

TCFD 기업 정보 공개준비를 위한 기후위험 정보 추출 연구:

IPCC 제6차 평가보고서를 중심으로

손범석 | 송예원 | 김한이 | 오채운

목차

1	서론	7
2	다양한 ESG 제도의 등장	11
3	TCFD 권고안과 기업 정보공개 준비 개괄	17
	3.1. TCFD의 개요	18
	3.2. TCFD 권고안	21
	3.3. TCFD 권고에 따른 기업의 정보 공개 준비 사항: 기업 시나리오 분석	24
	3.3.1. TCFD 권고 시나리오	24
	3.3.2. TCFD 권고안 기반 시나리오 분석 절차	26
	3.4. TCFD 권고 정보 공개: 기후변화 위험 분석	29
4	IPCC 제6차 보고서 기반 기후 위험 정보 추출	31
	4.1. 기후 위험 관련 배경	32
	4.1.1. 장기 GHG 배출 시나리오 현황 및 전망	32
	4.1.2. NDC 기반 국가 목표 설정 현황 및 방향성	34
	4.2. 전환 위험	37
	4.2.1. 정책 및 법률 부문 위험	37
	4.2.1.1. 강화된 온실가스 배출량 보고 의무	37
	4.2.1.2. 법적 송사	40
	4.2.1.3. 제품과 서비스 규제	41
	4.2.1.4. 온실가스 배출 가격 상승	45
	4.2.2. 기술 위험	47
	4.2.3. 시장 위험	52
	4.2.3.1. 시장 신호의 불확실성	52
	4.2.3.2. 국제 에너지가격 동향 및 전망	55
	4.2.3.3. 산업	59
	4.2.3.4. 원료 가격의 증가	61
	4.2.3.5. 고객 행동 변화	64

4.2.4. 평판 위험	65
4.2.4.1. 이해관계자 위험	65
4.2.4.2. 소비자 선호도 변화	66
4.3. 물리적 위험	68
4.3.1. 급성 위험	68
4.3.2. 만성 위험	69
4.3.2.1. 기온 상승과 강수의 변화	69
4.3.2.1.1. 기온 변화	69
4.3.2.1.2. 강수 변화	70
4.3.2.2. 해수면 고도와 날씨패턴의 변화	71
4.3.2.2.1. 해수면 고도의 변화	71
4.3.2.2.2. 날씨패턴의 변화	72
5 결론	75
부록 1. 주요 전환 시나리오 및 가정	82
부록 2. 주요 물리적 기후변화 시나리오 및 가정	84
부록 3. IPCC 제6차 평가보고서 제3실무그룹 보고서의 장별'기술'내용	85
부록 4. RCP 및 SSP 시나리오	101
참고문헌	102

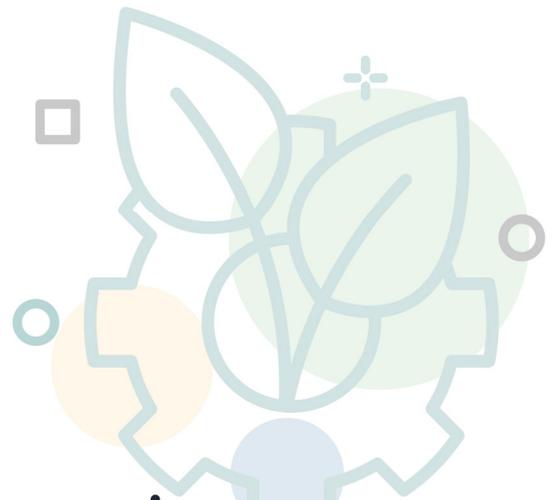


표 목차

[표 1] 기업의 ESG 정보공시 지침에 관한 주요 글로벌 이니셔티브	13
[표 2] TCFD의 주요 발간물 정리	19
[표 3] 정부 차원에서의 TCFD 권고안 공식 도입 동향	20
[표 4] TCFD 정보공시 세부지침: ①지배구조	21
[표 5] TCFD 정보공시 세부지침: ②경영전략	22
[표 6] TCFD 정보공시 세부지침: ③위험 관리	22
[표 7] TCFD 정보공시 세부지침: ④지표 및 감축 목표	23
[표 8] TCFD 권고안에서 제시된 시나리오 사례 내용	25
[표 9] 기후변화 대응 시나리오 분석 프로세스	26
[표 10] 시나리오 분석 시 주요 단계별 고려 요소	27
[표 11] TCFD 권고안의 기후변화 위험요인 및 재무상태에 미치는 영향	30
[표 12] 지구 배출 경로의 유형과 주요 특징	33
[표 13] NDC에 기반한 2030년 지구 배출량 전망과 관련 배출량 격차	35
[표 14] 미국의 ESG 정보공개 및 단순화 법 현황	37
[표 15] 국제 지속가능성 기준위원회(ISSB)의 지속가능성 공시기준 공개 초안 발표	38
[표 16] EU의 공급망 ESG 실사 지침 초안 발표	39
[표 17] 회피(Avoid)를 촉진하기 위한 정책 사례	43
[표 18] 전환(Shift)을 촉진하기 위한 정책 사례	43
[표 19] 개선(Improve)을 촉진하기 위한 정책 사례	44
[표 20] IPCC 6차 평가보고서 제3실무그룹 보고서 중 탄소중립 10대 핵심기술 관련 내용	51
[표 21] 탄소중립 실현을 위한 6대 핵심광물	59
[표 22] 2020년 상위 20개국 시멘트 수출 순위	62
[표 23] IPCC 제6차 평가보고서 기반 기후변화 위험요인 정보 추출 결과	77



그림 목차

[그림 1] 기후변화 위험요인 추출 연구 흐름도	10
[그림 2] 우리나라 연도별 비재무보고서 발간기업 수 증감 추이	16
[그림 3] TCFD 지지 기관 증가추이와 지지 기관 중 금융기관의 운용자산 규모	19
[그림 4] TCFD 권고안에 따른 기업 정보공시 절차	24
[그림 5] 경제-환경-사회 영역별 강조 정도에 따른 기술 혁신의 분포	48
[그림 6] 기술 전환 주기별 과정과 전환위험	50
[그림 7] 국제에너지 가격동향	56
[그림 8] 국제 유가전망(WTI 기준)	57
[그림 9] 국제 석탄 및 천연가스 가격 전망	58

TCFD 기업 정보 공개준비를 위한
기후위험 정보 추출 연구:
IPCC 제6차 평가보고서를 중심으로



1



서론

NATIONAL INSTITUTE OF GREEN TECHNOLOGY

1 서론

최근 ESG가 화두다. ESG란 환경(Environment), 사회(Society), 지배구조(Governance)의 앞 글자를 이어 붙인 용어이다. 이는 세계 금융위기나 환경오염 문제, 인종차별과 같은 글로벌 이슈와 함께 투자자와 기업의 사회적 책임이 강조되면서 투자자가 재무적 가치 뿐만 아니라 비재무적 가치를 고려하여 투자를 이행하는 책임투자(Responsible investment)의 개념과 맞닿아 있다 (김재필 2021; Li et al. 2021). ESG는 투자자가 기업 행동과 미래의 재정적 성과를 평가하여 투자를 결정하는 과정에서 재무적 정보 외에 기업 비즈니스 활동의 지속가능성과 사회적 영향이라는 비재무적 정보를 종합적으로 고려하기 위해 활용하는 성과 기준 또는 전략이다 (Li et al. 2021).

ESG 중에서 환경(E)에 해당하는 이슈가 주목받고 있으며, 그 중에서도 기후변화는 핵심 이슈이다. 국제사회는 2015년 채택된 파리협정을 통해 산업화 이전 대비 지구의 온도 상승을 2℃ 이내로 억제하자는 합의를 도출해 냈다. 파리협정의 이행이 시작되는 2021년을 앞두고, 기후변화에 대한 국제적 행동을 위한 준비가 각 국가 차원에서 본격적으로 시작되었다. 특히, 기후변화 대응의 주요한 이행주체가 정부 뿐만 아니라 비즈니스 섹터, 도시, 토착민, 시민(지역 커뮤니티 및 청년층), 초국가 이니셔티브 조직, 민간협력주체 등으로 다양화 및 확대됨에 따라, 이들의 기후변화 대응 노력이 주목받고 있다 (IPCC 2022b, p.8). 이 중에서, 비즈니스 섹터의 기후변화 대응과 관련된 가장 두드러진 활동은 바로 ESG 차원의 조직경영과 이를 토대로 한 정보공개 노력이라고 볼 수 있다. 그리고, 이러한 노력은 바로 기업의 지속가능성 경영을 평가하기 위한 ESG 정보공시와 관련하여 다양한 국제 기준 및 지침들이 만들어지는 데에 기인하고 있다. 더불어 동 기준에 기후변화에 대한 사항을 구체적으로 추가하거나 또는 별도의 기후변화 특화 기준 및 지침이 만들어 지고 있다. 이러한 국제적인 기준 및 지침은 현재 기업경영과 투자 생태계를 크게 변화시키고 있으며, 향후 그 영향력은 더욱 커질 것으로 예상된다.

이러한 ESG 기준 및 지침 중에서, 기후변화에 특화된 기업 정보공시 기준이 있다. 바로 다음아닌 ‘기후변화 재무정보 공시 전담협의체(TCFD)¹⁾’가 2017년에 발간한 권고안이다.²⁾ TCFD 권고안은 투자자가 기업의 기후변화 대응 역량을 파악하기 위해 기업에게 요구하는 일종의 정보공시 작성 지침으로서, 지속가능성보고(Sustainability Reporting) 및 ESG 정보공개에 사용되는 보고체계 중 하나이다. 기업은 TCFD 권고안에 따라 우선적으로 기후변화로 인한 위험요인을 파악하고, 이러한 요소들이 기업의 지배구조, 경영전략, 위험관리, 성과지표 및 감축목표에 반영되어 있는지를 분석하고 공시해야 한다. 우리나라에서도 2021년 5월 금융위를 비롯하여 산업은행, 수출입은행 등 주요 금융기관이 TCFD 권고안에 대한 지지를 밝힌 바 있으며 (연합뉴스 2021), 금년 6월에는 TCFD 권고안을 비롯한 기후위기 관련 정보 공시를 요구하는 국제적 압력에 대응하기 위한 민간 협의체 ‘TCFD얼라이언스’가 출범하였다. 또한 동월 24일에는 국회에서 모든 상장법인으로 하여금 사업보고서에 ESG 정보를 의무적으로 공시하도록 하는 ‘자본시장법 개정안’을 발의하였다 (한겨레 2022). TCFD 권고안에 따라 기업이 정보 공시를 하기 위해서는 ‘시나리오 분석’이 필요한데, 이

1) 영문 명칭은 Taskforce on Climate-related Financial Disclosure이다.

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

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. 따라서, TCFD 권고안에 따라 기업이 정보공시를 위해서는 일차적으로 기후변화 위험 및 기회를 파악하기 위한 정보 수집·파악·이해 등이 필수적이다. TCFD 권고안은 기업이 기후변화에 대응하기 위하여 파악해야 할 위험요인을 세부 항목으로 구분하여 제시하고 있으며, 전세계 많은 국가와 기업의 지지를 받고 있어 그 영향력이 커지고 있다.

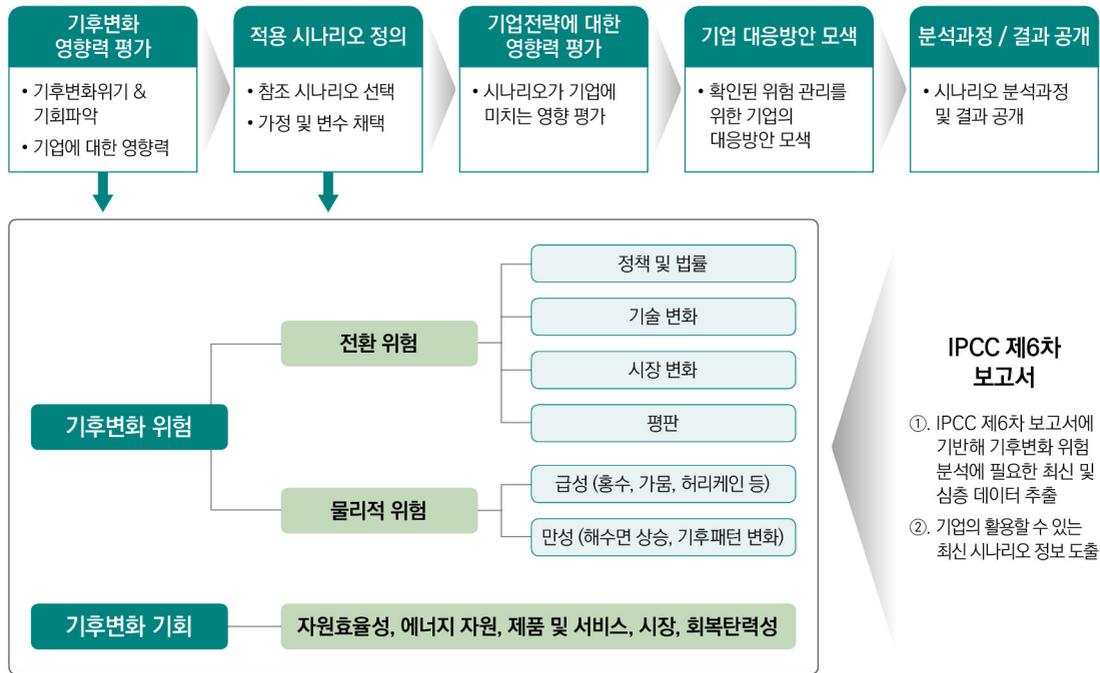
현재 우리나라는 ESG 투자 및 기후변화 관련 기업 공시 수준을 개선, 그린워싱을 방지하고, ESG 관련 국제기준 제정을 위한 논의 과정에 참여하는 것을 핵심 이슈로 보고 있다(김용태 2021). 녹색금융협의체(NGFS, Network of Central Banks and Supervisors for Greening the Financial System)³⁾는 중앙은행, 정책입안자, 그리고 관련된 이해관계자들을 대상으로 6대 권고안을 제시하고 있다(이종오 2021, 슬라이드 33; EB 2019.⁴⁾ 그중에서 ‘권고안 3’은 ‘정보격차 좁히기’로, 공공기관은 기업의 기후리스크평가에 필요한 정보를 공유해야 하며, 가급적이면 오픈소스로 제공할 것을 권장한다. 또한, 현존하는 데이터 격차 해소를 위해 이해당사자간의 공동워킹그룹 결성이 권장된다(Ibid.). 동 보고서를 작성한 연구진은 바로 이 권고안 3에 주목하였다. 즉, TCFD 권고안에 따른 기업의 정보공시 대응 과정의 일차적인 과정이 ‘기후변화 위험 및 기회’에 대한 정보이며, 이러한 과정은 다른 ESG 정보공시 기준·지침과 많이 다르지 않다고 본다. 기후리스크평가에 필요한 정보는 매우 다양하며, 이 정보를 종합적으로 준비하고 공유하는 작업이 현 단계에서 매우 중요한 사항이라고 판단하였다.

이에 동 연구진은 이 권고안 3의 측면에 주목하고, TCFD 권고안에서 제시하는 기업이 고려해야 하는 기후위험 요인들에 해당하는 최신 정보를 추출하여 공유할 필요성을 인지하였다. 현재 TCFD가 제시하는 기후위험 요인에 정보를 담은 시나리오들은 다소 시간이 지난 자료들인 바, 새로운 자료를 토대로 최신의 기후위험 요인에 대한 정보를 종합하여 공유할 필요성을 또한 인지하였다. 이에, 동 연구진은 ‘기후변화에 관한 정부간협의체(IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change)’ 보고서에 주목하였다. IPCC는 기후변화와 관련된 전지구적 위험을 평가하고 국제적 대책을 마련하기 위해 세계기상기구(WMO, World Meteorological Organization)와 유엔환경계획(UNEP, United Nations Environment Program)이 공동으로 설립한 유엔 산하 국제협의체이다. IPCC 보고서는 세계 각국이 기후변화 대응을 위한 국제협력에 나서는 데 과학적 근거를 제시한 국제 공동 보고서이다. 그런데, IPCC가 최근 2021년과 2022년에 걸쳐 제 6차 평가보고서를 합의 및 발간하였다. 이에, IPCC 제6차 평가보고서의 내용을 기반으로 TCFD 권고안의 기후변화 위험요인과 관련된 정보를 추출하는 것은 기후변화 위험요인에 대한 최신의 그리고 전반적인 정보를 종합하는 의미있는 시도라고 할 수 있겠다. 이는 다음의 <그림 1>과 같이 표현될 수 있다.

3) 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 11월에 가입하였으며, 금융위원회와 금융감독원이 '21년 5월 가입신청한 상태이다(대한민국 정책브리핑 2022).

4) 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 분류 체계 지원이다.

[그림 1] 기후변화 위험요인 추출 연구 흐름도



이에, 동 보고서의 2장에서는 전세계적으로 영향력을 행사하고 있는 다양한 ESG 관련 정보공시 이니셔티브를 일차적으로 조망하고, 특히 그 중에서도 기후변화 관련 공시기준인 TCFD 권고안이 갖는 의미에 대하여 살펴본다.

제3장에서는 TCFD를 중심으로, TCFD의 대두 배경과 개요를 간략하게 서술하고 전세계적으로 TCFD 권고안을 지지하고 수용하는 국제적 동향을 살펴본다. 또한 TCFD 권고안의 내용을 항목별로 분석한다. 기업이 정보공시를 할 때 명시해야 하는 세부지침(i) 지배구조, ii) 경영전략, iii) 위험관리, iv) 지표 및 감축목표)을 살펴본다. 이어서, 기업이 정보공시를 준비할 때 거쳐야 하는 ‘시나리오 분석 5단계’ 절차를 구체적으로 살펴본다. 이중에서, 첫 번째 단계에서 맞닥뜨리는 ‘기후변화 관련 위험’에 대한 파악과 분석과 관련하여, 이 위험이 구체적으로 무엇이며 어떻게 구분되는 지 설명하고, 이 기후위험을 파악할 때 활용될 수 있으며 TCFD가 제시한 참조 시나리오를 소개한다.

제4장은 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.

제5장은 결론 부분으로, 제4장에서 작성된 기후변화 위험요인을 항목별로 정리하고, 동 연구의 의의를 언급하며 마무리하고자 한다.

2



다양한 ESG 제도의 등장

2

다양한 ESG 제도의 등장

ESG의 개념은 2006년 유엔이 발표한 책임투자 원칙에서 처음 등장하였다.⁵⁾ 사회책임투자 원칙이란 기업 투자 시 고려해야 하는 지속가능 경영전략 요소에 재무적 성과 뿐 아니라 사회적·환경적·윤리적 가치를 포함하여 기업에 투자하는 방식을 말한다(김재필 2021). 여기에는 6가지 원칙이 있는데, 이는 i) ESG 이슈를 투자분석 및 의사결정에 적극 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). 2006년 당시에는 투자이익의 극대화를 우선시하는 주주들에 의해 ESG 개념이 주목받지 못했으나, 2008년 세계 금융위기와 기후변화에 따른 극단적 기상이변과 자연재해 등의 위기가 닥치면서 투자자와 기업인들의 ESG 개념에 대한 인식이 서서히 달라지기 시작하였다.

ESG가 기업에 의해서 필수적인 가치로 부각된 배경으로는 다음의 4가지를 들 수 있다. 첫째, 투자자의 요구가 변화하였다. 기업을 운영하기 위해서는 투자금을 유치하는 것이 중요한데, 많은 투자자들이 ESG가 미흡한 기업에는 투자를 하지 않겠다고 선언하고 있다. 그 대표적 사례로, 세계 최대 자산운용사인 블랙록(BlackRock)의 래리 핑크 회장은 2020년 연례서신을 통해 향후 환경 지속가능성(Environmental sustainability)을 회사 운영의 핵심 전략으로 삼겠다는 메시지를 전달하였다. 둘째, 기업 신용 평가 기준이 변화하였다. 기업의 신용도는 대출을 받거나 투자를 유치할 때 매우 중요한 요소이다. 무디스나 S&P와 같은 글로벌 신용평가기업은 기업의 신용등급을 평가할 때 재무적 가치 외에 ESG를 기업의 신용평가에 본격적으로 적용하기 시작했으며, 국내 신용평가사도 ESG 인증 평가 방식을 발표하고 기업 ESG 평가에 참여하기 시작하였다.⁶⁾ 셋째, 소비자의 요구가 변화하였다. 기업은 소비자의 선택을 받아야 한다. 최근에는 점차 많은 소비자들이 인권이나 환경과 같은 가치를 중요하게 여기고 있다. 상품 제조 시 투입되는 전력이 재생에너지로부터 유래한 것인지, 글로벌 공급망에서의 노동착취 문제는 없는지 등의 기준에 깊은 관심을 가지고 있고, 이러한 기준에 부합하지 못하는 기업에서 생산한 상품에 대해서는 불매운동을 벌이는 등, 적극적인 행동을 취하기도 한다. 넷째, 정부의 규제이다. 각국의 정부 또한 ESG의 흐름에 발맞추어 행동하고 있다. 가장 적극적인 곳은 유럽연합(EU, European Union)이다. EU는 CO₂ 배출 규제가 느슨한 국가가 규제가 강한 국가에게 상품 및 서비스를 수출할 때 무역관세를 적용하는 탄소국경세의 도입을 추진하고 있으며(한국에너지공단 2021),⁷⁾ 많은 EU 국가에서는 2030~2040년까지 내연기관차를 퇴출하겠다는 선언을 하기도 하였다(ESG경제 2022). 우리나라 역시 금융위원회가 2025년부터 2조원 이상의 자산을 가진 기업의 ESG 정보공시를 의무화한다는 내용의 '기업공시제도 종합개선방안'을 발표하였다(금융위원회 2021).

5) 원칙의 원문은 다음과 같다: United Nations Principles for Responsible Investment.

6) 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).

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

따라서, ESG에 대한 정보공시의 중요성이 커지게 되었다. 기업은 ESG에 대해 정보를 공시하고 이를 통해 투자자나 고객으로부터 평가를 받는다. 글로벌 ESG 생태계는 매우 다양한 이니셔티브와 관련 주체들로 구성되어 있다. 먼저, 2021년 11월에 설립된 국제지속가능성위원회(ISSB, International Sustainability Standards Board)는 2022년 3월, 기업 지속가능성 공시를 위한 지침서인 'IFRS지속가능성 공시기준'의 초안을 배포하였다 (한경ESG 2022). 또한 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)' 등이 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 탄소정보 공개 프로젝트(CDP, Carbon Disclosure Project), 모건스탠리 캐피털 인터내셔널(MSCI, Morgan Stanley Capital International)과 스탠다드앤드푸어스 다우존스(S&P, Standard & Poor's Dow Jones) 등의 기업 평가기관이 있다. 이는 하단의 <표 1>와 같이 정리될 수 있다.

[표 1] 기업의 ESG 정보공시 지침에 관한 주요 글로벌 이니셔티브

기관명	설립	주요 활동
ISSB	<ul style="list-style-type: none"> 다양하게 난립하는 ESG 정보공시 지침들을 통합하고, 기업들로 하여금 보다 효율적인 ESG 정보공시를 활성화하기 위하여, 2021년 11월 국제회계기준재단(IFRS Foundation, International Financial Reporting Standards) 산하에 설립된 국제기구 	<ul style="list-style-type: none"> 기업의 지속가능성 공시를 위한 기준인 'IFRS 지속가능성 공시 기준'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). 동 공시기준은 각국의 의견수렴을 거쳐 2022년말 최종 확정 예정
GRI	<ul style="list-style-type: none"> 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 	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 기업의 비재무정보와 ESG 이슈에 대한 기업들의 성과 등을 투자자들에게 제공하기 위한 공시기준을 마련하기 위해 2011년 민간 비영리기관으로서 설립 	<ul style="list-style-type: none"> 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).

기관명	설립	주요 활동
CDSB	<ul style="list-style-type: none"> 2007년 열린 세계경제포럼(World Economic Forum)에서, 기후변화 관련 정보공개에 대한 국제적 표준화의 필요성이 제기되면서 설립된 비정부기구 	<ul style="list-style-type: none"> 기업이 재무정보 공시 수준으로 환경 관련 정보를 엄격하게 보고 하는 프레임워크를 제공 2010년 CDSB 정보공개 프레임워크 초안을 발표하였으며 2018년까지 갱신 기후변화전략, 위험 및 기회요소, 온실가스 배출 등에 대한 정보 공개 등이 담겨 있음
IIRC	<ul style="list-style-type: none"> 기업의 재무정보 및 ESG 관련 정보를 통합적으로 제공하는 보고서 작성을 위한 회계원칙을 제정하기 위한 목적으로, GRI를 포함한 비영리기구, 투자자, 회계전문가 등이 참여하여 2010년에 설립 	<ul style="list-style-type: none"> 2013년에 재무보고서와 지속가능보고서를 합친 통합보고 (Integrated Reporting) 프레임워크를 제시. 동 프레임워크는 '이해관계자 대응' 등을 중심으로 하는 작성 원칙(Guiding Principles)과, '지배구조, 기회와 위험, 전략과 자원 분배, 비즈니스모델' 등을 포함한 주요 보고사항으로 구성 70개국에서 2,500개가 넘는 기업이 통합보고 프레임워크를 통해 통합보고서를 작성 (사회적가치연구원 2021)
TCFD	<ul style="list-style-type: none"> 금융이 기후변화 기여하는 방안을 마련하기 위해 G20 요청에 따라 금융안정위원회(FSB, Financial Stability Board) 산하에 2015년 설치된 국제기구 	<ul style="list-style-type: none"> 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 운영하는 자산 규모는 한화로 약 24경 5천조 이상에 달함
CDP	<ul style="list-style-type: none"> 영국에서 기업의 기후변화대응 등 환경 경영과 관련된 기업의 공시정보를 분석하여 투자자 및 금융기관에 제공할 목적으로 2000년 설립한 국제 비영리기구 	<ul style="list-style-type: none"> 기업 뿐만 아니라 정부 및 지자체, 공공기관 등에도 환경경영 정보를 요구하며, 이를 분석하여 DB화한 환경정보 공시시스템을 운영⁸⁾ 13,000개가 넘는 기업이 CDP를 통해 기업정보를 공시하고 있으며, 한화 약 16경 원(130조 달러) 규모의 자산을 운영하는 680여 개의 금융기관이 CDP를 통해 투자 의사결정 진행 (CDP 2022)
MSCI	<ul style="list-style-type: none"> 글로벌 투자회사인 모건 스탠리(Morgan Stanley)의 자회사로서 1969년에 설립되었으며, 주가지수 및 주식포트폴리오 분석도구를 제공 	<ul style="list-style-type: none"> 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 <ol style="list-style-type: none"> ① E(환경): 기후변화, 자연자본, 오염 및 폐기물, 청정기술 및 재생에너지 ② S(사회): 인적자원, 제품책임, 이해관계자, 사회적 기회 ③ G(지배구조): 기업지배구조, 기업행동

기관명	설립	주요 활동
S&P	<ul style="list-style-type: none"> 1941년 설립된 미국의 신용평가회사로서, 무디스, 피치(fitch)와 함께 세계 3개 신용평가회사임 (이코노미스트 2022) 금융업계 및 투자자에게 기업의 신용평가 정보를 제공 	<ul style="list-style-type: none"> 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.⁹⁾ 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), 이코노미스트(2022)를 바탕으로 저자 재구성

이 중에서 국제적으로 많이 활용되고 있는 대표적인 세 가지 기준은 i) 글로벌 보고 이니셔티브(GRI), ii) 지속가능성회계 기준위원회(SASB), 그리고 iii) 기후변화관련 재무정보 공개 태스크포스(TCFD)가 제시한 지침이다.

GRI는 지속가능성보고서 작성을 위한 가이드라인을 제공하기 위한 목적으로 1997년 설립된 국제기관이다. GRI는 非재무적 성과를 공개하는 지속가능성 보고서 작성의 기준이 되는 글로벌 가이드라인을 2000년에 처음 발표한 이후, 몇 차례의 갱신을 통해 2016년 최초의 글로벌 지속가능성 보고 표준인 'GRI 표준(GRI standards)'을 수립하였다. GRI 표준은 경제 분야 8개, 환경 분야 8개, 사회 분야 19개 주제에 대한 세부적인 작성 지침을 담고 있다. 현재 전세계적으로 10,000여 개가 넘는 기업이 GRI 표준을 준용하여 지속가능성보고서를 발간하고 있다 (GRI 2022).

SASB는 기업의 비재무정보에 관한 사항과, ESG 이슈에 대한 기업들의 성과 등을 투자자들에게 제공하기 위한 공시기준을 마련하기 위해 2011년 설립된 민간 비영리기관이다. SASB는 2018년에 '지속가능성회계기준 위원회 기준(SASB Standards)'이라는 이름으로 77개 산업별로 각각의 특성을 반영한 지속가능성 보고서 작성 표준을 발표하였다. 현재 전세계에서 500여 개 기업이 SASB 기준에 따라 기업정보를 공개하고 있다 (SASB 2021).

TCFD는 2015년 G20의 요청을 받아서 금융안정위원회(FSB, Financial Stability Board) 산하에 설치된 국제기구이다. TCFD는 '기후변화' 분야에 특화하여 기업들의 기후변화 관련한 기업 경영 전략 공개 시 필요한 보고서 작성 지침을 담고 있는 'TCFD 권고안(TCFD Recommendation)'을 2017년 발표하였다. TCFD 권고안은 기업이 기후변화와 관련된 위험과 기회를 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.

2021년 11월에 설립된 국제지속가능성위원회(ISSB)는 2022년 3월, 기업 지속가능성 공시를 위한 지침서인 'IFRS 지속가능성 공시기준'의 초안을 마련하였다. 동 공시기준은 기존의 다양한 공시기준이나 지침을 통합함으로써 기업의 혼란을 방지하고, 효율적인 기업 공시를 활성화하기 위해 만들어졌다. 동 공시기준안은 일반공시 요구사항인 'IFRS S1'과

8) 기후변화, 수자원, 산림자원에 대한 기관의 정책, 의사결정구조 등에 대한 정보를 말한다.

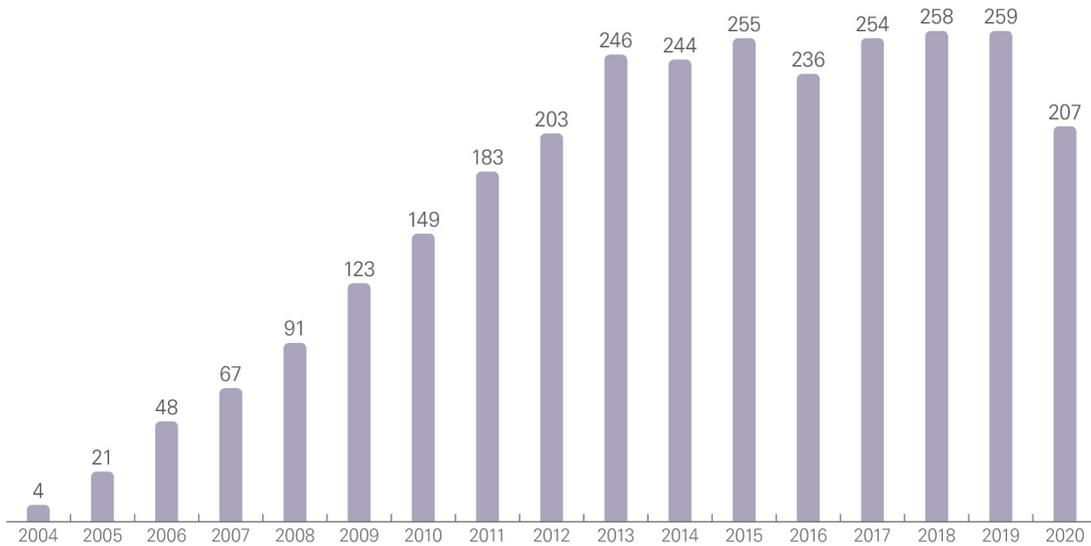
9) 전세계 상위 기업을 대상으로, 해당 기업의 경제적·환경적·사회적 성과를 분석하여 기업 경영의 지속가능성을 분석

기후변화 관련 요구사항인 'IFRS S2'로 나뉘어 있는데, 'IFRS S2'는 TCFD 권고안을 기반으로 하고 있다.

이러한 기후위험 정보공개에 대하여 2021년 6월에 주요 7개국(G7) 재무장관들이 정보공개 의무화를 지지하였고 (ESG경제 2021), 나아가 동년 11월에 영국 콘월에서 개최된 G7 정상회의에서도 기후정보 공시기준으로서의 TCFD 권고안 의무화에 대한 합의가 이루어졌다 (Impact on 2021c).

즉, 다양한 국제적 보고 기준의 등장과 주요국 정보공개 의무화의 흐름에 따라, 기후변화에 특화된 TCFD 기반의 보고가 증가할 전망이다. 이에 대비해 다양한 유형의 기후위험에 대한 이해 제고가 필요하다. 이러한 국제 비재무정보 공시 표준 및 지침과 관련하여 우리나라의 적용 현황을 살펴보면, 비재무정보 보고서를 작성하는 기업은 2009년 123개 기업에서 2020년 207개 기업으로 지속적으로 증가해 왔다 (<그림 2> 참조). 그 중 대다수의 기업이 국내종합주가지수(KOSPI)에 상장한 대규모 기업이며,¹⁰⁾ 대부분 GRI 표준을 준용하여 보고서를 발간하고 있는 것으로 나타났다 (IMPACT ON 2021). 한편, TCFD를 활용하여 보고서를 발간하는 기업은 2021년 12월 기준으로 19개 기관에 지나지 않아 (에너지데일리 2022.06.27), 향후 TCFD 권고안의 도입이 더욱 확산될 필요가 있다.

[그림 2] 우리나라 연도별 비재무보고서 발간기업 수 증감 추이



출처: 한국기업지배구조원(2021)을 바탕으로 저자 재구성

10) Korean Composite Stock Price Index로서, 국내 종합주가지수를 말한다.

3



TCFD 권고안과 기업 정보공개 준비 개괄

NATIONAL INSTITUTE OF GREEN TECHNOLOGY

3

TCFD 권고안과 기업 정보공개 준비 개괄

3.1. TCFD의 개요

‘기후관련 재무정보 공시 전담협의체’인 TCFD는 기후변화 이슈에 대하여 금융 부문이 할 수 있는 기여방안을 마련해 달라는 G20 국가의 재무장관 및 G20 국가의 중앙은행의 요청을 받아 2015년에 금융안정위원회(FSB, Financial Stability Board)의 산하에 설치된 국제기구이다.¹¹⁾

TCFD의 설립 목적은 기후변화와 관련한 재무정보 공개 방안을 마련하여 투자자, 대출기관 등 재무정보 이용자로 하여금 기업의 기후변화 관련 위험과 기회에 대한 이해를 돕고, 투자 관련 의사결정을 지원하는 것이다 (FSB 2015).

