

# 대설피해액 추정을 위한 다중회귀 모형의 적용성 평가

## - 강원도 지역을 중심으로 -

권순호\* · 정건희\*\*

Kwon, Soon Ho\*, Chung, Gunhui\*\*

## Estimation of Snow Damages using Multiple Regression Model - The Case of Gangwon Province -

### ABSTRACT

Due to the climate change, damages of human life and property caused by natural disaster have recently been increasing consistently. In South Korea, total damage by natural disasters over 20 years from 1994 to 2013 is about 1.0 million dollars. The 13% of total damage caused by heavy snow. This is smaller amount than the damage by heavy rainfall or typhoon, but still could cause severe damage in the society. In this study, the snow damage in Gangwon region was estimated using climate variables (daily maximum snow depth, relative humidity, minimum temperature) and socio-economic variables (Farm population density, GRDP). Multiple regression analysis with enter method was applied to estimate snow damage. As the results, adjusted R-square is above 0.7 in some sub-regions and shows the good applicability although the extreme values are not predicted well. The developed model might be applied for the prompt disaster response.

**Key words** : Natural disaster, Snowfall, Damages estimation model, Multiple linear regression analysis

### 초록

자연재난에 따른 인명 및 재산피해의 증가로 재난 예방 및 대응에 대한 관심이 증가하고 있다. 우리나라에서도 1994년에서 2013년까지 지난 20년간 자연재해에 의한 피해액은 약 12조 원 중 대설에 의한 피해가 약 13%로 대설도 강우나 태풍보다는 작은 규모이나, 의미 있는 규모의 피해를 야기하고 있다는 것을 알 수 있다. 그러므로 본 연구에서는 대설피해액 추정을 위해 강원지역을 대상으로 기후관련 요인(최심적설량, 평균습도, 최저기온), 사회·경제적 요인(농촌지역인구밀도, 지역총생산량)을 독립변수로 하는 동시입력방식의 다중회귀모형을 구축하였다. 적용결과, 극한 값들에 대한 설명력이 다소 낮기는 하지만, 수정결정계수가 0.7 이상인 경우도 다수 존재하는 등 대설 발생 시 신속한 재난 대응에 활용하기에는 적용성이 충분하다고 판단된다.

**검색어** : 자연재난, 대설, 피해액추정 모형, 다중선형회귀분석

## 1. 서론

최근 기후변화 영향에 따라 전 세계적으로 인명피해 및 재산피해를 유발하는 자연재난이 지속적으로 증가하고 있다. 기후변화에 관한 정부간 협의체(Intergovernmental panel on Climate Change, IPCC)의 제 5차 평가 보고서(Fifth assessment report, AR5)에

\* 호서대학교 건축토목환경공학부 토목공학과 석사과정 (Hoseo University · rnjstnsg90@nate.com)

\*\* 종신회원·교신저자·호서대학교 건축토목환경공학부 토목공학전공 조교수 (Corresponding Author · Hoseo University · gunhuic@gmail.com)

Received October 10, 2016/ revised November 2, 2016/ accepted December 26, 2016

따르면, 기후변화로 극한 기상의 발생패턴이 변화되어 홍수, 가뭄, 폭설 등 기상이변이 더욱 증가하여 피해가 심각해질 것이라고 한다. 전 세계적으로 자연재해 발생빈도를 살펴보면 기후관련 재해가 지질학적 재해보다 훨씬 큰 것으로 나타나며, 자연재해별 피해현황을 원인별로 살펴보면 풍수해가 대부분을 차지하고 있다. 이에 대한 연구는 자연재해의 직·간접적으로 영향을 미치고 있는 홍수와 가뭄의 변화에 초점이 맞추어져 있는 것이 사실이다. 하지만, 우리나라에서 최근에 발생한 자연재해별 피해현황을 살펴보면 폭설피해는 홍수에 이어서 두 번째로 큰 피해를 야기하는 것으로 나타나고 있다. 실제로 국민안전처에서 발간하는 재해연보에 따르면, 1994년에서 2013년까지 지난 20년간 자연재해에 의한 피해액은 12조 3천억 원으로 집계되었으며, 이 중 강우와 태풍에 의한 피해가 85%이고, 대설에 의한 피해는 약 13%이다. 대설에 의한 피해도 강우나 태풍에 비해 그 규모가 작기는 하지만, 의미 있는 규모의 피해를 보이고 있으며, 적설량의 크기도 커지고 있다. 예를 들어, 지난 2004년 3월 충청지역의 대설과 2005년 3월 영동·영남지역의 대설은 교통체증 및 막대한 재산피해를 가져왔다. 또한 2010년 1월 서울에서 40년 만에 최대 적설량을 기록하였으며, 2011년 2월에는 동해안의 폭설로 인하여 동해안지방의 최심신적설량 극값 최대치를 기록하였다. 또한 2012년 창원, 통영, 진주, 밀양 등 경남 해안지역에서는 12월 최심신적설량을 기준으로 역대 최대치의 적설량을 기록하였다. 그러므로 Oh et al. (2015)는 우리나라에서 발생한 대설로 인하여 사회적·경제적 피해가 증가하고 앞으로의 피해규모가 커질 것으로 예상하였다.

자연재해에 따른 피해를 추정하기 위해 Toya and Skidmore (2007)에서는 자연재해에 따른 인명피해와 GDP당 피해액을 예측하기 위해 사회·경제적 요인(학교 수업일수, 정부예산 규모 등)을 고려하여 다중회귀 모형을 구성하고, OECD국가와 개발도상국을 대상으로 분석을 수행하였다. 교육수준과 경제규모가 증가함에 따라 자연재해에 따른 피해가 줄어드는 경향이 있다고 밝혀냈으나 구축된 모형의 수정결정계수( $R_a^2$ )가 0.09~0.35로 그 효율이 높지 않았다. Cavallo and Noy (2010)은 기후관련 요인과 사회·경제적 요인을 고려하여 대설에 따른 경제적 피해액을 추정하여 제시하였다. 국내에서도 Jeong and Lee (2014)에서는 대설에 따른 인명피해와 이재민수를 예측하기 위해 기후관련요인(최심신적설량, 대설발생일수)과 사회·경제적 요인(인구, 지역총생산량, 면적)을 사용한 다중회귀 모형을 구축하였다. Kwon et al. (2016)에서는 대설피해액의 예측모형을 개발하기 위해 최심적설량과 사회·경제적 요인(인구, 면적, GRDP)를 고려하여 다중회귀 모형을 구성하였으나, 예측 효율이 높지 않았다.

대설에 따른 피해액을 추정하기 위한 연구는 다소 부족하지만, 많은 연구에서 대설 위험도 평가를 수행하였다. Xingpeng et al.

(2014)는 Grid기반의 다속성 위험도 평가 기법을 이용하여 초지의 폭설 위험도를 평가하였으며, 평가지표를 위험(Hazard), 노출(Exposure), 취약성(Vulnerability), 그리고 대응 및 복구성(Emergency Response and Recovery Capability) 4가지로 구분하여 분석하였다. Park et al. (2014)은 울산광역시를 대상지역으로 선정하여 지표간의 가중치 산정은 엔트로피 기법 및 AHP (Analytic Hierarchy Process) 기법을 활용하고, PSR (Pressure-State-Response) 구성 체계를 적용하여 설해위험지수를 산정하였다. Kim et al. (2011)은 우리나라 폭설의 지역별 위험도를 분석하기 위해 68개의 기상관측소를 기준으로 1971년부터 2010년까지 39년간 겨울철 최심신적설량을 이용하여 대설주의보와 대설경보의 빈도수에 따른 지역별 위험지역의 공간분포도를 역거리가중(Inverse Distance Weighting, IDW) 기법을 이용하여 작성하였다. Koo et al. (2013)은 폭설이 도시에 미치는 위험도를 나타내기 위해 부산광역시 내에서 도로가 위치한 지역의 지형적 특성을 중심으로 설해 취약지역을 선정하고, 행정구역 동단위로 위험도를 평가하였다.

