객체기반 분류기법을 이용한 토지피복 특성분석 – 강원도 인제군의 DMZ지역 일원을 대상으로 –

나현섭¹ · 이정수^{1*}

Analysis of Land Cover Characteristics with Object-Based Classification Method – Focusing on the DMZ in Inje-gun, Gangwon-do –

Hyun-Sup NA¹ · Jung-Soo LEE^{1*}

요 약

최근 픽셀기반분류보다 더 많은 정보를 이용할 수 있는 객체기반에 대한 연구가 활발히 진행 중이다. 따라서, 본 연구는 인제군 Demilitarized Zone(DMZ)지역 일원을 대상으로 객체기반 분류기법을 이용한 토지피복분류를 실시하였다. 분류항목은 환경부 기준의 대분류 항목 7개, 중분류 항목 13개로 선정하였고, 사용된 인자는 분광 값의 평균과 표준편차, Grey Level Co-occurrence Matrix(GLCM)의 Homogeneity를 사용하여 감독분류방법 중 최근린기법을 이용하여 계층적 토지피복도를 구축하였다. 구축된 토지피복도를 이용하여 남방한계선으로부터의 거리와 Digital elevation model(DEM)을 통해 지형특성에 따른 분류항목 별 분포 특성을 분석하였다. 객체기반 분류를 위한 최적 가중치는 Scale 72, Shape 0.2, Color 0.8, Compactness 0.5, Smoothness 0.5로 선정하였고, 가중치 선정과정에서 Scale, Shape, Color가 가장 많은 영향을 주었다. 대분류 토지피복분류는 산림, 초지, 시가지의 순으로 각각 약 92%, 약 5%, 약 2%였으며, 중분류 토지피복분류는 활엽수림, 혼효림, 침엽수림의 순으로 각각 약 44%, 약 42%, 약 6% 순으로 분포하였다. 토지피복형태에 따른 분포특성을 보면, 남방한계선으로부터 2km이내의 지역에서 공공시설 지역과 도로의 이용이 높았으며, 남방한계선 6km이상의 지역에서는 논과 밭, 나지의 형태가 많았다. 산림은 표고 600m, 경사 30° 이상의 지역에서는 면적분포가 높았고, 농업지역과 나지, 초지는 표고 600m, 경사 30° 이하의 지역에서 면적분포가 높았다.

주요어 : DMZ, Rapid-eye, eCognition, 객체기반, 토지피복분류, GLCM, 지형특성

ABSTRACT

Object-based classification methods provide a valid alternative to traditional

2014년 4월 4일 접수 Received on April 4, 2014 / 2014년 6월 12일 수정 Revised on June 12, 2014 /
2014년 6월 17일 심사완료 Accepted on June 17, 2014

1 강원대학교 산림경영학과 Department of Forest Management, Kangwon National University

* Corresponding Author E-mail : jslee72@kangwon.ac.kr

pixel-based methods. This study reports the results of an object-based classification to examine land cover in the demilitarized zones(DMZs) of Inje-gun. We used land cover classes(7 classes for main category and 13 classes for sub-category) selected from the criteria by Korea Ministry of Environment. The average and standard deviation of the spectrum values, and homogeneity of GLCM were chosen to map land cover types in an hierarchical approach using the nearest neighborhood method. We then identified the distributional characteristics of land cover by considering 3 topographic characteristics (altitude, slope gradient, distance from the Southern Limited Line(SLL)) within the DMZs. The results showed that scale 72, shape 0.2, color 0.8, compactness 0.5 and smoothness 0.5 were the optimum weight values while scale, shape and color were most influenced parameters in image segmentation. The forests (92%) were main land cover type in the DMZs; the grassland(5%), the urban area (2%) and the forests (broadleaf forest: 44%, mixed forest: 42%, coniferous forest: 6%) also occupied mostly in land cover classes for sub-category. The results also showed that facilities and roads had higher density within 2 km from the SLL, while paddy, field and bare land were distributed largely outside 6 km from the SLL. In addition, there was apparent distinction in land cover by topographic characteristics. The forest had higher density at above altitude 600m and above slope gradient 30° while agriculture, bare land and grass land were distributed mainly at below altitude 600m and below slope gradient 30°.

KEYWORDS : DMZ, Rapid-Eye, eCognition, Object-Based, Land-Cover Classification, GLCM, Topographic Characteristics

서론

비무장지대(Demilitarized zone: DMZ)는 정전협정 이후 약 50년간 사람의 간섭을 받지 않고 자연 천이적 과정을 통해 생태계가 복원된 유일한 지역으로 생태학적인 가치를 인정받고 있다. 또한, 정부는 DMZ에 대한 국내외적인 관심이 높아지면서 유네스코 생물권보전지역의 지정과 지역적 특성을 활용할 수 있는 DMZ 생태평화공원사업을 추진하고 있다(Han and An, 2010).

