

## 고랭지밭 현황 파악을 위한 Terra MODIS 위성영상 적용\*

박민지<sup>1</sup> · 최영순<sup>1</sup> · 신형진<sup>2\*</sup> · 이영준<sup>1</sup> · 유순주<sup>1</sup>

### Applying Terra MODIS Satellite Image to Analysis of Current State of Upland Field\*

Min-Ji PARK<sup>1</sup> · Young-Soon CHOI<sup>1</sup> · Hyung-Jin SHIN<sup>2\*</sup>  
Young-Joon LEE<sup>1</sup> · Soon-Ju YU<sup>1</sup>

#### 요 약

도암호 수질 오염의 주요 요인은 상류유역 고랭지밭 탁수 유출로 나타나고 있다. 유역의 고랭지밭 현황 파악은 탁수관리의 매우 중요한 요소이지만 광범위한 면적, 고도와 경사에 따른 접근성 등의 문제로 정보 수집 및 자료 갱신에 어려움이 있다. 현장조사 결과 지적도와 기존 토지피복도의 고랭지밭과 초지가 오분류된 것으로 나타났다. 본 연구에서는 토지피복도의 고랭지밭 분류 정확도 개선을 위해 2000년 5월부터 2015년 9월까지의 MODIS NDVI를 구축하여 적용성을 분석하고 탁수 관리의 기초자료로의 가능성을 제시하고자 하였다.

주요어 : Terra MODIS, 식생지수, 고랭지밭, 도암호, 토지피복도

#### ABSTRACT

The main source of water pollution in Doam Lake is turbid incoming water from upland fields in the upper watershed. The large scale, elevation, and slope of this region means that it is inaccessible, and it is difficult to collect information and update data. Field survey results show that there is a difference between classification of upland fields and grasslands in the cadastral data and land-cover map. In this study, MODIS NDVI was calculated from May 2000 to September 2015 in order to improve classification accuracy of upland fields.

**KEYWORDS** : Terra MODIS, NDVI, Upland Field, Doam Lake, Land-Cover Map

2017년 5월 31일 접수 Received on May 31, 2017 / 2017년 6월 29일 수정 Revised on June 29, 2017 / 2017년 7월 6일 심사완료 Accepted on July 6, 2017

\* 본 연구는 2016년 국립환경과학원 '도암호 유역 고랭지밭 비점오염원 관리 및 저감 방안 연구' 사업으로 수행되었음.

1 국립환경과학원 한강물환경연구소 Han River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research

2 한국농어촌공사 농어촌연구원 Rural Research Institute, Korea Rural Community Corporation

\* Corresponding Author E-mail : shjin@ekr.or.kr

## 서론

도암호는 1989년 댐 완공 후 수력 발전의 가동으로 댐 상류에 위치한 탁수와 비점오염원을 포함하는 수질오염물질의 유입으로 인한 호수의 조류 증가 등으로 수질이 심하게 악화되었다. 발전용수가 방류되는 강릉 남대천의 수질오염 피해로 인한 민원과 피해보상, 발전방류 가치분 신청 등 갈등이 계속되었고, 1998년 선택취수탑을 설치하였지만 강릉시민의 요구로 2001년 ‘현안해결원칙 합의 시까지’를 기한으로 발전이 중단되었다(Korea Hydro & Nuclear Power Co., 2005). 2007년 8월, 환경부에서는 수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 제54조에 의거 주민의 재산이나 자연생태계에 중대한 위해가 발생할 우려가 큰 도암호 상류지역에 대하여 2017년까지 관리목표 수질(SS 5.0 mg/L) 달성을 위한 비점오염원 관리지역으로 지정되었고, 동법 제55조에 의거 관리대상 수질오염물질의 발생예방 및 저감 방안 추진 등 비점오염원 관리를 위한 대책을 2007년 12월 수립하여 추진하고 있다. Gangwon-do(2010) 및 Wonju Regional Environmental Office(2009) 자료에 따르면 도암호 수질 오염의 주요 요인은 상류유역의 고랭지밭 탁수 유출로 나타나고 있어 밭의 현황 파악이 중요하다. 오염총량관리를 위한 오염원 조사시 토지계 오염원은 실측이 어려운 경우 지적공부상 자료를 기준으로 부하량이 산정되어진다. 도암호 유역은 면적과 접근성 등의 지형적 특성으로 실측이 어려운 뿐만 아니라 지적공부상 자료의 밭 분포가 실제 토지이용과 차이를 보이는 것으로 조사되었으며(Wonju Regional Environmental Office, 2014), 지목상 면적의 오류(Lee *et al.*, 2009a) 등으로 정확한 현황 파악에 어려움이 있다.

