

기후변화의 위험이 시중은행과 손해보험에 장기적으로 미치는 영향

김세완*

이화여자대학교 경제학과

(접수일: 2024년 2월 14일, 수정일: 2024년 3월 20일, 게재확정일: 2024년 4월 3일)

Climate Change-Induced Physical Risks' Impact on Korean Commercial Banks and Property Insurance Companies in the Long Run

Seiwan Kim*

Department of Economics, Ewha Womans University, Seoul, Korea

(Manuscript received 14 February 2024; revised 20 March 2024; accepted 3 April 2024)

Abstract In this study, we empirically analyzed the impact of physical risks due to climate change on the soundness and operational performance of the financial industry by combining economics and climatology. Particularly, unlike previous studies, we employed the Seasonal-Trend decomposition using LOESS (STL) method to extract trends of climate-related risk variables and economic-financial variables, conducting a two-stage empirical analysis. In the first stage estimation, we found that the delinquency rate and the Bank for International Settlement (BIS) ratio of commercial banks have significant negative effects on the damage caused by natural disasters, frequency of heavy rainfall, average temperature, and number of typhoons. On the other hand, for insurance companies, the damage from natural disasters, frequency of heavy rainfall, frequency of heavy snowfall, and annual average temperature have significant negative effects on return on assets (ROA) and the risk-based capital ratio (RBC). In the second stage estimation, based on the first stage results, we predicted the soundness and operational performance indicators of commercial banks and insurance companies until 2035. According to the forecast results, the delinquency rate of commercial banks is expected to increase steadily until 2035 under assumption that recent years' trend continues until 2035. It indicates that banks' managerial risk can be seriously worsened from climate change. Also the BIS ratio is expected to decrease which also indicates weakening safety buffer against climate risks over time. Additionally, the ROA of insurance companies is expected to decrease, followed by an increase in the RBC, and then a subsequent decrease.

Key words: Weather risk, Physical damage, STL seasonal adjustment, Commercial bank, Property insurance company

*Corresponding Author: Seiwan Kim, Department of Economics, Ewha Womans University, 52, Ewhayodae-gil, Seodaemun-gu, Seoul 03760, Korea.
Phone: +82-2-3277-4467, Fax: +82-2-3277-4467
E-mail: swan@ewha.ac.kr

1. 서론

경제학과 기후과학의 방법론을 융합하여 본 연구에서는 기후변화로 인한 물리적 리스크가 금융산업의 안정성과 수익성에 미치는 영향을 실증적으로 분석한다. 본 논문에서 기후변화로 인한 물리적 리스크는 자연재난(태풍, 홍수, 호우, 강풍, 풍랑, 해일, 조수, 대설, 가뭄, 지진, 황사 및 이에 준하는 자연현상)으로 인하여 발생하는 물적 피해를 의미한다. Park and Jung (2018)에 따르면 태풍, 고온, 폭우 등의 형태로 구체화되어지는 기후변화의 물리적 리스크는 일반적으로 경제활동에 직접적인 피해를 주게 된다. 더 나아가 이러한 기후변화 리스크들은 보험산업과 은행산업에 직접적인 재산피해를 일으키게 된다. 또한 Alogoskoufis et al. (2021)에 따르면 이러한 피해는 동태적인 효과(dynamic impact)를 초래하게 되는데 시간이 지남에 따라 기후변화의 물리적 리스크는 이차적으로 다른 산업에도 부정적인 영향을 미치게 되며 다시 추가적으로 금융산업에 피해를 초래하게 된다.

금융산업이 기후변화의 물리적 리스크로부터 받게 되는 주요 피해는 은행산업과 손해보험산업을 중심으로 다음과 같이 요약될 수 있다. 첫째는 시중은행들이 가계나 기업에 제공한 대출의 안정성이 기후로 인한 피해로 인해 약화될 수 있다. 둘째는 손해보험사들이 감당할 수 없는 수준에서 기후관련 피해액이 손해보험을 통해 대규모로 보상될 때이다.

Park and Lee (2021)과 같은 이전 연구들에서는 기후변화로 인한 물리적 리스크가 실물경제와 금융시장에 미치는 파급경로에 대한 어느 정도의 동의가 있다고 보여진다. 하지만 이러한 파급경로가 일으키는 경제적 충격과 파급경로의 구체적인 진행에 대한 실증적 연구는 아직 미흡하였다.

따라서 이 연구에서는 기존 연구들을 보완하여 한국의 기후 리스크 관련 데이터와 금융 데이터를 활용하고 기존 기후 관련 연구들의 시나리오를 통합하여 실증적인 분석을 하게 된다. 결과적으로 이 연구의 결과는 앞으로 기후변화의 물리적 리스크에 대한 금융시장의 안정성과 수익성을 보장하기 위한 정부와 중앙은행의 상황 별 규칙을 시범적으로 개발하는 데 기초 자료로 활용될 수 있을 것이다. 또한, 정부가 국제 환경 기구나 타국과 환경규제 관련 협의를 하기 이전에 한국 금융산업에 미치는 영향을 사전에 이해하기 위한 기본 자료로 활용될 수 있을 것으로 예상된다. Chae et al. (2017)에 따르면 지금까지 기후 변화 관리와 이행에 따른 리스크의 영향에 대하여는 환경관련 국제기구를 통하여 많은 연구가 이루어져 왔다. 하지만 기후변화에 의한 물리적 리스크가 경제에 미치는 영향에 대한 연구는 상대적으로 충분한 연구가 이

루어지지 않아왔다. 이는 연구자들이 동의하는 기후 변화 시나리오가 아직 완성되지 않았기 때문인 것으로 보인다. 따라서 본 연구에서는 가장 많이 최근까지 인용된 3건의 연구를 기반으로 기후 리스크의 경제적 손실에 대한 연구를 진행하였다. 다음에서는 이 3건의 연구에 대하여 간략하게 요약하였다.

첫번째 주요 연구는 Chae et al. (2017)이다. 이 연구는 환경 정책평가 연구원의 보고서로서 2012년부터 매년 새로운 보고서가 작성되고 있다. 해당 연구에서는 다양한 미래 시나리오를 통하여 우리나라의 기후변화로 인한 피해 규모를 조사하기 위하여 RCP (Representative Concentration Pathways)-SSP (Shared Socioeconomic Pathways) 시나리오 행렬식을 사용하여 경제적인 피해정도를 추정하고 있다. 이 보고서에서는 이전의 시나리오를 기반으로 한 보고서와는 달리 4개의 대표 집중 경로(Representative Concentration Pathways; RCP 8.5, 6.0, 4.5, 2.6 W m⁻²)와 3개의 공통 사회-경제 경로(Shared Socioeconomic Pathways; SSP 1, 2, 3)를 사용하고 있다. 따라서 두 매개 변수의 결합에 따라 총 12개의 기후변화 시나리오를 고려하고 있다. 12개의 시나리오들 중에서 극단적인 두개의 시나리오는 다음과 같다. 가장 나쁜 시나리오는 RCP8.5 시나리오와 SSP3 시나리오(화석연료 중심의 경제구조 유지)의 조합이다. 보고서에 따르면, 2100년 기후변화로 인한 경제적 손실은 GDP의 약 5.2%를 차지할 것으로 추정되고 있다. 반면, 가장 좋은 시나리오는 RCP2.6 시나리오와 SSP1 시나리오(저탄소기술 개발 및 친환경적 생활 확대)의 조합으로, 2100년 경제적인 손실은 GDP의 약 0.9%를 차지할 것으로 추정하였다. 동일한 RCP6.0 시나리오에서 SSP1, 2, 3의 경제적 손실은 각각 GDP의 약 2.3%, 2.3%, 2.5%로 나타났다. 또한 본 보고서의 정책적인 시사점으로 적응 정책의 시행이 빨라질수록 경제손실 감소 효과가 크다고 결론 내리고 있다. 환경관련 적응 정책을 시행하는 경우, SSP2 시나리오에서 RCP6.0의 손실은 2100년 약 26.1%, RCP 4.5는 약 33.8%로 줄일 수 있다고 예측하였다.

두번째 주요 연구는 Ahn and Kim (2017)의 연구이다. 이 연구에서는 기존의 RICE, 즉 기후-경제 통합 평가모형에서 한국을 독립적인 지역으로 지정하여 모형을 확장하였다. 그 결과에 따르면 평균 기온 상승 및 온실가스 증가량에 대한 검토 결과를 바탕으로, 한국이 다른 국가에 비해 상대적으로 빠르게 100% 탄소 제어율에 도달하는 것을 발견하였다.

