우리나라의 지역별 적설심에 따른 눈의 밀도 측정

Measurement of Snow Density According to Regional Snow Depth in South Korea

이형주* · 정건희**

Lee, Hyeong Joo*, and Chung, Gunhui**

Abstract

As a result of abnormal weather conditions, such as climate change, the amount of snow damage has increased rapidly; hence, the need for countermeasures against heavy snow damage has increased. The most severe snow damage in South Korea has occurred in greenhouses. The snow damage caused in greenhouses is 76.7 billion KRW per year, and the cumulative damage area is 20,279 hectares. Snow density varies depending on snow depth, air temperature, and humidity. Depending on the weather conditions, snow density varies up to 7 times. Therefore, in this study, snow density was measured using snow depth field data. Based on weather data from the Korea Meteorological Administration and a disaster report, an area in Gangwon Province was selected as the target area. In Gangwon Province, five administrative districts were selected for field data sampling. The results showed that the density of snow increased as snow depth increased. Based on the results of this study, it was judged that the design of buildings and greenhouses could be more appropriate if snow load or snow density are used as variables.

Key words : Snow Damage, Snow Load, Sampling, Snow Density

요 지

최근 기후변화 등에 따른 이상기후의 결과로 대설피해가 급증하고 이에 따라 눈 피해에 대한 대책마련의 필요성이 증가하였다. 대설피해에 가장 크게 영향을 받는 비닐하우스의 피해를 조사한 결과 피해액은 연평균 767억, 누적 피해 면적은 20,279 ha에 이르는 것으로 나타났다. 비닐하우스에 피해를 야기하는 적설하중은 적설심 외에 온도, 습도 등에 따라 최대 7배까지 차이가 발생하는 것으로 알려져 있다. 따라서 본 연구에서는 적설심에 따른 눈의 밀도 비교 분석을 실시하였다. 기상청자료와 재해연보를 바탕으로 대설피해가 많이 발생하는 강원도 지역을 선정하였다. 선정된 강원도 지역에서 대설에 취약한 비닐하우스가 많은 5개의 행정구역으로 분류하여 현장답사 및 샘플링을 실시하였다. 결과적으로 적설심에 따른 밀도를 측정한 결과 적설심이 깊어짐에 따라 눈의 밀도가 증가하는 것으로 나타났다. 본 연구결과를 바탕으로 적설하중 또는 적설밀도를 변수로 이용할 경우 건물 및 온실의 설계기준이 보다 정확하게 산정될 수 있을 것으로 판단되었다.

핵심용어 : 대설피해, 적설하중, 샘플링, 적설밀도

1. 서 론

최근 기상이변으로 인해 여름철 대표적인 자연 재난인 태풍, 호우 뿐 만 아니라 겨울철 자연 재난인 대설 및 한파의 빈도와 강도가 증가하여, 대설 특보의 발령 횟수가 점차

증가하고 있어(MPSS, 2015) 대설 피해도 점차 강해지는 추세이며, 이에 따라 대설 피해에 대한 대책마련의 필요성이 증가하였다. Park and Kim (2011)에 따르면, 지난 2010년 1월 미국 동부지역에서 111년 만의 기록적인 대설이 발생하였고, 중국 베이징에서는 59년 만의 대설, 영국에서는 30여

*정회원, 호서대학교 토목공학과 석사과정(E-mail: tnwkdns2012@naver.com)

Member, The Master's Course, Department of Civil Engineering, Hoseo University

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

Corresponding Author, Member, Professor, Department of Civil Engineering, Hoseo University

