

ORIGINAL ARTICLE

## 위성화상을 이용한 고도 1,600 m 이상의 한라산 적설 면적 변화 추적

한경덕 · 윤성욱<sup>1)</sup> · 정용석<sup>1)</sup> · 안진현<sup>2)</sup> · 이승재<sup>3)</sup> · 김윤석<sup>1)</sup> · 민태선<sup>4)\*</sup>

청주교육대학교 실과교육과, <sup>1)</sup>제주대학교 식물자원환경전공, <sup>2)</sup>제주대학교 경영정보학과, <sup>3)</sup>국가농림기상센터,  
<sup>4)</sup>제주대학교 동물생명공학전공

### Tracking Changes of Snow Area Using Satellite Images of Mt.Halla at an Altitude of 1,600 m

Gyung Deok Han, Seong Uk Yoon<sup>1)</sup>, Yong Suk Chung<sup>1)</sup>, Jinhyun Ahn<sup>2)</sup>, Seung-Jae Lee<sup>3)</sup>,  
Yoon Seok Kim<sup>1)</sup>, Taesun Min<sup>4)\*</sup>

Department of Practical Arts Education, Cheongju National University of Education, Cheongju 28708, Korea

<sup>1)</sup>Department of Plant Resources and Environment, Jeju National University, Jeju 63243, Korea

<sup>2)</sup>Department of Management Information Systems & Faculty of Data Science for Sustainable Growth, Jeju National University, Jeju 63243, Korea

<sup>3)</sup>National Center for AgroMeteorology, Seoul 08826, Korea

<sup>4)</sup>Department of Animal Biotechnology, Jeju International Animal Research Center (JIA) & Sustainable Agriculture Research Institute (SARI), Jeju National University, Jeju 63243, Korea

#### Abstract

It is necessary to understand the amount of snowfall and area of snow cover of Mt. Halla to ensure the safety of mountaineers and to protect the ecosystem of Mt. Halla against climate change. However, there are not enough related studies and observation posts for monitoring snow load. Therefore, to supplement the insufficient data, this study proposes an analysis of snow load and snow cover using normalized-difference snow index. Using the images obtained from the Sentinel2 satellite, the normalized-difference snow index image of Mt. Halla could be acquired. This was examined together with the meteorological data obtained from the existing observatory to analyze the change in snow cover for the years 2020 and 2021. The normalized-difference snow index images showed a smaller snow pixel number in 2021 than that in 2020. This study concluded that 2021 may have been warmer than 2020. In the future, it will be necessary to continuously monitor the amount of snow and the snow-covered area of Mt. Halla using the normalized-difference snow index image analysis method.

**Key words** : Image analysis, Remote sensing, Satellite image, Sentinel-2, Snow cover

#### 1. 서 론

한라산은 대한민국의 국립공원 중 하나로, 국립공원

전역이 유네스코 세계유산으로 지정되어 있으며, 다양한 동식물이 서식하고 있는 천연 자원의 보고이다(Lee et al., 2010; Ko et al., 2014). 이러한 천연 자원을 충

Received 20 July, 2022; Revised 12 October, 2022;

Accepted 14 October, 2022

\*Corresponding author : Taesun Min, Department of Animal Biotechnology, Jeju International Animal Research Center (JIA) & Sustainable Agriculture Research Institute (SARI), Jeju National University, Jeju 63243, Korea  
Phone: 82-64-754-8347  
E-mail: tmin@jejunu.ac.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.

© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

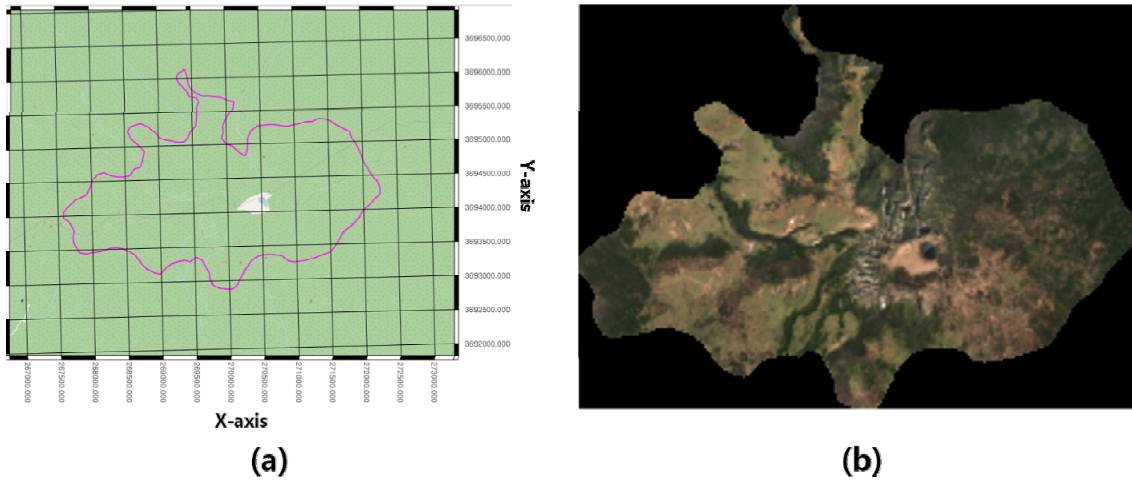


Fig. 1. Study area. (a). the inside of the pink line indicates the region above 1,600 m above sea level. (b). the RGB image of the study area. The map represents by UTM52N (EPSG:32652) coordinate system.

