

ISSN 2982-7124

ESG 리뷰

ESG Review

2024-02호 | Vol. 111

2024.06.28

Contents

Vol.111 | 2024. 2호

03 연구논단Ⅰ 탄소중립과 ESG 연계
김정인 | 중앙대 경제학부 명예교수

22 연구논단Ⅱ ESG 경영성과와 주가 급락 위험
이은정 | 한양대 경영학부 교수

40 연구논단Ⅲ 민간기업을 위한 물리적 기후리스크 추정 연구
최용상 | 이화여대 기후에너지시스템공학과 교수



탄소중립과 ESG 연계

연구논단 I

김정인 | 중앙대 경제학부 명예교수

I. 기후변화의 배경과 문제점

2021년 8월 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)는 기후변화에 대한 포괄적인 분석과 인류의 행동 방침을 다룬 6차 보고서를 통해 '산업혁명 이후 지구 온난화의 범인은 인간이다'라는 메시지를 전했다. 또한, 인류가 탄소중립을 실현하지 않는다면 지구의 온도는 계속 상승할 것이며 탄소 배출을 저감한다고 하더라도 이상기후, 해수면 상승, 빙하 소실 등의 기후재해를 온전히 막을 수 없다고 전망했다(IPCC 2021).

탄소중립은 인간의 활동으로 배출되는 온실가스를 최대한 줄이되, 남은 온실가스는 흡수(산림), 또는 CCUS(Carbon Capture, Utilization and Storage)를 이용해서 실질적인 배출량을 영으로 만드는 개념이다. 흡수되는 탄소량과 배출되는 탄소량을 같게 만들어 탄소의 순배출량이 영으로 되게 하여 결국 '넷-제로(Net-Zero)'라 부르기도 하였다(Forum for the Future, 2008).

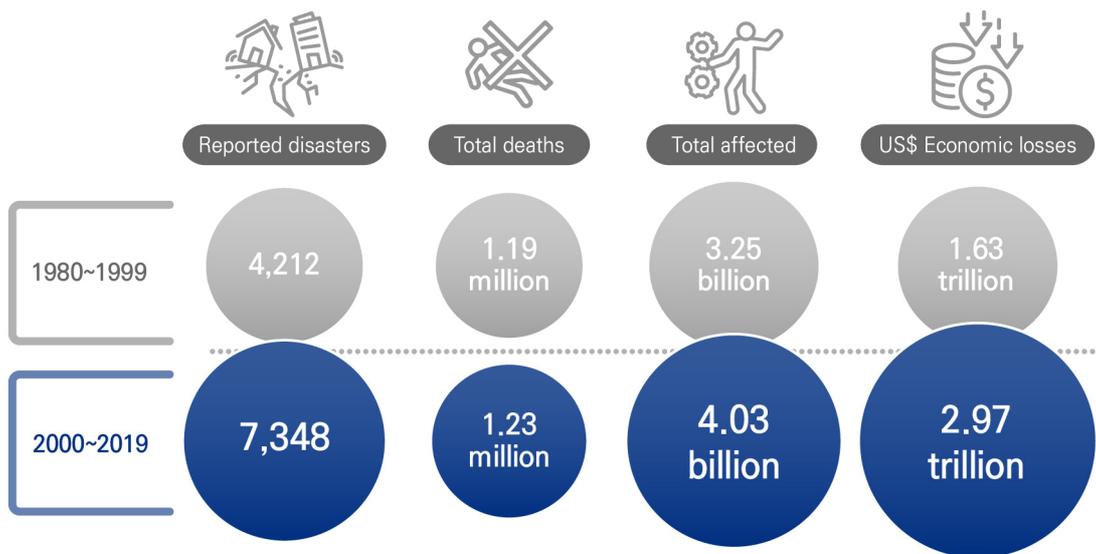
이미 세계 많은 주요국들은 탄소 중립을 선언하고 법을 만들고 있다. EU 6개국(스웨덴, 영국, 프랑스, 덴마크, 뉴질랜드, 헝가리)은 이미 탄소 중립을 법제화했고 중국과 일본도 탄소 중립 목표를 선언했다. 미국은 조 바이든 대통령의 취임 이후 파리협정에 재가입하며 2050년까지 탄소 중립을 약속했다. 한국은 2021년 9월엔 '기후위기 대응을 위한 탄소 중립·녹색성장 기본법(탄소중립기본법)'을 만들었다. 이 법안의 핵심은 2030년까지 국가 온실가스 감축목표(NDC, Nationally Determined Contribution)를 2018년 배출량 대비 40% 이상 감축하는 것이다.

탄소중립의 필요성이 대두되고 탄소중립을 선언하는 가장 큰 이유는 기후변화로 인

한 극심한 기상이변이 기상재난 피해를 대형화시키고 다양화 되고 있어 인류를 위협하기 때문이다. 기후변화는 해수면 상승으로 해안 지역의 피해, 농산물 수확의 생산성 감소, 높은 온도로 인한 다양한 질병의 빠른 전파, 특정 지역의 담수 부족, 자원 부족으로 인한 전쟁 증가 등등 사회·경제적으로 악영향을 끼치기 때문이다. 기후재해는 자연재해의 약 90%를 차지하기 때문에 자연재해와 기후변화는 밀접한 관련이 있다고 볼 수 있다(Mizutori & Guha-Sapir, 2020). 재해는 어느 정도 예측이 가능하나 현재의 과학기술로는 완전한 예측이 불가능하고, 우발적이고 예상을 뛰어넘는 수준의 피해에는 대응하기 어렵다.

유엔의 재난위험 감소 UNDRR(The United Nations Office for Disaster Risk Reduction)의 보고서인 ‘The human cost of disasters: an overview of the last 20 years (2000-2019)’는 지난 20년 동안 전 세계에서 7,348건의 자연재해가 발생하여 40억 명이 피해를 입었고 해마다 약 6만 명의 사람이 재해로 목숨을 잃었다고 밝혔다. 1980~1999년 동안 발생한 자연재해는 4,212건으로, 그러나 2000~2019년 7348건이라는 것은 동기간의 재해가 무려 1.7배 늘어난 것이다(Mizutori & Guha-Sapir, 2020). 한편 경제적 피해는 1.63조 원에서 2.97조 원으로 1.8배 증가했다. (그림 1).

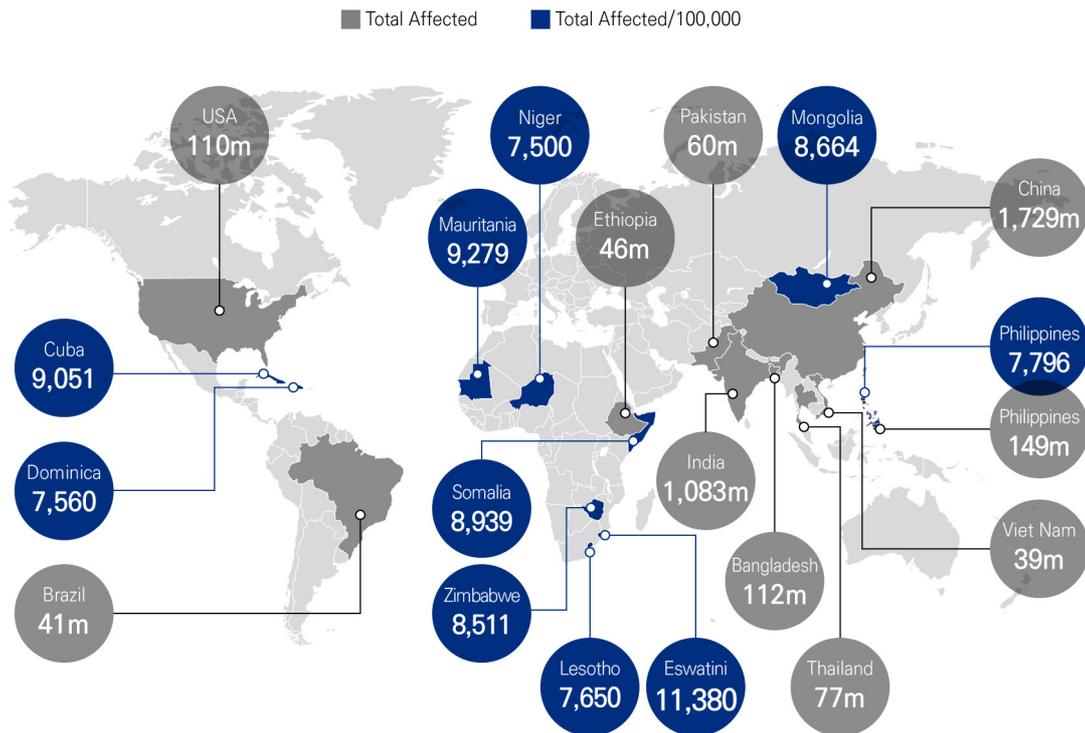
〈그림 1〉 재난의 영향 : 1980-1999 vs 2000-2019



Source: Mizutori & Guha-Sapir (2020)

자연재해 피해국 중 상위 10개 국가는 대부분 아프리카와 동남아시아 지역의 국민들이 받은 것으로 나타났다(그림 2). 최근 20년 동안 발생한 자연재해의 대부분은 홍수와 태풍에 의한 것이다(Mizutori & Guha-Sapir, 2020).

〈그림 2〉 재난의 영향이 많은 인구 10위의 국가들(회색)과 인구 10만 명당 재난이 많은 국가들(파란색)의 비교



Source: Mizutori & Guha-Sapir (2020)

노트르담 대학에서 개발한 ND-Gain Index는 건강관리, 식량 공급, 정부 안정성 같은 요인에 기반하여 지구온난화 적응 준비가 되어 있는지와 기후변화 취약성에 따라서 181개 국가를 대상으로 재난의 취약성을 분석하였다. 어떤 나라가 기후변화로 인한 상황에서 생존할 가능성이 높은지를 평가한 것이다. 그 결과, 세계에서 가장 가난하고 발전 수준이 낮은 국가들이 살아남을 기회가 가장 적은 것으로 나타났다(그림 3). 빈곤층이 더 취약한 이유는 기후변화로 인해 농작물 수확 감소, 자연재해 증가, 만연하는 질병이 있기 때문이다. 특히, 농작물 수확량 감소는 식품 가격을 오르게 하여 소득의 대부분을 식비로 쓰는 빈곤층에 큰 경제적 부담이 될 것이다.

삶의 질과 연결된 환경오염, 인간과 공생하는 생물 다양성과 보존을 강조하게 된 것이다.

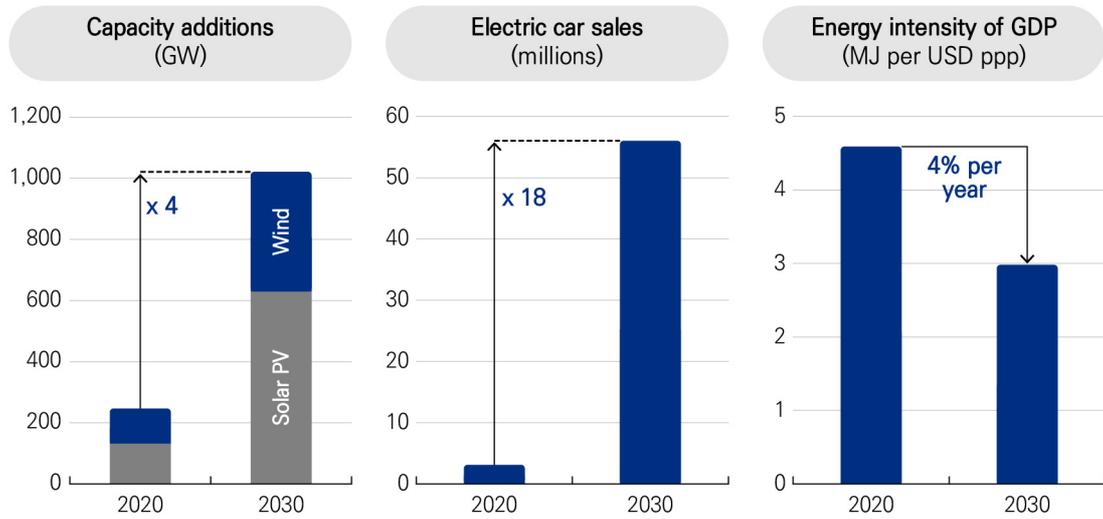
이런 점을 고려하여 본 보고서는 선진국과 한국의 탄소중립 사례를 중점적으로 분석하여 향후 기업들이 ESG에 적용할 만한 기후변화 대응, 정책, 기술개발 그리고 나아가 사회적인 수용성의 방향을 제시하고자 한다.

II. 탄소중립을 위한 로드맵

위에 언급하였듯이 급증하는 기상 재난으로 개도국은 매년 GDP의 1%까지 피해를 볼 수 있으며 선진국도 0.1-0.3%까지 손실이 발생할 수 있다고도 하였다. 2024년에는 주요 국가들의 모임인 G7에서 기후에너지 환경 장관들이 늦어도 2035년까지 석탄 발전소를 폐쇄하겠다고 합의하였다. 2023년 두바이에서 산유국과 선진국간에 이견이 있었지만 “화석 연료의 단계적 전환”을 선언한 것에서 확실히 시간을 언급한 것은 매우 의미있는 것이다. G7 국가들은 석탄 발전 용량이 전 세계 석탄 발전 용량의 15%(310GW)를 차지하고 있으며 전체 전력 가운데 16% 가량을 석탄을 통해 얻어왔다. 이러한 결정은 중국과 인도 등 대규모 온실가스 배출국뿐만 아니라, 사우디아라비아, 러시아 등 주요 화석연료 생산국 등에게도 많은 영향을 미칠 것이다. 특히 신재생 에너지 공급에도 명확한 시그널이 된다고 본다.

주목할 것은 당연히 신재생 에너지다. IEA(2021)는 2020년대가 청정에너지의 급격한 성장을 이루는 시간이 되어야 한다고 강조했다. 2030년까지 태양광과 풍력발전의 규모는 현재의 4배, 전기차의 판매량은 18배로 확대되어야 한다는 것이다(그림 4). 구체적으로는 연간 630GW의 태양광 발전시설과 390GW의 풍력 발전시설을 추가로 확충해야 하며, 세계 자동차의 5%에 불과한 전기차의 비중을 2030년에는 60%까지 증대해야 한다고 주장한다. 특히 GDP에서 에너지가 차지하는 비중을 매년 4%씩 줄여야 한다는 것이다.

〈그림 4〉 넷제로를 위한 2030년까지 주요 청정에너지 변화 로드맵

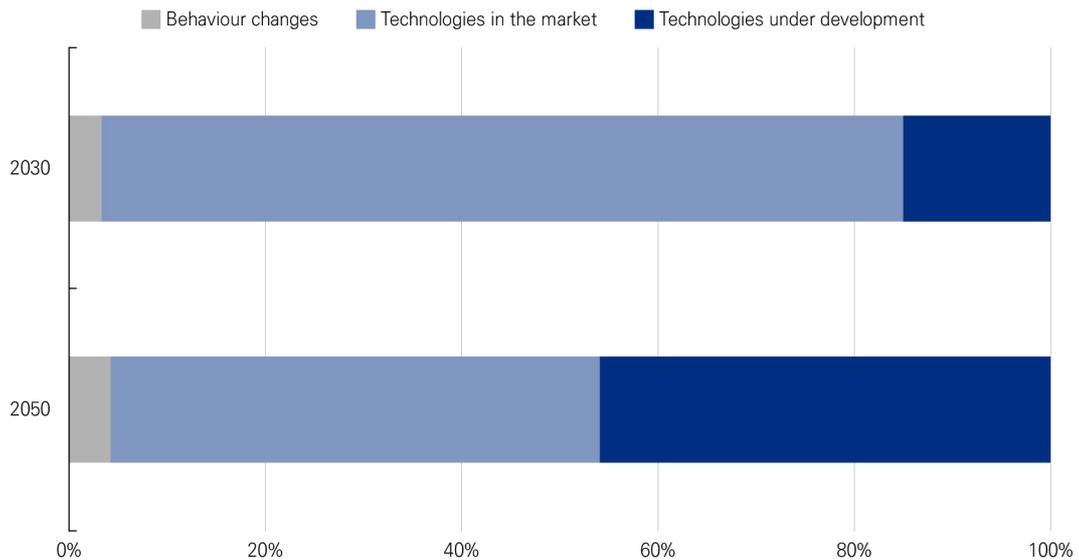


Note: MJ = megajoules; GDP = gross domestic product in purchasing power parity.

Source: IEA(2021)

전문가들은 2030년까지의 목표는 현재 상용화된 기술로도 가능하다고 판단한다. 2020년을 기준으로 상용화 기술을 통해 전체 저감 노력의 80% 이상을 달성할 수 있을 것으로 예상하고 있다(그림 5). 다만 2050년까지는 상용화 기술이 아직 개발 중인 것이 약 50% 정도 수준으로서 많은 연구와 투자가 있어야 할 것으로 전망된다.

〈그림 5〉 2020년 대비 2050년까지 연평균 이산화탄소 절약 가능성



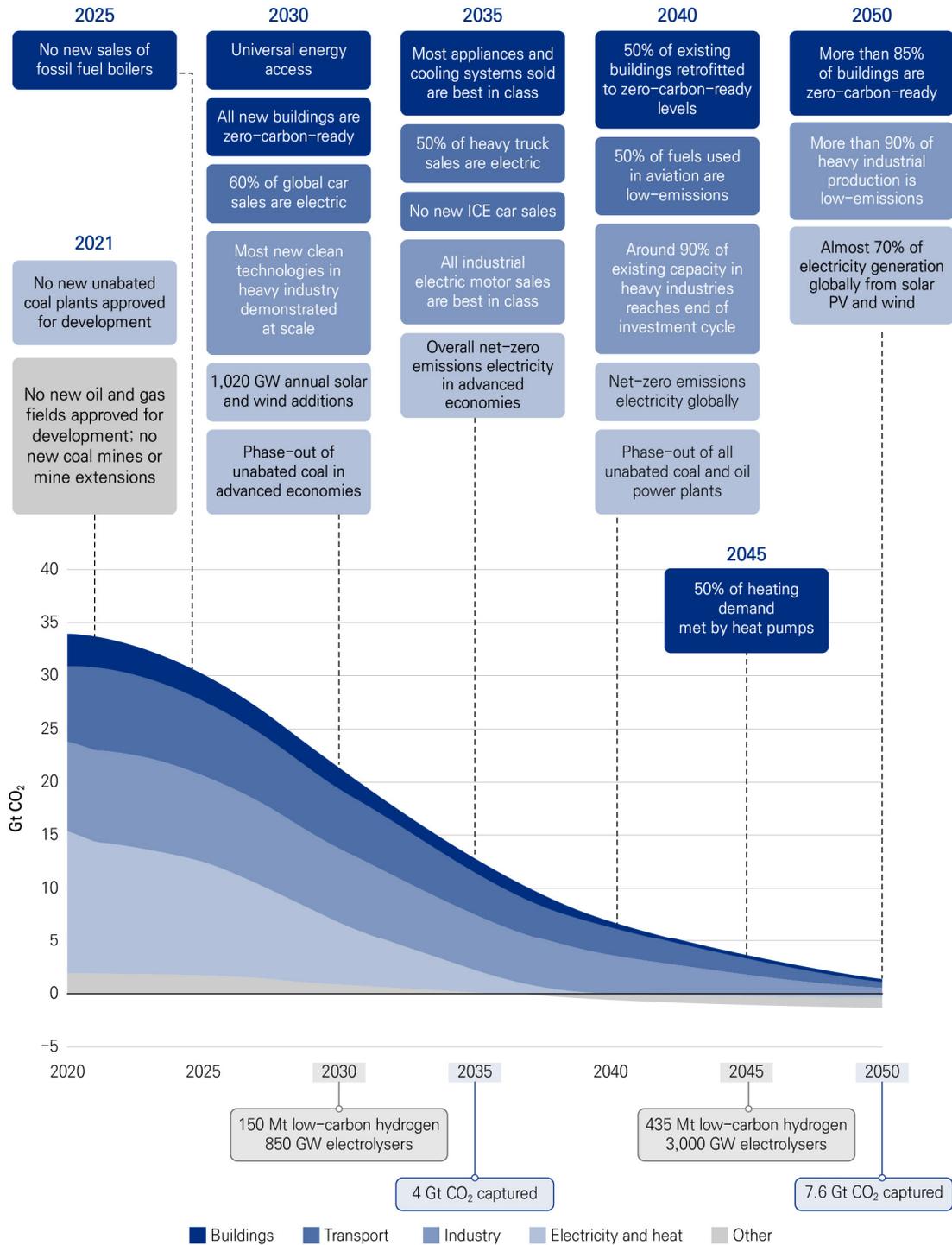
Source: IEA(2021)

아래의 <그림 6>은 2020년부터 2050년까지, 탄소중립을 위해 인류가 5년마다 반드시 달성해야 할 중간 목표들이다. 2021년부터 모든 나라가 석탄발전소를 더 이상 짓지 않고 신규 유전 및 가스전 개발, 석탄광산을 확장하거나 새로 개발하는 것도 멈춰야 한다. 2025년엔 화석연료 기반의 보일러를 판매할 수 없다.

