엔트로피 이론을 이용한 전라도지역 대설 취약성 분석

Snow Vulnerability Analysis in Jeolla-do, South Korea using Entropy Theory

하준혁* · 박희성** · 정건희***

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

Abstract

Along with heavy rains and typhoons, heavy snow is one of the most common and major natural disasters that regularly occur in Korea; these snow events are especially dangerous in winter. However, since past heavy snow damage has mainly occurred in agricultural areas and has caused minimal economic damage, little research has been conducted on these disaster events. Recently, interest in heavy snow damage research has increased due to heavy casualties and frequent damage. In this study, a Snow Vulnerability Index for Jeolla province was calculated using a Pressure-State-Response (PSR) structure using Pressure, State, and Response Indices. The weights among the studied factors were calculated using the entropy method. The results of this study can be used to determine high-priority areas for large-scale heavy snow disaster prevention projects.

Key words : Entropy, Heavy Snow Damage, Natural Disasters, PSR

요 지

한국에서 주로 발생하는 자연재해 중 대설은 호우, 태풍 등과 아울러 주요 자연재해 중 하나이며, 겨울철 주요 자연재해이다. 그러나 우리나라에서 대설로 인한 피해는 주로 농업용 비닐하우스 등 재산피해에 집중되었기 때문에 다양한 각도에서 연구가 수행되지 못하였으나, 최근 들어 더욱 빈번해지는 대설피해와 인명피해 발생으로 인해 관심이 증가하고 있다. 본 연구에서는 전라도 지역을 대상으로 대설 피해에 대한 취약성 분석을 위해 Pressure-State-Response (PSR) 구조체계를 적용해 압력지수(Pressure Index), 상태지수(State Index), 대응지수(Response Index)로 주요 인자들을 구분하고, 엔트로피 방법을 이용하여 가중치를 산정하였으며, 이에 따른 결과 값들을 이용하여 전라도 지역에 대한 대설 피해 취약성 지수를 산정하고 결과를 분석하였다. 그 결과 대설에 취약한 지역들의 순위를 도출해낼 수 있었다. 본 연구에서 도출해낸 결과는 향후 대설 방재 관련 정책 수립 등의 사업을 실시할 때 해당지역의 우선순위를 판단하는데 도움이 될 것으로 기대한다.

핵심용어 : 대설 피해, 엔트로피, 자연재해, PSR

1. 서 론

최근 세계적으로 기상이변 현상이 과거에 비해 빈번하게 발생하고 있어 이로 인한 자연재해 피해도 증가하고 있다. 한국에서 주로 발생하는 자연재해로는 호우, 태풍, 대설 등이 있고 최근 10년(2008~2017)동안 자연재해 피해액 약

3.4조 중 대설에 의한 피해액은 약 2,200억 원으로 전체 자연재해 피해액의 약 15%의 비중을 차지하고 있다. 과거 2001년 1월 7일에는 전국적으로 폭풍을 동반한 폭설로 인하여 주택, 비닐하우스 등 6,590억 원의 피해액이 발생하였으며, 2004년 3월 4일에는 중부지방에 폭설이 내려 교통과 도로가 마비되었고, 2011년 1월과 2월에 발생한 폭설로

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

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

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

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

***교신저자, 정회원, 호서대학교 공과대학 건축토목환경공학부 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

기존에 있는 대설 피해에 대한 연구들을 살펴보면 Oh and Chung (2017)은 충청도, 전라도, 강원도 지역을 대상으로 대설 피해 발생 인자들에 대한 자료를 구축하고 대설 피해액 예측을 위한 회귀모형을 개발하였으며, Shim (2005)은 최심신적설에 대한 확률강설량을 분석하여 2004년 3월 대설을 대상으로 재현기간을 추정하였다. Koo et al. (2013)은 부산광역시를 대상으로 폭설로 인한 도시 설해취약지역을 선정하고 위험도를 평가하였다. Kwon and Chung (2017)은 강원도 지역을 대상으로 대설 피해액 추정을 위한 다중회귀모형을 개발하고 적용성을 검토하였다. Jung et al. (2015)은 대설에 취약한 온실편해 절감을 위해 적설하중 산정을 위한 노출계수를 선정하였으며, Lee et al. (2015)은 신적설의 단위중량에 따른 최대가능적설하중을 추정하는 연구를 진

본 연구에서는 대설에 대한 지역별 취약성을 분석하기 위해 대설 피해에 영향을 미칠 것으로 판단되는 요인들에 대한 자료들을 수집하고 이를 압력지수(Pressure Index, PI), 상태지수(State Index, SI), 대응지수(Response Index, RI) 즉, PSR구조체계를 이용하여 인자들을 나누고 취약성 분석에 자주 이용되는 엔트로피(Entropy)방법으로 가중치를 산정하여 전라도 지역의 대설취약성 지수를 계산하고 분석하였다.