세번째 주요 연구는 Alogoskoufis et al. (2021)의 연구이다. 이 보고서에서는 기후 변화가 유럽 연합 지역 경제에 미치는 영향을 실증적으로 분석하고 있다. 또한 기후변화로 인한 정책 이행 리스크와 물리적 리

스크를 구분하여 분석하고 있다. 특히, 기후관련 물리적 리스크로 인하여 금융기관의 대출에서 leverage 하락과 asset 가치 하락 가능성을 발견하였다. 방법론적으로는 하향식(top down) 분석방법을 사용하였고, 시중은행과 제조-서비스 기업의 스트레스 테스트를 실시하였다. 실증분석 결과에 따르면 기후관련 규제 이행 리스크에 비해 물리적 리스크의 피해가 더 클 수 있다는 결론을 도출하였다. 또한, 기후관련 물리적 리스크가 현재의 수준에서 방치된다면 그 피해가 특정 지역에 집중될 수 있다고 결론짓고 있다.

본 연구에서는 위에서 설명되어진 기존의 연구를 기반으로 하여 시계열 분석을 통하여 실증분석을 하고 있다. 구체적으로 금융 데이터와 기후 데이터 사이의 실증 분석을 하게 된다. 이전의 연구들에서 두 상이한 데이터 집합 간의 분석에서 유의미한 결과를 도출하기 어려웠던 이유 중 하나는 두 데이터 집합이 생성되는 과정(data generating process)이 상이하기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 이전 연구들에서 단점을 극복하기 위하여 기후와 금융 시계열 데이터의 시계열 추세(trend)를 추출하여 실증 분석을 진행하였다. 특히 기후연구에서 사용되어온 비모수적(non-parametric) 분해 방법인 STL (Seasonal-Trend decomposition using LOESS)이 가장 적합한 추세 추출 방법으로 판단되어 STL 분해를 통한 추세(trend) 자료를 실증분석에 사용하였다. 본 연구의 결과에서 이전 연구들과의 가장 큰 차별점은 기후변화 리스크 요인이 금융기관의 다양한 성과와 안전성 변수들에 미치는 효과를 실증적으로 유의하게 밝혀내고 있다는 점이다.

본 연구에서 분석하고 있는 홍수, 가뭄, 태풍 등과 같은 자연재해는 인명과 재산 피해 뿐만 아니라 환경 오염과 같은 2차적 피해를 초래하게 된다. 하지만 이전의 연구에서 포함하는 수질 및 토양오염은 포함하지 않았다. 또한, 시간이 지남에 따라 수인성 전염병과 같은 공중보건 문제를 야기할 수도 있다. 이러한 자연재해로 인한 피해는 인간의 경제-사회 활동에 치명적인 영향을 미치게 되므로 그 예방이 중요할 수밖에 없다. 이는 국민의 생명과 재산을 보호하고 사회 안전을 보장하며 국가의 지속 가능성을 보장하는데 있어서도 중요하다. 따라서 이 연구의 실증 분석 결과는 정부와 중앙은행이 기후변화 리스크에 대응하는데 정책적으로 중요한 기초 자료로 활용될 수 있다.

이 논문은 다음의 순서로 구성되어 있다. 2절은 두 개의 하위 절로 구성되어 있다. 첫 번째 하위 절에서는 본 연구에서 사용된 기후 관련 데이터와 경제-금융 데이터의 특성을 설명한다. 두 번째 하위 절에서는 데이터의 추세를 추출하기 위해 STL 방법을 사용하는 과정에 대하여 설명한다. 3절 또한 두 개의 하위 절로 구성되어 있는데, 첫 번째 하위 절에서는 다

양한 설명변수를 포함하는 헤도닉 모형을 활용하여 기후변화로 인한 물리적 리스크 변수가 시중은행과 손해보험회사의 경영 성과와 건전성에 미치는 효과를 추정하게 된다. 두 번째 하위 절에서는 이전 절의 추정 결과를 기반으로 하여 2035년까지 은행과 손해보험회사의 경영 성과와 건전성 변수를 예측한다. 마지막으로 4절에서는 본 연구의 결과를 요약하고 정책적 시사점을 살펴보게 된다.

2. 데이터

2.1 원시 데이터(Raw Data)

이 연구에서는 기후변화로 인한 물리적인 리스크 데이터와 금융-경제 데이터를 결합하여 실증분석을 수행하였다. 본 연구의 데이터 분석에서 사전적으로 중요한 문제는 시계열 데이터의 빈도(frequency) 결정이다. 금융-경제 데이터에는 월별 및 일별과 같은 높은 빈도의 자료가 있지만, 기후변화가 발생시키는 물리적 리스크에서의 시계열 데이터는 빈도 제약(frequency constraint)으로 인하여 모든 데이터를 연도별 빈도로 사용하였다. 기후변화로 인한 물리적 리스크 데이터는 자연재해 피해액, 폭우 횟수, 폭설 횟수, 태풍 횟수, 연 평균 기온 등을 포함하며, 금융-경제 관련 데이터로는 시중은행의 평균 연체율, 시중은행의 평균 BIS 비율, 국내 손해보험사의 평균 자산수익률(ROA), 국내 손해보험사의 평균 지급여력 비율(RBC)을 사용하였다. 시중은행에는 일반 시중은행과 NH 농협은행을 포함하였으며 손해보험사에서 외국계 손해보험사들은 제외하였다. 각 데이터의 기본 통계적 특성은 Table 1에 시계열 그래프는 Figs. 1-6에서 각각 보이고 있다. 본 연구에서 사용된 기후관련 데이터는 기상청의 기후정보 포털에서 취득하였으며 자연재난의 연도 별 빈도 데이터는 행정안전부, 「재해연보」 각 연도별 자료에서 취득하였다. 자연재난으로 인한 연도 별 피해액은 2020년 소비자 물가수준으로 보정한 값을 사용하였다. 마지막으로 금융관련 데이터는 금융감독원의 금융정보 포털에서 취득하였다.

기상법 시행령에 의하여 각 자연재난은 다음과 같이 정의되어진다. 자연재해 피해액은 자연재난(태풍, 홍수, 호우, 강풍, 풍랑, 해일, 조수, 대설, 가뭄, 지진, 황사 및 이에 준하는 자연현상)으로 인하여 발생하는 재해를 통하여 건물, 선박, 농경지, 농작물, 공공시설, 기타의 자연재해로 인한 총 피해액을 나타낸다. 또한 폭우의 경우 호우경보 발표기준은 12시간 강수량이 150 mm 이상 예상될 때이다. 폭설은 24시간 신적설이 20 cm 이상 예상될 때를 의미한다. 마지막으로 태풍은 중심 부근의 최대 풍속이 33 m s^{-1} 이상인 것을 의미한다.

Table 1. Basic statistics of data variables.

Variables		Average	Standard Deviation
Weather Change Physical Risk Variables	Natural disaster damage (Billion Won)	1090.44	1593.13
	Heavy rain (number/year)	8.30	4.33
	Heavy snow (number/year)	1.67	1.98
	Typhoon (number/year)	1.86	1.53
	Annual Average Temperature (Celsius temperature scale, °C)	13.60	0.52
Financial Variables	Commercial banks' average default rate (%)	1.63	1.63
	Commercial banks' average BIS rate (%)	13.54	1.18
	Domestic property insurance companies' average return on asset (ROA; %)	0.31	1.38
	Domestic property insurance companies' average risk based capital (RBC; %)	267.00	26.16

Source: Annual report of disaster, Ministry of Public Administration and Security, every year, National Weather Service portal, Financial Supervisory Service portal.

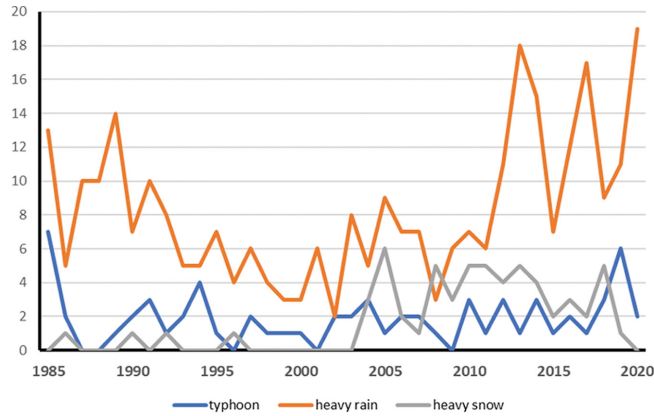


Fig. 1. Annual frequencies of natural disasters (1985~2020). Source: Annual report of disaster, Ministry of Public Administration and Security, every year.