2030년에는 자동차의 60%가 전기차로 판매되고, OECD 국가들에서 석탄발전이 단계적 폐쇄가 마무리되면, 수소 발전이 850GW로 상당 부분을 차지하게 된다. 신규 건물은 '녹색 건축물'이어야 한다. 또한, 풍력과 태양광 발전이 매년 1,020GW 씩 추가된다. 2035년엔 거의 모든 '내연기관 퇴출'이 전 세계에서 발생하고 대형 트럭 판매량의 50%를 전기트럭이 차지한다. OECD 국가에서 발전 분야에서 탄소중립을 달성하며, 4Gt CO₂를 포집한다.

2040년엔 선진국, 개발도상국 모두 발전분야에서 탄소중립을 이룩해야 한다. 모든 건물의 절반이 '탄소 제로'여야 하고, 항공의 저공해 연료 비중이 50%를 넘어야 한다. 또한, 중공업에서는 '고탄소 설비'의 90%가 없어질 것이다. 마지막으로 2050년, 지구상 모든 건축물의 85% 이상이 '탄소 제로 건물'로 변하고, 전력생산의 70%가 태양광과 풍력발전으로 이뤄져야 탄소중립을 달성할 수 있다는 것이다.

〈그림 6〉 2050년 넷제로를 위한 주요 분야별 핵심 성과물과 지표



Source: IEA(2021)

Ⅲ. 선진국의 탄소중립 정책

미국 해양 대기청의 환경정보 센터에서는 “2022년 10억 달러 규모 재난보고서”를 발표하였는데 2017년, 2011년에 이어 3번째로 큰 피해를 입었다는 것이다. 2022년 기상재난으로 인한 총 경제적 피해는 약 2160억 달러 정도 될 것으로 추산하고 있다. 10억 달러 이상 대형 재난이 1980-2022년동안에 연평균 7.9건이지만 2018-2022년동안에는 17.8건으로 두배이상 증가하여 총 5,955억달러의 경제적 피해를 기록하였다고 한다. 이는 매년 1,191억달러의 피해가 있다는 것인데 그래서 기상 재난은 뉴노멀이 된 것이다.

미국 다트머스대학 연구 결과에 따르면 1982~83년 엘니뇨는 4조1000억 달러의 피해를 가져왔고 1997~98년에는 5조7000억 달러의 피해를 가져왔다고 한다. 미국 국내총생산(GDP)은 엘니뇨가 발생했을 때 3% 감소했고, 페루나 인도네시아 같은 열대기후 국가는 GDP 10% 이상 감소한 것으로 추정하고 있다.

세계 각국은 2016년부터 자발적으로 온실가스 감축 목표를 유엔에 제출했고 모든 파리협정 참여국들은 2020년 말까지 1.5℃를 달성하기 위한 장기저탄소발전전략(LEDS: Long-term low greenhouse gas Emission Development Strategies)과 국가온실가스감축목표(NDC: Nationally Determined Contribution)를 유엔에 제출하기로 합의했다*.

EU는 기후변화 및 환경에 대한 청사진을 담은 Green Deal을 발표하고 2050 탄소중립을 목표로한 장기 경제체제 전환을 계획하고 있다. 또한, 유럽 기후법안(European Climate Law)을 유럽의회에 제출했다.

미국은 파리기후협정에 재가입 하며 캐나다와 함께 2050년 탄소중립 달성 목표를 합의했다. 중국은 2060년 이내에 탄소 배출 제로를 목표로 2030년 이전에, 탄소 배출량이 정점에 이른 이후부터 하향하는 목표를 수립하였다. 일본은 지자체별 계획을 수립하여 관련 프로젝트를 지원한다. 예컨대, 도쿄도청은 2050년 제로 배출 도쿄전략(Zero Emission Tokyo Strategy)을 제시했다. 프랑스는 2050년까지 탄소중립 법안을 승인하면서 2030년까지 화석연료 소비를 40%까지 줄이고 2022년까지 남은 석

* 2021년 1월 기준, 세계 137개 국가들이 탄소중립을 선언하고 목표연도를 제시했다. visualcapitalist.com/race-to-net-zero-carbon-neutral-goals-by-country/

탄 발전소를 폐지할 계획이다. 이하에서는 선진국들의 자세한 탄소중립 계획을 서술하였다.

지방정부와 기업은 “(제로 캠페인; Race to Zero)” 캠페인이나 ‘기후목표 상향동맹’ 등에 454개 도시, 23개 지역, 1,660개 기업, 569개 대학과 85개 투자기관이 탄소중립을 위한 행동에 참여하고 있는 것이다.

1. EU

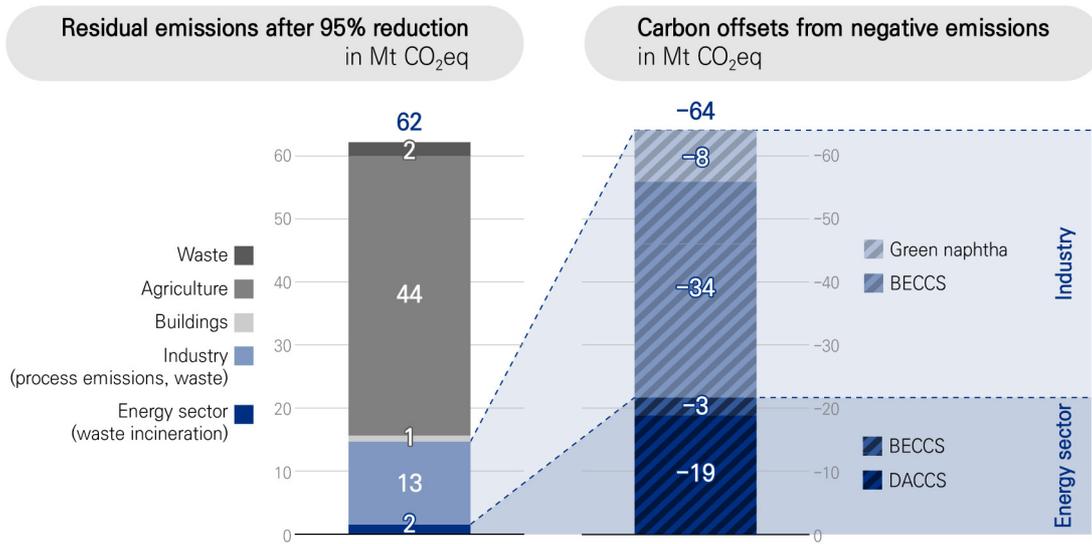
European Commission(EC)은 신성장 전략 유럽 그린딜을 2019년 12월 발표한 후, 2020년 3월 유럽기후법(European Climate Law)을 제정해 법적인 구속력을 부여했다. 1990년 대비 2030년까지 온실가스 배출을 최소 55% 감축하는 법안이다. 이를 위하여 EC는 2021년 7월, 탄소배출 관련 역내 법률을 재정비한 Fit for 55 초안을 발표했다(European Commission 2021).

독일은 탄소중립 달성 시기를 2050년에서 2045년으로 앞당기려고 한다. 1990년 대비 2030년까지 감축 목표를 65% 감축하고 2040년까지 88% 감축하기로 했다.

2030년 이후에도 2045년까지 연간 배출량을 계속 줄여나가 2045년에는 마이너스 200만 톤 배출, 즉 200만 톤을 순흡수 한다는 계획이다. 독일은 2043년 탄소 중립을, 2045년에는 기후 중립을 달성하겠다고 강조했다. 탄소 중립은 이산화탄소·메탄과 같이 탄소와 관련된 온실가스의 순 배출량을 제로로 만드는 것이다. 기후 중립은 탄소 성분의 온실가스뿐만 아니라 다른 성분의 온실가스 순배출량도 제로로 만드는 것을 뜻한다.

이를 위해 2045년 산림을 통해 1100만 톤을 흡수한다는 계획이다. 산업 부문에서는 바이오에너지-탄소 포집·저장(BECCS: Bioenergy with carbon capture and storage)을, 에너지 부문에서는 공기 중에서 직접 탄소를 흡수 저장하는 기술(DACCS: Direct Air Carbon Capture and Storage)도 대규모로 도입한다(그림 7). CCS (Carbon Capture and Storage)를 통해 2045년 기준으로 연간 6500만 톤을 저장하려고 한다. 독일은 2045년으로 탄소 중립 목표를 앞당기면서 (1) 에너지 효율화, (2) 재생에너지 보급 확대, (3) 수소에너지 보급 등 3단계로 가고자 한다.

〈그림 7〉 독일의 2050 탄소 흡수원과 분야별 감축



Source: Prognos et al. (2020)

유럽연합은 사회 기후기금을 조성하고 2030년 까지 구체적인 행동계획을 담은 소위 2030년까지 50%의 온실가스 감축을 목표로 하는 법안(Fit for 55)을 통과시켰으며 1조 유로를 투자한다. 교통부분 전기화도 중요하다. 헬싱키는 2021년부터 142대의 e-버스가 운행되고 있으며 2025년까지 전체버스의 약 30%인 400대를 전기화한다. 산티아고는 2020년 말 현재 2,400대의 전기버스를 운행 중인데 2040년까지 칠레 전역을 전기화할 예정이다. 마스다르 시는 '석유 이후의 시대'라는 전략으로 '탄소 배출, 폐기물 배출, 내연기관 차량'이 없는 3무(無)를 지향하면서 모든 교통을 전기화할 계획이다. 대중교통수단은 PRT(Personal Rapid Transit), 오토넘(Autonom) 셔틀, 저상버스 인데 모두 전기차다. 프랑스 우체국 라 포스테(La Poste)는 4만대의 전기트럭을 보유하고 있다.

2. 중국

중국은 세계 온실가스 배출의 28%를 차지한다. 화석연료 사용이 많아서 석탄 62%, 석유 19%, 천연가스 7%로 1차 에너지 총 공급 중 화석 연료 비중이 88%를 차지한다. 시진핑 정부가 들어서면서 『대기오염방지행동계획』이 시행됐고, 2017년에 종료 후 높은 성과를 낸 것도 탄소중립의 자신감을 가진 계기라고 볼 수 있다.

이런 이유로 2020년에는 2060년까지 탄소 중립의 달성을 선언하였다. 2030년까지 ‘탄소피크’, 2060년까지 ‘탄소중립’을 실현 하겠다는 것이다(KOSTEC, 2021). 2021년 중국 정부업무보고에서 14.5 계획(국민경제와 사회발전 제 14차 5개년 계획) 기간 내 단위 국내 총생산액 에너지소모와 이산화탄소 배출을 각 13.5%, 18%까지 감소하는 목표도 명시하였다.

정부의 안은 없으나 청화대 기후변화·지속가능발전연구원 보고서 세부계획을 보면 두 가지 시나리오의 결합인데 2020년부터 2035년까지는 ‘강화된 정책시나리오’로 2030년에 106억 톤으로 탄소배출량 정점을 한 후에 2035년 이후부터 ‘2℃ 시나리오’로 2050년에는 29억 톤 정도 배출하는 안이다.

탄소피크와 탄소중립의 실현을 위해 (1) 2030년까지 탄소피크 실현을 위한 액션플랜 제정 (2) 산업, 에너지구조 최적화 (3) 석탄의 효율적 이용, 신에너지 발전 및 안전이 확보된다는 전제하에 원전 적극 발전 (4) 환경보호, 에너지절약과 관련한 기업소득세 혜택범위 확대해 신에너지 연구개발 촉진, 관련 산업 육성 지원 (5) 전국적으로 에너지 이용권, 탄소배출권 거래시장 발전 가속화 및 에너지 소비 이중 통제제도 보완 (6) 그린 저탄소 발전 특별정책 실시, 탄소배출 감축 지원도구 설치 등 구체적인 발전 방향을 제시하였다. ‘수소연료 전지차 시범응용업무 개시에 관한 통지’를 통해 시범지역을 선정하고 사업을 추진할 계획이라고 밝히면서 1차 시범 지역은 베이징시, 상하이시, 광둥성 3개의 권역이며 시범기간은 4년이다.

성공적인 달성을 위해 국가발전개혁위원회가 주도하고, 생태환경부가 특정 정책들을 담당하도록 하여 “국가 기후변화 대응 소위원회”와 “제조업 부분 소위원회”도 설치하였다. 특히 전국 단위 온실가스 배출권거래제가 시작되어 2021년 7월에 거래소가 설립됐는데, 2,225개 발전 기업만 우선 적용한 후 향후 3-4년안에 철강, 석유화학, 제지, 항공 등으로 확대할 계획이다. 이로 인해 중국은 최대 탄소시장을 형성하고 있으며 향후에는 자발적 탄소시장이 확대될 것으로 전망된다. 자발적 시장에 대한 것을 다른 장에서 논의할 것이다.

3 미국

바이든 정부는 “연방 건물 성능 기준(The Federal Building Performance Standard)’에 근거하여 2030년까지 연방 정부 소유 건물 공간의 30%를 100% 전기화하여 온실가스

배출량을 제로로 만들려고 한다. 참고로 연방 건물은 2025년부터 건물의 에너지 소비와 관련된 현장 배출량을 2003년 배출량의 90%까지 줄여야 한다.

미국 환경보호청은 매년 105억원을 절약하고, 30년간 탄소 186만톤, 메탄은 2,280만톤 감축효과를 예상한다. 이는 약 30만 가구가 1년동안 배출하는 양이다. 인플레이션 감축법에서도 건물 성능기준을 만족하는 건축물 소유주와 개발자, 계약자에게 세금공제 혜택을 준다. 0.09 제곱미터당 약 2,400원였던 세금 공제가 약 3배인 6,600원으로 인상된다. 저소득층 지역 건물 전기화를 확대하기 위해 리베이트 인센티브, 저금리 또는 무이자 대출, 지출비 완화 등 다양한 프로그램을 진행하고 있다.

국가 건물성능 기준 연합도 결성되어 캘리포니아와 콜로라도주 등과 워싱턴 D.C., 보스턴, 덴버, 로스엔젤레스, 샌프란시스코, 필라델피아, 시애틀 등 지방도시 30곳이 가입하고 있다. 캐나다 BC 주 빅토리아시는 지방자치 단체 중 최초로 신축 건물에 대해 화석연료 사용을 전면 금지하고 2025년 7월까지 모든 신축 건물에 '제로 탄소'를 도입하려 한다.

미국은 2040년까지 약 163조원 정도가 건물 전기화와 건설산업에 투자될 것으로 보고 있다. 캘리포니아주에서는 건물에서 LNG 사용을 금지하면서 30개 이상의 도시와 카운티에서 완전 전기식 신규 건설을 요구하거나 권장하는 정책을 시행 중이다.

뉴욕시는 지방법 97에 따라 뉴욕 공공주택청이 관리·소유하는 건물의 규모에 상관없이, 2024년 1월 1일부터 7층 이하의 신축 건물, 2027년 7월 1일 이후 고층 건물 전기화 법을 시작한다. 건물의 거래제도 시행한다.

건물 전기화는 건축비와 에너지 비용 절감으로 건물개조를 최적화하면서 경제적 이익을 가져온다. 미국 빌딩 탈탄소연합에 따르면 천연가스 공급비용은 2009~2017년 동안 3배 증가하여 연간 149억 달러 비용이 소모되었다. 현대 건물 전기화는 가스 시스템 설치비용이 안 들고 초기 설치비용이나 추후 개·보수 비용이 현저히 줄어든다. 당연히 건물 가치가 증가하고, 환경 개선 효과가 있으며 일자리 창출 효과 등도 있다.

미국 인플레이션 감축 법안에는 USPS에 탄소제로배출 차량 및 충전소 구매에 쓰도록 4조 원을 지원한다. USPS는 물류 운송 트럭의 40%를 전기화하는 계획을 발표했다. 폭스바겐 자회사인 일렉트리파이 아메리카(Electrify America)는 2018년부터 미국에 3500개의 충전소를 설치했으며, 2026년까지 미국과 캐나다에 총 1만 개의 충전소를 설치할 계획이다.

미국은 2035년까지 발전부문의 탈탄소화 및 수소, 에너지저장 장치 등을 위해서 “에너지와 지구안(Energy Earthshot) 안”을 추진하고 있으며 더 나은 재건을 위한 1조 2,000억 달러 규모의 예산안을 마련했다. IRA(인플레이셔 감축 법안)에는 신재생에너지, 전기자동차 등에 대해서는 추가적인 지원을 보장하고 있다.

시애틀은 2030년까지 모든 공유 차량뿐만 아니라 배달차량의 3분의 1이 전기차로 전환된다. 또한 ‘주요 도심 지역’은 대부분 자동차 통행이 제한되며 전기차 충전소는 누구나 쉽게 이용하도록 대폭 설치한다.

4 호주

호주는 기술투자 로드맵(Technology Investment Roadmap)을 최초로 발표했으며 저탄소 기술성명서(Low Emissions Technology Statement)를 의회에 제출했다. 이는 포스트 코로나 경제회복 계획의 일환으로 미래 저탄소 신기술 투자 확대를 통해 2030년까지 13만 개의 일자리를 창출하고 2040년까지 연간 2억5000만 톤의 탄소 배출 감축을 기대하고 있다. 우선 집중 투자 저배출 기술 5가지를 제시하면서 기존의 신재생에너지 기술과 가격 경쟁력을 갖출 수 있도록 각 기술에 대해서 가격 목표치를 설정했다(표 1).

탄소 배출의 억제 방안으로 세금이 아닌 기술 향상에 초점을 둔다. 또한, 신기술을 통해 전 세계 배출량의 약 90%를 차지하는 에너지, 운송, 농업 및 중공업 산업의 배출량을 크게 줄일 수 있을 것으로 전망했다.