항공기나 인공위성 등을 이용한 원격탐사는 넓은 지역을 신속하게 조사할 수 있고 지리정보시스템 등과 연동이 가능하여 고랭지밭 유역과 같이 접근이 어려운 지역의 공간분석에 시간과 비용 면에서 효과적으로 적용될 수 있다(Kim and Park, 2006). 농업환경과 생태계의 다양한 현

상을 설명하기 위한 자료로 활용되고 있는 토지피복도의 제작(Zhao *et al.*, 2005; Ku, 2007; Lee *et al.*, 2009b; Oh *et al.*, 2009; Park, 2010; Lee and Park, 2011), 가뭄과 홍수 등 자연재해에 대한 피해분석(Lee *et al.*, 2006a,b; Park *et al.*, 2006), 증발산량, 토양수분 및 융설 등과 같은 수문정보 산정(Hong *et al.*, 2010; Choi *et al.*, 2011; Lee *et al.*, 2016; Shin *et al.*, 2016) 등 다양한 분야에서 원격탐사를 활용한 연구가 수행되었다. 또한 북한, 해안지역 등과 같이 접근이 힘든 지역에 대한 경작지 추출 및 분류를 위해 Lee *et al.*(2003a, b), Lee *et al.*(2009b), Lee *et al.*(2012) 등이 위성영상을 이용하였으며, Hong *et al.*(2015)은 벼 수량을 추정하는 연구를 수행하였다. Jang *et al.*(2009)은 영상을 이용하여 무허가 경작지를 추출하고 경사도와 관련하여 토양유실 저감 효과를 분석하였다. Oh *et al.*(2010)은 다양한 고해상도 위성영상을 이용하여 토지피복분류를 실시하고 정확도를 비교한 결과 농경지와 초지의 혼돈이 주로 발생하는 것으로 분석되었으며, 이러한 농경지의 오분류를 줄이기 위해 사용 영상의 시간해상도가 매우 중요한 것으로 조사되었다(Choung, 2015).

MODerate resolution Imaging Spectro-radiometer (MODIS) 자료는 중위도 지방에서 하루 최대 4회 정도 획득이 가능한 높은 시간주기성과 36개 밴드에 달하는 다중분광자료를 제공하기 때문에 지표와 대기 하층에서 발생하는 전지구적인 자연재해를 연속적으로 감시할 수 있는 장점이 있으나 촬영 고도가 높기 때문에 해상도가 낮다는 단점이 있다(Shin *et al.*, 2015). MODIS NDVI(Normalized Difference Vegetation Index: 정규식생지수)는 시간해상도가 매우 높고 자료취득이 간편할 뿐만 아니라 안정되고 정규화된 식생지수를 제공하기 때문에 다양한 분야에서 활용이 확대되고 있다(Cha *et al.*, 2009; Kim *et al.*, 2011; Kim *et al.*, 2014).

본 연구에서는 고해상도 위성영상 및 항공사진 등을 이용하여 구축된 환경부 토지피복도와 지적도를 비교하고 도암호 유역의 불일치 지역에 대한 현장조사 결과를 바탕으로 MODIS 위

성영상의 식생지수인 NDVI를 이용하여 고랭지밭 현황 파악에 대한 적용성을 분석하고자 한다.

## 연구 방법

### 1. 대상구역

도암댐은 1989년 8월 남한강 최상류 지류 중의 하나인 송천에 건설된 경사코아형 석괴댐으로 강원도 평창군 대관령면 수하리에 위치하고 있다(그림 1). 도암호 유역은 행정구역상 강원도 평창군 대관령면에 4개리에 속해있다. 도암호 기점 송천의 유역 면적은 149.4km<sup>2</sup>, 도암호의 총저수량은 5,100만m<sup>3</sup>, 이중 유효저수량은 4,000만m<sup>3</sup>이다. 그림 1과 같이 평균고도(913.7 m)가 높아 우기에 집중호우가 많고 유역의 평균경사와 송천의 하상경사가 급하여 유출이 빠르게 일어나며, 농경지 표토의 토성이 유실에 취약한 사양토 비율이 높아 탁수와 유사가 많이 발생될 수밖에 없을 것으로 예상된다(그림 1, 표 1). 송천으로 유입되는 주요 하천으로는 차항천, 용평천, 삼양천 및 대관령천 등이 있다. 차항천은 황병산에서 발원하여 채소재배지가 산재해 있는 차항리를 지나는 하천이고, 용산천은 용산에서 발원하여 용산리 농경지를 및 초지를 지나며, 용평천은 발왕산에서 발원하여 용평리 조트를 중심으로 위락시설(스키장, 골프장 및 콘도 등) 등을 지나는 하천이다. 그리고 송천

상류지역에 위치한 삼양천 주위에는 삼양목장 및 한일농장 등의 대규모 축산단지가 다수 위치해 있다. 이 하천들은 모두 송천 본류에 합류하여 도암호로 유입한다(Park *et al.*, 2012).

도암호 유역의 평년 강우량(1981~2010년)은 1,898.1mm이며 6~9월의 강우량이 1,255.9mm로 총강수량의 66.2% 집중되어 있다. 유역의 고랭지밭 주요 작물은 감자(40.3%), 배추(28.2%), 무(8.9%), 당근(8.9%), 양배추(5.6%), 파(5.1%) 순으로 조사되었으며, 표 1과 같이 대부분의 재배작물들이 6~9월에 수확되어 나지 상태로 노출되고 있다. 나지 상태의 밭은 일반 나지보다 영양물질(N, P)과 유기물이 고농도로 존재하여 강우시 대량 하천으로 유입되므로 주요 비점오염원 발생원이자 우선적 관리 대상이라 할 수 있다(NIER, 2016).

