#### DOI: http://dx.doi.org/10.13087/kosert.2016.19.1.73 ISSN 1229-3032

# MODIS 다중시기 영상을 이용한 북한 다락밭 분류\*

정승규 $^{1)}$  · 박종훈 $^{1)}$  · 박종화 $^{2)}$  · 이동근 $^{3)}$ 

1) 서울대학교 농업생명과학연구원·<sup>2)</sup> 서울대학교 환경대학원 환경조경학과 3) 서울대학교 조경지역시스템공학부

# Terrace Fields Classification in North Korea Using MODIS Multi-temporal Image Data\*

Seung Gyu Jeong<sup>1)</sup> · Jonghoon Park<sup>1)</sup> · Chong Hwa Park<sup>2)</sup> and Dong Kun Lee<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Research Institute of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University,
<sup>2)</sup> Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University,

## **ABSTRACT**

Forest degradation reduces ecosystem services provided by forest and could lead to change in composition of species. In North Korea, there has been significant forest degradation due to conversion of forest into terrace fields for food production and cut-down of forest for fuel woods. This study analyzed the phenological changes in North Korea, in terms of vegetation and moisture in soil and vegetation, from March to Octorber 2013, using MODIS (MODerate resolution Imaging Spectroradiometer) images and indexes including NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), NDSI (Normalized Difference Soil Index), and NDWI (Normalized Difference Water Index). In addition, marginal farmland was derived using elevation data. Lastly, degraded terrace fields of 16 degree was analyzed using NDVI, NDSI, and NDWI indexes, and marginal farmland characteristics with slope variable. The accuracy value of land cover classification, which shows the difference

<sup>&</sup>lt;sup>3)</sup> Department of Landscape Architecture and Rural System Engineering, CALS, Seoul National University.

<sup>\*</sup> 본 연구는 산림청 "산림과학기술개발사업(과제번호: S111415L050110)"의 지원을 받아 수행되었음.

First author: Seung Gyu Jeong, Research Institute of Agriculture Life Science, Seoul National University, Seoul, Rep. of Korea,

 $Tel: +82\text{-}2\text{-}880\text{-}4885, \ E\text{-}mail: skyuno1@snu.ac.kr$ 

Corresponding author: Dong Kun Lee, Department of Landscape Architecture and Rural System Engineering, CALS, Seoul National University,

Tel: +82-2-880-4885, E-mail: dklee@snu.ac.kr

Received: 22 December, 2015. Revised: 2 February, 2016. Accepted: 17 February, 2016.

between the observation and analyzed value, was 84.9% and Kappa value was 0.82. The highest accuracy value was from agricultural (paddy, field) and forest area. Terrace fields were easily identified using slope data form agricultural field. Use of NDVI, NDSI, and NDWI is more effective in distinguishing deforested terrace field from agricultural area. NDVI only shows vegetation difference whereas NDSI classifies soil moisture values and NDWI classifies abandoned agricultural fields based on moisture values. The method used in this study allowed more effective identification of deforested terrace fields, which visually illustrates forest degradation problem in North Korea.

Key Words: Forest degradation, NDXI, Land cover classification, Phenology.

## I. 서 론

토지 황폐화(Land degradation)는 식량 안보를 위협하거나 수면의 균형을 붕괴, 탄소 흡수 감소, 토양 침식을 통한 탄소 배출, 증발율 변화에 따른 지역 기후에 영향, 굴곡도, 알베도, 대기중 먼지 이동 등에 영향을 준다(Prince et al., 20097). 특히 산림황폐화(forest degradation)는 산림 고유의 생태계 서비스가 감소시키거나 과도한 개발, 외래종 침입, 오염, 화재 등으로 인해생물 종의 구성을 변화시키기도 한다(Sasaki and Putz, 2009). 1990년대에는 열대 산림의 황폐화(Tropical deforestation)가 많은 탄소를 대기중에 배출하게 되었는데, 그 양이 인간영향으로 인한 온실가스 배출량의 약 20%에 해당할 만큼심각하였다(Gullison et al., 2007).

