

농촌지역 토지피복분류를 위한 객체기반 영상분석기법 연구

김현옥¹ · 염종민^{1*}

A Study on Object-Based Image Analysis Methods for Land Cover Classification in Agricultural Areas

Hyun-Ok KIM¹ · Jong-Min YEOM^{1*}

요 약

지구온난화와 함께 홍수와 가뭄 등 기후변화에 대비하기 위해서는 경지현황에 대한 신속하고 정확한 정보를 바탕으로 농업생산량을 효율적으로 관리, 예측, 대비하는 것이 필요하다. 본 연구는 시·도 규모 이상의 넓은 지역을 대상으로 농촌지역 토지피복도 제작을 지원할 수 있는 영상분류 알고리즘 개발을 목표로 객체기반 영상분석기법의 활용가능성과 한계를 검토해 보았다. 추가적인 공간자료의 사용이 최소화된 상태에서 다중시기 RapidEye 위성영상의 분광정보 활용가능성을 테스트해 보고자 하였으며, 사례연구지인 김제지역 일대(1,300km²)에 대한 토지피복 분류 정확도는 80.3%로 양호하게 나타났다. 분석에 사용된 RapidEye의 6.5m 공간해상도는 대체로 작은 규모로 경작되는 우리나라 경지의 공간적 특성 추출이 가능하다는 것을 보여주었으며, 객체기반의 영상분석 기법은 분석가의 전문지식을 분류과정에서 다양한 방법으로 구현해냄으로써 영상정보 활용의 최적화를 꾀할 수 있음을 보여주었다. 또한, 기개발된 영상분류 알고리즘을 저장하고, 분석목적에 맞게 세부 변수들을 조정하여 다른 지역 또는 다른 영상에 응용할 수 있다는 장점이 있다. 하지만, 객체기반 영상분류의 근간이 되는 영상분할 과정은 정량적으로 명확히 설명되지 않는 경우가 많아 분석자의 경험과 전문지식을 바탕으로 최선의 결과를 도출하는 것이 요구된다.

주요어 : 객체기반 영상분석, 영상분류, 토지피복, RapidEye, 농촌지역

ABSTRACT

It is necessary to manage, forecast and prepare agricultural production based on accurate and up-to-date information in order to cope with the climate change and its impacts such as global warming, floods and droughts. This study examined the applicability as well as challenges of the object-based image analysis method for

2012년 7월 30일 접수 Received on July 30, 2012 / 2012년 10월 5일 수정 Revised on October 5, 2012 / 2012년 10월 12일 심사완료 Accepted on October 12, 2012

¹ 한국항공우주연구원 위성정보연구센터 Satellite Information Research Center, Korea Aerospace Research Institute

* Corresponding Author E-mail : yeomjm@kari.re.kr

developing a land cover image classification algorithm, which can support the fast thematic mapping of wide agricultural areas on a regional scale. In order to test the applicability of RapidEye's multi-temporal spectral information for differentiating agricultural land cover types, the integration of other GIS data was minimized. Under this circumstance, the land cover classification accuracy at the study area of Kimje (1,300km²) was 80.3%. The geometric resolution of RapidEye, 6.5m showed the possibility to derive the spatial features of agricultural land use generally cultivated on a small scale in Korea. The object-based image analysis method can realize the expert knowledge in various ways during the classification process, so that the application of spectral image information can be optimized. An additional advantage is that the already developed classification algorithm can be stored, edited with variables in detail with regard to analytical purpose, and may be applied to other images as well as other regions. However, the segmentation process, which is fundamental for the object-based image classification, often cannot be explained quantitatively. Therefore, it is necessary to draw the best results based on expert's empirical and scientific knowledge.

KEYWORDS : *Object-Based Image Analysis(OBIA), Image Classification, Land Cover, RapidEye, Agricultural Areas*

서론

홍수와 가뭄, 이상고온, 한파, 폭우 등 전지구적 기후변화 현상이 잦아지면서 농업은 새로운 위기를 직면하고 있다. 우리나라도 최근 몇 년간 배추값 파동을 비롯한 농산물가격 불안정이 심화되고 있으며, 정확한 농업생산량 예측 및 관리를 통한 정부차원의 대처능력에 대한 성찰의 목소리가 높다. 농업생산량 예측은 물론 효과적인 농업정책을 수립, 실천하기 위해서는 객관적이고 신뢰성 있는 경지 데이터가 확보되어야 한다. 특히, 농업분야는 기상 영향의 영향을 많이 받고 병충해 등 재배과정에서 여러 가지 이변이 발생할 수 있기 때문에 생산량을 극대화하고 피해를 최소화하기 위해서는 지속적인 데이터 확보와 신속한 데이터 처리 및 분석, 체계적인 의사결정 지원시스템의 구축이 필요하다. 이를 위하여 인공위성 기반의 원격탐사는 짧은 시간 안에 넓은 지역을 촬영함으로써 광범위한 데이터를 수집할 수

있고, 영상자료가 디지털 형식이기 때문에 데이터를 처리하고 분석하는데 걸리는 시간을 단축하고 일련의 작업과정을 (반)자동화할 수 있다는 장점이 있다. 무엇보다도 동일지역에 대한 촬영이 주기적으로 이루어지기 때문에 지속적인 모니터링에 용이하다. 최근 전세계적으로 다양한 센서의 지구관측 위성들이 상용화되고 있어 활용목적에 따른 데이터 선택의 폭이 넓어지고 있으며, 데이터 구입비용 또한 상대적으로 저렴하다. 이러한 장점에 힘입어 외국의 경우 위성영상 기반의 농업정보 시스템 구축은 이미 오래 전부터 실용화되어 오고 있지만, 우리나라는 개인농 위주의 소규모 경지면적과 복잡한 토지이용 등을 이유로 아직까지 국가차원의 실용화가 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 하지만, 2006년 다목적실용위성 2호의 성공적인 발사와 운영을 시작으로 올해 70cm 급의 초고해상도 다목적실용위성 3호까지 성공적으로 발사함에 따라 국내 위성정보의 활용기반이 확대되고 있고, RapidEye와 같이 농업분야의 활용에 초점이

맞추어진 해외 상업위성들이 등장하는 등 농업부면에서의 저변확대가 기대된다.

대축적 수치지도는 물론 다양한 주제도가 제작, 갱신되고 있는 도시지역과 다르게 우리나라 농촌지역의 경우는 정확한 기초자료의 구축이 미비한 실정이다. 환경부에서 서비스하는 토지피복도가 가장 공신력 있는 데이터이기는 하지만 지도제작에 사용되는 Landsat이나 SPOT 등의 인공위성영상들이 가지는 공간해상도의 한계로 인하여 분류항목간의 정확한 경계선 구분이나 속성정보의 추출에 있어서 많은 어려움이 있어 왔다. 이장우 등(2010)은 디지털 카메라를 이용하여 촬영한 고해상도 영상과의 비교분석을 통해 환경부에서 제작하는 대, 중분류 토지피복도의 문제점을 지적하였다. 농업지역의 경우, 하우스재배지가 논이나 밭으로 분류되기도 하고 과수원이 산림으로 분류되기도 하는 등 문제점이 나타났으며, 주택이나 창고, 공장 등 작은 규모로 다른 용도의 토지가 혼재되어 있는 경우 구분이 제대로 되지 않는다는 점을 지적하였다(오치영 등, 2010). 또, 박정재 등(2007)은 환경부의 토지피복도 제작에 이용되는 영상이 시기별, 지역별로 다르고 분류체계 또한 철저히 촬영 당시의 토지피복 상태만을 표현하고 있기 때문에 최종적으로 제작된 토지피복도의 내용 역시 조금씩 상이한 문제가 있음을 지적하였다. 즉, 작물의 재배시기나 관리상태에 따라 토지피복이 수시로 바뀔 수 있는 농업지역의 경우 정확도 측면에서 논란의 여지가 특히 많을 수 있다. 그밖에도 이현직 등(2010)은 환경부의 토지피복도 제작에 사용되는 영상분류기법과 스크린 디지털라이징 방식의 작업공정이 복잡하고, 제작에 많은 비용과 시간이 소요되기 때문에 정보의 최신성이 결여되는 문제를 지적하였다.