### 2. Terra MODIS 시계열 자료

MODIS는 지구 생물권 활동에 관한 자료를 제공하는 미항공우주국 Terra EOS(Earth Observation system)위성의 주센서로 해양, 육상과 대기 분야에 적용이 가능한 다목적 센서이다. MODIS는 현재 36개의 밴드를 이용하여 다양한 대기, 지표, 해양관련 다양한 정보들을 제공하고 있다(Shin *et al.*, 2010). NASA의 EOS Data Gateway는 MODIS 영상을 비롯하여 EOS

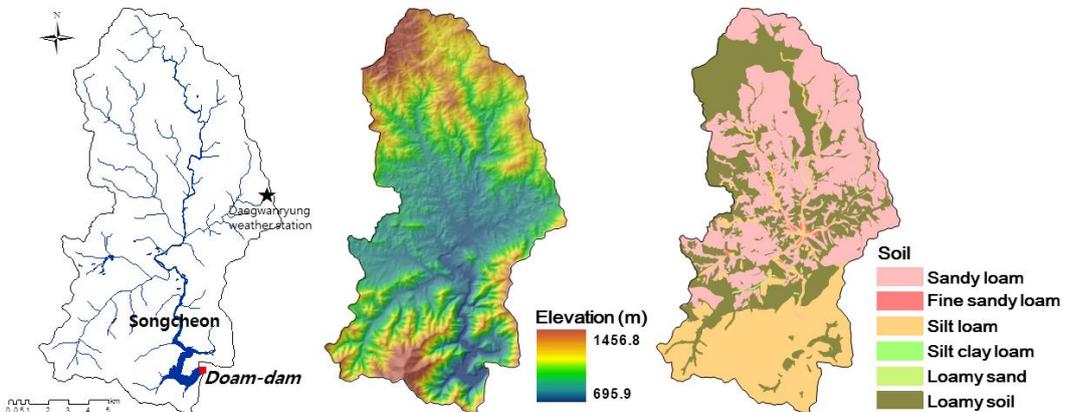


FIGURE 1. The stream, elevation and soil type of Doam lake watershed

TABLE 1. The growing season of crop and monthly precipitation(1981~2010year, Daegwallyeong station) in upland field of Doam lake watershed

Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Precipitation (mm)	62.6	53.6	75.6	89.5	122.3	201.0	326.7	420.9	307.3	124.9	76.9	36.8
The growing season						Potato						
					Napa cabbage							
							White radish					
						Carrot						
								Cabbage				

프로그램을 통해 제작한 다양한 위성영상자료를 대기, 빙하, 육지, 대양, 자료보정 분야별로 제공하고 있다(Park *et al.*, 2006). MODIS Data Product 중 식생지수(MOD13: Vegetation Index)은 250m 공간해상도와 16일 단위의 합성자료로서, MODIS Level-2G(표 2)을 이용하여 NDVI를 제공 한다. 본 연구에서는 도암호 유역을 대상으로 2000년 5월 1일부터 2015년 9월 31일까지의 구름의 영향을 최소화할 수 있는 MOD13 NDVI 16일 합성 영상을 수집하였다.

### 3. MODIS NDVI

식생지수는 식생의 분포와 상태를 나타내는 지수이며, 지표면의 식물과 그 외의 물체들에 대한 분광반사특성을 이용하여 식물에 관한 정보를 나타내는 지표이다(Shin and An, 2007; Shin *et al.*, 2010). 식생상황을 위성자료로부터 파악하기 위한 가장 보편적인 지표로서 NDVI는 식물의 잎이 가지영역대와 근적외 영역대에서의 반사율의 차이로서 식물의 활력도를 나타내며(Rouse *et al.*, 1974), 다음과 같은 식으로 정의될 수 있다

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \quad (1)$$

여기서, NIR : 근적외선 밴드의 지표면 반사율  
Red : 적외선 밴드의 지표면 반사율

TABLE 2. MODIS Band

Primary use	Band	Band width ( $\mu\text{m}$ )	Resolution (m)
Land/cloud/aerosols boundaries	1	RED	250
	2	NIR1	

NDVI가 식생조사에 널리 사용되고 있는 이유는 식물 고유의 분광반사 특성 때문에 식물의 잎에 함유되어 있는 클로로필은 0.45 $\mu\text{m}$ ~0.67 $\mu\text{m}$ 의 파장대를 강하게 흡수한다. 그 결과 가지영역의 적외선밴드에서의 반사율이 낮아지게 되며, 0.97 $\mu\text{m}$ ~1.3 $\mu\text{m}$ 의 근적외선영역에서의 강한 반사 특성을 갖는다. NDVI는 -1.0에서 1.0까지의 범위를 가지며, 물과 눈은 - 값을, 나지는 0에 가까운 값을, 식생에 의한 피복이 있는 경우는 +의 값을 가진다. 구름의 영향을 받는 지역의 NDVI 값은 파소 산정되는 경향이 있다(Shin, 1996; Shin and Kim, 2003).

## 위성영상을 이용한 고랭지밭 추정

### 1. 지적도, 토지피복도 비교 및 현장조사 결과

도암호 유역의 고랭지밭 현황 파악을 위해 평창군의 지적도(2014년)와 환경부 중분류 토지피복도(2014년)의 비교분석을 실시하였다. 지적도와 토지피복도(환경부)간의 밭 면적은 6.7km<sup>2</sup>의 차이를 보였으며(그림 2, 표 3), 토지피복도에 7.8km<sup>2</sup>가 지적도와 일치하여 그림 2(c)와 같이 공간적 불일치가 큰 것으로 나타났다. 지적도와 토지피복도의 분류 정확도를 분석하기 위해 그림 2(c)와 같이 토지피복도에서는 밭으로 분류되었으나 지적도에서는 다른 분류를 보이는 지점의 현장조사를 실시하였다. 현장조사 결과 그림 3과 같이 지적도에서는 알펜시아 리

