연구보고 2022-003

글로벌 녹색·기후기술 정보분석 연구

IPCC 제6차 평가보고서를 기반으로 한 기후기술 정책 대응 연구

Research on Climate Technology Policy
Based on the IPCC Sixth Assessment Report

2022. 12.

국가녹색기술연구소
NATIONAL INSTITUTE OF GREEN TECHNOLOGY

보안과제( ), 일반과제(O)

글로벌 녹색·기후기술 정보분석 연구

IPCC 제6차 평가보고서를 기반으로 한 기후기술 정책 대응 연구

Research on Climate Technology Policy
Based on the IPCC Sixth Assessment Report

2022. 12.

국가녹색기술연구소
NATIONAL INSTITUTE OF GREEN TECHNOLOGY

제 출 문

국가녹색기술연구소 소장 귀하

본 보고서를 **“IPCC 제6차 보고서를 기반으로 한 기후기술 정책 대응 연구”**의 보고서로 제출합니다.

2022. 12.

주관연구기관명 : 국가녹색기술연구소

부 서 명 : 정책연구부

연 구 책 임 자 : 오 채 운 책임연구원

연 구 원 : 손 범 석 선임연구원

: 송 예 원 연 구 원

: 김 한 이 학생연구원

요 약 문

Ⅰ. 서 론

□ 연구의 배경 및 목표

ㅇ IPCC 제6차평가보고서의 제3실무그룹(완화) 보고서를 중심으로, 동 보고서에 대한 검토 및 우리나라의 정책적 대응 방안을 분석하여 우리나라의 기후기술 정책 및 협력 정책 방향 수립 및 제고

□ 연구내용 및 추진방법

ㅇ IPCC 제6차 평가보고서 제3실무그룹(완화) 보고서에 대한 국내·외 정책대응 제고 연구 수행

ㅇ IPCC 제6차평가보고서를 기반으로 하여, 우리나라에 주요한 기후기술 관련 정책 사항들을 추출하고, 이에 대한 정책 심화 연구 수행. 추출한 세부 정책연구로는 i) 이산화탄소 제거 접근법 차원의 이산화탄소 직접대기포집 및 저장(DACCS) 기술 실증 연구, ii) IPCC 제6차평가보고서를 활용하여, 환경·사회·거버넌스(ESG) 차원의 리스크 분석 기초 자료 도출 연구, 그리고 iii) 기후변화 국제협력 상향식 국제 제도 차원에서, 우리나라의 양자협력체계 수립 관련 정책 연구를 설정

Ⅱ. IPCC 제6차 보고서 정책대응 제고

□ 제1절 IPCC 국내대응협의회 및 주관기관 역할 수행 및 제고

ㅇ 우리나라의 IPCC에 대한 대응 역량 강화를 위하여 기상청은 'IPCC 국내대응협의회'를 신설하였으며, 국가녹색기술연구소는 동 협의회의 제3실무그룹 (완화) 전문위원회 공동주관기관 역할 수행. 올해 IPCC 제3실무그룹 보고서가 발간됨에 따라 전문위원회 주관기관으로서의 역할을 제고하기 위한 정책 수립 및 지원 업무 수행. 특히 IPCC 보고서 검토에 있어 정부 입장 수립에 기여하였으며, IPCC 총회에 정부대표단으로 참여하여 우리나라 입장이 보고서에 충실히 반영되도록 역할을 수행. 보고서 발간 이후에는 다양한 포럼, 토론회, 발간물 등을 통해 보고서 내용 확산에 기여

□ 제2절 IPCC 제6차 보고서 제3실무그룹(완화) 보고서 승인 정책 연구

ㅇ 제56차 IPCC 총회를 통해 제6차 평가보고서의 제3실무그룹(완화) 보고서가 승인 및 발간됨에 따라 동 보고서의 정책결정자를 위한 요약서(SPM)를 중심으로

보고서 주요 내용을 소개하고, 승인 과정에서의 논의 쟁점을 요약·정리. 또한 우리나라에의 정책적 시사점으로, i) NDC 목표 상향, 감축 이행 경로 및 로드맵, ii) 감축의 수요 관리 중요성, iii) 공급부문의 다양한 감축 옵션 고려 및 노력, iv) 이산화탄소제거(CDR) 접근법, v) 통합적 접근법(감축-적응-지속가능발전), vi) 국제협력, vii) 기후금융, viii) 기후기술에 대해서 입장 도출

Ⅲ. 이산화탄소제거 접근법

□ 제1절 이산화탄소제거 접근법과 완화(개괄)

ㅇ 최근 많은 주목을 받고 있는 직접대기 이산화탄소포집(DAC) 기술을 중심으로 이산화탄소제거 접근법의 필요성과 종류 개괄. 습식포집 기술과 건식포집 기술 각각에 대해서 국내외 실증사례를 중심으로 각 포집방식 적용시 고려사항을 도출. 정책적 시사점으로 i) 우리나라에 도입하고자 하는 DAC 기술 종류(습식 및 건식)의 특성을 고려한 R&D 전략 필요, ii) DACCS 기술을 통한 제거 실적에 대한 경제적 보상이 이루어지도록 방법론 개발, iii) 배출권거래제도 상의 감축 결과물 활용, iv) 세액공제 및 다양한 규제 방식 검토를 제시

□ 제2절 중점 연구: 직접대기탄소포집·저장 기술 연구
(직접대기포집저장기술(DACCS)의 기술 도입 정책 결정요인 분석 연구)

ㅇ 현재 DACCS 기술에 대해 기술 및 정책 환경이 아직 성숙하지 않았음에도 대규모 DACCS 기술 실증사업이 이루어지고 있는바, 기업 수준에서의 조직 경영 분야로 연구주제를 전환하여 DACCS 기술의 대규모 실증에 대한 기업의 결정요인 연구. 이러한 결정요인을 문헌분석을 통해 i) 시장 견인 요소, ii) 기술 주도 요소, iii) 규제 엄격성 요소로 구분하였고, 캐나다 카본엔지니어링(사)를 대상으로 대면 인터뷰 및 서면 설문조사를 통해 각 결정요인의 효과를 분석. 이를 바탕으로 i) 국가·지역·국제적 규제 기반의 탄소 가격제를 통해 탄소 가격 및 DAC 기술 도입 비용의 정량화 및 상호간의 비교 필요, ii) 예측 가능한 탄소 가격에 기반하여 도출된 미래 사업 성과에 대한 예측을 바탕으로 금융에 대한 접근 필요, iii) 규제 외에도 모든 결정요인들이 함께 작용하는 것이 필요하다는 결과를 도출

Ⅳ. ESG 대응을 위한 IPCC 보고서 활용

□ 제1절 기후변화 완화를 위한 기후투자와 ESG (개괄)

ㅇ 기후변화에 대응하기 위한 국제적 ESG 의무공시화 동향 개괄

□ 제2절 중점 연구: 기후변화 완화를 위한 기후투자와 ESG
(TCFD의 기후변화 위험 및 기회 분석을 위한 IPCC 보고서 시나리오 정보 추출 연구)

ㅇ ESG의 중요성이 커진 배경 및 다양한 ESG 이니셔티브 주요 동향 개괄

- ESG는 i) 투자자 요구 변화, ii) 기업 평가기준의 변화, iii) 소비자 요구 의 변화, iv) 정부 규제의 변화와 같은 흐름 속에서, 기업 투자기준의 중요한 척도로 대두
- 기업정보공시 기준으로서 전통적으로 많이 활용되던 글로벌 보고 이니셔티브(GRI) 및 지속가능성회계기준위원회(SASB)의 기준안에 대하여 소개하고, 기후변화에 특화된 TCFD권고안 및 최근 통합된 공시지침으로 주목을 받는 ‘IFRS 지속가능성 공시기준’ 및 ‘유럽 지속가능성보고기준(ESRS)’를 조망

ㅇ 기후변화로 인한 TCFD의 대두 배경 및 개요 설명
- TCFD의 설립 과정 및 주요 역할, TCFD 지지기관의 증가 추이 조망
- TCFD 권고안을 정부 차원에서 도입하고 있는 국가들에 대한 동향 개괄

ㅇ TCFD 권고안에서 제시하는, 기업정보 공시를 위한 시나리오 분석 절차에 대한 단계별 분석
- (1단계) 시시나리오 채택을 위하여 TCFD권고안에서 제시하는 요건 및 사례 소개(IEA 세계에너지전망, 에너지기술전망 등)
- (2단계) 시나리오상의 구체적 가정 및 변수에 근거한 기후변화 위험·기회요인 파악
- (3단계) 기업에 미치는 영향 분석 및 이에 대한 전략 도출과 공시항목 정리

ㅇ 시나리오 분석 시 가장 중요한 기후변화 위험요인 파악을 위한 데이터 추출 연구를 IPCC 제6차 평가보고서에 기반하여 수행
- (전환적 위험) ‘정책 및 법률’, ‘기술’, ‘시장’, ‘평판’에 대한 위험요인 추출
- (물리적 위험) ‘급성 기후현상’, ‘만성적 기후변화’에 대한 위험요인 추출

Ⅴ. 기후변화 국제협력 상향식 국제 제도

□ 제1절 기후변화 완화와 기후클럽 제도/접근법 (개괄)

ㅇ 기후변화 완화 국제협력의 상향식 접근법으로서 기후클럽 등장 현황 개괄

□ 제2절 중점 연구: 파리협정 제6조 상응조정 규칙에 대한 정책대응 연구
(파리협정 제6조 상응조정 규칙의 해석과 우리나라 대응 정책의 시사점 연구)

ㅇ 파리협정 제6.2조 협력적 접근을 통해 국제적으로 이전가능한 감축결과물(ITMOs)을 확보하고자 할 때 반드시 적용해야 하는 상응조정(corresponding adjustment) 규칙과 관련하여, 우리나라가 정책적으로 반드시 고려해야 하는 상응조정 규칙을 크게 3가지 측면으로 설정. 이는 i) 상응조정 방법론, ii) 상응조정의 대상인 ITMO 확보를 위한 트랙인 6.4조 지속가능발전메커니즘, 6.2조 협력적 접근, 그리고 다른 국제감축목표의 규칙, 그리고 iii) 상응조정 보고 및 리스크 규칙. 이 각각의 규칙을 세부적으로 파악하고 이에 대한 우리나라 정책 대응 방안을 도출

□ 제3절 중점 연구: 파리협정 제6조 환경건전성 원칙 적용 연구
(파리협정 6.2조 협력적 접근 하 우리나라 자체적 국제 탄소시장 메커니즘에 대한 환경건전성 개념 적용 방향 고찰)

ㅇ 파리협정 제6.2조 협력적 접근을 통해 ITMOs를 확보하고자 할 때 반드시 적용해야 하는 환경건전성(environmental integrity) 원칙과 관련하여, 우선 환경건전성에 대한 개념을 파악. 이후, 파리협정 제6.2조 하에서 우리나라가 자체적인 국제탄소시장 메커니즘을 설계하고자 할 때 고려해야 할 측면을 i) ITMO 생산, ii) ITMO 이전, iii) ITMO 취소, 그리고 iv) ITMO 판매실적 수익금으로 구분. 각 항목에 대해서 고려해야 할 요소로는 i) ITMO 생산 측면의 경우 추가성, 베이스라인 방법론, 전환 방법론, 영구성, 그리고 세이프가드 & 지속가능발전, ii) ITMO 이전 측면 경우 상응조정, iii) ITMO 취소의 경우 전지구적 전반적 감축 달성(OMGE)을 위한 공제, 그리고 iv) ITMO 판매실적 수익금의 경우 적응기금 기여로 고려 요소들을 도출. 이를 토대로 요소들에 대해서 기존의 제도들의 규칙 설정 현황들에 대해서 사례를 분석하고, 우리나라에 가장 적절한 규칙 설계 방향성을 도출하는 연구 수행. 동 연구에서 기존 제도들로는 청정개발메커니즘(CDM), 일본의 공동크레딧메커니즘(JCM), 스위스의 ITMO 구매계약 제도, 그리고 가능하면 파리협정 6.4조 지속가능발전메커니즘을 활용

Ⅵ. 결론

□ 동 연구과제의 연구 성과를 개괄 및 향후 연구 방향성 도출

S U M M A R Y

Ⅰ. Introduction

□ Research background and purpose

ㅇ Our research aims to review the IPCC 6th Assessment Report (AR6) Working Group III(mitigation) report and analyze Korea's policy responses to establish and improve Korea's climate technology policy and cooperation policy direction

□ Research content and method.

ㅇ We conducted research on domestic and foreign policy responses to the IPCC AR6 Working Group III(mitigation) report.

ㅇ Based on the AR6 WG3 report, in-depth policy research plan on climate technology is set in three aspects: i) carbon removal approaches with a focus on direct air carbon capture and storage (DACCS) technology, ii) climate risk -related information disclosure on Environment · Safeguards · Governance (ESG) in connection with the IPCC 6th Assessment Report, and iii) bottom-up international cooperation approach with the design of Korea' s bilateral cooperative framework for cooperative approaches on the ground of Article 6.2 of the Paris Agreement.

Ⅱ. Policy research on Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

□ Chapter 2.1 IPCC Government Council and NIGT' s role as a lead agency

ㅇ This chapter overviews our policy support activities for the Korean government on IPCC, as Korea Meteorological Administration has established IPCC Government Council, whose Working Group III is co-conducted by Green Technology Center. We supported Korea' s policy-making processes in the formulation of IPCC AR6 Working Group III report. We participated in the 56th Session of the IPCC as government delegates and provided inputs to the session meetings. On the basis of the IPCC AR6 WGIII report on mitigation, we held a forum, made presentations in several essential seminars, and prepared a report to disseminate the essential message of the report and to discuss Korea' s policy responses.

□ Chapter 2.2 Policy research for the approval of IPCC WGIII Report under the Sixth Assessment Report

ㅇ This chapter introduces the main contents, disputed issues, and policy implications of IPCC' s Working Group III report under the Sixth Assessment Report, which was approved at the 56th Session of IPCC. For the policy implications, the following topics are covered: i) a progression of NDC, ii) the demand side of mitigation, iii)

various mitigation options on the supply side, iv) carbon dioxide removal (CDR) approaches, v) an integrated approach of mitigation-adaptation-sustainable development, vi) international cooperation, vii) climate finance, and vii) climate technologies.

Ⅲ. Research on Carbon Dioxide Removal (CDR) Approach

□ Chapter 3.1 Introduction to CDR approaches and their roles in mitigation

○ This chapter overviews various CDR approaches, their necessities, and their roles, focusing on direct air capture (DAC) technologies recently receiving considerable attention. In advance, points to be considered in adopting DAC technologies in Korea are enumerated, and they include i) R&D strategies of each DAC technology, ii) a methodology development to compensate removal credits from the DACCS technologies, iii) acknowledgment of DAC technologies in emission trading systems (ETS), and iv) tax credits and regulatory instruments.

□ Chapter 3.2 Key research topic: Direct air carbon capture and storage (DACCS) technology (Core research: Determinants of firms' decision on conducting and scaling up demonstration projects for DAC technologies)

○ This chapter explores the determinants of firms ' decision to conduct large-scale demonstrations for DAC technologies even under institutional environments that are not ripe by shifting research focus from the technological feasibility of DAC technologies to organizational management at the firm level. The determinants are categorized as i) market-pull, ii) technology-push, and iii) regulatory stringency factors and verified through in-person interviews and expert surveys with *Carbon Engineering* in Canada. Then, policy implications for facilitating large-scale demonstrations for DAC technologies are driven through the analysis. Essential policy suggestions include: i) a fixed-amount carbon pricing with regulatory instruments is needed to quantify and compare the costs of DAC technology adoptions, ii) access to finance based on the return-on-investment calculated form the predictable carbon price is helpful, and iii) all determinants are required simultaneously.

Ⅳ. Research on Environmental · Social · Governance (ESG) in connection with the IPCC 6th Assessment Report

□ Chapter 4.1 Climate Investment and ESG for Climate Change Mitigation

○ This chapter overviews the international ESG mandatory disclosure trend in response

to climate change.

□ Chapter 4.2 Key research topic: Climate Investment and ESG for Climate Change Mitigation (A Study on Information extraction from IPCC Assessment Report Scenarion for TCFD Climate Change Risk and Opportunity Analysis)

ㅇ This chapter outlines the background of the growing importance of ESG worldwide and the main trends of various ESG initiatives.

- ESG has emerged as important measure of corporate investment standards in the trends like i) changes in investor's demand, ii) changes in corporate evaluation criteria, iii) changes in consumer's demand, iv) changes in governmental regulations.
- This chapter Introduces the standards of the Global Reporting Initiative(GRI) and the Sustainability Accounting Standards Board(SASB), which have traditionally been used as corporate information disclosure standards, and TCFD recommendations specific to climate change, and 'IFRS sustainability dosclosure standards' and 'European Sustainability Reporting Standard (ESRS)', which are attracting attention recently as integrated disclosure guidelines.

ㅇ Background and overview of the rise of TCFD

- TCFD's major roles and trend of increase in TCFD supporting organizations.
- Overview the trends in countries adopting TCFD recommendations at government level.

ㅇ A step-by-step analysis of the scenario analysis process for corporate information disclosure presented in the TCFD recommendation

- (Step 1) Introduce the requirements and cases presented in the TCFD recommendation for scenario adoption.
- (Step 2) Identificate climate change risk and opportunity factors based on specific assumptions and variables in the scenario.
- (Step 3) Analyze the impact on the company and derive a strategies.

ㅇ Extract data for identifying climate change risk factors based on the IPCC 6th Assessment Report

- (Transition risk) Policy and Legal Risks, Technology Risk, Market Risk, Reputation Risk
- (Physical risk) Acute Risk, Chronic Risk

Ⅴ. Research on bottom-up international institutions for international cooperation on climate change

□ Chapter 5.1: Climate change mitigation and the climate club system/approach

ㅇ This chapter overviews the emergence of climate clubs as a bottom-up approach to

international cooperation on mitigation of climate change

□ Chapter 5.2 Key research topic: A Study on policy responses to the Article 6 corresponding adjustment rule of the paris agreement
(A study on interpretation of corresponding adjustment rules of Article 6 of the Paris Agreement and implications for Korea's NDC implementation policy)

ㅇ This chapter explores Korea's policy-relevant rules on corresponding adjustment which has to be applied in any mechanisms or cooperation forms to obtain ITMOs under cooperative approaches on the ground of Article 6.2 of the Paris Agreement. This chapter classifies specific implementation of rules on corresponding adjustment by three categories: i) corresponding adjustment method and application, ii) acquisition tracks of ITMO as a subject of corresponding adjustment, and iii) reporting and risk of corresponding adjustment. This chapter concludes by summarizing policy implications for the appropriate paths forward regarding Korea's application of corresponding adjustment in the future.

□ Chapter 5.3 Key research topic: A Study on the Application of the Principles of Environmental Soundness in Article 6 of the Paris Agreement
(A study on the application of environmental integrity to the institutional design of Korea's global carbon market mechanism under the Article 6.2 of the Paris Agreement)

ㅇ This chapter explores the conceptual approaches to the principle of environmental integrity which has to be applied in any mechanisms or cooperation forms to obtain ITMOs under cooperative approaches on the ground of Article 6.2 of the Paris Agreement. This chapter attempts to question i) what elements should be considered to reflect environmental integrity and ii) what rules are appropriate for Korea to take in those elements. Elements to be considered are divided into four aspects: i) ITMO generation, ii) ITMO transfer, iii) ITMO cancellation, and iv) ITMO proceeds. Specific elements are i) additionality, baseline methodologies, conversion methodology, permanence, and safeguard & sustainable development in the aspect of ITMO generation, ii) corresponding adjustment in the aspect of ITMO transfer, iii) overall mitigation in global emission (OMGE) in the aspect of ITMO cancellation, and iv) contribution to Adapation Fund in the aspect of ITMO proceeds. This chpater utilizes the existing and up-coming carbon offset systems of the UNFCCC Clean Development Mechanism, the Japan-led Joint Crediting Mechanism, and the Swiss-led ITMO purchase agreement in order to

identify and compare the rules in influential elements in four aspects of environmental integrity. Then, Korea's appropriate position for rule-setting in the institutional design of bilateral cooperation framework in each of influential elements for environmental integrity is formulated.

Ⅵ. Conclusion

□ This chapter summarizes our research outcomes and provides guidance to future researches.

목 차

제1장 서 론 ····· 1

제 1 절 연구의 배경 및 필요성 ····· 1

제 2 절 연구 내용 및 구성 ····· 4

제 2 장 (중점연구 1) IPCC 제6차 보고서 정책대응 제고 ····· 7

제 1 절 IPCC 국내대응협의회 및 주관기관 역할 수행 및 제고 ····· 7

1. 기후변화에 관한 정부간 협의체(IPCC) 개요 ····· 7
2. IPCC 국내대응협의회의 기능 및 역할 ····· 9
3. IPCC 국내대응협의회 참여 및 주관기관 역할 제고 ····· 11
3.1. IPCC 국내대응협의회 개최 지원 ····· 11
3.2. 제3실무그룹 전문위원회 개최 ····· 16
3.3. 제56차 IPCC 총회 대응 ····· 17
3.4. 국내 기자단 언론 브리핑 ····· 20
3.5. IPCC 제3실무그룹 보고서 발간 기념 세미나 공동 개최 ····· 22

제 2 절 IPCC 제6차 보고서 제3실무그룹(완화) 보고서 승인 정책 연구 ····· 24

1. IPCC 제6차 평가보고서 제3실무그룹 보고서의 주요 내용 ····· 24
1.1. 서론 및 구조 ····· 25
1.2. 최근 배출 추세 및 동향 ····· 26
1.3. 지구온난화 제한을 위한 시스템 전환 ····· 30
1.4. 완화-적응-지속가능발전 간의 연계 ····· 37
1.5. 대응 강화 ····· 38
2. 제3실무그룹 보고서에 대한 정부 간 논의 쟁점 ····· 40
2.1. 국가 및 지역 구분 ····· 40
2.2. 온실가스 배출 ····· 41
2.3. 배출 경로 ····· 42
2.4. CCS 기술 ····· 43
2.5. 원자력 에너지 ····· 44

2.6. 자연 기반 해결책 ····· 44
2.7. 기후 거버넌스 ····· 45
2.8. 탄소 가격제 ····· 45
2.9. 화석연료 ····· 46
2.10. 금융 및 투자 ····· 47
2.11. 무역 협정 ····· 48
3. 제3실무그룹 보고서의 우리나라 정책적 시사점 ····· 49
3.1. NDC 목표 상향 ····· 49
3.2. 감축 이행 경로 및 로드맵 ····· 50
3.3. 감축을 위한 수요 관리의 중요성 ····· 52
3.4. 공급 부문의 다양한 감축 옵션에 대한 고려 및 노력 ····· 53
3.5. 이산화탄소제거(CDR) 접근법의 활용 ····· 56
3.6. 통합적 접근 ····· 57
3.7. 국제협력 ····· 58
3.8. 기후 금융 ····· 58
3.9. 기후 기술 ····· 59

제 3 장 (중점연구 2) 이산화탄소제거 접근법 ····· 61

제 1 절 이산화탄소제거 접근법과 직접대기포집 기술 (개괄) ····· 61

1. 이산화탄소제거(CDR) 접근법과 직접대기포집(DAC) 기술의 의미 ····· 61
1.1. 이산화탄소제거(CDR) 접근법의 필요성 및 종류 ····· 61
1.2. 직접대기포집(DAC) 기술의 부상 및 특징 ····· 63
2. DAC 기술의 개괄 ····· 65
2.1. 습식 포집 기술 ····· 65
2.2. 건식 포집 기술 ····· 68
3. DAC 기술의 개발 및 활용에 대한 국내·외 동향 ····· 72
3.1. 해외 DAC 습식 포집 기술 동향: Carbon Engineering 社 ····· 72
3.2. 해외 DAC 건식 포집 기술 동향: Climeworks 社 ····· 73
3.3. 국내 DAC 기술 동향: ㈜로우카본社 ····· 75
4. 우리나라 DAC 기술의 활용 계획 ····· 76
4.1. 우리나라 탄소중립 목표 달성과 DAC 기술의 중요성 ····· 76
4.2. 2050 탄소중립 시나리오에서의 활용 계획 ····· 78
5. 우리나라 탄소중립 달성을 위한 DAC 기술의 향후 과제 ····· 79
5.1. DAC 기술에 대한 우리나라 R&D 방향성 ····· 79
5.2. 국내 기보유 기술의 지원 ····· 80

5.3. DAC 기술 촉진을 위한 정책 및 제도 마련 ····· 80

제 2 절 (중점 연구) 직접대기탄소포집·저장(DACCS) 기술 연구 ····· 82

(직접대기포집저장기술(DACCS)의 기술 도입 정책 결정요인 분석 연구)

1. 서론 ····· 82
2. 기존 연구 ····· 83
3. 분석틀: DACCS 기술 실증 결정요인 ····· 87
4. 분석: 사례연구 ····· 90
   4.1. 시장 견인 결정요인 ····· 90
   4.2. 기술 주도 결정요인 ····· 91
   4.3. 규제 엄격성 결정요인 ····· 92
   4.4. 정책적 의미 ····· 93
5. 결론 ····· 95
6. 참고자료: DACCS 기술 실증 결정요인에 대한 전문가 설문조사 양식 ···· 96

제 4 장 (중점연구 3) ESG 대응을 위한 IPCC 보고서 활용 ····· 105

제1절 기후변화 완화를 위한 기후투자와 ESG(개괄) ····· 105

제2절 중점 연구: 기후변화 완화를 위한 기후투자와 ESG ····· 107

(TCFD의 기후변화 위험 및 기회 분석을 위한 IPCC보고서 시나리오 정보 추출 연구)

1. 서론 ····· 107
2. ESG 이니셔티브의 현황 ····· 110
3. TCFD의 개요 및 권고안 분석 ····· 114
   3.1. TCFD의 개요 ····· 114
   3.2. TCFD 권고안 ····· 117
   3.3. TCFD 권고에 따른 기업의 정보 공개 준비 사항: 기업 시나리오 분석 ····· 119
      3.1.1. TCFD 권고 시나리오 ····· 119
      3.3.2. TCFD 권고안 기반 시나리오 분석 절차 ····· 120
   3.4. TCFD 권고 정보 공개: 기후변화 위험 분석 ····· 122
4. TCFD를 적용한 국가의 대표 사례 ····· 123
   4.1. EU ····· 123
   4.2. 일본 ····· 126
5. IPCC 제6차 보고서 기반 기후 위험 정보 추출 ····· 130
   5.0. 기후 위험 관련 일반 정보 ····· 130

5.0.1. 장기 GHG 배출 시나리오 현황 및 전망 ····· 130
5.0.2. NDC 기반 국가 목표 설정 현황 및 방향성 ····· 132
5.1. 전환 위험 ····· 134
5.1.1. 정책 및 법률 부문 위험 ····· 134
5.1.2. 기술 위험 ····· 142
5.1.3. 시장 위험 ····· 147
5.1.4. 평판 위험 ····· 158
5.2. 물리적 위험 ····· 161
5.2.1. 급성 위험 ····· 161
5.2.2. 만성 위험 ····· 162
6. 결론 ····· 166
7. 참고자료 ····· 170
7.1. 주요 전환 시나리오 및 가정 ····· 170
7.2. 주요 물리적 기후변화 시나리오 및 가정 ····· 172
7.3. IPCC 제6차 평가보고서 제3실무그룹 보고서의 장별 '기술' 내용 ····· 173
7.4. RCP 및 SSP 시나리오 ····· 188
7.5. IPCC 제6차 평가보고서 기후위험 정보 추출 전문가 ····· 189

제 5 장 (중점연구 4) 기후변화 국제협력 상향식 국제 제도 ····· 190

제 1 절 기후변화 완화 국제협력과 기후클럽 접근법 (개괄) ····· 190

제 2 절 (중점 연구) 파리협정 제6조 상응조정 규칙에 대한 정책대응 연구 ····· 191
(파리협정 제6조 상응조정 규칙의 해석과 우리나라 대응 정책의 시사점 연구)

1. 서론 ····· 191
2. 선행연구 ····· 194
3. 상응조정에 대한 우리나라 대응방안 연구 ····· 196
3.1. 상응조정 방법론 규칙과 우리나라 단일년도 NDC 상응조정 방법론 적용 방안 ····· 196
3.2. 상응조정 대상인 ITMO 규칙과 ITMO 확보 방안 ····· 200
3.2.1. 6.4조 감축결과물의 NDC 활용 ····· 200
3.2.2. 6.2조 감축결과물인 ITMO의 NDC 활용 ····· 204
3.2.3. 자발적 탄소시장의 ITMO 활용 ····· 206
3.3. 상응조정 보고 규칙과 상응조정 리스크에 대한 대응 방안 ····· 208
4. 결론 ····· 210

제 3 절 (중점 연구) 파리협정 제6조 환경건전성 원칙 적용 연구 ····· 213
(파리협정 6.2조 협력적 접근 하 우리나라 자체적 국제 탄소시장 메커니즘에 대한 환경건전성 개념 적용 방향 고찰)

1. 서론 ····· 213
2. 환경건전성에 대한 기존 연구 ····· 215
2.1. 환경건전성의 정의 ····· 215
2.2. 환경건전성에 영향을 주는 요인 연구 ····· 217
2.3. 파리협정 6.2조 협력적 접근 하의 환경건전성 확보를 위한 고려 요소 ····· 221
3. 분석 ····· 223
3.1. ITMO 생산 ····· 223
3.2. ITMO 이전: 상응조정 ····· 234
3.3. ITMO 취소: 전지구적 전반적 감축 달성(OMGE)을 위한 공제 ····· 236
3.4. ITMO 판매실적의 수익금 기여: 적응기금 ····· 238
3.5. 종합 ····· 240
4. 결론 ····· 241

제 6 장 결론 ····· 245

1. 연구 성과 ····· 245
2. 올해 연구의 특징과 향후 연구 방향성 ····· 249

[별 첨] IPCC 제3실무그룹 보고서 최종정부안(FGD)에 대한 제3실무그룹 전문위원회의 검토의견 ····· 251

참 고 문 헌 ····· 284

표 목 차

<표 1-1> 연구 추진 체계 ····· 5
<표 2-1> IPCC 평가보고서 발간 시기 및 주요 기여 내용 ····· 7
<표 2-2> IPCC 제6차 평가보고서 주기에 발간되는 보고서 ····· 8
<표 2-3> IPCC 국내대응협의회의 구성 ····· 10
<표 2-4> 실무그룹별 전문위원회 구성 ····· 10
<표 2-5> IPCC 제6차 평가보고서 제3실무그룹 보고서의 검토 일정 ····· 12
<표 2-6> 제4차 IPCC 국내대응협의회 대비 우리나라 입장 수립 의견(국가녹색기술연구소 작성 및 발언) ····· 12
<표 2-7> 제56차 IPCC 총회 관련 대응 사항 ····· 17
<표 2-8> 제56차 IPCC 총회의 부처별 업무 분장 ····· 19
<표 2-9> 제3실무그룹(완화) 보고서 발간 기자 브리핑 기반 언론 보도 내용 ····· 21
<표 2-10> IPCC 제3실무그룹 보고서 발간 기념 세미나 주요 일정 ····· 23
<표 2-11> IPCC 제6차 평가보고서 제3실무그룹 보고서 SPM의 구성 ····· 24
<표 2-12> IPCC 제6차 평가보고서의 특징 ····· 25
<표 2-13> 현행 정책 및 NDC와 완화 경로 사이의 배출량 격차 ····· 29
<표 2-14> 전 지구 배출 경로의 유형과 주요 특징 ····· 30
<표 2-15> 감축 경로별 2030년 및 2050년 감축량 ····· 32
<표 2-16> 시나리오별 글로벌 탄소 비용 ····· 51
<표 3-1> CDR 접근법의 방법론 유형과 세부 접근법 ····· 63
<표 3-2> 국내·외 DAC 기술 대표 실증사례 ····· 72
<표 3-3> 녹색기술혁신의 일반적인 결정요인 ····· 86
<표 3-4> 기업이 DAC 기술에 대한 실증사업을 시행하거나 확대하는 데 영향을 미치는 결정요인 ····· 89
<표 3-5> 카본엔지니어링社의 DAC 관련 기술 보유 현황 ····· 91
<표 3-6> DAC 기술 실증을 시행하고 확대하는 데 영향을 미치는 결정요인의 효과성 및 우선순위 ····· 94
<표 4-1> 기업의 ESG 정보공시 지침에 관한 주요 글로벌 이니셔티브 ····· 111
<표 4-2> TCFD의 주요 발간물 정리 ····· 114

<표 4-3> 정부 및 국제기구 차원에서의 TCFD 권고안 공식 도입 동향 ·····115
<표 4-4> TCFD 정보공시 세부지침: ①지배구조 ·····117
<표 4-5> TCFD 정보공시 세부지침: ②경영전략 ·····117
<표 4-6> TCFD 정보공시 세부지침: ③위험 관리 ·····118
<표 4-7> TCFD 정보공시 세부지침: ④지표 및 감축 목표 ·····118
<표 4-8> TCFD 권고안에서 제시된 시나리오 사례 내용 ·····119
<표 4-9> 기후변화 대응 시나리오 분석 프로세스 ·····120
<표 4-10> 시나리오 분석 시 주요 단계별 고려 요소 ·····121
<표 4-11> TCFD 권고안의 기후변화 위험요인 및 재무상태에 미치는 영향 ·····122
<표 4-12> EC의 기후 관련 비금융정보 보고 가이드라인에서 제시하는 보고방법 ·····123
<표 4-13> 업종별 TCFD가이던스에 의한 공시 지침 ·····127
<표 4-14> 지구 배출 경로의 유형과 주요 특징 ·····131
<표 4-15> NDC에 기반한 2030년 지구 배출량 전망과 관련 배출량 격차 ·····132
<표 4-16> 국제 지속가능성 기준위원회(ISSB)의 지속가능성 공시기준 공개 초안 발표 135
<표 4-17> EU의 공급망 ESG 실사 지침 초안 발표 ·····135
<표 4-18> 회피(Avoid)를 촉진하기 위한 정책 사례 ·····139
<표 4-19> 전환(Shift)을 촉진하기 위한 정책 사례 ·····139
<표 4-20> 개선(Improve)을 촉진하기 위한 정책 사례 ·····140
<표 4-21> IPCC 6차 평가보고서 제3실무그룹 보고서 중 탄소중립 10대 핵심기술 관련 내용 ···145
<표 4-22> 탄소중립 실현을 위한 6대 핵심광물 ·····153
<표 4-23> 2020년 상위 20개국 시멘트 수출 순위 ·····155
<표 4-24> IPCC 제6차 평가보고서 기반 기후변화 위험요인 정보 추출 결과 ·····166
<표 5-1> 상응조정 방법들의 특징 ····· 195
<표 5-2> 상응조정에 따른 자발적 탄소시장의 크레딧 유형 ····· 207
<표 5-3> 환경건전성 접근법 ····· 216
<표 5-4> 감축결과의 국제적 이전에 대한 환경건전성 ····· 217
<표 5-5> 파리협정 하에서 환경 건전성 관련 요인 및 요건 ····· 220
<표 5-6> 파리협정 제6.2조를 위한 환경건전성 확보 방안 ····· 222
<표 5-7> 추가성 규칙 비교 ····· 225
<표 5-8> 베이스라인 방법론 규칙 비교 ····· 228
<표 5-9> 非온실가스에 대한 가능 메트릭스 ····· 228

〈표 5-10〉 전환 방법론 규칙 비교 ····· 230
〈표 5-11〉 영구성 규칙 비교 ····· 232
〈표 5-12〉 세이프가드 및 지속가능발전 규칙 비교 ····· 234
〈표 5-13〉 단년도 목표 NDC를 위한 환경건전성과 상응조정 ····· 236
〈표 5-14〉 OMGE 규칙 비교 ····· 237
〈표 5-15〉 적응기금 규칙 비교 ····· 239
〈표 5-16〉 한국의 양자협력체계 제도설계 시 환경건전성 확보를 위한 전략적 입장 ·· 240
〈표 6-1〉 연구 결과 정리 ····· 245

그 림 목 차

[그림 1-1] 연구 추진체계 도식 ····· 6
[그림 2-1] 1990~2019년 전 지구 순 인위적 온실가스 배출량($GtCO_2eq/yr$) ····· 26
[그림 2-2] 지역별 온실가스 배출량 및 1850~2019년 누적 이산화탄소 배출량의 지역별 분포 ····· 27
[그림 2-3] 급격하게 변하는 완화 기술의 단가 하락 및 활용도 ····· 28
[그림 2-4] 모델 경로 상에서의 전 지구 온실가스 배출량 ····· 29
[그림 2-5] 2050년까지의 수요 측면 완화 방안의 잠재력 ····· 33
[그림 2-6] 2030년 완화 옵션별 비용 및 감축 잠재량 ····· 36
[그림 2-7] 부문·시스템별 완화 옵션과 SDG 사이의 시너지 및 상충효과 ····· 37
[그림 3-1] 이산화탄소제거(CDR) 접근법의 분류 ····· 62
[그림 3-2] 강염기(수산화나트륨) 수용액을 활용한 DAC 습식 포집 공정 ····· 66
[그림 3-3] 흡착제를 활용한 DAC 건식 포집 공정 ····· 69
[그림 3-4] 카본엔지니어링社가 건설 중인 대규모 실증 설비의 조감도 ····· 73
[그림 3-5] 클라임웍스社에서 현재 운영 중인 대규모 실증 설비 '오르카(Orca)' ····· 74
[그림 3-6] ㈜로우카본의 DAC 기술 소규모 실증 설비 ····· 76
[그림 3-7] DAC 기술 활용 및 非활용 시 2050 부문별 배출량 경로 ····· 77
[그림 3-8] 2050년 탄소중립을 위한 탄소 가격 전망 ····· 78
[그림 3-9] 2050 탄소중립 시나리오에서 밝히고 있는 DAC 활용 계획 ····· 79
[그림 3-10] 45Q 세액공제의 개략도 ····· 93
[그림 4-1] 우리나라 연도별 비재무보고서 발간기업 수 증감 추이 ····· 113
[그림 4-2] TCFD 지지 기관 증가추이와 지지 기관 중 금융기관의 운용자산 규모 ····· 115
[그림 4-3] TCFD 지지 기관의 국가별 규모 ····· 126
[그림 4-4] TCFD의 적용을 위한 정부-민간 합동대응 ····· 127
[그림 4-5] 기술혁신의 경제적, 환경적, 사회적 영역의 고려 정도에 따른 분포 ····· 143
[그림 4-6] 기술 전환 주기별 과정과 전환위험 ····· 144
[그림 4-7] 국제에너지 가격동향 ····· 150
[그림 4-8] 국제 유가전망(WTI 기준) ····· 151

[그림 4-9] 국제 석탄 및 천연가스 가격 전망 ·····152
[그림 5-1] 참여국에 따른 상응조정 과정 ····· 193
[그림 5-2] 예시적인 다년도 배출량 경로 옵션 ····· 199
[그림 5-3] JCM의 배출량 감축량 계산 ····· 227

C O N T E N T S

Chapter 1 Introduction ····· 1

Section 1 Research Background and Objective ····· 1

Section 2 Research Contents and Method ····· 4

Chapter 2 (Key research 1) Policy Research on IPCC ····· 7

Section 1 IPCC Government Council and NIGT's Role as a Lead Agency ····· 7

1. Introduction to Intergovernmental Panel on Climate Change ····· 7
2. Korea's IPCC Government Council ····· 9
3. NIGT's role as a Lead Agency ····· 11
   3.1. Supporting IPCC Government Council ····· 11
   3.2. Hosting Working Group III Experts' Meetings ····· 16
   3.3. Participating in the 56th Session of IPCC ····· 17
   3.4. Press briefing ····· 20
   3.5. Co-hosing a seminar on IPCC WGIII Report ····· 22

Section 2 Policy Research for the Approval of IPCC WGIII Report under the 6th Assessment Report ····· 24

1. Main Contents of IPCC WGIII Report ····· 24
   1.1. Introduction and framing ····· 25
   1.2. Recent developments and current trends ····· 26
   1.3. System transformations to limit global warming ····· 30
   1.4. Linkages between mitigation, adaptation, and sustainable development ····· 37
   1.5. Strengthening the response ····· 38
2. Disputed Issues on IPCC WGIII Report ····· 40
   2.1. Classification schemes for countries and areas ····· 40
   2.2. Greenhouse gas emissions ····· 41
   2.3. Emission pathways ····· 42
   2.4. CCS technology ····· 43
   2.5. Nuclear energy ····· 44

2.6. Nature-based solutions ····· 44
2.7. Climate governance ····· 45
2.8. Carbon price ····· 45
2.9. Fossil fuels ····· 46
2.10. Finance and investment ····· 47
2.11. Trade agreements ····· 48
3. Policy Implications from IPCC WGIII Report ····· 49
3.1. Increasing NDC ····· 49
3.2. Mitigation pathways and roadmaps ····· 50
3.3. Demand management for mitigation ····· 52
3.4. Various mitigation options for supply sectors ····· 53
3.5. Carbon dioxide removal (CDR) approaches ····· 56
3.6. Integrated approaches ····· 57
3.7. International cooperation ····· 58
3.8. Climate finance ····· 58
3.9. Climate technology ····· 59

Chapter 3 (Key research 2) Carbon Dioxide Removal (CDR) Approaches 61

Section 1 Introduction to CDR Approaches and Their Roles in Mitigation ····· 61

1. CDR Approaches Focusing on Direct Air Capture (DAC) Technologies ·· 61
1.1. CDR Approaches ····· 61
1.2. DAC Technologies ····· 63
2. Overview of DAC Technologies ····· 65
2.1. Liquid solvent technologies ····· 65
2.2. Solid sorbent technologies ····· 68
3. Current Trends on DAC Technologies ····· 72
3.1. Overseas trend on DAC liquid solvent technologies: *Carbon Engineering* ···72
3.2. Overseas trend on DAC solid sorbent technologies: *Climeworks* ····· 73
3.3. Korea’s trend on DAC technologies: *Low Carbon* ····· 75
4. National Plans on DAC Technologies ····· 76
4.1. DAC technologies to achieve carbon neutrality ····· 76
4.2. 2050 Carbon Neutrality Scenario ····· 78
5. Future Tasks for DAC Technologies to Achieve Carbon Neutrality ····· 79
5.1. Korea’s R&D direction on DAC technologies ····· 79
5.2. Supporting technologies already available in Korea ····· 80
5.3. Establishing policies and institutions to facilitate DAC technologies ····· 80

Section 2 Key Research: DACCS Technology ····· 82
(Determinants of firms' decision on conducting and scaling up demonstration projects for DAC technologies)

1. Introduction ····· 82
2. Literature Review ····· 83
3. Analytical Framework ····· 87
4. Analysis: Case Study ····· 90
4.1. Market-pull determinants ····· 90
4.2. Technology-push determinants ····· 91
4.3. Regulatory stringency determinants ····· 92
4.4. Policy implications ····· 93
5. Conclusions ····· 95
6. Supplementary Material: Survey Form for the Research ····· 96

Chapter 4 (Key Research 3) Research on ESG with the IPCC 6th Assessment Report ····· 105

Section 1 Climate Investment and ESG for Climate Change Mitigation (Overview) ··· 105

Section 2 Key research topic: Climate Investment and ESG for Climate Change Mitigation (A Study on Information extraction from IPCC Assessment Report Scenarion for TCFD Climate Change Risk and Opportunity Analysis) ····· 107

1. Introduction ····· 107
2. Status of ESG Initiatives ····· 110
3. Overview of TCFD and Analysis of TCFD Recommendation ····· 114
4. Representative examples of countries applying TCFD ····· 123
4.1. EU ····· 123
4.2. Japan ····· 126
5. Extraction of climate risk information based on IPCC 6th report ····· 130
5.0. General information on climate-related risks ····· 130
5.1. Transition risks ····· 134
5.2. Physical risks ····· 161
6. Conclusion ····· 166
7. Supplementary Materials (1-4) ····· 170

Chapter 5 Research on Bottom-up International Climate Cooperation ·· 190

Section 1 Climate change mitigation andalusite the climate club approach ····· 190

Section 2 Key Research: Corresponding Approach Rule ····· 191
(A study on interpretation of corresponding adjustment rules of Article 6 of the Paris Agreement and implications for Korea' s NDC implementation policy)

1. Introduction ····· 191
2. Previous Studies on Environmental Integrity ····· 194
3. Analysis ····· 196
3.1 Corresponding adjustment method and application ····· 196
3.2 Acquisition tracks of ITMO as a subject of corresponding adjustment ··· 200
3.3 reporting and risk of corresponding adjustment ····· 208
4. Conclusion ····· 210

Section 3 Key Research: Principle of Environmental Integrity ····· 213
(A study on the application of environmental integrity to the institutional design of Korea' s global carbon market mechanism under the Article 6.2 of the Paris Agreement)

1. Introduction ····· 213
2. Previous Studies on Environmental Integrity ····· 215
3. Analysis ····· 223
3.1 ITMO generation ····· 223
3.2 ITMO transfer ····· 234
3.3 ITMO cancelation (for OMGE) ····· 236
3.4 ITMO proceeds (Adaptation Fund) ····· 238
3.5 Overall analysis ····· 240
4. Conclusion ····· 241

Chapter 6 Conclusion ····· 245

[Appendix] Working Group III Expert Meeting' s review of the final government draft of IPCC Working Group III Report ····· 251

References ····· 284

제 1 장 서 론

제 1 절 연구의 배경 및 필요성

2021년, 2022년, 그리고 2023년은 기후변화 대응을 위한 국제적 행동에 있어서 특별한 의미를 갖는다. 그 이유는 파리협정 이행에 대한 전지구적인 평가과정인 전지구적 이행점검(Global stocktake)가 2023년 이루어질 예정인데, 이 평가과정에 핵심적으로 활용되는 자료인 기후변화에 관한 국가간 패널(IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change)은 제6차 평가보고서(AR6, Sixth Assessment Report)가 차례로 승인되기 때문이다.[1] 기후변화의 과학적 근거를 다루는 제1실무그룹 I(WGI, working group I)(과학) 보고서가 2021년 승인되었고, 이어서 기후변화 영향·적응·취약성을 다루는 제2실무그룹 보고서가 2022년 2월, 기후변화 완화를 다루는 제3실무그룹 보고서가 2022년 4월 승인되었다.[2] 그리고, 이 세 보고서의 핵심 내용을 종합한 종합보고서가 2023년 4월에 논의 및 승인될 것으로 예상된다. 우리나라는 IPCC와 관련하여 기상청을 중심으로 2020년 IPCC 국내대응협의회가 설립되었고, 동 협의회를 지원하기 위해 실무그룹별로 전문가로 구성된 전문위원회가 구성되었다. 동 국내대응협의회와 3개 실무그룹별 전문위원회를 중심으로, 제6차 평가보고서에 대한 전문가 및 국가 차원의 검토 과정이 있었다. 이는 동 보고서의 작성 내용이 중립적으로 작성되었는지, 학술 결과물의 내용이 명확히 반영되었는지, 그리고 우리나라의 입장에서 부정적인 측면으로 기술된 사항은 없는지 등에 대한 검토가 이루어진다. 이러한 검토 결과를 통해, 우리나라는 IPCC 평가보고서에 반영될 수 있도록 노력해 왔다. 동시에, 각 실무그룹 보고서 별로 작성된 '정책결정자를 위한 요약서(Summary for Policymakers)'에 대해서, 동 사항에 포함된 정책적 방향성에 대해서 향후 우리나라는 어떠한 입장을 가지고 어떻게 정책적으로 대응이 필요한가에 대해서도 전문위원회 별로 논의가 있었다.

이러한 IPCC 제6차평가보고서는 크게 두 가지 측면에서 연구의 필요성을 일으킨다. 하나는 이번에 도출된 IPCC 제6차평가보고서의 내용이 무엇이며, 이 과정에서 우리나라는 국내 및 국제적으로 어떻게 참여하였고, 이 보고서 내용이 주는 정책적 시사점이 무엇인가에 대해서 연구할 필요가 있다. 다른 하나는 IPCC 보고서의 내용과 관련하여 현재 국제사회에서 가장 주목받는 동시에 우리나라에서 미비하게 대응하고 있는 사항들을 뽑아내고, 이 사항들이 무엇이며, 이에 대해서 우리나라는 향후 어떠한 정책적 대응이 필요한가에 대해서 연구할

1) IPCC는 기후 변화와 관련된 과학을 평가하는 국제기구로, IPCC는 1988년 세계 기상기구(WMO)와 유엔 환경 계획(UNEP)에 의해 정책 입안자에게 기후 변화의 과학적 기초, 향후 미치는 영향과 위해성, 적응 및 감축에 대한 정기적인 평가를 제공하기 위해 설립되었다. IPCC는 평가보고서를 통해 모든 수준의 정부가 기후 관련 정책을 개발할 수 있는 과학적 근거를 제공하며, 유엔 기후변화협약(UNFCCC)에서 협상 진행의 근거로 이용된다.

2) IPCC의 평가보고서 작성주기는 약 7년이며, 제6차 평가보고서 작성주기는 2016-2022년이다. 이에, AR6 최종보고서는 종합보고서를 끝으로 2023년 도출되며, 향후 평가 사이클은 파리협정 하의 국제이행점검(2023년 시작)과 연계되어 결정될 예정이다.

필요가 있다. 이러한 핵심적인 두 가지 연구 필요성을 보다 구체적으로 설명하고자 한다.

먼저, IPCC 제6차평가보고서에 대해서 제1실무그룹(과학적 근거), 제2실무그룹(영향・적응・취약성), 제3실무그룹(감축)에 대해서 제1실무그룹 보고서는 우리나라 국립기상과학원이 주관기관으로서 검토를 주도하고, 제2실무그룹 보고서는 한국환경연구원이 주관기관으로서 검토를 리드하고 있다. 그리고 제3실무그룹 보고서는 우리 기관과 에너지경제연구원이 공동주관기관으로서 검토를 리드하고 있다. 이에, 제3실무그룹 보고서(완화)에 대한 검토 과정 상에서, 주관기관으로서 전문가 검토의견 수렴, 국내대응협의회를 통한 우리나라 입장 수립, 그리고 국제회의에서 우리나라 입장 발의 및 반영 등의 정책 대응 연구가 필요하다. 또한, 보고서 승인을 앞두고 국제적인 논의 과정에서 다른 당사국들이 어떠한 입장을 가지고 있었으며, 우리나라는 어떠한 입장을 취하였는 지에 대한 사항을 분석하고 정리한는 과정이 필요하다. 더 나아가 도출된 보고서를 중심으로 보고서의 핵심 내용이 무엇이며 우리나라의 향후 정책적 대응 방향을 고찰하는 과정 역시 필요하다.

한편, IPCC 제6차평가보고서를 기반으로 하여, '기후기술'에 대한 정책 심화 연구가 필요하다. IPCC 제6차보고서 제3실무그룹(완화) 보고서 상에서 우리 기관과 관련된 챕터 12(범분야적 관점), 챕터 14(국제협력), 챕터 16(혁신, 기술 개발과 이전)을 중심으로, 기후기술 정책・협력 관련 우리나라 중점 이슈에 대한 심화 연구가 필요하다. 동 연구의 연구진은 IPCC 제6차평가보고서 상에서 세 가지 핵심 연구주제를 추출하였다. 첫째는 이산화탄소제거 접근법 연구이다. IPCC 제1.5° C 특별 보고서에서 중점적으로 떠오르고, 제6차평가보고서와 관련하여 최근 학계 및 정책에서 주목하고 있는 완화 옵션인 이산화탄소제거(CDR, carbon dioxide removal) 접근법에 대한 중요성이 커지고 있다. 우리나라에서는 CDR 접근법과 관련하여 산림의 조림 및 재조림(afforestation & reforestation)에 대해서는 주목하고 있다. 그런데 CDR 접근법 중에서 최근 국제사회에서 실증 및 사용화 단계로 접어든 CDR 접근법으로, '기술적 접근법' 중 하나인 직접대기탄소포집・저장(DACCS, direct air carbon capture & storage) 기술에 대해서 우리나라는 아직 많은 관심을 기울이고 있지 않다. 우리나라에서도 직접대기탄소포집(DAC, Direct air capture) 기술을 연구개발하고 소규모 실증을 시도한 기업들이 등장하고 있다. 동 연구진은 DAC 기술의 우리나라 R&D 적용성에 대한 연구를 2021년도에 우리나라에서 처음 시작하였고, 올해 이 연구를 확장하여 기업들의 DAC 기술 대규모 실증화를 위한 정책결정요인에 대한 연구가 필요하다고 판단하였다.

둘째는 기후재정/기후투자 차원에서 IPCC 보고서의 활용성을 제고하는 연구가 필요하다고 판단하였다. 최근 기업투자에 있어 재무적 가치 뿐만 아니라 非재무적 가치를 고려하는 책임투자가 강조됨에 따라 전세계적으로 다양한 국제적인 ESG 정보공개 이니셔티브들이 등장하고 있다. 이 차원에서 기후변화 대응 정보 공개의 중요성이 높아짐에 따라, 기후변화의 위험 및 기회를 분석하고 대응 및 이행전략을 수립하여 공개하는 것이 강조되고 있다. 이를 위해서는 기후변화에 대한 리스크를 파악하는데, 이 과정에서 최근 도출된 제6차 IPCC 평가보고서의 내용이 리스크 파악 및 분석에 있어서 매우 중요한 정보로 활용될 가능성을 파악하였다. 이에, IPCC 제6차평가보고서 상의 시나리오 정보를 추출하여 이를 민간 섹터에 공유 및 확산하는 연구가 필요하다고 판단하였다.

셋째는 IPCC 제6차평가보고서에서 강조되고 있는 상향식 접근법(bottom-up approaches)에

대한 사항이다. 상향식 접근법은 국제탄소시장 차원의 국가/지역 시스템이나 국가/지역/민간섹터 연합체 등을 의미한다. 현재 상향식 접근법과 관련해서, 전세계적으로 주요하게 이루어지고 있는 활동은 파리협정 제6조에 기반한 다양한 협력적 접근(cooperative approaches)의 등장과 관련된다. 현재 우리나라는 이와 관련하여 자체적인 국제탄소시장(양자협력 체계)을 수립할 계획이다. 이러한 상향식 접근법에 있어서 가장 중요한 점은 국가들이 수립하는 협력적 접근법들이 상향식이며 따라서 다양할 수 밖에 없고 이들을 전체적으로 관리할 수 없는 바, 이 제도들이 자체적을 관리되는 데에 필요한 최소한의 그리고 반드시 반영되어야 하는 규칙 또는 원칙들이 파리협정 세부이행규칙에 포함되었다. 이에 대해서 동 연구진은 '규칙'으로서의 '상응조정(corresponding adjustment)' 그리고 '원칙'으로서의 '환경건전성(environmental integrity)'에 주목하였다. 우리나라의 자체적 국제탄소시장인 양자협력 체계를 수립하는 과정에 이 규칙과 개념을 어떻게 적용해야 하는가에 대한 연구는 매우 필요하다고 본다.

동 연구 보고서는 크게 4가지 측면에서 연구를 각기 진행하고자 한다. 자칫, 이러한 연구 주제 설정이 분절되어 진행될 수 있다는 인상을 줄 수도 있다. 사실, IPCC 제6차평가보고서의 검토 과정은 IPCC 보고서의 자체적인 '내용'을 파악하고 우리나라의 입장을 정리하고 핵심 내용과 우리나라의 향후 대응 방안을 도출하는 정책 연구의 필요성을 기본적으로 시사한다. 동시에, IPCC 보고서를 통해서 국제적으로 주요하게 다루어지는 정책이나 연구 방향을 파악함으로써, 우리나라에서 주요하게 다루어지지 않고 있는 정책연구 내용을 발굴하고 모색할 수 있다. 또한, 우리나라에 중요한 사항이나 IPCC 보고서에서 우리나라 입장에 부정적이거나 적절하지 않거나 또는 맞지 않는 다른 방향의 내용이 작성될 경우, 차후 IPCC 보고서에서 이를 반박하거나 더 나은 결과물을 도출할 수 있는 연구를 설정해야 할 필요성이 있다. 이에 따라, 동 연구과제는 이러한 필요성들에 기반하여 연구 주제를 설정한 바, 이는 연구주제의 분절성이 아니라 IPCC 보고서에 대한 다차원적 접근이라고 보는 것이 적절할 것이다. 동 연구의 최종 목적은 IPCC 제6차평가보고서를 토대로, 우리나라의 기후기술 정책 및 협력 정책 방향 수립 및 제고한다는 일관된 목표와 방향성을 가지고 있다.

제 2 절 연구내용 및 추진방법

앞서 언급된 연구 필요성에 따라, 동 연구는 다음의 4가지 주제를 중심으로 연구가 진행될 예정이다.

먼저 제 2장은 IPCC 제6차 평가보고서에 대한 정책대응 제고 연구 결과가 기술될 예정이다. 먼저, 제2장 1절에서는 우리 기관이 IPCC 국내대응협의회 제3실무그룹 주관기관으로서 제6차평가보고서 제3실무그룹(완화) 보고서를 검토하고 정책대응한 내용이 포함될 예정이다. 이 과정에서 i) 기상청이 2020년 수립한 IPCC 국내 대응 협의회 대응 사항, ii) 제3실무그룹 전문위원회 대응 사항, iii) 제56차 IPCC 총회 당시의 IPCC 협상회의 대응 사항, iv) IPCC 총회 결과에 대한 국내 기자단 언론 브리핑, iv) 국회기후변화포럼과 공동주관한 IPCC 포럼('탄소중립 사회를 위한 온실가스 감축 정책의 대전환')을 통한 확산 활동 들이 정리되었다. 제2장 2절에서는 IPCC 총회를 통해 도출 및 승인된 제3실무그룹 보고서의 핵심 내용을 정리하고, 선-개도국 간의 의견 대립 속에서 우리나라의 입장안을 정리하고, 또한 우리나라의 향후 정책적 대응 방안을 모색하였다.

이어, 제3장에서는 이산화탄소제거 접근법 정책 연구 결과가 기술될 예정이다. 먼저 제3장 1절은 이산화탄소제거 접근법과 완화에 대한 내용을 개괄한다. 특히, 이산화탄소 직접대기포집(DAC) 기술의 실증과 활용에 대한 국내·외 현황이 포함되었다. 이어, 제3장 2절에서는 DAC 기술에 대해 기업의 대규모 실증 및 활용에 대한 결정요인(determinants)에 대한 정책 연구 결과가 포함되었다. 이 연구는 DAC 기술 중에서도 습식포집 기술을 활용해서 대규모 실증에 성공하고 현재 대규모 활용 시설을 건설중인 캐나다 카본엔지니어링(사)를 중심으로 사례연구를 하였다.

다음으로, 제4장에서는 ESG 차원 IPCC 보고서 활용성 제고 연구가 포함되었다. 이에 대해서 먼저 제4장 1절에서는 기후변화 완화를 위한 기후투자와 ESG 내용을 개괄한다. 이어, 제4장 2절에서는 기후변화 분야에 특화된 ESG 이니셔티브의 일환인 기후변화 재무정보 공시 전담협의체(TCFD, Taskforce on Climate-related Financial Disclosure)의 권고안에 대해서, 동 권고안에 따라 기업이 정보공개를 하는 과정에서 반드시 거쳐야 하는 '기후변화 위험 및 기회 분석'과 관련하여 이에 필요한 리스크 관련 정보에 대해서 IPCC 제6차평가보고서 시나리오를 중심으로 해당 정보를 추출하여 정리한 연구 결과가 포함된다.

그리고 제5장에서는 먼저 제5장 1절은 기후변화 완화와 상향식 접근법으로서의 기후클럽 제도/접근법을 개괄한다. 이어, 제5장 2절은 파리협정 제6조 세부이행규칙에 포함된 '상응조정' 규칙에 대해 우리나라의 정책 대응 연구 결과가 포함된다. 이에 대해서, 상응조정 방법론 규칙과 우리나라 단일년도 국가결정기여(NDC, nationally determined contribution) 상응조정 방법론 적용 방안, 상응조정 대상인 국제적으로 이전가능한 감축결과물(ITMO, internationally transferred mitigation outcome) 규칙과 ITMO 확보 방안, 상응조정 보고 규칙과 상응조정 리스크에 대한 대응 방안에 대한 연구결과가 포함된다. 다음으로, 제5장 3절에서는 파리협정 6.2조 협력적 접근 하 우리나라의 국제 탄소시장 메커니즘 설립과 관련하여, '환경건전성' 개념 적용하기 위한 방향을 고찰하였고, 동 연구결과가 담긴다. 환경건전성 개념 적용시

고려해야 하는 항목을 크게 네 가지로 구분하고 이는 I) ITMO 생산, ii) ITMO 이전(관련 세부항목: 상응조정), iii) ITMO 취소(관련 세부항목: 전지구적 전반적 감축 달성을 위한 공제), iv) ITMO 판매실적의 수익금 기여(관련 세부항목: 적응기금 연계성)로 구분하였고, 이 네 가지 항목들에 대해서 보다 세부적인 항목들을 도출하였다. 각 항목별로 기존에 운영되고 있는 제도들인 청정개발메커니즘(CDM, Clean Development Mechanism), 일본의 공동크레딧메커니즘(JCM, Joint Crediting Mechanism), 스위스의 ITMO 구매계약 제도, 그리고 가능하면 파리협정 6.4조 지속가능발전메커니즘(SDM, Sustainble Development Mechanism)을 중심으로, 이 제도들이 제시하는 규칙들을 파악하고, 이에 대해서 우리나라가 취해야할 바람직한 규칙이 무엇인지 고찰한 결과물이 포함되었다.

상기 언급된 내용을 토대로 정리한 동 연구보고서의 연구 추진 체계는 다음의 <표 1-1>과 같다. 또한, 이를 도식화한 연구 추진 체계는 [그림 1-1]과 같다.

<표 1-1> 연구 추진 체계

섹션		내 용	
1장	1절	**연구의 배경 및 필요성**	
	2절	**연구내용 및 추진방법**	
2장	1절	**IPCC 제6차평가보고서 검토를 위한 정부 대응 활동** - IPCC 국내대응협의회 및 제3실무그룹 전문위원회 정책대응 - IPCC 협상회의 - 제56차 IPCC 총회 결과 국내 기자단 언론브리핑 - 국회기후변화포럼과 공동주관한 IPCC 포럼	
	2절	**IPCC 제6차평가보고서 핵심 내용 개괄** - 보고서 핵심 내용 - 선-개도국 논의 대립 및 우리나라 입장 - 우리나라 향후 정책적 대응 방안	
3장	1절	**이산화탄소제거 접근법과 완화에 대한 내용을 개괄**	
		중점 연구	**이산화탄소 직접대기포집(DAC) 기술의 실증과 활용**
		주제	이산화탄소 직접대기포집(DAC) 기술에 대한 국내·외 현황을 통해 향후 우리나라에 DAC 기술 도입을 위한 정책적 시사점 도출
		방법론	- 문헌 분석을 통해 DAC 기술 실증 설비에 대한 국내·외 대표기업(카본엔지니어링社, 클라임웍스社, ㈜로우카본) 사례 조사 - 우리나라 및 주요 국가의 DAC 기술 관련 정책 분석 및 정책 시사점 도출
	2절	중점 연구	**직접대기탄소포집저장(DACCS) 기술 연구**
		주제	직접대기탄소포집(DAC) 기술에 대한 기업의 대규모 실증 및 활용에 대한 결정요인(determinants)은 무엇인가?
		방법론	- DACCS 기술의 대규모 실증 및 활용에 대한 3대 요인으로 I) 시장유인(Market-pull) 요인, ii) 기술 주도(technology-push) 요인, iii) 규제 엄격성(regulatory stringency) 요인을 중심으로, 각 요인별 세부 결정요인을 DAC 문헌 연구를 통해서 도출하여 분석틀 수립 - 이를 토대로 카본 엔지니어링(사)에 대해서 사례연구 수행
4장	1절	**ESG 차원- IPCC 보고서 활용성 제고 연구**	
	2절	중점 연구	**기후변화 완화를 위한 기후투자와 ESG 연구**

섹션		내 용	
		주제	TCFD의 기후변화 위험 분석을 위한 IPCC 보고서 시나리오 정보 추출 연구
		방법론	- TCFD 권고안에서 요구하는 기후변화 대응 정보공개를 위해 기업이 거쳐야 하는 시나리오 분석 5단계 분석 - 동시에 TCFD 권고안에서 제시한 기후변화 위험요인을 전환적 위험(정책 및 법률, 기술, 시장, 평판)과 물리적 위험(급성, 만성)에 대해서, IPCC 제6차 평가보고서의 내용을 바탕으로 세부적인 정보들을 추출
5장	1절	**기후변화대응 상향식 국제 제도 연구 (기후변화 완화와 기후클럽 제도/접근법 개괄)**	
	2절	중점 연구	**파리협정 제6조 상응조정 규칙에 대한 정책대응 연구**
		주제	파리협정 제6조 상응조정 규칙의 해석과 우리나라 대응 정책의 시사점
		방법론	- 상응조정 규칙의 적용과 관련하여 i) 상응조정 방법론 규칙과 우리나라 단일년도 국가결정기여(NDC) 상응조정 방법론 적용 방안, ii) 상응조정 대상인 ITMO 규칙과 ITMO 확보 방안, iii) 상응조정 보고 규칙과 상응조정 리스크에 대한 대응 방안을 주심으로 파리협정 세부이행규칙을 분석하고, 이에 대한 우리나라 대응 방안 도출
	2절	중점 연구	**파리협정 제6조 환경건전성 원칙 적용 연구**
		주제	파리협정 6.2조 협력적 접근 하 우리나라 자체적 국제 탄소시장 메커니즘에 대한 환경건전성 개념 적용 방향 고찰
		방법론	- 환경건전성 개념에 대한 문헌 연구를 통해, 환경건전성 개념 적용시 요구되는 고려항목을 크게 네 가지로, i) ITMO 생산, ii) ITMO 이전(상응조정), iii) ITMO 취소 (전지구적 전반적 감축 달성을 위한 공제), iv) ITMO 판매실적의 수익금 기여(적응기금 연계성)로 구분. 각 항목별로 고려해야 하는 세부 항목들을 도출 - 각 항목별로 청정개발메커니즘(CDM), 일본의 공동크레딧메커니즘(JCM), 스위스의 ITMO 구매 계약 제도, 그리고 가능하면 파리협정 6.4조 지속가능발전메커니즘에서 제시하는 규칙들을 도출하고, 이를 중심으로 우리나라에 가장 적절한 규칙 도출 분석
4장	-	**결론**	

출처: 동 섹션의 내용을 토대로 저자가 정리.

[그림 1-1] 연구 추진체계 도식

출처: 동 섹션의 내용을 토대로 저자가 작성.

제 2 장 IPCC 제6차 보고서 정책대응 제고

제 1 절 IPCC 국내대응협의회 및 주관기관 역할 수행 및 제고

1. 기후변화에 관한 정부간 협의체(IPCC) 개요

기후변화에 관한 정부간 협의체(IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change)는 기후변화 문제에 대처하기 위해 세계기상기구(WMO, World Meteorological Organization)와 유엔환경계획(UNEP, United Nations Envrionment Programme)이 1988년 공동으로 설립한 국제기구이다. IPCC는 기후변화에 관한 연구결과물들을 집적하고 분석하여 기후변화의 원인과 현황, 대응에 대해 과학적으로 규명하는 작업을 진행하고, 이를 보고서로 도출하는 중요한 역할을 수행한다 (기상청, 2022).

IPCC는 6~7년 주기로 전 세계 과학자들이 참여하여 작성하는 평가보고서(AR, Assessment Report)를 승인 및 발간한다. 동 보고서는 기후변화의 과학적 근거와 정책적 방향성을 제시하고, 무엇보다도 유엔기후변화협약(UNFCCC, United Nations Framework Convention on Climate Change)의 협상 및 정책 결정의 주요한 근거자료로 활용된다 (기상청, 2022). 이러한 IPCC 평가보고서는 제1차 평가보고서(FAR, First Assessment Report)가 1990년 승인 및 발간된 이래로, 총 다섯 번의 평가보고서가 발간되었고, 이번 제6차 평가보고서(AR6, Sixth Assessment Report)는 2021~2023년의 3년에 걸쳐 승인 및 발간되는 중에 있다. 각 평가보고서는 발간될 때마다 전 지구 기후변화 대응에 크게 기여하였는데, 이번 제6차 평가보고서는 2023년에 있을 전 지구적 이행점검(GST, Global Stocktake)[3]의 투입자료로 활용되어 파리협정 이행 사항에 대한 평가의 근거로 사용될 예정이다. 지금까지 발간된, 혹은 발간 중에 있는 각 평가보고서의 발간 시기 및 주요 기여 내용을 정리해보면 <표 2-1>과 같다.

<표 2-1> IPCC 평가보고서 발간 시기 및 주요 기여 내용

번호	구분	발간 시기	주요 기여 내용
1	제1차 평가보고서(FAR)	1990년	유엔기후변화협약(UNFCCC) 채택
2	제2차 평가보고서(SAR)	1995년	교토의정서 채택
3	제3차 평가보고서(TAR)	2001년	온도 목표에 대한 UNFCCC 차원의 논의 촉발
4	제4차 평가보고서(AR4)	2007년	교토의정서 후속체제에 대한 근거 제공
5	제5차 평가보고서(AR5)	2013-2014년	파리협정 채택
6	제6차 평가보고서(AR6)	2021-2023년	전 지구적 이행점검의 평가 근거 제공

출처: IPCC(2017)에 기반하여 저자 작성

3) 전 지구적 이행점검은 UNFCCC 하에서 파리협정의 목적과 장기 지구 온도 목표(2℃ 온난화 제한 및 1.5℃ 온난화 제한 촉구) 달성을 위한 집단적인 진전(collective progress) 여부를 평가하는 것으로, 이번 2023년을 시작으로 매 5년마다 수행된다.

IPCC에는 세 개의 실무그룹이 있다. 제1실무그룹(WGI, Working Group I)이 기후변화의 과학적 근거(physical science basis), 제2실무그룹(WGII, Working Group II)이 기후변화의 영향(impacts)·적응(adaptation)·취약성(vulnerability), 제3실무그룹(WGIII, Working Group III)이 기후변화 완화(mitigation)에 대한 내용을 다룬다. IPCC 평가보고서는 우선 실무그룹별로 평가보고서를 각기 작성하고, 세 실무그룹이 모두 평가보고서를 발간한 이후 세 실무그룹 보고서의 내용을 종합·요약·재구성하여 '종합보고서(SYR, Synthesis Report)'를 발간한다. 또한 평가보고서 외에도 유엔기후변화협약을 포함한 국제협약을 지원하기 위해 특정 이슈에 대한 평가 내용을 담은 '특별보고서(SR, Special Report)'를 발간하기도 한다. 이 외에도 각국의 온실가스 배출량 산정 및 유엔기후변화협약 당사국의 인벤토리 보고에 활용하기 위해 관련 지침을 담은 '방법론 보고서(MR, Methodology Report)'도 발간한다.

이번 제6차 평가보고서의 평가 주기는 제5차 평가보고서 발간 직후인 2015년부터 2023년까지 총 9년간 진행된다.[4] 이번 제6차 평가보고서 주기에서는 특별보고서 3권, 방법론 보고서 1권이 발간되었으며, 종합보고서는 어느 때와 마찬가지로 세 실무그룹의 평가보고서 각 1권과 종합보고서 1권이 발간되는 중에 있다. 이번 제6차 평가보고서 주기에 발간된 특별보고서 3권의 제목과 발간일시는 「지구온난화 1.5℃ 특별보고서(2018.10)」, 「기후변화와 토지 특별보고서(2019.08)」, 「변화하는 기후에서의 해양 및 빙권 특별보고서(2019.09)」이며, 방법론 보고서 1권은 「IPCC 국가 온실가스 배출 목록 2006 지침 2019 개선보고서(2019.05)」이다. 이를 표로 정리하면 <표 2-2>와 같다.

<표 2-2> IPCC 제6차 평가보고서 주기에 발간되는 보고서

번호	구분	제목	발간일시
1	특별보고서 (SR)	지구온난화 1.5℃ 특별보고서	2018.10
2		기후변화와 토지 특별보고서	2019.08
3		변화하는 기후에서의 해양 및 빙권 특별보고서	2019.09
4	방법론보고서(MR)	IPCC 국가 온실가스 배출 목록 2006 지침 2019 개선보고서	2019.05
5	평가보고서 (AR)	제1실무그룹 보고서: 기후변화의 과학적 근거	2021.08
6		제2실무그룹 보고서: 기후변화의 영향·적응·취약성	2022.02
7		제3실무그룹 보고서: 기후변화의 완화	2022.04
8		종합보고서(SYR)	2023.03(예정)

출처: IPCC(2017)에 기반하여 저자 작성

4) 통상 IPCC의 평가 주기는 6~7년으로 구성되나, 이번 제6차 평가 주기는 전 지구적으로 유행한 코로나19 감염증의 영향으로 평가 일정이 순연되며 예정보다 길어졌다.

2. IPCC 국내대응협의회의 기능 및 역할

IPCC는 그 명칭이 알려주듯 '정부 간' 기후변화 패널이므로, 각 보고서를 발간할 때에는 전문가뿐만 아니라 정부대표단의 검토과정을 거친다. 이러한 검토 과정을 통해 특정 국가 입장에서 편향되어 작성된 내용은 없는지, 각국의 상황이 알맞게 반영되었는지를 검토하게 된다.

우리나라 정부에서는 IPCC 정부 대응을 기상청이 담당한다. 기상청은 우리나라의 IPCC에 대한 국내 협력체계를 구축하고 국내·국제적 대응 강화의 일환으로, 본격적인 IPCC 제6차 평가보고서의 정부대응이 시작되는 2020년에 'IPCC 국내대응협의회'를 신설하여 운영오고 있다 (관계부처합동, 2020). 국내대응협의회는 IPCC 최신 동향을 국내에 소개하고 실무그룹 보고서별 분과위원회를 설치해 현안을 대응하고자 비상설조직으로 2016년 개설되었던 'IPCC 대응을 위한 국내 전문가 포럼'을 모태로 하고 있다. 그러나 동 포럼이 부처가 아닌 전문가 위주로 구성된바, 보다 체계적인 정부 차원의 대응을 위해 기상청은 2020년 4월 「기후업무규정」을 개정하여 같은 해 6월 정부 부처간 상설협의체로서 'IPCC 국내대응협의회'를 신설하였다 (오채운, 2021).

IPCC 국내대응협의회의는 IPCC와 관련하여 협의회 위원장이 필요성을 인정하는 사항에 대한 업무를 비롯하여 크게 다음의 네 가지 기능을 수행한다. 첫째, IPCC 보고서 검토 과정을 관리하고 IPCC 총회 의제 대응을 검토하는 등, IPCC 대응 정부활동에 대한 총괄 자문을 수행한다. 둘째, IPCC 보고서 참여 확대를 위한 협력 방안을 모색한다. 셋째, IPCC 보고서나 기후변화 감시 및 예측 정보 등을 활용하여 기후변화 과학 정보와 정책 간의 연계를 논의한다. 마지막으로 넷째, 한국 기후변화 평가보고서의 발간 계획을 검토한다 (기상청, 2020, 제33조).

IPCC 국내대응협의회의 구성을 살펴보면 아래 <표 2-3>과 같다. 기상청 기후과학국장을 위원장으로 하며, 위원으로는 1개 실, 9개 부, 4개 청이 참여하고 있다.[5] 또한 국내대응협의회의 원활한 운영을 위해 기상청의 IPCC 업무 담당 사무관이 간사로 참여한다.

아울러 IPCC 보고서에서 다루는 과학기술 기반의 전문적 내용에 대한 원활한 대응을 위하여 IPCC 국내대응협의회 하에 3개 실무그룹별로 전문가로 구성된 '전문위원회'를 설립하였다. 전문위원회는 IPCC와 관련하여 전문위원회 위원장이 필요하다고 인정하는 사항에 대한 업무를 비롯하여, IPCC 보고서의 전문가 및 정부 검토와 한국 기후변화 평가보고서 집필 및 검토를 담당한다 (기상청, 2020, 제37조). 전문위원회는 대표 주관기관 주도로 운영되는데, 주관기관은 전문위원장 지명을 비롯하여, 전문위원회 운영을 관리·감독하고 전문위원회 활동과 관련된 자료 제출과 국내대응협의회 출석 보고를 수행해야 한다 (관계부처합동, 2020). 제1실무그룹 전문위원회는 국립기상과학원이 주관기관으로 참여하며, 총 25인의 전문위원으로 구성되어 있다. 제2실무그룹 전문위원회는 한국환경연구원이 주관기관이며, 총 24인의 전문위원으로 구성된다. 마지막으로 제3실무그룹 전문위원회는 에너지경제연구원과 우리 기관이 공동으로 주관기관을 맡고 있으며, 총 24인의 전문위원이 참여하고 있다. 우리

5) 당초 「기후업무규정」 제34조에 나와있는 구성 상에는 1개 실, 10개 부, 3개 청으로 되어 있다. 그러나 여기에는 보건복지부 질병관리본부가 질병관리청으로 격상된 것을 반영하여 1개 실, 9개 부, 4개 청으로 표기하였다. 이외에도 부서 명칭 변경 등 최근의 변화 상황을 반영하였다.

기관에서는 제3실무그룹 전문위원으로 정책연구부 오채운 책임연구원과 송예원 연구원이 참여하고 있다. 실무그룹별 전문위원회 구성을 표로 정리해보면 <표 2-4>와 같다.

<표 2-3> IPCC 국내대응협의회의 구성

구분	부/처/청	담당 부서장
위원장	기상청	기후과학국장
위원	국무조정실	2050탄소중립·녹색성장위원회 기획총괄국장
	기획재정부	녹색기후기획과장
	과학기술정보통신부	원천기술과장
	외교부	기후변화외교과장
	행정안전부	재난영향분석과장
	농림축산식품부	농촌재생에너지팀장
	산업통상자원부	온실가스감축팀장
	환경부	기후변화국제협력팀장
		신기후체제대응팀장
	국토교통부	미래전략일자리담당관
	해양수산부	해양환경정책과장
	농촌진흥청	연구운영과장
	질병관리청	미래질병대비과장
	산림청	국제협력담당관
	기상청	기후정책과장
		기후변화감시과장
	총 1개 실, 9개 부, 4개 청 소속의 16개 부서의 장으로 구성	

출처: 기상청(2020)의 제34조에 기반하여 저자 정리

<표 2-4> 실무그룹별 전문위원회 구성

구분	주관기관	전문위원 구성
제1실무그룹(과학적 근거)	국립기상과학원	총 25인 (정부 및 기관 소속 9인, 학계 소속 16인)
제2실무그룹(영향·적응·취약성)	한국환경연구원	총 24인 (정부 및 기관 소속 18인, 학계 소속 6인)
제3실무그룹(완화)	국가녹색기술연구소 에너지경제연구원	총 24인 (정부 및 기관 소속 15인, 학계 소속 9인)

출처: 기상청(2022) 및 취신 위촉 연장된 전문위원 명단에 기반하여 저자 정리

3. IPCC 국내대응협의회 참여 및 주관기관 역할 제고

IPCC 국내대응협의회 제3실무그룹 전문위원회의 공동 주관기관인 우리 기관과 에너지경제연구원은 전문위원회 개최 등의 활동을 통해 다른 전문위원들과 협력하여 제6차 평가보고서의 제3실무그룹 보고서에 대한 전문가 검토를 2020년부터 주도적으로 실행하였다. 또한 동 보고서의 정책결정자를 위한 요약서(SPM, Summary for Policymakers)에 대한 정부간 논의 및 승인이 이루어진 제56차 IPCC 총회에 우리나라 정부대표단으로 참여하여, 우리나라 입장을 발의하고 최종 SPM에 반영하고자 노력하였다. 이에 대한 자세한 내용은 본 보고서의 제3장을 참고할 수 있다. 여기에서는 2022년 한 해 동안 제3실무그룹 전문위원회 주관기관으로서의 역할을 수행하고, 그 역할을 제고한 사항에 대하여 다루도록 하겠다.

2022년 우리 기관은 IPCC 국내대응협의회 실무그룹 주관기관으로 다음 크게 다음 다섯 가지 사항을 수행하였다. 첫째, ‘IPCC 국내대응협의회’ 개최 지원이다. 동 회의에서는 국내대응협의회에 소속된 정부 부처 구성원들이 모여 전문위원들의 IPCC 보고서 검토 결과를 공유받고 관련하여 질의 및 의견을 개진하며 논의하는 과정을 통해 IPCC 보고서에 대한 정부의 입장을 정리하게 된다. 둘째, ‘제3실무그룹 전문위원회’ 개최이다. 우리 기관과 에너지경제연구원과 함께 제3실무그룹 전문위원회의 공동 주관기관으로 제3실무그룹 제반 사항을 운영하게 된다. 특히 올해 3월 제3실무그룹 보고서의 IPCC 인준이 있었기 때문에 우리나라 정부의 제3실무그룹 보고서 최종정부검토를 지원하기 위하여 보고서를 검토하고 전문위원회를 개최하였다. 셋째, ‘제56차 IPCC 총회’ 대응이다. 우리 기관과 단순히 IPCC 총회 참여뿐만 아니라 총회 이전에 있었던 각종 IPCC 비공식 웨비나 등 다양한 활동들에 정부대표단으로 참여하였다. 넷째, IPCC 총회 결과에 대한 ‘국내 기자단 언론 브리핑’이다. 이를 통하여 제3실무그룹 보고서를 승인한 총회 결과를 국내 기자단에게 브리핑하여 동 보고서의 주요 내용과 국내 시사점이 언론을 통하여 국내에 확산되도록 지원하였다. 마지막으로, 국회기후변화포럼과 공동주관한 ‘IPCC 제3실무그룹 보고서 발간 기념 세미나’이다. 제3실무그룹 보고서의 주요 내용을 발표하고 관련하여 패널토론을 수행하며 새 정부의 온실가스 감축 정책의 방향성을 논의하였다. 이 다섯 가지 수행 사항에 대하여 하나씩 살펴보도록 하겠다.

3.1. IPCC 국내대응협의회 개최 지원

IPCC 제3실무그룹 보고서의 주요 내용을 정부 부처 관계자에게 설명하고, 각 부처의 검토 내용을 공유하며, 범정부적 대응 방안을 모색하기 위한 제4차 IPCC 국내대응협의회가 1월 27일 비대면으로 개최되었다. 동 회의에는 앞서 <표 2-3>에서 언급한 바와 같이 협의회 소속 16개 부서의 구성원을 비롯하여 부처의 실무 담당 사무관, 전문위원들이 참여하였다.

우리 기관은 IPCC 국내대응협의회의 제3실무그룹 전문위원회 공동주관기관으로서, 협의회 개최를 다방면으로 지원하였다. 특히 이번 협의회는 제3실무그룹 보고서의 최종정부안(FGD, final government distribution) 검토내용 공유가 주요 안건이기에, 제3실무그룹 전문위원회의 역할이

그 어느 때보다도 중요하였다.

동 협의회에서 공유된 IPCC 제3실무그룹(완화) 보고서의 최종정부안은 IPCC 총회를 통해 보고서가 최종적으로 승인되기 전에 정부를 대상으로 진행되는 마지막 보고서 검토 단계이다. 이번 최종정부안 검토 이전에도 제1차 초안(FOD, first order draft) 검토와 제2차 초안(SOD, second order draft) 검토가 진행되었다. 제1차 초안의 경우, IPCC 검토 과정에 자발적으로 참여하는 전 세계의 전문가들이 검토를 수행하였고, 제2차 초안의 경우, 전문가를 비롯하여 각 국의 정부에서 함께 검토하였다. 세 번째 검토라고 할 수 있는 최종정부안 검토는 정부가 수행하며, 보고서 내용과 '정책결정자를 위한 요약서(SPM, Summary for Policymakers)'이 정합성 있게 잘 작성되었는지를 검토하게 된다. 이러한 IPCC의 보고서 검토 절차를 이번 제3실무그룹 보고서의 검토 일정과 함께 정리해보면 <표 2-5>와 같다.

<표 2-5> IPCC 제6차 평가보고서 제3실무그룹 보고서의 검토 일정

번호	내용	수행 주체	일정
1	제1차 초안(FOD) 검토	전문가	2020.1.13.-2020.3.8.
2	제2차 초안(SOD) 및 SPM(1차) 검토	전문가 및 정부	2021.1.18.-2021.3.14.
3	최종정부안(FGD) 및 SPM(최종) 검토	정부	2021.11.19.-2022.1.30.

출처: IPCC (2022a)에 기반하여 저자 작성

상기 일정에 따라 전문위원회 및 각 정부 부처의 최종정부안 검토가 마무리되어 가는 시기에 각자의 검토 의견을 공유 및 취합하는 것이 이번 IPCC 국내대응협의회 회의의 목적이었다. 이러한 목적에 따라 우리 기관은 전문위원들의 검토의견을 미리 취합하여 동 회의를 준비하였다. 이번 회의에서 우리 기관이 정리하여 우리나라 입장 수립하는 데 지원한 내용은 <표 2-6>과 같다. 전문위원회의 검토 내용 및 절차에 대해서는 다음 절에서 설명하도록 하겠다.

<표 2-6> 제4차 IPCC 국내대응협의회 대비 우리나라 입장 수립 의견(국가녹색기술연구소 작성 및 발언)

□ A. 도입 및 구성

ㅇ (전체) WGIII 보고서의 문헌마감일*은 '21.10.11.로, 그 이후 확정된 우리나라의 탄소중립, NDC 상향** 등의 결정사항 보고서 '챕터' 상 미반영되어 있음. 정성적으로라도 챕터에 포함 필요

* 문헌마감일(Literature Cut-off Day) 이전에 발표된 자료만 보고서 작성에 투입 가능

** 2030년까지 2018년 온실가스 배출량 대비 40% 감축(2030년 순배출량 436.6백만톤)

□ B. 배출 동향 및 경로

ㅇ (B.1) 온실가스 배출량의 증가를 보여주며 GWP100* 기준 개정을 설명. 그러나 Figure SPM.1(b)에서 이전 기준과의 비교 자료를 그래프로 나타낸 것은 너무 많은 정보로 인한 오해를 일으킬 수

있어 그림 수정 필요

* 100년 간의 지구온난화지수(Global Warming Potential for 100-year time horizon): 온실가스가 이산화탄소 대비 지구온난화에 기여하는 정도를 나타내는 지수로, 이번 개정을 통해 화석연료 발생 메탄(CH_4), 아산화질소(N_2O) 등의 GWP가 기존보다 높아짐

- (B.2) B.2.1에서 전체 온실가스 중 AFOLU(농업·산림·기타토지이용)가 차지하는 비율이 22%인데, 챕터와 비교시 21%가 더 적절하므로 수정 필요
- (B.3) B3.3에서 디커플링을 경험한 최소 24개국이라는 표현에서, 24개 국가를 명확히 표현 필요. 또한, 지역별 온실가스 배출변화에 관한 Figure SPM.2(b)에서, 원형(circle)이 국가(countries)를 표현한다는 설명에서, 지역의 국가 수 또는 국가(경제/인구) 규모 등으로 명확히 기술 필요
- (B.4) 혁신 정책 및 기술변화의 영향에 대해 언급하면서도 충분한 설명을 하고 있지 않으므로 더 상세한 설명 필요. 특히, B.4.3에서 디지털화가 에너지 수요 증가* 및 SDGs와의 trade-off** 수정 필요

  * 리바운드 효과 외에 에너지 사용 최적화/효율화로 인한 에너지 수요 감소

  ** 디지털 기기 생산 노동자의 척박한 노동환경, 전자제품 폐기물 문제 등 사례 삽입
- (B.5) B.5.4에서 최근 기후금융 성장 흐름이 둔화되고 화석연료에 대한 투자가 여전히 높은 수준이라고 기술하고 있으나, '21년 기준으로 기후금융이 세계적으로 다시 급성장하는 상황이므로 최신정보 반영 필요

□ C. 전 지구적 온도상승을 제한하기 위한 시스템 변혁

- (C.1) 2° C 경로*를 언급할 때 C3a 경로만을 사용하고 있는데, 선택적이라는 지적을 받지 않도록 C3 전체에 대한 인용이 필요함

  * 2° C 경로는 C3이고, C3a는 즉각적인 조치, C3b는 NDC를 적용한 2° C 경로
- (C.4) 에너지에 대한 챕터 내용을 요약하였으나, 중요한 수치를 지나치게 광범위하게 표현*하고 있는데, 이를 명확하게 서술해야 함

  * 예: (SPM) 2050년 전력화 비율 30-60%, (챕터) 2050년 전력화 비율 48-50%
- (C.5) 산업 부문에서, 수소환원제철이 상용화 직전이라고 기술하고 있으나, 조강*생산량이 많은 국가(한국, 일본 등)는 상용화까지 아직 더 시간**이 필요하므로 수정 필요. 또한, 주요 완화수단으로 언급된 CCS와 자원 재활용과 관련해, 미래의 CCS 활용가능성과 재활용 공정에 필요한 폐자원 공급에 대한 우려를 포함 필요. 그리고, 탄소중립으로 인해 생산비용 상승에 따른 산업 경쟁력 하락 언급 필요

  * 조강(crude/raw steel): 쇳물에서 불순물을 걸러내고 얻어진, 가공되지 않은 강철로, 이를 가공하여 원하는 철강제품을 만듦. 2021년 한국은 전세계 조강생산량 6위를 달성

  ** 우리나라는 수소환원제철에 대하여 2030년 기초기술개발, 2040년 실증·상용화 완료 목표
- (C.6) 도시화가 완화에 미치는 긍정적 측면이 매우 강조되어 있으나, 도시화의 부정적 측면(새로운 인프라빌딩 건설로 온실가스 추가 발생, 도시 환경으로 인한 탄소 발생 고착화 등) 역시 언급할 필요 있음

- (C.7) C.7.3에서 건물 분야의 통합적 접근(integrated approaches)*이 필요함을 설명하고 있으나 그 의미가 불분명하므로 추가 설명 필요

  * SPM 상에서 건물의 라이프사이클(설계-시공-사용 단계) 전반에 감축방안을 적용으로 유추

- (C.10) AR6에 최초로 포함된 수요·서비스 및 사회적 측면에 대해 논하나, 챕터에서 주요 전략으로 다루는 회피·전환·개선(ASI) 전략* 내용 추가 필요. C.10.3에서 선택지 구조**가 최종사용자들의 저탄소 옵션 선택을 지원하는 내용이 있으나, 어떻게 선택을 유도하는 지에 대한 설명 필요. C.10.4에서 모든 사람의 삶의 질 개선(인간 욕구/웰빙 충족)을 위한 기본 서비스에 대해서 언급하고 있는데, 지위 상징적 소비(status consumption) 등 불평등 해소의 완화 기여 사항 추가 필요

  * ASI (Avoid-Shift-Improve) 전략: 다배출 생활 회피, 기후친화적 생활로 전환, 효율 개선

  ** 선택지 구조(choice architecture): 사용자들에게 선택 가능한 여러 방안들을 제시하는 방식

- (C.11) ①CDR 접근법을 다루고 있으나 CDR의 필요성(감축가속화 및 대응 차원) 등을 언급 필요. ②생태 기반 CDR* 외에도 산림경영 등 다양한 흡수원 활동의 중요성·기여도를 추가 필요. ③C.11.3에서 CDR 접근법(예시: BECCS, DACCS, 해양알칼리화 및 여타)의 장/단점이 일괄적으로 한 문장으로 기술되었는데, 상기 예시에 적용되지 않은 단점**들도 존재하는바, 단점을 별도 문장으로 재작성 필요

  * 조림/재조림, BECCS, 바이오차, 생태계 복원, 해양 비옥화

  ** 생태시스템 및 생물다양성에 대한 부정적 영향

□ D. 완화, 적응 및 지속가능발전

- (D.1) Figure SPM.9에서 완화 행동과 SDGs 간의 관계가 너무 일반화 되어 표현. 지역·국가 특성과 정책 시행범위/폭 등 다양한 요인에 따른 관계성이 반영되어있지 않으므로, 논리적 근거 제시 필요
- (D.2) D.2.1에서 완화-적응 조치 상충효과 예시로 공조시설(air conditioning system) 보급 증가로 인한 전력 사용량 증가가 기술되었는데, 이는 상충효과가 아니라 완화 추진전략 예시로 변경 필요
- (D.3) 지속가능발전을 경제·사회적 관점으로 서술하며 분배 측면만 너무 강조되어 있는데 이에 대한 설명 및 근거 제시가 필요함

□ E. 대응 강화

- (E.2) E.2.3에서 완화의 가능요인*(enabler)과 행동방안을 설명하고 있는데, 이 중에서 거버넌스 및 협력에 대한 설명이 부족하므로 내용 추가 필요

  * 제도/규제 역량, 혁신 재원, 거버넌스/협력, 다목적 정책

- (E.3) 완화 관련 행위자들(시민사회, 기업, 청년, 노동자 등) 활동을 조율하고 지원하는 방안(예시: 독립된

국가 기후기구/제도 설립・활용 등) 포함 필요

- (E.4) E.4.3의 저탄소기술혁신 정책*에 규제・시장 기반 도구를 규제주도-견인(regulatory push-pull) 및 시장견인(market-pull) 정책으로 용어 수정 필요. 또한, E.4.6에서 완화정책(시장 및 규제)이 긍・부정적 효과를 균형적으로 다루려고 하였으나, 부정적 내용**으로 인해 정책 필요성이 간과될 수 있으므로 부정적 내용 삭제 제안

  * 기술주도(technology-push) 정책, 규제주도-견인 정책, 시장견인 정책

  ** 해당내용: 완화 정책으로 인한 화석연료 수요 감소는 화석연료 수출국에 악영향

- (E.6) E.6.3(공공섹터 기후금융)에서 공공섹터 기후금융의 방향성을 다루고 있는데, 기후금융 제공 주체들의 협력・조정*에 대한 내용 추가 필요. E.6.4(초국가 파트너쉽)에서 초국가 파트너쉽/네트워크 외에, 하이브리드 거버넌스 및 공공민간파트너쉽(PPP)로 이어지는 정부-비정부행위자 간 파트너쉽/상호작용 내용 추가. E.6.6(태양복사변경)의 국제협력 필요성(완화 기여 및 인간/생태 시스템 리스크) 언급 필요

  * 선진국 재원 공여, 양자 ODA, MDB, 다자기후재원, 유엔 시스템, 민간섹터 재원

출처: 제3실무그룹 전문위원회 검토의견을 바탕으로 저자 작성.

3.2. 제3실무그룹 전문위원회 개최

IPCC 제6차 평가보고서 중 제3실무그룹 보고서가 올해 3월 최종 승인되기에 앞서 앞서 언급한 바와 같이 작년 11월 29일부터 올해 1월 30일까지 동 보고서의 최종정부안(FGD) 검토가 진행되었다. 이에 제3실무그룹 전문위원회는 본문 17개 장(chapter)과 각 장에 대한 부속자료(supplementary materials), 부록 3개 장과 정책결정자를 위한 요약서(SPM)까지 방대한 분량의 보고서를 우리나라 정부 입장에서 최종적으로 검토하며 보고서의 내용과 우리나라 입장이 잘 반영되었는지, 특히 정책결정자에게 중요한 정보가 SPM에 잘 요약 및 정리되었는지를 확인하고, 부족한 사항에 대해 수정·보완을 요청하는 작업을 수행하였다.

우리 기관은 제3실무그룹 전문위원회 공동주관기관으로서 전문위원들에게 각자의 전문 분야에 맞는 보고서 장(chapter)에 대한 검토를 요청하였고, 각 전문위원의 검토 내용을 취합 및 정리하였다. 우리 기관은 보고서 총 17개 장 중 제12장(범분야적 관점), 제14장(국제협력), 제16장(혁신, 기술개발·이전)의 3개 장에 대하여 검토를 하였다.

전문위원들의 검토 내용에 대한 설명을 듣고 각 장별 검토 의견을 취합하기 위하여 2022년 1월 14일 전문위원회 회의를 화상으로 개최하였다. 동 회의에는 전문위원회 소속 전문위원장 및 전문위원들을 비롯하여 기상청의 IPCC 담당 사무관과 주무관이 참여하였다. 전문위원들은 돌아가며 각자 검토한 내용을 발표하였으며, 보고서 내용에 수정이 필요한 경우 왜 수정이 필요한지 설명해주었으며, 다른 전문위원들과의 토의를 통해 검토의견을 최종적으로 도출하였다. 이렇게 도출한 IPCC 제3실무그룹 보고서 최종정부안에 대한 제3실무그룹 전문위원회의 검토의견은 동 보고서의 ‘별첨’에 수록하였다. 동 회의에서 제3실무그룹 보고서의 검토와 관련된 향후 일정 및 공지사항들에 대해서는 회의에 참여한 기상청 사무관을 통하여 전달받았다.

전문위원회 회의 이후 우리 기관은 IPCC 제3실무그룹 보고서에 대한 전문위원들의 검토의견을 취합하여 1월 17일 기상청에 제출하였다. 기상청은 전문위원회에서 제출한 동 검토의견 외에도 각 정부 부처의 의견을 취합하여 IPCC에 최종적으로 제출 기한(1월 30일)까지 제출하였다.

3.3. 제56차 IPCC 총회 대응

IPCC 제3실무그룹 보고서에 대한 당사국들의 문장 단위(line-by-line) 검토·승인을 위한 제56차 IPCC 총회가 2022년 3월 21일부터 4월 1일까지 계획되었다. 이를 위하여 총회 전에도 IPCC는 당사국들에게 보고서 관련 주요 이슈에 대하여 설명하고 각 당사국의 질의사항에 대해 답변하기 위하여 비공식 온라인 세미나(webinar)를 여러 차례 개최하였다. 또한 총회를 위하여 우리나라 대표단 차원의 회의 역시 여러 차례 진행되었다. 관련 활동들을 표로 정리하면 <표 2-7>과 같다.

<표 2-7> 제56차 IPCC 총회 관련 대응 사항

번호	일자	내용	주최
1	1월 11,13,18일	비공식 온라인 세미나	IPCC
2	3월 17일	제56차 총회 전 최종 브리핑	IPCC
3	3월 18일	우리나라 정부대표단 회의	기상청
4	3월 21일-4월 4일*	제56차 IPCC 총회	IPCC
5		정부대표단 일일 사전점검 회의	기상청

* 원래 계획은 4월 1일까지였으나 합의 과정에서 일정이 지연되어 실제로는 4월 4일까지 진행함
출처: IPCC 총회 대응 사항에 기반하여 저자 작성

먼저 '비공식 온라인 세미나'에 대해 살펴보면, 2022년 1월 11일, 13일 및 18일 총 3일간에 걸쳐 여러 당사국에서 추가 설명을 요구했던 주제에 대하여 세미나가 진행되었다. 동 세미나에서는 ①SPM 작성 방향 및 규칙, ②각 시나리오 도출 방법, ③기후변화-지속가능발전 간의 연계 및 형평성, ④완화 기술의 비용, ⑤수요 측면의 완화, ⑥투자 및 금융, ⑦CDR 접근법, ⑧탄소배출허용총량(carbon budget), ⑨지역 구분 등 아홉 가지의 주제에 대하여 각 주제별 저자들이 상세히 설명하고 당사국과의 질의응답 시간을 가졌다. 우리 기관은 동 온라인 세미나에 기상청과 함께 참여하여 관련 내용에 대하여 저자들의 설명을 들었고 주요 전달사항을 정리하여 전문위원들과 공유하였다. 또한 전문위원들이 검토 과정 중에 가지고 있던 사항 중 바로 피드백 받을 수 있을만한 내용들을 질의응답 시간을 통해 질의하였다. 질의한 내용으로는 우리나라 국호의 통일 문제(South Korea, Republic of Korea 혼용)와 IPCC 지역 구분 상 우리나라가 어디에 속하는지(East Asia에 속함) 등이 있었다.

제56차 IPCC 총회를 나흘 앞둔 3월 17일에는 다가오는 총회에 대한 IPCC의 '최종 브리핑'이 각국의 정부대표단을 대상으로 온라인으로 진행되었다. 동 브리핑에서는 지난 비공식 온라인 세미나 및 당사국들이 제출한 정부 검토 의견을 바탕으로 저자들의 수정 사항에 대한 구두 설명이 있었다. 총회 기간 중에는 제3실무그룹 보고서 SPM의 문장 하나 하나에 집중하여 검토하기 때문에 각국 정부의 FGD 검토 의견을 바탕으로 저자들이 어떻게 수정하였는지를 미리 자세히 설명하여 이를 바탕으로 각국 정부대표단이 총회를 준비할 수 있도록 지원하기 위한 것이 동 브리핑의 목적이었다. 우리 기관은 제3실무그룹 전문위원회 주관기관이자 IPCC 총회 정부대표단의 일원으로서 브리핑에 참여하였으며, 저자들의 수정

철학과 내용을 검토하였고, 이를 바탕으로 기상청과 함께 우리나라 정부의 IPCC 총회 대응 전략 수립을 지원하였다.

전문위원회의 검토 내용과 IPCC의 총회 전 최종 브리핑 내용을 바탕으로 우리나라 정부의 대응 전략을 최종 점검하고 역할을 분담하기 위한 '정부대표단 회의'가 3월 18일에 기상청 주관으로 개최되었다. 동 회의에는 주최하는 기상청을 비롯하여 각 부처(과학기술정보통신부, 환경부, 외교부, 국토교통부, 해양수산부, 산림청 등)의 IPCC 총회 담당 사무관과 정부대표단으로 참여하는 전문위원들이 참여하였으며, 부처별 전문 분야를 고려하여 <표 2-8>과 같이 업무를 분장하였다.

이러한 업무 분장을 바탕으로 3월 21일부터 시작된 제56차 IPCC 총회에 정부대표단으로 참여하였다. 총회는 SPM 내용을 주제별로 분류한 '패키지'에 따라 회의가 병렬적으로 진행되었다. 우리 기관은 제도 및 정책을 다루는 '패키지 2a'와 기후 금융을 다루는 '패키지 2b', 그리고 기후기술 동향과 가격을 다루는 '패키지 6b'를 담당하였다. 이에 각 담당 패키지의 회의에 참여하여 보고서의 저자와 다른 국가의 정부대표단과의 SPM 문장 단위(line-by-line) 검토에 참여하였으며, 우리나라 정부 입장이 각 문장에 반영되도록 의견을 구두 및 서면으로 제시하며 협의에 임하였다.

제56차 IPCC 총회는 당초 4월 1일까지 진행될 예정이었으나, 몇몇 문안 협의 과정에서 합의(consensus)에 도달하지 못한 문장이 발생하며 모든 문장 합의가 완료되기까지 총회를 연장하여 진행하는 것으로 결정되었다. 이에 4월 1일자 회의는 최종 합의 전까지 폐회 없이 철야 회의로 진행되었으며, 예정보다 사흘 늦어진 4월 4일에 모든 문장에 대하여 합의가 이루어짐에 따라 이 날 회의가 종료되었다. 마지막까지 합의가 어려웠던 부분은 선진국에서 개도국으로의 금융 흐름, 화석연료의 폐지, 지역 구분 등 선진국과 개도국 간의 대립이 큰 주제들이 대부분이었다. 이에 대한 자세한 사항은 본 보고서의 제2장 2절의 "2. 제3실무그룹 보고서에 대한 정부간 논의 쟁점"을 참고할 수 있다.

〈표 2-8〉 제56차 IPCC 총회의 부처별 업무 분장

IPCC 총회의 SPM 주제별 분류(Package)			업무 분장
#1	1a	B1: Historic emissions Figure 1: Historic emissions by gas B2: Trends by sector	기상청
	1b	B3: GHG emissions vary across regions and time Figure 2: Historic emissions by region -- and income	
#2	2a	E3: Institutions and policy packages E4: Policy toolbox E6: International co-operation B5.1-B5.3: Policy trends	**과기정통부 (국가녹색기술연구소)**
	2b	E5: Finance Figure 9: Investment Needs B5.4: Finance Trends	
#3	3a	Figure 5: IAMs, alternative net-zero CO2 emissions strategies Table 1: Key characteristics of scenarios collected and assessed for WG III AR6 Box: Scenario Explainer	환경부 건설기술연구원
	3b	C1: Pathways and warming levels C2: Pathway dynamics / peak warming C3: Pathway patterns and transformations	
#4	4a	C12: Costs & Potentials Figure 7: Costs and potentials	산림청 해수부
	4b	C5: Industry C9: Afolu C11: CDR	
#5	5a	C10: Demand-side Figure 6: Demand side	해수부 건설기술연구원
	5b	C6: Urban and other settlements C7: Buildings C8. Transport	
#6	6a	B6: Near term pathways and NDCs Figure 4: GHG pathways NDCs B7: Lock-in from current & planned investment	환경부 **과기정통부(국가녹색기술연구소)** 산업부
	6b	B4: Emission and technology trends Figure 3: Cost declines in key technologies C4: Energy systems	
#7	7a	D1: Synergies & trade-offs with SDGs Figure 8: SDG Interlinkages D2: Adaptation-mitigation synergies & trade-offs, how to manage for improved outcomes	산업부 산림청
	7b	D3: Distributional issues, just transitions E1: Feasibility E2: Enabling conditions and shifting pathways A: Introduction	환경부

출처: 기상청(2022b)를 바탕으로 저자 재구성

3.4. 국내 기자단 언론 브리핑

제 56차 IPCC 총회가 예정된 시간을 훌쩍 넘긴 4월 4일에 마쳤다. 이번 총회를 통해 도출된 제3실무그룹(완화) 보고서와 총회 결과는 한국시간으로 같은 날 자정까지 보도 제한(엠바고)이 걸렸다. 동 보고서의 중요성을 고려할 때 많은 언론에서 동 보고서의 주요 내용과 우리나라 정책에의 시사점을 올바로 보고할 수 있도록 방대한 동 보고서의 주요 내용 및 우리나라 시사점에 대하여 보도 제한이 해제되기 전에 미리 설명하기 위한 '기자단 사전 언론 브리핑'이 총회 직후인 한국시간 4월 4일 저녁 8시에 기상청 서울청사에서 기상청 출입 기자들을 대상으로 진행되었다.

이 언론 브리핑에는 메이저, 마이너 언론사를 불문하고 많은 언론사의 기상청 출입 기자들이 참여하였으며, 총회 결과 및 제3실무그룹 보고서의 주요 내용에 대한 발표를 경청하였고, 우리나라에 시사하는 바에 대해 심도 깊은 질의를 하였다. 발표에는 총회의 의미 및 절차, 전반적인 진행 상황에 대하여 박성찬 기상청 기후정책과장이 발표하였고, 이어 보고서 주요 내용 및 우리나라 시사점에 대하여 오채운 책임연구원이 발표하였다. 보고서 내용에 대한 브리핑에서는 이번 총회를 통해 도출된 SPM을 중심으로 각국의 NDC에 기반하여 평가된 현재의 기후변화 완화 동향, 2100년 지구온난화 온도 목표인 1.5℃ 및 2℃ 달성을 위한 시스템 전환 옵션들, 기후변화 정책과 지속가능발전 정책 간의 연계, 그리고 기후변화 대응을 강화하기 위한 다양한 비기술적 조치들에 대해 설명하였다.

이어진 질의응답에서는 일부 보고서 내용에 대한 추가 설명 요청 외에도 향후 우리나라의 정책과 연관된 내용들에 대한 질문이 다수 있었다. 특히 우리나라 NDC의 의욕 수준 상향에 대해서, 새 정부의 원자력 확대 기조에 대해서, 재생에너지를 비롯한 다양한 완화 기술의 단가 및 완화 잠재력에 대해 많은 질문이 있었으며, 우리 기관 외에도 온실가스종합정보센터, 기상청과 환경부에서도 동 브리핑 현장에 참여하여 기자들의 질문에 답을 하였다. 동 브리핑 현장에서 다루어진 내용을 비롯하여 다양한 우리나라 시사점에 대해서는 제2장 2절의 "3. 제3실무그룹 보고서의 우리나라 정책적 시사점"에서 다루고 있다.

동 브리핑이 마친 이후에도 많은 언론사로부터 관련 내용에 대한 질의가 많이 들어왔으며, 이에 대한 대응이 상당 기간 이어졌다. 이는 이번 총회를 통해 도출된 제3실무그룹 보고서가 우리나라 기후변화 정책에 미치는 영향이 크기 때문이며, 기후변화에 대한 대중의 인식 역시 이전보다 더 커졌기 때문으로 사료된다. 이러한 브리핑 내용을 바탕으로 작성된 기사들은 <표 2-9>와 같다.

총회 직후 이루어진 사전 브리핑 외에도 제3실무그룹 보고서의 내용 및 시사점에 대한 발표 요청이 다수 있었다. 대표적으로는 2050탄소중립위원회의 요청을 들 수 있다. 동 위원회의 요청으로 4월 19일 비대면 화상회의로 제3실무그룹 보고서의 주요 내용에 대한 발표 요청이 있었으며, 이에 오채운 책임연구원은 동 회의에 참가하여 보고서의 내용과 우리나라에의 시사점에 대하여 발표하였다.

<표 2-9> 제3실무그룹(완화) 보고서 발간 기자 브리핑 기반 언론 보도 내용

번호	날짜	언론사	기사 제목
1	4.4.	한겨레	2030년 온실가스 감축 잠재력 예상…원전 < 재생에너지
2	4.4.	중앙일보	"지구 온도 1.5도 상승으로 억제하려면 온실가스 43% 줄여야"
3	4.5.	동아사이언스	"기온 1.5도 억제하려면 2030년까지 온실가스 순배출량 43% 감축해야"
4	4.5.	경향신문	IPCC "지구 온난화 1.5도 제한하려면 2030년까지 온실가스 43% 감축해야…화석연료 대폭 감축 필요"
5	4.5.	서울신문	"이대론 2100년 지구 평균온도 3.2도 상승 못 피한다"
6	4.5.	한겨레	"지구 '1.5도 상승' 지키려면…2030년 탄소배출 43% 감축해야"
7	4.5.	세계일보	"기온상승 1.5도 제한 위해 온실가스 2030년까지 43% 감축"
8	4.5.	세계일보	"지구온난화 1.5도로 제한하기 위해 줄여야 하는 온실가스 배출량, 현재 NDC 목표와 격차 커"
9	4.5.	KBS	'1.5도 온난화' 위한 해법은 '탄소 43%' 감축
10	4.5.	내일신문	수요관리로 40~70% 탄소감축(2050년까지) 가능
11	4.12.	동아일보	"지구온난화, 더 물러설 곳이 없다"… 에너지 전환-산림 보존 '시급'
12	4.12.	가톨릭평화방송	핵발전으로 탄소중립? '비용 대비 효과↓'

출처: 언론사 보도자료에 기반하여 저자 작성

3.5. IPCC 제3실무그룹 보고서 발간 기념 세미나 공동 개최

제56차 IPCC 총회를 통해 승인된 제6차 평가보고서 제3실무그룹 보고서가 공개된 이후, 동 보고서의 주요 내용과 시사점을 설명하고, 이를 통해 우리나라 온실가스 감축 대응 방안을 설정하기 위한 세미나를 공동 개최하였다. 보고서의 중요성 및 시의성을 고려하여 보고서가 발간된 2022년 4월에 세미나 역시 개최하기 위하여 유관기관과 협의하였고, 그 결과 '탄소중립 사회를 위한 온실가스 감축 정책의 대전환'이라는 제목으로 4월 27일 국회의원회관 제2소회의실에서 우리 기관이 국회기후변화포럼, 기상청, 에너지경제연구원, 한국기후변화학회와 공동으로 세미나를 온-오프라인 하이브리드로 주최하기로 합의하였다. 동 세미나에는 국회기후변화포럼 소속 국회의원과 유관기관 관계자 및 IPCC 보고서 관련 전문가 등 20인 이상이 참여하였고, 제3실무그룹 보고서 승인 회의 경과와 주요 쟁점 및 보고서 핵심 내용에 대해 심층적으로 토론하였다.

우리 기관은 동 세미나의 주최 기관 중 하나로서 다양한 방법으로 기여하였다. 세미나 기획 및 준비단계에 IPCC 국내대응협의회 제3실무그룹 주관기관으로서 연사 섭외 및 세미나 일정 조율 등을 주도적으로 수행하였다. 동 세미나를 시작하며 정병기 소장은 환영사로 세미나의 의미를 강조하며 내빈을 환영하였으며, 오채운 책임연구원은 기조발표를 담당하였다. 기조발표로는 통해 제3실무그룹 보고서 SPM을 중심으로 정책결정자 입장에서 고려하여야 할 전 세계 기후변화 완화의 동향과 잠재력, 향후 방향성에 대한 내용을 발표하였다. 기조발표 후에는 각 부문 별 전문가들의 패널 토론이 진행되었다. 구체적인 일정 및 세미나 내용에 대해서는 <표 2-10>에 정리하였다.

<표 2-10> IPCC 제3실무그룹 보고서 발간 기념 세미나 주요 일정

구분	시간	주요 내용	비고
개회식	13:30~14:00	◦ 국민의례/내빈소개	
		◦ 개회사	임종성 포럼 연구책임의원
		◦ 환영사	양금희 국회의원
		◦ 축사	박광석 기상청장
			임춘택 에너지경제연구원 원장
			정병기 녹색기술센터 소장
			노동운 한국기후변화학회장
세션 1	14:00~15:40	◦ 기조 발제	박성찬 기상청 기후정책과장 (IPCC AR6 WG3 회의 경과와 주요 쟁점)
			오채운 녹색기술센터 책임연구원 (IPCC AR6 WG3 승인 보고서의 핵심 내용과 의미)
		◦ 발표: 감축 분야별 주요 내용 및 국내 시사점	[에 너 지] 이수민 에너지경제연구원 부연구위원
			[산 업] 이재윤 산업연구원 소재·환경산업실장
			[수 송] 박상준 한국교통연구원 연구위원
			[금 융] 유인식 IBK기업은행 박사
			[기 술] 강수일 GIST 국제환경연구소 총괄국장
			[공정전환] 이태동 연세대학교 교수
세션 2	15:40~17:30	◦ 발표	조용성 포럼 부설 기후변화정책연구소장 (기후위기와 탄소중립: 새정부의 온실가스 감축 방향 제언)
		◦ 패널 토론	[좌장] 전의찬 세종대학교 교수
			[토론] 안영환 숙명여자대학교 교수
			[토론] 강승진 한국산업기술대학교 교수
			[토론] 김용건 한국환경연구원 선임연구위원
			[토론] 진윤정 포스코경영연구원 수석연구원
			[토론] 김동주 시장·군수·구청장협의회 전문연구관
			[토론] 김춘이 한국운동연합 사무총장
			[토론] 강예리 국회기후변화포럼 청년위원장

출처: 세미나 일정에 기반하여 저자 작성

제 2 절 IPCC 제6차 보고서 제3실무그룹(완화) 보고서 승인 정책 연구[6)]

IPCC 제6차 평가보고서 제3실무그룹의 '완화' 보고서는 기후변화 완화의 관점에서 온실가스 배출 감축 및 대기 중 온실가스 제거에 대한 현황과 방법을 평가하고, 이에 대한 정책적 함의와 전략적 방향을 제공하기 위해 작성된다. 동 보고서에서는 기후변화 완화 노력과 솔루션의 적합성·비용·가능환경 등 관련된 모든 방면이 분석대상이 된다. 동 보고서의 작성 원칙은 정책적 중립성으로, IPCC는 보고서의 정책적 관련성(policy-relevance)을 담보하나 정책 개입(policy-prescriptiveness)을 회피하고자 한다.

동 절은 다음과 같이 구성된다. 우선 제3실무그룹 보고서의 정책결정자를 위한 요약서를 중심으로 주요 내용을 다룬다. 다음으로는 동 보고서의 총회 승인 과정에서 제기되었던 정부 간 논의 쟁점을 다룬다. 마지막으로 동 보고서가 우리나라에 주는 정책적 시사점에 대해 다룬다.

1. IPCC 제6차 평가보고서 제3실무그룹 보고서의 주요 내용

올해 4월 발간된 IPCC 제6차 평가보고서 제3실무그룹 보고서 "기후변화의 완화"는 총 17개의 장으로 구성되고 각 장마다 포함된 내용이 방대하다. 따라서 정책결정자들이 동 보고서를 보다 쉽게 이해하고 향후 정책 결정에 활용할 수 있도록 보고서의 핵심 내용을 담은 「정책결정자를 위한 요약서(SPM, Summary for Policymakers)」가 준비되었다. SPM 초안은 저자들이 작성하였으며, 전문가 및 정부의 검토를 거쳤고, 제56차 IPCC 총회에서 당사국들의 질의 및 논의를 통해 최종 승인본이 도출되었다. 이번 제3실무그룹 보고서의 SPM은 하단의 <표 2-11>과 같이 총 5개 절로 구성되었고, 그 분량은 총회 최종 승인본 기준 63페이지에 달한다.

<표 2-11> IPCC 제6차 평가보고서 제3실무그룹 보고서 SPM의 구성

절	주요 내용
A. 서론 및 구조 (Introduction and framing)	제5차 보고서 대비 이번 제6차 보고서의 주요 특징 (①국제적 변화추세 고려, ②행위자 및 완화 접근법의 다양화, ③완화·적응·발전경로의 연계, ④새로운 평가 접근법, ⑤분석체계의 다양화)
B. 최근 배출추세 및 동향 (Recent developments and current trends)	과거부터 현재까지의 온실가스 배출량 및 그 특징, 미래 온실가스 배출 전망 및 배출 경로 시나리오
C. 지구온난화 제한을 위한 시스템 전환 (System transformations to limit global warming)	다양한 수준의 지구온난화 제한 방법, 여러 배출 경로 및 대체 완화 포트폴리오 도출, 부문별 및 시스템 수준에서 특정 완화 옵션 평가
D. 완화-적응-지속가능발전 간의 연계 (Linkages btwn. mitigation, adaptation and sustainable development)	완화, 적응 및 지속가능발전 사이의 시너지 및 상충 효과
E. 대응 강화 (Strengthening the response)	제도적 설계, 재정, 혁신 및 거버넌스가 어떻게 기후변화 완화를 제공할 수 있는지에 대한 지식 평가

출처: IPCC(2022b)의 목차에 기반하여 저자 정리

6) 제2절의 내용은 2022년 동 과제 차원에서 진행된 연구 결과 2022년 8월 도출 및 발간된 정기간행물 GTC Focus 제3권 2호 「오채운 외 30인(2022). IPCC 제6차 평가 보고서 제3실무그룹(완화) 승인 결과와 정책적 함의: 정책결정자를 위한 요약서를 중심으로」의 내용을 토대로 작성되었다. IPCC 제6차평가보고서 제3실무그룹 보고서에 대한 2022년 올해 연구결과로 진행된 내용인바, 동 발간물의 내용이 제3절에 약간의 수정을 거쳐 그대로 삽입되었다. 동 자료의 ISSN 번호는 2734-1437(오프라인)과 2765-1851(온라인)이다.

1.1. 서론 및 구조

IPCC 제6차 평가보고서의 제3실무그룹 보고서는 기후변화 완화에 대한 과학·기술·환경·경제·사회적 특성에 대한 문헌을 평가하며, 기존 IPCC 보고서를 바탕으로 문헌의 새로운 연구결과를 반영하였다. 지난 제5차 평가보고서와 비교했을 때, 이번 제6차 완화 보고서에 반영된 주요 발전 사항은 크게 다섯 가지이다. 이 다섯 가지 특징은, ①국제적 변화 추세를 고려한 점, ②완화 행동과 관련된 다양항 행위자들을 고려하고, 다양한 완화 접근법들을 반영한 점, ③기후변화 완화 경로만이 아니라 적응과 발전경로를 연계하여 접근한 점, ④새로운 접근법으로써 수요·서비스 및 사회적 측면(제5장)과 혁신·기술 개발 및 이전(제16장)에 대해서 별도의 장으로 분류하여 고려한 점, 그리고 ⑤기후변화 완화 행동의 요인·장애요소·옵션을 평가하기 위해 다양한 분석체계를 고려한 점이다. 각 사항에 대해서 보다 구체적인 내용은 다음의 <표 2-12>와 같이 정리될 수 있다.

<표 2-12> IPCC 제6차 평가보고서의 특징

구분	주요내용
① 국제적 변화 추세 고려	• 유엔기후변화협약 차원의 진행 경과(교토의정서 결과와 파리협정 채택 등) 포함 • 지속가능발전목표(SDGs)를 포함한 유엔 2030 지속가능발전 의제 반영 • 국제협력·재원·혁신의 역할 강화 반영
② 행위자 및 완화 접근법의 다양화	• (행위자) 새로운 행위자*들의 참여 및 역할 증대 * 도시, 민간섹터, 토착민, 지역 사회, 시민, 청년, 초국가 이니셔티브, 민간·공공 기관 • (완화 접근법) 기후정책 확산, 기존 및 신규 저배출 기술 비용 감소, 다양한 형태 및 수준의 완화 노력, 온실가스 배출 감소, 코로나19의 영향 및 교훈 등
③ 기후변화 완화·적응·발전경로 연계	• (발전경로-완화 연계) 경제발전의 모든 단계에 해당하는 국가들이 각기 취하는 발전경로가 온실가스 배출에 영향을 주고, 완화 노력에 도전과제와 기회를 제공 • (지속가능발전-완화 연계) 지속가능발전, 형평성, 빈곤퇴치 등을 고려한 완화 행동의 수용성, 지속성, 효과성이 높다는 점을 강조 • (다른 목적과 연계) 완화 조치/정책/거버넌스를 다른 주요 목적(적응 등)과 연계
④ 새로운 평가 접근법	• (신규 장(chapter)) 수요·서비스 및 사회적 측면(제5장), 혁신·기술 개발 및 이전(제16장) • (미래 경로 평가) 국가별 완화 기존 기여 약속 및 행동에 대한 평가와 결합하여, 단기(~2030), 중기(~2050), 장기(~2100) 미래 전망 • (지속가능발전 고려) 국제적 완화 경로 평가 모델에 지속가능발전 경로로의 전환 고려 • (그룹협력) IPCC 실무그룹I(과학), 실무그룹II(적응), 실무그룹III(완화) 간의 강화된 협력
⑤ 분석체계의 다양화	• 기후변화 완화 행동의 유인, 장애요소, 옵션을 평가하기 위해 다양한 분석체계* 검토 * 경제적 효율성(회피된 영향 편익 포함), 윤리 및 형평성, 사회-기술적 전환 과정의 연계성, 사회·정치적 체계(제도 및 거버넌스 포함) 등

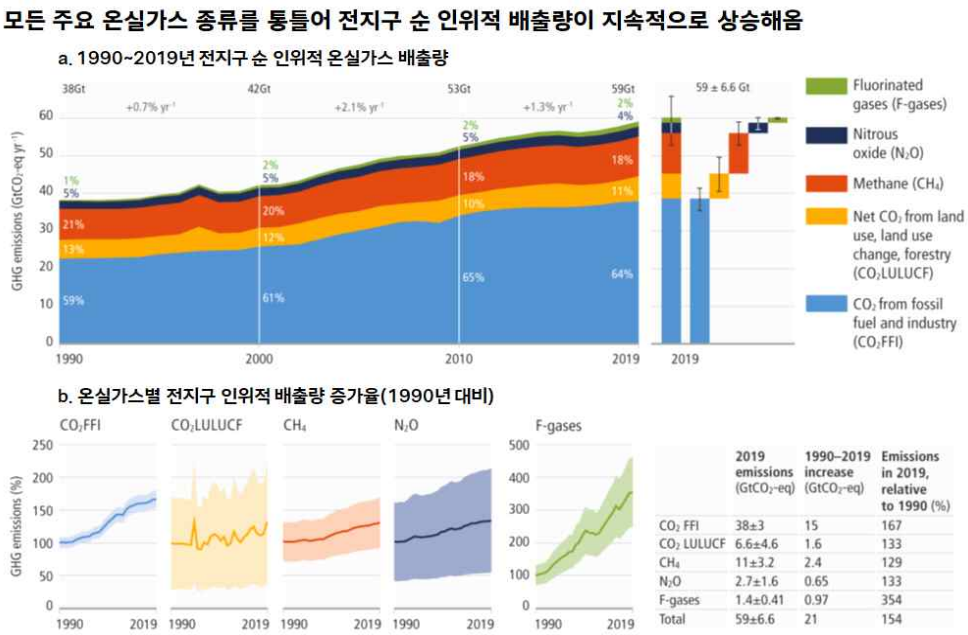
출처: IPCC(2022b) 섹션 A에 기반하여 저자 정리

1.2. 최근 배출 추세 및 동향

전지구 순 인위적 온실가스 배출량(global net anthropogenic GHG emissions)은 지속적으로 증가해 2019년 '연간' 순 배출량은 59±6.6 $GtCO_2eq/yr$로, 이는 2010년 배출량 대비 12%, 1990년 배출량 대비 54% 높은 수치이다 ([그림 2-1a] 참조). 전 지구 연간 온실가스 '배출량' 자체는 지속적으로 증가하고 있으나, 연간 배출량의 '증가율'은 감소 추세에 있다. 2000~2009년 기간에는 연평균 2.1% 증가하였으나, 2010~2019년 기간에는 연평균 1.3% 증가율을 나타내고 있다.

모든 종류의 온실가스가 1990년 배출량과 비교 시 2019년 증가 추세에 있다. 화석연료 및 산업 부문에서의 이산화탄소(CO_2-FFI), 토지 부문[7]에서의 이산화탄소(CO_2-LULUCF), 메탄(CH_4), 아산화질소(N_2O)는 2019년 배출량이 1990년 대비 2배 이내로 증가하였다. 불화가스(F-gas)의 경우 전체 온실가스에서 차지하는 비율은 작을지라도 1990년 대비 2019년 배출량이 354%(불확실성 범주까지 포함하면 약 450%)에 육박해 그 증가율이 매우 높다 ([그림 2-1b] 참조).

1850~2019년 역사적 '누적' 이산화탄소 순배출량은 2400±240 $GtCO_2$로, 이중 42% (1000±90 $GtCO_2$)가 1990~2019년에 배출되었다. 또한, 1850~2019년 역사적 누적 배출량은 지구온난화를 1.5℃로 제한하기 위한 배출허용총량(carbon budget)의 약 4/5, 2℃로 제한하기 위한 배출허용총량의 약 2/3에 해당한다. 이는 1.5° C 제한을 위한 배출허용총량이 약 1/5만 남았다는 것을 의미한다.



[그림 2-1] 1990~2019년 전지구 순 인위적 온실가스 배출량($GtCO_2eq/yr$)

출처: IPCC (2022b)의 Figure SPM.1을 번역

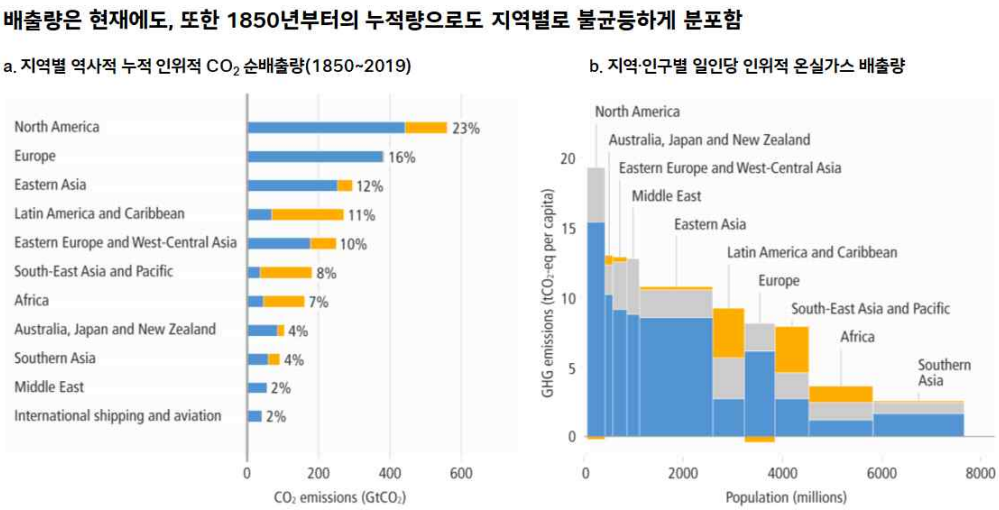
7) 정확히는 토지이용·토지이용변화 및 산림(LULUCF, land use, land use change, and forestry)을 의미한다. 또한 LULUCF 부문의 배출량은 순배출량으로 배출량과 흡수/제거량을 산정한 값으로 설정한다.

지역별 배출량은 차이가 큰 것으로 나타났다. 또한, 지역별 및 국가별 '일인당' 배출량 차이는 다양한 발전 수준에 기인한 것으로 나타난다. 특히, 가장 높은 일인당 배출량을 가진 소득수준 상위 10% 가구가 전세계 온실가스 배출량의 상당 부분을 불균형적으로 차지한다. 1850~2019년 역사적 누적 이산화탄소 순배출량의 기여도를 지역별로 살펴보면, 지역별로 불균등하게 분포하는데, 북아메리카(23%)는 전지구 누적 배출량 중 가장 높은 비중을 차지하며, 유럽(16%), 동아시아[8](12%)가 그 뒤를 따른다. 가장 적은 기여도는 남아시아(4%)와 중동(2%)으로 분석된다 ([그림 2-2a] 참조).

2019년도 기준, 지역별 총인구 대비 일인당 온실가스 배출량을 보면, 북아메리카의 경우 19 tCO_2eq인 반면, 남아시아의 경우 2.6 tCO_2eq로 그 차이가 큰 것으로 나타난다 ([그림 2-2b] 참조). 지역별 인구 분포를 살펴볼 때, 일인당 6 tCO_2eq 이상 배출하는 국가에 전 지구 인구의 약 48%가 거주하며, 일인당 3 tCO_2eq 이하만 배출하는 국가에 전 지구 인구의 약 41%가 거주한다(CO_2-LULUCF 제외 계산).

발전 수준에 따른 배출량 격차를 살펴보면, 화석연료 및 산업 부문에서의 이산화탄소(CO_2-FFI) 배출량을 기준으로 1850~2019년 누적 배출량에서 최빈개도국(LDC, least developed country)은 0.4%, 군소도서국(SIDS, small islands developing states)은 0.5%만을 차지한다. 소득 수준에 따라서도 배출량 격차가 크게 나타나는데, 전 세계 소득 상위 10%가 전 세계 배출량 34~45%, 소득 중간 40%가 배출량의 40~53%, 하위 50%가 전 세계 배출량 13~15% 차지하는 것으로 나타난다.

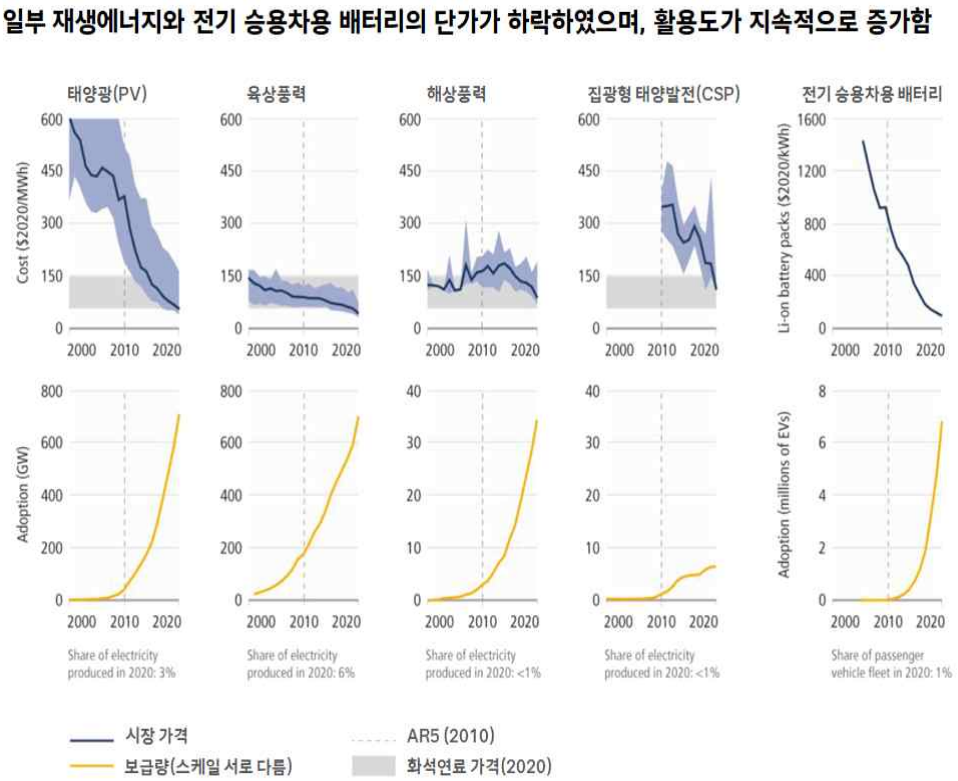
감축 노력에 대한 성과도 관측된다. 18개 이상의 국가가 10년 이상 배출량 감축에 성공하였으며, 이 중 일부는 배출량 정점 이후 정점 배출량의 1/3 이상을 감축하고, 일부는 연평균 4% 감축율[9]을 달성하였다.



[그림 2-2] 지역별 온실가스 배출량 및 1850~2019년 누적 이산화탄소 배출량의 지역별 분포
출처: IPCC (2022b)의 Figure SPM.2의 일부를 번역

8) 동아시아에는 중국, 몽골, 한국(남한), 한국(북한)이 분류된다.
9) 지구온난화를 2°C로 제한하기 위해 필요한 감축율과 비슷하다.

다음으로 기후변화 완화를 위한 기술을 살펴보도록 하겠다. 저배출 기술의 단가가 2010년 이래 지속적으로 하락하고 있으며, 이는 혁신 정책 패키지로 가능해졌다. 이러한 혁신 정책 패키지에는 기술주도 정책 차원의 공공 R&D 투자와 실증·시범 사업의 비용 지원, 수요견인 정책 차원의 기술 활용 보조금 지원 등이 있다. 이로 인해 2010~2019년 기간 동안 태양광 발전의 단가는 85%, 풍력 발전의 단가는 55%, 리튬이온 배터리의 단가는 85% 하락하였다. 이에 따라 보급량 역시 태양광의 경우 10배 이상, 전기차의 경우 100배 이상 증가하였다 ([그림 2-3] 참조).



