

Terra MODIS 영상과 지상 적설심 자료를 이용한 적설분포도 구축기법 연구*

김셋별¹ · 신형진¹ · 이지완¹ · 유영석¹ · 김성준^{1*}

Mapping Technique for Heavy Snowfall Distribution Using Terra MODIS Images and Ground Measured Snowfall Data*

Saet-Byul KIM¹ · Hyung-Jin SHIN¹ · Ji-Wan LEE¹
Young-Seok YU¹ · Seong-Joon KIM^{1*}

요 약

본 연구는 2001년 1월, 2004년 3월, 2005년 12월 그리고 2010년 1월의 4개 폭설사상을 대상으로 3가지 적설심분포도를 구축하고 그 결과를 비교하고자 하였다. 첫째는 우리나라 76개의 지상기상관측소의 최심적설자료를 대상으로 IDW (Inverse Distance Weighting) 기법을 적용하여 구축한 경우(Snow Depth Map; SDM), 둘째는 SDM를 Terra MODIS (MODerate resolution Imaging Spectroradiometer) 영상에 의한 적설분포지역(Snow Cover Area; MODIS SCA)으로 추출한 경우(SDM+MODIS SCA; SDM_M), 셋째는 둘째 경우에 DEM (Digital Elevation Model)을 이용하여 고도에 따른 적설심 감률을 고려한 경우(SDM_M+DEM; SDM_MD)이다. 4개년도의 적설분포도를 작성한 결과, Terra MODIS 영상에 의한 적설분포면적은 남한면적(99,575.3km²)의 62.9%, 44.1%, 52.0%, 69.0% 였다. 3가지 경우에 대한 평균 적설심을 비교한 결과, SDM보다 SDM_M이 각각 0.9cm, 1.9cm, 0.8cm, 1.5cm 작게, SDM_M보다 고도를 고려한 SDM_MD는 1.3cm, 0.9cm, 0.4cm, 1.2cm 크게 나타났다.

주요어 : 폭설, 역거리가중, 적설면적, MODIS, 적설심 감률, 수치표고모델

2011년 7월 15일 접수 Received on July 15, 2011 / 2011년 9월 27일 수정 Revised on September 27, 2011 / 2011년 10월 11일 심사완료 Accepted on October 11, 2011

* 본 연구는 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단(No. 2010-0029194)의 지원과 국가기상위성센터의 위성자료의 응용분야 활용확대를 위한 기술개발과제 연구비 지원을 받아 수행되었음.

1 건국대학교 사회환경시스템공학과 Dept. of Civil and Environment System Eng. Konkuk University

* 연락처 E-mail : kimsj@konkuk.ac.kr

ABSTRACT

This study is to make snowfall distribution map for the 4 heavy snowfall events of January 2001, March of 2004, December of 2005 and January of 2010, and compare the results for three cases of construction methods. The cases are to generate the map by applying IDW(Inverse Distance Weighting) interpolation to 76 ground measured snowfall point data (Snow Depth Map; SDM), mask out the SDM with the MODIS snow cover area (MODIS SCA) of Terra MODIS (MODerate resolution Imaging Spectroradiometer) (SDM+MODIS SCA; SDM_M), and consider the snowdepth lapse rate of snowfall by elevation (Digital Elevation Model; DEM) to the second case (SDM_M+DEM; SDM_MD). By applying the MODIS SCA, the SCA of 4 events was 62.9%, 44.1%, 52.0%, and 69.0% for the area of South Korea. For the average snow depth, the SDM_M decreased 0.9cm, 1.9cm, 0.8cm, and 1.5cm compared to SDM and the SDM_MD increased 1.3cm, 0.9cm, 0.4cm, and 1.2cm respectively.

KEYWORDS : Heavy Snowfall, IDW, Snow Cover Area, MODIS, Snow Depth Lapse Rate, DEM

서 론

기후변화는 기온의 상승으로 인한 지구온난화, 집중호우, 폭설, 가뭄 등 각종 자연재해를 초래하고 있다. 겨울철 갑자기 발생하는 폭설은 농업 시설에 큰 손상을 입히고 도로를 차단하는 등 크고 작은 사회·경제적 손실을 가져온다(이승호와 천재호, 2003; 이경미와 이승호, 2006). 우리나라는 지형이 복잡한 산악 형태를 포함하고 있고, 삼면이 바다로 둘러싸여 있는 지형적 특성으로 인하여 크게 3개의 대설지역(울릉도, 영동, 호남)으로 구분되어 있다(전종갑 등, 1994). 그러나 최근 기후변화로 인하여 대설형태가 시·공간적으로 변하면서 한 지역에 국한되어 나타나는 것이 아니라 여러 지역에서 특정 해에 동시다발적으로 이상 폭설이 발생하고 있다. 2001년 1월 전국에서 폭풍(35.7 m/s)을 동반한 폭설로 인하여 주택, 비닐하우스 등 총 6,590억 원의 피해액이 발생하였으며, 2004년 3월 우리나라 중부 대부분을 비롯하여 내린 폭설은 3월에 내린 하루 적설량 중 최고 기록을 갱신하였고, 2005년 12월 폭설은 장기적으로 계속된 폭설로 전국적으로 14명의 인명피해가 있었다(재

해연보, 2001; 재해연보, 2004; 재해연보, 2005).