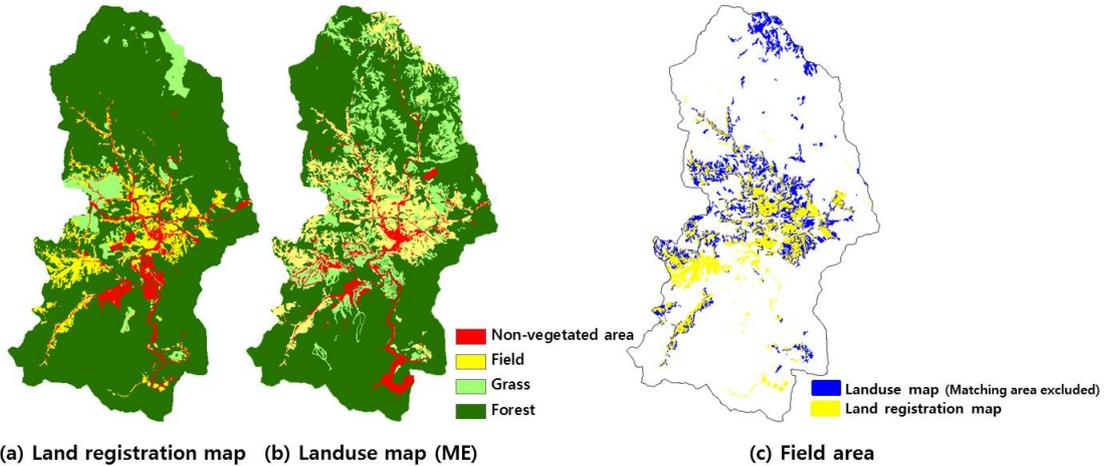


FIGURE 2. The land registration map (a), landuse map (b, Ministry of Environment–ME) and spatial mismatch of field area (c)

TABLE 3. Area of the land registration map and landuse map (ME)

Class	Land registration map		Landuse map(ME)	
	Area(km <sup>2</sup> )	Percent(%)	Area(km <sup>2</sup> )	Percent(%)
Non-vegetated area	8.7	5.7	8.2	5.5
Field	13.6	9.1	20.3	13.6
Grass	8.2	5.5	21.7	14.5
Forest	119.3	79.7	99.2	66.4
Total	149.8	100	149.4	100

조트의 골프장 등이 모두 밭으로 분류되어 있었고 토지피복도와 불일치 지역(그림 3: 1~9)이 모두 밭으로 조사되어 토지피복도가 높은 정확도를 보이는 것으로 나타났으나, 토지피복도에서도 선행연구와 같이 초지가 농경지로 오분류되는 경우가 발생하는 것으로 조사되었다.

## 2. MODIS NDVI 구축

본 연구에서는 대상유역에 대하여 2000년 5월 1일부터 2015년 9월 30일까지 EOS Gateway를 통해 수집한 MODIS product MOD13 Vegetation Index 16일 합성영상을 수집한 후 MODIS Reprojection Tool을 이용하여 WGS84 UTM48N 좌표체계로 변환하고 NDVI를 자료를 구축하였으며, 월별 평균 NDVI는 표 4와 같다. 5월의 평균 NDVI가 0.69로 가장 낮았으며,

7월의 평균 NDVI가 0.78로 가장 높은 것으로 나타났다.

## 3. 토지피복도와 MODIS NDVI를 이용한 고랭지밭 분류

토지피복도의 초지와 밭 지역의 오분류를 개선하고 정확도를 높이기 위해 16년간 구축된 MODIS NDVI의 자료를 활용하였다. 초지에 해당하는 잔디는 5~9월, 골프장 잔디는 3~12월에 생육기간을 갖는다. 그 외 산림과 비식생지역은 5~9월에 NDVI 변화가 없는 것을 고려하였을 때 고랭지 작물은 5월과 9월 사이에 작물 성장 및 재배로 인하여 NDVI가 큰 차이를 보일 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 토지피복도의 밭지역을 추출하고 5월과 9월 사이 NDVI 차이를 고려하여 경작지역과 비경작지역으

