

GIS/RS를 이용한 3개의 대표 시설물별 폭설 취약지역 추출기법 연구*

안소라¹ · 신형진² · 김성준^{1*}

Extraction of Heavy Snowfall Vulnerable Area for 3 Representative Facilities Using GIS and Remote Sensing Techniques*

So-Ra AHN¹ · Hyung-Jin SHIN² · Seong-Joon KIM^{1*}

요 약

본 연구에서는 기상관측소의 적설심 자료와 Terra MODIS 위성영상을 이용하여, 3가지 대표 시설물(원예특작물시설, 축사, 건축물)에 대한 적설 설계기준 취약지역을 분석하였다. 현재 적용되고 있는 시설물의 적설 설계강도 기준을 평가하고 폭설 취약지역을 분석하기 위해, 과거 12년간(2001~2012년) 수집된 Terra MODIS 위성영상에서 추출된 적설면적과 적설심 자료를 이용하여 전국 적설심 분포도를 작성하였다. 또한 전국지역별 원예특작물시설의 설계기준 적설심(cm), 축사 설계기준 적설하중(kg/m²), 건축물 설계기준 적설하중(kN/m²) 자료를 수집하여, MODIS 위성영상에 의해 구축된 적설심 분포도와 비교하여 적설 설계강도 기준 취약지역을 분석한 결과 전라도, 충청도 및 강원도 지역이 취약한 것으로 분석되었다.

주요어 : 적설심, 폭설, MODIS, 취약지역, 적설하중

ABSTRACT

This study is to analyze the heavy snowfall vulnerable area of snow load design criteria for greenhouse, cattle shed and building using ground measured snow depth data and Terra MODIS snow cover area(SCA). To analyze the heavy snowfall vulnerable area, Terra MODIS satellite images for 12 years(2001-2012) were used to obtain the

2014년 10월 20일 접수 Received on October 20, 2014 / 2014년 12월 4일 수정 Revised on December 4, 2014 /
2014년 12월 31일 심사완료 Accepted on December 31, 2014

* 이 논문은 2010년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2010-0029194).

1 건국대학교 사회환경시스템공학부 Dept. of Civil & Environmental Systems Engineering, Konkuk University

2 한국수자원공사 K-water 연구원 수자원연구소 Water Resources Research Center, K-water Institute, Korea Water Resources Corporation

* Corresponding Author E-mail : kimsj@konkuk.ac.kr

characteristics of snow depth and snow cover areas respectively. By comparing the snow load design criteria for greenhouse(cm), cattle shed(kg/m²), and building structure(kN/m²) with the snow depth distribution results by Terra MODIS satellite images, the facilities located in Jeolla-do, Chungcheong-do, and Gangwon-do areas were more vulnerable to exceed the current design criteria.

KEYWORDS : Snow Depth, Heavy Snowfall, MODIS, Vulnerable Area, Snow Load

서 론

지구온난화에 따른 급격한 기후변화로 인해서 전 세계적으로 한파와 폭설, 집중호우, 가뭄 등 이상기후가 더욱 강하게 발생하면서 사회, 경제적으로 심각한 피해를 주고 있다(Ha *et al.*, 2007; Kim *et al.*, 2014). 우리나라의 경우 2000년대 초반까지는 폭설에 의한 피해가 간헐적으로 발생하였는데 반해, 2000년대 중반부터는 꾸준히 발생하고 있다. 최근 10년간(2003~2012) 우리나라에서 발생한 자연재해 중 폭설에 의한 피해는 홍수에 이어 두 번째로 높았으며, 최근 10년 연평균 자연재해 피해액 1.4조 원 중 폭설에 의한 피해액은 1,700억 원으로 전체 자연재해 피해액의 약 12%를 차지했다. 지역적으로는 호남권과 충청권에서 전국 피해액의 81%가 발생하였다(Disaster Annual Report, 2012). 특히, 폭설로 인해 해마다 발생하는 직접적인 피해는 도로 및 인명피해 뿐만 아니라 주택, 건물, 비닐하우스, 축사 등 적설량에 따라 적설하중을 받는 주요시설물의 피해가 주로 발생하게 된다. 실제로 소방방재청의 재해 연보에 따르면 2001년 발생한 폭풍설로 인해 비닐하우스 3,455ha, 축사·잠사 13,480개소 등이 피해를 입었으며, 2004년 발생한 폭설에 의해 비닐하우스 2,211ha, 축사·잠사 8,990개소, 2005년 발생한 폭설로 인해 비닐하우스 1,242ha, 축사 9,037개소 등이 피해를 입었다. 폭설은 짧은 시간에 많은 양의 눈이 내리는 현상으로, 기상학적 측면에서는 12시간에 10cm 이상의 신적설 또는 24시간에 15cm 이상의 신적설이 발생하는 것을 말한다. 기상청에

서는 신적설 양을 기준으로 대설특보인 대설주의보와 대설경보를 발령하고 있다. 대설주의보는 24시간에 신적설이 5cm 이상 예상될 때 발령하고, 대설경보는 24시간에 신적설이 20cm(산지 30cm)이상 예상될 때 발령한다. 그러나 최근에 발생하는 폭설은 대설경보 수준을 훨씬 상회하고, 그동안의 관측 기록을 깨는 수준의 적설량이 발생하고 있어 전국적으로 주요 시설물에 많은 피해가 발생하고 있다. 이러한 폭설의 피해에 대응하기 위해서는 현재 시설물의 적설 설계기준을 평가하고 취약지역 분석을 통해 대책을 마련하기 위한 노력이 절실히 필요하며, 이를 위해서는 과거 적설지역의 시간적, 공간적인 규모 및 상황을 정확하게 파악하기 위한 분석이 선행되어야 한다.