본 연구에서는 두 개 이상의 독립변수 사이의 관계를 파악하고 종속변수의 값을 설명하고 예측할 수 있는 통계기법인 다중회귀 모형을 이용하여 강원지역의 시·군·구별 대설 피해액 예측 모형을 구축하고 이를 평가하였다. 종속변수는 국민안전처의 재해연보 피해액을 적용하였으며, 독립변수는 기상관측소 지점의 최심적설량, 최저기온, 평균습도 자료 및 통계청에서 제공하는 강원지역의 지역총생산량(Growth Region Domestic Product, GRDP), 농촌 지역인구밀도를 적용하였다.

## 2. 다중회귀분석 기법

회귀분석은 관찰되거나 주어진 각각의 변수들에 대해 관련성을 밝히고 평가하는 방법이다. 통계학적으로 독립변수(independent variable)와 종속변수(dependent variable) 사이의 상관관계를 나타내며, 종속변수에 대한 독립변수의 영향력을 예측하기 위해 관계식을 구하거나 이렇게 얻은 모형의 적합도를 측정한다. 즉, 관계식에서 독립변수는 원인의 역할을 하는 변수이고 종속변수는 변화에 따른 결과로 관측되는 변수이다. 회귀분석은 시간에 따라 변화하는 자료나 원인이 결과에 미치는 영향을 분석하거나 통계적으로 인과관계를 예측하기 위해 이용될 수 있다. 하나의 독립변수만을 고려하여 종속변수와의 관계를 분석하는 방법을 단순 회귀분석(simple regression analysis)이라고 하고, 두 개 이상의 독립변수를 고려하는 방법을 다중회귀분석(multiple regression analysis)이라고 한다. 독립변수와 종속변수 간의 관계에 따라 선형회귀분석과 비선형회귀분석으로 나누어진다.

다중회귀분석의 기본적인 개념은 단순회귀분석과 같지만, 독립

변수가 2개 이상 사용된다는 점이 다르다. 여러 개의 독립변수를 사용함으로써 예측 능력을 높일 수 있다. 모형은 정량적인 종속변수  $Y$ 와 독립변수군인  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_i$  사이의 관계를 적합시키기 위해 사용된다. 독립변수가  $i$ 개인 다중회귀분석의 기본 모형은 Eq. (1)과 같다.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_i X_i + \epsilon \quad (1)$$

Eq. (1)에서  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_i$ 은 회귀계수(coefficient)이고,  $\epsilon$ 는 종속변수  $Y$ 를 측정할 때 발생하는 오차이다. 회귀모형의 추정 은 회귀계수  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_i$ 를 찾는 것을 말한다. 이를 위해 일반적으로 최소자승법(ordinary least square : OLS)을 이용하여 추정한다.

또한, 다중회귀식을 추정하는 방식에는 여러 가지가 있는데 가장 대표적인 것이 동시입력방식(Enter)과 단계입력방식(Stepwise)이다. 동시입력방식(Enter)은 모든 독립변수를 한꺼번에 회귀식에 포함하여 분석하는 방법이다. 이 방식을 이용하면 다른 독립변수가 통제된 상태에서 특정 독립변수의 영향력을 알 수 있으며, 또한 모든 독립변수가 동시에 종속변수를 설명하는 정도를 알 수 있다. 단계입력방식(Stepwise)은 다른 독립변수가 회귀식에 존재할 때 종속변수에 영향력이 있는 변수들만을 회귀식에 포함시키는 방식인데, 설명력이 높은 변수의 순으로 회귀식에 포함된다(Lee and Lim, 2005).

회귀분석에서 결정계수( $R^2$ )의 값은 종속변수의 총 변동에 대한 독립변수의 설명력의 크기를 나타내는 척도로서  $0 \leq R^2 \leq 1$ 의 범위를 가지며, Eq. (2)와 같이 계산된다.  $R^2$ 의 값이 1에 가까울수록 독립변수의 설명력이 크고, 추정된 회귀식의 적합도가 높다는 것을 의미한다. 그러나 다중회귀분석은 결정계수( $R^2$ ) 대신에 수정 결정계수(adjusted coefficient of determination,  $R_a^2$ )를 사용한다. 수정결정계수( $R_a^2$ )는 독립변수의 수가 많아질수록 그 범위가 넓어지는 결정계수의 단점을 보완하는 역할을 하며, Eq. (3)과 같이 계산된다.

$$R^2 = \frac{SSR}{SST} = 1 - \frac{SSE}{SST} \quad (2)$$

$$R_a^2 = 1 - \left( \frac{n-1}{n-r} \right) \frac{SSE}{SST} \quad (3)$$

여기서, 수정결정계수( $R_a^2$ )는 값이 1에 가까울수록 독립변수가 투입되었을 때 회귀식의 설명력이 매우 크다는 것을 의미한다. 다중회귀분석에서 적용되는 중요한 전제조건 중 하나는 독립변수들 간에 상호 밀접한 연관이 없다는 것이다. 독립변수 사이에 강한

상관관계가 존재할 경우, 다중공선성(Multi collinearity)에 따라 독립변수의 설명력이 간섭을 받게 되어 구축된 모형의 유효성에 심각한 문제가 발생할 수 있다(Park, 2007). 그러므로 변량의 팽창 정도를 의미하는 분산팽창요인(Variance Inflation Factor, VIF)가 10 이상이 되거나 공차한계(Tolerance)가 0.1 이하이면 다중공선성에 문제가 있다고 판단하여 다중공선성을 유발하는 변수를 모형에서 제거해야 한다.

### 3. 기초자료 구축 및 분석

#### 3.1 기초자료 수집

##### 3.1.1 대상지역 및 변수 선정

시·군·구별 적설량 자료가 가장 풍부한 강원도 18개 시·군·구를 대상으로 대설 피해액 추정 모형을 구축하였으며, 강원도 지역은 Fig. 1과 같다. 대설에 따른 피해액은 재해연보(MPSS, 2015)의 자료를 활용하였다. 국민안전처에서 매년 발간하는 재해연보는 1970년대부터 작성되었으나, 작성 초기에는 피해지역에 대한 정확한 구분과 피해 시설물에 대한 분류가 체계화되지 않았으며, 현재 국가에서 제공하고 있는 체계화된 자료는 1994년부터 제공되고 있다(NDMI, 2013). 본 연구에는 1994년부터 2015년까지 22개년의 자료를 대상으로 하였다. 재해연보는 피해 대상물을 건물, 선박, 농경지, 농작물과 12개의 공공시설(도로, 하천, 소화천, 수도, 항만, 여항, 학교, 철도, 수리, 사방, 군사시설, 소규모 등), 6개의 사유시설(축대 및 담장, 가축, 축사 및 잡사, 수산증양식, 어망 및 어구, 비닐하우스 등)으로 구분하여 피해액을 기록하고 있다. 공공시설의 대설 피해액은 크지 않지만, 학교, 군사시설, 건물에서 간혹 피해가 발생했다. 사유시설에서는 대설에 따른 피해가 상대적으로 크며, 대부분의 피해가 비닐하우스, 수산증양식, 축사·잡사, 농작물에서 발생하였다.