한편, DMZ에 대한 각종 개발과 사업들의 시행, 토지이용규제의 완화로 인하여 토지이용변화와 산지훼손이 이루어지고 있지만, DMZ 지역의 민간인 출입 제한과 복잡한 출입절차, 지역적 특수성으로 인해 현지답사 조사를 통한

토지이용과 생태계 현황 파악에 어려움을 겪고 있다(Eco-Horizon Institute, 2007; Song *et al.*, 2012). 이러한 문제는 최근 위성영상에 대한 연구가 활발히 진행되면서 DMZ지역에 대한 연구에도 적용이 되고 있다(Kwon, 2003; Oh *et al.*, 2010). Kim and Jeong(2002)은 Landsat 영상을 이용하여 DMZ 지역에 대한 생태적 평가를 수행하였고, Lee(2010)는 Landsat 영상과 수치고도모델을 이용하여 DMZ에서 지형면을 분류하고 분포의 특징과 형성과정을 분석하였다. 한편, 영상의 해상도가 향상됨에 따라 객체기반 분류기법에 대한 연구가 활발히 진행 중이다. 객체기반 분류기법은 기존의 픽셀기반 분류기법보다 다양한 정보를 이용하여 분류가 가능하다. 픽셀기반 분류기법에서 분광 값만을 이용하여 분류를 하였지만, 객체기반 분류기법에서는 축척(Scale), 형태

(Shape), 질감정보(Texture)등의 정보를 사용자의 목적에 맞게 활용하여 분류가 가능하다(Lee *et al.*, 2007; Lee *et al.*, 2010). 특히, 객체기반 분류방법 중에 Haralick *et al.* (1973)에 의해 제안된 Grey level co-occurrence matrix(GLCM)은 Texture 분석의 효과적인 방법으로 Texture 영상 생성에 많이 적용되고 있다(Lee *et al.*, 2005). GLCM 알고리즘은 식생지역 표면의 거친 정도에 따라 초지, 농업지역, 산림지역의 정확한 분류가 가능하고 산림을 연령대나 특성에 따라 분류가 가능하여 산림분야에 많은 연구가 진행되고 있다(Seol, 2005; Yeom *et al.*, 2011). Kim and Lee(2003)는 IKONOS 영상을 이용하여 GLCM을 통한 Texture 분석에 Contrast, Correlation, ASM의 질감척도를 이용하여 임중, 영급, 경급, 밀도의 차이를 확인하였다. Seol(2005)은 Texture 분석을 이용하는 것이 분광정보만 사용하는 방법보다 더욱 높은 분류정확도를 나타낸 것을 확인하였다. 또한, Song *et al.*(2011)은 IKONOS 영상을 이용하여 GLCM기반의 Texture 분석을 실시하고, Mean, Contrast, Homogeneity, Entropy,

Dissimilarity의 지표별 토지이용 유형과 수종에 따라 어떤 차이가 나는지 확인하였다.

하지만 DMZ 지역에 대해 기존의 분광 값을 이용한 분류에 대한 연구는 많이 이루어졌지만, 산림지역이 90% 이상을 차지하는 DMZ 지역에 효과적인 Texture 분석을 이용한 연구는 미비한 실정이다.

따라서, 본 연구는 DMZ 일원의 토지이용에 대한 기초적인 자료 제공을 위하여 고해상도 위성영상과 객체기반 분류기법을 이용한 대분류, 중분류에 대한 계층적인 토지피복분류를 실시하고, 산림청에서 제공 받은 DEM 자료를 이용하여 지형인자에 따른 토지피복의 변화를 비교, 분석을 목적으로 한다.

연구자료 및 방법

1. 연구 대상지

연구대상지는 생물다양성이 높고 자연생태계가 잘 보전되고 있는 강원도 인제군의 DMZ 일원 지역 중 민간통제선 이북지역에서 남방한계선까지 선정하였다(그림 1). 총 면적은 약 10,442ha로 DMZ 전체 면적에 약 18%를 차

FIGURE 1. Location of study area

지하고 인제군 전체 면적에 약 6%를 차지하고 있다(Kim, 2007; Inje-gun, 2013). 또한, 대상지의 산림율은 약 90%이며, 임상은 침엽수림 약 3%, 활엽수림 약 83%, 혼효림 약 6%로 분포하고 있다. 평균표고는 636m, 평균경사는 29°이다.

2. 연구자료

본 연구에서 사용된 Geographic information system(GIS)자료는 남방한계선과 민간통제선, 행정구역도, 수치지형도와 환경부의 토지피복도를 사용하였으며, Remote sensing(RS)자료는 Rapid eye와 Google earth를 사용하였다. Rapid eye는 공간해상도 6.5m이며, 밴드는 Red(630-685nm), Green(520-590nm), Blue(440-510nm), Red edge(690-730nm), Near infra red(760-850nm)의 5개 밴드로 구성된다(Kim and Yeom, 2012). 영상분석과 GIS자료구축을 위해 eCognition developer 8.8 프로그램과 ArcGIS 10.1을 사용하였다.

3. 연구방법

위성영상의 전처리 작업으로 기하보정과 마스크 처리를 실시하였다. 토지피복 분류항목은 환경부 토지피복 분류기준에 따라 대분류와 중분류의 항목을 선정하고 객체기반 영상분류는 Scale, Shape, Color, Compactness, Smoothness의 정보를 이용하여 최적 가중치를 선정하였다.