2.1 PSR 구조체계

본 연구에서 PSR 구조체계를 이용하여 가중치를 계산하는 식은 $SVI = PI \times SI / RI$ 를 사용하였으며 계산식을 통해 압력지수와 상태지수가 크고 대응지수가 작을수록 취약성이 커지는 것을 알 수 있다.

2.2 엔트로피(Entropy) 가중치 산정 방법

엔트로피 가중치 산정 방법(Shannon and Weaver, 1949)은 각 속성의 가중치를 결정하는 방법이다. 즉, 속성과 대안을 많이 포함하는 의사결정 문제에 대하여 의사 결정권자가 이해하기 쉬운 정보이론을 적용하는 것으로, 이용된 평가항목의 속성정보를 통하여 가중치를 산정하는 방법이며 취약성 평가의 가중치 부여방법으로 많이 이용되는 방법이다. 특정 속성에 포함된 자료들의 서로 다른 정도가 작을수록 엔트로피가 증가하며 정보가 충분히 전달되고 있지 않다고 가정하여 값이 작은 가중치를 적용하게 된다. 엔트로피 방법을 이용하여 가중치를 산정하는 방법은 Fig. 2와 같다. 가중치를 산정하는 과정으로 먼저 지역별 평가항목의 속성정보를 추출하여 속성정보의 정규화를 통해 속성정보에 대한 엔트로피를 산정하고 평가항목별 가중치를 산정한다. 엔트로피 방법은 주관적 판단에 의존하지 않고 확보된 자료들의 분포를 고려하여 가중치를 산정하기 때문에 객관성이 있는 장점이 있다.

Fig. 2. Entropy Weight Calculation Process

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

Fig. 3. Property Information Matrix

Fig. 3을 Fig. 2와 같이 구성한다고 가정할 때 각 속성별 정보는 표준화를 통해서 0~1 사이 값으로 변환한다. Eq. (1)은 변환 및 표준화 방법이다.

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

속성 i 의 엔트로피는 Eq. (2)로 계산한다.

$$H_i = -k \sum_{j=1}^n r_{ij} \ln(r_{ij}), i = 1, 2, \dots, m \quad (2)$$

이 식에서 $k=1/\ln(n)$ 을 의미한다.

속성 i 의 엔트로피 가중치를 구하기 위해서는 다양성 정도를 나타내는 d_i 를 사용하여 구한다. Eq. (3)은 속성의 가중치를 계산하는 방법이며, $d_i=1-H_i$ 을 통하여 계산한다.

$$w_i = \frac{d_i}{\sum_{i=1}^m d_i} \quad (3)$$

이 식에서 $0 \leq w_i \leq 1$ 이고, $\sum_{i=1}^m w_i = 1$ 이다.

3. 대상지역 선정

우리나라의 시설재배 및 비닐하우스 면적의 50% (38,385 ha)는 남부지방인 전라도 지역과 경상도 지역에 분포되어 있다. 비닐하우스 면적의 경우 2015년 기준 전라도 지역은 전국 비닐하우스 면적 38,385 ha 중 16% (6158 ha)를 차지하고 있고, 경상도 지역은 34% (13,197 ha)를 차지하고 있다. 전라도 지역의 경우 경상도 지역에 비해 관측소가 고르게 분포되어 있어 취약성 분석에 사용되는 데이터들을 쉽게 조사 및 수집 할 수 있고, 시·군·구별 대설 총 피해액을 합한 값이 크기 때문에 대상지역으로 선정하였다.

4. 분석결과

4.1 입력자료 구축

본 연구에서는 대설 피해 이력과 발생유발 인자들에 대해 전국 시군구 단위별로 구축 가능한 데이터들을 조사 및 수집하여 선별 후 총 8종류의 데이터를 Table 1과 같이 P-S-R 구조체계로 구축하였으며 데이터 구축은 통계청, 기상청 및 행정안전부에서 매년 새롭게 갱신하여 제공하는 자료를 기반으로 하였다.

