RCP 기후변화 시나리오를 이용한 우리나라의 미래 대설 취약성 분석

Snow Vulnerability Analysis in the Korean Peninsula using RCP Climate Change Scenarios

하준혁* · 박희성** · 정건희***

Ha, Joonhyeok*, Park, Heeseong**, and Chung, Gunhui***

Abstract

Snow vulnerability analysis was implemented using 400 years of controlled RCP 2.6, 4.5, 6.0, and 8.5 scenarios in the following divided periods: the former period (2011-2040), middle period (2041-2070), and later period (2071-2100). Data from a total of 74 meteorological stations were used and the Thiessen polygon method was applied in the areas without stations. The indicators were classified into the Pressure-State-Response (PSR) structure, and the weight for vulnerability analysis was calculated using the entropy method. As snow vulnerability analysis was implemented for the future scenarios, it was difficult to determine social and economic factors as indicators; thus, only predicted weather data and population trends were considered. As a result, the rankings for snow vulnerable areas were determined for each period and scenario. Overall, snow vulnerability would decrease due to the decrease in long-term heavy snowfall in climate change scenarios. However, increased snow vulnerability is also expected in Sejong-si and the western coastal area due to a rise in population and snow depth in the future. Based on this, disaster prevention projects considering the characteristics of the region in the future could be implemented.

Key words : RCP, Snow Vulnerability Analysis, PSR, Entropy Method

요 지

본 논문에서는 전기(2011~2040), 중기(2041~2070), 후기(2071~2100)로 구간을 나누어 미래의 대설 취약성 분석을 실시하였다. 취약성 분석을 위해 400년 제어 적분한 RCP 2.6, 4.5, 6.0, 8.5 시나리오 기반의 자료를 이용하였고 74개 기상관측소 자료를 사용하였으며 관측소가 없는 지역의 경우 Thiessen 면적법을 이용하여 값을 적용하였다. PSR 구조체계로 세부지표를 분류하였고 엔트로피 가중치 계산방법을 이용하여 취약성 분석을 위한 가중치를 계산하였다. 미래의 대설 취약성 분석이기 때문에 세부지표 선정에 있어서 사회 및 경제적 요소를 포함하기에는 어렵다고 판단되어 예측된 기상자료와 인구추이만을 이용하여 세부지표를 선정하였다. 분석 결과 각 구간 및 시나리오별 대설에 취약한 순위를 도출해낼 수 있었고, 기후변화 시나리오에 의해 장기적으로 대설취약성이 감소하지만, 세종특별자치시와 서해안을 중심으로 인구증가 및 적설심 증가로 인한 취약성 증가도 예측할 수 있었다. 이를 바탕으로 향후 지역의 특성을 고려한 대설 방재사업을 실시할 경우 도움이 될 것으로 기대한다.

핵심용어 : RCP, 대설취약성 분석, PSR, 엔트로피 방법

*정회원, 호서대학교 토목공학과 석사과정(E-mail: wnsgr8744@naver.com)

Member, Master's Student, Dept of Civil Engineering, Hoseo University

**정회원, 한국건설기술연구원 국토보전연구본부 연구위원(E-mail: hspark90@kict.re.kr)

Member, Research Fellow, Department of Land, Water and Environment Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology (KICT)

***교신저자, 정회원, 호서대학교 건축토목공학부 토목공학과 부교수(Tel: +82-41-540-5794, Fax: +82-41-540-5798, E-mail: gunhuic@gmail.com)

Corresponding Author, Member, Associate Professor, Dept of Civil Engineering, Hoseo University