감독분류 방법 중 최근린기법을 이용하여 분류를 하였으며, 사용된 인자로는 위성영상의 밴드 별 분광 값의 평균과 표준편차를 이용하여 대분류를 실시하고, 분광 값과 GLCM을 이용하여 중분류를 실시하여 토지피복도를 제작하였다. 또한, 지형인자에 따른 토지피복항목의 분포 특성을 파악하였다(그림 2).

1) 영상의 전처리

Rapid eye영상은 남방한계선, 민간통제선, 행정구역도를 이용하여 대상지를 추출하였고, DEM과 도로망도를 이용하여 UTM(WGS 84 north zone 52)좌표로 보정하였다. 또한, 위성영상은 대기의 영향에 따라 토지피복분류 시 오차의 가능성이 있어 영상의 전처리작업이 필요하다(Kim and Yeom, 2012). 따라서 영상

FIGURE 2. Schematic methodology for hierarchical land cover classification

의 일부지역에 존재하는 구름과 그림자지역으로 인한 오차를 줄이기 위하여 총 면적의 약 7%를 마스크 처리하여 분류 대상에서 제외하였다.

2) 가중치 선정

계층적 토지피복분류는 환경부에서 제공하는 대분류와 중분류의 토지피복분류항목을 기준으로 선정하였다. 객체기반 영상분류는 객체 분할 결과에 따라서 분류 정확도가 달라질 수 있다 (Lee *et al.*, 2007). 따라서, 가중치 선정과정의 효율성을 높이기 위해 Park(2013)과 같이 Test site는 토지피복분류항목이 모두 포함된 3km×2km, 전체면적의 약 5%로 선정하였고, 가중치 선정에는 Scale(분할축척), Shape(공간정보), Color(분광정보), Compactness(조밀도), Smoothness(평활도)의 정보를 고려하여 선정하였다. Scale 가중치는 객체 분할할 경우 생성되는 객체의 크기를 나타내는 가중치로써 값이 높아질수록 생성되는 객체의 크기가 커지며, Shape와 Color의 가중치는 Color의 가중치가 높을수록 생성되는 객체가 분광 값에 의해 결정된다. Smoothness와 Compactness는 Shape값의 하위 가중치로써 Compactness의 가중치가 높을수록 객체의 형태가 복잡해지고 Smoothness가 높을수록 객체의 형태가 곡선의 형태로 생성된다(Lee *et al.*, 2007).

최적의 가중치를 선정하기 위해서 Multiresolution segmentation 기법을 적용하였다. 설정된 여러 단계의 가중치 값은 수직적인 관계로 생성이 되며, 분류항목들 간 명확히 분할되는 가중치는 시행착오를 통하여 최적의 가중치를 선정하였다(Kim and Yeom, 2012). Scale은 총 3 단계로 level 1에서는 200에서 25까지 25단위로, level 2에서는 5단위, level 3에서는 1단위로 구분하여 선정하였다. Shape와 Color는 0~1사이에서 결정되며 Shape 값이 증가하면 Color의 값이 감소하여 두 가중치의 합이 1이 되는 관계를 가진다. Compactness와 Smoothness도 마찬가지로 두 가중치의 합이 1이 되는 관계를 가지며 따라서,

서로의 상관관계를 고려하여 0.1부터 0.9까지 순차적 비교를 통하여 선정하였다.

3) 토지피복분류

토지피복도의 분류항목은 대분류와 중분류로 구분하여 계층적인 토지피복도를 제작하였고(표 1), 객체기반으로 분할된 영상은 감독분류방법으로 토지피복분류항목 별 sampling작업을 실시하고 분류기법으로는 최근린법을 이용하였다. 최근린법은 분류항목의 sample로 지정된 객체의 특징과 유사한 특징을 가지는 가장 가까운 객체를 찾는 방법으로서, 미 분류된 객체의 경우, 주변의 객체 중 특징이 가장 비슷한 특징을 가지는 분류항목으로 결정된다(Kim and Jeong, 1992). 또한, 분류된 토지피복도는 Training and test area(TTA) mark를 생성하여 분류정확도를 평가하였다. 계층적인 토지피복 현황을 파악하기 위하여 밴드별 평균 값(Mean)과 표준편차(Standard deviation), GLCM의 Homogeneity(균일성)를 사용하였다. GLCM 기법은 객체안의 분광 값을 공간관계에 따라 Mean(평균), Contrast(대비), Homogeneity(균일성)등의 계산식을 이용하여 질감차이의 빈도수를 표현하는 기법이다. Song *et al.* (2011)에 의하면 GLCM 기법의 정보 중에서 침엽수와 활엽수의 구분은 Homogeneity를 사용하는 것이 가장 적합하다고 보고가 되어, 본 연구에서는 Homogeneity를 적용하였다. Homogeneity는 분광 값의 균일한 정도를 나타내는 값으로 분광 값의 차이가 적을수록 값이 높다. 계산식은 식 (1)과 같다.

