



## The study on the selection of performance test conditions for indoor and outdoor experiments of snowfall in winter

Kim, Byeongtaek<sup>a\*</sup> · In, Sora<sup>b</sup> · Kim, Sangjo<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Researcher, Observation Research Department, National Institute of Meteorological Sciences, Seogwipo, Korea

<sup>b</sup>Research Scientist, Observation Research Department, National Institute of Meteorological Sciences, Seogwipo, Korea

<sup>c</sup>Expert Adviser, Korea Meteorologist Association, Seoul, Korea

Paper number: 22-089

Received: 5 October 2022; Revised: 25 October 2022; Accepted: 28 October 2022

### Abstract

The purpose of this research is to select representative observation stations for winter observation equipment performance tests and to present indoor and outdoor conditions for performance tests by considering snowfall, snowfall days, latitude, and altitude distribution for observation stations operated by the Korea Meteorological Administration. Using the snowfall data observed during the winter for 30 years (1981-2010), ten representative observation stations are selected to consider the classification of snowfall days by class, latitude, and altitude distribution of observation stations. As a result of analysis, the suitable point for outdoor experiments was selected as Daegwallyeong, the average number of snowfall days and snowfall days of 5cm or more were 57.5 and 13.2 days, respectively. The indoor experimental conditions are considered to be suitable under temperatures of  $-15$  to  $5^{\circ}\text{C}$  and humidity of 50% or higher. Results of this research can be used as basic information for conditions and test beds for performance tests of equipment that can respond to heavy snow disasters in winter.

**Keywords:** Snowfall, Representative observation stations, Indoor and outdoor experiments, Test conditions, Test bed

## 겨울철 강설 실내외 실험을 위한 성능 시험 조건 선정에 관한 연구

김병택<sup>a\*</sup> · 인소라<sup>b</sup> · 김상조<sup>c</sup>

<sup>a</sup>국립기상과학원 연구원, <sup>b</sup>국립기상과학원 기상연구사, <sup>c</sup>(사)기상전문인협회 전문위원

### 요 지

본 연구는 기상청에서 운영하고 있는 관측지점을 대상으로 강설량과 강설 일수를 위도와 고도 분포를 고려하여 겨울철 강설 측정 장비의 성능 시험을 위한 대표 관측지점과 실내외실험을 위한 조건을 제시하기 위해 수행하였다. 30년간(1981~2010) 관측한 겨울철 강설 자료를 사용하여 강설 일수의 계급별 분류, 관측지점의 위도 및 해발고도 분포를 고려하여 대표관측지점 10개소를 선정하였다. 분석결과 실외 실험에 적합한 지점은 연평균 강설 일수와 5 cm 이상의 적설 일수가 각각 57.5일, 13.2일로 나타난 대관령을 선정하였다. 실내 실험조건은 기온  $-15\sim 5^{\circ}\text{C}$  습도 50% 이상의 조건이 적합하다고 사료된다. 연구 결과는 겨울철 대설재난에 대응할 수 있는 장비의 성능 시험을 위한 조건과 실외 실험장소에 대한 기초자료로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

**핵심용어:** 강설, 대표관측지점, 실내외 실험, 시험조건, 테스트 베드

\*Corresponding Author. Tel: +82-64-780-6606  
E-mail: nakbt777@korea.kr (Kim, Byeongtaek)

## 1. 서론

겨울철 강설 현상은 대기 수상현상 중 하나로 얼음 결정 형태의 강수로 대기에서 지표면으로 물이 이동하는 자연적 물 순환의 일부이다(Dong, 2018). 그러나 지구온난화의 영향으로 지구의 기후를 조절하는데 필수적인 북극 빙하는 지속적 감소하고 있으며, 이로 인해 기존 물 순환 패턴의 변화로 인해 북미와 아시아 지역에 강설량 최댓값 증가가 예상되고 있다(Quante *et al.*, 2021; Strawa *et al.*, 2020).

또한, 강설은 생태계 전반적으로 영향을 미치는 기후 현상이며, 에너지 생산, 교통 문제, 농작물 피해, 지붕 붕괴 사고 등의 경제적, 인적 영향이 큰 기상현상 중 하나이다(Chen *et al.*, 2020). 우리나라의 지난 10년간(2011~2020) 대설에 의한 피해액은 약 176억원으로 태풍, 호우에 의한 피해액 다음으로 크다(MOIS, 2020).