현재 국내외에서는 광역적인 분석이 가능한 위성영상을 활용하여 적설분포를 분석하는 연구가 활발히 진행중이다. Salomonson *et al.*(2004)은 Terra, Aqua MODIS 위성영상으로부터 적설분포를 구축하기 위하여 정규화적설지수(Normalized Difference SnowIndex; NDSI)를 이용한 알고리즘을 개발하였다. Simic *et al.*(2004)은 SPOT-4, MODIS, NOAA 위성을 이용하여 캐나다의 적설분포를 비교분석하였다. Kang *et al.*(2006)은 NOAA/AVHRR 위성영상 및 기상자료를 이용하여 적설분포 및 적설심 추출기법을 연구하였으며, Shin *et al.*(2007)은 2004년과 2005년 폭설을 대상으로 NOAA/AVHRR 위성영상을 이용하여 적설심분포도를 작성하고 고도별 적설면적 감소 기율기를 분석하였다. Kim *et al.*(2011)은 Terra MODIS 위성영상과 지상 적설심 자료를 이용하여 적설분포도 구축기법을

연구하였으며, Kim *et al.*(2011)은 Terra MODIS 위성영상을 이용하여 비닐하우스 폭설 피해지역 추출기법을 연구하였다.

본 연구에서는 위성영상과 GIS 기법을 이용하여 3가지 대표 시설물에 대하여 적설 설계기준 취약지역을 추출하는 기법을 제시하고자 한다. 먼저 과거 40년(1971~2010년)의 전국 기상관측소의 적설심 자료를 이용하여 과거 전국적인 폭설의 시간적, 공간적인 규모 및 상황을 파악하고, Terra MODIS 위성영상에서 추출된 최근 12년간(2001~2012년)의 적설면적을 이용하여 최대적설심 분포도를 작성하고, 전국 시설물별 적설 설계기준과의 비교를 통해 폭설 취약지역을 추출하여 분석하고자 한다.

재료 및 방법

1. 기상 자료

본 연구에서는 시설물의 폭설 취약지역 분석을 위해 기상청에서 제공하는 전국 92개 기상관측소(지상관측소 78개, 공동협력관측소 14개)의 최심신적설량 및 최심적설량 자료를 수집하였으며, 그림 1에는 분석에 사용된 전국 기상관측소의 위치를 나타내었다.

수집된 최심신적설량 및 최심적설량 지점 자료들은 공간자료로 변환하기 위해 역거리 가중법(IDW: Inverse Distance Weight)에 의한 공간보간법을 적용하여 공간분포도를 구축하였다. 공간에 대한 통계자료가 필요할 때 모든 지점에서 원하는 값을 얻을 수 있는 것은 현실적으로 불가능하므로 많은 특정지점의 관측값을 얻은 후, 이를 이용하여 알고자 하는 지점의 값을 예측하는 방법이 사용되고 있으며, 이러한 과정에서 공간보간법이 이용된다. 대표적인 공간내삽 기법으로는 역거리 가중법, Spline, 크리깅 등이 있다. 크리깅 보간법은 이미 알고 있는 데이터들의 선형 조합으로 원하는 지점에서

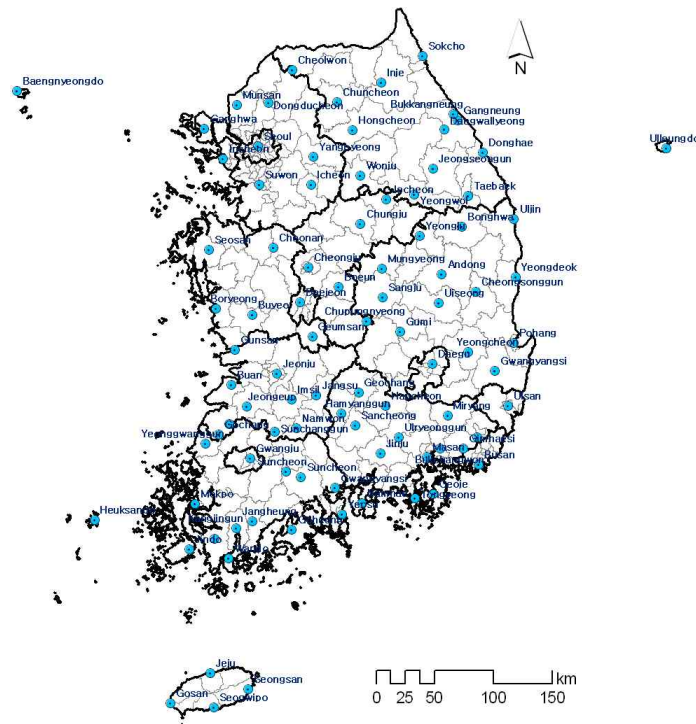


FIGURE 1. 92 weather stations in South Korea

의 속성값을 예측하는 방법으로, 값을 추정할 때 실측값과의 거리 뿐 만 아니라 주변에 이웃한 값 사이의 상관강도를 반영한다. 크리깅 보간법은 통계적으로 매우 우수하다고 알려져 있지만 새로운 점에서 보간을 수행할 때마다 새로운 가중치를 계산해야 하므로 많은 양의 계산이 필요하다는 단점이 있다. 반면 역거리가중법은 주변의 가까운 지점으로부터 선형으로 결합된 가중치를 사용하여 새로운 셀의 값을 결정하는 방법으로 가까이 있는 실측값에 더 큰 가중치를 주어 보간한다. Blackmore and Moore(1999)에 의하면 표본의 수가 증가하면 크리깅 보간법에 비해 역거리 가중법이 더 간단하면서도 시각적으로 보다 향상된 지도를 만들 수 있다고 분석하였다. 역거리 가중법은 식 (1)과 같이 나타낸다.

$$\hat{Z}(s_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(s_i) \quad (1)$$

여기서, $\hat{Z}(s_0)$ 는 위치 s_0 에서 예측하고자 하는 값을 나타내며, N 은 관측지점의 수, λ_i 는 관측지점 s_i 에 사용할 가중치, $Z(s_i)$ 는 관측지점 s_i 에서의 관측값을 나타낸다. 여기에서 가중치 λ_i 는 식 (2)와 같이 거리가 가까이 있는 실측값에 더 큰 가중치를 주게 된다.

$$\lambda_i = d_{i0}^{-p} / \sum_{i=1}^N d_{i0}^{-p} \quad \sum_{i=1}^N \lambda_i = 1 \quad (2)$$

여기서, d_{i0} 는 관측지점 s_i 와 예측지점 s_0 사이의 거리를 나타내며, 지수에 포함된 p 는 거리에 따라 가중치의 변화정도를 결정한다.