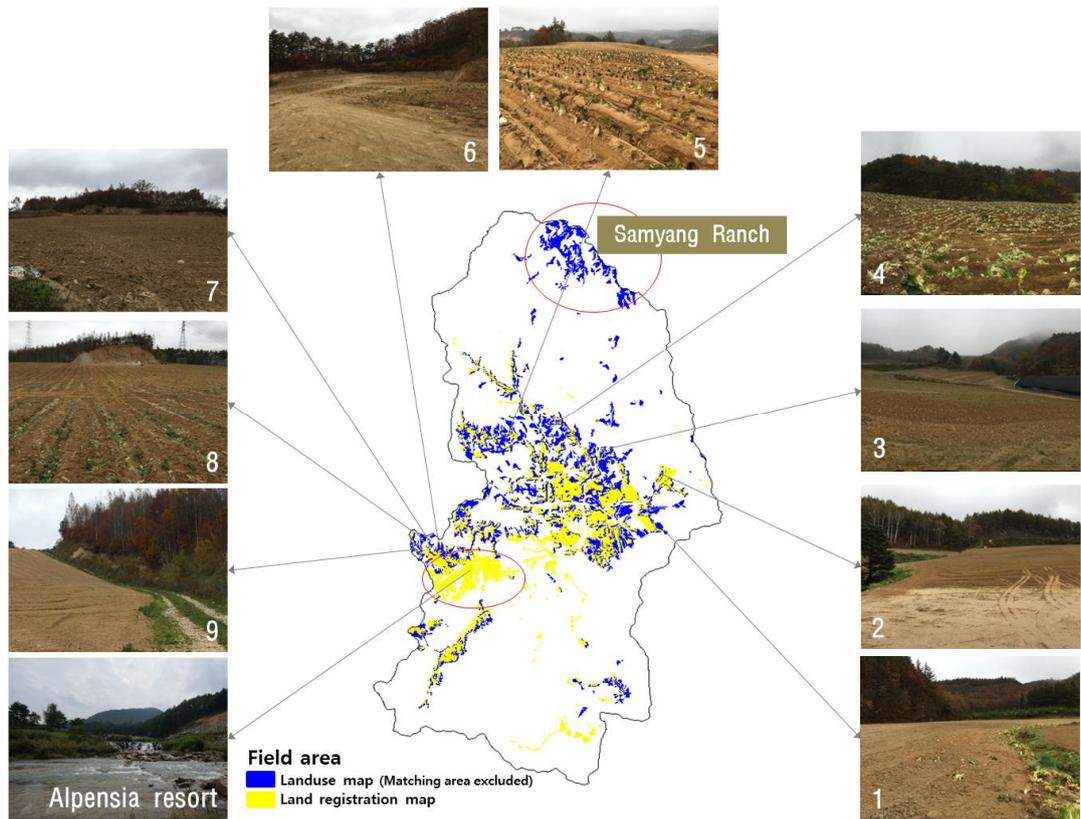
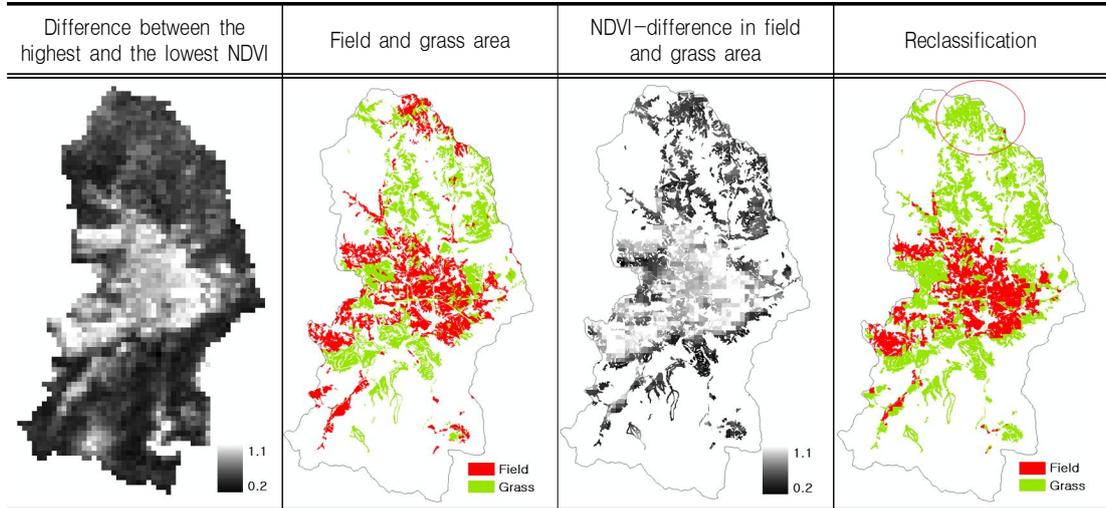


FIGURE 3. The field survey for comparison results between the land registration map and landuse map (ME)

TABLE 4. Monthly average NDVI (2000~2015year)

Month	May	June	July	August	September
NDVI	 0.69	 0.75	 0.78	 0.77	 0.73
	<ul style="list-style-type: none"> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #e0f0e0; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> 0.2 - 0.4</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #c0e0c0; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> 0.4 - 0.6</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #a0d0a0; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> 0.6 - 0.7</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #80c080; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> 0.7 - 0.8</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #60b060; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> 0.8 - 1</li> </ul>				

TABLE 5. Reclassification using field and grass area at landuse map and MODIS NDVI



로 재분류하였다. 기상, 구름 등에 의한 오차를 줄이기 위해 사분위범위(Inter Quartile Range)의 1.5배 외에 존재하는 이상치를 제거하여 NDVI 차를 산정하였다. 토지피복도의 분류와 현장조사 결과에 따라 NDVI가 발은 0.5, 초지는 0.65 이상의 차이를 보이는 부분을 발으로 지정하여 분류하였다. 재분류를 실시한 결과 전체적인 발의 면적이 20.3km<sup>2</sup>에서 14.7km<sup>2</sup>로 5.6km<sup>2</sup> 감소하는 것으로 나타났으며, 표 5와 같이 토지피복도에서 발으로 오분류된 지역과 현장조사결과 초지인 지역인 유역 오른쪽 위의 발으로 분류된 부분이 초지로 현장조사와 같이 분류되었다. 본 연구의 방법이 대규모 초지와 농경지 구분에 적용성이 높은 것으로 나타났으나 소규모 밭과 초지를 분류하는 경우 시공간적 해상도가 모두 높은 자료를 사용한 추가적인 분석이 필요한 것으로 판단된다.