본 연구에서는 경지 중심의 농촌지역 토지피복 분류에 있어 객체기반 영상분석 기법의 활용가능성을 사례연구를 중심으로 살펴보고자 한다. 특히, 시·도 규모 이상의 넓은 지역을 대상으로 신속하고 신뢰가능한 토지피복도

제작 및 경지면적 산출을 위한 위성영상의 분광정보 활용기법과 영상분류 알고리즘 개발을 주요 내용으로 한다. 객체지향 영상분석의 장점 중 하나는 위성영상과 같은 레스터형식의 자료는 물론 벡터형식의 데이터도 함께 통합하여 분석할 수 있다는 것으로 영상자료 이외에 다양한 지리정보데이터를 활용하여 분류정확도를 향상시킬 수 있다. 하지만, 대상지역의 공간범위가 시, 도, 국가 단위로 넓어질수록 동일한 형식 또는 시간적, 공간적 해상도의 자료를 구하기 힘들어지는 등 데이터 수집에서 현실적인 문제들이 발생하는 경우가 많다. 본 연구에서도 위성영상 이외의 추가적인 지리정보데이터를 구하는데 어려움이 있었다. 따라서, 본 연구에서는 부가적인 데이터 사용을 최소화한 상태에서 주로 위성영상의 분광정보를 바탕으로 사례연구지역인 김제지역의 토지피복 분류를 위한 영상분류 알고리즘을 개발하고 이를 고창지역에 적용해 보고자 한다. 연구과정에서 도출된 영상분류기법의 활용가능성과 한계에 대한 고찰 및 시사점은 향후 국가사업으로서 시, 도 단위 이상의 넓은 지역에 대한 토지피복도 제작시 가이드라인을 설정하는데 도움을 줄 수 있을 것이다.

연구대상지

연구대상지는 전라북도 김제시를 포함하는 그 일대로 면적은 대략 1,300km²이다(그림 1). 김제시는 경위도상 북위 36° 동경 127°의 교차점에 자리잡고 있으며, 동쪽에 노령산맥 끝자락인 모악산을 중심으로 구성산, 국사봉, 상두산 등 높이 500~700m 산지가 북북동에서 남남서 방향으로 솟아 있고, 황산면 황산과 서해 연안에 봉화산, 진봉산 등 100m 안팎의 산지가 솟아 있다. 이들 산지를 제외하면 전체가 50m 미만의 야트막한 언덕과 동진강, 원평천, 만경강 주변에 형성된 광대한 충적평야지대로 호남평야의 중심을 이룬다. 절반이 논이며, 주요 곡창지대 중 하나로 우리나라 쌀 생산량의 40분의 1을 차지한다. 대륙

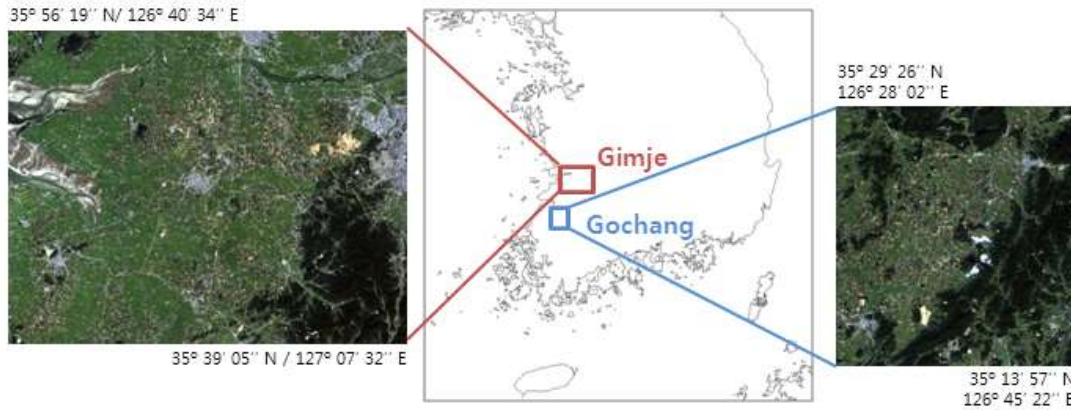


FIGURE 1. 사례연구지 (김제시 일대, 실색합성된 RapidEye 영상) 및 검증지역 (전북 고창, 실색합성된 RapidEye 영상)

성 및 해안성 기후로 겨울에는 북서계절풍의 영향이 강하고, 여름에는 온난습윤하다. 연평균기온 13℃ 내외, 연강수량 1,300mm 내외, 1월 평균기온 1.2℃ 내외, 7월 평균기온 26℃ 내외이다. 삼한시대부터 한국 농경문화의 중심지 역할을 해왔으며, 지금도 인구의 70% 정도가 농업에 종사하는 전형적인 농촌의 모습을 띠고 있다(김제시청, 네이버백과).

위성영상 전처리

RapidEye는 독일에서 개발되어 2008년 8월 29일 성공적으로 발사되었으며, 2009년부터 상용화 서비스를 하고 있는 5m급 고해상도 다중분광 광학위성이다. 동일하게 제작된 다섯 대의 위성이 무리를 이루어 동시에 지구를 관측할 수 있도록 설계되었기 때문에, 단기간에 커버할 수 있는 촬영면적이 넓고 재방문주기가 짧다. 또, 인공위성으로는 처음으로 Red Edge 분광대를 장착하고 있다. Red Edge는 식물의 클로로필 함량이나 질소공급 상태 등 스트레스 유형이나 정도에 따른 변화를 탐지할 수 있는 분광영역이라고 알려져 있기 때문에(Fiella and Penuelas, 1994; Eitel et al., 2011), 농업분야에서의 활용성이 기대되고 있다. 한국항공우주연구원에서는 본 영

상의 국내 활용가능성에 대한 검토를 위하여 2011년 6월부터 9월까지 남한지역에 대한 촬영을 실시하였다. 평년보다 우기가 길고 강수량이 많았던 관계로 전체 영상 중 본 연구에 사용될 수 있는 영상은 7월 19일과 9월 23일 촬영된 것 뿐이었다. RapidEye 위성의 기술적 특성은 표 1과 같다.

RapidEye AG사에서 위성의 자세 등 기본적인 시스템 보정만이 수행된 원영상(Level 1B)을 제공받아 한국항공우주연구원의 위성영상자동처리시스템을 이용하여 정사보정하였다. 원영상의 분광특성을 보존하기 위하여 환경설정에서 촬영당시의 공간해상도 6.5m를 유지하도록 하고 최근린보간법으로 리샘플링하였으며, 우리나라 표준좌표계(UTM, GRS80)로 변환하였다. 정사보정된 7월 19일과 9월 23일의 영상은 RapidEye 위성이 우리나라 방문궤도에서 촬영한 지역이 한 장으로 되어 있으므로 김제시를 포함하는 주변 일대지역을 서브셋(Subset)으로 만들어 사용하였다. 두 영상의 상대위치오차는 한 픽셀을 넘지 않는다.