TCFD는 이를 위해 관련 권고안·지침·현황 보고서 등을 도출하는데, 여기에는 i) TCFD 권고안(Recommendations of the Task Force on Climate Financial Disclosures), ii) TCFD 권고안의 활용을 위한 추가 지침(Additional Guidance), iii) 연간 현황보고서(TCFD Status Report), iv) 그 외 기타 자료(Other materials) 등이 있다 (TCFD 2022a). 첫째, TCFD 권고안은 기업이 기후변화 관련 정보공시를 행하기 위해 참고해야 하는 기준으로, 비재무적 정보 중 환경 부분에 해당하는 내용 중 ‘기후변화’에 특화된 정보를 기업이 제공하도록 하는 지침이다. 기업의 입장에서 설정해야 하는 기후변화 관련 위기 및 기회를 구체화하고, 이를 기업의 경영 전략에 통합시키고 공시하는 지침이 포함되어 있다. 둘째, TCFD 권고안 활용을 위한 추가 지침은, 기업이 TCFD 권고안에 따라 기후변화 관련 위기와 기회를 분석하고 이를 기업의 위기관리전략에 통합할 때 도움을 주기 위한 세부 지침이라 할 수 있다. 가이드는 크게 ‘기후관련 위기 및 기회의 공시에 관한 시나리오 분석 지침(이하, 시나리오 지침)’과 ‘위기관리 통합 및 공시에 관한 지침(이하, 위기관리 지침)’으로 나뉜다. 시나리오 지침은 기업이 기후변화 관련 위기와 기회를 설정할 때 적용할 시나리오 예시와 이의 적용 및 분석 시 고려 사항을 기재하고 있다.¹²⁾ 위기관리 지침은 많은 기업이 기후변화 관련 위기요소를 설정하는 것과 이를 기업의 위기관리 전략에 통합시키는 방법을 잘 알지 못한다는 사실에 착안하여, 이에 대한 지침을 제공하기 위해 작성된 것이다. 셋째, 연간 현황보고서는 TCFD 권고안을 도입하고자 하는 기업이 얼마나 증가하였는지, 또한 TCFD 권고안에 따른 정보공시를 확대하기 위해 극복해야 할 도전과제는 무엇인지 등에 관한 내용을 작성하여 해마다 발간하는 보고서로서, TCFD 권고안이 수립된 차기 연도인 2018년부터 매년 발간되고 있다. 넷째, 기타 자료집은 TCFD 권고안을 수립하는 과정에서 생긴 다양한 이해관계자들의 의견청취 결과 혹은 TCFD가 행한 컨설팅 보고서 등을 담은 참고 자료집이다. 동 사항들은 하단의 <표 2>와 같이 정리된다.

11) 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 점검하며 G20회의에 보고하는 역할을 한다 (한국은행 2022).

12) 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).

[표 2] TCFD의 주요 발간물 정리

구분	발간물
권고안 (Recommendations)	• TCFD 권고안
추가 지침 (Additional supporting guidance)	• 비금융 부문의 시나리오 분석 가이드 • 위기관리 통합 및 공시에 관한 가이드 • 기후관련 위기 및 기회의 공시에 관한 시나리오 분석 가이드
TCFD 현황보고서 (TCFD status reports)	• TCFD 현황보고서 (2018~2021)
기타 자료 (Other materials)	• 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

TCFD를 지지하는 기관의 수는 시간이 지남에 따라 증가하고 있다. TCFD에서 발간한 2021년 연차보고서 따르면, 현재 TCFD에 대한 지지를 선언한 기관의 수는 총 2,616개 기관이며,¹³⁾ 이는 TCFD가 설립되고 나서 첫 연간보고서가 발표된 2018년 대비 5배 가까이 증가한 수치이다 (TCFD 2021). 그 중 1,069개가 금융 관련 기관이며 이들이 운영하는 자산 규모는 한화로 약 24경 5,216조 원에 달한다 (Ibid.).¹⁴⁾ 이는 하단의 <그림 3>과 같이 정리된다.

[그림 3] TCFD 지지 기관 증가추이와 지지 기관 중 금융기관의 운용자산 규모



출처: TCFD(2021)의 p.14를 바탕으로 저자 재구성

13) TCFD에 지지선언을 한 우리나라 기관의 수는 2022년 7월 6일 기준으로 110여 개다 (TCFD 2022b).

14) 194조 달러를 원화로 환산한 수치이다 (환율 1,264원/달러 참조. 2022. 5. 25).

한편 TCFD를 지지한 국가는 전세계으로 총 89개 국가에 이르며,¹⁵⁾ 이 중 일부 국가에서는 정부 차원에서 공식적으로 TCFD 권고안의 내용을 직접적으로 포함하거나, 기후변화대응 관련 정보를 공시하도록 하는 기업공시 지침을 발표하기도 하였다. 정부 차원의 대응 현황을 다음의 <표 3>과 같이 정리하였다.

[표 3] 정부 차원에서의 TCFD 권고안 공식 도입 동향

국가	주요 내용
국제기구 (ISSB)	<ul style="list-style-type: none"> 국제회계기준재단(IFRS Foundation, International Financial Reporting Standards)은 국제지속가능성기준위원회 (ISSB, International Sustainability Standards Board)를 설립하고(‘21.11), TCFD에 기반한 기업 지속가능성 공시를 위한 지침서인 ‘IFRS 지속가능성 공시기준’의 초안을 배포(‘22.3)¹⁶⁾
미국	<ul style="list-style-type: none"> 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 온실가스 직·간접 배출량과 기후변화에 미치는 영향을 의무적으로 공시하도록 하는 ‘기후변화 공시 규정안’을 공개¹⁷⁾ (‘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	<ul style="list-style-type: none"> 호주 건전성 규제 당국(APRA, Australian Prudential Regulation Authority)¹⁸⁾은 TCFD 권고안을 기반으로 한 정보공시 지침을 발표 (‘21. 4)
브라질	<ul style="list-style-type: none"> 브라질 중앙은행은 TCFD 권고안을 기반으로 한 정보공시 규칙을 비규제기관에게 배포 (‘21. 9)
유럽연합 (EU)	<ul style="list-style-type: none"> 유럽재무보고자문그룹(EFRAG, European Financial Reporting Advisory Group)이 EU 지속가능성보고표준(ESRS, European Sustainability Reporting Standards)을 수립 및 확정하였으며(‘22.11), 이는 체계로서의 역할. ESRS를 기반, 기업 대상 ‘지속가능성보고지침(CSRD, Corporate Sustainability Reporting Directive)’이 EU이사회에 의해 최종 승인(‘22.11) 및 법안 통과 이로 인해 EU 내 약 5만에 이르는 대기업 및 상장중소기업들은 지속가능성보고기준(CSRD)에 따라 단계적으로 정보공시 의무화 시행
홍콩	<ul style="list-style-type: none"> 홍콩 통화청(Hong kong Monetary Authority)은 은행을 대상으로, TCFD 권고안에 따라 정보공시를 해야 한다는 내용을 담은 가이드라인 초안을 발표 (‘21. 7)
일본	<ul style="list-style-type: none"> 도쿄증권거래소는 일정 규모 이상의 기업은 TCFD 권고안에 따라 정보공시를 강화해야 한다는 내용을 담은 기업 지배구조 준칙 개정본 발표 (‘21. 6)
뉴질랜드	<ul style="list-style-type: none"> 뉴질랜드 의회는 금융 부문을 대상으로, TCFD 권고안과 연계한 정보공시를 의무화하는 법안을 제출 (‘21. 4)
싱가폴	<ul style="list-style-type: none"> 싱가폴 거래소는 TCFD와 연계한 정보공시 의무화 로드맵을 제시 (‘21. 8)
스위스	<ul style="list-style-type: none"> 스위스 금융시장 감독당국(Switzerland’s Financial Market Supervisory Authority)은 은행과 보험업계를 대상으로, TCFD에 기반한 기후 관련 금융 리스크 정보를 포함하도록 정보공시 규칙을 개정
한국	<ul style="list-style-type: none"> 금융위원회가 발표한 ‘기업공시제도 종합개선방안(‘21.1)’을 통해, 지속가능 경영보고서¹⁹⁾의 공시 활성화를 위한 단계적 공시 의무화* 시행 * 1단계) 자율공시(‘25) / (2단계) 일정규모(자산 2조원 이상) 이상 KOSPI상장사 의무화(‘25~’30) (3단계) 모든 KOSPI상장사 공시 의무화(‘30~)

출처: TCFD(2021)의 p.13의 내용을 바탕으로 저자 재구성

15) TCFD 현황보고서에서는 ‘Jurisdiction’이라고 표기하였는데, 이는 같은 국가 내에서도 다른 법을 적용하는 지역, 예를 들면 여러 주로 구성된 연방국가가 있기 때문이다 (TCFD 2021).

16) 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

3.2. TCFD 권고안

TCFD는 2017년 6월, '기후변화와 관련된 재무정보의 공개에 대한 권고안(이하, TCFD 권고안)'을 발표하였다. TCFD 권고안은 기업이 기후변화에 대한 대응 역량을 공개하는 데 일종의 지침 역할을 한다. TCFD 권고안에 따라 공시된 기업정보를 통해 투자자는 해당 기업에 대한 투자이사결정을 내리는 데 도움을 받을 수 있다.

권고안에 의하면, 민간부문은 기후변화에 대응하기 위하여 i) 지배구조, ii) 경영전략, iii) 위험관리, iv) 지표 및 감축목표의 4가지 영역에 대하여 정보를 공시해야 한다. 첫 번째 정보공시 항목인 '지배구조'는 해당 기업의 거버넌스 상에서, 기후변화와 관련한 위험과 기회를 다루는 데 있어서의 지배구조를 설명하는 것이다. 이 항목에서는 크게 두 가지에 대한 정보를 준비해야 하는데, 하나는 기업 이사회가 기후변화 관련 위험 및 기회에 대한 이슈와 관련 활동에 대해서 보고받고 이에 대해 모니터링하고 감독하는 지에 대한 정보이며, 다른 하나는 기업 경영진이 기후변화 위험과 기회를 평가하고 관리하는 지에 관한 정보이다 (세부지침 정보는 <표 4> 참조).

[표 4] TCFD 정보공시 세부지침: ①지배구조

항목	권고사항 세부 내용
지배구조	a) 기후변화와 관련된 위험과 기회에 대한 이사회 감독사항 <ul style="list-style-type: none"> • 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 고려하는 지에 대한 여부 • 이사회가 기후변화 관련 이슈를 해결하기 위한 목표 및 대상에 대한 진행상황을 모니터링하고 감독하는 방법
	b) 기후변화와 관련된 위험과 기회를 평가하고 관리하는 경영진의 역할 <ul style="list-style-type: none"> • 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 정보공시 항목인 '경영전략'은 기후변화 관련 위험 및 기회가, 조직의 사업전략이나 재무 계획 등에 미치는 잠재적·실질적인 영향을 공개하는 것과 관련된 지침이다. 이 항목에서 요구되는 정보는 크게 세 가지로, i) 조직이 파악한

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).

17) 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 (한경 ESG 2022).

18) 후추의 모든 금융 관련 업무를 감독하는 규제당국으로서, 1998년 설립되었다 (ARPA 2022).

19) 지속가능경영보고서에 포함되는 내용 중에는 '환경 관련 기회·위험요인 및 대응계획'이 있다 (금융위원회 2021). 추후 'IFRS 지속가능성 보고기준'이 확정될 경우, 온실가스 배출량이 포함될 것으로 전망된다.

기후변화 관련 위험 및 기회가 단기·중기·장기적으로 각각 조직의 전략에 어떤 영향을 미치는지 그 영향력을 파악하고, ii) 기후변화 위험과 기회가 기업의 사업·전략·재무계획에 미치는 영향을 설명하며, iii) 이를 토대로 다양한 시나리오 별 기업의 조직전략의 회복 탄력성을 설명하도록 되어 있다 (세부지침 정보는 <표 5> 참조).

[표 5] TCFD 정보공시 세부지침: ②경영전략

항목	권고사항
전략	a) 조직이 단기·중기·장기에 걸쳐 파악한 기후변화 관련 위험 및 기회에 대한 설명 <ul style="list-style-type: none"> 기후변화 관련 이슈가 조직의 자산 또는 기반 시설의 수명에 어떠한 영향을 끼칠 수 있는지에 대한 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 <ul style="list-style-type: none"> 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 <ul style="list-style-type: none"> 조직의 전략이 기후변화와 관련된 위험 및 기회로 인해 영향을 받을 수 있다고 생각하는 부분 잠재적 위험과 기회를 다루기 위해 전략이 어떻게 바뀔지에 대한 내용

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

세 번째 공시항목인 '위험관리'는 해당 기업이 기후변화와 관련된 위험을 식별·평가·관리하고 있는지의 여부와 그 관리 방법에 대한 작성 지침을 담고 있다. 보다 구체적으로 보면, i) 기후변화 관련 위험을 파악하고 평가하는 절차가 있는지, ii) 기후변화 위험을 관리하기 위한 의사결정방법 및 위험도 우선순위 결정 등의 절차가 있는지, 그리고 iii) 기후변화 위험 식별·평가·관리 절차가 기업 전체 위험관리 절차에 통합되어 있는지 여부에 대한 지침이 포함되어 있다 (세부지침 정보는 <표 6> 참조).

[표 6] TCFD 정보공시 세부지침: ③위험 관리

항목	권고사항
위험 관리	a) 기후변화와 관련된 위험을 식별하고 평가하는 조직의 프로세스를 설명 <ul style="list-style-type: none"> 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 <ul style="list-style-type: none"> 기후위험을 완화, 전가, 수용 혹은 통제하기 위한 의사결정방법을 포함한, 기후변화 관련 위험을 관리하는 프로세스 기후변화 관련 다양한 위험의 우선순위를 결정하는 의사결정 프로세스
	c) 기후변화와 관련된 위험을 식별, 평가 및 관리하는 프로세스가 조직의 전반적인 위험관리에 어떻게 통합되는지에 대한 설명 <ul style="list-style-type: none"> 기후변화 관련 위험을 식별, 평가, 관리하는 프로세스가, 조직의 기존 리스크관리 방식에 통합되는 방법

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

마지막으로 네 번째 정보공시 항목인 '지표와 감축목표'는 기후변화 관련 위기 및 기회를 평가·관리하기 위해 사용되는 조직 내 지표와, 기후변화 관련 위기 및 기회 속에서 조직이 목표로 세운 것을 달성하기 위한 감축목표를 말한다. 구체적으로는 i) 기후변화 위험과 기회를 평가하는 데 사용한, 외부에 공개가능한 지표를 외부적으로 공개해야 하며, ii) 온실가스 배출량 산정 지표 및 계산 방법론을 공개하고, 마지막으로는 iii) 규제 및 시장 제약 등으로 설정된 조직 차원의 기후변화 관련 목표로서 온실가스 배출량, 물 사용량, 에너지 사용량 목표 등을 공개하도록 되어 있다 (세부지침 정보는 <표 7> 참조).

[표 7] TCFD 정보공시 세부지침: ④지표 및 감축 목표

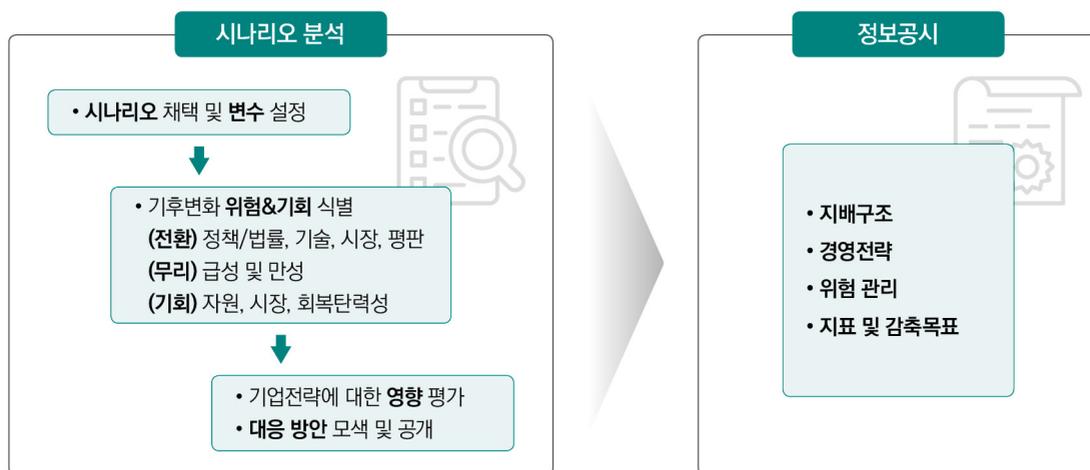
항목	권고사항
지표 및 감축 목표	<p>a) 조직이 전략 및 위험관리 프로세스에 따라 기후변화 관련 위험과 기회를 평가하기 위해 사용한 지표를 공개</p> <ul style="list-style-type: none"> • 기후변화 관련 위험과 기회를 측정 및 관리하는 데 사용되는 주요 지표(물, 에너지, 토지이용, 폐기물 관리 관련 지표도 포함) • 해당 성과지표의 임직원 보수정책에 대한 통합 여부 및 방법 • 저탄소 경제를 위해 고안된 제품이나 서비스의 가격 및 수익 등
	<p>b) 범주1(직접배출), 범주2(간접배출), 범주3(공급망 배출)에 해당하는 온실가스 배출량 및 관련 위험</p> <ul style="list-style-type: none"> • 범주 1, 2, 3의 온실가스 배출량 및 관련 위험 • 추세 분석을 위한 과거 배출량 지표 및 계산(추정)방법론 공개
	<p>c) 기후변화 관련 위험과 기회 및 목표 대비 성과를 관리하기 위해 조직에서 사용하는 목표 설명</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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

앞서 언급된 TCFD 권고안에 따른 기업의 정보공개는 크게 두 가지 절차로 구분된다. 첫 번째 절차는 시나리오 분석이다. 이 과정에서 필요한 첫 단계는 바로 기후변화로 인한 위험 및 기회요인의 파악이다. 기후변화로 인해 발생하는 극단적 이상기후나 장기적인 기후의 변화(물리적 위험) 뿐만 아니라 정책 및 시장의 변화, 기술의 발전 등(전환적 위험)이 기업에 어떠한 영향을 미칠 것인가를 식별해야 한다. 이 때, 기후변화로 인한 위험은 막연하게 식별할 것이 아니라 일정한 요건을 갖춘 시나리오를 기반으로, 구체적인 경제적/자연적 가정과 변수를 바탕으로 보다 면밀하게 도출해 내야 한다. 즉 '기후변화로 인한 위험 및 기회요인'에 대한 대응방안을 도출하기 위한 방법론을 적용하는 것이라고 할 수 있겠다. 이러한 시나리오 분석을 통해 도출된 결과물을 TCFD 권고안에서 제시하는 4가지 항목에 맞추어 공시하는 것이 바로 두 번째 절차이다 (<그림 4> 참조). 이에, TCFD 권고안 차원에서 설정된 '기후변화 위험 및 기회요인' 기반의 시나리오 분석에 대한 세부절차에 대한 이해가 매우 중요하다.

[그림 4] TCFD 권고안에 따른 기업 정보공시 절차



3.3.1. TCFD 권고 시나리오

일반적으로 시나리오 분석이란 미래예측 방법론의 하나로써, 개연성이 있는 변수를 활용하여 미래의 불확실성을 구조화하고 이에 대비하기 위한 계획을 세우기 위한 방법으로, 많은 조직들이 전략적 사고 및 전략 수립을 위해 시나리오 분석을 사용해 왔다 (한국과학기술기획평가원 2009). 기후변화와 관련한 시나리오 분석은 기후변화의 '전환적 위험'과 '물리적 위험'이 기업 운영에 어떤 영향을 미치게 될 것인가를 분석하고 이를 토대로 비즈니스 영향을 평가하여 대응 방안을 도출하는 데에 도움이 된다.

TCFD에서는 기업이 시나리오 분석을 수행할 시 채택할 시나리오에 대하여 특정하지는 않으나, 시나리오가 갖추어야 할 몇 가지 요건에 대하여 크게 세 가지 측면에서 언급하고 있다. 첫째, 2°C 시나리오를 채택해야 한다. 기후변화로 인한 지구 온도 상승을 산업화 이전 수준에서 2°C 이내, 나아가 1.5°C 이내로 억제해야 한다는 것은 2015년 채택된 파리협정에서 국제적으로 합의된 사안이다. 따라서 TCFD는 2°C 시나리오라는 전제 하에서 기업이 기후변화 대응 전략을 추진할 것을 최소한의 요건으로 제시하고 있다. 둘째, 시나리오에 사용된 데이터의 개방성이 보장되어야 한다. 시나리오를 구성하는 가정과 변수에 투입된 데이터는 공개되어 있어야 하며 누구든 접근이 쉬워야 한다는 것이다. 셋째, 주기적인 정보의 갱신이 이루어져야 한다. 기후변화 영향 평가는 시간이 지남에 따라 변할 수 있다. 예를 들어 2021년 8월 발간된 IPCC 제6차보고서 제1실무그룹보고서에 따르면, 기후변화로 인하여 산업화 이전 대비 1.5°C 상승하는 시점이 기존 IPCC 제5차 평가 보고서에서 언급한 시점보다 10년 더 앞당겨질 것이라는 예측이 있다 (IPCC 2021a). 이러한 정보들을 시나리오에 반영하여 수시로 업데이트해야 한다. 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). 이 시나리오 사례들을 다음의 <표 8>와 같이 정리하였다. 각 시나리오별로 인구수준과 거시경제 환경, 주요 정책과 에너지 수요, 기술 도입 현황, 에너지 구성 등의 세부적인 가정을 반영한 전환 시나리오에 관한 상세 내용은 ‘부록1’을 참고할 수 있으며, IPCC 제5차 평가보고서에 따른 물리적 기후변화 시나리오 및 가정과 관련해서는 ‘부록2’를 참고할 수 있다.

<표 8>에서 확인할 수 있는 바와 같이, 동 시나리오 사례들이 도출된 시점이 현재 시점과 차이가 있다는 점은 최신 자료에 기반한 시나리오를 새로이 제시할 필요가 있음을 시사한다.

[표 8] TCFD 권고안에서 제시된 시나리오 사례 내용

시나리오 이름	시나리오 도출 연도	주요내용
IEA WEO 450 (2012~2040)	2008	<ul style="list-style-type: none"> • IEA가 매년 발간하는 세계 에너지전망(WEO)에서 발표된 시나리오 • 대기 중 CO₂ 농도를 장기적으로 450ppm 이내로 제한하여 평균온도 상승을 2°C 이하로 억제를 전제함 • 동 시나리오는 2030년에 OECD 국가들의 CO₂ 배출량이 2008년 대비 40% 감소하고, 기타 국가의 CO₂ 배출량 증가가 20% 이내에서 억제되어야 한다는 것을 언급 • 또한 이를 위해서는 재생에너지의 비중의 확대와(40%) CCS의 광범위한 도입을 강조
IEA ETP 2DS (2013~2050)	2017	<ul style="list-style-type: none"> • 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°C), 4DS(3°C), 2DS(2°C)로 구분 • 특히 산업화 이전 대비 2°C 상승 달성을 위한 방안으로서 i) 에너지 수요 증가 억제, ii) 화석연료 비중 축소, iii) 신재생에너지 및 원자력 비중의 제고, iv) 최종에너지 기준으로 전력비중 증대를 강조

시나리오 이름	시나리오 도출 연도	주요내용
IRENA REmap (2010~2030)	2016	<ul style="list-style-type: none"> 전세계 총 에너지사용량 중 재생에너지의 비중을 2030년까지 36%로 끌어올리는 것을 전제로 한 시나리오 이는 2016년 18%의 두 배에 해당하는 수치이며, 특히 전통적 바이오매스 자원(연료목)의 사용이 폐지됨에 따라 현대 기술을 통한 재생에너지 사용량은 4배 가까이 증가해야 한다고 언급 재생에너지로의 전환은 건물, 교통, 산업, 전력부문에서 급진적으로 진행되어야 함을 강조
그린피스 선진에너지혁명 (2012~2050)	2015	<p>2022년 12월 23일·2050년까지 재생에너지 100%를 달성하고 전체 에너지 시스템의 탈탄소화를 달성한다는 내용의 시나리오</p> <ul style="list-style-type: none"> 미래의 에너지는 재생에너지, 바이오연료, 수소에너지를 주요 축으로 하며, CCS와 원전은 존재하지 않음 전세계 CO₂배출량은 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 분석을 수행하고자 하는 기업은 크게 5단계의 절차를 거친다(TCFD 2017a). 첫째, 기업에 대한 기후변화 관련 위험(전환 위험과 물리적 위험)의 영향을 평가한다. 둘째, 적용할 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 9>를 참고할 수 있다.

[표 9] 기후변화 대응 시나리오 분석 프로세스

과정	내용
① 기후변화 관련 위험 및 기회의 영향력 평가	<ul style="list-style-type: none"> 기후변화 관련 위기 및 기회 파악 위기 및 기회에 대해 조직이 받는 영향 평가
② 적용 시나리오의 정의	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 정의된 시나리오가 기업의 전략 및 재무상태²⁰⁾에 어떠한 영향력을 얼마나 미치는지에 대한 평가
④ 기업의 대응방안 모색	<ul style="list-style-type: none"> 확인된 기후변화 위험과 기회를 관리하기 위해 기업에서 적용가능한 현실적인 대응 방안 모색²¹⁾
⑤ 시나리오 분석과정 및 결과의 공개	<ul style="list-style-type: none"> 상기의 모든 시나리오 분석 과정과 기업의 대응 방안을 공개

출처: TCFD(2017a)를 바탕으로 저자 재구성

20) 재무상태라 함은 투입비용, 운영비용, 수익, 공급망, 영업정지 등을 들 수 있다.

21) 현실적인 대응방안의 예시로는 비즈니스모델 변경, 포트폴리오 구성의 변경, 기업 내부역량 및 기술에 대한 투자 등을 들 수 있다.

시나리오 분석 시 고려해야 할 사항으로서 크게 세 가지를 들 수 있다 (TCFD 2017c). 첫째는 기후변화 관련 위험 및 기회 요소들이다. 위험은 전환 위험과 물리적 위험이 있는데, 전환 위험은 사회적 측면에서 정책 및 법률, 기술, 시장, 평판의 변화에 따르는 위험이고, 물리적 위험은 기후변화로 인한 급성의 기상현상 변화와 만성적인 측면의 해수면 상승과 기후패턴 변화 등을 의미한다. 그리고 기회요소로는 자원 효율성, 에너지 자원, 제품 및 서비스, 시장, 회복 탄력성 요소들이 있다. 둘째는 적용 시나리오를 파악하고 채택할 때, 이 시나리오에 포함되는 가정 및 변수이다. 특정 시점에서의 물리적·사회경제적 상황을 일컫는 것으로서, 에너지원의 구성, 거시 경제적 변수, 인구통계학적 변수, 기술의 진보, 관련 정책 등이 이에 해당된다. 셋째는 기업의 비즈니스 영향 평가에 필요한 사항으로, 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 10>과 같다.

[표 10] 시나리오 분석 시 주요 단계별 고려 요소

기후 관련 위험 및 기회	
• 위험	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 전환 위험 <ul style="list-style-type: none"> • 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 <ul style="list-style-type: none"> • 급성 (홍수, 가뭄, 허리케인 등 극심한 기상현상 증가) • 만성 (해수면 상승, 기후 패턴 변화 등 장기적 변화)
• 기회	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 자원 효율성: 생산, 유통, 운성, 건물 등 전반적 효율성 향상 ▪ 에너지 자원: 재생에너지 투자, 저탄소 에너지원으로 사용 전환 ▪ 제품 및 서비스 <ul style="list-style-type: none"> • 신규 저탄소 제품 및 서비스 개발, 소비자 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	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 기업에서 미래가치에 대한 할인율을 어떻게 적용하는가?
• 탄소가격	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 탄소가격이 시간에 따라 어떻게 전개될 것인가? ▪ 탄소가격은 특정 경제부문에 적용되는가? 아니면 경제 전반에 적용되는가?
• 에너지 수요 및 구성	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 주요 에너지원은 어떻게 구성될 것인가?
• 원자재 및 상품 가격	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 에너지 가격에 기반한 원자재 및 상품 가격은 어느 수준으로 형성될 것인가?
• 거시경제적 변수	<ul style="list-style-type: none"> ▪ GDP성장률 등의 경제지표는 어떻게 설정할 것인가?



시나리오 상의 가정 / 변수	
• 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? ²²⁾
• 물리적 영향으로 인한 영업정지	▪ 기후변화 물리적 위험에 따른 기업의 생산성 손실에 대한 영향력을 어떻게 평가할 것인가? ²³⁾

출처: TCFD(2017c)를 바탕으로 저자 재구성

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

23) 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)의 두 가지로 구분하고 있다 (TCFD 2017a).

먼저, 전환적 위험은 저탄소경제 사회로 이행해 가는 가운데 발생하는 위험으로서, 정책 및 법률적 위험(Policy and Legal Risks), 기술 위험(Technology Risk), 시장 위험(Market Risk), 평판 위험(Reputational Risk)으로 세분화된다. 이를 세부적으로 살펴보면, 첫째, 정책 및 법률적 위험은 다시 정책적 측면과 법률적 측면으로 나뉘는데, 정책적 위험은 기후변화 대응을 위해 이행되는 각종 정책, 예를 들면 탄소가격 책정 메커니즘, 저탄소 에너지 사용으로의 전환, 에너지 효율성 강화 조치 등이 기업의 재정에 끼치는 리스크를 말한다. 법률적 위험은 소송과 관련된 법적 위험으로, 기업이 기후변화의 완화 또는 적응에 실패하여 재무상태에 악영향을 끼치거나, 중요한 재무적 위험에 대한 공개를 충분히 하지 않은 것이 원인이 되어 발생하는 각종 송사에 관한 위험을 말한다. 기후변화에 따른 재산상의 가치 변동이 증가함에 따라 법률적 위험도 증가할 가능성이 있다.

둘째, 기술적 위험은 기술의 개선 또는 혁신이 기업에 미치는 영향을 말하는 것이다. 예를 들어 재생에너지·에너지 효율 향상 기술이나 배터리 저장 기술, 탄소포집·저장 기술과 같은 새로운 기술의 개발 및 사용은 기업의 생산·유통 비용이나 제품 및 서비스의 수요에 영향을 미친다. 새로운 기술이 기존의 산업구조를 혁신하는 과정에서 약진하는 기업과 도태되는 기업이 생기기도 한다.

셋째, 시장 위험은 기후변화로 인한 수요와 공급의 변화를 말한다. 온실가스를 배출하지 않고 보다 친환경적인 제품이나 서비스에 대한 소비자의 수요 증가와 이에 대응하기 위한 공급의 변화를 들 수 있다.

넷째, 평판 위험은 해당 기업에 대한 고객의 인식·의견·호감도 등의 총합이라 할 수 있다. 기후변화 대응과 저탄소 경제로의 전환에 대한 기업의 기여도에 따라 고객을 포함한 다양한 이해관계자들의 평판이 잠재적 위험으로 작용할 수 있다.

한편, 물리적 위험은 기업의 자산, 공급망, 재정상태 등에 영향을 미치는 환경적인 위험요인을 말하는 것이다. 예를 들면 기업의 재무 성과는 수자원의 가용성에 따라 변화할 수 있다. 또한 식량 안보나 종업원의 건강 상태 역시 기후의 변화에 따라 영향을 받게 된다. 이는 급성(Acute) 위험과 만성(Chronic) 위험으로 세분화된다. 급성 위험은 기후변화로 인해 갑작스럽게 발생하는 이상기후 현상으로서, 사이클론, 허리케인 등의 열대성 저기압과 홍수 등이 포함된다. 만성 위험은 기후 패턴의 장기간에 걸친 변화로 인해 발생하는 해수면 상승이나 만성 폭염 등이 포함된다.²⁴⁾

24) TCFD 권고안에서는 기후변화와 관련한 물리적 위험요인을 (표 11)과 같이 구분하고 있으나, 유럽재무보고자문그룹(EFRAG)에서 2022년 4월 발간한 EU 지속가능성보고표준(ESRS) 가이드에서는, 기후변화 물리적 위험을 다음 표와 같이 보다 더 구체적으로 작성할 것을 요구함.

구분	온도 관련 위험	바람 관련 위험	물 관련 위험
만성	대기, 담수, 해양수의 온도 변화	바람 패턴의 변화	강수 패턴 및 유형(비, 싸락눈, 빙설)의 변화
	폭염	-	강우 혹은 수문학적 변동성 증가
	기온변동성 증가	-	해양 산성화
급성	영구동토층의 해동	-	담수 및 지하수의 염분 침입, 해수면 상승
	폭염	열대성 저기압(사이클론, 허리케인, 타이퐁)	가뭄
	한파, 서리	폭풍(눈보라, 먼지폭풍, 모래폭풍 등)	호우(비, 싸락눈, 빙설)
	들불, 산불	용오름(토네이도)	홍수, 범람(해안, 하천, 지하수), 빙하호 폭발

출처: EFRAG(2022)의 p.22-23를 바탕으로 저자 재구성

TCFD 권고안에서 명시한 기후변화 관련 전환적·물리적 위험요인의 내용과, 기업의 재정 상태에 미칠 잠재적 영향을 정리하면 다음의 <표 11>와 같다.

[표 11] TCFD 권고안의 기후변화 위험요인 및 재무상태에 미치는 영향

구분	기후변화 관련 위험	기업 재무상태에 미치는 잠재적 영향
전환적 위험	정책 및 법률	<ul style="list-style-type: none"> • 영업비용 증가(보험료 인상 등) • 정책 변화로 인한 자산가치 저하, 기존 자산의 폐기 등 • 비용 증가(각종 벌금이나 과태료 등)
	기술	<ul style="list-style-type: none"> • 기존 자산의 조기 폐기 • 기존 제품 및 서비스에 대한 수요 감소 • 신기술에 대한 연구개발 비용 증가 • 새로운 업무관행 및 프로세스 적용
	시장	<ul style="list-style-type: none"> • 소비자 선호도의 변화로 인한 제품과 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	<ul style="list-style-type: none"> • 제품/서비스의 수요 감소로 인한 수익 감소 • 생산능력 감소로 인한 수익 감소(공급망 문제 등) • 사업장 관리상의 문제로 인한 수익 감소 • 자본 가용성 감소
물리적 위험	급성	<ul style="list-style-type: none"> • 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)
	만성	<ul style="list-style-type: none"> • 자본비용의 증가(설비 손상) • 판매 및 생산 감소로 인한 수익 감소 • 보험료 상승

출처: TCFD(2017a), p.11을 바탕으로 저자 재구성

4



IPCC 제6차 보고서 기반 기후 위험 정보 추출

NATIONAL INSTITUTE OF GREEN TECHNOLOGY

4

IPCC 제6차 보고서 기반 기후 위험 정보 추출

4.1. 기후 위험 관련 배경

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 '장기 GHG 배출 시나리오 현황 및 전망'과 이를 해결하기 위한 국가 차원의 'NDC 기반 국가 목표 설정 현황 및 방향성'에 대한 사항을 다음과 같이 정리하였다.