2. MODIS 위성영상 자료

고분해능 기상센서인 MODIS(MODerate resolution Imaging Spectroradiometer)는 미국 NASA의 지구감시계획(EOS: Earth Observing System)에 의해 1999년 12월에

발사된 지구관측위성 Terra 위성에 탑재된 센서이다. 총 36개의 밴드(0.405~14.385 μ m)를 보유하고 있고, 2개 밴드(band 1,2)는 250m, 5개 밴드(band 3~7)는 500m와 29개 밴드(band 8~36)는 1km 해상도를 가지고 있다. Terra 위성은 705km 고도에서 1~2일 간격으로 한반도 상공을 통과하는 극궤도 위성으로 관측범위는 남북방향으로 5,000km, 동서방향으로 2,300km로 매우 넓은 지역을 관측하고 있다. 이처럼 MODIS는 기존의 1km 해상도인 NOAA 위성의 AVHRR 센서에 비해 고해상도의 주기해상도와 공간해상도를 보유하고 있으며 획기적으로 향상된 정보를 제공하고 있어 임의 지역의 시공간적인 특성을 효과적으로 관찰할 수 있다.

본 연구에서는 MODIS 위성영상을 이용하여 적설면적 분포도(Snow Cover Area) 구축을 위해 Terra 위성의 Snow Cover(MOD10, 해상도 500m) 일 자료를 수집하였으며, Terra 위성은 1999년 12월 이후에 발사되었기 때문에 분석기간을 2001년부터 2012년 12월 31일까지로 설정하였다. 위성영상은 Earth Observing System Data Gateway(EOS Data Gateway ; <https://wist.echo.nasa.gov/wist-bin/api/ims.cgi?mode=MAINSRCH&JS=1>)를 통해 다운로드가 가능하다. 적설면적 분포를 추출하기 위하여 정규화적설지수(Normalized Difference Snow Index; NDSI)를 이용하였으며, NDSI는 위성 영상 내에서 적설을 감지하기 위하여 band 4번(0.545~0.565 μ m) 녹색파장(Green)과 band 6번(1.628~1.652 μ m) 적외선단파장(Short-Wave Infrared)을 이용하여 식 (3)에 의해 산출되어진다. 이는 단파적외영역에서 눈의 반사도 특성 차이를 이용한 밴드비율이며 NDSI가 0.4보다 크거나 같을 경우 눈으로 고려되어진다(Kim *et al.*, 2011).

$$NDSI = \frac{MODIS4 - MODIS6}{MODIS4 + MODIS6} \quad (3)$$

폭설이 내릴 시의 영상은 구름이 덮어 적설

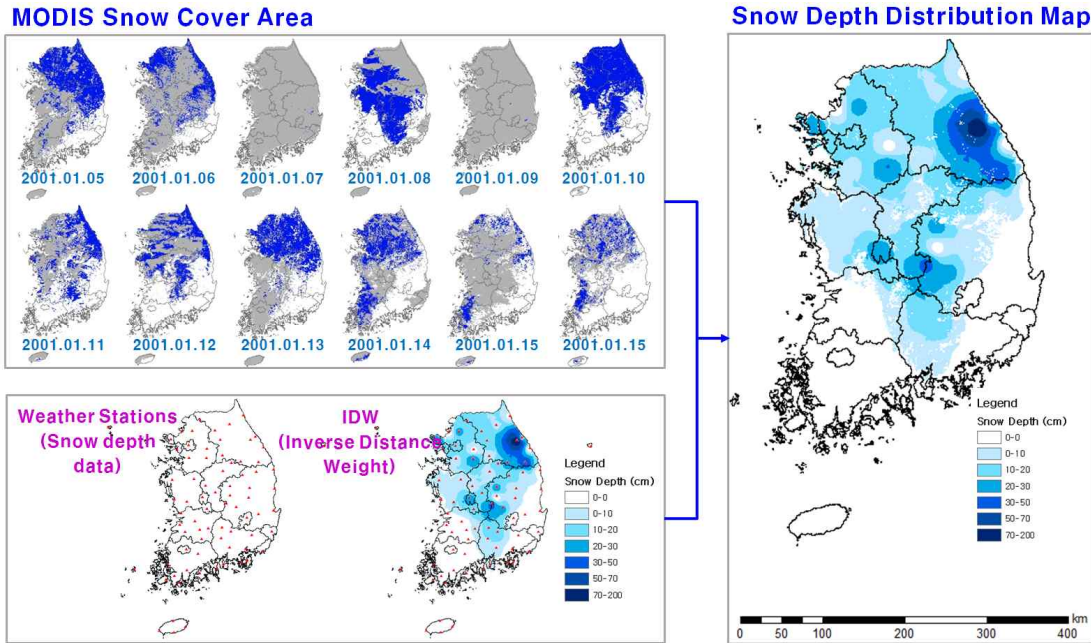


FIGURE 2. Process of extracting snow depth distribution map using MODIS

분포를 알 수 없는 경우가 많기 때문에 구름의 영향 때문에 오차가 클 수 있다. 적설분포 추출에 있어 구름의 영향을 최소화할 수 있도록 폭설 후 눈이 쌓여있는 기간 동안 구름의 영향이 비교적 작은 영상들을 선정하여 적설영역, 구름영역, 적설이 없는 영역으로 분류한 뒤 기간별 구름영역을 제외하여 중첩시킨 후 적설면적을 추출하였다. 2001년~2012년까지의 눈이 쌓인 날 각각의 일 적설면적 분포도를 구축한 뒤, 연별로 중첩하여 연 적설심 분포도를 구축하였다.

이후 MODIS 위성영상을 이용한 적설면적 분포도를 기준으로 앞서 구축된 92개 전국 기상관측소의 최심적설량을 이용한 적설심 자료를 적용하여 실제 적설 면적이 반영된 적설심 분포도를 구축하였다. 그림 2에는 적설심 분포도 구축방법을 나타내었다.

3. 시설물별 적설 설계기준

시설물별 폭설 취약지역을 분석하고 현재 적용되고 있는 시설물의 적설 설계강도 기준을

평가하기 위해 전국지역별 원예특작물시설의 설계기준 적설심(cm), 축사 설계기준 적설하중(kg/m²), 건축물 설계기준 적설하중(kN/m²) 자료를 수집하였다.

