

# 국내 물 산업체의 기후변화 대응현황과 재무적 리스크 분석

김미나

고려대학교 그린스쿨(에너지환경대학원) 에너지환경정책기술학과 박사과정

## Analysis of Current Climate Change Responses and Financial Risks of the Water Industry in Korea

Kim, Minah

*Doctoral Candidate, Department of Energy and Environment,  
Graduate School of Energy and Environment (KU-KIST Green School), Korea University*

### ABSTRACT

This study investigated the private sector's climate change risk, focusing on the financial sector and its risk management, specifically the case of the water industry in Korea. The water industry tends to be particularly vulnerable to climate change and requires adaptation strategies to address potential risks. This study quantified the potential financial risk to the water industry from four extreme weather events: heat waves, cold waves, heavy rain and heavy snow. These events are classified according to the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) scenarios, RCP 4.5 and RCP 8.5, using a business decision supporting tool, the Climate Change Risk Assessment System (CRAS), which was developed by Korea Environment Institute. The results of analysis revealed that small- and medium-sized enterprises (SMEs) are more vulnerable in responding to climate change risk than large enterprises, that SME manufacturers in particular are the most vulnerable in responding to climate change risk. Of heat waves, cold waves, heavy rain and heavy snow, the greatest climate change-related financial risk was from heat waves. Lost sales due to climate change risk ranged from 152.9 to 210.7 billion won per year on average, according to the RCP 4.5 scenario. Furthermore, when the RCP 8.5 scenario was considered, the scale of financial risk increased to between 250.9 and 345.8 billion won per year. This study provides quantitative information that helps to increase awareness on the financial risks of the water industry from climate change and to explore measures for business adaptation.

**Key words:** *Climate Change Risk, Climate Change Risk Management, Water Industry*

### 1. 서론

기후변화는 전 세계 환경과 사회, 비즈니스, 경제부문 등 다양한 분야에 영향을 미쳐왔고(IPCC, 2013) 기후변화로 인하여 지난 30년간 4조 달러에 달하는 경제적 피해가 발생한 것으로 추정된다(World Bank, 2013). 이와 함께, 기후변화는 산업체들의 비즈니스에도 영향을 미치고 있어

산업체들이 당면할 수 있는 기후변화 리스크 평가와 대응 방안 마련, 기업들의 기후 행동의 중요성이 점차 확대되고 있다(OECD, 2016; Linnenluecke, 2013; Kate 2012). 이에 그간 해외 기업들은 기후변화 리스크 평가와 대책 방안 마련에 적극적인 노력을 기울여 온 반면, 한국기업의 경우 기후변화 현상을 인지는 하고 있으나, 산업체들이 향후 당면할 수 있는 기후변화 리스크 인식 및 정보 부족 등으로

†Corresponding author : kim.serene@gmail.com (03367, 215, Jinheung-ro, Eunpyeong-gu, Seoul, Korea, Tel. +82-2-2284-1770) ORCID 김미나 0000-0001-8347-6538

기후변화 대응방안 마련에 대한 구체적 방향을 설정하지 못하고 있는 실정이다(WRI, 2011).

이에 본 연구는 국내 환경산업의 주요분야인 물 산업체들의 기후 리스크 인식도와 대응방안을 조사하고, 향후 4가지 극한기후요소(폭염, 한파, 호우, 폭설)가 2100년까지 국내 물 산업체들의 재무적 부문에 미칠 수 있는 피해 규모를 전망하였다. 물 산업은 수자원, 용수(생활·공업·농업) 생산·공급, 하폐수 처리 및 재이용 등 물순환 전과정을 포괄하는 사업 및 관련 서비스를 포함하고 있으며, 2018년 기준, 국내 환경산업(99조7천억 원)의 26%에 해당하는 25조 9천억 원 환경시장을 형성하고 있는 주요 환경산업 분야이다(환경부 2019).

본 연구에서는 국내 물 산업체들의 기후변화 리스크 인식현황과 대응현황, 향후 물 산업체들이 당면할 수 있는 재무적 리스크를 전망하였다.

## 2. 문헌 조사

### 2.1 기후변화 리스크 개념

리스크 개념은 그간 안보, 금융, 보험, 보건 등 다양한 분야에서 논의되어왔다. 국제 리스크 관리 표준(ISO 31000)에서는 리스크를 '대상에 대한 불명확한 영향'으로 정의하였고 사건발생 가능성(Likelihood)과 사건발생으로 인한 결과(Consequence)의 조합으로 정의하였다(ISO, 2009). 일반적으로 리스크는 어떠한 사건의 발생 가능성과 부정적인 결과의 곱으로 정의되고 있다(Lee, 2013; Jones and Boer, 2003; HM Government, 2012).

기후 리스크 개념과 관련하여 IPCC 제5차 보고서에서는 어떤 사건이 발생할 불확실한 가능성과 사건 결과에 대한 규모의 조합으로서, 생활, 생계, 건강, 생태계 및 종, 경제, 사회, 문화 자산, 서비스 및 인프라에 대한 부정적 영향이 발생할 수 있는 가능성을 포함하였다(IPCC 2014). 영국에서도 IPCC의 정의를 바탕으로, 기후 리스크를 사건이 일어날 가능성과 사건 결과의 규모간 함수로 정의하여, 위협과 기회로 분류하여 파악하고 있다(Chae, et. al., 2013; HM Government, 2012). 호주 (2006)에서는 기후변화 리스크가 기후 요인들로부터 직접 발생하지 않고, 인과 과정을 통해 발생한다고 보았는데, 이는 기후변수로 인한 생태, 물리적, 사회적 측면에 영향을 주고, 리스크는 기후변화 영향으로부터 일어나는 사건의 발생 확률과 규모에서 기인한다고 보았다.

기후변화 리스크의 종류는 발생 장소에 따라 국가적 차원의 리스크와 국제적 차원리스크로 구분이 가능하다. 먼저 국가적 차원의 리스크는 기후변화로 인해 개발국가에서 발생하는 위협과 기회 요소를 의미하며, 국제적 차원의 리스크는 해외에서 발생한 기후변화 리스크가 무역 및 다양한 경로로 국제사회의 정치, 경제, 사회 등에 영향을 미치는 것을 의미한다(Lee 2013).

### 2.2 산업체 기후 리스크 유형

KPMG (2008)는 기후변화로 산업체들이 당면할 수 있는 리스크를 물리적 리스크, 규제적 리스크, 평판 리스크, 소송 리스크 등 4가지로 분류하고, 전 세계 지역별·업종별 당면할 수 있는 리스크 수준이 상이하다고 보았다. 물리적 리스크는 극한기후 및 기후변화로 인한 기업의 자산 피해, 보험 상승, 자산손실, 노동력 상실, 공장 및 사업장이전에 의한 비용 상승 등 기업들이 직접적으로 당면하게 되는 리스크로서 기업이 속한 지정학적 위치와 밀접한 관계가 있다. 규제적 리스크는 기후변화 대응을 위한 국제협약 및 국내 환경규제 이행 등으로 발생하는 비용 등을 의미하며, 평판 리스크는 기후변화 대응에 따라 소비자가 기업에 대해 갖게 되는 신뢰도 및 브랜드 가치에 미치는 영향과 리스크를 나타낸다. 소송 리스크는 기후변화 대응을 위한 규제의 도입으로 발생할 수 있는 소송 혹은 법적 대응과 관련된 비용 및 위협을 나타낸다. 기업들은 정부가 제시하는 규제 대응에 발생하는 비용 등 규제 리스크를 산업체들이 체감하는 가장 위협한 요인으로 인지하고 있었으며, 반면 극한기후 등 물리적 리스크 요인으로 발생하는 재정적 리스크 등에 대한 분석과 인식은 부족한 것으로 나타났다. 더불어 기후변화로 인한 평판 리스크 및 소송 리스크도 증가하고 되고 있으나 평판 리스크와 소송 리스크의 인지도는 낮은 것으로 나타났다.

Fred and Amanda (2005)는 산업체들이 당면할 수 있는 기후 리스크를 체계적인 리스크와 비체계적 리스크로 구분하였는데, 이때 체계적 리스크는 산업 및 시장에서 발생하는 리스크를 의미하며, 비체계적 리스크는 물리적, 규제적, 소송 리스크 등을 의미한다. 기업가치 및 수익하락에 따른 기업 이익률은 비체계적 리스크와 관련성이 높아 비체계적 리스크 관리의 중요성을 보다 강조하였다(Lee 2013).

Acclimatise (2015) 보고서에서는 산업체들이 당면할 수 있는 기후 리스크를 직접 리스크와 간접 리스크로 구분하

었다. 먼저 직접 리스크는 극한기후가 기업 자산, 사업 운영, 공급망, 생산량, 운영비용 등에 직접적 영향을 미치고 식별이 명확한 반면, 간접리스크는 기후변화 대응을 위한 규제 리스크, 기후변화에 따른 소비자 행동패턴의 변화, 사회-경제적 변동성, 이해관계자 기대치, 상품서비스의 소비자 수요변동 등으로서 리스크 인식과 평가가 다소 불명확할 수 있음을 제시하였다.

TCFD (2017)는 기후 리스크를 물리적 리스크와 전환기적 리스크로 분류하였다. 물리적 리스크는 이상기후 등 급격한 기후변화에 따른 리스크와 장기적인 기후변화에 따라 도래되는 만성적 리스크를 의미하며, 전환기적 리스크는 저탄소 경제로 전환과 기후변화 감축, 적응을 위한 정책, 법률, 기술, 시장 변화에 따른 리스크를 포함한다 (WWF-Korea, 2018).

### 2.3 국내 산업체 기후 리스크 연구 동향

그간 기후변화가 국내 산업에 미치는 리스크 분석을 위해 다양한 연구가 진행되어 왔으며 특히 기후변화 취약성 평가지표에 대한 연구가 진행되어 왔다. Lee et al., (2011)은 문헌조사, 전문가 의견수렴을 통한 계층화분석 (AHP) 기법으로 변수별 가중치를 도출하고 국내 수산부문 기후변화 취약성지표개발 및 지역별 기후변화 취약성 평가 등을 통해 정책적 시사점을 제시하였다. Myeong (2012)은 이상기후로 산업계의 피해가 증대됨에 따라, 기후변화가 민간 부문 특히, 산업계에 미치는 영향을 조사하였고 국가 간 비교 가능한 산업계 기후변화 리스크 및 적응 역량지수 개발하여 지수를 분석하였다. 지수를 분석한 결과 한국의 기후변화 리스크는 OECD 회원국에 비해 상대적으로 높았으나 적응역량은 중간 정도로 파악되었으며, 적응역량 중 자원과 인프라 역량이 낮고 기술과 사회·경제적 역량이 높은 것으로 나타났다. Kang et al., (2012)은 국내외 문헌조사 및 70여개사 대상 설문조사 등을 통해 국내 산업계 기후변화 영향 및 적응현황을 파악하고 및 산업계 기후변화 적응 부문 리스크평가 체계 및 방법론을 제시하였다. Heo (2012)는 문헌조사 및 연구사례 분석, 지표 분석 등을 통해 기후변화에 대응하기 위한 국내외 정책 동향과 기업의 대응사례, 산업에 미치는 기후 영향 등을 분석하고, 기업의 에너지·탄소경영 정의와 국내외 기후변화 대응능력, 경쟁력 평가지표 분석, 기후변화에 대응하기 위한 경영전략과 경영시스템 지표 등을 제시하였다. Kim et al., (2013)은 문헌조사와 기후 리스크 가중치 설정을 위한 전

문가 설문, 워크숍 개최 등을 통해 주요산업 부문별(보험, 농업, 관광, 에너지, 수자원, 건축, 금융 등) 기업활동에 영향을 미치는 기후변화 리스크 목록 도출 및 적응 옵션을 도출하였으며, 기후변화 적응을 위한 리스크관리 도구 (CCRAT ver 1.0)를 개발하였다. Bae et al., (2013)은 국내 산업에서 차지하는 비중과 중요성, 기후변화 대응 시급성을 고려하여 석유 및 자동차 산업의 기후변화 취약성 평가를 위해 평가지표, 평가 변수에 대한 이론적 고찰과 함께 전문가 자문 등을 병행하여 업종 특성을 반영한 평가지표 및 변수에대한 연구를 수행하였다.