남한은 한국전쟁 이후 황폐한 산림에서 성공적인 조림사업을 통해 우수한 산림을 갖게 되었지만(FAO, 1976; Laster, 2006), 북한의 산림면적은 1990년 820만 ha, 2000년 680만 ha, 2005년 610만 ha로 점차 감소하고 있으며(국제연합농업식량기구, 2005), 이에 따라 산림비율도 1980년대 말 74.8%에서 1990년대 말 70.7%, 1994년대말 67.9%로 지속해서 낮아지고 있다. 이는 매년서울 면적에 약 2대에 해당하는 12.7만 ha의 산림이 사라지는 것이며, 세계적인 3대 황폐지역으로 지정될 정도로 심각한 수준이다(유재심,

2014; 이승호, 2004). 이러한 북한산림 황폐화의 주된 이유는 식량부족으로 인한 산림을 밭으로 개간하는 것이며, 특히 다락밭(계단밭)들이 무분 별하게 증가하면서 대규모 산림훼손으로 이어 지게 된 것이다(Zheng et al., 1997; Bhatia and Thome-Lyman, 2002; 임재학, 2011).

북한의 다락받으로 인한 산림훼손 심화는 자연재해에 따른 피해를 가중하고 있는데, 북한에서 1980년부터 2010년까지 기록된 지진, 전염병, 홍수, 태풍 등 총 28회의 자연재해가 발생할때마다 수목이 없는 산지에 내린 강우, 강설로인해 산사태, 눈사태가 발생해 왔으며, 유실된산림토양이 경작지를 덮어버리거나 하천으로유입되어 홍수에 따른 범람도 빈번해 지는 것으로 조사되었다(FAO, 2010). 북한의 산림황폐화에 따른 사막화와 자연재해를 방지하기 위해서는 과학적이고 체계적인 산림복원을 위한 정량적인 검토가 필요하다.

산림 황폐화 현황을 파악하는 방법으로 주로 원격탐사를 이용한 연구가 활발히 진행되고 있 지만 주로 특정 시기의 단일 영상과 단일지수를 이용한 분석을 주로 진행했으며, 이후 다양한 위 성영상과 알고리즘을 통해서 황폐화 지역을 다 각적으로 분석하고 있다(Pacheco et al., 2014; Kouch and Yamazaki, 2007; Tingting and Chuang, 2010; Prince et al., 2009; Takeuchi and Yasuoka, 2004; Pan et al., 2010). 지금까지 북한의 황폐화

연구는 다중시기와 정규화식생지수(Normalized Difference Vegetation Index; NDVI)를 이용한 연구(염종민, 2008; 차수영 등, 2009), CDM(Clean Development Mechanism) 적지선정(유성진 등, 2011), 농경지와 산림지 변화 관찰(이민부 등, 2003) 등이 있었으며, 대부분 국내에서는 이런 추세에 따라서 북한산림 황폐화 분석에 다양한 영상과 지수를 사용하고 있으나 아직 식생 관련 지수들 만을 사용하거나(홍석영, 2012; 김남신 외, 2013; 유재심, 2014; 농촌진흥청, 2014) 단일시기(유성 진 등, 2011)를 이용하거나 일부 지역에만 국한 하여 사용하여 왔다(김관호 외, 2014). 또한, 단 순히 산림의 유무에 따른 황폐화 정도를 파악하 고 있어 황폐화의 가장 주요한 문제점으로 지적 된 다락 밭과 농경지의 사용 유무 구분을 고려하 는 데에는 한계점을 가지고 있어 정확한 황폐화 분석을 위해서는 다양한 지수와 환경변수를 이 용한 분석이 필요하다. 이에 본 연구의 목적은 다음과 같다. 첫째, MODIS (MODerate resolution Imaging Spectroradiometer; NASA에서 개발한 지구관측위성) 다중시기 영상에 식생, 토양 및 수분의 특성을 나타내는 정규화 지수를 이용하 여 토지피복분류의 정확도를 높이는 것이다. 둘 째, 분류된 토지피복도의 농경지 항목을 이용하 여 황폐화 지역을 추출하고 전반전인 황폐화 분 포를 확인한다. 이러한 자료는 향후 통일시대를 대비하여 남북 간 임업 분야의 교류ㆍ협력과 과 학적인 북한 산림복원계획을 위한 기초자료로 써 활용 가능할 것이다.

## Ⅱ. 재료 및 방법

#### 1. 연구대상지

본 연구의 대상지는 Figure 1과 같이 북한 전역을 포함하며, 공간적 범위는 북한과 그 도서지역을 포함하는 지역(위도 37N~43N, 경도124E~131E)을 대상으로 하였다. 북한지역의연평균 기온은 3~10° 정도이며, 연강수량은



Figure 1. Study site.

