

# 기후변화를 고려한 대설재난 피해액 예측\*

## Prediction of Economic Damage Caused by Heavy Snowfall Considering Climate Change

하지혜 Ha Jihye\*\*, 강정은 Kang Jung Eun\*\*\*

### Abstract

This study developed prediction models of economic damage caused by heavy snowfall disasters as a starting point for the preparation of the measures of heavy snow, and examined the changes of future damage by reflecting future climate change scenarios. We employed panel tobit analyses for developing two facility-specific damage models (structure/agriculture and forestry/fisheries facilities). The results showed that significant increases in average new snowfall, maximum new snowfall and new snowfall days over 20cm influenced the economic damage increase. Furthermore, local governments with more sum snowfall and larger urban areas had less damage. Applying a climate change scenario to the forecast models, the predicted damages caused by snowfall disasters in the future(2030 and 2050) were ranged from 5.18 trillion won to 6.17 trillion won. Thus, we need to prepare for economic damage although it is difficult to conclude that the future damage will increase unconditionally compared to the present. Quantitative analysis of property damage based on the information currently available and climate change scenario can play a critical role in making decisions and prioritizing policies.

Keywords: Heavy Snowfall, Economic Damage, Climate Change, Panel Tobit Model

### I. 서론

지구온난화가 지속됨에 따라 태풍, 홍수, 폭설 등 이상 기후로 인한 자연재난이 전 세계적으로 빈번히 발생하고 있다. 우리나라 역시 자연재난으로 인한 피해가 지속적으로 증가하고 있다(기후변화센터 2018). 재해연보(국민안전처 2018)에 따르면 지난 10년(2009~2018)간 자연재난으로 인한 재산피해는 2018년 환산 가격

기준으로 3조 6,280억 원에 이르고 있으며, 피해를 복구하기 위한 비용은 7조 7,094억 원으로 피해액 대비 복구비의 지출은 약 2배 수준이다.

지난 10년(2009~2018) 동안의 총 피해액 중 호우 및 태풍 피해가 약 87.67%를 차지하였으며, 그다음으로 대설에 의한 피해가 2,400억 원으로 약 7%를 차지했다. 대설재난은 우리나라에서 풍수해 다음으로 경제적 피해가 큰 재난임에도 불구하고 상대적으로 많은

\* 이 논문은 주저자의 석사학위 논문 “기후변화를 고려한 대설 피해가 산업에 미치는 경제적 파급효과 분석”의 일부를 수정·보완한 것임. 이 논문은 환경부 「기후변화특성화대학원사업」의 지원으로 수행되었음.

\*\* 부산대학교 박사과정(제1저자) | Ph.D. Candidate, Urban Planning & Engineering, Pusan National Univ. | Primary Author | wlgp5346@pusan.ac.kr

\*\*\* 부산대학교 부교수(교신저자) | Associate Prof., Urban Planning & Engineering, Pusan National Univ. | Corresponding Author | jekang@pusan.ac.kr

관심을 받지 못하고 있다. 그러나 기후변화의 영향으로 극지방의 온도가 높아지고, 빙하가 녹으면서 북극의 찬 공기를 감싸고 있던 극 소용돌이(Polar Vortex)가 약화되어 차가운 저기압이 우리나라를 포함한 고위도 북반구 지역까지 남하하면서 대설 발생빈도가 높아질 것으로 예상되고 있어 대설에 대한 보다 적극적인 대비가 필요한 상황이다(안소라, 이준우, 김성준 2015).

대설로 인한 직접적 피해는 인명피해뿐 아니라 시설물 피해가 대부분을 차지하고 있다. 시설물은 주택, 도로, 건물 등의 일반시설물과 농업과 어업을 위한 비닐하우스, 축사 등에 대한 피해가 대부분을 차지하고 있다. 대설은 이러한 직접적 피해 외에도 간접적인 피해를 유발한다. 전통적으로 기상에 민감한 농업은 생산에 차질을 빚어 농산물시장에 교란이 발생되며, 건설업의 경우 공사 일정이 지연되거나 안전사고에 노출되고 작업이 지연되면서 인건비, 콘크리트 타설 비용 등이 증가하여 생산성이 악화된다(류문현, 조승국, 김정인 2012). 운수업 및 수송업의 경우 항공기와 선박이 결항되는 등 교통혼잡비용이 발생하게 된다. 이처럼 대설재난은 생산비용을 증가시키며 무역수지에 영향을 주는 등 위협요인으로 작용한다(류문현, 조승국 2010).

대설재난은 발생빈도는 낮지만, 직접적 피해뿐 아니라 간접적인 파급영향이 크고, 광역적 피해를 유발하기 때문에 이로 인한 피해는 개별 지자체의 경쟁력뿐 아니라 국가 경제 전반에 미치는 영향 또한 크다. 기후변화가 지속됨에 따라 대설재난으로 인한 사회경제적인 피해가 지속될 것으로 예상되므로, 이에 대한 연구와 대책 마련이 필요한 실정이다(이상혁, 강정은 2019; 권순호, 박희성, 정건희 2016).

이에 본 논문에서는 대설 대책 마련을 위한 시작점으로 대설의 직접적 피해에 초점을 맞추어 피해예측모형을 구축하고, 미래 기후변화 시나리오를 반영하

여 그 변화를 살펴보고자 한다.

재난 피해는 기후요인과 더불어 인간 활동과 관련된 사회경제적 요인, 도시화 요인, 정책적 요인 등이 복합적으로 작용하면서 발생한다. 따라서 어떤 요인이 대설 피해에 실질적 영향을 미치는지를 검토하기 위해 패널토빗분석을 이용하여 대설 피해에 영향을 미치는 요인을 분석하고, 대설 피해액 예측모형을 도출하였다. 이때 보다 정교한 모형구축을 위해 대설 피해를 시설별(일반시설, 농림어업시설)로 구분하여 모형을 구축하였다. 또한, 도출된 피해 예측모형에 기후변화 시나리오를 적용하여 기후변화에 따른 대설재난의 피해액을 추정하였다.

## II. 이론적 고찰 및 선행연구 검토

### 1. 자연재난의 경제적 영향 및 피해 예측에 관한 연구

자연재난이 경제적으로 어떤 영향을 미치는지에 대한 연구들은 국내외에서 일부 수행되어 왔다. 자연재해의 경제적 영향은 시간과 대상을 기준으로 구분할 수 있다. 기준이 시간일 경우 자연재해가 경제에 미치는 단기적 영향과 장기적 영향으로 구분되며, 대상을 기준으로 구분할 경우 시장적 영향과 비시장적 영향으로 구분할 수 있다. 자연재해의 시장적 영향은 1차 산업(농업, 임업, 어업)과 기타부문(물 부문, 에너지 수급, 건설, 교통 등)에 대한 손해, 토지, 해안선, 도시건설시설 등의 자산 손실 등이 있으며, 비시장적 영향으로는 생태계에 대한 영향(갯벌, 산림 상실, 희귀동식물종 감소), 사람에 대한 영향(환경오염에 의한 사망, 질병, 이주) 등을 들 수 있다.

선행연구들을 살펴보면 자연재해가 거시경제적으로 부정적 영향을 미친다는 결과와 부정적 영향이 없다는 결과가 함께 나타나고 있다. Storbl(2011)은 허리

케인이 발생한 해에는 미국 해안지역 내 경제성장률이 약 0.79% 감소하는 추세를 보이거나 단기간에 회복되어 다음 해에 약 0.22%가 증가하는 것을 밝혀냈으며, Horchrainer(2009)는 225개국을 대상으로 1960년부터 2005년까지 자연재해 발생 이후 실제로 관찰된 국내총생산과, 재해발생이 없었다는 가정하의 국내총생산을 비교하였다. 그 결과 평균적으로 자연재해가 발생한 다음 해에는 경제성장률이 약 0.5% 감소하며, 5년 후에는 약 4% 감소하는 것으로 나타났다. Jina and Hsiang(2012)는 1950년부터 2008년까지 전 세계에서 발생한 태풍이 각국의 경제성장률에 미친 영향을 분석하였다. 그 결과 태풍이 경제에 미치는 부정적 영향은 태풍 발생 후 20년간 지속되며, 태풍이 발생하지 않았다는 가정하의 경제성장률과 비교했을 경우 20년 후 1인당 국민소득을 약 7.4% 감소시키는 것으로 나타났다. 한편 Skidmore and Toya(2002)은 자연재해 발생 후 경제가 회복하는 과정에서 인적자원의 질이 높아지고 향상된 인적자원이 총요소생산성을 증가시켜 장기적으로 봤을 때 경제성장률도 도모한다고 밝혔다.

이와 같이 상반된 연구결과는 자연재해의 종류, 빈도, 피해 국가 등의 차이에 따라 경제에 미치는 영향이 다르게 나타난다고 해석할 수 있다. 때문에 자연재해가 경제에 미치는 장기적 영향에 관한 연구는 지속될 필요가 있다.

본 논문에서 초점을 맞추고 있는 대설과 자연재해 피해 예측에 관한 선행연구들을 살펴보았다. 자연재해의 미래 피해액을 추정하기 위해서는 주로 회귀분석이 사용되고 있었다. Cavallo, Powell and Becerra(2010)은 1970년부터 2008년까지 자료를 바탕으로 회귀분석을 활용하여 2010년 아이티 대지진의 피해액을 추정하였으며, Pielke and Downton(2000)은 미국 전역을 대상으로 다중회귀분석을 활용하여 홍수 피해액을 추정하였다. Liu(2012)는 1993년부터 2009년까지의 패널데

이터 구축 후 고정효과모형을 통해 미국의 홍수로 인한 재산손실을 분석하였다. 국내에서는 이승일(2013)이 회귀분석을 이용하여 태풍의 피해규모 예측모형을 개발하였다.

