히말라야산맥의 만년설 경년변화 연구 *

이창석[1] · 한경수[1※] · 염종민[2] · 이가람[1] · 송봉근[3]

Inter-Annual Variability of Ice Cap in Himalaya *

Chang-Suk LEE[1] · Kyung-Soo HAN[1※] · Jong-Min YEOM[2]
Ga-Lam LEE[1] · Bong-Guen SONG[3]

요 약

온난화는 오늘날 발생하는 다양한 기상재해와 이변의 원인으로 전 세계적으로 중요한 문제점 중에 하나이다. 눈과 빙하는 지구온난화의 영향을 가장 쉽게 보여주는 예이며, 이것들은 높은 반사도 특성으로 지구 냉각에 중요한 역할을 하고 있다. 본 연구에서는 MODIS(Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)센서의 자료를 이용하여 히말라야 산맥내의 만년설 모니터링을 수행하였다. 만년설 감시를 위해서 NDSI(Normalized Differenced Snow Index)를 사용하였으며, NDSI는 위성 영상내에 눈을 감지하기 위해 가시와 단파적외 영역에서 눈의 반사도 특성 차이를 이용한 밴드비율이다. 본 연구에서는 2001년, 2003년, 2006년, 2007년의 9월부터 12월까지의 NDSI를 산출하여 만년설을 감시하였으며, 막연하게 알고 있던 고산지대 만년설에 대한 온난화의 영향을 정량적으로 검증하였다. 검증 결과 2007년이 비해 2001년에 잔설지역이 9월 71,481㎢, 10월 92,760㎢, 11월 333,916㎢ 각각 감소한 것으로 나타났다.

주요어 : MODIS, NSDI, 히말라야, 만년설

ABSTRACT

In this study, we monitor ice cap using calculated NDSI from September to December in 2001, 2003, 2006, 2007 and snow cover area in 2007 decrease by compare with 2001. Global warming is one of the most important issue in this world. Because global-warming is the reason of various meteorological disasters and extreme weather events in these days and snow and glaciers showed that global warming effect most easily. Snow and glaciers play an important role in Earth cooling system because of their high reflectance. The present study has been carried out monitoring ice cap in Himalayas, using MODIS(Moderate Resolution Imaging

2008년 9월 18일 접수 Received on September 18, 2008 / 2008년 12월 26일 수정 Revised on December 26, 2008 / 2008년 12월 29일 심사 완료 Accepted on December 29, 2008
* 이 연구는 기상청 기상지진기술개발사업(CATER 2006-4106)의 지원으로 수행되었습니다.
1 부경대학교 위성정보과학과 Department of Geoinformatic Engineering, Pukyong National University
2 부경대학교 환경대기과학과 Department of Environmental Atmospheric Science, Pukyong National University
3 APEC 기후센터 APEC Climate Center
※ 연락저자 E-mail : kyung-soo.han@pknu.ac.kr

Spectroradiometer)data. Indicator to monitoring ice cap, NDSI(Normalized Differenced Snow Index) was used in this study. The NDSI is a spectral band ratio that takes advantage of the spectral differences of snow in visible and short-wave infrared domain to detect snow cover area versus non-snow cover area in a scene. This study is quantitative evaluation about effect of global warming for icecap.

KEYWORDS : MODIS(Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), NDSI(Normalized Differenced Snow Index), Himalalce Cap

서 론

북반구는 겨울 동안 지표면의 약 40%가 눈으로 덮여 있으며, 잔설지역은 높은 지표 반사도를 가지기 때문에 지표면으로 입사하는 태양에너지의 대부분을 반사하여, 지구 냉각의 중요한 역할을 하고 있다. 또한, 기후변화에 매우 민감한 눈과 빙하는 최근 이슈화되고 있는 지구온난화 영향의 중요한 지시자이기도 하다(Gupta 등, 2005). 히말라야 산맥의 많은 지역은 겨울 동안 눈과 빙하로 덮여있으며, 고산지대에 존재하고 있는 빙하는 많은 양의 담수를 냉동저장하고 있다. 히말라야 지역에 분포하는 눈과 빙하는 기온이 높은 여름 동안 용해하여, 인더스강과 갠지스 강의 수원이 되며, 지역 생태계 및 히말라야 산맥과 닿아있는 인도, 네팔 등의 나라에 주요 식수원으로 사용되고 있다. 그러므로 히말라야 잔설지역의 시·공간적 분포의 정확한 파악은 기후 분야 뿐 아니라 수문학 관련 연구에도 중요한 변수로 사용되고 있으며, 잔설지역 넓이는 눈사태에 관련된 연구에도 사용되고 있다(Kulkarni 등, 2006).