연구대상지를 커버하는 두 영상의 촬영상태는 양호한 편이다. 특히, 9월 영상은 구름 한 점 없이 맑은 날 촬영되었고, 7월 영상에는 드문드문 뭉게구름과 구름에 의한 그림자 지역이 있다. 본 연구에서는 지표면에 대한 정

TABLE 1. RapidEye 위성미션의 특성

특성항목	내용
Number of Satellites	5
Size of each individual satellite	less than one cubic meter
Weight of each individual satellite	150 kg
Orbit Altitude	630km (in Sun-synchronous orbit)
Equator Crossing Time	11:00 (approximately)
Sensor Type	Multi-spectral push broom imager
Swath Width	77km
Spectral Bands	Blue 440-510 nm
	Green 520-590 nm
	Red 630-685 nm
	Red Edge 690-730 nm
	NIR 760-850 nm
Ground sample distance (nadir)	6.5m (Resampling 5m)
On board storage	up to 1500km of image data per orbit
Revisit Time	daily (off-nadir; always less than 20°) / 5.5day (nadir)
Image capture capacity	4 million km ² /day
Camera Dynamic Range	12 bit

자료 : http://www.rapideye.com/upload/RE_Constellation.pdf.

확한 분광 정보와 시계열 비교분석을 위하여 각각의 영상에 대하여 전처리 작업을 수행하였다. 먼저, RapidEye사에서 제공하는 메타데이터 중에서 채널별 복사변환 계수를 이용하여 대기 상단의 복사량 및 반사도를 산출하였다. 대기 상단의 반사도로부터 실제 지표면의 반사도를 추정하기 위해서는 위성에서 영상을 촬영할 때 분광 채널별로 가해진 대기 효과를 제거하는 대기보정이 필요하다. 본 연구에서는 태양광의 분광스펙트럼에 최적화되어 일반적으로 가장 많이 쓰이는 6S(Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum) 모델을 이용하였다(Vermote *et al.*, 1997). 대기보정 모델링을 위해서는 입력 자료로 위성-지점-센서의 기하학적 특성과 주요 대기기체 성분 특성, 에어로졸 특성, 위성의 분광 밴드별 반응함수, 대기 상단에서의 위성 관측 복사량 등이 필요하지만 위성의 촬영시점에 일치하는 실제 대기 관측값을 확보하는 것이 쉽지 않고, 일반적으로 대기보정모델에 내장되어 있는 표준값을 사용하더라도 일정 수준의 정확도를 보장할 수 있기 때문에

(Moran *et al.*, 1992; Lei *et al.*, 1998) 본 연구에서도 표준 대기정보를 이용하여 지표면 반사도를 산출하였다. 광학위성영상의 경우, 태양고도에 따라 지표면의 반사특성이 달라질 수 있기 때문에 방향성 효과를 보정하기 위하여 BRDF(Bidirectional Reflectance Distribution Function) 모델링을 수행하기도 하지만(염중민 등, 2005), 본 연구에서는 고해상도 영상의 특성상 BRDF 모델링에 필요한 영상 샘플링 수가 적기 때문에 제외하였다.

사례연구

토지피복 분류 항목은 시가화지역(Urban), 수면(Water), 산림(Forest), 나지(Soil), 농로(Path), 수확이 빠른 논(Paddy; early harvest), 수확이 늦은 논(Paddy), 밭(Field), 기타 경지(Other Agriculture)의 9개이다. 이들은 우리나라 농촌지역에서 일반적으로 나타나는 토지피복 유형이라고 할 수 있다. 영상 분류는 그림 2와 같이 순차적으로 이루어지는 방식으로 진행되었다. 자세한 설명은 4.1과

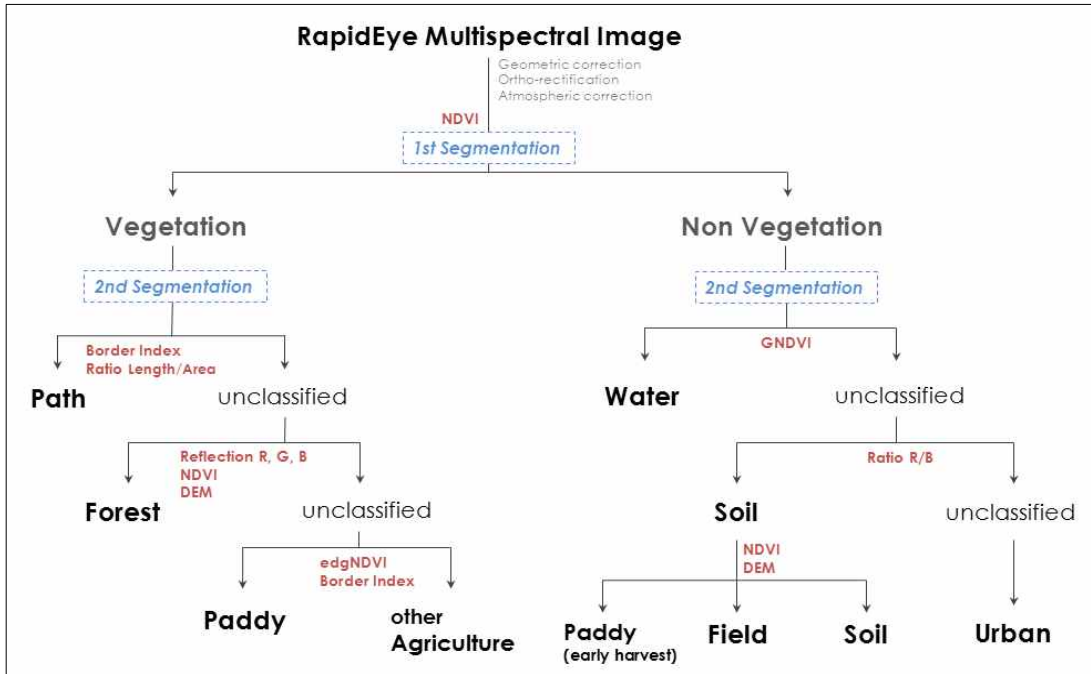


FIGURE 2. 농업지역 토지피복 영상분류방법

4.2장에서 하기로 한다. 위성영상 이외에 미국 NASA에서 무상으로 서비스 하는 SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) DEM 자료를 사용하였다. 본 자료의 해상도는 90m로 RapidEye 위성영상에 비해 현저히 낮으므로 정확한 분류결과를 도출하는데 있어서 제한요인으로 작용할 수 있지만, 보다 상세한 데이터를 확보하는데 어려움이 있었다. 본 연구에서는 정확한 DEM 자료를 바탕으로 영상 분류결과의 정확도 향상에 비중을 두기 보다는 분류과정에서 영상데이터와 기타 다른 GIS 자료를 연계하여 활용할 수 객체기반 영상분석의 활용기법에 비중을 두고자 한다.

1. 영상분할(세그멘테이션)

객체기반 영상분류의 신뢰도는 적절한 세그멘테이션, 즉 영상분할의 성공여부에 달려있다고 할 수 있을 정도로 영상분할은 객체기반 영상분석에서 중요한 프로세스이다. 영상분할이란 쉽게 말해 분석자에 의해 주어진 일정

조건 하에서 유사한 분광특성을 나타내는 개별 화소들을 그룹화하여 동일한 오브젝트로 만들어 주는 과정이다. 이렇게 형성된 객체 단위에서는 모양이나 면적과 같은 객체 정보는 물론 그 안에 포함되는 화소들의 집합적 특성, 예를 들어 밴드별 평균 분광값이나 표준편차 정도에 따른 동질성 또는 질감 지수 등을 부차적인 정보로 활용할 수 있다. 상용 프로그램마다 지원하는 알고리즘에 다소의 차이가 있을 수는 있지만 가장 일반적으로 사용되고 있는 소프트웨어 프로그램인 eCognition에서는 다양한 방법으로 레이어를 생성할 수 있고 레벨 개념을 도입하여 수직적인 위계관계를 정립할 수 있다. 즉, 개별 화소 단위에서 수학적, 통계적 방식에 의해 생성된 오브젝트들이 주제적으로 의미있는 상태가 되어야 2차적으로 오브젝트의 모양이나, 크기, 질감, 공간적인 맥락 등의 속성을 산출하고 이러한 정보들을 활용하여 다음 단계의 분석이 유의미하게 진행될 수 있기 때문에, 분석 목적에 맞

는 적절한 영상분할 결과를 도출하는 일은 매우 중요하다. 본 연구에서는 Trimble사의 eCognition(version 8)에서 지원하는 알고리즘에 기반하여 농업지역 토지피복을 위한 RapidEye 위성영상의 영상분할 방법을 살펴 보았다.