강설은 겨울 동안 적설(snow pack)이 되었다가 대기의 기온이 상승하는 이른 봄에 융설 되어 하천 유출량에 영향을 미친다(강수만 등, 2005). 적설분포는 기후변화 연구에 중요한 지구 지표면 특성 중 하나이며 정확한 모니터링이 필요하다(신형진과 김성준, 2008). 적설분포를 모니터링하기 위해 최근 위성영상을 이용하여 추정 및 활용되고 있으며 광범위한 지역의 시공간적 변화를 분석하기에 원격탐사기법은 활용도가 매우 높다. 외국에서는 일찍부터 위성영상을 활용한 연구가 활발하게 진행되고 있다. Dorothy *et al.*(2002), Salomonson *et al.*(2004)은 Terra, Aqua MODIS (MODerate resolution Imaging Spectro-radiometer) 위성영상으로부터 적설분포를 구축하기 위하여 정규화적설지수(Normalized Difference Snow Index; NDSI)를 이용한 알고리즘을 개발한 바 있다. 국내의 경우, 강수만 등(2005)은 화소당 1.1km × 1.1km의 공간해상도를 갖은 NOAA / AVHRR (National Oceanic and Atmospheric Administration / Advanced Very High Resolution Radiometer) 위성영

상의 채널 1번, 3번과 4번 밴드를 이용하여 적설분포 및 적설심 추출기법을 연구하였으며, 이를 이용하여 신형진과 김성준(2008)은 충주댐, 소양강 댐 등 국내 주요 7개 댐 유역의 적설분포와 적설심을 추출하여 겨울철 유출모의를 위한 용설 매개변수로 구축하는 기법을 개발하였다. 또한 Shin *et al.*(2007)는 2004년 3월과 2005년 12월 폭설을 대상으로 적설심분포도를 작성하고 고도별 적설면적을 분석하여 고도가 높아질수록 면적의 감소 기울기가 완만하다고 분석하였다. 이러한 기존 연구들을 미루어 볼 때, 70% 이상이 산지인 우리나라의 지형을 고려한 적설분포 및 적설심 자료와 기존의 연구방법으로 구축한 적설심분포도의 차이를 비교 분석하는 것이 필요하다 고 사료된다.

따라서, 본 연구에서는 자료의 획득이 쉽고 시계열 분석이 가능하며 광범위한 지역의 정보를 얻을 수 있는 Terra MODIS 위성영상을 이용하여 최근 10년 겨울철(10월-4월, 2001년-2010년)의 대표적인 4개의 폭설사상을 대상으로 우리나라 76개의 지상기상관측소의 최심적설자료를 GIS기법을 적용하여 적설심 공간분포자료를 구축하였다. 공간분포자료는 3가지로 구축하였으며 첫째, 기상자료만을 이용한 경우, 둘째, 기상자료와 위성영상자료를 이용한 경우, 셋째, 기상자료와 위성영상자료를 수치표고모델(Digital Elevation Model; DEM)을 고려한 경우의 적설심분포도를 구축하여 그 결과를 비교해보고자 한다.

연구방법

1. MODIS 위성영상 및 적설분포도

MODIS는 Terra (EOS AM)와 Aqua (EOS PM) 위성에 탑재된 센서이며 극궤도 위성이다. 총 36개의 밴드(0.405-14.385 μm)를 보유하고있고, 2개 밴드(band 1,2)는 250m, 5개 밴드(band 3~7)는 500m와 29개 밴드(band 8~36)는 1km 해상도를 가지

고 있으며 MODIS는 2,330km의 매우 넓은 폭을 1~2일마다 관측하고 있다. 이처럼 임의의 지역의 시·공간적 특성을 효과적으로 관찰할 수 있는 기존의 1km 해상도인 NOAA나 GMS에 비해 고해상도의 주기해상도와 공간해상도를 보유하고 있으며 NOAA 위성의 AVHRR 센서보다 획기적으로 향상된 정보를 제공하고 있다(하림, 2009). 적설분포를 추출하기 위해서는 정규화적설지수(Normalized Difference Snow Index; NDSI)를 이용하였으며, NDSI는 위성 영상 내에서 적설을 감지하기 위하여 band 4번(0.545-0.565 μm) 녹색파장(Green)과 band 6번(1.628-1.652 μm) 적외선단파장(Short-Wave Infrared)을 이용하여 식 (1)에 의해 산출되어진다. 이는 단파적외영역에서 눈의 반사도 특성 차이를 이용한 밴드비율이며 NDSI가 0.4보다 크거나 같을 경우 눈으로 고려되어진다.

$$NDSI = \frac{\text{band 4} - \text{band 6}}{\text{band 4} + \text{band 6}} \quad (1)$$

이때 사용된 Terra MODIS 위성영상자료는 일별 Snow Cover (MOD10, 해상도 500m)이며 Earth Observing System Data Gateway (EOS Data Gateway ; <https://wist.echo.nasa.gov/wist-bin/api/ims.cgi?mode=MAINSRCH&JS=1>)에서 제공받았다. 이를 이용하여 최근 10년 동안 폭설의 피해규모가 컸던 2001년 1월, 2004년 3월, 2005년 12월 그리고 2010년 1월을 4개의 폭설사상을 대상으로 적설분포도(Snow Cover Area; MODIS SCA)를 구축하였다.