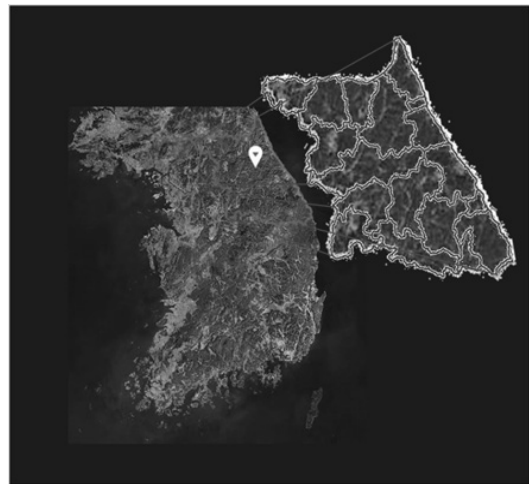


Fig. 1. Gangwon Province in South Korea

Table 1. Total Property Damages in Gangwon Province (Year : 1994~2015)

Regions	Facilities	Public facilities (million won)	Private facilities (million won)	Total Snow Damages (million won)
①	Cheorwon-gun	0.00	1,515.67	1,515.67
②	Chuncheon-si	151.48	4,207.28	4,358.76
③	Donghae-si	2,529.96	2,954.66	5,484.62
④	Gangneung-si	2,991.88	20,410.79	23,402.67
⑤	Goseong-gun	490.52	2,559.73	3,050.25
⑥	Hoengseong-gun	0.00	3,819.80	3,819.80
⑦	Hongcheon-gun	0.00	8,164.93	8,164.93
⑧	Hwacheon-gun	0.00	4,447.34	4,447.34
⑨	Inje-gun	0.00	890.26	890.26
⑩	Jeongseon-gun	0.00	1,842.31	1,842.31
⑪	Pyeongchang-gun	33.68	7,496.57	7,530.25
⑫	Samcheok-si	5,329.62	7,183.90	12,513.52
⑬	Sokcho-si	0.00	398.45	398.45
⑭	Taebaek-si	0.00	996.39	996.39
⑮	Wonju-si	0.00	3,476.89	3,476.89
⑯	Yanggu-gun	36.46	3,174.51	3,210.97
⑰	Yangyang-gun	459.26	2,681.00	3,140.26
⑱	Yeongwol-gun	0.00	3,783.08	3,783.08
	Total	12,022.86	80,003.57	92,026.43

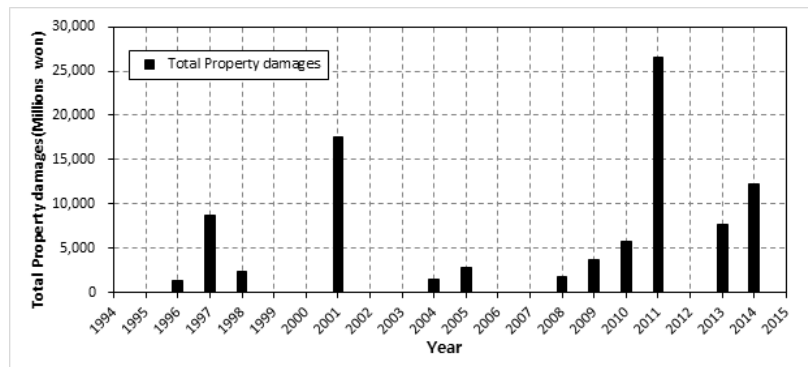


Fig. 2. Total Snow Damages in Gangwon Province (Year : 1994~2015)

Table 1은 강원도의 시·군·구별 공공시설과 사유시설의 피해액으로 구분하여 분석기간 중 총 피해액을 나타내고 있다. 대설피해가 분석기간 동안 가장 크게 발생한 지역은 강릉시, 삼척시, 홍천시 등이며, 속초시, 인제군, 태백시 등은 다른 지역에 비해 피해가 적게 발생한 것을 알 수 있다. 각 시·군·구는 알파벳 순으로 Table 1과 같이 1~18까지 번호를 부여하였다. Fig. 2는 연도별 강원지역의 대설 피해액을 나타내고 있다. 큰 피해액이 발생한 연도는 약 266억을 기록한 2011년과 약 175억을 기록한 2001년이었다. 연구기간인 1994년부터 2015년까지 20년 동안 발생한 총 피해액은

약 9,200억 원이고, 연 평균 피해액은 약 418억으로, 매년 당해연도의 물가를 기준으로 발표되는 피해액을 2015년 생산자 물가지수 기준으로 환산한 결과이다.

본 연구에서는 대설피해액에 큰 영향을 줄 것으로 예측되는 기후관련 요인(최심적설량, 평균습도, 최저기온), 사회·경제적 요인(농촌지역인구밀도, 지역총생산량)을 독립변수로 선정하였다. 최심적설량은 24시간 간격으로 측정된 적설깊이를 의미한다. 평균 습도와 최저기온은 습도에 따른 눈의 단위중량과 기온에 따라 달라지는 누적적설량을 고려하기 위해 선택하였다. 즉, 습도가

높을수록 적설의 무게가 증가하고, 기온은 낮을수록 눈이 잘 녹지 않으므로 피해를 가중시킬 것으로 예상하였다.

사회경제적인 변수로 선정된 농촌지역인구밀도와 지역총생산량은 비닐하우스, 수산증양식, 축사·잠사, 농작물에 집중되는 대설 피해를 예측하기 위해 농촌지역의 범위가 중요하고 판단하여 선택하였다. 농촌지역인구밀도는 주민등록인구를 기준으로 농촌지역 인구의 값을 행정구역별 면적으로 나눈 값(명 / km<sup>2</sup>)이다. Cavallo and Noy (2010)에 따르면, 지역총생산량이 클수록 폭설 피해에 노출될 가능성이 높은 경향이 있다고 기술하여 독립변수로 선정하였다. 통계청에서 제공하는 2000년 이후의 지역총생산량 자료를

이용하여 2000년 이전 자료를 추정하여 사용하였다. 피해액과 마찬가지로 지역총생산량 역시 2015년 생산자 물가지수로 환산하였다.

Table 2는 본 연구에 사용된 독립변수들을 설명하고 있으며, 시·군·구별 독립변수들에 대한 기술통계량을 Table 3에 보여주고 있다. 시·군·구별 표본 수(N)의 경우 철원군이 20개로 가장 적었으며, 평창군이 65개로 가장 많아 다중선형회귀분석을 위해 필요한 최소한의 표본수인 20개(Kim et al., 2013) 이상을 만족하므로 모형을 구성하기에 적합하다고 판단하였다.