그림 2에서 보는 바와 같이 본 영상분류에서는 두 가지 영상분할 기법이 사용되었다. 1차 영상분할은 분석자가 기준이 되는 래스터 레이어와 화소 값의 범위를 정해 주면 영상분할이 이루어지면서 동시에 생성된 객체들이 기준에 부합하는 분류항목으로 할당되는 Multi-threshold Segmentation 기법이다. 전체 연구

지역을 식생과 비식생지역으로 개괄적으로 구분하기 위하여 구름없이 맑은 날 촬영된 9월 영상의 정규식생지수(NDVI: Normalized Difference Vegetation Index)를 사용하였다. 영상 및 식생의 종류나 상태에 따라 다소의 차이가 있을 수는 있지만 일반적으로 식생 지역은 NDVI 양수값을 가지며, 광합성이 활발한 건강한 식생일수록 지수값이 커진다(USGS; USDA). 본 연구 대상지내에서 식생에 해당하는 화소들의 NDVI를 검토한 후, NDVI 값이 0.5 이상이면 식생지역으로 0.5 미만이면 비식생지역으로 구분하였다. RapidEye 원영상과 육안으로 비교한 결과,

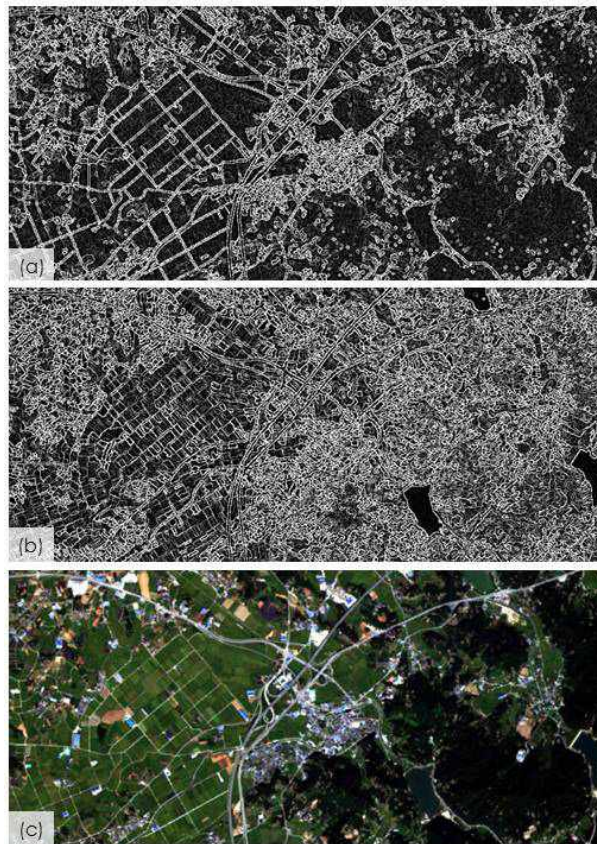


FIGURE 3. 케니 알고리즘을 이용한 경계추출 (a: 9월 영상의 Blue 밴드 사용, b: 9월 영상의 NIR 밴드 사용, c: 실색합성 9월 영상)

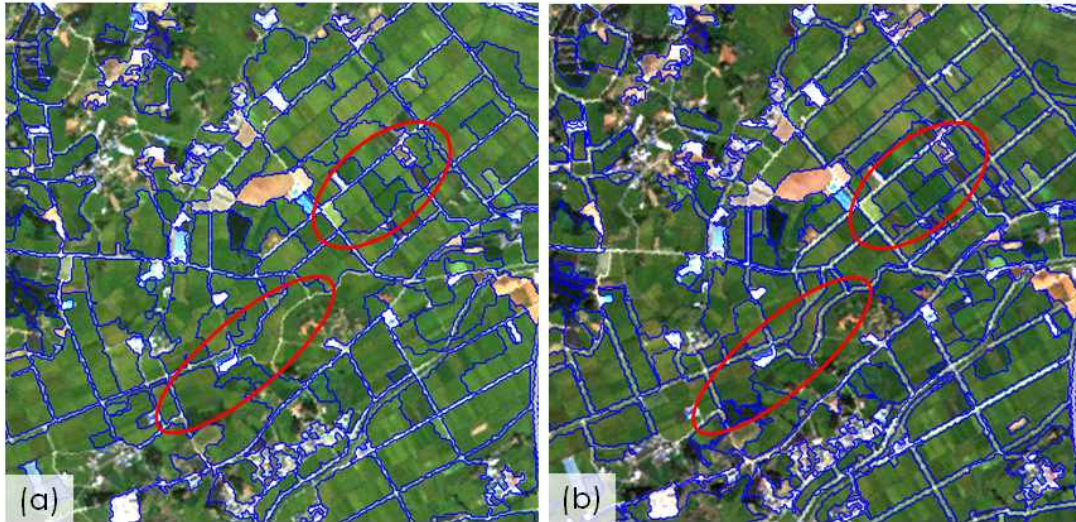


FIGURE 4. 상위레벨의 1차 영상분할에서 식생으로 분류된 지역에 대한 2차 영상분할 결과
(a: 경계추출 레이어 사용안함, b: 경계추출 레이어 사용)

식생과 비식생의 이원적 분류결과는 전반적으로 양호한 것으로 나타났다.

2차 영상분할에서는 eCognition 프로그램의 초기 버전에서부터 지원되고 있는 가장 일반적인 Multiresolution Segmentation 기법을 적용하였다. 분석자가 영상분할에 사용될 영상 레이어들을 선택하고 그 중에서 중요하다고 생각되는 레이어에 가중치를 줄 수 있으며, 색상/형태(Color/Shape) 및 모양(Compactness/Smoothness) 지수값과 스케일 파라미터(Scale parameter)를 지정해 주면 된다. 객체의 크기를 결정하는 스케일 파라미터를 다르게 하여 여러 단계로 영상분할을 수행할 수 있으며, 이들 간에 수직적인 위계관계가 자동으로 형성된다. 하지만 Multiresolution Segmentation의 경우, 사용된 레이어의 종류, 스케일값과 모양 및 형태지수 설정에 따라 조금씩 결과가 달라지지만 입력값과 영상분할 결과 사이의 관계가 명확히 설명되기 어렵기 때문에 분석자로서는 시행착오를 거치며 분석 목적에 적절한 기준이나 방법을 찾아내야 한다. 본 연구에서도 영상분할 과정에서 토지피복 경계구분에 대한 정확도를 향상시킬 수 있는 여

러 가지 방법을 시도해 보았다. 그 중 캐니 알고리즘(Canny's algorithm)을 적용한 경계추출(Edge extraction) 레이어를 사용하는 것이 효과가 있는 것으로 나타났다. 그림 3에서 보는 바와 같이 식생지역의 경우에는 NIR 밴드에서 경계부의 대비가 뚜렷하게 나타났고, 비식생지역의 경우는 Blue 밴드에서 대비효과가 뚜렷하게 나타났는데 이 레이어들을 영상분할 과정에 포함시켜 본 결과, 그림 4에서 보는 바와 같이 경계레이어를 사용하지 않은 경우 (a)에 비해서 경계레이어를 사용한 경우 (b)에는 농로와 같은 선형적 요소가 더 잘 추출되고 논외의 경계도 보다 적절히 구분되는 것을 볼 수 있었다.