4.1.1. 장기 GHG 배출 시나리오 현황 및 전망²⁵⁾

2010년대 중반 전세계 온실가스 배출량 증가가 잠깐 주춤한 적이 있었지만, 2010~2019년 10년 동안의 전세계 온실가스 연평균 배출량은 역대 최고 수준이다 (IPCC 2022a, Ch.2 Executive Summary). 1992년 유엔기후변화협약 이후의 국제적인 감축 노력에도 불구하고 온실가스 배출량은 계속 증가하고 있다는 것이다. 2015년 파리협정 채택, 2018년 1.5°C 특별보고서 발간, 2019년부터 주요국들의 탄소중립 목표 선언이 이어진 후 2022년 발간된 IPCC 제6차 평가보고서에 대한 제3실무그룹 보고서는, 아직 완전히 늦지는 않았지만, 산업혁명 이전 대비 1.5°C 또는 2°C 이내 안정화 목표를 달성할 수 있는 기회의 창(window)이 점점 닫히고 있다고 역설하고 있다(Ibid., Ch.8.2)

동 보고서 제3장에 따르면 2019년 전세계 온실가스 배출량은 약 59GtCO₂eq인데, 현행 정책(Current Policy)이 그대로 유지되는 시나리오의 2030년과 2050년 온실가스 배출량은 각각 약 62GtCO₂eq과 약 70GtCO₂eq으로 전망된다 (Ibid., Sec. 3.3) (<표 12>의 C7 시나리오 참조). 이 시나리오에서 2100년 지구 기온이 산업혁명 이전에 비해 3.5(2.8~3.9)°C까지 상승하게 된다. 선진국 지원이 조건화되지 않은 NDC(unconditional NDC)에 기반해 도출된 시나리오의 2030년 온실가스 배출량은 약 53GtCO₂eq으로 전망되고, 선진국의 지원을 전제로 한 조건부 NDC(conditional NDC) 시나리오의 2030 배출량 전망치는 약 50GtCO₂eq이다. 무조건적 NDC 시나리오에서는 2100년에 중간값 기준으로 2.8(2.1~3.4)°C의 온도 상승이 예상된다 (<표 12>의 C6 시나리오 참조). 1.5°C 달성을 위해서는 늦어도 2025년 이전에 글로벌 온실가스 배출량이 정점에 도달하고 2030년까지 2019년 대비 약 43%를 감축한 후,²⁶⁾ 2050년에는 2019년 대비 약 84%를 감축해야 한다. 이후 2070년까지 이산화탄소가 아닌 온실가스 기준으로 탄소중립에 도달해야 한다. 2°C 목표를 달성하기 위해서는 2019년 대비 2030년에 약 27%, 2050년 약 63%를 감축해야 한다.

25) 본 섹션의 내용은 IPCC 2022a의 제2장, 3장, 8장을 중심으로 작성되었다.

26) 43%는 약 34GtCO₂eq 수준이다.

1.5°C 목표를 위한 시나리오 상에서 잔여 탄소배출허용총량(carbon budget)은 500GtCO₂이다.²⁷⁾ 그런데, 이는 최근 10년 이산화탄소 배출량의 약 1.25배에 해당하는 양이다. 이는 최근 10년 배출행동이 그대로 유지될 경우 약 12.5년 이내에 상기 잔여 탄소배출허용총량을 모두 소진한다는 것을 의미한다. 한편, 2°C 목표를 위한 시나리오 상에서 잔여 탄소배출허용총량은 1,150GtCO₂이다.²⁸⁾ 이는 최근 10년 배출량의 약 3배에 해당하는 양이다. 그런데, 기존 및 향후 계획된 신규 화석연료 인프라 수명기간 동안의 배출량 전량만으로도 2°C 목표의 잔여 탄소배출허용총량을 소진하는 것으로 나타났다. 따라서, 1.5°C나 2°C 목표 달성 시나리오 상의 잔여 탄소배출허용총량은 감축이 어려운 산업 부문이나 다른 최종에너지 수요 부문에서 사용되어야 하고, 전력 부문의 화석발전시설에 대해서는 조기 폐쇄, 개조(retrofitting), 사용 축소, 새로운 계획의 취소 등의 조치가 취해져야 한다고 강조하고 있다 (Ibid., Sec. 3.5).

[표 12] 지구 배출 경로의 유형과 주요 특징

유형(카테고리)			연간 배출량 (GtCO ₂ eq/yr)		달성 연도				2100년 온난화 수준*	
구분	경로 설명 (화물)	예시적 완화 경로	2030	2050	CO ₂ 정점	GHG 정점	CO ₂ 넷제로	GHG 넷제로		
C1	오버슈트 없거나 제한적(0~0.1°C)이면서 1.5°C 온난화로 제한 (>50%)		31	9	2020-2025			2095-2100	1.3°C	
-C1a	GHG 넷제로 달성	• SSP1-1.9 • SP, LD	33	8				2050-2055	2070-2075	1.2°C
-C1b	CO2 넷제로 달성하나 GHG 넷제로 달성 없음	• Ren	29	9				-	-	1.4°C
C2	높은 오버슈트(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	-
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	

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

27) 목표 달성 확률이 50%일 때 상정된 값이다.

28) 목표 달성 확률이 66%일 때 상정된 값이다.

현재까지 각 국가가 선언한 2030 NDC 목표로는 장기적으로 1.5°C 목표 달성은 어려우며, 2°C 목표 달성도 쉽지 않다. 현 시점에서 2030 NDC 목표 상향을 위해 국제적 압력을 다시 높이는 것은 시간적 제약으로 인해 어려운 일이다. 현실적인 방향은 지금까지 선언된 NDC의 이행을 국제 사회가 충실히 실행하도록 노력하는 것이다. 2030 NDC 목표를 달성한다는 전제하에 장기적으로 2°C 목표라도 달성하려면 2030년 이후 감축 노력의 빠른 가속화가 필요하다. 2°C 목표 달성을 위해서는 2030년 이후 급격한 감축을 통해 2030~2050년 동안 연평균 1.3~2.1GtCO₂eq를 감축해야 한다 (IPCC 2022a, Sec. 3.5). 우리나라를 포함한 선진국들은 2030 NDC를 탄소중립으로 가는 선형 경로나 이보다 더 강한 수준으로 설정하였다.

따라서, 2030년 이후 전세계적으로 급격한 감축이 요구된다면 중국을 포함한 개도국의 적극적인 감축행동 동참이 필수적이다. 개도국의 적극적인 감축노력을 유도하기 위해서는 선진국에 의한 기술, 재정, 역량형성 등에 대한 지원의 빠른 확대가 진행되어야 할 것이다.

4.1.2. NDC 기반 국가 목표 설정 현황 및 방향성²⁹⁾

IPCC 제6차 평가보고서 제3실무그룹 보고서는 각국의 제1차 국가결정기여(NDC) 목표 및 조치에 대한 종합적 검토를 바탕으로, 기후변화 완화 노력의 가속화 필요성에 대해 논한다. 특히, 각국이 제시한 NDC 목표 이행에 따른 지구적 배출 전망과, 지구온난화를 2°C 및 1.5°C 이내로 제한하고자 하는 목표에 따른 감축경로 사이의 격차를 의미하는 '배출 격차(Emission Gap)'에 대한 분석 결과를 심도 있게 다룬다 (IPCC 2022a, Sec. 4.2.2). 이러한 배출 격차의 심각성은, NDC 공약에 따른 서류상의 목표 배출량과 현행 정책 이행 수준에 따른 배출 예상량 간의 차이인 '이행 격차(Implementation Gap)'로 인해 더욱 악화되고 있다고 평가된다 (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 13>과 같다. 2020년까지 이행된 정책에 따른 2030년 글로벌 배출 전망은 57GtCO₂eq로 전망된다. 반면 NDC의 감축 공약을 온전히 달성할 경우, 2030년 배출량은 50~53GtCO₂eq로 감축예상량이 저조하다. 이는 전 세계 각국이 NDC 공약을 100% 이행한다 해도 2°C 달성 경로로부터 10~16GtCO₂eq(무조건부 NDC 기준) 만큼 감축량이 부족함을 의미한다. 이러한 분석 결과를 바탕으로, 제3실무그룹 보고서는 현재 추세로는 1.5°C 목표 달성은 요원하며, 2°C 목표 달성을 위해서라도 2030년 이후 급격한 수준의 감축 노력 가속화가 필요하다는 결론에 이른다 (IPCC 2022b, B.6). 제출된 NDC와 일관되면서 지구온난화를 2°C로 제한하는 배출 경로 모델 결과에 의하면, 2020~2030년 10년 동안 전 지구적으로 연평균 감축률이 ~0.7GtCO₂eq에 도달해야 하며, 2030~2050년 기간에는 감축률이 1.4~2.0GtCO₂eq로 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.

²⁹⁾ 본 섹션의 내용은 IPCC 2022a의 제4장 및 IPCC 2022b의 B장을 중심으로 작성되었다.

[표 13] NDC에 기반한 2030년 지구 배출량 전망과 관련 배출량 격차

단위: GtCO ₂ eq/yr	2020년 말까지 이행된 정책에 따른 값	NDC ³⁰⁾ 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°C로 제한(67%)하는 경로 사이의 “배출량 격차”	-	10-16	6-14
NDC와 (오버슈트 없거나 제한적이면서) 온난화를 1.5°C로 제한(50%)하는 경로 사이의 “배출량 격차”	-	19-26	16-23

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

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 13>에 제시된 전 지구적 ‘배출 격차’와 ‘이행 격차’를 해소하기에는 턱없이 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. 실제로 2018년 발표된 IPCC의 「지구온난화 1.5°C 특별보고서」는 1.5°C 목표 추구 및 2050년 탄소중립 도달의 필요성에 대한 과학적 근거를 제시하는 핵심적 역할을 하며, 탄소중립이라는 글로벌 패러다임을 촉발했다. 파리협정 세부 이행규칙이 2018년 도출되고 이후 2021년 추가적인 세부이행규칙이 도출되어, 이제는 전 세계가 파리협정의 목표를 이행하기 위해 노력하게 될 것이다. 이러한 시점에 IPCC 제6차 평가보고서를 통해 확인한 상당한 규모의 배출 격차의 존재는, 우리나라를 포함한 온실가스 다배출 국가들의 감축 목표에 대한 국제사회의 상향 요구와 대내외적 압력을 증대시킬 가능성이 크다. 특히, 우리나라를 포함해 2050 탄소중립 목표를 법제화하거나(14개국), 정책 문서화한(39개국) 국가들은 2050 탄소중립 목표와 일관된 강력한 2035년 및 2040년 목표를 설정, 그에 대응하는 실질적 이행력이 요구될 것이다.

온실가스 감축을 골자로 하는 기후변화 완화는 한 국가의 산업 경쟁력과 더 나아가 국가 경제에 밀접한 관련이 있는 이슈이지만, 현실에서는 국제 정세와 대의명분 등 정치적 이슈가 기후변화 완화 정책 및 이행에 중요하게 작용하는 요인기도 한다. 우리나라가 2021년 10월 중국, 일본에 이어 2050 탄소중립 선언의 세계적 흐름에 동참하게 된

30) 2021년 10월 11일까지 UNFCCC에 제출된 NDC만을 포함한다.



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.

IPCC 보고서 평가 결과와 더불어, 파리협정 차원의 '전지구적 이행점검(GST, Global Stocktake)' 또한 NDC 목표 달성과 진전 수준을 점검할 기회를 제공한다. '전지구적 이행점검'은 5년 주기로 이루어지며, 이 결과는 차기 NDC 수립에 피드백을 제공하게 된다. 따라서, 전지구적 이행점검과 같은 기후변화 대응 의욕 증진 메커니즘에 따라, 각국의 감축 목표 이행 수준은 주기적으로 점검되고, 목표와 노력의 적절성이 평가될 것이다.

이번 IPCC 제6차 평가보고서에서는 감축과 (경제)성장이라는 복수의 목표에 대응하기 위한 수단으로서 지속가능성을 지향하는 '발전 경로(Development path)'로의 전환(Shift)을 강조하고 있다. 현재의 발전 경로에서 감축을 가속화 하는 것만으로는 부족하며, 기후변화 대응의 장애요인이 사회의 근본적인 구조적 특성에 기인한다면, 그러한 구조의 전환, 즉 '발전 경로' 자체의 전환이 필요하다고 제안한다 (Ibid., Sec. 4.3, 4.4).³¹⁾ 이러한 과정에서 민간 부문 등 다양한 비국가 주체들의 역할과 선택은 중요하다. 이와 관련하여 IPCC 보고서는 수송, 산업, 재생에너지 도입 등 민간 부문의 감축 이니셔티브를 소개하고 그들의 감축 잠재력에 주목한다 (Ibid., Sec. 4.2.3). 향후 성공적 기후변화 완화를 위해서는, '발전 경로'의 전환과 그에 따른 시스템 전반의 변화를 동반한 감축 가속화는 불가피할 것이다. 이러한 글로벌 추세에 발맞춰 기업들은 혁신적 기술 도입과 제도적 변화에의 빠른 적응을 통해 감축과 성장 모두를 이뤘을 수 있도록 대비할 필요가 있다.

31) 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.

4.2. 전환 위험

4.2.1. 정책 및 법률 부문 위험

4.2.1.1. 강화된 온실가스 배출량 보고 의무³²⁾

기후위기로 인한 전환위험 관리를 위해, 투자자 및 자산운용사는 투자 대상 기업에게 관련 정보를 요구하기 시작하였다. 이미 앞선 섹션에서 설명된 바와 같이, 기후변화 재무정보 공시 전담협의체(TCFD)의 경우, 기업이 기후리스크 관리 목적으로 범주 1(직접배출)과 범주 2(간접배출)는 필수로, 필요시 범주 3(범주2 간접배출을 제외한 모든 간접배출) 탄소배출량에 대한 정보를 공개하는 것을 권고하였다 (IPCC 2022a, Sec. 15.3.3).³³⁾

주요 글로벌 투자자들이 투자 의사결정시 금융리스크(Financial risk) 범주에 기후리스크를 반영하는 것은 글로벌 트렌드가 되어가고 있다. 특히, 2015년 각국 금융당국과 중앙은행은 TCFD의 설립을 통해 금융·투자기관의 기후리스크 평가 및 감독 지침 개발을 착수하였다 (Ibid., Sec. 15.6.1). IPCC 보고서 내용에는 들어가 있지 않으나 투자 시장과 관련된 내용은 다음의 <표 14>에 정리되어 있다.

[표 14] 미국의 ESG 정보공개 및 단순화 법 현황

○ (미국) '21년 4월 ESG 정보공개 및 단순화 법' 하원 통과

* (The ESG Disclosure and simplification act) 기업이 ESG 측정 기준을 광범위하게 공개하고 온실가스 배출량, 에너지, 수질, 대기, 폐기물을 비롯해 산업재해율, 여성임직원 비율, 정치적 지출, CEO 급여 및 세율 등을 명시하도록 강제화

- 과거 원칙중심 공개(principles based)시에는 표준화된 규정없이 자율기준에 따라 공개했으나, 규정중심 공개(rule based)로 전환함에 따라 공개표준화가 되고, 기업 간 비교가 가능
- 모든 미국 상장사들은 동 법 최종입법시 ESG 정보의 공개의무 발생

현재 TCFD에 따라 기업이 기후위기와 관련된 경영정보(탄소배출량 등 포함)를 공개하고 있으나, 투자자 및 자산운용사

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

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

범주 1	'직접 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	'간접 배출'로서, 기업이 구매하여 소비하는 에너지(전기, 가스, 열 등)의 공급원에서 발생하는 온실가스 배출을 말한다
범주 3	범주3은 범주2를 제외한 모든 '간접 배출'을 말하며, 기업의 가치사슬에서 발생하는 모든 온실가스 배출이 포함된다. 이를 테면 원료 및 부품의 구매 시 발생하거나, 해당 기업에서 만든 제품이 소비자에게 유통되고 폐기되기까지의 모든 과정에서 발생한 온실가스 배출을 말한다

입장에서는 기업이 제공하는 동 정보가 여전히 불충분한 수준이다. 특히 녹색채권(Green Bond) 또는 보증과 관련해서는 그린워싱 방지를 위해, TCFD에 입각한 정보 평가 관리를 엄격하게 할 필요가 있다.³⁴⁾ 기후리스크 분석·평가와 정보의 투명성 간의 격차에 대한 이슈는 앞으로 해결해 나가야하는 주요 이슈이다. 이에, 국제 레벨에서, 기후정보 공개를 도모하고 동 정보의 투명성·신뢰성·정확성을 제고하기 위해 다양한 국제 지침 방법론이 개발되고 있다. 대표적으로 TCFD, 지속가능회계기준위원회(SASB),³⁵⁾ 기후공시표준위원회(CDSB)³⁶⁾ 등이 기업공시 지침을 수립하여 운영하고 있다 (Ibid., Sec. 15.6). 또한 최근에는 다양하게 난립하는 기업공시 지침들을 통합하기 위하여, 2021년 11월 국제회계기준재단(IFRS³⁷⁾재단에서 국제지속가능성기준위원회(ISSB)³⁸⁾를 설립하고 지속가능성 공시 국제표준인 'IFRS 지속가능성 공시기준'의 제정을 추진 중에 있다. IPCC 보고서 내용에는 들어가 있지 않으나 관련된 내용은 다음의 <표 15>에 정리되어 있다.

[표 15] 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) 공시할 것을 권고한 데 비해, IFRS 지속가능성 공시기준 초안에서는 범주 1, 2, 3 모두에 해당하는 온실가스 배출량 공시를 의무화했다는 점이 가장 큰 차이

국가 단위에서도 기업의 기후변화 관련 경영정보 공개를 의무화하는 유사 이니셔티브가 만들어지는 추세이다. 프랑스는 금융기관의 기후리스크 공시 의무화법을 제정한 첫 번째 국가이며,³⁹⁾ 영국 또한 국내 기업에 대해 탄소배출량 보고를 의무화하였다. 또한 EU에서는 2022년 6월 관련법이 시행됨에 따라, 유럽 내 모든 금융기관은 녹색분류체계(EU-Green Taxonomy)를 준용하여 녹색금융 정보를 의무적으로 공개해야 하며, 기업 역시 지속가능금융

34) 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).

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

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

37) 영문으로는 International Financial Reporting Standards이다.

38) 영문으로는 International Sustainability Standards Board이다.

39) 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).

공시규제(SFDR)⁴⁰와 기업 지속가능보고지침(CSRD)⁴¹을 통해 정보의 공개가 의무화된다. IPCC 보고서 내용에는 들어가 있지 않으나 관련된 내용은 다음의 <표 16>에 정리되어 있다.

[표 16] 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 지속가능보고지침(CSRD)에 기반한 제도 성격
- EU 집행위원회가 EU에서 영업활동을 하는 기업이 협력 및 납품업체들의 인권 현황과 환경오염 등을 자체 조사하여 문제가 있을 경우 해결하도록 의무화⁴²)
- 1단계로 직원 500명 초과, 매출 1억 5000만 유로 초과 등 대기업을 적용대상으로 하며, 기업은 비즈니스 모델과 경영 전략이 파리협정에서 정한 1.5℃ 이내 억제 목표준수 의무도 따라야 함
- EU 회원국은 지침 발표 후 2년 이내에 국가별로 법률 마련하여 적용 예정

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 정보공개 대응 중에 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'⁴³ 정보공개 항목을 신설하였다. 특히 CDP에서는 범주 1, 2, 3의 온실가스 배출량 및 감축계획 공개까지 요구하고 있고, 올해부터는 금융자산 배출량 공개항목이 신설될 예정이다. CDP 평가항목에는 금융자산 배출량 항목이 신설되었으나 평가점수 반영은 내년부터인 바, 내년 이후 금융기관의 금융자산 배출량 산정 및 공개가 확산될 것으로 예상되며, 이에 따라 향후 금융기관이 기업에게 탄소배출량 정보를 요구하는 사례가 발생할 것으로 전망된다.

셋째, 기업의 ESG 성과 평가기관 및 신용평가사(مود디스, S&P, 피치 등) 등에서 범주 3에 해당하는 온실가스 배출량 중 금융자산의 탄소배출량 정보공개 및 탄소중립 로드맵 공개를 요구하기 시작하여 금융기관의 금융자산 탄소배출량 산정이 본격화하는 양상이다.

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

41) Corporate Sustainability Reporting Directive: 유럽 내 기업은 유럽 지속가능성 보고기준(ESRS)에 입각하여 관련 활동을 보고해야 한다.

42) EU 지속가능성 실사 지침에서 의무화한 온실가스 관련 규제는 EU 위원회의 발의안 기준으로 대기업(1그룹)에 한해 별도의 온실가스 전략 관련 보고서를 채택(adopt)하도록 하고 있으며, 기후변화가 해당 기업에 주요 리스크로 작용하거나 주로 영향을 미치는 경우 온실가스 감축 목표를 계획에 포함하고, 계획의 이행 실적 등을 기업 경영진의 성과급에 연계하도록 하고 있음

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

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

향후에도 기후리스크에 대한 관리 필요성이 대두되고 정부 관련 정책 추진으로 금융기관의 기업 탄소배출량 정보요구는 지속 강화될 것으로 전망된다. 금융감독원은 올해 중 기후리스크 스트레스 테스트를 완료하고, 기후리스크 관리지침 고도화 및 시범사업의 실시를 고려하고 있다. 현재는 K-그린텍소노미 시범사업(4월~11월) 중으로, 내년부터 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.

4.2.1.2. 법적 송사⁴⁴⁾

기후 관련 법적 송사(climate litigation)는 다층적인 기후 거버넌스(지방, 지역, 국가, 국제)와 관련한 대상(정부, 기업, 시민사회, 개인)의 행동을 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 증가하고 있고, 이는 기후 거버넌스와 결과에 영향을 끼치고 있다. 2015년부터 적어도 37건의 기후 관련 소송이 국가를 대상으로 진행되었다. 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 추세이다. 기후소송은 주로 미국, 호주, 유럽에서 진행되고 있고, 최근에는 개도국에서도 증가하는 경향을 보인다. 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).⁴⁵⁾ 기후소송은 주로 민주주의 국가에서 더 활발하지만, 사법 개혁을 통해 중국과 같은 국가에서도 기후 소송이 늘어가는 추세이다.

대부분의 기후 소송은 시민단체가 '정부'를 대상으로 제기하고 있다. 그 중 대다수의 소송이 중앙 정부나 정부 기관이 기후 대응을 좀 더 강력하게 추진하게 하는 방법으로 활용된다. 기후소송의 대표적인 예로 Urgenda라는 시민단체가 네덜란드 정부에 제기한 소송 사례가 있다. 동 시민단체는 네덜란드 정부에 국가 온실가스 감축 목표를 40%로 상향할

44) 본 섹션의 내용은 IPCC 2022a의 제13장을 중심으로 작성되었다.

45) 호주 115건, 영국 73건, EU 58건, 개발도상국 58건이다.

것을 요구한 데 대해, 네덜란드 정부는 기존의 감축 목표(17%)를 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 네덜란드 정부가 위험한 기후변화에 대처할 법적 의무가 있다고 판단하고 2020년까지 감축 목표를 20%에서 25%로 상향하도록 주문하였다 (Ibid., Sec. 13.4.2).

‘기업’을 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 셸(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).

기후소송의 결과는 기후 거버넌스의 엄격성을 향상시키는데 영향을 준다. 기후소송은 언론, 여론, 평판 등과 함께 진행되어 소송 대상의 행동 변화를 가져올 가능성이 커진다. 기후변화 소송에 대한 종합적인 데이터베이스는 기후변화법 사빈센터(Sabin Center for Climate Change Law)에서 운영하는 ‘기후변화 소송 데이터베이스(Climaticasechart Database)’에서 찾아볼 수 있다 (Climaticasechart 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 광고(11건), 탄소크레딧(1건) 등이 관련되어 있다 (Climaticasechart 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. 이 중 기업을 대상으로 한 소송을 법 체계에 따라 구분하여 분석할 필요가 있다.

4.2.1.3. 제품과 서비스 규제⁴⁶⁾

기후변화 완화를 위해 ‘수요’ 측면을 통제하기 위해 제품과 서비스에 대한 규제가 중요하다. 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)⁴⁷⁾ 등을 통제하기 위한 규제 등의 내용이 포함되어 있다.

서비스와 관련된 완화 전략들은 회피(Avoid), 전환(Shift), 개선(Improve) 옵션으로 유형화되고, 이러한 회피·전환·개선(ASI, Avoide-Shift-Improve) 프레임은 사회문화, 인프라, 기술의 세 가지 영역에 적용된다 (IPCC 2022a, Sec. 5.1). 세 가지 전략에 해당하는 정책에 대해서 각기 살펴보도록 하겠다.

46) 본 섹션의 내용은 IPCC 2022a의 제5장을 중심으로 작성되었다

47) 반동 효과를 말하는 것으로서, 환경을 위한 행위가 오히려 환경에 악영향을 미치는 현상을 말한다.

첫째, '회피' 정책이다. 생활양식의 변화에 영향을 미치는 회피 정책은 광범위하고 다양한 부문에서 고려 및 시도될 수 있다. 대표적으로, 유효기간 라벨링 개선은 유효기간이 만료되지 않은 제품의 불필요한 처리를 줄일 수 있다. 또한 선택지 구조의 전환, 식품 라벨링, 새로운 음식에 대한 규제, 에너지 집약적 식품에 대한 마케팅 제한, 지속가능하고 건강한 식습관에 기여하는 옵션의 선택으로 유도하기 위한 세금과 보조금 등이 수요측면 완화를 위해 사용될 수 있다 (Ibid., Sec. 5.3.1).

다음으로, '수송' 부문의 회피정책으로는 전기차 또는 고효율 스마트 차량의 보급 확대를 위하여 내연기관 차량의 금지와 전기차(EV) 보급 목표 설정이 도로 수송 부문의 온실가스 감축에 기여할 수 있다. 모든 ASI 전략에서 중요한 고려사항은 의도치 않은 리바운드 효과의 잠재성이고, 이는 다양한 규제와 행태적 조치를 통하여 조심스럽게 회피되어야만 한다 (Ibid., Sec. 5.3.1). 그러나, 수송 체계 변화와 디지털화가 리바운드 효과로 이어질 수 있다. 전기를 통한 차량공유(Ride pooling)는 운송 서비스를 더욱 효율적인 수송 수단으로 전환하고 탄소집약도를 개선한다. 우버 또는 택시와 같은 차량 호출 서비스의 전주기 평가로부터 얻은 증거로, 순 배출 효과의 주요 결정요인은 평균 승객 점유율과 차량 동력원이다. 공유 자율 전기 차량이 한 명 또는 승객이 없이 계속해서 운행될 수도 있다. 또는 자율주행이 경로 탐색을 더욱 효율적·비용효과적·편리하게 이루어지면, 차량 공유가 더욱 보편화되어 심지어 총 이동거리를 상당히 증가시킬 수 있다. 자율주행 차량을 통한 차량 공유는 추가적인 여행 수요를 창출하여 혼잡도와 온실가스 배출을 증가시킬 수 있다. 운전 및 여행 비용이 감소함에 따라 차량 여행에 대한 추가적인 수요가 발생할 수 있다. 결국 빅데이터와 스마트 알고리즘으로 인해 개선된 효율성이 수송 수요의 리바운드 효과를 야기해 효율 개선 효과를 반감시킬 수 있다 (Ibid., Sec. 5.3.4).

또한, 행태 관리-비즈니스 모델-공공정책의 통합적인 접근은 차량 공유와 자율주행 전기차의 영향이 펼쳐지도록 하는데 있어 중요한 요소이다. 스마트 모빌리티에 대한 도시 거버넌스(Urban governance)는 대중교통을 우선시하고, 데이터를 지속가능한 디지털 공유자원으로 관리하고, 스마트 모빌리티의 사회환경적 리스크를 관리해 그 편익이 실현되도록 할 수 있는 잠재력을 가지고 있다. 이에 있어 에너지 사용과 온실가스에 대한 가격을 부과하는 것은 유용한 수단이다 (IPCC 2022a, Sec. 5.3.4).

한편, 화석연료 비즈니스 모델의 책임과 기후변화에 대한 보험은 기업과 비즈니스의 주요한 우려사항이다. 온실가스 배출에 대한 제한과 규제는 화석연료 기업들의 제품에 대한 수요를 제한할 것이다. 한편, 투자회수 움직임은 화석연료 관련 투자에 대한 추가적 부담을 가한다 (Ibid., Sec. 5.4.3). 화석 연료 난방의 고착화를 약화시키기 위해, 많은 국가에서 정책적인 수단을 통해 화석 연료의 사용을 규제하거나 금지하는 일이 증가하였다. 물론, 에너지 사용과 배출에 대한 회피 정책을 정부가 수립 및 적용할 때 개인 행동을 수정하고자 하는데, 이 때 정치적 민감성이 작용하는 바 이에 대한 사회적·개인적 극복 노력이 필요하다.

더 나아가, 스마트 기술, 인프라, 모범사례를 도입함으로써 온실가스 다배출 생활양식의 회피를 지원하고 복지를 개선하는 정책이 촉진된다. 여기에는 탄력적 근로조건에 대한 기업 정책뿐만 아니라 양질의 ICT 인프라 투자에 대한 규제 및 대책이 포함된다. 재택근무제도는 남성, 노인, 고학력, 고임금 근로자와 같은 특정 사회 부문에 유리할 수 있으며, 잠재적으로 노동 시장의 기존 불평등을 약화시킬 수 있다. 따라서 분배 또는 기타 지분 기반 조치가 없는 경우, 배출 감소 측면에서 잠재적 이득은 불평등 증가 비용에 의해 상쇄될 수 있다. 회피 정책 사례들이 아래 <표 17>에 정리되어 있다 (Ibid., Sec. 5.6.2).

[표 17] 회피(Avoid)를 촉진하기 위한 정책 사례

정책 목적	정책 수단
이동거리 감축	<ul style="list-style-type: none"> • 자동차 감축 촉진과 이동거리 단축을 위한 통합적 도시계획 • 냉난방 수요를 포함한 에너지 수요를 줄이기 위한 건물 개조(retrofit)
음식물 쓰레기 감소	<ul style="list-style-type: none"> • 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	<ul style="list-style-type: none"> • 컴팩트한 도시 설계 • 1인당 면적이 넓은 주거용 부동산에 대한 과세
냉난방 및 조명수요 감축	<ul style="list-style-type: none"> • 자연광과 조화를 이루는 건물 설계 • 표준온도 설정
공유 경제의 활성화	<ul style="list-style-type: none"> • 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 인프라에 대한 저탄소 재료를 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 18>에 정리되어 있다 (Ibid., Sec. 5.6.2).

[표 18] 전환(Shift)을 촉진하기 위한 정책 사례

정책 목적	정책 수단
도보 확대 자동차 사용 저감 기차이용 촉진	<ul style="list-style-type: none"> • 혼잡요금 부과, 자전거도로 정비 • 마이크로 모빌리티 촉진을 위한 도시설계 • 통합 교통시스템 인프라 구축
다가구 주택 확산	<ul style="list-style-type: none"> • 단독주택지구 촉진 정책 및 토지이용 규제 완화
육류 대체 단백질로의 전환	<ul style="list-style-type: none"> • 전통적인 육류에 대한 과세
자원효율적인 제품설계 및 포장	<ul style="list-style-type: none"> • 제품별 탄소 표준의 명확화 및 구현

출처: IPCC(2022a)의 Table 5.6 인용

셋째, '개선(Improve)' 정책이다. 개선 정책은 서비스의 기술적인 성능 향상과 효율성에 초점을 맞춘다. 대표적으로, 먼저 이동 서비스의 경우 개선 정책은 차량, 편안함, 연료, 수송 시스템 운영과 관리 기술의 개선에 초점을 맞춘다. 건물 부문에서는 난방 시스템의 효율성 개선과 기존 건물 설비 개량을 위한 정책들을 포함하고 있다. 요리 장비의 경우, 기존에 LPG를 사용하는 가전제품을 전력을 사용하는 요리 기구로 개선하도록 유도하고, 또한 기존 요리기구를 가구들이 전력 사용 요리기구로 바꾸도록 보조금을 지원하는 정책이 있을 수 있다. 개선 옵션의 촉진을 위한 정책 사례들이 아래 <표 19>에 정리되어 있다 (Ibid., Sec. 5.6.2).

[표 19] 개선(Improve)을 촉진하기 위한 정책 사례

정책 목적	정책 수단
경차, 수소차, 전기차의 사용	<ul style="list-style-type: none"> 전기자동차 사용에 대한 금전적 인센티브 확대 및 충전인프라 정비 중량, CO₂ 및 NOx 배출량을 종합한 자동차 구매세 도입
주거 설계에 저탄소 자원의 사용	<ul style="list-style-type: none"> 건설 및 철거 폐기물의 재활용 폐자재 재활용 활성화를 위한 관련 기업 인센티브 제공
저탄소 에너지 사용 확대	<ul style="list-style-type: none"> 재생에너지에 대한 육성정책(FIT) 및 경매제도 확대
요리 장비의 효율성 증대	<ul style="list-style-type: none"> 등유 또는 LPG에서 전력사용 기구로 보조금 전환 지원 장작, 석탄 및 등유 사용으로 인한 위험성 교육
LED 램프로의 전환	<ul style="list-style-type: none"> 보조금이나 지원책을 활용한 LED 조명기구로의 전환 유도
태양열 온수 공급	<ul style="list-style-type: none"> 태양열을 활용한 온수 공급을 위한 보조금 지급

출처: IPCC(2022a)의 Table 5.7 인용

제품과 서비스 규제를 위한 정책 패키지의 설계는 저탄소 전환을 지원하는 정책뿐만 아니라 기존의 탄소 집약적인 체제에 도전하는 정책도 고려해야 한다. 이는 정책 '승자'뿐만 아니라 '패자'를 발생시킨다. 승자는 저탄소 혁신자와 기업가들을 포함하고, 잠재적 패자는 현상 유지에 기득권을 가진 현직자들을 포함한다. 저탄소 정책 패키지는 기후 혜택을 넘어 건강 혜택, 연료 빈곤 감소 및 환경 공동 혜택과 같은 비기후 혜택을 포함함으로써 이익을 얻을 수 있다. 개도국의 농촌 지역에서 태양광을 이용한 분산형 에너지 서비스의 활용은 성공적인 정책으로 간주되는데 그 이유는 이 정책이 수입 관세, 연구개발 인센티브, 일자리 창출 프로그램, 보건 및 교육 서비스 확대 정책 및 전략을 포함하는 여러 정책의 수렴과 연결되기 때문이다 (Ibid., Sec. 5.6.4).

유럽의 에너지 효율적인 조명 전환은 정책 패키지 개발을 이끈 정책 연합 형성의 좋은 사례를 나타낸다. 1990년대 들어 유럽의 에너지 효율에 대한 관심이 높아지자 정책 입안자들은 자발적인 조치를 통해 에너지 절약 램프 확산을 촉진하고자 하였다. 그러나 정책은 제한된 채택만을 촉진했다. 여전히 주요 소형 형광 전구(CFL)⁴⁸와 발광다이오드

48) 영문명은 Compact Fluorescent Light이다.

전구(LED)⁴⁹⁾ 기술에 대한 다국적 기업의 혁신은 계속되었다. 기후변화에 대한 정치적 관심의 증가와 환경 NGO(예: WWF, 그린피스)의 비판은 백열 전구의 비효율성에 대한 인식을 강화시켰고, 이는 백열전구를 에너지 낭비와 연관시키는 부정적인 사회 문화적 프레임으로 이어졌다. 조명 산업, NGO, 회원국의 압력으로 인해 유럽연합 집행위원회는 2009년 80W 이상의 백열전구 금지령을 도입했고, 이후 몇 년 동안 저전력 금지령으로 발전해갔다. 백열전구 사용 금지는 처음에는 주로 CFL 확산을 증가시켰지만 LED 보급 확대를 자극하기도 했다. LED 가격은 2008년과 2012년 사이에 규모 경제, LED 칩 기술의 표준화 및 상품화, 그리고 개선된 제조 기술로 인해 85% 이상 빠르게 하락했고, 소비자의 기호에 맞추기 위한 급속한 발전으로 인해 LED에 대한 인식이 변경되었다. 2016년과 2018년 유럽에서는 주거용 조명을 위한 에너지 소비를 줄이기 위해 방향성 및 비방향성 할로겐 전구에 대한 금지 조치가 이루어졌고, 이는 LED 전환을 더욱 가속화시켰다 (Ibid., Sec. 5.6.4).