Table 2. Definitions of the Independent Variables Applied in This Study

Independent variables		Definitions(unit)	Sources
Climate variables	Daily Maximum Snow depth	Cumulative snowfall depth for 24 hours (cm)	http://sts.kma.go.kr
	Relative Humidity	The ratio of the actual water vapor pressure to the saturation vapor pressure (%)	
	Minimum temperature	This is the lowest temperature recorded during a specified period of time (°C)	
Socio-economic variables	Farm population density	Estimated farm population density (Farm persons / km <sup>2</sup> )	http://www.kosis.kr
	GRDP	Growth Regional Domestic Product (million won)	

Table 3. Statistics of Independent Variables in Sub-Regions

		N	Average	Maximum	Minimum	Standard deviation			N	Average	Maximum	Minimum	Standard deviation
①	Daily maximum snow depth	20	10.8	18.3	1.1	5.2	②	Daily maximum snow depth	28	9.7	30.0	0.2	8.3
	Relative Humidity	20	75.9	89.1	56.0	8.8		Relative Humidity	28	79.8	97.8	60.5	8.2
	Minimum Temperature	20	-10.5	0.3	-26.8	8.9		Minimum Temperature	28	-8.5	0.6	-19.9	5.8
	Farm Population density	20	15.2	20.9	11.9	3.1		Farm Population density	28	17.8	21.8	13.7	3.0
	GRDP	20	1,876,844.8	2,278,716.0	1,117,157.6	346,031.4		GRDP	28	6,963,597.5	8,585,071.1	4,497,046.2	1,740,305.7
③	Daily maximum snow depth	40	26.5	102.9	0.0	32.0	④	Daily maximum snow depth	51	36.4	110.0	0.2	32.0
	Relative Humidity	40	75.1	97.9	31.5	17.8		Relative Humidity	51	76.8	99.6	35.1	16.6
	Minimum Temperature	40	-3.1	1.5	-9.7	2.6		Minimum Temperature	51	-3.3	2.0	-10.7	3.0
	Farm Population density	40	34.0	38.9	31.3	3.1		Farm Population density	51	20.5	25.5	16.7	3.1
	GRDP	40	4,610,816.7	5,994,377.8	3,255,809.1	1,036,807.6		GRDP	51	5,545,187.4	6,796,102.2	3,823,944.8	1,118,304.7
⑤	Daily maximum snow depth	65	23.3	83.5	0.0	26.3	⑥	Daily maximum snow depth	22	8.5	16.6	0.9	5.2
	Relative Humidity	55	58.0	97.4	20.9	27.9		Relative Humidity	22	72.6	91.5	51.8	9.4
	Minimum Temperature	55	-5.3	0.9	-13.1	3.1		Minimum Temperature	22	-7.9	0.7	-19.4	6.0
	Farm Population density	55	9.6	10.6	8.1	1.0		Farm Population density	22	15.8	17.5	13.5	1.6
	GRDP	55	1,162,396.2	1,275,601.0	803,045.3	169,681.7		GRDP	22	2,244,614.4	2,721,402.1	1,822,207.8	330,253.1

Table 3. Statistics of Independent Variables in Sub-Regions (Continue)

		N	Average	Maximum	Minimum	Standard deviation			N	Average	Maximum	Minimum	Standard deviation
⑦	Daily maximum snow depth	37	8.8	36.0	0.1	9.5	⑧	Daily maximum snow depth	24	13.2	30.0	0.2	8.8
	Relative Humidity	37	74.8	92.5	49.4	10.7		Relative Humidity	24	78.9	97.8	46.8	11.0
	Minimum Temperature	37	-8.0	1.6	-23.9	6.7		Minimum Temperature	24	-9.6	0.6	-19.9	5.6
	Farm Population density	37	11.4	15.2	9.5	2.2		Farm Population density	24	6.9	8.4	5.2	1.3
	GRDP	37	3,168,894.2	3,659,994.8	2,035,851.0	597,585.8		GRDP	24	1,080,608.5	1,371,687.9	762,993.5	253,232.2
⑨	Daily maximum snow depth	23	7.6	31.9	0.3	9.0	⑩	Daily maximum snow depth	69	31.8	110.1	0.0	29.9
	Relative Humidity	23	72.5	90.5	54.0	9.9		Relative Humidity	69	77.3	95.6	56.6	12.0
	Minimum Temperature	23	-7.7	1.5	-18.2	5.4		Minimum Temperature	69	-9.9	3.5	-24.0	6.4
	Farm Population density	23	5.4	6.1	4.8	0.5		Farm Population density	69	7.0	7.4	6.6	0.3
	GRDP	23	1,493,370.6	1,935,219.2	1,076,454.5	358,540.2		GRDP	69	1,972,302.9	2,462,316.4	1,316,870.6	329,296.1
⑪	Daily maximum snow depth	74	60.2	126.2	0.2	28.7	⑫	Daily maximum snow depth	56	22.9	102.9	0.0	29.3
	Relative Humidity	74	83.0	95.6	58.1	9.6		Relative Humidity	56	73.4	97.9	31.5	19.7
	Minimum Temperature	74	-11.4	-1.7	-24.0	6.1		Minimum Temperature	56	-2.6	3.3	-9.7	2.7
	Farm Population density	74	8.5	9.4	8.0	0.5		Farm Population density	56	9.6	13.1	8.1	1.3
	GRDP	74	1,667,698.9	2,086,545.3	1,132,286.0	335,987.0		GRDP	56	2,602,277.0	3,069,585.2	1,742,591.2	455,580.8
⑬	Daily maximum snow depth	37	41.9	83.5	0.0	22.5	⑭	Daily maximum snow depth	49	22.9	94.5	0.0	24.6
	Relative Humidity	37	75.8	97.4	34.5	19.0		Relative Humidity	49	72.5	92.0	34.8	16.4
	Minimum Temperature	37	-4.1	1.5	-9.0	2.8		Minimum Temperature	49	-7.8	4.5	-18.8	4.3
	Farm Population density	37	24.7	27.5	23.0	1.6		Farm Population density	49	5.6	6.9	3.9	1.0
	GRDP	37	1,667,881.8	1,986,819.1	1,249,311.8	312,743.8		GRDP	49	1,188,190.9	1,456,598.3	804,329.1	274,265.7
⑮	Daily maximum snow depth	23	8.3	16.6	0.2	5.4	⑯	Daily maximum snow depth	24	12.2	31.9	0.5	9.1
	Relative Humidity	23	72.7	91.5	51.8	9.2		Relative Humidity	24	73.1	90.5	54.0	10.6
	Minimum Temperature	23	-7.1	0.7	-19.4	6.0		Minimum Temperature	24	-9.4	1.6	-22.8	7.5
	Farm Population density	23	28.6	32.1	25.3	2.1		Farm Population density	24	9.7	11.7	7.4	1.7
	GRDP	23	10,478,151.6	12,657,921.9	7,785,422.4	1,516,487.5		GRDP	24	857,845.5	1,075,078.5	598,006.2	197,844.3
⑰	Daily maximum snow depth	46	35.5	83.5	0.0	24.4	⑱	Daily maximum snow depth	26	11.3	24.7	0.3	8.9
	Relative Humidity	46	75.5	97.4	34.5	18.3		Relative Humidity	26	73.3	95.8	51.9	12.4
	Minimum Temperature	46	-3.7	1.5	-9.0	2.7		Minimum Temperature	26	-10.5	-1.9	-22.7	5.9
	Farm Population density	46	13.7	16.5	12.1	1.6		Farm Population density	26	10.1	12.4	7.9	1.7
	GRDP	46	1,141,940.1	1,406,639.3	811,934.2	230,800.1		GRDP	26	1,779,635.2	1,969,859.8	1,395,578.5	241,864.7

3.1.2 자료의 표준화

일반적으로 개별 자료를 이용하여 복합 자료로 만드는 과정에서는 표준화(Normalization)는 각 자료들이 가지는 범위가 결과에 미치는 영향을 최소화하기 위해 적용할 수 있다(Kim et al., 2007). 대설 피해액 추정을 위해 선정되고 구축된 독립변수들은 그 단위나 중요도가 각각 상이하기 때문에, 자료의 범위와 단위에 따른 편차 문제를 해소하기 위해 표준화 과정을 수행하였다. 본 연구에서는 Eq. (4)와 같은 Z-Score 방식으로 환산된 표준값을 사용하였다.

$$Z = \frac{x_i - \mu}{\sigma} \tag{4}$$

여기서,  $x_i$  : 개개인의 값,  $\mu$  : 모평균,  $\sigma$  : 모표준편차

3.2 상관관계 분석

다중회귀분석에 앞서 종속변수와 독립변수간의 이변량 상관분석은 각 변수들의 종속변수 설명력을 예측하는데 중요한 정보로 사용될 수 있다. 그러므로 강원지역의 18개 시·군·구별 대설피해액

