

폭설에 의한 경제적인 직접 피해액의 추정

정준호¹ · 이승호²

¹강원대학교 부동산학과 · ²건국대학교 지리학과
(2014년 5월 19일 접수, 2014년 6월 17일 수정, 2014년 6월 18일 게재 확정)

Estimating the Direct Economic Damages from Heavy Snowfall in Korea

Jun Ho Jeong¹ · Seungho Lee²

¹Department of Real Estate, Kangwon National University

²Department of Geography, Konkuk University

(Received 19 May 2014, Revised 17 June 2014, Accepted 18 June 2014)

Abstract : This paper makes an estimation of the monetary damages caused by a snowfall-related natural disaster over the period 1985-2012. Economic damages are estimated for the disaster, employing economic, demographic and climate data with Tobit models for censored samples. This paper provides a basic framework for an understanding of natural disasters as an interaction between climate factors and socio-economic ones. However, it seems to true that frequent and/or more intensive weather-related natural hazards have happened over the study period, although some findings from this work could not definitely provide strong evidence for making a distinction between human-induced climate change and weather-related natural disasters.

Key Words : heavy snowfall, natural disasters, direct economic damages, Tobit model

주요어 : 폭설, 자연재해, 직접 피해액, 토빗 모형

1. 서론

지구 온난화와 극한기후 현상이 동시에 발생하면서 자연 및 인문·사회 요인의 결합으로서 기상재해가 빈발하고 있으며, 그 강도도 심화되고 있다. 하지만 기상재해에 따른 경제적 피해의 급증이 과연 인간이 야기한 온실가스에 의한 기후변

화에 의한 것인지, 아니면 단기적인 날씨의 변동에 의한 것인지를 구별할 필요가 있다(Neumayer and Barthel, 2011). 기후변화는 장기적인 시계열 현상이지만 인문적 조건에 의해 좌우되는 사회·경제적 요인들의 시계열은 이에 따라가지 못한다. 대부분의 인문 현상에 관한 자료는 중·단기 시간지평에 머물러 있다. 따라서 기상재해를

일으키는 기후요인과 사회·경제적인 요인을 결부시키고 이것이 온실가스에 의한 기후변화에 의한 것인지, 아니면 자연적인 날씨 변화에 의한 것인지를 구별하는 것은 쉬운 일이 아니다. 하지만 기후 요인과 사회·경제적 요인이 결합되어서 기상재해의 경제적 피해가 증폭될 수도 있지만 경감될 수도 있다는 것은 명백한 사실이다(Cavallo and Noy, 2010). 우리나라 자연재해의 대부분은 악기상에 의한 기상재해 때문에 발생하고 있지만(Sim, 2005), 이러한 자연재해의 취약성에 영향을 미치는 사회·경제적 요인들을 확인해 볼 필요가 있는 것이다.

기존 자연재해의 경제적 피해에 관한 연구는 주로 자연재해의 지리적 분포와 이에 대한 취약성의 평가에 집중되어 있다. 우리나라의 경우 집중호우와 태풍으로 인한 홍수 피해가 자연재해 전체 피해액의 90% 이상을 차지하고 있기 때문에(NEMA, 2013) 자연재해의 취약성 평가에 관한 연구는 주로 물 관련 재해와 연관되어 있다(Kim, 2009; Bae and Lee, 2010). 그리고 자연재해에 대한 공간적 분포에 관한 연구도 주로 호우 및 태풍과 관련되어 있다(Lee and Lee, 1998; Lee and Lee, 2008). 다른 한편으로, 기상재해의 경제적 효과에 대한 기존의 국내 연구는 주로 국민경제 차원에서 수행되어 왔다(SERI, 1998; Um *et al.*, 1996). 그리고 최근에는 이상기후의 자연재해의 피해액 산정에 관심이 집중되고 있다(예: So, 2011; Gil, 2011). 기상재해에 따른 경제적 효과는 크게 직접 피해와 간접 피해로 구분되는데, 전자는 인프라, 농작물, 주택 등의 피해를 일컫으며, 후자는 소득 감소, 실업, 시장 수급의 불안정성 등을 가리킨다(Cavallo and Noy, 2010). 후자의 경우 자료의 제약으로 이를 추정하기 힘든 것이 사실이다. 후자는 자료상의 제약으로 그렇다하더라도 전자에 관한 연구도 국내에서는 제한적이다.

이와 관련하여 최근에 적설에 따른 경제적 효과를 추정한 HRI(2014)의 연구가 있다.

자연재해에 영향을 미치는 기후요소는 강수량, 풍속, 적설량 등이 있다. 이들 기후요소 각각이 유발한 기상재해의 경제적 효과에 관한 국내 연구는 전술한 바대로 미미하다. 기존 연구는 주로 태풍과 호우에 관한 연구에 집중되어 있다. 이는 우리나라 자연재해의 특성상 자연스러운 일이라고 생각된다. 하지만 2000년대 접어들어 적설에 의한 기상재해가 그 이전 시기에 비해 빈번히 발생하고 있다(KMA, 2011; HRI, 2014). KMA(2011)는 2010년 1월 4일에 발생한 16cm의 강설로 수도권을 마비시킨 대설에 따른 경제적 효과를 분석하여 눈에 의한 자연재해의 경각심을 불러일으킨 바가 있다.

적설은 기상재해를 일으키기도 하지만 그렇지 않을 수도 있다. 적설의 경제적 효과는 긍정적인 측면과 부정적인 측면을 동시에 갖고 있다(Admas, *et al.*, 2004; KMA, 2011; HRI, 2014). 적설에 의한 긍정적 효과로는 봄 가뭄해소, 수자원 확보, 대기 질 개선, 산불방지, 관광수익의 등을 들 수 있다. KMA(2011)는 2010년 1월 4일에 발생한 16cm의 강설로 약 8,254억 원의 경제적 효과가 나타났다고 추정하면서 이 중에 봄 가뭄피해 경감 효과가 약 7,958억 원으로 전체 경제적 효과의 96%를 차지하고, 또한 스키, 등산, 낚시 등 겨울철 레저산업의 매출 확대에 긍정적인 영향을 미친 것으로 파악하고 있다. 다른 한편으로 부정적인 효과는 대설로 인한 인명피해 및 이재민 발생, 시설물 파괴, 제설비용, 도로의 혼잡비용 등 경제적 피해를 포함한다. 소방방재청이 발간하는 재해연보 자료를 보면 대설에 따른 직접적인 인명과 재산상의 피해 규모를 파악할 수 있지만, 이는 제설비용이나 도로 혼잡비용 등을 고려하고 있지는 않다. HRI(2014)는 재산상의 직접 피해뿐만 아니

라 제설비용과 도로 혼잡비용을 고려하여 2000년대 동안에 대설로 인한 경제적 피해액을 시산한 바가 있다.