4.2.1.4. 온실가스 배출 가격 상승⁵⁰⁾

온실가스 감축을 위한 경제적 수단은 재정적 인센티브를 제공하고 그 중에서도 시장 및 가격 기반 수단을 포함하도록 구성된다 (Ibid., Footnote 76). 여기서 말하는 가격은 온실가스 배출 가격이며, 이는 탄소가격(Carbon Pricing)이라고도 불린다. 이는 배출권거래제도 등 규제적 감축 제도와 ESG·탄소중립 등과 연계된 자발적 감축 제도 등에서 온실가스 배출량에 가격을 부여하고 시장경제 메카니즘을 연계하는 것을 의미한다. 탄소가격은 가장 유연하고 비용효과적으로 온실가스 감축을 유도하기 위한 경제적 메카니즘이다 (IPCC 2022b, E.4.1). 예를 들어, 배출권거래제도에서는 탄소시장에서 온실가스 감축비용과 할당 배출권 구매 비용 간의 비용을 비교하고 비용효과성 측면에서의 온실가스 감축을 유도한다. 또한 투자 측면에서 감축 투자비용과 배출권 가격 간의 차이를 통해서 온실가스 감축투자를 유도하고 활성화한다.

탄소가격 정책(탄소세 및 배출권거래제도)은 온실가스 감축 기술 지원 수단과 함께 전 세계적으로 널리 사용되는 기후 정책 수단 중 하나이다. 2020년 5월 현재, 31개의 배출권 거래 제도(ETS)와 30개의 탄소세 제도로 구성된 61개의 탄소 가격 결정 제도가 시행 중이거나 시행 예정 중에 있으며, 이는 연간 세계 온실가스 배출량의 약 22%인 12GtCO₂eq를 포함한다. 실제 탄소 가격 책정의 성과는 국가와 부문에 따라 다르며, 정책 환경에 따라 달라진다. 2021년 4월 1일 기준 CO₂ 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 창출한다. 탄소가격 정책의 주요 이점은 탄소집약도를 낮추거나 비용효과적으로 탄소감축 비용을 절감한다는 것이다. 탄소세의 경우, 제품의 탄소집약도와 배출권거래제도의 배출허용량 한도를 충족시키기 위한 비용효과적 수단으로 활용될 수 있다 (IPCC 2022a,

49) 영문명은 Light Emitting Diode이다.

50) 본 섹션의 내용은 IPCC(2022a)의 2장, 5장, 6장, 11장, 13장, 14장, 그리고 15장, IPCC(2022b)의 E.4.1, Footnote 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 시범적인 배출권거래제를 통해 배출량 감소 및 에너지 절약을 달성했다 (Ibid., Sec. 15.6). 또한 EU 배출권거래제는 독일의 전기 배출량과 프랑스의 제조업에 각각 영향을 미쳤다. 탄소 가격이 높고 배출허용량을 무상할당하지 않는다면 배출량 감소는 증가할 수 있다 (Ibid., Sec. 6.3). 또한 탄소 가격이 있는 지역과 없는 지역의 배출량 추세에 대한 통계 연구를 통해 탄소가격제도의 상당한 영향력이 발견되었다. 특정 정책, 특히 EU 배출권거래제와 브리티시 컬럼비아 탄소세에 대한 수많은 평가의 대부분은 배출량을 줄였다는 결론을 내렸다. 경제 이론은 탄소 가격 정책이 배출량을 줄이는 데 있어 규제나 보조금보다 전반적으로 더 비용 효과적이라고 시사한다 (Ibid., Sec. 13.6). 탄소 가격과 같은 수단을 포함한 광범위한 기후 정책은 온실가스 배출 감소에 점점 더 많은 역할을 한다. 문헌은 대체로 일치하지만, 온실가스 배출량 감소율의 크기는 사용된 자료와 방법론, 국가 및 분야에 따라 다르다. 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)⁵¹)과 일치하지 않는 보조금으로 간주될 수 있다 (Ibid., Sec. 14.5).

탄소 가격은 또한 급진적인 기술 변화나 사회·기술 시스템의 변화에 대한 투자가 아닌 주로 점진적인 저비용 옵션을 촉진하는 것과 관련이 있다 (Ibid., Sec. 11.2). 배출권거래제와 탄소세의 적용 범위는 전 세계 CO₂ 배출량의 20% 이상으로 증가했지만, 적용 범위와 가격 모두 현격한 온실가스 배출 감소를 위해서는 아직 부족하다. 온실가스 감축을 위한 시장 메커니즘 기반 설계는 효율적일 뿐만 아니라 분배 목표의 균형을 맞추고 사회적 수용성이 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 수도 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 CO₂ 배출량을 줄이기 위한 강력하고 효율적인 인센티브를 제공한다 (Ibid., Sec. 15.6).

51) 영문명은 Agreement on Subsidies and Countervailing Measures이다.

4.2.2. 기술 위험⁵²⁾

기후변화 대응에 있어서 기술의 역할을 매우 중요하다. 기후변화 대응 시 경제활동을 축소하거나 산업구조를 변경하는 감축행위보다, 기존의 경제 및 산업 활동과 구조를 유지하면서 새로운 기후기술을 도입하여 기후변화에 대응하는 것이 보다 비용효과적인 행동양식일 수 있기 때문이다 (Glachant and Dechezleprêtre 2017). 2000년에 발간된 IPCC 기술이전의 방법론 및 기술 이슈에 관한 특별보고서에서는 “유엔기후변화협약 하의 궁극적인 목표를 달성하기 위해서는 기술혁신과 기술의 신속한 확산 및 이행이 필요하다”라고 명시되어 있다 (IPCC 2000). 이번 IPCC 제6차 평가보고서에서는 이러한 기술의 역할이 보다 강조되었으며, ‘혁신, 기술 개발 및 이전’이라는 별도의 챕터가 마련되었다.

기술은 기업의 생산성 증대에 주요한 동인이면서, 기후변화 대응 감축 노력에 있어서 기술이전 및 확산을 통해 전환적 변화를 도모할 수 있는 매우 중요한 수단이다 (IPCC 2022a, Sec. 14.2.3). 물론, 기술이 이러한 장점만 갖는 것은 아니다. 상품·서비스의 소비를 가속화하여 오히려 배출이 늘어나는 리바운드 효과가 발생한다는 부정적 관점도 있고,⁵³⁾ 또한 특정 기술을 도입할 경우 지속가능발전을 저해하기도 하는 단점이 발생하기도 한다.⁵⁴⁾ 따라서, 기술 도입에 있어서, 지속가능발전을 저해하지 않는 방식을 고려하는 것이 매우 중요하다. 기술 변화는 사회 및 경제적 시스템 안에서 이루어지기 때문에, 이러한 기술과 사회·경제 간의 상호관계를 이해하면서 기술혁신⁵⁵⁾을 도모하고 신기술을 도입 및 활용하는 것이 중요하다 (Ibid., Sec. 16.6).

신기술(완화 기술 개발 옵션)은 크게 6가지로 유형화되는데, i) 물질 수요, ii) 물질 효율성, iii) 순환경제, iv) 에너지 효율성, v) 전기화 및 연료전환, vi) 탄소포집활용저장(CCUS) 및 배출탄소관리의 여섯 가지로 정리해볼 수 있다 (Ibid., Sec. 11.3). 기업은 신기술을 통해 제품·서비스·사업모델을 개선하여 기후변화 완화에 기여하는 기술혁신을 일으킬 수 있다. 기술혁신을 사회·경제·환경적 영역에 영향을 미치는 정도에 따라 구분해보자면 <그림 5>와 같다. 전통적인 기술 혁신은 경제·재무적 성과를 극대화하는 데 초점이 두어졌으며, 환경 및 사회적 고려는 부차적인 것으로 취급되었다. 경제·재무적 측면에 치우친 기술혁신에 대한 비판이 대두되면서, 환경적 혁신과 사회적 혁신이 등장하게 되었다. 환경적 혁신은 기업의 제품 및 서비스가 환경에 미치는 영향을 최소화하는 것을 목표로 하나, 많은 경우 사회적 문제에 무관심하고 때로는 기업의 경제적 성과마저 희생시키기도 한다. 반면, 사회적 혁신은 사회의 복지에 기여하는 것을 최우선의 목표로 하나 환경 및 경제적 성과를 희생시키기도 한다. 이러한 편중된 혁신의 형태는 적절하지 않으며 경제적 성과를 희생할 경우 지속가능하지도 않다. 따라서 기업은 경제-환경-사회 모든 영역에서 균형잡힌 접근을 통해 ‘지속가능한 기술혁신’을 이루어야 한다 (Ibid., Sec. 16.6.1).

52) 본 섹션의 내용은 IPCC 2022a의 3장, 11장, 14장, 그리고 16장을 중심으로 작성되었다.

53) 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).

54) 예를 들어, 바이오매스의 대규모 생산은 식량 작물 생산과 토지 사용 경쟁을 심화시키고, 또한 이는 빈곤 근절, 깨끗한 물 등에 부정적인 영향을 미칠 수 있다.

55) 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 5] 경제-환경-사회 영역별 강조 정도에 따른 기술 혁신의 분포



출처: IPCC(2022a)의 Figure 16.4를 바탕으로 저자 재구성

이러한 지속가능한 기술혁신을 위해서는, 해당 기술의 기술주기(technology cycle) 상의 단계를 파악하고, 단계별로 정부정책들을 활용하고, 특정 단계에서 다음 단계로 기술전환 시 고려할 위험 요소를 파악하여 대응해야 한다. 먼저, 기술주기 상의 단계는 i) 등장기, ii) 조기도입기, iii) 확산기, iv) 안정기의 네 단계로 구분된다 (Ibid., Cross-Chapter Box 12).⁵⁶⁾ 각 단계와 해당하는 정부정책들을 살펴보면, 첫째 단계는 신기술 등장기이다. 이 단계에서 연구개발 및 실증(RD&D, research, development and demonstration)이 이루어지고, 시행착오를 거치며 신기술이 등장한다. 기업은 연구비 지원 등의 공공정책을 적극적으로 활용하게 된다. 둘째 단계는 신기술 조기도입기이다. 이 단계에서는 제품설계와 생산공정에서 점진적인 개선이 이루어진다. 시장에 신기술이 등장하였으나 아직 주류시장에 파급을 일으킬 정도는 아니므로, 신기술 도입 기업이 틈새시장(주류시장과 동떨어진 시장)을 중심으로 성장하기 시작하고, 경쟁사 대비 절감된 비용과 높은 성능을 바탕으로 서서히 우위를 점하면서 신기술에 대한 우려와 불확실성 역시 점차 해소되게 된다. 신기술의 조기도입을 위해 기업은 차액지원제도(FIT)⁵⁷⁾나 시장 할당제, 예를 들면 신재생에너지 공급의무화제도(RPS) 등,⁵⁸⁾ 정부조달 제도 활용 등을 고려할 수 있다. 셋째단계는 확산기이다. 신기술의 확산속도가 빨라지며 틈새기술이 주류기술로 인정받는 시기이다. 이 시기에 사회적 전환이 수반되는데, 인프라, 공급망, 사용자 행동(예: 스마트폰을 활용한 지불 방법), 제도 등이 신기술의 확산과 함께 변화된다. 따라서 기업은 이러한 사회적 전환에 신속한 적응이 필요하다. 넷째 단계는 기술

56) 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.

57) 영문명은 feed-in tariffs이다.

58) 영문명은 renewable portfolio standards이다.

전환 안정기다. 신기술과 이를 위한 시스템 및 행태가 표준으로 인정받는 시기이다. 이때 신기술 기업보다 퇴출되는 기존 기술 관련 기업에 대한 관리가 중요해지는데, 퇴출 기업은 정책입안자와의 긴밀한 협력을 통해 퇴출로 인한 부정적 효과를 최소화하여야 한다.

다음으로, 기술 주기 상에서 특정 단계에서 다음 단계로 전환할 때 발생하는 위험요소를 살펴보면, 먼저, 등장기에서 조기도입기로 이동 시 발생하는 위험요소는 신기술에 대한 높은 투자비용과 불확실성이다. 이 단계에서는 다양한 완화기술 옵션들이 연구되지만, 수많은 기술들이 높은 투자비용으로 인해 무산된다. 또한 기술의 형태에 따라 신기술에 대한 학습 속도에서 차이를 보이는데, 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.⁵⁹⁾ 이러한 불확실한 상황을 고려하여 기업은 신기술 도입 여부 및 시기를 결정하여야 한다.

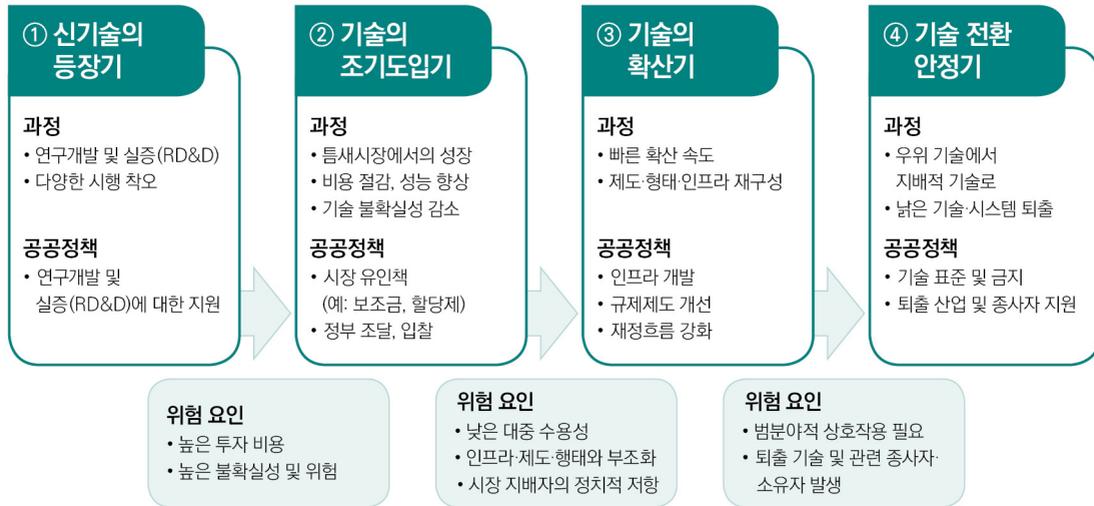
다음으로, 조기도입기에서 확산기로 가는 과정에서는 기존 시장을 기존에 점유하는 기술 관련 이해관계자들이 신기술에 대해 저항하는 위험이 있고, 또한 신기술과 기존 인프라·제도·행태 간의 부조화의 위험이 있다. 이 단계에서는 정부 정책이 신기술에 대해 직·간접적으로 재정지원을 해주던 것에서 기존 기술 및 관련 이해관계자들의 저항에도 신기술이 지속적으로 확산될 수 있게 하는 제도적 지원으로 옮겨가게 된다.⁶⁰⁾ 이에, 기업은 시장의 저항과 새롭게 변화하는 정책 기조에 빠르게 대응하여야 도태되지 않고 경쟁력을 갖출 수 있다.

마지막으로, 확산기에서 안정기로 넘어갈 때에는, 신기술 기업뿐만 아니라 전체 공급망, 전력 및 열 공급 부문, 수송 부문 및 시장의 최종 소비자 등 다양한 이해관계자들과의 협력이 있어야 신기술이 안정적으로 자리잡을 수 있기 때문에 범분야적 협력이 필요하며, 이를 위한 행위자 노력, 정책, 제도의 존재 여부가 핵심이다. 이러한 내용을 정리하면 <그림 6>과 같다.

59) 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).

60) 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.

[그림 6] 기술 전환 주기별 과정과 전환위험



출처: IPCC (2022a)의 Cross-Chapter Box 12, Figure 1을 바탕으로 저자 재구성

앞서 다룬 신기술 도입을 통한 지속가능한 혁신이 중요하지만, 경우에 따라서는 기존 자산을 조기 폐쇄하는 것이 새로운 온실가스 무배출 기술을 개발하여 기존 시설에 도입하는 것보다 더 경제적일 수도 있다 (Ibid., Sec. 11.5.1). 장기적으로 사회 전반에 대해서는 2°C 감축경로 상에서 기후변화 대응에 대한 경제적 혜택이 비용을 상회하는 것으로 분석되나 (Ibid., Sec. 3.6.2), 개별 기업의 기술 개발 및 도입 측면에서는 상반되는 결과가 나올 수 있으므로 기업 상황에 특화된 비용-편익 분석(CBA, cost-benefit analysis)이 의사결정에 필요하다.

다음으로, 기후변화 완화와 관련한 기술에 대해서 이번 IPCC 제6차 평가보고서에서 다루고 있는 내용을 살펴해보도록 하겠다. 우리나라 과학기술정보통신부는 2021년 9월에 ‘탄소중립 기술혁신 추진전략’의 일환으로 ‘탄소중립 10대 핵심기술’을 발표하였다 (과기정통부 2021, pp. 40-44). 여기에는 ①태양광·풍력, ②수소, ③바이오에너지, ④철강·시멘트, ⑤석유화학, ⑥산업공정 고도화, ⑦수송효율, ⑧건물효율, ⑨디지털화, ⑩CCUS가 포함된다. 이러한 기술들은 IPCC 제6차 평가보고서 제3실무그룹(완화) 보고서에서도 중요한 완화 수단으로 다루어진다. 이에, 10대 탄소중립 기술별로, IPCC 제6차 평가보고서에 포함된 내용들을 다음의 <표 20>과 같이 정리하였다. 좀 더 구체적인 사항은 동 보고서의 ‘부록 3’에서 참고할 수 있다.

[표 20] IPCC 6차 평가보고서 제3실무그룹 보고서 중 탄소중립 10대 핵심기술 관련 내용

구분	기술	IPCC 제3실무그룹 보고서 중 기술별 관련 내용
에너지 전환	태양광·풍력	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 풍력 발전 기술은 범분야적으로 활용이 가능한 저탄소 에너지 기술로 (Ch.12), 가격 경쟁력이 확보 되었으나 (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 증대 하고 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	<ul style="list-style-type: none"> 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)
산업 저탄소화	바이오 에너지	<ul style="list-style-type: none"> 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 CO₂제로/네거티브를 위한 급전(dispatchable) 에너지 원으로 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)
	철강·시멘트	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 철강, 화학, 시멘트 등 에너지 집약 산업에서의 기술(특히 BAT) 적용을 통해 에너지 효율성을 향상 시키는 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)

구분	기술	IPCC 제3실무그룹 보고서 중 기술별 관련 내용
에너지 효율	수송효율	<ul style="list-style-type: none"> • 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 개선 및 대체연료(천연가스, 바이오 연료 등) 기술을 통해 기존 기술이 EV 등의 신기술과 양립 가능함
	건물효율	<ul style="list-style-type: none"> • 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	<ul style="list-style-type: none"> • 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	<ul style="list-style-type: none"> • 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) • CO₂ 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

4.2.3. 시장 위험

4.2.3.1. 시장 신호의 불확실성⁶¹⁾

시장 신호의 불확실성이란, 에너지 시스템이 저탄소(2050년까지 1.5°C 혹은 2°C 온도 상승 달성)에 필수적인 저탄소 기술이 시장에 진입하지 못할 가능성을 의미한다. 1.5°C 온도제한 목표 달성을 위해서는 2050년까지 에너지 부문의 순CO₂ 배출량을 87~97%(2°C 달성은 60~79%), 2030년까지 순CO₂ 배출량을 35~51% 감축해야 하며, 발전부문의 순CO₂ 배출량은 2045~2055년(2°C는 2050~2080년)에 순무배출에 이르러야 한다 (IPCC 2022a, Sec. 6.7). 순무배출 달성 전략으로는 CO₂ 순무배출의 전력 생산, 에너지 소비의 전기화, 화석연료 소비의 대폭적인 감소, 전기화가 어려운 부문에서 대체연료(수소, 바이오에너지, 암모니아 등) 사용, 에너지 효율 개선, 지역과 부문간 에너지 시스템 통합, 잔존 배출량을 상쇄할 CO₂ 제거 기술(DACCS, BECCS) 등이 있다 (Ibid., Sec. 6.6). 이를 구체적으로 살펴보면 다음과 같다.

61) 본 섹션의 내용은 IPCC 2022a의 제6장을 중심으로 작성되었다.

먼저, 석탄의 사용에 대해서는 지속적 사용 가능성, 고착효과, 좌초자산에 대한 불확실성이 존재한다 (Ibid., Sec. 6.3.4). 현 석탄발전소는 1.5°C 달성을 위해서는 운영된 지 20년 만에, 2°C 달성을 위해서는 35년 만에 폐쇄해야 하는데, 중국과 인도 및 아시아(베트남, 튀르키예, 방글라데시)에서 석탄 사용이 증가하고 있어 좌초자산 증가와 연간 500~700GtCO₂의 고착효과(lock-in effect) 리스크가 발생한다. 2°C 목표 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 부문의 대체연료로 사용될 수 있다. 그러나 해결해야 할 과제는 비용 효과적인 저탄소 수소 생산, 수소 관련 인프라 비용, 관로(linepack) 관리, 수소 순도 유지, 수소 누출 최소화, 최종 소비 부문 기기의 적응, 수소에너지 운반과 저장에 따른 화재, 독성, 안전 저장과 같은 안전 이슈 등이다. 수소는 대규모의 비용효과적으로 저장하기 위한 설비가 필요하다. 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(NH₃, 질량으로 17%의 수소 포함)가 거론되고 있다 (Ibid., Sec. 6.4.5).⁶²⁾

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 변동성있는 재생에너지기술(태양광, 풍력), 급전 가능한 재생 에너지기술(바이오매스, 수력), 급전 가능한 저탄소 기술(원자력, CCS를 장착한 화력발전), 에너지 저장설비, 탄소감축기술(BECCS, DAC), 수요관리 등의 조합으로서, 상대적인 비용, 시스템 편익, 지역적인 자원 부존량, 인프라 이용 가능성, 지역적인 통합과 교역, 공편익, 사회적 선호도, 정책적 우선순위에 의해 좌우될 전망이다 (Ibid., Sec. 6.6).

소비 부문의 전기화를 달성하기 위해서는 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.

62) 대용량 수소 저장을 위해 언급되는 기술 중 염광 저장은 지하 깊은 곳의 소금층이 높은 압력을 견디며 누출 우려도 적다는 점을 활용하여 지하 소금층에 구멍을 뚫고 수소를 고압으로 저장하는 방법이다. 그러나, 염광저장은 대규모 실증이 충분히 이루어지지 않았고, 지하 소금층 존재 여부 등에 대한 불확실성이 존재한다. 또한 수소화물 형태로 수소를 저장하는 것은 수소와 다른 원소를 화학적으로 반응시켜 저장에 용이한 화합물 형태로 보관하기 위한 방법이나, 암모니아를 제외한 다른 수소화물 형태는 아직 충분히 연구되지 않았고 비용이 높아 불확실성이 높다.

직접 전기화(direct electrification)는 전기자동차, 히트펌프, 전기 보일러 및 전기로 등과 같은 기술을 통해 이루어지며 간접적인 전기화에 비해 효율이 높은 수준이다. 간접적 전기화는 전기에 기초한 수소와 합성연료를 통해 이루어지며 이들 자원이 풍부한 국가로부터 에너지를 수입할 수 있는 장점이 있다. 직접 전기화는 수요부문의 무탄소 전략이며, 간접 전기화는 공급부문의 저탄소 전략이다.

수소나 바이오연료와 같은 대체연료는 전기화나 저탄소화가 어려운 장거리 화물운송, 항공, 장거리 해상운송, 열차, 트럭, 시멘트 및 철강 공정배출, 고온의 열 소비처에 사용될 수 있다.

관건은 이러한 비용이 화석연료에 비해 낮아야 한다는 점인데, 여기에 적용될 기술들은 비용이 높고 기술개발 초기단계이다 (Ibid., Sec. 6.6). 액체 바이오연료(옥수수 및 사탕수수에서 생산되는 에탄올, 씨앗과 폐유에서 생산되는 바이오디젤)는 현재 세계 수송용 연료 소비량의 4%를 담당하고 있으며, 무탄소화가 어려운 분야에 사용될 수 있으나 비용, 공급량 확대, 생애주기의 온실가스 배출량 등의 리스크가 존재한다. 이를 해결하기 위해서는 나무, 농업부산물, 해조류(algae), 폐기물 등으로부터 바이오연료를 생산할 수 있는 기술개발이 필요하다. 합성탄화수소(synthetic hydrocarbon) 사용에는 비용이 문제인데, 천연가스 개질수소의 생산비용은 \$1.3~1.5/kgH₂인데 반해, 수전해수소의 생산 비용은 \$5.5/kg(75% 효율, 전기비용은 \$0.07/kWh 가정)로 높은 수준이어서 비용을 60~80% 감축시키는 연구가 진행 중이다. 물과 태양광으로부터 바로 수소를 생산하는 기술은 초기단계이며, 수소생산효율이 높은 기술은 비용과 이용률, 수명연장이 필요하다. DAC의 비용을 \$100/tCO₂ 이하로 낮출 필요가 있다.

수요측 에너지 효율개선과 에너지 소비감소 전략은 유연성이 있고 비용 효과적이며 대규모 확대가 가능한 전략이다 (Ibid., Sec. 6.6). 도로교통 부문의 에너지 효율 개선은 현재의 액체연료에서 전기화와 수소로 전환 이외에, 자동화(vehicle automation), 온라인 쇼핑의 무탄소 자동차 운행, 승용차의 대중교통 전환, 2륜차 및 3륜차의 무탄소화 달성 등을 들 수 있다. 건물부문은 건축자재 개선, 다가구 주거, 비효율적인 건물의 조기 퇴출, 소형 주거 면적, 에너지 사용(난방, 냉방, 조명, 급탕) 최적화, ICT 기술 활용, 행태변화 이외에 무탄소 전력이나 무탄소 수소 사용도 필요하다. 산업부문은 철강산업의 전기로와 수소사용, 재사용 재료 사용, 단열조치를 통한 열사용의 효율 개선, 히트펌프용 폐열 사용, 고효율 센서 사용, 모니터링, 시각화, 통신기술 활용이 필요하다.

에너지 시스템 통합 접근법은 폐전력, 연료, 열에너지 등 모든 에너지원에 걸쳐 계획과 운영을 통합하여, 자원을 공유하고, 자본집약적인 자산의 이용율을 높이며, 자원의 지리적 다양성을 활용하고, 수요를 완만하게 유지함으로써, 비용을 줄이고 신뢰도를 향상시키며 환경부담을 최소화할 수 있다 (Ibid., Sec. 6.6). 에너지 흐름에서는 생산과 수송과 저장 및 소비를 연결할 수 있다. 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 5~12GtCO₂로서, 온실가스 감축 수단이라기 보다는 무탄소화가 어려운 부문의 CO₂를 상쇄 및 관리하는 수단이다 (Ibid., Sec. 6.6). 바이오에너지-이산화탄소포집저장(BECCS) 기술은 정제소의 CO₂ 포집비용이 \$25/tCO₂의 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 CO₂를 사용하여 저탄소 메탄올과 기타 연료를 생산할 수 있다.

저탄소 전환에 필요한 투자 규모는, 1.5°C 상상을 달성하기 위해서는 에너지 공급부문에 대한 연간 투자가 현재의 \$1.8조/년에서 2030년에는 \$2~3조, 2050년에는 \$2.5~4조로 증대되어야 하며, 2°C 상상을 달성하기 위해서는

2030년에 \$1.5~2.5조, 2050년에는 \$2.5~3.5조에 이르러야 한다 (Ibid., Sec. 6.7.2). 1.5°C(2°C) 상승을 위해서는 2030년에 화석연료 상류부문(upstream)⁶³⁾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.

저탄소 전환에 필요한 정책이나 거버넌스가 충분하게 이행되지 못할 불확실성이 존재한다. 많은 국가가 에너지 및 기후변화 정책목표를 달성하기 위해 보완적인 수단을 포함한 정책혼합(policy mix)을 채택하고 있는데, 구상(prototype) 및 시범단계의 기술들, 연구 보조 및 시범 프로젝트가 매우 중요하며, 현재의 기술들은 성숙된 기술로 대체하거나 조기 퇴출하는 반면, 조기에 기술을 채택하거나 인프라를 개발하며 시장을 강화하는 것이 필요하다 (Ibid., Sec. 6.7.5).

저탄소 전환에 필요한 국민들의 행태변화와 사회적 통합에 대한 불확실성이 존재한다. 감축행동에 많은 비용이 소요되는 경우에는 재정적인 인센티브가 감축행동을 가능하게 해줄 것이다. 에너지 사용에 대한 환류(feedback)는 가정 부문에서 에너지 절약 행태를 촉진시킬 수 있고, 다른 사람이 생각하거나 행동하는 것을 공유하면 감축행동 촉진에 유익하다 (Ibid., Sec. 6.7.6).

4.2.3.2. 국제 에너지가격 동향 및 전망⁶⁴⁾

글로벌 전통 에너지의 공급 여력은 2020년을 지나며 크게 감소하였다. 코로나19 팬데믹으로 에너지수 요가 크게 감소한 가운데, 세계 주요국들의 앞다툼 탄소중립 추진 선언은 전통 에너지에 대한 글로벌 투자와 신규 개발을 크게 위축시켰기 때문이다. 그러나 2020년 말부터 세계 경제활동이 차츰 재개되는 가운데 북반구에 유난히 추운 겨울까지 겹치자 글로벌 에너지 수요는 다시 빠르게 증가하였다. 2021년 들어 공급이 수요를 따라가지 못하자 시장교란과 가격 상승 현상이 시작되었고 2022년 2월 러시아가 우크라이나를 침공함에 따라 국제 에너지 시장의 불안정성은 극대화되었다. 2020년 연평균 \$39.3/배럴에 불과했던 국제 유가(WTI 기준)는 개전 직후 \$100/배럴을 돌파한 이래 현재 여전히 고공 행진중이다.⁶⁵⁾ 러시아 의존도가 높은 유럽의 천연가스 가격은 2021년 1분기에 \$6.5/MMBtu⁶⁶⁾(TTF⁶⁷⁾ 가격기준) 수준이었으나 전쟁 직후 \$72.2/MMBtu까지 열배 이상 치솟기도 하였다 (Patronet 2022). 천연가스와 석유의 가격이 급등하자 글로벌 에너지시스템에서 퇴출 1순위이던 석탄의 수요도 증가하며 2021년 \$138.1/톤 수준이던

63) 화석연료 생산은 상류부문(upstream)과 하류부문(downstream)으로 구분된다. 상류부문은 화석연료를 탐색·시추·추출하는 것을 의미하며, 하류부문은 추출한 화석연료를 정제하여 유통하는 것을 의미한다.

64) 본 섹션의 내용은 IPCC 보고서가 아닌 최근 다른 문헌에 기반해서 작성되었다.

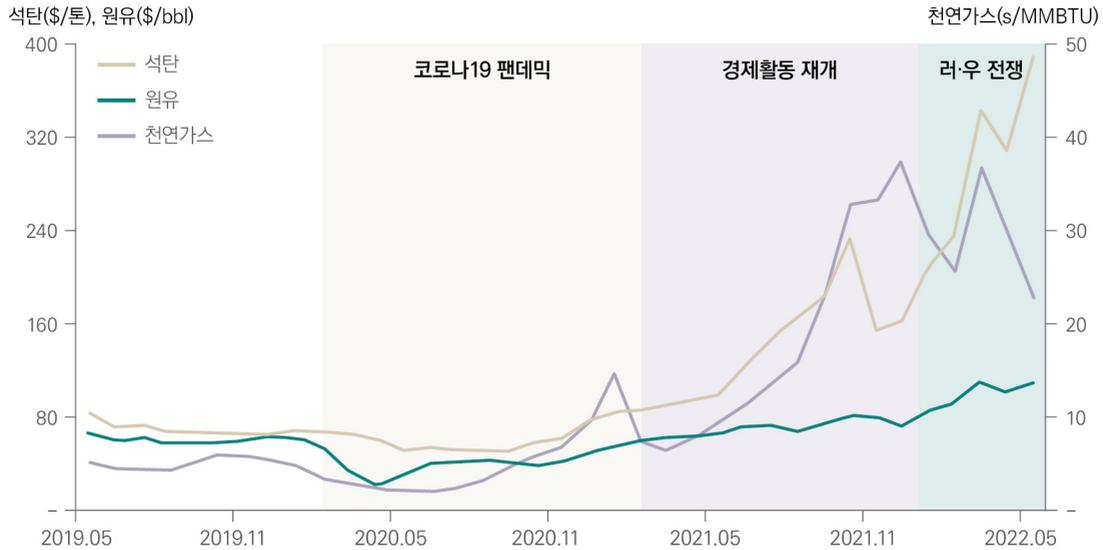
65) WTI란 Western Texas Intermediate로서, 주로 미국 텍사스주 서부와 뉴멕시코주 동남부에서 생산되는 저유황 경질원유를 말한다. 국제유가는 WTI와 함께 유럽 북해산 브렌트유, 중동산 두바이유의 가격을 지표로 한다.

66) Million Metric British Thermal Unit의 약어로서 25만 kcal에 상응하는 열량을 의미

67) Title Transfer Facility의 약어로서 유럽의 대표적인 천연가스 선물가격 지표

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 7>과 같다.

[그림 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 국제 에너지시장의 불확실성을 극대화시켰을 뿐 아니라 1990년대 탈냉전 이후 30여 년간 구축된 글로벌 에너지 공급망의 패러다임 전환을 가져왔다. EU 집행위원회는 러시아가 우크라이나를 침공하며 에너지 자원을 무기화하자 입법문서인 REPowerEU를 발표하며 에너지 수입의 脫러시아를 선언하였다 (European Commission 2022). REPowerEU는 현재 유럽 역내 가스 소비의 약 40%를 차지하는 러시아산 천연가스 수입량(155bcm)을 2022년 말까지 1/3수준으로 감축하고 늦어도 2030년 전에 러시아 의존도를 완전히 탈피하겠다는 목표를 제시한다. 구체적인 이행전략으로는 먼저 에너지 효율 개선, 재생에너지 보급 확대 등으로 가스수요를 최소화한 후 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 전제한다. 즉, 이제는 에너지 공급망의 패러다임이 경제 논리에서 안보 논리로 전환되는 것으로서 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 것으로 보인다. 그리고 경제학적 관점에서 볼 때 안보적 중요성이 경제적 효율성보다 앞서는 것은 자원의 비효율적 배분을 의미하며 이는 비용의 상승으로 귀결된다. 안보 중심의 공급망 재편이 지속되는 한 최근 우리가 겪고 있는 높은 수준의 에너지 가격은

러시아-우크라이나 전쟁이 종료되고 글로벌 에너지 공급망 재편이 완료된다 하더라도 뉴노멀로 고착화될 가능성이 높은 것이다. 전쟁 이후 발표된 여러 국제 에너지연구기관들의 국제에너지 가격 전망도 당분간 고에너지 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 예상된다 (EIA/DOE 2022). 이는 다음의 <그림 8>과 같다.

