

위성영상을 이용한 북한의 농업환경 분석 I. Landsat TM 영상을 이용한 북한의 지형과 토지피복분류

홍석영* · 임상규 · 이승호¹⁾ · 이정철²⁾ · 김이현

농촌진흥청 농업과학기술원 농업환경부 토양관리과, ¹⁾국립산림과학원 산림경영부 산림정보과, ²⁾한국농촌공사 해외사업처 해외사업팀
(2008년 6월 10일 접수, 2008년 6월 20일 수리)

Spatial Analysis of Agro-Environment of North Korea Using Remote Sensing

I. Landcover Classification from Landsat TM imagery and Topography Analysis in North Korea

Suk-Young Hong*, Sang-Kyu Rim, Seung-Ho Lee¹⁾, Jeong-Cheol Lee²⁾, and Yi-Hyun Kim (Soil Management Division, Department of Agricultural Environment, National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, ¹⁾Korea Forest Research Institute, ²⁾Korea Rural Community & Agriculture Corporation)

ABSTRACT: Remotely sensed images from a satellite can be applied for detecting and quantifying spatial and temporal variations in terms of landuse & landcover, crop growth, and disaster for agricultural applications. The purposes of this study were to analyze topography using DEM(digital elevation model) and classify landuse & landcover into 10 classes - paddy field, dry field, forest, bare land, grass & bush, water body, reclaimed land, salt farm, residence & building, and others - using Landsat TM images in North Korea. Elevation was greater than 1,000 meters in the eastern part of North Korea around Ranggang-do where Kaemagowon was located. Pyeongnam and Hwangnam in the western part of North Korea were low in elevation. Topography of North Korea showed typical 'east-high and west-low' landform characteristics. Landcover classification of North Korea using spectral reflectance of multi-temporal Landsat TM images was performed and the statistics of each landcover by administrative district, slope, and agroclimatic zone were calculated in terms of area. Forest areas accounted for 69.6 percent of the whole area while the areas of dry fields and paddy fields were 15.7 percent and 4.2 percent, respectively. Bare land and water body occupied 6.6 percent and 1.6 percent, respectively. Residence & building reached less than 1 percent of the country. Paddy field areas concentrated in the A slope ranged from 0 to 2 percent (greater than 80 percent). The dry field areas were shown in the A slope the most, followed by D, E, C, B, and F slopes. According to the statistics by agroclimatic zone, paddy and dry fields were mainly distributed in the North plain region(N-6) and North western coastal region(N-7). Forest areas were evenly distributed all over the agroclimatic regions. Periodic landcover analysis of North Korea based on remote sensing technique using satellite imagery can produce spatial and temporal statistics information for future landuse management and planning of North Korea.

Key Words: Landcover classification, Landsat TM, North Korea, DEM, Topography

서론

원격탐사란 조사하고자 하는 대상, 지역 및 현상에 대해 비접촉·비파괴적인 도구를 이용하여 수집된 자료의 분석을 통하여 정보를 수집하는 과학기술이다. 위성영상과 같은 원격탐사 자료는 현지조사 및 항공사진에 비하여 넓은 지역을

한번에 관측할 수 있고 육안으로 감지하기 어려운 물체나 현상들을 감지할 수 있는 이점을 가지고 있다¹⁾. 토지이용, 지형, 토양지리 등 농업환경과 관련된 정보의 수집이 대개 넓은 공간에 걸쳐 실시되는 것을 볼 때, 수 천 평방 킬로 이상의 넓은 지역을 대상으로 영상자료를 제공하는 원격탐사는 자료와 정보를 얻는 중요한 수단으로 이용될 수 있다. 특히 사람이 직접 방문하여 조사하기 힘든 극지라든가 북한과 같이 연결 지역으로 농업환경 분석 요구도가 높으면서도 직접 자료수집이 힘든 비접근 지역에 대한 정보를 얻어야 하는 경우에 관측수단으로써 매우 유용하다.

*연락처:

Tel: +82-31-290-0280 Fax: +82-31-290-0282
E-mail: syhong@rda.go.kr

북한의 농업 현황, 농업기술, 생산 기반에 관한 연구는, 우리나라에서는 정부기관과 연구소, 일부 대학에서 활발히 수행되고 있고 세계적으로는 UN, FAO와 같은 국제기구와 관련 기관, 대학 등에서 수행되고 있으나 주로 문헌조사와 청취 조사, 방문을 통한 단편적인 정보로 전체적인 맥락을 파악하거나 문서자료 이상의 일관성있는 이차원적인 정보를 얻기엔 미흡한 점이 많다. 넓은 지역에 대해 지표면에 대한 파장별 반사특성 데이터의 형태로 얻어지는 위성영상 자료를 이용한 다면 지역전체를 대상으로 하여 보다 과학적이고 객관적인 자료 생산이 가능할 것으로 생각된다.

토지피복(land cover)지도란 식생과 토지이용 등 지표면의 물리적인 형태를 농업환경적인 가치와 자연생태적인 이용 기준에 따라 조사·분류하여 동질의 특성을 지닌 지역을 지도의 형태로 표현한 지도로서 지표면의 현 상황을 가장 잘 반영하고 있으므로, 농업 및 환경자원의 파악, 자연자원의 이용과 보전을 위한 기본방향 설정, 환경계획 수립과 관리의 자료로 활용할 수 있다²⁾. 한편 토지이용(land use)지도는 인간의 경제적인 활동을 중심으로 토지의 이용 상황을 그 나라의 국토이용관리법에 따른 용도에 따라 나타낸 지도로서 국토이용계획과 관리를 위한 중앙정부 및 지자체의 정책수립 및 환경해석 등의 자료로 활용할 수 있다. 토지이용과 토지피복을 각각 경제적 기능(economic function)과 지표면 특성(surface feature)으로 규정하였다. 그러나 위성영상을 이용한 분류 방법의 결과물은 정의에 명시된 토지피복과 토지이용의 구분이 분명하지 않아 토지피복/이용(land use and land cover)으로 쓰는 경우도 자주 있다. 본 논문에서는 토지피복/이용분류도를 토지피복도 또는 토지피복지도라 한다³⁾.

동일 지역에 대한 주기적 영상자료를 이용한 토지피복도는 지표면 반사특성에 따른 계절적 변화와 토지피복에 따른 자연적/인위적 연차별 변화를 파악하고 환경을 감시하는 중요한 수단이 된다. 이와 같이 토지피복 정보는 환경변화와 생산기반에 대한 연구와 토지이용 계획에 꼭 필요하고, 토지피복 분류도의 정확도에 따라 얻어지는 결과의 질이 결정된다. 연구범위에 따라 정확도는 차이가 있을 수 있어 넓은 지역을 대상으로 하는 경우와 좁은 지역을 대상으로 하는 경우가 같이 평가될 수는 없다. 위성영상을 이용한 분류에 사용되는 입력레이어는 단일 밴드뿐만 아니라 밴드간 연산인 여러 가지 지수와 주성분 등이 이용될 수 있다. Imagawa et al.(1997)은 중국의 나이만 지역에서 식생지수, 구조지수, 적색지수를 이용하여 사막화 지역을 파악하였고⁴⁾, 다중시기(multi-temporal) 자료의 반사특성을 조사 후 유효한 밴드에 대해서만 최대우도법(maximum likelihood)을 이용하여 토지피복 분류하고 사막화 지역을 추출하였다. 최대우도법은 자료의 처리시간이 길지만 가장 많이 사용되는 분류방법으로 훈련조(training sample)가 정규분포를 한다는 가정 하에 자료의 평균벡터와 공분산 행렬을 계산한 후 확률밀도 함수를 이용하여 각 화소를 확률이 가장 높은 분류항목으로 귀속시키는 분류방법이다.

수치표고모형(DEM; digital elevation model)과 같은 지형 정보를 사용하거나, 질감분석(texture analysis)을 결합하는 방법으로 먼저 정규화식생지수(NDVI; normalized difference vegetation index, 이하 NDVI라 함)로 상록수림을 결정하고, 다음에 레벨슬라이스(level slice)하여 활엽수림과 논을 차례로 구분하는 등 여러 단계에 걸친 분류를 이용할 수도 있다⁴⁾. 삼림지역을 제거한 뒤 나머지 지역을 초지, 나지, 논, 경작지, 도심지 등으로 차례로 분류하고 NDVI 영상의 웨이블릿 변환(wavelet transformation)을 통해 가장자리(edge)를 감지하여 연속적으로 존재하는 직선들을 추출하여 농경지를 분류한 경우도 보고되고 있다⁵⁾. Hong(1999)과 Hong et al.(2001)은 논 의 시기별 스펙트럼 특성에 기초하여 다중시기 Landsat TM 자료를 이용하여 이양기에 수체(water body)로 나타나고, 작물 군락의 최성기인 출수기의 RVI(ratio vegetation index)가 높은 조건을 만족하는 특성을 가진 부분을 논으로 정의하여 벼 재배면적을 추정하였다^{6,7)}. Okamoto et al.(1995)는 Landsat TM 영상을 이용하여 북한 지역의 벼농사에 대한 홍수 피해를 조사하여 등급화를 하였다⁸⁾.