1000mm 내외이다. 국토의 면적은 12.3만 km²으로 이중 경지면적은 약 199.2만 ha이며 한국의 경지면적인 약 171만 ha보다 넓다(통계청, 2013년). 북한은 국토의 75%가 산지로 북동쪽의 고산지대와 남서쪽의 평야 지대로 이루어져 있으며, 강우량에 따라 계절적 수량변화가 크며 대륙의 영향으로 온도의 연교차가 큰 특징을 가지고 있다.

## 2. 데이터 수집 및 정확도 평가

식생, 토양, 물과 관련된 정규화 지수를 이용하여 다락 밭을 분류하기 위해서 MODIS 다중시기 영상을 사용하였다. MODIS 영상의 공간해상도는 250m, 500m, and 1km 가지며, 총 36개의 분광해상도를 가진다(Justice et al., 1997). 대부분의 식생들은 독특한 생육계절 순환주기를 가지고 있기 때문에 생물량의 정보를 취득하기 위해서는 데이터의 취득시기는 매우 중요하다(Jensen, 1997). 이에 생물계적인 특성을 반영한 북한의 다락밭 분류를 정확하게 하기 위해서 2013년 3월~2013년 10월까지의 MODIS 일 단위 위성자료를(MODIS 13Q1) USGS의 Earth explorer(www.earthexpoler.com)을 이용하여 취득하였으며, 그중 영상에서 구름의 분포는

cloud cover 5% 미만인 자료를 선별하여 분류에 이용하였다. 그런데, 여름철 영상의 경우 구름이 거의 없는 영상을 취득하는 것이 어려우므로여름 영상에 한해서 구름제거를 위해서 최댓값합성법 (Maximum Value Composite: MVC)를이용하여 구름을 제거하였다. 최댓값합성법은 같은 지점에 다수의 영상을 중첩하여 가장 높은값을 이용하여 구름을 제거하는 방법으로 광범위하게 사용돼 왔다(Marcal and Wright, 1996; Jeong et al., 2006). 북한 전역으로 볼 때 평양을중심으로 UTM 51지역과 52 지역으로 구분이되지만 북한지역 대부분을 차지하기 때문에 52 지역으로 좌표체계를 맞추었다.

분류된 결과의 정확도 평가를 위해서 층화무작 위샘플링(stratified random sampling)방법을 사용하였다. 샘플사이즈는 각 클래스당 50개 이상으로 (Congalton and Green's 1999) 총 856개를 2015년 Google Earth에서 제공하는 고해상도 영상을이용하여 Ground Truth를 추출하였다. 지상 실측정보(Ground Truth)는 토지피복대분류 항목인논(Paddy), 밭(Fram), 식생(Forest), 도시(Built-up), 수역(Water body), 습지(Wetland)에 따라서 추출하였으며, MODIS 영상의 해상도(250m)를 고려하여 최소 4배 이상(R= 1km)되는 대규모 패치(Patch)에서 수집하였고 분류의 정확도를 높이기위해 패치 정 중앙의 점을 획득하였다.

분류 정확도 평가는 행렬오차(Error Matrix)를 사용하였으며, 이러한 방법은 특정항목에 대한 정확한 분류결과를 보여주는 것으로 카파계수(Kappa coefficient)를 이용해서 전체정확도(overall accuracy), 사용자(user's accuracy) 및 생산자정확도(producer's accuracy)를 정량적으로 보여준다(Congalton, 1991; Congalton et al., 2002; Jensen, 2005). 전체정확도는 바르게 분류된 모든 화소를 오차행렬 내의 모든 화소수로 나눈 것이다. 사용자 정확도는 지도상에 분류된하나의 화소가 실제로 지상에서 그 항목과 일치하는지 확률을 뜻하며 수행오차라(commission

error)고도 불린다(Story and Congalton, 1996). 생산자 정확도는 바르게 분류된 분류화소의 확률을 나타내며 누락오차(omission error)라 한다. Kappa 분석은 정확도 평가에 사용되는 이산 다변량 기법의 하나이다.(Congalton and Mead, 1983) Kappa 값은 원격탐사를 이용하여 만든 분류지도와 참조 자료 사이의 일치도나 정확도를 나타내는데, 우연히 분류될 수 있는 화소를 제거하고 정확하게 분류된 화소만을 고려하여분류 정확도를 평가하려는 방법으로 도입되었다. 데이터 처리를 위한 소프트웨어는 Envi 4.5 (Trimble Geospatial Inc, France)를 사용하였다.