더불어, 다양한 산업부문을 대상으로 기후 리스크 평가와 전망연구가 이루어져 왔다. 먼저 Choi and Kim (2009)은 기후변화에 따른 국내 농업·수산·운송·석유화학·서비스 산업 등이 당면할 수 있는 기후 영향을 분석하였다. 연구를 통해 향후 온도상승 등으로 기존 작물재배 어려움, 어종의 변화, 시설투자 비용 발생 등으로 물리적, 평판 리스크 등 산업별 당면할 수 있는 리스크를 제시하였다. 운송 장비산업의 경우, 연비기준 강화, 온실가스 감축 등의 규제로 인한 규제 리스크와 온실가스 감축 비용 발생 등에 따른 물리적 리스크에 당면할 수 있음을 지적하였고, 석유화학산업의 경우 에너지 다소비 산업으로 높은 규제적 리스크 등에 직면할 수 있으며, 서비스 산업의 경우 기온상승에 따른 수요 감소, 자연재해 증가 등에 따른 보험회사 재정문제 등 물리적 리스크에 당면할 수 있다고 제시하였다. Kim. et al., (2013)은 IPCC에서 제안한 취약성 평가 방법론 및 AHP 기법을 통한 취약성 평가 변수 가중치 적용 등을 통해 산업단지가 입지한 시·군구의 물리적, 경제적 특성을 기반으로 산업단지기후변화 취약성 평가를 수행하고, 산업단지 입지에 영향을 미치는 극한기후 분석 및 극한기후별로 적응능력 제고가 필요한 시군구 지역을 제시하였다. Kim et al., (2015)은 온실가스 에너지목표 관리제에 참여기업과 참여하지 않은 15개 업종, 400여 기업을 대상으로, 기후위험 부문과 기후성과, 시장기회, 정책협력, 기후적응 부문에 대한 경쟁력을 측정하고 지표화 연구를 수행하였다. Choi (2016)는 기후변화가 초래하는 인명·재산피해 및 국내외 정책동향, 산업부문의 기후변화 적응대책 수립절차 및 산업단지 기후변화 취약성 평가, 수산업의 기후 리스크 예측 연구를 수행하였다. 더불어 2011년 연구에서는 국내 산업계의 기후변화 대응 경쟁력 수준을 평가하기 위하여 해외 주요 기후 변화 지수 8개와의 비교 분석을 통해 기후위험, 기후성과, 시장기회, 정책협력의 4가지 주제로 지수를 구성하여 산업계의 기후변화

경쟁력 평가를 위한 세부 지표를 선정하고, 섬유/식품, 금속, 화공, 기타 산업체 45개 기업을 대상으로 4가지 지수와 세부 지표를 바탕으로 산업체 기후변화 경쟁력 분석을 실시하였다. Han (2007)은 기후변화가 관광, 레크리에이션, 건설업, 제조업, 에너지 부문 등의 산업에 미치는 일반적인 영향과 산업에 영향을 미칠 수 있는 편익 요인, 비용 유발 요인을 분석하고, 제조업에 대한 기후변화 영향평가 방법 및 일본 사례연구를 진행하였다. Park and Jeong (2018)은 기후변화로 인한 물리적 리스크와 전환 리스크가 금융부문에 미치는 리스크를 제시하고 국제기구 및 주요국(4개국)의 기후 리스크에 따른 금융부문 리스크 대응 현황 비교 등을 통해 국내 금융부문의 기후변화 리스크 대응을 위한 정책 시사점 제시하였다.

더불어 산업체들의 기후 리스크 인식도와 대응현황 연구도 함께 추진되어 왔다. Kim and Lee (2009)는 기후변화를 위기로 인식하는 기업과 기회로 인식하는 기업들에 대한 사업특성과 사업전략, 조직 특성 등을 분석하고 기업 내부에서 기후변화에 대한 기업들의 인식과 특성간 상관관계를 판별하는 실증연구를 통해 기업들의 향후 효율적인 기후변화 대응방향을 제시하였다. Suh (2011)는 기후변화 리스크 대응을 위해 해외에서 추진되고 있는 기업들의 기후정보공시제도 현황과 정보 공시내용, 국내에서 제도 도입 정당성과 도입 방법, 공시내용, 공시방법, 공시 요구대상, 공시범주 등 상세이행방안을 제시하였다.

Yoo and Lim (2010)은 글로벌 기업 및 한국 기업들의 기후변화 및 기후 리스크에 대한 인식현황을 분석하고, 기후변화의 위험유형별 분류 및 글로벌 기업들의 기후변화 대응사례 조사, 산업체들 설문조사 등을 통해 기업과 산업의 경쟁력 저하에 대비한 정책방향 연구를 수행하였다.

이처럼, 그간 국내외에서는 기후변화로 인해 산업체들이 당면할 수 있는 기후 리스크 분류 및 산업체 기후 리스크 평가지표·방법론 연구, 다양한 산업체별 리스크 전망과 산업체들의 기후리스크 인식, 대응 현황에 대한 연구들이 이루어져 왔다.

하지만, 기후 리스크에 대한 물 산업체들의 인식과 대응 현황, 향후 기후변화가 초래할 수 있는 구체적인 경제적 피해 규모 등에 대한 실증적 연구가 수행된 바가 없었다.

이에 본 연구에서는 국내 물 산업체들의 실질적 기후 리스크 인식도와 대응 현황, 극한기후 요인으로 향후 당면할 수 있는 재무적 리스크 규모를 물 산업체 업종별, 구

모별로 다각적으로 분석하여 향후 물산업체들의 기후 리스크 대응방안 마련을 위한 기초자료로 활용할 수 있도록 지원하고자 한다.

### 3. 분석 방법

#### 3.1 분석 도구

본 연구에서는 기후변화에 따른 물 산업체의 직접적인 재무적 리스크 분석결과를 정량적으로 제시하기 위하여 2015년 환경부와 한국환경정책평가연구원 국가기후변화 적응센터에서 국가적 차원으로 구축한 Web 기반의 기후변화 리스크 평가 시스템(CRAS : Climate Change Risk Assessment System)을 일부 활용하여 분석을 진행하였다.

기후변화 리스크 평가 모형(CRAS)은 민간기업이 자발적으로 기후변화로 인한 피해를 추정하고 리스크를 평가할 수 있도록 개발된 도구로써, 2012년 ISO3100을 기반으로 기후변화 평가 프레임워크를 구축한 이후 2013년 엑셀 기반의 평가 도구인 CCRAT 1.0버전(Climate Change Assessment Tool)이 개발되었으며, 2014년에는 CCRAT 2.0버전으로 업그레이드되는 등 3년간의 고도화를 통해 2015년 Web 기반으로 CRAS 시스템으로 개발되었다(국가기후변화적응정보포털, 2020). 특히, 기후변화 리스크 평가 시스템(CRAS)은 폭염, 한파, 호우, 폭설 등 4가지 기후변화 원인이 기업에 미치는 기후 리스크를 9가지 유형(①사람, ②구조적 시설물, ③도구적 시설물, ④원재료, ⑤완성품, ⑥운송, ⑦매출액, ⑧영업 및 관리, ⑨생산과정)으로 세분화하여 폭염, 한파, 호우, 폭설 등 4가지 기후변화 요인에 따라, 총 36가지 유형의 리스크별 우선순위를 도출할 수 있으며 이외에도 재무제표 구성요소별 피해 규모 등을 추정할 수 있어 기업 단위의 일관성 있는 경제적 취약성 분석이 가능하였다.

#### 3.2 재무적 리스크 분석방법

기후변화 리스크 평가 시스템(CRAS)은 기업체가 당면한 피해를 확률적으로 추정하기 위하여 베이저안 통계기법<sup>1)</sup>을 적용한 시스템으로 사전적 확률 외에 추가적인 정보를 기반으로 사후적 확률값을 결정하는 분석방법이 적용되었다. 이를 위해 2000~2010년까지 텍스트마이닝 결과(7,790,580개의 확률값)의 발생빈도를 도입하여 우도량

1) 베이저안 통계 기법은 사전적 확률을 추가적인 정보를 토대로 사후적 확률을 얻는 과정을 반복하는 것으로, 미지의 현상에 대하여 실

을 측정하고, 이에 대한 사후확률분포가 산정되도록 설계되었다.

기후변화 리스크 평가 시스템(CRAS)은 ①상황설정 단계 ②리스크 식별단계 ③리스크 분석단계, ④리스크 평가 단계 총 4가지 단계로 구성되어 있다. 먼저, 상황설정 단계에서 기업의 과거 정보인 재무정보와 미래 상황을 추정하는 경제성장 시나리오, 기후변화의 미래가치를 추정하기 위한 지리적 정보 등을 입력하도록 설정되어 있으며, 위험을 식별하는 단계에서는 폭염, 한파, 호우, 폭설 등 4가지 이상기후 유형<sup>2)</sup>과 사람, 구조적 시설물, 도구적 시설물, 원재료, 완성품, 운송, 매출액, 영업 및 관리, 생산과정 등 9가지 피해분류 중 회사와 관련된 기후 리스크를 이해하고 선택하도록 설계되었다. 그리고, 리스크를 분석하는 단계에서는 체크 리스트를 통해 각 리스크 원인별 리스크 분석을 수행하고 해당 위험과 관련된 재무 경로를 선택하도록 구성되어 있으며, 마지막으로 리스크 평가하는 단계

에서는 해당 정보를 기반으로 기후 리스크 확률을 반영한 예상 재무현황을 생성하도록 구성되어 있다.

본 연구에서는 기후변화 리스크 평가 시스템(CRAS)을 활용한 물 산업체의 재무적 리스크를 분석하기 위하여 다음과 같은 절차로 개별 기업의 기후변화 리스크 평가를 진행하였다.

먼저 상황설정 단계에서는 공신력 있는 정보를 활용한 기업 정보를 입력하기 위해 신용정보기관이 보유한 개별 기업 재무정보와 본사 기준의 지리적 정보를 활용하였으며, 경제적 시나리오는 일관성 있는 분석과 대외 환경 등을 고려하여 현재 경제상태 유지, 평균 성장(매년 1% 성장), 저성장(매년 -0.5% 성장), 고성장(매년 2% 성장) 중 현재 경제상태 유지로 설정하였다.

두 번째, 위험을 식별하는 단계에서는 폭염, 한파, 호우, 폭설 등 4가지 기후요인별 산업체들이 당면할 수 있는 9

Table 1. Types of risks arising from climate change

| Types of risks |   | Types of risks |   |
|----------------|---|----------------|---|
| SR1            | Risk of human caused by heat waves                  | SR19           | Risk of human caused by heavy rain                  |
| SR2            | Risk of structure and building caused by heat wave  | SR20           | Risk of structure and building caused by cold waves |
| SR3            | Risk of machines and tools caused by heat wave      | SR21           | Risk of machines and tools caused by heavy rain     |
| SR4            | Risk of raw materials caused by heat wave           | SR22           | Risk of raw materials caused by heavy rain          |
| SR5            | Risk of finished goods by heat wave                 | SR23           | Risk of finished goods by heavy rain                |
| SR6            | Risk of transportation caused by heat wave          | SR24           | Risk of transportation caused by heavy rain         |
| SR7            | Risk to sales by heat wave                          | SR25           | Risk to sales by heavy rain                         |
| SR8            | Risk in business and management by heat wave        | SR26           | Risk in business and management by heavy rain       |
| SR9            | Risk in the process of production by heat wave      | SR27           | Risk in the process of production by heavy rain     |
| SR10           | Risk of human caused by cold waves                  | SR28           | Risk of human caused by heavy snow                  |
| SR11           | Risk of structure and building caused by cold waves | SR29           | Risk of structure and building caused by heavy snow |
| SR12           | Risk of machines and tools caused by cold waves     | SR30           | Risk of machines and tools caused by heavy snow     |
| SR13           | Risk of raw materials caused by cold waves          | SR31           | Risk of raw materials caused by heavy snow          |
| SR14           | Risk of finished goods by cold waves                | SR32           | Risk of finished goods by heavy snow                |
| SR15           | Risk of transportation caused by cold waves         | SR33           | Risk of transportation caused by heavy snow         |
| SR16           | Risk to sales by cold waves                         | SR34           | Risk to sales by heavy snow                         |
| SR17           | Risk in business and management by cold waves       | SR35           | Risk in business and management by heavy snow       |
| SR18           | Risk in the process of production by cold waves     | SR36           | Risk in the process of production by heavy snow     |

험과 관찰전 어떠한 사전확률을 할당하기 보다는 실험과 관찰을 통하여 얻은 결과를 추가적인 정보로 하여 실험과 관찰 이전의 확률을 수정하여 다시 확률(사후확률)을 산정하는 방법이다. 베이지안 추론은 사전분포와 사후분포의 확률값을 결정하는 방법으로서 사전확률 분포에 대한 정보를 알 수 없는 미지의 영역 일 때, 사전확률 분포를 무정적 사전분포(noninformative prior)의 개념을 도입하여 가정할 수 있다.