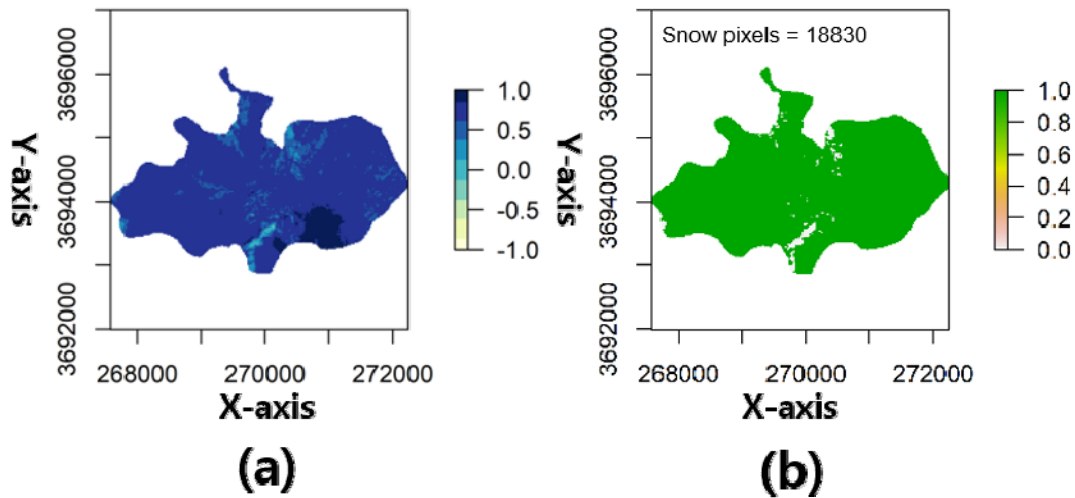


Fig. 2. NDSI image of Hall mountain. (a) is the original NDSI image, and (b) is the snow pixel counting image on 2020.02.02. The map represents by UTM52N (EPSG:32652) coordinate system.

실히 이용할 수 있는 방안 중 하나가 탐방로를 통해 이용하는 것이며, 이에 대한 연구 또한 활발히 이루어지고 있다(Yoo et al., 2007; Kim, 2012). 각 탐방로의 경관 또한 뛰어나 경관자원에 대한 개발도 이루어지고 있다(Im, 2020). 하지만 매년 겨울 적설로 인한 탐방로 등반 통제가 자주 일어나고 있다. 갑작스러운 탐방로 등반 통제를 막고, 적설로 인한 피해를 최소화하기 위해서 지리적 데이터를 통합한 적설 면적에 대한 파악이 요구되고

있다. 또한 최근 온난화로 인한 한라산의 겨울 및 봄철 기후변화가 한라산 생태에 미치는 영향이 크다. 이 변화를 정확히 파악하고 대비하기 위해서 한라산 적설면적의 정확한 관측 및 예측이 필요하다.

하지만 이러한 필요성에도 불구하고, 현재 한라산 적설량 및 적설 면적의 파악을 위한 기상관측소는 부족한 실정이다. 한라산 내에는 9개의 기상관측소가 있지만, 적설량에 대한 관측은 일부관측소에서만 이루어지

**Table 1.** Average, minimum, maximum temperature, and the time of minimum and maximum temperature of each day and total average values between 2020.01.30 to 2020.02.05 at Witse Oreum observation post

Date (Year-month-date)	A.tempa (°C)	Min.temp (°C)	Max.temp (°C)	Min.temp.time (hh:mm)	Max.temp.time (hh:mm)
2020-01-30	-5.7	-7.2	-4.3	23:57	12:12
2020-01-31	-7.2	-10.7	-3.1	23:44	12:52
2020-02-01	-6.5	-10.9	-1.0	01:40	12:28
2020-02-02	-5.2	-8.2	-0.2	00:45	10:58
2020-02-03	-6.0	-8.0	-3.5	05:30	12:49
2020-02-04	-5.8	-9.0	-0.9	08:35	14:26
2020-02-05	-8.5	-11.3	-5.1	19:37	04:25
Average	-6.4	-9.3	-2.6		

<sup>a</sup> A.temp, Min. temp, Max. temp., Min. temp. time, Max. temp. time means that Average temperature, Minimum temperature, Maximum temperature, Minimum temperature time, and Maximum temperature time in a day.

**Table 2.** Average, minimum, maximum temperature, and the time of minimum and maximum temperature of each day and total average values between 2021.01.30 to 2021.02.05 at Witse Oreum observation post

Date (Year-month-date)	A.temp (°C)	Min.temp (°C)	Max.temp (°C)	Min.temp.time (hh:mm)	Max.temp.time (hh:mm)
2021-01-30	-6.2	-11.7	-2.6	01:33	15:22
2021-01-31	-1.6	-6.5	2.0	00:38	21:42
2021-02-01	0.7	-2.9	4.3	22:07	05:17
2021-02-02	-10.1	-12.8	-2.5	19:43	00:05
2021-02-03	-6.5	-11.9	-2.3	06:36	14:17
2021-02-04	-3.3	-8.7	0.1	08:38	14:17
2021-02-05	-1.3	-4.1	1.3	00:22	10:37
Average	-4.0	-8.4	0.0		

<sup>a</sup> A.temp, Min. temp, Max. temp., Min. temp. time, Max. temp. time means that Average temperature, Minimum temperature, Maximum temperature, Minimum temperature time, and Maximum temperature time in a day.