## 3. 황폐화 분석을 위한 정규화지수 (NDXI)

정규화 지수는 원격탐사 데이터의 순수화 화 소 값에 대한 분광적 변위를 감소시키며, 순수 한 화소 값을 이용한 전통적인 분류기법에 비해 서 높은 분류 정확도를 나타낸다 (Pan et al., 2012). 원격탐사를 이용한 식생 분류나 황폐화 지역 분석에서는 주로 식생과 관련 있는 NDVI 지수를 주로 사용해 왔으나 NDVI 지수는 식생의 활력도를 측정하는 지수로 식생 이외의 요소에 대해서는 그 특성을 정확히 반영하지 못하는 단 점을 가지고 있다(Takeuchi and Yasuoka, 2004; 정승규, 2006; Pan et al., 2012). 이에 본 연구에 서는 NDVI는 물론 토양의 특징과 물의 특성을 잘 구분할 수 있는 정규화토양지수(Normalized Difference Soil Index; NDSI), 정규화수분지수 (Normalized Difference Water Index; NDWI)를 분석에 사용하였다. NDVI는 입의 면적 및 수분 과 같은 광합성 요소의 감소와 증가와 같은 특 성을 이용하여 토지 황폐화를 측정하는 지표이 다 (Prince and Goward, 1995; lek et al., 2010; Tucker, 1980; Ceccato et al., 2001). 지수의 식은 다음과 같다(Takeuchi et al., 2004).

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \tag{1}$$

위 식에서 Red Band(620-670nm)와 근적외 (Near-infrared: NIR (841-876nm))밴드 표면 반사도이다. NDVI 값은 -1에서 1의 값을 나타내며, 양의 값이 높을수록 식생의 활력 또는 높은 생물량을 나타낸다. 음의 값은 주로 구름 또는수분과 같은 요인을 나타낸다.

NDSI는 모래, 진흙, 점토, 아스팔트와 같은 토양 내 수분의 양과 식생에 포함되는 있는 수 분의 특성을 반영하며, NDWI는 식생의 수분함 량은 물론 물과 얼음의 특징까지 구분해낼 수 있다(Tingting et al., 2010;Pan et al., 2010). 이런 특징을 가지게 된 이유는 NDSI와 NDWI가 사 용하는 단파적외밴드(Short-wave infrared; SWIR Band(1628-1652nm)) 때문인데, 이 Band의 파장 대는 식생의 수분함유량 및 엽면적 지수등과 같 은 생물리학적인 정보에 대해서 기존 NDVI를 구성하는 RED Band(620-670nm)와 NIR Band (841-876nm)보다 더 민감한 정보를 제공하기 때문이다(Tucker, 1980;Ceccato et al., 2001). 또 한, 농경지는 김매기, 씨뿌리기, 모내기 추수와 같이 시기에 따라 다른 특징을 가지고 있어 NDWI와 같이 생물리학적인 정보에 더 민감하 고 이러한 특징을 잘 구분하는데 더욱 효과적인 지수라고 볼 수 있다. 각 지수의 식은 다음과 같 다(Pan et al., 2012).

$$NDWI = \frac{RED - SWIR}{RED + SWIR} \tag{2}$$

$$NDSI = \frac{SWIR - NIR}{SWIR + NIR} \tag{3}$$

위 식에서 Red (620-670nm), NIR (841-876nm) and SWIR (1628-1652nm)은 MODIS 영상의 1 번과 2번 및 6번 밴드이며, 각 지수는 지표면 피복에 대한 분광반사를 기반으로 계산되어 진다. 이처럼 지표면에 대한 지수의 특징은 식생, 토양, 물 사이의 명확한 특징을 구분 할 수있다.

## 4. 토지피복분류 및 다락 밭 추출

ISODATA(Iterative Self-Organizing Data Analysis)는 무감독 분류 알고리즘 중 하나로 분 류에 사용 되는 클래스에 대한 평균과 공분산을 자율적으로 선택하고 반복적인 분류를 통해서 최근사치의 값을 얻도록 하는 방법으로 분석가 의 개입이 가장 적고 넓은 지역을 분류하는데 효 율적인 알고리즘이다(Jensen, 2005). 특히, 정규 화지수에 ISODATA를 적용했을 때 높은 정확도 를 보이는 것으로 알려져 왔다(Pan et al., 2010). 이에 본 연구에서는 정규화 지수들을 분류하는 데 높은 정확도를 나타내는 무감독분류 중 하나 인 ISODATA 분류 알고리즘을 사용하였는데, 북한지역과 같이 실제 접근이 불가능하며 해당 지역에 대한 사전정보가 없는 지역에 대해서 다 양한 생물리학적 정보를 취득하는데 쉽기 때문 이었다. ISODATA의 분류과정에서는 분류클래 스의 수, 임계치 변화, 반복횟수와 같은 파라미 터를 설정해야 한다. 이러한 과정은 분류의 정확 도의 영향을 주는 요소로 분류 전에 정의돼야 한 다. 본 연구에서는 Table 1처럼 분류 클래스는 50개로 나누었으며, ISODATA의 반복횟수는 50 회로 설정하였다. 이는 50회를 넘어가더라도 픽 셀의 군집화를 위한 변화율은 낮아지기 때문에 이처럼 설정하였다(Pan et al., 2010).