1. 서 론

지구온난화가 진행됨에 따라 과거에 비해 호우, 태풍, 대설, 한파 등 이상기상현상에 따른 자연재해로 인한 피해가 전 세계적으로 증가하고 있으며 우리나라 또한 자연재해로 인한 피해가 증가하는 추세이다. 행정안전부 재해연보(MOIS, 2018)에 따르면 과거 10년(2009년~2018년)간 자연재해로 인한 피해액은 2018년 환산가액 기준 약 3조 6천억 원에 달하며, 이 중 호우와 태풍으로 인한 피해가 88%이며, 대설로 인한 피해는 7%로 자연재해로 인한 피해 중 대부분이 호우, 태풍에 의해 유발되나, 대설로 인한 피해도 작지 않은 것을 알 수 있다. 대규모 대설 피해를 살펴보면, 2011년 1월 강원과 경북 동해안 지역에 집중적으로 폭설이 내려 경북 동해안지역 지방도·국도 등 17개 노선이 통제되고 여객선 및 항공기 운행이 중단되었으며, 비닐하우스(78.5 ha), 어망·어구 등 약 100억 원의 피해가 발생하였다. 2005년 12월에는 최고적설량 47 cm의 기록적인 폭설로 인해 호남고속도로에서 19시간 이상 도로에 고립되는 상황이 발생하였고, 동시에 11개 시도에서 3명이 사망하고, 11명이 실종되었으며, 축사 및 비닐하우스가 피해를 입었다. 2014년에는 경주 마우나리조트가 적설하중을 이기지 못하고 붕괴되는 사고가 발생해 10명이 숨지고 124명이 부상을 입었다. 이와 같이 대규모 대설피해가 간혹 발생함에 따라 대설피해에 대한 취약성을 분석하고 이를 저감하기 위한 연구들이 수행되었다.

기존 국내에서 우리나라를 대상으로 수행된 취약성 및 대설에 대한 연구를 살펴보면 Hwang et al. (2016)은 RCP 8.5 기후변화 시나리오를 바탕으로 재난 위험지수를 사용하여 강원도의 재난 취약성 예측을 하였고, Ko and Kim (2009)은 경기도 31개 시·군을 대상으로 지자체의 특성을 고려한 취약성 평가지표의 구성요소를 도출하여 지역 간 상대적 취약성을 평가하였다. Lee and Rhyu (2003)는 서울, 대구, 강릉, 군산을 대상으로 과거 30년간 강설일수와 신적설량을 분석하였고, S.B. Kim et al. (2012)은 30년간 적설량의 시·공간적 경향성을 5개의 대설지역(서태백산맥, 소백산맥 북·서부, 영동북부, 남해안, 울릉도)으로 구분하여 분석하였다. Joh et al. (2011)은 강설가능성을 13개 GCM 자료를 이용하여 일 최저 기온과의 상관성에 초점을 맞춰 전국 중 권역별 강설량과 미래의 강설가능성을 예측하였고, Jeong and Lee

(2014)는 인구, 대설 발생일수, 최심신적설 등을 이용하여 폭설 피해로 인한 이재민 수, 인명피해를 예측하기 위한 연구를 진행하였으며, Go et al. (2009)은 겨울철 우리나라 서해안 지역의 적설과 해양기상 요소간의 상관관계에 대해 분석하였다. 기존 대설 취약성 관련 연구들은 직접적으로 기후변화 자료를 적용한 연구는 부족하며, 과거 자료만을 적용하여 대설취약성을 분석한 연구들이 대부분이었다. 그러므로 기후변화 자료를 적용하여 미래 우리나라의 지역별 대설취약성을 평가하고, 그 결과를 반영한 지역 맞춤형 대설 피해 저감 대책이 필요하다.

본 연구에서는 400년 제어적분을 적용한 RCP 2.6, 4.5, 6.0, 8.5 시나리오의 전망자료를 이용하여 우리나라의 대설 취약성 분석을 실시하였다. 취약성 분석을 위해 전기(2011~2040), 중기(2041~2070), 후기(2071~2100)으로 분석 구간을 나누었고, 74개 기상관측소 자료를 사용하였으며, 관측소가 없는 지역의 경우 Thiessen 면적법을 이용하여 값을 적용하였다. 취약성 분석을 위해 PSR 구조체계를 이용하여 압력, 상태, 대응지수로 인자들을 분류하였고, 취약성 분석에 자주 이용되는 엔트로피 가중치 산정방법을 통해 가중치를 계산하여 우리나라의 행정구역별 대설 취약성 분석을 실시하였다.

2. 분석방법

2.1 RCP 기후변화 시나리오

IPCC 5차 평가보고서에는 기후변화 시나리오의 온실가스 농도를 결정하기 위해 인간 활동이 대기에 미치는 복사량을 선정하였다. 같은 복사강제력에 대해 사회 및 경제 시나리오는 다수가 될 수 있다는 의미에서 대표(Representative)라는 표현을 사용하고 온실가스 배출량 시나리오의 시간에 따른 변화를 강조하는 경로(Pathways)라는 의미를 포함한다. 태양복사에너지 중 지구흡수에너지는 약 238 W/m²이고 RCP 숫자는 온실가스에 따른 추가적인 지구흡수에너지양을 나타낸다. 즉 RCP 8.5는 CO₂ 농도가 940 ppm이 되면 태양에너지 8.5 W/m²가 더 흡수됨을 의미하고 현재 흡수되는 태양에너지양의 3.6%에 해당되며 RCP (2.6, 4.5, 6.0, 8.5)의 복사강제력은 입사 태양복사량의 약(1.1%, 1.9%, 2.5%, 3.6%)에 해당된다. Table 1에 각 시나리오별 CO₂ 농도 및 의미를 나타내었다.