본 연구는 기상재해의 경제적 피해에 관한 국내 연구의 대부분이 호우와 태풍에 집중되어 있지만, 최근 자연재해가 빈번하고 있으며 이에 대한 연구가 미미한 폭설에 의한 경제적 직접 피해액을 추정하고자 한다. 최근에 이에 대한 HRI(2014)의 시론적인 연구가 있지만 사회·경제적 요인들을 고려치 않은 단순 회귀모형이고 2000년대를 대상으로 하고 있다. 하지만 본 연구를 장기적인 기후변화의 함의와 연관시키기 위해 가능한 한 시계열을 연장시켜 1980년대 중반까지 거슬러 올라가고, 사회·경제적 요인들을 고려하고, 기후요인 및 자연재해의 강도 등을 반영한다는 점에서 기존의 연구와 차별성이 있다.

따라서 본 연구는 대설에 의한 자연재해에 영향을 미치는 기후요인뿐만 아니라 자연재해에 취약한 사회·경제적인 요인들을 확인하고, 그 요인들

이 기상재해의 경제적인 직접 피해에 미치는 효과를 계량적으로 분석하고 평가하는 것이다.

2. 폭설에 따른 직접 피해의 현황과 특성

폭설에 따른 인명과 재산상의 직접적인 피해 현황을 살펴보기 전에 경제적 피해에 영향을 미치는 적설의 현황을 들여다 볼 필요가 있다. Figure 1은 1985-2012년 기간 동안 전국 평균 최심적설량과 최심신적설량¹⁾의 변동을 보여 주고 있다. 눈에 의한 경제적 피해에 직접적으로 영향을 미치는 최심신적설량의 변동폭이 2000년대에 그 이전의 시기에 비해 상대적으로 크다. 또한 최심적설량의 경우도 2000년대 최심신적설량의 변동과 마찬가지로 그 변동폭이 늘어나고 있다. 따라서 2000년대에 신적설량이 그 이전 시기에 비해 상대적으로 증가하는 추세이다.

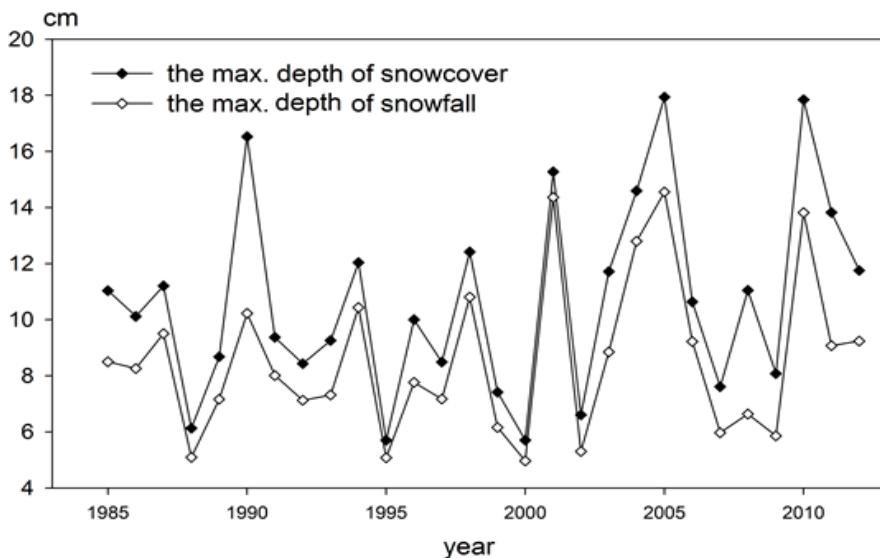


Figure 1. The National average of the max depth of snowcover and snowfall in Korea (Source: Korea Meteorological Administration(<http://sts.kma.go.kr>), National Emergency Management Agency (<http://www.safekorea.go.kr>)).

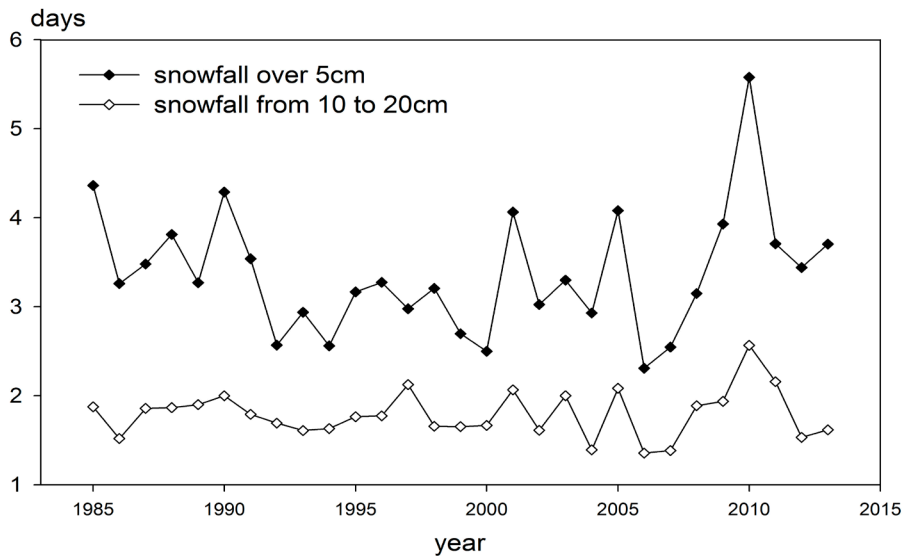


Figure 2. The Number of days for heavy snowfall and heavier snowfall in Korea (Source: Korea Meteorological Administration (<http://sts.kma.go.kr>), National Emergency Management Agency(<http://www.safekorea.go.kr>)).

눈에 의한 경제적 피해는 적설의 강도에 의해 크게 영향을 받는다. 지역에 따라 차이가 있지만 도시의 경우, 기상청은 24시간 신적설이 5cm 이상 예상될 때에 대설주의보, 신적설이 20cm 이상 예상되면 대설경보²⁾를 발령한다. 이러한 기준을 참고한다면 신적설량이 5cm 이상을 넘으면 대설이라고 판단할 수 있다. 이에 따라 일일 신적설량 5cm 이상인 대설일수와 일일 신적설량 10~20cm 인 심한 적설일수는 적설의 강도를 의미하는 대리 지표로 수용할 수 있다. Figure 2에서 보는 바와 같이, 대설일수와 심한 적설일수의 변동폭이 2000년대에 상대적으로 크게 증가하고 있다. 이는 최심적설량과 최심신적설량의 그것과 동일한 패턴을 보여주고 있는 것이다.

1985-2012년 기간 동안에 적설로 인한 사망, 실종 및 부상자 등 인명피해는 57명에 이르고 이재민수는 48,720명에 달한다. 같은 기간에 경제적 총피해액은 2010년 가격 기준으로 29,465억원이다. Figure 3에서 보듯이, 신적설량이 늘면서

직접적인 경제적 피해액도 증가하고 있다. 이처럼 신적설에 의한 직접적인 경제적 피해는 적설량이 집중되는 연도에 집중되는 불규칙적인 양상을 보여주고 있다. 한편, 적설에 의한 경제적 피해는 2000년대 초반에 집중되어 있지만, 그 나머지 기간에는 신적설량과 피해액 사이에 정(+)의 관계가 성립하지 않고 있다. 특히 후자는 2000년대 중반 이후에 두드러지고 있다. 이는 신적설량이 직접적인 경제 피해액에 영향을 미치는 중요한 결정요인이기는 하지만, 이외에도 소득수준, 제설 여건, 강설의 강도 등 여러 가지 요인들이 이에 영향을 미치고 있다는 것을 시사한다(HRI, 2014).