분류된 토지피복도의 면적을 비교하기 위해 2010년 영상으로 제작된 환경부의 DMZ 중분류 토지피복도와 면적차이를 비교하였다.

$$\text{균일성(Homogeneity)} = \sum_{i,j=0}^{N-1} \frac{P_{i,j}}{1+(i-j)^2} \quad (1)$$

i, j = 행과 열의 좌표

N = 해당 좌표의 수

P = 공간관계에 따른 빈도수의 행렬

TABLE 1. Land cover classification

First level	Second level	Definition
Urban	Facilities	Environmental foundational facilities, Educational facilities, Besides public facilities
	Road	Airport, Railroad, Road, Besides traffic facilities, Communication facilities
Agricultural	Paddy	Paddy
	Field	Field
	Orchard	Orchard
Forest	Coniferous forest	Coniferous forest
	Broadleaf forest	Broadleaf forest
	Mixed forest	Mixed forest
Grassland	Grassland 1	Grass land
	Grassland 2	Golf course, Cemetery, Besides Grassland
Wetlands	Wetlands	wetlands
Bare land	Bare land	Mining site, Play ground, Bare land
Waters	Waters	Stream, Valley

4) 지형인자에 따른 분포 특성

제작된 중분류 토지피복도는 지형인자를 이용하여 분류항목 별 분포특성을 분석하였다. 사용된 지형인자는 남방한계선으로부터의 거리, 표고정보와 경사정보를 추출하여 사용하였으며 추출한 정보는 등간격을 이용하여 각각 거리분석은 2km씩 6단계, 표고분석은 200m씩 5단계, 경사분석은 10° 씩 5단계로 분할하여 각각의 인자에 따른 항목별 분포특성을 분석하였다.

결과 및 고찰

1. 객체기반분류를 위한 가중치 선정

Scale은 Level 1에서 산림지역과 도로의 경계가 75에서 50으로 감소할 때 나타나는 것을 확인하여 75를 선택하였다. Level 2에서는 나지와 수계지역의 경계를 확인하였을 때, 75와 70구간에서 경계가 세밀해지는 것을 확인하여 75를 선택하였다. Level 3에서는 초지와 주거지역의 경계를 중심으로 75부터 70까지 순차적으로 판독한 결과, 72에서 경계가 명확히 나뉘는 것을 확인하여 Scale의 최적 가중치는 72로 선정하였다(그림 3). Kim(2003)은 식생지역 Scale 50으로 선정하였고, Jo(2010)은 대분류와 중분류 토지피복을 분류하는데 Scale

30으로 선정하였다. Kim and Yeom(2012)은 Rapid eye영상을 사용하여 농촌지역과 식생지역 분류를 Scale 50으로 선정하였으며 이는 본 연구에서 적용한 Scale과 유사하였다.

Shape와 Color는 가중치 선정 시 Scale 72로 고정하고 실시하였다. 가중치는 분할영상의 건물과 나지를 기준으로 판독하여 객체의 형태가 명확하게 구분되는 지점을 선정하였다. 분할영상을 비교한 결과, Shape 0.2에서 건물과 나지의 형태가 명확해지는 것을 확인하여 최적 가중치를 Shape 0.2, Color 0.8로 최종 선정하였다. Lee *et al.*(2011)은 식생지역을 분류하는데 Shape 0.1, Color 0.9를 사용하였고, Choi(2004)는 식생도를 제작하는데 Shape 0.2, Color 0.8을 사용하여 본 연구에서 선정한 가중치와 유사하였다.

Compactness와 Smoothness는 가중치 선정 시 Scale 72, Shape 0.2, Color 0.8로 고정하고 실시하였다. 분할영상을 비교한 결과, 낮은 Shape 값으로 인하여 가중치의 변화가 영상에 나타나지 않았다. 공간 객체 별 형태가 다르다는 점을 고려하여, 동일한 가중치인 0.5를 최적 가중치로 선정하였다(그림 4).

본 연구는 단계별로 생성한 분할영상 비교를 통해 최적가중치 Scale 72, Shape 0.2, Color

FIGURE 3. Selection process of scale

FIGURE 4. Selection process of shape/color and compactness/smoothness

0.8, Compactness 0.5, Smoothness 0.5를 선정하여 전체 대상지를 분할하였다.

영상분할 가중치에 관한 연구를 보면 Lee *et al.*(2011)은 Scale 15, Shape 0.1, Color 0.9, Compactness 0.5, Smoothness 0.5의 가중치를 적용하여서 토지피복분류를 실시하였고, Ham *et al.*(2013)은 Scale 60, Shape 0.1,

Color 0.9, Compactness 0.5, Smoothness 0.5를 선정하여 산림지역에 대한 훼손지 탐구를 실시하였다. 또한, Kim and Yeom(2012)은 Rapid eye를 사용하여 최적 가중치를 Scale 50, Shape 0.3, Color 0.7, Compactness 0.5, Smoothness 0.5로 선정하여 농촌지역을 분류하였고, Jo(2010)는 Scale 30, Shape 0.2,

FIGURE 5. Hierarchical land cover map

TABLE 2. Comparison of land cover area according to the first and the second level