히말라야 산맥은 인도대륙과 아시아 대륙의 충돌로 생성되었으며, 인도대륙과 중국 티베트 고원 사이에 형성된 대습곡 산맥이다. 세계의 지붕으로 불리며, 에베레스트, K2등 7,000m 이상의 고봉을 100개 이상 포함하고 있다. 북서쪽에서 남동 방향으로 활모양의 산맥이 뻗어 있으며, 총길이 2,400㎞, 전체면적 594,420㎢으로 한반도 넓이의 약 3배에 이르며, 인도, 네팔, 중국, 파키스탄, 부탄, 아프가니스탄등 6개국에 접해있다.

그 동안 다양한 연구에서 가시영역과 근적외 영역에서 눈의 광학특성을 이용한 NDSI(Normalized Difference Snow Index)를 사용하여 잔설영역을 탐지하여 왔다(Tait 등, 2001; Rutger와 Steven, 2004; Salonmonson와 Appel, 2004; Gupta 등, 2005; Kulkarni 등, 2006). NDSI는 가시채널과 단파적외 채널의 합과 차를 이용하여 정규화 한 것으로 SPOT/VEGETATION, Landsat-7/ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus), Terra·Aqua/MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), RESOURCESAT-1/AWiFS (Advanced WiFS) 등 여러 가지 위성센서 자료를 사용하여 연구되었다(Choi와 Bindschadler, 2004; Salomonson와 Appel, 2004; Kulkarni 등, 2006). 본 연구에서도 그동안 여러 연구에서 입증된 NDSI를 이용하여 히말라야 산맥내의 잔설영역을 탐지하고 변화를 관측하였으며, 여름 기간 내의 잔설을 1년 내내 녹지 않는 만년설로 간주하여, 히말라야 만년설에 온난화영향으로 인한 변화를 정량적으로 검증하였다.

연구 범위 및 자료

지구온난화에 따른 전 세계적인 이상 기후의 영향이 빙하와도 연관성이 있을 것이라는 가설을 바탕으로 남북극을 제외하고 가장 많은 빙하가 존재하고 있는 히말라야 지역의 만년설을 탐지하였다. 그림 1은 연구지역인 히말라야산맥을 나타낸 것으로, 위쪽의 그림에는 인접국가들이 표시되어 있으며, 아래 그림은

히말라야산맥의 고도를 입체적으로 표현하였다. 연구영역은 전체 히말라야 산맥 중에 서북쪽의 산맥으로 북위 30°~42.5°, 동경 67.5°~85° 이다.

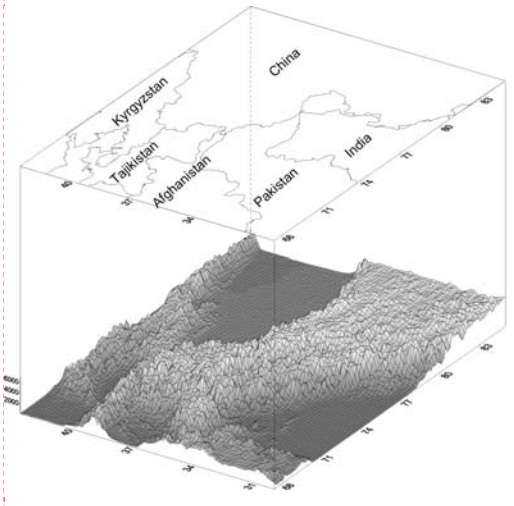

FIGURE 1. The elevation map over study area in Himalaya.