고 있다. 한라산 전체 133 km<sup>2</sup>의 면적을 대표하기에는 관측소의 숫자가 매우 부족하다. 또한 폭설로 인한 고장도 잦아, 관측소를 통한 정보 수집에 한계가 생기기도 한다(Kim, 2018). 이 때문에 현재 한라산의 적설량 조사는 정확하게 이루어지고 있지 않고 있다. 이는, 제주도의 적설관측소가 대부분 해안가 위주로 설치되어 있고, 눈이 많이 오는 한라산 산간지역에는 설치가 되어 있지 않기 때문이다(Lee and Chung, 2018). 한라산의 정확한 적설량 및 적설 면적 조사는 효율적인 탐방로 관리로 등반 금지일을 줄이면서 탐방객의 안전을 확보하는 데 도움을 줄 것이며, 다양한 생물이 살고있는 한라산의 겨울 및 봄철 기후변화 현상을 정확하게 파악하여 대응할 수 있게 할 것이다.

본 연구에서는 부족한 관측소를 통한 적설량 관측을 보완하기 위한 방법으로 인공위성 이미지를 통한 적설 면적 이미지 데이터를 통한 적설량 예측을 제안하고자 한다. 적설 면적 예측에 사용한 정규화 적설 지수(Normalized-Difference Snow Index : NDSI)는 적설 지역을 구름과 구분하기 위해 적외선과 녹색분광의 차를 이용한 것으로 광학센서 위성(sentinel2) 으로부터 확보하였다. 이를 통해 위성영상 기반의 한라산 지역 적설 면적 데이터를 구축하였으며, 지리 데이터와 융합하여 시각화 할 수 있었고 기상 데이터와 비교 분석을 할 수 있었다. 본 연구를 통해, 적설 면적 데이터를 응용하여 부족한 적설량 관측을 보완할 수 있을 뿐 아니라, 위성영상 기반 데이터를 통한 시각화를 통해 한라산 적

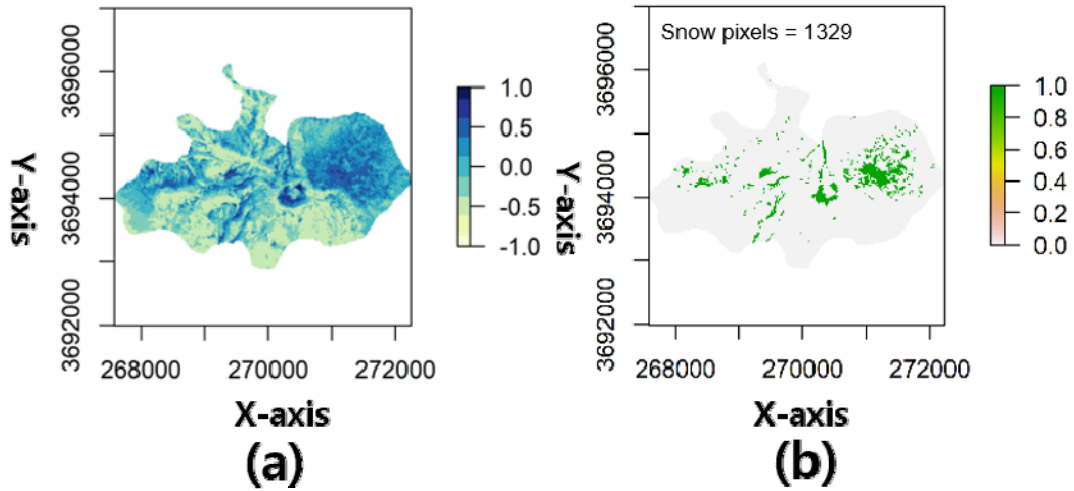


Fig. 3. NDSI image of Hall mountain. (a) is the original NDSI image, and (b) is the snow pixel counting image on 2020.03.08. The map represents by UTM52N (EPSG:32652) coordinate system.

Table 3. Average, minimum, maximum temperature, and the time of minimum and maximum temperature of each day and total average values between 2020.03.05 to 2020.03.11 at Witse Oreum observation post

Date (Year-month-date)	A.temp (°C)	Min.temp (°C)	Max.temp (°C)	Min.temp.time (hh:mm)	Max.temp.time (hh:mm)
2020-03-05	-5.1	-10.7	0.6	00:06	15:52
2020-03-06	-0.2	-7.6	4.9	06:22	14:13
2020-03-07	0.4	-2.7	3.6	01:17	15:11
2020-03-08	5.2	-1.7	11.4	00:56	14:38
2020-03-09	5.3	2.5	8.3	15:05	03:38
2020-03-10	-1.9	-7.3	4.2	23:59	00:01
2020-03-11	-6.6	-9.8	-4.1	19:03	13:32
Average	-0.4	-5.3	4.1		

<sup>a</sup>A.temp, Min. temp, Max. temp., Min. temp. time, Max. temp. time means that Average temperature, Minimum temperature, Maximum temperature, Minimum temperature time, and Maximum temperature time in a day.

설량 및 적설 면적 데이터를 보다 직관적으로 이해할 수 있는 기초자료를 확보할 수 있을 것이다.