분류 정확도를 더 높이기 위해서 피복의 클래스 수는 대분류 기준인 7개보다 많은 50개의 항목 으로 분류 후 Google Earth 고해상도 영상을 참

Table 1. ISODATA parameters used.

Parameter	Value
Minimum class numbers	7
Maximum class number	50
Maximum iterations	50
Change threshold(%)	5
Minimum pixle in class	3
Maximum merge paris	2

조자료로 하여 라벨링 과정을 통해서 최종 7개의 클래스로 분류하였다. 북한에서 다락밭 개간사업은 경사가 16도 이상 되는 모든 비탈면에 둑을만들어 6~8도의 경사면선 조성하도록 하였기때문에(부경생, 2001) 본 연구에서는 다락 밭의추출 기준을 농경지 항목에서 16도 이상 되는 지역을 경사도 자료를 이용하여 추출하였다.

## Ⅲ. 결과 및 고찰

## 1. 분할 영상의 생물계절적인 특성

다음의 Figure 2부터 Figure 4는 NDVI, NDSI, NDWI 지수들의 생물계절적인 특성을 반영한

월별 영상이다. Figure 2의 NDVI 영상의 결과에서는 북한의 개마고원을 비롯하여 산간지대의식생의 활력도가 3월부터 10월까지 전반적으로 높아지는 것을 볼 수 있다.

그러나 5월에서 NDVI 값이 더 높은 값을 뛰고 있는 것을 볼 수 있는데 이는 본격적인 농작물의 생육기간 이전에 초본상태에서 생육활동때문에 영향을 받은 것으로 볼 수 있다(Tingting et al., 2010). Figure 3의 NDSI 결과에서는 NDVI 값과 반대로 개마고원과 백무고원 지역에 지수의 값이 상당히 낮은 것을 볼 수 있는데, 이 지점들은 토지 및 식생이 척박한 것으로 판단되며, 이러한 현상은 산림 속에 상당수 개간 후 버

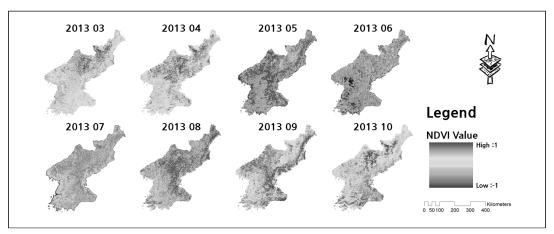


Figure 2. Results of monthly NDVI.

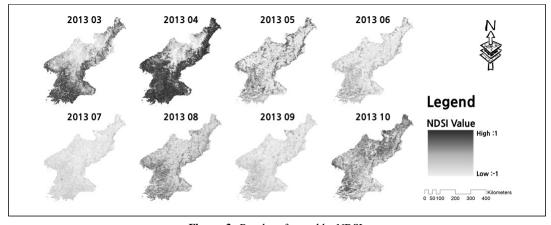


Figure 3. Results of monthly NDSI.

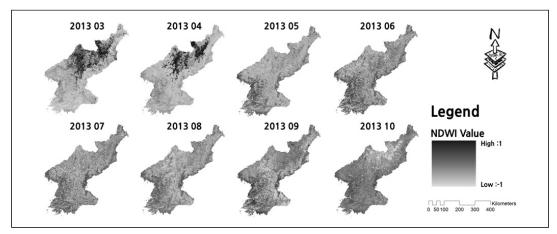


Figure 4. Results of monthly NDWI.

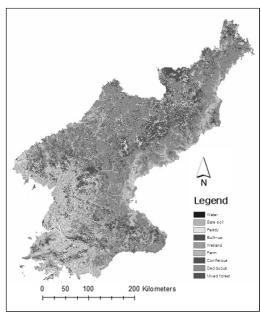
려진 농경지들이 존재하기 때문에 나타나는 것 으로 추정할 수 있다.