적설분포도는 위성영상의 단점인 구름의 영향을 최소화할 수 있는 방법을 고려하였으며 구축방법은 그림 1과 같다. 폭설이 내릴 시의 영상은 구름이 덮여 적설분포를 알 수 없는 경우가 대부분이므로 눈이 내린 후부터 녹기 전까지의 자료 중 구름의 영향이 적은 영상을 선정하여 적설영역(Snow Cover Area)과 구름영역(Cloud)으로 분류하고 기간별 구름영역

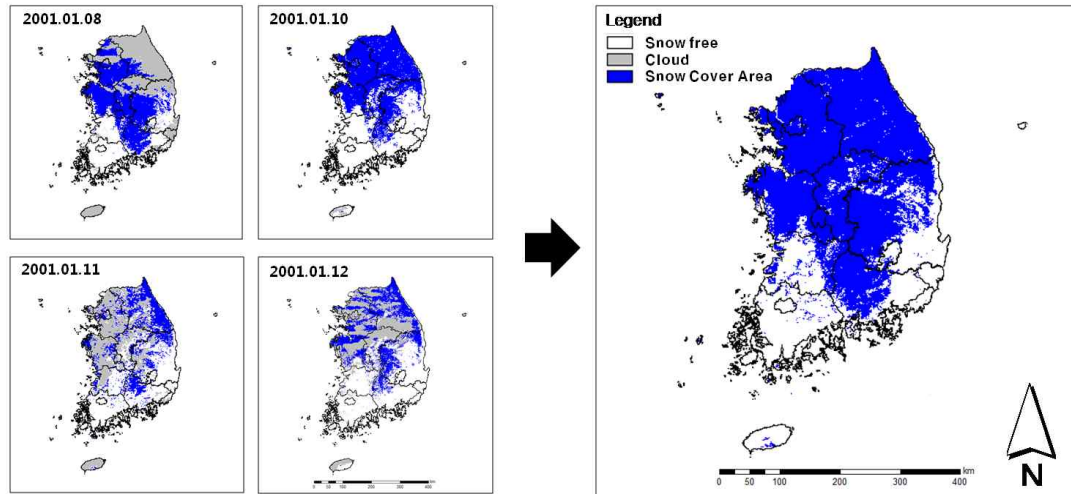


FIGURE 1. MODIS SCA 구축방법(2001년 1월)

을 제외하여 중첩시킨 후 적설영역만을 추출하는 방법을 사용하였다.

2. MODIS 적설분포도와 기상자료를 이용한 적설심분포도 작성

적설심분포도 작성을 위해 기상청으로부터 제공받은 전국 76개 기상관측소의 최심적설 자료를 이용하여 공간보간하였다. 공간보간이란 공간통계 데이터가 필요할 때 모든 지점에서 원하는 값을 얻을 수 있는 것은 현실적으로 불가능하므로 관측값을 얻은 후, 이를 이용하여 미관측 지점의 값을 예측하는 방법이다. 대표적인 공간보간 기법으로는 역거리 가중법 (Inverse Distance Weight; IDW), Spline, 크리깅, 경향면분석 등이 있다. Blackmore and More(1999)에 의하면 크리깅은 최소분산에 근거한 비편향오차(Unbiased estimate)를 제공하므로 통계적으로 더 우수하지만, 표본의 수가 증가하면 표본간의 역거리 가중치를 부여하는 IDW가 더 간단하면서도 시각적으로 보다 향상된 지도를 만들 수 있다고 분석하였다. IDW는 서로 다른 기지점이 한 미지점에 미치는 영향은 미지점으로부터 기지점까지의 거리에 따라 감소한다는 것으로 정의되며 식

(2)와 같이 나타낸다.

$$\hat{Z}(s_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(s_i) \quad (2)$$

여기서, $\hat{Z}(s_0)$: 위치 s_0 에서 예측하고자 하는 값을 나타내며, N : 관측지점의 수, λ_i : 관측지점 s_i 에 사용할 가중치, $Z(s_i)$: 관측지점 s_i 에서의 관측값이다. 위 식 (2)에서 가중치 λ_i 는 식 (3)과 같이 거리가 증가함에 따라 그 값이 줄어들게 된다.

$$\lambda_i = d_{io}^{-p} / \sum_{i=1}^N d_{io}^{-p} \quad \sum_{i=1}^N \lambda_i = 1 \quad (3)$$

여기서, d_{io} : 관측지점 s_i 예측지점 s_0 사이의 거리를 나타내며, 지수에 포함된 p : 거리에 따라 가중치의 변화 정도를 결정한다.

우리나라는 지형적 영향에 의한 국지규모의 다양한 기후 특성이 나타난다. 일반적으로 고도 증가에 따라 강설량이 증가하며 특히, 중간규모에서의 강설량 증가는 적설심 감률 (Snowdepth Lapse Rate; SLR)의 영향을