## 2. 연구방법

연구대상지는 제주도에 위치한 한라산으로 설정하였다. 본 연구에 쓰인 지도는 UTM-52N (EPSG: 32652) 좌표계를 이용했다. 위성 이미지 정보와 기상 관측 정보의 통합을 위해 구름의 영향을 덜 받는 해발 1,600 m 이상으로 연구지역을 설정했다(Fig. 1). 연구지역의 이미

지 모델은 국가공간정보포털에서 수집한 수치표고모델을 이용했다. 위성 이미지 정보는 Sentinel hub EO browser에서 수집했다. Sentinel2 위성이 2015년 11월부터 제공하고 있는 이미지 중, 2018년 데이터부터 사용하였으며, 기하보정과 방사보정이 모두 되어있는 L2A 데이터를 사용하였다. 밴드3(녹색파장, Green<sub>803</sub>)과 밴드11(단파적외선, SWIR<sub>811</sub>) 이미지를 이용하여 NDSI를 파악하였다. 식(1)을 이용해 R프로그램 내에서 레스터 이미지와 해발 1,600 m 이상 지역 shape file을 입력해 연구지역의 한라산에서 눈이 있는 지역의

**Table 4.** Average, minimum, maximum temperature, and the time of minimum and maximum temperature of each day and total average values between 2021.03.05 to 2021.03.11 at Witse Oreum observation post

Date (Year-month-date)	A.temp (°C)	Min.temp (°C)	Max.temp (°C)	Min.temp.time (hh:mm)	Max.temp.time (hh:mm)
2021-03-05	3.8	0.8	8.5	08:14	14:49
2021-03-06	2.5	0.4	7.2	17:26	13:10
2021-03-07	0.9	-1.8	4.0	05:05	17:20
2021-03-08	1.6	-1.8	7.1	03:35	14:30
2021-03-09	1.1	-2.6	6.7	06:36	15:14
2021-03-10	3.6	-2.0	8.4	04:53	11:56
2021-03-11	4.1	2.4	7.2	05:54	10:54
Average	2.5	-0.7	7.0		

<sup>a</sup> A.temp, Min. temp, Max. temp., Min. temp. time, Max. temp. time means that Average temperature, Minimum temperature, Maximum temperature, Minimum temperature time, and Maximum temperature time in a day.

**Table 5.** Average, minimum, maximum temperature, and the time of minimum and maximum temperature of each day and total average values between 2021.02.13 to 2021.02.19 at Witse Oreum observation post

Date (Year-month-date)	A.temp (°C)	Min.temp (°C)	Max.temp (°C)	Min.temp.time (hh:mm)	Max.temp.time (hh:mm)
2021-02-13	3.3	1.1	6.6	19:58	16:35
2021-02-14	3.9	1.9	5.6	23:48	13:41
2021-02-15	-5.1	-11.3	2.0	21:21	00:12
2021-02-16	-8.3	-11.4	-5.4	04:56	19:11
2021-02-17	-13.5	-15.3	-10.9	21:08	00:01
2021-02-18	-11.5	-14.7	-10.1	00:02	21:26
2021-02-19	-4.0	-11.5	0.0	02:16	13:12
Average	-5.0	-8.7	-1.7		

<sup>a</sup> A.temp, Min. temp, Max. temp., Min. temp. time, Max. temp. time means that Average temperature, Minimum temperature, Maximum temperature, Minimum temperature time, and Maximum temperature time in a day.

이미지를 표시했다.

$$NDSI = \frac{Green_{803} - SWIR_{811}}{Green_{803} + SWIR_{811}} \quad (1)$$

Sentinel hub EO browser에서는 일반적으로 NDSI가 0.42를 초과할때 눈이 있는 지역이라고 판단한다. 이 연구에서도 이와 동일한 기준을 이용하여 한라산의 눈 면적을 파악했다. 평균기온, 최고기온, 최저기온 및 각 기온 시간 데이터는 기상청에서 제공하는 위성오름 방제기상관측자료(해발고도 1,676 m)를 이용했다. 방제기상관측 자료는 비교할 날짜의 레스터 이미지를 기준으로(2020년 2월 2일, 2020년 3월 8일, 2021

년 2월 16일, 2020년 3월 18일 데이터) 일주일의 기상관측자료를 이용했으며, 각 데이터의 평균기온, 최고기온, 최저기온 평균값을 산출하여 비교분석하였다. 구름으로 인해 대응되는 날짜의 이미지 분석이 불가능했으므로, 날짜 차이가 가장 적은 날의 한라산 위성 이미지를 선택하여 분석하였다.