농림수산식품부에서는 대설, 강풍 등 기상재해로 인해 원예특작물시설에 대규모(연간 3천억원)의 피해가 빈발하고 있어, 국가 및 농업인의 경제적 손실 등을 최소화하기 위해 2007년 4월 내재해 설계강도 기준 및 규격시설에 대해 전문가 의견수렴 및 전문기관 종합검토 등을 거쳐 내재해 기준을 지정고시하였고, 2010년 11월 4차에 걸쳐 기준을 개정하였다(표 1). 또한 축사의 건축구조 설계하중을 3가지형(표준형, 해안형, 산간형)으로 구분 설계하여 빈번한 자연재해의 발생으로 인한 설해, 풍해, 및 폭우로 인한 재해로부터 축산농가의 피해를 최소화할 수 있도록 설계하였다(표 2). 국토해양부에서는 건축물의 경우에도 폭설 등 기상이변에 의해 발생하는 붕괴사고를 방지하기 위하여 강설의 특성 및 지역의 기본지상적설하중을 고려하여 건축물의 설계기준을 개정하였다(표 3).

TABLE 1. Snow design criteria of greenhouse structures(Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries, 2010)

Snow depth(cm)	Region
Under 20~25	Gyeonggi-do Yongin-si, Anseong-si, Icheon-si, Yeosu-gun, Suwon-si, Yangpyeong-gun, Munsan-si, Paju-si, Dongducheon-si, Gwangju-si, Uijeongbu-si, Osan-si
	Gangwon-do Hongcheon-gun, Hoengseong-gun, Pyeongchang-gun, Wonju-si, Yeongwol-gun, Jeongseong-gun
	Chungcheong-do Danyang-gun, Goesan-gun, Eumseong-gun
	Gyeongsang-do Seongju-gun, Hapcheon-gun, Hamyang-gun, Goryeong-gun
	Jeolla-do Namwon-si, Imsil-gun, Jangsu-gun, Gunchang-gun, Damyang-gun, Jeongeup-si, Gokseong-gun, Gurye-gun
Under 25~30	Gyeonggi-do Ganghwa-gun, Gunpo-si, Anyang-si, Uiwang-si, Gwacheon-si, Ansan-si, Siheung-si, Hwaseong-si
	Gangwon-do Inje-gun, Yanggu-gun, Hwacheon-gun
	Chungcheong-do Daejeon metropolitan city, Buyeo-gun, Jecheon-si, Chungju-si, Nonsan-si, Geumsan-gun
	Gyeongsang-do Cheongsong-gun, Sangju-si, Uiseong-gun, Geochang-gun, Miryang-si, Sancheong-gun, Jinju-si, Yeongdong-gun, Uiryeong-gun, Andong-si, Gunwi-gun, Gimcheon-si
	Jeolla-do Gwangju metropolitan city, Hampyeong-gun, Buan-gun, Jeongju-si, Haenam-gun, Naju-si, Iksan-si, Jangseong-gun, Hwasun-gun, Muan-gun, Gochang-gun, Muju-gun, Gimje-si
Under 30~35	Seoul Seoul metropolitan city
	Gyeonggi-do Bucheon-si
	Gangwon-do Chuncheon-si
	Chungcheong-do Boryeong-si, Seosan-si, Cheongju-si, Asan-si, Yeongi-gun, Hongseong-gun, Yesan-gun, Cheonan-si
	Gyeongsang-do Daegu Metropolitan City, Mungyeong-si, Geoje-si, Tongyeong-si, Namhae-gun, Yeongdeok-gun, Yeongju-si, Yeongcheon-si, Gyeongju-si, Yecheon-gun, Gyeongsan-si, Gumi-si, Bonghwa-gun, Sacheon-si
Under 35~40	Jeolla-do Goheung-gun, Jangheung-gun, Yeonggwang-gun, Boseong-gun, Yeongam-gun
	Gangwon-do Donghae-si, Samcheok-si
	Chungcheong-do Boeun-gun
	Gyeongsang-do Ulsan metropolitan city, Pohang-si, Gimhae-si, Changwon-si, Masan-si, Yangsan-si
	Jeolla-do Jindo-gun, Wando-gun
Over 40	Gyeonggi-do Incheon metropolitan city
	Gangwon-do Gangneung-si, Daegwallyeong, Yangyang-gun, Sokcho-si
	Gyeongsang-do Busan metropolitan city, Uljin-gun, Ulleungdo
	Jeolla-do Gunsan-si, Mokpo-si, Yeosu-si, Gwangyang-si, Suncheon-si
	Jeju-do Whole area

TABLE 2. Snow design criteria of building(Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2009)

Snow load(kN/m ²)	Region
0.5	Seoul, Suwon, Chuncheon, Seosan, Cheongju, Daejeon, Chupungnyeong, Pohang, Gunsan, Daegu, Jeonju, Ulsan, Gwangju, Busan, Chungmu, Mokpo, Yeosu, Jeju, Seogwipo, Jinju, Uljin, Icheon
0.65	Jeongeup, Uljin
0.8	Incheon
2.0	Sokcho
3.0	Gangneung
7.0	Ulleungdo, Daegwallyeong

TABLE 3. Snow design criteria of cattle shed(Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries, 2008)

Snow load(kg/m ²)	Type	Region
50	Standard(inland area)	Whole area except coast type and mountain type
80	Coast(Coastal area)	Incheon, Gunsan, Chungmu, Busan, Ulsan, Mokpo, Yeosu, Jeju, Pohang, Ulsan, YangYang, Jumunjin, Janghang, Guryongpo, Ocheon, Honghae, Gampo, Gijang, Jangan, Eonil, Oedong, Gadeokdo, Gunsan, Miseong
300	Mountain(mountainous area)	Sokcho, Gangneung

* Snow load values to all other regions outside of above mentioned regions are 0.5 kN/m².

