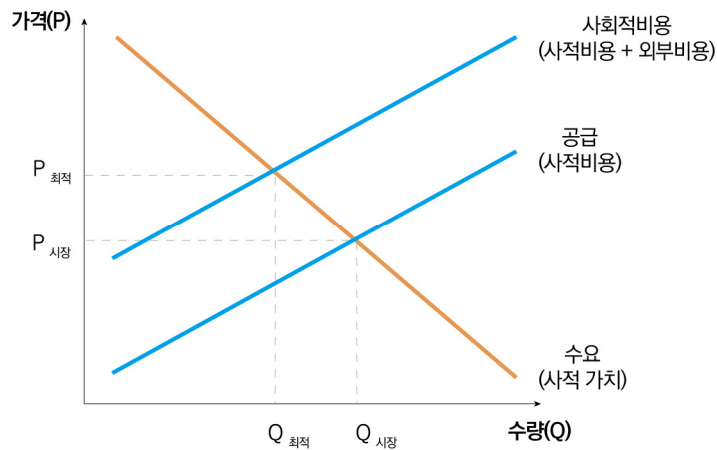
1.5°C 이하로 억제하는 것을 목표로 설정한 바 있다. 그러나, 최근 유엔환경계획(United Nations Environment Programme, UNEP)이 발표한 「2022 배출량 간극 보고서(Emissions Gap Report 2022)」에서는 현재 각국 정부의 정책으로는 이러한 목표를 달성할 수 없다는 비관적인 전망을 제시하였다. 동 보고서에 따르면, 현재 각국의 정책 수준에서는 2100년까지 지구의 평균 온도가 2.8°C 상승하며, 각국의 온실가스 감축 목표(Nationally Determined Contribution, NDC)를 충실히 이행한다고 가정해도 상승폭을 최대 2.4°C까지 낮추는 것에 그친다. 따라서 전 세계적으로 기후변화가 초래하는 위험과 피해를 억제하기 위해서는 탄소 배출을 줄일 더욱 적극적인 조치가 필요하다.

탄소 배출량을 줄이는 주요 방안의 하나는 탄소 배출에 가격을 책정하는 것이다. 생산 과정에서 탄소를 배출해도 이에 대한 비용을 부담하지 않는 상황은 경제학적 관점에서 부정적 외부효과(negative externality)에 해당한다. 제품 생산 과정에서 기업이 탄소를 배출하면 환경오염(기후변화)이 발생하고 이로 인한 피해는 모든 사람에게 돌아간다. 이는 생산자(기업)가 마땅히 부담해야 하는 비용을 부담하지 않고, 불특정 다수가 비용을 함께 부담하는 상황이다. 탄소 배출에 대한 비용이 책정되어 있지 않기 때문이다. 이때 생산자가 직면하는 비용은 실제 비용보다 낮다. 따라서 생산자는 탄소 배출(기후변화)까지 고려할 때 사회적으로 최적인 수준보다 높은 수준에서 제품을 생산한다.

이에 대한 해결책의 하나는 탄소 배출의 사회적 비용을 내재화하는 것이다. 즉, 탄소 배출에 따르는 비용을 부담하도록 강제함으로써 기업이 환경까지 고려하여 사회적으로 최적인 수준에서 제품을 생산하도록 유도하는 것이다. 이를 위한 대표적인 방안으로는 탄소세(carbon tax)와 온실가스 배출권거래제(GHG Emission Trading Scheme)가 있다. 이와 같은 제도를 도입하면 기업은 생산에 수반되는 탄소 배출에 대해 배출량에 비례하여 비용을 지출하고, 따라서 생산량을 결정할 때 이러한 비용까지 고려하게 된다.

이는 [그림 2-1]에 나타난 바와 같다. 탄소 배출에 대한 비용을 부과하지 않는 경우, 공급곡선은 사적 비용만을 반영하므로 균형에서 생산량($Q_{시장}$)은 사회적 최적생산량($Q_{최적}$)보다 높게 나타난다. 탄소 배출량이 생산량과 비례한다고 가정하면 균형점에서 탄소 배출량은 최적 수준보다 높다. 이 상황에서 탄소세나 배출권거래제의 도입으로 탄소 배출에 대해 적절한 수준의 가격이 형성되어 공급곡선이 사적 비용과 외부비용을 모두 반영하게 되면 생산량은 사회적 최적 생산량으로 줄어들게 된다. 즉, 탄소 배출로 인한 사회적 비용

이 내재화되어 기업의 생산 결정에 반영된다. 또한, 아래의 단순한 모형에는 반영되지 않지만 탄소 배출 비용을 생산 비용에 포함하면 기업은 생산 과정에서 탄소 배출을 감축하는 기술을 개발하려는 유인이 생기며, 이러한 연구개발(R&D) 활동은 장기적으로 더 많은 탄소 배출량 감소로 이어질 수 있다.⁵⁾



[그림 2-1] 부정적 외부효과

탄소세나 배출권거래제는 도입과 운영에 어려움은 있지만, 탄소 배출 저감에 도움이 되는 제도로 평가받는다. 그러나 이와 같은 제도는 개별국가 내에서만 적용할 수 있으므로 국제무역이 활발하게 일어나는 상황에서는 탄소 배출 감소에 한계가 있다. 이는 아래와 같이 탄소누출(carbon leakage)이라는 개념으로 설명할 수 있다.

국가 A에서는 배출권거래제가 시행되고 국가 B에서는 배출권거래제가 시행되지 않는 상황을 가정해보자.⁶⁾ A 국가에서 제품을 생산하는 기업은 탄소 배출에 명시적인 비용을 부담하므로 기술 수준이 같다면 B 국가에서 생산하는 기업보다 제품의 가격이 높아지고 이로 인해 시장에서의 경쟁력이 떨어진다. 따라서 전 세계적으로 B 국가에서 생산한 제품을 더 많이 소비하고 A 국가에서 생산한 제품은 더 적게 소비하는 현상이 발생한다. 이는

5) 다만, 탄소 배출에 대해 가격을 부과하면 기업에 부담이 되므로 산업계의 반발에 직면할 수 있다. 따라서 일반적으로 탄소세나 배출권거래제를 도입하기 위해서는 이해당사자를 포함한 논의와 정치적 합의가 필요하다. 또한, 탄소 감축 기술은 기후 변화에 대응하기 위한 필수적 요소이므로 관련 기술 개발에 대한 장려와 체계적인 지원이 필요하다.
6) 배출권거래제를 탄소세로 바꾸어도 같은 논리가 성립한다. 편의상 두 국가 모두에서 탄소세는 시행되지 않는다고 가정한다.

A 국가에서 생산하는 기업에 불리한 상황이며, A국 기업의 입장에서는 불공정한 경쟁이다. 한편, 이를 전 세계적으로 살펴보면 배출권거래제를 도입하여 탄소 배출을 감축하고자 하는 A 국가의 생산량이 줄어들고, 반대로 탄소 배출을 감축하려고 조처하지 않는 B 국가에서 생산량이 증가하기 때문에 탄소 배출량이 A 국가의 의도만큼 줄어들지 않는다. 오히려 이러한 상황이 고착된다면 일부 기업이 A 국가에서 B 국가로 이전하여 탄소 배출 문제가 악화되는 상황이 발생할 수도 있다.

위의 예시는 한 국가에서는 탄소 배출에 가격을 책정하고 다른 국가에서는 탄소 배출에 가격을 책정하지 않는 단순한 상황을 가정한 것이지만, 각국의 탄소 가격이 다를 때에도 비슷한 문제가 발생할 수 있다. 탄소 가격 책정을 통한 탄소 배출 억제가 상당히 강력한 효과를 가질 것으로 예상됨에도 불구하고 강한 구속력을 갖는 국제적인 규범이나 제도가 존재하지 않기 때문에 전 세계적으로 동일한 탄소 가격을 책정하는 것은 현실적으로 매우 어려운 일이다. 각국의 이해관계가 다를 뿐만 아니라 탄소 집약적인 제품의 수출 비중이 높은 국가를 중심으로 반발이 일어날 수밖에 없기 때문이다. 또한, 기후변화의 심각성이 대두되고 있는 현재 시점을 기준으로 판단하면 탄소 가격을 높게 책정하는 것이 바람직하지만, 현재 적극적인 탄소중립 정책을 시행할 여력이 있는 주요 선진국들이 과거에 상당량의 탄소를 배출하였다는 점을 고려할 때 상대적으로 대응이 어려운 국가들의 반발도 예상할 수 있다.

유럽연합의 유럽 그린딜(European Green Deal)에 포함된 탄소국경조정(carbon border adjustment mechanism)은 이러한 상황에서 탄소누출 현상을 방지하기 위한 하나의 대안이라고 볼 수 있다. 유럽연합은 자체적으로 배출권거래 시스템(EU-ETS)을 운영하고 있으며, 유럽연합에 속한 국가 일부는 공동의 배출권거래 시스템과는 별도로 상당히 높은 수준의 탄소세를 부과하고 있다. 예를 들어 독일의 “기후 보호 프로그램 2030”은 유럽연합의 배출권거래제가 적용되지 않는 난방 및 수송 부문에서 탄소 배출에 대해 가격을 책정하였는데, 2021년 10€/ton을 시작으로 2025년까지 35€/ton으로 가격이 상승할 예정이다.⁷⁾ 따라서, 유럽연합의 입장에서는 탄소국경조정을 통해 유럽연합 내 기업들이 다른 지역의 기업들과 공정한 경쟁을 할 수 있도록 발판을 마련해주었다고 볼 수

7) Kotra(2021.01.29.), “2020년 독일의 탄소중립 성적표는?”, https://dream.kotra.or.kr/kotranews/cms/news/action/KotraBoardDetail.do?SITE_NO=3&MENU_ID=180&CONTENTS_NO=1&bbsGbn=243&bbsSn=243&pNttSn=187007

도 있다. 다른 한편으로는 2019년의 유럽 그린 딜(European Green Deal)에서 볼 수 있듯이 유럽연합이 기후변화 대응 및 탄소중립을 적극적으로 추진하는데, 이는 유럽연합의 정책 기조를 다른 국가들도 도입하도록 영향력을 행사하려는 것으로 볼 수 있다. 물론, 이와 같은 정책에는 유럽연합 내 국가들의 산업경쟁력을 개선하고 일자리를 창출하기 위한 목적도 분명히 포함되어 있다(김동구·손인성, 2021).

탄소국경조정은 (1) 탄소세(VAT, 소비세) (2) 탄소국경세(관세, 수입세) (3) EU ETS 확장 (4) EU ETS 가격연동 시스템 등 다양한 유형이 있다(김동구·손인성, 2021). 본 보고서에서는 현재 논의되는 (4) EU ETS 가격연동 시스템, 즉 EU ETS 배출권 가격과 수출국의 탄소 가격(배출권의 가격 또는 탄소세)의 차이만큼 인증서(CBAM : Certificate)⁸⁾를 구매하여 제출하는 방안⁹⁾을 중심으로 논의를 진행한다.¹⁰⁾

2 탄소국경조정 세부 내용

가. 진행 상황

아래에서는 2021년 7월 유럽연합 집행위원회(European Commission)의 초안¹¹⁾과 2022년 6월 22일 유럽의회(European Parliament) 수정안(amendment)¹²⁾, 그리고 유럽연합 이사회(Council of the European Union)의 안¹³⁾을 중심으로 탄소국경조정의 품목과 범위 등을 살펴본다. 다만, 이들 초안과 수정안은 아직 확정된 법률안이 아니며 논의중인 사안이라는 점에 유의할 필요가 있다. 통상적인 유럽연합의 입법절차에는 유럽

8) 인증서의 가격은 EU ETS에서 한 주간 거래되는 배출권 경매가격의 평균으로 책정된다.

9) 직접 탄소 배출량을 보고하고 인증서의 비용을 부담하는 주체는 당국의 승인을 받은 유럽연합 내 수입업자이다.

10) EU ETS와 연동된 탄소가격제를 실시하는 아이슬란드, 리히텐슈타인, 노르웨이, 스위스의 수출품에는 탄소국경조정을 적용하지 않는다.

11) European Commission(2021.7.14.), Proposal for a REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL establishing a carbon border adjustment mechanism, COM(2021) 564 final.

12) European Parliament.(2022). Amendments adopted by the European Parliament on 22 June 2022 on the proposal for a regulation of the European Parliament and of the Council establishing a carbon border adjustment mechanism (COM(2021)0564 - C9-0328/2021 - 2021/0214(COD)).

https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-9-2022-06-22_EN.html#sdocta3

13) Council of European Union(2022.3.15.), Draft regulation of the European Parliament and of the Council establishing a carbon border adjustment mechanism - General approach.

<https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-7226-2022-INIT/en/pdf>

연합 집행위원회(European Commission), 유럽의회(European Parliament), 유럽연합 이사회(Council of European Union)가 참여하며, 구체적인 절차는 다음과 같다.¹⁴⁾

먼저 집행위원회가 의회에 입법안을 제출하면(Commission proposal) 의회에서 토론을 거쳐 집행위원회의 입법안을 그대로 승인하거나 수정안을 내놓는다(First reading in Parliament). 다음으로는 이사회가 의회의 안을 놓고 토론을 거쳐 이를 승인하거나 수정안을 의회로 보낸다(First reading in Council). 대다수의 입법안은 이 단계에서 승인된다.

만일 이사회가 의회로 수정안을 보내면 의회는 이를 승인하거나 부결하거나(reject) 수정안을 만들어 이사회로 보낸다(Second reading in Parliament). 의회가 이사회의 수정안을 승인하거나 부결하면 입법절차는 종료된다. 의회가 이사회로 수정안을 보내면 이사회는 이 수정안을 그대로 승인하거나 승인하지 않는 두 가지 선택을 할 수 있다(Second reading in Council). 이사회가 의회의 수정안을 그대로 승인하면 입법절차가 마무리되며, 그렇지 않으면 의회와 이사회 간 조정절차(Conciliation)에 들어간다.

조정절차에는 같은 수의 회원국 대표와 유럽의회 의원이 참여한다. 합의안(joint text)이 도출되면 합의안은 각각 의회와 이사회에서 토론을 거쳐 승인 여부를 결정하며(Third reading in the European Parliament and Council), 합의안이 도출되지 않으면 입법절차는 종료된다. 합의안의 경우, 의회와 이사회에서 단어(wording)를 수정할 수 없다. 합의안이 법률이 되기 위해서는 의회와 이사회 모두에서 승인되어야 하며, 더 이상의 입법절차는 없다.

다만, 입법절차를 빠르게 진행하기 위해서 통상적인 입법절차를 따르지 않을 수 있다. 두 가지 절차가 있는데, 일반적 합의 절차(general approach)는 의회가 집행위원회 입법안에 대한 견해를 밝히기 전에 이사회가 입장을 표명하는 것이다. 다음으로 3자협상(trilogue)은 집행위원회, 의회, 이사회가 모두 참여하여 회의를 통해 이견을 조율하는 절차이다. 탄소국경조정과 관련된 입법안은 위의 두 가지 절차를 모두 거치고 있는데, EU 이사회는 2022년 3월 15일 탄소국경조정에 대한 이사회의 입장을 발표하여¹⁵⁾ 일반적

14) 이하의 내용은 https://www.europarl.europa.eu/infographic/legislative-procedure/index_en.html과 <https://www.consilium.europa.eu/en/council-eu/decision-making/ordinary-legislative-procedure/>을 토대로 정리하였다.

15) Council of European Union(2022.3.15.)

합의 절차가 시작되었다.

세 기관 간 잠정 합의안은 2022년 12월 13일에 도출되었다. 합의안은 품목 등에서 집행위원회 초안에 가깝지만, 특정 조건에서 간접 배출량을 탄소 배출량에 포함(indirect emissions under certain conditions)하는 등¹⁶⁾ 의회 수정안의 내용도 일부 수록하고 있다. 또한, 과도기간 종료 시점까지 의회 수정안에서 새롭게 제시된 품목을 포함하여 EU ETS 대상 품목을 추가할지 검토할 예정인데, 2030년까지 모든 EU ETS 대상 품목으로 제도를 확대하는 것을 목표로 제시하였다.¹⁷⁾

나. 품목

2022년 6월 22일 유럽의회(European Parliament)에서 채택한 탄소국경조정 대상 품목은 아래의 [표 2-2]와 같다. 2021년 7월 유럽연합 집행위원회(European Commission)가 발표한 탄소국경조정제도(CBAM) 초안에 명시되었던 시멘트(cement), 전기(electricity), 비료(fertilisers), 철강(iron and steel), 알루미늄(aluminium) 외에 화학제품(chemicals)과 폴리머(polymers)¹⁸⁾가 새롭게 포함되었다. 유럽연합 이사회가 제시한 품목은 집행위원회 초안에 제시된 품목과 같지만 150유로 미만의 화물은 탄소국경조정 적용을 면제한다는 내용을 담고 있다. 한편, 2022년 12월 13일 합의안에서는 집행위원회의 초안에 명시된 품목(시멘트, 전기, 비료, 철강, 알루미늄)과 수정안에 명시된 수소를 포함하였다. 또한, 초안과 개정안에는 포함되지 않은 철강 관련 일부 원료와 제품을 새롭게 포함하였다.¹⁹⁾

유럽연합의 무역 제품 분류는 CN(Combined Nomenclature) 코드를 따르는데, 동 코드는 전 세계 공통으로 사용하는 HS²⁰⁾ 6자리 코드에 2자리를 추가한 8자리 코드이다. 따라서 첫 6자리는 HS 코드와 일치한다. 유럽연합의 탄소국경조정 대상 품목은 CN 코드의 8자리까지 세세하게 규정되어 있지 않고 HS 코드와 공통인 6자리까지 규정되어 있

16) 특정 조건(certain condition)은 아직 확정되지 않았다.

17) <https://www.europarl.europa.eu/news/en/press-room/20221212IPR64509/deal-reached-on-new-carbon-leakage-instrument-to-raise-global-climate-ambition>

18) HS 코드 제39류 플라스틱과 그 제품에 해당한다. 본문에서는 폴리머와 플라스틱을 혼용하여 사용한다.

19) 해당 품목은 구체적인 자료가 부족하여 [표 2-2]에는 표시하지 않았다.

20) Harmonized Commodity Description and Coding System 또는 Harmonized System

다.21) 따라서 본 보고서는 HS 코드를 분석에 이용하며, 불필요한 혼란을 줄이고자 용어 역시 “CN 코드” 대신 “HS 코드”를 사용한다.22)

[표 2-2] 탄소국경조정 적용 품목

제품군	HS 코드	품명	비고
시멘트	252330	알루미나(aluminous) 시멘트	초안 수정안 합의안
	252310	시멘트 클링커(clinker)	
	252321	백색 시멘트(인위적으로 착색한 것인지에 상관없다)	
	252329	기타	
	252390	그 밖의 수경성(水硬性) 시멘트	
전기	271600	전기에너지	초안 수정안 합의안
비료	280800	질산과 황질산	초안 수정안 합의안
	2814	무수(無水)암모니아나 암모니아수	
	283421	질산칼륨	
	3102	질소비료(광물성 비료나 화학비료로 한정한다)	
	3105	광물성 비료나 화학비료(비료의 필수요소인 질소·인·칼륨 중 두 가지나 세 가지를 함유하는 것으로 한정한다), 그 밖의 비료, 이 류에 열거한 물품을 태블릿(tablet) 모양이나 이와 유사한 모양으로 한 것이거나 용기를 포함한 한 개의 총중량이 10킬로그램 이하로 포장한 것 제외: 310560 - 인과 칼륨을 함유한 광물성 비료나 화학비료	
철강	72	철강 제외: 7202 -합금철(ferro-alloy) 제외: 7204 - 철의 웨이스트(waste)와 스크랩(scrap), 철강의 재용해용 스크랩 잉곳(scrap ingot)	초안 수정안 합의안
	7301	철강으로 만든 널말뚝(sheet piling)(구멍을 뚫은 것인지 또는 조립된 것인지에 상관없다)과 용접된 형강(形鋼)	

21) 일부 항목은 8자리까지 규정되어 있으나 이에 대응되는 6자리 HS 코드와 일치한다.

22) HS 코드는 2자리(류, chapter), 4자리(호, heading), 6자리(소호, subheading)로 구성되며, 상위항목은 하위항목을 포함한다. 즉, 류(chapter)는 같은 첫 두 자리를 가진 호(heading)와 소호(subheading)를 포함하고, 호(heading)는 같은 첫 네 자리를 가진 소호(subheading)를 포함한다.

제품군	HS 코드	품명	비고
철강	7302	철강으로 만든 철도용이나 궤도용 선로의 건설재료[레일(rail)·체크레일(check-rail)과 랙레일(rack rail)·스위치 블레이드(switch blade)·교차구류(crossing frog)·전철봉(point rod)과 그 밖의 크로싱피스(crossing piece)·받침목(크로스타이)·이음매판(fish-plate)·좌철(座鐵)·좌철(座鐵)뼈기·밑판(sole plate)(베이스플레이트)·레일클립·받침판(bedplate)·격재(tie)와 레일의 접속이나 고착에 전용되는 그 밖의 재료로 한정한다]	초안 수정안 합의안
	730300	주철로 만든 관(管)과 중공(中空)프로파일(profile)	
	7304	철강(주철은 제외한다)으로 만든 관(管)과 중공(中空)프로파일(profile)[무계목(無繼目)으로 한정한다]	
	7305	철강으로 만든 그 밖의 관(管)[예: 용접·리벳(rivet)이나 이와 유사한 방법으로 봉합한 것]으로서 횡단면이 원형이고, 바깥지름이 406.4밀리미터를 초과하는 것	
	7306	철강으로 만든 그 밖의 관(管)과 중공(中空)프로파일(profile)[예: 오픈시름(open seam)·용접·리벳(rivet)이나 이와 유사한 방법으로 봉합한 것]	
	7307	철강으로 만든 관(管) 연결구류[예: 커플링(coupling)·엘보(elbow)·슬리브(sleeve)]	
	7308	철강으로 만든 구조물(제9406호의 조립식 건축물은 제외한다)과 구조물의 부분품[예: 다리와 교량·수문·탑·격자주(格子柱)·지붕·지붕틀·문과 창 및 이들의 틀과 문지방·셔터·난간·기둥], 구조물용으로 가공한 철강으로 만든 판·대·봉·형재(形材)·관(管)과 이와 유사한 것	
	7309	철강으로 만든 각종 재료용 저장조·탱크·통과 이와 유사한 용기(압축용이나 액화가스용은 제외하고, 기계장치나 가열·냉각장치를 갖추지 않은 것으로서 용적이 300리터를 초과하는 것으로 한정하며, 내장한 것인지 또는 열절연한 것인지에 상관없다)	
	7310	철강으로 만든 각종 재료용 탱크·통·드럼·캔·상자와 이와 유사한 용기(압축용이나 액화가스용은 제외하고, 기계장치나 가열·냉각장치를 갖추지 않은 것으로 용적이 300리터 이하인 것으로 한정하며, 내장한 것인지 또는 열절연한 것인지에 상관없다)	
	7311	철강으로 만든 용기(압축용이나 액화가스용으로 한정한다)	

제품군	HS 코드	품명	비고
알루미늄	7601	알루미늄의 괴(塊)	초안 수정안 합의안
	7603	알루미늄의 가루와 플레이크(flake)	
	7604	알루미늄의 봉과 프로파일(profile)	
	7605	알루미늄의 선	
	7606	알루미늄의 판·시트(sheet)·스트립(두께가 0.2밀리미터를 초과하는 것으로 한정한다)	
	7607	알루미늄의 박(箔)[인쇄한 것인지 또는 종이·판지·플라스틱이 나 이와 유사한 보강재로 뒷면을 붙인 것인지에 상관없으며 그 두께(보강재의 두께는 제외한다)가 0.2밀리미터 이하인 것으로 한정한다]	
	7608	알루미늄으로 만든 관(管)	
	760900	알루미늄으로 만든 관(管) 연결구류[예: 커플링(coupling)·엘보(elbow)·슬리브(sleeve)]	
화학제품	29	유기화학품	수정안
	280410	수소	수정안 합의안
	281410	무수(無水)암모니아	수정안
	281420	암모니아수	
폴리머	39	플라스틱과 그 제품	수정안

주: 1) 제품군과 HS 코드는 유럽의회 수정안을 기준으로 하였음.
 2) 품명은 관세법령정보포털(<https://unipass.customs.go.kr/clip/index.do>)을 기준으로 하였음.

수정안에 새롭게 도입된 품목 가운데 유기화학품과 폴리머(플라스틱)는 유럽연합이 지정한 탄소누출(carbon leakage) 위험이 큰 업종이다. 유기화학품이 집행위원회 입법안에서 제외된 이유는 탄소 배출량 계산의 기술적 어려움 때문이었으나,²³⁾ 의회에 탄소국경조정제도 수정안 초안을 제출한 모하메드 차힘(Mohammed Chahim) 유럽의회 의원은 이들 제품군의 탄소 집약도와 무역 집약도를 고려할 때 기술적 어려움을 이유로 이들을 적용 품목에서 제외하는 것은 바람직하지 못하다고 주장하였다.²⁴⁾ 또한 수정안²⁵⁾에

23) 집행위원회 초안의 비교(Recital) 32에 다음과 같이 서술되어 있다. "In particular, organic chemicals are not included in the scope of this Regulation due to technical limitations that do not allow to clearly define the embedded emissions of imported goods."

24) European Parliament(2022.5.23.). REPORT on the proposal for a regulation of the European Parliament and of the Council establishing a carbon border adjustment mechanism. (COM(2021)0564 - C9-0328/2021 -

서는 과도기간이 끝나는 시점에 집행위원회가 의회와 이사회에 제출하는 보고서에 유기 화합품과 폴리머 제품군에 내재된(embedded) 탄소 배출량, 동 제품군과 관련된 탄소누출을 방지할 방안 등을 평가하여 기술할 것을 명시하였다.

반면, 수소는 그린수소(재생에너지를 사용해서 물을 전기분해하여 얻은 수소)를 장려하는 유럽연합의 정책을 뒷받침하기 위해 품목에 도입하였다(심규섭, 2022). 전체 수소 생산량의 96%를 차지하는 그레이수소는 화석연료를 이용하여(메탄과 수증기의 화학반응을 이용하여 수소를 추출하며, 수소 1kg당 이산화탄소 10kg 발생) 생산하는데,²⁶⁾ 생산 과정에서 다량의 탄소를 배출하지만 그린수소보다 가격이 저렴하다. 따라서 탄소국경조정 품목에 수소가 포함된 것은 유럽연합 내 기업의 여론을 반영하였다고 볼 수 있다.

탄소국경조정이 적용되는 품목과 관련하여 집행위원회(이사회)와 의회의 의견이 엇갈린다.²⁷⁾ 다만, 탄소국경조정을 본격적으로 시행하면 탄소국경조정이 적용되는 분야는 점차 확대될 것으로 전망된다. 앞서 기술한 바와 같이 2022년 12월 13일 합의안에 제시된 품목은 집행위원회(이사회)안에 가깝지만, 과도기간 종료 시점에 의회안에 포함된 품목 등 EU ETS 대상 품목을 추가할지를 검토할 예정이고, 더 나아가 2030년까지 제도의 범위를 모든 EU ETS 대상 품목으로 확대하는 것이 목표로 제시되었기 때문이다. 탄소국경조정과 관련한 무역 현황은 아래에서 논의한다.

다. 탄소 배출 범위(scope)

제품의 생산 과정에서 배출되는 탄소의 규모, 혹은 제품에 포함된 탄소의 규모는 다양한 범위(scope)에서 정의할 수 있다. 통상적으로 논의되는 범위는 scope 1, scope 2, scope 3이다. Scope 1은 기업이 사업장에서 제품의 생산하는 과정에서 배출하는 탄소만을 포함하며, 직접 배출(direct emission)의 개념이다. Scope 2와 scope 3은 간접 배

2021/0214(COD)).

https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/A-9-2022-0160_EN.html

25) Amendment 260 (Proposal for a regulation Article 30 – paragraph 2)

26) 현대자동차그룹(2021.08.18.). 수소에너지에도 종류가 있다. 그레이수소, 블루수소, 그린수소란?

<https://www.hyundai.co.kr/story/CONT000000000000001839>

27) Council of European Union(2022.3.15.), Council agrees on the Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM),

<https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2022/03/15/carbon-border-adjustment-mechanism-cbam-council-agrees-its-negotiating-mandate/>

출(indirect emission), 즉 사업장 외부에서 제품의 생산과 관련하여 배출된 탄소를 포함한다. scope 2는 scope 1에 기업이 제품의 생산 과정에서 사용한 전기 및 에너지를 만드는 과정에서 발생한 탄소를 추가로 포함한다. Scope 3은 scope 2에 기업이 구매하여 제조에 사용한 중간재 생산 과정에서 발생한 탄소와 물류 과정에서 배출된 탄소 등²⁸⁾ 제품과 직간접적으로 연결된 모든 탄소 배출을 포함하는 개념이다.

집행위원회와 이사회는 직접 배출에 해당하는 scope 1을 지지하지만,²⁹⁾ 두 기관 모두 과도기간(transitional period)³⁰⁾이 끝나는 시점에서 scope 2에 해당하는 간접 배출의 포함을 검토할 것을 제시하고 있다.³¹⁾ 두 기관의 안을 살펴보면 간접 배출량 산출과 관련된 정보를 수집할 것을 명시하는 등 중장기적으로는 간접 배출량 역시 탄소국경조정제에 포함할 가능성이 크다. 한편, 의회의 개정안은 초기부터 scope 2에 해당하는 간접 배출량을 포함할 것을 명시하였는데, 이와 관련하여 탄소국경조정제와 EU ETS 간의 일관성이 세계무역기구(WTO) 원칙과 관련하여 필수적이라고 설명하고 있다(“Coherence between the CBAM and the EU ETS is essential to respect the principles of the WTO”). 한편, 세 기관의 합의안에서는 특정 조건에서 간접 배출량을 탄소 배출량에 포함(indirect emissions under certain conditions)할 것을 제안하였다.

이상을 종합하면 적어도 과도기간에는 직접 배출량에만 탄소국경조정제를 적용할 가능성도 있지만, 실제로 인증서를 구매해야 하는 과도기간 이후에는 scope 2에 해당하는 간접 배출량 역시 배출량 계산에 포함될 가능성이 상당하다. 앞서 기술한 바와 같이 과도기간에는 직접 배출량만을 계산할 것을 제안한 집행위원회와 이사회 안에서도 간접 배출량을 보고할 것을 규정하였기 때문이다. 이는 실제로 시행되는 시점에서 직간접 배출량 모두에 대한 충분한 정보를 확보하기 위함으로도 볼 수 있다.³²⁾ 직접 배출량만 탄소국경조

28) upstream emissions의 개념이다.

29) 집행위원회의 공식적인 입법안이 나오기 전 언론 보도에서는 간접 배출량을 포함할 것이라는 관측이 유력하게 제시되었다(김동구·손인성, 2021).

30) 과도기간에는 실제로 인증서를 구입하여 제출하지 않고 탄소국경조정제 적용되는 품목의 탄소 배출량을 신고한다. 탄소 배출량의 신고는 분기별로 이루어진다.

31) 집행위원회와 이사회가 제시한 과도기간은 2023년 1월 1일부터 2025년 12월 31일까지이다. 반면, 의회가 제시한 과도기간은 2023년 1월 1일부터 2026년 12월 31일까지이다. 한편, 모하메드 차힘(Mohammed Chahim) 의원이 유럽의회에 제출한 수정안 초안에서 제시한 과도기간은 2024년 12월 31일까지였다.

32) 김동구·손인성(2021)은 유럽연합 집행위원회가 과도기간을 도입한 것과 언론에 보도된 것보다 탄소국경조정제 초안의 내용을 완화한 이유를 제도에 대한 반발을 억제하여 이를 반드시 도입하겠다는 의도로 해석하였다. 또한, 과도기간에 수집한 직간접 배출 정보를 토대로 탄소국경조정제도를 보다 강화할 것으로 예상하였다.

정 대상에 포함하는 것이 방법론적으로 가장 단순하지만, 간접 배출량이 전체 배출량에서 차지하는 비중이 상당히 크고, 따라서 이를 포함하는 것이 탄소국경조정을 더욱 포괄적인 제도로 만들 수 있기 때문이다(Prag, 2020). 2022년 12월 13일 합의안에서도 특정 조건에서 간접 배출량을 탄소 배출량에 포함할 것을 명시한 바 있다.

신규섭(2022)에 따르면 간접 배출량을 탄소 배출량에 포함하면 우리나라 기업의 부담은 커질 것으로 전망된다. 이는 첫째, 우리나라 산업부문의 전력소비가 높기 때문으로, 철강과 석유화학 산업 등이 대표적이다. 둘째, 전력 생산 과정에서 탄소 배출량이 높은 편인데, 이는 발전에 사용하는 화석연료 의존도가 높기 때문이다. 따라서 합의안에 따라 특정 조건에서 간접 배출량이 배출량에 포함되고 향후 배출량 정보의 축적에 따라 간접 배출량까지 포함하는 범위(품목)가 더욱 확대될 가능성이 크다고 본다. 이에 대한 대비가 필요하다.

한편, scope 3에 해당하는 간접 배출량, 즉 수출하는 기업의 사업장이 아닌 다른 곳에서 생산한 중간재 및 물류 등에서 발생하는 탄소 배출량까지 탄소국경조정 대상에 포함될지는 불확실하다. 위에서 살펴본 바와 같이 지금까지 제시된 탄소국경조정 초안과 수정안 등을 살펴보면 간접 배출은 scope 2의 범주에서 논의되고 있다. 이는 탄소국경조정제도가 EU ETS 제도와 정합성을 가져야 하기 때문이다. EU ETS에는 전력 부문이 포함되어 있다. 또한 scope 3에 해당하는 간접 배출량을 제품의 탄소 배출량에 포함하기 위해서는 제품을 수출하는 기업의 사업장 외에서 발생한 간접 배출량, 즉 중간재와 물류 등에 포함된 탄소 배출량을 계산해야 하는데 이를 정확하게 계산하는 것이 매우 복잡하다는(Prag, 2020) 것이 scope 2의 범주에서 논의하는 또 다른 이유가 될 수 있다.

하지만 채희근(2021)에 따르면 최근 글로벌 기업을 중심으로 장기 전략을 수립할 때 탄소 배출량을 scope 3의 범주에서 고려할 뿐만 아니라, 협력 업체에도 같은 기준을 요구하고 있으며, 금융권에서도 기업의 탄소 배출 기준에 scope 3을 적용할 것을 권고하는 추세이다. 채희근(2021)은 scope 3의 적용을 위한 탄소 배출량 평가 방안으로 전과정평가(life cycle assessment, LCA) 기법을 주목하고 있다. 또한, 탄소국경조정 초안을 살펴보면, 실제 배출량 데이터가 없을 때는 국가별로 정해진 기본값을 사용하고, 이마저도 데이터가 없으면 유럽연합 내 하위 10% 사업장의 평균에 기반하여 배출량을 산출하도록 명시되어 있다.³³⁾ 따라서 기술적으로 scope 3에 해당하는 간접 배출량을 전체 탄소 배

33) 다만, 이는 아래에서 기술하듯이 WTO 원칙 위배 가능성이 있다.

출량에 포함하는 것이 매우 어렵지만, 이러한 가능성에 대비할 필요는 있다. 따라서 중장기 관점에서 탄소국경조정제의 영향에 대해 전망하고자 한다면 scope 3 범주까지 포함하는 것도 고려할 가치가 충분하다.

또한, 탄소국경제도 입법안의 부속서(Annex) III을 살펴보면, 복합재(complex good)의 탄소 배출량에는 생산에 사용된 중간 투입물의 배출량 역시 탄소 배출량에 포함되며, 이는 중간 투입물이 탄소국경조정제도의 적용 품목이 아니어도 상관이 없다. 이상준(2021)에 따르면 집행위원회 초안에 명시된 품목은 모두 단일재(simple good)인 것으로 확인되었으나, 과도기간 이후에 배출량 산정 방식이 변화할 가능성은 충분하다(이천기·박혜리·박지현, 2021). 만일 제조에 사용된 중간재의 생산 과정에서 발생한 탄소 배출량까지 최종 배출량에 포함된다면 이는 scope 3과 유사성을 갖는다.³⁴⁾ 따라서, 집행위원회의 초안과 의회의 수정안(scope 2)을 종합해본다면 역시 중장기적으로는 scope 3 범주를 적용할 가능성도 무시할 수는 없다.

[표 2-3] 탄소 배출량 산출 방법(부속서 III)

구분	수식
단일재(simple good)	$SEE_g = \frac{AttrEm_g}{AL_g}$ <p>where $AttrEm_g = DirEm$</p>
복합재(complex good)	$SEE_g = \frac{AttrEm_g + EE_{inpMat}}{AL_g}$ <p>where $EE_{inpMat} = \sum_{i=1}^n M_i \times SEE_g$</p>
	<p>SEE_g: 상품 g의 탄소 배출량</p> <p>$AttrEm_g$: 사업장(조직경계) 내에서 상품 g의 생산 활동으로 인한 탄소 배출량</p> <p>AL_g: 보고기간 내 상품 g의 생산량</p> <p>$DirEm$: 사업장 내 생산 활동 과정에서 직접적으로 발생한 탄소 배출량(직접 배출량)</p> <p>M_i: 중간 투입재 i의 양</p>

34) 전력 생산에서 발생한 탄소 배출량을 포함하지 않으므로 scope 3이라고 보기는 어렵다.

한편, 배출량 산정 방식과 관련하여 세계무역기구(WTO)의 내국인대우 원칙 위배의 소지가 있다. 제품의 생산 과정에서 배출되는 탄소는 유럽연합이 수입하는 시점에서는 이미 제품에 포함되어 있지 않음에도 불구하고 이에 기반하여 같은 상품에 대해 다른 비용(CBAM 인증서)을 부과하기 때문이다(이천기·박지현·박혜리, 2021). 또한, 신뢰할 수 있는 탄소 배출량 관련 자료를 제품의 수출 기업이 제출하지 못할 때 유럽연합 내 하위 10% 기업의 배출량 평균을 적용하는 것 역시 내국인대우 원칙 위배의 소지가 있는데, 유럽연합 역내 기업에는 추가적인 증빙을 요구하거나 위와 같은 불리한 추정을 적용하지 않기 때문이다(박효민, 2022; 이천기·박지현·박혜리, 2021).

라. 무상 배출권 할당

유럽연합의 배출권거래제도는 특정 조건을 만족하는 업종에 대해 배출권을 무상으로 할당한다. 동 조건은 유럽연합의 온실가스배출권거래에 관한 지침³⁵⁾에 따르며, 해당 지침은 첫 도입 이후 꾸준히 개정되었다. EU ETS 4기(2021~2030년)의 배출권 무상할당은 2019년에 발표된 지침에 따른다.³⁶⁾

EU ETS 4기의 배출권 무상할당은 탄소누출지수(carbon leakage indicator)를 기준으로 결정된다. 탄소누출지수는 각 산업의 무역 집약도(intensity of trade with third countries)와 배출 집약도(emission intensity)의 곱으로 계산되며, 각 산업은 유럽연합의 NACE 분류체계(level-4)에 근거하여 정의한다. 유럽연합에서는 탄소누출지수를 근거로 탄소누출이 심각하다고 여겨지는 산업(탄소누출 고위험 산업부문)에 대해 배출권을 100% 무상으로 할당하며, 전기와 같은 간접 배출에 대해서도 금전적 지원을 제공한다.³⁷⁾ 이는 탄소 배출과 관련하여 비용을 부담하는 역내 기업들이 역외 기업들과 동등한 조건에서 경쟁하도록 하기 위함이다.