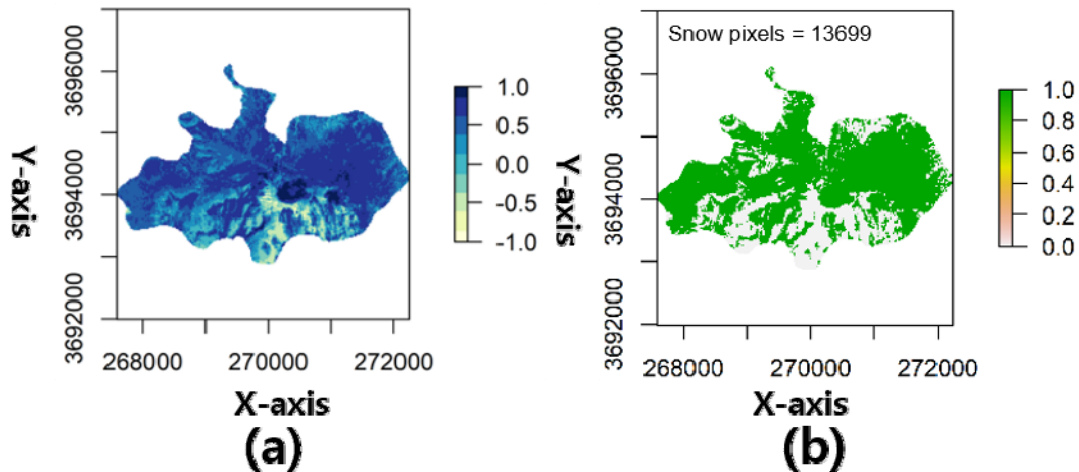
### 3. 결과 및 고찰

한라산에서 해발 1,600 m 이상 지역을 NDSI 분석 결과를 덧씌운 이미지와 NDSI 값이 0.42를 초과하여 적설 지역으로 나타난 이미지를 Fig. 2-5 에서 확인할 수 있다. 2020년 2월 2일 이미지 데이터에서 한라산에

**Table 6.** Average, minimum, maximum temperature, and the time of minimum and maximum temperature of each day and total average values between 2020.02.13 to 2020.02.19 at Witse Oreum observation post

Date (Year-month-date)	A.temp (°C)	Min.temp (°C)	Max.temp (°C)	Min.temp.time (hh:mm)	Max.temp.time (hh:mm)
2020-02-13	4.1	0.8	6.5	00:01	21:46
2020-02-14	6.5	3.0	9.4	06:03	17:28
2020-02-15	6.2	5.0	8.1	05:15	01:04
2020-02-16	-6.8	-10.7	6.5	18:22	01:03
2020-02-17	-11.6	-12.9	-9.9	21:17	00:11
2020-02-18	-8.9	-12.1	-6.4	00:01	12:51
2020-02-19	-3.6	-9.7	1.3	02:54	12:34
Average	-2.0	-5.2	2.2		

<sup>a</sup> A.temp, Min. temp, Max. temp., Min. temp. time, Max. temp. time means that Average temperature, Minimum temperature, Maximum temperature, Minimum temperature time, and Maximum temperature time in a day.

**Fig. 4.** NDSI image of Hall mountain. (a) is the original NDSI image, and (b) is the snow pixel counting image on 2021.02.16. The map represents by UTM52N (EPSG:32652) coordinate system.

서 1,600 m 이상 지역 거의 대부분이 눈에 덮여 있는 것을 확인할 수 있다(Fig. 1). 2020년 2월 2일의 평균 기온은  $-5.2^{\circ}\text{C}$ 로 영하이며, 이 전 3일간도 지속적으로 영하의 기온을 나타낸 것을 확인할 수 있다.

또한 일일 최고기온 또한 영하를 유지하는 것을 확인하는 것이 가능하다(Table 1). 2021년 2월 2일의 기상 데이터도 확인 해 볼 수 있는데, 해당일은 평균기온이  $-10.1^{\circ}\text{C}$ 로 더 낮은 것을 확인할 수 있었으나, 전날인 2021년 2월 1일의 평균기온이 영상이었음을 확인할 수 있다. 또한 이후의 기온도 2020년보다 높아 7일 평균기온이 2020년에는  $-6.4^{\circ}\text{C}$ 인 것에 비해 2021년에는

$-4.0^{\circ}\text{C}$ 로 높은 것을 알 수 있다. 또한 하루 중 최고기온의 경우 2020년에는 모두 영하권을 유지하였으나, 2021년에는 일주일 중 4일이 영상인 것을 확인할 수 있다(Table 2). 하루 중 최저기온이 나타난 시각의 경우, 2020년에는 일주일 중 4일이 당일과 전일 24시를 기준으로 전후해서 나타나는 것을 확인할 수 있으나, 2021년에는 최저기온이 새벽에 나타나고 있다. 이러한 변동은 최고기온이 나타난 시각에서도 나타났다. 2020년에는 일주일 중 4일이 하루 중 최고기온이 12시를 전후하여 나타나고 있으나, 2021년에는 상당히 다른 패턴을 보이고 있다. 일반적으로 최고기온은 정오를 전후해 나타



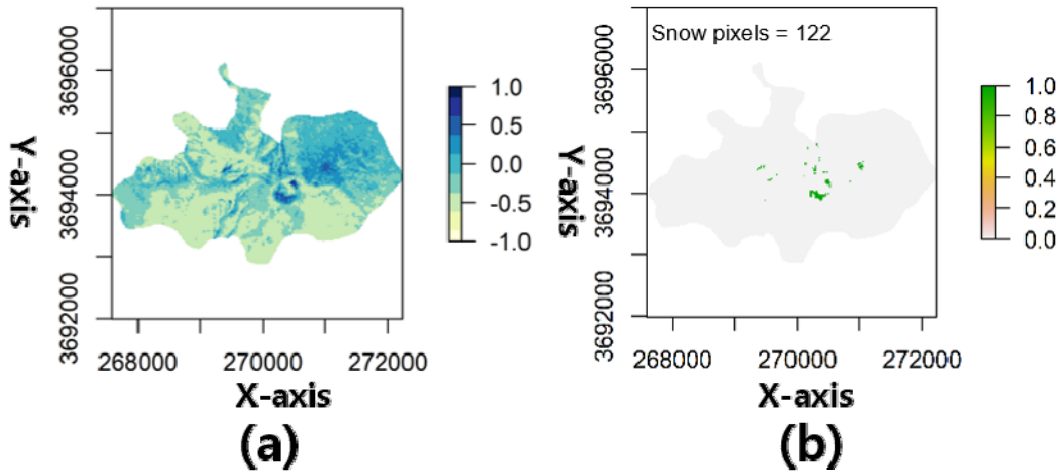


Fig. 5. NDSI image of Hall mountain. (a) is the original NDSI image, and (b) is the snow pixel counting image on 2021.03.18. The map represents by UTM52N (EPSG:32652) coordinate system.