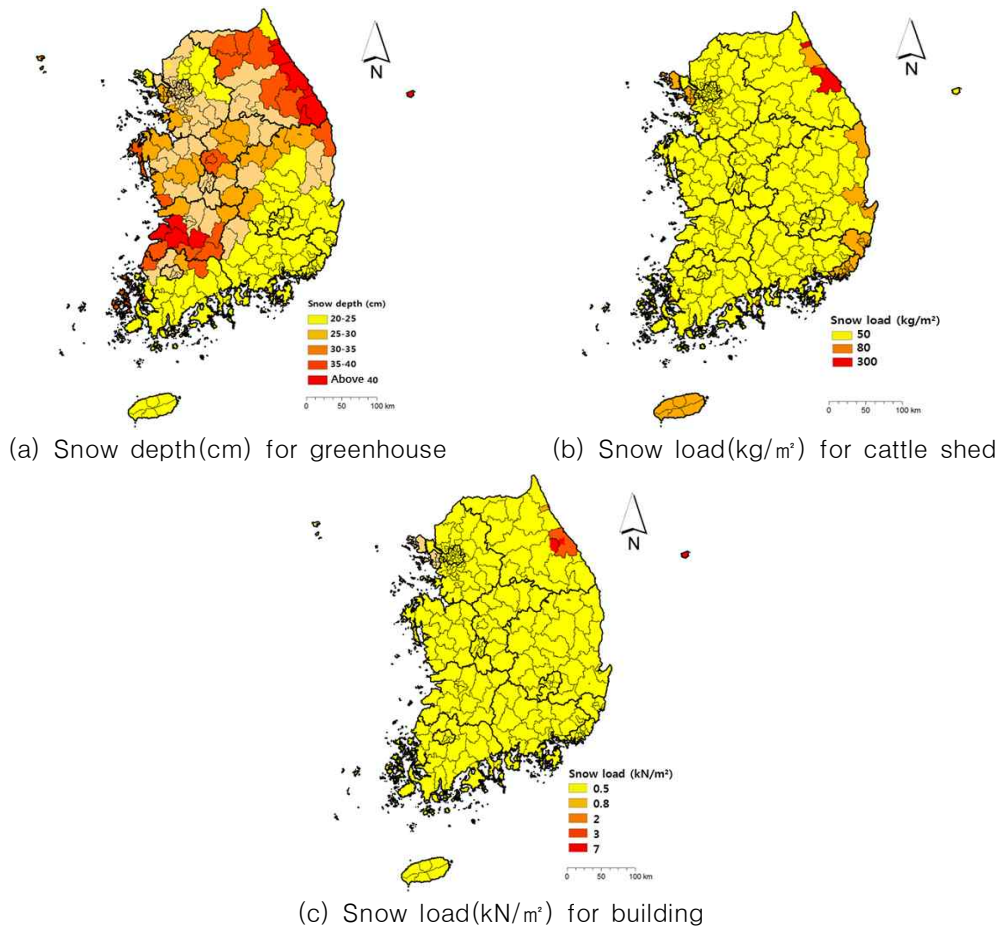


FIGURE 3. Snow design criteria map for 3 representative facilities

수집된 전국지역별 원예특작물시설의 설계기준 적설심(cm), 축사 설계기준 적설하중(kg/m²), 건축물 설계기준 적설하중(kN/m²) 자료를

시군구 단위로 기준값을 할당하여 map을 작성하였다(그림 3). 과거 적설심 분포도와 시설물별 설계기준을 비교하여 취약지역 분석하기 위

해 기준값을 모두 적설심(cm)로 환산하여 비교 분석 하였다.

결과 및 고찰

1. 적설면적 분포도와 적설심 분포도 작성

위성영상으로부터 2001년부터 2012년까지 연별로 구축한 적설면적 분포도와 같은 기간 전국 기상관측소의 적설심 자료를 IDW 방법으로 공간보간한 적설심 분포도를 중첩하여 그림 4와 같이 구축하였다. MODIS 위성영상은 실제 적설면적만을 추출하기 위함으로 구름의 영향이 많은 영상을 제외하고 2001년, 2004년, 2005년, 2008년, 2010년, 2011년, 2012년의 적설면적 분포도를 구축할 수 있었다. 마지막 그림은 구축된 7장의 적설면적 분포도를 모두 중첩한 뒤, 2001년부터 2012년까지의 최대 적설심 자료를 모두 이용하여 구축된 최근 12년(2001~2012)의 적설심 분포도이다. 구축한 적설심 분포도를 분석한 결과, 2001년부터

2012년까지는 강원도 산간지방, 중부지방, 호남지방에 주로 많은 눈이 내린 것을 알 수 있었으며 최대 적설심은 122cm로 분석되었다.

2001년 1월 7일부터 9일간 전국적으로 내린 폭설로 인하여 대설경보 및 주의보가 발효되었으며, 하루 동안 대관령에 98.2cm의 눈이 쌓였고, 서울에도 20년만에 가장 많은 15.6cm의 눈이 왔다. 2004년의 경우 3월 4일부터 5일 동안 중부·경북지방에 10~49cm의 폭설의 내려 축사, 비닐하우스 등 6,734억 원의 피해가 발생되었다. 서울 등 중부지방에 내린 폭설은 100년 기상관측 이래 최대의 3월 폭설이었으며, 서울 18.5cm를 비롯해 문산 23.0cm, 동두천 18.2cm, 양평 17.8cm, 인천 12.7cm, 원주 12.0cm, 수원 11.3cm 등 중부지방에 많은 눈이 내렸다. 2005년 대설 피해는 12월 3일부터 24일간 장기간에 걸친 눈으로 인해 비닐하우스, 인삼재배시설, 축사 등 적설에 취약한 시설물에 많은 피해가 발생하였으며, 이 기간 동안 최대 일적설량은 정읍 59.3cm, 부안 47.1cm, 광주

