

산불연료지도 제작을 위한 객체기반 분류 방법 연구

윤여상*, 김윤수**, 김용승***

A Study on the Object-based Classification Method for Wildfire Fuel Type Map

Yeo-Sang Yoon*, Youn-Soo Kim**, Yong-Seung Kim***

Abstract

This paper showed how to analysis the object-based classification for wildfire fuel type map using Hyperion hyperspectral remote sensing data acquired in April, 2002 and compared the results of the object-based classification with the results of the pixel-based classification. Our methodological approach for wildfire fuel type map firstly processed correcting abnormal pixels and atypical bands and also calibrating atmospheric noise for enhanced image quality. Fuel type map is characterized by the results of the spectral mixture analysis(SMA). Object-based approach was based on segment-based endmember selection, while pixel-based method used standard SMA. To validate and compare, we used true-color high resolution orthoimagery.

초 록

본 연구에서는 2002년 4월에 획득된 Hyperion 초분광 원격탐사 자료를 이용하여 산불연료지도 제작을 위한 객체기반 분류 기법을 제시하였으며, 또한 객체기반 분석결과와 화소기반 분석결과를 비교해 보았다. 이를 위해 우선적으로 Hyperion 위성영상에 있는 잡음 화소 보정과 잡음 밴드를 제거하였으며, 또한 정확한 자료 처리를 위해 대기보정을 수행하였다. 산불 연료 지도 제작을 위한 방법은 분광혼합분석(SMA) 처리 결과를 재구성하여 얻었다. 객체 기반 접근 방법은 세그먼트 기반의 endmember 선택방법을 활용하였으며, 화소기반 분석은 표준 분광혼합분석기법을 적용하였다. 검증 및 비교를 위해서는 고해상도 칼라 항공정사영상이 활용되었다.

키워드 : 객체기반(object-based), 분류(classification), 초분광영상(hyperspectral image), 분광혼합분석(SMA), 산불연료(wildfire fuel)

* 원격탐사팀/gise@kari.re.kr

** 원격탐사팀/younsoo@kari.re.kr

*** 원격탐사팀/yskim@kari.re.kr

1. 서 론

산불 연료(fire fuel)는 날씨와 지형과는 달리 사람이 연료의 양을 조절할 수 있다는 점에서 자원관리 측면에서 매우 중요한 요소 중 하나라 할 수 있다(Keane et al., 2001; Elmore et al., 2005). 원격탐사기술은 이러한 산불 연료를 평가 수 있는 잠재력을 가지고 있으며, 시·공간적으로 다양한 연료의 특성을 분석하기 위한 최적의 접근이라 할 수 있다(Roberts and Dennison, 2003; Rolf et al., 2005). 우리나라 봄철의 경우 건조한 날씨로 인해 가뭄이 자주 발생되고 있으며, 이로 인해 산림의 관목 및 낙엽들의 수분 함량이 매우 적어지게 된다. 산림청의 통계에 따르면 우리나라 산불의 약 60%가 이러한 봄철에 발생되고 있으며, 막대한 물질·심적 손실을 입고 있다고 발표했다. 산불 연료는 단위 면적당 넓이, 나무의 둘레 크기, 살아 있는 식물 및 죽은 식물들의 밀도 등의 물리적 특성으로 정의되며, 이는 산불의 확산, 강도, 심각성 등에 영향을 준다. 본 연구에서는 이러한 산불 연료를 분류하기 위한 기본 항목으로 잔디(grass), 관목(shrub) 및 지상의 낙엽(ground litter)의 세 가지 그룹을 기본 기반으로 하였다.

전통적으로 영상으로부터 정보를 추출하기 위해서 주로 활용되어온 방법들은 영상의 각 화소들의 분광적 특성에 기인하여 분석을 수행해온 화소기반(pixel-based) 분류기법이 주류를 이루고 있다. 그러나 이러한 분류 기법은 영상의 공간해상력이 급격히 향상됨에 따라 같은 개체라 할지라도 다양한 분광적 특성(spectral heterogeneity)을 나타내고, 또한 공간적으로도 상이한 형태를 보이고 있어 분석에 한계를 보이고 있다(Kettig and Landgrebe, 1976; Van de Sande 2003). 이를 보완하기 위한 방법 중 하나로 제시된 기법이 분류에 앞서 동일한 특성을 가지는 화소들을 객체(object) 혹은 세그먼트(segment)단위로 구분하고, 이를 기반으로 분류를 수행하는 객체기반(object-based) 분류방법이다.

본 연구에서는 이러한 객체기반 분류 기법을

이용하여 산불 연료를 분류하는 방법을 제시하였으며, 기존의 화소기반 분류 방법과의 비교를 통해 이를 검증해 보았다. 이를 위해 초분광영상인 EO-1 Hyperion 영상을 이용하였다. 각 화소의 특성 분석을 위해 분광혼합분석(SMA, spectral mixture analysis)방법이 적용되었으며, 이를 바탕으로 산불 연료 분류 기준에 따라 재구성하여 최종적인 결과를 얻었다. 또한 결과 검증을 위해 고해상도 칼라정사항공영상을 활용하였다.

2. 연구 방법

2.1 연구지역 및 자료

본 연구를 위한 대상지역은 경기도 화성시 일대로 7.7×10km²의 면적이며, 산림, 농경지 및 촌락으로 이루어진 지역을 대상으로 하였다. 산림의 경우 다양한 수종이 분포하고 있지만, 기본적으로 소나무와 참나무가 주를 이루고 있다.