토지피복도는 토지의 가장 기본적인 토지이용 계획 수립에 반드시 필요한 정보이다. 토지이용 형태의 구분과 면적 산정 및 그 변화는 농업환경과 생태계의 다양한 현상을 설명하기 위한 기초적인 자료로 이용된다. 따라서 본 연구는 직접 조사가 힘든 북한 전역을 대상으로 인공위성 영상자료를 이용하여 토지피복분류를 수행하고 행정구역별로 면적을 산정하였으며 토지 현황과 특성을 파악하여 계획 수립과 개발 방안에 도움이 되고자 수행하였다.

재료 및 방법

위성영상

직접조사가 어려운 북한 전 지역의 토지피복분류를 위하여 Landsat TM 자료를 이용하였다. TM(thematic mapper)은 미국 항공우주국(NASA; National Aeronautics and Space Administration)에서 1972년 이래 연속적으로 발사하였던 Landsat 위성 중 4호(1982. 7. 16~2001. 6. 15)부터 탑재되었던 센서로 모두 7개의 파장영역으로부터 지표면의 특성을 관측하고 있다. 본 연구에 사용한 자료는 1984년 발사되어 현재까지 운영되고 있는 Landsat TM 5호로부터 취득한 영상이 대부분으로 구매된 자료이다. Landsat TM 5호 영상은 자료값의 범위가 0에서 255사이의 값을 갖는 unsigned 8 bit 자료이고 밴드별로 파장정보와 특성이 다르다(Table 1). 그 중 농업적으로 활용도가 높은 파장영역은 적색광과 근적외광이다. 적색광은 엽록소 흡수대가 포함되어 있고 근적외광은 식생의 활력이 클수록 많이 반사하기 때문에 식생의 변이에 민감한 특성이 있다. 또한 중간적외광 부분은 지표면의 수분상태에 따라 자료값이 변화하므로 군락 및 토양표면의 수분상태를 파악하는데 도움이 된다.

Table 1. Spectral characteristics of Landsat TM bands and their spatial resolution¹⁰⁾

Band	Wavelength (μm)	Nominal spectral location	Principal Applications	spatial resolution
1	0.45-0.52	Blue	Water body penetration, coastal water mapping, soil/vegetation discrimination, forest type mapping, and cultural feature identification	30
2	0.52-0.60	Green	Green reflectance peak of vegetation - vegetation discrimination, vigor assessment, cultural feature identification	30
3	0.63-0.69	Red	Chlorophyll absorption - plant species differentiation, cultural feature identification	30
4	0.76-0.90	Near infrared	Vegetation types, vigor, biomass content, delineating water bodies, soil moisture discrimination	30
5	1.55-1.75	Mid infrared	Vegetation moisture content, soil moisture, differentiation of snow from clouds	30
6	10.4-12.5	Thermal infrared	Vegetation stress analysis, soil moisture discrimination, and thermal mapping applications	120/60
7	2.08-2.35	Mid infrared	Discrimination of mineral and rock types, vegetation moisture content	30

Landsat TM의 관측폭(swath)은 185 km x 185 km로 북한 전역을 모두 포함하기 위해서는 약 12장이 필요하다 (Fig. 1). 센서가 지표면을 수직(nadir)촬영하고 같은 지역을 다시 촬영하는데 걸리는 시간은 16일이며 1년에 지구전체를 20회 촬영할 수 있다. 농경지와 산림의 특성을 파악하기 위

해서는 일년 단위로 변화하는 작물의 생육특성과 산림의 연 변화를 잘 반영할 수 있는 시기의 영상을 택하는 것이 중요하다 생각되어 봄과 가을 두 시기의 영상을 주로 선택하였고, 영상이 없는 지역은 단일 시기의 영상을 이용하였다 (Table 2).

위성영상의 전처리

위성에서 촬영된 원격탐사 자료는 대개 위성의 자세 불안정에서 기인하는 시스템적(systematic)·비시스템적(unsystematic)인 기하오차(geometric distortion)를 포함하고 있다. 기하오차가 생기는 시스템적인 원인은 탑재체의 속도, 지구의 공전, 주사속도(scan velocity) 등을 들 수 있고, 비시스템적인 원인은 위성의 고도와 자세 등을 들 수 있다. 기하오차는 위성

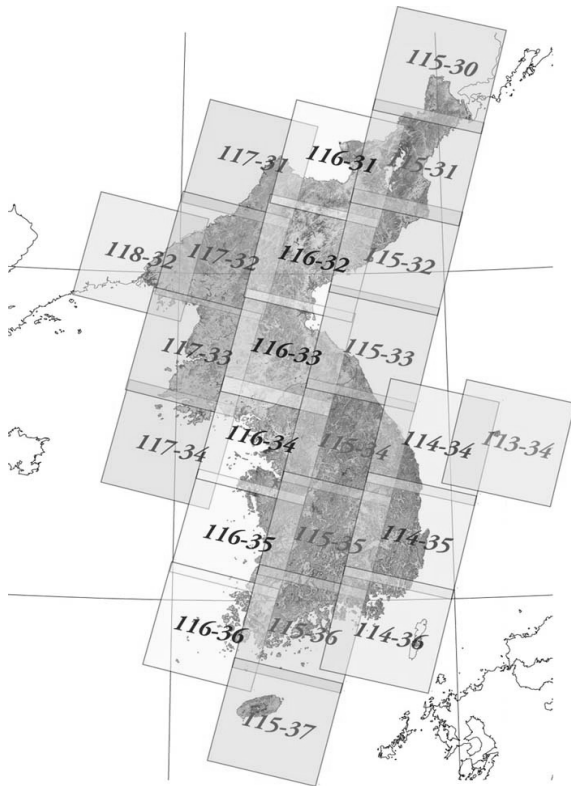


Fig. 1. Orbital path and row of Landsat TM images covering Korea

Table 2. Landsat TM-5 data used for image classification

Path-Row	Image acquisition dates		
115-30	1999/5/30	1999/9/3	
115-31	1999/5/30	1999/9/3	
115-32	1999/5/30	1998/9/16	
115-33	1998/5/30	1999/9/3	
116-31	1997/7/18		
116-32	1999/5/21	1997/7/18	
116-33	1999/5/21	1996/9/1	
116-34	1999/5/21	1999/6/22	1999/9/26
117-31	1998/5/25	1999/6/29	
117-32	1999/6/29		
117-33	1999/5/28	1999/8/16	
117-34	1999/5/28	1999/8/16	
118-32	1997/6/14	1998/8/20	

내부의 센서 왜곡에 대한 정보와 탑재체의 천문력(ephemeris) 자료로부터 보정될 수 있고 사용자에게 영상이 전달될 때는 보정이 완료된 상태로 건네지는 경우가 대부분이다. 그러나 충분한 지상기준점(GCP; ground control point)을 잡지 않고는 믿을만한 정확도로 보정될 수 없는 경우가 있다. 센서 시스템의 자세 및 고도는 지상기준점을 선택하여 보정할 때 비로소 기하학적 오차를 줄여 실세계와 같이 표현될 수 있다⁹⁾. 지상기준점은 어느 지점에서 정확히 표시될 수 있는 특성을 가진 지표면 대상체 또는 영상좌표와 경·위도, 미터로 표시되는 지도좌표를 가지는 지표상의 어떤 한 점으로 정의된다. 가장 흔히 이용되는 지상 기준점의 예를 들면 도로간 교차점, 댐벽의 구석점, 교량 등 계절변화가 없는 특성을 가진 대상체이다. 이와 같이 식별이 가능한 지상기준점을 영상에서 확인하여 좌표를 가진 지도나 기준영상의 정보를 부여하는 과정을 '좌표등록(registration)'이라고 한다.

Landsat TM 영상의 기하학적인 보정을 위한 지상기준점을 찾기 위해서 기준으로 할 자료로는 경인문화사에서 발간한 최신 북한 오만본지지형도(1:50,000, 228도엽)를 사용하였다. 도면형태의 지형도를 스캔하여 이미지 파일을 생성하고 도면의 네 기준점(tic)의 좌표를 이용하여 affine 변환식(식 1)을 이용하여 좌표등록을 하였다.

$$\begin{aligned} u &= f_1(x, y) \\ v &= f_2(x, y) \end{aligned} \quad (1)$$

where, (u, v) = distorted image coordinates (column, row)

(x, y) = correct map coordinates

f_1, f_2 = transformations functions

이와 같이 좌표등록된 지형도 영상을 기준으로 2차 다항식(식 2)을 이용하여 Landsat TM 영상을 좌표등록하였다. 1차식인 affine식을 이용할 경우 서로 다른 path와 row에서 촬영된 영상을 보정하여 접합(mosaic)할 때 일치하지 않는 경향이 두드러지게 나타나 이를 해결하고자 2차식을 이용하게 되었다.

$$\begin{aligned} u &= a_0 + a_1x + a_2y + a_3xy + a_4x^2 + a_5y^2 \\ v &= b + bx + by + bxy + bx^2 + by^2 \end{aligned} \quad (2)$$