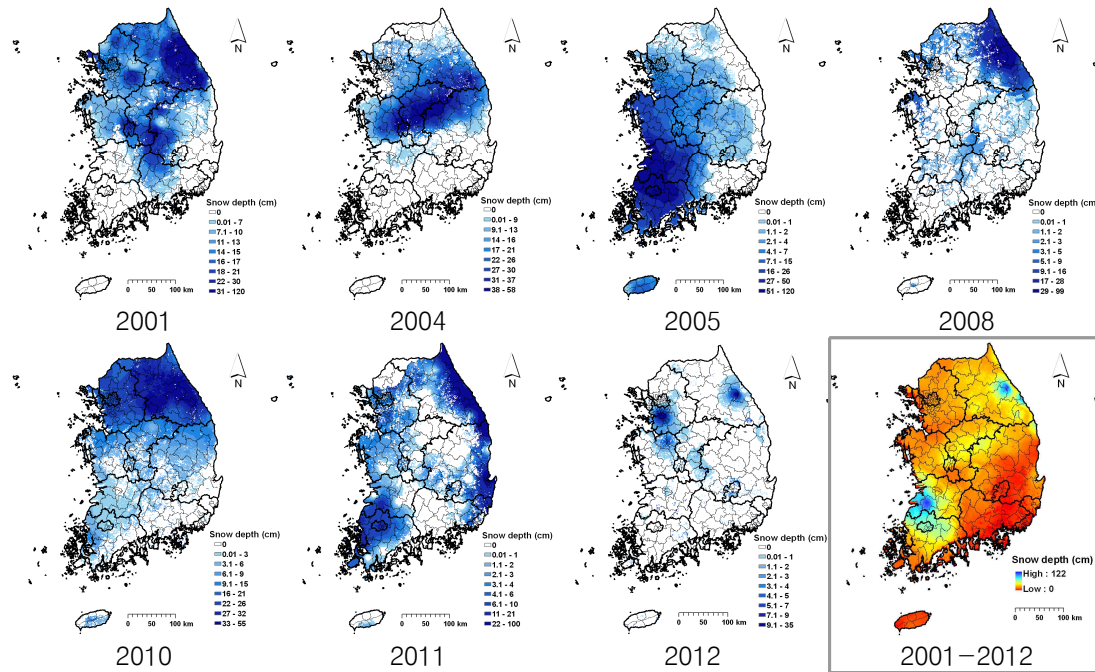


FIGURE 4. Snow depth distribution map(2001~2012) using Terra MODIS

40.5cm, 해남 38.5cm, 순천 37.3cm를 기록하였다. 피해지역은 서울, 대구, 인천, 울산, 경기 지역을 제외한 전국에서 피해가 발생하였다. 2008년에는 1월 11일부터 14일 동안 영동지방에 많은 눈이 내렸으며, 최대 일 적설량은 대관령이 34.6cm, 강릉 25.6cm, 속초 12.7cm를 기록했다. 2010년에는 1월 4일 중부에 내린 폭설은 서울 지역을 중심으로 대한민국의 수도권과 강원도 등을 비롯한 중부 대부분 지역에 발생하였다. 특히 하루 동안 서울에는 25.8cm의 눈이 쌓이면서 기상관측 이래 최대 신적설을 기록했다. 폭설로 인해 수도권과 강원도 지역을 중심으로 많은 피해가 발생했다. 특히 2011년에는 전국적으로 눈이 내렸음을 알 수 있는데, 1월부터 함경도에서 부산광역시에 이르는 동해안 지역에 집중적인 폭설이 발생하였다. 또한 2월 11일부터 12일까지 동해 100.1cm, 강릉 82cm, 울진62.3cm, 대관령 56.1cm 등 동해안지역에 기록적인 폭설로 많은 피해가 발생하였으며, 특히 강릉은 하루 동안 77.7cm의 눈이 내려 최대 일 적설량으로는 기상관측 이래 최고치를 기록했다. 2012년은 경기와 강원도 일부지역에 최대 35cm 가량의 비교적 적은 양의 눈이 내렸다.

이처럼 본 연구에서 구축한 년도별 적설면적 분포도는 실제 기록된 폭설피해 현황 및 피해가 발생한 지역이 상당히 일치하는 것으로 분석되었으며, MODIS 위성영상을 활용하여 과거 적설면적의 시간적, 공간적인 규모 및 상황을 비교적 정확하게 파악할 수 있음을 확인하였다.

2. GIS 기법을 이용한 시설물별 폭설 취약지역 분석

시설물별 폭설 취약지역을 분석하기 위해, 전국 지역별 현재 적용되고 있는 원예특작물시설의 설계기준 적설심(cm), 축사 설계기준 적설하중(kg/m²), 건축물 설계기준 적설하중(kN/m²) 자료를 수집하였다. 3가지 대표 시설물의 폭설 취약지역을 추정하기 위하여 앞서 위성영상을 이용하여 구축한 최근 12년(2001~ 2012) 최

대 적설심 분포도와 적설 설계기준의 적설하중을 적설심으로 환산하여 비교하였다. 원예특작물시설의 설계기준은 적설심(cm)이므로 별도의 환산과정은 거치지 않았다. 축사 설계기준 적설하중(kg/m²), 건축물 설계기준 적설하중(kN/m²)은 적설심별 단위면적당 눈의 중량을 곱하여 적설심(cm)으로 환산하였다. 눈의 단위중량은 적설 50cm 이하 1.0(kg/cm³·m³), 100cm 이하 1.5(kg/cm³·m³), 200cm 이하 2.2(kg/cm³·m³), 400cm 이하 3.5(kg/cm³·m³)이다.

시설물별(원예특작물시설, 축사, 건축물) 취약지역을 도출한 결과는 그림 5와 같다. 각 시설물별 적설심(cm)이 양수 값(흰색)이면 안전하고 음수 값이면 취약하며 취약등급을 6등급(0~-20, -21~-40, -41~-60, -61~-80, -81~-100, -100이상)으로 나누어 분석하였다. 6가지 등급의 의미는 시설물의 설계기준 하중을 적설심으로 환산한 값과 과거 발생했던 최대 적설심 값과 비교한 값으로, 만약 -21~-40등급에 해당된다면 설계기준보다 적설이 40cm 까지 더 발생했던 지역으로 설계기준의 상향조정을 위해 현 기준의 재검토가 필요한 지역이라는 의미이다.

그림 5(a)는 원예특작물시설의 설계기준 취약지역으로 대설지역으로 분석되었던 강원도 일부지역과 호남지역이 취약한 것으로 분석되었고, 그림 5(b)와 (c)의 축사와 건축물의 경우 강원도 및 중부지방 전지역, 충청도 및 호남지방에서 취약한 것으로 분석되었다. 특히, 그림 4에서 제시한 적설심 분포도와 같이 2005년의 호남지방의 폭설, 2011년의 강원도 및 동해안의 폭설로 인해 원예특작물시설, 축사, 건축물 모두 해당지역이 매우 취약한 것으로 분석되었다. 현재의 시설물별 적설 설계기준을 평가한 결과, 과거 전국적으로 설계기준을 20cm 안팎으로 초과하는 적설이 발생하여 설계기준 재검토가 필요한 것으로 분석되었다. 강원지방과 호남지방은 많게는 60~80cm의 폭설이 더 많이 발생하여 적설 설계기준 재검토가 시급한 것으로 분석되었다.