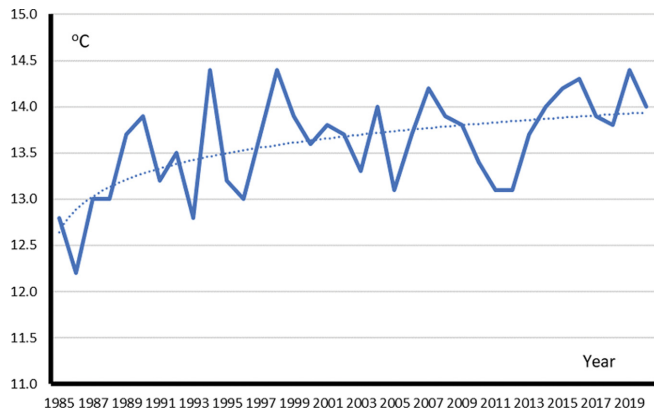


Fig. 2. Annual average temperature (1985~2020). Dotted line indicates linear trend. Unit: Celsius temperature scale, °C. Source: National Weather Service portal.

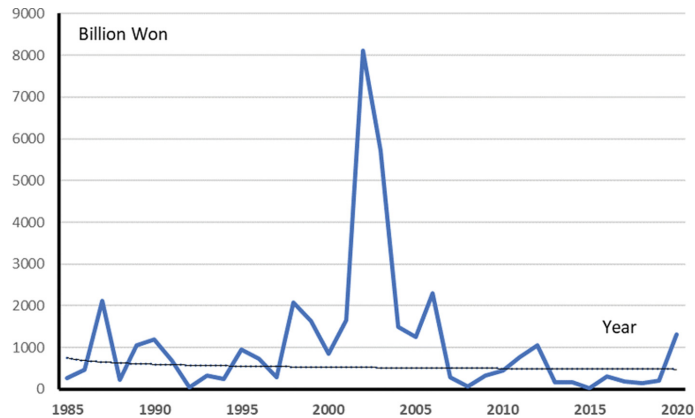


Fig. 3. Damages of natural disaster (1985~2020). Dotted line indicates linear trend. Unit: Billion Won. Source: Annual report of disaster, Ministry of Public Administration and Security, every year.

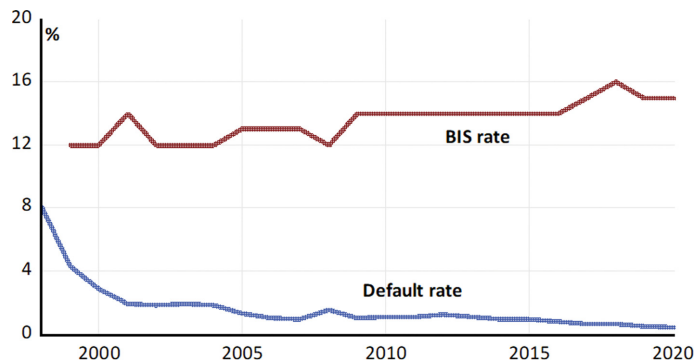


Fig. 4. Commercial banks' average default rate and BIS rate (1998~2020). Including commercial banks and NH bank. Unit: %. Source: Financial Supervisory Service portal.

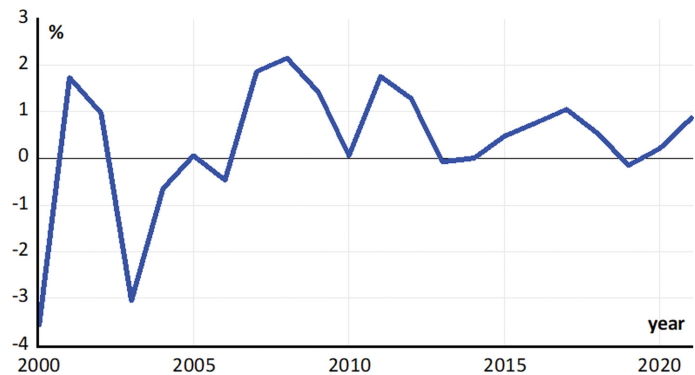


Fig. 5. Domestic property insurance companies' average return on asset (ROA; 1999~2020). Unit: %. Source: Financial Supervisory Service portal.

자연재해(natural disaster)는 다양한 형태로 나타나지만 기후변화로 인한 물리적 리스크 데이터에서는 대설, 낙뢰, 가뭄, 지진, 태풍, 홍수, 호우, 해일, 화산,

대규모 조류 발생, 조수, 강풍, 풍랑, 등과 같은 자연 현상으로 인하여 발생하는 재난을 의미한다. 그러나 한국에서 기후변화의 물리적 리스크 데이터의 이용

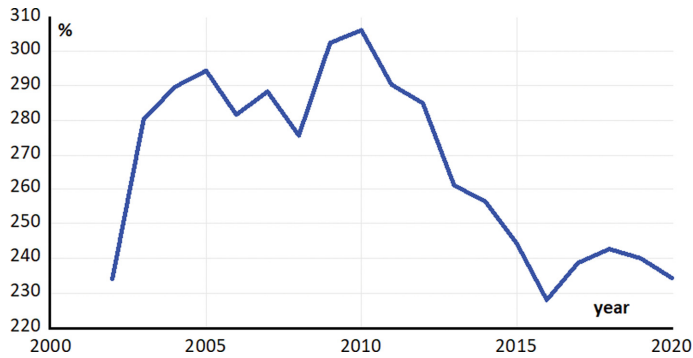


Fig. 6. Domestic property insurance companies' average risk based capital (RBC; 2000~2021). Unit: %.

가능성을 고려하여 본 연구에서는 폭우 횟수, 폭설 횟수, 태풍만을 기후변화로 인한 물리적 리스크로 고려한다. 참고로 전 세계적으로 발생한 자연 재해들 중에서(1980년부터 2010년까지 발생한 약 770여 건의 자연재해) 88%가 홍수와 태풍으로 인한 재해였다.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)의 특별보고서가 2011년 이후에는 매년 발간되고 있다. 2022년에 발간된 보고서 서문에서는 다음과 같이 기술하고 있다. “Climate change, through hazards, exposure and vulnerability generates impacts and risks that can surpass limits to adaptation and result in losses and damages. Human society can adapt to, maladapt and mitigate climate change, ecosystems can adapt and mitigate within limits.” 즉, “기후 변화는 위험 요소들과 이에 대하여 인간이 노출되고 취약성을 가지므로 인간이 적응할 수 있는 한계를 초과하고 손실과 피해를 초래할 수 있다. 인류는 이에 적응할 수도, 적응 못 할 수도, 그리고 기후 변화를 완화시킬 수도 있다”고 설명하고 있다.

이러한 추세는 대한민국에서도 나타나고 있다. 자연재해의 발생횟수와 피해액은 Table 1에서 보여지는 각각의 자연재해 변수의 분산 값을 통해 연도별로 변동이 있음을 확인할 수 있다. 자연재해로 인한 경제적 피해액은 1960년대에 1조 2421억 원, 1970년대에 2조 906억 원, 1980년대에 5조 6131억 원, 1990년대에 8조 1992억 원으로 지속적으로 증가하다가 2000년대에 들어서도 증가하고 있다. 특이한 점은 2006년과 2012년의 피해액은 각각 2조 3050억 원과 1조 543억 원으로 다른 해에 비하여 높은 수준을 보여주고 있는 것이다. 이 두 해에는 에위니아, 삼바 등과 같은 호우와 강력한 태풍이 잇따라 발생한 것이 그 이유이다. 따라서, 본 연구의 실증분석에서는 서로 다른 방식으로 수집된 금융-경제와 자연재해 데이터의 특성을 활용하여 실증적인 분석을 실시하는 것이 중요한

과제이다.

과거의 관련 연구들에 따르면 기후 변화로 인한 물리적 리스크가 금융시장에 미치는 영향에 대해 많은 연구자들과 연구 기관들이 동의하는 연결 고리가 있다. 이에 대하여 이전 연구를 기초로 한 요약은 다음과 같다. Park and Jung (2018)에 따르면 태풍과 같은 기후 변화의 물리적 리스크는 실물 경제 부문에서 발생한 직접적이거나 간접적인 물적 피해가 대출, 손해보험, 투자 등의 금융 서비스 거래를 통해 금융 산업 전반으로 파급되는 리스크를 의미한다.