35) Official Journal of the European Union(2003.10.25.), DIRECTIVE 2003/87/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 13 October 2003 establishing a scheme for greenhouse gas emission allowance trading within the Community and amending Council Directive 96/61/EC

36) Official Journal of the European Union(2019.8.5.), COMMISSION DELEGATED DECISION (EU) 2019/708 of 15 February 2019 supplementing Directive 2003/87/EC of the European Parliament and of the Council concerning the determination of sectors and subsectors deemed at risk of carbon leakage for the period 2021 to 2030.

37) 지수 산출 방법과 배출권을 무상으로 할당하는 기준은 유럽연합의 지침에 구체적으로 명시되어 있다. 탄소국경조정과 관련된 일부 산업의 탄소누출지수는 신규법(2022)에 제시되어 있다.

탄소국경조정제도를 도입하면서 무상할당을 계속 유지한다면 이는 역외 기업에 대한 차별 요인이 된다. 집행위원회의 초안 제31조(article 31)에는 탄소국경조정제도가 적용되는 품목이 EU ETS의 배출권 무상할당 대상이면 이를 고려해서 인증서 구매량을 조정하도록 명시하였고, 의회 수정안의 부속서 IIIa에는 이와 관련한 구체적인 방안이 제시되어 있다. 유럽연합에 수입되는 제품의 생산 과정에서 배출된 탄소의 규모에서 무상할당을 받은 제품의 생산 과정에서 배출된 탄소의 규모를 제한 만큼만 배출권을 구매하는 방식이다. 따라서, 유럽연합에서도 이와 관련한 문제를 인지하고 있음을 짐작할 수 있다.

그러나 이와 같은 제도의 운영은 여전히 세계무역기구(WTO)의 원칙을 위배할 소지가 크다. 김동구·손인성(2021), 박효민(2022), 이천기·박지현·박혜리(2021) 등은 이와 관련하여 내국민대우 원칙의 위반 가능성을 제시하였다. 역내 제품에 대해서는 EU ETS에서 무상할당을 시행하고 역외 제품에 대해서는 탄소국경조정제도를 적용하는 것이 역내 제품과 역외 제품 간 차별이며, 역내 제품에 대한 이중보호라는 것이다(김동구·손인성, 2021). 이미 탄소누출에 대응하기 위해 배출권을 무상으로 할당하면서 추가로 탄소국경조정제도를 도입하는 것이 과연 정당한지에 대한 문제도 제기된다(박효민, 2022). 무상할당 제도는 단계적으로 폐지할 예정이지만 의회의 개정안을 적용하더라도 2032년에 폐지하고, 집행위원회나 이사회의 안을 적용하면 2035년이 되어서야 폐지한다는 점을 고려한다면 이와 같은 논란은 상당 기간 이어질 것으로 보인다.³⁸⁾

[표 2-4] EU ETS 무상할당 감축안

집행위원회	의회	이사회
2026년부터 매해 10%씩 감축하여 2035년에 무상할당을 완전 폐지	2026년까지 100% 유지 2027년 93%까지 감축, 2028년 84%까지 감축, 2029년 69%까지 감축, 2030년 50%까지 감축, 2031년 25%까지 감축, 2032년 완전 폐지	2035년까지 무상할당을 완전 폐지, 후기로 갈수록 감축량 증가

주: 집행위원회, 의회, 이사회의 탄소국경조정안을 정리.

38) 2022년 12월 13일 도출된 합의안에서는 무상할당 감축에 대해 완전한 합의에 도달하지 못하였고, 이는 추후에 다시 논의가 이루어질 예정이다.

제2절

탄소국경조정 품목 무역 현황

NATIONAL ASSEMBLY FUTURES INSTITUTE

1 품목별 무역 현황

[표 2-2]에 나타난 바와 같이 탄소국경조정제도 적용 품목은 HS 코드 2자리, 4자리, 6자리로 제시되어 있다. 아래의 [표 2-5]에서는 이를 모두 6자리 HS 코드로 통일하여 각 제품군에 포함되는 품목의 수를 표시하였다(2018년부터 2021년까지 유럽연합이 수입한 품목에 한정). 비료 항목 가운데 암모니아 항목(HS 281410, HS 281420)은 유럽연합 수정안의 화학제품에도 포함된다.³⁹⁾ [표 2-5]에서는 이들 항목을 모두 비료 항목으로 분류하였다. 철강, 화학제품, 폴리머(플라스틱) 제품군에 상대적으로 많은 품목이 포함된 것을 확인할 수 있다.

[표 2-5] 제품군별 품목 수(6자리 HS 코드)

	시멘트	전기	비료	철강	알루미늄	화학제품	폴리머
제품 수	5	1	20	217	21	384	129

자료: UN Comtrade. European Parliament(2022.6.22.)를 기준으로 분류.

주: 2018년부터 2021년까지 유럽연합이 수입한 품목에 한정.

아래에서는 [표 2-5]의 품목 분류(6자리 HS 코드)를 기준으로 탄소국경조정의 적용 대상인 제품들의 무역 현황을 살펴본다. 먼저 유럽연합 시장 전체에서 각국의 수출 비중과 경쟁의 양상을 분석한 후, 우리나라에 초점을 맞추어 품목별로 유럽연합 시장이 우리나라의 수출 시장에서 차지하는 비중을 살펴본다. 다음으로는 유럽연합 국가 간 교역(intra-EU trade)을 살펴본다. 모든 자료는 2018년부터 2021년까지 4년도의 평균이며, 자료의 출처는 UN Comtrade 데이터베이스이다. 또한, 서로 다른 연도의 무역액을 합산하기 위해 각 연도의 무역액을 미국의 GDP 디플레이터를 이용해서 2020년 실질 가치로 환산하였다.

39) 비료 항목에는 HS 2814로 포함되어 있고, 화학제품에는 HS 281410, HS 281420으로 포함되어 있다.

가. 유럽연합 시장 기준

[표 2-6]에는 제품군별로 유럽연합의 수입액 합계, 평균, 표준편차, 사분위수(25%, 50%, 75%) 등의 요약 통계량을 나타내었다. 유럽연합 전체를 하나의 시장으로 정의하였기 때문에 유럽연합 국가 간 무역은 제외하였다. 전기 제품군은 이에 포함되는 품목(HS 6단위 기준)이 하나이므로 합계를 제외한 요약 통계량을 표시하지 않았다.

[표 2-6]을 살펴보면 품목 수가 많은 철강, 화학제품, 폴리머 제품군의 수입액 총합이 다른 제품군에 비해 크게 나타나는 가운데, 알루미늄 제품군 역시 수입액의 합이 상당히 크게 나타나는 것을 관찰할 수 있다. 또한, 시멘트와 전기 제품군을 제외한 모든 제품군에서 평균값이 50%(중간값)보다 크고 75%와 비슷하거나 더 크게 나타나며 표준편차 역시 평균값보다 훨씬 큰데, 이는 이들 제품군에서 상대적으로 소수의 품목(HS 6단위 기준)에 수입액이 집중되어 있다는 것을 의미한다. 한편, 7개의 제품군 가운데 화학제품과 폴리머는 유럽의회의 수정안에 새롭게 추가된 제품군인데, 전체에서 이들의 비중이 상당히 높다는 것을 확인할 수 있다. 이들은 개별 제품군 중 수입액이 가장 큰 두 제품군이며, 두 제품군의 수입액 합계가 집행위원회 초안에 포함된 5개 제품군의 수입액 합계보다 훨씬 크다. 따라서, 유럽의회의 수정안은 탄소국경조정제도의 범위를 상당히 확장했다고 볼 수 있다.

[표 2-6] 유럽연합 탄소국경조정 품목 수입액 요약 통계량(백만달러)

	합계	평균	표준편차	사분위수(Quartile)		
				25%	50%	75%
시멘트	434.13	86.83	74.9	24.38	54.97	159.79
전기	4629.53	-	-	-	-	-
비료	5441.71	272.09	399.22	31.74	72.71	270.92
철강	47524.64	219.01	439.47	29.57	71.78	217.07
알루미늄	20951.59	997.69	1961.37	54.6	197.36	712.91
화학제품	70263.15	182.98	555.49	1.92	31.73	128.42
폴리머	55550.79	430.63	794.93	73.24	193.58	577.16

자료: UN Comtrade. European Parliament(2022.6.22.)를 기준으로 분류.

주: 1) 2018~2021년 유럽연합 국가들의 수입액을 기준으로 집계(평균).

2) 2020년 기준 실질가치로 환산.

각 제품군의 주요 수출국은 아래의 [표 2-7]에 나타난 바와 같다.⁴⁰⁾ 이 가운데, 전기 분야는 송전선이 연결되어야 하므로 유럽연합 인접 국가가 대부분의 비중을 차지한다. 전반적으로 중국이 수입 시장 규모가 큰 철강, 화학제품, 폴리머(플라스틱)에서 고루 강세를 보이며 탄소국경조정 대상(의회 수정안 기준) 전체 시장에서 가장 높은 비중을 차지한다. 스위스 역시 시멘트와 비료를 제외한 5개 분야에서 주요 수출국 10개국에 포함되며, 이 가운데 시장 규모가 가장 큰 화학제품에서 1위를 기록하고 있다. 스위스는 이를 바탕으로 전체 시장에서 두 번째로 유럽연합에 대한 수출 규모가 크다. 이어 화학제품, 폴리머 분야에서 수출량이 많은 미국이 전체에서 세 번째이고, 모든 분야에서 수출국 상위 10개국에 포함되는 영국이 전체 시장에서 네 번째 수출국으로 자리잡고 있다. 이 외에도 러시아(6.5%), 튀르키예(5.1%), 인도(4.9%), 노르웨이(3.8%), 일본(2.7%) 등이 탄소국경조정 대상 품목의 주요 수출국이며, 우리나라는 시장 규모가 큰 철강, 화학제품, 폴리머에서 강세를 보이며 전체에서 8위(4.3%)를 기록하고 있다.

[표 2-7] 제품군별 주요 수출국

	주요 수출국(수출액 상위 10개국)
시멘트	튀르키예(39.3%), 우크라이나(7.6%), 벨라루스(6.4%), 알제리(4.5%), 콜롬비아(4.2%), 보스니아 헤르체고비나(3.8%), 영국(3.6%), 모로코(3.1%), 튀니지(3.0%), 베트남(3.0%)
전기	스위스(21.3%), 노르웨이(19.5%), 세르비아(15.1%), 러시아(13.4%), 보스니아 헤르체고비나(9.2%), 우크라이나(5.8%), 영국(5.0%), 벨라루스(3.1%), 북마케도니아(2.9%), 알바니아(1.6%)
비료	러시아(32.0%), 알제리(11.5%), 이집트(11.0%), 모로코(9.1%), 노르웨이(4.5%), 트리니다드 토바고(4.4%), 벨라루스(4.1%), 칠레(3.4%), 우크라이나(3.0%), 튀르키예(2.1%)
철강	러시아(13.7%), 중국(11.6%), 튀르키예(11.4%), 우크라이나(9.0%), 인도(7.8%), 한국(7.2%), 영국(4.3%), 타이완(3.6%), 브라질(3.5%), 스위스(3.4%)
알루미늄	노르웨이(18.9%), 러시아(12.8%), 아이슬란드(8.4%), 중국(7.6%), 튀르키예(7.3%), 스위스(6.6%), 아랍에미리트(6.5%), 모잠비크(5.0%), 바레인(2.7%), 인도(2.7%)
화학제품	스위스(24.9%), 중국(19.1%), 미국(17.0%), 인도(7.2%), 싱가포르(5.8%), 일본(3.9%), 영국(3.5%), 사우디아라비아(2.6%), 러시아(2.5%), 한국(2.1%)
폴리머	중국(24.3%), 미국(16.9%), 스위스(7.2%), 한국(7.2%), 영국(6.3%), 튀르키예(5.9%), 사우디아라비아(4.3%), 일본(4.0%), 타이완(2.2%), 인도(2.2%)

40) UN Comtrade 데이터베이스에서 국가 코드가 839(Special Categories), 899(Areas, not elsewhere specified) 등으로 분류된 경우에는 표시하지 않았다. 국가 코드 839는 수입국이 수출국 정보를 공개하지 않을 때 사용된다.

주요 수출국(수출액 상위 10개국)	
합계	중국(16.7%), 스위스(12.4%), 미국(11.3%), 러시아(6.8%), 튀르키예(5.4%), 인도(5.2%), 한국(4.5%), 영국(4.3%), 노르웨이(4.0%), 일본(2.9%)

자료: UN Comtrade, European Parliament(2022.6.22.)를 기준으로 분류.

주: 1) 2018-2021년 유럽연합 국가들의 수입액을 기준으로 집계(평균).

2) 2020년 기준 실질가치로 환산.

3) UN Comtrade 데이터베이스에서 국가 코드 839(Special Categories), 899(Areas, not elsewhere specified)로 표기된 경우에는 표시하지 않음.

[표 2-7]에 표시된 주요 수출국 가운데 앞서 기술한 바와 같이 스위스, 노르웨이는 탄소 가격이 유럽연합의 배출권거래제와 연동되어 있으므로 탄소국경조정제도를 적용하지 않는다. 영국은 유럽연합을 탈퇴하였으므로 탄소국경조정제도를 적용한다. 하지만, 영국의 배출권거래제(UK ETS)는 유럽연합의 배출권거래제 4기와 유사하게 설계되었고 2022년 4월 1일 기준으로 배출권의 가격이 98.99달러로 유럽연합의 배출권 가격 86.53달러보다 높다.⁴¹⁾⁴²⁾ 따라서, 동 가격을 기준으로 한다면 유럽연합의 탄소 가격을 상회하므로 별도로 인증서를 구입할 필요가 없다. 또한, 제도의 설계가 유사하므로 추후에도 비슷한 가격이 유지될 가능성이 크다. 따라서, [표 2-7]의 주요 수출국 가운데 스위스, 노르웨이는 탄소국경조정제도의 영향을 받지 않고, 영국은 실질적으로 별다른 영향을 받지 않으리라고 예상된다.

그 외의 국가는 탄소국경조정제의 적용을 받으므로 어느 정도 타격을 입을 것으로 예상된다. 한국은 배출권 시장의 규모가 크고(이주관 외, 2021) 탄소 가격도 유럽연합 이외의 국가 가운데 높게 형성된 편에 속하지만, 2021년 4월 1일 기준 배출권 가격은 15.89달러로 유럽연합의 49.78달러와는 상당한 차이가 있다. 집행위원회 초안 기준으로 한국은 철강 산업에서 상당한 타격을 받을 것으로 예상되며, 의회 수정안과 같이 제품군이 확대된다면 화학제품과 폴리머 산업에서도 이와 비슷한 수준의 피해가 예상된다. 한편, 한국 이외의 국가들은 탄소 가격이 설정되지 않았거나 국가 단위가 아닌 지역 단위에서 배출권 시장이 형성되어 있다. 따라서, 이들 국가 역시 상당한 타격이 예상되며, 이에 따라 한국,

41) 세계은행 Carbon Pricing Dashboard 기준. https://carbonpricingdashboard.worldbank.org/map_data 참고.

42) 2022년은 우크라이나 사태로 인해 유럽 지역의 배출권 가격이 크게 상승하여 비교에 어려움이 있다. 다만, 세계은행 Carbon Pricing Dashboard 기준으로 영국의 배출권 가격 자료가 2022년에만 있고, 우크라이나 사태의 여파가 영국과 유럽연합 국가들 모두에 직접적으로 영향을 미치므로 2022년 가격을 기준으로 비교하였다.

중국, 인도 등 상당한 타격이 예상되는 국가를 중심으로 탄소국경조정제도에 대해 반발이 일어나고 있다.⁴³⁾

한편, 러시아는 비료, 알루미늄, 철강 등의 분야의 주요 수출국이며, 의회 수정안 기준으로 화학제품의 주요 수출국이기도 하다. 따라서 탄소국경조정제도를 시행하면 러시아 역시 큰 타격을 입을 것으로 예상되는데, 이미 우크라이나 사태로 인해 러시아에 대한 유럽연합의 경제제재가 심화되고 경제 관계가 악화되고 있어 우크라이나 사태의 추이에 따라 탄소국경조정제도의 영향도 달라질 것으로 보인다.

나. 유럽연합 국가 간 교역

위에서는 유럽연합을 하나의 국가 단위로 취급하여 자료를 분석하였는데, 탄소국경조정제도가 도입되더라도 이는 유럽연합 국가들에게는 적용되지 않는다. 하지만 탄소국경조정제도가 도입되면 유럽연합에 속한 국가들은 역외 국가보다 상대적으로 유리한 교역 조건을 갖게 되므로 유럽연합 국가 간 교역이 더욱 활성화될 것으로 예상할 수 있다. 따라서 아래에서는 유럽연합 국가 간 탄소국경조정 적용 품목 교역 자료를 살펴본다.

[표 2-8]은 유럽연합 국가 간 탄소국경조정 품목 무역액(수입액 기준) 요약 통계량이다. [표 2-6]과 비교하면 모든 제품군에서 유럽연합 역내 수입액이 유럽연합 역외 수입액보다 크다. 이는 국제무역 분야의 중력모형(gravity model)이 예측하는 바와 같이 지리적 인접성에 기인한다고 볼 수 있으며, 유럽연합 국가 간 상대적으로 동질적인 문화, 경제 통합을 통한 제도 및 표준(standard)의 공유 등이 영향을 미쳤을 것으로 볼 수 있다.⁴⁴⁾ [표 2-6]과 마찬가지로 평균이 중간값(50%)보다 크고 일부는 75%값보다 크게 나타나는 데, 역시 무역이 일부 품목에 상대적으로 집중되어 있기 때문이라고 볼 수 있다.

43) 일본은 탄소국경조정제도에 찬성하고, 튀르키예는 별도의 입장을 내놓지 않음. 자세한 사항은 Hufbauer et al.(2022) 참고.

44) 중력모형에 따르면 양국 간 교역량은 각국의 경제규모(GDP)에 비례하고 양국 간 거리에 반비례한다. 앞선 논의에서 중국의 수출 비중이 높은 것은 중국의 경제규모에 기인한다고 볼 수 있다. 또한, 동질적인 문화 역시 교역 증진에 기여한다고 알려져 있으며, 제도와 표준의 공유는 의도한 또는 의도하지 않은 비관세 무역장벽의 영향을 최소화한다.

[표 2-8] 유럽연합 탄소국경조정 품목 역내 무역액 요약 통계량(백만달러)

	합계	평균	표준편차	사분위수(Quartile)		
				25%	50%	75%
시멘트	1850.42	370.08	336.54	199.89	218.28	298
전기	18327.7	-	-	-	-	-
비료	7199.25	359.96	445.22	111.17	163.87	351.37
철강	128421.5	591.8	983.96	121.21	262.39	702.02
알루미늄	27861.55	1326.74	2049.46	140.53	503.56	1265.18
화학제품	87363.7	226.33	754.63	2.8	44.16	172.28
플리머	158834.8	1231.28	1894.07	234.39	533.37	1506.12

자료: UN Comtrade. European Parliament(2022.6.22.)를 기준으로 분류.
 주: 1) 2018-2021년 유럽연합 국가들의 수입액을 기준으로 집계(평균)..
 2) 2020년 기준 실질가치로 환산.

[표 2-9]와 [표 2-10]은 유럽연합 내 무역에서 분야별로 각각 주요 수출국과 주요 수입국을 나타낸다. 주요 수출국과 수입국은 무역액을 기준으로 집계하였다. 전반적으로 주요 수출국과 주요 수입국이 비슷하게 나타나는데, 그중에서도 제조업에서 강세를 보이는 독일이 분야 대부분과 합계에서 가장 높은 비중을 차지하고 있다.

[표 2-9] 유럽연합 내 무역 제품군별 주요 수출국

	주요 수출국(수출액 상위 10개국)
시멘트	독일(23.2%), 스페인(9.6%), 벨기에(9.4%), 프랑스(8.3%), 슬로바키아(8.1%), 이탈리아(5.3%), 덴마크(3.6%), 룩셈부르크(3.4%), 폴란드(3.2%), 네덜란드(3.2%)
전기	프랑스(20.5%), 독일(18.2%), 스웨덴(9.3%), 체코(7.3%), 오스트리아(5.6%), 슬로바키아(5.3%), 스페인(5.2%), 네덜란드(5.1%), 덴마크(3.0%), 크로아티아(2.9%)
비료	벨기에(16.8%), 네덜란드(14.8%), 독일(14.2%), 리투아니아(7.6%), 폴란드(6.8%), 스페인(5.4%), 오스트리아(4.5%), 프랑스(4.3%), 슬로바키아(4.2%), 핀란드(3.6%)
철강	독일(19.8%), 이탈리아(12.8%), 벨기에(9.8%), 프랑스(9.1%), 네덜란드(6.5%), 오스트리아(5.8%), 스페인(5.8%), 폴란드(5.4%), 체코(4.1%), 핀란드(4.1%)
알루미늄	독일(21.3%), 네덜란드(11.4%), 이탈리아(9.4%), 스페인(8.8%), 프랑스(8.1%), 오스트리아(6.7%), 벨기에(5.1%), 폴란드(4.7%), 그리스(4.2%), 슬로베니아(3.2%)
화학제품	아일랜드(22.4%), 독일(20.3%), 벨기에(17.9%), 네덜란드(13.5%), 프랑스(7.4%), 이탈리아(5.2%), 스페인(3.5%), 오스트리아(2.1%), 폴란드(1.4%), 헝가리(1.3%)

	주요 수출국(수출액 상위 10개국)
폴리머	독일(27.7%), 벨기에(12.1%), 네덜란드(11.1%), 이탈리아(9.0%), 프랑스(8.3%), 폴란드(5.5%), 스페인(5.4%), 오스트리아(3.9%), 체코(3.0%), 헝가리(2.3%)
합계	독일(22.8%), 벨기에(11.8%), 네덜란드(10.0%), 이탈리아(8.9%), 프랑스(8.8%), 스페인(5.4%), 아일랜드(4.7%), 폴란드(4.4%), 오스트리아(4.4%), 체코(3.0%)

자료: UN Comtrade. European Parliament(2022.6.22.)를 기준으로 분류.

주: 1) 2018-2021년 유럽연합 국가들의 수입액을 기준으로 집계(평균).

2) 2020년 기준 실질가치로 환산.

3) UN Comtrade 데이터베이스에서 국가 코드 839(Special Categories), 899(Areas, not elsewhere specified)로 표기된 경우에는 표시하지 않음.

[표 2-10] 유럽연합 내 무역 제품군별 주요 수입국

	주요 수입국(수입액 상위 10개국)
시멘트	프랑스(18.9%), 네덜란드(17.5%), 독일(9.7%), 벨기에(7.2%), 오스트리아(6.0%), 이탈리아(5.6%), 헝가리(5.1%), 폴란드(4.8%), 체코(3.4%), 스웨덴(3.2%)
전기	이탈리아(17.0%), 독일(13.1%), 스페인(8.4%), 헝가리(8.2%), 오스트리아(7.5%), 프랑스(6.3%), 벨기에(5.9%), 핀란드(4.9%), 폴란드(4.6%), 체코(3.9%)
비료	프랑스(15.8%), 독일(14.1%), 벨기에(7.0%), 스페인(7.0%), 네덜란드(6.2%), 폴란드(5.1%), 체코(4.8%), 루마니아(4.6%), 이탈리아(4.6%), 헝가리(3.8%)
철강	독일(22.2%), 프랑스(11.9%), 이탈리아(8.5%), 네덜란드(7.7%), 폴란드(7.6%), 체코(5.4%), 스페인(5.3%), 벨기에(5.0%), 오스트리아(4.6%), 스웨덴(3.9%)
알루미늄	독일(24.8%), 프랑스(11.5%), 이탈리아(8.0%), 폴란드(6.8%), 오스트리아(6.1%), 벨기에(5.7%), 네덜란드(5.3%), 스페인(5.0%), 체코(4.8%), 헝가리(4.4%)
화학제품	독일(26.3%), 벨기에(19.4%), 프랑스(11.3%), 이탈리아(11.0%), 네덜란드(8.3%), 스페인(5.2%), 그리스(3.0%), 아일랜드(2.8%), 폴란드(2.5%), 스웨덴(1.5%)
폴리머	독일(18.9%), 프랑스(12.2%), 이탈리아(10.3%), 폴란드(7.9%), 네덜란드(7.3%), 스페인(6.0%), 벨기에(5.6%), 체코(5.0%), 오스트리아(4.3%), 헝가리(2.7%)
합계	독일(21.4%), 프랑스(11.7%), 이탈리아(9.9%), 벨기에(8.3%), 네덜란드(7.2%), 폴란드(6.4%), 스페인(5.7%), 체코(4.2%), 오스트리아(4.0%), 스웨덴(2.7%)

자료: UN Comtrade. European Parliament(2022.6.22.)를 기준으로 분류.

주: 1) 2018-2021년 유럽연합 국가들의 수입액을 기준으로 집계(평균).

2) 2020년 기준 실질가치로 환산.

3) UN Comtrade 데이터베이스에서 국가 코드 839(Special Categories), 899(Areas, not elsewhere specified)로 표기된 경우에는 표시하지 않음.

다. 우리나라의 교역 현황 및 경쟁 여건

아래에서는 우리나라의 대(對) EU 무역 현황을 살펴본다.⁴⁵⁾ [표 2-11]은 탄소국경조정 의 적용을 받는 품목의 유럽연합 수출 현황을 나타낸다.⁴⁶⁾ 첫 번째 항목은 수출액, 두 번째 항목은 전체 수출 대비 유럽연합 지역 수출 비중, 세 번째 항목은 유럽연합 지역 수출액 가운데 각 제품군이 차지하는 비중이다. [표 2-11]에 나타난 바와 같이 시멘트와 비료 항목은 절대적인 수출액도 매우 작을 뿐 아니라 유럽 시장이 전 세계 시장에서 차지하는 비중도 작다. 철강 제품군은 절대적인 수출액이 클 뿐만 아니라 전 세계 시장에서 유럽 시장이 차지하는 비중도 약 11%에 달한다. 의회 수정안에서 새롭게 포함된 폴리머 제품군은 절대적인 수출액과 유럽연합 시장의 비중 모두에서 가장 큰 값이 나타난다. 화학제품군은 수출액 규모와 유럽 시장의 비중 모두에서 철강이나 폴리머 제품군에 미치지 못하지만, 작지 않은 규모이다. 알루미늄 제품군에서 유럽 시장의 비중은 화학제품과 비슷하지만 수출액 자체는 상당히 작다.

한편, 탄소국경조정 품목 가운데에서 우리나라의 유럽연합 수출 중 가장 큰 비중을 차지하는 제품군은 폴리머 제품군(약 44.3%)이다. 범위를 집행위원회 초안에 포함된 제품군으로 한정하면 철강 제품군이 가장 큰 비중을 차지한다. 특히, 집행위원회 초안을 기준으로 보면, 철강 제품군은 유럽연합 수출의 약 93.4%를 차지할 만큼 압도적인 비중을 지닌다. [표 2-6]에 나타난 바와 같이 초안을 기준으로 철강 제품군은 유럽연합의 수입액을 기준으로 해도 가장 규모가 크다. 다만, [표 2-11]에 나타난 바와 같이 압도적인 비중은 아니다. 따라서, 향후 탄소국경조정제도가 어떻게 확정되느냐에 따라 달라질 수 있지만 철강 산업은 이 제도와 관련하여 우리나라에서 가장 큰 피해를 보는 산업이 될 것으로 보인다.⁴⁷⁾

45) 위에서는 수입액 기준으로 집계하였으나, 우리나라의 교역 현황은 수출액 기준으로 집계하여 수치 간 불일치가 발생한다. 수출액 기준으로 집계한 이유는 유럽연합 외 다른 지역으로의 수출액을 살펴보기 위해서인데, 보고서 작성 시점에서 일부 국가의 2020년과 2021년 수입액 자료는 이용할 수 없기 때문이다.

46) 전기는 수출액이 0이므로 표시하지 않음.

47) 2022년 12월 13일에 유럽연합 집행위원회, 유럽의회, 유럽연합 이사회가 합의안을 도출하였다. 이에 따르면, 탄소국경 조정제도의 적용 품목은 집행위원회의 초안에 명시된 시멘트, 전기, 비료, 철강, 알루미늄 제품군에 한정된다. 다만, 과도 기간 종료 시점에 집행위원회가 화학제품과 폴리머의 포함 여부를 검토할 예정이다. 따라서, 본 보고서 작성 시점에서 탄소국경조정제도의 실제 적용 품목(과도기간 이후)과 관련해서는 여전히 불확실성이 있다.

[표 2-11] 한국의 탄소국경조정 품목 대(對) 유럽연합 수출 현황

	수출액 (백만달러)	비중(%) (EU지역/전세계)	제품군 비중(%) (EU지역)
시멘트	0.07	0.04	0
비료	1.81	0.4	0.02
철강	3226.7	11.06	35.93
알루미늄	227.93	7.46	2.54
화학제품	1544.51	7.25	17.2
폴리머	3980.18	11.21	44.32

자료: UN Comtrade. European Parliament(2022.6.22.)를 기준으로 분류.

주: 1) 2018-2021년 수출액 평균.
2) 2020년 기준 실질가치로 환산.

[표 2-12]는 우리나라의 탄소국경조정 대상 품목 수출액 요약 통계량을 나타낸다. 이 가운데 폴리머를 제외한 모든 제품군은 평균값이 사분위수의 75% 값보다 크고, 폴리머 역시 평균값이 중간값(50%)보다 훨씬 크며 75% 값에 매우 가깝다. 또한 모든 제품군에서 표준편차가 상당히 크게 나타나는 것을 관찰할 수 있다. 따라서, 우리나라의 대(對)유럽연합 수출 역시 소수 품목에 집중되어 있음을 확인할 수 있다. 이는 [표 2-6]에 나타난 유럽연합 시장의 구조에 상응하는 결과라고 볼 수 있을 것이다.

[표 2-12] 한국의 유럽연합 탄소국경조정 품목 수출액 요약 통계량(백만달러)

	합계	평균	표준편차	사분위수(Quartile)		
				25%	50%	75%
시멘트	0.07	0.01	0.03	0	0	0.01
비료	1.81	0.18	0.52	0	0	0.03
철강	3226.7	16.63	46.39	0.02	0.69	9.33
알루미늄	227.93	11.4	23.8	0.17	0.83	4.02
화학제품	1544.51	7.29	27.61	0	0.25	4.32
폴리머	3980.18	32.36	59.11	0.3	4.89	34.37

자료: UN Comtrade. European Parliament(2022.6.22.)를 기준으로 분류.

주: 1) 2018-2021년 수출액 평균.
2) 2020년 기준 실질가치로 환산.

한편, 유럽연합을 기준으로 역외 수입과 역내 수입(역내 국가 간 무역)을 함께 나타내면 아래의 [표 2-13] ~ [표 2-18]과 같다.⁴⁸⁾ 우리나라와 직접 관련이 없는 전기 제품군은 제외하였다. 수출액 기준으로 7번째 국가까지 표시하였고, 우리나라는 별도로 마지막에 표시하였다. 표에서 CBAM 항목은 탄소국경조정제도 적용 여부를 나타낸다. 한편, 아래에 나타난 우리나라의 수출액은 앞선 [표 2-11]과 [표 2-12]에 표시된 수출액과 일치하지 않는데, [표 2-11]과 [표 2-12]는 수출액을 기준으로 집계하였기 때문이다. 수출액은 주로 FOB(free on board, 본선 인도조건) 기준 금액으로 표시되는 반면, 수입액은 주로 CIF(cost insurance and freight, 운임, 보험료 인도조건) 기준 금액으로 표시되는데, 금액의 정의상 CIF 기준 금액이 FOB 기준 금액보다 높다.⁴⁹⁾ 따라서 [표 2-13] ~ [표 2-18]의 금액이 미세하게나마 더 크게 나타난다.

[표 2-13] ~ [표 2-18]을 살펴보면, 탄소국경조정제의 적용을 받지 않는 국가들⁵⁰⁾이 수출액 기준으로 상위에 있음을 확인할 수 있다. 비료 제품군은 예외적으로 비유럽연합 국가 3개국이 상위에 올라 있으나, 비료 제품군의 무역 규모는 다른 제품군에 비해 작은 편이다. 반면, 중국과 미국은 시장 규모가 큰 화학제품군과 폴리머 제품군에서 상위를 기록하고 있다.

한편, 한국은 시멘트와 비료 분야에서는 무역액이 다른 국가들에 비해 매우 작게 나타나고 있으며, 상대적으로 철강, 화학제품, 폴리머 분야에서 강세를 보인다. 이 가운데 철강 분야는 수출액 기준으로 상위 7개국이 모두 유럽연합 내 국가들일 만큼 유럽연합이 강세를 보이는 전략 산업이며, 탄소국경조정제도를 도입할 때에 중요하게 고려한 산업이다. 따라서, 제도의 도입에 따른 추가적인 비용 부담이 없는 유럽 국가들과의 경쟁에 노출되어 있다. 만약 과도기간이 종료되는 시점에 화학제품과 폴리머 분야 역시 제도에 포함한다면, 동 분야에서도 치열한 경쟁에 직면하게 될 것으로 우려된다.

48) 역외 수입은 유럽연합 27개국의 수입의 총합이고, 역내 수입은 수출국을 제외한 26개국의 수입의 총합이다.

49) 다만, 통계 오류나 양국 간 품목 분류 불일치 등으로 인해 FOB 기준 가격이 더 크게 나타나기도 한다.

50) 유럽연합 국가들과 스위스, 노르웨이, 리히텐슈타인, 아이슬란드.

[표 2-13] 유럽연합 시멘트 제품군 역내 및 역외 무역액

(단위: 십억달러)

수출국	수출액	비중(%)	누적 비중(%)	순위(수출액)	CBAM
독일	0.43	18.82	18.82	1	-
스페인	0.18	7.75	26.57	2	-
벨기에	0.17	7.62	34.2	3	-
튀르키예	0.17	7.48	41.67	4	적용
프랑스	0.15	6.76	48.43	5	-
슬로바키아	0.15	6.56	54.99	6	-
이탈리아	0.1	4.31	59.31	7	-
한국	0	0	-	74	적용

자료: UN Comtrade. European Parliament(2022.6.22.)를 기준으로 분류.

주: 1) 2018-2021년 유럽연합 국가들의 수입액을 기준으로 집계(평균)..

2) 2020년 기준 실질가치로 환산.

[표 2-14] 유럽연합 비료 제품군 역내 및 역외 무역액

(단위: 십억달러)

수출국	수출액	비중(%)	누적 비중(%)	순위(수출액)	CBAM
러시아	1.74	13.79	13.79	1	적용
벨기에	1.21	9.58	23.37	2	-
네덜란드	1.06	8.42	31.79	3	-
독일	1.02	8.08	39.88	4	-
알제리	0.63	4.96	44.84	5	적용
이집트	0.6	4.76	49.6	6	적용
리투아니아	0.55	4.32	53.91	7	-
한국	0	0.01	-	59	적용

자료: UN Comtrade. European Parliament(2022.6.22.)를 기준으로 분류.

주: 1) 2018-2021년 유럽연합 국가들의 수입액을 기준으로 집계(평균)..

2) 2020년 기준 실질가치로 환산.

[표 2-15] 유럽연합 철강 제품군 역내 및 역외 무역액

(단위: 십억달러)

수출국	수출액	비중(%)	누적 비중(%)	순위(수출액)	CBAM
독일	25.45	14.47	14.47	1	-
이탈리아	16.41	9.33	23.79	2	-
벨기에	12.58	7.15	30.94	3	-
프랑스	11.75	6.68	37.62	4	-
네덜란드	8.38	4.77	42.39	5	-
오스트리아	7.4	4.21	46.59	6	-
스페인	7.39	4.2	50.79	7	-
한국	3.42	1.94	-	18	적용

자료: UN Comtrade. European Parliament(2022.6.22.)를 기준으로 분류.

주: 1) 2018~2021년 유럽연합 국가들의 수입액을 기준으로 집계(평균).

2) 2020년 기준 실질가치로 환산.

[표 2-16] 유럽연합 알루미늄 제품군 역내 및 역외 무역액

(단위: 십억달러)

수출국	수출액	비중(%)	누적 비중(%)	순위(수출액)	CBAM
독일	5.92	12.13	12.13	1	-
노르웨이	3.96	8.11	20.25	2	-
네덜란드	3.19	6.53	26.78	3	-
러시아	2.68	5.5	32.27	4	적용
이탈리아	2.61	5.34	37.62	5	-
스페인	2.44	5	42.61	6	-
프랑스	2.26	4.63	47.24	7	-
한국	0.23	0.48	-	35	적용

자료: UN Comtrade. European Parliament(2022.6.22.)를 기준으로 분류.

주: 1) 2018~2021년 유럽연합 국가들의 수입액을 기준으로 집계(평균).

2) 2020년 기준 실질가치로 환산.

[표 2-17] 유럽연합 화학제품군 역내 및 역외 무역액

(단위: 십억달러)

수출국	수출액	비중(%)	누적 비중(%)	순위(수출액)	CBAM
아일랜드	19.59	12.43	12.43	1	-
독일	17.77	11.27	23.7	2	-
스위스	17.47	11.08	34.78	3	-
벨기에	15.65	9.93	44.71	4	-
중국	13.45	8.53	53.24	5	적용
미국	11.93	7.57	60.81	6	적용
네덜란드	11.81	7.49	68.3	7	-
한국	1.5	0.95	-	18	적용

자료: UN Comtrade. European Parliament(2022.6.22.)를 기준으로 분류.

주: 1) 2018-2021년 유럽연합 국가들의 수입액을 기준으로 집계(평균).

2) 2020년 기준 실질가치로 환산.

[표 2-18] 유럽연합 폴리머 제품군 역내 및 역외 무역액

(단위: 십억달러)

수출국	수출액	비중(%)	누적 비중(%)	순위(수출액)	CBAM
독일	44.08	20.56	20.56	1	-
벨기에	19.16	8.94	29.5	2	-
네덜란드	17.67	8.24	37.74	3	-
이탈리아	14.36	6.7	44.44	4	-
중국	13.51	6.3	50.74	5	적용
프랑스	13.18	6.15	56.89	6	-
미국	9.39	4.38	61.26	7	적용
한국	4.01	1.87	-	13	적용

자료: UN Comtrade. European Parliament(2022.6.22.)를 기준으로 분류.

주: 1) 2018-2021년 유럽연합 국가들의 수입액을 기준으로 집계(평균).

2) 2020년 기준 실질가치로 환산.

이상의 자료를 종합해볼 때, 과도기간이 지나 탄소국경조정제도가 본격적으로 시행되면 우리나라는 주로 철강 분야, 화학제품 분야, 폴리머 분야에서⁵¹⁾ 큰 영향을 받을 것으로 보인다. 비유럽연합 국가는 [표 2-7]에 나타난 바와 같이 대부분의 경쟁국이 탄소국경조정으로 높은 추가 비용을 부담할 것으로 보이지만, 이 가운데 스위스와 노르웨이는 이미 탄소 가격이 유럽연합 배출권거래제에 연동되어 있어 추가적인 비용을 부담하지 않는다. 또한, 영국은 유럽연합에서 탈퇴하였기 때문에 탄소국경조정의 적용을 받지 않지만, 앞서 기술한 바와 같이 유럽연합 배출권거래제 4기와 유사한 배출권 시장을 운영하고 있고, 2022년 기준으로 배출권 가격 역시 유럽연합의 배출권 가격과 비슷하기 때문에 탄소국경조정으로 인한 추가적인 부담은 높지 않을 것으로 보인다.