Unit : ha

Classification		First level	Second level
First level	Second level	land cover map	land cover map
Urban	Facilities	193 (2.0%)	44 (0.5%)
	Road		149 (1.5%)
	Paddy		27 (0.3%)
Agricultural	Field	50 (0.5%)	23 (0.2%)
	Orchard		0 (0.0%)
	Coniferous forest		579 (6.0%)
Forest	Broadleaf forest	8,923 (91.8%)	4,053 (41.7%)
	Mixed forest		4,291 (44.1%)
	Grassland 1		186 (1.9%)
Grassland	Grassland 2	455 (4.7%)	270 (2.8%)
	Wetlands		0 (0.0%)
Bare land	Bare land	31 (0.3%)	31 (0.3%)
Waters	Waters	68 (0.7%)	68 (0.7%)
Total		9,721	9,721
Overall accuracy		0.95	0.88
Kappa index		0.89	0.82

Color 0.8, Compactness 0.5, Smoothness 0.5로 선정하여 토지피복분류를 하였다. 본 연구와 선행연구의 가중치를 비교해보면 산림지역에서는 Scale 값이 50 이상으로 비교적 높았으며, 도심지역은 그 반대의 경향으로 50 이하로 낮아 본 연구의 Scale가중치와 유사하였다. 또한, Shape와 Color가중치는 Color값이 0.7 이상으로 본 연구와 선행연구에서 모두 높았다.

2. 계층적 토지피복도 구축

대분류 토지피복분포 면적은 산림지역, 초지, 시가지, 수역, 농업지역, 나지의 순으로 산림지역이 약 92%로 가장 높았으며, 각각 약 5%, 약 2%, 약 0.7%, 약 0.5%, 약 0.3%의 순이었다. 구축된 대분류를 이용하여 중분류를 실시한 결과, 산림지역 중에서 활엽수림이 전체 면적의 약 44%, 혼효림 약 42%로 분포하였으며, 초지 중에 기타초지가 약 3%, 시가지 중에서는 교통지역이 약 2%로 높았다(그림 5, 표 2).

3. 토지피복도 비교 분석

환경부 대분류 토지피복도는 산림이 약 92%로 가장 높았고, 시가지 약 12%, 나지 약 3%의 순으로 높았다. 환경부 중분류 토지피복도는

활엽수림이 약 83%로 가장 높았고, 혼효림, 기타나지, 침엽수림이 각각 약 6%, 약 3%, 약 3%의 순이었다. 두 자료를 비교한 결과, 혼효림 지역이 약 3,444ha로 가장 많이 면적이 증가하였고, 침엽수림과 기타초지에서 각각 약 316ha, 약 177ha의 순으로 증가하였다. 감소한 지역은 활엽수림 약 3,804ha로 가장 많은 면적이 감소하였고, 기타나지 약 300ha, 내륙습지 약 69ha 순으로 감소하였다(표 3).

면적차이가 발생한 지역을 구글어스 영상과 비교해본 결과, 객체기반 영상분할시 생성되는 객체 안에 침엽수와 활엽수가 포함되어있어 혼효림의 면적이 높았다.

4. 지형인자에 따른 분포 특성

1) 남방한계선으로부터의 거리에 따른 분류

항목 별 분포 특성

거리에 따른 분석 결과, 기타나지는 남방한계선으로부터 4~8km 지역에서 분류항목 전체면적의 약 50%이상이 분포하였으며, 논은 6km 이상 지역에서 약 61%, 밭은 4~8km 지역에서 약 72%로 높았다. 침엽수림, 활엽수림, 혼효림은 8km 이상의 지역을 제외하고 모든 지역에서 비슷하게 분포하였으나, 6~8km 지역에서

TABLE 3. Comparison and analysis of land cover map area

Unit : ha

Classification	Ministry of land cover map	Land cover map	Increase or decrease area (±)
	Second level	Second level	
Facilities	63 (0.7%)	44 (0.5%)	-20
Road	58 (0.6%)	149 (1.5%)	+92
Paddy	12 (0.1%)	27 (0.3%)	+16
Field	26 (0.3%)	23 (0.2%)	-3
Orchard	1 (0.0%)	0 (0.0%)	-1
Coniferous forest	263 (2.7%)	579 (6.0%)	+316
Broadleaf forest	8,095 (83.3%)	4,053 (41.7%)	-3,804
Mixed forest	610 (6.3%)	4,291 (44.1%)	+3,444
Grassland 1	13 (0.1%)	186 (1.9%)	+173
Grassland 2	93 (1.0%)	270 (2.8%)	+177
Wetlands	69 (0.7%)	0 (0.0%)	-69
Bare land	331 (3.4%)	31 (0.3%)	-300
Waters	89 (0.9%)	68 (0.7%)	-21
Total	9,721	9,721	

TABLE 4. Classification area according to distance

Unit : ha

	Facilities	Road	Paddy	Field	Coniferous	Broad-leaf forest	Mixed forest	Grass-land 1	Grass-land 2	Bare land	Waters
Below 2km	12	37	4	4	53	901	761	36	71	7	19
2~4km	5	16	1	1	86	850	751	34	26	5	9
4~6km	13	34	5	5	174	1,024	1,107	59	67	8	16
6~8km	11	45	6	11	228	1,143	1,175	43	79	8	16
8~10km	4	17	10	1	37	372	259	13	26	4	7
More than 10km	-	0.2	-	0.1	0.4	1.8	0.5	0.2	1	-	-

가장 면적 비율이 높았다. 한편, 내륙수와 공공시설 지역, 교통지역, 기타초지는 2km 미만의 지역에서 면적 비율이 높았다.