〈표 1〉 호주의 저탄소 배추 기술달성을 위한 주요 우선 목표

유형	주요 내용
청정 수소	\$2 per kilogram 이하
Energy 저장 비용	\$100 per MWh 이하 목표
저탄소 물질	철강부분에서는 \$900 per tonne 이하 그리고 알루미늄은 \$2,700 per ton 이하
CCS	CO2 압축, hub transport, and 저장비용은 \$20 per tonne of CO2 이하
토양의 탄 저장	매년 \$3 per hectare 이하 목표

Source: Australia government (2020)

IV. 한국의 탄소중립 정책과 ESG연계

1 탄소중립 정책

한국은 2020년 12월, 2050 탄소중립을 선언했다. 대통령 직속기구로 탄소중립위원회를 설치하여 컨트롤타워 역할을 담당하면서 국가 비전과 정책, 이행계획 수립과 점검, 그리고 실태조사·평가에 관한 사항 등을 심의하는 역할을 한다. 윤석열 정부가 들어오면서 일부 수정은 되었으나 최초에 수립한 2018년대비 2030년까지 40%의 목표는 유지하였다. 다만 전환 부분의 감축 비중은 증가시키고, 산업 부분의 감축은 이전보다 하향 조정했다. 그러면서 CCUS(탄소 포집, 저장과 이용)과 국제 감축 등은 증가하겠다는 것이다.

가장 중요한 것이 신재생에너지 보급 목표를 21.6%로 조정하였다, 2023년부터 RPS 의무비율이 하향 조정되고 장기적으로 RPS 제도를 종료하고 경매제로 전환한다. 태양광과 풍력 발전량 비율도 2030년에는 60:40로 된다. 기업에게는 「RE100 기업 협의체-얼라이언스(Alliance)」를 구성하도록 하여 다양한 인센티브를 제공하겠다고 한다. 풍력시장을 활성화하기 위하여 입찰 제도를 도입 확대하고, 대형터빈, 핵심 부품 등의 핵심 기술을 국산화 하려고 한다. 한편 발전사업 허가시 계통관련 심사요건을 강화하며 발전소 근처 주민에 대한 지원을 강화하면서 주민참여 사업제도를 개편하여 주민수용성을 높여야 한다. 태양광 설치도 산업단지 공장·주차장, 용배수로 등 유휴부지를 활용하겠다는 것이다.

참고로 2017년부터 2021년 동안 재생에너지 설비는 18.3 GW로 과거 2012년부터 2016년 대비 3배 이상 보급이 확대되었다. 2021년만 볼 때 재생에너지 발전비중도 6.3%로 2017년 대비 2배 상승하였다.

기업들의 움직임도 활발하다. 구체적인 예시로 한국의 대표적인 철강기업 포스코는 제철소내 발생 부생 가스의 적극적인 고로 환원제비 감소에 의한 취입시, 이산화탄소 감소량이 201 kg/tHM 수준이나 외부 전력의 추가 구입에 의한 이산화탄소 발생량 68 kg/t-HM를 상쇄하면 133 kg/t-HM의 순 감소분을 공정에 도입 중에 있다.

현재 정유사들은 정유공장과 산업단지 내의 열 통합을 통한 에너지 절감, 고탄소연료(B-C유)에서 저탄소연료(LNG) 전환, 제조공정상 배출되는 이산화탄소의 포집 CCU(이산화탄소 포집 및 활용) 기술 적용, 폐열회수 및 열통합을 통한 에너지 절감 등이

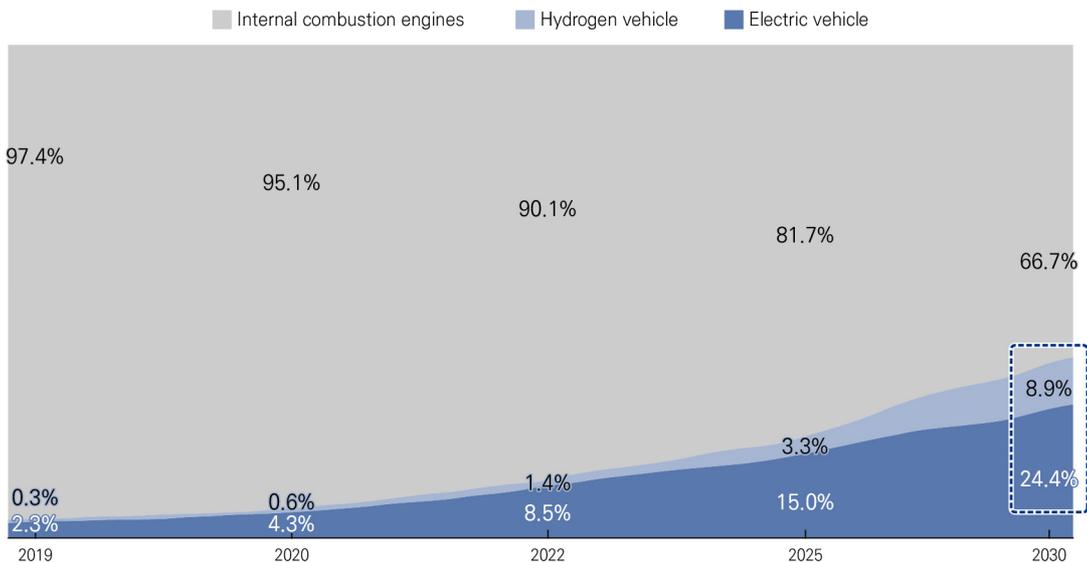
중요한 역할을 하고 있다. 미래에는 Blue 수소 생산, 신재생 에너지 사용, 친환경 사업 다각화, 바이오 원료를 수소와 반응시켜 생산하는 바이오연료를 도입할 예정이다.

예컨대 현대 오일뱅크는 2025년까지 세계 바이오 항공유 시장에 진출하기 위해 충남 대산공장에 공장 설립을 검토 중이다.

정유업계와 한국정부는 2021년 6월 ‘이산화탄소 포집·활용(CCU) 기술혁신 로드맵’을 발표하여 중점기술, R&D투자, 제도적 기반 등의 추진 전략을 마련했다. SK이노베이션과 SK에너지는 울산 산업 시설을 대상으로 최적 CCUS 기술 모델을 개발하고 있으며 이를 수소 플랜트에 적용할 계획이다. 2022년 6월 천연가스 생산이 종료된 동해 가스전에 연간 40만 톤의 이산화탄소를 포집 및 저장하는 국책과제에 SK이노베이션과 SK에너지가 기술개발에 참여한다.

친환경 자동차인 전기차, 수소차는 온실가스 및 대기오염 물질을 전혀 배출하지 않는 친환경적인 교통수단이다. 친환경차의 확대는 온실가스 감축 기여도가 가장 높은 핵심 수단이 될 것이다. 한국은 2030년 신차 판매의 1/3을 전기차, 수소차로 하겠다는 목표를 세우고 전기차 300만대, 수소차 85만대 보급을 전망하며 하이브리드차까지 고려시 비중은 더욱 증가할 것이다(그림 8).

〈그림 8〉 2030년까지 친환경 자동차 보급 목표



Source: 2050 탄소중립녹색성장위원회(2022)

2. 탄소중립과 ESG

이제 다양한 변화가 기업들에게 일어날 것으로 본다. 우선 기업들이 경제활동을 하면서 발생할 수 있는 기후변화 관련 재무 정보 공시 의무화가 제도가 곧 시행된다. 이와 연계되는 것이 탄소 회계인데 국제회계기준은 탄소회계의 기업적용에 대하여 규칙을 논의하고 있다. 기업 회계장부 이외에 탄소 장부도 만들어야 하는 것이다.

탄소감축 인지예산제도 또는 녹색(탄소) 예산도 있다. 정부의 예산 편성 시에 무조건 탄소 감축을 하는 예산을 기획 편성하도록 하는 것이다. 이외에 국제 메탄협약, 탈 플라스틱 국제협약도 있다.

금융회사들로부터 압박을 항상 받는 기업들은 재무적 요소는 물론, 비재무적 요소도 반드시 고려해야만 시장에서 생존할 수 있다. 과거에는 기업가치 평가를 좌우하는 것이 재무적 지표였지만 이제는 비재무적 지표가 실질적 가치평가에서 매우 중요하다.

ESG 공시 국제 표준안을 만들고 있는 국제 지속가능성 기준위원회(ISSB)가 기업의 공시 부담을 완화하기 위해 공시 첫해에는 기후공시만 의무화하는 방안을 검토하고 있다. ISSB는 'S1'으로 불리는 일반적 지속가능성 관련 재무 정보 공시 요구안(General Requirements for Disclosure of Sustainability-related Financial Information)과 'S2'로 불리는 기후 관련 재무정보 공시 안(Climate-related Disclosure)을 확정 발표할 예정이다.

ESG를 경영의 주요 전략으로 이용하는 회사는 많은데 세계 최대 컨테이너 운송사인 덴마크의 머스크(Maersk)는 온실가스 배출을 최소화하기 위한 운송 루트 개발과 컨테이너 적재, 컨테이너 터미널 이용, 선박의 친환경 연료 사용, 이동추적 시스템을 활용한 컨테이너별 온실가스 배출량 산정 및 정보 제공 등에서 회사만의 차별화된 노하우를 구축했다. 즉 비즈니스 가치사슬의 자원 효율화를 통해 비용 절감과 지속 가능 경영성과를 동시에 달성하려는 일석이조의 '전략적 ESG'를 실현했다. 이외에 Scope 3의 온실가스 정보를 손쉽게 취합할 수 있는 정보를 제공하면서 고객사 이동 물류의 온실가스 배출량을 줄여주는 서비스 차별화도 달성했다. 그럼으로 ESG 경영이란 장기적 관점에서 친환경이면서, 사회적 책임경영과 투명경영, 그리고 글로벌 가치 사슬(GVC; Global Value Chain) 등을 통해 지속 가능한 발전을 추구하는 것이 궁극적인 목표다.

기업들이 탄소중립과 관련하여 ESG를 구축할 경우 고려해야 할 것은 다음과 같을 것이다. 1) 내부적으로 환경 및 기후, 에너지 교육 시스템을 의무화 하거나 강화해야 한다. 2) 친환경 관련 해외 직접 투자의 도입을 유도하면서 양자간, 다자간 국제협력이 이루어지도록 해야 한다. 이런 점에서 교토의정서에서 만들어진 청정 개발 체제(CDM; Clean Development Mechanism)가 파리협정에서는 지속가능 개발 체제(SDM; Sustainable Development Mechanism)로 변경되었지만 지속적으로 기후변화 협상에서 인정받도록 정부에게 건의하고 추진해야 하며 외부 탄소상쇄의 가능성도 가질 수 있다. 혁신적인 친환경 산업단지의 조성을 통한 국민 공동 투자유치도 고려할 필요가 있다. 중요한 사업으로는 역시 에너지 효율과 신재생 에너지 사업일 것이다.

3) 기후관련 재무 정보 공시(TCFD)의 대비를 조속히 하여야 한다. 이런점에서 공시를 잘하는 것은 양, 질의 데이터가 적절하게 자료화 되는 것이 필요하다. 이러한 자료가 홈 페이지, 연차 보고서, ESG 보고서, 지속가능경영 보고서, 특화 보고서 등을 통해 공시에 반영되도록 해야 한다.

4) 공급망 사슬에 대한 대비를 위하여 Scope 3 가지의 구축을 시도해야 한다. 객관적이고 일관된 평가가 가능하기 위해서는, 제조업의 경우 공장별 데이터, 온실가스 배출량 산출을 위한 Scope3 관계사별 데이터를 표준화하여 축적하고 활용할 수 있는 인프라가 구축되어야 한다.

5) 기업내에 전문적인 ESG 부서를 두어 기업 특성에 맞는 ESG 지표를 작성하여 관리하도록 하며 국내외 우수 사례를 벤치마크하도록 한다. 가능 하다면 전문가 자문 위원회를 분야별로 구성하여 활동하도록 한다.

6) 공신력 있는 ESG 평가기관으로부터 주기적으로 평가를 받도록 하며 대중에게 발표하는 시스템을 갖추도록 한다.

〈참고자료〉

- 김정인, “탄소중립/녹색성장 시계는 잘 가고 있나요?” 에너지경제, 2023.
- 김정인, “기상 재난에 대비해야 한다.” 에너지경제, 2023
- 김정인, “탄소중립과 ESG” 대한상공회의소, ESG뉴스레터 2023, 29호
- 김정인, “기후위기 구원투수, 전기화” 미래에셋
- 미국 해양 대기청 “2022년 10억 달러 규모 재난보고서,” 2023
- 이인형, 『ESG 평가 체계 현황과 특성 분석』, 이슈보고서, 2021-09
- 탄중위, 탄소중립 2050 중장기 계획, 2022
- Australia government (2020) Technology Investment Roadmap: First Low Emissions Technology Statement – 2020
- European Commission. (2021). ‘Fit for 55’: delivering the EU’s 2030 Climate Target on the way to climate neutrality. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, COM(2021) 550 final, Brussels.
- Forum for the Future. (2008). Getting to Zero: Defining Corporate Carbon Neutrality (London: Forum for the Future).
- IEA. (2021). Net Zero by 2050 - A Roadmap for the Global Energy Sector.
- IPCC. (2021). Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Pean, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekci, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.
- KOSTEC. (2021). Carbon neutral policy trends in China.
- Mami Mizutori & Debarati Guha-Sapir. (2020). The human cost of disasters: an overview of the last 20 years (2000-2019). UNDRR.
- Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut. (2020). Towards a Climate-Neutral Germany. Executive Summary conducted for Agora Energiewende, Agora Verkehrswende and Stiftung Klimaneutralität.
- theecoexperts.co.uk/blog/countries-survive-climate-change-2018

ESG 경영성과와 주가 급락 위험

연구논단II

이은정 | 한양대 경영학부 교수

I. 서론

COVID-19 팬데믹은 글로벌 경제와 기업 활동에 지대한 영향을 미쳤다. 이에 따라 기업의 사회적 책임과 환경적 지속가능성에 대한 중요성이 더욱 부각되었고, 결과적으로 기업의 경영 전략과 투자 결정에 ESG(환경, 사회, 지배구조) 지표가 더 큰 영향을 미치게 되었다. 특히, 팬데믹이 초래한 사회적 거리두기와 경제적 불안은 기업의 사회적 책임을 강조하며, 지속 가능한 비즈니스 모델을 추구하는 것을 더욱 중요하게 만들었다. 그리고, 이러한 변화의 중심에는 ESG 경영을 통해 미래에 대한 장기적인 가치를 창출하기 기대하는 투자자들의 요구가 있었다. 이러한 기조에 맞춰 우리나라는 내년부터* 자산 2조 원 이상 상장기업의 지속가능보고서 발간을 의무화할 예정이며, 2030년**에는 이러한 의무가 전체 유가증권시장 상장회사로 확대될 예정이다. 이러한 다양한 환경 변화는 기존의 재무적 성과 정보공개뿐만 아니라, 기업의 지속가능 경영에 대한 정보공개를 촉구하고 있다. 이를 통해 기업의 정보 투명성은 더욱 강화되고 내부자의 정보 은폐도 어려워질 것으로 예상된다. 또한 이를 계기로 기업들은 재무적 성과 못지않게 ESG 성과도 중시하게 될 것이며, 이는 ESG 경영을 통한 장기 가치 창출을 목표로 하는 투자자들의 요구에 부응하기 위한 중요한 전환점이 될 것이다.

이처럼 투자자들이 ESG 경영과 그에 따른 성과를 중시하고, ESG와 관련한 정보 투명성이 확대되며, ESG 성과에 대한 투자자의 평가가 실제 주가에 반영된다면, ESG

* 2026년 이후. 아직 정확한 시기는 결정되지 않은 실정임

** 2021년 발표 시에는 2030년 유가증권시장 상장기업 전체에 대해 의무화 하기로 하였으나, 의무화 도입 시기가 아직 구체적으로 정해지지 않아 불확실한 실정임

성과에 따른 기업의 주가 급락 위험(crash risk)의 수준도 달라질 수 있다. 일반적으로, 주가 급락 위험은 매우 큰 음의 비정상 주식수익률이 발생할 위험을 의미한다. 그동안의 연구 결과를 살펴보면, 주가 급락 위험의 가장 유력한 원인으로는 대리인 문제 (agency problem)가 제기되었다(Jin and Myers, 2006; Kothari et al., 2009). 기업의 내부자는 사적이익을 위해 기업 내부의 부정적 정보를 은폐할 인센티브가 있으며 (Kothari et al., 2009), 지속적인 정보 은폐 후 부정적 정보를 더 이상 은폐하기 어려운 시점에 도달하면 장기간 축적된 부정적 정보가 시장에 한번에 공개되면서 주가 급락을 초래할 수 있기 때문이다(Jin and Myers, 2006). 본 연구에서는 COVID-19 전후로 국내 기업의 ESG 성과가 주가 급락 위험에 미치는 영향을 비교 분석하고자 한다. COVID-19 이전과 이후의 경제적, 사회적 환경 변화를 고려하여, 기업의 ESG 성과가 주가 안정성에 미치는 영향이 어떻게 변화하는지를 살펴볼 것이다.

일반적으로 ESG 성과와 주가 급락 위험 간의 관계를 살펴본 연구들은 이해관계자 이론과 대리인 이론, 두 가지 대안적인 관점으로 둘 간의 관계를 설명한다. 먼저, 이해관계자 이론에 따르면 평판 자본(reputation capital)의 구축은 기업에게 매우 중요한 부분이며(Choi and Wang, 2009; Hillman and Keim, 2001), ESG 등급이 높을수록 기업이 장기적인 기업가치 증대와 이해관계자와의 신뢰 구축에 중점을 두고 있음을 반영하며, 이는 궁극적으로 기업의 투명성과 연관된다. 때문에, 나쁜 정보를 기업 내부에 비축하는 일이 줄어들고 그 결과 주가 급락 위험도 낮아진다. 이해관계자 관점에서 볼 때 ESG 등급이 높다는 것은 장기적인 발전 가능성을 의미한다. 따라서 기업 내부자는 투자자, 고객 및 대중과 우호적인 유대관계를 구축하려는 동기를 갖게 되며, 더욱 투명한 정보를 제공함으로써 이해관계자의 요구에 부응하고자 한다. Gelb and Strawser(2001)는 사회적 책임 성과가 좋은 기업이 더 투명하다는 사실을 발견했다. 또한, 여러 문헌에서는 더 좋은 이해관계자 관계가 더 좋은 성과로 이어진다는 사실을 발견했다(Choi and Wang, 2009; Engelberg et al., 2011; Hillman and Keim, 2001; Jones, 1995). 결과적으로 사회적 신뢰가 높은 환경에서 기업은 주가 폭락 위험이 적고 나쁜 소식을 덜 숨기는 것으로 나타날 수 있다(Cao et al., 2016; Li et al., 2017).

그러나 대리인 관점에서 볼 때 ESG 경영의 강조는 기업의 사회적 책임을 과장하게 하여, 나쁜 행동이나 부정적인 정보를 은폐하거나 모호하게 보이도록 유도할 수 있으

며(Jin and Myers, 2006; Kim et al., 2011), 그 결과 주가 급락 위험이 증가할 수 있다. 대리인 이론에서는 높은 ESG 등급이 경영자가 회사에 대한 부정적인 정보를 은폐하는 데 도움이 되며, 이후 갑자기 나쁜 소식이 공개되면 주가가 급락할 가능성이 있다고 가정한다. 일부 연구에서는 경영진이 사회적 책임 활동에 참여하는 동기는 비윤리적 행동을 가리기 위함이며(Hemingway and MacLagan, 2004), 경영진은 수익 관리, 내부자 거래 및 허위 보고에 관여할 가능성이 있다고 명시한다(Liu, 2016). 경영자가 기업의 성과를 과장하면, 이를 숨기기 위해 기업을 둘러싼 정보 환경이 불투명해지고, 그 결과 나쁜 소식은 계속해서 축적되고, 끝내 밝혀지면 주가 급락이 나타나게 된다. 대리인 이론의 관점에서 볼 때, ESG 평가는 경영자로 하여금 부정적인 기업 정보를 숨기도록 장려하고, 이에 따라 기업 성과와 ESG 경영 능력을 과장할 수 있다. 본 연구는 이러한 가설을 바탕으로, 국내 기업을 대상으로 ESG 성과가 주가 급락 위험에 미치는 영향을 비교 분석하고자 한다. 또한 COVID-19 팬데믹이 기업의 경영에 미친 영향과 함께 ESG가 주가 급락 위험에 미치는 영향을 분석하여, ESG가 기업 경영에 있어서 더욱 중요한 역할을 하는지에 대한 통찰을 제공할 것이다.

