

지역별 재해 유발 강설량의 임계값 추정과 지역구분

Estimating the Threshold Value of Disaster-Causing Snowfall by Region and Its Application to Regional Classification

김현욱* · 김백조** · 김해민*** · 이진화**** · 심재관*****

Kim, Hyunuk*, Kim, Baek-Jo**, Kim, Hae-Min***, Lee, Jin-Hwa****, and Shim, Jae-Kwan*****

Abstract

In this study, the estimation of damage-causing thresholds and their application to regional classification were examined using logistic regression, critical success index, probability of detection, and a false-alarm ratio. For 10 stations where damage caused by heavy snow occurred frequently, the fresh snow depth data provided by the Korea Meteorological Administration and heavy snow-related damage data obtained by the Ministry of Interior and Safety were used. Results show that the estimated thresholds differed by region. These results are attributed to many factors such as analysis methods, regional disaster protection, the response of local residents, vulnerability of structures, and meteorological characteristics. Additionally, based on estimated thresholds, the area with the highest threshold-sensitivity and the areas with the most internal differences and similarities between calculated thresholds corresponded to the coastal region, the Gangwon region, and the inland region, respectively. Gangwon region, where heavy snow was often observed, had a long duration of snowfall, whereas inland regions faced snowfalls that were relatively weaker in intensity and shorter in duration.

Key words : Damage, Snowfall, Threshold, Classification

요 지

본 연구는 대설 피해가 빈번하게 발생하는 10개 관측지점을 대상으로 피해유발 임계값을 추정하였다. 또한, 추정된 임계값을 기반으로 유사한 지역을 구분하고 그 특징을 조사하였다. 연구 자료는 기상청에서 제공하는 신적설 관측 자료와 행정안전부에서 발행되는 재해연보의 피해 자료를 사용하였다. 연구방법은 로지스틱회귀분석, Critical Success Index, Probability of Detection 그리고 False-Alarm Ratio를 적용하였다. 연구 결과, 추정된 임계값은 지역별로 차이를 보였다. 이와 같은 결과는 분석방법, 지역별 방재대책, 지역주민의 대처, 구조물의 취약성 그리고 기상현상 등 많은 요인이 원인으로 판단된다. 또한, 추정된 임계값을 활용하여 임계값이 민감한 지역, 임계값의 차이가 큰 지역과 작은 지역은 각각 해안지역, 강원지역, 내륙지역에 대응되었다. 강원지역은 강설의 지속시간이 길고, 폭설이 관측된 경우가 많았으나, 내륙지역은 상대적으로 약한 강설과 짧은 강설 지속시간을 보였다.

핵심용어 : 피해, 강설, 임계값, 지역구분

*교신저자, 정회원, 국립기상과학원 관측예보연구과 재해기상연구센터 연구원(Tel: +82-33-913-1068, Fax: +82-33-644-2657, E-mail: darzhyun@korea.kr)
Corresponding Author, Member, Researcher, High Impact Weather Research Center(HIWRC), National Institute of Meteorological Sciences (NIMS), Korean Meteorological Administration (KMA)

**국립기상과학원 관측예보연구과 재해기상연구센터 센터장
Director, HIWRC, NIMS, KMA

***국립기상과학원 관측예보연구과 재해기상연구센터 연구원
Researcher, HIWRC, NIMS, KMA

****국립기상과학원 관측예보연구과 재해기상연구센터 연구원
Researcher, HIWRC, NIMS, KMA

*****국립기상과학원 관측예보연구과 재해기상연구센터 연구사
Research Scientist, HIWRC, NIMS, KMA

1. 서론

해마다 자연재해로 인한 피해는 사회전반에 많은 영향을 미치고 있다. 국가와 지자체는 방재 역량을 강화하며 피해 경감을 위해 노력하고 있지만, 자연재해는 시간이 흐를수록 복잡해지고 대형화 되고 있다. 특히, 기후변화로 인한 극한 기상현상의 빈발로 자연재해의 피해 경감에 어려움을 주고 있다. 최근 들어, 세계적으로 북반구 고위도 지역에서 폭설, 한파 등의 겨울철 기상재해가 자주 발생하는 경향을 보이고 있다(Cheon, 2017). 캐나다 서부와 중부 유럽에서 겨울철 강설이 증가하는 경향을 보이며(Zhang et al., 2001; Moberg and Jones, 2005; Burt and Horton, 2007), 중국과 일본의 고위지역과 북부 지역을 중심으로 강설이 증가했다(Sun et al., 2010; Sugiyama, 2011).

1994년부터 2013년까지 우리나라의 자연재해로 인한 피해는 약 12조원에 달하며, 이 중 대설에 의한 피해는 약 13%정도이다(Kwon and Chung, 2017). 대설은 비닐하우스, 축사와 같은 농업시설의 피해뿐만 아니라 교통량과 이동 시간에 영향을 주는 등 사회·경제적으로 다양한 분야에서 피해가 나타나고 있다(Song et al., 2012; Sohn et al., 2014). Kim et al. (2018)은 최근 대설의 경향이 짧은 시간동안 좁은 지역에 많은 양이 내리는 집중호우와 유사한 특징을 보인다고 했으며, S.B. Kim et al. (2012)도 이와 같은 대설의 국지성을 설명했다. 또한, Jeong (2017)은 난방시설이 설치된 비닐하우스 피해는 적은 양이 장기간 쌓여 발생하는 피해보다 짧은 시간에 폭설이 내릴 경우 피해가 발생한다고 설명했다.

많은 선행연구와 보고서에서 대설의 증가가 예상됨에 따라 겨울철 기상재해의 중요성은 증가하고 있다(IPCC, 2007; Han, 2014; KMA, 2017). 그러나 한국의 자연재해 연구는 피해규모가 크게 나타나는 태풍, 호우에 대부분 집중되어 있어(Ahn et al., 2008; Kim et al., 2009; Heo et al., 2014; Kim et al., 2015; Jeong et al., 2017), 대설과 관련된 연구는 상대적으로 부족하다. Changnon et al. (2006)은 대설과 피해에 관한 연구는 재해 유발 임계값 연구, 지역별 종관기상학적 유형 분류 연구, 대설 발생관련 사례에 관한 연구로 구분된다고 했다. 미국에서는 1~2일 간의 적설이 15.2 cm이거나 그 이상일 경우 큰 영향을 미치며(Changnon, 1969; Branick, 1997), 15 cm의 적설은 미국 뿐 아니라 캐나다, 일본의 일부 지역에서도 대설주의보와 대설경보의 기준이 된다(Chung and Bong, 1993). Rooney (1967)은 미국의 17개 도시를 대상으로 12.5~20 cm 이상의 적설이 발생할 경우 교통 등 도시 활동에 영향이 있다고 제시하였으며, Kocin and Uccellini (2004)는 25 cm 이상의 적설 시 인구규모에 따라 대설 재해를 정의했다. 한국의 경우, 기상재해를 유발한 기상 조건에 관한 연구(Jhun et al., 1994; Park and Yoon, 1997; Choi and Kim, 2010; Y.J. Kim et al., 2012)와

대설로 인한 피해특성에 관한 연구(Nam, 2003; Song et al., 2012; Myung, 2014) 등은 활발하지만, 지역별 기상재해를 유발하는 대설의 임계값에 대한 체계적인 연구는 미흡하다(Cheon, 2017).