우리나라는 앞서 정리한 바와 같이 유럽 시장에서 노르웨이, 스위스, 영국을 제외한⁵²⁾ 비유럽연합 국가 가운데서는 탄소 가격이 높게 설정되어 있다. 따라서, 이들 비유럽연합 국가와의 경쟁에서는 큰 불이익을 받지 않을 것으로 보인다. 그러나, [표 2-6]과 [표 2-8]의 비교에서 알 수 있듯이 유럽연합 국가 간 역내 무역 비중이 상당히 높고, 이러한 경향은 우리나라가 주로 영향을 받는 철강 및 폴리머 산업에서 더욱 두드러진다. 따라서, 현재와 같은 상태에서 제도가 본격적으로 시행되면 상당한 피해가 불가피할 것으로 보인다.

예상되는 피해를 줄이는 방안으로는 크게 두 가지가 있다. 첫 번째는 탄소 배출 저감 등 탄소중립 관련 기술개발(R&D)을 통한 탄소 배출량 절감이다. 이는 제품에 포함된 탄소의 규모를 줄이는 것으로, 인증서 구매 비용을 줄임으로써 추가적인 비용 부담을 줄이는 방안이다. 가장 근본적인 해결책이지만, 한편으로는 기술개발 및 제조 공정 운영의 특성상 단기에 획기적인 배출 절감을 이루기 어렵다는 단점이 있다. 탄소중립 기술과 관련해서는 제4장에서 자세히 분석한다. 피해를 줄이기 위한 두 번째 방안은 외교적 노력이다. 역유럽연합이 역외국 탄소 가격을 어떻게 설정할 것인지는 본 보고서 작성 시점에서 구체적인 방안이 제시되지는 않았으나, 우리나라는 2015년부터 배출권거래제를 운영하고 있으므로 이와 같은 국내 탄소 가격이 탄소국경조정제도의 실제 운영에 충분히 반영될 수 있도록 유럽연합과 정책적 협의가 필요하다.

51) 2022년 12월 13일 유럽연합 집행위원회, 의회, 이사회 합의 기준으로 철강 제품은 탄소국경조정 적용이 확정되었고, 화학제품과 폴리머 산업은 과도기간 종료 시점에 탄소국경제도의 적용 여부를 심사할 예정이다.

52) 아이슬란드와 리히텐슈타인도 탄소 가격이 유럽연합 배출권거래제와 연동되기 때문에 탄소국경조정의 적용을 받지 않지만, 탄소국경조정제도 적용 분야의 유럽연합 내 무역 비중이 높지 않다.

2 무역에 포함된 탄소

위에서는 탄소국경조정제도가 적용되는, 또는 적용될 것으로 예상되는 품목의 무역액을 기준으로 논의를 진행하였다. 그런데, 동일한 품목 간에도 국가별로 기술과 공정에 차이가 있어 품목에 내재된 탄소 배출량에 차이가 있으며, 이러한 차이 역시 탄소국경조정제도 도입으로 인한 타격의 정도에 영향을 준다. 따라서, 아래에서는 해당 품목의 무역에 내재된 탄소 배출량을 기준으로 분석을 진행한다.

가. 탄소국경조정제도 적용 산업 분류

탄소국경조정제도의 적용 제품은 HS 코드 기준 품목으로 정의되어 있으나, 현재 이용 가능한 탄소 배출량 자료는 주로 산업을 기준으로 작성되었다. 아래에서 분석에 사용하는 탄소 배출량 자료는 OECD의 Carbon dioxide emissions embodied in international trade(2021 ed.) 데이터베이스로, 동 데이터베이스 역시 OECD가 제공하는 국제산업연관표 ICIO(Inter-Country Input-Output)의 국제표준산업분류(ISIC Rev. 4)에 기반한다.⁵³⁾ 따라서, 탄소국경조정 적용 제품의 탄소 배출량 분석을 위해 먼저 각 제품군과 산업 분류를 연결한 후, 이를 바탕으로 유럽연합으로의 수출에 포함된 탄소 배출량을 살펴본다. 각 제품군과 산업 분류의 연계는 HS 6자리 코드와 산업 분류의 중분류를 기준으로 하였는데, 이는 무역에 포함된 탄소 배출량이 산업 분류의 중분류를 기준으로 제공되기 때문이다.

표 [2-19]는 각 제품군과 산업 분류를 연결한 결과이다.⁵⁴⁾ 시멘트, 전기, 비료, 알루미늄 제품군은 단일 산업과 연계되지만, 철강, 화학제품, 폴리머는 복수의 산업과 연계된다. 이 가운데 전기 제품군은 우리나라와 관련성이 매우 낮으므로 분석에서 제외한다. 한편, 시멘트 제품군은 품목 수 기준으로 D23(기타 비금속제품 제조업) 산업에서 차지하는 비중은 매우 작고, 앞서 살펴본 바와 같이 우리나라의 무역 비중도 매우 낮다. 그러나 전기 제품군과는 달리 우리나라 기준으로 유럽연합 국가와 교역 가능한 제품이라는 점을 고려하여 분석에 포함한다.

53) 데이터베이스 및 산업분류와 관련해서는 제3장에서 자세히 살펴본다.

54) 산업의 표기는 OECD의 ICIO 및 Bilateral Trade Database by Industry and End-Use(BTDIxE)를 따른다. 예를 들어, D24는 Division 24를 나타낸다.

철강 제품군은 주로 D24(1차 금속 제조업) 산업에 포함되며, D24 산업에 포함되는 품목의 과반수를 차지한다. 반면, 철강 제품군 중 10개 품목은 D25(금속 가공제품 제조업) 산업에 속하지만, 비중이 매우 낮다. 또한, OECD의 Bilateral Trade Database by Industry and End-Use(BTDIxE) 데이터베이스 기준으로 D24 산업의 하위 분류인 D241T31은⁵⁵⁾ 국제표준산업분류(ISIC)에서 Division 24의 하위항목인 241(manufacture of basic iron and steel)과 2431(casting of Iron and steel)로 구성되는데, 모두 철강(iron and steel) 관련 제품이다. 따라서, 철강 제품군은 산업 분류 가운데 D24에 포함된다고 간주한다. 한편, 알루미늄 제품군은 모든 품목이 D24 산업에 포함된다. 따라서 D24(1차 금속 제조업) 산업은 탄소국경조정 제품군 내 철강과 알루미늄 제품군을 모두 포함한다고 간주한다.

화학제품군은 품목 가운데 약 87.6%를 차지하는 338개 품목이 D20(화학물질 및 화학제품 제조업)에 포함되어 있으며, D20 산업에서 차지하는 비중은 품목 수 기준으로 약 38.1%이다. 반면, D21(의료용 물질 및 의약품 제조업) 산업에 속하는 제품은 약 12.4%인 48개 품목에 불과하지만, 이들 제품이 D21 산업에서 차지하는 비중은 품목 수 기준으로 약 54.5%에 달한다. 따라서, 화학제품은 D20 산업과 D21 산업 모두에 속하는 것으로 간주한다.

폴리머 제품군 가운데 약 절반인 65개 품목은 D20(화학물질 및 화학제품 제조업)에 속하고, 나머지 64개 품목은 D22(고무 및 플라스틱제품 제조업)에 속한다. 이에 따라 폴리머 제품군은 D20 산업과 D22 산업에 모두 포함된다고 간주한다.

[표 2-19] 제품군별 산업 분류

제품군	산업 분류	산업 분류 내 품목 수	산업 분류 전체 품목 수
시멘트	D23	5	165
전기	D35	1	3
비료	D20	20	887
철강	D24	207	393
	D25	10	238
알루미늄	D24	21	393

55) OECD의 Bilateral Trade Database by Industry and End-Use(BTDIxE) 데이터베이스 표기 기준.

제품군	산업 분류	산업 분류 내 품목 수	산업 분류 전체 품목 수
화학제품	D20	338	887
	D21	48	88
폴리머	D20	65	887
	D22	64	131

주: 품목수는 HS 6자리 코드를 기준으로 하였음.

이상의 논의를 산업 분류를 기준으로 정리하면 아래의 [표 2-20]에 표시된 바와 같다. [표 2-20]에 제시된 산업 분류 가운데 유럽의회 수정안에만 포함되는 산업 분류는 D21 (의료용 물질 및 의약품 제조업)과 D22(고무 및 플라스틱제품 제조업)이다. 한편, D20 (화학물질 및 화학제품 제조업) 산업은 유럽연합 집행위원회 초안을 기준으로 하면 비료 제품군이 포함되지만 비료 제품군이 산업 분류 전체에서 차지하는 비중은 작은 반면, 유럽의회 수정안에 따라 해당 산업 분류에 화학제품과 폴리머 제품군이 포함되면 전체 비중이 상당히 상승한다. 아래에서는 [표 2-20]의 산업 분류를 기준으로 무역에 포함된 탄소 배출량을 분석한다.⁵⁶⁾

[표 2-20] 산업 분류별 탄소국경조정 제품군

산업 분류	산업 분류 설명	탄소국경조정 제품군
D20	화학물질 및 화학제품 제조업	비료, 화학제품, 폴리머
D21	의료용 물질 및 의약품 제조업	화학제품
D22	고무 및 플라스틱제품 제조업	폴리머
D23	기타 비금속제품 제조업	시멘트
D24	1차 금속 제조업	철강, 알루미늄

나. 무역에 포함된 탄소

무역에 포함된 탄소 배출량은 적용 기준에 따라 다양하게 계산된다. 본 연구에서 사용하는 OECD의 Carbon dioxide emissions embodied in international trade(2021 ed.) 데이터베이스는 재화의 용도(중간재, 최종재, 전체)와 탄소가 배출된 지역(국내, 해

56) 제3장의 탄소국경조정 영향 분석 역시 [표 2-20]을 기준으로 진행한다.

외, 전체)에 따라 무역에 포함된 탄소 배출량을 정의한다. 국가별, 산업별로 조건에 따라 무역에 내포된 탄소 배출량이 다르게 나타나는데, 아래에서는 재화의 용도는 전체에 해당하고 탄소가 배출된 지역은 국내 또는 전체에 해당하는 데이터를 기준으로 탄소 배출량을 살펴본다.

아래의 분석에서는 탄소 배출량 자료와 산업별 무역 자료를 이용하는데, 탄소 배출량 데이터베이스에서 이용 가능한 최신 자료가 2018년 자료이므로 탄소 배출량과 무역 자료 모두 2018년을 기준으로 한다. 산업별 무역 자료는 OECD에서 제공하는 Bilateral Trade Database by Industry and End-Use(BTDIxE) 데이터베이스를 사용하였다.⁵⁷⁾ 다만, 앞서 기술한 바와 같이 [표 2-20]에 나타난 5개의 산업 분류에는 HS 코드 기준의 탄소국경조정 대상 품목 이외에도 다수의 품목이 포함되므로 분석 결과가 품목을 기준으로 하는 이전의 분석과 완전히 상응하지는 않는다는 점에 유의할 필요가 있다. 또한, OECD Carbon dioxide emissions embodied in international trade(2021 ed.)에는 총 66개국이 포함되어 있으므로 아래의 분석에서는 이들 국가만을 고려한다.

[표 2-21] ~ [표 2-25]는 [표 2-20]에 정리한 산업별로 유럽연합이 수입한 제품에 포함된 탄소 배출량을 나타낸다. 배출량은 전체와 자국 내로 나누어 표기하였고, 전체 배출량 가운데 자국 내 배출량의 비중도 표기하였다. 또한, 배출량과 수출 규모의 비교를 위해 수출액 순위를 표시하였고, CBAM 항목에서는 탄소국경조정제도의 적용 여부를 나타내었다.

[표 2-21] ~ [표 2-25]를 살펴보면 전체 배출량을 기준으로 한 순위(표의 수출국 순서)와 수출액 기준 순위에 상당한 차이가 있음을 관찰할 수 있다. 주로 중국, 러시아, 인도 등 유럽연합에 속하지 않은 개발도상국이 수출액 순위보다 전체 배출량 순위가 높게 나타나는 경향이 있다. 또한, 유럽연합 외 국가들이 전체 탄소 배출량 기준으로 7위 안에 빈번하게 등장하는데, 이는 유럽연합 이외의 국가가 제품을 생산할 때 탄소가 상대적으로 많이 발생하기 때문일 가능성이 크다. 다만, [표 2-21] ~ [표 2-25]는 수출액 순위만 제시되어 있고 수출액은 제시되어 있지 않기 때문에 비교에 한계가 있다. 우리나라는 탄소 배출량 기준으로 상위 7개국에 속하지는 않지만, 탄소 배출량 순위와 수출액 순위가 비슷하므로 단위 생산량 당 탄소 배출량이 적을 것이라고 보기는 어렵다.

57) 동 데이터베이스는 UN Comtrade 데이터베이스에 기반하여 구축되지만, 데이터 불일치 등에 대해 조정 과정을 거친다.

[표 2-21] 화학물질 및 화학제품 제조업 무역에 포함된 탄소 배출량

수출국	배출량 (전체, 백만 톤)	배출량 (자국 내, 백만 톤)	자국 내 배출량 비중(%)	순위(수출액)	CBAM
독일	18.056	10.519	58.30%	1	-
중국	15.767	14.371	91.10%	9	적용
네덜란드	12.958	8.511	65.70%	3	-
러시아	10.473	9.994	95.40%	13	적용
프랑스	7.03	3.971	56.50%	4	-
벨기에	6.396	3.255	50.90%	2	-
미국	6.287	5.316	84.60%	5	적용
한국(13)	2.526	1.588	62.90%	17	적용

자료: 1) 산업별 무역액: OECD Bilateral Trade Database by Industry and End-Use(BTDIxE).

2) 탄소 배출량: Carbon dioxide emissions embodied in international trade(2021 ed.).

주: 1) 산업별 무역액과 탄소 배출량은 2018년 기준.

2) 전체 배출량 순서대로 표시하였으며, 한국 옆의 괄호는 전체 배출량 기준 순위를 나타냄.

[표 2-22] 의료용 물질 및 의약품 제조업 무역에 포함된 탄소 배출량

수출국	배출량 (전체, 백만 톤)	배출량 (자국 내, 백만 톤)	자국 내 배출량 비중(%)	순위(수출액)	CBAM
미국	5.256	4.663	88.70%	2	적용
중국	3.365	3.145	93.50%	13	적용
벨기에	2.406	1.505	62.60%	6	-
독일	2.357	1.579	67.00%	1	-
스위스	2.169	0.839	38.70%	3	-
아일랜드	1.335	0.274	20.50%	5	-
프랑스	1.148	0.743	64.70%	7	-
한국(17)	0.266	0.188	70.70%	17	적용

자료: 1) 산업별 무역액: OECD Bilateral Trade Database by Industry and End-Use(BTDIxE).

2) 탄소 배출량: Carbon dioxide emissions embodied in international trade(2021 ed.).

주: 1) 산업별 무역액과 탄소 배출량은 2018년 기준.

2) 전체 배출량 순서대로 표시하였으며, 한국 옆의 괄호는 전체 배출량 기준 순위를 나타냄.

[표 2-23] 고무 및 플라스틱제품 제조업 무역에 포함된 탄소 배출량

수출국	배출량 (전체, 백만 톤)	배출량 (자국 내, 백만 톤)	자국 내 배출량 비중(%)	순위(수출액)	CBAM
중국	9.963	9.078	91.10%	2	적용
독일	4.517	2.053	45.50%	1	-
폴란드	3.576	1.996	55.80%	4	-
인도	2.821	2.591	91.80%	25	적용
말레이시아	2.283	2.032	89.00%	24	적용
이탈리아	2.044	0.847	41.40%	3	-
체코	1.89	0.64	33.90%	10	-
한국(21)	0.876	0.584	66.70%	20	적용

자료: 1) 산업별 무역액: OECD Bilateral Trade Database by Industry and End-Use(BTDIxE).

2) 탄소 배출량: Carbon dioxide emissions embodied in international trade(2021 ed.).

주: 1) 산업별 무역액과 탄소 배출량은 2018년 기준.

2) 전체 배출량 순서대로 표시하였으며, 한국 옆의 괄호는 전체 배출량 기준 순위를 나타냄.

[표 2-24] 기타 비금속제품 제조업 무역에 포함된 탄소 배출량

수출국	배출량 (전체, 백만 톤)	배출량 (자국 내, 백만 톤)	자국 내 배출량 비중(%)	순위(수출액)	CBAM
중국	8.569	8.229	96.00%	2	적용
독일	4.184	3.328	79.50%	1	-
폴란드	3.168	2.751	86.80%	4	-
이탈리아	2.737	2.124	77.60%	3	-
체코	2.322	1.915	82.50%	9	-
튀르키예	2.231	2.092	93.80%	14	적용
스페인	2.219	1.879	84.70%	5	-
한국(32)	0.193	0.164	85.00%	29	적용

자료: 1) 산업별 무역액: OECD Bilateral Trade Database by Industry and End-Use(BTDIxE).

2) 탄소 배출량: Carbon dioxide emissions embodied in international trade(2021 ed.).

주: 1) 산업별 무역액과 탄소 배출량은 2018년 기준.

2) 전체 배출량 순서대로 표시하였으며, 한국 옆의 괄호는 전체 배출량 기준 순위를 나타냄.

[표 2-25] 1차 금속 제조업 무역에 포함된 탄소 배출량

수출국	배출량 (전체, 백만 톤)	배출량 (자국 내, 백만 톤)	자국 내 배출량 비중(%)	순위(수출액)	CBAM
러시아	41.256	40.223	97.50%	5	적용
독일	32.46	21.305	65.60%	1	-
프랑스	16.346	12.93	79.10%	4	-
인도	14.274	13.64	95.60%	20	적용
중국	14.12	13.467	95.40%	12	적용
이탈리아	12.276	5.796	47.20%	2	-
폴란드	8.834	6.496	73.50%	10	-
한국(18)	3.971	3.076	77.50%	23	적용

자료: 1) 산업별 무역액: OECD Bilateral Trade Database by Industry and End-Use(BTDIxE).

2) 탄소 배출량: Carbon dioxide emissions embodied in international trade(2021 ed.).

주: 1) 산업별 무역액과 탄소 배출량은 2018년 기준.

2) 전체 배출량 순서대로 표시하였으며, 한국 옆의 괄호는 전체 배출량 기준 순위를 나타냄.

아래의 [표 2-26] ~ [표 2-30]에서는 산업별로 수출액 백만달러 당 탄소 배출량(톤)을 정리하였다. 백만달러 당 전체 배출량과 국내 배출량 비중에 유의미한 차이가 관찰되기 때문에 이를 검토하기 위해 백만달러 당 전체 탄소 배출량 기준으로 상위 10번째 국가까지 표시하였다. 또한, 무역 규모가 작아 전체 시장에 미치는 영향이 작은 국가가 지나치게 두드러지는 것을 방지하기 위해 표에 나타나는 국가는 수출액 기준 30위까지의 국가로 제한하였다.

[표 2-26] ~ [표 2-30]를 살펴보면, 대체로 탄소국경조정제도의 적용을 받는 비유럽연합 국가들이 수출액 당 탄소 배출량이 많음을 확인할 수 있다. 이러한 경향성은 특히 러시아, 중국, 인도, 튀르키예 등 유럽연합 시장에 대한 산업별 수출액 규모가 큰 개발도상국을 중심으로 두드러지게 나타난다. 반대로, 유럽연합 국가들은 상대적으로 높은 수출액 순위와 낮은 배출량 순위를 보이며, 특히 상당수의 유럽연합 국가들은 국내 배출량 기준 순위가 낮게 나타난다. 또한, 독일 등 수출액 순위 최상위권에 위치한 일부 국가들은 아래의 표에 표시되지 않는데, 이는 이들 국가가 수출액 대비 탄소 배출량이 상대적으로 적음을 보여준다. 한편, 화학물질 및 화학제품 제조업과 1차 금속 제조업(철강, 알루미늄)은 다른 산업과 비교해서 상대적으로 전체 배출량 순위와 자국 내 배출량 순위가 비슷하게 나타난다.

한편, [표 2-25]와 [표 2-30]의 1차 금속 제조업(철강, 알루미늄)을 살펴보면 절대적인 배출량과 수출액 대비 배출량이 모두 다른 산업보다 상당히 크다. 이는 우리나라처럼 탄소국경조정제도의 적용을 받는 역외국이 부담해야 할 추가적인 인증서 비용이 매우 크다는 것을 의미한다. 따라서, 탄소국경조정제도가 현재의 안과 같이 시행된다면 우리나라의 철강 산업이 받는 타격은 매우 클 것으로 우려된다.

[표 2-26] 화학물질 및 화학제품 제조업 수출 백만달러 당 탄소 배출량(톤)

수출국	배출량(전체)	배출량(국내)	수출액 순위	배출량(국내) 순위	CBAM
러시아	115.43	110.15	13	2	적용
중국	79.56	72.51	9	4	적용
폴란드	48.81	35.61	12	10	-
체코	44.96	25.69	19	17	-
인도네시아	44.3	37.58	27	8	적용
사우디아라비아	43.08	40.8	22	7	적용
슬로바키아	41.18	29.99	28	12	-
한국	39.99	25.14	17	19	적용
튀르키예	37.04	26.49	26	15	적용
인도	34.67	25.63	18	18	적용

자료: 1) 산업별 무역액: OECD Bilateral Trade Database by Industry and End-Use(BTDIxE).

2) 탄소 배출량: Carbon dioxide emissions embodied in international trade(2021 ed.).

주: 1) 산업별 무역액과 탄소 배출량은 2018년 기준.

2) 수출액 백만달러 당 전체 탄소 배출량 순서대로 표시.

[표 2-27] 의료용 물질 및 의약품 제조업 수출 백만달러 당 탄소 배출량(톤)

수출국	배출량(전체)	배출량(국내)	수출액 순위	배출량(국내) 순위	CBAM
중국	78.68	73.53	13	5	적용
폴란드	32.23	28.17	18	9	-
헝가리	17.47	11.57	14	24	-
미국	15.35	13.62	2	20	적용
스페인	14.62	9.88	10	26	-
벨기에	14.54	9.1	6	27	-
캐나다	9.93	7.57	19	31	적용
체코	9.7	7.58	20	30	-

수출국	배출량(전체)	배출량(국내)	수출액 순위	배출량(국내) 순위	CBAM
한국	9.45	6.68	17	32	적용
스위스	7.43	2.87	3	45	적용

자료: 1) 산업별 무역액: OECD Bilateral Trade Database by Industry and End-Use(BTDIxE).
 2) 탄소 배출량: Carbon dioxide emissions embodied in international trade(2021 ed.).
 주: 1) 산업별 무역액과 탄소 배출량은 2018년 기준.
 2) 수출액 백만달러 당 전체 탄소 배출량 순서대로 표시.

[표 2-28] 고무 및 플라스틱제품 제조업 수출 백만달러 당 탄소 배출량(톤)

수출국	배출량(전체)	배출량(국내)	수출액 순위	배출량(국내) 순위	CBAM
인도	187.7	172.4	25	3	적용
말레이시아	147.7	131.46	24	6	적용
베트남	143.78	89.86	29	9	적용
중국	72.33	65.9	2	12	적용
룩셈부르크	72.06	11.64	23	34	-
태국	66.93	42.53	27	16	적용
타이완	43.63	27.84	30	22	적용
튀르키예	43.1	28.89	14	21	적용
한국	40.76	27.18	20	23	적용
폴란드	34.52	19.27	4	27	-

자료: 1) 산업별 무역액: OECD Bilateral Trade Database by Industry and End-Use(BTDIxE).
 2) 탄소 배출량: Carbon dioxide emissions embodied in international trade(2021 ed.).
 주: 1) 산업별 무역액과 탄소 배출량은 2018년 기준.
 2) 수출액 백만달러 당 전체 탄소 배출량 순서대로 표시.

[표 2-29] 기타 비금속제품 제조업 수출 백만달러 당 탄소 배출량(톤)

수출국	배출량(전체)	배출량(국내)	수출액 순위	배출량(국내) 순위	CBAM
러시아	232.09	223.51	21	4	적용
튀르키예	167.09	156.68	14	7	적용
인도	160.27	148.35	19	8	적용
중국	138.23	132.74	2	12	적용

수출국	배출량(전체)	배출량(국내)	수출액 순위	배출량(국내) 순위	CBAM
불가리아	119.83	97.36	22	17	-
체코	93.76	77.33	9	22	-
폴란드	85.8	74.5	4	24	-
루마니아	82.67	76.15	27	23	-
포르투갈	82.3	71.28	15	25	-
룩셈부르크	78.73	53.56	24	31	-

자료: 1) 산업별 무역액: OECD Bilateral Trade Database by Industry and End-Use(BTDIxE).
 2) 탄소 배출량: Carbon dioxide emissions embodied in international trade(2021 ed.).
 주: 1) 2018-2021년 유럽연합 국가들의 수입액을 기준으로 집계(평균).
 2) 수출액 백만달러 당 전체 탄소 배출량 순서대로 표시.

[표 2-30] 1차 금속 제조업 수출 백만달러 당 탄소 배출량(톤)

수출국	배출량(전체)	배출량(국내)	수출액 순위	배출량(국내) 순위	CBAM
인도	356.64	340.8	20	1	적용
러시아	229.25	223.51	5	3	적용
중국	176.16	168.01	12	4	적용
브라질	155.14	140.15	25	7	적용
슬로바키아	146.81	116.87	19	9	-
남아공	144.51	141.29	22	6	적용
그리스	131.12	81.92	27	15	-
튀르키예	126.85	102.98	15	10	적용
한국	109.18	84.57	23	13	적용
폴란드	95.09	69.92	10	21	-

자료: 1) 산업별 무역액: OECD Bilateral Trade Database by Industry and End-Use(BTDIxE).
 2) 탄소 배출량: Carbon dioxide emissions embodied in international trade(2021 ed.).
 주: 1) 2018-2021년 유럽연합 국가들의 수입액을 기준으로 집계(평균).
 2) 수출액 백만달러 당 전체 탄소 배출량 순서대로 표시.

위에서는 산업별로 유럽연합으로의 수출에 포함된 탄소 배출량을 살펴보는 한편, 이를 통해 탄소국경조정제도의 영향을 유추해보았다. 제3장에서는 국제무역 일반균형모형을 활용하여 이를 더욱 정량적으로 분석한다.

제3장

탄소국경조정제도의 영향

제1절 분석 모형

제2절 분석 결과

제 1절 분석 모형

NATIONAL ASSEMBLY FUTURES INSTITUTE

본 장에서는 Caliendo and Parro(2015)의 다국가·다산업 리카도 모형(multi-country, multi-sector Ricardian model)을 이용하여 탄소국경조정제도의 도입이 국제무역질서와 우리나라 경제에 미치는 영향을 분석한다. 또한, 생산 과정에서 탄소 배출량을 줄이는 기술의 발전이 탄소국경조정제도 하에서 무역에 어떠한 영향을 미치는지 살펴봄으로써 장기적인 정책적 시사점을 도출하고자 하였다.

탄소국경조정제도의 도입이 우리나라에 미치는 영향을 살펴본 연구로는 문진영 외(2020), 김선진·안희정·이윤정(2021), 정훈·여영준·조해인(2021), 이주관 외(2021) 등이 있다. 문진영 외(2020)는 연산가능일반균형(Computable General Equilibrium, CGE) 모형을 이용하여 탄소국경조정의 영향을 분석하였다. 동 연구에서는 탄소국경조정의 영향을 받는 산업의 대(對) EU 수출은 감소하지만, 적용을 받지 않는 산업으로 자원이 재배분되면서 다른 산업에서의 생산이 증가하고 그중 일부 산업은 대 EU 수출 역시 증가하는 것으로 나타났다. 다만, 유럽연합 집행위원회에서 공식적인 입법안을 제시하기 이전의 연구이므로 세부적인 부분에서는 현재의 제도와 약간의 차이가 있다.

김선진·안희정·이윤정(2021)은 부분균형모형에 해당하는 국제산업연관분석(International Input-Output Analysis)모형을 이용하여 탄소국경조정의 도입이 우리나라의 수출에 미치는 영향을 직접경로(수출가격 상승으로 인한 영향), 간접경로(주요 교역국의 수출 및 소득 감소로 인한 영향), 무역재편 경로(유럽연합 및 미국 시장 점유율 변화로 인한 영향)로 나누어 살펴보았다. 동 연구에서는 미국과 유럽연합이 전 품목에 대해 탄소국경조정을 적용하는 상황을 상정하였으며, 전 품목에 대해 일괄적으로 탄소 배출 1톤당 50달러⁵⁸⁾의 세율이 부과된다고 가정하였다. 분석 결과 직접경로와 간접경로는 우리나라의 수출에 부정적인 영향을 미치는 반면, 무역재편 경로는 우리나라의 수출에 다소 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났는데, 무역재편 경로에서의 긍정적 효과는 중국과 경쟁관계에 있는

58) 감면 시나리오는 전 품목에 대해 톤당 35달러 부과

산업에서 주로 나타났다.

한편, 정훈·여영준·조해인(2021)은 환경산업연관분석(Environmentally Extended Input-Output analysis, EEIO) 모형과 CGE 모형을 활용하여 탄소국경조정제도의 영향을 살펴보았다. 동 연구에서는 탄소국경조정이 scope 3에서 모든 산업에 적용되는 상황을 전제로 하였으며, 국내의 저탄소 정책 시나리오를 바탕으로 탄소국경조정 부담액의 크기가 어떻게 변화하는지 살펴보았다. 또한, 탄소국경조정으로 인한 충격과 R&D 보조금 도입의 파급효과를 분석하였다. 다만, 동 연구는 해외 부문은 외생적으로 주어진다고 가정하였다.

본 장에서의 분석과 가장 관련이 높은 선행연구는 이주관 외(2021)이다. 이주관 외(2021)의 연구에서는 Caliendo and Parro(2015)의 모형을 바탕으로 탄소국경조정제도의 도입이 우리나라에 미치는 영향을 살펴보았는데, 탄소국경조정제도가 적용되는 산업 및 연관 산업의 교역이 감소함을 보였다. 또한, 탄소국경조정제도 하에서 다양한 그린뉴딜 정책의 효과를 살펴보고, 이를 바탕으로 그린뉴딜 정책의 방향성을 논의하였다.

본 장에서는 이주관 외(2021)와 마찬가지로 Caliendo and Parro(2015)의 모형을 기반으로 탄소국경조정제도의 도입이 국제무역질서와 우리나라 경제에 미치는 영향을 살펴본다. 전반적으로 이주관 외(2021)와 어느 정도 유사성을 가지지만, 좀 더 세분화된 국제산업연관표를 사용하고, 탄소 배출량 계산에 있어서 입법안의 부속서에 제시된 scope 3 범주([표 2-3] 참고)를 더욱 충실하게 반영하고자 하였다.⁵⁹⁾ 이 외에도 2022년에 발표된 유럽의회 수정안을 반영하였고, 우리나라뿐만 아니라 전반적인 국제무역질서의 변화를 더욱 자세하게 살펴보았다. 또한, 탄소 배출 절감 기술의 발전을 가정하여 그 효과를 살펴봄으로써 중장기적 시계에서 정책적인 시사점을 찾고자 하였다.

59) 이주관 외(2021)의 연구에서는 탄소 배출량 범주와 관련하여 별도의 설명을 제시하지는 않았다.

1 모형

Caliendo and Parro(2015)의 다국가·다산업 리카도 모형은 일반균형모형으로, 북미 자유무역협정(NAFTA)의 영향을 분석하기 위해 처음 도입되었다. 김선진·안희정·이윤정(2021)이 정리한 바와 같이 산업별로 가격경쟁력의 차이에 따른 비교우위의 변경을 반영하므로 관세의 변화가 초래하는 무역구조의 변화를 산업별로 구분하여 살펴보기에 적합하다. 탄소국경조정제도는 관세의 성격을 가질 뿐만 아니라 여러 산업에 걸쳐 적용되므로 동 모형은 탄소국경조정제도의 영향과 대응 방안을 살펴보기 위한 좋은 대안이라고 볼 수 있다. 다만, 역시 김선진·안희정·이윤정(2021)의 연구에서 지적한 바와 같이 완전고용을 가정하는 장기 모형이므로 단기적인 효과를 분석하기에는 다소 부적절할 수 있다. 따라서 본 보고서에서는 이를 고려하여 탄소국경조정의 도입에 대한 대응 방안을 논의할 때 기술 발전(탄소 배출 저감 기술)이라는 중장기 시계의 대안을 고려하고 그 효과를 분석한다.

아래에서는 Caliendo and Parro(2015)의 모형을 간략히 소개한다. 이는 보고서의 완결성을 위한 서술이며, 따라서 원논문의 흐름을 그대로 따라가고 표기(notation) 역시 원논문의 표기를 그대로 따른다. 또한, 수식의 도출 과정과 증명 과정 등 모형과 관련된 구체적인 논의는 생략한다. 구체적인 논의는 원논문에 자세히 제시되어 있다.

모형은 N 개의 국가(i, n)와 J 개의 산업(j, k)으로 구성되며, 생산자는 중간재와 복합중간재(composite intermediate goods)를 생산한다. 각 산업은 교역이 가능(tradable)하거나 불가능(non-tradable)하며, 노동(labor)이 유일한 생산 수단이다. 모형 내 모든 시장은 완전경쟁시장이며, 노동은 산업 간 이동은 가능하지만 국가 간 이동은 불가능하다. 일반균형모형이므로 각 국가에는 가계와 기업, 그리고 정부가 있다.

가. 가계(representative household)

먼저 가계(representative household)는 근로소득과 이전소득을 수령하며, 최종재(C_n^j)의 소비를 통해 효용(utility)을 극대화한다. 이는 다음의 수식 (3-1)과 같다.

$$\max u(C_n) = \prod_{j=1}^J C_n^{j\alpha_n^j}, \text{ where } \sum_{j=1}^J \alpha_n^j = 1. \quad (3-1)$$

나. 중간재

각 산업의 중간재 $w^j \in [0, 1]$ 의 생산 기술은 국가(n)마다 차이가 있으며 다음의 수식 (3-2)와 같이 정의된다.

$$q_n^j(w^j) = z_n^j(w^j) [l_n^j(w^j)]^{\gamma_n^j} \prod_{k=1}^J [m_n^{k,j}(w^j)]^{\gamma_n^{k,j}} \quad (3-2)$$

위 식에서 $z_n^j(w^j)$ 는 생산의 효율성(eficiency), $l_n^j(w^j)$ 는 노동, $m_n^{k,j}(w^j)$ 는 중간재 w^j 를 생산에 사용되는 k 산업의 복합중간재이다. $\gamma_n^{k,j} (\geq 0)$ 은 j 산업의 중간재 w^j 생산에 사용되는 k 산업 복합중간재의 비중이다. 복합중간재의 비중과 산업의 부가가치의 비중 $\gamma_n^j (\geq 0)$ 사이에는 $\sum_{k=1}^J \gamma_n^{k,j} = 1 - \gamma_n^j$ 의 관계가 성립한다.

중간재의 생산은 규모 불변(constant returns to scale)의 특성을 가지며 시장은 앞서 기술한 바와 같이 완전경쟁시장이다. 따라서 중간재의 가격은 $c_n^j / z_n^j(w^j)$ 이다. c_n^j 는 투입물의 가격으로 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$c_n^j = \Gamma_n^j w_n^{\gamma_n^j} \prod_{k=1}^J P_n^k \gamma_n^{k,j} \quad (3-3)$$

위 식에서 P_n^k 는 산업 k 의 복합중간재의 가격을 나타내며, Γ_n^j 는 상수이다.⁶⁰⁾ 투입물의 가격은 위 식에 나타난 바와 같이 임금과 모든 산업의 복합중간재 가격을 반영한다.

60) 정확한 수식은 Caliendo and Parro(2015) 참조.

다. 복합중간재

복합중간재는 모형 내 모든 국가에서 가장 저렴한 중간재를 사용하여 생산한다. 국가 n 의 산업 j 에서 생산하는 복합중간재 Q_n^j 는 아래의 수식 (3-4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$Q_n^j = \left[\int r_n^j (w^j)^{1-1/\sigma^j} dw^j \right]^{\sigma^j / (\sigma^j - 1)} \quad (3-4)$$

위 식에서 $\sigma^j (> 0)$ 는 대체탄력성이며, $r_n^j (w^j)$ 는 가장 저렴한 중간재 w^j 에 대한 수요이다. 복합중간재 생산자의 최적화 문제를 풀면 중간재 $r_n^j (w^j)$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$r_n^j (w^j) = \left(\frac{p_n^j (w^j)}{P_n^j} \right)^{-\sigma^j} Q_n^j \quad (3-5)$$

위 식에서 P_n^j 는 복합중간재의 가격으로 다음과 같이 표현할 수 있다. 아래의 식 (3-6)에서 $p_n^j (w^j)$ 는 모든 국가에서 가장 저렴한 중간재 w^j 의 가격을 나타낸다.

$$P_n^j = \left[\int p_n^j (w^j)^{1-\sigma^j} dw^j \right]^{\frac{1}{(1-\sigma^j)}} \quad (3-6)$$

복합중간재는 식 (3-2)에 나타난 바와 같이 중간재의 생산에 사용되며, 또한 최종재로도 사용된다.

라. 무역 비용과 가격

모형에서 국가 i 에서 국가 n 으로 수출되는 j 산업 중간재의 수송 비용(iceberg trade cost)은 $d_{ni}^j (\geq 1)$ 로 주어진다($d_{nn}^j = 1$ 이 성립). 관세 τ_{ni}^j 는 종가세(ad-valorem tariff)⁶¹⁾의 형태를 가정한다. 이를 결합한 무역 비용 κ_{ni}^j 는 다음과 같다.

$$\kappa_{ni}^j = \tilde{\tau}_{ni}^j d_{ni}^j \quad (3-7)$$

위 식에서 $\tilde{\tau}_{ni}^j = 1 + \tau_{ni}^j$ 이며, 모형 내 모든 국가 n, h, i 에 대해 $\kappa_{nh}^j \kappa_{hi}^j \geq \kappa_{ni}^j$ 가 성립한다고 가정한다. 무역 비용을 반영한 중간재의 가격은 아래의 식 (3-8)과 같이 주어진다.

$$p_n^j(w^j) = \min_i \left\{ \frac{c_i^j \kappa_{ni}^j}{z_i^j(w^j)} \right\} \quad (3-7)$$

중간재 생산의 효율성에 대한 가정(Fréchet 분포)⁶²⁾에 따라 복합중간재의 가격은 다음과 같이 주어진다.

$$P_n^j = A^j \left[\sum_{i=1}^N \lambda_i^j (c_i^j \kappa_{ni}^j)^{-\theta^j} \right]^{-1/\theta^j} \quad (3-8)$$

위 식에서 A^j 는 상수이며, $\lambda_i^j (\geq 0)$ 와 θ^j 는 Fréchet 분포의 모수(parameter)로, 모형에서는 각각 절대우위(λ_i^j 가 클수록 국가 i 의 산업 j 의 평균 생산성이 높음)와 비교우위(θ^j 가 작을수록 w^j 의 생산성의 차이가 큼)로 연결된다. 가계(소비자)는 최종재(복합중간재)

61) 수입 가격을 기준으로 부과됨

62) Caliendo and Parro(2015) 부록(Appendix) A 참고.