우리나라의 대설주의보와 경보는 매년 증가하는 추세를 보이며, 대설피해는 지역별 편차가 매우 크게 나타난다(Kwon *et al.*, 2016; Jeong and Park, 2015; Kim *et al.*, 2012). 대설에 대응하기 위해 실시간 관측 및 적설 방지를 위한 적절한 가열 성능을 갖는 장비가 필요하다. 또한 많은 적설이 예측되는 지역에 대해 제설장비의 사전 배치 및 대응 체계 구축이 필요하다(Jeong and Park, 2015).

이러한 대설의 신속한 대응 및 피해 예측을 위해 대설 피해액에 영향을 미치는 요소를 도출하고, 랜덤포레스트모형 및 다중회귀모형을 이용하여 대설피해액을 예측하는 다양한 연구들이 수행되었다(Lee and Chung, 2019; Kim *et al.*, 2018; Kwon and Chung, 2017; Oh and Chung, 2017).

또한 Choi and Kim (2010)은 1973/74~2008년 동안 겨울철 강설자료와 북반구 대기순환장 자료를 분석하여 대설 예보 향상을 위해 우리나라의 대설 유형을 분류하고 대설 유형별 종관 기후 분석 결과를 제시하였으며, 북극진동이 우리나라 겨울철 대설 발생 증가에 영향을 미치는 것을 밝혔다.

Kim *et al.* (2012)의 연구에서는 우리나라 대설지역을 울릉도, 영동북부, 서태백산맥, 소백산맥북서부, 남해안 5개로 분류하고, 30년간(1980~2010) 관측한 최심신적설자료를 3개(과거기간, 최근기간, 전 기간)의 기간으로 구분하여 시계열, 공간적 경향성을 Mann-Kendall, Hotelling-Pabst 검정 방법으로 분석하였으며, 지역별 적설량 변화에 대해 제시하였다.

Kim (2020)은 지역특성을 고려한 제설 대응체계 구축을 위해 90개 관측소에서 2006~2015년 동안 관측된 시간별 누적 적설 데이터를 사용하여 강설 시간, 시간당 1 cm 이상 강설 비율을 기준으로 5개의 강설 지역 유형을 제시하였다.

기존 선행연구는 대설에 의한 피해를 예측하거나 장기간 관측한 강설 자료를 이용하여 우리나라의 대설지역의 유형을 분류하고 통계 기법을 활용하여 검증하는 연구를 수행하였다. 기존 연구는 우리나라의 대설의 지역별 유형 분류, 적설량 변화, 겨울철 대설 증가의 원인에 대해서만 제시되어 있을 뿐 대설에 대비하거나 대응하기 위해 강설 전 온도와 습도의 분포는 제시되지 않은 실정이다.

아울러 대설 피해에 대한 방재 능력을 높이기 위한 장비의 성능 향상에 관한 연구도 부족하다. 앞서 언급되었듯 대설에 따른 피해가 증가함에도 불구하고 대설재난 예방을 위해 겨울철 강설측정은 중요하지만 이를 시험하기 위한 기준 및 관측 지점이 없다.

본 연구는 겨울철 적설 관측 장비의 실외 실험에 적합한 관측지점과 실험조건을 도출하기 위한 선행연구이다.

이에 본 연구에서는 우리나라 기상청에서 운영하는 관측지점을 대상으로 강설량, 강설 일수, 위도 및 고도 분포를 고려하여 겨울철 장비의 성능 시험을 위한 대표 관측지점을 선정하고 성능 시험을 위한 실내의 조건을 제시하고자 한다. 본 논문의 2장에서는 30년간(1981~2010) 관측한 겨울철 강설 자료와 한국기후표에 수록된 대표관측지점의 강설 일수를 이용하여 계급별 분류를 통한 분석을 수행하였으며, 지상기상관측지점의 위도와 해발고도를 이용하여 대표 관측지점을 선정에 관한 내용을 설명하였다. 3장에서는 선정된 대표관측지점의 최근 3년간(2018~2021) 강설 시 기상특성을 고려하여 겨울철 장비의 성능 시험을 위한 실내의 조건에 대해 제시하였고, 마지막 4장에서는 연구 결과에 대해 요약하였다. 본 연구는 겨울철 대설재난에 대응할 수 있는 장비의 성능 시험을 위한 조건과 강설 관측지점 선정에 대한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