Table 4. Correlation Coefficients of Dependent Variable between an Independent Variable

		Daily maximum snow depth	Relative humidity	Minimum temperature	Farm population density	GRDP
①	Dependent variable (P-value)	0.449 (0.021)	0.237 (0.244)	0.481 (0.013)	0.069 (0.738)	0.214 (0.295)
②	Dependent variable (P-value)	-0.096 (0.589)	-0.018 (0.920)	0.396 (0.020)	0.170 (0.337)	-0.169 (0.339)
③	Dependent variable (P-value)	0.669 (0.000)	0.307 (0.054)	-0.363 (0.021)	-0.199 (0.219)	0.340 (0.032)
④	Dependent variable (P-value)	0.669 (0.000)	0.307 (0.054)	-0.363 (0.021)	-0.199 (0.219)	0.340 (0.032)
⑤	Dependent variable (P-value)	0.892 (0.000)	0.506 (0.000)	0.162 (0.197)	-0.321 (0.009)	-0.620 (0.000)
⑥	Dependent variable (P-value)	0.144 (0.522)	0.318 (0.149)	0.182 (0.418)	0.281 (0.205)	-0.391 (0.072)
⑦	Dependent variable (P-value)	0.597 (0.000)	0.307 (0.065)	0.204 (0.226)	0.135 (0.427)	-0.086 (0.614)
⑧	Dependent variable (P-value)	0.170 (0.428)	0.410 (0.047)	0.623 (0.001)	-0.073 (0.734)	0.097 (0.650)
⑨	Dependent variable (P-value)	0.962 (0.000)	-0.298 (0.167)	-0.213 (0.329)	0.538 (0.008)	-0.484 (0.019)
⑩	Dependent variable (P-value)	0.664 (0.000)	0.519 (0.000)	0.277 (0.021)	0.045 (0.711)	0.060 (0.622)
⑪	Dependent variable (P-value)	0.100 (0.395)	0.282 (0.015)	0.334 (0.004)	0.056 (0.634)	0.164 (0.162)
⑫	Dependent variable (P-value)	0.600 (0.000)	0.256 (0.057)	-0.369 (0.005)	-0.081 (0.554)	0.050 (0.713)
⑬	Dependent variable (P-value)	0.562 (0.000)	0.425 (0.009)	-0.141 (0.404)	0.601 (0.000)	-0.363 (0.027)
⑭	Dependent variable (P-value)	0.706 (0.000)	0.120 (0.413)	0.084 (0.565)	0.323 (0.024)	-0.251 (0.082)
⑮	Dependent variable (P-value)	0.248 (0.254)	0.335 (0.118)	0.102 (0.643)	0.745 (0.000)	-0.810 (0.000)
⑯	Dependent variable (P-value)	0.474 (0.019)	0.191 (0.372)	0.287 (0.174)	-0.099 (0.644)	-0.018 (0.934)
⑰	Dependent variable (P-value)	0.477 (0.001)	0.365 (0.013)	-0.138 (0.359)	-0.334 (0.023)	-0.537 (0.000)
⑱	Dependent variable (P-value)	0.449 (0.021)	0.237 (0.244)	0.481 (0.013)	0.069 (0.738)	0.214 (0.295)

에 대한 독립변수의 이변량 상관분석을 수행하였다. 절대값 1.00에 가까울수록 상관관계는 높아지며, +는 양의 상관관계를, -는 음의 상관관계를 의미한다. Table 4에 나타난 바와 같이, 대설 피해액에 대한 독립변수의 상관계수가 18개 시·군·구에서 일정한 방향을 나타내지 않는 것을 알 수 있다. 예를 들어, 최심적설량과 대설 피해액은 대부분 양의 상관관계를 가지지만, 춘천시(㉒)는 거의 0에 가까운 음의 상관관계를 가지는 것을 알 수 있다. 또한 상대습도는 대설 피해액과 대부분 양의 상관관계를 가지지만, 간혹 음의 상관관계를 인제군(㉑)과 같이 음의 상관관계를 보이는 경우도 있었다. 특히, 지역총생산량은 Cavallo and Noy (2010)의 연구와 달리 대설 피해액과 음의 상관관계를 보이는 경우가 다수 존재했다.

앞서 기술한 바와 같이, 독립변수들 간의 상관관계로 인해 나타나는 다중공선성은 다중회귀분석 결과의 유효성에 큰 영향을 미치므로, 공차한계(Tol.), 분산팽창요인(VIF)을 계산하였다. Table 5에 나타난 바와 같이 철원군, 홍천군, 화천군, 양구군 등 총 4개 시·군·구는 공차한계가 10이상이거나 분산팽창요인이 0.1 이하이므로 다중공선성이 존재한다고 판단하여 분석에서 제외하였다.

#### 4. 다중회귀모형의 구축 및 적용 결과

##### 4.1 다중선형회귀모형의 구축

본 연구에서는 대설 피해액 추정을 위해 기상관측소 74개 지점의 최심적설량, 최저기온, 평균습도, 농촌지역인구밀도, 지역총생산량을 이용한 다중선형회귀 모형을 동시입력방식(Enter)으로 구축하였다. Table 6과 같이 강원지역의 총 14개 시·군·구별 대설피해액 추정 함수식을 개발하였으며, F분포 유의확률이 0.05이하로 회귀 모형이 유의미한 것으로 나타났다. 모의된 피해액을 Fig. 3과 같이 실제 발생한 대설피해액과 비교 및 검토하였다. 설명력이 높게 나타난 시·군·구는 고성군, 인제군, 태백시 등이었으며, 효율이 낮은 시·군·구는 횡성군, 평창군, 홍천군 등이었다. 이는 피해액이 다른 경우에 비해 상대적으로 매우 큰 경우에 대한 예측력이 떨어지기 때문인 것으로 판단되었다.

구축된 모형의 성능평가를 위해 실제 발생한 피해액과 모의된 피해액의 차이를 Pearson 상관계수(Pearson Coefficient of correlation), Root Mean Square Error (평균제곱근오차), 수정결정계수(adjusted coefficient of determination)를 이용하여 계산하고, 그 결과를 Table 7에 나타내었다. Pearson 상관계수와 수정결정계수는 0과

Table 5. Result of Multi-Collinearity

	①		②		③		④		⑤		⑥	
	Tol.	VIF	Tol.	VIF	Tol.	VIF	Tol.	VIF	Tol.	VIF	Tol.	VIF
Daily maximum Snow depth	0.36	2.75	0.56	1.77	0.42	2.36	0.50	1.98	0.620	1.61	0.64	1.56
Relative Humidity	0.42	2.40	0.72	1.40	0.48	2.06	0.70	1.41	0.560	1.79	0.64	1.56
Minimum Temperature	0.37	2.72	0.60	1.66	0.62	1.60	0.67	1.49	0.839	1.19	0.53	1.88
Farm Population density	0.04	27.14	0.12	8.22	0.44	2.23	0.53	1.86	0.892	1.12	0.12	8.71
GRDP	0.03	29.54	0.14	6.99	0.55	1.82	0.75	1.32	0.720	1.39	0.13	7.68