[그림 2-3] 급격하게 변하는 완화 기술의 단가 하락 및 활용도

출처: IPCC (2022b)의 Figure SPM.3을 번역

이러한 저배출 기술 외에도 디지털 기술은 기후변화 완화 및 지속가능발전목표 달성에 기여할 수 있다. 예시로, 센서, 사물인터넷(IoT, Internet of things), 로봇, 인공지능 등의 기술들은 에너지 관리 향상, 에너지 효율성 증대, 저배출 기술 채택 증진, 경제적 기회 창출 등에 기여한다. 그러나, 디지털 기술 활용에 따른 상품·서비스 수요 증대로 완화 기여도를 상쇄할 가능성도 존재한다. 또한, 전자제품 폐기물, 노동환경에 대한 부정적 영향, 디지털 격차 문제를 적절히 관리해야 한다.

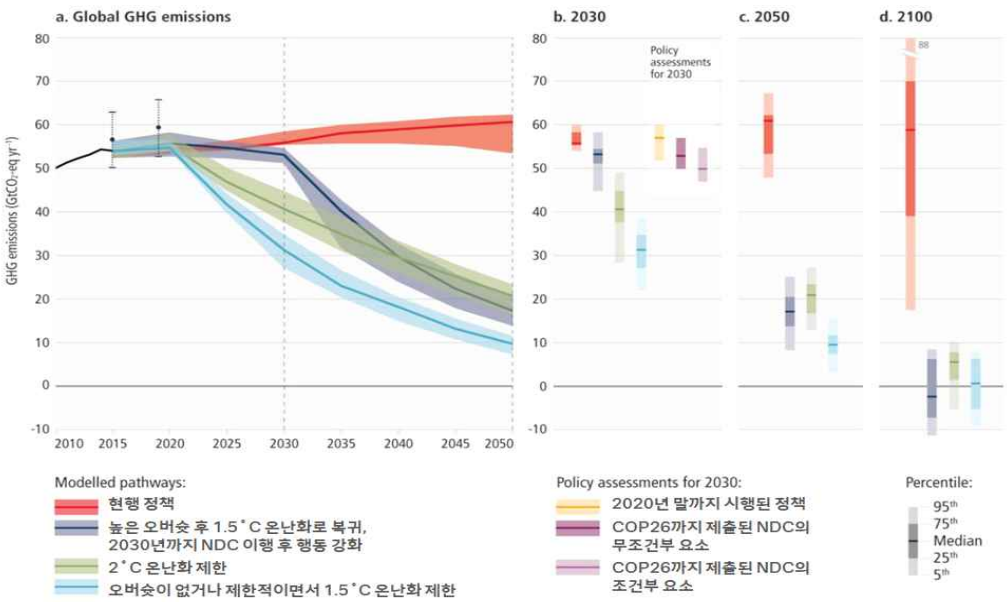
다음으로 2030년 국가결정기여(NDC, nationally determined countribution)를 살펴보도록 하겠다. 현재 수준의 NDC 이행으로 1.5℃ 목표는 달성이 어려우며, 2℃ 목표는 2030년 이후 감축 노력을 급격히 가속화해야 달성이 가능하다. 2019년 기준 연간 배출수준은 59 $GtCO_2eq$이며, 2019년도의 현행 정책(current policy)이 이행된다고 가정했을 때의 2030년 배출량 전망은 57 $GtCO_2eq$이다. 그런데, 제26차 유엔기후변화협약 당사국총회(COP26) 전까지 제출된 NDC 및 NDC 갱신본에 포함된 완화행동이 이행된다고 가정했을 때, NDC 무조건부(unconditional)의 2030년 배출량은 53 $GtCO_2eq$이고, 조건부의 경우 50 $GtCO_2eq$이다. 즉, 현행 정책과 NDC 간 배출량 격차가 크지 않다.

NDC와 1.5℃ 및 2℃ 경로와의 배출량 격차를 살펴보도록 하겠다. 2030년 NDC 무조건부 목표 달성을 전제로 한 2030년 배출전망치가 53 $GtCO_2eq$인데, 이는 2℃ 완화 경로의 2030년 예상배출량과 10~16 $GtCO_2eq$의 격차가 존재하며, 1.5℃ 경로의 예상배출량과 19~26 $GtCO_2eq$의 격차가 존재한다. 이는 현재 NDC 의욕수준으로 2℃ 및 1.5℃ 완화 경로 달성이 어렵다는 것을 시사한다 (<표 2-13> 및 [그림 2-4] 참조).

<표 2-13> 현행 정책 및 NDC와 완화 경로 사이의 배출량 격차

(단위:$GtCO_2eq/yr$)		현재	2030년 전망	배출량격차	
				2°C목표	1.5°C목표
현행 정책		59	57 (52-60)	-	-
NDC	무조건부	-	53 (50-57)	10-16	19-26
	조건부	-	50 (47-55)	6-14	16-23

출처: IPCC (2022b)의 Table SPM.X(승인본 기준)에 기반하여 저자 정리



[그림 2-4] 모델 경로 상에서의 전지구 온실가스 배출량

출처: IPCC (2022b)의 Figure SPM.4를 번역

1.3. 지구온난화 제한을 위한 시스템 전환

먼저 모델링된 전 지구 배출 경로의 유형을 살펴보도록 하겠다. IPCC 제3실무그룹은 전 지구적으로 도출된 미래 기후변화 전망 시나리오 2,266개를 수집하였고, 각각의 시나리오 분석 내용이 역사적 동향 및 단기 타당성에 정합성이 있는지 여부를 바탕으로 1,203개의 시나리오를 선별한 후, 이를 모델링된 전 지구 배출 경로 8개 유형(category)으로 분류하였다. 이는 <표 2-14>와 같이 정리되었다. 유형 C1~C8 중에서, 유형 C1, C2, C3의 세 개 유형이 본 보고서가 집중하는 유형이며, SPM에서는 이 중에서도 유형 C1 및 C3에 집중한다.

<표 2-14> 전지구 배출 경로의 유형과 주요 특징(표기값은 경로 유형별 중간값으로 표시)

유형(카테고리)			연간배출량 ($GtCO_2eq/yr$)		달성연도				2100년 온난화 수준*
구분	경로설명(확률)	예시적 완화 경로	2030	2050	CO_2 정점	GHG 정점	CO_2 넷제로	GHG 넷제로	
C1	**오버슛이 없거나 제한적(0~0.1°C)이면서 1.5°C 온난화로 제한** (>50%)		31	9	2020-2025		2050-2055	2095-2100	1.3°C
-C1a	GHG 넷제로 달성	• SSP1-1.9 • SP,LD	33	8				2070-2075	1.2°C
-C1b	CO2 넷제로 달성하나 GHG 넷제로 달성 없음	• Ren	29	9				-	1.4°C
C2	**높은 오버슛(0.1~0.3°C) 후 1.5°C 온난화 제한 복귀** (>50%)	• Neg	42	14			2055-2060	2070-2075	1.4°C
C3	**2°C 온난화로 제한** (>67%)		44	20			2070-2075	-	1.6°C
-C3a	2020년부터 즉각적인 완화 행동 시작	• SSP1-2.6	40	20			2070-2075	-	1.6°C
-C3b	2030년까지 NDC 이행과 이후 이행 강화	• GS	52	18			2065-2070	-	1.6°C
C4	2°C 온난화로 제한 (>50%)		50	28			2080-2085	-	1.8°C
C5	2.5°C 온난화로 제한 (>50%)		52	39			-	-	2.1°C
C6	3°C 온난화로 제한 (>50%)	• SSP2-4.5 • Mod-Act	54	52	2030-2035	2020-2025	-	-	**2.7°C**
C7	4°C 온난화로 제한 (>50%)	• SSP3-7.0 • Cur-Pol	62	70	2085-2090	2090-2095	-	-	**3.5°C**
C8	4°C 온난화 초과 (>50%)	• SSP5-8.5	71	88	2080-2085		-	-	4.2°C

* 현재의 전지구 온도는 이미 산업화 이전(1850-1900) 대비 1.09°C 상승하였음(IPCC AR6 WGI 보고서 결과)

출처: IPCC (2022b)의 Table SPM.2에 기반하여 저자 정리

각각의 유형을 살펴보고자 한다. 유형 C1은 오버슛[10]이 없거나 제한적이면서 1.5° C 온난화로 제한하는 경로에 대한 유형이다. 구체적으로는 2100년에 지구온난화를 1.5℃로 제한할 가능성이 50% 이상이면서 동시에 21세기 내내 전 지구 온도가 1.5℃를 일시적으로 벗어나는 오버슛이 없거나 제한적으로(0.1℃ 이내) 발생할 가능성이 67% 이상인 경로가 속하는 유형이다. 이는 다시 두 개의 하위유형인 C1a와 C1b 유형으로 구분된다. 먼저, C1a 유형은 2100년 이내에 전 지구 이산화탄소 넷제로 및 전체 온실가스 넷제로를 동시에 달성하는 경로로,[11] 여기에 속하는 예시적 완화 경로(IMP, illustrative mitigation pathway)[12]로는 완화 노력 수준을 변화하고 기술혁신 등을 통해 지속가능발전을 위한 경로로 즉각적으로 전환하는 경로(SP, Shifting Pathway toward sustainable development)나 자원(특히 에너지)에 대한 효율적 사용과 소비 패턴 전환을 통해 자원에 대한 수요를 낮추는 저수요 관리 경로(LD, Low Demand for resources)가 있다.[13] 한편, C1b 유형은 2100년 이내에 전 지구 이산화탄소 넷제로는 달성하나 온실가스 넷제로는 달성하지 않는 경로로, 이를 달성할 수 있는 예시적 경로로는 재생에너지 활용 확대 경로(Ren, Renewable energy deployment expansion)가 있다.

다음으로 유형 C2는 높은 오버슛 후 1.5° C 온난화로 복귀하는 경로에 대한 유형이다. 2100년에 지구온난화를 1.5° C로 제한할 가능성이 50% 이상이면서 동시에 21세기 중 전지구 온도가 1.5° C를 일시적으로 초과하는 오버슛(0.1~0.3℃)이 발생할 가능성이 67% 이상인 경로가 속하는 유형이다. 동 유형을 달성할 수 있는 예시적 완화 경로로는 대기 중 이산화탄소제거(CDR, carbon dioxid removal) 접근법을 활용하여 결과적으로 전 지구적 온실가스 네거티브 배출로 이어지는 경로이며, 동 예시적 경로 명칭은 'Neg (Net Negative global GHG emissions by the deployment of carbon dioxide removal)'이다.

다음으로 유형 C3는 2℃ 온난화로 제한 가능성이 높은 경로에 대한 유형이다.[14] 구체적으로는 2100년에 지구온난화를 2℃로 제한할 가능성이 67% 이상인 경로가 속하는 유형으로, 이는 다시 두 개의 하위유형으로 구분된다. 먼저, C3a 유형은 2020년부터 즉각적인 완화 행동을 시작하는 것을 가정한 경로가 속하는 하위유형이다.[15] 한편, C3b는 2030년까지는

10) 오버슛(overshoot): 지구온난화 과정에서 일시적으로(최소 십년에서 수십년) 목표 온도를 초과하는 현상이다.

11) 넷제로(net zero): 제시된 기간 동안 인위적 배출량이 인위적 제거량으로 상쇄되어 순배출량이 0(제로)이 되는 것으로 IPCC에서 정의한다. 세부적으로는 이산화탄소에 한해 넷제로를 달성하는 '이산화탄소 넷제로'와 이산화탄소를 포함한 전체 온실가스에 대해 넷재로를 달성하는 '온실가스 넷제로'로 구분할 수 있다. 한편, 넷제로와 유사한 개념으로 탄소중립(carbon neutrality) 및 온실가스중립(greenhouse gas neutrality)이 있다. IPCC의 정의를 따르자면, 전 지구적으로 볼 때 넷제로와 탄소중립은 같은 개념이나, 그보다 낮은 수준(국가, 지역 등)으로 한정지을 때, 넷제로는 통상적으로 감축 주체가 직접 관리하는 배출·흡수량만으로 순배출량을 0(제로)이 되게 하는 것이라면, 탄소중립 및 온실가스중립은 감축주체가 직접 관리하는 영역을 넘어 발생하는 배출·흡수량까지 고려한 개념이다 (IPCC 2022c, Annex I p.8, 22, 31, 32). 이러한 내용을 종합하면 하단의 표와 같이 정리될 수 있다.

개념	차이 (하위 레벨)	공통 (국제 및 하위 레벨)
넷제로 (Net zero) - CO_2 넷제로, GHG 넷제로	감축주체의 관할지역 내 또는 직접적인 규제 대상이 되는 배출 및 제거에만 적용	배출량+ 제거량=0(제로)
중립성 (Neutrality) - 탄소중립, GHG 중립	감축주체의 관할지역 내 또는 직접적인 규제 대상이 되는 배출 뿐만 아니라 그 외적인 배출 및 제거에도 적용	

12) 예시적 완화 경로란 다양한 지구온난화 수준 경로에 해당하는 다양한 완화 '전략'의 범주를 예시적으로 보여주기 위해 도출된 것이다. 예시적 완화 경로는 모든 가능한 주제에 대해 다루는 것은 아니며 대표적인 완화 전략 중심으로 도출된다.

13) 제1실무그룹에서 다루는 5개 공통사회경제경로(SSP, shared socio-economic pathway) 중 동 유형과 정합성이 있는 경로는 SSP1-1.9 경로로, 이는 전세계가 점진적으로 지속가능발전경로로 전환하면서, 21세기 중반 경에 이산화탄소 넷제로를 달성하고, 2100년까지 온실가스 배출 수준을 '매우 낮게(very low)' 제한하는 경로임. 이에, WGIII의 SP 예시적 완화 경로와 유사하다.

14) IPCC 보고서에서 가능성이 높다(likely)는 의미는 가능성이 67% 이상임을 의미하는 표현이다. 동 유형을 제외한 나머지 일곱 개의 유형은 모두 가능성이 50% 이상이며, 특히 C4 유형의 경우 2100년 온난화 제한 정도가 2°C인 점은 C3 유형과 동일하나 가능성이 C3보다 낮다.

현재 발표된 NDC 수준의 완화 노력을 유지한 후 이후 완화 수단을 새로이 소개하고 적용하는 등 완화 노력을 점진적으로 강화(GS, Gradual Strengthening)하는 것을 가정한 예시적 완화 경로가 속한다.

나머지 유형 C4~C8에 대해 살펴보면, C4~C8의 다섯 가지 유형은 각각 2100년에 지구온난화 정도가 2℃ 이내, 2.5℃ 이내, 3℃ 이내, 4℃ 이내, 4℃ 초과할 가능성이 50% 이상인 경로가 속하는 유형이다. 이 중에서 주목할 유형은 유형 C6과 C7이다. 유형 C6에 해당하는 예시적 경로(IP, illustrative pathways)에는 NDC 이행 및 의욕 수준 유지 경로(Mod-Act, Moderate Action)가 있는데,[16] 이는 2021년 10월까지 제출된 모든 국가의 NDC 상의 완화 노력만으로는 2100년에 지구온난화 수준이 2.7℃까지 증가한다는 것을 보여준다. 또한, 유형 C7에 해당하는 예시적 경로에 2019년도 기준 현행 정책을 유지하는 경로(Cur-Pol, Current Policy implementation)가 포함되어 있으며, 이는 곧 우리가 2019년도 기준으로 이행한 정책을 더 강화하지 않고 현행대로 유지한다면 2100년에 지구온난화 수준이 3.5℃까지 증가한다는 예측치를 보여준다.[17]

앞서 살펴본 경로 유형에서 다루는 감축 경로별로 배출량 정점 및 넷제로 시기에 대해 살펴보고자 한다. 오버슛이 없거나 제한적인 1.5℃ 경로나 즉각적인 행동을 가정한 2℃ 경로 상에서, 2020~2025년[18] 사이에 전 지구 배출량 정점에 도달하는 것으로 도출된다. 오버슛이 없거나 제한적인 1.5℃ 경로에서 이산화탄소 넷제로는 2050년 초반에 달성되고, 2℃ 경로에서는 2070년 초반에 달성될 것으로 분석된다. 한편 이산화탄소 넷제로 달성 이후에는 지속적인 이산화탄소 감축으로 순-네거티브(net negative) 배출[19]이 이루어진다.

또한 감축 경로별로 현재의 배출량과 비교시 필요한 감축량 수준을 살펴보고자 한다. 지구온난화를 오버슛이 없거나 제한적이면서 1.5℃로 제한하는 경로의 경우(유형 C1에 해당), 2019년 배출량 대비 2030년 배출 감축 필요량은 43%이고, 2050년에는 84%로 전망된다. 높은 오버슛 후 1.5℃로 복귀하는 경로의 경우(유형 C2), 2030년 배출 감축 필요량은 23%, 그리고 2050년에는 75%로 전망된다. 2℃ 제한을 위해 즉각적인 행동을 하는 경로의 경우(유형 C3a), 2019년 전지구 온실가스 배출량 기준 대비 2030년 배출 감축 필요량은 27%이고 2050년에는 63%로 전망된다 (<표 2-15> 참조).

<표 2-15> 감축 경로별 2030년 및 2050년 감축량

구분	2030년까지 감축비율(%)	2050년까지 감축비율(%)
1.5°C 경로(오버슛이 없거나 제한적)	43% (34~60%)	84% (73~98%)
1.5°C 경로(높은 오버슛 존재)	23% (0~44%)	75% (62~91%)
2°C 경로	27% (13~45%)	63% (52~76%)
NDC 의욕 수준 경로	2% (-10~11%)	5% (-2~18%)

출처: IPCC (2022b)의 C.1.1 및 Table SPM.1에 기반하여 저자 정리

15) 제1실무그룹에서 다루는 공통사회경제경로 중 동 유형과 정합성이 있는 경로는 SSP1-2.6 경로로, 이는 전세계가 점진적으로 지속가능발전경로로 전환하면서, 21세기 중반 이후에 이산화탄소 넷제로를 달성하고, 2100년까지 온실가스 배출 수준을 '낮게(low)' 제한하는 경로이다.

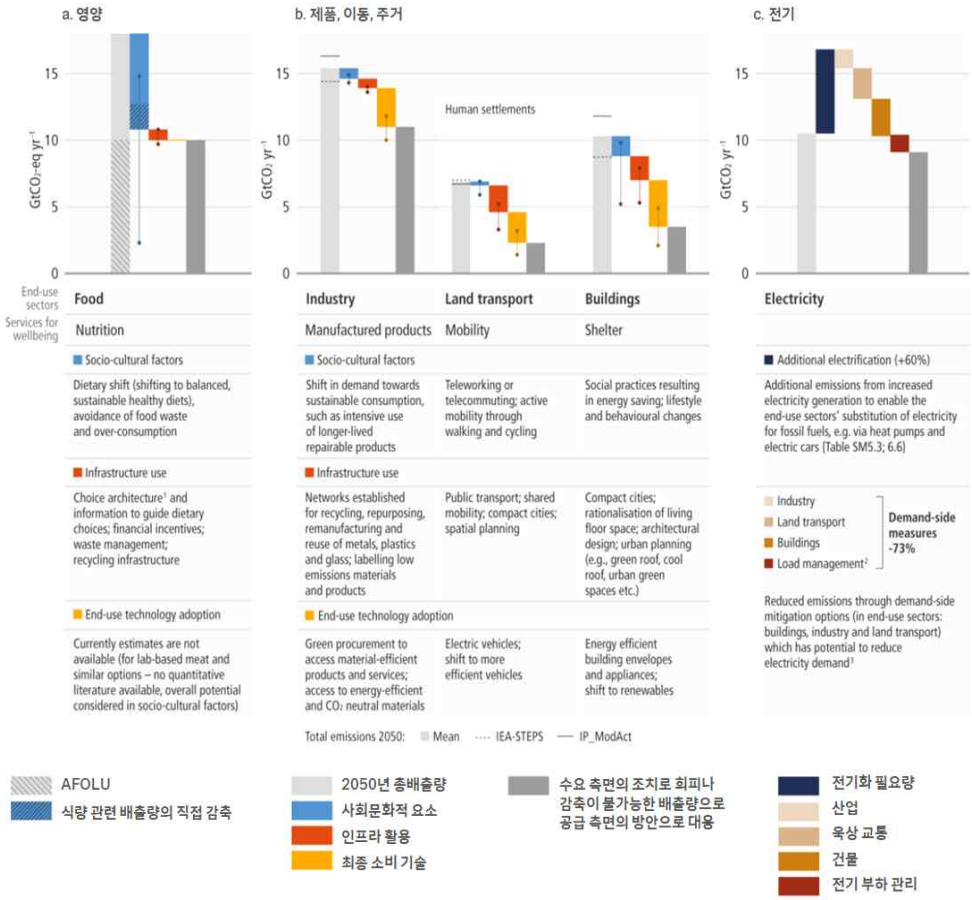
16) 예시적 경로(IP)란 예시적 완화 경로(IMP)와의 비교를 위해 현재 정책 수준이 지속된다는 참고용 시나리오(reference scenario)로 도출된 경로이다.

17) 제1실무그룹에서 다루는 공통사회경제경로 중 SSP2-4.5, SSP3-7.0, SSP5-8.5는 각각 유형 C6, C7, C8과 정합성이 있다.

18) 경로 분석시 5년 간격의 기간을 기준으로 분석하였기에 이와 같이 표기되었으나, 이는 가능한 신속히, 아무리 늦더라도 2025년 이전에는 배출량 정점에 도달하여야 함을 의미한다.

19) 순-네거티브(net negative)란 인위적 온실가스 제거량이 인위적 온실가스 배출량을 초과하여 온실가스 순배출량이 0보다 작아지는 것을 의미한다.

다음으로 구체적인 완화 전략에 대해 살펴보고자 한다. 먼저 수요 측면의 완화 조치는 ①사회문화·행태적 변화, ②인프라 활용 방법, ③최종소비 기술의 채택을 포괄하는 조치이다. 이를 통해 모든 부문에서 전 지구 온실가스 배출량을 2050년까지 기반 시나리오 대비 40~70%를 감축할 수 있으며, 특히 건축환경 및 인프라 설계·개선만으로[20] 배출량의 5~30%를 감축할 수 있다. 분야별로 활용 가능한 수요 측면 완화 조치를 살펴보면, 영양 분야에 적용 가능한 수요 측면 완화 조치로는 채식으로 대표되는 균형있고 지속가능한 건강 식단(balanced, sustainable and healthy diets)의 활용과 음식물 쓰레기의 감소 등이 있고, 제품·이동·주거 분야에 적용 가능한 조치로는 반응형(adaptive) 냉난방 기술의 적용, 전기 승용차 보급, 걷기·자전거·공유차량·대중교통의 활용 등이 있다 ([그림 2-5] 참조). 이러한 수요 측면의 조치는 일인당 배출량이 높으며 사회경제적 지위가 높은 개인일수록 감축 잠재력이 높기 때문에,[21] 이러한 수요 측면 조치로 소득 격차 간의 비형평성 문제에 대응하면서 모든 사람이 기본적 웰빙을 충족할 수 있도록 기여할 수 있다.



[그림 2-5] 2050년까지의 수요 측면 완화 방안의 잠재력

출처: IPCC (2022b)의 Figure SPM.6를 번역

20) 예를 들어, 콤팩트 시티, 직주근접(co-location of jobs and housing), 건물 활용도 향상 등을 통해 추가적인 수요 변화 캠페인 없이도 자연스럽게 소비자의 행태 변화를 유도할 수 있다.

21) 사회경제적 지위가 높은 개인일수록 자신의 특권을 드러내기 위해 상품 및 서비스의 소비를 할 가능성이 크며, 이러한 지위 상징적 소비(status consumption) 없이 영양, 주거, 의복, 건강, 교육 등 인간의 기본적인 웰빙을 충족시키는 최소한의 물질로 이루어진 생활을 '적정생활수준(DLS, decent living standards)'이라 지칭한다.

다음으로 공급 부문별로 활용 가능한 완화 조치에 대하여 살펴보고자 한다. 오버슛이 없거나 제한적이면서 1.5℃ 온난화로 제한하는 경로(유형 C1)나 2℃ 온난화로 제한하는 경로(유형 C3)는 모든 공급 부문에서의 신속하고 심층적인(deep) 탈탄소화가 필요하다.[22] 공통적으로 적용되는 대표적인 완화 전략으로는 CCS를 활용하지 않은 화석연료의 저・무탄소 연료 전환과 효율 개선, 이산화탄소제거(CDR, carbon dioxide removal) 접근법의 활용 등이 있다. 온난화를 2℃ 이하로 제한하는 대부분의 경로에서는 농업・임업・기타토지이용(AFOLU, agriculture, forestry, and other land use) 및 에너지 부문이 건물, 산업, 수송 등의 기타 부문보다 더 일찍 이산화탄소 넷제로 달성이 가능할 것으로 분석된다. 여기에서 다루고자 하는 부문은 ①에너지, ②산업, ③도시, ④건물, ⑤수송, ⑥AFOLU, ⑦CDR 접근법의 일곱 가지이다.

첫째, 에너지 부문이다. 에너지 시스템의 저탄소 전환의 주요 전략으로는 ①화석연료 사용 축소, ②저배출 에너지 자원의 확산, ③에너지 효율성 증대 및 개선 등이 있다.

둘째, 산업 부문이다. 산업 부문의 효율적인 온실가스 감축을 위해서는 생산 및 수요 관리, 에너지 효율 개선, 자원 순환 등 가치사슬 전반에 걸친 감축 노력이 필요하다. 산업 부문 온실가스 넷제로를 위해서는 저탄소 전력 및 수소를 활용하는 공정의 채택과 더불어, 잔여 이산화탄소에 대한 이산화탄소 포집 및 저장(CCS, carbon capture and storage) 기술 사용이 필요하다.

셋째, 도시 부문이다. 도시화로 인한 사람과 활동의 집중은 자원 효율성 제고 및 대규모의 탈탄소 전환을 위한 기회가 될 수 있다. 이를 위한 효과적인 온실가스 저감을 위해서는 ①에너지 및 재료 소비 감소, ②저배출 에너지원으로의 전환과 연계한 전기화. ③그린-블루 인프라를 통한 탄소 흡수 및 저장 능력 향상의 세 가지 전략이 동시에 구현되어야 한다.

넷째, 건물 부문이다. 건물 부문의 감축을 위해서는 저배출 건설재료의 활용, 에너지 효율화, 재생에너지 활용 정책이 포함된 건축 설계 등, 건물의 설계-건설-사용-폐기까지 각 단계를 통합한 감축 전략이 필요하다.

다섯째, 수송 부문이다. 수송 부문에서 수요 조치와 저탄소 기술의 활용을 통해 상당량의 온실가스 감축이 가능하다. 특히 육상 수송 부문에서는 전기차의 도입이 가장 감축 잠재력이 크다. 해운과 항공 등의 장거리 수송 부문에서는 바이오연료, 저배출 수소, 암모니아, 합성연료와 같은 기술[23]이 필요하다.

여섯째, AFOLU 부문이다. 농업・임업・기타토지이용을 의미하는 AFOLU 부문의 많은 완화 옵션은 대규모 온실가스 배출・감축 및 제거는 물론, 생물다양성, 식량안보, 목재 공급 등 편익을 동시에 제공하며, 특히 100 USD/tCO_2eq 이하의 비용만으로 연간 8~15 $GtCO_2$eq의 감축 잠재력이 존재한다. 감축 잠재력이 큰 순서대로 나열하면, 산림 및 생태계의 보전・관리・복원이 가장 감축 잠재력이 크며, 그 다음으로는 농지・가축 관리 및 토양 탄소격리이고, 마지막이 식생활 개선 및 저배출 연료의 활용이다.

마지막으로, 온실가스 배출 감축이 아닌, 대기 중 이산화탄소제거 접근법인 CDR 접근법이다. 앞서 언급된 공급 부문별 완화 조치가 온실가스 배출 감축이나 배출 회피

22) 높은 오버슛 후 1.5°C 온난화 제한으로 복귀하는 경로(유형 C2)의 경우에도 다양한 공급 부문의 완화조치가 필요하지만, 온난화 제한에 요구되는 배출허용총량을 초과하는 배출량에 대하여 향후 CDR 접근법을 광범위하게 활용하여 제거하는 것을 가정하였기에, 동 문장에서 다루는 '신속하고 심층적인 탈탄소화'와는 결을 달리한다.

23) 이러한 기술은 해운 및 항공 부문뿐만 아니라 일부 특화된 육상운송에서도 감축 잠재력을 지닌다.

조치라고 한다면, 대기 중에서 직접적으로 이산화탄소를 흡수·제거하는 CDR 접근법 역시 주요하게 다루어진다. CDR 접근법은 넷제로 달성 차원에서 추가적인 감축이 어려운 잔여 배출량을 상쇄하기 위해 필수적이나, 기술적 적용가능성 및 지속가능성 측면의 도전과제가 존재한다. 이러한 CDR 접근법의 종류는 생물학적, 지구화학적, 화학적 접근법으로 구분할 수 있다.[24] 이 중에서 생물학적 접근법에 속하는 조림·재조림,[25] 산림경영, 혼농임업(agroforestry), 토양탄소격리(soil carbon sequestration)가 널리 활용되며, 이들은 특히 생물다양성과 생태계 기능을 강화할 수 있다. 반면, 바이오에너지 탄소포집·저장(BECCS, bioenergy with carbon capture and storage) 기술[26]이나 바이오차(biochar)[27]를 위한 작물 생산은 생물다양성, 식량 및 수자원 안보, 지역 생계, 토착민 권리 등에 부정적인 영향을 미칠 수 있다. 한편, 포집된 탄소를 격리할 때, 지질 및 해양 저장소에 탄소를 저장하는 방식은 흡수·제거된 이산화탄소의 역전(reversal)에는 덜 취약하나, 생태계와 생물다양성에 미칠 수 있는 부정적 영향은 아직 정확히 파악되지 않은 단점이 존재한다. 이러한 CDR 방법론은 지구온난화를 2℃로 제한하는 경로에서 BECCS와 직접대기 탄소포집·저장(DACCS, direct air carbon capture and storage) 기술[28]을 통해 각각 170~650 $GtCO_2$와 0~250 $GtCO_2$ 만큼 감축에 기여할 것으로 전망되며, 1.5℃로 제한하는 경로에서는 각각 30~780 $GtCO_2$, 0~310 $GtCO_2$ 만큼 감축에 기여할 것으로 전망된다.

지금까지 살펴본 다양한 완화 옵션 중에는 비용이 낮은 옵션들도 상당수 존재한다. 1톤의 이산화탄소에 대한 감축비용[29]으로 $100 이하만 소요되는 옵션들을 활용하는 것만으로도 2030년까지 2019년 배출량의 50% 이상을 감축할 수 있으며, 특히 이러한 옵션 중 절반 이상은 이산화탄소 1톤 감축에 $20 이하만 소요되는 저비용 옵션들이다. 부문별 평가를 통해 완화 옵션들의 비용을 산정한 결과, $20 이하의 저비용 옵션 중 태양광·풍력 발전, 에너지 효율 개선, 자연생태계 전환 자제(reduced conversion), 메탄 감축이 기여하는 정도가 큰 것으로 나타났다.

현행 정책에서 활용되는 부문별 기술을 대체하기 위해 각종 완화 기술을 보급할 시 상대적으로 소요되는, 혹은 절약 가능한 온실가스 회피 순비용을 정리해보면 [그림 2-6]과 같다. 동 그림에서 막대그래프의 색깔은 추가적으로 소요되는 온실가스 회피 순비용을 의미하는데, 파란색은 회피 순비용이 음의 값, 즉 현행 정책보다 더 낮은 비용으로 온실가스를

24) 생물학적·지구화학적·화학적 CDR 접근법의 구분은 포집(capture) 과정에서의 구분법에 기반한다. 포집이 '생물학적' 수단을 활용해서 포집이 이루어지면, 생물학적 CDR 접근법이다. 지구화학적 CDR 방법에는 강화된 풍화와 해양알칼리도증진이 있으며, 화학적 접근법에는 직접대기 탄소포집·저장 기술이 있다.

25) 많이 실행되고 있는 조림·재조림의 경우 자연재해나 인위적 요인 등으로 대기 중으로부터 흡수 및 저장된 이산화탄소가 다시 대기 중으로 방출되는 역전이 발생할 수도 있다.

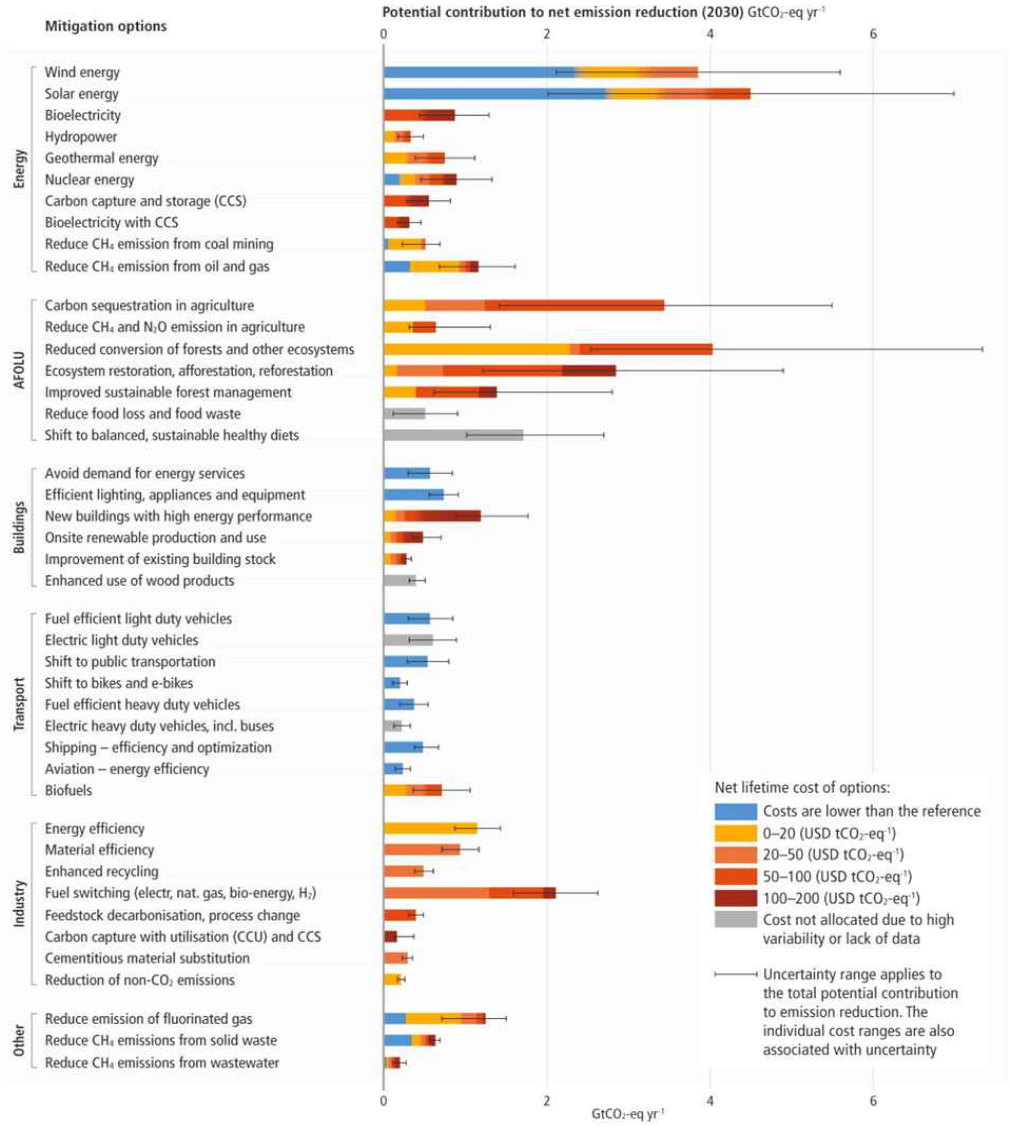
26) 바이오에너지 탄소포집·저장 기술(BECCS, bioenergy with carbon capture and storage): 바이오에너지 발전 설비에 CCS 기술을 도입한 것으로, 먼저 대기 중의 이산화탄소가 식물을 통해 흡수되고, 동 식물을 활용하여 발전하는 중에 다시 방출되는 이산화탄소를 CCS를 통해 포집하여 최종적으로 격리하는 기술이다.

27) 바이오차(biochar): 바이오매스와 숯의 합성어로, 바이오매스를 산소가 거의 없는 환경에서 열을 가하는 '반탄화' 과정을 통해 만들어진 숯을 의미한다. 이러한 바이오차는 이산화탄소 흡수능력이 높으며 토양의 영양분 손실을 줄이는 기능이 있어 이를 기존 토양과 혼합할 경우, 토양 기능을 개선하면서 동시에 이산화탄소 흡수를 할 수 있다. 현재에는 보급량이 많지 않아 굳이 많이 생산될 필요가 없어 잉여작물로 생산이 가능하지만, 추후 본격적으로 CDR 차원에서 바이오차를 대규모 생산하게 된다면 향후 식량안보와의 충돌이 발생할 잠재성이 존재한다.

28) DACCS (direct air carbon capture and storage): 흡수제 또는 흡착제를 이용하여 대기 중의 이산화탄소를 직접적으로 포집한 후, 이를 지중 저장소 등에 격리하는 기술이다.

29) 여기에서의 비용은 완화 옵션별 전주기 온실가스 회피 순비용(net lifetime costs of avoided GHG emissions)을 미국 달러화의 2019년 수준을 바탕으로 산정한 값이다.

회피할 수 있음을 의미한다. 노란색은 온실가스 회피 순비용이 $20 이내인 저비용 감축 옵션을 의미하며, 색이 붉은색에 가까워질수록 비용이 높음을 의미한다. 한편, 동 그래프의 가로축은 해당 기술이 가지는 감축 잠재량으로, 색깔로 표현된 비용 구간별로 기대할 수 있는 감축 잠재량을 표현한다. 이때, 기술별로 비용이 낮은 설비를 먼저 보급한다고 가정한다.



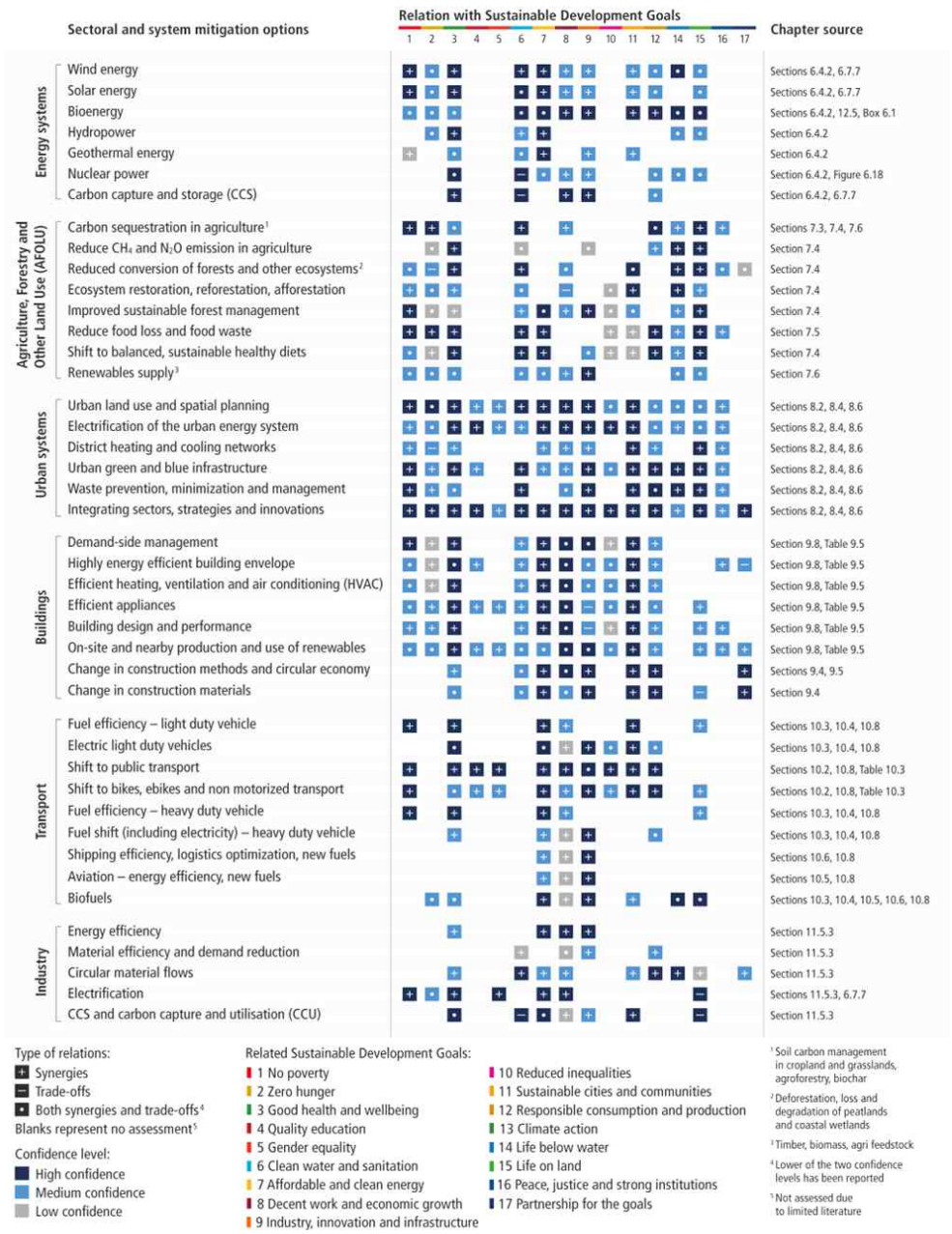
[그림 2-6] 2030년 완화 옵션별 비용 및 감축 잠재량

출처: IPCC (2022b)의 Figure SPM.7을 번역

마지막으로 감축 노력 시 국가·국제적 비용을 살펴보고자 한다. 전 지구 온난화를 2℃로 제한하기 위한 감축 노력으로 인해 현행 정책 경로 대비 2050년 GDP는 1.3~2.7% 감소하고, 2020~2050년 연평균 GDP 증가율은 0.04~0.09% 감소하는 것으로 분석된다. 그러나 이는 GDP의 증가율이 감소하는 것이지 GDP의 절대량은 꾸준히 증가하여, 감축 노력 수준과 무관하게 국제적으로 GDP는 2020~2050년 기간 중 최소 100% 증가할 것으로 분석된다. 또한 2℃ 온난화 제한을 위한 전 지구적인 경제적 혜택은 감축 노력에 투입되는 감축 비용을 상회한다.

1.4. 완화-적응-지속가능발전 간의 연계

기후변화에 대한 가속화되고 형평성 있는 완화 및 적응 행동은 지속가능발전에 핵심적이다. 그러나, 기후변화 행동은 지속가능발전에 시너지를 불러일으키기도 하지만 상충효과를 불러일으키기도 한다 ([그림 2-7] 참조). 한편, 개별적인 완화 옵션으로 인한 상충효과는 정책설계를 통해 관리될 수 있다. 이를 위해 유엔 2030 지속가능발전 의제 하에서 채택된 지속가능발전목표(SDGs, sustainable development goals)가 지속가능발전을 고려한 기후행동을 평가하는데 기본 시작점이 될 수 있다.



[그림 2-7] 부문・시스템별 완화 옵션과 SDG 사이의 시너지 및 상충효과

출처: IPCC (2022b)의 Figure SPM.8을 번역

구체적으로 기후변화 행동과 지속가능발전 간의 시너지 및 상충 효과에 대해 살펴보고자 한다. 먼저, 시너지 효과를 일으킬 수 있는 완화 행동으로는 재생에너지, 녹지를 포함한 도시계획, 대기오염 감소, 균형잡히고 지속가능한 건강 식단을 포함한 수요 측면의 완화 조치 등이 있다. 특히 토지 기반 옵션(재조림, 산림 관리, 산림전용 회피, 자연생태계 및 생물다양성의 복원・보존, 토양탄소관리 등)은 다양한 SDG와 시너지가 있다.

다음으로 완화 행동이 지속가능발전과 상충 효과를 일으키는 경우는 고용, 토지 사용, 생물다양성, 에너지・식량・수자원에 대한 접근 측면에서 발생한다. 완화 조치가 적절히 관리되지 않고 시행될 경우, 육상・해상 생태계가 부정적 영향을 받을 수 있으며, 토지, 수자원, 바이오매스 등의 한정적인 자원을 놓고 경쟁이 심화될 수 있다는 우려가 존재한다. 특히 특정 완화 행동이 대규모로 급작스럽게 시행되며 자원에 대한 경쟁이 심화될 경우, 오히려 기후변화에 대한 적응 역량이 감퇴할 수 있다. 이러한 상충 효과는 역량배양, 재정, 거버넌스, 기술이전, 투자, 사회적 형평성에 집중함으로써 평가 및 최소화하여야 한다.

마지막으로 기후변화 행동을 이행하는 데에 있어 고려해야 하는 요소인 형평성과 공정전환을 살펴보고자 한다. 지속가능발전 경로로의 전환을 위한 강화된 완화 행동은 국가 내 및 국가 간에서 분배적 결과를 수반한다. 분배적 결과의 대표적 예시로 고배출에서 저배출 활동으로 전환 시 발생하는 소득 및 고용의 이동이 있다. 이러한 상황에서 분배적 결과 해결을 위해 형평성 및 공정전환을 고려하는 것은 더 높은 감축 의욕 수준을 가능하게 한다. 이에, 국가정책에 형평성 원칙을 반영하기 위해서는, 공정전환 원칙의 적용 및 이행 시 포괄적이고 참여적인 의사결정 과정에 기반하는 것이 필요하다.

1.5. 대응 강화

완화 행동 옵션 중에는 단기에 대규모로 활용 가능한 옵션들이 있다. 그러나, 그 실행가능성은 배출 부문, 지역, 이행 역량・수준・규모에 따라 다양하다. 따라서 실행가능성을 높이기 위해서는 이에 대한 장애요인을 축소 또는 제거하거나, 가능여건이 강화되어야 한다. 이러한 장애요인과 가능여건에는 지구물리학적(geophysical), 환경-생태학적, 기술적, 경제적, 제도적, 사회문화적 요인들이 포함된다. 이러한 사항은 기후변화 완화를 위한 단기 행동을 강화하고자 할 때 고려해야할 중요성이 더 커진다. NDC에서 제시하는 수준을 넘어서는 강화된 단기 행동을 통해 1.5℃ 지구온난화 제한 경로 상의 장기적인 실행가능성 도전과제를 축소하거나 회피할 수 있다. 실제로 많은 완화 조치들[30]이 기술적으로 실행가능하며 비용효과성이 커지고 있으며, 상대적으로 높은 지지를 받고 있다. 다만, 대부분의 완화 옵션들은 대규모로 적용되는 데에 있어 제도적인 장애요소를 직면하고 있으므로, 다음의 제도적 요인들을 고려하여야 한다.

먼저 기후 거버넌스를 고려하여야 한다. 기후 거버넌스는 기후 관련 법・전략・제도의 수립 및 이행을 통해 다양한 행위자들이 참여하여 정책을 개발하고 이행할 수 있는 기반을 제공해주는 것을 의미한다. 최근 많은 국가들이 기후변화 완화 목표를 기후 관련 법이나

30) 이러한 완화 조치들의 대표적인 예로는 태양 및 풍력 에너지 발전, 도시 시스템의 전기화, 도시 녹색인프라, 에너지효율, 수요관리, 개선된 산림·농지·초지 관리 등이 있다.

제도의 형태로 공식화하고 있는 상황에서 이러한 기후 거버넌스의 중요성이 더 커지고 있다. 기후 거버넌스의 효과성을 증대할 수 있는 방안으로는 ①정책 부문간 조정, ②시너지 실현 및 상충효과 최소화, ③국가·지방 정책 간 연계가 있다. 한편, 기후 거버넌스에는 다양한 행위자가 참여하는 것이 중요하다. 대표적인 행위자로는 시민단체, 정치적 행위자, 민간 부문, 청년, 노동자, 언론인, 토착민, 지역 커뮤니티 등이 있다.

다음으로 규제 및 경제적 정책 수단을 살펴보고자 한다. 다양한 규제 및 경제적 정책 수단이 감축에 효과적이라고 분석된다. 이러한 효과를 증대시키기 위해서는 규제 정책과 더불어 탄소가격 등의 경제적 정책이 상호보완적으로 이행되어야 한다. 또한, 단일 정책보다는 각국의 상황에 적합한 정책 패키지로 시행되어야 한다. 이러한 패키지가 단기 경제 목표를 달성하면서 동시에 감축과 지속가능발전 경로로의 전환을 달성할 수 있는 것으로 분석된다. 활용 가능한 대표적인 경제적 수단으로 화석연료 보조금의 폐지가 있다. 화석연료 보조금 폐지는 2030년까지 전지구 온실가스를 1~10% 감축할 수 있을 뿐만 아니라, 공공재정 및 거시경제를 증진시키고 기타 환경 및 지속가능발전에 대한 이익을 줄 수 있다. 그러나 보조금 폐지는 보조금 수익의 재분배로 혜택을 받던 경제적 취약 그룹에게 부정적인 분배 영향을 미칠 수 있으므로 이에 대한 고려가 필요하다.

또한 재정에 대한 내용도 고려하여야 한다. 가속화된 국제 금융 협력은 저배출 기술의 보급 및 공정전환의 핵심 가능요인이지만, 여전히 추적된 금융 흐름은 모든 부문 및 지역에 걸쳐 완화 목표를 달성하기 위해 필요한 수준에 미치지 못하였다. 따라서 정부 및 국제사회의 명확한 정책 신호를 통해 완화 금융 흐름의 확대를 지원해야 한다. 현재의 금융 흐름 수준과 지구온난화 제한 목표를 달성하기 위해 필요한 투자 수준 간의 격차를 살펴보면, 지구온난화를 2℃ 혹은 1.5℃로 제한하기 위해서는 2030년까지 연평균 투자가 현재 수준의 3~6배로 확대되어야 한다. 국제금융 시스템의 규모를 고려할 때 이러한 투자 격차를 해소하기 위한 전 지구적 자본 및 유동성은 충분하나, 금융 부문의 내·외부에 장애요소가 존재하여 이러한 자본이 적절히 분배되지 못하고 있다. 이러한 장애요소로는 기후위험에 대한 부적절한 평가, 자본과 투자 수요간의 불일치, 자국 편향, 위험도 인식 차이, 제한적인 제도적 역량 등이 있다.

마지막으로 국제협력을 살펴보고자 한다. 국제협력은 의욕적인(ambitious) 완화 목표 달성의 핵심 가능요인이다. 최근 등장한 다양한 형태의 국제협약 및 초국가적 협력이 기후변화 완화를 전 지구적으로 확산하고 촉진하기 때문이다. 특히, 유엔기후변화협약, 교토의정서, 파리협정 등 국제적으로 합의된 절차와 목표들은 국가 온실가스 배출·행동·지원에 대한 투명성 요건과 NDC 달성을 위한 추적 진전 사항 등을 포함하고 있는데, 이러한 절차와 목표들이 국제협력, 국가별 의욕 수준, 정책 개발을 증진하고 있다. 또한, 국제 기술 협력도 매우 중요하다. 기술개발 및 이전에 대한 국제협력(역량배양, 지식공유, 기술·재정 지원 포함)은 기술·사례·정책의 전 지구적 확산을 촉진함과 동시에 이를 다른 개발 목표와 연계할 수 있다는 점에서 그 중요성이 매우 크다. 이러한 혁신에 대한 국제협력[31]을 증진하는 데에는 도전과제와 기회가 함께 존재한다. 따라서 혁신에 대한 국제협력을 효과적으로 하기 위해서는 이러한 협력을 구체적인 제도 및 역량 상황에 맞추어 이행하는 것, 지역 가치사슬에 이익이 되도록 하는 것, 공정하고 자발적이며 상호 합의된 조건에 따라 이행하는 것, 이해관계자의 의견을 반영하는

31) 유엔기후변화협약과 파리협정의 요소(예시: 기술개발·이전이나 재정과 관련)를 포함한다.

것, 그리고 역량배양과 함께 이루어지도록 하는 것이 필요하다.

2. 제3실무그룹 보고서에 대한 정부간 논의 쟁점

이번 제56차 IPCC 총회에서 IPCC 제6차 평가보고서 제3실무그룹 '완화' 보고서의 승인을 둘러싸고 정책결정자를 위한 요약서(SPM)의 문안에 대해 당사국들과 저자 간의 논의가 이루어졌다. 이번 회의에서 쟁점이 된 대표 사항들인 ①국가 및 지역 구분, ②온실가스 배출, ③배출 경로, ④CCS 기술, ⑤원자력 에너지, ⑥자연 기반 해결책, ⑦기후 거버넌스, ⑧탄소 가격제, ⑨화석연료, ⑩금융 및 투자, ⑪무역 협정의 열한 가지 사항에 대해서 다음과 같이 정리하고자 한다.

2.1. 국가 및 지역 구분

이번 총회에서는 제3실무그룹 보고서에 등장하는 선진국(developed countries)과 개도국(developing countries)이라는 '국가' 분류법에 대해서, 선진국들은 구분법이 적절한지 의문을 제기하였으며, 선진국과 개도국 간의 대립이 있었다. 또한, 선·개도국 분류에 대한 대립 외에도, '지역' 분류법과 관련하여, 일부 국가들은 자신이 속한 국가의 지역 구분이 명확하지 않으므로 수정을 요구하였다.

먼저 '국가' 분류법에 대한 논의를 살펴보면, 제3실무그룹 의장단은 이전 총회에서 합의·확정된 문헌마감일 이전까지는 UNSD(1999)[32]에서 선·개도국 분류를 활용하고 있었으므로, 이번 보고서에 선·개도국 분류를 사용하는 것 자체는 문제가 없음을 확인시켜 주었다. 따라서 이러한 사항을 반영하고, IPCC 보고서의 과학적 정확성을 유지하면서도, 선진국과 개도국의 의견을 수렴하여, 기존대로 문헌 마감일 이전의 UNSD(1999)의 표기를 따라 선·개도국 구분을 사용하기는 하나, SPM 본문 상에는 특정 국가를 지칭하는 표현으로는 사용하지 않고 선·개도국의 일반적인 특성을 언급할 때에만 사용하는 것으로 결정하였다.

구체적으로 살펴보면, 2019년 전지구적 온실가스 배출량의 24%를 선진국이 배출했다는 문구 등에 대해서, 선진국들을 중심으로 현재 국가 및 지역 구분의 기준이 되는 유엔통계국(UNSD)의 1999년도 자료와 관련하여, 선·개도국 분류가 2021년 12월에 삭제되었다는 것을 근거로, 선·개도국을 분류하는 것은 현재와 맞지 않다고 주장하며, 소득수준 등에 기반한 보다 체계적인 접근에 따라 지역별 분류가 이루어져야 한다고 주장하였다. 반면, 개도국은 국가 분류는 제3실무그룹의 권한이 아니며, 선·개도국 분류가 역사적 책임을 표현하는 데에 관행적으로 유용하게 활용되어 왔고, 또한 이번 보고서의 문헌마감일이 2021년 10월 11일이므로 그 이후인 동년 12월에 UNSD(1999)에서 선·개도국

32) 유엔통계국(UNSD)에서 1999년에 발표한 본 자료의 원제목은 "통계 사용을 위한 표준 국가 및 지역 코드(Standard Country or Area Codes for Statistics Use)"이며, 통상적으로 "M49 표준(Standard)"이라 칭함

분류를 삭제한 사항을 반영할 수 없기에 동 분류법을 유지해야 한다고 주장하였다.

다음으로 '지역' 구분을 살펴보면, 대표적인 사례로 일본과 멕시코가 있었다. 일본의 경우, '동아시아'로 분류되는 주변 국가와 달리 호주 및 뉴질랜드와 함께 '아·태 선진국(Asia-Pacific Developed)'으로 분류되므로, 혼돈을 방지하기 위해 아·태 선진국이라는 용어를 '호주·일본·뉴질랜드'로 변경을 요청하였고 그 요청대로 반영되었다. 멕시코의 경우, 지리적으로는 북아메리카에 위치함에도 '북아메리카'가 아니라 '라틴아메리카 및 캐리비안'으로 분류가 되므로, 혼돈을 방지하기 위해, 북아메리카를 '미국·캐나다'로 변경해 줄 것을 요청하였으나 기각되고, 그대로 '북아메리카' 구분이 사용되었다.

우리나라는 '국가' 분류 체계와 관련해서 IPCC 보고서에서 사용되는 선진국과 개도국이라는 분류법에 대해서 긍정적인 입장이었다. 우리나라는 유엔기후변화협약 하의 국가분류체계상 개도국에 해당하는 비부속서I(non-Annex I) 국가로 분류되어 있고, 파리협정 하에서 통용되는 국가 분류인 선진국·개도국·여타국가(other parties)에서 여타국가로 입장을 수립하고 있다. 이에, IPCC 보고서 상에서 보다 중립적인 여타국가 입장에서 입장을 수립하고 발언하였다. 다만 '지역' 분류 체계와 관련해서는 현재 분류 체계에 대해서 부정적인 입장이었다. 우리나라는 동아시아(Eastern Asia)로 분류되는데 여기에 중국·몽골·한국(북한 포함) 세 국가만 포함되는데, 지역별 역사적(1850-2019) 누적 이산화탄소 순배출량이 1위 북아메리카, 2위 유럽에 이어 3위 동아시아로 들어감에 따라, 역사적 책임에 있어 우리나라가 상당한 기여를 한 것으로 해석될 위험이 있기 때문이다. 한편, 일본의 경우, 호주·일본·뉴질랜드로 구분되며 지역별 8위의 순위를 갖게 된다. UNSD 통계(1999년) 자료가 가장 최신 개정된 사항으로 차기 7차 IPCC 평가보고서에 그대로 활용될지 여부는 확실하지 않으나, 향후 지역구분과 관련하여 오히려 추가적으로 국가별 역사적 누적 인위적 CO_2 순배출량에 대한 별도 자료를 삽입하는 것을 제안해야 할 수도 있다.

2.2. 온실가스 배출

전지구 누적 배출량을 표현하는 용어로 역사적(historical), 누적(cumulative), 전체(total) 등의 용어가 혼용되고 있으므로 이를 어떠한 용어로 통일할지가 쟁점으로 떠올랐다. 또한, 온실가스 종류별 및 지역별 온실가스 전체 배출(total net anthropogenic GHG emissions) 측정 시점에 대해서 선·개도국 간의 대립이 있었다. IPCC의 보고서의 과학적 함의를 유지하면서도, 선·개도국의 의견을 고려하여, 이산화탄소 배출추세를 설명할 때에는 '역사적 누적 이산화탄소 순배출(historical cumulative net CO_2 emissions)'로, '역사적'이라는 용어가 활용되었으며, 전체 온실가스(이산화탄소 및 기타 온실가스) 배출추세에 대한 정보를 제공할 때에는 데이터 수집이 이루어진 1990년 이후의 자료를 다루는 것으로 결정되었다. 또한, 토지이용·토지이용변화 및 산림(LULUCF) 부분의 이산화탄소 배출량 역시 저자들을 통해 보고서에서 활용된 CO_2-LULUCF 데이터가 신뢰성이 있음이 확인됨에 따라 누적 배출량에 포함시켰다.

구체적으로 살펴보면, 개도국은 온실가스 배출량에 대한 선진국의 역사적 책임을 강조하였다. 이에, 역사적(historical) 배출이라는 표현을 누적(cumulative) 배출보다 선호하며,

‘역사적’이라는 표현을 주로 넣고자 하였음. 또한, 인류역사라는 표현 대신 1850년으로 명확히 표현해야 한다고 주장하였다. 그리고, 온실가스별 및 지역별 전체 온실가스 배출량의 기간 역시 1850~2019년으로 설정할 것을 주장하였다. 더 나아가 이산화탄소 누적 배출량에 LULUCF를 포함하는 것에 대해서 불확실성이 크므로 배출량에서 제외되어야 한다고 주장하였다. 반면, 선진국은 온실가스 배출과 관련된 인류역사가 1850년도라는 것은 암묵적으로 모두 알고 있는 사항이므로 연도를 구체적으로 표현하는 것을 반대하였다. 온실가스 인벤토리는 1990년부터 시작되었기 때문에 온실가스 전체 배출에 대한 명확한 수치는 1990~2019년으로 설정해야 한다고 주장하였다. 또한 선진국은 LULUCF 부문의 이산화탄소 배출량이 포함되어야 한다고 주장하였다.

우리나라는 동 쟁점에 대해서 직접적으로 입장을 표명하지 않았다. 다만, 우리나라는 유엔기후변화협약 하에서 국가보고서(National Communication)와 격년투명성보고서(Biennial Update Report)를 통해 LULUCF에 대한 정보를 이미 제공하고 있음. 대부분의 개도국 역시 협약에 따라 국가보고서와 격년갱신보고서를 통해 LULUCF 부문의 배출량을 제공하고 있는바, 이산화탄소 누적 배출량에 LULUCF 부문의 배출량이 포함되는 것이 적절하다고 판단하였다. 비록, 개도국이 언급한 데이터 신뢰성에 대한 우려를 감안할 수는 있으나, 최신 IPCC 지침(2003 우수실행지침 또는 2006 지침)을 활용하는 개도국이 점차 증가하고 있는 점을 고려하여 전체 누적 배출량을 산정하는 데에 LULUCF의 비중이 상당한바, 이를 포함하는 것이 적절하다는 입장이었다. 향후 동 쟁점에 대해서 우리나라 입장을 명확히 발언할 지의 여부에 대해서는 추후 내부적 논의가 필요하다.

2.3. 배출 경로

각 배출 경로 유형을 보여주는 표에 포함된 정보들이 정책결정자의 장기적인 정책 결정 및 투자를 결정하는 데에 필요한 정보 수준에 충분한가에 대해서 선·개도국 간의 대립이 있었으며, 논의 끝에 간략히 표현하는 것으로 결정되었다.

구체적으로 살펴보면, 개도국은 유형별로 정책결정자에게 필요한 정보는 연도별 온도를 넘어서 추가적인 정보가 필요하다고 주장하였다. 경로 모델별로 활용된 가정, 기후 민감도 또는 불확실성, 달성하는 데 필요한 비용과 투자액, 전 지구적 GDP 감소, GDP 성장률 감소율, 감축으로 인한 이익, 지역별 경제 정보 등을 SPM 상에 포함해야 한다고 주장하였다. 반면, 선진국들은 배출 경로 유형별로 가독성을 높이고 정책 목적으로 활용하기 위한 용이성을 높이기 위해 간략히 표현되어야 한다고 주장하였다.

우리나라는 동 쟁점에 대해서 직접적으로 입장을 표명하지 않았다. 다만, 우리나라는 배출 경로 유형에 대해서 선진국과 유사한 입장으로, 배출 경로 유형별로 경로의 특징, 넷제로 달성 시기, 온난화 제한 온도 정보 등을 삽입하되, 이를 달성하는 데에 필요한 경제적 측면의 정보(비용, 투자액, GDP 성장률)는 필요하기는 하나 가독성 및 정책적 활용 용이성 측면에서는 포함하지 않는 것이 적절하다는 입장이었다.

2.4. CCS 기술

CCS의 필요성에 대해서는 선진국 및 개도국 간의 이견이 없었으나, 각국이 CCS를 바라보는 관점, 이산화탄소 저장소의 존재 유무, CCS를 통해 달성하고자 하는 효과 등에 따라 국가별로 강조하고자 하는 부분이 달랐다. 한편, SPM에서 CCS를 다룰 때에 이산화탄소제거(CDR) 접근법을 다루는 섹션에서 CCS를 서술해야 한다는 의견이 제기되었다. 그러나 CCS는 배출되는 이산화탄소의 저감 조치인 반면 CDR은 이미 배출되어 대기 중에 존재하는 이산화탄소를 제거하는 방법이므로 CDR과 함께 CCS를 다루는 것은 적절하지 않다는 저자들의 확인이 있었다. 물론 CDR 기술 중에는 바이오에너지 탄소포집저장(BECCS), 직접대기 탄소포집저장(DACCS) 등과 같이 CCS 기술을 활용하는 기술이 존재하나, SPM에서 CCS는 화석연료 인프라로부터 배출되는 이산화탄소를 포집하는 설비로 한정된다. 따라서 보고서의 과학적 정확도를 유지하면서도 선·개도국의 의견을 모두 고려하여, 기존 화석연료 인프라에 CCS를 설치하는 경우,[33] CCS의 포집 효율이 90~95%가 되어야 2℃ 이하 온난화 제한 경로와 정합성이 있음이 각주로 명시되었으며, 온실가스를 배출하는 화석연료 및 관련 인프라에 CCS가 설치되지 않은 경우 이는 “저감장치가 없는(unabated)” 인프라로 표현되었다.

구체적으로 살펴보면, 개도국에서는 CCS의 보급(deployment) 확대 장애요인으로 경제적, 제도적 요인 및 사회수용성 뿐만 아니라 기술적 측면의 요인이 강조되어야 한다는 의견이 있었다. 이는 개도국의 경우 CCS 기술의 개발 수준이 아직 완전하지 않기 때문에 선진국으로부터 개도국으로의 기술이전이 필요하다는 점을 간접적으로 드러낸다고 볼 수 있다. 한편 화석연료 수출국을 중심으로, CCS에 대해서 우호적인 입장으로, 화석연료 기반 시설의 조기폐쇄, 보조금 제거 등의 조치는 CCS를 부착하지 않은 설비로 한정되어야 하며, CCS를 보급하여 잔여 화석연료 사용을 지속하고 화석연료 인프라의 조기폐쇄를 지연시킬 수 있다는 내용이 강조되어야 함을 주장하였다. 반면, 선진국은 발전 부문의 감축을 위해 기존 시설에 CCS를 설치하거나 또는 CCS가 수반되지 않은 신규 석탄 시설을 취소할 필요가 있다는 문안에 대해서, 선진국은 CCS의 포집 효율이 명시되지 않는다면 감축 실효성을 담보할 수 없다고 주장하였다. 즉, CCS 기술의 완화 잠재력에 대해서는 기본적으로는 긍정적이나, 포집 효율 등의 측면에서 기술성숙도가 높은 CCS 기술의 완화 잠재성에 대해서만 긍정해야 한다는 입장이었다. 한편, CCS 대신 CCUS 용어가 더 적절하다고 주장도 있었다.

우리나라는 기후변화 대응 탄소중립 10대 핵심기술 개발을 위한 기술혁신 추진전략을 2021년 3월 수립하였는데, 이 10대 핵심기술에 CCUS 기술이 포함되었다.[34] 그러나, CCS를 온실가스 감축 대안으로 활용하는 것은 지역적인 여건에 따라 좌우될 수 있으므로 일반화된 감축 수단으로 언급하는 것은 무리가 있다는 입장으로 접근하였다. 포집된 이산화탄소 저장(storage)은 지역적인 여건에 의해 제한을 받을 수밖에 없고, 포집된 이산화탄소 활용(utilization) 역시 영구적으로 온실가스를 제거하지 못한다는 측면에서 CCS와 CCUS를

33) 기존 화석연료 인프라에 CCS를 설치하기 위해 기존 인프라를 개조할 때 ‘retrofit existing installations with CCS’라고 표현하였다.

34) 10대 핵심기술로는 에너지 전환(①태양광·풍력, ②수소, ③바이오에너지), 산업 저탄소화(④철강·시멘트, ⑤석유화학, ⑥산업공정 고도화, ⑦CCUS), 에너지효율(⑧수송효율, ⑨건물효율, ⑩디지털화)이 있다.

일반화된 감축 수단으로 언급하기보다는 지역적인 여건에 좌우된다는 점을 명기할 필요가 있다는 입장에서 접근하였다.

2.5. 원자력 에너지

이번 SPM에는 원자력 발전을 에너지 부문 관점으로는 주요하게 다루고 있지 않다. SPM 초안 상에서는 원자력 에너지가 CCS 기술과 함께 기술 보급이 더디다고 언급되었고, 이의 장애요인으로 경제적, 제도적 요인 및 사회수용성 등이 언급되었다. 이에 대해서는 선·개도국 간의 대립보다는 원자력 에너지를 바라보는 또는 고려하는 관점에 있어서 차이가 있음을 확인하였다. 따라서 최종적으로는 완화 기술의 보급 확대를 설명할 때, 원자력 기술을 '대규모 완화 기술(large-scale mitigation technologies)'이라는 일반적인 용어로 표현되었다.[35]

구체적으로 살펴보면, 개도국은 원자력 보급 확대의 저해요인이 경제적, 제도적 요인 및 사회수용성 외에도 국가별 및 지역별로 직면한 여러 요인들이 존재한다고 언급하며 이를 추가해야 한다고 주장하였다. 한편, 선진국은 CCS와 원자력 기술이 서로 완전히 다른 기술이기 때문에 이를 동일선상에 놓는 것에 대해서 반대하는 입장이었으며, 원자력의 리스크 측면의 사회적 수용성과 환경적 측면이 언급되어야 한다고 주장하였다.

전반적으로 제56차 총회에서 선진국 및 개도국 구분 없이 상당수의 국가들이 원자력 에너지에 대해서 다소 부정적인 입장에서 원자력 에너지에 대한 내용을 삭제하거나, 용어를 변경하거나, 또는 내용이 포함된다면 원자력 에너지가 가지고 있는 완화 및 에너지 수급 영향 외의 리스크 측면을 포함해야 한다는 주장이 있었다. 그러나, 이미 원자력을 에너지원으로 활용하고 있는 국가들 중에서는 중립적이거나 발언을 유보하기도 하였다. 이에 우리나라는 이러한 전체적 흐름을 파악하는 데에 집중하고자 하였다.

2.6. 자연 기반 해결책

도시 부문의 완화에 대해서, 자연 기반 해결책(NbS, Nature-based Solution) 및 생태시스템 기반 접근(EbA, Ecosystem-based Approaches)에 대해서 개도국은 동 용어들이 포함되는 것을 반대하였고, 선진국은 동 용어가 포함되어야 한다고 주장하였다. 최종적으로 NbS와 EbA를 직접 언급하기보다는, 제2실무그룹 보고서와의 일관성 유지를 위해, 다른 완화 전략들(녹색 인프라 및 블루 인프라 등)이 언급되는 부분에 각주로 이러한 전략들이 NbS와 EbA에 속한다는 내용이 서술되었다.

구체적으로 살펴보면, 개도국은 NbS 및 EbA의 중요성에 대해서는 인정을 하나, 이러한 용어를 명시하는 것은 각국의 발전 전략 수립 시 자율성을 크게 훼손하는 정책개입적(policy-prescriptive) 표현으로 해석될 수 있어 이러한 용어를 사용하는 것에 대해

35) 초안의 동 문장에 원자력 발전과 함께 언급되었던 CCS 역시 삭제되었으나, CCS에 대해서는 SPM의 다른 부분에서 상세하게 다룬다.

반대하였다. 반면, 선진국은 NbS 및 EbA는 최근 매우 중요하게 다루어지는 접근법이며, 특히 도시 부문의 완화 전략에 있어 무분별한 도시화를 방지하면서 동시에 삶의 질과 완화를 함께 해결하는 데에 매우 중요한 개념이므로 이러한 용어가 명확히 추가되어야 한다고 주장하였다.

국제적으로는 유엔기후변화협약 하에서 기후변화 완화·적응·지속가능발전에 대한 통합적인 관점에서 NbS 및 EbA 접근법을 기후변화 대응 사업에 적용하려는 움직임이 있다. 또한, 제55차 IPCC 총회('22.2)에서 제6차평가보고서 제2실무그룹 보고서 승인에 대한 논의에서도 NbS와 EbA 접근법을 둘러싸고 선진국과 개도국 간의 대립이 있었는데, 우리나라는 동 접근법들이 녹색산업 및 녹색인프라 사업에 적용될 수 있다는 점에서 긍정적으로 접근하였다. 이러한 맥락에서, 우리나라도 제56차 총회에서 NbS와 EbA 접근법에 대한 사항이 완화 차원에서도 긍정적인 의미를 갖는다고 판단하고, IPCC 보고서 SPM에 포함되는 것에 대해서 긍정적인 입장을 가졌다.

2.7. 기후 거버넌스

기후법(climate law)이 기후변화 완화와 관련하여 매우 중요한 역할[36]을 한다는 문안에 대해서, 선·개도국 간의 대립이 있었다. 최종적으로는 기후법을 포괄하는 단어인 '기후 거버넌스(climate governance)'로 표현되고, 기후법은 '기후 관련 법(climate-relevant laws)'으로 변경되고, '기후전략(climate strategies)'이 추가되었다.

구체적으로 살펴보면, 기후법이 부재한 개도국에서는 기후법만이 기후변화 행동 변화의 근거가 되지 않는다고 주장하며, '기후 전략(strategies)'이나 '기후 지침(guidelines)' 등도 존재한다고 언급하며, 기후법의 중요성을 낮추기 위해 발언 제시하였다. 반면, 선진국에서는 기후법은 현재 많은 국가들이 채택하고 이에 따라 이행하고 있는 것이 사실이며, 이는 기후변화 완화 노력에 효과적이라고 언급하였다. 따라서, 이러한 기후법의 중요성을 직접적으로 명시해야 한다고 주장하였다.

우리나라는 기후변화 대응을 고려하여 「저탄소 녹색성장 기본법(약칭: 녹색성장법)」을 2010년 제정 및 시행하였다. 이후, 넷제로 발표와 함께, 기후변화 대응과 관련하여, 「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장기본법(약칭: 탄소중립기본법)」을 2021년 9월 제정하고 2022년 3월부터 시행하였다. 따라서, 우리나라는 상기 언급된 기후법에 해당하는 법을 이미 보유하고 있으며, 이 법의 기후변화 완화 노력에 대한 효과성을 인지하는바, '기후법'이라는 용어를 그대로 포함하고, 기후법이 증대되고 있는 현황과 기후법의 완화 효과성의 중요성을 명시적으로 서술해야 한다는 입장이었다.

2.8. 탄소 가격제

기후변화 완화를 위한 정책수단으로는 크게 규제(regulatory) 수단과 경제적(economic) 수단으로

36) 방향설정, 목표 설정, 정책 분야 간 기후행동 주류화, 규제 확실성, 별도 특수 조직 창출, 재원 동원을 위한 배경 창출 등

구분되는데, 이중에서 경제적 정책수단에 탄소가격제도(carbon pricing)를 명시하는 것과 관련하여 선·개도국 간의 대립이 있었다. 탄소가격제도에 탄소세(carbon tax)와 배출권거래제(emission trading system)가 포함되는데, 개도국은 이러한 탄소가격제도가 부재하고, 또한 이러한 제도는 도입한 국가의 탄소가격이 대내·외적으로 설정되어 향후 무역 시 무역관세 등의 기초자료로 활용될 수 있는바, 개도국은 동 제도에 대해서 조심스러운 입장인 것으로 판단된다. 최종적으로는 경제적 수단(economic instruments)이 시장 기반 수단(market-based instruments) 및 가격 기반 수단(price-based instruments)을 포함한다는 각주가 포함되었고, 개도국·선진국의 의견을 모두 고려하여 탄소가격제를 별도로 포함하되 '탄소가격이 적용된 지역에서는'이라는 문구와 함께 서술하는 것으로 결정되었다.

구체적으로 살펴보면, 개도국은 경제적 정책수단에 탄소가격제도만이 있지 않다고 주장하고, 특정 수단만을 강조하는 것은 바람직하지 않다고 주장하며 탄소가격제도에 대한 내용을 삭제할 것을 요청하였다. 만약 동 내용이 강조된다면 국가적 상황(national circumstances)을 고려한다는 내용이 추가되어야 한다고 주장하였다. 또한, 탄소가격 정책수단의 감축에 대한 효과성 입증이 아직 불충분하기 때문에 이와 관련된 내용을 구체화하지 말고, 경제적 정책수단으로 일반화하자고 주장하였다. 만약 탄소가격이 별도로 명시된다고 한다면, '탄소가격이 적용된 지역에서는(where implemented)'이라는 전제가 추가되어야 한다고 주장하였다. 반면, 선진국은 탄소가격제가 완화행동에 기여하는 바가 크다고 주장하며 경제적 정책수단에 탄소가격제도를 별도로 명시해야 한다고 주장하였고, 또한 탄소 가격제의 단점이 문안에 작성되는 것을 반대하였다.[37] 특히, 탄소가격제만 언급하여 부적절하다는 이유로 반대하는 개도국의 입장에 대하여 선진국은 탄소가격제를 반드시 문안에 넣기 위해, '탄소가격제와 시장 기반 수단(market-based instruments)'이라고 함께 쓰거나 또는 보다 구체적으로 '탄소가격제와 보조금 발전차액지원제도(Feed-in-Tariff)'로 삽입할 것을 주장하였다.

우리나라는 국자 차원에서 한국배출권거래제를 운영하고 있는바, 경제적 정책 수단에 탄소가격제도를 강조하자는 선진국의 의견에 대해서 부정적인 입장을 가지고 있지는 않았다. 다만, 경제적 정책 수단에 탄소가격제 외에도 다양한 수단들이 존재한다는 개도국의 명시적 주장과 탄소가격제가 향후 국가 무역정책에 있어서 영향을 줄 수 있다는 비명시적인 우려에 대해서 공감하였다. 이에 우리나라는 탄소가격제 외에도 다른 경제적 정책 수단들을 함께 병기하거나, 또는 국가적 상황을 고려한다는 내용이 포함되어야 한다는 입장이었다.

2.9. 화석연료

화석연료를 둘러싸고 선·개도국 간의 대립이 있었다. 개도국 중에서도 산유국을 중심으로 선진국과 대립이 있었는데, 이러한 사항을 정리해보면 세 가지로 정리할 수 있다. 먼저 화석연료의 단계적 폐지에 대한 사항이다. 지속가능발전과 시너지를 이루는 요인들 중에

37) 탄소가격제의 효과에 대한 데이터가 충분히 누적되었으며, 이러한 데이터를 통해 탄소가격제가 효과적인 저비용 감축 조치라는 점이 확인되었다는 점을 근거로 제시하였다.

화석연료의 단계적 폐지(phase-out)가 포함된 사항에 대해서, 사우디아라비아 등 산유국을 포함한 좀 더 발전된 개도국들은 동 항목을 삭제해야 한다고 주장하였으나, 반면 선진국들은 동 사항이 포함되어야 한다고 주장하였다.

다음으로 화석연료 보조금에 대한 사항이다. 화석연료 보조금 제거가 배출 저감에 효과적이며, 보조금 제거를 통해 2030년까지 CO_2 배출은 1~3% 그리고 온실가스 배출은 10%까지 감축할 수 있다는 내용에 대하여, 사우디아라비아 등 산유국을 포함한 개도국들은 관련 데이터가 부족하기 때문에 그리고 지역적 상황에 따라 보조금이 필요할 수 있으므로 동 내용을 삭제해야 한다고 주장하였다. 또한, 모든 화석연료 보조금을 제거해야 하는 것이 아니라 '낭비로 이어지는 보조금'을 제거해야 한다고 언급하며, 보조금을 구체화하여 한정지어야 한다고 주장하였다. 또한, 보조금 제거가 배출 저감에 효과적이라는 긍정적 측면뿐만 아니라 부정적 효과(전환의 장애요인 등)를 추가해야 한다고 주장하였다. 그러나 선진국 및 일부 개도국들은 화석연료 보조금 제거 등의 조치를 통해 온실가스 저감이 효과적임을 더 명시적으로 부각하기를 주장하였다. 최종적으로는 동 사항이 포함되고, 개도국의 의견도 반영되어 지역적 다양성을 포함한 내용(varying across regions) 역시 포함되었다.

마지막으로 화석연료 수요감소의 영향에 대한 사항이다. 화석연료 수요감소가 수출국에 비용 영향을 줄 수 있다는 내용에 대해, 개도국을 중심으로 표현이 더욱 강화되어야 하고 동 문안의 신뢰성 수준이 상향(medium→high)되어야 한다고 주장하였으나, 선진국은 표현 강화에 대해서 반대하였다. 최종적으로는 신뢰성 수준만 상향되었다.

한편, 우리나라는 동 쟁점에 대해서 직접적으로 입장을 표명하지 않았다. 다만, 쟁점이 된 문안들이 모두 기존 연구 문헌에 기반한 과학적 근거에 따라 작성된바, 저자들이 작성한 기존 문안대로 작성되는 것에 대해서 부정적이지 않은 입장이었다.

2.10. 금융 및 투자

기후변화 완화를 위한 재정 흐름이 둔화되고 있다는 내용에 대해서, 이를 보다 구체화 및 강조하자는 개도국과 이의 내용이 불명확하므로 삭제하자는 선진국의 대립이 있었다. 쟁점이 된 사항은 크게 세 가지였다. 먼저 투자 수준이 쟁점이 되었다. 2℃ 발전경로 달성을 위해서는 2030년까지 현재의 투자수준 대비 3~6배의 투자가 추가로 필요하다는 문안에 대해서, 이를 '수 배'로 표현하자는 선진국과 3~6배로 명확히 표현하자는 개도국이 대립하렸다. 보고서의 정확성을 고려하여 '3~6배'의 보다 명확한 표현이 반영되었다.

다음으로 선진국의 2020년 1천억 달러 목표 및 의무 대비 재정 흐름이 790억 달러라는 내용에 대하여 쟁점이 있었다. 선진국은 1천억 달러 목표가 의무가 아니라고 주장하며 선진국 의무에 대한 내용을 삭제할 것을 주장하였다. 반면, 개도국은 선진국 의무임이 맞다고 주장하며, 오히려 790억 달러는 과다 추정이라고 언급하였다. 최종적으로는 의무에 대한 내용과 790억 달러에 대한 내용이 삭제되었다.

마지막으로 개도국 재정지원 역시 쟁점이 되었다. 가속화된 재정지원이 개도국 완화행동의 핵심적인 가능요인이며 '공통된 그러나 차별화된 책임(CBDR, common-but-differentiated

responsibilities)’ 원칙에 따라야 한다는 문안에 대해서 선진국은 CBDR을 삭제해야 한다고 주장하였다. 반면, 개도국은 CBDR 원칙을 유지하고 ‘개도국으로의 지원’을 ‘선진국에서 개도국으로의 지원’으로 변경해야 한다고 주장하였다. 이에 대해 선진국은 ‘선진국’이 포함되는 것을 반대하였다. 개도국과 선진국의 의견을 모두 고려하여, CBDR은 삭제하되 ‘선진국에서 개도국으로의 지원’은 명시하기로 하였다.

우리나라는 신기후체제의 근간인 파리협정에서 선진국이나 개도국이아닌 ‘여타 당사국’의 지위로서 공공 기후재원을 제공해 왔다. 2014년 녹색기후기금(GCF, Green Climate Fund)에 1억 달러 공여를 선언하였고, 이후 이를 이행하였다. 또한, GCF 제1차 재원보충 차원에서, 2019년 9월 2억 달러 공여를 선언하였고, 이를 이행해 왔다. 이에, 완화 노력을 위한 투자 수준과 선진국 목표 대비 재정 흐름 등에 대해서는 기존 연구 결과에 기반하여 구체적인 수치를 삽입하는 것이 적절하다는 입장이었다. 다만, 우리나라가 기후변화협상에서 여타 당사국의 지위로 참여하고 있으나 향후 스스로 선진국 지위로 변경할 수 있다는 점 등을 고려하여, 선진국에 부담이 될 수 있는 협상용어인 CBDR이 IPCC SPM 보고서에 등장하는 것에 대해서는 부장적인 입장이었다.

2.11. 무역 협정

무역 협정이 완화에 긍정적인 영향(완화기술 및 정책의 국제적 채택 촉진)과 부정적인 영향(무역 관련 기후정책 채택 역량 제한)을 모두 준다는 내용에 대해서, 개도국 중심으로 무역 협정의 긍정적인 측면만 너무 부각되어 작성되었고 또한 이를 뒷받침하는 근거 문헌이 부족하므로 이를 삭제해야 한다고 주장하였다. 한편, 선진국들은 무역 협정이 기후변화 완화에 긍정적인 영향을 준다는 내용에 대해서 지지하였고, 최종적으로는 무역 협정에 대한 내용이 포함되었다.

우리나라는 무역 협정에 대한 내용이 동 보고서에 포함되는 것에 대해서, 무역 협정이 완화에 긍정적 및 부정적 영향을 준다는 내용의 근거 문헌이 부족하다는 개도국 의견에 동의하였다. 만약 서술이 되어야 한다면, 긍정적 영향에 대한 부분과 부정적 영향에 대한 내용이 균형적으로 서술될 필요가 있다는 입장이었다.

3. 제3실무그룹 보고서의 우리나라 정책적 시사점[38)]

우리나라 기후정책 기조는 전반적으로 세계적인 흐름을 반영하고 있다. 이를 잘 보여주는 대표적인 사례로 2030 NDC의 감축 목표 설정, 2050 탄소중립 목표 설정, 그린뉴딜 정책 등이 있다. 또한 이에 대하여 정부가 적극적으로 국가 방향을 설정하고, 재정을 투자하고, 전략적 이행을 위해 2050탄소중립·녹색성장위원회 등 민관합동의 대표적인 의사결정기구를 설립하였다. 그러나 세부적으로는 추가적인 논의와 검토가 필요한 이슈들이 존재한다. IPCC 제6차 평가보고서 제3실무그룹(완화) 보고서의 내용을 토대로, 세부적인 사항들을 아래와 같이 도출하였다.

3.1. NDC 목표 상향

2021년 10월까지 제출된 NDC 목표를 국가들이 모두 100% 이행하여도 1.5℃ 및 2℃로 온난화를 억제하는 경로와 격차(gap)가 있는 것으로 나타났다. 그런데 IPCC 제6차 보고서는 2023년 파리협정의 국제이행점검(Global Stocktake)의 주요 투입자료로 활용될 예정이다. 국제이행점검은 매 5년마다 모든 당사국들의 이행 노력을 통합하여 2℃ 목표 달성 여부를 평가하는 시스템으로, 국제이행점검의 결과는 당사국들이 자국의 NDC을 갱신하고 강화하는 데에 정보를 제공하고 유도하는 기제로 작용한다. 따라서, 이번 제3실무그룹(완화) 보고서의 NDC 배출전망치와 온난화 제한 경로 상의 배출격차 등의 내용은 향후 국제이행점검의 결과에 상당한 영향을 미칠 것으로 예상된다. 물론, 동 결과에 대해서 당사국들에 대한 어떠한 지침이 도출될지의 여부에 대해서는 협상 추이를 지켜봐야 하나, 2021년 10월 기준 각 당사국들이 제출한 NDC에 대한 목표 상향 조정에 대한 압박이 존재할 것으로 예상된다. 이에 우리나라가 2021년 12월 제출한 NDC의 목표(2018년 배출량 대비 2030년 40% 감축)에 대해서 ①우리나라의 목표가 파리협정 장기온도 목표와 일관되어 있고, ②국제적으로 과거 및 미래 배출량에 있어서 형평성을 갖고 있다는 점에 대한 논리적 근거를 마련할 필요가 있으며, ③향후 NDC 목표 상향 압박에 대해서 가능한 최고의 의욕수준임을 보여주고 동시에 어느 수준까지 목표 상향을 고려할 수 있는지에 대한 연구가 필요할 것으로 보인다.

한편, 당사국들이 NDC상 기재한 감축 기여분의 '국가간' 형평성(equity)이 중요한 문제이다. 형평성 평가지표로 국제 배출량 기여분, 비용-효과성, 현재 배출 수준에 특권을 부여하는 가정(그랜드파더링) 등이 존재한다. 이러한 형평성 문제를 해결하는 방법은 공정한 기여분을 평가하기 위해 ①파리협정 하에서 제출하는 격년투명성보고서 작성 시 정보제공을 강화하거나, ②당사국들이 NDC 준비 시 어떠한 형평성 원칙을 채택했으며 이 형평성 원칙을 어떻게 운영화 했는지를 보여주고, ③국제 탄소배출허용총량 측면에서의 감축 목표를 설명할 수 있다. 따라서, 각 국가는 NDC 제출 시 이러한 '형평성'에 대한 원칙과 근거를 마련하고, NDC 제출 이후 국제사회에 이러한 '형평성'을 설명하고 설득하기 위해 노력할 것으로

38) 동 절은 우리나라 IPCC 국내대응협의회의 제3실무그룹 전문위원회에서 이번 IPCC 완화 보고서와 SPM의 내용을 검토하고 우리나라에 대한 정책적 의미를 논의하는 회의들을 통해 도출된 내용과 해당 주제별 위원들과의 별도 논의를 통해 도출된 내용을 토대로 작성되었다.

예상된다.

우리나라가 2021년 12월 제출한 NDC는 2018년 배출량 대비 2030년 40% 감축목표를 설정하였는데, 이는 상기 언급된 2° C 시나리오와 1.5° C 시나리오 범주에 속한다. 향후, 2023년 국제이행점검 결과, NDC 목표에 대한 상향 압박에 대해서 파리협정에 명시된 NDC 상향에 대한 세 가지 원칙[39]을 바탕으로 우리나라의 현재 목표에 대한 형평성에 대해서 국제사회에 설득할 수 있는 논리를 마련할 필요가 있다.

3.2. 감축 이행 경로 및 로드맵

우리나라의 2030년 NDC 목표 달성과 2050년 탄소중립(넷제로) 목표 달성을 위해서는 각 목표 달성을 위한 구체적인 경로를 구체화하고, 경로상에서 공식적인 배출전망치를 도출하며, 또한 완화 경로와 지속가능발전 경로 간의 연계·통합적인 접근 그리고 형평성에 대한 고려가 필요할 것으로 보인다. 이에 대하여 ①IPCC 2006 지침 적용, ②글로벌 탄소 비용, ③탄소 비용 내재화, ④중·단기 배출 전망에 대한 역량 확보, ⑤경로의 통합과 전환, ⑥탄소중립 용어 측면에서 다음과 같은 사항들을 고려할 필요가 있다.

먼저 IPCC 2006 지침 적용에 대해 살펴보겠다. 우리나라가 2021년 12월 NDC 갱신안(2018년 배출량 기준 2030년까지 40% 감축)을 작성 및 제출했는데, 이 때 2018년 배출량을 산정할 때 IPCC 1996 지침을 주로 적용하였다.[40] 그런데, 파리협정 하에서 당사국들은 매 2년마다 인벤토리 보고서와 격년투명성보고서를 제출해야 하며, 인벤토리 보고서의 경우 IPCC 2006 지침에 따라 작성해서 제출해야 한다 (UNFCCC 2018, Annex para 20). 이는 우리나라가 제출한 NDC 상의 2018년 절대치 배출량이 IPCC 2006 지침을 적용할 경우 배출량이 변동된다는 의미로, 1996 지침을 주로 적용한 현재보다 증가될 가능성이 크다.[41] 다만, 기준년도 배출량이 변경될 경우 2030년 감축목표 역시 조정될 수 있으며 이에 따른 NDC 목표 달성의 유불리는 현재 시점에서 명확히 판단하기 어렵다. 따라서 파리협정 하의 인벤토리 보고서 및 격년투명성보고서의 제출이 2024년인 점을 고려하여 우리나라의 명확한 감축목표를 파악하기 위해 IPCC 2006 지침을 적용한 2018년 배출량 및 40% 감축량에 대한 수치 도출이 필요하다.

다음으로 글로벌 탄소 비용에 대한 정보를 활용하는 것이 필요하다. 구체적인 2030 및 2050 탄소중립 로드맵을 작성 시, 국내 감축 수단을 선별하고 국제탄소시장을 활용한 해외 감축분 확보를 위한 계획 수립하는 과정에서 동 IPCC 보고서에서 도출된 글로벌 탄소비용을 활용할 필요가 있다 (<표 2-16> 참조).

39) 세 가지 원칙에는 ①기존 NDC 목표보다 진전(progression), ②최고 가능한 의욕 수준, ③공통의 그러나 차별화된 의무가 있다.

40) IPCC 1996 지침을 '주로' 적용하였다는 표현은 우리나라 국가 온실가스 인벤토리 보고서는 IPCC 1996 지침을 기반으로 산정된 것은 맞으나 일부 부문은 IPCC 지침을 보충하기 위해 만든 IPCC 우수실행지침(2000, 2003)와 IPCC 2006 지침의 방법론을 적용하였다는 것을 의미함. 일부 부문에는 민간 항공, 천연가스 탈루, 산업공정 일부(질산생산, 반도체, 디스플레이, 중전기기) 등이 있음

41) 증가 가능성은 신규 온실가스(NF3) 추가 및 냉매 가스 산정 방식 변경(잠재배출량→실제배출량) 등에 기인함

〈표 2-16〉 시나리오별 글로벌 탄소 비용(2015년도 미국 달러 기준)

구분	2030년		2050년
2°C 시나리오	90 USD/tCO_2 (60-120 중간값)	➡	210 USD/tCO_2 (140-340 범위 중간값)
1.5°C 시나리오	220 USD/tCO_2 (170-290 중간값)	➡	630 USD/tCO_2 (430-990 범위 중간값)

출처: IPCC (2022b)에 기반하여 저자 작성

셋째, 탄소 비용을 내재화하는 것에 대한 고려가 필요하다. 이번 IPCC 보고서에서 부문별(에너지, 농업·임업·기타토지이용, 건물, 수송, 산업, 기타)로 세부적인 감축옵션들을 도출하였는데, 이 옵션들에 대해서 1 tCO_2 감축하는 데에 $100 이하로 소요되는 옵션을 활용하는 것만으로도 2030년까지 2019년 배출량 대비 50%를 저감할 수 있다고 도출되었다. IPCC 보고서에서 제시한 $100 비용과 유럽연합이 배출권거래제의 배출권가격이 80~90 유로 수준인 것을 감안한다면, 우리가 기후변화의 외부효과를 내재화하는 탄소가격 정책을 실시할 때 1 tCO_2 감축하는 데에 $100로 설정하는 것을 고려할 필요가 있으며 이는 1.5℃ 경로를 따르기 위한 정책과 일치한다고 볼 수 있다.[42]

넷째, 중·단기 배출 전망에 대한 역량 확보가 필요하다. IPCC 제3실무그룹(완화) 보고서 제4장(단기 및 중기 완화 및 발전 경로)을 보면, 대부분의 주요 국가들은 국가의 공식적인 배출전망치를 제공하고 있으나, 우리나라의 경우 배출전망치가 부재하다. 따라서 중·단기 배출 전망에 대한 역량을 확보하고, 동 역량에 기반해 배출전망치를 도출할 필요가 있다.

다섯째, 경로의 통합과 전환에 대한 고려가 필요하다. 기후변화 대응을 위한 감축 노력은 국가 성장에 부정적 영향을 줄 것으로 예상되기 때문에, 감축과 성장이라는 복수의 목표에 어떻게 대응할 것인지에 대한 고민이 필요하다. 이를 위해서는 감축 경로와 지속가능발전 경로의 통합적인 접근이 필요하고, 기존 경로가 아닌 새로운 경로로 전환하기 위한 거버넌스 구축과 제도적 역량이 요구된다. 또한, 이러한 새로운 경로로의 전환은 국내 경제 및 산업 구조 변화와 고용 변화 등으로 인한 분배적 함의가 존재하는바 이에 대한 인식과 정책적 고려가 필요할 것으로 보인다.

여섯째, '탄소중립'이라는 용어에 대한 고려가 필요하다. 우리나라는 '2050 탄소중립 시나리오'를 발표하였다. 그런데 우리나라 탄소중립기본법의 제2조 3항에 따르면, "탄소중립이란 대기중에 배출·방출 또는 누출되는 온실가스의 양에서 온실가스 흡수의 양을 상쇄한 순배출량이 영(零)이 되는 상태"로 정의된다. 따라서 우리나라 2050 탄소중립 시나리오를 통해 달성하고자 하는 바는 IPCC의 정의에 따르면 정확히는 '탄소중립'이 아니라 '온실가스 중립(GHG neutrality)'이다 (각주 11 참고). 탄소중립은 이산화탄소에 대해서만 중립성을 달성하면 되나, 온실가스 중립은 전체 온실가스에 대해서 중립성을 달성해야 하는바, 탄소중립은 온실가스 중립보다 더 약한 개념이다. 즉, '탄소중립'이라는 용어는 우리나라의 의욕(ambition)을 충분히 담아내지 못하는 표현이다. 따라서, IPCC 등

42) 동 내용은 유승직(2022)의 발표 내용을 참고하였다.

국제사회에서 통용되는 개념과의 일관성을 고려한다면, 동 시나리오의 명칭을 ‘2050 온실가스 중립 시나리오’로 변경하고, 이외 다른 기후변화 정책문서에서도 국제사회에서 통용되는 대로 용어를 구분하여 사용하고, 더 나아가 법안에 정의된 탄소중립의 개념을 일부 수정할 필요가 있다. 그러나, 이미 법안의 명칭이 ‘기후위기 대응을 위한 탄소중립 녹색성장 기본법’인바, 탄소중립이라는 용어를 변경하는 것은 쉽지 않을 것이고, 조문의 내용을 변경하는 것도 쉽지 않을 것으로 보인다. 따라서, 우리나라의 국내·외 정책문서와 발언문에서 우리나라 탄소중립의 의미가 온실가스 중립이고, 온실가스를 이산화탄소 환산량으로 접근한다는 측면에서 탄소중립임을 명확히 표현하면 될 것으로 보인다.

3.3. 감축을 위한 수요 관리의 중요성

이번 IPCC 제6차 평가보고서 제3실무그룹(완화) 보고서에서 주목할 점은 감축을 위해 ‘수요 관리’가 중요하게 인식되었다는 점이다. 이에 ‘감축의 수요·서비스·사회적 측면’이 처음으로 별도의 장(chapter)으로 포함되었다. 이러한 감축의 수요 측면에서는 상품 및 서비스의 최종 사용자들이 기존 행동 옵션에서 ‘감축 옵션’을 채택하도록 행태 변화를 유도하기 위해 사회·문화적 변화가 수반되어야 함이 강조되고 있다.

이에, 우리나라에서 활용 가능한 수요 측면의 대응방향을 다음과 같이 고려해볼 수 있다. 먼저 유명인 및 인플루언서 등의 소수의 다양한 개인들이 저탄소 생활양식으로 전환하고 그 과정과 효과를 널리 알려 공유할 수 있도록 지원하는 프로그램이 필요하다. 또한 최종사용자들이 구매하는 재화와 서비스의 가격에 탄소발자국 등의 외부비용이 반영될 수 있도록 하는 정책을 수립하고 이를 적용할 필요도 있다.

한편, 수요 측면의 접근 분야로서 IPCC 보고서에서 크게 접근한 세 가지 분야가 ①영양(nutrition), ②제조 상품·이동·주거, 그리고 ③전력인데, 이 중에서 영양 부문에 해당하는 식단의 변화(균형적이고 지속적이며 건강한 식단)와 음식물 쓰레기 감소에 대해서는 아직 정부 계획이 미흡한 상황이다. 영양 부분의 경우, 문화 및 경제적 측면까지 고려해야 하므로 관계부처 합동의 대책이 필요할 것으로 보인다. 중국의 경우, 식량안보 위기에 대한 인식 속에서, 음식 낭비를 방지하기 위한 캠페인과 폭식 컨텐츠 방송을 금지하는 규제 정책을 실시하였다 (BBC News 2020). 그러나, 과도한 규제 정책이 반드시 음식 낭비 방지로 이어지지 않을 수 있고 또한 정책 이행에 대한 반발이 있을 수 있는바, 이에 대해서 규제가 아닌 인식의 변화를 가져올 수 있는 방식으로의 대책과 정책이 필요할 것으로 보인다.

IPCC는 2050년까지 수요 관리를 통해 기반 시나리오 대비 40~70% 감축이 가능하다고 밝힌바, 우리나라 역시 2050 탄소중립 목표 달성 방안으로 수요 측면의 완화 방안을 적극적으로 고려할 필요가 있음. 특히 상기 언급한 인플루언서를 통한 캠페인 및 최종사용자들의 소비 패턴 변화를 위한 정책뿐만 아니라, 건축환경 및 인프라 설계를 기후친화적으로 개선하는 것을 통해 소비자들의 의도적인 행동변화를 최소화하면서도 배출량 감축이 가능하다. 따라서 국내 건축환경 및 인프라 중 개선 가능한 부분이 있는지, 신규 건설 중이거나 건설 예정인 인프라 중 기후친화적으로 더욱 개선될 여지가 있는지에 대한 연구가

시급하다.

3.4. 공급 부문의 다양한 감축 옵션에 대한 고려 및 노력

이번 IPCC 제6차 평가보고서 제3실무그룹(완화) 보고서에서 공급 측면의 다양한 감축 수단과 노력들이 언급되었다. 그러나, IPCC 보고서에 집적된 내용들은 연구 결과에 기반한 것이며 이를 토대로 일반화해서 표현하는 데에 집중이 되었다는 점을 고려할 때, 동 감축 옵션 및 수단들을 그대로 우리나라에 적용하기에는 다소 무리가 있다. 이에, 보고서에 포함된 다양한 감축 옵션・수단・노력들을 우리나라에 적용할 수 있도록 고려하고, 동시에 우리나라의 지역적 여건을 고려하여 접근할 필요가 있다.

첫째, 에너지 부문에 대해 다음과 같은 고려가 필요하다. 재생에너지는 향후 수십 년간 점차 경쟁력이 상승할 것으로 보이나, 재생에너지 전력이 모든 에너지 공급을 감당하기에는 부족하므로 에너지 시스템 전반에 걸친 저탄소 전환이 필요하다. 기존에 상용화된 원자력 및 수력 발전, 비용경쟁력이 증가한 태양광 및 풍력 발전, 바이오에너지 및 배출저감장치(CCS 등)가 부착된 화석연료의 사용이 일차적으로 필요하다. 궁극적으로는 화석연료 사용 축소, 저탄소 에너지 보급 확대, 저탄소 에너지로의 연료 전환, 에너지 효율 개선이 유기적으로 이루어져야 한다.

에너지 부문의 완화 수단으로 원자력을 어떻게 활용할지에 대해서도 검토가 필요하다. 우리나라 새 정부는 에너지 믹스와 관련하여 원전 확대 정책을 고려하여 이행할 예정이다. 원전 비중을 확대할 경우 추가적으로 40~50 $MtCO_2eq$를 감축할 수 있을 것으로 사료된다. 그러나 원전 비중이 확대되는 만큼 화석연료 발전이 감소될 수 있도록 연계되어야 한다. 또한 원전 확대 정책을 시행하는 경우에도 재생에너지의 적극적인 확대와 이에 대한 R&D 투자가 필요하다.[43]

또한 에너지 부문에서는 CCS 역시 중요한 완화 수단이다. 이번 IPCC 제6차 보고서에서 CCS 기술이 매우 중요한 온실가스 감축 대안으로 언급이 되고 있으나, 이는 지역적 여건에 의해 좌우될 수 있다고 보고 있다. 우리나라의 경우, 10대 탄소중립 기술에 이산화탄소포집・활용・저장(CCUS, carbon capture, utilization, and storage) 기술이 포함되어 있다. 그러나, 포집된 이산화탄소의 저장소가 제한적인 우리나라 입장에서는 CCS와 CCUS를 실질적으로 어떻게, 그리고 어느 수준으로 적용할지에 대해서는 보다 심도 있는 고찰이 필요하다.

한편 도시 지역의 에너지 공급에 대한 검토가 필요하다. 우리나라는 지역 냉난방 네트워크가 이미 도입되어 적용이 확대되고 있으나 신재생에너지와의 연계가 부족하므로 이에 대한 보완이 필요하다. 특히, 도시 구조물을 활용한 적극적인 신재생에너지 시스템 설치가 필요하다. 다행히 전기 자동차 보조금이나 태양광 패널 설치 보조금 등의 정책은 어느 정도 확보되어 있으나, 이외 여러 도시 구조물과 신재생에너지 시스템을 연계하기 위한 시도가 필요하다.

43) 동 내용은 유승직(2022)의 발표 내용을 참고하였다.

둘째, 농업・산림・기타토지이용(AFLOU) 부문의 완화 수단을 살펴보고자 한다. 토지 기반의 감축 조치를 이행하기 위해서는 강력한 정부 정책이 필요한 만큼, 정책 수립 시 이해관계자들과의 논의가 필요하다. 특히 AFOLU 분야는 감축뿐만 아니라 적응 및 취약성, 영향평가 등 '적응' 부분을 통합적으로 고려한 정책 수립이 필요하다. 한편, 우리나라에서 현재 검토 중인 토지 기반 감축 방안으로는 토양 탄소 관리, 바이오차의 사용, 벼 재배 개선, 가축 사육 영양 관리 등이 있으며, 이러한 감축 수단을 고려한 정책을 수립하여 추진할 계획에 있다.

셋째, 도시 시스템과 기타 거주지 부문에서는 다음과 같은 검토사항이 있다. 우리나라는 현재 저출산 및 고령화로 인해서 2030년 이후에는 일부 지역을 제외하고는 많은 도시 지역에서의 인구 감소가 예상되고 있다. 따라서 탄소중립 도시를 위해 저밀 도시에서의 효율적 인프라 사용 및 관리와 공간의 콤팩트화 등 종합적인 공간계획을 위한 정책이 필요하다. 특히 도시권 차원에서의 기후변화 정책 패키지의 중요성이 강조되고 있는바, 광역권・도시권 차원의 계획 수립 및 이행이 매우 중요하다.

한편, 도시에서의 그린 및 블루 인프라는 기후변화 완화 및 적응 측면에서 매우 중요하다. 우리나라 또한 도시에서의 다양한 그린 및 블루 인프라의 가치에 대한 인식을 기반으로 이러한 인프라의 확장이 필요하다.[44] 또한 쇠퇴하는 도시들의 경우 유휴공간을 기후변화 적응 공간으로 적극적으로 전환할 필요가 있다.

넷째, 건물 부문에 대한 감축을 공식적으로 논의하여야 한다. 우리나라는 건물 부문의 2050년 온실가스 배출과 감축 잠재량에 대한 전망치가 미비한 실정이며, 이 수치에 대해서 공개 또는 논의되고 있지 않다. 우리나라 NDC 감축 목표(로드맵)에서 다루고 있는 건물 부문의 온실가스 대상은 건물의 운영(사용)에 의한 온실가스 배출이나, 이번 IPCC 보고서에서는 건축물의 건설 시에 투입된 건설재료의 내재 에너지 및 내재 배출량 등을 포함하고 강조하여 다루고 있다. 특히 야심찬 에너지 효율화 및 재생에너지 활용을 통한 건물 부문의 탈탄소화에 있어 2020~2030년 기간의 중요성이 강조되고 있다. 따라서 우리나라 역시 건물의 내재 배출량에 대해서도 고려하는 것이 필요하다.

또한 건물 부문에서는 건물의 전주기 통합적 감축 전략이 필요하다. 이번 제3실무그룹 보고서에서는 건축물의 신축 및 개보수 시에 설계, 건설, 사용, 폐기 단계에 이르는 통합적인 감축 전략의 접근과 감축으로 인한 효과를 사회-경제적 편익, UN SDGs 연계 등 다각적으로 검토하고 있다. 따라서 우리 정부의 감축 정책에서도 이러한 전주기 통합적 감축 전략에 대해 검토할 필요가 있다.

다섯째, 수송 부문에 대해서도 다양한 감축 수단을 도입할 수 있다. 특히 전기차의 기술적 가능성을 넘어서서 이의 적용을 위한 인프라 투자가 필요하며, 이를 위한 저탄소 전기 생산과 수소 및 바이오연료의 보완적 역할이 중요하다. 즉, 신기술 적용 및 투자와 이를 위한 인프라뿐만 아니라, 수송 부문의 행태 변화를 위한 정책적 접근에 대한 고려가 필요하다.

먼저 수송 전기화를 살펴보면, 전기자동차 배터리 기술의 기술 발전 및 경제성 향상이

44) 그린 인프라란 "공원, 숲, 습지, 홍수터, 그린벨트, 그린웨이 등과 같이 인간의 삶의 질을 높이고 물순환과 홍수조절과 같은 생태계의 서비스를 증진시키는 인프라"를 일컬음. 그리고 하천, 강 등을 블루 인프라라고 함 (국가기후위기적응정보포털 2022). 블루-그린 인프라는 상기 그린 인프라 개념에 생태축 보전 복원과 생태계에 기반한 재해 위허저감을 포함한 개념임 (우효섭 2020)

상당하여, 2010년 기준 대비 2020년에 배터리 단가가 85% 하락하고 보급량이 100배 증가하였다. 이를 보다 확대하기 위해, 전기 충전 및 관련 그리드 인프라에 대한 투자가 필수적이다.

수소 및 바이오 연료의 보완적 역할 역시 검토가 필요하다. 장거리 대형 트럭 및 철도 시스템에서의 탈탄소화가 가능하며, 이를 위해 수소 및 바이오 연료의 보완적 역할이 필요한바 관련 신기술에 대한 고려가 필요하다. 우리나라는 2030년 NDC 목표에도 수소가 일정 부분 역할을 할 것으로 명시되어 있기는 하나, 본격적으로는 2050년 탄소중립 목표 달성을 위해 향후 수소 및 바이오매스가 크게 보급되고 활용될 것으로 예상되므로, 이들의 구체적인 공급 방안 및 연료전환 방안을 마련할 필요가 있다.

해운 및 항공 부문의 거버넌스 구조 변화 역시 고려가 필요하다. 파리협정 하에서 해운 및 항공 부문의 온실가스 배출량에 대해서는 국가 재량에 맡기고 있고, 국제민간항공기구(ICAO, International Civil Aviation Organization) 및 국제해사기구(IMO, International Maritime Organization)에서는 감축 목표를 설정하고는 있으나 이는 연비향상과 수요 감축 전략을 추구하는 데에 그치고 있다. 그러나 효율성 증가로는 한계가 존재하며 여전히 고급 바이오연료, 암모니아, 합성연료 등의 대안을 모색하기 위한 R&D와 신기술이 필요한 상황이다. 따라서 이러한 기술 개발에 대한 우리나라 차원의 고민이 필요하다.

수송 부문에서의 기후 전략 및 정책의 필요성을 정리해보면 다음과 같이 세 가지로 정리할 수 있다. ①먼저 중앙 정부 및 지방 정부 차원에서 행태 변화를 유도할 수 있는 인센티브 전략 또는 규제 정책 등이 필요하다. 특히, 우리나라가 제출한 NDC 달성을 위한 주행거리 4.5% 감축을 위한 실질적인 정책 논의 및 도입이 필요하다. 예를 들면, 자전거 출퇴근 캠페인, 무료 교통패스, 주차 요금, 자동차 혜택 폐지, 승용차 주행거리 감축을 위한 이용억제 정책 등이 있다. ②차량 및 연료 효율성 표준, R&D 지원, 저탄소 수송 인프라에 대한 투자와 관련된 입법화 노력이 필요하다. ③저탄소 교통 체계를 위한 전반적인 인프라에 대한 변화가 필요하다.

여섯째, 산업 부문의 감축 전략을 다양하게 고려하여야 한다. 국내 산업의 저탄소화 정책을 추진하되 이로 인한 산업 경쟁력 약화를 방지하기 위해 국제적 저탄소화 정책 연계 등을 전략적으로 고려하여 접근할 필요가 있다. 이러한 산업 저탄소화를 위해 우리나라는 다음의 사항들을 현재 검토하고 있다.[45] ①제조업 비중이 높은 우리나라는 탄소중립 시나리오, 탄소중립 산업·에너지대전환 전략 등 탄소중립 추진을 위해 산업 부문에서 도전적 목표를 제시하였다. 다만, ‘공급’ 측면에서 감축 저감 수단을 발굴·도입하기 위한 계획에 집중해온바, ‘수요’ 측면의 저감 노력이 필요하다. 특히, 온실가스 감축이 상당히 힘들 것으로 보이는 철강, 석유화학, 시멘트 등의 다배출 산업에서 각 산업의 생산품 수요 저감을 위해 범부처 차원의 정책적 노력이 요구된다.[46] ②철강, 플라스틱, 이차전지 등 주요 소재 및 부품은 생산과정에서 온실가스를 많이 발생시키는 반면 사회적으로 탄소 저감에 기여할 수

45) 이는 2050 탄소중립 목표에 포함된 내용이다.

46) 다배출 산업의 수요 저감은 다배출 물질인 금속, 플라스틱, 건축용 자재 등에 대해 탄소발자국을 확대하고 공유하여 소비자의 환경친화적 물질 수요 확대를 유도하거나, 대다수가 B2B 제품인바 공공프로젝트에 투입되는 건자재의 탄소집약도 기준을 설정하거나, 또는 자동차, 건설회사 등 수요 업체의 친환경 제품 사용과 관련한 자발적 협약 등이 수단이 될 수 있다. 이와 유사한 사례로 미국 캘리포니아의 청정구매법, First Mover Coalition 등이 있다.

있기 때문에 인위적 생산 기반의 위축은 적절하지 않을 수 있다. ③또한, 탄소중립의 주요 수단이라 할 수 있는 폐플라스틱, 철스크랩, 바이오매스 등이 국내에서 충분히 공급되지 못할 것으로 예상되기에 순환자원, 청정에너지 등의 인프라 확충을 위한 정책적 노력이 필요하다.

또한 국제 산업 경쟁력 측면에서도 고려가 필요하다. ①탄소중립 노력은 생산비용 증가로 이어진다. 이러한 비용부담이 국내적으로 소비자나 국민 경제 입장에서 감당 가능한 수준이라 하더라도, 탄소중립 노력이 '국가별'로 불균형적으로 추진된다면 우리나라 산업의 국제 경쟁력이 심각히 영향을 받을 수 있다. 이에, 국내 탄소중립 추진 정책과 글로벌 탄소 무역장벽의 국가별 효과 분석 등에 대한 연구 및 검토가 필요하다. ②또한, 탄소중립의 추진으로 공급망 가치사슬의 변모가 예상되는바, 이에 대한 변화를 파악하고 부정적인 파급효과를 최소화하기 위한 정책적 준비가 필요하다. 다배출 업종의 해외 이전뿐만 아니라 공급망 전반의 저탄소화를 위해 기존의 국제 분업체계가 변경될 가능성도 존재한다는 점을 고려할 필요가 있다.

아울러 국내 감축 사업 투자 활성화를 위한 정책이 필요하다. IPCC 보고서에서는 기후변화 완화에 대한 산업에 대해서 규제 정책 수단과 경제적 정책 수단이 상호보완적으로 이루어져야 함을 강조하고 있다. 특히, 경제적 정책 수단에서 탄소가격제의 중요성이 강조되었다. 이러한 경제적 정책 수단 측면을 고려할 때, 우리나라는 국내 탄소배출권거래제의 개선 등으로 탄소가격체계를 개선하고 동시에 탄소차액계약제도, 저탄소 관련 세제·금융·무역 지원 등을 도입해 산업 부문의 저탄소화를 유도할 필요가 있다. 특히, 우리나라 탄소배출권거래제 운영과 관련하여, 감축 사업에 대한 투자 방향성을 명확하게 제시하기 위해 감축 사업으로 사전적으로 인정받는 '감축 사업 Positive List' 등을 정부가 준비하는 것에 대하여 고려할 필요가 있다.[47)]

3.5. 이산화탄소제거(CDR) 접근법의 활용

이산화탄소제거(CDR) 접근법이 이번 제6차 IPCC 평가보고서에 중요하게 다루어진다. CDR 접근법은 감축하기 어려운 잔여 배출량을 상쇄하여 넷제로를 달성하는 데에 중요한 수단으로 간주됨. 그런데 이 기술들마다 R&D 성숙도, 적용가능성(feasibility), 이산화탄소제거 잠재력, 환경·사회적 영향 등이 모두 다양한바, 우리나라에 적합한 CDR 기술 R&D 및 활용에 대한 장·단기 로드맵 및 종합 전략 구축이 필요하다.

CDR 접근법의 종류별로 살펴보고자 한다. 먼저 생물학적 CDR 접근법을 살펴보면, 생물학적 CDR 접근법 중에서 조림·재조림, 산림경영, 혼농임업, 토양탄소격리는 가장 많이 활용되는 접근법으로, 우리나라 농업 부분에서는 바이오차(biochar)를 토양에 투입하거나 영농법(비료·유기물 투입, 경운 등)을 활용하여 토양탄소격리효과를 증대하려는 노력을 연구 및 정책적 측면에서 수행하고 있다. 한편, 바이오에너지 이산화탄소포집·저장(BECCS) 기술에 대해서도 우리나라 입장 수립 필요하다. 현재 우리나라의 BECCS 관련 R&D는 CCU 분야에서 미세조류를 활용하는 방안으로 소규모 검토가 진행 중인 것으로 보이나, 국제사회에서 폭넓게

47) 동 내용은 이시형(2022)의 발표 내용을 참고하였다.

다루는 목재 바이오매스를 활용한 BECCS 역시 검토할 필요가 있다. BECCS의 경우, 바이오에너지를 위한 작물생산이 식량안보에 부정적 영향을 줄 수 있다는 점을 고려하여, 동 기술군에 대해서 우리나라가 해외 감축 사업 수행 시 적용 여부에 대해서도 엄밀한 접근이 필요하다.

다음으로 화학적 CDR 접근법을 살펴보고자 한다. 대표적인 대기직접이산화탄소포집・저장(DACCS) 기술의 경우, 전 세계적으로 기술 개발 초기 단계이나 선진국을 중심으로 실증사업이 진행되고 있다. 우리나라의 2050 탄소중립 시나리오상 DAC 기술이 E-fuel 연소와 연계되어 포함되었으나, 현재까지 우리나라에서 DAC 기술에 대해 직접적인 R&D 사업은 부재하다. 또한, 일반 CCS와 마찬가지로 포집 후 지중 혹은 해양에 주입・저장해야 하는데, 우리나라는 저장소에 대한 물리적 적용과 사회적 수용성 측면의 고려가 필요한바, 향후 DAC 기술에 대한 실제 R&D 필요 및 기술의 활용 여부에 대해서 고려가 필요하다.

3.6. 통합적 접근

기후변화 대응을 위한 우리나라의 통합적 접근 차원에서, ①기후변화 완화-적응-지속가능발전 정책의 통합, ②국제-국가-지방 정책의 통합적 접근, 그리고 ③통합적 접근을 위한 미디어 플랫폼의 중요성에 대하여 살펴볼 수 있다.

먼저 기후변화 완화-적응-지속가능발전 정책의 통합을 살펴보면, 우리나라를 비롯하여 많은 나라에서 기후변화 완화, 적응, 지속가능발전 정책이 분절적으로 계획되고, 실행되는 경향이 있다. 이에, 기후변화 완화와 적응 노력의 연계 및 통합적 접근이 필요할 뿐만 아니라, 기후변화 대응과 지속가능발전 간의 연계 역시 고려가 필요하다. 특히, 이번 제3실무그룹(완화) 보고서에서는 기후변화 완화를 위한 감축 옵션들이 적용되는 과정에서 지속가능발전 17개 목표와 시너지를 이룰 뿐만 아니라 상충관계(trade-off)가 발생할 수 있다는 점이 강조되었다. 따라서 기후변화 정책・프로그램・사업을 추진하는 과정에서 지속가능발전에 대한 부정적 영향을 미치지 않는지에 대한 자체적 평가가 필요하며, 이를 위해서는 정책 이행 시 통합적인 고려가 필요함을 시사한다.

현재 우리나라는 기후변화 측면에서 보면, 제2차 기후변화대응 기본계획(2020~2040)에서는 저탄소사회로의 전환, 기후변화 적응체계구축, 기후변화대응 기반 강화 측면에서 종합적으로 접근하고 있다 (관계부처합동 2019). 감축 측면에서는 2030 국가 온실가스 감축 로드맵이 설정 및 수정되어왔고 (관계부처합동 2018), 적응 부문에 대해서는 제3차 국가 기후변화 적응대책(2021~2025)이 2020년에 수립되었으며, 이는 지구온난화 온도 제한 시나리오상에서 필요한 완화 및 적응 노력을 토대로 작성되었다 (관계부처합동 2021a). 지속가능발전 측면에서 보면, 우리나라는 제4차 지속가능발전 기본계획(2021~2040)을 수립하였음. 제4차 지속가능발전 기본계획 수립의 여건 분석 시, 기후변화와 이로 인한 기후재난이 고려되기는 하였다 (관계부처합동 2021b, pp.11-12).

둘째, 우리나라 중앙 정부뿐만 아니라 지방과 도시의 기후변화 정책 역시 통합적으로 접근하는 것이 중요하다. 이번 제3실무그룹 보고서가 보여주듯, 지방과 도시가 기후변화

저감과 적응의 최전선 행위자로 부상하고 있다. 이에 지자체의 기후변화 저감, 적응, 그린뉴딜에 대한 종합적인 분석과 정책 계획, 실행, 평가가 필요하다. 지방 정부는 관할권 내에서 토지이용 계획, 교통 계획, 건축물 규제와 인센티브, 지속가능발전 계획을 통해 기후변화 저감과 적응 정책을 이행한다. 또한 도시는 에너지와 자원 소비 저감, 전기화, 탄소 흡수·저장을 활용하여 넷제로를 달성하고, 다른 행위자들에게도 공급망을 통해 영향을 끼친다. 이를 위하여 금융과 기술 자원에 대한 접근, 정책 역량, 시민들의 참여, 예산 등을 통해 지방정부가 저감 전략을 개발하고 시행하는 조건을 제공하여야 한다.

아울러 국제-국가-지방 단계에서 기후변화 대응의 공편익(co-benefits)과 공정한 전환(just transition)이 어떻게 상호작용하는지 파악할 필요가 있다. 또한 초국가 네트워크를 활용해 국경을 넘어선 도시 간 기후변화 정책 학습을 통해 저감 효과를 향상시킬 수 있다.

셋째, 미디어 및 커뮤니케이션 플랫폼의 역할에 대하여 검토가 필요하다. 기후변화 대응에 있어 다양한 이해관계자들의 적극적인 참여가 중요한바, 기후변화 문제에 대한 이해와 대응 옵션들에 대한 정보 확산을 위해 미디어와 커뮤니케이션 플랫폼의 역할이 중요하다. 기후변화에 대한 과학적 및 정책적 보도를 위한 기후변화 미디어 정책과 커뮤니케이션 플랫폼의 활성화가 필요하다.

3.7. 국제협력

이번 제3실무그룹(완화) 보고서는 기후재원의 국제협력을 중요하게 다루고 있다. 선진국들의 재정 기여, 양자 개발협력지원(ODA, official development assistance), 다자개발은행(MDB, multilateral development bank), 다자기후기금, 유엔 시스템 하의 다양한 전문 유엔 기구들, 그리고 민간섹터들이 기존에 운용 및 투자하던 재원에 대해 기후변화를 주류화하여 기후 정책·프로그램·이니셔티브들을 착수함으로써 기후재정을 통한 국제협력이 강조된다. 기후재정 중 다자기후기금과 관련해서 우리나라는 상당히 적극적으로 참여하고 있기 때문에,[48] 이러한 재정지원 노력을 국제사회에 적극적으로 어필할 필요가 있다.

또한 다양한 기후클럽[49]이 등장하고 있다는 점에 대해서도 우리나라의 정책적 고려가 필요하다. 이 기후클럽들 중에는 '국제무역'과 관련된 사항들이 존재하는데, 여기에는 탄소국경세, 탄소집약 물품 금지 등의 무역규제, 탄소배출권거래제 등이 존재한다. 이에 대해서 우리나라가 참여할 시의 영향 분석과 참여 전략에 대한 고민이 필요하다.

3.8. 기후 금융

정부(금융위원회, 금융감독원)는 TCFD 지침에 따라 물리적 위험과 전환 위험 양 측면을 모두

48) 다자기후기금 측면에서, 우리나라는 2014년 GCF에 1억 달러 공여를 선언하고 이행하였다. 이후, 2019년 9월 GCF에 2억 불 공여를 선언하였다.
49) 기후클럽이란 특정 감축 목표 달성을 위해 국가나 비국가 행위자들의 국가 또는 지역 레벨의 연합체를 의미한다.

반영한 기후리스크 관리 지침에 대해 국내 모든 금융기관이 준수하도록 지원하여야 하며,[50] 이러한 지침의 확산을 통해 금융기관의 기후리스크 관리가 필수로 정착되도록 할 필요가 있다. 이에, 금융기관별로 기후위기 유의 산업을 규정하고,[51] 고탄소 산업에 대한 기후리스크 관리 방안 및 실적에 대한 정보공개를 단계적으로 확대해 나갈 필요가 있다. 또한 상기 언급된 TCFD를 포함해 기후금융 국제표준 및 이니셔티브에 기업들이 참여할 수 있도록 관련 지침을 제작 및 배포(은행연합회에서 '22년 추진 중) 하는 등의 지원을 제공할 필요가 있다.

아울러 이번 IPCC 보고서에서 석탄화력발전에 대한 부정적 측면을 강조하고 있다. 이에 석탄화력발전 등 좌초자산에 대한 투자를 중단하고, K-그린 택소노미에 포함된 활동에 투자를 집중할 수 있는 정책적 기반 조성이 필요하다. 금융 부문에서의 탈석탄 활동에 대한 내용을 살펴보면, KB금융지주의 탈석탄 선언(' 20.9)을 시작으로 금융기관의 탈석탄 선언이 확산되면서 현재 대다수 금융기관이 탈석탄 선언을 완료한 상황이다. 112개 금융기관의 기후금융 지지선언('21.3) 등 탈탄소 투자 확산 기조는 매우 고무적이나, 선언에 그치지 않도록 후속 관리가 중요하다.

또한 IPCC가 중요성을 강조한 녹색분류체계의 경우, 2021년 12월 발표된 K-그린택소노미가 실제 투자로 연계될 수 있도록 노력이 필요하다. K-그린택소노미는 우선 채권에 한정 적용되므로 행정 문제가 없으나, 향후 대출 연계 시 행정상 어려움이 있어 정책 수단에 대한 고민이 요망된다.

한편, 이번 IPCC 제3실무그룹(완화) 보고서에서 강조한 바와 같이, 기후(녹색) 금융 규모를 2030년까지 현재 대비 3~6배 확대하는 것을 검토하고, 기후금융에 대한 인식 개선과 혁신금융 접근에 대한 정책적 지원이 필요하다. 이를 위하여 기후(녹색) 금융 확산 관련 법을 발의하고 제정하는 것이 필요함. 또한, 기후금융 정책으로서, 탄소인지예산 도입과 탄소금융 본격화를 고려할 필요가 있다. 다른 나라의 혁신 금융 사례를 검토하고 국내에도 적용을 검토하여야 하는데, 유럽 내 급성장 중인 지속가능연계금융(SLF, Sustainability Linked Finance) 등의 혁신 금융 기법을 적극적으로 도입할 필요가 있다. 아울러 기후변화 대응을 위한 기후대응기금을 적극적으로 운용하고 활용해야 한다.[52]

3.9. 기후 기술

IPCC 제6차 평가보고서 제3실무그룹 보고서에서는 기후변화 완화를 노력 차원에서, 완화 옵션(기술) 별로 감축 잠재량과 온실가스 배출 회피 순비용을 도출하였다. 이 기술 옵션별로 $100 이하의 저비용 기술 옵션을 우선적으로 적용할 경우, 2030년까지 2019년 배출량 대비 절반 이상 감축이 가능하다고 언급하고 있다. 그런데, 이 기술 옵션들의 감축 잠재량 및 비용에 대한 사항은 기존의 연구 결과물들을 토대로 일반화된 값으로 도출된바, 우리나라에

50) TCFD는 'Task Force on Climate-related Financial Disclosures'의 약자로, '기후변화 관련 재무정보 공개 협의체'이다.
51) '유의산업'은 지구온난화,고탄소 배출, 생물다양성 훼손 등 환경적으로 부정적인 영향을 미치거나 민감한 산업으로서 금융회사가 자율적으로 정한 산업이다. 금융회사는 유의산업 분야를 자율적으로 정하고 관리할 수 있다는 지침이 포함되었다 (금융권 녹색금융 핸드북 2021, p.31 & p.36).
52) 기후대응기금은 '22년 약 2.6조원 규모로, 기획재정부 담당(한국환경공단 위탁운영)이다.

바로 적용하기에는 다소 괴리가 있을 것으로 예상된다. 따라서 IPCC 보고서에서 도출된 섹터별 완화 기술 옵션들의 감축 잠재량과 온실가스 배출 회피 비용에 대해서 우리나라 차원에서 적용했을 때의 값을 도출해 보는 별도의 연구가 필요할 것으로 보인다. 이를 토대로 $100 이하로 소요되는 기술 옵션들을 우선적으로 이행할 수 있는 방안을 고려할 필요가 있다. 또한, 현재로서는 완화 비용이 $100를 훨씬 상회하여 적용이 어려운 기술[53]의 경우, 어떠한 기술들을 중심으로 기술 단가를 낮추기 위한 혁신 정책(R&D 투자, 시범·실증사업 비용 지원, 보조금 지원 등)을 적용할지를 도출하고 이에 대한 정책의 이행이 필요하다.

한편, 기후 기술의 국제협력에 대해서도 검토가 필요하다. 이번 제3실무그룹 보고서에 의하면 기후 기술의 개발·이전·혁신이 강조되고 있으나, '혁신'에 대한 국제협력에 대해서는 아직 격차가 있는 것으로 나타났다. 특히, 유엔기후변화협약 하에 설립되고 파리협정 이행에 대한 당사국 행동을 지원하는 기술 메커니즘(Technology Mechanism)[54]의 이행기구인 기후기술센터네트워크(CTCN)의 활동에 대해서 아직 도전과제가 있는 것으로 나타났다. 우리나라는 현재 CTCN과의 협력을 통해 개도국 기술지원 사업에 적극적으로 참여하고 있으며, 인천 송도에 개소한 CTCN 협력연락사무소를 통해 개도국에 대한 기후 기술의 연구·개발·실증(RD&D, research development and demonstration) 사업을 지원하고자 기획하고 있다. 이에, CTCN 협력연락사무소를 통해 혁신 차원의 기후 기술 RD&D 사업을 기획하고 실질적으로 이행하는 모범 사례들을 만들어 갈 수 있도록 노력이 필요하다.

53) 예를 들어, IPCC 보고서 상에서 이산화탄소포집·저장(CCS) 기술의 경우, 에너지 부문과 산업부문에 모두 포함되어 있는데, 현재로서는 상당히 비용이 높은 옵션으로 분류되어 있음

54) 기술 메커니즘은 정책을 담당하는 기술집행위원회(TEC, Technology Executive Committee)와 개도국 기술지원을 제공하는 이행기구인 기후기술센터네트워크(CTCN, Climate Technology Centre & Network)로 구성

제 3 장 이산화탄소제거 접근법

제 1 절 이산화탄소제거 접근법과 직접대기포집 기술 (개괄)[55]

1. 이산화탄소제거(CDR) 접근법과 직접대기포집(DAC) 기술의 의미

1.1. 이산화탄소제거(CDR) 접근법의 필요성 및 종류

2015년 기후변화에 대한 국제적 행동을 위해 채택된 파리협정에서, 국제사회는 지구온난화를 산업화 이전 대비 2100년까지 2℃로 억제하고 또한 1.5℃로 제한하기 위해 노력하기로 합의하였다 (PA 2015, Article 2.1(a)). 2019년 기준, 전 지구 평균온도는 산업화 이전 대비 약 1.1℃까지 상승한바, 국제사회는 감축(mitigation) 노력이 시급한 상태이다. 이에 파리협정 이행을 위해 당사국들은 자체적으로 설정한 국가감축목표를 담은 국가결정기여(NDC, nationally determined contribution)를 수립하고 사무국에 제출하였다. 또한, 2022년 9월 기준으로 포함하여 전세계 온실가스 배출량의 83%를 차지하는 136개국에서 탄소중립 목표를 발표하였으며, 이중 우리나라를 포함하여 17개국은 탄소중립 목표를 법제화하였고, 나머지 중 38개국은 법제화까지는 아니더라도 정책문서로 공식화하였다 (NZT 2022). 최근 IPCC에서 2018년 발간한 '지구온난화 1.5° C 특별보고서'와 2022년 발간한 제6차 평가보고서 제3실무그룹(완화) 보고서에서는 인간 활동에 기인한 온실가스 배출 저감(reduction) 노력뿐만 아니라 대기 중에서 이산화탄소를 직접적으로 제거(removal)하는 이산화탄소제거(CDR, carbon dioxide removal) 접근법을 활용하는 것이 필수적이라고 강조되었다 (IPCC 2018, p.14; IPCC 2022, Sec. 12.3).

이산화탄소제거(CDR) 접근법은 대기 중에 존재하는 이산화탄소를 일련의 매체를 통해 포집(capture)하여 지중(geological)·토양(terrestrial)·해양(ocean)의 저장소에 또는 제품 안에 장기간 안정적으로 저장하는 인간 활동(anthropogenic activities)을 의미함. 여기에서 주의할 점은 대기 중의 이산화탄소를 제거하기 위한 목적을 가지고 수행한 활동만이 CDR 접근법으로 정의된다는 점이며, 이러한 목적 없이 자연적 이산화탄소 흡수(sink)가 이루어지는 것은 CDR 접근법으로 분류되지 않는다 (IPCC 2022, Annex I). CDR 접근법의 대표적인 장점은 대기 중 온실가스 농도를 단기간에 낮출 수 있다는 점이며, 대표적인 단점은 탄소 주입 또는 저장 후 자연의 탄소 순환 과정에서 탄소가 누출되는 역전(reversal) 현상이 있을 수 있다는 점이다 (IPCC 2022, Sec. 12.3).