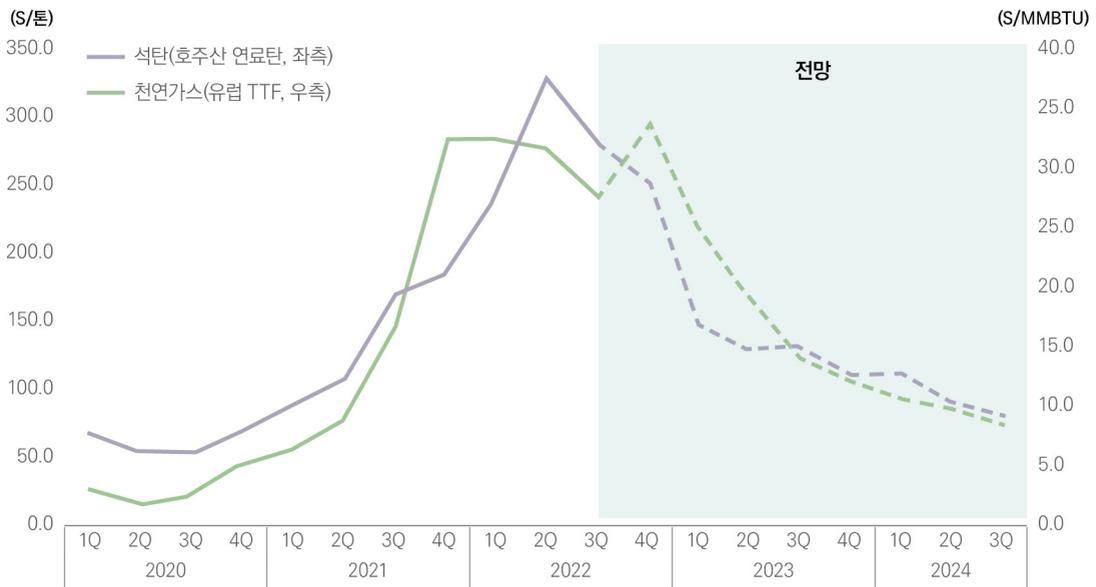
[그림 8] 국제 유가전망(WTI 기준)



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 누그러지겠지만 글로벌 석탄 증산 여력이 제한적임을 고려할 때 \$130.0/톤 수준에서 유지될 것으로 전망된다 (Economist Intelligence 2022a). 이는 다음의 <그림 9>과 같다.

[그림 9] 국제 석탄 및 천연가스 가격 전망



출처 : Economist Intelligence(2022a)의 p.9 및 Economist Intelligence(2022b)의 p.11을 바탕으로 저자 재구성

아직까지 러시아-우크라이나 전쟁 이후 급변한 에너지 시장 환경이 2025년 이후 국제 에너지 가격의 장기적 가격 추세에 어떻게 영향을 미칠지를 수량화하여 전망하기는 매우 어렵다. 그러나 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 가능성이 높다. 에너지 자원 보유국의 자원 무기화를 경험하고 있는 세계 각국은 이제는 청정에너지시스템으로의 빠른 전환을 통해 에너지자립도를 제고하기 위한 노력에 박차를 가하고 있는 한편 향후 10~20년을 바라보는 전통에너지에 대한 신규 투자는 위축될 수밖에 없기 때문이다. 그럼에도 불구하고 에너지전환 이행과정에서 여전히 필요로 하는 화석에너지에 대한 공급이 충분히 지속될 지는 미지수이다. 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.

위에서 언급한 바와 같이 최근의 전통 에너지 시장의 위기는 기본적으로 탄소중립을 위한 세계 각국의 에너지전환 움직임을 더욱 가속화시키는 방향으로 작용할 전망이다. 일각에서는 최근 나타나고 있는 유럽지역에서의 화석에너지 사용량 급등 현상에 대하여 글로벌 탄소중립 노력이 퇴행하고 있다고 우려하지만, 현재의 상황은 지정학적 문제로 에너지 공급 자체에 대한 불확실성이 높아짐에 따른 일시적 현상으로 평가하는 것이 합리적이다. 당분간 전통 에너지 가격이 높은 수준을 지속할 전망임에 따라 산재생에너지에 대한 투자환경은 더욱 개선될 것이다. 그러나 현재의 에너지 시장 위기가 더욱 심화되어 러시아산 에너지가 국제 시장에서 급격히 퇴출되거나 에너지 가격발 인플레이션 심화로 세계 경제가 경기침체(recession)의 단계로 진입하는 것은 에너지전환 이행의 저해요인으로 볼 수 있다. 에너지전환을 통한 에너지 안보

강화라는 정부의 의지에도 불구하고 공급망이 크게 교란되거나 경기침체가 심화되면 에너지전환 정책의 실질적 이행은 순조롭지 않을 수 있기 때문이다. 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 못하면 청정에너지시스템으로의 원활한 이행은 담보되기 어려울 전망이다. 또한 최근의 에너지자원의 무기화 현상은 청정에너지시스템에 활용되는 핵심광물(critical mineral)의 공급망에도 영향을 미칠 수 있다(〈표 21〉 참조). 풍력, 2차전지 등 친환경 에너지 생산의 필수 소재로 사용되는 소위 핵심광물은 지리적으로 특정 국가에 편중되어 있어 향후 자원 민족주의 현상이 두드러질 가능성이 매우 높다. 더욱이 전세계가 에너지전환에 박차를 가함에 따라 향후 이들 광물에 대한 수요는 급증할 것으로 예상된다. 핵심광물 부존국과의 안정적 공급망 구축은 순조로운 에너지전환 이행의 필수요건이 될 것이다.

[표 21] 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

4.2.3.3. 산업⁶⁸⁾

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 요구된다는 점에서 상당한 도전과제이며 이와 관련하여 글로벌 탄소가격 동등화를 위한 탄소국경조정(carbon border adjustment)과 같은 국제 공조, 각국의

68) 본 섹션의 내용은 IPCC 2022a의 제11장을 중심으로 작성되었다.

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 밸류체인을 통해 서로 상호작용하고 있기에 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 기초는 개별 기업에게 있어서 기회요인이기도 하지만 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 확대에 의해 기존에 나타나지 않았던 새로운 산업간의 연계 모델 등장이 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 없을 것이다. 탄소의 포집 및 이송, 수소의 생산과 저장, 폐열의 재사용 등에 있어서 산업 클러스터링도 보다 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).

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 것으로 예상된다. 일반적으로 정부조달은 정부 지출의 30%를 차지할 정도로 시장에 미치는 영향력이 상당하다. 따라서 중앙이나 지방정부는 목적인 기후 목표 달성을 위해 구매력을 활용하여 틈새 시장이나 저탄소 제품과 소재 수요를 확보시키며 시장 창출을 해 나갈 것으로 보인다. 물론 제도 정착을 위해서는 기준 설정에 있어서의 복잡성, 제품별 온실가스 집약도 측정에 대한 공인된 정보의 부족, 상당한 행정 부담 등의 장애요인 극복이 선결조건이다. 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).⁶⁹⁾

한편 프랑스 정부는 종사자 500인 이상의 기업에게 범주 1, 2, 3에 해당하는 온실가스 배출량을 공개하도록 하고 있으며 녹색 제품의 수요 증진을 위한 그린 라벨링과 이를 측정하기 위한 표준과 기준 제정에도 각국 정부가 노력하고 있다. 민간차원에서도 자발적 탄소저감 목표를 내세워 동시 감축을 추진하기 위한 글로벌 이니셔티브가 속속 등장하고 있다. 애플과 같이 구매력이 큰 기업은 각국 정부와 공조를 통해 공급망 내 주요 온실가스 배출 물질의 저탄소 전환을 위한 캠페인을 강화해 나가고 있다 (Ibid., Sec. 11.6).

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

69) 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.

수명을 40년으로 설정하였고 화학 산업은 30년, 그리고 여타 산업의 설비 수명은 25년으로 설정하여 글로벌 온실가스 배출 전망을 수행한 다 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 CO₂가 감축될 수 있을 것으로 결과가 도출된 바 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 자원 확보 등의 위험 요인을 고려해야 할 것이다 (Ibid., Sec. 11.5).

2050 탄소중립의 추진은 큰 폭의 산업전환을 야기하고 이에 따라 현재 기업의 경쟁력 구도에도 변화가 나타날 가능성이 심대하다. 특히 탄소중립 추진과정에서 저탄소 연원료(Materials) 채택에 따른 생산 비용의 상승이 예상된다.⁷⁰⁾ 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 생산자 차원에서는 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. 물론, 글로벌 통상정책도 기후 이슈를 반영하고 있지만 적극적으로 이루어지지는 않고 있다. 수출에 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. 독일 산업 집적지역인 North Rhine-Westphalia 주정부가 표방하는 것처럼 현재의 양질의 일자리와 높은 부가가치 수출 경쟁력은 향후 탄소중립을 선도할 경우에 장기적으로 유지될 수 있기에 국내 기업은 기후 리스크 대응 및 온실가스 저감을 위한 방안 마련에 적극 대처해 나가야 할 것이다 (Ibid., Sec. 11.6).

4.2.3.4. 원료 가격의 증가⁷¹⁾

동 섹션에서는 시멘트와 철강을 중심으로 다루도록 하겠다. 먼저, 시멘트 산업은 철강산업과 함께 국가산업 발전의 기초가 되는 대표 소재산업이다. 시멘트 산업은 전형적인 원료 지향형 공업에 속하는데 주로 원료인 석회석(CaCO₃)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 22>에서 보는 것처럼 세계 14위를 기록하고 있다.

70) 연원료는 연료와 원료를 의미한다.

71) 동 기후위험에 대한 섹션은 IPCC 보고서가 아닌 최근 다른 문헌에 기반해서 작성되었다.



[표 22] 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 되는데 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.

최근 주요 원자재 가격이 2020년 5월 이후 지속적으로 상승하고 있으며, 마찬가지로 시멘트 가격도 최근 전 세계적으로 10% 이상 급등 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. 구체적으로 일본은 시멘트 가격 상승으로 건설비용이 치솟아 히로시마 축구장 건설 사업이 무산되었다(e-대한경제 2022).

최근 코로나19 팬데믹과 우크라이나 사태 장기화로 당분간 국제 시멘트 가격 상승 압력은 지속될 전망이다(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 금속이다. 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 1억100만톤CO₂eq으로 산업부문 39%, 국가 전체의 13.1%를 차지한다. 한국의 탄소중립은 철강산업의 탈탄소화 없이는 불가능하다. 세계 국가들과 기업들이 탄소중립을 선언하고 있으나 국내 철강업계 입장에서는 접근하기 어려운 주제이다. 탄소배출량 감축에 소요되는 비용은 천문학적이고 과정이 쉽지 않다. 하지만 탄소중립은 거스를 수 없는 추세이며 뒤처지는 기업은 경쟁력을 잃거나 퇴출될 운명이다. 철광석 가격은 코로나19 팬데믹에 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 생겨 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 급격히 하락하여 톤당 125달러(21.9) 수준을 유지하고 있다(김바우 외 2021).

장기적 관점에서 철광석 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.

4.2.3.5. 고객 행동 변화⁷²⁾

앞서 4.1.1.3 섹션에서 '수요' 측면을 통제하기 위한 '제품과 서비스 규제'를 살펴보았다면, 동 섹션에서는 수요 측면을 통제하기 위한 '고객 행동 변화'를 살펴보려 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'를 중심으로 한 사회문화적·기술적·인프라 측면의 개입 수단들은 역시 앞서 언급된 회피·전환·개선(Avoid-Shift-Improve)의 전략을 토대로 정리된다.⁷³⁾ 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 줄이기, 지역 내 휴가를 고려하는 것이다. '전환' 옵션으로는 승용차에서 자전거, 도보, 대중 교통으로 운송 수단의 전환과 항공여행의 고속철도 여행으로의 전환이 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 식품품 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 등이 있다. 열과 관련해서는 적정 실내 온도 설정, 의복 및 근무시간 변화 등이 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 수요를 줄여주고, 동시에 작은 주거 공간, 주택 공유, 건물 수명 연장은 모두 탄소집약적인 건축 자재에 대한 수요를 줄여준다. '전환' 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).

72) 본 섹션의 내용은 IPCC 2022a의 제5장을 기반으로 작성되었다.

73) ASI 틀에 대한 자세한 설명은 Ch.4.1.1.3의 '제품과 서비스 규제' 참조

제품 소비 측면에서, '회피' 옵션은 제품의 소비량을 줄이고, 제품 수명이 보다 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 수요측 감축 옵션으로 제기되고 있다 (Ibid., Sec. 5.3).

최근 일부 연구들이 전 지구적 그리고 지역적 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 따라서 전통적인 완화 시나리오에서 간과된 전략임을 나타낸다. 둘째, ASI 원칙에 따라 수요측면의 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).

4.2.4. 평판 위험

4.2.4.1. 이해관계자 위험⁷⁴⁾

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 상반된 영향을 끼친다. 석유산업을 비롯한 고탄소배출 산업의 기업과 노동조합은 기후 비관적인(Climatic 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)은 기후 거버넌스가 형성되고 기후정책이 이행되는데 저해가 되기도 한다.

다음으로, '노동조합'들도 기후변화와 관련된 프로그램을 개발하거나, 다른 행위자들과 연대하기도 한다. 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,

74) 본 섹션의 내용은 IPCC 2022a의 제13장을 중심으로 작성되었다.

비행기 여행, 재생에너지 전기 사용, 채식 중심의 식생활 개선 등 시민들의 라이프스타일 변화를 유도한다. 시민사회는 정부나 기업의 기후변화 미대응에 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 옳지 않은 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.

이해관계자(stakeholders)는 다양한 행위자를 포함한다. 하나의 기준으로 이해관계자의 ESG에 대한 위험을 일반화하기는 힘들다. 기업, 소비자, 노동조합, 시민사회, 언론은 기후변화 정책과 관련된 주요 이해관계자들이다. 이해관계자의 기업 ESG에 대한 영향은 가치, 신념, 이해에 따라 다른 양태를 보일 수 있다. 소비자, 시민사회와 같은 이해관계자들은 수는 많고, 기후변화와 관련된 이익의 정도는 낮다. 수는 적고, 이익의 정도는 높은 이익집단보다 집단행동이 발생하기 힘든 조건이다. 그러나 적절한 정보와 동기가 부여될 때, 보이콧이나 데모 등의 대규모 집단행동도 가능해진다. 기업 ESG의 위험요소로 작용할 수 있는 이해관계자의 집단행동 발생 조건에 대한 연구가 필요하다.

4.2.4.2. 소비자 선호도 변화⁷⁵⁾

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, 저 육류 식단으로의 전환은 비용뿐 아니라 건강, 영양, 동북 복지와 같이 기후변화가 아닌 더 많은 이슈와 관련되어 육류 섭취가 바람직하지 않다는 신념에 의해 동기가 부여된다. 실제 식단에 있어서의 변화가 발견되고 있다. 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 진입자들은 소비자 선호를 경제적 기회로 보고 고기 대체 식품의 공급을 증가시키고 있다. 다만, 영국에서는 식단 전환을 가능하기

75) 본 섹션의 내용은 IPCC 2022a의 제5장을 중심으로 작성되었다.

위한 어떠한 유의미한 정책적 변화도 일어나지 않았다 (Ibid., Sec. 5.4.1).

한편, 복지의 관점에서 '인프라 투자'는 현선호(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 걷기와 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).



4.3. 물리적 위험

기후변화와 관련된 위험에는 급성 위험과 만성 위험이 있다. 각각에 대해서 살펴보도록 하겠다.

4.3.1. 급성 위험⁷⁶⁾

기후변화와 관련한 급성 위험에는 크게 태풍, 집중호우(홍수), 극한 기후(폭염 및 고수온), 그리고 가뭄이 있다. 각각에 대한 IPCC 보고서 상의 내용을 살펴보면 다음과 같다.

첫째, 태풍의 경우, 한반도가 포함되어 있는 북서태평양 전체적으로 태풍의 발생은 미래 감소하지만 상대적으로 강한 강도(최대풍속 49.4m s^{-1} 이상)를 갖는 태풍은 더 빈번하게 발생할 것으로 예상된다. 특히, 태풍의 평균 발생 위치와 최대강도 지점의 북상이 과거 관측에서 나타날 뿐만 아니라 미래 기후변화 시나리오에서도 예상돼 한반도 주변의 태풍 활동은 더욱 빈번해질 가능성이 높다. 또한 기후변화 시나리오에서 중위도의 태풍 이동 속도가 느려질 것으로 전망돼 한반도에 미치는 태풍 피해가 더욱 증가할 수 있다. 이는 태풍의 이동속도가 느려지게 될 경우 2018년 태풍 솔릭처럼 한반도 연안과 내륙에 지속적인 강풍과 호우 피해를 초래할 수 있어 막대한 피해를 초래하기 때문이다 (IPCC 2021a, Ch. 11, 12).

둘째, 집중호우의 경우, 2°C 또는 그 이상 온난화가 이뤄진다는 미래 기후변화 시나리오들은 대부분의 아시아 지역에서 집중호우의 강도와 빈도가 증가할 것으로(Very likely) 전망하고 있기 때문에 한반도에서의 집중호우 피해는 더 늘어날 수 있다. 특히 한반도는 다른 지역에 비해 온난화로 인한 대기 불안정도 증가가 커 미래 집중호우의 강도와 발생이 더욱 증가할 수 있다 (Ibid., Ch. 11, 12).

셋째는 극한 기후로, 여기에는 폭염 및 고수온이 있다. 21세기 후반 폭염이 더욱 강하고 더 빈번하게 발생할 확률은 매우 높으며(Very likely), 특히 온실가스 배출량이 많은 시나리오일수록 이러한 확률이 더욱 높다. 극단적인 열스트레스 지수를 의미하는 41°C 를 넘는 날이 SSP5-8.5(고배출) 시나리오에서는 50-150일 발생한다면 SSP1-2.6(저배출) 시나리오에서는 30일 이하로 국한될 것으로 전망된다. 이러한 극단적인 폭염의 증가는 21세기 중반부터 나타날 전망이다. 미래 대부분의 아시아 지역의 고수온 현상은 높은 확률(High confidence)에서 더 빈번하게 발생할 것으로 전망되며, 그 강도와 지속시간도 더욱 증가할 것 예상된다. 특히, RCP4.5와 RCP8.5 시나리오에서 21세기 말 동해 연안이 각각 2°C 와 5°C 증가할 것으로 예상돼 온실가스 배출량이 클수록 한반도 주변의 고수온 현상이 더욱 잦아질 것으로 전망된다 (Ibid., Ch. 11, 12).⁷⁷⁾

넷째는 가뭄이다. 4°C 이상의 온난화를 가정한 기후변화 시나리오는 미래 동아시아의 농업 부문의 가뭄 발생 증가 확률이 높을 수 있다고 전망한다. 이는 온난화로 강수량도 증가하지만 증발산량도 늘어나기 때문이다. 하지만 강수량의 변화와 온도의 변화를 동시에 고려해야하기 때문에 가뭄 전망에 대한 불확실성은 큰 편이다 (Ibid., Ch. 12).

76) 본 섹션의 내용은 IPCC 2021a의 제11장과 제12장을 중심으로 작성되었다.

77) RCP 시나리오에 대해서는 부록 4를 참조할 수 있다.

4.3.2. 만성 위험

만성 위험은 크게 i) 기온 상승과 강수의 변화로 인한 위험과 ii) 해수면 고도와 날씨패턴의 변화로 인한 위험으로 구분될 수 있다. 각각에 대해서 살펴보도록 하겠다.

4.3.2.1. 기온 상승과 강수의 변화

4.3.2.1.1. 기온 변화⁷⁸⁾

동아시아를 포함한 아시아 지역 전체에서 관측된 또는 전망된 평균 기온의 변화는 일반적인 전지구 온난화 경향과 유사하다. 즉, 아시아 지역에서도 1960년부터 2015년 기간 동안 연평균기온의 장기적 상승이 관측되었다. 특히 1970년 이후 이러한 온난화 경향은 더욱 가속화되고 있다. 대부분의 육지 지역에서는 최근 들어 10년 당 약 0.1°C의 기온 상승 폭으로 온난화가 진행되고 있다. 또한 평균기온 상승 뿐만 아니라 식물성장 계절 길이의 증가 등이 이미 나타났으며 또한 인간 활동의 영향으로 인해 내부변동성을 상회하는 기온 상승 변화가 이미 발현(Emergence)된 것으로 분석되었다.⁷⁹⁾ 관측 기록에 의하면 아시아 지역은 최고기온 보다는 최저기온의 상승이 좀 더 빠르게 나타나고 있으며 이로 인해 온난야(夜) 및 온난일(日)이 더욱 증가하고 반대로 한랭야 및 한랭일은 줄어들고 있다 (IPCC 2021c, TS.4.3).

남한의 경우, 온난화 추세는 전지구 추세와 비교 시 1.4~2.6배 정도 크다. 1912년부터 2014년 동안 남한 평균기온은 1.9°C 상승하였으며 1973년~2014년 기간 동안의 기온은 0.99°C 상승하였다. 한편 이러한 기온 상승에는 약 25~45% 정도의 도시화 효과가 포함되었다는 연구 결과가 있으며, 1960년부터 2010년까지 기간 동안 대도시의 기온 상승 추세는 10년 당 0.29°C±0.08°C, 그 외 관측 지점에서는 10년 당 0.11°C±0.08°C 정도 기온이 상승했다는 분석 결과도 존재한다. 전반적으로 동아시아 지역의 온난화는 중국 북부에서 10년 당 약 0.3~0.4°C의 기온 상승을 보이는 것을 제외하면 대략 10년 당 0.1°C를 초과하는 온난화율을 나타낸다.

한편 최근 겨울철 기온과 관련하여 동아시아 겨울 몬순의 변화를 살펴볼 필요가 있다. 관측 연구에 의하면 동아시아 겨울 몬순은 10년 규모 주기의 변동을 보이고 있으며 1980년대 후반을 기점으로 1976~1987년 대비 1987~2001년 평균 겨울 몬순의 강도가 상대적으로 약화된 것으로 분석되었다. 또한 2004년 이후 겨울 몬순의 강도가 다시 회복되어 2004년부터 2012년 동안 동아시아 지역 많은 곳에서 비정상적인 한파를 몰고 온 것으로 기록되었다.

기온의 미래 전망도 전지구 평균 변화 경향과 유사하여 최근 수십년 간의 기온 상승 추세는 미래에도 지속될 것으로 전망된다. 하지만 지역별로 기온 상승 폭은 다소의 편차를 보이며 중국 남부 및 북서부와 북동부 지역, 몽골, 한국, 그리고 일본이 다른 아시아 지역에 비해 온난화가 조금 더 심화되는 것으로 나타난다. 동아시아 지역의 연평균기온은 모든 시나리오에서, 그리고 모든 온난화 수준에서 증가될 것으로 전망되며 특히 고배출 시나리오에서 동아시아 북부 지역의

78) 본 섹션은 IPCC 2021c의 TS.4.3, IPCC 2021a의 제12장 및 Atlas.5.1.2를 중심으로 작성되었다.

79) IPCC(2021c)의 Figure TS.23 참조. 두 종류의 기온 관측자료(Berkeley Earth 및 CRUTEMP5)에서 1850~1900년 대비 기온 상승이 내부변동성을 초과하여 나타나는 시기는 동아시아 지역의 경우 1980년~1990년대에 이미 일어난 것으로 분석된다.

기온 상승이 클 것으로 보여진다. 온실가스 배출이 많은 시나리오의 경우,⁸⁰⁾ 동아시아 지역의 21세기 말의 기온은 5°C 정도 상승하는 것으로 나타난다. 반면 저배출 시나리오의 경우,⁸¹⁾ 21세기 말의 동아시아 평균기온은 대체로 2°C로 제한될 수 있을 것으로 보여진다.

4.3.2.1.2. 강수 변화⁸²⁾

강수 변화와 밀접한 동아시아 몬순의 변화를 먼저 살펴보면, 고기후 복원 기록 상 더 따뜻한 기후에서 동아시아 몬순은 좀 더 강해지고 강수대가 북상하는 것으로 나타난다. 특히 1950년대 이후 온실가스와 에어로졸 등 인위적 기후강제력(Climatic forcers)에 의한 변화는 동아시아 북부에서는 건조 경향을, 동아시아 남부 지역에서는 습윤 경향의 변화를 야기하는 것으로 분석되어지나 그 강도에 대해서는 아직 신뢰도가 낮다. 한편 자연변동성 중의 하나인 태평양 십년주기(혹은 장주기) 변동성(Pacific Decadal Variability)는 양의 위상(Phase) 쪽으로 전이되면서 1970년대 이후 동아시아 몬순 약화의 주요 원인 중 하나로 연결되어 있다.

강수량의 변화와 관련되어서는 대체로 고위도로 갈수록 강수량이 증가하는 경향을 보이지만 지역에 따라 증가 및 감소가 산재된 경우가 많다. 동아시아 경우, 주로 6월부터 9월까지의 일본의 메이유, 중국의 바이유, 우리나라 장마기간 동안 평균 강수량과 강수일수는 1973년부터 2015년까지 증가해 왔다. 이러한 강수 변화 추세는 1060년부터 2100년의 기간 동안 연평균 강수량이 10년 당 27.7±5.5mm 증가하고 여름철 강수량은 10년 당 40.6±4.3mm 비율로 증가하는 결과를 낳았다.

한편, 미래 전망에서 동아시아 몬순은 IPCC 제5차 평가보고서에서 여름 시즌의 시작이 빨라지고 기간이 길어지면서 강수가 강화된다고 보고 있는데, 제6차 평가보고서에서도 이의 전망은 매우 유사하다. 미래 동아시아 몬순은 21세기 동안 강화될 가능성이 있는 것으로 나타난다. 또한, 먼 미래에 고배출 시나리오에서 모델에 따라 편차가 심하게 나타나긴 하지만 대부분의 시나리오에서 동아시아 몬순 강수는 증가할 것으로 보여진다. 제6차 평가보고서에 제시된 5개 공동사회경제경로(SSP, shared socio-economic pathways) 시나리오에서 동아시아 지역의 유출량(Runoff)와 P-E(강수량-증발량)은 양의 값을 전망하며 고배출 시나리오일수록 이 값은 커진다.⁸³⁾ 하지만 SSP1-1.9와 같은 저배출 시나리오에서는 유출량과 P-E 값이 거의 제로이며, 또한 가까운 미래의 변화는 자연변동성과 인위적 기후강제력 사이의 상호 작용 및 미래 에어로졸 배출 여부에 의해 불확실성이 매우 크다. 결론적으로 정리하자면 동아시아 몬순의 미래 변화에 의해 21세기 동안의 동아시아 지역 여름 몬순 강수는 증가하고 몬순 시즌은 더욱 길어질 것으로 보여진다.

미래 동아시아 지역 강수량은 지역에 따라 다소 차이는 있으나 대체로 기온 상승 정도가 높은 고배출 시나리오일수록 연평균 강수량이 증가하는 것으로 나타난다. 동아시아 여름 몬순 강수가 매우 복잡한 지역 구조를 가지고 증가하기 때문에

80) 해당 시나리오는 RCP8.5 또는 SSP5-8.5이다.

81) SSP1-2.6 이하의 시나리오에 해당한다.

82) 본 섹션은 IPCC 2021a의 제8장, 11장, 12장, Atlas.5.1.2 및 IPCC(2021c)의 TS.4.3.2.2를 중심으로 작성되었다.

83) SSP 시나리오에 대해서는 부록 4를 참조할 수 있다.

여름철과 겨울철 사이의 기온 상승에 따른 강수량의 증가율 차이는 매우 적다. 한편, RCP 시나리오에서 21세기 동안 한반도의 강수량은 늘어나며 특히 늦은 오후의 강수량 증가가 전망된다는 연구 결과가 있다. 또한 동아시아 지역 강수 밴드가 이른 여름부터 빨리 북상함에 따라 여름철 강수가 늘어날 것으로 전망된다. 한편, 동아시아 지역 미래 강수량이 전반적으로 증가하면서 이와 관련한 호우와 홍수는 대부분의 아시아 지역에서 좀 더 강해지고 빈도가 증가할 것으로 전망되지만, 반대로 건조한 상황(Aridity)도 발생할 수 있다. 동아시아 지역에서 광범위한 건조 지역이 전망될 신뢰도는 낮으나, 봄철의 경우 가뭄 빈도가 중국을 중심으로 다소 증가해 옴에 따라 동아시아 지역의 건조도 증가 가능성은 중간 정도의 신뢰도를 가진다.

4.3.2.2. 해수면 고도와 날씨패턴의 변화

4.3.2.2.1. 해수면 고도의 변화⁸⁴⁾

1901년부터 2018년까지 지구 해수면 고도는 약 0.2m 정도 상승하였는데 특히 1960년대 이후부터 해수면 상승 속도가 가속화되어 2006~2018년 사이에는 연당 약 3.7mm의 속도로 상승하여 왔다. 전지구적인 해수면 상승은 해양 온난화에 의한 팽창과 빙하 및 빙상의 녹음 등 여러 요소들에 의한 합으로 나타난다. 인간 활동은 1971년 이후 관측된 전지구 해수면 상승의 주요 동인일 가능성이 높다. 해수면은 지구 표면 온도보다 온실가스 배출에 대한 반응 속도가 느린데 이는 지속적인 해양의 열 흡수와 빙상의 느린 조정(Adjustment) 과정과 관련된 것이며 느린 반응 속도로 인해 보다 더 장기간 동안 천천히 해수면이 상승할 것으로 보여진다. 이러한 상승은 온실가스 배출이 중단된 이후라 할지라도 수세기 및 수천년에 걸쳐서 진행될 가능성이 크다 (IPCC 2021c, Box TS.4).

SSP 시나리오에서 나타난 미래 전망에 의하면 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 배출이 많은 경우에는 빙상 반응에 대한 불확실성이 더욱 높아지면서 매우 희박한 경우이긴 하지만 2150년에 약 5m까지의 해수면 상승을 불러올 수도 있다 (Ibid., Box TS.4).

지역 규모의 해수면 상승과 관련해서는 수직 육지 운동 해양 순환 및 밀도의 변화, 육지와 해양 간의 물과 얼음의 재분배에서 발생하는 중력, 회전 및 변형 효과를 포함한 추가 과정이 작동된다. 이러한 과정은 저위도에서의 해수면 상승을 증가시키고 고위도에서 해수면 상승을 감소시키는 공간 패턴을 발생시킨다. 21세기에 걸쳐 대부분의 해안 지역에서의 지역 해수면 상승 중앙값은 전지구 해수면 상승 예측치 변화의 약 ±20% 이내로 예상되어진다.

아시아 지역의 경우, 1900년과 2018년 사이의 해수면 상승은 동 기간 동안 전지구 해수면이 약 연간 1.7mm의 상승 폭을 보인 반면에 인도양-남태평양 해역에서 연간 1.33mm의 증가를 북서태평양 해역에서는 연간 1.68mm의 상승을 보여왔다. 하지만 위성 관측이 이루어진 이후의 1993~2019년 기간 동안에는 전지구 해수면 상승 속도가 연간 3.25mm임에 반해 각 해역에서 각기 연간 3.65mm와 3.53mm의 상승 폭을 보인다.

84) 본 섹션은 IPCC 2021a의 제9장, 12장, Atlas.5 및 IPCC 2021c의 Box TS.4를 중심으로 작성되었다.

아시아 지역 해양에서의 해수면 상승은 미래에도 지속될 것으로 보여진다. SSP1-2.6의 저배출 시나리오에서 아시아 해양은 1995~2014년 대비 0.3~0.5m 정도 상승될 것으로 예상되고 SSP5-8.5의 고배출 시나리오에서는 0.7~0.8m 정도 상승할 것으로 전망된다.

4.3.2.2.2. 날씨패턴의 변화⁸⁵⁾

IPCC 제6차 평가보고서의 제1실무그룹 보고서에서는 각 지역별 기후변화 정보를 나타낸 대화형 지도(Interactive Atlas)를 제공한다. 이 대화형 지도는 기후변화 예측모델에서 기후 변수 결과값을 활용하여 작성되고, 이 때 활용되는 정보에는 기후영향인자(CID, Climate Impact-Driver)가 포함된다. 인간 사회 및 자연 생태에 영향을 미치는 기후 요소들로 정의된 정보로서 극한 기상을 포함한 다양한 기후 변수로 정의되는 바, 본 섹션에서는 기후영향인자에 대한 아시아 지역의 변화에 대해 기술한다.

아시아 지역의 평균기온은 1970년 이후 증가가 가속화되고 있으며 상대적으로 최저기온이 최고기온보다 더 증가하고 반대로 한량야와 한랭일은 감소한다. 극한고온의 경우는 대부분의 아시아 지역에서 최근 몇 십년간 더 자주 나타나고 강도 또한 강해지며 21세기 말에 열지수가 41°C가 넘는 날 수가 50~150일 이상이 될 것으로 전망되어지고 있다. 한편 한파와 서리일과 같은 추운 날은 21세기 초반부터 감소하기 시작하였는데, 1995~2014년 동안의 유라시아 지역 한파는 바렌츠-카라해의 해빙 녹음과 관련되어 다소 냉각 추세를 가진 것으로 분석된다. 하지만 미래 전망에 있어서는 적도지역을 제외한 대부분의 아시아 지역에서 한파와 서리일이 줄어들 것으로 전망된다.

1901~2010년 사이 아시아 지역 강수 변화의 큰 특징은 강수량이 증가하였다는 것이며 이러한 특징은 동아시아 및 북아시아, 남아시아 지역 대부분에서 나타난다. 아시아 지역의 강수 증가는 주로 호우 증가와 관련되어 강 유역의 홍수 빈도와 강도가 결과적으로 변화하는 것으로 연결되며 특히 동남아시아의 경우 기후변화 및 빠른 도시화로 인해 홍수 피해가 더욱 커질 것으로 전망되어 진다. 또한 호우의 증가는 산사태와도 관련되어 피해를 줄 수 있는데 아시아는 산사태 주요 빈발 지역 중 하나로서 호우 증가와 함께 산사태 피해 증가가 우려된다. 또한 대만 북부 및 한국 일부 산악지역, 히말라야 산맥 및 시베리아 영구동토층 등 아시아 일부 지역은 호우의 증가와 함께 영구동토층의 해동 때문에 산사태가 증가될 것으로 전망되고 있다. 한편 가뭄 및 건조 경향은 지역적 편차가 심하게 나타나며 아시아 지역 대부분에서 강수 증가와 기온 상승이 일어나면서 광범위하고 대규모, 장기간의 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 산불기상과 관련되어서는 인도, 중국 및 러시아 지역에서 2°C 온난화의 경우 산불 시즌의 길이와 빈도가 늘어날 것으로 전망된다.

아시아 지역의 평균 바람 속도는 육지 지면 근처에서 풍속의 약화를 보인다. 관측 및 분석 자료에 의하면 1950년대 이후 10년 당 약 0.1m/s의 비율로 지면 풍속이 감소되었으며 중앙아시아와 동아시아, 인도 부근의 감소가 유의미하다. 미래 지면 근처 풍속은 티벳, 동아시아 및 북아시아 지역에서 대체로 감소할 것으로 보여진다. 전반적인 지면 풍속 약화와

85) 본 섹션은 IPCC 2021a 의 제12장, Atlas.5.1.2 및 IPCC 2021c 의 TS.4.3를 중심으로 작성되었다.

관련하여 강풍의 약화가 예상되긴 하지만 지역 패턴에 대해서는 증거가 불충분하다. 반면, 북서태평양의 태풍과 관련해서는 1980년대 이후로 4~5등급의 강한 태풍의 수와 강도가 증가하였고 태풍 진로가 북서쪽으로 이동하며 강도의 정점(peak)이 나타나는 위도가 북상하고 있다. 이에 따라 최근 몇 십년 간 중국, 일본, 한국에 태풍에 노출되는 빈도가 증가하고, 또한 파괴적인 태풍 상륙이 늘어났다. 미래에는 태풍 횡수는 감소하지만 최대 풍속이 나타나는 강한 태풍은 늘어날 전망이다. RCP8.5 시나리오에 의하면,⁸⁶⁾ 북서태평양 지역에서 강도 3등급에 해당하는 태풍은 증가할 것이고 최대 풍속이 나타나는 위치는 점차 북상하고 태풍의 전향속도는 감소할 것으로 전망된다. 적설과 빙하, 영구동토층 등 추위와 관련된 기상현상들은 온난화에 따라 감소되어 왔고 또한 감소될 전망이다. 일본 홋카이도 등 일부 지역에서는 폭설이 다소 증가할 것으로 보여지긴 하지만 눈사태와 같은 미래 변화를 감지하기에는 증거가 불충분하다.