나고 최저기온은 새벽에 나타나는 것으로 알려져 있으나, 2021년에는 상당한 변동성을 보인다(Table 1, 2).

2020년 3월 8일의 NDSI 이미지를 확인해 보면, 적설 면적이 상당히 감소한 것을 확인할 수 있다. 2020년 2월 2일에서는 적설 면적 pixel이 18,830으로 나타났으나, 2020년 3월 8일에는 1,329로 10%보다 적은 면적에 눈이 남아있는 것을 볼 수 있다(Fig.2). 2020년 3월 8일에는 평균기온이 영상 5.2°C를 나타내고 있으며, 최고기온은 11.4°C에 달하여 남아있는 눈이 거의 녹은 것으로 보인다. 같은 날짜의 2021년을 비교해 보면 마찬가지로 평균기온이 영상을 나타내고 있으나, 2021년 3월 8일은 1.6°C로 2020년 해당 날짜보다 낮게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 하지만, 일주일간의 평균기온을 비교해 보면, 2021년이 2020년보다 2.9°C 높은 기온을 보이고 있고, 최저기온 및 최고기온에서도 2021년에 더 높은 기온을 보이고 있다. 최저기온시간과 최고기온시간은 동 기간 2020년과 2021년 모두에서 높은 변동성을 보이고 있다(Table 3,4).

2021년 2월 16일의 NDSI 분석 이미지를 확인해보면, 적설 면적을 나타내는 pixel이 13,699로 나타난 것을 확인할 수 있다(Fig.4). 2020년 2월 2일의 적설 pixel이 18,830인 것과 비교하였을 때, 72.75%에 달하는 수치이다. 이는 관측 날짜 자체가 2주 지연되어 나타난 차이일 수 있으며, 온난화에 의한 차이가 합쳐져 있을 수도 있다. 마찬가지로 평균기온은 -6.8°C로 영하이지만, 일주일 중 2일이 영상의 기온을 나타내어 눈이

녹아 적설면적이 많이 줄어들 수 있었음을 유추하게 한다(Table 5). 같은 기간 2020년의 기상 데이터와 비교해보면, 2020년이 2021년보다 더 온난했음을 나타내고 있다. 일주일 평균기온도 2020년이 2021년에 비해 3°C 높게 나타나고 있고 최고기온은 2021년은 영하인데 비해 2020년은 영상으로 나타나고 있다(Table 5,6). 앞선 두 데이터와는 다르게 2020년이 2021년보다 온난한 데이터를 보이고 있다.

2021년 3월 18일의 NDSI 이미지는 2020년에 비해 적설 면적이 더 작게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 2020년 3월 8일에 확인한 적설 면적의 pixel이 1,329로 나타난 것에 비해 2021년 3월 18일에는 적설 pixel이 122로 나타나, 2020년 3월 8일 대비 10%에도 미치지 못하였다(Fig. 5). 이 역시, 동일 날짜가 아니므로 직접 비교는 불가능하지만, 날짜 지연에 따른 눈 감소 효과와 온난화에 의한 적설 면적 감소가 합쳐져 있을 것으로 예상된다. 2021년 3월 18일의 기상 데이터를 확인해보면, 평균기온은 6.4°C로 영상 기온을 나타내고 있고, 일주일간 데이터를 확인해 보아도 하루를 제외하고 계속 영상 기온을 유지하고 있음을 볼 수 있다. 하지만, 2020년 해당일을 기준으로 한 데이터를 보면, 일주일 중 3일은 영하의 데이터를 나타내고 있으며 2021년 일주일 평균기온이 5.2°C인데 비해 2020년은 1.1°C로 낮게 나타났다. 이는 최저기온, 최고기온에도 마찬가지로 나타나는 현상이다. 최고기온시간에서 2020년에는 대체로 정오를 기준해 최고기온이 나타나지만,

**Table 7.** Average, minimum, maximum temperature, and the time of minimum and maximum temperature of each day and total average values between 2021.03.15 to 2021.03.21 at Witse Oreum observation post

Date (Year-month-date)	A.temp (°C)	Min.temp (°C)	Max.temp (°C)	Min.temp.time (hh:mm)	Max.temp.time (hh:mm)
2021-03-15	4.5	0.4	7.4	00:36	23:33
2021-03-16	6.7	1.1	10.8	19:53	13:18
2021-03-17	6.6	0.6	13.4	05:30	12:18
2021-03-18	6.4	-1.5	13.6	06:25	10:48
2021-03-19	8.3	2.8	14.6	03:30	12:53
2021-03-20	7.8	5.3	10.6	21:03	14:49
2021-03-21	-4.2	-8.2	5.4	23:30	00:01
Average	5.2	0.1	10.8		

<sup>a</sup> A.temp, Min. temp, Max. temp., Min. temp. time, Max. temp. time means that Average temperature, Minimum temperature, Maximum temperature, Minimum temperature time, and Maximum temperature time in a day.