본 연구의 결과를 살펴보면, 국내 기업들의 ESG 성과가 좋을수록 기업의 주가 급락 위험이 감소하는 것으로 나타났다. 이는 이해관계자 이론을 지지하는 결과로써, 기업이 장기적인 기업가치 증대와 이해관계자와의 신뢰 구축에 중점을 두어 기업의 정보 투명성이 높아진다면 주가 급락 위험도 낮아지는 것이다.

다음으로 COVID-19 이전과 이후로 표본을 나누어 ESG 성과가 주가 급락 위험에 미치는 영향을 분석해 본 결과, COVID-19 이전에는 ESG 성과와 주가 급락 위험 간의 음의 유의미한 관계가 나타나, ESG 성과가 증가할수록 주가 급락 위험이 감소하는 것으로 나타났다. COVID-19 이후에는 ESG 성과와 주가 급락 위험 간의 음의 관계는 도출되었으나, 통계적으로 유의미하지는 않았다. COVID-19 팬데믹과 같은 급격한 변화 속에서는 생존과 재무적 안정이 더 중요한 우선순위가 되고, 많은 기업들이 ESG 전략을 조정하거나 재정립할 필요성을 느껴 ESG 경영에 대한 큰 변화가 야기되었을 것이다. 따라서 ESG 성과가 주가 급락 위험에 미치는 영향이 팬데믹과 같은 극단적 상황에서 일시적으로 미미해질 수 있을 것이다.

또한, 본 연구에서는 지속가능경영보고서를 발행한 기업과 발행하지 않은 기업을 나누어, ESG 성과가 주가 급락 위험에 미치는 영향을 분석해 본다. 우리나라의 경우, 지

속가능경영보고서의 발행이 COVID-19 이후 급격하게 증가하였다. 2020년 38개 기업에 불과했던 발행 기업의 수가 21년 79개, 22년 131개, 23년 161개로 나타났다. 지속가능경영보고서는 기업의 정보 환경을 더욱 투명하게 개선하여, 주가 급락 위험에 영향을 미칠 수 있다. 분석 결과를 보면, 지속가능경영보고서를 발행하지 않은 기업의 경우 ESG 성과와 주가 급락 위험 간의 음의 유의미한 관계가 나타났다. 반면 지속가능경영보고서를 발행한 경우, ESG 성과와 주가 급락 위험 간의 음의 관계는 도출되었으나, 통계적으로 유의미하지는 않았다. 본 연구의 표본이 2011년부터 2020년까지 임을 고려하면, 향후 표본을 확장하여 다시 심도 있는 연구가 필요할 것이다.

본 논문의 나머지 부분은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 본 논문의 자료구성과 변수구성에 대해 논의한다. 3장은 실증결과를 보고한다. 4장에서는 결론을 제시한다.

II. 표본과 연구모형

1. 표본

본 연구에서는 2011년부터 2020년을 표본 기간으로 한다. 한국ESG기준원에서 발표한 ESG 점수가 있는 비금융 제조업 상장기업만을 표본의 대상으로 한다. 또한, 재무 및 회계, 주가 자료를 이용할 수 있는 기업만을 대상으로 한다. 표본기업의 재무 및 회계자료, 주가 자료는 FNGuide 데이터베이스를 이용하여 추출하였다. 분석자료의 극단치 영향을 제외하기 위하여 상·하위 1%를 제외시켰다.

2. 변수

본 연구에서는 ESG 경영과 주가 급락 위험 간의 관계를 살펴보고자 한다. 본 연구에서는 ESG 대리변수로 한국ESG기준원에서 발표된 ESG 점수(ESG_Score)와 각 구성요소의 점수(E_Score, E_Score, G_Score)를 사용한다. 또한, 주가 급락 위험의 대리변수로 기존 연구에 따라 음의 조건부 왜도 값(NSKEW)과 하락-상승 변동성(DUVOL)을 사용한다(Chen et al., 2001; Hong and Stein, 2003; Jin and Myers, 2006; Hutton et al., 2009). 먼저, 주가 급락 위험을 계산하기 위해서는 기

업 고유 주별 주식수익률(firm-specific weekly return)을 구해야 한다. 이를 위해, 아래 확장된 시장모형 회귀식 (1)을 이용하여 잔차($\epsilon_{i,w}$)를 구한다.

$$RET_{i,w} = \alpha + \beta_1 MKRET_w + \beta_2 MKRET_{w-1} + \beta_3 INDRET_{i,w} + \beta_4 INDRET_{i,w-1} + \epsilon_{i,w} \quad (1)$$

여기서, $RET_{i,w}$ 는 기업 i의 주별 주가수익률이고, $MKRET_{i,w}$ 은 가치 가중 시장 수익률(KOSPI/KOSDAQ 지수)이며, $INDRET_{i,w}$ 는 기업 i가 속한 한국표준산업분류(KSIC)의 중분류 산업의 가치 가중 수익률이다. 위의 식을 통해 구해진 잔차에 1을 더하고 자연로그를 취해서 기업 고유 주별 주식수익률을 계산한다. 즉, 기업 i의 주 w의 기업 고유 주별 주식수익률은 $\ln(1 + \epsilon_{i,w})$ 로 정의된다.

NSKEW는 기업 고유 주별 주식수익률의 음(-)의 조건부 왜도 값으로, 기업 고유 주별 주식수익률($\ln(1 + \epsilon_{i,w})$)을 이용하여 아래 식을 통해 계산된다(Chen et al., 2001; Kim et al., 2011).

$$Nskew_{i,t} = -[n(n-1)^{3/2} \sum W_{i,t}^3] / [(n-1)(n-2)(\sum W_{i,t}^2)^{3/2}] \quad (2)$$

또한, 하락-상승 변동성(DUVOL)은 주식수익률의 상승 변동성 대비 하락 변동성의 비율을 의미한다. 하락-상승 변동성(DUVOL)을 계산하기 위해서는 기업 고유 주별 주가수익률($\ln(1 + \epsilon_{i,w})$)을 이용하여 연평균 수익률을 기준으로 하락주(down week; 연평균 수익률 이하)와 상승주(up week; 연평균 수익률 초과)로 구분한다. 그런 다음, 상승주의 표준편차 대비 하락주의 표준편차의 비율에 자연로그를 취해 변동성 차이를 계산한다. 이렇게 계산된 값이 커질수록 주가 하락 시기의 변동성이 상승 시기의 변동성에 비해 더 높음을 의미하므로, 그만큼 주가 급락 위험이 큰 것으로 해석할 수 있다(Chen et al., 2001).

$$Duvol = \ln\left[\frac{(n_u - 1) \sum_{down} W_{i,w}^2}{(n_d - 1) \sum_{up} W_{i,w}^2}\right] \quad (3)$$

아울러, 본 논문에서는 주가 급락 위험에 영향을 미칠 것으로 알려진 여러 기업특성 변수들을 모든 회귀분석에 포함하여 통제하였다(Kim et al., 2011; Chen et al.,

2001). 본 연구에서는 통제변수로 음의 조건부 왜도(NSKEW), 부채비율(LEV), 기업 규모(SIZE), 장부가 대비 시장가 비율(MB), 기업 고유 주별 주식수익률의 평균(RET), 기업 고유 주별 주식수익률의 표준편차(STD), 주식회전율의 차이(DTURN), 재량적 발생액의 절댓값(ABACC), 수익성(ROA) 등을 사용한다.

III. 실증분석 결과

1. 기술통계

〈표 1〉에는 본 연구에서 사용된 변수들의 기술통계가 제시되어 있다. NSKEW_{t+1}의 평균값은 -0.3249로 나타났고, 최솟값은 -2.7666, 최댓값은 2.0428로 나타났다. DUVOL_{t+1}의 평균값은 -0.1967로 나타났고, 중앙값은 -0.2009로 나타났다. ESG_Score의 평균값은 2.6828로 나타났고, 중앙값은 2.6000이었으며, 최솟값은 0.2500이고, 최댓값은 6.0000으로 나타났다. E_Score의 평균값은 30.1837로 나타났고, S_Score의 평균값은 28.1435로 나타났으며, G_Score의 평균값은 29.1202로 나타났다.

〈표 1〉 기술통계

	N	Mean	SD	Min	Median	Max
NSKEW _{t+1}	8090	-0.3249	0.7902	-2.7666	-0.2725	2.0428
DUVOL _{t+1}	8090	-0.1967	0.3544	-1.0819	-0.2009	0.7663
ESG_Score	8095	2.6828	1.0000	0.2500	2.6000	6.0000
E_Score	8095	30.1837	22.3392	0.0000	32.0000	93.3000
S_Score	8095	28.1435	17.7242	0.0000	23.7000	98.8000
G_Score	7811	29.1202	9.8395	0.0000	28.3000	82.9000
NSKEW	8095	-0.2917	0.7665	-2.6935	-0.2435	1.8847
LEV	8095	0.4541	0.2045	0.0646	0.4569	0.9090
SIZE	8095	12.5225	1.5090	9.7716	12.3239	16.9268
MB	8095	0.0016	0.0019	0.0002	0.0009	0.0120
RET	8095	-0.0016	0.0017	-0.0100	-0.0010	-0.0001
STD	8095	0.0507	0.0237	0.0155	0.0455	0.1394
DTURN	8059	0.0006	0.0167	-0.0638	-0.0001	0.0847
ABACC	8091	0.0565	0.0643	0.0000	0.0364	0.3691
ROA	8095	0.0373	0.0652	-0.2055	0.0363	0.2247

2. ESG 경영과 주가 급락 위험

〈표 2〉에는 ESG 경영 성과가 주가 급락 위험에 미치는 영향에 대한 회귀분석의 결과가 제시되어 있다. 모형 (1)에서는 NSKEW_{t+1}를 종속변수로 사용하였고, 모형 (2)에서는 DUVOL_{t+1}을 종속변수로 사용하였다. 분석 결과를 살펴보면, ESG_Score의 계수값이 모든 모형에서 음의 값으로 나타나, ESG 점수가 증가할수록 기업의 주가 급락 위험이 감소하는 것으로 나타났다. 이러한 연구 결과는 이해관계자 이론을 따르는 것으로, 투자자, 고객 및 대중과 우호적인 유대관계를 구축하고자 하는 기업은 더욱 투명한 정보를 제공함으로써 이해관계자의 요구에 부응하며, 사회적 책임 성과가 좋은 기업의 정보 환경이 더욱 투명하기에, 사회적 신뢰가 높은 환경에서 기업은 주가 급락 위험이 적고 나쁜 소식을 덜 숨기는 것으로 나타나는 것이다(Cao et al., 2016; Li et al., 2017).

〈표 2〉 ESG 경영과 주가 급락 위험

	(1) NSKEW _{t+1}	(2) DUVOL _{t+1}
ESG_Score	-0.0271** (-2.42)	-0.0112** (-2.13)
NSKEW	0.0452*** (3.43)	0.0222*** (3.83)
LEV	-0.0033 (-0.06)	-0.0373 (-1.59)
SIZE	0.1041*** (13.23)	0.0445*** (12.25)
MB	23.8953*** (3.24)	11.5511*** (3.65)
RET	22.7678 (1.01)	-2.7646 (-0.29)
STD	0.9172 (0.58)	-0.7537 (-1.07)
DTURN	1.9061*** (2.99)	0.8068*** (3.01)
ABACC	0.2704* (1.67)	0.1185* (1.72)
ROA	0.0330 (0.20)	0.0098 (0.14)
Intercept	-1.1810*** (-11.15)	-0.4998*** (-10.36)

	(1) NSKEW _{t+1}	(2) DUVOL _{t+1}
Industry Dummy	Yes	Yes
Year Dummy	Yes	Yes
Observations	8054	8054
Adjusted R-squared	0.0761	0.0781

3. ESG 경영과 주가 급락 위험: COVID-19 이전과 이후

〈표 3〉에는 COVID-19 팬데믹 전후로 나누어 ESG 경영 성과가 주가 급락 위험에 미치는 영향에 대한 회귀분석의 결과가 제시되어 있다. 분석 결과를 보면, ESG_Score의 계수값은 유의미한 음의 값을 갖는 것으로 나타났다. 그러나, ESG_Score*Covid-19의 계수값은 음의 값을 갖지만 통계적 유의성은 나타나지 않았다. ESG 성과가 주가 급락 위험에 미치는 영향이 팬데믹과 같은 극단적 상황에서 일시적으로 미미해질 수 있을 것이다. COVID-19 팬데믹과 같은 급격한 변화 속에서는 생존과 재무적 안정이 더 중요한 우선순위가 되고, 많은 기업들이 ESG 전략을 조정하거나 재정립할 필요성을 느껴 ESG 경영에 대한 큰 변화가 야기될 수 있기 때문이다. 그럼에도, ESG_Score의 계수값과 ESG_Score*Covid-19의 계수값의 합은 여전히 음의 값을 갖고 있어, 팬데믹 이후에도 ESG 성과가 좋을수록 기업의 주가 급락 위험은 감소하고 있음을 확인할 수 있다.

〈표 3〉 ESG 경영과 주가 급락 위험: COVID-19 이전과 이후

	(1) NSKEW _{t+1}	(2) DUVOL _{t+1}
ESG_Score	-0.0264** (-2.12)	-0.0103* (-1.76)
ESG_Score*COVID-19	-0.0028 (-0.12)	-0.0039 (-0.37)
COVID-19	-0.4282*** (-5.27)	-0.1874*** (-5.36)
NSKEW	0.0451*** (3.42)	0.0221*** (3.81)
LEV	-0.0034 (-0.07)	-0.0375 (-1.60)

	(1) NSKEW _{t+1}	(2) DUVOL _{t+1}
SIZE	0.1040*** (13.12)	0.0444*** (12.16)
MB	23.8996*** (3.24)	11.5569*** (3.66)
RET	22.8303 (1.01)	-2.6791 (-0.28)
STD	0.9240 (0.58)	-0.7444 (-1.06)
DTURN	1.9025*** (2.98)	0.8019*** (2.99)
ABACC	0.2704* (1.67)	0.1185* (1.72)
ROA	0.0333 (0.20)	0.0102 (0.14)
Intercept	-1.1811*** (-11.15)	-0.5000*** (-10.37)
Industry Dummy	Yes	Yes
Year Dummy	Yes	Yes
Observations	8054	8054
Adjusted R-squared	0.0760	0.0780

4. ESG 경영과 주가 급락 위험: 지속가능경영보고서 발행 여부

지속가능경영보고서는 기업의 정보 환경을 더욱 투명하게 개선하여, 주가 급락 위험에 영향을 미칠 수 있다. <표 4>에는 전체 표본을 지속가능경영보고서를 발행하는 기업과 발행하지 않는 기업으로 나누어 분석한 ESG 경영 성과가 주가 급락 위험에 미치는 영향에 대한 회귀분석의 결과가 제시되어 있다. 분석 결과를 보면, 여전히 ESG_Score의 계수값은 유의미한 음의 값을 갖는 것으로 나타났다. 그러나, ESG_Score*ESG Disclosure의 계수값은 여전히 음의 값을 갖지만 통계적 유의성은 나타나지 않았다. 지속가능경영보고서를 발행한 기업의 정보 투명성이 강화되어, ESG 경영성과가 좋은 기업일수록 지속가능경영보고서를 발행하면, 주가 급락 위험이 더욱 감소할 것이라고 예상하였으나, 그렇지 않았다. 기업들의 지속가능경영보고서의 발행은 COVID-19 팬데믹 이후 급증하였다. 따라서 본 연구의 표본 기간이 2011년

부터 2020년임을 참작해 보면, 향후 표본 기간을 확장해서 분석한다면 현재의 결과보다 더 강건한 결과를 얻을 수 있을 것으로 예상된다. 그럼에도, ESG_Score의 계수값과 ESG_Score*ESG Disclosure의 계수값의 합은 여전히 음의 값을 갖고 있어, 지속가능경영보고서를 발행하는 기업들의 ESG 성과가 좋을수록 기업의 주가 급락 위험은 발행하지 않는 기업들보다 더 감소하고 있음을 확인할 수 있다.

〈표 4〉 ESG 경영과 주가 급락 위험: 지속가능경영보고서 발행 여부

	(1) NSKEW _{t+1}	(2) DUVOL _{t+1}
ESG_Score	-0.0259** (-2.27)	-0.0108** (-2.05)
ESG_Score*ESG Disclosure	-0.0345 (-0.42)	-0.0212 (-0.57)
ESG Disclosure	0.1368 (0.35)	0.0983 (0.55)
NSKEW	0.0451*** (3.42)	0.0221*** (3.82)
LEV	-0.0026 (-0.05)	-0.0374 (-1.59)
SIZE	0.1044*** (13.18)	0.0445*** (12.17)
MB	23.7631*** (3.22)	11.5511*** (3.65)
RET	22.8051 (1.01)	-2.7283 (-0.28)
STD	0.9282 (0.58)	-0.7485 (-1.07)
DTURN	1.8994*** (2.98)	0.8051*** (3.00)
ABACC	0.2685* (1.65)	0.1182* (1.71)
ROA	0.0311 (0.19)	0.0095 (0.13)
Intercept	-1.1872*** (-11.09)	-0.5003*** (-10.26)
Industry Dummy	Yes	Yes
Year Dummy	Yes	Yes
Observations	8054	8054
Adjusted R-squared	0.0759	0.0779

5. ESG 구성요소와 주가급락위험

다음으로, 본 연구에서는 ESG 구성요소 별 점수와 주가 급락 위험의 관계를 실증적으로 분석하고자 하며, <표 5>에는 이에 대한 결과가 제시되어 있다. 환경점수(E_Score)와 사회점수(S_Score)가 높은 기업일수록 주가 급락 위험은 감소하는 것으로 나타났으나, 지배구조점수(G_Score)의 경우 주가 급락 위험에 별다른 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다. 환경점수와 사회점수가 높은 기업일수록 투자자들에게 기업이 지속 가능성과 책임 있는 경영을 중시한다는 신호를 줄 수 있으며, 사회적 성과가 높은 기업은 직원, 고객, 지역사회 등 주요 이해관계자들과의 관계가 우호적이기에, 주가 급락 위험이 감소할 수 있다. 지배구조는 국내 기업들이 이미 오래전부터 개선하고자 노력을 해왔으나, 그 노력에 비해 여전히 전반적으로 취약한 것이 사실이다. 따라서 국내 기업들의 지배구조점수는 주가 급락 위험에 미치는 영향이 미미한 것으로 파악되었다.