55) 본 절은 본 연구과제의 연구원들이 올 해 연구내용을 기반으로 작성한 저작물 「해설이 있는 국민기술제안 인사이트: 이산화탄소 직접대기포집(DAC) 기술의 실증과 활용(작성자: 송예원, 오채운)」을 동 보고서 양식에 맞춰 일부 수정하여 그대로 삽입하였다. 동 저작물은 2050탄소중립녹색성장위원회에서 2022년 발간하여 공공누리 제1유형으로 개방하였으며, 해당 저작물은 2050탄소중립녹색성장위원회에서 운영하는 국민기술제안 플랫폼 "아이디어넷제로(http://www.ideanetzero.org/)"에서 무료로 다운받을 수 있다.

CDR 접근법은 매우 다양하다. CDR 접근법은 [그림 3-1]과 같이 이산화탄소 포집 방법에 따라 생태학적(biological), 지구화학적(geochemical), 화학적(chemical) 방법으로 구분된다. 생태학적 방법은 육상 및 해양의 식생을 매체로 활용하는 접근법이며, 지구화학적 방법은 광물과 대기 간의 상호작용을 활용하는 방법이고, 화학적 방법은 화학물질과 대기간의 반응을 일으키는 기술을 활용해 대기 중의 이산화탄소를 제거하는 방법이다 (IPCC 2022, Sec. 12.3).

[그림 3-1] 이산화탄소제거(CDR) 접근법의 분류

출처: UNEP(2017)의 Figure 7.1 및 (IPCC 2022)의 제12.3절을 바탕으로 저자 재구성

하나씩 살펴보면, 먼저 생태학적 CDR 접근법은 이산화탄소를 포집하는 매체가 육상에 있는지 해양에 있는지에 따라 육상 및 해양 생태학적 접근법으로 다시 구분할 수 있다. 육상 생태학적 접근법은 육상에 존재하는 생태학적 매체를 활용하여 대기 중 이산화탄소를 제거하는 접근법으로, 수목을 심고 관리하는 조림 및 재조림, 토양 관리를 통해 토양 유기물 내의 탄소량을 늘리는 토양탄소격리 등이 있다. 해양 생태학적 접근법은 해양에 존재하는 생태학적 매체를 활용하는 접근법으로, 연안의 식물을 통해 해양에 저장되는 탄소량을 늘리는 블루카본(blue carbon) 관리, 해양의 탄소 흡수 생태계를 강화하기 위한 해양비옥화 등이 있다.

다음으로 지구화학적 CDR 접근법으로는 이산화탄소와 화학적으로 반응할 수 있는 광물을 육상에 살포하는 강화된 풍화와 해양에 살포하는 해양 알칼리도 증진이 있다.

마지막으로 화학적 CDR 접근법은 화학 반응을 통해 대기 중의 이산화탄소를 직접 포집하는 직접대기탄소포집(DAC, direct air capture) 기술을 핵심적으로 활용한다. 이를 통해 포집한 이산화탄소를 저장소까지 수송하는 수송 기술과 이산화탄소를 지층 등의 저장소에 격리하는 저장 기술이 결합된 체인 기술이 직접대기포집저장(DACCS, direct air carbon capture and storage) 기술이다. 한편, DAC를 통해 포집한 이산화탄소를 제품에 활용할 경우 이를 직접대기탄소포집활용(DACCU, direct air carbon capture and utilization) 기술이라고 칭한다.

상기한 유형에 따라 세부적인 접근법들을 구분해보면 <표 3-1>과 같이 정리해볼 수 있다. 이런 다양한 접근법 중에서도 DAC 기술이 국제사회에서 많은 관심을 받고 있는바, 동 기술에

집중하여 연구를 수행하였다. DAC 기술은 다른 CDR 접근법과 비교 시, 대기 중에서 이산화탄소를 제거하는 포집 과정에서 자연환경에 존재하는 생태학적 요소들을 활용하지 않고 순수 '기술'을 활용한다는 점이 차별화된 점이다.

<표 3-1> CDR 접근법의 방법론 유형과 세부 접근법

유형	세부 접근법
생태학적 CDR	**<육상 생태학적 CDR 접근법>** - **(조림/재조림)** 수목을 심고 관리하여 대기 중 이산화탄소를 흡수하여 수목 내부, 토양, 혹은 벌목 후 목조건물 등에 탄소를 저장하는 과정을 통틀어 의미하는 접근법 - **(토양탄소격리)** 토양관리 및 토지이용변화를 통해 토양 유기물의 탄소량을 늘리는 접근법 - **(바이오차(bio-char))** 바이오매스로 만든 숯을 흙에 묻어 토지기능을 강화하고 바이오매스 온실가스를 토양 안에 오래 격리할 수 있는 접근법 - **(바이오에너지탄소포집저장(BECCS, Bioenergy with carbon capture & storage))** 바이오매스로 화력발전을 한 후, 배출되는 이산화탄소를 CCS를 이용해 다시 포집하여 격리하는 방법
	<해양 생태학적 CDR 접근법> - **(블루카본(blue carbon) 관리)** 감조습지(tidal marsh), 맹그로브, 해초 등 연안 지역의 식생 관리를 통해 해저의 토양 및 침전물에 탄소를 격리하는 방법 - **(해양 비옥화)** 대기 중의 이산화탄소를 흡수할 수 있는 해양생태계(예: 식물성 플랑크톤)를 강화할 목적으로 그 영양분(예: 질소, 철)을 해수면에 인위적으로 공급하는 방법
지구화학적 CDR	- **(강화된 풍화 / 해양 알칼리도 증진)** 이 두 가지 접근법은 대기 중 이산화탄소와 쉽게 반응하는 알칼리성 광물(예: 규산염 및 탄산염)을 분쇄하여 대기와의 접촉면적을 늘린 후 살포하여 대기 중 이산화탄소를 제거한다는 점에서 본질적으로 원리가 같음. 광물을 토양에 살포하느냐 해상에 살포하느냐의 차이임
화학적 CDR	- **(직접대기포집저장(DACCS) 기술)** 화학적 방법으로 대기 중의 이산화탄소를 직접 포집(DAC)하여 지중저장소 등의 저장시설에 영구적으로 저장하는 방법 - **(직접대기포집활용(DACCU) 기술)** DAC를 통해 대기 중에서 포집한 이산화탄소를 활용하여 유용한 제품을 만들어 제품 안에 이산화탄소를 저장하는 방법

출처: IPCC (2022)의 Annex I을 참고하여 저자 정리

1.2. 직접대기포집(DAC) 기술의 부상 및 특징

다양한 CDR 접근법 중에서 DAC 기술은 최근 선진국을 중심으로 감축 잠재력이 높은 방안으로 많은 주목을 받고 있다. 그 이유는 다른 CDR 접근법과 비교했을 때, 이산화탄소를 포집하는 데에 필요한 면적이 적고, 기술 및 설비를 어디든 쉽게 설치 및 활용할 수 있다는 입지 자유도가 크다는 장점 때문이다. 그러나 DAC 기술에는 이산화탄소 포집을 위한 설비 구축에 필요한 자본비용뿐만 아니라 포집 과정에서 상당량의 에너지와 물이 소요되어 운영비용 역시 높다는 단점도 있다. 더욱이, DAC 기술은 단독으로 활용되지 않고 포집된 이산화탄소의 저장 및 활용 기술과 연계되어 활용된다. 이러한 연계 과정까지 고려할 경우, 저장소 존재 유무에 따라 DACCS 기술, 이산화탄소 활용 기술의 보유 여부에 따라 DACCU 기술의 활용 가능성이 영향을 받는다 (IPCC 2022, Sec. 12.3.1.1). 이러한 단점에도 불구하고, 감축행동의 시급성 및 DAC 기술의 높은 이산화탄소 제거 잠재력으로 인해 선진국을 중심으로

DAC 기술에 관심을 가지고 있다.

현재 선진국들을 중심으로 DAC 기술의 연구·개발, 실증, 그리고 활용을 촉진하기 위한 정책들을 수립 및 적용하고 있다. 특히, DAC 기술을 활용해 저감 활동을 하는 기업들을 대상으로 세액공제 혜택 등을 통해 경제적 이익을 실현할 수 있는 환경을 조성하고자 하고 있다. 이러한 정부 차원의 정책 외에도 민간중심의 정책인 RE100 이니셔티브 차원에서 제거 실적을 구매하는 경우 등도 있다. 선진국들의 구체적인 지원 사례는 다음과 같다. 먼저 미국의 경우, CCS 기술의 개발 및 보급 촉진을 위해 45Q 세액공제 프로그램[56]을 운영하고 있으며, 동 제도를 통하여 DAC를 활용한 이산화탄소 제거 실적에 따라서 DAC 설비를 운영한 기업이 세액공제를 받을 수 있다. 세액공제 규모는 포집한 이산화탄소를 저장하는 방법에 따라 다른데, 제품으로 활용하거나 원유회수증진(EOR, enhanced oil recovery)으로 저장 시 이산화탄소 1톤당 미화 35달러, 지중에 영구저장하였을 때에는 이산화탄소 1톤당 미화 50달러의 세액공제를 받을 수 있다 (GPI 2019). 캐나다의 경우, 중앙부처인 환경기후변화부에서 DACCS에 대한 온실가스 제거 실적인정 방법론(offset protocol)을 개발하기 위하여 현재 전문가를 모집하는 중에 있다 (ECCC 2022). 또한, '기후행동 및 인식개선 자금(Climate Action and Awareness Fund)'을 조성하여 온실가스 감축 사업에 5년간 206백만 캐나다달러(약 2170억원)를 지원하기로 하였는데, 동 사업 활동에 DAC 기술이 포함되었다 (Ibid. 2020; EJ 2021). 유럽연합의 경우, 기후변화 및 지속가능발전목표 달성을 위해 2027년까지 955억 유로(약 1330억원) 상당의 '호라이즌 유럽(Horizon Europe)' 프로그램을 시행 중이며, 이 프로그램의 지원 대상으로 DAC 기술이 포함되었다 (EC 2021a). 또한, 2030년까지 CDR 접근법을 활용해 연간 5 $MtCO_2$ 규모의 대기 중 이산화탄소를 제거하는 것을 목표로 전략을 수립하였다 (EC 2021b, p. 18). 영국도 DAC 기술을 포함한 기술적 CDR 접근법을 활용하여 2030년까지 연간 5 $MtCO_2$를 제거하고자 하는 국가전략을 수립하였다 (UK 2021, p. 184). 특히, 유망한 DAC 기술을 발굴하고 지원하기 위한 'DAC 및 기타 온실가스 제거기술 대회(DAC and other GHG Removal Technologies Competition)'를 2020년부터 진행하고 있으며, 단계별로 지원 대상을 선정해 총 1억 파운드(한화 약 1586억원)의 연구 및 실증 자금을 지원할 예정이다 (UK 2022).

정부 차원의 지원뿐만 아니라, 민간 부문에서도 DAC 기술에 대한 투자가 이루어지고 있다. 마이크로소프트 사의 창업주 빌 게이츠(Bill Gates)는 기후변화에 대응하는 에너지 기술 스타트업을 지원하기 위한 벤처투자회사 Breakthrough Energy Ventures를 설립하였고 이 투자회사를 통해 다양한 DAC 기술 기업에 투자를 하고 있다 (BEV 2022). 한편, 전기차로 유명한 테슬라 사의 창업주 일론 머스크(Elon Musk) 역시 DAC 기술을 포함하여 가장 좋은 CDR 기술을 선정하는 대회를 개최하는 중이다. 2021년 4월부터 2025년 4월까지 4년간 진행되는 동 대회에서는 1위 기술에게 미화 5천만불(한화 695억원)을 시상하는 등 총 상금 미화 1억불(한화 1390억원)을 시상할 예정이다 (Xprize 2021). 동 대회에 한국의 (주)로우카본도 지원하였다 (로우카본 2021).

DAC 기술 활용을 지원하기 위한 정책 흐름 속에서, 최근 DAC 기술의 대형 실증사업을

56) 45Q 세액공제 프로그램이란 이산화탄소 포집 및 저장 기술에 특화된 세액공제 제도로서, 포집한 이산화탄소를 지중저장하거나, 원유회수증진 방식으로 저장하거나 혹은 제품화하는 기술을 도입 및 적용한 기업에게 세액을 공제함으로써 해당 기술의 투자를 촉진하기 위함이다.

실행하고, 이를 기반으로 동 기술을 상용화하고 정부 정책을 활용해 경제적 이익을 도모하고자 하는 민간 기업들이 등장하고 있다. 대표적인 기업으로는 캐나다의 카본엔지니어링(Carbon Engineering)社, 스위스의 클라임웍스(Climeworks)社, 미국의 글로벌써모스탯(Global Thermostat)社 등이 있다. 우리나라에도 ㈜로우카본社가 최근 DAC 기술 사업화를 도모하고 있다.

우리나라 역시 2050 탄소중립 목표 달성 차원에서 DAC 기술의 활용을 고려하고 있다. 2021년 10월 수립된 '2050 탄소중립 시나리오' 상에서 DAC 기술의 활용이 포함되었는데 이는 탄소중립 시나리오 A안(화력발전 전면 중단 방안)과 B안(화력발전 일부 잔존 및 CCUS 기술의 적극 활용 방안) 중에서, B안의 수송 부문에 포함되었다. 이는 수송 부문에서 발생한 잔여 배출량을 상쇄하기 위하여 DAC 기술을 활용하려는 것이다. 구체적으로는, 수송 과정에서 발생한 온실가스를 DAC 기술을 통해 포집한 후, 이를 연료화하여 다시 수송 부문에서 사용하는 탄소순환사이클을 구축하여 수송 부문의 탈탄소화를 달성하고자 한다 (2050탄소중립위원회 2021).

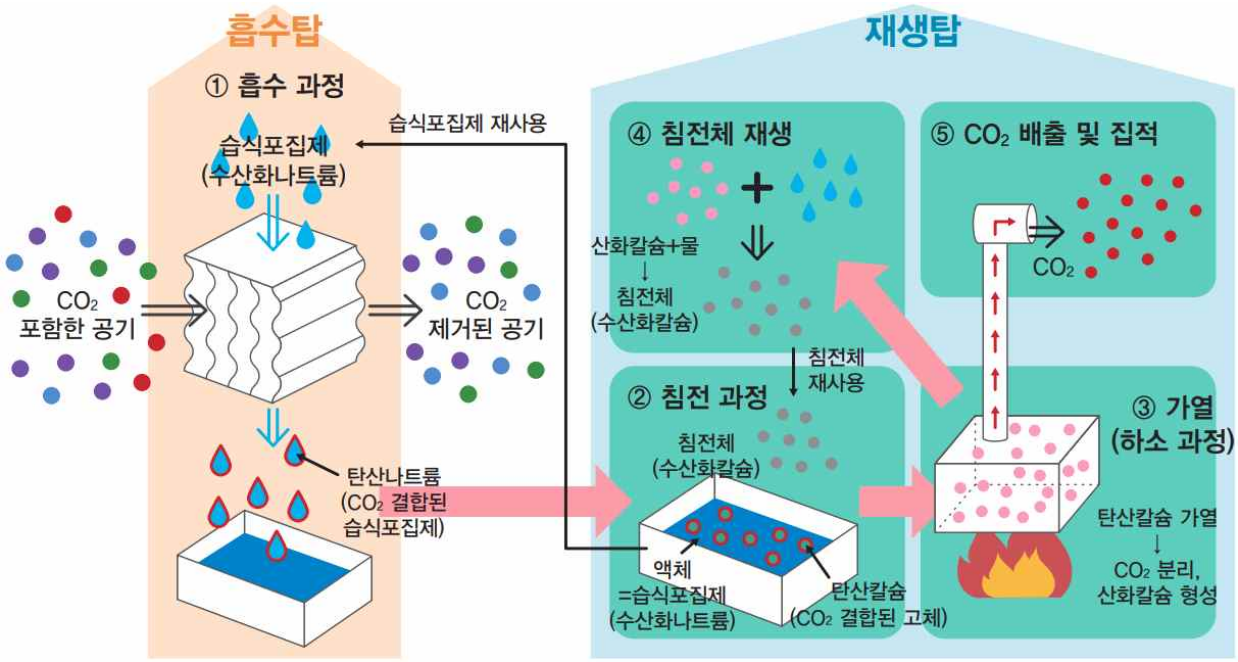
이러한 배경을 고려하여 본 절에서는 국내·외적으로 부상하고 있는 DAC 기술의 연구·개발·실증·활용 동향과 이를 촉진하기 위한 우리나라의 정책적 방향을 모색하고자 한다.

2. DAC 기술의 개괄

DAC 기술은 포집제의 종류에 따라 '습식' 포집 방식과 '건식' 포집 방식으로 구분된다. 어떠한 형태의 '포집제'를 활용하는가에 따라, '포집 공정'이 다르며, 이에 필요한 포집 설비 역시 다르다. 이 두 가지 방법은 이미 대규모 실증 단계를 거쳤다. 이 외에 아직 R&D 및 소규모 실증 상태에 머물러있는 다른 포집 방법(멤브레인을 활용한 분리막 공정 등)은 본 연구에서는 다루지 않겠다.

2.1. 습식 포집 기술

습식 포집 방식의 핵심은 이산화탄소가 물에 녹는 특성을 활용한다는 것이다. 일차적으로, 대기 중 공기를 포집제가 녹아 있는 수용액 안으로 주입하면, 공기 중에 있던 이산화탄소가 수용액에 녹게 된다. 다음으로, 물에 녹은 이산화탄소와 그 안에 미리 존재하던 포집제가 강한 화학적 반응을 일으켜 이산화탄소가 포집된다. 마지막으로 수용성 포집제에 결합된 이산화탄소를 분리한다. 이러한 습식 포집 방법에는 두 가지 두 가지 공정이 필요한데, 하나는 공기 중의 이산화탄소 기체와 수용액 형태의 포집제가 충분한 시간 동안 접촉할 수 있는 공정으로, 이를 위해 대형 포집탑이 필요하다. 다른 하나는 화학적으로 포집된 이산화탄소를 포집제로부터 분리해내기 위해 고온의 열을 가하는 공정으로, 이를 위해 재생탑 등의 대형 설비가 필요하다 ([그림 3-2] 참조) (de Jonge et al. 2019).



[그림 3-2] 강염기(수산화나트륨) 수용액을 활용한 DAC 습식 포집 공정

출처: de Jonge et al. (2019)의 Figure 1을 바탕으로 저자 재구성

[그림 3-2]에서 보여주는 것은 전반적인 습식 포집 공정의 과정이다. 먼저 이산화탄소가 물에 녹는 과정이다. 이산화탄소는 물에 비교적 잘 녹는 기체로, 이산화탄소가 물에 녹으면 약한 산성을 띠는 탄산 이온(CO_3^{2-})이 형성되는데, 이 과정을 '이온화' 과정이라고 한다. 이산화탄소가 물에 녹으면 포집이 이루어진다. 포집 공정은 '포집탑'에서 이루어진다. 포집탑 위에서 물에 녹인 포집제(염기성을 띰)를 위에서 아래로 흐르게 하고, 포집탑 아래에서 위로 공기가 지나가게 집어넣으면, 공기가 위로 올라가는 중에 이산화탄소가 수용액에 녹으며(이온화되며) 탄산 이온(CO_3^{2-})을 형성하게 되는데, 이것이 염기성 포집제와 화학반응을 일으킨다. 포집이 완료되면 분리 공정이 이루어진다. 탄산 이온과 포집제가 결합된 화합물은 '재생탑'으로 옮겨진다. 재생탑에서는 이 화합물에서 이산화탄소를 다시 분리해기 위해 뜨거운 열을 가해준다. 그러면, 화합물은 다시 이산화탄소와 원래의 포집제로 분리가 된다. 분리된 포집제는 다시 포집탑으로 보내 재사용하고, 분리된 순수한 이산화탄소는 따로 모아 이산화탄소 활용 혹은 저장 시설로 보내게 된다.

이 과정을 포집 공정과 재생 공정으로 나누어 화학적으로 자세히 살펴보고자 한다. 먼저 포집 공정은 이산화탄소가 물에 녹아 형성되는 탄산 이온의 특징이 '약한 산성을 띤다'는 것과 '금속이온과 쉽게 반응한다'는 것을 활용한다. 따라서, 이산화탄소와 포집제 간의 강력한 화학작용을 끌어내기 위해서, 습식 포집제로 '강염기 수용액'(수산화 이온(OH^-)과 '금속이온'(Na^+, K^+ 등)으로 구성)을 활용할 경우, 이산화탄소의 포집을 보다 용이하게 할 수 있다.

이산화탄소 포집에 용이한 강염기 수용액 중에서도 저렴하면서도 반응성이 좋은 수산화나트륨(NaOH)과 수산화칼륨(KOH)이 주로 활용된다.[57] 이산화탄소와 강염기 포집제 수용액이 반응할 경우, 중화반응이 일어나며 물과 염(salt)이 형성된다. 여기에서 염은 수용액 상태의 탄산화물을 의미하며, 사용하는 강염기 수용액 종류에 따라 탄산나트륨(Na_2CO_3) 혹은 탄산칼륨(K_2CO_3) 등의 탄산화물이 형성된다. 수산화나트륨을 포집제로 활용하는 것을 가정할 때 이를 화학식으로 나타내면 다음과 같다 (de Jonge et al. 2019).

수산화나트륨(습식 포집제)과 이산화탄소 접촉	중화반응	염(**탄산나트륨**)과 물 형성
$2NaOH_{(aq)} + CO_{2(g)}$	→	$\mathbf{Na_2CO_{3(aq)}} + H_2O_{(l)}$

포집제와 이산화탄소 사이의 중화반응으로 화합물인 '염(탄산나트륨 혹은 탄산칼륨)'이 형성되면, 차후의 단계는 이 화합물에서 이산화탄소를 분리하고, 포집제를 재활용하기 위해 재생하는 과정이다. 그런데, 탄산나트륨(혹은 탄산칼륨)에서 포집제를 재생하는 과정에서 많은 에너지가 소요되므로 동 과정의 소요 에너지를 줄이기 위해서 캐나다 카본엔지니어링(Carbon Engineering)社의 경우 다음과 같은 세 단계의 과정을 활용한다 (de Jonge et al. 2019). 먼저 침전 과정이다. 탄산나트륨이 형성된 수용액에 침전제인 수산화칼슘($Ca(OH)_2$)을 첨가하여 고체 형태의 탄산칼슘을 침전시키고 포집제 수산화나트륨을 재생하고, 이렇게 재생된 수산화나트륨을 다시 포집제로 재사용한다. 화학식으로는 다음과 같이 표현할 수 있다.

탄산나트륨 수용액에 침전제(수산화칼슘) 첨가	침전 반응	포집제(수산화나트륨) 재생 및 **탄산칼슘** 침전
$Na_2CO_{3(aq)} + Ca(OH)_{2(s)}$	→	$2NaOH_{(aq)} + \mathbf{CaCO_{3(s)}}$

다음으로는 침전된 탄산칼슘에 고온(약 900° C)의 열을 가하는 '하소(calcination) 과정[58]'을 통해 이산화탄소를 분리해낸다. 이 때, 이산화탄소가 분리되며 산화칼슘(CaO)이 남게 된다. 화학식은 다음과 같다.

탄산칼슘	가열(하소)	**이산화탄소** 분리 및 산화칼슘 형성
$CaCO_{3(s)}$	→	$\mathbf{CO_{2(g)}} + CaO_{(s)}$

마지막으로 산화칼슘에 물을 첨가하여 침전제의 수산화칼슘을 재생하는 '소화(slaking) 과정[59]'이 이루어진다. 이 수산화칼슘은 다시 침전 과정에 사용된다. 화학식은 다음과 같다.

산화칼슘과 물	소화	침전제(**수산화칼슘**) 재생
$CaO_{(s)} + H_2O_{(l)}$	→	$\mathbf{Ca(OH)_{2(s)}}$

57) 기존에 우리나라에서 독일식 표기에 따라 '나트륨'과 '칼륨'이라고 말하던 원소 명칭을 대한화학회에서 미국식 표기에 따라 학술적으로는 '소듐'과 '포타슘'으로 변경하기로 결의하였다. 그러나, 동 절에서는 기존의 익숙한 용어인 '나트륨'과 '칼륨'이라는 용어를 활용하였다. 현재 국립국어원에서는 기존 표기(나트륨, 칼륨)와 새 학술표기(소듐, 포타슘) 모두 표준어로 인정을 하고 있다.

58) 하소란 고온의 열을 가해 휘발성 물질을 분리해내는 과정을 의미한다.

59) 소화란 산화칼슘에 물을 첨가하여 수산화칼슘을 만드는 과정을 의미한다.

DAC 기술에 사용되는 습식 포집제는 일반 이산화탄소포집저장(CCS, carbon capture & storage) 기술에서 활용되는 습식 포집제와 다르다. CCS 기술은 화석연료 사용 및 산업 시설(FFI, fossil fuel combustion and industrial process)과 같은 명확한 배출 점원(emission source)에서 이산화탄소 배출저감(emission reduction)을 목적으로 활용되는 기술이다. CCS 기술에 활용되는 포집제는 통상적으로 이산화탄소 포집능이 좋은 '아민(amine)' 수용액으로, 이는 휘발성과 부식성이 강한 물질이나, 화석연료 사용 및 산업 시설은 대기와의 접촉이 이루어지지 않는 '닫힌계(closed system)'이므로, 휘발성 및 부식성이 강한 아민 수용액 사용이 가능하다 (Brethome et al. 2018). 그러나, DAC 기술은 특정한 배출점원 없이 불특정 대기 중에서 이산화탄소를 제거(removal)하기 때문에, 즉 설비가 '열린계(open system)'로 이루어지므로, 아민과 같이 휘발성 및 부식성이 강한 물질을 사용할 수 없다. 따라서 아민 대신 다른 특질을 가진 포집제를 활용해야 한다. 따라서 아민 대신 이산화탄소와 중화반응을 용이하게 일으킬 수 있는 수산화나트륨, 수산화칼륨 등의 강염기 수용액이 주로 사용된다 (Brethome et al. 2018).

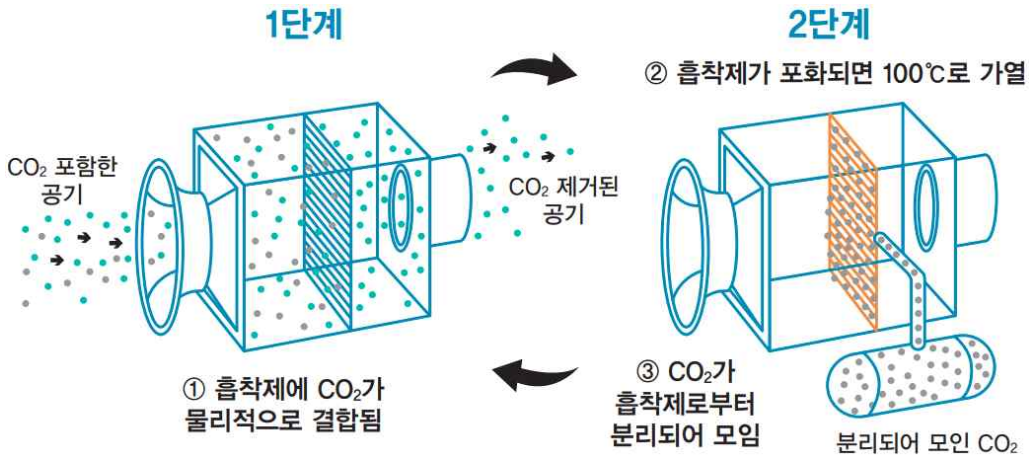
습식 포집제를 활용한 DAC 기술을 적용 시 고려해야 할 사항으로는 크게 두 가지가 있다. 하나는 포집 및 재생 과정에 대형 설비가 필요하므로 습식 포집은 대규모 설비에 적합하다는 점이고, 다른 하나는 습식 포집 기술을 활용하기 위해서는 에너지와 물을 지속가능하게 공급할 수 있어야 한다는 점이다 (IPCC 2022, Sec. 12.3.1.1). 먼저 대규모 설비에 대해 살펴보면, 습식 포집을 위해서는 공기 중의 이산화탄소 기체와 수용액 형태의 포집제가 충분한 시간 동안 접촉할 수 있는 대형 포집탑과, 화학적으로 포집된 이산화탄소를 포집제로부터 분리해내기 위해 고온의 열을 가하는 재생탑 등의 대형 설비가 필요하다. 이러한 설비는 설치하는 데 많은 자본이 들지만 대신 규모의 경제 효과가 크기 때문에 대규모로 설치되어야 한다. 물론 포집-침전-하소-소화로 이어지는 공정이 다소 복잡하게 보일 수 있으나, 이는 종이를 만들기 위하여 제지 산업에서 이미 널리 활용되고 있는 크라프트 공정(Kraft process)과 동일한 원리의 공정으로, 이미 우리나라 산업에서도 활용한 경험이 풍부하고 대형화가 용이하다.

다음으로 지속적인 에너지와 물 공급이 필요하다. 습식 포집 기술을 활용하기 위해서는 에너지와 물을 지속가능하게 공급할 수 있어야 하는데, 이는 습식 포집의 경우 포집한 이산화탄소 분리 및 포집제 재생 과정에서 고온의 열이 필요하기 때문에 에너지 소요가 다른 DAC 방법들에 비해 큰 편이기 때문이다. 특히 열을 공급하기 위하여 추가적으로 가열 설비(주로 천연가스를 사용)가 필요하다. 따라서 이러한 에너지(열, 전기)를 친환경적으로 공급할 수 있는지가 중요한 고려 요소이다. 또한 이산화탄소 기체를 분리해내는 과정에서 의도하지 않았더라도 물이 수증기 형태로 함께 유출되기도 하여 지속적으로 물을 공급해주어야 한다.

2.2. 건식 포집 기술

건식 포집은 작은 결정 형태의 고체 흡착제(adsorbent 혹은 sorbent)를 활용하여 대기 중의 이산화탄소를 포집하는 방법이다. 여기서 흡착체는 다공성(구멍이 숭숭 뚫린) '지지체'에 이산화탄소만을 선별하여 결합할 수 있는 '화학 물질'을 집어넣은 고체 형태를 의미함. 지지체는 셀룰로오스 같은 '천연 물질'이나 금속유기골격체(MOF, metal-organic framework)와

같은 '화학 물질'로 만들어진 고체이다. 이 지지체에 집어넣는 화학물질은 아민과 같이 이산화탄소 포집능력이 우수한 물질이다.[60] 지지체가 다공성이기 때문에 공기와 접촉할 수 있는 면적이 넓어 이산화탄소가 이 흡착제에 접촉하기 쉬운 환경이 구성되고 지지체 안에 있는 화학 물질과 결합하게 된다. 흡착된 이산화탄소는 압력이나 온도에 변화를 주어 분리된다 (Sanz-Perez et al. 2016). 건식 포집의 구체적인 공정은 다음의 [그림 3-3]을 참조할 수 있다.



[그림 3-3] 흡착제를 활용한 DAC 건식 포집 공정

출처: Beuttler et al.(2019)의 Figure 2를 바탕으로 저자 재구성

[그림 3-3]에 묘사된 흡착 공정을 자세히 살펴보면 다음과 같다. 건식 포집에서 활용하는 흡착제는 반데르발스 힘[61]을 활용한 약한 물리적 결합으로 이산화탄소를 포집한다. 이산화탄소를 물에 녹이는 과정 없이 물리적으로 포집하기 때문에 적은 에너지로 빠르게 이산화탄소를 포집할 수 있으며, 습식 포집과 달리 설비의 소형화도 가능하다는 점이 장점이다 (Bui 2018). 여기에서 고려할 사항은 이러한 고체 흡착제 방식은 일반 CCS 기술보다 DAC 기술에서 활용하기 용이한 기술이라는 점이다. 화석연료 사용 및 산업 시설에서 배출되는 배가스에는 이산화탄소 외에도 황화수소(H_2S)와 같은 다양한 불순물이 포함되어 있다. 흡착제는 화학반응이 좋은 물질을 선별하여 결합하는 화학적 결합이 아닌, 약한 물리적 결합을 활용해서 때문에 이산화탄소 외에도 흡착제와 반응하기 쉬운 불순물이 있을 경우 이산화탄소 포집에 방해가 된다 (GCI 2015). 이러한 이유로 흡착제는 일반 CCS에서는 널리 사용되지 못했다. 반면 대기 중에는 이러한 불순물이 적기 때문에 흡착제를 통해 이산화탄소를 포집하기 용이하므로, 흡착제의 장점을 살려 효과적으로 이산화탄소를 포집할 수 있다 (Bui 2018).

흡착이 완료된 후에는 이산화탄소 분리 공정이 이루어진다. 건식 포집의 경우, 이산화탄소가 약한 물리적 결합으로 흡착되어 있기 때문에 압력이나 온도에 변화를 주는 간단한 공정으로 흡착된 이산화탄소를 용이하게 분리해낼 수 있다. 이는 화학적으로 결합된 이산화탄소를 다시 분리해내기 위해 비교적 복잡한 추가적인 공정과 에너지를 필요로 하는

60) 지지체 안에 특정 기능이 있는 화학물질을 집어넣어 결합시키는 것을 담지(impregnation)라고 한다.
61) 반데르발스 힘(van der Waals force)이란 분자들 간에 작용하는 약한 인력이나 척력을 의미하는데, 여기에는 분자들이 이동하는 중에 주변 다른 분자의 영향을 받아 일시적으로 극성을 띠며 상호작용하는 것을 포함한다.

습식 포집 공정과 대비된다 (Fuss et al. 2018; McQueen 2021). 자주 사용되는 분리 공정 방법으로는 압력을 변동시키는 방법이 있음. 흡착제와 공기가 있는 상태에서 압력을 높이면 흡착제에 이산화탄소가 결합되고, 다시 압력을 낮추면 이산화탄소가 흡착제로부터 분리가 되는 원리를 사용하는 것으로, 이러한 방법을 압력변동흡착(PSA, pressure-swing adsorption)이라 부른다. 또 다른 자주 사용되는 방법으로는 압력 대신 온도를 변화시키는 방법이 있다. 낮은 온도에서 흡착제에 이산화탄소가 결합되고, 온도를 높이면 이산화탄소가 포집제로부터 분리되는 원리를 활용하는데, 이를 온도변동흡착(TSA, temperature-swing adsorption)이라 부른다. 실제로 건식 DAC 기술을 활용하는 스위스의 클라임웍스社는 온도변동흡착을 활용하여 상온에서 이산화탄소를 포집한 이후, 약 100℃로 온도를 높여 이산화탄소를 흡착제로부터 분리시킨다.

이러한 건식 포집과 앞서 살펴본 습식 포집 간에는 중요한 차이점이 존재하기에 이를 고려하여 도입기술을 결정하여야 한다. 건식 포집은 공정에 필요한 에너지 및 물 공급 측면에서 습식 포집보다 강점을 가진다. 그러나 건식 포집 설비는 모듈화하기 용이하지만 대형화하기에는 습식 포집보다 불리할 수 있고, 흡착제의 단가가 상대적으로 높아 낮출 필요가 있다.

각각의 이유를 하나씩 살펴보고자 한다. 먼저 에너지에 대해 살펴보면, 건식 포집 방식은 습식 포집보다 이산화탄소를 더 용이하게 흡착하고 분리해낼 수 있어 에너지 공급 방안에 대한 우려가 상대적으로 적은 편이다. 특히 클라임웍스社에서 활용하고 있는 온도변동흡착 방식의 경우, 100° C 정도의 열로도 설비가 충분히 구동되기 때문에, 공장 등에서 버려지는 폐열을 재사용하는 것으로도 충분한 열에너지 공급이 가능하다 (McQueen 2021). 이는 습식포집 방식을 활용한 카본엔지니어링社가 900℃의 열이 필요하여 추가적인 가열설비가 필요한 것과 대비된다 (Keith 2018).

다음으로는 물 공급에 대해 살펴보면, 건식 포집 방식은 포집 과정에 물이 필요하지 않기 때문에 포집제의 증발 등으로 인한 물 손실의 우려가 존재하지 않다. 오히려, 흡착 과정에서 이산화탄소 외에도 대기 중에 일부 존재하는 수증기가 이산화탄소와 함께 흡착되는 경우가 있어 물을 생성하기도 한다. 순수한 이산화탄소만을 포집하고자 하는 경우에는 물을 제거하는 별도의 과정이 필요하다는 점에서 단점이 될 수도 있다 (McQueen 2021). 그러나 물을 제거하는 것은 비교적 단순한 공정이며, 클라임웍스社의 경우 이산화탄소를 저장하기 위해 현무암 지층에 주입하는 과정에서 물이 필요한바, 별도로 물을 제거할 필요가 없다 (Snæbjornsdottir 2020).

다음으로 대형화 측면을 살펴보면, 습식 포집 방식은 대형 흡수탑 및 재생탑 설비에서 포집이 이루어지므로 대형화할수록 경제성을 확보하기 용이하다. 반면, 건식 포집 방식은 흡착제의 양 및 흡착제와 이산화탄소가 반응하는 정도에 비례하여 포집 규모가 결정된다. 즉, 규모의 경제 효과는 습식 포집보다 낮다 (Bui 2018).

모듈화 측면도 살펴보면, 건식 포집 설비는 모듈화하기 용이하다. 따라서 모듈화하여 소규모 설비로 구축하기 용이하며, 시공 기간도 단축할 수 있다. 실제로 스위스의 클라임웍스社는 연간 50 tCO_2를 포집할 수 있는 단위모듈 18개를 이어 총 연 900 tCO_2의 이산화탄소 포집이 가능한 규모의 소규모 실증을 수행하였다 (Gertner 2019).

마지막으로 흡착제의 단가 측면을 살펴보면, 건식 포집에 활용되는 흡착제의 단가가 비싸다는 점 역시 극복해야 할 장애요인이다. 습식 포집에 활용되는 강염기 수용액이 매우

저렴한 반면, 건식 포집에 활용되는 흡착제는 화학물질인 아민을 담지하기 위한 지지체가 비싼 경우가 많고, 생산 공정도 다소 까다로운 편이다. 이에, 저렴한 흡착제 생산 방안을 마련할 필요가 있다 (McQueen 2021, Bui 2018).

3. DAC 기술의 개발 및 활용에 대한 국내·외 동향

DAC 기술 실증은 선진국 민간 기업을 중심으로 이루어지고 있음. 캐나다의 카본엔지니어링社의 습식 포집 방식 실증사례, 그리고 스위스의 클라임웍스社의 건식 포집 방식 실증사례가 잘 알려져 있음. 우리나라에서도 ㈜로우카본社가 자체적인 습식 포집 기술을 개발하였고, 이에 대한 실증 및 사업화를 추진하고 있음. 실증사례는 다음의 <표 3-2>와 같이 정리될 수 있음

<표 3-2> 국내·외 DAC 기술 대표 실증사례

		카본엔지니어링 社	클라임웍스 社	㈜로우카본
기술 종류		습식 포집	건식 포집	습식 포집
창립연도		2009	2009	2016
소규모 실증	실증연도	2015	2017	2021
	위치	캐나다 스쿼미시	스위스 힌윌	전남 강진
	규모	연간 365 tCO_2	연간 900 tCO_2	연간 7.2 tCO_2
대규모 실증/사업화	실증연도	2024	2021	-
	위치	미국 텍사스	아이슬란드 헬리세이디	-
	규모	연간 1백만 tCO_2	연간 4천 tCO_2	-

출처: 기관별 사례조사를 바탕으로 저자 작성

3.1. 해외 DAC 습식 포집 기술 동향: Carbon Engineering 社

DAC의 습식 기술을 보유한 대표적인 회사인 캐나다의 카본엔지니어링社는 강염기 수용액(수산화나트륨 혹은 수산화칼륨)을 포집제로 활용한다. 이러한 강염기 수용액과 이를 활용한 이산화탄소 포집은 매우 일반적으로 알려져 있는 것으로, 포집제와 포집 방법이 동 회사의 고유 기술은 아니다. 그러나 카본엔지니어링社는 ①포집제와 이산화탄소가 효과적으로 접촉하여 반응할 수 있도록 해주는 방법과 설비, ②포집제와 이산화탄소의 중화반응으로 형성된 염에서 효과적으로 이산화탄소를 분리하는 설비에 대해서, 그리고 ③DACCU 기술(포집된 이산화탄소를 활용해 합성연료로 변환하는 기술)에 대한 특허를 보유하고 있다 (CE 2022a).

카본엔지니어링社는 2015년 매일 약 1톤의 이산화탄소를 포집할 수 있는 규모의 DAC 설비에 대하여 습식 포집 방식을 활용한 소규모 실증을 수행하였다. 캐나다 밴쿠버 인근의 스쿼미시(Squamish)에 DAC 습식 설비에 대한 실증 설비를 구축하여 '포집'에 대한 활용가능성을 검증하였다 (CE 2022b).

카본엔지니어링社는 2017년부터 기존의 DAC 실증 설비에 DACCU 차원에서 합성연료 제작 시설을 함께 운영하기 시작하였다. 포집된 이산화탄소를 이용하여 차량용 연료로 사용이 가능한 합성연료 제작 설비를 함께 운영하기 시작하였다. 카본엔지니어링社는 이 기술을 '공기에서 온 연료(Air-to-Fuel)' 기술이라 명명하였다 (CE 2022c).

카본엔지니어링社는 연 포집량 1백만 톤 규모의 대규모 시설을 2024년부터 가동하는 것을 목표로 현재 설비 공사 중에 있다 ([그림 3-4] 참조) (CE 2022b). 카본엔지니어링社는 정유회사 '옥시덴탈(Occidental)'의 투자를 받아 대규모 포집 설비를 미국 텍사스의 산유지인 퍼미안 분지(Permian basin)에 건설 중에 있다. 원래 연 포집량 50만 톤 규모로 계획했으나 최근 DAC 기술에 대한 관심이 증가하며 설비의 규모를 키워 연간 1백만 톤을 포집할 수 있는 설비로 건설하기로 하였다. 이 규모는 연간 약 25만 대의 차량에서 발생하는 이산화탄소를 포집할 수 있는 규모로, 계획대로 완공된다면 세계 최대 규모의 설비이다. 카본엔지니어링社는 이 포집 설비에서 포집한 이산화탄소를 유전 안에 주입하는 '원유회수증진(EOR, enhanced oil recovery)' 기술을 통해 이산화탄소를 저장하고자 한다.

[그림 3-4] 카본엔지니어링社가 건설 중인 대규모 실증 설비의 조감도

출처: CE(2022d)에서 발췌

3.2. 해외 DAC 건식 포집 기술 동향: Climeworks 社

DAC의 건식기술을 보유한 대표적인 회사인 스위스의 클라임웍스社는 이산화탄소 포집을 연구하던 스위스의 ETH 취리히 대학의 스핀오프(spin-off) 기업으로 시작한 만큼 'DAC 건식 포집용 흡착제'에 대한 자체 기술과 이에 대한 특허를 다수 가지고 있다. 또한 포집 설비와 포집된 이산화탄소를 활용하는 기술에 대한 특허도 보유하고 있다 (Climeworks 2022a).

이러한 기술을 바탕으로 스위스의 클라임웍스社는 2009년에 스위스 힌윌(Hinwil)에서 연간 900 tCO_2의 이산화탄소를 포집할 수 있는 규모로 소규모 건식포집 기술 실증을 수행하였다 (Climeworks 2022b). 클라임웍스社는 흡착제의 단가를 낮추기 위해 저렴한 셀룰로오스 기반의

지지체를 활용하여 생산된 흡착제로 건식 포집 실증을 수행하였다. 또한 클라임웍스社는 자사의 실증 설비를 모듈화하여 원하는 규모만큼 모듈을 이어 붙이는 방식으로 설비를 구축하였는데, 2009년 소규모 실증에서는 연포집량 50 tCO_2 규모의 단위모듈을 총 18개 활용하여 연간 900 tCO_2의 이산화탄소를 포집할 수 있는 규모의 실증 설비를 구축하였다.

소규모 실증을 성공적으로 마친 후, 클라임웍스社는 연간 4,000 tCO_2의 이산화탄소를 포집할 수 있는 대규모 건식 포집 설비 '오르카(Orca)'를 [그림 3-5]와 같이 아이슬란드 헬리셰이디(Hellisheiði)의 지열발전소 옆에 설치하여 2021년부터 운영을 시작하였다 (Climeworks 2022c). 지열발전소는 발전을 위해 땅 속 깊은 곳에 물을 주입한 후, 땅 속의 열로 주입한 물을 가열하여 활용하는 발전 방법이다. 이산화탄소 지중저장을 위해서도 땅 속으로 파이프를 연결할 필요가 있으므로, 유사한 설비가 이미 운영 중인 지열발전소 인근에서 DACCS 설비를 효과적으로 운영할 수 있다. 클라임웍스社는 이산화탄소 지중저장을 위하여 카브픽스(CarbFix) 社에서 개발한 현무암 탄산화 기술을 활용하고 있다. 이는 이산화탄소를 물과 함께 현무암 지층에 주입한 후 현무암이 주입된 이산화탄소로부터 형성된 탄산 이온과 화학적으로 반응하는 것을 이용하는 지중저장 기술이다.

[그림 3-5] 클라임웍스社에서 현재 운영 중인 대규모 실증 설비 '오르카(Orca)'
출처: Climeworks(2022c)에서 발췌

클라임웍스 사는 2022년 '오르카'보다 규모를 더 키운 대규모 건식 포집 설비 '매머드(Mammoth)'를 아이슬란드 헬리셰이디에 건설하기 시작하였다 (Climeworks 2022d). 대규모 포집 설비 '오르카'의 경험을 바탕으로, 규모를 더 키운 포집 설비 '매머드'를 2022년부터 건설하기 시작하였는데, 매머드의 포집 규모는 연간 36,000 tCO_2로, 기존

‘오르카’의 9배에 달하는 대규모이다. 클라임웍스社는 지속적으로 상용 건식 설비를 구축하여 운영 중인 설비들을 합쳤을 때 2030년까지 연포집량 수백만 톤, 2050년까지 연포집량 1기가톤(gigaton)의 규모를 달성하는 것을 목표로 하고 있다.

이러한 설비들을 통해 클라임웍스社는 대기 중에서 포집한 이산화탄소를 지중저장하는 것을 우선적으로 고려하고 있으나, 이산화탄소를 합성연료로 활용하는 것에 대한 R&D 협력도 진행하고 있다. 클라임웍스社는 네덜란드 로테르담(Rotterdam)에 있는 헤이그공항(The Hague Airport)과 지속가능한 항공유(SAF, sustainable aviation fuel) 업체인 스카이엔알지(SkyNRG)와의 협력을 통해 대기 중에서 포집한 이산화탄소를 합성연료로 활용해 항공유를 대체하는 것에 대한 실증을 추진하고 있다. 네덜란드 로테르담은 항공유의 주성분인 등유의 유럽 최대 교역지라는 점에서 의미가 더 크다고 할 수 있다. 또한 클라임웍스社는 노르웨이 오슬로(Oslo)에서 합성연료 업체인 선파이어(Sunfire), 노르웨이 풍력발전 업체인 발리노르(Valinor), 철강 엔지니어링 회사 폴워스(Paul Wurth)와 함께 DAC를 통해 포집한 이산화탄소로 합성연료를 만드는 것에 대한 실증을 추진하고 있다. 특히 노르웨이의 잉여 재생에너지 자원을 활용한다는 점에서 ‘Power-to-X[62]’ 차원의 접근이라고 할 수 있다.

3.3. 국내 DAC 기술 동향: ㈜로우카본社

우리나라 기업인 ㈜로우카본은 산업공정에서 발생하는 이산화황과 이산화탄소를 제거하는 기술을 보유하고 이를 국내외 산업 현장에서 사업화한 국내 기업이다. ㈜로우카본은 화석연료 및 산업공정(FFI) 설비에서 활용되는 일반 CCS 기술 차원에서 활용될 수 있는 자체 습식 포집제를 개발하였고, 이 포집제는 KLC라는 상품명을 가지고 있다. 이 KLC 습식 포집제는 강염기 수용액 기반의 포집제로, 일반 CCS에서 활용되는 독성과 휘발성이 강한 아민 기반의 포집제와 다르다. 따라서 대기에 노출되어 있는 열린계에서 이산화탄소를 제거하는 DAC 시스템에도 사용이 가능하다. 이에 ㈜로우카본은 동 습식 포집제를 활용하여 DAC 기술의 소규모 실증을 진행하고 있다. 한편, ㈜로우카본은 포집 후 이산화탄소 분리 과정이나 추가적인 이산화탄소 활용 과정 없이 포집 단계에서 이미 산업공정에서 널리 사용되는 화학물질인 탄산나트륨(Na_2CO_3)이나 탄산칼슘($CaCO_3$)이 합성된다. 즉, KLC 포집제가 이산화탄소와 결합되는 순간 이미 화학제품이 생선된다는 점이 특징임. 이는 습식 포집 방식의 선도기업인 카본엔지니어링社 등이 포집 후 이산화탄소를 분리해내는 별도의 과정을 거치는 것과 달리 포집 과정만으로 DACCU의 최종생산물을 얻을 수 있다는 점이 차별화되는 장점이다. 반면, 포집제 재생 과정이 없으므로 지속적인 포집을 위해서는 포집제를 계속 신규로 공급해줘야 한다는 점은 고려해야할 사항이다.

㈜로우카본은 자체 개발한 이산화탄소 습식 포집제를 DAC에 적용하는 소규모 실증을 수행하였고, 이를 바탕으로 관련 기술 사업화를 추진하고 있다. 소규모 실증을 진행한 결과 15일간 295.58 $kgCO_2$ 만큼의 이산화탄소를 포집하였다. 이를 1년(365일)으로 환산할 경우, 동

62) Power-to-X란 재생에너지 발전을 통해 얻어진 잉여 전력을 다른 형태로 전환하여 저장하는 것을 의미한다. 대표적인 예로는 잉여 전력으로 물을 전기분해해 그린수소를 생산하는 것을 들 수 있다.

소규모 실증 설비는 연간 약 7.2 tCO_2 만큼의 대기 중 이산화탄소를 포집할 수 있음을 알 수 있다 ([그림 3-6] 참조).

㈜로우카본은 상기 실증 경험을 바탕으로 DAC 기술에 대한 상용화를 추진하고 있다. 해당 공정에 대하여 국내 특허를 취득하였고(특허번호 10-2432476), ‘Zero C’라는 상품명으로 사업화를 추진하고 있다.

[그림 3-6] ㈜로우카본의 DAC 기술 소규모 실증 설비

출처: 한국기계연구원(2022)에서 발췌

4. 우리나라 DAC 기술의 활용 계획

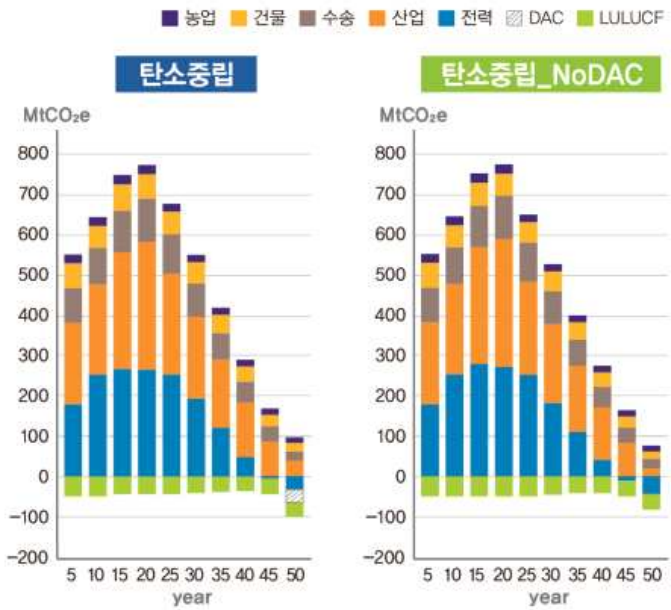
4.1. 우리나라 탄소중립 목표 달성과 DAC 기술의 중요성

최근 우리나라에서도 DAC 기술에 대한 적용이 검토되기 시작하였다. 대표적으로 우리 기관에서는 DAC 기술을 우리나라에 도입하기 위한 R&D 정책 방향성에 대한 연구를 수행하였고 (송예원・오채운 2022), 한국과학기술원의 엄지용 교수 연구팀은 “한국형 통합평가모형 분석” 연구를 수행하였다. 이 중, 엄지용 교수 연구팀의 연구에 따르면, 우리나라가 2050년 탄소중립 목표 달성을 위해 DAC 기술을 활용하는 것이 활용하지 않는 것보다 더 효과적이라고 분석되었다. 2050년에도 여전히 산업・수송・건물 부문에서 잔여 배출량이 발생할 수밖에 없으므로 이를 상쇄하기 위한 이산화탄소제거 접근법이 필요하며 특히 DAC 기술 활용이 필요한 것으로 나타났다. 이에, DAC 기술의 장기적인 연구개발과 실증사업이 필요하며, 이를 통해 경제성 확보 방안을 모색해야 한다는 의견이 주장되었다 (엄지용 외 2021, p. 5).

이를 자세히 살펴보면, 엄지용 외(2021)는 2021년, 한국형 통합평가모형(IAM, Integrated Assessment Model)을 개발하며 2050년 탄소중립 목표 달성을 위하여 DAC 기술을 활용하는 것과 활용하지 않는 것에 대하여 각각 시나리오를 분석하며 DAC 기술 도입의 효과를 연구하였다. 연구 결과에 따르면, 2050년 탄소중립을 위해서는 현행 국가결정기여(NDC) 상의 국가감축목표보다 더 급진적인 탈탄소화 정책이 필요하였다. 2050년에도 여전히 산업・수송・건물 부문에서 잔여 배출량이 발생할 수밖에 없으므로 토지이용, 토지이용 변경 및 임업(LULUCF, land use, land use change, and forestry)에 대한 관리와 BECCS 및 DAC 기술을 도입하여 잔여 배출량을 상쇄해야 하는 것으로 분석되었다. 특히 DAC 기술을 활용하여 연간 약 30 $MtCO_2$를 제거해야 하는 것으로 분석되었다 (엄지용 외 2021, p. 25).

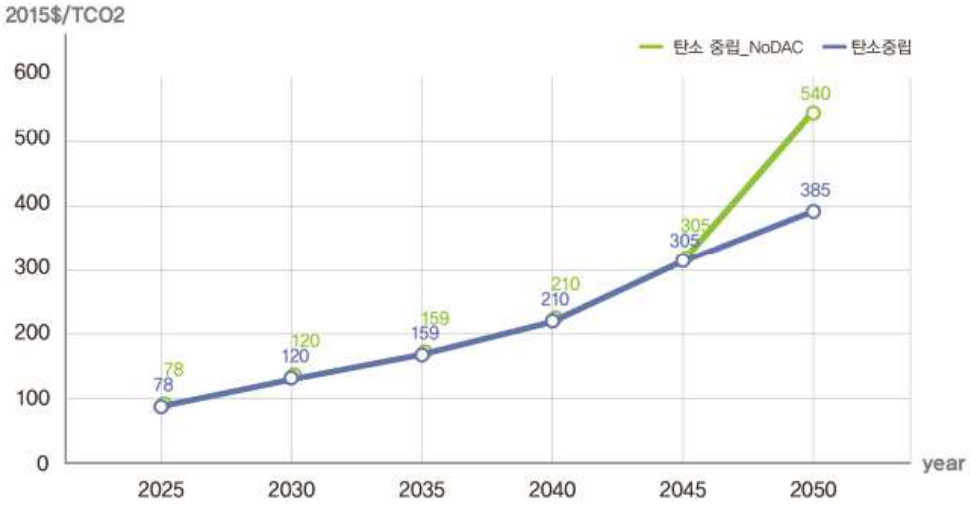
이러한 잔여 배출량을 상쇄하는 데에 DAC 기술을 활용하지 않을 경우, DAC 기술 외의 다른 CDR 옵션에 더 의존하여야 한다는 부담이 있다. 특히, 전력 부분에서 BECCS 기술의 의존도를 높여 순-네거티브(net negative) 배출의 발전 시스템을 더욱 확대해야 함을 시사한다 ([그림 3-7] 참조) (엄지용 외 2021, pp. 18, 25). 그러나 BECCS 기술 역시 우리나라에서 한 번도 시도되지 않았으며, 추가적인 연구 및 실증이 필요한 기술로 불확실성이 크다. 더군다나 바이오에너지를 위한 대규모 농작물 생산 토지가 필요한데, 이를 충당할 수 있는 지역이 우리나라에 있는지 우려가 있다 (IPCC 2022, Sec. 7.4.4).

아울러 DAC 기술은 이산화탄소 배출권의 가격 부담을 낮춰주는 역할을 할 수 있다. 우리나라에 DAC 기술이 도입되어 활용된다면 2050년 이산화탄소 가격은 1톤당 미화 385 달러로 분석되나, DAC 기술이 우리나라에서 활용하지 못할 경우 540 달러까지 올라갈 것으로 분석되었다 ([그림 3-8] 참조). 즉, DAC를 활용하지 않는다면 탄소가격이 증가하여 에너지 소비량이 감소하게 되고, 이는 경제 전반을 위축시킬 수 있다. 구체적으로는 2050년 1차 에너지 소비량이 5% 감소하게 될 것으로 분석되었다 (엄지용 외 2021, p. 26).



[그림 3-7] DAC 기술 활용 및 非활용 시 2050 부문별 배출량 경로

출처: 엄지용 외(2021)의 <그림 17>에서 발췌



[그림 3-8] 2050년 탄소중립을 위한 탄소 가격 전망

출처: 엄지용 외(2021)의 <그림 16>에서 발췌

4.2. 2050 탄소중립 시나리오에서의 활용 계획

우리나라 정부가 2021년 도출한 '2050 탄소중립 시나리오'는 모든 화석연료 화력발전을 중단하는 A안과 LNG 발전을 일부 활용하는 B안으로 구성되어 있다. 이 중, B안에 수송 부문의 탄소중립 전략으로 DAC 기술의 활용에 대한 내용이 포함되어 있다 (2050탄소중립위원회 2021, pp. 31-32). 우리나라 2050 탄소중립 시나리오 B안의 경우, 다양한 완화 노력에도 불구하고 수송부문에서 2050년 배출될 것으로 예상되는 7.4 $MtCO_2$의 잔여 배출량을 DAC 기술을 활용해 이산화탄소를 포집한 후 CCU 기술을 통해 합성연료로 변환하여 이를 다시 수송 부문에서 활용하는 계획을 가지고 있다. 이는 수송 부문의 탄소순환 사이클을 형성하는 것이다 (2050탄소중립위원회 2021, p. 63).

이산화탄소를 연료로 변환하는 데에는 피셔-트롭쉬 공정(Fischer-Tropsch process)이 주로 활용된다. 이는 일산화탄소 혹은 이산화탄소와 수소를 활용하여 액체 형태의 탄화수소[63]를 만드는 공정이다. 이 때, 공정에 필요한 수소는 재생에너지로 발전된 전기로 물을 전기분해하여 생산되는 그린수소를 활용하는 것을 가정한다 ([그림 3-9] 참조).

63) 탄화수소는 탄소와 수소의 화합물을 지칭하는 용어로, 화석연료 역시 주성분이 탄화수소이다. 따라서 인공 합성연료 역시 화석연료와 유사한 탄화수소의 형태로 만들어지게 된다.

[그림 3-9] 2050 탄소중립 시나리오에서 밝히고 있는 DAC 활용 계획

출처: 2050탄소중립위원회(2021)의 63쪽에서 발췌

2050 탄소중립 시나리오 상에서 밝힌 DAC를 통한 이산화탄소 제거량은 앞에서 인용한 한국과학기술원의 엄지용 교수 연구팀의 연구 결과 예측치보다 훨씬 규모가 작다. 이는 시나리오 분석에 사용된 가정과 도입하는 기후변화 감축 전략이 서로 다른 데서 기인한다. 그러나 DAC 기술이 우리나라 감축 전략에 있어 중요하다는 점은 동일하다.

5. 우리나라 탄소중립 달성을 위한 DAC 기술의 향후 과제

5.1. DAC 기술에 대한 우리나라 R&D 방향성

DAC 기술의 핵심은 포집제와 포집 공정으로 볼 수 있다. 전 세계에서 대규모 실증까지 이루어진 DAC 기술을 중심으로 우리나라가 활용하고자 한다면, 우선 DAC 기술의 핵심인 포집제 및 포집 공정과 관련된 기술을 우리나라가 보유하고 있는지 그 현황을 파악하고, 부족한 기술에 대한 R&D와 보유 기술에 대한 실증 노력이 필요하다. 또한, DAC 기술은 자체적으로 존재하기 보다는 포집된 기술을 저장 및 활용하는 기술과 연계될 때 이산화탄소 제거가 최종적으로 이루어지는바, 저장 및 활용 기술에 대한 R&D 역시 필요하다.

습식 포집 기술의 경우 포집제로 활용되는 강염기 수용액을 저렴하고 용이하게 구할 수 있으며, 그 공정도 제지 산업에서 이미 경험이 축적된 크라프트 공정과 유사한 공정이 활용가능하므로, 원천기술 개발에 대한 부담이 크지 않다. 따라서 실증사업 중심으로 소규모 실증부터 시작하여 점차 규모를 키워가는 방식으로 접근할 필요가 있다. 다만, 고온의 열과 많은 양의 물을 필요로 한다는 점과 이에 따라 설비의 입지 선정에 어려움이 있을 수 있다는 점을 반드시 고려해야 하며, 이에 따라 포집 설비의 입지를 결정할 때 가스화력발전 설비 부근을 우선적으로 검토할 필요가 있다.

건식 포집의 경우 DAC에 적합한 흡착제를 새로 개발해야 한다는 부담이 존재한다. 그러나 흡착제는 DAC에 특화한 활용 목적이 아니라 다양한 분야에서 활용하기 위하여 현재에도 대학을 중심으로 원천기술 연구가 이미 여러 건 진행되고 있다. 이를 토대로, DAC를 흡착제 원천기술 확보를 위한 R&D 사업 추진을 고려할 수 있다. 다행히도 포집 공정이 비교적 단순하므로 흡착제 개발이 완료된다면 신속히 실증사업을 추진할 수 있을 것으로 사료된다. 다만, 건식 포집을 위한 흡착제의 가격이 습식 포집제보다 고가이며, 모듈화된 포집 설비의 특성상 대규모로 구축할 시 설비 규모대비 포집량이 같은 규모의 습식 설비보다 적을 수 있다는 점에 대한 검토가 필요하다.

DAC로 포집한 이산화탄소를 저장 또는 활용하는 기술에 대한 R&D도 필요하다. 특히, 2050 탄소중립 시나리오 B안에서와 같이 포집한 이산화탄소를 차량용 연료로 활용할 수 있도록 화학변환 CCU 기술과 연계하여 R&D 실증 사업을 기획할 필요가 있다. 여기에는 연료에 적합한 합성연료를 생산할 수 있는 적절한 피셔-트롭쉬 공정 방법* 개발 및 그 효율 개선을 위한 연구, 합성연료 생산에 필요한 그린수소 생산 기술 및 그 전략에 대한 연구 등이 포함된다.

5.2. 국내 기보유 기술의 지원

상기 언급된 해외에서 대규모 실증까지 이루어진 습식 및 포집 방식이 아니라, 우리나라에서도 자체적인 DAC 기술을 보유하고 있다. ㈜로우카본은 해외 DAC 기술 기업이 접근하고 있는 바와는 달리 일반 CCS 기술과 DAC 기술에 모두 적용 가능한 범용성이 큰 습식 포집제를 개발하였다. 당초 동 포집제는 이산화탄소포집・활용(CCU) 즉 포집된 이산화탄소의 자원화를 목표로 개발되었다. 이에, 습식 포집 방식에 필요한 이산화탄소 분리 및 포집제 재생 공정을 거치지 않고, 포집 공정만으로 최종 화학제품이 생산되는 상당히 혁신적인 방식이다. 또한, 기술 접근성이 높을 뿐만 아니라 기술의 해외 확산 잠재력도 크다고 볼 수 있다. 물론 이는 아직 ‘소규모 실증’ 상태이다. 따라서 이러한 혁신 기술에 대한 우리나라의 기술 주권을 높이고 해외 확산 가능성을 모색할 필요가 있다. DAC 기술 실증 기업을 대상으로 대규모 실증에 대한 공공지원이 민-관 파트너십 형태가 고려될 수 있다.

5.3. DAC 기술 촉진을 위한 정책 및 제도 마련

향후, DAC 기술의 연구・개발・실증 및 향후 활용까지 촉진하기 위해서는, DAC 기술 적용시 도출되는 이산화탄소 제거량에 대한 경제적 보상 등이 이루어질 수 있는 정책 및 제도 등이 필요하다. 이를 위해서는 DAC 기술을 활용한 이산화탄소 제거량을 정량화할 수 있는 방법론에 대한 연구가 필요하고, 다음으로는 이산화탄소 제거량에 대한 경제적 보상 체계를 연계하는 것이 필요하다. 대표적으로, 세제혜택, 국가 감축목표 달성 활용, 배출권거래제 배출권으로 활용 등이 있다.

먼저 방법론 측면에서는, DAC 기술로 포집한 이산화탄소에 대한 감축 실적 인정 방법론에 대한 개발이 필요하다. 즉, 기업이 DAC 기술 적용 시 이산화탄소 감축량의 정량화를 위한 방법론이 필요하며, 이를 통해 기업이 공신력 있는 '제거 실적(removal credit)'을 획득할 수 있어야 한다. 기존 CCS 기술에 대한 감축 결과물 계산 방법론이 DAC 기술에도 적용가능한 지 여부를 살펴볼 필요가 있다. 또한, 아직 공식적으로 도출되거나 인정되지 못한 DACCU 기술 적용 시의 감축 결과물 계산 방법론 개발에 대한 연구가 필요하다. 특히 우리나라는 2050 탄소중립 시나리오를 통해 합성연료 형태로 DACCU 활용을 계획한바, 이에 대한 감축 실적 인정 방법론을 개발하고 이것이 국제사회에서 인정될 수 있도록 노력하여야 한다.

또한 배출권거래제도 상의 감축 결과물 활용에 대해서도 고려하여야 한다. 우리나라 배출권거래제도에서 현재 DAC 기술을 활용한 감축 결과물을 인정하고 있지 않다. 따라서 이에 대한 사항이 포함된다면 향후 민간 및 공공 부문에서 이에 대한 R&D 및 실증 촉진으로 이어질 것으로 보인다. ETS의 탄소 가격이 정상화되고 DAC 기술을 활용한 감축 실적이 탄소시장을 통해 거래될 수 있다면, 이를 통해 DAC 기술 기업이 수익을 창출할 수 있다.

한편, 미국의 45Q 세액공제 제도와 같이 우리나라도 DAC 기술을 활용한 감축 실적에 대하여 해당 기업에 세액공제를 해주는 것을 고려해볼 필요가 있다. 이는 DAC 기술만을 목적으로 하는 기업이 아닐지라도, 관련 기술(흡착제 기술, 크라프트 공정 기술 등)을 보유한 기업이 DAC 사업에 진출하도록 하는 효과를 창출할 수 있다.

아울러 DAC 기술 기업에 대한 직접적인 지원이 아닐지라도, 온실가스 배출에 대한 여러 규제를 통하여 DAC 기술 기업을 간접적으로 지원할 수 있다. 예를 들어 미국 캘리포니아 주에서 시행 중인 저탄소연료표준(LCFS, Low Carbon Fuel Standard)의 경우, 연료 기업에서 판매하는 연료의 온실가스 발생 최대치를 제한함으로써 각 연료 기업은 자신이 판매하는 연료가 동 표준을 만족할 수 있도록 DAC를 포함한 다양한 감축 기술을 활용하게 된다. 즉 이러한 규제 제도를 통하여 DAC 기술의 보급을 촉진하는 효과를 기대할 수 있다. 우리나라 역시 이러한 표준, 사용제한 등의 온실가스 배출 규제를 통하여 DAC 기업을 지원할 수 있다.

제 2 절 (중점 연구) 직접대기탄소포집・저장(DACCS) 기술 연구 (직접대기포집저장기술(DACCS)의 기술 도입 정책 결정요인 분석 연구)

1. 서론

2015년에 채택된 파리협정은 지구온난화를 산업화 이전 대비 2℃ 이하로 제한하고 1.5℃로 제한하기 위한 노력을 추구해야 한다는 전 지구 온도 목표를 설정하였다. 2018년 기후변화에 관한 정부 간 패널(IPCC)의 “지구온난화 1.5℃” 특별 보고서는 1.5℃ 온난화 경로로 전기화, 수소 활용, 이산화탄소포집・활용・저장(CCUS)과 이산화탄소 제거(CDR) 접근법 등의 완화 기술 및 관행이 포함된 1.5℃ 온난화 경로를 제시한다 (IPCC, 2018, SPM.C.2). 동 특별보고서에 따르면 완화 노력의 수준에 관계없이 CDR 접근법은 1.5℃ 목표를 달성하는 데 필수적이다. 배출원으로부터 온실가스(GHG, greenhouse gas)를 감축하는 일반적인 완화 노력과 달리, CDR 접근법은 생물학적, 지구화학적, 화학적 수단을 사용하여 특정 배출원 없이 대기 중으로부터 탄소를 제거하는 접근법이다 (Ibid., Glossary). 또한 최근 발표된 IPCC 제6차 평가보고서의 제3실무그룹(완화) 보고서는 CDR 접근법을 주요한 완화 옵션으로 주목한다. 동 보고서에서는 다양한 CDR 접근법 중에서도 조림 및 재조림(A/R)과 바이오에너지 이산화탄소포집・저장(BECCS)의 역할에 주목하고 있으며, 직접대기탄소포집・저장(DACCS) 기술의 중요성이 커지고 있음을 밝히고 있다 (IPCC, 2022a, Cross-chapter Box 8).

본 연구에서는 직접대기탄소포집(DAC), CO_2 수송 및 저장 기술로 구성된 연쇄 기술인 DACCS 기술에 주목하고자 한다. DACCS 기술은 화학적 흡수제를 활용하여 주변 대기 중에서 CO_2를 포집한 후, 운송하여 저장소에 격리하는 방식으로 CO_2를 장기적으로 제거한다. 선행 연구에서는 이와 관련하여 기술, 경제적 실행 가능성, 환경 영향 및 사회적 수용 측면에서 기술적 타당성을 분석하였다. 이러한 선행 연구는 DAC 관련 기술이 대규모 실증 및 확산으로 나아가기 위해서는 추가적인 기술 및 정책 관련 노력이 필요하다고 지적하고 있다 (Capanna et al., 2021).

한편, 캐나다 카본엔지니어링社나 스위스 클라임웍스社 등 자체 DAC 기술을 보유한 민간 기업들이 대규모 실증사업을 성공적으로 수행했다는 점을 주목할 만하다. 클라임웍스社는 연간 4 $ktCO_2$ 규모의 대규모 DACCS 실증 설비를 완공하고 2021년 아이슬란드 헬리셰이디에서 상업 운영을 시작했으며 현재 같은 위치에 더 큰 규모의 설비를 건설 중이다 (Climeworks, 2022a). 카본엔지니어링社의 경우 현재 미국 퍼미안 분지(Permian Basin)에 연간 1 $MtCO_2$ 규모의 CO_2 포집 능력을 갖춘 대규모 DACCS 실증 시설을 건설 중이며, 2024년부터 상용운영에 돌입할 계획에 있다(CE, 2022a).

현재 DAC 기술의 활발한 실증 성과는 DAC 기술에 대한 학술적 연구 주제가 DAC 기술의 기술적 타당성으로부터 기업 수준의 조직 경영 분야로의 전환이 필요하다는 것을 보여준다. 이러한 차원에서 다음과 같은 연구 질문이 가능하다. “아직 성숙하지 않은 기술 및 정책 환경에서 DAC 기술에 대한 실증사업을 수행하고 확대하기로 한 기업의 결정을 결정하는 요인으로

기업 수준에서 어떤 요인이 작용합니까?" 이 질문에 답하기 위해 본 연구에서는 카본엔지니어링社에 대한 질적 사례 연구를 수행하였다. 제2절은 기업의 의사결정 결정요인, 특히 녹색기술혁신(eco-innovation)에 관한 문헌 분석에 대한 내용을 다룬다. 제3절은 분석틀로 ①시장 견인(market-pull), ②기술 주도(technology-push), ③규제 엄격성(regulatory stringency) 요인을 설정하고 각 요인에 대한 결정요인에 대한 내용을 다룬다. 이러한 분석틀을 기반으로 제4절은 사례연구의 분석 결과와 정책적 시사점을 담고 있다. 마지막으로 제5절은 결론으로 본 연구 내용을 요약하고 학술적 함의에 대한 내용을 다룬다.

2. 기존 연구

대기 중에서 온실가스를 제거할 수 있는 높은 잠재력으로 인해 DAC 기술에 대한 이전 연구는 주로 기술의 실증과 확산에 대한 실현가능성에 중점을 두었다. 이러한 연구는 세 가지 범주로 분류할 수 있다. 첫째, 기술적 타당성 측면에서의 선행 연구들은 대기 중 CO_2 포집에 사용되는 물질(액체 흡수제 또는 고체 흡착제)별로 DAC 기술 종류를 구분하여 연구하였다 (McQueen et al., 2021). 또한 포집 공정에서 상대적으로 높은 에너지를 요구한다는 점에서 DAC 기술 종류별 장단점을 분석하였다 (de Jonge et al., 2019; Azarabadi & Lackner, 2020). 한편, 포집과정에서 포집된 CO_2의 정확한 양을 측정하는 방법론도 연구되고 있다(Park et al., 2020). 이러한 연구는 일반적으로 DAC 기술이 실증 및 확산 단계로 갈 만큼 성숙하지 않고 더 많은 후속 연구 및 개발 노력이 필요하다고 밝히고 있다.

둘째, 경제성 측면에서의 연구는 대부분 대기 중에서 CO_2를 포집하는 데 드는 높은 비용에 초점을 맞추고 있다. 현재 1 tCO_2를 제거하는 비용은 평균적으로 약 200달러이며, 이는 액체 흡수제 유형의 DAC 기술을 활용해 규모의 경제를 달성한다면 94달러까지 낮아질 수도 있다 (McQueen et al., 2021; Keith, 2018; Gertner, 2019). 이에 따라 탄소세, 세액공제, 배출권거래제, 배출성과기준 등 높은 포집 비용을 상쇄할 수 있는 정책적 방안이 연구되고 있다 (Global CCS Institute, 2019). 또한 적절한 저장소를 찾고 포집된 CO_2를 저장소로 수송하여 격리하는 비용 역시 DAC 기술의 경제성을 가로막는 장애요인으로 여겨진다 (IPCC, 2022a, Sec. 12.3.1). 또한 포집된 CO_2 활용 제품을 취급하는 전문적인 시장이 부족하다는 점 역시 장애요인으로 여겨진다 (Meckling & Biber, 2021). 또한 현재의 탄소시장 시스템에서는 DAC 기술에 의한 탄소 제거가 적격한 완화 활동이 아니라는 점 역시 경제적 장애요인이 되고 있다.

셋째, 사회적 수용과 환경적 타당성의 관점에서 기존 연구들은 주로 물 손실 및 토지 사용에 초점을 맞추고 있다. 물 손실은 액체 흡수제 방식의 DAC 기술이 상당한 양의 물을 필요로 한다는 점에서 사회·환경적으로 문제가 될 수 있다 (Fasihi et al., 2019). 그러나 토지 사용 측면에서는 DAC 시설이 약 1.5 $m^2/tCO_2/yr$ 이하의 비교적 작은 면적만을 필요로 하기 때문에 여타 CDR 방법보다 환경적으로 더 유익하다고 할 수 있다 (Realmonte et al., 2019).

이러한 연구들은 ①각 연구마다 관점은 조금씩 다를지라도 이들은 기술 중심의 연구이고, ②실험실 규모 및 현장 실증을 통해 DAC 기술의 성능에 대한 연구가 수행되었으며, ③DAC 기술이 널리 확산되기에는 충분히 성숙하지 않았다는 점을 전제로 한다는 점에서 공통점을 갖는

다. 그러나 대규모 실증사업이 성공적으로 수행되고 DAC 기술의 대규모 도입을 위한 시설 건설이 진행되고 있는 현재의 상황에 주목할 필요가 있다. 또한 대규모 DAC 기술 실증의 대부분이 국가 연구기관이 아닌 민간 기업에서 이루어졌다는 점도 주목할 만하다. 이러한 관찰을 통해 기업이 새롭고 혁신적이며 불확실한 DAC 기술의 대규모 시연 및 배포를 수행하도록 결정하는 요인이 무엇인지 묻게 된다. 기술은 사업 운영을 결정하는 유일한 요인이 아니다. 기업은 시장의 다양한 환경을 고려하여 기술 전략을 수립하기 때문에 기술 외의 다른 요인의 역할 역시 무시할 수 없다 (Zahra, 1996; Szczygielski et al., 2013). 그러나 이러한 연구 질문을 바탕으로 한 연구, 특히 DAC 기술에 대한 이러한 연구는 부족한 실정이다. 따라서 기술 중심의 관점에서 기업 차원의 기술 실증 및 배치에 대한 조직 경영 관점으로 초점을 전환하는 것이 중요해 보인다.

기술 채택의 경영 결정요인에 대한 관련 질문을 다루는 연구는 다수 존재한다 (Oliveira & Martins 2011; Tsai 2012). 그러나 DAC 기술은 '환경적 목적이 있다'는 점과 'R&D 단계의 신기술'이라는 점에서 일반적으로 기업이 다루는 기술과는 다소 다른 특성을 가지고 있다. 따라서 DAC 기술의 실증이 기업의 '녹색기술혁신'에 대한 의사결정의 일부로 이해될 수 있을 정도로 연구하고자 하는 문헌의 범위를 확대할 필요가 있다. 녹색기술혁신은 경영적 차원에서 제품의 수명주기와 환경적 전략에 초점을 맞추어 기업의 지속가능성과 경제 전반에 긍정적으로 기여할 수 있는 제품이나 생산공정을 개발하는 과정으로 정의할 수 있다 (OECD, 2010, p. 15). 이와 관련하여 녹색기술혁신에 대한 다음 세 연구에 집중할 수 있다.

첫째, Wang et al.(2018)은 경영적 요인에 초점을 맞추어 기업의 기후변화 완화를 위한 기술 포트폴리오에 대한 결정요인을 연구하였다. 저자들은 결정요인을 ①책임 위임, ②기업의 인센티브 정책, ③위험 인식의 세 가지로 분류하였다. 먼저 책임 위임은, 기업의 직급 체계에서 자원, 정보 및 자본에 더 잘 접근할 수 있는 더 높은 위치에 있는 직원에게 기후변화 완화에 대한 책임이 있는 경우 녹색기술혁신을 위한 활동이 더 많이 이행된다는 것을 의미한다. 인센티브 정책은, 기업의 기후변화 대응에 기여한 직원에게 인센티브를 지급할 때 기업 내에서 지속가능성을 제고하는 활동을 장려할 수 있다는 것을 의미한다. 마지막으로 위험 인식은, 기업 경영인들이 기후변화 완화에 대한 이해관계자들의 압력을 얼마나 인식하느냐에 따라 기업의 녹색기술혁신 활동이 영향을 받는다는 것을 의미한다. 동 연구에서는 248개 기업을 대상으로 각 결정요인의 효과성을 평가하기 위해 회귀모형을 활용하여 3개 결정요인의 평균적인 효과를 분석하였다. 그 결과, 더 높은 직책에 대한 책임 위임이 기업이 다양한 완화 기술을 채택하는 데 도움이 된고, 금전적 인센티브가 비금전적 인센티브보다 훨씬 더 효과적이며, 위험 인식은 오염 제어 기술에 긍정적인 영향을 미치지만 보유하고 있는 기술의 효율성 증가에는 미미한 영향을 미친다는 점이 분석되었다.

둘째, Hojnik and Ruzzier(2016)는 혁신의 개발 단계에 따라 녹색기술혁신의 다양한 동인을 연구하였다. 동 연구에서는 녹색기술혁신의 단계를 ①개발/혁신 단계와 ②도입/확산 단계로 구분하였다. 저자들은 155개의 연구 논문으로부터 녹색기술혁신의 공통적인 동인을 통계적으로 도출하였다. 그 결과, 도출된 모든 혁신의 동인들이 일정 수준의 긍정적인 역할을 하기는 하지만, 그 중에서도 규제 및 시장 견인 요인은 혁신 단계와 상관 없이 항상 지배적인 효과를 보여주었으며, 특히 규제 요인이 가장 큰 역할을 한다는 점이 분석되었다. 또한 기술 주도 요인, 특

히 외부 파트너와의 협력은 주로 개발/혁신 단계에서 녹색기술혁신을 주도하는 반면, 대중의 인식 및 압력, 공급망, 경영적 요인은 도입/확산 단계에서 가장 효과적인 것으로 나타났다.

셋째, Zubeltzu-Jaka et al.(2018)은 기업의 녹색기술혁신 결정요인에 대한 선행 연구를 검토하여 ①시장 견인, ②기술 주도, ③규제 엄격성, ④기업별 요인의 네 가지 클러스터로 분류하였다. 동 연구를 더 자세히 살펴보고자 한다.

네 가지 클러스터 중 시장 견인 클러스터는 ⓐ고객 및 공급업체와의 상호작용과 ⓑ기업 성과의 두 가지 하위 범주로 추가적으로 분류할 수 있습니다. 첫째, 고객과 공급자와의 상호작용 시장의 새로운 수요, 고객 편익, 가치 사슬 내의 공급업체의 영향을 다룬다. 문헌을 살펴보면, 소비자의 환경 의식이 환경 친화적인 제품에 대한 수요를 창출하고 (Horbach, 2008; Rehfeld et al., 2007), 고객에게 이익을 주고 제품에 대한 고객 만족을 제공하는 제품이 제품에 대한 보다 강력한 수요를 창출하며 회사의 경쟁력 향상에 유리하다 (Kammerer, 2009). 공급업체의 관점에서 볼 때, 주로 다른 국가에서 시작된 기업의 녹색기술혁신에는 현지 공급업체의 존재 및 상호작용이 필수적이다 (Cainelli et al., 2012; Horbach, 2008). 둘째, 기업의 경제적 성과는 또 다른 중요한 시장 변수이다. 구체적으로, 과거에 좋은 경제적 성과를 보인 기업은 종종 현재와 미래에 좋은 성과를 낼 가능성이 더 높으며, 이러한 특성을 “경로 의존성”이라고 부른다 (Horbach, 2008). 또한 생산공정에서 비용을 성공적으로 절감한 기업은 제품의 저렴한 가격으로 인해 시장 선호도가 더 높을 수 있다 (Bohas & Poussing, 2016; Horbach, 2008).

둘째, 기술 주도 클러스터는 ⓐ내부 R&D, ⓑ기술 협력, ⓒ경영진의 환경적 관심의 세 가지로 분류할 수 있다. 첫째, 기업의 투자 집약도가 높은 내부 R&D는 혁신의 필수적인 결정요인이 된다 (Sáez-Martínez et al., 2016). 이와 관련하여 기업은 선진 기술을 채택할 수 있는 R&D 역량을 제고하여야 한다. R&D에서 파생된 역량이나 지적재산권과 같은 지식 자본을 개선하는 것도 혁신을 촉발하는 데 중요하다 (Horbach, 2008). 둘째, 내부 R&D뿐만 아니라 대학, 연구기관 또는 공공기관과 같은 다른 이해 관계자와의 기술 협력도 회사 혁신에 도움이 될 수 있다 (Zubeltzu-Jaka et al., 2018; Sáez-Martínez et al., 2016). 셋째, 기업의 경영은 직원들에게 녹색기술혁신의 필요성을 강조할 수 있는 또 다른 중요한 요인이다. 기업은 국가 또는 지역의 환경경영시스템(EMS, environmental management system)의 인증 절차를 통해 기업이 녹색기술혁신을 추진하기 위하여 수행하여야 하는 절차를 확인할 수 있고, 이러한 혁신에 대한 가능성을 검토할 수 있다(Rehfeld et al., 2007; Rennings et al., 2006; Triguero et al. ., 2013). 한편, 경영진은 임직원들에게 교육과 훈련을 제공함으로써 기업의 녹색기술혁신 역량을 강화할 수 있다 (Bohas & Poussing, 2016). 임직원의 인식을 높이는 것은 기업이 환경 목표에 자발적으로 선언하거나 서약하는 데 도움이 될 수 있다.

셋째, 규제 엄격성 클러스터는 ⓐ명령지시적 수단과 ⓑ경제적 인센티브 수단으로 더 분류할 수 있다. 첫째, 명령지시는 온실가스나 대기오염물질과 같은 기후변화유발인자(climate forcers)를 감축하는 데 직접적인 효과를 나타내지만, 단기적으로는 녹색기술혁신에 부정적인 영향을 미칠 수도 있다 (Tang et al., 2020). 또한 “포터 가설(Porter Hypothesis)”이 시사하는 바와 같이 규제는 기업이 혁신적인 기술을 채택하도록 하여 기업의 혁신 잠재력이 실현되도록 간접적으로 돕기도 한다 (Lanoie et al., 2011; Horbach, 2008). 둘째, 보조금, 배출권거래제(ETS, emissions trading system), 세액 공제를 포함한 경제적 인센티브는 환경 친화적인 기술의 개발과 보급을 촉

진한다 (Kunapatarawong & Martinez-Ros, 2016). 그러나 일부 문헌에서는 보조금이나 공공 보조금이 기업의 경쟁력과 추가 혁신에 부정적인 영향을 미칠 수 있다고 분석하기도 한다 (Ghisetti & Rennings, 2014). 배출권거래제의 경우 기업이 배출량을 감축하여 배출권을 구매할 필요가 없도록 하거나, 보유하고 있는 배출권이 남는다면 판매하여 추가 수익을 얻을 수 있도록 장려한다 (Osses, 2019). 한편, 세액공제는 녹색기술혁신을 촉진하기 위하여 국가 또는 지방정부가 가장 먼저 활용하기 시작하는 수단이다 (Jang et al., 2015).

마지막으로 기업별 요인 클러스터는 ⓐ기업 규모와 ⓑ기업 업력으로 다시 분류할 수 있다. 첫째, R&D 지출이 큰 대기업은 중소기업보다 혁신적이기 용이하므로 기업 규모는 기업의 혁신 잠재력에 영향을 미칠 수 있다 (Rehfeld et al., 2007). 둘째, 기업 업력이 녹색기술혁신에 미치는 영향에 대해서는 엇갈린 견해가 존재한다. 일부는 더 오래된 기업이 혁신으로 이어지는 더 넓은 지식 기반과 더 많은 경험을 가지고 있다고 주장하는 반면 (Rehfeld et al., 2007), 다른 사람들은 더 젊은 기업이 더 혁신적인 경향이 있다고 주장한다 (Diederen et al., 2002).

동 네 가지 클러스터와 각 클러스터별 결정요인은 <표 3-3>과 같이 정리가 가능하다. Zubeltzu-Jaka et al.(2018)은 이러한 결정요인을 바탕으로 211,123개 기업의 사례를 메타분석하여 네 가지 클러스터의 효과성을 실증적으로 검증하였다. 분석 결과, 시장 견인 요인과 기술 주도 요인이 다른 요인보다 더 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 그 중에서도 기술 주도 요인 중 하나인 협력 네트워크가 기업이 녹색기술혁신 활동을 채택하고 적용하기로 결정하는 데 가장 효과적인 것으로 분석되었다.

<표 3-3> 녹색기술혁신의 일반적인 결정요인

Determinants	Features	References
Market-pull		
- Customer and supplier performance	[New demand and customer benefit] • Environmental consciousness of consumers (+) • Customer satisfaction (+) • Benefits for the customer (e.g., health, energy savings) (+)	• Horbach (2008) • Rehfeld et al. (2007) • Kammerer (2009)
	[Suppliers in value chain] • Interaction with local suppliers in the value chain (+)	• Cainelli et al. (2012) • Horbach (2008)
- Firm performance	[Past economic performances] • Good performances in the past (path dependencies) (+)	• Horbach (2008)
	[Cost-savings] • Detecting cost-saving potentials (+)	• Bohas & Poussing (2016) • Horbach (2008)
Technology-push		
- Internal R&D	• Internal R&D with high investment intensity (+) • Capabilities to adopt advanced technology and conduct R&D (+) • Improvement of knowledge capital (+)	• Sáez-Martínez et al., (2016) • Horbach (2008)
- Technological collaboration	• Technological collaborative networks with other stakeholders (e.g., universities, research institutes, public agencies) (+)	• Zubeltzu-Jaka et al., (2018) • Sáez-Martínez et al., (2016)
- Environmental concern at the managerial level	[Organizational innovation and schemes] • Certified environmental management system (EMS) (+)	• Rehfeld et al. (2007) • Rennings et al. (2006) • Triguero et al. (2013)
	[Training and Awareness] • Environmental trainings for product developers (+) • Increasing corporate awareness (+)	• Kammerer (2009) • Bohas & Poussing (2016)

Regulatory		
– Command and control instruments	• Command-and-control to reduce climate forcers. (+, −) • Regulation making firms realize innovation potentials (though hard to be recognized) (Porter Hypothesis) (+)	• Horbach (2008) • Lanoie et al. (2011) • Tang et al. (2020)
– Economic incentives instruments	• Subsidies and public grants (+, −) • Emission Trading Systems (ETS) (+) • Tax credit (+)	• Kunapatarawong & Martinez-Ros (2016) • Ghisetti & Rennings (2014) • Osses (2019) • Jang et al. (2015)
Firm-specific		
– Firm size	• Larger firms with larger expenditures for R&D (Schumpeterian hypothesis) (+)	• Rehfeld et al. (2007)
– Firm age	• Older firms with broader knowledge base and more experience (+, −)	• Rehfeld et al. (2007) • Diederen et al. (2002)

출처: Jubeltzu-Jaka et al.(2018)에 기반하여 저자 정리.

이러한 선행 연구를 바탕으로 기업이 DAC 기술의 대규모 실증을 수행하는 것을 결정하게 한 요인에 대해 연구하고자 한다. 이러한 결정요인들에 대해 포괄적으로 접근한 Zubeltzu-Jaka et al.(2018)의 연구를 바탕으로 다음 절과 같이 본 연구의 분석틀을 설정하였다.

3. 분석틀: DACCS 기술 실증 결정요인

기업이 DAC 기술에 대한 실증사업을 수행하고 확장하기로 결정하는 데에 영향을 미친 결정요인을 탐색하기 위해 분석틀을 설정하고자 한다. 이를 위해 Zubeltzu-Jaka et al.(2018)의 연구를 토대로, ①시장 견인, ②기술 주도, ③규제 엄격성의 세 가지 요소를 바탕으로 관련 문헌을 참조하여 DAC 기술에 적합한 결정요인을 다음과 같이 도출하였다.

먼저 시장 견인 요소에 대하여 다음 두 가지 결정요인을 설정하였다. 첫째, 고객 및 공급업체와의 상호 작용이 결정요인이 될 수 있다. 고객 또는 일반 대중의 수요 측면에서는, 다양한 이산화탄소 제거(CDR) 방법론과 그 중에서도 DAC 기술에 대한 대중의 인식이 높아짐에 따라 DAC 기술의 실증에 대한 새로운 수요가 발생할 수 있다. 최근 다양한 CDR 방법론의 완화 잠재력이 주목을 받고 있다. 특히 감축이 어려운 부문(예: 항공 운송 또는 시멘트 생산)의 회사와 비배출 회사(예: 은행 및 온라인 상거래 회사) 모두 탄소 발자국을 상쇄하기 위해 실행가능한 옵션으로 CDR 방법론을 검토하고 있다 (CE, 2022b; Gebald & Wurzbacher, 2022). 또한 공급자의 수요 측면에서는, 포집된 CO_2에 대한 지중 저장소나 탄소활용 기회를 제공할 수 있는 현지 공급자의 존재는 DAC 기술 실증을 위한 긍정적인 결정요인으로 작용할 수 있다 (Cainelli et al., 2012; Breyer et al., 2019; Fuss et al., 2018). 둘째, 기업의 성과 측면에서 소규모 DAC 기술에 대한 파일럿 설비의 성공적인 운영 경험이 긍정적인 결정요인이 될 수 있다. 또한 기업이 DAC 기술 관련 사업에서 수익을 얻었다면 기업은 DAC 실증 확대를 추진할 가능성이 높다 (Crunchbase, 2022a, 2022b).

다음으로 기술 주도 요소와 관련하여 다음 세 가지 결정요인에 주목하고자 한다. 첫째, 기

업의 기술력이 중요하다. 이에 따라 DAC 기술에 대한 R&D 예산의 존재 여부와 규모, DAC 기술 관련 특허 및 기밀 노하우(know-hows), R&D 역량 향상을 위한 지속적인 노력이 기업의 대규모 실증 및 사업 추진 결정에 긍정적으로 작용할 수 있다 (Sáez-Martínez et al., 2016; Horbach, 2008; CE, 2022c; Crunchbase, 2022a, 2022b). 둘째, 다른 이해 관계자와의 기술 협력도 중요한 결정요인이 될 수 있다. DAC 기술을 보유한 회사는 많은 경우 포집 기술에만 집중하고 있으며, 포집된 CO_2의 저장 또는 활용에 대해서는 이러한 전문 지식을 갖춘 다른 회사와 협력한다. 따라서 이러한 협력 네트워크를 구성하여 관련 사업 기회를 늘리는 것은 실증에 대한 기업의 결정에 영향을 미칠 수 있다 (Sáez-Martínez et al., 2016; CE, 2022a; Climeworks 2022). 셋째, 기업 경영진의 환경적 관심은 두 가지 방식으로 실증에 영향을 미칠 수 있다. 하나는 국가 또는 지역의 환경경영시스템(EMS, environemntal management system) 인증과 RE100 및 과학 기반 목표 이니셔티브(SBTi, science-based target initiative)와 같은 국제 이니셔티브나 캠페인의 인증을 받는 것이다 (Rehfeld et al., 2007; Rennings et al., 2006; Triguero et al., 2013). 이러한 결정요인은 DAC 실증을 진행하려는 기업의 결정에 긍정적으로 작용할 수 있다. 다른 하나는 직원과 이사회 구성원의 인식을 높이는 것이다 (Rehfeld et al., 2007). 이를 위하여 최근 기후정책 동향 및 완화 기술을 소개하는 내부 세미나 또는 회의를 개최하여 DAC 기술 실증에 대한 기업 내부의 지지를 높이고 이와 관련된 외부 사업 기회를 촉진하여 대규모 실증에 대해 결정하는 것을 지원할 수 있다.

규제 엄격성 요소의 측면에서 두 가지 결정요인이 있을 수 있다. 첫째, 명령지시적 규제 정책은 온실가스 및 대기오염물질과 같은 기후변화유발물질(climate forcers)을 줄이는 데 직접적인 효과가 있는 것으로 여겨진다. 또한 기업이 궁극적으로 정책의 요구사항을 충족하기 위해 혁신적인 완화 기술을 채택하도록 유도함으로써 간접적인 효과를 창출할 수도 있다 (Tang et al., 2020; Lanoie et al., 2011; Horbach, 2008). 기후변화 완화를 위해 수많은 규제 정책이 지방, 국가, 지역 및 국제 수준에서 설정된다. 이러한 차원에서 DAC 기술에 대한 다양한 수준의 완화 정책은 회사에 직간접적으로 영향을 미칠 수도 있다 (Meckling & Biber, 2021; Global CCS Institute, 2019). 배출기준(emission standard) 또는 기술표준(technology standard)은 일반 기업의 생산 활동을 제약하고 DAC 기술을 비롯한 다양한 배출 감축 및 제거 기술을 채택하도록 유도할 수 있다. 둘째, 인센티브 기반 접근법은 환경 관리에 대한 기업의 결정에도 영향을 미칠 수 있다 (Kunapatarawong & Martinez-Ros, 2016). 이러한 차원에서 배출권거래제(ETS)와 같은 시장 기반 도구는 대규모 실증 및 확산에 대한 기업의 결정에 긍정적인 영향을 미칠 수 있다 (Osses, 2019; Breyer et al., 2019; Gebald & Wurzbacher, 2022; Meckling & Biber, 2021). 또한 환경 규제 정책뿐만 아니라 세액공제 역시 긍정적인 요인으로 작용할 수 있다 (Capanna et al., 2021; Jang et al., 2015).

상기한 세 가지 요소에 해당하는 결정요인을 기반으로 한 분석틀은 <표 3-4>와 같다. 동 분석틀을 활용하여 대면 인터뷰 및 전문가 설문 조사를 통해 카본엔지니어링社에 대한 사례연구를 진행였다. 전 세계적으로 DAC 기술의 대규모 실증에 성공한 두 개의 민간기업이 있다. 하나는 카본엔지니어링社이고 다른 하나는 클라임웍스社이다. 여기서 카본엔지니어링社는 경쟁사보다 포집설비당 훨씬 더 큰 CO_2 포집능을 보이는 DAC 기술을 보유하고 있어 사례연구의 대상으로 적절하다고 여겨진다. 카본엔지니어링社는 2009년에 설립된 중소기업이다. 캐나다 캘

거리 대학교에서 첫 실험실 규모의 실증을 진행하여 DAC 기술의 잠재력을 검증한 후, 2015년 캐나다 스쿼미시(Squamish)에 일 포집량이 1 tCO_2인 파일럿 규모의 실증을 진행하였고 더 나아가 스쿼미시에서 일 포집량이 3.5 tCO_2인 "카본엔지니어링혁신센터(CEIC, Carbon Engineering Innovation Centre)"도 구축하였다. 현재는 연 포집량이 1 $MtCO_2$인 상용 규모의 설비를 미국 퍼미안 분지에 건설하는 중에 있다. 이는 미국 석유 회사인 옥시덴탈(Occidental Petroleum)社와의 협력으로 추진 중이며, 현재 FEED 단계(front-end engineering design)를 완료하였다. 또한 영국, 노르웨이, 캐나다에서도 상업 규모의 사업을 추진하는 중에 있으며, 현재 FEED 사전 단계(pre-FEED)를 진행하는 중에 있다.

<표 3-4> 기업이 DAC 기술에 대한 실증사업을 시행하거나 확대하는 데 영향을 미치는 결정요인

Factors	Determinants for DAC firms on demonstrations	References
Market-pull		
- **Customer & supplier performance**	• **(New demand)** Increased public awareness of CDR in general and DAC in particular	• Gebald & Wurzbacher (2022) • CE (2022b)
	• **(Suppliers in value chain)** Governments or companies that can provide geological storage sites or carbon utilization opportunities	• Breyer et al. (2019) • Fuss et al. (2018)
- **Firm performance**	• **(Firm performance record)** Past experience of operating small-scale DAC pilot plants and earning revenue from them	• Crunchbase (2022a) • Crunchbase (2022b)
Technology-push		
- **DAC-based Internal R&D**	• **(R&D funding)** DAC-related R&D projects with substantial funding • **(Intellectual property)** DAC-related patents, pending patents, and (confidential) know-hows • **(Capacity)** Improvement in R&D capacity	• Crunchbase (2022a) • Crunchbase (2022b) • CE (2022c)
- **Technological collaboration for carbon utilization or storage**	• **(Collaborative networks)** Collaborative RD&D with relevant stakeholders (e.g. companies and research institutes specialized at carbon utilization or storage technologies)	• CE (2022a) • Climeworks (2022b)
- **Environmental concern at the managerial level**	• **(Organizational innovation)** Receiving national/regional certification of environmental management systems (EMS), and/or pledging to international initiatives/campaigns/movements (e.g. RE100, SBTi)	• Rennings et al. (2006)
	• **(Awareness)** Internal seminars/meetings to introduce recent climate change trends and technologies	• Rehfeld et al. (2007)
Regulatory stringency		
- **Command-and-control instruments**	• **(Regulations/Standards)** Local, national, regional, and international mitigation regulation (e.g. national NDCs)	• Meckling & Biber (2021) • Global CCS Institute (2019)
- **Economic incentives instruments**	• **(ETS)** ETS allowing carbon removal credits from DACCS or DACCU	• Meckling & Biber (2021) • Breyer et al. (2019)
- **Non-regulatory policy**	• **(Tax credits)** Tax credits from national/regional governments to companies utilizing DAC technologies	• Capanna et al. (2021) • Jang et al. (2015)

출처: Zubeltzu-Jaka et al.(2018)로부터 도출한 분석틀에 기반하여 저자 정리.

4. 분석: 사례연구

4.1. 시장 견인 결정요인

시장 견인에 대한 첫 번째 결정요인은 고객 및 공급업체와의 상호작용이다. 고객과 관련하여 카본엔지니어링社는 CDR 접근법 및 DAC 기술이 존재 여부와 동 기술의 완화 잠재력에 대한 인식이 일반 대중과 고객 사이에서 증가하고 있음을 경험하였다. 카본엔지니어링社는 기술 관련 정보뿐만 아니라 이러한 DAC 기술이 가져올 기후 이익에 대한 고객 인식 역시 매우 중요하다고 언급하였다. 기후변화에 관한 정부 간 협의체(IPCC)가 DAC 기술에 대해 국제적으로 인정한 것 역시 큰 도움이 되었다고 밝혔다. 이러한 인식 제고는 관련 정책을 추진하고 DAC 기술을 통한 완화 사업을 통해 야기될 완화 결과에 대한 새로운 수요를 통해 시장을 창출하며 더 나아가 자본에 더 쉽게 접근할 수 있도록 도움이 된다고 한다.

DAC 기술에 대한 사업의 가치 사슬 내에 있는 공급업체와 관련하여. 카본엔지니어링社는 교류하는 정부 또는 회사가 지중 저장소나 탄소 활용 기회를 제공할 수 있다면 카본엔지니어링社가 대규모 실증사업을 수행하기로 결정할 가능성이 더 높다고 밝혔다. 카본엔지니어링社는 DAC 기술을 보유하고 있지만 이러한 기술은 포집된 CO_2가 지중 저장소에 영구적으로 저장되거나 비교적 짧은 기간 동안 제품에 저장되는 경우에만 완화 결과로 이어질 수 있다. 이는 카본엔지니어링社는 DAC 기술의 라이센스 제공자로서 상업용 시설 설치를 위해서는 CO_2 저장을 제공할 수 있는 사업 파트너에 의존해야 하기 때문이다. 따라서 카본엔지니어링社는 DAC 설비를 운영하고자 하는 고객에게 DAC 기술을 제공할 뿐만 아니라, 고객이 보유하고 있는 지중 저장소 또는 활용 기회에 DAC 기술을 더해 전체 가치 사슬을 완성할 수 있는 기회를 제공할 수 있다. 예를 들어 카본엔지니어링社는 미국 루이지애나주 리빙스턴패리시(Livingston Parish)에 '격리 허브'라는 이름의 지중 저장소를 개발하고 있는 원포인트파이브(1PointFive)社에 DAC 기술과 탄소 활용 기술을 제공하고 있다. 원포인트파이브社는 일반 CCS 기술로 지역 발전소에서 CO_2를 포집하거나 카본엔지니어링社의 DAC 기술로 대기 중에서 CO_2를 포집한 후, 포집된 CO_2를 '격리 허브' 지하에 저장하고 감축 또는 제거된 CO_2 양으로 이익을 얻는 사업 모델을 가지고 있다.

두 번째 시장 견인 요인은 기업의 성과이다. 카본엔지니어링社는 설립 초기부터 여러 소규모 실증사업을 진행해 왔다. 카본엔지니어링社는 실험실 규모 및 소규모 실증사업에서의 성공적인 경험이 대규모 실증사업을 추진하기로 결정하는 데 도움이 되었다고 한다. 또한 카본엔지니어링社가 DAC 기술로 실제 수익을 올린 과거의 경험 역시 대규모 실증을 결정하는 데 도움이 되었다. 카본엔지니어링社는 DAC 기술 라이센스 또는 사전 구매 계약(pre-purchase agreement)을 통해 수익을 올렸다. 2021년과 2022년에 카본엔지니어링社는 쇼피파이(Shopify)社(10,000 tCO_2), BMO 퍼스트 은행(BMO First Bank)(1,000 tCO_2), 써모피셔사이언티픽(Thermo Fisher Scientific)社(20 tCO_2) 및 에어버스(Airbus)社(400,000 tCO_2)와 사전 구매 계약을 체결하였다. 그러나 이렇게 판매된 제거 실적의 정확한 수익 금액은 공개되지 않았다 (CE, 2022d).

4.2. 기술 주도 결정요인

첫 번째 기술 주도 결정요인은 내부 R&D 역량으로, 그 하위에 ①R&D 예산, ②지적재산권(IPR. intellectual property right), ③역량의 세 가지 요소가 존재한다. 카본엔지니어링社는 세 가지 요소를 모두 필수 요소로 인정하며 이들이 실증을 수행하고 확대하는 결정에 영향을 미쳤음을 확인해 주었다. R&D 자금 조달 측면에서, 카본엔지니어링社는 수많은 R&D 사업을 수행하고 있지만, 구체적인 연구 내용 및 조달된 금액에 대한 사항은 기밀로 남아 있다. 지식재산권의 경우, 연구개발을 통해 획득한 기술은 특허등록, 특허출원, 노하우 등 다양한 형태로 보호되고 있다. 카본엔지니어링社의 기술 보유 현황은 아래 <표 3-5>와 같다. 현재 카본엔지니어링社는 포집제 기술, CO_2 분리 및 포집과 직접 관련된 기술 및 설비 설계, CO_2 포집을 지원하는 보조 기술 및 설비 설계, CO_2 활용 기술에 대한 특허를 보유하고 있다. 포집된 CO_2,의 모니터링 및 계측 방법론, CO_2 수송 및 저장과 같은 일부 기술은 기밀 노하우로 보유하고 있다. 이를 통해 카본엔지니어링社의 기술 초점은 포집 및 활용 기술에 있는 것으로 나타났다. 포집 측면에서 카본엔지니어링社는 CO_2 분리 능력이 우수하고 규모의 경제를 창출하여 대규모 시설에 적합한 액체 흡수제 기술에 중점을 둔다. 활용 측면에서 카본엔지니어링社는 포집된 CO_2를 합성연료로 변환하는, 소위 "공기에서 온 연료(Air-to-Fuel)"라 칭하는 기술을 보유하고 있다. 카본엔지니어링社는 보유한 모든 기술을 실증사업에 활용하였다. 또한 R&D 역량을 증대한 것 역시 대규모 실증을 위한 결정에 긍정적인 영향을 미쳤다.

<표 3-5> 카본엔지니어링社의 DAC 관련 기술 보유 현황

Technology category		Patents	Pending patents	Know-hows	Others
Direct air capture	Capture agents (solvent / sorbent)	✓	✓	✓	✓
	Technologies (or facility designs) directly related to CO_2 separation and capture	✓	✓	✓	✓
	Subsidiary technologies (or facility designs) supporting CO_2 capture *(e.g. air blower to the inlet of the capture facility)*	✓	✓	✓	✓
	Methodologies for monitoring and calculation of the captured CO_2			✓	✓
Transports of the captured CO_2				✓	
Utilization of the captured CO_2		✓	✓	✓	✓
Storage of the captured CO_2				✓	

출처: 인터뷰 및 설문조사에 기반하여 저자 정리

두 번째 기술 주도 결정요인은 탄소 활용 또는 저장을 위한 기술 협력으로, DAC 기술에 대한 공동 연구, 개발 및 실증(RD&D)에 중점을 두는 기술 주도 결정요인이다. 카본엔지니어링社는 포집, 활용 및 저장의 모든 DAC 기술 영역에서 옥시덴탈(Occidental Petroleum)社 및 원포인트파이브(1PointFive)社와 공동 RD&D를 수행하고 있다. 또한 여러 대학과도 다양한 연구 분야에서 협력하고 있다. 이러한 적극적인 협력적 RD&D가 카본엔지니어링社의 실증 결정에 영향을 미쳤음을 확인하였다.

기술 주도 결정 요인의 마지막 요소는 회사 내 경영진의 환경적 관심이다. 기업 혁신을 위한 경영진의 노력 관점에서 카본엔지니어링社는 현시점에서 국가, 지역 또는 국제 환경경영시

스템(EMS) 인증을 받지는 않았는데, 이는 카본엔지니어링社와 같은 소규모 회사에서 이러한 제도를 도입하기가 어렵기 때문이다. 그러나 카본엔지니어링社는 사내 세미나 및 교육에 대해서는 기후변화의 동향 및 기술에 대한 임직원의 인식 제고를 위해 매월 1회 이상 자주 실시하고 있다. 그럼에도 카본엔지니어링社는 이러한 경영진의 노력이 대규모 실증에 미치는 영향 자체는 크지 않은 것으로 보인다고 언급하였다.

4.3. 규제 엄격성 결정요인

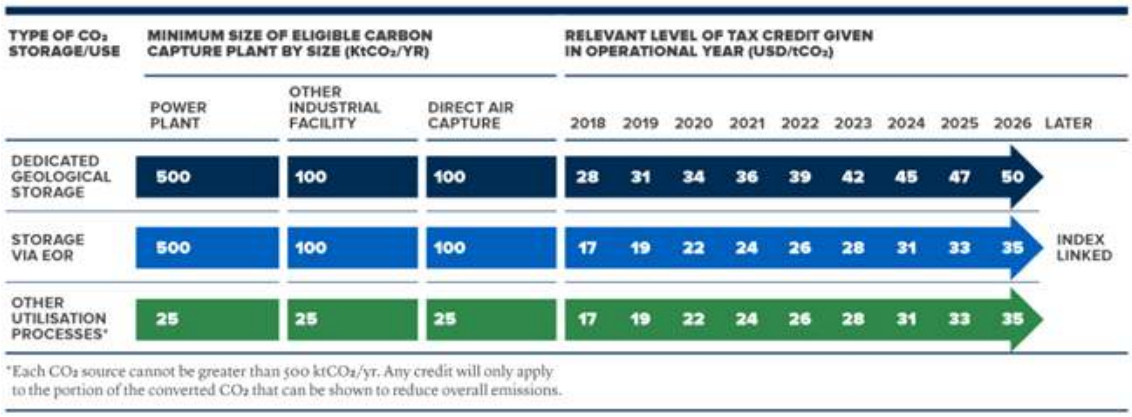
첫 번째 규제 엄격성 결정요인은 명령지시적 규제이다. 카본엔지니어링社는 온실가스 배출에 대한 지역, 국가, 지역 및 국제 차원의 규제로 인해 온실가스 배출 기업이 DAC 기술을 보다 실행가능한 완화 옵션으로 여겨 도입을 고려하게 될 것이라 보고 있다. 이러한 에로 카본엔지니어링社는 수송 부문의 온실가스 배출을 줄이기 위한 미국 캘리포니아 주의 저탄소연료표준(LCFS, low carbon fuel standard)을 들었다. LCFS는 명령지시적 규제의 일부인 배출 표준과 시장 기반 정책 도구의 일부인 베이스라인 기반 크레딧(baseline-and-credit) 접근법과 크레딧거래제도(credit-trading system)의 조합이라 할 수 있다. LCFS에서는 기본적으로 연료(가솔린, 경유, 대체연료 등)를 탄소집약도로 평가하며, 이를 위해 LCFS는 연료별로 탄소집약도의 기준을 설정한다. 탄소집약도가 벤치마크 미만인 저탄소 연료는 크레딧을 획득할 수 있는 반면, 벤치마크보다 탄소집약도가 높은 연료는 크레딧 결손(deficit)이 발생한다 (CARB, 2022b). 또한 이 외에도 크레딧 획득을 위하여 프로젝트 기반 크레딧과 인프라 크레딧이라는 두 종류의 크레딧 획득 제도가 있다. 프로젝트 기반 크레딧 제도에서 기업은 '저배출 정유 기술' 및 'DAC 기술' 등의 승인된 기술을 도입하여 온실가스 배출 감축량 또는 탄소 제거량에 대한 크레딧을 받을 수 있다. 인프라 크레딧 제도는 수소충전소나 전기충전소를 설치 운영하는 기업을 위한 제도로, 충전소 설비용량과 실제 충전소 사용량의 차이를 기반으로 산정된 크레딧을 획득하는 것이다(CARB, 2020). 이러한 제도 중, 카본엔지니어링社가 혜택을 볼 수 있는 것은 프로젝트 기반 크레딧 획득 제도로, 동 제도에 DAC 기술이 적격 기술로 포함되었기 때문이다. 인터뷰를 통해 카본엔지니어링社는 DAC 기술이 LCFS 하에 적격 완화 기술로 포함되도록 동 표준 제도의 개정에 기여한 바가 있다고 언급하였다.

두 번째 규제 엄격성 결정요인은 탄소세 및 배출권거래제와 같은 경제적 인센티브 수단이다. 탄소세와 관련하여 카본엔지니어링社는 고액의 탄소세가 DAC 기술 사업을 지원하는 데 도움이 될 수 있다고 언급하였다. 탄소세는 특히 카본엔지니어링社가 상업 규모의 DAC 기술 설비를 준비하고 있는 노르웨이에서 그 세액이 높아질 것으로 예상된다. 1 tCO_2eq 단위당 부과되는 탄소세를 통해 기업은 그 탄소세와 DAC 기술 등의 완화 기술 도입 비용을 비교하게 된다. 탄소세가 완화 비용보다 높으면 카본엔지니어링社가 그 탄소세 부과 국가에서 사업을 시작하기에 유리한 환경이 조성될 것이다.

일반 배출권거래제(ETS)와 관련하여, 현재 전 세계 또는 전국적인 ETS에서는 DAC 기술에 의한 탄소 제거를 적격 완화 활동으로 인정하지 않고 있는데, 그 주된 이유는 인정된 방법론이 없기 때문이다. 그러나 흥미롭게도 앞서 언급한 LCFS는 부문별 배출권거래제로 기능하며 동

제도는 DAC 기술을 적격한 완화 활동으로 인정하고 있다. 크레딧이 부족한 연료 회사는 DAC 기술 등의 승인된 완화 방법론을 도입하여 탄소 크레딧을 획득하여 벤치마크를 충족해야 한다 (CARB, 2022c). 크레딧 가격을 살펴보면, 시장의 변화에도 불구하고 연간 최고가는 항상 200 USD/tCO_2 이상이었다 (CARB, 2022c). 카본엔지니어링社의 DAC 기술 설비의 포집비용이 94-232 USD/tCO_2의 비용으로 계산되었다는 점을 고려하면 LCFS만으로도 DAC 기술이 경제성을 확보하는 것이 가능해진다 (Keith et al., 2018). 카본엔지니어링社에 따르면 캘리포니아에서 LCFS를 성공적으로 구현한 후, 캐나다 브리티시 컬럼비아 주와 미국 워싱턴 주와 같은 다른 관할 구역에서도 유사한 정책을 설계하고 있다고 한다. 따라서 전국적인 ETS의 적용 범위를 확대하여 DAC 기술을 포함하도록 하기 위해서는 LCFS의 사례를 면밀히 검토할 필요가 있다.

또한 환경 규제 정책은 아니지만 세액공제에 의한 경제적 인센티브 정책 수단도 있다. 카본엔지니어링社는 세액공제를 긍정적인 동인으로 여기고 있으며, 이와 관련된 두 가지 예로는 미국의 45Q 세액공제 및 캐나다의 CCUS 세액공제를 들 수 있다 (CRS, 2021; GoC, 2022). 45Q 세액공제는 CCS 기술을 활용한 기업에 세액공제를 제공하는 인센티브 제도로 탄소 저장 방식에 따라 세액공제 금액이 다르다. 2018년에는 승인된 탄소 포집 방법에 DAC 기술이 포함되도록 45Q 세금 공제가 개정되었다. 세액공제 금액은 [그림 3-10]과 같이 2026년 지중 저장의 경우 50 USD/tCO_2, 원유회수증진(EOR) 및 탄소 활용의 경우 35 USD/tCO_2이다 (Beck, 2020). 또한 캐나다 CCUS 세액공제는 CCUS 기술에 투자한 기업에 세액공제를 제공하는 것으로, 세부 사항은 아직 확정되지 않았지만 DAC 기술을 적격 기술로 인정하는 것으로 논의되고 있다 (GoC, 2022).



[그림 3-10] 45Q 세액공제의 개략도

출처: Beck(2020)의 p. 2에서 발췌

4.4. 정책적 의미

이 분석을 통해 DAC 기술에 대한 대규모 실증을 추진하기로 한 카본엔지니어링社의 결정에 문헌을 통해 도출하였던 대부분의 결정요인이 긍정적으로 작용한 것으로 나타났다. 카본엔지니어링社와의 인터뷰 및 설문조사를 기반으로 각 결정요인에 대한 효율성 수준을 <표 3-6>에 나

타내었다. 또한 카본엔지니어링社가 대규모 실증사업을 결정할 때 우선순위가 높은 요인도 <표 3-6>에서 확인할 수 있다. 결정요인 중에서도 우선순위가 높은 결정요인으로는 시장 견인 결정요인 중 ①고객의 새로운 수요, ②가치 사슬 내의 공급업체, ③기업의 과거 수익이 있으며, 기술 주도 결정요인 중에는 ①R&D 자금 조달 및 ②기업 혁신, 규제 엄격성 결정요인의 경우는 모든 요인들이 포함된다. 그러나 이들 중 카본엔지니어링社는 규제 엄격성 결정요인이 DAC 실증에 대한 결정을 내리는 데 가장 중요한 요소라는 점을 밝혔다. 이는 규제 환경이 신규 사업에 대한 자금 조달과 직접 관련이 있기 때문이다. 규제에 의해 뒷받침되는 견실하고 예측가능한 경제적 성과가 있는 경우 카본엔지니어링社는 시장에 긍정적인 신호를 제공하고 자금을 더 쉽게 조성할 수 있다. 이러한 측면에서 카본엔지니어링社는 크레딧 거래제(예: ETS, LCFS)보다 금액이 고정된 경제적 도구(예: 45Q 세금 공제)를 선호한다. 이러한 고정 금액 제도가 투자자에게 투자 수익에 대한 예측 가능한 정보를 제공하기 때문입니다. 반면 크레딧 거래제는 크레딧 가격이 변동하기 때문에 예측 가능한 정보를 제공해줄 수 없다. 또한 카본엔지니어링社는 협력 업체가 사업 실행 가능성에 대한 확신을 가질 수 있도록 CO_2 격리에 대한 규제를 통해 관할 구역의 저장설비 운영 요구사항에 대한 제도를 명확히 생성할 수 있기 때문에 시장을 창출하는 데 있어 정부 규제의 역할을 강조하였다. 엄격한 규제의 중요성을 염두에 두고 카본엔지니어링社는 비정부 기구와 협력하여 적절한 표준 및 인센티브를 정부에 제안하거나 로비하기도 하였다.

<표 3-6> DAC 기술 실증을 시행하고 확대하는 데 영향을 미치는 결정요인의 효과성 및 우선순위

Clusters	Determinants	Effectiveness*	Priority
Market-pull			
- Customer & supplier performance	• New demand	○	✓
	• Suppliers in the value chain	○	✓
- Firm performance	• Firm performance record	◎	✓
Technology-push			
- DAC-based Internal R&D	• R&D funding	◎	✓
	• Intellectual property	◎	-
	• Capacity	◎	-
- Technological collaboration	• Collaborative networks	◎	-
- Environmental concern at the managerial level	• Organizational innovation	n.a.	✓
	• Awareness	△	-
Regulatory stringency			
- Command-and-control instruments	• Standards / carbon tax	◎	✓
- Economic incentives instruments	• Tax credits	◎	✓

* 효과성은 각 결정요인의 효과를 묻는 질문에 대한 카본엔지니어링社의 응답을 기반으로 작성되었음. ◎는 응답이 '그렇다'인 경우, ○는 '약간 그렇다'인 경우, △는 '거의 아니다'인 경우, X는 '전혀 아니다'인 경우이며, n.a.는 미응답인 경우이다.

출처: 카본엔지니어링社와의 인터뷰 및 설문조사 내용에 기반하여 저자 정리.

정리하자면, DAC 기술과 같은 새롭고 혁신적인 완화 기술의 실증을 위해서는 세 가지가 중요다. 첫째로, 다른 고객들(DAC 기술 회사에 대한)이 탄소 가격(완화 비용)과 DAC 기술 도입 비용을 비교할 수 있도록 하는 국가・지역・국제적 규제 기반의 탄소 가격제이다. 둘째, 예측 가능한 탄소 가격을 바탕으로 한 사업 예상 성과의 확실성이다. 탄소 가격의 예측 가능성이 있어야만 카본엔지니어링社는 DAC 기술로 사업에서 기대되는 이익을 담보로 금융 사업자 및 은행에 접근할 수 있다. 셋째, 규제의 엄격성 결정요인이 매우 중요한 것은 사실이지만, DAC 기술에 대한 대규모 실증을 결정하는 데 긍정적으로 작용한 모든 결정요인이 함께 작용하는 것이 필요하다는 점에 주목해야 한다.

5. 결론

본 연구는 기업이 DAC 기술에 대한 실증사업 수행하고 확장하도록 결정하는 데에 영향을 미친 결정요인 도출하고자 하였다. 이를 위해 Zubeltzu-Jaka et al.(2018)에 기초하여 시장 견인, 기술 주도 및 규제 엄격성의 세 가지 요소로 구성된 분석틀을 활용하였다. DAC 기술에 대한 기존 문헌을 기반으로 각 요소에 속하는 결정요인을 구성하였다. 분석을 위해 주요 DAC 기술 회사 중 하나인 카본엔지니어링社를 사례 연구 대상으로 선택하였다. 분석 결과에 따르면 모든 세 요소에 각각에 대한 결정요인 대부분은 DAC 기술을 활용하는 대규모 사업을 추진하기로 한 카본엔지니어링社의 결정에 긍정적으로 작용하는 것으로 나타났다. 또한 이러한 긍정적인 결정요인은 어느 하나만으로 충분한 것이 아니라 모든 요인들이 동시에 필요하다. 결정요인 중 가장 중요한 요인은 정부 규제와 관련이 있는데, 이는 대규모 실증에 필요한 자금의 조성과 관련이 있기 때문이다. 정부 정책을 통해 정부가 실증 자금을 직접적으로 지원하는 것 역시 중요하지만, 장기적인 사업 관점에서 볼 때 환경 규제 정책을 통한 자금 조성이 더 중요한 것으로 분석되었다. 적절한 규제가 없다면 배출 기업이 DAC 기술을 포함한 완화 기술의 도입을 고려할 유인이 없을 것이다. 또한, 특히 인센티브 기반 접근 방식은 탄소 가격 또는 배출량 생성 가격을 계산할 수 있으며, 이를 통해 DAC 기술 회사는 DAC 기술 사업의 투자 수익을 보다 쉽게 예측할 수 있습니다. 자금 조성의 관점에서 보면 탄소 가격의 고정금액이 유리하므로 탄소세나 제거 실적 기반 정액 지원 정책이 배출권거래제보다 바람직하다.

본 연구의 의의를 다음 세 가지로 정리해볼 수 있다. 첫째, 본 논문은 기술적, 경제적, 사회・환경적 관점에서 DAC 기술의 타당성에 대한 기술 중심 연구에서 기업 차원의 조직 경영 연구로 학문적 초점을 옮겼다. 둘째, 이러한 초점의 이동은 DAC 기술뿐만 아니라 일반적인 기후 완화 기술에 특화된 기업의 경영진에게 경영 우선순위에 대한 정보, DAC 기술의 실증 및 보급을 위해 어떤 정부 정책이 필요한지에 대한 정보를 제공한다. 셋째, 본 연구의 사례 연구는 DAC 기술 회사가 환경 친화적인 신규 기술로 사업 기회를 탐색할 수 있는 방법을 보여준다. 이 사례 연구는 새로운 완화 기술 보유 기업이 자금 및 정치적 지원 부족이라는 장벽을 극복하는 데 도움이 될 것이다. 그러나 카본엔지니어링社가 주요한 역할을 하고 있는 것은 맞을지라도 사례 연구로 단 하나의 기업에만 의존하였다는 점에서 본 연구의 한계가 있다. 따라서 후속 연구를 통해 다른 사례에 대한 추가 연구를 수행한다면 본 연구의 결과를 일반화하는 데 도움이 될 것이다.

6. 참고자료: DACCS 기술 실증 결정요인에 대한 전문가 설문조사 양식

Survey Form

for research on determinants of conducting and scaling up demonstration projects for direct air capture technologies by private firms

Dear Sir/Madam,

It is our great pleasure to invite you to participating in this survey. This survey is prepared as a part of our research on the exploration of determinants of conducting and scaling up demonstration projects for direct air capture (DAC) technologies by private firms.

We kindly ask for your time to go through the following questionnaires. Most of them are simple multiple-choice questions while there also exist some descriptive questions which may take some more of your valuable time. Your participation in this survey will be of great help conducting our research.

The survey results will be used solely for our research. Your personal information will not be disclosed for any other purposes, even including this research.

If you have any questions regarding the survey, please feel free to contact us via e-mail using the e-mail addresses provided below.

We sincerely appreciate your participation.

Sincerely,

Yewon Song* and Chaewoon Oh**

Division of Policy Research
Green Technology Center Korea
Seoul, 04554, Republic of Korea

* Researcher; email: ysong@gtck.re.kr
** Principal researcher; email: mosaic327@gtck.re.kr

Please fill out your basic information.

(1) Name: _____

(2) Position (with job description if necessary): _____

(3) Affiliation: _____ (Division), _____ (Company)

* Your information will be kept for future correspondence.

Firm information

1. Please check (✓) the type of your firm.

(1) Large enterprise ( ) (2) Spin-off of a large enterprise ( )

(3) Small & medium-sized enterprise ( ) (4) Spin-off of a SME ( )

(5) Research Institute ( ) (6) Spin-off of a research institute ( )

(7) University ( ) (8) Spin-off of a university ( )

(9) Others (please specify): _____

2. What is the founding year of your firm?

- Founding year: _____

3. Please check (✓) all the demonstration project experiences and briefly introduce when and where the demonstrations were conducted.

Stage	Check here	When and where
(1) Laboratory scale	( )	
(2) Small-scale	( )	
(3) Large-scale	( )	
(4) Commercial-scale	( )	

Determinants 1: Market-pull factors

1. Awareness of carbon dioxide removals (CDR) approaches in general

1-1. Direct air capture and storage (DACCS) technology is one of the carbon dioxide removals (CDR) approaches. Please check (✓) whether the increased awareness of the CDR and its importance affected your firm making decisions on conducting and scaling up the DAC demonstrations?

(1) Yes ( ) (2) Yes, somewhat ( ) (3) Not much ( ) (4) Not at all ( )

1-2. If your answer to the above question is "Yes" or "Yes, somewhat", please explain how the increased public awareness affected your firm.

2. Awareness of direct air capture (DAC) technology

2-1. DAC technologies have been known both to public and private sectors. Please check (✓) whether the awareness of DAC affected your firm making decisions on conducting and the scaling up the DAC demonstrations.

(1) Yes ( ) (2) Yes, somewhat ( ) (3) Not much ( ) (4) Not at all ( )

2-2. If your answer to the above question is "Yes" or "Yes, somewhat", please explain how the increased awareness of DAC affected your firm.

3. Suppliers in value chain

3-1. Please check (✓) whether the existence of governments or companies that can provide geological storage sites or carbon utilization opportunity affected your firm making decisions on conducting and scaling up the DAC demonstrations?

(1) Yes ( ) (2) Yes, somewhat ( ) (3) Not much ( ) (4) Not at all ( )

3-2. If your answer to the above question is "Yes" or "Yes, somewhat", please explain how the existence of governments or companies affected your firm.

4. Past experience

4-1. Please check (✓) whether your firm has an experience of operating small-scale DAC pilot plants before proceeding to a large-scale demonstration.

(1) Yes ( ) (2) No ( )

4-2. If your answer to the above question is "Yes", please check (✓) whether the experience helped your firm make decisions on conducting and scaling up the DAC demonstrations.

(1) Yes ( ) (2) Yes, somewhat ( ) (3) Not much ( ) (4) Not at all ( )

5. Revenue

5-1. Please check (✓) whether and by which your firm has made revenue from the DAC businesses?

(1) Yes, by selling carbon removal credits ( ) (2) Yes, by making pre-purchase agreements ( )

(3) Yes, by others: _____ ( ) (4) No ( )

5-2. If your answer to the above question is "Yes", please provide some details on when and with whom your firm sold the credits, or sign the pre-purchase agreement (with an exemplary case).

- When: _____
- With whom: _____
- Amount of the revenue: _____
- Amount of the sold carbon (tCO_2): _____

Determinants 2: Technology-push factors

1. Research and development (R&D) funding

1-1. Please check (✓) whether your firm has had DAC-related internal R&D projects.

(1) Yes ( ) (2) No ( )

1-2. If your answer is "Yes", please provide some details on the R&D projects/programs.

- The number of R&D projects: _____
- Total R&D amount: _____

1-3. If your answer is "Yes", please check (✓) whether the R&D projects affected your firm making decisions on conducting and scaling up the DAC demonstrations.

(1) Yes ( ) (2) Yes, somewhat ( ) (3) Not much ( ) (4) Not at all ( )

2. Intellectual property

2-1. Please check (✓) whether your firm possess DAC-related technologies that are protected under any kinds of intellectual property rights.

(1) Yes ( ) (2) No ( )

2-2. If your answer is "Yes", please check (✓) the form of the possessed technologies *that are used in demonstrations* by choosing the most appropriate items for each technology category.

Technology category		Patents	Pending patents	Know-hows	Others
Direct air capture	Capture agents (solvent / sorbent)				
	Facility designs or technologies directly related to CO_2 separation and capture				
	Subsidiary facility designs or technologies supporting CO_2 capture *(e.g. air blower to the inlet of the capture facility)*				
	Facilities and methodologies for monitoring and calculation of the captured CO_2				
Transports of the captured CO_2					
Utilization of the captured CO_2					
Storage of the captured CO_2					
Others (please specify): _____					

2-3. If your answer is "Yes", please check (✓) the form of the possessed technologies *that are NOT used in demonstrations* by choosing the most appropriate items for each technology category.

Technology category		Patents	Pending patents	Know-hows	Others
Direct air capture	Capture agents (solvent / sorbent)				
	Facility designs or technologies directly related to CO_2 separation and capture				
	Subsidiary facility designs or technologies supporting CO_2 capture *(e.g. air blower to the inlet of the capture facility)*				
	Facilities and methodologies for monitoring and calculation of the captured CO_2				
Transports of the captured CO_2					
Utilization of the captured CO_2					
Storage of the captured CO_2					
Others (please specify): _____					

2-4. If your answer is "Yes", please check (✓) whether the intellectual property rights affected your firm making decisions on conducting and scaling up the DAC demonstrations.

(1) Yes ( ) (2) Yes, somewhat ( ) (3) Not much ( ) (4) Not at all ( )

3. R&D capacity improvement

3-1. Please check (✓) whether your firm has increased R&D capacities.

(1) Yes ( ) (2) No ( )

3-2. If your answer is "Yes", please check (✓) whether the R&D capacity improvement affected your firm making decisions on conducting and scaling up the DAC demonstrations.

(1) Yes ( ) (2) Yes, somewhat ( ) (3) Not much ( ) (4) Not at all ( )

4. Collaborative research, development and demonstration (RD&D)

4-1. Please check (✓) whether your firm conducts RD&D with other relevant stakeholders who are specialized at carbon utilization or storage technologies.

(1) Yes ( ) (2) No ( )

4-2. If your answer is "Yes", please provide some details on the collaborative RD&D.

Stakeholders	Areas of collaboration

4-3. If your answer is "Yes", please check (✓) whether the collaborative RD&D affected your firm making decisions on conducting and scaling up the DAC demonstration.

(1) Yes ( ) (2) Yes, somewhat ( ) (3) Not much ( ) (4) Not at all ( )

5. Organizational innovation

5-1. Please check (✓) whether your firm participates in international initiatives/agreements/movements (e.g. RE100 initiative, SBTi), or in national/regional certification/acknowledgement on its environmental activities.

(1) Yes	( )	National/regional certification/acknowledgement	( )
		RE100 initiative	( )
		Science-based targets initiative (SBTi)	( )
		Others (Please specify): _____	( )
(2) No	( )		

5-2. If your answer is "Yes", please check (✓) whether the participation affected your firm making decisions on conducting and scaling up the DAC demonstration.

(1) Yes ( ) (2) Yes, somewhat ( ) (3) Not much ( ) (4) Not at all ( )

6. Internal seminars and education

6-1. Please check (✓) whether your firm offers internal seminars and education for employees to introduce recent climate change trends and technologies.

(1) Yes ( ) (2) No ( )

6-2. If your answer is "Yes", please check (✓) the frequency of the seminars or the education.

(1) Once a year ( ) (2) Once every 6 months ( )

(3) Once every 3 months ( ) (4) Once a month ( )

(5) More than once a month ( )

6-3. If your answer is "Yes", please check (✓) whether the internal seminars and the education affected your firm making decisions on conducting and scaling up the DAC demonstration.

(1) Yes ( ) (2) Yes, somewhat ( ) (3) Not much ( ) (4) Not at all ( )

Determinants 3: Regulatory factors

1. Command-and-control instruments

1-1. Please check (✓) whether there are any command-and-control instruments from national/international governments including regulation and standards that affects your firm.

(1) Yes ( ) (2) No ( )

1-2. If your answer is "Yes", please provide some details on the instruments.

1-3. If your answer is "Yes", please check (✓) whether the command-and-control instruments affected your firm making decisions on conducting and scaling up the DAC demonstration.

(1) Yes ( ) (2) Yes, somewhat ( ) (3) Not much ( ) (4) Not at all ( )

2. Economic incentives instruments

2-1. Please check (✓) whether there are any economic incentives instruments from national/international governments including emission trading systems (ETS) and tax credits that affect your firm.

(1) Yes ( ) (2) No ( )

2-2. If your answer is "Yes", please provide some details on the instruments.

2-3. If your answer is "Yes", please check (✓) whether the economic incentives instruments affected your firm making decisions on conducting and scaling up the DAC demonstration.

(1) Yes ( ) (2) Yes, somewhat ( ) (3) Not much ( ) (4) Not at all ( )

Overall evaluation

1. Throughout this survey, three sets of determinants (1: market-pull, 2: technology-push, 3: regulatory factors) have been covered. Please rate priorities of each determinant in decision-making of conducting and scaling up the demonstration projects for DAC technologies of your firm, by rating 1 for the highest priority and 13 for the lowest.