MODIS 센서는 EOS(Earth Observing System) 프로그램의 일환으로 발사된 Terra와 Aqua위성에 탑재되었으며, 총 36개 밴드로 육지, 해양, 대기에 관련된 다양한 산출물을 웹이나 ftp를 통해 배포하고 있으며(박정술 등, 2006), 지표면 온도나 식생정보, 해수면 부유물등 다양한 연구에서 사용되고 있다(이나경 등, 2003; 이창석 등, 2007; 염종민 등, 2008). 본 연구에서는 NDSI를 산출하기 위한 위성자료로 Terra/MODIS 센서의 MOD02 1KM (MODIS Level 1B Calibrated Radiances) 해상도 1㎞ 반사도 자료를 사용했으며, 구름 제거를 위해 MOD35 L2 (MODIS Level 2 Cloud Mask and Spectral Test Results)를 사용하였다. 분석을 위한 보조 자료로 USGS (US Geological Survey)의 히말라야 영역 해상도 1㎞ DEM (Digital Elevation Model)과 NCEP(The National Centers for Environmental Prediction) /NCAR (National Center for Atmospheric Research) 기온 재분석 자료를 사용하였다(표 1). 기온 재분석 자료를 제외하고 모든 자료들은 1㎞의 공간 해상력을 가지고 있다. 이런 해상력의 자료를 사용하는 이유는 연구영역인 히말라야 산맥의 넓이가 광대하기 때문이다. 좀 더 고해상도인 m단위의 자료를 사용하게 되면 자료의 취득·보관 및 분석에 상당한 어려움이 예상되며, 1㎞ 해상력으로도 충분히 파악이 가능하다고 사료되었으며, Salomonson 와 Appel(2004)의 연구에서도 같은 해상력의 자료로써 잔설을 탐지하였다. NCEP/NCAR 재분석 자료는 미국의 국립 기상센터와 국립 대기 연구 센터에서 공동으로 수행하는 연구사업으로, 1948년부터 현재까지 라디오존데, 위성, 지상관측등에서 관측한 다양한 자료 등을 동기화 하여 기후에 관련된 기온, 강수량, 기압, 바람장등 여러 인자들을 전 지구적인 규모로 재분석하여 산출하고 있으며(Kalnay 등, 1996), NCEP/NCAR 재분석 자료는 다양한 연구에서 모델의 입력자료 또는 분석자료로 사용되고 있다(Brooks 등, 2007; Dash 와 Ignatov, 2008).

자료의 기간은 2001년부터 2007년까지 사이에 2001년, 2003년, 2006년, 2007년 가운데 9월, 10월, 11월을 대상으로 하였으며, 9월부터 11월까지 자료를 선정한 이유는 9월이 겨울동

TABLE 1. Used data set in this study

	Data
Main data	MODIS L1B (Band 4, 6)
	MODIS MOD03 (Geolocation)
Auxiliary data	DEM data over Himalaya area
	NCEP/NCAR reanalysis data (Temperature)

안 쌓여있던 눈의 용해가 끝나는 시점이며, 11월은 적설이 시작되는 시점이기 때문이다. 사용된 위성자료의 시간 간격은 1일이며, 기간 내 모든 자료를 처리하지 않고 4년만의 자료를 처리한 것은 다년간 변화양상의 파악보다 최신의 변화양상을 파악하고자 한 것이다.

자료 처리

잔설탐지에서 가장 문제가 되는 것은 구름과 눈의 구별이다. 본 연구에서는 구름제거를 위해 1차적으로 MODIS L2 Cloud Mask and Spectral Test Results 산출물을 사용하였다. 하지만 MODIS L2 Cloud Mask and Spectral Test Results는 전 지구를 대상으로 일괄적으로 처리 후 구름 영역을 산출하였기 때문에, 지역적인 특성이 제대로 반영되지 않아 일부 지역에 대한 구름 탐지가 제대로 되지 않는 경우가 많았다. 그림 2(b)에서는 2001년 9월 1일의 MODIS 영상에서 MODIS cloud product (MOD35)를 이용하여 눈과 구름을 분리하여 표시하였으며, 검은색은 구름, 하얀색은 눈, 그리고 회색은 눈도 구름도 아닌 지표의 화소를 나타낸다. RGB 영상인 그림 2(a)와 비교 했을 때, MOD35를 사용한 경우, 구름이 아닌 화소까지 구름으로 표시되는 것을 볼 수 있다. 이러한 부정확한 구름 탐지는 잘못된 결과를 이끌어 낼 수 있기 때문에 본 연구에서는 따로 구름 탐지를 하기로 하였다.