	⑦		⑧		⑨		⑩		⑪		⑫	
	Tol.	VIF	Tol.	VIF	Tol.	VIF	Tol.	VIF	Tol.	VIF	Tol.	VIF
Daily maximum Snow depth	0.62	1.61	0.59	1.71	0.59	1.69	0.62	1.60	0.79	1.27	0.62	1.61
Relative Humidity	0.50	2.00	0.49	2.05	0.26	3.77	0.54	1.86	0.70	1.43	0.79	1.27
Minimum Temperature	0.65	1.54	0.51	1.97	0.45	2.19	0.77	1.29	0.91	1.11	0.72	1.38
Farm Population density	0.05	18.91	0.02	47.65	0.10	10.00	0.55	1.82	0.61	1.63	0.82	1.21
GRDP	0.05	19.59	0.02	55.24	0.15	6.81	0.50	1.98	0.65	1.55	0.74	1.35

	⑬		⑭		⑮		⑯		⑰		⑱	
	Tol.	VIF	Tol.	VIF	Tol.	VIF	Tol.	VIF	Tol.	VIF	Tol.	VIF
Daily maximum Snow depth	0.74	1.34	0.69	1.44	0.65	1.54	0.77	1.30	0.59	1.70	0.58	1.74
Relative Humidity	0.75	1.33	0.71	1.41	0.74	1.36	0.24	4.17	0.78	1.29	0.78	1.28
Minimum Temperature	0.82	1.23	0.87	1.16	0.62	1.62	0.26	3.87	0.77	1.30	0.41	2.46
Farm Population density	0.49	2.04	0.63	1.58	0.15	6.88	0.02	49.03	0.71	1.40	0.14	7.32
GRDP	0.50	2.00	0.76	1.31	0.15	6.50	0.02	60.90	0.81	1.24	0.13	7.64

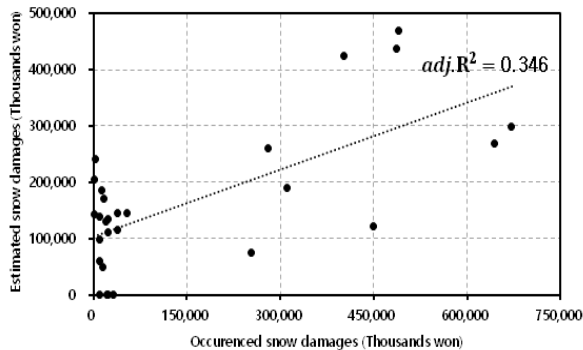


1사이의 범위 값을 나타내며, 1에 가까울수록 모형의 적용성이 우수하다고 판단할 수 있고, Root Mean Square Error는 값이 작을수록 모형의 오차가 작은 것으로 판단할 수 있다. 전체적으로

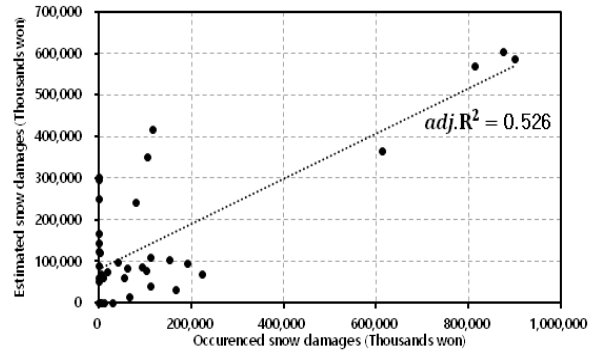
모형의 효율이 좋다고 판단하기는 어렵지만, 수정결정계수가 0.7 이상인 시·군·구도 다수 존재하였다.

Table 6. Multiple Linear Regression Equation using Enter Method

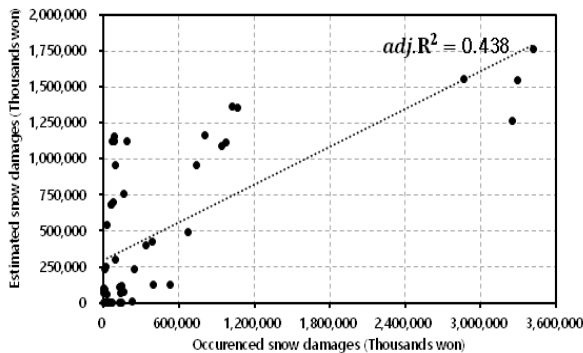
	Regression equation
② Chuncheon-si	$Y = 0.349X_1 - 0.177X_2 + 0.531X_3 - 0.464X_4 - 0.851X_5 - 0.001$
③ Donghae-si	$Y = 0.739X_1 + 0.069X_2 - 0.110X_3 - 0.294X_4 - 0.170X_5 - 0.001$
④ Gangneung-si	$Y = 0.426X_1 + 0.247X_2 - 0.288X_3 - 0.013X_4 + 0.117X_5 + 0.001$
⑤ Goseong-gun	$Y = 0.737X_1 - 0.120X_2 + 0.003X_3 - 0.111X_4 - 0.353X_5 + 0.016$
⑥ Hoengseong-gun	$Y = -0.011X_1 + 0.254X_2 + 0.046X_3 - 0.329X_4 - 0.680X_5 - 0.001$
⑨ Inje-gun	$Y = 1.004X_1 - 0.127X_2 + 0.004X_3 - 0.295X_4 - 0.196X_5 + 0.001$
⑩ Jeongseon-gun	$Y = 0.594X_1 + 0.107X_2 + 0.317X_3 + 0.018X_4 + 0.017X_5 + 0.044$
⑪ Pyeongchang-gun	$Y = -0.027X_1 + 0.201X_2 + 0.294X_3 + 0.121X_4 + 0.334X_5 + 0.056$
⑫ Samcheok-si	$Y = 0.415X_1 + 0.078X_2 - 0.063X_3 + 0.499X_4 - 0.001X_5 + 0.071$
⑬ Sokcho-si	$Y = 0.415X_1 + 0.078X_2 - 0.063X_3 + 0.499X_4 + 0.001X_5 + 0.001$
⑭ Tabaek-si	$Y = 0.776X_1 - 0.069X_2 + 0.074X_3 + 0.105X_4 - 0.511X_5 + 0.001$
⑮ Wonju-si	$Y = -0.056X_1 + 0.252X_2 - 0.114X_3 + 0.141X_4 - 0.667X_5 - 0.001$
⑰ Yangyang-gun	$Y = 0.293X_1 + 0.027X_2 - 0.086X_3 - 0.302X_4 - 0.612X_5 - 0.001$
⑱ Yeongwol-gun	$Y = 0.649X_1 - 0.058X_2 + 0.522X_3 + 0.303X_4 + 0.113X_5 + 0.001$



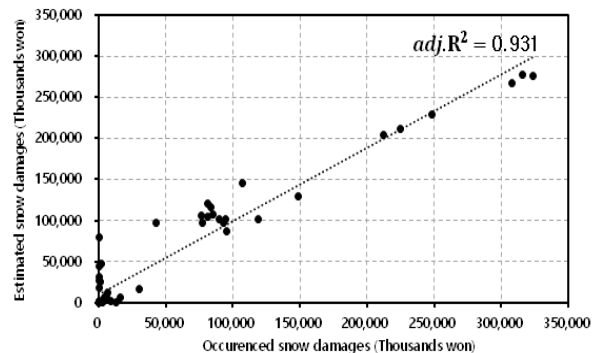
(a) Estimation and Occurrence Snow Damages (Chuncheon-si)



(b) Estimation and Occurrence Snow Damages (Donghae-si)

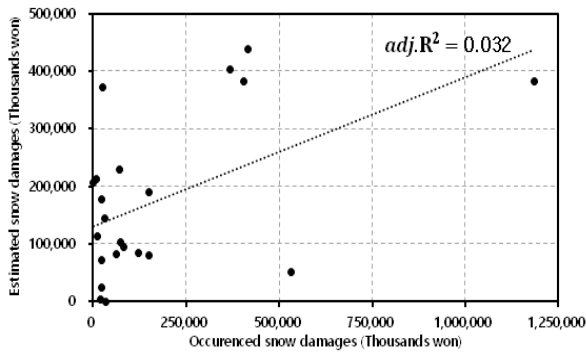


(c) Estimation and Occurrence Snow Damages (Gangneung-si)