또한, 임계값 추정 이외에도 유사한 특징을 가지는 지역의 그룹화는 더 효율적인 피해저감 효과를 기대할 수 있다(Jun et al., 2008). Nishiyama et al. (2007)은 자기조직화지도를 활용해 일본의 강수지역을 8개로 구분했고, Lin and Chen (2006)은 대만의 강수지역을 8개로 구분했다. 또한 Lu et al. (2006)은 대만의 미세먼지 구역을 5개로 구분했다. 한국의 지역구분 연구에서는 Um et al. (2011)이 K-Means 군집법을 이용하여 한국의 강수지역을 5개로 구분했으며, Moon and Kim (2001)은 Ward 기법을 이용해 계절별로 구분했다. 또한 Choi (1990)는 Ward 기법으로 17개 적설지역을 구분했고, Kim et al. (2017)은 자기조직화지도를 활용해 7개 지역으로 구분했다.

최근 대설 피해와 단기 예보 및 예·특보 기준에 대한 지역구분의 중요성이 부각됨에 따라 강설량의 단기 임계값과 동질지역 연구가 필요한 실정이다. 이에 따라 본 연구에서는 지역별 대설 피해의 임계값을 통계적 방법론으로 추정하고, 임계값이 유사한 지역들을 군집하여 각 그룹의 특징을 파악하고자 한다.

2. 자료 및 연구방법

2.1 자료

본 연구에서는 한국 기상청의 Automated Synoptic Observing System (ASOS)에서 관측되는 3시간 단위 적설 자료와 행정안전부에서 시군구 행정구역단위로 자연재해 피해를 집계, 기록하여 발간하는 재해연보의 피해 자료를 활용했다.

대설 피해는 주로 비닐하우스에 많이 발생한다(Song et al., 2012; Kim et al., 2018). 그러므로 본 연구에서는 우리나라의 비닐하우스 발전 역사와 선행연구를 검토하고, 재해연보에서 비닐하우스의 피해가 정량적으로 집계되기 시작한 1990년부터 최근 2017년까지를 연구의 시간적 범위로 설정했다. 연구의 공간적 범위는 다음 사항을 만족하는 지역으로 선정했다.

- ㄱ. 관측지점에서 연구기간동안 연속적으로 관측되었는가?
- ㄴ. 관측지점의 위치가 지역을 대표하기에 적절한가?
- ㄷ. 해당 지역에 대설 피해 사례가 많은가?

대설로 인한 피해는 대부분 비닐하우스가 위치한 곳에서 발생하고, 많은 선행연구에서 대설의 국지성을 설명하고 있기 때문에(S.B. Kim et al., 2012; Jeong, 2017; Kim et

al., 2018), 관측지점의 위치가 지역을 대표할 수 있는지가 중요하지만, 실제로 관측지점은 해당지역과 가까운 장소에 위치해 있지 않은 경우가 많았다. 또한, 1990년부터 2017년까지 재해연보에 기록된 대설 피해는 총 79건이며, 개별 시군구에서 평균 약 1~20건으로 태풍과 호우에 비해 피해 사례가 적었다. 때문에 연구 기간을 줄이거나 피해 종류를 세분화하면 피해 사례가 급격히 줄어들어 통계적 분석을 할 때 많은 어려움이 따른다.

그러므로 본 연구에서는 관측자료가 연속적이고, 관측지점의 위치가 행정구역을 대표할 수 있으며, 대설 피해 사례가 적어도 10건 이상인 평창(대관령), 강릉(북강릉), 울진, 청주, 포항, 양평, 이천, 홍천, 보령, 정읍 10개 지역을 연구의 공간적 범위로 설정했다(Fig. 1).



Fig. 1. 10 Observation Stations Used in the Study

2.2 연구 방법

임계값을 추정하기 위한 방법으로 로지스틱회귀모형과 Critical Success Index (CSI)를 활용했다. 로지스틱회귀모형은 자연재해 예측분야에 다양하게 활용되고 있다(Sohn and Kim, 2003; An et al., 2004; G.B. Kim et al., 2012; Woo et al., 2014; Jung et al., 2015). 로지스틱회귀모형은 사건의 발생을 직접 예측하는 것이 아니라, 사건이 발생할 확률을 예측한다. 종속변수의 값은 0과 1사이의 범위를 가진다. 분석결과, 종속변수의 값이 0.5보다 크면 사건이 일어나는 집단, 0.5보다 작으면 사건이 일어나지 않는 집단으로 구분된다. 독립변수의 값이 증가하면서 예측되는 종속변수의 값은 1에 가까워진다. 로지스틱회귀모형은 Eq. (1)과 같으며, Eq. (2)와 같이 변형 할 수 있다.

$$\ln \frac{p}{1-p} = B_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2 \dots \quad (1)$$

$$p = \frac{\exp(B_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2 \dots)}{1 + \exp(B_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2 \dots)} \quad (2)$$

p = Predicted probability of the event occurrence

또한 강설의 유무와 재해 피해 유무에 대한 경우의 수를 구하여 CSI를 계산했다. CSI는 많은 선행연구에서 임계값을 추정하기 위해서 사용되었다(Wilks, 1995; Hong, 1999; Won et al., 2010; Kim et al., 2011). CSI 지수는 사건의 발생률이 무발생률에 비해 상대적으로 적을 때 사용하는 측정 방법이다. 0부터 1사이의 값을 가지며, 1에 가까울수록 사건 발생의 예측 정확도가 높은 것으로 설명된다. POD 지수는 0부터 1사이의 값을 가지며, 1에 가까울수록 강설량이 기준에 부합되고 피해발생 가능성이 높아지는 것으로 설명된다. FAR 지수는 0부터 1사이의 값을 가지며, 1에 가까울수록 강설량은 기준에 부합하지만 피해가 발생하지 않은 것으로 설명된다. 지수의 계산식은 다음과 같다.

$$CSI = \frac{hits}{hits + misses + false\ alarms}$$

$$POD = \frac{hits}{hits + misses}$$

$$FAR = \frac{false\ alarms}{hits + false\ alarms}$$

공통적으로 사용된 피해 발생유무에 대한 변수는 재해연보의 피해 기간을 기반으로 1 (발생), 0 (미발생)으로 분류했으며, 해당 기간 중 강설이 관측되지 않은 시간은 0 (미발생)으로 재분류했다. 로지스틱회귀분석에 사용된 강설자료는 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24시간 단위로 누적 강설량을 독립변수로 제작하여 사용했다(Fig. 2). 다만, 제작된 변수는 모두 3시간 적설관측 값으로부터 파생된 변수이기 때문에 다중공선성의 오류를 피하기 위해 각각 따로 회귀모형에 적용하였다.

CSI 지수는 여러 기준의 강설량 조건별로 산출했으며, POD, FAR 지수의 변화를 고려하여 임계값을 추정했다. 여기서, 강설량의 기준은 지역별로 대설 피해의 사례가 적기 때문에 1cm 이상, 2cm 이상과 같이 피해 사례가 중복되도록 구간을 설정했다. 추정된 임계값은 해외 국가들의 기상특보 기준과 비교했다. 그리고 로지스틱회귀모형과 CSI의 임계값을 비교하여 임계값의 차이에 따라 지역을 구분하고 특징을 분석했다.