대설에 의한 경제적인 직접 피해액의 규모는 대표적인 기상재해인 호우나 태풍의 그것에 비해서는 상대적으로 작은 비중을 차지하고 있지만, 전술한 바와 같이, 대설이 집중되는 특정 연도에는 그 비중이 100%를 초과하고 있다. 1985-2012년 기간 동안에 호우와 태풍 피해액 대비 적설 피해액 비율은 평균 19.1%에 달해 그 피해액 규모

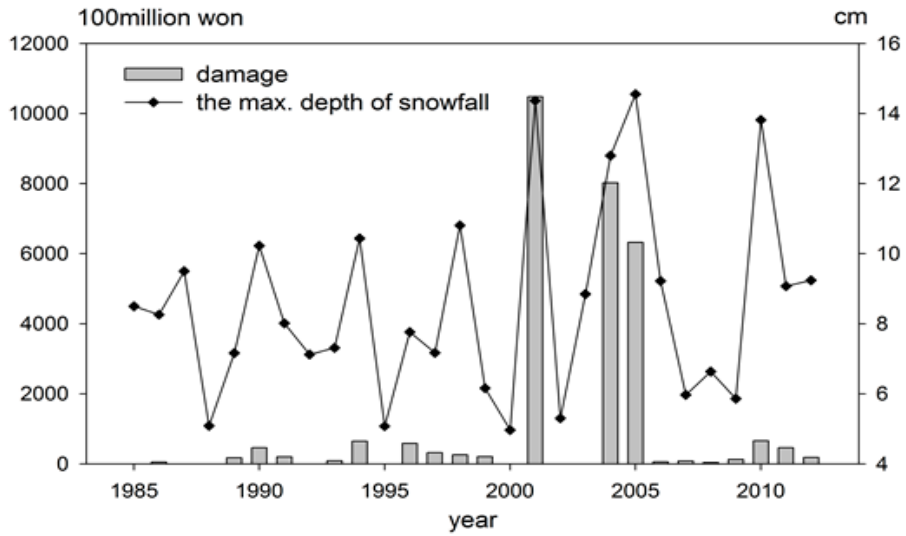


Figure 3. The Max depth of snowfall and direct economic damages from heavy snowfall in Korea (Source: Korea Meteorological Administration(<http://sts.kma.go.kr>), National Emergency Management Agency (<http://www.safekorea.go.kr>)). Note: Prices deflated by the 2010 Consumer Price Index.

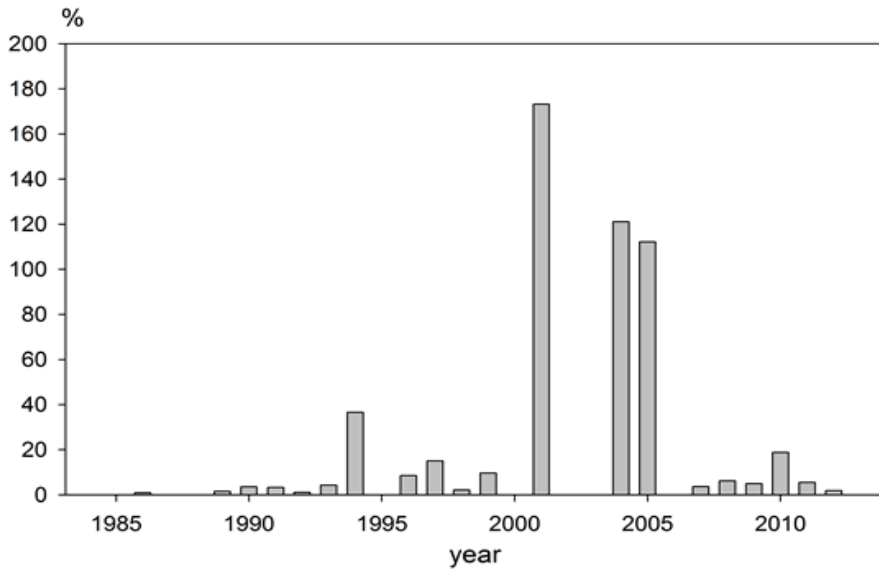


Figure 4. The Ratio of damages from heavy snowfall to those from both heavy rain and typhoon in Korea (Source: National Emergency Management Agency(<http://www.safekorea.go.kr>)).

는 호우나 태풍의 그것에 비할 바가 아니다. 그렇지만 같은 기간 동안에 적설이 집중된 2001년, 2004년, 2005년에는 그 비중이 173.2%, 121.1%, 112.1%에 이르러 호우나 태풍의 그것보다 대설에

의한 경제적 피해가 극심하였다(Figure 4).

1985-2010년 기간 동안에 신적설량과 그에 의한 피해액의 16개 시도별 공간적 패턴을 보면, 주지하는 바와 같이, 평균 신적설량이 가장 많은 지

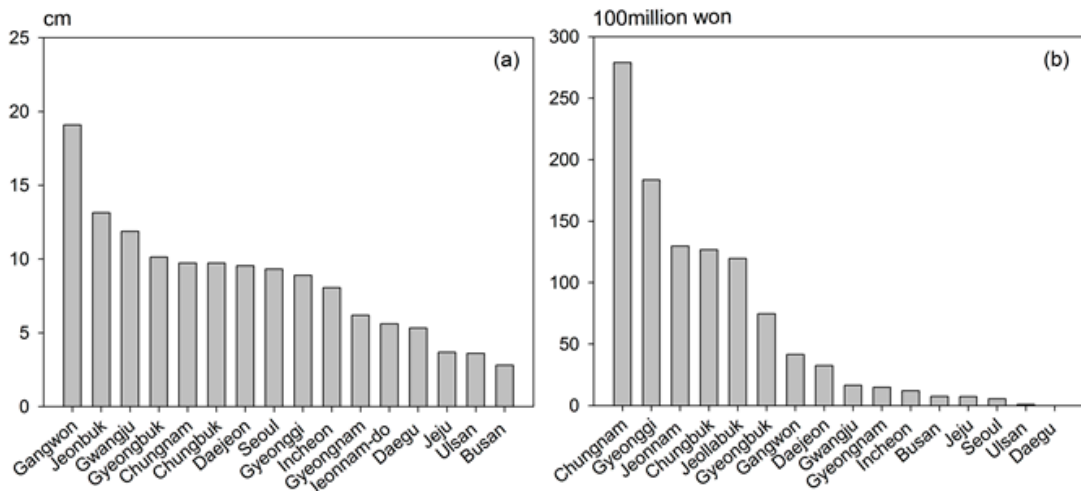


Figure 5. The Spatial Distribution of the National average of the max depth of snowfall(a) and economic losses from heavy snowfall(b)(Source: Korea Meteorological Administration(<http://sts.kma.go.kr>), National Emergency Management Agency(<http://www.safekorea.go.kr>)). Note: Prices deflated by the 2010 Consumer Price Index.