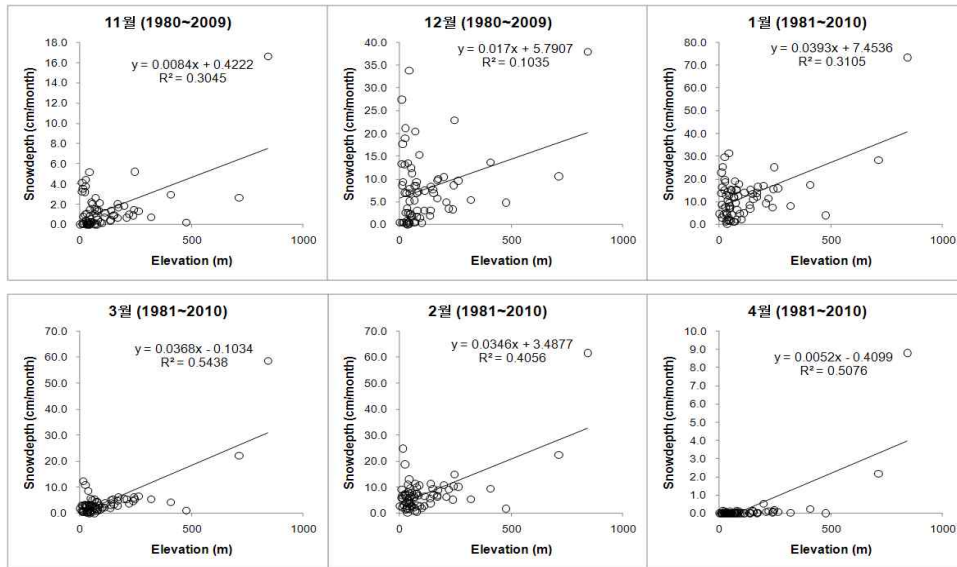


FIGURE 2. 월 최심신적설심과 고도의 관계(신형진 등, 2011)

받는다. 따라서 공간보간 시에 지형의 영향에 따른 일별 최심적설심 자료를 구축하고자 하였다.

이에 우리나라의 76개 기상관측소를 대상으로 30년 (1980년 11월 1일부터 2010년 4월 30일까지) 평균 월 최심신적설과 기상관측소 고도 자료와의 상관관계를 분석하여 월별 고도에 따른 적설심 감률을 산정하였다(신형진 등, 2011) (그림 2). 예를 들어, 1월의 경우 SLR은 +0.039 cm/m의 비율로 증가하는

것으로 분석되었다. 적설심분포도는 일 최심적설자료를 IDW방법으로 보간하고, 월 SLR 자료와 DEM을 이용하여 고도에 따른 SLR를 적용하였다(식 4).

$$\hat{Z}(s_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(s_i) \times (SLR \times DEM) \quad (4)$$

여기서, *SLR*: Snowdepth Lapse Rate, *DEM*: Digital Elevation Model (m)