부연하면 태풍, 해수면 상승, 폭우, 한파 등 기후 관련 리스크는 직접적인 방법으로 사람, 농지, 공장, 건물, 그 밖의 많은 시설물 등에 경제적인 손상을 입힌다. 또한 시간이 지나면서 이러한 직접적인 피해는 간접적으로 노동 및 자본의 생산성을 감소시켜 기후 관련 리스크가 다른 지역 및 산업에도 영향을 미치게 되는 것이다.

태풍과 같은 기후변화와 관련된 물리적 리스크가 금융 시스템에 미치는 영향은 손해 보험이 실물 자산을 보호해 주는 경우와 그렇지 못한 경우로 분류하여 분석할 수 있다. 만약 기상 이변 등의 상황이 발생하여 기후 관련 물리적 리스크가 증가하는 경우에 경제적인 피해가 보험 계약에 의해 보장되었지만, 피해 규모가 예상을 초과할 경우 보험금 지급 규모가 증가하여 손해 보험 산업 전체의 건전성이 악화될 수 있다. 즉, 대규모 손해 보험금 지급으로 인해 손해 보험 회사의 부실화 또는 파산이 발생하면, 손해 보험 서비스의 공급이 줄어들고 보험사가 거래하던 금융증권과 자금 시장 등과 같은 중요 금융 시장에 장애가 발생할 수 있어 전체적인 금융 안정에 부정적인 영향을 미칠 수 있다. 우리나라에서 이러한 경우는 거의 없었지만 과거 손해 보험사들의 기후 관련 리스크에 따른 피해는 미국과 유럽의 선진국에서 주로 발생하였다. 예를 들어, 2005년 미국 루지애나 주를 강타한 카

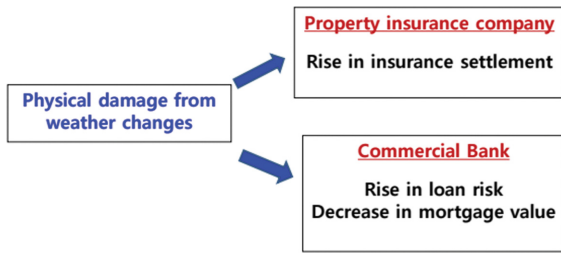


Fig. 7. Weather change physical risks' progress in financial market. Source: summarized by author from previous works.

트리나 허리케인의 경우, 손해 보험사들이 870억 달러의 손해보상을 지급하면서 미국 손해 보험 산업 전체에 큰 손실을 입기도 하였다.

또한, 경제적인 손실을 많이 입은 손해 보험 회사가 회사의 회생을 위하여 보유 자산을 신속하게 처분하게 되면 금융시장 전체의 자산 가격이 빠르게 하락하여 실물 부문과 금융 부문에 모두 부정적인 영향을 미칠 수 있다. 반면에, 손해 보험 회사는 자연재해로 인하여 대규모 손실이 예상되는 경우 손해 보험 서비스를 감소시키거나 손해 보험료를 인상하는 등의 유인이 있을 수 있다. 이러한 상황에서 따라 손해 보험의 피해 보장이 축소되면 금융 거래에 사용되는 담보의 자산 가치가 하락하여 기업과 가계가 대출을 하는 데 어려움을 겪을 수도 있다.

따라서 기후 변화로 인한 물적 피해가 손해 보험 회사들을 통하여 보호받지 못할 경우, 기업과 가계는 기후 변화 리스크가 일으키는 경제적 손실을 직접 부담해야 한다. 현실 경제에서 모든 경제주체는 기업과 가계와 경제적인 관계가 있을 수밖에 없으므로 일반 기업과 금융 기관의 신용 및 시장 리스크가 증가하고 대출과 투자 비용이 증가할 수 있다. 이러한 상황에서 기후 리스크로 인한 손실을 흡수하고 금융 규제 당국의 자본 규제 비율을 충족하기 위한 자본 조달이 원활하게 이루어지지 않을 경우, 기후 관련 재해 발생 지역뿐만 아니라 관련된 다른 지역에 대한 신용 공급도 감소할 수 있게 된다. 이러한 기후 변화 리스크의 시중 은행 산업과 손해 보험 산업에 대한 파급 경로는 다음의 Fig. 7에서 시각적으로 설명되어 있다.

2.2 시계열 추세의 추출(Trend Extraction)

본 연구에서는 은행 및 손해 보험사들의 경영성과 자료와 같은 금융 데이터와 강수량과 기온 과 같은 기후 데이터를 융합하여 실증 분석을 수행하게 된다. 이 때, OLS (Ordinary Least Square)와 같은 추정 방법의 가정에 관련된 문제는 특별히 존재하지 않는다. 예를 들어 OLS추정에서의 Best Linear Unbiased

Estimator (BLUE)의 가정을 위배하지는 않는 것이다. 그러나 두 데이터 집합이 생성되는 과정이 상당히 상이하므로 데이터의 특성을 고려한 실증 분석이 필요하게 된다. 무엇보다 금융 시장과 기후 간에는 적절한 이론이 아직 존재하지 않기 때문에 이론에 기반한 구조 방정식을 사용하기는 어렵다. 또한 이러한 현상들과 관련된 다양한 변수를 모두 사용할 경우 상호 간에 연관성이 없는 시계열 변수들끼리 추정될 수 있는 가성 회귀의 가능성이 높아지게 된다. 따라서 궁극적으로는 기후 변화 리스크를 대표하는 변수들과 금융-경제 변수들 간의 고유한 특성을 잘 설명할 수 있는 이론적인 모형들이 개발되어야 하고 이를 통한 추정식의 구성이 적절할 것이다. 이는 결과적으로 기존의 금융-경제 분야에서의 계량 모형을 사용하여 기후 데이터를 포함한 실증분석을 하는 경우에도 현상을 충분히 설명할 수 있을 수도 있지만, 설명하지 못할 가능성도 있음을 의미한다.

Campbell and Diebold (2005)은 이러한 추정모형의 선택 문제에 대해 다음과 같이 설명하고 있다. “과거의 기후 예측 연구자들은 기후 모형을 어떻게 구축하고 예측하는지에 대한 심각하게 고민하지 않았다. 이는 대부분의 기상-물리학 모형이 단기적인 예측에만 초점을 맞추고 있기 때문인 것이다. 이러한 모형들은 어떤 옷을 내일 당장 입을지 결정하는 데 도움을 주지만 장기적 기간의 기후 예측에는 그렇게 유용하지 않았다. 특히, 구조적인 모형이 성공적인 기후 예측에 반드시 필요한 것은 아니다. 지난 30년 동안 구조 모형을 배제하고 통계학자들과 경제학자들은 시계열의 추세를 효율적으로 사용하여 장기적인 기후 추정에 성공적인 연구를 수행해 왔다”.

이 연구에서는 이에 따라 2.1절에서 설명된 기후와 금융 시계열 데이터의 시계열 추세(trend)를 추출하여 실증 분석을 진행한다. 이러한 데이터 처리는 기후와 금융 시계열 데이터의 특성을 장기적으로 이해하고 그에 따른 추정을 하는데 유용하다. 이 연구에서는 기후와 금융 시계열 데이터의 추세를 추출하기 위해 가능한 거의 모든 알고리즘을 사용하여 추세 추출의 사전적 검증을 해 보았다. 구체적으로 Exponential Smoothing, Moving Average, ARIMA, 3가지의 X 11 계열, 그리고 STL 방법이 검증되었다. 결과적으로, 이전의 기후나 환경 관련 연구에서 사용되어온 비모수적(non-parametric) 계절 동향 분해 방법인 STL (Seasonal-Trend decomposition using LOESS)이 가장 적합한 추세 추출 방법으로 판단되었다. STL 분해에서는 원시 시계열 데이터를 추세, 계절, 및 나머지 부분으로 분해한다. 이 방법은 변동성이 있는 시계열 데이터를 평활화하기 위해 사용되는 일반적인 방법 중 하나로서 STL 계열 조정 방법은 최소자승 회귀를 사