원래의 화소(pixel)와 보정 화소와의 위치관계에 따라 각 화소의 다시 결정하는 일을 영상의 재배열(resample)이라 하는데, 보정 영상과 원영상의 화소가 일대일 대응하지 않기 때문에 원영상의 주변 화소값을 이용하여 보정 영상의 화소값을 결정하는데, 그 방법으로는 최근린법(nearest neighborhood), 공1차내삽법(bilinear interpolation), 3차중첩내삽법(cubic convolution)을 들 수 있다^{10,11)}. 최근린법은 인접한 4개의 화소값 중에서 가장 가까운 곳에 위치한 화소에서 보정화상의 화소값을 결정하므로 화소값의 변화가 가장 적다. 그 밖에

최근린법은 쉽고 처리속도가 빠른 장점이 있다. 공1차내삽법은 인접한 4개의 화소의 거리에 따른 가중평균값을 이용하여 내삽하는 방법으로 화상이 평활(smooth)해진다. 3차중첩내삽법은 인접한 16개 화소값을 이용한 3차 방정식을 통해 보정화상의 화소값을 결정하게 되는데, 빛에 민감하고 화상분석에 좋지만 속도가 느린 단점이 있다. 지형도는 공간적인 연결성과 자연스러움이 가장 중요하다고 생각되어 3차중첩내삽법으로 영상 재배열하였다. Landsat TM 영상은 고유한 자료값(data file value)을 이용하여 토지피복을 분류해야 하므로 화소값의 변화가 가장 적은 최근린법으로 재배열하였다.

북한은 우리나라와 달리 남북과 동서로 동시에 뻗어 있어 우리가 사용하는 평면좌표계인 TM(transverse meicator, 횡메르카토르) 투영 좌표계를 이용할 경우 동서로의 왜곡이 크게 발생할 것으로 판단되어 동서방향의 왜곡이 비교적 균일한 UTM(universal transverse mercator; 만국횡단메르카토르) 투영좌표계(WGS 84 North Zone 52)를 이용하였다.

분류항목 설정

위성 영상을 이용한 분류 항목의 설정은 연구목적과 활용도에 따라 다른데, Anderson et al.(1976)이 도심지·인공건조물, 농경지, 방목지, 산림, 물, 습지, 나지, 툰드라, 만년설 9개로 분류한 항목이 기본적으로 널리 쓰이고, 이를 기본으로 지역에 맞게 수정하여 사용한 경우가 대부분이다¹²⁾. 한편 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)는 우수실행지침서에서 토지이용 범주를 크게 임야, 경작지, 초지, 습지, 주거지, 기타 토지 6개로 구분하고 있다¹³⁾.

본 연구에서는 선행연구의 분류항목, Landsat TM 영상의 공간해상도, 육안판독과 무감독분류를 이용한 예비시험, 북한 토지이용에 대한 관련 서적 정보, 농업적으로 중요한 토지이용 등을 고려하여^{1,12,14)} 논, 밭, 산림, 나지, 초지, 물, 간척지, 염전, 건물·주거지, 기타 10개의 항목으로 설정하였다.

분류에 사용된 입력 변수

토지피복분류를 위해 사용하는 입력변수는 위성영상의 유효 밴드 외에도 밴드간의 비연산 식생지수(vegetation indices)와 주성분(principal component) 등 유도변수가 있다. 본 연구에서 사용한 식생지수는 NDVI로 근적외광과 적외광의 자료값을 이용하여 계산하고(식 3), 식생의 생육상태와 활력도를 판단할 수 있으며 -1에서 1 사이의 값을 갖는 단위가 없는 지수이다¹⁵⁾. 대개 위성자료가 취득될 당시 지형, 태양고도, 방위각, 광량 등과 같은 조건이 다른데서 올 수 있는 지형효과가 상쇄되는 효과가 있고 서로 다른 시기에 촬영된 영상을 표준화함으로써 비교가 가능하게 해주어 매우 유용하게 사용되고 있다.

$$NDVI = \frac{Band4(NIR) - Band3(Red)}{Band4(NIR) + Band3(Red)} \quad (3)$$

습도(wetness) 지수는 Crist and Cicone(1984)가 TM 영상에 적용하는 태슬형 모자변환(tasseled cap transformation)의 결과물로 지표면의 습도를 판단할 수 있어 담수상태의 변화를 찾거나 하천, 저수지와 같은 물을 분류하는데 활용할 수 있다(식 4)¹⁶⁾.

$$\text{Wetness} = 0.1509 TM1 + 0.1973 TM2 + 0.3279 TM3 + 0.3406 TM4 - 0.7112 TM5 - 0.4572 TM7 \quad (4)$$

주성분분석은 위성영상 처리 분야에서 영상자료의 변환, 정보축약, 변화추출을 위한 방법으로 자리 잡아 왔는데, 다중분광(multi-spectral) 영상의 평균벡터와 공분산 행렬을 이용하여 영상이 이루는 특정한 공간(feature space)에서 정보량이 큰 순서대로 직교축(orthogonal axis)을 찾아내는 방법으로 원 자료의 손실을 극소화 하고 차원수를 줄이면서 지표면의 현상을 설명하는데 이용된다¹¹⁾. Landsat TM 영상의 주성분 1과 2는 토양과 식생의 특징을 각각 나타내는 것으로 알려져 있다.

토지피복분류 및 흐름도

인공위성 영상자료를 분류하거나 그 특징을 추출하기 위해 지표면 피복체 고유의 성질인 분광반사특성의 차이를 이용한 통계적인 패턴인식의 기법이 적용된다. 위성자료의 각 파장별 반사율 정보 또는 반사율로부터 유도된 변수를 이용하면 영상의 각 화소를 분류할 수 있다. 즉, 분류란 영상에서 나타나는 특성을 이용하여 비슷한 화소 또는 지역끼리 그룹화 하는 것이다.

분류기(classifier)는 분류항목의 결정에 인간의 주관(supervisor)이 관여하느냐에 따라 감독 분류(supervised classification)와 무감독 분류(unsupervised classification)로 나눌 수 있다. 감독분류에는 최단거리분류법(minimum distance classification), 평행유면체법(parallel-piped classification), 최대우도법(maximum likelihood classification) 등이 있다. 무감독 분류는 분류의 근거로 분류항목을 활용하지 않는다. 대신 영상에 존재하는 미지의 화소를 몇 개의 자연적인 그룹 또는 클러스터로 나누는 것이다. 즉, 분류항목을 결정하기 위하여 자료값의 분포의 특성에 기초하여 비슷한 특성을 가진 몇 개의 그룹으로 나누는 방법이다. 무감독분류에는 ISODATA(Iterative Self- Organizing Data Analysis Technique)과 K-means법 등이 있다.

본 연구에서 사용한 감독분류는 최대우도법으로 미지의 화소를 분류할 때 분류항목별 분광반사 패턴의 분산과 공분산 모두를 정량적으로 평가하는 정확한 분류방법이다. 훈련 데이터(training data)가 정규분포(Gaussian distribution)한다는 가정 하에 자료의 평균벡터와 공분산 행렬을 이용한 분류항목의 등확률선(equi-probability contours)을 정하고 확률밀도함수를 이용하여 미지의 화소가 각 분류항목에 속할

확률을 구하여 가장 높은 계급(class)에 속하도록 하는 방법으로 가장 많이 이용되고 있다¹⁰⁾. 그러나 모든 화소를 분류하는데 필요한 연산식이 많아서 언급했던 다른 방법들에 비해 계산속도가 느린 단점이 있다. 각 지역의 영상에서 훈련데이터는 지도와 육안판독을 통하여 각 항목별로 찾아내었다.

본 연구에서 사용한 무감독 분류는 ISODATA로 각 화소별로 가장 가까운 거리의 군집에 할당되고 군집이 크게 확산되어 있을 때는 분리하고 가까이 있을 때는 합성을 하여 획득하는 방법이며 재계산 횟수까지 연속적으로 계산하여 자료를 획득하는 방법이다¹⁷⁾. 군집의 개수 결정이 어려우며 시간이 많이 소요된다. 분류항목은 20개에서 50개로 영상마다 달리 적용하였으나, 분류축은 변이가 가장 큰 주성분축을 이용하였고 표준편차는 2.0, 최대반복수는 25회, 수렴을 위한 문턱치(threshold)는 0.95로 하였다. 그 외에 연속적으로 변화하는 영상의 자료값에 문턱치를 정해 몇 개의 클래스로 등급화 하여 영상을 강조하거나 분류하는 방법인 레벨 슬라이스(level slicing)가 있다.

좌표등록하여 기하보정한 후 입사광에 대한 흡수가 가장 많아 물의 판별에 유용한 근적외광 밴드를 레벨슬라이스하여 영상에서 물을 가장 먼저 분류하였다. 물을 마스킹한 나머지 항목에 대해서 단일 시기 또는 봄과 가을의 NDVI, 습도, 주성분 영상, 적색광, 근적외광, 중간적외광 밴드를 입력변수로 하여 산림, 논, 건물·주거지역을 감독분류 하였다. 이렇게 분류된 영상을 마스킹 하고 나머지 영상을 이용하여 분류항목수를 30개로 하여 무감독분류한 후 각 항목을 선택하여 판독하면서 나지, 초지, 밭, 구름을 구분하였다. 한편, 농지로 사용되고 있거나 농지로 사용할 목적으로 간척된 지역과 염전은 자동분류보다는 육안판독을 이용한 디지털이징 방법을 이용하여 서해안을 따라 분포하고 있는 윤곽을 그려내었다. 이와 같이 분류항목별로 입력변수를 다르게 적용하고 분류방법도 하나 이상의 방법을 쓰는 혼용(hybrid) 분류방법을 이용하였고, 영상별 분류가 끝난 후에는 영상끼리 접합하여 합친 후 육안판독을 통하여 부분적으로 수정하여 분류를 완료하였다(Fig. 2).