Factors		Priority
Market-pull	Awareness of CDR approaches in general	
	Awareness of DAC technologies	
	Suppliers in value chain	
	Past experience	
	Revenue	
Technology-push	R&D funding	
	Intellectual property	
	R&D capacity improvement	
	Collaborative RD&D	
	Organizational innovation	
	Internal seminars and education	
Regulatory	Command-and-control instruments	
	Economic incentives instruments	

This is the end of this survey.
Thank you once again for your participation in the survey.

제 4 장 ESG 대응을 위한 IPCC 보고서 활용

제 1 절 기후변화 완화를 위한 기후투자와 ESG (개괄)

기후변화에 관한 정부간 협의체(IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change)는 기후변화 과학적 근거를 제시하는 제6차 평가보고서 제1실무그룹 보고서를 2021년 8월에 발표하였다. 해당 보고서에 따르면, 최근 10년 간(2011~2020) 지구의 평균 기온은 산업화 이전과 비교해서 1.09℃ 높아졌으며, 이는 2013년에 제5차 평가보고서 제1실무그룹 보고서에서 발표된 0.78℃(2003~2012)보다 0.3℃ 넘게 상승한 수치이다 (IPCC 2021a). 즉, 파리협정에서 언급된 1.5℃까지 0.41℃밖에 남지 않았다는 것을 의미한다. 따라서 지금 당장 인류가 즉각적인 온실가스 감축행동을 취하지 않는다면 그 시기가 2040년, 즉, 이전 예측보다 무려 10년이나 단축될 것이라는 암울한 미래를 암시하는 내용이기도 하다. 그리고 그 전조는 이미 지구상의 곳곳에서 나타나고 있다. 그린란드의 빙하가 빠르게 녹아내리고 있을 뿐만 아니라 유래없는 산불에 전세계가 신음하고 있으며, 특히 시베리아 지역에서는 한반도 면적의 약 3분의 2에 달하는 16만㎢가 대규모 산불로 인해 화마에 뒤덮이기도 하였다 (국민일보 2021). 이러한 위기는 오래 전부터 과학자들을 통해 예견되어 왔고 그 심각성은 시간이 지날수록 증가하고 있다.

오늘날 ESG에 대한 이슈가 뜨거운 배경에는, 위와 같은 기후변화에 대한 위기감이 큰 비중을 차지한다. ESG는 환경(Environment), 사회(Society), 지배구조(Governance)의 앞글자를 이어붙인 용어로서 非재무적 분야에서 기업의 지속가능경영성과를 측정하는 지표이지만, 최근에는 그 중에서도 환경(E), 특히 기후변화에 대해 기업들이 어떻게 대응하느냐 하는 문제에 관심이 집중되고 있다.

본문에서 보다 자세히 후술하겠으나, 2021년 11월 설립된 국제회계기준재단(IFRS, International Financial Reporting Standards) 산하의 국제지속가능성기준위원회(ISSB, International Sustainability Standards Board)에서는, 현재 다양하게 존재하고 있는 ESG 정보공시 지침들을 통합하여 일원화하기 위한 'IFRS 지속가능성 공시기준'의 초안을 만들어 금년 초에 배포하였고, 각국의 의견을 수렴하여 최종안을 확정할 예정이다 (금융위원회 2022b). 중요한 것은 IFRS 지속가능성 공시기준(안)이 기업의 기후변화 대응에 관한 내용을 중점적으로 담고 있으며 기후변화 관련 재무정보 공시 전담협의체(TCFD, Taskforce on Climate related Disclosure)에서 발표한 권고안의 내용을 상당 부분 반영하고 있다는 점이다.[64]

정보공시와 관련한 또하나의 중요한 흐름은 '공시의 의무화'이다. EU는 2022년 4월, 독자적인 ESG정보공시 기준인 유럽 지속가능성 공시기준(ESRS, European Sustainability Reporting

64) IFRS 지속가능성 공시기준(안)의 구성은 크게 두 가지로 세분화된다. 첫 번째는 'IFRS S1 일반요구사항'으로서, 지속가능성 관련 재무정보를 지배구조, 전략, 위험관리, 지표 및 목표 등 4가지 핵심 요소에 중점을 두어 공시하도록 하고 있다. 두 번째는 'IFRS S2 기후 관련 공시'로서, 기후변화 및 저탄소경제로의 전환과 관련한 기업의 기회 및 위험요인에 대한 정보를 세부 기준에 따라 공시할 것을 요구하고 있다 (한경ESG 2022).

Standards)의 초안을 공표하였고, 이를 골자로 한 기업 지속가능성 보고지침(CSRD, Corporate Sustainability Reporting Directive)이 11월 28일 EU 이사회에 의해 최종 승인됨으로써, 2024년부터 일정 규모 이상의 대기업 및 중소기업을 대상으로 하는 ESG 공시 의무화의 시행이 결정되었다(Impact on 2022b).[65] 미국에서는 2021년 4월, 기업의 온실가스 배출량, 에너지 사용량 등에 대한 정보를 포함하는 기후변화대응 관련 정보를 의무적으로 공시하도록 하는 'ESG 정보공개 및 단순화법(ESG Disclosure Simplification Act of 2021)'이 하원을 통과하였다 (TCFD 2021). 우리나라에서도 2021년 1월 금융위원회에서 '기업공시제도 종합개선방안'을 발표함으로써, 2025년부터 단계적으로 상장기업의 ESG 정보공시 의무화를 추진하고 있다 (금융위원회 2021).

정리하자면, 조만간 확정될 기업 정보공시 기준들은 공통적으로 기업의 기후변화 대응에 특화된 TCFD 권고안의 내용을 중요하게 다루고 있으며, 조속한 시일 내에 공시 의무화까지 진행될 것이라는 점이다.

당 보고서는 이러한 추세를 감안하여, 최근에 발간된 'IPCC 제6차 평가보고서'의 내용을 바탕으로, 기업의 기후변화 대응 관련 정보공시에 있어 가장 중요한 절차인 '기후변화 위험요인 분석'을 위한 데이터 추출을 핵심 내용으로 담고 있다.

ESG, 특히 기후변화 대응 정보공시 의무화라는 세계적인 조류 속에서, 글로벌 공시기준에 맞추어 기반 정보를 추출해 내는 당 연구는 그런 의미에서 선제적이고 유의미하다고 할 수 있겠다.

65) CSRD가 최종 승인됨에 따라 종업원 500명 이상, 순매출액 4천만 유로(약 541억 원) 이상의 대기업은 2024년 1월 1일부터 CSRD를 준수해야 한다 (Impact on 2022b).

제 2 절 중점 연구: 기후변화 완화를 위한 기후투자와 ESG[66] (TCFD의 기후변화 위험 및 기회 분석을 위한 IPCC보고서 시나리오 정보 추출 연구)

1. 서론

최근 기후변화 대응과 관련하여, 이슈가 되고 있는 것이 바로 환경・사회・거버넌스(ESG, Environment・Social・Governance)이다. 이는 기업이 지속가능한 비즈니스를 달성하는 데에 필요한 세 가지 핵심 요소를 의미한다. 기존의 기업운영에 있어서는 기업 투자자에게 투자에 대한 재무적 가치를 높이는 것이 강조되었으나, 최근에는 非재무적 가치를 고려해서 기업에 투자하는 책임투자(responsible investment)의 흐름과 맞닿아 있다 (김재필 2021; Li et al. 2021). 그렇다면, 이 비재무적 가치를 고려해서 평가하기 위해서는 무엇이 필요한가? 바로 기업이 투자자에게 제공하는 정보에 있어, 재무적 정보 뿐만이 아니라, 非재무적 정보를 함께 제공해야 한다는 것이다. ESG는 바로 기업의 제공해야 하는 非재무적 정보의 핵심 세 가지 가치를 담고 있는 성과 기준 또는 전략이라고 볼 수 있다 (Li et al. 2021).

이러한 ESG 차원의 정보를 제공하는 데에 있어서, 많은 국제적인 이니셔티브들이 존재한다. 이러한 이니셔티브들은 ESG의 ‘환경’, ‘사회’, ‘거버넌스’ 각각에 주목하기도 하고, 또는 환경・사회・거버넌스를 종합적으로 주목하여 기업들이 정보를 제공해야 하는 방향성과 지침들을 담고 있다. 특히 ESG 중에서 환경(Environment)과 관련해서는, 환경 관련 다양한 이슈들이 다루어지고 있는데, 그 중에서도 기후변화는 핵심 이슈이다. 기후변화란 기후가 변한다는 말로써 오랜 기간에 걸쳐 나타나는 평균적인 날씨 패턴의 변화를 의미한다. 조금 더 구체적으로 말하면, “현지 지구의 기후가 인위적인 요인(화석연료 과다사용, 인간 활동에 의한 온실가스 증가 등)과 자연적인 요인(화산폭발, 태양에너지 변화 등)에 의하여 변화” 하는 것을 말한다 (기상청 2022). 이 기후변화는 다른 말로는 지구 온도 상승을 의미한다. 지구 온도 상승으로 인해 지구상의 인류를 포함한 모든 생태계에 변화가 일어나게 되며, 이는 생태계에 존재하는 이들의 존립에 큰 영향을 미친다. 이에, 국제사회는 1992년 유엔기후변화협약을 시작으로 산업화 이전 대비 지구 온도 상승을 억제하기 위한 국제적인 노력을 시자해 왔다. 그리고, 지난 2015년, 산업화 이전 대비 지구의 온도 상승을 2℃ 이내로 억제하는 내용의 파리협정이 채택되었다. 2021년부터 기후변화 대응을 위한 국제적 행동이 시작되었다. 그런데, 이러한 국제적 행동의 주요한 이행주체로는 파리협정의 이행당사국인 국가/정부 뿐만 아니라, 비즈니스 부문, 도시, 시민(지역 커뮤니티 및 청년층), 초국가 이니셔티브 조직, 민관협력주체 등으로 다양하다 (IPCC 2022b, p.8). 이 중에서, 비즈니스 섹터의 기후변화 대응 노력이 많은 주목을 받고 있다. 비즈니스 섹터는 파리협정 이행차원에서 국가 차원에서 이루어지는 감축 관련 규제에 관한 대응 뿐만

66) 제4장 2절의 내용은 2022년 동 연구과제를 통해 수행된 중점연구이다. 동 연구과제 수행 결과 도출된 연구 결과물은 「손범석·송예원·김한이·오채운. (2022). TCFD 기업정보 공개준비를 위한 기후위험 정보 추출 연구: IPCC 제6차평가보고서를 중심으로. 국가녹색기술연구소 (ISBN: 979-11-86271-87-2)」의 발간물 형태로 2022년 12월에 발간되었다. 이와 관련하여, 동 발간물이 2022년 수행한 연구결과물로 도출되었기 때문에 이의 출처를 표기하였다. 동 발간물은 동 보고서 제4장 2절의 내용을 토대로 작성되었다. 동 발간물의 내용이 보다 구체적인 내용을 담고 있는 바, 동 발간물의 내용을 참고하기를 희망한다.

아니라, ESG 차원의 기후변화 관련 非재무 정보공개를 위해서도 노력하고 있다.

기업의 ESG 관련 비재무 정보 공시와 관련하여 현재 국제적으로 다양한 국제 기준 및 지침들이 만들어지고 있다. 이러한 ESG 정보공시 기준의 최신 현황을 살펴보면, 기후변화 관련 정보공시 항목이 기존 기준에 추가되거나, 또는 기후변화에 특화된 별도 기준 및 지침이 만들어지고 있다. 이러한 ESG 기준 및 지침 중에서, 기후변화에 특화된 기업 정보공시 기준이 있다. 바로 '기후변화 재무정보 공시 전담협의체(TCFD, Taskforce on Climate-related Financial Disclosure)'가 2017년에 발표한 권고안이다.[67] TCFD 권고안은 제목에 명시된 바와 같이 기업이 '기후변화 대응 역량'에 대한 정보를 작성하는 지침이다. 동 지침은 기업이 일차적으로 기후변화로 인한 위험요인(climate risk)을 파악하고, 이 요인들에 따라 기업이 자체적으로 지배구조, 경영전략, 위험관리, 성과지표 및 감축목표에 어떻게 반영하고 있는 지를 분석하고 공시해야 한다. 기후변화에 특화된 동 TCFD 권고안에 대해서 기업들이 참여하여 정보를 공개할 수 있도록 가능 여건을 조성하고 있다. 우리나라에서도 2021년 5월 금융위를 비롯하여 산업은행, 수출입은행 등 주요 금융기관이 TCFD 권고안을 지지하였고 (연합뉴스 2021), 2022년 6월에는 기후위기 관련 정보 공시(TCFD 권고안 포함)를 요구하는 국제적 압력에 대응하기 위한 민간 협의체 'TCFD 얼라이언스'가 출범하였다. 또한 2022년 6월 24일에는 국회에서 '자본시장법 개정안'을 발의하였는데, 이는 모든 상장법인이 사업보고서에 ESG 정보를 의무적으로 공시하도록 한다 (한겨레 2022).

TCFD 권고안에 따라 기업이 정보 공시를 하기 위해서는 '시나리오 분석'이 필수적이다. 동 시나리오 분석과정은 크게 5단계로 구분된다. 이는 i) 기후변화 위험 및 기회 파악과 기업 영향 평가, ii) 참조 시나리오 선택, iii) 시나리오 기반 기업 전략 및 재무 영향 평가, iv) 기업 대응 방안 확인, 그리고 v) 기업 대응 방안 공개이다. 동 분석 과정에서 첫 번째 단계인 '기후변화 위험 및 기회 파악과 기업 영향 평가'에서 필요한 것은 바로 다름아닌 기업에 부정적 영향을 초래할 수도 있는 '기후변화 위험 요인'들이 무엇인가를 파악하는 것이다. TCFD 권고안에서는 기후변화 위험요인을 전환적 위험(정책 및 법률, 기술, 시장, 평판)과 물리적 위험(급성, 만성)으로 구분 및 세분화 하고 있다. 그러나, 기후변화 위험 세부 요인 각각이 무엇인지에 대해서는 구체적인 정보를 제시하고 있지는 않다. 이는 기업들이 개별적으로 기후변화 위험 세부 요인들을 파악하고 이에 대해서 각기 기업 영향 평가를 실시하는 등의 작업을 진행해야 한다는 것을 의미한다. 그러나, 기후변화 위험에 대한 세부 요인 및 현황에 대한 정보를 파악하는 것은 많은 노력과 시간 그리고 비용이 들어가는 작업인 바, 개별 기업들이 이를 대응하는 것은 매우 비효율적일 수 있다.

그렇다면, 현재 이러한 기후위험 요인에 대한 정보가 어떻게 제공되고 있는가. 현재, 이에 대한 정보는 정부 차원에서 별도로 제공되고 있지 않다. 물론, 우리나라는 ESG 투자 및 기후변화 관련 기업 공시 수준을 개선, 그린워싱을 방지하고, ESG 관련 국제기준 제정을 위한 논의 과정에 참여하는 것을 핵심 이슈로 보고 있다 (김용태 2021). 녹색금융협의체(NGFS, Network of Central Banks and Supervisors for Greening the Financial System)[68]는 중앙은행, 정책입안자, 그리고

67) 동 권고안의 영문 명칭은 다음과 같다: Recommendations of the Task Force on Climate-related Financial Disclosures

68) 녹색금융협의체는 기후 및 환경 관련 금융리스크 관리, 지속가능한 경제로의 이행 지원 등을 목적으로 2017년 12월 설립된 자발적 협의체로서, 영국, 독일, 일본 등 주요국의 중앙은행이나 월드뱅크, 아시아개발은행과 같은 다자개발은행으로 구성되어 있으며 `22년 6월 현재 총 116개 기관이 가입되어 있다 (NGFS 2022). 우리나라에서는 한국은행이 `19년

관련된 이해관계자들을 대상으로 6대 권고안을 제시하고 있다 (이종오 2021, 슬라이드 33; EB 2019.[69] 6가지 권고안 중에서 '권고안 3'은 '정보격차 좁히기'로, 공공기관은 기업의 기후리스크평가에 필요한 정보를 공유해야 하며, 가급적이면 오픈소스로 제공할 것을 권장한다. 또한, 현존하는 데이터 격차 해소를 위해 이해당사자 간의 공동워킹그룹 결정이 권장된다 (Ibid.). 동 연구 보고서를 작성한 연구진은 바로 이 권고안 3에 주목하였다다. 즉, TCFD 권고안에 따른 기업의 정보공시를 준비하는 과정에서 기업들이 일차적인 단계에 필요한 기후변화 위험정보를 손쉽게 파악할 수 있도록 '공공기관'으로써 정보를 제공하는 것이 필요하다고 판단하였다. 또한 현재 TCFD가 제시하는 기후위험 요인에 정보를 담은 시나리오들은 다소 시간이 지난 자료들인 바, 최신의 기후위험 요인에 대한 정보를 종합하여 공유할 필요성을 인지하였다.

이에, 동 연구진은 「기후변화에 관한 정부간협의체(IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change)」 보고서에 주목하였다. IPCC는 기후변화와 관련된 전지구적 위험을 평가하고 국제적 대책을 마련하기 위한 유엔 산하 국제협의체이다. IPCC 보고서는 세계 각국이 기후변화 대응을 위한 국제협력에 나서는 데 과학적 근거를 제시한 국제 공동 보고서이다. IPCC 제6차평가보고서의 제1실무그룹(기후변화 과학적 근거), 제2실무그룹(영향·적응·취약성), 그리고 제3실무그룹(완화) 보고서가 2021년과 2022년에 걸쳐 도출되었다. 그리고 이를 종합한 종합보고서가 2023년 3월 도출 예정이다. 이에, 기후변화 현황에 대한 가장 최신의 정보를 담고 있는 IPCC 제6차 평가보고서의 내용을 기반으로 TCFD 권고안의 기후변화 위험요인과 관련된 정보를 추출하는 것은 매우 의미있는 시도라고 할 수 있겠다.

이에, 동 4장 2절은 ESG 차원에서 진행되는 비재무 정보공시에 관한 지침 중, TCFD 권고안을 중심으로 우리나라 기업들이 기후위험 요인에 대한 최신 정보를 손쉽게 파악하고 접할 수 있도록 IPCC 제6차 평가보고서를 토대로 기후위험 정보를 추출하고 이를 정리하여 제공하는 데에 그 목적을 두고 있다. 이에 따라 나오는 제2 섹션에서는 전세계적으로 영향력을 행사하고 있는 다양한 ESG 관련 정보공시 이니셔티브를 일차적으로 개괄한다.

제3섹션에서는 TCFD를 중심으로, TCFD가 대두하게 된 배경과 개요를 서술하고, TCFD 권고안에 대한 국제적 동향을 살펴보며, 또한 TCFD 권고안의 내용을 항목별로 분석한다. 기업이 정보공시를 할 때 명시해야 하는 세부지침인 i) 지배구조, ii) 경영전략, iii) 위험관리, iv) 지표 및 감축목표를 살펴본다. 이어서, 기업이 정보공시를 준비할 때 거쳐야 하는 '시나리오 분석 5단계' 절차를 구체적으로 살펴본다. 이중에서, 첫 번째 단계에서 맞닥뜨리는 '기후변화 관련 위험'이 구체적으로 무엇이며 어떻게 구분되는지 설명하고, 이 기후위험을 파악할 때 활용될 수 있으며 TCFD가 제시한 참조 시나리오를 소개한다.

제4섹션은 동 연구의 핵심 내용이 정리된 부분이다. TCFD 권고안에서 제시한 기후변화 위험요인을 전환적 위험(정책 및 법률, 기술, 시장, 평판)과 물리적 위험(급성, 만성)에 대해서, IPCC 제6차 평가보고서의 내용을 바탕으로 세부적인 정보들을 추출하여 정리한다.

제5섹션은 결론 부분으로, 제4섹션에서 작성된 기후변화 위험요인을 항목별로 정리하고, 동 연구의 의의를 언급하며 마무리하고자 한다.

11월에 가입하였으며, 금융위원회와 금융감독원이 `21년 5월 가입신청한 상태이다 (대한민국 정책브리핑 2022).

69) 6대 권고안으로는 i) 기후변화 관련 리스크를 금융안정성 모니터링 및 세부 금융감독에 반영, ii) 지속가능성 요소를 포트폴리오 관리에 반영, iii) 정보격차 좁히기, iv) 인식과 지적역량 구축 및 기술지원과 지식공유 장려, v) 체계적이고 국제적으로 통일된 기후와 환경 관련 정보공시체제 구축, 그리고 vi) (녹색) 경제활동 분류체계 지원이다.

2. ESG 이니셔티브의 현황

ESG의 개념은 2006년 유엔이 발표한 책임투자 원칙(United Nations Principles for Responsible Investment)에서 처음 등장하였다. 사회책임투자 원칙이란 투자자가 기업 투자 시 고려해야 하는 지속가능 경영전략 요소에 재무적 성과 뿐 아니라 非재무적 성과(사회적・환경적・윤리적 가치 등)까지 포함하여 기업에 투자하는 방식을 말한다 (김재필 2021).[70] ESG 개념은 2006년만해도 주목받지 못했으나, 2008년 세계 금융위기와 기후변화 위기에 따라 투자자와 기업인들의 ESG 개념에 대한 인식이 달라지기 시작하였다. ESG 개념이 최근 기업의 필수적 가치로 자리매김하게 된 이유를 크게 4가지로 설명할 수 있다. 첫째, 투자자의 변화이다. 많은 투자자들이 ESG 대응이 미흡한 기업에는 투자를 하지 않겠다고 선언하고 있다.[71] 둘째, 기업 신용 평가 기준의 변화이다. 글로벌 및 국내 신용평가기업의 기업 신용 평가 시 재무적 가치 외에 ESG 측면을 고려 및 적용하기 시작했다.[72] 셋째, 소비자 요구의 변화이다. 최근 점차 많은 소비자들이 인권이나 환경과 같은 가치를 중요하게 여기고, 이와 관련된 기준에 부합하지 못하는 기업에서 생산한 상품에 대해서는 불매운동을 벌이는 등, 적극적인 행동을 취하기도 한다. 넷째, 정부 규제이다. 각국의 정부들이 ESG 관련 정보공시와 관련하여 발빠르게 대응하고 있는데, 유럽연합(EU, European Union)의 경우, CO_2 배출 규제가 느슨한 국가가 규제가 강한 국가에게 상품 및 서비스를 수출할 때 무역관세를 적용하는 탄소국경세의 도입을 추진하고 있으며 (한국에너지공단 2021),[73] 많은 EU 국가들은 2030~2040년까지 내연기관차를 퇴출시키겠다는 선언을 하기도 하였다 (ESG경제 2022b). 우리나라도 예외는 아니다. 금융위원회가 2025년부터 2조원 이상의 자산 보유 기업의 ESG 정보공시를 의무화한다는 내용의 '기업공시제도 종합개선방안'을 발표하였다 (금융위원회 2021).

이러한 ESG 관련 정보공시와 관련하여, 국제적으로 매우 다양한 이니셔티브와 관련 주체들이 있다. 먼저, 기업의 전반적인 지속가능성 정보공시 기준을 개발하는 '글로벌 보고 이니셔티브(GRI, Global Reporting Initiative)'와 '지속가능성회계기준위원회(SASB, Sustainability Accounting Standards Board)'가 있다. 그리고, 기후변화에 특화된 정보공시 기준을 개발하는 '기후정보 공개표준위원회(CDSB, Climate Disclosure Standards Board)'와 '기후변화관련 재무정보 공개 태스크포스(TCFD, Task Force on Climate-related Financial Disclosure)'가 있다. 또한 기업의 지속가능보고서와 재무보고서를 통합하여 통합보고서 체계를 제시한 '국제통합보고위원회(IIRC, International Integrated Reporting Council)'가 있다. 마지막으로, 기업 정보공시 기준을 개발하지는 않지만 기업이 공시한 지속가능성 및 기후변화 대응 관련 정보를 바탕으로 기업을 평가하고 이를 공개하여, 투자자의 의사결정에 도움을 주기 위한 민간 기관인

70) 사회책임투자에는 6가지 원칙이 있다. 이는 i) ESG 관련 이슈를 투자분석 및 의사결정에 적극적으로 반영할 것, ii) 기업 ESG 이슈를 자산 보유 정책 및 실천에 적용할 것, iii) 투자 대상에 ESG 이슈에 대한 적절한 정보공개를 요구할 것, iv) 투자 산업 내에서 원칙 도입과 이행을 촉진할 것, v) 원칙 이행에 대한 효과 개선을 위해 협력할 것, vi) 원칙 이행을 위한 활동 및 진척사항을 보고할 것이다 (PRI 2022).

71) 대표적 사례로, 세계 최대 자산운용사인 블랙록(BlackRock)의 래리 핑크 회장이 2020년 연례서신을 통해 향후 환경 지속가능성(environmental sustainability)을 회사 운영의 핵심 전략으로 삼겠다는 메시지를 전달하였다.

72) 국내 3대 신용평가사에는 한국기업평가, 한국신용평가, NICE평가정보가 있다. 이중 나이스(NICE) 신용평가의 경우 2022년 3월, '기업 ESG 평가방법론'을 발표하고 기업의 ESG평가 시행을 시작한다고 밝혔다 (Invest Chosun 2022).

73) 탄소국경세란 CO2의 배출 규제가 느슨한 국가가, CO2의 배출 규제가 강한 국가에 상품 및 서비스를 수출할 때 적용받는 무역관세를 의미한다 (한국에너지공단 2021).

탄소정보 공개 프로젝트(CDP, Carbon Closure Project), 모건스탠리 캐피털 인터내셔널(MSCI, Morgan Stanley Capital International), 스탠다드앤드푸어스 다우존스(S&P, Standard & Poor's Dow Jones) 등의 기업 평가기관이 있다. 마지막으로, 기업의 지속가능경영에 대한 통합된 보고지침이라 할 수 있는 'IFRS 지속가능성 공시기준'과 유럽의 기업 지속가능성 보고지침(CSRD. Corporate Sustainability Reporting Directive)가 있다 (하단 <표 4-1> 로 정리).

<표 4-1> 기업의 ESG 정보공시 지침에 관한 주요 글로벌 이니셔티브

기관명	설립	주요 활동
ISSB	· 다양하게 난립하는 ESG 정보공시 지침들을 통합하고 기업들의 효율적인 ESG 정보 공시를 활성화하기 위하여, 2021년 11월 국제회계기준재단(IFRS Foundation, International Financial Reporting Standards) 산하에 설립된 국제기구	· 기업의 지속가능성 공시를 위한 기준인 **'IFRS 지속가능성 공시기준'**의 초안을 작성('22. 3) · 동 공시기준은 S1(일반요구사항), S2(기후변화 및 저탄소경제 관련 요구사항)로 나뉘어져 있으며, 그 중 S2는 TCFD 권고안의 내용에 기반하여 작성됨 (한경ESG 2022) · 2022년말 최종 확정 예정
EFRAG	·유럽 재무보고 자문그룹(EFRAG, European Financial Reporting Advisory Group)은 2001년 설립된 민간 협회로서, 재무보고(Financial Reporting) 및 지속가능성 보고(Sustainability Reporting)의 프레임을 개발하는 역할을 수행	· EFRAG는 EU 지속가능성 보고 표준(ESRS, European Sustainability Reporting Standards)을 제정('22.4) 및 확정('22.11) · ESRS는 크게 '일반원칙'과 '환경원칙'으로 나뉘며, 그 중 환경원칙에는 기후변화, 오염, 수자원, 생물다양성 및 생태계, 자원사용 및 순환경제가 속해 있음 · ESRS를 기반으로 하는 지속가능성보고지침(CSRD, Corporate Sustainability Reporting Directive)이 EU 이사회를 통해 최종 승인되었으며('22.11), '24년부터 EU기업의 지속가능성공시 의무화 (Impact on 2022a)
GRI	·1997년에 미국의 환경단체인 세레스(CERES, Coalition for Environmentally Responsible Economies)와 유엔환경계획(UNEP, United Nations Environmental Program)이 주축이 되어, 기업의 지속가능보고서에 대한 가이드라인을 제시하기 위한 목적으로 설립한 국제 민간 비영리기구.	· 기업이 경제, 사회 및 환경에 미치는 영향을 보고하기 위한 지속가능성 보고 표준을 개발. · 2000년 최초의 지속가능성 보고 가이드라인을 발표 후 지속적으로 개선해 왔으며, 2016년에 최초의 글로벌 지속가능성 보고 표준인 **GRI 표준(GRI Standards)을** 발표. GRI 표준은 경제분야 6개 주제, 환경 분야 8개 주제, 사회 분야 19개 주제에 대한 세부 작성 지침을 담고 있음 · 현재 100개국에서 10,000여 개가 넘는 기업이 GRI 표준에 따라 지속가능보고서를 발간하고 있음 (GRI 2021a)
SASB	·기업의 비재무정보와 ESG 이슈에 대한 기업들의 성과 등을 투자자들에게 제공하기 위한 공시기준을 마련하기 위해 2011년 민간 비영리기관으로서 설립.	· 2018년, 77개 산업 각각에 대한 지속가능성 보고 표준**(SASB Standard)**을 발표 · 현재 지속가능성 보고에 있어 GRI와 함께 널리 채택되고 있음 (사회적가치연구원 2021) · 전세계에서 500여 기업이 SASB 표준에 따라 기업정보를 공시하였으며, 이는 전년도인 2019년 대비 325% 증가한 수치임 (SASB 2021.)
CDSB	· 2007년 열린 세계경제포럼(World Economic Forum)에서, 기후변화 관련 정보공개에 대한 국제적 표준화의 필요성이 제기되면서 설립된 비정부기구.	· 기업이 재무정보 공시 수준으로 환경 관련 정보를 엄격하게 보고하는 프레임워크를 제공 · 2010년 CDSB 정보공개 프레임워크 초안을 발표하였으며 2018년까지 갱신 · 기후변화전략, 위험 및 기회요소, 온실가스 배출 등에 대한 정보공개 등이 담겨 있음

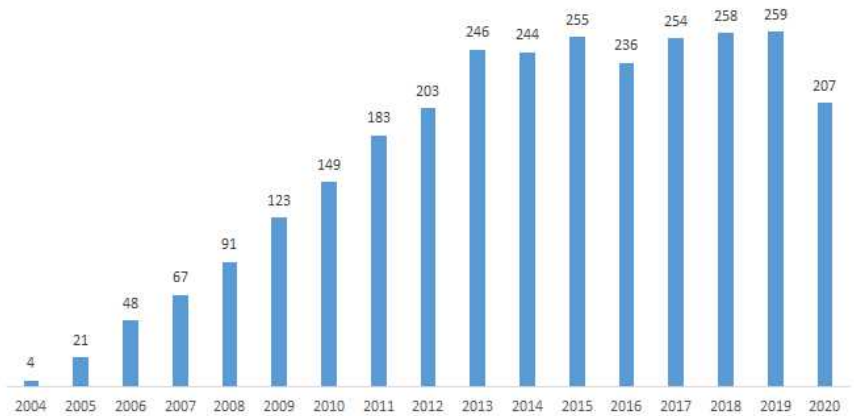
74) 기후변화, 수자원, 산림자원에 대한 기관의 정책, 의사결정구조 등에 대한 정보를 말한다.
75) 전세계 상위 기업을 대상으로, 해당 기업의 경제적·환경적·사회적 성과를 분석하여 기업 경영의 지속가능성을 분석

기관명	설립	주요 활동
IIRC	·기업의 재무정보 및 ESG 관련 정보를 통합적으로 제공하는 보고서 작성을 위한 회계원칙을 제정하기 위한 목적으로, GRI를 포함한 비영리기구, 투자자, 회계전문가 등이 참여하여 2010년에 설립.	· 2013년에 재무보고서와 지속가능보고서를 합친 통합보고(**Integrated Reporting**) 프레임워크를 제시 · 동 프레임워크는 '이해관계자 대응' 등을 중심으로 하는 작성원칙(Guiding Principles)과, '지배구조, 기회와 위험, 전략과 자원분배, 비즈니스모델' 등을 포함한 주요 보고사항으로 구성 · 70개국에서 2,500개가 넘는 기업이 통합보고 프레임워크를 통해 통합보고서를 작성 (사회적가치연구원 2021)
TCFD	·금융이 기후변화 기여하는 방안을 마련하기 위해 G20 요청에 따라 금융안정위원회(FSB, Financial Stability Board) 산하에 2015년 설치된 국제기구.	· 2017년에 기후변화와 관련한 기업정보공시 지침서인 '**TCFD 권고안**(TCFD Recommendation)'을 발표. · 권고안에는 기업의 i) 지배구조, ii) 전략, iii) 위험관리, iv) 지표 및 감축목표의 4가지 영역에 대한 정보공시 가이드라인이 담겨져 있음. · 전세계적으로 총 2,600개가 넘는 기관이 TCFD를 지지하고 있으며 그 중 금융 관련 기관이 운용하는 자산 규모는 한화로 약 24경 5천조 이상에 달함.
CDP	·영국에서 기업의 기후변화대응 등 환경 경영과 관련된 기업의 공시정보를 분석하여 투자자 및 금융기관에 제공할 목적으로 2000년 설립한 국제 비영리기구.	· 기업 뿐만 아니라 **정부 및 지자체, 공공기관 등**에도 환경경영 정보를 요구하며, 이를 분석하여 DB화한 **환경정보 공시시스템**을 운영.[74] · 13,000개가 넘는 기업이 CDP를 통해 기업정보를 공시하고 있으며, 한화 약 16경 원(130조 달러) 규모의 자산을 운용하는 680여 개의 금융기관이 CDP를 통해 투자 의사결정 진행 (CDP 2022).
MSCI	·글로벌 투자회사인 모건 스탠리(Morgan Stanley)의 자회사로서 1969년에 설립되었으며, 주가지수 및 주식포트폴리오 분석도구를 제공.	· MSCI에서 만든 주가지수가 **모건스탠리 캐피털 인덱스**(MSCI, Morgan Stanley Capital Index)이며 미국에서 운용되는 펀드의 약 95%가 MSCI를 추종하기 때문에 글로벌 금융시장에서의 영향력이 상당함 (한국경제 2021). · MSCI는 1999년부터 기업의 공시정보, 정부DB 및 각종 데이터를 기반으로 ESG평가를 제공해 오고 있으며 ESG 각 분야에서 총 10개 주제별로 기업을 평가. ① E(환경): 기후변화, 자연자본, 오염 및 폐기물, 청정기술 및 재생에너지 ② S(사회): 인적자원, 제품책임, 이해관계자, 사회적 기회 ③ G(지배구조): 기업지배구조, 기업행동
S&P	·1941년 설립된 미국의 신용평가회사로서, 무디스, 피치(fitch)와 함께 세계 3개 신용평가회사임 (이코노미스트 2022). ·금융업계 및 투자자에게 기업의 신용평가 정보를 제공.	· S&P의 계열사 중 하나인 스탠다드앤드푸어스 다우존스(S&P Dow Jones)는 1991년 **다우존스 지속가능경영지수**(DJSI, Dow Jones Sustainability Indices)를 개발하여 매년 기업의 평가결과를 발표.[75] · 스탠다드앤드푸어스(S&P)의 모회사인 스탠다드앤드푸어스 글로벌(S&P 글로벌)은 2020년 '**S&P글로벌 ESG 스코어**(S&P Global ESG Score)' 서비스를 출시하여, 전세계 시가총액의 95%에 해당하는 7,300여 개 기업의 ESG 평가 점수를 제공 (사회적가치연구원 2021),

출처: 사회적가치연구원(2021), 한국기업지배구조원(2011), 한국기업지배구조원(2013), GRI(2021a), GRI(2021b), TCFD(2017a), SASB(2018), GRI(2022), 미국 증권거래위원회(2022), 한국경제(2021), 한경ESG(2022), 이코노미스트(2022), Impact on(2022a를 바탕으로 저자 재구성

현재까지 국제적으로 많이 활용되고 있는 대표적인 세 가지 기준은 i) 글로벌 보고 이니셔티브(GRI), ii) 지속가능성회계기준위원회(SASB), 그리고 iii) 기후변화관련 재무정보 공개 태스크포스(TCFD)가 제시한 지침이다. 이에 대해서 간략히 정리하면, GRI는 지속가능성보고서 작성 지침을 제공하기 위한 목적으로 1997년 설립된 국제기관이다. GRI가 제시한 국제 지침이 2000년에 처음 발표되었고 이후 몇 차례의 갱신을 거쳐 2016년 '**GRI 표준(GRI standards)**'이 도출되었다. 이 표준은 경제 분야 8개, 환경 분야 8개, 사회 분야 19개 주제에 대한 세부적인 작성 지침을 담고 있다 (GRI 2022). SASB는 기업의 非재무정보와 ESG 이슈 관련 공시기준을 마련하기 위해 2011년 설립된 민간 비영리기관이다. SASB는 '지속가능성회계기준 위원회 기준(SASB Standards)'이라는 이름으로 77개에 해당하는 산업별로 각각의 특성을 반영한 지속가능성 보고서 작성 표준을 발표하였다. 현재 전세계에서 500여 개 기업이 SASB 기준에 따라 기업정보를 공개하고 있다 (SASB 2021). TCFD는 2015년 금융안정위원회(FSB, Financial Stability Board) 산하에 설치된 국제기구로서, 기업들의 기후변화에 관련된 기업 경영전략 공시 작성 지침을 담고 있는 'TCFD 권고안(TCFD Recommendation)'을 2017년 발표하였다. 동 권고안은 기후변화와 관련된 위험과 기회를 중심으로 조직의 위험관리 및 의사결정에 반영하도록 하는 것을 목표로, i) 지배구조, ii) 전략, iii) 위험관리, iv) 지표 및 감축목표의 4개 주요 항목으로 구성되어 있다. 전세계적으로 2,600개가 넘는 기관이 TCFD를 지지하고 있다.

이와 관련하여 우리나라의 적용 현황을 살펴보면, 비재무정보 보고서를 작성하는 기업 수가 급증한 것을 볼 수 있다 (2004년 4개 기업에서 2013년 246개 기업으로 증대). 다만 최근에는 정체 상태를 보이고 있다 ([그림 4-1] 참조).[76] 이 중 대다수 기업이 국내종합주가지수(KOSPI, Korean Composite Stock Price Index)에 상장한 대규모 기업이며, 대부분 GRI 표준을 준용하여 보고서를 발간하고 있다 (IMPACT ON 2021). 한편, TCFD를 활용하여 보고서를 발간하는 기업은 2021년 12월 기준으로 19개 기관에 지나지 않다 (에너지데일리 2022.06.27.). 이에 향후 TCFD 권고안의 도입이 더욱 확산될 필요가 있다.



[그림 4-1] 우리나라 연도별 비재무보고서 발간기업 수 증감 추이

출처: 한국기업지배구조원(2021)을 바탕으로 저자 재구성

76) [그림 4-1]의 그래프에 의하면 2020년에는 207개 기관으로서 전년도 대비 적게 집계되었으나, 이는 조사 시점이 2020년 당해 말에 이루어졌기 때문으로 추정된다.

3. TCFD의 개요 및 권고안 분석

3.1. TCFD의 개요

TCFD(기후관련 재무정보 공시 전담협의체)는 기후변화 이슈에 대하여 금융 섹터의 기여방안을 마련해 달라는 G20 국가의 재무장관 및 중앙은행의 요청을 받아 2015년에 금융안정위원회(FSB, Financial Stability Board) 산하에 설치된 국제기구이다.[77] TCFD 역할은 기후변화 관련 非재무정보 공시 방안을 마련하고, 동 방안을 토대로 기업이 기후변화 위험·기회를 파악하도록 지원하고, 투자자들의 의사결정을 지원하는 것이다 (FSB 2015). 이를 위해 TCFD가 도출하는 자료에는 크게 네 가지가 있다. 첫째는 TCFD 권고안(Recommendations of the Task Force on Climate Financial Disclosures)이다. 이는 기후변화 위기·기회를 파악하고 분석하며 이를 기업 경영전략에 통합하는 대응 방안에 대한 지침이다. 둘째, TCFD 권고안 활용을 위한 추가 지침(Additional Guidance)이다. 이는 크게 '기후관련 위기 및 기회의 공시에 관한 시나리오 분석 지침(이하, 시나리오 지침)'과 '위기관리 통합 및 공시에 관한 지침(이하, 위기관리 지침)으로 구성된다. 시나리오 지침은 기업이 기후변화 관련 위기와 기회를 설정할 때 적용할 시나리오 예시와 이의 적용·분석 시 고려사항을 기재하고 있다.[78] 위기관리 지침은 많은 기업이 기후변화 위기요소 설정과 이를 기업의 위기관리 전략에 통합시키는 방법에 관한 지침이다. 셋째, 연간 현황보고서(TCFD Status Report)이다. 이는 TCFD 권고안 도입 기업의 증가 추세와 TCFD 권고안 기반 정보공시 확대의 도전과제 등을 담은 연례보고서로써, 2018년부터 매년 발간되고 있다. 넷째, 그 외 기타 자료(Other materials)가 있다. 이는 TCFD 권고안 수립 과정의 다양한 이해관계자들의 의견 청취 결과 혹은 TCFD가 행한 컨설팅 보고서 등을 담은 참고 자료집이다 (TCFD 2022a). 동 사항들은 다음의 <표 4-2>와 같이 정리된다.

<표 4-2> TCFD의 주요 발간물 정리

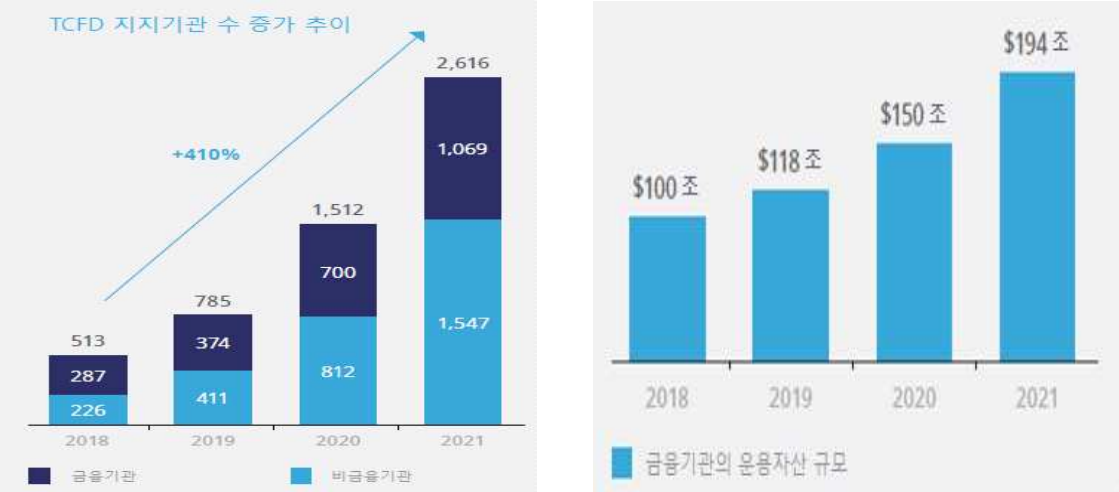
구 분	발간물
권고안	· TCFD 권고안
추가 지침	· 非재무 부문의 시나리오 분석 가이드 · 위기관리 통합 및 공시에 관한 가이드 · 기후관련 위기 및 기회의 공시에 관한 시나리오 분석 가이드
TCFD 현황보고서	· TCFD 현황보고서 (2018~2021)
기타 자료	· 지표, 목표 및 이행계획 수립에 관한 TCFD공청회 의견 요약집 · 금융 부문의 지표 설정에 관한 TCFD 컨설팅 결과 · TCFD 보고서 초안에 대한 공개 자문 결과 등

출처: TCFD(2022a)를 토대로 저자 정리

77) 금융위기 예방 및 대처방안 연구, 국제금융시스템 안정성 강화에 대한 국제협력 등을 위해 독일연방은행 총재의 제의로 1999년에 설립된 금융안정포럼(Financial Stability Forum)이 모태이다. 현재는 미국, 영국, 독일, 프랑스, 일본 및 한국 등 24개국의 중앙은행과 재무부처, 그리고 IMF, 월드뱅크 등 13개의 국제금융기구, 금융감독·규제기구 등으로 구성되어 있으며, 2009년 런던 G20 정상회의 직후 현재의 금융안정위원회(FSB)로 명칭을 개정하였다. 우리나라에서는 한국은행과 금융위원회가 회원기관으로 활동하고 있다. FSB는 G20의 합의에 의해 설립된 기구로서, G20정상회의에서 합의된 글로벌 금융 관련 사안을 이행하고 점검하여 G20회의에 보고하는 역할을 한다 (한국은행 2022).

78) 해당 가이드에는 기후변화 전환위험과 관련해서는 IEA, IRENA 및 그린피스에서 제시한 시나리오를 사례로 들었으며, 기후변화 물리적 위험과 관련해서는 IPCC 보고서에서 언급한 시나리오를 사례로 들었다 (TCFD 2017c).

TCFD에서 발간한 2021년 연차보고서(TCFD Status Report 2021)에 따르면, TCFD를 지지하는 기관의 수는 시간이 지남에 따라 증가하여, 현재 지지를 선언한 기관의 수는 총 2,616개 기관이며,[79] 이는 TCFD의 첫 연례보고서가 발표된 2018년 대비 5배 가까이 증가한 수치이다 (TCFD 2021). 그 중 1,069개가 금융 관련 기관이며 이들이 운용하는 자산 규모는 한화로 약 24경 5,216조 원에 달한다 (Ibid.).[80] 이는 하단의 [그림 4-2]과 같이 정리된다.



[그림 4-2] TCFD 지지 기관 증가추이와 지지 기관 중 금융기관의 운용자산 규모
출처: TCFD(2021)의 p.14를 바탕으로 저자 재구성

한편, TCFD를 지지한 국가를 보면 전 세계 총 89개 국가이다.[81] 이 중 일부 국가들은 정부 차원에서 공식적으로 TCFD 권고안에 따른 기업공시 지침을 발표하기도 하였다. 또한 국제기구에서도 통합된 기업정보공시 표준을 제정하는 움직임을 보이고 있는데, 이러한 동향은 다음의 <표 4-3>과 같이 정리된다.

<표 4-3> 정부 및 국제기구 차원에서의 TCFD 권고안 공식 도입 동향

국가	주요 내용
국제기구 (ISSB)	- 국제회계기준재단(IFRS Foundation, International Financial Reporting Standards)은 국제지속가능성기준위원회(ISSB, International Sustainability Standards Board)를 설립('21.11), - TCFD에 기반한 기업 지속가능성 공시를 위한 지침서인 'IFRS 지속가능성 공시기준'의 초안을 배포('22.3)[82]하고 2022년 내 최종안 확정 예정

79) TCFD에 지지선언을 한 우리나라 기관의 수는 2022년 7월 6일 기준으로 110여 개다 (TCFD 2022b).
80) 194조 달러를 원화로 환산한 수치이다 (환율 1,264원/달러 참조. 2022. 5. 25).
81) TCFD 현황보고서에서는 'Jurisdiction'이라고 표기하였는데, 이는 같은 국가 내에서도 다른 법을 적용하는 지역, 예를 들면 여러 주로 구성된 연방국가가 있기 때문이다 (TCFD 2021).

미국	- 기업의 온실가스 배출량, 에너지 사용량 등을 포함하는 ESG 관련 정보를 의무적으로 공시하도록 하는 'ESG정보공개 및 단순화법'이 하원 통과 ('21.4) - 증권거래위원회(SEC, Securities and Exchange Commission)는, 미국 증시에 상장한 모든 기업이 매년 온실가스의 직·간접 배출량과 기후변화에 미치는 영향을 의무적으로 공시하도록 하는 '기후변화 공시 규정안'을 공개[83] ('21. 3) - '22.1월 기준, 국내 11개 기업(포스코, 한국전력공사, SK텔레콤, KT, KB금융그룹, 신한금융그룹, 우리금융그룹, LG디스플레이, 그라비티, 쿠팡) 등이 미국 시장에 상장되어 직접 영향 받을 것
호주	- 호주 건전성 규제 당국(APRA, Australian Prudential Regulation Authority)[84]은 TCFD 권고안을 기반으로 한 정보공시 지침을 발표 ('21. 4)
브라질	- 브라질 중앙은행은 TCFD 권고안을 기반으로 한 정보공시 규칙을 비규제기관에게 배포 ('21. 9)
유럽연합 (EU)	- 유럽재무보고자문그룹(EFRAG, European Financial Reporting Advisory Group)이 TCFD 권고안의 내용을 기반으로 하는 EU 지속가능성보고표준(ESRS, European Sustainability Reporting Standards)을 수립 및 확정('22.11) - ESRS를 기반으로 하는 '지속가능성보고지침(CSRD, Corporate Sustainability Reporting Directive)'이 EU이사회에 의해 최종 승인됨으로써('22.11), '24년부터 EU 내 약 5만개의 대기업 및 상장중소기업들의 정보공시 의무화 시행
홍콩	- 홍콩 통화청(Hong kong Monetary Authority)은 은행을 대상으로, TCFD 권고안에 따라 정보공시를 해야 한다는 내용을 담은 가이드라인 초안을 발표 ('21. 7)
일본	- 도쿄증권거래소는 일정 규모 이상의 기업은 TCFD 권고안에 따라 정보공시를 강화해야 한다는 내용을 담은 기업 지배구조 준칙 개정본 발표 ('21. 6)
뉴질랜드	- 뉴질랜드 의회는 금융 부문을 대상으로, TCFD 권고안과 연계한 정보공시를 의무화하는 법안을 제출 ('21. 4)
싱가폴	- 싱가폴 거래소는 TCFD와 연계한 정보공시 의무화 로드맵을 제시 ('21. 8)
스위스	- 스위스 금융시장 감독당국(Switzerland's Financial Market Supervisory Authority)은 은행과 보험업계를 대상으로, TCFD에 기반한 기후 관련 금융 리스크 정보를 포함하도록 정보공시 규칙을 개정

출처: TCFD(2021)의 p.13, ESG경제(2022c), 한경ESG(2022), Impact on(2022a)의 내용을 바탕으로 저자 재구성

82) IFRS 지속가능성 공시기준은 일반공시 요구사항인 'IFRS S1'과 기후변화 관련 공시 요구사항인 'IFRS S2'로 구분된다. IFRS S1은 지속가능성 관련 재무정보를 지배구조, 전략, 위험관리, 지표 및 목표 등 4가지 핵심요소에 중점을 두어 공시하도록 하고 있으며, IFRS S2는 기후변화 및 저탄소경제로의 전환과 관련한 기업의 기회 및 위험요인에 대한 정보를 산업 설명, 공시 주제, 세부 프로토콜 등에 따라 공시할 것을 요구한다. 현재 각국의 의견 수렴을 거쳐 2023년 상반기 중 최종안을 확정할 예정이다 (한경ESG 2022).

83) SEC 규정에 따라 상장 대기업은 범주1(직접배출), 범주2(전력사용 등 간접배출)에 대해 2023년 회계연도부터 공시를 준비하고 2024년부터 공시해야 하며, 범주3(공급망을 포함한 총 외부배출)은 상장 대기업의 경우 2024년 회계연도부터 준비하여 2025년부터 공시하도록 단계적인 공시를 예고하고 있다 (한경ESG 2022).

84) 호주의 모든 금융 관련 업무를 감독하는 규제당국으로서, 1998년 설립되었다 (ARPA 2022).

3.2. TCFD 권고안

TCFD는 2017년 6월, '기후변화와 관련된 재무정보의 공개에 대한 권고안(이하, TCFD 권고안)'을 발표하였다. 동 권고안에 따르면, 기업들은 i) 지배구조, ii) 경영전략, iii) 위험관리, iv) 지표 및 감축목표의 4가지 영역에 대하여 기후변화 관련 정보를 공시해야 한다. 첫 번째, '지배구조'는 해당 기업의 거버넌스 상에서, 기후변화와 관련 위험·기회를 다루는 데 있어서의 지배구조 정보를 제공해야 한다. 제공해야 하는 정보 항목은 크게 두 가지로, 하나는 '기업 이사회'가 기후변화 위험·기회 관련 활동에 대해 보고 수신, 모니터링, 감독 여부에 대한 정보이다. 다른 하나는 '기업 경영진'이 기후변화 위험·기회를 평가 및 관리하는 지에 관한 정보이다 (<표 4-4> 참조).

<표 4-4> TCFD 정보공시 세부지침: ①지배구조

항목	권고사항 세부 내용
지배 구조	**a) 기후변화와 관련된 위험과 기회에 대한 이사회의 감독사항** · 이사회 또는 운영위원회가 기후변화 관련 이슈에 관해 통보받는 프로세스 및 빈도 · 이사회 또는 운영위원회가 조직의 성과 목표 설정, 이행 및 성과 모니터링, 주요한 자본 진출, 인수 및 매각 감독, 전략, 주요 조치 계획, 리스크 관리 정책, 연간 예산 및 사업계획 검토 시 기후변화 관련 이슈를 고려하는지에 대한 여부 · 이사회가 기후변화 이슈 해결을 위한 목표·대상에 대한 진행상황을 모니터링하고 감독하는 방법
	b) 기후변화와 관련된 위험과 기회를 평가하고 관리하는 경영진의 역할 · 조직이 관리직군 또는 위원회에 기후변화 관련 책임을 부여하는지에 대한 여부, 해당 관리직군 또는 위원회의 이사회 보고 여부 · 기후변화 관련 이슈에 대한 경영진 통보 프로세스 · 경영진이 기후변화 관련 이슈를 모니터링하는 방법

출처: TCFD(2017a) 및 한국기업지배구조원(2019)을 토대로 저자 정리

두 번째, '경영전략'은 기후변화 관련 위험 및 기회가, 조직의 사업전략이나 재무 계획 등에 미치는 영향을 공개하는 지침이다. 요구되는 정보는 크게 세 가지로, i) 조직이 파악한 기후변화 관련 위험·기회가 단기·중기·장기적으로 조직의 전략에 미치는 영향을 '파악'하고, ii) 기업의 사업·전략·재무계획에 미치는 영향을 구체적으로 '설명'하며, iii) 다양한 시나리오 별 기업의 조직전략의 회복 탄력성을 설명하는 정보이다 (<표 4-5> 참조).

<표 4-5> TCFD 정보공시 세부지침: ②경영전략

항목	권고사항
전략	**a) 조직이 단기·중기·장기에 걸쳐 파악한 기후변화 관련 위험 및 기회에 대한 설명** · 조직의 자산 또는 기반 시설의 수명에 미치는 영향을 단기·중기·장기적 분석내용 · 어떤 위험과 기회가 조직에 중대한 재무적 영향을 미칠 수 있는지 분석하는데 사용된 프로세스
	b) 기후변화와 관련된 위험과 기회가 조직의 사업, 전략 및 재무계획에 미치는 영향 설명 · 제품 및 서비스, 공급망 또는 가치사슬, 조정 및 완화 활동, 연구개발 투자, 운영에 미치는 영향

	· 영업비용 및 수익, 자본지출 및 자본배분, 인수 또는 매각, 자본 접근성에 미치는 영향
	c) 다양한 시나리오를 고려하여 기후변화 리스크에 대한 조직전략의 회복탄력성 설명
	· 기후변화 위험·기회로 인해 조직 전략이 영향을 받는 부분
	· 잠재적 위험・기회를 다루기 위해 전략 변경 내용

출처: TCFD(2017a) 및 한국기업지배구조원(2019)을 토대로 저자 정리

세 번째, '위험관리'는 해당 기업이 기후변화 위험에 대한 식별・평가・관리 여부와 관리 방법에 대한 작성 지침을 담고 있다. 세부지침 정보는 <표 4-6>을 참조할 수 있다.

<표 4-6> TCFD 정보공시 세부지침: ③위험 관리

항목	권고사항
위험 관리	**a) 기후변화와 관련된 위험을 식별하고 평가하는 조직의 프로세스를 설명**
	· 기후변화 관련 위험을 식별 및 평가하기 위한 위험관리 프로세스
	· 확인된 기후변화 관련 위험의 잠재적 규모와 범위를 평가하는 프로세스
	b) 기후변화와 관련된 위험을 관리하기 위한 조직의 프로세스를 설명
	· 기후위험을 완화, 전가, 수용 혹은 통제하기 위한 의사결정방법을 포함한, 기후변화 관련 위험을 관리하는 프로세스
	· 기후변화 관련 다양한 위험의 우선순위를 결정하는 의사결정 프로세스
	c) 기후변화 위험 식별·평가·관리 프로세스가 조직의 위험관리에 통합되는 방식 설명
	· 기후변화 관련 위험을 식별, 평가, 관리하는 프로세스가, 조직의 기존 리스크관리 방식에 통합되는 방법

출처: TCFD(2017a) 및 한국기업지배구조원(2019)을 토대로 저자 정리

마지막으로, '지표와 감축목표'는 기후변화 위기・기회를 평가 및 관리하기 위해 사용되는 조직 내 지표와, 기후변화 위기・기회 속에서 조직의 목표를 달성하기 위한 감축목표를 말한다. 간단히 말하면, i) 지표 공개, ii) 온실가스 배출량 산정 지표 및 계산 방법론 공개, iii) 기후변화 관련 목표치(온실가스 배출량, 물 사용량, 에너지 사용량 목표 등)을 공개하도록 되어 있다 (세부지침 정보는 <표 4-7> 참조).

<표 4-7> TCFD 정보공시 세부지침: ④지표 및 감축 목표

항목	권고사항
지표 및 감축 목표	**a) 조직이 전략 및 위험관리 프로세스에 따라 기후변화 위험·기회 평가를 위해 사용한 지표를 공개**
	· 기후변화 위험·기회 측정 및 관리에 사용되는 주요 지표(물, 에너지, 토지이용, 폐기물 관리 지표도 포함)
	· 해당 성과지표의 임직원 보수정책에 대한 통합 여부 및 방법
	· 저탄소 경제를 위해 고안된 제품이나 서비스의 가격 및 수익 등
	b) 범주1(직접배출), 범주2(간접배출), 범주3(공급망 배출)에 해당하는 온실가스 배출량 및 관련 위험
	· 범주 1, 2, 3의 온실가스 배출량 및 관련 위험
	· 추세 분석을 위한 과거 배출량 지표 및 계산(추정)방법론 공개
	c) 기후변화 관련 위험과 기회 및 목표 대비 성과를 관리하기 위해 조직에서 사용하는 목표 설명
	· 예상되는 관련규제 요건이나 시장의 제약 등을 기반으로 설정된 주요 기후변화 관련 목표 공개 (온실가스 배출량, 물 사용량, 에너지사용량 등)

출처: TCFD(2017a) 및 한국기업지배구조원(2019)을 토대로 저자 정리

3.3. TCFD 권고에 따른 기업의 정보 공개 준비 사항: 기업 시나리오 분석

3.3.1. TCFD 권고 시나리오

TCFD 권고안에 따른 기업 정보공개 준비 시 필수적인 과정은 '시나리오 분석'이다. 시나리오 분석은 기후변화의 전환적 위험과 물리적 위험이 기업 운영에 미치는 영향을 분석·평가하여 대응방안 도출하는 데에 필요하다. TCFD에서는 시나리오의 요건을 크게 세 가지로 언급한다. 첫째, 2℃ 시나리오를 전제해야 한다. 둘째, 시나리오에 사용된 가정과 변수에 투입된 모든 데이터는 공개되어야 하며 접근성이 쉬워야 한다. 셋째, 정보의 주기적 갱신이다. TCFD는 위 조건을 충족하는 시나리오 사례로서 i) 국제에너지기구(IEA, International Energy Agency)의 세계 에너지 전망(WEO, World Energy Outlook) 450 시나리오(2012~2040), ii) 에너지 기술 전망(ETP, Energy Technology Perspectives)의 2DS 시나리오(2013-2050), iii) 국제재생에너지기구(IRENA, International Renewable Energy Agency)의 재생에너지 지도(REmap, Renewable Energy map) 시나리오(2010-2030), 그리고 iv) 그린피스 선진에너지혁명 시나리오(2012-2050) 등을 제시하였다 (TCFD 2017c) (<표 4-8> 참조). 동 시나리오들의 도출 연도가 2022년과 차이가 있다는 점은 최신 데이터 기반 신규 시나리오를 제시할 필요가 있음을 시사한다.

<표 4-8> TCFD 권고안에서 제시된 시나리오 사례 내용 (세부정보 참고자료 7.1 & 7.2 참조)

시나리오 이름	도출연도	주요내용
IEA WEO 450 (2012~2040)	2008	· **대기 중 CO_2 농도를 장기적으로 450ppm 이내로 제한하여 평균온도 상승 2℃ 이하 억제를 전제로 한 시나리오** · 2030년에 OECD 국가들의 CO_2 배출량이 2008년 대비 40% 감소, 기타 국가의 CO_2 배출량 증가가 20% 이내에서 억제 필요 · 재생에너지 비중의 확대와(40%) CCS의 광범위한 도입을 강조
IEA ETP 2DS (2013~2050)	2017	· **IEA가 매년 발간하는 에너지 기술 전망(ETP)에 기반하여, 다양한 저탄소 기술의 개발 및 배치와 관련된 시나리오** · 산업화 이전 대비 2100년의 온도 상승치에 따라 6DS(4℃), 4DS(3℃), 2DS(2℃)로 구분 · 산업화 이전 대비 2℃ 상승 달성 방안으로 i) 에너지 수요 증가 억제, ii) 화석연료 비중 축소, iii) 신재생에너지 및 원자력 비중의 제고, iv) 최종에너지 기준으로 전력비중 증대를 강조
IRENA REmap (2010~2030)	2016	· **전세계 총 에너지사용량 중 재생에너지 비중을 2030년까지 36%로 끌어올리는 것을 전제로 한 시나리오 (2016년 18%의 두 배에 해당)** · 전통적 바이오매스 자원의 사용이 폐지됨에 따라 재생에너지 사용량을 4배 증가해야 한다고 언급 · 재생에너지로의 전환은 건물, 교통, 산업, 전력부문에서 급진적으로 진행되어야 함을 강조
그린피스 선진에너지혁명 (2012~2050)	2015	· **2050년까지 재생에너지 100%를 달성하고 전체 에너지시스템의 탈탄소화를 달성한다는 내용의 시나리오** · 미래의 에너지는 재생에너지, 바이오연료, 수소에너지를 주요 축으로 하며, CCS와 원전은 존재하지 않음 · 전세계 CO_2배출량은 2020년 이후 지속적으로 감소 · 동 표에 제시된 시나리오 중 가장 급진적인 시나리오

출처: IEA(2010), 지식경제부(2009), 에너지경제연구원(2016), TCFD(2017c), GREENPEACE(2015)을 토대로 저자 정리

3.3.2. TCFD 권고안 기반 시나리오 분석 절차

TCFD 권고안에 따라 기후변화와 관련하여 '시나리오 분석'을 수행하고자 하는 기업은 크게 5단계의 절차를 거친다 (TCFD 2017a). 첫째, 기업에 대한 기후변화 관련 위험(전환 위험과 물리적 위험)의 영향을 평가한다. 둘째, 적용 시나리오를 결정한다. 셋째, 결정된 시나리오 하에서, 조직의 전략 및 재무 상태에 대한 영향을 분석한다. 넷째, 시나리오 분석 결과에 따른 기업의 대응 방안을 모색한다. 다섯째, 시나리오 분석 과정 및 결과를 문서화하고 공개한다. 각 단계별로 구체적인 내용은 <표 4-9>를 참고할 수 있다.

<표 4-9> 기후변화 대응 시나리오 분석 프로세스

과정	내용
① 기후변화 관련 위험 및 기회의 영향력 평가	· 기후변화 관련 위기 및 기회 파악 · 위기 및 기회에 대해 조직이 받는 영향 평가
② 적용 시나리오의 정의	· 평가된 기후변화 관련 위험 및 기회요인의 영향력에 따라, 참조 시나리오(IEA 2DS, IEA 450, IRENA Remap 시나리오 등)파악 및 선택 · 선택한 시나리오에 따라 미래에 대한 가정 및 변수 고려 및 채택
③ 시나리오의 기업전략 및 재무상태에 대한 영향력 평가	· 정의된 시나리오가 기업의 전략 및 재무상태[85]에 어떠한 영향력을 얼마나 미치는지에 대한 평가
④ 기업의 대응방안 모색	· 확인된 기후변화 위험과 기회를 관리하기 위해 기업에서 적용가능한 현실적인 대응방안 모색[86]
⑤ 시나리오 분석과정 및 결과의 공개	· 상기의 모든 시나리오 분석 과정과 기업의 대응 방안을 공개

출처: TCFD(2017a)를 바탕으로 저자 재구성

시나리오 분석 시 고려해야 할 사항으로서 크게 세 가지를 들 수 있다 (TCFD 2017c). 첫째, 기후변화 관련 위험 및 기회 요소에 관한 것이다. 위험에는 '전환 위험'과 '물리적 위험'이 있다. '전환 위험'은 사회적 측면에서 정책 및 법률, 기술, 시장, 평판의 변화에 의해 발생하는 위험이고, '물리적 위험'은 기후변화로 인한 급성적 기상현상 변화와 만성적 기후변화로 구분된다. 그리고 기회요소로는 자원 효율성, 에너지 자원, 제품 및 서비스, 시장, 회복 탄력성이 있다. 둘째, 적용 시나리오를 파악하고 채택할 때, 해당 시나리오에 포함되는 가정 및 변수이다. 즉 특정 시점에서의 물리·사회경제적 상황을 일컫는 것으로서, 에너지원의 구성, 거시 경제적 변수, 인구통계학적 변수, 기술의 진보, 관련 정책 등이 이에 해당된다. 셋째는 선정된 시나리오대로 미래의 상황을 가정한 경우, 시나리오 상에서의 가정 및 변수가 영향을 미치는 기업의 비즈니스 전략 및 재무 요소이다. 여기에 해당되는 것이, 수익, 비용, 매출, 자산, 투자, 시기, 대응 등이다. 이를 정리하면 다음의 <표 4-10>과 같다.

85) 재무상태라 함은 투입비용, 운영비용, 수익, 공급망, 영업정지 등을 들 수 있다.
86) 현실적인 대응방안의 예시로는 비즈니스모델 변경, 포트폴리오 구성의 변경, 기업 내부역량 및 기술에 대한 투자 등을 들 수 있다.

<표 4-10> 시나리오 분석 시 주요 단계별 고려 요소

기후 관련 위험 및 기회	
· 위험	▪ 전환 위험 · 정책 및 법률 (기후변화 완화 및 적응 정책, 기후소송 등) · 기술 (기후기술 연구·개발·실증·활용에 따른 투자와 수요 변화) · 시장 (기후변화 관련 수요 및 공급 변화) · 평판 (해당 기업의 기후변화 대응 관련 고객 및 지역사회 인식) ▪ 물리적 위험 · 급성 (홍수, 가뭄, 허리케인 등 극심한 기상현상 증가) · 만성 (해수면 상성, 기후 패턴 변화 등 장기적 변화)
· 기회	▪ 자원 효율성: 생산, 유통, 운성, 건물 등 전반적 효율성 향상 ▪ 에너지 자원: 재생에너지 투자, 저탄소 에너지원으로 사용 전환 ▪ 제품 및 서비스 · 신규 저탄소 제푸 및 서비스 개발, 소비사 수요 트렌드 변화 ▪ 시장: 신규 시장 접근성, 신규 자산 접근 등 ▪ 회복 탄력성: 신재생에너지 프로그램 참여, 자원 대체/다각화 등
시나리오 상의 가정 / 변수	
· 할인율	▪ 기업에서 미래가치에 대한 할인율을 어떻게 적용하는가?
· 탄소가격	▪ 탄소가격이 시간에 따라 어떻게 전개될 것인가? ▪ 탄소가격은 특정 경제부문에 적용되는가? 아니면 경제 전반에 적용되는가?
· 에너지 수요 및 구성	▪ 주요 에너지원은 어떻게 구성될 것인가?
· 원자재 및 상품 가격	▪ 에너지 가격에 기반한 원자재 및 상품 가격은 어느 수준으로 형성될 것인가?
· 거시경제적 변수	▪ GDP성장률 등의 경제지표는 어떻게 설정할 것인가?
· 인구통계학적 변수	▪ 인구증가 및 감소, 지역적 분포는 어떻게 설정한 것인가?
· 에너지효율성	▪ 에너지효율성, 온실가스 원단위 배출량은 어느 정도 수준으로 개선될 것인가?
· 기술의 발전	▪ 주요 재생에너지기술 및 이산화탄소 포집기술, 에너지 효율 관련 기술은 어느 정도까지 발전할 것인가?
· 정책	▪ 기후변화와 관련된 특정 기술 또는 산업을 진흥 또는 억제하기 위한 정책이 존재하는가?
· 기후민감도	▪ 온실가스 배출량 증가에 따라 기온은 얼마나 높아지는가?
시나리오가 비즈니스에 미치는 영향 및 효과 고려 요소	
· 수익	▪ 해당 시나리오가 기업의 수익에 주는 영향력을 어떻게 평가할 것인가?
· 비용	▪ 시간이 지남에 따라 발생하는 기업의 운영 및 생산비용을 어떻게 평가할 것인가?
· 매출	▪ 기업의 주요 상품 및 서비스에 의한 매출의 변화와, 그것이 수익에 끼치는 영향을 어떻게 평가할 것인가?
· 자산	▪ 시나리오가 기업의 소유자산 가치에 끼치는 영향을 어떻게 평가할 것인가?
· 자본 배분 및 투자	▪ 자본지출 및 투자에 대한 영향을 어떻게 평가할 것인가?
· 시기	▪ 일정한 시기(5/10/20년)별 비용, 매출, 수익에 대해 어떤 결론을 도출하였는가?
· 대응	▪ 기업의 대응전략에 대하여 어떠한 정보를 제공하는가?[87]
· 물리적 영향으로 인한 영업정지	▪ 기후변화 물리적 위험에 따른 기업의 생산성 손실에 대한 영향력을 어떻게 평가할 것인가?[88]

출처: TCFD(2017c)를 바탕으로 저자 재구성

87) 기업의 대응전략으로는 자본지출계획 변경, 인수 및 투자회수를 통한 포트폴리오 변경, 자산 제각, 신시장 진출, 신규사업 창출 등이 있다.

88) 기업의 생산성으로는, 소유자산이나 제품 생산 및 유통과정에서의 공급망을 포함한다.

3.4. TCFD 권고 정보 공개: 기후변화 위험 분석

TCFD 권고안에 기반한 정보공개 및 시나리오 분석을 위해 기업 차원에서 일차적으로 진행해야 하는 핵심사항은 기후변화 관련 위험과 기회를 파악하는 것이다. TCFD 권고안에서는 기후변화와 관련된 위기를 크게 전환 리스크(Transition Risks)와 물리적 위험(Physical Risks)으로 구분하고 있다 (TCFD 2017a).

먼저, 전환적 위험은 저탄소경제 사회로 이행해 가는 가운데 발생하는 사회·경제적 위험으로서, 정책 및 법률적 위험(Policy and Legal Risks), 기술 위험(Technology Risk), 시장 위험(Market Risk), 평판 위험(Reputational Risk)으로 세분화된다. 한편, 물리적 위험은 기업의 자산, 공급망, 재정상태 등에 영향을 미치는 환경적인 위험요인을 말하는 것이다. 이는 급성(Acute) 위험과 만성(Chronic) 위험으로 세분화된다. 전환적·물리적 위험요인의 세부적인 내용과 기업의 재정 상태에 미칠 잠재적 영향을 정리하면 다음의 <표 4-11>와 같다.

<표 4-11> TCFD 권고안의 기후변화 위험요인 및 재무상태에 미치는 영향

구분		기후변화 관련 위험	기업 재무상태에 미치는 잠재적 영향
전환적 위험	정책 및 법률	· 강화된 온실가스 배출량 보고 의무 · 법적 송사에 대한 위험 · 제품과 서비스에 대한 규제 · 온실가스 배출 가격 인상	· 영업비용 증가(보험료 인상 등) · 정책 변화로 인한 자산가치 저하, 기존 자산 폐기 등 · 비용 증가(각종 벌금이나 과태료 등)
	기술	· 저탄소 경제로의 이행 위한 제품·서비스 대체 · 저탄소기술 전환비용 · 신기술 투자 실패	· 기존 자산의 조기 폐기 · 기존 제품 및 서비스에 대한 수요 감소 · 신기술에 대한 연구개발 비용 증가 · 새로운 업무관행 및 프로세스 적용
	시장	· 시장 신호의 불확실성 · 국제 에너지가격 동향 및 전망 · 산업 · 원료 가격의 증가 · 고객 행동의 변화	· 소비자 선호도 변화로 인한 제품·서비스 수요 감소 · 투입비용(에너지, 물)과 후처리비용(폐기물 처리)의 증가로 인한 제품생산비용 증가 · 에너지 비용의 예기치않은 갑작스런 변화 · 보유 자산의 가치 변동
	평판	· 이해관계자 우려 혹은 부정적 반응 · 소비자(Comsumer) 선호도의 변화	· 제품/서비스의 수요 감소로 인한 수익 감소 · 기업 내부정보 유출 및 확산으로 인한 이미지 손상 · 사업장 관리상의 문제로 인한 수익 감소 · 자본 가용성 감소
물리적 위험	급성	· 태풍 및 홍수와 같은 극심한 기후현상의 심각성 증가	· 생산능력 감소로 인한 수익 감소(운송상의 문제) · 노동력에 미치는 부정적인 영향으로 인한 수익 감소(건강, 안전, 결근 등) · 보유 자산의 조기 폐기(고위험 지역의 자산가치 손상) · 영업비용의 증가(수력/핵/화석연료 발전소 냉각을 위한 수도시설 부족) · 자본비용의 증가(설비 손상) · 판매 및 생산 감소로 인한 수익 감소 · 보험료 상승
	만성	· 평균기온의 상승 · 강수유형의 변동 · 해수면 상승 · 날씨 패턴의 극단적 변동성	

4. TCFD를 적용한 국가의 대표 사례

4.1. EU

EC(유럽연합 집행위원회)에서는, TCFD 권고안의 발표 이후 '기후관련 정보 보고에 관한 가이드라인'을 발표하였다. 해당 가이드라인은 유럽 내 기업들이 발표하는 기후 관련 보고 관련 정보가 표준화되어 있지 않아 기업 간 비교가 어렵다는 문제의식에서 시작되었으며, 5개 핵심 보고항목(비즈니스 모델, 정책 및 실사 프로세스, 결과, 주요 위험요소 및 관리 방안, 주요 성과지표)로 구성되어 있다 (세부 정보는 <표 4-12> 참조).

<표 4-12> EC의 기후 관련 비금융정보 보고 가이드라인에서 제시하는 보고방법

항목	내용	추가지침
비즈니스모델	· 기후 관련 위험 및 기회가 회사의 비즈니스 모델, 전략, 재무계획에 미치는 영향 · 회사 비즈니스모델이 기후에 미칠 긍정적/부정적 영향	· 기후 관련 비즈니스 기회 활용을 위한 회사의 비즈니스 모델 및 전략의 변경사항 설명 · 자연자본의 위험에 대한 회사의 의존성 설명 · 자원효율성, 비용 절감, 저배출 에너지원 채택, 새로운 시장, 가치사슬을 통한 탄력성 구축과 관련된 기회 설명 · 회사의 시나리오 선택방법 공개 · 온실가스 배출에 대한 회사의 영향 설명
정책 및 실사 프로세스	· 기후 관련 회사 정책 (기후변화 완화, 적응정책 등) · 회사의 기후관련 목표 및 회사 목표의 국가/국제목표와의 관련성 · 기후 관련 위험 및 기회에 대한 이사회의 감독 · 기후관련 위험과 기회 평가 시 경영진의 역할	· 기후관련 문제에 대한 회사의 가치사슬 참여, 기후완화 및 적응 촉진을 위한 업스트림 및 다운스트림 파트너와의 관계 설명 · 기후 관련 문제의 회사 의사결정 프로세스 통합 방법 · 회사의 기후관련 문제에 대한 공공정책 참여 · 회사 내외 소스를 통해 기후관련 문제에 대한 전문지식 활용 가능 여부, 방법, 수준 설명 · 기후와 관련된 직원 정책[89] 설명 · 보수정책의 기후 관련성과 고려 여부, 방법 · 회사의 에너지관련 목표 공개 · 회사가 사용하는 기후관련 목표의 선택 이유 설명 · 토지회사의 경우 온실가스 흡수와 관련된 목표 설명
결과	· 기후관련 위험 및 기회 관리를 위해 사용된 지표 및 목표 설정 · 목표 설정 및 시간에 따른 위험에 대한 온실가스 배출량 관련 개발 설명	· 기후와 관련된 회사의 성과가 재무성과에 어떤 영향을 미치는지 설명
주요 위험요소 및 관리방안	· 단기, 중기, 장기적 기후관련 위험 식별, 평가를 위한 회사 프로세스 설명 · 가치사슬 전반에 걸쳐 회사가 단기, 중기, 장기적으로 식별한 주요 기후 관련 위험	· 회사의 기후 적응조치 설명 · 비즈니스 활동별 기후관련 위험에 대한 상세한 분석 · 지리적 위치별 주요 기후관련 위험 설명 · 기후관련 위험의 우선순위 결정에 대한 프로세스 · 전환위험(정책, 법적, 기술적, 시장, 평판 위험) 또는 물리적 위험(급성 및 만성 위험)에 따라 회사의

항목	내용	추가지침
	· 기후관련 위험 관리 프로세스, 회사가 식별한 특정 기후 관련 위험 관리방법 설명 · 기후관련 위험 식별, 평가, 관리를 위한 프로세스가 회사의 전체 위험관리에 어떻게 통합되는지에 대한 설명	재무성과에 대한 기후변화의 주요 위험 분류 · 기후관련 문제가 포함된 모든 위험 매핑 공개 · 사용된 위험 용어의 정의, 기존 위험 분류 프레임워크에 대한 참조 제공 · 위험 식별, 평가와 관련된 검토 및 분석 빈도 · 주요 기후 관련 위험과 재무적 성과지표 간의 연관성 · 극단적 날씨 상태의 재무적 영향 설명 · 회사 성과
주요성과 지표	온실가스 배출: 1) 직접적 온실가스 배출(범주1) 2) 간접적 온실가스 배출(범주2) 3) 회사의 가치사슬에서 발생하는 기타 모든 간접 온실가스 배출(범주3) 4) 목표 온실가스 배출 절대치	· 직접적 온실가스 배출(범주1) - 범주1 배출량을 100% 공개 (데이터 수집이 불가한 경우 합리적으로 추정) · 간접적 온실가스 배출(범주2) - 필요한 경우 범주2에 해당하는 배출원 존재 여부, 그 이유 명시 - 국가, 지역, 사업활동, 자회사별 범주2 배출량 공개 고려 · 회사의 가치사슬에서 발생하는 기타 모든 간접 온실가스 배출(범주3) - 업스트림 및 다운스트림에서 발생하는 활동으로 인한 배출량 고려 - 범주3 배출량과의 관련성을 손상시키는 모든 활동을 보고 · 목표 온실가스 배출 절대치 - 범주 1,2,3 배출량과 전체 또는 일부 관련성 설명 - 목표 설정에 대한 온실가스 배출량 개발 설명 - 2025년 또는 2030년 목표 설정을 고려하고 5년마다 검토 - 국가, 지역, 사업활동, 자회사별 온실가스 배출량 목표 공개 고려 - 추가 목표 공개 고려
	에너지: ①재생가능/불가능한 총 에너지 소비/생산 ②목표 에너지효율 ③재생가능에너지 소비/생산 목표	· 재생가능/불가능한 총 에너지 소비/생산 - 원료로 소비되는 연료는 지표계산 시 불포함 - 재생가능한 에너지원 분류 포함 - 재생불가능한 에너지원을 공개시 저탄소원과 기타 재생불가능한 에너지원 구분 · 목표 에너지효율 · 재생가능에너지 소비/생산 목표 - 에너지 목표 설정에 대한 진행상황 설명
	물리적 리스크: - 급성/만성 물리적 기후 위험에 노출될 가능성이 높은 지역에 투입된 자산	· 물리적 기후 관련 위험에 노출된 지역 식별을 위해 사용한 출처 또는 방법론 공개
	상품 및 서비스: ①기후변화 완화/적응 기준을 충족시키는 활동과 관련된 제품, 서비스로의 연도별 전환율	· 회사의 활동이 기후변화에 대한 완화 또는 적응이라는 두 가지 EU목표에 실질적으로 기여하는지를 평가하고, 이 때 EU의 다른 환경 목표, 관련 규정에 명시된 모든 기준과 조건을 충족하는지를 고려

항목	내용	추가지침
	②기후변화 완화/적응 기준을 충족시키는 활동과 관련된 자산 등에 대한 연도별 투자/지출 비율	
	그린 파이낸스: - 기후관련 Green bond, Green debt 비율	· Green bond, Green debt 총액에는 EU녹색채권 표준에 따라 발행된 Green bond, Green debt만 포함 · Private placement와 같은 비등록 상품을 발행한 발행인의 경우 상장 및 비상장 내역을 공개 · 회사는 주요 성과 지표와 관련된 향후 목표 제공을 고려
	기타 고려사항	· 특정산업과 관련된 섹터별 지표 - 에너지, 운송, 자재, 부동산, 농업 등의 섹터를 포함하는 회사는 '기후관련 재무정보 공개 태스크포스(TCFD)'의 보충 지침을 참조하여 섹터와 회사 전체에 보고된 주요 성과지표의 비교 가능성을 보장 · 관련 환경문제에 대한 지표 - 비즈니스 모델이 기후변화로 위협받는 자연 자본에 의존하는 경우 자연자본과 관련된 지표(물, 토양생산성, 생물다양성)를 공개 - 삼림 벌채, 산림 황폐화를 포함한 토지이용 변화의 결과로 기후에 부정적인 영향을 미치는 회사는 이러한 문제에 대한 지표 공개를 고려 · 직원 교육 및 채용과 같은 관련 인적자본 및 사회적 문제에 대한 지표 · 기회와 관련된 지표 - 저탄소 및 기후회복력이 있는 경제로의 전환에 대하여 회사는 주요 EU정책에 따라 기후변화 악화, 기업에 기회로 이어질 수 있는 기후변화 완화, 적응활용을 수행하고 그러한 노력을 반영하는 주요성과 지표 공개를 고려

출처: 산업연구원(2019)의 내용을 바탕으로 저자 재구성

89) 예시_저탄소 기술로의 전환시 필요한 기술투자, 직원 안전조치 등

4.2. 일본

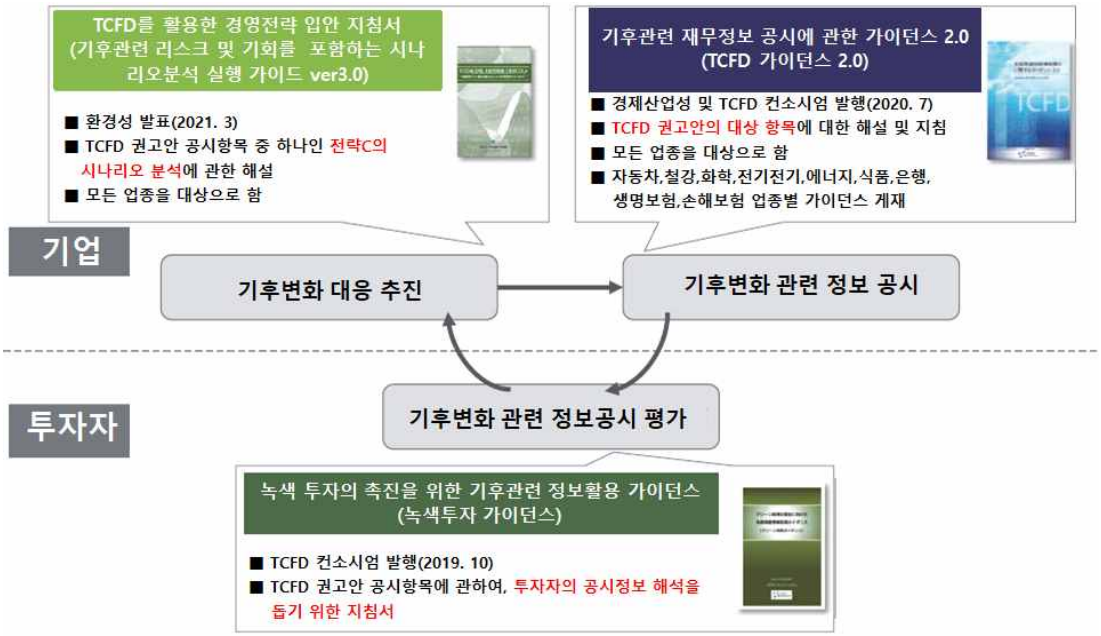
일본은 전세계에서 TCFD 권고안에 대하여 가장 많은 지지를 보내고 있는 국가이다. TCFD 현황 보고서에 따르면, 일본 내 TCFD 지지기관의 2021년 시점에서 숫자는 527개 기관으로서 ([그림 4-3] 참조), 2위인 영국과도 현격한 격차를 세계 수위를 차지하고 있다 (TCFD 2021).[90]

[그림 4-3] TCFD지지 기관의 국가별 규모

출처: TCFD(2021), p13 인용

일본의 TCFD의 국내적 적용 노력에는 정부와 민간의 노력이 있었으며, 대표적인 세 주체는 일본 경제산업성, 환경성, 그리고 민간부문의 대학이다 ([그림 4-4] 참조). 먼저, 일본 경제산업성은 2018년 12월, '기후관련재무정보공시에 관한 TCFD 지침(이하, TCFD 지침)'을 수립하여 공표하였다. 그리고 2년 후인 2020년 7월에는 이의 개정판인 'TCFD 지침 2.0'을 발표하였는데, 이는 민간 부문에서는 대학을 주축으로 설립된 'TCFD 컨소시엄'이 경산성과 협력하여 작성하였다. 다음으로, 환경 관련 정책을 관장하는 일본 환경성은 기업이 시나리오 분석 수행 시 참고가 되는 사례 및 방법론을 게재한 '기후관련 리스크 및 기회를 포함한 시나리오 분석 실전 가이드'를 2019년 3월 공표하고, 2020년 3월에 개정하였다. 마지막으로, 민간 부문에서는 2019년 5월, 대학을 주축으로 하여 'TCFD 컨소시엄'을 설립하고, 동년 10월에는 투자자 입장에서 기업이 공시한 기후변화 관련 정보를 해석하고 투자 의사결정에 활용할 수 있도록 돕는 안내서인 '그린 투자 지침'을 발표하였다 (환경성 2021).

90) 1위는 일본(527개 기관), 2위는 영국(384개 기관), 3위는 미국(345개 기관), 4위는 호주(125개 기관), 그리고 5위는 프랑스(117개 기관)이다 (TCFD 2021, p.13).



[그림 4-4] TCFD의 적용을 위한 정부-민간 합동대응

출처: 환경성(2021)을 바탕으로 저자 재구성

이 중 기업의 입장에서 기후관련 정보 공시에 대해 가장 세부적인 지침을 제시한 것이 경제산업성이 발간한 'TCFD 지침 2.0'이다. 동 지침은 TCFD 권고안을 바탕으로 일본 내의 산업 사정을 감안하여 업종을 분류하고 구체적인 공시정보를 게재한 것으로서, 총 10개의 업종(자동차, 철강, 화학, 전기·전가, 에너지, 식품, 은행, 생명보험, 손해보험, 국제해운)으로 분류하였다. 또한 해당 업종별로 산업 특성을 고려한 정보공시 상의 주안점과 작성예시를 명시함으로써 기업들이 TCFD 권고안에 기반한 정보공시의 어려움을 덜 수 있도록 작성되었다 (TCFD Consortium 2020). 업종별 정보공시의 주요내용을 살펴보면 철강/화학/전기·전자 산업의 경우는 특히 제조단계에서 다량의 온실가스를 배출하는 업종으로서 에너지효율 기술의 도입이 공통적인 핵심내용으로 강조되었고, 자동차산업과 국제해운이 속해 있는 운송산업은 부품의 조달 및 제조, 그리고 사용단계에 이르기까지의 모든 과정에서의 온실가스 배출량과 새로운 기술(미래연료 사용기술)의 도입이 정보공시의 주요 내용으로 언급되었다. 또한 에너지와 식품산업은 기후변화에 대한 전환적 위험과 물리적 위험의 양 측면에서 위기와 기회요인을 포착해야 한다고 강조했으며, 은행·생명·손해보험과 같은 금융부문에서는 기후변화 물리적 위험으로 인한 손해율과 투자대상의 기후변화 영향도 분석이 중요한 내용으로 언급되었다 (세부내용은 <표 4-13> 참조).

<표 4-13> 업종별 TCFD가이던스에 의한 공시 지침

업종	정보공시 지침
자동차	·차량제도 1대 당 온실가스 배출량 목표 및 실적 ·원자재 공급자의 녹색구매 가이드라인 설정 및 그 외 노력

업종	정보공시 지침
	·신차 주행시 평균연비 혹은 온실가스 배출량에 대한 중장기 목표 및 실적 ·자동차 에너지 효율향상 등에 의한 온실가스 감축량 ·구체적인 기술개발 내용과 중장기 목표(판매대수 혹은 점유율)
철강	·제조공정 상의 효율(에너지 원단위) 제고를 위한 조치 ·제조단계에서의 온실가스 배출량을 대폭 저감하기 위한 조치(예: 수소환원제철기술의 개발 등)에 관한 진척상황 혹은 향후 전망 ·작업장 내 부산물에 대한 재활용률 ·폐플라스틱의 이용을 통한 코크스 대체 연료 및 화학원료로서의 이용 조치 ·온실가스 감축에 기여하는 제품 소개 및 제품별 온실가스 감축공헌도 ·기술의 이전(예: 개도국 기술이전)을 통한 온실가스 감축 공헌 관련 내용
화학	·에너지원단위의 향상이나 온실가스 배출 저감을 위한 조치 (예: 생산방식의 전환에 의한 에너지 효율화 조치, 폐열의 재활용, 자가발전연료의 전환 등) ·공급망 상에서의 온실가스 감축 관리(원료조달 방침의 설정 등) ·첨단기술 개발과 관련한 조치(예: 막분리 공정 개발, CCU기술 개발, 바이오매스 원료 이용 등) ·첨단기술 개발을 통한 온실가스 감축효과 전망치 ·친환경 제품을 통한 온실가스 감축 메커니즘 및 공헌도
전기·전자	·제조공정 효율(에너지원단위 등) 향상을 위한 조치 ·주요 제품의 에너지 효율 향상을 위한 조치 ·온실가스 감축에 기여하는 제품이나 서비스의 소개 및 감축 기여도 ·제품의 에너지효율화를 위한 첨단기술 개발 ·온실가스 감축에 기여하는 IoT 솔루션 관련 기술 개발(에너지 매니지먼트 등)
에너지	·비화석연료 전원 비율 확대 관련 조치 ·기후변화로 인한 수자원 변화 전망 및 이로 인한 원전 운영 관련 계획 등 ·화력발전 고효율화에 의한 CO_2 저감 관련 조치 ·연료의 제조공정(정유 등)에 관한 에너지효율화 등, 공급망 상에서의 각 공정 관리를 통한 전체적 온실가스 감축 조치 ·지속가능성을 고려한 바이오매스 연료의 도입을 위한 조치 ·도시가스 제조시의 CO2 배출 원단위·에너지 원단위 저감을 위한 조치 ·열병합발전이나 연료전지 등의 보급확대 및 활용에 따른 에너지효율화, 온실가스 저감 관련 조치 ·환경부하를 저감하는 화력발전 기술, 재생에너지 도입, 에너지 효율적 이용기술의 개발 등, 저탄소에 기여하는 기술개발 관련 조치 ·저탄소화를 위한 수소 관련 기술 연구개발 ·고효율 전기기기 등의 보급확대에 따른 수요측 온실가스 저감 조치 ·스마트에너지 네트워크나 에너지 매니지먼트 시스템 관련 조치 ·해외 사업을 통한 온실가스 감축 공헌도
식품	·조달 리스크(원재료의 품질관리, 조달비용 등)의 사업운영에의 영향평가 및 대책마련 ·기후변화로 인한 원료산지의 변화에 다른 리스크 회피 노력 ·지속가능한 생산 및 유통에 의한 제3자기관의 인증원료 사용 ·지속가능한 축산산업을 위한 생산방식 지원 관련 조치

업종	정보공시 지침
	·기후변화로 인한 수자원 리스크의 사업운영에의 영향평가 및 대책 ·배수처리에서 발생하는 메탄가스의 발전이용 ·기상재해(풍수해 등)로 인한 사업 영향 평가 및 대책 ·대체원료 및 제품의 개발(식물대체육이나 배양육 등) ·식품제조시의 온실가스 감축 노력 ·포장용기의 경량화 및 대체소재로의 변경 노력 ·제품 수송 및 배송시의 온실가스 감축 노력 ·제조 과정 상의 식품손실 저감 조치(AI활용한 수요예측 강화 등) ·부산물 및 동식물성 잔사의 사료·비료로의 재활용 관련 조치 ·기후변화로 인한 수요변화에 매칭된 상품개발 조치
은행	·기후변화 시나리오(IPCC_RCP2.6, RCP8.5 등) 별 홍수발생확률에 기반한 여신관련 비용의 시산 및 공개 ·전환리스크 시나리오(IEA_지속가능시나리오 등) 기반 비용 변화를 고려한 여신 관계 비용의 시산 및 공개 ·대출금에 대비 탄소관련 자산(에너지 설비 등)의 비율 ·기후변화에 대응하기 위한 경영전략 반영 과정 및 시나리오 분석 여부 ·녹색채권(Green Bond)발행 실적 및 재생에너지 사업 프로젝트 파이낸싱 실적 ·ESG, SDG에 관한 융자상품 실적 및 중장지 지속가능금융 목표금액
생명보험	·환경 및 기후변화 대응 방침 ·ESG 투융자 관련 대응방침 ·이상기후 및 자연재해 빈도나 규모의 변화 등, 단기 영향에 의한 보험금 지불 영향 분석 관련 조치 ·평균기온 상승 등, 중장기적 영향에 의한 질병발생율 및 사망률 변화 관련 리스크 분석 ·저탄소화에 기여하는 기업 및 기술이나 프로젝트 등의 투융자 실적 ·투융자 자산의 기후변화관련 영향 분석
손해보험	·자연재해의 빈도 및 규모의 변화에 따른 영향 분석(보험금지급 증가 등) ·탈탄소사회의 이행에 따른 환경변화로 인해 발생하는 영향 분석(법규제 강화, 신기술 발전 등에 의한 산업구조 변화 시 수입보험료에 미치는 영향) ·기후 관련 리스크 관리체계 ·방재 및 재해 피해 저감을 위한 각종 조치 등 ·자연재해 증가로 인해 개발한 보험상품 ·기후변화 대응을 촉진하는 상품(녹색 인프라 대상 보험상품 등)의 제공 ·기업 대상 기후관련 컨설팅서비스 제공
'국제해운	·고효율선박, 대체연료 선박 등의 신기술적용 선박 활용 ·고효율선박, 대체연료 선박으로의 전환을 위한 조선업체와의 협약 관련 조치 ·기후변화로 인한 영향 혹은 탄소중립을 위한 운송경로의 변화에 대응하는 조치 ·전환리스크 및 물리적 리스크를 파악하고 거버넌스에 반영하는 체제 ·상선의 CO_2 원단위

출처: TCFD Consortium(2020)의 내용을 바탕으로 저자 재구성

5. IPCC 제6차 보고서 기반 기후 위험 정보 추출[91)]

본 섹션에서는 앞서 언급했던, 전환적 위험과 물리적 위험으로 구분된 기후변화 관련 위험요인을 IPCC 제6차 평가보고서의 내용에 기반하여 구체적인 정보를 추출하고자 한다. 이와 관련하여, 기후위험과 관련된 일반 현황에 대한 정보를 우선적으로 살펴볼 필요가 있다. 이에 제6차 IPCC 평가보고서를 토대로, 장기적인 온실가스 배출시나리오에 대한 현황 및 전망과, 이를 해결하기 위한 국가 차원의 NDC에 기반한 국가목표의 설정 현황 및 방향성에 대한 사항을 다음과 같이 정리하였다.

5.0.1. 장기 GHG 배출 시나리오 현황 및 전망[92)]

2022년 발간된 IPCC 제6차 평가보고서에 대한 제3실무그룹 보고서 보고서 제3장에 따르면, 2019년 전세계 온실가스 배출량은 약 59$GtCO_2eq$인데, 현행 정책이 그대로 유지되는 시나리오의 2030년 및 2050년 온실가스 배출량은 각각 약 62$GtCO_2eq$과 약 70$GtCO_2eq$으로 전망된다 (IPCC 2022a, Sec. 3.3) (<표 4-14>의 C7 시나리오 참조). 이 시나리오라면 2100년 지구의 기온은 산업혁명 이전 대비 3.5(2.8~3.9)℃까지 상승하게 된다. 1.5℃를 달성하기 위해서는 늦어도 2025년 이전까지 글로벌 온실가스 배출량이 정점에 도달하여야 하고, 2030년까지 2019년 대비 약 43%를 감축한 후,[93)] 2050년에는 2019년 대비 약 84%를 감축할 필요가 있다. 그 이후 2070년까지, CO_2가 아닌 온실가스 기준으로 탄소중립을 달성해야 한다. 2℃ 목표의 달성을 위해서는 2019년과 비교하여 2030년에 27%, 2050년 63%를 감축해야 한다.

1.5℃ 목표를 위한 시나리오 상에서 잔여 탄소배출허용총량(carbon budget)은 500$GtCO_2$이다.[94)] 그런데, 이는 최근 10년 동안 배출된 이산화탄소의 약 1.25배에 해당한다. 이는 최근 10년간의 배출 행동이 유지될 경우, 12.5년 이내에 잔여 탄소배출허용총량을 모두 소진한다는 것을 의미한다. 한편, 2℃ 목표를 위한 시나리오 상에서 잔여 탄소배출허용총량은 1,150$GtCO_2$이다.[95)] 이는 최근 10년 배출량의 약 3배에 해당하는 양이다. 그런데, 기존 및 향후 계획된 신규 화석연료 기반시설의 수명기간 동안의 배출량 전망만으로도 2℃ 목표의 잔여 탄소배출허용총량을 소진하는 것으로 나타났다. 따라서, 1.5℃ 혹은 2℃ 목표를 달성하기 위한 시나리오 상의 잔여 탄소배출허용총량은 감축이 힘든 산업 부문이나 타 최종에너지 수요 부문에서 사용돼야 하고, 전력 부문에 대해서는 화석발전시설의 조기 폐쇄, 개조, 사용 제한, 신규 설립계획 취소 등의 적극적 조치가 취해져야 한다고 강조한다 (Ibid., Sec. 3.5).

현재까지 각 국가가 발표한 2030 NDC 목표로는 1.5℃ 목표 달성은 어려우며, 2℃ 목표 달성도 쉽지 않다. 게다가 지금 2030 NDC 목표의 상향을 위하여 국제적인 압력을 높이는 것은 시간적인 제약으로 인해 어렵다고 볼 수 있다. 가장 현실적인 방안은, 현재까지 선언된 NDC

91) 연구보고서와 기관 발간물 간의 차별성을 기관 발간위의 요청에 따라 동 섹션 6 내용의 상당부분이 삭제된 바, 동 섹션의 내용은 반드시 손범석·송예원·김한이·오채운. (2022). TCFD 기업정보 공개준비를 위한 기후위험 정보 추출 연구: IPCC 제6차 평가보고서를 중심으로. 국가녹색기술연구소 (ISBN: 979-11-86271-87-2)」의 발간물의 내용을 확인할 필요가 있다.
92) 본 섹션의 내용은 IPCC 2022a의 제2장, 3장, 8장을 중심으로 작성되었다.
93) 43%는 약 34GtCO2eq 수준이다.
94) 목표 달성 확률이 50%일 때 상정된 값이다.
95) 목표 달성 확률이 66%일 때 상정된 값이다.

이행을 국제사회가 실행하도록 노력하는 것이다. 2030 NDC 목표 달성이라는 전제하에, 2℃ 목표라도 달성하기 위해서는 2030년 이후에 가속화된 감축 노력이 필요하다. 2℃ 목표 달성을 위해서는 2030년 이후에 급격한 온실가스 감축을 통하여 2030~2050년 기간 동안 연평균 1.3~2.1GtCO$_2$eq를 감축할 필요가 있다 (IPCC 2022a, Sec. 3.5). 한국 및 주요선진국들은, 2030 NDC를 탄소중립을 위한 가는 선형적인 경로나, 이보다 더 강한 수준으로 설정하였다.

<표 4-14> 지구 배출 경로의 유형과 주요 특징

<table>
<tr><th colspan="2" rowspan="2">유형(카테고리)</th><th rowspan="2">예시적 완화경로</th><th colspan="2">연간배출량 (GtCO$_2$eq/yr)</th><th colspan="4">달성연도</th><th rowspan="2">2100년 온난화 수준*</th></tr>
<tr><th>구분</th><th>경로설명(확률)</th><th>2030</th><th>2050</th><th>CO$_2$ 정점</th><th>GHG 정점</th><th>CO$_2$ 넷제로</th><th>GHG 넷제로</th></tr>
<tr><td>C1</td><td>오버슛이 없거나 제한적(0~0.1°C)이면서 1.5°C 온난화로 제한 (>50%)</td><td></td><td>31</td><td>9</td><td rowspan="10" colspan="2">2020-2025</td><td rowspan="4">2050-2055</td><td>2095-2100</td><td>1.3°C</td></tr>
<tr><td>-C1a</td><td>GHG 넷제로 달성</td><td>• SSP1-1.9
• SP, LD</td><td>33</td><td>8</td><td>2070-2075</td><td>1.2°C</td></tr>
<tr><td>-C1b</td><td>CO2 넷제로 달성하나 GHG 넷제로 달성 없음</td><td>• Ren</td><td>29</td><td>9</td><td>-</td><td>1.4°C</td></tr>
<tr><td>C2</td><td>높은 오버슛(0.1~0.3°C) 후 1.5°C 온난화 제한 복귀 (>50%)</td><td>• Neg</td><td>42</td><td>14</td><td>2055-2060</td><td>2070-2075</td><td>1.4°C</td></tr>
<tr><td>C3</td><td>2°C 온난화로 제한 (>67%)</td><td></td><td>44</td><td>20</td><td>2070-2075</td><td>-</td><td>1.6°C</td></tr>
<tr><td>-C3a</td><td>2020년부터 즉각적인 완화 행동 시작</td><td>• SSP1-2.6</td><td>40</td><td>20</td><td>2070-2075</td><td>-</td><td>1.6°C</td></tr>
<tr><td>-C3b</td><td>2030년까지 NDC 이행과 이후 이행 강화</td><td>• GS</td><td>52</td><td>18</td><td>2065-2070</td><td>-</td><td>1.6°C</td></tr>
<tr><td>C4</td><td>2°C 온난화로 제한 (>50%)</td><td></td><td>50</td><td>28</td><td>2080-2085</td><td>-</td><td>1.8°C</td></tr>
<tr><td>C5</td><td>2.5°C 온난화로 제한 (>50%)</td><td></td><td>52</td><td>39</td><td>-</td><td>-</td><td>2.1°C</td></tr>
<tr><td>C6</td><td>3°C 온난화로 제한 (>50%)</td><td>• SSP2-4.5
• Mod-Act</td><td>54</td><td>52</td><td>2030-2035</td><td>2020-2025</td><td>-</td><td>-</td><td>2.7°C</td></tr>
<tr><td>C7</td><td>4°C 온난화로 제한 (>50%)</td><td>• SSP3-7.0
• Cur-Pol</td><td>62</td><td>70</td><td>2085-2090</td><td>2090-2095</td><td>-</td><td>-</td><td>3.5°C</td></tr>
<tr><td>C8</td><td>4°C 온난화 초과 (>50%)</td><td>• SSP5-8.5</td><td>71</td><td>88</td><td colspan="2">2080-2085</td><td>-</td><td>-</td><td>4.2°C</td></tr>
</table>

출처: 오채운 외(2022)의 [표 3-4]를 삽입. 원출처는 IPCC (2022b)의 Table SPM.2로 이를 재구성

5.0.2. NDC 기반 국가 목표 설정 현황 및 방향성[96)]

IPCC 제6차 평가보고서 제3실무그룹 보고서는 각국의 제1차 국가결정기여(NDC)의 목표와 조치에 대한 종합적인 검토를 기반으로, 세계 각국이 제시한 NDC 목표 이행에 따른 전지구적인 배출 전망과, 지구온도를 2℃/1.5℃ 이내로 제한하기 위한 목표에 따른 감축 경로 사이의 격차를 의미하는 '배출 격차(Emission Gap)'에 대한 분석 결과를 다룬다 (IPCC 2022a, Sec. 4.2.2). 이러한 '배출 격차'의 심각성은, NDC 공약에 따른 서류상의 목표 배출량과 현행 정책 이행 수준에 따른 배출 예상량 간의 차이인 '이행 격차(Implementation Gap)'로 인해 더욱 악화되고 있다 (IPCC 2022a, Ch. 4; IPCC 2022b, B.6). 각국이 유엔기후변화협약 사무국에 제출한 NDC에 기반하여 추정된 2030년 전 지구 배출량 전망과 '배출 격차' 및 '이행 격차'는 다음 <표 4-15>와 같다. 2020년까지 이행된 정책에 따른 2030년 글로벌 배출 전망은 57$GtCO_2eq$로 전망된다. 반면 NDC의 감축 공약을 온전히 달성할 경우, 2030년 배출량은 50~53$GtCO_2eq$로 감축예상량이 저조하다. 이는 전 세계 각국이 NDC 공약을 100% 이행한다 해도 2℃ 달성 경로로부터 10~16$GtCO_2eq$(무조건부 NDC 기준) 만큼 감축량이 부족함을 의미한다. 이러한 분석 결과를 바탕으로, 제3실무그룹 보고서는 현재 추세로는 1.5℃ 목표 달성은 요원하며, 2℃ 목표 달성을 위해서라도 2030년 이후 급격한 수준의 감축 노력 가속화가 필요하다는 결론에 이른다 (IPCC 2022b, B.6). 제출된 NDC와 일관되면서 지구온난화를 2℃로 제한하는 배출 경로 모델 결과에 의하면, 2020~2030년 10년 동안 전 지구적으로 연평균 감축률이 ~0.7$GtCO_2eq$에 도달해야 하며, 2030~2050년 기간에는 감축률이 1.4~2.0$GtCO_2eq$로 증가해야 한다 (Ibid., B.6.3). 이는, 2030년 NDC 목표의 달성이 전제된다 하더라도, 지구 온도상승 제한을 위해 단기간 내에 극적인 속도로 감축 행동을 확대·심화해야 함을 의미한다.

<표 4-15> NDC에 기반한 2030년 지구 배출량 전망과 관련 배출량 격차

단위: $GtCO_2eq/yr$	2020년 말까지 이행된 정책에 따른 값	NDC[97)]에 따른 값	
		무조건부 요소	조건부 요소 포함
2030년 전 지구 배출량 전망 중앙값 (최저-최대)	57 (52-60)	53 (50-57)	50 (47-55)
이행된 정책과 NDC 간의 "이행 격차" (중앙값)	-	4	7
NDC와 온난화를 2℃로 제한(>67%)하는 경로 사이의 "배출량 격차"	-	10-16	6-14
NDC와 (오버슛이 없거나 제한적이면서) 온난화를 1.5℃로 제한(>50%)하는 경로 사이의 "배출량 격차"	-	19-26	16-23

출처 : IPCC(2022b)의 Table SPM.1 (p.18p)을 바탕으로 저자 정리

96) 본 섹션의 내용은 IPCC 2022a의 제4장 및 IPCC 2022b의 B장을 중심으로 작성되었다.
97) 2021년 10월 11일까지 UNFCCC에 제출된 NDC만을 포함한다.

다만 IPCC 제6차 평가보고서 제3실무그룹 보고서는 2022년 초 공개되었으나, 동 보고서의 문헌 마감일이었던 2021년 10월 11일까지 제출된 NDC만을 대상으로 하여 분석되었다 (IPCC 2022a, SPM Footnote 23). 10월 11일 이후 현재(8월 3일 기준)까지 우리나라를 포함해 총 41개 국가들이 NDC 개정안을 제출하였다 (NDC Registry). 이 중 우리나라, 일본, 중국, 아르헨티나, 뉴질랜드, 호주 등 18개국은 기존의 NDC에 비해 상향 조정된 감축 목표를 제출하였다. 전반적으로는 파리협정 하 신규 및 갱신 NDC를 제출한 163개국 중 96개 국가들이 NDC를 목표를 상향하여 제출하였다 (Climate Watch 2022). 몇몇 국가들의 이러한 의욕증진 (NDC 목표 상향)에도 불구하고, <표 4-15>에 제시된 전 지구적 '배출 격차'와 '이행 격차'를 해소하기에는 많이 부족한 상황이다.

이렇게 감축 노력 가속화의 필요성을 강조한 IPCC 평가보고서의 내용은 향후 2025년까지 제출하게 될 차기 NDC 목표를 현재 공약 수준보다 더욱 강화하도록 압박하는 근거로서 작용할 것이다. 특히, 온실가스 다배출 국가들의 감축 목표에 대한 국제사회의 상향 요구와 대내외적 압력을 증대시킬 가능성이 크다. 그 중에서도, 우리나라를 포함하여 2050 탄소중립 목표를 법제화하거나(14개국), 정책문서화한(39개국) 국가들은 2050 탄소중립 목표와 일관된 강력한 2035년 및 2040년 목표를 설정, 그에 대응하는 실질적 이행력이 요구될 것이다.

온실가스 감축을 주 내용으로 하는 기후변화 완화는 한 국가의 산업경쟁력 및 국가경제와 긴밀한 관련이 있는 이슈이지만, 현실에서는 국제 정세와 대의명분 등 정치적 이슈가 기후변화 완화 정책 및 이행에 중요하게 작용하기도 한다. 우리나라가 2021년 10월 중국, 일본에 이어 2050 탄소중립 선언의 세계적 흐름에 동참하게 된 과정에서도, 2050년 탄소중립의 실현 가능성이나 국내 산업·경제에의 파급효과가 최우선적으로 고려되었다고 보기는 어렵다. 주요 기후 선진국의 선도적이고 의욕적인 기후변화 대응 의지와 정치적 선언, 그에 동반되는 기후변화 대응 패러다임 강화, 이어지는 감축 의욕 증진에 대한 정치·경제적 압력, 주요국 후발 주자들의 동참과 전 세계적 모멘텀 확대, 연쇄적인 행동 변화로 이어지는 과정이 향후 5년 주기 NDC 제출을 앞두고 지속적으로 반복될 여지가 크다.

이번 IPCC 제6차 평가보고서에서는 감축과 성장이라는 복수의 목표에 대응하기 위한 수단으로서 지속가능성을 지향하는 '발전 경로로의 전환'을 강조하고 있다. 현재의 발전 경로에서 감축을 가속화 하는 것만으로는 역부족이며, 기후변화 대응에 대한 장애요인이 사회구조적 특성에 기인한다면, 그러한 구조의 전환, 즉 '발전 경로' 자체의 전환이 필요하다고 제안하고 있다 (Ibid., Sec. 4.3, 4.4).[98] 이러한 과정에서 민간 부문 등 다양한 비국가 주체들의 역할과 선택은 중요한 요소이다. 이와 관련하여 IPCC 보고서는 수송과 산업 및 재생에너지의 도입 등, 민간 부문의 감축 이니셔티브를 소개하고 그 감축 잠재력에 주목한다 (Ibid., Sec. 4.2.3). 향후 기후변화 완화를 성공적으로 이끌기 위해서는, '발전 경로'의 전환과 그에 따른 시스템 전반의 변화를 동반한 감축 가속화가 불가피할 것이다. 이러한 전세계적 추세에 발맞추어, 기업들은 혁신적인 기술의 도입과 제도 변화에 대한 발빠른 적응을 통하여 온실가스의 감축과 경제성장을 모두 이루어 낼 수 있도록 대비할 필요가 있다.

98) Ch.4.3는 발전경로의 이동(Shifting Development pathways)의 필요성과 감축 역량에의 함의 등을 논의한다. Ch.4.4는 어떻게 발전 경로를 이동시키고 감축의 속도와 규모를 가속화 할 것인지를 예시와 함께 다룬다.

5.1. 전환 위험

5.1.1. 정책 및 법률 부문 위험

5.1.1.1. 강화된 온실가스 배출량 보고 의무[99]

기후위기로 인한 전환위험의 관리를 위해, 투자자와 자산운용사는 투자 대상 기업에게 관련 정보에 대한 요구를 하기 시작하였다. 이미 앞선 섹션에서 설명한 바와 같이, 기후변화 재무정보 공시 전담협의체(TCFD)의 경우, 기업이 기후리스크를 관리하기 위한 목적으로 범주 1(직접배출)과 범주 2(간접배출)는 필수적으로, 그리고 필요시 범주 3(범주2 간접배출을 제외한 모든 간접배출)에 해당하는 탄소배출량에 대한 정보 공개를 권고하였다 (IPCC 2022a, Sec. 15.3.3).[100]

주요 글로벌 투자자들이 투자 의사결정시 금융리스크(financial risk) 범주에 기후리스크를 반영하는 것은 전지구적 트렌드가 되어가고 있는 추세이다. 현재 TCFD에 따라 기업이 기후위기와 관련된 경영정보(탄소배출량 등 포함)를 공개하고 있으나, 투자자 및 자산운용사의 입장에서는 기업이 제공하는 정보가 여전히 불충분한 수준에 머무르고 있다. 특히 녹색채권(Green Bond) 또는 보증과 관련해서는 그린워싱을 방지하기 위해, TCFD에 입각한 정보 평가 관리를 엄격하게 할 필요가 있다.[101] 기후리스크 분석·평가와 정보의 투명성 간의 격차에 대한 이슈는 앞으로 해결해 나가야하는 주요 이슈이다. 이에, 글로벌 레벨에서, 기후정보 공개를 도모하고 동 정보의 투명성·신뢰성·정확성을 높이기 위해 다양한 국제 지침 방법론이 개발되고 있다. 대표적으로 TCFD, 지속가능회계기준위원회(SASB),[102] 기후공시표준위원회(CDSB)[103] 등이 기업공시에 대한 지침을 수립 및 운영하고 있다 (Ibid., Sec. 15.6). 또한 최근에는 다양하게 난립하는 기업공시 지침들을 통합하기 위하여, 2021년 11월 국제회계기준재단(IFRS[104]재단)에서 국제지속가능성기준위원회(ISSB)[105]를 설립하고 지속가능성 공시 국제표준인 'IFRS 지속가능성 공시기준'의 제정을 추진 중에 있다. IPCC 보고서

99) 본 섹션의 내용은 IPCC 2022a의 제15장을 중심으로 작성되었다.

100) 범주(Scope)란 기업들이 온실가스의 배출 현황을 파악하고 보고함에 있어 그 배출원을 명확히 구분하기 위해 설정해 놓은 기준이다. 이 범주는 크게 3가지로 구분되는데, 각 범주에 해당하는 배출원에 대한 설명은 다음과 같다 (환경부 2010).

범주 1	'직접적인 배출'로서, 기업이 소유하고 관리하는 자원에서 직접 발생된 탄소를 의미하며, 사업장 내 공정에서 발생하는 배출이나 소유한 차량의 연료 연소 시 발생하는 온실가스 배출을 말한다.
범주 2	'간접적인 배출'로서, 기관이 구매하여 소비하는 에너지(전기, 가스, 열 등)의 공급원에서 발생하는 온실가스 배출을 말한다
범주 3	범주3은 범주2를 제외한 모든 '간접적 배출'을 말하며, 기업의 가치사슬 구조 상에서 발생하는 모든 온실가스 배출이 포함된다. 예를 들면, 원료 및 부품의 구매 시 발생하거나, 해당 기업에서 만든 제품이 소비자에게 유통되고 폐기되기까지의 모든 과정에서 발생하는 온실가스 배출을 말한다

101) 녹색채권은 장기간에 걸쳐 대규모 자금이 필요한 친환경 프로젝트를 위해 발행되는 특수목적 채권이며 주로 신재생에너지나 그린 인프라 관련 사업에 투자된다. 2019년 글로벌 녹색채권 발행규모는 약 310조원(2,577억달러)에 이른다. 그러나 실제로 녹색채권을 통해 조달된 자금이 친환경프로젝트에 쓰이고 있는지를 감독할 수 있는 법적 제재 수단이 없고 자율적으로 운영되기 때문에, 원래 목적과는 다른 곳에 쓰여지면서 이미지만 세탁하는 '그린워싱' 사례 역시 빈번하게 발생하고 있다 (Impact on 2021b).

102) Sustainability Accounting Standard Board : 다수기업이 지속가능성 정보공시 표준으로 이용할 수 있는 지침 개발

103) Climate Disclosure Standards Board : 재무정보와 기후변화 관련 보고를 통합하고 규제방침에 대응할 수 있도록 기후변화 관련 정보를 기업 주류 보고에 통합 추진

104) 영문으로는 International Financial Reporting Standards이다.

105) 영문으로는 International Sustainability Standards Board이다.

내용에는 들어가 있지 않으나 관련된 내용은 다음의 <표 4-16>에 정리되어 있다.

<표 4-16> 국제 지속가능성 기준위원회(ISSB)의 지속가능성 공시기준 공개 초안 발표

○ **'21년 11월 설립된 ISSB에서 'IFRS 지속가능성 공시기준'의 초안을 '22년 3월 31일 발표('22년 내 확정 목표)**

- 동 기준은 **일반 요구사항(IFRS S1)**과 **기후관련 공시 요구사항(IFRS S2)**으로 구성
- 기후관련 공시에서는 기후회복력 분석, 산업전반 지표(탄소배출량 포함) 공시, 금융자산 포트폴리오 배출량 공시를 의무화

→ TCFD는 범주 1과 범주 2에 해당하는 온실가스 배출량은 기본적으로 공개하고, 범주 3(공급망 배출 전반의 간접배출)은 산정가능한 경우에(if appropriate) 한해 공시할 것을 권고한 데 비해, IFRS 지속가능성 공시기준 초안에서는 범주 1, 2, 3 모두에 해당하는 온실가스 배출량 공시 의무화가 가장 큰 차이

국가 단위에서도 기업의 기후변화 관련 경영정보 공개를 의무화하는 유사 이니셔티브가 만들어지는 추세이다. 프랑스는 금융기관의 기후리스크 공시 의무화법을 제정한 첫 번째 국가이며,[106] 영국 또한 국내 기업에 대해 탄소배출량 보고를 의무화하였다. 한편 EU에서는 2022년 6월 관련법이 시행됨에 따라, 유럽 내 모든 금융기관은 녹색분류체계(EU-Green Taxonomy)를 준용하여 녹색금융 정보를 의무적으로 공개해야 하며, 기업 역시 지속가능금융 공시규제(SFDR)[107]와 기업 지속가능보고지침(CSRD)[108]을 통해 정보의 공개가 의무화된다. IPCC 보고서 내용에는 들어가 있지 않으나 관련된 내용은 다음의 <표 4-17>에 정리되어 있다.

<표 4-17> EU의 공급망 ESG 실사 지침 초안 발표

○ **EU는 '22년 2월, 기업의 공급망 내 인권 및 환경보호 강화를 위해 공급망 ESG 실사 지침* 발표**

** 기업 지속가능성 실사 지침(Directive on Corporate Sustainability Due Diligence)*

- EU ESG 공급망 실사는 EU가 추진 중인 지속가능보고지침에 기반한 제도 성격
- EU 집행위원회가 EU에서 영업활동을 하는 기업이 협력 및 납품업체들의 인권 현황과 환경오염, 온실가스 배출량 등을 자체 조사하여 문제가 있을 경우 해결하도록 의무화
- 1단계로 직원 500명 초과, 매출 1억 5000만 유로 초과 등 대기업을 적용대상으로 하며, 기업은 비즈니스 모델과 경영전략이 파리협정에서 정한 1.5℃ 이내 억제 목표준수 의무도 따라야 함
- EU 회원국은 지침 발효 후 2년 이내에 국가별로 법률를 마련하여 적용할 예정

106) 프랑스에서 2015년 제정된 녹색성장을 위한 에너지전환법(Law on Energy transition)의 제173조에 의하면, 상장기업은 연례보고서에 기후변화와 관련된 리스크와 이를 줄이기 위한 전략 등을 의무적으로 보고해야 하며, 금융기관은 기업에 대한 자금조달에 있어 기후변화와 관련한 투자위험 및 재무건전성을 평가하여 보고해야 한다 (에너지경제연구원 2020).

107) Sustainable Financial Disclosure Regulation: 금융기관이 투자금융상품을 공시할 때 지속가능성정보 공시를 의무화한 규제이다.

108) Corporate Sustainability Reporting Directive: 유럽 내 1만 2천여개 기업은 녹색분류체계에 입각하여 관련 활동을 보고해야 한다.

IPCC 보고서의 내용을 통해 본 국내 영향 및 전망은 다음과 같다. 먼저, 다양한 국제표준에 대한 적극적인 정책 및 이행 대응이 예상된다. 첫째, TCFD 권고안과 관련해서, 국내 주요 민간 금융기관(신한금융지주, KB금융지주 등), 공공 금융기관, 금융당국(금융위원회, 금융감독원)은 TCFD 권고안에 대한 지지 선언을 하였으며, 이에 따라 TCFD 권고안을 준용한 정보공개대응을 준비하고 있다. 온실가스 배출량 정보와 관련해서는 범주 1과 2에 해당하는 온실가스 배출량 공개는 물론, 산정 가능하다면 범주 3에 해당하는 온실가스 배출량까지 산정·검증 및 공개하고 있다. 다만 범주3 중 금융자산 배출량 정보는 공개의무가 아니기에 아직 일부 금융기관(신한, KB 등)만이 공개하고 있다.

둘째, 탄소정보공개프로젝트(CDP)는 기업의 온실가스 배출량 등을 포함한 기후변화 관련 활동에 대한 정보공개를 요구하고 관련 데이터를 수집하는 기관으로, 올해부터 '금융자산의 탄소배출량'[109] 정보공개 항목을 신설하였다. 특히 CDP에서는 범주 1, 2, 3의 온실가스 배출량 및 감축계획 공개까지 요구하고 있고, 올해부터는 금융자산 배출량 공개항목이 신설될 예정이다. CDP 평가항목에서는 금융자산의 배출량 등의 항목이 신설되었으나 평가점수 반영은 내년부터 시행되는 바, 추후 금융기관 자산 배출량 산정과 공개가 확산될 것으로 예상된다. 이에 따라 향후에 금융기관이 기업에게 탄소배출량 정보를 요구하는 사례 역시 발생할 것으로 전망된다.

셋째, 기업의 ESG성과에 대하여 평가기관 및 신용평가사(무디스, S&P, 피치 등)에서 범주 3에 해당하는 온실가스 배출량 중 금융자산 탄소배출량 공개 및 탄소중립 로드맵 공개를 요구하여, 금융기관의 금융자산 탄소배출량 산정이 본격화할 전망이다.

넷째, 'IFRS 지속가능성 공시기준' 초안에서는 범주 3(공급망 배출 전반의 간접배출)의 탄소배출량 정보공개도 의무화하였다. 이에 따라 IFRS 지속가능성 공시기준을 한국정부가 준용하여 활용할 경우, 2025년부터 자산규모 2조원 이상 상장사의 ESG정보공시는 동 표준을 따르게 되며, 이 경우 2025년부터 일정규모 이상 상장사는 범주 1, 2, 3의 탄소배출량을 의무공개 하여야 한다.

향후에도 기후리스크에 대한 관리 필요성이 대두되고 정부 관련 정책 추진으로 금융기관의 기업 탄소배출량 정보요구는 지속적으로 강화될 것으로 전망된다. 금융감독원은 올해 중에 기후위험에 대한 스트레스 테스트를 완료하고, 기후위험 관리지침의 고도화 및 시범사업의 실시를 고려 중이다. 현재는 K-그린텍소노미 시범사업(4월~11월) 중으로, '23년부터 본사업 시행시 기업에게 기업활동과 관련한 탄소배출량을 보고하는 의무가 부과된다.

마지막으로, 대기업은 배출권거래제, 온실가스에너지목표관리제, 환경정보공개제도에 따라 탄소배출량의 산정 및 정보를 공개하고 있으나, 중소기업은 충분한 준비가 되어 있지 않은 상태이기 때문에 향후 중소기업의 온실가스 인벤토리 구축 정책지원 및 관리역량 강화를 위한 지원이 필요하다.

109) 예를 들어, 해당 기업입장에서 투자받은 총 액수 대비 특정 금융기관의 투자액에 대하여 기업의 온실가스 배출량을 곱하여 산출할 수 있다 (한국기업지배구조원 2022). 즉 산술식은 (특정 금융기관 투자액/기업이 총 투자받은 액수) X (기업의 온실가스 배출량)=(특정 금융기관의 금융자산 탄소배출량)이다.

5.1.1.2. 법적 송사[110]

기후 관련 법적 송사(climate litigation)는 다층적인 기후 거버넌스(지방, 지역, 국가, 국제)와 관련한 대상(정부, 기업, 시민사회, 개인)의 행동에 대하여 조정, 명령, 영향을 끼치기 위해 사법 시스템에서 법률을 활용하는 행위를 의미한다 (IPCC 2022a, Sec. 13.4.2).

법적 대응에는 i) 기후변화 대응과 관련된 법을 제정하거나 기관을 설립하는 것을 추진하거나, ii) 기후변화 관련된 법을 적용하여 기후변화에 대응하기 위한 소송, iii) 기후변화 규제에 반대하는 목적으로 진행되는 소송 등이 있다 (Ibid., Ch. 13).

기후 관련 소송은 증가 추세에 있고, 이는 기후 거버넌스와 결과에도 영향을 끼치고 있다. 2015년부터 적어도 37건의 기후 관련 소송이 국가를 대상으로 진행되었으며, 이는 국가의 온실가스 감축 노력을 추동하기 위한 소송으로서 탄소 다배출 사업의 승인을 방지하는 등의 성과를 내기도 하였다. 또한 기업이나 금융기관을 대상으로 한 기후 소송 역시 증가하는 추세인데, 기후소송은 주로 미국, 호주, 유럽에서 진행되고 있고 최근에는 개도국에서도 증가하는 경향을 보이고 있다. 2021년 5월 현재 1,841건의 기후 관련 소송이 제기되었고, 이 중 1,387건의 미국 법정에, 454건이 39개 국가와 13개 국제 및 지역 법정에서 진행되었다 (IPCC 2022a, Sec. 13.4.2).[111] 기후소송은 주로 민주주의 국가에서 더 활발하지만, 사법 개혁을 통해 중국과 같은 국가에서도 기후 소송이 늘어가는 추세이다.

대부분의 기후 소송은 시민단체가 정부를 대상으로 제기하고 있다. 그 중 대다수의 소송이 중앙 정부나 정부 기관이 기후 대응을 좀 더 강력하게 추진하게 하는 방법으로 활용된다. 기후소송의 대표적인 예로서, Urgenda라는 시민단체가 네덜란드 정부에 제기한 소송 사례가 있다. 해당 시민단체는 네델란드 정부에 국가 온실가스 감축 목표를 40%로 상향할 것을 요구한 데 대해, 네덜란드 정부는 기존의 감축 목표(17%)을 수정하지 않겠다는 의견을 밝혔다. 이에 시민단체는 네덜란드 정부가 기후변화로부터 국민을 보호하는 국가 의무를 위반한 것이라고 주장하며 법원에 소를 제기하였다. 법원은 유럽인권협약 등 국제법과 규범에 근거하여 네델란드 정부가 위험한 기후변화에 대처할 법적 의무가 있다고 판단하고 2020년까지 감축 목표를 20%에서 25%로 상향하도록 주문하였다 (Ibid., Sec. 13.4.2).

기업을 대상으로 한 기후소송은 주로 화석연료(석탄) 발전소나 석유기업을 대상으로 벌어지고 있다. 석탄발전의 경우, 정부의 석탄발전소 건설 승인에 대한 소송이 남아프리카 공화국과 호주에서 제기되었다. 석유기업에 대한 소송은 기후과학의 진전을 통해 기업이 석유가 기후변화에 미치는 영향을 인지함에도 적절한 조치를 취하지 않음과 대중을 호도했다는 점, 결과적으로 기업의 인권 보호 의무를 소홀히 했다는 점에 초점을 맞추고 있다 (Ibid., Sec. 13.4.2).

기후소송은 또한 '금융투자'를 대상으로 하기도 한다. 네덜란드주요 석유회사인 로얄 더치 쉘(Royal Dutch Shell)이 글로벌 공급사슬에서 온실가스 배출에 대한 책임이 있으므로, 연기금과 투자사, 은행이 석유회사에 투자할 때, 기후변화로 인한 위험을 투자자와 주주들에게 공개하라는 소송이 진행되었다 (Ibid., Sec. 13.4.2).

110) 본 섹션의 내용은 IPCC 2022a의 제13장을 중심으로 작성되었다.
111) 호주 115건, 영국 73건, EU 58건, 개발도상국 58건이다.

기후소송의 결과는 기후 거버넌스에 대한 엄격함을 향상시키는데 영향을 미친다. 또한 기후 소송은 언론이나 여론 및 평판 등과 함께 진행되어 소송 대상의 행동에 변화를 유발하기도 한다. 기후변화 소송에 대한 종합적인 데이터베이스는 기후변화법 사빈센터(Sabin Center for Climate Change Law)에서 운영하는 '기후변화 소송 데이터베이스(Climate Change Litigation Database)'에서 찾아볼 수 있다 (Climatecasechart 2022). 이 데이터베이스에 따르면 미국을 제외한 세계 기후 소송 중 기업을 대상으로 한 소송은 92건이며, 이 중에는 온실가스 저감(25건), 환경영향평가(25건), 기후 데미지(14건), 정보공개(12건), 오인된 공고(11건), 탄소크레딧(1건) 등이 연관되어 있다 (Climatecasechart 2022).

미국의 경우, 법 체계에 따라 연방정부법(Federal Statutory Claims; 예, Clean Air Act), 헌법(Constitutional Claims), 주정부 법(State Law Claims), 관습법(Common Law Claims), 공신력(Public Trust Claims), 증권 및 금융 규제(Securities and Financial Regulation)등으로 구분되어 있다.

5.1.1.3. 제품과 서비스 규제[112)]

기후변화 완화를 위해 '수요' 측면을 통제하기 위해서는, 제품과 서비스에 대한 규제가 중요하다. 이는 수요 측면에 대한 규제이므로, 제6차 IPCC 평가보고서의 제3실무그룹 보고서에서는 주로 행태 변화를 촉진하기 위한 규제 수단, 기존 에너지 다소비 또는 배출집약적 제품의 소비 행태 또는 사회적 관행에 대한 규제, 수요 측면 완화를 위한 혁신으로 발생할 수 있는 리바운드 효과(rebound effect)[113)] 등을 통제하기 위한 규제 등의 내용이 포함되어 있다.

서비스 관련된 완화전략은 회피(Avoid), 전환(Shift), 및 개선(Improve)으로 유형화되고, 이러한 회피・전환・개선(ASI, Avoide-Shift-Improve) 프레임은 사회문화와 인프라 및 기술의 세 가지 영역에 적용된다 (IPCC 2022a, Sec. 5.1). 세 가지 전략에 해당하는 정책에 대해서 각기 살펴보도록 하겠다.

첫째, '회피' 정책이다. 생활양식의 변화에 영향을 미치는 회피 정책은 광범위하고 다양한 부문에서 고려 및 시도될 수 있는데, 대표적으로, 유효기간 정보에 대한 라벨링의 개선 정책은 유효기간이 만료되지 않은 제품에 대한 불필요한 처리를 줄인다. 또한 식품의 라벨링, 신규 음식에 대한 규제, 에너지가 집약적으로 투입된 식품에 대한 마케팅의 제한, 지속가능하고 건강한 식습관으로 유도하기 위한 세금 및 보조금 등이 수요측면의 완화를 위해 사용될 수 있다 (Ibid., Sec. 5.3.1). 회피 정책 사례들은 아래의 <표 4-18>에 자세히 정리되어 있다 (Ibid., Sec. 5.6.2).

112) 본 섹션의 내용은 IPCC 2022a의 제5장을 중심으로 작성되었다
113) 반동 효과를 말하는 것으로서, 환경을 위한 행위가 오히려 환경에 악영향을 미치는 현상을 말한다.

<표 4-18> 회피(Avoid)를 촉진하기 위한 정책 사례

정책 목적	정책 수단
이동거리 감축	· 자동차 감축 촉진과 이동거리 단축을 위한 통합적 도시계획 · 냉난방 수요를 포함한 에너지 수요를 줄이기 위한 건물 개조(retrofit)
음식물 쓰레기 감소	· 음식물 쓰레기에 대한 교육/의식 향상 · 식품 유통 기한을 연장하기 위해 포장을 개선하기 위한 R&D 지원 · 가정에서 버리는 음식물쓰레기의 양에 따른 비용청구
주거 규모 축소	· 컴팩트한 도시 설계 · 1인당 면적이 넓은 주거용 부동산에 대한 과세
냉난방 및 조명수요 감축	· 자연광과 조화를 이루는 건물 설계 · 표준온도 설정
공유 경제의 활성화	· 공영주차장 요금 인하 · 전기차 구매 보조금 · 전기차 공유 서비스

출처: IPCC(2022a)의 Table 5.5 인용

둘째는 '전환(Shift)' 정책이다. 전환 정책의 대표적인 접근법은 먼저 제조 및 서비스 분야에서 건물 및 인프라를 대상으로 저탄소 재료로 전환하는 것이다. 다음은 육류 기반 단백질(주로 쇠고기)에서 다른 단백질 공급원의 식물 기반 식단으로 전환하는 등 다양한 형태를 가지고 있다. 이 때, 정부는 건강과 복지에 대한 정보를 시민들에게 제공하여 유도하는 것 이상의 직접적인 역할을 한다. '전환' 옵션의 촉진을 위한 정책 사례들이 아래 <표 4-19>에 정리되어 있다 (Ibid., Sec. 5.6.2).