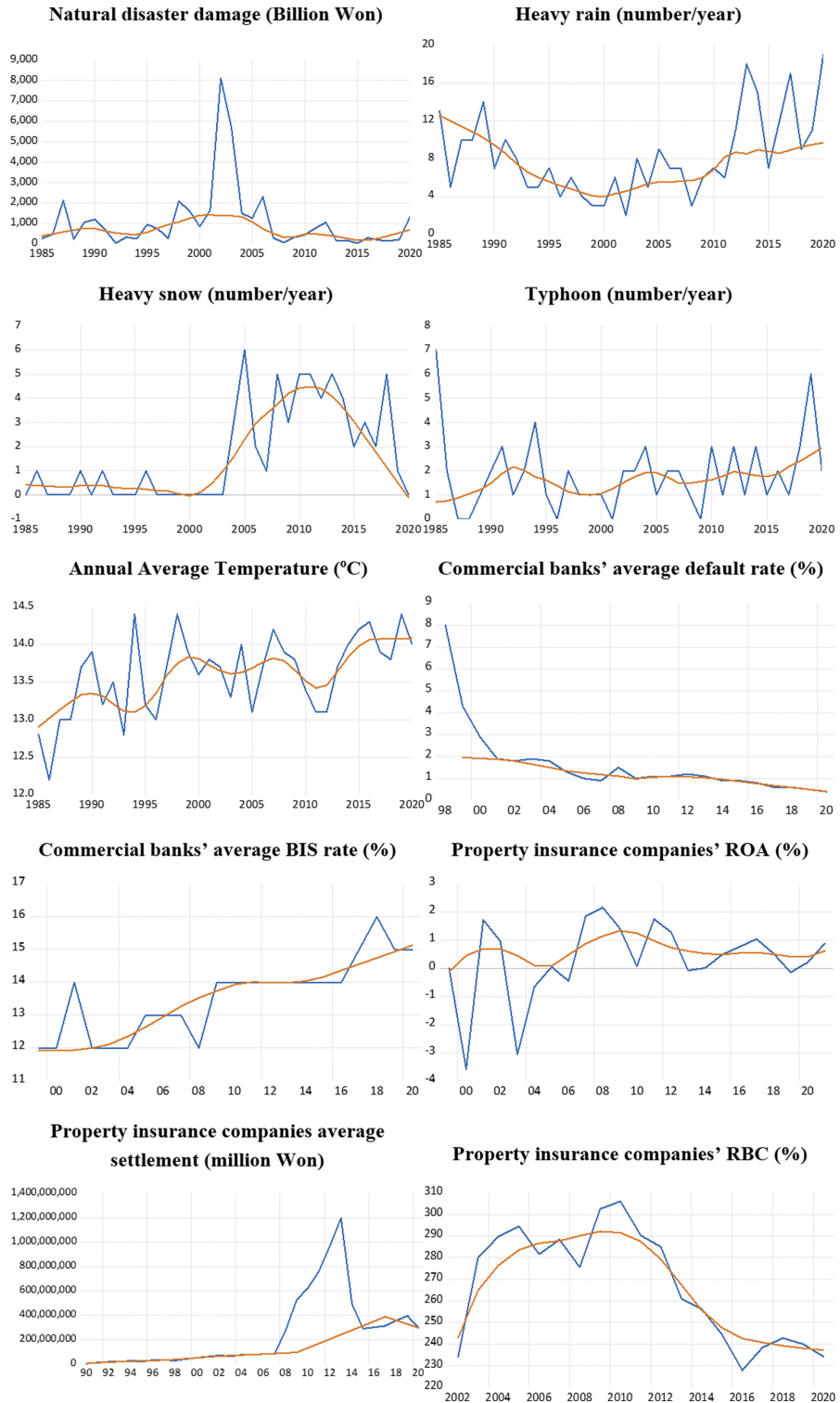


Fig. 8. Comparisons of raw data and STL trend data: weather variables and financial variables (1999~2020). Blue: raw data, red: STL trend.

Table 2. Basic statistics of data variables: STL trended data.

Variables		Average	Standard Deviation
Weather Change Physical Risk Variables	Natural disaster damage (Billion Won)	699.43	397.01
	Heavy rain (number/year)	6.75	1.91
	Heavy snow (number/year)	1.68	1.65
	Typhoon (number/year)	1.74	0.44
	Annual Average Temperature (Celsius temperature scale, °C)	13.65	0.29
Financial Variables	Commercial banks' average default rate (%)	1.16	0.46
	Commercial banks' average BIS rate (%)	13.32	1.12
	Domestic property insurance companies' average return on Asset (ROA; %)	0.51	0.53
	Domestic property insurance companies' average risk based capital (RBC; %)	265.86	21.54

용하여 원시 데이터를 평활화하는 비모수적 방법이다. STL분해는 이전의 기후와 환경 관련 연구에서 데이터의 계절성을 제거하는 데 사용되어 왔다.

Cleveland et al. (1990)에 의하여 처음 제시된 STL 추세분리 방법은 시계열의 구성요소를 분리하는데 있어서 가장 강건하고(robust) 융통성이 높은 방법 중 하나이다. STL은 “Seasonal and Trend decomposition using Loess”를 뜻하며 여기서 Loess는 비선형방법에 의한 추정방법을 의미한다. STL 추세분리 방법은 SEATS와 경제-경영연구에서 많이 사용되는 X11 계열의 패턴 추출 방법에 비하여 우월한 점들이 많다. 즉, SEATS와 X11 계열의 패턴 추출 방법에서는 월별 자료나 분기별 자료의 패턴 추출이 가능하지만 STL 방법은 다양한 빈도(frequency) 자료에 모두 사용될 수 있는 장점이 있다. 본 연구에서는 기후변화 관련 리스크 자료의 한계로 인하여 연간자료를 사용하게 된다. 따라서 이러한 저밀도(low frequency) 자료의 추세를 추출하는 방법으로서 STL 방법이 가장 적절하다고 판단된다. 또한 STL 방법은 자료의 평균값에서 크게 벗어난 outlier 관찰치들이 존재하는 경우에도 강건한 패턴 추출을 하여 outlier 관찰치들이 추세와 계절 패턴을 추출함에 있어 영향을 주지 않는다.

시계열 자료는 다양한 pattern을 가지고 있으므로 원시 시계열 자료에는 다양한 내재적 패턴이 존재하게 된다. 일반적으로 시계열 자료에서는 추세(trend), 계절성(seasonality), 그리고 순환(cycles)과 같은 세 가지 패턴이 포함되어 있다고 가정된다. 특히 시계열 자료를 실증 분석에 활용할 때는 종종 추세를 순환을 상이한 구성 요소로 취급하여 추세 자료를 추출하여 실증분석에 사용한다. 본 연구에도 STL 방법을 사용하여 기후와 금융 시계열 데이터의 추세, 계절성, 그리고 잔차항 요소로 시계열을 분해하였다. 그리고 자료의 추세를 사용하여 실증분석을 하였다.

이전 절의 Figs. 1-3에서 보고된 바와 같이 기후변화 리스크 변수 데이터에서는 outlier들이 존재하는 경우가 많으므로 STL 추세 추출 방법의 사용이 적절한 것으로 판단되어진다. 또한 아래의 Fig. 6에서는 데이터들의 원자료와 STL 추세가 그래프로 비교되어 있다. 추가적으로 기후와 금융 시계열 데이터의 STL 추세 자료들의 기본 통계량은 Table 2에 설명되어 있다.

3. 실증분석 결과와 해석

3.1 1단계 추정: 헤도닉 모형(Hedonic Model)

기후 변화가 발생시키는 물리적 리스크 변수들과 금융-금융 변수들 간의 관계를 설명하는 적절한 이론은 아직 존재하지 않는다. 따라서 기후와 금융분야에서 이전의 연구와 보고서에서는 이론적을 배제하고 다양한 시나리오를 가정하여 기후 변화의 물리적 리스크가 금융시장과 경제활동에 미치는 영향을 연구하였다. 이 연구에서도 마찬가지로 계량분석에서는 시계열 추정모형을 활용한 비이론적인 접근법을 통하여 기후 변화의 물리적 리스크가 금융 시장에 미치는 충격을 추정하였다. 이러한 실증분석에서는 관련된 금융 기관의 다양한 성과와 안정성 지표들에 기후 리스크 변수들이 설명 변수로 이용하여 추정하는 헤도닉 모형 형태의 추정식을 따르게 된다.

다시 말하여, 시중 은행과 손해 보험사의 수익성 변수와 건전성 변수에 미치는 다양한 기후 관련 리스크 변수들을 설명 변수로 포함하여 실증분석을 하게 된다. 또한 추정 과정에서 추정식에 포함되지 않은 변수들이 시중 은행과 손해 보험사의 수익률 변수나 건전성 변수에 미치는 영향을 통제하기 위해, 이들 피설명 변수(dependent variable)들의 시차 변수를 설명 변수로 사용한다. 이 연구에서 사용되는 실증분석 모형의 형태는 다음의 Fig. 9에서 시각적으로 설명되어 있다.