일반적으로 구름을 탐지하는 방법은 기본적으로 경계값 알고리즘(Saunders 와 Kriebel, 1988; Choi 와 Bindschadler, 2004), 클러스터링 알고리즘(Han 와 Kim, 2004), 그리고 신경망분류법(Simpson 등, 2005) 등으로 나눌 수 있다. 주로 활용되는 방법은 위성 각 채널에서 구름의 반사도 특성에 관련된 채널의 관측값에서 경계를 설정하여 구분하는 것이다. 구름이 존재하지 않는 청천영역의 화소에서 관측된 채널값과 구름영역의 화소에서 관측된 채

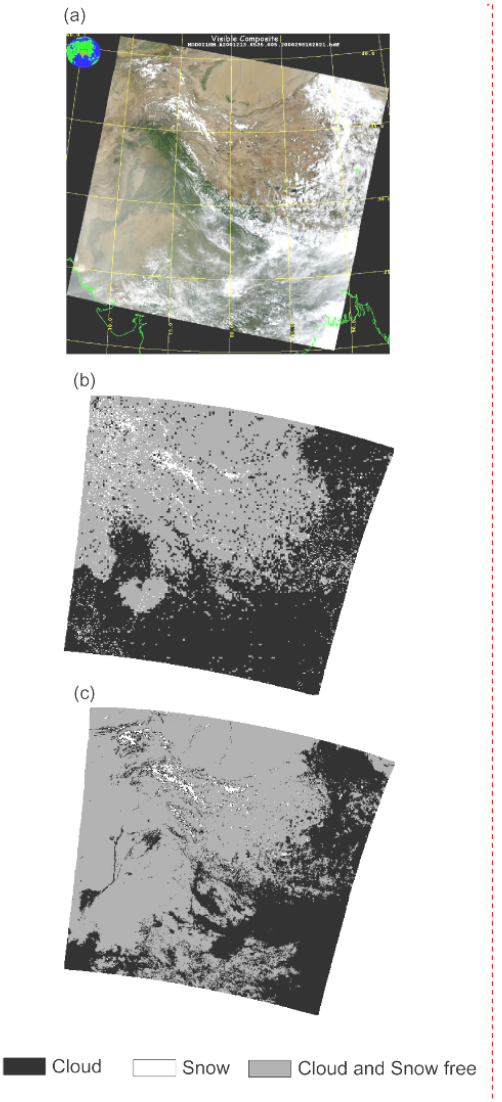

FIGURE 2. Cloud-snow discrimination abilities (The comparison was performed for same image at 1 September 2001): (a) MODIS real color image; (b) MODIS cloud product; (c) this study

널값을 비교후 경계값을 설정하여 구름의 존재유무를 판단하는 방법이다. 일반적으로 구름의 탐지에 가시영역 (Visible, 0.4-0.7㎛)과 근적외영역 (Near-infrared, 0.7-1.4㎛)의 관측값을 이용하지만, 눈과 구름은 가시영역과 근적

외 영역에서 비슷한 반사도 특성을 가지고 있어 정확한 구별이 어렵다. 눈은 단파적외(SWIR, Short Wave Infrared) 영역(1-4㎛) 에서 반사도가 감소하는 반면, 구름은 단파적외 영역에서 무차별 산란에 의해서 높은 반사도를 가진다(Warren 와 Wiscombe, 1980; Hall 등, 1995; Nolin 와 Liang, 2000). NDSI는 눈과 구름의 가시영역과 단파적외영역에서 차이를 이용해서 구분을 하게 된다. NDSI는 눈과 구름의 구별의 용이성뿐 아니라 대기의 영향과 시야각에 따른 기하학적 영향을 감소시킬 수 있는 장점이 있다(Salomonson 와 Appel, 2004).

본 연구에서는 육안으로 확연히 구분이 가능한 눈과 구름 화소를 선정하여, 선정한 화소 NDSI값을 비교하여 경계값을 설정하였으며, 경계값 이상은 눈, 경계값 이하는 구름으로 판단하였다. NDSI수치는 눈과 구름의 반사도를 이용하여 산출하게 되는데, 위성 천정각, 태양 천정각, 산의 사면 각도에 영향을 받으므로 연구영역과 위성의 궤도특성에 따라 경계값이 달라진다. 그림 2(c)는 그림 2(b)와 동일영상에서 NDSI값의 차이를 이용한 경계값으로 구름과 눈을 분류한 영상이다. 역시 검은색으로 표시된 것은 구름화소이며, 하얀색은 눈 화소, 회색은 눈도 구름도 아닌 지표의 화소이다. 그림 2(a)의 RGB영상과 비교하여 보았을때 좀 더 정확한 구름 탐지를 보이고 있었다.