환경설정을 바꿔가면서 변화되는 영상분할 결과에 대한 검토를 바탕으로 2차 영상분할에서는 식생과 비식생지역에 대하여 사용되는 레이어 및 환경설정을 다르게 적용하였다. 식생지역의 경우, 7월과 9월 영상의 분광밴드 각각 5개와 9월 영상에서 산출된 3개 식생지수(NDVI, GNDVI, NDRE), 9월 영상의 Blue와 NIR 밴드를 사용한 경계레이어 2개를 사용하였으며, Shape 0.3, Compactness 0.5,

Scale factor 50으로 설정하였다. 비식생지역의 영상분할은 9월 영상의 분광밴드 5개와 Blue 밴드를 사용한 경계레이어, Ratio R/B 레이어를 사용하였고, Shape 0.1, Compactness 0.5, Scale factor 100으로 설정하였다. 영상분할 결과는 대체로 동일한 토지피복 유형별로 영상분할되었다고 볼 수 있었다. 또한 2차 영상분할의 단위면적이 작아지면서 1차 영상분할에서 식생으로 분류된 지역에서 논과 논 사이의 두렁들이 객체로 추출되는 것을 볼 수 있었다.

2. 토지피복 유형별 분광정보 분석 및 영상분류

본 연구의 토지피복 유형은 시가지지역(Urban), 수면(Water), 산림(Forest), 나지(Soil), 농로(Path), 수확이 빠른 논(Paddy; early harvest), 수확이 늦은 논(Paddy), 밭(Field), 기타 경지(Other Agriculture)의 9개 유형이다. 경지의 경우, 파종 및 수확시기가 다르기 때문에 이들의 성장주기에 맞춰 적절한 다중시점의 위성영상을 사용함으로써 보다 다양한 작물의 종류를 분류할 수도 있었지만, 본 연구에서는 7월 19일과 9월 23일 두 시점의 영상만이 활용 가능하였으므로 경지유형을 논, 밭, 기타 경지의 세 가지로 제한하였다. 그 중에서 논은 9월 중순 정도에 이미 수확이 이뤄지고 논토양이 드러나는 곳이 있어 9월 영상에서의 수확 여부를 기준으로 수확이 빠른 논과 수확이 늦은 논으로 구분하였다.

2차 영상분할된 최종적인 영상분할 결과를

바탕으로 토지피복유형과 분광특성과의 관계를 분석하였다. 7월과 9월의 원래 분광밴드는 물론 가장 일반적으로 널리 사용되는 식생지수인 NDVI, 그리고 변형된 형태의 여러 가지 식생지수와 기타 분광밴드간의 조합을 가지고 토지피복유형과의 관계를 분석하였다. 그 중 최종적으로 영상분류에 사용된 분광지수는 표 2와 같다.

비식생 지역 중 하천이나 저수지와 같은 수면지역은 GNDVI 값이 다른 지역에 비해 상대적으로 낮게 나타나고, 나대지는 Ratio R/B 값이 두드러지게 높게 나타나는 특성이 관찰되었다. 본 영상분류에서는 9월 영상의 GNDVI 값이 -0.18 보다 작은 경우 수면으로, 나머지 지역 중 9월 영상의 Ratio R/B 값이 2 이상인 경우 토양지역으로 분류하였다. 그리고 9월 영상에서 토양으로 분류된 지역 중 7월 영상에서 NDVI값이 0.7 이상으로 높게 나타나는 경우는 일찍 수확이 이루어져 토양이 드러난 논이거나 파종이나 수확이 주기적으로 이루어지는 밭이라고 보았다. 그 중 밭은 대체로 구릉지나 산기슭에 위치하는 경우가 많으므로 DEM을 기준으로 10m 이상인 경우를 밭으로, 10m 미만인 저지대의 평평한 지역을 논으로 분류하였다. 토양으로 분류된 지역 중 논이나 밭으로 분류되지 않는 나머지 지역은 나대지라고 하였다. 이렇게 순차적으로 하천, 수확이 빠른 논, 밭, 나대지로 분류된 지역을 제외한 나머지 비식생 객체들은 모두 도시화지역으로 분류하였다.

TABLE 2. 본 연구에 사용된 분광지수

분광지수	계산식	산출근거
NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)	$(RE5-RE3)/(RE5+RE3)$	Rouse <i>et al.</i> (1974)
GNDVI (Green Normalized Difference Vegetation Index)	$(RE5-RE2)/(RE5+RE2)$	Gitelson <i>et al.</i> (1996)
edgNDVI (Normalized Difference Vegetation Index with Red Edge)	$(RE5-RE4)/(RE5+RE4)$	tested in this study
Ratio R/B (Ration Red/Blue)	$RE3/RE1$	tested in this study

* REbandn: RapidEye 분광밴드별 반사도 (Band1: Blue, Band2: Green, Band3: Red, Band4: Red Edge, Band5: Near Infrared)

식생지역에 대한 2차 영상분할 결과 논과 논 사이의 두렁들, 즉 비식생지역이 다시 추출되어 나왔다(그림 4). 이들 객체들은 길고 좁은 형태를 띄어 다른 식생 항목과 뚜렷이 구분되는 특성을 지니므로 형태적 특성을 반영한 지수들, 예를 들어 Border Index, Border Length/Area를 사용할 수 있었다. 하지만, 이들 객체가 항상 직선적인 형태를 띠는 것이 아니라 나뭇가지 모양으로 가지를 치는 등 다양한 모양으로 나타나기 때문에 형태지수의 어떤 특정값을 기준으로 이분법적으로 농로를 명확히 규정하는 데는 한계가 있었다. 이 문제를 극복하기 위하여 eCognition 프로그램에서 지원하는 멤버십 기능을 적용하였다. 멤버십 기능은 퍼지이론을 바탕으로 객체 또는 오브젝트가 주어진 조건에서 해당 분류유형으로 할당될 수 있는 확률변수를 적용하는 것이다. 즉, 농로로 추정되는 폭이 매우 좁으면서 긴 형태의 객체들이 가지는 형태지수를

전체적으로 검토한 후 Border Index는 대략 2를 전후해서, Border Length/Area는 0.6을 전후해서 값이 커질수록 농로일 확률이 높아지도록 분류기준을 설정하였다. 이렇게 농로를 먼저 추출한 후, 나머지 지역 즉, 산림과 논, 밭 등 기타 경지들에 해당되는 객체들의 분광특성을 분석하였다. 그 중 산림지역은 실색합성된 원영상에서 다른 식생지역에 비해 뚜렷이 어두운 녹색으로 보여지는데 반해 식생지수 값에서는 통계적 차이가 두드러지지 않았다. 따라서 산림지역은 9월 영상에서 나타나는 Red, Green, Blue 밴드의 반사도에 근거하여 멤버십 기능을 적용하였다. 7월 영상을 사용하지 않은 이유는 구름과 구름에 의한 그림자가 넓은 면적으로 특히 산림지역에 드리워져 있었기 때문이다. 이 기준에 의해 분류되어 나오지 않는 일부 계곡부근이나 산림 그림자가 지는 지역은 표고정보와 인접관계를 고려하여, 즉 고도가 150m 이상으로 높



FIGURE 5. 사레연구지역에 대한 원영상과 토지피복 영상분류 결과 (상: 실색합성된 RapidEye 9월 22일 영상, 하: 토지피복 분류결과)