Table 1. Each Scenarios Meaning and CO₂ Density

Unit	Mean	CO ₂ (2100 year)
RCP 2.6	Reduction of greenhouse gases immediately from now on	420 ppm
RCP 4.5	Considerable realization of greenhouse gas reduction policy	540 ppm
RCP 6.0	Implementing greenhouse gas reduction policies to some extent	670 ppm
RCP 8.5	Greenhouse gas emissions according to current trends	940 ppm

2.2 Pressure-State-Response (PSR) 구조체계

OECD (1993)에서 개발된 PSR 구조체계는 여러 나라 및 국제기구에서 지표설정에 이용되고 있으며, 평가하고자 하는 문제를 압력(Pressure), 상태(State), 대응(Response)지수로 구분된 인과관계로 분석할 수 있고 사회적, 경제적 및 기타사항간의 서로 연관된 관점에서 파악할 수 있다는 장점이 있다. PSR 구조체계 구성은 Fig. 1에서 알 수 있는 것과 같이, 분석 대상 재해를 야기할 수 있는 인간의 활동을 압력지수(Pressure)라고 하고, 인간의 활동이 현재 자연 상태(State)에 압력을 가해 취약성을 가중시킬 수 있으며, 현재 자연 상태의 정보를 이용해 대상 재해에 부정적인 영향을 줄이기 위한 대응방안(Response)을 마련하여 취약성을 줄일 수 있다는 개념에서 출발한다(OECD, 1999).

각각의 Pressure, State, Response는 위에서 설명한 정의에 따라 세부지표항목(indicators)으로 구성되어 압력지수(Pressure Index), 상태지수(State Index), 반응지수(Response Index)로 세분화된 계산을 할 수 있으며, 3 가지의 지수를 결합하여 최종적인 취약성지수(Vulnerability Index)를 계산할 수 있다.

2.3 엔트로피 가중치 산정

엔트로피 가중치 산정방법은 Shannon and Weaver (1949)에 의해 개발되었으며 각 속성의 가중치를 산정하기 위한 방법이다. 속성과 대안을 다수 포함하는 의사결정 문제 등에 대해 결정권자가 보다 알기 쉽게 정보이론을 적용하고 평가항목의 정보를 통해 가중치를 산정하는 방법이며 취약성 평가의 가중치 계산 및 부여 방법으로 많이 사용되는 방법이다. 어느 속성에 포함된 자료들의 차이가 작을수록 엔트로피가 증가하며 충분히 정보가 전달되고 있지 않다 가정하여 작은 값을 가중치로 적용한다. H.S. Kim et al. (2012)은 엔트로피 방법을 이용하여 대리변수별 가중치를 산정 후 낙동강 유역을 대상으로 홍수 취약성 평가를 하였고,

Park et al. (2014)은 엔트로피 가중치 방법을 이용하여 울산 광역시의 설해 위험지수를 산정하는 연구를 진행하였다. 본 연구에서 이용한 엔트로피 가중치 계산과정을 Fig. 2에 나타내었다.

Fig. 2. Calculation Process of Entropy Weights

$$R = \begin{bmatrix} x_{11} & \dots & x_{1j} & \dots & x_{1n} \\ \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots \\ x_{i1} & \dots & x_{ij} & \dots & x_{in} \\ \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots \\ x_{m1} & \dots & x_{mj} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}$$

Fig. 3. Attribute Information Matrix

가중치 계산을 위해 m 개의 지표를 선정하여 각 지표별로 n 개의 자료를 수집했다고 가정하면, Fig. 3에 나타낸 것과 같은 matrix를 구성할 수 있다. 각 지표들의 자료 범위가 다양하므로, 지표별로 표준화를 Eq. (1)을 이용하여 진행하였다.