거리분석을 통해, 남방한계선으로부터 6km 이상의 지역에서부터 논과 밭의 면적이 50% 이상을 차지하는 것으로 보아 6km 이상에서 경작활동이 빈번히 일어남을 알 수 있었고, 2km 미만 지역에서 공공시설 지역과 교통지역, 기타초지와 기타나지의 면적이 각각 약 27%, 약 25%, 약 28%로 높은 면적이 분포하는 것으로 보아 DMZ의 지역적 특성상 건물의 위치로 인한 산림훼손이 일어난 것으로 사료된다(표 4).

2) 표고와 경사에 따른 분류항목 별 분포 특성

표고는 600~800m 구간이 전체 분포면적의 약 35%로 가장 많은 면적을 차지하였으며, 400~600m 구간은 약 33%, 800~1,000m 구간은 23%의 순으로 분포하였다. 한편, 분류항목 별 분포 특성을 보면, 공공시설 지역과 논, 기타나지, 내륙수는 각각 약 53%, 약 46%, 약 53%, 약 60%의 면적이 400m 이하의 지역에서 분포하였다. 교통지역과 밭, 자연초지, 기타초지는 400~600m 지역에서 각각 약 48%, 약 48%, 약 55%, 약 50%의 면적이 분포하였고, 침엽수림과 활엽수림, 혼효림은 600~1,000m 지역에서 각각 약 75%, 약 58%, 약 63%로 분포하였다. 생활과 밀접한 공공시설 지역과 논, 밭, 내륙수는 400m 이하의 지역에서 대부분이 분포하였다.

분포하였다.

경사는 30~40° 지역이 전체 면적의 약 56%로 가장 많은 면적을 차지하였으며, 20~30° 지역은 약 22%, 40° 이상의 지역이 약 15%순으로 높았다. 분류항목 별 분포 특성을 보면, 공공시설 지역과 내륙수는 10° 이하의 지역에서 약 30%의 면적이 분포하였고, 10~20° 지역에서는 교통지역, 논, 기타나지의 면적이 각각 약 36%, 약 29%, 약 36%로 분포하였다. 20~30° 지역에서는 밭과 기타나지가 각각 약 42%, 약 37%로 분포하였다. 침엽수림과 활엽수림, 혼효림은 30° 이상에서 50% 이상의 면적이 분포하였다.

표고와 경사에 따라 분류항목 별 분포특성은 공공시설 지역, 논, 기타초지, 내륙수는 표고와 경사가 낮은 곳에서 많이 분포하였고, 침엽수림과 활엽수림, 혼효림은 표고와 경사가 모두 높은 곳에서 많이 분포하였다.

공공시설 지역과 논, 기타나지, 내륙수의 분포성향이 유사한 것으로 보아, 내륙수를 중심으로 개발과 경작활동이 발생하는 것으로 사료된다(그림 6, 표 5).

결론

본 연구는 고해상도 위성영상을 이용하여 DMZ 인제군 일원을 대상으로 객체기반 분류기법을 통해 계층적 토지피복분류를 실시한 후, 토지피복도를 이용하여 지형인자에 따른 분류항목 별 분포 특성을 분석하고자 하였다. 또한, 대

FIGURE 6. Distribution of land cover class according to elevation and slope

TABLE 5. Classification area according to elevation and slope

Unit : ha

Classification area according to elevation											
	Facilities	Road	Paddy	Field	Conif- erous forest	Broad -leaf forest	Mixed forest	Grass- land 1	Grass- land 2	Bare land	Waters
Below 400m	23	46	12	2	6	75	74	24	51	17	40
400~600m	16	72	7	11	74	1,519	1,207	102	136	11	22
600~800m	4	24	7	8	183	1,535	1,514	45	59	4	6
800~1,000m	1	4	0.5	0.3	250	944	1,025	13	15	—	—
More than 1,000m	—	5	0.2	2	68	218	233	3	9	—	0.1

TABLE 5. Continued

Classification area according to slope											
Below 10°	14	27	7	2	5	60	39	8	30	10	20
10~20°	12	54	8	3	12	151	132	27	64	11	20
20~30°	11	44	7	10	88	959	793	65	100	6	13
30~40°	6	20	5	8	360	2,458	2,413	70	70	4	12
More than 40°	1	4	0	0	113	663	676	15	6	0	3

분류와 중분류 항목의 기준을 선정하고 최근린 분류법을 통한 계층적 토지피복분류를 실시하였다. 영상분할을 위한 최적의 가중치는 Scale 72, Shape 0.2, Color 0.8, Compactness 0.5, Smoothness 0.5로 선정되었으며, 객체 분할시 Scale의 인자가 영상분할에 가장 큰 영향을 주었다. 또한, 대분류와 중분류 항목 기준을 선정하고 밴드별 분광 값과 표준편차, GLCM기법을 이용하여 영상 분류를 실시하였다. 대분류를 한 결과, 산림지역, 초지, 시가지의 순으로 큰 면적이 분포하였고, 중분류의 결과, 활엽수림, 혼효림, 침엽수림의 순으로 큰 면적이 분포하였다. 객체기반 분류를 통하여 토지 피복의 형태에 따른 정확한 분류가 가능하였으며, 객체의 특성에 따라 세밀한 중분류의 토지 피복도 제작이 가능하였다.