세부지표 중 대상지역에 직접적으로 환경 및 물리적 압력을 가하는 압력지수(PI)는 비닐하우스 면적, 평균온도 0℃이하인 날 수, 100년 빈도 적설심의 3개 지수로 선정하였고, 압력지수의 값이 클수록 해당 지역의 대설 피해에 대한

Table 1. Data used for Vulnerability Analysis

Index	Unit	Data Source	Periods
Pressure Index (PI)	Greenhouse area (ha)	Statistics Korea	2015
	Number of days below average temperature of 0°C (day/year)	Meteorological Administration	1994~2014
	Snow depth of 100 year frequency (depth/year)	Meteorological Administration	1994~2015
State Index (SI)	Total damage from heavy snow (one thousand won)	Ministry of the Interior and Safety	1996~2016
	Number of snow damage occurrence (times/year)	Ministry of the Interior and Safety	1996~2016
Response Index (RI)	Number of public officer (number)	Ministry of the Interior and Safety	2016
	Average solar time (day/year)	Meteorological Administration	2013~2017
	Number of snow removal equipment (number)	Public Data Portal	2016

위험이 높다고 판단 할 수 있다. 비닐하우스 면적은 통계청에서 제공하는 시설면적 규모를 사용하였고 평균온도 0°C이하인 날 수는 기상청에서 제공하는 자료를 평균하여 사용하였으며, 100년 빈도 적설심의 경우 기상청 산하 기상관측소 중 연 최대 최심신적설심에 대해 30년을 초과하여 자료를 보유하고 있는 지점 61개에 대해 Gumbel 분포를 적용하여 빈도 분석한 값을 크리깅 기법으로 보간 하고 시군구별로 평균하여 사용하였다.

상태지수(SI)는 대설 피해에 노출되어 있는 정도를 판단하고 대설에 의한 피해를 파악할 수 있는 대설 총 피해액, 대설 피해 발생 횟수를 선정하였고, 압력지수(PI)와 같이 값이 클수록 대설 피해에 대한 노출이 크다고 판단 할 수 있다. 대응지수(RI)는 대설 피해 발생 시 이에 대한 피해에 대응하고 피해를 예방할 수 있는 능력을 판단 가능한 지수로 공무원 수, 평균 일조시간, 제설장비 보유개수를 선정하였다. 취약성 분석에 이용된 입력 자료에 대한 인자들을 바탕으로 Fig. 4에 지역별로 색을 이용하여 나타냈다. 각 지수는 노란색으로 갈수록 취약성이 낮고 빨간색으로 갈수록 취약하다는 것을 의미한다. 이때 대응지수(RI)는 다른 지수와 반대로 노란색으로 갈수록 값이 커지고 빨간색으로 갈수록 값이 작아지는 것을 알 수 있다. 즉 압력지수(PI)와 상태지수(SI)는 값이 클수록 취약한 것이고 대응지수(RI)는 값이 작을수록 취약한 것을 나타낸다.

4.2 가중치 계산

본 연구에서는 전라도 지역에 대한 대설 취약성 분석을 위해 PSR 구조체계를 적용하여 데이터를 구축했고 대설 피해에 영향을 미치는 요인들을 조사 및 수집했다. 구축된 데이터에 대한 엔트로피 분석을 통해 상태지수의 가중치가 가장 높다는 것을 확인할 수 있었다. 엔트로피 기법의 특성상 자료의 흩어진 정도에 따라 가중치를 계산해줌으로 상태지수 중 과거 대설피해 이력은 지역별 편차가 크기 때문에

가중치가 높게 나오고, 압력지수 중 100년 빈도 적설심의 경우 지역별 편차가 상대적으로 적기 때문에 가중치가 낮게 나온 것으로 판단된다. Table 2는 엔트로피 가중치를 산정한 결과 값이고 Fig. 5는 Table 2를 차트로 나타낸 것이며 Fig. 6은 각 지수의 가중치 결과 값을 지역별로 지수의 크기에 따라 다른 색을 이용해 나타낸 것이다. 압력지수(PI)의 경우 비닐하우스 면적이 가장 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있었으며, 고창군 지역의 압력지수 값이 0.0254로 가장 크고, 목포시의 값이 0.0013로 가장 작은 것으로 나타났다. 상태지수(SI)의 경우 대설 총 피해액이 가장 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있었으며, 고창군 지역의 상태지수 값이 0.0549로 가장 크고, 광주시 동구 지역의 값이 0.0004로 가장 작은 것으로 나타났다. 대응지수(RI)의 경우 공무원 수가 가장 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있었으며, 장성군의 대응지수 값이 0.0042로 가장 크고, 여수시 지역의 값이 0.001로 가장 작은 것으로 나타났다.