<표 5> ESG 구성요소와 주가 급락 위험

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	NSKEW _{t+1}	NSKEW _{t+1}	NSKEW _{t+1}	DUVOL _{t+1}	DUVOL _{t+1}	DUVOL _{t+1}
E_Score	-0.0012** (-2.19)			-0.0006*** (-2.61)		
S_Score		-0.0017** (-2.54)			-0.0006* (-1.86)	
G_Score			-0.0008 (-0.71)			-0.0003 (-0.51)
NSKEW	0.0453*** (3.44)	0.0449*** (3.41)	0.0462*** (3.45)	0.0222*** (3.83)	0.0221*** (3.81)	0.0228*** (3.88)
LEV	-0.0052 (-0.10)	0.0014 (0.03)	-0.0158 (-0.30)	-0.0355 (-1.51)	-0.0370 (-1.55)	-0.0444* (-1.89)
SIZE	0.1027*** (13.53)	0.1072*** (12.48)	0.0928*** (12.41)	0.0451*** (12.97)	0.0450*** (11.33)	0.0392*** (11.37)
MB	24.2783*** (3.30)	23.5484*** (3.18)	24.5054*** (3.21)	11.3921*** (3.62)	11.6102*** (3.68)	11.7630*** (3.60)
RET	24.2481 (1.07)	22.3763 (0.99)	21.3120 (0.93)	-2.2429 (-0.23)	-2.7646 (-0.29)	-3.6549 (-0.37)
STD	1.1154 (0.70)	0.9299 (0.58)	0.8303 (0.51)	-0.6833 (-0.97)	-0.7311 (-1.04)	-0.8025 (-1.13)
DTURN	1.9011***	1.8862***	2.0227***	0.8049***	0.7994***	0.8430***

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	NSKEW _{t+1}	NSKEW _{t+1}	NSKEW _{t+1}	DUVOL _{t+1}	DUVOL _{t+1}	DUVOL _{t+1}
	(2.99)	(2.96)	(3.17)	(3.01)	(2.98)	(3.13)
ABACC	0.2655	0.2709*	0.3212*	0.1143*	0.1195*	0.1437**
	(1.63)	(1.67)	(1.92)	(1.66)	(1.73)	(2.03)
ROA	0.0087	0.0115	0.0893	-0.0043	0.0028	0.0291
	(0.05)	(0.07)	(0.54)	(-0.06)	(0.04)	(0.40)
Intercept	-1.1939***	-1.2252***	-1.0482***	-0.5164***	-0.5106***	-0.4445***
	(-11.25)	(-10.89)	(-10.26)	(-10.71)	(-9.95)	(-9.50)
Industry Dummy	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Year Dummy	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Observations	8054	8054	7770	8054	8054	7770
Adjusted R-squared	0.0760	0.0761	0.0724	0.0784	0.0780	0.0748

6. ESG 구성요소와 주가 급락 위험: COVID-19 이전과 이후

〈표 6〉에는 ESG 구성요소와 주가 급락 위험에 관계를 팬데믹 이전과 이후로 나누어 분석한 결과가 제시되어 있다. 앞선 분석 결과와 동일하게, 환경점수(E_Score)와 사회점수(S_Score)가 높은 기업일수록 주가 급락 위험은 감소하는 것으로 나타났으나, 지배구조점수(G_Score)의 경우 주가 급락 위험에 별다른 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다. 그러나, COVID-19 팬데믹 이후에는 모든 구성요소가 주가 급락 위험에 별다른 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다. 이는 앞선 ESG 통합점수를 이용한 결과와 동일한 결과이다.

〈표 6〉 ESG 구성요소와 주가급락위험: COVID-19 이전과 이후

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	NSKEW _{t+1}	NSKEW _{t+1}	NSKEW _{t+1}	DUVOL _{t+1}	DUVOL _{t+1}	DUVOL _{t+1}
E_score	-0.0009			-0.0005*		
	(-1.65)			(-1.93)		
S_score		-0.0020***			-0.0007*	
		(-2.65)			(-1.94)	
G_score			-0.0006			-0.0001
			(-0.47)			(-0.13)
E_score* COVID-19	-0.0014			-0.0007		

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	NSKEW _{t+1}	NSKEW _{t+1}	NSKEW _{t+1}	DUVOL _{t+1}	DUVOL _{t+1}	DUVOL _{t+1}
	(-1.24)			(-1.47)		
S_score* COVID-19		0.0010			0.0004	
		(0.86)			(0.70)	
G_score*CO VID-19			-0.0010			-0.0009
			(-0.40)			(-0.82)
COVID-19	-0.4351***	-0.4987***	-0.4280***	-0.1945***	-0.2226***	-0.1779***
	(-8.17)	(-9.06)	(-4.43)	(-8.40)	(-9.35)	(-4.24)
NSKEW	0.0447***	0.0451***	0.0461***	0.0218***	0.0222***	0.0227***
	(3.39)	(3.42)	(3.44)	(3.76)	(3.82)	(3.86)
LEV	-0.0057	0.0032	-0.0158	-0.0358	-0.0364	-0.0444*
	(-0.11)	(0.06)	(-0.30)	(-1.52)	(-1.52)	(-1.89)
SIZE	0.1024***	0.1083***	0.0926***	0.0449***	0.0454***	0.0390***
	(13.48)	(12.44)	(12.35)	(12.92)	(11.32)	(11.30)
MB	24.0971***	23.4854***	24.4941***	11.2951***	11.5871***	11.7528***
	(3.28)	(3.17)	(3.21)	(3.59)	(3.67)	(3.60)
RET	24.6159	21.8577	21.4580	-2.0461	-2.9546	-3.5221
	(1.09)	(0.97)	(0.94)	(-0.21)	(-0.30)	(-0.36)
STD	1.1501	0.8785	0.8478	-0.6648	-0.7499	-0.7867
	(0.72)	(0.55)	(0.53)	(-0.95)	(-1.06)	(-1.10)
DTURN	1.8856***	1.9072***	2.0112***	0.7966***	0.8071***	0.8326***
	(2.97)	(2.98)	(3.14)	(2.99)	(3.00)	(3.08)
ABACC	0.2624	0.2691*	0.3207*	0.1127	0.1188*	0.1432**
	(1.61)	(1.66)	(1.91)	(1.63)	(1.73)	(2.02)
ROA	0.0152	0.0077	0.0888	-0.0008	0.0014	0.0286
	(0.09)	(0.05)	(0.54)	(-0.01)	(0.02)	(0.39)
Intercept	-1.1983***	-1.2302***	-1.0544***	-0.5187***	-0.5124***	-0.4501***
	(-11.28)	(-10.92)	(-10.24)	(-10.75)	(-9.98)	(-9.51)
Industry Dummy	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Year Dummy	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Observations	8054	8054	7770	8054	8054	7770
Adjusted R-squared	0.0760	0.0761	0.0723	0.0785	0.0780	0.0748

7. ESG 구성요소와 주가 급락 위험: 지속가능경영보고서 발행 여부

〈표 7〉에는 ESG 구성요소와 주가 급락 위험에 관계를 지속가능경영보고서를 발행한 기업과 발행하지 않은 기업으로 나누어 분석한 결과가 제시되어 있다. 여전히, 환경점수(E_Score)와 사회점수(S_Score)가 높은 기업일수록 주가 급락 위험은 감소하는 것으로 나타났으나, 지배구조점수(G_Score)의 경우 주가 급락 위험에 별다른 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다. E_Score*ESG Disclosure 계수값의 경우, 모형 (1)에서는 유의미한 음의 값을 갖는 것으로 나타났고, 모형 (4)에서는 음의 값을 갖으나 통계적으로 유의미하지는 않은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 지속가능경영보고서를 발행한 기업일수록, 환경점수가 높을수록 주가 급락 위험이 더 감소함을 의미한다. 사회점수와 지배구조점수는 지속가능경영보고서와의 교차항에서 통계적 유의성은 보이지 않았다. 이러한 결과는 앞선 〈표 4〉의 결과와 일맥상통하다.

〈표 7〉 ESG 구성요소와 주가급락위험: 지속가능경영보고서 발행 여부

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	NSKEW _{t+1}	NSKEW _{t+1}	NSKEW _{t+1}	DUVOL _{t+1}	DUVOL _{t+1}	DUVOL _{t+1}
E_Score	-0.0011** (-1.97)			-0.0006** (-2.48)		
S_Score		-0.0016** (-2.28)			-0.0006* (-1.72)	
G_Score			-0.0008 (-0.65)			-0.0003 (-0.50)
E_score* ESG Disclosure	-0.0053* (-1.75)			-0.0018 (-1.24)		
S_score* ESG Disclosure		-0.0024 (-0.88)			-0.0010 (-0.81)	
G_score* ESG Disclosure			0.0010 (0.23)			0.0000 (0.01)
ESG Disclosure	0.3135 (1.60)	0.1560 (0.84)	-0.0725 (-0.35)	0.1133 (1.20)	0.0758 (0.85)	-0.0023 (-0.02)
NSKEW	0.0451*** (3.43)	0.0447*** (3.40)	0.0462*** (3.45)	0.0221*** (3.82)	0.0220*** (3.80)	0.0228*** (3.88)

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	NSKEW _{t+1}	NSKEW _{t+1}	NSKEW _{t+1}	DUVOL _{t+1}	DUVOL _{t+1}	DUVOL _{t+1}
LEV	-0.0041 (-0.08)	0.0003 (0.01)	-0.0143 (-0.27)	-0.0355 (-1.50)	-0.0376 (-1.57)	-0.0443* (-1.88)
SIZE	0.1032*** (13.43)	0.1069*** (12.40)	0.0933*** (12.34)	0.0451*** (12.85)	0.0448*** (11.28)	0.0392*** (11.27)
MB	24.0913*** (3.27)	23.6108*** (3.19)	24.2875*** (3.17)	11.3829*** (3.61)	11.6626*** (3.69)	11.7534*** (3.59)
RET	23.9381 (1.06)	22.4210 (0.99)	21.2922 (0.93)	-2.3260 (-0.24)	-2.7506 (-0.28)	-3.6558 (-0.37)
STD	1.1037 (0.69)	0.9398 (0.59)	0.8336 (0.52)	-0.6866 (-0.98)	-0.7284 (-1.03)	-0.8023 (-1.13)
DTURN	1.8931*** (2.97)	1.8829*** (2.95)	2.0192*** (3.16)	0.8037*** (3.00)	0.7989*** (2.97)	0.8428*** (3.12)
ABACC	0.2633 (1.62)	0.2709* (1.67)	0.3197* (1.91)	0.1141* (1.65)	0.1198* (1.74)	0.1436** (2.03)
ROA	0.0071 (0.04)	0.0114 (0.07)	0.0880 (0.53)	-0.0045 (-0.06)	0.0029 (0.04)	0.0290 (0.39)
Intercept	-1.2007*** (-11.17)	-1.2245*** (-10.83)	-1.0569*** (-10.11)	-0.5167*** (-10.59)	-0.5094*** (-9.88)	-0.4449*** (-9.33)
Industry Dummy	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Year Dummy	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Observations	8054	8054	7770	8054	8054	7770
Adjusted R-squared	0.0760	0.0760	0.0722	0.0783	0.0779	0.0746

IV. 결론

본 연구는 COVID-19 전후의 국내 기업을 대상으로 ESG 성과가 주가 급락 위험에 미치는 영향을 실증적으로 분석하였다. 본 연구의 결과에 따르면, 국내 기업들의 ESG 성과가 높을수록 기업의 주가 급락 위험이 감소하는 것으로 나타났다. 이는 이해관계자 이론을 지지하는 결과로써, ESG 성과가 높다는 것은 기업이 장기적인 기업가치 증대와 이해관계자와의 신뢰 구축에 중점을 두고 있다는 것을 반영한다. 이러한 기업은 정보 투명성이 높아져, 경영자가 부정적 정보를 은폐하지 않기 때문에 주가 급락 위험도 낮아지는 것이다. 이는 Choi and Wang(2009), Freeman(1984), Hillman

and Keim(2001) 등의 연구 결과와 일치한다. COVID-19 이전과 이후로 표본을 나누어 분석한 결과, COVID-19 이전에는 ESG 성과가 증가할수록 주가 급락 위험이 감소하는 것으로 나타났다. 그러나 COVID-19 이후에는 ESG 성과와 주가 급락 위험 간의 음의 관계가 도출되었지만, 통계적으로 유의미하지는 않았다. 이는 팬데믹과 같은 급격한 변화 속에서는 기업들이 생존과 재무적 안정을 더 중요한 우선순위로 두면서 ESG 전략을 조정하거나 재정립하는 과정에서 나타난 일시적인 현상일 가능성이 있다. 급변하는 환경에서는 ESG 성과가 주가 급락 위험에 미치는 영향이 감소할 수 있다. 마지막으로, 지속가능경영보고서를 발행한 기업과 발행하지 않은 기업을 나누어 분석한 결과, 지속가능경영보고서를 발행하지 않은 기업의 경우 ESG 성과와 주가 급락 위험 간의 음의 유의미한 관계가 나타났다. 반면 지속가능경영보고서를 발행한 기업의 경우, ESG 성과와 주가 급락 위험 간의 음의 관계는 도출되었으나, 통계적으로 유의미하지는 않았다. 이는 지속가능경영보고서의 발행이 기업의 정보 환경을 더욱 투명하게 개선하여 주가 급락 위험을 완화할 수 있음을 시사한다. 다만, 본 연구의 표본이 2011년부터 2020년까지의 데이터를 포함하고 있어, 향후 표본을 확장하여 심도 있는 추가 연구가 필요할 것이다.

〈참고문헌〉

- Cao, C., Xia, C., & Chan, K. C. (2016). Social trust and stock price crash risk: Evidence from China. *International Review of Economics & Finance*, 46, 148-165.
- Chen, J., Hong, H., & Stein, J. C. (2001). Forecasting crashes: Trading volume, past returns, and conditional skewness in stock prices. *Journal of Financial Economics*, 61(3), 345-381.
- Chen, J., Hong, H., & Stein, J. C. (2001). Forecasting crashes: Trading volume, past returns, and conditional skewness in stock prices. *Journal of Financial Economics*, 61(3), 345-381.
- Choi, J., & Wang, H. (2009). Stakeholder relations and the persistence of corporate financial performance. *Strategic Management Journal*, 30(8), 895-907.
- Engelberg, J., Gao, P., Parsons, C.A. (2011). Friends with money. *Journal of Financial Economics*. 103, 169-188.
- Gelb, D.S., Strawser, J.A. (2001). Corporate social responsibility and financial disclosures: an alternative explanation for increased disclosure. *Journal of Business Ethics*. 33, 1-13.
- Hemingway, C. A., & Maclagan, P. W. (2004). Managers' personal values as drivers of corporate social responsibility. *Journal of Business Ethics*, 50, 33-44.
- Hillman, A. J., & Keim, G. D. (2001). Shareholder value, stakeholder management, and social issues: what's the bottom line?. *Strategic management journal*, 22(2), 125-139.
- Hong, H., & Stein, J. C. (2003). Differences of opinion, short-sales constraints, and market crashes. *The Review of Financial Studies*, 16(2), 487-525.
- Hutton, A. P., Marcus, A. J., & Tehranian, H. (2009). Opaque financial reports, R2, and crash risk. *Journal of Financial Economics*, 94(1), 67-86.
- Jin, L., and S. C. Myers, (2006). R2 around the world: New theory and new tests, *Journal of Financial Economics*, 79, pp. 257-292.
- Jones, T. M. (1995). Instrumental stakeholder theory: A synthesis of ethics and economics. *Academy of Management Review*, 20(2), 404-437.
- Kim, J. B., Li, Y., & Zhang, L. (2011). CFOs versus CEOs: Equity incentives and crashes. *Journal of Financial economics*, 101(3), 713-730.

- Kim, J. B., Li, Y., & Zhang, L. (2011). Corporate tax avoidance and stock price crash risk: Firm-level analysis. *Journal of Financial Economics*, 100(3), 639-662.
- Kim, Y., Li, H., & Li, S. (2014). Corporate social responsibility and stock price crash risk. *Journal of Banking & Finance*, 43, 1-13.
- Kothari, S. P., Shu, S., & Wysocki, P. D. (2009). Do managers withhold bad news?. *Journal of Accounting Research*, 47(1), 241-276.
- Li, X., Wang, S. S., & Wang, X. (2017). Trust and stock price crash risk: Evidence from China. *Journal of Banking & Finance*, 76, 74-91.
- Liu, X. (2016). Corruption culture and corporate misconduct. *Journal of Financial Economics*, 122(2), 307-327.

민간기업을 위한 물리적 기후리스크 추정 연구*

연구논단Ⅲ

최용상 | 이화여대 기후에너지시스템공학과 교수

I. 서론

전 세계에서 기상이변으로 인한 경제적 피해 사례가 속출하고 있다. 2021년 2월 미국 텍사스에서는 한파로 인해 전력 공급망에 문제가 발생하여 전국적으로 정전이 발생하였다. 이로 인해 생산라인 중단, 항공편 취소, 가정용 가스 공급 감소 등으로 인한 경제적 피해가 발생했다. 글로벌 원유 공급망에도 차질이 발생하였다. 같은 해 7월 유럽에서는 기록적인 폭우와 홍수가 발생하여 수많은 인명과 재산 피해가 발생했다. 독일과 벨기에에서는 각각 150명 이상이 사망하였고, 인프라 및 주택 등 부동산에 대한 손실도 막대했다.

우리나라도 기상이변으로 인한 피해가 적지 않다. 우리나라는 주로 태풍, 홍수로 인한 물적 피해가 주요한데, 지금까지 집계된 연간 공공분야 평균 피해액은 약 3,691억 원이다(MOIS, 2022). 2020년 7월 중순부터 한 달간 기록적으로 지속된 장마로 인해 경기, 강원, 충청 등 지역에서 대규모 홍수 피해가 발생하였다. 이때 전국적으로 70여 명의 사망자가 발생하였으며, 침수로 인해 대규모 재산 피해도 발생하였다. 2022년 9월 태풍 ‘힌남노’로 포스코 포항제철소에 침수 피해가 발생하여 막대한 손실이 발생하였다. 2023년 7월에는 집중호우로 인해 전국에 인명 피해가 속출하였다. 이처럼 태풍 및 집중호우 수해가 매년 여름철 반복되고 있다(e.g., Franzke et al., 2023; Nam et al., 2023; Oh et al., 2023). 이와는 반대로 봄 가뭄으로 인한 산불 피해도 매년

* 이 글은 최용상 외(2024) 원문의 일부이다. 이 연구는 2018년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(2018R1A6A1A08025520)이며, 민간주도 기후 리스크 관리모형 개발 프로젝트(Frontier-1.5°) 및 기상청 기상기후 데이터 융합분석 특성화 대학원의 지원을 받아 수행되었다.

보고되고 있다. 2018년 여름에는 폭염이 지속되어 농작물에 큰 피해가 발생했다. 특히 고추 등 열매 채소의 경우 수확량이 줄어들면서 가격이 폭등하였다.

이와 같이 태풍, 홍수, 가뭄, 폭염과 같은 극한 기상현상으로 발생한 물적 피해를 ‘기후리스크(climate risk)’라고 하며, 이를 특별히 에너지 ‘전환리스크(transition risk)’와 구분하여 기후의 ‘물리적리스크(physical risk)’라고 한다(TCFD, 2017). 본 논문에서는 기후의 물리적리스크만을 다루므로 물리적리스크를 편의상 기후리스크로 지칭하겠다. 기후리스크라는 용어는 2006년 영국의 경제학자인 Nicholas Stern이 발표한 'Stern Review on the Economics of Climate Change' 보고서에 처음 등장하였다. 이후 기후리스크는 경제계에서 점차 중요한 개념으로 자리 잡았고, 새로운 ESG (Environmental, Social, and Governance) 기업 공시 및 평가를 대비해, 과학적 데이터 기반으로 분석해야 할 핵심 요소로 인식되고 있다. 2019년 세계경제포럼에서 발표된 보고서에 따르면, 기후리스크는 글로벌 경제리스크의 요인 중에서 가장 높은 위험성을 가지고 있다(WEF, 2019). 국제통화기금은 2019년 10월 기후변화로 인한 자연재해 발생이 세계 경제 성장률에 부정적인 영향을 미치는 것으로 분석하며 이러한 영향이 특히 개발도상국에서 더욱 크다고 경고했다(IMF, 2019). 세계은행은 2020년 11월 지속가능개발목표(SDGs) 중 하나인 ‘기후변화 대응’ 부족으로 인해 기후리스크가 매년 최대 5.2조 달러로 예상된다고 경고했다. 2023년 세계은행 보고서(World Bank, 2023)에서는 기후변화가 농작물 생산, 해양 생태계, 인프라, 건강 등 여러 분야에서 경제적 영향을 미치고 있으며, 특히 인프라 파괴와 자연재해로 인한 인명피해 등을 초래하는 등 인류 복지에 직접적인 영향을 미친다는 것을 강조했다. 이러한 보고서나 연구 결과들은 모두 기후리스크가 전반적으로 세계 경제에 적지 않은 부정적인 영향을 미치고 있다고 보고 있는 것이다.