년 만의 한파가 발생하였다. 또한 우리나라와 인접해 있는 일본은 2005년 말부터 2006년 초까지 겨울 기간 동안 서부지역의 일일 적설량이 92~280 cm에 달하는 기록적인 강설로 인하여 심각한 피해를 입은 사례가 있다. 우리나라도 2014년 2월에 발생한 경주 마우니리조트 강당 지붕이 폭설로 인해 붕괴되어 10여명이 사망하고 103여명의 부상자가 발생하였다. 또한 2018년 2월 제주도 지역에서 입춘을 전후해 닥새간 이어졌던 이례적인 폭설로 제주국제공항 활주로를 임시 폐쇄되고 도로 곳곳이 통제되는 등 많은 피해가 발생하였다. 예보치를 초과하는 급속적인 강설로 구조적으로 취약한 농업시설물의 피해가 반복적으로 발생하고 있으며, 농업시설물 중 비닐하우스의 피해가 크게 증가하고 있다. 기상재해로 인한 비닐하우스 피해액은 연평균 767억에 이르고 누적 피해 면적은 20,279 ha에 달한다(MPSS, 2015). 재해연보를 기준으로 2006년부터 2015년 까지 비닐하우스에 영향을 주는 다양한 기상재해 중 태풍피해는 46.7%, 강풍 및 호우피해는 2.3%, 3.7%, 대설피해는 47.3%로 대설로 인해 가장 많은 피해가 발생한다. 비닐하우스 피해는 과대 설하중에 견디지 못하고 지붕서까래가 파손되면서 M자 형태로 주저앉는 경우가 가장 많이 발생한다. 특히, 연동형은 연동곡부의 과대 설하중과 같이 곡부에 과대 설하중이 작용하여 서까래가 눌리면서 기둥이 꺾이고 기울어진 형태로 눌리면서 기둥이 꺾이고 기울어진 형태로 파손되었으며, 특히 난방을 하지 않은 하우스에서 피해 발생이 크게 나타난다.

과거 대설에 의한 피해 관련 연구를 살펴보면 Kwon et al. (2016)은 최심적설량과 사회·경제적 요인을 고려하여 대설피해 저감 방안을 제시하였고 또한 Kwon and Chung (2017)은 다중회귀모형을 이용한 대설피해액 추정을 위한 회귀모형을 개발하여 적용성을 검토하였다. Jeong and Lee (2014)는 최심신적설량, 대설발생일수, 인구, 지역총생산량, 면적 등을 변수로 고려하여 대설로 인한 인명피해 및 이재민 수를 예측하기 위한 연구를 수행하였다.

초기의 강설은 밀도가 낮고 눈의 결정형태가 섬세하나 시간이 경과함에 따라 조악해지고 밀도가 증가하게 된다. 그러나 적설하중은 적설심 이외에 온도, 습도 등에 따라 최대 7배 까지 차이가 발생하는 것으로 알려져 있다 (Gooch, 1999). 따라서 본 연구에서는 적설심에 따른 눈의 밀도 비교 분석을 실시하였다. 샘플링을 통한 강설 전, 후의 밀도변화 분석을 위하여 기상청자료와 재해연보를 바탕으로 대설피

해가 많이 발생하는 강원도 지역을 조사 대상 지역으로 선정하였고, 선정된 강원도 지역에서 대설에 취약한 비닐하우스 등 원예특작시설물이 많은 4개의 행정구역으로 분류하여 현장답사 및 샘플링을 실시하였다. 또한 비교 분석을 위해 호서대학교 내에서도 샘플링을 실시하였다.

2. 자료구축 및 분석방법

2.1 대상구역 선정

2000년부터 2008년까지 기상청자료를 바탕으로 강원도, 충청도, 전라도, 부산광역시, 서울특별시의 기간 중 최대 최심신적설량과 총 최심적설량 값을 비교한 결과 강원도의 기간 중 총 최심적설량의 값이 522.8 cm로 가장 높게 나타났으며, 기간 중 최대 최심신적설이 44 cm로 폭설의 빈도가 다른 지역보다 높게 나타났다. 따라서 6개의 지역 중 기간 중 총 최심적설량과 최대 최심신적설이 가장 높은 강원도를 대상구역으로 선정하였다. Table 1은 6개 지역의 기간 중 총 최심적설량과 최대 최심신적설을 나타냈다.

2.2 농가 인구 조사

선정한 강원도 지역에서 대설에 취약한 비닐하우스 등 원예특작시설물이 밀집되어 있는 행정구역과 비교적 농가 인구가 많은 원주, 홍천, 강릉, 횡성, 평창 지역을 선정하여 현장답사를 실시하였다. Fig. 1은 현장답사를 실시한 횡성군과 원주시의 비닐하우스와 원예특작시설이다. 실시한 결과 5개의 행정구역 중 원주지역이 농가 수와 농가인구수가 각각 8,322가구, 20,465명으로 가장 많게 집계되었다. 또한 평창지역은 농가 수와 농가인구수가 각각 4,244가구, 10,644명으로 가장 적게 집계되었다. Table 2는 현장답사를 실시한 5개의 행정구역의 농가 수와 농가 인구수를 나타낸 것이다.