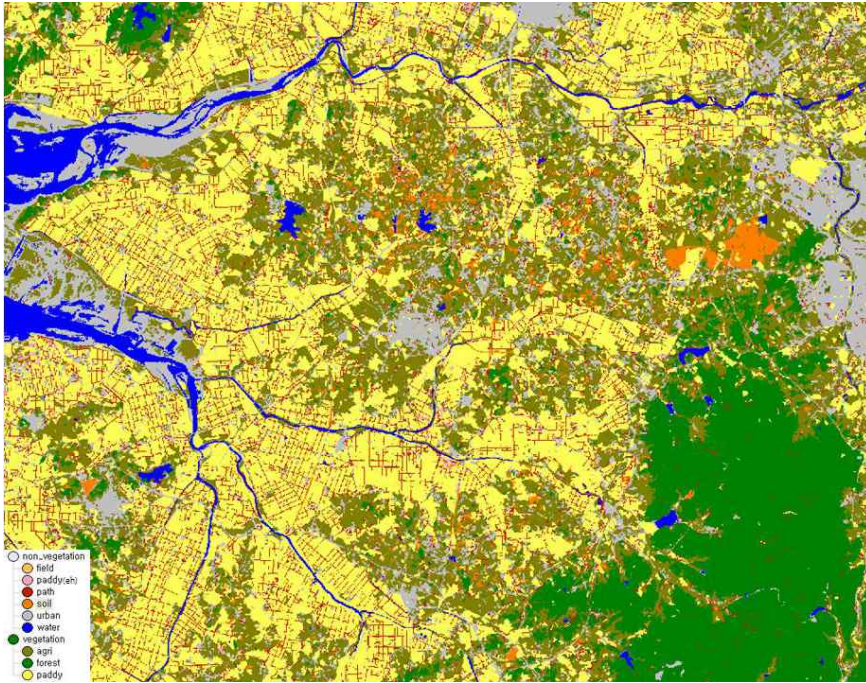


FIGURE 5. 계속

고 1차 산림으로 분류된 객체와 0.5이상의 경계를 공유하고 있는 경우 산림으로 추가 분류해 낼 수 있었다. 이제 남은 분류항목은 논과 기타 경지이다. 사례연구 지역 일대의 논은 대부분 경지정리가 된 상태이기 때문에, 영상 분할 결과가 좋다면 대체로 사각형 형태로 나타나는 객체를 논으로 볼 수 있다. 또, 7월 중순 모내기 후의 어린 벼가 9월 말 수확을 앞두고 있는 상태로 성장을 하였으므로 두 시점의 식생지수값은 뚜렷한 증가 추세를 보인다. 이러한 특성을 이용하여 논을 분류해낼 수 있었다. 하지만 영상분할 결과가 우리가 육안으로 인식하는 것과 같이 완벽하게 논의 경계를 구획하는 것은 아니기 때문에 1차로 논으로 분류된 지역과 농로와의 공간적 맥락을 고려하면서 논지역의 분류를 확대해 나가는 보완 작업이 필요하다. 이렇게 순차적으로 분류되고 남은 나머지 지역은 기타 경지로 분류하였다. 최종적으로 토지피복 분류된 결과는 그림 5와 같다.

3. 영상분류결과 정확도 검증

eCognition에서 벡터형식으로 분류된 최종 토지피복결과를 레스터 형식으로 변환하여 ERDAS Imagine에서 분류정확도를 검증하였다. 정확도 검증을 위한 참조자료로 생각할 수 있는 김제지역 환경부 토지피복도(중분류)는 2006년 촬영된 SPOT 영상을 사용하여 2007년 갱신된 것이 가장 최근 자료로 본 연구에 사용된 RapidEye 위성영상의 촬영시점인 2011년과는 5년이라는 긴 시간적 차이가 있다. 우리나라 경지의 사용형태가 비닐하우스를 조성하거나 하는 등 쉽게 변하고, SPOT 영상분류를 통해 제작된 2007년 토지피복도 또한 일정 수준의 오류를 포함하고 있으므로 본 연구에서의 정확도 검증을 위한 적절한 참조자료라고 볼 수 없었다. 따라서 RapidEye 7월과 9월 원영상과 구글, 다음, 네이버 등 인터넷 위성지도서비스에서 지원되는 고해상도

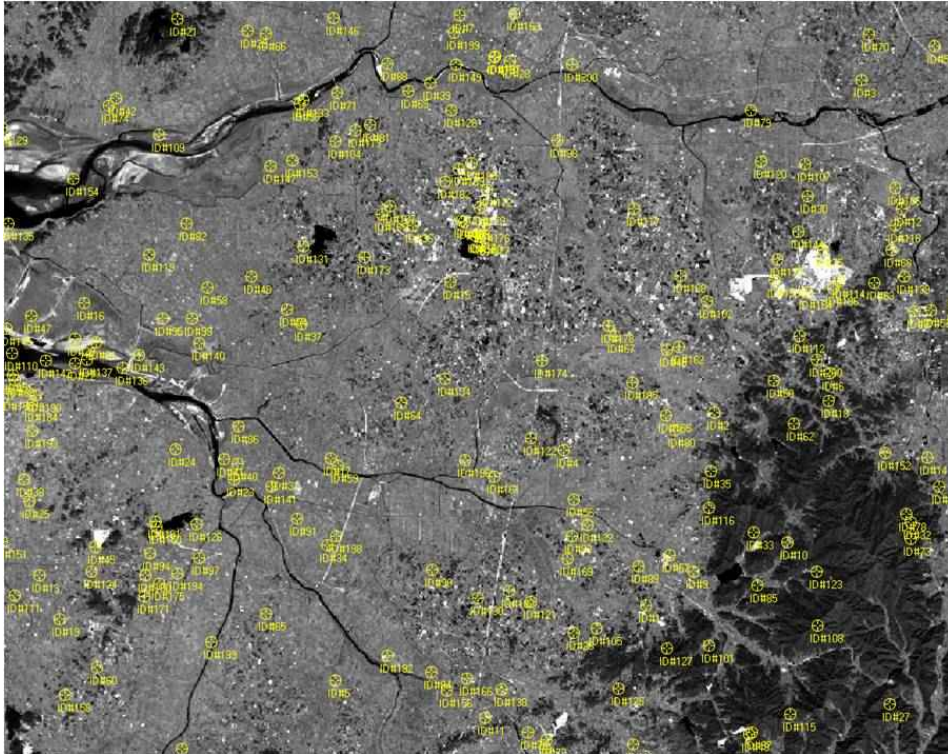


FIGURE 6. 사례연구지역에 대한 정확도 검증 포인트(실색합성된 RapidEye 9월 22일 영상)

위성영상을 참조자료로 하여 사례연구지역에서 층화추출법(stratified random sampling)으로 무작위로 추출된 200개의 기준점을 육안판독하여 분류항목별 생산자 정확도와 사용자 정

확도, 전체정확도를 계산하였다(그림 6, 표 3). 전체정확도는 80.3%(Kappa지수: 0.77)로 토지피복 분류결과는 대체로 양호하다고 할 수 있으며, 대부분의 오류는 논과 농로, 기

TABLE 3. 토지피복 영상분류 정확도 검증 결과

Classified Data	Reference Data										Row Total	Users Accuracy
	Water	Soil	Urban	Paddy(early harvest)	Field	Forest	Other Agriculture	Paddy	Path			
Water	13	0	2	0	0	0	0	0	0	15	86.67%	
Soil	0	9	2	1	4	0	0	0	0	16	56.25%	
Urban	0	1	23	0	0	0	0	0	0	24	95.83%	
Paddy (early harvest)	0	0	0	14	0	0	0	0	1	15	93.33%	
Field	0	0	0	0	15	0	0	0	0	15	100.00%	
Forest	0	0	0	0	1	20	2	1	0	24	83.33%	
Other Agriculture	0	0	2	0	1	0	24	5	1	33	72.73%	
Paddy	0	0	0	0	0	0	3	33	2	38	86.84%	
Path	0	1	1	0	0	0	3	5	10	20	50.00%	
Column Total	13	11	30	15	21	20	32	44	14	200		
Producers Accuracy	100.00%	81.82%	76.67%	93.33%	71.43%	100.00%	75.00%	75.00%	71.43%			