또한, 제작된 토지피복도를 통한 토지이용의 형태를 살펴보면, 남방한계선에 가까울수록 공공시설 지역과 교통지역, 기타나지의 이용이 많았으며, 민간통제선에 가까울수록 논과 밭, 기타초지 등 경작활동이 빈번히 일어남을 알 수 있었다. 또한, 표고가 낮은 계곡부를 중심으로 공공시설 지역과 논, 밭 등의 시설이 밀집한 것을 알 수 있었다. 따라서, 고해상도 위성 영상을 이용한 계층적 토지피복분류를 통하여 DMZ 인제군 일원의 토지피복의 형태를 알 수 있었으며, 이는 향후, 이루어질 DMZ 일원의 산림관리계획수립 및 생물권보전구역 설정을 위한 기초적인 자료의 제공이 가능할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 산림청 ‘산림과학기술개발사업 (과제번호 : S111214L040100)’의 지원에 의하여 이루어진 것입니다. [KAGIS](#)

REFERENCES

- Choi. S.I. and C.H. Park. 2004. The vegetation mapping using high-resolution imagery and object-oriented classification. Proceedings of Spring Conferences of the Korean Society for Geo-Spatial Information System. pp.289-294 (최상일, 박종화. 2004. 고해상도 위성영상과 객체지향 분류기법을 이용한 식생도. 한국GIS학회 춘계학술대회 논문집. 289-294쪽).
- Eco-Horizon Institute. 2007. Environmental conservation and future challenges of the DMZ. pp.118-122 (생태지평. 2007. DMZ 일원의 환경보전과 향후과제. 118-122쪽).
- Ham. B.Y., C.Y. Lee, H.K. Byun and B.K. Min. 2013. A study on detection of deforested land using aerial photographs. Journal of the Korean Society for Geo-Spatial Information System 21(3): 11-17 (함보영, 이천용, 변혜경, 민병걸. 2013. 항공사진을 이용한 훼손 산지 탐지 연구. 한국지형공간정보학회지 21(3):11-17).

- Han, J.Y. and J.K. An. 2010. A utilization study of GIS technology on the improvement of settlement environment in the Demilitarized Zone(DMZ). *Journal of the Korean Institute of Spatial Design* 5(2):71-80 (한정엽, 안진근. 2010. DMZ 일원 정비구역의 정주환경 개선을 GIS기술 활용방안 연구. *한국공간디자인학회논문집* 5(2):71-80).
- Haralick, R.M., K. Shanmugam and I.H. Dinstein. 1973. Textural feature for image classification. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics* SMC-3(6):610-621.
- Jo, D.G. 2010. Urban change analysis for Seoul based on remote sensing and GIS method. Master Thesis, Univ. of Korea, Seoul, Korea. pp.27-29 (조동균. 2010. 원격탐사 기법 및 지리정보기반의 서울시 도시 변화 분석. *고려대학교 대학원 석사학위논문*. 27-29쪽).
- Kim, C.H. 2007. A study on the spatial range of DMZ. *Journal of The Korean Association of Regional Geographers* 13(4):454-460 (김창환. 2007. DMZ의 공간적 범위에 관한 연구. *한국지역지리학회지* 13(4):454-460).
- Kim, H.O. and J.M. Yeom. 2012. A study on object-based image analysis methods for land cover classification in agricultural areas. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 15(4):26-41 (김현옥, 염종민. 2012. 농촌지역 토지피복분류를 위한 객체기반 영상분석기법 연구. *한국지리정보학회지* 15(4):26-41).
- Kim, S.W. 2003. Preparation of land cover and use map by object oriented classification of IKONOS imagery. Master Thesis, Univ. of Korea, Seoul, Korea. pp.41-45 (김상우. 2003. IKONOS 영상의 객체지향 분류방식에 의한 토지피복 및 이용도 제작. *고려대학교 대학원 석사학위논문*. 41-45쪽).
- Kim, S.W. and J.C. Jeong. 2002. Ecological effect area research of DMZ using NDVI. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 5(4):24-34 (김상욱, 정종철. 2002. 식생지수를 이용한 DMZ의 생태적 영향권 조사. *한국지리정보학회지* 5(4):24-34).
- Kim, T.G. and K.S. Lee. 2003. Analysis of texture information of forest stand on high resolution satellite imagery. *Proceedings of the Spring and Fall of Korea Spatial Information Society*. pp.145-150 (김태근, 이규성. 2003. 임분 특성에 따른 고해상도 위성영상의 Texture 정보 분석. *한국공간정보학회 춘·추계 학술대회 초록집*. 145-150쪽).
- Kim, W.K. and H.S. Jeong. 1992. A study on correction of satellite imagery and accuracy enhancement of land-cover classification for GIS Application. *Research of the Geography* 19:48-61 (김우관, 정해식. 1992. GIS응용을 위한 영상보정과 토지피복분류도의 정확도 향상에 관한 연구. *지리학논구* 19:48-61).
- Kwon, O.S. 2003. Study on the analysis of optimum location for a leisure and recreation complex in an inaccessible area using satellite images. Master Thesis, Univ. of Kyonggi, Kyonggi-do, Korea. pp.1-2 (권오섭. 2003. 위성영상을 이용한 비접근지역의 종합레저휴양시설 적지 분석에 관한 연구. *경기대학교 대학원 석사학위논문*. 1-2쪽).