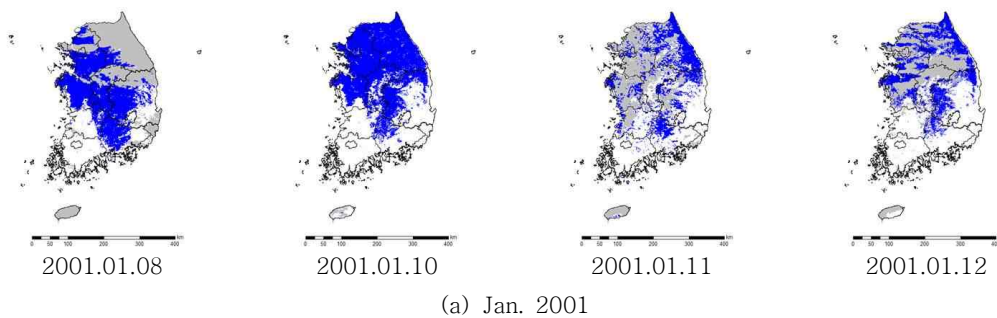


FIGURE 3. 4개 폭설사상에 대한 MODIS SCA

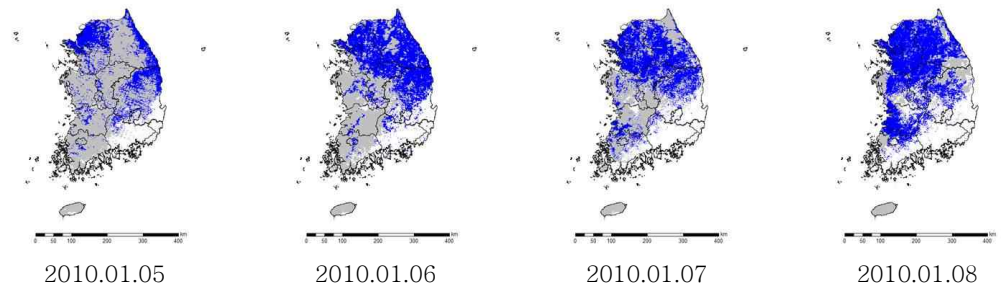
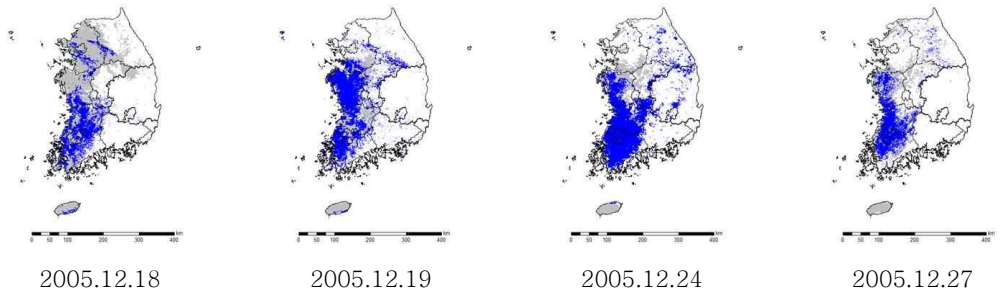
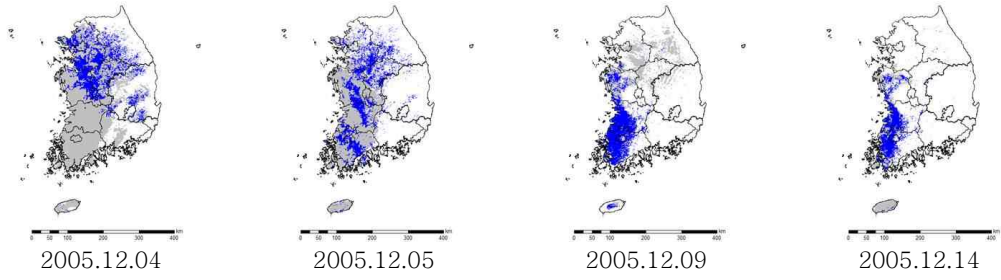
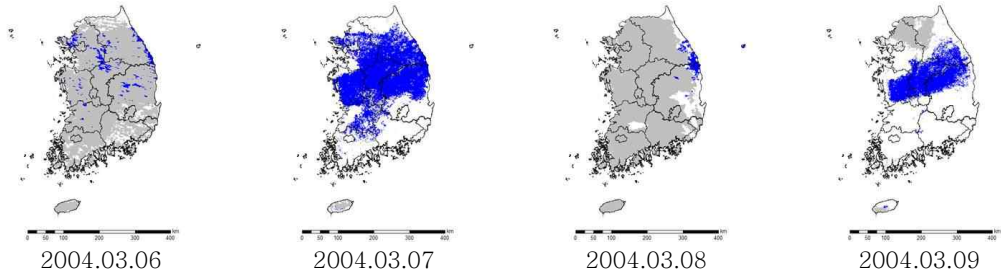
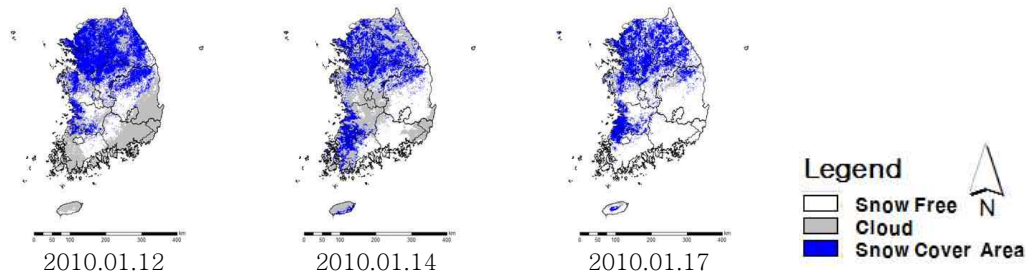


FIGURE 3. 계속



(d) Jan. 2010

FIGURE 3. 계속

본 연구에서는 세 가지의 적설심분포도를 다음과 같은 방법으로 구축하였다.

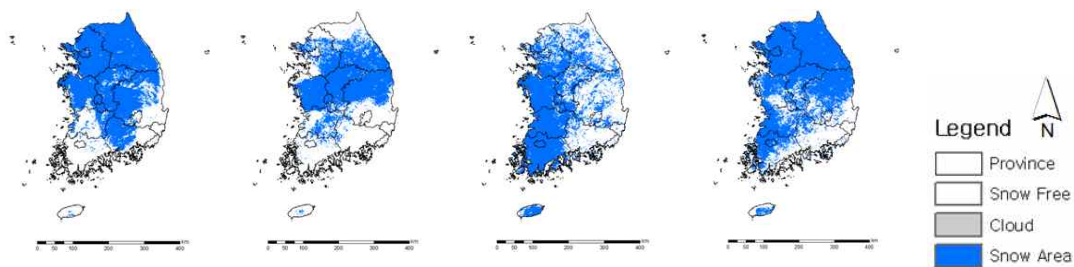
첫째, 전국 76개 기상관측소의 일별 최심적설자료를 이용하여 공간보간 기법인 IDW를 식 (2)와 같이 적용한 적설심분포도(Snow Depth Map; SDM)를 작성하였다. 둘째, Terra MODIS 영상으로부터 적설영역만을 추출한 영상자료를 중첩하여 MODIS SCA를 추출하고 SDM와 결합한 적설심분포도(SDM+MODIS SCA; SDM_M)를 구축하였다. 셋째, 우리나라의 지형을 고려하여 적설심감률을 적용한 적설심분포도(SDM+MODIS SCA+DEM; SDM_MD)를 구축하였다.

결과 및 고찰

1. 4개 폭설사상에 대한 MODIS 적설분포도

MODIS SCA의 구축을 위해 4개의 폭설사상을 Terra MODIS 영상으로부터 구름의 영향을 최소화한 영상을 선택하였다. 각 기간별로 2001년 1월은 8일, 9일~12일, 2004년 3월 6~9일, 2005년은 12월 3일~21일까지의 영상 중 총 14개, 2010년 1월은 5일, 6일 등 총 9개의 영상을 선정하였다(그림 3).