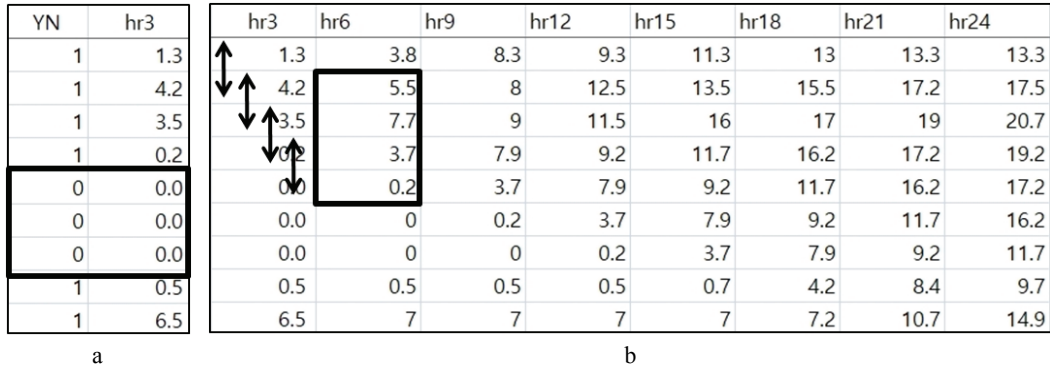


Fig. 2. Data Preprocessing for Variables Used in the Study (a. existence of damage, b. cumulative snowfall)

3. 결 과

3.1 임계값 추정

지역별로 피해를 유발하는 강설 임계값을 산출하기 위해 3시간부터 24시간까지 3시간 단위 누적강설량을 로지스틱 회귀모형으로 분석한 결과는 Table 1과 같다. 분석에 사용된 모든 변수에서 p값 < 0.001로 통계적으로 유의한 결과가 나타났다. 또한, 모든 연구지역에서 누적시간이 증가할수록 피해가 발생할 가능성이 줄어드는 경향이 나타났다. 이것은 누적강설량일수록 단위 시간당 강설량이 줄어들기 때문일 수 있지만, 대설 피해의 최근 경향인 단기간에 피해가 발생하는

특징이 반영된 것으로 판단할 수 있으며, 폭설의 위험성을 설명하는 것으로 해석할 수 있다. 3시간 강설량이 증가할수록 지역별 피해 가능성은 포항 12.4배, 청주 3.4배, 보령 3.3배, 이천 3.3배, 양평 2.6배, 정읍 2.5배, 울진 2.2배, 강릉 2.0배, 홍천 1.9배, 평창 1.6배순으로 나타났다. 또한, 피해 발생 가능성이 50% 이상인 그룹의 3시간 평균 강설량은 포항 5.15 cm, 보령 6.95 cm, 청주 7.59 cm, 이천 8.15 cm, 정읍 9.40 cm, 양평 10.33 cm, 울진 11.48 cm, 강릉 12.54 cm, 홍천 14.16 cm, 평창 16.51 cm 순으로 나타났다. 강원 지역은 많은 양의 강설이 발생할 때, 내륙 지역은 상대적으로 적은 양의 강설이 발생할 때 피해 발생 가능성이 높은 것을 확인할 수 있었다.

Table 1. Estimated Regional Thresholds Using Logistic Regression Analysis (a. Pyeongchang, b. Gangneung, c. Hongcheon, d. Yangpyeong, e. Icheon, f. Cheongju, g. Jungeup, h. Uljin, i. Pohang, j. Boryeong)

	variable	Predicted formula	EXP(B)	P-value	average	3hr_average
a	hr03	$SD = 0.489 \times hr03 - 5.549$	1.631	0.000	16.51	16.51
	hr06	$SD = 0.282 \times hr06 - 5.620$	1.326	0.000	25.32	12.66
	hr09	$SD = 0.212 \times hr09 - 5.675$	1.236	0.000	33.88	11.29
	hr12	$SD = 0.174 \times hr12 - 5.712$	1.190	0.000	41.33	10.33
	hr15	$SD = 0.150 \times hr15 - 5.735$	1.162	0.000	48.67	9.73
	hr18	$SD = 0.133 \times hr18 - 5.751$	1.142	0.000	54.18	9.03
	hr21	$SD = 0.119 \times hr21 - 5.759$	1.127	0.000	60.57	8.65
	hr24	$SD = 0.109 \times hr24 - 5.765$	1.115	0.000	66.02	8.25
	Total_average					10.81
b	hr03	$SD = 0.694 \times hr03 - 5.847$	2.002	0.000	12.54	12.54
	hr06	$SD = 0.415 \times hr06 - 5.951$	1.515	0.000	21.27	10.64
	hr09	$SD = 0.301 \times hr09 - 5.999$	1.351	0.000	27.83	9.28
	hr12	$SD = 0.242 \times hr12 - 6.040$	1.274	0.000	33.99	8.50
	hr15	$SD = 0.207 \times hr15 - 6.069$	1.230	0.000	39.80	7.96
	hr18	$SD = 0.184 \times hr18 - 6.089$	1.202	0.000	45.31	7.55
	hr21	$SD = 0.168 \times hr21 - 6.109$	1.182	0.000	50.09	7.16
	hr24	$SD = 0.155 \times hr24 - 6.127$	1.168	0.000	55.34	6.92
	Total_average					8.82

Table 1. (Continued)