를63) 소비하며, 이를 식 (3-1)과 결합하면 소비 가격지수(consumption price index)는 다음과 같이 도출된다.

$$P_n = \prod_{j=1}^J (P_n^j / \alpha_n^j)^{\alpha_n^j} \quad (3-9)$$

마. 무역 비중(expenditure share)

국가 n 의 재화 j (산업 j 에서 생산한 재화) 대한 총지출은 $X_n^j = P_n^j Q_n^j$ 이다. 국가 n 에서 국가 i 의 재화 j 지출하는 금액을 X_{ni}^j 라고 표기한다면, 국가 n 의 무역 비중은 $\pi_{ni}^j = X_{ni}^j / X_n^j$ 이다. 이는 다시 다음과 같이 기술, 가격, 무역 비용의 함수로 나타낼 수 있다.

$$\pi_{ni}^j = \frac{\lambda_i^j [c_i^j \kappa_{ni}^j]^{-\theta^j}}{\sum_{h=1}^N \lambda_h^j [c_h^j \kappa_{nh}^j]^{-\theta^j}} \quad (3-10)$$

위 식에서 관세의 변화가 두 국가 간 무역에 영향을 미치는 경로에 대해 살펴볼 필요가 있다. 관세의 변화는 무역 비용 κ_{ni}^j 를 통해 직접적인 영향을 미치고, 식 (3-3)을 통해 유추할 수 있듯이 투입물의 가격 c_i^j 를 통해 간접적으로 영향을 미친다.⁶⁴⁾

63) 앞서 기술한 바와 같이 복합중간재는 최종재로도 소비된다.

64) 식 (3-3)에 나타나는 산업 간 연관성은 Caliendo and Parro(2015)의 다산업 모형이 단일산업(one-sector) 모형과 차별화되는 중요한 특성이다.

바. 총지출과 무역수지

총지출은 복합중간재에 대한 생산자의 지출과 가계 지출의 합이므로 아래의 식 (3-11)과 같이 나타낼 수 있다.

$$X_n^j = \sum_{k=1}^J \gamma_n^{j,k} \sum_{i=1}^N X_i^k \frac{\pi_{in}^k}{1 + \tau_{in}^k} + \alpha_n^j I_n \quad (3-11)$$

위 식에서 $I_n = w_n L_n + R_n + D_n$ 이다. R_n 은 관세수입으로 $R_n = \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^N \tau_{ni}^j M_{ni}^j$ 로 정의되며, M_{ni}^j 는 국가 n 에서 수입하는 국가 i 의 재화 j 이다($M_{ni}^j = X_n^j \frac{\pi_{ni}^j}{1 + \tau_{ni}^j}$). D_n 은 국가 n 의 무역수지 적자액을 나타내며, 정의상 $\sum_{n=1}^N D_n = 0$ 이 성립한다. 모형에서 각 국가의 무역수지는 외생적으로 주어진다고 가정하지만, 각 산업의 무역수지 적자($D_n^j = \sum_{i=1}^N M_{ni}^j - \sum_{i=1}^N E_{ni}^j$)는 내생적으로 결정된다($E_{ni}^j = X_i^j \frac{\pi_{in}^j}{1 + \tau_{in}^j}$ 는 국가 n 의 재화 j 의 국가 i 로의 수출액을 나타낸다). 위의 정의를 바탕으로 다음과 같은 식이 도출된다.

$$\sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^N X_n^j \frac{\pi_{ni}^j}{1 + \tau_{ni}^j} - D_n = \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^N X_i^j \frac{\pi_{in}^j}{1 + \tau_{in}^j} \quad (3-12)$$

사. 균형(equilibrium in relative changes)

관세 τ 에 대한 모형의 균형은 L_n , D_n , λ_n^j , d_{ni}^j 가 주어졌을 때 모든 산업(j)과 국가(n)에 대해 식 (3-3), (3-8), (3-10), (3-11), (3-12)를 만족시키는 임금 $w \in R_{++}^N$ 와 가격 $\{P_n^j\}_{j=1, n=1}^{J, N}$ 으로 정의된다.

한편, 동 모형의 목적은 관세의 변화가 무역에 어떠한 영향을 미치는지 분석하는 것이다. 이를 위해 모형에서는 관세가 τ 에서 τ' 으로 변할 때 균형 임금과 가격이 얼마나 변하는지 살펴본다(equilibrium in relative changes). 이는 현실적으로 추정이 어려운 λ_n^j 나 d_{ni}^j 와 같은 모수의 추정을 피하기 위한 것이기도 하다. 관세 τ 를 기준으로 정의된 균형을 (w, P) 와 같이 표기한다면 관세 τ' 에 대한 균형은 (w', P') 로 표기할 수 있다. 변수 x 에 대해 x 의 상대적인 변화를 $\hat{x} = x'/x$ 로 표기한다면 관세가 τ 에서 τ' 으로 변할 때 균형의 변화는 (\hat{w}, \hat{P}) 로 나타낼 수 있다. 따라서, 균형의 변화는 다음의 조건을 충족시키는 (\hat{w}, \hat{P}) 로 정의된다.

$$\hat{c}_n^j = \Gamma_n^j \hat{w}_n^{\gamma_n^j} \prod_{k=1}^J \hat{P}_n^k \gamma_n^{k,j} \quad (3-13)$$

$$\hat{P}_n^j = \left[\sum_{i=1}^N \pi_{ni}^j [\hat{\kappa}_{ni}^j \hat{c}_i^j]^{-\theta^j} \right]^{-1/\theta^j} \quad (3-14)$$

$$\hat{\pi}_{ni}^j = \left[\frac{\hat{c}_i^j \hat{\kappa}_{ni}^j}{\hat{P}_n^j} \right]^{-\theta^j} \quad (3-15)$$

$$X_n^{j'} = \sum_{k=1}^J \gamma_n^{j,k} \sum_{i=1}^N \frac{\pi_{in}^{k'}}{1 + \tau_{in}^{k'}} X_i^{k'} + \alpha_n^j I_n' \quad (3-16)$$

$$\sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^N \frac{\pi_{ni}^{j'}}{1 + \tau_{ni}^{j'}} X_n^{j'} - D_n = \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^N \frac{\pi_{in}^{j'}}{1 + \tau_{in}^{j'}} X_i^{j'} \quad (3-17)$$

$$\text{where } \hat{\kappa}_{ni}^j = (1 + \tau_{ni}^{j'}) / (1 + \tau_{ni}^j),$$

$$I_n' = \hat{w}_n w_n L_n + \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^N \tau_{ni}^{j'} \frac{\pi_{ni}^{j'}}{1 + \tau_{ni}^{j'}} X_n^{j'} + D_n.$$

동 모형에서 후생(welfare)의 변화는 교역조건(terms of trade)의 변화와 교역량(volume of trade)의 변화로 나타난다($W_n = I_n / P_n$ 을 전미분하여 도출). 또한, 교역조건 및 교역량의 변화는 양국 간 또는 한 국가의 산업을 기준으로도 계산할 수 있다.

아. 생산성 분포의 추정

생산성 분포(dispersion of productivity) θ^j 는 모형의 핵심적인 모수이며, 무역 및 관세 데이터를 바탕으로 추정한다. 이를 위해 다음의 관계식을 이용한다.

$$\frac{X_{ni}^j X_{ih}^j X_{hn}^j}{X_{nh}^j X_{hi}^j X_{in}^j} = \left(\frac{\kappa_{ni}^j \kappa_{ih}^j \kappa_{hn}^j}{\kappa_{in}^j \kappa_{hi}^j \kappa_{nh}^j} \right)^{-\theta^j} \quad (3-18)$$

위 식의 양변에 로그를 취하여 정리하면 아래의 식 (3-19)와 같다.

$$\ln \left(\frac{X_{ni}^j X_{ih}^j X_{hn}^j}{X_{nh}^j X_{hi}^j X_{in}^j} \right) = -\theta^j \ln \left(\frac{\tilde{\tau}_{ni}^j \tilde{\tau}_{ih}^j \tilde{\tau}_{hn}^j}{\tilde{\tau}_{in}^j \tilde{\tau}_{hi}^j \tilde{\tau}_{nh}^j} \right) + \tilde{\epsilon}^j \quad (3-19)$$

식 (3-19)에는 수송 비용(iceberg trade cost)이 모두 상쇄되어 나타나지 않음을 알 수 있다.⁶⁵⁾ 생산성의 분포는 식 (3-19)를 이용하여 추정한다.

자. 모형의 특성

본 보고서의 분석과 관련하여 Caliendo and Parro(2015) 모형의 몇 가지 특성을 검토할 필요가 있다. 첫째, 분석의 결과는 균형의 변화로 표시된다. 이는 관세의 변화(탄소 국경조정제도의 도입)가 무역에 미치는 영향이 절대적인 수치가 아닌 상대적인 수치로 표시된다는 것을 의미한다. 따라서 모든 결과는 초기 균형에 대한 상대적인 변화로 해석해야 하며, 초기 균형이 다르다면 결과를 직접 비교할 수 없다.

둘째, 모형의 균형과 균형의 변화를 도출할 때 각국의 무역수지는 0으로 고정된다. 이는 모형의 해를 구하기 위한 과정에서 가해지는 제약으로, 국제무역의 일반균형모형의 해

65) 수송 비용 항목을 국제무역 모형에서 사용하는 다양한 변수를 포함하는 선형 함수 형태로 바꾸어도 같은 결과가 도출된다. 또한, 식 (3-19)의 도출에서 일반적으로 가정하는 수송 비용의 대칭성(symmetry)을 가정하지 않는다.

를 구하는 과정에서 통상적으로 적용되는 제약이다. 다만, 이러한 제약이 모형의 결괏값에 일정 부분 영향을 미칠 여지가 있다.

셋째, 각 국가와 산업은 중간재와 복합중간재 등을 통해 서로 연결된다. 따라서 한 산업에 미치는 영향이 다른 산업으로 파급되며, 분석하고자 하는 사건(탄소국경조정제도)이 전반적인 국제무역질서 및 산업별 무역구조에 어떠한 영향을 미치는지 확인할 수 있다. 실제 분석에서는 이러한 관계를 국제산업연관표를 통해 반영한다.

넷째, 앞서 논의한 바와 같이 동 모형은 국가 내 자유로운 노동 이동, 완전고용 등을 가정하는 장기 모형이다. 따라서 탄소국경조정제도가 초래하는 단기적인 충격과 파급효과는 분석할 수 없다는 한계가 있다. 아래에서도 이를 고려하여 기후변화 대응기술 등 중장기적 대안을 함께 고려하였다.

2 데이터

아래에서는 모형(생산성 분포 θ^j 의 추정 포함)의 균형을 구하기 위해 사용한 데이터를 서술한다. 앞서 언급한 바와 같이 Caliendo and Parro(2015) 모형은 관세의 변화에 따른 무역구조의 변화를 분석하는 모형이며, 본 장에서는 탄소국경조정제도의 도입으로 인한 관세의 변화와 그로 인한 무역구조의 변화를 분석하고자 한다. 아래에서는 먼저 위 모형의 분석을 위한 일반적인 데이터를 제시한 후, 이어서 탄소국경조정제도 도입과 관련된 데이터 및 변수 구축 방법을 제시한다.

가. 무역 자료

모형의 분석을 위해서는 국가별, 산업별 양국 간 무역, 관세, 부가가치, 총생산 자료와 국제산업연관표 자료가 필요하다. 산업별 자료는 산업을 어떻게 분류하느냐에 따라 달라지며, 이는 국제산업연관표의 선택과도 밀접한 관련이 있다. 따라서 아래에서는 먼저 국제산업연관표와 관련된 논의를 진행한다.

현재 이용 가능한 국제산업연관표 중 널리 사용되는 국제산업연관표는 WIOD(World Input-Output Database), OECD가 제공하는 ICIO(Inter-Country Input-Output) Tables,

아시아 개발은행(Asian Development Bank, ADB)이 제공하는 MRIO(Multi-Regional input-output tables) 등이 있다. 이 가운데 WIOD는 ISIC Revision 4(국제표준산업분류 4차 개정)에 기반한 56개 산업 분류를 기준으로 43개국의 자료를 제공한다.⁶⁶⁾ 가장 최근 데이터는 2014년 데이터이다. OECD ICIO는 ISIC Revision 4에 기반한 45개 산업 분류를 기준으로 66개국의 자료를 제공한다. 가장 최근 데이터는 2018년 데이터이다.⁶⁷⁾ 한편, ADB MRIO는 ISIC Revision 3에 기반한 35개 산업 분류를 기준으로 62개국의 자료를 제공하는데, 데이터 발행기관의 특성상 아시아 국가의 비중이 높다. 가장 최근 데이터는 2021년 데이터이다.

[표 3-1] 국제산업연관표 비교

	국가	산업 분류	최근 연도
WIOD	43개국	56개 산업, ISIC Rev. 4 기준	2014
OECD ICIO	66개국	45개 산업, ISIC Rev. 4 기준	2018
ADB MRIO	62개국	35개 산업, ISIC Rev. 3 기준	2021

최근 연도 데이터를 고려한다면 유력한 대안은 OECD ICIO와 ADB MRIO이다. 이 가운데 본 연구에서는 세 가지 국제산업연관표 가운데 OECD ICIO를 사용하였다. 데이터가 오래되지 않았다는 점,⁶⁸⁾ 탄소국경조정제도 도입에 따른 인증서 구매 비용을 도출하기 위한 무역에 포함된 탄소 배출량 데이터(OECD Carbon dioxide emissions embodied in international trade(2021 ed.) 데이터베이스)⁶⁹⁾가 OECD ICIO를 기반으로 구축되었기 때문에 자료 간 일관성이 유지되고 연계가 수월하다는 점을 주로 고려하였다. 탄소 배출량 데이터 역시 최신 자료가 2018년인데, 무역량뿐만 아니라 무역에 포함된 탄소 배출량 역시 매해 변화하므로⁷⁰⁾ 서로 다른 산업 분류를 사용한 다른 연도의 데이터와 연계하는 것은 정합성의 측면에서 단점이 있다.

66) 2016년 버전 기준

67) 2021년 버전 기준

68) Caliendo and Parro(2015)에 따르면 국제산업연관표의 시계열은 상당히 안정적으로 유지되므로 2018년과 2021년의 차이는 크지 않을 것이라고 기대할 수 있다. 또한, 2020년에 전 세계적으로 발생한 코로나19 사태로 인하여 그 이후의 최근 국제산업연관표 데이터는 일관성이 다소 낮을 가능성이 있다.

69) 제2장에서 분석에서 사용한 산업별 무역에 포함된 탄소 배출량 데이터이다.

70) 단위 무역량 당 탄소 배출량 역시 변화한다.

또한, ADB MRIO에서 탄소국경조정제도와 관련이 있는 산업 분류는 c9(Chemicals and chemical products), c10(Rubber and plastics), c11(Other nonmetallic minerals), c12(Basic metals and fabricated metal)의 4가지인데, c12는 OECD ICIO 산업 분류 가운데 D24와 D25를 모두 포함한다. 그러나 제2장에서 논의한 바와 같이 탄소국경조정 대상 품목 가운데 D25에 포함된 품목은 전체 품목의 극히 일부이므로 (238개 품목 가운데 10개 품목, [표 2-19] 참고) 동 산업을 모형에 포함하는 것은 왜곡의 여지가 크다.⁷¹⁾ 한편, c9은 OECD ICIO 산업 분류상 D20과 D21을 포함한다. 그런데 D21은 의회 수정안에만 포함되므로 ADB MRIO를 사용하면 OECD ICIO를 사용하는 것보다 탄소국경조정 관련 산업 분류와 이에 따른 분석 결과가 더 왜곡될 소지가 있다. 본 연구에서는 이러한 이유로 OECD ICIO를 분석에 사용하였다.

모형에서 사용한 OECD 국제산업연관표의 산업 분류는 [표 3-2]에 정리하였다. 총 45개 산업 분류 가운데 D01T02⁷²⁾와 D03을 하나의 산업 분류로 통합하였다(D01T03). 이는 농업, 임업, 어업이 본 보고서의 분석 대상인 탄소 다배출 업종과는 거리가 멀다고 판단하였기 때문이다. 마찬가지로 D05T06과 D07T08을 하나의 산업 분류로 통합하였는데(D05T08), 이는 두 산업 분류가 모두 광업에 포함되기 때문이다.⁷³⁾ 다음으로 D94T96과 D97T98을 하나의 산업 분류로 통합하였다(D94T98).

따라서, 본 보고서에서는 총 42개의 산업을 대상으로 분석을 수행하였으며, 이 가운데 교역 산업(tradable sector)은 19개, 비교역 산업(non-tradable sector)은 23개이다. 일부 산업은 무역 데이터에 국가 간 무역이 기록되었으나, 크기가 작고 소수의 국가 간에만 해당할 뿐만 아니라 기존의 연구에서 비교역 산업으로 분류된다는 점을 고려하여 비교역 산업으로 분류하였다. 교역 가능 여부, 코드명, 산업명, ISIC Revision 4 중분류는 [표 3-2]에 함께 정리하였다.

71) 시멘트(D23) 역시 마찬가지로 다른 대안이 없으므로 D23을 분석에 포함하였다.

72) ISIC Rev. 4 기준으로 01, 02에 해당한다.

73) 사용한 국제산업연관표는 다르지만, Caliendo and Parro(2015) 역시 농업과 광업을 각각 하나의 분류로 나타내었다.

[표 3-2] OECD 국제산업연관표 산업 분류

구분	코드	산업	ISIC 중분류
교역	D01T03	농업, 임업 및 어업	01, 02, 03
	D05T08	광업	05 - 08
	D10T12	식품, 음료, 담배 제조업	10, 11, 12
	D13T15	섬유, 의복, 가죽 및 신발 제조업	13, 14, 15
	D16	목재 및 나무제품 제조업	16
	D17T18	종이 및 인쇄 제조업	17, 18
	D19	코크스 및 석유정제품 제조업	19
	D20	화학물질 및 화학제품 제조업	20
	D21	의료용 물질 및 의약품 제조업	21
	D22	고무 및 플라스틱제품 제조업	22
	D23	기타 비금속제품 제조업	23
	D24	1차 금속 제조업	24
	D25	금속 가공제품 제조업	25
	D26	컴퓨터, 전자 및 광학 기 제조업기	26
	D27	전기장비 제조업	27
	D28	기타 기계 및 장비 제조업	28
	D29	자동차 및 트레일러 제조업	29
	D30	기타 운송장비 제조업	30
	D31T33	기타 제조업 및 기계 및 장비 수리·설치업	31, 32, 33
	비교역	D09	광업 지원 서비스업	09
D35		전기, 가스, 증기 및 공기 조절 공급업	25
D36T39		수도, 하수 및 폐기물 처리, 환경 복원	36-39
D41T43		건설	41, 42, 43
D45T47		도매 및 소매업, 자동차 수리업	45, 46, 47
D49		육상 운송 및 파이프라인 운송업	49
D50		수상 운송업	50
D51		항공 운송업	51
D52		창고 및 운송관련 서비스업	52
D53		우편 및 택배 서비스업	53
D55T56		숙박 및 음식점업	55, 56
D58T60		출판, 영상 및 방송업	58, 59, 60

구분	코드	산업	ISIC 중분류
비교역	D61	통신업	61
	D62T63	IT 및 기타 정보서비스업	62, 63
	D64T66	금융 및 보험업	64, 65, 66
	D68	부동산업	68
	D69T75	전문, 과학 및 기술 서비스업	69-75
	D77T82	행정 및 지원 서비스업	77-82
	D84	공공 행정, 국방 및 사회보장 행정	84
	D85	교육 서비스업	85
	D86T88	보건업 및 사회복지 서비스업	86, 87, 88
	D90T93	예술, 오락 및 여가 서비스업	90-93
	D94T98	기타 서비스업	94, 95, 96
		가구 내 고용활동 및 달리 분류되지 않은 자가 소비 생산활동	97, 98

- 주: 1) D01T03은 원 데이터의 D01T02와 D03을 연구자가 통합하였다; D05T08은 원 데이터의 D05T06과 D07T08을 연구자가 통합하였다; D94T98은 원 데이터의 D94T96과 D97T98을 연구자가 통합하였다.
 2) 교역 산업과 비교역 산업은 연구자가 무역 데이터를 바탕으로 임의로 분류하였다. 국가 간 무역 데이터가 있으나 그 규모가 매우 작고 소수의 국가에만 국한된 일부 산업은 비교역 산업으로 분류하였다.
 3) 산업의 명칭은 한국표준산업분류를 참고하여 연구자가 임의로 번역하였다.

국제산업연관표에서 이용한 자료는 국가별 산업별 복합중간재 비중($\gamma_n^{j,k}$), 부가가치 비중(γ_n^j), 지출 비중(π_{ni}^j)이다. 단, 국제산업연관표상에는 비중이 아닌 금액이 표시되므로, 이를 국제산업연관표에서 대응되는 국가별 산업별 총생산으로 나눈 값을 사용하였다.

한편, 국가 간 무역 데이터는 UN Comtrade에서 제공하는 HS 6자리 데이터를 각각 대응되는 산업으로 재분류하여 사용하였다. 2018년 기준 국제산업연관표를 사용하는 점과 OECD의 탄소 배출량 자료 역시 2018년이 최신이라는 점을 고려하여 무역 데이터는 2018년 자료를 사용하였다. 한편, 무역액은 FOB(free on board, 본선 인도조건) 기준 금액과 CIF(cost insurance and freight, 운임, 보험료 인도조건) 기준 금액으로 나뉘는데, 전자는 주로 수출을 기록할 때 사용되고 후자는 주로 수입을 기록할 때 사용한다. 본 연구에서는 관세의 영향을 분석하므로 관세 부과 기준이 되는 CIF 금액을 사용하였다. 다만, 일부 국가는 FOB 자료만 제공되는데, 이러한 경우에는 기존 연구를 참고하여 FOB 금액에 1.05(105%)를 곱한 값을 사용하였다.

또한, 관세 데이터는 세계은행이 운영하는 WITS(World Integrated Trade Solution) 홈페이지에서 UNCTAD-TRAINS가 제공하는 자료를 사용하였다. 관세 데이터는 6자리 HS 코드를 기준으로 정리되어 있으며, 특혜관세(preferential tariff)와 최혜국대우(most favored nation, MFN) 관세로 나누어지는데, 특혜관세 자료가 있으면 특혜관세를 적용하고 그렇지 않으면 최혜국대우 관세를 적용하였다. 2018년 관세 자료가 존재하면 이를 사용하였으나, 그렇지 않으면 2017년, 2016년, 2019년, 2020년 자료의 순서로 사용하였다.⁷⁴⁾ 관세 데이터 역시 산업별로 재구성하였는데, 무역액을 가중치로 삼아 가중평균을 도출하여 사용하였다.

한편, 분석에 포함한 국가는 총 27개국이다. 이주관 외(2021) 등 선행연구와는 다르게 유럽연합 국가를 하나로 묶지 않고 유럽연합 국가들 가운데 주요국을 각각 포함하였다. 이는 유럽연합 역내 무역의 변화도 함께 예측하기 위함이다. 분석에 포함된 국가 중 비유럽연합 국가는 호주(AUS), 브라질(BRA), 캐나다(CAN), 스위스(CHE), 중국(CHN), 영국(GBR), 인도네시아(IDN), 인도(IND), 일본(JPN), 한국(KOR), 멕시코(MEX), 노르웨이(NOR), 러시아(RUS), 튀르키예(TUR), 대만(TWN), 미국(USA) 등 16개국이다.⁷⁵⁾ 분석에 포함된 유럽연합 국가는 오스트리아(AUT), 벨기에(BEL), 체코(CZE), 독일(DEU), 스페인(ESP), 핀란드(FIN), 프랑스(FRA), 아일랜드(IRL), 이탈리아(ITA), 네덜란드(NLD), 폴란드(POL) 등 11개국이다. 경제 규모, 유럽연합 시장에서의 위상 등을 고려하여 선정하였다. 27개국 외 다른 국가는 기타(ROW)로 묶어 분석에 포함하였다. 앞서 논의한 바와 같이 비유럽연합 국가 가운데 스위스, 노르웨이에는 탄소국경조정제가 적용되지 않는다는 점에 유의할 필요가 있다.

나. 탄소국경조정제도 관련 자료

탄소국경조정제도로 인한 관세의 변화를 계산하기 위해서는 무역에 포함된 탄소 배출량 자료와 각국의 탄소 가격이 필요하다. 먼저, 각국의 탄소 가격은 세계은행 Carbon Pricing Dashboard⁷⁶⁾에 제시된 자료를 이용하였다. 탄소 가격은 탄소세 또는 배출권거래제 가격을 기준으로 하였고, 현재까지의 논의를 바탕으로 탄소국경조정제도의 적용 여

74) 이는 Caliendo and Parro(2015)와 비슷한 방식이다.

75) 결과표에서 편의상 ISO3 국가 코드를 사용하므로 이를 함께 표기.

76) <https://carbonpricingdashboard.worldbank.org/>

부를 결정하였다.⁷⁷⁾ 탄소 가격은 2021년의 가격을 기준으로 하였다. 이는 2021년 시작된 EU ETS 4기가 2030년까지 유지되는데, 2030년까지의 온실가스 감축목표(1990년 대비 최소 40% 감축)를 실현하기 위해 연간 선형감축계수가 3기보다 증가하였고(1.74% → 2.2%), 시장안정화예비분(market stability reserve, MSR)의 도입을 통해 배출권이 과잉 또는 과소 공급되는 상황을 방지하여 가격 안정화를 꾀하는 등 제도적인 변화가 발생하였기 때문이다.⁷⁸⁾⁷⁹⁾ 다만, 2022년의 가격은 우크라이나 사태의 여파가 반영되었으므로 분석에 사용하기에는 적절치 않다고 판단하였다. 한편, 영국은 브렉시트의 결과로 탄소국경조정제도가 적용되지만, 본 연구에서 2018년도 무역 데이터를 사용한다는 점과 2022년의 영국 탄소 가격이 EU ETS 배출권 가격과 비슷하다는 점을 고려하여 탄소국경조정제도가 적용되지 않는다고 가정하였다.⁸⁰⁾ 또한, 미국이나 중국 등 일부 국가에서는 2021년 시점에 국가 단위에서 탄소세나 배출권거래제를 시행하지 않고 지역 단위에서만 시행하는데, 이러한 국가에 대해서는 OECD(2022) 등을 참고하여 탄소 가격을 설정하였다.

한편, 무역에 포함된 탄소 배출량은 OECD의 Carbon dioxide emissions embodied in international trade(2021 ed.) 데이터베이스에 제시된 수치를 사용하였다.⁸¹⁾ 동 데이터베이스는 OECD의 국제산업연관표(ICIO)와 국제 에너지 기구(International Energy Agency, IEA)의 연료 연소로 인한 탄소 배출 통계(CO2 Emissions from fuel combustion statistics) 등을 활용하여 구축되었으며, 국가별 산업별 무역에 내재된 탄소 배출량을 제공한다. 수출에 내재된 탄소 배출량은 수출국에서 배출된 탄소 배출량, 수입된 중간재 생산에서 배출된 탄소 배출량, 중간재에 포함된 탄소 배출량, 최종재에 포함된 탄소 배출량 등으로 세분화되어 있다. 특히 동 데이터베이스는 본 연구에서 사용하는 OECD의 국제산업연관표(ICIO)를 활용하여 구축되었으므로 국가와 산업 구분이 같아 별도의 조정이 필요하지 않다는 장점이 있다.

77) 유럽 국가 일부의 탄소 가격은 EU ETS의 배출권 가격보다 높다. 다만, 이들 국가는 유럽연합에 속하거나 탄소 가격이 EU ETS와 연계되는 등의 이유로 탄소국경조정제도를 적용하지 않으므로 별다른 영향이 없다. 또한, 탄소 가격이 EU ETS 배출권 가격보다 높으면 규정상 탄소국경조정제도로 인한 추가 부담액은 0이다.

78) EU ETS 4기의 세부사항은 손인성·김동구(2020)를 참고할 수 있다.

79) 유럽연합 집행위원회는 처음에 EU ETS 4기부터 시장안정화예비분 제도를 도입할 것을 제안하였으나 실제로는 2019년에 도입하였다.

80) 탄소국경조정제도는 탄소 가격의 차이만큼 비용을 부담하는 제도이므로 탄소 가격이 비슷하다면 비용 부담이 미미하다.

81) 방법론은 Yamano and Guilhoto(2020)에 제시되어 있다.

3 탄소 배출 비용의 계산

본 장에서는 위에서 개괄한 Caliendo and Parro(2015)의 모형을 활용하여 탄소국경조정제도의 도입이 국제무역질서와 우리나라 경제에 미치는 영향을 살펴보고자 한다. 모형에서는 초기 균형 상태에서 관세의 변화($\tau \rightarrow \tau'$)에 따라 도출되는 새로운 균형을 초기 균형 상태와 비교한다. 따라서 탄소국경조정제도의 효과를 살펴보려면 탄소국경조정제도의 적용에 따른 관세의 변화를 계산해야 한다.

탄소국경조정제도에서 인증서 구매액(모형에서 추가적인 관세에 해당)은 제품에 포함된 탄소 배출량과 탄소 가격의 차이라는 두 가지 요소에 의해 결정된다. 이 가운데 탄소 가격의 차이는 유럽 배출권거래제 가격과 수출국의 탄소 가격(탄소세 또는 배출권거래제 가격)의 차이로 정의되므로 상대적으로 단순하다. 반면, 제품에 포함된 탄소 배출량은 탄소 배출량 범주(scope 1, scope 2, scope 3)에 따라 달라지므로 분석을 위해서는 먼저 이와 관련된 사항을 정의해야 한다.

앞서 제2장에서 기술한 바와 같이 유럽연합 집행위원회의 입법안 초안(이사회 의견도 동일)에서는 scope 1의 개념에서 탄소 배출량을 정의하지만 [표 2-3]에 정리한 바와 같이 복합재의 정의에 따라서 scope 3의 요소가 혼재되어 있으며, 과도기간 이후에 scope 2의 범주를 고려할 것을 명시하였다. 기본적으로 scope 2를 제시한 유럽의회의 수정안은 복합재의 정의에 따라 scope 3의 요소가 혼재되어 있다. 현재까지 알려진 바로는 모든 제품을 단일재로 분류하여 scope 1(집행위원회) 또는 scope 2(의회)를 적용할 예정이지만, 장기적으로는 scope 3까지 확장할 가능성이 있다.

한편, 현실점에서 이용 가능한 탄소 배출량 데이터 역시 분석 방법을 선택하는 데에 영향을 미친다. 탄소국경조정제도는 제품 단위(HS 코드⁸²)에서 적용 대상이 정의되지만, 현재 이용가능한 탄소 배출량 관련 데이터베이스는 산업 분류를 기준으로 작성되어 있으며, 본 연구에서 활용하는 Caliendo and Parro(2015) 모형 역시 산업 단위로 분석이 이루어진다. 또한, 분석을 위해 OECD의 Carbon dioxide emissions embodied in international trade(2021 ed.) 데이터베이스에서 제공하는 무역에 포함된 탄소 배출량

82) 유럽연합 집행위원회의 입법안 초안이나 유럽연합 의회의 수정안에서는 CN(Combined Nomenclature) 코드를 바탕으로 품목을 정의하지만, CN 코드의 첫 6자리는 HS 코드와 같으며 탄소국경조정 적용 품목은 모두 6자리 HS 코드로 나타낼 수 있다.

을 사용하는데, 자료 구축의 특성상 국가별 산업별로 배출량이 제시되며, 직접 수출하는 기업뿐만 아니라 다른 기업이 생산한 중간재에 내재된 탄소 배출량도 최종 탄소 배출량에 포함된다.

따라서, 중장기적으로 탄소 배출 범주가 확대될 가능성과 배출량 자료의 이용 가능성을 고려하여 본 장에서는 scope 3에 준하는 범주에서 분석을 진행한다. 유럽연합에서 현재까지 진행된 논의와 약간의 차이는 있으나, 현 논의에서도 제도를 악용하여 최종적으로 수출하는 기업을 변경함으로써 탄소 배출량을 실제보다 작게 표시하는 행위에 대한 대책을 세우고 있다는 점 등을 고려할 때 이러한 분석의 범주는 타당성을 가진다. 다만, OECD의 Carbon dioxide emissions embodied in international trade(2021 ed.) 데이터베이스에서는 총 탄소 배출량을 국내 배출량과 해외 배출량으로 구분하는데, 본 연구에서는 이를 고려하여 국내 배출량만 포함하는 경우와 해외 배출량까지 포함하는 경우로 구분하여 분석을 진행한다. 국내 배출량만 고려한다면 이는 이미 데이터가 제공될 뿐만 아니라 탄소 가격 역시 명확하므로 별도의 논의 없이 데이터를 적용하면 된다. 다만, 해외 배출량을 포함한다면 해외에서 배출된 탄소의 가격을 어떻게 적용할 것인지에 대한 논의가 필요하다.

본 연구에서 해외 배출량까지 고려할 때 이에 대한 탄소 가격을 계산하는 방식은 다음과 같다. 먼저, [표 2-3]에 제시된 복합재 탄소 배출량 계산 공식을 응용하여 국가별 산업별 탄소 배출량을 계산하고, 이를 탄소 가격과 결합하여 탄소국경조정제도가 적용될 경우의 관세 τ' 을 도출한다. Scope 3 범주 가운데 해외에서 생산한 중간재에 내포된 탄소에 대해 가격을 어떻게 책정할 것인지는 논의된 바가 없다. 다만, 탄소국경조정제도가 유럽연합 내 기업이 직면하는 탄소 가격과 역외 기업이 직면하는 탄소 가격이 같아지도록 조정하는 것을 목적으로 한다는 점을 고려하여 해외에서 생산된 중간재에 대해서는 해당 국가의 탄소 가격을 적용한다고 가정한다.

이러한 방식으로 Scope 3의 범주에서 분석하려면 생산을 위해 수입한 중간재의 사용으로 발생하는 탄소 배출 비용(인증서 구매액)을 산정해야 한다. 하지만, 특정 산업에서 생산에 사용한 수입 중간재에 내포된 탄소 배출량은 데이터베이스에서 정의되지 않는다. 대신, 산업별로 중간재 수출에 포함된 탄소 배출량이 제시된다. 따라서, 본 연구에서는 국가 A의 산업 j 에서 국가 B에 수출한 중간재에 포함된 탄소 배출량(C)이 모든 제품에 균

일하게 분포되어 있다고 가정한다. 예를 들어, 국가 A의 산업 j 에서 수출한 중간재를 국가 B의 산업 1에서 1/2, 산업 2에서 1/4, 산업 3에서 1/4만큼 생산에 사용한다면, 각 산업에 포함되는 국가 A 산업 j 중간재 탄소 배출량은 각각 $C/2$, $C/4$, $C/4$ 이다. 아래에서는 이를 국제산업연관표와 수식을 사용하여 나타낸다.

[표 3-3] 국제산업연관표(중간재)

		국가 1			...	국가 N		
		산업 1	...	산업 J	...	산업 1	...	산업 J
국가 1	산업 1	z_{11}^{11}	...	z_{11}^{1J}	...	z_{1N}^{11}	...	z_{1N}^{1J}
	...	...	z_{11}^{jk}	...	...	...	z_{1N}^{jk}	...
	산업 J	z_{11}^{J1}	...	z_{11}^{JJ}	...	z_{1N}^{J1}	...	z_{1N}^{JJ}
...	...	...	...	...	z_{in}^{jk}	...	...	...
국가 N	산업 1	z_{N1}^{11}	...	z_{N1}^{1J}	...	z_{NN}^{11}	...	z_{NN}^{1J}
	...	...	z_{N1}^{jk}	...	...	...	z_{N1}^{jk}	...
	산업 J	z_{N1}^{J1}	...	z_{N1}^{JJ}	...	z_{NN}^{J1}	...	z_{NN}^{JJ}

[표 3-3]은 국제산업연관표에서 각국 간 중간재 흐름을 나타낸다. z_{in}^{jk} 는 국가 n 의 산업 k 에서 사용한 국가 i 의 산업 j 제품이다. 즉, 국가 i 의 산업 j 에서 국가 n 의 산업 k 로의 중간재 이동을 나타낸다. 한편, 국가 n 에 중간재로 투입되는 국가 i 의 산업 j 제품에 포함된 총 탄소 배출량을 C_m^j 로 표기한다면, 위의 가정에 따라 z_{in}^{jk} 에 대응되는 탄소 배출량 c_m^{jk} 는 아래의 식 (3-20)과 같이 나타낼 수 있다.

$$c_m^{jk} = \frac{z_{in}^{jk}}{\sum_{k=1}^K z_{in}^{jk}} \times C_m^j \tag{3-20}$$

유럽연합과 국가 n 의 탄소 가격을 각각 cp_{EU} , cp_n 으로 표기하면 탄소국경조정제도에 적용되는 탄소 단위 배출량 당 부담액 p_n 은 $\min(cp_{EU} - cp_n, 0)$ 이다. 따라서, 국가 n 의 산업 k 에서 유럽연합으로 제품 1달러를 수출할 때 수입 중간재로 인해 부담해야 하는 비용(인증서 구매 비용) $\tau'_{n(f)}^k$ 는 아래의 식 (3-21)과 같이 계산할 수 있다. E_n^k 는 유럽연합으로의 수출액이다. 관세의 개념으로 변환하기 위해 수출액으로 나누어준다.

$$\tau'_{n(f)}^k = \left(\sum_{i \neq n} \sum_{j=1}^J p_i c_{in}^{jk} \right) / E_n^k \quad (3-21)$$

탄소국경조정이 적용되는 국가 n 의 산업 k 에서 탄소 배출로 인해 제품 1달러당 부담하는 총비용(관세)을 $\tau'_{n(c)}^k$, 국가 n 에서 발생하는 탄소 배출로 인해 부담하는 비용(관세)을 $\tau'_{n(d)}^k$ 로 표기한다면 아래의 식 (3-22)와 같은 관계가 성립한다.

$$\tau'_{n(c)}^k = \tau'_{n(d)}^k + \tau'_{n(f)}^k = \tau'_{n(d)}^k + \left(\sum_{i \neq n} \sum_{j=1}^J p_i c_{in}^{jk} \right) / E_n^k \quad (3-22)$$

개념상으로는 $\tau_n^k = \left(\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^J p_i c_m^{jk} \right) / E_n^k$ 의 관계가 성립하지만, 수출에 포함된 국내 탄소 배출량은 데이터가 별도로 주어지고, $\tau'_{n(d)}^k$ 는 해당 데이터와 p_n 을 곱한 후 수출액 E_n^k 로 나눈 값이므로 위의 식 (3-22)와 같이 표시한다. 따라서 유럽연합에 수출되는 국가 n 의 산업 j 제품에 부과되는 관세는 아래의 식 (3-23)과 같이 나타낼 수 있다. τ_n^k 는 탄소국경조정제도가 도입되기 전에 적용되는 관세이다. 식 (3-23)을 살펴보면 중간재를 수출한 국가 i 의 탄소 가격이 높을수록 탄소 비용 부담이 줄어든다는 것을 알 수 있다.

$$\tau_n^k = \tau_n^k + \tau'_{n(c)}^k = \tau_n^k + \tau'_{n(d)}^k + \left(\sum_{i \neq n} \sum_{j=1}^J p_i c_{in}^{jk} \right) / E_n^k \quad (3-23)$$

제2절 분석 결과

NATIONAL ASSEMBLY FUTURES INSTITUTE

1 생산성 분포의 추정

아래에서는 위 모형을 이용한 분석 결과를 제시한다. 먼저, 수식 (3-19)에 기반하여 생산성 분포 θ 를 추정한 결과는 다음의 [표 3-4]와 같다. Caliendo and Parro(2015)와 마찬가지로 유럽연합은 하나의 국가로 포함하였으며, 기타(ROW) 국가는 표본에서 제외하였다.