## 2. 자료 및 분석 방법

### 2.1 대표 관측지점의 강설 일수 분석

우리나라의 대표 관측지점의 강설 일수를 분석하기 위해 기상청이 발간한 한국기후표(1981~2010)에 수록된 현상별 일수(눈) 자료를 사용하였다(KMA, 2011). 장기간 관측한 자료를 사용하기 위해 해당 자료를 사용하였으며, 이후 발간된 자료에는 우리나라 대표적 다설지인 태백, 대관령의 장기간 일수(눈) 자료가 없기 때문이다. 이를 통해, 우리나라에 분포해있는 70개소의 관측지점의 강설 일수 자료를 사용하여 5일 간격의 계급 일수(Fig. 1)로 분석하였다.

계급 일수를 5일 간격으로 상세히 분석한 결과, 20일 이상 25일 미만 구간이 18개소(약 25%)로 가장 많은 것으로 분석되었다(Fig. 1).

또한, 분석에 사용한 70개소 관측지점의 강설 일수 산술 평균값은 21.7일로 도출되어, 우리나라의 평균 강설 일수는 약 22일인 것을 알 수 있었다.

**2.2 위도 및 고도 분포를 고려한 대표 관측지점 선정**

지상 기상관측지점의 2021년 설치기준 위치 및 해발고도를 이용하여 강설 현상 분석을 위한 관측지점을 선정하였다. 지상 기상관측지점 95개소의 해발고도는 Fig. 2와 같이 분포해있다.

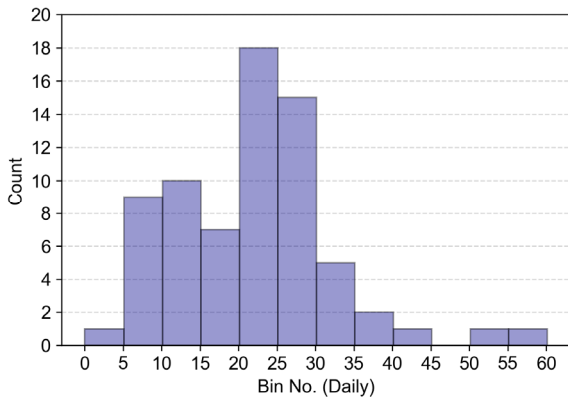


Fig. 1. Distribution of snowfall days

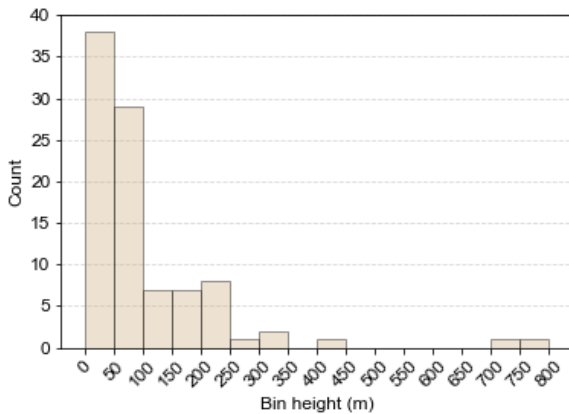


Fig. 2. Distribution of height on weather station

해발고도가 가장 낮은 관측소는 보성군(1.4 m)이며, 가장 높은 곳은 대관령(772.4 m)으로 나타났다. 전체 관측소의 약 70%(67개소)는 100 m 이하의 해발고도에 위치하며, 대부분 250 m 이하에 분포하고 있다.

지역적 강설 현상의 대표성을 확보하는 지역을 선정하기 위해 Table 1과 같이 해발고도는 100 m 이하, 100~300 m, 300 m 이상으로 분류하고, 위도는 37.0° 이북, 35.5~37.0°, 35.5° 이남으로 구분하여 3×3 매트릭스로 구성하였다.