타 경지 사이에서 발생하는 것을 볼 수 있었다. RapidEye의 공간해상도가 6.5m임을 감안하건데 농로의 정확한 경계구분의 한계는 데이터의 문제로 인정할 수밖에 없어 보인다. 이 점을 고려한다면, 본 사례연구지역의 영상 분류결과는 양호한 수준이라고 할 수 있겠다. 그리고 여기서 간과하지 말아야 할 사항은 본 사례연구에서는 RapidEye 위성영상과 NASA에서 배포하는 90m 해상도의 아주 개괄적인 DEM 자료만이 사용되었으므로 보다 정확한 DEM 자료나 관할 지자체에서 보유하고 있는 주제도 정보를 활용하여 분류알고리즘을 보완함으로써 토지피복 정확도를 향상시킬 수 있는 여지가 충분히 있다는 것이다. 그 밖에도 본 사례연구 지역의 면적이 1,300km²로 상당히 넓다는 것을 고려할 때 이 정도의 양호한 분류정확도가 나왔다는 것은 향후 국가 또는 시, 도 단위에서 위성촬영과 객체기반의 영상 분류를 통해 일차적으로 신속한 토지피복 기초도를 제작하고, 현장검증 또는 기타 다른 주제도를 통해 보완함으로써 토지피복도의 제작기간 및 갱신주기를 줄일 수 있는 등의 활용가능성을 시사한다고 하겠다.

4. 분류알고리즘의 응용성 검토

김제지역 일대를 사례지역으로 개발한 분류 알고리즘을 동일 패스로 촬영된 고창지역 일대에 적용하여 분류알고리즘의 응용성을 검토해 보았다. 고창일대를 포함하는 검증지역의 영상은 사례연구 대상지였던 김제 일대로부터 직선거리 60km 정도 떨어져 있으며, 영상의 면적은 140km²로 사례연구지역의 약 1/9 정도이다. 경지정리된 논과 구릉지 인근의 밭작물 재배 등 김제지역 일대와 비슷한 전형적인 농촌지역의 토지피복 유형이 나타난다.

김제지역 분류에 사용되었던 영상분할 설정이나 토지피복 항목별 반사도나 분광지수값에 대한 변화없이 알고리즘을 자동실행하여 토지피복 분류를 진행할 경우, 육안판독만으로도 정확도가 다소 떨어지는 것이 확인되었다. 그

원인을 살펴보기 위하여 순차적 분류단계별 중간결과를 검토하여 분류알고리즘의 응용 가능성과 문제점을 분석하였다.

각각의 분류단계에서 분류해내고자 하는 토지피복 유형에 대한 분광값을 검토하여 조정하는 것이 필요하다. 특히, 식생과 관련된 토지피복 유형의 경우가 해당된다. 예를 들어, 고창지역에서는 식생과 비식생 지역을 구분하는 NDVI 경계값을 김제지역보다 높여주는 것이 필요했다. 그에 반해 수면이나 토양이 드러난 나대지와 같이 비식생지역을 특정 짓는 분광지수의 값은 김제지역에 적용된 값을 사용하더라도 크게 무리가 없었다. 이는 대상지의 지리적 위치, 지형, 미기후의 차이에 따른 식물 성장주기의 차이가 나타나기 때문이다.

식생과 비식생지역으로 구분한 후 카테고리별 영상분할을 수행함에 있어서도 스케일 파라미터를 조정하는 것이 개선된 결과를 가져왔다. 이는 분석에 사용된 영상의 크기가 달라진 데에, 즉 검증지역의 면적이 사례연구지역 보다 작은데 그 원인이 있는 것으로 보여진다. 김제지역에 적용한 스케일 파라미터와 동일한 값을 줄 경우, 생성된 객체들의 크기도 다소 크고 카테고리내의 서로 다른 토지피복 유형의 경계가 잘 구분되지 않았으나 동일한 환경설정 하에서 스케일 파라미터만 작게 준 경우 영상분할 결과가 육안으로 보기에도 나아졌기 때문이다. 하지만, 스케일 파라미터를 어느 정도로 줄여야 하는가는 여러 번의 테스트를 거쳐서 정할 수 밖에 없다는 것이 eCognition을 이용한 객체지향의 분류방법의 한계로 남는다.

기개발된 토지피복 분류 알고리즘을 다른 지역에 적용하는 경우 어느 정도의 수정 및 보완이 필요하기는 하지만 작업량이나 시간을 대폭 개선할 수 있다는 장점이 있다. 본 연구에서도 새로운 알고리즘의 추가없이 토지피복 유형이 분류기준이 되는 분광지수나 반사도 정보를 약간 수정함으로써 검증지역에 대한 토지피복 분류를 하는데 걸린 시간은 서너 시간 정도로 길지 않았다(그림 7). 물론, 더 많

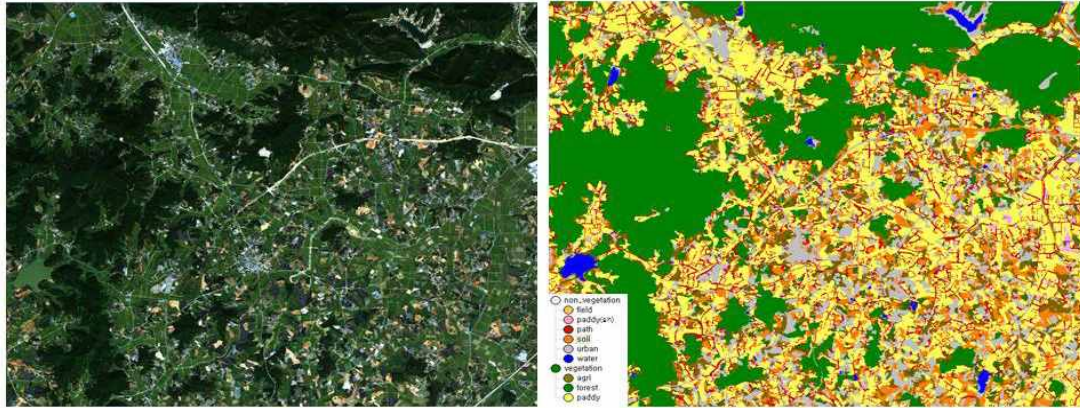


FIGURE 7. 검증지역에 대한 원영상과 토지피복 영상분류 결과
(좌: 실색합성된 RapidEye 9월 22일 영상, 우: 토지피복 분류결과)

은 테스트와 여러 가지 대안을 적용한다면 분류정확도를 향상시킬 수 있었을 것이다. 하지만, 본 연구의 목적이 정확한 영상분류결과를 도출하는데 있지 않고 객체기반 영상분류기법의 활용가능성을 검토해보고자 하는데 있으므로 알고리즘 수정을 최소화한 상태에서 도출된 고창지역 토지피복도의 전체 정확도는 73.7%(Kappa지수: 0.69)이다. 정확도 검증 방법은 김제지역에 적용한 방법과 동일하다. 눈에 띄는 오류는 폭이 좁은 일부 하천 구역에서 나타났다. 하천이라 하더라도 물이 말라 있거나 부영영화가 심한 경우라면 위성영상에서는 수면의 분광특성이 나타나지 않기 때문에 식생으로 분류되는 현상이 나타났다. 그밖에 김제지역과 마찬가지로 농로에 대한 생산자 및 사용자 정확도가 낮게 나타났다.