대설로 인한 피해 예측 연구로는 정준호, 이승호(2014)가 폭설에 의한 인명피해와 이재민수를 예측하기 위해 다중회귀모형을 활용하였고 권순호, 김정환, 박희성, 정건희(2016)는 강원도를 대상으로 대설 피해액 예측을 위해 다중회귀모형을 활용하였다.

기존의 연구들은 대부분 다중회귀모형을 활용하여 피해규모를 예측하고자 하는 연구가 많았다. 최근에는 과거 피해 데이터의 누적과 함께 패널데이터를 활용하여 피해 예측모형을 구축하는 경우가 많으나 아직 이를 대설에 적용하여 직접적인 피해 예측을 한 연구는 전무하며, 기후변화를 고려한 앞으로의 전망에 대한 연구는 더욱 미흡한 상태이므로 추가적인 연구가 절실한 상황이다.

## 2. 대설 피해의 영향요인에 관한 연구

대설이란 짧은 시간에 강설이 집중적으로 발생하여 인명 및 재산 피해를 유발하는 자연재해로 각종 피해를 유발한다. 우리나라의 경우 겨울철에 시베리아의 찬 대륙성고기압이 확장되는데 상대적으로 따뜻한 해상을 지나면서 습윤해지고 이 습윤해진 공기에 지형적 효과가 더해져 대설이 발생하게 된다. 우리나라의 대표적인 대설 지역은 울릉도, 강원 영동지역, 호남 서해안지역 등이다. 강원 영동지역의 경우 시베리아 고기압의 세력이 약해졌을 때 우리나라의 북동쪽에 이동성 고기압의 중심이 위치하며 북동풍이 불 때 영동지방을 중심으로 많은 강설이 형성된다. 호남 서해안지역은 바다를 인접하고 있기에 시베리아 고기압이 한반도로 세력을 확장할 때 많은 눈이 내린다(이승호,

천재호 2003).

우리나라의 대설 피해는 지형적 특성, 기상 특성, 기반시설의 특성, 거주인구·사회경제 현황에 따라 지역별로 차이가 발생한다(이상혁, 강정은 2019). 때문에 우리나라의 대설 피해 특성을 파악하기 위해서는 지역별 과거의 기상현상 및 강설자료의 수집과 분석이 선행되어야 하며, 아울러 지역별 대설 피해에 영향을 미치는 사회경제적 특성을 고려할 필요가 있다.

대설 피해에 관한 연구로는 대설 피해 유발 요인 및 적설량 예측에 관한 연구, 대설재난 취약지역 추출에 관한 연구, 대설 피해액 예측에 관한 연구로 분류할 수 있다. 조형경, 김셋별, 정혁, 신형진 외(2011)는 신적설심 분포를 이용하여 강설 발생 패턴을 파악하고, 이를 GCM시나리오에 적용하여 미래의 온도 변화에 따른 강설 변화량을 예측하였고, 김연수, 강나래, 김수진, 김형수(2013)는 신경망 모형과 다중회귀 모형을 이용하여 관측 지점별 적설량 예측 모형을 구성하고 적설량 예측에 활용하였다.

대설재난 취약지역 추출에 관한 기존 연구들은 주로 과거 재난 통계의 분석과 위성영상을 바탕으로 연구가 진행되었는데, 구유성, 이성호, 정주철(2013)은 부산지역을 대상으로 도로의 지형적 특성을 고려해 대설 취약지역을 분석하였으며, 안소라, 이준우, 김성준(2015)은 과거 폭설일수 및 최대 적설심을 분석하여 시간적, 공간적인 규모 및 상황을 파악하고 기후변화 시나리오와 물당량을 이용하여 미래 적설심 분포도를 작성하여 취약지역을 추출하였다. 이상혁, 강정은(2019)은 폭설로 인한 교통시설 피해를 리스크 평가 기법을 활용하여 전국 지자체를 평가하고 취약지역을 살펴보았다.

한편 대설 피해액 예측에 관한 기존 연구들은 주로 기후관련요인과 사회경제적인 요인을 활용하여 다중회귀분석을 실시하였다. 정준호, 이승호(2014)는 최심

신적설량, 신적설량 5cm 이상 일수, 강수량, 인명피해, 인구 규모, 행정구역면적, GRDP 등을 설명변수로 토빗모형을 활용하였고, 정준호, 허인해(2014)는 강원도 지역을 대상으로 호우와 적설의 피해액 추세 및 결정요인에 대하여 토빗분석을 진행하였다. 권순호, 정건희(2017)는 최심적설량, 평균습도, 최저기온, 농촌지역 인구밀도, 지역총생산량 등을 설명변수로, 김근영, 주현태, 김희재(2018)는 강설량, 강설일, 인구밀도, 비도시지역비율, 수도권 더미변수를 설명변수로 사용하였다.

본 논문은 대설 피해에 영향을 미치는 다양한 요인들에 대한 선행연구를 기반으로 피해시설별 대설 피해액 예측모형을 구성하였으며, 패널토빗분석 결과를 기반으로 구축한 피해 예측모형을 이용하여 기후변화를 고려한 미래 대설 피해액을 예측한다는 점에서 기존 연구와는 차별성을 갖는다.

### III. 연구방법론

#### 1. 연구대상지 및 시간적 범위

대설에 따른 피해액 예측을 위해 본 논문은 전국을 대상으로 시군구 단위의 데이터를 수집하였다. 2018년 행정안전부 발표에 따르면 국내 시군구는 총 260개로 집계되고 있으나, 분석기간 동안 행정구역의 변화에 따라 공간적 범위의 차이가 발생하므로 본 연구는 230개 시군구를 기준으로 자료를 수집하였다.

앞서 언급했듯이 본 논문은 대설로 인한 피해 예측 모형을 구축하기 위해 패널데이터를 활용하였다. 패널데이터(Panel Data)는 시계열데이터(Time-series Data)와 횡단면데이터(Cross-sectional Data)를 하나로 합친 것으로 본 논문에서는 2000년부터 2014년까지 15년간의 패널데이터를 이용하였다. 대설 피해액 자료는

1985년부터 시군구 단위로 구축되어 있지만, 피해액 예측모형 구축을 위한 사회경제적 자료의 경우 각 변수별 시계열 범위의 차이가 발생함에 따라 모든 자료의 공통적인 시계열을 선정하였다.

기후변화를 고려한 미래 피해액은 기후변화 시나리오를 기반으로 2030년, 2050년의 시점을 기준으로 피해액을 추정하였다.

## 2. 모형 선정 및 분석과정

본 논문은 패널토빗분석을 기반으로 대설 피해액 예측모형을 구축하였다. 본 논문에서 초점을 맞추고 있는 대설 피해액에 영향을 미치는 변수들 중에는 통제하기 힘든 다양한 변수들이 존재한다. 대설은 자연재해 중에서도 발생 횟수에 비해 피해가 큰 재해이며, 대설 발생 후 피해로 이어지는 과정은 복잡하고 지역별, 시기별로 다양한 피해원인이 존재한다. 이러한 원인을 모두 변수로 포함시켜 분석하는 것은 실질적으로 불가능하기 때문에 통제하지 못한 다양한 변수들을 통계적으로 반영할 수 있는 패널모형은 본 논문의 목적에 부합하게 실증분석을 하는 데 가장 적합하다고 판단하였다.

패널데이터를 이용한 모형에서는 범주별 또는 개인별 이질성을 반영할 수 있기 때문에 모형설정의 오류를 최소화할 수 있는 장점이 있다(이영훈 2001). 또한 시계열 데이터나 횡단면 데이터보다 더 많은 정보와 변수의 변동성을 제공하므로 효율적인 추정량을 얻을 수 있도록 해주며 패널회귀모형을 추정할 때 독립변수들을 다양한 형태로 변형하기 때문에 독립변수들 간 상관관계가 줄어들어 다중공선성의 문제를 완화시킬 수 있다(이희연, 노승철 2012).

한편 본 논문에서는 대설 피해액이 종속변수에 해당하므로 종속변수가 0보다 작거나 0인 경우에

$Y_{it} = 0$ 으로 관찰된다. 종속변수에 이러한 중도절단(Censored)되는 현상이 발생할 경우 최소제곱추정치가 0으로 편향(Bias)되는 경향을 가진다(Greene 2003). 이처럼 종속변수의 값은 부분적으로 어떤 특정 값 이상 또는 이하에서 관찰할 수 없으나 독립변수의 값은 관찰가능할 때 토빗모형을 사용할 수 있다(김준순 1997).

일반적으로 중도절단회귀모형인 토빗모형은 종속변수의 제한적 특성에 대해 정규적인 최우추정법(Maximum Likelihood Method)을 사용하기 때문에 오차항의 자기상관성 및 이분산성 문제를 해결할 수 있으며(Greene 2003; Kennedy 2001), 무엇보다 종속변수인 대설 피해액의 0원 비율이 50%보다 높으므로 독립변수에 상당한 영향을 미칠 수 있기 때문에 본 논문에서는 패널토빗모형(Panel Tobit Model)을 활용하고자 한다. 이와 같이 토빗모형을 이용하여 재난피해를 분석하는 방법은 정준호, 이승호(2014), 정준호, 허인혜(2014), 하경준, 정주철(2017) 등에서 적용된 바 있다.

피해액을 예측하는 모델의 경우, 각 지역이 갖는 사회, 인문, 경제적 특성을 피해액 예측 과정에서 모두 고려하는 데는 한계가 있기 때문에 지역적 특수성을 고정효과(Fixed Effect)로 가정하는 경우가 많으며(국민안전처 2017; 이미연, 홍종호 2016), 대설은 다른 자연재난에 비해 특정 시기에 집중되는 정도가 높고 연도 간 변동성이 매우 큰 재난이므로, 본 논문은 Time and Region Fixed Effect Panel Tobit Model을 활용하였다. 이는 지역특성과 시간특성을 통제한 모델로서 시간의 흐름에 따라 변하지 않으며, 관측되지 않는 특정한 변수가 횡단면 관측치(본 논문의 경우 지역별 특성) 및 시계열 관측치에 잠재해 있는 모형을 뜻한다.