[표 3-4] 생산성 분포 θ 추정 결과

산업	전체 표본		99% 표본		97.5% 표본	
	θ	표준편차	θ	표준편차	θ	표준편차
D01T03	-0.03	0.39	0.03	0.41	0.52	0.44
D05T08	48.37	6.56	36.83	7.82	26.22	7.57
D10T12	1.07	0.35	1.33	0.36	1.33	0.36
D13T15	3.86	1.22	4.77	1.38	3.88	1.78
D16	17.21	3.03	17.44	3.14	9.57	4.96
D17T18	10.13	2.20	8.86	2.37	9.89	2.58
D19	-4.07	6.50	8.10	7.27	17.17	8.26
D20	0.42	2.07	1.39	2.29	-0.80	2.37
D21	26.06	2.67	31.99	3.17	25.94	5.37
D22	0.85	1.44	0.98	1.55	1.15	1.70
D23	4.98	1.27	4.80	1.27	5.78	1.61
D24	4.42	2.99	1.95	3.14	1.95	3.14
D25	9.00	1.67	11.81	2.09	13.63	2.17
D26	1.42	2.26	4.11	2.65	6.73	3.80
D27	9.15	1.95	8.02	1.92	10.50	2.30

산업	전체 표본		99% 표본		97.5% 표본	
D28	10.05	2.37	9.96	2.31	14.39	2.74
D29	-6.10	1.15	-6.65	1.11	-6.71	1.24
D30	-0.17	2.05	-0.65	2.41	-1.72	2.66
D31T33	2.25	1.81	2.97	1.81	5.44	2.27

자료: 저자 계산.

이후의 분석에는 97.5% 표본을 이용한 추정치를 사용하였다. 일부 추정값이 표본에 따라 부호가 바뀌는데, 이는 원 논문인 Caliendo and Parro(2015)에서도 발생하는 현상이다. 따라서 원 논문에서와 같이 제조업의 평균값으로 0보다 작은 추정치를 대체하여 사용하였다.

2 탄소국경조정제도의 영향

모형은 자국 내 배출량만 고려하는 경우와 해외 배출량까지 고려하는 경우, 그리고 집행위원회 초안과 의회의 수정안으로 나누어 총 4가지 시나리오로 분석하였다([표 3-5]).⁸³⁾ 최근 유럽연합에서 집행위원회 초안의 품목이 최종적으로 합의가 되었으나,⁸⁴⁾ 의회 수정안에 포함된 품목 역시 과도기간이 끝나고 실제로 비용을 부과할 때 포함 여부를 고려하기로 하였기 때문이다. 시나리오별로 탄소국경조정제도에 포함되는 산업에 차이가 있으나 아래의 결과표에서는 비교를 위해 D20~D24를 모두 표시한다.

[표 3-5] 탄소국경조정제도 영향 분석 시나리오

		산업	
		집행위원회 초안 (D20, D23, D24)	의회 수정안 (D20, D21, D22, D23, D24)
배출량	국내	시나리오 1	시나리오 2
	국내 + 해외	시나리오 3	시나리오 4

83) 분류와 관련한 자세한 사항은 [표 2-1] 참고.

84) 집행위원회 초안에 수록된 품목과 수소 관련 품목 등이 포함되었다.

[표 3-6] ~ [표 3-9]에서는 각각의 시나리오에 대해 유럽연합 국가에 대한 각국의 수출액 변화를 나타내었다.⁸⁵⁾ [표 3-6] ~ [표 3-9]를 살펴보면 다음과 같은 경향성을 발견할 수 있다. 첫째, 탄소국경조정제도가 적용되는 산업의 경우, 유럽연합 역내 국가의 대(對) 유럽연합 수출은 증가하지만, 역외 국가의 대(對)유럽연합 수출은 감소한다. 이는 탄소국경조정제도로 인한 역외국의 인증서 부담 비용이 상당한 수준이어서 제도가 일종의 무역장벽으로 작용하기 때문이다. 특히 2021년부터 유럽연합 배출권거래제 4기가 시작되면서 유럽연합의 배출권 가격이 크게 상승하여 분석 결과에 영향을 미쳤다고 볼 수 있다. 이러한 결과는 탄소국경조정제도가 탄소 누출 방지라는 취지가 있지만 동시에 보호무역 기제로도 작용함을 보여준다. 한편, 스위스와 노르웨이는 비유럽연합 국가이지만 탄소국경조정제도의 적용을 받지 않아서 유럽연합 국가와 같이 탄소국경조정제도가 적용되는 산업의 수출량이 증가하는 양상을 보인다.

둘째, 중국, 인도, 튀르키예, 러시아 등 수출액 당 탄소 배출량이 큰 국가들을 중심으로 수출액의 감소 폭이 크게 나타난다(제2장의 논의 참고). 이는 이들 국가가 탄소 배출량이 많을 뿐만 아니라 탄소 가격이 도입되지 않았거나 탄소 가격이 유럽연합보다 매우 낮기 때문이라고 볼 수 있다. 다만, 구체적인 수치는 탄소 배출량과 탄소 가격뿐만 아니라 산업 간 연관관계 등에도 영향을 받으므로 탄소 배출량과 수출액의 감소 폭 사이에 선형 관계가 성립하지는 않는다.

셋째, 우려하는 바와 같이 탄소국경조정제도의 적용을 받는 우리나라의 산업에도 타격이 발생할 것으로 보인다. 다만, 그 정도는 중국, 인도, 튀르키예, 러시아 등 탄소 배출량이 많고 동시에 탄소 가격이 낮은 국가들보다는 작다. 수출액 감소 정도는 해외 배출량까지 포함하면 더 커지는데(시나리오 3, 4), 이는 인증서 비용 설정에 적용되는 탄소 배출량이 증가할 뿐만 아니라 우리나라의 탄소 가격이 다른 국가보다 대체로 낮기 때문이다. 특히 철강 산업(D24에 포함)의 경우 수출액 당 탄소 배출량이 다른 산업에 비해 높으므로 이에 따라 인증서 구매에 따른 기업의 부담이 상당히 높을 것으로 우려된다.

넷째, 시나리오 1과 3에서 유럽연합 국가들은 탄소국경조정제도가 적용되지 않는 산업(D21, D22)의 수출이 감소하는 경향을 보이고 비유럽연합 국가들은 동 산업의 수출이 증가하는 경향을 보인다. 이는 두 가지로 생각해볼 수 있다. 첫째, 국가 내 산업의 개편이다. 분석 모형이 장기 모형이므로 국가별로 경쟁력에 따라 산업이 재편되는 경우를 생각

85) 기타 국가(ROW)는 표시하지 않았음.

해볼 수 있다. 둘째, 모형의 특성이다. 앞서 기술한 바와 같이 균형 및 변화의 도출 과정에서 무역수지를 0으로 고정하는데, 이에 따라 실제 산업의 재편과는 상관없이 모형 내에서 무역수지가 조정될 수 있다. 따라서 이 부분은 해석에 다소 유의가 필요하다.

[표 3-6] 유럽연합에 대한 수출액 변화(% , 시나리오 1)

	산업(탄소국경조정제도: D20, D23, D24 적용)				
	D20	D21	D22	D23	D24
AUS	-0.003	0.195	0.039	-3.675	-0.055
AUT	0.815	-0.519	-0.059	0.633	1.022
BEL	1.233	-0.644	-0.081	1.121	0.653
BRA	-0.226	0.467	0.043	-1.280	-2.171
CAN	-0.012	0.125	0.012	-0.221	0.140
CHE	1.211	-0.575	-0.038	0.981	0.286
CHN	-2.503	0.489	0.035	-4.099	-1.195
CZE	1.444	0.657	-0.049	0.914	1.017
DEU	0.676	-0.467	-0.053	0.578	0.372
ESP	0.648	-0.804	-0.038	0.327	0.769
FIN	-0.046	2.431	-0.136	-0.070	-0.799
FRA	0.734	-0.638	-0.073	0.672	0.968
GBR	0.959	-0.261	-0.038	0.739	0.301
IDN	-1.553	0.480	0.036	-2.609	-0.247
IND	-1.036	0.859	0.054	-6.123	-5.646
IRL	-0.233	-0.127	-0.065	1.200	0.809
ITA	0.577	-0.684	-0.053	0.270	0.264
JPN	-0.703	0.061	0.018	-0.885	-0.049
KOR	-0.325	0.147	0.016	-0.519	-0.341
MEX	-0.781	0.193	0.015	-0.848	-0.245
NLD	0.946	-0.341	-0.068	0.854	1.103
NOR	1.087	-0.093	0.010	0.519	1.188
POL	0.685	1.009	-0.072	0.679	0.749
RUS	-6.752	2.509	0.109	-9.232	-6.939
TUR	-1.683	1.393	0.065	-9.763	-3.326
TWN	-0.612	0.268	0.028	-0.695	-0.961
USA	-0.847	0.281	0.024	-1.343	-0.611

자료: 저자 계산.

- 주: 1) D20(화학물질 및 화학제품 제조업): 비료, 화학제품, 폴리머 제품군을 포함
 2) D21(의료용 물질 및 의약품 제조업): 화학제품을 포함.
 3) D22(고무 및 플라스틱제품 제조업): 탄소국경조정제도 품목 중 폴리머를 포함.
 4) D23(기타 비금속제품 제조업): 탄소국경조정제도 품목 중 시멘트를 포함
 5) D24(1차 금속 제조업): 철강, 알루미늄 제품군을 포함

[표 3-7] 유럽연합에 대한 수출액 변화(% , 시나리오 2)

	산업(탄소국경조정제도: D20~D24 모두 적용)				
	D20	D21	D22	D23	D24
AUS	0.023	-1.942	-0.187	-3.649	-0.040
AUT	0.772	0.809	0.101	0.568	0.973
BEL	1.102	1.177	0.162	1.032	0.574
BRA	-0.203	-0.180	-0.103	-1.302	-2.148
CAN	-0.020	0.698	-0.018	-0.262	0.187
CHE	1.029	1.136	0.133	0.811	0.229
CHN	-2.465	-13.427	-0.910	-4.075	-1.172
CZE	1.499	3.009	0.094	0.926	0.983
DEU	0.625	0.943	0.116	0.561	0.328
ESP	0.485	0.248	0.047	0.096	0.709
FIN	-0.103	2.606	-0.038	-0.106	-0.830
FRA	0.627	0.476	0.101	0.614	0.908
GBR	0.814	0.971	0.106	0.695	0.273
IDN	-1.526	0.623	-1.793	-2.596	-0.230
IND	-0.892	-1.635	-4.075	-6.020	-5.606
IRL	-0.614	-0.687	0.081	0.829	0.632
ITA	0.525	0.645	0.097	0.214	0.221
JPN	-0.706	-2.112	-0.053	-0.884	-0.034
KOR	-0.336	0.033	-0.168	-0.528	-0.326
MEX	-0.731	-0.760	-0.201	-0.869	-0.178
NLD	0.864	2.278	0.086	0.681	1.029
NOR	1.079	2.075	0.126	0.533	1.162
POL	0.630	2.893	0.056	0.639	0.702
RUS	-6.738	-0.719	-2.022	-9.212	-6.933
TUR	-1.620	-1.175	-1.155	-9.735	-3.319
TWN	-0.617	-1.116	-0.217	-0.702	-0.945
USA	-0.702	-4.250	-0.085	-1.214	-0.578

자료: 저자 계산.

- 주: 1) D20(화학물질 및 화학제품 제조업): 비료, 화학제품, 폴리머 제품군을 포함
 2) D21(의료용 물질 및 의약품 제조업): 화학제품을 포함.
 3) D22(고무 및 플라스틱제품 제조업): 탄소국경조정제도 품목 중 폴리머를 포함.
 4) D23(기타 비금속제품 제조업): 탄소국경조정제도 품목 중 시멘트를 포함
 5) D24(1차 금속 제조업): 철강, 알루미늄 제품군을 포함

[표 3-8] 유럽연합에 대한 수출액 변화(% , 시나리오 3)

	산업(탄소국경조정제도: D20, D23, D24 적용)				
	D20	D21	D22	D23	D24
AUS	-0.015	0.211	0.043	-3.972	-0.061
AUT	0.945	-0.583	-0.065	0.664	1.107
BEL	1.432	-0.766	-0.091	1.168	0.723
BRA	-0.362	0.511	0.048	-1.340	-2.344
CAN	-0.095	0.182	0.015	-0.332	-0.085
CHE	1.201	-0.588	-0.037	0.010	0.295
CHN	-2.682	0.512	0.037	-4.216	-1.232
CZE	1.653	0.697	-0.054	0.972	1.102
DEU	0.782	-0.552	-0.060	0.599	0.410
ESP	0.750	-0.934	-0.042	0.336	0.841
FIN	0.001	2.503	-0.146	-0.073	-0.805
FRA	0.858	-0.726	-0.083	0.704	1.050
GBR	1.117	-0.275	-0.043	0.780	0.297
IDN	-1.788	0.527	0.039	-2.638	-0.257
IND	-1.442	0.952	0.061	-6.454	-5.793
IRL	-0.287	-0.136	-0.076	1.267	0.920
ITA	0.678	-0.800	-0.061	0.274	0.292
JPN	-0.904	0.111	0.023	-1.145	-0.112
KOR	-0.614	0.275	0.023	-0.613	-0.522
MEX	-1.201	0.253	0.017	-0.944	-0.333
NLD	1.098	-0.397	-0.076	0.900	1.205
NOR	0.661	0.033	0.017	-0.705	0.315
POL	0.806	1.066	-0.079	0.717	0.825
RUS	-6.885	2.548	0.113	-9.407	-7.019
TUR	-2.242	1.574	0.076	-10.119	-3.929
TWN	-0.832	0.392	0.034	-0.840	-1.226
USA	-0.946	0.330	0.027	-1.472	-0.830

자료: 저자 계산.

- 주: 1) D20(화학물질 및 화학제품 제조업): 비료, 화학제품, 폴리머 제품군을 포함
 2) D21(의료용 물질 및 의약품 제조업): 화학제품을 포함.
 3) D22(고무 및 플라스틱제품 제조업): 탄소국경조정제도 품목 중 폴리머를 포함.
 4) D23(기타 비금속제품 제조업): 탄소국경조정제도 품목 중 시멘트를 포함
 5) D24(1차 금속 제조업): 철강, 알루미늄 제품군을 포함

[표 3-9] 유럽연합에 대한 수출액 변화(% , 시나리오 4)

	산업(탄소국경조정제도: D20~D24 모두 적용)				
	D20	D21	D22	D23	D24
AUS	0.013	-2.248	-0.252	-3.943	-0.046
AUT	0.898	0.852	0.118	0.591	1.053
BEL	1.283	1.261	0.184	1.068	0.634
BRA	-0.339	-0.177	-0.148	-1.363	-2.320
CAN	-0.098	0.299	-0.044	-0.370	-0.035
CHE	1.082	0.601	-0.140	-0.100	0.251
CHN	-2.645	-13.808	-0.978	-4.191	-1.209
CZE	1.714	3.352	0.109	0.985	1.062
DEU	0.726	0.975	0.131	0.579	0.361
ESP	0.569	0.207	0.056	0.080	0.774
FIN	-0.064	2.681	-0.034	-0.114	-0.841
FRA	0.738	0.511	0.115	0.638	0.982
GBR	0.953	1.080	0.123	0.731	0.266
IDN	-1.760	0.688	-1.972	-2.624	-0.240
IND	-1.280	-1.982	-4.342	-6.337	-5.748
IRL	-0.703	-0.700	0.092	0.865	0.725
ITA	0.619	0.663	0.110	0.211	0.242
JPN	-0.907	-2.484	-0.088	-1.143	-0.096
KOR	-0.624	-0.433	-0.294	-0.618	-0.505
MEX	-1.147	-1.218	-0.249	-0.964	-0.262
NLD	1.002	2.563	0.101	0.703	1.119
NOR	0.657	1.044	-0.060	-0.687	0.285
POL	0.741	3.181	0.067	0.670	0.771
RUS	-6.871	-0.709	-2.184	-9.385	-7.013
TUR	-2.168	-1.358	-1.603	-10.081	-3.921
TWN	-0.836	-1.220	-0.339	-0.844	-1.209
USA	-0.796	-4.428	-0.113	-1.338	-0.795

자료: 저자 계산.

주: 1) D20(화학물질 및 화학제품 제조업): 비료, 화학제품, 폴리머 제품군을 포함

2) D21(의료용 물질 및 의약품 제조업): 화학제품을 포함.

3) D22(고무 및 플라스틱제품 제조업): 탄소국경조정제도 품목 중 폴리머를 포함.

4) D23(기타 비금속제품 제조업): 탄소국경조정제도 품목 중 시멘트를 포함

5) D24(1차 금속 제조업): 철강, 알루미늄 제품군을 포함

분석 결과를 해석할 때 다음과 같은 사항에 대해서는 주의가 필요하다. 첫째, 분석 결과는 단기적인 충격을 과소평가할 우려가 있다. 이는 앞서 논의한 바와 같이 분석 모형이 장기 모형이기 때문이다.

둘째, 분석 결과는 각 산업에 대한 영향을 과대평가할 가능성이 있다. 이는 제2장에서 논의한 바와 같이 각 산업(D20~D24)에는 탄소국경조정제도의 적용을 받는 품목과 그렇지 않은 품목이 혼재되어 있기 때문이다. 탄소국경조정제도는 품목을 기준으로 하지만 분석은 산업을 기준으로 하므로 이러한 현상이 발생한다. 다만, 향후 제도 적용 품목이 증가할 수 있음을 고려한다면 이는 큰 문제가 되지는 않을 것으로 보인다.

셋째, 유럽연합 국가 가운데 일부는 기타 국가(ROW)에 포함되어 있는데, 이들 국가에는 실제로는 탄소국경조정제도가 적용되지 않으나 모형에서는 적용되므로 이에 따른 왜곡의 여지가 있다. 다만, 제2장에서의 분석 결과 등을 토대로 무역량이 큰 국가들은 표본에 포함되었으므로 이 역시 결과에 유의미한 영향을 미치지 않을 것으로 볼 수 있다.

3 기후변화 대응기술의 효과

아래에서는 기후변화 대응기술의 육성이 탄소국경조정제도로 인한 타격을 어떻게 완화할 수 있을지 살펴본다. 단기적으로는 이주관 외(2021) 등에서 논의한 바와 같이 관련 산업에 대한 보조금 지급 등을 검토할 수 있으나, 장기적으로는 기후변화 대응기술을 통해 탄소 배출량을 줄임으로써 유럽 시장에서의 경쟁력을 강화해야 한다. 현재는 유럽연합만 탄소국경조정제도를 도입하려 하지만, 장기적으로는 미국 등 다른 주요국들도 비슷한 제도를 도입할 가능성이 있다는 점에서 기후변화 대응기술의 육성은 더욱 근본적인 해결책이다. 또한, 기후변화 대응기술의 육성은 장기적으로 탄소중립을 실현하기 위한 방안이기도 하다.

제4장에서 논의하듯이 기후변화 대응기술은 분야와 범위가 매우 다양하다. 따라서 아래의 분석에서는 모형의 맥락에서 기후변화 대응기술의 효과를 분석하기 위해 이를 단순화하여 기후변화 대응기술이 전 산업에 걸쳐 탄소 배출량을 일정 비율 감소시킬 수 있다고 가정한다. 이러한 가정은 서로 다른 기후변화 대응기술이 발달하여 산업 전반에 걸쳐 탄소 배출량이 감소하는 것으로 해석할 수 있다.

한편, 앞선 분석에서 알 수 있듯이 해외 탄소 배출량을 분석에 포함하면 대체로 수출량의 변화가 더 크게 나타나지만 변화 양상 자체는 크게 변하지 않는다. 또한, 아래의 분석에서 논의하는 기후변화 대응기술을 발전은 우리나라에만 적용한다. 따라서 기후변화 대응기술의 발전과 관련한 아래의 분석에서는 국내 탄소 배출량(시나리오 1, 2)만 고려한다.

앞서 논의한 바와 같이 본 분석 모형은 초기 균형으로부터의 변화(%)를 살펴본다. 따라서, 초기 균형의 설정에 따라 결과가 달라진다. 아래의 분석에서는 이를 고려하여 초기 균형을 1) 탄소국경조정제도 적용과 2) 탄소국경조정제도 적용 이전으로 구분한다. 각각의 경우에 대해 탄소국경조정제도가 적용되며 기후변화 대응기술이 우리나라 산업 전반에 걸쳐 탄소 배출량을 각각 10%, 30%, 50% 감소시키는 경우를 가정한다. 이는 [표 3-10]에 정리한 바와 같다.

[표 3-10] 기후변화 대응기술 영향 분석 시나리오

		산업	
		집행위원회 초안 (D20, D23, D24)	의회 수정안 (D20, D21, D22, D23, D24)
초기균형 (탄소국경조정)	도입	시나리오 1	시나리오 2
	도입 이전	시나리오 3	시나리오 4

탄소국경조정제도가 이미 도입된 상황을 가정하고 기후변화 대응기술의 효과를 논의하는 것은 기술의 발전이 중장기적이라는 점에서 타당성을 갖는다(시나리오 1, 2). 시나리오별 분석 결과는 아래의 [표 3-11], [표 3-12]에 정리한 바와 같다. 우리나라의 산업에 대한 영향을 분석하므로 다른 국가는 표시하지 않았다. 예상할 수 있는 바와 같이 탄소국경조정제도가 적용되는 산업에서는 기후변화 대응기술을 통한 탄소 배출량 감소 폭이 클수록 유럽연합에 대한 수출량이 증가하는 것을 볼 수 있다. [표 3-11]에서 탄소국경조정제도가 적용되지 않는 산업 D21과 D22에서는 수출량이 감소하는데, 이는 앞서 논의한 바와 같이 장기적으로 경쟁력 변화에 따른 산업 구조 재편의 영향일 수도 있고, 모형의 균형을 구하는 과정에서 적용된 제약의 영향일 수도 있으므로 해석에 유의가 필요하다.

[표 3-11] 기후변화 대응기술과 수출량 변화(% , 시나리오 1)

		산업(탄소국경조정제도: D20, D23, D24 적용)				
		D20	D21	D22	D23	D24
배출량 감소	10%	0.040	-0.025	-0.001	0.052	0.056
	30%	0.121	-0.076	-0.003	0.159	0.168
	50%	0.203	-0.128	-0.005	0.269	0.283

자료: 저자 계산.

- 주: 1) D20(화학물질 및 화학제품 제조업): 비료, 화학제품, 폴리머 제품군을 포함
 2) D21(의료용 물질 및 의약품 제조업): 화학제품을 포함.
 3) D22(고무 및 플라스틱제품 제조업): 탄소국경조정제도 품목 중 폴리머를 포함.
 4) D23(기타 비금속제품 제조업): 탄소국경조정제도 품목 중 시멘트를 포함
 5) D24(1차 금속 제조업): 철강, 알루미늄 제품군을 포함

[표 3-12] 기후변화 대응기술과 수출량 변화(% , 시나리오 2)

		산업(탄소국경조정제도: D20~D24 모두 적용)				
		D20	D21	D22	D23	D24
배출량 감소	10%	0.039	0.152	0.021	0.051	0.055
	30%	0.119	0.406	0.063	0.156	0.167
	50%	0.199	0.663	0.105	0.264	0.281

자료: 저자 계산.

- 주: 1) D20(화학물질 및 화학제품 제조업): 비료, 화학제품, 폴리머 제품군을 포함
 2) D21(의료용 물질 및 의약품 제조업): 화학제품을 포함.
 3) D22(고무 및 플라스틱제품 제조업): 탄소국경조정제도 품목 중 폴리머를 포함.
 4) D23(기타 비금속제품 제조업): 탄소국경조정제도 품목 중 시멘트를 포함
 5) D24(1차 금속 제조업): 철강, 알루미늄 제품군을 포함

한편, 위의 분석 결과는 기후변화 대응기술의 발달이 탄소국경조정제도로 인한 유럽연합 수출량 감소 극복에 도움이 된다는 것을 보여주지만, 모형의 초기 균형이 탄소국경조정제도가 적용된 이후이므로 현시점에서 수출이 어떻게 변화하는지를 살펴보기에는 어려움이 있다. 따라서, 아래의 [표 3-13], [표 3-14]에서는 시나리오 3, 4에 따라 기후변화 대응기술을 통한 배출량 감소가 탄소국경조정제도 도입 이전을 기준으로 제도와 결합하여 어떠한 효과를 가지는지 살펴보았다.

[표 3-13], [표 3-14]에 나타난 시나리오 3, 4의 분석 결과의 경향성은 [표 3-11], [표 3-12]에 나타난 경향성과 같다. 기후변화 대응기술의 발전에 따른 탄소 배출량 감소 폭이 커질수록 탄소국경조정제도로 인한 부정적인 영향이 일정 부분 상쇄된다. 다만, 배출량이 50% 감소하더라도 제도 도입 이전과 비교하면 유럽연합 수출은 여전히 줄어든다.

[표 3-13] 기후변화 대응기술과 수출량 변화(% , 시나리오 3)

		산업(탄소국경조정제도: D20, D23, D24 적용)				
		D20	D21	D22	D23	D24
배출량 감소	0%	-0.325	0.147	0.016	-0.519	-0.341
	10%	-0.286	0.123	0.015	-0.472	-0.289
	30%	-0.208	0.074	0.013	-0.376	-0.184
	50%	-0.129	0.025	0.011	-0.278	-0.076

자료: 저자 계산.

- 주: 1) D20(화학물질 및 화학제품 제조업): 비료, 화학제품, 폴리머 제품군을 포함
 2) D21(의료용 물질 및 의약품 제조업): 화학제품을 포함.
 3) D22(고무 및 플라스틱제품 제조업): 탄소국경조정제도 품목 중 폴리머를 포함.
 4) D23(기타 비금속제품 제조업): 탄소국경조정제도 품목 중 시멘트를 포함
 5) D24(1차 금속 제조업): 철강, 알루미늄 제품군을 포함

[표 3-14] 기후변화 대응기술과 수출량 변화(% , 시나리오 2)

		산업(탄소국경조정제도: D20~D24 모두 적용)				
		D20	D21	D22	D23	D24
배출량 감소	0%	-0.336	0.033	-0.168	-0.528	-0.326
	10%	-0.298	0.185	-0.147	-0.482	-0.274
	30%	-0.222	0.442	-0.106	-0.387	-0.169
	50%	-0.145	0.701	-0.065	-0.290	-0.062

자료: 저자 계산.

- 주: 1) D20(화학물질 및 화학제품 제조업): 비료, 화학제품, 폴리머 제품군을 포함
 2) D21(의료용 물질 및 의약품 제조업): 화학제품을 포함.
 3) D22(고무 및 플라스틱제품 제조업): 탄소국경조정제도 품목 중 폴리머를 포함.
 4) D23(기타 비금속제품 제조업): 탄소국경조정제도 품목 중 시멘트를 포함
 5) D24(1차 금속 제조업): 철강, 알루미늄 제품군을 포함

위의 분석에서는 단순화를 위해 다른 국가들의 기후변화 대응기술의 발전은 없다고 가정하였으나, 우리나라의 기후변화 대응기술이 다른 국가의 기후변화 대응기술보다 빠르게 발전하여 탄소 배출량을 더 많이 감축할 수 있다면 위의 논의는 여전히 성립한다고 볼 수 있다. 구체적인 수출량 변화는 각국 탄소 가격의 변화, 유럽 시장에서의 경쟁 구도의 변화 등에 따라 달라질 수 있으나, 위의 분석 결과는 기후변화 대응기술의 육성이 탄소국경조정제도 대응에 있어 상당히 중요하다는 것을 보여준다. 제4장에서는 기후변화 대응기술에 대해 구체적으로 논의한다.

제4장

기후변화로 인한 공급망 취약성 관련 기술개발

- 제1절 공급망 취약성과 기후변화 대응기술
- 제2절 공급망 관련 기술분류체계 및 투자현황
- 제3절 공급망 기후기술 특허출원 현황
- 제4절 공급망 취약성 관련 기후기술의 변화

본 장에선 글로벌 공급망 재개편과 관련하여 첨예한 국제경쟁 및 갈등이 예상되는 기후 기술을 발굴하고 공급망 복원력 강화를 위해 어떠한 기후기술들이 첨단기술로 주목받고 부상해 왔는지 살펴보고자 한다. 이를 위하여 본 연구는 (1) 기후변화의 영향을 받는 글로벌 공급망 관련 기술(이후 ‘공급망 기후기술’로 표기)을 정의하고, (2) 해당 기술개발 현황을 분석하였으며, (3) 기후기술 특히 데이터를 활용해 시기별 기술개발 변화와 국가 간의 이동성 및 영향 관계를 분석하고, (4) 떠오르는 첨단 기후기술을 조사하며, 국내 해당 기술 보유 기업의 해외 진출 가능성에 대한 시사점을 도출하였다. 이러한 분석 결과를 토대로 국내 공급망 복원력 강화를 위한 기술개발 및 산업 발전전략을 도출하고, 국가 간 협력 사업 발굴에 관한 방향성을 제시하고자 한다.

제 1 절

공급망 취약성과 기후변화 대응기술

NATIONAL ASSEMBLY FUTURES INSTITUTE

공급망 취약성에 영향을 주는 대외적인 여건 변화인 코로나19 발생과 러시아의 우크라이나 침공, 미중 패권 경쟁 및 브렉시트 등의 지정학적 여건 변화와 디지털화 및 녹색전환 등의 글로벌 경제 패러다임 전환 환경은 기후변화 요소와 결합하여 새로운 정책환경을 형성한다. 이러한 대외적 여건(코로나19 팬데믹, 우크라이나 전쟁 등)으로 자국 산업을 보호하려는 경향이 증가하면 기후변화의 완화 및 적응 정책을 이행하는 과정에서 관련 산업의 경쟁력을 강화하기 위한 무역 조건 및 공급망의 개편이 일어날 수 있다. 다른 한편으로, 기상재난 등 자연환경 제약 요인은 갑작스러운 공급망 단절(사고)이 발생할 가능성을 높인다는 측면에서 기후변화 자체가 공급망 리스크를 전반적으로 증강하는 여건으로 작용하기도 한다. 이렇게 기후변화에 기인하거나 기후변화 대응 목적의 정책이 공급망 개편에 긴밀하게 연결되는 정책영역을 아래와 같이 5개의 이슈로 나누어 살펴보았다. 아래의 이슈들은 기후변화 요인이 작용하는 공급망 이슈이며 각 이슈와 연관된 기후변화 대응기술은 배타적이지 않고 일부 중첩되는 영역이 존재할 수 있다.

가. 탄소국경조정제도

유럽의 Fit for 55 입법 패키지는 2030년 탄소 배출량을 1990년 대비 55% 감축하겠다는 목표를 달성하기 위한 내용을 담고 있으며 탄소국경조정제도(Carbon Border Adjustment Mechanism; CBAM)는 그 핵심내용 중 하나이다. 탄소국경조정제도는 유럽연합 국가에서만 설정 목표량만큼 탄소 배출을 감축하는 것이 아니라, 유럽 국경을 넘나드는 탄소누출을 막음으로써 유럽연합을 포함하여 이와 관련된 공급망 전체에서 탄소 배출을 저감하려는 목적으로 도입되었다. 탄소국경조정제도는 기후변화 완화(mitigation) 정책의 확장성을 도모한다는 측면에서 국제 환경정책상 긍정적으로 해석할 수 있다. 반면에 유럽연합의 공급망에 포함되지만 해당 정책에 대한 대비도가 낮은 국가에는 무역장벽으로 작용하며, 보호무역을 허용하는 유럽연합의 정책적 수단일 수도 있다는 입장이 존재한다. 즉, 기업의 탄소 직접배출량(scope 1)과 재생에너지 사용 비중(scope 2) 및 중간재에 포함된 탄소 배출량(scope 3)에 따라 무역 경쟁력에 차이가 생기며, 이때 재생원료 생산 기술을 포함한 탄소 배출 저감기술이 경쟁력 확보에 유의미한 영향을 줄 수 있다.

나. 에너지 안보

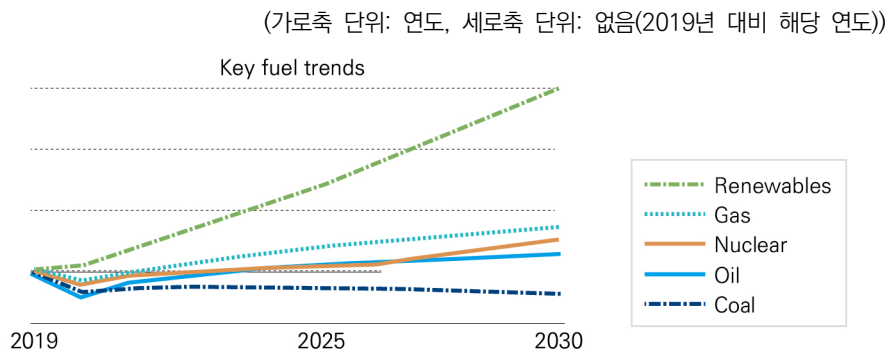
기후변화는 에너지 수요와 공급에 영향을 줄 수 있으며 김은아 외(2020)의 연구에서는 에너지 공급 안정성에 관한 국내 정책 대응이 미흡함을 지적한 바 있다. 에너지 안보 리스크는 화석연료 공급망 취약성과 연계되어 있으며, 2022년에 일어난 우크라이나 전쟁의 여파로 전 세계 주요 국가들이 이러한 에너지 안보에서 취약함을 드러내었다. 이처럼 에너지 안보의 심각성이 증가함에 따라 기존의 탈석탄 및 신재생에너지 확대 기조의 기후변화 완화정책에 일부 제동이 걸리고 있다(IEA, 2022). 우리나라 정부 또한 지속적으로 증가하는 에너지 수요(산업통상자원부, 2020)를 만족하면서 탄소중립 목표를 달성하기 위하여 원전, 재생, 수소에너지의 에너지 믹스를 재조정하겠다는 계획⁸⁶⁾을 발표하였다. 한편, 2022년 6월에 미국의 주도로 개최된 '에너지 및 기후에 관한 주요 경제국 포럼(The Major Economies Forum on Energy and Climate; MEF)'에서는 에너지 안보를 주요 주제로 다루었으며 포럼 참가국들은 에너지 안보를 강화하기 위하여 탄소중립 핵심기

86) 산업통상자원부 보도자료(2022.08.30.), 「제10차 전력수급기본계획 총괄분과위 실무안 공개」 내용을 참고함.

술 상용화 촉진, 탄소 무배출 이동원 증가를 위한 이니셔티브에 동참하기로 하였다⁸⁷⁾. 이렇게 에너지 안보를 달성하기 위한 대응 전략으로 무탄소 비재생 에너지인 원자력 에너지를 활용하거나 신재생에너지를 더욱 신속하게 확대 보급하는 방안을 동시에 추진하고 있다. 에너지 공급 측면의 전략뿐만 아니라 에너지 저장·수송 관련 기술 및 에너지 수요정책 또한 에너지 안보 향상에서 주요한 부분을 구성한다.

다. 친환경 화석연료 공급

천연가스는 석탄·석유에 비해 1GWh당 배출되는 이산화탄소의 양이 적어 상대적으로 ‘친환경적인 화석연료’로 인식된다. IEA(2020)의 세계 에너지수요 전망(World Energy Outlook 2020)에 따르면 2019~2030년 사이 에너지수요[그림 4-1] 비중에서 석탄은 2019년 대비 45% 감소하는 반면, 천연가스의 비중은 2019년 대비 14% 증가할 것으로 전망된다. 그러나 2022년 러시아의 우크라이나 침공은 기후변화 대응, 특히 화석연료 의존을 줄이려는 정책 방향을 우회하게 만드는 돌발변수로 작용하였다. [그림 4-2]에서 2010년부터 현재까지 월별 석탄과 천연가스 가격지수 추이가 2021년부터 전반적인 급상승 추세를 확인할 수 있으며, 특히 천연가스는 2022년 이후 전례 없는 상승 폭을 보인다. 분기 단위 데이터에서 2022년 2분기 천연가스와 석탄의 가격지수는 외환위기 때 기록한 최고치의 1.5~2.1배에 달한다.

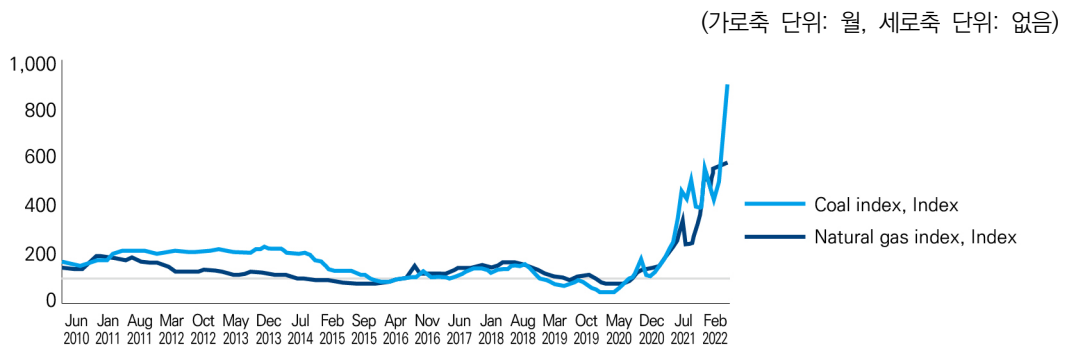


[그림 4-1] 현 정책 시나리오(Stated Policies Scenario) 기반 주요 연료 수요 추이

출처: IEA (2020) p. 163

87) 백악관의 “Chair’s summary of the Major Economies Forum on Energy and Climate held by president Joe Biden(2022.06.18.)” 내용을 참고함.

이처럼 우크라이나 전쟁으로 러시아산 '친환경 화석연료'에 의존하는 에너지 생산계획에 변경이 필요한 상황이다. 즉, 천연가스 화력발전 등 천연가스를 사용한 산업 및 에너지 생산시설 투자와 관련하여 기술 집중도의 상대적 감소 또는 다른 화석연료 사용 기술이나 신재생에너지 발전기술로 투자 전이가 예상된다. 따라서 친환경 화석연료 의존성과 관련한 공급망 취약성은 직접적으로 관련기술 개발에 변화를 일으킬 뿐만 아니라, 간접적으로 연관된, 즉 에너지수요 차원에서 대체재에 해당하는 연료를 사용하는 기술 등에도 영향을 미치므로 기술현황 분석 결과의 해석에서 이 점을 고려할 필요가 있다.



[그림 4-2] 석탄, 천연가스 가격변동 추이

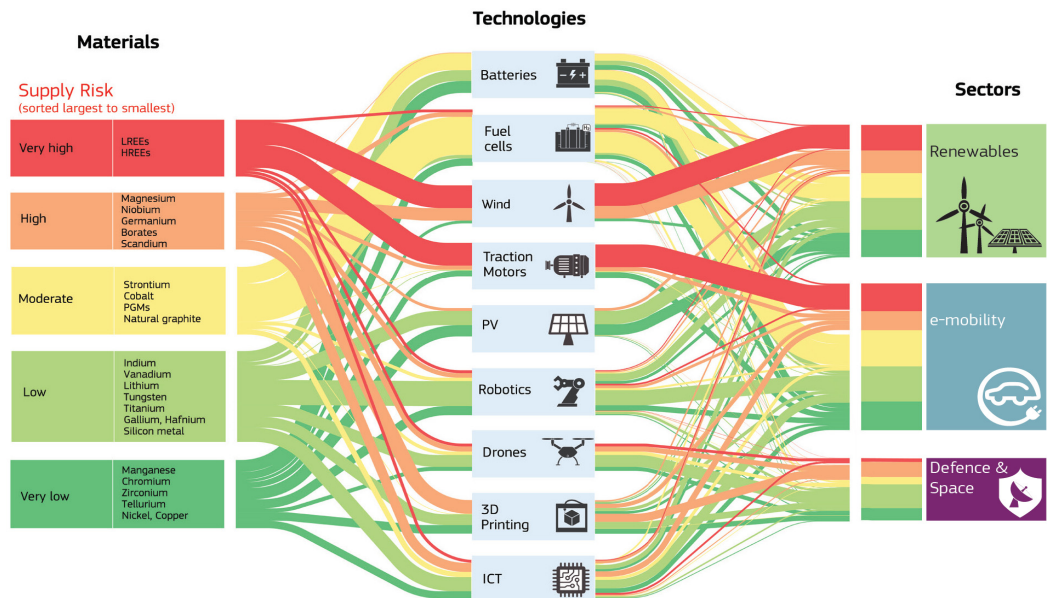
출처: <https://data.imf.org/>, 검색일: 2022.09.26.