결론

최근 농업은 지구온난화를 비롯한 기후변화의 영향으로 위기를 맞고 있으며, 정확한 농업생산량 예측 및 관리를 통한 효과적인 대처를 위해서는 객관적이고 신뢰성 있는 기초데이터의 확보가 필요하다. 본 연구에서는 농촌지역 토지피복도 제작을 위한 객체기반 영상분석 방법의 활용가능성과 한계를 전복일대

지역을 사례연구로 하여 살펴보았다.

분석에 사용된 RapidEye의 6.5m 공간해상도는 논두렁을 비롯하여 경지면적이 대체로 작은 우리나라의 논, 밭에 대한 공간구조 분석이 가능하다는 것을 보여주었다. 무엇보다도 촬영폭이 넓고 촬영주기가 짧아서 넓은 지역에 대한 촬영이 단시간에 가능하기 때문에 파종이나 수확시기에 맞춰 여러 번의 시계열 영상을 촬영할 수 있다는 장점이 있다. 이는 제한된 공간해상도에서 오는 경계구분이나 영상판독의 어려움을 다중시점의 영상에서 나타나는 분광값의 변화분석으로 대체한다거나 작황상태를 (준)실시간으로 감시할 수 있는 등 다양한 장점으로 활용될 수 있다. 그리고 객체기반의 영상분석 기법은 영상분할 과정을 통해 토지피복에 따른 분광정보와 함께 객체의 형태, 면적, 공간적 맥락, 수평·수직적 위상관계 등을 생성하고 분석에 포함시킴으로서 원격탐사와 GIS의 분석기능을 통합할 수 있다는 장점이 있다. 전통적인 픽셀기반의 방법과 비교하여 객체기반의 방법이 지니는 장점은 무엇보다도 분석가의 전문지식을 분류과정에서 다양한 방법으로 구현해낼 수 있고, 분류기준 또한 상황에 맞게 분석자가 선택적으로 적용할 수 있어 영상정보 활용의 최적화를 꾀할 수 있다는 데 있다. 또한, 기계발된 영상

분류 알고리즘을 저장하고, 알고리즘의 큰 틀은 유지하면서 분석목적이나 내용에 맞게 세부 항목이나 변수들을 조정하여 다른 지역 또는 다른 영상에 응용할 수 있으므로 국가 단위나 지자체와 같이 넓은 지역을 대상으로 여러 장의 위성영상을 처리하여 신속한 작업을 진행하는데 있어서도 크게 유용하다. 하지만, 객체기반 영상분류의 근간이 되는 영상분할 과정은 객관적 정량적으로 명확히 설명되지 않는 경우가 많아 분석자의 경험과 전문지식을 바탕으로 최선의 결과를 도출하는 것이 요구된다.

원격탐사 기반의 토지피복도 제작을 위한 분류방법의 개발과 함께 앞으로 연구되어야 할 부분은 넓은 지역에 대한 영상처리 기법이다. 적정 공간해상도를 유지하고자 한다면 분석대상지역이 넓어질수록 촬영일과 기상상태에 따라 분광특성이 다르게 나타나는 여러 장의 영상을 융합하여 사용할 수밖에 없다. 광학영상의 촬영은 기상의 영향을 많이 받기 때문에 위성이 촬영지역을 통과하는 시점에 구름이 끼거나 비가 내리는 등 날씨가 좋지 않을 경우 쓸만한 영상을 얻기가 어렵고, 재방문 때까지 기다려야 다시 촬영할 수 있는 기회가 주어진다. 즉, 위성이 촬영지역의 궤도에 도달한 날 기상 조건 또한 좋아야 양호한 영상이 얻어지기 때문에 우리나라의 여름 장마 기간과 같이 기상 상황이 수시로 변하는 조건 하에서는 특히 영상획득이 어렵다. 게다가 공간 해상도가 높아질수록 위성 궤도가 낮아지고 촬영폭이 좁아지기 때문에 넓은 지역을 커버하려면 그만큼 데이터 확보에 걸리는 시간도 길다. 예를 들어, Landsat7 ETM+의 촬영폭은 185km이고 SPOT 3호와 4호는 60km, IKONOS는 11km, QuickBird는 16.5km의 촬영폭을 갖는다. 이러한 데이터를 신속하게 처리하여 주제도를 제작하기 위해서는 서로 다른 영상을 비교 가능한 조건으로 보정해 줄 필요가 있고, 구름이나 그림자 지역과 같이 지표정보가 왜곡된 지역을 다른 영상으로 대체하는 등의 영상처리 기법이 마련되어야 할

것이다. 이런 것들이 함께 충족된다면 객체기반의 영상분류기법은 대규모 지역의 주제도 제작에 효율적이고 다양한 가능성을 제공할 수 있을 것이다. **KAGIS**

참고문헌

- 박정재, 구자용, 김병선. 2007. 위성영상을 이용한 중분류 토지피복도의 제작과정 개선. 한국GIS학회지 15(1):67-80.
- 오치영, 박소영, 김형석, 이양원, 최철웅. 2010. 고해상도 위성영상의 토지피복분류와 정확도 비교 연구. 한국지리정보학회지 13(1):89-100.
- 염종민, 김인환, 한경수. 2010. 장기간 SPOT/VEGETATION 정규화 식생지수를 이용한 지면 변화 탐지 개선에 관한 연구. 한국지리정보학회지 13(4):111-124.
- 이장우, 고정석, 김감래. 2010. 위성영상과 디지털카메라 영상을 이용한 토지피복도의 통계적 검증. 한국지리정보학회지 12(1):25-34.
- 이현직, 유지호, 유영걸. 2010. 고해상도 위성영상을 이용한 정밀 주제 정보 추출. 한국지리정보학회지 18(1):73-81.
- 조명희, 부기동, 이정협, 이광재. 2000. 위성영상과 GIS를 이용한 과수재배 분포도 작성 기법에 관한 연구. 한국지리정보학회지 3(4):73-86.
- Gitelson, A.A., Y.J. Kaufman and M.N. Merzlyak. 1996. Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. Remote Sensing of Environment 58:289-298.
- Eitel, J.U.H., L.A. Vierling, M.E. Livak, D.S. Long, U. Schulthess, A. Ager, D.J. Krofcheck and L. Stoscheck. 2011. Broadband, red-edge information from

- satellite improves early stress detection in a New Mexico conifer woodland. *Remote Sensing of Environment* 115: 3640–3646.
- Fiella, I. and J. Penueals. 1994. The red edge position and shape as indicators of plant chlorophyll content, biomass and hydric status. *International Journal of Remote Sensing* (15):1459–1470.
- Lei, L., M. Koide, Y. Likuar and R. Yokoyama. 1998. Correction of atmospheric effects on AVHRR imagery by 6S code. *Journal of the Remote Sensing of Japan* 18(2):51–64.
- Moran, M.S., R.D. Jackson, P.N. Slater and P.M. Teillet. 1992. Evaluation of simplified procedures for retrieval of land surface reflectance factors from satellite sensor output. *Remote Sensing of Environment* 41:169–184.
- Rouse, J.W., R.H. Haas, J.A. Schell and D.W. Deering. 1974. Monitoring vegetation systems in the great plains with ETRS. *Proceedings of the Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, Greenbelt: NASA SP-351:3010–317.*
- Vermote, E.F., D. Tanre, J.L. Deuze, M. Herman and J.J. Morcette. 1997. Second simulation of the satellite signal in the solar spectrum, 6s: an overview. *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing* 35(3):675–686.
- 김제시청. <http://www.gimje.go.kr>.
- 네이버 백과. <http://terms.naver.com/entry.nhn?cid=1587&docId=553408&categoryId=1587>.
- USDA. <http://www.pecad.fas.usda.gov/cropexplorer/description.cfm?legendid=6®ionid=rs>.
- USGS. <http://ivm.cr.usgs.gov/whatndvi.php>.