고정효과 모형을 추정하기 위해서는 Within 변환을 적용한 방법과 패널 개체별 더미변수를 이용하는

방법이 있다. 본 논문에서는 지역별, 연도별 더미변수를 이용하여 이질성을 반영하여 고정효과 모형을 개발하였다. 이때 계수추정치의 의미는 정치적, 사회경제적, 정부적 요인 등을 제외한 각 지역 고유의 효과를 측정할 값으로 이해할 수 있다.

본 논문은 기후변화를 고려한 대설 피해액 예측을 위해 다음의 분석단계를 진행하였다. 우선, 정교한 대설 피해액 예측모형을 구축하기 위해 대설재난에 의한 시설물 피해액을 일반시설물과 농림어업시설물로 구분하여 정리하였다. 이러한 구분은 각각의 피해액에 영향을 미치는 변수들의 차이를 고려하여 선정하였다. 둘째, 선행연구와 획득 가능한 기상관측 자료, 사회경제적 자료를 바탕으로 일반시설물과 농림어업시설물 피해에 영향을 미칠 것으로 예상되는 변수를 도출하였다. 셋째, 패널토빗분석을 통해 일반시설물과 농림어업시설물의 피해액 예측모형을 선정하였다. 마지막으로, 구축한 대설 피해액 예측모형에 기후변화 시나리오를 적용하여 미래(2030년, 2050년) 시점의 대설 피해액을 살펴보았다.

### 3. 분석자료 및 변수구성

#### 1) 대설 피해액

대설재난으로 인한 직접피해액은 매년 발간하는 재해연보 자료를 DB화하여 사용하였다. 재해연보는 피해대상물을 건물, 선박, 농경지, 농작물과 13개의 공공시설(도로, 하천, 소하천, 수도, 항만, 어항, 학교, 철도, 수리, 사방, 군시설, 소규모, 기타공공시설), 7개의 사유시설(축대 및 담장, 가축, 축사 및 잠사, 수산증양식, 어망 및 어구, 비닐하우스, 기타사유시설)로 구분하여 피해액을 정리하였다. 앞서 언급했듯이 본 논문에서는 정교한 대설 피해액 예측모형을 구축하기 위해 재

해연보의 피해항목을 <Table 1>과 같이 일반시설물과 농림어업시설물로 재분류하였다.

대설 피해액 자료는 시계열이므로 물가상승에 따른 피해액 증가량을 보정하기 위해 2010년 GDP 디플레이터를 기준으로 조정된 실질변수로 전환하여 사용하였다.

**Table 1** \_ Reclassification of Snowfall Damaged Items

Snowfall Damaged Item	Classification	
Building	Structure	
Ship	Agriculture, Forestry and Fisheries Facilities	
Farmland	Agriculture, Forestry and Fisheries Facilities	
Public Facilities	Road	Structure
	River	Structure
	Small River	Structure
	Waterworks	Structure
	Harbor	Structure
	Fishing Port	Agriculture, Forestry and Fisheries Facilities
	School	Structure
	Railroad	Structure
	Repair Facilities, Seawalls	Structure
	Erosion Control	Structure
	Military Facilities	Structure
	Small Facilities	Structure
	Other Public Facilities	Structure
	Private Facilities	Axes, Fences
Domestic Animal		Agriculture, Forestry and Fisheries Facilities
Stable, Silk		Agriculture, Forestry and Fisheries Facilities
Fishery Stock Enhancement		Agriculture, Forestry and Fisheries Facilities
Fishing Net, Fishing Gear		Agriculture, Forestry and Fisheries Facilities
Greenhouse		Agriculture, Forestry and Fisheries Facilities
Other Private Facility	Structure	

2) 기후특성 및 사회·경제적 특성 변수

자연재해의 경우 직접적 피해에 영향을 주는 요인으로 강수, 기온, 습도, 신적설량 등과 같은 기상요인이 대표적이라 할 수 있다. 본 논문에서는 대설 피해에 영향을 줄 것으로 예상되는 기후특성 변수로 최대 신적설량, 평균 신적설량, 누적 적설량, 신적설 5cm 초과일수, 신적설 20cm 초과일수 총 5개를 선정하였다. 신적설량은 일정시간(6시간 또는 24시간) 동안 눈이 지면에 쌓인 높이를 뜻하는 대설의 강도를 짐작할 수 있는 변수이다. 또한 24시간 동안 신적설이 5cm 이상 예상될 때 대설주의보가 발령되고, 20cm 이상(산지의

경우 30cm 이상) 예상될 때 대설 경보가 발령되므로 그 초과일수 또한 변수로 포함하였다.

대설 피해는 기상변수뿐 아니라 다양한 사회경제적 여건에 따라 피해액의 규모가 달라질 수 있다. 이를 고려하기 위해 본 논문은 일반시설 피해액모형과 농림어업시설 피해액모형의 사회경제적 변수를 피해액의 특성을 고려하여 선정하였다.

일반시설 피해액모형은 <Table 2>와 같이 인구밀도, 도시지역 비율, 농촌지역 비율, 불투수면적 비율, 주민 1인당 지방세 부담액과 함께 건설업 GRDP, 건설업 종사자수, 건설업 사업체수를 변수로 설정하였다. 농림어업시설 피해액 모형에서는 <Table 3>과

**Table 2**\_Structure Dependent and Independent Variables

Classification		Variables	Unit of Variables
Dependent Variables		Structure Damage	One Thousand Won
Independent Variables	Weather Data	Maximum New Snowfall	cm
		Average New Snowfall	cm
		Sum New Snowfall	cm
		New Snowfall days over 5cm	days
		New Snowfall days over 20cm	days
	Socio-economic Data	GRDP by Construction	One Million Won
		Number of People Employed by Construction	Persons
		Business Volume by Construction	Count
		Population Density	Persons/km <sup>2</sup>
		Urban Area Rate	%
		Agriculture Land Area Rate	%
		Impermeable Area Rate	%
		Per Capita Resident Tax	One Thousand Won

**Table 3**\_Agriculture, Forestry and Fisheries Facilities Dependent and Independent Variables

Classification		Variables	Unit of Variables
Dependent Variables		Agriculture Facilities Damage	One Thousand Won
Independent Variables	Weather Data	Maximum New Snowfall	cm
		Average New Snowfall	cm
		Sum New Snowfall	cm
		New Snowfall days over 5cm	days
		New Snowfall days over 20cm	days
	Socio-economic Data	GRDP by Agriculture	One Million Won
		Number of People Employed by Agriculture	Persons
		Business Volume by Agriculture	Count
		Population Density	Persons/km <sup>2</sup>
		Urban Area Rate	%
		Agriculture Land Area Rate	%
		Impermeable Area Rate	%
		Per Capita Resident Tax	One Thousand Won

같이 인구밀도, 도시지역 비율, 농촌지역 비율, 불투수면적 비율, 주민 1인당 지방세 부담액과 농림어업 GRDP, 농림어업 종사자수, 농림어업 사업체수를 설명변수로 설정하였다.

도시화된 지역은 농촌지역이나 임야지역과 같은 자연녹지에 비해 인구가 조밀하고, 공공시설물이 밀집되어 있으며 도로가 포장되어 있는 지역이 많다. 즉 도시화는 불투수면적을 증가시키며 불투수 표면으로 각종 소비수량을 증대시키고 아울러 자연의 수분 함유 능력의 감소와 같은 문제를 초래한다. 이러한 현상은 재해취약요인을 증가시키는 원인이 될 수 있다. 따라서 본 논문은 도시화를 설명하는 변수로 도시지역 비율과 불투수면적 비율을 변수로 설정하였다.

Cavallo and Noy(2010)에 따르면, 지역총생산량이 클수록 대설 피해에 노출될 가능성이 높은 경향이 있다고 하였다. 이에 본 논문은 건설업 GRDP와 농림어업 GRDP를 변수로 선정하였다.

일반적으로 시설이 지역 내 많이 분포하여 폭설에 많이 노출되어 있으면 그렇지 않은 지역보다 시설피해의 가능성이 높다. 본 논문에서는 대설 시 직접적 영향을 받는 시설의 범위가 넓고 패널데이터의 확보가 쉽지 않아 이들 시설과 연계성이 높고 선행연구들(Eakin and Bojórquez-Tapia 2008; Eidsvig, Mclean, Vangelsten and Kalsnes et al. 2014)에서 많이 사용되고 있는 변수들을 대리변수로 활용하였다. 일반시설 피해모형의 경우, 건설업 종사자수, 건설업 사업체수를 대리변수로 활용하였으며, 농림어업시설 피해모형

에서는 농림어업 종사자수, 농림어업 사업체수를 대리변수로 활용하였다.

한편 대설 피해에 영향을 미치는 요소 중 개인특성을 반영한 변수로 주민 1인당 지방세 부담액을 설정하였다. 지방세의 한 종류인 주민세는 시·군·구 단위로 확보할 수 있는 자료로서, 개인의 소득수준을 나타내는 대리변수로 사용할 수 있다(박완규 2010).

### 3) 미래 대설 자료

본 논문에서 기후변화에 따른 미래 대설 피해액 예측을 위해 기후변화 시나리오 자료를 활용했다. 기상청에서 현재 제공하고 있는 RCP(Representative Concentration Pathways) 시나리오는 적설에 대한 자료가 별도로 존재하지 않기 때문에 본 논문은 선행연구(국민안전처 2017)에서 도출한 자료를 활용하였다.