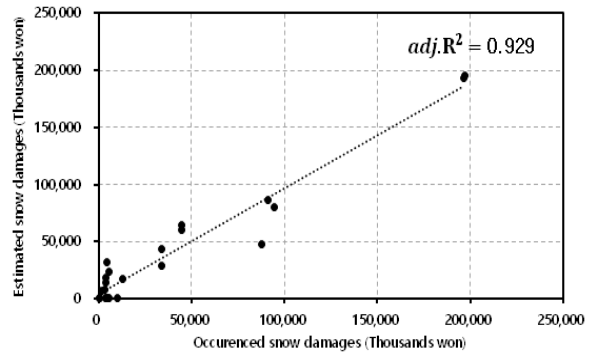


(d) Estimation and Occurrence Snow Damages (Goseong-gun)

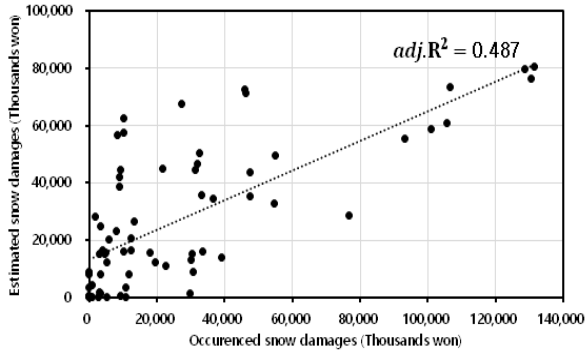
Fig. 3. Comparison of Estimation and Occurrence Snow Damages



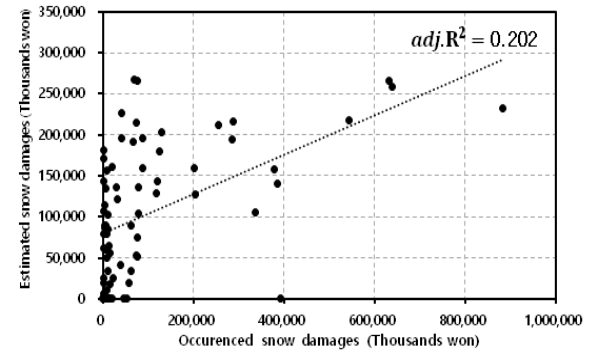
(e) Estimation and Occurrence Snow Damages (Hoengseong-gun)



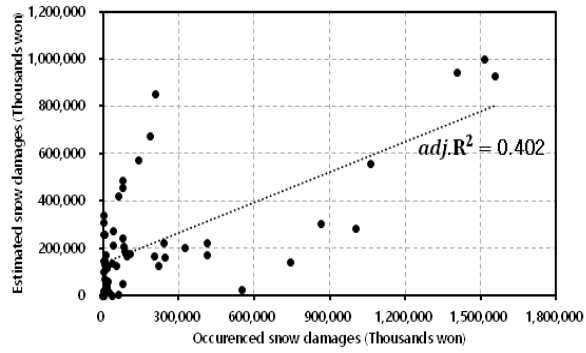
(f) Estimation and Occurrence Snow Damages (Inje-gun)



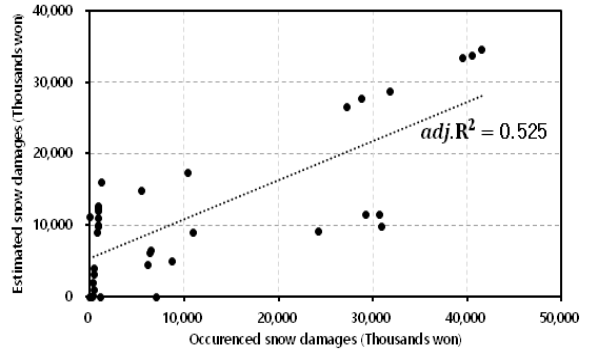
(g) Estimation and Occurrence Snow Damages (Jeongseong-gun)



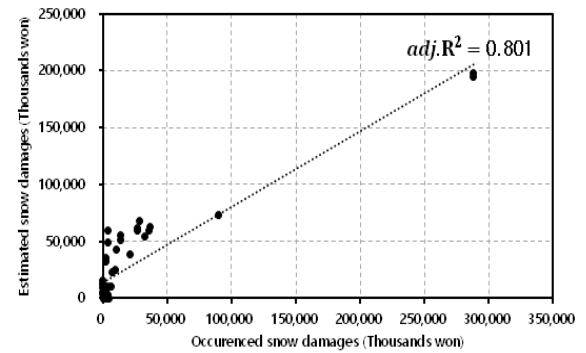
(h) Estimation and Occurrence Snow Damages (Pyeongchang-gun)



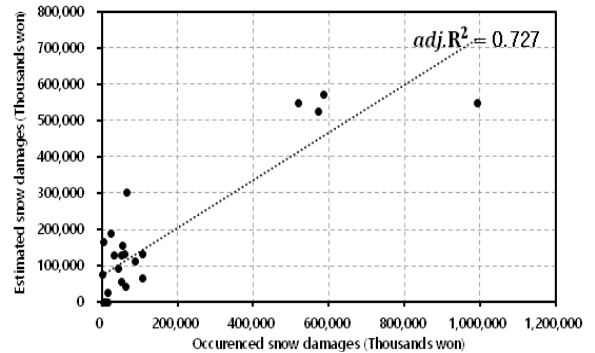
(i) Estimation and Occurrence Snow Damages (Samcheok-si)



(j) Estimation and Occurrence Snow Damages (Sokcho-si)

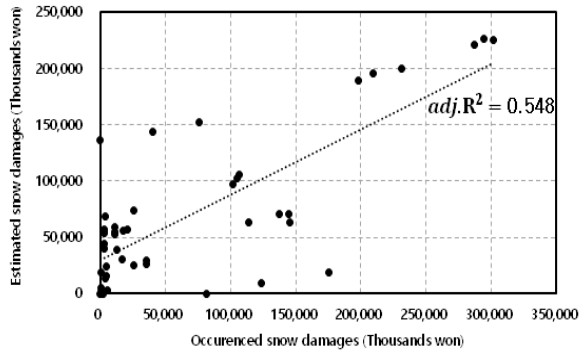


(k) Estimation and Occurrence Snow Damages (Taebaek-si)

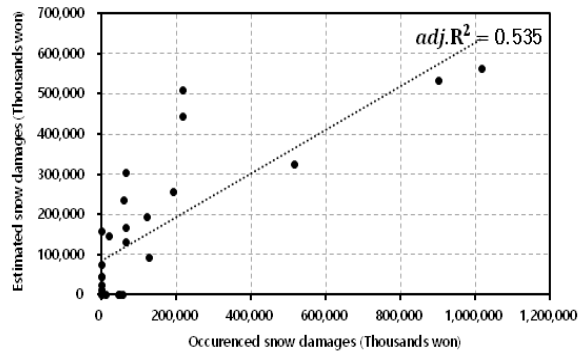


(l) Estimation and Occurrence Snow Damages (Wonju-si)

Fig. 3. Comparison of Estimation and Occurrence Snow Damages (Continue)



(m) Estimation and Occurrence Snow Damages (Yangyang-gun)



(n) Estimation and Occurrence Snow Damages (Yeongwol-gun)