2.3 샘플링 절차

샘플링 박스 규격으로는 내측기준으로 가로 10 cm, 세로 10 cm, 높이 15 cm로 된 두꺼운 아크릴 직육면체 박스를 사용하였고, 측정 시 눈에 영향을 최소화하기 위해 하단 삽입부에 경사를 주었다. 가능한 많이 적설된 곳으로 이동하여 지면으로부터 수직으로 샘플링 박스를 삽입한다. 삽입 후 커팅판을 이용하여 샘플을 채취한 뒤 무게와 적설심을 측정하였다. Fig. 2는 시료 채취 장면과 샘플링 BOX의 모양

Table 1. Total Snow Depth and Maximum Fresh Snow Depth in Six Administrative Districts

District	Gangwon-do	Chungcheong-do	Jeolla-do	Busan Metropolitan City	Seoul Metropolitan City	Incheon Metropolitan City
Total snow depth (cm)	522.8	124.1	200.5	83.8	223	242.8
Maximum fresh snow depth (cm)	44	12.5	30	29.5	23.4	17.6

Fig. 1. The Selected Administrative District's Greenhouse and Horticulture Facility

Table 2. Number of Farm Households by Administrative Region

Administrative district	Number of Farm House	Number of Farmers
Wonju-si	8,322	20,465
Hongcheon-gun	7,441	17,748
Gangneung-si	7,106	17,192
Hoengseong-gun	5,952	13,929
Pyeongchang-gun	4,244	10,644

Fig. 2. Snow Sampling Scene and Shape of Sampling Box

을 나타낸다. 눈이 쌓여 있는 곳의 눈을 가능하면 흐트러지지 않도록 샘플링 박스를 눈 위에 삽입하고, 하부에 커팅판을 삽입한 후 측정된 박스 내 눈의 높이를 측정한다.

3. 분석 및 결과

각 지역마다 총 3회에 걸쳐 적설심에 따른 눈의 밀도를 측정하였다. 각 지역의 시료 채취 시 기온과 습도는 Table 3과 같다. 그 결과 눈의 깊이에 따른 밀도 값 계산 후 아래 Fig. 3과 같이 적설 깊이에 따라 눈의 밀도가 변화하는 것을 알 수 있었다. 현장조사 및 시료 채취 결과 강원도 지역은 강설 이후 시간이 지난 상태로 눈의 표면상태가 단단하여 샘플링을 실시하면서 시료의 부서짐이 발생하였다.

Fig. 3에 따르면, 적설 깊이에 따라 0.09 g/cm^3 에서 0.13 g/cm^3 로 나타났다. 이 결과는 Judson and Doesken (2000)에 기록된 눈의 밀도와 비슷한 값을 나타내었다.

강원도의 행정구역에서 샘플링을 실시한 것과 같이 호서대학교 내에서 최심신적설 샘플링을 실시하였다. 강설 중, 강설 후로 나누어 적설심에 따른 밀도를 측정하고 적설심에 따른 눈의 밀도 변화를 측정하였다. 적설기간은 2018년 2월 11일부터 12일까지 이고 온도는 -4°C , 습도는 55%인 환경에서 강설 중 7회, 강설 종료 1일 경과 후 10회 채취하였다. 그 결과 강설 후의 평균 밀도가 0.073 g/cm^2 으로 강설 중의 평균 밀도 0.060 g/cm^2 보다 약 0.013 g/cm^2 증가하였다. Fig. 4는 강설 중과 강설 후의 적설심에 따른 밀도변화를 나타낸 것이다.