본 논문에서는 Byun, Yang and Lee(2008)가 제시한 방법을 기반으로 3시간 강수 자료와 3시간 지상 평균 기온 자료를 이용하여 3시간 신적설 자료를 생산하였다. 산출식은 <식 1>과 같으며, T는 지상 평균 기온(°C), PR은 강수(mm·3hr<sup>-1</sup>)를 나타낸다. 즉 본 논문에 사용한 미래 대설자료는 3시간 강수, 지상 평균 기온 자료를 이용하여 Snow Ratio(SR)을 구한 뒤, SR에 강수량을 곱해 3시간 신적설 자료를 산출한 것으로 2021년부터 2100년까지의 범위로 구축되었다.

RCP 시나리오는 제5차 평가보고서 작성을 위해 도입된 미래 온실가스 시나리오로서, 인간 활동이 대기

$$\begin{aligned}
 SR &= a/[1 + \exp[(T-b)/c]], \\
 a &= 18.8, b = 0.0811, c = 0.6508, \quad 1mm(3h)^{-1} \leq PR < 2mm(3h)^{-1}, \\
 a &= 16.1, b = 0.2182, c = 0.5373, \quad 2mm(3h)^{-1} \leq PR < 3mm(3h)^{-1}, \\
 a &= 14.9, b = 0.2295, c = 0.5174, \quad 3mm(3h)^{-1} \leq PR < 4mm(3h)^{-1}, \\
 a &= 13.2, b = 0.2678, c = 0.5074, \quad 4mm(3h)^{-1} \leq PR < 5mm(3h)^{-1}, \text{ and} \\
 a &= 11.9, b = 0.1524, c = 0.5174, \quad PR \geq 5mm(3h)^{-1} \\
 \text{신적설량}(cm) &= SR \times PR(mm)/10
 \end{aligned}$$

<식 1>

에 미치는 복사강제력으로 온실가스 농도를 4가지 (2.6, 4.5, 6.0, 8.5)로 분류하여 사용하고 있다. 본 논문에서는 온실가스 저감에 대한 노력 없이 현재 추세대로 온실가스가 배출되는 것을 가정한 부정적 시나리오인 RCP 8.5와 적극적인 노력으로 온실가스가 상당히 저감된 시나리오인 RCP 4.5를 이용하여 기후변화를 고려한 대설 피해액을 추정하였다.

또한 본 논문의 미래 대설 피해액 추정 시점은 2030년과 2050년이므로 2025~2035년, 2045~2055년 자료의 평균치를 이용하여 미래 자료에 대한 불확실성을 감소시키고자 하였다.

#### IV. 분석 결과

##### 1. 기초통계량 분석

본 논문은 패널분석의 기본 가정을 준수하고, 분석의 효율성을 높이기 위해 종속변수와 설명변수에 로그를 취하여 자연대수식으로 모형을 설정하였으며, 이를 통해 개별 설명변수의 변화율에 따른 대설 피해액의 변화율을 살펴볼 수 있도록 하였다. 또한 로그변수로 변환시킬 경우 자료의 분산이 줄어들기 때문에 보다 안정적인 계수를 추정할 수 있도록 해주며 경우에 따라 이분산성의 문제도 해결할 수 있게 된다(최충익 2004).

본 논문에서 사용된 데이터의 기초통계량은 <Table 4>와 같다. 패널분석에 앞서 자료들에 대한 정규성 검정을 실시하였다. 자료의 정규성 검정은 일변량 정규성과 다변량 정규성 모두 검토하였으며, 정규성 항목 중 왜도와 첨도를 통해 파악하였다. 본 연구 분석 자료의 정규성 검토결과 문제가 없는 것으로 나타났다.

<Figure 1>은 과거 15년간의 평균 일반시설 대설

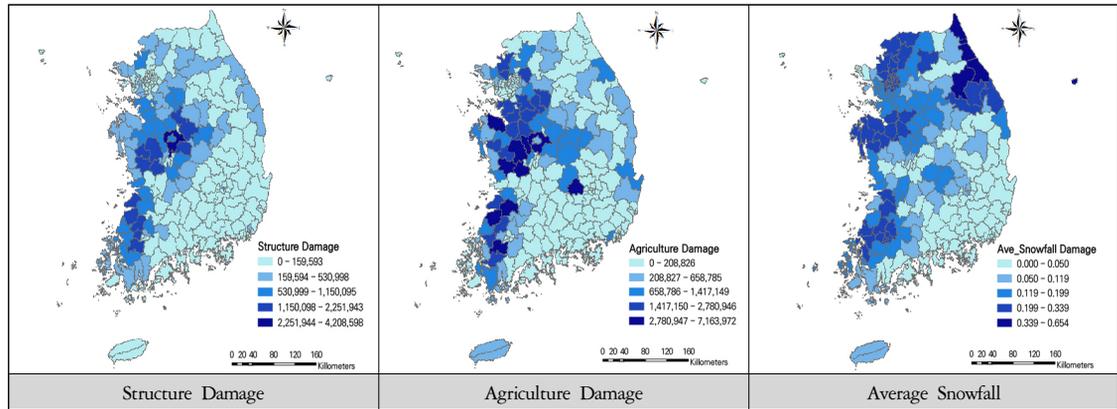
**Table 4** \_ Descriptive Statistics of Log-transformed Variables

Variables	Mean	S.D.	Skewness	Kurtosis
Structure_damage	2.496	4.972	1.597	0.813
Agri_damage	2.807	5.227	1.447	0.383
Ave_nsnd	0.078	1.302	-1.053	1.122
Max_nsnd	1.879	0.917	-0.415	-0.484
Sum_nsnd	2.856	1.273	-0.649	-0.248
Days_nsnd_5	0.732	0.711	0.531	-0.690
Days_nsnd_20	0.066	0.238	3.988	17.898
Pop_density	11.732	1.418	0.155	-0.986
Urban_rate	3.819	0.997	-0.219	-1.398
Agri_rate	7.473	2.651	-0.851	0.353
Inpermeable_rate	16.740	1.710	0.301	-0.919
Per capita resident tax	5.353	0.784	-1.307	5.402
C_GRDP	11.981	0.935	0.052	-0.449
C_employed	7.641	1.087	0.111	0.480
C_business	5.319	0.896	-0.133	-0.030
A_GRDP	10.439	2.406	-1.401	1.843
A_employed	3.620	1.968	-0.727	-0.610
A_business	1.746	1.092	0.155	-0.799

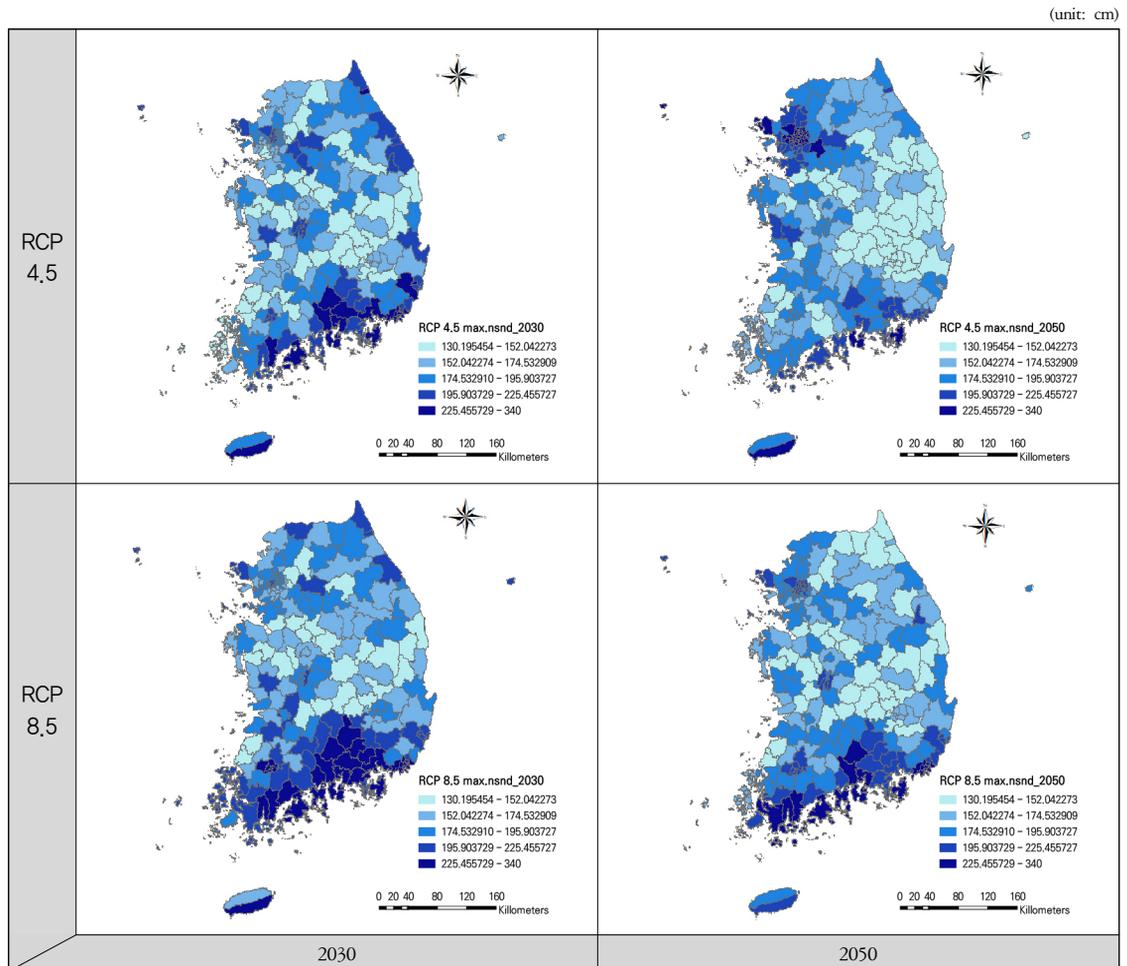
피해액, 농림어업시설 대설 피해액, 평균 신적설량의 공간적 분포를 나타냈다. 종속변수인 일반시설 대설 피해액은 최대 412억 원까지, 농림어업시설 대설 피해액은 최대 823억 원까지의 분포를 보였으며, 서해안 지역과 충청남도 지역에서 피해가 큰 것으로 나타났다. 한편 신적설량은 충청남도 지역, 서해안 지역, 강원도 지역에 골고루 분포되었으나 강원지역이 가장 높은 값을 나타냈다.