본 연구에서는 대표 관측지점 선정을 위해 강설 일수, 위도, 고도를 기준으로 구분한 지점에 대해 종관기상관측지점의 연평균 강설 일수를 분석하였다. 이를 통해 기상청에서 운영하는 10개의 종관기상관측지점을 강설 현상 연구를 위한 대표 관측지점으로 선정하였으며 Fig. 3과 같이 빨간 점에 위치한다.

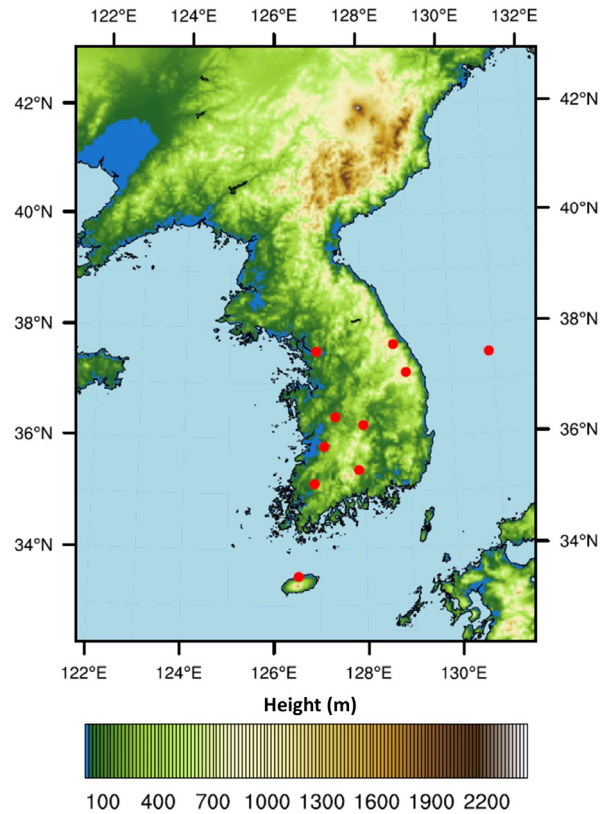


Fig. 3. Distribution of height on weather station

Table 1. Results of representative stations by 3×3 matrix. The parentheses are the average annual number of snowfall days

Latitude \ Altitude	100 m ≤	100~300 m	≤ 300 m
37.0° ≤ L	Seoul (25.0)	Ulleungdo (54.9)	Daegwallyeong (57.5), Taebaek (43.0)
35.5 < L < 37.0°	Daejeon (29.6), Jeonju (25.3)	Chupungnyeong (33.0)	-
L ≤ 35.5°	Gwangju (30.8), Jeju (19.9)	Sancheong (15.8)	-

### 3. 분석결과

#### 3.1 대표 관측지점의 강설 시 기상 특성

Table 2는 선정된 10개 지점에 대한 연평균 강설 일수의 분석 결과이다. 연평균 강설 일수는 목측 자료의 통계 기간에 국한되어있기 때문에 추풍령, 산청, 대관령, 태백의 경우 분석에 사용한 통계 자료의 기간을 괄호 안에 표기하였다.

대표 관측지점 10개소의 연평균 강설 일수는 33.5일로 2.1 절의 결과인 70개소 관측지점의 강설 일수 평균값(21.7일)보다 많은 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 눈이 적게 내리는 지점이 제외되었고, 위도 및 고도가 높은 10개 지점에 속해있기 때문으로 사료된다. 저고도(Low altitude), 중고도(Medium altitude), 고고도(High altitude)로 관측지점을 분류하였을 때, 저고도에서 가장 많은 강설일수를 기록한 광주는 30.8일로 가장 강설 일수가 많으나 10개 관측지점의 평균 강설일수(33.5일) 보다 낮았다.

또한, 중고도에 해당하는 산청은 강설 일수가 15.8일로 평균 강설일수 보다 훨씬 작았고 저고도 5개 지점보다 작게 관측되었다. 이는 산청이 중고도에 해당하지만, 관측지점의 위치가 우리나라의 겨울철 강설현상에 주로 영향을 미치는 시베리아기단에서 먼 남동지역에 위치하고 있기 때문으로 판단된다(KMA, 2014). 고고도에 해당하는 대관령과 태백의 강설 일수는 각각 57.5, 43.0일로 10개 관측지점의 평균보다 높은 일수를 기록하였다.