한편 연안 및 아시아 해양 변화와 관련하여, 대부분 21세기 동안 위험도가 증가할 것으로 보여진다. 특히 해수면의 상승은 저지대의 연안 홍수를 꾸준히 증가시킬 것으로 보여지고 또한 모래 해안의 연안 침식도 가중시킬 것이다. 뿐만 아니라 1982~1998년 기간 동안 연안의 해수면 온도는 0.25~1℃ 정도 상승하면서 해양 열파도 증가하였다. 해양 열파는 아시아 지역 해양 대부분에서 미래에 증가하는 것으로 나타나며 2100년까지 아시아 지역 해양의 해수면 온도는 중배출(RCP4.5)에서 고배출(RCP8.5) 시나리오에 따라 1~2℃ 정도 상승하는 것으로 전망되어진다.

86) RCP 시나리오에 대한 설명은 부록 4를 참고할 수 있다.

TCFD 기업 정보 공개준비를 위한
기후위험 정보 추출 연구:
IPCC 제6차 평가보고서를 중심으로



5



결론

5 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, TCFD의 권고안의 내용을 분석하고 주요국의 TCFD 권고안 도입 동향을 살펴보았다.

다양한 ESG 관련 국제 이니셔티브 중에서 향후 가장 핵심적인 기업의 지속가능성 보고서 작성체계로는 크게 세 가지로, ISSB의 'IFRS 지속가능성 공시기준', EU의 '지속가능성 보고지침(CSRD)', 그리고 미국 증권거래위원회(SEC)의 '기후변화 공시규정안'이라고 할 수 있다. 이 지속가능성 보고서 작성체계 내에서 '기후변화'에 대한 부분은 TCFD 권고안을 기반으로 하고 있다. 이 때문에 TCFD 공시를 일찍 시작한 기업이 향후 ISSB나 CSRD, SEC 정보 공시 대응에도 더 유리할 것이라고 분석되고 있다 (한경ESG 2022).

TCFD 권고안에 따라 기업이 정보를 공시하기 위해서 필수적으로 거쳐야 하는 핵심 과정이 '시나리오 분석'인데, 파리협정에 따라 산업화 이전 대비 온도 변화를 2°C 이내로 억제하기 위한 시나리오 사례를 소개하고 그 차이점을 분석해 보았다. 기업이 수행해야 할 시나리오 분석 과정은 i) 일차적으로 기후변화 관련 위험 및 기회를 파악하고, 이 위험과 기회에 대해 기업조직이 받는 영향을 평가해야 하며, ii) 이에 기반해 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 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 23>과 같다.

[표 23] IPCC 제6차 평가보고서 기반 기후변화 위험요인 정보 추출 결과

구분		주요 내용						
기본 배경 정보	장기 온실가스 배출 시나리오 현황 및 전망	<ul style="list-style-type: none"> • 2010~2019 10년 동안의 전세계 온실가스 연평균 배출량은 역대 최고 수준 • 현재 수준의 국가 2030 NDC 목표로는 1.5°C 및 2.0°C 목표 달성이 어려움 • 1.5°C 혹은 2.0°C 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	<ul style="list-style-type: none"> • 각국이 제출한 NDC의 목표치와 실제 배출 예상량 간 배출격차가 더욱 악화되고 있으며, 차기 NDC 목표는 현재 수준보다 더욱 강화될 전망 • 1.5°C/2.0°C 이내 온도 상승 억제 목표를 달성하기 위해서는 단기간에 극적인 속도로 온실가스 감축행동을 확대·심화해야 함 • 민간기업에 대해 온실가스 감축을 위한 혁신적 노력 요구 증대 						
전 환 적 위 험	정 책 및 법 률	<p>강화된 온실가스 배출량 보고 의무</p> <ul style="list-style-type: none"> • 지속가능성 및 기후변화와 관련한 기업정보공시 기준을 제시하는 다양한 국제적인 이니셔티브들이 등장하였으며 이 기준에 따라 투자자가 투자의사결정 진행 • EU, 미국 등 주요국을 중심으로 기업들의 기후변화 관련 정보의 의무공시화가 가속화. • (기업에 미치는 영향) 우리나라에서도 금융위가 '21년 1월 발표한 '기업공시제도 종합개선 방안'을 통해 단계적 의무화* 진행. 다만, 온실가스 배출량 보고는 자율공시. <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <tr> <td>1단계</td> <td>자율공시(~'25)</td> </tr> <tr> <td>2단계</td> <td>일정규모(자산 2조원 이상) 이상 KOSPI상장사 의무화('25~'30)</td> </tr> <tr> <td>3단계</td> <td>모든 KOSPI상장사 공시 의무화('30~)</td> </tr> </table> • (기업에 미치는 영향) '기업공시제도 종합개선방안'에는 지속가능 경영보고서의 단계적 공시 의무화를 추진한다고 언급 (금융위원회 2021). 그런데 우리나라는 ISSB의 'IFRS 지속가능성 보고기준'과의 연계를 고려하는 바, 온실가스 배출량을 포함하고 있는 IFRS 지속가능성 보고기준이 확정될 경우 우리나라 기업공시제도 종합개선방안에도 온실가스 배출량이 포함될 것으로 예상됨. • (기업에 미치는 영향) 온실가스 배출량(범주3 포함) 분석을 위한 비용 증가 	1단계	자율공시(~'25)	2단계	일정규모(자산 2조원 이상) 이상 KOSPI상장사 의무화('25~'30)	3단계	모든 KOSPI상장사 공시 의무화('30~)
		1단계	자율공시(~'25)					
		2단계	일정규모(자산 2조원 이상) 이상 KOSPI상장사 의무화('25~'30)					
		3단계	모든 KOSPI상장사 공시 의무화('30~)					
<p>법적 송사</p> <ul style="list-style-type: none"> • 전세계적으로 기후변화와 관련한 법적 송사 증가 추세 • 기업의 경우 화석연료를 주로 사용하는 석탄발전소 건설 승인 취소나, 석유 생산에 대한 규제를 목적으로 소송이 이루어지고 있음 • 금융투자기관에 대해서도 기후변화로 인한 위험을 투자자와 주주들에게 공개하라고 요구하는 소송 진행 • (기업에 미치는 영향) 각종 송사로 인한 사업진행 차질 발생, 비용 증가 								
<p>제품과 서비스 규제</p> <ul style="list-style-type: none"> • 수요측면에서의 기후변화 완화를 위한 제품 및 서비스 규제로서, 기존 제품/서비스에 대한 규제 뿐만 아니라 대체할 수 있는 제품/서비스로의 전환도 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 • (기업에 미치는 영향) 기존 제품 및 서비스에 대한 수요 감소 								
<p>온실가스 배출가격 상승</p> <ul style="list-style-type: none"> • 온실가스 감축 유도하기 위한 경제적 메커니즘으로서 여러 국가에서 도입 예정 • 탄소세의 책정이나 배출권거래제와 같은 탄소가격정책은 유럽과 중국 등에서 온실가스 감축 성과 입증 • 향후 기업의 온실가스 배출량 저감을 위한 인센티브로서 도입 확대될 전망 • (기업에 미치는 영향) 배출권거래 참여에 따른 비용 증가 								



구분		주요 내용	
전 환 적 위 험	기술	<ul style="list-style-type: none"> 경제적, 환경적, 사회적으로 균형잡힌 '지속가능한 기술혁신'에 대한 요구 확대 기업은 기술주기 상의 단계(신기술 등장-조기도입-확산-안정)의 변화에 기민하게 대응할 필요 신기술 보급과 조기도입기에는 공공정책 활용을 통한 위험관리를, 기술의 확산 및 안정기에는 기존 제도의 변화에 적응하거나 다양한 이해관계자와의 협력을 통해 기술의 안정적인 확산을 도모할 필요가 있음 (기업에 미치는 영향) 신기술에 대한 연구개발 및 도입비용 증가 	
	시장	시장 신호의 불확실성	<ul style="list-style-type: none"> 2°C 목표 달성을 위해서는 화석연료 매장량의 상당 부분이 폐쇄되어야 하며, 2030년 이후 200GW에 이르는 화력발전소가 조기 폐쇄 예정 태양광발전 비용의 지속적인 하락이 예상되며, 향후 전력망 통합(Grid integration)과 연계되어 에너지 공급체계에 근본적 변화 발생 전망 전통적 화석연료 에너지는 재생에너지기술의 발전 및 비용저감과 함께 저탄소 기술 및 탄소 감축기술(BECCS, DAC), 수요관리 등의 조합으로 인해 시장에서 밀려날 전망 개발 및 시범단계에 있는 저탄소 기술의 상용화 불확실성으로 인한 금융비용의 증가 (기업에 미치는 영향) 투입비용(에너지, 물)과 후처리비용(폐기물처리)의 증가로 인한 제품 생산 비용 증가
		국제 에너지가격 동향 및 전망	<ul style="list-style-type: none"> 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 (기업에 미치는 영향) 에너지비용의 예기치 않은 변화 생산원가 변동폭 상승
		산업	<ul style="list-style-type: none"> 탄소중립 추진으로 인해 에너지전환, 산업 탈탄소화 등 급격한 산업환경 변화 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 (기업에 미치는 영향) 에너지비용의 예기치 않은 변화 생산원가 변동폭 상승
		원료 가격의 증가	<ul style="list-style-type: none"> (시멘트) 탄소중립 정책을 통해 장기적으로 친환경적인 제조방식으로 전환될 전망이며 단기적인 비용 상승 전망 (철광석) 우리나라는 철강산업의 온실가스 배출량이 산업부문의 39%로서, 탄소중립이 진행되면 많은 타격을 받을 전망 (기업에 미치는 영향) 철강산업 역시 탄소중립의 영향으로, 기존의 철광석 대신 철스크랩을 사용해 전체적인 탄소배출량을 줄이려고 할 것
		고객 행동 변화	<ul style="list-style-type: none"> 기후변화의 위험은 소비자 개인의 행태에도 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 (기업에 미치는 영향) 기존 제품 및 서비스에 대한 수요 감소
평 판	이해관계자 위험	<ul style="list-style-type: none"> 노동조합은 기후변화에 대응하는 기업의 움직임에 반응하며 다른 조합과 연대하여 영향력을 증대 시민사회는 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 언론은 기후변화에 대한 보도량을 늘리면서 대중적 지지 확산 (기업에 미치는 영향) 검증되지 않은 이슈의 급속한 확산으로 인한 사업 차질 	

구분		주요 내용
전 환 적 위 험	평 판	<ul style="list-style-type: none"> • 국가나 지자체의 정책이 아니라 순수 행태적·사회문화적 동인에 의해 소비자 선호도 변화 • 일부 국가에서는 육류 섭취가 감소하고 있으며, 대체육을 공급하는 신규 시장진입자들에 의해 시장의 변화가 가속화 • 기후변화는 소비자로서 하여금 자전거에 대한 선호를 증대하였으며, 이를 기반으로 구축된 저탄소 수송인프라(자전거 도로 등)는 이러한 선호를 유지시키는 역할 • (기업에 미치는 영향) 친환경 제품 및 서비스에 대한 수요 대응이 필요하고, 제품별 탄소 발자국 인증 대응 필요
	급 성	<ul style="list-style-type: none"> • 한반도 지역에 강한 강도의 태풍 발생 빈도 증가하며, 중위도의 태풍 이동속도가 느려져 피해가 더욱 심각해질 전망 • 한반도 지역에서 온난화로 인한 대기 불안정도 증가가 커서 집중호우의 강도와 빈도가 더욱 증가할 전망 • 21세기 중반부터 41℃를 넘는 날이 연간 적게는 30일, 많게는 150일까지 발생할 전망 • 21세기 말에 우리나라 동해 연안의 수온이 2℃~5℃ 증가할 전망
물 리 적 위 험	만 성	<ul style="list-style-type: none"> • 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 • 기온 변화로 인한 식물성장 계절 길이의 증가 발생 • 2004~2012년 기간 동안 겨울철에 동아시아 지역에서 비정상적인 한파 발생 • 동아시아 지역의 연평균기온은 21세기 말 최대 5℃까지 상승 전망
		<ul style="list-style-type: none"> • 동아시아 지역 몬순 강화에 따라 강수량과 강수일수가 1973년부터 2015년까지 꾸준히 증가 • 21세기 동안의 동아시아 지역 여름 강수는 증가하고 기간도 장기화
	<ul style="list-style-type: none"> • 전지구 해수면은 1993~2019년 기간 동안 연간 3.25mm씩 상승 • 해수면은 1995~2014년 대비 2100년에 0.28m~1m까지 상승할 것으로 전망되며, 빙하의 붕괴가 가속화할 경우 2150년에는 5m까지 상승할 수 있음 	
	<ul style="list-style-type: none"> • 1901~2010 기간 동안 아시아 지역 강수량 및 호우 발생빈도 증가하였으며, 호우 증가로 인해 산사태 피해도 증가 • 우리나라 포함 아시아 산악지역 영구동토층 해동으로 인한 산사태 증가 전망 • 동북아(한, 중, 일)의 태풍 발생 횟수 및 강력한 태풍 상륙빈도가 증가하며, 태풍 평균진로가 북서쪽으로 이동하며 최대위력 발생 위도가 북상 • 2100년까지 아시아 지역 해양 해수면 온도는 1~2℃까지 상승할 전망 	

출처: 제4장 내용을 토대로 저자 정리

동 보고서에서는 TCFD 권고안의 '기후위험' 요인을 토대로 IPCC 제6차 평가 보고서에 담긴 내용을 토대로 최신의 정보를 추출하여 정리하고자 하였다. 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 보고서를 마무리하고자 한다.

TCFD 기업 정보 공개준비를 위한
기후위험 정보 추출 연구:
IPCC 제6차 평가보고서를 중심으로



Appendix



부록



부록 1. 주요 전환 시나리오 및 기정

주요 변수	시나리오	IEA WEO 450 시나리오 (2012~2040)	ETP 2DS 시나리오 (2013~2050)	IRENA REmap (2010~2030)	그린피스 선진에너지혁명 (2012~2050)
인구수준	인구수준	<ul style="list-style-type: none"> 세계인구 매년 0.9%씩 증가 2040년 인구 90억명 	<ul style="list-style-type: none"> '13년 71억 명에서 '50년 94억 명으로 인구 증가 	<ul style="list-style-type: none"> 8개 주요국가에서 인구 증가 	<ul style="list-style-type: none"> '15~'50년 매년 0.8%의 평균 인구 증가 예상 ('09년 73억명 → '50년 95억명)
	거시경제	<ul style="list-style-type: none"> 연평균 GDP 성장률 3.4% ('12~'40년) 	<ul style="list-style-type: none"> 연평균 GDP 성장률 3.2% ('13~'50년) 	<ul style="list-style-type: none"> '10~30년 동안 주요 8개 국가에서 GDP변화 	<ul style="list-style-type: none"> 연평균 GDP 성장률 3.1% ('12~'50년)
에너지효율성	에너지효율성	<ul style="list-style-type: none"> 정책행동 관련한 강한 효율성 	<ul style="list-style-type: none"> '13~'50년 동안 에너지 원단위 약 2/3 수준으로 감소 전망 		
	CO2가격	<ul style="list-style-type: none"> 2020년 이후 OECD국가에서 CO2 가격 채택 '35년까지 중동제외 모든 지역에서 화석연료보조금 지원 중단 대부분 OECD시장에서 CO2가격 \$20/ton('20)에서 \$140/ton('40)까지 도달 예측 	<ul style="list-style-type: none"> 미국 탄소세가 '20년 \$35/tCO2에서 '50년까지 \$210/tCO2수준까지 선형 증가 예상 		
에너지 수요	에너지 수요	<ul style="list-style-type: none"> 세계 에너지 수요는 매년 평균 0.6%씩 증가 	<ul style="list-style-type: none"> 최종 에너지 수요는 '14년 390EJ 대비 '50년까지 455EJ까지 증가 전망 	<ul style="list-style-type: none"> '30년에 현재수준 대비 세계 에너지 수요가 30% 증가 전망 	<ul style="list-style-type: none"> '50년까지 1차에너지 소비가 433,500PJ/a까지 감소
	태양에너지 기술		<ul style="list-style-type: none"> '50년에는 세계 전력생산의 47%가 PV에 의해 생산될 것으로 전망 	<ul style="list-style-type: none"> PV전력생산능력 '14년 180GW에서 '30년 1760GW로 증가 ('12~'30년 동안 99GW/년의 속도로 증가) 	<ul style="list-style-type: none"> PV는 '30년까지 총 전력생산의 14%를 담당하며, 관련 업종에 1,030만 명을 고용 PV전력의 총생산은 '20년 1,090TWh에서 '25년 2,659TWh로 증가하며, '30년 5,067TWh까지 증가
기술 도입	태양에너지 기술				

주요 변수	시나리오	IEA WEO 450 시나리오 (2012~2040)	ETP 2DS 시나리오 (2013~2050)	IRENA REmap (2010~2030)	그린피스 선진에너지혁명 (2012~2050)
기술 도입	전기차(EV) 기술	<ul style="list-style-type: none"> 전 승용차판매량 중 40% EV 달성 바이오연료 및 EV로 '40년 유류 소비를 13.8mboe/일만큼 감소 '25년까지 CCS기술이 적용된 석유 및 가스발전 설비 80GW 운영 '30~'40년 동안 580GW의 석탄화력 발전설비에 CCS기술 적용 '40년까지 석탄화력발전설비의 80%에 CCS기술 적용 	<ul style="list-style-type: none"> EV '16년 1백만 대에서 '30년 1억 대 까지 증가 '50년에는 CCS기술로 누적배출 12% 감소, 전세계 3.5Gt의 CO₂ 포집 전망 	<ul style="list-style-type: none"> 전기자동차의 수는 '30년 1억 6천만 대에 도달 	
	CCS 기술				
에너지 구성	바이오 에너지	<ul style="list-style-type: none"> '40년까지 연료구성 다양화되며, 바이오연료가 세계 운송수요의 17% 구성 	<ul style="list-style-type: none"> '25년까지 568억 리터의 바이오 연료 생산 전망 	<ul style="list-style-type: none"> '30년에 액체바이오 연료에 대한 수요가 매년 5천억 리터에 달할 것으로 전망 바이오에너지 발전용량은 '30년 까지 430GW에 도달 전망 	<ul style="list-style-type: none"> 바이오매스 화력발전이 '20년 31,404PJ에서, '25년 34,909PJ, '30년 36,623PJ까지 증가
	신재생에너지 비율	<ul style="list-style-type: none"> 전세계 전력생산에서 재생에너지 구성이 '15년 3%에서 '40년 20% 이상 증가 	<ul style="list-style-type: none"> 신재생에너지를 통해, 전력으로 부터 발생하는 CO₂ 집약도가 '13년 528gCO₂/kWh에서 '50년 40gCO₂/kWh 이하로 감소 전망 	<ul style="list-style-type: none"> '30년에는 발전량의 45%가 재생 에너지 기술을 사용할 것으로 예상 ('14년 23%) 	<ul style="list-style-type: none"> '30년에는 발전량의 45%가 신재생 에너지 기술을 사용할 것으로 전망
CO ₂ 배출	원자력에너지 비율	<ul style="list-style-type: none"> 세계 원자력설비는 '40년에 862GW 까지 증가 	<ul style="list-style-type: none"> 세계 원자력설비는 '16년 403GW 에서 '25년 553GW까지 증가할 전망 	<ul style="list-style-type: none"> 원전 설비는 '14년 370GW에서 '30년까지 600GW로 증가할 것으로 전망 	
	CO ₂ 배출	<ul style="list-style-type: none"> 에너지 관련 CO₂배출 최대치는 '30년에 25.4Gt으로 감소, '40년에 19.3Gt으로 감소 전망 ('20년 이전 33Gt) 	<ul style="list-style-type: none"> CO₂배출량은 '50년에 현재수준의 절반인 15Gt까지 감소 전망 		<ul style="list-style-type: none"> 100% 신재생에너지 '50년까지 전체 에너지시스템의 탈탄소화 세계 CO₂배출은 '20년을 기점으로 지속적으로 감소 '12~'50년 동안의 총 누적 CO₂ 배출은 667GtCO₂

출처: Greenpeace(2015), IEA(2014), IEA(2015), IRENA(2016) 및 TCFD(2017)를 바탕으로 저자 재구성

부록

2. 주요 물리적 기후변화 시나리오 및 기정

구분	주요 동인 및 이정표			
	지표면의 온도 변화	강수량 지도	수자원 공급 및 수요 지도 (2030)	해수면 변동
	지표면의 평균 온도변화 (2016-2035 및 2046-2065)	(2016-2035 및 2046-2065)	수자원 공급 및 수요 지도 (2030)	예상되는 해수면 변화 ⁸⁷⁾ (1986-2005부터 2081-2100)
IPCC 5AR RCP 4.5	<p>Temperature change RCP4.5 in 2016-2035 : annual 50%</p> <p>Temperature change RCP4.5 in 2046-2065 : annual 50%</p>	<p>Precipitation change RCP4.5 in 2016-2035 : annual 50%</p> <p>Precipitation change RCP4.5 in 2046-2065 : annual 50%</p>		<ul style="list-style-type: none"> 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.
IPCC 5AR RCP 8.5	<p>Temperature change RCP8.5 in 2016-2035 : annual 50%</p> <p>Temperature change RCP8.5 in 2046-2065 : annual 50%</p>	<p>Precipitation change RCP8.5 in 2016-2035 : annual 50%</p> <p>Precipitation change RCP8.5 in 2046-2065 : annual 50%</p>		<ul style="list-style-type: none"> RCP 8.5에서는 일부 지역에서 해수면이 최고 0.8m까지 상승한다. 해수면의 증가는 특히 남반구에 집중되어 있고, 해수면의 감소를 경험하는 일부 작은 지역이 있다.

출처: WRI(2016) 및 TCFD(2017)⁸⁾를 바탕으로 저자 재구성

87) 제시된 지도는 해수면의 전지구적 변화를 설명하는 것이며, 진한 색일수록 큰 폭의 상승을 의미한다.

부록

3. IPCC 제6차 평가보고서 제3실무그룹 보고서의 장별 기술내용

장	주제	기술 관련 내용
1	서론	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 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} <ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 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} <ul style="list-style-type: none"> (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} <ul style="list-style-type: none"> 기술 발전은 저탄소 경로의 달성가능성에 영향을 미침 기술 가용성(availability)은 기후안정성(climate stability)의 실행가능성에 영향
4	단기·중기 완화 및 발전 경로	<ul style="list-style-type: none"> 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) <ul style="list-style-type: none"> 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} <ul style="list-style-type: none"> (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°C 혹은 1.5°C 시나리오 달성을 가능케하는 요인으로서의 기술: 발전된 저탄소 기술의 빠른, 대규모의 적용 필요성 지적 {4.2.5} <ul style="list-style-type: none"> 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) <ul style="list-style-type: none"> 적합한(suitable) 기술 부족; 기술 이전의 부족; 부정적인(unfavourable) 사회정치적 환경



장	주제	기술 관련 내용
4	단기·중기 완화 및 발전 경로	<ul style="list-style-type: none"> • 국가별 발전경로에서의 기술 역할 언급 {4.3} <ul style="list-style-type: none"> - 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) <ul style="list-style-type: none"> - 기후·발전정책에 포함될 내용으로 고탄소기술 제한 또는 단계적 폐지(phase out) 제시 {4.4.1.2} (p81) - 일부 저탄소기술의 경쟁력 증대에도 불구하고, 저배출 옵션의 높은 단계에 대한 지원은 여전히 필요 {4.4.1.4} - 개인의 행동 및 생활습관 변화를 가능케 하는 요인 중 하나로 기술 언급 {4.4.1.5} - R&D와 디지털화의 중요성 {4.4.1.6} • 완화 및 적응에 있어서 새로운 기술의 중요성 언급 {4.4.2.1} <p>[탄소중립 기술혁신 추진전략 - 10대 핵심기술 개발 방향, 연관 부분]</p> <ul style="list-style-type: none"> - 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	<ul style="list-style-type: none"> • 수요 증시 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] <ul style="list-style-type: none"> - (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, 재생에너지로의 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} <ul style="list-style-type: none"> - 6개의 관련 시나리오에서 BAT가 I(Improve)의 주요 수단으로 언급 (Table 5.2) • 행동변화의 요인 관련 기술 언급 {5.4} <ul style="list-style-type: none"> - (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) <ul style="list-style-type: none"> - 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} <p>[탄소중립 기술혁신 추진전략 - 10대 핵심기술 개발 방향, 연관 부분]</p> <ul style="list-style-type: none"> - 수송 부문 전기모빌리티(EVs), 스마트 모빌리티 - 수송 및 건축 부문 에너지효율성 강조와 (저탄소) 재생에너지 사용 - 기술적용과 관련, 태양광 발전에 대한 수용성이 상대적으로 높음

장	주제	기술 관련 내용
6	에너지 시스템	<ul style="list-style-type: none"> • 저탄소 에너지 기술 확대 {6.3} <ul style="list-style-type: none"> - 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, 바이오 에너지, 지열, CCUS 등) • 저탄소 에너지 시스템에서 완화 옵션 중 기술 측면에서의 지표 {6.4} <ul style="list-style-type: none"> - 간편성(simplicity); 기술 확장성(technology scalability); 기술 성숙도 및 준비도(maturity and technology readiness) <p>에너지원과 에너지 전환에서의 각 에너지별 현황과 전망, 발전 기술 종류, 환경 및 사회적 영향, 대중인식 등 진단 {6.4.2}</p> <ul style="list-style-type: none"> • 태양 에너지 <ul style="list-style-type: none"> - 가격 경쟁력과 기술 발전에서 선두주자, 에너지 예상 생산량 역시 타 재생에너지보다 높으며, 완화를 위해 (현세기 내) 요구되는 에너지량 증가; 패널 재활용 기술 발전 필요 - solar PV, CSP, solar heating and cooling, solar chimney 등 • 풍력 에너지 <ul style="list-style-type: none"> - 대용량 터빈, 더 큰 회전기(rotor) 직경, 더 높은 허브 높이에 따른 비용 절감 가능 - 해상풍력, 내륙풍력, 부유식 풍력발전, 공중 풍력에너지 시스템 • 수력 발전 <ul style="list-style-type: none"> - 가격 경쟁력 가지나 환경 및 사회적 영향 심각성 높을 수 있음 • 원자력 발전 <ul style="list-style-type: none"> - 기술 옵션 ('30-'50)으로 Δlarge reactors, Δlong-term operation (LTO) of the current fleet, ΔSmall Modular Reactors 제안 • 탄소 포집·저장·활용 <ul style="list-style-type: none"> - 저탄소 에너지 시스템으로의 전환에서 CCS의 효과성 언급; 대중은 CCS보다 CCU를 선호, 덜 위험하다고 인식하는 경향 있음 - 모노에탄올아민(MEA) 등과 같은 용매의 흡수를 이용하는 연소후(post-combustion) 포집 방법. chemical looping, Allam cycle 등 • 바이오에너지 <ul style="list-style-type: none"> - 특히 화석연료 대체 옵션이 제한적인 부문, 화학약품·상품 생산, potentially BECCS를 통한 CDR 또는 바이오차 등에서 중요 - 규모 확대를 위해서는 가스화, 피셔-트롭쉬법 공정, 열수 액화, 열분해 등의 고급기술 요함 - BECCS 대규모 시행의 한계 지적 • 화석연료 <ul style="list-style-type: none"> - CCS와 병행될 경우 기후변화 완화에서 이용 가능; CCS 기술은 BECCS를 통한 CDR 역시 가능케 함 • 지열 에너지 <ul style="list-style-type: none"> - Enhanced Geothermal Systems (EGS) 와 같은 신기술 발전 중에 있음 • 해양 에너지 <ul style="list-style-type: none"> - 조수, 파도, 해양온도차 발전 (OTEC), 해류, 염도차 발전 등의 활용이 가능하나 기술 성숙도와 수행력에 따라 경제적 실행가능성 달라짐 • 폐자원에너지화(Waste-to-Energy) <ul style="list-style-type: none"> - 열(incineration, gasification, pyrolysis), 바이오(anaerobic digestion, landfill gas to energy) 기술이 보편적으로 사용 - 대기오염 저감 설비 갖출 필요 있음



장	주제	기술 관련 내용
6	에너지 시스템	<ul style="list-style-type: none"> • 탈탄소화에서 요구되는 에너지 시스템 구축에서 정보통신기술과 flexibility technology의 역할 {6.4.3} <ul style="list-style-type: none"> - Flexibility technology: 에너지 저장, 수요에 맞춘 탄력적 생산, 그리드포밍 인버터/컨버터, transmission interconnection 등 포함 {6.4.3.1}, 이에 따른 시스템상 장점 {6.4.3.3} • 저탄소 그리드 위한 에너지 저장 기술 {6.4.4} <ul style="list-style-type: none"> - 변동성 재생에너지 (VRE) 기술로의 전환에서 중요 - 에너지 저장 기술 {6.4.4.1}: Δ양수식 수력발전(Pumped Hydroelectric Storage, PHS), Δ배터리, Δ압축 공기에너지 저장(Compressed Air Energy Storage, CAES), Δ열에너지 저장 (Thermal Energy Storage, TES), 플라이 휠 에너지 저장 장치(Flywheel Energy Storage, FES), Supercapacitors(Ultracapacitors; Double Layer Capaticors), Δ레독스 흐름 전지 (Redox Flow Batteries), ΔPower to fuels(PtX), Δ수소/수소가역연료전지(Hydrogen and Reversible Hydrogen Fuel Cells, H/RHFC) <p>에너지 수송 관련 (수소) {6.4.5.1}</p> <ul style="list-style-type: none"> • 수소 생산 관련 기술 <ul style="list-style-type: none"> - 비전기식 수소 생산: SMR, Advanced gas reforming, Hydrogen from coal gasification, Hydrogen from biomass gasification (Table 6.7, p59) - 전기분해식 수소 생산: Alkaine Electrolysers, PEM, SOEC (Table 6.8, p59) • 수소 에너지 저장 및 운반 관련 <ul style="list-style-type: none"> - 탄소와 결합될 경우 합성 탄화수소(SHC), 액상 유기물 수소 저장체(LOHCs), 또는 암모니아로 저장 및 운반 가능하며, 특히 암모니아가 강조되고 있음 - 수소 에너지 운반체와 관련하여 해결되어야 하는 문제와 이에 대한 개선된 연구 결과 설명 <p>(전기) {6.4.5.2}</p> <ul style="list-style-type: none"> • 전기 수송 관련 기술 <ul style="list-style-type: none"> - 장거리 송전 기술: 고전압 교류송전(HVAC), 고전압 직류송전(HVDC), 초고전압 직류송전 (UHVDC) 저주파 직류송전(LFAC), 반파장 직류송전(HWACT) • 저탄소 에너지 시스템으로의 전환에서 다양한 완화 옵션 실행과 저탄소 기술 시장 확장을 위한 수요 부문 수단의 중요성 강조. 더불어 특정 기술의 적용에 있어서 상황적 요소의 영향 설명 (e.g. solar PV가 받는 날씨의 영향 등) {6.4.6} • (열발전을 통한 에너지 공급 측면) 탄소포집은 냉각수 사용량을 높일 수 있는데, CCS 기술에 의한 영향이 큼. 최근 연구는 물 사용량을 최소화하는 CCS 디자인을 제안하고 있음 {6.5.2.5} (p75) • 넷제로 에너지 시스템에서 CDR의 역할 {6.6.1} (p79) <ul style="list-style-type: none"> - CDR 옵션: BECCS, DACCS / 에너지 섹터 외부에서 사용되는 CDR 옵션: 농업에서의 탄소 네거티브(net negative agriculture), 산림 등 - 에너지/산업 부문에서의 CO2 배출이 넷제로에 도달하면, 나머지 화석연료 에너지 배출량의 정도는 CDR 옵션의 적용에 따라 달라질 것 <p>넷제로 에너지 시스템의 구성(configuration) {6.6.2}</p> <ul style="list-style-type: none"> • 넷제로 에너지 시스템에서 화석연료의 비중은 CCS와 CDR 기술 및 장기적 탄소 격리(sequestration)의 (대체가능한 탄소중립 연료 대비) 실행가능성에 따라 달라질 것 {6.6.2.1} • 전기부문에서의 이산화탄소 zero or negative 배출 {6.6.2.2} <ul style="list-style-type: none"> - 관련 기술: 재생에너지 믹스; 급전가능한(dispatchable) 재생에너지 (바이오매스, 수력발전); 수요대응 확실한(firm) 저탄소 발전원(원자력, 화력발전+CCS); 탄소제거(BECCS, DACCS) 등

장	주제	기술 관련 내용
6	에너지 시스템	<ul style="list-style-type: none"> - 일부 기술의 경우 (전력 외) 다른 부문에서의 활용에 따른 영향받음: 수소, 배터리, CCS, DAC - 재생에너지 비중이 큰 에너지 시스템에서의 balancing 옵션 중 하나로 에너지 저장 기술 설명: 배터리, 양수발전(pumped hydro), 수소 등 • 최종사용에서의 전기화 관련 기술 언급 {6.6.2.3} <ul style="list-style-type: none"> - 전기화(electrification)에 대한 대안으로서의 CDR 기술이 잔여 배출에서 어느 정도로 활용되느냐에 따라 전력이 전체 에너지에서 차지하는 비중이 달라질 수 있음 - 전기화 관련 획기적 기술 발전이 부재한 장거리 트럭, 대형 선박 및 항공기에 대해서는 어려움이 예상되나, 장거리 트럭의 경우 배터리 기술 발전에 따른 전기화 가능성 기대 가능함; 이처럼 전기화가 어려운 일부 교통 부문이 존재함에 따라, 넷제로 에너지 시스템은 화물 부문에서 잔여 배출량을 포함하게 될 수 있음. 이는 CDR 기술 통한 상쇄(offset) 또는 전기화 대신 저탄소/탄소중립 연료의 사용과 관련 • 산업 부문 넷제로 에너지 시스템에서 액체연료 및 high temperature heat를 바이오매스로부터 공급 받을 수 있는 정도에 영향을 주는 요소로서 공급원료(feedstocks) 가용케하는 전환 기술 언급 {6.6.2.4} • 합성탄화수소(SHC) 연료 가격을 낮출 수 있는 기술 {6.6.2.4} <ul style="list-style-type: none"> - (현재로서는 성숙도가 낮지만 발전 촉망) high-temperature electrolysis, thermochemical water splitting - (개발 초기 단계) 물·태양열로부터의 직접 수소 생산 - 탄화수소에 의한 대기중 탄소는 DAC를 통해 제거되어야 하며, 톤당 100 USD 이하의 DAC 기술 개발을 위한 노력 중에 있음 • 수소경제에서의 기술 역할 {Box 6.9} (p90) <ul style="list-style-type: none"> - 연료전지 기술을 통해 중량물운반수단(트럭, 버스, 선박, 기차 등)의 탈탄소화 도울 수 있는 전기차를 보완할 수 있음 - 수소 생산 효율성 및 자본비용 측면에서의 기술 발전; 전기분해장치 등의 대안적 생산기술의 등장; 기타 수소기반 기술에서의 발전 - ‘그린수소’: 탄소배출 없이 생산된 전기를 사용한 전기분해로 수소 생산 / BECCS (네거티브 배출) - ‘블루수소’: ATR(auto-thermal reforming), SMR(steam methane reforming)과 CCS 기술을 사용, 천연가스로부터 생산 • 넷제로 에너지 시스템을 위한 CDR 관련 기술로 BECCS, DACCS 언급 {6.6.2.7} (p93) • 장기 관점에서의 넷제로 에너지 시스템에 영향 미칠 수 있는 국내 요소 아래와 같이 설명 {6.6.4} <ul style="list-style-type: none"> - 미래 기술 (p95) - 사회 선호도: 대중은 재생에너지에 기반한 에너지 시스템을 선호; 비재생에너지에 대한 선호도는 지역과 집단에 따라 달라짐 (p96) - 기술적 리더십, 경제적 기회, 성장: 국가 경쟁력의 차원에서 기술 분야에서의 리더십이 강조될 수 있음 (p97) <p>저탄소 에너지 시스템 전환 (단/중기적 관점) {6.7}</p> <ul style="list-style-type: none"> • 넷제로로의 전환 타이밍은 주요 기술의 발전에 큰 영향 받음 e.g. 에너지 저장, 바이오에너지, 수소 등 {6.7.1.1} (p102) • 에너지 시스템에서의 배출량 감축을 위한 기술 경로 설명 {6.7.1.2} <ul style="list-style-type: none"> - 주요 에너지와 전기 생산 탈탄소화 - 저탄소원으로부터 생산된 전기, 바이오에너지, 수소, 다른 연료로의 전환 - 에너지 효율성 및 보존 발전을 통한 에너지 사용량 감소