<Figure 2>는 기후변화 시나리오에 따른 2030년과 2050년의 최대 신적설량 분포를 나타낸 것이다. 최소 125cm에서 최대 337cm까지의 분포를 보이고 있다. 과거 신적설량 자료와 비교했을 때 전체적으로 남해안에 적설량이 커질 것으로 예상된다.

**Figure 1** \_ Spatial Distribution of Heavy Snowfall Damage by Facility and Average New Snowfall Amount(2001~2014)  
(unit: thousand won, cm)



**Figure 2** \_ Maximum New Snow Amount Distribution for 2030s(2025~2035) and 2050s(2045~2055) under RCP 4.5 and RCP 8.5 Scenarios  
(unit: cm)



## 2. 대설 피해액에 영향을 미치는 요인 분석 결과

먼저, 일반시설물의 대설 피해액을 종속변수로 하는 패널토빗모형의 추정 결과는 <Table 5>와 같다.

확률효과모형(Random Effect), 시간고정효과모형(Time Fixed Effect), 지역고정효과모형(Region Fixed Effect), 시간 및 지역 고정효과모형(Time and Region Fixed Effect)의 네 모형에서 공통적으로 유의하게 나온 변수는 평균 신적설량, 신적설 20cm 초과일수, 도시지역 비율이다. 시간과 지역을 모두 통제했을 때, 일반시설물 대설 피해에 미치는 평균 신적설량의 영향은 지역고정효과모형에 비해 약 0.6배 감소하며, 시간고정효과모형에 비해 약 2.3배 증가하는 것으로 나타났다. 신적설 20cm 초과일수는 지역고정효과모형

에 비해 약 0.9배 감소하며, 시간고정효과모형에 비해 약 1.1배 증가한다. 도시지역 비율의 경우에는 지역고정효과모형과 비교했을 때 음(-)영향이 약 1.1배 증가하고, 시간고정효과모형에 비해 약 2배 증가한다.

Time and Region Fixed Effect Panel Tobit Model의 추정 결과를 살펴보면 총 6개의 변수가 통계적으로 유의한 것으로 도출되었다. 유의한 변수 중 평균 신적설량(Ave\_nsnd), 최대 신적설량(Max\_nsnd), 신적설 20cm 초과일수(Days\_nsnd\_20), 주민 1인당 지방세 부담액(Per Capita Resident Tax)이 큰 지자체에서 일반시설물 대설 피해액이 높게 나타났으며, 반대로 누적적설량(Sum\_nsnd)과 도시지역 비율(Urban\_rate)이 큰 지역은 피해액이 낮게 나타났다.

주민 1인당 지방세 부담액은 개인 특성을 반영한

Table 5\_ Estimation Summary of Structure Damage Models

Classification		Random Effect Panel Tobit Model	Time Fixed Effect Panel Tobit Model	Region Fixed Effect Panel Tobit Model	Time and Region Fixed Effect Panel Tobit Model
Variable Estimate	Intercept	-35.12667***	-80.5839	-87.6032***	-8.1720
	Ave_nsnd	31.88560**	34.6628***	130.4176***	79.2125***
	Max_nsnd	1.01830	5.4692***	3.6550**	9.2614***
	Sum_nsnd	2.08790*	-1.5846	-2.2737	-5.8154***
	Days_nsnd_5	2.03238	0.2993	-0.6578	-1.4053
	Days_nsnd_20	4.47827*	5.4213***	6.4234***	5.7198***
	Pop_density	-0.23343	-0.5813	-0.3812	-1.4304
	Urban_rate	-2.91900***	-2.5929***	-4.9205*	-5.2015*
	Agri_rate	1.21492**	1.4577***	-0.7243	0.1494
	Inpermeable_rate	-1.44208	-2.4676**	18.1325***	10.3377
	Per capita resident tax	1.59894	0.4031	2.8265***	1.6018*
	C_GRDP	-0.20234	0.1410	-0.7350	0.1168
	C_employed	-2.43136*	-3.2113**	0.4527	-0.5322
	C_business	5.65259***	6.1143***	0.1677	-0.1411
Wald chi2		618.50***	499.53***	546.48***	659.03***
Log Likelihood		-3181.725	-2896.4681	-2912.2394	-2669.3492
Number of obs		3450			
Left-Censored Observations		2873			
Uncensored Observations		577			

Note: \*p<0.10, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01

경제발전 대리함수로서 양(+)<sup>1</sup>의 영향력을 보이는 것은 개인의 경제력이 높아지면 피해를 많이 받는다는 뜻으로서, 가치가 높은 자산으로 인해 상대적으로 피해가 더 커지는 것으로 해석된다. 이러한 연구결과는 이미연, 홍종호(2016)의 연구에서 1인당 주민세액이 자연재해에 양(+)<sup>1</sup>의 영향을 미치는 것과 유사한 맥락이라 말할 수 있다.

누적 적설량은 내리고 있는 눈의 양보다 녹는 눈의 양이 많을 경우 줄어들 수 있다. 또한 쌓인 눈 자체의 무게에 의해 시간이 지남에 따라 점차 적설량이 줄어들기도 한다(기상청 2000)는 점을 감안한다면 누적 적설량에 대해서 음(-)<sup>1</sup>의 영향력을 보이는 것이 적절할 것으로 판단되었다.

한편 Toya and Skidmore(2007)는 소득이 높은 국가

일수록 자연재난으로 인한 사회간접시설의 피해를 최소화하는 예방책을 마련해 놓았을 확률이 높기 때문에 추가적인 피해도 작아진다고 주장하였는데, 본 논문의 모형에서 도시지역 비율이 음(-)<sup>1</sup>의 영향력을 보이는 것도 도시지역 면적이 큰 지자체일수록 피해를 최소화하는 예방책이 마련되어 있음을 보여준다.

다음으로 농림어업시설물의 대설 피해액을 종속변수로 하는 패널토빗모형의 추정 결과는 <Table 6>과 같으며, 네 모형에서 모두 유의하게 나온 변수는 최대 신적설량, 신적설 20cm 초과일수, 불투수면적 비율, 농림어업 GRDP 총 4개의 변수이다. 시간과 지역을 모두 통제했을 때, 농림어업시설물 대설 피해에 미치는 최대 신적설량의 영향은 지역고정효과모형에 비해 약 2.1배 증가하며, 시간고정효과모형에 비해 약 1.4

**Table 6** \_ Estimation Summary of Agriculture, Forestry and Fisheries Facilities Damage Models

Classification	Random Effect Panel Tobit Model	Time Fixed Effect Panel Tobit Model	Region Fixed Effect Panel Tobit Model	Time and Region Fixed Effect Panel Tobit Model
	Intercept	-49.34333***	-93.5785	-126.4063***
Ave_nsnd	27.14179**	15.9759	108.5183***	55.9853***
Max_nsnd	4.68441***	7.1251***	4.6511***	9.8688***
Sum_nsnd	0.89349	-1.6875	-0.2798	-5.0372***
Days_nsnd_5	1.64943	0.8752	-0.6623	-0.6351
Days_nsnd_20	4.05311*	5.4198***	5.7935***	5.7267***
Pop_density	0.37249	0.1591	-0.4235	-2.0937**
Urban_rate	-0.65668	-0.5428	-5.7541**	-5.7506**
Agri_rate	0.66374	1.7340***	1.0327	1.5679**
Inpermeable_rate	-1.72978**	-2.9234***	15.9914***	16.1113**
Per capita resident tax	1.67736***	0.7900	1.2255	1.0971
A_GRDP	1.18977***	1.1055***	3.3238***	2.2830***
A_employed	-0.75011	-0.2190	-0.4753	0.1237
A_business	1.88193*	0.4236	3.8669***	0.4484
Wald chi2	757.15***	663.64***	640.96***	839.52***
Log Likelihood	-3444.6188	-3101.427	-3205.1787	-2892.9825
Number of obs	3450			
Left-Censored Observations	2805			
Uncensored Observations	645			

Note: \*p<0.10, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01

배 증가하는 것으로 나타났다. 신적설 20cm 초과일수는 지역고정효과모형, 시간고정효과모형과 비슷한 영향 정도를 보였으며, 농림어업 GRDP는 지역고정효과모형에 비해 약 0.7배 감소하며, 시간고정효과모형에 비해 약 2배 증가하는 것으로 나타났다.

한편 불투수면적 비율의 경우 확률효과모형과 시간고정효과모형은 음(-)의 영향을 보였으나 지역고정효과모형과 시간 및 지역 고정효과모형은 양(+)의 영향을 나타냈다. 이는 지역별 고유효과가 통제되지 않고 농림어업시설물 대설 피해액을 분석할 경우 누락변수의 문제가 발생하여 신뢰성 낮은 결과를 얻게 된다고 판단할 수 있다.

Time and Region Fixed Effect Panel Tobit Model의 추정 결과를 살펴보면 총 9개의 변수가 통계적으로 유의한 것으로 추정되었다. 이 중에서 평균 신적설량(Ave\_nsnd), 최대 신적설량(Max\_nsnd), 신적설 20cm 초과일수(Days\_nsnd\_20), 농촌지역 비율(Agri\_rate), 불투수면적 비율(Impermeable\_rate), 농림어업 GRDP(A\_GRDP)가 높은 지역은 농림어업시설의 대설 피해액이 큰 것으로 나타났으며, 누적 적설량(Sum\_nsnd), 인구밀도(Pop\_density), 도시지역 비율(Urban\_rate)이 큰 지역은 농림어업시설의 대설 피해액이 낮게 나타났다.