Fig. 1. Pressure State Response Structure Adapted by OECD (1999)

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^n x_i} \quad (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

여기서, m 은 평가하고자 하는 지표의 수, n 은 각 지표 내 자료의 수이고, r_{ij} 는 원시자료 x_{ij} 를 표준화 한 결과 값이다.

지표 i 의 엔트로피 값 E_i 는 Eq. (2)로 계산된다.

$$E_i = -k \sum_{i=1}^n r_{ij} \log(r_{ij}) \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

Eq. (2)에서 $k = 1/\ln(n)$ 을 나타낸다. 지표 i 의 엔트로피 가중치를 계산하기 위해서 다양성의 정도를 나타내는 d_i 를 이용하여 계산한다. Eq. (3)은 지표 i 의 가중치를 구하는 방법이며, $d_i = 1 - E_i$ 로 계산한다.

$$w_i = \frac{d_i}{\sum_{i=1}^n d_i} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

Eq. (3)에서 $0 \leq w_i \leq 1$ 이고 $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ 이다.

3. 분석결과

본 연구에서는 RCP 기후변화 시나리오와 PSR 구조체계를 이용하여 우리나라 행정구역 단위의 미래 대설취약성 분석을 실시하기 위해 세부지표 선정을 하였다. 압력, 상태, 대응지수 산정을 위한 세부지표항목의 선정에 있어 객관적으로 대설취약성과 관련이 있는 세부지표를 선정하는 것이 매우 중요하다. 앞에서 설명한 바와 같이, PSR 구조체계 구성을 위해 인간의 활동이 대설 취약성에 미치는 효과, 대설 취약성 분석을 위한 현재 상태, 대설 취약성 저감을 위해 진행된 대응이나 대책 정도를 세부지표로 선정해야 하지만, 일반적으로 선정할 수 있는 비닐하우스와 같은 대설에 취약한 시설 면적, 제설장비 보유대수나 관련 직종에 종사하는 공무원 수 등과 같이 사회경제적인 요소들은 2100년까지 미래에 대해 예측하여 그 지표값을 행정구역별로

결정하는 것이 매우 어렵다. 그러므로 본 연구에서는 미래의 취약성 분석을 위해 사회 및 경제적 요소를 지표로 선정하기 어렵다고 판단하고, 기후변화 시나리오에서 제공하는 예측 기상자료를 최대한 활용하여 Table 2와 같이 세부지표들을 선정하였다. 단, 65세 이상 고령인구수는 통계청에서 예측하여 제공하는 주요 연령계층별 추계인구(2011~2047)자료를 이용하였고, 2047년 이후 인구는 2011년부터 2047년 까지 인구증가비율을 고려하여 추가 계산하였다.

다시 정리하면, 압력지수 계산을 위한 세부지표는 65세 이상 인구수, 습도, 최소기온을 고려하였으며, 상태지수는 적설심을, 반응지수는 최대기온을 세부지표로 선정하였다. RCP 기후변화 시나리오에서는 적설심을 따로 제공하고 있지 않으므로, 겨울철 최소, 최대, 평균기온과 강수량을 이용하여 신적설인수와 최심신적설량을 모의하는 2단계 인공신경망 모형으로 적설심을 계산한 Park et al. (2016)의 결과를 사용하였다.

세부지표선정 시 가장 어려웠던 부분은 대응지수의 세부지표를 결정하는 것이었다. 대응지수는 일반적으로 Park et al. (2014)에서도 적용한 바와 같이, 방재관련 공무원 수, 제설장비 보유대수, 제설함의 수 등과 같이 대설취약성을 저감시킬 수 있는 사회경제적인 요인들을 고려하는 경우가 많다. 그러나 2100년까지의 사회경제적인 요인들을 예측하여 적용하거나 현재의 대응지수를 그대로 적용하는 것은 분석결과를 왜곡시킬 우려가 있었다. 그러므로 행정구역별로 예측된 일 최고기온의 기간별 평균값을 대응지수의 세부지표로 결정하였다. 이것은 대응지수의 세부지표의 값이 커질수록 대설취약성이 감소해야하는 경향을 고려하여 평균 최고기온값이 높아질수록 대설의 확률이 줄어들거나 눈이 내리더라도 녹아 피해를 야기할 확률이 줄어들 것이라는 가정에서 선정한 것이다.