4개 폭설사상을 대상으로 각 기간별로 선정된 영상으로부터 구축한 적설분포도를 중첩하여 그림 1과 같이 적설영역만을 추출한 최종 MODIS SCA를 구축하였다(그림 4). 그 결과, 2001년 1월과 2004년 3월은 중부지역, 2005년 12월은 서해안과 호남지역 그리고 2010년 1월은 전국에서 폭설이 발생한 것으로 나타났다. 폭설지역은 대설지역인 울릉도, 영동과 호남지역 뿐 아닌 전국에서 적설이 분포된 것을 확인할 수 있었다.



(a) Jan. 2001

(b) Mar. 2004

(c) Dec. 2005

(d) Jan. 2010

FIGURE 4. 4개 폭설사상에 대한 최종 MODIS SCA

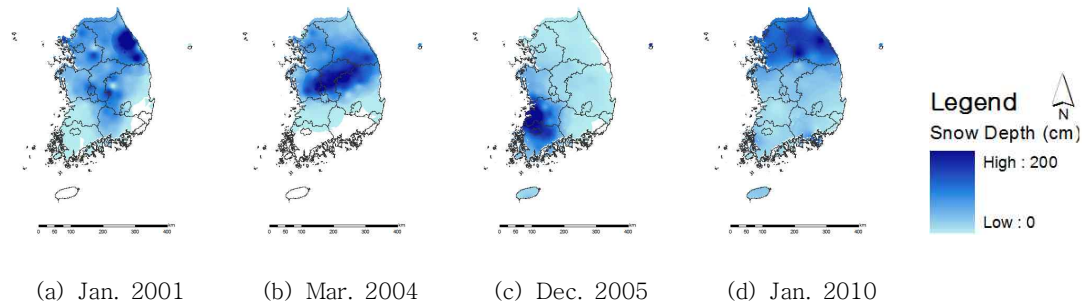


FIGURE 5. 4개 폭설사상에 대한 SDM

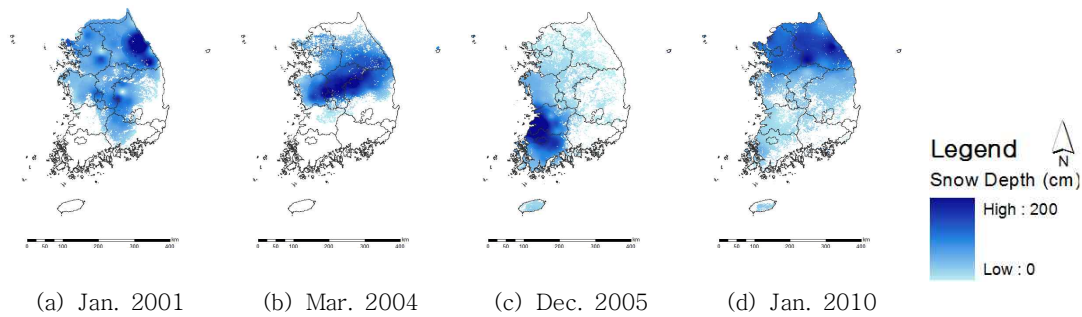


FIGURE 6. 4개 폭설사상에 대한 SDM_M

2. MODIS 적설분포와 지상 적설심 자료를 이용한 적설심분포도

SDM을 구축하기 위하여 폭설이 내린 2001년 1월 7일, 2004년 3월 4일, 2005년 12월 21일 그리고 2010년 1월 4일의 일별 최심 적설자료를 IDW기법을 적용하여 그림 5와 같이 작성하였다. 2001년 1월과 2010년 1월의 적설심은 전국적으로 분포되어 있는 것으로 나타났으며, 특히 영동지방에 집중적인 폭설이 내린 것으로 나타났다. 2004년 3월은 대설지역으로 꼽히는 영동, 호남지방이 아닌 중부지방에 폭설이 온 것으로 확인되었으며, 2005년 12월은 서해안과 호남지역에 폭설이 온 것으로 나타났다.

그림 5에서 구축한 SDM와 MODIS SCA를 중첩하여 SDM_M를 구축하였다(그림 6). 기

존의 기상자료를 이용하여 구축한 SDM와 Terra MODIS 위성영상으로부터 추출한 적설분포도를 중첩시킴으로써 실제 적설영역이 아니지만 공간보간에 의하여 적설영역으로 나타난 영역이 제거됨으로써 적설영역만을 추출할 수 있었다.

SDM_M과 고도의 영향을 고려하여 적설심 감률을 적용한 SDM_MD를 구축하였다(그림 7). 고도가 높은 지역인 영동지역에 폭설이 발생한 2001년 1월과 2010년 1월의 SDM_MD의 적설심을 분석한 결과, 다른 폭설 이벤트에 비해 확연히 더 높게 나타나는 것을 알 수 있고 이는 고도가 다른 지역에 비해 높아 적설심이 더 높게 나타난 것으로 판단된다. 2004년 3월은 다른 3개의 폭설사상에 비해 고도의 영향을 적게 받은 것으로 나타났다. 이는 중부지방의 고도가 영동의 강원도 보다 현저하게 낮

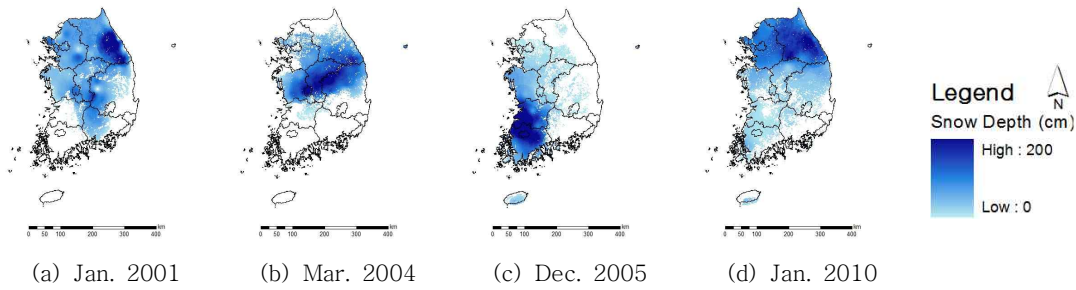


FIGURE 7. 4개 폭설사상에 대한 SDM_MD

기 때문인 것으로 판단된다.