### 결 론

본 연구에서는 도암호 유역을 대상으로 고랭지밭 분류 정확도를 높이기 위한 Terra MODIS 위성영상의 적용성을 분석하고자 하였다.

첫째, 도암호 유역의 고랭지밭은 강우가 높은 5월과 9월 사이 나지 상태로 노출되어 영양물

질과 유기물이 함유된 흙탕물이 하천으로 유입될 수 있는 잠재적인 비점오염원이다.

둘째, 고랭지밭의 현황 파악을 위해 오염총량 관리에 사용되는 지적도와 환경부 토지피복도를 비교한 결과 밭 면적이 6.7km<sup>2</sup> 차이를 보였으며, 토지피복도 밭의 61.6%가 지적도와 공간적으로 불일치하는 것으로 나타났다.

셋째, 불일치지역 11개 지점을 현장 조사한 결과 10개 지점이 토지피복도와 일치하여 토지피복도의 정확도가 상대적으로 높게 나타났으나, 나머지 1개 지점인 대규모 초지가 토지피복도에서 발으로 오분류된 것으로 조사되었다.

넷째, 고랭지밭이 5~9월 사이 나지 상태로 비식생지역이 되지만 같은 기간 초지의 식생이 연속적으로 나타나는 것에 따라 NDVI 차이를 이용하여 재분류한 결과 토지피복도에서 발으로 오분류되었던 1개 지점이 초지로 분류되어 현장 조사와 일치하는 것으로 나타났다.

토지피복 분류에 있어서 밭과 초지는 작물 재배에 따른 시간해상도가 중요한 기준이다. 시간해상도가 높은 MODIS NDVI와 공간해상도가 높은 자료를 중첩하여 적용할 경우 대규모 고랭지밭 현황 파악에 정확도를 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다. **KAGIS**

## REFERENCES

- Cha, S.Y., D.J. Seo, and C.H. Park. 2009. Monitoring vegetation phenology using MODIS in northern plateau region, North Korea. *Korean Journal of Remote Sensing* 25(5):399-409 (차수영, 서동조, 박중화. 2009. MODIS자료를 이용한 북한 개마고원 및 백무고원 식생의 생물계절 모니터링. *대한원격탐사학회지* 25(5):399-409).
- Choi, M.H., T.W. Kim, M. Park, and S.J. Kim. 2011. Evapotranspiration estimation using the Landsat-5 Thematic Mapper image over the Gyungan watershed in Korea. *International Journal of Remote Sensing* 32(15):4327-4341.
- Choung, Y.J. 2015. A study on extraction of croplands located nearby coastal areas using high-resolution satellite imagery and LiDAR data. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 18(1):170-181 (정운재. 2015. 고해상도 위성영상과 LiDAR 자료를 활용한 해안지역에 인접한 농경지 추출에 관한 연구. *한국지리정보학회지* 18(1):170-181).
- Gangwon-do. 2010. A plan for non-point source pollution management. pp.5-10 (강원도. 도암호 비점오염원 관리지역 관리대책 시행계획. 5-10쪽).
- Hong, S.Y., S.I. Na, K.D. Lee, Y.S. Kim, and S.C. Baek. 2015. A study on estimating rice yield in DPRK using MODIS NDVI and rainfall data. *Korean Journal of Remote Sensing* 31(5):441-448 (홍석영, 나상일, 이경도, 김용석, 백신철. 2015. MODIS NDVI와 강수량 자료를 이용한 북한의 벼 수량 추정 연구. *대한원격탐사학회지* 31(5):441-448).
- Hong, W.Y., M. Park, J.Y. Park, G.A. Park, and S.J. Kim. 2010. The spatial and temporal correlation analysis between MODIS NDVI and SWAT predicted soil moisture during forest NDVI increasing and decreasing periods. *KSCE Journal of Civil Engineering* 14(6):931-939.
- Jang, W.S., Y.S. Park, J.G. Kim, I.J. Kim, Y.R. Mun, M.S. Jun, and K.J. Lim. 2009. Soil erosion and sediment yield reduction analysis with land use conversion from illegal agricultural cultivation to forest in Jawoon-ri, Gangwon using the SATEEC Arcview GIS. *Journal of Environmental Policy* 8(1):73-95 (장원석, 박윤식, 김종건, 김익재, 문유리, 전만식, 임경재. 2009. SATEEC Arcview GIS를 이용한 홍천군 자운리 유역 임의 경작지의 산림 환원에 따른 토양유실 및 유사저감 분석. *환경정책연구* 8(1):73-95).
- Kim, C.S. and J.H. Park. 2006. Direction applying remote sensing technology for agricultural statistics. *Journal of Rural Development* 29(2):161-176 (김충실, 박재화. 2006. 원격탐사기술의 농업통계분야 도입방향. *농촌경제* 29(2):161-176).
- Kim, G.H., J.S. Lee, J.H. Jung, and W.S. Yeon. 2011. A comparative analysis of field surveying vegetation data and NDVI from KOMPSAT-2 satellite imagery. *The Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography* 29(4):405-411 (김기홍, 이종설, 정재학, 원상연. 2011. KOMPSAT-2 위성영상을 이용한 정규식생지수와 현장식생 자료의 비교분석. *한국측량학회지* 29(4):405-411).
- Kim, Y.S., N.W. Park, S.Y. Hong, K.D. Lee, and H.Y. Yoo. 2014. Early production of large-area crop classification map using time-series vegetation index and past