본 연구에서는 2100년까지 미래 대설 취약성 분석을 위해 30년 단위로, 전기(2011년~2040년), 중기(2041년~2070년), 후기(2071년~2100년) 구간을 나누어 분석하였다. Figs. 4-6은 구간별 65세 이상 고령인구수와 적설심 값을 GIS(지리정보시스템)로 나타낸 것이다. Fig. 4에서 알 수 있는 것과 같이, 서울, 대구, 부산, 광주 등의 대도시에는 노인 인구가 집중되어 있는 것을 알 수 있으며, Figs. 5~6에서 알 수 있는 것과 같이, 2100년으로 갈수록 적설심이 줄어들고 강원도와 서해안 지역에 적설이 더욱 집중되는 것을 알 수 있다.

Table 2. Indicators Used for Snow Disaster Vulnerability Analysis

Index	Indicators	Periods
Pressure Index	Population of 65 years older	2011~2047
	Humidity	2011~2100
	Minimum temperature	2011~2100
State Index	Snow depth	2011~2100
Response Index	Maximum temperature	2011~2100

Fig. 4. Number of Elderly People Over 65 Years of Age

Fig. 5. Snow Depth of RCP 2.6 Scenario

Fig. 6. Snow Depth of RCP 8.5 Scenario

분석결과 구간, 지표별 엔트로피 가중치 값은 Tables 3~5에 나타난 것과 같다. Figs. 7~10은 미래 시간적 구간 및 시나리오별 대설 취약성 결과를 GIS로 나타낸 것이고, 붉은 색이 짙어질수록 취약성이 증가하는 것을 의미한다. 모든 시나리오에서 2100년 미래로 갈수록 대설취약성이 증가하며, 취약성이 증가하는 지역이 변화되는 것을 알 수 있다.

이는 세종시의 노인인구가 증가하기 때문인 것으로 보인다. 지표별 가중치 값을 살펴보면 65세 이상 고령인구수와 적설심의 가중치가 높게 나타난 것을 알 수 있다. 다른 가중치 값들에 비해 최고값과 최저값의 편차가 크기 때문인 것으로 판단되며 전기에서 후기로 갈수록 적설심보다 65세 이상 고령인구수의 가중치 값이 커지는 것을 볼 수 있다. 이는

지구온난화로 인하여 겨울철 기온이 상승됨에 따라 적설심의 깊이가 줄어들어 적설심의 편차가 줄어들기 때문인 것으로 보인다. 그러나 반대로 인구감소 및 고령화, 대도시로 인구 밀집 등으로 인해 인구에 대한 가중치가 더욱 커지는 것으로 보인다.

RCP 2.6 시나리오의 경우 전기구간은 부천시와 평창군의 취약성이 높고 부산광역시 강서구와 영도구의 취약성이

낮은 것으로 나타났다. 중기구간은 부천시와 남양주시가 취약성이 높고 부산광역시 영도구와 거제시의 취약성이 낮은 것으로 나타났다. 후기구간은 세종특별자치시와 부천시의 취약성이 높고 부산광역시 영도구와 거제시의 취약성이 낮은 것으로 나타났다. RCP 4.5 시나리오의 경우 전기구간은 부천시와 평창군의 취약성이 높고 부산광역시 영도구와 강서구의 취약성이 낮은 것으로 나타났다. 중기구간은

Table 3. Weights of each Scenarios used Entropy Method (2011~2040)

Index	Unit	Weights			
		2.6	4.5	6.0	8.5
Pressure Index	Population of 65 years older	0.3393	0.3274	0.3125	0.3030
	Humidity	0.0017	0.0017	0.0017	0.0015
	Minimum temperature	0.0467	0.0444	0.0493	0.0423
State Index	Snow depth	0.6065	0.6213	0.6312	0.6481
Response Index	Maximum temperature	0.0058	0.0052	0.0053	0.0051
Sum		1	1	1	1

Table 4. Weights of each Scenarios used Entropy Method (2041~2070)

Index	Unit	Weights			
		2.6	4.5	6.0	8.5
Pressure Index	Population of 65 years older	0.4115	0.4180	0.4150	0.4502
	Humidity	0.0015	0.0014	0.0016	0.0017
	Minimum temperature	0.0358	0.0304	0.0357	0.0329
State Index	Snow depth	0.5469	0.5458	0.5429	0.5106
Response Index	Maximum temperature	0.0043	0.0044	0.0048	0.0046
Sum		1	1	1	1

Table 5. Weights of each Scenarios used Entropy Method (2071~2100)