이처럼 실제 피해 사례들이 누적되고, 국제사회에서 지속적으로 경고함에 따라, 기후리스크는 이제 민간기업의 경영에 실질적인 리스크로 인식되고 있다. 이에 기업에서는 잠재적 기후리스크에 대한 체계적 관리의 필요성이 매우 중요해지고 있다. 기업 입장에서 기후리스크의 관리는 두 가지 측면에서 중요하다. 첫째로, 기후리스크의 공시 의무에 대한 대비이다. 기업 공시 중 가장 중요한 것 중 하나인 기후변화 재무정보 공개 전담협의체(Task Force on Climate-Related Financial Disclosures, TCFD)는 기업이 기후변화 관련 위험과 기회를 식별하고 관리하며, 이를 투자자와 공

유하기 위한 국제적인 표준 가이드라인으로 2015년도에 설립되어, 2017년 TCFD 권고안이 발표되었다. TCFD 권고안은 기업이 기후변화 관련 위험 요인을 식별하고 해당 위험에 대한 대응 전략을 평가하고 개발하여 공시함으로써, 기업의 재무상태에 영향을 미칠 수 있는 기후변화 위험에 대한 정보의 투명성을 높이고 투자자의 기업평가에 도움을 준다. 우리나라에서 TCFD 지지를 선언한 기업은 2023년 8월 기준 181개이다 (TCFD, 2023). 그 외에도, ISO (International Organization for Standardization)에서는 기후 변화에 대한 적응과 관련된 ISO14090 표준을 발표하였으며 이 외 다양한 공시 기준들이 소개되고 있다. 2021년 11월 국제회계기준(International Financial Reporting Standards, IFRS) 재단이 국제지속가능성기준위원회(International Sustainability Standards Board, ISSB)를 설립하고, 2024년부터는 TCFD의 기후 공시모니터링 업무를 ISSB로 이관하기로 하였고, 이를 통해 현재의 다양한 공시 기준을 통일하게 된다. 2023년 6월 공개된 IFRS S1, S2 최종안은 ESG 기준 최초로 글로벌 ‘공통 언어’를 제시했다는 점에서 의의가 있다. IFRS S1은 기업이 단기, 중기 및 장기적으로 직면하는 지속 가능성 관련 위험과 기회에 대해 투자자에게 전달할 수 있도록 설계된 일련의 공시 요구 사항을 제공하고, IFRS S2는 특정 기후 관련 공시를 명시하며 IFRS S1과 함께 사용하도록 설계되었다. 통일된 권고안은 2024년부터 적용된다(IFRS, 2023a; 2023b).

둘째로, 민간기업에서 언제 어디서 찾아올지 모르는 기후리스크를 추산해 경영의 사결정에 반영해야 급작스러운 재무적 피해를 줄일 수 있다. 지금까지 전세계에서 자연재해로 인한 실질적 기업 피해 사례는 앞서 자세히 설명한 바 있다. 이에 국내에서는 금융감독원이 2021년 12월 기후리스크 관리지침서를 발표하여 금융권의 기후리스크 관리 체계 확보를 사전 권고하였다(FSS, 2021). 세계 경제의 추세로 볼 때 수년 내 이는 의무 사항으로 바뀔 것이다. 이러한 준비에 미온적인 기업은 지속가능지수 등 기업 평가의 하락을 면치 못해 외부 투자 유치에 불리해진다. 이 두 가지 측면 모두 현재와 미래의 기후리스크에 대한 구체적 산정값을 요구하므로 과학 기반의 기후리스크 추산이 절실히 필요한 상황이다.

하지만 지금까지 이에 대한 구체적 연구가 보고되지 않아 아직 이론적 기반은 매우 빈약한 상황이다. Hwang (2022)에 따르면 은행권에 기후리스크를 적용하는 초기 연구가 진행된 정도이다. 따라서 본 연구는 우리나라 민간기업의 기후리스크 추정 모형

사례를 소개하고 사용된 자료 및 방법과 고려사항들을 정리하였다. 이 연구를 통해 저자들은 우리나라 산업 전반의 기후리스크 산정이 궁극적으로 과학적 기반 하에 이루어질 수 있도록 기여하고자 한다. 2장에서는 기후리스크 추정 방법론 개발에 관한 기본 원리를 설명하며, 3장에서는 금융 자산 관리에 관한 기후리스크 추정 사례를 소개한다.

II. 기후리스크 추정의 기본 원리

기후리스크 추정은 지금까지 다양한 방식으로 이루어졌으나, 가장 보편적으로 통용되는 개념은 다음과 같다(Wolfgang Kron, 2005; IPCC, 2012; UNDRR, 2016; Zscheischler et al., 2018; Claassen et al., 2023):

$$\text{기후리스크} = \text{해저드(Hazard)} \times \text{취약성(Vulnerability)} \times \text{노출도(Exposure)} \quad (1)$$

여기서 오른쪽의 세 항 모두 중요한 기후리스크의 결정 요소로서, 이 중 하나라도 커지면 기후리스크가 커진다.

The 2° Investing Initiative (2019) 보고서를 발간한 독일의 씽크탱크 연구기관인 2DII (The 2° Investing Initiative)에서는, 이 식(1)을 이용해 SecReg이란 모델을 구축하였다. 이 SecReg 모델에서는 해저드 강도를 3단계, 업종별 취약성을 3단계, 지역별 노출도를 3단계로 나누어 세 요소의 경우의 수인 총 27 등급으로 리스크를 추정하고, 이에 따라 시나리오별 신용등급 하락을 추정하는 방법을 제시하였다 (British Embassy, 2021).

식(1)에서 가장 핵심이 되는 항은 해저드이다. 해저드는 대기과학, 수문학 등 자연과학 분야에서 어떤 특정 물리량을 지칭하는 용어는 아니다. 하지만 본 논문에서 식(1)의 해저드는 잠재적으로 물적피해를 야기할 수 있는 각종 기상현상의 심도(또는 강도)와 빈도를 통칭한다. 예를 들어, 강우강도가 강할수록 강우빈도가 잦을수록 리스크는 커지는 법이다. 현재 대부분 민간기업의 주요 수요는 중장기(수 년-수십 년) 기후리스크에 있다. 따라서 홍수 리스크를 계산하기 위해 해저드에 연도별 기상지수 값(호우일수, 총 강수량 등)을 사용할 수 있다. 하지만 앞으로는 해저드의 계절예측 및 수

시간 내 급작스럽게 발생할 해저드의 예측과 관리도 점차 중요해질 것이다. 해저드에 사용되는 각종 기상지수는 이미 대기과학 분야에서 다양하게 정의되고 기록되어 왔다 (e.g., Karl et al., 1999). 하지만 어떤 기상지수를 민간기업의 기후리스크 추정에 사용할지, 민간기업에서 실제적 리스크로 인식하는 현상을 설명하기 위한 추가 기상지수 개발이 필요한지에 대해 앞으로 심도 있는 논의가 필요하다.

과거 해저드 값은 기상관측 자료를 사용하여 계산될 수 있다. 기상청은 현재 종관기상관측(ASOS)와 방재기상관측(AWS)을 통해 얻은 과거에서 현재까지의 각종 기상지수 자료를 일반에 공개하고 있다. Table 1은 기상청 기상자료개방포털(<https://data.kma.go.kr/>)에서 제공하는 기상현상 일수 목록과 극한기후지수의 일부이다. 이 외에도, 기상청에서는 계급별 일수 및 기온, 강수량, 바람 자료도 제공하고 있다.

미래의 해저드 값은 전세계 기후 모델에서 모의한 온실가스 배출 시나리오에 따른 미래 기후 전망치를 사용할 수 있다. 온실가스 배출 시나리오는 크게 두 종류가 있다. 우선 RCP (Representative Concentration Pathways, 대표농도경로) 시나리오는 기후변화에 관한 정부간협의체(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 제5차 평가 보고서(IPCC, 2014)에서 사용한 표준 온실가스 시나리오로 대표농도경로 4개 시나리오(RCP 2.6, 4.5, 6.0, 8.0)로 구성되어 있다(Table 2). 시나리오의 각 숫자들은 2100년 기준의 복사강제력, 즉 대기 중 온실기체, 에어로졸 등으로 지금부터 2100년까지의 에너지의 평형을 변화시키는 영향력의 정도를 의미한다. 둘째로 SSP (Shared Socioeconomic Pathways, 공통사회경제경로) 시나리오는 IPCC 제6차 평가보고서(IPCC, 2021)에서 채택한 신규 온실가스 경로 시나리오로 기존 RCP 개념과 함께 미래 사회경제변화를 기준으로 미래의 완화와 적응 노력을 고려한 5개의 시나리오(SSP1-2.6, 2-4.5, 3-7.0, 4/5-8.5)로 구성되어 있다. SSP 시나리오는 인구통계, 경제발전, 복지, 생태계 요소, 자원, 제도 및 거버넌스, 기술발전, 광범위한 사회요소, 정책에 따라 개발되었다(O'Neill et al., 2014; Chae et al., 2016). SSP 시나리오의 첫 번째 숫자는 기후변화 적응을 위한 사회·경제적 노력으로 사회발전과 온실가스 감축정도에 따라 구별되며, 두 번째 숫자는 2100년 기준의 복사강제력을 나타낸다. 각 시나리오에 대한 의미는 Table 2에 제시하였다.

식(1)의 노출도는 기후에 노출된 지역의 규모나 가치로 보는 것이 가장 현실적이다. 미래 기후리스크 예측에서는 이 가치의 상승을 반드시 적용해야 한다. 이 가치는 부동산

산 가치, 또는 지역별 국내 총생산(GDP)으로 평가될 수 있다. 인구 증가, 경제 발전 등으로 자본이 집중된 지역에 더 많은 자본이 유입될 가능성이 높다. 주요 도시일수록 노출도가 급격하게 증가하기에 지역의 가치를 적절하게 고려해야 한다.

식(1)의 취약성은 손실 또는 피해액이며, 해저드와 지수 비례 관계이다. 따라서 해저드가 증가하면 취약성도 증가하므로, 해저드와 독립적으로 다룰 수 있는 항이 아니다. 이에 취약성을 해저드에 대한 비용함수(cost function)로 취급하게 되고, 더 나아가서는 노출도가 취약성 함수에 곱해져 최종 비용함수가 구축된다. 즉, 식(1)의 기후리스크의 계산은 다음과 같이 더욱 간결해진다.

$$\text{기후리스크} = \text{취약성(해저드)} \times \text{노출도} = \text{비용함수(해저드)} \quad (2)$$

식(2)는 해외 평가기관에서 약간씩 다른 형태로 변형되었다. 특히 비용함수의 구축이 핵심인데, 가장 보편적으로 사용되는 방법은 모건스탠리캐피털인터네셔널(MSCI)에서 공개되었다(MSCI, 2020). MSCI는 기후리스크를 자산손실률(ClimateVar)로 간주하고 비용함수를 구축하는 것으로 알려져 있다. MSCI에 따르면 기후리스크에 따른 우리나라 민간기업의 자산손실률은 5~10% 정도이다.

MSCI에서는 태풍의 경우 비용함수를 미래 변화가 없는 정해진 평균 연간 피해액 또는 자산만 고려한다. 태풍은 미래 기후 추세가 지역별로 매우 상이하고 불확실성이 커서 이 가정은 단순하지만 합리적으로 보인다. 해안 홍수 또는 하천/강 홍수의 경우 영업 중단 기간 동안의 피해를 고려한다. 해안 홍수의 경우, 미래 범람지역이 늘 것으로 보이므로 해안 지역 자산의 해발 고도와 해수면간 비교를 통해 비용 함수를 구축할 수 있다. 이때, 침수로 인한 직접적 피해와 함께, 사업 중단 기간의 수입 감소와 같은 간접피해도 고려한다.

마지막으로, 다양한 극한기상현상(폭염, 혹한, 폭우, 폭설, 강풍)의 경우 자체적인 기준 초과 일수를 계산하고, 지역별로 다른 취약성(예를 들면 열대지역은 30도 이상 더위에 적응됨) 등을 고려하는 것으로 보인다. 여기서 모든 극한기상 현상은 강도가 아닌 빈도(발생일수)를 중요하게 고려한다. 실제 해저드 강도라고 하는 것은 이 발생 일수를 의미하는 것이다.

이처럼 취약성×노출도, 즉 비용함수는 해저드 빈도와 강도에 대한 비용손실 함수

로서, 우리나라에 대해 적용하기 위해서는 실제 특별피해 기록 등 데이터를 활용해 현실적으로 찾는 것이 중요하다. 우선 지역별로는 행정안전부에서 제공한 2021 재해 연보 자료를 이용할 수 있다. 이 자료는 2012-2021 기간 연간 자연재해별 피해자료가 지자체별로 정리되어 있다(MOIS, 2022). 다만 공공 피해액만 집계했기 때문에 민간 자산손실까지 추정하기엔 실제적인 한계가 있으므로 좀 더 정확한 비용함수 구축을 위해서 민간기업의 기록자료(특별 손실 등)가 필요하다. 특히 해외 지역과 같이 이런 기록이 아직 존재하지 않는다면, 기후 취약성을 평가한 연구 자료나 미디어 분석을 통해 파악된 다양한 정보를 바탕으로 구축되어야 한다. 예를 들어 유럽 지역에 대해서는 폭염, 폭우에 대한 피해 비용이 큰데 취약성은 지역 전문가를 대상으로 한 인터뷰나 설문조사가 이루어져 보고되고 있는 것으로 보인다. 또한 시간이 지나면서 제방이나 하수처리 시설을 새로 구축하며 도시의 기후 취약성 개선도 고려해야 하므로 다양한 전문가 및 정책 결정자와 협업해야 한다.

그렇다면, 미래기후 기후 시나리오를 기반으로 어떻게 미래 기후리스크를 추정할 수 있을까? 이를 간단한 모식도를 통해 설명하면 다음과 같다. Figure 1에서 x축은 해저드[강수량(Precipitation), 단위: mm year⁻¹], y축은 기후리스크[피해액(Loss), 단위: 천만 원]이며, 각각 파란색과 빨간색으로 표기하였다. 그리고 과거의 값은 실선으로, 미래의 값은 점선으로 표기하였다. 식(2)에서 해저드를 정규분포를 갖는 물리량으로 가정하면, 미래 기후 시나리오에서 해저드 분포의 변화(평균, 표준편차, 비대칭도 등)가 예상된다. 이를 정규분포의 형태를 갖는 과거 해저드(파란 실선)와 구별되는 미래의 해저드(파란 점선)로 표현하였다. 그림에서 지수함수(검은 실선)는 해저드(x축)-기후리스크(y축)간의 관계식인 비용함수이다. 이 함수는 과거기록 자료가 있다면 회귀분석을 통해 파악할 수 있는데, 취약성과 노출도가 동시에 이 함수에 반영되게 된다. 미래에 하수처리 개선 등으로 바뀔 기후 취약성과 노출도까지 고려한다면, 비용함수는 앞으로 더욱 고도화된 모형으로 발전시킬 수 있다. 그러나 미래에도 기후 취약성과 노출도가 일정하다고 가정하면(즉 이 비용함수가 미래에도 변함없다고 가정하면), 달라진 미래 해저드 정규분포(파란 점선)는 과거 해저드 정규분포(파란 실선)와 대비된다. 이 해저드 정규분포 변화에 따라, 비용함수로 투영되는 미래 기후리스크의 추정값 분포도 달라지게 된다(빨간 점선).

Ⅲ. 국내 금융 자산 관리를 위한 기후리스크 추정 사례

주요 금융사에서는 부동산 자산 또는 투자 포트폴리오 관리를 위해 우리나라 시군구별 홍수와 태풍의 기후리스크 파악이 요구된다. 홍수와 태풍의 기후리스크는 우리나라 자연재해 피해액의 94% 이상을 차지하는 주요 리스크로, 홍수 피해는 전체 자연재해 중 약 62%를, 태풍은 약 32%를 차지한다(MOIS, 2022). 따라서 과거 자료를 기반으로 비용함수를 찾고, 미래 기후변화 시나리오를 적용하여 전국적 피해 규모를 예측하는 것이 필요하다.

홍수 리스크는 과거 관측 데이터와 과거 피해액을 회귀 분석하여 도출된 식에 SSP 시나리오를 사용하여 추정하였다. 식(2)를 기반으로 극한기후지수를 해저드, 피해액을 기후리스크 값으로 정의하여 홍수 리스크를 예측하였다.

홍수 리스크 예측에 사용한 극한기후지수는 호우일수, 5일 최다 강수량, 95퍼센타일 강수일수 총 3가지이다(Table 1). 여기서 강수분포가 여름철에 집중된 대한민국의 기후 특성을 고려하여 강수강도(연 강수량을 연 강수일수로 나눈 값) 대신 호우일수(일 강수량이 80 mm 이상인 날의 연중 일수)를 분석 요소로 선택하였다. 또한 ETCCDI (Expert Team on Climate Change Detection and Indices), IPCC, STARDEX (Statistical and Regional Dynamical Downscaling of Extremes for European Regions)에서 공통적으로 제공하는 극한기후지수인 5일 최다 강수량, 95퍼센타일 강수일수를 사용하였다. 현재는 기상청에서 과거 관측값에 대한 극한기후지수를 제공하고 있지 않아, 과거 관측 자료로부터 기상청 극한기후지수의 정의(Table 1)에 따라 계산하였다. 이때 사용한 자료는 기상청 종관기상관측장비(Automated Synoptic Observing System, ASOS)와 자동기상관측 장비(Automatic Weather Station, AWS)에서 관측된 일별 강수량 자료이다. 각 시군구에 해당하는 관측소가 여러 개인 경우는 전체 관측소의 평균값을 사용하였다. 또한 시군구에 대응되는 관측소가 없는 10개의 지역은 인접한 관측소의 강수량 자료를 이용했다. 피해액 자료는 행정안전부 국민재난안전포털(<https://www.safekorea.go.kr/idsiSFK/neo/main/main.html>)에서 제공하는 시군구별 자연재난상황 통계 자료를 사용하였다. 자료 검색 시 조회 연도는 1998-2021년이며, 원인은 호우로 설정하였다.

미래 기후 시나리오는 기상청에서 제공하는 남한 상세 SSP 기후변화 시나리오를

사용하였다(기상청 기후정보포털, <http://www.climate.go.kr/home/>). 이 시나리오 오는 우리나라의 복잡한 지형효과를 반영함과 동시에 행정구역별로 자료를 제공하고 있어 지역별 물리적 리스크 추정에 적합하다. 2023년 8월 현재 기상청에서는 SSP 기반 고해상도 남한 상세 기후변화 시나리오의 극한기후지수를 SSP1-2.6(이하 SSP1)과 SSP5-8.5(이하 SSP5)에 한정하여 제공하고 있어 두 가지 시나리오를 기반으로 해 기후리스크를 추정하였다.