본 연구는 히말라야의 일반적인 잔설지역의 탐지가 아닌 1년 이상 녹지 않는 만년설의 탐지이므로, 일정고도 이하의 눈은 잔설이라 판단하기 부적합하다 생각되어 일정고도 이하의 눈을 배제할 필요성이 있었다. 따라서 USGS에서 제공하는 공간해상도 1㎞의 DEM자료를 사용하여, 고도 3,000m 이상의 지역만을 추출하여 이 지역의 잔설의 변화를 탐지하였다. 특히 고도 3,000m 이상 4,000m 이하인 지역에서는 잔설의 변화가 크다 판단되어 100m 단위로 나누어 분석하였다(그림 3).

NDSI는 가시채널 영역(0.5-0.7㎛)과 단파적외 영역(1-4㎛)의 차이를 가시채널과 단파적외 영역의 합으로 나누어 산출하게 된다. NDSI 산출식은 아래 식(1)과 같다(Doizer, 1989).

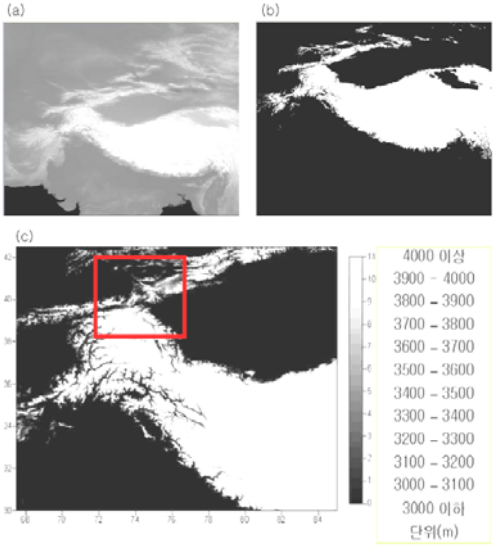

FIGURE 3. Distribution of DEM over Himalaya (a – Elevation value around Himalaya; b – Extracted area over 3,000m; c – Classification of elevation in range from 3,000m to 4,000m. Red square box is area with large variation about NDSI)

$$NDSI = \frac{\rho_{VIS} - \rho_{MIR}}{\rho_{VIS} + \rho_{MIR}} \quad (1)$$

이 식의 입력 자료들은 MODIS 가시채널 Band 4(0.555㎛) 단파적외 채널 Band 6 (1.640㎛)에 해당하며, 아래 식(2)과 같이 적용된다.

$$NDSI = \frac{MODIS(Band4) - MODIS(Band6)}{MODIS(Band4) + MODIS(Band6)} \quad (2)$$

위의 식(2)를 사용하여 NDSI를 산출하고, RGB 영상에서 기준이 될 눈과 구름 화소를 선정한다. 선정된 화소의 NDSI 값의 비교를 통해 경계값을 설정하여 히말라야 잔설 지역을 추출하였다. 산출된 NDSI값은 월별로 평균

값을 계산하여 분석에 사용하였다.

NDSI를 산출하기 위해서 DN(Digital Number) 값을 반사도 값으로 변환하여야 한다. 반사도 값으로 변환과정은 아래 식(3)과 같으며, 항목들은 MOD02 1㎞ 반사도 자료와 함께 제공된다.

$$E_i = scal \times (E_i' - offset) \quad (3)$$

E_i : 반사도 값, E_i' : *Digital Nmber*, $scal$: *Band*별 보정계수, $offset$: 상쇄값

실제 위성에서 복사휘도 값을 관측할 경우에 단일 파장에서의 값을 측정하기 어려우므로, 일정한 폭을 가지는 파장대에서 관측하게 된다. 따라서 관측된 복사값을 이용하여 휘도온도를 산출할 경우에도 이와 같은 파장대에서 평균된 이론적인 복사값을 이용해야 한다. 파장평균된 복사값의 산출을 위해서 센서의 가중함수를 알아야 하고, 이 가중함수와 각 파장에서 계산된 복사값을 가중 평균하면, 각 채널의 복사값을 산출할 수 있다.