#### 3.2 성능 시험을 위한 강설 시 기상 특성

겨울철 장비의 성능 시험을 위한 실험조건을 제시하기 위해 관측지점의 강설 일수뿐만 아니라 적설량에 따른 강설 일수도

중요하다. 이를 위해 Fig. 4와 같이 적설량에 따른 강설 일수를 5개의 계급( $\geq 0, 1, 5, 10, 20$  cm)으로 분류하였다. 적설이 1 cm 이상인 경우 평균 강설 일수는 12.7일로, 대관령(29.2일), 울릉도(26.2일), 태백(19.1일) 순으로 나타났다. 또한 적설이 5 cm 이상인 관측지점의 평균 강설 일수는 4.7일로 나타나며, 울릉도(13.6일), 대관령(13.2일), 태백(7.3일) 지역만 평균 이상의 일수를 기록하였으며, 대관령, 울릉도, 태백을 제외한 7개 지역의 적설량은 비교적 적은 것으로 나타났다.

겨울철 적설 관측장비의 실내외 성능 시험을 위해 강설 일수, 강설 기간의 기온분포, 강설 직전의 습도 분포, 강설 지속시간, 최심 적설, 1시간 최대 적설의 기상요소를 확인하였다. 선정된 10개 관측지점의 최근 3년(2018~2021) 강설 시 기상 특성을 Table 3에 작성하였다.

대표관측지점의 온도 및 습도 분포는 성능 실험을 위한 실내 실험에서 중요한 제어 요소로써, 온도 및 습도가 조절이 가능한 향온향습챔버를 사용하기 위한 기준으로 사용할 수 있다.

기온은 강설 시작 전 영상(0.4~3.6°C)에서 강설 종료 시점에서는 영하(-2.5~-14.1°C)로 내려가는 경향을 보였으며, 지점에 따라 약간의 차이는 있으나 강설 시작 전의 기온은 영상인 특성을 보였다. 또한 고도가 낮은 대전과 전주의 강설 후반의 기온이 -10.0°C 이하까지 내려가는 특성이 나타났다.

대표관측지점의 기온 특성을 통해 장비의 성능 시험을 위한 실내 실험에서 온도 설정범위를 강설전 기온과 강설 후반 기온의 최고값인 -15~+5°C로 유추할 수 있었다.

상대습도는 강설 직전(정시 기준 1시간 전) 유의미한 경향성을 확인할 수 없었으나, 상대습도의 분포 범위는 50~99%로 나타났다. 이러한 결과를 비추어 보았을 때 우리나라의 대표관측지점에서 습도가 50% 이하인 조건에서 눈이 내릴 가능

Table 2. Annual average snowfall days on selected stations. The parentheses are years during that period

Altitude	Station	Average year (1981~2010)	Last 10 years	Last 5 years
Low Altitude (100 m ≤)	Seoul	25.0	25.3	23.8
	Daejeon	29.6	28.7	24.2
	Jeonju	25.3	23.3	23.2
	Gangju	30.8	26.5	22.6
	Jeju	19.9	18.2	15.6
Medium Altitude (100~300 m)	Ulleungdo	54.9	64.3	59.4
	Chupungnyeong	33.0	33.1 (2001~2010)	29.8 (2006~2010)
	Sancheong	15.8 (1975~2004)	13.2 (1995~2004)	12.8 (2000~2004)
High Altitude (≤ 300 m)	Daegwallyeong	57.5	55.1 (2007~2016)	51.2 (2012~2016)
	Taebaek	43.0 (1986~2000)	41.7 (1991~2000)	38.0 (1996~2000)
Average		33.5	32.9	30.6
Range		15.8~57.5	13.2~64.3	12.8~59.4