- 2) 폭염 : 일최고기온이 33~35℃ 이상인 상태가 2일 이상 지속될 경우, 한파 : 아침 최저기온 전날 대비 10~15℃ 이상 하강하여 3℃ 이하이고 평년값보다 3℃가 낮을 때 또는 최저기온 -12~15℃ 이하가 2일 이상 지속될 경우, 호우 : 6시간 강우량 70~110 mm 이상 또는 12시간 강우량 110~180 mm 이상인 경우, 폭설 : 24시간 신적설량 5~20 cm 이상인 경우

가지 피해(사람, 구조적 시설물, 도구적 시설물, 원재료, 완성품, 운송, 매출액, 영업관리, 생산과정)로 분류하고 총 36가지의 산업체 리스크를 설정하였다.

마지막으로 위험을 분석하는 단계에서는 물 산업체의 의사결정자 또는 관련 부서 담당자를 중심으로 20개 항목으로 구성된 체크리스트를 활용하여 리스크 발생 가능성을 진단하였으며, 리스크에 따른 피해분류는 기후변화로 인한 물 산업체의 매출 변화를 중심으로 결과를 도출하기 위하여 매출과 직접적인 피해, 매출원가와의 직접적인 피해, 판매 및 관리상의 피해 중 매출과의 직접적인 피해로 설정하여 기업별 경제시나리오에 따른 재무현황 변화 추이와 기후변화 시나리오(RCP 4.5, RCP 8.5)에 대한 물 산업체의 재무적 리스크를 예측하였다.

**3.3 자료 수집방법**

기후변화에 따른 물 산업체 재무적 리스크를 분석하기 위하여 개별 기업의 상황을 확보하고자 물 산업을 영위 중인 기업을 대상으로 ‘기후변화에 따른 리스크 평가’ 조사를 진행하였다. 조사서는 응답자 정보 외에 기후변화에 따른 이상 기후 인식현황과 최근 5년간 이상기후로 인한 피해현황, 기후변화 리스크 대응현황, 리스크 원인별 예상 피해 규모, 9가지 피해 유형별 예상 피해 규모 등으로 구성하였다(Table 2).

조사는 기업의 의사결정자 또는 관련 부서담당자를 대

Table 2. Major contents of the risk assessment survey

| -   | Major contents   | Method   |
|---|--|--|
| Respondent information                        | Name, position, affiliation, contact information, gender, age group, working years | Free answer, Multiple choice                     |
| Perception of climate change & status of risk | Perception of extreme weather due to climate change                                | 11-point scale                                   |
|   | Status of risk due to extreme weather conditions                                   | Cases and scale of risk over the last five years |
| Climate change risk assessment                | Status of response to climate change risk  | 5-point scale (20 questions)                     |
|   | Estimated amount of damage due to extreme weather                                  | 11-point scale (by 4 extreme weather)            |
|   | Estimated amount of damage by types of risks                                       | 11-point scale (by risk types)                   |

3) 물 산업을 영위 중인 기업 중 연락처(전화번호, 이메일 등)를 보유한 기업

상으로 서면, 이메일 등의 방법으로 총 869사<sup>3)</sup>를 대상으로 조사서를 배포하였으며, 조사 기간은 2019년 8월 1일부터 9월 20일, 2020년 1월 2일부터 2월 7일 등 2차례에 걸쳐 조사를 진행하여 회수된 51부를 본 연구의 재무적 리스크 분석에 활용하였다.

**3.4 표본 특성**

기후변화에 따른 리스크 평가 조사에 응답한 51개사의 기업 특성을 살펴보면 먼저 업종의 경우 제조업을 영위 중인 기업이 31.3%를 차지하는 것으로 나타났으며, 건설업이 21.6%를 차지하는 것으로 나타났다. 기업규모는 응답 기업의 13.7%가 대기업으로 나타났으며, 중견기업과 중소기업은 각각 39.2%, 47.1%로 나타났다. 기업의 소재지는 경기도가 41.2%로 가장 높은 비중을 차지하였으며, 서울에 소재한 기업 또한 35.3%로 높게 나타났다. 마지막으로 기업 유형은 외감기업이 51.0%로 나타났으며, 일반법인과 상장기업 비중은 각각 27.5%, 19.6%로 나타났다(Table 3).

Table 3. Analysis of responding company

| Classification |                      | No. | %    | Classification |                          | No.                 | %    |     |
|----------------|----------------------|-----|------|----------------|--------------------------|---------------------|------|-----|
| Sector         | Manufacturing        | 16  | 31.3 | Size           | Large company            | 7                   | 13.7 |     |
|                | Construction         | 11  | 21.6 |                | Middle sized company     | 20                  | 39.2 |     |
|                | Etc.                 | 24  | 47.1 |                | Small company            | 24                  | 47.1 |     |
|                | Total                | 51  | 100  |                | Total                    | 51                  | 100  |     |
| Location       | Gangwon province     | 1   | 2.0  | Type           | Listed company           | 10                  | 19.6 |     |
|                | Gyeonggi province    | 21  | 41.2 |                | Foreign-examined company | 26                  | 51.0 |     |
|                | Gyeongsang province  | 4   | 7.8  |                | General company          | 14                  | 27.4 |     |
|                | Daejeon              | 5   | 9.8  |                | Business                 | Individual business | 1    | 2.0 |
|                | Seoul                | 18  | 35.3 |                |                          | Total               | 51   | 100 |
|                | Chungcheong province | 2   | 3.9  |                |                          |                     |      |     |
| Total          | 51                   | 100 |      |                |                          |                     |      |     |

\*Etc. sectors : water supply, sewage and waste disposal, raw material recovery, professional, scientific and technological services and etc.

응답기업의 재무현황을 살펴보면 특정 대기업들로 인해 평균 매출액 및 매출원가가 각각 1조 6,194억 원, 1조 3,842억 원으로 나타났으며, 평균 판매비 및 관리비 또한 1,718억 원으로 높게 나타났다. 이외에 평균 유형자산1(건물 및 구축물 관련)과 평균 유형자산2(기계장치 및 기타), 평균 재고자산 또한 각각 1,098억 원, 1,382억 원, 1,102억 원으로 나타났다(Table 4).

업종 및 기업 규모별 응답 기업의 재무현황을 살펴보면

특정 대기업으로 인해 매출액, 매출원가, 판매비 및 관리비, 유형자산1, 유형자산2, 재고자산 등 모든 재무항목이 제조업을 영위 중인 대기업에서 가장 높게 나타났으며, 매출원가를 제외하고 건설업을 영위 중인 중소기업의 재무현황이 가장 낮게 나타났다. 업종별로는 건설업의 경우 매출액, 매출원가, 재고자산 등이 타 업종 대비 높게 나타났으나, 판매비 및 관리비, 유형자산1, 유형자산2 등은 제조업이 높게 나타났다(Table 5).

Table 4. Financial status of the responding company

(Unit: 100 million won)

|       | Sales amount | Sales cost | Selling, administrative expense | Tangible asset 1 (building) | Tangible asset 2 (machine) | Inventory |
|-------|--------------|------------|---------------------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------|
| Aver. | 16,194       | 13,842     | 1,718                           | 1,098                       | 1,382                      | 1,102     |
| Min.  | 0.78         | 0.66       | 0.14                            | 0.02                        | 0.07                       | 0.13      |
| Max.  | 299,820      | 236,137    | 58,806                          | 45,450                      | 55,199                     | 15,054    |

Table 5. Financial status of the responding company by sectors and size based on average value

| Classification   |               | Size of Company |        |       | Total  |
|--|---------------|-----------------|--------|-------|--------|
|  |               | large           | middle | Small |        |
| No. of company   | Manufacturing | 1               | -      | 15    | 16     |
|  | Construction  | 5               | 4      | 2     | 11     |
|  | Etc.          | 1               | 16     | 7     | 24     |
|  | Total         | 7               | 20     | 24    | 51     |
| Sales amount<br>(Unit: 100 million won)                    | Manufacturing | 299,820         | -      | 111   | 18,843 |
|  | Construction  | 75,056          | 30,758 | 102   | 45,320 |
|  | Etc.          | 1,555           | 1,378  | 330   | 1,080  |
|  | Total         | 96,665          | 7,254  | 174   | 16,194 |
| Sales Cost<br>(Unit: 100 million won)                      | Manufacturing | 236,137         | -      | 78    | 14,832 |
|  | Construction  | 67,301          | 27,854 | 101   | 40,739 |
|  | Etc.          | 1,356           | 1,082  | 267   | 856    |
|  | Total         | 82,000          | 6,436  | 135   | 13,842 |
| Selling, administrative expense<br>(Unit: 100 million won) | Manufacturing | 58,806          | -      | 23    | 3,697  |
|  | Construction  | 3,357           | 1,193  | 14    | 1,962  |
|  | Etc.          | 97              | 403    | 46    | 286    |
|  | Total         | 10,812          | 561    | 29    | 1,718  |
| Tangible asset 1 (building)<br>(Unit: 100 million won)     | Manufacturing | 45,450          | -      | 12    | 2,852  |
|  | Construction  | 1,413           | 234    | 23    | 731    |
|  | Etc.          | 7               | 134    | 25    | 97     |
|  | Total         | 7,503           | 154    | 17    | 1,098  |
| Tangible asset 2 (machine)<br>(Unit: 100 million won)      | Manufacturing | 55,199          | -      | 23    | 3,472  |
|  | Construction  | 1,411           | 1,512  | 12    | 1,194  |
|  | Etc.          | 25              | 97     | 33    | 75     |
|  | Total         | 8,897           | 380    | 25    | 1,382  |
| Inventory<br>(Unit: 100 million won)                       | Manufacturing | 15,054          | -      | 23    | 962    |
|  | Construction  | 5,997           | 2,209  | 8     | 3,531  |
|  | Etc.          | 5               | 115    | 19    | 83     |
|  | Total         | 6,435           | 534    | 20    | 1,102  |

응답자 특성을 살펴보면 남성이 94.1%, 여성이 5.9%로 나타났으며, 직위는 부서장급이 49.0%로 가장 높은 비중을 차지하는 것으로 나타났다. 연령대는 40대가 41.2%, 50대가 39.2%로 높은 비중을 차지하는 것으로 나타났으며, 종사연수는 20년 이상이 45.1%, 10 ~ 20년 미만이 35.3%로 10년 이상 근속연수를 보유한 응답자가 전체 80.4%를 차지하는 것으로 나타났다.

**3.5 실증 분석**

본 연구에서는 수집된 자료를 바탕으로 기후변화 리스크 평가 시스템(CRAS)을 사용하여 기후변화 시나리오별 물 산업체의 향후 예상되는 재무적 리스크 규모를 도출하였다. 분석방법은 Table 6과 같이 유형별 평균 분석 중심으로 결과를 도출하였다. 분석은 응답기업의 특성을 고려하여 업종별, 기업 규모별로 세분화하여 분석을 진행하였으며, 다음의 절차를 통해 재무적 피해 규모 예측하였다.

첫 번째, 기후변화 체감 및 피해 현황 분석에서는 수집된 자료를 기반으로 항목별 기술통계 분석을 통해 기업 유형별 평균 분석을 실시하였다. 두 번째, 기후변화 시나리오별 피해 규모 분석에서는 기후변화 시나리오(RCP 4.5, RCP 8.5<sup>4)</sup>)에 따른 폭염, 한파, 호우, 폭설 등 4가지 유형별 피해 규모와 종합적인 피해 규모를 도출하기 위해 기후변화 리스크 평가 시스템(CRAS)을 통해 도출된 개별 기업의 결과 값을 활용하여 평균분석을 실시하였다(Table 6).