Figure 4는 월별 NDWI 분포를 보여주고 있는데, 결과를 살펴보면 농경지가 많이 분포하고 있는 평야 지대는 높은 값의 분포를 나타냈으며, 백두산 천지를 비롯하여 산간지역 사이에 분포하고 있는 호수들의 분포특성을 나타내고 있었다.

위의 NDVI, NDSI, NDWI 세 지수 분석결과 북한의 시기별 생물계절적인 특성을 잘 반영함 과 동시에 단순히 NDVI만을 이용하여 분석하 는 것보다 다양한 지수를 이용했을 때 식생 외 다른 요인들의 특성을 분석하는데 효과적임을 알 수 있었다.

Figure 5와 Table 2는 월별 NDVI, NDSI, NDWI를 이용하여 ISODATA 분류기법을 적용한 토지피복분류 결과이다. Table 2의 전체 분류 정확도 결과에서는 84.92%, Kappa Value는 0.82로 나왔다. Kappa 값은 바르게 분류되었을 때 1, 우연히 분류되었을 때 0을 나타내며, 일반적으로 0.8 이상일 때 분류지도와 참조자료와의 정확도의 일치도가 높음을 의미한다(Landis and Koch, 1977; Hudson and Ramn, 1987). 항목 중에는 식생과 농경지가 전반적으로 높게 나왔는데, 이는 본 연구에서는 사용한 다중시기 영상

이 생육계절특성을 가지는 식생과 농경지의 특성을 NDVI 및 NDWI와 함께 분류과정에 잘 반영되어 다른 항목보다 분류 정확도가 높은 것으로 볼 수 있었다. 이러한 이유는 NDVI와 같은 단일 지수를 이용한 분류에서는 단순히 식생활력정도만을 나타내어 휴경작지를 탐지하기 어렵지만 NDSI의 토양수분 값과 NDWI의 식생수



**Figure 5.** Classification result of North Korea using NDVI, NDSI, NDWI.

r matrix	using	confusion	matrix.
	r matrix	r matrix using	r matrix using confusion

	Deciduous	Coniferous	Mixed	Paddy	Field	Built-up	Bare soil	Wet land	Water body	User's Acc(%)
Deciduous	152	7	6	1	1	0	0	0	0	91.02
Coniferous	7	83	2	1	0	0	0	0	0	89.25
Mixed	14	8	83	0	0	0	0	0	0	79.05
Paddy	1	0	0	103	9	0	0	2	0	89.57
Field	1	0	0	9	133	1	10	2	1	84.71
Built-up	0	0	0	1	0	64	7	5	4	79.01
Bare soil	0	0	0	0	7	4	33	0	2	71.74
Wetland	0	0	0	2	0	2	0	35	2	85.37
Water body	0	0	0	3	0	1	0	6	41	80.39
Producer's Acc(%)	86.86	84.69	91.21	85.83	88.67	88.89	66	70	82	

Overall accuracy 84.92 % (727/856), Kappa coefficient 0.82

분 값은 농경지의 생육특성을 분류하는데 더 효 과적이기 때문이다(Pan et al., 2010).

이러한 분류 결과는 기존의 다중시기 영상에 단일 지수와 ISODATA를 이용해서 농경지를 분 류했던 연구결과에(유재심, 2011) 비해서 본 연 구에서 사용한 다양한 환경 지수를 이용했을 때 농경지 항목은 높은 분류 결과를 보여주고 있었다. 반면, 습지와 수역 및 시가화건조지역은 분류정확도가 다소 낮게 나온 것을 확인할 수 있었다. 이는 시가화 건조지역 은 건물에 의한 그림자 때문에 습지 및 수역과 비슷한 특성을 가지게되어 오분류되기 때문이다(Rokni et al., 2014).

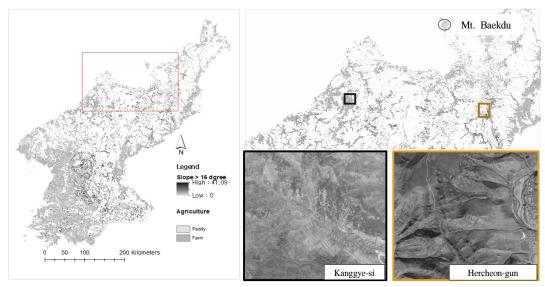


Figure 6. Extract terrace fields from agriculture area in North Korea.