역은 강원이고 가장 적은 지역은 부산이다. 강원
의 평균 최심신적설량은 19cm이고 부산의 경우는
2.8cm이다. 전남을 제외한 호남권과 강원
의 경우 신적설량이 상대적으로 많지만, 경북을 제
외한 영남권의 경우 그것은 적은 편이다(Figure 5).
그러나 같은 기간 동안에 대설에 의한 평균 피해
액이 가장 많은 지역은 강원
이 아니라 충남이다. 같은 기간 동안에 충남의
평균 피해액은 278.9억
원이지만 신적설량이 가장 많은 강원
의 경우 41.6
억 원으로 충남이 강원
피해액의 약 7배에 이른다
(Figure 5 참조). 그리고 경기도, 전남, 충북, 전북
등의 순으로 그 뒤를 이어서 시설
농가가 많은 서해안 지역의 경우
그 피해 규모가 큰 것으로 보인다.
또한 수도권의 서울과 인천, 영남권의 부산,
대구, 울산 등의 광역 대도시는
상대적으로 그 피해 규모가 작은
편이다. 이처럼 경제적 규모나 소득수준 등
소위 사회·경제적 요인이 기상재해로
서 대설의 피해 정도에 차별적인 영향을
미치고 있는 것으로 보인다.

이제까지의 논의를 요약하면, 2000년대 들어

신적설량이 상대적으로 증가하는 추세이고, 적설
의 강도가 증가하고 있다. 이에 따라 적설에 의한
피해액은 호우나 태풍의 그것에 비해서는 그 규
모가 작지만, 폭설이 일어난 특정 연도에는 그 피
해 규모가 호우나 태풍의 그것을 상회한다. 공간
적인 차원에서 보면, 신적설량은 강원
이 가장 많지만 그 피해액의 경우에는
충남이 가장 크다. 전반적으로 호남과 서해안
지역이 적설에 따른 피해 규모가 크지만
상대적으로 광역 대도시의 경우 그
규모가 상대적으로 작은 편이다.

3. 폭설에 의한 경제적인 직접 피해액의 추정

기상재해에 따른 경제적 효과는 전술한 바와 같
이 직접적 효과와 간접적 효과로 구분할 수 있다.
직접적 효과는 주로 인명과 재산상의 피해를 일
컸는다. 경제적인 측면에서는 이차적인 간접적인
효과가 더욱더 중요할 수 있지만, 자료
구득상의

한계로 인해 본 연구에서는 인명과 재산상에 국한하여 경제적 손실액을 추정, 즉 적설에 따른 재산상의 직접 피해액에 영향을 미치는 결정요인의 탄력성을 산정한다. 전술한 바와 같이, HRI(2014)의 연구는 재산 피해, 제설비용 및 혼잡비용을 고려하여 2000년대 적설에 따른 경제적 손실을 추정하였으나, 사회·경제적 변수, 재해 강도 등 여러 가지 변수들을 고려치 않는 단순 회귀모형을 사용한 시산 결과이다. 하지만 본 연구는 대설에 따른 경제적 피해에 큰 영향을 미치는 기후 관련 변수인 신적설량 이외에도 재해 강도 및 여러 사회·경제적 변수들을 통제하여 1980년대 중반 이후 대설의 경제적 손실액을 추정한다. 이는 자연재해에 대한 회귀모형을 구축하고 특정 자연재해에 따른 경제적 손실액의 탄력성을 활용하여 아이티의 지진 피해액을 추정한 Cavallo *et al.*(2010)의 연구와 맥을 같이 한다.

1) 분석 모형과 변수 선정

Cavallo *et al.*(2010), Cavallo and Noy(2010), 그리고 HRI(2014) 등 기존 연구를 참조하면 기상재해의 직접적인 경제적 효과에 대한 회귀모형은 다음과 같이 설정할 수 있다.

$$Dis_{i,t} = \alpha + \beta X_{i,t} + \gamma Z_{i,t} + \varepsilon_{i,t}$$

여기서 $Dis_{i,t}$ 는 기상재해의 직접 피해액, X 는 사회·경제적인 통제 변수, Z 는 기상재해의 강도와 관련된 변수이고, i 는 지역, t 는 시간, ε 는 오차항이다. 사회·경제적 변수로는 지역의 인구, 소득, 입지특성(예: 해안 또는 내륙 등), 경제규모, 면적 등을 거론할 수 있다. 그리고 재해 관련 변수로는 극한기후 사상의 발생빈도, 지속일수, 이전 기상재해 발생건수, 그리고 자연재해에 의한 인명피해 등을 고려할 수 있다(Cavallo *et al.*, 2010).

본 논문에서 사용하는 종속변수는 소방 방재청의 재해연보에 보고된 16개 시도별 대설 직접 피해액이다. 이는 건물, 농작물, 인프라 손실 등 재산상의 피해액을 집계한 자료이다. 전술한 바와 같이, 자연재해의 경제적 피해는 크게 직접 피해와 간접 피해로 구분할 수 있는데, 이는 전자에 한정된 것으로 소득 감소, 시장수급의 불안정성 등을 감안하지 않은 것이다. 이 자료는 시계열이므로 전국 소비자물가지수로 인플레이 효과를 조정할 실질 변수로 전환하여 사용한다.

Cavallo *et al.*(2010)와 마찬가지로 대설에 따른 기상재해의 강도를 고려하기 위해 사망·실종·부

Table 1. Definitions of the variables and data used.

Variables		Definitions(unit)	Sources
Dependent variable	Damages from snowfall	Total property losses(1000won)	http://www.safekorea.go.kr
Disaster variables	Casualties	Number of those with death and missing, injured (persons)	http://www.safekorea.go.kr
	Victims	Number of sufferers(persons)	http://www.safekorea.go.kr
Socio-economic variables	Per capita GRDP	Per capita GRDP(million won)	http://kosis.kr
	GRDP	GRDP(million won)	
	Population	Estimated population(persons)	
	Area	Administrative area(m ²)	
Climate variables	Precipitation	Annual precipitation(mm)	http://sts.kma.go.kr
	Max, depth of snowfall	Max, depth of snowfall by day(cm)	
	Heavy snowfall day	Days of snowfall over 5cm(days)	

상자 등을 합산한 인명 피해와 이재민수 변수를 도입한다. 경제발전 또는 소득수준 정도를 반영하기 위해 시차가 1인 1인당 GRDP 변수를 통제 변수로 사용한다. 다른 연구와 달리 시차 변수를 사용하는 것은 이 변수가 가질 수 있는 잠재적인 내생성 문제를 회피하기 위한 것이다(Cavallo *et al.*, 2010). 규모를 통제하기 위해 인구규모, 행정 구역 면적, GRDP 규모를 사용한다(Cavallo and Noy, 2010). 인구와 GRDP 규모 사이에는 상관관계가 클 수 있기 때문에 세 변수를 동시에 사용하지 않고 회귀모형에 따라 각기 달리 사용한다.