**4. 분석결과**

**4.1 물산업체 기후변화 체감 및 피해 현황**

기후변화에 따른 이상기후 증가빈도, 강도, 피해 현황 등 물 산업체들의 기후 리스크 체감도를 조사한 결과, 전체 응답기업의 기후변화 체감도 평균은 7.55점(10점 만점)으로 나타났다. 기업 규모별로는 기업 규모가 큰 대기업일수록 평균 체감도(7.86점)가 높게 나타났으며, 중견(7.55점), 중소기업(7.46점) 순으로 체감도가 나타났다. 대·중소기업 모두 기후변화에 대한 인식하고 있으나 중소기업의 경우 대기업과 중견기업보다 인식도가 낮은 것으로 나타났다. 물 산업체 업종별로는 제조업과 건설업보다 기타업종에서 기후변화 체감도가 높게 나타났다(Table 7).

Table 6. Methods for analyzing financial risk of the water industries

| Classification                                      | Survey contents   | Method   |
|---|---|--|
| Status of climate change perception and risk        | Status of climate change perception                                     | Analysis of average score                        |
|   | Status of climate change risk   | Presenting major risk cases                      |
|   | Status of climate change risk countermeasure                            | Analysis of average score                        |
|   | Estimated risk severity by types of extreme weather in the future       |  |
|   | Estimated risk severity by risk types in the Future                     |  |
| Estimation of risk scale by climate change scenario | Estimation of financial risk caused by heat wave                        | Analysis of average score based on the CRAS tool |
|   | Estimation of financial risk caused by cold wave                        |  |
|   | Estimation of financial risk caused by heavy rain                       |  |
|   | Estimation of financial risk caused by heavy snow                       |  |
|   | Estimation of total financial risk caused by 4 extreme weather elements |  |

Table 7. Status of climate change perception by company size and sectors

| Classification | Company size |        |       | Total |
|----------------|--------------|--------|-------|-------|
|                | Large        | Middle | Small |       |
| Manufacturing  | 6.00         | -      | 7.27  | 7.19  |
| Construction   | 8.00         | 6.25   | 8.50  | 7.45  |
| Etc.           | 9.00         | 7.88   | 7.57  | 7.83  |
| Total          | 7.86         | 7.55   | 7.46  | 7.55  |

또한, 응답기업의 기후변화에 따른 피해사례를 구체적으로 조사한 결과 최근 5년간 호우로 인한 피해사례가 10건 이상 발생하였으며, 이외에도 한파 및 폭염에 의한 피해가 발생한 것으로 나타났다(Table 8). 특히 2019년에는 호우로 인해 공사현장이 침수되어 인명피해 또한 발생한 것으로 나타났다(Table 8).

4) RCP(Representative Concentration Pathways)는 향후 온실가스 배출량과 대기 중 농도가 2100년까지 어떻게 전개될지 나타내는 경로 시나리오로 RCP 4.5은 온실가스 저감 정책이 상당히 실행되는 경우(CO<sub>2</sub> 농도 540 ppm)의 기후변화 시나리오를 의미하며, RCP 8.5는 현재 추세로 온실가스가 배출될 경우(CO<sub>2</sub> 농도 940 ppm)의 기후변화 시나리오를 의미한다(IPCC, 2014).



Table 8. Cases of damage from climate change

| Time       | Element                              | Cases   |
|------------|--------------------------------------|---|
| Frequently | Heat wave<br>Cold wave<br>Heavy rain | Increased labor costs due to delays in construction by worsening weather conditions |
| Frequently | Heavy rain                           | Litigation due to damage to facilities and loss of life with heavy rainfall         |
| 2019       | Heavy rain                           | casualties from flooding at the construction site                                   |
| 2019       | Heavy rain                           | Increase the numbers of maintenance for the on-site measurement system              |
| 2019       | Heavy rain                           | Damage to building  |
| 2019       | Heavy rain                           | Partial flooding of marine test site  |
| 2018       | Heat wave                            | Malfunction of measuring instrument   |
| 2018       | Heavy rain                           | Damage to the instrument due to excessive lightning.                                |
| 2017       | Heavy rain                           | Flooding of non-point pollutants treatment facility                                 |
| 2017       | Cold wave                            | Construction delay  |
| 2016       | Heavy rain                           | Partial damage and flood damage to the roof of a factory building                   |
| 2016       | Heavy rain                           | Damage to demonstration facilities installed in the lake                            |
| 2015       | Heavy rain                           | Loss of flowmeter due to rapid increase in flow rate in sewerage                    |
| 2015       | Heavy rain                           | Flooding of building and machines   |
| 2014       | Heavy rain                           | Flooding of sewage treatment facilities   |

Table 9. Checklist of climate risk response

|   | Contents of the checklist  |
|---|--|
| Risk perception   | Do you recognize the risks that may arise and do you estimate the amount of risk appropriately?  |
|   | Are you considering preparing a risk manual and the need to hire an outside consulting firm to cope with climate risk?                     |
| Measures to prevent and minimize risk                   | Do you have a quick response plan under the direction of the relevant person in the event of a risk and emergency?                         |
|   | Are there any measures within the company to deal with risk and damages such as recovery costs and inventory of recovery materials?        |
|   | Does your company form a consultative body to deal with damages such as repair, construction, equipment, medical and financial consulting? |
| Organization for climate change risk management         | Is there a proper network for establishing countermeasures headquarters, expert committees, etc. and appointing the right person?          |
|   | Do you have procedures for decision-making?  |
| Readiness of the climate change risk manual (guideline) | Does the CEO have an immediate leadership posture and decision-making policy?  |
|   | Is there a manual to pro-actively respond to risk and damage?  |
|   | Does it include contents of the authority to respond immediately?  |
|   | Is there a manual (guideline) for preventing secondary and additional damage?  |
| Proper training for the emergency                       | Do you provide training and measure performance to respond immediately to the risk?  |
|   | Are the manual re-examined to improve its utilization and responsiveness?  |
| Reserving supplies and means of delivery                | Are you checking the list of delivery methods, etc. by comparing the inventory ledger with the goods in kind?                              |
| Measures for rapid recovery                             | Are you checking whether you are ready to quickly identify the damage?   |
|   | Do you have several transportation and sales networks ready in case of emergency?  |
|   | Do you have extra transportation and communication except public and usual system?   |
|   | Do you have a joint strategy with local residents?   |
| Insurance readiness for the risk                        | Are you checking whether the insurance policy is appropriate, omitted, or overrun?   |
|   | Are we preparing reserves, restoration costs, etc. and analyzing the validity of the amount?   |

Table 10. Status of climate change response by company size and sectors

| Classification | Company size |        |       | Total |
|----------------|--------------|--------|-------|-------|
|                | Large        | middle | Small |       |
| Manufacturing  | 48.00        | -      | 77.09 | 75.27 |
| Construction   | 50.60        | 65.50  | 69.50 | 59.45 |
| etc.           | 67.00        | 69.00  | 73.29 | 70.17 |
| Total          | 52.57        | 68.30  | 75.35 | 69.46 |

#### 4.2 물 산업체들의 기후리스크 대응현황

기후변화 리스크 평가 시스템(CRAS)의 리스크 평가 체크 리스트를 활용하여 응답 기업의 기후 리스크 인식과 피해 대책 방안 마련 여부, 관련 조직 및 매뉴얼 준비, 재해보험 마련 등의 준비 여부에 대해 20개 문항을 조사하였다(Table 9).

물 산업체들의 기후변화 리스크 대응현황을 분석한 결과(Table 10), 규모별, 업종별 물 산업체들의 리스크 대응현황 평균점수는 69.46점(100점 만점)<sup>5)</sup>으로 규모별로는 대기업이 52.57점으로 리스크 대응에 가장 양호하였고 이후 중견(68.30점), 중소기업(75.35)순으로 기후변화 리스크 대응부문에서도 중소기업이 가장 취약한 것으로 나타났다. 업종별로는 보면, 건설업이 59.45점으로 리스크 대응에 가장 양호하였고, 이후 기타업종이 70.17점, 제조업이 75.27점 순으로 제조업이 리스크 대응에 가장 취약한 것으로 나타났다. 규모별 및 업종별 리스크 대응현황을 종합하면, 제조업을 영위하는 중소기업이 77.09점으로 타 유형 대비 가장 기후 리스크 대응에 미비한 것으로 나타났으며, 이어 기타 업종을 영위 중인 중소기업이 73.29점으로 두 번째로 미비한 것으로 나타났다. 반면, 제조업을 영위 중인 대기업의 경우 기후변화 리스크 대응현황이 48.00점으로 가장 양호한 수준으로 나타났으며, 건설업을 영위 중인 대기업 또한 50.60점으로 평균점수(69.46점) 대비 양호한 수준으로 나타났다. 이를 통해 물산업체 규모별로는 중소기업들이 리스크 대응에 가장 취약하였으며, 업종별로는 제조업과 기타업종이 평균보다 점수가 높고 건설업에 비해 기후 리스크에 취약한 것으로 나타났다.

세부적으로 살펴보면(Table 11), 물 산업체 규모별, 업종별 기후 리스크 대응이 취약하다고 답변한 5개의 우선

순위를 살펴보면 지역주민과 공동전략 마련, 피해 예방을 위한 내부 대책협의체 구성, 리스크에 대한 인식, 긴급사태를 대비한 매뉴얼 활용, 2차 추가피해 방지를 위한 매뉴얼 부족 등의 순으로 나타났다. 대기업의 경우 기후 리스크 대응 중 가장 취약한 5개 우선순위는 지역주민과 공동전략 마련, 리스크 매뉴얼 마련, 기후 리스크 인식, 기후 리스크 대비 협의체 구성, 수송 및 판매망 복수 준비 등의 순이었다. 중견기업의 경우 지역주민과 공동전략 마련, 수송 및 판매망 복수 준비, 리스크 매뉴얼 마련, 매뉴얼 활용, 구원물자 비축과 전달수단 확보 등의 순이었으며, 중소기업의 경우 지역주민과 공동전략 마련, 기후 리스크 대비 협의체 구성, 기후 리스크 매뉴얼 마련, 기후 리스크 인식, 각종재해 대비 준비금, 복구비용 분석과 준비 등의 순이었다.

종합하면 기업 규모별로는 기업 규모가 작은 중소기업의 기후변화 리스크 대응현황이 상대적으로 미비하게 나타났다. 중소기업은 지역주민과의 공동 전략 마련, 피해 발생에 대한 대책방안 마련 등의 항목에서 대응현황이 미비한 것으로 나타났다. 업종별로는 제조업을 영위 중인 기업의 기후변화 리스크 대응현황이 건설업 및 기타 산업 대비 상대적으로 미비하게 나타났으며, 대응현황이 미비한 항목은 중소기업과 유사하게 지역주민과의 공동 전략 마련, 피해 발생에 대한 대책방안 마련 등인 것으로 나타났다.

더불어, 폭염, 한파, 호우, 폭설 등 기후변화 유형별 향후 예상되는 피해 규모 심각성<sup>6)</sup> 전망을 조사한 결과 호우(6.16점), 폭염(5.49점), 한파(5.27점), 폭설(4.92점) 순으로 피해가 심각할 것으로 조사되었다. 하지만, 기업 규모 및 업종에 따라 기후변화 유형별 예상되는 피해 규모의 심각성은 차이가 있을 것으로 전망하였다. 대기업의 경우 호우(7.57점), 폭염(7점), 폭설(6.43점), 한파(6점)순으로 피해가 심각할 것이라고 전망하였으며, 중소기업의 경우는 호우(6.13점), 한파(5.33점), 폭염(5.21점), 폭설(4.83점)순으로 피해가 심각할 것이라고 응답하였다. 업종별로는 제조업의 경우 호우(5.5점)와 폭염(5.5점)에 의한 피해가 가장 크고 이후 한파(5.25점), 폭설(4.44점) 순으로 응답하였으며, 건설업은 호우(7.91점), 폭설(6.82점), 폭염(6.73점), 한파(5.64점) 순으로, 기타 산업은 호우(5.79점), 한파(5.13점), 폭염(4.92점), 폭설(4.38점) 순으로 피해가 심각할 것으로 전망하였다(Table 12).