비용함수를 찾기 위한 회귀분석의 독립변수(해저드)는 극한기후지수이며, 종속변수(기후리스크)는 피해액이다[식 (2)]. 전국 229개 시군구를 대상으로 지역별 회귀분석을 진행하였으며, 회귀분석에 사용한 함수는 선형, 지수, 로그 함수이고(Table 3), 각 회귀함수의 결정계수는 Table 4와 같다. Table 4의 결정계수는 변수별 시군구 평균 결정계수 값이다. 결정계수는 회귀식의 설명력을 의미하는 변수로 1에 가까울수록 독립변수가 종속변수를 잘 설명하고 있다고 볼 수 있다. 시군구별로 존재하는 자료의 개수가 달라 시군구 개별 단위로 회귀결과를 분석하는데 어려움이 존재하였다. 따라서 전국 평균 결정계수를 기준으로 기후리스크 분석에 가장 적합한 변수와 회귀함수식을 선별하였다. 지수, 선형, 로그 순으로 전국 평균 결정계수가 높았으며, 3가지 변수 중 5일 최다 강수량(RX5DAY)이 종속변수와 가장 연관성이 밀접하다는 결과가 도출되었다. 따라서 5일 최다 강수량 기반 지수 회귀식을 이용하여 미래 기후리스크를 최종적으로 분석하였다. 이때, 5일 최다 강수량은 연속된 5일 동안 누적된 강수량이 연중 최대일 때의 5일 누적 강수량을 의미한다.

분석 대상인 전국 229개 시군구 중 74개 지역에서 유의확률(p-value)이 0.05 미만으로 도출되었다. 유의확률은 회귀식의 통계적 유의성 판단지표로 0.05 미만일 경우 회귀식이 통계적으로 유의미하다고 본다. 전국 시군구의 약 33%에 해당하는 지역에서 5일 최다 강수량 기반 지수 회귀식이 홍수 리스크 추정 시 유의미하다고 판단되며 해당 지역들의 평균 결정계수(R-squared)는 0.48, 조정된 결정계수(Adjusted R-squared)는 0.43으로 전국 평균 결정계수를 크게 상회한다.

홍수 리스크 추정결과를 활용하여 시군구별 리스크 분포를 지도에 표시하였다(Fig. 2). SSP1 시나리오를 바탕으로 추정한 홍수 리스크와 5일 최다 강수량의 10년치 평균값을 사용한 결과이며, 각 지도에서 나타내는 값은 2021-2030년, 2031-2040년, 2041-2050년의 평균값에 해당한다. 전반적으로 홍수로 인한 피해는 강원도, 경기도,

충청북도가 인접해 있는 내륙지방과 경상남도 일부 지역을 중심으로 발생할 것으로 보인다(Fig. 2a). 특히, 강원도의 경우 SSP1 시나리오의 5일 최대 강수량이 상대적으로 높지 않은 것에 비해 홍수에 대한 위험도가 높게 도출되었다. 또한, 경상북도 봉화군, 영양군, 영덕군 역시 5일 최대 강수량의 크기에 비해 홍수 피해가 클 것으로 추정된다(Figs. 2a-b). 추정된 결과에서 나온 것과 같이, 미래기후에 따라 발생하는 피해는 지역적인 차이를 보이므로 근본적인 홍수 방지 대책을 수립하기 위해서는 도시의 특성을 고려한 방재시설 설치가 필수적이다.

또한 홍수 리스크에 대한 취약성과 노출도는 지역별 방재시설의 성능에 따라 달라질 수 있다. 특히 방재시설 중 배수시설은 과거의 기상데이터를 바탕으로 배수성능이 결정된다. 그러나 기후변화로 인해 극한강수가 자주 발생한다면, 기존의 배수성능이 한계에 도달하여 취약성이 낮았던 지역의 홍수 리스크가 증가할 수 있다. 배수시설 특성상, 배수 시설의 건설에는 막대한 자본과 긴 시간이 필요하므로 홍수 리스크를 대비하기 위해서는 현재에 비해 미래에 이상기후로 인한 영향을 많이 받을 것으로 예상되는 지역을 우선적으로 선별하여 배수시설을 정비 및 확충하는 것이 중요하다. 앞에서 취약성이 높은 지역을 확인하였고, 해저드에 해당하는 5일 최대 강수량이 지역별로 어떤 차이를 보일 것인지 살펴보고자 한다. 기후변화로 인한 해저드의 변동이 지역별로 어떻게 나타나는지 확인하기 위해 현재(2000-2020년)와 미래(2021-2030년, 2031-2040년, 2041-2050년)의 5일 최대 강수량 평균값의 차이를 확인했다(Fig. 2c). 양의 값을 나타내는 지역은 현재 대비 미래의 5일 최대 강수량이 증가, 음의 값을 나타내는 지역은 현재 대비 미래의 5일 최대 강수량이 감소할 것으로 예상되는 지역이다. 연도별로 차이가 존재하나 일부 지역을 제외하고 대부분의 지역에서 5일 최대 강수량의 증가가 예상된다. 특히 서울, 남해안과 인접한 전라남도, 제주도 남부에서 많은 증가가 예상되므로 추후 해당 지역들을 중심으로 배수시설의 개선을 고려해야 한다.

Figure 3은 SSP5 시나리오에 따른 피해 예측액, 5일 최대 강수량(10년 평균), 기후변화에 따른 5일 최대 강수량 변동값(미래와 현재의 차이)이다. 2030년까지 홍수 리스크는 강원도, 경기도, 충청북도가 맞닿아 있는 내륙지방에 주로 나타났으나 시간의 흐름에 따라 점차 피해 지역이 확장됨을 알 수 있다. 2041-2050년의 홍수 리스크 지도에서 내륙지방에 집중되었던 홍수 리스크가 남해안과 동해안의 일부 지역까지 확

대되었다(Fig. 3a). 모든 지역에서 비용함수는 단조적으로 증가하는 경향을 보였으므로 이러한 피해지역의 확장은 SSP5 시나리오의 5일 최대 강수량이 앞서 언급한 지역을 중심으로 크게 증가하였기 때문으로 판단된다(Fig. 3b). 해당 지역의 해저드가 다른 지역에 비해 크게 증가한 만큼 방재시설의 정비를 우선적으로 살펴볼 필요가 있다(Fig. 3c).

홍수 리스크는 회귀분석에서 높은 결정계수를 보인 광주광역시 북구와 경기도 과천시 사례를 통해 분석하고자 한다. SSP1 시나리오에 따르면 광주광역시 북구는 2026, 2030, 2033, 2038년에 피해가 급격하게 증가할 것으로 전망되며, SSP5 시나리오는 작은 변동성을 유지하며 피해액이 증감을 반복할 것으로 보인다(Fig. 4a). 경기도 과천시의 경우 SSP1 시나리오에서는 2036년까지 피해가 감소하는 추세를 보이거나 2038년에는 최대 피해액에 도달할 것으로 예측된다. 2040년대에는 전반적으로 피해가 증가하였다가 2040년대 후반에 다시 감소하는 경향을 보인다(Fig. 4b). SSP5 시나리오에서는 피해액 전망에 대한 뚜렷한 추세는 보이지 않으나 일정한 범위 내에서 해마다 증가와 감소를 되풀이할 것으로 추정된다.

광주광역시 북구는 5일 최대 강수량이 미래 전반기에서 후반기로 갈수록 SSP1보다 SSP5에서 더욱 크게 나타나며 피해액도 함께 증가하였다. 하지만 경기도 과천시의 경우 미래 후반기에서도 전반기와 비슷한 추세를 보여 SSP 시나리오에 따른 차이가 크게 나타나지 않았다. 이는 시나리오에 따른 극한강수의 변화는 지역별로 차이가 존재하며, 홍수 리스크도 지역별로 다르게 나타난다는 것을 보여준다. 주목할 점은 두 지역에서 나타나는 홍수 리스크 피해액과 5일 최대 강수량 사이의 관계의 차이이다. Figure 5는 2021-2100년 동안의 SSP5 시나리오에 따른 광주광역시 북구와 경기도 과천시 지역의 홍수 리스크 피해액(Loss)과 5일 최대 강수량(RX5DAY)을 정규화하여 나타낸 상자그림이다. 상자 그림에서 상자의 아랫변과 윗변은 각각 제 1사분위수, 제 3사분위수를 의미하고 상자 내부의 가로선과 가위표(x)는 각각 중앙값과 평균값을 의미하며 동그라미표(○)를 통해 이상치를 나타낸다. 두 지역 자료의 최대값을 각 지역의 기존값으로 나누어 0-1 사이의 규모로 정규화함으로써 상대적인 특성을 비교하였으며 지역마다 산출된 비용함수는 시나리오에 따라 일정하므로 SSP5 시나리오에 대해서만 분석하였다. 상자그림에서 광주광역시 북구의 5일 최대 강수량은 경기도 과천시보다 낮은 반면, 홍수리스크 피해액 분포는 비슷하거나 조금 더 높다. 다시 말하

면 광주광역시 북구에 적합된 비용함수가 경기도 과천시 비용함수에 비하여 같은 강수량을 더 큰 피해액으로 투영하고 있다고 할 수 있다. 즉, 이는 광주광역시 북구가 강수량에 비해 피해가 상대적으로 크게 발생하고 있다는 것을 의미하며 최종적으로 경기도 과천시보다 광주광역시 북구가 홍수 피해에 대한 취약성이 높다는 결론을 내릴 수 있다.

본 연구에서는 성능이 가장 우수하다고 판단되는 지수함수 기반의 회귀식을 전국에 적용하였으므로 지역별 홍수 리스크 추정결과와 정확도가 상이할 수 있다. 추후 연구에서는 지역별로 적합한 함수 기반의 회귀식을 개별적으로 탐구하고 그것을 적용하여 홍수 리스크를 추정한다면 보다 향상된 홍수 리스크 예측이 가능할 것이다.

IV. 결론 및 토의

지금까지 민간기업을 위한 기후리스크 추정 모형을 제안하였다. 본 연구에서는 홍수의 기후리스크 추정을 위해 과거 관측된 기상 극한지수(호우일수, 5일 최대 강수량, 95퍼센타일 강수일수)와 공공시설의 피해액을 지역별로 회귀분석해 비용함수를 도출하고, 미래 기후 시나리오(SSP 시나리오)에 투영시켜 시나리오별 피해액을 예측하였다. 홍수로 인한 피해는 강원도, 경기도, 충청북도가 인접해 있는 내륙지방과 경상남도 일부 지역을 중심으로 발생할 것으로 결과가 나타났으며, 강원도의 경우에는 5일 최대 강수량에 비해 홍수에 대한 위험도가 높게 도출되었다.

하지만 이 비용함수에 사회적 요소의 역할이 어느 정도 기여하였는지 정량적으로 파악하지 못하였다. 예를 들어, 동일한 양의 강수량에 대해, 사회기반시설이 취약한 지역에서는 그렇지 않은 지역보다 피해가 클 수밖에 없다. 이를 반영하기 위해서는 추후 기후 변수 뿐만 아니라, 사회기반시설 요소(총건축물 수, 하천 개수율, 중계펌프장 현황 등)도 추정식에 반영해 기후리스크 개선 효과에 대한 추가 연구가 필요할 것이다.

해당 결과는 투자 전략을 수립하거나 기후변화로 인한 재무적 영향 평가 시 유용하게 쓰일 수 있을 것으로 사료된다. 기상현상으로 인한 금전적인 피해를 기후리스크로 표현하는 연구는 현재로서는 초기 단계이기에 불확실성이 존재한다. 따라서 더욱 발

전된 연구방법론을 개발하고 다양한 위험기상을 대상으로 한 후속 연구를 통해 기후 리스크 모형의 정확성을 향상시킬 필요가 있다.

또한, 한 기업의 제품 생산은 여러 단계에 걸쳐 협력사의 가치사슬로 묶여 있으므로, 공급망 관리를 위한 기후리스크를 고려하는 경우 여러 단계를 거쳐 최종적으로 사업장에 도달하는 공급망 특성을 반영해야 한다. 그러나 공급망상 위험 자료의 기록이 거의 없는 경우가 많아, 해당 사업장의 특성이 아닌 전반적인 평가에 한정되고 있다. 사업장에 미치는 최종적인 영향을 산출하기 위해서는 각 공급망 단계별 리스크를 평가하여야 한다.

무엇보다 민간기업에서 기후리스크 관리가 지속 가능하도록, 피해 발생으로 인한 영향 등의 분석을 위해 피해 기록의 보관이 반드시 필요하고, 이를 활용하여 미래에 발생할 기후리스크에 대비하여야 한다. 실제 민간기업의 피해 분석을 하는 경우 국내 연구가 많지 않고, 관련 자료의 부족 등의 문제로 인해 간접적으로 피해를 추산할 수 밖에 없는 것이 이 모델의 근본적 한계이므로, 이를 개선하기 위해서는 특별 피해 자료의 기록과 지속적 자료 관리가 반드시 병행되어야 할 것이다.

〈REFERENCES〉

- British Embassy, 2021: *South Korea Climate Related Risk Assessment*, 99 pp.
- Chae, Y., 2016: *Development of socio-economic scenarios for low carbon climate change adaptation read society in Korea*. Korea Environment Institute, 684 pp (in Korean).
- Claassen, J. N., P. J. Ward, J. Daniell, E. E. Koks, T. Tiggeloven, and M. C. de Ruiter, 2023: A new method to compile global multi-hazard event sets. *Sci. Rep.*, 13, 13808, doi:10.1038/s41598-023-40400-5.
- Franzke, C. L. E., J.-Y. Lee, T. O’Kane, W. Merryfield, and X. Zhang, 2023: Extreme Weather and Climate Events: Dynamics, Predictability and Ensemble Simulations. *Asia-Pac. J. Atmos. Sci.*, 59, 1–2, doi:10.1007/s13143-023-00317-5.
- FSS, 2021: *Climate Risk Management Guidelines*, Financial Supervisory Service, 14 pp (in Korean).
- Hwang, J., 2022: Physical risk stress test for domestic bank corporate loans, *Journal of Korean Economic Studies*. 40, 89–125 (in Korean).
- IFRS Foundation, 2023a: *IFRS S1 General Requirements for Disclosure of Sustainability-related Financial Information*, 46 pp [Available online at <https://www.ifrs.org/content/dam/ifrs/publications/pdf-standards-issb/english/2023/issued/part-a/issb-2023-a-ifrs-s1-general-requirements-for-disclosure-of-sustainability-related-financial-information.pdf>].
- _____, 2023b: *IFRS S2 Climate-related Disclosures*, 44 pp [Available online at <https://www.ifrs.org/content/dam/ifrs/publications/pdf-standards-issb/english/2023/issued/part-a/issb-2023-a-ifrs-s2-climate-related-disclosures.pdf>].
- IMF, 2019: *Fiscal Monitor: How to Mitigate Climate Change*. International Monetary Fund, 81 pp [Available online at <https://www.imf.org/-/media/Files/Publications/fiscal-monitor/2019/October/English/text.ashx>].
- IPCC, 2012: *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, 582 pp.
- _____, 2014: *Climate Change 2014: Synthesis Report. In Contribution of Working Group I, II, and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental*

- Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, 151 pp.
- _____, 2021: *Summary for policy makers. Climate change 2021: The physical science basis. In Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, 32 pp.
- Karl, T. R., N. Nicholls, and A. Ghazi, 1999: CLIVAR/GCOS/WMO workshop on indices and indicators for climate extremes: Workshop summary, *Wea. Climate Extremes*, 42, 3-7.
- Kron, W., 2005: Flood Risk = Hazard·Values·Vulnerability, *Water Int.*, 30, 58-68, doi:10.1080/02508060508691837.
- MOIS, 2022: *2021 Annual Disaster Report*, Ministry of the Interior and Safety, 492 pp (in Korean).
- MSCI, 2020: *MSCI Climate VaR methodology part 4 – Physical climate risk*. MSCI ESG Research, 28 pp.
- Nam, C. C., D. S. R. Park, and C.-H. Ho, CH., 2023: Major Decisive Factors of Tropical Cyclone Risk in the Republic of Korea: Intensity, Track, and Extratropical Transition. *Asia-Pac. J. Atmos. Sci.*, 59, 359-366, doi:10.1007/s13143-023-00318-4.
- NDMI, 2013: *Development of Regional Loss Function Based on Scenario*, National Disaster Management Research Institute, 75 pp (in Korean).
- Oh, H., K.-J. Ha, and J.-Y. Jeong, 2023: Identifying Dynamic and Thermodynamic Contributions to the Record-Breaking 2022 Summer Extreme Rainfall Events in Korea. *Asia-Pac. J. Atmos. Sci.*, doi:10.1007/s13143-023-00334-4 (published online).
- O'Neill, B. C., E. Kriegler, K. Riahi, K. L. Ebi, S. Hallegatte, T. R. Carter, R. Mathur, and D. P. van Vuuren, 2014: A new scenario framework for climate change research: the concept of shared socioeconomic pathways, *Climatic Change*, 122, 387-400, doi:10.1007/s10584-013-0905-2.
- TCFD, 2017: *Recommendations of the Task Force on Climate-related Financial Disclosures*, Task Force on Climate-related Financial Disclosures, [Available online at <https://assets.bbhub.io/company/sites/60/2021/10/FINAL-2017-TCFD-Report.pdf>].
- _____, 2023: *Support the TCFD*, Task Force on Climate-Related Financial

- Disclosures, [Available online at <https://www.fsb-tcfd.org/supporters/>].
- The 2° Investing Initiative, 2019: *Storm ahead: A PROPOSAL FOR A CLIMATE STRESS-TEST SCENARIO*, 42 pp [Available online at https://2degrees-investing.org/wp-content/uploads/2019/02/Stress-test-report_V2.pdf].
- UNDRR, 2016: *Report of the open-ended intergovernmental expert working group on indicators and terminology relating to disaster risk reduction*, United Nations Office for Disaster Risk Reduction, 41 pp.
- World Bank, 2023: *World Development Report 2023: Migrants, Refugees, and Societies*. The World Bank, doi:10.1596/978-1-4648-1941-4.
- WEF, 2019: *Global Risks Report 2019*. World Economic Forum, 107 pp [Available online at https://www3.weforum.org/docs/WEF_Global_Risks_Report_2019.pdf].
- Zscheischler, J., and Coauthors, 2018: Future climate risk from compound events. *Nature Climate Change*, 8, 469–477, doi:10.1038/s41558-018-0156-3.
- 최용상 외, 2024: 민간기업을 위한 물리적 기후리스크 추정 연구, *대기*, 34, 1-21.

Table 1. Variable of some extreme climate index (Source: Korea Meteorological Administration, http://www.climate.go.kr/home/CCS/contents_2021/info/how_use.html?m1=1&m2=2).

No.	변수명	정의	단위
1	폭염일수 (HW33)	일최고기온이 33℃ 이상인 날의 연중일수	일
2	열대야일수 (TR25)	밤최저기온이 25 ℃ 이상인 날의 수	일
3	서리일수 (FD0)	서리는 대기 중의 수증기가 승화 작용에 의해 지면이나 지상의 물체에 얼음 결정체로 붙어 있는 현상을 말하며, 서리일수는 관측자가 직접 관측한 현상일 일최저기온이 0도 미만인 날의 연중일수	일
4	결빙일수 (ID0)	결빙은 옥외에 있는 물이 동결하는 현상을 말하며, 결빙일수는 관측자가 직접 관측한 현상일 일최고기온이 0도 미만인 날의 연중일수	일
5	한파일수 (CWm12)	아침 최저기온(03:01~09:00)이 영하 12도 이하인 날의 수 일최저기온이 -12℃ 이하인 날의 연중일수	일
6	호우일수 (RAIN80)	일강수량이 80 mm 이상인 날의 연중일수	일
7	5일 최다강수량 (RX5DAY)	연중 5일 누적 강수량(0.1 mm 이상 강수량) 중 최대값	mm
8	95퍼센타일 강수일수 (RD95P)	1 mm 이상인 일강수량이 기준기간의 상위 95퍼센트보다 많은 날의 연중 일수	일

Table 2. Definition of RCP (Representative Concentration Pathways) and SSP (Shared Socioeconomic Pathways) scenarios (Source: Korea Meteorological Administration).