	variable	Predicted formula	EXP(B)	P-value	average	3hr_average
c	hr03	$SD = 0.691 \times hr03 - 6.863$	1.995	0.000	14.16	14.16
	hr06	$SD = 0.523 \times hr06 - 6.975$	1.688	0.000	17.20	8.60
	hr09	$SD = 0.460 \times hr09 - 7.094$	1.584	0.000	19.29	6.43
	hr12	$SD = 0.408 \times hr12 - 7.125$	1.504	0.000	22.73	5.68
	hr15	$SD = 0.367 \times hr15 - 7.134$	1.444	0.000	25.90	5.18
	Total_average					
d	hr03	$SD = 0.958 \times hr03 - 7.865$	2.678	0.000	10.33	10.33
	hr06	$SD = 0.761 \times hr06 - 8.002$	2.140	0.000	16.58	8.29
	hr09	$SD = 0.572 \times hr09 - 7.937$	1.772	0.000	17.05	5.68
	hr12	$SD = 0.482 \times hr12 - 7.893$	1.619	0.000	20.56	5.14
	Total_average					
e	hr03	$SD = 1.200 \times hr03 - 7.361$	3.321	0.000	8.15	8.15
	hr06	$SD = 0.929 \times hr06 - 7.562$	2.533	0.000	12.65	6.32
	hr09	$SD = 0.712 \times hr09 - 7.555$	2.038	0.000	15.93	5.31
	hr12	$SD = 0.572 \times hr12 - 7.497$	1.772	0.000	18.35	4.59
	Total_average					
f	hr03	$SD = 1.244 \times hr03 - 7.073$	3.470	0.000	7.59	7.59
	hr06	$SD = 0.854 \times hr06 - 7.219$	2.350	0.000	11.51	5.75
	hr09	$SD = 0.676 \times hr09 - 7.246$	1.966	0.000	16.69	5.56
	hr12	$SD = 0.584 \times hr12 - 7.280$	1.792	0.000	20.12	5.03
	hr15	$SD = 0.510 \times hr15 - 7.266$	1.665	0.000	23.09	4.62
	hr18	$SD = 0.472 \times hr18 - 7.309$	1.603	0.000	25.39	4.23
	hr21	$SD = 0.441 \times hr21 - 7.347$	1.554	0.000	26.96	3.85
	hr24	$SD = 0.411 \times hr24 - 7.359$	1.508	0.000	28.20	3.53
	Total_average					
g	hr03	$SD = 0.926 \times hr03 - 6.031$	2.523	0.000	9.40	9.40
	hr06	$SD = 0.606 \times hr06 - 6.172$	1.832	0.000	13.80	6.90
	hr09	$SD = 0.481 \times hr09 - 6.293$	1.618	0.000	17.29	5.76
	hr12	$SD = 0.404 \times hr12 - 6.352$	1.498	0.000	21.18	5.30
	hr15	$SD = 0.360 \times hr15 - 6.433$	1.434	0.000	23.19	4.64
	hr18	$SD = 0.327 \times hr18 - 6.479$	1.386	0.000	25.91	4.32
	hr21	$SD = 0.301 \times hr21 - 6.518$	1.351	0.000	27.94	3.99
	hr24	$SD = 0.277 \times hr24 - 6.530$	1.319	0.000	31.61	3.95
	Total_average					
h	hr03	$SD = 0.796 \times hr03 - 6.360$	2.216	0.000	11.48	11.48
	hr06	$SD = 0.487 \times hr06 - 6.428$	1.628	0.000	19.76	9.88
	hr09	$SD = 0.387 \times hr09 - 6.485$	1.472	0.000	25.34	8.45
	hr12	$SD = 0.333 \times hr12 - 6.531$	1.395	0.000	30.07	7.52
	hr15	$SD = 0.290 \times hr15 - 6.549$	1.336	0.000	34.32	6.86
	hr18	$SD = 0.254 \times hr18 - 6.544$	1.289	0.000	39.86	6.64
	hr21	$SD = 0.223 \times hr21 - 6.518$	1.249	0.000	43.76	6.25
	hr24	$SD = 0.197 \times hr24 - 6.490$	1.218	0.000	52.60	6.58
	Total_average					

Table 1. (Continued)

	variable	Predicted formula	EXP(B)	P-value	average	3hr_average
i	hr03	$SD = 2.520 \times hr03 - 6.895$	12.432	0.000	5.15	5.15
	hr06	$SD = 1.423 \times hr06 - 6.949$	4.148	0.000	8.43	4.21
	hr09	$SD = 1.000 \times hr09 - 6.969$	2.719	0.000	11.24	3.75
	hr12	$SD = 0.769 \times hr12 - 6.930$	2.158	0.000	13.94	3.49
	hr15	$SD = 0.646 \times hr15 - 6.903$	1.908	0.000	15.77	3.15
	hr18	$SD = 0.553 \times hr18 - 6.858$	1.739	0.000	19.16	3.19
	hr21	$SD = 0.481 \times hr21 - 6.817$	1.167	0.000	21.23	3.03
	hr24	$SD = 0.428 \times hr24 - 6.795$	1.534	0.000	22.83	2.85
Total_average						3.60
j	hr03	$SD = 1.206 \times hr03 - 6.077$	3.339	0.000	6.95	6.95
	hr06	$SD = 0.866 \times hr06 - 6.217$	2.377	0.000	9.39	4.69
	hr09	$SD = 0.694 \times hr09 - 6.298$	2.001	0.000	11.18	3.73
	hr12	$SD = 0.586 \times hr12 - 6.329$	1.798	0.000	12.67	3.17
	hr15	$SD = 0.519 \times hr15 - 6.361$	1.680	0.000	14.78	2.96
	hr18	$SD = 0.469 \times hr18 - 6.382$	1.599	0.000	15.93	2.66
	hr21	$SD = 0.432 \times hr21 - 6.403$	1.540	0.000	17.03	2.43
	hr24	$SD = 0.400 \times hr24 - 6.415$	1.492	0.000	18.45	2.31
Total_average						3.61

강원지역의 피해 가능성이 타 지역에 비해 낮은 것은 다른 지역에 비해 강설 빈도가 높고 피해 사례가 많아 대책 방재대책이 잘 수립되어 있기 때문인 것으로 판단된다. 또한, 피해 발생 가능성이 높은 순서와 임계 강설량이 일치하지 않는 것은 지역별 강설의 강도, 빈도 등과 같은 특징이 상이하기 때문인 것으로 판단된다.

피해 유발 임계값을 추정하기 위해 모든 누적강설변수의 대설 피해 발생가능성이 50% 이상인 집단의 강설량을 평균 하여 값을 산출했다. 그리고 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24시간 누적강설량의 결과 값은 3시간 단위로 환산했으며, 환산된 값의 평균값을 임계값으로 추정했다. 여기서, 강설 지속시간에 따른 발생 빈도가 10건 미만인 누적강설량은 제외했으며, 홍천 18, 21, 24시간, 양평과 이천 15, 18, 21, 24시간이 이에 해당한다. 추정된 임계값은 평창 10.81 cm, 강릉 8.82 cm, 홍천 8.01 cm, 양평 7.36 cm, 이천 6.09 cm, 청주 5.02 cm, 정읍 5.53 cm, 울진 7.96 cm, 포항 3.60 cm, 보령 3.61 cm이었다.

CSI, POD, FAR index는 피해 발생유무에 대해 3시간 강설량을 0 cm부터 10 cm 이상까지 여러 단위로 구분하여 반복 수행을 통해 각각 산출했다(Fig. 3). 임계값은 CSI 지수가 최대값을 가지는 결과값을 우선순위로 두었으며, POD와 FAR 지수의 변화를 고려하여 추정했다. CSI 지수의 경우는 강설량에 따른 경향이 지역별로 다르게 나타났으며, POD,

FAR 지수의 경우 모든 지역에서 강설량이 증가할수록 지수 또한 증가하는 경향성을 보였다.

이러한 결과는 강설량이 많을수록 피해를 예측할 가능성과 예측하지 못할 가능성이 동시에 높아지는 것을 의미하는데, 이것은 강설량이 많은 사례뿐만 아니라 대설 피해 사례 또한 적은 자료의 한계가 반영된 것으로 판단된다.

추정된 임계값은 평창 4.0 cm, 강릉 3.0 cm, 홍천 3.0 cm, 양평 7.0 cm, 이천 4.0 cm, 청주 4.0 cm, 정읍 4.0 cm, 울진 0.3 cm, 포항 0.2 cm, 보령 0.5 cm이다. 여기서 보령의 경우, 5.0 cm에서 CSI 지수가 가장 최상의 값을 보였으나, POD와 FAR 지수의 최적 값을 고려하여 선정했다.