5) 20점 : 매우 양호, 40점 : 양호, 60점 : 보통, 80점 : 미비, 100점 : 매우 미비

6) 0점(전혀 피해가 없을 것이다.) ↔ 10점(피해가 매우 심각할 것이다.)

Table 11. Comprehensive response status against climate change risks

| Classification                        |    | Size  |        |       | Sector        |              |       | Total |
|---------------------------------------|----|-------|--------|-------|---------------|--------------|-------|-------|
|                                       |    | Large | Middle | Small | Manufacturing | Construction | etc.  |       |
| Total score                           |    | 52.57 | 68.30  | 75.35 | 75.27         | 59.45        | 70.17 | 69.46 |
| Risk perception                       | 1  | 3.43  | 3.35   | 4.04  | 3.94          | 3.45         | 3.63  | 3.69  |
|                                       | 2  | 3.43  | 3.70   | 3.75  | 3.94          | 3.55         | 3.58  | 3.69  |
| Measures against risk                 | 3  | 2.57  | 3.05   | 3.46  | 3.25          | 2.82         | 3.29  | 3.18  |
|                                       | 4  | 2.57  | 3.05   | 3.71  | 3.63          | 2.82         | 3.29  | 3.29  |
|                                       | 5  | 3.29  | 3.60   | 4.21  | 4.19          | 3.45         | 3.79  | 3.84  |
| Organization for risk management      | 6  | 2.71  | 3.25   | 3.63  | 3.63          | 3.00         | 3.33  | 3.36  |
|                                       | 7  | 1.86  | 3.15   | 3.25  | 3.38          | 2.18         | 3.17  | 3.02  |
| Risk manual                           | 8  | 1.86  | 2.95   | 3.50  | 3.63          | 2.18         | 3.08  | 3.06  |
|                                       | 9  | 2.14  | 3.55   | 3.83  | 3.88          | 2.64         | 3.63  | 3.49  |
|                                       | 10 | 2.43  | 3.50   | 3.83  | 3.81          | 2.82         | 3.63  | 3.51  |
|                                       | 11 | 2.57  | 3.50   | 4.04  | 4.06          | 3.00         | 3.63  | 3.63  |
| Proper training                       | 12 | 2.29  | 3.35   | 3.92  | 3.81          | 2.82         | 3.54  | 3.47  |
|                                       | 13 | 2.57  | 3.65   | 4.00  | 4.00          | 3.18         | 3.67  | 3.67  |
| Reserving supplies, means of delivery | 14 | 2.57  | 3.60   | 3.46  | 3.56          | 3.00         | 3.46  | 3.39  |
| Measures for rapid recovery           | 15 | 2.29  | 3.20   | 3.71  | 3.63          | 2.73         | 3.38  | 3.31  |
|                                       | 16 | 3.00  | 3.80   | 3.65  | 3.41          | 3.55         | 3.79  | 3.62  |
|                                       | 17 | 2.71  | 3.45   | 3.40  | 3.29          | 3.18         | 3.42  | 3.33  |
|                                       | 18 | 3.43  | 3.80   | 4.25  | 4.31          | 3.64         | 3.88  | 3.96  |
| Insurance readiness for the risk      | 19 | 2.00  | 3.25   | 3.71  | 3.88          | 2.27         | 3.38  | 3.29  |
|                                       | 20 | 2.86  | 3.55   | 4.00  | 4.06          | 3.18         | 3.63  | 3.67  |

Table 12. Expectation of risk severity by types of extreme weather in the future

| Classification |               | Company size |        |       | Total |
|----------------|---------------|--------------|--------|-------|-------|
|                |               | Large        | Middle | Small |       |
| Heat wave      | Manufacturing | 8.00         | -      | 5.33  | 5.50  |
|                | Construction  | 7.00         | 7.00   | 5.50  | 6.73  |
|                | Etc.          | 6.00         | 4.88   | 4.86  | 4.92  |
|                | Total         | 7.00         | 5.30   | 5.21  | 5.49  |
| Cold wave      | Manufacturing | 5.00         | -      | 5.27  | 5.25  |
|                | Construction  | 5.60         | 6.50   | 4.00  | 5.64  |
|                | Etc.          | 9.00         | 4.56   | 5.86  | 5.13  |
|                | Total         | 6.00         | 4.95   | 5.33  | 5.27  |
| Heavy rain     | Manufacturing | 5.00         | -      | 5.53  | 5.50  |
|                | Construction  | 8.00         | 7.25   | 9.00  | 7.91  |
|                | Etc.          | 8.00         | 5.31   | 6.57  | 5.79  |
|                | Total         | 7.57         | 5.70   | 6.13  | 6.16  |
| Heavy Rain     | Manufacturing | 4.00         | -      | 4.47  | 4.44  |
|                | Construction  | 6.80         | 6.50   | 7.50  | 6.82  |
|                | Etc.          | 7.00         | 4.00   | 4.86  | 4.38  |
|                | Total         | 6.43         | 4.50   | 4.83  | 4.92  |

4.3 기후변화 시나리오별 피해 규모 추정결과

본 연구에서는 기후변화에 따른 물 산업체들의 재무적 리스크를 분석하기 위해 응답 기업의 재무현황과 기후변화 리스크 대응현황 등을 기반으로 기후변화 리스크 평가 시스템(CRAS)을 사용하여 기후변화 시나리오(RCP 4.5, RCP 8.5)에 따른 폭염, 한파, 호우, 폭설 등 4가지 유형별 피해 규모와 종합적인 피해 규모를 도출하였다. 이를 위해 모든 기업의 경제시나리오는 일관성 있는 분석과 대외 환경 등을 고려하여 현재 경제상태가 유지되는 형태로 설정하였으며, 리스크에 따른 피해분류 또한 기후변화로 인한 물 산업체의 매출 변화를 중심으로 피해 규모를 추정하기 위해 매출과의 직접적인 피해로 설정하여 재무적 취약성을 도출하였다.

그 결과, 매출액, 매출원가, 판매비 및 관리비, 유형자산 1(건물/구축물), 유형자산2(기계장치/기타), 재고자산 등 6개 재무항목 중 매출원가와 판매비 및 관리비는 기후변화

시나리오에 따른 경제적 피해가 발생하지 않는 것으로 나타났다으며, 매출액, 유형자산1, 유형자산2, 재고자산 만이 기후변화 시나리오에 따라 피해가 발생한 것으로 나타났다.

먼저, 폭염에 의한 피해 규모를 추정한 결과 온실가스 저감 정책이 상당히 실행되는 RCP 4.5일 경우 2091 ~ 2100년 평균 매출액은 최소(하한액 기준) 13.2% ~ 최대(상한액 기준) 18.2%까지 감소할 것으로 나타났다. 이외에도 건물/구축물 관련 평균 유형자산1은 최소 1.5% ~ 최대 2.3%, 기계장치 및 기타 관련 평균 유형자산2는 최소 2.1% ~ 최대 3.0%, 평균 재고자산은 최소 1.6% ~ 최대 2.4%까지 감소할 것으로 추정되었다. 하지만, 현재 추세로 온실가스가 배출되는 RCP 8.5일 경우 2091 ~ 2100년 평균 매출액은 최소 25.3% ~ 최대 34.8%로 RCP 4.5 대비 약 1.9배에 달하는 피해가 발생할 것으로 분석되었다. 평균 유형자산1, 평균 유형자산2, 평균 재고자산의 피해 규모 또한 RCP 4.5 대비 상한액 기준으로 각각 1.8%p, 2.5%p, 2.3%p 증가한 것으로 나타났다(Table 13, Table 14).

Table 13. Estimation of financial risk caused by heat wave based on RCP 4.5 scenario

| Year      | Sales amount |        |        | Tangible asset 1 (building) |       |       | Tangible asset 2 (machine) |       |       | Inventory |       |       |
|-----------|--------------|--------|--------|-----------------------------|-------|-------|----------------------------|-------|-------|-----------|-------|-------|
|           | Basis        | Low    | High   | Basis                       | Low   | High  | Basis                      | Low   | High  | Basis     | Low   | High  |
| 2021-2030 | 16,194       | 15,408 | 15,110 | 1,098                       | 1,092 | 1,088 | 1,382                      | 1,370 | 1,365 | 1,102     | 1,096 | 1,093 |
| 2031-2040 | 16,194       | 14,697 | 14,130 | 1,098                       | 1,087 | 1,081 | 1,382                      | 1,362 | 1,354 | 1,102     | 1,089 | 1,083 |
| 2041-2050 | 16,194       | 15,097 | 14,682 | 1,098                       | 1,090 | 1,085 | 1,382                      | 1,366 | 1,360 | 1,102     | 1,093 | 1,089 |
| 2051-2060 | 16,194       | 14,796 | 14,268 | 1,098                       | 1,087 | 1,081 | 1,382                      | 1,362 | 1,354 | 1,102     | 1,091 | 1,085 |
| 2061-2070 | 16,194       | 14,895 | 14,404 | 1,098                       | 1,088 | 1,083 | 1,382                      | 1,364 | 1,356 | 1,102     | 1,091 | 1,086 |
| 2071-2080 | 16,194       | 14,462 | 13,806 | 1,098                       | 1,085 | 1,078 | 1,382                      | 1,358 | 1,348 | 1,102     | 1,088 | 1,081 |
| 2081-2090 | 16,194       | 14,507 | 13,869 | 1,098                       | 1,085 | 1,078 | 1,382                      | 1,358 | 1,348 | 1,102     | 1,088 | 1,082 |
| 2091-2100 | 16,194       | 14,055 | 13,246 | 1,098                       | 1,082 | 1,073 | 1,382                      | 1,353 | 1,340 | 1,102     | 1,084 | 1,076 |

Table 14. Estimation of financial risk caused by heat wave based on RCP 8.5 scenario

| Year      | Sales amount |        |        | Tangible asset 1 (building) |       |       | Tangible asset 2 (machine) |       |       | Inventory |       |       |
|-----------|--------------|--------|--------|-----------------------------|-------|-------|----------------------------|-------|-------|-----------|-------|-------|
|           | Basis        | Low    | High   | Basis                       | Low   | High  | Basis                      | Low   | High  | Basis     | Low   | High  |
| 2021-2030 | 16,194       | 15,323 | 14,993 | 1,098                       | 1,091 | 1,088 | 1,382                      | 1,370 | 1,364 | 1,102     | 1,095 | 1,091 |
| 2031-2040 | 16,194       | 14,938 | 14,464 | 1,098                       | 1,089 | 1,083 | 1,382                      | 1,364 | 1,357 | 1,102     | 1,092 | 1,087 |
| 2041-2050 | 16,194       | 14,347 | 13,649 | 1,098                       | 1,084 | 1,077 | 1,382                      | 1,357 | 1,346 | 1,102     | 1,086 | 1,079 |
| 2051-2060 | 16,194       | 13,903 | 13,036 | 1,098                       | 1,081 | 1,072 | 1,382                      | 1,351 | 1,337 | 1,102     | 1,083 | 1,074 |
| 2061-2070 | 16,194       | 13,613 | 12,637 | 1,098                       | 1,079 | 1,069 | 1,382                      | 1,347 | 1,332 | 1,102     | 1,080 | 1,070 |
| 2071-2080 | 16,194       | 13,124 | 11,962 | 1,098                       | 1,076 | 1,063 | 1,382                      | 1,341 | 1,323 | 1,102     | 1,076 | 1,064 |
| 2081-2090 | 16,194       | 12,770 | 11,475 | 1,098                       | 1,074 | 1,060 | 1,382                      | 1,337 | 1,318 | 1,102     | 1,072 | 1,059 |
| 2091-2100 | 16,194       | 12,103 | 10,555 | 1,098                       | 1,069 | 1,053 | 1,382                      | 1,329 | 1,306 | 1,102     | 1,066 | 1,050 |

두 번째 기후 요인인 한파에 의한 물산업체들의 재무적 피해 규모는 폭염에 의한 피해와 달리 RCP 4.5일 경우 2031 ~ 2040년에 피해 규모가 가장 높게 나타났으며, 2091 ~ 2100년에는 피해 규모가 0.1% 미만인 것으로 나타났다. 2031 ~ 2040년 피해 규모를 살펴보면 평균 매출액은 최소 0.3% ~ 최대 0.5% 소폭 감소하였으며, 평균 유형자산<sup>2</sup>, 평균 재고자산 또한 상한액 기준으로 각각 0.1% 감소한 것으로 나타났다. 특히, 평균 유형자산<sup>1</sup>은 모든 시점에서 현재 대비 0.05% 미만의 피해가 발생한 것으로 나타났다. 하지만, RCP 8.5일 경우 2021 ~ 2030년의 피해 규모가 가장 높게 나타났으며, 해당 기간의 평균 매출액은 최소 0.5% ~ 최대 0.8%로 RCP 4.5 대비 높게 나타났다. 평균 유형자산<sup>1</sup>과 평균 유형자산<sup>2</sup>, 평균 재고자산 또한 RCP 4.5 대비 높게 나타났으나, 상한액 기준으로 각각 0.1% 수준의 피해만 발생한 것으로 나타났다(Table 15,

Table 16).