4.3 분석결과

분석 결과 다른 지역에 비해 상대적으로 압력지수(PI)와 상태지수(SI)가 큰 고창군이 가장 취약한 지역으로 나타났고, 광주광역시 동구 지역이 취약성이 낮은 것으로 나타났다. 이 중 가장 크게 영향을 미치는 요인으로 상태지수(SI)에 해당하는 대설 총 피해액으로 나주시와 고창군이 차례로 1, 2 순위에 해당하였고, 취약성 분석 결과 대설에 가장 취약한 지역으로 고창군과 나주시가 차례로 1, 2 순위로 나타났다. 취약성이 가장 낮은 지역은 광주시 서구, 북구, 동구 지역과 목포시로 나타났는데, 이는 광주시와 목포시의 경우 대도시 지역이므로 다른 지역에 비해 공무원 수가 많고 제설장비를 잘 갖추고 있기 때문인 것으로 판단할 수 있다. 취약성 분석을 통해 도출해낸 순위는 Table 3에 나타내었다. Table 3을 바탕으로 전라도 지역에 대한 대설 취약성 결과를 지도위에 지역별로 색을 이용해 Fig. 7에 나타내었다.

Fig. 4. Spatial Distribution of Indices for Snow Vulnerability Index

Table 2. Weights using Entropy Theory

Index	Unit	Weight	Sum	Total
Pressure Index (PI)	Greenhouse area	0.2680	0.3413	1
	Number of days below average temperature of 0℃	0.0617		
	Snow depth of 100 year frequency	0.0116		
State Index (SI)	Total damage from heavy snow	0.4595	0.5332	
	Number of snow damage occurrence	0.0737		
Response Index (RI)	Number of public officer	0.0387	0.1255	
	Average solar time	0.0587		
	Number of Snow removal equipment	0.0281

Fig. 5. Weight Value by Factor

Fig. 6. Weights using Entropy Theory

Table 3. Rank of Vulnerability Analysis Results

District	Snow Vulnerability Index	Vulnerability Rank
Gochang-gun	0.3356	1
Naju-si	0.2563	2
Yeongam-gun	0.1210	3
Kimje-si	0.0914	4
Damyang-gun	0.0863	5
Hampyeong-gun	0.0819	6
Buan-gun	0.0776	7
Jeongeup-si	0.0719	8
Jangseong-gun	0.0649	9
Namwon-si	0.0455	10
Sunchang-gun	0.0379	11
Jinan-gun	0.0370	12
Wanju-gun	0.0256	13
Gokseong-gun	0.0248	14
Yeonggwang-gun	0.0217	15
Jansu-gun	0.0199	16
Imsil-gun	0.0185	17
Haenam-gun	0.0182	18
Gwangju-si Gwangsan-gu	0.0146	19
Muan-gun	0.0136	20
Iksan-si	0.0131	21
Muju-gun	0.0124	22
Gangjin-gun	0.0112	23
Suncheon-si	0.0103	24
Hwasun-gun	0.0092	25
Goheung-gun	0.0088	26
Boseong-gun	0.0068	27
Jangheung-gun	0.0066	28
Gwangyang-si	0.0065	29
Gunsan-si	0.0061	30
Yeosu-si	0.0051	31
Sinan-gun	0.0048	32
Gwangju-si Nam-gu	0.0045	33
Wando-gun	0.0044	34
Gurye-gun	0.0042	35
Jindo-gun	0.0038	36
Jeonju-si	0.0015	37
Gwangju-si Seo-gu	0.0014	38
Gwangju-si Buk-gu	0.0013	39
Mokpo-si	0.0003	40
Gwangju-si Dong-gu	0.0002	41

Fig. 7. Vulnerability Analysis Results in Jeolla-do

그러나 대설취약성지수 결과에서 가장 큰 영향을 미치는 과거 피해액으로 인해 취약성을 결정하는 경향이 있으므로, 이에 대한 향후 연구 보완이 필요하다. 이는 최근 들어 대설 피해가 빈번해지고 있으며, 과거 대설이 발생하지 않았던 지역에 대설이 한파와 함께 발생하는 등의 현상이 나타나기 때문이다. 과거 대설 피해가 많지 않았던 만큼 1~2번의 피해가 발생했던 기록만으로 취약성을 높다고 결정하는 것은 무리가 있으며, 대설취약성 관련 변수 추가 개발이 후속되어야 할 것이다.