국내·외 대설 특보의 기준은 전반적으로 12시간과 24시간을 기준으로 사용하며, 영국의 경우만 1시간 기준이 적용되고 있다. 또한, 대체적으로 평지와 산지로 구분되며, 국토의 넓이 차이가 있으나 우리나라의 통합 기준과는 다르게 지역을 구분하고 있다. 특히 일본의 경우는 지역구분이 매우 세밀하며, 각 지역의 기준 값 또한 상세히 차등화되어 있다(Table 2). 로지스틱회귀분석과 CSI 분석에서 지역별로 다양한 임계값이 산출되었다. 이것은 기본적으로는 두 가지 분석법에 따른 차이일 수도 있으나, 지역별로 방재 대책, 지역주민의 대처, 구조물의 취약성 그리고 기상현상의 특징 등 많은 변수와 관계가 있을 것으로 판단된다. 또한 선행연구에서 언급한 대설피해현황과 연구에 사용된

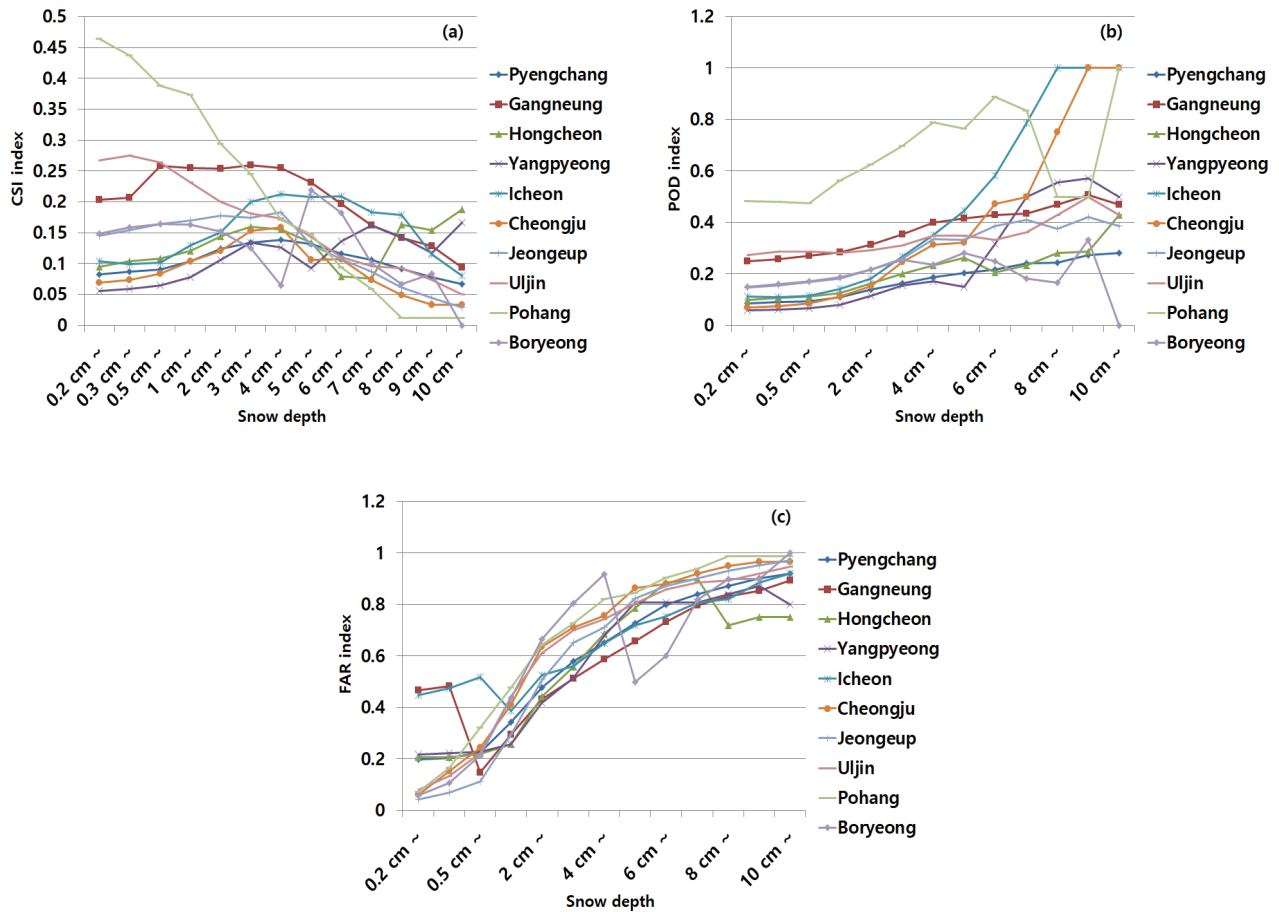


Fig. 3. Estimated Regional Thresholds Using CSI (a), POD (b) and FAR (c)

Table 2. Criteria of Special Weather Reports for Heavy Snowfall in Korea and Other Countries

Country	Type	Criteria	Remark
Korea	warning	fresh snow cover, more than 5 cm/24hr	land and mountain
	alarm	fresh snow cover, more than 20 cm/24hr, (Mountain)more than 30 cm/24hr	
Japan	warning	fresh snow cover, more than 5 cm/12hr (ex. Nagoya) fresh snow cover, 5 (flatland), 20 (Mountain) cm/24hr (ex. Kyoto)	detailed regional
	alarm	fresh snow cover more than 10 cm/12hr (ex. Nagoya) fresh snow cover, 15 (flatland), 60 (Mountain) cm/24hr (ex. Kyoto)	
USA	warning	(eastern) 15~30 cm, (southeast) 4 cm lower, (southwest) 2 cm higher, (western) detailed classification according to altitude, 10cm higher on average * Based on the eastern region	regional
	alarm	(eastern) 15~50 cm, (central)classification 5 cm lower, 10cm higher, (southern) 10 cm lower (western) detailed classification according to altitude, 10 cm higher on average * Based on the eastern region	
UK	warning	when more than 2 cm/hr is expected when the accumulates more than 15 cm	hourly
Canada	alarm	(Prairie and Northern Region) fresh snow cover 10 cm/12hr, 15 cm/24hr (Ontario) 15 cm/12hr (Atlantic Region) 15 cm/24hr	regional

변수가 3시간 강설인 것을 감안하면, 과거에는 약한 강설로 인해 적설이 쌓여 피해가 발생하는 것이 포함되었고 최근에는 단기간에 발생하는 폭설에 더 큰 영향을 받는 것으로 판단된다.