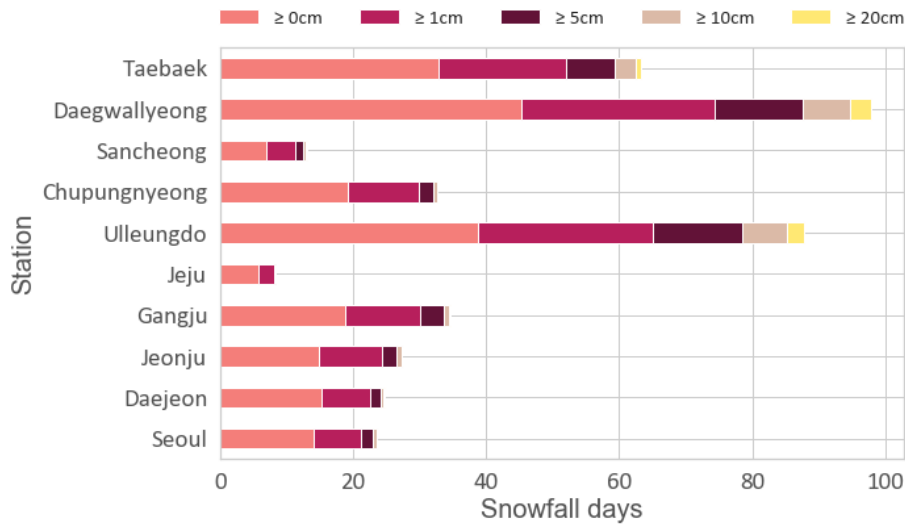


Fig. 4. Bins of fresh snow cover by snowfall days

Table 3. Characteristics of weather factors for experiments in representative observation stations

Station	Average snowfall days/ ≥ 5 cm (Day)	Distribution of temperature during snowfall (°C)	Distribution of humidity before snowfall (%)	Distribution of snowfall duration time (hr)	Maximum snow depth/extreme value (cm)	1-hour snowfall maximum/extreme value (cm)
Seoul	25.0 / 1.8	-6.1~2.2	53~96	2~8 / 14	5.5 / 28.5	2.9 / 5.8
Daejeon	29.6 / 1.6	-10.5~2.4	59~92	2~10 / 14	7.6 / 49.0	4.5 / 9.5
Jeonju	25.3 / 2.3	-10.7~2.9	55~97	2~14 / 19	11.9 / 20.0	3.8 / 5.0
Gangju	30.8 / 3.7	-8.8~0.9	75~98	4~21 / 30	17.3 / 40.5	2.9 / 5.5
Jeju	19.9 / 0.2	-2.5~1.8	58~85	3~20 / 15	14.4 / 14.2	2.5 / 2.1
Ulleungdo	54.9 / 13.6	-8.8~3.6	53~88	8~76 / 66	113.5 / 118.4	11.0 / 19.0
Chupungnyeong	33.0 / 2.2	-10.4~2.2	72~87	1~7 / 15	6.1 / 32.8	3.8 / 4.3
Sancheong	15.8 / 1.3	-9.0~3.2	50~98	2~6 / 18	5.3 / 27.5	2.6 / 5.7
Daegwallyeong	57.5 / 13.2	-14.1~0.4	59~98	1~20 / 42	31.0 / 155.7	3.7 / 6.8
Taebaek	43.0 / 7.3	-13.6~1.0	63~99	2~16 / 36	10.7 / 94.5	2.2 / 6.7

성은 거의 없다는 것을 알 수 있었다.

이러한 우리나라 대표관측지점의 기온과 상대습도 특성을 강설 측정장비 운영 기준으로 겨울철 관측 장비 또는 자동화 장비에 적용한다면 오작동문제의 해결이 가능할 것으로 판단된다.

또한, 대표관측지점의 기상 특성(기온, 습도)을 고려하여 장비의 성능을 위한 실외 실험에 적합한 관측지점은 울릉도, 추풍령, 태백임을 알 수 있었다. 아울러 울릉도와 대관령에서 적설이 100 cm를 초과하며, 대관령은 1967년 극값이 155.7 cm 가 기록된 점을 고려하여 장비의 설치 및 운영에 반영이 필요할 것으로 사료된다.

#### 4. 결론

본 연구는 기상청에서 운영 중인 관측지점을 기준으로 강설 발생 시 기상 특성을 고려하여 겨울철 강설 측정 장비의 성능 시험을 위한 대표 관측지점과 실내외 실험을 위한 조건을 선정하기 위한 기초연구이다.