**Table 8.** Average, minimum, maximum temperature, and the time of minimum and maximum temperature of each day and total average values between 2020.03.15 to 2020.03.21 at Witse Oreum observation post

Date (Year-month-date)	A.temp (°C)	Min.temp (°C)	Max.temp (°C)	Min.temp.time (hh:mm)	Max.temp.time (hh:mm)
2020-03-15	-4.5	-8.4	-0.9	23:31	12:47
2020-03-16	-2.7	-12.1	4.5	06:57	12:35
2020-03-17	2.2	-1.3	6.9	05:18	12:26
2020-03-18	3.5	-0.5	8.2	04:24	13:01
2020-03-19	-0.4	-6.4	6.7	23:36	11:18
2020-03-20	2.4	-6.7	10.4	01:56	16:26
2020-03-21	7.3	2.7	12.8	00:41	12:48
Average	1.1	-4.7	6.9		

<sup>a</sup> A.temp, Min. temp, Max. temp., Min. temp. time, Max. temp. time means that Average temperature, Minimum temperature, Maximum temperature, Minimum temperature time, and Maximum temperature time in a day.

2021년의 경우, 정오에서 벗어난 시간에 최고기온이 나타나는 경우가 많았다(Table.7,8).

현재, 한라산 적설량 및 적설 면적에 대한 관련 연구가 매우 부족한 실정이다. 특히 자생 동·식물 보호를 위해 적설면적에 대한 기본 데이터가 필요함에도 과거 상대적으로 폭설에 의한 피해가 강우에 의한 피해에 비해 미미했었기 때문에, 적설관측소 설치가 부족한 실정이다(Kim and Jang, 2007; Lee and Chung, 2018). 또한 적설량 및 적설면적에 대한 연구는 안전한 생태탐방로 확보를 위해서도 필요하나, 적설관측소 설치 부족으로 기본 데이터를 파악하는 데 어려움이 있었다. 본 연구에서는 만년설 감시에 사용되는 NDSI(Sood et al., 2020)를 이용하여 부족한 적설관측소를 보완할 방법을 제시

하고 있다. 이렇게 NDSI를 이용한 연구는 인더스 강 유역 적설면적 이미지 분석에 이미 사용된 바 있으며, 2008년부터 2018년 까지 인더스강 전역에서 적설 면적이 감소한 것을 발견하였다(Ali et al., 2020). 이번 한라산 눈 면적에서도 긴 시간동안 분석을 진행한다면, 기후 변화에 의한 적설면적 감소에 대한 확실한 증거를 찾을 수 있을 것으로 기대된다. 또한 이러한 분석 방법을 통해 이미지와 기상 데이터를 함께 분석하면 전체적인 적설 면적의 변화를 직관적으로 이해하고 예상하는 것이 가능할 것이다.

#### 4. 결론



본 연구는 한라산의 위성 이미지와 기상 정보를 통한 적설면적 분석을 통해 현재 부족한 관측 데이터를 보완할 방법을 제안하기 위한 연구를 진행하였다. 한라산 위성 이미지에 NDSI 분석을 통한 눈 면적 분석 결과를 융합하여 한라산해발 1,600 m 이상 높이에서의 적설 면적에 대한 데이터를 얻을 수 있었으며, 이 데이터와 해발 1,600 m의 기상 데이터를 분석하여 눈 면적의 변화와 상관관계가 있는지 알아보았고, 비슷한 기간의 2020년과 2021년 사이에 어떤 변화가 있는지 유추해보았다. 본 연구가 더욱 정밀한 관측 데이터 분석에 도움이 되고, NSDI 이미지를 통한 적설량을 직관적으로 파악이 가능한 기초자료로 사용되어 탐방로 등반 통제를 미리 예측하고 전 세계적인 기후변화에 의한 한라산 식생 보호에 대한 대비책을 효과적으로 세울 수 있기를 기대한다.

연구대상지는 대한민국에서 국립공원으로 지정되어 있으며, 국립공원 전 지역이 유네스코 세계유산으로 지정되어 있을만큼 풍부한 천연자원과 경관을 가진 지역이다. 이러한 자원을 이용하기 위한 방법 중 하나로 현재 자연 탐방로를 운영하고 있다. 하지만 매년 적설로 이 탐방로의 운영이 어려움을 겪고 있으며, 탐방객들에게도 위협이 될 수 있다. 그럼에도 부족한 적설관측소로 인해 적설지역에 대한 분석은 원활히 이루어지지 않고 있다. 적설량과 적설 면적을 파악하기 위해 Sentinel 위성에서 얻은 데이터와 수치표고모델을 이용해 적설면적을 알 수 있는 이미지를 만들었다. 2020년 2월 초와 3월 초의 비교를 통해 2월 초의 눈 면적이 3월 초에 거의 녹아 사라지고 일부 지역에 남아있는 것을 확인하였다. 마찬가지로 2021년에도 같은 결과를 확인할 수 있다. 2020년과 2021년 비교 기간이 정확하게 일치하지 않고, 일주일 정도의 간격이 존재하기 때문에, 기간 전후의 날씨 데이터를 분석해보았다. 각 이미지를 획득한 날짜를 중심으로 포함한 일주일의 데이터를 분석해본 결과 2020.2.16과 2021.2.16 데이터를 제외한 나머지 모든 데이터에서 2021년의 평균기온이 2020년보다 높게 형성되어 있는 것을 확인할 수 있었다. 평균기온이 높게 나타났기 때문에 2021년의 눈 면적이 더 빨리 감소했을 것을 예측할 수 있으며, 본 연구는 정확하게 같은 기간을 비교한 것이 아니므로, 이에 따른 추가 연구의 필요성을 제안한다.