대설에 의한 기상재해와 가장 직접적으로 연관이 있는 기후변수로는 하루 24시간 중 새로 내려 쌓여 있는 눈의 최대 깊이를 나타내는 최심신적설량, 적설에 의한 기상재해의 강도를 나타내는 하루 신적설량이 5cm 이상인 일수를 일컫는 대설일수를 독립변수로 채택한다. 그리고 강수와 적설은 수분을 공유하지만 액체와 고체라는 차이를 가지는 기상재해를 수반할 수 있는 중요한 기후사상이다. 두 기후사상이 대설에 의한 기상재해에 미치는 효과가 대체적인지 또는 보완적인지를 검토하기 위해 강수량 변수를 도입한다.

재해에 따른 피해 관련 연구에서 자연 또는 기상재해가 시계열적으로 증가하고 있는지의 여부를 판단하기 위해 선형 추세 변수가 자주 활용된다(Neumayr and Barthel, 2011). 이는 시간에 따른 피해액의 집계와 보고능력의 개선 또는 자료 가용성의 증대 등을 대리하는 지표로 해석될 수도 있다(Cavallo *et al.*, 2010). 이러한 효과를 검토하기 위해 선형 추세 변수를 독립변수로 채택한다. 마지막으로 대설에 의한 기상재해 발생의 지역별 차이를 통제하기 위해 더미변수를 도입한다.

본 연구의 시간적 범위는 1985-2012년이고, 공간적 범위는 전국의 16개 시도이다. GRDP와 같은 사회·경제적 변수의 가용성을 고려하여 1985

년부터 분석한다. 기후현상의 특성을 감안한다면 장기적인 시계열을 활용하는 것이 바람직하지만 1980년대 중반 이전의 장기 시계열을 가진 사회·경제적 자료의 구득이 용이치 않아 분석의 시간 범위를 이렇게 한정한다. 그리고 기후자료의 경우 해당 시도에 위치한 기후 관측소 자료들의 연간 평균치가 해당 시도의 기후자료를 대표한다고 가정한다. 울산과 같이 광역시 승격이 최근에 이루어진 경우 사회·경제적 자료가 가용하지 않아서 본 연구에서 사용하는 자료는 불균형(unbalanced) 패널 자료이다.

Table 1은 관련 변수들의 정의와 이용 자료를 보여주고 있다. 2절에서 분석한 바와 같이, 2000년대 대설에 의한 피해가 그 이전 시기의 그것보다 상대적으로 컸기 때문에, Table 2는 본 연구에서 사용되는 변수들의 분포 패턴을 시기별로 나누어 이들 변수들에 대한 기술 통계량을 보여주고 있다.

2) 추정 방법

대설에 의한 기상재해가 발생하지 않으면 해당 지역의 직접적인 피해액에 관한 관측치가 존재하지 않는다. 이 경우 종속변수에 대한 관측치가 있는 지역, 즉 대설에 의한 기상재해를 경험한 지역과 그렇지 않은 지역으로 크게 구분된다. 그런데 두 유형의 지역에 대한 설명변수 자료들은 가용하다. 이처럼 종속변수의 관측값이 연속이지만 일부에 대해서만 가용한 경우 이를 중도절단된 표본(censored sample)이라고 한다. 이러한 표본에 대해 종속변수의 관측치가 가용하지 않은 지역의 직접적인 피해액을 0으로 처리하여 통상적인 OLS 추정을 하거나, 관측치가 가용한 지역의 직접 피해액에 대해서만 통상적인 방법으로 OLS 추정을 하게 되면 그 추정결과는 편의(biased)를 가지게 되고 비일치 추정량을 가지게 된다(Tobin, 1958).

Table 2. A summary of descriptive statistics.

Variables	Mean		Maximum		Minimum		Standard deviation	
	'85-12	'00-12	'85-12	'00-12	'85-12	'00-12	'85-12	'00-12
Damages from snowfall	5,723,605.0	10,568,206.0	368,000,000.0	368,000,000.0	0.0	0.0	33,052,214.0	46,891,991.0
Casualties	0.1	0.0	29.0	1.0	0.0	0.0	1.5	0.2
Victims	113.6	172.4	13,196.0	13,196.0	0.0	0.0	867.1	1,170.1
Per capita GRDP	14.6	19.1	46.1	46.1	4.1	10.3	7.3	7.4
GRDP	43,564,172.0	57,064,118.0	252,000,000.0	252,000,000.0	2,556,914.0	6,447,702.0	48,334,177.0	57,970,304.0
Population	2,872,018.0	3,030,380.0	11,936,855.0	11,936,855.0	493,003.0	524,182.0	2,653,732.0	2,895,690.0
Area	6,480,000,000.0	6,240,000,000.0	19,500,000,000.0	19,000,000,000.0	207,000,000.0	501,000,000.0	6,120,000,000.0	6,030,000,000.0
Precipitation	1,390.0	1,404.9	2,952.9	2,328.3	567.5	761.4	352.4	312.6
Max. depth of snowfall	8.5	9.3	49.0	49.0	0.0	0.0	6.5	7.4
Heavy snowfall day	2.4	2.5	11.0	11.0	0.0	0.0	2.0	2.1

이처럼 직접 피해액의 하한선이 0으로 제한되어 있는 경우 통상적인 방법과는 상이한 추정방법을 활용해야 한다. 중절된 표본에 대해 사용할 수 있는 회귀모형으로 다음과 같이 정의되는 토빗(Tobit) 모형이 있다.

$$Y_i^* = X_i\beta + \mu_i$$

만약 $Y_i^* > 0$ 이면, $Y_i = Y_i^*$ 이고, 그렇지 않으면 $Y_i = 0$.

여기서 X_i 는 설명변수이고, i 는 지역을 나타내고, β 는 추정되는 파라미터의 계수값이다. 그리고 Y_i^* 는 잠재변수로 Y_i 가 0에서 어떤 정(+)의 값을 갖는 것으로 이동하기 위해 설명변수가 영향을 미치는 임계치로 생각할 수 있다. 토빗 모형은 정규 분포 오차항 μ_i 를 가정하여 최우법(maximum likelihood estimation)으로 추정이 가능하다.