경사별 분포현황 파악을 위해 U.S. Geological Survey의 (USGS) Digital Terrian Elevation Data(DTED) level 2 자료를 이용하였다. USGS DTED level 2 자료는 Arc/Info 격자형 자료형식(digital elevation model[DEM] grid)으로 변환 후 WGS84좌표계를 UTM Zone 52좌표계로 맞추어 투영 변환하였다. 변환식은 affine 변환식을 이용하였으며 화소당 30m x 30m 크기로 재배열(cubic convolution resampling)하였다. 추출된 DEM grid자료로부터 경사도를 산출한 후 이를 우리나라에서 적용하고 있는 경사등급에 따라 분류(reclassify)하였다. A 등급은 0~2%, B 등급은 2~7%, C 등급은 7~15%, D 등급은 15~30%, E 등급은 30~60%, F 등급은 60% 이상으로 정의된다.

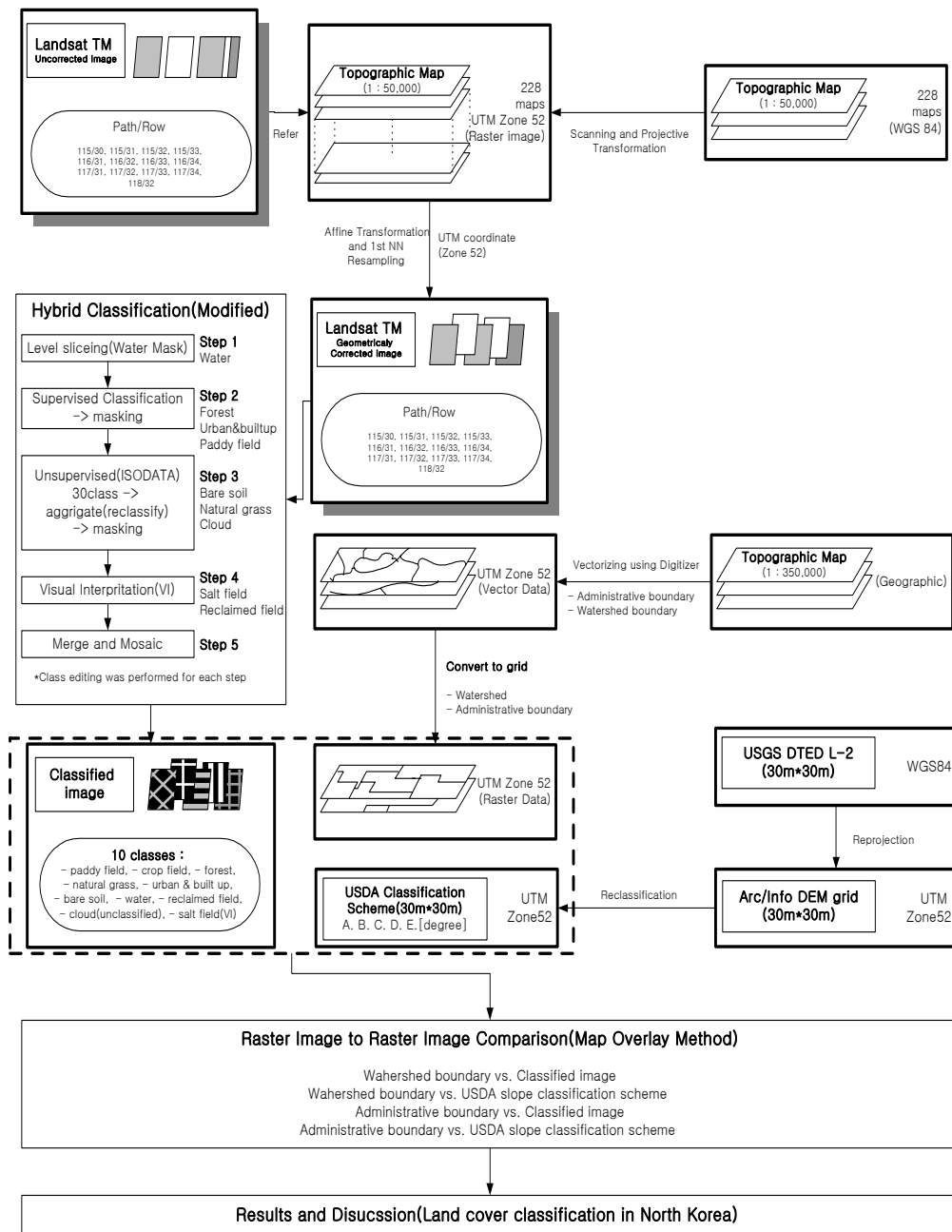


Fig. 2. General job flow for land cover classification of North Korea

행정구역 및 농업기후시대 경계도 작성

행정구역별로 토지피복별 면적을 집계하기 위하여 수치자료 형태의 행정구역도를 작성하였다. 북한지역에 대한 1:350,000 종이지도(우진지도문화사, 1997)를 이용하여 행정경계를 트 레이싱지에 옮겨 그린 후¹⁸⁾, CAD 프로그램(Microstation) 과 반자동 벡터라이징 프로그램(Intergraph Inc. MGE)을 이용하여 시·도, 시·군 경계를 arc coverage 형태로 생성하였다. 이 때 바다에 표시된 행정경계를 선택하였으므로 바다가 포함된 면적이 된다. 위상(topology)의 무결성을 위하여 clean 및 build 한 후 폴리곤으로 완성하여 행정구역별 토지

피복 면적 산정에 이용하였다.

농촌진흥청 농업과학기술원의 농업기후시대지도를 스캔 하여 좌표등록 후 지대의 경계를 온스크린 디지털라이징 방법으로 선형화(vectorizing)하여 벡터 파일 형태로 만들고 각각의 경계 폴리곤으로 완성하여 농업기후시대별 토지피복 면적 산정에 이용하였다.

행정구역별 토지피복 면적 산출

지도로부터 추출한 북한의 수치 행정구역도를 이용하여 시·도와 시·군별로 토지피복 면적을 산출하였다. 행정구역

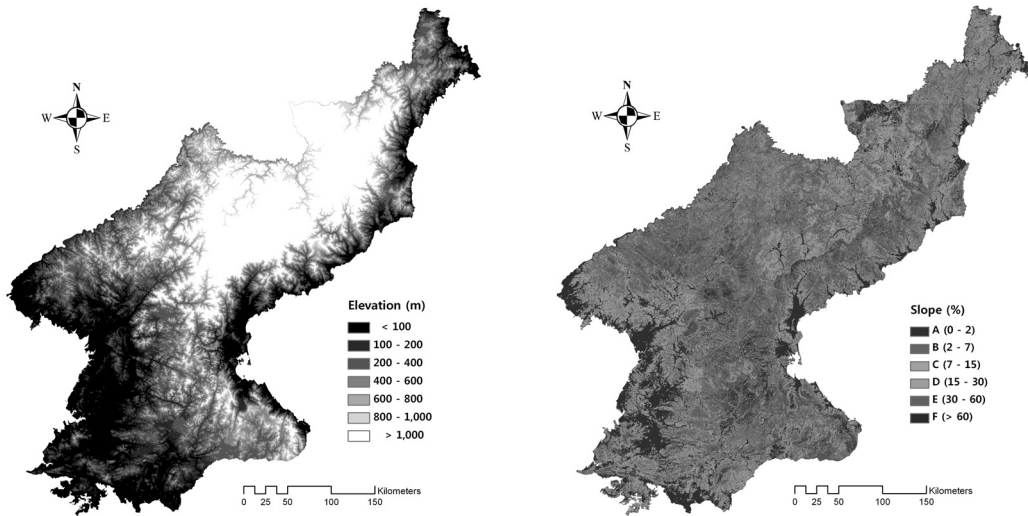


Fig. 3. Elevation and slope map of North Korea derived from DEM

범위로 분류영상을 잘라내고 그 범위 내에 포함된 각 토지피복 항목의 수에 한 화소의 면적인 900 m²(30 m x 30 m)를 곱하여 계산한 후 ha로 변환하여 나타내었다. 토지피복분류와 행정구역별 토지피복 면적 산출에 ERDAS Imagine(v. 8.4)을 이용하였다.