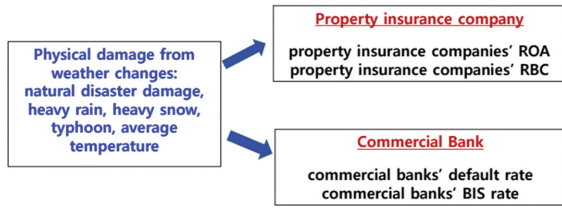


Fig. 9. Overview of estimation model: Impact of weather physical risks on property insurance company and commercial bank.

1단계의 추정에서는 폭우와 같은 기후 변화로 인한 물리적 리스크가 발생했을 때 시중은행 산업의 자산 건전성에 어떤 변화가 일어나는지 실증분석하기 위해 시계열 추정 모형을 활용한다. 추정에서 피설명 변수 (dependent variable)인 시중 은행의 건전성 관련 변수 들로는 연체율과 BIS 비율이 사용된다. 또한, 실증분석에서 설명 변수로서 피설명 변수의 1기 시차 값이 사용된다. 현실에서 은행과 손해 보험사의 건전성 변수에는 수 많은 변수들이 영향을 미치지만 모든 변수를 포함할 수 없는 제한적인 상황을 통제하기 위함이다.

아래 식(1)과 식(2)에는 추정식이 보여지고 있으며, Table 3에 추정 결과가 보고되었다. 앞 절에서 설명되었듯이 실증분석에 사용된 변수들은 모두 STL 방법을 통해 구해진 추세 변수들이다.

$$drate_t = \beta_0 + \beta_1 drate_{t-1} + \beta_2 damage_t + \beta_3 rain_t + \beta_4 snow_t + \beta_5 typhoon_t + \beta_6 temp_t + \epsilon_t \quad (1)$$

단, 위의 추정식에서 $drate_t$ 는 시중은행(NH농협은행 포함) 연체율 평균, $damage_t$ 는 자연재해 피해액수, $rain_t$ 는 폭우횟수, $snow_t$ 는 폭설 횟수, $typhoon_t$ 는 태풍횟수, $temp_t$ 는 년 평균기온

$$bis_t = \beta_0 + \beta_1 bis_{t-1} + \beta_2 damage_t + \beta_3 rain_t + \beta_4 snow_t + \beta_5 typhoon_t + \beta_6 temp_t + \epsilon_t \quad (2)$$

단, 위의 추정식에서 bis_t 는 시중은행(NH농협은행 포

합) BIS 비율 평균, $damage_t$ 는 자연재해 피해액수, $rain_t$ 는 폭우횟수, $snow_t$ 는 폭설 횟수, $typhoon_t$ 는 태풍 횟수, $temp_t$ 는 년 평균기온

실증분석 결과에서는 자연재해 피해액수, 폭우 횟수, 그리고 년 평균 기온이 시중 은행의 연체율에 10%를 넘지 않는 유의 수준에서 영향을 미치고 있다. 각각의 추정치들을 살펴보면 자연재해 피해액수의 추정 계수는 0.0002, 폭우 횟수의 추정 계수는 0.0281, 연평균 기온의 추정 계수는 0.2956이다. 또한 폭우 횟수, 태풍 횟수, 그리고 년 평균 기온이 시중 은행의 BIS 비율에 10% 이하의 유의 수준에서 영향을 미치고 있다. 폭우 횟수의 추정 계수는 -0.0989, 태풍 횟수의 추정 계수는 0.3330, 연평균 기온의 추정 계수는 -0.3331로 각각 추정되었다. 추정 결과를 요약하면 폭우 횟수와 연평균 기온은 은행 연체율과 BIS 비율 모두에 10% 수준에서 유의한 영향을 미치고 있으며 연체율과 BIS 비율의 전년 값들도 현재 값에 1% 수준에서 유의하게 영향을 주는 것으로 추정되었다.

아래에서는 위와 같은 시계열 실증분석 모형을 활용하여 폭우와 같은 기후 변화로 인한 물리적 리스크가 발생했을 때 손해 보험 산업의 자산 건전성과 수익성에 어떤 변화가 일어나는지 실증분석 하였다. 손해 보험사들의 건전성과 수익성 관련 변수로 이전의 연구들에서 많이 사용된 지급 여력 비율(Risk Based Capital, RBC)과 자산 수익률(ROA)을 사용하였다. 아래 식(3)과 식(4)에는 각각의 추정식이 보여지고 있으며, 그에 따른 추정 결과는 Table 4에 정리되어 있다. 실증분석에서 사용된 모든 변수들은 앞 절에 설명된 STL 방법을 통해 도출된 추세 변수이다.

$$ROA_t = \beta_0 + \beta_1 ROA_{t-1} + \beta_2 damage_t + \beta_3 rain_t + \beta_4 snow_t + \beta_5 typhoon_t + \beta_6 temp_t + \epsilon_t \quad (3)$$

단, 위의 추정식에서 ROA_t 는 국내 11개 손해보험사 자산수익률 평균, $damage_t$ 는 자연재해 피해액수, $rain_t$ 는 폭우횟수, $snow_t$ 는 폭설 횟수, $typhoon_t$ 는 태풍횟수,

Table 3. Weather variables' impacts on commercial bank default rate and BIS rate.

Financial integrity variables	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	β_6
Default rate	3.5184* (0.0805)	0.6085*** (0.0000)	0.0002* (0.0994)	0.0281** (0.0249)	-0.0098 (0.6920)	-0.2115 (0.1223)	0.2956*** (0.0001)
BIS rate	-3.2510 (0.2699)	0.9531*** (0.0000)	-0.0002 (0.1755)	-0.0989*** (0.0002)	0.0333 (0.2762)	0.3330*** (0.0000)	-0.3331* (0.0996)

p-value in parenthesis

*, **, *** indicate significant at 10%, 5%, and 1% level respectively.

Table 4. Weather variables' impacts on property insurance company ROA and RBC.

Financial integrity variables	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	β_6
Return on Asset (ROA)	28.8146*** (0.0008)	0.5092*** (0.0000)	-0.0019*** (0.0000)	-0.2152*** (0.0001)	-0.3575*** (0.0003)	-0.0140 (0.8995)	-1.8012*** (0.0015)
Risk based capital (RBC)	714.8638*** (0.0000)	0.7098*** (0.0000)	-0.0209*** (0.0005)	-6.7420*** (0.0000)	-5.7527*** (0.0146)	4.6311 (0.2940)	-41.2686*** (0.0000)

p-value in parenthesis

*, **, *** indicate significant at 10%, 5%, and 1% level respectively.

$temp_t$ 는 년 평균기온

$$RBC_t = \beta_0 + \beta_1 RBC_{t-1} + \beta_2 damage_t + \beta_3 rain_t + \beta_4 snow_t + \beta_5 typhoon_t + \beta_6 temp_t + \varepsilon_t \quad (4)$$

단, 위의 추정식에서 RBC_t 는 국내 11개 손해보험사 지급여력비율 평균, $damage_t$ 는 자연재해 피해액수, $rain_t$ 는 폭우 횟수, $snow_t$ 는 폭설 횟수, $typhoon_t$ 는 태풍 횟수, $temp_t$ 는 년 평균기온

식(3)과 식(4)의 추정 결과에 따르면 손해 보험사들의 자산 수익률과 지급 여력 비율에는 자연재해 피해액수, 폭우 횟수, 폭설 횟수, 그리고 연 평균 기온이 10% 수준에서 유의한 영향을 미치게 된다. 자연재해 피해액수의 추정 계수가 -0.0019, 폭우 횟수의 추정 계수가 -0.2151, 폭설 횟수의 추정 계수가 -0.3575, 연 평균 기온의 추정 계수가 -1.8012로 손해 보험사들의 자산 수익률에 영향을 미치는 것으로 각각 추정되었다. 또한 자연재해 피해액수의 추정 계수가 -0.0209, 폭우 횟수의 추정 계수가 -6.7420, 폭설 횟수의 추정 계수가 -5.7527, 그리고 연 평균 기온의 추정 계수가 -41.2686로 손해 보험사들의 지급 여력 비율에 영향을 유의하게 주고 있는 것으로 추정되었다.