결과 및 분석

본 연구에서는 2001년, 2003년, 2006년 그리고 2007년의 9월, 10월, 11월의 잔설을 모니터링 하였다. 하지만, 11월의 경우 2007년 11월 10일까지의 자료만을 획득하여 비교가 부적합하여 2007년을 제외하고 2001년, 2003년, 그리고 2006년을 비교하였다. 10월 달에 NDSI 수치가 크게 줄어드는 경향을 보이고(그림 4), 2003년의 NDSI가 다른 어느 해보다 낮으며, 잔설지역으로 판명된 화소의 숫자도 06년에 비해 크게 감소하였다. 이것은 보통 해가 갈수록 잔설지역이 감소한다는 가설과 다른 결과였다. 이 감소 원인을 분석하기 위해서 NCEP/NCAR 기온 재분석 자료를 사용하였다. 연도별 NDSI 수치의 변화(그림 4)가 기온 재분석 자료(그림 5)와 유사한 패턴을 보이고 있었다. 대체적으로 9월에서 11월로 갈수록 기온이 하강하며, NDSI 수치는 높아지는 경향을 보이고 있다. 2001년에 비해 2007년이 기온이 높고 NDSI 값은 낮은 것을 보이고 있다. 이것은 기온이 잔설지역의 영향을 주고 있다는 것으로 사료된다. 하지만 2개의 그래프의 증감이 완전히 일치하지 못하고 있는데 이것은 잔설에 기온외에 강수량, 지표온도, 고도 등 다른 인자가 관여하고 있기 때문이다. 그리고 NCEP/NCAR 재분석 자료는 주요자료로 사용한 MODIS 반사도 자료나 USGS의 DEM 자료 등이 1㎞ 해상도를 가지고 있는 것에 비해, 위·경도 2.5°의 해상도를 가지고 있어 세밀한 분석을 하기에는 어려움이 있다.

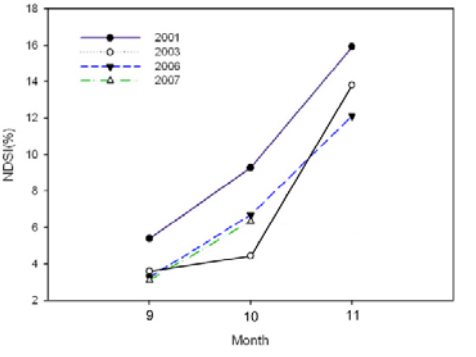

FIGURE 4. Monthly variation of NDSI according to year over icecap area

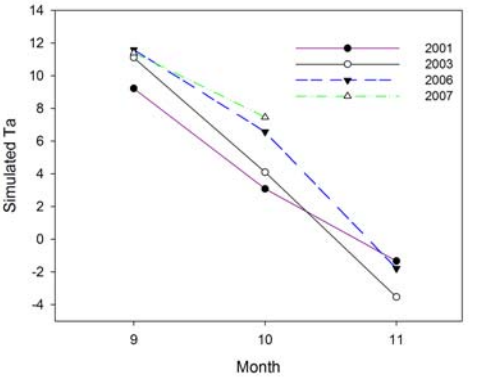

FIGURE 5. Monthly variation of air temperature (NCEP/NCAR) according to year over icecap area

본 연구에서는 눈이 녹기 시작해서 잔설이 시작되기 전 기간 동안 히말라야 산맥의 눈을 감지하여 연중 녹지 않는 만년설을 감지하였다. 2001년 히말라야 지역의 잔설량에 비해 2007년 히말라야 지역의 잔설량이 감소하는 추세를 보였다. 이는 연구 초기의 지구온난화에 따른 잔설량이 감소하였을 것이란 예상과 동일한 결과를 보였다. 줄어든 양을 1km 해상도의 픽셀에 해당하는 값으로 환산하여 면적으로 계산해 보면 잔설 지역이 2001년에서 2007년사이에 감소량은 9월은 71,481㎢, 10월은 92,760㎢, 11월은 6년간 333,916㎢ 감소하였다(표 2). 눈이 오지 않는 여름과 가을기간중 적설이 시작되기 전인 11월의 감소가 가장 컸으며, 2001년과 2003년간의 11월 감소량에 비해 약 5배 정도 감소량을 보이고 있다.