세 번째 기후 요인인 호우에 의한 재무적 피해 규모는 RCP 4.5일 경우 2061 ~ 2070년에 피해 규모가 가장 높게 나타났으며, RCP 8.5일 경우에는 2081 ~ 2090년의 피해 규모가 가장 높게 나타났다. RCP 4.5일 경우 2061 ~ 2070년 피해 규모는 평균 매출액이 최소 0.5% ~ 최대 0.6% 감소하였으며, 상한액 기준으로 평균 유형자산<sup>1</sup>과 평균 유형자산<sup>2</sup>, 재고자산 등은 각각 0.3%, 0.2%, 0.1% 감소한 것으로 나타났다. 그러나, RCP 8.5에서는 평균 매출액이 최소 0.3% ~ 최대 0.4% 감소하는 등 RCP 4.5 대비 감소폭은 낮게 나타났으며, 평균 유형자산<sup>1</sup>과 평균 유형자산<sup>2</sup>, 평균 재고자산의 상한액 기준 피해 규모 또한 RCP 4.5 대비 각각 0.1%p 낮은 수준의 피해만 발생한 것으로 나타났다(Table 17, Table 18).

Table 15. Estimation of financial risk caused by cold wave based on RCP 4.5 scenario

| Year      | Sales amount |        |        | Tangible asset 1 (building) |       |       | Tangible asset 2 (machine) |       |       | Inventory |       |       |
|-----------|--------------|--------|--------|-----------------------------|-------|-------|----------------------------|-------|-------|-----------|-------|-------|
|           | Basis        | Low    | High   | Basis                       | Low   | High  | Basis                      | Low   | High  | Basis     | Low   | High  |
| 2021-2030 | 16,194       | 16,146 | 16,125 | 1,098                       | 1,098 | 1,098 | 1,382                      | 1,381 | 1,381 | 1,102     | 1,102 | 1,102 |
| 2031-2040 | 16,194       | 16,139 | 16,116 | 1,098                       | 1,098 | 1,098 | 1,382                      | 1,381 | 1,381 | 1,102     | 1,102 | 1,102 |
| 2041-2050 | 16,194       | 16,166 | 16,153 | 1,098                       | 1,098 | 1,098 | 1,382                      | 1,382 | 1,382 | 1,102     | 1,102 | 1,102 |
| 2051-2060 | 16,194       | 16,190 | 16,188 | 1,098                       | 1,098 | 1,098 | 1,382                      | 1,382 | 1,382 | 1,102     | 1,102 | 1,102 |
| 2061-2070 | 16,194       | 16,194 | 16,193 | 1,098                       | 1,098 | 1,098 | 1,382                      | 1,382 | 1,382 | 1,102     | 1,102 | 1,102 |
| 2071-2080 | 16,194       | 16,190 | 16,188 | 1,098                       | 1,098 | 1,098 | 1,382                      | 1,382 | 1,382 | 1,102     | 1,102 | 1,102 |
| 2081-2090 | 16,194       | 16,190 | 16,188 | 1,098                       | 1,098 | 1,098 | 1,382                      | 1,382 | 1,382 | 1,102     | 1,102 | 1,102 |
| 2091-2100 | 16,194       | 16,193 | 16,193 | 1,098                       | 1,098 | 1,098 | 1,382                      | 1,382 | 1,382 | 1,102     | 1,102 | 1,102 |

Table 16. Estimation of financial risk caused by cold wave based on RCP 8.5 scenario

| Year      | Sales amount |        |        | Tangible asset 1 (building) |       |       | Tangible asset 2 (machine) |       |       | Inventory |       |       |
|-----------|--------------|--------|--------|-----------------------------|-------|-------|----------------------------|-------|-------|-----------|-------|-------|
|           | Basis        | Low    | High   | Basis                       | Low   | High  | Basis                      | Low   | High  | Basis     | Low   | High  |
| 2021-2030 | 16,194       | 16,106 | 16,068 | 1,098                       | 1,098 | 1,097 | 1,382                      | 1,381 | 1,381 | 1,102     | 1,102 | 1,101 |
| 2031-2040 | 16,194       | 16,123 | 16,093 | 1,098                       | 1,098 | 1,097 | 1,382                      | 1,381 | 1,381 | 1,102     | 1,102 | 1,102 |
| 2041-2050 | 16,194       | 16,189 | 16,187 | 1,098                       | 1,098 | 1,098 | 1,382                      | 1,382 | 1,382 | 1,102     | 1,102 | 1,102 |
| 2051-2060 | 16,194       | 16,173 | 16,164 | 1,098                       | 1,098 | 1,098 | 1,382                      | 1,382 | 1,382 | 1,102     | 1,102 | 1,102 |
| 2061-2070 | 16,194       | 16,185 | 16,182 | 1,098                       | 1,098 | 1,098 | 1,382                      | 1,382 | 1,382 | 1,102     | 1,102 | 1,102 |
| 2071-2080 | 16,194       | 16,194 | 16,194 | 1,098                       | 1,098 | 1,098 | 1,382                      | 1,382 | 1,382 | 1,102     | 1,102 | 1,102 |
| 2081-2090 | 16,194       | 16,194 | 16,194 | 1,098                       | 1,098 | 1,098 | 1,382                      | 1,382 | 1,382 | 1,102     | 1,102 | 1,102 |
| 2091-2100 | 16,194       | 16,194 | 16,194 | 1,098                       | 1,098 | 1,098 | 1,382                      | 1,382 | 1,382 | 1,102     | 1,102 | 1,102 |

Table 17. Estimation of financial risk caused by heavy rain based on RCP 4.5 scenario

| Year      | Sales amount |        |        | Tangible asset 1 (building) |       |       | Tangible asset 2 (machine) |       |       | Inventory |       |       |
|-----------|--------------|--------|--------|-----------------------------|-------|-------|----------------------------|-------|-------|-----------|-------|-------|
|           | Basis        | Low    | High   | Basis                       | Low   | High  | Basis                      | Low   | High  | Basis     | Low   | High  |
| 2021-2030 | 16,194       | 16,172 | 16,164 | 1,098                       | 1,097 | 1,097 | 1,382                      | 1,381 | 1,381 | 1,102     | 1,102 | 1,102 |
| 2031-2040 | 16,194       | 16,167 | 16,157 | 1,098                       | 1,097 | 1,097 | 1,382                      | 1,381 | 1,381 | 1,102     | 1,102 | 1,102 |
| 2041-2050 | 16,194       | 16,150 | 16,133 | 1,098                       | 1,097 | 1,096 | 1,382                      | 1,381 | 1,380 | 1,102     | 1,102 | 1,102 |
| 2051-2060 | 16,194       | 16,135 | 16,114 | 1,098                       | 1,096 | 1,096 | 1,382                      | 1,380 | 1,380 | 1,102     | 1,102 | 1,102 |
| 2061-2070 | 16,194       | 16,118 | 16,091 | 1,098                       | 1,095 | 1,095 | 1,382                      | 1,379 | 1,379 | 1,102     | 1,102 | 1,102 |
| 2071-2080 | 16,194       | 16,148 | 16,131 | 1,098                       | 1,097 | 1,096 | 1,382                      | 1,381 | 1,380 | 1,102     | 1,102 | 1,102 |
| 2081-2090 | 16,194       | 16,140 | 16,121 | 1,098                       | 1,096 | 1,096 | 1,382                      | 1,380 | 1,380 | 1,102     | 1,102 | 1,102 |
| 2091-2100 | 16,194       | 16,147 | 16,130 | 1,098                       | 1,096 | 1,096 | 1,382                      | 1,381 | 1,380 | 1,102     | 1,102 | 1,102 |

Table 18. Estimation of financial risk caused by heavy rain based on RCP 8.5 scenario

| Year      | Sales amount |        |        | Tangible asset 1 (building) |       |       | Tangible asset 2 (machine) |       |       | Inventory |       |       |
|-----------|--------------|--------|--------|-----------------------------|-------|-------|----------------------------|-------|-------|-----------|-------|-------|
|           | Basis        | Low    | High   | Basis                       | Low   | High  | Basis                      | Low   | High  | Basis     | Low   | High  |
| 2021-2030 | 16,194       | 16,156 | 16,142 | 1,098                       | 1,097 | 1,097 | 1,382                      | 1,381 | 1,381 | 1,102     | 1,102 | 1,102 |
| 2031-2040 | 16,194       | 16,169 | 16,160 | 1,098                       | 1,097 | 1,097 | 1,382                      | 1,381 | 1,381 | 1,102     | 1,102 | 1,102 |
| 2041-2050 | 16,194       | 16,160 | 16,148 | 1,098                       | 1,097 | 1,097 | 1,382                      | 1,381 | 1,381 | 1,102     | 1,102 | 1,102 |
| 2051-2060 | 16,194       | 16,150 | 16,134 | 1,098                       | 1,096 | 1,096 | 1,382                      | 1,381 | 1,380 | 1,102     | 1,102 | 1,102 |
| 2061-2070 | 16,194       | 16,148 | 16,132 | 1,098                       | 1,096 | 1,096 | 1,382                      | 1,381 | 1,380 | 1,102     | 1,102 | 1,102 |
| 2071-2080 | 16,194       | 16,150 | 16,134 | 1,098                       | 1,096 | 1,096 | 1,382                      | 1,381 | 1,380 | 1,102     | 1,102 | 1,102 |
| 2081-2090 | 16,194       | 16,143 | 16,125 | 1,098                       | 1,096 | 1,096 | 1,382                      | 1,380 | 1,380 | 1,102     | 1,102 | 1,102 |
| 2091-2100 | 16,194       | 16,157 | 16,143 | 1,098                       | 1,097 | 1,097 | 1,382                      | 1,381 | 1,381 | 1,102     | 1,102 | 1,102 |

Table 19. Estimation of financial risk caused by heavy snow based on RCP 4.5 scenario

| Year      | Sales amount |        |        | Tangible asset 1 (building) |       |       | Tangible asset 2 (machine) |       |       | Inventory |       |       |
|-----------|--------------|--------|--------|-----------------------------|-------|-------|----------------------------|-------|-------|-----------|-------|-------|
|           | Basis        | Low    | High   | Basis                       | Low   | High  | Basis                      | Low   | High  | Basis     | Low   | High  |
| 2021-2030 | 16,194       | 16,190 | 16,188 | 1,098                       | 1,098 | 1,098 | 1,382                      | 1,382 | 1,382 | 1,102     | 1,102 | 1,102 |
| 2031-2040 | 16,194       | 16,176 | 16,169 | 1,098                       | 1,098 | 1,098 | 1,382                      | 1,382 | 1,382 | 1,102     | 1,102 | 1,102 |
| 2041-2050 | 16,194       | 16,151 | 16,135 | 1,098                       | 1,097 | 1,097 | 1,382                      | 1,381 | 1,381 | 1,102     | 1,102 | 1,101 |
| 2051-2060 | 16,194       | 16,194 | 16,194 | 1,098                       | 1,098 | 1,098 | 1,382                      | 1,382 | 1,382 | 1,102     | 1,102 | 1,102 |
| 2061-2070 | 16,194       | 16,194 | 16,194 | 1,098                       | 1,098 | 1,098 | 1,382                      | 1,382 | 1,382 | 1,102     | 1,102 | 1,102 |
| 2071-2080 | 16,194       | 16,193 | 16,193 | 1,098                       | 1,098 | 1,098 | 1,382                      | 1,382 | 1,382 | 1,102     | 1,102 | 1,102 |
| 2081-2090 | 16,194       | 16,194 | 16,194 | 1,098                       | 1,098 | 1,098 | 1,382                      | 1,382 | 1,382 | 1,102     | 1,102 | 1,102 |
| 2091-2100 | 16,194       | 16,194 | 16,194 | 1,098                       | 1,098 | 1,098 | 1,382                      | 1,382 | 1,382 | 1,102     | 1,102 | 1,102 |