결과 및 고찰

DEM을 이용한 지형분석

DEM을 이용한 북한 지역의 표고 및 경사별 분포 현황은 Fig. 3과 같이 나타났고, 북한의 시·도를 중심으로 한 행정구역은 Fig. 4와 같이 함경남북도와 자강도의 면적이 각각 1,500천ha 이상으로 넓게 나타났고 황해남북도가 각각 823ha와 814ha로 면적이 작은 것으로 나타났다. 개마고원이 위치한 량강도를 중심으로 함경남도 북부와 자강도의 동쪽 지역이 표고가 1,000 m 이상으로 높게 나타났고, 평안남도와 황해남도 지역이 낮게 나타났다. 경사는 량강도에 위치한 개마고원 지대는 편평하여 경사가 매우 심하지 않고 대신 가장자리와 평안남도와 함경남도의 산맥 지역의 경사가 가장 높은 것으로 나타났다. 산악지로 구분되는 심한 경사인 E 등급이 전체 면적대비 38.2%로 가장 넓게 분포하는 것으로 나타났고, D 등급의 구릉지 경사 20.7%, A 등급의 평탄지 18.9%, C 등급의 약한 경사 저구릉지 8.7%, F 등급의 매우 심한 경사(고산악) 7.5%, B 등급의 매우 약한 경사 6.1%의 순으로 나타났다(Table 3). 경사등급을 행정구역별로 살펴보면 경사 A 등급이 황해남도 364천ha, 평안북도 301천ha, 함경북도 268천ha, 평안남도 262천ha, 함경남도 252천ha, 량강도 211천ha, 황해북도 176천ha로 북한 서부 지역에서 가장 높은 분포를 보인 반면, 경사 E 등급은 동북부 산악지형의 자강도 919천ha, 함경남도 843천ha, 함경북도 605천ha, 강원도 496천ha

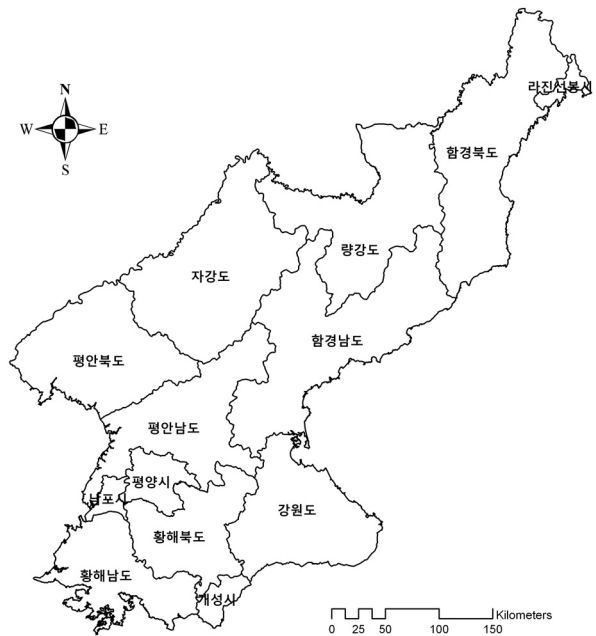


Fig. 4. Administrative district of North Korea in terms of city and province

에서 높은 비율을 보이고 있어 북한의 전형적인 동고서저의 지형특성을 잘 반영하고 있었다(Table 3).

Landsat TM 위성영상을 이용한 토지피복도 작성

Landsat 5호로부터 취득한 TM 영상의 분광반사특성을 이용하여 북한의 토지이용 및 피복을 분류한 결과 Fig. 5와 같은 토지피복도를 얻었다. 토지피복분류 항목은 논, 밭, 산림, 나지, 초지, 물, 간척지, 염전, 건물·주거지, 기타 10개의 항목으로 설정하여 인공위성 영상을 이용한 지표면의 토지피

Table 3. Slope area and its ratio by administrative district in North Korea

Unit: ha

City-Province	Slope						Total
	A (0-2%)	B (2-7%)	C (7-15%)	D (15-30%)	E (30-60%)	F (> 60%)	
Pyeongyang	104,472 (39.3)	25,101 (9.5)	27,649 (10.4)	46,638 (17.6)	55,745 (21.0)	5,927 (2.2)	265,532 (100)
Kaesong	34,036 (26.5)	10,433 (8.1)	16,860 (13.1)	36,180 (28.1)	28,133 (21.9)	3,038 (2.4)	128,681 (100)
Nampo	41,993 (46.6)	11,178 (12.4)	11,095 (12.3)	14,635 (16.2)	10,189 (11.3)	1,085 (1.2)	90,175 (100)
Rajin-Sonbong	32,220 (36.8)	6,027 (6.9)	8,367 (9.6)	23,526 (26.9)	16,653 (19.0)	730 (0.8)	87,522 (100)
Kangwon	130,366 (11.7)	59,050 (5.3)	76,553 (6.9)	208,462 (18.7)	496,195 (44.6)	141,653 (12.7)	1,112,278 (100)
Ryganggang	211,002 (15.0)	117,630 (8.4)	180,256 (12.8)	369,490 (26.3)	469,976 (33.4)	57,702 (4.1)	1,406,056 (100)
Jagang	129,860 (7.8)	50,951 (3.1)	86,956 (5.2)	310,957 (18.7)	919,432 (55.3)	162,985 (9.8)	1,661,141 (100)
Hambuk	267,931 (17.0)	95,225 (6.0)	153,540 (9.7)	380,666 (24.1)	604,653 (38.3)	77,047 (4.9)	1,579,062 (100)
Hamnam	252,257 (13.7)	75,709 (4.1)	120,008 (6.5)	368,139 (19.9)	842,802 (45.7)	187,222 (10.1)	1,846,136 (100)
Pyeongbuk	301,415 (24.4)	78,694 (6.4)	118,087 (9.6)	276,118 (22.4)	402,767 (32.6)	56,731 (4.6)	1,233,812 (100)
Pyeongnam	261,845 (22.2)	65,338 (5.5)	85,335 (7.2)	198,508 (16.8)	447,869 (38.0)	120,099 (10.2)	1,178,994 (100)
Hwangbuk	176,234 (21.7)	59,987 (7.4)	78,295 (9.6)	156,702 (19.3)	259,082 (31.8)	83,704 (10.3)	814,003 (100)
Hwangnam	363,889 (44.2)	87,639 (10.6)	96,870 (11.8)	143,906 (17.5)	116,317 (14.1)	14,439 (1.8)	823,059 (100)
Total	2,307,518 (18.9)	742,962 (6.1)	1,059,871 (8.7)	2,533,925 (20.7)	4,669,812 (38.2)	912,362 (7.5)	12,226,450 (100)

() : ratio(%)

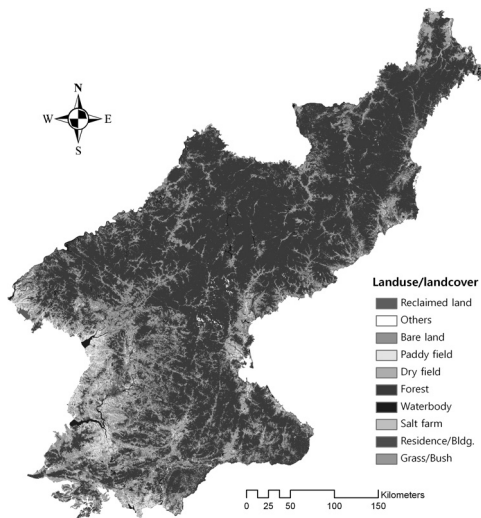


Fig. 5. Landuse/ cover map of North Korea classified from Landsat TM images

복도를 작성하였다. 작성된 토지피복도는 그리드 포맷으로 30 m 공간해상도를 갖는다. 행정구역별, 경사등급별, 농업기후지대별로 토지피복분류 면적을 계산하였는데, 각각 이들 자료생산을 위한 원시 자료가 서로 다른데서 기인한 면적의 차이를 보였다(Table 4). 통계청이 북한의 면적을 122,762 km²으로 발표하는 것과 비교해 볼 때 본 연구에서 사용한 면적 자료는 대개 낮게 나타났고, 이는 도서지역 등을 포함하지 않았기 때문으로 생각된다.

행정구역도와 농업기후지대는 각각 중이지도의 행정경계를 선형화하여 만들어진 벡터형 데이터이고, 경사등급은 표고 자료로부터 계산한 30 m 간격의 격자형 그리드 데이터이다. 한편 토지피복도는 30 m 간격의 격자형 그리드 데이터이다. 행정구역이나 농업기후지대별로 토지피복분류 항목의 면적을 계산할 때는, 경계선이 격자와 겹치게 되면 그 격자를 포함하여 면적을 계산하게 되므로 항상 과대평가되는 경향이 있다. 경사등급별로 토지피복분류 항목의 면적을 계산할 때

Table 4. Landuse/ cover area and its ratio in North Korea

											(Unit: ha)
LULC Class	Paddy field	Dry field	Forest	Bare land	Grass & Bush	Water-body	Reclaimed land	Salt farm	Residence /Bldg.	Others	Total
LULC1	511,204 (4.2)	1,920,205 (15.7)	8,507,571 (69.6)	806,014 (6.6)	135,999 (1.1)	194,176 (1.6)	9,553 (0.1)	11,089 (0.1)	110,059 (0.9)	20,288 (0.2)	12,226,160 (100)
LULC2	511,064 (4.2)	1,920,183 (15.7)	8,507,529 (69.6)	806,004 (6.6)	135,965 (1.1)	194,620 (1.6)	9,496 (0.1)	11,027 (0.1)	110,073 (0.9)	20,288 (0.2)	12,226,248 (100)
LULC3	507,270 (4.2)	1,913,277 (15.7)	8,496,387 (69.9)	801,673 (6.6)	134,783 (1.1)	165,914 (1.4)	1,037 (0)	3,288 (0)	109,193 (0.9)	20,268 (0.2)	12,153,089 (100)

LULC1: statistics using administrative boundary(vector type), LULC2: statistics using slope grid(raster type), LULC3: statistics using agroclimatic region boundary(vector type)

는 격자 크기가 같으므로 해당 경사등급 격자에 대한 토지피복분류 항목의 면적이 계산된다.