장	주제	기술 관련 내용
6	에너지 시스템	<ul style="list-style-type: none"> • 잔여 배출 상쇄를 위한 기술 옵션 설명 {6.7.1.3} <ul style="list-style-type: none"> - CDR 기술로 BECCS, DAC 등 언급 • 2°C 이하 온난화 억제를 위한 화석연료 전환을 CCS가 얼마나 바꿀지에 대해서는 컨센서스 부족; 화력발전소 폐쇄 추세 및 CCS기술의 활용가능성 고려시 BECCS가 화석연료발전+CCS보다 매력적일 수 있음 {6.7.4} • 지속가능한 발전의 맥락에서 저탄소 에너지 시스템 전환의 비용편익 {6.7.7} <ul style="list-style-type: none"> - 주요 기술의 빠른 발전은 기존 전망치보다도 더 우수한 경제적 성과(outcome) 가져올 수 있으며, 다만 이는 지역에 따라 달라짐 - 효율적인 최종사용기술을 특히 다음의 경우에서 비용효율적일 것으로 기대됨: △개발도상국, △자원채취의 필요성 감소, △CDR 필요성의 감소와 온도 overshoot 방지 - CDR, CCS는 SDG 3, 6, 11과 시너지/상충 관계에 있음 <p>[「탄소중립 기술혁신 추진전략 - 10대 핵심기술 개발 방향」 연관 부분]</p> <ul style="list-style-type: none"> - 에너지별 현황 및 전망 예측에서 태양열 및 풍력, 탄소 포집·저장·활용(CCUS), 수소, 바이오에너지 포함 - 넷제로 에너지 시스템과 관련, 수소경제(그린수소, 블루수소), CDR 기술(BECCS, DACCS 등 CCS 기술) 언급 - 수소에너지 저장 및 수송에서 해결되어야 하는 문제 및 관련 연구 현황 설명
7	농업, 산림 및 기타 토지 이용 (AFOLU)	<ul style="list-style-type: none"> • 인간의 토지 및 천연자원 사용 패턴의 간접적 동인 중 하나로 과학 및 기술 요인 언급 {7.3.3} (Table 7.2) <ul style="list-style-type: none"> - 기술 발전 및 변화가 농업 및 임업 시스템에 미치는 영향 - 동 분야 관련 완화 기술 설명 e.g. 화학합성 메탄생성미생물 억제제, 단백질 생명공학 등 • 토지기반 CDR 포함, AFOLU 완화 수단 및 가능성과 관련된 연구 검토를 중심 내용으로 함 {7.4} <ul style="list-style-type: none"> - (농업) 기술적 준비도가 높은 기술로 농초지 토양 탄소 관리 언급 {7.4.3.1} (p62) - 기술의 개별적 활용보다 포트폴리오에 따른 기술 이용이 지역 상관없이 유리함 {Box7.4} (p71) - 식량 손실 및 낭비(FWL) 감소 위한 옵션 중 개발도상국의 수확 및 수확후 기술에의 투자 언급 (p83); 기술적 FWL을 통한 완화 기회는 식량 공급망 전반에 걸쳐 존재 (p84) {7.4.5.2} • AFOLU에서의 완화에 있어 산림 파괴 모니터링 위한 위성 기술 발전 여지 큼 {7.6.4.4} (p116)
8	도시 시스템과 기타 거주지	<ul style="list-style-type: none"> • 도시 에너지 시스템의 전기화 및 탈탄소화 {8.4.3.1} <ul style="list-style-type: none"> - 전기화는 화석연료 기반 기술이 EV, PVs 등으로 대체되는 과정 포함 (p59) {8.4.3.1} - 전기화 기술로 발생할 수 있는 상충(trade-offs) 지점은 거버넌스 전략, 스마트 그리드 기술, 순환 경제, 국제협력 등을 통해 최소화될 수 있음 (p61) {8.4.3.1} • 가정 수준에서는 편안함, 경제적·환경적 이익이 있을 거라 기대된다면 에너지 관련 home technologies에 투자할 용의가 증가함 {8.4.5} (p72) • Urban-rural linkages {8.4.6} <ul style="list-style-type: none"> - WtE의 감축역량은 기술 선택, 대체되는 에너지 믹스의 배출 요소, 지방자치체 수준의(municipal) 통합적 관리 내에서의 더 넓은 역할에 달려있음 (p74) - urban-rural area 간의 물 재분배 시스템은 다음에 대한 기술적 혁신을 요구함 - water capture; 물 정화; 물 낭비 감축 (p74) • 도시개입(urban intervention)은 도시 지역의 온실가스 감축 가속화뿐만 아니라 국제적 단위에서 CCS에의 의존도를 낮추는 데에도 중요함 {8.4.7} (p75) • green building 기술의 적용의 중요성과 토지 등록 및 부동산 투자에서의 블록체인 기술 적용이 앞으로의 도시 land-based funding에 미칠 영향 설명 {8.5.4} (p83)

장	주제	기술 관련 내용				
8	도시 시스템과 기타 거주지	<ul style="list-style-type: none"> 도시 완화 옵션의 기술 확장성은 기존의 도시 개발 수준과 적용 규모에 따라 차이는 있으나 우호적 (favourable) {8.5.5} (p84) 급속도로 성장 중인 도시들이 미래의 높은 배출량을 피하기 위한 방법 중 하나로 저탄소 기술의 도약 언급 {8.6.2} (p90) 탄소중립 도시를 위한 도시 시스템의 완화 옵션의 통합에서 정보통신 기술의 중요성 언급 {8.6.3} (p94) <ul style="list-style-type: none"> 교통 및 건축 기술의 계획, 평가 및 통합에서의 빅데이터, AI, IoT 기술의 활용 가능 <p>[탄소중립 기술혁신 추진전략 - 10대 핵심기술 개발 방향, 연관 부분]</p> <table border="1" data-bbox="445 596 1326 822"> <thead> <tr> <th data-bbox="445 596 890 641">탄소중립 기술혁신 추진전략</th> <th data-bbox="890 596 1326 641">IPCC FGD</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="445 641 890 822"> (건물효율) - ICT 융합기술 개발, 건물효율 관련 공공데이터 활용체계 구축 - (디지털화와 연계) 커뮤니티 기반 신재생 연계 에너지 시스템 통합 플랫폼 구축 </td> <td data-bbox="890 641 1326 822"> 탄소중립 도시를 위한 도시 시스템에서 교통 및 건축 기술의 계획, 평가 및 통합을 위한 정보통신 기술의 중요성 (빅데이터, AI, IoT) </td> </tr> </tbody> </table>	탄소중립 기술혁신 추진전략	IPCC FGD	(건물효율) - ICT 융합기술 개발, 건물효율 관련 공공데이터 활용체계 구축 - (디지털화와 연계) 커뮤니티 기반 신재생 연계 에너지 시스템 통합 플랫폼 구축	탄소중립 도시를 위한 도시 시스템에서 교통 및 건축 기술의 계획, 평가 및 통합을 위한 정보통신 기술의 중요성 (빅데이터, AI, IoT)
탄소중립 기술혁신 추진전략	IPCC FGD					
(건물효율) - ICT 융합기술 개발, 건물효율 관련 공공데이터 활용체계 구축 - (디지털화와 연계) 커뮤니티 기반 신재생 연계 에너지 시스템 통합 플랫폼 구축	탄소중립 도시를 위한 도시 시스템에서 교통 및 건축 기술의 계획, 평가 및 통합을 위한 정보통신 기술의 중요성 (빅데이터, AI, IoT)					
9	건축	<ul style="list-style-type: none"> 3D 프린팅과 같은 기술의 발전에 대한 기대 {9.2.2} (p13) <ul style="list-style-type: none"> 더 빠르고 저렴하고 지속가능한 건축과 새로운 지속가능한 건축 과정과 도구 도입을 가능케 할 수 있음 건물 서비스와 관련 {9.2.3} <ul style="list-style-type: none"> 기온 조절에 있어서 ice refrigeration, 태양광, 공동 축열기술의 활용은 에너지 소비 및 온실 가스 배출 최소화를 가능케 하는 발전 (p15) 냉각시스템 관련 에너지 효율적 수단으로 태양열전냉각(solar thermoelectric cooling) 기술 언급 BIM(Building Information Modelling)과 같은 신기술 이용의 증가가 건축 서비스의 더 효율적이고 쉬운 계산 과정을 가능케 함 디지털화에 따른 에너지 수요의 변화 {9.3.3} (p31) <ul style="list-style-type: none"> 정보기술의 집약적 이용이 이뤄지는 데이터센터에서 에너지 수요 증가 건축과정에서의 디지털화는 이미 건축 부문에서 사용되고 있는 다음과 같은 디지털 기술 포함: △BIM, △3D 프린팅, △로봇, △드론, △3D 스캐닝, △센서, △IoT <p>탄소제로 건물을 위한 완화 기술 옵션 및 전략 {9.4}</p> <ul style="list-style-type: none"> 제로에너지 빌딩을 위한 기술이 SER framework에 기반, 아래와 같이 제시됨 {9.4.3} {Figure 9.11} (p39) <ul style="list-style-type: none"> (Sufficiency: 에너지를 필요로 하지 않음) insulation materials, trombe wall, vertical greenery systems, PCM wall systems, AAC walls, double skin walls, cool roofs, roof ponds, green roofs (Efficiency: 에너지 집약성 향상을 가능케 함) thermally activated building system, heat pumps, organic rankine cycles, adiabatic/evaporative condenses, smart ventilation, heat recovery system, fuel cells, thermal energy storage, liquid pressure amplication, chilled-ceiling, desiccant cooling, ejector cooling, variable refrigerant flow (Renewables: 기후변화 영향에 대한 건축물의 회복탄력성 증대 수단 포함) geothermal energy or ground source heat pumps, solar energy PV, solar thermal, biomass energy 				

장	주제	기술 관련 내용						
9	건축	<ul style="list-style-type: none"> 백열등, 선형 형광등, 할로겐 램프 대신 CFL, LEDs와 같은 더 효율적인 기술로의 전환 제한 (p42) positive energy/energy plus building을 가능케 하는 요소로 PV와 에너지 저장 통합을 위한 기술 비용의 감소; 더불어 다음과 같은 기술 언급 - △ 광전지/열(photovoltaic/thermal), 태양/바이오 매스 하이브리드 시스템, 태양 열전기(solar thermoelectric), solar powered sorption systems for cooling, on-site renewables with battery storage (p43) <p>국제/지역 수준의 완화 역량 및 비용 {9.6}</p> <ul style="list-style-type: none"> 건축 부문에서 가능한 온실가스 감축 수단으로 다음이 언급 {9.6.1} (p54) <ul style="list-style-type: none"> 고(高)에너지성능 건축물, 기존 건물 외피의 열효율성 향상, 발전된 HVAC 시스템 등 설치, 재생에너지 현장 생산 및 사용 등 건축 부문에서 다음과 같은 기술의 적용 효과와 비용 예측 {9.6.3} <ul style="list-style-type: none"> ICT, 온수, 조리 기술을 포함, 조명, 설비, 사무실 비품의 교체 발전된 HVAC(heating, ventilation, and air conditioning) 기술 수요자 측면 유연성(flexibility) 및 디지털화 수단이 수반된 재생에너지 기술 기존 공간에의 열효율성 개보수와 이에 따른 HVAC 교체 고에너지성능 건축물 및 deep retrofit과 관련된 기술들 중 다음에서 상당한 비용 절감이 가능할 것으로 예상됨 - biomass boiler, heat pumps, ventilation, air-conditioning, thermal storages, electricity storages, solar PVs, solar thermal systems {9.6.4} (p63) <p>섹터별 장벽 및 정책 {9.9}</p> <ul style="list-style-type: none"> (시장 기반) 탄소세 도입은 경제에 중립적이거나 긍정적 영향을 미침 - 청정 기술에의 투자는 추가적인 세입으로 이어짐 {9.9.3.1} (p88) 거버넌스 및 제도적 역량의 측면에서 기술 이전뿐만 아니라 관련된 국가/지역수준 당국의 역량 강화 역시 수반되어야 함을 지적 {9.9.7} <p>[탄소중립 기술혁신 추진전략 - 10대 핵심기술 개발 방향, 연관 부분]</p> <ul style="list-style-type: none"> 건물 냉난방/설비 기기에서의 신기술 적용과 지속가능성 확보, 에너지 효율성 증대 <table border="1" data-bbox="406 1217 1273 1459"> <thead> <tr> <th>탄소중립 기술혁신 추진전략</th> <th>IPCC FGD</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>(디지털화) 데이터센터 관리 기술 및 전력효율 개선 추진 현황 등</td> <td>데이터센터의 에너지 수요 증가 지적</td> </tr> <tr> <td>(건물효율) 제로에너지건물 경제성 확보 위한 외피성능 향상을 위한 기술개발 포함</td> <td>건축 부문 온실가스 감축 수단 중 하나로 건물 외피 열효율성 향상 언급</td> </tr> </tbody> </table>	탄소중립 기술혁신 추진전략	IPCC FGD	(디지털화) 데이터센터 관리 기술 및 전력효율 개선 추진 현황 등	데이터센터의 에너지 수요 증가 지적	(건물효율) 제로에너지건물 경제성 확보 위한 외피성능 향상을 위한 기술개발 포함	건축 부문 온실가스 감축 수단 중 하나로 건물 외피 열효율성 향상 언급
탄소중립 기술혁신 추진전략	IPCC FGD							
(디지털화) 데이터센터 관리 기술 및 전력효율 개선 추진 현황 등	데이터센터의 에너지 수요 증가 지적							
(건물효율) 제로에너지건물 경제성 확보 위한 외피성능 향상을 위한 기술개발 포함	건축 부문 온실가스 감축 수단 중 하나로 건물 외피 열효율성 향상 언급							
10	수송	<ul style="list-style-type: none"> 수송 부문에서의 시스템 변화 {10.2} <ul style="list-style-type: none"> (디지털화) 스마트 모빌리티 관련, 디지털화가 교통 및 수송 부문에서 미치는 영향과 관련 기술 (IoT, ICT, 빅데이터) 설명 도시에서 빠르게 적용 중에 있는 스마트 기술 설명 - ICT, IoT 센서, MaaS (Mobility as a Service), AI 및 빅데이터 분석, 블록체인 기술 {Box 10.1} <p>탈탄소화를 위한 수송 기술 혁신 {10.3}</p> <ul style="list-style-type: none"> 내연기관 (ICE) 관련 기술 및 대체 연료 설명 {10.3.1} <ul style="list-style-type: none"> (개발 단계에 있는 관련 기술) Atkinson cycle (+VVT), dynamic CDA + Mild Hybrid or Miller, Lean-burn GDI, Variable CR, Spark assisted GCI, GDCl, water injection, 						

장	주제	기술 관련 내용
10	수송	<p>pre-chamber concepts, homogeneous lean, dedicated EGR, 2-stroke opp. piston Diesel, RCCI</p> <ul style="list-style-type: none"> - (대체 연료) △천연가스, △바이오연료 (기존 기술과 양립가능한 에너지 운반체로의 전환이 가능하다는 장점) - 목질계(lignocellulosic) 공급원료로부터의 바이오연료 생산 기술은 느린 개발 수준, 완전한 상업적 적용이 힘들다는 어려움 겪고 있음 - 전환기술로 다음 언급 {Table 10.5} (p27), 각 기술에 대한 기술준비도(TRL) 평가 {Figure 10.3} (p28) - 목질계 에탄올, 가스화와 피셔-트롭쉬법, 설탕 및 녹말 에탄올, 정유작물 바이오 디젤, 열분해 통한 오일 생산, HEFA(hydro-processed esters and fatty acids) 공정, ATJ(alcohol to jet), 바이오메탄, 열수 액화(hydrothermal liquefaction), 설탕 기반 탄화수소, 가스화와 합성가스 발효 - 항공운송 부문에서는 SAF (sustainable aviation fuels)이 중점적으로 설명됨. 잠재력은 높으나 현재 한계점도 많음 (p28) - 합성연료 관련, 피셔-트롭쉬법 공정 등을 통한 탈탄소화 기여 가능성 설명 • 전자 기술 관련 {10.3.2} <ul style="list-style-type: none"> - 2차 전지 관련, LIB (lithium-ion batteries)와 post-LIB 설명 - 모빌리티의 전기화에서 전원저장장치(power storage devices)와 발전된 통합시스템 접근법이 중요 • 연료 전지 기술 관련 {10.3.3} <ul style="list-style-type: none"> - HFCVs (Hydrogen fuel cell vehicles)의 발전 현황 및 가능성, FCV 관련 기술 적용의 발전 현황 및 앞으로의 적용도 예측 • 급유 및 충전 인프라 관련 {10.3.4} <ul style="list-style-type: none"> - EVs, HFCVs와 같은 운송 기술의 활용에 있어서 새로운 충전 및 재급유 인프라의 배치가 중요 (p34) - EV 충전 위한 인프라로 (1) 전도성 충전, (2) 비접촉식(무선) 충전 언급: 후자는 최근 등장했으며 대부분의 경량 및 중량급 차량은 전자 사용 중 (p35) - 교통 부문에서의 수소 운송 관련 기술로 △가스 tube trailer, △액화 트럭 트레일러 △수소 파이프라인 언급 (p37, Table 10.6) <p><u>육상교통의 탈탄소화 {10.4}</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • (HEV) 중형 LDVs & 연료 기술 관련하여 다음이 언급됨 (Figure 10.4, p39) <ul style="list-style-type: none"> - (FCV) Hydrogen, low-carbon electricity; Hydrogen, natural gas SMR / (BEV) Low-carbon electricity; Natural gas electricity; Coal electricity / (HEV 및 ICEV) Advanced biofuels, PM NRG; Advanced biofuels, PM CLC; Advanced biofuels, IAM EMF33; Liquefied petroleum gas; Compressed natural gas; Diesel; Gasoline - LDVs 위한 FCVs는 ICEVs와 BEVs 대비 낮은 기술 준비도 보임 (p41) - 연소 엔진을 사용하는 ICEV, HEV, PHEV 기술은 온실가스 배출량을 상당히 저감하는 데에는 한계가 존재함 (p43) - 저탄소 연료/에너지원을 사용하는 LDVs로의 성공적 전환을 위해서는 가능한 많은 사람들이 기술을 누릴 수 있도록 해야하며, 이를 위해서는 기존의 디젤 및 기술권에 비해 가격 경쟁력을 지녀야 함 (p44) • (버스) 기존의 디젤연료 버스를 대체할 수 있는 연료로 CNG, LNG, 합성연료, 바이오연료 언급 (p46); 다만 에너지 발전과 수소 생산이 화석연료에 대한 의존도가 높을 경우 배출량 감축에 크게 도움이 되지 않을 것임을 지적 (p48) {10.4.2}

장	주제	기술 관련 내용
10	수송	<ul style="list-style-type: none"> • 화물운송의 온실가스 배출량 검토 {Figure 10.8}, 배출량 감축을 위한 기술로 다음이 제시 <ul style="list-style-type: none"> - 저탄소 바이오연료·암모니아·합성디젤을 사용하는 ICEV 트럭, 저탄소 전력을 이용하는 BEVs, 암모니아 또는 재생에너지 기반 전해수소 사용하는 FCVs 등 - 저탄소 전력/저탄소 수소를 사용하는 트럭 및 철도가 기존의 기술보다 현저히 낮은 배출량 보임 (p54) {10.4.3} • 감소 비용(abatement costs) 관련, 섹션 전체에서 육상교통에서의 온실가스 배출 감축을 위한 비용 효율적 방안들 제시 {10.4.4} <p><u>항공부문 탈탄소화</u> {10.5}</p> <ul style="list-style-type: none"> • 본 부문 기술 및 에너지 효율성 발전에서의 가장 큰 제한요인은 안전성(safety); 온실가스 감축을 위한 수단은 in-sector(기술, 운항, 연료)와 out of sector(시장중심접근, 고속철도 modal 변경/대체) (p58) • 1.5°C 시나리오에서 요구된바, 항공부문에서의 CO2 넷제로 달성을 위해서 기술, 연료 종류, 행동/수요 부문에서의 근본적인 변화 요구됨이 지적 (p59) {10.5.2} • 항공부문에서의 비(非)이산화탄소 온실효과를 줄이기 위한 관련, NOx와 상충하는 연소기 기술 언급 {10.5.3} (p62) • IEA의 여러 항공부문 장기 시나리오에서 기술적 요소 포함됨을 설명 (p65) {10.5.4} <p><u>선박부문 탈탄소화</u> {10.6}</p> <ul style="list-style-type: none"> • 아래 수단의 완화 역량 관련 설명 {10.6.4} <ul style="list-style-type: none"> - 저탄소 수소와 암모니아는 탈탄소화된 선박 연료로서의 긍정적 가능성 지남; 다만 이런 연료의 안전한 저장 및 관리를 위한 기술 발전 및 절차 마련이 필요함을 언급 (p70) - 탄소 포집을 위한 선상(onboard) 기술에 대한 관심이 증대되고 있음 언급되며, 현재 프로토타입의 선박에서 65~90% 정도의 CO2 배출 감축량을 보임 (p72) <p><u>통합된/섹터별/지역별 모델 기반 시나리오</u> {10.7}</p> <ul style="list-style-type: none"> • 교통 부문의 탈탄소 경로 모델 세 가지 (IAMs; GTEM; NTEMs) - 공통적으로 기술적 발전 포함 (p75) {10.7.1} • 각국 NDC를 살펴봤을 때, 고소득 국가에서는 대개 전기화, 연료효율성 기준 등 기술 옵션에 집중함; 기후 시나리오 간의 차이를 낳는 요인으로 연료 및 탄소 효율성, 연료 에너지와 기술 등이 중요한 역할 (p85) {10.7.4} • 교통 부문에서의 탄소 감축을 위한 메커니즘으로 크게 두 가지 언급 {10.7.6}: 현재 교통기술에 대한 연료 변경 또는 저탄소 교통기술로의 전환 (p87) <ul style="list-style-type: none"> - IAM과 GTEM 시나리오는 연료 및 기술 전환이 온난화 수준 낮추기 위한 탄소 배출량 감축에 중요 (crucial)함을 보여줌 e.g. LDV에서의 EV 기술 활용 (p88) <p><u>가능 조건</u> {10.8}</p> <ul style="list-style-type: none"> • 타당성 평가에 따라 아래와 같이 기술 관련 내용 언급 {10.8.2} <ul style="list-style-type: none"> - 수요측면 개입은 기술 변화가 수반될 때 가장 효과적으로 이루어질 수 있음 (p94) - 타당성 예측 결과 교통 부문에서 수소기반 연료 생산 및 이용을 위한 기술은 초기(infancy) 수준 (p95) - 현재 구상단계에 머물러 있으나 이후 교통수단의 전기화를 위해 이용될 수 있는 기술로서 Maglev, Hyperloop, Drones 등 제시 (p99)

장	주제	기술 관련 내용						
10	수송	<p>[「탄소중립 기술혁신 추진전략 - 10대 핵심기술 개발 방향」 연관 부분]</p> <ul style="list-style-type: none"> - 수송 부문에서의 디지털화(빅데이터, AI, IoT 등) <table border="1" data-bbox="446 364 1338 721"> <thead> <tr> <th data-bbox="446 364 891 407">탄소중립 기술혁신 추진방안</th> <th data-bbox="891 364 1338 407">IPCC FGD</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="446 407 891 510"> <p>(수송효율)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 전기차 및 수소 충전소, 전기차 충전기 의무설치 등 인프라 구축 가속화 </td> <td data-bbox="891 407 1338 510"> <ul style="list-style-type: none"> - EVs, HFCVs와 같은 운송 기술의 활용에 있어서 새로운 충전 및 재공급 인프라의 배치 중요성 </td> </tr> <tr> <td data-bbox="446 510 891 721"> <p>(바이오에너지)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 기술개발 전략 중 수송용 연료 관련 바이오 CNG, 목질계 바이오경유 기술, 바이오중유 선박유, 저에너지 소모형 바이오 항공유 생산기술 등 포함 </td> <td data-bbox="891 510 1338 721"> <ul style="list-style-type: none"> - 탈탄소화 위한 수송기술에서 대체연료에 바이오연료 포함 - 디젤연료 사용 버스 위한 대체연료로 CNG, LNG, 바이오연료 등 언급 - 항공부문 탈탄소화 위한 수단에서 연료 종류 변화가 요구됨 </td> </tr> </tbody> </table>	탄소중립 기술혁신 추진방안	IPCC FGD	<p>(수송효율)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 전기차 및 수소 충전소, 전기차 충전기 의무설치 등 인프라 구축 가속화 	<ul style="list-style-type: none"> - EVs, HFCVs와 같은 운송 기술의 활용에 있어서 새로운 충전 및 재공급 인프라의 배치 중요성 	<p>(바이오에너지)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 기술개발 전략 중 수송용 연료 관련 바이오 CNG, 목질계 바이오경유 기술, 바이오중유 선박유, 저에너지 소모형 바이오 항공유 생산기술 등 포함 	<ul style="list-style-type: none"> - 탈탄소화 위한 수송기술에서 대체연료에 바이오연료 포함 - 디젤연료 사용 버스 위한 대체연료로 CNG, LNG, 바이오연료 등 언급 - 항공부문 탈탄소화 위한 수단에서 연료 종류 변화가 요구됨
		탄소중립 기술혁신 추진방안	IPCC FGD					
		<p>(수송효율)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 전기차 및 수소 충전소, 전기차 충전기 의무설치 등 인프라 구축 가속화 	<ul style="list-style-type: none"> - EVs, HFCVs와 같은 운송 기술의 활용에 있어서 새로운 충전 및 재공급 인프라의 배치 중요성 					
<p>(바이오에너지)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 기술개발 전략 중 수송용 연료 관련 바이오 CNG, 목질계 바이오경유 기술, 바이오중유 선박유, 저에너지 소모형 바이오 항공유 생산기술 등 포함 	<ul style="list-style-type: none"> - 탈탄소화 위한 수송기술에서 대체연료에 바이오연료 포함 - 디젤연료 사용 버스 위한 대체연료로 CNG, LNG, 바이오연료 등 언급 - 항공부문 탈탄소화 위한 수단에서 연료 종류 변화가 요구됨 							
11	산업	<ul style="list-style-type: none"> • 배출 및 산업 발전에서의 새로운 흐름 {11.2} <ul style="list-style-type: none"> - 철강, 화학, 시멘트 등 - 중국, 인도 등 각지에서 BAT를 이용, 새롭고 효율적인 생산시설 등이 활용되어 에너지 집약적 산업의 에너지 소비량 감소 추세; 혁신적인 신기술이 도입되지 않는 이상, 시장이 포화 상태에 이르면 소재(material) 생산을 위한 물리적인 에너지 집약도는 감소하고 BAT 레벨에서 안정화됨 (p16) - 철강 생산의 탄소 집약성 변화 패턴은 BAT에서의 큰 성장(major jumps)과 궤를 같이 함 (p19) {11.2.2} <p>기술 발전 및 옵션 {11.3}</p> <ul style="list-style-type: none"> • 산업부문 온실가스 감축을 위한 접근 방법 중 하나로서의 순환경제와 관련, 산업계 이해관계자들의 정보 공유 및 소통 강화를 위한 플랫폼에 대해 정보통신기술 적용이 언급 (p28) {11.3.3} • 에너지 효율성 개선을 위한 주요 기술 발전으로 디지털화 및 industrial high-temperature heat pumps 언급; BAT의 효과적인 확산 등을 통한 에너지 효율 개선 (p29) {11.3.4} <ul style="list-style-type: none"> - (열에너지 효율성 개선) waste heat to power (WHP) 의 경우, 중국에서 현 기술은 쓰레기 열의 7-13%를 전력 발전에 사용가능토록 함. 더 발전한다면 40-57%까지도 활용가능할 것으로 예측됨 {11.3.4.1} - (스마트 에너지 관리) 디지털화는 여러 분야에서의 기술발전을 통한 과정 통제 및 최적화에서의 발전에 도움됨 (p31) {11.3.4.2} • CCS와 CCU가 공통적으로 포집 기술을 활용하나, 포집된 CO2의 처리 및 기술의 적용 전략 등에 있어서는 차이가 존재 {11.3.6} <p>부문별 완화 경로 및 부문간 시사점 {11.4}</p> <ul style="list-style-type: none"> • 부문별 완화 기술 및 역량 {11.4.1} <ul style="list-style-type: none"> - (철강) BF-BOFs with CCU/CCS; methane based syngas (hydrogen and carbon monoxide) direct reduced iron (DRI) with CCS; hydrogen-based direct reduced iron (H-DRI); aqueous/molten oxide electrolysis route; HIsarna® process; hydrogen co-firing in BF-BOFs - (시멘트 및 콘크리트) 시멘트 분야에서의 CCS 기술 중요성 언급 • 부문별 시나리오에서 제시된 경로와 관련 {11.4.2} <ul style="list-style-type: none"> - 각 시나리오의 완화 전략의 타당성(relevance)에 영향을 미치는 요인 중 하나로 미래 기술 발전 및 기술 가용성(availability) 언급 (p70) - 고착(lock-in)을 피하기 위해서는 신기술의 빠른 적용 필요함을 강조 (p71) 						



장	주제	기술 관련 내용						
11	산업	<p>산업 부문 인프라/정책/SDGs {11.5}</p> <ul style="list-style-type: none"> • 산업 부문의 탈탄소화를 위해서는, 기존 자산의 이른 '처리'에 따른 경제적 비용보다도 무(無)배출 기술의 발전과 배치가 더 큰 도전과제가 될 수도 있음을 지적 (p79) {11.5.1} • 전기화와 CCUS의 경우 아직 초기 단계이며 대개 기술 발전 및 시연에 초점이 맞춰져 있음 (p80) {11.5.2} • CCU, CCS: SDG 13, SDG 3 (비이산화탄소 오염원 관리), SDG 9 (해외 투자/노하우), SDG 8와의 긍정적 연관성; 반면 SDG 6, 7, 14, 15에 대해서는 리스크 발생 가능성 있음 {11.5.3.5} 						
		<p>[탄소중립 기술혁신 추진전략 - 10대 핵심기술 개발 방향, 연관 부분]</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>탄소중립 기술혁신 추진전략</th> <th>FGD</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> <p>(산업공정 고도화)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 반도체·디스플레이 그린공정 개발: 배출제어 시스템 고도화와 실증, 상용화를 통한 저감 효율 증대 - 산업기기·공정효율화: 스마트 센서·시스템 및 공장맞춤형 시스템개발과 상용화 통한 효율개선, 그린스마트팩토리 에너지 절감 <p>(디지털화)</p> <ul style="list-style-type: none"> - ICT 기기 및 인프라 효율화와 에너지 데이터 집적·활용기술, AI 기반 분산자원 관리 시스템 </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> - 산업 부문 에너지 효율성 향상 관련하여 스마트 에너지 관리 등에서의 디지털화 활용 </td> </tr> <tr> <td> <ul style="list-style-type: none"> - (CCUS) 비용 저감, 국내 환경 기반 실증을 통한 검증, 민간 투자 확산 위한 유인책 도입 노력 </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> - 포집된 CO2 처리 및 활용 전략에 있어서 CCU와 CCS 간 차이 및 SDGs와의 관계 - CCUS는 아직 초기 단계로 대개 기술 발전 및 시연에 초점이 맞춰져 있는 상황임 </td> </tr> </tbody> </table>	탄소중립 기술혁신 추진전략	FGD	<p>(산업공정 고도화)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 반도체·디스플레이 그린공정 개발: 배출제어 시스템 고도화와 실증, 상용화를 통한 저감 효율 증대 - 산업기기·공정효율화: 스마트 센서·시스템 및 공장맞춤형 시스템개발과 상용화 통한 효율개선, 그린스마트팩토리 에너지 절감 <p>(디지털화)</p> <ul style="list-style-type: none"> - ICT 기기 및 인프라 효율화와 에너지 데이터 집적·활용기술, AI 기반 분산자원 관리 시스템 	<ul style="list-style-type: none"> - 산업 부문 에너지 효율성 향상 관련하여 스마트 에너지 관리 등에서의 디지털화 활용 	<ul style="list-style-type: none"> - (CCUS) 비용 저감, 국내 환경 기반 실증을 통한 검증, 민간 투자 확산 위한 유인책 도입 노력 	<ul style="list-style-type: none"> - 포집된 CO2 처리 및 활용 전략에 있어서 CCU와 CCS 간 차이 및 SDGs와의 관계 - CCUS는 아직 초기 단계로 대개 기술 발전 및 시연에 초점이 맞춰져 있는 상황임
		탄소중립 기술혁신 추진전략	FGD					
<p>(산업공정 고도화)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 반도체·디스플레이 그린공정 개발: 배출제어 시스템 고도화와 실증, 상용화를 통한 저감 효율 증대 - 산업기기·공정효율화: 스마트 센서·시스템 및 공장맞춤형 시스템개발과 상용화 통한 효율개선, 그린스마트팩토리 에너지 절감 <p>(디지털화)</p> <ul style="list-style-type: none"> - ICT 기기 및 인프라 효율화와 에너지 데이터 집적·활용기술, AI 기반 분산자원 관리 시스템 	<ul style="list-style-type: none"> - 산업 부문 에너지 효율성 향상 관련하여 스마트 에너지 관리 등에서의 디지털화 활용 							
<ul style="list-style-type: none"> - (CCUS) 비용 저감, 국내 환경 기반 실증을 통한 검증, 민간 투자 확산 위한 유인책 도입 노력 	<ul style="list-style-type: none"> - 포집된 CO2 처리 및 활용 전략에 있어서 CCU와 CCS 간 차이 및 SDGs와의 관계 - CCUS는 아직 초기 단계로 대개 기술 발전 및 시연에 초점이 맞춰져 있는 상황임 							
<ul style="list-style-type: none"> - (CCUS) 비용 저감, 국내 환경 기반 실증을 통한 검증, 민간 투자 확산 위한 유인책 도입 노력 								
12	범분야적 관점	<ul style="list-style-type: none"> • CDR 관련, 다음 기술들이 설명·평가됨 {12.3} <ul style="list-style-type: none"> - (다른 챕터에서도 등장) 조림 및 재조림 (A/R), BECCS, 토양탄소격리(SCS), 바이오차, 습지/이탄지 복원, 해안 복원 등 - (기존 섹터에서 본격적으로 다루이지 않은 기술) DACCS, 광물의 강화된 풍화(EW), 해양 비옥화 (OF) 및 알칼리도 강화(OA) • 식량 관련 기술 {12.4.3} <ul style="list-style-type: none"> - (농업 부문) 디지털 농업(발전된 센서 사용, 빅데이터), 유전자 기술(유전자 편집, 농작물 생물강화 bio-fortification, 작물 혁신) 등 {12.4.3.1} - (식량 생산) 대체육을 위한 곤충, 해조류 및 이패류, 식물성 단백질, 세포농업 활용 {12.4.3.3} • 토지 사용에 따른 영향 평가를 위해 바이오매스 기반 시스템과 조림 및 재조림, 두 가지 경우를 설명 {12.5.3} <ul style="list-style-type: none"> - 바이오매스 기반 완화 수단: 바이오에너지/BECCS, 바이오차, 목조 건축, 기타 바이오상품 등 (p99) - 풍력, 태양광(PV, CSP), 원자력, 수력 발전에서 토지 관련 고려되어야 할 사항, 영향 등 설명 • 범분야적으로 적용되고 있는 완화 수단으로 다음의 기술 언급 {12.6.1.2} (p119 120) <ul style="list-style-type: none"> - 재생에너지 기술 - 그리드 전기 공급을 위한 태양 및 풍력 활용; 건축/농업 부문 - (저탄소기술로 생산된) 수소 연료/전지 - 교통, 도시 난방, 산업 및 전기 공급 balancing - EVs - CCS, CCU, BECCS, power-to-X(P2X) 기술 • 범용기술(GPTs)의 범분야 활용 예시 등 {12.6.1.3} 						
		<p>[탄소중립 기술혁신 추진전략 - 10대 핵심기술 개발 방향, 연관 부분]</p> <ul style="list-style-type: none"> - CCS/CCU, 바이오에너지, 재생에너지(태양광 및 풍력), 수소 연료/전지, EVs 						