3. 폭설면적 및 적설심 분석

앞서 구축한 3가지 적설심분포도 SDM, SDM_M 그리고 SDM_MD는 남한(99,575.3km²) 면적을 대상으로 4개 폭설사상의 면적과 평균 적설심을 비교 분석하였다.

적설면적은 위성영상의 적설면적을 중첩한 SDM_M, SDM_MD의 면적이 같으므로 비교 대상에서 제외하였고, 기상자료를 이용한 SDM과 Terra MODIS 영상을 이용한 MODIS SCA의 면적을 비교 대상으로 선정하여 분석하였다(표 1). 그 결과 4개년도(2001년 1월, 2004년 3월, 2005년 12월, 2010년 1월)의 적설분포면적은 SDM의 경우, 남한면적의 80.4%, 68.4%, 81.3% 그리고 99.2%으로 나타났으며 MODIS SCA의 경우, 62.9%, 44.1%, 52.0% 그리고 69.0%으로 확인되었다. 기상자료만을 이용하여 공간보간한 SDM의 면적은 위성영상을 이용한 MODIS SCA보다 17.5%, 24.3%, 29.3% 그리고

30.2% 크게 나타났으며 공간보간은 실제 적설분포도가 아닌 지역까지 고려되었기 때문인 것으로 판단된다.

평균 적설심을 남한전체에 대하여 비교한 결과, SDM와 SDM_M은 남한지역의 적설분포를 제외한 영역은 적설심이 0으로 나타나 평균 적설심에 영향을 미치므로 SDM_M은 SDM보다 각각 0.9cm, 1.9cm, 0.8cm 그리고 1.5cm 작게, SDM_MD는 SDM_M보다 1.3cm, 0.9cm, 0.4cm 그리고 1.2cm 크게 나타났다(그림 8). 남한지역의 적설분포를 제외한 영역은 적설심이 0으로 나타나 평균 적설심에 영향을 미치므로 대부분 SDM이 가장 크게 나타나고 SDM_M이 가장 작게 나타났다. SDM_MD는 고도를 고려하여 적설심이 더 높게 나타나므로 SDM_M보다 크게 나타났다. 2001년 1월과 2010년 1월은 고도가 높은 영동지역에 많은 눈이 내렸으므로 고도를 고려한 SDM_MD가 SDM_M보다 약 1cm 이상 크게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 2005년 12월은 비교적 고도가 낮은 지역에 폭설이 내렸으나 임실과, 정읍의 고도가 비교적 높은 지역이므로 0.4cm 크게 나

TABLE 1. 남한지역의 폭설면적 비교

Event	SDM Area		MODIS SCA	
	km ²	%	km ²	%
Jan. 2001	80,045.8	80.4	62,660.0	62.9
Mar. 2004	68,158.5	68.4	43,926.9	44.1
Dec. 2005	80,924.7	81.3	51,758.1	52.0
Jan. 2010	98,774.2	99.2	68,674.0	69.0

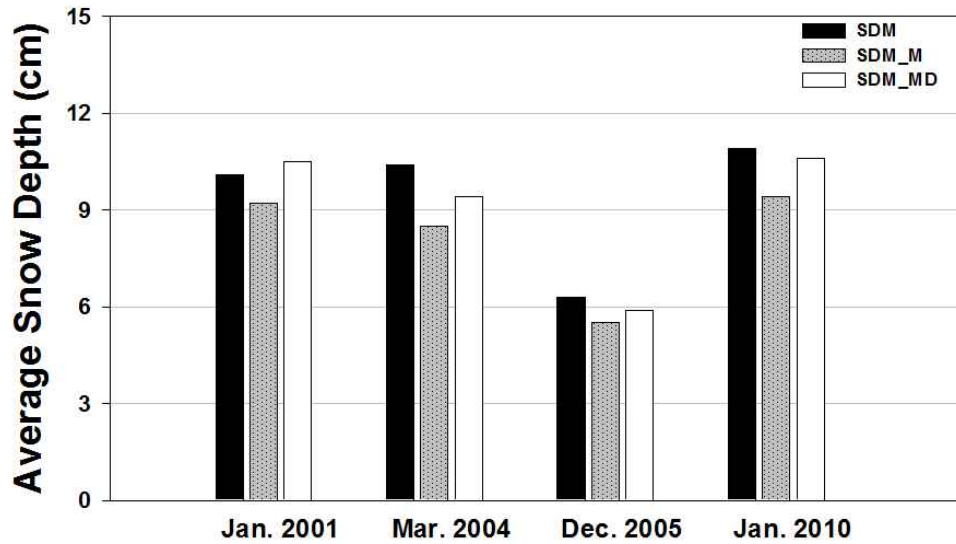


FIGURE 8. 남한전체의 평균 적설심 비교(cm)

타나는 것으로 사료된다. SDM_MD가 가장 높게 나타난 2001년 1월은 2010년 1월보다 영동에 더 집중적으로 적설분포가 나타났기 때문인 것으로 판단된다. 이는 고도가 높은 지역인 영동지역에서 다른 지역보다 고도의 영향을 받아 적설심이 높게 나타나기 때문인 것으로 사료된다.