라. 금속·광물 자원 안보

전 세계적으로 진행되는 인플레이션과 원자재가격 급등(그림2)에 따라 금속·광물자원의 해외의존도가 높은 우리나라는 해당 자원이 전략 물자화될 경우 산업경쟁력에 끼치는 영향이 매우 크다. 특히 태양광 발전 소재에 들어가는 메탈실리콘이나 전기자동차 배터리 생산에 필요한 리튬, 코발트 등의 공급망 리스크는 기후변화 대응에도 악영향을 미칠 수 있다.

유럽 위원회는 전략기술 및 산업에 필요한 금속자원 공급망 리스크를 매우 높음/높음/보통/낮음/매우 낮음으로 구분하여 분석한 결과를 발표하였다(Bobba et al., 2020). 분석 결과, 기후기술 산업에 해당하는 재생에너지(Renewables)와 전기 이동원(e-mobility)은 공급망 리스크가 매우 높거나 높은 수준의 금속 원소를 상당 부분 포함한다. 동 보고서

에서 우리나라가 속하는 “중국, 일본을 제외한 아시아 국가(rest of Asia)”의 경우, ‘천연 자원→원재료 가공→소재부품 생산→제품생산’으로 이어지는 가치사슬에서 차지하는 비중이 전반적으로 미미하였으며, 연료전지와 로봇을 제외한 모든 기술군에서 중국에 대한 의존도가 압도적으로 높아 공급망 리스크가 높음을 확인하였다. 이러한 리스크를 줄이기 위하여 폐자원 재활용과 자원탐사 및 자원 개발·처리 기술을 활용하여 부족한 천연자원 보유량을 늘리거나 도시광산을 개발함으로써 금속·광물 수요 증가에 일부 대응이 가능할 것으로 본다.



[그림 4-3] 미래 기술과 산업에 사용되는 원료의 공급망 리스크

출처: Bobba S. et al., (2020), p. 10

마. 기후변화 적응

최근 기후변화에 관한 정부 간 협의체(IPCC)에서 발간한 기후변화 영향, 적응, 취약성에 관한 평가보고서(IPCC, 2022)에서도 기후변화는 전 세계적으로 공급망 리스크를 높일 수 있다고 분석하였다. 기후변화로 인한 기상재해는 농수산물 생산에 직접적인 영향을 주는 위험 요소이며(김은아 외, 2020), 우크라이나 전쟁은 에너지 안보뿐만 아니라 식량 안보에도 위험 요소로 작용할 것(서상현, 2022)으로 전망되었다. 한편, 우리나라는 OECD 국가 중 식량의 해외의존도가 가장 높고(서상현, 2022) 관련 기후변화 적응 정책 준비도가 미흡하여(김은아, 2022) 식량 공급망 리스크가 높다고 볼 수 있다. 이러한 공급망 리스크를 저감하기 위한 기후기술로서 식량작물 품종개량·재배, 수산자원 개발과 같이 식량자원 공급을 다각화하고 기후변화로 인한 피해를 줄이는 기술이나 기상재해를 감시·예측하여 대비하는 기후변화 적응기술 등을 활용할 수 있다.

제2절

공급망 관련 기술분류체계 및 투자현황

NATIONAL ASSEMBLY FUTURES INSTITUTE

1 공급망 기후기술 분류체계 정의

제1절에서 기후변화에 기인하거나 기후변화 대응 목적의 정책이 공급망 개편에 긴밀하게 연관된 정책영역으로 도출한 (1) 탄소국경조정, (2) 에너지 안보, (3) 친환경 화석연료 공급, (4) 금속·광물자원 안보, (5) 기후변화 적응에 대하여, 본 절에서는 각각의 정책영역과 매칭할 수 있는 유관기술 분류체계를 검토하였다.

기술-공급망 간의 연계성을 다루는 해석 방안은 광범위하며, 그 가운데 본 연구는 기후변화 대응 특허(CPC-Y)를 중심으로 정책영역과 기술을 연결하는 방법을 사용하였다. 특허 정보는 기술분석에서 다양한 각도로 해석할 수 있는 여지가 있는데 하나는 핵심기술 요소를 보호할 목적으로 선제적으로 등록된 산업지식재산권으로서 후행적 성격의 기술 분석에 활용하는 경우이다. 다른 하나는 연구개발 결과물로서 해당 분야에 대한 미래 성장 가능성과 연계하여 분석하는 경우이다. 이처럼 현재 기준의 특허 정보는 과거-현재-미래 기술 투자에 관한 정보를 연결할 수 있다는 점에서 활용도가 높다. 본 연구에서는 산업지식재산권 관점에서 특허를 현재 기준의 산업 규모 비교를 위하여 활용하였고, 연구개발 성과물로서 특허출원 성과를 연구개발 과제 투자정보를 분석하는 데 활용하였다.

아래 [표 4-1]은 기후변화와 연결된 공급망 이슈 또는 정책영역에 해당하는 기술을 국가중점과학기술 분류체계와 기후변화 대응 특허 분류체계에서 추출하여 정리한 결과를 보여준다. 여기서 결과적으로 도출된 기술군을 ‘공급망 기후기술’로 정의하였다. 국가중점과학기술 분류체계에 기반한 연구개발 현황은 국가과학기술정보서비스(NTIS)의 데이터베이스를 이용하여 2018~2020년 최근 3년간 과제 투자정보를 분석하였다. 산업은 장기적 현황을 분석하기 위해 2006~2021년까지의 최근 15년간 약 380만 건의 기후변화 대응 특허 정보를 2022년 3월 기준으로 취합하여 분석하였다.

[표 4-1] 공급망 기후기술 분류체계

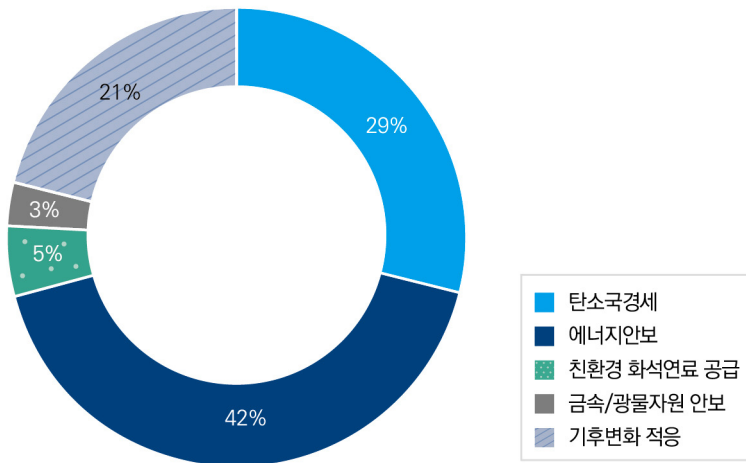
구분	국가중점과학기술	기후변화 대응 특허 분류
1. 탄소 국경조정		
1-01. 철강(금속가공)	친환경 고효율 자동차(5-3-2) 3D 프린팅 장비·소재(5-5-3) 고성능 금속소재(6-2-1)	P10/10, P10/122, P10/134, P10/143, P10/146
1-02. 석유화학, 바이오, 촉매	기능성 유기소재(6-1-1) 친환경 바이오소재(6-1-2) 다기능 융·복합소재(6-4-1)	P20/00, P20/10, P20/129, P20/133, P20/151, P20/155, P20/156, P20/20, P20/30, P20/40, P20/50, P20/52, P20/54, P20/55, P20/582, P20/584, P20/59, P30/00, P30/20, P30/40
1-03. 시멘트	친환경 다기능 건설재료(1-1-2) 친환경·스마트 플랜트 기반(5-2-2)	P40/00, P40/10, P40/121, P40/125, P40/18, P40/40, P40/45, P40/50, P40/57, P40/60
1-04. 온실가스 포집 또는 처리	이산화탄소 포집·저장·이용(9-5-3)	C20/00, C20/10, C20/20, C20/30, C20/40, E20/00, E20/12
2. 에너지 안보		
2-01. 원자력 에너지	원자력 에너지(9-3-1) 원자력 환경방호(9-3-2) 핵융합에너지 기술(9-4-1) 차세대가속기 기술(9-4-2)	E30/00, E30/10, E30/30
2-02. 신재생에너지	고효율 태양전지(9-2-4) 풍력발전(9-2-5) 지열에너지(9-2-3) 해양에너지(9-2-7) 바이오 및 폐자원 에너지화(9-2-2) 수소·연료전지(9-2-6)	E10/00, E10/50, E10/52, E10/541, E10/542, E10/543, E10/544, E10/545, E10/546, E10/547, E10/548, E10/549, E10/56, E10/60, E10/70, E10/72, E10/727, E10/728, E10/74, E10/76, E10/10, E10/30, E50/10, E50/30, E60/32, E60/34, E60/36, E60/50, E60/60
2-03. 에너지 저장	대용량 장수명 이차전지(9-1-1)	E60/00, E60/10, E60/13, E60/14, E60/16
2-04. 에너지 송배전	무선 전력전송·충전(9-1-2) 고효율 전력수송(9-1-4) 스마트 에너지그리드(9-1-3)	E40/10, E40/20, E40/30, E40/40, E40/50, E40/60, E40/70, S10/00, S10/12, S10/123, S10/126, S10/14, S10/16, S10/18, S10/20, S10/22, S10/30, S10/40, S10/50, S10/52, S20/00, S20/12, S20/14, S20/20, S20/221, S20/222, S20/242, S20/244, S20/246, S20/248, S20/30, S30/10, S30/12, S30/14, S40/00, S40/12, S40/121, S40/124, S40/126, S40/128, S40/18, S40/20, S50/00, S50/10, S50/12, S50/14, S50/16
2-05. 수송교통	스마트 도로교통(1-4-1) 스마트 자동차(5-3-1) 스마트 철도교통(1-4-2) 지능형 물류체계기술(1-4-3)	T10/60, T10/62, T10/64, T10/70, T10/7072, T10/72, T90/10, T90/12, T90/14, T90/16, T10/80, T10/82, T10/84, T10/86, T10/88, T10/90, T10/92, T30/00, T50/00, T50/10, T50/30, T50/40, T50/50, T50/60, T50/678, T50/80, T70/00, T70/10

구분	국가중점과학기술	기후변화 대응 특허 분류
2-06. 건물에너지	지능형 건물관리기술(1-1-1) 스마트홈(1-1-3) 스마트 팩토리(5-5-1)	B10/10, B10/20, B10/30, B10/40, B10/50, B10/70, B90/10, B20/00, B20/30, B20/40, B20/72, B30/00, B30/12, B30/13, B30/17, B30/18, B30/52, B30/54, B30/56, B30/62, B30/625, B30/70, B30/90, B70/30, B70/3225, B70/34, B90/20, B80/00, B80/10, B80/22, B80/32, B90/00, D10/00, D30/00, D30/50, D30/70, B40/00, B40/18, B50/00, B70/00, B70/10
3. 친환경 화석연료 공급		
3-01. 청정연료 활용 및 열병합 발전	고효율 가스발전(9-2-1)	E50/00, E20/14, E20/16, E20/18, E20/30
3-02. 내연 기관(ICE) 기반 수송시스템	미세먼지 등 대기오염 대응기술(10-1-1) 고효율 친환경 Non-CO2 온실가스 저감(10-1-3)	T10/10, T10/12, T10/30, T10/40, T70/50, T70/5218, T70/5236, T90/00
4. 금속/광물자원 안보		
4-01. 공급원료	지능형 융합 자원탐사(9-5-1) ICT기반 자원 개발·처리(9-5-2)	P10/20, P10/25, P10/32, P20/141, P20/143, P20/145
4-02. 재사용, 재활용	폐자원 재활용(10-4-3)	W30/50, W30/52, W30/56, W30/58, W30/60, W30/62, W30/64, W30/66, W30/74, W30/78, W30/80, W30/82, W30/84, W30/91
5. 기후변화 적응		
5-01. 농업	저항성 및 고기능성 품종개발(7-1-1) 친환경 맞춤형 신재배기술(7-1-2) 스마트팜(7-1-3) 유용유전자 및 유전자원 개발(7-1-4) 친환경 사양기술(7-1-5) 동물 질병 통제(7-1-6)	A40/00, A40/10, A40/13, A40/132, A40/135, A40/138, A40/146, A40/20, A40/25, A40/28, A40/51, A40/58, P60/22
5-02. 어업 관리	ICT 기반 수산양식 및 수산자원 개발(7-1-7)	A40/81, A40/818
5-03. 모니터링	기후변화 감시·예측·적응(10-1-2) 자연재해 감시·예측·대응(10-1-4)	A90/10, P60/12

주: 공급망 이슈별 국가중점과학기술과 기후변화 대응 특허 분류는 연구자의 분석을 통하여 자체 도출함

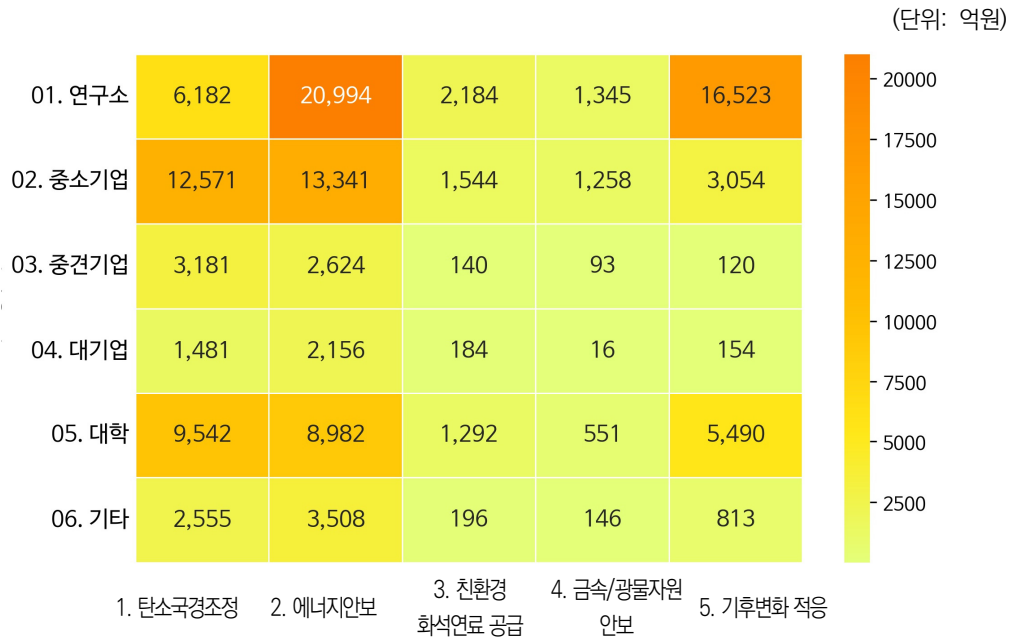
2 공급망 기후기술 개발 투자현황

[그림 4-4]는 [표 4-1]에서 제시한 분류체계를 기준으로, 2018~2020년 사이 국내에서 최근 3년간 국가중점과학기술 기준의 공급망 유관 R&D 정부투자 규모를 NTIS 자료를 활용하여 정책영역별로 분석한 결과를 시각적으로 보여준다. 에너지 안보와 관련한 연구 투자가 대부분을 차지하며, 탄소국경조정과 관련한 연구 및 기후변화 적응에 관한 연구 또한 상대적으로 비중이 높다. 그러나 국내 투자 규모만을 비교하였기에 투자 수준의 적정성을 엄밀히 판단하기 어려우며, 세부 기술내용에 따라서 공급망 취약성에 밀접하게 관련된 기술개발이 이루어지는지를 판단할 수 있을 것으로 본다. 여기에서는 국내 공급망 기후기술 개발 투자현황에 대한 기초 정보를 제공하기 위하여 분석 결과를 활용하였다.



[그림 4-4] 공급망 유관 기후변화 R&D 정부투자 규모 분석 결과

데이터 출처: NTIS



[그림 4-5] 연구개발 수행 주체별 공급망 기후기술 정부투자 집중도

데이터 출처: NTIS

연구개발 수행 주체별 분석 결과 연구소를 중심으로 연구개발활동이 수행되고 있음을 알 수 있는데 특히 연구소는 에너지 안보 분야에 집중도가 높은 것으로 나타났다. 중소·중견기업 및 대학은 탄소국경조정과 에너지 안보 분야 연구 위주로 집중되며, 정부 부처, 국공립연구소는 기후변화 적응 분야 연구가 집중되며, 친환경 화석연료 공급, 금속·광물 자원 안보 연구는 상대적으로 정부출연연구소, 중소기업 위주로 집중되었다.

연구개발 단계별 분포는 에너지 안보, 친환경 화석연료 공급 분야는 개발연구 집중도가 높고, 탄소국경조정, 금속/광물자원 안보 및 기후변화 적응 부문의 기초연구 비중이 타 분야에 비해 상대적으로 다소 높게 나타났다.



[그림 4-6] 연구개발 단계별 공급망 기후기술 정부투자 집중도

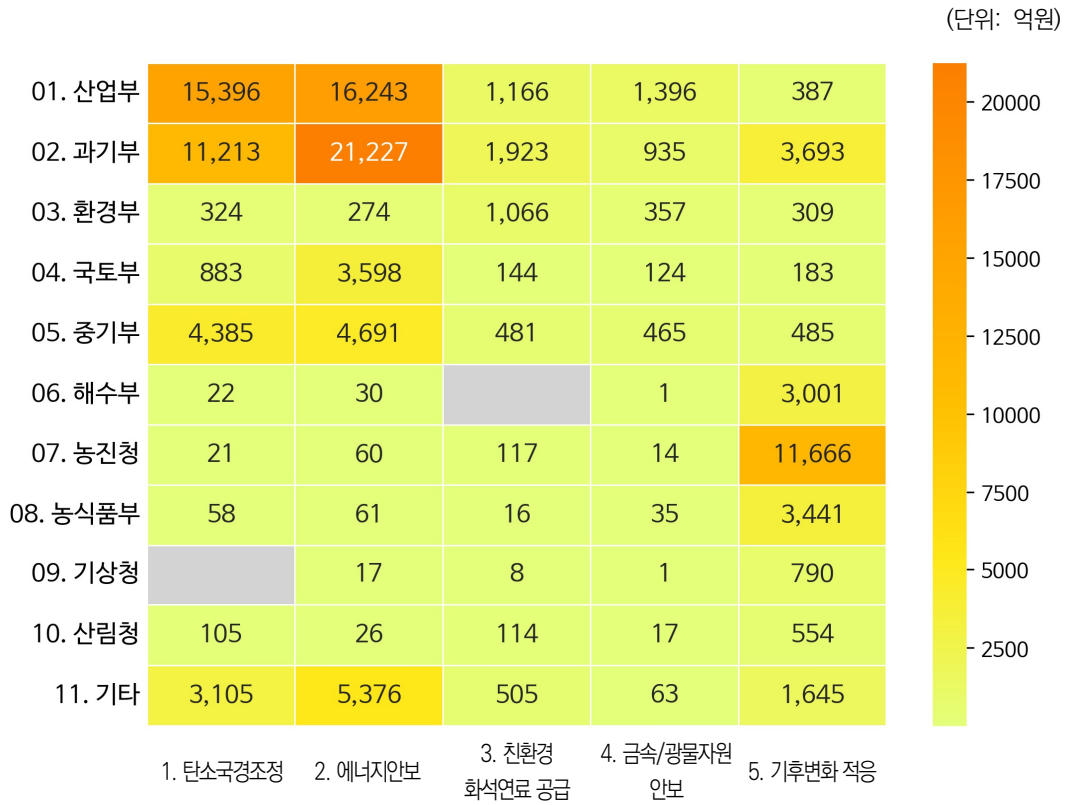
데이터 출처: NTIS

부처별로는 산업통상자원부(이하 산업부), 과학기술정보통신부(이하 과기부)의 연구에 집중되며, 기후변화 적응 분야는 농림축산식품부, 농촌진흥청의 역할이 대표적으로 나타났다. 본 연구에서 정의한 공급망 기후기술과 유사한 기존의 기술분류체계로서 탄소중립 중점기술이 존재하는데 이에 대한 정부투자 규모는 총 2.1조원('19년도 기준)⁸⁸⁾ 규모이고 산업부 및 과기부의 R&D 투자가 총 투자의 76.2%를 차지하는 것으로 보고된 바가 있다⁸⁹⁾. 탄소중립 중점기술은 공급망 기후기술 정책영역 중 에너지 안보와 친환경 화석연료 공급과 중첩되며 이들 영역 외에 공급망 기후기술에 해당하는 내용은 담고 있지 않아, 포함하는 기술 내용에는 차이가 있으나 부처별 연구개발 투자 집중도에서 드러나는 산업부와 과기부에의 집중 양상은 유사하다.

88) 총 투자 규모 9.2조원의 23%에 해당하며, 민간투자가 73%를 차지함.

89) 국가과학기술자문회의 보도자료(2021.08.31.) 내용 중 「탄소중립 중점기술(안)」 참고.

... 제4장 기후변화로 인한 공급망 취약성 관련 기술개발



[그림 4-7] 부처별 공급망 기후기술 개발 투자 집중도

데이터 출처: NTIS

제3절

공급망 기후기술 특허출원 현황

NATIONAL ASSEMBLY FUTURES INSTITUTE

1 공급망 기후기술 특허출원인 국가별 출원 규모 변화

본 소절에서는 2006~2021년 사이에 주요 5개국(중국, 유럽, 일본, 한국, 미국)을 대상으로 특허를 출원한 출원인 중 대표출원인코드가 존재하는 출원인⁹⁰⁾을 대상으로 5개 정책영역별 출원 규모의 변화를 분석한 결과를 보여준다. 기술개발 이후 대상국별 특허출원 절차를 거치는 데에 시간이 필요하다는 점을 고려할 때 2020년 전후의 데이터는 실제 규모보다 낮은 수준으로 반영되었을 가능성이 높다.

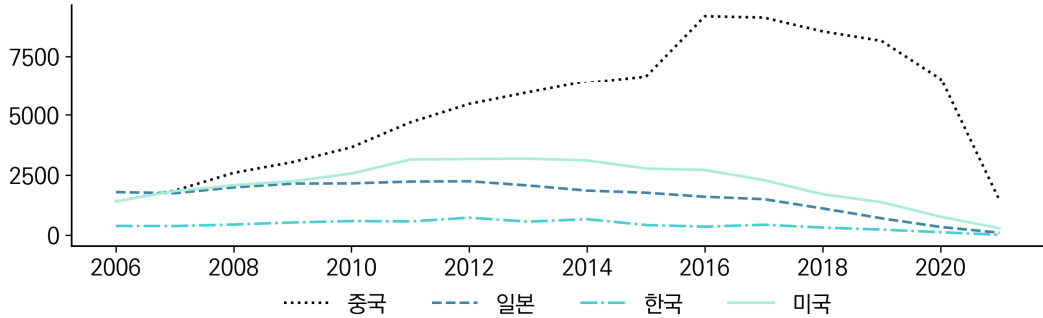
아래 [그림 4-8]에서 5개 정책영역 모두 전반적으로 미국, 한국, 일본 출원인의 특허출원 규모의 변화 추이가 유사한 패턴을 보이며, 중국은 5개 정책영역 모두에서 출원인의 특허출원 규모가 가장 빠르게 성장하였다. 특히 2015년 이후 미국, 한국, 일본인의 특허출원 규모가 점진적으로 감소하는 추세인 것과 반대로 중국인의 특허출원 규모가 지속적으로 성장하였음을 확인할 수 있었다. 이것 외에는 전반적으로 개별국가의 정책영역별로 차별적인 대응이 눈에 띄지 않는 가운데 국가 간 차이점이 몇 가지 존재한다.

- 일본은 다른 국가에 비해 이른 시점에 금속·광물자원 안보 관련 특허출원 수가 정점에 도달하였고 미국은 2010년대에 들어서 점진적으로 증가하는 추세를 보이며, 이에 반해 한국은 해당 기술개발 규모에 변동이 없거나 감소하는 추세를 보임.
- 2015년 이후 기후변화 적응에 관한 중국 출원인의 상대적인 특허출원 규모가 압도적이며, 이는 다른 정책영역에서 중국인의 출원이 차지하는 비중보다 크게 웃도는 수준임
- 중국을 제외한 국가(미국, 한국, 일본)은 5개 정책영역 모두에서(미국의 금속·광물자원 안보 예외) 2015년 이전에 출원 규모가 정점에 도달함.

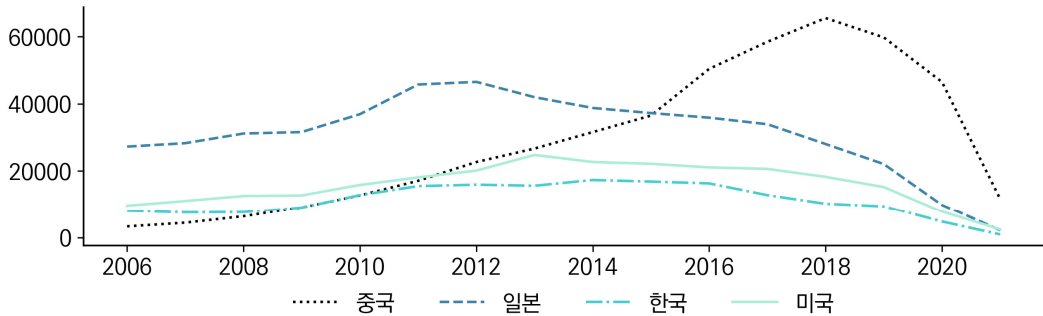
90) 50개 이상 특허를 출원한 출원인

- 우리나라는 모든 정책영역에서 출원 규모가 분석 대상 국가 중 가장 작은 수준이며 2015년 이전에 정점에 도달한 후 지속적으로 감소하는 추세임.

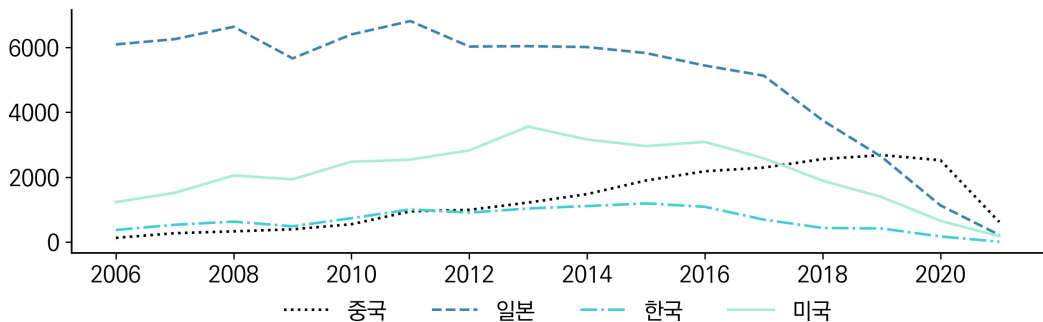
1. 탄소국경조정



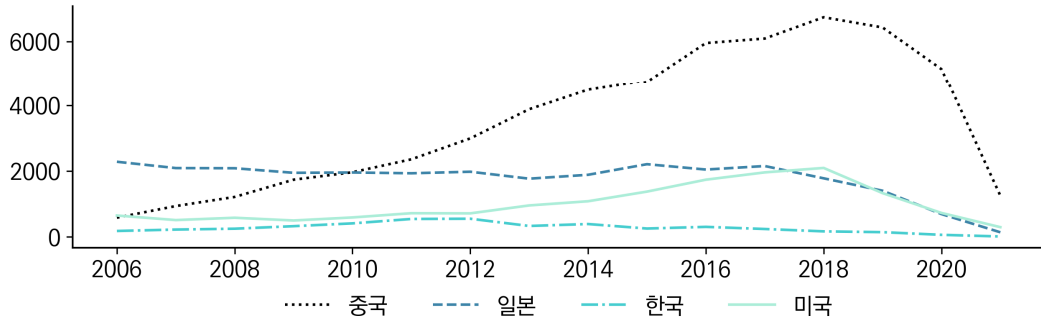
2. 에너지 안보



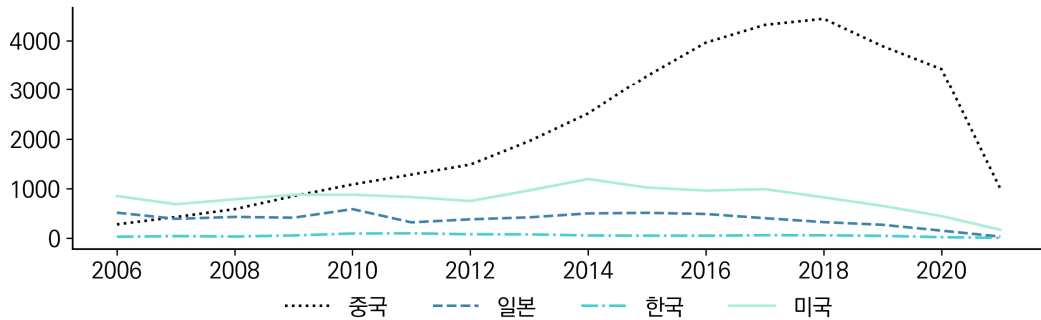
3. 친환경 화석연료 공급



4. 금속·광물 자원 안보



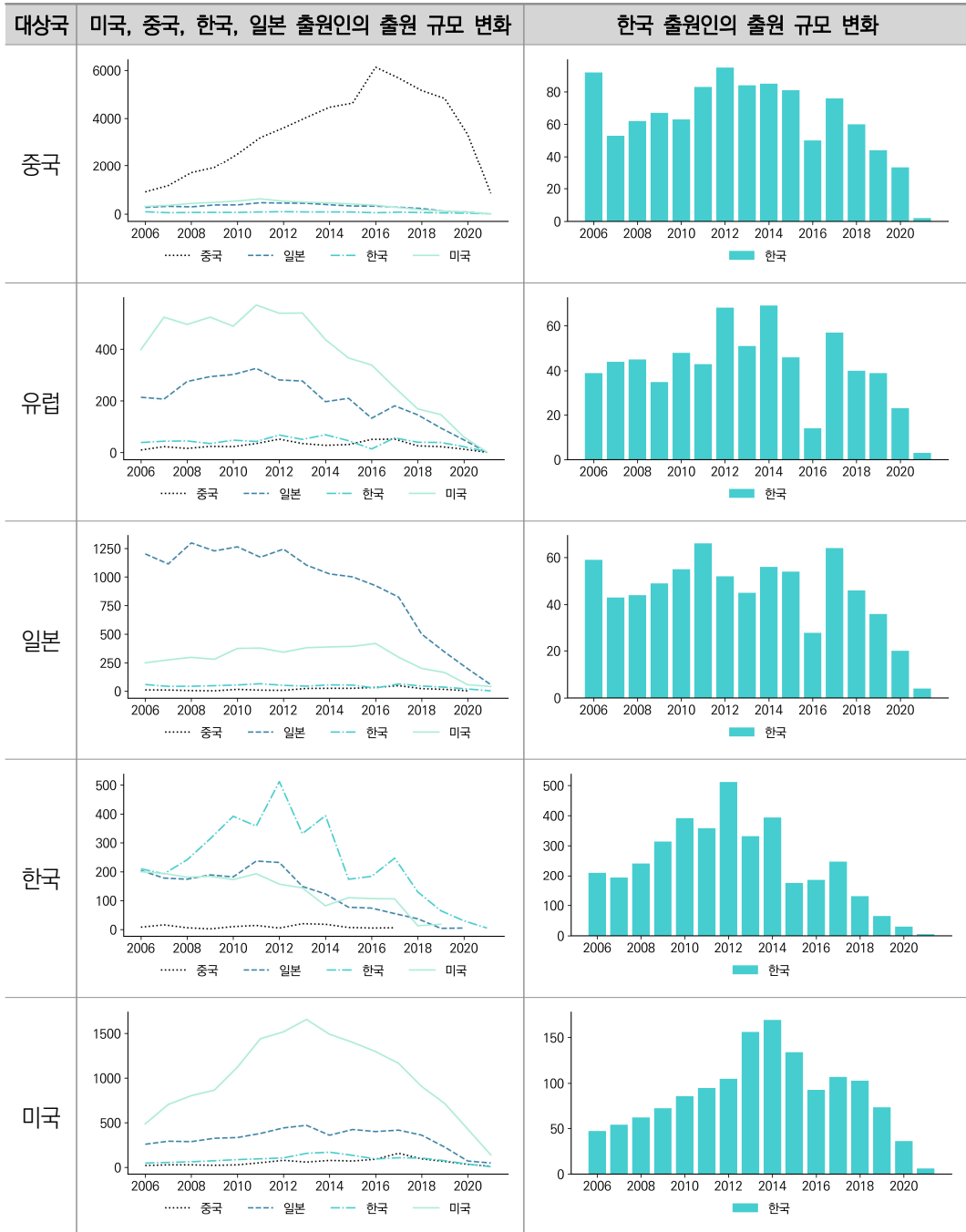
5. 기후변화 적응



[그림 4-8] 공급망 기후기술 특허출원인 국가별(미국, 중국, 대한민국, 일본) 특허출원 규모 변화
 데이터 출처: WINTELIPS

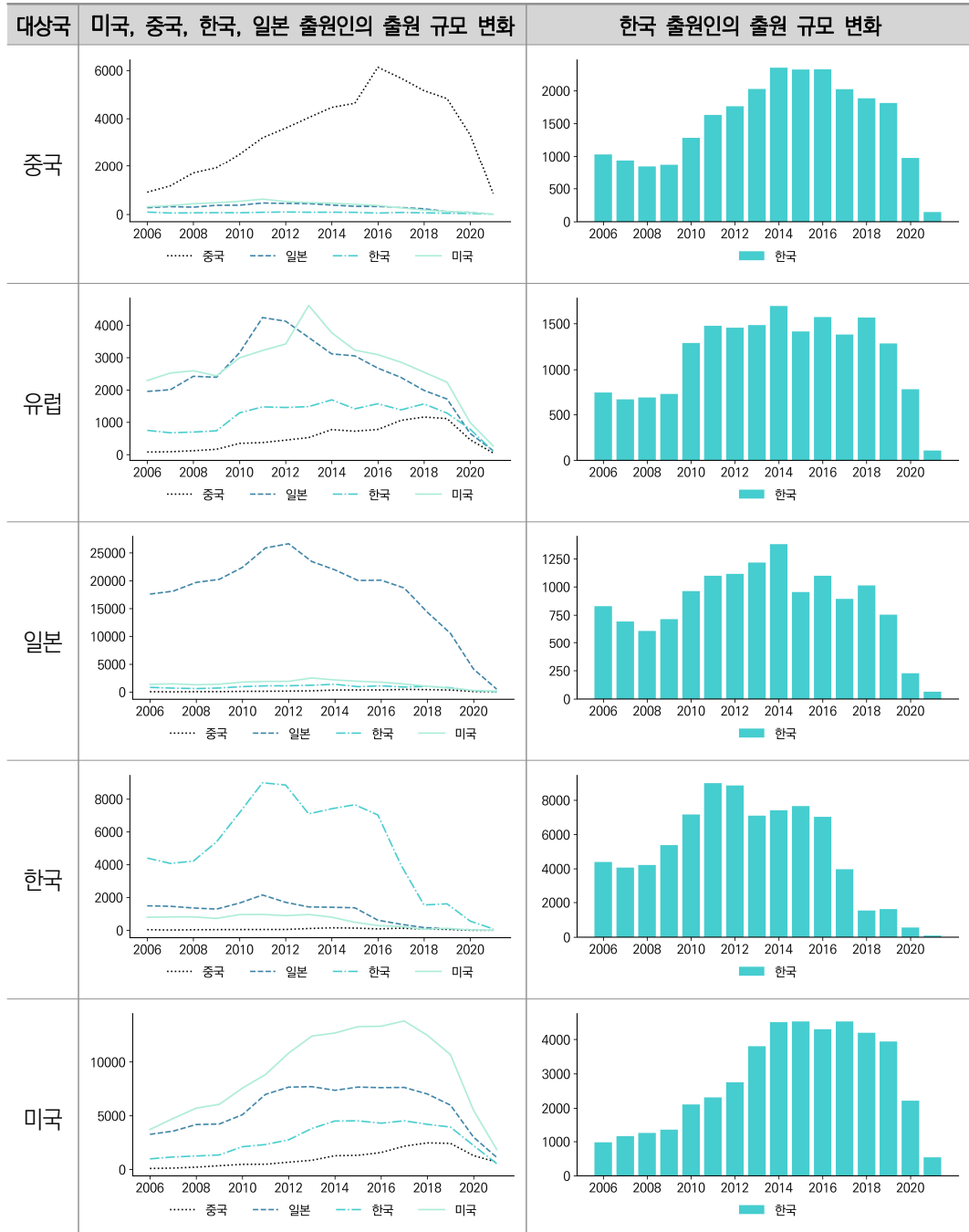
앞선 분석은 미국, 중국, 한국, 일본 특허 출원인이 특허 대상국에 출원한 특허 건수의 총합에 해당하며 이는 출원인 국가의 특정 기술 및 정책영역에 대한 집중도를 보여준다고 볼 수 있다. 한편, 특허 대상국별 출원인(국적:미국, 중국, 한국, 일본)의 출원 규모는 대상국 산업에 대한 특허출원인의 관심도 또는 해당 국가에서의 기술방어 필요성 차원에서 해석할 수 있다. 아래 [표 4-2]~[표 4-6]은 5개 정책영역에 해당하는 기술군에서 2006~2021년 사이 특허 대상국별 특허출원 규모의 변화를 분석한 결과를 정리하였고, 특히 우리나라 출원인의 특허출원 규모가 대상국에 따라 어떠한 차이를 보이며 변화하였는지를 살펴보았다.