Scenario	Meaning	Radiative forcing (W m ⁻²) (2100)
RCP2.6	인간 활동에 의한 영향을 지구 스스로가 회복 가능한 경우	2.6
RCP4.5	온실가스 저감 정책이 상당히 실현되는 경우	4.5
RCP6.0	온실가스 저감 정책이 어느정도 실현되는 경우	6.0
RCP8.5	현재 추세(저감없이)로 온실가스가 배출되는 경우 (BAU 시나리오)	8.5
SSP1-2.6	재생에너지 기술 발달로 화석연료 사용이 최소화되고 친환경적으로 지속가능한 경제성장을 이룰 것으로 가정하는 경우	2.6
SSP2-4.5	기후변화 완화 및 사회경제 발전 정도가 중간 단계를 가정하는 경우	4.5
SSP3-7.0	기후변화 완화 정책에 소극적이며 기술개발이 늦어 기후변화에 취약한 사회구조를 가정하는 경우	6.0
SSP5-8.5	산업기술의 빠른 발전에 중심을 두어 화석연료 사용이 높고 도시 위주의 무분별한 개발이 확대될 것으로 가정하는 경우	8.5

Table 3. Curve estimation of each regression model (NDMI, 2013).

Function	Equation for regression function
Linear	$y = a x + b$
Exponential	$y = e^{(ax)} + b$
Log	$y = a \ln(x) + b$

Table 4. Average coefficient of determination for each variable. The coefficient of determination is the average over 229 values for each region.

Variable name	Regression function	R ²
Number of heavy rain (RAIN80)	Linear	0.12
	Exponential	0.14
	Log	0.11
Number of rain days for 95 percentiles (RD95P)	Linear	0.12
	Exponential	0.14
	Log	0.11
Maximum consecutive 5-day precipitation (RX5DAY)	Linear	0.22
	Exponential	0.25
	Log	0.19

Fig. 1. A conceptual diagram of the relationship between hazard (e.g., precipitation in mm/year, blue) and climate risk (e.g., loss in 10^7 won, red) according to Eq. (2). The solid and dashed lines indicate the probability distributions for the present and future climates, respectively. The black line indicates that the loss is the exponential cost function of precipitation.

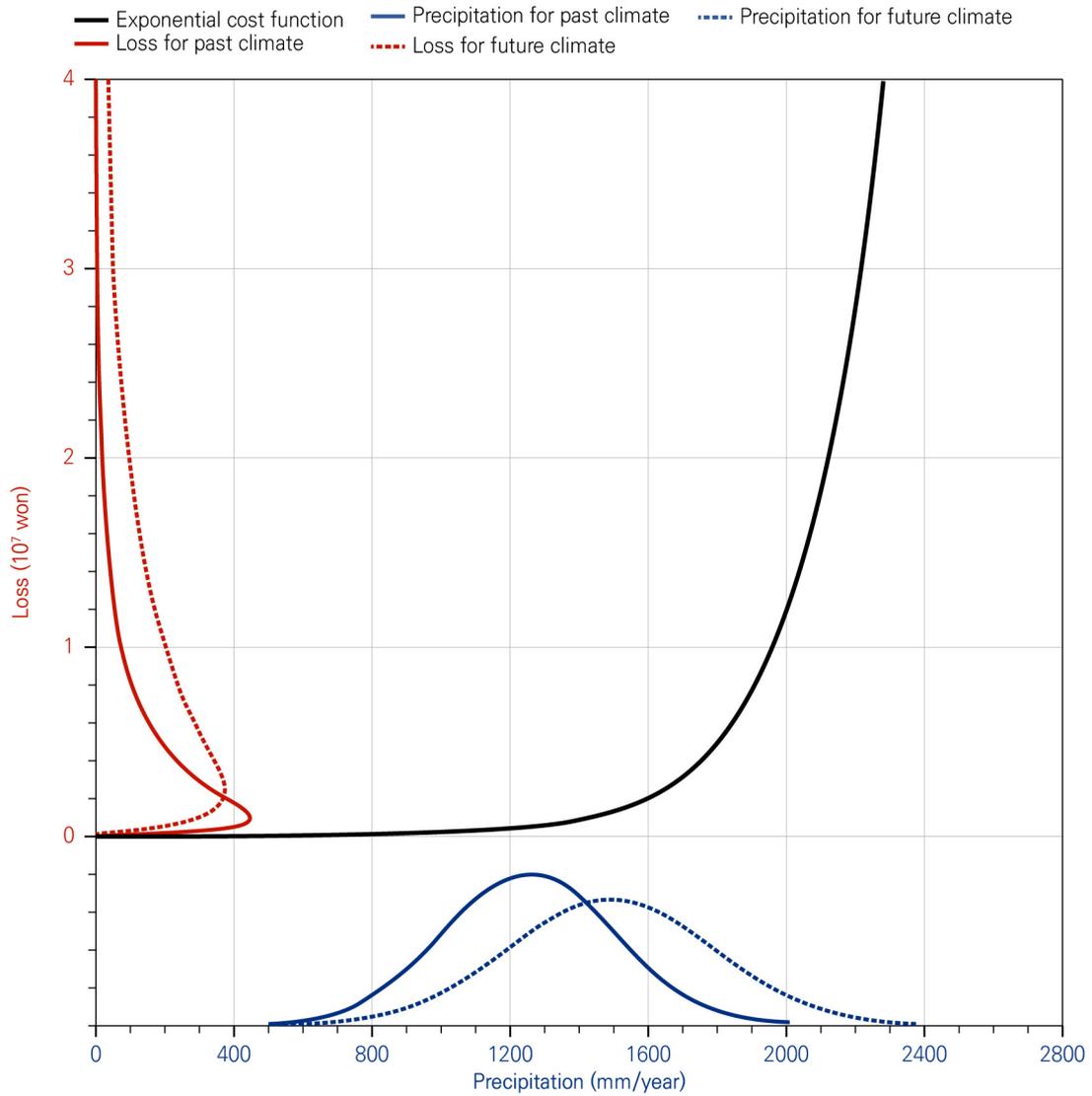


Fig. 2. (a) Estimated flood risk (unit: 10^7 won), (b) maximum consecutive 5-day precipitation (RX5DAY) for SSP1 scenario (2021–2030, 2031–2040, 2041–2050 average) and (c) difference of RX5DAY between present (2000–2020 average), and future for SSP1 scenario. Regions with positive values will increase RX5DAY in the future compared to the present level, and regions with negative values decrease RX5DAY.

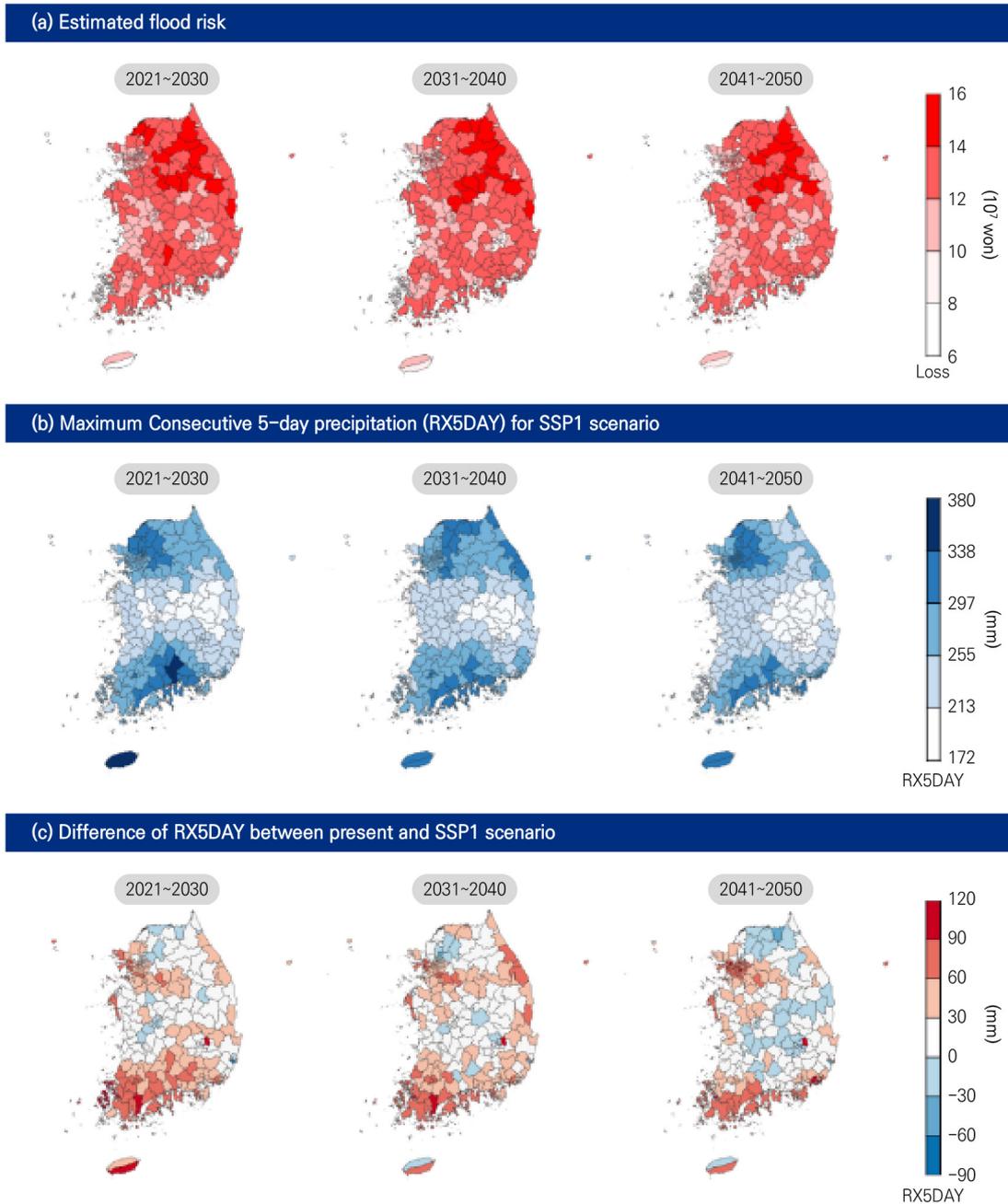


Fig. 3. Same as Fig. 2 except for SSP5.

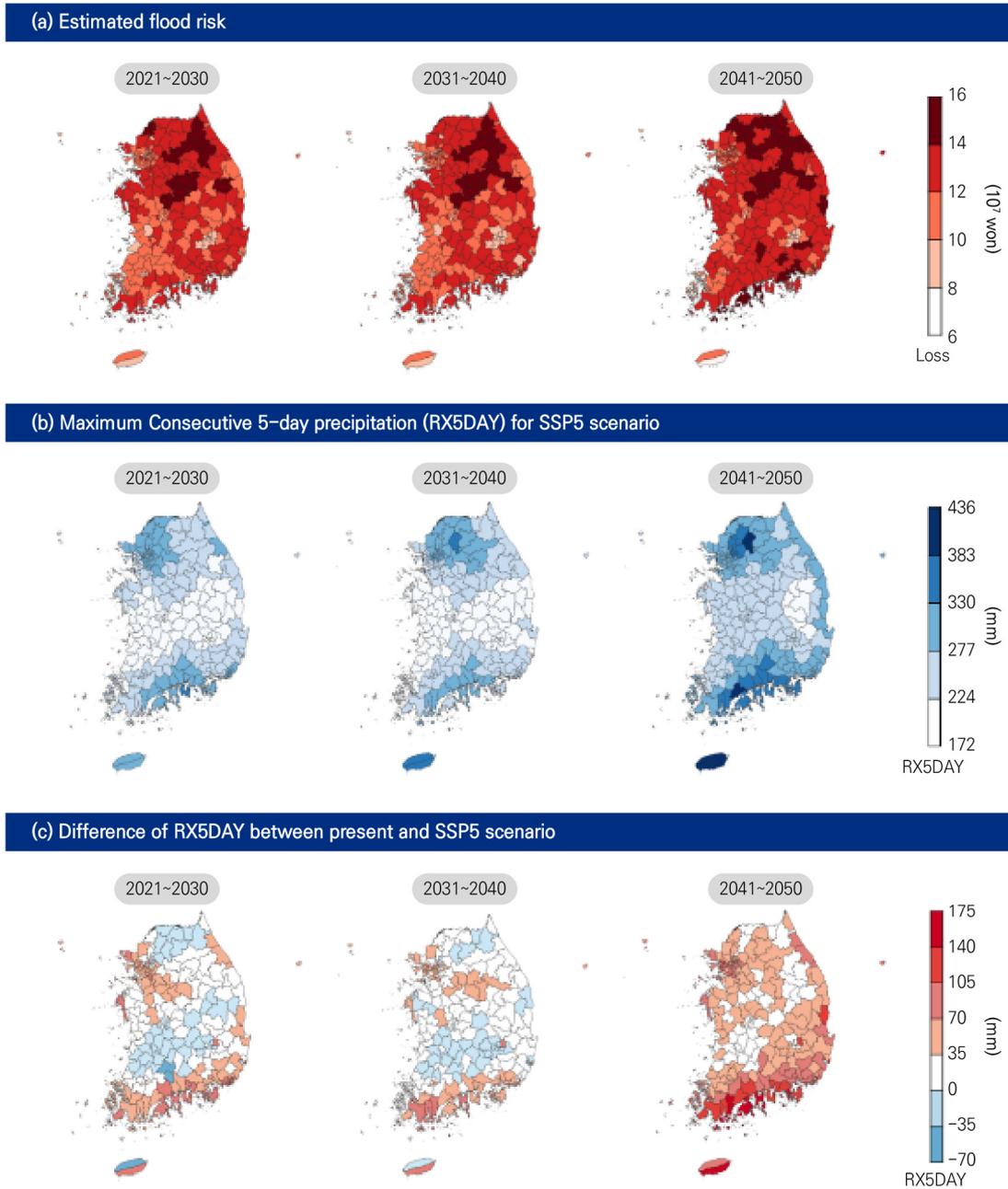


Fig. 4. Flood risk loss by scenario and RX5DAY in (a) Buk-gu, Gwangju, and (b) Gwacheon, Gyeonggi-do.

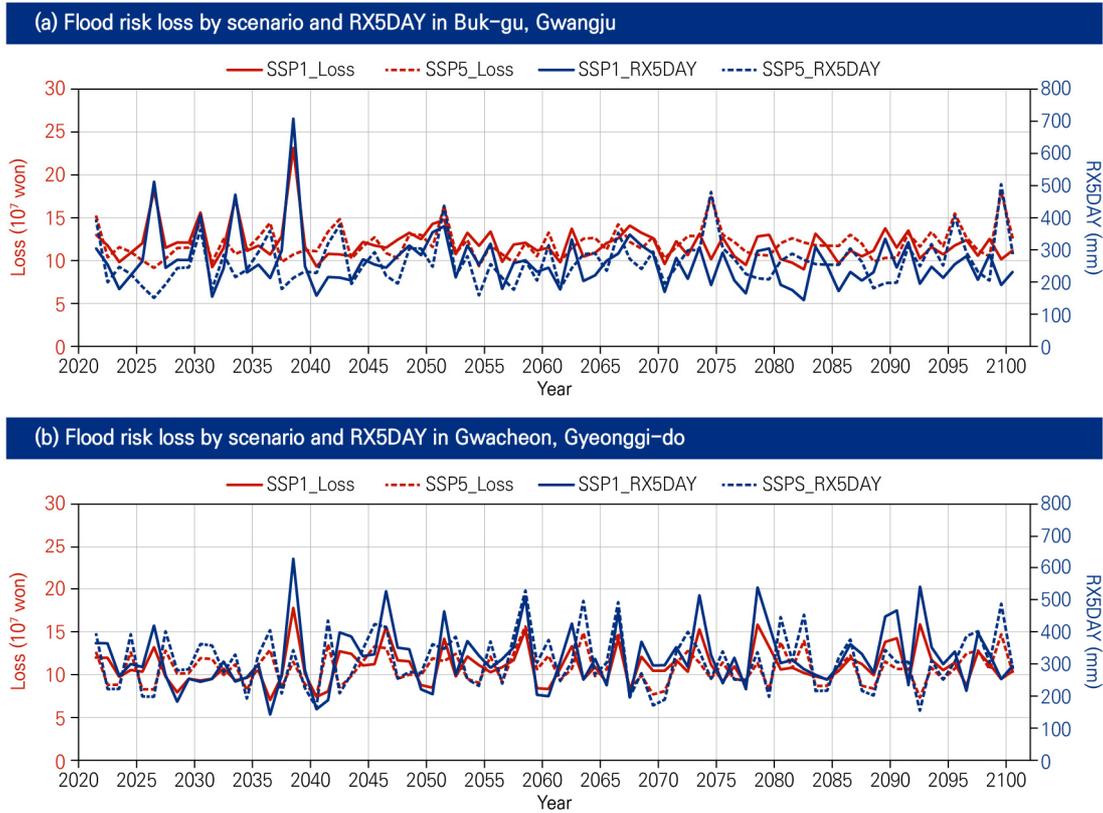
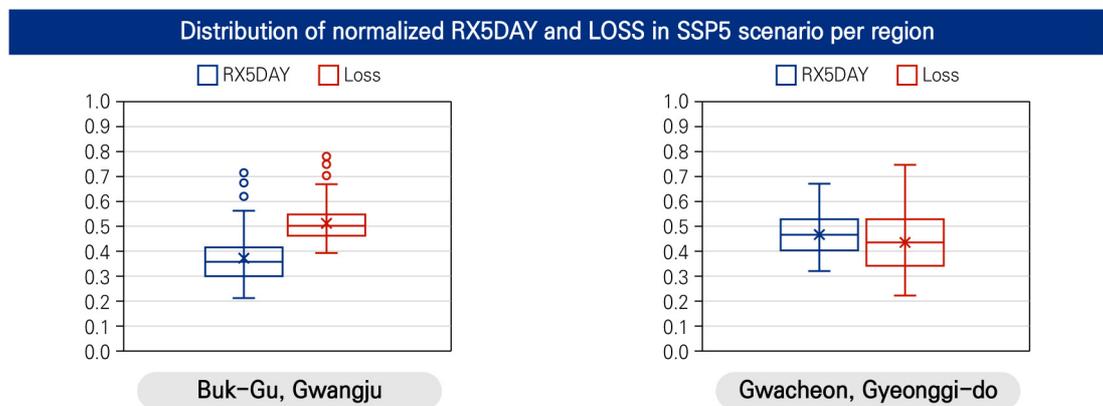


Fig. 5. Distribution of normalized RX5DAY (blue) and flood risk loss (red) in SSP5 scenarios at Buk-Gu, Gwangju (left) and Gwacheon, Gyeonggi-do (right). The definition of RX5DAY is explained in Table 1. The middle line of the box in the box-whisker plot represents the median, and the top and bottom lines of the box represent the 25th and 75th percentiles, respectively. The x-symbol inside the box represents the mean. The ○-symbol represents the limit value, or outlier.



ESG 리뷰

ESG Review

발행처 한국ESG기준원

발행인 심인숙

발행일 2024년 6월

주 소 서울시 영등포구 여의나루로 76 (07329)

Tel 02)3775-3339

Fax 02)3775-2630

E-mail cgsweb@cgs.or.kr

Home <http://www.cgs.or.kr>

인쇄처 경성문화사 Tel (02)786-2999