- crop cultivation patterns: a case study in Iowa State, USA. *Korean Journal of Remote Sensing* 30(4):493-503 (김예슬, 박노옥, 홍석영, 이경도, 유희영. 2014. 세계 열 식생지수와 과거 작물 재배 패턴을 이용한 대규모 작물 분류도의 초기 제작: 미국 아이오와 주 사례연구. *대한원격탐사학회지* 30(4):493-503).
- Korea Hydro & Nuclear Power Co. 2005. A study of problem solving at Doam-dam. Research report. pp.3-1 (한국수력원자력. 2005. 도암댐 문제해결을 위한 연구. 연구보고서. 3-1쪽).
- Ku, C.Y. 2007. Generation of the land cover map with high resolution satellite image. *The Geographical Journal of Korea* 41(1):83-94 (구자용. 2007. 고해상도 위성영상을 이용한 토지피복도 제작기법 연구. *국토지리학회지* 41(1):83-94).
- Lee, B.Y., C.H. Lee, S.W. Lee, and D. Ha. 2009a. Application of the high resolution aerial images to estimate nonpoint pollution loads in the unit load approach. *Journal of Environmental Impact Assessment* 18(5):281-291 (이범연, 이창희, 이수웅, 하도. 2009. 원단위법에 의한 비점오염 부하량 산정시 토지피복 특성을 반영하는 고해상도 항공영상의 활용방안. *한국환경영향평가학회지* 18(5):281-291).
- Lee, K.D., S.Y. Hong, and Y.H. Kim. 2012. Farmland use mapping using high resolution images and land use change analysis. *Korean Society Of Soil Sciences And Fertilizer* 45(6):1164-1172 (이경도, 홍석영, 김이현. 2012. 고해상도 영상을 이용한 농경지 지도 작성 및 토지이용 변화 분석. *한국토양비료학회지* 45(6):1164-1172).
- Lee, K.S., Y.S. Yoon, S.H. Kim, J.I. Shin, J.S. Yoon, and S.J. Kang. 2009b. Analysis of present status for the monitoring of land use and land cover in the Korean peninsula. *Korean Journal of Remote Sensing* 25(1):71-83 (이규성, 윤여상, 김선화, 신정일, 윤정숙, 강성진. 2009. 한반도 토지이용 및 토지피복 모니터링을 위한 현안 분석. *대한원격탐사학회지* 25(1):71-83).
- Lee, M.B., N.S. Kim, C.S. Kang, G.H. Shin, H.S. Choi, and U. Han. 2003b. Estimation soil loss due to cropland increase in Hoeryeung, Northeast Korea. *The Korean Association Of Regional Geographers* 9(3):373-384 (이민부, 김남신, 강철성, 신근하, 최한성, 한옥. 2003. 북한 회령지역의 농경지 변화에 따른 토양침식 추정. *한국지역지리학회지* 9(3):373-384).
- Lee, M.B., U. Han, N.S. Kim, J.Y. Han, K.H. Shin, and C.S. Kang. 2003a. Analysis on the spatial characteristics caused by the cropland increase using multitemporal Landsat images in lower reach of Duman river, Northest Korea. *Journal of the Geographical Society* 38(4):630-639 (이민부, 한옥, 김남신, 한주연, 신근하, 강철성. 2003. 다시기 위성영상을 이용한 두만강 하류지역의 농경지 개간의 공간적 특성분석. *대한지리학회지* 38(4):630-639).
- Lee, M.S., G.A. Park, and S.J. Kim. 2006a. A study on the extraction of flood inundates scar rural small stream area using RADARSAT SAR images. *Journal of Korea Water Resources Association* 39(11):969-976 (이미선, 박근애, 김성준. 2006. RADARSAT SAR 영상을 이용한 농촌지역 소하천주변의 침수피해지역 추정 연구. *한국수자원학회논문집* 39(11):969-976).
- Lee, M.S., G.A. Park, and S.J. Kim. 2006b. Hydrologic impact assessment of land cover changes by 2002 Typhoon RUSA using Landsat images and storm runoff