4. 결론

본 연구에서는 우리나라에서 비닐하우스의 붕괴 등 겨울철 자연재해 피해를 야기하는 적설심의 밀도를 계산하기 위해 적설량이 많고 원예특작시설물이 밀집되어 있는 강원도 원

Table 3. Air Temperature and Humidity in Sampling Sites

Administrative district	Temperature (°C)	Humidity (%)
Hoengseong-gun	-5	51
Pyeongchang-gun	-2	50
Hongcheon-gun	-3	45
Wonju-si	0	45

Fig. 3. Snow Density in Gangwon-do, South Korea

Fig. 4. Snow Density in Hoseo University, Chungcheong-do, South Korea

주, 홍천, 강릉, 횡성, 평창을 선정하여 현장답사를 실시하였다. 또한 비교분석을 위해 충청남도 아산시에 위치한 호서대학교 내에서도 샘플링을 실시하였다. 샘플링 박스 규격은 내측기준으로 가로 10 cm, 세로 10 cm, 높이 15 cm 규격인 아크릴 소재인 직육면체 상자를 이용하였다. 삽입 시 눈에 영향을 최소화하기 위해 하단 삽입부에 경사를 주었다. 가능한 많이 적설된 곳으로 지면으로부터 수직으로 샘플링 박스를 삽입하였고, 삽입 후 커팅판을 이용하여 샘플을 채취한 뒤 무게와 적설심을 측정하였다. 또한 비교분석을 위해 호서

대학교 내에서도 샘플링을 실시하였다. 측정 결과 강원도 지역은 강설 이후 시간이 지난 상태로 눈의 표면상태가 단단하여 샘플링을 실시하면서 부서짐이 발생하였다. 따라서 각 지역마다 총 3회에 걸쳐 적설심에 따른 눈의 밀도를 측정하였다. 적설심에 따른 눈의 밀도 값을 측정한 결과 대부분 지역이 적설심이 깊어짐에 따라 눈의 밀도 또한 증가하는 것으로 나타났다. 적설기간 2018년 2월 11일부터 12일까지 호서대학교 내에서 강설 중, 강설 후로 나누어 적설심에 따른 눈의 밀도 측정을 위해 최심신적설 샘플링을 실시하였

다. 강설 중 7회, 강설 종료 1일 경과 후 10회 샘플링 실시하였고 측정 결과 강설 후의 평균 밀도가 0.073 g/cm^2 으로 강설 전의 평균 밀도 0.060 g/cm^2 보다 약 0.013 g/cm^2 증가하는 모습을 보였다. 현재 우리나라는 농업 생산량 중에서 온실을 이용하는 시설농업이 차지하는 비중이 매년 증가하고 있으며, 대설에 의한 피해 시설의 많은 부분을 온실이 차지하고 있다. 따라서 온실의 설계기준 적립은 매우 중요하다. 또한 눈의 밀도 역시 온실 설계기준에 큰 영향을 미칠 것으로 판단된다. 따라서 시간과 적설심에 영향을 받는 눈의 밀도를 이용하여 취약시설 설계기준에 적용한다면 보다 급증하는 비닐하우스 피해에 효과적으로 대응 할 수 있다고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 정부(행정안전부)의 재원으로 재난안전기술개발 사업단의 지원을 받아 수행된 연구임[MOIS-재난-2015-05].

References

- Gooch, C.A. (1999). *Heavy snow loads*. Dairy Facilities/ Environmental Management Engineering, Cornell University. Ithaca, NY.
- Jeong, J.H. and Lee, S. (2014). Estimating the direct economic damages from heavy snowfall in Korea. *Journal of Climate Research*, Vol. 9, No. 2, pp. 125-139.
- Judson, A. and Doesken, N. (2000). Density of freshly fallen snow in the Central Rocky Mountains. *Bulletin of the American Meteorological Society*. doi:10.1175/1520-0477(2000)081<1577:DOFFSI>2.3.CO;2
- Kwon, S.H., Kim, J.H., Park, H.S., and Chung, G.H. (2016). Snow damage estimation of Gangwon province damages using regression analysis. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 16, No. 2, pp. 437-443.
- 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.
- MPSS (Ministry of Public Safety and Security). (2015). *The 2015 annual natural disaster report*.
- Park, G.O., and Kim, G.Y. (2011). The characteristics of snow damages and cases in Korea. *Magazine of Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 11, No. 4, PP. 64-75.

Received	October 29, 2018
Revised	October 31, 2018
Accepted	November 7, 2018