3) 추정 결과

대설에 따른 기상재해의 직접적인 피해를 추정하기 위해 전체 기간(1986-2012)과 2000년대(2001-2012)를 대상으로 회귀분석을 실시하여

그 추정 결과를 Table 3과 Table 4를 통해 보여주고 있다. 모형 1, 2, 3은 기후변수로 신적설량을 사용하여 신규 적설에 따른 재산상의 직접 피해액의 탄력성을 보여주고 있으며, 규모를 통제하기 위해 각각 GRDP, 인구, 그리고 면적 변수를 사용한 것이다. 반면에 모형 4, 5, 6은 기후변수로 대설일수를 사용하여 대설의 강도와 지속일수에 따른 재산상의 직접 피해액의 탄력성을 보여주고 있으며, 마찬가지로 규모를 통제하는 변수로 각각 GRDP, 인구, 면적 변수를 사용한 회귀모형이다. 공통적으로 강수량 변수와 소득수준 또는 경제발전 수준을 나타내는 1인당 GRDP 변수, 그리고 16개 시도별 더미변수가 통제변수로 활용되었는데, 지역별 더미 변수의 추정치는 Table 3과 Table 4에 보고하지 않는다. 또한 선형 추세 변수가 회귀모형에 도입되어 시간의 흐름에 따른 직접적인 피해의 증가 여부를 보여주고 있으며, 대설에 의한 기상재해의 강도를 나타내는 인명상의 피해가 회귀모형에 반영되어 있다.

Table 3은 전체 기간에 대한 회귀식 추정 결과이다. 대설에 의한 자연재해의 강도를 나타내는

Table 3. Estimation results for direct economic damages from Snowfall(1): 1986-2012.

	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5	Model 6
	coefficient (z-statistics)	coefficient (z-statistics)	coefficient (z-statistics)	coefficient (z-statistics)	coefficient (z-statistics)	coefficient (z-statistics)
Casualties	12,426,185.0 (3,218)***	12,417,521.0 (3,216)***	12,579,144.0 (3,254)***	13,766,768.0 (3,333)***	13,771,689.0 (3,334)***	14,021,861.0 (3,392)***
Victims	22,586.5 (10,052)***	22,593.4 (10,054)***	22,583.4 (10,050)***	26,058.1 (10,976)***	26,068.6 (10,978)***	26,033.5 (10,963)***
ln(per capita GRDP(-1))	21,192,737.0 (0,831)	29,385,120.0 (1,400)	27,866,302.0 (1,422)	16,349,614.0 (0,609)	33,448,577.0 (1,513)	29,784,390.0 (1,451)
ln(GRDP(-1))	7,985,516.0 (0,318)	-	-	17,667,312.0 (0,659)	-	-
ln(population)	-	9,695,891.0 (0,368)	-	-	18,025,077.0 (0,641)	-
ln(area)	-	-	11,142,987.0 (0,555)	-	-	14,997,921.0 (0,725)
Precipitation	-18,732.5 (-2,183)**	-18,725.5 (-2,182)**	-18,752.3 (-2,181)**	-21,736.6 (-2,423)**	-21,727.5 (-2,423)**	-21,705.1 (-2,414)**
Max. depth of snowfall	3,889,700.0 (8,527)***	3,891,389.0 (8,530)***	3,882,436.0 (8,508)***	-	-	-
Heavy snowfall day	-	-	-	10,206,664.0 (5,425)***	10,208,621.0 (5,424)***	10,101,046.0 (5,380)***
Linear trend	-384,246.7 (-0,365)	-399,989.1 (-0,384)	-339,976.5 (-0,355)	-497,396.6 (-0,450)	-473,155.8 (-0,432)	-303,516.6 (-0,304)
Constant	-287,000,000.0 (-0,677)	-315,000,000.0 (-0,712)	-380,000,000.0 (-0,922)	-423,000,000.0 (-0,932)	-427,000,000.0 (-0,903)	-432,000,000.0 (-1,016)
Log likelihood	-2,976,835	-2,976,818	-2,976,723	-3,000,715	-3,000,727	-3,000,651
Observations	413	413	413	413	413	413
Left-censored sample	259	259	259	259	259	259

Notes: Regional dummies were included(not shown). *, ** and *** denote significance at the 10%, 5% and 1% level, respectively.

사망, 실종, 부상자수의 합계인 인명 피해와 이재민 변수는 6개의 모형 모두에서 유의수준 1%에서 종속변수와 정(+)의 관계를 보여주고 있다. 이는 대설에 의한 기상재해의 강도가 증가함에 따라 경제적 피해가 비례하여 증가한다는 것을 나타낸다. 인명 피해가 1명이 늘어남에 따라 발생하는 한계 피해액은 약 124-140억원에 이르고 있으며, 이재민 1명당 발생하는 한계 피해액은 약 2천 2백만-2천 6백만 원에 달한다.

소득 또는 경제발전 수준과 대설 피해액 간의 관계는 통계적으로 유의하지는 않지만 정(+)의 관계를 6개 모형에서 일관되게 보여주고 있다. 이는 고소득 지역일수록 많은 부가 대설에 의한 자연재해에 노출되어 있다는 것을 시사한다. 이는 Cavallo *et al.*(2010)의 연구결과와 부합된다. 물론 이에 반대되는 연구 결과들도 존재한다. 예를 들면, Kahn(2005)과 Skidmore and Toya(2007)는 본 연구와 유사한 방법을 사용하고 있지만, 본 연구

와 상반된 결과를 보여주고 있다. 그들의 연구결과에 따르면 고소득 지역(또는 국가)일수록 경제적 피해가 적다는 것이다. 이들은 경제성장에 따른 높은 소득수준이 기상재해에 대한 암묵적 보험 역할을 수행한다고 주장하고 있다. 이러한 주장의 근거는 높은 소득수준과 경제성장이 안전과 재해에 대한 관심과 투자를 강화하는 방향으로 나아가기 때문이라는 것이다. 지역의 규모를 대리하는 GRDP(경제규모), 인구규모, 물리적 면적 등 규모와 관련된 세 가지 변수 모두는 6개의 모형에서 대설의 피해액과 정(+)의 관계이지만 통계적으로 유의할 만한 수준은 아니다. 이는 지역 규모가 클수록 지역의 많은 부(wealth)가 대설에 의한 자연재해에 노출될 가능성이 크다는 것을 함의한다. 선형 추세는 통계적으로 유의하지 않지만 모든 모형에서 그 계수의 부호는 음(-)이어서 1985-2012년 동안에 시간의 흐름에 따라 대설에 의한 피해액이 감소하고 있다는 것을 시사한다.

대설에 의한 기상재해를 일으키는 직접적인 결정요인인 기후변수들을 살펴보면, 6개의 회귀모형 모두에서 강수량은 대설에 의한 직접적 피해를 줄여주는 기후인자로 경제적인 직접 피해의 측면에서 적설과는 대체 관계이다. 강수량 1mm 증가에 따른 한계 피해액의 감소 규모는 약 1천 8백-2천만 원이다. 본 논문의 관심사가 되는 신적설 1mm에 따른 재산상의 한계 피해액은 1, 2, 3의 모형에 따라 약간의 차이는 있지만 약 3.8억 원이다. 그리고 적설에 의한 기상재해의 강도를 나타내는 대설주의보의 기준이 되는 대설일수의 지속에 따른 한계 피해액은 4, 5, 6의 모형에 따르면 약 100억 원에 이른다.