시설물별 설계기준 및 취약지역을 자세히 살

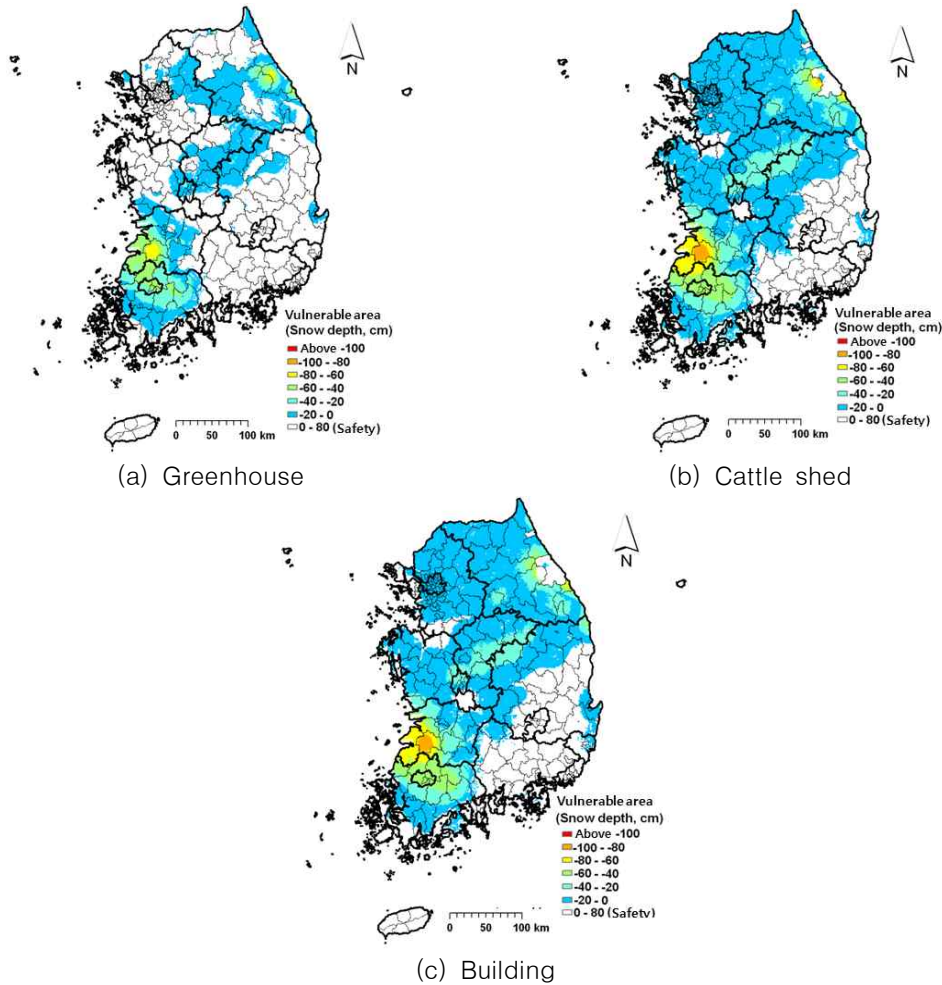


FIGURE 5. Heavy snowfall vulnerable area for 3 representative facilities

해보면, 원예특작물시설의 적설하중 설계기준은 적설심 5cm 단위로 구분하여 시군구별로 비교적 다양한 기준을 적용하고 있다. 이를 그림 4의 2001~2012년을 모두 중첩한 적설심 분포도와 비교해 보면 매우 흡사한데, 과거 적설이 많이 발생했던 지역은 설계기준이 높게 설정되어 있는 것을 알 수 있다. 따라서 축사와 건축물에 비해 비교적 취약지역이 적은 것으로 분석되었다. 하지만 강원도 일부지역(강릉시, 평창군, 동해시)과 호남지역(정읍시, 부안군, 고창군, 장성군)은 적설 설계기준보다 과거 적설심

이 40~80cm 초과로 설계기준 재검토가 필요한 취약지역으로 나타났다. 축사와 건축물의 경우 현재의 적설하중 설계기준은 강릉시 주변을 제외하고 전국이 동일하게 가장 낮은 기준을 적용하고 있으므로, 취약지역이 더욱 많은 지역에 걸쳐 나타날 수밖에 없다. 축사와 건축물 모두 강원도 강릉시와 속초시는 취약지역에서 제외되어 현재의 기준이 적절한 것으로 분석되었지만, 주변도시인 평창군과 동해시는 설계기준의 재검토가 필요하다. 특히, 호남지방(정읍시, 김제시, 부안군, 고창군, 장성군)은 매우 취약

(설계기준보다 과거 적설심이 60~100cm 초과)한 것으로 분석되었지만 현재의 기준은 눈이 많이 내리지 않는 일반지역과 동일하게 적용되고 있어 설계기준의 재검토가 필요한 것으로 분석되었다.

앞에서 눈의 단위중량을 언급하였듯이 눈은 쌓이면 쌓일수록 무게가 무거워진다. 적설이 50cm 이하일 경우 적설 1cm당 평균단위중량이 1.0kg/cm²에 불과하지만, 적설이 100cm 이하일 경우 평균단위 중량은 적설 1cm당 1.5kg/cm²로 하중이 급격히 증가한다. 예를 들어, 수직평면 50m² 넓이의 축사에 50cm의 눈이 쌓였을 경우 눈의 무게는 무려 2.5톤이지만, 100cm의 눈이 쌓이면 눈의 무게는 7.5톤에 이르게 된다. 본 연구 결과와 같이 적설심이 기준보다 최대 100cm 이상까지 초과된다는 것은 붕괴 위험성은 몇 배로 커짐을 의미한다.