[표 4-2] 탄소국경조정 관련 대상국별 특허출원 규모 변화(2006~2021년)



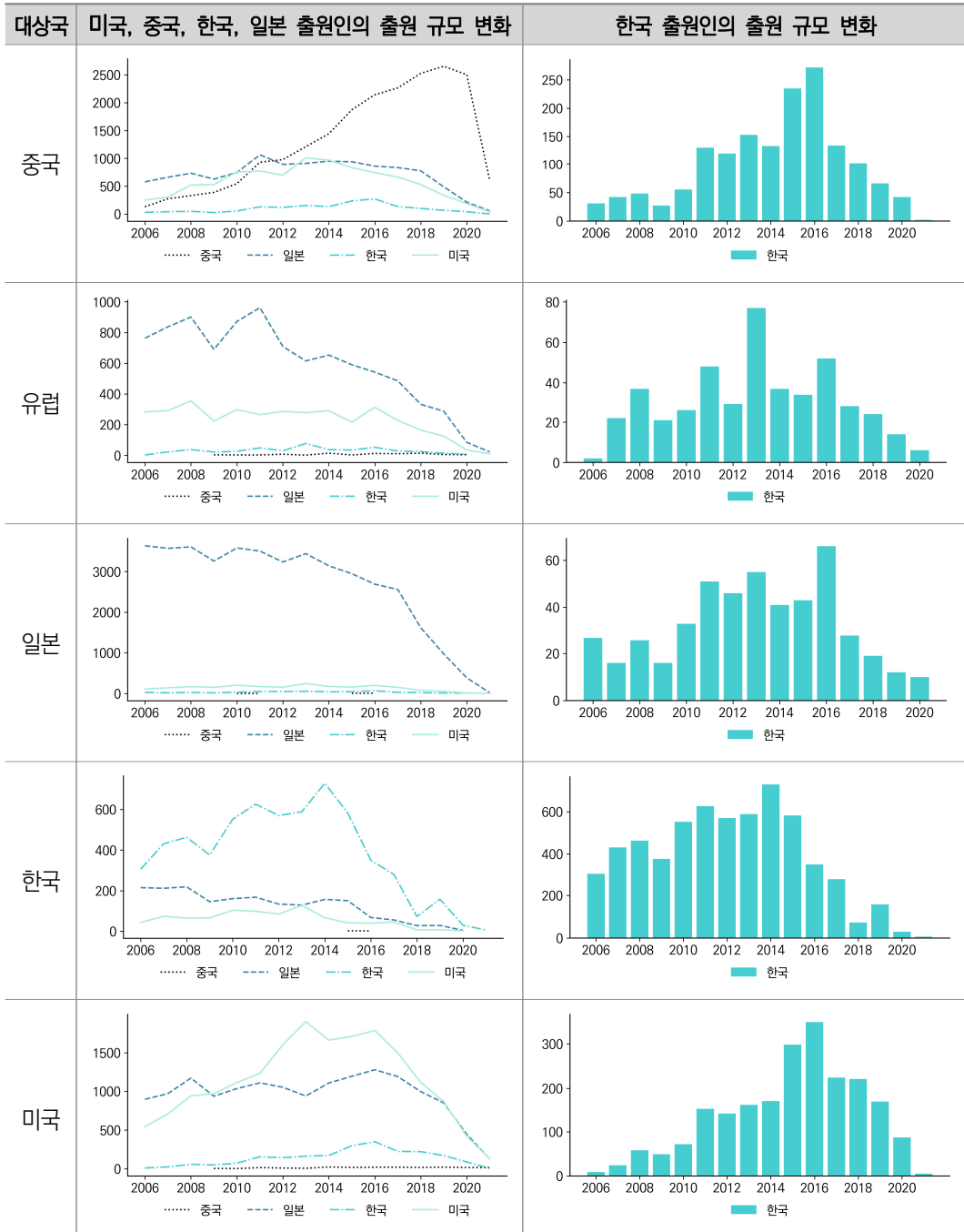
데이터 출처: WINTELPIS

[표 4-3] 에너지 안보 관련 대상국별 특허출원 규모 변화(2006~2021년)



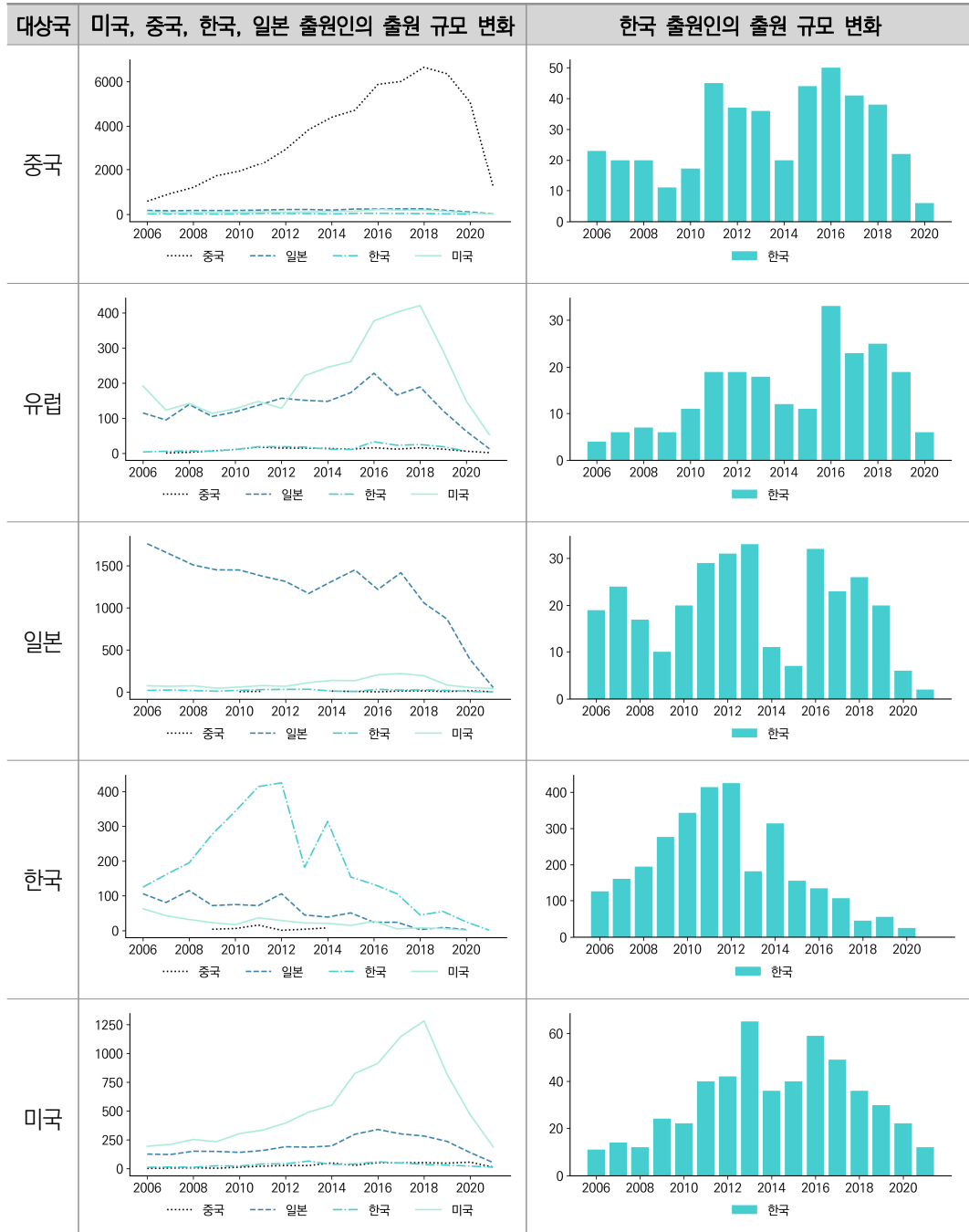
데이터 출처: WINTELIPS

[표 4-4] 친환경 화석연료 공급 관련 대상국별 특허출원 규모 변화(2006~2021년)



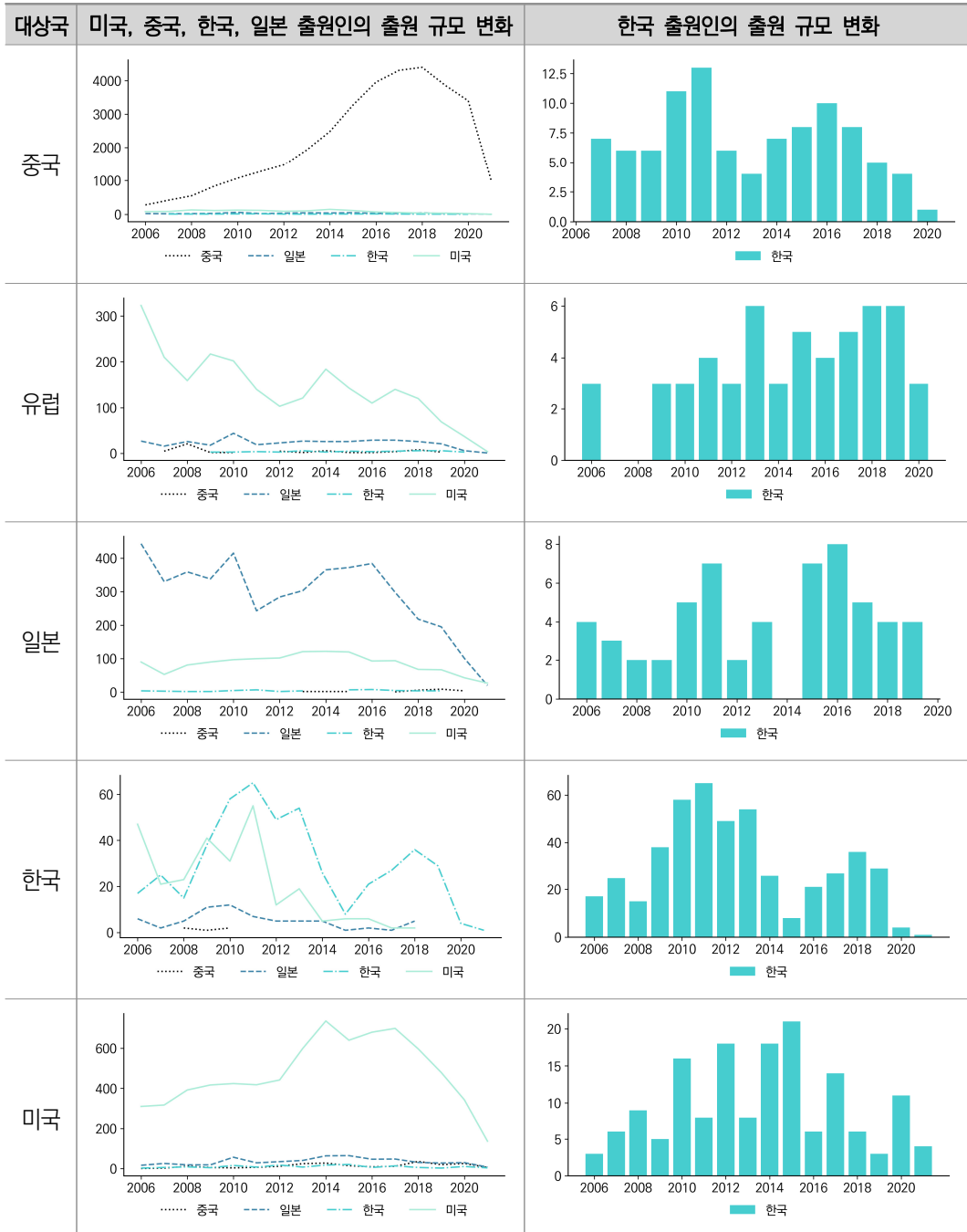
데이터 출처: WINTELIPS

[표 4-5] 금속·광물 자원 안보관련 대상국별 특허출원 규모 변화(2006~2021년)



데이터 출처: WINTELIPS

[표 4-6] 기후변화 적응 관련 대상국별 특허출원 규모 변화(2006~2021년)



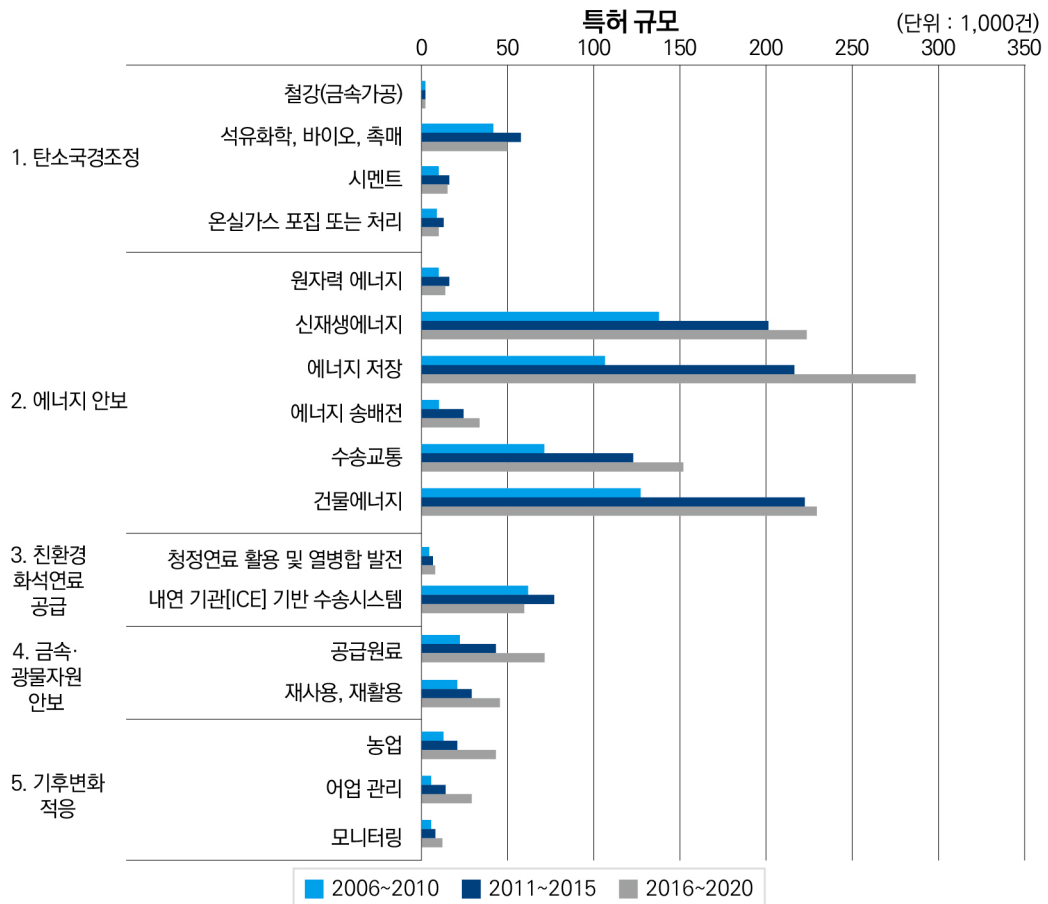
데이터 출처: WINTELIIPS

[표 4-2]~[표 4-6]에서 보이는 출원인 규모 변화 추이의 특징을 요약하면 아래와 같다.

- 한국 출원인은 국내 출원을 제외하는 경우 상대적으로 중국과 미국에 집중도가 높으며, 국내 출원이 2015년 이전에 정점에 도달한 이후 중국과 미국 출원의 정점이 시간 차를 두고 집중도가 높아지는 패턴을 보임.
- 유럽과 일본을 대상국으로 출원한 한국인의 탄소국경조정, 에너지안보, 친환경 화석연료 공급 관련 기술 집중도가 2012~2015년에 상대적으로 가장 높았던 반면, 금속·광물자원 안보, 기후변화 적응 관련 기술 집중도는 2015년 이후에 다시 높아지기 시작함.
- 한국을 대상국으로 한 외국인의 출원 규모는 2010년 이후 전반적으로 감소 추세에 있으며, 탄소국경조정 기술의 경우 타 기술군에 비해 국내 출원 대비 미국과 일본의 출원 비중이 상대적으로 높으며, 2015년 이전 기후변화 적응 기술의 미국인 출원 규모는 국내 출원과 유사함.
- 중국 출원인은 중국 내의 출원에 집중하였으며 중국 이외의 국가(유럽, 일본, 한국, 미국)에서 차지하는 비중은 미미함.
- 중국을 대상 국가로 하는 출원 규모는 친환경 화석연료 공급 정책영역 관련 기술군을 제외하면 중국인이 대다수를 차지함. 특히 금속·광물자원 안보와 기후변화 적응 영역에 해당하는 기술군은 타 공급망 기후기술군에 비해 중국 출원인의 점유율이 압도적임.
- 중국을 대상국으로 하는 한국인의 출원 규모는 에너지 안보 기술에 집중되어 있으며 타 기술 부문에서 일본과 미국 출원인의 출원 규모는 한국인의 출원 규모의 4배 이상을 차지함.
- 2015년 이후 친환경 화석연료 공급을 제외한 전 분야에서 미국 출원인의 유럽 특허 출원 비중이 4개 국가 중에 가장 높음.

2 공급망 기후기술 특허 출원 규모 및 피인용 현황

위에서는 출원 대상국과 출원인 국가에 따라 공급망 기후기술(대분류 단위) 집중도를 분석하였다면 여기서는 중분류 단위의 공급망 기후기술 특허출원 규모를 피인용수와 비교분석하였다. 특허출원인 규모가 급증하기 시작한 2005년⁹¹⁾ 이후부터(2006~2020년) 주요 5개국(중국, 유럽, 일본, 한국, 미국)을 대상국으로 하는 특허 출원 건수 대비 피인용 건수를 산정하여 기술 내용의 집중도를 간접적으로 살펴보았다.



[그림 4-9] 주요 5개 대상국(중국, 유럽, 일본, 한국, 미국) 공급망 기후기술 특허출원 규모 변화

데이터 출처: WINTELIIPS

91) 1991~2021년 사이 특허출원인 규모 분석 결과를 근거로 작성하였으며, 본 보고서에는 해당 결과를 포함하지 않음

전반적으로 에너지 안보 분야(신재생에너지, 에너지저장, 수송교통, 건물에너지) 특히 규모가 높게 나타난다. 이외에 금속·광물자원 안보 분야와 기후변화 적응 분야의 특히 규모가 빠르게 증가하지만 에너지 안보 부문 특히 규모에 비해 절대규모 면에서 미미한 수준에 머무른다.

[표 4-기] 공급망 기후기술 특허 규모 및 피인용 현황

(단위: 1,000건)

대분류	중분류	2006~2010		2011~2015		2016~2020		총합계	
		규모	피인용	규모	피인용	규모	피인용	규모	피인용
1. 탄소국경조정	철강(금속가공)	1.2	3.0	1.6	2.0	1.6	0.3	4.4	5.2
	석유화학, 바이오, 촉매	41.9	215.9	57.7	120.5	50.4	19.1	150.0	355.4
	시멘트	9.4	36.8	15.7	27.2	15.6	4.8	40.7	68.8
	온실가스 포집처리	8.5	75.8	12.6	37.8	10.8	5.8	31.8	119.4
소계		60.9	331.5	87.6	187.4	78.4	30.0	226.9	548.8
2. 에너지 안보	원자력 에너지	10.6	31.9	16.3	24.2	14.1	4.9	41.0	60.9
	신재생에너지	137.8	751.0	201.2	473.1	223.8	100.5	562.8	1,324.5
	에너지 저장	106.5	793.2	216.8	768.0	286.8	176.9	610.1	1,738.1
	에너지 송배전	10.2	95.5	24.7	85.1	33.9	24.0	68.9	204.7
	수송교통	71.2	653.5	123.4	481.4	152.6	107.7	347.2	1,242.6
	건물에너지	127.6	1,265.6	223.3	1,068.9	230.0	201.1	580.8	2,535.7
소계		464.0	3,590.7	805.6	2,900.7	941.2	615.1	2,210.8	7,106.5
3. 친환경 화석연료 공급	청정연료 및 열병합	4.3	30.9	7.2	19.2	7.9	2.3	19.5	52.5
	내연기관 수송시스템	61.7	378.3	76.6	203.3	59.4	37.2	197.7	618.8
소계		66.0	409.2	83.8	222.5	67.4	39.5	217.2	671.2
4. 금속 광물자원 안보	공급원료	22.3	101.2	42.8	108.1	71.0	41.3	136.0	250.7
	재사용, 재활용	20.4	79.5	28.7	50.6	45.0	12.8	94.1	142.8
소계		42.7	180.6	71.5	158.7	115.9	54.2	230.1	393.5
5. 기후변화 적응	농업	12.0	54.3	20.6	29.0	42.4	7.2	75.0	90.5
	어업 관리	5.6	14.5	14.0	13.2	29.2	4.8	48.8	32.4
	모니터링	5.2	222.3	8.5	127.3	12.2	20.5	25.8	370.2
소계		22.8	291.1	43.0	169.5	83.8	32.5	149.6	493.1
총합계		656.3	4,803.2	1,091.5	3,638.8	1,286.6	771.2	3,034.5	9,213.2

데이터 출처: WINTELIPS

위의 [표 4-7]은 공급망 기후기술 관련 산업 내 기술 간 연계 정도를 분석하기 위해, 분야별 특허 규모(건수)와 피인용 현황을 비교한 결과를 보여준다. 공급망 기후기술 대분류(정책영역)별로 출원 규모 대비 피인용 건수는 1.7~3.3으로 편차가 크지 않으나, 중분류 기술군에서 특별히 출원 규모 대비 피인용 건수가 높은 그룹(온실가스 포집·처리, 수송교통, 건물에너지, 내연기관 수송시스템, 모니터링)이 존재한다. 특히 기후변화 적응 내에 모니터링 기술 그룹은 규모 대비 피인용 건수가 14.3에 달해 개별 특허의 연계성이 타 분야에 비해 높은 것으로 드러났다.

[표 4-8] 특허시장별 공급망 기후기술 특허 규모 및 피인용 현황

(단위: 1,000건)

분야	국가	2006~2010		2011~2015		2016~2020		총합계	
		규모	피인용	규모	피인용	규모	피인용	규모	피인용
1. 탄소국경조정	CN	21.5	46.0	43.0	44.2	52.9	11.9	117.4	102.2
	EP	9.3	12.7	10.1	4.9	5.2	0.4	24.6	18.0
	JP	10.7	33.6	10.6	14.8	5.9	1.1	27.3	49.5
	KR	5.0	11.6	4.7	7.0	1.5	0.7	11.2	19.4
	US	14.4	227.5	19.1	116.5	12.9	15.8	46.4	359.8
소계		60.9	331.5	87.6	187.4	78.4	30.0	226.9	548.8
2. 에너지 안보	CN	117.7	276.5	302.2	372.1	588.0	157.0	1,007.8	805.7
	EP	58.9	148.2	89.5	101.4	62.2	15.6	210.7	265.2
	JP	123.9	619.8	154.9	320.4	91.6	24.4	370.4	964.7
	KR	50.3	192.0	68.2	152.6	23.9	20.5	142.5	365.1
	US	113.2	2,354.1	190.8	1,954.2	175.5	397.5	479.4	4,705.8
소계		464.0	3,590.7	805.6	2,900.7	941.2	615.1	2,210.8	7,106.5
3. 친환경 화석연료 공급	CN	13.0	23.9	26.7	23.1	32.9	6.2	72.6	53.2
	EP	10.3	23.0	10.4	9.9	5.9	1.5	26.6	34.4
	JP	20.8	76.0	19.7	33.1	10.3	2.3	50.8	111.3
	KR	4.9	10.2	5.8	8.2	1.8	0.8	12.5	19.2
	US	17.1	276.2	21.1	148.2	16.5	28.7	54.8	453.1
소계		66.0	409.2	83.8	222.5	67.4	39.5	217.2	671.2

기후변화 대응과 공급망 전략 ...

분야	국가	2006~2010		2011~2015		2016~2020		총합계	
		규모	피인용	규모	피인용	규모	피인용	규모	피인용
4. 금속/광물자원 안보	CN	17.1	38.9	42.0	44.2	86.4	20.4	145.6	103.5
	EP	4.8	8.9	6.5	7.0	7.2	2.0	18.5	17.9
	JP	10.3	31.3	9.5	16.9	8.4	2.6	28.2	50.8
	KR	3.8	12.3	3.6	7.9	1.1	0.9	8.5	21.1
	US	6.7	89.3	9.9	82.7	12.8	28.2	29.4	200.2
소계		42.7	180.6	71.5	158.7	115.9	54.2	230.1	393.5
5. 기후변화 적응	CN	9.7	19.2	29.1	22.0	71.5	9.6	110.3	50.8
	EP	2.9	7.4	2.5	5.8	2.0	0.3	7.4	13.5
	JP	3.8	14.3	3.5	5.6	2.7	0.7	10.0	20.6
	KR	1.2	4.4	1.0	2.7	0.6	0.5	2.7	7.6
	US	5.3	245.8	6.9	133.4	7.0	21.4	19.1	400.6
소계		22.8	291.1	43.0	169.5	83.8	32.5	149.6	493.1
총합계		656.3	4,803.2	1,091.5	3,638.8	1,286.6	771.2	3,034.5	9,213.2

데이터 출처: WINTELIPS

[표 4-9] 특허시장별 공급망 기후기술 특허 규모 대비 피인용 현황(피인용 건수/출원 건수)

국가	분야	2006 ~2010	2011 ~2015	2016 ~2020	총합계
CN	1. 탄소국경조정	2.14	1.03	0.22	0.87
	2. 에너지 안보	2.35	1.23	0.27	0.80
	3. 친환경 화석연료 공급	1.84	0.87	0.19	0.73
	4. 금속/광물자원 안보	2.27	1.05	0.24	0.71
	5. 기후변화 적응	1.98	0.76	0.13	0.46
EP	1. 탄소국경조정	1.37	0.49	0.08	0.73
	2. 에너지 안보	2.52	1.13	0.25	1.26
	3. 친환경 화석연료 공급	2.23	0.95	0.25	1.29
	4. 금속/광물자원 안보	1.85	1.08	0.28	0.97
	5. 기후변화 적응	2.55	2.32	0.15	1.82
JP	1. 탄소국경조정	3.14	1.40	0.19	1.81
	2. 에너지 안보	5.00	2.07	0.27	2.60
	3. 친환경 화석연료 공급	3.65	1.68	0.22	2.19
	4. 금속/광물자원 안보	3.04	1.78	0.31	1.80
	5. 기후변화 적응	3.76	1.60	0.26	2.06
KR	1. 탄소국경조정	2.32	1.49	0.47	1.73
	2. 에너지 안보	3.82	2.24	0.86	2.56
	3. 친환경 화석연료 공급	2.08	1.41	0.44	1.54
	4. 금속/광물자원 안보	3.24	2.19	0.82	2.48
	5. 기후변화 적응	3.67	2.70	0.83	2.81
US	1. 탄소국경조정	15.80	6.10	1.22	7.75
	2. 에너지 안보	20.80	10.24	2.26	9.82
	3. 친환경 화석연료 공급	16.15	7.02	1.74	8.27
	4. 금속/광물자원 안보	13.33	8.35	2.20	6.81
	5. 기후변화 적응	46.38	19.33	3.06	20.97
전체	1. 탄소국경조정	5.44	2.14	0.38	2.42
	2. 에너지 안보	7.74	3.60	0.65	3.21
	3. 친환경 화석연료 공급	6.20	2.66	0.59	3.09
	4. 금속/광물자원 안보	4.23	2.22	0.47	1.71
	5. 기후변화 적응	12.77	3.94	0.39	3.30

데이터 출처: WINTELIPS

[표 4-8]과 [표 4-9]에서는 기간별, 특히 대상국별로 출원된 특허 규모와 피인용 규모(피인용 건수/출원 건수)를 각각 비교하였다. 특허 출원 대상국(또는 특허 시장)에 따라 큰 차이를 보였는데 중국과 유럽은 각각 0.8, 1.2로 상대적으로 출원된 기술 간 낮은 연계성을 보였으며, 일본과 한국은 2.5, 2.4로 중간 수준, 그리고 미국은 9.7로 가장 높은 연계성을 가지는 것으로 드러났다. 피인용 건수는 과거로부터 누적되므로 초기에 출원된 특허일수록 피인용 건수가 높아지는 것은 기술의 내용과 무관하게 나타나는 특징이지만, 그것이 급감하는 패턴을 보일 때는 해당 기술이 특허시장에서 쇠퇴하고 있거나 기존 기술과 연계가 전혀 없는 다른 기술이 발명된 경우로 해석할 수 있다. 이에 해당하는 영역이 유럽, 일본, 미국 특허시장에서 탄소국경조정 분야와 기후변화 적응 분야이며, 우리나라는 전 분야에 걸쳐서 타 국가에 비하여 피인용도가 감소하는 속도가 더딘 편이다. 이 분석 결과는 제4절에서 특허 점유율과 증가율을 분석한 결과에서 얻은 시사점과 연계한 내용으로 다시 다루도록 한다.

[표 4-10] 국내 공급망 기후기술 연구개발 투자 규모와 특허출원 규모

구분	연구개발 투자 규모					지식재산권	
	투자금액		기술개발 단계			출원건수	기술 밀집도
	연구개발 규모(억원)	비중(%)	기초(%)	응용(%)	개발(%)	비중(%)	규모대비 피인용 ⁹²⁾
1. 탄소국경조정	35,513	29.1	35.8	20.0	44.3	7.5	2.4
2. 에너지 안보	51,604	42.2	32.4	18.6	49.0	72.9	3.2
3. 친환경 화석연료 공급	5,541	4.5	27.9	23.9	48.3	7.2	3.1
4. 금속/광물자원 안보	3,409	2.8	37.7	14.4	47.8	7.6	1.7
5. 기후변화 적응	26,154	21.4	29.7	40.0	30.3	4.9	3.3

데이터 출처: WINTELIPS

92) 규모대비 피인용은 [표 4-7]에서 대상으로 하는 주요 5개국 특허출원건수에 기반하여 산정함

[표 4-10]은 공급망 기후기술 정책영역별로 우리나라의 연구개발 투자 규모와 특허 출원 규모를 비교하여 보여준다. 상대적으로 산업 지식재산권의 규모가 압도적으로 큰 에너지 안보 분야(72.9%)는 연구개발 투자에서도 가장 큰 비중(42.2%)을 차지하고 있으나, 전반적으로 투자금액 비중과 특허출원 비중 간에는 상관관계를 도출하기는 어렵다. 기후 변화 적응 영역의 경우 투자금액 대비 특허출원 규모가 작고 기술 밀집도가 높아 기존의 밀집도 높은 기술을 방어하면서 신규 기술의 특허 출원을 촉진해야 하며, 기술 상업화에 필요한 개발단계의 기술확보 전략이 필요하다.

여기서 특허출원 규모 대비 피인용 건수가 적을수록, 다시 말해 기술 간의 밀집도 내지 연계성이 낮은 분야의 기술일수록 기초연구의 비중이 높은 경향을 보이는데, 이처럼 기술 밀집도가 낮은 기술군은 원천기술을 선제적으로 확보하거나, 밀집도가 높으며 산업화에 근접한 개발단계 기술의 방어 전략이 필요하다. 즉 이미 출원된 특허 기술의 밀집도와 기술개발 단계를 고려하여 기술개발 및 상업화에 집중할 기술을 선별할 필요가 있다.

3 향후 연구에서 보완할 점

본 연구의 분석 대상으로 삼은 주요 국가에는 포함되지 않지만 글로벌 공급망 내 제2의 중국으로 부상하는 인도 및 아세안 국가를 대상으로 기후기술 특허 데이터를 분석 대상을 확대하여, 이들 국가가 주목하는 핵심 기술이 무엇인지, 어떠한 산업 인프라 구축에 집중하는지를 분석하고, 이를 통하여 공급망 다변화 가능성을 포괄적으로 진단할 수 있을 것으로 기대한다.

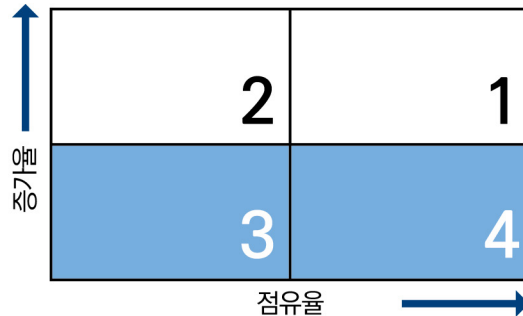
한편, 본 연구에서는 국가별 정책의 변화가 기술개발 집중도에 미치는 영향에 대하여 심도 있는 분석을 진행하지 않았으나 향후 연구에서는 정책적 맥락을 포함하여 기술개발 여건 변화 요인을 파악할 필요가 있다.

제4절

공급망 취약성 관련 기후기술의 변화

NATIONAL ASSEMBLY FUTURES INSTITUTE

본 절에서는 2011년부터 2022년 사이 총 74개국에서 출원된 7,116개의 기후기술 특허자료에 제2절에서 정의된 공급망 기후기술 분류체계를 적용하여 특허 점유율과 증가율을 분석한 결과를 보여준다. [표 4-1]의 첫 번째 열(구분)에 해당하는 17가지 기술군을 중분류로, 기후변화 대응 특허 분류(CPC-Y)에 해당하는 219가지 기술⁹³⁾을 소분류로 구분하여 분석하였다. 여기서 특허 점유율은 전체 공급망 기후기술 특허 수 중 해당 기술이 차지하는 비율을 의미하며, 증가율은 해당 기술의 연간 증가율(1년 전 출원된 특허 수 대비 증가한 건수)을 의미한다. 그리고 두 지표를 아래 [그림 4-10]과 같이 x, y축에 표기하여 분석하고자 한다.



[그림 4-10] 출원된 특허의 점유율과 증가율 수준에 따른 기술 구분 틀

[그림 4-10]에서 제1, 제2사분면에 분포된 기술은 시장에서 유망한 기술 분야로서 특허출원 건수가 빠르게 증가하는 분야에 해당한다. 제3, 제4사분면에 분포된 기술은 개발이 집중되지 않는 분야이며 기술 쇠퇴기 또는 도입기이므로 신규기술 공급이 적거나 시장 전망에 따라 개발 수요가 낮다. 제1사분면의 기술은 2010년 이후 지속적으로 출원 건수가 많으면서 높은 증가율을 유지하는 ‘경쟁이 치열하나 유망한’ 기술로, 제2사분면의 기

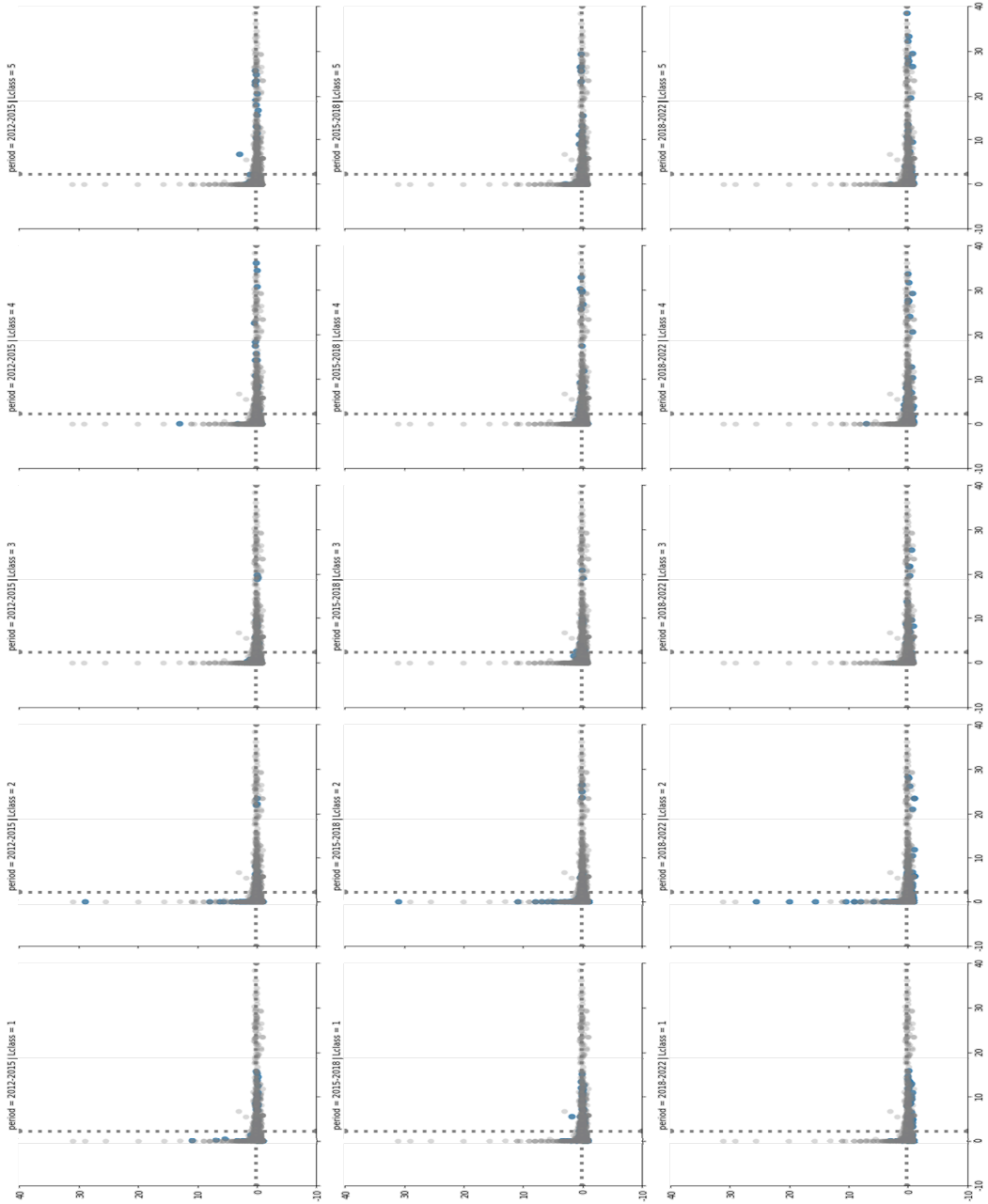
93) 중분류 체계별 매칭 가능한 CPC-Y 전체 코드 219개를 대상으로 함.

술은 2010년대 초반 출원 건수가 적었으나 높은 증가율을 유지하는 분야로 상대적으로 '진입장벽이 낮고 유망한' 기술로 해석된다. 제3사분면은 아직 기술개발 도입 시기거나 최근 10여 년간 기술 수요가 적은 '잠재' 기술, 제4사분면은 '쇠퇴'기에 놓인 기술 분야로 해석된다. 이와 같은 기술 구분에서 특히 제2사분면은 기술시장에서 유망하나 상대적으로 진입장벽이 낮은 기술군이 속하므로 선제적인 특허 점유 전략이 시급하다. 제1사분면은 기술시장에서 해외 출원인에 대한 방어 전략이 필요한 영역으로 해석할 수 있다.

위와 같은 기술 구분은 공급망 개편의 계기가 되는 대외 여건의 변화에 따라 변동이 가능하다. 본 연구에서는 기후변화 국제 정책 변화 시점과 미·중 무역분쟁에 중요한 시점을 분기점으로 하여 공급망 기후기술 특허의 동향도 조사하였다. 해당 시점은 전 세계 195 개국이 온실가스 감축목표를 선언한 2015년(파리협정)과, 트럼프 대통령이 중국산 수입품에 대해 25%의 관세를 부과하며 미·중 무역경쟁이 강화되기 시작한 2018년으로 설정하였다.

[그림 4-11]은 상기한 바와 같이 공급망 개편에 영향을 주는 주요 사건이 일어난 시점을 기준으로 2012~2015년, 2015~2018년, 2018~2022년 세 개의 시기로 나누어 해당 시기에 출원된 특허의 점유율(x축)과 증가율(y축) 분포를 분석한 결과를 보여준다. 여기서 사분면의 경계는 점유율과 증가율 데이터의 평균에 해당하는 값(점선으로 표시)으로 설정하였다. 전반적으로 2010년대 초반에 제2, 제3사분면에 집중되었던 공급망 기후기술이 점차 제1, 제4사분면으로 이동하였는데, 이는 해당 기술개발 결과가 누적되면서 필연적으로 나타나는 현상으로 볼 수 있다. 이러한 경향성과 다소 다른 경향을 보이는 금속·광물자원 안보에 관한 기술군은 초기에 어디에도 존재하지 않았다가 시간이 갈수록(특히 미·중 무역경쟁이 강화되기 시작한 2018년 이후부터) 제3사분면과 제1사분면에 위치한 기술군 모두가 증가하였다. 이는 이미 개발되었으나 시장에서 주목을 받지 못한 잠재기술에 대한 수요가 증가하자 매우 빠르게 경쟁이 치열한 영역으로 진입하는 양상을 보인 것으로 해석할 수 있다. 제3절에서 금속·광물자원 안보 관련 기술 특허 출원인 규모를 분석한 결과 2010년대에 미국과 중국의 출원인 규모가 증가했던 것과 연계하여 해석해 볼 필요가 있으며, 이에 해당하는 기술의 내용은 공급망 개편 관점에서 중요한 시사점을 줄 수 있다.