이러한 회귀 분석 결과 중에서 모형 1에 사회경제적 변수와 기후변수들의 평균 수치를 대입하여 얻을 수 있는 1985-2012년 기간 동안 적설에 의한 재산상의 연간 직접 피해액은 약 6천억 원 내

외로 추정되는데, 이는 2000년대를 대상으로 적설에 의한 연간 직접 피해액이 약 7,300억 원에 이른다는 HRI(2014)의 추정 결과보다는 작은 수치이다. 이는 무엇보다 후자의 연구가 신적설량을 독립변수로 사용한 단순 회귀모형인데 반하여 본 연구는 여러 가지 통제변수들을 활용했기 때문이다. 그리고 분석 기간의 차이에 기인하는 바도 큰 것으로 보인다. 2절에서 보듯이 2000년대에 적설에 의한 기상재해의 피해가 상대적으로 그 이전 시기에 비해 피해가 컸다는 사실을 염두에 둘 필요가 있다.

Table 4는 2001-2012년 기간을 대상으로 6개의 회귀모형에 대한 추정 결과이다. 대설에 의한 재해의 강도를 나타내는 인명 피해와 이재민수는 전체 기간을 대상으로 한 추정 결과와 마찬가지로 재산상의 직접 피해액과 정(+)의 관계이다. 강수량 변수는 대설에 의한 직접적인 한계 피해액을 감소시켜 주는 기후인자이다. 또한 신적설의 1mm 증가와 대설일수의 지속에 따른 한계 피해액은 각각 전체 기간의 그것에 비해 약간 작기는 하지만 약 3.4억 원과 75-79억 원에 이른다. 이러한 결과는 전체 기간의 결과와 정도의 차이는 있지만 크게 다르지는 않다.

하지만 전체 기간과 2000년대를 대상으로 한 분석 결과는 몇 가지 측면에서 상이한 분석 결과를 보여주고 있다. 첫째, 소득이나 경제발전 수준을 나타내는 1인당 GRDP 변수가 전체 기간을 대상으로 한 분석 결과와는 달리 4 모형을 제외하고 전반적으로 대설 피해와 부(-)의 관계를 보여주고 있다는 점이다. 2, 3, 5, 6 모형에서는 이러한 관계가 5, 10% 유의수준에서 통계적으로 유의하다. 이는 Cavallo *et al.* (2010)의 연구 결과와는 달리 Kahn(2005)와 Skidmore and Toya(2007)의 연구 결과를 지지하고 있다. 또한 지역규모를 나타내는 변수의 경우 전체적으로 GRDP와 인구규모

Table 4. Estimation results for direct economic damages from Snowfall(2): 2001-2012.

	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5	Model 6
	coefficient (z-statistics)	coefficient (z-statistics)	coefficient (z-statistics)	coefficient (z-statistics)	coefficient (z-statistics)	coefficient (z-statistics)
Casualties	104,000,000.0 (5.506)***	103,000,000.0 (5.497)***	107,000,000.0 (5.747)***	110,000,000.0 (5.388)***	109,000,000.0 (5.362)***	116,000,000.0 (5.759)***
Victims	22,177.4 (8.815)***	22,167.4 (8.825)***	22,264.4 (8.820)***	24,785.2 (9.384)***	24,755.3 (9.397)***	24,924.2 (9.384)***
ln(per capita GRDP(-1))	-40,882,858.0 (-0.299)	-141,000,000.0 (-2.122)**	-155,000,000.0 (-2.363)**	25,821,258.0 (0.182)	-123,000,000.0 (-1.786)*	-143,000,000.0 (-2.087)**
ln(GRDP(-1))	-104,000,000.0 (-0.942)	-	-	-155,000,000.0 (-1.351)	-	-
ln(population)	-	-124,000,000.0 (-1.037)	-	-	-185,000,000.0 (-1.491)	-
ln(area)	-	-	381,000,000.0 (0.569)	-	-	571,000,000.0 (0.822)
Precipitation	-52,680.9 (-3.375)***	-52,898.9 (-3.406)***	-55,875.6 (-3.594)***	-51,472.5 (-3.336)***	-51,682.4 (-3.366)***	-56,072.2 (-3.629)***
Max. depth of snowfall	3,405,762.0 (5.919)***	3,398,782.0 (5.916)***	3,409,724.0 (5.872)***	-	-	-
Heavy snowfall day	-	-	-	7,925,687.0 (3.219)***	7,974,831.0 (3.243)***	7,549,057.0 (3.035)***
Linear trend	6,745,561.0 (2.421)**	6,703,551.0 (2.408)**	6,661,207.0 (2.346)**	4,864,044.0 (1.721)*	4,795,178.0 (1.700)*	4,726,396.0 (1.646)*
Constant	2,070,000,000.0 (1.178)	2,370,000,000.0 (1.256)	-7,280,000,000.0 (-0.538)	2,880,000,000.0 (1.575)	3,360,000,000.0 (1.699)*	-11,100,000,000.0 (-0.792)
Log likelihood	-1,650.287	-1,650.194	-1,650.567	-1,664.726	-1,664.529	-1,665.295
Observations	192	192	192	192	192	192
Left-censored sample	106	106	106	106	106	106

Notes: Regional dummies were included(not shown). *, ** and *** denote significance at the 10%, 5% and 1% level, respectively.

는 통계적으로 유의하지는 않지만 직접 피해액과 부(-)의 관계를 보여주고 있지만 면적은 앞의 결과와 마찬가지로 정(+)의 관계를 나타내고 있다. 인구규모와 GRDP 사이에 높은 상관관계가 존재한다는 점을 감안한다면 이러한 결과는 경제규모가 큰 고소득지역일수록 재난 방재·예방시설에 더 많은 관심과 투자를 한다는 것을 반영하는 것으로 이해할 수 있을 것이다. 이는 또한 여전히 지역의 면적이 크면 그 지역의 많은 부가 대설에 의한 기상재해에 취약하다는 것을 시사한다. 마치

막으로 2000년대를 대상으로 한 분석 결과에서 선형 추세 변수가 6개의 모형 모두에서 대설의 직접 피해와 정(+)의 관계를 보여주고 있다. 이는 2절에서 분석한 바와 같이 2000년대 대설에 의한 기상재해가 급증한 사실과 연관이 있는 것으로 보인다.

4. 요약 및 결론

본 연구는 1985-2012년 기간 동안을 대상으로 적설에 의한 자연재해의 경제적인 직접 피해를 토빗 모형으로 추정하였다. 이는 기후요인뿐만 아니라 사회·경제적 요인들이 기상재해의 경제적인 직접 피해에 미치는 효과를 검토했다는 점에서 기존의 국내 연구와는 차별성이 있다고 생각한다. 분석 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 적설에 의한 자연재해의 경제적인 직접 피해액의 경우 2000년대 신적설량이 이전 시기보다 상대적으로 증가하면서 호우나 태풍의 그것에 비해서는 그 규모가 작지만 폭설이 일어난 특정 연도에는 그 피해 규모가 호우나 태풍의 그것을 상회하고 있다.