농림어업시설의 경우 선박, 농경지, 가축, 비닐하우스 등이 포함되었기에 농촌지역 비율, 농림어업 GRDP에 대한 영향력이 양(+)의 영향력으로 나타난 것으로 판단하였다. 그리고 불투수면적 비율이 양(+)의 영향력으로 나타난 것은 투수층을 충분히 확보하지 않고 불투수면에 대한 적절한 관리가 미흡한 지역은 상대적으로 대설에 취약한 지역이 될 수 있음을 보여준다.

일반시설, 농림어업시설의 대설 피해액 패널토빗 모형 추정 결과, 약간의 차이는 있었지만 전반적으로

공통적인 변수들이 영향을 미치는 것으로 나타났다. 공통적인 증가요인으로 평균 신적설량, 최대 신적설량, 신적설 20cm 초과일수가 유의하게 나타났으며, 공통적인 감소요인으로 누적 적설량과 도시지역 비율이 유의하게 나타났다.

### 3. 기후변화를 고려한 대설재난 피해액 예측

본 논문에서는 기후변화를 고려한 신적설량의 변화에 따른 피해액 변화를 살펴보고자 한다. 이를 위해 앞서 구축한 피해시설별 대설 피해액 예측모형에 기후변화 시나리오를 적용하여 미래(2030년, 2050년) 시점의 대설재난으로 인한 직접 피해액을 추정한다. 기후변화 시나리오는 RCP 4.5시나리오와 RCP 8.5시나리오를 사용하였는데, 현재 추세대로 온실가스를 배출할 경우와 온실가스 저감 정책이 상당히 실현된 경우를 비교할 수 있다.

한편 기후변화를 고려한 신적설량 변화에 따른 대설 피해의 변화를 확인하기 위하여 사회경제적 구조는 현재와 동일하다는 가정하에 미래 대설 피해액을 추정하였다. 또한 모든 기후특성변수를 고려할 경우 과대 추정될 수 있기 때문에 앞서 추정한 회귀모형에서 공통적으로 유의한 관계를 보였던 변수 중 최대 신적설량 변수를 고려하여 추정하였다. 최대 신적설량의 경우 적설의 강도를 짐작할 수 있는 지표가 될 수 있으므로 기후변화를 고려한 대설재난 피해액의 추정 시 극한 기후·기상 현상을 반영할 수 있다.

분석 결과 2030년의 경우 RCP 4.5 시나리오를 고려했을 때 대설재난 피해액은 약 3조 1,412억 원, RCP 8.5 시나리오를 고려했을 때 약 3조 2,029억 원으로 예측되었다. 2050년은 RCP 4.5 시나리오를 고려했을 때 약 3조 1,412억 원으로, RCP 8.5 시나리오를 고려했을 때 약 3조 1,259억 원으로 예측되었다. 즉, RCP

4.5 시나리오 적용 2050년, RCP 8.5 시나리오 적용 2030년, RCP 4.5 시나리오 적용 2030년, RCP 8.5 시나리오 적용 2050년순으로 대설 피해액이 크게 예측되었다.

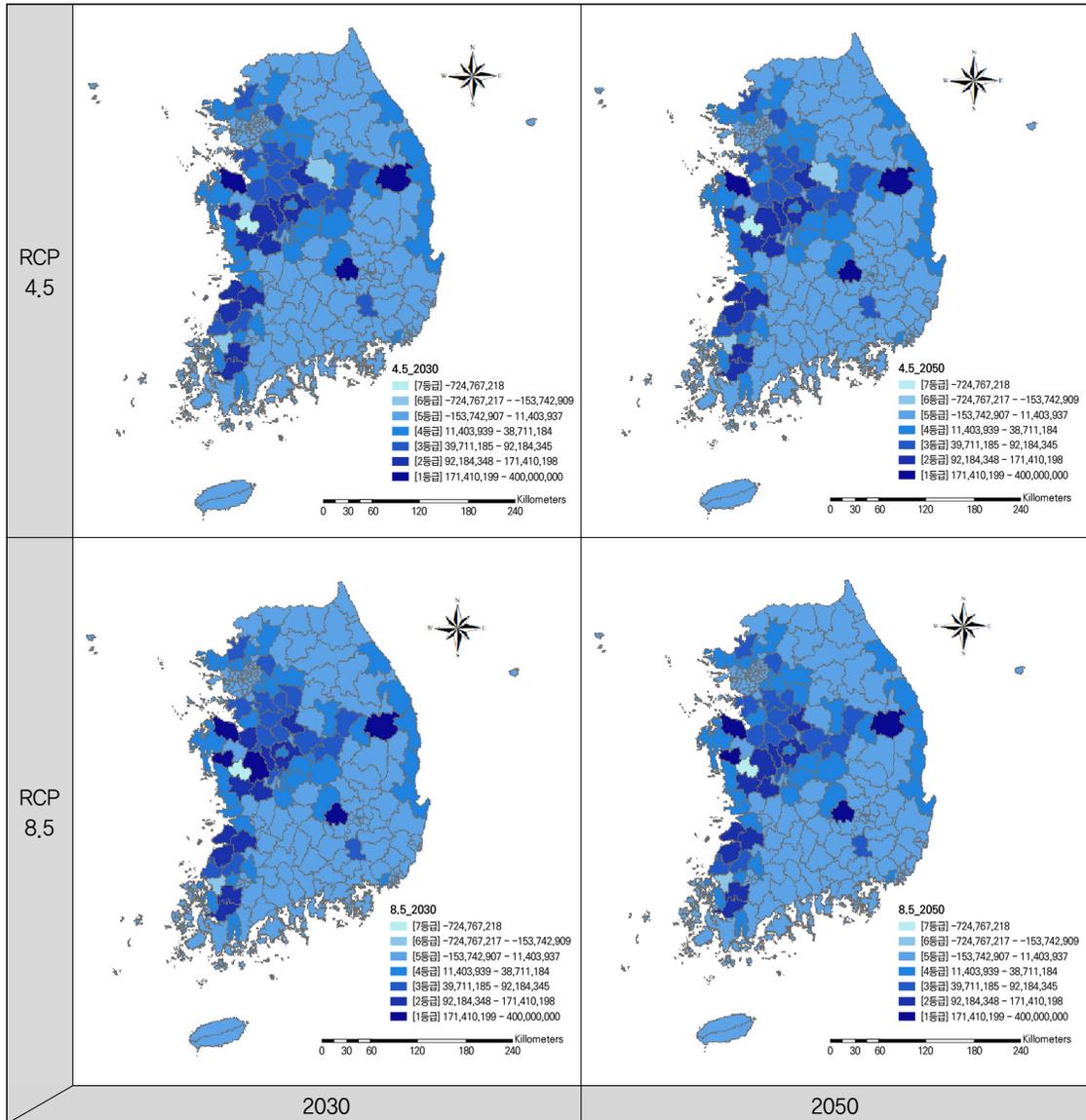
지역에 따른 대설 피해액은 <Figure 3>과 같이 나타났다. <Figure 3>은 추정된 대설 피해액의 공간정

보를 Arc Map의 Natural Breaks(Jenks) 방법을 활용하여 7등급으로 구분하여 표출한 것으로 대설 피해액이 높을수록 대설재난에 취약한 지역으로 분류하였다.

1등급의 취약지역으로는 충청남도 당진시, 홍성군, 공주시, 경상북도 봉화군, 성주군으로 나타났으며, 이 지역들은 다른 지역보다 피해가 클 것으로 예상되

**Figure 3\_ Prediction of Economic Damage Caused by Heavy Snowfall Considering Climate Change**

(unit: thousand won)



로 사전에 대설 피해를 저감하는 노력이 필요함을 시사한다. 위 지역을 제외한 취약지역은 대부분 5등급으로 구분되었으나 국가 전반적으로 대설 피해액이 증가함에 따라 이에 대한 대응책을 마련해야 한다.

결과적으로 기후변화를 고려한 대설 피해액은 약 3조 1,259억 원부터 약 3조 2,167억 원까지의 분포를 보이고 있다. 이와 같은 결과를 과거 15년(2000~2014년) 간의 평균 대설 피해액 약 2,142억 원과 비교했을 경우 약 15배 증가하는 것으로 예측된다. 과거 대설 피해의 분포를 살펴보면 대설 피해는 매년 발생하지 않았으며, 2006년 58억 원에서 2001년 9,929억 원까지 피해의 규모가 일정하지 않다. 따라서 현재에 비해 미래 대설 피해가 무조건 증가할 것이라 단정짓기 어렵지만 국가 경제적으로 대비를 할 필요가 있음은 분명하다.

## V. 요약 및 결론

최근 기후변화의 영향으로 대설을 비롯한 자연재해의 발생빈도 증가는 물론 이로 인한 피해가 점차 다양화, 대형화되고 있는 추세이다. 많은 선행연구 및 분석 자료에 따르면 온실가스 배출이 계속됨에 따라 가뭄, 홍수, 국지적 집중호우 그리고 폭설 등 극한기상 현상이 더욱 심화되고 결과적으로 인간계와 생태계에 심각하고 광범위한 피해를 미칠 것이라고 예측하고 있다. 때문에 자연재해 피해에 대비한 대책 마련이 중요하다고 볼 수 있다. 이때 본 논문과 같이 현재 및 과거 정보를 바탕으로 다양한 미래 시나리오에 대한 피해규모를 산정하는 것은 향후 대응 및 정책 의사결정에 중요한 역할을 할 수 있다.