또한 최저기온시간과 최고기온시간 변화가 하루 중 기온 변화에 미치는 영향에 대한 연구도 추가되어야 할

것으로 보인다. 관련 연구가 매우 희소한 것을 발견하였으며, 최저기온시간과 최고기온시간의 변동성이 큰 경우가 기후 변화에 따른 영향일 수 있기 때문이다. 본 연구에서 일부의 제한된 결과만 확인할 수 있었으나, 최저기온시간과 최고기온시간의 변동성이 클 경우 평균기온 및 최저, 최고기온이 상승하는 경향을 확인할 수 있었고, 이에 대한 후속 연구가 필요할 것이다.

현재 제한된 데이터로만 분석하였을 때, 최저기온 뿐 아니라 최고기온에서도 평균기온의 증가가 일어나고 있으며, 증가폭은 최저기온에서 4°C 이상, 최고기온에서 크게는 3°C 이상으로 나타난 것을 확인할 수 있다. 이는 기후변화가 한라산 환경에 큰 영향을 미치고 있음을 나타낼 수도 있다. 본 연구는 2020년과 2021년 두 해를 비교한 것에 지나지 않았으나, 과거 데이터와 앞으로의 데이터를 꾸준히 추적 비교해야 할 필요성을 제안한다.

본 연구를 통해 기후변화가 한라산 적설면적에 영향을 미치고 있음을 예측할 수 있었으며, 이 예측을 확인하는데 있어 NDSI를 이용한 이미지를 통해 더욱 직관적인 분석이 가능함을 보여주었다. 이러한 분석을 통해 기후변화 대비에 대한 경각심을 높이고, 앞서 언급한 탐방로 폐쇄 문제 등을 파악하고 해결책을 찾기 위한 시발점으로 활용되기를 기대한다.

## 감사의 글

이 논문은 2019년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No2019R1A6A1A11052070).

## REFERENCES

- Ali, S., Cheema, M. J. M., Waqas, M. M., Waseem, M., Awan, U. K., Khaliq, T., 2020, Changes in snow cover dynamics over the Indus Basin: Evidences from 2008 to 2018 MODIS NDSI trends analysis, *Remot. Sens.*, 12, 2782.
- Im, J. Y., 2020, A Study on landscape resources by trails in Hallasan National Park Area, Ph.D. Dissertation, Jeju National University, Jeju, Korea.
- Kim, B. S., Jang, M. H., 2007, The individual status and management plan of Roe deer (*Capreolus pygargus tianschanicus Satunin*) inhabiting Hallasan, Jeju Island, Korea, Proceedings of the Korean Society of Environment and Ecology Conference, Kor. Soc.

- Environ. Ecol., Daegu University, Daegu, 129-132.
- Kim, J. H., 2018, <http://www.jeju.ac.kr/news/articleView.html?idxno=212026>.
- Kim, T., 2012, Development of Trip Programs with Nature Interpretation Using Geomorphic Characteristics of Mt. Halla, J. Geol. Assoc. Korea, 19, 17-29.
- Ko, P. Y., Seok, S. J., Lee, H. B., Ko, H. S., Jeun, Y. C., 2014, Species diversity of spontaneous mushrooms on Jeju Island, Kor. J. Mycol., 42, 104-132.
- Lee, M., Chung, G., 2018, Cluster analysis of snowfall observatory using K-means algorithm, J. Kor. Soc. Hazard Mitig., 18, 55-62.
- Lee, S. C., Choi, S. H., Kang, H. M., Cho, H. S., Cho, J. W., 2010, The change and structure of altitudinal vegetation on the east side of Hallasan National Park, Kor. J Environ. Ecol., 24, 26-36.
- Sood, V., Singh, S., Taloor, A. K., Prashar, S., Kaur, R., 2020, Monitoring and mapping of snow cover variability using topographically derived NDSI model over north Indian Himalayas during the period 2008-19, Appl. Comput. Geo. Sci. 8, 100040.
- Yoo, K. J., Kwon, T. H., Cho, K. S., Cho, W., 2007, Users' attitudes for the trail structures in Hallasan National Park, Korea-In the case study of Eorimok, Kor. J. Environ. Ecol. 21, 168-175.
- 
- Professor. Gyung-Deok Han  
Department of Practical Arts Education, Cheongju National University of Education  
hangds@cje.ac.kr
  - Researcher. Seong-Uk Yoon  
Department of Plant Resources and Environment, Jeju National University  
yoonseonguk95@gmail.com
  - Professor. Yong-Suk Chung  
Department of Plant Resources and Environment, Jeju National University  
yschung@jejunu.ac.kr
  - Professor. Jin-Hyun Ahn  
Department of Management Information Systems & Faculty of Data Science for Sustainable Growth  
jha@jejunu.ac.kr
  - Principal Researcher. Seung-Jae Lee  
National Center for AgroMeteorolgy  
sjlee@ncam.kr
  - Researcher. Yoon-Seok Kim  
Department of Plant Resources and Environment, Jeju National University  
zx1517@jejunu.ac.kr
  - Professor. Tae-Sun Min  
Department of Animal Biotechnology, Jeju International  
Animal Research Center (JIA) & Sustainable Agriculture Research Institute (SARI), Jeju National University  
tmin@jejunu.ac.kr