둘째, 신적설량과 그에 따른 피해액의 공간 분포를 살펴보면, 신적설량은 강원이 가장 많지만 피해액의 경우 충남이 가장 크다. 전반적으로 호남과 서해안 지역이 적설에 따른 피해 규모가 크지만 광역 대도시의 경우 그 규모가 상대적으로 작다.

셋째, 전체 기간과 2000년대 기간을 나누어 대설에 의한 자연재해의 회귀모형을 추정하였는데, 신적설과 대설일수는 재해의 직접적 피해와 정(+)의 관계를 가지지만, 강수량과는 부(-)의 관계가 나타난다. 강수와 대설 간에는 대체의 관계가 존재한다. 특이할 만한 것은 소득 또는 경제발전 수준을 대리하는 1인당 GRDP 변수가 전체 기간에 대해서는 정(+)의 관계이지만 2000년대 기간에 대해서는 부(-)의 관계를 유지하고 있다. 이는 2000년대에 접어들어 고소득지역일수록 안전과 재해 예방에 많은 관심과 노력을 기울이고 있다는 것을 시사하며, 경제발전이 자연재해에 대한 암묵적 보험 역할을 하고 있다는 것을 함의한다.

넷째, 규모 변수는 통계적으로 유의하지 않지만

전체 기간에 대해서는 경제규모가 크고 인구가 많고 넓은 지역일수록 자연재해에 노출될 가능성이 크다. 하지만 2000년대에는 경제규모와 인구 사이에 상관관계가 크다는 점을 고려하면 경제규모가 클수록 자연재해의 취약성이 감소하는 - 통계적으로 유의하지는 않지만 - 회귀계수의 부호를 보여주고 있다.

마지막으로, 2000년대를 대상으로 추정한 회귀 모형에서 선행 시간 추세 변수가 통계적으로 유의하여 대설에 의한 자연재해의 직접적 피해의 정도가 증가하고 있다는 것을 보여준다. 하지만 전체 기간에 대해서는 이 변수가 통계적으로 유의하지는 않지만 종속변수와 부(-)의 관계이다. 이러한 점에서 대설에 의한 자연재해가 중·장기 추세적으로 증가하고 있다는 결론을 내리기에는 무리이다.

본 연구에서 적설에 의한 경제적인 직접 피해에 영향을 미치는 사회·경제적 요인들이 확인되었다. 자연재해는 기후요인과 사회·경제적 요인이 결합되어 그 피해가 집중할 수도 경감될 수도 있다. 본 연구는 1980년대 중반 이후 현재까지 다루고 있지만, 기후변화가 인간이 초래한 온실가스에 의한 장기적인 기후변화인지, 아니면 단기적인 자연적인 날씨변화에 의한 것인지를 구별하는 데에는 이르지 못하는 못했다고 생각한다. 기후와 사회·경제적인 요인 간의 결합이 야기하는 기상재해에 대한 연구가 지속적으로 축적되어야 이에 대한 구별이 가능할 것으로 보이고 장기적인 기후변화의 모멘텀을 포착할 수 있을 것이라고 생각한다. 하지만 2000년대 이후 대설뿐만 아니라 호우와 태풍에 의한 자연재해의 빈도가 늘어나고 그 강도가 증가하고 있다는 것은 눈여겨보아야 할 지점이다.

사사

이 논문은 2013년 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2013S1A3A2052995).

주

- 1) 이들 용어에 대한 기상청의 정의는 다음과 같다. 최심적설량은 '언제 내린 눈이든 하루 24시간 중 실제 지표면에 쌓인 눈의 최대 깊이'를 나타내고, 최심신적설량은 '하루 24시간 중 새로 내려 쌓여 있는 눈의 최대 깊이'를 의미한다.
- 2) 다만, '산지의 경우 24시간 신적설이 30cm 이상 예상될 경우에 대설경보가 발령된다.

References

- Adams, R. M., Houston, L. L., and Weiher, R. F., 2004, *The Value of snow and snow information services*, Report prepared for NOAA's Office of Program, Planning and Integration under contract DG1330-03-SE-1097.
- Bae, D. H. and Lee, M. H., 2010, An Evaluation of flood vulnerability from climate change and a case study, *Planning and Policy*, 344, 20-31 (in Korean).
- Cavallo, E. and Noy, I., 2010, *The Economics of natural disasters: a survey*, IDB Working Paper No. 124, Washington, DC: Inter-American Development Bank.
- Cavallo, E., Powell, A., and Becerra, O., 2009, Estimating the direct economic damages of the earthquake in Haiti, *The Economic Journal*, 120, F298-F312.
- Gil, Y. C., 2011, *The Normalization method of economic losses from natural disasters and its analysis results*, Korea Institute of Science and Technology Information (in Korean).
- HRI, 2014, *Snow and Economies: the Economic Damages from Snowfall and Implications*, Hyundai Research Institute (in Korean).
- Kahn, M. E., 2005, The death toll from natural disasters: the role of income, geography, and institutions, *Review of Economics and Statistics*, 87(2), 271-284.
- Kim, B. S., 2009, Adaptation strategies for extreme flood to cope with future climate change, *Korean Society of Civil Engineers Magazine*, 57(9), 27-41.
- Korea Meteorological Administration, 2011, *The Economic Values of Heavy Snowfall*, National Institute of Meteorological Research (in Korean).
- Lee, E. G. and Lee, H. Y., 1998, Spatial Distributions and causative factors of typhoon disasters in Korea, *Journal of the Korean Geographical Society*, 33(2), 179-190 (in Korean).
- Lee, S. H. and Lee, K. M., 2008, The Distribution of natural disaster in mountainous region of Gangwon-do, *Journal of the Korean Geographical Society*, 43(6), 843-857 (in Korean).
- National Emergency Management Agency, 2013, *The 2012 Annual Natural Disasters Report*, NEMA (in Korean).
- Neumayer, E. and Barthel, F., 2011, Normalizing economic loss from natural disasters: A global analysis, *Global Environmental Change*, 21, 13-24.
- Samsung Economic Research Institute, 1998, *The Economics of Meteorological Disasters*, SERI (in Korean).
- Sim, W. B., 2005, Natural disasters from abnormal climate and urban emergency management, *Planning and Policy*, 281, 39-49 (in Korean).
- Skidmore, M. and Toya, H., 2007, Economic development and the impacts of natural disasters, *Economic Letters*, 94, 20-25.
- So, C. H., 2011, Abnormal climate and the Korean

Peninsula's and natural disasters, *Risk Management*, 121, 5-13 (in Korean).

Tobin, J., 1958, Estimation of relationships for limited dependent variables, *Econometrica*, 26, 24-36.

Um, W. K., Hong, S. K., and Oh, S. K., 1996, The impacts of meterological disasters on national

economy, the 1996 Proceedings of the Korean Meterological Society Conference (in Korean).

책임 편집: 이경미

영문 교열: 조창현