- model. *Korean Journal of Remote Sensing* 22(5):407-413.
- Lee, S.W. and N.W. Park. 2011. Application of bayesian probability rule to the combination of spectral and temporal contextual information in landcover classification. *Korean Journal of Remote Sensing* 27(4):445-455 (이상원, 박노옥. 2011. 토지피복 분류에서 분광 영상정보와 시간 문맥 정보의 결합을 위한 베이저안 확률 규칙의 적용. *대한원격탐사학회지* 27(4):445-455).
- Lee, Y.G., C.G. Jung, S.R. Ahn, and S.J. Kim. 2016. Estimation of spatial evapotranspiration using Terra MODIS satellite image and SEBAL model in mixed forest and rice paddy area. *Journal of Korea Water Resources Association* 49(3):227-239 (이용관, 정충길, 안소라, 김성준. SEBAL 모형과 Terra MODIS 영상을 이용한 혼효림, 논 지역에서의 공간증발산량 산정 연구. *한국수자원학회논문집* 49(3):227-239).
- NIER(National Institute of Environmental Research). 2016. A study on management and reduction plan of non-point source in Doam lake watershed(II). Research report. pp.15-16 (국립환경과학원. 2016. 도암호 유역 고랭지밭 비점오염원 관리 및 저감 방안 연구(II). 연구보고서. 15-16쪽).
- Oh, C.Y., K.T. Kim, and C.U. Choi. 2009. Analysis of landslide characteristics of Inje area using SPOT5 images and GIS analysis. *Korean Journal of Remote Sensing* 25(5):445-454 (오치영, 김경탁, 최철웅. 2009. SPOT5영상과 GIS분석을 이용한 인제 지역의 산사태 특성 분석. *대한원격탐사학회지* 25(5):445-454).
- Oh, C.Y., S.Y. Park, H.S. Kim, Y.W. Lee, and C.U. Choi. 2010. Comparison of land-cover map accuracy using high resolution satellite imagery. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 13(1):89-100 (오치영, 박소영, 김형석, 이양원, 최철웅. 2010. 고해상도 위성 영상의 토지피복분류와 정확도 비교 연구. *한국지리정보학회지* 13(1):89-100).
- Park, J.K. 2010. Change detection of vegetation using Landsat image: focused on Daejeon city. *Journal of the Korea Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography* 28(2):239-246 (박준규. 2010. Landsat 영상을 이용한 식생의 변화 탐지: 대전광역시를 중심으로. *한국측량학회지* 28(2):239-246).
- Park, J.S., K.T. Kim, J.H. Lee, and K.S. Lee. 2006. Applicability of multi-temporal MODIS images for drought assessment in South Korea. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 9(4):176-192 (박정술, 김경탁, 이진희, 이규성. 2006. 봄 가뭄 평가를 위한 다중시기 MODIS 영상의 적용성 분석. *한국지리정보학회지* 9(4):176-192).
- Park, K.H., B.S. Kim, H.J. Yun, K.Y. Ryu, J.C. Yun, J.Y. Choi, K.D. Kim, and Y.I. Jin. 2012. Characteristics of water quality at main stream and Doam lake in Dae-gwallyeong Area. *Korean Society Of Soil Sciences And Fertilizer* 45(6):882-889 (박경훈, 김병석, 윤혜정, 류경열, 윤종철, 최준열, 김기덕, 진용익. 2012. 대관령 지역 주요 하천 및 도암호의 수질 특성. *한국토양비료학회지* 45(6):882-889).
- Rouse, J.W., R.H. Haas, J.A. Schell, and D.W. Deering. 1974. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *Proceedings of the Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium* pp.301-317.

- Shin, H.J., M.J. Park, E.H. Hwang, H.S. Chae, and S.J. Kim. 2015. A study of spring drought using Terra MODIS satellite image: for the Soyanggang dam watershed. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 18(4):145-157 (신형진, 박민지, 황의호, 채효석, 김성준. 2015. Terra MODIS 위성영상을 이용한 봄 가뭄 연구: 소양강댐유역을 대상으로. *한국지리정보학회지* 18(4):145-157).
- Shin, H.J., M.J. Park, and S.J. Kim. 2016. Evaluation of future climate change impact on snow hydrology for a mountainous watershed of South Korea using SLURP model and NOAA AVHRR images. *Paddy and Water Environment* 14(1):145-158.
- Shin, H.J., R. Ha, M.J. Park, and S.J. Kim. 2010. Estimation of spatial evapotranspiration using the relationship between MODIS NDVI and Morton ET- for Chungjudam Watershed-. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 52(1):19-24 (신형진, 하림, 박민지, 김성준. 2010. MODIS NDVI와 Morton 증발산량의 관계를 이용한 공간증발산량 산정 기법 연구 -충주댐유역을 대상으로-. *한국농공학회논문집* 52(1):19-24).
- Shin, S.C. 1996. Estimation method of evapotranspiration through vegetation monitoring over wide area. *Journal of Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry, and Cartography* 14(1):81-88 (신사철. 1996. 식생해석을 통한 광역증발산량 추정 방법의 개발. *한국측량학회지* 14(1):81-88).
- Shin, S.C. and C.J. Kim. 2003. Application of normalized difference vegetation index for drought detection in Korea. *Journal of Korea Water Resources Association* 36(5):839-849 (신사철, 김철준. 2003. 우리나라에서의 가뭄 발생지역 판별을 위한 식생지수(NDVI)의 적용성에 관한 연구. *한국수자원학회 논문집* 36(5):839-849).
- Shin, S.C. and T.Y. An. 2007. Development of estimating method for areal evapotranspiration using satellite data. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 10(2):70-80 (신사철, 안태용. 2007. 인공위성 자료를 활용한 광역 증발산량의 산정방법 개발. *한국지리정보학회지* 10(2):70-80).
- Wonju Regional Environmental Office. 2009. Monitoring and evaluation of non-point source pollution priority management region in Doam lake watershed. Research report. p.3 (원주지방환경청. 2009. 도암호 비점오염원 관리지역 모니터링 및 평가. 연구보고서. 3쪽).
- Wonju Regional Environmental Office. 2014. Monitoring and evaluation of non-point source pollution priority management region in lake Doam watershed. Research report. pp.30-32 (원주지방환경청. 2014. 도암호 비점오염원 관리지역 모니터링 및 평가. 연구보고서. 30-32쪽).
- Zhao, M., F.A. Heinsch, R.R. Nemani, and S.W. Running. 2005. Improvements of the MODIS terrestrial gross and net primary production global data set. *Remote Sensing of Environment* 95(2):164-176. **KAGIS**