5. 결 론

최근 세계적으로 기상이변 현상이 과거에 비해 빈번하게 발생하고 있어 호우, 태풍, 대설 등 자연재해에 따른 피해가 증가하고 있다. 이에 따라 본 연구에서는 대한민국의 주요 자연재해 중 겨울철 주요 자연재해인 대설 피해에 대한 취약성 분석을 전라도 지역 41개 시군구를 대상으로 실시하였다. 취약성 분석을 실시하기 위해 대설 피해에 영향을 미치는 요인들을 조사 및 수집하여 총 8종류의 세부지표들을 산정하고, PSR 구조체계를 이용하여 요인을 분류 하였으며, 가중치를 산정하기 위해 주관적 개입이 없이 지표의 속성만을 이용하는 엔트로피 가중치 산정 방법을 적용하였다. 취약성 분석결과 고창군 지역이 가장 취약하고, 광주광역시 동구 지역이 가장 덜 취약한 지역으로 나타났다. 엔트로피 기법의

특성상 자료의 흩어진 정도에 따라 가중치를 계산해줌으로 압력지수(RI) 중 100년 빈도 적설심의 경우 분포의 분산이 작아 가중치가 작게나오고, 상태지수(SI) 중 대설 총 피해액의 경우 분포의 분산이 크기 때문에 가중치가 크게 나온 것으로 판단된다. 그러므로 과거 피해가 크게 발생하였던 고창군의 취약성이 크게 나타나는 등 과거 대설 피해가 있는 지역을 중심으로 대설에 대한 대응 대책의 마련 및 운영 되어야 한다고 판단되는 결론을 도출할 수 있었다. 이는 일반적으로 대설 피해가 발생했던 지역에 피해가 반복 되므로 타당한 결론이라고 할 수 있으나, 변화하고 있는 기후로 인해 과거 눈이 많이 내리지 않던 지역에도 대설이 내리거나 눈으로 인한 피해가 발생하는 경우가 있으므로 향후 추가적인 연구를 통해 잠재적인 취약성을 고려할 수 있는 요인에 대한 고민을 해야 할 것이다.

대설 피해를 예방하기 위해 정부에서는 대국민 행동요령 홍보 및 위기상황 전파, 취약시설 점검과 제설작업 준비 등 사전대비를 하고, 대응조직 구성 및 위기상황 신속 대응과 피해상황 파악, 응급복구 활동 전개 등 신속한 대응 조치를 통하여 대설에 대비해야 하며, 향후 지역들의 대설 대책 사업 등을 실시할 경우 인자별로 위험우선순위를 두는 방안 들을 검토해야 할 것으로 판단된다. 이에 본 연구에서 도출해 낸 결과는 대설 방재 관련 정책 수립 등의 사업 등을 실시할 경우 해당지역에 대한 우선순위를 판단하는데 도움이 될 것으로 기대한다.

감사의 글

이 논문은 2019년 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No.2017R1A2B2008828).

References

- Jung, S.H., Yoon, J.S., Lee, J.W., and Lee, H.W. (2015). Comparison and decision of exposure coefficient for calculation of snow load on greenhouse structure. *Protected Horticulture and Plant Factory*, The Korean Society For Bio-Environment Control, Vol. 24, No. 3, pp. 226-234 (in Korean).
- 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*, KSCE, Vol. 32, No. 2B, pp. 103-111.
- Koo, Y.S., Lee, S.H., and Jung, J.C. (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*, Vol. 33, No. 3, pp. 1077-1086.
- Kwon, S.H., and Chung, G.H. (2017). Estimation of snow damages using multiple regression model: The case of Gangwon province. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 37, No. 1, pp. 61-72.
- Lee, Y.K., Lee, C.J., and Ahn, S.I. (2015). Estimation of freshly fallen snow unit weight and maximum probable snow load. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 15, No. 1, pp. 47-55.
- Oh, Y.R., and Chung, G.H. (2017). Estimation of snow damage and proposal of snow damage threshold based on historical disaster data. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 37, No. 2, pp. 325-331.
- 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.
- Shannon, C.E., and Weaver, W. (1949). *The mathematical theory of communication*. Urbana, Illinois, USA: The University of Illinois Press.
- Shim, K.O. (2005). Analysis the probability of the heavy snowfall on March 2004. *Proceedings of 2005 Korean Society of Civil Engineers Conference*, pp. 218-221 (in Korean).

Received	June 17, 2019
Revised	June 18, 2019
Accepted	July 12, 2019