Fig. 3. Comparison of Estimation and Occurrence Snow Damages (Continue)

Table 7. Statistical of Occurrence and Estimation Damages

	Pearson coefficient of correlation	Adjusted coefficient of determination	Root Mean Square Error		Pearson coefficient of correlation	Adjusted coefficient of determination	Root Mean Square Error
②	0.684	0.346	157,703.81	③	0.766	0.526	153,258.88
④	0.703	0.438	613,550.59	⑤	0.968	0.931	21,461.05
⑥	0.512	0.032	230,256.88	⑨	0.972	0.929	13,457.95
⑩	0.724	0.487	23,430.19	⑪	0.506	0.202	146,702.32
⑫	0.676	0.402	287,450.01	⑬	0.769	0.525	8,900.74
⑭	0.907	0.801	27,039.90	⑮	0.888	0.727	123,813.63
⑰	0.773	0.548	55,669.54	⑱	0.792	0.535	162,004.15

### 5. 결론

본 연구에서는 재해연보에 기록된 대설피해액 추정을 위해 최심 적설량, 최저기온, 평균습도, 지역총생산량, 농촌지역인구밀도 총 5가지 변수를 이용한 동시입력방식의 다중회귀모형을 강원도 지역의 14개 시·군·구를 대상으로 구축하였다. 산정된 모의 피해액과 실제발생한 피해액과의 통계오차분석을 통해 대설피해액 추정에 있어서 다중선형회귀 모형의 적용성을 평가한 결과, 극값이 포함되어 있는 경우에는 경향성을 잘 재현하지 못하는 한계를 보이기는 하였으나, 수정결정계수가 0.7 이상인 시·군·구도 다수 존재하였다.

재해연보의 대설 피해액을 활용하여 피해액을 추정하는 것은 근본적인 한계를 가지고 있다. 즉, 재해연보가 1970년대부터 작성되었으나, 작성 초기에는 피해지역에 대한 정확한 구분과 피해 시설물에 대한 분류가 체계화되지 않아서, 현재 국가에서 제공하고 있는 체계화된 자료는 재해연보에 1994년부터 제공하고 있기에, 자료의 수가 부족하다. 또한, 자료의 신뢰도에 대한 논쟁도 있다. 예를 들어, 재해연보에 조사된 피해액 자체가 실제 발생한 모든 피해를 포함한다고 보기 어려운 부분도 있다. 이는 피해액 산정하기 위해 공공시설의 경우 별도의 단가기준을 설정하여 반영하고, 사유

시설의 경우 신고 된 자료를 바탕으로 피해액을 산정하기 때문이다 (NDMI, 2013). 즉, 현재 재해연보에 수록된 피해액은 조사 당시 조사자의 주관에 많이 의존하고 있기 때문이다. 향후 피해액 산정의 객관성 확보를 위한 노력이 필요하다. 또한, 재해에 따른 피해발생 원인은 최심적설량이 많은 이유일 수 있으나, 시설물의 노후화 및 시공의 불량으로 외부적인 요인에 의해 야기될 수 있어 재해에 대한 대비책에 따라 피해가 줄어들 수 있다. 이러한 기초자료의 문제점들을 근본적으로 해결하기 쉽지 않다.

또한, 적설량의 경우에도 분 단위 또는 시간 단위로 관측되는 강수량과 달리 일 단위 형태로 제공되고 있으며, 본 연구에서 활용한 평균습도, 최저기온이 실제 최심적설량이 발생할 때의 습도와 최저기온으로 보기에 어렵기 때문에 모형의 적용성은 낮아질 수밖에 없다. 따라서 신뢰성 있고 정확성 있는 피해액 추정모형을 구성하기 위해서는 재해연보의 보완과 현재 분 단위 및 시간 단위로 강수량 및 기온을 관측하는 AWS와 같은 시스템을 활용한 겨울철의 적설량 관측자료를 구축하게 된다면, 훨씬 효율성이 좋은 추정모형이 구축될 것으로 판단된다. 본 연구에서 제안된 모형을 활용한다면, 향후 폭설시 재난대응 및 폭설대비 관련 정책 수립을 위한 정부나 지자체에 정보를 제공하고, 보다 효과적인 의사결정을 지원할 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 전국 단위의 대설 피해추정 함수 개발을

통해 정부에서 종합적인 판단을 할 수 있는 방재기준을 마련해야 한다.

## 감사의 글

본 연구는 정부(국민안전처)의 재원으로 재난안전기술개발사업단의 지원을 받아 수행된 연구임(MPSS-자연-2015-79).

## References

- Cavallo, E. and Noy, I. (2010). "The economics of natural disasters: A Survey." *IDB Working Paper No. 124*, Washington, DC: Inter-American Development Bank.
- Jeong, J. H. and Lee, S. H. (2014). "Estimating the direct economic damages from heavy snowfall in Korea." *Journal of Climate Research*, Vol. 9, No. 2, pp. 125-139 (in Korean).
- Kim, H. S., Song, Y. I., Kim, I. J. and Lim, Y. S. (2007). "Linking environmental assessment and sustainable development indicators." RE-08, Korea Environment Institute (in Korean).
- Kim, S. B., Shin, H. J., Lee, J. W., Kim, K. S., Yi, J. E. and Kim, S. J. (2011). "Regional risk analysis of heavy snowfall using meteorological data and GIS technique in South Korea." *Korea Water Resources Association Annual Conference Proceedings*, pp. 357-357 (in Korean).
- Kim, Y. S., Kang, N. R., Kim, S. J. and Kim, H. S. (2013). "Evaluation for snowfall depth forecasting using neural network and multiple regression models." *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 13, No. 2, pp. 269-280 (in Korean).
- Koo, Y. S., Lee, S. H. and Jung, J. C. (2013). "Selecting and assessing vulnerable zones of snow damage in urban areas." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 33, No. 3, pp. 1077-1086 (in Korean).
- Kwon, S. H., Kim, J. H., Park, H. S. and Chung, G. H. (2016). "Snow damage estimation of gangwon province damages using regression analysis." *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 16, No. 2, pp. 437-443 (in Korean).
- Lee, H. S. and Lim, J. H. (2005). *SPSS 12.0 manual*, Bobmunsa.
- Ministry of Public Safety and Security (MPSS) (2015). "The 2015 Annual Natural Disaster report." Ministry of Public Safety and Security (in Korean).
- National Disaster Management Institute (NDMI) (2013). "Development of Regional Loss Function Based on Scenario." National Disaster Management Institute.
- Oh, S. M., Kim, G. H., Jung, Y. H., Kim, D. H. and Kim, H. S. (2015). "Risk assessment of heavy snowfall using PROMETHEE - The case of gangwon province." *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 15, No. 1, pp. 87-98 (in Korean).
- Park, H. S., Lee, S. J., Yu, I. S., Jeong, S. M. and Chung, G. H. (2014). "Snow disaster risk index in the ulsan metropolitan city." *Journal of Korea Society of Hazard Mitigation*, Vol. 14, No. 2, pp. 97-106 (in Korean).
- Park, S. H. (2007). "Regression Analysis." The third Edition, Minyoungsa (in Korean).
- Toya, H. and Skidmore, M. (2007). "Economic development and the impacts of natural disasters." *Economic Letters*, Vol. 94, pp. 20-25.
- Xingpeng, L., Jiquan, Z., Zhijun, T., Yulong, B. and Danhong, Z. (2014). "Grid-Based multi-attribute risk assessment of snow disasters in the grasslands of xilingol." *Inner Mongolia, Human and Ecological Risk Assessment*, Vol. 17, No. 3, pp. 712-731.