위에서 보고된 시중 은행과 손해 보험사의 건전성과 수익성 변수에 대한 실증분석 결과를 요약하면 다음과 같다. 손해 보험사들이 전반적으로 시중은행들에 비하여 기후 변화 변수에 더 많이 영향을 받는 것

으로 추정되었다. 또한 연평균 기온의 상승과 자연재해 피해액수가 손해 보험사들의 건전성에 상대적으로 더 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 단 여기서 ‘더 영향을 받는다’ 함은 추정계수의 절대값과 유의수준에서 의미이다.

3.2 2단계 추정: 2035년까지의 예측(Forecasting)

이 절에서는 앞의 3.1절에서 소개된 기후 위기 변수가 시중은행과 손해 보험사의 경영 성과 및 안정성에 미치는 추정 결과를 기반으로 하여 시중 은행의 연체율과 BIS 비율, 그리고 손해 보험사의 자산 수익률과 지급 여력 비율(RBC)에 대한 2020년부터 2035년까지의 예측을 하였다. 예측의 추정방법 개요는 다음의 Fig. 10에 시각적으로 설명하였다.

예측을 하기에 앞서 평균 기온과 같은 각 설명변수들의 자기회기모형(autoregressive model)을 적절하게 추정하게 된다. 예측을 위한 설명을 위하여 예를 들자면 연평균기온($temp_t$)의 경우, 다음과 같이 식(5)으로 적절히 시계열 실증 분석되어진다. 앞 절의 실증 분석에서와 같이 추정에 사용된 모든 데이터는 STL 방법을 통해 추출된 추세 부분이다.

$$\widehat{temp}_{t+i} = \beta_0 + \beta_1 temp_{t-1} + \beta_2 temp_{t-2} + \varepsilon_t \quad (5)$$

단, 위의 추정에서 lag 2는 Akaike와 Swartz Information Criteria를 통하여 결정됨.

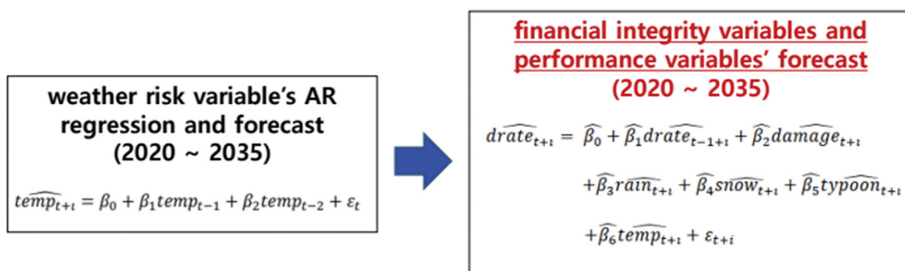


Fig. 10. Overview of forecast: commercial bank and property insurance companies' financial integrity variables.

나머지 설명 변수들인 자연재해 피해액수(*damage*), 폭우횟수(*rain*), 폭설횟수(*snow*), 그리고 태풍횟수(*typhoon*)에 대하여도 각각의 적절한 자기 회기모형(*autoregressive model*)을 사용하여 추정한다. 그 후, 각

변수의 예측값을 추정할 수 있다. 또한 예측(*forecasting*)은 일반적 동태적 다단계 예측모형(*dynamic multi-step forecasts*)을 사용하였다. 추정에 사용된 설명변수들 중에서 연평균기온(*temp*)의 2035년까지의 예측값은 아

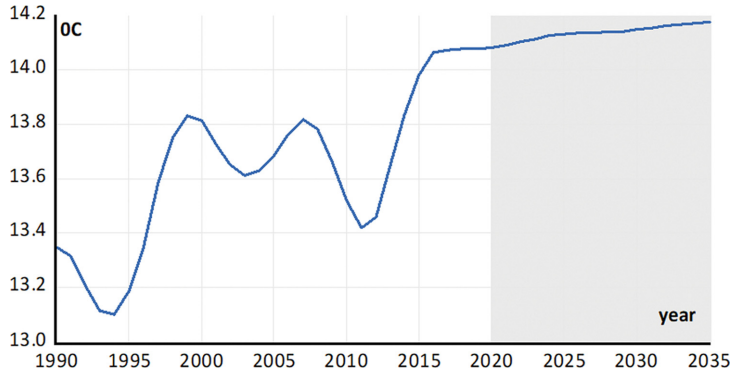


Fig. 11. Forecast of average yearly temperature (1999~2035). Unit: Celsius temperature scale, °C. Highlighted with gray indicates forecasted.

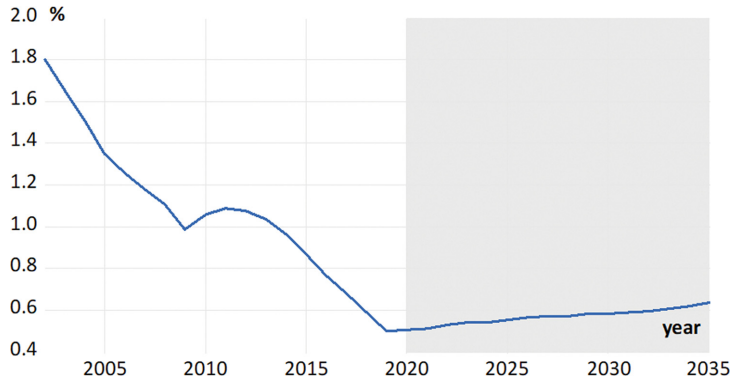


Fig. 12. Forecast of commercial banks' average default rate (1999~2035). Highlighted with gray indicates forecasted.

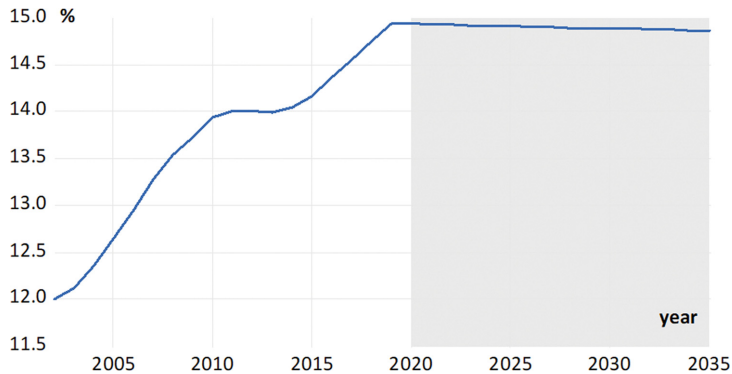


Fig. 13. Forecast of commercial banks' BIS rate (1999~2035). Highlighted with gray indicates forecasted.

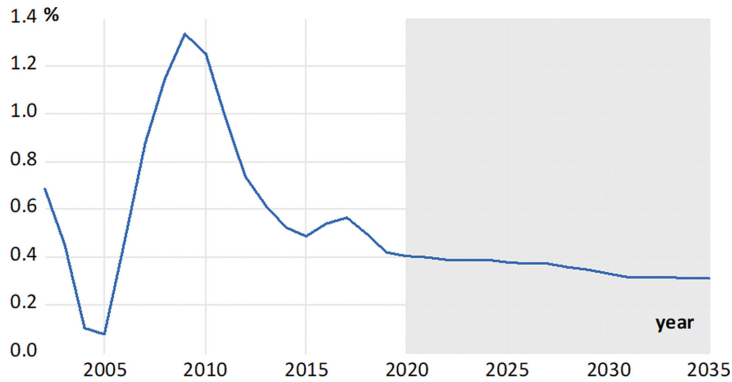


Fig. 14. Forecast of property insurance companies' average return on asset (ROA; 1999~2035). Highlighted with gray indicates forecasted.

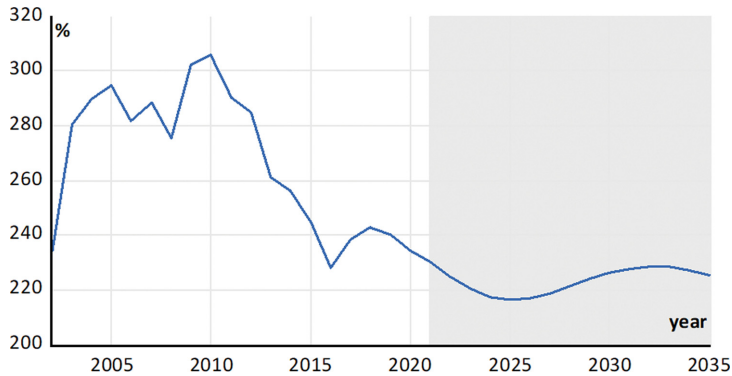


Fig. 15. Forecast of property insurance companies' average risk based capital (RBC; 1999~2035). Highlighted with gray indicates forecasted.