본 논문은 대설 피해액 예측모형을 구축하기 위해 지난 15년(2000~2014년) 동안의 데이터를 기반으로 피해시설별 패널토빗분석을 실시하였다. 그리고 구축

한 모형을 토대로 기후변화를 고려한 대설 피해액을 추정하였다.

분석 결과, 평균 신적설량, 최대적설량, 신적설 20cm 초과일수가 대설 피해 증가에 크게 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 누적적설량과 도시지역 비율이 큰 지역은 피해액이 낮게 나타났다. 그리고 농촌지역 비율, 불투수면적 비율, 농림어업 GRDP가 높을수록 농림어업시설 피해액이 증가하고, 주민 1인당 지방세 부담액이 증가할수록 일반시설 피해액이 증가하는 것으로 나타났다. 기후변화를 고려한 대설 피해액은 과거 15년(2000~2014년) 동안의 평균 대설 피해액(약 2,142억 원)과 비교하였을 때 약 24배에서 29배까지 증가하는 것으로 예측되고 있다. 이러한 대설 피해의 증가는 기후변화 시나리오에 따른 미래 최대 적설량의 증가와도 밀접한 관계가 있어 보인다. 미래 최대 적설량은 최소 125cm에서 최대 337cm까지의 분포를 보이고 있으며, 적설이 간헐적이면서 특정 시기에는 대설이 집중되는 현상이 증가할 것으로 예측된다. 이러한 최대적설량의 증가는 평균 대설 피해액의 증가로 이어지는 것으로 예측할 수 있다.

지금까지 대설 피해에 대한 국내 연구가 많지 않았고, 피해시설별 패널토빗분석과 기후변화를 고려한 대설 피해액 예측에 관한 연구가 없었다는 점에서 본 논문의 의의가 있다고 할 수 있다. 그러나 연구의 한계점 또한 존재한다. 우선, 기후변화 시나리오를 기반으로 미래 피해액을 예측하고 있으므로 기후변화 시나리오와 연계한 불확실성이 존재한다. 과거 적설자료의 경우 매년 모든 지역에서 강설이 발생하진 않으나, 기후변화 시나리오에 따른 미래 적설량은 매년 전국 모든 시군구에 대설이 발생하는 것으로 나타나고 있어, 과대 추정의 우려가 존재한다. 또한 미래 추정 시점의 사회경제적 구조 변화를 고려하지 못하고, 기상자료만으로 피해를 추정했다는 점은 추후 보완될

필요가 있다. 그리고 본 논문은 관련 데이터 확보의 문제로 대설로 인한 건물 및 시설의 피해와 같은 직접적인 피해만을 다루고 있으나 추가적인 연구를 통해 간접적인 피해, 즉 사회경제적 요인을 고려한 경제적 파급효과에 대한 연구를 진행할 필요가 있다.

그럼에도 불구하고 현재 가용한 정보를 바탕으로 기후변화를 고려한 대설재난의 경제적 피해를 예측하는 것은 기후변화와 대설 피해에 대한 지역공동체나 국가의 취약성을 추정할 수 있다. 피해정도에 따라 정책 마련의 우선순위 결정에도 활용할 수 있으며, 대설 재난에 대한 적절한 지원수준의 판단 근거로 활용될 수 있다.

본 논문의 결과를 기반으로 다음의 정책적 시사점을 제시할 수 있다. 첫째, 본 논문의 다양한 분석을 통해 본 바와 같이 기후변화로 인한 최대 신적설량 변화와 함께 미래 대설 피해액이 증가할 것이 예상된다. 최대 신적설량은 적설의 강도를 짐작할 수 있는 극한 기후요인으로서 앞으로 이러한 극한 기후가 빈번히 나타날 것임을 확인할 수 있었다. 따라서 도시계획 및 기반시설 계획에 있어 설계 단계부터 이러한 극한 상황을 고려하여 방재 기준을 높여야 하며, 재해 취약지역의 경우 최소 설계빈도의 상향을 통해 재난 대비체계를 사전에 구축해야 함을 시사한다.

둘째, 대설은 다른 자연재난에 비해 시간적, 지역적 편차가 심하다. 따라서 지역 고유의 특성을 고려하여 대설 피해 예방 및 복구 정책을 시행한다면 더욱 효과적으로 피해를 저감할 수 있을 것이다. 특히, 분석결과는 도시지역 면적비율이 낮을수록 폭설피해의 규모가 커지는 것으로 나타나 도시지역보다는 농어촌지역에 폭설의 직접적 피해가 집중됨을 보여준다. 최근 인구감소, 고령화로 많은 고층을 겪고 있는 농어촌지역이 폭설피해에도 취약함을 나타내고 있어 이들 지역에 대한 대책 마련이 절실함을 시사한다.

셋째, 분석결과는 폭설과 토지이용과의 연계성도 보여주는데, 불투수면적 비율이 높을수록 대설 피해의 규모가 커지는 것으로 나타났다. 지역의 불투수면적 확대가 홍수뿐 아니라 폭설피해와도 연계가 높으므로 도시의 기후변화 적응능력을 향상시키고 자연재해 피해를 줄이도록 투수층 확보하고 불투수면적을 줄이는 노력이 지속될 필요가 있겠다.

#### 참고문헌 •••••

1. 구유성, 이성호, 정주철. 2013. 도심의 설해취약지역 선정 및 위험도 평가에 관한 연구. 대한토목학회논문집 33권, 3호: 1077-1086.  
Koo Yooseung, Lee Sungho and Jung Juchul. 2013. Selecting and assessing vulnerable zones of snow damage in urban areas: The case of City of Busan. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers* 33, no.3: 1077-1086.
2. 국민안전처. 2017. 기후변화에 따른 풍수해 대응 지역별 방재역량 강화연구개발. 서울: 국민안전처  
Ministry of Public Safety and Security. 2017. *A Study on the Improvement of Disaster Prevention Capacity by Region in response to Wind-Water Damage due to Climate Change*. Seoul: Ministry of Public Safety and Security.
3. \_\_\_\_\_. 2018. 재해연보 2017. 서울: 국민안전처  
\_\_\_\_\_. 2018. *Disaster Yearbook 2017*. Seoul: Ministry of Public Safety and Security.
4. 권순호, 김정환, 박희성, 정건희. 2016. 회귀분석을 이용한 대설에 따른 강원지역의 피해액 예측모델 개발. 한국방재학회 논문집 16권, 2호: 437-443. <https://doi.org/10.9798/KOSHAM.2016.16.2.437>  
Kwon Soonho, Kim Junghwan, Park Heeseong and Chung Gunhui. 2016. Snow damage estimation of Gangwon province damages using regression analysis. *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation* 16, no.2: 437-443. <https://doi.org/10.9798/KOSHAM.2016.16.2.437>
5. 권순호, 박희성, 정건희. 2016. 대설피해에 따른 방재취약성 분석 및 대응대책 방안. 한국방재학회 논문집 16권, 2호: 363-368. <https://doi.org/10.9798/KOSHAM.2016.16.2.363>

- Kwon Soonho, Park Heeseong and Chung Gunhui. 2016. Analysis of snow vulnerability and adaptation policy for heavy snow. *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation* 16, no.2: 363-368. <https://doi.org/10.9798/KOSHAM.2016.16.2.363>
6. 권순호, 정건희. 2017. 대설피해액 추정을 위한 다중회귀 모형의 적용성 평가. *대한토목학회논문집* 37권, 1호: 61-72. Kwon Soonho and Chung Gunhui. 2017. Estimation of snow damages using multiple regression model. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers* 37, no.1: 61-72.
7. 기상청. 2000. 시간이 갈수록 적어지는 적설량. 1월 11일, 보도자료. Korea Meteorological Administration. 2000. Less snow as time goes by. January 11, Press release.
8. 기후변화센터. <http://www.climatechangecenter.kr/> (2020년 1월 6일 검색). Climate Change Center. <http://www.climatechangecenter.kr/> (accessed January 6, 2020).
9. 김근영, 주현태, 김희재. 2018. 대설 재난의 피해액 결정요인에 관한 연구. *한국산학기술학회 논문지* 19권, 2호: 125-136. <https://doi.org/10.5762/KAIS.2018.19.2.125> Kim Geunyoung, Joo Hyuntae and Kim HeeJae. 2018. The study for damage effect factors of heavy snowfall disasters: Focused on heavy snowfall disasters during the period of 2005 to 2014. *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society* 19, no.2: 125-136. <https://doi.org/10.5762/KAIS.2018.19.2.125>
10. 김연수, 강나래, 김수전, 김형수. 2013. 적설량 예측을 위한 신경망 및 다중회귀 모형의 적용성 평가. *한국방재학회 논문집* 13권, 2호: 269-280. <https://doi.org/10.9798/KOSHAM.2013.13.2.269> Kim Yonsoo, Kang Narae, Kim Soojun and Kim Hungsoo. 2013. Evaluation for snowfall depth forecasting using neural network and multiple regression models. *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation* 13, no.2: 269-280. <https://doi.org/10.9798/KOSHAM.2013.13.2.269>
11. 김준순. 1997. 비시장제 가치평가에 있어 음의 지불의사 가능성에 근거한 Tobit모형 적용: 산림경제연구 5권, 2호: 59-66. Kim Joonsoon. 1997. An application of a Tobit Model in the presence of negative willingness to pay under valuation of nonmarket goods. *Korean Journal of Forest Economics* 5, no.2: 59-66.
12. 류문현, 조승국. 2010. 자연재난의 국민경제적 파급효과 분석: 태풍피해를 중심으로. *생산성논집* 24권, 3호: 273-290. <http://doi.org/10.15843/kpapr.24.3.201009.273> Ryu Munhyun and Cho Seungkuk. 2010. A Study on national economic impact by natural disaster: A case of typhoon. *The Journal of Productivity* 24, no.3: 273-290. <http://doi.org/10.15843/kpapr.24.3.201009.273>
13. 류문현, 조승국, 김정인. 2012. CGE모형을 이용한 자연재해의 경제적 파급효과 분석. *환경정책* 20권, 1호: 1-21. Ryu Munhyun, Cho Seungkuk and Kim Jeongin. 2012. Effects of natural disaster on nation economy: A CGE model. *Journal of Environmental Policy and Administration* 20, no.1: 1-21.
14. 박완규. 2010. 지방자치단체의 경제력 격차에 대한 분석. *지역연구* 26권, 4호: 75-101. Park Wanky. 2010. An empirical analysis of the economic gap among basic local authorities using proxies of GRDP. *Journal of KRSA* 26, no.4: 75-101.
15. 안소라, 이준우, 김성준. 2015. RCP 기후변화 시나리오에 따른 미래 강설량 예측 및 폭설 취약지역 평가. *대한토목학회 논문집* 35권, 3호: 545-556. <https://doi.org/10.12652/Ksce.2015.35.3.0545> Ahn Sora, Lee Junwoo and Kim Seongjoon. Projection of future snowfall and assessment of heavy snowfall vulnerable area using RCP climate change scenarios. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers* 35, no.3: 545-556. <https://doi.org/10.12652/Ksce.2015.35.3.0545>
16. 이미연, 홍종호. 2016. 패널모형을 이용한 자연재해 피해의 결정요인에 관한 고찰. *한국방재학회 논문집* 16권, 4호: 247-257. <https://doi.org/10.9798/KOSHAM.2016.16.4.247> Lee Miyeon and Hong Jongho. 2016. Analysis of the determining factors on natural disaster damage using panel model. *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation* 16, no.4: 247-257. <https://doi.org/10.9798/KOSHAM.2016.16.4.247>
17. 이상혁, 강정은. 2019. 기후변화를 고려한 폭설 리스크 평가: 교통시설 및 건축물 피해를 중심으로. *한국방재학회 논문집* 19권, 2호: 57-68. <https://doi.org/10.9798/KOSHAM.2019.19.2.57> Lee Sanghyeok and Kang Jungeun. 2019. Risk assessment of heavy snowfall considering climate change: Focusing on damage to roads and buildings. *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation* 19, no.2: 57-68. <https://doi.org/10.9798/KOSHAM.2019.19.2.57>