Figure 5는 MODIS 다중시기와 3가지 지수 NDVI, NDSI 및 NDWI를 이용하여 구축한 북한의 토지피복도를 보여주고 있다. Figure 5의 농경지로 분류된 항목에 대해서 다락 밭을 분류하기 위해서 경사도 16도 이상의 지점을 추출한결과는 Figure 6 파란색으로 보여주고 있다.

Figure 6 결과를 살펴보면 낮은 지대인 서해 안보다는 동해와 산간지대에서 다락받의 분포가 더 두드러진 것을 확인할 수 있었으며, 두만 강을 중심으로 다락 받이 많이 분포하는 것을 분류결과에서 볼 수 있었다. 또한, 개마고원을 비롯해서 산간지역의 많은 부분이 농경지화가되어 있는 것을 분석에서 볼 수 있었다. 특히, Figure 6의 오른쪽 그림에서 보듯이 분류 결과에서 다락받 밀도가 높은 북부내륙지방인 강계시와 허천군 지역을 고해상도 영상과 비교한 결과 분류된 지역에서는 다락 받의 밀도가 높고 많이 분포하고 있는 것을 확인할 수 있었다.

이러한 분류 결과는 기존의 단순히 분광특성 만을 이용하여 분류한 결과보다 농경지를 분류 하고 경사면에 조성한 다락밭을 추출하는데 쉽 고 효과적이라는 것을 보여주고 있다.

## IV. 결 론

본 연구는 MODIS 다중시기 영상에 NDVI, NDSI, NDWI등 과 같이 다양한 식생과 관련된 환경인자를 추출하여 분류과정에서 생물계절인 특성을 반영하고 북한의 산림황폐화의 현황을 파악함에 있어 생물계절적 특성을 가지며, 높은 분류정확도를 가지는 토지피복도를 구축하고 다락밭을 추출하고자 하였다. 본 연구에서는 다음과 같은 결과를 얻었다. 첫째, MODIS 다중시기 영상과 NDVI, NDSI, NDWI를 이용해서 북한의 식생 및 농경지에 대한 생물 계절적 변화 양상을 분석하였다. 둘째, NDVI, NDSI 및 NDWI와 ISODATA를 이용한 분류 결과에서는 단일식생지수를 이용한 결과보다 산림과 농경

지에 항목에 대해서 더욱 높은 분류정확도를 보였다. 단일 식생지수인 NDVI는 식생의 특성만을 반영하였으나 본 연구에서 사용한 NDSI는 토양의 척박도의 분포를 NDWI는 식생의 수분함 함유량을 반영하여 식생생육환경에 대한 다양한 정보를 포함해서 더욱 높은 분류 정확도를 보여주었다. 셋째, 분류과정에서화소의 분광 값만을 이용하여 분류하는 방법보다 농경지를 정확히 구분후 경사도를 이용하여 황폐지를 구분하는 것이 다락받의 밀도와 전반적인 분포를 구분하는데 효과적이었다.

본 연구는 남・북간 국제배출권 거래제 및 청정개발연계체제를 방안이 논의를 위한 단계에서 남북의 대응정책 수립을 위한 CDM 적지선정에 중요한 기초자료를 제공하고 있다. 다만북한의 정치적 상황상 지상 실측 정보(Ground Truth)를 북한 내부의 현황자료를 사용하지 못하고 고해상도 영상자료를 사용하였다. 향후 북한 내부 지상 실측 정보(Ground Truth)자료와생물계절특성을 반영한 고해상도 영상을 사용한다면 더욱 정확한 다락 밭 분류가 이루어질수 있다.

#### References

- Bhatia, R. and A. L. Thome-Lyman. 2002. Food shortages and nutrition in North Korea. The Lancet (Suppl.) 360: 27-28.
- Bu KS. 2010. Agriculture of North Korea, Seoul National University Press.
- Cha SY · Seo DJ and Park CH. 2009. Monitoring vegetation phenology using MODIS in northern plateau region, North Korea. Korean Journal of Remote Sensing 25(5): 399-409.
- Choi CH. 2009. Korean Unification and the Land Policy of North Korea. Korea Public Land Law Association 43(3): 151-175.