이를 위해 30년간(1981~2010) 관측한 겨울철 강설 자료를 사용하여 강설 일수를 계급별(5계급)로 분류하고, 관측지점의 위도와 해발고도를 고려하여 10개소를 선정하였다. 선정된 지점의 최근 3년간(2018~2021) 강설 시 기상 특성(기온, 습도)을 확인하여 겨울철 장비의 성능 시험을 위한 실내외 실험 조건을 제시하였다. 연구결과는 다음과 같다.

- 1) 강설일수, 위도 및 고도 분포 분석을 통해 관측지점 10개소는 제주, 산청, 서울, 전주, 대전, 광주, 추풍령, 태백, 울릉도, 대관령을 선정하였다.
- 2) 실외 성능 실험에 가장 적합한 지점은 연평균강설일수(57.5일), 5 cm 이상의 적설 일수(13.2일)로 5 cm 이상의 적설 일수는 울릉도에 비해 0.4일 적으나 접근성을 고려한 결과 대관령으로 선정하였다.
- 3) 성능 시험을 위한 실내 실험 조건은 강설 시작 전과 후의 기온과 습도 분포를 분석한 결과, 기온의 경우 -15~+5°C, 습도의 경우 50% 이상의 상태가 적합하다고 사료된다.

본 연구 결과는 겨울철 우리나라에 적합한 방재 장비 기상 관측을 위한 적설관측장비 개발의 기초 자료로 활용할 수 있을 것으로 판단된다. 향후 본 연구를 바탕으로 겨울철 대설재난에 대응할 수 있는 장비의 성능 시험을 위한 조건과 테스트 베드를 활용한 후속연구가 필요하다.

## 감사의 글

본 연구는 기상청 국립기상과학원 「국가 기상관측장비 및 관측자료 표준화」(KMA2018-00221)의 지원으로 수행되었습니다.

## Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

## References

- Chen, H., Sun, J., and Lin, W. (2020). "Anthropogenic influence would increase intense snowfall events over parts of the Northern Hemisphere in the future." *Environmental Research Letters*, Vol. 15, 114022.
- 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.
- Dong, C. (2018). "Remote sensing, hydrological modeling and in situ observations in snow cover research: A review." *Journal of Hydrology*, Vol. 561, pp. 573-583.
- Jeong, G.H., and Park, H.S. (2015). "The necessity to respond to disasters through rapid and accurate heavy snow damage prediction." *Journal of Disaster Prevention*, Vol. 17, No. 5, pp.18-28.
- Kim, G.Y. (2020). "The study for classifying snowfall area types with consideration of snowfall characteristics and times." *Journal of the Korean Society of Disaster Information*, Vol. 16, No. 1, pp. 21-33.
- Kim, G.Y., Joo, H.T., and Kim, H.J. (2018). "The study for damage effect factors of heavy snowfall disasters: Focused on heavy snowfall disasters during the period of 2005 to 2014." *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 19, No. 2, pp. 125-136.
- 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 B*, Vol. 32, No. 2B, pp. 103-111.
- Korea Meteorological Administration (KMA) (2011). *Climatological normals of Korea*. 11-1360000-000077-14.
- Korea Meteorological Administration (KMA) (2014). *A hand-held forecasting technique*. 11-1360000-000807-10.
- 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.
- Kwon, S.H., Park, H.S., and Chung, G.H. (2016). "Analysis of snow vulnerability and adaptation policy for heavy snow." *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 16, No. 2, pp. 363-368.
- Lee, H.J., and Chung, G.H. (2019). "Prediction and applicability of snow damage using random forest." *Journal of Wetlands Research*, Vol. 21, No. 2, pp. 157-162.
- Ministry of the Interior and Safety (MOIS) (2020). *Statistical yearbook of natural disaster 2020*. 11-1741000-000002-11.
- 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.
- Quante, L., Willner, S., Middelani, R., and Levermann, A. (2021). "Regions of intensification of extreme snowfall under future warming." *Scientific Reports*, Vol. 11, 16621.
- Strawa, A.W., Latshaw, G., Farkas, S., Russell, P., and Zornetzer, S. (2020). "Arctic ice loss threatens national security: A path forward." *Orbis*, Vol. 64, No. 4, pp. 622-636.