- Lee. H.J., L.J. Ho and S.Y. Kim. 2011. Land cover object-oriented base classification using digital aerial photo image. Journal of the Korean Society for Geo-Spatial Information System 19(1):105-113 (이현직, 유지호, 김상연. 2011. 디지털항공사진영상을 이용한 객체기반 토지피복분류. 한국지형공간정보학회지 19(1):105-113).
- Lee. H.J., Y.Y. Geol and R.J. Ho. 2010. Improvement of accuracy in land cover information using an object-based classification. Journal of the Korean Society for Geo-Spatial Information System 18(3):11-12 (이현직, 유영걸, 유지호. 2010. 객체기반분류법을 이용한 토지 피복정보의 정확도 향상 방안. 한국지형공간정보학회지 18(3):11-12).
- Lee. J.B., D.Y. Heo and Y.D. Eo. 2007. Study on selection of optimized segmentation parameters and analysis of classification accuracy for object-oriented classification. Korean Journal of Remote Sensing 23(6):521-528 (이정빈, 허준, 어양담. 2007. 객체기반 영상분류에서 최적 가중치 선정과 정확도 분석 연구. 대한원격탐사학회지 23(6):521-528).
- Lee. K.W., S.H. Jeon and B.D. Kwon. 2005. Implementation of GLCM/GLDV-based texture algorithm and its application to high resolution imagery analysis. Korean Journal of Remote Sensing 21(2):121-133 (이기원, 전소희, 권병두. 2005. GLCM/GLDV기반 Texture 알고리즘 구현과 고해상도 영상분석 적용. 대한원격탐사학회지 21(2):121-133).
- Lee. M.B. 2010. A geomorphic surface analysis using remote sensing in DMZ of Chugaryeong rift valley, Central Korea. Journal of the Korean Geomorphological Association. 17(1):1-14 (이민부. 2010. 위성영상을 이용한 추가령열곡 DMZ지역의 지형면 분석. 한국지형학회지 17(1):1-14).
- Oh. C.Y., S.Y. Park, H.S. Kim, Y.W. Lee and C.U. Choi. 2010. Comparison of landcover map accuracy using high resolution satellite imagery. Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies 13(1):89-100 (오치영, 박소영, 김형식, 이양원, 최철웅. 2010. 고해상도 위성영상의 토지피복분류와 정확도 비교 연구. 한국지리정보학회지 13 (1):89-100).
- Park. J.M. 2013. Land cover classification and change analysis using pixel-based and object-based. Master Thesis, Univ. of Gangwon, Kangwon-do, Korea. pp.13-14 (박정목. 2013. 토지피복 변화탐지의 정확도 향상을 위한 픽셀 및 객체기반 분석 기법 연구. 강원대학교 대학원 석사학위논문. 13-14쪽).
- Seol. K.J. 2005. A study on the classification of high-resolution satellite image by texture analysis : focus on the extracting urban area. Master Thesis, Univ. of Sangmyoung, Seoul, Korea. pp.38-41 (설경진. 2005. 텍스처 분석에 의한 고해상도 위성영상의 분류. 상명대학교 대학원 석사학위논문. 38-41쪽).
- Song. J.E., H. Han and J.S. Jeong. 2011. A case study on application of grey level co-occurrence matrix method to land cover classification using high resolution. Proceedings of the Korean Forest Society. pp.1077-1080 (송정은, 한희, 정주상. 2011. 고해상도 영상의 토지 피복분류를 위한 GLCM기법의 적용 사례 연

- 구. 산림과학 공동학술발표논문집. 1077-1080쪽).
- Song. W.K., S.W. Jeon, E.Y. Kim, D.K. Lee and J. Lee. 2012. A study on evaluating the conservation/utilization area and establishment of the guideline for conservation of the DMZ region. Journal of the Korea Society For Environmental Restoration And Revegetation Technology 15(2):163-175 (송원경, 전성우, 김은영, 이동근, 이준. 2012. DMZ일원 보전 · 이용지역 설정 및 가이드라인 수립 연구. 한국환경복원기술학회지 15(2):163-175).
- Yeom. J.H., J.H. Lee, D.J. Kim and Y.G. Kim. 2011. Hierarchical land cover classification using IKONOS and AIRSAR images. Korean Journal of Remote Sensing 27(4):435-445 (염준호, 이정호, 김덕진, 김용일. 2011. IKONOS와 AIRSAR 영상을 이용한 계층적 토지피복분류. 대한원격탐사학회지 27(4):435-445).
- Inje-gun. Inje-gun Statistical Yearbook. 2014.06.02. <http://www.inje.go.kr/>.