3.2 지역구분

Table 3은 로지스틱회귀모형과 CSI 분석을 통해 산출된 임계값을 통해, 임계값이 민감한 지역, 산출된 임계값의 차이가 큰 지역 그리고 임계값의 차이가 작은 지역으로 구분하고 각 지역의 특징을 분석한 결과이다. 먼저 Group 1 지역을 살펴보면, 평창은 CSI 4.00 cm, 로지스틱회귀모형 10.80 cm, 강릉은 CSI 3.00 cm, 로지스틱회귀모형 8.82 cm, 홍천은 CSI 3.00 cm, 로지스틱회귀모형 7.56 cm으로 추정되었다. Group 1 지역의 임계값의 특징은 CSI와 로지스틱회귀모형으로 추정된 결과의 차이가 크다. 둘째로 Group 2 지역의 양평은 CSI 7.00 cm, 로지스틱회귀모형 7.36 cm, 이천은 CSI 4.00 cm, 로지스틱회귀모형 4.94 cm, 청주는 CSI 4.00 cm, 로지스틱회귀모형 5.02 cm, 정읍은 CSI 4.00 cm, 로지스틱회귀모형 5.53 cm으로 추정되었다. Group 2 지역의 임계값 특징은 CSI와 로지스틱회귀모형의 결과가 유사하다. 마지막으로 Group 3 지역의 울진은 CSI 0.30 cm, 로지스틱회귀모형 7.96 cm, 포항은 CSI 0.20 cm, 로지스틱회귀모형 3.60 cm, 보령은 CSI 0.50 cm, 로지스틱회귀모형 3.61 cm로 추정되었다. Group 3 지역의 임계값 특징은 CSI의 결과가 매우 민감하다.

각 그룹의 특징을 살펴보면 먼저 Group 1의 경우, 강원도 지역이며, 예보구역으로는 평창(대관령)과 강릉이 영동지역, 홍천은 영서지역으로 구분되었다. 대설 피해를 중심으로 봤을 때, 강원도 지역에서 강릉, 평창, 정선, 동해, 양양, 홍천 등은 피해가 많이 발생하는 지역으로 분석된다(NIMS, 2015). 선행연구에 의하면 평창, 강릉, 홍천 지역의 대설 발생에 대한 기상학적 특성은 다르다. 먼저, 평창은 산악형 강설지, 강릉은 해안형 강설지로 구분된다(Lee, 1999; Lee and Kim, 2008). 또한, Y.J. Kim et al. (2012)은 강원도 영동지

역의 종관 기압 패턴을 분석한 결과, 시베리아 고기압이 동해 쪽으로 확장하는 경우는 영동지역, 저기압 이동형은 영서지역에 피해를 유발한다고 분석했다. 또한, 평창과 강릉은 다른 그룹의 지역에 비해서 24 hr 이상 연속관측 횟수와 5 cm 이상의 강설이 관측된 횟수가 다른 연구지역에 비해 상대적으로 많았다(Fig. 4).

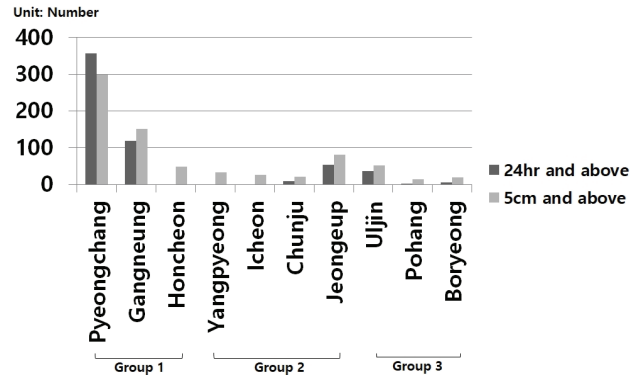


Fig. 4. Observations of 24hr or More Continuous Snowfall and More than 5 cm/hr by Region

Group 2의 경우는 내륙 지역으로 양평, 이천, 청주는 중부지역, 정읍은 서해안 지역으로 구분되었다. 이 지역들은 피해의 횟수는 강원도에 비해 상대적으로 적지만, 피해의 규모가 강원도에 비해 크게 나타나는 지역이다(NIMS, 2015). Cheong et al. (2006)에 의하면 중부지역은 온대 저기압의 영향으로, 서해안 지역은 기단 변질과 연관되어 강설이 발생한다고 설명했다. 또한, 양평, 이천, 청주의 경우는 연속 관측횟수와 5 cm 이상의 강설이 관측되는 경우가 상대적으로 적었다(Fig. 4).

Group 3의 경우는 해안 지역으로 구분되었다. 울진과 포항은 동해안, 보령은 서해안에 위치한다. 해당 지역들은 수산양식업이 발달한 지역들로 같은 해안지역인 강릉과 다른 점은 해상가두리양식장이 지역 내에 분포하고 있다.

Table 3. Estimated Thresholds and Features Each Region with Similar Thresholds in Research Areas

	Region	CSI	Logistic	Characteristics
I	Pyeongchang	4.00	10.80	* There is a large difference in thresholds 1. Gangwondo 2. The number of continuous observations is higher than in other regions 3. The number of snowfall (5 cm/h ⁻³) is higher than that in other regions
	Gangneung	3.00	8.82	
	Hongcheon	3.00	7.56	
II	Yangpyeong	7.00	7.36	* The thresholds are similar 1. Inland areas 2. The number of continuous observations is lower than that in other regions 3. The number of snowfall (5 cm/h ⁻³) is lower than that in other regions
	Icheon	4.00	4.94	
	Cheongju	4.00	5.02	
	Jungeup	4.00	5.53	
III	Ujin	0.30	7.96	* The thresholds are sensitive 1. Waterfront 2. Area under aquaculture development
	Pohang	0.20	3.60	
	Boryeong	0.50	3.61	

해양생물학 전문가에 의하면 해사가두리 양식장의 구조상 새의 피해를 줄이기 위해 설치된 그물망이 적은 강설에도 피해가 날 수 있는 가능성이 있다고 조언했다. 재해연보의 집계 단위가 천원인 것을 감안하면, 해사가두리로 인한 강설의 피해 민감도를 설명할 수 있다. 울진의 경우 최근엔 해사가두리 양식업이 집계되지 않았지만, 과거에 있었던 피해가 반영된 것으로 추측된다. 해안지역들의 기상학적 특징은 동해안 지역은 동풍에 의해, 서해안 지역은 서고동저형의 기압 배치 하에 차가운 겨울 몬순기류가 서해상으로 변질되어 나타난다고 설명했다(Chung et al., 1999).

구분된 지역들을 대상으로 선행연구를 검토한 결과, 강설 현상에 대한 기상학적인 동질패턴은 나타나지 않았다. 또한, 강설의 연속성과 규모에 따른 차이점도 뚜렷하게 구분되지 않았다. Group 1의 홍천은 Group 2와 유사한 특징을 보였으며, Group 2의 정읍은 Group 1의 특징과 유사했다. 이것은 강설 현상이 지리적 위치에 따라 특징이 다르고, 같은 지역이라 하더라도 사례에 따라 원인이 다르기 때문이다(Heo et al., 2005; Park et al., 2009).