<표 4-19> 전환(Shift)을 촉진하기 위한 정책 사례

정책 목적	정책 수단
도보 확대 자동차 사용 저감 기차이용 촉진	· 혼잡요금 부과, 자전거도로 정비 · 마이크로 모빌리티 촉진을 위한 도시설계 · 통합 교통시스템 인프라 구축
다가구 주택 확산	· 단독주택지구 촉진 정책 및 토지이용 규제 완화
육류 대체 단백질로의 전환	· 전통적인 육류에 대한 과제
자원효율적인 제품설계 및 포장	· 제품별 탄소 표준의 명확화 및 구현

출처: IPCC(2022a)의 Table 5.6 인용

셋째, '개선(Improve)' 정책이다. 개선 관련 정책은 서비스 기술적 성능 향상과 효율성에 집중한다. 대표적으로 이동 서비스의 경우, 개선 관련 정책은 차량과 편안함 및 연료, 수송 시스템의 운영과 관리기술 개선에 초점을 맞춘다. 건축물 부문에서는 난방시스템 효율성의 개선 및, 기존 건물의 설비 개량을 위한 정책을 포함한다. 요리 장비의 경우에는 기존 LPG를 사용하는 제품을, 전력을 사용하는 요리 장비로 전환하도록 보조금을 지원하는 정책이 있을 수 있다. 개선 옵션의 촉진을 위한 정책 사례들이 아래 <표 4-20>에 정리되어 있다 (Ibid., Sec. 5.6.2).

<표 4-20> 개선(Improve)을 촉진하기 위한 정책 사례

정책 목적	정책 수단
경차, 수소차, 전기차의 사용	· 전기자동차 사용에 대한 금전적 인센티브 확대 및 충전인프라 정비 · 중량, CO_2 및 NOx 배출량을 종합한 자동차 구매세 도입
주거 설계에 저탄소 자원의 사용	· 건설 및 철거 폐기물의 재활용 · 폐자재 재활용 활성화를 위한 관련 기업 인센티브 제공
저탄소 에너지 사용 확대	· 재생에너지에 대한 육성정책(FIT) 및 경매제도 확대
요리 장비의 효율성 증대	· 등유 또는 LPG에서 전력사용 기구로 보조금 전환 지원 · 장작, 석탄 및 등유 사용으로 인한 위험성 교육
LED 램프로의 전환	· 보조금이나 지원책을 활용한 LED 조명기구로의 전환 유도
태양열 온수 공급	· 태양열을 활용한 온수 공급을 위한 보조금 지급

출처: IPCC(2022a)의 Table 5.7 인용

5.1.1.4. 온실가스 배출 가격 상승[114)]

온실가스 감축을 위한 경제적 수단은 재정 인센티브를 제공하고 그 중에서도 시장 및 가격 기반 수단을 포함하도록 구성된다 (Ibid., Footnote 76). 여기서 말하는 가격은 탄소가격(Carbon Pricing)이라고도 불린다. 이는 배출권 거래제도 등의 규제적 감축 제도와 ESG 및 탄소중립과 연계된 자발적인 감축제도 등에서 온실가스의 배출량에 가격을 부여하고, 시장경제의 메커니즘을 연계하는 것을 의미한다. 탄소가격은 유연하고 비용 효과적으로 온실가스의 감축을 유도하기 위한 경제적인 메카니즘이다 (IPCC 2022b, E.4.1). 또한, 투자의 측면에서 감축에 대한 투자비용과 배출권가격의 차이를 통하여 온실가스에 감축에 대한 투자를 유도하고 활성화시킨다.

탄소가격 정책(탄소세 및 배출권거래제도)은 온실가스 감축에 대한 기술지원 수단과 함께 글로벌 차원에서 널리 사용되는 기후 관련 경제정책 수단이다. 2020년 5월 현재 31개의 배출권 거래 제도와 30여 개의 탄소세 관련 제도로 구성된 61개의 탄소가격 결정 제도가 시행 중이거나 시행예정 중에 있으며, 이는 연간 세계 온실가스 배출량의 약 22%인 12GtCO_2eq를 포함한다. 실제 탄소가격 책정 성과는 다양한 정책 환경에 따라 달라질 수 있다. 2021년 4월 1일 기준 CO_2 1톤 당 탄소가격은 1달러에서 50달러까지 다양하다 (IPCC 2022a, Sec. 2.8.3). 최근에는 워싱턴, 대만 등지에서도 배출권거래제도를 신규로 도입할 예정이거나 검토 중이며, 캘리포니아, 하와이 등에서 탄소세 도입을 고려하고 있다 (IPCC 2022c, TS.2).

탄소가격 정책은 탄소배출 집약적인 상품의 가격을 증가시켜 배출량을 줄이기 위한 인센티브를 제공한다. 탄소가격 정책의 주요 이점은, 탄소집약도를 낮추거나 효율적으로 탄소감축에 드는 비용을 절감한다는 것이다. 특히 탄소세의 경우, 제품에 내재된 탄소집약도와 배출권거래제의 배출허용량 한도 충족을 위한 비용효과적 수단으로 활용된다 (IPCC 2022a,

114) 본 섹션의 내용은 IPCC(2022a)의 2장, 5장, 6장, 11장, 13장, 14장, 그리고 15장, IPCC(2022b)의 E.4.1, Foodnote 76, 그리고 IPCC 2022c의 TS.2를 기반으로 한다.

Sec. 13.5). 탄소가격 정책이 배출량을 줄인다는 증거는 풍부하다. 탄소가격 책정의 효과를 증명하는 다양한 사례가 있는데, EU 배출권거래제는 주요 부문에서 온실가스 배출량의 42.8%를 줄였고 중국은 2013~2015년 동안 시범적 배출권거래제를 통해 배출량 감소를 달성했다 (Ibid., Sec. 15.6). 또한 EU 배출권거래제는 독일의 전기 배출량과 프랑스의 제조업에 각각 영향을 미쳤다. 탄소가격이 높고 배출허용량을 무상으로 할당하지 않는다면 배출량은 감소할 수 있다 (Ibid., Sec. 6.3). 또한, 탄소 가격 정책의 시행지역과 非시행지역의 배출량 추세에 대한 통계 연구 결과, 탄소가격제도가 온실가스 배출량에 상당한 영향력을 끼친다는 사실이 발견되었다. 특정 정책, 특히 EU 배출권거래제와 브리티시 컬럼비아 탄소세에 대한 수많은 평가의 대부분은 배출량을 줄였다는 결론을 내렸다. 경제학의 이론은 탄소가격 관련 정책이 탄소의 배출량 저감에 있어 규제 혹은 보조금보다 더 비용효과적이라고 시사한다 (Ibid., Sec. 13.6). 탄소 가격과 같은 수단을 포함한 광범위한 기후 정책은 온실가스 배출 감소에 점점 더 많은 역할을 한다. 온실가스 배출량의 감소율 크기는, 사용된 자료 및 방법론, 국가 혹은 분야에 따라 상이하며, 대체로 탄소 가격이 높은 국가는 탄소 집약도가 낮은 경향이 있다 (Ibid., Sec. 2.3).

산업 부문은 지금까지 국가의 산업경쟁력 차원에서 기후 정책과 탄소 가격의 영향으로부터 크게 보호되어 왔으나, 이제는 온실가스 순무배출로의 전환을 실현하기 위해 필요한 새로운 산업 개발 정책 접근법이 등장하고 있다 (Ibid., Sec. 11.3). 탄소가격제도로 인한 탄소누출은 세계무역기구의 규칙에 비추어 검토되어야 한다는 주장들이 제기되고 있다. 탄소가격제에서 무상할당 등은 보조금 및 상계 조치 협정(ASCM)[115]과 일치하지 않는 보조금으로 간주될 수 있다 (Ibid., Sec. 14.5).

또한 탄소가격은 급진적 기술 변화나 사회·기술 시스템 변화에 대한 투자가 아닌, 주로 점진적 저비용 옵션의 촉진과 관련이 있다 (Ibid., Sec. 11.2). 배출권거래제 및 탄소세 적용 범위는 전세계 CO_2 배출량 20% 이상으로 증가하였지만, 적용 범위 및 가격 모두 현저한 온실가스 배출 감소를 위해서는 여전히 부족하다. 온실가스 감축을 위한 시장 메커니즘 기반 설계는 효율적이어야 하고, 분배 목표의 균형을 맞추고 사회적 수용성 또한 충분히 고려되어야 한다 (Ibid., Sec. 13.4). 탄소가격 정책은 재생 에너지 또는 산업 공정 기술과 같은 장기적이고 비용이 많이 드는 기술 개발보다는 연료 전환 및 에너지 효율과 같은 신속하고 저렴한 기술 혁신을 자극할 가능성이 더 높다. 그러나 한편으로는 탄소세로 인해 발생한 재정 수입은 저탄소사회를 구현하기 위한 사회 투자에 사용될 수 있다. 특히 기후변화에 취약한 계층을 위한 지원이나, 자원절약 기술에 대한 공공 연구개발 투자 등과의 정책적 조합을 통해, 적절하게 설계된 탄소세 정책은 저탄소 및 자원효율적인 투자로의 전환을 촉진할 수 있다 (Ibid., Sec. 15.6).

저탄소 사회로의 충분하고 빠른 전환을 유도하기 위해서는 탄소가격을 충분히 높게 설정하거나 관련 규제조치를 통해, 외부효과를 가격에 반영하여 올바른 시장신호를 주어야 한다. 탄소가격의 설정은 저탄소 기술에 대한 투자를 촉진하고, 가정과 기업이 CO_2 배출량을 줄이기 위한 강력하고 효율적인 인센티브를 제공한다 (Ibid., Sec. 15.6).

115) 영문명은 Agreement on Subsidies and Countervailing Measures이다.

5.1.2. 기술 위험[116]

기술은 기후변화 완화 측면에서 볼 때 매우 중요한 요소이다. 산업구조 전체를 개혁하는 것보다, 기후변화 대응을 위해 기존의 경제 및 산업 활동과 구조를 유지하면서 새로운 기후기술을 도입하여 기후변화에 대응하는 것이 비용 측면에서 효과적일 수 있기 때문이다 (Glachant and Dechezleprêtre 2017). 또한 기후변화 대응 기술을 이전하거나 확산하는 것을 통해 전지구적 변화를 도모할 수 있다는 점 역시 기술의 중요성을 설명해준다 (IPCC 2022a, Sec. 14.2.3). IPCC는 보고서를 통해 이러한 기술의 중요성을 일관되게 강조해왔다. 2000년에는 기술이전 방법론 및 기술 이슈에 관해 특별보고서를 발간하기도 하였으며 (IPCC 2000), 2022년에 발간된 제3실무그룹 보고서에서는 기술의 역할을 강조하는 '혁신, 기술 개발 및 이전' 이라는 별도의 장(chapter)이 구성되었다.

한편, 기술의 급격한 발전은 새로운 상품 및 서비스에 대한 소비 증가로 이어지며 오히려 배출을 증가시키는 리바운드(rebound) 효과가 발생할 수 있고,[117] 몇몇 기술은 지속가능발전을 저해할 수도 있다는 우려가 존재한다.[118] 그러므로 지속가능발전을 저해하지 않도록 고려하며 기술을 도입하는 것이 중요하다. 기술 변화는 사회 및 경제적 시스템 안에서 이루어지기 때문에, 이러한 기술과 사회·경제 간의 상호관계를 이해하면서 기술혁신[119]을 도모하고 새로운 기술을 도입 및 활용하는 것이 중요하다 (Ibid., Sec. 16.6).

기업은 새로운 기술을 도입하는 기술혁신을 통해 제품·서비스·사업모델을 개선할뿐만 아니라 기후변화 완화에 기여할 수 있다. 기술혁신의 영향을 구체화하여 경제 외에도 사회 및 환경적 영역에 미치는 영향을 그 정도에 따라 [그림 4-5]와 같이 정리해볼 수 있다. 전통적인 기술혁신은 경제적 성과에 치중하느라 환경 및 사회적 영향에 대한 고려는 부차적인 것으로 여겨졌다. 그러나 경제적 성과에 치우친 기술혁신에 대한 비판과 반성이 점차 커지면서, 사회 및 환경적 혁신이 강조되기 시작하였다. 이를 하나씩 살펴보면, 먼저 사회적 혁신은 사회 복지에 기여하는 것을 최우선의 목표로 하나, 환경 영향에는 상대적으로 무관심하고 때로는 기업의 경제적 성과마저 희생시키기도 한다. 유사하게 환경적 혁신은 기업의 제품 및 서비스가 환경에 미치는 영향을 최소화하는 것을 목표로 하나, 많은 경우 사회 문제 해결과 경제적 성과에 무관심하다. 이처럼 하나의 영역으로 편중된 혁신의 형태는 적절하지 않고, 기업 입장에서는 경제적 성과를 희생하는 혁신의 경우 지속가능하지도 않다. 그러므로 기업의 기술혁신은 경제-환경-사회 모든 영역에서 균형잡힌 접근을 바탕으로 하는 '지속가능한 기술혁신' 이 되어야 한다 (Ibid., Sec. 16.6.1).

116) 본 섹션의 내용은 IPCC 2022a의 3장, 11장, 14장, 그리고 16장을 중심으로 작성되었다.
117) 리바운드 효과란, 완화 조치의 이행으로 에너지 소비 혹은 배출량을 감축할 뿐만 아니라 소비 및 생산의 변화 역시 야기할 수 있는데, 이때, 증가된 소비 및 생산으로부터 야기된 에너지·배출량 증가로 인해 감축량이 일정 부분 상쇄되는 것을 의미한다 (IPCC 2022a, Annex I).
118) 예를 들어, 바이오매스의 대규모 생산은 식량 작물 생산과 토지 사용 경쟁을 심화시키고, 또한 이는 빈곤 근절, 깨끗한 물 등에 부정적인 영향을 미칠 수 있다.
119) 기술혁신이란 제품이나 서비스, 공정, 기술, 정책 및 사업모델 등을 이전보다 더 효과적으로 개선시킴으로써 가치를 창출하는 일련의 과정으로 (IPCC 2022a, Ch.16.1), 연구·개발(R&D)-실증(demonstration)-보급·확산(deployment and diffusion)으로 구성된다 (Ibid., Ch.16.2.1).

[그림 4-5] 기술혁신의 경제적, 환경적, 사회적 영역의 고려 정도에 따른 분포

출처: IPCC(2022a)의 Figure 16.4를 바탕으로 저자 재구성

경제-환경-사회적 영역 간의 균형을 바탕으로 하는 지속가능한 기술혁신을 위해서는 각 기술의 혁신에 수반되는 위험요소와 활용가능한 정부정책을 파악하는 것이 필요하다. 이때 필요한 것이 기술주기(technology cycle)이다. 각 기술의 단계별로 활용 가능한 정부정책들이 서로 다르며, 특정 단계에서 다음 단계로 전환할 시에 고려해야 하는 위험 요소 역시 다르기 때문에 이러한 기술주기를 잘 파악할 필요가 있다. 기술주기의 단계는 총 네 단계로, i) 등장기, ii) 조기도입기, iii) 확산기, iv) 안정기이다 (Ibid., Cross-Chapter Box 12).[120] 각 단계에 대한 설명과 이 때 주요하게 활용되는 정부정책들을 살펴보면, 먼저 첫 단계로, 새로운 기술의 등장기이다. 등장기에서는 연구개발·실증(RD&D, research, development and demonstration)이 수행되며, 다양한 시행착오를 통해 신기술이 개발된다. 기업은 이 시기에 다양한 공공정책(연구비 지원 등)을 적극적으로 활용하게 된다. 다음 단계는 개발된 새로운 기술에 대한 조기도입기이다. 조기도입기에서는 점진적으로 제품설계와 생산공정이 개선된다. 새로운 기술이 시장에 등장하였으나 그 수준이 아직 주류시장에 큰 영향을 미칠 수준에는 도달하지 못 하였으므로, 이러한 새로운 기술을 도입한 기업은 틈새시장(주류시장과 동떨어진 시장)을 중심으로 성장하기 시작한다. 그러나 도입한 새로운 기술을 바탕으로 경쟁사 대비 비용은 절감하면서 성능은 향상시킬 수 있기 때문에 기업은 서서히 우위를 점하게 되고, 시장 전체적으로도 새로운 기술에 대한 우려와 불확실성이 차츰 해소되게 된다. 새로운 기술의 조기도입을 위해 기업은 차액지원제도(FIT, feed-in tariffs)나 시장 할당제(예: 신재생에너지 공급의무화제도(RPS, renewable portfolio standard) 등), 혹은 정부조달 제도 등을 활용할 수 있다. 다음은 확산기이다. 일부 기업만 도입한 새로운 기술이 확산기에는 다른 기업으로 빠르게 확산되며, 틈새기술이 주류기술로 인정받게 된다. 이때, 사회적 전환이 함께 일어나는데, 인프라, 공급망, 사용자 행동(예: 스마트폰을 활용한 지불 방법), 제도 등이 기술 확산과 더불어 변화된다. 따라서 기업은 신속하게 이러한 변화에 적응하여야 한다. 마지막으로는 기술 전환 안정기로, 동 시기에 새로운 기술과 이를 위한 시스템 및 행태가 표준으로 인정받게 된다. 안정기에는 새로운 기술을 도입한 기업보다

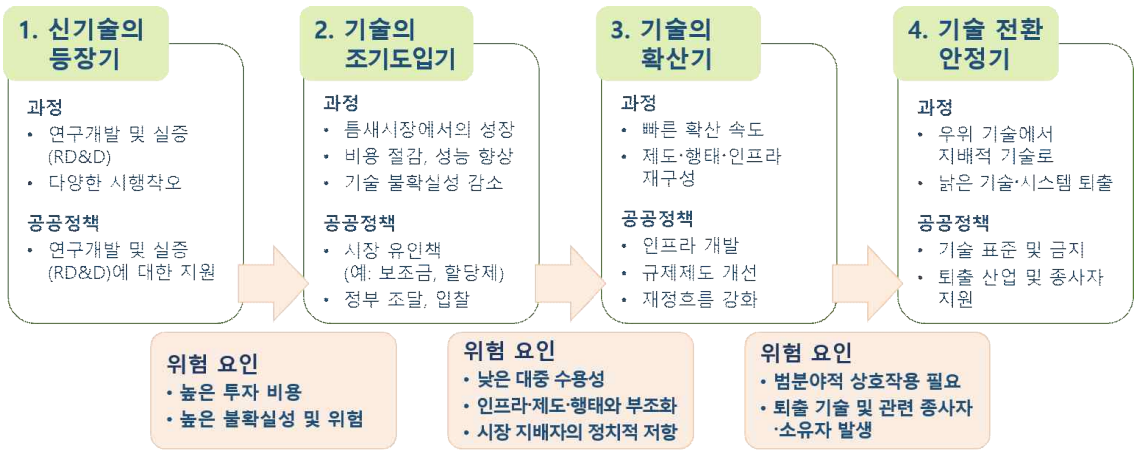
120) IPCC(2022a)의 Cross-Chapter Box 12는 Ch.16 중에 위치해 있다. 동 절의 이하 내용은 문장 단위로 특별한 출처 표기가 없는 한, 본 Cross-Chapter Box 12의 내용을 바탕으로 저자가 정리하였다.

퇴출되는 기존 기술을 여전히 활용하고 있는 기업에 대한 관리가 중요해지는데, 퇴출되는 기업은 정책입안자와의 긴밀한 협력을 통해 퇴출에 대한 부정적 효과를 최소화할 필요가 있다.

지금까지는 각 기술주기 단계의 특징에 대해 살펴보았다. 또한 특정 단계에서 다음 단계로 전환될 때 고려해야하는 위험요소가 있다. 첫째, 등장기에서 조기도입기로 전환 시에는 높은 불확실성과 투자비용이 주요 위험요소이다. 이때에는 다양한 완화기술들이 연구되지만, 높은 투자비용으로 인해 많은 기술들이 무산되기도 한다. 이뿐만 아니라 기술의 형태에 따라 학습속도에서 차이를 보이는데, 통상적으로 모듈화된 기술(예: 태양광발전)의 경우 상대적으로 빠른 도입이 가능하지만, 모듈화되지 못하고 상황별로 적용되어야 하는 엔지니어링 기술(예: 저탄소 물질을 활용한 생산공정)의 경우 도입이 더 느리다.[121] 따라서 기업은 새로운 기술의 도입 여부 및 시기를 결정할 때 이러한 불확실성을 고려하여 결정하여야 한다.

둘째, 조기도입기에서 확산기로의 전환 시에는 기존의 주류 기술과 관련된 이해관계자들이 새로운 기술에 대해 저항할 위험이 있고, 이외에도 기존의 인프라·제도·행태가 새로운 기술과 부조화할 위험이 있다. 이전까지는 정부에서 정책적으로 새로운 기술에 대해 직·간접적으로 재정지원을 해주었으나 동 시기에는 새로운 기술이 기존 기술 이해관계자들의 저항을 뚫고 지속적으로 확산될 수 있도록 도와주는 제도적 지원으로 정책적 초점이 옮겨진다.[122] 따라서 기업은 새로운 기술에 대한 시장의 저항뿐만 아니라 새롭게 변화하는 정책 기조에 빠르게 대응하여야 도태되지 않고 경쟁력을 갖출 수 있다.

셋째, 확산기에서 안정기로의 전환 시에는, 기술 기업뿐만 아니라 다양한 이해관계자들(전체 공급망, 전력 및 열 공급 부문, 수송 부문 및 시장의 최종 소비자 등)과의 협력이 있어야 새로운 기술이 안정적으로 자리잡는다. 따라서 범분야적 협력이 필요하며, 이를 위한 행위자 노력, 정책, 제도의 존재 여부가 핵심이다. 상기 내용은 [그림 4-6]와 같이 정리할 수 있다.



[그림 4-6] 기술 전환 주기별 과정과 전환위험

출처: IPCC (2022a)의 Cross-Chapter Box 12, Figure 1을 바탕으로 저자 재구성

121) 예를 들어, 생산 기업의 탈탄소화 전략 차원에서 전기화와 CCUS 기술에 대한 R&D를 수행하고 개발된 신기술의 도입을 고려해볼 수 있으나, 각 기업의 상황에 적합한 전기화와 CCUS 기술의 낮은 성숙도와 비용 문제로 인해 가용성 측면에서의 불확실성이 크다 (IPCC 2022a, Ch.11.5.2).

122) 이러한 제도적 지원은 각 기술이 처한 상황에 따라 다양하다. 예를 들어 전기차 기술의 경우, 충전 인프라 구축에 대한 제도적 지원(공공 충전 인프라 구축, 신규 주거지에 충전 시설 설치 의무화, 기존 주거지의 전기차 충전 설비 설치를 위한 리모델링 유도 등)이 조기도입기에서 확산기로 넘어가는 단계에서 필요하다.

다음으로, 2022년 발간된 IPCC 제3실무그룹 보고서에서 다루는 다양한 기후변화 완화 기술에 대해서 정리해보고자 한다. 2021년 9월, 우리나라 과학기술정보통신부는 '탄소중립 기술혁신 추진전략'의 일환으로 '탄소중립 10대 핵심기술'을 발표하였다 (과기정통부 2021, pp. 40-44). 동 10대 핵심기술은 ①태양광·풍력, ②수소, ③바이오에너지, ④철강·시멘트, ⑤석유화학, ⑥산업공정 고도화, ⑦수송효율, ⑧건물효율, ⑨디지털화, ⑩CCUS로 구성되었다. 이들은 우리나라뿐만 아니라 국제적으로도 많은 관심을 가지고 있는 기술로, 2022년 4월 발간된 IPCC 제3실무그룹 보고서에서도 이들을 주요한 완화 옵션으로 다루고 있다. 따라서 제3실무그룹 보고서에 등장하는 10대 핵심기술에 대한 내용을 요약·정리해보면 <표 4-21>과 같다. 이에 대한 구체적인 설명은 동 챕터 말미의 '부록 3'에서 찾아볼 수 있다.

<표 4-21> IPCC 6차 평가보고서 제3실무그룹 보고서 중 탄소중립 10대 핵심기술 관련 내용

구분	기술		IPCC 제3실무그룹 보고서 중 기술별 관련 내용
에너지 전환	태양광·풍력	태양광	• 태양광 발전은 국가별 저배출 전략 및 감축목표, 감축 시나리오의 핵심 구성요소로 포함되고 있음 (Ch.4, Ch.16) • 태양광 발전은 범분야적으로 활용이 가능한 저탄소 에너지 기술로 (Ch.12), 기술력 수준과 가격 경쟁력 측면에서 선두주자로, 현 세기 내 요구되는 에너지량을 능가하는 잠재력을 지님 (Ch.6, Ch.15) • 물 부족에 대한 영향이 적어 물-에너지-식량 넥서스 차원에서 장기적으로 물 사용량을 감축할 수 있는 기술로 기대가 됨 (Ch.17) • 태양광 발전을 건물에 설치하여 건물의 에너지 소비 및 온실가스 배출 감축이 가능함 (Ch.9) • 국제협력 이니셔티브로 다양한 국가들이 감축역량을 증대하기 위하여 태양광 발전을 활용하고 있음(예: ETIP PV) (Ch.16)
		풍력	• 풍력 발전 기술은 범분야적으로 활용이 가능한 저탄소 에너지 기술로 (Ch.12), 가격 경쟁력이 확보되었으나 (Ch.6, Ch.15), 환경 및 사회적 영향에서의 심각성이 높을 수 있음 (Ch.6, Ch.17) • 풍력 발전은 대용량 터빈을 사용하고, 회전 날개(rotor)의 직경과 허브의 높이를 키워 발전량을 증대하고 비용을 절감할 수 있음 (Ch.6) • 물 부족에 대한 영향이 적어 물-에너지-식량 넥서스 차원에서 장기적으로 물 사용량을 감축할 수 있는 기술로 기대가 됨 (Ch.17)
	수소		• 저탄소 전력망을 위한 에너지 저장기술로 수소의 잠재력이 높을 것으로 분석되나, 생산 및 저장·운반에 대한 장애요인을 극복해야 함 (Ch.6) • 생산 측면에서 배출량 감축을 위해서는 그린수소와 블루수소를 활용하여야 함 (Ch.6) • 저장·운반 측면에서, 합성 탄화수소(SHC), 액상 유기물 수소 저장체(LOHC), 암모니아 등 다양한 기술들이 연구되고 있으며, 특히 암모니아가 강조되고 있음 (Ch.6) • 수송 부문에서 트럭 및 철도에서 발생하는 배출량은 저탄소 전력 및 저탄소 수소로 구동할 시 현저히 저감될 수 있음 (Ch.10)
	바이오에너지		• 바이오 에너지 기술은 성장 추세에 있는 기술로, 화석연료 대체 옵션이 제한적인 부문 등에서 유용함. 다만 규모 확대를 위해서는 고급기술이 필요함 (Ch.6) • 바이오 에너지 기술은 수력 발전과 더불어 CO_2제로/네거티브를 위한 급전(dispatchable) 에너지원으로 활용 가능함

		• CCS 설비와 함께 BECCS로 전력생산 및 네거티브 배출 달성 가능 (Ch.6) • 수송 부문의 탈탄소화 차원에서 대체연료로 바이오연료 활용 가능 (Ch.10) • 산업 부문의 탈탄소화를 위해 액체연료 및 고온의 열을 바이오매스로부터 공급받는 것으로 전환 가능 (Ch.6, Ch.11)
산업 저탄소화	철강·시멘트	• 생산 공정에서의 탄소 집약도는 최적가용기술(BAT)이 발전됨에 따라 개선되고 있으나, 추가적인 감축을 위해 혁신적인 신기술이 필요함 (Ch.11) • 활용 가능한 감축 기술은 CCS, 수소환원제철, 합성연료 등이 있으며, 특히 시멘트 산업에서 CCS 기술이 중요함 (Ch.11) • 전기화와 CCUS의 경우, 아직 기술 수준이 초기단계에 머물러 있음 (Ch.11)
	석유화학	• 석유화학 부문은 CCS를 활용하여야 함 (Ch.6) • 기존 원료를 대체하기 위해 바이오 기반 화학합성 기술, 미생물 활용 기술, 단백질 생명공학 기술 등이 중요해짐 (Ch.7)
	산업공정 고도화	• 철강, 화학, 시멘트 등 에너지 집약 산업에서의 기술(특히 BAT) 적용을 통해 에너지 효율성을 향상시키는 것이 중요함 (Ch.11) • 산업공정의 에너지 효율성 개선을 위하여 디지털화와 폐열 활용 기술(waste heat to power 기술(WHP) 등)의 역할이 중요함 (Ch.11)
에너지 효율	수송효율	• 완화 수단으로 전기 모빌리티(EV)의 역할이 중요하며 (Ch.6, Ch.8, Ch.10), 관련 인프라(충전 설비 등) 구축이 중요함 (Ch.10) • 내연기관의 효율 개션 및 대체연료(천연가스, 바이오 연료 등) 기술을 통해 기존 기술이 EV 등의 신기술과 양립 가능함
	건물효율	• 냉난방 및 건물 외피 열효율 향상, 정보통신기술 등을 활용해 에너지 고효율 건물 신축 및 기존 건물의 심층 개조를 통해 효율 향상 및 비용 절감 가능 (Ch.9) • 탄소중립 건물 기술은 Sufficiency(에너지를 필요로 하지 않음)-Efficiency(에너지 효율 향상)-Renewables(재생에너지로 기후 영향에 대한 회복탄력성 증대)를 의미하는 SER 프레임워크로 표현할 수 있음 (Ch.9) • 3D 프린팅과 같은 기술로 더 빠르고 저렴하며 지속가능한 건축을 가능하게 할 수 있음 (Ch.9)
	디지털화	• AI, IoT, 빅데이터 등 정보통신기술(ICT)이 범분야적 에너지 효율 개선에 활용되나, 디지털화로 에너지 수요가 증가할 수 있어 적절한 관리가 필요함 (Ch.9, Ch.11, Ch.17) • 온실가스 감축에 다양한 이해관계자들의 정보 공유 및 소통이 중요하며, 디지털화는 이를 가능하게 해줌 (Ch.11)
CCUS	CCUS	• 기존 화석연료·수소 설비에 CCS를 부착하여 저탄소 에너지 생산 가능 (Ch.6) • 화석연료 발전소의 폐쇄 추세를 고려할 시 화석연료 발전 설비에 CCS를 활용하는 것보다 BECCS가 매력적일 수 있음 (Ch.6) • 시멘트 산업에서 CCS 기술이 특히 중요함 (Ch.11) • CO_2 제거(CDR) 기술로(BECCS, DACCS) 잔여 배출량 상쇄 가능 (Ch.6, Ch.12) • 저배출 기술에 대한 공공 RD&D로 CCUS 기술개발 필요 (Ch. 16) • 대규모 공급 중심 기술로, 기술적 위험성과 사회환경 영향에 대한 우려가 있음 (Ch.5). 물 사용이 많을 수 있어 물 관리 기술이 중요함 (Ch.3, Ch.6, Ch.17)

출처: IPCC(2022a)의 본문을 바탕으로 저자 정리

5.1.3. 시장 위험

5.1.3.1. 시장 신호의 불확실성[123)]

시장 신호의 불확실성이란, 에너지 시스템이 저탄소(2050년까지 1.5℃ 혹은 2℃ 온도 상승 달성)에 필수적인 저탄소 기술이 시장에 진입하지 못할 가능성을 의미한다. 1.5℃ 온도제한 목표 달성을 위해서는 2050년까지 에너지 부문 순 CO_2 배출량을 87에서 97%(2℃ 달성은 60~79%)로, 2030년까지 순 CO_2 배출량을 35에서 51%로 감축해야 하며, 발전 부문의 순 CO_2 배출량은 2045에서 2055년(2℃는 2050~2080년)동안에 순무배출에 이르러야 한다 (IPCC 2022a, Sec. 6.7). 순무배출 달성을 위한 전략으로는 CO_2 순무배출 전력의 생산, 에너지소비의 전기화와, 화석연료 소비의 대폭적 감소, 전기화가 어려운 부문에서의 대체연료(수소, 바이오에너지, 암모니아 등) 전환, 에너지 효율의 개선, 지역 및 부문간 에너지 시스템의 통합, 잔존 배출량의 상쇄 CO_2 제거 기술(DACCS, BECCS) 등이 있으며 (Ibid., Sec. 6.6), 이를 구체적으로 살펴보면 다음과 같다.

먼저, 석탄의 사용에 대해서는 지속적인 사용 가능성, 고착효과, 좌초되는 자산에 대한 불확실성이 존재한다 (Ibid., Sec. 6.3.4). 1.5℃ 목표의 달성을 위해서는 현 석탄발전소는 운영된 지 약 20년 만에, 2℃ 목표의 달성을 위해서는 약 35년 만에 발전소를 폐쇄해야 하는데, 중국, 인도 및 아시아(베트남, 튀르키예, 방글라데시)등에서 석탄의 사용이 증가하고 있어 좌초자산의 증가 및 연간 500~700GtCO_2의 고착효과(lock-in effect) 위험이 발생한다. 2℃ 목표의 달성 시, 석유매장량의 30%, 가스 매장량의 50%, 석탄 매장량의 80%가 폐쇄될 것이며, 조기 폐지될 화력발전소는 2030년 이후에 세계적으로 200GW에 이르는 등 2015~2050년 기간의 할인된 누적 좌초자산은 $1~4조(非할인시 $10~20조)로 막대한 규모에 이를 전망이다 (Ibid., Sec. 6.7.3).

다음으로, 태양광 발전 비용의 향후 하락은 다양한 요인에 의해 좌우될 전망이다. 태양광 발전비용은 2000년 이후 89%, 2015년 이후 62% 하락했으며 현재 추세라면 2030년까지 추가적으로 16% 하락할 전망이다 (IRENA 2020). 비용하락 요인은 실리콘 비용 하락, 자동화, 수익감소, 기타 개선사항 등이며, 최근에는 설치비용과 soft cost(판매, 허가비용 등) 비중이 상승하고 있다. 대규모의 태양광발전 전력망 통합(grid integration) 비용은 태양광발전 비중, 재생에너지 발전원, 저장설비 이용 가능성, 송전망 능력, 수요부문의 유연성에 의해 좌우될 것이다 (IPCC 2022a, Sec. 6.4.2).

한편, 수소는 전기화가 어려운 부문에서 대체 연료로 활용될 수 있다. 그러나 해결과제는 효율적 저탄소 수소 생산, 수소관련 인프라 비용, 관로의 관리, 수소의 순도 유지, 수소 누출의 최소화, 최종 소비 부문에서 디바이스의 적응, 수소에너지의 운반 및 저장에 따른 화재, 독성 및 안전한 저장과 같은 이슈 등이다. 수소는 대규모로, 그리고 효율적으로 저장하기 위한 설비가 필수불가결하다. 대표적으로 염광(salt cavern)에 저장하는 방식이 있는데, 이는 불확실성이 높다. 또한, 금속·화학 수소화물(metal and chemical hydride) 등으로 변환하여 저장하는 방식도 있는데, 이 역시 현재로서는 불확실성이 높아, 대안 물질로 암모니아(NH_3, 질량으로 17%의 수소 포함)가 거론되고 있다 (Ibid., Sec. 6.4.5).[124)]

123) 본 섹션의 내용은 IPCC 2022a의 제6장을 중심으로 작성되었다.
124) 대용량 수소 저장을 위해 언급되는 기술 중 염광 저장은 지하 깊은 곳의 소금층이 높은 압력을 견디며 누출 우려도

화석연료 소비량을 대폭 축소해야 하는데 이는 화석연료의 비용, 전기화, 이산화탄소 제거(CDR, Carbon Dioxide Removal) 기술에 의해 좌우될 것이다 (Ibid., Sec. 6.6).

전력 부문에서, 무탄소 혹은 네거티브 탄소 전력은 태양광이나 풍력과 같은 간헐적이고 변동성있는 재생에너지 관련 기술, 바이오매스나 수력과 같이 급전가능한 재생에너지 기술, 원자력이나 CCS-화력발전과 같은 급전 가능한 저탄소 기술, 에너지 저장 설비, 탄소 제거 기술(BECCS, DAC), 수요관리 등과의 조합으로서, 상대적 비용, 시스템의 편익, 지역적 자원 부존량, 인프라의 이용 가능성, 지역적 통합 및 교역, 사회적인 선호도, 정책적인 우선순위에 의해 좌우될 것으로 전망된다 (Ibid., Sec. 6.6).

수송부문에서는 승용차, 2륜 및 3륜 자동차, 버스, 철도와 함께 트럭, 항공화물을 철도화물로 전환하는 전략이 필요하다 (Ibid., Sec. 6.6).

건물 부문에서는 조명, 냉방, 온수 등이 대부분 전기화가 가능하며, 히트펌프는 중요한 기술이다. 산업부문의 시멘트, 철강, 석유화학 등은 전기화가 어려운 산업이지만, 시멘트 산업에서는 킬른(kiln)용 에너지를 전기로 바꾸고, 철강산업에서는 무탄소 전력을 사용하는 전기로를 확대하고, 석유화학에서는 바이오 원료로 대체하는 방안이 가능하다. 직접적인 전기화(direct electrification)는 전기자동차나 히트펌프 및 전기로 등과 같은 기술을 통하여 이루어지며 간접적 전기화에 비하여 효율이 높다, 간접적인 전기화는 전기에 기반한 수소 및 합성 연료를 통하여 이루어지며, 이들 자원이 풍부한 국가에서 에너지 수입이 가능하다는 장점이 있다. 직접적인 전기화는 수요 측면의 무탄소 전략이며, 간접적인 전기화는 공급 측면의 저탄소 전략이다.

수소 및 바이오 연료 등의 대체연료는 전기화 혹은 저탄소화가 힘든 장거리 화물수송, 항공 및 장거리 해상수송, 트럭, 시멘트 및 철강 공정 상의 배출, 고온 열 소비처 등에 사용될 수 있다.

관건은 이러한 비용들이 화석연료 대비 낮아야 하는데, 여기에 적용될 기술들은 고비용에 기술개발 단계상으로도 초기 단계이다 (Ibid., Sec. 6.6). 액체화 바이오 연료(옥수수와 사탕수수 기반 에탄올, 씨앗 및 폐유 기반의 바이오디젤)의 경우는 현재 전세계 수송 연료 소비량의 약 4%를 차지하고 있으며, 무탄소화가 힘든 분야에 사용될 수는 있으나 비용이나 공급량의 확대, 생애주기 온실가스 배출량 등의 위험요인 존재한다. 이를 해결하기 위해서는 나무, 농업부산물, 해조류(algae), 폐기물로부터 바이오 연료가 생산가능한 기술의 개발이 필요하다. 합성탄화수소(synthetic hydrocarbon)의 사용에는 비용이 관건인데, 천연가스 기반 개질수소의 생산 비용은 $1.3~1.5/kg$H_2$인데, 수전해 기반 수소의 생산 비용은 $5.5/kg(75% 효율, 전기비용은 $0.07/KWh 가정)로 꽤 높은 수준이기 때문에 생산 비용을 60~80% 정도 감축시키는 연구가 진행 중이다. 물과 태양광으로부터 바로 수소를 생산하는 기술은 초기단계이며, 수소생산효율이 높은 기술은 비용과 이용률, 수명연장이 필요하다. DAC의 비용을 $100/t$CO_2$ 이하로 낮출 필요가 있다.

에너지 시스템의 통합적인 접근법은 폐기된 전력, 연료 및 열에너지 등, 모든 에너지원에 걸쳐 계획과 운영이 통합된 자원을 공유하고, 자본집약적인 자산의 이용율을 높이고, 자원의

적다는 점을 활용하여 지하 소금층에 구멍을 뚫고 수소를 고압으로 저장하는 방법이다. 그러나, 염과저장은 대규모 실증이 충분히 이루어지지 않았고, 지하 소금층 존재 여부 등에 대한 불확실성이 존재한다. 또한 수소화물 형태로 수소를 저장하는 것은 수소와 다른 원소를 화학적으로 반응시켜 저장이 용이한 화합물 형태로 보관하기 위한 방법이나, 암모니아를 제외한 다른 수소화물 형태는 아직 충분히 연구되지 않았고 비용이 높아 불확실성이 높다.

지리적 다양성을 활용하며 수요를 완만하게 유지하면서 비용을 줄이고 신뢰도를 향상시키고 환경부담을 최소화한다 (Ibid., Sec. 6.6). 에너지의 흐름에서는 생산과 수송 및 저장, 소비를 연결 가능하다. 통합은 연료와 공정(무탄소 전력 생산, 송전, 수소 생산, 합성 탄화수소 생산 및 수송, 암모니아 생산 및 수송, 탄소 관리 등)을 연결하는 것이다.

이산화탄소 제거(CDR) 기술의 감축 잠재량은 연간 5~12GtCO_2로서, 온실가스 감축 수단이라기 보다는 무탄소화가 어려운 부문의 CO_2를 상쇄 및 관리하는 수단이다 (Ibid., Sec. 6.6). 바이오에너지-이산화탄소포집저장(BECCS) 기술은 정제소의 CO_2 포집비용이 \$25/tCO_2의 높은 수준에 이르고 있으며, 대기직접포집(DAC) 기술은 습식포집 방식의 경우 막대한 양의 에너지를 소비하기 때문에 이러한 에너지를 재생에너지의 차단전력을 이용하여 생산하면 비용 경쟁력을 가질 수 있다. 포집된 CO_2를 사용하여 저탄소 메탄올과 기타 연료를 생산할 수 있다.

저탄소 전환에 필요한 투자 규모는, 1.5℃ 상승을 달성하기 위해서는 에너지 공급부문에 대한 연간 투자가 현재의 \$1.8조/년에서 2030년에는 \$2~3조, 2050년에는 \$2.5~4조로 증대되어야 하며, 2℃ 상승을 달성하기 위해서는 2030년에 \$1.5~2.5조, 2050년에는 \$2.5~3.5조에 이르러야 한다 (Ibid., Sec. 6.7.2). 1.5℃(2℃) 상승을 위해서는 2030년에 화석연료 상류부문(upstream)[125]과 화력발전에 대한 투자는 2010년 투자에 비해 \$0.35조 감소하는 반면, 非화석연료 발전에 대한 투자는 \$0.75조 증가할 것이며, 전력망에 대한 투자도 \$0.55조 증가할 전망이다. 저탄소 에너지 시스템에 대한 투자 증대에는 민간부문의 투자가 매우 중요한데, 리스크에 매우 민감한 특징이 있다. 저탄소 에너지 시스템(재생에너지기술 등)은 자본 집약적인 기술인 반면 화력발전 시스템은 연료비용의 영향을 많이 받는다는 점에서 저탄소 에너지 시스템이 금융비용의 증가에 매우 민감하다.

5.1.3.2. 국제 에너지가격 동향 및 전망[126]

글로벌 전통 에너지의 공급 여력은 2020년을 지나며 크게 감소하였다. 코로나로 인해 에너지 수요가 크게 감소한 가운데, 주요국들의 탄소중립 추진 선언은 전통적인 에너지에 대한 전세계적인 투자 및 신규 개발을 크게 위축시켰기 때문이다. 그러나 2020년 말부터 글로벌 경제활동이 재개되는 가운데, 북반구에서 유난히 추운 겨울까지 겹치자 에너지 수요는 급증하였다. 또한 2021년에 들어와 공급이 수요를 따라가지 못하자 가격 상승이 시작되었고, 2022년 2월에 러시아가 우크라이나를 침공하자 국제 에너지 시장 불안정성이 극대화되었다. 2020년에 연평균 \$39.3/배럴이었던 국제 유가(WTI 기준)는, 전쟁발발 직후 \$100/배럴을 돌파하였고 현재에도 여전히 고공 행진하고 있다.[127] 러시아에 대한 의존도가 높은 유럽의 천연가스 가격은 2021년 1분기에 \$6.5/MMBtu[128](TTF[129] 가격기준) 수준이었으나 전쟁 직후 \$72.2/MMBtu까지 열배

125) 화석연료 생산은 상류부문(upstream)과 하류부문(downstream)으로 구분된다. 상류부문은 화석연료를 탐색·시추·추출하는 것을 의미하며, 하류부문은 추출한 화석연료를 정제하여 유통하는 것을 의미한다.
126) 본 섹션의 내용은 IPCC 보고서가 아닌 최근 다른 문헌에 기반해서 작성되었다.
127) WTI란 Western Texas Intermediate로서, 주로 미국 텍사스주 서부와 뉴멕시코주 동남부에서 생산되는 저유황 경질원유를 말한다. 국제유가는 WTI와 함께 유럽 북해산 브렌트유, 중동산 두바이유의 가격을 지표로 한다.
128) Million Metric British Thermal Unit의 약어로서 25만 kcal에 상응하는 열량을 의미

이상 치솟았다 (Patronet 2022). 천연가스와 석유의 가격이 급등하자 글로벌 에너지시스템에서 퇴출 1순위이던 석탄의 수요도 증가하며 2021년 $138.1/톤 수준이던 가격(호주산 연료탄 기준)이 하반기들어 $400/톤 이상까지 상승하였다 (한국광해광업공단 2022). 최근 전쟁이 장기화되는 가운데 세계 각국의 동절기를 대비한 에너지 확보경쟁이 심화되면서 국제 에너지시장의 불안정성은 어느 때보다도 높아진 상황이다. 이러한 국제 에너지 가격 동향은 다음의 [그림 4-7]과 같다.

[그림 4-7] 국제에너지 가격동향

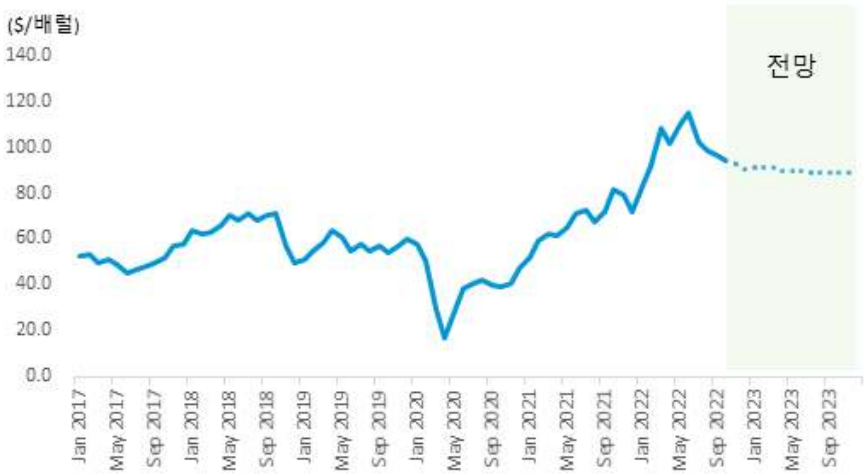
주: 국제유가는 Brent, Dubai, WTI의 평균, 천연가스는 일본 CIF 액체상태 수입 가격 기준, 석탄은 호주산 기준
출처 : 에너지경제연구원(2022)의 '주요 에너지 국제가격 추이 그래프'(5p)를 바탕으로 저자 재편집

러시아-우크라이나 전쟁은 글로벌 에너지시장의 불확실성을 극대화하였고, 1990년대 있었던 탈냉전 이후 약 30여 년 동안 구축된 세계 에너지 공급망의 패러다임 전환을 초래하였다. EU 집행위원회에서는 러시아가 우크라이나를 침공하고 에너지 자원을 무기화하자, REPowerEU를 발표하며 에너지 수입 측면에서의 탈러시아를 선언하였다 (European Commission 2022). REPowerEU는 유럽 역내 가스 소비의 40%를 차지하는 러시아산 천연가스의 수입량(155bcm)을, 2022년 말까지약 30% 수준으로 삭감하고, 늦어도 2030년 전에 러시아 의존을 탈피하겠다는 목표를 제시하였다. 구체적인 이행전략으로는 먼저 에너지 효율 개선, 재생에너지 보급 확대 등으로 가스수요를 최소화하고, 이를 미국 등 우방국으로부터의 LNG 수입이나 북아프리카 등지로부터의 PNG(파이프라인 기체가스) 수입으로 대체하겠다는 계획이다 (Ibid.). 그러나 지구 반대편에 있는 미국의 가스를 수입하는 것은 상당한 비용 인상을 초래한다. 즉, 이제는 에너지 공급망의 패러다임이 경제 논리에서 안보 논리로 전환되는 것으로써 향후 러시아-우크라이나 전쟁이 종식되더라도 이러한 안보 중심의 글로벌 공급망의 재편은 지속될 것으로 예상된다.

에너지 안보를 우선시한 공급망 재편으로 글로벌 에너지 공급구조는 더욱 블록화·파편화될

129) Title Transfer Facility의 약어로서 유럽의 대표적인 천연가스 선물가격 지표

것으로 보인다. 그리고 경제학적 관점에서 볼 때 안보적 중요성이 경제적 효율성보다 앞서는 것은 자원의 비효율적 배분을 의미하며 비용의 상승으로 귀결된다. 안보 중심 공급망 재편이 지속되는 한 최근 우리가 겪고 있는 고(高)수준의 에너지 가격은 러시아-우크라이나 전쟁이 종료되고 글로벌 에너지 공급망 재편이 완료된다 하더라도 뉴노멀로 고착화될 가능성이 높다. 전쟁 이후 발표된 여러 국제 에너지연구기관들의 국제에너지 가격 전망도 당분간 高에너지 가격 수준이 지속될 것으로 예측하고 있다. 미국 에너지정보청(EIA/DOE)은 2022년 국제유가(WTI)는 연평균 $100/배럴 수준을 유지하고 동절기 위기를 지나고 나면 2023년 이후 다소 하락하겠지만 여전히 연평균 $90/배럴 수준을 유지할 것으로 예상한다 (EIA/DOE 2022). 이는 다음의 [그림 4-8]과 같다.



[그림 4-8] 국제 유가전망(WTI 기준)

출처: EIA/DOE(2022)를 토대로 저자 재구성

천연가스의 경우 글로벌 LNG 증산 여력이 2024년 이후에나 의미있는 수준으로 확충됨에 따라 당분간 높은 수준을 유지할 것으로 전망된다. 글로벌 에너지 전문 분석기관인 Economist Intelligence는 천연가스 가격(TTF)이 2023년에도 연평균 $18.0/MMBtu 수준에 머무를 것으로 예측하고 있다 (Economist Intelligence 2022b). 석탄 가격의 경우도 2023년 이후 석유·가스 가격이 다소 안정화됨에 따라 최근의 급등세는 다소 누그러지겠으나 글로벌 석탄 증산 여력이 제한적임을 고려할 때 $130.0/톤 수준에서 유지될 것으로 전망된다 (Economist Intelligence 2022a). 이는 다음의 [그림 4-9]과 같다.

[그림 4-9] 국제 석탄 및 천연가스 가격 전망

출처 : Economist Intelligence(2022a)의 p.9 및 Economist Intelligence(2022b)의 p.11을 바탕으로 저자 재구성

글로벌 에너지 공급망 재편과정에서 국제 에너지 시장은 최근의 지정학적 이슈가 발생하기 이전보다 높은 가격을 지속할 뿐 아니라 공급망 교란의 주기는 더욱 잦아지고 불확실성의 폭은 더욱 확대될 것이다. 에너지 자원 보유국의 자원 무기화를 경험하고 있는 세계 각국은 이제는 청정에너지시스템으로의 빠른 전환을 통해 에너지 자립도를 제고하기 위한 노력에 박차를 가하고 있는 한편, 향후 10~20년을 바라보는 전통에너지에 대한 신규 투자는 위축될 것이기 때문이다. 그럼에도 불구하고 에너지전환의 이행과정에서 여전히 필요로 하는 화석에너지에 대한 공급이 충분히 지속될 지는 알 수 없다. 따라서 글로벌 전통에너지 수급은 당분간 타이트한 상황에 놓여있게 되며, 향후 글로벌 경기변동이나 한파나 폭염 등 이상기후의 발생과 같은 외부의 작은 충격에도 매우 취약해질 수 있어 높은 가격과 공급망 교란은 상당기간 지속될 전망이다.

당분간 전통 에너지 가격이 높은 수준을 지속함에 따라 신·재생에너지에 대한 투자환경은 보다 개선될 것이다. 그러나 현재의 에너지 시장 위기가 더욱 심화되어 러시아産 에너지가 국제 시장에서 급격히 퇴출되거나 에너지 가격발 인플레이션 심화로 세계 경제가 경기침체(recession)의 단계로 진입하는 것은 에너지전환 이행의 저해요인으로 볼 수 있다. 특히 우리나라는 국내 에너지수요의 90%이상을 수입에 의존하고 있다. 최근의 에너지 안보 위기로 인해 원전과 재생에너지 시스템에 기반한 에너지 안보 강화를 정책 목표로 삼고 있지만 전통 에너지의 공급이 적절한 가격에 안정적으로 뒷받침되지 못한다면 청정에너지시스템으로의 원활한 이행은 담보되기 어려울 전망이다. 또한 최근의 에너지·자원의 무기화 현상은 청정에너지시스템에 활용되는 핵심광물(critical mineral)의 공급망에도 영향을 미칠 수 있다 (<표 4-22> 참조). 풍력, 2차전지 등 친환경 에너지 생산의 필수 소재로 사용되는 소위 핵심광물은 지리적으로 특정 국가에 편중되어 있어 향후 자원 민족주의 현상이 두드러질 가능성이 높다. 더욱이 전세계가 에너지전환에 박차를 가함에 따라 향후 이들 광물에 대한 수요는 급증할 것으로 예상된다. 따라서, 핵심광물 부존국과의 안정적 공급망 구축은 순조로운 에너지전환 이행의 필수요건이 될 것이다.

<표 4-22> 탄소중립 실현을 위한 6대 핵심광물

탄소중립 전략	핵심광물	주요 수요처	2030 예상수요 (2020년 대비, IEA, SDS기준)	특정국가 의존도	
				광석생산	처리
친환경차, ESS	리튬(Li)	배터리 양극재	42배 증가	호주/칠레 (77%)	중국(58%)
	코발트(Co)		21배 증가	콩고(71%)	중국(64%)
	니켈(Ni)		19배 증가	인니(32%)	중국(34%)
	흑연(Graphite)	배터리 음극재	25배 증가	중국(70%)	
수소경제	백금족(PGMs)	촉매, 연료전지	3배 증가	남아공 (75%)	남아공(NA)
고효율기기/ 재생에너지	희토류(REEs)	모터(전기차) 발전기(풍력)	7배 증가	중국(60%)	중국(85%)

출처 : 한국지질자원연구원(2021)의 p.23을 바탕으로 저자 재구성

5.1.3.3. 산업[130)]

전세계적인 2050 탄소중립 추진은 에너지 전환, 산업 탈탄소화, 산업환경 변화 등을 초래하고 이에 따라 산업 부문의 산업발전 및 경쟁 패러다임 변화가 가속화될 것으로 예상된다. 산업의 탈탄소 구조 전환은 핵심기술 혁신, 기존 기술과 설비의 퇴출, 산업내-산업간 가치사슬의 변화, 청정에너지 인프라 투자 등이 요구된다. 또한, 글로벌 탄소가격 동등화를 위한 탄소국경조정(carbon border adjustment)과 같은 국제 공조, 각국의 연구개발 투자 지원, 소재 사용과 온실가스 배출과 관련한 기준설정 및 표준화, 업종별 감축 로드맵, 저탄소 시장창출과 재활용 활성화 정책 등이 도입되거나 활성화가 예상된다 (IPCC 2022a, Sec. 11.6).

산업 부문은 수많은 세부 산업으로 구성되어 있고 각 산업이 가치사슬을 통해 상호작용하고 있기 때문에 산업부문의 탈탄소 전환은 산업 부문내 전후방 연관관계를 변화시키며 여기에는 새로운 섹터 커플링(sector coupling), 밸류체인, 비즈니스 모델의 등장과 기존 관계의 퇴조 등이 포함될 수 있다. 이러한 산업전환 기조는 개별 기업에게 있어서는 기회요인이지만, 새로운 정책에 따른 기존 설비의 조기 퇴출, 신기술 도입 압력 증가, 정부 및 민간의 제품 선호 변화 등과 같이 기후 관련 전환 위험 요인이기도 하다 (Ibid., Sec. 11.4).

청정전력과 청정수소의 중요성 확대로 인해 기존에 나타나지 않았던 새로운 산업 간의 연계 모델의 등장 또한 예상된다. 예를 들면 화학산업의 탄소저감 수단으로서 바이오매스로의 원료전환 수단이 도입되면 화학산업과 산림업의 동조성이 높아질 것으로 보인다. 철강산업의 경우, 수소 기반 전환에 따른 고로 생산방식의 퇴장에 따라 시멘트 산업에서는 저탄소 시멘트의 원료로 사용되는 고로 슬래그를 더 이상 사용할 수 없게 될 것이다. 탄소의 포집 및 이송, 수소의 생산과 저장, 폐열의 재사용 등에 있어 산업 클러스터링도 활성화 될 수 있다. 특히 화학 단지와 같이 기존에 수소를 발생시키는 곳이 수소의 생산 및 저장 네트워크의 거점이 될 가능성이 존재한다 (Ibid., Sec. 11.4).

130) 본 섹션의 내용은 IPCC 2022a의 제11장을 중심으로 작성되었다.

수송, 건물 등 타 분야에서의 온실가스 저감 수단 도입과 소재사용 효율성(material efficiency) 개선이 글로벌 탄소중립 달성에 있어 중요 수단으로 여겨짐에 따라 경제 전체적으로 주요 기초소재에 대한 수요 변화가 나타날 수 있다 (Ibid., Sec. 11.4).

소재사용 효율성 관련 정책의 진행 정도는 상대적으로 느렸던 것이 사실이나 향후에는 국가 및 민간차원에서 온실가스 함유량이 높은 주요 기초소재 사용 저감을 위한 정책적·자발적 노력이 다차원적으로 나타날 것이다. 일반적으로 정부조달은 정부 지출의 30%를 차지할 정도로 시장에 미치는 영향력이 막강하다. 따라서 중앙이나 지방정부는 목표로 설정한 기후 목표 달성을 위해 구매력을 활용하여 틈새 시장이나 저탄소 제품과 소재 수요를 확보시키며 시장 창출을 해 나갈 것으로 전망된다. 물론 제도 정착을 위해서는 기준 설정에 있어서의 복잡성, 제품별 온실가스 집약도 측정에 대한 공인된 정보의 부족, 상당한 행정 부담 등의 장애요인 극복이 선결조건이 될 것이다. 구조용 강재, 철근, 평판 유리 등 주요 소재 생산 기업에게 일정 기준 이하의 온실가스 배출기준 보고의 의무를 부과한 캘리포니아 주 정부의 청정구매법(Buy Clean California Act)이 대표적이다 (Ibid., Sec. 11.6).[131]

각국 정부의 적극적인 탄소 저감 목표 설정에 따라 기존 산업 부문 설비의 조기 퇴출 필요성이 점차 증가하고 있다. 현재 보유하고 있는 설비의 내구연한과 온실가스 배출 전망을 다뤘던 기존의 연구에서는 철강과 시멘트 설비의 일반적 수명을 40년으로 설정하였고 화학 산업은 30년, 그리고 여타 산업의 설비 수명은 25년으로 설정하여 글로벌 온실가스 배출 전망을 수행한 바 있다. 반면 국제에너지기구(IEA)의 연구에서는 설비투자 주기를 모두 25년으로 설정하였는데 이는 고로 등 기존 설비의 수명연장을 위한 중대보수를 고려하지 않은 가정이라 할 수 있다 (IEA 2020). 이 경우 IEA의 2050 탄소중립 시나리오에서는 기존 설비의 퇴출과 신설비로의 교체로 2050년 경 약 40%의 전세계 CO_2가 감축될 수 있을 것으로 결과가 도출된 바도 있다. 이에 관련 기업의 경영 전략 수립에 있어서도 기존 설비의 조기 퇴출과 새로운 설비 도입, 기존 설비의 저탄소 설비 전환 개체 등을 위한 기술 개발과 투자 재원 확보 등의 위험 요인을 고려해야 할 것이다 (Ibid., Sec. 11.5).

탄소중립 추진과정에서 저탄소 연원료(materials) 채택에 따른 생산 비용의 상승이 예상된다.[132] 여러 선행연구에서 다배출 산업의 생산비용이 BAU 대비 철강 2~20% 상승, 플라스틱 20~43% 상승, 시멘트 70~115% 상승될 것이라 예상된 바 있다 (Ibid., Sec. 11.4). 물론 이러한 온실가스 다배출 물질이 주요 기초 소재이기에 적용되는 최종 소비재의 가격 증가는 크지 않을 것으로 보이나, 소재 산업의 경쟁구도가 높은 상황에서 가격 전가 여력이 높지 않은 소재산업의 경우 탄소중립 대응에 따른 생산비용 증가 규모는 상당한 위험이라 할 수 있다.

또한, 각 국가의 기후 규제 차이에 기인한 글로벌 경쟁력의 변화도 나타날 수 있다. EU가 EU 역내 기업의 경쟁력 약화를 개선하기 위해서 탄소국경세를 활용하는 점을 들 수 있다. 수출 의존적인 한국의 경우, 과도기적인 글로벌 기후-통상환경 하에서는 단기 경쟁력이 훼손될 위험이 존재할 수 있다. 하지만 중장기적으로 보았을 때 글로벌 탄소중립의 추진은 향후 대응의 정도에 따라 장기 경쟁력을 확보해 나갈 수 있는 기회요인이라 할 수 있다.

131) 청정구매법은 캘리포니아 주 정부가 건물 및 건설 프로젝트 시 탄소배출량을 감소하고자 관련 기업에게 자재의 지속가능성을 담보하는 EPD 인증(Environmental Product Declaration)을 의무적으로 요구하는 법이다.
132) 연원료는 연료와 원료를 의미한다.

5.1.3.4. 원료 가격의 증가[133)]

동 섹션에서는 시멘트와 철강을 중심으로 다루도록 하겠다. 먼저, 시멘트 산업은 철강산업과 더불어 국가 기간산업 발전의 기초가 되는 대표 소재산업이다. 시멘트 산업은 전형적인 원료 지향형 산업에 속하는데 주로 원료인 석회석($CaCO_3$)을 채굴하는 광산 주변에 생산 공장을 짓는다. 한국은 지하자원이 풍부하지 않지만 석회석 매장량은 풍부하다. 그리하여 시멘트 산업은 1960년대부터 국가산업으로 육성되었으며 2020년 기준 대한민국 세계 시멘트 수출량은 아래 <표 4-23>에서 보는 것처럼 세계 14위를 기록하고 있다.

<표 4-23> 2020년 상위 20개국 시멘트 수출 순위

순위	국가명	수출량(단위: 천 톤)
1	베트남	29,300
2	터키	24,600
3	태국	14,040
4	일본	12,300
5	이란	12,300
6	파키스탄	9,500
7	UAE	8,650
8	사우디아라비아	8,400
9	인도네시아	7,950
10	독일	6,650
11	스페인	6,160
12	중국	6,000
13	그리스	5,300
14	**한국**	**5,282**
15	캐나다	4,700
16	알제리	4,500
17	말레이시아	2,550
18	이집트	2,500
19	나이지리아	2,380
20	대만	2,350

출처: 한국시멘트협회(2020)을 바탕으로 저자 정리

시멘트 생산을 위해서는 중간재인 클링커(Clinker)를 생산해야 하는데 이를 위해서는 1,450℃ 이상의 고온 소성로 공정이 필요하다. 이 과정에서 높은 에너지 소비와 비용이 발생하고 다량의 온실가스가 배출된다. 우리나라는 파리협정을 시작으로 탄소중립 장기비전과 전략을 수립중이며 온실가스를 다량 배출하는 시멘트 산업의 감축을 중요하게 여기고 있다.

133) 동 기후위험에 대한 섹션은 IPCC 보고서가 아닌 최근 다른 문헌에 기반해서 작성되었다.

최근 주요 원자재 가격이 2020년 5월 이후 지속적으로 상승하고 있으며, 마찬가지로 시멘트 가격도 최근 전 세계적으로 10% 이상 급등할 조짐을 보이고 있다. 글로벌 건축자재 전문기관 온필드인베스트먼트리서치는 2022년 전세계 시멘트 가격이 평균 11.5% 이상이 될 것이라고 추정하였으며, 특히 한국을 포함한 동아시아 지역은 2022년 14% 인상이 확실시되었다. 그 외 지역인 러시아는 10%, 동남・서남아시아 지역은 11~12%, 중동 16%, 북미 지역은 8% 인상 예정이다. 이웃나라인 중국은 2021년 시멘트 가격을 7% 인상했고 올해에도 12.8% 가격 인상을 예고했다. 일본도 올해 1월부터 20% 인상된 가격을 시장에 적용했다. 시멘트 가격 인상으로 해외현장에서 건설비용 인플레이션은 피하기 어렵게 되었다.

최근 코로나19 펜데믹과 우크라이나 사태 장기화로 당분간 국제 시멘트 가격 상승 압력은 지속될 것으로 전망된다 (송영철・임수환 2022). 하지만 장기적으로 시멘트 제조 방식은 전 세계적 탄소중립 장기 비전을 통해 친환경 방식으로 발전할 것이다. 친환경적이고 비용이 적게 드는 시멘트 제조 방식이 발전한다면 시멘트 가격이 원유가격에 크게 의존하지 않게 되고 결국 시멘트 가격은 대외적인 큰 충격이 없다면 안정적으로 유지될 가능성이 높다.

다음으로, 철광석은 일반적으로 철(Fe)을 함유한 광석을 의미한다. 철(Fe)은 지구상에 매장량이 풍부하고 가공성이 우수하며 단단하기 때문에 인류역사 상 가장 널리 사용되고 있는 금속 중 하나이다. 철강 산업은 철을 함유하고 있는 철광석, 철스크랩 등을 녹여 쇳물을 만들고 불순물을 줄이는 과정을 거친 후 최종 철강제품을 만들어 내는 산업이다. 글로벌 철강산업의 탄소배출량은 전체 탄소배출량에서 7%를 차지한다 (한국에너지기술연구원 2021).

우리나라도 마찬가지로 철강산업의 온실가스 배출량은 2018년 기준 1억100만톤CO_2eq으로 산업부문 39%, 국가 전체의 13.1%를 차지한다. 한국의 탄소중립은 철강산업의 탈탄소화 없이는 불가능하다고 할 수 있다. 세계 국가들과 기업들이 탄소중립을 선언하고 있으나 국내 철강업계 입장에서는 결코 쉽지 않은 도전이다. 탄소배출량 감축에 소요되는 비용은 그 규모가 천문학적일 뿐더러, 그 과정 또한 쉽지 않다. 하지만 탄소중립은 거스를 수 없는 추세이며 뒤처지는 기업은 경쟁력을 잃거나 퇴출될 운명이다. 철광석 가격은 코로나19 펜데믹에 따른 글로벌 경기하락으로 2020년 4월 톤당 85달러 수준까지 하락했다. 그러나 2분기 이후 중국의 대규모 인프라 확대 정책으로 철강산업의 경기가 개선되고 미국의 대규모 확장적 통화정책에 따른 미 달러 약세와 호주・브라질 코로나19 재확산에 따라 대형 광산들의 생산에 차질이 생기는 바람에 철광석 가격은 꾸준히 상승(톤당 213달러)했다. 하지만 이후에 중국 정부의 저탄소 경제전환을 위해 조강생산 규제로 발생한 수요둔화와 코로나 확산세 감소에 따른 기존 대형 광산의 조업 재개에 따른 공급여건 완화로 가격이 급격이 하락하여 톤당 125달러('21.9) 수준을 유지하고 있다 (김바우 외 2021).

장기적 관점에서 철광석의 가격은 하락할 가능성이 높다. 이유는 철광석 소비가 가장 많은 중국의 경기 약세, 철광석 수요 감소, 탄소 배출량을 줄이기 위해 철광석 대신 고철(철스크랩)을 사용할 것이기 때문이다. 경기와 소비의 약세와 시대적 흐름에 따른 대체재(고철)의 등장으로 철광석 가격은 하락할 가능성이 높을 것이다. 하지만 가격 상승 가능성을 배제할 수는 없다. 이유는 중국의 철강 생산량이 2017년 이후 최저 수준을 기록하고 있기 때문이다. 만약 중국의 철강 생산량 수준이 지속적으로 낮게 유지된다면 공급 부족으로 철광석 가격이 상승할 가능성이 있다.

5.1.3.5. 고객 행동 변화[134)]

앞서 4.1.1.3 섹션에서 '수요' 측면을 통제하기 위한 '제품과 서비스 규제'를 살펴보았다면, 동 섹션에서는 수요 측면을 통제하기 위한 '고객 행동 변화'측면에서 살펴보고자 한다. 이는 소비자들의 기술 선택, 행태, 삶의 양식에 있어서의 변화, 생산과 소비의 연계를 위한 인프라와 시스템, 서비스 공급 전략, 그리고 관련된 사회-기술적 전환을 포함한다 (IPCC 2022a, Sec. 5.1).

기후변화 완화를 위해, 수요 측면에서 일반적으로는 '개인' 그리고 보다 구체적으로는 '소비자' 또는 '고객'을 중심으로 한 사회문화적·기술적·인프라 측면의 개입 수단들은 역시 앞서 언급된 회피·전환·개선(Avoid-Shift-Improve)의 전략을 토대로 정리된다.[135)] ASI 전략은 현재의 서비스 제공 시스템에서 낭비를 제거하는 것을 목표로 하는 수단들을 유형화해주고, 또한 지원 정책, 기술, 인프라를 통해 강화될 수 있는 개인 선택에 의한 수요 측면의 온실가스 감축 수단들을 제시한다 (Ibid., Sec. 5.3). 이를 부문별로 살펴보면 다음과 같다.

수송부문의 경우, '회피' 옵션으로는 개인이 자체적으로 원격근무, 장거리 비행 감축, 지역 내 휴가를 고려하는 것이다. '전환' 옵션으로는 승용차에서 자전거, 도보, 대중교통으로 운송 수단을 전환하는 것과 항공여행을 고속철도 여행으로 전환하는 것 등이 있다. 또한 원격근무는 디지털화를 통해 달성할 수 있는 매일의 통근과 관련된 도로 교통을 피하기 위한 중요한 지렛대가 될 수 있지만, 원격근무를 통한 절감량은 회피되는 사무실 사용 유형, 거리 및 교통수단에 크게 좌우되고 더 많은 가용 시간으로 인해 추가 여행 또는 다른 가족 구성원의 차량 사용이 유발되는지 여부에 크게 좌우된다 (Ibid., Sec. 5.3).

다음으로, 식품 및 영양 부문에서 소비자 행동 변화와 관련된 '회피' 옵션은 자체적으로 소비 열량을 최적화하여 필요 수준과 건강 지침에 맞추는 것이다. 그리고 식료품 구매 이후 폐기되는 양을 줄이는 것도 포함된다. '전환' 옵션으로는 영양 품질을 유지하면서 반추동물 고기 및 유제품에서 다른 단백질 공급원으로의 식단을 전환하는 것이 있다. 소비자들은 음식 폐기물의 가장 큰 배출원이기에 계획적 식단, 남은 음식 사용, 과잉 준비 회피와 같은 행태 변화는 중요한 서비스 지향 해결책이 될 수 있다 (Ibid., Sec. 5.3).

건물 부문의 경우, 소비자 행동 변화와 관련된 '회피' 옵션은 주거 공간 축소, 취사 및 목욕과 같은 공간의 공유, 다세대 주택 등을 들 수 있다. 열과 관련해서는 적정 실내 온도 설정, 의복 및 근무시간 변화 등을 들 수 있다. 조명과 관련해서는 조명 센서 및 제어기 설치가 있다. 또 다른 '회피' 옵션으로는 서비스 최종 소비 또는 개별 건물의 운영 수준에서 나타날 수 있다. 햇빛과 조명 센서의 사용은 인공조명에 대한 수요를 회피할 수 있도록 해주고, 패시브 주택, 단열재, 스마트 제어는 공간 냉난방 서비스에 대한 수요를 줄여준다. 대기 전력 손실을 없애는 것도 가구의 전력 소비를 줄여줄 수 있다. 건물 수준에서는 주거공간의 축소가 조명 및 냉난방 서비스에 대한 수요을 줄여주고, 동시에 작은 주거 공간, 주택 공유, 건물 수명 연장은 모두 탄소집약적인 건축 자재에 대한 수요를 줄여준다. '전환'

134) 본 섹션의 내용은 IPCC 2022a의 제5장을 기반으로 작성되었다.
135) ASI 틀에 대한 자세한 설명은 동 보고서의제 4.1.1.3장의 '제품과 서비스 규제' 참조

옵션으로는 단독가구에서 다가구 거주로의 전환이 있다. 열과 관련해서는 냉난방 에너지 절감을 위한 설계 변화가 있으며, 조명과 관련해서는 햇빛을 최대한 활용할 수 있는 설계 변화가 있다. '개선' 옵션으로는 태양열 설비 도입, 단열 개선, 히트 펌프 설치 등이 있고, 조명과 관련해서는 LED 램프의 보급이 있다 (Ibid., Sec. 5.3).

제품 소비 측면에서 '회피' 옵션은 제품의 소비량을 줄이고, 제품 수명이 긴 제품을 사용하는 것을 포함한다. 또한 공유경제를 통해 하나의 제품이 제공하는 서비스를 더욱 늘리는 방법도 있다. 한편 하나의 제품이 수명을 다하였을 때, 그 제품 자체 또는 부속품들의 가치를 최대한 활용하기 위하여 재사용 또는 재활용하는 것도 수요측의 감축 옵션으로 제기되고 있다 (Ibid., Sec. 5.3).

최근 일부 연구들이 글로벌, 그리고 로컬 수준에서 수요측면의 에너지 및 자원 사용 절감 잠재량의 기여를 탐구하였다. 이러한 연구들로부터 관찰된 몇 가지 일반적 결과들은 다음과 같다. 첫째, 전환 경로 내에서 사회-문화적 변화는 전 지구적으로 기가톤 규모의 감축 잠재량을 제공하고, 전통적인 완화 시나리오에서 간과된 전략임을 나타낸다. 둘째, ASI 원칙에 따라 수요 측면의 상당한 감축은 행동 변화와 발전된 에너지 효율 기술의 보급을 병행해야 하며, 둘 중 하나만으로는 충분하지 않다. 셋째, 저수요 시나리오는 공급 측면의 설비용량 추가와 배출 목표 달성을 위한 탄소 포집 및 제거 기술의 필요성을 모두 줄일 수 있다. 넷째, 상당한 에너지 및 자원 수요 감소를 위한 ASI 전략을 통합할 때 완화 목표를 달성하는 비용이 더 낮을 수 있다 (Ibid., Sec. 5.3.3).

5.1.4. 평판 위험

5.1.4.1. 이해관계자 위험[136)]

기후변화 저감과 관련된 이해당사자는 국제기구, 국가 이외에도 기업, 노동조합, 시민사회, 소비자, 언론 등이 포함된다. 기업, 노동조합, 시민사회, 소비자, 언론은 처한 상황과 가치에 따라 기후변화 저감 정책에 상이한 영향을 끼친다. 석유산업을 비롯한 고탄소배출 산업의 기업과 노동조합은 기후 비관적인(Climate skepticism) 태도와 행태를 보이는 경우가 있다. 시민사회, 소비자, 언론 또한 신념, 가치 체계에 따라 기후변화 저감에 다르게 반응하는 양상을 보인다 (IPCC 2022a, Sec. 13.4).

먼저, '기업'은 기후변화 정책에 영향을 미치는 행위자이다. 기후변화와 관련된 기업의 종류는 다양한데, 탄소배출 다배출 산업에 속한 기업, 탄소 저감 기술을 가진 기업에 따라 다른 양상을 보인다 (Ibid., Sec. 13.4). 기업은 기후변화로 인한 새로운 기회, 특히 재생에너지 기술 시장 규모의 확장이나 탄소 가격제도, 에너지 효율화 등의 영역을 찾기도 한다. 화석연료 중 석유기업은 기후정책에 영향을 끼친다. 특히 미국의 석유기업들과 협회는 기후 비관론을 확산하는 역할을 하기도 한다. 기업에 의해 기금이 마련된 보수적 재단, 연구 그룹들(think-tank)

136) 본 섹션의 내용은 IPCC 2022a의 제13장을 중심으로 작성되었다.

은 기후 거버넌스가 형성되고 기후정책이 이행되는데 저해가 되기도 한다.

다음으로, '노동조합' 들도 기후변화와 관련된 프로그램을 개발하거나, 다른 행위자들과 연대하기도 한다. 그러나 미국, 호주, 노르웨이와 같은 산유국의 석유산업 노동조합은 일자리 감소를 염려하여 기후변화와 관련된 정책을 약화하는데 노력을 기울이기도 한다.

그리고, '시민사회 행위자' 들은 시민들의 개인행동에 영향을 끼치는 캠페인을 기획하여 진행하기도 한다. 자동차 사용, 비행기 여행, 재생에너지 전기 사용, 채식 중심의 식생활 개선 등 시민들의 라이프스타일 변화를 유도한다. 시민사회는 정부나 기업이 기후변화에 미온적으로 대응하는 것에 대해 보이콧, 파업, 집단행동 등을 벌이기도 한다. 기후파업(Climate strike)은 점점 증가하는 추세이다. 학생 및 청년들의 기후파업(school strike, 예 Fridays for Future)은 2019년 이후 약 6백만명의 참여를 이끌어냈다.

마지막으로, '언론' 은 기후 저감에 대한 대중의 담론을 형성한다. 이는 기후변화 대응에 대한 대중적 지지를 이끌어 내기도 하지만, 탈탄소 정책과 전략을 저해하기도 한다 (Ibid., Ch. 13 Executive Summary). 기후변화에 대한 59개국 언론 보도는 2016~2017년 47,000건에서 2020~2021년 87,000건으로 대폭 증가하였다. 일반적으로 기후변화 과학에 대한 언론 보도가 증가되었고, 그 정확성도 향상되고 있다. 그러나 종종 과학적으로 오도된 보도가 정치적 양극화로 인해 기후변화 반대 운동에 불을 붙이는 역할을 하기도 한다. 전통적인 언론 (신문, 방송) 뿐만 아니라, 새로운 미디어와 SNS는 기후 관련 소식을 전하는 방법으로 활용되고 있다. 또한 기후 재난에 대한 영화나 이미지는 대중들의 관심을 이끌기도 한다.

5.1.4.2. 소비자 선호도 변화[137]

사람들의 선호(preference) 변화를 '유도' 하는 정책과 인프라 구축을 통한 선호도 변화 '개입' 은 기후변화 완화에 있어서 매우 중요하다. 경제학에서 후생 평가는 주로 선호에 기반하고, 선호도는 고정된 것으로 가정되어 오직 상대 가격의 변화만이 온실가스를 감축한다. 하지만 탈탄소화는 사회적 전환이기 때문에 개인들의 선호는 변화하고, 이러한 변화가 기후변화 완화에 기여할 수 있다. 만약 개인들의 선호와 가치관이 저탄소 경제로의 전환 과정 동안에 변화한다면, 이러한 변화가 경제학에서 기후변화 완화에 대한 적절한 최적 정책 대응이 무엇인지에 대한 결과를 뒤집을 수 있다 (IPCC 2022a, Sec. 5.2).

선호도 변화의 '유도' 와 관련하여, 문화적 의미의 변화로 인해 선호도 변화가 유도될 수 있다. 예를 들어, 저육류 식단으로의 전환은 소요되는 비용 뿐 아니라 건강, 영양, 동물 복지와 같이 기후변화가 아닌 더 많은 이슈와 관련되어 육류 섭취가 바람직하지 않다는 신념에 의해 동기가 부여되기도 한다. 실제로 영국은 탄소집약적 붉은 고기에서 가금류로의 전환에 따라 영국에서 고기 섭취가 감소하고 있어 저배출 식품으로 식단 전환이 이루어지고 있다. 이는 행태적・사회문화적・제도적 동인에 의한 것이다. 식품기업과 혁신적 고기 대체재를 제공하는 신규 시장진입자들은 소비자 선호를 경제적 기회로 보고 고기 대체 식품의 공급을 증가시키고 있다. 다만, 영국에서는 식단 전환을 가능하기 위한 어떠한 유의미한 정책적 변화도 일어나지

137) 본 섹션의 내용은 IPCC 2022a의 제5장을 중심으로 작성되었다.

않았다 (Ibid., Sec. 5.4.1).

한편, 복지의 관점에서 ‘인프라 투자’는 현신선호(revealed preference) 또는 잠재선호(stated preferences)에 의해 제약을 받지 않는다. 선호도는 사회적·물리적 환경에 따라 변화한다. 따라서, 주어진 선호도뿐만 아니라 공공 보건 및 기후 변화 완화 등 객관적인 조치에 의해 인프라 투자를 통해 선호도 변화 개입이 정당화될 수 있다. 구체적으로 저탄소 수송 인프라 구축이 저탄소에 대한 선호도를 유도하기 때문에 환경경제학에서 가정하는 것보다 저탄소 운송 인프라에 더 많은 투자가 이루어진 경우가 있다. 능동적 이동(active travel)을 위한 인프라를 제공하는 것은 더 많은 도보 이동과 자전거 타기에 기여할 수 있다. 따라서 인프라 시설은 저탄소 여행을 가능하게 하기 위해 필요할 뿐만 아니라 저탄소 이동에 대한 선호를 형성하기 위한 전제 조건이 될 수 있다 (Ibid., Sec. 5.4.5). 향상된 대중 교통과 같은 ‘회피’ 옵션은 상당한 행태적 변화와 새롭거나 확대된 서비스 제공 시스템으로의 전환이 관련되어 있다. 이러한 서비스 제공 시스템은 새로운 기술(버스, 트램), 인프라(경량 철도, 버스전용차로), 제도(운영권, 성과 계약), 재정적 합의, 새로운 조직(특정 책임과 감독을 위한)을 포함할 수 있다 .

서비스 수준을 줄이는 ‘회피’ 옵션은 주류 소비자들에게 반향을 일으키지 않을 수 있는 매우 실질적인 행태 변화와 문화적 변화를 의미한다. 원격근무와 같은 다른 ‘회피’ 옵션들은 행태, 제도, 비즈니스, 기술 상의 변화뿐만 아니라 문화적 의미와 신념에 있어서의 변화가 필요하다. 선호가 변화함에 따라 새로운 인프라와 사회적 환경도 새로운 저에너지 수요 서비스 제공 시스템과 관련된 새로운 욕구를 이끌어낼 수 있다 (Ibid., Sec. 5.5.1).

5.2. 물리적 위험

기후변화과 관련이 있는 물리적 위험에는 급성 위험과 만성 위험이 있다. 각각에 대해서 살펴보도록 하겠다.

5.2.1. 급성 위험[138)]

기후변화과 관련한 물리적 위험 중 급성 위험으로는 크게 태풍, 집중호우(홍수), 극한적 기후(폭염 및 고수온), 그리고 가뭄을 들 수 있다. 이에 대해 IPCC 보고서에서 다루는 내용은 아래와 같다.

첫째, 태풍에 대해 살펴보겠다. 한반도를 포함한 북서태평양에서 태풍의 발생 빈도는 미래에 감소하는 것으로 분석되지만, 강한 강도(최대풍속 49.4m s^{-1}이상)를 갖는 태풍의 발생 빈도는 더욱 빈번해질 것으로 분석된다. 특히, 태풍의 평균 발생 위치와 최대강도 지점이 점차 북상한다는 사실이 과거 관측에서뿐만 아니라 미래 기후변화 시나리오에서도 관측되어 한반도 주변의 태풍 활동은 더욱 빈번해질 가능성이 높다. 또한 태풍 이동 속도의 측면에서 살펴보면, 기후변화 시나리오 상에서 한반도가 속한 중위도에서 태풍 이동 속도가 느려질 것으로 예상되어 한반도에 미치는 태풍 피해가 더욱 증가할 수 있다. 이는 2018년 태풍 솔릭에서 경험한 바와 같이 태풍의 이동 속도가 느려지면 한반도 연안과 내륙에 지속적인 강풍과 호우 피해를 초래하여 막대한 피해를 일으킬 수 있기 때문이다 (IPCC 2021a, Ch. 11, 12).

둘째, 집중호우에 대해 살펴보겠다. 2℃ 이상의 온난화를 가정하는 미래 기후변화 시나리오들은 아시아 지역 대부분에서 집중호우의 빈도와 강도가 증가할 가능성이 매우 높은 것으로(very likely) 전망하고 있기 때문에 한반도에서 집중호우로 인한 피해는 더 늘어날 수 있다. 특히 한반도는 아시아의 다른 지역보다 온난화로 인한 대기 불안정도가 증가하는 폭이 더 크기 때문에 미래에 집중호우의 발생 빈도와 강도가 더욱 증가할 수 있다 (Ibid., Ch. 11, 12).

셋째, 극한 기후에 대해 살펴보겠다. 여기에는 폭염 및 고수온이 있다. 21세기 후반에 접어들면 폭염이 더욱 빈번하고 강하게 발생할 가능성이 매우 높으며(very likely), 특히 온실가스 배출량이 많은 시나리오일수록 이러한 확률이 더욱 높아지는 것으로 나타난다. 극단적인 열스트레스 지수를 의미하는 41°C를 넘는 날이 SSP1-2.6(저배출) 시나리오에서는 연간 30일 이하로만 발생할 것으로 전망되나, SSP5-8.5(고배출) 시나리오에서는 발생일이 50-150일 수준으로 증가할 것으로 전망된다. 이러한 극단적인 폭염의 증가는 21세기 중반 이후 심화되어 나타날 것으로 분석된다. 한편 미래에 아시아 지역 대부분에서 고수온 현상이 높은 확률로(high confidence) 더 빈번하게 발생할 것으로 전망되며, 이러한 현상이 발생할 때 지속시간과 강도 역시 더욱 증가할 것으로 예상된다. 특히, RCP4.5와 RCP8.5 시나리오에서 21세기 말 동해 연안이 각각 2°C와 5°C 증가할 것으로 전망되는데, 이는 온실가스 배출량이 클수록 한반도 주변의 고수온

138) 본 섹션의 내용은 IPCC 2021a의 제11장과 제12장을 중심으로 작성되었다.

현상이 더욱 뚜렷해지는 것으로 이해할 수 있다 (Ibid., Ch. 11, 12).[139]

넷째, 가뭄에 대해 살펴보겠다. 4℃ 이상의 온난화에 대한 기후변화 시나리오는 동아시아에서 미래에 농업 부문의 가뭄 발생이 증가할 가능성이 높다고 전망한다. 이는 온난화로 인해 강수량이 증가하기는 하지만 증발산량 역시 증가하기 때문이다. 그러나 강수량 및 온도의 변화를 동시에 고려해야하기 때문에 가뭄 전망에 대한 불확실성은 큰 편이다 (Ibid., Ch. 12).

5.2.2. 만성 위험

만성 위험을 구분해보면 i) 기온 상승과 강수의 변화로 인한 위험과 ii) 해수면 고도와 날씨패턴의 변화로 인한 위험으로 크게 구분할 수 있다. 각각에 대해서 살펴보면 다음과 같다.

5.2.2.1. 기온 상승과 강수의 변화

5.2.2.1.1. 기온 변화[140]

남한의 경우, 온난화 추세는 전지구 추세와 비교 시 1.4~2.6배 정도 크게 관측된다. 1912~2014년 동안 한반도 남쪽의 평균기온은 1.9℃ 상승하였으며 이 중에서도 특히 1973~2014년 기간 동안에 평균기온이 0.99℃ 상승하였다. 한편 이러한 기온 상승에는 도시화가 약 25~45% 정도 기여했다는 연구 결과가 있으며, 1960~2010년 기간 동안 대도시의 기온 상승 추세는 매 10년마다 0.29℃±0.08℃, 그 외 관측 지점에서는 매 10년마다 0.11℃±0.08℃ 정도 기온이 상승했다는 분석 결과도 존재한다. 동아시아 지역의 온난화를 전반적으로 살펴보면 중국 북부에서 매 10년마다 약 0.3~0.4℃의 기온 상승을 보이는 것을 제외하면 대략 매 10년마다 0.1℃를 초과하는 온난화율을 보이고 있다.

한편 최근 겨울철 기온과 관련하여 동아시아 겨울 몬순의 변화를 살펴볼 필요가 있다. 관측된 데이터를 살펴보면, 동아시아 겨울 몬순은 10년 주기로 변동을 보이고 있으며 1980년대 후반을 기점으로 1976~1987년 대비 1987~2001년 평균 겨울 몬순의 강도가 상대적으로 약화된 것을 알 수 있다. 그러나 2004년 이후 겨울 몬순의 강도가 다시 회복되어 2004~2012년 동안 많은 동아시아 지역에서 비정상적인 한파를 야기한 것으로 관측되었다.

동아시아 지역의 기온 역시 전지구 평균 변화 경향과 유사하여 최근 수십년 간의 기온 상승 추세는 미래에도 지속될 것으로 전망된다. 하지만 지역별로 기온 상승 정도는 편차를 보이는데, 중국의 남부・북서부・북동부 지역, 몽골, 한국, 일본이 아시아 여타 지역에 비해 온난화가 조금 더 심화되고 있는 것으로 나타난다. 동아시아 지역의 연평균기온은 모든 시나리오에서 온난화 수준과 상관 없이 향후 증가될 것으로 전망되며, 특히 고배출

139) RCP 시나리오에 대해서는 부록 4를 참조할 수 있다.
140) 본 섹션은 IPCC 2021c의 TS.4.3, IPCC 2021a의 제12장 및 Atlas.5.1.2를 중심으로 작성되었다.

시나리오에서 동아시아 북부 지역의 기온 상승이 클 것으로 전망된다. 이러한 고배출 시나리오의 경우,[141] 동아시아 지역의 기온은 21세기 말에 약 5℃ 정도 상승하는 것으로 나타난다. 반면 저배출 시나리오의 경우,[142] 동아시아 평균 온난화를 21세기 말에 대체로 2℃ 이하로 제한하는 것이 가능할 것으로 보여진다.

5.2.2.1.2. 강수 변화[143]

강수량의 변화를 살펴보면, 일반적으로 고위도로 갈수록 강수량이 증가하는 경향을 보이지만 지역별로는 강수량이 증가하기도, 감소하기도 하는 등, 여러 경향이 산재된 경우가 많다. 동아시아에서는 주로 6~9월에 발생하는 일본의 메이유, 중국의 바이유, 우리나라 장마기간 동안의 평균 강수량과 강수일수가 1973~2015년 기간 동안 증가해 왔다. 이러한 강수 변화 추세로 인해 1060~2100년의 기간 동안 연평균 강수량이 매 10년마다 27.7±5.5㎜ 증가하고 여름철 강수량은 매 10년마다 40.6±4.3㎜ 비율로 증가하였다.

한편 동아시아 지역의 몬순에 대한 미래 예측을 살펴 보면, IPCC 제5차 평가보고서에서 여름의 시작이 빨라지고 기간이 길어지면서 강수량이 많아진다고 보고 있는데, 이번 제6차 평가보고서에서도 이에 대한 전망은 매우 유사한 가운데 동아시아 몬순이 21세기 동안 강화될 것으로 나타나고 있다. 또한, 고배출 시나리오에서 모델별로 편차가 심하긴 하지만 대부분의 시나리오에서 먼 미래에 동아시아 몬순 강수는 증가할 것으로 분석된다. 제6차 평가보고서에 제시된 5개 공통사회경제경로(SSP, shared socio-economic pathways)에 대한 시나리오에서 동아시아 지역의 유출량(runoff)과 P-E(강수량-증발량) 값은 양의 값으로 전망되며, 고배출 시나리오일수록 이 값은 커지는 것으로 전망된다.[144] 하지만 SSP1-1.9와 같은 저배출 시나리오에서는 유출량과 P-E 값이 거의 제로이며, 또한 가까운 미래의 변화는 불확실성이 매우 큰데, 이는 자연변동성과 인위적 기후강제력 사이의 상호 작용 및 미래 에어로졸 배출 여부가 불확실하기 때문이다. 따라서 동아시아 몬순의 미래 변화로 인해 21세기 동안의 동아시아 지역 여름 몬순 강수는 증가하고 몬순 시기는 더욱 길어질 것으로 보여진다.

미래 동아시아 지역의 강수량을 살펴보면, 지역별로 다소 편차를 보이나 대체로 온난화 수준이 높은 고배출 시나리오일수록 연평균 강수량이 증가하는 것으로 분석된다. 동아시아 지역의 여름 몬순 강수가 증가하는 구조는 매우 복잡하기 때문에 여름철과 겨울철 사이의 기온 차이에 의한 강수량의 증가율 차이는 매우 적다. 한편, RCP 시나리오에서 21세기 동안 한반도의 강수량은 증가하며 특히 늦은 오후 시간대의 강수량 증가가 전망된다는 연구 결과도 나오고 있다. 또한 동아시아 지역 강수 밴드가 이른 여름부터 빠르게 북상함에 따라 여름철 강수가 증가할 것으로 전망된다. 한편, 동아시아 지역 미래 강수량이 전반적으로 증가하면서 아시아 지역 대부분에서 이와 관련한 호우와 홍수가 더욱 강해지고 빈도가 잦아질 것으로

141) 해당 시나리오는 RCP8.5 또는 SSP5-8.5이다.
142) SSP1-2.6 이하의 시나리오에 해당한다.
143) 본 섹션은 IPCC 2021a의 제8장, 11장, 12장, Atlas.5.1.2 및 IPCC(2021c)의 TS.4.3.2.2를 중심으로 작성되었다.
144) SSP 시나리오에 대해서는 부록 4를 참조할 수 있다.

전망되지만, 반대로 건조한 상황(aridity)도 발생할 수 있다. 동아시아 지역에서 건조 지역이 광범위하게 나타난다는 전망의 신뢰도는 낮으나, 중국을 중심으로 봄철 가뭄 빈도가 다소 증가하고 있다는 점을 고려할 때 동아시아 지역의 건조도 증가 가능성은 중간 정도의 신뢰도를 가진다.

5.2.2.2. 해수면 고도와 날씨패턴의 변화

5.2.2.2.1. 해수면 고도의 변화[145)]

전지구 해수면 상승은 1995~2014년 대비 2100년에 SSP1-2.6의 저배출 시나리오에서 0.28~0.55m 상승할 것으로 전망되고, SSP5-8.5의 고배출 시나리오에서는 0.63~1.01m 상승할 것으로 전망된다. 또한 온실가스 고배출 시나리오 중에는 빙상 반응에 대한 불확실성이 더욱 커지면서 그 가능성이 매우 희박하기는 하지만 해수면 상승 정도가 2150년에 약 5m에 달할 것으로 전망되는 경우도 있다 (Ibid., Box TS.4).

해수면 상승을 지역 규모에서 살펴보면, 해수면 상승이 증가하는 반면 고위도에서는 해수면 상승이 감소하는 공간 패턴이 나타난다. 21세기에 걸쳐 대부분의 해안 지역에서의 지역 해수면 상승 중앙값은 전지구 해수면 상승 예측치 변화의 약 ±20% 이내로 예상되어진다. 아시아 지역을 살펴볼 경우, 1900~2018년 기간의 해수면 상승은 같은 기간 동안의 전지구 해수면 상승 정도가 연간 약 1.7㎜인 반면에 인도양-남태평양 해역에서는 연간 1.33㎜의 상승 정도, 북서태평양 해역에서는 연간 1.68㎜의 상승 정도를 보여 왔다. 하지만 위성 관측이 시작된 이후에 해당하는 1993~2019년 기간 동안에는 전지구 해수면 상승 속도가 연간 3.25㎜로 관측되는 반면, 인도양-남태평양 해역 및 북서태평양 해역에서는 각각 연간 3.65㎜와 3.53㎜의 상승 폭을 보인다.

아시아 지역 해양에서의 해수면 상승은 미래에도 지속될 것으로 보여진다. SSP1-2.6의 저배출 시나리오에서 아시아 지역의 해수면은 1995~2014년 대비 0.3~0.5m 정도 상승될 것으로 전망되고 SSP5-8.5의 고배출 시나리오에서는 0.7~0.8m 정도 상승될 것으로 전망된다.

5.2.2.2.2. 날씨패턴의 변화[146)]

1970년 이후 아시아 지역의 평균 기온의 증가 추세가 가속화되고 있으며 최저기온이 최고기온보다 상대적으로 더 크게 증가하고, 반대로 한랭야와 한랭일은 감소하고 있다. 극한 고온의 경우 아시아 지역 대부분에서 최근 수십 년간 더 자주 관측되고 강도 또한 강해지고 있으며, 21세기 말에는 열지수가 41℃가 넘는 날이 50~150일 이상에 달할 것으로 전망된다. 한편 한파와 서리일 등의 추운 날은 21세기 초부터 감소하기 시작하였는데, 1995년에서 2014년 기간

145) 본 섹션은 IPCC 2021a의 제9장, 12장, Atlas.5 및 IPCC 2021c의 Box TS.4를 중심으로 작성되었다.
146) 본 섹션은 IPCC 2021a 의 제12장, Atlas.5.1.2 및 IPCC 2021c 의 TS.4.3를 중심으로 작성되었다.

동안의 유라시아 지역 한파는 바렌츠-카라해의 해빙 용융으로 인하여 약간의 냉각 추세를 가지는 것으로 분석된다. 하지만 미래 전망을 살펴보면 아시아 지역 대부분(적도 지역 제외)에서 한파와 서리일이 감소하는 것으로 전망된다.

1901년에서 2010년 사이 기간에 아시아 지역의 강수 변화는 강수량 증가가 주요한 특징으로 관측되며 이러한 특징은 동아시아·북아시아·남아시아 지역 대부분에서 관측된다. 아시아 지역의 강수 증가는 주로 호우 증가와 관련이 있고, 결과적으로 강 유역의 홍수 빈도와 강도가 변화하는 것으로 연결되며 특히 동남아시아의 경우 기후변화 및 급격한 도시화로 인해 홍수 피해가 더욱 커질 것으로 전망되고 있다. 또한 호우의 증가는 산사태와도 관련되어 피해를 줄 수 있는데 아시아는 산사태 주요 발생 지역 중 하나로서 호우 증가와 함께 산사태 피해 증가 역시 우려되고 있다. 또한 대만 북부 및 한국 일부 산악지역, 히말라야 산맥 및 시베리아 영구동토층 등 아시아 일부 지역은 호우의 증가와 함께 영구동토층의 해동으로 인해 산사태 발생 빈도가 증가할 것으로 전망된다. 한편 가뭄 및 건조 경향은 지역적 편차가 크게 나타나는데, 아시아 지역 대부분에서 강수 증가와 기온 상승이 일어나면서 광범위하고 규모가 크며 장기간에 걸친 건조 경향이 있어날 가능성은 상대적으로 신뢰도가 낮다. 그러나 중앙아시아 서부 및 동아시아 지역은 특히 중국 지역의 가뭄 강도와 빈도 증가와 연관되어 국지화된 건조 경향이 일어날 가능성이 있다. 한편 산불기상을 살펴보면, 인도, 중국 및 러시아 지역에서 2℃ 온난화 시나리오 상에서 산불 시즌의 길이와 빈도가 늘어날 것으로 전망된다.

아시아 지역의 평균 풍속을 살펴보면, 미래의 지면 근처 풍속은 티벳, 동아시아 및 북아시아 지역에서 대체로 감소할 것으로 전망된다. 전반적인 지면 풍속 약화와 관련하여 강풍의 약화가 예상되긴 하지만 지역 패턴에 대해서는 증거가 불충분하다. 반면, 북서태평양의 태풍을 살펴보면, 1980년대 이후로 4~5등급의 강한 태풍의 빈도와 강도가 증가하였고 태풍 진로가 북서쪽으로 이동하며 강도의 정점(peak)이 나타나는 위도가 북상하고 있다. 이에 따라 최근 수십 년간 중국, 일본 및 한국이 태풍에 노출되는 빈도가 증가하였고, 또한 파괴적인 태풍이 상륙하는 경우가 증가하였다. 이들 지역에서 미래에는 태풍 빈도는 감소하지만 최대 풍속이 나타나는 강한 태풍은 늘어날 전망이다. RCP8.5 시나리오에 의하면,[147] 강도 3등급에 해당하는 태풍 역시 북서태평양 지역에서 그 빈도가 증가할 것이고 최대 풍속이 나타나는 위치는 점차 북상하고 태풍의 전향속도는 감소할 것으로 예측된다. 적설과 빙하, 영구동토층 등 추위와 관련된 기상현상들은 온난화에 따라 감소되어 왔고 또한 미래 시나리오에서도 감소되는 것으로 전망된다. 일본 홋카이도 등 일부 지역에서는 폭설이 다소 증가할 것으로 보이긴 하지만 눈사태와 같은 미래 변화를 감지하기에는 증거가 불충분하다.

한편 아시아의 연안 및 해양 변화와 관련하여, 대부분 21세기 동안 위험도가 증가할 것으로 전망된다. 특히 해수면의 상승은 저지대의 연안 홍수를 꾸준히 증가시킬 것으로 보여지고 모래 해안의 연안 침식 또한 가중시킬 것이다. 1982년에서 1998년까지 연안의 해수면 온도는 0.25~1℃ 정도 상승하면서 해양 열파도 증가하였다. 해양 열파는 아시아 지역 해양 대부분에서 미래에 증가하는 것으로 전망되며 2100년까지 아시아 지역 해양의 해수면 온도는 중배출(RCP4.5) 및 고배출(RCP8.5) 시나리오에 따라 1~2℃ 정도 상승하는 것으로 전망된다.

147) RCP 시나리오에 대한 설명은 부록 4를 참고할 수 있다.

6. 결론

동 보고서에서는 ESG의 등장배경을 조망하며 다양한 ESG 관련 이니셔티브를 살펴보았다. 그 중에서도 특히 기후변화 관련 정보공시에 특화되고 그 국제적 영향력이 확대되고 있는 '기후변화관련 재무정보 공개 태스크포스(TCFD)'를 중심으로 하여, TCFD의 권고안의 내용을 분석하고 주요국 TCFD 권고안 도입 동향을 조망해 보았다. 또한, TCFD 권고안에 따라 기업이 정보 공시를 위해 필수적으로 거쳐야 하는 과정이 '시나리오 분석'인데, 파리협정에 따라 산업화 이전 대비 온도 변화를 2℃ 이내로 억제하기 위한 시나리오의 사례를 소개하고, 그 차이점을 분석해 보았다. 기업이 수행해야 할 시나리오 분석 과정은 i) 일차적으로 기후변화와 관련한 위험 및 기회를 파악하고, 이 위험과 기회에 대해 기업이 받는 영향을 평가해야 하며, ii) 이를 기반으로 하여 참조 시나리오를 선택하고, iii) 참조된 시나리오가 기업 전략 및 재무상태에 미치는 영향을 평가하며, iv) 확인된 기후변화 위험과 기회를 관리하기 위해 기업이 현실적인 대응방안을 확인하고, v) 마지막으로 시나리오 분석과정과 기업 대응방안을 공개하는 것이다. 이 과정에서, 정보공시를 위한 시나리오 분석의 첫 관문이 바로 기후변화 위험 정보를 파악하는 것이다. 여기서, 기후변화 관련 위험요인은 TCFD 권고안에 '전환적 위험'과 '물리적 위험'으로 구분 및 명시되어 있다. 이러한 위험요인과 관련된 정보가 다양한 참조 시나리오들에 포함되어 있다. 그런데, TCFD가 제시하는 참조 시나리오들이 도출된 시점이 다소 예전으로, 동 시나리오들이 가지고 있는 기후 '위험' 정보 역시 다소 오래된 정보임을 확인하였다. 이는, 최신 자료에 기반한 시나리오를 새로이 제시할 필요가 있음을 시사한다. 이에, 동 보고서에서는 2021년과 2022년 IPCC에서 발간한 제6차 평가보고서의 내용을 기반으로, 기후변화 위험요인에 대한 최신 정보를 추출하였다. 그리고 이 최신정보에 대한 사항을 정리하면 다음의 <표 4-24>과 같다.

<표 4-24> IPCC 제6차 평가보고서 기반 기후변화 위험요인 정보 추출 결과

구분		주요 내용
기본 배경 정보	장기 온실가스 배출 시나리오 현황 및 전망	· 2010~2019 10년 동안의 전세계 온실가스 연평균 배출량은 **역대 최고 수준** · 현재 수준의 국가 2030 NDC 목표로는 1.5℃ 및 2.0℃목표 달성이 어려움 · 1.5℃ 혹은 2.0℃ 목표 달성을 위해서는 온실가스 배출량을 2030년까지 2019년 대비 각각 43%, 27%를, 2050년에는 84%, 63% 감축 필요
	NCD 기반 국가 목표 설정 현황 및 방향성	· 각국이 제출한 NDC의 목표치와 실제 배출 예상량 간 **배출격차**가 더욱 악화되고 있으며, **차기 NDC 목표는 현재 수준보다 더욱 강화**될 전망 · 1.5℃/2.0℃ 이내 온도 상승 억제 목표를 달성하기 위해서는 단기간에 **극적인 속도로 온실가스 감축행동**을 확대·심화해야 함 · 민간기업에 대해 온실가스 감축을 위한 **혁신적 노력** 요구 증대
전환적 위험 정책 및 법	강화된 온실가스 배출량 보고 의무	· 지속가능성 및 기후변화와 관련한 **기업정보공시 기준**을 제시하는 다양한 **이니셔티브** 등장하였으며 이 기준에 따라 투자자가 **투자의사결정 진행** · EU, 미국 등 주요국을 중심으로 기업들의 **기후변화 관련 정보의 의무공시화**가 가속화하고 있으며, 우리나라에서도 2023년부터 **기업의**

구분			주요 내용
전환위험	법률		**탄소배출량 보고 의무화** 진행 예정
		법적 송사	· 전세계적으로 기후변화와 관련한 **법적 송사 증가 추세** · 기업의 경우 화석연료를 주로 사용하는 **석탄발전소 건설 승인 취소**나, **석유 생산에 대한 규제**를 목적으로 소송이 이루어지고 있음 · 금융투자기관에 대해서도 **기후변화로 인한 위험**을 **투자자와 주주들에게 공개**하라고 요구하는 소송 진행
		제품과 서비스 규제	· 수요측면에서의 기후변화 완화를 위한 제품 및 서비스 규제로서, **기존 제품/서비스에 대한 규제** 뿐만 아니라 대체할 수 있는 제품/서비스로의 **전환**도 포함 · **(수송)** 내연기관 차량의 생산 및 판매금지, 전기차로의 전환 및 차량공유 서비스, 대중교통 우선정책, 혼잡요금 부과, 자전거도로 정비 등 · **(건물)** 다세대주택 촉진, 난방효율성 개선, 철거폐기물 재활용 · **(에너지)** 화석연료 관련 기업(발전, 정유 등)에 대한 투자 제한
		온실가스 배출가격 상승	· 온실가스 감축 유도하기 위한 **경제적 메커니즘**으로서 여러 국가에서 도입 예정 · **탄소세**의 책정이나 **배출권거래제**와 같은 **탄소가격정책**은 유럽과 중국 등에서 **온실가스 감축 성과 입증** · 향후 기업의 온실가스 배출량 저감을 위한 **인센티브**로서 **도입 확대**될 전망
	기술	**신기술의 등장 및 기술주기**	· 경제적, 환경적, 사회적으로 균형잡힌 **'지속가능한 기술혁신'**에 대한 요구 확대 · 기업은 **기술주기** 상의 단계(신기술 등장-조기도입-확산-안정)의 변화에 **기민하게 대응**할 필요 · 신기술 보급과 조기도입기에는 **공공정책 활용**을 통한 위험관리를, 기술의 확산 및 안정기에는 기존 제도의 변화에 적응하거나 **다양한 이해관계자와**의 협력을 통해 기술의 안정적 확산을 도모할 필요가 있음
	시장	**시장 신호의 불확실성**	· 2℃ 목표 달성을 위해서는 화석연료 매장량의 상당 부분이 **폐쇄**되어야 하며, 2030년 이후 200GW에 이르는 **화력발전소가 조기 폐쇄** 예정 · **태양광발전** 비용의 **지속적인 하락**이 예상되며, 향후 **전력망 통합**(Grid integration)과 연계되어 **에너지 공급체계**에 근본적 변화 발생 전망 · 전통적 화석연료 에너지는 재생에너지기술의 발전 및 비용저감과 함께 저탄소 기술 및 **탄소감축기술**(BECCS, DAC), 수요관리 등의 조합으로 인해 시장에서 밀려날 전망 · 개발 및 시범단계에 있는 저탄소 기술의 **상용화 불확실성**으로 인한 **금융비용의 증가**
		국제 에너지가격 동향 및 전망	· 러시아-우크라이나 전쟁으로 인한 국제 **에너지시장 불안정성** 극대화 · 전쟁의 장기화로 인한 **석유 및 천연가스 가격의 급등** 및 **국제 에너지 확보 경쟁** 심화로 인하여, 향후에도 에너지 가격 예측은 어려워질 전망
		산업	· 탄소중립 추진으로 인해 에너지전환, 산업 탈탄소화 등 **급격한 산업환경 변화**

구분			주요 내용
			· 온실가스 **고함유 소재 사용 저감** 및 **주요 기초소재에 대한 수요 변화** 발생 · **저탄소 연료 및 원료** 사용에 따른 **생산비용 상승** · 한국과 같은 수출의존적 제조업 중심 경제구조에서는 **경쟁력 저하** 우려
		원료 가격의 증가	· **(시멘트)** 탄소중립 정책을 통해 장기적으로 친환경적인 제조방식으로 전환될 전망이며 **단기적인 비용 상승** 전망 · **(철광석)** 우리나라는 **철강산업**의 온실가스 배출량이 **산업부문의 39%**로서, 탄소중립이 진행되면 많은 타격을 받을 전망 · 철강산업 역시 탄소중립의 영향으로, 기존의 철광석 대신 **철스크랩**을 사용해 전체적인 탄소배출량을 줄이려고 할 것
		고객 행동 변화	· 기후변화의 위험은 **소비자 개개인의 행태**에도 영향을 끼침 · **(이동)** 재택근무 활성화, 장거리비행 감소, 자전거 및 대중교통 이용촉진 · **(영양)** 음식폐기물 발생량 저감, 고기 및 유제품에서 타 단백질원으로 식단 전환 · **(건물)** 공간 축소, 취사 및 목욕공간 공유, 패시브주택, 스마트제어, 재생에너지 도입, LED 보급 · **(소비)** 장수명 제품 사용, 공유경제 촉진, 재활용
	평판	**이해관계자 위험**	· 노동조합은 기후변화에 대응하는 **기업의 움직임에 반응**하며 다른 조합과 연대하여 영향력을 증대 · **시민사회**는 정부나 기업의 기후변화에 대한 미온적인 대응이 보이콧, 파업, 집단행동 등을 통해 **행동 변화를 유도** · 파급력이 빠른 SNS를 통해 기후변화의 심각성을 공유하고 **개인의 친기후적 행동변화를 촉구** · **언론**은 기후변화에 대한 보도량을 늘리면서 **대중적 지지 확산**
		소비자 선호도 변화	· 국가나 지자체의 정책이 아니라 **순수 행태적·사회문화적 동인**에 의해 **소비자 선호도 변화** · 일부 국가에서는 **육류 섭취가 감소**하고 있으며, **대체육**을 공급하는 신규 시장진입자들에 의해 시장의 변화가 가속화 · 기후변화는 소비자로 하여금 자전거에 대한 **선호를 증대**하였으며, 이를 기반으로 구축된 **저탄소 수송인프라**(자전거 도로 등)는 이러한 **선호를 유지**시키는 역할
물리적 위협	급성	**태풍, 집중호우, 극한기후(폭염 및 고수온), 가뭄**	· 한반도 지역에 **강한 강도의 태풍 발생 빈도 증가**하며, 중위도의 태풍 이동속도가 느려져 **피해가 더욱 심각**해질 전망 · 한반도 지역에서 온난화로 인한 대기 불안정도 증가가 커서 **집중호우의 강도와 빈도가 더욱 증가**할 전망 · 21세기 중반부터 **41℃**를 넘는 날이 연간 적게는 30일, 많게는 150일까지 발생할 전망 · 21세기 말에 우리나라 동해 연안의 수온이 **2℃~5℃ 증가**할 전망
	만성	**기온 변화**	· 1970년 이후, 동아시아 지역에서 10년 당 0.1℃의 기온 상승이 발생했으며, 특히 남한의 경우 **도시화** 등의 요인과 맞물려 지난 100여 년(1912~2014) 동안 **1.9℃ 상승**

구분	주요 내용
	· 기온 변화로 인한 **식물성장 계절 길이**의 증가 발생 · 2004~2012년 기간 동안 겨울철에 동아시아 지역에서 **비정상적인 한파** 발생 · 동아시아 지역의 연평균기온은 21세기 말 최대 **5℃**까지 상승 전망
강수 변화	· 동아시아 지역 몬순 강화에 따라 **강수량과 강수일수**가 1973년부터 2015년까지 **꾸준히 증가** · 21세기 동안의 동아시아 지역 **여름 강수는 증가**하고 **기간도 장기화**
해수면 고도 변화	· 전지구 해수면은 1993~2019년 기간 동안 **연간 3.25㎜**씩 상승 · 해수면은1995~2014년 대비 2100년에 **0.28m~1m까지 상승**할 것으로 전망되며, 빙하의 붕괴가 가속화할 경우 2150년에는 **5m까지 상승**할 수 있음
날씨패턴의 변화	· 1901~2010 기간 동안 아시아 지역 강수량 및 **호우 발생빈도 증가**하였으며, 호우 증가로 인해 **산사태 피해**도 증가 · 우리나라 포함 아시아 산악지역 **영구동토층 해동**으로 인한 **산사태 증가** 전망 · 동북아(한, 중, 일)의 **태풍 발생 횟수** 및 **강력한 태풍 상륙빈도**가 증가하며, 태풍 평균진로가 북서쪽으로 이동하며 **최대위력 발생 위도**가 북상 · 2100년까지 아시아 지역 **해양 해수면 온도는 1~2℃까지 상승**할 전망

출처: 제4장 내용을 토대로 연구진 정리

동 4장 2절에서는 TCFD 권고안의 '기후위험' 요인을 토대로 IPCC 제6차 평가 보고서에 담긴 내용을 토대로 최신의 정보를 추출하여 정리하였다. 물론, IPCC 보고서가 워낙 방대하기 때문에 IPCC 보고서의 모든 세부적인 내용들을 담는 데에는 한계가 있었다. 또한, 기업별로 파악하는 위험 요인과 위험 정보가 모두 다를 수 있다. 그럼에도 불구하고, 동 연구를 시도한 목적은 기후정보 공시에 대한 세계적인 추세 속에서 TCFD에 대한 정보공개 준비의 첫단계가 기후위험을 파악하는 것인 바, 기업들이 이 단계를 보다 쉽게 조망할 수 있도록 돕기 위함이다. TCFD에서 설정하고 있는 기후위험의 범주가 무엇인지, 그 범주안에 속하는 기후위험 요인은 무엇이며, 이 기후위험 요인에 대한 가장 최신의 연구 결과들은 무엇이며, 그 안에서 국가와 기업이 어떠한 대응방안을 고려해야 하는가에 대해서 종합적인 정보를 제공함으로써, 기후정보 공시를 앞둔 많은 기업들이 기후위험에 대한 일차적이고 종합적인 정보를 파악하는 데에 조금이나마 도움이 되기를 희망하며, 동 4장 2절의 내용을 마무리하고자 한다.

7. 참고자료

7.1. 주요 전환 시나리오 및 가정

<주요 전환 시나리오 및 가정>

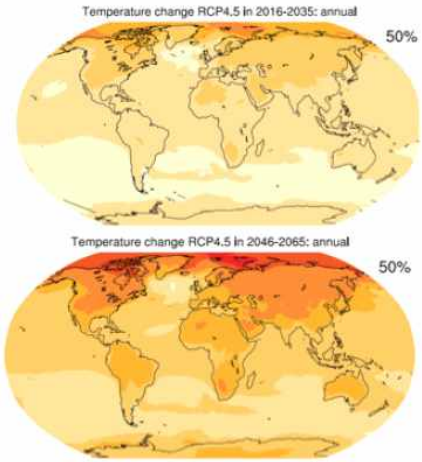
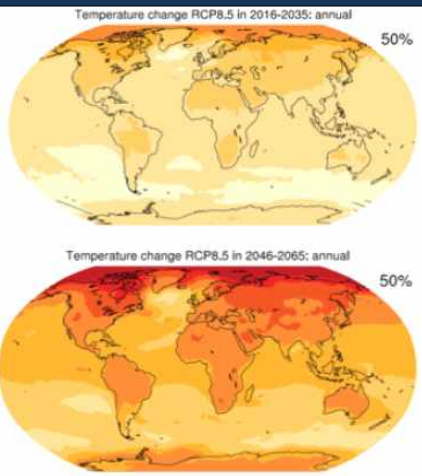
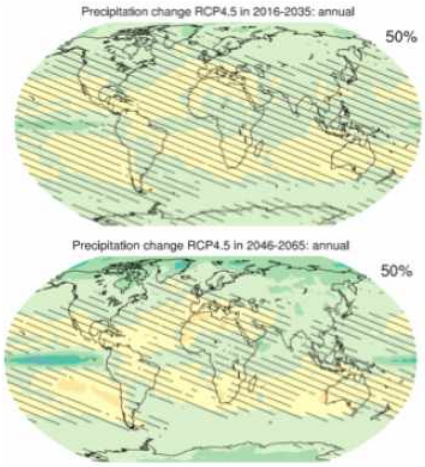
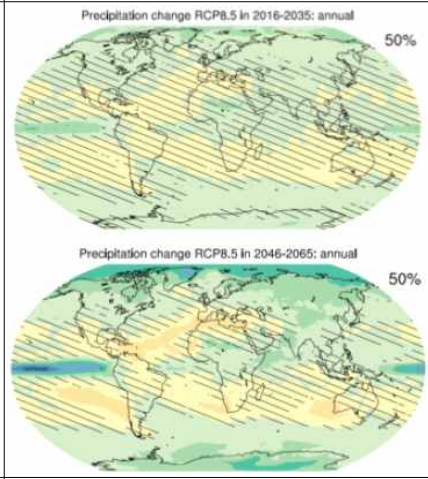
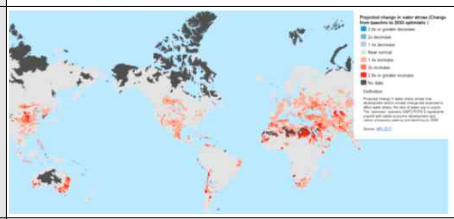
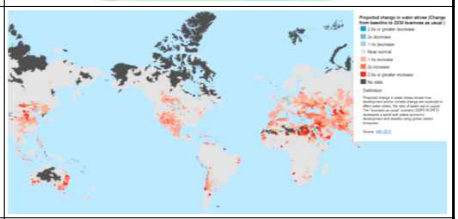
시나리오 / 주요 변수		IEA WEO 450 시나리오 (2012~2040)	ETP 2DS 시나리오 (2013~2050)
인구수준		· 세계인구 매년 0.9%씩 증가 · 2040년 인구 90억명	· '13년 71억 명에서 '50년 94억 명으로 인구 증가
거시경제		· 연평균 GDP 성장률 3.4% ('12~'40년)	· 연평균 GDP 성장률 3.2% ('13~'50년)
정책 및 수요	에너지효율성	· 정책행동 관련한 강한 효율성	· '13~'50년 동안 에너지 원단위 약 2/3 수준으로 감소 전망
	CO_2가격	· 2020년 이후 OECD국가에서 CO_2가격 채택 · '35년까지 중동제외 모든 지역에서 화석연료보조금 지원 중단 · 대부분 OECD시장에서 CO_2 가격 $20/ton ('20)에서 $140/ton('40)까지 도달 예측	· 미국 탄소세가 '20년 $35/t$CO_2$에서 '50년까지 $210/t$CO_2$수준까지 선형 증가 예상
	에너지 수요	· 세계 에너지 수요는 매년 평균 0.6%씩 증가	· 최종 에너지 수요는 '14년 390EJ대비 '50년까지 455EJ까지 증가 전망
기술도입	태양에너지 기술		· '50년에는 세계 전력생산의 47%가 PV에 의해 생산될 것으로 전망
	전기차(EV) 기술	· 전 승용차판매량 중 40% EV 달성 · 바이오연료 및 EV로 '40년 유류소비를 13.8mboe/일만큼 감소	· EV '16년 1백만 대에서 '30년 1억 대까지 증가
	CCS기술	· '25년까지 CCS기술이 적용된 석유 및 가스발전 설비 80GW 운영 · '30~'40년 동안 580GW의 석탄화력 발전설비에 CCS기술 적용 · '40년까지 석탄화력발전설비의 80%에 CCS기술 적용	· '50년에는 CCS기술로 누적배출 12% 감소, 전세계 3.5Gt의 CO_2 포집 전망·
	바이오 에너지	· '40년까지 연료구성 다양화되며, 바이오연료가 세계 운송수요의 17% 구성	· '25년까지 568억 리터의 바이오연료 생산 전망
에너지 구성	신재생에너지 비율	· 전세계 전력생산에서 재생에너지 구성이 '15년 3%에서 '40년 20%이상 증가	· 신재생에너지를 통해, 전력으로 부터 발생되는 CO_2집약도가 '13년 528gCO_2/kWh에서 '50년 40gCO2/kWh 이하로 감소 전망
	원자력에너지 비율	· 세계 원자력설비는 '40년에 862GW까지 증가	· 세계 원자력설비는 '16년 403GW에서 '25년 553GW까지 증가할 전망
CO_2 배출		· 에너지 관련 CO_2배출 최대치는 '30년에 25.4Gt으로 감소, '40년에 19.3Gt으로 감소 전망 ('20년 이전 33Gt)	· CO_2배출량은 '50년에 현재수준의 절반인 15Gt까지 감소 전망

시나리오 / 주요 변수		IRENA REmap (2010~2030)	그린피스 선진에너지혁명 (2012~2050)
인구수준		· 8개 주요국가에서 인구 증가	· '15~'50년 매년 0.8%의 평균 인구 증가 예상 ('09년 73억명 → '50년 95억명)
거시경제		· '10~30년 동안 주요 8개 국가에서 GDP변화	· 연평균 GDP 성장률 3.1%('12~'50년)
정책 및 수요	에너지 수요	· '30년에 현재수준 대비 세계 에너지 수요가 30% 증가 전망	· '50년까지 1차에너지 소비가 433,500 PJ/a까지 감소
기술도입	태양에너지 기술	· PV전력생산능력이 '14년 180GW 에서 '30년 1760GW로 증가 ('12~'30년 동안 99GW/년의 속도로 증가)	· PV는 '30년까지 총 전력생산의 14%를 담당하며, 관련 업종에 1,030만 명을 고용 · PV전력의 총생산은 '20년 1,090 TWh에서 '25년 2,659TWh로 증가하며, '30년 5,067TWh까지 증가
	전기차(EV) 기술	· 전기자동차의 수는 '30년 1억 6천만 대에 도달	
	바이오 에너지	· '30년에 액체바이오 연료에 대한 수요가 매년 5천억 리터에 달할 것으로 전망 · 바이오에너지 발전용량은 '30년까지 430GW에 도달 전망	· 바이오매스 화력발전이 '20년 31,404 PJ에서, '25년 34,909PJ, '30년 36,623PJ까지 증가
에너지 구성	신재생에너지 비율	· '30년에는 발전량의 45%가 재생에너지 기술을 사용할 것으로 예상('14년 23%)	· '30년에는 발전량의 45%가 신 재생에너지 기술을 사용할 것으로 전망
	원자력에너지 비율	· 원전 설비는 '14년 370GW에서 '30년까지 600GW로 증가할 것으로 전망	
CO_2 배출			· 100% 신재생에너지 '50년까지 전체 에너지시스템 탈탄소화 · 세계 CO_2배출은 '20년을 기점으로 지속 감소 · '12~'50년 동안의 총 누적 CO_2 배출은 667GtCO_2

출처: Greenpeace(2015), IEA(2014), IEA(2015), IRENA(2016) 및 TCFD(2017)b를 바탕으로 저자 재구성

7.2. 주요 물리적 기후변화 시나리오 및 가정

<주요 물리적 기후변화 시나리오 및 가정>

<table>
<tr><th colspan="3">구 분</th><th>IPCC 5th AR RCP 4.5</th><th>IPCC 5th AR RCP 8.5</th></tr>
<tr><td rowspan="4">주요 동인 및 이정표</td><td rowspan="2">지표면 온도 변화</td><td>지표면의 평균 온도변화 (2016~2035 및 2046~2065)</td><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td rowspan="2">강수량 및 수자원 공급</td><td>강수량 지도 (2016~2035 및 2046~2065)</td><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>수자원 공급 및 수요 지도 (2030)</td><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>해수면 변동</td><td>예상되는 해수면 변화 (1986~2005 부터 2081~2100)</td><td>RCP 4.5에서는 일부 지역에서 해수면이 최고 0.3m까지 상승한다. 해수면의 급격한 증가는 특히 위도 30도 지역에 집중되어 있으며, 반면 남극 지역은 가장 적은 변화를 보인다.</td><td>RCP 8.5에서는 일부 지역에서 해수면이 최고 0.8m까지 상승한다. 해수면의 증가는 특히 남반구에 집중되어 있고, 해수면의 감소를 경험하는 일부 작은 지역이 있다.</td></tr>
</table>

출처: WRI(2016) 및 TCFD(2017)b를 바탕으로 저자 재구성

7.3. IPCC 제6차 평가보고서 제3실무그룹 보고서의 장별 '기술' 내용

<IPCC 제6차 평가보고서 제3실무그룹 보고서의 장별 '기술' 내용>

장	주제	기술 관련 내용
1	서론	• 파리협약 이후 최근의 동향에 저렴한 재생에너지 기술 포함 (p21) {1.3.3} • 대규모 수소 에너지 활용, CCU, CCS, DACCS, 탄소 격리(바이오매스/토양), 토양 탄소 관리, CDR, SRM {1.4.3}
2	배출 추세와 그 동인	• 산업부문 에너지 효율성 발전을 위한 최적가용기술(BAT)의 중요성 강조 {2.4.2.2} (p47) • 기술 변화(technological change)가 배출 감축의 주요 요인임을 강조 {2.5} - 저탄소 에너지 전환 가속화를 위한 작은(granular) 기술의 역할 중요성 {2.5.2.1} (p56) 및 발전 기대 {2.5.3.3} (p59)
3	장기목표와 양립할 수 있는 완화 경로	• BECCS의 대규모 활용에는 한계 존재, 따라서 감축경로에서 제한적으로 활용되고 있음 {3.2.2} (p15) • 감축 비용의 감소에 있어서 국제적 기술협력의 중요성, 기술의 가용성 및 비용에 대한 언급 {3.6.1.1} (p86) • 지속가능발전과 감축에 있어서의 기술의 역할 {3.7} - (식량) 농업 기술을 통한 토지 이용과 식량 구조 효율성 향상 {3.7.2} - (물) DACCS와 CCS가 물 수요 증가를 가져올 수 있으나, CCS의 경우 냉각기술과 포집이 언제 이루어지는지 등에 따라 영향받음 {3.7.3} • 시나리오 타당성 검증에 있어서 가능요인 중 하나로서 기술의 중요성 {3.8} - 기술 발전은 저탄소 경로의 달성가능성에 영향을 미침 - 기술 가용성(availability)은 기후안정성(climate stability)의 실행가능성에 영향
4	단기 • 중기 완화 및 발전 경로	• 각국의 조건부(conditional) NDC 목표 및 모델에서 금융, 역량 강화와 더불어 기술 요소 언급 {4.2.2.2, 4.2.2.6} • 지역/비국가 단위 국제협력 이니셔티브에 따른 감축역량 목표에 **태양광 발전** 포함 {4.2.3} (Table 4.4, p27) - European Technology & Innovation Platform Photovoltaic (ETIP PV): 유럽 수준(지역) 기준 2030년까지 전기 공급량의 20%를 태양광 발전(solar Photovoltaic PV) 기술을 통해 생산하고자 함 • 국가수준 저배출전략에서의 기술의 역할 {4.2.4} - (독일) 탄소중립 기술로의 완전한 전환 통해 2050년 기준 (1990년도 수준 대비) 배출량 95% 감축하고자 함 (p34) - (일본) 2050 넷제로 시나리오에서 주요 기술로서 BECCS의 중요성 강조한 연구 (p37) • 2℃ 혹은 1.5℃ 시나리오 달성을 가능케하는 요인으로서의 기술: 발전된 **저탄소 기술**의 빠른, 대규모의 적용 필요성 지적 {4.2.5} - 수요 측면에서의 새로운 또는 혁신적인 기술 - 배출총량 감축을 위한 **CCS** 도입 - 이산화탄소제거(CDR)와 탄소흡수(carbon sink)의 net negative emission 기여 • 행동과 생활습관 변화에서의 **IT/사물인터넷(IoT) 기술** 역할 {4.2.5.9} (p48); 감축목표 달성을 위한 산업부문 에너지 효율성 측면에서의 **수소 활용, CCS, 저탄소 시멘트 기술** {4.2.5.10} (p48) • 감축 가속(accelerating mitigation)의 저해요인 중 하나로 기술 가용성과 적용 문제가 지적됨 {4.2.7} (Table 4.10, p59) - 적합한(suitable) 기술 부족; 기술 이전의 부족; 부정적인(unfavourable) 사회정치적 환경 • 국가별 발전경로에서의 기술 역할 언급 {4.3} - 예: 발전 요인 중 하나인 혁신 분야 정책대안으로 국제적 기술 발전 및 기술 이전 이니셔티브 제안 {4.3.3} (Table 4.12, p73) • 감축 가속의 필요조건이자 지속가능발전으로의 전환 촉진을 위한 기술과 혁신의

		중요성 언급 {4.4} (p80) - 기후 • 발전정책에 포함될 내용으로 고탄소기술 제한 또는 단계적 폐지(phase out) 제시 {4.4.1.2} (p81) - 일부 저탄소기술의 경쟁력 증대에도 불구, 저배출 옵션의 높은 단가에 대한 **지원**은 여전히 필요 {4.4.1.4} - 개인의 행동 및 생활습관 변화를 가능케 하는 요인 중 하나로 기술 언급 {4.4.1.5} - R&D와 **디지털화**의 중요성 {4.4.1.6} • 완화 및 적응에 있어서 새로운 기술의 중요성 언급 {4.4.2.1}
		[「탄소중립 기술혁신 추진전략 – 10대 핵심기술 개발 방향」 연관 부분] - 다양한 분야에서의 저탄소기술과 그 적용의 중요성, 이를 위한 정책적 지원의 필요성 - BECCS, CCS 등의 CDR, 수소 활용, 저탄소 시멘트 기술, 디지털화, IT/IoT
5	**완화 수요, 서비스 및 사회적 측면**	• 수요 중시 해결책은 불확실성이 높은 기술(e.g. BECCS) 없이도 온도 상승 억제를 가능케 함 {5.1} (p8) • 최종사용(end-use) 기술 및 인프라의 접근성과 수준 불평등 문제 언급 {5.2.2} • 수요에서의 완화를 위한 요소 중 하나로 기술 적용 강조 {5.3.1.1} (p39) {Table SM2} - (산업/제조업) 재료효율 서비스, 에너지 효율적 • 탄소중립 재료 접근성 - (해운) 에너지효율적 기술 및 시스템 도입 - (항공) 에너지효율적 기술 도입, 발전된 항공역학에 기반한 기술 - (육운) **EVs, 스마트 모빌리티** - (건축) **에너지효율성, 재생에너지**로의 전환 • ASI (Avoid-Shift-Improve) Strategies에 따른 수요 감소에 기반한 시나리오는 탄소 포집 및 제거 기술에 대한 의존성을 낮춰줌으로써 완화 비용 절감 가능 {5.3.3} - 6개의 관련 시나리오에서 BAT가 I(Improve)의 주요 수단으로 언급 (Table 5.2) • 행동변화의 요인 관련 기술 언급 {5.4} - (사회문화 수준) 사회적 인식과 문화적 의미가 기술 적용의 속도와 정도에 영향 {5.4.2} i.e. 소비자들의 태양광 발전(solar PV) 수용성이 높았던 이유 - (기업/산업 수준) PV와 전기차 등을 통한 탈탄소화 기여; 저탄소 기술(LCTs) 언급 (e.g. air and ground source heat pumps, solar hot water, underfloor heating, programmable thermostats, mechanical ventilation with heat recovery) {5.4.3} (p85) - 기술 • 인프라 요인 • 작은(granular) – 그리고 수요 중심 – 기술의 장점은 가속화된 저탄소 전환과 비슷 {5.5.3} (p92) - CCS, 원자력과 같은 대규모 • 공급중심 기술은 기술적 위험이 높을뿐만 아니라 사회환경 영향 측면에서 논쟁적 (p94) • ASI 중 'Improve' 정책에서의 기술 역할과 완화 옵션 언급 {5.6.2, Table 5.7}
		[「탄소중립 기술혁신 추진전략 – 10대 핵심기술 개발 방향」 연관 부분] - 수송 부문 전기모빌리티(EVs), 스마트 모빌리티 - 수송 및 건축 부문 에너지효율성 강조와 (저탄소) 재생에너지 사용 - 기술적용과 관련, 태양광 발전에 대한 수용성이 상대적으로 높음
6	**에너지 시스템**	• **저탄소 에너지 기술** 확대 {6.3} - 최근 재생에너지 가격이 상당히 떨어지면서 전기 생산 및 교통 부문에서 변화 가져옴 e.g. PV cells, 리튬이온 전지 등 (p13) - 풍력, 태양열뿐만 아니라 다양한 저탄소 에너지 기술이 성장 추세에 있음 (원자력, 수력, 바이오에너지, 지열, CCUS 등) • 저탄소 에너지 시스템에서 완화 옵션 중 기술 측면에서의 지표 {6.4} - 간편성(simplicity); 기술 확장성(technology scalability); 기술 성숙도 및 준비도(maturity and technology readiness) 에너지원과 에너지 전환에서의 각 에너지별 현황과 전망, 발전 기술 종류. 환경 및

_C Br F• Ž " " q®ð®Í
Ûà ;äÔ
|œ Ôf Î U éV4 8 ¹ /! r V m ÞK ? • ^ ÞV m2 I
š • â r *¢] Q¥ T{lØ¶ V m? î¦ t op €7 U é C{
Š˜•‰..Q› Ž r Š˜•‰…—ƒ‰„‡‰Ÿ, –˜•‡^™rŠ˜•‰…—‡†^ƒšŽ
ñ B ;äÔ
7 ? b\ r P D Q…˜„˜.NÔ r P š ‹ % š JV í› g7 òá |î
] - Î r |- Î r ¡• - Îé r -F - ÎV m ^v •
¦Î é
|œ Ôf Î |m> »Ô _C B 6ž• š [¦ •¦
!Î é
U ƒ ¬ Q¨ö OlÖT•x •‰…™ƒƒ‰–„˜…Šf˜™ „ƒ…†˜“ƒ…‰„‡˜Q°ÊT ˜v „—ƒ–”……ƒ
v•ƒƒ„r Ž†‰••˜,”•‰… ôƒ‰–„˜…Š
45 ?@ H)
-LM V m ^v • •x »V4 Ž Y • #À t F‹ Ž 2 I ÷ ¢
8 r } ²£ I 3 • £¶ ÔB •¦
• c VL s =Z Q‘‡ST Ž Á ‹ 7å ¬ ¦¢ J7£¶ HM(Q‘˜Š„ –˜† 2”Š„‡˜T +P
Da ®—ƒ†‡–‰˜“‡^™r S••‰†–š–•ƒ Ž
á1½;äÔ
ÿ R *dH A Đ ƒ ¬J 1C• ¡ r * í ÞK r ‘˜„ƒ^„‡‰••ŠN‡ Ž ¢
\1 Rô ¶ ÂJ³ Ž V4 F{
~• Ë¢]4¶ |v* r H’ • ~• a - r Ë¦ È * r Ë c] Ž 3À U
{ 1
N‡ Ž ~• ^¨ 1º mC
*dH A
Ž & ¨ ' Ô= ()* *V4 J7 |î t Ž U‹ N‡ Ž ¢ \1 Rô
• ^ |î ! 1
mË V m
‡^—‰^–ƒ,+ƒ˜„—ƒ…†%Ž‰Š„ƒ†Š Q+ ŽT Á ‹ U é FV •¦
] V m
z¦ r Å: r] û: é QÊ‡ Tr] 4 r ½: é Ž €7J |î£> U
• r : ¦ÎV í ? ÔC ¨|Î• ã? V
ü !V m* Q¢ ‰Š„ƒ „˜‡^ƒ…™šT
Ë Q‡^–‡^ƒ…‰„†™‰Š†‰„‡˜ls…˜•˜Š‡ŠÂU³ Q‰^‰2‡–˜‡™ƒŠ„‡˜•‰^\†••™‰„Š ƒ^ƒ…™
UJ 2 C•x _7
³ ½ -á fg € ` C{ •¦

A LM*V4 {lØ¶ V m ^v • lâV4 2\ U v•ƒÄ2‡•‡„šƒ——˜•˜™š
•Œ q®ð®
±•ƒÄ2‡•‡„šƒ——˜•˜™šV m -A r ¦{V h ` LÎC ÞK r & Ô+ • • ‰b [‰b r
„…‰^Š†‡ŠŠ‡˜„ƒ…–˜˜ƒ–„‡˜Z + 1 q®ð® ®óJV í› ^v • AG q®ð® ®
-LM & Ô 1 V m -A U q®ð®ð
).• ÞV m Q¨ô‡T Ux »V4 F{
V m -A U q®ð®ð®ó ¦ ¦Îé Q ”†“ƒ, ¤š,…˜ƒ•ƒ–„…Ž„˜…‰™ƒ¤ŽTr
b & r , â -V m -A Q˜†“…ƒŠŠƒ, S‡.‡^ƒ…™Ž„˜…‰™ƒ¤r ‡ŽTr Ë V m
-A Q°—ƒ…†‰ƒ…™Ž„˜…‰™ƒ¤‡ŽTr µ ?J ƒ V -A

7.5. IPCC 제6차 평가보고서 기후위험 정보 추출 전문가

동 제4장 제2절의 제4섹션 'IPCC 제6차 평가보고서 기후위험 정보 추출'과 관련하여, 다음의 외부 전문가 서면 자료를 활용하였습니다. 이 과정에서 서면자료 뿐만 아니라 동 연구진의 자체적인 분석자료를 함께 활용하여 보고서를 작성하였습니다.