래의 Fig. 11에 보여지고 있다.

그 다음 단계에서는 이전 절에서 추정된 결과와 2020년에서 2035년까지 예측된 설명변수들의 값과 활용하여 시중 은행의 연체율과 BIS 비율, 그리고 손해 보험사의 자산수익률과 지급여력비율(RBC)에 대한 예측치를 생성한다. 시중은행의 연체율($drate_t$)을 이용하여 예를 든다면 예측에 이용되는 추정식은 다음의 식 (6)과 같다.

$$\widehat{drate}_{t+i} = \widehat{\beta}_0 + \widehat{\beta}_1 \widehat{drate}_{t-1+i} + \widehat{\beta}_2 \widehat{damage}_{t+i} + \widehat{\beta}_3 \widehat{rain}_{t+i} + \widehat{\beta}_4 \widehat{snow}_{t+i} + \widehat{\beta}_5 \widehat{typhoon}_{t+i} + \widehat{\beta}_6 \widehat{temp}_{t+i} + \varepsilon_{t+i} \quad (6)$$

단, 위의 추정식에서 $drate_t$ 는 시중은행(NH농협은행 포함) 연체율 평균, $damage_t$ 는 자연재해 피해액수, $rain_t$ 는 폭우횟수, $snow_t$ 는 폭설 횟수, $typhoon_t$ 는 태풍횟수, $temp_t$ 는 년 평균기온, i 는 2020년에서 2035년.

위의 순서를 통해 예측된 손해보험사와 시중은행의 경영성과 변수들과 건전성 변수들에 대한 2035년

까지의 예측치는 아래의 Figs. 12-15에 걸쳐 보고되고 있다.

위에서 보고된 각 변수의 STL 추세 예측 결과는 다음과 같이 요약될 수 있다. 시중은행의 경우 연체율이 2020년 이후 점진적으로 상승하는 반면 BIS 비율은 2020년 이후 점진적으로 하락하는 것으로 나타났다. 이와 같은 추정 결과는 기후변화 위기의 증가로 인해 시중은행의 수익성과 건전성이 2035년까지 서서히 나빠지고 있음을 시사하는 결과이다. 반면에 손해 보험업의 예측 결과에서는 자산수익률(ROA)이 2020년 이후 점진적으로 감소하는 모습을 보이고 있다. 반면에 손해보험업의 지급 여력 비율(RBC)은 2025년까지 감소한 후 2030년 초반에 증가하고 그 이후 2035년까지 다시 감소하는 추세 변화를 보여준다. 이러한 예측 결과는 시중은행과 손해보험사 모두 기후변화 리스크의 증가로 경영 안정성과 경영성과가 점차 악화될 것으로 예측되는 추정 결과이다.

그러나 이러한 예측 결과는 현재의 기후 리스크의

증가추세와 경제 상태가 유지된다는 두 가지 가정 하에서 추정된 것이다. 이전의 연구들에서 경제 성장과 기후변화의 다양한 시나리오에 기반한 결과는 본 연구의 실증분석에 반영되지 않았다.

4. 결 론

본 연구에서는 기후변화가 초래하는 다양한 물리적 리스크가 시중은행과 손해보험사의 수익성과 건전성에 미치는 영향에 대하여 실증분석 하였다. 특히 이전 연구들에서의 한계점을 극복하고자 실증분석에서 기후 리스크 데이터와 금융-경제 데이터를 STL 방법을 이용하여 추세(trend) 추출하였으며 추세 변수들을 이용하여 실증분석을 진행하였다. 이러한 추세 변수들을 이용한 분석은 장기적으로 기후변화의 물리적 리스크가 금융산업에 미치는 효과에 대한 실증분석이라 할 수 있다.

1단계 추정결과에 따르면 시중은행과 손해보험사 모두의 수익성과 안정성이 장기적으로 기후관련 리스크들로부터 유의하게 음(-) 영향을 받고 있는 것으로 추정되었다. 시중은행의 연체율에는 폭우 횟수, 연평균기온, 자연재해 피해액수가 유의하게 영향을 주고 있다. 폭우 횟수, 태풍 횟수, 연평균기온은 시중은행의 BIS 비율에 유의하게 영향을 미치고 있는 것으로 추정되었다. 손해보험사들의 경우 자연재해 피해액수, 폭우 횟수, 폭설횟수, 그리고 연 평균기온이 자산수익률(ROA)과 지급여력비율(RBC)에 모두 유의한 영향을 주고 있다.

2단계 추정에서는 앞의 1단계 추정을 기반으로 하여 시중은행 연체율, 시중은행 BIS 비율, 손해보험사 자산수익률(ROA), 그리고 손해보험사 지급여력비율(RBC)를 2035년까지 예측(forecast)해 보았다. 추정 결과에 따르면 현재의 기후 리스크가 지속됨을 가정할 때 시중은행의 연체율은 상승추세에 놓이게 되고 시중은행의 BIS 비율은 하락추세를 보였다. 또한 손해보험사 자산수익률(ROA)은 하락하였으며 손해보험사 지급여력비율(RBC)은 2035년까지 하락과 상승을 반복하였다. 그러나 이러한 예측 결과는 현재의 기후 리스크의 증가추세와 경제 상태가 유지된다는 두 가지 가정 하에서 추정된 것이다. 이전의 연구들에서 경제 성장과 기후변화의 다양한 시나리오에 기반한 결과는 본 연구의 실증분석에 반영되지 않았다.

이 연구에서의 추정 결과는 우리나라에서 기후 리스크가 시중은행들과 손해보험회사들의 경영성과와 건전성을 장기적으로 악화시킬 수 있음을 확인한데서 그 의의를 찾을 수 있다. 이러한 추정 결과들은 향후 정부와 중앙은행이 기후변화의 물리적 리스크에 대한 대비와 국제 기구와의 협상을 위한 정량적인 기초자

료로서 활용되어질 수 있을 것이다. 하지만 본 연구의 한계로서 기후 예측에 있어서 다양한 요인을 고려하지 못하였으므로 예측의 정확성에는 한계가 있다는 점을 분명히 하고자 한다.

REFERENCES

- Ahn, Y. H., and D. K. Kim, 2017: *Paris Climate Agreement's Economic Impact on Korean Economy by Integrated Evaluation Model*. Korea Energy Economics Institute.
- Alogoskoufis, S., N. Dunz, T. Emambakhsh, T. Hennig, M. Kaijser, C. Kouratzoglou, M. A. Muñoz, L. Parisi, and C. Salles, 2021: *European Central Bank economy-side climate stress test: Methodology and Results*. Occasional Paper Series, European Central Bank, 91 pp.
- Campbell, S. D., and F. X. Diebold, 2005: Weather forecasting for weather derivatives. *J. Amer. Stat. Assoc.*, **100**, 6-16, doi:10.1198/016214504000001051.
- Chae, Y., J. H. Lee, and C. Hope, 2017: *Economic Analysis of Climate Change Damage in Korea Using SSP-RCP Scenario Matrix*. Korea Environmental Institute, 176 pp (in Korean).
- FSS, 2023: Financial data archive. Financial Supervisory Service, [Available online at <https://fisis.fss.or.kr/fss/fsiview/indexw.html>] (in Korean).
- IPCC, 2022: *Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge Univ. Press.
- KOSIS, 2023: Environmental data archive. Korean Statistical Information Service, [Available online at <https://kosis.kr/index/index.do>] (in Korean).
- Masui, T., and Coauthors, 2011: A emission pathways to stabilize at 6 Wm² of radiative forcing. *Climatic Change*, **109**, 59-76, doi: 10.1007/s10584-011-0150-5.
- Mckay, M. D., R. Beckman, and W. Conover, 1979: A comparison of three methods for selecting values of unput variables in the analysis of output from a computer code. *Technometrics*, **21**, 239-245, doi:10.1080/00401706.1979.10489755.
- Moss, R. H., and Coauthors, 2010: The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*, **463**, 747-756, doi:10.1038/nature08823.
- 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.
- Park, J. W., and N. Y. Lee, 2021: *Response to Weather Change's Impact on Industries*. Monthly Bulletin, Bank of Korea.
- Park, S. Y., and Y. S. Jung, 2018: *Weather Change and Financial Stability*. Bank of Korea Issue Note.
- Tol, R. S. J., 2002: Estimates of the damage costs of climate change, Part II: dynamic estimates. *Environ. Resour. Econ.*, **21**, 135-160, doi:10.1023/A:1014539414591.