북한의 토지피복분류 항목을 살펴보면 전체면적 12,226천 ha 중 산림이 8,508천 ha로 69.6%로 가장 넓게 분포하고 있고 밭이 1,920천 ha로 15.7%, 나지가 806천 ha로 6.6%, 논이 511천 ha로 4.2%, 하천과 저수지 등을 포함한 물이 194천 ha로 1.6%, 초지가 136천 ha로 1.1%, 도시와 주거지가 110천 ha로 0.9% 순으로 분포하는 것으로 나타났다(Table 4, Fig. 6).

북한의 행정구역별 지표면 피복을 고찰해 볼 때 전반적으로 동고서저형의 한반도지형특성이 지표면 피복에도 그대로 반영되었다고 볼 수 있다. 논 면적이 넓게 나타난 행정구역은 황해남도(140천ha), 평안남도(92천ha), 평안북도(84천ha)이고, 논 면적 점유 비율이 상대적으로 높은 지역은 평양특별시(10.8%), 남포직할시(15.8%)로서 이들 행정구역은 서쪽에 위치한 저위평탄지상에서 위치하고 있으며 해안 및 남쪽에 위치하고 있어 농경사가 발달할 수 있는 최소한의 기본 조건을 만족하고 있다(Table 5). 이에 비해 동해안에 접하고 있는 함경북도(1.3%), 함경남도(2.3%), 강원도(2.3%)는 해안지역을 중심으로 일부 농경지가 발달하는 것을 볼 수 있으나 지형상 그 규모가 작아 많은 수확량을 기대하기 어렵다고 판단된다. 북쪽 국경에 접하고 있는 자강도(0.2%)와 량강도(0.1%)는 압록강 주변과 주요 하천변에 접하는 주변지역을 대상으로 일부 농경지가 보이나 지형 및 기후를 고려할 때 농경사 지역이 거의 없다고 판단되어진다. 밭면적의 분포 비율 역시 서쪽지역인 황해남도(22.4%), 황해북도(26.3%), 평안남도(21.7%), 평안북도(18.8%), 평양특별시(30.6%), 남포직할시(27.6%), 개성직할시(18.9%)가 전체 피복분류상 상대적으로 많은 분포를 이루고는 있으나 동쪽 및 북쪽에 위치한 함경북도(11.3%), 함경남도(13.2%), 강원도(17.4%), 자강도(9.3%), 량강도(8.8%) 역시 논 면적 분포비율에 비해 상대적으로 많은 분포를 이루고 있었다. 이러한 차이가 북한의 부침땅 개간사업으로 인한 결과인지 자연환경특성의 영향을 받아서인지는 본 연구에서는 확인할 수 없다. 부침땅 개간으로 인한 산림 면적의 감소 및 경작지 면적증가에 대한 연구를 위해서는 추후 개간 전의

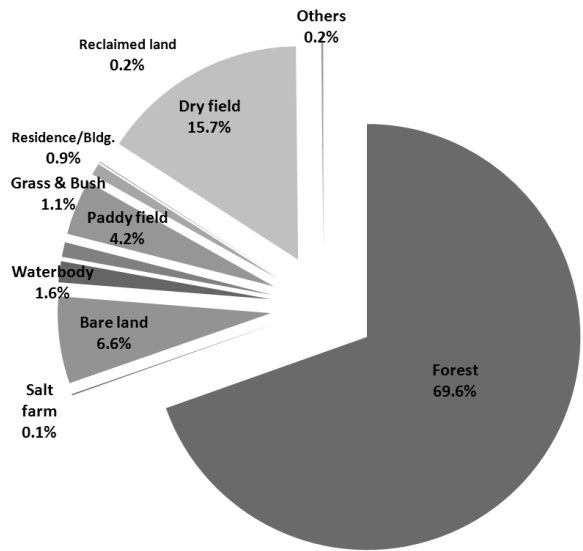


Fig. 6. Area distribution of landuse/ cover classes in North Korea

영상을 확보하여 시계열적 분석이 이뤄져야 한다고 판단되어진다.

북한은 지형적 특성 때문에 해발 1,000 m 이상의 매우 높은 고산지대에도 밭이 분포하고 있는 것으로 나타나고 있다. Shin et al.(1998)에 의하면 1984년 조사 결과 논이 해발 100 m이내에 90%가 분포하나 해발 800 m이상의 고지대까지 존재하고 있으며, 밭의 경우 해발 1000 m이상의 고도에서 40천ha가 분포하고, 경사 16°이상의 급경사지에서도 116천 ha의 면적이 분포하고 있는 것으로 조사되었다¹⁴⁾. 이를 통해 볼 때, 농업입지가 상당히 열악한 조건을 가지고 있다는 것을 알 수 있다.

경사등급 분류는 논이 분포한 지역만을 추출하여 경사별로 차지하는 비율을 비교한 결과, A 경사(0~2%)는 80.3%, B 경사(2~7%)는 9.2%, C 경사(7~15%)는 4.8%, D 경사(15~30%)는 3.9%, E 경사(30~60%)는 1.5%, F경사(>60%)는 0.1%로, 0~2% 경사대에 80%이상의 논이 분포하고 있

Table 5. Landuse/ cover area and its ratio by administrative district in North Korea

(Unit : ha)

City·Province	Paddy field	Dry field	Forest	Bare land	Grass & Bush	Water-body	Reclaimed land	Salt farm	Residence /Bldg.	Others
Pyeongyang	28,633 (10.8 [†])	81,199 (30.6)	93,111 (35.1)	35,324 (13.3)	5,106 (1.9)	7,346 (2.8)	0 (0)	0 (0)	14,813 (5.6)	0 (0)
Kaesong	11,303 (8.8)	24,302 (18.9)	75,251 (58.5)	11,633 (9.0)	1,811 (1.4)	2,587 (2.0)	0 (0)	0 (0)	1,789 (1.4)	0 (0)
Nampo	14,272 (15.8)	24,888 (27.6)	15,066 (16.7)	17,555 (19.5)	952 (1.1)	12,711 (14.1)	36 (0)	924 (1.0)	3,765 (4.2)	0 (0)
Rajin-Sonbong	1,739 (2.0)	12,317 (14.1)	58,677 (67.0)	5,643 (6.4)	1,711 (2.0)	6,472 (7.4)	0 (0)	0 (0)	909 (1.0)	49 (0.1)
Kangwon	25,940 (2.3)	193,006 (17.4)	801,726 (72.1)	64,604 (5.8)	6,706 (0.6)	13,807 (1.2)	0 (0)	68 (0)	5,815 (0.5)	600 (0.1)
Ryanggang	1,070 (0.1)	123,066 (8.8)	1,207,065 (85.8)	47,771 (3.4)	17,962 (1.3)	7,800 (0.6)	0 (0)	0 (0)	1,153 (0.1)	147 (0)
Jagang	3,485 (0.2)	155,043 (9.3)	1,391,070 (83.7)	83,364 (5.0)	5,855 (0.4)	18,598 (1.1)	0 (0)	0 (0)	3,431 (0.2)	250 (0)
Pyeongbuk	83,983 (6.8)	231,415 (18.8)	726,366 (58.9)	111,264 (9.0)	18,992 (1.5)	35,927 (2.9)	8,681 (0.7)	791 (0.1)	15,957 (1.3)	386 (0)
Pyeongnam	92,512 (7.8)	255,476 (21.7)	687,404 (58.3)	86,046 (7.3)	14,671 (1.2)	18,599 (1.6)	386 (0)	7,228 (0.6)	13,694 (1.2)	2,948 (0.3)
Hambuk	20,174 (1.3)	178,853 (11.3)	1,247,684 (79.0)	66,081 (4.2)	29,970 (1.9)	11,245 (0.7)	0 (0)	0 (0)	19,222 (1.2)	5,799 (0.4)
Hamnam	42,132 (2.3)	242,924 (13.2)	1,443,856 (78.2)	61,917 (3.4)	15,999 (0.9)	16,256 (0.9)	0 (0)	12 (0)	12,962 (0.7)	10,063 (0.5)
Hwangbuk	45,186 (5.6)	213,694 (26.3)	449,390 (55.2)	79,978 (9.8)	5,666 (0.7)	13,791 (1.7)	0 (0)	0 (0)	6,296 (0.8)	0 (0)
Hwangnam	140,774 (17.1)	184,023 (22.4)	310,906 (37.8)	134,835 (16.4)	10,598 (1.3)	29,038 (3.5)	450 (0.1)	2,067 (0.3)	10,254 (1.2)	47 (0)
Total	511,204	1,920,205	8,507,571	806,014	135,999	194,176	9,553	11,089	110,059	20,288

† ratio by each city·province

었다. 이를 통해 볼 때 농경지가 대부분 평야 지대에 분포하고 있어 북한의 논면적을 늘리기 위한 수리 및 관계시설 증대 활동이 경사별 논의 분포에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다(Table 6).