Environment Geographic Information System:

- http://egis.me.go.kr/main.do
- FAO. 1974. A Framework on Land Evaluation, FAO Soil Resour. Bull., FAO, Rome.
- Google Map: http://map.google.com
- Gullison, R. E. · P. C. Frumhoff · J. G. Canadell · C. B. Field · D. C. Nepstad · K. Hayhoe · R. Avissar · L. M. Curran · P. Friedlingstein · C. D. Jones and C. Nobre. 2007. Tropical forests and climate policy. Science -New York then Washington- 316(5827): 985-986.
- Hong SY · Min BK · Lee JM · Kim Y and Lee K. 2012. Estimation of paddy field area in North Korea using RapidEye images. Korean Journal of Soil Science and Fertilizer 45(6): 1194-1202.
- Hudson, W. D. and C. W. Ramm. 1987. Correct formulation of the Kappa Coefficient of Agreement. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing 53(4): 421-422.
- Jeong SG. 2006. Land Cover Classification of the Korean Peninsula Using Linear Spectral Mixture Analysis of MODIS Multi-temporal Data, orean Journal of Remote Sensing 22(6): 553-563.
- Kim KH · Lee SH and Choi JY. 2014. An analysis of agricultural infrastructure status of North Korea using satellite imagery. KCID J 21(1): 45-54.
- Kim NS · Lee HC and Cha JY. 2013. A Study on Changes of Phenology and Characteristics of Spatial Distribution Using MODIS Images. Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology 16(5): 59-69.
- Kiptala, J. K. Y. Mohamed M. L. Mul M. J. M. Cheema and P. Van der Zaag. 2013. Land use and land cover classification using phenological variability from MODIS vegetation in the Upper Pangani River Basin,

- Eastern Africa. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 66: 112-122.
- Kouch, K. and F. Yamazaki. 2007. Characteristics of Tsunami-Affected Areas in Moderate-Resolution Satellite Images. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 45(6): 1650-1657.
- Landis, J. R. and G. G. Koch. 1977. An application of hierarchical kappa-type statistics in the assessment of majority agreement among multiple observers. Biometrics 33: 363-374.
- Lee SH. 2004. Situation of Degraded Forest Land in DPRK and Strategies for Forestry Cooperation between South and North Korea, Journal of Agriculture & Life Sciences 38(3): 101-113.
- Pacheco, C. E. · M. I. Aguado and D. Mollicone. 2014. Identification and characterization of deforestation hot spots in Venezuela using MODIS satellite images. Acta Amazonica 44(2): 185-196.
- Pan, X. Z. · S. Uchida · Y. Liang · A. Hirano and B. Sun. 2010. Discriminating different landuse types by using multitemporal NDXI in a rice planting area. International Journal of Remote Sensing 31(3): 585-596.
- Prince, S. D. · I. Becker-Reshef and K. Rishmawi. 2009. Detection and mapping of long-term land degradation using local net production scaling: Application to Zimbabwe. Remote Sensing of Environment 113(5): 1046-1057.
- Sasaki, N. and F. E. Putz. 2009. Critical need for new definitions of "forest" and "forest degradation" in global climate change agreements. Conservation Letters 2(5): 226-232.
- Solano, R. · K. Didan · A. Jacobson and A. Huete. 2010. MODIS Vegetation Index User's Guide (MOD13 Series).

- Takeuchi, W. and Y. Yasuoka. 2004. Development of normalized vegetation, soil and water indices derived from satellite remote sensing data. Journal of the Japan Society of Photogrammetry and Remote Sensing 43(6): 7-19.
- Tingting, L. and L. Chuang. 2010. Study on extraction of crop information using time-series MODIS data in the Chao Phraya Basin of Thailand. Advances in Space Research 45(6): 775-784.
- Wolf, A. 2010. Using WorldView 2 Vis-NIR MSI Imagery to Support Land Mapping and Feature Extraction Using Normalized Difference Index Ratios.
- Yeom JM · Han KS · Lee CS · Park YY and Kim YS. 2008. A detection of vegetation variation

- over North Korea using SPOT/VEGETATION NDVI. Journal of the Korean association of geographic information studies 11(2): 28-37.
- Yu JS. 2014. Ecological Restoration Modeling of Forest Landscape in North Korea, Doctoral Thesis, Seoul National University.
- Zhang, X. · R. Sun · B. Zhang and Q. Tong. 2008.

  Land cover classification of the North China Plain using MODIS\_EVI time series. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 63(4): 476-484.
- Zheng, D. L. · D. O. Wallin and Z. Q. Hao. 1997.

  Rates and patterns of landscape change between 1972 and 1988 in the Changbai Mountain area of China and North Korea.

  Landscape Ecol. 12: 241-254.