요약 및 결론

본 연구에서는 전국을 대상으로 Terra MODIS 위성영상을 이용하여 적설면적을 추출하고 실측 적설심 자료를 적용하여 적설심 분포도를 구축하였다. 이후 3개의 대표 시설물(원예특작물시설, 축사, 건축물)의 적설 설계기준과의 비교분석을 통해 시설물별 폭설 취약지역을 추출하는 기법을 제시하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, Terra MODIS 위성영상의 적설면적과 기상관측소의 적설심 자료를 이용하여 최근 12년간(2001~2012) 적설심 분포도를 분석한 결과, 실제 기록된(2001, 2004, 2005, 2010년 등) 주요 폭설피해 현황 및 피해가 발생한 지역이 상당히 일치하였으며, MODIS 위성영상을 활용하여 폭설의 시·공간적인 상황을 비교적 정확하게 파악할 수 있었다.

둘째, 3개의 대표 시설물(원예특작물시설, 축사, 건축물)의 적설 설계기준과 최근 12년간(2001~2012) 적설심 분포도를 비교분석한 결과, 강원도 및 중부지방 전지역, 충청도 및 호남 지방에서 취약한 것으로 분석되었으며, 전국적

으로 20cm 안팎의 적설이 더 많이 발생하여 적설 설계기준 재검토가 필요한 것으로 나타났다.

셋째, 원예특작물시설의 적설 설계기준은 시군구별로 비교적 다양한 기준을 적용하고 있으며, 과거 폭설지역과 설계기준이 높게 설정된 지역이 동일하여 취약지역이 적게 나타났다. 강원도 강릉시, 평창군, 동해시와 전라도 정읍시, 부안군, 고창군, 장성군은 적설 설계기준보다 과거 적설심이 40~80cm 초과로 설계기준 재검토가 필요한 취약지역으로 나타났다.

넷째, 축사와 건축물의 적설 설계기준은 특정 지역을 제외하고 전국적으로 낮은 기준을 적용하고 있어, 전라도 정읍시, 김제시, 부안군, 고창군, 장성군은 적설 설계기준보다 과거 적설심이 60~100cm 초과로 설계기준 재검토가 시급한 취약지역으로 나타났다.

현재 우리나라는 기상이변으로 인해 폭설의 강도가 세지고 발생 패턴이 변화하고 있으며, 현재의 적설하중 기준으로는 감당할 수 없는 수준의 폭설로 인해 해마다 그 피해는 더욱 커지고 있다. 본 연구에서는 대표 시설물의 폭설 취약지역을 추출하는 기법을 제시하여 현재기준에서 폭설에 취약한 지역을 도출하였다. 앞으로 다양한 시설물에 대하여 시설물별 특성이 고려된 추가적인 연구를 통해 취약정도의 정확한 파악이 이루어져 재해 예방을 위한 시설물의 설계기준 재설정에 반영되어야 할 것이다. 또한 폭설에 대응하기 위하여 기상관측소 자료 및 위성영상 자료를 효율적으로 활용하여 축적·분석된 자료를 바탕으로 폭설 취약지도 작성 등 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다. [KAGIS](#)

REFERENCES

- Blackmore, S. and M. Moore. 1999. Remedial correction of yield Map Data. Precision Agriculture 1(1):53-66.
- Ha, R., H.J. Shin and S.J. Kim. 2007. Proposal of prediction technique for

- future vegetation information by climate change using satellite image. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 10(3):58–69 (하림, 신형진, 김성준. 2007. 위성영상을 이용한 기후변화에 따른 미래 식생정보 예측 기법 제안. *한국지리정보학회지* 10(3):58–69).
- Kang, S.M., H.J. Shin, H.J. Kwon and S.J. Kim. 2006. Extraction of snowmelt factors using NOAA satellite images and meteorological data. *Journal of the Korea Water Resources Association* 39(10):845–854 (강수만, 신형진, 권형중, 김성준. 2009. NOAA 위성영상 및 기상자료를 이용한 용설 관련 매개변수 추출. *한국수자원학회지* 39(10):845–854).
- Kim, J.S., H.Y. Kim and S.H. Lee. 2014. A review on improvements of climate change vulnerability analysis methods: focusing on sea level rise disasters. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 17(1): 50–60 (김지숙, 김호용, 이성호. 2014. 도시 기후변화 재해취약성분석 방법의 개선방안 검토: 해수면상승 재해를 중심으로. *한국지리정보학회지* 17(1):50–60).
- Kim, S.B., H.J. Shin, D.K. Yun, S.W. Hong and S.J. Kim. 2011. Estimation of greenhouse damaged area by heavy snowfall using GIS and remote sensing technique. *Korean National Committee on Irrigation and Drainage* 18(2):111–121 (김셋별, 신형진, 윤동균, 홍성욱, 김성준. 2011. GIS/RS를 이용한 비닐하우스 폭설 피해지역 추출기법 연구. *한국관개배수논문집* 18(2):111–121).
- Kim, S.B., H.J. Shin, J.W. Lee, Y.S. Yu and S.J. Kim. 2011. Mapping technique for heavy snowfall distribution using Terra MODIS images and ground measured snowfall data. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 14(4):33–43 (김셋별, 신형진, 이지완, 유영석, 김성준. 2011. Terra MODIS 영상과 지상 적설심 자료를 이용한 적설분포도 구축기법 연구. *한국지리정보학회지* 14(4):33–43).
- Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries. 2008. *Standard Design of Cattle Shed (Explanations and Specifications)*.
- Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries. 2010. *Design and Specifications of Anti-disaster Standards for Greenhouse Structures*.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs. 2009. *Standard of Architectural Structures*.
- National Emergency Management Agency. 2012. *Disaster Annual Report*.
- Salomonson, V.V. and L. Appel. 2004. Estimating fractional snow cover from MODIS using the normalized difference snow index. *Remote Sensing of Environment* 89:351–360.
- Shin, H.J., G.A. Park and S.J. Kim. 2007. Tracing March 2004 and December 2005 heavy snowfall of South Korea using NOAA AVHRR images. *Journal of The Korean Society of Agricultural Engineers* 49(3):33–40.
- Simic, A., R. Fernandes, R. Browon, P. Romanov and W. Park. 2004. Validation of VEGETATION, MODIS, and GOES+SSM/I snow-cover products over Canada based on surface snow depth observations. *Hydrological Process* 18:1089–1104. [KAGIS](#)