경사등급 분류는 밭이 분포한 지역만을 추출하여 경사별로 차지하는 비율을 비교한 결과, A 경사(0~2%)는 31.5%, B 경사(2~7%)는 10.5%, C 경사(7~15%)는 13.2%, D 경사(15~30%)는 20.9%, E 경사(30~60%)는 20.9%, F 경사(>60%)는 2.9%로 경사도 60%이내에서 비교적 균일하게 밭농사가 이루어지고 있었으며, 경사 D와 E에서도 밭면적 차지 비율이 오히려 증가하는 특성을 보이고 있었다(Table 6). 이는 북한이 최근 심각한 식량난을 타개하기 위한 비탈밭, 다락밭조성사업으로 인해 파생된 정책적 성격이 강한 지표면 피복변

화라고 판단되어진다. 북한은 전국적인 규모의 농경지 확장 사업 즉, 다락밭건설, 토지개량, 간석지 개간, 새땅찾기 등을 시행해 왔다고 알려지고 있다. 하지만 다락밭 조성이 고비용 저효율이라는 측면에서 지금까지 건설 진행이 미진한 것으로 알려져 있다. 또한 1990년대 초반이후 홍수 및 가뭄 등의 심각한 자연재해로 인해 식량난이 심화되었다. 이는 자연개조 5대 방침에 따른 인근 야산뿐만 아니라 경사 20°의 산지까지 무리한 다락밭조성, 외화획득을 위한 무분별한 벌채, 그리고 취사 및 겨울철 난방을 위해 연료채취 등으로 산에 나무가 없어 황폐화되었기 때문이다. 이것은 여름철 집중호우시 산사태와 홍수로 인한 침수, 농경지 유실과 가옥피해, 방조제 붕괴라는 연쇄적인 자연재해로 이어질 수밖에 없어 결과적으로는 북한 농업의 취약점이 되고 있다. 경사 A를 벗어나 점

Table 6. Landuse/ cover area and its ratio by slope in North Korea

(Unit : ha)

City·Province	Class	Paddy field	Dry field	Forest	Bare land	Grass & Bush	Water-body	Reclaimed land	Salt farm	Residence /Bldg.	Others
A	0~2%	410,542 (80.3 [‡])	605,320 (31.5)	743,768 (8.7)	268,171 (33.3)	49,146 (36.1)	145,356 (74.7)	9,204 (96.9)	9,769 (88.6)	64,321 (58.4)	1,803 (8.9)
B	2~7%	46,975 (9.2)	201,986 (10.5)	369,802 (4.3)	85,115 (10.6)	13,621 (10.1)	10,978 (5.6)	122 (1.3)	984 (8.9)	12,680 (11.5)	673 (3.3)
C	7~15%	24,779 (4.8)	253,428 (13.2)	635,924 (7.5)	109,679 (13.6)	15,130 (11.1)	9,353 (4.8)	56 (0.6)	112 (1.0)	10,308 (9.4)	1,089 (5.4)
D	15~30%	20,142 (3.9)	401,851 (20.9)	1,889,354 (22.2)	169,683 (21.1)	24,379 (17.9)	12,412 (6.4)	68 (0.7)	100 (0.9)	12,322 (11.2)	3,599 (17.7)
E	30~60%	7,836 (1.5)	401,102 (20.9)	4,046,736 (47.6)	153,236 (19.0)	28,678 (21.1)	12,396 (6.4)	45 (0.5)	61 (0.6)	9,114 (8.3)	10,594 (52.2)
F	>60%	791 (0.2)	56,496 (2.9)	821,945 (9.7)	20,119 (2.5)	5,012 (3.7)	4,125 (2.1)	1 (0)	1 (0)	1,328 (1.2)	2,530 (12.5)
Total		511,064	1,920,183	8,507,529	806,004	135,965	194,620	9,496	11,027	110,073	20,288

[‡] ratio by each class

차 경사 B, C, D뿐만 아니라 경사 E까지 밭이 고르게 나타난다는 것은 북한 주민의 농경활동 범위가 그들의 최근 심각한 식량난을 타개하기 위한 비탈밭, 다락밭 개간까지 이어지기 때문인 것으로 판단된다. 또한 나지와 초지가 경사별 전 영역에서 고른 분포를 보이고 있는 것은 다락밭조성, 취사·난방을 위한 임산연료 채취, 무분별한 벌채 등으로 인한 삼림 훼손과 무관치 않은 것으로 판단된다.

농촌진흥청은 한반도의 농업기후지대를 남한 지역 19개, 북한 지역 7개로 나누고 있다. 북한의 경계를 기준으로 한 농업기후지대는 모두 12개 지대로 북한 지역 7개와 남한에 걸쳐 함께 분포하는 지역 5개 지대를 포함한다(Fig. 7). 농업기후지대별 논의 면적을 살펴보면 북부 평야지대(N-6)와 북부 서해안지대(N-7)에 전체의 약 79%가 분포하고 있는 것으로 나타났다. 그 외 함경 동해안 남부지대에 약 10% 분포하는 것을 제외하면 다른 기후지대에는 거의 재배하고 있지 않은 것을 알 수 있다(Table 7). 밭의 경우 북부 평야지대(N-6)와 북부 서해안지대(N-7)뿐만 아니라 북부 내륙 중간지대(N-4)에 전체의 약 59%가 분포하고 있는 것으로 나타나 북한 서해안 지역에 대부분의 농경지가 분포하는 것을 알 수 있었다. 간척지와 염전 역시 북부 평야지대(N-6)와 북부 서해안지대(N-7)에서만 분포하고 있는 것으로 나타났다. 그에 비해 산림은 비교적 모든 농업기후지대별로 고르게 분포하는 것을 알 수 있었다.

요 약

직접 조사가 힘든 비접근 지역인 북한 전역을 대상으로 DEM을 이용하여 표고 및 경사별 분포 현황을 분석하였고,

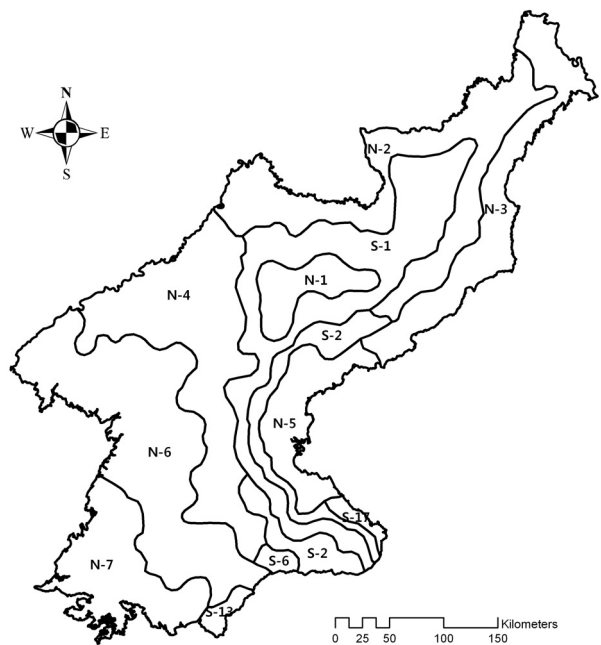


Fig. 7. Agroclimatic zones of North Korea (NIAST, RDA)

Landsat TM 위성영상을 이용하여 논, 밭, 산림, 나지, 초지, 물, 간척지, 염전, 건물·주거지, 기타 10개의 분류 항목에 대한 토지피복도를 작성하였다.