4. 요약 및 결론

본 연구는 기상청에서 제공하는 강설 관측 자료와 행정안전부에서 매년 발간하는 재해연보의 피해 자료를 사용하여 재해를 유발하는 강설의 임계값을 다양한 통계적 방법으로 추정하고, 임계값의 특징이 유사한 지역을 구분하여 그 특징을 분석했다. 연구 대상지는 대설피해가 많이 발생한 10개 지역을 선정했다. 로지스틱회귀분석과 CSI 분석결과, 각 지역에서 피해가 발생하는 임계값은 다양하게 나타났다. 현재 기상청의 대설 특보는 24시간 기준으로 5 cm 이상의 강설이 발생할 경우 대설주의보, 20 cm 이상의 강설이 발생할 경우 대설경보를 발표하고 있다. 그러나 많은 선행연구에서 최근 폭설의 영향을 설명하고 있고 연구 결과 또한 3시간 강설량의 위험성을 나타내고 있으므로, 24시간 단위로 예보되고 있는 대설 특보의 단위를 단기로 수정하거나 추가하고 지역별 특징을 고려하여 특보를 구분해 시행할 필요가 있다. 추정된 임계값을 활용해 임계값이 민감한 지역, 임계값의 차이가 큰 지역과 작은 지역으로 구분한 결과, 강원지역, 내륙지역, 해안지역으로 구분되었다. 강원지역은 강설의 지속시간이 길며, 폭설이 내리는 경우가 많았고, 내륙지역은 상대적으로 적었다. 해안 지역은 해사가두리 양식장의 영향으로 강설에 매우 민감한 것으로 나타났다. 이것은 강설에 의한 영향이 대상물에 따라 그 영향도가 다르다는 것을 의미한다. 비닐하우스에 맞추어 특보를 발표했을 때, 수산양식업은 이미 피해가 발생하고 있을 가능성이 있다. 또한 각 그룹의 모든 지역이 동일한 기상 패턴을 가지고 있지 않기 때문에 지상 구조물에 대한 세밀한 조사와 취약한 대상물에 따라 각기 다른 기준을 설정할 수 있는 연구가

필요함을 시사한다. 본 연구의 결과는 대설 피해에 대한 기상청의 특보 차등화 및 영향예보와 지역별 대설 저감에 대한 정책연구의 기초자료로써 활용 가치가 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

이 연구는 기상청 국립기상과학원 「재해기상 감시·분석·예측기술 개발 및 활용연구」(1365003083)의 지원과 기상청 영향예보추진팀 『영향예보 기술개발』(1365003073) 과제의 일환으로 수행되었습니다.

References

- Ahn, S.H., Kim, B.J., Lee, S.L., and Kim, H.K. (2008). The characteristics of disaster by track of typhoon affecting the Korean Peninsula. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 8, No. 3, pp. 29-36.
- An, S.H., Lee, S.Y., Won, M.S., Lee, M.B., and Shin, Y.C. (2004). Developing the forest fire occurrence probability model using GIS and mapping forest fire risks. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, Vol. 7, No. 4, pp. 57-64.
- Branick, M.L. (1997). A climatology of significant winter-type weather events in the contiguous United States, 1982-94. *Weather and Forecasting*, Vol. 12, No. 2, pp. 193-207.
- Burt, T.P., and Horton, B.P. (2007). Inter-decadal variability in daily rainfall at Durham (UK) since the 1850s. *International Journal of Climatology*, Vol. 27, No. 7, pp. 945-956.
- Changnon, S.A. (1969). *Climatology of sever winter storms in Illinois*. Bulletin, 53, Illinois State Water Survey.
- Changnon, S.A., Changnon, D., and Karl, T.R. (2006). Temporal and spatial characteristics of snowstorms in the contiguous United States. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, Vol. 45, No. 8, pp. 1141-1155.
- Cheon, J.H. (2017). *A study on changes of disaster area caused by heavy snowfall and classification of the disaster in South Korea*. Ph.D. dissertation, Konkuk University.
- Cheong, S.H., Byun, K.Y., and Lee, T.Y. (2006). Classification of snowfalls over the Korean Peninsula based on developing mechanism. *Atmosphere*, Korean Meteorological Society, Vol. 16, No. 1, pp. 33-48.

- Choi, G.Y., and Kim, J.S. (2010). Surface synoptic climatic patterns for heavy snowfall events in the Republic of Korea. *Journal of the Korean Geographical Society*, Vol. 45, No. 3, pp. 319-341.
- Choi, J.S. (1990). The classification of snowfall area and its regional characteristics of South Korea. *Journal of the Korean Geographical Society*, Vol. 25 No. 1, pp. 35-48.
- Chung, K.Y., Jung, Y.S., and Hwang, B.J. (1999). Classification of snowfall regions using principal component analysis. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, Vol. 35, No. 3, pp. 466-473.
- Chung, Y.S., and Bong, J.H. (1993). A selection of new threshold values for heavy rainfall and snowfall warnings. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, Vol. 29, No. 2, pp. 171-180.
- Han, W.S. (2014). The response for an increase of vulnerable areas in heavy-snowfall to climate change. *KRIHS Policy Brief*, No. 450.
- Heo, I.H., Jung, J.H., and Lee, S.H. (2014). Changes of disaster regions by heavy rainfall in South Korea. *Journal of Climate Research*, KU Climate Research Institute, Vol. 9, No. 2, pp. 93-106.
- Heo, K.Y., Ha, K.J., and Shin, S.H. (2005). On development mechanism of heavy snowfall event occurred in Busan on 5 March 2005. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, Korean Meteorological Society, Vol. 41, No. 4, pp. 547-556.
- Hong, S.G. (1999). A study on the threshold values of heavy rain warning in Korea. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, Vol. 35, No. 2, pp. 178-192.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2007). *Climate change: Impacts, adaptation and vulnerability*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 469-506.
- Jeong, G.H. (2017). Construction and utilization of data for heavy snowfall damage prediction and vulnerability analysis. *Impact Forecasting Seminar*, September 21, 2017, Gangneung, KMA.
- Jeong, J.H., Kim, H.U., Shim, J.K., and Choi, B.C. (2017). Analysis of the amount of damage per unit precipitation and the characteristics of precipitation during the heavy rainfall disaster. *Journal of Climate Research*, KU Climate Research Institute, Vol. 12, No. 1, pp. 73-85.
- Jhun, J.G., Lee, D.K., and Lee, H.A. (1994). A study on the heavy snowfalls occurred in South Korea. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, Vol. 30, No. 1, pp. 97-115.
- Jun, H.D., Park, M.J., Kim, G.Y., and Kim, J.W. (2008). Damage analysis of meteorological disasters for each district considering the characteristics of a district. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 8, No. 2, pp. 75-82.
- Jung, M.A., Kim, D., Liang, X., and Sohn, K.T. (2015). Statistical guidances for binary forecast of haze using meteorological observations. *Journal of the Korean Data Analysis Society*, Vol. 17, No. 2, pp. 697-705.
- Kim, G.B., Son, Y.C., Lee, S.H., Jeong, A.C., Cha, E.J., and Ko, M.J. (2012). Understanding of surface water-groundwater connectivity in an alluvial plain using statistical methods. *The Journal of Engineering Geology*, Vol. 22, No. 2, pp. 207-221.
- Kim, H.U., Jeong, J.H., Shim, J.K., and Choi, B.C. (2018). Tendency analysis of heavy snowfall damage in Korea. *Proceedings of 2018 Annual Conference*, Korean Society of Hazard Mitigation, p. 274.
- Kim, H.U., Shim, J.K., and Choi, B.C. (2017). Homogeneous regions classification and regional differentiation of snowfall. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, Vol. 20, No. 3, pp. 42-51.
- 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 Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 32, No. 2B, pp. 103-111.
- Kim, S.Y., Joh, C.H., and Lee, S.H. (2015). Change of damages and damage areas caused by typhoon in South Korea. *Journal of Climate Research*, KU Climate Research Institute, Vol. 10, No. 2, pp. 121-135.
- Kim, Y.H., Choi, D.Y., Jang, D.E., You, H.D., and Jin, G.B. (2011). An Improvement on the criteria of special weather report for heavy rain considering the possibility of rainfall damage and the recent meteorological characteristics. *Atmosphere*, Korean Meteorological Society, Vol. 21, No. 4, pp. 481-495.
- Kim, Y.H., Kim, M.K., Lee, W.S., and Baek, E.S. (2009). Return period of heavy rainfall and disaster damage in Korea. *Journal of Climate Research*, KU Climate Research Institute, Vol. 4, No. 2, pp. 96-109.
- Kim, Y.J., Lee, J.G., and Yang, A.R. (2012). Analysis of meteorological disasters generated in Gangwon-do