Table 20. Estimation of financial risk caused by heavy snow based on RCP 8.5 scenario

| Year      | Sales amount |        |        | Tangible asset 1 (building) |       |       | Tangible asset 2 (machine) |       |       | Inventory |       |       |
|-----------|--------------|--------|--------|-----------------------------|-------|-------|----------------------------|-------|-------|-----------|-------|-------|
|           | Basis        | Low    | High   | Basis                       | Low   | High  | Basis                      | Low   | High  | Basis     | Low   | High  |
| 2021-2030 | 16,194       | 16,152 | 16,136 | 1,098                       | 1,097 | 1,097 | 1,382                      | 1,382 | 1,381 | 1,102     | 1,102 | 1,102 |
| 2031-2040 | 16,194       | 16,190 | 16,189 | 1,098                       | 1,098 | 1,098 | 1,382                      | 1,382 | 1,382 | 1,102     | 1,102 | 1,102 |
| 2041-2050 | 16,194       | 16,171 | 16,162 | 1,098                       | 1,098 | 1,098 | 1,382                      | 1,382 | 1,382 | 1,102     | 1,102 | 1,102 |
| 2051-2060 | 16,194       | 16,180 | 16,175 | 1,098                       | 1,098 | 1,098 | 1,382                      | 1,382 | 1,382 | 1,102     | 1,102 | 1,102 |
| 2061-2070 | 16,194       | 16,162 | 16,150 | 1,098                       | 1,097 | 1,097 | 1,382                      | 1,382 | 1,381 | 1,102     | 1,102 | 1,102 |
| 2071-2080 | 16,194       | 16,194 | 16,194 | 1,098                       | 1,098 | 1,098 | 1,382                      | 1,382 | 1,382 | 1,102     | 1,102 | 1,102 |
| 2081-2090 | 16,194       | 16,194 | 16,194 | 1,098                       | 1,098 | 1,098 | 1,382                      | 1,382 | 1,382 | 1,102     | 1,102 | 1,102 |
| 2091-2100 | 16,194       | 16,194 | 16,194 | 1,098                       | 1,098 | 1,098 | 1,382                      | 1,382 | 1,382 | 1,102     | 1,102 | 1,102 |

네 번째 기후 요인인 폭설에 의한 재무적피해 규모는 RCP 4.5일 경우 2041 ~ 2050년에 피해 규모가 가장 높게 나타났으며, RCP 8.5일 경우에는 2021 ~ 2030년의 피해 규모가 가장 높게 나타났다. RCP 4.5에서 피해 규모가 가장 높은 2041 ~ 2050년 피해 규모를 살펴보면 평균 매출액은 현재 대비 최소 0.3% ~ 최대 0.4% 감소하였으며, 상한액 기준으로 평균 유형자산1과 평균 유형자산2, 재고자산 등은 각각 0.1% 감소한 것으로 나타났다. 또한, RCP 8.5에서 피해 규모가 가장 높은 2021 ~ 2030년에는 평균 매출액이 RCP 4.5와 유사한 최소 0.3% ~ 최대 0.4%까지 감소한 것으로 나타났으며, 상한액 기준으로 평균 유형자산1과 재고자산은 각각 0.1% 감소한 것으로 나타났다. 특히, 유형자산2는 모든 시점에서 현재 대비 0.05% 미만의 피해가 발생한 것으로 나타났다(Table 19, Table 20).

폭염, 한파, 호우, 폭설 등 기후변화 유형을 모두 고려한 피해 규모를 추정한 결과 온실가스 저감 정책이 상당히 실행되는 RCP 4.5일 경우 2091 ~ 2100년의 피해 규모가 가장 높게 나타났으며, 현재 추세로 온실가스가 배출되는 RCP 8.5일 경우 또한 2091 ~ 2100년의 피해 규모가 가장 높게 나타났다.

2091 ~ 2100년 기후변화 시나리오별 세부 피해 현황을 살펴보면 RCP 4.5일 경우 평균 매출액은 현재 대비 최소

13.5% ~ 최대 18.6%까지 감소할 것으로 추정되며, 평균 유형자산1은 최소 1.6% ~ 최대 2.4%, 유형자산2는 최소 2.2% ~ 최대 3.1%, 평균 재고자산은 최소 1.7% ~ 최대 2.5%까지 감소할 것으로 추정되었다. 더불어, RCP 8.5일 경우 평균 매출액은 최소 25.5% ~ 최대 35.1%, 평균 유형자산1은 최소 2.7% ~ 최대 4.2%, 유형자산2는 최소 3.9% ~ 최대 5.6%, 평균 재고자산은 최소 3.3% ~ 최대 4.8%까지 감소할 것으로 추정되었다.

기후변화로 인한 피해는 폭염에 의해 영향을 많이 받는 것으로 추정되었으며, 기후변화 시나리오에 따라 2091 ~ 2100년에는 기업당 평균 매출액이 최소 12.0%p에서 최대 16.5%p까지 피해 규모가 증가할 것으로 추정되었다. 또한, 2021년 ~ 2100년까지 온실가스 저감 정책이 상당히 실행된다면(RCP 4.5) 기업의 예상 매출액 피해 규모는 연평균 최소 1,529억 원에서 최대 2,107억 원에 달할 것으로 추정되었으며, 현재추세로 온실가스가 배출될 경우(RCP 8.5)는 연평균 최소 2,509억 원에서 최대 3,458억 원까지 증가할 것으로 추정되었다. 이외에도 현재추세로 온실가스가 배출될 경우 유형자산1은 연평균 최대 30억 원에 달하는 피해가 예상되며, 유형자산2, 재고자산 또한 각각 최대 49억 원, 32억 원의 피해가 발생될 것으로 추정되었다 (Table 21, Table 22).

Table 21. Total results of estimated financial risk caused by climate change based on RCP 4.5

| Year      | Sales amount |        |        | Tangible asset 1 (building) |       |       | Tangible asset 2 (machine) |       |       | Inventory |       |       |
|-----------|--------------|--------|--------|-----------------------------|-------|-------|----------------------------|-------|-------|-----------|-------|-------|
|           | Basis        | Low    | High   | Basis                       | Low   | High  | Basis                      | Low   | High  | Basis     | Low   | High  |
| 2021-2030 | 16,194       | 15,332 | 15,003 | 1,098                       | 1,091 | 1,087 | 1,382                      | 1,369 | 1,364 | 1,102     | 1,095 | 1,092 |
| 2031-2040 | 16,194       | 14,595 | 13,989 | 1,098                       | 1,086 | 1,079 | 1,382                      | 1,361 | 1,351 | 1,102     | 1,088 | 1,082 |
| 2041-2050 | 16,194       | 14,980 | 14,520 | 1,098                       | 1,087 | 1,082 | 1,382                      | 1,364 | 1,357 | 1,102     | 1,092 | 1,087 |
| 2051-2060 | 16,194       | 14,732 | 14,180 | 1,098                       | 1,085 | 1,079 | 1,382                      | 1,360 | 1,351 | 1,102     | 1,090 | 1,085 |
| 2061-2070 | 16,194       | 14,818 | 14,299 | 1,098                       | 1,085 | 1,079 | 1,382                      | 1,361 | 1,353 | 1,102     | 1,091 | 1,085 |
| 2071-2080 | 16,194       | 14,410 | 13,735 | 1,098                       | 1,083 | 1,076 | 1,382                      | 1,357 | 1,346 | 1,102     | 1,087 | 1,080 |
| 2081-2090 | 16,194       | 14,449 | 13,788 | 1,098                       | 1,083 | 1,076 | 1,382                      | 1,357 | 1,346 | 1,102     | 1,088 | 1,081 |
| 2091-2100 | 16,194       | 14,007 | 13,181 | 1,098                       | 1,081 | 1,072 | 1,382                      | 1,352 | 1,339 | 1,102     | 1,084 | 1,075 |

Table 22. Total results of estimated financial risk caused by climate change based on RCP 8.5

| Year      | Sales amount |        |        | Tangible asset 1 (building) |       |       | Tangible asset 2 (machine) |       |       | Inventory |       |       |
|-----------|--------------|--------|--------|-----------------------------|-------|-------|----------------------------|-------|-------|-----------|-------|-------|
|           | Basis        | Low    | High   | Basis                       | Low   | High  | Basis                      | Low   | High  | Basis     | Low   | High  |
| 2021-2030 | 16,194       | 15,153 | 14,756 | 1,098                       | 1,089 | 1,085 | 1,382                      | 1,367 | 1,361 | 1,102     | 1,093 | 1,089 |
| 2031-2040 | 16,194       | 14,837 | 14,322 | 1,098                       | 1,087 | 1,082 | 1,382                      | 1,363 | 1,355 | 1,102     | 1,091 | 1,086 |
| 2041-2050 | 16,194       | 14,284 | 13,562 | 1,098                       | 1,083 | 1,075 | 1,382                      | 1,355 | 1,344 | 1,102     | 1,086 | 1,078 |
| 2051-2060 | 16,194       | 13,823 | 12,926 | 1,098                       | 1,079 | 1,069 | 1,382                      | 1,349 | 1,335 | 1,102     | 1,082 | 1,073 |
| 2061-2070 | 16,194       | 13,526 | 12,517 | 1,098                       | 1,077 | 1,066 | 1,382                      | 1,345 | 1,330 | 1,102     | 1,079 | 1,069 |
| 2071-2080 | 16,194       | 13,079 | 11,901 | 1,098                       | 1,074 | 1,061 | 1,382                      | 1,340 | 1,321 | 1,102     | 1,075 | 1,063 |
| 2081-2090 | 16,194       | 12,719 | 11,405 | 1,098                       | 1,072 | 1,058 | 1,382                      | 1,336 | 1,316 | 1,102     | 1,072 | 1,058 |
| 2091-2100 | 16,194       | 12,064 | 10,503 | 1,098                       | 1,068 | 1,052 | 1,382                      | 1,328 | 1,305 | 1,102     | 1,066 | 1,050 |

기업 규모별 2091 ~ 2100년 피해 규모 추정액을 살펴 보면 대기업은 RCP 4.5일 경우 평균 매출액이 현재 대비 최소 12.8% ~ 최대 17.8%까지 감소할 것으로 추정되었으며, RCP 8.5일 경우는 최소 24.2% ~ 최대 33.7%까지 감소하는 것으로 나타났다. 반면 중견기업의 평균 매출액 추정액은 RCP 4.5일 경우 현재 대비 최소 16.8% ~ 최대 22.4%까지 감소할 것으로 추정되었으며, RCP 8.5일 경우는 최소 31.3% ~ 최대 41.9%까지 감소하는 등 대기업 대비 감소 폭이 높은 것으로 나타났다. 중소기업 또한 RCP 4.5일 경우 현재 대비 최소 16.6% ~ 최대 22.3%까지 감소할 것으로 추정되었으며, RCP 8.5일 경우는 최소 30.1% ~ 최대 40.5%까지 감소하는 등 대기업 대비 감소 폭이 높고 중견기업과 유사한 것으로 추정된다. 기후변화에 따른 기업 규모별 피해 추정 규모는 평균 매출액 기준으로 중견기업과 중소기업에서 높게 나타남을 알 수 있다. 더불어

유형자산1과 재고자산 부문 역시, 중소기업, 중견기업, 대기업 순으로 현재 대비 피해 규모 비중이 높을 것으로 나타났다. 유형자산2는 중견기업, 중소기업, 대기업 순으로 현재 대비 피해 규모 비중이 높을 것으로 추정되었다.