DEM을 이용한 지형분석 결과 개마고원이 위치한 량강도를 중심으로 동쪽 지역의 표고가 1,000 m 이상으로 높게 나타났다, 평안남도과 황해남도 지역이 낮게 나타났다. 산악지로 구분되는 심한 경사인 E 등급이 전체 면적 대비 38.2%로 가장 넓게 분포하는 것으로 나타났다. 편평한 A 경사는 주로

Table 7. Landuse/ cover area and its ratio by agroclimatic regions in North Korea

(Unit : ha)

City·Province	Class	Paddy field	Dry field	Forest	Bare land	Grass & Bush	Water-body	Reclaimed land	Salt farm	Residence /Bldg.	Others	Total
N-1		10	3,392	394,430	6,151	838	6,703	0	0	31	768	427,202
		(0 [§])	(1.0)	(4.6)	(0.8)	(0.6)	(4.0)	(0)	(0)	(0)	(3.8)	(3.5)
N-2		3,392	144,637	1,431,517	38,544	23,620	8,930	0	0	5,307	376	1,686,324
		(0.7)	(7.6)	(16.8)	(8.6)	(17.5)	(5.4)	(0)	(0)	(4.9)	(1.9)	(13.9)
N-3		27,739	196,925	775,772	69,510	22,415	15,985	0	0	21,538	5,759	1,135,675
		(5.5)	(10.3)	(9.1)	(8.7)	(16.6)	(9.6)	(0)	(0)	(19.7)	(28.4)	(9.3)
N-4		7,506	261,677	1,574,514	101,397	13,973	21,758	0	0	6,153	1,153	1,988,131
		(1.5)	(13.7)	(18.5)	(12.6)	(10.4)	(13.1)	(0)	(0)	(5.6)	(5.7)	(16.4)
N-5		47,950	150,003	388,310	34,803	7,679	10,425	0	80	11,805	865	651,920
		(9.5)	(7.8)	(4.6)	(4.3)	(5.7)	(6.3)	(0)	(2.4)	(10.8)	(4.3)	(5.4)
N-6		208,821	619,006	1,124,082	26,4310	33,578	44,652	317	187	44,742	49	2,339,746
		(41.2)	(32.4)	(13.2)	(33.0)	(24.9)	(26.9)	(30.6)	(5.7)	(41.0)	(0.2)	(19.3)
N-7		190,582	243,610	355,388	166,269	12,890	43,540	719	3,020	16,232	47	1,032,297
		(37.6)	(12.7)	(4.2)	(20.7)	(9.6)	(26.2)	(69.3)	(91.8)	(14.9)	(0.2)	(8.5)
S-1		1,381	131,189	1,671,314	45,017	12,229	5,829	0	0	743	6,932	1,874,633
		(0.3)	(6.9)	(19.7)	(5.6)	(9.1)	(3.5)	(0)	(0)	(0.7)	(34.2)	(15.4)
S-2		2,887	87,921	644,137	22,962	3,990	3,174	0	0	767	4,301	770,139
		(0.6)	(4.6)	(7.6)	(2.9)	(3.0)	(1.9)	(0)	(0)	(0.7)	(21.2)	(6.3)
S-6		2,842	23,975	38,295	6,847	282	1,157	0	0	341	0.1	73,697
		(0.6)	(1.3)	(0.5)	(0.9)	(0.2)	(0.7)	(0)	(0)	(0.3)	(0)	(0.6)
S-13		10,619	19,562	47,519	10,276	1,394	2,426	0	0	1,448	0	93,244
		(2.1)	(1.0)	(0.6)	(1.3)	(1.0)	(1.5)	(0)	(0)	(1.3)	(0)	(0.8)
S-17		3,544	16,466	51,110	5,587	1,895	1,376	0	0	87	18	80,082
		(0.7)	(0.9)	(0.6)	(0.7)	(1.4)	(0.8)	(0)	(0)	(0.1)	(0.1)	(0.7)
Total		507,270	1,913,277	8,496,387	801,673	134,783	165,914	1,037	3,288	109,193	20,268	12,153,089

N-1: Kaemagowon region(개마고원 지대), N-2: Baekdu east western mountainous region(백두동서 산간 지대), N-3: Hamgyong east coastal northern region(함경동해안 북부지대), N-4: North inland mid region(북부내륙 중간지대), N-5: Hamgyong east coastal southern region(함경동해안 남부지대), N-6: North plain region(북부 평야지대), N-7: North western coastal region(북부서해안 지대), S-1: Taebaek alpine region(태백 고령지대), S-2: Taebaek semi-alpine region(태백 준고령지대), S-6: Northern central region(중북부 내륙지대), S-13: Western central plain region(중서부 평야지대), S-17: North eastern coastal region(동해안 북부지대)

[§]ratio by each class

북한 서해안 지역에 넓게 분포하고 E 경사는 동북부 산악지형에서 높은 비율을 보이고 있어 북한의 전형적인 동고서저의 지형특성을 잘 반영하였다.

위상영상을 이용하여 분류한 북한의 토지피복 항목을 살펴보면 전체 면적 중 산림이 69.6%로 가장 넓게 분포하고 있고, 밭이 15.7%, 나지가 6.6%, 논이 4.2%, 하천과 저수지 등을 포함한 물이 1.6%, 초지가 1.1%, 도시와 주거지가 0.9%인 것으로 나타났다. 행정구역별 지표면 피복을 살펴보면 황해남도과 평안남도 등 서쪽에 위치한 해안가 저위평탄지에 주로 논이 넓게 분포하는 것으로 나타났다. 밭의 분포는 논과

같이 서쪽 지역에 많이 분포하는 경향이었으나 북동쪽에 위치한 함경도와 자강도 및 량강도에도 비교적 고르게 분포하는 것으로 나타났다.

경사등급별로 농경지의 분포를 살펴보면, 0~2%인 A 경사에 약 80% 이상 논이 분포하고 있고, 반면 밭은 A, B, C, D, E 등급에 비교적 고르게 분포하고 있는 것으로 나타났다. 농업기후시대별 토지피복 현황을 살펴보면, 논과 밭은 북부 평야지대와 북부 서해안지대에 전체의 약 79%와 45%가 분포하였고 산림은 비교적 모든 농업기후시대별로 고르게 분포하였다.

위성영상을 이용한 원격탐사 기술은 접근이 힘든 지역에 대한 농업기반 및 농경지 정보를 주기적으로 파악할 수 있고, 넓은 지역에 대한 정보 수집이 가능한 장점이 있어, 3년~5년 주기로 영상분류를 통한 토지피복도를 작성하여 토지이용 및 분류에 대한 시간적·공간적인 변화를 분석한다면 농경지와 산림에 대한 이용 현황 자료를 제공할 수 있고 앞으로의 이용계획 수립에 효율적으로 사용될 수 있을 것으로 생각된다.

사 사

본 연구는 농림부 농림기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임.

인용문헌

- Campbell, J. B. (1996) *Introduction to remote sensing*, 2nd ed. The Guilford Press, New York, NY, USA, p.4-5, 550-551.
- Kim, G. Y., Kim, K. H., Kim, H. H., Shin, J. D., Lee, J. T., Jung, J. W., and Hong, S. Y. (2005) Estimating GHG emissions in agriculture based on IPCC guide lines, NIAST, RDA, Suwon, Korea, p.17.
- Imagawa, T., Fukuhara, M., and Watanabe, T. (1997) A monitoring method of land cover/land use change in Naiman, inner Mongolia autonomous region, China using Landsat data, *Japan Agric. Res. Quarterly* 31,163-169.
- Suzaki, J. and Shibasaki. R. (1997) Development of land cover classification method using NOAA AVHRR, Landsat TM, and DEM images, *Asian Conf. Remote Sens.* R-2-1-R-2-6.
- Suzaki, J. and Shibasaki. R. (1998) Crop field extraction method using NDVI and texture from Landsat TM images, Proc. of 1998 Int'l Symposium on Remote Sensing, Gwangju, Korea, pp.159-162.
- Hong, S. Y. (1999) Analysis on rice growth information and estimation of paddy field area by using remotely sensed data., Ph.D. Thesis, Kyungpook National University, Daegu, Korea.
- Hong, S. Y., Rim, S. K., Lee, K. S., Jo, I. S., and Kim, K. U. (2001) Estimation of rice-planted area using Landsat TM Imagery in Dangjin-gun area, *Korean J. of Agr. and Forest Meteo*, 3,5-15.
- Okamoto, K., Yamakawa, S., and Kawashima, H. (1995) Estimation of flood damage to rice production in North Korea in 1995, *International Journal of Remote Sensing*, 19,365-371.
- Jensen, J. R. (1996) *Introductory digital image processing; A remote sensing perspectives*, 2nd Ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, USA, p.124-135.
- Lillesand, T. M. and Kiefer, R. W. (1994) *Remote sensing and image interpretation*, 3rd Ed. John Wiley & Sons, Inc., New York, NY, USA, p.466-471, 527-531.
- Richards, J. A. and Jia, X. (1999) *Remote sensing digital image analysis*, 3rd Ed. Springer-Verlag, Berlin, Germany, p.56-63, 133-148.
- Anderson, J. R., Hardy, E. E., Roach, J. T., and Witmer, R. E. (1976) A land use and land cover classification for use with remote sensor data, U.S. Geological Survey Professional Paper 964. Washington, DC: U.S. Govt. Printing Office, Washington D.C. USA
- IPCC. (2003) Good practice guidance for land use, land use change and forestry, Institute for Global Environmental Strategies.
- Shin, D. W., Park, S. H., Park, K. R., Kim, J. H., Lee, K. S., and Lee, S. R. (1998) *Agricultural technology of North Korea*. Ohsung Publishing Co.
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., and Deering, D. W. (1973) Monitoring vegetation systems in the great plains with ETRA, 3rd ETRS Symposium, NASA SP-353, U.S. Govt. Printing Office, Washington D.C. USA
- Crist, E. P., and Cicone, R. C. (1984) Application of the tasseled cap concept to simulated thematic mapper data, PE & RS. 52,81-86.
- ERDAS. (1997) *ERDAS Field Guide*. 4th Ed. Atlanta, Georgia, USA
- North Korea Road Atlas. (1997) Woojun Map Publishing Cor.