장	주제	기술 관련 내용
13	국가 및 지자체의 정책·제도	<ul style="list-style-type: none"> • 기후정의(climate justice)의 맥락에서, EV나 스마트 그리드와 같은 기술적 해결방법은 이런 기술을 누리지 못하는 공동체 차원에서의 필요성과 역량을 다루지 못함을 인지하고, 이에 대해 공동체주도 접근법 필요; 개도국의 현실을 고려, 현존하는 기술적 대응을 넘어서는 강력한 완화(deep mitigation) 요구됨 (p21) {13.2.4.2} • 기존의 탄소집약적 기술 사용/이후 저탄소 행동 및 기술의 도입에 있어서 기업 행위자의 중요성 지적 (p26) {13.4.1} • 디지털 기술이 청년기후행동, 그리고 탄소배출에 미치는 영향은 아직 불명확함(unclear) (Box 13.7; p29) {13.4.1} • 탄소세 비율(rate) 조정 요인 중 하나로 기술적 변화의 영향 언급 (p42) {13.6.3.1} • 정부의 규제적 수단은 기술의 적용 포함 {13.6.4} <ul style="list-style-type: none"> - 특히 에너지 시스템 전환에서는 기술 기준이 특정 섹터 및 기술의 엄청난(profound) 변화를 이루는 데에서 유망함 {13.6.4.3} (p50) • 국가수준 완화 정책의 국제적 상호작용에 대해, 기술 발전과 확산에 있어서의 파급효과(spillover) 언급 (p55) {13.6.6} • OECD 국가들의 경우, 기술주도와 수요견인의 조합이 에너지 효율적 기술의 혁신에 도움된다는 점이 밝혀짐 (p60) {13.7.1} • 저탄소 전환을 위한 정책 패키지는 탄소집약적 기술·행위의 단계적 폐지(‘exnovation’)을 포함할 경우 보다 효과적 (p61) {13.7.1} • 파리협약의 기술 이전 및 펀딩메커니즘이 재생에너지 비용 감소와 지역 수준에서의 규모의 경제 효과를 낼 수 있음 (p68) {13.8.1} • 시스템 변화를 통한 완화 가속화에 있어서 기술 관련 요인 {13.9} <ul style="list-style-type: none"> - AR6에서 정의하는 가능여건에 기술적 혁신(‘technological innovation’) 포함 (p77); 모델링 평가, 시스템 변화 등에 있어 기술적 요인 역시 고려되어야 함 (p79) {13.9.2} • 완화 및 지속가능성으로의 전환 촉진에 있어서의 주요과제에 지속불가능한 기술로부터의 단계적 폐지, 지속가능한 기술의 주류화 등이 포함 (p81) {13.9.7}
14	국제협력	<p><u>국제협력 평가에 있어서 기술 관련하여 아래와 같이 언급 {14.2}</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • 기술 개발에 대한 지역·섹터 수준에서의 협력의 장점도 존재하나, 다양한 맥락을 고려할 때 청정 기술의 배치와 적용은 경로의존적(path dependent)일 수 있음. 따라서 정부 차원에서 정책, 투자 등을 통한 역할을 수행하는 것이 필요 (p8) {14.2.1} • 경제적 인센티브가 수반되어 2°C 목표를 강제하는 기후 클럽은 기술 확산을 촉진시킬 수 있음을 언급 (p12) {14.2.2} • 고탄소에서 저탄소 기술로의 전환 및 동 기술이 운영되는 섹터, 사회적 환경의 변화 등의 경우 효과성 평가를 위한 기준이 요구될 수 있음. 다만 이런 과정은 선형적(linear)이지 않고 당장의 온실가스 감축을 가져오는 것도 아니라는 점이 고려되어야 함 (p12) {14.2.3} <p><u>완화와 관련된 국제기후협약(UNFCCC/파리협약)의 요소 중 기술 관련 아래와 같이 언급 {14.3}</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • 현재 많은 나라의 NDC가 조건부 요소를 포함하며, 이를 위해서는 재정, 기술 및 역량 강화에 대한 국제협력이 요구됨을 강조 (p25) {14.3.2} • 기술 발전 및 이전 {14.3.2.9} <ul style="list-style-type: none"> - 파리협약의 세 가지 ‘means of implementation and support’ 중 하나로 기술 개발 및 이전이 포함됨. 해당 섹션 이에 대한 설명 구체화 및 기술메커니즘의 역할 등 언급 - 파리협약하에서 완화를 위한 기술의 중요성은 회원국의 NDC에서도 드러남 - 기술 개발 및 이전이 파리협약에서 중요하게 다루지면서, 관련 협상에 있어서 개도국과 선진국 간 입장 차이가 확고했으며 이는 파리협약의 실행에도 계속될 것으로 보임



장	주제	기술 관련 내용
14	국제협력	<ul style="list-style-type: none"> - 특히 개도국 NDC의 경우 역량 강화의 측면에서도 적응을 위한 기술 및 연구 등 강조하는 반면, 상위중소득국(upper-middle income developing countries)은 기술 개발 및 이전에 대한 강조, 완화에 더 관심 기울임 {14.3.2.10} • 파리협약의 효과성(effectiveness) 관련 {14.3.3.2} <ul style="list-style-type: none"> - GCF 포함, UNFCCC하 금융기구와 파리협약의 연계와 더불어, 기술 지원과 역량 강화 제공은 저탄소 기술·발전경로에 대한 투자 촉진; 다만 break-through technologies에 대한 투자 촉진에 있어서 파리협약의 영향은 불분명(unclear)하다는 의견도 존재 (p40) - 저탄소 에너지 기술의 빠른 확장은 상당 부분 정책에 달려있음 e.g. 구체적 기술에 대한 도입 인센티브 {Cross-Chapter Box 10} • CDR 기술 종류로 조립 및 재조립, 토양 탄소 격리, BECCS, DACCS, 강화된 풍화, 해양 비옥화 언급 {14.4.5} <p>거버넌스 관련 {14.5}</p> <ul style="list-style-type: none"> • 거버넌스 측면에서의 기술 관련 국제협력 {14.5.1} <ul style="list-style-type: none"> - 무역정책 역시 완화 기술 및 정책의 국제적 도입과 확산을 촉진시킬 수 있는 잠재력 가짐 (p71) e.g. CPTTP의 경우 청정에너지 및 저배출 기술 협력 촉진 내용 포함 (p74) {14.5.1.3} - (남남협력) 저탄소 에너지 기술에 있어서 몇십년 간 지속된 NSTT (North-South technology transfer and cooperation)에 비해 비교적 최근 등장한 SSTT (South-South technology transfer and cooperation), South-North technology transfer and cooperation (SNTT) 설명, 이에 따른 협력의 양상, 패러다임과 역학관계 등에서의 변화 언급; 다만 기후기술 분야에서의 남남협력이나 삼각협력의 경우 아직 그 성과를 평가할 수 있는 시점은 아니며, 추후 체계적인 시스템 및 모니터링 위한 프레임워크 구축 필요성 언급 {14.5.1.4} • Sectoral agreement에서도 기술 관련 기준, 연구 및 배치에서의 협력 등의 면에서 국가간 조화 필요함을 언급 (p76) {14.5.2} <ul style="list-style-type: none"> - IEA와 IRENA를 예시로, 새로운 기구뿐만 아니라 기존의 기구/제도 역시 저탄소 에너지 기술에 대한 글로벌 투자 및 역량 강화의 틀에서 크게 벗어나지 않는 미션을 좇고 있음을 설명 (p80)
15	투자과 재정	<ul style="list-style-type: none"> • 완화 및 저탄소 기술에 대한 투자, 기술 확산 또는 상업화의 장벽이 될 수 있는 요소들 설명; 태양광, 풍력에너지와 같은 재생에너지 기술의 비용 감소와 경쟁력 상승에 비추어볼 때, 투자의 경제성이 중요한 모멘텀이 될 수 있음을 강조 (p29) {15.4.1} • 재정상의 필요에 대한 정량적 평가에서 기술 관련 내용 아래와 같이 언급 {15.4.2} <ul style="list-style-type: none"> - 모델링/시나리오에서의 투자 요소 평가에 기술 비용 등 포함; 저탄소 전력기술의 자본집약도에서 여전히 상대적으로 불리한 상황이며, 이는 높은 이자율을 갖는 국가에서의 빠른 탈탄소화 달성에 있어서 장벽이 될 수 있음 (p33) - 저탄소 전력발전 투자는 전력 수요의 증가분과 화석연료 발전의 대체를 모두 고려해야 함 (p34) • 자금조달 관련 {15.5} <ul style="list-style-type: none"> - 민간부문 투자를 저해, 자금 조달 격차를 초래할 수 있는 요소 중 하나로 완화 관련 기술에 대한 높은 리스크 인식 언급 (p38) - 기술비용과 더불어, 규제적 환경의 조성 과 같은 연성비용(soft costs)이 기술 배치 위한 자금 조달을 위한 선행조건으로 언급 (p43) • 장기적 국제목표 관련 {15.6} <ul style="list-style-type: none"> - 신기술과 연료의 확산으로 특정 산업 분야에서의 화석연료 수요가 감소하며 거시경제 변화를 불러올 수 있음 {15.6}

장	주제	기술 관련 내용
15	투자과 재정	<ul style="list-style-type: none"> - 신기술이 시장에서 더욱 활발히 이용되기 위해서는 경제적 이익의 불확실성을 줄여주는 가격/규제 관련 정책이 수반되어야 함 {15.6.2} - 기후금융과 관련, 기술 확산에 있어서 발전차액지원(FIT)의 긍정적 효과 언급; 저탄소 기술 및 투자는 탄소가격이 존재할 때 더 활발함 (p57) {15.6.2} - 핀테크(fintech)의 기후변화 분야에의 적용 관련하여, 해당 기술이 기후투자를 강화시킬 수 있음과 동시에 거래량 증가로 인한 에너지 수요에 따른 배출 해결 과제가 남아있음 {15.6.8} (p86) <p>[「탄소중립 기술혁신 추진전략 - 10대 핵심기술 개발 방향」 연관 부분]</p> <ul style="list-style-type: none"> - 저탄소 기술의 도입과 확산에 있어서 거버넌스/정책의 중요성 - 시장 불확실성 해소뿐만 아니라, 가격/규제 관련 정책과 같은 연성비용은 저탄소/완화 기술 배치와 확산의 중요한 선행조건 중 하나 - 추진전략 전반적으로 정책·제도 항목에서 다음이 포함: 시장진입과 민간 확산 위한 인센티브 등 촉진 기반 마련과 제도 개선, 관련 인프라 구축 및 보강 등
16	혁신, 기술 개발과 이전	<p>기술 혁신 및 변화 관련 {16.2}</p> <ul style="list-style-type: none"> • 기술준비도(TRLs) - 혁신의 단계 {16.2.1.4} {16.2.1} (Table 16.2, p12) • 기술 변화의 원인으로 R&D, learning-by-doing, 파급효과(spillover effects) 언급 {16.2.2} <ul style="list-style-type: none"> - 탄소집약적 기술 혁신의 파급효과는 화석연료 기술 고착으로 이어질 수 있음. 반대로 저배출 기술 파급효과는 기후정책의 효능에 긍정적 영향, 나아가 파급의 범위가 지역내에 한정되지 않고 다른 국가에도 영향 미칠 수 있음 (p17) - 범용기술(GPTs) 중 기후변화 완화와 관련된 기술로 수소 및 연료전지 기술, 재생에너지 발전에서 중요한 나노기술 언급 (p17); 디지털 기술이 특정 기술에서의 온실가스 배출을 줄이는 데에 도움이 될 수 있음을 설명 (e.g. 산업 부문 - 로봇화, 스마트 매뉴팩처링(SM), IoT, AI, additive manufacturing (AM, 3D 프린팅) / 교통 및 수송 - 스마트 모빌리티 / 건축 - 스마트 그리드) {16.2.2.3} - 디지털화와 관련 기술이 에너지 수요 증대를 불러올 수 있으나, 한편으로는 에너지 효율성 증가에 긍정적인 영향 미칠 수 있음 (p18); 디지털기술과 관련된 사회문화적 영향, 거버넌스의 필요성 등 (p21) {Cross-Chapter Box 11} • 모델 기반 시나리오에서 배출량 감축의 주요 동인으로 에너지 기술 혁신과 에너지 효율성 증대를 위한 투자 설명 (청정에너지, 녹색기술 위주) (p25) {16.2.4} <ul style="list-style-type: none"> - 에너지 기술의 확산 경로는 다음 요인들에 의해 영향받을 수 있음: △기술의 상대적 비용, △관련 에너지 시스템 하에서의 수요에 따른 공급과 물리적 제약, △다른 지역의 기술적 발전, △비가격·비기술적인, 행동, 사회 및 제도적 장애물/가능여건, △정책결정에서의 수용성과 사회적 포용성 (p26) - AR6 시나리오 데이터베이스의 두 가지 시나리오에서 다음 기술들의 비용에 대한 내용이 포함됨을 설명 - CCS 부착 석탄, CCS 부착 가스, 원자력, 태양광, 해상 및 내륙 풍력발전 (Box 16.1, p26) • IEA RD&D 데이터베이스에 따르면 에너지 기술 투자 포트폴리오에서 원자력의 비중이 감소하는 추세; 공공부문 RD&D 비용의 약 80%가 저배출 기술 관련이었는데 ('19년 기준, 이에 에너지 효율, CCUS, 재생에너지, 원자력, 수소, 에너지 저장을 비롯, 스마트 그리드와 같은 범분야 이슈가 언급됨 (p36, Box 16.3) {16.3.3} <p>[「탄소중립 기술혁신 추진전략 - 10대 핵심기술 개발 방향」 연관 부분]</p> <ul style="list-style-type: none"> - 수소 및 연료전지 기술, 디지털화 및 디지털 기술의 배출 완화 및 에너지 효율성 증대 효과 설명 - 시나리오에서 다음에 대한 기술 비용 포함: CCS 부착 석탄 및 가스, 원자력, 태양열, 해상 및 내륙 풍력발전

장	주제	기술 관련 내용
17	지속가능발전의 맥락에서 전환 촉진	<ul style="list-style-type: none"> • 기술혁신 및 발전의 중요성 {17.2} <ul style="list-style-type: none"> - 최종사용기술의 혁신과 발전이 배출량 감축과 지속가능한 발전에 대해 갖는 잠재력, IoT, AI, 빅데이터 및 정보기술이 사회경제적 발전에 기여함 등을 설명 {17.2.1} (p11) - 기술혁신이 여러 요인으로 인해 자본 및 생산성 향상을 가져온다면, 동일한 맥락에서 지속가능한 발전과 기후 완화에서의 이점 존재 {17.2.1} (p12) <p><u>지속가능발전 맥락에서의 탈탄소 전환 관련 연구 {17.3}</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • 지속가능발전 맥락에서의 탈탄소 전환 관련 연구 {17.3} • 저탄소기술 발전, 기존 기술로부터의 phase-out, 화석연료와의 탈동조화에 있어서 개도국이 갖는 어려움, 특히 팬데믹 상황에서 심화될 수 있음을 지적; 저탄소 발전으로의 전환에 있어서 에너지 관련 취약성과 불평등이 고려되어야 함 (p27) {17.3.2} • 범분야적 전환 {17.3.3} <ul style="list-style-type: none"> - (AFOLU) 새로운 food-chain 기술(e.g. 미생물, 식물, 곤충 단백질)이 식량생산에서 직접적으로 배출되는 온실가스의 감축에 중대한 영향을 미칠 수 있으며, 이러한 감축 역량이 온전히 실현되기 위해서는 저(低)온실가스 에너지 시스템 필요 {17.3.3.1} - (물-에너지-식량 nexus) 화석연료 기반 기술보다 물부족 영향을 덜 받으며 장기적 관점에서는 에너지 부문의 물 사용량을 상당히 줄일 잠재력이 있는 기술로 풍력, 태양광, 파도 에너지 언급; 반대로 지열 에너지나 solar CSP의 경우 냉각을 위해 물 사용; 물 사용과 관계없이 에너지원 전반적으로 기후 패턴에 상당한 영향을 받기 때문에 변인 통제와 수요의 극단성 관리 가능한 에너지 시스템 요함을 설명 (p37) {17.3.3.2} - (산업) 물 관리 기술의 발전에 따라 CCS가 SDGs와 시너지/상충효과를 동시에 가질 수 있음을 설명 (p42) {17.3.3.3} - (디지털화) 지속가능한 발전과 저배출 경로로의 빠른 전환 촉진에 있어 디지털화와 디지털 기술의 역할 및 도전과제 설명 (p48) - 다음의 구체적 기술이 챕터별로 기술: EV 배터리/연료전지 (Ch6), ICT 플랫폼 기반의 공유경제 관련 디지털 기술(Ch10), 농업 부문의 ‘green innovation’ 관련 기술 (p49) {17.3.3.6} <p>[탄소중립 기술혁신 추진전략 - 10대 핵심기술 개발 방향] 연관 부분</p> <ul style="list-style-type: none"> - 에너지 부문 물 사용량 감축 잠재력 있는 기술로 풍력과 태양광 에너지 포함; CCS는 물관리 기술의 발전에 따라 SDGs와의 관계 설정 - 디지털화 및 디지털 기술 관련 EV 배터리/연료 전지, ICT 플랫폼 관련 기술 등 언급

부록

4. RCP 및 SSP 시나리오

1. RCP 시나리오

대표농도경로(RCP, Representative Concentration Pathways) 시나리오란, 온실가스 농도의 경로를 2100년에 도달할 것으로 전망되는 복사강제력(radiative forcing) 수치에 따라 구분한 시나리오이다. 여기에서 복사강제력은 대기 내에서 자연적 및 인간활동에 의한 기후변화로 인해 발생하는 에너지 흐름의 변화량을 의미한다. 각 경로의 이름은 2100년 복사강제력 전망치를 W/m^2 의 단위로 표현한 수치(2.6, 4.5, 6.0, 8.5)로 결정되었다(하단 표 참조). 동 시나리오는 IPCC 제5차 평가보고서에서 기후모델 주요 시나리오로 활용되었다.

종류	시나리오 설명	2100년 CO ₂ 농도(ppm)	2100년 전지구 평균기온
RCP2.6	지금부터 즉시 온실가스 감축 수행	420	+1.3°C
RCP4.5	온실가스 감축 정책이 상당히 실현되는 경우	540	+2.4°C
RCP6.0	온실가스 감축 정책이 어느 정도 실현되는 경우	670	+2.7°C
RCP8.5	현재 추세로(감축 없이) 온실가스가 배출되는 경우	940	+4.0°C

2. SSP 시나리오

공동사회경제경로(SSP, Shared Socioeconomic Pathways) 시나리오란, 온실가스 감축 수준 및 기후변화 적응 방안의 이행 수준 등에 따라 어떻게 미래의 사회경제 구조가 변화할지에 따라 다섯 종류(SSP1~SSP5)로 구분한 시나리오이다. IPCC 제6차 평가보고서의 제1실무그룹 보고서에서는 SSP 시나리오에 기존의 RCP 시나리오를 연계하여 사회경제변화와 온실가스 농도 경로를 함께 고려한 다섯 종류(하단 표 참조)의 대표 시나리오를 도출하여 주로 활용하였다.

종류	시나리오 설명	2100년 전지구 평균기온
SSP1-1.9	매우 낮은 온실가스 배출량과 2050년 즈음에 CO ₂ 넷제로 달성을 가정하는 경우	+1.4°C
SSP1-2.6	재생에너지 기술 발달로 화석연료 사용이 최소화되고 친환경적으로 지속가능한 경제성장을 이룰 것으로 가정하는 경우	+1.8°C
SSP2-4.5	기후변화 완화 및 사회경제 발전 정도가 중간 단계를 가정하는 경우	+2.7°C
SSP3-7.0	기후변화 완화 정책에 소극적이며 기술개발이 늦어 기후변화에 취약한 사회구조를 가정하는 경우	+3.6°C
SSP5-8.5	산업기술의 빠른 발전에 중점을 두어 화석연료 사용이 높고 도시 위주의 무분별한 개발이 확대될 것으로 가정하는 경우	+4.4°C



참고문헌

국내 문헌

- 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 December 06, 2022.
- 금융위원회. (2021). 기업공시제도 종합 개선방안. <https://www.fsc.go.kr/comm/getFile?srvcld=BBSTY1&upperNo=75176&fileTy=ATTACH&fileNo=6>. Accessed on December 06, 2022.
- 금융위원회. (2022). 보도자료_ISSB의 지속가능성 공시기준 관련 공개 의견수렴(2022. 5. 13). <https://www.fsc.go.kr/comm/getFile?srvcld=BBSTY1&upperNo=77781&fileTy=ATTACH&fileNo=8>. Accessed on December 06, 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 December 06, 2022.
- 김용태. (2021). 패널 토의 자료. 국회기후변화포럼 세미나 (2021.4.16.) '기후위기 대응! ESG 진단과 추진방안'. <http://www.climateforum.or.kr/archives/117>. Accessed on December 06, 2022.
- 김재필. (2021). ESG 혁명이 온다.
- 대한민국 정책브리핑. (2022). [보도자료] 녹색금융 협의체(NGFS)가입을 통해 녹색금융 국제논의에 적극적으로 참여하겠습니다. <https://www.korea.kr/news/pressReleaseView.do?newsId=156452499>. Accessed on December 06, 2022.
- 사회적가치연구원. (2021). ESG Handbook. [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](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). Accessed on December 06, 2022.
- 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 December 06, 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 December 06, 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%2](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%2)

- 0%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 December 06, 2022.
- 에너지경제연구원. (2022). 에너지수급브리프(2022년 7월호).
http://www.kesis.net/sub/sub_LastPubctDetail.jsp. Accessed on December 06, 2022.
 - 에너지데일리(2022). 기후변화 재무정보 공개 활성화된다(2022.06.27.).
<http://www.energydaily.co.kr/news/articleView.html?idxno=128825>, Accessed on December 06, 2022.
 - 연합뉴스. (2021). 금융위와 13개 금융기관, '녹색금융'국제협의체 지지선언.
<https://www.yna.co.kr/view/AKR20210524079300002>. Accessed on December 06, 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 December 06, 2022.
 - 이코노미스트. (2022). S&P, 무디스, 피치, 러시아 신용등급 강등, 국가부도 위기(2022.03.04.).
<https://economist.co.kr/2022/03/04/internationalMain/internationalEconomy/20220304120241555.html>. Accessed on December 06, 2022.
 - 지식경제부 보도자료. (2009). IEA, 12월 코펜하겐 기후변화 협상에 앞서 기후변화 관련 주요 보고서 발표(2009. 10. 13).
<https://www.korea.kr/news/pressReleaseView.do?newsId=155414894>. Accessed on December 06, 2022.
 - 한겨레신문. (2022). 기후위기 정보 공시 앞두고..'한국 TCFD얼라이언스' 발족.
<https://www.hani.co.kr/arti/economy/marketing/1048582.html>. Accessed on December 06, 2022.
 - 환경ESG. (2022). 글로벌 공시 의무화 급물살..'비즈니스 포트폴리오'를 향하다(2022. 10).
 - 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 December 06, 2022.
 - 한국광해광업공단. (2022). 한국자원정보서비스-Iron Ore&Energy.
<https://www.komis.or.kr/komis/price/mineralprice/ironoreenergy/pricetrend/ironOreEnergy.do>. Accessed on December 06, 2022.
 - 한국경제. (2021). 정기변경 앞둔 MSCI지수(2021.06.29.).
<https://www.hankyung.com/finance/article/202105050177i>. Accessed on December 06, 2022.
 - 한국기업지배구조원. (2011). CGS REPORT 1호(국제통합보고서의 추진 현황).
http://www.cgs.or.kr/publish/report_view.jsp?tn=1&pp=3&spyear=2011&skey=title&svalue=. Accessed on December 06, 2022.
 - 한국기업지배구조원. (2013). CGS REPORT 9호(통합보고프레임워크 개발 동향).
http://www.cgs.or.kr/publish/report_view.jsp?tn=33&pp=3&spyear=2013&skey=title&svalue=. Accessed on December 06, 2022.



- on December 06, 2022.
- 한국기업지배구조원. (2019). KCGS Report 제9권 11호.
http://www.cgs.or.kr/publish/report_view.jsp?tn=121&pp=3&spyear=&skey=&svalue=. Accessed on December 06, 2022.
 - 한국기업지배구조원. (2021). KCGS Report 제11권 1호.
http://www.cgs.or.kr/publish/report_view.jsp?tn=134&pp=3&spyear=&skey=&svalue=. Accessed on December 06, 2022.
 - 한국기업지배구조원. (2022). KCGS Report 제12권 3호.
http://www.cgs.or.kr/publish/report_view.jsp?tn=148&pp=3&spyear=&skey=&svalue=. Accessed on December 06, 2022.
 - 한국시멘트협회. (2020). 2020 한국의 시멘트산업 통계.
http://www.cement.or.kr/mater_down/2020%20ED%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 December 06, 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 December 06, 2022.
 - 한국에너지공단. (2021). 이슈브리핑 제157호.
<http://blog.energy.or.kr/?p=12839>. Accessed on December 06, 2022.
 - 한국에너지기술연구원. (2021). 철강 산업의 탈탄소화.
<https://www.kier.re.kr/UploadFiles/tpp/energy/16388516146270.pdf>. Accessed on December 06, 2022.
 - 한국은행. (2022). 금융안정위원회(FSB)의 개요.
<https://www.bok.or.kr/portal/main/contents.do?menuNo=200340>. Accessed on December 06, 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 December 06, 2022.
 - e-대한경제. (2022). 시멘트궤 글로벌 인플레이션 온다...건설원가 급등(2022.02.11.).
https://m.dnews.co.kr/m_home/view.jsp?idxno=202202101348227320525. Accessed on December 06, 2022.
 - ESG경제. (2022). EU, 세계에서 가장 광범위한 ESG공시 기준 공표 (2022.05.04.). <http://www.esgeconomy.com/news/articleView.html?idxno=2119>. Accessed on December 06, 2022.
 - ESG경제. (2022). EU '35년 내연기관 자동차 판매 금지 법안 유럽의회 통과 (2022.06.09.).
<https://www.esgeconomy.com/news/articleView.html?idxno=2234>. Accessed on December 06, 2022.

- Impact On. (2020a). 환경부가 지지선언인 'TCFD(기후변화 재무정보공개 전담협의체) 새롭게 주목(2020.06.22.). <http://www.impacton.net/news/articleView.html?idxno=144>. Accessed on December 06, 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 December 06, 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 December 06, 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 December 06, 2022.
- Impact On. (2021c). G7 정상회담이 남긴 ESG이슈(2021.06.16.). <https://www.impacton.net/news/articleView.html?idxno=1936>. Accessed on December 06, 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 December 06, 2022.
- Impact On. (2022b). 유럽 기업 지속가능성보고표준 최종본 승인...국내 중소기업에도 적용될 듯(2022.11.22.). <http://www.impacton.net/news/articleView.html?idxno=5362>. Accessed on December 06, 2022.
- Invest chosun. (2022). 신평사도 뛰어든 '기업ESG평가'... 넘치는 '평가기준' 우려도. <http://www.investchosun.com/m/article.html?contid=2022032980221>. Accessed on December 06, 2022.

해외 문헌

- APRA. (2022). *About APRA*. <https://www.apra.gov.au/about-apra>. Accessed on December 06, 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 December 06, 2022.
- CERES. (2022). Our history. <https://www.ceres.org/about-us>. Accessed on December 06, 2022.
- Climatecasechart. (2022). Global Climate Change Litigation. <http://climatecasechart.com/non-us-climate-change-litigation/>. Accessed on December 06, 2022.
- CLIMATEWATCH. (2022). 'DC Enhancement Tracker'. <https://www.climatewatchdata.org/2020-ndc-tracker>. Accessed on December 06, 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 December 06, 2022.
- Economist Intelligence. (2022a). World commodity forecast: Coal. <https://store.eiu.com/product/world-commodity-forecasts>. Accessed on December 06, 2022.



- Economist Intelligence. (2022b). World commodity forecast: Natural gas.
<https://store.eiu.com/product/world-commodity-forecasts>. Accessed on December 06, 2022.
- EFRAG. (2022). ESRS E1 Climate change.
https://www.efrag.org/Assets/Download?assetUrl=%2Fsites%2Fwebpublishing%2FSiteAssets%2FED_ESRS_E1.pdf. Accessed on December 06, 2022.
- EIA/DOE. (2022). Short-term Energy Outlook. <https://www.eia.gov/outlooks/steo/>. Accessed on December 06, 2022.
- ESG경제. (2021). ESG공시 표준 제정할 ISSB 공식 출범..내년 하반기 표준안 발표(2021.11.05.)
<http://www.esgeconomy.com/news/articleView.html?idxno=1508>. Accessed on December 06, 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 December 06, 2022.
- European Council. (2022). Council gives final green light to corporate sustainability reporting directive. (28 November 2022)
<https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2022/11/28/council-gives-final-green-light-to-corporate-sustainability-reporting-directive/>. Accessed on December 06, 2022.
- FSB. (2015). FSB Press release_Proposal for a disclosure task force on climate-related risks(9 November 2015).
<https://www.fsb.org/wp-content/uploads/Disclosure-task-force-on-climate-related-risks.pdf>. Accessed on December 06, 2022.
- 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 December 06, 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 December 06, 2022.
- GREENPEACE. (2015). Energy [R]evolution.
<https://www.greenpeace.org/canada/en/publication/1572/energy-revolution-2015-the-latest-documentation-2/>. Accessed on December 06, 2022.
- GRI. (2021a). GRI Annual Report 2020.
<https://www.globalreporting.org/about-gri/mission-history/gri-s-own-reports/>. Accessed on December 06, 2022.
- GRI. (2021b). GRI1_Foundation 2021.
<https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:RxIBxx6lBc4J:https://globalreporting.org/pdf>.

- ashx%3Fid%3D12334%26page%3D14&cd=1&hl=ko&ct=clnk&gl=kr. Accessed on December 06, 2022.
- GRI. (2022). Setting the agenda for the future. <https://www.globalreporting.org/>. Accessed on December 06, 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 December 06, 2022.
 - IEA. (2008). World energy outlook 2008.
<https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2008>. Accessed on December 06, 2022.
 - IEA. (2010). World energy outlook 2010.
<https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2010>. Accessed on December 06, 2022.
 - IEA. (2014). World energy outlook 2014.
<https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2014>. Accessed on December 06, 2022.
 - IEA. (2015). World energy outlook special report -Energy and Climate change.
<https://www.iea.org/reports/energy-and-climate-change>. Accessed on December 06, 2022.
 - IEA. (2016). Energy Technology Perspective 2016.
<https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2016>. Accessed on December 06, 2022.
 - IEA. (2020). Energy Technology Perspective 2020.
<https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2020>. Accessed on December 06, 2022.
 - IPCC. (2000). *IPCC Special Report: Methodological and technological issues in technology transfer*.
<https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/srtp-en-1.pdf>. Accessed on December 06, 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 December 06, 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 December 06, 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 December 06, 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 December 06, 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 December 06, 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. https://report.ipcc.ch/ar6wg3/pdf/IPCC_AR6_WGIII_FinalDraft_TechnicalSummary.pdf. Accessed on December 06, 2022.
- 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 December 06, 2022.
- IRENA. (2020). Renewable Power Generation Costs in 2020. <https://www.irena.org/publications/2021/Jun/Renewable-Power-Costs-in-2020>. Accessed on December 06, 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 December 06, 2022.
- NGFS. (2022). About us. <https://www.ngfs.net/en/about-us/membership>. Accessed on December 06, 2022.
- Patronet. (2022). 국제 유가현황. <https://www.petronet.co.kr>. Accessed on December 06, 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 December 06, 2022.
- SASB. (2018). Iron & Steel Producers Sustainability Accounting Standard. <https://www.sasb.org/standards/download/?lang=en-us>. Accessed on December 06, 2022.
- SASB. (2021). SASB 2020 Annual Report. <https://www.sasb.org/knowledge-hub/sasb-2020-annual-report/>. Accessed on December 06, 2022.
- TCFD. (2017a). Recommendations of the Task Force on Climate-related Financial Disclosures. <https://assets.bbhub.io/company/sites/60/2021/10/FINAL-2017-TCFD-Report.pdf>. Accessed on December 06, 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 December 06, 2022.

- TCFD. (2017c). The Use of Scenario Analysis in Disclosure of Climate-Related Risks and Opportunities. <https://assets.bbhub.io/company/sites/60/2020/10/FINAL-TCFD-Technical-Supplement-062917.pdf>. Accessed on December 06, 2022.
- 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 December 06, 2022.
- TCFD. (2022a). Publications. <https://www.fsb-tcf.org/publications/>. Accessed on December 06, 2022.
- TCFD. (2022b). TCFD Supporters. <https://www.fsb-tcf.org/supporters/>. Accessed on December 06, 2022.
- WRI. (2016). Aqueduct Water Risk Atlas. www.wri.org/applications/maps/aqueduct-atlas/. Accessed on December 06, 2022.
- 環境省. (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 December 06, 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://tcf-consortium.jp/news_detail/20073103. Accessed on December 06, 2022.

※ 본 발간물은 녹색기술센터에서 2022년 진행한 연구과제 「IPCC 제6차 보고서를 기반으로 한 기후기술 정책 대응 연구 (과제책임자: 오채운 책임연구원)」를 기반으로 작성되었음을 알려드립니다.

녹색기술센터 정책연구부

- 손범석 선임연구원
- 송예원 연구원
- 김한이 학생연구원 (현재 딜로이트 안진회계법인 리스크자문본부 컨설턴트)
- 오채운 책임연구원

TCFD 기업 정보 공개준비를 위한
기후위험 정보 추출 연구:
IPCC 제6차 평가보고서를 중심으로

발 행 2022년 12월 31일

발행인 이상협

발행처 국가녹색기술연구소(NIGT)

서울시 중구 퇴계로 173 남산스퀘어 17층

인쇄처 ㈜디자인여백플러스

본 자료 내용의 무단 복제를 금함