Index	Unit	Weights			
		2.6	4.5	6.0	8.5
Pressure Index	Population of 65 years older	0.5490	0.5449	0.5236	0.6151
	Humidity	0.0013	0.0013	0.0013	0.0014
	Minimum temperature	0.0310	0.0239	0.0291	0.0215
State Index	Snow depth	0.4149	0.4266	0.4421	0.3588
Response Index	Maximum temperature	0.0038	0.0033	0.0039	0.0032
Sum		1	1	1	1

Fig. 7. Snow Vulnerability Index of RCP 2.6 Scenario

Fig. 8. Snow Vulnerability Index of RCP 4.5 Scenario

Fig. 9. Snow Vulnerability Index of RCP 6.0 Scenario

Fig. 10. Snow Vulnerability Index of RCP 8.5 Scenario

부천시와 광주광역시 북구지역의 취약성이 높고 부산광역시 영도구와 강서구의 취약성이 낮은 것으로 나타났다. 후기 구간은 세종특별자치시와 광주시의 취약성이 높고 거제시와 부산광역시 영도구의 취약성이 낮은 것으로 나타났다. RCP 6.0 시나리오의 경우 전기구간은 평창군과 부천시의 취약성이 높고 부산광역시 영도구와 함안군의 취약성이 낮은 것으로 나타났다. 중기구간은 부천시와 세종특별자치

시의 취약성이 높고 부산광역시 영도구와 강서구의 취약성이 낮은 것으로 나타났다. 후기구간은 세종특별자치시와 부천시의 취약성이 높고 부산광역시 영도구와 거제시의 취약성이 낮은 것으로 나타났다. RCP 8.5 시나리오의 경우 전기구간은 평창군과 부천시의 취약성이 높고 부산광역시 영도구와 강서구의 취약성이 낮게 나타났다. 중기구간은 부천시와 남양주시의 취약성이 높고 거제시와 부산광역시

영도구의 취약성이 낮게 나타났다. 후기구간은 세종특별자치시와 부천시의 취약성이 높고 거제시와 남해군의 취약성이 낮게 나타났다.

그러나 모든 시나리오에서 전기, 중기, 후기로 갈수록 지역의 대설취약성이 낮아지는 것을 알 수 있다. 이것은 Park et al. (2016)에서 제시한 것과 같이 후기로 갈수록 최심신적설심이 감소하고, RCP 2.6에서 RCP 8.5로 갈수록 적설심이 더욱 많이 감소하는 것으로 나타났던 결과와 일치하는 것이다. 대설취약성이 적설심이나 온도와 큰 상관관계를 가지도록 계산되었기 때문에 후기로 갈수록 대관령과 울릉도, 속초, 강릉, 동해, 태백 등 적설량이 많았던 강원도 지역이나 거창, 상주, 문경, 영천 등 경상도 일부 내륙지역의 대설취약성이 두드러지게 감소하는 것으로 나타났다. 그러나 목포나 정읍의 경우에는 후기로 갈수록 오히려 경상도 내륙지방보다 대설취약성이 증가하는 것으로 나타났다. 이것은 서해안 지역에 폭설이 발생할 가능성이 높아지기 때문인 것으로 보이며, 이에 대한 장기적인 대비가 필요하다고 판단된다.

4. 결 론

지구온난화가 진행됨에 따라 대설로 인한 피해 발생이 증가하고 있으며 이에 따라 본 연구에서는 겨울철 우리나라의 대표적 자연재해인 대설에 대한 취약성 분석을 실시하였다. 대설 취약성 분석을 위해 기후정보포털에서 제공하는 400년 제어적분 RCP 기후변화 자료와 74개 기상관측소 자료, 통계청에서 제공하는 시·도별 장래인구추계를 이용하였다. 또한 PSR 구조체계를 이용하여 세부지표를 분류하였고, 취약성 분석을 위한 가중치 산정에 있어서 주관적 개입이 없고 지표 속성만 이용하는 엔트로피 계산방법을 이용하였다. 현재의 취약성 분석이 아닌 미래의 취약성 분석을 실시하는 것이므로 자료구축에 있어서 사회 및 경제적 요소를 포함시키는 것은 어려운 것으로 판단되어 기상과 인구자료만을 이용하여 취약성 분석을 실시하였다. 분석 결과, 세부지표 중 65세 이상 고령인구수와 적설심의 가중치가 크게 계산되었으며, 전기(2011년~2040년)에서 후기(2071년~2100년)로 갈수록 적설심보다 65세 이상 고령인구수의 가중치가 더욱 커지며, 적설심이 줄어드는 영향이 반영되었다. 또한 대설 취약성 분석 결과도 전기에서 후기로 갈수록 취약성이 전반적으로 감소하는 것으로 나타났다. 다만, 인구가 밀집될 것으로 보이는 세종특별자치시와 적설심이 증가하는 것으로 예측되는 서해안의 목포와 정읍의 취약성이 다소 증가하는 것으로 나타났으며, 기존에 적설심의 깊이가 커 대설취약성이 높았던 강원도와 경상북도 지역의 취약성은 인구와 적설심 모두 감소함에 따라 낮아지는 것으로 나타났다. 이런 결과는 현재 진행되고 있는 고령화 사회와 지구온난화를 고려하면 타당한 결론이라고 할 수