특히 38°N~42°N, 73°E~77°E지역(그림 3(c) 사각형)에서 잔설량은 다른 지역에 비해 변화량이 컸으며, 화소의 대부분이 해발고도 3,000m에서 4,000m 사이에 분포하고 있었다. 이 지역의 고도별 특성을 알아보기 위해 100m 단위로 나누어 고도별 잔설량의 변화를 탐지해 보았다. 전체적으로 감소하고 있다는 일반적인 경향 외에 특별한 감소 패턴이나, 특정고도에서의 특정적인 변화도 감지되지 않았다.

결 론

본 연구는 지구온난화가 진행됨에 따라 전 세계적으로 발생한 이상 기후 현상이 빙하와도 연관성이 있을 것이라 추정하고 남북극 대륙의 빙하를 제외한 가장 많은 빙하가 존재하는 히말라야 산맥의 고지대를 중심으로 잔설을 탐지하였다.

분석 결과, 2001년 히말라야의 잔설량에 비해 2007년 히말라야의 잔설량이 상당히 줄어든 것으로 보였다. 이는 연구 초기의 지구온난화에 따른 잔설량이 감소하였을 것이란 예상과 동일한 결과이다. 잔설량의 감소를 NDSI 값을 이용하여 정량적으로 살펴본 결과, 2007년의 잔설지역은 2001년에 비해서 9월은 71,481㎢, 10월은 92,760㎢, 11월은 6년간 333,916㎢ 감소하였다. 여름과 가을기간의 잔설을 탐지함으로써, 여름과 가을내내 녹지 않는 잔설역을 만년설로 정의 하여 만년설 면적의 변화를 탐지 하였다. 최종적으로 11월에 관측된 잔설역이 만년설 영역이라고 할 수 있는데 2007년과 2001년 사이의 만년설 감소량(333,916㎢)은 2003년과 2001년 사이의 감소량(66,022㎢)의 약 5배에 달하며 지구온난화에 대해 영향으로 만년설의 감소가 가속화 되고 있다고 사료된다. 본 연구에서는 그동안 막연히 알고 있던 만년설에 대한 지구 온난화에 대한 영향을 정량적으로 분석하였으며 만년설의 감소가 점차 심화되고 있음을 알 수 있었다. 잔설량의 변화를 탐지하는데 있어 기온 및 강수 자료를 활용하여 눈과 기온 그리고 강수 사이의 영향을 파악하고 변화가 일어난 원인에 대한 세밀한 분석이 필요하다. 보조자료로서 NCEP/NCAR 기온 재분석 자료를 이용하였지만, 자료의 해상력이 위도 2.5°, 경도 2.5°로 조약하여 기온과 잔설에 대한 세세한 분석에 무리가 있었다. 향후 연구에서는 좀 더 높은 해상력의 자료를 이용하여 분석하여야 할

TABLE 2. Annual fluctuation of snow cover area according to month (단위 : ㎢)

Month \ Period	2001-2003	2003-2006	2006-2007	2001-2007
9	56,196 (-)	10,550 (-)	4,735 (-)	71,481 (-)
10	152,713 (-)	73,916 (+)	13,963 (-)	92,760 (-)
11	66,022 (-)	53,988 (-)	213,609 (-)	333,619 (-)

'+' means decrease of snow cover area and '-' means increase of snow cover area

것이다. 그리고 기온자료 외에 강수와 지표온도 등 다양한 자료를 사용하여 좀 더 세밀한 분석이 필요한 것으로 사료된다.

또한 이러한 자료들을 바탕으로 히말라야 지역 잔설의 변화에 따른 전 세계적인 기온 및 강수의 관계를 통해 앞으로의 기후의 변화에 대해 예상하고 대처하는데 활용할 수 있을 것이라 예상된다. 실제로 기후 변화는 수십 년에 걸쳐 일어나기 때문에 장기적인 관측 필요하다. 본 연구는 2001년, 2003년, 2006년, 2007년의 9월에서 11월까지 4년간의 위성 자료만을 다루었기 때문에 장기적인 변화를 관측하는데 한계가 있었다. 향후 좀 더 장기간의 자료를 통하여 기후변화의 전체적인 흐름을 파악하고, 신뢰도를 향상시키는 연구가 수행되어야 할 것으로 사료된다. KAGIS

참고 문헌

박정술, 김경탁, 이진희, 이규성. 2006. 봄 가뭄 평가를 위한 다중시기 MODIS 영상의 적용성 분석. 한국지리정보학회지 9(4):176-192.