업종별로는 2091 ~ 2100년 피해 규모 추정액을 살펴보면 제조업을 영위 중인 물 산업체는 RCP 4.5일 경우 평균 매출액이 현재 대비 최소 15.3% ~ 최대 21.2%까지 감소할 것으로 추정되었으며, RCP 8.5일 경우는 최소 26.9% ~ 최대 37.5%까지 감소하는 것으로 나타났다. 건설업을 영위 중인 물 산업체는 평균 매출액 기준 피해 규모 추정액이 RCP 4.5일 경우 현재 대비 최소 12.3% ~ 최대 16.9%까지 감소할 것으로 추정되었으며, RCP 8.5일 경우는 최소 24.5% ~ 최대 33.5%까지 감소하는 등 타 업종 대비 기후변화로 인한 평균 매출액 감소 폭이 낮을 것으로 추정되었다. 마지막으로 기타 업종을 영위 중인 물 산업체



는 RCP 4.5일 경우 현재 대비 최소 15.9% ~ 최대 21.4%까지 감소할 것으로 추정되었으며, RCP 8.5일 경우는 최소 28.8% ~ 최대 39.0%까지 감소하는 등 제조업, 건설업을 영위 중인 물 산업체 대비 감소 폭이 가장 높을 것으로 추정되었다. 기후변화에 따른 업종별 피해 추정 규모는 평균 매출액 기준으로 기타 업종, 제조업, 건설업 순으로 높게 나타났다. 하지만, 유형자산1과 유형자산2는 제조업, 기타 업종, 건설업 순으로 현재 대비 피해 규모 비중이 높을 것으로 나타났으며, 재고자산은 기타 업종, 제조업, 건설업 순으로 현재 대비 피해 규모 비중이 높을 것으로 추정되었다.

## 5. 결론

본 연구에서는 물 산업체들의 규모별, 업종별 기후변화 체감도 및 대응현황을 조사하였다. 더불어 기후변화에 따른 물 산업체가 당면할 수 있는 재무적 리스크를 예측하기 위해 응답기업의 재무현황과 기후변화 리스크 대응현황 등을 기반으로 기후변화 리스크 평가 시스템(CRAS)을 활용하여 폭염, 한파, 호우, 폭설 등의 4가지 기후요인을 바탕으로 기후변화 시나리오(RCP 4.5, RCP 8.5)에 따라 물 산업체들이 2021년에서 2100년까지 당면할 수 있는 재무적 피해 규모를 도출하였다.

먼저 기후변화 체감현황에 대한 조사결과, 대기업일수록 평균 체감도가 높게 나타났으며, 이후 중견, 중소기업 순으로 체감도가 낮은 것으로 나타났다. 업종별로는 제조업을 영위 중인 중소 물 기업들이 타 업종 대비 기후변화 대응에 가장 취약하였고, 기타 업종을 영위 중인 중소 물 기업들이 두 번째로 취약한 것으로 나타났다. 규모별, 업종별 물 산업체들이 기후 리스크 대응에 취약하다고 답변한 5개 우선순위를 살펴보면 지역주민과 공동전략 마련, 피해예방을 위한 대책 협의체 구성, 리스크에 대한 인식, 긴급사태를 대비한 매뉴얼 활용, 2차 추가피해 방지를 위한 메뉴얼 부족 등의 순으로 나타났다. 이에 본 연구 결과를 토대로 산업체들의 기후변화 리스크 대응을 위한 정부의 정책 수립 시, 중소기업들 중심의 정책 수립의 필요성과 물 산업체들의 기후변화 대응시 취약부문을 살펴볼 수 있었다.

CRAS를 활용하여 폭염, 한파, 호우, 폭설에 따른 2100년까지 물 산업체 재무적 리스크 평가 결과를 살펴보면 기후변화로 인한 피해는 폭염에 의해 가장 영향을 많이 받는 것으로 추정되며, 기후변화 시나리오에 따라 2091 ~ 2100

년에는 기업당 평균 매출액이 최소 12.0%p에서 최대 16.5%p까지 피해 규모가 증가할 것으로 추정되었다. 또한, 2021년 ~ 2100년까지 온실가스 저감 정책이 상당히 실행 된다면(RCP 4.5) 기업의 예상 매출액 피해 규모는 연평균 최소 1,529억 원에서 최대 2,107억 원에 달할 것으로 추정되었으며, 현재 추세로 온실가스가 배출될 경우(RCP 8.5)는 연평균 최소 2,509억 원에서 최대 3,458억 원까지 증가할 것으로 추정되었다. 이외에도 현재 추세로 온실가스가 배출될 경우 유형자산1은 연평균 최대 30억 원에 달하는 피해가 예상되며, 유형자산2, 재고자산 또한 각각 최대 49억 원, 32억 원의 피해가 발생 될 것으로 추정되었다.

이처럼 본 연구에서는 RCP 4.5, RCP 8.5 시나리오를 토대로 기후요인별 물 산업체들의 재무적 리스크가 증가되는 시기와 규모를 예측할 수 있었으며, RCP 8.5 시나리오에서 물 산업체들의 리스크가 확연히 증가됨을 파악할 수 있었다. 더불어 향후 기후변화에 따라 2100년까지 극한 기후 요인별로 리스크가 확대되거나 저감되는 구간이 다르며 업종별 발생할 수 있는 피해규모도 상이하여 이에 대비한 정책수립의 기초자료로 본 연구를 활용할 수 있을 것이다.

다만, 본 연구는 CRAS를 활용한 시나리오 기반의 전망 자료로서 향후 업체들의 재무지표 및 경제성장, RCP 시나리오 등에 따라 피해금액 수치가 변동될 수 있다. 이에 향후 RCP 시나리오 이외 다양한 기후변화 시나리오를 토대로 산업체들의 리스크 규모 전망에 대한 연구가 요구된다. 이를 위해서는, 산업체들의 특정한 반영한 기후 리스크 분석을 위해 산업체 대상의 다양한 기후 리스크 분석 모델 개발 연구와 실효성 있는 톨 마련이 병행되어야 할 것이다.

더불어, 본 연구를 토대로 향후 물 산업체들의 기후 리스크 역량강화 및 리스크 대응을 위한 리스크 관리 우선순위 설정 연구 및 기후 리스크 대응을 위한 물 산업체 규모별, 업종별 특성을 반영한 산업체 대상의 기후변화 적응정책 방향과 지원방안 연구가 필요할 것이다.

## Reference

- Acclimatise. 2015. Business Opportunities in a Changing Climate : Managing Impacts and Market Opportunities. Australian Government. 2006. Climate Change Impact &

- Risk Management. Australian Government. Department of the Environment and Heritage.
- Bae CY, Oh YG, Baek GH, Choi KL, Lee SH, Lee DK. 2013. A Study on Climate Change Vulnerability Assessment Index and Weights of Industrial Sectors - Focused on Petroleum and Automobile Industries. *Journal of Korea Planning Association* 48(2): 313-328.
- British Committee on Climate Change. 2017. UK Climate Change Risk Assessment 2017 Synthesis Report.
- Chae YR, Kim HJ, Yoon DK, Jung JB, Kang JE, Jang SJ, Song SK, Hwang JW. 2013. Development of a Climate Change Risk Management Framework to Minimize National Risk. Seoul: Korea Environment Institute.
- Choi KL. 2016. Status of Climate Change Adaptation Measures in Industry. Korea environmental Preservation Association. *Environment Information*. Vol. 424: 18-22.
- Kim DH. 2015. Risk Assessment and Classification for Adaptation to Climate Change: Apply Qualitative Risk Assessment Methodology in UK. Korea Environmental Policy Association. 14(1): 53-83.
- Kim DH, Lee JB. 2016. Development of a Web-Based Tool for Climate Change Risk Assessment in the Business Sector. *Sustainability* 2016. 8. 1013 ; doi:10.3390/su8101013.
- Cho GL, Kim YD. 2009. Climate change disaster or opportunity?. Seoul: Korea Economic Research Institute.
- Han KJ. 2007. Economic Impact of Climate Change on the Industrial Sector, KIET Industry Economy. p. 52-66.
- Heo Jh. 2012. Carbon Management Evaluation Indicators and Systems to Strengthen the Competitiveness of Firms in Response to Climate Change [dissertation]. University of Korea.
- HM Government. 2012. UK Climate Change Risk Assessment: Government Report.
- IPCC. 2013. Summary for Policymakers. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. Cambridge. United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC. 2014. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability; Cambridge University Press. Cambridge. UK.
- Jones, R. & R. Boer. 2003. Assessing Current Climate Risks Adaptation Policy Framework: A Guide for Policies to Facilitate Adaptation to Climate Change. UNDP.
- Kang JE. 2012. Development of a risk assessment framework for the climate change adaptation in the industry. Seoul: Korea Environment Institute.
- Kates, R.W. Travis, W.R. Wilbanks, T.J. 2012. Transformational adaptation when incremental adaptations to climate change are insufficient. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 109.
- Kim JI. Son HC. Choi KL. 2015. Analysis of the Competitiveness Index for Climate Change Response in the Korean Industrial Sector, *Journal of Environmental Policy*. Vol. 23. No. 3: 25-45.
- Kim SW. Lee YC. 2009. Recognition of environmental change and company's characteristics by climate change focused on business, strategy, organization. *Journal of the Aviation Management Society of Korea*. vol.7. no.4: 285-307.
- Korean Ministry of Environment. 2019. Report on the Environmental Industry Survey. Sejong : Korean Ministry of Environment.
- KPMG. 2008. Climate Changes Your Business, KPMG's Review of the Business Risks and Economic Impacts at Sector Level, KPMG.
- Lee SJ. 2013. A Study of Countermeasures against Climate Risks in response to Adaptation Strategies for Climate Change in Strategic Partner Nations. Seoul: Korea Environment Institute.
- Lee BD, Cho YS. 2011. A Study on Vulnerability Assessment to Climate Change in Regional Fisheries of Korea. *The Journal of Fisheries Business Administration*. Vol. 42(1): 57-70.

- Linnenluecke, M.K. Griffiths, A. Winn, M.I. 2013. Firm and industry adaptation to climate change: A review of climate adaptation studies in the business and management field. *WIREs Clim. Chang.* 4: 397-416.
- Myeong SJ. 2012. *The Basic Direction of Policy for the Adaptation of Climate Change to the Private Sector.* Seoul, Korea: Korea Environmental Institute.
- Lee MK, Kim HS. 2010. Measuring the Corporate Readiness to Address Climate Challenges: Developing an Index of Climate Competitiveness. *Environmental and Resource Economics Review.* No, 19(2): 383-413.
- Park SR, Jeong YS. 2018. *Climate Change and Financial Stability.* BOK Issu note No. 2018-6. Seoul: Korea Bank.
- Suh WS. 2011. Study on the introduction of climate change risk disclosure. *Journal of Corporate Policy.* Vol. 25. No. 3: 253-295.
- Wellington. Fred and Amanda Sauer. 2005. *Framing Climate Risk in Portfolio Management.* Washington D.C: World Resource Institute.
- World Bank. 2013, *Building Resilience : Integrating Climate and Disaster Risk into Development.*
- WRI, Oxfam, UNEP. 2011. *Adapting for a Green Economy: Companies, Communities and Climate Change.*
- WWF Korea. 2018. *What does the Task Force TCFD for the Disclosure of Financial Information Related to Climate Change mean for Korean companies?* Seoul : WWF Korea.
- Kim YQ, Lee DK, Seo CG, Ryu JE, Cha YR, Baek GH, Bae CY. 2013. Vulnerability assessment on the location of industrial complex considering climate change. *Journal of Environmental Impact Assessment,* Vol. 22, No. 6(2013): 627-637.
- Yoo YS, Lim SY. 2107. *Study on the Corporate Awareness on Climate Change and the Direction for the Industry.* Seoul, Korea : Korea Institute for Industrial Economics and Trade. Policy Report 2017-306.
- Korea Adaptation Center for Climate Change. Accessed on 1 June 2020. <https://kaccck.kei.re.kr>
- ISO 31000. Accessed on 1 June 2020. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:31000:ed-2:v1:en>