/KOSHAM.2019.19.2.57

18. 이승일. 2013. 태풍시 강우량과 풍속에 따른 피해규모 예측에 관한 연구. 석사학위논문, 순천대학교.  
Lee Seungil. 2013. *Study on Damage Scale Prediction by Rainfall and Wind Velocity with Typhoon*. M.D.diss., Suncheon National University.
19. 이승호, 천재호. 2003. 시베리아 고기압 확장시 호남 지방의 강설 분포-노령 산맥 서사 면 지역을 중심으로. *대한지리학회지* 38권, 2호: 173-183.  
Lee Seungho and Chun Jaeho. 2003. The distribution of snowfall by Siberian high in the Honam region: Emphasized on the westward region of the Noryung mountain ranges. *Journal of the Korean Geographical Society* 38, no.2: 173-183.
20. 이영훈. 2001. 선형패널자료모형에 관한 문헌연구. *계량경제학보* 12권, 1호: 105-138.  
Lee Younghoon. 2001. Literature study on linear data models. *Journal of the Korean Econometric Society* 12, no.1: 105-138.
21. 이희연, 노승철. 2012. 고급통계분석론. 고양: 문우사.  
Lee Heeyon and Noh Seungchul. 2012. *Advanced Statistical Analysis*. Goyang: Moonwoosa.
22. 정준호, 이승호. 2014. 폭설에 의한 경제적인 직접 피해액의 추정. *기후연구* 9권, 2호: 125-139. <http://dx.doi.org/10.14383/cri.2014.9.2.125>  
Jung Junho and Lee Seungho. 2014. Estimating the direct economic damages from heavy snowfall in Korea. *Journal of Climate Research* 9, no.2: 125-139. <http://dx.doi.org/10.14383/cri.2014.9.2.125>
23. 정준호, 허인혜. 2014. 자연재해 직접 피해액의 추세 및 그 결정요인에 대한 분석: 강원도의 사례. *사회과학연구* 53권, 1호: 77-99.  
Jeong Junho and Heo Inhye. An analysis of the time trend of direct economic damages from natural disasters and their determinants: The case of Gangwon-do. *Journal of Social Sciences* 53, no.1: 77-99.
24. 조형경, 김셋별, 정혁, 신형진, 김성준. 2011. 기후변화 시나리오를 이용한 미래의 강설량 예측. *한국지리정보학회지* 14권, 3호: 188-202.  
Joh Hyungkyung, Kim Saetbyul, Cheong Hyuk, Shin Hyungjin and Kim Seongjoon. 2011. Projection of future snowfall by using climate change scenarios. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 14, no.3: 188-202.
25. 하경준, 정주철. 2017. 도시화와 강우량이 도시홍수 피해에 미치는 영향에 관한 연구. *국토계획* 52권, 4호: 237-252. <https://doi.org/10.17208/jkpa.2017.08.52.4.237>  
Ha Gyoungjun and Jung Juchul. 2017. The impact of urbanization and precipitation on flood damages. *Journal of Korea Planning Association* 52, no.4: 237-252. <https://doi.org/10.17208/jkpa.2017.08.52.4.237>
26. Byun Kun-young, Yang Jun and Lee Tae-young. 2008. A snow-ratio equation and its application to numerical snowfall prediction. *Weather and Forecasting* 23, no.4: 644-658. <https://doi.org/10.1175/2007WAF2006080.1>
27. Cavallo, E. and Noy, I. 2010. *The Economics of Natural Disasters: A survey*. New York: Inter-American Development Bank.
28. Cavallo, E., Powell, A. and Becerra, O. 2010. Estimating the direct economic damages of the earthquake in Haiti. *The Economic Journal* 120, no.546: F298-F312. <https://doi.org/10.1111/j.1468-0297.2010.02378.x>
29. Eakin, H. and Bojórquez-Tapia, L. A. 2008. Insights into the composition of household vulnerability from multicriteria decision analysis. *Global Environmental Change* 18, no.1: 112-127. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2007.09.001>
30. Eidsvig, M. K., McLean, A., Vangelsten, B. V., Kalsnes, B., Giurean, R. L., Argyroudis, S. and Vinter, M. G. et al. 2014. Assessment of socioeconomic vulnerability to landslide using an indicator-based approach: Methodology and case studies. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 73, no.2: 307-324.
31. Greene, W. H. 2003. *Econometric Analysis*. New Jersey: Prentice Hall.
32. Hochrainer, S. 2009. *Assessing The Macroeconomic Impacts of Natural Disasters: Are there any?* Washington D.C.: World Bank.
33. Jina, A. and Hsiang, S. M. 2012. Development after disaster: Multidecadal impacts of tropical cyclones upon long-run economic growth. In *AGU Fall Meeting Abstracts*, December 3-7, San Francisco, California.
34. Kennedy, P. 2001. *A Guide to Econometrics: Fourth Edition*. Cambridge: The MIT Press.
35. Liu, J. 2012. *Weather or Wealth: An analysis of property loss*

caused by flooding in the US. United States of America: Agricultural and Applied Economics Association.

36. Pielke Jr, R. A. and Downton, M. W. 2000. Precipitation and damaging floods: Trends in the United States, 1932-97. *Journal of Climate* 13, no.20: 3625-3637.
37. Skidmore, M. and Toya, H. 2002. Do natural disasters promote long-run growth? *Economic Inquiry* 40, no.4: 664-687. <https://doi.org/10.1093/ei/40.4.664>
38. Strobl, E. 2011. The economic growth impact of hurricanes: evidence from US coastal counties. *Review of Economics and Statistics* 93, no.2: 575-589. [https://doi.org/10.1162/REST\\_a\\_00082](https://doi.org/10.1162/REST_a_00082)
39. Toya, H. and Skidmore, M. 2007. Economic development and the impacts of natural disasters. *Economics Letters* 94, no.1: 20-25. <https://doi.org/10.1016/j.econlet.2006.06.020>

- 논문 접수일: 2020. 1. 10.
- 심사 시작일: 2020. 1. 28.
- 심사 완료일: 2020. 3. 24.

---

## 요약

주제어: 대설, 경제적 피해, 기후변화, 패널토빗분석

본 논문에서는 대설 대책마련을 위한 시작점으로 대설재난으로 인한 피해액 예측모형을 구축하고, 미래 기후변화 시나리오를 반영하여 그 변화를 살펴보았다. 이때, 보다 정교한 모형구축을 위해 대설 피해를 시설별(일반시설, 농림어업시설)로 구분하여 패널토빗모형을 구축하였다. 분석결과, 두 모형에서 공통적인 증가요인으로 평균 신적설량, 최대 신적설량, 신적설 20cm 초과일수가 유의하게 나타났으며, 공통적인 감소요인으로 누적 적설량과 도시지역 비율이 유의하게 나타났다. 구축한 피해시설별 대설 피해액 예측 모형에 기후변화 시나리오를 적용하여 미래(2030년,

2050년) 시점의 대설재난으로 인한 피해액을 추정한 결과는 약 3조 1,259억 원부터 약 3조 2,167억 원까지의 분포를 보였다. 이와 같은 결과는 현재에 비해 미래 대설 피해가 무조건 증가할 것이라 단정짓기 어렵지만 국가 경제적으로 대비할 필요가 있음을 보여준다. 장기간에 걸친 미래 대설재난의 피해비용 산정은 한계점이 있으나 현재 가용한 정보를 바탕으로 기후변화를 고려한 대설재난의 피해규모를 정량적으로 산정하는 것은 기후변화 관련 의사결정에 매우 중요한 역할을 할 수 있다.