- region using synoptic pressure patterns. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 12, No. 3, pp. 57-70.
- Kocin, P.J., and Uccellini, L.W. (2004). A snowfall impact scale derived from northeast storms snowfall distribution. *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 85, No. 2, pp. 177-194.
- Korea Meteorological Administration (KMA). (2017). *A study on the improvement of the criteria of special weather report for heavy rain considering the intensity of rainfall per hour*. KMA.
- Kwon, S.H., and Chung, G.H. (2017). Estimation of snow damages using multiple regression model. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 37, No. 1, pp. 61-72.
- Lee, J.G. (1999). Synoptic structure causing the difference in observed snowfall amount at Taegwallyong and Kangnung: Case study. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, Vol. 35, No. 3, pp. 319-334.
- Lee, J.G., and Kim, Y.J. (2008). A numerical simulation study using WRF of a heavy snowfall event in the Yeongdong coastal area in relation to the northeasterly. *Atmosphere*, Korean Meteorological Society, Vol. 18, No. 4, pp. 339-354.
- Lin, G.F., and Chen, L.H. (2006). Identification of homogeneous regions for regional frequency analysis using the self-organizing map. *Journal of Hydrology*, Vol. 324, pp. 1-9.
- Lu, H.C., Chang, C.L., and Hsieh, J.C. (2006). Classification of PM10 distributions in Taiwan. *Atmospheric Environment*, Vol. 40, pp. 1452-1463.
- Moberg, A., and Jones, P.D. (2005). Trends in indices for extremes in daily temperature and precipitation in central and western Europe, 1901-99. *International Journal of Climatology*, Vol. 25, No. 9, pp. 1149-1171.
- Moon, Y.S., and Kim, H.J. (2001). Classification of annual and seasonal precipitation areas in Korea. *Atmosphere*, Korean Meteorological Society, Vol. 11, No. 1, pp. 259-262.
- Myung, H.N. (2014). *Characteristics and the regional variation meteorological disaster-attributed mortality in Korea*. Ph.D. dissertation, Ajou University.
- Nam, S.W. (2003). Structural improvement of the shading structures against meteorological disasters in ginseng fields. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, Vol. 45, No. 4, pp. 98-106.
- National Institute of Meteorological Sciences (NIMS). (2015). *Establishment and operation of high impact weather research center(V)*. NIMS, pp. 189-200.
- Nishiyama, K., Endo, S., Jinno, K., Bertacchi Uvo, C., Olsson, J., and Berndtsson, R. (2007). Identification of typical synoptic patterns causing heavy rainfall in the rainy season in Japan by a Self-Organizing Map. *Atmospheric Research*, Vol. 83, pp. 185-200.
- Park, B.I., and Yoon, S.E. (1997). A synoptic climatological study on the distribution of winter precipitation in South Korea. *Journal of the Korean Geographical Society*, Vol. 32, No. 1, pp. 31-46.
- Park, J.C. (2000). The development process and problem of the controlled horticultural industry in Korea. *Proceedings of 2000 Fall Symposium*, The Korean Society for Bio-Environment Control, pp. 1-42.
- Park, J.H., Kim, K.E., and Heo, B.H. (2009). Comparison of development mechanisms of two heavy snowfall events occurred in Yeongnam and Yeongdong regions of the Korean Peninsula. *Atmosphere*, Korean Meteorological Society, Vol. 19, No. 1, pp. 9-36.
- Rooney Jr, J.F. (1967). The urban snow hazard in the United States: An appraisal of disruption. *Geographical Review*, Vol. 57, No. 4, pp. 538-559.
- Sohn, C., Kim, G.H., and Kim, K.B. (2014). Changes in inbound traffic volume of a heavy snowfall impacted area: A case study on the heavy snowfall event of the Youngdong region in 2011. *Journal of Climate Research*, KU Climate Research Institute, Vol. 9, No. 4, pp. 331-343.
- Sohn, K.T., and Kim, J.H. (2003). Statistical prediction of precipitation during warm season in Seoul area. *Journal of the Korean Data Analysis Society*, Vol. 5, No. 1, pp. 113-126.
- Song, I.H., Song, J.H., Kim, S.M., Jang, M.W., and Kang, M.S. (2012). Spatial distribution and regional characteristics of meteorological damages to agricultural farms in Korea. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, Vol. 54, No. 6, pp. 45-52.
- Sugiyama, T. (2011). Characteristics of the recent disasters corresponding to the changing natural environment and the prospects of future research and development. *Quarterly Report of RTRI*, Vol. 52, No. 4, pp. 199-205.
- Suh, D.S., and Kang, C.Y. (2015). *Development strategies for materials industry of greenhouses in Korea*. Korea Rural Economic Institute.
- Sun, J., Wang, H., Yuan, W., and Chen, H. (2010).

- Spatial-temporal features of intense snowfall event in China and their possible change. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, Vol. 115, D16110, doi:10.1029/2009JD013541
- Um, M.J., Jeong, C.S., Nam, W.S., Jung, Y.H., and Heo, J.H. (2011). The analysis of optimal cluster number of precipitation region with Dunn index. *Proceedings of 2011 Annual Conference*, Korea Water Resources Association, pp. 87-91.
- Wilks, D.S. (1995). *Statistical methods in the atmospheric sciences*. Academic Press.
- Won, H.Y., Kim, Y.H., and Jang, D.E. (2010). Determination and predictability of precipitation-type in winter from a ground-based microwave radiometric profiler radiometer. *Atmosphere*, Korean Meteorological Society, Vol. 20, No. 3, pp. 229-238.
- Woo, C.S., Kwon, H.J., Lee, C.W., and Kim, K.H. (2014). Landslide hazard prediction map based on logistic regression model for applying in the whole country of South Korea. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 14, No. 6, pp. 117-123.
- Zhang, X., Hogg, W.D., and Mekis, E. (2001). Spatial and temporal characteristics of heavy precipitation events over Canada. *Journal of Climate*, Vol. 14, No. 9, pp. 1923-1936.

<i>Received</i>	October 28, 2019
<i>Revised</i>	November 11, 2019
<i>Accepted</i>	December 5, 2019