있으나, 미래에 대한 대설 취약성 분석이므로 이를 해석하는 데는 미래에 변화될 사회, 경제적 요소와 이상기상현상에 대한 고려가 필요하며 이에 따라 행정구역마다 대설에 대한 대응 및 예방대책이 운영되어야 한다고 판단된다. 본 연구에서 도출해낸 결과를 바탕으로 대설에 대한 취약한 지역을 파악하여 대설에 취약한 지역을 파악 후 대응 및 예방이 가능할 것으로 기대한다. 또한 향후 대설 대응 정책 수립의 사업을 실시할 경우 대설에 대한 취약성 순위를 판단하여 피해예방에 도움이 될 것으로 기대한다.

감사의 글

이 논문은 2020년 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No.2017.R1A2B2008828).

References

- Go, W.J., Kim, S.W., and Jang, L.H. (2009). Relationship between ocean-meteorological factors and snowfall in the western coastal region of Korea in winter. *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety*, Vol. 15, No. 1, pp. 17-24.
- Hwang, D.J., Lee, S.H., Kim, M.M., and Kim, B.S. (2016). Predicting disaster vulnerability in Gangwon Province using the disaster risk index based on RCP 8.5 climate change scenarios. *Crisisonomy*, Vol. 12, No. 11, pp. 85-97.
- Jeong, J.H., and Lee, S. (2014). Estimating the direct economic damages from heavy snowfall in Korea. *Journal of Climate Research*, KU Climate Research Institute, Vol. 9, No. 2, pp. 125-139.
- Joh, H.K., Kim, S.B., Cheong, H., Shin, H.J., and Kim, S.J. (2011). Projection of future snowfall by using climate change scenarios. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, Vol. 14, No. 3, pp. 188-202.
- Kim, H.S., Park, G.J., Kim, S.D., Choi, M.H., Park, M.J., and Yoon, J.Y. (2012). Assessment of flood vulnerability considering climate change and large-scale river restoration project. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 12, No. 2, pp. 107-113.
- Kim, S.B., Shin, H.J., Ha, R., and Kim, S.J. (2012). Spatio-temporal analysis of snowfall for 5 heavy snowfall areas in South Korea. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 32, No. 2B, pp. 130-111.

- Ko, J.K., and Kim, H.S. (2009). *A study on vulnerability assessment to climate change in Gyeonggi-Do*. Policy Study 2009-37, Gyeonggi Research Institute.
- Lee, S.H., and Rhyu, S.B. (2003). Impacts of global temperature rise on the change of snowfall in Korea. *Journal of the Korean Geographic Society*, Vol. 38, No. 4, pp. 463-477.
- Ministry of the Interior and Safety (MOIS). (2018). *Statistical yearbook of natural disaster*.
- Organization for Economic Cooperation and Development (OECD). (1993). *OECD core set of indicators for environmental performance reviews*. OECD Environment Monographs, No. 83, OECD, Paris, France.
- Organization for Economic Cooperation and Development (OECD). (1999). *Using the pressure-state-response model to develop indicators of sustainability*. OECD Environmental Indicators.
- Park, H.S., Jeong, S.M., and Chung, G.H. (2016). Frequency analysis of future maximum fresh snow depth using multiple regression model with interaction. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 16, No. 2, pp. 369-376.
- 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. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 14, No. 2, pp. 97-106.
- Shannon, C.E., and Weaver, W. (1949). *The mathematical theory of communication*. Urbana, IL, USA: The University of Illinois Press.

Received	■	July 14, 2020
Revised	■	July 16, 2020
Accepted	■	July 28, 2020