#	소속	성함 및 직위
1	숙명여대	안영환 교수
2	부경대학교	임정민 교수
3	한국기후변화연구원 탄소배출권센터	이충국 센터장
4	기업은행 전략기획부	유인식 팀장
5	에너지경제연구원 기후변화정책연구팀	손인성 연구위원
6	연세대학교	이태동 교수
7	한양대학교	노동운 교수
8	산업연구원 소재산업환경실	이재윤 연구위원
9	유니스트	차동현 교수
10	국립기상과학원 기후변화예측연구팀	변영화 과장

제 5 장 기후변화 국제협력 상향식 국제 제도

제 1 절 기후변화 완화 국제협력과 기후클럽 접근법

IPCC 제6차평가보고서 제3실무그룹(완화) 보고서에서는 기후변화 완화를 위한 노력을 크게 세 가지로 구분하여 접근하고 있는데, 이는 i) 수요(demand) 측면의 관리, ii) 공급(demand) 측면의 부문별 완화 조치로 에너지 부문, 산업 부문, 도시 부문, 건물 부문, 수송 부문, 농업・임업・기타토지이용 부문, 그리고 이산화탄소제거 접근법이 있으며, 마지막으로 iii) 非기술적 수단으로서 규제 및 경제적 정책 수단, 기후재원, 국제협력 등이 있다.

여기서, 기후변화 완화를 위한 국제협력은 의욕적인 완화 목표 달성의 핵심적인 가능 요인이다. 특히, 국제제도에 기반한 협력을 주목할 필요가 있는데, 이는 유엔기후변화협약을 중심으로 도출된 교토의정서와 파리협정이 있다. 이러한 유엔 기반의 기후변화 제도들은 국제적으로 합의된 절차와 목표를 제시하며, 국가 온실가스 배출・행동・지원에 대한 투명성 요건과 NDC 달성을 위한 추적 지전 사항 등을 포함하고 있다. 이러한 절차와 목표들이 국가별 의욕 수준과 정책 개발을 증진하는 동시에 국제협력을 가속화하고 있다.

그런데, 이러한 국제협력에서 또 하나 주목할 점은 상기 언급된 유엔 기반의 하향식(top-down) 방식의 국제제도 이외에, 다양한 상향식(bottom-up) 국제협력 제도들이 등장하고 있다는 점이다. 이러한 상향식 제도들은 기후클럽(climate club)으로 불리고 있는데, 기후 클럽은 특정 감축 목표 달성을 위해 국가나 비국가 행위자들의 국가/지역 레벨의 연합체로 정의된다. 이러한 기후클럽은 아주 다양한 형태를 갖는데, 예를 들어 지역 레벨의 배출권 거래제, 자체적인 국제탄소크레딧 메커니즘, 국경탄소조정, 미션 이노베이션, 다양한 파트너쉽(P4G) 등이 여기에 속할 수 있다. 기후클럽은 클럽에 속한 회원국가 또는 회원 행위자들에게 적용되는 자체적인 목표와 규칙이 설정되는 대신, 여기에 속한 회원들에게 배타적인 혜택을 제공한다 (Potoski and Prakash 2013). 기존의 유엔 기반의 포괄적인 다자주의 협정이 가진 무임승차 문제를 해결할 수 있다는 장점이 있다 (Helm and Sprinz 2000). 또한, 기후클럽이 상향식(bottom-up) 접근법을 통해 최종적으로는 국제적인 목표를 달성한다는 디딤돌(building-blocks) 접근법으로서 장점을 갖는다고 본다 (Stewart et al. 2017).

그러나, 이러한 상향식 접근법이 항상 장점만을 갖는 것은 아니다. 다양한 기후클럽들 각기 환경적 효과성을 갖는지 여부 그리고 전지구적으로 환경적 효과성을 가져오는 지에 대해서는 아직 그 결과가 혼합된다. 특히, 이러한 상향식 접근법이 기존 유엔 기반의 제도와 충돌적 분산(conflictive fragmentation)으로 이어질 가능성도 있다 (Oh and Matsuoka 2017).

이에, 상향식 접근의 기후클럽들이 기존의 유엔기반의 국제제도와 시너지를 낼 수 있도록 제도를 형성하고 운영하는 것이 중요한 사항으로 떠오르고 있다. 이러한 차원에서, 최근 우리나라는 파리협정 제6.2조에 기반하여 자체적인 한국형 국제 탄소시장 메커니즘(명칭: 양자협력 체계)을 설립하고자 계획하고 있는 바, 파리협정 6.2조 차원에서 중요한 규칙인 ‘상응조정’과 중요한 원칙인 ‘환경건전성’ 측면에서 우리나라가 정책적으로 어떻게 대응하고 우리나라 자체 제도를 어떻게 설계할 것인지에 대한 연구가 시급한 바, 동 장에서는 이에 대한 연구를기 각기 연구를 진행하고자 한다.

제 2 절 중점 연구: 파리협정 제6조 상응조정 규칙에 대한 정책대응 연구 (파리협정 제6조 상응조정 규칙의 해석과 우리나라 대응 정책의 시사점 연구)[148]

1. 서론

신기후체제 하에서 국제탄소시장의 형성 근간이 되는 파리협정 제6조의 세부 이행규칙 협상이 2021년 11월 마무리되었다. 파리협정 6.2조 협력적 접근에 대한 이행 지침, 6.4조 지속가능발전메커니즘에 대한 규칙・양식・절차, 그리고 6.8조의 비시장 접근을 위한 체계 하의 작업 프로그램이 도출되었다. 제6조 세부 이행규칙 중에서 당사국들이 주목하는 규칙은 '상응조정(corresponding adjustment)'이다. 상응조정이란 당사국들이 자발적으로 참여하는 협력적 접근을 통해 발생한 감축결과물이 당사국 간에 이전되는 과정에서 이중계상이 되지 않도록 엄격한 산정방식(robust accounting)을 적용해야 한다는 것이다 (PA 2015, Article 6.2; UNFCCC 2015, para 36). 엄격한 산정방식이 의미하는 바는 감축결과물을 이전한 국가는 당해연도 산정과정에서 감축분을 더하고, 감축 결과물을 획득하여 국가결정기여(NDC, nationally determined contribution)에 사용한 국가는 산정과정에서 감축분을 차감한다. 따라서, 상응조정의 핵심은 협력적 접근 참여국들이 이중계산을 방지한다는 것을 대외적으로 입증하는 것이다 (Favasuli 2021).

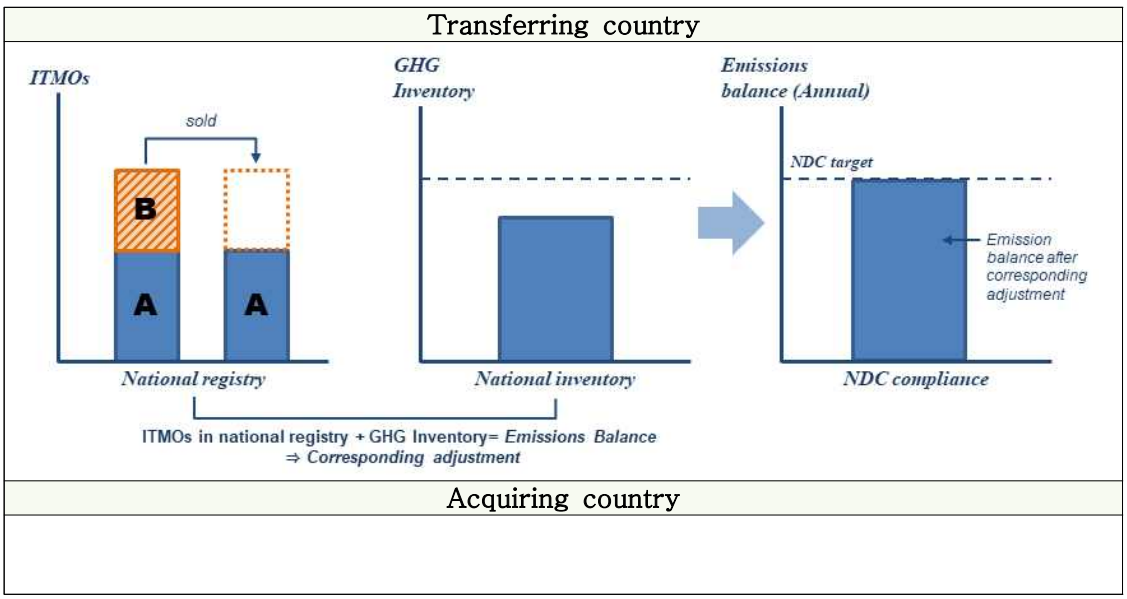
이를 보다 구체적으로 설명하면, 파리협정 제6.2조 협력적 접근 차원에서 당사국들이 협력하여 생산하고 국제적으로 이전된 감축결과물(ITMO, internationally transferred mitigation outcomes)이 있다. 협력적 접근 참여 당사국은 ITMO의 발행・이전・획득・사용에 대한 정보를 기록하는 국가 레지스트리(National Registry)를 보유해야 한다 (UNFCCC 2021a, Annex para 29). 그리고, 국가 레지스트리 내에는 여러 계정(accounts)이 존재할 수 있다 (Ibid.). 이 때 참여 당사국들을 ITMO의 판매국과 구매국으로 구분된다. 먼저 판매국(transferring country)은 감축사업의 유치국으로서 이를 통해 생산된 감축결과물에 대한 승인이 이루어지면 발행된 감축결과물이 유치국 국가 레지스트리에 더해진다. 이후, 이를 구매국에 이전(또는 판매)하면 ITMO는 국가 레지스트리 상에서 차감된다. 이 때, 국가 레지스트리 상의 ITMO 이전량과 판매국의 국가 온실가스 인벤토리상의 온실가스 배출량을 합산하는 행위가 상응조정이며, 합산결과 도출된 결과값이 배출균형(emissions balance)이다 (Ibid., Annex para 8). 상응조정이 수행된 해당 연도의 NDC 목표와 상응조정 결과 도출된 배출균형이 일치하게 되면 판매국은 NDC 이행준수를 한 것이 된다. 여기서 NDC 목표는 정확히는 2030년도 온실가스 감축 목표를 달성하기 위해 당사국이 설정한 다년도 배출 경로 또는 탄소배출허용량이다. 보통 판매국이 ITMO를 판매를 하기 위해서는 해당 연도 국가 인벤토리가 당해연도 배출경로 상의 배출지점

148) 제5장2절의 내용은 2022년 동 연구과제를 통해 수행된 중점연구이다. 동 연구과제 수행 결과 도출된 연구 결과물은 「오채운·박순철·문성삼·송예원. (2022). 파리협정 제6조 상응조정 규칙의 해석과 우리나라 대응 정책의 시사점. 한국기후변화학회, 13(2), 243-261」의 논문으로 2022년 4월에 발간되었다. 이와 관련하여, 동 논문이 2022년 수행한 연구결과물로 도출되었기 때문에 동 연구보고서에 싣기 위해 한국기후변화학회에 이차출판 동의서 요청서를 제출하였고, 이후 학회 측으로부터 이차출판 동의 확인서를 수신하였다. 이에, 동 논문의 내용이 동 제2절에 삽입되었다.

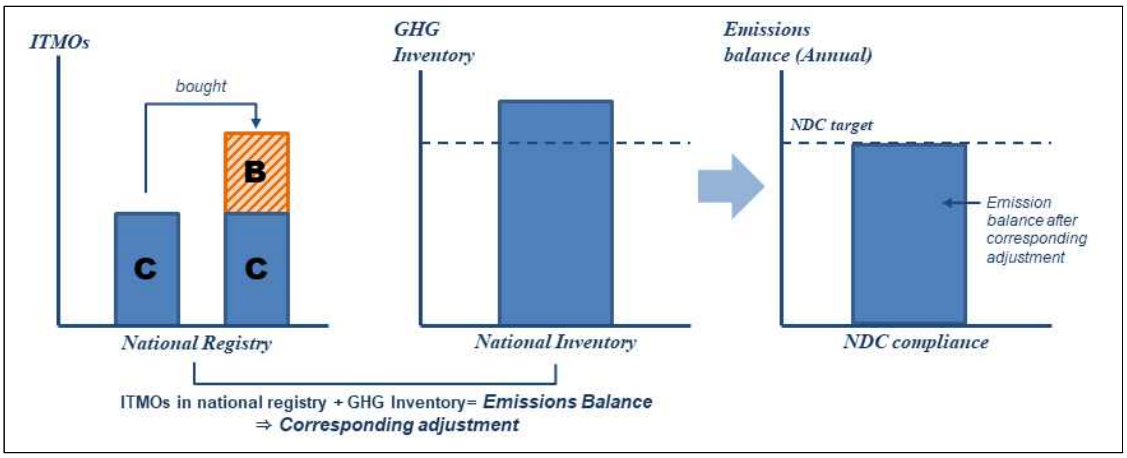
보다 낮다.[149]

한편, 구매국(acquiring country)의 경우, 감축사업의 투자국으로서 이를 통해 발생하는 감축결과물에 대해 승인하고 자국으로 이전하는 경우 국가 레지스트리 상에서 더해진다. 획득한 ITMO량 중에서 NDC 사용을 위해 ITMO가 사용될 수 있다. 이 때, 국가 온실가스 인벤토리 상의 국가 온실가스 배출량에서 국가 레지스트리 상의 ITMO 사용량을 차감하는 행위가 구매국 입장의 상응조정이며, 상응조정의 결과로 배출균형값이 도출된다. 이 값이 상응조정 해당 연도의 NDC 목표와 일치하면 구매국은 NDC 이행준수를 한 것이 된다. 이를 정리하면, [그림 5-1]과 같다.

파리협정 제6조 탄소시장에 자발적으로 참여하여 협력하는 국가들은 ITMO의 이전과 NDC 사용을 통해 자국의 NDC 감축 목표를 보다 '유연하게' 달성할 수 있다. 그러나, 참여국들은 매년 '상응조정'을 수행해야 하는 부담이 존재하며, 또한 이 과정에서 배출균형과 NDC 목표달성을 위한 매년 배출목표 지점이 비교되어 이행노력에 대한 의무준수 여부가 매년 확인된다는 부담까지 존재한다. 따라서, 우리나라가 파리협정 제6조에 기반한 탄소시장을 NDC 달성에 활용하고자 한다면 이 '상응조정' 제도를 반드시 적용해야 하므로, 이 제도에 대한 규칙을 명확히 파악하고 전략적인 규칙 적용이 필요하다.



149) 이는 상응조정 방법론의 '경로방식'에 해당되는 것이며, '평균방식'은 다를 수 있다. 그러나, 이해의 용이성 및 편의상, 여기에서는 경로방식을 중심으로 설명하였다.



[그림 5-1] 참여국에 따른 상응조정 과정

출처: UNFCCC(2021a)에 근거하여 동 연구진 작성

상응조정에 대한 기존 연구는 크게 세 가지 질문을 중심으로 전개되었는데, i) 상응조정의 근거가 되는 원칙이 무엇인지, ii) 상응조정 세부이행규칙 설계 시 무엇을 고려해야 하는 지, 그리고 iii) 상응조정 방법론 옵션들이 무엇이며 각기 장·단점이 무엇인지에 관해서이다. 이러한 기존 연구는 모두 상응조정 세부이행규칙을 설계하기 위한 연구들이다. 그러나, 2021년 11월 세부이행규칙이 도출된 현 시점에서, 향후 연구는 i) 국제 규칙의 해석과 심화, ii) 국가 레벨에서 규칙의 적용, iii) 규칙 이행의 효과성일 것으로 예상된다. 특히, 파리협정 제6조에 대한 세부이행규칙이 아주 상세하게 작성되지 않고 추가적인 세부규칙 협상이 2022년에도 지속될 예정인 바, 세부이행규칙에 대한 해석의 여지가 존재한다. 특히, 상응조정을 둘러싼 규칙에 대해서는 우리나라 협상 및 정책 전문가들의 합의된 해석이 아직 존재하지 않는다. 따라서 상응조정 규칙을 국내 적용 시 선택가능한 정책 옵션과 추가 또는 변화되어야 정책에 대해서도 의견이 아직 수렴되지 못했다. 또한, 국내적으로 정책대응이 필요한 범주에 대해서 다룬 연구가 부재한다. 이에 동 연구에서는 상응조정 세부이행규칙을 면밀히 해석하고, 동 규칙이 영향을 미치는 국내 정책 범주를 포괄적으로 파악하고, 각 범주별로 세부이행규칙의 국내 적용 시 우리나라 정부의 정책 대응방안을 모색하고자 한다.

동 연구는 제2장에서 상응조정에 대한 기존 연구를 토대로 연구 질문을 도출한다. 제3장에서는 상응조정 규칙을 i) 상응조정 방법론과 적용 방안, ii) 상응조정의 대상인 ITMO 확보를 위한 트랙인 6.4조 지속가능발전메커니즘, 6.2조 협력적 접근, 그리고 다른 국제감축목표의 규칙과 적용 방안, 그리고 iii) 상응조정 보고 및 리스크 규칙과 대응방안에 대해서 분석하고 고찰한다. 그리고 제4장 결론에서는 정책대응 방안을 정리하고, 향후 연구 주제들을 개괄하며 마무리하고자 한다.

2. 선행연구

상응조정이란 개념은 파리협정 제6.2조의 협력적 접근에서 비롯된다 (PA, article 6.2). 그 이유는 협력적 접근 하에서 당사국들이 자발적으로 그리고 자체적으로 다양한 협력(양자 또는 다자) 체계를 구축 및 운영할 수 있고, 이를 통해 ITMO를 생산・이전・사용하므로 국제적으로 상향식(bottom-up) 거버넌스를 형성하기 때문이다 (Oh et al. 2017).[150] 따라서, ITMO의 생산・이전・사용에 대한 추적과 검증 역시 중앙집권적으로 이루어지지 않는다. 따라서, 이중산정 방지를 포함한 엄격한 산정(robust accounting)이 적용되어야 하며, 상응조정은 이 엄격한 산정규칙 자체라고 볼 수 있다 (PA, article 6.2; UNFCCC, 2015, para 36). 상응조정의 세부규칙은 2016년부터 2021년까지 협상을 통해 구체화되었다. 이 과정에서 수행된 다양한 연구들은 크게 세 가지로 구분된다.

첫 번째 연구는 상응조정의 근거가 되는 원칙을 중심으로 이루어졌다. 원칙들로는 이중계산 방지(double counting avoidance), 환경건전성(environmental integrity), 대표성(representativeness) 등이 주를 이루었다. 먼저, 상응조정이 필요한 근거는 상응조정 부재 시 발생할 수 있는 비의도적인 이중계산 또는 의도적인 왜곡 유인(perverse incentive)을 방지하기 위함이다 (Bajaj, 2018). 즉, 실제 당사국간 감축활동을 통해 도출된 ITMO보다 과다 계상 또는 과다 이전이 의도적으로 발생할 수 있는 점을 방지하기 위함이다. 다음으로 상응조정이 필요한 근거는 환경건전성을 확보하기 위함이다. 환경건전성은 배출량 순증(net increase) 원칙과 관련된다. 당사국들이 탄소시장에 미참여했을 때(감축결과물의 이전이 발생하지 않았을 때)와 당사국들이 탄소시장에 참여했을 때(감축결과물이 국제적으로 이전되었을 때)의 국제 온실가스 배출총량이 증가되지 않는 것을 의미한다 (Schneider and Theuer, 2019). 따라서, 이중계산과 환경건전성은 상당히 밀접히 관련되어 있다. 감축결과물이 이중계산되면, 실제 국제 온실가스 배출량이 개별 국가들이 보고한 배출총량보다 커지게 된다. 다른 표현으로는, 국제온실가스 배출량이 당사국들의 탄소시장 참여(감축결과물 국제이전) 시 순증가할 수 있다는 것이다. 대표성(representative)이란 감축 노력이 특정 년도에 국한되지 않고, NDC 이행기간 동안 매년 지속적으로 수행된다는 것을 의미하며, 이에 따라 상응조정 역시 매년 또는 다년도로 수행되어야 한다는 정책적 함의를 가지고 있다 (Lazarus et al. 2014). 이러한 원칙들의 개념을 파악하고, 이 원칙의 적용에 영향을 주는 요인과 원칙을 적용되는 정책 옵션들에 대한 연구들이 이루어졌다.

두 번째 연구는 상응조정 세부이행규칙 설계 시 포함 및 고려되어야 하는 규칙들에 관해서다. 상응조정 적용 시 산정단위(metric)로 tCO2e이냐 아니면 다른 산정단위의 사용 가능 여부, ITMO 순증을 가감하는 상응조정을 인벤토리 상 온실가스 배출량 또는 NDC 상 목표배출량을 대상으로 할 지의 여부, 상응조정 수행 시기・기간으로 상응조정이 NDC 이행기간 전체에 걸쳐서 진행할 지 아니면 NDC 목표 달성 연도에만 진행되어야 하는 지 여부, 상응조정과 보고를 연계할지 여부, NDC 감축목표의 단년도 또는 다년도 설정에 따라 다른 또는 동일한 상응조정 방식이 적용되어야 하는 지의 여부를 둘러싼 연구들이 있었다

150) 협력적 접근 하에서는 정부 뿐만 아니라 NGO, 그리고 다른 조직들도 자체적인 메커니즘을 설립할 수 있다 (Schneider et al. 2016).

(Schneider and Theuer 2019; Greiner et al., 2019; Kizzier et al. 2019; OECD 2017; Schneider and Broekhoff 2016; Cames and Healy 2016; Lazarus et al. 2014). 이러한 연구들은 각각의 중점 고려사항들에 대해서 장·단점들을 도출하였다. 이중에서 상당히 많은 연구가 감축목표가 단년도로 설정된 NDC에 대한 상응조정의 문제점과 도전과제들을 다루었다.

세 번째 연구는 상응조정 방법론 옵션들이 무엇이며, 각 옵션의 장·단점을 분석하는 연구이다. 상응조정 방식으로는 누적(cumulative) 방식, 다년도 경로(trajectory) 방식, 평균(averaging) 방식, 목표연도(target-year) 방식, 발행연도(vintage) 방식을 중심으로 국제협상에서 논의된 바, 이에 대한 연구가 이루어졌다 (Greiner et al., 2019). 이중에서, 오채운·박순철(2019)은 상응조정 방식에 대한 논의에서 우리나라가 지지하는 누적방식이 상응조정 방식 옵션으로 남아있게 하기 위해 누적방식에 대한 반대 근거인 대표성(representativeness)과 일관성(consistency)을 중심으로 반박 논리를 도출하였다 (Oh and Park 2019). 박순철·오채운(2020)은 단일년도 NDC의 상응조정 방식인 i) 누적방식, ii) 발행연도 방식, iii) 평균방식, iv) 경로방식에서 요구하는 ITMO 필요량을 정량화하여 우리나라의 ITMO 예상 사용량과 비교하는 정량분석을 실시하고, 또한 상응조정 방식별 정성적 특징을 분석하였고, 이를 종합하여 우리나라가 각 상응조정 방식을 적용 시 갖는 장·단점을 도출하였다 (Park and Oh 2020). 가장 최근 연구인 Schneider and Siemons(2021)은 다년도 배출경로 방식과 평균 방식을 비교하며 각기의 장·단점을 설명하며, 특히 평균 방식이 국가들이 선택할 수 있는 옵션에서 삭제되어야 한다고 주장하였다. 이에 대한 내용은 다음의 <표 5-1>과 같이 정리될 수 있다.

<표 5-1> 상응조정 방법들의 특징

Method	Advantages & Challenges
Cumulative	**[Advantages]** ①Accurate reflection of all transfers during the NDC period
	[Challenges] ①lesser ITMO generation activity (lesser demand from acquiring parties), ②less representativeness in the parties' activities to achieve NDC over the whole NDC implementation period
Trajectory	**[Advantages]** ①transparency in tracking ITMO due to annual corresponding adjustment, ②indirect compliance to stay below their annual emissions caps in the emissions trajectory, ③carbon market formation & working by the annual purchase and selling of ITMO in the entire NDC period
	[Challenges] ①technical or political hurdle in the translation of NDC targets into multi-year trajectories
Average	**[Advantages]** Potential to raise ambition of trading parties
	[Challenges] ①accounting taking place ex-post & clarity on the total amount of ITMO needed at the end, ②dependence on the duration of the covered period, ③delayed engagement in carbon markets, ④Uncertainty of any temporary occurrence in NDC target year (2030) such as weather patterns
Target year	**[Advantages]** Simplicity for calculation of the net corresponding adjustments
	[Challenges] Not conducive to the working of carbon market due to no trade of ITMO in non-target years
Vintage	**[Advantages]** ①suitability for multi-year target NDC, ②carbon market formation & working
	[Challenges] Ccmplexity for single-year target NDC

출처: Greiner et al.(2019)에 기반해서 동 연구진 정리

이러한 기존 연구들의 공통점은 상응조정 세부이행규칙을 ‘설계’하는 과정에 필요한 연구들이라는 점이다. 그런데, 파리협정 제6조 세부이행규칙이 2021년 11월 도출되었기 때문에, 향후 연구의 초점은 이 세부이행규칙의 ‘해석’, ‘적용·이행’, 그리고 ‘이행평가’로 옮겨지고 있다. 지금 단계에서 필요한 연구는 일차적으로는 아직 해석의 여지가 있는 세부이행규칙을 명확히 해석하는 것이다. 다음으로는 이 해석에 기반하여, 동 국제규칙이 우리나라에 적용된다면 기존 국내 정책과 얼마나 호환성이 있는 지를 파악하고, 향후 어느 수준으로 국내정책을 변화시켜야 하는가에 대한 전략적인 정책대응이 필요하다. 이에, 동 연구에서는 상응조정 세부이행규칙 중에서 가장 핵심이 되는 세 가지 규칙을 중심으로, i) 상응조정 방법론에 대한 규칙과 우리나라 단일년도 NDC에 대한 상응조정 방법론 적용 방안, ii) 상응조정 대상인 ITMO 규칙과 ITMO 확보 방안, 마지막으로 iii) 상응조정 보고에 대한 규칙과 상응조정 리스크에 대한 우리나라 대응 방안을 모색해 보고자 한다. 파리협정 세부이행규칙 협상이 ‘21.11월에 끝났기 때문에, 동 내용을 분석하는 과정에 활용되는 자료는 협상 결정문과 관련 정책문서들을 기반으로 진행하고자 한다.

3. 상응조정에 대한 우리나라 대응 방안 연구

3.1 상응조정 방법론 규칙과 우리나라 단일년도 NDC 상응조정 방법론 적용 방안

첫 번째 파리협정 제6조 세부이행규칙은 상응조정 방법론이다. 파리협정 제6.2조의 협력적 접근법에 참여하는 각 당사국들이 따라야 하는 세부 이행규칙은 상응조정과 관련하여 크게 3가지 ‘원칙’을 명시하고 있다. 첫째, 상응조정은 투명성(transparency), 정확성(accuracy), 완전성(completeness), 비교가능성(comparability), 일관성(consistency)을 담보해야 한다. 둘째, NDC 이행 기간 내와 이행 기간 간에 배출량의 순증(net increase)이 발생하지 않아야 한다. 셋째, 상응조정은 NDC 이행과 달성의 대표성과 일관성을 유지해야 한다 (UNFCCC, 2021a, Annex para 7).

이러한 원칙에 기반하여 ‘상응조정 방식’에 대한 규칙이 도출되었다. 단일년도 NDC를 제출한 당사국은 경로 방식(trajectory method)과 평균 방식(average method) 중에서 하나를 선택할 수 있고, 다년도 NDC를 제출한 당사국은 경로 방식만 채택할 수 있다 (UNFCCC, 2021a, Annex para 7(a)(b)). 먼저, 단일년도 NDC의 상응조정 방식을 살펴보면, ‘경로방식’을 선택할 경우, 당사국은 NDC 이행 기간에 대한 예시적인(indicative) i) 다년도 배출경로, ii) 복수 배출경로, 또는 iii) 배출허용총량(budget) 중 하나를 제출해야 한다.[151] 그리고, NDC 이행 기간 중 처음으로 이전되고 사용된 ITMO의 총량에 대해서 매년 상응조정을 실시한다 (Ibid., Annex para 7(a)(i)). 여기서, ‘경로 방식’은 단일년도 NDC 상의 목표연도 배출량과 일관된 다년도 배출경로 또는 복수경로를 설정하고, 제출한 경로를 기준으로 매년 필요 또는 판매

151) 예시적인(indicative)의 의미는 제시된 경로가 확정 및 고정된 경로가 아님을 의미한다. 이는 복수년도 NDC와의 경로와 구분하기 위함으로, 경로를 설정하는 데에 있어서의 유연성을 함의한다고 볼 수 있다.

가능한 ITMO를 산정하는 것이다. 그리고, '배출 총량 방식'은 교토의정서 하의 산정방식과 동일하게,[152] NDC 이행기간 전체에 대한 배출허용총량을 계산하고, 매년 누적배출량을 다년도 배출허용총량과 비교하여 상응조정을 한다 (Schneider and Siemons, 2021, p.13). 즉, 협력적 접근법에 참여하는 국가의 특정연도 실제 배출량이 사전에 제출된 배출 경로상의 배출량보다 적거나 많은 경우, 경로 목표의 유지를 위해서 ITMO를 판매하거나 구매할 수 있으며, 매년 상응조정이 적용된다.

다음으로, 단일년도 NDC를 설정한 당사국이 '평균방식'을 선택할 경우, NDC 이행기간 동안에 처음 이전 및 사용된 'ITMO 연평균 수량'을 적용하며, ITMO 누적총량을 NDC 이행기간의 경과 년수로 나누어 계산한다. NDC 이행 기간 동안에는 매년 연평균 ITMO 수량을 기준으로 예시적인 상응조정을 적용한다 (UNFCCC, 2021a, Annex para 7(a)(ii)).

한편, 다년도 NDC의 경우에 NDC 이행기간에 대한 i) 다년도 배출경로, ii) 복수 배출경로, 또는 iii) 배출허용총량을 계산하고 매년 상응조정을 적용한다. 그리고 NDC 목표연도에는 NDC 이행기간 전체에 대한 누적 배출량과 다년도 배출경로의 누적허용량을 비교하여 상응조정을 한다 (Ibid., Annex para 7(b)).

이를 정리하면, 경로방식은 NDC 이행기간의 배출경로를 사전에 제출하고, 국가 실제 배출량이 배출경로보다 높을 경우 ITMO를 구매한다. 반면, 평균방식은 NDC 이행기간의 총 ITMO 사용량을 NDC 기간으로 나눈 평균값을 목표연도에 적용하여 상응조정을 시행하는 것이다 (Park et al., 2021).

그런데, 2021년 11월 도출된 상응조정에 대한 세부이행규칙이 국내적으로 실제로 그리고 바로 적용할 수 있는 상세 지침은 아니다. 이를 보완하기 위해서 2022년에 지침을 보다 구체화하는 논의가 진행될 예정이다. 특히 i) 경로방식에서 개별 국가가 제출해야 하는 예시적인 다년도 배출 경로, 복수경로, 또는 배출허용총량에 대한 방법론, ii) 평균방식에서 매년 이전량과 평균량과의 차이와 대표성 증명 방법에 관한 사항이 추가적으로 논의될 예정이다 (UNFCCC, 2021a, para 3(a)). 또한 상응조정 원칙에 부합하기 위해서 경로방식과 평균방식의 적용 방식 등이 추가 논의될 것으로 보인다.

이러한 국제적인 규칙의 수립과 변화 속에서, 우리나라는 2030년도 단일연도에 대한 감축 목표를 유엔기후변화협약 사무국에 제출했기 때문에 경로방식을 선택할 경우에 다년도 배출경로, 복수 경로, 또는 배출허용총량 중 하나를 선택해서 제공해야 한다. 탄소중립기본법(제8조 1항)에 우리나라 정부는 2030년까지 국가 온실가스 배출량을 2018년 대비 35% 이상 감축하는 것으로 결정되었고, 2050 탄소중립위원회 제2차 전체회의에서 2030년까지 2018년 배출량인 약 7억 2,800만톤 대비 40% 감축이 결정되었고, 국외감축은 3,350만 톤으로 상향되었다 (Interagency, 2021, p.10). 이에, 우리나라가 국외감축을 활용해 NDC 목표를 달성하고자 하면 반드시 적용해야 하는 것이 상응조정인 바, 상응조정 방법론 규칙 적용과 관련한 정책적 질문을 다섯 가지로 도출하고 대응방안을 다음과 같이 모색하였다.

첫째, 상응조정 방법론인 '평균 방식'과 '경로 방식' 중에서 어떤 방식을 선택할 것인가. ITMO의 총 필요량 측면에서 살펴보면, 평균 방식은 2021년부터 2029년까지의

152) 교토의정서 하에서 선진국은 1990년 대비 공약기간에 대한 배출율(%) 목표를 부여하며, 이에 따라서 공약기간 동안 배출할 수 있는 국가배출총량(Assigned Amounts)을 설정한다.

배출경로와 무관하게 2030년에 필요한 ITMO 수량에 NDC 기간을 곱하여 추정할 수 있다 (Park and Oh 2020). 반면, 경로 방식의 경우 사전에 제출한 예상 경로와 실제 배출량 차이에 기반한 추정을 필요로 하기 때문에 예상 경로를 설정할 필요가 있다 (Ibid.). 우리나라 정부는 감축목표 상향에 따른 '2030년 로드맵'을 2022년에 수정할 계획으로, 이에 따라 경로가 도출될 예정이다. 경로의 모양에 따라서 평균 방식과 유·불리가 달라질 수 있기 때문에 현재 수준에서 상응조정 방식의 합리적인 선택에는 무리가 있다. 특히, 경로방식에 대한 상응조정 방법론 규칙이 2022년 도출될 예정인 점 또한 고려해야 한다. 다만, 평균 방식은 구매국보다 판매국에게 유리한 방식이며,[153] 경로방식보다 중간년도의 국가배출량 상황을 반영하지 못하기 때문에 유연성이 낮은 것으로 이해되고 있다 (Ibid.).[154] 따라서, 유연성을 고려할 경우, 평균방식보다 경로방식을 선택하는 것이 적절하다.

둘째, 경로 방식 규칙인 예시적인 '다년도 단일 경로', '복수 경로', '배출허용총량' 중 우리나라는 무엇을 선택해야 하는가. 우선, 단일 경로와 복수 경로는 제출된 NDC의 성격에 의해 구분된다. 일부 개도국의 경우 선진국의 재정이나 기술지원을 받는 조건부 NDC 목표와 지원이 없을 경우의 비(非)조건부 NDC 목표를 별도로 설정한 바, 이렇게 목표가 다수일 경우 경로 역시 복수일 수 있다. 그런데, 우리나라 NDC는 경제 전반을 대상으로 온실가스 배출량 기준의 비조건부 감축목표만을 제시하므로, 우리나라는 예시적 단일 경로와 배출허용총량 중에서 선택할 수 있다. 두 방식은 중간 연도에 대한 이행방식에서 차이가 존재한다. 배출허용총량의 경우 NDC 이행기간 전체에 대한 총량을 의미하므로 목표연도뿐만 아니라 중간년도 상의 ITMO 필요량을 모두 총족해야 한다. 반면, 예시적 단일 경로의 경우 중간년도가 예시적 성격이므로 ITMO 필요량을 반드시 충족해야 하는 것은 아니다. 따라서, 예시적 단일 경로 방식이 상대적으로 더 유연하다고 볼 수 있다. 결과적으로 예시적 다년도 단일경로를 선택하는 것이 보다 합리적이다.

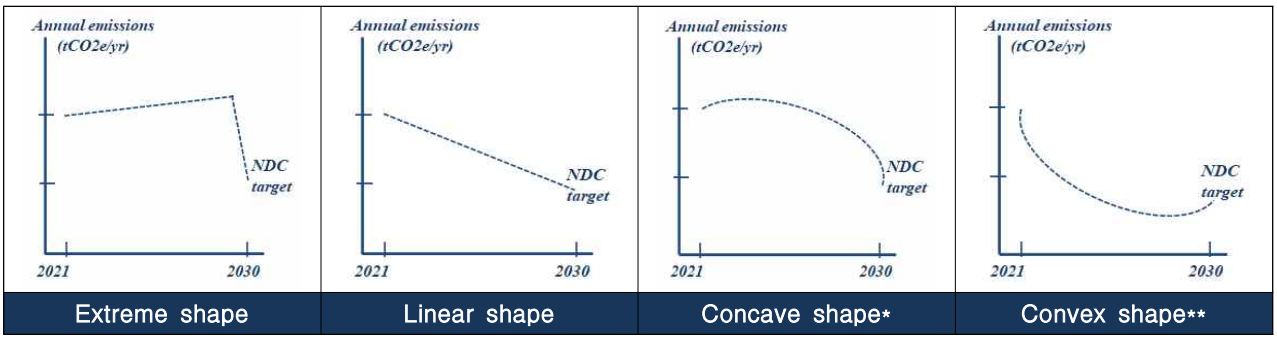
셋째, 경로 방식을 선택할 경우에 어떤 경로를 그릴 것인가. 다음의 [그림 5-2]에서 보는 바와 같이 배출경로의 설정은 크게 네 가지의 옵션을 고려할 수 있다. 첫 번째 옵션은 중간년도까지 온실가스 배출이 증가하다가 목표연도에서 급격히 감소하는 극단적 경로이다. 온실가스 배출감축이 당분간 여의치 않거나 실제 배출량의 지속적 상승이 예상되는 경우에 고려될 수 있는 경로이다. 그러나, 이는 환경건전성 문제가 제기될 수 있다.[155] 두 번째 옵션은 선형(linear) 배출경로이다. NDC 이행기간 전반에 걸쳐서 지속적으로 그리고 일관된 NDC 목표 달성을 위한 이행 관리가 필요하며, ITMO의 구매도 지속적·안정적으로 이루어진다. 세 번째 옵션은 배출경로를 오목(concave) 형태로 그리는 경우로, NDC 이행 초기 단계에는 배출량이 증대하고 NDC 이행 막바지에 배출량이 급감하는 형태이므로, ITMO의 구매가 NDC 목표연도에 가까울수록 증가할 수 있다. 네 번째 옵션은 배출경로를 볼록(convex) 형태로 그리는 경우로,

153) 예를 들어 2030년에 판매국과 구매국 모두 동일하게 100톤의 ITMO 여유분과 부족분이 있는 경우, 판매국은 NDC 이행기간(10년) 동안 총1천톤을 판매해도 2030년에 100톤만을 상응조정하는 반면, 구매국은 동 기간 총 1천톤을 구매해야 2030년에 100톤을 상응조정으로 활용할 수 있기 때문이다. 즉, 판매자는 NDC 이행기간 동안 900톤을 추가 판매하여 판매이익이 발생할 수 있지만, 구매자는 900톤을 추가 구매하여 구매비용이 증가하기 때문이다.

154) 이에, 유연성도 낮고 다년도 경로를 제출해야 한다는 부담으로 인해 개도국이 선호하는 방식이다.

155) 온실가스 감축행위가 NDC 이행기간동안 지속적으로 수행되었다면 연도별 감축량은 누적적으로 증가할 것이다. 만일 NDC 목표연도에서 급격히 감소하는 행위는 NDC 이행년도 전체의 온실가스 감축행위에 대한 대표성을 낮추게 되며, 이는 환경적 건전성을 낮추는 결과를 초래할 수 있다.

NDC 이행 초기 단계에는 배출량이 감소하고 NDC 이행 막바지에 배출량이 급증하는 형태이다. 이 경우에 NDC 이행 초기 단계에 집중적으로 ITMO 구매가 필요해 진다. 참여 당사국은 협력적 접근법 활용을 위해서 ITMO 승인·이전 또는 격년 투명성 보고서 제출시에 초기 보고서(initial report)에 상응조정 방법과 설명을 명시하여 제출해야 한다. 따라서 경로 방식의 선택과 경로의 모양은 그 이전에 결정되어야 한다. 우리나라는 2021년 12월 수정된 NDC를 제출할 때, 배출정점 시기인 2018년 배출량으로부터 2050년 넷제로 달성까지 선형 감축 경로를 설정하고 이에 따른 2030년 배출량 목표를 설정하였다 (Interagency, 2021, p.4; ROK 2021, p.2).[156] 그러나 이는 2030년 배출량 목표치 설정을 위한 '선형 감축 경로'이므로, 우리나라의 NDC 목표 달성을 위한 '배출 경로'가 반드시 선형일 필요는 없다. 또한, 동 NDC 상향안이 도출된 시점은 2021년 10월로, 파리협정 제6.2조의 협력적 접근법에 대한 세부 이행규칙이 확정된 제26차 당사국총회 이전이었다. 따라서 우리나라가 어떠한 경로로 그려야 하는가에 대해서는 우리나라의 2030년까지의 경제성장, 인구수 등 국가 배출량에 영향을 줄 수 있는 여러 가지 요소를 고려해야 하지만, 특히나 우리나라가 국제탄소시장 메커니즘을 활용하여 전환된 ITMO 또는 새로 생산되는 ITMO를 활용하는 수준, 그리고 우리나라가 실제 ITMO를 NDC 목표 달성에 사용하여 상응조정을 시작하는 시점 등을 함께 고려하여 경로 형태를 결정해야 한다.



[그림 5-2] 예시적인 다년도 배출량 경로 옵션 (40% 온실가스 배출감축 목표)

출처: 동 연구진 작성

* 원점에 오목한 형태: NDC 이행 초기 단계에서 배출량 증가. NDC 이행기간 막바지에 배출량 감소

** 원점에 볼록한 형태: NDC 이행 초기 단계에서 배출량 급감. NDC 이행기간 막바지에 배출량 급증

넷째, 상응조정의 시작 시점은 언제가 되어야 하는가. NDC 이행기간은 2021년부터 시작했으나, 파리협정 6조의 세부 이행지침이 2021년 11월에 도출되면서 아직 대부분의 국가에서 협력적 접근법 하의 세부사업을 시작하지 못한 상태다. NDC 이행 시작년도가 2021년임을 감안할 경우 활용가능한 ITMO가 부재한 상태에서 예상 경로와 실제 배출량 간에 차이가 발생할 경우에 해결할 방법이 없는 상태이다. 이에 대해서, 만약 우리나라가

156) Interagency(2021)의 p.4의 우리나라 그림 NDC 감축목표 설정 시 선형감축 경로가 활용된 것을 확인할 수 있고, 우리나라가 유엔 사무국에 제출한 NDC 상에서도 "linear reduction pathways from 2018 to 2050"라고 표시되어 있다 (ROK 2021, p.2).

‘평균방식’의 상응조정을 한다면, 상응조정이 2021년도에 소급적용되어, NDC 목표연도인 2030년에 필요한 ITMO 수량과 동일하게 2021년도 분이 구매되어야 한다. 그런데, 만약 예시적 ‘경로방식’의 상응조정을 하고자 한다면, NDC 이행기간 초반의 예시적 경로를 실제 배출경로와 일치시키는 전략을 취하면, 초반에는 ITMO를 구매하지 않아도 된다. 물론, 국가 상황에 대한 설명이 필요하다. 그런데, 만약 ‘총량 방식’을 선택할 경우에는 앞서 언급한 바와 같이 NDC 이행초기 시기에 소급적용하여 ITMO 확보가 필요하다.

다섯째, 우리나라는 향후 선진국과 같이 ‘다년도 NDC’로 변경해야 하는가. 파리협정 하에서 모든 당사국의 NDC에 진전(progression) 원칙이 적용되며, 장기적으로 경제 전반에 대한 NDC 범위설정, 배출감축 절대치 목표, 그리고 다년도 NDC로 귀결됨으로써 당사국 간의 상이한 NDC가 수렴될 것이다 (PA, 2015, Articles 4.3 and 4.4). 하지만 NDC 자체가 국가결정성에 기반하고 있고, 또한 시장 메커니즘의 사용이 NDC의 전환을 요구하지 않는다고 지침에 명시하고 있기 때문에, 시장 메커니즘의 사용 때문에 단일년도 NDC를 다년도 NDC로 변경할 필요는 없다.

마지막으로, 파리협정 제6조 세부이행규칙의 추가적인 규칙 수립을 위한 작업프로그램이 2022년 운영 예정이고, 단일년도・다년도 NDC 상응조정 방법론 적용이 주요의제인 바, 협상을 주시하면서 우리나라 상응조정 방식을 설정・구체화할 필요가 있다.

3.2 상응조정 대상인 ITMO 규칙과 ITMO 확보 방안

두 번째 세부이행규칙은 ITMO와 관련된다. 우리나라가 NDC 목표를 유연하게 달성하기 위해서는 ITMO를 확보해야 하고, 모든 ITMO는 상응조정의 대상이다 (UNFCCC 2021a, Annex para 6). ITMO에 해당하는 감축결과물은 크게 세 가지로 구분되는데, 이는 i) 파리협정 제6.2조에 근거한 협력적 접근 하의 감축결과물(mitigation outcomes), ii) 파리협정 제6.4조 지속가능발전메커니즘 하의 (NDC 또는 다른 국제감축목표 달성을 위해 사용된) 배출감축분(ER, emission reductions), 그리고 다른 국제감축목표 사용을 위해 당사국들이 승인한 감축결과물(mitigation outcomes)이 있다 (Ibid., Annex para 1(d)(f)(g)). 여기서 주목할 점은 협력적 접근 뿐만 아니라, 지속가능발전메커니즘을 통해 발생하는 배출감축(ER) 역시 NDC 달성을 위해 사용되는 것으로 승인된다면 ITMO가 된다는 점이다. 또한, NDC 달성 목적 외의 ‘국제감축 목적’의 감축결과물과 ‘기타 목적’의 감축결과물이라 할지라도 참여 당사국이 승인한다면 이 역시 ITMO가 된다는 점이다 (UNFCCC, 2021a, para 1(f)). 이에, 동 섹션에서는 상기 세 가지 유형의 ITMO 확보 및 활용에 대한 파리협정 세부이행규칙과 대응정책 방안을 살펴보도록 하겠다.

3.2.1 6.4조 감축결과물의 NDC 활용

교토의정서 하의 청정개발메커니즘(CDM, Clean Development Mechanism)을 활용해 ITMO를 확보하는 것과 관련된 규칙은 크게 두 가지로, CDM 사업・프로그램의 전환(transition)과 CDM

탄소감축실적(CER, certified emission reductions)의 NDC 사용이다. 먼저, CDM 사업·프로그램 활동이 6.4조 지속가능발전메커니즘 사업·프로그램으로 '전환'되기 위한 4가지 조건이 있다. 이는 i) CDM 하에서 등록된 또는 잠정적인 사업·프로그램 활동을 6.4조 사업·프로그램으로의 전환을 2023년 12월 31일까지 사무국 및 CDM 호스트 국가에 신청하고, ii) 전환에 대한 승인은 CDM 사업유치국(host country)이 감독기구에 2025년 12월 31까지 제출해야 해야 하며, iii) 제6.4조 규칙·방법론·절차(상응조정 포함)를 준수해야 하며, iv) 현재 승인된 CDM 방법론은 현재 크레딧이 발생하는 기간 중 마지막 또는 2025년 12월 31일 중 더 빠른 시기까지 적용할 수 있으나, 이후에는 6.4조에서 승인된 방법론 사용되어야 한다는 점이다 (UNFCCC 2021b, Annex paras 73(a)(b)(c)(d)). 물론 유엔기후변화협약의 과학기술부속자문기구가 CDM 사업·프로그램 활동 전환을 '수행'하기 위한 절차를 개발하여 2022년 11월에 파리협정 당사국총회에서 고려할 예정인 바 (Ibid., para 7(b)), 이 때 절차가 확정된다면, 실질적인 전환 신청 작업은 2023년 1년 정도 기간으로 예상된다.

우리나라 기업들이 2021년 기준 진행하고 있는 CDM 사업·프로그램에 대해서 6.4조 지속가능발전메커니즘 사업으로 전환을 한다고 가정할 경우, 전환된 사업·프로그램에서 2021년부터 생산된 배출감축분(ER, emission reductions)에 대해서, 만약 우리나라 기업이 배출권거래제 상의 할당 목표를 달성하는 데에 활용할 경우(종국에는 정부가 NDC 감축목표 달성에 활용 하는 것이 된다) 이는 ITMO가 되어 상응조정 대상이 된다. 물론 여기에는 전제조건이 있다. 우리나라 ETS에서 CDM 사업의 CER을 외부감축실적으로 활용 시 사용하고 있는 방법은 CER의 '폐기(retirement)'가 아니라 '자발적 취소(voluntary cancellation)'이다 (Kim et al., 2018, p454). 만약 우리나라 배출권거래제 운영규칙이 현행대로 이행된다면, 6.4조의 배출감축실적이 우리나라 ETS 외부감축실적으로 활용되어도 '자발적 취소'가 되기 때문에 NDC 이행과는 다른 개념이다. 우리나라 배출권거래제에서 기업이 6.4조 메커니즘의 배출감축실적을 활용하고 이것이 NDC 이행과 연결하고자 한다면,[157] 전제조건으로 국가레지스트리 구축, ITMO의 할당대상업체 의무준수 직접 사용, 배출권거래제에서 통용되는 ITMO 유형의 NDC 사용유형 등에 대한 새로운 규칙 수립이 필요하다. 이와 같은 경우에 6.4조 배출감축실적은 국가레지스트리 상에서 '폐기'가 되며, 기업의 배출권거래제 상의 감축목표 달성에 활용되며, 종국에는 NDC 국내 감촉목표 달성에 활용되는 것이다.

두 번째 규칙은 CDM의 탄소감축실적(CER)을 NDC 목표 달성에 사용하기 위한 조건으로, 다음과 같다. i) 2013년 1월 1일 이후로 등록된 CDM 사업 또는 프로그램일 것, ii) CER이 'Pre-2021 ER (이하 ER 전환분)'로 전환되어 제6.4조 메커니즘 레지스트리에 등록될 것, iii) ER 전환분은 1차 NDC 목표 달성 목적으로만 사용될 수 있으며, iv) CDM 사업유치국은 ER 전환분을 사용하는 경우 상응조정을 적용할 필요는 없으며, v) 상기 4가지 조건을 충족하지 않은 CER은 추후 파리협정 당사국 결정에 따라서 NDC 달성에 사용될 수도 있으며, vi) 임시 CERs과 장기 CERs은 NDC에 사용될 수 없다 (Ibid., Annex paras 75(a)(b)(c)(d)(e)(f)).[158]

157) 물론 이는 NDC 목표 상 국내감축으로 이어진다.

158) 영속성을 담보할 수 없는 조림 및 재조림 CDM으로부터 발생하는 감축결과물의 경우 일반적인 CER 대신 유효기간이 존재하는 임시 CER (temporary CER, tCER) 혹은 장기 CER (long-term CER, lCER)로 발행된다. 임시 CER의 경우 발행된 시기의 차기 공약기간(commitment period) 말까지 유효한 반면, 장기 CER의 경우 발행된 시기의

동 규칙에 기반하여, 우리나라 정부가 교토의정서 하 CER을 1차 NDC 목표 달성에 활용하고자 하는 경우 다음 네 가지 측면을 고려할 필요가 있다. 첫째, CER의 ER 전환분 사용 여부에 대한 최근 국제적인 흐름을 고려해야 한다. 2019년 코스타리카 등 32개국이 국제 탄소시장의 환경건전성을 위한 산호세 원칙(the San José Principles)에 합의한 바 있다. 동 원칙에 참여한 연합(coalition) 당사국들은 2020년 이전 발생한 교토의정서 상 CDM CERs과 할당배출권(AAU, Assigned Amount Units)이 6.4조 메커니즘으로 이전 및 전환된 감축결과물(pre-2020 units)에 대해서 파리협정 NDC 목표 달성에 사용하지 않도록 촉구한 바 있다 (MAE, 2021). 물론 우리나라는 산호세 원칙에 합의한 바가 없기 때문에 6.4조 메커니즘으로의 이전·전환분의 NDC 사용과 무관할 수 있다. 다만, 이러한 국제적 흐름을 인지하고 향후 우리나라의 CDM 이전·전환분 사용에 대한 국내적 제한조치를 마련할지에 관한 국내 입장 정립이 필요하다.

둘째, 우리나라 정부가 NDC에서 계획하고 있는 '국외' 감축목표로 활용할 수 있는 ER 전환분의 규모를 파악할 필요가 있다. 2015년 배출권거래제 도입 이후 할당대상업체는 해외 CDM 감축 실적을 국외 외부사업 인증실적(i-KOC)으로 전환하여 할당목표 달성에 사용하고 있다.[159] 따라서, 국외 감축분 확보를 위해서 정부는 파리협정 제6조 세부이행규칙에 부합하는 ER 전환분 중 기업이 소유한 실적을 정부 소유분으로 구매하거나 기업이 자발적으로 제공하여 NDC 국외 감축 목표 달성에 활용 가능한 실적을 사전에 파악하고 필요한 재원을 마련해야 한다. 국내 기업들이 보유한 국외 CDM 감축결과물 공급 및 사용 규모에 대해 정확하게 집계된 자료는 없다. 다만, 유엔기후변화협약 CDM 데이터베이스 내 국내 기업이 2013년~2020년 개발 및 투자에 참여한 국외 CDM 사업 중 등록 취소(cancellation) 후 i-KOC 미전환 실적과 사업계획서(PDD, project design document) 상 계획된 예상 발행실적(2021년~2025년)을 추정한 결과 약 1억 2,440만톤의 ER 전환분이 예상된다.[160] 그리고 국내 할당대상업체가 배출권거래제 규제 이행을 위해 활용할 수 있는 외부감축실적 중 국내에서 감축 활동이 이루어진 CDM 사업의 예상 발행실적(2021년~2025년)은 약 1,126만톤으로 추정되며, 국내·외 CDM사업으로 발생 가능한 외부감축실적(CER 기준)은 5년 간 총 1억 3,566만톤으로 예상된다.[161] 이 중 정부가 NDC 상의 '국외 목표 달성'을 위해 활용 가능한 ER 전환분은 약 1,847만톤으로 추정된다. 이를 도출한 계산식을 다음과 같다.[162]

먼저, 국내 할당대상업체 기업의 2019년 배출량은 6억 7천만 톤이고, 이중 국제탄소시장을 활용할 의사가 있는 것으로 파악된 할당대상업체 기업이 약 30여개로, 이 기업이 2019년 차지하는 배출량은 전체 배출량의 70%에 해당하는 연평균 4억 6천만 톤이다. 그런데

상쇄기간(crediting period) 말까지 유효하다. 이러한 종류의 CER의 유효기간이 도래한 경우, CER의 구매국 혹은 보유국은 반드시 이를 갱신해주어야 한다 (EPRI, 2011, pp. 17-19; UNFCCC, 2005, Annex para. 1 and Annex Sec. K).

159) 우리나라 배출권거래제에서 거래되는 배출권은 총 세 가지로 할당배출권(KAU, Korean Allowance Unit), 상쇄배출권(KCU, Korea Credit Unit), 그리고 외부사업감축량인증실적(KOC)이다. 여기서, I-KOC는 International-KOC로, CDM CER을 국내 KOC로 전환 시 'international'을 붙인다.

160) 1억 2,440만톤은 기 발행한 CER 중 외부감축실적(KOC) 미전환량(1,506만톤)과 해외 CDM registry에 등록한 국내 기업의 CDM 사업(PA/PoA)의 예상 감축량(10,934만톤)을 더한 값이다. 해당 ER 전환분에는 CDM 사업 추진 시 사업 개발자 간 세부적인 지분(사업참여자별 지분구조 또는 CER 배분율)은 외부 공개를 하고 있지 않으므로 고려하지 않았다.

161) 기업의 국내외 외부감축결과물 예상량(13,566만톤) = [ER 전환분(1억 2,440만톤)=① 기 발행한 CER 중 외부감축결과물(KOC) 미전환량(1,506만톤) + ② 국내 기업이 추진한 해외 CDM 사업의 예상 발행량(10,934만톤)] + ③ 국내 기업이 추진한 국내 CDM 사업의 예상 발행량(1,126만톤)

162) 동 문단의 내용은 국내 기업이 추진하여 등록된 CDM 레지스트리 상 등록된 프로젝트 및 프로그램 활동(2013~2020년)의 사업계획서(PDD)에 기반하여 저자가 분석한 자료이다 구체적인 정보는 기업 요청으로 인해 비공개로 처리하였다.

배출권거래제 상에서 국내·외 외부감축실 활용 제한 '5% 이내' 규정이 있는 바, 이 기업들의 2021년부터 2025년까지 예상되는 배출량(23억 4,381톤)의 5%를 5년간 합산하면 상쇄배출권을 활용할 수 있는 최대 한도의 외부감축실적이 1억 1,719만톤이 도출된다. 그런데, 2021년부터 2025년까지 예상되는 기 발행한 CER 중 취소 후 외부감축실적 미전환량(1,506만톤), 국내 CDM 사업의 감축실적 공급 예상량(1,126만톤), 해외 CDM 사업 감축실적 공급 예상량(1억 934만톤)을 합산하면 1억 3,566만톤이 도출된다. 따라서, 국내·외 CDM 사업 기반 외부감축실적 공급 예상량(ER 전환분)에서 기업들이 '국내감축분' 달성으로 사용할 수 있는 상쇄배출권 활용 최대 한도인 1억 1,719만톤을 모두 배출권거래제 할당 목표 이행에 사용한다고 가정하면, 우리나라 정부가 '국외 감축분' 달성에 활용할 수 있는 ER 전환분 실적은 1,847만톤으로 추정된다.[163] 파리협정 제6.2조와 제6.4조 세부이행규칙에 기반한 제도 운영이 아직 이루어지지 않은 상태에서, 동 ER 전환분은 우리나라 정부가 1차 NDC 목표 중 국외 감축분을 달성하는 데 있어 주요한 수단이 될 것으로 예상된다.

셋째, 정부는 앞서 예상한 ER 전환분에 대한 전략적인 확보 방안을 강구할 필요가 있다. 정부가 2050 탄소중립을 선언한 이후 기업에 대한 탄소 규제가 강화되고 있으며, 탄소세 도입도 고려됨에 따라,[164] 2021년 이후 배출권 가격이 급증하고 있는 시점에서 민간 기업이 기업할당목표 달성이 아닌 아닌 국가 NDC 목표 달성을 위해 자발적으로 감축결과물을 정부에 기여할 가능성은 낮을 것이다. 따라서 예상되는 ER 전환분에 대해 정부는 공공기관 등이 보유한 ER 전환분에 대해 우선적으로 파악할 필요가 있다. 공공 기관들은 규제 대상이 아니면서 해외 CDM 사업을 추진하여 ER 전환분을 보유하고 있으며, 배출권거래제 시장 판매를 통한 실적 확대가 목표가 아니므로 정부가 동 실적에 대해서는 최우선으로 확보가 가능하다. 다음으로 CDM 사업개발자나 투자자들은 일반적으로 할당대상업체와 선도거래(forward contract) 시 정부가 유리한 구매 가격을 제시할 경우 소유권 이전에 대한 충분한 유인책이 될 수 있다. 그 외 민간기업이 보유한 ER 전환분을 정부가 구매·확보 가능한수준에 대해서는 불확실성이 존재한다. 다만, 해외 외부감축실적의 국내 규제 이행 제한 규정 강화 또는 i-KOC 전환 절차가 지연되어 활용이 어려워질 경우 정부와 협의를 통해 소유권을 이전할 가능성은 존재한다.

넷째, 앞서 언급된 바와 같이, 6.4조 메커니즘 하에서 ER 전환분 및 ER이 우리나라 NDC 목표 달성에 활용될 경우, 이는 모두 ITMO가 되며 동시에 상응조정 대상이 된다. 우리나라 NDC는 국내감축과 국외감축으로 구분되어 있기 때문에, ER 및 ER 전환분에 기반한 ITMO가 배출권거래제 상의 할당대상업체의 할당목표 달성으로 활용되는 국내감축에 대한 상응조정과 별도의 국외감축을 위해 정부가 확보하는 ITMO에 대한 상응조정에 대한 방식 및 절차에 대한 준비가 필요할 것으로 보인다.

163) ER 전환분 중 국외감축 활용가능량(1,847만톤) = 기업의 국내·외 외부감축결과물 예상량(13,566만톤)[= ①CER 외부감축 실적 미전환량(1,506만톤) + ②국내기업 추진 CDM 사업 감축실적 공급예상량(1,126만톤) + ③CDM 사업 공급예상량(10,934만톤)] - 외부감축실적 활용 최대한도(11,719만톤)

164) 용혜인 국회의원이 탄소세법을 국회 발의한 상태이다 (EN, 2021).

3.2.2 6.2조 감축결과물인 ITMO의 NDC 활용

파리협정 감축의무 당사국은 6.2조 협력적 접근법을 활용하여 국제 · 국가 · 지역 수준에서 다양한 협력체계를 구축하여 ITMO를 생산할 수 있다. 이에, 협력적 접근 하에서 ITMO를 확보하기 위해서는 자체적인 제도 수립이 필요하다. 그런데, 제6.2조 세부이행규칙에서는 어떠한 유형의 제도가 수립되어야 한다는 규칙은 부재한다. 따라서, 제6.2조 협력적 접근으로 분류될 수 있는 국제·국가·지역 레벨의 실험적 양자협력 제도들의 설립 및 운영 규칙을 참고해야 한다. 현재 대표적인 제도로는 일본 정부가 주도한 공동크레딧메커니즘(JCM, Joint Credit Mechanism)과 스위스 정부 주도로 설립한 클리크 재단(KliK Foundation)이 운영하는 ITMO 구매 프로그램(ITMO Purchase Program)이 있다.[165)]

일본은 일본 정부(환경성과 경제무역산업성 주도)와 개도국 정부 간 JCM 운영을 위한 양자협정을 체결하고 공동위원회(Joint Committee)를 설립하여 JCM 운영 전반을 논의 및 승인하고, 사업 레벨에서 민간 기업의 감축사업 개발·이행에 대해 재정적 · 기술적 지원을 제공하고 그 결과 발생한 감축결과물을 확보한다. 이 때 사업별로 개도국 정부와 민간 기업에도 감축실적을 배분하며, 민간 기업 소유 실적의 경우 정부가 구매를 통해 재확보하는 형태로 운영된다. JCM은 환경성 주도 감축사업에 2020년 기준 약 900억원을 지원하였으며 (MOEJ, 2020), 해당 재원은 화석연료에 부과되는 기존의 에너지세를 통해 마련한 재원을 활용하여 JCM 보조금을 조성한다 (Oh et al., 2017, p127).

한편, 스위스 ITMO 구매 프로그램 하에서 스위스 환경교통에너지부 및 50여개 기관이 파트너십을 통해 2021년~2030년 5천 4백만톤의 ITMO 구매 계획 발표하였다. 동 프로그램은 파트너 기관이 개도국 정부 의향서(LoI, Letter of Intent)와 컨셉 노트(Concept Note)를 제출하면, 사전 평가를 통해 해당 사업에 대한 지원 여부를 결정하고, 이후 동 사업 관련 양국간 계약(Mitigation Outcome Purchase Agreement) 체결을 통해 사업을 추진하고 해당 실적을 스위스 정부가 구매하는 형태로 운영된다 (KliK, 2019).[166)] 2021년~2030년까지 연간 약 65억원(500만 스위스 프랑)에 해당하는 5,400만톤의 온실가스 감축 인증서를 구매하는 것을 목표로 추진 중이다 (CFI, 2019. pp. 75-77). 스위스 정부는 CO_2법 개정을 통해 동 프로그램 재원을 마련하고 있다 (Greiner et al., 2019b, pp. 66-67).

이 두 가지 제도는 공통적으로는 ITMO 확보를 위한 제도이나, 차이가 존재한다. 먼저 일본의 JCM은 상당한 제도적 비용이 수반된다. 환경성에서 진행하는 양국간 공동위원회 운영, JCM 감축사업에 재원 마련, 타당성 조사,[167)] JCM 차원의 자체적인 측정·보고·검증 체계 구축,[168)] 역량강화,[169)] 사업발굴, 사업진행 및 사후관리, JCM 감축결과물 계정 관리, 사업관련 협력

165) KliK 재단은 스위스석유협회(Swiss Petroleum Association)주도로 스위스 탄소법(CO2 Act)에 따른 기업들의 효과적인 배출권(Offset) 구매를 지원하기 위해 설립하였으며, 2005년부터 스위스 정부의 교토의정서 목표 달성에 필요한 해외 배출권 구매를 담당하고 있다 (KliK, 2012).

166) 개도국 정부가 ITMO 협력을 요청할 경우 스위스 대사관이나 KliK 재단의 온라인 플랫폼을 통해서도 신청 가능하다.

167) 일본국제협력은행(JBIC)의 JCM 실제 사업 개발 이전에 Pre-FS를 진행할 때 재정지원을 제공한다. Pre-FS가 이루어진 후에, 추후 JCM 사업 개발이 이루어지는 과정에서 타당성 조사가 수행된다 (IISD, 2021; MOEJ, 2021).

168) 일본의 경우 감축활동의 베이스라인 방법론으로 BAU 방법론보다 보다 보수적인 방법론을 활용하기 위해 i) 현재 상황 및 성과, ii) 평균 과거 성과, iii) 유사한 제품 및 기술의 성과, iv) 법적 요건, 그리고 v) 최적가용기술(BAT, best available technology)을 고려하여 활용하고 있다 (ADB, 2016, p.17).

169) 역량강화에 두 개 기관이 관여되는데, 먼저, 일본 국제협력사업단(JICA)가 연계된다. 일본 환경성은 JCM 사업 발굴을

플랫폼 운영 등이다 (Oh et al., 2017). 또한 동 제도를 파리협정 이행에 맞춰 실질적으로 운영하기까지 오랜 기간 준비를 하였다. 2011년 JCM 운영계획의 발표 전,[170] 이미 수많은 타당성 조사를 통해 제도를 설계하고, 2022년 현재까지 약 10년의 실제 제도 운영 경험을 쌓아왔다. 이러한 비용과 준비기간에도 불구하고, JCM은 일본의 저탄소발전 비전과 저탄소기술을 협력대상국으로 확산하는 교두보로 활용할 수 있다는 장점이 있다. 또한, JCM 사업을 ODA 재원과 연계하여 역량배양 & 사업발굴 등을 시도하는 등의 전략적인 기획력 역시 돋보인다. 즉, JCM은 국가 비전과 저탄소기술 확산이라는 장점과 대규모 예산 및 운영역량 소요라는 단점이 존재한다. 한편, 스위스가 클리크 재단을 통해 진행하는 ITMO 구매 프로그램은 최소한의 제도적 비용을 수반하여 ITMO를 구매하는 방식이다. 대신, 스위스의 국가비전이나 보유기술 확산을 위한 활동은 부재한다.

우리나라 정부는 2015년 파리협정 체결 이후 관계부처 및 전문 연구기관과의 협력을 통해 협력적 접근 하에서 개도국과 협력을 통해 ITMO를 확보하기 위한 자체적인 양자협력체계를 고려해 왔다. 2021년 국무조정실 연구 결과에 따르면, 동 체계는 '정부 주도 사업'과 '민간 주도 사업'으로 구분하여 추진할 것으로 예상된다 (Noh 2021, p.25). 외교부 차원의 양자협정이 추진되어 왔지만, 실제 사업이행을 위한 실무약정은 이루어지지 않았고, 국내적으로도 관련 세부 규칙이 수립되지 않았다. 이에, 우리나라가 고려해야 하는 사항은 크게 여섯 가지이다. 첫째, 우리나라 핵심 '목적'에 맞는 양자협력 체계 설계가 필요하다. 만약 ITMO 확보에만 집중한다면,[171] 스위스의 ITMO 확보 프로그램이 적절한 옵션이다. 물론, 별도의 기후재원 펀드 운용이 수반된다. 만약 ITMO 확보 뿐만 아니라 한국형 뉴딜 및 탄소중립 비전 확산, 개도국 환경지원·협력 확대, 국내 기업 해외 진출, 우리나라 기후기술 확산을 도모한다면, JCM 제도 옵션을 고려할 수 있다. 둘째, '중점 추진대상 국가'를 선정해야 한다. 이 때 고려할 사항으로는 i) 상대국가의 배출량 규모 대비 감축 잠재량 규모, ii) 정부 및 국내 기업이 사업 추진 및 투자하기 위한 여건(사업환경지수 등),[172] iii) 파리협정 내 국제탄소시장을 활용 의사 유무, iv) CDM, JCM 등 기존 감축사업 추진 경험, v) 2016년 이후 정부가 고려 중인 양자협력 중점추진국 여부 등이다. 셋째, '재원 마련'으로, 정부에서 기존에 운용 중인 예산과 자금 활용을 고려할 필요가 있다. 예를 들어, i) 1.6조원 규모의 유무상 공적개발원조 자금의 간접적 활용,[173] ii) 국토부 · 공공기관 · 민간이 조성한 3,500억원 규모의 글로벌 인프라 펀드(GIF, Global Infrastructure Fund), iii) 국토부 · 한국투자공사가 공동 출자한 2.3조원 규모의 코리아해외인프라펀드(KOIF, Korea Overseas Infrastructure Fund), iv) 산업통상자원부 · 한국전력공사가 투자한 2조 규모의 전력신산업펀드(ENIF, Energy New Industry Fund), v) 배출권거래제 유상할당 수입[174] 등이 있다. 이 때 동 재원 투입을 통해 발생한

위해 JICA와 협력하여 JCM 협정 대상국 및 개도국 내 민간부문 대상으로 JCM 컨셉을 교육하는 역량강화 프로그램 진행한다. 다음으로, 지구환경전략연구소(IGES)는 사업수행과 관련된 역량강화 활동으로 기술자문과 JCM 담당자 교육을 수행한다 (Oh et al., 2017).

170) 초기에는 JCM이 아닌 Bilateral Offset crediting mechanism (BOCM)이라는 명칭으로 시작하였다.

171) CDM, VCS (Voluntary Carbon Scheme), GS (Gold Standard) 등 감축 프로젝트를 통해 발생한 모든 실적을 포함한다.

172) 사업환경지수(Doing Business Score)는 세계은행이 글로벌 213개 국가를 대상으로 해당 국가 내 비즈니스 관련 규제, 지원 정책, 인프라 등을 고려하여 100점 만점으로 사업 용이성을 평가하기 위해 설정한 지표를 의미한다 (WB 2022).

173) ITMO를 생산하는 감축 사업에 직접적인 투자가 아니라, 사업 기반 조성 및 역량 배양에 투자해야 한다.

174) 독일의 경우 EU-ETS 경매 수익금을 개도국 기후·에너지 사업 지원하는데 활용한 바 있다.

감축실적에 대해서는 전적으로 정부에 귀속한다는 방침을 통해 순수 국외 감축실적을 확보해야한다. 넷째, 우리나라는 국내 감축분과 국외 감축분이 구분되어 있는 바, 순수 국외 감축분 확보에 민간 참여를 유도하기 위한 '참여 인센티브' 시스템이 구축될 필요가 있다. 다섯째, 협력적 접근 하의 양자협력 체계는 우리나라의 이익에 맞도록 제도의 유연성 등을 고려하여 6.4조 메커니즘과 차별화된 설계를 고민할 필요가 있다. 여섯째, 양자협력 체계를 통한 ITMO의 생산·이전·확보는 상응조정 대상으로, 상응조정 리스크에 대한 사항을 고려할 필요가 있다. 또한, 6.4조 메커니즘의 ER 전환분의 NDC 사용을 위한 ITMO 유형과 양자협력 체계를 통해 확보한 ITMO 유형을 구분하여 국가 레지스트리에서 관리해야 한다. 상응조정 리스크는 3.3 섹션에서 구체적으로 다루어진다.

3.2.3 자발적 탄소시장의 ITMO 활용

다른 국제감축목적의 감축결과물도 ITMO가 될 수 있다 (Ibid., Annex para 1(f)). 여기에는 두 가지가 있는데, 하나는 NDC 달성 이외의 국제감축목적(international mitigation purposes)을 위해 참여국의 승인을 받은 감축결과물로서, 여기서 국제감축목적에는 국제항공 탄소상쇄·감축제도(CORSIA) 등이 포함된다 (Ibid.).[175] 중요한 점은 '참여국의 승인'이 있다는 조건 하에, ITMO가 된다. 다른 하나는 다른 목적(other purposes)을 위해 생산되고 처음으로 이전하는 참여국의 결정에 따라서 참여국의 승인을 받은 감축결과물을 의미하는데, 여기에는 자발적 탄소시장이 포함된다 (Ibid.; Minas 2022).[176] 여기서도 전제조건인 '참여국의 결정과 승인'이 있어야만 ITMO가 된다. 국제감축목적과 다른 목적을 통합해서 '다른 국제 감축 목적(other international mitigation purposes)'으로 명명되고, 이를 통한 감축결과물은 ITMO가 되고 상응조정이 적용된다 (Ibid., Annex para 16).

동 규칙을 통해서 주목한 점은 기존에는 다른 목적(자발적 탄소시장)에서 감축 크레딧 구매 행위는 당사국들의 감축의무 이행과 별개였으나, 파리협정 하에서는 i) 자발적 탄소시장의 감축결과물에 대해서 '처음으로 이전하는 참여국'이 '결정'하고, ii) 협력적 접근의 '참여국'이 '승인'하면, iii) 이 감축결과물은 ITMO가 되며 결국 상응조정의 대상이 된다는 것이다. 대전제는 참여국의 승인이다.

이를 실제 적용해 보면, 만약 우리나라 민간업체들이 자발적 탄소시장에서 크레딧을 구매하는 경우, 감축사업 주최국의 국가 인벤토리에 연동되지 않는다 (Zwick 2021).[177] 이는 주최국 국가 인벤토리에 연동되지 않은 크레딧을 기업이 자발적 탄소시장에서 구매할 경우, 이 크레딧을 기업의 배출권거래제 할당목표 달성(궁극적으로는 국내 감축 목표 달성)에 활용할 수 없다는 것을 의미한다 (Ibidi.). 그러나, 자발적 탄소시장을 통해 기업이 구매 및 이전한 크레딧에 대해서 처음으로 이전하는 국가(사업 주최국)가 국가 레지스트리 상에서 감축분을 차감하는 것으로 결정하고, 참여국이 크레딧을 승인하면, 이는 상응조정의 대상이 된다. 즉,

175) CORSIA의 원 영문은 Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation이다.
176) 자발적 탄소시장에는 골드 스탠다드(Gold Standard)와 베라(VERRA) 등이 있다.
177) 개도국은 지금까지 감축 의무가 없기 때문에, 국가 레지스트리가 없고, 국가 인벤토리만 있다. 파리협정 하에서 ITMO를 NDC 달성에 활용하기 위해서는 개도국도 국가 레지스트리를 구축해야 한다. 따라서, 추후 연동되는 것은 개도국 국가 레지스트리가 된다.

개도국과 (기업이 속한) 우리나라 모두 상응조정을 거쳐야 한다는 의미이다.

이에, 자발적 탄소시장의 향후 운영 방향으로는, 자발적 탄소시장 내에서 거래되는 크레딧이 '상응조정 크레딧'과 '비(非) 상응조정 또는 지원 크레딧'으로 구분될 것으로 보인다.[178] 상응조정 크레딧은 감축목표 달성을 위해 사용되는 크레딧으로 상응조정을 거치는 크레딧이고, 비상응조정(또는 지원) 크레딧은 앞서 언급된 환경·사회·지배구조(ESG, Environmental·Social·Governance)와 같은 다른 사회적 목적을 위해 사용되는 크레딧이다. 이에, 상응조정 크레딧이 비상응조정 크레딧보다 더 높은 가치를 가질 것으로 예상된다. 따라서, 기업(궁극적으로는 국가)이 할당받은 감축목표 달성을 위해 자발적 탄소시장에서 크레딧을 구매하고자 할 경우에는 '상응조정 크레딧'을 구매·이전해야 할 것으로 보인다. 그리고 시간에 지남에 따라서 점차 자발적 탄소시장도 상응조정 크레딧을 중심으로 변모할 것으로 보이는데, 이는 상응조정 크레딧이 비상응조정 크레딧보다 환경건전성에 보다 크게 기여하기 때문이다. 이에, 자발적 탄소시장 역시 파리협정 6조 세부이행규칙에 기반하여 상응조정 크레딧을 제공하기 위한 작업을 진행중에 있다 (Favasuli 2021). 이를 종합하면, 우리나라 기업이 자발적 탄소 시장으로부터 크레딧을 구매한다고 할 때, 어떠한 목적에 따라 크레딧을 구매하느냐에 따라, 구매해야 할 크레딧의 유형을 결정해야 한다. 그리고 목적이 NDC 사용에 있다면, 이는 참여하는 당사국들의 '승인'이 반드시 필요하고, 이어 주최국과 우리나라의 상응조정이 진행되어야 한다. 이를 정리하면 다음의 <표 5-2>와 같이 정리될 수 있다.

<표 5-2> 상응조정에 따른 자발적 탄소시장의 크레딧 유형

Firms' Purpose	Type of credits in voluntary market	Host country that firstly transfers credits	Corresponding Adjustment
Meeting allocation goals of ETS	Adjusted credit (ITMO)	- Decision & approval needed - Linked to national registry	O
ESG investment	Non-Adjusted credit	- Decision & approval not needed - Not linked to national registry	X

출처: 저자 작성

이러한 상응조정 규칙의 해석과 자발적 탄소 시장 제도의 변화 흐름을 고려했을 때, 정책적 고려사항은 두 가지이다. 첫째, 자발적 탄소시장에서 기업이 ITMO가 되는 상응조정 크레딧을 구매·이전하는 행위에 대해서도 정부 차원에서 상응조정이 이루어져야 하므로, 이에 대한 절차와 지침이 필요할 것으로 보인다. 둘째, 자발적 탄소시장을 포함해서, 다른 국제감축목적 하에서의 감축결과물 중에서 ITMO가 되는 경우, 이 ITMO를 NDC 목표 달성에 활용 가능한 지

178) 물론 자발적 탄소시장에서 파리협정 세부이행규칙인 상응조정의 핵심가치인 이중계산 방지를 위해 최종적으로 어떠한 상품을 도출해야 하는 지에 대해서는 아직 확정된 바는 없다. 자발적 탄소시장에서 논의중인 상품으로는 i) 사업주최국 NDC 범주 외의 사업을 통한 상쇄 크레딧, ii) NDC 상쇄 크레딧(상응조정), iii) NDC 지원 크레딧(상응조정 하지 않음), iv) NDC 목표 의무준수와 관련 없는 크레딧(기존 자발적탄소시장 크레딧) 등이 있다 (Kreibich and Hermwille 2021). 동 연구에서는 이렇게 논의중인 상품 구분을 활용하기 보다는, Favasuli(2021)의 상응조정 크레딧과 비-상응조정 크레딧의 구분을 활용하여 접근하고자 하였다.

여부에 대해서 아직 해석의 여지가 있다. 만약, 활용가능하다면, 기업은 자발적 탄소시장에서 구매한 상응조정 크레딧을 국내 할당목표 달성에 활용하고, 정부는 국외감축분 목표 달성을 위해 상응조정 크레딧을 구매할 수 있는 시장이 확대되는 것이다. 따라서, 아직 해석의 여지가 있는 동 사안에 대해서 2022년도 협상을 통해 확인할 필요가 있다. 또한, 동 규칙의 허용범주가 넓게 해석된다면, 이에 따라 자발적 탄소시장에서 ITMO를 확보할 수 있는 절차 및 제도를 수립할 필요가 있다. 즉, 기업 및 정부가 자발적 시장에서 NDC 목표달성을 위한 ITMO 구매를 하고자 할 때의 의향서·요청서 및 요청 프로세스, 사업주최국(개도국)과 우리나라 간에 양자협력, 관련 승인 절차와 요건 등에 대한 사항들을 준비할 필요가 있다.

3.3 상응조정 보고 규칙과 상응조정 리스크에 대한 대응 방안

세 번째 세부이행규칙은 상응조정 보고이다. 협력적 접근에 참여하는 각 당사국들은 매년 4월 15일 전에 i) NDC 달성 차원의 사용을 위한 ITMO의 승인, ii) 다른 국제감축목표 달성 차원의 사용을 위한 ITMO의 승인, iii) 최초 이전, 이전, 획득, 보유, 취소, 자발적 취소, 국제 배출의 전반적인 감축을 위해 감축결과물 또는 ITMO의 자발적 취소, 그리고 사용에 대한 정보를 파리협정 제6조 데이터베이스 기록 차원에서 제출해야 한다 (UNFCCC 2021a, Annex para 20(a)). 한편, 협력적 접근에 참여하는 각 당사국들은 강화된 투명성 체계 차원에서 2년마다 제출하는 격년투명성보고서(BTR, Biennial Transparency Reports)에 NDC 달성을 위한 ITMO 사용 승인과 다른 국제감축목표 달성을 위한 ITMO 사용 승인에 관한 정보를 제공하고 (Ibid., Annex para 21(c)), 가장 최근 보고 기간 중에 수행된 상응조정 정보를 제공해야 한다. 이는 이중계산 방지, NDC 이행·달성에 대한 진전 노력의 대표성, 그리고 협력적 접근에 대한 참여가 참여 당사국 간 그리고 NDC 이행기간 간의 배출순증 방지가 확보되었는 지에 대한 정보이다 (Ibid., Annex para 21(d)). 간단히 정리하면, 이번 협상을 통해 모든 국가들은 '매년' 상응조정을 하고, ITMO 승인·이전·획득·보유·취소에 관한 정보를 매년 제출하지만, 평가를 위한 상응조정 정보는 2년마다 제출하는 격년투명성보고서(BTR)를 통해서 진행된다.

이 상응조정은 국가간 협력 활동이기 때문에, 국가간 신용 리스크가 발생할 수 있다. 이 신용리스크는 크게 세 가지 측면이 존재한다. 첫째, 협력적 접근에 대한 참여국의 참여자격 요건인 '최근의 국가 통계'에 대한 정보 신뢰성에 대한 리스크이다. 협력적 접근에 참여하는 국가들 중 선진국들이 제출하는 최근 국가 통계는 신뢰성이 있으나, 개도국의 경우 이러한 '최근 국가 통계'를 제출할 수 있는 역량이 되는 국가도 몇 개 국가에 한정된다. 그러나 역량이 있는 개도국이 제출한 '최근 국가 통계' 정보의 신뢰성 역시 문제가 될 수 있다. 둘째, 상응조정 시 개도국이 ITMO를 판매함으로써 자국이익을 도모하면서도 자국의 NDC 목표를 달성하지 못하는 과다판매(over-selling)의 문제이다. 물론, 이 리스크는 개도국의 NDC 달성 목표 계산에 대한 리스크로써 협력 국가간 리스크라기 보기에는 어려울 수 있다. 셋째, 상응조정에 대한 국가간 리스크로서의 '계약 불이행'이다. 제6.2조 협력적 접근 하에서 국가간 양자협정이 체결되고, 이 협정에 따라 감축사업 주최국이자 ITMO 판매국은 투자국(또는 구매국)이 재원과 기술을 투자한 사업을 통해 도출한 감축결과물을 투자국에 이전한다는 공식적인 허가(authorization)를 제공해야 하며, ITMO 이전에 대해서 상응조정을

수행해야 하는 의무가 발생한다. 따라서 감축결과물 이전에 대한 이행이라는 일련의 경제적 거래는 주최국이 상응조정을 수행했을 때 최종 완료가 된다고 볼 수 있다. 만약, 주최국이 상응조정을 제대로 수행하지 않으면, 투자국은 이전된 감축결과물을 NDC 목표 달성에 사용할 수 없게 된다. 2021년 11월 도출된 세부이행규칙으로 모든 국가들은 '매년' 상응조정을 하는 것으로 결정되었고, 상응조정에 대한 정보가 집적 및 제출되는 것은 국가별로 2년마다 제출하는 격년투명성보고서(BTR)이다. 따라서, 투자국 입장에서는 ITMO의 거래시점과 상응조정 시점 간의 불일치가 발생하게 되어 규제 리스크가 발생한다.

따라서, 상응조정에 대한 계약 불이행 리스크를 없애기 위한 방안으로, 두 가지를 생각해 볼 수 있다. 먼저, 사전적인 제도로 국가간 협정을 할 수 있다. 을 활용할 수 있다. 예를 들어, 현재 일본 정부가 추진하고 있는 크레딧 생산 및 이전을 위한 공동크레딧메커니즘(JCM)을 둘러싼 양자협력 문안에는 현재로서는 '상응조정' 리스크 회피를 위한 문안은 없다 (JCM 2022).[179] 한편, 스위스는 ITMO 구매를 위한 양자협력 공동성명(Joint statement)을 발표하고 이를 근거로 체결한 이행협정(Implementation Agreement)에서 별도의 상응조정 조항을 준비하였다. 먼저 조항 10은 당사국들이 이행해야 하는 상응조정 방식을 다루는 의무(shall)가 명시되어 있고, 조항 11은 ITMO 이전・획득・보유・취소・사용에 대한 정량 정보를 사무국에 매년 제출해야 한다는 의무(should) 조항이며, 조항 12는 파리협정 격년투명성보고서(BTR)에 NDC 목표달성 평가에 있어서 상응조정 적용 의무(shall) 조항이 포함되어 있다 (Swiss 2020, articles 10, 11, 12). 특히, BTR에 포함해야 하는 정보로 i) ITMO 이전 및 사용에 대한 연간 정보, ii) 연간 배출균형(emission balances), 그리고 iii) ITMO에 대한 정성 정보로 상응조정 이행여부, 환경건전성 확보 기준・조항, 그리고 지속가능발전 증진 기준・조항이 포함되어야 한다 (Ibid., article 12.2(a)(b)(c)). 즉, 상응조정에 대한 이행 방식 뿐만 아니라 파리협정과 세부이행규칙을 고려한 연간 및 격년 보고와 일관성을 가지면서 여기에 상응조정에 대한 의무를 포함시켰다. 또한, 이러한 이행협정 조항의 불이행 시, ITMO 이전에 대한 확인을 중지할 수 있는 조항이 포함되었는데 (Ibid., article 20.1), 이는 상응조정 및 이와 관련된 보고에 대한 사항을 포함한다. '이행협정' 접근법은 상응조정 불이행 리스크를 줄일 수 있는 상당히 효과적인 방식이다. 그리고 이보다 더 엄격한 방식을 고려한다면, '주최국협정(Host Country Agreement)'에 상응조정 불이행 시의 법적 책임소재를 명시하는 것을 고려해 볼 수 있다.

다음으로는 '정치적 위험도 보험(political risk insurance)' 상품을 활용하는 것이다. 주최국 협정 또는 이행협정을 법적 구속력 있는 방식으로 진행했는데도, 주최국이 상응조정을 하지 못하는 경우, 이 계약불이행 시, 보험상품 제공자는 구매국에게 지정된 최대 책임금액까지 중재 판정금액을 보상하게 된다. 보험상품은 지분 또는 대출과 같은 투자 형태가 필요할 수도 있다. 이러한 보험상품 등은 국가들이 NDC 이행 수단으로 활용하는 시장 메커니즘에 보다 신뢰를 구축할 수 있는 제도적 장치로서 작용할 수 있다 (Srinivasan and Sharma 2021). 여기서 논의하고 있는 점은 '사업 불이행'에 대한 리스크가 아니라 사업 수행 이후에 발생하는 '상응조정 불이행'에 대한 것이다.

따라서 정책적으로 고려할 사항으로, 먼저, '보고' 측면에서, ITMO에 대한 국가

179) 물론, 상응조정 리스크가 아니라, '사업 리스크' 차원에서 협력 사업을 통해 도출되는 감축실적의 최소 50% 이상을 일본으로 이전하는 조건으로 사업을 추진하고 있다.

레지스트리 구축이 필요하고, 레지스트리 상에서 ITMO를 분류하여 정보를 구축하는 접근이 필요하다. 예를 들어, NDC 사용 목적의 ITMO와 다른 국제감축목표 사용을 위한 ITMO를 구분하여 정보를 구축하는 작업이 필요하다. 또한, 국내 감축목표를 위해 기업이 ITMO를 구매・이전하고 이를 배출권거래제 상의 할당 목표 달성에 활용한 경우, 이를 ITMO 국가 레지스트리와 연동하는 것을 고려할 필요가 있다. 또한, 자발적 탄소시장에서 기업이 구매・이전한 ITMO에 대해서도 이를 기업이 배출권거래제 상의 할당 목표 달성에 활용한 경우, ‘NDC 사용 목적의 ITMO’로 분류하는 작업들이 필요하다. 다음으로, 상응조정 ‘리스크’를 줄이기 위해서 i) 우리나라 외교부가 개도국과 체결하고 있는 양자협정에 상응조정에 대한 의무를 명시하거나, ii) 이미 체결된 양자협정을 변경하기 힘든 경우 이행협정(implementing agreement)이나 실무약정 등을 체결하고 여기에 상응조정 의무와 불이행시 조치에 대한 사항을 기입하거나, iii) 마지막으로는 불이행에 대한 보험상품을 정부 또는 참여하는 기업이 가입하는 절차와 관련 부대비용을 지원하는 방안을 고려할 수 있다.

4. 결론

파리협정 제6조 세부이행규칙이 2021년 11월 도출되었다. 우리나라는 파리협정 제6조에 기반해 형성되는 국제탄소시장을 활용해 ITMO를 확보하여 우리나라 NDC 목표를 달성하고자 한다. ITMO의 국제적 이전 및 NDC 사용에는 반드시 ‘상응조정’이 수반된다. 매년 수행되는 상응조정은 ITMO를 확보(구매 등)하여 목표치를 매년 달성했는 지 여부를 보여주어야 한다는 점에서 간접적인 의무준수 수단으로서, 국제탄소시장을 활용하는 국가들에게 상당한 부담으로 작용할 수 있는 제도이다. 따라서, 동 연구에서는 상응조정 세부이행규칙을 둘러싼 명확한 해석과 이 규칙에 기반한 가능한 정책 옵션들이 무엇인지 파악하고 향후 정책 대응 방안을 모색하고자 하였다. 이에, 상응조정을 둘러싼 세 가지 규칙인 i) 상응조정 방법론, ii) 상응조정 대상인 ITMO, 그리고 iii) 상응조정 보고를 중심으로 살펴보았다.

동 연구결과를 토대로, 향후, 우리나라의 대응 행동에 대한 제언으로써, 첫째, 우리나라 상응조정 방법론 규칙 적용과 관련하여, 유연성을 고려한 ‘예시적 단일 경로방식’을 고려할 수 있다. 그러나 배출경로 설정 시 상응조정 시작 시점과 ITMO 구매 소급적용 여부를 고려해야 한다. 특히 NDC 이행 초기 시기에는 예시적 배출경로와 실제 배출경로를 일치시키고, 이후 시기에 두 개 경로를 분리하여 상응조정을 통해 목표를 달성하는 전략을 세울 필요가 있다.

둘째, ITMO 규칙의 적용과 관련하여, NDC 달성을 위한 ITMO 확보 차원에서 먼저 CDM CER의 ER 전환분을 우리나라 1차 NDC 목표 달성에 활용하고자 한다면, 예시적 배출경로에 기반해 우리나라가 확보해야 할 ITMO 총량을 확인하고, 그 중에서 국내・국외 감축목표로 활용할 수 ER 전환분의 규모를 파악하고, 정부 산하기관 및 기업들이 보유한 ER 전환분량 및 향후 순수 ER 분량을 NDC 목표 달성에 활용하기 위해 필요한 재원 마련 및 유인책이 필요하다. 다음으로, 6.2조 협력적 접근을 통해 ITMO를 확보하기 위해서는 자체적인 탄소시장

메커니즘 구축이 필요하며, 메커니즘 대표 사례인 일본 공동크레딧메커니즘(JCM)과 스위스의 ITMO 구매 프로그램의 장·단점을 고려하여 우리나라의 핵심 목적에 맞는 양자협력 체계를 설계하고, 동 체계 운영 및 사업화에 필요한 재원을 마련하고, 민간과 정부의 적극적인 참여를 유도할 수 있는 참여요건을 모색하는 것이 중요하다. 그리고, 다른 국제감축목표 하에서의 ITMO에 대해서도 상응조정이 적용되는 조건들이 존재하므로, 이를 대비한 정부차원의 절차와 지침이 필요하다. 또한, 자발적 탄소시장을 포함해서 다른 국제감축목적 하의 ITMO에 대해서 이를 NDC 목표 달성에 활용가능 여부에 대한 해석의 여지가 있다는 점을 고려하여, 협상을 통해 활용가능성을 확인하고 관련 대응이 필요하다.

셋째, 상응조정 보고 규칙과 관련해서, ITMO의 확보·이전·사용을 매년 그리고 2년마다 보고해야 하므로, 국가 레지스트리 구축 작업이 필요하다. ITMO 유형별로 분류하여 정보를 구축하고 보고해야 하며, 또한 국내 감축목표와 국외 감축목표를 분리한 바 이에 따른 ITMO 정보를 국가 레지스트리에 구분하는 세밀한 접근이 필요할 것으로 보인다. 다음으로, 사업주최국의 상응조정 보고 불이행에 대한 리스크 감소 방안으로 양자협정에 상응조정 의무 조항을 삽입하거나, 이행협정이나 실무약정에 상응조정 의무와 불이행 조치 조항을 삽입하거나, 마지막으로는 불이행에 대한 보험상품을 정부 또는 참여 기업이 가입하는 절차를 마련하고 관련 소요비용 지원이 필요할 수 있다.

‘상응조정’ 세부이행규칙이 새로이 도출되었기 때문에, 현재 우선적으로 필요한 연구는 동 규칙의 해석과 적용을 둘러싸고, 산발적이고 해석의 여지가 있는 규칙들을 명확히 해석하고, 우리나라와 관련된 정책 범주와 분야를 보여주고, 그 범주 내에서 정책적 고려사항들을 포괄적으로 고찰하는 것이라고 판단하였다. 상응조정 규칙의 ‘설계’에서 나아가 ‘적용’에 대한 연구가 시작되는 시점에서, 전체적인 정책연구 범주틀을 설정하고 향후 어떠한 정책연구가 세부적으로 수행되어야 하는 지에 대한 방향성이 도출되었다는 점에서 의미가 있다고 본다. 따라서, 연구질문의 ‘포괄성’이 연구 착수 단계에서 의도되었음을 밝힌다. 다만, 이로 인해, 일반적인 연구질문에 기반한 연구논문의 장점이 상쇄되었음이, 동 연구의 아쉬운 면이라고 하겠다.

동 연구의 정책적 고려사항들을 토대로 향후 추가적으로 필요한 학술연구는 첫째, 상응조정을 위한 예시적 경로의 전략적 도출 연구가 필요하다. 둘째, 정부의 ITMO 확보 방안의 범위를 좀 더 좁혀 구체적으로 접근하고, 특히 ITMO를 생산하는 제도 하에서 민간기업이 어떤 요건이 충족되어야 감축실적 소유권을 정부에 이전시킬 것인가에 요인분석 연구가 필요할 수 있겠다. 셋째, 다른 국제감축목적, 특히 자발적 탄소시장에서의 감축 결과물 구매 및 이전과 관련된 상응조정에 대해서 국제 자발적 탄소시장의 제도적 대응 현황에 대한 연구가 필요할 수 있다. 넷째, 상응조정 리스크를 좀 더 세분화하고, 협력 대상국가들을 그룹화하여 리스크 감소 방안에 대해서 고찰하는 연구를 진행하는 것을 제안하고자 한다. 다섯째, 개도국과의 협력에 대한 신용리스크와 관련하여, 위험도 요인을 도출하고 이에 따라 우선 협력대상 개도국 선정에 대한 연구가 필요할 수 있다.

(사)한국기후변화학회

06609 서울특별시 서초구 효령로53길 18 석탑 401호 (사)한국기후변화학회
TEL : 02-557-7897 FAX : 02-557-7893 e-mail: kscc_edit@kscc.re.kr 홈페이지: www.kscc.re.kr

이차출판 동의확인서

발행연도/권호 : 2022년 제13권 2호

논문제목 : 파리협정 제6조 상응조정 규칙의 해석과 우리나라 대응 정책의 시사점

저 자 : 오채운† · 박순철 · 문성삼 · 송예원
(모든 저자 표기)

한국기후변화학회는 한국기후변화학회지에 게재된 본인의 논문을 학위논문 및 연구보고서 등에 그 일부 혹은 전부를 사용할 경우 이를 일종의 이차출판(secondary publication)으로 간주하고, 학회의 동의와 함께 일차출판 사실을 명기할 것을 요구합니다. 이러한 원칙과 저자의 요구에 따라 위 논문의 이차출판에 동의합니다.

2022. 10. 28

사단법인 한국기후변화학회
한국기후변화학회 편집위원회 위원장

제 3 절 중점 연구: 파리협정 제6조 환경건전성 원칙 적용 연구[180] (파리협정 6.2조 협력적 접근 하 우리나라 자체적 국제 탄소시장 메커니즘에 대한 환경건전성 개념 적용 방향 고찰)

1. 서론

기후변화에 대한 국제적 행동의 핵심이 되는 파리협정이 2015년 채택되었다. 파리협정은 국제탄소시장의 형성의 기반이 되는 규칙인 6조를 포함하고 있다. 파리협정 제6조는 당사국들이 자국의 국가결정기여(NDC, nationally determined contribution)를 이행하는 과정에서 자발적으로 협력함으로써 감축과 적응 노력을 보다 유연하고 비용효율적으로 추진할 수 있도록 시장 및 비시장 접근법을 제시하고 있다. 이러한 파리협정 제6조에는 환경건전성(environmental integrity)과 지속가능발전의 증진이라는 두 가지 원칙이 포함되어 있다 (PA 2015, Article 6.1). 특히, 파리협정 제6.2조에 근거한 협력적 접근(cooperative approaches)에 참여하는 당사국들은 NDC 상의 감축목표를 달성하기 위해 국제적으로 이전가능한 감축결과물(ITMO, internationally transferred mitigation outcomes)을 사용할 수 있는데, 이 과정에서 지속가능발전을 증진하고 환경건전성과 투명성을 확보해야 한다. 동 원고는 협력적 접근에 대한 원칙적 개념인 '환경건전성'에 주목하고자 한다.

환경건전성은 크게 두 가지 의미를 가지고 있다. 하나는 국제 온실가스 배출 감축사업에서, 생산된 감축결과물이 과다 크레디팅되지 않는다는 것을 의미한다. 즉, 1tCO2-eq의 감축결과물이 실제 1tCO2-eq만큼의 감축노력을 명확히 반영해야 한다는 것이다. 다른 하나는 국제 온실가스 배출이 탄소시장 메커니즘의 활용을 통한 국제이전 과정으로 인해 증가하지 않는 것을 의미한다. 즉, 당사국들이 탄소시장에 참여하지 않을 때(감축결과물의 국제이전이 발생하지 않을 때)와 당사국들이 탄소시장에 참여할 때(감축결과물이 국제적으로 이전될 때)의 국제 온실가스 배출총량이 증가되지 않는 것을 의미한다 (Oh et al. 2022). 이는 환경건전성의 원칙은 국제적으로 배출량 非순증(no net increase)을 의미한다. 따라서, 환경건전성은 감축결과물의 생산 과정과 이전 과정과 밀접히 연계된 개념이다. 사실, 국제협상에서의 환경건전성에 대한 논의는 감축결과물의 '이전'을 중심으로 이루어졌고, 감축결과물의 '생산' 측면의 환경건전성은 반드시 전제되어야하는 사항으로 여겨졌다.

우리나라는 최근 파리협정 제6.2조의 협력적 접근법에 근거하여 자체적인 국제탄소시장시스템인 '양자협력 체계'를 수립하고 해외 감축사업을 전개하고자 한다. 이에, 환경건전성 원칙은 이러한 자체적 제도 설계에 있어서 많은 의미를 갖는다. 우리나라가 양자협력 체계를 설계하는 데에 있어, 환경건전성 확보를 위해서 어떠한 요소들을 고려해야

180) 제5장3절의 내용은 2022년 동 연구과제를 통해 수행된 중점연구이다. 동 연구과제 수행 결과 도출된 연구 결과물은 「오채운·송예원·김래현·최규현·최광림. (2022). 파리협정 6.2조 협력적 접근 하 우리나라 자체적 국제 탄소시장 메커니즘에 대한 환경건전성 개념 적용 방향 고찰. 한국기후변화학회, 13(6), 755-780」의 논문으로 2022년 12월에 발간되었다. 이와 관련하여, 동 논문이 2022년 수행한 연구결과물로 도출되었기 때문에 동 연구보고서에 싣기 위해 한국기후변화학회에 이차출판 동의서 요청서를 제출하였고, 이후 학회 측으로부터 이차출판 동의 확인서를 수신하였다. 이에, 동 논문의 내용이 동 제2절에 삽입되었다.

하고 그러한 요소들에 기반해 어떠한 규칙을 수립 및 반영해야 하는가에 대한 고민이 필요하다. 그런데, 2021년 11월 도출된 파리협정 6.2조 세부이행규칙에서는 환경건전성에 대한 사항이 포함되어있기는 하나 그 규칙이 아주 세밀하지 못하다. 따라서, 환경건전성을 확보하는 데에 영향을 주는 요인들이 무엇인지 파악하고, 이 요인들에 대해 자체적인 규칙을 수립할지 여부를 정하고, 규칙 수립 시 어떤 규칙을 설정할 것인가를 정하는 것이 중요하다.

환경건전성 확보에 영향을 주는 요인과 대응 방식을 다루는 기존 연구들이 다수 존재한다 (Schneider & Theuer, 2019; Michaelowa et al., 2019; Allen et al., 2021; Broekhoff and Spalding-Fecher, 2021). 이러한 기존 연구들을 토대로, 동 원고는 파리협정 제6.2조 협력적 접근 하에서 자체적인 시장 메커니즘을 설립할 때 환경건전성 확보를 위한 고려 요소가 무엇인지를 파악하고자 한다. 이를 토대로, 동 원고는 우리나라가 파리협정 제6.2조 차원의 양자협력 체계를 수립할 때 환경건전성 확보 고려 요소별로 취해야 하는 규칙 수립 방향성이 무엇인가를 연구질문으로 설정하고자 한다. 동 연구질문에 대한 분석을 위해 국제탄소시장의 기존 청정개발메커니즘(CDM, Clean Development Mechanism), 협력적 접근법의 사례로 논의되는 일본이 설립한 공동크레딧메커니즘(JCM, Joint Credit Mechanism), 스위스가 추진하는 ITMO 구매계약 제도, 그리고 파리협정 6.4조 메커니즘 제도를 분석대상으로 설정하였다. 이러한 제도들이 환경건전성 확보 고려요소 별로 어떠한 규칙들을 설정하였는 지 비교분석하고, 이를 토대로 우리나라의 전략적 제도 수립 방향을 도출하고자 한다.

동 원고는 다음과 같이 구성된다. 먼저 제2장에서 환경건전성에 대한 접근법과 개념을 파악한다. 그리고 환경건전성 확보에 영향을 주는 요인에 대한 기존 연구 문헌들을 살펴본다. 이를 토대로, 파리협정 제6.2조 협력적 접근 하에서 환경 건전성 확보를 위해 우리나라가 고려해야 하는 네 가지 측면과 해당 고려요소들을 도출한다. 네 가지 측면으로는 i) ITMO 생산, ii) ITMO 이전 측면의 상응조정, iii) ITMO 취소, 그리고 iv) ITMO 판매실적 수익금의 적응기금 기여이다. 이 중에서 ITMO 생산에 해당하는 고려항목으로는 추가성, 베이스라인 방법론, 전환 방법론, 영구성, 그리고 세이프가드 & 지속가능발전이 있다. 제3장에서는 앞서 도출된 네 가지 측면에 해당되는 고려요소들에 대해서, 먼저 각 고려 요소들의 의미가 무엇인지 기술하고, 각 고려요소에 해당하는 파리협정 제6.2조의 규칙에 대해 설명하고, 이어 기존 제도인 청정개발메커니즘(CDM), 일본의 공동크레딧메커니즘(JCM), 스위스의 ITMO 구매계약 제도, 그리고 가능하면 파리협정 6.4조 지속가능발전메커니즘이 어떻게 규칙을 수립하는 지 비교분석한다. 이를 토대로 우리나라가 환경건전성 확보 차원에서 반영해야 하는 규칙의 방향성을 도출한다. 그리고 제4장 결론에서는 분석 결과를 정리하고, 정책적 시사점을 개괄하며 마무리한다.

2. 환경건전성에 대한 기존 연구

2.1 환경건전성의 정의

환경건전성이란 무엇인가. 파리협정에서 환경건전성이란 용어가 세 차례 등장한다. 먼저 NDC에 기반한 온실가스 감축 및 흡수(제거) 산정에 관한 제4.13조, 그리고 국제탄소시장 형성의 근간이 되는 제6조에서 NDC 목표 달성을 위한 자발적 협력을 다루는 제6.1조와 협력적 접근을 다루는 제6.2조에서 등장한다 (PA 2015, Articles 4.13, 6.1, 6.2). 그리고, 환경건전성 용어가 함의된 표현이 제6.4(d)에서도 언급되는데 (Ibid., Article 6.4(d)), 이는 전지구적 전반적 감축(OMGE, overall mitigation in global emission) 달성에 관한 내용이다. 그러나, 파리협정 문안 내에서 환경건전성에 대한 구체적인 정의는 등장하지 않는다.

환경건전성에 대한 정의는 크게 두 가지 측면에서 접근될 수 있다. 하나는 감축결과물의 '생산'에 대한 환경건전성이고, 다른 하나는 감축결과물의 '이전'에 대한 환경건전성이다. 먼저, '생산(generation)' 측면의 환경건전성과 관련해, 구체적인 정의는 부재한다. 다만, 이는 감축결과물이 감축사업을 수행하지 않았을 때의 감축량과 비교했을 때 의미있는 감축(meaningful reduction)이 이루어졌는지를 보는 것이다. 즉, '감축사업' 레벨에서, 감축결과물 생산 과정에서 과다 크레디팅(overcrediting)을 방지하고 감축사업에 대한 왜곡된 유인(perverse incentive)이 발생하지 않을 때 환경건전성을 확보한다고 본다 (Schneider et al. 2012; de Sepibus 2009).[181] 이를 위해 강조되는 요소로는 감축 결과물의 실질성(real), 추가성(additional), 정량화(quantifiable), 영구성(permanent) 등이 있다. 그리고 이 요소들을 구현하기 위한 구체적인 산정규칙(accounting rules)으로 감축사업의 추가성, 베이스라인 방법론, 사업유형, 사업활동 모니터링 및 검증 등이 있다 (Kollmuss et al. 2008). 이 중에서 환경건전성 차원에서 핵심이 되는 규칙이 베이스라인 방법론과 추가성이다 (de Sepibus 2009). 따라서, 감축결과물의 '생산'에 대한 환경건전성을 확보하기 위해서는 감축사업이 이루어지는 해당 감축 메커니즘 자체에 초점을 맞추고, 사업 기획 및 이행 수준에서, 과다 크레디팅 또는 과다추정(overestimation)을 방지하고, 감축결과물의 품질을 통제하기 위한 규칙이 필요하다.

다음으로, 감축결과물의 '이전(transfer)' 측면의 환경건전성은 감축사업을 통해 생산된 감축결과물이 국제적으로 이전되는 과정에 초점을 둔다. '국가 간의' 국제이전 과정에서의 이중산정(double counting)을 방지하고, 국가 레벨에서의 감축목표 및 정책 설정에 있어서 왜곡된 유인을 방지함으로써 환경건전성을 확보하고자 한다. 환경건전성에 대한 두 가지 접근법은 다음의 <표 5-3>과 같이 정리될 수 있다.

181) 왜곡된 유인이 발생하는 예시로, CDM 사업의 베이스라인 설정시 해당 사업 유치국의 법/정책을 반영해서 설정하는 규칙을 들 수 있다. 사업 개발자 입장에서 크레딧이 많이 생산할 수 있는 감축사업을 선호하므로, 이러한 감축사업을 유치하기 위해 사업유치국이 기후친화적인 정책 및 법을 수립 및 이행하지 않는 왜곡된 유인이 발생할수 있다.

<표 5-3> 환경건전성 접근법

	접근법	정의
i)	**감축결과물 '생산'**	**- (목적)** 생산된 감축결과물이 의미있는 결과물인지 여부 체크 **· (의미있는 생산) 감축결과물은 실질적(real), 검증가능하고(verifiable), 추가적이며(additional), 영구적임(permanent)** **- (수준)** 사업/프로그램 레벨에서의 감축 활동에 있어서의 환경건전성 **- (규칙)** 추가성, 베이스라인 방법론, 사업 유형, 확인 등
ii)	**감축결과물 '(국제)이전'**	**- (목적)** 이전된 감축결과물이 의미있는 지 여부 체크 **· (의미있는 이전) 감축결과물 이전 전·후로 참여국의 배출량 총량 변화가 없음** **- (수준)** 감축결과물의 국가간 이전에 있어서의 환경 건전성 **- (규칙)** 이중산정 방지

Source: de Sepibus (2009), Kollmuss et al. (2008), Schneider et al. (2012), Schneider & Theuer (2019)를 토대로 동 연구진 정리

앞서 언급된 감축결과물의 국제적 '이전' 측면의 환경건전성에 대한 정의는 파리협정 제6조 협상 과정에서 더 복잡한 양상을 띄게 되었다. 이에 대한 정의는 크게 세 가지 유형으로 구분된다. 첫 번째는 정의는 당사국들이 감축결과물의 국제이전에 참여할 때의 국제적인 '총 실제 배출량'이 '총 (감축)목표' 수준을 초과하지 않으면 환경건전성이 확보된다는 것이다. 다음으로, 두 번째 정의는 당사국들이 감축결과물의 국제이전에 참여할 때, 총 전지구적 온실가스 배출량이 국제이전에 참여하지 않았을 때와 비교해서 '증가하지 않을' 때, 환경건전성이 확보된다는 것이다. 마지막으로, 세 번째 정의는 당사국들이 감축결과물의 국제이전에 참여할 때, 총 전지구적 온실가스 배출량이 국제이전에 참여하지 않았을 때와 비교해서 '감소'할 때, 환경건전성이 확보된다는 것이다 (Schneider & Theuer 2019, pp.388-389).

이 세 가지 정의는 전지구적 배출총량(global aggregate emission)과 NDC 상 더 높은 의욕수준(higher ambition)이라는 두 가지 관점에서 비교해보면 차이점을 보인다. 먼저, 첫 번째 정의의 환경건전성이 확보되는 경우, 전지구적 배출총량이 증가할 가능성이 있다. 그 이유는 당사국들이 감축결과물의 생산 활동보다는 감축결과물의 이전 활동에만 참여할 가능성이 있기 때문이다. 또한, 감축결과물 국제이전 시 NDC 감축목표 수준을 초과하지 않더라도, NDC 목표 범주에 포함되지 않은 온실가스에 대한 감축결과물 이전이 이루어지는 과정에서 전지구적 온실가스 총량이 증가할 수도 있다. 그리고, 높은 의욕수준 측면에서 볼 때, 동 정의 하에서는 배출총량이 NDC 목표수준과 일치하면 되기 때문에, 파리협정 제6조가 NDC 상의 감축목표보다 더 높은 의욕수준을 허용해야 한다는 접근법과 일치하지 않는다. 다음으로, 두 번째 정의는 전지구적 배출총량의 非순증(no net increase)을 의미한다. 그리고 이는 NDC 상의 높은 의욕수준을 허용하는 접근법과 배격되지 않는다. 그리고, 세 번째 정의는 전지구적 배출총량 측면에서 순감(net decrease)을 의미하며, 이를 위해서는 NDC 상의 높은 의욕수준을 허용하는 접근법과 관련된다 (Ibid., p.389). 따라서, 환경건전성에 대한 정의는 일원화된 것이 아니며, 정의 유형에 따라 전지구적 배출총량에 대한 통제와 NDC 높은 의욕수준 허용 접근법이 다르며, 더 나아가 관련된 제도·정책·규칙·지침 등이 달라질 수 있다. 이를 정리하면

다음의 <표 5-4>와 같다. 이를 통해, 파리협정 차원에서의 환경건전성은 상기 정의 중 두 번째 정의인 非순증에 해당된다고 볼 수 있다.

<표 5-4> 감축결과의 국제적 이전에 대한 환경건전성

	정의 유형	설명 및 특징
i)	**감축목표의 총량 달성**	– **(정의)** 당사국들이 감축결과물의 국제이전에 참여했을 때, 총 실제 배출량이 총 '(감축) 목표' 수준을 초과하지 않을 때, 환경건전성이 확보된다 · **(전지구적 배출총량) 증가 가능성** · **(더 높은 의욕수준) NDC의 더 높은 의욕수준 원칙과 상충 가능성**
ii)	**전지구적 배출총량 非순증**	– **(정의)** 당사국들이 감축결과물의 국제이전에 참여했을 때, 총 전지구적 온실가스 배출량이 국제이전에 참여하지 않았을 때와 비교해서 '증가하지 않을' 때, 환경건전성이 확보된다 · **(전지구적 배출총량)** 非순증(No net increase) · **(더 높은 의욕수준) NDC의 더 높은 의욕수준 원칙과 상충 없음**
iii)	**전지구적 배출총량 감소**	– **(정의)** 감축결과물의 국제이전에 참여했을 때, 전지구적 온실가스 배출량이 국제이전에 참여하지 않았을 때와 비교해서 '감소'할 때, 환경건전성이 확보된다 · **(전지구적 배출총량)** 순감소(Net decrease) · **(Higher ambition) NDC의 더 높은 의욕수준 원칙과 많은 관련성**

출처: Schneider & Theuer(2019)의 p.388을 토대로 동 연구진 정리

2.2 환경건전성에 영향을 주는 요인 연구

앞서, 환경건전성의 의미를 감축결과물의 '생산'과 '이전' 두 가지 접근법을 중심으로 살펴보았다. 다음으로는 환경건전성을 확보하는 데에 영향을 주는 요인이 무엇인지 파악하고, 이 요인 별로 환경건전성을 확보하기 위한 구체적인 대응 접근법 또는 규칙이 무엇인지에 대해 살펴볼 필요가 있다. 동 원고에서는 환경건전성에 영향을 주는 요인을 도출한 대표적인 4개 문헌을 중심으로 살펴보고자 한다.

먼저, 환경건전성 영향 요인에 대한 가장 포괄적인 연구로서, Schneider & Theuer (2019)는 영향요인을 크게 네 가지로 정리한다. 이는 i) 감축결과물의 국제이전을 위한 엄격한 산정(robust accounting), ii) 감축결과물 품질, iii) 감축결과물 이전국가의 감축목표 의욕과 범주, 그리고 iv) 미래 감축 행동에 대한 장려책(incentive)과 非유인(disincentive)을 설명한다. 각 요인별로 정리하면, 첫 번째는 국제이전에 대한 엄격한 산정 시스템과 절차이다. 엄격한 산정 시 고려해야 하는 구체적인 요소로는 이중산정(double counting)으로, 감축결과물의 이중 발행, 이중 권리요구, 이중 사용을 고려해야 한다. 또한, 감축 결과물의 '이전 시기'와 NDC 달성을 위한 '사용 시기'의 불일치, 감축 결과물의 산정 메트릭의 다양성으로 인해 tCO2-eq.로 전환의 문제, 그리고 감축 결과물의 영구성 확보를 위한 사항들이 고려되어야 한다. 두 번째 요인은 탄소시장 프로그램을 통해 생산되는 감축결과물의 품질이다. 즉 탄소시장에서 감축결과물이 CO2 환산 1톤(1tCO2-eq)으로 표현된다면 이는 감축결과물 이전국(사업유치국)에서

실제로 적어도 1tCO2-eq이 감축되어야 한다는 것을 의미한다. 따라서, 감축 결과물 품질을 통제하기 위해, 감축 결과물의 추가성(additionality)을 확보하고 과다추정을 방지하기 위한 규칙이 필요하다. 세 번째 요인은 감축결과물 이전국가의 감축목표의 의욕과 범주이다. 국가의 감축 의욕이 높게 설정될 경우, 당사국 특히 감축 결과물 이전국가는 자국의 감축결과물 확보를 위해 노력해야 하므로 협력을 통해 생산·이전되는 감축결과물의 품질에 보다 민감할 수 있다. 반면, 감축의욕이 높지 않은 국가일수록 감축결과물의 품질 통제에 소홀하며, 또한 감축결과물 이전을 통해 재정수입을 축적하기 위해서 감축 결과물이 보다 많이 생산될 수 있도록 품질관리에 소홀할 수 있다. 그리고 네 번째 요인은 미래 감축 행동에 대한 장려책과 의욕저하이다. 국제탄소시장에 참여하여 감축결과물을 이전하는 것은 감축행동의 비용효율성을 높이고 국가 감축목표를 보다 의욕적으로 상향할 수 있게 하는 인센티브로서 작용할 수 있기 때문이다. 그러나, 동시에 감축 결과물 이전을 통해 획득할 수 있는 이익을 축적하기 위해 i) 덜 의욕적인 국가 감축목표를 설정하거나, ii) 감축결과물을 생산·이전하기 위해 엄격한 국내감축정책을 도입 및 시행하지 않거나, 또는 iii) 온실가스 감축 목표에만 치중한 사업으로 사업이 기획·이행되는 非유인이 발생할 수도 있다.

다음으로, Michaelowa et al.(2019)는 환경건전성 확보의 핵심장치를 '추가성'으로 간주하고, 이와 관련된 '베이스라인(baseline)'에 주목한다. 추가성은 시장 메커니즘에서 허구적 감축 결과물(크레딧)이 생산되지 않도록 하는 것이 핵심이다. 즉, 생산되는 감축결과물이 실제 배출감축 노력을 반영 또는 대표해야 한다는 것이다. 만약 국가들이 감축목표를 달성하기 위해 허구적 크레딧을 사용한다면, 이는 전지구적으로 배출 감축이 아니라 배출 증가로 이어지며, 이것이 곧 환경건전성을 저해한다고 본다. 따라서, 파리협정 제6조 하의 시장 접근법에 기반한 환경건전성을 높이기 위해 두 가지 측면이 강조된다. 하나는 추가성 평가를 위한 지침·규정으로 기존에 CDM에서 활용된 추가성 평가 개념과 적용 방법론 등이 있다. 다른 하나는 베이스라인이다. 여기에서 베이스라인은 세 가지 레벨로 구분되는데, i) 사업 레벨에서 추가성 평가를 위한 참조 시나리오로서의 베이스라인, ii) 사업 레벨에서 크레딧 발생량을 계산하기 위한 크레디팅 베이스라인(또는 베이스라인 배출량), 그리고 iii) 국가 레벨에서의 국가결정기여(NDC) 상의 배출전망치로서의 베이스라인이다. 여기서 사업 레벨에서의 베이스라인에 대한 사항은 일반적인 내용이나, NDC 상의 베이스라인은 핫에어(hot air) 차원에서 중요하다. 핫에어는 국가 감축목표가 배출전망치(BAU business-as-usual)보다 덜 엄격하게 설정된 경우 발생한다. 만약, 감축사업 유치국의 국가 배출전망치가 실제 배출량보다 과다추정된다면, 그리고 실제 배출전망치보다 NDC 목표가 엄격하지 않다면, 이 국가가 이전하는 감축결과물은 추가성이 없으며, 종국에는 국제 환경건전성을 떨어뜨린다. 이에, NDC 상의 국가 의욕에 기반한 추가성 평가 프로세스가 별도로 필요할 수 있다는 주장이다.

그리고, Allen et al.(2021)는 환경 건전성 확보 차원에서 고려해야 할 세 가지 항목을 제시한다. 첫째는 핫에어(hot air)의 사용이다. 둘째는 추가성 부재에 대한 사항이다. 예를 들어, 추가성 규칙이 엄격하지 않은 경우, 실제 배출감축이 배출전망치(BAU)와 같은 수준으로 이루어질 경우 전반적인 완화로 이어지지 않게 된다. 셋째는 왜곡된 유인의 존재이다. 예를 들어, 교토메커니즘의 일환인 청정개발메커니즘(CDM) 하에서의 HFC23 파괴 사업의 경우, 온실가스 감축 목적이 아니라 크레딧 확보를 위한 유인책으로 사업이 진행되는 바, 유럽연합,

뉴질랜드, 그리고 다른 국가들의 경우 동 사업으로부터 생산된 감축 결과물을 배출권거래제도에서 금지하고 있다. 이는 오직 감축 결과물을 생산하기 위한 사업이 기획되고, 시스템적 전환이나 지속가능발전에 기여할 수 있거나 다른 공편익(co-benefits)을 갖춘 사업들이 기획되지 못하는 단점이 있을 수 있다는 주장이다.

마지막으로, Broekhoff and Spalding-Fecher(2021)은 앞서 Schneider & Theuer (2019)가 제시한 네 가지 환경건전성 영향 요소를 긍정하며, 이 중에서 두 번째 요소인 '감축 결과물의 품질 규제' 차원에서 고려해야 할 구체적인 사항들을 설정하고, 각기 세부지침을 마련하고 있다. 이러한 사항들에는 i) 추가성, ii) 배출 감축 수량화, iii) 엄격한 모니터링・확인(validation)・검증(verification), 크레딧 유효성 보장, 크레딧 발행 및 추적, 감축활동 검토 및 투명성이 있다. 그리고, 감축 결과물의 품질규제와 직접적인 관련성은 없으나 환경 및 사회적 영향에 대한 세이프가드 및 지속가능발전 요소를 고려해야 한다는 주장이다. 또한, 파리협정 규칙의 준수 여부 역시 환경건전성 확보에 영향을 주는 요소로 고려되는데, 이는 사업유치국의 감축과 전지구적 감축을 고려하는 지의 여부와 관련된다.

동 네 가지 문헌들에서 언급된 환경건전성 영향 요인별로 고려해야 할 사항들을 종합적으로 정리해 보면 다음과 같다 (<표 5-5> 참조).[182] 첫째, '엄격한 산정' 시스템과 규칙 수립을 고려해야 한다. 이에 포함되는 세부 요인들을 보면, 이중산정 방지 차원에서 감축 메커니즘 내에서 이중발행 방지를 위한 거버넌스 시스템이 필요하고, 무엇보다 국가간 이중 권리요구 및 이중사용 방지를 위해 상응조정(corresponding adjustment) 체계가 필요하다. 물론, 상응조정 내에서도 NDC 목표가 단일목표인지 아니면 다년도 목표인지, 단일목표의 경우 경로방식 상응조정인지 아니면 평균방식 상응조정인지에 따라서도 환경건전성이 달라진다는 점을 고려해야 한다 (Siemons and Schneider 2022). 또한, 감축결과물의 이전 시기와 사용 시기의 불일치를 해결하기 위해 일차적으로는 상응조정이 필요하고, 더 나아가서는 국가들이 NDC 다양성을 줄이고 공통의 경제전반의 다년도 감축목표로 일원화해 나갈 필요가 있다. 그리고, NDC 감축 목표의 다양한 메트릭을 해결하기 위해 전환(conversion) 방법론이 필요하다. 마지막으로 감축 결과물의 영구성을 담보하기 위한 규칙 및 절차가 필요하다.

둘째, '감축결과물의 품질 규제'를 위해서는 크게 추가성 규칙과 과다추정 방지 규칙이 필요하다. 추가성 규칙에는 베이스라인 방법론 규칙이 포함된다. 그리고 과다추정을 방지하기 위해서는 배출 감축 수량화, 모니터링・확인・검증, 크레딧 유효성 보장, 크레딧 발행 및 추적, 그리고 감축활동 검토 및 투명성과 관련된 세부 규칙이 필요하다. 한편, 파리협정 제6.2조 협력적 접근 참여 자격 조건으로 당사국들이 엄격한 산정 시스템을 갖추고 있다는 것을 설정할 수도 있다.

셋째, '국가 감축목표의 의욕수준'과 관련된 규칙이다. 감축결과물 이전국가의 감축목표의 의욕 수준이 높을수록 감축 결과물의 품질이 높고, 의욕 수준이 낮을수록 감축결과물의 과다추정으로 이어질 가능성이 높다. 이를 차단하기 위해서는 기본적으로 감축 결과물의 품질관리가 필요하며, 엄격한 과다추정 방지 규칙이 필요하다. 한편, NDC 감축목표의 의욕이 높지 않은 국가에 대해서 감축 결과물의 이전을 제한하는 지침을 준비할 수도 있다

182) 기존 문헌의 내용들을 종합적으로 정리하였으며, 다만 Schneider & Theuer (2019)가 제시한 4가지 측면에서 구분하여 정리하였다.

(Schneider & Theuer 2019). 또는, 국가 NDC에 대해 가능한 가장 높은 의욕 수준을 확보하기 위해, 국가 배출전망치(BAU)에 대한 외부 독립평가를 고려할 수도 있다. 물론, 이는 파리협정의 NDC 목표 설정 시 적용되는 국가주도성(nationally determinedness) 원칙에 위배되므로, 당사국들이 NDC 목표에 대한 외부 독립평가를 수용하기를 기대하기는 어렵다 (Michaelowa et al. 2019, p.1215).

넷째, 파리협정 제6조 기반 시장 접근법의 활용이 의욕 상향의 '장려책'이 될 뿐만 아니라 '비유인'이 될 수도 있다. 이를 해결하는 직접적인 방식은 협력적 접근을 위한 협력 대상국 결정 시에 경제전반의 다년도 목표 NDC를 설정한 국가와만 협력을 하는 것이다. 물론 이는 협력 당사국들 모두에게 부담이 될 수 있다. 한편, 파리협정 차원에서, 당사국의 협력적 접근 참여 조건으로 경제전반의 다년도 목표 NDC로 설정 또는 전환을 조건으로 설정하는 것이다. 한편, 간접적인 방식으로는 파리협정 제13조 기반 투명성 체계 하의 측정·보고·검증 절차와 제14조 기반 전지구적 이행점검을 활용하여 당사국들의 NDC 의욕을 상향하고 비유인 행동을 방지할 수도 있다. 그리고 비유인 요인 중에서도 온실가스 감축만을 위한 사업 개발을 보완하기 위해, 환경 및 사회적 세이프가드 규칙을 설정하고, 지속가능발전에 기여하는 지의 여부를 평가하는 규칙을 별도로 삽입할 수 있다.

<표 5-5> 파리협정 하에서 환경 건전성 관련 요인 및 요건

	요인	요구되는 규칙
i)	**엄격한 산정**	**엄격한 산정 시스템 및 규칙 수립**
	- ①이중산정(double counting) 방지 *이중 발행, 이중 요청, 이중 사용	①상응조정
	- ②타임프레임(Timeframe) * 감축 결과물의 이전과 사용 시점 사이의 비일치성	②NDC 조화* & 상응 조정
	- ③다른 메트릭(Different metrics)	③전환 방법론
	- ④일시적인 감축 결과물(Temporary mitigation outcomes)	-④ 영구성을 보장하는 규칙
ii)	**탄소시장 프로그램으로부터 감축 결과물 품질**	**엄격한 규칙** ① 추가성 (베이스라인 방법론), ②과다추정 방지**
iii)	**감축 목표의 의욕과 범주**	
	-①의욕적인 감축 목표를 가진 국가들이 크레디팅 메커니즘(crediting mechanism)으로 감축결과물 품질 확보를 위해 노력	감축결과물에 대한 엄격한 품질 관리 (과다추정 방지)
	-②덜 의욕적인 감축 목표를 가진 국가들이 온실가스 배출 감축분의 과다추정으로부터 더 많은 재정적 수익을 창출하려고 노력	
iv)	**장려책(incentive)과 非유인(disincentive)**	
	-①제6조 시장 접근법을 활용하여 더 높은 의욕(감축목표)을 설정하려는 인센티브	**파리협정 제6조 참여를 위한 경제 전반에 대한 NDC 목표 설정**
	-②非유인: a) 덜 의욕적인 NDC 목표 채택, b) 엄격한 감축정	

	책의 非채택, c) 감축 중심의 사업만을 개발 (지속가능발전 등에 대한 非고려)	**세이프가드 및 지속가능발전 평가**

출처: 동 섹션에서 언급된 문헌들을 토대로 저자 정리

* 참고: NDC 조화(NDC harmonization)는 국가들이 자국의 NDC를 경제전반(economy-wide) 다년도 목표 경로(multi-year target trajectories)로 전환함으로써 NDC의 다양성이 줄어드는 것을 의미한다.

** 참고: 과다추정을 방지하기 위한 요건으로는 배출감축의 정량화, 모니터링·검증·보고 요건, 크레딧 유효성을 보장하는 규칙(예시: 영구성), 크레딧 발행 및 트랙킹, 검토 및 투명성 등이 있다.

2.3 환경건전성에 영향을 주는 요인 연구

기존 문헌 검토를 통해, 환경건전성 확보와 관련된 접근법・개념・영향요인・고려항목이 무엇인지 파악하였다. 이를 토대로, 파리협정 제6.2조에 근거하여 개별 제도 수립에 있어서 환경건전성 확보를 위한 규칙에 대해서, 국제적으로 이전가능한 감축결과물(ITMO)의 생산과 이전 측면에서 다시 정리하고자 한다 (<표 5-6> 참조).