요약 및 결론

본 연구는 2001년 1월, 2004년 3월, 2005년 12월 그리고 2010년 1월의 4개 폭설사상을 대상으로 3가지 적설심분포도를 구축하여 적설분포면적과 평균 적설심을 비교 분석하였다. 본 연구를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 기상청으로부터 제공받은 76개 기상 관측소의 최심적설자료를 IDW를 적용하여 적설심의 공간분포인 SDM를 구축하였다. Terra MODIS 위성영상으로부터 구름의 영향을 최소화하는 방법을 고려하여 MODIS SCA를 구축하고 이를 SDM와 중첩시켜 SDM_M을 작성하였다. 그리고 고도를 고려한 적설심 감률을 산정한 후 이를 적용한 SDM_MD를 작성하고 구축한 3가지의 적설심

분포도를 비교 분석하였다.

둘째, 위성영상을 이용하여 구축한 MODIS SCA의 적설분포면적은 남한면적의 각각 62.9%, 44.1%, 52.0%, 69.0%였다. 3가지 적설심분포도를 구축한 결과 평균 적설심은 SDM_M이 SDM보다 각각 0.9cm, 1.9cm, 0.8cm, 1.5cm 작게, SDM_MD가 SDM_M보다 1.3cm, 0.9cm, 0.4cm, 1.2cm 크게 나타났다. 고도가 높은 지역에 눈이 온 2001년 1월과 2010년 1월은 SDM_MD가 SDM_M보다 약 1cm 이상 크게 나타나는 것으로 분석되었다.

결과적으로 고도가 높은 지역에 폭설이 내린 2001년 1월과 2010년 1월의 이벤트는 고도가 비교적 낮은 지역의 폭설사상인 2004년 3월과 2005년 12월에 비하여 SDM_M과 SDM_MD의 평균 적설심 차이가 적게 나타났고 세 가지 적설심분포도의 평균 적설심을 비교한 결과, 대부분 폭설사상은 SDM이 가장 크게 SDM_M이 가장 작게 나타났다. 이는 2001년 1월의 경우 고도가 높은 영동지방에 집중적인 폭설로 인하여 SDM_MD가 가장 크게 나타났고 고도가 높은 지역이 낮은 지역에 비해 적

설심이 높게 나타나는 것으로 판단된다.

본 연구에서 제시한 기상자료를 이용하여 적설심을 추정하고 이를 실측자료인 위성영상과 중첩하여 구름을 제외한 적설영역을 추출하고, 우리나라 지형을 고려하여 공간분포화 시킨 적설심분포도가 위성영상만을 고려한 기존 연구들에 비해 신뢰할 수 있는 자료로 이용될 것이고 폭설 피해를 절감하기 위한 재해시스템구축의 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다. 향후, 토지이용도, 비닐하우스, 도로망 등 다양한 GIS(Geographic Information System) 자료를 이용하여 여러 분야에 활용될 수 있는 더 많은 후속 연구가 필요할 것이다. **KAGIS**

참고 문헌

- 강수만, 신형진, 권형중, 김성준. 2005. NOAA /AVHRR 영상을 이용한 적설분포 및 적설심 추출기법 연구. 한국관개배수 12(2):45-52.
- 소방방재청. 2001. 재해연보.
- 소방방재청. 2004. 재해연보.
- 소방방재청. 2005. 재해연보.
- 신형진, 김성준. 2008. NOAA AVHRR 영상 및 GIS 기법을 이용한 국내 주요 7개 댐 유역의 융설 매개변수 추출. 대한토목학회논문집B. 28(2B):177-185.
- 신형진, 김삿별, 박민지, 이재웅, 김성준. 2011. 고도의 영향을 고려한 적설심 공간보간 기법 연구. 한국지리정보학회 춘계 학술발표논문초록집. 72쪽.
- 이경미, 이승호. 2006. 호남 지방의 국지적 강설 분포와 그 차이의 원인에 관한 연구. 대한지리학회지 41:457-469.
- 이승호, 천재호. 2003. 시베리아 고기압 확장시 호남지방의 강설분포. 대한지리학회지 38(2):173-183.
- 전종갑, 이동규, 이현아. 1994. 우리나라에서 발생한 대설에 관한 연구. 한국기상학회지 30(1):97-117.
- 하림. 2009. SEBAL 모형을 이용한 공간 증발산량 산정 기법 개발 및 평가. 건국대학교 대학원 석사학위논문. 18쪽.
- Blackmore, S. and M. Moore. 1999. Remedial Correction of Yield Map Data. Precision agriculture 1(1):53-66.
- Dorothy, K.H., A.R. George, L.F. James and V.K. Sujay. 2010. Development and evaluation of a cloud-gap-filled MODIS daily snow-cover product. Remote Sensing of Environment 114:496-503.
- 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.
- EOS Data Gateway <https://wist.echo.nasa.gov>. **KAGIS**