(x축: 점유율, y축: 증가율, class 1: 탄소국경조정, 2: 에너지 안보, 3: 친환경 화석연료 공급, 4: 금속/광물자원 안보, 5: 기후변화 적응)



[그림 4-11] 분석 결과

데이터 출처: WINTELIPS

선제적 특허 점유 전략이 요구되는 ‘유망하면서 진입장벽이 낮은’ 제2사분면 기술에는 에너지 안보 기술이 가장 높은 비중을 차지하였고, 그 뒤를 이어 탄소국경조정과 금속·광물자원 관련 기술이 제2사분면을 상당수 차지했다. 해당 기술군의 세부 내용을 살펴보기 위하여 제2사분면에서 가장 활발한 특허출원(즉, 증가율이 높은)을 기록한 기술을 중, 소분류 단위에서 추출하여 [표 4-11]에 정리하였다.

[표 4-11] 유망하고 진입장벽이 낮은(2사분면) 기술

기간	분류	탄소국경조정	에너지안보	친환경화석연료 공급	금속/광물자원 안보	기후변화 적응
2012-2015	중분류	1.02 석유화학, 바이오, 촉매	2.04 에너지 송배전	3.02 내연기관 기반 수송시스템	4.01 공급원료	5.01 농업
	소분류	온실가스 배출감소	배전의 마지막 단계 제어	추진시스템 관련 온실가스 감축 기술 (천연가스/바이오연료)	금속공정에서 재생 가능 에너지원 사용	농산물 또는 원예 제품을 보관 (재생에너지 사용)
2015-2018	중분류	1.01 철강(금속가공)	2.04 에너지 송배전	3.02 내연기관 기반 수송시스템	4.02 재사용, 재활용	5.01 농업
	소분류	온실가스 배출감소	전력망 운용 관련 기술, 통신, 정보기술	GHG배출 완화에 잠재적 또는 간접적 기여를 하는 기술	건설 또는 철거 폐기물	비생물적 스트레스 (내염성)
2018-2022	중분류	1.01 철강(금속가공)	2.04 에너지 송배전	3.01 청정연료 활용 및 열병합 발전	4.01 공급원료	5.01 농업
	소분류	온실가스 배출감소	유선 통신 네트워크, 데이터 전송 버스 사용 기술	비화석 기원 연료 생산 기술	금속공정에서 재생 가능 에너지원 사용	농업, 임업, 축산 또는 농식품 생산의 적응 기술

탄소국경조정 관련 기술은 시기에 따라 석유화학, 바이오, 촉매 기술에서 철강으로 옮겨갔는데, 세 가지 시기 모두 해당 분류의 온실가스 배출감소 기술이 주목받았다. 에너지 안보의 경우, 소분류 기준의 세부 기술은 시기에 따라 변화했지만 주로 에너지 송배전 관련 기술이 꾸준히 주목받아왔다. 친환경 연료공급 관련 기술에선 2018년까지 내연기관 기반 수송시스템 관련 기후기술의 특허출원이 활발했지만, 청정연료 활용 및 열병합 발전 기술로 변화해왔음을 볼 수 있다. 금속·광물자원 안보 기술에서는 건설부문 재료 재활용 기술과 금속 공정에서 재생자원 에너지원 사용에 관한 기술이 주목을 받고 있다. 기후변화 적응의 부분에선 농업 관련 기술 중 변화되는 기후환경에 적응하는 작물 개발 기술이 점차 주목을 받는 것으로 보인다.

[표 4-12] 한국, 미국, 중국 내 유망하고 진입장벽이 낮은 기술

국가	분류	탄소국경조정	에너지안보	친환경화석연료 공급	금속/광물자원 안보	기후변화 적응
한국	중분류	1.02 석유화학, 바이오, 촉매	2.06 건물에너지	3.01 청정연료 활용 및 열병합 발전	4.02 재사용, 재활용	5.01 농업
	소분류	벌크화학물질생산 (촉매 사용)	건축물 내의 재생에너지원의 통합(풍력)	복합화력발전소 또는 복합화력가스터빈	배터리 또는 연료 전지의 재활용	농산물 또는 원예 제품을 보관 (재생에너지 사용)
미국	중분류	1.01 철강(금속가공)	2.04 에너지 송배전	3.01 청정연료 활용 및 열병합 발전	4.01 공급원료	5.01 농업
	소분류	온실가스 배출감소	수요반응시스템 (부하차단, 피크셰이빙)	고효율 연소 또는 열 사용을 위한 기술	금속 공정 관련 기술 (공정효율)	농산물 또는 원예 제품을 보관 (재생에너지 사용)
중국	중분류	1.01 철강(금속가공)	2.04 에너지 송배전	3.01 청정연료 활용 및 열병합 발전	4.02 재사용, 재활용	5.01 농업
	소분류	수소사용 온실가스 배출감소	유선 통신 네트워크 또는 데이터 전송 버스 사용 기술	복합화력발전소 또는 복합화력가스터빈	모르타르 또는 콘크리트 충전재로 폐기물 사용	비생물적 스트레스 (내염성)

동일한 방법을 적용하여, 최근(2018~2022년) 한국, 미국, 중국에서 유망하고 진입장벽이 낮은 기술을 분석하여 [표 4-12]에 정리하였다. 74개국을 모두 포함하여 분석한 결과를 [표 4-11]과 비교했을 때에 중분류 기준에서 전반적으로 일치하는 결과를 보이나, 소분류 기준에서 국가별로 매우 다른 내용으로 구성되어있음을 확인하였다. 탄소국경조정 영역은 한국은 석유화학, 바이오, 촉매 기술이 주목받은 반면, 미국과 중국은 철강에 집중하였다. 중국의 경우 수소환원제철 기술력 확보 노력이 이와 같은 결과에 영향을 준 것으로 보인다. 에너지 안보 영역에서 한국은 건축물 내의 재생에너지원의 통합(풍력)기술이 추출되었으며 하이브리드 차량, 해상 풍력터빈, 건물 부문의 스마트 그리드 관리 시스템이 이와 유사한 수치의 점유율과 증가율을 보였다. 미국에서는 수요반응시스템의 특허출원이 활발했다. 이는 에너지 효율 향상과 최종 소비자의 에너지 효율에 대한 인식을 높이기 위한 미국 정부의 다양한 정책과 투자가 이와 같은 결과에 영향을 준 것으로 보인다. 친환경 화석연료 공급 기술 영역에서 미국은 고효율 연소, 열사용으로 효율 향상 기술의 부상을 보였고, 한국과 중국은 복합화력발전소 관련 기술의 특허 출원이 활발했다. 금속광물자원 안보와 관련한 기술로는 한국은 배터리 또는 연료전지의 재활용, 미국은 금속 공정 효율 기술, 중국은 건축재료 부문 재활용으로 각기 다른 기술이 주목을 받고 있다.

[표 4-13] 한국, 미국, 중국의 쇠퇴기(4사분면) 기술

국가	분류	탄소국경조정	에너지안보	친환경화석연료 공급	금속/광물자원 안보	기후변화 적응
한국	중분류	-	2.03 에너지저장	-	-	-
	소분류	-	배터리를 사용한 에너지 저장	-	-	-
미국	중분류	-	2.03 에너지저장	-	-	-
	소분류	-	배터리를 사용한 에너지 저장	-	-	-
중국	중분류	-	2.03 에너지저장	-	4.01 공급원료	5.02 어업 관리
	소분류	-	배터리를 사용한 에너지 저장	-	금속 공정에 관련된 기술(재활용)	양식업

제2사분면에 속한 기술은 선제적인 기술확보를 위한 투자가 필요한 기술로서 우선순위가 높은 반면에, 제4사분면에 속한 기술은 생산성 차원에서 기술개발 투자 규모를 축소해야 하는 기술 후보로 볼 수 있으며 해당 기술을 [표 4-13]에 정리하였다. 여기서는 [표 4-12]와 마찬가지로 3개 국가의 2018~2022년 데이터를 사용했으며, 적어도 점유율이 5% 이상이며, 증가율은 음(-)의 값을 갖는 기술 중 점유율과 증가율의 절대치가 가장 높은 기술을 추출하였다.

공급망 기후기술 중 탄소국경조정 분야와 친환경 화석연료 공급 분야 관련 기술은 3국 모두에서 쇠퇴기 기술이 발견되지 않았다. 하지만 에너지 안보 분야는 3국 모두 에너지 저장 기술 중 배터리를 사용한 에너지 저장 기술이 쇠퇴하는 기술로 발견되었다. 한국은 에너지 안보 기술 중 배터리를 사용한 에너지 저장 기술과 유사한 수치로 태양광 에너지 기술이 쇠퇴기 기술로 나타났다. 더불어 중국에서는 한국이나 미국과 달리 금속광물자원 안보 분야와 기후변화 적응 분야 관련 쇠퇴기 기술이 존재했으며 각각 금속 공정과 관련한 재활용 기술과 양식업 관련 어업관리 기술이 쇠퇴하고 있는 것으로 보인다.

제5장

결론

제1절 탄소국경조정제도 대응

제2절 공급망 기후기술 개발 전략 방향

제 1절

탄소국경조정제도 대응

NATIONAL ASSEMBLY FUTURES INSTITUTE

현재의 경제안보 논의는 지정학적 요인이 중심이 된다. 하지만, 유럽연합이 탄소국경 조정제도를 도입하고, G7이 기후클럽(climate club)을 조직하여 전세계적인 탄소 배출 감축을 추진하는 등 주요 선진국이 기후변화 대응에 본격적으로 나서고 있다는 점을 고려하면 중장기적으로 기후변화 대응이 공급망의 변화를 초래하고 경제안보에 부정적인 영향을 미칠 가능성이 크다. 앞서 논의한 바와 같이 탄소국경조정제도가 일종의 무역장벽으로 기능할 수도 있다는 점을 고려한다면 이러한 변화는 적어도 단기에는 우리 경제에 부정적인 충격으로 작용할 것으로 보인다. 다만, 제3장에서 논의한 바와 같이 기후변화 대응기술을 육성한다면 이는 중장기적인 시계에서 우리나라의 산업경쟁력 강화로 이어질 수 있다. 이와 같은 기술의 범주에는 직접적인 탄소 배출 저감 기술뿐만 아니라 폐배터리 재활용 기술 등 자원 순환성을 강화하는 기술 역시 포함된다.

유럽연합이 도입하는 탄소국경조정제도는 향후 국제무역 질서와 우리나라의 경제에 상당한 영향을 미칠 것으로 전망된다. 제2장과 제3장에서 살펴본 바와 같이 철강 산업이 특히 큰 타격을 받을 것으로 우려되는데, 이는 국가마다 차이는 있지만 철강 산업의 탄소 배출량이 다른 산업과 비교해서 상당히 크게 나타나고, 우리나라 철강 제품의 유럽 수출량이 상당히 크기 때문이다. 따라서, 특별한 변화 없이 탄소국경조정제도의 과도기가 종료되고 실제로 비용이 부담되기 시작한다면 유럽에 제품을 수출하는 우리나라 철강 기업이 상당한 타격을 받을 것으로 보인다. 2022년 12월 도출된 합의안에서 철강 관련 제품을 일부 추가하였고 특정 조건에서 간접 배출량까지 탄소 배출량에 포함할 것을 제안하였는데, 이러한 변화 역시 우리나라 철강 산업에 부정적인 영향을 미칠 것으로 보인다.

다만, 제3장에서 살펴본 바와 같이 탄소국경조정제도로 인한 타격은 국가별 탄소 가격과 국가 및 산업별 탄소 배출량에 많은 영향을 받는다. 예를 들어, A국의 탄소 가격이 유럽연합의 탄소 가격과 비슷한 수준으로 유지된다면 유럽으로의 수출에 있어서 별도의 비용 부담은 줄어들 것이다. 다만, 이 경우 자국 내 높은 탄소 가격이 기업에 타격을 줄 수 있으며

로, 배출권거래제 등 탄소 가격제의 운영 방안이 중요한 문제가 된다.

한편, 제조 과정에서 배출되는 탄소의 양을 감축할 수 있다면 이 역시 탄소국경조정제도의 영향을 최소화하는 방안이 된다. 제2장에서 살펴본 바와 같이 우리나라의 탄소 배출량은 낮지 않지만, 유럽연합 시장에서 경쟁하는 중국, 러시아, 인도 등의 비유럽연합 국가에 비하면 낮은 수준을 유지하고 있다. 철강 등 탄소 배출량이 높은 산업에서 이들 국가가 주로 타격을 받는 이유는 높은 탄소 배출량과 낮은 탄소 가격 때문이라고 볼 수 있다. 따라서, 공정에서 발생하는 탄소 배출량을 줄이는 것은 환경적인 차원에서뿐만 아니라 경제적인 차원에서도 중요한 목표가 되어야 한다. 탄소 배출 저감이 수출에 미치는 영향은 제3장 2절에서 분석하였으며, 탄소 배출량을 줄임으로써 탄소국경조정제도의 영향을 어느 정도 상쇄할 수 있음을 확인하였다. 최근 기후위기가 심화되고 탄소국경조정제도의 도입이 현실화되는 만큼 탄소 배출량 감축을 위한 연구개발(R&D)에 적극적인 정책적 지원이 필요하다고 볼 수 있다.

한편, 유럽연합의 탄소국경조정 도입과 관련하여 세계무역기구(WTO) 원칙 위반 가능성에 대해서도 검토하고 대응할 필요가 있다. 탄소국경조정제도의 도입은 전 세계적으로 친환경 기술이나 엄격한 환경 기준의 도입에 앞장서고 있는 유럽 국가들이 탄소 누출(carbon leakage)을 방지하는 방안이기도 하지만, 다른 한편으로는 탄소 중립과 관련하여 국제적 표준(standard)을 선도하고 유럽연합 내 산업을 보호하는 방안이기도 하다.

앞서 간략하게 논의한 바와 같이 배출량 산정 방식과 관련하여 1) 역외 기업에만 탄소 배출량 관련 자료 제출을 요구하고 제출하지 못하면 기업에 불리하게 배출량을 추정하는 것, 2) 제품 자체에는 탄소가 포함되어 있지 않음에도 이미 배출된 탄소에 기반하여 비용을 부과하는 것 등은 세계무역기구의 내국인대우 원칙을 위배할 소지가 있다. 특히, 유럽연합은 배출권거래제를 통해 다른 지역보다 높은 탄소 가격을 유지하면서도 탄소 누출 위험이 크다고 판단되는 산업에 대해서는 무상으로 배출권을 할당하고 있는데, 이는 역외 기업에 대한 차별의 소지가 있다. 비록 유럽연합이 단계적으로 무상 배출권 할당을 폐지할 계획을 세우고 있으나, 2030년대에 들어서야 완전히 폐지된다는 점을 고려한다면 이와 관련된 논란은 계속 이어질 것으로 보인다.

이러한 논란에도 불구하고 현실적으로 3~4년 내 유럽연합의 탄소국경조정제도가 본격적으로 실행된다고 본다면, 우리나라의 기업이 불이익을 받지 않도록 외교적인 노력이 필

요하다. 우리나라가 2015년부터 배출권거래제를 운영하고 있으므로 동 제도에서 형성되는 탄소 가격이 유럽연합의 인증서 비용 산정 시에 잘 반영되도록 할 필요가 있다.

또한, 탄소국경조정제도만 고려한다면 유럽연합과 대립하는 양상일 수도 있으나, 최근 미국의 인플레이션 감축법(Inflation Reduction Act)에서 논란이 되는 전기차 관련 조항⁹⁴⁾에서 볼 수 있듯이 우리나라는 환경과 관련된 일부 분야에서 유럽연합과 같은 입장이기도 하다. 따라서, 배출권거래제 등 우리나라가 이미 시행하고 있는 관련 제도가 인증서 비용 산정 시에 인정받도록 노력하는 한편, 다양한 이슈에 대해 유럽연합과 지속적인 협력 관계를 유지하면서 탄소국경조정제도에 대해서도 협상의 여지를 남겨둘 필요가 있다. 특히, 최근 유럽연합이 미국에 대해 탄소국경조정제도 적용을 면제할 가능성을 시사하였는데,⁹⁵⁾ 온실가스 감축 추이가 유럽연합 국가와 비슷한 것을 일종의 조건으로 언급한 바 있다. 우리나라 역시 탄소중립 목표를 설정하고 이를 실행에 옮기고 있는 만큼, 이러한 유럽연합의 움직임에 관심을 가져야 한다.

94) 세액공제를 받기 위한 전기차의 조립이나 핵심 부품 조달 규정에 있어 외국(북미 외 지역) 기업에 대한 차별적 요소가 있다.

95) 한국무역협회 해외시장 뉴스(2022.09.22.), 「EU, 미국에 대한 탄소국경조정메커니즘(CBAM) 적용 면제 가능성 시사」, <https://www.kita.net/cmmrcInfo/cmmrcNews/overseasMrktNews/overseasMrktNewsDetail.do?type=0&nIndex=1826859>

제2절

공급망 기후기술 개발 전략 방향

NATIONAL ASSEMBLY FUTURES INSTITUTE

기후변화는 공급망 취약성에 직간접적으로 지속적인 영향을 주는 글로벌 메가트렌드이며, 공급망 취약성을 보완하기 위한 개편 전략에는 기술경쟁력 확보가 핵심적이다. 국제 무역체계를 압박하는 미·중 무역 전쟁의 실체를 첨단기술 선점을 위한 기술 전쟁으로 보는 견해도 있다. 한편, 기후변화 대응 정책이 변화함에 따라 산업 전환이 필요하며, 산업 생태계를 탈탄소화하고 공급망의 복원력을 높이면서 산업경쟁력을 강화하기 위해서는 첨단 기후기술을 선점하는 것이 중요하다.

본 연구에서는 기후변화에 기인하거나 기후변화 대응 목적의 정책을 공급망 개편에 긴밀하게 연계할 수 있는 5가지 정책영역과 연결된 기후기술을 ‘공급망 기후기술’로 정의하고 연구개발 투자현황과 특허출원 현황 분석 결과를 토대로 정책영역별 기술 대응도를 진단하였다. 우리나라는 모든 정책영역에서 출원 규모가 분석 대상 국가 중 가장 작은 수준이며 2015년 이전에 정점에 도달한 후, 지속적으로 감소하는 추세에 있다. 또한, 중국을 대상국으로 하는 한국 출원인 규모는 에너지 안보 기술에 집중되어 있으며 타 기술 부문에서 일본과 미국 출원인의 출원규모의 4배 이상을 차지하는 등, 특허출원 관점에서 우리나라의 공급망 기후기술 대응도는 양적으로 미흡한 수준으로 보인다.

한국을 대상국으로 한 외국인 출원 규모는 2010년 이후 전반적으로 감소 추세에 있으며, 탄소국경조정 기술의 경우 타 기술군에 비해 국내 출원 대비 미국과 일본의 출원 비중이 상대적으로 높으며, 2015년 이전 기후변화 적응 기술의 미국인 출원 규모는 국내 출원과 유사한 수준으로 나타났다. 반면에, 중국을 대상 국가로 하는 출원 규모는 친환경 화석연료 공급 정책영역 관련 기술군을 제외했을 때 중국인이 대다수를 차지하였으며, 특히 금속·광물자원 안보 영역과 기후변화 적응 영역에 해당하는 기술군은 타 공급망 기후 기술군에 비해 중국 출원인의 점유율이 압도적이었다. 이와 같은 특정 국가의 특정 기술에 대한 집중도는 기술안보 차원에서 눈여겨볼 필요가 있다.

이와 더불어 시간이 흐름에 따라 특정 기술군의 특허출원 점유율과 성장률에 변동성이

크다는 점에 착안하여 선제적으로 선점이 필요한 기술군과 기술개발 투자 규모 축소를 검토할 필요가 있는 쇠퇴기 기술을 살펴보았다. 이상의 분석 결과를 토대로 우리나라의 대응 현황을 주요 국가별 대응 현황과 비교하여 아래와 같이 시사점을 도출하였다.

가. 탄소국경조정

유럽, 일본, 미국 특허시장에서 탄소국경조정에 관한 특허출원 건수 대비 피인용 건수는 타 분야에 비해 급감하는 패턴을 보인다. 이는 해당 기술이 특허시장에서 쇠퇴하고 있거나 또는 기존 기술과 연결되지 않은 전혀 다른 기술 발명된 경우로 해석할 수 있다. 특허규모 분석 결과 탄소국경조정 관련 기술은 2010년대에 들어 소폭 감소하는 추세를 보여 피인용 건수 감소 이유는 전자에 부합하는 것으로 볼 수 있다. 탄소국경조정은 국제적으로 정책적인 관심이 증가하였음에도 불구하고 이러한 기술대응의 패턴을 보인 이유가 기술 성숙에 따른 자연적인 감소 추세인지의 여부를 면밀히 진단할 필요가 있다. 또한 해외출원 기술은 해당 기술군 외에 유망하고 진입장벽이 낮은 기술에 집중도를 높이는 선택과 집중 전략이 요구된다.

특히 점유율과 성장률을 분석한 결과에 따르면 탄소국경조정 관련 기술은 에너지 안보 분야에 이어 상대적으로 유망하면서 진입장벽이 낮아 선제적인 특허 점유 전략이 시급한 기술을 포함하는 것으로 나타났다. 탄소국경조정 정책영역 전반이 특허시장에서 타 정책영역에 비해 활발하게 다뤄지지 않으나 일부 소분류 기준의 세부기술은 기술 및 산업경쟁력 차원에서 전략적으로 선제 점유가 필요하다. 특히 미국과 중국에서 철강 산업의 온실가스 배출 감소와 관련한 특허출원 건수 성장률이 최근 10년간 높은 수준으로 유지되는 반면, 우리나라는 여전히 석유화학, 바이오, 축매 분야 기술시장 중심으로 머물러 있다는 점에 주목해야 한다.

나. 에너지 안보

에너지 안보 분야는 특허 출원 건수, 출원인 규모, 증가율 측면에서 모두 높은 수치를 보여 본 연구에서 대상으로 삼은 주요 국가(한국, 미국, 일본, 중국) 기술시장에서 유망한 분야이며 경쟁이 치열한 기술군이 속한다. 이를 통해 에너지 안보에 대한 국제적 관심이 집중되고 국가별로 해당 분야에서 첨단기술을 개발하고 선점하고자 하는 노력이 활발함

을 볼 수 있다. 특히나 최근의 러시아 전쟁, 기후 이변 등으로 에너지 안보 문제가 더욱 심각해지고 있기에, 앞으로도 본 분야의 기술 개발은 꾸준히 강화될 것으로 보인다.

우리나라도 전 세계 흐름과 유사하게 에너지 안보 관련 특허출원이 타 정책영역 관련기술 특허에 비해 압도적으로 높은 비중(72.9%)을 차지한다. 연구개발 투자 또한 전체 공급망 기후기술의 42.2%로 가장 큰 비중을 차지하고 있다. 중·소분류 기술을 기준으로 시기에 따른 특허출원 규모의 변화를 분석한 결과, 크게 에너지 송배전 관련 기술들이 꾸준히 주목받았다. 최근 미국과 중국이 해당 기술에서 출원 집중도가 높았던 반면, 한국에서 그렇지 못한 결과를 보였는데, 기술 안보측면에서 해당 기술의 해외출원 집중도를 제고할 방안을 고려해야 한다. 한편, 에너지 저장 분야기술 중 배터리를 사용한 에너지 저장 기술이 쇠퇴하는 기술로 드러났다. 기술 생산성 차원에서 기술개발 투자 규모를 축소할 필요가 있는 기술 후보로 검토해 보아야 하며 해당 기술은 원천기술 개발보다는 산업경쟁력 확보 차원에서 접근하는 전략에 집중할 필요가 있다.

다. 친환경 화석연료 공급

공급망 기후기술 연구개발 투자현황과 특허출원 현황 분석 결과, 여타 기술과 비교했을 때에 국가별 차이가 가장 적은 것으로 나타났다. 그러나 우크라이나 전쟁이 천연가스 공급에 미치는 영향을 고려하면 2022년 이후의 기술 대응 패턴에서는 유의미한 차이가 나타날 가능성이 있다. 한편, 2015년까지 일본인의 출원 비중이 중국보다 높아 해당 분야의 기술의 일본 의존도가 향후 공급망 개편에서 장애로 작용할 가능성에 대하여 검토할 필요가 있다.

친환경 연료 공급 분야와 관련하여 출원이 집중된 세부 기술은 2018년까지는 내연기관 기반 수송시스템 관련 기후기술 위주였으나 청정연료 활용 및 열병합 발전 기술로 변동하였다. 청정연료 활용 및 열병합 발전에 속하는 소분류 기술 중에서 미국은 고효율 연소, 열사용으로 효율 향상 기술, 한국과 중국은 복합화력발전소 관련 기술이 유망하면서 진입장벽이 낮은 기술로 나타났다. 화석연료 사용의 의존도가 에너지 수요·공급에서 점차 낮아질 것으로 전망하므로 정책적 여건 변화를 감안하여 해당 기술군에서 탄소중립 정책에 부합하는 세부 기술에 집중하는 전략을 고려할 필요가 있다.

라. 금속·광물자원 안보

금속·광물자원 안보 기술은 절대 규모 면에서 에너지 안보 부문 기술 특허에 비해 미미한 수준이나 특허 규모가 빠르게 증가하는 기술에 속한다. 특히 선제적인 특허 점유 전략을 요구되는 ‘유망하면서 진입장벽이 낮은’ 기술군에 다양한 소분류 기술이 분포한다. 특허 점유율과 성장률의 시기별 분포 분석 결과에 따르면 금속·광물자원 안보에 관한 기술군은 다른 4개 정책영역의 기술군과 매우 다른 변화 패턴을 보였는데, 미·중 무역경쟁이 강화되기 시작한 2018년 이후에 잠재기술군과 유망기술군이 모두 새롭게 등장하는 것으로 나타났다. 이는 이미 개발되었으나 시장에서 주목을 받지 못한 잠재기술에 대한 수요가 증가함에 따라 매우 빠르게 경쟁이 치열한 영역으로 진입하는 양상을 보이는 것으로 해석할 수 있으며 이에 해당하는 기술의 내용은 공급망 개편 관점에서 중요한 시사점을 줄 수 있다.

한편, 금속·광물자원 안보 기술은 국가별로 집중 수준 및 전략 기술군의 편차가 크며, 집중 시기에도 차이를 보이는 분야로 국가별 세부 분석을 요구된다. 일본은 다른 국가에 비해 이른 시점에 금속·광물자원 안보 관련 특허출원 건수가 정점에 도달하였고, 미국은 2010년대에 들어서 점진적으로 증가하는 추세를 보인다. 중국은 타 공급망 기후기술군에 비해 해당 영역 기술군에서 중국 출원인의 점유율이 압도적으로 컸다. 이에 반해 한국은 해당 기술개발 규모에 변동이 없거나 감소하는 추세를 보여 해당 정책영역 기술축적 수준에서 추격이 필요한 상황으로 판단된다. 금속·광물자원 안보와 관련한 소분류 기술 기준으로 국가별 주목을 받은 기술 또한 제각기 달랐는데, 한국은 배터리 또는 연료전지의 재활용, 미국은 금속 공정 효율 기술, 중국은 건축재료 부문 재활용 기술이 상위를 차지하였다.

금속·광물자원 안보 기술은 잠재기술을 발굴하여 유망기술군으로 빠르게 진입할 여지를 가지고 있는 특성에 따라 기술 안보 차원에서 전략적인 집중이 필요한 기술군을 신속하게 발굴될 필요가 있다. 이를 위해 미국과 중국을 포함한 주요국의 세부 기술개발 현황을 면밀하게 분석하고 잠재기술군 중에 선제적으로 기술을 점유할 수 있는 기술이 무엇인지 살펴볼 필요가 있다.

마. 기후변화 적응

기후변화 적응 기술은 탄소국경조정 관련 분야와 마찬가지로 유럽, 일본, 미국 특허시장에서 특허출원 건수 대비 피인용 건수가 타 분야에 비해 급감하는 패턴을 보였다. 이는 해당 기술이 특허시장에서 쇠퇴하고 있거나, 기존 기술과 연계가 없는 다른 기술 발명된 경우로 해석할 수 있다. 특허 규모 분석 결과, 절대규모 면에서 에너지 안보 부문 기술 특허에 비해서는 미미한 수준이지만 금속·광물자원 안보 기술과 더불어 특허 규모가 빠르게 증가하고 있다. 특히 중국은 기후변화 적응 분야 특허출원인과 출원 건수 차원에서 다른 국가와는 전혀 다른 집중도를 보인다. 따라서 해당 분야 피인용 건수의 급감은 특허시장에서의 쇠퇴가 원인이라기보다는 최근 10년간 높은 집중도를 보인 중국의 기후변화 적응 기술이 기존 기술과 연결성이 떨어지는 것에서 원인을 설명할 수 있다.

기후변화 적응 분야에서 2006~2010년 사이 미국에서 출원된 특허가 규모 대비 피인용 수가 46.38로 다른 기술 분야에 비해 압도적으로 높은 수준이라는 점이 특징적이었다. 해당 시기 미국 특허출원에 대한 높은 기술 밀집도는 이후 특허에서 신규성을 찾기가 어려울 가능성을 시사하며, 유사 기술에 관한 국내 및 미국 외 국가의 특허 방어 전략이 필요할 것으로 보인다. 우리나라의 기후변화 적응 기술개발 현황에 따르면 투자금액 대비 특허출원 규모가 상대적으로 작아서 공급망 대응 차원에서 출원 규모를 제고할 필요가 있다. 한편, 기후변화 적응 영역에서 농업 관련 기술 중 변화되는 기후환경에 적응하는 작물 개발 기술이 점차 주목을 받는 것으로 보이며, 해당 분야에서는 기존 밀집도 높은 기술을 방어하면서 유망한 분야에서 기술의 특허출원에 집중하는 전략이 요구된다.

참고문헌

1. 문헌자료
2. 웹사이트

참 고 문 헌

NATIONAL ASSEMBLY FUTURES INSTITUTE

1 문헌자료

국내문헌

- 김동구·손인성(2021), 「유럽 그린딜 내 탄소국경세 도입 시 글로벌 가치사슬 영향 및 국내 대응방안 연구」, 『기본연구보고서』, 2021-07, 에너지경제연구원.
- 김선진·안희정·이윤정(2021), 「주요국 기후변화 대응정책이 우리 수출에 미치는 영향 - 탄소국경세를 중심으로」, 『조사통계월보』, 75(7), 한국은행.
- 김은아 외(2020), 『기후변화 미래영향 대응 기반연구』, 국회미래연구원.
- 김은아(2022), 「기후변화 5대 영향영역과 적응입법 어젠다」, 『국가미래전략 Insight』, (43), 국회미래연구원
- 문진영 외(2021), 「국제사회의 온실가스 감축 목표 상향과 한국의 대응방안」, 『연구보고서』, 20-21, 대외경제정책연구원.
- 박효민(2022), 「EU 탄소국경조정메커니즘(CBAM)의 WTO TBT 협정 합치성- 환경, 기술, 그리고 TBT협정 간 관계 모색 -」, 『법제』, 696, pp. 221~252.
- 삼일회계법인(2021), 『PwC 기후기술 보고서: 기후테크, 벤처캐피탈의 다음 목적지』.
- 삼정KPMG경제연구원(2016), 「리질리언스(Resilience), 기업의 미래를 결정하는 유전자」, 『SAMJONG Insight』, (44), 삼정KPMG.
- 서상현(2022), 「러-우크라이나 전쟁과 글로벌 식량 안보 위기」, 『POSRI 이슈리포트』, 포스코경영연구원.
- 손인성·김동구(2020), 「EU 배출권거래제 4기의 핵심 설계 변화 분석과 국내 배출권거래제 3기예의 시사점」, 『수시연구보고서』, 2020-02, 에너지경제연구원.

- 신규섭(2022), 「EU의회의 탄소국경조정제도 수정안 평가와 시사점」, 『KITA 통상리포트』, 2022-(04), 한국무역협회 통상지원센터.
- 이상준(2021.09.02), 「EU 탄소국경조정 시행안의 시사점」, 『KIEP 간담회 자료』, 대외경제정책연구원.
- 이주관 외(2021), 「글로벌 탄소중립 시대의 그린뉴딜 정책과 시사점」, 『연구보고서』, 21-10, 대외경제정책연구원.
- 이천기·박지현·박혜리(2021), 「EU 탄소국경조정 메커니즘에 대한 통상법적 분석 및 우리 산업에의 시사점」, 『KIEP 오늘의 세계경제』, 21(15), 대외경제정책연구원.
- 이효영. (2021). 「‘통상과 환경’의 연계 동향과 쟁점 연구」, 정책연구시리즈 2021-13, 국립외교원 외교안보연구소.
- 임팩트온(2022.03.02.), 「IPCC, 기후변화로 글로벌 공급망 리스크 더 커질 수 있다」, <https://www.impacton.net/news/articleView.html?idxno=3566>
- 정훈·여영준·조해인(2021), 「탄소국경조정 대응 산업지원 정책과제와 정책효과 예측 연구」, 『연구보고서』, 21-(05), 국회미래연구원.
- 채희근(2021), 「스코프3(Scope3)로 넓혀져 가는 탄소 발자국 지우기」, 『KB 지식 비타민』, KB금융지주 경영연구소.
- 한국무역협회(2022.09.21.), 「EU, 미국에 대한 탄소국경조정메커니즘(CBAM) 적용 면제 가능성 시사」, <https://www.kita.net/cmmrcInfo/cmmrcNews/overseasMrktNews/overseasMrktNewsDetail.do?type=0&nIndex=1826859>
- 한국특허전략개발원(2020, 『2020 공공 R&D 특허기술동향조사 가이드라인』, 특허청.
- 현대자동차그룹(2021.08.18.), 「수소에너지에도 종류가 있다. 그레이수소, 블루수소, 그린수소란?」, <https://www.hyundai.co.kr/story/CONT0000000000001839>
- Caulfield 외(2022), 『딜로이트가 제시하는 기업 공급망 혼란 극복 전략』, Deloitte Global.

Kotra해외시장뉴스(2021.01.29.), 「2020년 독일의 탄소중립 성적표는?」,
https://dream.kotra.or.kr/kotranews/cms/news/actionKotraBoardDetail.do?SITE_NO=3&MENU_ID=180&CONTENTS_NO=1&bbsGbn=243&bbsSn=243&pNttSn=187007

해외문헌

Bobba S. et al.(2020), Critical raw materials for strategic technologies and sectors in the EU - A foresight study, European Commission.

Calendo L. and Parro, F.(2015), “Estimates of the Trade and Welfare Effects of NAFTA”, The Review of Economic Studies, 82(1), pp. 1-44.

Council of European Union(2022.03.15.), “Draft regulation of the European Parliament and of the Council establishing a carbon border adjustment mechanism - General approach”,
<https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-7226-2022-INIT/en/pdf>

European Commission(2021.07.14.), Proposal for a REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL establishing a carbon border adjustment mechanism, COM(2021) 564 final.

European Parliament(2022.05.23.), REPORT on the proposal for a regulation of the European Parliament and of the Council establishing a carbon border adjustment mechanism. (COM(2021)0564 - C9-0328/2021 - 2021/0214(COD)).
https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/A-9-2022-0160_EN.html

European Parliament(2022.06.22.), Amendments adopted by the European Parliament on 22 June 2022 on the proposal for a regulation of the European Parliament and of the Council establishing a carbon border adjustment mechanism (COM(2021)0564 - C9-0328/2021 - 2021/0214(COD))

https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-9-2022-06-22_EN.html#sdocta3

Hufbauer, G. C. et al.(2022), “EU Carbon Border Adjustment Mechanism Faces Many Challenges”, Policy Brief, 22-14, Peterson Institute for International Economics.

IEA(International Energy Agency)(2020), “World Energy Outlook 2020”.

IEA(2022), “Nuclear Power and Secure Energy Transitions

IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)(2022), “Climate Change 2022, Impacts, Adaptation and Vulnerability”, Summary for Policymakers.

KPMG(2022), “Impact of the EU's Carbon Border Adjustment Mechanism”.
<https://home.kpmg/xx/en/home/insights/2022/08/carbon-border-adjustment-mechanism-impacts.html>

OECD(2022), “Pricing Greenhouse Gas Emissions: Turning Climate Targets into Climate Action”, OECD Series on Carbon Pricing and Energy Taxation, OECD Publishing, Paris.

Official Journal of the European Union(2003.10.25.), DIRECTIVE 2003/87/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 13 October 2003 establishing a scheme for greenhouse gas emission allowance trading within the Community and amending Council Directive 96/61/EC

Official Journal of the European Union(2019.8.5.), COMMISSION DELEGATED DECISION (EU) 2019/708 of 15 February 2019 supplementing Directive 2003/87/EC of the European Parliament and of the Council concerning the determination of sectors and subsectors deemed at risk of carbon leakage for the period 2021 to 2030.

Prag, A.(2020), The Climate Challenge and Trade: Would border carbon adjustments accelerate or hinder climate action?, OECD Publishing, Paris.
<https://www.oecd.org/sd-roundtable/papersandpublications/The%20Climate%20Challenge%20and%20Trade...%20background%20paper%20RTSD39.pdf>

United Nations Environment Programme(2022), “Emissions Gap Report 2022: The Closing Window - Climate crisis calls for rapid transformation of societies”, Nairobi. <https://www.unep.org/emissions-gap-report-2022>

Yamano, N. and J. Guilhoto(2020), “CO2 emissions embodied in international trade and domestic final demand: Methodology and results using the OECD Inter-Country Input-Output Database”, OECD Science, Technology and Industry Working Papers, 2020/11, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/8f2963b8-en>.

2 웹사이트

관세법령정보포털 홈페이지(<https://unipass.customs.go.kr/clip/index.do>)

Council of European Union(The ordinary legislative procedure),
<https://www.consilium.europa.eu/en/council-eu/decision-making/ordinary-legislative-procedure/>

European Parliament(Ordinary legislative procedure),
https://www.europarl.europa.eu/infographic/legislative-procedure/index_en.html

Trending Economics(EU Carbon Permits),
<https://tradingeconomics.com/commodity/carbon>

International Monetary Fund, <https://data.imf.org/>

UN Comtrade, <https://comtrade.un.org>

World Bank Carbon Pricing Dashboard,
<https://carbonpricingdashboard.worldbank.org/>

World Integrated Trade Solution, <https://wits.worldbank.org>

Abstract

Climate Change Response and Its Implications for Supply Chain

NATIONAL ASSEMBLY FUTURES INSTITUTE

In light of increasing cognizance regarding the impacts of climate change, nations are exploring methods to both reduce its severity and adapt to its consequences. One innovative solution is the implementation of the Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM). As leading economies strive to fortify their supply chains against future disruptions brought on by a changing climate, these developments are likely to have far-reaching implications for the Korean economy as well.

This study endeavors to assess the ramifications of the implementation of CBAM on international trade and the Korean economy, and to thoroughly examine the pivotal technologies deemed crucial in mitigating the adverse effects of climate change through reduced carbon emissions. The examination commences by analyzing the international trade and embodied carbon emissions pertaining to the products associated with CBAM. Subsequently, the study employs the Caliendo and Parro (2015) multi-country, multi-sector Ricardian model to quantify the impact of CBAM. Furthermore, the study evaluates the influence of cutting-edge technologies aimed at reducing carbon emissions on the outcome of the analysis. Finally, the study delves into five categories of climate-change mitigating technologies and formulates strategies to advance and enhance the competitiveness of Korean industries in these areas.

기후변화 대응과 공급망 전략

인 쇄 2022년 12월 26일
발 행 2022년 12월 31일
발 행 인 김 현 곤
발 행 처 국회미래연구원
주 소 서울시 영등포구 의사당대로 1
국회의원회관 222호
전 화 02)786-2190
팩 스 02)786-3977
홈페이지 www.nafi.re.kr
인 쇄 처 명문인쇄공사 02)2079-9200

©2022 국회미래연구원

ISBN 979-11-982065-9-6 (93340)

새로운 희망을 만드는 국회



국회미래연구원
NATIONAL ASSEMBLY FUTURES INSTITUTE