먼저, ‘ITMO의 생산’ 측면의 환경건전성을 확보하기 위해서는 세 가지 사항을 고려해야 한다. 첫째, 생산된 감축결과물이 의미있는 결과물이어야 한다. 이를 위해서는 감축결과물이 실질적이고, 검증가능하고, 추가적이며, 영구적이어야 한다는 조건이 필요하다. 동 조건을 만족시키기 위한 엄격한 산정규칙으로는 추가성, 베이스라인 방법론, 확인 및 검증 절차, 그리고 발행에 대한 규칙 및 절차가 필요하다. 둘째, 파리협정에서 각 당사국이 자발적으로 설정한 NDC 상의 감축목표가 NDC의 목표 유형, 타임프레임(기간), ITMO 메트릭, 커버되는 감축활동 분야 측면에서 다양하기 때문에, 환경건전성 확보를 위해서는 ITMO 메트릭 전환 방법론과 ITMO의 영구성을 확보하기 위한 산정규칙이 필요하다. 이러한 산정규칙 뿐만 아니라, 각 국가의 NDC 설정 조건을 확인 또는 체크하는 과정이 필요하다. BAU에 기반한 목표 설정을 하는 대부분의 개도국의 경우, BAU를 과다 추정해서는 안 되며, 정확한 BAU 추정에 기반해 엄격한 목표 설정이 이루어져야 한다. 또한, 다양한 NDC 간의 조화를 이루기 위해 개도국들이 선진들의 NDC 목표 수립 방식 및 유형을 채택하는 노력이 필요하다. 셋째, 환경・경제・사회적으로 부정적인 영향을 방지하는 세이프가드와 지속가능발전에 대한 기여는 환경건전성과 간접적으로 연계된 항목인 바, 파리협정 협력적 접근에 대한 자체적 제도 설계 시 이를 반영하는 것이 필요하다.

다음으로는 ‘ITMO의 이전’ 측면의 환경건전성을 확보하기 위해서는 ITMO의 이전이 의미가 있어야 하는데, 이는 감축결과물 국제적인 이전 전・후로 참여국의 배출량 총량 변화가 없어야 함을 뜻한다. 이를 위해서는 이중산정을 방지하는 엄격한 산정규칙이 필요한데, 파리협정 6.2조 차원에서 설정된 규칙이 바로 상응조정이다. 상응조정 차원에서 중요한 규칙으로는 상응조정 방법론, 대표성(representativeness), 그리고 일관성(consistency)이다. 역시, 파리협정에서 각 당사국이 자발적으로 설정한 감축목표가 다양하기 때문에, 환경건전성 확보를 위해서는 두 가지 측면을 고려해야 한다. 첫째, ITMO 국제적 이전에 참여하는 국가들 간의 상응조정 차원에서 각 국가의 NDC 설정에 대한 조건이 확인되어야 한다. 먼저, 단일연도 NDC 목표를 설정하는 국가가 선택할 수 있는 상응조정 방식은 평균방식과 경로방식 두 가지가

있다. 평균방식은 ITMO 이전 과정에서 환경건전성 확보가 어려울 수 있다. 한편, 경로방식을 선택하는 경우 예시적인 NDC 경로 및 배출허용총량에 대해서 명확하고 엄격하게 설정해야만 환경건전성 확보가 가능한 바, 이에 대한 규칙 수립 및 이행이 필요하다. 둘째, 엄격한 BAU 추정 및 NDC 목표 설정이 필요하다. 또한, 환경건전성 확보를 위해서 국가들이 경제전반의 다년도 목표 NDC로 점차적으로 전환하여 조화를 이루는 것이 필요하다.

<표 5-6> 파리협정 제6.2조를 위한 환경건전성 확보 방안

ITMO 생산 측면의 환경건전성		ITMO 이전 측면의 환경건전성	
국가 NDC 체크	엄격한 산정규칙	엄격한 산정 규칙	국가 NDC 체크
- **(국가 목표 의욕)** 엄격한 목표 설정 - **(국가 BAU)** 과다추정 방지	- **추가성** - **베이스라인 방법론** - 확인 및 검증 - 발행	- **상응조정** · 상응조정 방식 선택 · ITMO의 NDC 이행 기간에 걸친 대표성 · 상응조정 방식 선택의 일관성 · 상응조정 이행·보고	- **(상응조정 경로방식)** 단일목표 NDC에 대한 예시적 경로 또는 예산을 설정하는 방법론/규칙 준수 - **(국가 목표 및 BAU 엄격한 설정)**
- **(NDC 조화)** 경제 전반의 다년도 목표, 유형, 타임프레임, 메트릭, 섹터 범주 등의 일원화/조정	- **메트릭 전환** 방법 - **영구성**		- **(NDC 전환 고려)** 경제 전반의 다년도 목표 NDC로 전환을 통해 국제적 NDC 조화 도모
	- 세이프가드 - 지속가능발전		
감축결과물이 실질성, 실증가능성, 추가성, 영구성을 갖는다.		총 전지구적 온실가스 배출량이 감축결과물의 국제이전이 발생하지 않았을 때와 비교해서 '증가하지 않을' 때, 환경건전성이 확보된다	
환경건전성		**환경건전성**	

Source: 동 섹션에서 언급된 문헌들을 토대로 저자 작성

현재, 우리나라는 파리협정 제6.2조에 따라 협력적 접근 차원에서 자체적으로 '양자협력체계'를 수립하고, 이를 통해 국제감축사업을 수행하고자 준비하고 있다. 이에, 제도수립 과정에서, 환경건전성 원칙의 적용 수준에 대해서 우리나라 입장을 수립할 필요가 있다. 이에 동 원고에서는 협력적 접근을 위한 자체적인 제도수립 과정에서 논의되는 제도 구성요소에 대해서, 환경건전성 확보 측면에서 우리나라가 취해야 하는 입장이 무엇인지 고찰해 보고자 한다. 이를 위해, 상기 <Table 4>를 토대로, 쟁점이 되는 제도 구성요소로 우선 i) 'ITMO 생산' 측면의 해당되는 추가성, 베이스라인 방법론, 전환 방법론, 영구성, 그리고 세이프가드

& 지속가능발전을 고려 요소들로 설정하고, 다음으로 ii) ‘ITMO 이전’ 측면의 상응조정을 고려요소로 설정하고자 한다. 이에 덧붙여, ‘ITMO 취소’ 측면에서 전지구적 전반적 감축 달성을 위한 공제와 ‘ITMO 판매실적의 수익금 기여’ 측면에서 적응기금에 기여가 환경건전성 측면에서 고려어야 한다는 주장이 있는 바, 이들 역시 고려요소로 설정하고자 한다.[183] 이 네 가지 측면 및 해당 요소들을 중심으로, 파리협정 제6조의 세부이행규칙이 어떻게 설정되었는 지 우선적으로 살펴본다. 이후, 기존의 교토의정서 하에서 설립된 CDM과 협력적 접근의 대표적 예시로 일컬어지는 일본의 JCM에서 어떻게 제도 규칙을 설정하고 있는 지 살펴보고자 한다. 일본의 JCM에서 해당 내용을 다루고 있지 않은 경우, 협력적 접근의 또 다른 예시인 스위스의 ITMO 구매제도를 참고하고자 한다. 덧붙여, 파리협정 6.4조 지속가능발전메커니즘의 규칙 역시 참고될 예정이다. 이러한 제도별 규칙들을 비교 분석하고, 이를 토대로 우리나라의 전략적 방향을 도출해 보고자 한다.

3. 분석

3.1 ITMO 생산

3.1.1 추가성

감축결과물의 품질관리에서 가장 핵심이 되는 내용이 다름아닌 추가성과 베이스라인 방법론이다. 먼저 ‘추가성’과 관련된 파리협정 제6.2조 세부이행규칙을 살펴보면, ITMO가 “실질적이고, 검증가능하며, 추가적이어야 한다(real, verified, and additional)”는 규칙이 설정되어 있다 (UNFCCC 2021a, Annex para 1(a)). 또한, 감축결과물 품질규제 방식에는 보수적인 참고수준(reference level)과 보수적이면서 배출전망치(BAU, busines as usual) 이하로 설정된 베이스라인을 포함한다. 이 때 감축 사업 유치국의 기존 정책들을 고려하고 감축결과물 수량화 및 잠재적 누출의 불확실성을 해결하는 것 역시 포함된다 (Ibid., para 18(h)(ii)). 이는 추가성 측면에서 보수적인 접근이 필요하다는 점이 핵심이다.

환경건전성 확보를 위한 ‘추가성’ 규칙은 크게 세 가지 측면에서 접근할 수 있는데, i) 추가성에 대한 별도의 정의가 있는지, ii) 추가성이 있다고 판단되는 활동 리스트를 별도로 설정하는 지, 그리고 iii) 추가성 평가 지침이 존재하는 지의 여부다 (Broekhoff and Spalding-Fecher, 2021). 이 세 가지 규칙을 중심으로 기존 제도들의 설계현황을 살펴보면, 먼저 CDM의 경우, 추가성에 대한 별도의 명확한 ‘정의’는 없다. 또한, 추가성이 있다고 판단되는 ‘활동 리스트(positive list of activities)’를 도출하고 있지 않다. 대신 추가성 평가를 위한 ‘기준・지침・툴’은 존재한다. 한편, 일본의 공동크레딧메커니즘(JCM)의 경우, 추가성에 대한 정의, 활동 리스트, 기준・지침・툴 모두 존재하지 않는다 (Ibid.).[184]

183) 엄밀히 말하면, ‘ITMO 취소’와 ‘ITMO 판매실적의 수익금 기여’는 환경건전성 개념에서 출발한 측면들은 아니다. 그런데, 이 두 가지 측면에 대해 현재 우리나라 환경부 및 산업부에서 우리나라 양자협력 체계에 대한 제도 수립을 준비하는 과정에서 ‘환경건전성 개념’이 적용될 필요가 있는 항목인지에 대해 고찰하고 있다. 이에 동 원고에서는 이러한 국내 논의현황을 고려하여 두 가지 사항을 덧붙여 고찰하고자 한다.

CDM이 마련한 추가성 기준·지침·툴을 좀 더 구체적으로 살펴보면 이는 기본적으로 투자평가(investment testing)이다. 동 접근법은 사업별로 적용해야 하므로 노력과 비용이 많이 든다는 단점뿐만 아니라 평가에 활용되는 가정들이 다양하므로 실제 추가성을 평가하는 데에 적절한가에 대한 비판이 있다. 이에, 이를 대체할 수 있는 평가방법으로 성과 벤치마크(performance benchmark)와 표준화된 접근법(standardized approaches)이 있다. 성과 벤치마크는 유사한 섹터의 감축활동에 대한 추가성 평가에 활용될 수 있으므로 노력과 비용을 줄인다는 장점이 있으나, 반대로 유사한 섹터 활동에만 적용된다는 제한이 존재한다. 한편 표준화 접근법은 특정 사업 유형 리스트를 도출하고, 동 리스트에 포함만 되면 자동적으로 추가성이 보장된다는 접근법이다. 이 접근법은 의무적 탄소시장이 아닌 자발적 탄소시장에서만 활용되고 있다 (Michaelowa et al. 2019). 추가성 평가 대상이 사업이나 프로그램인 경우에는 상기 추가성 평가 방법론이 활용될 수 있으나 평가 대상이 정책수단인 경우, 별도의 자체적인 추가성 평가 방법론이 필요할 수 있다 (Ibid.).[185] 이의 내용을 정리하면 다음의 <표 5-7>와 같다.

한편, 파리협정 제6.4조에서는 국제감축사업의 사업계획성에 추가성 입증을 요구하고 있다. 특히, 추가성 입증 시, 관련 국가 법·정책을 고려하고, 해당 국가의 법 또는 규제 하에서 요구된 감축을 넘어서는 감축노력임을 보여야 하고, 배출, 기술, 그리고 탄소집약적 행동의 고착화(lock-in)를 회피하는 보수적 접근법을 취해야 한다는 규칙이 설정되어 있다. (UNFCCC 2021b, Annex paras 32(b) and 38). 다만 최빈개도국 및 군소도서개도국에서는 추가성 입증을 간소화할 수 있도록 하고 있다 (Ibid., Annex para 39). 이는 제6.4조 기반 지속가능발전 메커니즘의 추가성 규칙이 상당히 엄격함을 보여주고 있다. 다만, 6.4조 메커니즘의 규칙은 감독기구(Supervisory Body)에 의해 향후 더욱 구체화될 것으로 예상되는 바, 추가성 규칙의 향방은 좀 더 지켜보아야 할 것으로 보인다.

따라서, 이를 토대로 우리나라의 전략적 방향을 고찰해 보면, 첫째, 환경건전성이 강조되고 있기 때문에, 일본 JCM처럼 '추가성'에 대한 아무런 지침(정의, 추가성 활동 리스트, 추가성 평가 지침)이 없는 것은 바람직하지 않다. 그러나, 추가성 규칙이 부담이 될 수 있기 때문에, 최소한의 지침을 마련한다는 차원에서, 우리나라 양자협력 체계 지침에 추가성이 중요성과 그 의미 또는 정의를 원론적으로 서술하는 전략이 필요하다. 둘째, 추가성이 있을 것으로 예상되는 활동 리스트를 도출하는 것과 관련해서, 우리나라 기후기술 기반으로 빈번하게 기획될 것으로 예상되는 감축활동을 중심으로 도출하는 것은 크게 무리가 되지는 않을 것으로 보인다. 셋째, 개별 사업별로 추가성 평가를 실제 실시할 지의 여부에 대해서는 좀 더 고려할 필요가 있다. 만약, 추가성을 실제 실시한다면, 앞서 언급된 대안적인 평가 방법론으로 벤치마크와 표준화된 접근법 등을 고려할 수 있다.

184) 해당 문헌의 p.641의 표3a에 포함된 내용을 토대로 작성하였다.

185) 정책 수단을 중심으로 감축활동이 이루어지는 경우, 추가성 평가는 규제 정책의 경우 투자액 회수기간 한계값(payback period threshold), 그리고 탄소가격 정책의 경우 가격 한계값 시스템(price-threshold systme)이 제안된다. 직접 재정지원의 경우 추가성 평가를 위한 특정 지표를 설정하기가 쉽지 않으며, 내재된 탄소가격을 계산하고 적절한 한계값을 적용하는 접근이 필요하다고 언급된다 (Michaelowa et al. 2019, pp.1219-1221).

<표 5-7> 추가성 규칙 비교

추가성 규칙	CDM	JCM
정의	X	X
추가성 평가 면제 활동 리스트	X	X
규칙·지침·체계	O (주로 투자 평가)	X

출처: Broekhoff and Spalding-Fecher(2021)를 토대로 저자 정리

3.1.2 베이스라인 방법론

다음은 '베이스라인 방법론'이다. 베이스라인이란 온실가스 감축 사업이 부재할 경우의 배출량에 대한 기준 시나리오이다 (PMR, 2013). 감축사업 부재 시 배출 예측값이 있어야만 감축사업을 통한 이산화탄소 배출량 및 흡수량을 측정하여 배출권을 확보량을 결정할 수 있다 (Re et al., 2019, p.9). 따라서, 어떠한 베이스라인 방법론을 적용하는가는 향후 베이스라인 설정에 소요되는 비용 그리고 향후 발행되는 배출권 양을 결정한다는 점에서 매우 중요한 역할을 한다. 현재 논의되는 베이스라인 방법론은 크게 두 가지 접근법으로 구분된다. 먼저 개별 감축사업 별로 데이터를 적용하는 '개별 방법론'으로서, 과거배출량(historical emission) 베이스라인 방법론과 기준전망치(BAU, Business-as-usual) 베이스라인 방법론이 있다. 이 방법론은 개별 사업별로 접근하기 때문에, 객관적 수치에 근거해 정확도가 높고 측정이 간편하다는 장점이 있다. 그러나, i) 개별 사업별로 배출인자를 모니터링하는 작업으로 인해 고비용이 발생하고, ii) 모델링 수행 전문가에 따라 가정·대상·방법론이 결정되기 때문에 결과값에 대한 신뢰도가 낮고, 베이스라인 산정이 용이한 방법론이 있는 감축사업에만 사업 등록이 집중된다는 단점이 존재한다. 한편, 유사한 여러 사업에 대해서 표준값을 적용하는 '표준 방법론'이 있다. 여기에는 최적가용기술(BAT, best available technology) 베이스라인 방법론과 상위 n% 평균을 기반으로 한 벤치마크(Benchmark) 베이스라인 방법론이 있다. 동 방법론은 i) 표준값을 활용해 유사한 감축사업에 적용하기 때문에 검증이 용이하여 비용이 적게 든다는 장점이 있고, ii) 측정자에 상관없는 결과값이 도출되므로 결과값에 대한 신뢰성이 높으며, iii) 보통 BAT나 벤치마크 베이스라인 방법론의 기준치가 높기 때문에 엄격성이 있고, iv) 사업 투자자 입장에서의 방법론 적용의 용이성이 있다는 장점이 있다. 또한, BAT 방법론의 경우, 사업장이 최신기술을 활용하고 기술혁신을 도모하도록 유도한다는 장점이 있다. 대신, 이러한 표준화 방법론은 i) 제도 운영주체(정부 등) 입장에서 동 방법론 설정 자체에 필요한 표준 데이터를 수집 및 갱신하는 데 큰 비용 소요된다는 점, 그리고 ii) BAT 방법론의 개념·범위·설정이 국가 및 지역마다 다르고 모호하여 국제적 합의없이 단일값 적용이 어렵다는 단점이 존재한다 (Kang and Oh, 2022, pp.53-54).

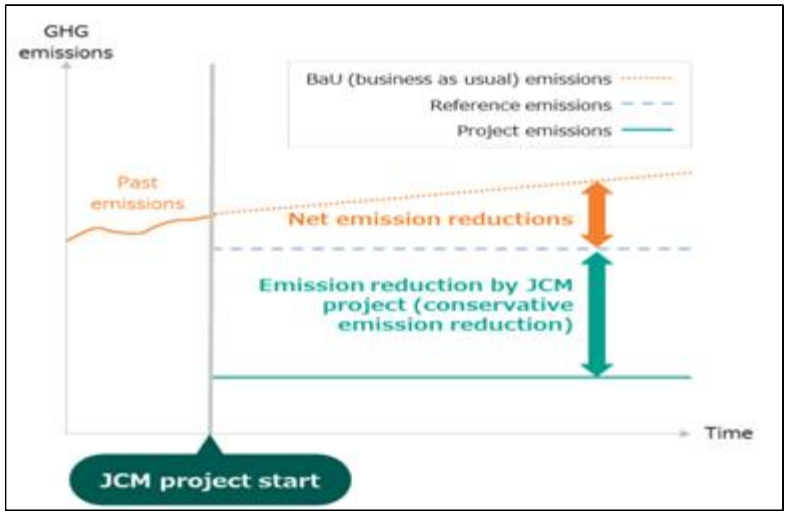
파리협정 제6.2조 세부이행규칙에 따르면, 감축 결과물의 품질규제 방식에는 보수적인 참고 수준(reference level)과 보수적으로 그리고 배출전망치(BAU) 이하로 설정된 베이스라인을 포함한다. 이 때 기존의 정책들을 고려하고 또한 감축결과물 수량화 및 잠재적 누출의

불확실성을 해결하는 것 역시 포함된다 (Ibid., para 18(h)(ii)). 이를 통해, 앞서 언급된 네 가지 베이스라인 방법론들 중에서 BAU 베이스라인 방법론이 허용되지 않음을 알 수 있다.

베이스라인 방법론 적용 현황을 살펴보면, 먼저, CDM의 베이스라인 방법론의 경우, 2001년 마라케시 합의문에 기반하여 설정된 CDM 사업 베이스라인 방법론으로는, i) 기존의 실제 혹은 역사적 배출량, ii) 투자 장애요인의 고려 하에, 경제성이 있는 기술 적용 시 배출량, iii) 과거 5년간 유사 사회・경제・환경・기술적 상황 하에 수행된 사업 배출량 중 상위 평균 20%의 배출량 베이스라인을 제시하고 있다 (UNFCCC, 2001a, Annex para 48). 즉, CDM 사업의 경우, 과거배출량, BAU, BAT, 그리고 성과기준 베이스라인 방법론이 모두 적용 가능하였다. 그러나 실제로는 개별 사업 단위의 실측 데이터를 활용한 과거배출량 또는 BAU 베이스라인 방법론이 일반적으로 적용되어왔다 (Ahonen et al., 2021, p.5; Kang and Oh 2022, p.62). 물론, 과거배출량 및 BAU 방법론을 보완하기 위해, 특정 개도국과 특정 지역의 특정 기한 내 특정 배출활동에 적용할 수 있는 '승인된 표준화 베이스라인' 방법론을 개발 및 적용하려는 노력이 있었으나, 실제 활용수준은 미미하였다 (UDP, 2021; Kang and Oh, 2022, p.63).[186]

다음으로, 일본 JCM의 경우, BAT 베이스라인 방법론과 벤치마크 베이스라인 방법론이 주요하게 언급된다.[187] 다만, 최고의사결정주체인 공동위원회(Joint Committee)의 승인을 전제로 한 '여타 방법론' 사용 가능성이 열려있다 (Michaeloa et al., 2021, p.32). 즉, 여타 방법론의 허용 문안을 근거로, 역사적 배출량 베이스라인 방법론의 활용 가능성이 열려 있다. JCM에서는 BAU 베이스라인 방법론이 배제되어 있다. 실제 감축량 계산 방식을 보면, 먼저, 감축사업이 진행되지 않았을 경우 예상되는 BAU 배출량값과 참조기준 값을 별도로 계산한다. 감축량은 BAU가 아닌 참조기준량에서 감축 사업 배출량을 차감한 값으로 계산한다. 여기서 일본이 가져가는 감축량은 참조기준 배출량에서 사업배출량을 차감한 값이고, 나머지 감축량인 BAU에서 참조기준 배출량 차감분은 사업유치국(개도국)의 감축결과물으로 인정하는 방식으로 진행한다. 이는 다음의 [그림 5-3]을 참고할 수 있다. 이에, 참조기준이 엄격하게 낮게 설정될수록, 개도국에 유리하다. 이러한 방식으로 일본은 JCM이 전지구적 감축에 기여한다고 주장하고 있다. 한편, 제6.4조 지속가능발전메커니즘의 경우, i) BAT 방법론, ii) 성과 벤치마크 방법론, 역사적 배출량 방법론이 허용된다 (UNFCCC, 2021b, Annex para 36). 이러한 베이스라인 방법론 적용 현황을 비교한 내용이 <표 5-8>과 같이 정리될 수 있다.

186) 특정 배출활동에는 발전, 쌀 경작, 목탄 생산, 쿡스토브, 건물 주거, 폐수처리 활동 등이 있다 (Kang and Oh, 2022, p.62).
187) 해당되는 문헌에서 JCM이 활용하는 BAT 방법론, 성과기반 방법론, 벤치마크 방법론이 설명된다. 이때 감축량 계산은 환경정보(온실가스 감축량 포함) 검증에 대한 국제표준 ISO 14065를 따라 계산한다.



[그림 5-3] JCM의 배출량 감축량 계산

출처: MOEJ(2021)의 p.8의 그림 2.2를 활용

이를 토대로 고려할 수 있는 우리나라의 전략적 방향으로는, 첫째, 베이스라인 방법론 설정에 대한 일반 원칙인 '보수성' 및 'BAU 대비 낮게 설정된 베이스라인'에 대한 사항을 우리나라 지침에 명시하고 적용할 필요가 있다. 둘째, 우리나라는 현재까지 해외감축 사업 시 과거배출량과 BAU 베이스라인 방법론을 활용했다. 그러나, 국제적 추세가 벤치마크 및 BAT 베이스라인 방법론을 적용하는 것이다. 따라서, 일차적으로는 우리나라 양자협력 체계 설계시에도 BAU 베이스라인 방법론을 제외하는 것이 필요하다. 다음으로 역사적 배출량 베이스라인 방법론, 벤치마크 베이스라인 방법론, 그리고 BAT 베이스라인 방법론을 허용할 수 있다. 다만, 최근 국제협상에서 유럽 및 선진국들이 중심이 되어 성과기반 접근법인 BAT 및 벤치마크 베이스라인 방법론이 향후 감축사업에 있어서도 우세한 방법론을 자리 잡을 것을 고려할 필요가 있다. 그런데, BAT 방법론의 경우에는, 현재 우리나라가 자체적인 BAT 베이스라인 방법론에 대한 리스트를 보유하고 있지 않다. 추후 국제적으로 또는 국가 차원에서 개발되는 BAT 방법론과 이의 리스트 작성 추세를 참고하면서 수용하는 것이 필요하다. 따라서, 앞서 언급된 3가지 베이스라인 방법론을 허용하고, 핵심 베이스라인 방법론으로는 벤치마크 방법론과 역사적 배출량 방법론을 명시하고, JCM의 최고의사결정주체인 공동위원회의 승인이 있을 경우 여타 방법론을 활용할 수 있다고 유연하게 접근할 수 있다. 셋째, 베이스라인 방법론 승인·검토·갱신 절차를 양자협력 체계 지침에 포함할 필요가 있다. 특히 방법론 승인 과정에서는 전문가 검토, 공공 이해관계자 의견, 집행기관 검토 과정을 고려할 필요가 있다.

<표 5-8> 베이스라인 방법론 규칙 비교

베이스라인 방법론	CDM	JCM	6.4 Mechanism
역사적 배출량 방법론	허용 및 대부분 사용	허용	허용
기준전망치(BAU) 방법론	허용 및 대부분 사용	-	-
최적가용기술(BAT) 방법론	허용	허용 및 대부분 사용	허용
성과 기관 방법론 (벤치마크)	허용	허용 및 대부분 사용	허용

출처: Broekhoff and Spalding-Fecher(2021)를 토대로 저자 정리

3.1.3 전환 방법론

다음은 감축결과물 메트릭에 대한 '전환 방법론'이다. 감축결과물은 완화 목표의 달성하기 위한 노력에 의해서 생산된다. 이 완화 목표는 크게 세 가지 유형으로 구분되는데, 유형 I(온실가스 목표), 유형 II(非온실가스 목표 또는 온실가스 배출에 단기적인 영향을 미치는 조치), 그리고 유형 III(장기적 저탄소 경제로의 전환)이 있다 (Hood et al. 2014, p.12; Prag et al., 2013). 각 목표 유형마다 활용되는 감축결과물의 메트릭이 다른데, 유형 III 메트릭의 경우, 유형 I 및 유형 II 메트릭을 보완하며, 별도로 측정되지는 않는다 (IEA 2014, p.39). 따라서, 감축노력의 전환 방법론은 크게 유형 I과 유형 II 두 가지 측면에서 접근할 수 있다.

파리협정 하에서 환경건전성과 관련된 전환방법론에 대한 논의는 크게 두 가지로 구분된다. 하나는 유형 II의 '非온실가스 메트릭(non-GHG metric)'을 tCO2-eq로 전환하는 것이다. 이는 일부 당사국들이 자국의 NDC 목표를 온실가스 메트릭이 아닌, 에너지 집약도, 저탄소 전력 생성 용량 비율, 화석 연료 보조금 수준 등과 같은 에너지 생산 및 소비 전반에 걸친 단위로 설정하고, 감축사업 결과물 역시 非온실가스 메트릭으로 설정하는 바 (IEA 2014, p38.), 이를 tCO2-eq로 전환하는 방법론이 필요하게 된 것이다. 非온실가스 메트릭의 구체적인 예시는 다음의 <표 5-9>를 참조할 수 있다. 다른 하나는 유형 I과 관련하여 '非이산화탄소 메트릭(non-CO2 metric)'을 tCO2-eq로 전환하는 것이다. 이는 감축 사업시 이산화탄소가 아닌 온실가스 감축사업 감축결과물을 tCO2-eq로 전환하는 것이다. 환경건전성 차원에서는 이 두 가지 방법론 모두 의미가 있다.

<표 5-9> 非온실가스에 대한 가능 메트릭스

범주	가능 메트릭스
에너지 소비	- Total primary energy supply (petajoules [PJ], million tonnes of oil-equivalent [Mtoe]) - Final energy consumption (PJ, Mtoe) - Energy intensity (terawatt hours [TWh] per USD) - Energy efficiency (accounting for changes in economic structure) - Energy consumption per unit of production in key energy-intensive sectors - Technology-specific goals (e.g. vehicle fuel economy or appliance standards,

범주	가능 메트릭스
	number of energy-efficient light bulbs distributed)
신재생 에너지	- Annual production of renewables (PJ, Mtoe, kilowatt hours [kWh]) - Share of renewable energy in total energy supply (%) - Share of renewable energy in total energy demand (%) - Cumulative installed renewable electricity capacity (megawatts [MW]) - Share of renewable electricity in total generation (%) - Share of new-build renewable energy in energy investment (%) - Funding of research, development and deployment (USD or other) - Biofuel production or consumption volume (litres); share (%) - Share of low-carbon technologies in electricity production (%)
산림	- Forest cover (km^2, hectares) - Forest stock volume (m^3) - Share of forest cover in total land area (%)
이산화탄소 포집 및 저장 (CCS)	- Annual volume of CO_2 captured/stored (cubic metres [m^3]) - Capacity/generation of CCS or CCS-ready plant (MW/MWh) - Share of CCS in total installed capacity or generation (%) - Funding of research, development and deployment (USD or other)
석탄 화력 보조금 철폐	- Absolute magnitude of fossil fuel subsidies (USD or other) - Share of fossil fuel subsidies in total energy subsidies (%)

출처: Hood et al.(2014)의 p.16을 토대로 정리

전환방법론에 관한 파리협정 세부이행규칙에 따르면, ITMO는 tCO2-eq. 메트릭으로 측정된다고 결정되었다 (UNFCCC, 2021a, Annex para 1(c)). 기본적으로 각 참여 당사국은 ITMO 승인 이전에 NDC가 적용되는 부문, 출처, 온실가스량 및 기간, 관련 연도 또는 기간 동안의 배출 및 제거에 대한 참조 수준, NDC 목표 수준을 포함하여 tCO2-eq. 단위로 NDC의 감축 정보를 수량화한 6.2조 초기보고서를 제출해야 한다. 이것이 불가능한 경우 NDC를 tCO2-eq. 단위로 정량화하는 전환 방법론을 제공해야 한다 (UNFCCC 2021a, para 18 (d)). 덧붙여, 非온실가스 매트릭을 사용한 감축 결과물을 tCO_2-eq로 전환하는 방법에 대해서 非온실가스 감축 결과가 지리적 경계 및 시간적 범위 내에서 발생한 것이며, 적용된 전환 방법 및 전환 계수가 특정 非온실가스에 적합한 지 여부를 논증해야 한다. 또한, 非온실가스 전환 방법에 대한 설명, 기본 데이터의 출처, 데이터가 사용되는 방법 및 불확실성을 해소하고, 환경건전성을 보장하는 보수적인 방법론을 적용해야 한다 (Ibid., para 22(d)(i)(ii)(iii)).

전환방법론의 적용 현황을 살펴보면, 첫째, 非온실가스 메트릭의 tCO2-eq로의 전환의 경우, 과거 UNFCCC 하에서 非온실가스 메트릭(non-GHG metric)을 목표로 설정하는 경우는 없는 바, 이에 대한 지침이 없다. 그러나, 非온실가스 메트릭에 기반한 정책 및 행동을 GHG 영향으로 변환하는 지침이 국제사회에서 개발된 경우는 있다 (Hood et al. 2014, p.14). 해당 지침에서는 정책 및 조치에서 예상되는 非온실가스 메트릭에 대해서 GHG 감축량를 추정하여

온실가스 감축 범위를 파악한 후, 감축 목표를 설정하고 진행 상황을 추적보고 할 수 있다 (WRI 2014, p.11; GGP, 2022).[188] 다만, 현재로서는 CDM, JCM, 스위스 ITMO 구매 제도 모두 非온실가스 메트릭의 전환 방법론을 제시하지 않고 있다.

둘째, 非이산화탄소 메트릭의 tCO2-eq로의 전환방법론의 적용 현황을 보면, CDM의 경우, 2021년 1월 1일 이후에 달성된 배출 감축을 tCO2-eq. 메트릭으로 변환할 때, IPCC 2차, 4차, 5차 보고서 중에서 가장 낮은 지구온난화지수(GWP, Global Warming Potential) 값을 적용한다 (UNFCCC 2022a).[189] 한편, JCM의 경우, JCM 사업 방법론 내 IPCC 제4차 평가 보고서에 따른 GWP 값을 적용하고 있다 (JCM 2017, p8). 파리협정 결정문에 따르면, 각 당사국은 IPCC 5차 평가 보고서에 따른 100년 주기 GWP 값을 적용해야 한다 (UNFCCC 2018a, annex para 37). 이를 정리하면 다음의 <표 5-10>과 같다.

이를 토대로, 우리나라의 전략적인 제도 수립 방향을 고찰해 보고자 한다. 첫째, 非온실가스 매트릭의 전환에 대해서는 현재 CDM이나 JCM에서도 방법론이 존재하지 않는다. 이에 대한 대응방안은 두 가지인데 하나는 자체적으로 전환방법론을 마련하는 것인데 이는 비용과 노력이 소요된다. 다른 하나는 UNFCCC 국제협상을 통해서 非온실가스 매트릭의 전환 방법론에 대해서 국제적인 지침을 만들 것을 제안하고 이후 만들어진 지침을 활용하는 것이다. 우리나라 외교부가 현재까지 파리협정 협력적 접근 차원의 양자협력 체계를 위해 체결한 6개 협력 개도국들의 NDC를 살펴보면,[190] 이 중에서 미얀마의 경우만 NDC 목표를 재생에너지 30% 확대라는 정책 및 행동으로 발표하였으며, 미얀마를 제외한 이 외 국가들의 감축목표가 모두 온실가스 메트릭인 바, 아직 非온실가스 매트릭의 전환 방법론이 긴급히 필요한 상황은 아니다. 이에, 국제사회에 공통적인 전환방법론 도출을 제안하고 향후 이를 활용하는 것이 바람직해 보인다. 둘째, 非이산화탄소 매트릭의 전환에 대해서는 CDM 및 JCM에서 이미 특정 IPCC 보고서를 선택하여 따르고 있고, 파리협정 세부이행규칙에서는 투명성 체계 차원에서 IPCC 5차 평가 보고서를 활용할 것을 요구하고 있다. 이에 우리나라도 특정 IPCC 보고서를 따른다는 지침을 포함하는 것이 바람직할 것으로 보인다.[191]

<표 5-10> 전환 방법론 규칙 비교

전환 방법론	CDM	JCM
非GHG 메트릭을 CO_2 메트릭(tCO2-eq. metric)으로 변경	- 지침 없음	- 지침 없음
非CO_2 메트릭을 CO_2 메트릭(tCO2-eq. metric)으로 변경	- IPCC 제2차, 4차, 그리고 5차 평가보고서 중에서 가장 낮은 GWP 적용	-IPCC 제4차 평가보고서 적용

출처: UNFCCC(2022b)와 JCM(2017)를 토대로 동 연구진 정리

188) GGP(2022) 자료의 경우, 연도 표기가 불확실하여, 현재 접속 연도를 대신 표기하였다.
189) 지구온난화지수란 온실가스 별 지구온난화 기여 정도를 나타내는 수치로 이산화탄소를 기준으로 표시한다. GWP는 일정기간(보통 100년)동안 1kg의 온실가스가 야기하는 적외선 흡수 능력(가열효과)과 이산화탄소 1kg의 영향에 대한 비율로 측정된다 (MOE, 2022).
190) 베트남, 미얀마, 스리랑카, 몽골, 칠레, 페루 (OPM, 2020, p.18)
191) 현재 IPCC 평가보고서 차수 별로 동일한 온실가스에 대해서도 GWP가 상이함을 알 수 있다. 이러한 차이는 GGP(2016)에 정리된 것과 같다. 현재는 UNFCCC 임시조치에서는 이 중 가장 낮은 값이 적용중이다. 다만, 동 자료에서 설명한 바와 같이, 최신 보고서인 IPCC 제5차 평가보고서 사용이 권장되고 있는 바, 향후 우리나라도 IPCC 제5차 평가보고서의 GWP를 사용하는 것이 바람직해 보인다.

3.1.4 영구성

다음은 '영구성'이다. 파리협정 제6.2조 세부이행규칙에 따르면, NDC 기간에 걸쳐서 감축결과물의 비영구성(non-permanence)의 위험도를 최소화하고, 배출 감축과 제거의 역전(reversal)이 발생할 때 협력적 접근 하의 제도가 이를 어떻게 완전히 해결하는 지에 대한 사항이 초기보고서와 격년투명성보고서에 포함되어야 한다 (UNFCCC 2021a, paras 18(h)(iii) and 22(b)(iii)).[192] 또한 파리협정 제6.4조 세부이행규칙 역시 각 사업은 제6.2조와 같이 NDC 기간에 걸쳐서 감축결과물의 비영구성의 위험도를 최소화하고, 배출 감축 및 제거의 역전이 발생할 때 이를 어떻게 완전히 해결해야 한다고 명시하고 있다 (UNFCCC 2021b, para. 31(d)(iii)). 그러나 세부이행규칙 내에서는 비영구성 위험도의 최소화와 역전이 발생했을 때 이행해야 할 구체적인 해결 방안을 제시하지 않는다.

기존 제도의 규칙을 살펴보면, CDM의 경우, 조림사업과 탄소포집 및 저장(CCS, carbon capture and storage) 사업은 서로 다른 방식으로 비영구성 문제를 해결하고 있다. 먼저 조림사업의 경우, '대체 크레디팅(replacement crediting)' 옵션을 취한다.[193] 이는 유효기간이 없는 다른 배출권들과 달리,[194] 조림사업 배출권의 비영구성 문제를 해결하기 위하여 유효기간이 정해져 있는 단기 기한부 배출권(tCER, temporary CER) 또는 장기 기한부 배출권(lCER, long-term CER)을 선택하여 발행하는 방식이다. tCER은 차기 공약기간 종료와 함께 만료되고, lCER은 배출권 인정기간 종료와 함께 만료되며, 만료된 tCER이나 lCER은 유효기간이 없는 다른 배출권이나 만료되지 않은 tCER 또는 lCER로 대체하여 상환해야 한다 (UNFCCC 2005, para. 36~50). 그러나 유효기간이 존재하는 tCER이나 lCER으로 인해 조림사업이 활성화되지 못하는 문제가 있어, 사업활성화와 비영구성 문제를 동시에 해결하기 위한 방안으로 완충 크레딧 풀(buffer credit pool),[195] 국가보증,[196] 보험 메커니즘, 또는 이들의 혼합방식 등이 논의되었으나 특정 방안이 도입되지는 못하였다 (UNFCCC 2014. para. 49~89).

반면 CCS 감축사업은 '완충 크레딧 풀'과 '국가보증' 옵션을 혼합하는 방식을 적용하고 있다. 먼저, '완충 크레딧 풀' 측면에서, CCS 감축사업으로 저장된 탄소가 누출될 경우, 발행된 배출권을 CDM 등록부의 준비계좌(reserve account), 잠정계좌(pending account), 그리고 사업참여자의 보유계좌(holding account)에서 역전된 배출량까지 순차적으로 취소한다 (UNFCCC 2011 Annex paras 24~28). 만약 조치가 부족하다면, '국가 보증' 측면에서, 사업유치국 또는 CCS 감축사업 배출권을 보유하고 있는 부속서 I 국가의 취소계정(cancellation account)에서 조치가 필요한 양만큼을 추가적으로 취소하도록 하고 있다 (Ibid.). 참고로 우리나라 온실가스 배출권거래제 외부사업의 산림분야 감축사업의 경우 산림예치계정을 만들어서 일부를

192) 역전이란 탄소 주입 또는 저장 후 자연의 탄소 순환 과정 상에서 탄소가 누출되는 현상을 의미한다.
193) 동 옵션의 경우, 결정문(Decision 5/CMP.1)에서 단어적으로 명시되어 있진 않고 (UNFCCC 2005), 기한이 다된 tCER과 lCER은 대체되어야 한다는 점에서 '대체 크레디팅'으로 명명될 수 있다.
194) 유효기간이 없는 배출권으로 할당배출권(AAU, assigned amount unit), CDM 배출권(CER, certified emission reduction), 공동이행 배출권(ERU, emission reduction unit), 흡수배출권(RMU, removal unit)이 있다 (UNFCCC 2005, Annex para. 1).
195) '완충 크레딧 풀'이란 역전(reversal) 위험을 대비하여 발행된 크레딧의 일부를 특정 계좌에 예치해두고 역배출 발생 시 예치된 크레딧으로 상쇄하는 방식이다.
196) 국가보증이란 역배출 발생 시 국가가 보유하고 있는 크레딧으로 이를 상쇄하는 방식이다.

예치토록 하였다.[197] 한편, JCM 사례를 보면, 현재 JCM 지침 상에서는 발행된 감축 결과물의 비영구성을 보장하는 방안에 대한 지침이 없다. JCM의 경우, 파리협정 세부이행규칙이 도출되기 전에 설립되었으므로 이에 대한 규정이 없으나, 향후 6.2조 세부이행규칙에 따라 비영구성을 보장하기 위한 옵션을 수정할 것으로 예상된다. 영구성에 대한 기존 제도들의 규칙들을 정리하면 다음의 <표 5-11>과 같다.

이에 우리나라가 취할 수 있는 제도수립 전략으로는, 먼저 영구성을 확보하는 방식으로는 CCS 감축사업에서 적용한 방식과 같이 '완충 크레딧 풀 유지' 옵션과 이를 보완하는 '국가 보증' 옵션을 고려할 수 있다. 대체 크레디팅 옵션의 경우, 사업활성화 방안을 확보하는 것이 선행되어야 하고, 보험 옵션의 경우도 보험 상품개발이 선행되어야 한다는 점에서, 우리나라 제도에 바로 적용하기에는 무리가 있을 것으로 보인다. 한편, 비의도적인 역전에 대해서는 보험 메커니즘, 의도적 역전에 대해서는 명확한 책임 소재 대상을 설정하고 대응 방식을 구체화할 필요가 있다 (Broekhoff and Spalding-Fecher, 2021). 이에 대해서는 좀 더 고민이 필요할 것으로 보이며, 향후 파리협정 제6.2조와 제6.4조에서 적용할 비영구성 처리방안 개발을 과학기술자문부속기구(SBSTA, the Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice)에게 요청할 필요가 있다.

<표 5-11> 영구성 규칙 비교

영구성	CDM	JCM
대체 크레딧 (Replacement Credit)	O (조림 및 재조림 사업 목적)	X
버퍼 크레딧 풀 (Buffer Credit Pool)	O (CCS 기술 사업 목적)	X
국가 보증 (Country Guarantee)	O (CCS 기술 사업 목적)	X
보험 (Insurance)	X	X

출처: UNFCCC(2005), UNFCCC(2011), UNFCCC(2014), 그리고 Broekhoff and Spalding-Fecher(2021)를 토대로 동 연구진 정리

3.1.5 세이프가드와 지속가능발전

다음은 '세이프가드와 지속가능발전'이다. 이는 환경건전성에 간접적인 영향을 주는 요소이다. 파리협정 제6.2조 세부이행규칙에 따르면, 협력적 접근 참여국은 협력적 접근 활동이 온실가스 감축에만 집중되는 사업이 아니라, 세이프가드 측면에서 환경·사회·경제적 측면에서의 부정적 영향을 최소화하고 가능하면 회피함을 기술해야 한다 (UNFCCC 2021a, Annex para 18(i)(i)). 또한, 지속가능발전 측면에서 당사국의 지속가능발전 목표와 일치함을 기술해야 하며, 여기서 국가의 지속가능발전 목표는 사업유치국의 특권임이 명시되어 있다 (Ibid. annex 18(i)(iii)).

197) 「외부사업 타당성 평가 및 감축량 인증에 관한 지침(2021.5.21.)」에 산림예치 계정의 정의가 기술되어있다.

기존 제도에서의 적용되는 규칙들을 살펴보면, 먼저 CDM의 경우, 세이프가드에 대한 지침은 없다. 그러나 지속가능발전과 관련하여, 사업개발자가 자발적으로 활용할 수 있는 CDM 지속가능발전 공편익 툴(CDM SD Co-benefits Tool)을 개발하였다 (CDM 2022). 한편, 일본 JCM의 경우, 세이프가드와 지속가능발전 각각에 대해 자체적인 지침과 평가툴을 준비하였다. 사업 단계에서, 사업개발자는 지속가능발전기여계획(SDCP, Sustainable Development Contribution Plan)을 준비해야 한다. SDCP는 크게 두 가지로 구성되어 있는데, 하나는 지속가능발전에 대한 부정적인 영향을 방지하기 위한 계획과 지속가능발전에 기여하기 위한 계획이다. 동 계획에서 고려되는 분야는 i) 정책 연계, ii) 환경영향평가, iii) 오염 통제, iv) 안전 및 건강, v) 자연환경 및 생물다양성, vi) 경제, vii) 사회 환경 및 커뮤니티 참여, 그리고 viii) 기술이다. 각 분야별로 더 구체적인 항목으로 나뉜다. 동 계획에서 사업개발자는 세이프가드 측면에서 각 분야 및 항목에 대해서 부정적 영향이 있었는 지 여부에 대해서 예/아니오를 체크하고, 만약 '예'라고 체크하는 경우, 부정적 영향을 방지하기 위한 행동계획을 서술해야 한다. 그리고, 지속가능발전 기여도 측면에서, 17개 SDG 목표에 대한 잠재적인 기여도 여부를 체크하고 해당하는 목표에 대한 기여 사항을 구체적으로 기술해야 한다 (JCM 2022). 이렇게 제출된 자료는 JCM 공동위원회에서 검토한다. 이후, 사업이 완료된 이후에 사업개발자는 지속가능발전기여보고서(SDCR, Sustainable Development Contribution Report)를 작성 및 제출해야 한다. 이 보고서 역시 두 가지 섹션으로 구분되는데, 먼저 세이프가드 차원의 부정적인 영향이 있었는지를 체크하고, 만약 '예'로 체크된 경우 부정적 영향을 방지하기 위한 시정조치가 있었는 지 여부를 기술해야 한다. 그리고 17개 SDG 목표에 대한 잠재적인 기여도에 대해서도 실제 기여가 확인되었는지를 체크하고, 만약 '예'로 체크된 경우 기여된 사항을 구체적으로 기술해야 한다. 이 보고서 역시 JCM 공동위에 제출되고 검토된다 (Ibid.) 인권에 대한 별도 항목은 부재한다. 추가적으로, 스위스의 ITMO 구매 제도의 경우, 세이프가드와 지속가능발전에 대해 원칙 및 기준만 언급하고, 구체적인 지침은 협력국에 이양한다 (Swiss, 2020a; Swiss, 2020b, Article 4). 다만, 스위스 제도의 경우, 인권에 대한 평가가 주요하게 언급된다는 점을 주목할 필요가 있다. 이를 정리하면 다음의 <표 5-12>와 같다.

따라서 우리나라는, 첫째, 감축사업에서 환경적·사회적·경제적으로 악영향을 줄 것으로 예상되는 사업을 제외하기 위한 사업 유형을 설정할 것을 고려할 필요가 있다. 둘째, 감축사업의 부정적 영향을 회피하기 위한 세이프가드에 대해서는 별도 자체적 지침(체크리스트 및 대응계획)을 마련할 것을 고려할 필요가 있다. 셋째, 지속가능발전 기여도는 CDM SD Co-benefits Tool을 활용하는 것을 고려할 필요가 있다. 넷째, 인권에 대해서는, 앞서 세이프가드 지침에 포함할 필요가 있다.[198]

198) 파리협정 제6.2조 지침 상에서는 인권, 건강권, 토착민·지역주민·이민자·아동장애인의 권리, 발전권, 성평등, 여성 권한 향상, 세대간 평등이 언급되어 있다. 이에 대해서 '인권'으로 포괄적으로 접근 필요가 있다.

<표 5-12> 세이프가드 및 지속가능발전 규칙 비교

CDM	- **(세이프가드)** 지침 없음 - **(지속가능발전 기여)** CDM 지속가능발전 공편익 툴(SD Co-benefits Tool)이 개발되었고, 사업 개발자가 자발적으로 적용
JCM	- **(세이프가드)** 사회·경제·환경·기술 측면에서 부정적 영향을 체크하기 위한 22개 지표를 담은 '부정적 리스트(negative list)'를 개발 - **(지속가능발전 기여)** 17개 SDG 목표에 대한 기여를 체크하기 위한 '긍정적 리스트(positive list)' 개발
Swiss ITMO agreement	- **(스크리닝)** 사업 신청 단계에서 특정 사업 유형을 스크리닝 하기 위한 기준 준비 - **(세이프가드 & 지속가능발전 기여)** 세이프가드 및 지속가능발전 기여에 대한 평가가 언급되었으나, 구체적인 지침은 부재. 구체적인 지침은 협력 대상국에 이관. 대표적인 사례를 본 결과, 사업 유치국은 국제적인 지속가능발전 툴들을 활용

출처: CDM(2022), JCM(2022), Swiss(2020a), 그리고 Swiss(2020b)를 토대로 동 연구진 정리

3.2 ITMO 이전: 상응조정

앞서 살펴본 항목들이 'ITMO 생산' 측면이라면, 다음은 'ITMO 이전' 측면에서 환경건전성과 관련된 항목이다. 바로 다름아닌 '상응조정'이다. 상응조정(corresponding adjustment)은 파리협정 제6.2조에 참여하는 국가들이 감축결과물을 국가 간에 '이전'하는 과정에서 이중산정을 방지하기 위해 감축결과물의 가감(+/-)을 양국 모두 기록하는 복식부기 차원에서 등장한다. 이 상응조정을 통해, 협력적 접근 참여국들은 NDC 이행기간 내 그리고 이행기간 간 감축결과물의 국제이전으로 인해 전지구적 총 온실가스 배출량이 순증으로 이어지지 않도록 해야 한다 (UNFCCC 2021a, Annex para 7).

그런데, 상응조정 적용에 있어서, 단일연도(single year) 목표 NDC와 다년도(multi year) 목표 NDC에 대한 상응조정 방식이 다르다. 단일연도 목표 NDC는 경로방식(trajectory method)과 평균방식(average method) 중에서 하나를 선택할 수 있다. 그리고 다년도 목표 NDC의 경우에는 경로방식만 채택할 수 있다 (UNFCCC 2021a, Annex para 7(a)(b)). 단일년도 NDC의 상응조정에서 '경로방식'의 경우, 당사국은 NDC 이행 기간에 걸쳐 예시적인(indicative) i) 다년도 배출경로, ii) 복수 배출경로, 또는 iii) 배출허용총량(budget) 중 하나를 제출해야 한다 (Ibid., Annex para 7(a)(i)). 여기서 '예시적'이라는 것의 의미는 '예시적인' '다년도 배출경로'로 설명하자면, 국가가 제시한 경로가 확정 및 고정된 경로가 아님을 의미한다. 즉, 예시적 경로는 다년도 NDC 목표를 설정하는 것과 구분되는 것으로, 경로 설정의 유연성을

함의한다 (Oh et al. 2022, p.247). 한편, 제시된 경로가 ‘평균방식’인 경우, NDC 이행기간 동안에 ITMO 누적총량을 NDC 이행기간의 경과 년수로 나누어, ‘ITMO 연평균 수량’을 도출하고, 이를 기준으로 매년 상응조정이 이루어진다 (UNFCCC 2021a, Annex para 7(a)(ii)). 따라서, NDC 이행기간 동안 상응조정되는 ITMO 연평균 수량이 확정적이지 않은 바, “예시적 상응조정”이 이루어진다고 볼 수 있다 (Siemons and Schneider 2022, p.210). 우리나라는 단일연도 목표 NDC를 설정하였기 때문에, 앞서 언급된 경로방식 또는 평균방식 중 하나를 선택할 수 있다.

그런데, 이 단일연도 NDC의 경우에 어떠한 상응조정 방식을 채택하는가에 따라서 환경건전성에 대한 영향이 다른 것으로 나타났다. 파리협정 제6.2조에 참여하는 양 국가가 모두 상응조정의 경로방식을 채택하는 경우, 두 국가 간의 ITMO 이전이 있거나 또는 없거나 총배출량 합산량에 변화가 없는 것으로 나타났다. 그러나, 제6.2조에 참여하는 두 국가가 모두 또는 어느 한 국가가 평균방식 경로를 채택하는 경우, 총배출량 합산량에 변화가 있을 수 있다. 이는 평균방식의 목표연도에서 배출수준이 그 국가의 배출 추세를 얼마나 대표(representative)하느냐에 따라서 달라진다. 만약 ITMO 이전 국가가 목표연도에 갑작스런 상황으로 인해 국가 배출량이 급격히 하락하는 경우, 목표연도에서 ITMO를 이전할 수 있는 수량이 갑자기 늘어나고, 따라서 NDC 이행기간 동안에 ITMO 누적총량이 증가되므로 NDC 이행기간의 경과 년수로 나눈 ITMO 연평균 수량 역시 증가하게 된다. 결과적으로, 증가된 ITMO 연평균 수량을 NDC 이행기간으로 곱한 값이 이전가능한 ITMO 수량이 된다. 따라서, 평균방식을 채택한 국가의 경우, 목표연도 특정 상황이 이 국가가 이전할 수 있는 ITMO 총량을 확대시키는 효과를 가져온다. 이렇게 증가된 ITMO 이전가능량은 실제 해당 국가의 감축행동을 대표하지 않은 수량이면서, 이것이 이전될 경우 총배출량 순증으로 이어져 환경건전성을 저해한다. 또한, 이러한 상황의 불확실성으로 인해, 국가들은 얼마나 ITMO를 이전하고 획득해야 하는가에 대한 불확실성에 직면하게 된다 (Siemons and Schneider 2022).

이러한 평균방식의 환경건전성 저해 가능성을 낮추기 위해, 2022년 11월까지 평균 방식의 ITMO 이전·획득 연평균 수량이 매년 실제 감축활동을 대표한다는 것을 증명하는 방법론에 대한 국제 지침이 준비되고 있다 (UNFCCC 2021a, para 4(b)(ii)). 한편, 경로방식의 경우, 설사 상응조정을 통해서 환경건전성이 확보된다고 결론이 나왔다 하더라도, 이 방식 역시 환경건전성 측면에서 단점이 없는 것은 아니다. 경로방식의 환경건전성 확보의 ‘전제’는 제출된 예시적 경로 또는 예시적 배출허용총량이 당사국 NDC 목표 달성을 위해 따르는 배출경로를 역시 대표(represent)해야 한다는 점이다.[199] 따라서, 이 대표성을 확보하기 위해서, 예시적 경로·복수배출경로·배출허용총량 설정 방법론에 대한 국제 지침이 2022년 11월까지 제6.2조의 추가적인 세부이행규칙으로 마련되는 것으로 결정되었다 (Ibid, para 4(b)(i)). 이에 대한 내용이 <표 5-13>에 정리되어 있다.

따라서, 단년도 목표를 설정한 우리나라 NDC의 경우, 첫째, NDC 이행 중간연도의 국가배출량 상황을 반영하는 데 있어 유연성이 있으면서 동시에 환경건전성 확보를 보장하는 ‘경로방식’을 선택할 필요가 있다. 둘째, 이는 예시적(indicative) 경로 설정이 필요하므로,

199) 물론 이보다 더 큰 대 전제는 감축 결과물 생산 단계에서 NDC 목표 설정이 엄격하고, 또한 생산되는 감축결과물이 실제 감축을 반영해야 한다는 점이다.

예시적 경로 설정에 대한 국제지침이 '22년 11월 도출 예정인 바 이에 따라 작성이 필요하다. 셋째, NDC 이행기간 내 경로방식을 일관성있게 유지할 필요가 있다. 넷째, 파리협정 채택 이전에 설계된 일본 JCM의 경우에는 협력 및 실무약정에 상응조정에 대한 규칙이 포함되어 있지 않으나, 최근 설계된 스위스 ITMO 구매 계약 제도의 경우 상응조정과 관련된 상세한 규칙을 실무약정에 포함하고 있다. 이에, 우리나라도 우리나라와 협력할 상대국과의 양자협력(실무)약정에 NDC 이행기간 동안 선택한 상응조정 방법론을 일관성있게 활용할 수 있는 문안 또는 지침을 삽입할 필요가 있다. 넷째, 협력 대상국의 상응조정 이행 및 보고에 대한 불확실성 리스크를 회피하기 위해, 역시 양자협력 약정 문안에 이의 이행 및 불이행 관련 조항을 삽입할 필요가 있다.

<표 5-13> 단년도 목표 NDC를 위한 환경건전성과 상응조정

	상응조정 방법론	
	평균 방식	경로 방식
환경건전성 확보	영향 (전체 총 배출량에 변화)	영향 없음 (전체 총 배출량에 변화 없음)
↓	↓	↓
문제	평균방식으로 상응조정된 ITMO 수량(숫자)가 실제 매년 생산 및 이전되는 ITMO를 대표하는 가의 여부	예시적 경로 및 예시적 배출허용총량 경로방식의 신뢰성
↓	↓	↓
보완 접근법	평균방식 상응조정에 대한 대표성을 증명하기 위한 방법론에 관한 신규 방법론 준비중 (2022년 11월까지)	예시적인 경로, 경로들, 배출허용총량 상응조정 방법론을 작성하기 위한 신규 지침 준비중 (2022년 11월까지)

출처: Simons & Schneider (2022), UNFCCC(2021a), 그리고 Oh et al. (2022)를 토대로 정리

3.3 ITMO 취소: 전지구적 전반적 감축 달성(OMGE)을 위한 공제

다음은 '전지구적 전반적 감축 달성을 위한 공제'이다. 동 사항은 ITMO의 생산 및 이전이 아닌, ITMO의 '취소(cancellaton)'와 관련된 사항이다. 동 사항은 파리협정 제6조의 세부이행규칙을 수립하는 과정에서 제6.2조와 제6.4조에서 달리 적용되고 있다.

먼저, 파리협정 제6.2조 '협력적 접근'에서 환경건전성에 대한 세부이행규칙에 따르면 "NDC 이행기간 내 그리고 NDC 이행기간 사이에 전지구적 배출량의 순증이 없어야 한다"고 명시되어 있다 (UNFCCC 2021a, para 18(h)(i)). 이는 협력적 접근 차원에서의 환경건전성은 배출량 비순증(no net increase)을 의미한다. 다만, 의욕(ambition) 상향 차원에서, 제6.4조의 지속가능발전 메커니즘이 취하는 전지구적 전반적 감축 달성(OMGE) 노력을 감안하여, 협력적 접근에 참여하는 국가들이 ITMO를 취소하도록 강력히 권고된다 (Ibid., para 39). 그러나, 이는 권고사항으로, 의무는 아니다.

한편, 제6.4조 지속가능발전메커니즘에 대한 세부이행규칙을 살펴보면, 환경건전성이 언급되지 않는다. 대신, 순증이 아닌 순감(net decrease) 원칙에 기반해 OMGE 차원의 공제 규칙이 제시되고 있다. 먼저, 지속가능발전메커니즘에서 발행되고 최초로 이전되는 감축결과물(A6.4ER)에 대해서 메커니즘 계정 운영자는 최소 2% 이상을 취소해야 하는 의무가 있다. 또한, 참여 당사국들은 OMGE를 보다 강력히 추진하기 위해 메커니즘 계정에 있는 감축결과물에 대해 자발적 취소(voluntary cancellation)를 요청할 수 있다 (UNFCCC 2021b, paras 69(a) & 70).

기존 제도에서 관련 규칙을 적용 현황을 살펴보면, CDM의 경우, OMGE 차원에서 별도의 감축결과물의 취소 지침은 없다. 대신, OMGE 관점에서, 발행된 배출권의 수준이 실제 달성된 배출 감소 수준보다 낮도록하기 위해 보수적인 산정 조치를 취하였다 (OECD 2019, Box 1). UNFCCC 결정문 17/CP.7에 따르면, CDM 활동이 없었을 때 발생했을 온실가스 배출을 반영하여 CDM 베이스라인 시나리오를 보수적인 방법으로 산정한다 (UNFCCC 2002, para 45(b)). 한편, 현재 일본 JCM이나 스위스의 ITMO 구매 제도의 경우에도 OMGE 차원에서 감축결과물을 취소하는 규칙은 없다. 이를 정리하면 다음의 <표 5-14>와 같다.

따라서, 우리나라가 취할 수 있는 제도 설계 방향으로는, 첫째, OMGE를 위한 감축결과물 취소는 제6.2조 환경건전성 정의인 '배출총량 非순증'을 넘어서, '배출총량 순감소(net decrease)'를 지향하는 바, 이는 환경건전성 확보가 아닌 환경건전성 강화이다. 이는 우리나라의 자체적인 양자협력 체계에 OMGE 감축결과물 취소를 넣지 않는다고 해도 환경건전성 확보에 위배되지 않는다는 것을 의미한다. 둘째, 제6.4조에서 OMGE 차원의 감축결과물의 2% 취소는 제6.2조 지침 하에서 의무가 아닌 권장요소이며, 이를 우리나라 양자협력 체계에 적용하지 않는다고 해서 역시 환경건전성을 저해하는 것이 아니다. 셋째, 이에, 우리나라 양자협력 체계에서는 사업자가 자발적으로 결정하도록 지침을 작성할 필요가 있다. 또는, OMGE 감축결과물 취소를 아예 고려하지 않고, 향후 양자협력 체계의 운영 효과성 및 지속성을 파악하여, 관련 지침 삽입을 고려할 필요가 있다.

<표 5-14> OMGE 규칙 비교

OMGE 규칙	CDM	JCM	6.2조 협력적 접근	제6.4조 지속가능발전메커니즘
의무적인 크레딧 취소	규칙 부재	규칙 부재	자발적 취소	6.4조 메커니즘 하에서 발행되는 감축결과물에 대해서 최소 2%에 대해서 의무적 크레딧 취소

Source: Formulated by the authors on the basis of UNFCCC(2021a) and UNFCCC(2021b)

3.4 ITMO 판매실적의 수익금 기여: 적응기금

다음은 ‘ITMO 판매실적의 수익금 일부를 적응기금에 기여’하는 항목이다. 적응기금(AF, adaption fund)은 교토의정서 하의 개도국에 대한 기후변화 적응 사업 및 프로그램의 지원을 위하여 2001년 설립되었다 (UNFCCC, 2001b; AFB 2011).[200] 적응기금의 설립 배경을 거슬러 올라가면, 1992 유엔기후변화협약에서 “기후변화의 부정적 영향에 특히 취약한 개도국 당사국들이 적응 비용을 충당할 수 있도록 부속서II에 속한 선진국들이 지원해야 한다”는 내용으로 선진국의 개도국 적응 지원에 대한 의무가 명시되었다 (UNFCCC 1992, article 4.4). 이후 1997 교토의정서에서는 CDM 사업 활동의 수익금 일부(SOP, share of proceeds)를 행정비용과 개도국의 적응비용 지원에 활용하기로 합의되었다 (UNFCCC 1998, article 12.8). 이 수익금을 활용해 개도국의 적응활동을 지원하기 위해서 적응기금이 설립된 것이다.

적응기금의 재원은 주로 CDM 사업의 탄소배출권(CER, certified emissin reduction)의 수익금 2%와 그 외 기부금(donation) 그리고 약정액(pledges)으로 구성된다 (UNFCCCc 2001c, para. 15). 이후, 적응기금 재원은 2012년 교토의정서 도하 개정안에서 더욱 확대되었는데, 교토의정서 2차 공약기간 동안 CDM의 감축결과물(CER) 뿐만 아니라 선진국들의 할당배출권(AAU, assigned amount unit)의 첫 국가간 이전에서 발생한 수익금과, 기존에 당사국이 보유하고 있던 할당배출권(AAU) 및 흡수배출권(RMU, removal unit)을 배출감축결과물(ERU, emission reduction unit)으로 전환 시 발생한 수익금에서도 2% 상당량을 적응기금으로 분담하도록 하였다 (UNFCCC 2012, para. 21).

한편, 적응기금은 파리협정 하에서도 그 의미를 갖는다. 파리 제6.4조 지속가능발전메커니즘이 CDM 제도의 운영 경험에 기반해서 설립되었고, 이에 따라 2018년 제24차 당사국총회에서는 적응기금이 파리협정 하에서도 지속적으로 운영되도록 결정되었다 (UNFCCC, 2018b, para 1; 2018c, para 2). 더 나아가 동 회의에서는 파리협정 제6.4조 하에서 발생한 수익금 일부를 CDM에서와 같이 적응기금 재원으로 운용하기로 결정하였다 (Ibid., paras 2 & 3). 이후 A6.4조 배출권(ER)의 5%를 적응기금으로 이체하도록 결정되었다 (UNFCCC, 2021b, Annex para. 58).[201] 제6.4조 지속가능발전메커니즘이 아직 운영되고 있지 않으나, 향후 운영이 본격적으로 이루어지면 발행된 A6.4ER의 최초 거래 시 5% 상당량이 적응기금으로 활용될 것이다 (CMW, 2021). 한편, 파리협정 제6.2조 협력적 접근의 경우, ITMO 수익의 일부분을 제6.4조 메커니즘과 같이 적응기금으로 부과하는 것을 검토해야 한다는 의견이 있었다 (Warnecke et al. 2017, p. 13; Fearnehough et al. 2021, p. 14). 현재 파리협정 제6.2조 세부이행규칙에 따르면, ITMO의 수익의 일부에 대해서 적응기금으로 이체하는 것을 강력히 권고(strongly encouraged)할 뿐, 의무사항으로 두고 있지는 않다 (UNFCCC, 2021a, Annex para. 37).[202]

---

200) 2001년 개최된 유엔기후변화협약 제7차 당사국총회에서는 적응기금 외에도 최빈개도국기금(LDCF, least developed countries fund)과 특별기후변화기금(SCCF, special climate change fund) 역시 설립되었다. 이 두 기금은 적응기금과 다르게 교토의정서 하가 아니라 기후변화협약 하에 세워진 것으로, 교토의정서 CDM 사업 수익금과는 관련이 없다.

201) 원문을 번역하면 다음과 같다. “발행 시, 기후변화의 부정적 영향에 특히 취약한 개도국 당사국들이 적응비용을 충당할 수 있도록 돕기 위하여 (제6.4조) 메커니즘 레지스트리 관리자는 발행된 A6.4ER의 5%를 메커니즘 레지스트리의 적응기금 계좌로 먼저 이체해야 한다 (UNFCCC 2021b, Annex para. 58).”

202) 원문을 번역하면 다음과 같다. “협력적 접근법을 활용하는 참여 당사국 및 이해관계자는 적응을 위한 자원에, 특히

제6.2조 협력적 접근법의 대표적 사례인 일본의 JCM과 스위스의 ITMO 구매제도를 살펴보면, 두 개 제도 모두 아직까지는 관련 규정이 없는 상황이며 적응기금 납부에 대한 기록도 없는 것으로 보인다. 특히, 일본 JCM의 경우, CDM 하에서 부과되던 수익금 배분을 납부할 필요가 없음을 강조하고 있다 (MOEJ 2022, Q2). 대신, 제6.2조 협력적 접근이 양 국가 간의 자발적인 협력인 바, 협력 국가 간에 합의가 이루어진다면 ITMO 거래의 수익금 일부를 적응기금이나 혹은 다른 기금을 위하여 부과하는 것 역시 가능하도록 설계되었다. 예를 들어, 스위스와 가나 간의 ITMO 구매제도 하에서 진행되는 '가나 국가 청정에너지 접근 프로그램(NCEP, National Clean Energy Access Programme)'의 경우, 동 사업의 수익금의 일부를 '가나 정부 기금'의 재원으로 활용하기로 합의하였고, 동 재원은 가나 민간 부문의 사업 참여 지원에 사용될 예정이다 (KliK 2020, p. 10).[203] 이를 정리하면 다음의 <표 5-15>와 같다.

이에 우리나라의 적절할 제도수립 방향으로는, 첫째, 파리협정 제6조 차원에서 감축뿐만 아니라 적응 행동 지원을 위해, 파리협정 제6.4조에서 감축결과물에서 5%를 의무적으로 공제하는 정책·규칙은 '환경건전성'과 무관하고, 국가의 '높은 의욕수준' 개념과 관련된다는 입장을 취할 수 있다. 둘째, 파리협정 제6.2조 사업에서 발생한 ITMO 수익금 일부를 적응기금으로 공제하는 것은 의무가 아닌 권고사항이라는 입장을 취할 수 있다. 셋째, 우리나라 양자협력 체계에서는 사업자가 자발적으로 결정하도록 지침을 작성 필요가 있다. 또는, 적응기금 공제를 아예 고려하지 않고, 향후 양자협력 체계의 운영 효과성 및 지속성을 파악하여, 관련 지침을 고려할 필요가 있다. 넷째, 앞서 설명된 스위스-가나의 경우에서와 같이, 적응기금이 아닌 다른 기금에 ITMO 수익금 일부를 이체하는 것도 방안이 될 수 있다.

<표 5-15> 적응기금 규칙 비교

적응기금	CDM	JCM	스위스 ITMO 구매계약	A6.4조 메커니즘
수익금 일부를 적응기금으로 이체	O	X	X	O
엄격성	의무적	자발적 (강하게 권고)	자발적 (이체 대상을 적응기금으로 한정하지 않음)	의무적
수익금 일부 비율(%)	2%	n.a.	Not specified	5%

출처: UNFCCC (2021a), UNFCCC (2021b) 그리고 Warnecke et al. (2017)을 토대로 정리

적응기금 분담을 통하여 기여하고, 기후변화의 부정적 영향에 특히 취약한 개도국 당사국들이 적응비용을 충당할 수 있도록 돕기 위하여 제6조 4항 하에서의 자원 전달을 고려할 것을 강력히 권고한다 (UNFCCC 2021a, Annex para. 37)."

203) 수익금 일부가 정확히 몇 퍼센트인지는 밝혀지지 않았다.

3.5 종합

앞서, 환경건전성 확보에 영향을 줄 것으로 예상되는 네 가지 측면인 ITMO의 I) 생산, ii) 이전, iii) 취소, 그리고 iv) 수익금 측면과 이에 해당되는 고려 항목들에 대해서 우리나라가 양자협력 체계 설계 시 선택해야 할 규칙들에 대해서 고찰하였다. 이를 종합적으로 정리하면 다음의 <표 5-16>과 같다.

<표 5-16> 한국의 양자협력체계 제도설계 시 환경건전성 확보를 위한 전략적 입장

환경건전성에 영향을 주는 항목		규칙 수립 시 한국의 전략적 입장
ITMO 생산	추가성	- (O) Indication of importance and meaning/definition of additionality - (O) List of assessment exemption activities based on frequently planned projects - (△) Further consideration on the actual implementation of additionality assessment
	베이스라인 방법론	- (X) No BAU baseline methodology to be included - (O) Allowance of BAT, benchmark, and historical baseline methodology · Setting benchmark and historical baseline methodologies as prime methodologies · Referencing and accepting the positive list of BAT methodologies to be developed or utilized at the global scale - (O) The process of approval, review, and update of baseline methodologies to be included
	전환 방법론	- (non-GHG metric to tCO_2-eq. metric) Suggestion of formulating common conversion methodology at the negotiation meeting and utilization of the developed methodology - (non-CO_2 metric to tCO_2-eq. metric) Inclusion of the utilization of GWP of the 5th assessment report of the IPCC
	영구성	- (Ensuring permanence) Utilization of buffer credit pool and country guarantee - (Unintentional reversal) Utilization of insurance mechanism - (Intentional reversal) Further consideration is needed about what kinds of rules are instituted
	세이프가드 및 지속가능발전	- (Safeguard) · List of screening the projects to be excluded · Formulation of a guideline to minimize adverse environmental/economic/social impact - (Sustainable development) Guidance to utilize CDM SD co-benefits tool - (Human rights) Inclusion of human rights in the safeguard guideline
ITMO 이전	상응조정	- (Method) Selecting indicative trajectory method - (Trajectory) Formulation of Korea's own trajectory on the basis of international guideline to be formulated in November 2022

		- (Consistency) · Utilization of trajectory method consistently throughout the NDC period · Rules on the consistent use of corresponding adjustment method in the cooperative arrangement with developing countries - (Implementation & non-implementation of corresponding adjustment) Insertion of rules on the implementation of corresponding adjustment to avoid the risk of non-implementation
ITMO 취소	전지구적 전반적 감축 달성(OMGE) 차원에서 최소 2% ITMO 취소	- (Interpretation of ITMO cancellation rules for OMGE) · OMGE is in principle intended for strengthening enviornmental integrity, not ensuring it. · ITMO cancellation for OMGE is not an obligation but recommendation in the article 6.2 specific rules. - (Potential rules to be inserted) · (Option 1) ITMO cancellation for OMGE is voluntary by project developers · (Option 2) No insertion of this rule and re-consideration after bilateral cooperation framework is effectively and sustainably operated
ITMO 수익금	ITMO 수익금 일부(5%)를 적응기금에 이체	- (Interpretation of ITMO proceeds) · This is related with 'higher ambition', not environmental integrity. · This is not an obligation but recommendation in the article 6.2 specific rules. - (Potential rules to be inserted) · (Option 1) This can be voluntary by project developers · (Option 2) No insertion of this rule and re-consideration after bilateral cooperation framework is effectively and sustainably operated

출처: 동 섹션 전체 내용을 토대로 동 연구진이 정리하여 작성

4. 결론

2021년 11월 파리협정 제6조 세부이행규칙이 도출된 이래, 우리나라는 파리협정 제6.2조 협력적 접근 차원에서 자체적인 국제 시장 메커니즘인 양자협력 체계를 설립하고 운영하기 위한 작업을 2022년 진행하고 있다. 동 제도수립 과정에서 고려해야 할 핵심 원칙 중의 하나가 다름 아닌 환경건전성의 확보이다. 이에 동 원고에서는 일차적으로 기존 문헌 연구를 통해 환경건전성의 개념을 파악하고, 환경건전성에 영향을 주는 요인을 파악하였다. 다음으로, 파리협정 제6.2조 협력적 접근하에서 환경건전성 확보를 위해 고려해야 하는 4가지 측면으로 i) ITMO 생산, ii) ITMO 이전, iii) ITMO 취소, iv) ITMO 판매액 기여를 도출하였다. 이 측면들을 중심으로 환경건전성 확보 차원에서 기존의 제도인 청정개발메커니즘(CDM), 협력적 접근 사례인 공동크레딧 메커니즘(JCM)과 스위스 ITMO 구매 제도, 그리고 파리협정 제6.2조와 제6.4조 세부이행규칙을 중심으로 어떠한 규칙이 마련되었고 이행되었지를 비교・분석하였다.

그리고 이러한 규칙들을 토대로, 향후 우리나라가 양자협력 체계를 설계하는 데에 있어서 환경건전성 확보를 위해 어떠한 규칙을 수립해야 하는 가에 대해 적절한 입장과 방향성을 도출하였다.

본문에서 환경건전성 확보를 위한 우리나라 양자협력 체계 제도 수립 시 고려해야 하는 요소별 우리나라의 전략적 입장을 상세하게 분석 및 도출한 바, 이 외의 네 가지 시사점을 제시하고자 한다.

첫째, 제6.2조 협력적 접근은 국가 및 지역 차원의 상향식 제도 수립의 근간이 되고, 제6.4조 지속가능발전메커니즘은 하향식으로 제도 수립이 이루어진다. 전지구적 차원의 환경건전성을 확보하기 위해서는 제6.4조에서 운용되는 규칙을 제6.2조 규칙에도 '동일' 하게 적용하는 것이 가장 이상적일 수 있다. 그러나, 제6.2조와 제6.4조의 세부이행규칙이 동일하지 않으며, 두 개의 트랙이 별도로 준비된 것은 그 제도 운영의 목적성과 유연성이 다른 바, 이러한 제6.2조와 제6.4조의 차별성을 고려하여, 우리나라의 자체적 시장 메커니즘인 양자협력 체계를 준비하는 것이 필요하다.

둘째, 환경건전성 확보는 파리협정 제6조를 관통하는 원칙으로 동 원칙의 핵심 목표는 ITMO의 '생산' 과 국제적 '이전' 에 초점이 맞추어져 있다. 특히, 환경건전성에 대한 '해석' 이 다양할 수 있는데, 파리협정 제6조 하에서의 환경건전성은 우선 ITMO를 '생산' 하는 사업에서 도출된 감축결과물 1tCO2-eq.가 실제 1tCO2-eq.만큼의 감축 노력을 반영해야 한다는 것이다. 즉, 과다 크레디팅이 이루어져서는 안된다는 것이다. 그리고 생산된 ITMO의 국제적 '이전' 이 이루어지는 과정에서 이중산정을 방지하여 전지구적 배출총량의 순증(net increase)이 있어서는 안된다는 것이다. 한편, 전지구적 전반적 감축 달성 차원에서의 ITMO '취소' 는 전지구적 배출총량의 순감(net decrease)으로 이어지는 환경건전성 강화이며, 이는 파리협정 제6.2조의 환경건전성 개념보다 더 강화된 개념이다. 또한, ITMO '판매실적 일부를 적응기금에 기여' 하는 것은 환경건전성 개념이 아닌 적응부문에 대한 기여를 높이는 의욕(ambition)의 문제로 해석해야 한다. 따라서 ITMO 취소와 ITMO 판매실적 일부의 적응기금 기여에 대한 규칙을 환경건전성 개념에서 접근하는 것에 대해서는 적절하지 않다. 또한 이러한 규칙을 바로 우리나라 양자협력 체계에 바로 반영하기 보다는 향후 제도를 수립하고 운영하면서 도입 여력 여부를 판단할 필요가 있을 것으로 보인다.

셋째, ITMO '생산' 측면에서 환경건전성과 관련된 5가지 세부 항목인 i) 추가성, ii) 베이스라인 방법론, iii) 전환 방법론, iv) 영구성, 그리고 v) 세이프가드 & 지속가능성에 대해서 분석하였다. 비교 분석된 핵심 기존 제도가 CDM과 JCM인데, CDM 제도가 다소 규칙의 엄격성을 기반으로 하향식으로 운영된 제도이며 이 제도의 규칙을 모두 따를 필요는 없다. 한편, JCM 제도의 경우 협력적 접근법의 대표적 사례이기는 하나 파리협정 제6조 세부이행규칙이 도출되기 이전에 수립된 제도인 바, 환경건전성 측면에서 필요하나 제도 상 반영되지 않은 규칙들이 상당하다.[204] 따라서, 우리나라가 환경건전성 측면을 고려하여 규칙을 수립할 때 기존 제도들의 현황을 토대로 규칙 마련 여부에 대해서 전략적으로 접근할 필요가 있다.

넷째, ITMO '이전' 측면에서 환경건전성 고려항목으로 '상응조정' 에 대해서

204) 이에 대해서는 제3장에서 각 고려항목별로 상세히 다루어졌다.

다루었다. 단년도 목표와 다년도 목표 상응조정 방법론에 대해 설명하고, 특히 단년도 상응조정 방법론인 경로방식과 평균방식이 환경건전성 확보 측면에서 갖는 문제점과 이를 보완하기 위한 국제적인 접근법에 대해서 정리하였다. 여기서 우리나라는 단년도 목표에서 경로방식의 상응조정 방법론을 설정할 가능성이 높은 상태이다. 그런데, 본문에서도 언급된 바와 같이, 예시적인(indicative) 경로방식 상응조정 방법론을 통해 환경건전성을 확보하려는 행위의 전제 조건은 바로 국가가 설정한 예시적인 경로가 엄격하게 설정되어야 한다는 점이다. 더 나아가 국가가 설정한 NDC의 목표가 엄격하게 설정되어야 한다는 점이다. 이에 대한 우려 속에서 국가들이 제출한 NDC의 목표가 엄격히 설정되었는 지에 대한 국제적 평가가 필요하다는 논의도 있었다. 그러나, 이는 NDC가 '국가결정'에 기반한다는 원칙에 위배될 뿐만 아니라 정치적으로도 합의에 이르기 어려운 사항이다. 따라서, 이를 보완하기 위한 방안으로, NDC가 아닌 예시적 경로를 설정하는 지침이 마련되고 있는 바, 우리나라는 관련한 지침에 따라 논란이 없는 예시적인 경로를 제출할 필요가 있다. 이 지침에 따라 예시적 경로를 작성하면, 그 이후에야 NDC 목표 달성에 필요한 ITMO 확보 전망치가 도출될 수 있다. 그런데, 이러한 국제지침과 별개로 예시적 경로를 도출하기 위한 자체적인 준비가 필요할 수 있다고 본다. 국제지침이 도출되기 전에 사전적으로 예시적 경로를 그려보고 우리나라가 향후 확보해야 할 ITMO 수량 예측치를 파악하는 작업에 대한 선행경험은 현재 국제사회에서 이루어지는 예시적 경로 지침에 대한 국제협상 과정에 우리나라에 보다 유리한 입장을 세우고 이를 표명할 수 있다는 점에서 필요하다고 볼 수 있다.

동 원고는 환경건전성의 개념을 전반적으로 파악하고 환경건전성에 해당하는 세부 항목들을 망라하여 환경건전성 개념을 적용한 제도 수립의 틀을 세웠다는 점에서 그 연구 및 정책적 의의가 있다고 본다. 또한, 기존 연구가 환경건전성의 개념, 환경건전성에 영향을 주는 요인, 환경건전성 영향 요인별로 환경건전성 확보를 위한 규칙을 중심으로 확대되어 왔다. 동 원고는 환경건전성 영향 요인별로 환경건전성 확보 규칙들이 실제로 어떻게 적용되는지 기존 제도사례 분석을 통해 규칙들을 비교하고, 이를 토대로 적절한 규칙 수립에 대한 방향성을 모색했다는 점에서 기존 연구를 확장했다고 본다.

(사)한국기후변화학회

06609 서울특별시 서초구 효령로53길 18 석탑 401호 (사)한국기후변화학회
TEL : 02-557-7897 FAX : 02-557-7893 e-mail: kscc_edit@kscc.re.kr 홈페이지: www.kscc.re.kr

이차출판 동의확인서

발행연도/권호 : 2022년 제13권 6호

논문제목 : 파리협정 6.2조 협력적 접근 하 우리나라 자체적 국제 탄소시장 메커니즘에 대한 환경건전성 개념 적용 방향 고찰

저 자 : 오채운† • 송예원 • 김래현 • 최규현 • 최광림

(모든 저자 표기)

한국기후변화학회는 한국기후변화학회지에 게재된 본인의 논문을 학위논문 및 연구보고서 등에 그 일부 혹은 전부를 사용할 경우 이를 일종의 이차출판(secondary publication)으로 간주하고, 학회의 동의와 함께 일차출판 사실을 명기할 것을 요구합니다. 이러한 원칙과 저자의 요구에 따라 위 논문의 이차출판에 동의합니다.

2022. 12. 28

사단법인 한국기후변화학회
한국기후변화학회 편집위원회 위원장

제 6 장 결 론

동 연구 보고서는 크게 두 가지 틀에서 수행된 연구 결과를 담고 있다. 하나는 기후변화에 관한 정부간 협의체(IPCC)의 제6차 평가보고서의 제3실무그룹(완화) 보고서의 승인을 둘러싸고 국가녹색기술연구소가 IPCC 국내대응협의회 제3실무그룹 주관기관으로서 정책대응 과정에서 수행된 연구결과이다. 다른 하나는 IPCC 제6차평가보고서에서 논의되는 주요 내용 중에서 국제적으로 중요하면서 또한 우리나라에서도 주요하게 다루어야 하는 핵심 이슈를 추출하여, 이를 중심으로 중점 연구를 진행한 결과물을 담은 것이다. 여기에는 세 가지 차원에서 중점연구가 이루어졌다. 첫째는 최근 IPCC 제1.5° C 특별보고서 및 제6차평가보고서에서 중요하게 다루고 있는 이산화탄소제거 접근법과 완화 차원에서, i) DAC 기술 연구와 이의 국내/외 실증현황과 우리나라 정책 대응방향에 대한 연구와 ii) 직접대기탄소포집(DAC) 기술에 대한 기업의 대규모 실증 및 활용에 대한 결정요인(determinants)에 대한 연구이다. 둘째는 ESG 차원에서 IPCC 보고서 활용성을 제고하는 연구로써, '기후변화 재무정보 공시 전담협의체(TCFD) 권고안에 대한 기후위험도 분석에 필요한 최신 기후위험 정보를 IPCC 제6차평가보고서에서 추출하는 연구이다. 셋째는 IPCC 제6차 평가보고서에서 중요하게 다루어지는 기후변화대응 상향식 국제 제도 연구 차원에서, I) 파리협정 제6조 상응조정 규칙에 대한 정책대응 연구와 ii) 파리협정 제6조 환경건전성 원칙 적용 연구이다.

1. 연구 성과

동 보고서에 담긴 2022년도 연구 내용이 각 섹션 별로 결과들이 이미 본문에서 도출된 바, 동 결론 섹션에서는 이 결과에 대해서 모두 구체적으로 서술하지는 않을 예정이다. 대신, 연구결과에 대한 종합적인 정리를 위해, 다음의 <표 6-1>과 같이 연구 결과를 정리하였다.

<표 6-1> 연구 결과 정리

섹션		정책지원 및 연구결과
2장	1절	**IPCC 제6차평가보고서 검토를 위한 정부 대응 활동** - IPCC 국내대응협의회 및 제3실무그룹 전문위원회 정책대응 · **제3실무그룹 전문위원회(1.14/화상회의)**: WG3 FGD 검토의견 공유 및 전문위 차원의 우리나라 정책적 시사점 도출 · **제4차 IPCC 국내대응협의회(1.27/화상회의)**: WG3 FGD에 대한 전문위 검토의견 공유 및 제55차 IPCC 총회 우리나라 입장 도출 지원 - 제56차 IPCC 협상회의 · **IPCC 주관 비공개 온라인 세미나(1.11, 1.13, 1.18/화상회의)**: WG3 보고서의 주요 쟁점에 대한 저자 의견 공유 · **IPCC 총회 전 사전 브리핑(3.17)**: 각국 정부의 FGD 검토의견에 대한 보고서 저자의 수정사항 정리 및 쟁점 사항 설명 · **제56차 IPCC 총회(3.21-4.4/화상회의)**: 제3실무그룹 보고서에 대한 문장단위(line-by-line) 검토 시 정부 입장 수립 지원

섹션		정책지원 및 연구결과
		- 제56차 IPCC 총회 결과 국내 기자단 언론브리핑 · **국내 기자단 사전 브리핑(4.4/기상청)**: 승인된 WG3 보고서에 대한 주요 내용 및 우리나라 시사점 브리핑 - 국회기후변화포럼과 공동주관한 IPCC 포럼 · **탄소중립 사회를 위한 온실가스 감축 정책의 대전환(4.27/국회의원회관)**: WG3 보고서의 승인 회의 경과와 주요 쟁점, 보고서 핵심 내용에 대한 발표 및 패널 토론
	2절	**IPCC 제6차평가보고서 핵심 내용 개괄** - IPCC 제6차평가보고서 제3실무그룹(완화) 보고서의 정책입안자를 위한 요약서(SPM, summary for policymakers)를 중심으로 내용 도출 - 제56차 IPCC 총회에서 제3실무그룹(완화) 보고서 승인을 둘러싸고, 선-개도국 논의 사항중 핵심 대립 이슈를 파악하고 이에 대한 우리나라 입장을 정리 - 우리나라 향후 정책적 대응 방안을 i) NDC 목표 상향, 감축 이행 경로 및 로드맵, ii) 감축의 수요 관리 중요성, iii) 공급부문(에너지, 농업·산림·기타토지이용, 도시시스템과 기타 거주지, 건물, 수송, 산업)의 다양한 감축 옵션 고려 및 노력, iv) 이산화탄소제거(CDR) 접근법, v) 통합적 접근법(감축-적응-지속가능발전), vi) 국제협력, vii) 기후금융, viii) 기후기술에 대해서 입장 도출
3장	1절	**이산화탄소제거 접근법과 완화에 대한 내용을 개괄** - **(연구배경)** · 우리나라의 기후변화 완화를 위하여 DAC 기술에 대한 국민적·정책적 수요가 증대하는 상황 가운데 DAC 기술의 동향 및 향후 방향성 설정 필요 - **(연구질문)** · 직접대기탄소포집(DAC) 기술이 무엇이며 현재 개발 현황은 어떠한가? 이 기술에 대한 실증 현황은 어떠한가? 우리나라의 정책적 대응 방향은 무엇인가? - **(방법론)** · (기술 개괄) DAC 기술을 습식포집 기술과 건식포집 기술로 구분하고, 각 방식에 대해서 포집방식을 개괄하고 포집방식 적용시 고려사항을 도출 · (실증현황) 국외 대규모 실증사례 2건과 국내 소규모 실증사례 1건을 중심으로 기술 - **(연구결과)** · 정책적 시사점으로 i) 우리나라에 도입하고자 하는 DAC 기술 종류(습식 및 건식)의 특성을 고려한 R&D 전략 필요, ii) DAC 기술을 통한 제거 실적에 대한 경제적 보상이 이루어지도록 방법론 개발, iii) 배출권거래제도 상의 감축 결과물 활용, iv) 세액공제 및 다양한 규제 방식 검토를 제시
	2절	중점 연구 **직접대기탄소포집저장(DACCS) 기술 연구** - **(연구배경)** · 현재 DACCS 기술에 대해 기술 및 정책 환경이 아직 성숙하지 않았음에도 대규모 DACCS 기술의 실증사업이 이루어지고 있어 이에 대한 결정요인 연구 필요 - **(연구질문)** · 직접대기탄소포집(DAC) 기술에 대한 기업의 대규모 실증 및 활용에 대한 결정요인(determinants)은 무엇인가? - **(분석틀)** · DACCS 기술의 대규모 실증 및 활용에 대한 3대 요인으로 I) 시장유인(Market-pull) 요인, ii) 기술 주도(technology-push) 요인, iii) 규제 엄격성(regulatory stringency) 요인을 중심으로, 각 요인별 세부 결정요인을 DAC 문헌 연구를 통해서 도출하여 분석틀 수립 - **(방법론)** · 이를 토대로 카본엔지니어링(사)에 대해서 사례연구 수행

섹션		정책지원 및 연구결과
		- **(연구결과)** · 본 연구를 통해 i) 국가·지역·국제적 규제 기반의 탄소 가격제를 통해 탄소 가격 및 DAC 기술 도입 비용의 정량화 및 상호간의 비교 필요, ii) 예측 가능한 탄소 가격에 기반하여 도출된 미래 사업 성과에 대한 예측을 바탕으로 금융에 대한 접근 필요, iii) 규제 외에도 모든 결정요인들이 함께 작용하는 것이 필요하다는 결과를 도출
4장		**ESG 차원- IPCC 보고서 활용성 제고 연구**
	1절	
	2절	중점 연구: **기후변화 완화를 위한 기후투자와 ESG 연구** - **(연구배경)** · ESG 기준 및 지침 중에서, 기후변화에 특화된 기업 정보공시 기준으로 '기후변화 재무정보 공시 전담협의체(TCFD) 권고안 도출 · 우리나라 금융위원회는 상장기업을 대상으로, ESG공시의 단계적 의무화를 골자로 하는 '기업공시제도 종합개선방안' 발표('21. 1) · 특히, TCFD 권고안 준수가 중요하게 여겨지면서, TCFD권고안에 대응하기 위한 민간 협의체인 'TCFD 얼라이언스' 출범('22. 6) · TCFD 권고안에 따라 정보공개용 자료를 준비하는 과정에서 '기후변화' 리스크 분석에 필요한 최신 정보가 부재한 바, 이를 최근 승인된 제6차 IPCC 평가보고서 결과에 따라 이를 정리하여 대중에게 제공할 필요성을 인지 - **(연구질문)** · TCFD 권고안에 따라 정보공개 자료를 작성하기 위해 거쳐야 하는 기후변화 위험 및 기회 분석에 필요한, 기후위험 정보는 무엇인가? 이 정보를 어디에서 찾아야 하는가? 최신 과학적 근거에 의해 작성된 IPCC 제6차평가보고서 시나리오에 기반해서 기후위험 정보를 추출하는 것이 가능한가? - **(분석틀)** · TCFD 권고안에서 요구하는 기후변화 대응 정보공개를 위해 기업이 거쳐야 하는 시나리오 분석 5단계 분석 · 동시에 TCFD 권고안에서 제시한 기후변화 위험요인을 전환적 위험(정책 및 법률, 기술, 시장, 평판)과 물리적 위험(급성, 만성)에 대해서, IPCC 제6차 평가보고서의 내용을 바탕으로 세부적인 정보들을 추출 - **(연구결과)** · 2021년과 2022년 IPCC에서 발간한 제6차 평가보고서의 내용을 기반으로, 기후변화 위험요인에 대한 최신 정보를 추출하여 내용 정리
5장	1절	**기후변화대응 상향식 국제 제도 연구 (기후변화 완화와 기후클럽 제도/접근법 개괄)**
	2절	중점 연구: **파리협정 제6조 상응조정 규칙에 대한 정책대응 연구** (파리협정 제6조 상응조정 규칙의 해석과 우리나라 대응 정책의 시사점) - **(연구배경)** · 우리나라는 최근 파리협정 제6.2조의 협력적 접근법에 근거하여 자체적인 국제탄소시장시스템인 '양자협력 체계'를 수립하고 해외 감축사업을 전개 계획 · 파리협정 6.2조 기반 협력적 접근을 활용하고자 하는 경우, 반드시 '상응조정'을 거쳐야 하는데, 상응조정에 대한 세부 이행규칙이 '21년 11월 도출 · 그런데, 동 상응조정 규칙이 세부적으로 어떻게 설정되었으며, 세부이행규칙 상의 상응조정 규칙이 구체적이지 않은 바 해석의 여지가 있는 바, 이에 대한 면밀한 해석이 필요 · 또한, 상응조정 규칙이 우리나라의 향후 정책에 어떠한 영향을 미치는가에 대한 정책적 대응연구가 부재

<table>
<tr><th colspan="2">섹션</th><th colspan="2">정책지원 및 연구결과</th></tr>
<tr><td rowspan="3"></td><td></td><td colspan="2">- (연구질문)
· 상응조정 세부이행규칙이 무엇이며, 어떻게 설정되었으며, 어떻게 해석되는가?
· 상응조정 규칙이 영향을 미치는 국내 정책 범주는 무엇인가?
· 국내정책 범주별로 세부이행규칙의 국내 적용 시 우리나라 정부의 정책 대응방안은 무엇인가?
- (분석틀)
· 상응조정 기존 문헌연구를 통해 i) 상응조정 방법론 규칙과 우리나라 단일년도 국가결정기여(NDC) 상응조정 방법론 적용 방안, ii) 상응조정 대상인 ITMO 규칙과 ITMO 확보 방안, iii) 상응조정 보고 규칙과 상응조정 리스크로 상응조정 관련 사항을 구분
- (방법론)
· 대한 대응 방안을 주심으로 파리협정 세부이행규칙을 분석하고, 이에 대한 우리나라 대응 방안 도출
- (연구결과)
· 우리나라의 정책적 대응 방향 도출 (동 사항은 해당 챕터 분석결과&챕터 참조)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">2절</td><td>중점 연구</td><td>파리협정 제6조 환경건전성 원칙 적용 연구
(파리협정 6.2조 협력적 접근 하 우리나라 자체적 국제 탄소시장 메커니즘에 대한 환경건전성 개념 적용 방향 고찰)</td></tr>
<tr><td colspan="2">- (연구배경)
· 우리나라는 최근 파리협정 제6.2조의 협력적 접근법에 근거하여 자체적인 국제탄소시장시스템인 ‘양자협력 체계’를 수립하고 해외 감축사업을 전개 계획
· 우리나라가 양자협력 체계를 설계하는 데에 있어, 환경건전성 확보를 위해서 어떠한 요소들을 고려해야 하고 그러한 요소들에 기반해 어떠한 규칙을 수립 및 반영해야 하는가에 대한 정책적 고려 시작
- (연구질문)
· 우리나라가 환경건전성 확보 차원에서 반영해야 하는 규칙의 방향성
- (분석틀)
· 환경건전성 개념에 대한 문헌 연구를 통해, 환경건전성 개념 적용시 요구되는 고려항목을 크게 네 가지로, i) ITMO 생산(세부 고려항목: 추가성, 베이스라인 방법론, 전환 방법론, 영구성, 그리고 세이프가드 & 지속가능발전), ii) ITMO 이전(세부 고려항목: 상응조정), iii) ITMO 취소(세부 고려항목: 전지구적 전반적 감축 달성을 위한 공제), iv) ITMO 판매실적의 수익금 기여(세부 고려항목: 적응기금 연계성)로 구분. 각 항목별로 고려해야 하는 세부 항목들을 도출
- (방법론)
· 각 항목별로 청정개발메커니즘(CDM), 일본의 공동크레딧메커니즘(JCM), 스위스의 ITMO 구매 계약 제도, 그리고 가능하면 파리협정 6.4조 지속가능발전메커니즘에서 제시하는 규칙들을 도출하고, 이를 중심으로 우리나라에 가장 적절한 규칙 도출 분석
- (연구결과)
· 상기 각 항목별로 우리나라 대응 방안 도출
(동 사항은 해당 챕터 분석결과&챕터 참조)</td></tr>
<tr><td>6장</td><td>-</td><td colspan="2">결론</td></tr>
</table>

출처: 동 보고서 본문 내용을 토대로 저자가 정리.

2. 올해 연구의 특징과 향후 연구 방향성

2022년도에 수행된 연구과제는 기후변화에 관한 국가간 패널(IPCC)에 대한 정책 업무를 대응하는 과정에서의 정책연구와, IPCC 제6차평가보고서에 대한 검토 및 논의과정에서 핵심적으로 중요한 세 가지 연구주제를 별도로 추출하여 중점 연구를 수행하였다. 각각의 세부과제에 대해서 살펴보면 다음과 같다.

먼저, IPCC에 대한 세부과제와 관련해서, IPCC에 대한 연구는 2017년부터 시작되어 2022년 현재까지 계속적으로 진행된 연구로서, 2018년 단독 과제화 되었던 때를 제외하고는 모두 세부연구로 포함되어 진행되어 왔다. 기상청이 IPCC 국내 대응협의회를 2020년 신설하고, 국가녹색기술연구소는 에너지경제연구원과 함께 IPCC 국내 대응협의회의 제3실무그룹 전문위원회의 주관기관으로 선정되었다. IPCC 제6차 평가보고서 검토가 2020년부터 2022년 4월까지 이루어졌고, 이에 대한 정부대응과 관련한 세부 중점연구가 수행되었다. IPCC 제6차 보고서에 대한 승인이 2021년 실무그룹I(과학) 보고서, 2022년 2월 실무그룹II(적응) 보고서, 그리고 2022년 4월 실무그룹III(완화) 보고서 순으로 차례대로 이루어졌다. 그런데, 동 3개 보고서를 종합한 종합보고서에 대한 논의가 2023년 3월 또는 4월에 IPCC 총회를 통해 이루어질 예정이다. 종합보고서 초안이 2022년 12월 도출예정인 바, 이에 대해서 우리나라 제3실무그룹 전문위원회 주관기관으로써 내용 검토를 리드하고, 제1실무그룹 및 제2실무그룹 주관기관과 협력하여 우리나라 입장 수립을 위한 정책연구가 2023년에도 지속될 필요가 있다. 또한, IPCC 제6차 보고서, 특히 종합보고서는 2023년 파리협정 국제이행점검(global stocktake)에 활용될 예정인 바, 종합보고서 최종 승인 후 이 보고서의 핵심내용을 국내적으로 확산하는 노력이 필요할 것으로 보인다.

다음으로, 이산화탄소제거 접근법 차원에서 진행된 '직접대기포집(DAC) 기술'에 대한 연구와 관련해서는 2021년 DAC 기술의 우리나라 R&D 적용성에 대해서 '기술적'인 측면에 집중하여 연구가 진행되었다. 한편, 2022년 올해에는 DAC 기술이 무엇이고 현재 국내/외적으로 실시된 기술실증 현황을 살펴보고 우리나라의 대응 방안을 모색하였다. 또한, 대규모 기술실증을 실시한 캐나다 카본엔지니어링(사)를 중심으로 기업이 DAC 기술실증을 결정하게 된 결정요인에 대한 연구를 사례조사를 통해 진행하였다. 이러한 연구를 토대로, 2023년에는 국내기업을 중심으로 연구를 실시할 필요가 있을 것으로 보인다. 우리나라에는 DAC 기술로 소규모 기술실증을 실시한 ㈜로우카본 기업이 존재한다. 또한, SK건설 및 GS 건설 등의 대기업이 DAC 기술을 중심으로 2023년 기술실증을 기획하고 있다. 따라서, 이미 소규모 실증을 실시한 ㈜로우카본을 중심으로 대규모 기술실증의 장애요소에 대한 연구를 실시할 수도 있다. 또한, 우리나라에서 DAC 기술의 활용에 있어서 주요한 정부정책이 무엇인지에 대한 연구 역시 필요할 것으로 보인다.

이어서, ESG 차원 IPCC 보고서 활용성 제고 연구와 관련해서는 2022년 ESG 차원의 기후변화에 특화된 'TCFD 권고안' 작성에 필요한 리스크 분석 단계의 기후리스크 자료를 IPCC 제6차평가보고서를 중심으로 추출하였다. 사실, TCFD 권고안에 대해서는 다른 선진국들과 비교했을 때 우리나라에서 많은 기업들이 참여하고 있지는 않은 상태이다. 이에, TCFD 권고안에 따른 정보공개 활동을 보다 확산하기 위해, 다른 선진국들의 경우 TCFD 권고안에 대한 기업들의 참여를 위해 어떠한 정책들을 펼치는가에 대해 어떠한 요인들이

주요하게 작용하는 지에 대한 연구가 필요할 수도 있다고 본다.

마지막으로, 상향식 접근법으로서의 기후클럽 제도·접근법 차원에서는 2022년 올해 파리협정 제6조 세부이행규칙을 중심으로 연구를 진행하였다. 그 이유는 우리나라에서 파리협정 제6.2조 협력적 접근 차원에서 자체적인 국제탄소시장 메커니즘인 '양자협력 체계'를 수립하고자 하기 때문이다. 이 차원에서 파리협정 세부이행규칙인 '상응조정'에 대한 세부이행규칙을 해석하고, 우리나라 대응 정책 방향을 모색하였다. 또한, 파리협정 제6조의 핵심 원칙인 '환경건전성'을 중심으로, 우리나라 양자협력 체계를 설계하는 데에 있어서 환경건전성 원칙과 관련하여 어떠한 고려항목들이 있으며 우리나라는 어떠한 규칙을 설정해야 하는가에 대한 연구를 진행하였다. 아직 파리협정 세부이행규칙이 2021년 11월 도출되었다고는 하나, 아직도 협상중인 세부적인 이행규칙들이 있는 바, 2023년에도 이에 대한 사항들을 파악하여 향후 우리나라 양자협력 체계에 반영하기 위한 정책연구가 필요하다고 볼 수 있다.

별 첨

IPCC 제3실무그룹 보고서 최종정부안(FGD)에 대한 제3실무그룹 전문위원회의 검토의견

[IPCC] AR6 WG3 SPM / 챕터 1(도입 및 구성) 관련 섹션

<1. 주요 내용>

□ 본 보고서(AR6 WG3)의 개요

- ㅇ 2021.10.11.까지 발표된 기후변화 완화(mitigation) 관련 과학, 기술, 환경, 경제, 사회적 측면의 문헌을 검토
- ㅇ 기존 IPCC 보고서(AR5 및 3개의 특별보고서) 토대로 방법론적 개선 및 새로운 연구·조사 결과들을 반영

□ 본 보고서의 주요 검토 내용을 5가지의 항목으로 정리하여 제시

- ㅇ 교토의정서·파리협정 등 UNFCCC 차원의 진행 경과, UN 2030 SDG, 국제협력·재원·혁신의 역할 강화 등
- ㅇ 신규 참여자(도시, 산업계, 시민 등) 역할 증대, 저배출 기술의 비용 감소, 국제적인 기후정책 확산 및 코로나19로 야기된 새로운 동향 등
- ㅇ 경제성장이 온실가스 배출을 발생시키는 기존의 틀을 벗어나, 성장을 지속하면서도 배출은 억제할 수 있는 방식에 대한 주요 연구 및 문헌
- ㅇ 수요·서비스 및 사회적 측면, 혁신·기술개발 및 이전, WG1·2와의 협력 관련 장을 별도 구성, 단·중기(~2050) 및 장기(~2100) 미래 전망을 결합
- ㅇ 기후변화 완화의 위험 및 기회 요인(공편익, 공정전환 등) 파악을 위한 다양한 분석체계 검토(경제·환경 효율성, 윤리 및 공정, 사회-기술적 전환 등)

<2. 검토 의견>

□ 탄소중립, NDC 상향 등 기후변화 대응 관련 논의가 최근 매우 활발히 진행 중이나, 작성 시점의 문제로 본 보고서에 포함하는데 한계

- ㅇ 우리나라의 경우 2050 탄소중립 시나리오 및 2030 NDC 상향안이 2021.10월 말 확정되었으나 본 보고서에는 반영되지 못함

□ 정량적 평가 및 공식 문헌 반영은 어려우나, 작성 시점 이후 기후변화 대응 관련 주요 동향 및 전망을 정성적으로라도 언급할 필요

[IPCC] AR6 WG3 SPM / 챕터 2(배출 추세와 그 동인) 관련 섹션

<1. 주요 내용>

□ B1. 전지구 순 인위적 온실가스배출량의 지속적 증가. 2010-2019년 동안 평균 온실가스 배출량 최대, 동 기간 증가율은 이전 10년 대비 낮음.

○ B1.1. 2019년 전지구 순 인위적 온실가스 배출량 59±6.6GtCO2-eq 2010년 대비 12% 증가, 1990년 대비 54% 증가. 2010에서 2019년 사이 연평균 순 온실가스 배출량 56±6.0GtCO2-eq로 이전 10년 대비 9.1GtCO2-eq 증가. 이는 1850년 이래 10년 단위 가장 큰 증가. 2010-2019년 사이 연평균 온실가스 배출량 증가율은 2000년에서 2009년 사이 증가율 2.1%에서 1.3%로 감소

○ B1.2. 1990년 이래로 모든 온실가스 배출량 지속 증가. CO2, CH4가 가장 크게 증가, F 가스의 증가율 가장 높았음.

○ B1.3. 1850년부터 2019년까지 누적CO2배출량은 2400±240GtCO2. 1970년 이후 1500±140GtCO2 배출; 1990년 이후 1000±90GtCO2 배출; 2010년 이후 410±30GtCO2 배출. 1850년 이래 CO2 배출량은 1.5도로 온난화 제한 가능성이 높은 총탄소예산의 4/5; 2도로 온난화를 제한할 가능성이 있는 탄소예산의 2/3

○ B1.4. 화석연료 및 산업에서의 CO2 배출량이 코로나 대유행으로 인해 2019년 대비 2020년 약 5.8%/2.2(1.9–2.4)GtCO2 일시적 감소. 2020년 말 전세계적으로 배출량 재증가

□ B2. 2010년 이후 모든 부문에서 온실가스 배출량 증가; 화석연료 및 산업의 CO2 배출량 관련, 에너지효율 및 탄소 집약도 개선은 산업, 에너지 공급, 교통, 건물, 농업 및 토지이용변화, 도시화에서의 전지구적 활동 증가를 상쇄하기에는 불충분.

○ B.1.2. 2019년 전지구 온실가스 배출량 중 에너지부문은 34%(20GtCO2-eq); 산업부문은 24%(14GtCO2-eq); AFOLU는 약 22% (13GtCO2-eq)차지; 교통부문은 15%(8.7GtCO2-eq); 건물부문은 6%(3.3GtCO2-eq) 차지. 간접에너지소비량 포함 시 산업 및 건물의 상대적 비율은 34% 및 17%.

○ B2.2. 2010-2019년 사이 에너지 공급(2.3%->1.0%) 및 산업 분야(3.4%->1.4%)에서의 연평균 온실가스 배출량 증가는 이전 10년 대비 상당히 느려짐. 전지구 CO2 및 메탄배출량(항공, 해운, 및 생물성 배출원 제외) 비중 증가는 도시 활동으로 인함. 순 CO2-LULUCF 배출량은 높은 연간변동성으로 인한 불확실성이 높고, 장기 추세 확인 불가. AFOLU의 배출 증가는 CO2-LULUCF 배출량 높은 비중으로 인해 불확실*

* 전지구 모델의 토양 플럭스 값과 국가 온실가스 인벤토리 합계 값 간에는 최대 5.5GtCO2 yr-1 차이

○ B2.3. 2010-2019년 전지구 에너지 효율개선 2% yr-1. 같은 기간 에너지 공급의 탄소 집약도 0.3% yr-1 감소. 현 수준의 탄소 집약도 감소는 일시적인 오버슛이 없거나 제한적인 오버슛이 있는 1.5도 온난화 시나리오 또는 2도 온난화 시나리오에서의 감소율의 1/6에서 1/9 수준

□ B3. 배출량 차이는 지역 및 가구간 소득 불평등을 반영함. 현대 에너지에 대한 보편적 접근 제공은 전지구 CO2 배출량을 일부(marginally) 증가시킬 것. 일부 국가에서는 경제성장과 더불어 온실가스 배출량 감축 지속, 다른 지역에서의 배출량 증가가 이러한 감축을 앞섬

ㅇ B3.1. 2019년 기준 선진국(전세계 인구 19%)의 온실가스 배출량 비중 27%(CO2-LULUCF 제외); 최빈국(전세계 인구 14%)은 온실가스 3% 배출; 2010년 이래 온실가스 배출량 순증가의 83%가 아시아 및 태평양 개발도상국에서 발생. 2010년 이래로 선진국의 연간 온실가스 배출량을 1.1GtCO2-eq 저감, 1850년 이래로 누적 CO2 배출량 감축에 최대 기여

ㅇ B3.2. 소득수준 상위 10% 가구가 전지구 온실가스 배출량의 36-45% 배출, 소득수준 하위 50% 가구는 13-15% 배출. 일인당 배출량은 매우 불균등. 2019년 전지구 인구 중 53% 일인당 3tCO2 보다 적게 배출. 9%는 12tCO2 보다 더 배출. 하위 50% 배출자들의 대다수는 아프리카, 남부 및 동남아시아, 라틴아메리카, 캐리비안에 거주하며 대부분 전력 또는 현대식 조리 서비스에 대한 접근성이 낮음. 현대적 에너지에 대한 보편적 접근 제공은 최대 몇 % 전지구적 온실가스 배출량을 증가시킬 것.

ㅇ B3.3. 최소 24개 국가는 에너지 공급의 탈탄소화 및 에너지 수요 감축 및 안정화를 통해 경제성장과 동시에 역내 및 소비 기준 CO2 배출량이 10년 이상 감축. 몇 년 동안 배출량 감축은 4% yr-1 으로 이는 온난화를 2도로 제한할 가능성이 있는 시나리오에 상응. 전체적으로 이러한 감축은 전지구 배출증가 대비 작음

<2. 검토 의견>

□ 수정 필요한 사항

ㅇ P4 LN16 B1.3.의 likely as not to는 비영어권 독자가 오독할 수 있어, very likely or very probably 등으로 수정하는 것이 옳을 것

ㅇ P5 LN4 SPM1. Land use -> land use;

ㅇ P5 LN11 converted based on global warming potentials with a 100-year time horizon (GWP100) from the IPCC Sixth Assessment Report Working Group I 이 부분 redundant 앞의 footnote 5에 있는 내용임.

ㅇ P5 Panel b의 그래프 불필요함. GWP값이 개선되어 왔으나, 앞의 값을 고려해 비교하는 것은 정책결정자들에게 오해(misunderstanding)를 줄 수 있음.

ㅇ P6 LN15 CO2-LULUCF 표현의 수정 필요. 혹은 각주 추가 필요

ㅇ P7 LN21-23 B3.3.의 some years 표현은 매우 모호함. 연속적인 기간이 아니라 특정 년도를 의미하는 것이라면, 이것을 명확히 하고 연 4% 감축이 2도 온난화 제한 시나리오에 상응한다는 표현을 보다 명확히 해야함. 또한 다음 문장에서 these reductions 대신에 특정 연도에서의 배출량 저감이 확인되었다는 표현으로 보다 명확화할 필요 있음.

ㅇ P8 LN3 GWP100 AR6 불필요.

ㅇ P8 Panel b countries 라고 되어 있으나, 어떤 국가들인지 알 수 없음. future pathway이나 near future라는 것을 명시할 필요가 있음. International Shipping and Aviation -> international shipping and aviation. 또한 이 그래프가 이 두 기간에 지역별 변화를 보여주는 지 알 수 없음. 현재 그래프는 이해 어려워 수정이 필요함.

[IPCC] AR6 WG3 SPM / 챕터 3(장기 목표와 부합하는 완화 경로) 관련 세션

<1. 주요 내용>

□ (B.6) 현재 수준의 NDC 이행만으로는 1.5℃ 목표 달성이 어려우며, 2℃ 달성을 위해 2030년 이후 급격한 감축 노력 가속화가 필요. 현행 정책(current policies) 기준 배출량은 NDC 합계 배출량 초과

- ㅇ B.6.1 무조건 및 조건부 2030 NDC 배출 전망은 53 (50-57) Gt 및 50 (47-55) Gt, 현행 정책에 따른 2030 배출 전망은 57GtCO$_2$eq (52-60) → 2030년 NDC와의 차이는 무조건부 4Gt, 조건부 7GtCO2eq
- ㅇ B.6.2 무조건부 NDC는 (1.5℃ 시나리오 기준) 20-26Gt 및 (2℃ 기준) 10-17Gt, 조건부 NDC는 (1.5℃ 시나리오 기준) 16-24Gt 및 (2℃ 기준) 7-14Gt의 배출 격차(emission gap) 존재
- ㅇ B.6.3 현행 NDCs는 1.5도 상당히 초과, 2도 목표 달성을 위해서는 2030년 이후 급격한 감축을 통해 2030-50년에 연평균 1.3-2.1 GtCo2-eq를 감축해야 하는데, 이는 즉각적인 행동을 할 때보다 약 70% 정도 높은 수준임. 2100년까지 1.5도로 돌아오기 위해서는 세계적으로 대규모 음의 배출량을 달성해야 함 (Figure SPM.5 참조)

□ (B.7) 기존 및 현재 계획된 화석연료 인프라의 배출량 전망만으로도 1.5도 달성에 필요한 누적배출량을 초과함

- ㅇ 과거 운영 및 폐기 패턴을 반영하면, 기존 화석연료 인프라(대부분 발전부문)만의 배출량이 660 (460-890) GtCO2, 현재 계획된 인프라까지 합치면 850 (600-1100) GtCO2: 1.5도 달성을 위한 잔여 누적배출량은 510 (330-710) GtCO2, 2도는 890 (640-1160) GtCO2
- ㅇ 1.5도나 2도 달성 배출량 경로의 잔여 배출량은 대부분 산업이나 수송부문에서 발생: 전력부문은 화석 연료 인프라는 조기 폐기, 개조(retrofitting), 기존 인프라 사용 축소, 새로운 계획의 취소 등의 조치 필요

□ (C.1) 1.5도나 2도 목표를 달성하기 위해서는 2025년 이전에 전세계 배출량이 정점에 도달하여야 하고 그 이후 20년 동안 급격한 감축이 이행되어야 함. 현재 정책의 강화 없이는 2100년에 2.4도에서 3.5도 상승에 도달하게 될 것임

- ㅇ 주요 배출량 경로의 주요 특성 파악을 위해서는 Table SPM.1 검토 요망: 1.5도 경로는 C1 인용, 2도 경로는 C3a 인용 → C3 언급 제외는 2도 경로 선택적 인용(?)

□ (C.2) 1.5도나 2도 달성을 위해서는 CO2 넷제로와 다른 GHG의 급격한 감소(deep reduciton)가 수반되어야 함. 기온상승의 정점은 CO2 넷제로 시기와 그 때의 non-CO2 forcers에 의해 결정. 2030년 2040년까지의 급격한 감축은 overshooting의 리스크와 장기적인 음의 배출량 필요성을 낮춤. GHG의 넷제로는 일시적 기온상승 정점 후 기온하락을 가져올 것임

□ (C.3) 1.5도나 2도 목표 달성을 위해서는 모든 지역에서 모든 부문의 급격한 GHG 감축이

필요함. 저탄소 및 무탄소 에너지로의 전환, 에너지원단위 저감, non-CO2 배출 저감, 잔여 배출량에 대한 CDR (carbon dioxide removal) 적용을 통해 목표 달성 가능. Figure SPM.6의 IMPs (Illustrative Mitigation Pathways)는 목표 달성을 위한 다양한 부문별 전략의 조합을 보여주고 있음

<2. 검토 의견>

□ C.1.1에서 2도 시나리오의 경로를 인용할 때 C3a만을 사용하고 있는데, 선택적이라는 지적을 받지 않기 위해서는 C3 전체에 대한 인용이 필요

ㅇ “C.1.1 Net global GHG emissions fall by 13–45% by 2030 and 52–76%16 by 2050 in pathways *likely* to limit warming to 2캢 assuming immediate action (C3a, Table SPM.1)”

[IPCC] AR6 WG3 SPM / 챕터 4(단기·중기 완화 및 발전 경로) 관련 섹션

<1. 주요 내용>

□ (B.6) 현재 수준의 NDC 이행만으로는 1.5℃ 목표 달성이 어려우며, 2℃ 달성을 위해 2030년 이후 급격한 감축 노력 가속화가 필요할 것. NDC 공약과 현행 정책 기준 배출량의 차이인 이행 격차도 존재

- ㅇ 무조건 및 조건부 NDC에 따른 2030 배출 전망은 53 (50-57) Gt 및 50 (47-55) Gt
- ㅇ 현행 정책에 따른 2030 배출 전망은 57GtCO$_2$eq (52-60)
- ㅇ 2030년 이행 격차는 무조건부 4Gt, 조건부 7GtCO2eq 으로 추정
- ㅇ 무조건부 및 조건부 NDC 각각에 대해, 1.5℃ 시나리오 기준 20-26Gt 및 10-17Gt, 2℃ 기준 16-24Gt 및 7-14Gt의 배출 격차 존재

□ (D.3) 감축 옵션의 선택과 발전 경로의 이동은 고용 및 경제 구조에 큰 변화를 야기하는 등 소득 재분배 효과를 가짐에 따라, 전환 과정에서 형평성과 이해당사자 참여를 중시할 필요

- ㅇ 의사결정 과정에서 형평성을 중시하고, 이해당사자의 폭넓은 참여 허용함으로써 사회적 신뢰를 쌓고 혁신적 변화에 대한 공감대와 지지를 더 넓고 깊게 형성할 수 있음
- ㅇ 각국은 사회·경제·문화 또는 정치적 조건, 보유 자원, 국제 환경 및 역사 등에 의해 출발점이 다르며, 이를 반영해 발전 우선순위가 상이함. 지속가능한 발전을 가능하게 하는 경제·사회·환경적 조건 측면에서 서로 다른 필요를 가짐

□ (E.2) 광범위한 발전 맥락에 내재된 감축 노력은 배출량 감소의 속도와 폭을 증가시킬 것. 지속가능성을 지향하는 발전 경로 전환 정책은 이용 가능한 감축 방안의 폭을 확대시키고, 발전 목표와의 시너지 달성을 가능하게 함

- ㅇ 재원, 제도적 역량, 기술 및 행동 변화에 대한 조치를 취함으로써 발전 경로를 전환하고 시스템 전반에서 감축 및 전환을 가속화할 수 있음
- ㅇ 현재의 발전 경로는 모든 척도에서 감축 가속화에 대한 행동, 공간, 경제 및 사회적 장벽을 형성. 정책입안자, 시민, 도시 계획자, 민간 부문 및 기타 이해관계자의 선택은 사회의 발전 경로에 영향을 미침
- ㅇ 감축을 토지 관리, 에너지 계획, 금융 규제 또는 거시 경제 정책과 같은 영역의 정책들과 결합함으로써 장애요인을 극복하고, 감축 옵션의 범위를 확장하고, 감축 및 발전 목표의 결합을 촉진할 수 있음

<2. 검토 의견>

□ (B.6) SOD 4장에서 COVID-19의 영향에 관한 논의를 추가하였으나, 그 중요성에 비해 논의 내용이 빈약하였음. FGD에서는 해당 내용을 보완하고 2030년 전세계 GHG 배출전망치

관련하여 최신 연구결과를 종합하여 COVID-19의 영향이 포함된 전망치를 제공함

- ㅇ FGD에서 제공하는 2030 배출 전망과 그에 따른 배출 격차 수치는 COVID-19의 영향이 반영되어 SOD에서 제공한 배출 전망치와 배출 격차 추정치에 비해 다소 낮아짐
- ㅇ (SOD) 현행 정책 기준 2030 배출 전망 중앙값 63 (57-70) $GtCO_2eq$
- ㅇ (FOD) 현행 정책 기준 2030 배출 전망 중앙값 57 (52-60) $GtCO_2eq$

□ (B.3.1) FGD에서는 2010년 이후 83%의 GHG 순증가가 아시아 및 태평양의 개도국들에서 발생했고, 동 기간 선진국은 GHG 1.1 Gt을 감축했다고 언급하였으나, 동시에 1850년 이후 누적 CO2 배출량의 대부분에 대해 선진국에 책임이 있음을 명시함

- ㅇ SOD SPM B.3에서는 선진국과 개도국, 부유국과 최빈국 간의 GHG 배출 불평등에 대해 강조하고, 2010~2018년 누적 배출량을 기준으로 선진국의 배출 비중(35%)을 언급함
- ㅇ FGD SPM에서는 SOD와 비교해 선진국의 역사적 책임을 보다 강조하는 방향으로 B.3의 내용이 수정됨

□ (C.11) SPM C.11에서는 감축과 GDP의 관계에 대해 Ch.3, Ch.12의 내용을 중심으로 요약한 것으로 보임. Ch.4에서도 해당 주제에 대해 논의하나 SPM C.11에 포함되지 않았으며 논의내용 또한 다소 상이함

- ㅇ Ch.4 4.2.6.2 섹션은 감축 가속화가 GDP에 미치는 영향에 대한 연구결과를 종합하여 그래프와 표로 제시하고 있으며, 부정적 및 긍정적 영향 모두에 대해 상세히 논의함
- ㅇ 반면, SPM C.11에서는 2℃ 이내로 제한하기 위한 감축행동이 GDP 성장에 매년 0.1 포인트 이내로 영향을 줄 것이라고 단편적으로 언급
- ㅇ 여러 챕터간 그리고 SPM과 본문 챕터간 유사한 주제에 대해 논할 때 내용의 일관성 점검 필요

[IPCC] AR6 WG3 SPM / 5장(감축의 수요, 서비스, 사회적 측면) 관련 섹션

<1. 주요 내용>

□ 온실가스 감축의 수요, 서비스, 사회적 측면에 대한 장이 WG3 보고서에 최초로 포함됨

□ 수요 측면에서의 온실가스 감축은 인프라 변화, 기술 도입, 행태 변화를 아우름. 수요 측면 조치와 최종 서비스를 제공하는 새로운 방식으로 인한 온실가스 감축 잠재량은 중·단기적으로 상당하고 모든 사람의 삶의 질을 개선하는 것에도 부합함.

- ㅇ (C.10.1) 인프라 제공과 기술에 대한 접근이 수요 패턴과 대안적인 서비스 제공 체계를 형성하기 때문에 이것들이 사회문화적, 행태적, 생활양식의 변화를 통한 온실가스 감축의 범위를 결정하는 데 있어서 매우 중요한 역할을 함
- ㅇ (C.10.1) 모든 부문에 대한 종합적인 수요 측면 전략은 2050년 배출량의 40-70%를 감축할 수 있는 잠재력을 가지고 있음
  - 반면 개인 행태 변화 단독으로는 온실가스 감축에 보통의 기여만을 함
- ㅇ (C.10.2) △압축 도시(compact city)를 통한 건조 환경(built environment), 새롭고 용도가 변경된 인프라, 그리고 서비스 제공에 있어서의 변화, △직장과 주거의 공동배치(co-location), △건물부문의 더욱 효율적인 공간 및 에너지 사용, △능동적 이동(active mobility)을 위한 거리 공간의 재배치는 최종 소비 부문에서의 온실가스 배출을 5-20%까지 회피할 수 있게 해줌
  - 사용 중인 기술 종류와 인프라에 대한 접근이 △빌딩 내 냉난방 온도 조절, △가전기기 사용 감소, △걷기, 사이클링, 공유모빌리티, 대중교통으로의 전환, △물질 투입량 감소와 지속가능한 소비, △재사용(reuse), 수리, 및 재활용(recycling) 개선 등과 관련된 선택에 영향을 줌
- ㅇ (C.10.3) 선택지 구조*가 최종 사용자들이 온실가스 저배출 옵션을 선택할 수 있도록 도와줄 수 있음.
  * 선택지 구조: choice architectures, 선택지들이 제시되는 방식
- ㅇ (C.10.4) 인간의 욕구를 충족시키고 모든 사람들에게 양질의 삶을 제공하기 위해 필요한 기본적인 서비스가 현재 전 세계 최종 에너지 소비의 40-60% 수준에서 제공될 수 있음
  - 많은 서비스가 에너지 수요는 줄이면서도 개선될 여지가 있음
  - 기본적 웰빙의 격차를 메우는데 필요한 인프라의 공급에 소요되는 총 에너지는 현재 연간 전 세계 에너지 수요보다 상당히 작음
  - 지위 상징적 소비(status consumption)와 불평등을 해소하는 것이 기후변화 감축 노력을 강화시켜줌

<2. 검토 의견>

□ 수요 측면 감축 전략을 회피-전환-개선(Avoid-Shift-Improve) 옵션들로 구분하는 것에 대한 내용을 추가할 필요

ㅇ ASI 개념은 WG3 보고서 5장에서 수요 측면 감축 수단을 구분하는 주요한 틀이었음에도 SPM에서 전혀 언급되지 않음

□ C.10.2에서 일부 수요 측면 감축 수단들의 배출 회피 잠재량이 제시되었는데, 선택된 일부 수단들의 기준/근거가 명확하지 않음

ㅇ C.10.1에서 모든 부문의 수요 측면 감축 잠재량이 40-70%라고 서술하고, C.10.2에서는 일부 사례들의 배출 회피 잠재량이 5-20%라고 서술

ㅇ C.10.2에서 제시된 일부 사례들이 선택된 기준/근거가 명확하지 않음

□ 선택지 구조가 최종 사용자들의 선택을 어떻게 유도하는지에 대한 설명이 추가될 필요

□ 수요 측면에서의 온실가스 감축과 모든 사람의 삶의 질 개선이 부합되는 것에 대한 구체적 설명 필요

ㅇ 지위 상징적 소비(status consumption)와 불평등 해소가 기후변화 감축 노력을 강화하는 것에 대한 설명 역시 추가될 필요

□ SPM에서 5장에 대한 참조가 일부 누락됨

ㅇ (C.5) 산업부문의 효율적인 온실가스 감축은 수요 관리, 에너지 및 물질 효율, 그리고 순환적 물질 흐름을 촉진하기 위한 가치사슬을 전반에 걸쳐 조율된 행동이 필요함. 산업부문의 온실가스 순배출 제로를 향해 나아가는 것은 온실가스 배출이 적거나 배출이 없는 전기, 연료, 수소, 탄소 원료를 사용하는 새로운 주요 공정의 채택과 잔여 이산화탄소에 대한 CCS의 사용이 반드시 필요함.

ㅇ (C.7) 만약 건물의 설계, 건설, 사용단계에서 에너지 및 물질 수요를 제한하는 것 등을 포함한 감축 솔루션이 시행적용이 된다면, 모두에게 괜찮은 생활수준을 보장하면서 건물의 GHG 배출량은 전 세계적으로 넷제로 수준으로 감축할 수 있음.

ㅇ (C.8) 수요측 옵션과 저탄소기술의 혼합은 수송부문에서 상당한 감축으로 이어질 수 있음. 전기자동차는 육상수송에서 가장 큰 저탄소잠재력을 제공함. 수소 기반 연료와 바이오 기반 고급 연료는 해운, 항공, 기타 특정 육상수송에서 잠재력이 큼. 수요에 집중한 조치는 모든 수소서비스에 대한 수요를 줄일 수 있으며 에너지 효율이 더 큰 운송수단으로 전환을 지원 할 수 있음.

[IPCC] AR6 WG3 SPM / 챕터 6(에너지) 관련 섹션

<1. 주요 내용>

□ 2010년 이후 에너지 효율개선과 탄소집약도 개선에도 불구하고 산업, 에너지 공급, 수송, 건물, 농업, 토지이용 변화, 도시화의 활동 증가로 인해 화석연료와 산업부문의 CO2 배출량은 증가했음(B.2).

- ㅇ 2019년 세계 온실가스 배출량의 34%는 에너지부문(14 GtCO2-eq), 22%는 AFOLU(13 GtCO2), 15%는 수송(8.7 GtCO2), 6%는 건물(3.3 GtCO2)이 차지, 간접배출을 포함하면 산업부문과 건물부문이 각각 34%와 17% 차지(B.2.1).
- ㅇ 2010-2019년의 온실가스 연평균 증가율은 이전 10년 동안에 비해 많이 둔화되었는데, 에너지 공급은 연 2.3% 증가에서 1.0% 증가로, 산업부문은 3.4%에서 1.4%로 낮아졌으나 수송부문에서는 연 2% 유지. CO2와 CH4 배출량 비율 상승(항공, 해운 제외)은 도시지역의 활동 증가에 의한 것임(B.2.2).
- ㅇ 2010-2019년에 에너지 효율은 연평균 2% 개선되었고, 에너지 공급의 탄소 집약도는 석탄에서 가스로 연료전환에 의해 연 0.3% 하락하여 석탄화력 설비확대를 감소시키고 재생에너지 사용을 증대시켰음. 그러나 이러한 탄소 집약도 개선율은 1.5℃ 달성에 필요한 시나리오 개선율의 1/6-1/9 수준에 불과함(B.2.3).

□ 일부 저탄소 기술의 단위당 비용이 2010년 이후 급격하게 하락했는데 이는 일부 국가의 혁신정책 도입이 이들 기술의 채택과 비용 하락을 촉진시켰으며, 디지털화가 온실가스 감축에 영향을 미쳤음(B.4).

- ㅇ 2010년 이후 태양광의 단위당 비용은 85%, 풍력은 55%, 리튬이온 배터리는 85% 하락했고 설비능력은 급격하게 증가했음. 2019년에 태양광과 풍력은 세계 전력 생산의 8%, 신규 설비능력의 2/3를 차지했음. 원자력과 CCS는 경제적 및 제도적 장애요인과 대중들의 수용성 제한으로 인해 느린 속도로 증가했음(B.4.1).

□ 온실가스 배출량의 20% 이상이 탄소 가격제 적용을 받고 있으며, 점차 더 많은 온실가스가 규제와 혁신 지원을 받고 있음(B.5.2).

- ㅇ 2020년에 56개 국가가 세계 온실가스 배출량의 53% 감축을 겨냥한 법을 구비하고 있으며, 산업용 재료와 원료, 농업부문의 온실가스 배출에 대해서는 제한적이기는 하지만 부문별 정책이 적용되는 배출량이 증가하고 있음(B.5.2).
- ㅇ 정책이 특정 국가와 부문 및 기술의 온실가스 감축에 상당한 영향을 미쳐서 세계적으로 수 십 억톤의 온실가스 배출을 회피했음. 정책은 에너지 효율을 개선하고, 벌목율을 감소시키며, 재생에너지와 저탄소 난방 시스템 및 전기자동차 보급을 확대시켰음(B.5.3).

□ 2℃나 1.5℃ 상승을 달성하는 경로에서 2050년의 직접 CO2 배출은 발전부문에서는

발생하지 않고 산업부문과 수송부문에서 발생할 전망이며, 발전부문에서는 해체(decommissioning), 개조(retrofitting), 현행 화석연료 설비 활용 축소가 진행될 것임(B.7.2).

□ 2℃나 1.5℃ 상승을 달성하기 위해서는 에너지 시스템의 저탄소 전환이 필수적임. 화석연료 사용 축소, 저탄소 에너지 보급 확대, 저탄소 에너지로 연료 전환, 에너지 효율 개선이 주요 저탄소 전환 전략임. 지속적인 화석연료 인프라 설치는 고배출의 고착효과를 발생시킬 것임(C.4).

- o CO2 순무배출의 에너지 시스템은 화석연료 사용 제한, 무탄소 혹은 부탄소(CDR 사용) 전력으로 전기화 달성, 에너지 효율 개선, 에너지 통합을 통해 달성 가능. 전기화가 어려운 부문에서는 수소, 바이오연료, 암모니아, CO2 순무배출의 탄소기반 연료를 사용(C.4.1).
- o 저탄소 에너지 시스템으로의 전환은 탄소 집약적인 시스템을 유지하는 것에 비해 어떤 여건에서는 경제적으로 더욱 매력적인 경우가 있음. 전력과 경트럭부문 기술의 비용 하락으로 인해 단기의 저탄소 전환은 경제적으로 더욱 매력적이지만, 장기의 감축비용은 잘 이해되지 않으며, 정책 설계와 이행, 기술의 미래 비용과 이용 가능성에 의해 좌우될 것임(C.4.2).
- o 2℃나 1.5℃ 상승을 달성하기 위해서는 화석연료 소비는 급격하게 감소시키고 전력이 최종 에너지 소비에서 차지하는 비중은 2019년의 20%에서 2050년에 30-60%로 상승하고 저탄소 기술이 전력 생산의 대부분을 공급할 것임. CCUS를 부착하지 않은 석탄 소비는 1.5℃ 달성 시나리오에서 2030년까지 70-90% 감소되며, 2030년까지는 석탄 자산이 좌초되고, 2050년까지는 석유와 가스 자산이 좌초될 것임(C.4.3).
- o 주로 화석연료의 생산과정에서 발생하는 메탄은 2019년 현재 에너지 공급에서 발생하는 온실가스 배출량의 18%를 차지하고 있는데, 메탄 배출량의 50-80%는 $50/tCO2 비용으로 현재의 기술을 이용하여 회피할 수 있음(C.4.4).

□ 온실가스 감축수단의 보급 타당성은 지구물리적, 환경-생태적, 기술적, 경제적, 사회-문화적, 제도적 차원에 걸친 장애요인과 촉진 요인에 의해 좌우되므로 장애요인을 제거하고 촉진요인을 강화시킬 필요가 있음(E.1).