염종민, 한경수, 이창석, 박윤영, 김영섭. 2008. SPOT/VEGETATION NDVI 자료를 이용한 북한지역 식생 변화 탐지. 한국지리정보학회지 11(2):28-37.

이나경, 서영상, 김영섭. 2003. 위성원격탐사에 의한 동중국해 재부상 부유사의 계절적 수평분포 특성. 한국지리정보학회지 6(3):151-161.

이창석, 한경수, 염종민, 송봉근, 김영섭. 2007. MODIS 지표면온도 자료를 이용한 기상관측소의 열적 공간 대표성 조사. 한국지리정보학회지 10(3):123-133.

Brooks, Harold E., Aaron R. Anderson, Kathrin Riemann, Irina Ebbers and Heather Flachs. 2007. Climatological aspects of convective parameters from NCAR/NCEP reanalysis. Atmospheric Research 83(4):294-305.

Choi, Hyeungu and Robert Bindschadler. 2004. Cloud detection in Landsat imagery of ice sheets using shadow matching technique and automatic normalized difference snow index threshold value decision. Remote Sensing of Environment 91:237-242.

Dash, Prasanjit and Alexander Ingatov. 2008. Validation of clear-sky radiances over oceans simulated with MODTRAN4.2 and global NCEP GDAS fields against nighttime NOAA15-18 and MetOp-A AVHRR data. Remote Sensing of Environment 112(6): 3012-3029.

Dozier, J. 1989. Spectral signature of Alpine snow cover from the Landsat Thematic Mapper. Remote Sensing of Environment 28: 9-22.

Hall, D. K., G. A. Riggs and V. V. Salomonson. 1995. Development of methods for mapping global snow cover using moderate resolution imaging Spectroradiometer data. Remote Sensing of Environment 54(2): 127-140.

Kalany, E., M. Kanamitsu, R. Kistler, W. Collins, D. Deaven, L. Gandin, M. Iredell, S. Saha, G. White, J. Woollen, Y. Zhu, A. Leetmaa, R. Reynolds, M. Chelliah, W. Ebisuzaki, W. Higgins, J. Janowiak, K. C. Mo, C. Ropelewski, J. Wang, Roy Jenne and Dennis Joseph. 1996. The NCEP/NCAR 40 year Reanalysis Project. Bulletin of the American Meteorological Society 77(3): 437-471.

Kulkarni, A. V., S. K. Singh, P. Mathur and V. D. Mishra. 2006. Algorithm to monitor snow cover using AWiFS data of RESOURCESAT-1 for the Himalayan region. International Journal of Remote Sensing 27(12):2449-2457.

Kyung-soo Han and Young-seup Kim. 2004. SPOT/VEGETATION-based algorithm for the Discrimination of Cloud and Snow. Korean Journal of Remote Sensing 20(4): 235-244.

Nolin, A. and S. Liang. 2000. Progress in bidirectional reflectance modeling and applications for surface particulate media: Snow and soils. Remote Sensing Reviews 14:307-342.

Rutger Dankers and Steven M. De Jong. 2004. Monitoring snow-cover dynamics in Northern Fennoscandia with SPOT VEGETATION images. International Journal of Remote Sensing 25(15):2933-2949.

Salomonson, V. V. and I. Appel. 2004. Estimating fractional snow cover from MODIS using the normalized difference snow index. Remote Sensing of Environment 89(3):351-360.

Saunders, R. W. and K. T. Kriebel. 1988. An improvement method for detecting clear sky and cloudy radiances from AVHRR data. International Journal of Remote Sensing 9: 123-150.

Simpson, J. J., Yueh Lung (Ben) Tsou, Andrew Schmidt and Andrew Harris. 2005. Analysis of along track scanning radiometer-2 (ATSR-2) data for clouds glint and sea surface temperature using neural networks. Remote Sensing of Environment 98(2):152-181.

Tait, A. B., J. S. Barton and D. K. Hall. 2001. A prototype MODIS-SSM/I snow-mapping algorithm. International Journal of Remote Sensing 22(17):3275-3284.

Warren, S. G. and W. J. Wiscombe. 1980. A model for the spectral albedo of snow, Ⅱ, Snow containing atmospheric aerosols. Journal of Atmospheric Science 37: 2734-2745. KAGIS