- o 태양광, 개선된 산림 및 농작물/초지 관리, 식량손실 축소와 같은 감축수단은 세계적으로 적용할 수 있을 정도로 기술적으로 이용 가능하고, 점차 비용 효과적이며 대중의 지지가 높은 수준임. 그러나 원자력, 대규모의 토지기반 CO2 감축기술(CDR, carbon dioxide removal), 대기중 포집(DAC, direct air capture), 해양 산성화와 같은 감축수단은 많은 국가에서 사회-문화적, 법적 장애에 봉착해 있음(E.1.1).
- o 감축수단의 타당성은 지역적 여건에 의해 좌우됨. 감축수단의 보급을 지원할 제도적, 법적, 행정적 능력은 국가마다 상이한데, 대규모의 토지이용 변화와 같은 감축수단은 지역적 상황에 의해 크게 영향을 받으며(context dependent), 공간계획은 도시개발 초기단계에서 잠재력이 높고, 지열발전의 지구물리적 잠재력은 입지 의존적이며,

문화적이고 지역적 여건은 수요측 반응을 저해하기도 하고 촉진시키기도 함(E.1.2).

- ㅇ 감축수단 보급 타당성은 이행의 속도와 범위에 의해 좌우됨. 대부분의 감축수단이 대규모로 이행될 때에는 장애요인이 감축수단마다 차이는 있지만 장애요인에 봉착하게 됨. 다양한 감축수단을 혼합하면 특정 감축수단의 빠른 보급에 의존하지 않아도 되며, 즉각적이고 강화된 감축행동은 감축수단 보급과 관련된 도전적 과제를 기간에 분산시키기 때문에 2℃나 1.5℃ 상승 시나리오에서 2030년 이후의 도전적인 과제가 증대되는 것을 회피할 수 있음(E.1.3).

<2. 검토 의견>

□ SPM의 문장내 표현을 보고서의 해당 장의 내용과 일치시키는 작업이 이루어질 필요가 있음

- ㅇ (B.4.1)의 “2010년 이후 태양광의 단위당 비용은 85%, 풍력은 55%, 리튬이온 배터리는 85% 하락했고”는 제6장 에너지의 요약부분의 표현과 일관성을 갖고 최근 년도의 수치로 대체될 수 있기 위해 “2015-2020년에 태양광과 풍력발전의 가격은 56%와 45% 하락했으며, 배터리 가격은 64% 하락했음”으로 변경하는 것이 바람직함.
- ㅇ (C.4.3)의 “전력이 최종 에너지 소비에서 차지하는 비중은 2019년의 20%에서 2050년에 30-60%로 상승하고”는 제6장 에너지의 요약부분의 표현과 일관성을 가지면서 구체적인 수치로 표현될 수있도록 “2050년까지 최종 에너지 소비의 48-58%를 전력이 차지”로 변경하는 것이 바람직
- ㅇ (C.4.3)의 “CCUS를 부착하지 않은 석탄 소비는 1.5℃ 달성 시나리오에서 2030년까지 70-90% 감소되며”는 제6장 에너지 요약부분의 표현과 일관성을 갖고 구체적인 수치를 제공할 수 있도록 “CCS가 부착되지 않은 석탄은 2030년까지 67-82% 감소되고”로 변경하는 것이 합리적임
- ㅇ 이러한 변경은 엑셀에 반영했음

[IPCC] AR6 WG3 SPM / 챕터 7(AFOLU) 관련 섹션

<1. 주요 내용>

□ (B.2.1) **농업, 임업 및 기타 토지이용(AFOLU)부문**은 **전 세계 온실가스 배출의 22% (13 $GtCO_2$-eq)를 차지**함.

□ (B.5.3) **정책적 조치**를 통해 산**림전용율을 줄임(높은 신뢰도)**

□ (C.3.4) **전 세계 탄소중립 달성**에 있어 **AFOLU부문은 13% 기여** 전망

□ (C.9) AFOLU는 대규모의 온실가스 배출 감축과 흡수는 물론 **생물다양성, 식량안보, 목재 공급 및 기타 생태계서비스 등 편익을 동시에 제공**함. 농산물과 임산물은 **모든 부문에서 화석연료와 온실가스 집약적인 소재를 대체**할 수 있음. 이행과 상충은 토지에 대한 경쟁적 수요, 생계, 기후변화의 영향으로 발생함.

○ (C.9.1) **상업적으로 이용가능하고 확장 가능한 옵션**은 톤당 100불 미만의 비용으로 **연간 8~14$GtCO_2$-eq의 감축잠재력을 제공**(2020~2050). 대부분의 감축은 **산림과 기타 자연생태계에서 발생**함.

- **공편익 옵션** : 자연생태계의 보호와 복원, 재조림, 농경지 토양 탄소 격리, 수요측 조치 등
- **생물학적 토지기반 CDR 옵션** : 농업 및 임업의 지속가능성 강화, 음식물 쓰레기 감소, 식생활 개선 등(중간 신뢰도)

○ (C.9.2) 많은 AFOLU 감축 옵션은 **확장 가능**하고, **상업적 이용이 가능하**며 10년 이내 배출 감축을 제공할 수 있음.

- AFOLU 경제적 잠재력 실현 : 제도 및 정책적 제약 극복, 잠재적 상충 관리가 필요
- 다양한 이해관계 : 수백만 명의 토지 소유자, 수십억 명의 소비자

○ (C.9.3) AFOLU 감축 실현에는 **2050년까지 연간 최대 4천억 달러의 비용이 소요**될 것으로 추정됨. 이는 **현재 농업 및 임업부문에 제공되는 보조금보다 적음**(높은 신뢰도)

□ (C.11) **CDR은 전 세계와 국가의 탄소중립 달성에 필요**함. CDR 규모와 이행 시기는 다른 부문의 총 배출량 감축 경로에 따라 달라짐. CDR 방법은 성숙도, 제거 과정, 탄소저장기간, 감축잠재량, 비용, 공동편익, 부정적 영향 및 거버넌스 요구사항 등에 따라 다양함. **CDR 이행은 다양한 실행가능성과 지속가능성 제약에 직면**해 있음(높은 신뢰도)

○ (C.11.1) CDR 방법은 대기로부터 CO_2를 제거하는 과정과 저장기간에 따라 다름. 제거 과정은 **생물학**적(조림, BECCS, 바이오차, 생태계 복원, 해양 시비), **지구학**적(강화된 풍화) 또는 **화학**적(DACCS)으로 접근 가능함. 저장기간은 저장매체(식생, 토양, 광물, 지질구조)에 따라 수십 년에서 만 년 이상까지 다양함. CDR 방법은 감축잠재량, 비용, 공동편익 및 부정적 영향 가능성, 기술 수준에 따라 다름

- ㅇ (C.11.2) **전 세계 및 국가의 탄소중립은** 감축하기 어려운 잔류 배출량(예. 항공, 농업, 산업공정)의 균형을 유지하기 위해 **CDR을 적용하는 경우에만 달성**할 수 있음(**높은 신뢰도**). 장기적으로 **잔류 배출량을 추가로 줄이는 동시에 CDR을 확대**하는 것은 **지구 수준에서 CO_2를 흡수함으로써 지구온난화를 반대로 진행**시킬 수 있음(**중간 신뢰도**).
- ㅇ (C.11.3) 현재 **신규조림과 재조림만이 많이 실행**되고 있음. 이들 방법 또는 토양탄소격리에 의해 저장된 탄소는 인간의 개입과 자연재해로 전체(프로젝트 규모) 또는 일부(지구 규모)가 다시 역전될 수 있음. 지질 및 해양 저장소에 탄소를 저장하는 **BECCS, DACCS, 해양 알카리화** 및 기타 방법을 통한 CO_2 제거는 **역전에 덜 취약**하지만 (**높은 신뢰도**), **생태계와 생물다양성에 미치는 영향은 잘 알려져 있지 않음**. 잠재적인 부정적 영향과 공동편익을 처리하면서 효과적인 CDR 방법을 확대 적용하기 위해서는 **연구, 개발 및 시연을 가속화하고, 탄소 흐름의 MRV를 위한 합의된 방법론과 인센티브가 필요**함(높은 신뢰도).

□ (D.1.4) 혼농임업, 산림전용 방지와 재조림, 지속가능한 토양과 가축 관리와 같은 **토지 기반 옵션**은 토지생산성과 회복력을 높이고, 추가적인 바이오매스를 제공하는 것을 포함한 **SDGs와 다양한 시너지 효과**가 있음. 이러한 시**너지를 확보하고 상충을 피하는 것은 구체적인 실행과 이행 규모, 거버넌스, 기존 토지 이용과의 통합, 지역주민들의 참여, 이익공유 등과 연관**됨(높은 신뢰도).

□ (D.1.5) 잘 관리된 토지 기반 완화 옵션, **특히 기존 토지 이용을 대체하지 않는 옵션**은 **고용, 물 스트레스, 토지이용, 자원 경쟁, 생물다양성, 접근 및 경제성** 측면에서 **잠재적인 상충을 피할 수 있음**.

□ (D.1.6) 바이오차를 사용한 토양 개량 및 토양탄소격리와 같은 CDR 방법은 생물다양성과 토질 개선을 통해 SDG 이행을 강화할 수 있음. 생태계 복원과 신규조림/재조림은 토양과 생물다양성을 개선하면서 CO_2를 감축하지만 식량생산에 부정적인 영향을 미칠 수 있음(높은 신뢰도)

□ (D.2) **완화와 적응은 강한 연결성**을 가짐. 특히 정주지와 토지 관리는 완화와 적응 실적을 모두 제공함. 완화 옵션은 지구온난화와 생물다양성에 관련된 위험을 제한함. **육상과 해양 생태계는 특히, 대규모 완화 활동이 이행될 경우에 부정적 영향**을 받을 수 있음(높은 신뢰도). **부문간 정책과 계획을 [통합적으로] 조정한다면 완화와 적응 간의 상충을 줄이고 시너지를 확보**할 수 있음.

- ㅇ (D.2.1) 도시림과 습지 보호 등은 정주지에 완화와 적응 실적을 제공함.
- ㅇ (D.2.2) **적응과 연결된 토지부문 완화 조치**는 **토지 생산성을 유지**하고, **생계를 보호하고 다양화**함으로써 **회복력을 향상**시킴. **맹그로브 숲과 해안 습지의 복원**은 **탄소 저감, 해안 침식 줄이기, 태풍과 해일 피해 방지 등으로 해수면 상승과 극한 날씨로 인한 위험을 줄임**
  - 적응 연계 토지 완화 조치 : 황폐화된 토지 조림, 자연 식생 복원, 피복작물, 간작, 다년생 작물로 전환, 바이오차 등

□ (E.1.1) 태양에너지, **개선된 산림과 경작지 및 초지 관리, 식량 손실** 감소를 포함한 몇몇

대응 옵션은 **기술적으로 실행이 가능하고, 비용효율성이 높아져 전 세계적으로 채택할 수 있을 정도로 상대적이지만 높은 대중의 지지**를 받고 있음.

<2. 검토 의견>

□ AFOLU부문의 **감축 정책과 기술 효과 인정 및 정량적 수치 확인**

ㅇ REDD+ 등의 정책적 조치를 통한 산림전용율 감소 확인(B.5.3)

ㅇ AFOLU 감축 옵션은 확장 가능하고 상업적 이용 가능(C.9.1~3, E.1.1)

- 연간 8~14GtCO_2-eq의 감축잠재력(비용 100불/톤 미만) 제공(2020~2050). 대부분의 감축은 산림과 기타 자연생태계에서 발생함
- 2050년까지 연간 최대 4천억 달러의 비용 소요
- 개선된 토지 관리, 식량 손실 감소 등 옵션은 실행 가능성, 비용효율성 높아짐

□ **탄소중립에 AFOLU부문 적극 활용이 필요**하며, 그러나 **CDR이 생태계와 생물다양성 등에 미치는 영향 확인을 위한 연구 시급**함(C.11)

ㅇ 전 세계 탄소중립 달성에 AFOLU부문 13% 기여 필요(C.3.4)

ㅇ 탄소중립은 잔류 배출량의 상쇄를 위해 CDR을 적용해야만 달성 가능

- 장기적으로 CDR 확대로 CO_2 배출과 지구온난화를 역전시킬 수 있음

ㅇ 현재 신규조림과 재조림만이 많이 실행되고 있음

ㅇ BECCS, DACCS, 해양 알카리화 및 기타 방법을 통한 CO_2 제거가 생태계와 생물다양성에 미치는 영향은 잘 알려져 있지 않음

□ 다양한 시너지 확보와 상충 회피를 위한 **통합적인 토지정책 수립과 일관된 추진 필요**(D.1~2)

ㅇ 토지는 이해관계자가 많고, 추구하는 목적이 다양하여 토지이용 경쟁이 심하고, 관련 정책과 계획 등의 변경이 잦음

ㅇ 토지는 기후변화 완화·적응, 경제, 사회, 환경, 거버넌스 등은 물론 SDGs 이행과 연계되므로 통합적 토지정책 수립과 일관된 추진 필요

□ AFOLU는 화석연료 기반에서 **바이오경제사회로 전환하는 기반을 제공**(C.9)

ㅇ 농림산물은 모든 부문의 화석연료·온실가스 집약적인 소재 대체 가능

□ **다양한 흡수원 활동(특히, 산림경영)의 감축 효과 추가 요구**

ㅇ (C.11.3) 신규조림·재조림만 많이 실행. 탄소시장에서 A/R 사업이 많은 것이지 국가 감축목표 이행에는 산림경영의 기여도가 훨씬 큼

□ B.2.1 2019년 전지구 배출량의 22%가 AFOLU에서 유래

ㅇ FGD 7-12에 AFOLU 총 배출량은 인위적 배출량의 21%로 언급되어 있으므로 통일성 위해 22%를 21%로 수정(분야별 비중을 합하면 101%임)

[IPCC] AR6 WG3 SPM / 챕터 8(도시 시스템과 기타 거주지) 관련 섹션

<1. 주요 내용>

□ 도시화로 인한 사람과 활동의 집중은 자원 효율성과 대규모로 탈탄소화 전환을 위한 기회가 될 수 있음

- ㅇ 도시는 도시 형태와 기반시설, 에너지 시스템 및 공급망의 체계적인 변환(systematic transformation)을 통해 상당한 배출량 감소를 달성할 수 있음

□ 전 세계 온실가스 배출량(CO2 및 CH4) 중 **도시에서 배출되는 온실가스 배출량은 2020년 기준 약 67-72%(~28 GtCO2-eq)**을 차지함

- ㅇ 도시에서의 배출량은 인구, 기반시설 및 서비스 수요 증가로 인해 완화노력이 보통이거나 전혀 없는 경우 2050년까지 34-65 GtCO2-eq로 증가할 것으로 예상

□ 효과적인 온실가스 저감을 위해서는 다음의 3가지 전략이 동시에 구현되어야 함

- ㅇ 컴팩트하고 효율적인 도시 형태와 인프라 기반의 **모든 부문에서의 에너지 수요 감소; 전기화 및 넷제로 배출 자원**으로의 전환; 그린-블루 인프라를 통한 **탄소 흡수 및 저장 증가**

□ **다양한 도시 위계에서의 정책을 구현하는 정책 패키지**는 부문 전반에 걸쳐 연쇄적인 영향을 미칠 수 있으며, 행정 경계 외부의 온실가스 배출량을 줄이고, 개별적 정책 이행보다 더 많은 배출량을 저감할 수 있음

- ㅇ **컴팩트하고 자원 효율적**인 도시 성장을 위한 **통합공간계획**은 2050년까지 BAU와 비교하여 **23-26%의 온실가스 배출량을 저감**할 수 있음

□ 완화 전략을 도입, 실행하는 도시의 제도적 능력은 상황에 따라, 특히 광범위한 **규제 및 제도적 설정, 지역 거버넌스 및 재정 능력에 따라 상이**함

- ㅇ 다수의 도시에서 넷제로 온실가스 배출 목표를 설정하고 있으며, 목표달성은 도시가 행정 경계 안팎에서의 온실가스 배출과 탄소 상쇄의 활용에 달려 있음

<2. 검토의견>

□ 지난 버전과는 달리 도시화가 온실가스 저감에 미치는 영향에 대한 긍정적인 측면이 매우 강조되어 있음. 하지만 도시화로 인한 부정적 영향 및 향후 고려사항도 포함되어 도시화의 긍정적, 부정적 측면 및 영향에 대해 함께 조명할 필요가 있음

□ 전체적으로 주요 내용들이 그림으로 잘 정리되어 있고, 주요 포인트들이 잘 정리되어 있음

□ 그림을 정확히 이해하기 위해서 추가적으로 필요한 설명이나 표현의 통일성 부분에 관한 코멘트는 엑셀 파일에 정리하였음.

□ 다양한 추진 전략간의 공동이익과 상충관계를 전체적으로 그림으로 정리한 후 몇 가지를 예시로써 추가적인 설명하였음. 전체적으로 적절한 예시를 통해 전략간의 복잡한 관계를 잘 설명하였으나, Section D에서 사용된 airconditioning 예시는 적절치 않은 예시로 보여, 주요 추진 전략 중 하나를 예시로 사용할 것을 제안함.

[IPCC] AR6 WG3 SPM / 챕터 9(건축) 관련 섹션

<1. 주요 내용>

□ (B.2.1) 2019년 기준, 전 세계 온실가스 배출량의 6% (3.3 $GtCO_{2eq}$)가 건물임

- ㅇ 건물의 에너지소비에 의한 간접배출량을 포함한 건물부문의 비중은 17%임

□ (B.3.2) 세계적으로 상위 10%의 소득을 갖는 가정(가구)이 세계 온실가스 배출량의 약 36~45%를 배출하며 하위 50%의 가정(가구)은 약 13~15%의 배출에 영향을 줌

□ (B.5.3) 정책은 국가, 섹터, 기술에서 상당한 감축 영향을 주는 요소임

- ㅇ 정책은 에너지효율 강화, 재생에너지의 개발 가속화, 저탄소 난방시스템과 전기차의 개발을 가능하게 함

□ (C.7) 건물부문에서의 에너지와 자원의 수요를 제한하면서 감축 솔루션을 건물의 설계단계, 시공단계, 사용단계에 모두 적용한다면 세계적으로 건물의 온실가스 배출량은 넷제로에 도달할 수 있음

- ㅇ (C.7.1) 2019년 기준, 건물은 세계 에너지소비의 31%, 전력 수요의 18%, 온실가스 배출량의 약 21%, CO2배출량의 31%(직간접배출과 내재배출량 포함) 차지함
- ㅇ (C.7.2) 1990~2019까지 주거건물의 CO2 배출량은 약 1.9 $GtCO_2$까지 증가. 주요 요인은 면적 증가(+2.1Gt), 인구 증가(+1.1Gt), 탄소 집약적 전력 사용의 증가(+0.6Gt), 효율 향상에 의한 감소(-2.0Gt)
- ㅇ (C.7.3) 통합된 접근(integrated approaches)이 모든 지역에서 건물을 제로에너지 그리고 넷제로 카본으로 만들 수 있음. 감축 방안들은 ①설계단계에서는 건물 유형학, 형태, 복합기능을 포함하며, ②시공단계에서는 저탄소 건설자재, 높은 효율의 건물 외피* 구성, 재생에너지 발전 시스템의 적용, ③사용단계에서는 고효율의 가전기기 및 장치와 사용에 있음
  - * 건물 외피(Building envelope): 창, 문 등의 개구부를 포함한 건물의 외벽, 지붕, 바닥을 통칭

□ (C.10) 수요측면의 감축은 인프라의 변화, 기술 적용, 행태적 변화를 포함

- ㅇ 사회-문화, 행태적 변화, 생활스타일의 변화를 통해 온실가스 감축
- ㅇ 건물에서 에너지와 면적(공간)의 보다 효율적인 사용에 관련된 건설환경 변화. 건물에서의 냉난방 온도의 조절, 가전기기 사용의 저감, 자원의 재사용와 재활용, 지역 냉난방을 위한 지열 활용, 폐열 회수, 건물을 위한 재생에너지 선택 등이 건물과 관련된 행태적 요인

□ 건물의 배출 저감 방안(옵션)

- ㅇ (Figure SPM.8) 에너지 서비스의 수요저감, 효율적 조명과 가전기기 및 장치, 높은 에너지 성능을 갖는 신축건물, 재생에너지의 생산과 사용, 기존건물의 성능 향상, 목재 제품의 사용 강화
- ㅇ (Figure SPM.9, Figure SPM.10) 높은 에너지효율의 건물 외피, 건물 설계와 성능, 고효율 난방, 환기 및 공조(HVAC), 고효율 가전기기, 건설 방식과 순환경제로의 변화,

건설자재의 변화(저탄소 자재), 수요관리, 신재생에너지의 생산과 사용

<2. 검토 의견>

□ 전반적으로 건물과 관련된 민감하거나 특별한 쟁점사항은 없음

□ (B.2) 2018년 기준, 우리나라 건물부문의 온실가스 배출량은 국가 전체 배출량의 7.16%이며[1], 간접배출량(전력,열) 포함한 배출량은 20.6~24.6%임[1)2)]

: (출처) 1) 2050탄중위(2021.10), 2050 탄소중립 시나리오, p.p.11~12, 2050탄중위(2021.10.8.), 보도자료-2030년 NDC 상향안 제시. 2) 정영선 외(2020.10), 2020년이후 국가 건물부문 온실가스 배출량 단기전망 연구, 대한건축학회논문집, p.p.117~125

ㅇ (B.3.2) 국내는 가정부문 및 상업부문의 소득 및 에너지용도별* 온실가스 배출량 및 특성에 관련된 연구/조사가 미비하므로 이에 대한 조사 필요

* 가정부문 에너지용도: 난방, 급탕, 냉방, 조명, 환기, 가전사용 등

□ (C.7) 보고서는 건물부문의 넷제로 도달하기 위해 건물의 전과정(Life- cycle)에서의 온실가스 배출 노력이 필요함을 강조하고 있음

ㅇ (C.7.1) SOD보고서는 2018년 기준으로 세계 온실가스 배출량 중 건물부문 배출량은 간접배출량을 포함하여 22% 비중으로 보고함. 건물부문은 에너지소비의 31.2%, 전력사용의 51% 차지로 보고 (ar6wg3_sod_Chapter-9, p.p.4, p.p.7, p.p.15) → 차이가 있음

ㅇ 우리나라의 온실가스 감축 전략 등은 건물부문의 사용(운영)단계에서 에너지 소비량 감소와 재생에너지 도입 등을 통한 온실가스 저감만을 다루고 있어 설계-시공-자재-사용 단계의 감축을 다룰 필요성이 있음

[IPCC] AR6 WG3 SPM / 챕터 10(수송) 관련 섹션

<1. 주요 내용>

□ (C.8) 수송부문에서는 저탄소 기술이 중요하지만 수요측면의 옵션(통상 수요관리)과의 조합이 더욱 효과적임. 특히 육상수송에서 전기차의 잠재력은 큰 편임. 수소 혹은 고급화된 바이오 연료는 해운 및 항공부문 뿐만 아니라 일부 특화된 육상운송에서 잠재력이 있음. 수요 중심의 정책은 모든 수송서비스에 대한 수요를 줄이는 동시에 보다 에너지 효율적인 운송수단으로 전환을 촉진함

- ㅇ (C.8.1) 온난화를 1.5이하로 제한하는 경로 상으로는 전세계 수송관련 CO2배출량은 지역별 차이는 있지만 2019년에 비해 2050년에는 59% 감소할 것으로 예상됨
- ㅇ (C.8.2) 행태변화 프로그램 및 운송가격과 결합된 대중교통에 대한 투자와 적극적인 교통인프라 구축과 함께하는 도시형태의 변화는 통행수요를 줄이고 보다 온실가스 배출이 낮은 교통수단으로의 전환을 촉진함. 원격근무, 비물질화, 공급망 관리, 스마트한 공유 이동성, 자율주행 등은 추가적으로 수요와 배출량을 줄일 수 있음
- ㅇ (C.8.3) 저탄소 전기로 구동되는 전기차는 수송부문 온실가스 배출을 빠르게 줄일 수 있음. 배터리 기술의 발전은 대형트럭의 전동화를 촉진하고 기존의 철도시스템을 보완함. 이미 일부 시장에서 활용 중인 바이오 연료는 보다 발전되 형태의 바이오 연료와 수소는 특정 부문에서 감축 잠재력이 있음. 재활용을 포함한 엔지 및 재료의 효율성 향상은 배터리 생산으로 인한 환경 부담 및 주요 원료 위험도를 낮출 수 있음
- ㅇ (C.8.4) 항공부문 감축옵션에는 고에너지 밀도의 바이오 연료 및 합성연료가 포함됨. 해운부문 대체연료에는 수소, 암모니아, 바이오 연료 및 기타 합성연료가 포함됨. 전동화는 특정 틈새시장에서 항공 및 해운부문에서 제한된 역할을 함
- ㅇ (C.8.5) 수송부문에서 온실가스 배출 감소는 저탄소 전기, 공급원료 및 생산사슬에 달려 있음. 수송활동과 전력인프라의 통합은 개발도상국들에게 화석연료 기반의 수송체계를 넘어 대기질 개선이란 공편익(co-benefits)을 제공할 수 있음

<2. 검토 의견>

□ 분량이 많은 수송부문 전체를 간단하게 요약하여 특별한 쟁점사항은 없음

[IPCC] AR6 WG3 SPM / 챕터 11(산업) 관련 섹션

<1. 주요 내용>

□ 산업부문의 배출 저감은 생산과정 뿐만 아니라 수요관리, 에너지 및 물질사용 효율 개선, 자원순환 구축이 필요

- ㅇ 철강, 시멘트, 플라스틱 등의 주요 기초 소재는 세계적으로 사용이 증가하고 있으며 이에 따라 감축 수단이 부족한 상황을 반영해 수요 저감이 중요할 것으로 보이나 정책적으로 소홀히 다뤄왔음.
- ㅇ 모형 분석과정에서도 이와 같은 수단이 적절히 반영되지 않았기에 그동안 저감잠재량이 과소 추정됨.

□ 산업부문의 생산과정상 배출되는 다량의 GHG 감축을 위해서는 청정 전력, 수소, CCU등을 활용하는 신공법의 적용이 필요하고 감축후 잔여 CO2는 CCS로 처리해야 함.

- ㅇ 기초 소재 산업에서의 저탄소 또는 무탄소 기술은 파일럿 상태이거나 상용화 전단계임. 스케일업 과정에서 생산비용이 증가할 것이나 소비자가 최종 부담하는 비용 증가는 낮을 것으로 예상됨.
- ㅇ 철강의 수소환원공법은 상용화 전 단계이며, 시멘트 생산의 공정배출 저감을 위해서는 석회석 대체물질 개발전까지 다양한 혼합재 사용의 확대와 CCS의 확대가 필요함. 화학산업에서는 재활용 플라스틱, 연원료 전환과 CCS가 주요 감축수단임. 화석에너지가 연료로 사용되는 기타 산업에서는 전력화와 저탄소 연료로의 대체를 통해 저탄소화가 가능함.

□ 산업부문의 탄소중립은 생산 지형의 변화를 초래할 수 있음.

- ㅇ 태양광이나 풍력이 풍부한 지역, 천연가스가 매장되어 있고 CCS 저장이 가능한 지역은 다배출 산업의 새로운 생산 거점이 될 수 있고 이러한 지역이 새로운 철강·화학 수출국으로 등장할 가능성

□ 산업전환을 위해서는 산업계의 노력, 정부의 정책, 국제 공조가 필요

- ㅇ 물질 사용 효율화, CCS 및 재활용 인프라 구축, 기존설비의 조기 퇴출에 대한 보상, 저탄소 소재 및 물질에 대한 시장구축, 투명한 GHG 측정, 모든 GHG를 포함하기 위한 기후정책의 점진적 확대 등과 같은 방식으로 정책이 추진될 필요가 있음.

<2. 검토 의견>

□ 기 작성된 대다수 내용에 동의함.

- ㅇ 한국의 산업부문 탄소중립 전략에도 보고서에서 언급된 온실가스 저감 혁신기술의 개발과 도입이 반영됨.

ㅇ 다만 CCS의 활용이 제한적이고 철강, 석유화학, 시멘트 산업에서 필요한 폐자원이 충분히 공급될 수 있을지에 대해서는 우려하고 있음.

□ 일부 표현에 대해 다음과 같은 의견을 제시함.

ㅇ 철강의 수소환원제철기술이 상용화 직전 단계라는 표현이 존재

- 한국, 일본 등 조강생산량이 많은 국가에서는 상용화 기술확보에 보다 긴 시간이 필요함.
- 한국의 경우 2030년 기초 기술의 개발, 2040년 스케일업 및 실증완료 계획으로 2040년 상용화를 목표로 하고 있음.

ㅇ 산업부문의 탄소중립에 따라 생산비용은 증가하나 소비자가 부담하는 비용의 정도는 낮을수 있다는 데에 동의함. 다만, 탄소중립이 불균형적으로 추진될 경우 소폭의 가격 증가도 국제 경쟁력에 큰 부정적 영향을 초래할 수 있음.

[IPCC] AR6 WG3 SPM / 챕터 12(범분야적 관점: CDR) 관련 섹션

<1. 주요 내용>

□ **(C. 11) CDR은 전 세계적으로, 국가적으로 GHG 순배출 제로를 달성하는 데 필요함. 보급의 규모와 시기는 다양한 부문에서 총 배출량 감소의 궤적에 따라 달라짐. CDR 방법은 성숙도, 제거 과정, 탄소 저장 기간, 완화 잠재력, 비용, 공동 이익, 부작용 및 거버넌스 필요성 측면에서 다양함. CDR의 보급은 다양한 실행 가능성 및 지속 가능 제약에 직면하고 있음**

○ **(C 11.1)** CDR 방법은 대기에서 CO_2를 제거하는 과정과 저장 기간에 따라 다름.

- 제거 과정은 생물학적(예: 조림, BECCS, biochar, 생태계 복원, 해양 비옥화), 지구화학적(예: 강화된 풍화) 또는 화학적(직접 공기 탄소 포집 및 격리, DACCS)임
- 저장기간은 저장매체(예: 식생, 토양, 광물, 지질구조)에 따라 수십 년에서 만 년 이상까지 다양. 동일한 범주 내에서 CDR 방법은 잠재력, 비용, 공동 이익 및 부작용 가능성, 성숙도 등에서 다름(높은 신뢰도)

○ **(C. 11.2)** 전 세계적으로 또는 국가적으로 순 CO_2 또는 GHG 배출량 제로는 CDR이 줄이기 어려운 잔류 배출량(예: 항공, 농업, 산업 공정에서의 발생)의 균형을 맞추기 위해 보급되는 경우에만 달성할 수 있음(높은 신뢰도). 장기적으로, 잔류 배출량을 추가로 줄이는 동시에 CDR을 확대하면 지구 수준에서 순 음의 CO_2 배출량(CO_2 흡수)을 제공하여 지구 온난화를 역전시킬 수 있음(중간 신뢰도)

○ **(C 11.3)** 현재는 조림과 재조림만 광범위하게 시행되고 있음.

- 조림과 재조림이나 토양 탄소 격리(농업 이행, 목초 관리)에 의해 저장된 탄소는 프로젝트 수준에서 인간의 개입으로 되돌릴 수 있으며 전 세계적으로 일부는 자연 손실에 취약함
- 지질 및 해양 저장소에 탄소를 저장하는 BECCS, DACCS, 해양 알칼리화 및 기타 방법을 통한 CO_2 제거는 역전(방출)에 덜 취약하지만(높은 신뢰도) 생태계와 생물다양성에 미치는 영향은 잘 알려져 있지 않음
- 잠재적인 부작용과 공동 이익을 해결하면서 효과적인 CDR 방법의 배포를 확대하려면 연구, 개발 및 실증을 가속화하고, 목적형 인센티브와 탄소 흐름의 측정, 보고 및 검증(MRV)을 위한 합의된 방법이 필요함(높은 신뢰도)

□ **(E. 1) 대응 옵션의 실행 가능성은 지구물리학적, 환경-생태학적, 기술적, 경제적, 사회문화적, 제도적 차원에 걸쳐 장벽과 가능 여건에 의해 형성됨. 대응 옵션의 보급은 장벽을 줄이거나 제거하고, 가능 여건을 만들거나 강화하는 데 달려 있음. 즉각적이고 강화된 조치는 온난화를 2°C로 제한하거나 1.5°C로 제한할 가능성이 있는 시나리오에서 시간이 지남에 따라 시스템 수준에서의 실행 가능성 문제를 확산(약화)시킬 수 있음(높은 신뢰도)**

○ **(E 1.1)** 태양 에너지, 개선된 산림 및 농작물/초지 관리, 식량 손실 감소를 포함한 여러 대응 옵션은 기술적으로 실행 가능하고 점점 비용 효과적이며 전 세계적으로 채택할 수 있는 상대적으로 높은 대중 지원을 받고 있음(높은 신뢰도). 원자력, 육상 기반 CDR 옵션의 대규모 보급, 직접 공기 포집 및 해양 시비를 포함한 다른 옵션은 많은 국가에서 사회 문화적 및/또는 법적 장벽에 직면해 있음(중간 신뢰도).

○ (E.1.2) 실행 가능성은 현지 상황에 따라 다름. 보급을 지원하는 제도적, 법적, 행정적 역량은 국가마다 다름

- 대규모 토지 사용 변경을 포함하는 옵션의 실행 가능성은 현지 상황에 따라 크게 좌우됨
- 공간 계획은 도시 개발의 초기 단계에서 더 높은 잠재력을 가지고 있음
- 지열의 지구물리학적 잠재력은 장소 특이적임
- 문화적 및 지역적 조건은 수요측 대응을 억제하거나 가능하게 할 수 있음(높은 신뢰도).

○ (E.1.3) 실행 가능성은 규모와 이행 속도에 따라 다름. 대부분의 옵션은 대규모로 이행될 때 장벽에 직면하지만 장벽이 나타나는 규모는 옵션에 따라 다름. 다양한 완화 포트폴리오는 특정 옵션의 신속한 배포에 대한 의존도를 줄임. 즉각적이고 강화된 완화 조치는 온난화를 2°C로 제한하거나 1.5°C로 제한할 가능성이 있는 시나리오에서 2030년 이후에 문제가 증가되는 것을 피함으로써 시간이 지남에 따라 시스템 수준의 실행 가능성 문제를 확산(약화)시킬 수 있음(높은 신뢰도) ※ {3.8, 6.4, 10.8, 12.3}

<2. 검토 의견>

□ (C. 11. 1) 29페이지, 19 줄

○ Geochemical 방법의 괄호 예시에 “ocean alkalinity enhancement” 추가를 제안

□ (C. 11. 1) 29페이지, 21-23 줄

○ Line 13-14의 방법 간 차이점에서 언급된 순서와 동일하게 기술하고 누락된 것을 추가하도록 제안

- Technology readiness level을 제일 앞에 기술하고, 누락된 “governance requirements”를 제일 마지막에 추가하여 기술

□ (E. 1) 37 페이지, 4-5 줄

○ The deployment of response options depends on reducing or removing barriers, and on establishing and strengthening enabling conditions 부분이 매우 단순한 기술이어서 좀 더 강하게 의미를 전달하도록 수정이 필요

○ (E. 1.2)와 (E.1.3) 의 첫부분에 해당되는 내용들(실행 가능성이 상황, 규모와 이행 속도에 의존적임)을 E. 1에 추가하는 것을 제안

□ 감축이 어려운 잔류 배출량의 예시 부문(from aviation, agriculture, industrial processes) 조정 필요

○ 온실가스 배출 저감이 어려운 대표적인 부분은 항공(aviation), 선박 (shipping)부문 이며, 산업공정의 경우 고효율 혁신기술개발, 공정전환 등으로 온실가스 감축효과를 기대하고 있는 부분이므로 예시부분 조정(from aviation, shipping, agriculture) 필요

□ (C.11.3) BECCS, DACCS, 해양알칼리화를 예시로 명시하며 이 방법들이 가지는 긍정·부정적 특성에 대해 한 문장으로 서술하였으나, 동 문장에서 말하는 긍정/부정적 특성이 예시로 든 상기 세 기술에 모두 공통적으로 적용된다고 하기 어려워 보임. 따라서 긍정·부정적 특성을 각각 독립된 문장으로 구분하고 각각의 예시를 따로 드는 것을 제안함

○ 상기 세 기술을 예시로 명시하며 이 방법들이 생태계에 부정적인 영향을 미칠 수도 있음을 암시하였으나, DACCS의 경우 생태계에 미치는 영향이 적다는 것이 중론임. 반면, BECCS는 생태계 영향을 반드시 고려하해야 하는 것이 확실함. 또한 해양비옥화의 경우 해양 생태계에 부정적인 영향을 미칠 수 있다는 우려가 있음. 따라서 기술적 CDR 옵션이 생태계에 부정적인 영향을 미칠 수 있음을 서술할 때 예시로 BECCS와 해양비옥화를 드는 것을 제안함

[IPCC] AR6 WG3 SPM / 챕터 13(국가 및 지자체의 정책·제도) 관련 섹션

<1. 주요 내용>

□ A. 도시는 기후변화 저감의 새롭게 부상하는 행위자 (new emerging actors)

- ㅇ (도시의) 지속가능성과 기후변화 저감 간의 연관성이 커짐
- ㅇ 국가와 도시의 기후 정책 분석은 다양한 분석틀과 분야에서 진행됨

□ B.4.2.정책 도구의 혼합 (R&D, 인센티브)이 기술 비용과 수용성을 높임

- ㅇ 국가마다 정책 혼합의 효과와 혁신의 정도가 다름 (최빈국은 수용정도가 낮음)

□ B.5 AR5 이후 기후정책과 제도적 조정의 범위는 커져왔고, 저탄소 기술과 기반시설 구축에 대한 투자를 늘려옴

- ㅇ 그러나 에너지 섹터를 제외한 비이산화탄소에 대한 정책적 대응은 약한 수준임

□ D.3 감축 정책의 분배적 효과에 대한 고려를 통해 공정한 전환과 광범위한 이해관계자의 정책 참여의 중요성 강조

- ㅇ 다양한 이해 관계자와 네트워크가 참여한 국가 공정한 전환 위원회 등이 만들어지고 있음

□ E.3 기후 거버넌스는 다층적이고 다분야 융합적으로 적용될 때 가장 효과적임. 시민사회, 전문가, 비즈니스, 금융 부문이 참여하고 국가-지방을 연계하는 접근 강조.

- ㅇ 독립적인 고위 기관이 관련 조직들을 조정하면서 지방 기구와 공조해야 함.

□ E.4 이미 존재하는 시장과 규제 기제가 확장될 때, 더 효과적인 저감이 가능해짐. 하나의 정책보다 정책 패키지로 시너지와 대중의 지지를 확보할 수 있음.

- ㅇ 경제 활성화 정책과 기후변화를 연결하는 패키지는 발전 경로를 지속가능성을 추구하는 방향으로 전환시키는 방안임.

<2. 검토 의견>

□ It would be better to "how" multiple actors including civil society, businesses, youth, labour and indigenous groups are engaged influence political support for climate change mitigation. This can link to E3.2. effective national climate institution as a vehicle.

- ㅇ 다양한 행위자가 자연적으로 기후 저감에 영향력을 끼치는 것이 아니기 때문에, 국가의 독립된 기후 기구를 통해 정책과 의견, 가치를 조정하고 전략을 만들어갈 필요가 있음.

[IPCC] AR6 WG3 SPM / 챕터 14(국제협력) 관련 섹션

<1. 주요 내용>

□ (E.6) 기후변화완화 달성은 국제협력에 의존. 파리협정은 국가 차원에서 의욕수준 향상을 촉구하고 기후정책 개발 및 이행을 지원. 하위 국제(sub-global) 및 섹터 차원에서 운영되는 파트너쉽과 협정이 등장하나, 그 효과성 수준은 혼합적임.

- ㅇ (E.6.1) 파리협정과 같이, 국제적으로 합의된 목표 및 투명성 요건은 강화된 국가 의욕 및 정책 개발(예: 넷제로 온실가스 배출 포함)을 유인. 국내 정책 이행을 위한 국제적 지원은 더 높은 의욕으로 이어짐. {14.3}
- ㅇ (E.6.2) 기술개발 및 이전에 대한 수요기반 국제협력이 역량배양 및 재정이 뒷받침되어 진행될 경우 감축 기술/관행/사례의 국제적인 확산을 가속화하고, 다른 개발목표와 연계될 수 있음. 기술의 복잡성 뿐만 아니라 상황에 맞는 요인(특히, 지역역량 및 정책 제도)은 보다 효과적인 협력에 필요한 프로세스를 결정. 그리고, 지역 가치사슬에 맞게 조정되고 유익할 때, 파트너들이 동등한 위치에서 협력할 때, 그리고 역량배양이 노력의 필수적인 부분으로 포함될 때, 혁신에 대한 국제협력이 작동. {4.4, 14.2, 14.4, 16.5, 16.6}
- ㅇ (E.6.3) 포스트 포로나 회복기에, 향후 10년(2021-2030)의 공공부문 기후금융 증대가 거시경제 불확실성과 채무 부담을 해결하고, 자본시장을 재인도하는 데에 도움 {15.2, 15.6}
- ㅇ (E.6.4) 하위 국가(sub-national) 및 비국가(non-state) 행위자들(예: 도시, NGO, 민간섹터 주체)을 연계하는 초국가적 파트너쉽이 정책 개발, 저탄소 기술 확산, 배출량 감축을 촉진. 도시정부의 초국가 네트워크가 강화된 의욕과 정책개발로 이어짐 {8.5, 11.6, 14.5, 16.5, 16장의 Cross-Chapter Box 12}
- ㅇ (E.6.5) 많은 섹터 협정 및 제도가 저탄소 투자를 촉진하고 배출을 감소. 오존층 파괴, 초국경 대기오염, 수은방출을 해결하는 협정은 모두 특정 온실가스 배출 감축으로 이어짐. 섹터별 배출감축 노력은 다양하며, 항공 및 해양 섹터는 낮은 (감축) 의욕을 가짐. 무역 및 투자 관련 국제협정은 화석연료의 역할을 강화하고 완화에 장애요인으로 작용할 수 있음 {14.5, 14.6}
- ㅇ (E.6.6) 국제협력은 현재 태양복사변경(SRM, solar radiation modification)과 관련된 초국경 이슈를 고려하지 않고 있음. 많은 협정들이 관련된 조항들을 포함하고 있기는 하나, 구체적으로 SRM을 다루는 국제협정은 없음. 연구문헌에서는 거버넌스 원칙과 잠재적인 메커니즘을 폭넓게 제시하고는 있으나 적절한 거버넌스 접근법에 대한 합의점은 없음 {14.4}

<2. 검토 의견>

□ (E.6.2) 상황에 맞는 요인에 '지역 역량'과 '정책 제도(the policy reigme)'이 포함되었는데, '레짐'이 특정 이슈에 기반한 제도를 의미하기도 하고, 또한 해당 챕터 16.5에 기반해서, "the policy institutions" 또는 "institutions"으로 변경 제안

□ (E.6.3) 기존 문장은 적절하다고 판단되나, 동 사항은 ‘국제협력’ 파트에서 심도있게 다루어지지 않음. 이에, 챕터 14.4의 내용을 고려하여 한 문장 추가 제안

ㅇ “International cooperation and coordination on climate finance by developed countries’ financial commitments, climate-related bilateral delopment assistance, multilateral development banks, multilateral climate funds, the UN system, and private setor financing are importantly recognized.“

□ (E.6.4) E.6.4는 초국가 파트너쉽 또는 네트워크의 주요성을 강조. 그런데 동 문단의 첫 번째 문장이 이 초국가 파트너쉽의 역할을 다루고 있으나, 하이브리드 거버넌스/다자주의 및 PPP로 이어지는 정부-비정부 행위자 간의 파트너쉽/상호작용을 다루고 있지 않음. 14장의 내용을 반영하여, 첫 번째 문장 뒤에 하단의 내용 추가 제안

ㅇ “and by intensifying interplay between state and non-state actors.“

□ (E.6.5) 두 번째 문장에 ‘with lower ambition in aviation and shipping’이 포함되어 있는데, 이 부분은 국제교통 섹터 차원에서 언급될 필요가 있음. 하단으로 수정 제안

ㅇ “with lower ambition in international aviation and maritime shipping“ 또는 “with lower ambition in international aviation and maritime transportation “

□ (E.6.5) 동 문단의 마지막 문장이 ‘무역과 투자 협정’을 다루고 있는데, “Some international agreements, particularly related to trade and investment, reinforce the role of fossil fuels and can act as barriers to mitigation“에서 ‘어떤’ 국제협정이고 ‘특히 무역 및 투자 관련’이라고 한정되어 있기는 하나, 일반 국제협정이 화석연료 역할을 강화하고 감축에 장애요소가 될 수 있다는 뉘앙스가 있으므로, 챕터 14 표현에 근거하여 수정 제안

ㅇ “There are cases that trade and investment agreements as well as agreements within the energy sector impede national mitigation efforts.“

□ (E.6.6) 첫 번째 문장이 “International cooepraiton currently does not consider transboundary issues associated with solar radiation modification (SRM)“으로 되어 있는데, 이 문장에서 함의된 내용이 두 번째 문장에 이미 포함. 첫 번째 문장에서는 SRM에 대한 국제협력의 역할과 필요성을 언급하는 것이 적절하다고 생각하며, 다음의 문장으로 수정 제안

ㅇ “Solar radiation modieifcaiton (SRM) as a supplementary option to GHG emission reduction has potential to offset global warming and also to pose risks to human and natural systems (and concerns about inequality of participation).“

[IPCC] AR6 WG3 SPM / 챕터 15(투자와 재정) 관련 섹션

<1. 주요 내용>

□ 기후금융은 全 지역·부문에서 아직 미흡한 수준으로, **기후금융의 확대는 정부와 국제 금융시장에 명확한 정책신호**를 의미

- ㅇ 글로벌 기후금융 규모는 1.5° C 시나리오 하에서 2030년까지 현재 수준 대비 **3 ~ 6배 확대되어야 금융 필요수요를 충족**
- ㅇ **특히** 격차가 큰 개도국 감축투자와 AFOLU 부문의 경우 **충분한 국제 자본 유동성**에도 불구하고 **여전히 많은 금융장벽 존재**
- ㅇ **국제금융 협력 강화**는 **저탄소·공정 전환의 핵심**요소로, 특히 아프리카 기후적응·완화에 대한 국제금융 협력지원은 견고한 수익성 기대
- ㅇ 코로나19 이후 회복방안으로 추진 중인 기후대응(녹색화) 공동의 노력은 높은 부채 비용에 직면한 국가에게 특히 필수적
- ㅇ **정부·국제사회의 기후금융에 대한 명확한 정책신호가 필요**하며, 투자자, 중앙은행 및 금융당국은 기후위험 인식제고 및 기후정책 지원필요
- ㅇ 국제 개도국 기후금융 강화를 위해 특히 다음 정책적 접근 요망

(i) 저소득 및 취약 국가의 기술 지원 및 파트너십 강화

* 現 사하라 사막 이남 아프리카의 저탄소 에너지 투자는 전 세계 기후 자금 조달 흐름의 5 % 미만에 불과

(ii) 다자간, 지역·국가개발은행을 포함한 국제·국가 금융기관의 지속적인 강력한 역할

(iii) 저탄소 기반시설, 지역 녹색채권 시장개발, 화석연료에 대한 직간접적인 지원을 포함한 기후 및 비 기후 정책의 조정에 대한 국경 간 투자 위험 완화

(iv) 조달비용(거래비용 포함)을 낮추고, 자금 및 위험 공유 메커니즘을 통해 위험제거

(v) REDD+ 및 사회적응을 포함한 자연 기반 솔루션을 위한 재정 확대

(vi) 재난 보험에 대한 리스크 풀링-이전 공유를 위한 혼합금융을 포함하여 손실 및 손상 사건에 대한 금융 수단 개선

(vii) 탄소가격 책정 옵션의 단계적 도입, 화석연료 보조금의 단계적 폐지

(viii) 젠더 대응 및 여성 권한 부여 프로그램 추진

<2. 검토 의견> <u>E6 문구는 이견 없으나, B.5.4 문구는 재검토 필요</u>

□ 2030년 기후금융 목표 및 실천 관련

- ㅇ 국내 정책금융기관의 기후금융 규모는 총량 대비 6.5%이며, 2030년까지 2배(13%) 상향 계획을 발표한 바 있음(금융위)
- ㅇ 동 보고서에서는 現 시점 대비 3~6배 상향이 필요하다고 한 점에 비춰볼 때,

정책금융기관의 2030 계획(2배 상향)의 적절성에 대한 재검토와 민간금융 참여촉진 정책방안에 대한 고민도 필요

□ 국제금융 협력 강화 관련

- ㅇ 한국은 아프리카 국가들 대상으로 CDM PoA 사업을 다수 추진하며 아프리카 기후완화에 기여 中
- ㅇ 그러나, 11월 UNFCCC COP26에서 파리협정 6.2조, 6.4조에 대한 결정문이 마련되며 상응조정 이슈, SDM체제 구축 시간 등 이유로 해외투자 리스크가 커지면서 투자심리 급감
- ㅇ IFC 등 국제금융 협력 강화는 중요하지만, 한국이 가장 취약한 부분 중 하나로, 정책금융기관·민간금융의 국제금융 협력확산을 위해 정책적 지원이 필요

□ 기후금융에 대한 명확한 정책신호 관련

- ㅇ 기후금융 활성화를 위해 가장 중요한 선결과제로, 한국은 2020년 5월 이후로 명확한 정책신호를 제공하며 민간금융 참여 동인을 제공
- ㅇ 정부(금융위, 금감원)는 TCFD 가이드라인에 따라 물리적 위험, 전환 위험 양 측면을 모두 반영한 **기후리스크 관리지침을 조속히 마련**하고,
- ㅇ 국내 모든 금융기관의 동 **관리지침 준수 의무화**를 통해 금융기관의 기후리스크 관리가 필수로 정착되도록 할 필요
- ㅇ 각 금융기관별 기후위기 유의산업 규정 및 고탄소 산업에 대한 리스크 관리방안·실적 **정보공개 의무화**

□ 글로벌 기후금융 성장흐름이 느려졌고, 화석연료에 대한 금융은 민간이든 공공금융이든 여전히 높은 비중이라고 기술하고 있으나(B.5.4), 올해 한국은 기후금융 급성장·화석연료 투자비중 축소 상황으로, **'21년 글로벌 기후금융 시장의 변화 양상을 반영할 필요**

- ㅇ 한국은 '20년 5월 한국형 뉴딜 일환으로 그린뉴딜 시작 이후, '21년 기후금융 성장추세*, EU와 미국 역시 그린딜 정책 강화 추세
  - * 국내 112개 금융기관의 기후금융 지지선언식('21.3)
- ㅇ 국내 금융기관의 탈석탄 선언확산* 및 녹색채권 역시 '20년 대비 급증세
  - * '20년 9월 KB금융지주 탈석탄 선언 이후 연기금(국민연금 등) 포함 다수 금융기관이 탈석탄선언 완료 → 석탄화력발전 자금조달 난항(예: 삼척화력발전)
- ㅇ '20년까지 전 세계 기후금융은 성장 흐름이 느렸고, 화석연료에 대한 금융 역시 높은 비중이었으며 긍정적인 **변화가 거의 없었던 것과 달리 '21년은 큰 변화 양상**

[IPCC] AR6 WG3 SPM /챕터 16(혁신, 기술 개발과 이전) 관련 섹션

<2. 검토 의견>

□ (B. 4) 10 페이지, 2-5줄

- ㅇ B.4.2 에서 혁신 정책의 역할에 대해서 언급하고 있으므로, 이에 해당되는 주요 메시지를 한 문장 포함시키는 것이 필요함
- ㅇ "Technological change has led to lower benefits, and some adverse effects in least developed countries".라는 부분이 주요 메시지로 들어가 있으나, 이에 해당하는 sub-paragraph가 없어 추가하는 것이 필요
- ㅇ 디지털화가 긍정적인 효과를 가져오는 부분을 문장에 구체적으로 포함하는 것이 필요하다고 보이며, 이에 through energy conservation and efficiency improvement를 추가할 것을 제안

□ (E. 2) 39 페이지, 11-12 줄

- ㅇ E.2.3 (29-30줄)의 내용에서 enablers에 정책, 거버넌스와 협력이 포함되어 있어 이들을 취해야 할 행동 분야에 포함하는 것 제안

□ (E. 4.6) 41 페이지, 7-10 줄

- ㅇ 기후변화 대응의 필요성을 더 강하게 전달하기 위하여 두 문장의 삭제를 제안
  Mitigation policies can impact other countries positively and negatively. However, reduced demand for fossil fuels affects exporting countries negatively.

□ (E. 6) 43 페이지, 1 줄

- ㅇ 국제협력의 중요성을 더 강조하기 위하여 첫 문장을 수정하기를 제안 (예. International collaboration plays a critical role in achieving ambitious climate change mitigation goals)

□ 디지털화에 따라 에너지소비 관점에서 리바운드 효과(rebound effect)에 따른 에너지 수요 증가가 나타날 수 있다는 시각도 존재하지만 에너지 사용 최적화 및 효율향상에 의해 최종적으로는 디지털화를 통핸 에너지 수요 저감을 목표로 하고 있으므로 디지털화가 에너지수요 증가에 영향을 미친다는 내용 수정 필요

[IPCC] AR6 WG3 SPM / 챕터 16(혁신, 기술 개발과 이전) 관련 섹션

<1. 주요 내용>

□ (B.4) 몇몇 저탄소 기술 단가는 2010년 이래로 하락했으며, 이러한 기술 도입이 가속화되었음. 몇몇 국가의 혁신 정책은 기술의 국제적인 기술 도입 및 비용 절감에 기여하였음. 최빈개도국에서 기술 변화가 낮은 혜택과 몇몇 부작용으로 이어짐. 디지털화 등의 범분야(cross-cutting) 기술 변화는 완화에 미치는 영향이 커지고 있음

- ㅇ (B.4.1) 2010년 이래로 지속적인 단가 절감이 이루어져 대규모 보급이 이루어진 기술로는 태양광(85%), 풍력(55%), 리튬이온 배터리(85%)가 있음. 2019년 기준 태양광과 풍력은 전 지구 에너지 공급의 8%를 차지하며, 새로 지어지는 발전 설비용량의 2/3를 차지함. CCS와 원자력의 더딘 성장은 경제·제도적 장애요인 및 제한된 공공 수용성에 기인함
- ㅇ (B.4.2) 정책수단(연구개발 및 활용 인센티브 포함) 혼합은 기술비용 절감, 기술 채택 증진, 분배 효과(distributional effects)에 대응에 효과적임. 정책 혼합(policy mixes)은 선진국 및 신흥경제국가에서 혁신 역량과 경쟁력을 강화시키나, 그 효과는 국가 상황, 정책 설계, 그리고 기술 복잡성에 따라 다름. 개도국(특히 최빈개도국)의 저탄소 기술의 도입은 저조한데, 이는 혁신시스템 및 기술도입 역량이 낮다는 데에서 기인함
- ㅇ (B.4.3) 전력화로 강화된 디지털화는 경제·사회를 근본적으로 변화시키는 범분야 기술개발 중 하나임. 디지털 기술과 관련 혁신은 에너지 절약 및 효율 개선에 기여하나, 에너지 수요를 증대시키고 다양한 SDG와 상충을 일으킴

□ (E.4) 상당한 기존의 시장·규제 도구는 상당한 감축에 기여하며 규모화되고 확장될 경우 혁신을 촉진할 수 있음. 개별 정책보다는 정책 패키지가 더 광범위한 발전 목표와의 시너지를 이루기에 더 효과적임. 경기부양 패키지 등의 경제 분야의 조치는 지속가능발전 경로로의 전환과 감축을 달성하며 단기 경제 목표를 이룰 수 있음

- ㅇ (E.4.1) 규제 수단이 분야 수준(sectoral level)에서 감축에 효과적이라는 것이 증명되었음. 규제수단이 시장 기반 수단보다 더 큰 정치적 지원을 획득할 수 있으나, 비용이 더 높을 수 있음. 규제 수단의 활용은 재생에너지 발전, 차량 효율, 연료표준, 에너지 효율 등의 측면에서 더욱 규모화되고 강화될 수 있음
- ㅇ (E.4.2) 탄소가격제 등의 시장 수단은 저비용 감축을 촉진하는 데에 효과적이나, 고비용 방법을 촉진하는 데에는 효과가 떨어짐. 화석연료 보조금을 제거하는 것은 2030년까지 배출량의 1-10%를 저감하면서 공익 및 거시경제적 성능을 향상시킬 수 있음
- ㅇ (E.4.3) 성공적인 저탄소 기술 혁신에 대한 지원은 과학 훈련과 R&D와 같은 기술주도(technology-push) 정책을 포함하며, 이는 인센티브와 시장 기회를 창출할 수 있는 규제 및 시장 기반 수단으로 보완됨. 기술주도 정책은 성숙도가 낮은 기술일수록 중요성이 더 큼
- ㅇ (E.4.4) 감축 달성 및 혁신·기술 확산을 촉진시키는 데에 있어 개별 정책보다 정책 패키지가 더 효과적임. 효과적인 정책 패키지는 본질적으로 복잡하며 변화에 대한

명확한 비전이 있어야 하며, 다양한 목적 간의 균형을 이루고 일관되게 설계되어야 함

ㅇ (E.4.6) 완화 정책은 다른 나라에 긍정적·부정적으로 영향을 미칠 수 있음. 국가 혁신 정책 및 배출감축크레딧 국제시장 참여는 다른 나라에 긍정적인 파급(spill-over) 효과를 미칠 수 있음. 그러나, 화석연료 수요 저감은 수출국에 부정적인 영향을 미침. 배출권거래제가 국가 간 심각한 배출 누출로 이어졌다는 일관된 증거는 없음

<2. 검토 의견>

□ (B.4.3) 디지털화가 다양한 SDG와 상충을 일으킨다는 표현이 모호함. 대표적인 사례와 함께 서술될 필요가 있음

ㅇ 본문 16.2절에는 디지털화로 인해 디지털 기기 생산에 참여하는 노동자들의 척박한 노동환경과 전자제품 폐기물 문제에 대해 소개하며, 이를 해결하기 위해 적절한 거버넌스가 중요함을 강조함. 이러한 내용을 다음과 같이 간략히 언급하면 좋을 듯

□ (E.4.3) 규제 수단과 시장 수단이 각각 혁신에 어떻게 기여하는지를 명확히 서술해줄 필요가 있음

ㅇ E.4.3에는 기술의 경우 '기술주도'이라고 명확하게 서술된 반면, 규제·시장에 대해서는 주도 및 견인에 대한 사항이 제시되지 않음

ㅇ 제16.1절에는 기술주도(technology push), 규제주도-견인(regulatory push-pull), 시장견인(market pull)이 혁신을 촉진한다고 서술되어 있는바, SPM E.4.3 항목에도 단순히 '규제·시장 기반 도구'로 서술되기 보다는 '규제주도-견인 및 시장견인'으로 그 역할이 명확히 드러나도록 수정하는 것을 제안함

[IPCC] AR6 WG3 SPM / 챕터 17(지속가능발전) 관련 섹션

<1. 주요 내용>

□ FGD의 17장 구성 및 SOD와의 차이

- ㅇ 17장은 지속가능발전 관점에서 전환을 가속화하는 것에 대한 기회와 도전과제에 대해 논의함
  - 단지 전환 속도가 중요한 것이 아니라 전환의 질과 깊이, 범위와 폭 등이 중요함을 강조함
  - 전환 과정에 대한 각 국가의 정부 기관, 기업, 비정부 기관의 입장과 시각을 연계하는 것이 핵심적 요인임
  - 또한 노동자, 청년, 여성, 빈곤계층, 소수자, 한계 집단 등에 대해 정의롭고 공정하며 포용적인 전환이 될 수 있도록 권한을 부여하고 참여시켜야 함
- ㅇ 1절에서는 기후변화 대응과 지속가능발전에 대한 국제사회의 평가와 정책결정과정의 연계를 강조하는 논의를 설명함
- ㅇ 2절은 전환, 변환 등 중요한 이론을 검토하고 기후변화와 지속가능발전 사이 시너지를 높이고 부작용을 관리해야 함을 서술함
- ㅇ 3절에서는 시너지를 높이고 부작용을 낮추는 기후변화 완화 수단들에 대한 평가를 제시함
- ㅇ 4절은 신속하고 깊고 넓으며 지속가능한 전환을 촉진하는 핵심 요소들에 대해 이론적·실증적 측면에서의 논의를 제시함
- ㅇ FGD 17장은 SOD 17장 내용과 큰 차이가 없으며 다만 1절 도입에서 기후변화 대응과 지속가능발전의 연계에 대해 다양한 관점에서 서술함

□ SPM Section D. Mitigation, adaptation and sustainable development

- ㅇ (D1) 지속가능발전을 달성하기 위해서는 기후변화 완화를 가속화하는 것이 필수적임
  - 완화 행동은 지속가능발전의 우선 목표 달성에 기여함
  - 동시에 완화 행동으로 인해 부작용이 발생할 수 있으며 이와 같은 우려는 완화 정책을 설계할 때 언급되어야 함
  - 반대로 다른 SDG를 달성하는 행동이 온실가스 배출과 감축 역량에 영향을 미칠 수 있음
  - SDG 체계는 지속가능발전에 대한 완화 행동의 장기적 영향을 평가할 수 있는 틀로 활용될 수 있음
- ㅇ (D2) 완화 행동은 적응과 밀접하게 연결되어 있음
  - 다양한 기후변화 대응 수단은 완화와 적응 결과 모두를 창출함(특히 주거와 토지 관리 분야에서 나타남)
  - 완화 수단의 보급을 통해 지구온난화를 억제하고 생물다양성과 연관된 리스크를 낮출 수 있음
  - 하지만 토지와 해양 생태계는 완화 행동으로 인해 부정적인 영향을 받을 수 있는데, 특히 정책이 대규모로 실행될 경우 큰 영향을 받게 됨
  - 다분야에 걸쳐 잘 조율된 정책과 계획은 완화와 적응 사이의 시너지를 확보하는 동시에 부정적 영향을 줄이는 데 효과가 있음
- ㅇ (D3) 완화 수단을 결정하고 발전경로를 이동함으로써 고용과 경제구조의 변화같이 분배 측면에서의 영향을 초래하게 됨

- 의사결정에서 공정과 광범위한 이해관계자의 참여에 관심을 기울여 사회적 신뢰를 구축하고 변혁적 변화에 대한 깊고 넓은 지지를 얻을 수 있음
- 청정기술과 금융에 대한 접근을 확대하여 공정과 정의에 대한 고려를 국가 및 국제사회 차원의 정책과 연계할 수 있으며, 이를 통해 완화와 발전경로의 이동을 가속화할 수 있음

<2. 검토 의견>

□ 완화 행동과 SDGs 사이의 관계(그림 SPM.9)는 지역 및 국가 특성, 정책의 시행범위 및 폭 등 다양한 요인들에 따라 다르게 나타남

ㅇ 어떤 요인들이 큰 영향을 미치는지에 대한 구체적 설명과 논리적 근거를 제시될 필요가 있음

ㅇ 예상되는 시너지, 부작용의 크기를 판단할 수 있어야 함. 그림에서 제시한 컨피던스 수준과는 다른 기준이 필요함

□ 지속가능발전을 환경, 경제 및 사회 관점으로 구분하여 기후변화 완화 행동과의 관련 및 영향에 대해 SPM을 작성한 것으로 이해함

ㅇ D2는 환경적 관점에서 서술했는데 적응을 이와 관련된 주요한 키워드로 제시했고 D3는 경제・사회적 관점에서 서술했는데 분배 측면 영향을 주요한 키워드로 제시함

ㅇ 하지만 이에 대한 명확한 설명과 근거제시가 부족함

참 고 문 헌

[제 2장 1절]

기상청(2020). 「기후업무규정」 (기상청훈령 제969호, 2020.4.8. 시행)

기상청(2022a). *IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)*. 2022.10.31. 접속. http://www.climate.go.kr/home/cooperation/Ipcc.php

기상청(2022b). 「IPCC 제56차 총회 정부대표단 운영(안)」, 기후과학국 기후정책과.

IPCC(2017). "The IPCC and the Sixth Assessment cycle". https://archive.ipcc.ch/pdf/ar6_material/AC6_brochure_en.pdf

IPCC(2022). "Calendar". https://www.ipcc.ch/calendar/

[제 2장 2절]

관계부처합동(2018). 「2030년 국가 온실가스 감축목표 달성을 위한 기본 로드맵 수정안」. https://energytransitionkorea.org/sites/default/files/2018-11/18.072030-%E1%84%8B%E1%85%A9%E1%86%AB%E1%84%89%E1%85%B5%E1%86%AF%E1%84%80%E1%85%A1%E1%84%89%E1%85%B3-%E1%84%80%E1%85%A1%E1%86%B7%E1%84%8E%E1%85%AE%E1%86%A8%E1%84%85%E1%85%A9%E1%84%83%E1%85%B3%E1%84%86%E1%85%A2%E1%86%B8-%E1%84%89%E1%85%AE%E1%84%8C%E1%85%A5%E1%86%BC%E1%84%8B%E1%85%A1%E1%86%AB%E1%84%80%E1%85%AA%E1%86%AB%E1%84%80%E1%85%A8%E1%84%87%E1%85%AE%E1%84%8E%E1%85%A5-%E1%84%92%E1%85%A1%E1%86%B8%E1%84%83%E1%85%A9%E1%86%BC%20%281%29.pdf

관계부처합동(2019). 「제2차 기후변화대응 기본 계획」. https://www.me.go.kr/home/web/policy_data/read.do?menuId=10259&seq=7394

관계부처합동(2021a). 「제3차 국가 기후변화 적응대책 2021-2025」. http://www.climate.go.kr/home/cc_data/policy/3_nation_climate_change_adaptation_step_summary.pdf

관계부처합동(2021b). 「제4차 지속가능발전 기본계획 2021~2040 (제1부)」. http://ncsd.go.kr/api/1613452102015_%EC%A0%9C4%EC%B0%A8%20%EC%A7%80%EC%86%8D%EA%B0%80%EB%8A%A5%EB%B0%9C%EC%A0%84%20%EA%B8%B0%EB%B3%B8%EA%B3%84%ED%9A%8D(1%EB%B6%80).pdf

금융권 녹색금융 핸드북(2021). 「금융권 녹색금융 핸드북」 (Green-Finance Handbook). https://www.fss.or.kr/fss/cmmn/file/fileDown.do?menuNo=200218&atchFileId=3e568353576d5e462ee05ccd18aa1351&fileSn=12&bbsId=

오채운(2021). 「과기혁신외교활동 사례 분석: 기후변화 분야」, 『과기외교 효과 분석 및 기반 구축 방안(정책연구 2021-29)』, 과학기술정책연구원, pp.39-69

유승직(2022). 「IPCC 제6차 보고서의 시사점」, 제58차 환경리더스포럼 (2022.05.26.) 토론 자료

이시형(2022). 「온실가스 어떻게 줄일 것인가?」, 제58차 환경리더스포럼 (2022.05.26.) 토론 자료.

BBC News 코리아(2020). 「먹방: 중국은 왜 '먹방'을 단속하게 됐을까」. https://www.bbc.com/korean/international-53844480

IPCC(2022a). "Climate change 2022 Mitigation of Climate Change: Summary for Policy makers". https://report.ipcc.ch/ar6wg3/pdf/IPCC_AR6_WGIII_SummaryForPolicymakers.pdf

IPCC(2022b). "Climate change 2022 Mitigation of Climate Change." https://report.ipcc.ch/ar6wg3/pdf/IPCC_AR6_WGIII_FinalDraft_FullReport.pdf

UNSD(1999). "Standard Country or Area Codes for Statistical Use, Revision 4." https://unstats.un.org/unsd/methodology/m49/

[제 3장 1절]

2050탄소중립위원회(2021). 『2050 탄소중립 시나리오』. https://2050cnc.go.kr/base/board/read?boardManagementNo=4&boardNo=101&searchCategory=&page=1&searchType=&searchWord=&menuLevel=2&menuNo=15

로우카본(2021). 「상금 1000억의 '머스크 탄소 포집 대회' 로우카본 출전!」 http://lowcarbon.co.kr/sub/cs/notice_dt.asp?pagetype=&idx=200&srcstr=&srctype=&gotopage=3

송예원·오채운(2022). 「직접대기탄소포집·저장(DACCS) 기술에 대한 우리나라 R&D 정책 방향성 연구: DAC 기술 중심으로」, 『한국기후변화학회지』, 13(1), p.75-96. https://doi.org/10.15531/KSCCR.2022.13.1.075

엄지용·김한웅·이한주·정다운·Haewon McJeon·김주진·권경락·한가희·조규리(2021). 「2050 탄소중립 전환 시나리오: 한국형 통합평가모형 분석」. (사)기후솔루션.

한국기계연구원(2022). 「대기 중 CO2 포집 성능시험(시험성적서 KIMM-21-0974-1/2)」. https://www.lowcarbon.co.kr/bbs/data/data_down.asp?data_nm=(%EA%B5%AD%EB%AC%B8)%20%EB%8C%80%EA%B8%B0%EC%A4%91%20CO2%20%ED%8F%AC%EC%A7%91%EC%84%B1%EB%8A%A5%20%EC%8B%9C%ED%97%98%EC%84%B1%EC%A0%81%EC%84%9C(%ED%95%9C%EA%B5%AD%EA%B8%B0%EA%B3%84%EC%97%B0%EA%B5%AC%EC%9B%90)_2022-01-17.zip

BEV [Breakthrough Energy Ventures](2022). *Carbon Removal*. 2022.10.31. 접속. https://www.breakthroughenergy.org/us-policy-overview/carbon-removal

Beuttler, C., Charles, L., & Wurzbacher, J. (2019). "The role of direct air capture in mitigation of anthropogenic greenhouse gas emissions", *Frontiers in Climate*, 1. https://doi.org/10.3389/fclim.2019.00010

Brethomé, F. M., Williams, N. J., Seipp, C. A., Kidder, M. K., & Custelcean, R. (2018). "Direct air capture of CO2 via aqueous-phase absorption and crystalline-phase release using concentrated solar power", *Nature Energy*, 3, p.553-559. https://doi.org/10.1038/s41560-018-0150-z

Bui, M., Adjiman, C. S., Bardow, A., Anthony, E. J., Boston, A., Brown, S., Fennell, P. S., Fuss, S., Galindo, A., Hackett, L. A., Hallett, J. P., Herzog, H. J., Jackson, G., Kemper, J., Krevor, S., Maitland, G. C., Matuszewski, M., Metcalfe, I. S., Petit, C., … Mac Dowell, N.(2018). "Carbon capture and storage (CCS): The way forward", *Energy & Environmental Science*, 11(5), 1062-1176. https://doi.org/10.1039/c7ee02342a

IPCC(2022). *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press: Cambridge, UK and New York, NY, USA.

CE. [Carbon Engineering](2022a). *Resources*. 2022.10.31. 접속. https://carbonengineering.com/resources/

CE(2022b). *Our Story*. 2022.10.31. 접속. https://carbonengineering.com/our-story/

CE(2022c). *Air to Fuels*. 2022.10.31. 접속. https://carbonengineering.com/air-to-fuels/

CE(2022d). *Our Technology*. 2022.10.31. 접속. https://carbonengineering.com/our-technology/

Climeworks(2022a). *About us - Purpose*. 2022.10.31. 접속. https://climeworks.com/purpose

Climeworks(2022b). *Capricorn*. 2022.10.31. 접속. https://climeworks.com/roadmap/capricorn

Climeworks(2022c). *Orca*. 2022.10.31. 접속. https://climeworks.com/roadmap/orca

Climeworks(2022d). *Mammoth*. 2022.10.31. 접속. https://climeworks.com/roadmap/mammoth

EC [European Commission](2021a). *Direct atmospheric carbon capture and conversion*. 2022.10.31. 접속. https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/portal/screen/opportunities/topic-details/horizon-cl5-2021-d2-01-11

EC(2021b). "Sustainable Carbon Cycles. Communication from the Commission to the European Parliament and the Council". https://ec.europa.eu/clima/system/files/2021-12/com_2021_800_en_0.pdf

ECCC [Environment and Climate Change Canada](2020). *New $206 million Climate Action and Awareness Fund to support youth, scientists, and researchers across Canada*. 2022.10.31. 접속. https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/news/2020/09/new-206-million-climate-action-and-awareness-fund-to-support-youth-scientists-and-researchers-across-canada.html

ECCC(2022). *Canada's Greenhouse Gas Offset Credit System*. 2022.10.31. 접속. https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/climate-change/pricing-pollution-how-it-will-work/output-based-pricing-system/federal-greenhouse-gas-offset-system.html

EJ [Environment Journal](2021). *Climate Action and Awareness FUnd Launches RFP*. 2022.10.31. 접속. https://environmentjournal.ca/climate-action-and-awareness-fund-launched/

Fuss, S., Lamb, W. F., Callaghan, M. W., Hilaire, J., Creutzig, F., Amann, T., Beringer, T., de Oliveira Garcia, W., Hartmann, J., Khanna, T., Luderer, G., Nemet, G. F., Rogelj, J., Smith, P., Vicente, J. L., Wilcox, J., del Mar Zamora Dominguez, M., & Minx, J. C.(2018). "Negative emissions—part 2: Costs, potentials and side effects", *Environmental Research Letters*, 13(6), p.063002. https://doi.org/10.1088/1748-9326/aabf9f

GCI [Global CCS Institute](2015). *How does carbon capture affect water consumption*. 2022.10.31. 접속. https://www.globalccsinstitute.com/news-media/insights/how-does-carbon-capture-affect-water-consumption

GPI [Great Plains Institute](2019). "Primer: 45Q Tax Credit for Carbon Capture Projects". https://www.betterenergy.org/wp-content/uploads/2019/06/45Q_Primer_May_2019.pdf

IPCC(2018). *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. Cambridge University Press: Cambridge, UK and New York, NY, USA.

IPCC(2022). *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change*. Cambridge University Press: Cambridge, UK and New York, NY, USA.

de Jonge, M. M. J., Daemen, J., Loriaux, J. M., Steinmann, Z. J. N., & Huijbregts, M. A. J.(2019). "Life cycle carbon efficiency of Direct Air Capture systems with strong hydroxide sorbents", *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 80, p.25-31. https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2018.11.011

Keith, D. W., Holmes, G., St. Angelo, D., & Heidel, K.(2018). "A process for capturing CO2 from the atmosphere", *Joule*, 2, p.1573-1594. https://doi.org/10.1016/j.joule.2018.05.006

McQueen, N., Gomes, K. V., McCormick, C., Blumanthal, K., Pisciotta, M., & Wilcox, J.(2021). "A review of direct air capture (DAC): scaling up commercial technologies and innovating for the future", *Progress in Energy*, 3, p.032001. https://doi.org/10.1088/2516-1083/abf1ce

NZT [Net Zero Tracker].(2022). *Net Zero Tracker*. 2022.10.31. 접속. https://zerotracker.net/

PA [Paris Agreement].(2015). Paris Agreement. https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf

Sanz-Pérez, E. S., Murdock, C. R., Didas, S. A., & Jones, C. W.(2016). "Direct Capture of CO2 from Ambient Air", *Chemical Reviews*, 116(19), p.11840-11876. https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.6b00173

Snæbjörnsdóttir, S. Ó., Sigfússon, B., Marieni, C., Goldberg, D., Gislason, S. R., & Oelkers, E. H.(2020). "Carbon dioxide storage through mineral carbonation", *Nature Reviews Earth & Environment*, 1, p.90-102. https://doi.org/10.1038/s43017-019-0011-8

UK(2021). "Net Zero Strategy: Build Back Greener". https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1033990/net-zero-strategy-beis.pdf

UK(2022). *Direct Air Capture and other Greenhouse Gas Removal technologies competition*. 2022.10.31. 접속. https://www.gov.uk/government/publications/direct-air-capture-and-other-greenhouse-gas-removal-technologies-competition

Xprize(2021). *$100M Prize for Carbon Removal*. 2022.10.31. 접속. https://www.xprize.org/prizes/elonmusk

[제 3장 2절]

Azarabadi, H., & Lackner, K. S. (2020). "Postcombustion capture or direct air capture in decarbonizing US natural gas power?", *Environmental Science & Technology*, 54(8), p.5102-5111. https://doi.org/10.1021/acs.est.0c00161

Beck, L. (2020). "The US Section 45Q Tax Credit for Carbon Oxide Sequestration: An Update. Global CCS Institute".

https://www.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2020/04/45Q_Brief_in_template_LLB.pdf

Bohas, A., & Poussing, N. (2016). “An empirical exploration of the role of strategic and responsive corporate social responsibility in the adoption of different green IT strategies”, *Journal of Cleaner Production*, 122, p.240-251. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.029

Breyer, C., Fasihi, M., Bajamundi, C., & Creutzig, F. (2019). Direct air capture of CO2: A key technology for ambitious climate change mitigation. Joule, 3(9), 2053-2057. https://doi.org/10.1016/j.joule.2019.08.010

Cainelli, G., Mazzanti, M., & Montresor, S. (2012). Environmental innovations, local networks and internationalization. Industry and Innovation, 19(8), 697-734. https://doi.org/10.1080/13662716.2012.739782

Capanna, S, Higdon, J, & Lackner, M. (2021). Early Deployment of Direct Air Capture with Dedicated Geologic Storage: Federal Policy Options. https://www.edf.org/sites/default/files/documents/DACPolicy_Final.pdf

CARB [California Air Resources Board] (2022a). LCFS Credit Generation Opportunities. https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/low-carbon-fuel-standard/lcfs-credit-generation-opportunities

CARB (2022b). About. https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/low-carbon-fuel-standard/about

CARB (2022c). LCFS Credit Clearance Market. https://ww2.arb.ca.gov/resources/documents/lcfs-credit-clearance-market

CE [Carbon Engineering] (2022a).). Our Story. https://carbonengineering.com/our-story/

CE (2022b). 1PointFive announces agreement with Airbus for the purchase of 400,000 tonnes of carbon removal credits. https://carbonengineering.com/news-updates/1pointfive-airbus/

CE (2022c). Resources. https://carbonengineering.com/resources/

CE (2022d). Carbon dioxide removal service. https://carbonengineering.com/carbon-removal/

Climeworks (2022a). Mammoth: our newest direct air capture and storage facility. https://climeworks.com/roadmap/mammoth

Climeworks (2022b). Direct air capture: a technology to remove CO2. https://climeworks.com/co2-removal

CRS [Congressional Research Service] (2021). The Tax Credit for Carbon Sequestration (Section 45Q). https://sgp.fas.org/crs/misc/IF11455.pdf

Crunchbase (2022a). Carbon Engineering. https://www.crunchbase.com/organization/carbon-engineering

Crunchbase (2022b). Climeworks. https://www.crunchbase.com/organization/climeworks

Diederen, P., van Meijl, H., & Wolters, A., 2002. Innovation and farm performance: the case of dutch agriculture. In: Kleinknecht, A., Mohnen, P. (Eds.), Innovation and Firm Performance, pp. 73-85.

Fasihi, M., Efimova, O., & Breyer, C. (2019). Techno-economic assessment of CO2 direct air capture plants. Journal of Cleaner Production, 224, 957-980. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.086

Fuss, S., Lamb, W. F., Callaghan, M. W., Hilaire, J., Creutzig, F., Amann, T., ... & Khanna, T. (2018). Negative emissions - Part 2: Costs, potentials and side effects. Environmental Research Letters, 13(6). https://doi.org/10.1088/1748-9326/aabf9f

Gebald, C., & Wurzbacher, J. (2022). Climeworks' Industry Snapshot. https://climeworks.com/news/industry-snapshot-report-by-climeworks

Gertner, J. (2019). The tiny Swiss company that thinks it can help stop climate change, New York Times. https://www.nytimes.com/2019/02/12/magazine/climeworks-business-climate-change.html

Ghisetti, C., & Rennings, K. (2014). Environmental innovations and profitability: How does it pay to be green? An empirical analysis on the German innovation survey. Journal of Cleaner Production, 75, 106-117. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.03.097

Global CCS Institute (2019). Global status of CCS. https://www.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2019/12/GCC_GLOBAL_STATUS_REPORT_2019.pdf

GoC [Government of Canada] (2022). Additional Design Features of the Investment Tax Credit for Carbon Capture, Utilization and Storage: Recovery Mechanism, Climate Risk Disclosure, and Knowledge Sharing. https://www.canada.ca/en/department-finance/news/2022/08/additional-design-features-of-the-investment-tax-credit-for-carbon-capture-utilization-and-storage-recovery-mechanism-climate-risk-disclosure-and-k.html

Hojnik, J., & Ruzzier, M. (2016). What drives eco-innovation? A review of an emerging literature. Environmental Innovation and Societal Transitions, 19, 31-41. http://dx.doi.org/10.1016/j.eist.2015.09.006

Horbach, J. (2008). Determinants of environmental innovation - New evidence from German panel data sources. Research Policy, 37(1), 163-173. https://doi.org/10.1016/j.respol.2007.08.006

IPCC [Intergovernmental Panel on Climate Change] (2018). Global Warming of 1.5℃.

IPCC (2022). Mitigation of Climate Change.

de Jonge, M. M. J., Daemen, J., Loriaux, J. M., Steinmann, Z. J. N., & Huijbregts, M. A. J. (2019). Life cycle carbon efficiency of Direct Air Capture systems with strong hydroxide sorbents. International Journal of Greenhouse Gas Control, 80, 25-31. https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2018.11.011

Jang, E., Park, M., Roh, T., & Han, K. (2015). Policy instruments for eco-innovation in Asian countries. Sustainability, 7(9), 12586-12614. https://doi.org/10.3390/su70912586

Kammerer, D. (2009). The effects of customer benefit and regulation on environmental product innovation.: Empirical evidence from appliance manufacturers in Germany. Ecological Economics, 68(8-9), 2285-2295. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.02.016

Keith, D. W., Holmes, G., St. Angelo, D., & Heidel, K. (2018). A process for capturing CO2 from the atmosphere. Joule, 2(8), 1573-1594. https://doi.org/10.1016/j.joule.2018.05.006

Kunapatarawong, R., & Martínez-Ros, E. (2016). Towards green growth: How does green innovation affect employment? Research Policy, 45(6), 1218-1232. https://doi.org/10.1016/j.respol.2016.03.013

Lanoie, P., Laurent-Lucchetti, J., & Johnstone, N. (2011). Environmental policy, innovation and performance: new insights on the Porter Hypothesis. Journal of Economics & Management Strategy, 20(3), 803-842. https://doi.org/10.1111/j.1530-9134.2011.00301.x

McQueen, N., Gomes, K. V., McCormick, C., Blumanthal, K., Pisciotta, M., & Wilcox, J. (2021). A review of direct air capture (DAC): scaling up commercial technologies and innovating for the future. Progress in Energy, 3(3), 032001. https://doi.org/10.1088/2516-1083/abf1ce

Meckling, J., & Biber, E. (2021). A policy roadmap for negative emissions using direct air capture. Nature Communications, 12(1), 1-6. https://doi.org/10.1038/s41467-021-22347-1

OECD. (2010). Eco-Innovation in Industry: Enabling Green Growth.

Oliveira, T, & Martins, M. F. (2011). Literature review of information technology adoption models at firm level. The Electronic Journal Information Systems Evaluation, 14(1), 110-121. https://academic-publishing.org/index.php/ejise/article/view/389/352

Osses, L. D. (2019). The European Union Emissions Trading System and its Impact on Eco-Innovation (Master's thesis, Maastricht University School of Business and Economics & NOVA School of Business and Economics, Maastricht).

Park, S., Oh, C., & Shin, K. (2020). Research on Korea's negotiating position on types of mitigation based on carbon capture, utilization, and storage technology under Article 6 of the Paris Agreement. Journal of Climate Change Research, 11(5-2), 563-581. https://doi.org/10.15531/ksccr.2020.11.5.563

Realmonte, G., Drouet, L., Gambhir, A., Glynn, J., Hawkes, A., Köberle, A. C., & Tavoni, M. (2019). An inter-model assessment of the role of direct air capture in deep mitigation pathways. Nature Communications, 10(1), 1-12. https://doi.org/10.1038/s41467-019-10842-5

Rehfeld, K., Rennings, K., & Ziegler, A. (2007). Integrated product policy and environmental product innovations: An empirical analysis. Ecological Economics, 61(1), 91-100. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2006.02.003

Rennings, K., Ziegler, A., Ankele, K., & Hoffmann, E. (2006). The influence of different characteristics of the EU environmental management and auditing scheme on technical environmental innovations and economic performance. Ecological Economics, 57(1), 45-59. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.03.013

Sáez-Martínez, F. J., Díaz-García, C., & Gonzalez-Moreno, A. (2016). Firm technological trajectory as a driver of eco-innovation in young small and medium-sized enterprises. Journal of Cleaner Production, 138, 28-37. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.04.108

Song, Y., & Oh, C. (2022). Korea's policy direction on the research & development of direct air carbon capture and storage (DACCS) technologies: focusing on DAC technologies. Journal of Climate Change Research, 13(1), 75-96. https://doi.org/10.15531/KSCCR.2022.13.1.075

Szczygielski, K., Grabowski, W., Woodward, R. (2013). Case Network Studies & Analyses No. 454 - External vs Internal Determinants of Firm Technology Strategy: Evidence from the Polish Services Sector. CASE: Warsaw, Poland.

Tang, K., Qiu, Y., & Zhou, D. (2020). Does command-and-control regulation promote green innovation performance? Evidence from China's industrial enterprises. Science of the Total Environment, 712, 136362. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136362

Triguero, A., Moreno-Mondéjar, L., & Davia, M. A. (2013). Drivers of different types of eco-innovation in European SMEs. Ecological Economics, 92, 25-33. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2013.04.009

Tsai, W. C. (2012). Environmental and organizational determinants of technology adoption: The cases of RFID in the logistics firms. 2012 7th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA), 719-724. https://doi.org/10.1109/ICIEA.2012.6360819

Wang, D. D., Li, S., & Sueyoshi, T. (2018). Determinants of climate change mitigation technology portfolio: an empirical study of major U.S. firms. Journal of Cleaner Production, 196, 205-215. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.025

Zahra, S. A. (1996). Technology strategy and financial performance: Examining the moderating role of the firm's competitive environment. Journal of Business Venturing, 11(3), 189-219. https://doi.org/10.1016/0883-9026(96)00001-8

Zubeltzu-Jaka, E., Erauskin-Tolosa, A., & Heras-Saizarbitoria, I. (2018). Shedding light on the determinants of eco-innovation: A meta-analytic study. Business Strategy and the Environment, 27(7), 1093-1103. https://doi.org/10.1002/bse.2054

[제 4장 2절]

과기정통부. (2021). 탄소중립 기술혁신 추진전략 - 10대 핵심기술 개발 방향(총괄). http://www.ctpp.re.kr/home/d1_view.php?startPage=1&find_key=user_cat&sort_key=user_signdate&sort_value=desc&idx=1&s=51. Accessed on September 23, 2022.

국민일보. (2021). '최악 불바다'된 시베리아...남한 면적 1.6배가 숯덩이로(2021. 8. 11). https://m.kmib.co.kr/view.asp?arcid=0016159575. Accessed on September 23, 2022.

금융위원회. (2021). 기업공시제도 종합 개선방안. Accessed on September 23, 2022. https://www.fsc.go.kr/comm/getFile?srvcId=BBSTY1&upperNo=75176&fileTy=ATTACH&fileNo=6.

금융위원회. (2022a). 보도자료_ISSB의 지속가능성 공시기준 관련 공개 의견수렴(2022. 5. 13). Accessed on September 23, 2022. https://www.fsc.go.kr/comm/getFile?srvcId=BBSTY1&upperNo=77781&fileTy=ATTACH&fileNo=8.

금융위원회. (2022b). 보도자료_국제지속가능성기준위원회(ISSB)의 공시기준에 대한 한국측 의견서 제출. https://www.fsc.go.kr/no010101/78172. Accessed on September 23, 2022.

기상청. (2021). 기후변화. https://www.kma.go.kr/kids/231.jsp. Accessed on December 31, 2022.

김바우·김정현·강성우. (2021). 최근 원자재 가격 상승의 배경과 국내 제조업에 미치는 영향. https://eiec.kdi.re.kr/policy/domesticView.do?ac=0000160166. Accessed on September 23, 2022.

김용태. (2021). 패널 토의 자료. 국회기후변화포럼 세미나 (2021.4.16.) '기후위기 대응! ESG 진단과 촉진방안'. http://www.climateforum.or.kr/archives/117. Accessed on September 23, 2022.

김재필. (2021). ESG 혁명이 온다.

대한민국 정책브리핑. (2022). [보도자료] 녹색금융 협의체(NGFS)가입을 통해 녹색금융 국제논의에 적극적으로 참여하겠습니다. Accessed on September 23, 2022. https://www.korea.kr/news/pressReleaseView.do?newsId=156452499.

사회적가치연구원. (2021). ESG Handbook. Accessed on September 23, 2022. https://www.cses.re.kr/liveFile/report-file/happyFileDown.do?fileName=202102241806133KOt.pdf&orgFileName=(Interactive%20PDF)%20CSES_ESG%ED%95%B8%EB%93%9C%EB%B6%81%EB%B2%A0%EC%9D%B4%EC%A7%81_%EC%B5%9C%EC%A2%85.pdf.

산업연구원. (2019). 유럽연합 집행위원회의 기후관련 비금융정보 보고 가이드라인 내용과 시사점

송영철·임수환. (2022). 국제 원자재 가격 상승이 중소기업에 미치는 영향과 시사점. https://eiec.kdi.re.kr/policy/domesticView.do?ac=0000165263&issus=S&pp=20&datecount=&pg=. Accessed on September 23, 2022.

에너지경제연구원. (2016). 세계 에너지시장 인사이트 제16-35호. http://www.keei.re.kr/insight?open&p=%2Fweb_energy_new%2Finsight.nsf%2Finsight_list.html&s=%3Fopen%26menu%3Dinsight%26doctype%3D0%26region%3Dall. Accessed on September 23, 2022.

에너지경제연구원. (2020). 녹색채권과 에너지 분야 투자 연구: 프랑스 사례를 중심으로. http://www.keei.re.kr/web_keei/d_results.nsf/0/A4DD8769047ECF1E4925866800313540/$file/20-11_%EC%88%98%EC%8B%9C_%EB%85%B9%EC%83%89%EC%B1%84%EA%B6%8C%EA%B3%BC%20%EC%97%90%EB%84%88%EC%A7%80%20%EB%B6%84%EC%95%BC%20%ED%88%AC%EC%9E%90%20%EC%97%B0%EA%B5%AC%20%ED%94%84%EB%9E%91%EC%8A%A4%20%EC%82%AC%EB%A1%80%EB%A5%BC%20%EC%A4%91%EC%8B%AC%EC%9C%BC%EB%A1%9C.pdf. Accessed on September 23, 2022.

에너지경제연구원. (2022). 에너지수급브리프(2022년 7월호). http://www.kesis.net/sub/sub_LastPubctDetail.jsp. Accessed on September 23, 2022.

에너지데일리(2022). 기후변화 재무정보 공개 활성화된다(2022.06.27.). http://www.energydaily.co.kr/news/articleView.html?idxno=128825, Accessed on September 23, 2022.

연합뉴스. (2021). 금융위와 13개 금융기관, '녹색금융'국제협의체 지지선언. https://www.yna.co.kr/view/AKR20210524079300002. Accessed on September 23, 2022.

이종오. (2001). 기후위기 대응을 위한 ESG 역할과 제도개선 과제. 국회기후변화포럼 세미나(2021.4.16.) '기후위기 대응! ESG 진단과 촉진방안'. http://www.climateforum.or.kr/archives/117. Accessed on September 23, 2022.

이코노미스트. (2022). S&P, 무디스, 피치, 러시아 신용등급 강등, 국가부도 위기(2022.03.04.). Accessed on September 23, 2022. https://economist.co.kr/2022/03/04/internationalMain/internationalEconomy/20220304120241555.html.

지식경제부 보도자료. (2009). IEA, 12월 코펜하겐 기후변화 협상에 앞서 기후변화 관련 주요 보고서 발표(2009. 10. 13). Accessed on September 23, 2022. https://www.korea.kr/news/pressReleaseView.do?newsId=155414894.

한겨레신문. (2022). 기후위기 정보 공시 앞두고..'한국 TCFD얼라이언스' 발족. https://www.hani.co.kr/arti/economy/marketing/1048582.html. Accessed on September 23, 2022.

한경ESG. (2022). ESG 의무공시 대응 전략

한국과학기술기획평가원. (2009). 미래예측을 위한 시나리오 분석 및 시스템 구축방안. https://www.kistep.re.kr/boardDownload.es?bid=0031&list_no=35058&seq=2442. Accessed on September 23, 2022.

한국광해광업공단. (2022). 한국자원정보서비스-Iron Ore&Energy. Accessed on September 23, 2022. https://www.komis.or.kr/komis/price/mineralprice/ironoreenergy/pricetrend/ironOreEnergy.do.

한국경제. (2021). 정기변경 앞둔 MSCI지수(2021.06.29.). https://www.hankyung.com/finance/article/202105050177i. Accessed on September 23, 2022.

한국기업지배구조원. (2011). CGS REPORT 1호(국제통합보고서의 추진 현황). Accessed on September 23, 2022. http://www.cgs.or.kr/publish/report_view.jsp?tn=1&pp=3&spyear=2011&skey=title&svalue=.

한국기업지배구조원. (2013). CGS REPORT 9호(통합보고프레임워크 개발 동향). Accessed on September 23, 2022. http://www.cgs.or.kr/publish/report_view.jsp?tn=33&pp=3&spyear=2013&skey=title&svalue=.

한국기업지배구조원. (2019). KCGS Report 제9권 11호. Accessed on September 23, 2022. http://www.cgs.or.kr/publish/report_view.jsp?tn=121&pp=3&spyear=&skey=&svalue=.

한국기업지배구조원. (2021). KCGS Report 제11권 1호. Accessed on September 23, 2022. http://www.cgs.or.kr/publish/report_view.jsp?tn=134&pp=3&spyear=&skey=&svalue=.

한국기업지배구조원. (2022). KCGS Report 제12권 3호. Accessed on September 23, 2022. http://www.cgs.or.kr/publish/report_view.jsp?tn=148&pp=3&spyear=&skey=&svalue=.

한국시멘트협회. (2020). 2020 한국의 시멘트산업 통계. http://www.cement.or.kr/mater_down/2020%20%ED%95%9C%EA%B5%AD%EC%9D%98%20%EC%8B%9C%EB%A9%98%ED%8A%B8%EC%82%B0%EC%97%85%20%ED%86%B5%EA%B3%84-1.pdf. Accessed on September 23, 2022.

한국에너지공단. (2017). KEA 에너지 이슈 브리핑 제167호(2017. 6. 23). http://www.energy.or.kr/web/kem_home_new/energy_issue/mail_vol64/pdf/issue_167_01_01.pdf. Accessed on September 23, 2022.

한국에너지공단. (2021). 이슈브리핑 제157호. http://blog.energy.or.kr/?p=12839. Accessed on September 23, 2022.

한국에너지기술연구원. (2021). 철강 산업의 탈탄소화. https://www.kier.re.kr/UploadFiles/tpp/energy/16388516146270.pdf. Accessed on September 23, 2022.

한국은행. (2022). 금융안정위원회(FSB)의 개요. https://www.bok.or.kr/portal/main/contents.do?menuNo=200340). Accessed on September 23, 2022.

한국지질자원연구원. (2021), 한눈에 보는 6대 핵심광물 이슈분석.

환경부. (2010). 기업 탄소경영 가이드라인. http://me.go.kr/home/web/policy_data/read.do?pagerOffset=1670&maxPageItems=10&maxIndexPages=10&searchKey=&searchValue=&menuId=10259&orgCd=&condition.deleteYn=N&seq=4661. Accessed on September 23, 2022.

ESG경제. (2022a). EU, 세계에서 가장 광범위한 ESG공시 기준 공표 (2022.05.04.). http://www.esgeconomy.com/news/articleView.html?idxno=2119. Accessed on September 23, 2022.

ESG경제. (2022b). EU `35년 내연기관 자동차 판매 금지 법안 유럽의회 통과 (2022.06.09.). https://www.esgeconomy.com/news/articleView.html?idxno=2234. Accessed on September 23, 2022.

ESG경제. (2022c). EU, 2024년부터 대기업 ESG공시 의무화 합의 (2022.06.22.). http://www.esgeconomy.com/news/articleView.html?idxno=2272. Accessed on September 23, 2022.

Impact On. (2020a). 환경부가 지지선선안 'TCFD(기후변화 재무정보공개 전담협의체) 새롭게 주목 (2020.06.22.). http://www.impacton.net/news/articleView.html?idxno=144. Accessed on September 23, 2022.

Impact On. (2020b), 글로벌 표준 TCFD 적용 기업, 국내 단 5곳 뿐(2020.08.31.). http://www.impacton.net/news/articleView.html?idxno=172. Accessed on September 23, 2022.

Impact On. (2021a), 국내 기업 SASB, TCFD 스탠다드보다 GRI 활용 대부분(2021.02.25.). http://www.impacton.net/news/articleView.html?idxno=1304. Accessed on September 23, 2022.

Impact On. (2021b), 특수목적 채권 그린본드(Green Bond), 키워드는 신뢰(2021.01.22.). https://www.impacton.net/news/articleView.html?idxno=360. Accessed on September 23, 2022.

Impact On. (2022a). EU, 기업 지속가능성보고표준(ESRS) 13개 초안 발표(2022.05.03.). http://www.impacton.net/news/articleView.html?idxno=3971. Accessed on September 23, 2022.

Impact On. (2022b). EU위원회, 기업 지속가능성보고지침(CSRD) 최종 승인(2022.12.04.). https://www.impacton.net/news/articleView.html?idxno=5443. Accessed on December 13, 2022.

Invest chosun. (2022). 신평사도 뛰어든 '기업ESG평가'... 넘치는 '평가기준' 우려도. http://www.investchosun.com/m/article.html?contid=2022032980221. Accessed on September 23, 2022.

APRA. (2022). About APRA. https://www.apra.gov.au/about-apra. Accessed on September 23, 2022.

CDP. (2022). Disclosing through CDP. https://cdn.cdp.net/cdp-production/comfy/cms/files/files/000/006/049/original/CDP_Benefits_of_Disclosure_brochure_2022.pdf. Accessed on September 23, 2022.

CERES. (2022). Our history. https://www.ceres.org/about-us. Accessed on September 23, 2022.

Climatecasechart. (2022). Global Climate Change Litigation. http://climatecasechart.com/non-us-climate-change-litigation/. Accessed on September 23, 2022.

CLIMATEWATCH. (2022). 'DC Enhancement Tracker. https://www.climatewatchdata.org/2020-ndc-tracker. Accessed on September 23, 2022.

EB (European Bank). NGFS calls for action by central banks, supervisors and all relevant stakeholders for greening the financial system. https://www.ebrd.com/news/2019/ngfs-calls-for-action-by-central-banks-supervisors-and-all-relevant-stakeholders-for-greening-the-financial-system-.html. Accessed on September 23, 2022.

Economist Intelligence. (2022a). World commodity forecast: Coal. https://store.eiu.com/product/world-commodity-forecasts. Accessed on September 23, 2022.

Economist Intelligence. (2022b). World commodity forecast: Natural gas. https://store.eiu.com/product/world-commodity-forecasts. Accessed on September 23, 2022.

EIA/DOE. (2022). Short-term Energy Outlook.

https://www.eia.gov/outlooks/steo/. Accessed on September 23, 2022.

European Commission. (2022). REPowerEU: Joint European action for more affordable, secure and sustainable energy. https://ec.europa.eu/commission/ presscorner/detail /en/

IP_22_3131. Accessed on September 23, 2022.

FSB. (2015). FSB Press release_Proposal for a disclosure task force on climate-related risks(9 November 2015). Accessed on September 23, 2022. https://www.fsb.org/wp-content/uploads/Disclosure-task-force-on-climate-related-risks.pdf.

FSB. (2022). Disclosure task force on climate-related risks. https://www.fsb.org/2015/11/disclosure-task-force-on-climate-related-risks-2/. Accessed on September 23, 2022.

Glachant, M. and Dechezleprêtre, A. (2017). What role for climate negotiations on technology transfer? Climate policy, 17(8), 962-981.

https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/14693062.2016.1222257?journalCode=tcpo20. Accessed on September 23, 2022.

GREENPEACE. (2015). Energy [R]evolution.

https://www.greenpeace.org/canada/en/publication/1572/energy-revolution-2015-the-latest-documentation-2/. Accessed on September 23, 2022.

GRI. (2021a). GRI Annual Report 2020. https://www.globalreporting.org/about-gri/mission-history/gri-s-own-reports/. Accessed on September 23, 2022.

GRI. (2021b). GRI1_Foundation 2021. https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:RxlBxx6IBc4J:https://globalreporting.org/pdf.ashx%3Fid%3D12334%26page%3D14&cd=1&hl=ko&ct=clnk&gl=kr. Accessed on September 23, 2022.

GRI. (2022). Setting the agenda for the future. https://www.globalreporting.org/. Accessed on September 23, 2022.

IBDO. (2021). International Sustainability Standards Board(ISSB) formed and Prototype Sustainability Standards Released. https://www.bdo.global/en-gb/insights/global-industries/financial-services/issb-formed-and-prototype-sustainability-standards-released. Accessed on September 23, 2022.

IEA. (2008). World energy outlook 2008. https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2008. Accessed on September 23, 2022.

IEA. (2010). World energy outlook 2010. https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2010. Accessed on September 23, 2022.

IEA. (2014). World energy outlook 2014. https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2014. Accessed on September 23, 2022.

IEA. (2015). World energy outlook special report -Energy and Climate change. https://www.iea.org/reports/energy-and-climate-change. Accessed on September 23, 2022.

IEA. (2016). Energy Technology Perspective 2016.

https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2016. Accessed on September 23, 2022.

IEA. (2020). Energy Technology Perspective 2020. https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2020. Accessed on September 23, 2022.

IPCC. (2000). IPCC Special Report: Methodological and technological issues in technology transfer. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/srtt-en-1.pdf. Accessed on September 23, 2022.

IPCC. (2021a). Climate Change 2021 The Physical Science Basis: Full report. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_FullReport.pdf. Accessed on September 23, 2022.

IPCC. (2021b). Climate Change 2021 The Physical Science Basis: Summary for policymakers. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM.pdf. Accessed on September 23, 2022.

IPCC. (2021c). 'Climate Change 2021 The Physical Science Basis: Technical Summary'. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_TS.pdf. Accessed on September 23, 2022.

IPCC (2022a). Climate Change 2022 Mitigation of Climate Change: Working Group III contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Final Draft Full report. https://report.ipcc.ch/ar6wg3/pdf/IPCC_AR6_WGIII_FinalDraft_FullReport.pdf. Accessed on September 23, 2022.

IPCC. (2022b). Climate Change 2022 Mitigation of Climate Change: Working Group III contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Summary for Policymakers. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_SPM.pdf. Accessed on September 23, 2022.

IPCC. (2022c). Climate Change 2022 Mitigation of Climate Change: Working Group III contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Technical Summary. Accessed on September 23, 2022. https://report.ipcc.ch/ar6wg3/pdf/IPCC_AR6_WGIII_FinalDraft_TechnicalSummary.pdf.

IRENA. (2016). REmap: Roadmap for A Renewable Energy Future (2016 edition). https://www.irena.org/publications/2016/Mar/REmap-Roadmap-for-A-Renewable-Energy-Future-2016-Edition. Accessed on September 23, 2022.

IRENA. (2020). Renewable Power Generation Costs in 2020. https://www.irena.org/publications/2021/Jun/Renewable-Power-Costs-in-2020. Accessed on September 23, 2022.

Li, T-T., Wang, K., Sueyoshi, To., and Wang, D.D. (2021). ESG: Research progress and

future prospects. Sustainability, 2021, 13, 11663. https://doi.org/10.3390/su132111663 . Accessed on September 23, 2022.

NGFS. (2022). About us. https://www.ngfs.net/en/about-us/membership. Accessed on September 23, 2022.

Patronet. (2022). 국제 유가현황. https://www.petronet.co.kr. Accessed on September 23, 2022.

PRI. (2022). What are the principles for responsible investment? https://www.unpri.org/about-us/what-are-the-principles-for-responsible-investment. Accessed on September 23, 2022.

SASB. (2018). Iron & Steel Producers Sustainability Accounting Standard. https://www.sasb.org/standards/download/?lang=en-us. Accessed on September 23, 2022.

SASB. (2021). SASB 2020 Annual Rerport. https://www.sasb.org/knowledge-hub/sasb-2020-annual-report/. Accessed on September 23, 2022.

TCFD. (2017a). Recommendations of the Task Force on Climate-related Fianacial Disclosures. https://assets.bbhub.io/company/sites/60/2021/10/FINAL-2017-TCFD-Report.pdf. Accessed on September 23, 2022.

TCFD. (2017b). Implementing the Recommendations of the Task Force on Climate-related Financial Disclosures. https://assets.bbhub.io/company/sites/60/2020/10/FINAL-TCFD-Annex-Amended-121517.pdf. Accessed on September 23, 2022.

TCFD. (2017c). The Use of Scenario Analysis in Disclosure of Climate-Related Risks and Opportunities. Accessed on September 23, 2022. https://assets.bbhub.io/company/sites/60/2020/10/FINAL-TCFD-Technical-Supplement-062917.pdf.

TCFD. (2021). Task Force on Climate-related Financial Disclosures 2021 Status Report. https://assets.bbhub.io/company/sites/60/2022/03/GPP_TCFD_Status_Report_2021_Book_v17.pdf. Accessed on September 23, 2022.

TCFD. (2022a). Publications. https://www.fsb-tcfd.org/publications/. Accessed on September 23, 2022.

TCFD. (2022b). TCFD Supporters. https://www.fsb-tcfd.org/supporters/. Accessed on September 23, 2022.

WRI. (2016). Aqueduct Water Risk Atlas. https://www.wri.org/applications/maps/aqueduct-atlas/. Accessed on September 23, 2022.

환경성. (2021). TCFDを活用した経営戦略立案のススメ. https://www.env.go.jp/earth/TCFD_guidbook.pdf. Accessed on September 23, 2022.

TCFD Consortium. (2020). 気候関連財務情報開示に関するガイダンス2.0. https://tcfd-consortium.jp/news_detail/20073103. Accessed on September 23, 2022.

[제 5장 1절]

Helm, C. and Sprinz, D.F. (2000). Measuring the Effectiveness of International Environmental Regimes. Journal of Conflict Resolution, 45(5), 630-652

Oh, C. and S. Matsuoka. (2017). The genesis and end of institutional fragmentation in global governance on climate change from a constructivist perspective. International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics, 17(2), 143-159.

Potoski, M. and Prakash, A. (2013). Green Clubs: Collective Action and Voluntary Environmental Programs. Annual Review of Politicl Science, 16(1), 399-419.

Stewart, R.B., M. Oppenheimer, and Rudyk, B. (2017). Building blocks: a strategy for near-term action within the new global climate framework. Climate Change, 144(1), 1-13.

[제 5장 2절]

ADB [Asian Development Bank]. 2016. Handbook for developing joint crediting mechanism project. [accessed 2021 December 16]. https://www.adb.org/sites/default/files/institutional-document/219486/handbook-developing-joint-crediting-mechanism-projects.pdf

Bae SR, Park SC, Lee GH, Lee DH. 2021. (SBSTA52 Agenda 15(a)-(c)) Matters relating to Article 6 of the Paris Agreement. Interagency Meeting for SB52-55. Ministry of Foreign Affairs of the Republic of Korea.

Bajaj K. 2018. Market-based approaches of the Paris Agreement: Where are we now? New Delhi, India: The Energy and Resources Institute (TERI). Discussion Paper July 2018. [accessed 2021 December 14]. http://www.teriin.org/sites/default/files/2018-10/market-based-%20approach_Paris-agreement.pdf

Cames M, Healy S. 2016. International market mechanisms after Paris: Discussion Paper. [accessed 2022 March 2]. https://www.adelphi.de/en/publication/international-market-mechanisms-after-paris

CFI (Climate Finance Innovators). 2019. Moving towards next generation carbon markets: observations from article 6 pilots. [accessed 2022 March 28]. https://www.climatefinanceinnovators.com/wp-content/uploads/2019/06/Moving-toward-next-generation-carbon-markets_update-june-2019-1.pdf

EN [Energy News]. 2021. Introducing a controversial carbon tax ... ... this year, the government will implement a consignment project. [accessed 2022 March 7]. https://www.energy-news.co.kr/news/articleView.html?idxno=75837

EPRI [Electric Power Research Institute]. 2011. Case Studies of Greenhouse Gas Emissions Offset Projects Implemented in the United Nations Clean Development Mechanism. [accessed 2022 March 7]. https://cdm.unfccc.int/public_inputs/2011/eb64_02/cfi/RCUS2E8HSSZSP3W78WDFHDH9MSNQJ0

Favasuli S. 2021. Paris accord Article 6 approval set to jump-start evolution of voluntary carbon market. [accessed 2021 December 14]. https://www.spglobal.com/platts/en/market-insights/latest-news/energy-transition/111721-paris-accord-article-6-approval-set-to-jump-start-evolution-of-voluntary-carbon-market

Greiner S, Krämer N, Michaelowa A, Espelage A. 2019. Article 6 Corresponding Adjustments: Key accounting challenges for Article 6 transfers of mitigation outcomes. [accessed 2021 December 15]. https://www.carbon-mechanisms.de/fileadmin/media/dokumente/Publikationen/Studie/2019_ClimateFocus_Perspectives_Corresponding_Adjustments_Art6.pdf

Greiner S, Chagas T, Krämer N, Michaelowa A, Brescia D, Hoch, S. 2019b. Moving towards next generation carbon markets. [accessed 2022 March 7]. https://www.climatefinanceinnovators.com/wp-content/uploads/2019/03/Moving-toward-next-generation-carbon-markets.pdf

IISD. 2021. Advanding the SDGs and accelerating climate action through the Joint Crediting Mechanism. [accessed 2022 March 2]. https://sdg.iisd.org/commentary/policy-briefs/advancing-the-sdgs-and-accelerating-climate-action-through-the-joint-crediting-mechanism/

Im SY. 2021. Negotiation results of COP26 on Article 6 of the Paris Agreement (international carbon market) and future response. Presentation on December 6, 2021. Seminar on COP26 negotiation and future response. National Assembly Forum on Climate Change. [accessed 2021 December 13]. http://www.climateforum.or.kr/notice/375

Interagency. 2021. The plan to raise 2030 national GHG reduction target (NDC). [accessed 2021 December 14]. https://www.mofa.go.kr/www/brd/m_4080/view.do?seq=371662

JCM [Joint Crediting Mechanism]. 2021. Low carbon development partnership between the Japanese side and the Mongolian side. [accessed 2022 February 10]. https://www.jcm.go.jp/rules_and_guidelines

Kim WR, Son YH, Lee WK, Cho YS. 2018. Analyzing the Potential of Offset Credits in the Korean Emission Trading Scheme Focusing on Clean Development Mechanism Projects.

Journal of Climate Change Research, 9 (4): 453-460. [accessed 2022 March 28]. http://ekscc.re.kr/xml/17973/17973.pdf

Kizzier K, Levin K, Rambharos M. 2019. What you need to know about article 6 of the Paris Agreement. World Resources Institute. https://www.wri.org/insights/what-you-need-know-about-article-6-paris-agreement

KLIC [Korean Law Information Center]. 2021. Carbon neutrality·green growth basic law for climate risk preparation. [accessed 2021 December 14]. https://www.law.go.kr/%EB%B2%95%EB%A0%B9/%EA%B8%B0%ED%9B%84%EC%9C%84%EA%B8%B0%EB%8C%80%EC%9D%91%EC%9D%84%EC%9C%84%ED%95%9C%ED%83%84%EC%86%8C%EC%A4%91%EB%A6%BD%E3%86%8D%EB%85%B9%EC%83%89%EC%84%B1%EC%9E%A5%EA%B8%B0%EB%B3%B8%EB%B2%95/(18469,20210924)

KliK [Foundation for Climate Protection and Carbon Offset]. 2012. Deed of Foundation regarding the formation of the Foundation for Climate Protection and Carbon Offset KliK. [accessed 2022 March 7]. https://www.klik.ch/resources/KliK_Stiftungsurkunde_EN_160203.pdf

KliK. 2019. Invitation to propose activities to receive support. [accessed 2022 March 7]. https://www.international.klik.ch/activities/call-for-proposals/call-for-proposals?call=5

Kreibich N, Hermwille L. 2021. Caught in between: Credibility and feasibility of the voluntary carbon market post-2020. Climate Policy 21 (7): 939-957.

Lazarus M, Kollmuss A, Schneider L. 2014. Single-year mitigation targets: Uncharted territory for emissions trading and unit transfers. [accessed 2022 March 4]. https://mediamanager.sei.org/documents/Publications/Climate/SEI-WP-2014-01-Single-year-pledges.pdf

MAE [Ministerio Ambiente y Energía]. 2021. Following COP26 climate talks, the San José Principles Coalition Recommits to Principles for High-Integrity Carbon Markets, Pledges to Act on Them Together. [accessed 2022 March 2]. https://cambioclimatico.go.cr/following-cop26-climate-talks-the-san-jose-principles-coalition-recommits-to-principles-for-high-integrity-carbon-markets-pledges-to-act-on-them-together/

Minas S. 2022. COP26 created new carbon market rules: How will arbitration respond?. [accessed 2022 February 27]. http://arbitrationblog.kluwerarbitration.com/2022/01/23/cop26-created-new-carbon-market-rules-how-will-arbitration-respond/

MOEJ [Ministry of the Environment Japan]. 2020. Recent Development of the Joint Crediting Mechanism (JCM). [accessed 2022 March 2]. http://gec.jp/jcm/jp/event/2020Thailand/S2-1_MOEJ.pdf

MOEJ. 2021. Expanding the joint crediting mechanism (JCM). [accessed 2022 March 2]. http://carbon-markets.env.go.jp/wp-content/uploads/2021/11/COP26_side_event_1108_01.pdf

Noh DW. 2021. Current status of global carbon market and the necessity of its utilization. Presentation on September 8, 2021 at KOTRA Online Forum on 'Status of global carbon market and the way of Korean companies' overseas expansion. [accessed 2021 Decemer 28]. https://news.kotra.or.kr/user/globalBbs/kotranews/798/globalBbsDataView.do?setIdx=253&dataIdx=190670&pageViewType=&column=&search=&searchAreaCd=&searchNationCd=&searchTradeCd=&searchStartDate=&searchE

OECD. 2017. Workshop summary: Workshop on "corresponding adjustment" as part of Article 6 accounting. [accessed 2022 March 2]. https://www.oecd.org/environment/cc/Workshop_Summary_OECD_IEA.pdf

Oh CW, Moon SS, Lee HY, Choi KR, Yang SY. 2017. Direction to respond to cooperative approaches under new climate regime: With the example of Japan's experience. Green Technology Center.

Oh CW, Park SC. 2019. Research on Current Discussion and Our Negotiating Position on Corresponding Adjustment to Cooperative Approaches under Article 6.2 of the Paris Agreement. Journal of Climate Change Research, 10 (2): 129-143.

PA [Paris Agreement]. 2015. Paris Agreement; [accessed 2021 December 15]. https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf

Park SC, Lee GH, Lee DH. 2021. (SBSTA52 Agenda 15(a)-(c)) (CMA3 Agenda 12(a)-(c)) Matters relating to Article 6 of the Paris Agreement. Interagency Meeting for COP26. Ministry of Foreign Affairs of the Republic of Korea.

Park SC, Oh CW. 2020. Research on the Corresponding Adjustment Method of Article 6 of the Paris Agreement:Focusing on the Relationship between ITMO and Emissions Trading. Journal of Climate Change Research, 11(3), 163-176.

ROK [Republic of Korea]. (2021). The Republic of Korea's Enhanced Update of its First Nationally Determined Contribution. [accessed 2022 March 3]. https://www4.unfccc.int/sites/ndcstaging/PublishedDocuments/Republic%20of%20Korea%20First/211223_The%20Republic%20of%20Korea%27s%20Enhanced%20Update%20of%20its%20First%20Nationally%20Determined%20Contribution_211227_editorial%20change.pdf

Schneider L, Broekhoff, D. 2016. Robust accounting of international transfers under Article 6 of the Paris Agreement - Preliminary Findings. [accessed 2022 March 2]. https://www.dehst.de/SharedDocs/downloads/EN/project-mechanisms/discussion-papers/Robust_accounting_2016.pdf?__blob=publicationFile&v=5

Schneider L, Kollmuss A, Theuer SLH. 2016. Ensuring the Environmental Integrity of Market Mechanisms under the Paris Agreement. SEI Policy Brief. [accessed 2021 December 13]. https://www.sei.org/publications/integrity-market-mechanisms/

Schneider L, Theuer SLH. 2019. Environmental integrity of international carbon market mechanisms under the Paris Agreement. Climate Policy 19 (3): 386-400.

Schneider L, Siemons A. 2021. Averaging or multi-year accounting? Implications for environmental integrity of carbon markets under Article 6 of the Paris Agreement. Öko-Institut e.V. [accessed 2021 December 13]. https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Averaging_or_multi-year_accounting.pdf

Srinivasan, S. and Sharma, M. 2021. Managing the Risk of Corresponding Adjustment; [accessed 2021 December 15]. https://www.worldbank.org/en/news/feature/2021/07/14/managing-the-risk-of-corresponding-adjustment

Swiss. 2020. Implementing agreement to the Paris Agreement between the Swiss Confederation and the Republic of Peru. [accessed 2022 February 10]. https://ercst.org/wp-content/uploads/2021/05/20201020-Implementing-Agreement-to-the-Paris-Agreemen_-PE_CH_Signed.pdf

UNFCCC [United Nations Framework Convention on Climate Change]. 2005. Modalities and procedures for afforestation and reforestation project activities under the clean development mechanism in the first commitment period of the Kyoto Protocol (Decision 5/CMP.1). [accessed 2022 March 7]. https://unfccc.int/resource/docs/2005/cmp1/eng/08a01.pdf

UNFCCC. 2015. Report of the Conference of the Parties on its twenty-first session, held in Paris from 30 November to 13 December 2015; [accessed 2021 December 14]. https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/10a01.pdf#page=2.

UNFCCC. 2021a. Guidance on cooperative approaches referred to in Article 6, paragraph 2, of the Paris Agreement; [accessed 2021 December 13]. https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cma2021_L18E.pdf

UNFCCC. 2021b. Rules, modalities and procedures for the mechanism established by Article 6, paragraph 4, of the Paris Agreement; [accessed 2021 December 13]. https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cma2021_L19E.pdf

WB (World Bank). 2022. Ease of Doing Business Scores; [accessed 2022 March 10]. https://archive.doingbusiness.org/en/data/doing-business-score

Zwick S. 2021. Article 6 and its Glasgow rulebook: The basics; [accessed 2022 February 22]. https://www.ecosystemmarketplace.com/articles/article-6-and-its-glasgow-rulebook-the-basics/

[제 5장 3절]

AFB [Adaptation Fund Board]. 2011. Background of the Adaptation Fund (AFB/B.15/Inf.3); [accessed 2022 Sep 5]. https://www.adaptation-fund.org/wp-content/uploads/2015/01/Background%20of%20AF%20Final.pdf

Ahonen H, Michaelowa A, Kessler J, Espelage A, Christensen J, Dalfiume S, Danford E. 2021. Safeguarding integrity of market-based cooperation under Article 6 Additionality determination and baseline setting; [accessed 2022 Sep 5]. https://www.perspectives.cc/public/fileadmin/user_upload/CMM-WG_additionality_testing_and_baseline_setting_final_01.pdf

Allen M, Tanaka K, Macey A, Cain M, Jenkins S, Lynch J, Smith M. 2021. Eusuring that offsets and other internationally transferred mitigation outcomes contribute effectively to limiting global warming. Environmental Research Letters 16(7): 1-9. https/doi.org/10.1088/1748-9326/abfcf9

Broekhoff D, Spalding-Fecher R. 2021. Assessing crediting scheme standards and practices for ensuring unit quality under the Paris Agreement. Carbon Management, 12(6): 635-648. https://doi.org/10.1080/17583004.2021.1994016

CDM [Clean Development Mechanism]. 2022. Sustainable development co-benefits reports; [accessed 2022 Sep 5]. https://www4.unfccc.int/sites/sdcmicrosite/Documents/SD%20Tool%20Flyer.pdf

CMW [Carbon Market Watch]. 2021. FAQ: Deciphering Article 6 of the Paris Agreement; [accessed 2022 Sep 5]. https://carbonmarketwatch.org/2021/12/10/faq-deciphering-article-6-of-the-paris-agreement

Fearnehough H, Schneider L, Fyson C, Warnecke C, Qui K, Gidden M. 2021. Analysis of options

for determining OMGE, SOP and Transition within Article 6. Berlin, Germany: Climate Analytics; [accessed 2022 Sep 5]. https://climateanalytics.org/media/analysis_of_options_for_determining_omge_sop_transition_within_article_6_may2021.pdf

GGP [Greenhouse Gas Protocol]. 2016. Global warming potential values; [accessed 2022 Sep 5]. https://www.ghgprotocol.org/sites/default/files/ghgp/Global-Warming-Potential-Values%20%28Feb%2016%202016%29_1.pdf

GGP. 2022. Policy and action standard; [accessed 2022 Sep 5]. https://ghgprotocol.org/policy-and-action-standard

Hood C, Briner G, Rocha M. 2014. GHG or non GHG: Accounting for diverse mitigation contributions in the post-2020 climate framework; [accessed 2022 Sep 5]. https://www.oecd.org/env/cc/GHG%20or%20not%20GHG_CCXGsentout_May2014_REV.pdf

IEA [International Energy Agency]. 2014. Energy, Climate Change Environment; [accessed 2022 Sep 5]. https://iea.blob.core.windows.net/assets/6247b7db-9dc9-4df8-992e-e1dcc364362f/EECC2014.pdf

JCM [Joint Crediting Mechanism]. 2017. Joint Crediting Mechanism Approved Methodology VN_AM004 "Anaerobic digestion of organic waste for biogas utilization within wholesale markets"; [accessed 2022 Sep 5]. https://www.jcm.go.jp/vn-jp/methodologies/73/approved_pdf_file

JCM. 2022. Joint Crediting Mechanism guidelines for developing sustainable development contribution plan and report; [accessed 2022 Sep 5]. https://www.jcm.go.jp/opt/mn-jp/rules_and_guidelines/download/JCM_MN_GL_SDCP_CR_ver01.0.pdf

Kang MJ, Oh C. 2022. Comparison of European Union and Korean Applications of the Best Available Technology (BAT) Concept to Environmental Policy Areas in Consideration of BAT Baseline Methodology in the Carbon Market. Journal of Climate Change Research, 13(1): 47-73. https://doi.org/10.15531/KSCCR.2022.13.1.047 (in Korean with English abstract)

KliK [Foundation for Climate Protection and Carbon Offset KliK]. 2020. Request for Service Proposal (RfS) [for Ghana's National Clean Energy Access Programme (NCEP); [accessed 2022 Sep 5]. https://www.klik.ch/resources/G-NCEP_KliK_TOR_MADD-out-clean1.pdf

Kollmuss A, Zink H, Polycarp C. 2008. Making sense of the voluntary carbon market: A comparison of carbon offset standards; [accessed 2022 Sep 5]. https://www.globalcarbonproject.org/global/pdf/WWF_2008_A%20comparison%20of%20C%20offset%20Standards.pdf

Michaelowa A, Hermwille L, Obergassel W, Butzengeiger S. 2019. Additionality revisited: Guarding the integrity of market mechanisms under the Paris Agreement. Climate Policy 19(10): 1211-1224. https://doi.org/10.1080/14693062.2019.1628695

Michaelowa A, Kessler J, Espelage A, Ahonen H-M. 2021. Best available technology and benchmark baseline setting under the Article 6.4 mechanism. Discussion Paper. Freiburg, Germany: Perspectives Climate Group; [accessed 2022 Sep 5].

https://www.perspectives.cc/public/fileadmin/user_upload/BAT_in_6.4_discussion_paper_30.08.21_final.pdf

MOE [Ministry of Environment]. 2022. Global Warming Potential (GWP); [accessed 2022 August 24]. https://www.me.go.kr/home/web/dictionary/read.do?pagerOffset=1130&maxPageItems=10&maxIndexPages=10&searchKey=&searchValue=&menuId=10448&orgCd=&boardMasterId=&dicSeq=1136&decorator (in Korean)

MOEJ [Ministry of the Environment, Japan]. 2021. JCM Methodology Guidebook; [accessed 2022 Sep 5]. http://carbon-markets.env.go.jp/wp-content/uploads/2021/06/JCM+Methodology+guidebook_En_2021.pdf

MOEJ. 2022. FAQ regarding Joint Crediting Mechanism (JCM); [accessed 2022 Sep 5]. http://carbon-markets.env.go.jp/eng/faq/jcm.html

OECD [Organisation for Economic Co-operation and Development]. 2019, Designing the Article 6.4: mechanism assessing selected baseline approaches and their implications; [accessed 2022 Sep 5]. https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/59feca56-en.pdf?expires=1661216060&id=id&accname=guest&checksum=F29D354B89B02546D6F64F4538FFE7A0

Oh C, Park S, Moon RS, Song Y. 2022. Interpretation of Corresponding Adjustment Rules of Article 6 of the Paris Agreement and Implications for Korea's NDC Implementation Policy. Journal of Climate Change Research 13(2): 243-261. https://doi.org/10.15531/KSCCR.2022.13.2.243 (in Korean with English abstract)

OPM [Office for Government Policy Coordination]. 2020. Basic research to prepare mid- to long-term greenhouse gas reduction strategies and domestic implementation plans by the utilization of international carbon markets; [accessed 2022 Sep 5]. https://www.opm.go.kr/flexer/view.do?ftype=pdf&attachNo=104844

PA [Paris Agreement]. 2015. Paris Agreement; [accessed 2022 Sep 5]. https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf

PMR [Partnership for Market Readiness]. 2013. Options and guidance for the development of baselines. Washington D.C, U.S.: World Bank. Partnership for Market Readiness Technical Note No.5.

Prag, A., M. Kimmel and C. Hood. 2013. A role for more diverse metrics in framing climate commitments? OECD/IEA CCXG Presentation at COP 19 side event, 13 November 2013.

Re LL, Ellis J, Vaidyula M, Prag A. 2019. Designing the Article 6.4 mechanism: assessing selected baseline approaches and their implications. Climate Change Expert Group, Paper No. 2019(5); [accessed Sep 5]. https://www.oecd.org/environment/cc/Designing-the-Article-6-4-mechanism-assessing-selected-baseline-approaches-and-their-implications.pdf

Schneider L, Broekhoff D, Fuessler J, Lazarus M, Michaelowa A, Spalding-Fecher R. 2012. Standardized baselines for the CDM -Are we on the right track?; [accessed 2022 Sep 5]. https://carbonmarketwatch.org/wp-content/uploads/2012/11/Schneider-Broekhoff-Fuessler-Lazarus-Spalding-Fecher-2012-Standardized-Baselines-in-the-CDM-Are-we-on-The-Right-Track.pdf

Schneider L and Theuer SLH. 2019. Environmental integrity of international carbon market mechanisms under the Paris Agreement. Climate Policy 19(3): 386-400. https://doi.org/10.1080/14693062.2018.1521332

de Sepibus J. 2009. The environmental integrity of the CDM mechanism - a legal analysis of its institutional and procedural shortcomings (Working Paper 2009/24). Bern, Switzerland: NCCR Trade. [accessed 2022 Sep 5]. http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.177.7329&rep=rep1&type=pdf

Siemons A, Schneider L. 2022. Averaging or multi-year accounting? Environmental integrity implications for using international carbon markets in the context of single-year targets. Climate Policy 22(2): 208-221. https://doi.org/10.1080/14693062.2021.2013154

Swiss. 2020a. Joint statement on bilateral cooperation under the Article 6 of the Paris Agreement; [accessed 2022 Sep 5]. https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/en/dokumente/international/fachinfo-daten/JointStatement_Implementing_Agreement_Article6_Paris%20Agreement_Switzerland-Peru.pdf.download.pdf/JointStatement_Implementing_Agreement_Article6_Paris%20Agreement_Switzerland-Peru.pdf

Swiss. 2020b. Implementing agreement to the Paris Agreement between the Swiss Confederation and the Republic of Peru; [accessed 2022 Sep 5]. https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/en/dokumente/international/fachinfo-daten/Implementing%20Agreement%20to%20the%20Paris%20Agreemen_%20PE_CH_Signed.pdf.download.pdf/Implementing%20Agreement%20to%20the%20Paris%20Agreemen_%20PE_CH_Signed.pdf

UDP (UNEP DTU Partnership). 2021. CDM pipeline overview. approved methods section: [Accessed 2022 Sep 5]. https://www.cdmpipeline.org/index.htm

UNFCCC [United Nations Framework Convention on Climate Change]. 1992. United Nations Framework Convention on Climate Change; [accessed 2022 Sep 5]. https://unfccc.int/files/essential_background/background_publications_htmlpdf/application/pdf/conveng.pdf

UNFCCC. 1998. Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change; [accessed 2022 Sep 5]. https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf

UNFCCC. 2001a. The Marrakesh Accords & The Marrakesh Declaration: [Accessed 2022 Sep 5] http://unfccc.int/cop7/documents/accords_draft.pdf

UNFCCC. 2001b. Funding under the Kyoto Protocol (Decision 10/CP.7); [accessed 2022 Sep 5]. https://unfccc.int/resource/docs/cop7/13a01.pdf#page=52

UNFCCC. 2001c. Modalities and procedures for a clean development mechanism as defined in Article 12 of the Kyoto Protocol (Decision 17/CP.7); [accessed 2022 Sep 5]. https://unfccc.int/resource/docs/cop7/13a02.pdf#page=20

UNFCCC 2002, Report of the Conference of the Parties on its seventh session, held at Marrakesh from 29 to October to 10 November 2001; [accessed 2022 Sep 5]. https://unfccc.int/sites/default/files/resource/docs/cop7/13a02.pdf

UNFCCC. 2005. Modalities and procedures for afforestation and reforestation project

activities under the clean development mechanism in the first commitment period of the Kyoto Protocol. Decision 5/CMP.1 [accessed 2022 Sep 5]. https://unfccc.int/sites/default/files/resource/docs/2005/cmp1/eng/08a01.pdf

UNFCCC. 2011. Modalities and procedures for carbon dioxide capture and storage in geological formations as clean development mechanism project activities. Decision 10/CMP.7 [accessed 2022 Sep 5]. https://unfccc.int/sites/default/files/resource/docs/2011/cmp7/eng/10a02.pdf

UNFCCC. 2012. Amendment to the Kyoto Protocol pursuant to its Article 3, paragraph 9 (the Doha Amendment) (Decision 1/CMP.8); [accessed 2022 Sep 5]. https://unfccc.int/resource/docs/2012/cmp8/eng/13a01.pdf#page=2

UNFCCC. 2014. Options for possible additional land use, land-use change and forestry activities and alternative approaches to addressing the risk of non-permanence under the clean development mechanism. FCCC/TP/2014/2; [accessed 2022 Sep 5]. https://unfccc.int/resource/docs/2014/tp/02.pdf

UNFCCC 2018a. 18/CMA.1: Modalities, procedures and guidelines for the transparency framework for action and support referred to in Article 13 of the Paris Agreement; [accessed 2022 Sep 5]. https://unfccc.int/sites/default/files/resource/CMA2018_03a02E.pdf

UNFCCC. 2018b. Matters relating to the Adaptation Fund (Decision 13/CMA.1); [accessed 2022 Sep 5]. https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cma2018_3_add2_new_advance.pdf#page=2

UNFCCC. 2018c. Matters relating to the Adaptation Fund (Decision 1/CMP.14); [accessed 2022 Sep 5]. https://unfccc.int/sites/default/files/resource/08a1e.pdf#page=2

UNFCCC. 2021a. Guidance on cooperative approaches referred to in Article 6, paragraph 2, of the Paris Agreement; [accessed 2022 Sep 5]. https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cma2021_L18E.pdf

UNFCCC. 2021b. Rules, modalities and procedures for the mechanism established by Article 6, paragraph 4, of the Paris Agreement; [accessed 2022 Sep 5]. https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cma2021_L19E.pdf

UNFCCC. 2022a. Reference: Global warming potential values under the temporary measures; [accessed 2022 Sep 5]. https://cdm.unfccc.int/Reference/CDM_note.html

UNFCCC. 2022b. Reference / Documentation; [accessed 2022 Sep 5]. https://cdm.unfccc.int/Reference/index.html

Warnecke C, Tewari R, Kreft S, Höhne N. 2017. Innovative Financing for the Adaptation Fund: Pathways and Potentials. Cologne, Germany: NewClimate Institute; [accessed 2022 Sep 5]. https://af-network.org/sites/default/files/publication/8433.pdf

WRI. 2014. Policy and Action Standard; [accessed 2022 Sep 5]. https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/Policy%20and%20Action%20Standard.pdf

IPCC 제6차 평가보고서를 기반으로 한 기후기술 정책 대응 연구

인 쇄 | 2022년 12월
발 행 | 2022년 12월
발 행 인 | 이상협
발 행 처 | 국가녹색기술연구소
인 쇄 처 | 디자인여백플러스

※ 동 보고서의 내용에 문의 사항이 있는 경우 아래로 연락주시기 바랍니다.

국가녹색기술연구소(NIGT) 정책연구부

- 주소 서울특별시 중구 퇴계로 173 남산스퀘어 17층(우 04554)
- 전화 02-3393-3987
- 이메일 mosaic327@nigt.re.kr

주 의

1. 이 보고서는 국가녹색기술연구소에서 발간한 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 국가녹색기술연구소에서 수행한 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.