그림 1. 연구대상지역의 Hyperion 영상

본 연구를 위해 사용된 자료는 2000년 11월 21일에 발사된 EO-1 위성에 탑재되어 있는 Hyperion 센서를 통해 얻어진 2002년 4월 3일

초분광영상이다. Hyperion은 356~2577nm까지의 분광파장영역에서 약 10nm 간격으로 242개에 달하는 거의 연속적인 밴드를 가지고 있는 최초의 초분광 위성센서이다. 또한 이 센서의 경우 Landsat 7 위성과 거의 동일한 궤도를 가지고 있으며, 약 1분 정도의 간격을 두고 영상을 촬영함에 따라 Landsat 7 ETM+ 영상과 비교 및 상호보완 분석에도 매우 가치가 있다. 부가적으로 분류 대상에 대한 정확한 분광반사특성을 파악하기 위해 350~2500nm까지의 분광특성을 측정할 수 있는 야외분광파장측정기인 GER 3700을 이용하여 2006년 5월 6일에 유사한 대상물을 측정한 자료를 참고자료로 활용하였다. 또한 분류결과의 검증에 위해 2003년 4월에 획득한 칼라항공정사 영상(1m 공간해상도)도 사용하였다.

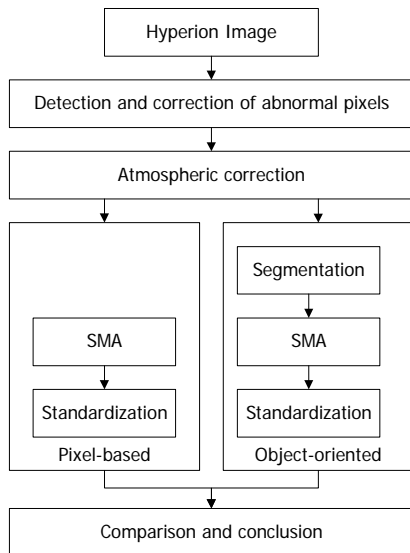


그림 2. 전체 연구 분석 흐름

2.2 영상 전처리 과정

Hyperion은 최초의 초분광센서로 항공사진에 비해 복사왜곡현상이 심하고 상대적으로 신호 대 잡음비(SNR)가 낮다. 이에 따라 효과적인 분석을 위해 우선적으로 Hyperion 영상에 있는 이상화소(abnormal pixel)라인 보정과 영상 자체가 보

정이 되지 못하거나 물 흡수 파장 영역(1400nm 및 1900nm 파장영역 전후)에서 잡음이 심해 사용하지 못하는 밴드를 제거하는 과정을 우선적으로 수행하였다(Han *et al.*, 2002). 이를 통해 Hyperion 전체 영상 242개 밴드 중 상태가 양호한 150개 밴드를 선정하여 사용하였다. 이상화소라인을 제거를 위한 방법으로 본 연구에서는 3×3 평균값 필터를 변형한 다음과 같은 수식을 이용하여 이를 보정하였다(Yoon and Kim, 2007).

$$X = \frac{(d1 + d2 + d3 + d4 + d5 + d6)}{6} \quad (1)$$

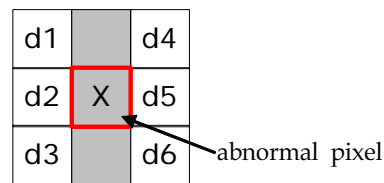


그림 3. 변형된 3×3 평균값 필터 적용 예

다음의 그림 4는 Hyperion 영상의 보정전과 보정후의 모습이다.

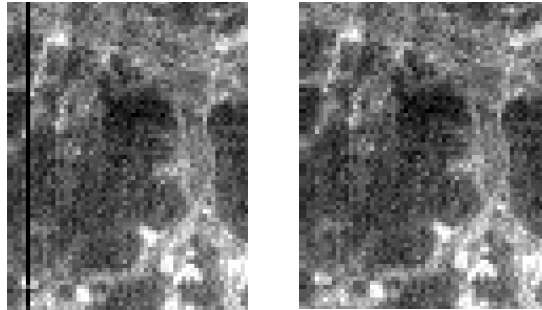


그림 4. 이상 화소 보정 전후 모습

전처리 과정의 다음 단계로 대기 보정을 수행하였다. 이러한 대기 보정과정은 빛이 대기층을 통과함에 따라 대기의 산란, 흡수, 반사등의 영향을 받아 센서에서 기록되는 값이 왜곡되는 현상이 발생되는데, 이를 보정하여 보다 정확한 결과를 얻고자 수행하는 과정이다. 본 연구에서는 이

를 위해 상용 영상처리 소프트웨어인 ENVI 4.2에 포함되어 있는 FLAASH(Fast Line of sight Atmospheric Analysis of Hyperspectral Cubes) 모듈을 이용하였으며, 기본 수식은 다음과 같다.

$$L = \left(\frac{A\rho}{1 - \rho_e S} \right) + \left(\frac{B\rho_e}{1 - \rho_e S} \right) + L_a \quad (2)$$

ρ = Pixel surface reflectance

ρ_e = Average surface reflectance for the pixel

S = Spherical albedo of the atmosphere

L_a = Radiance back scattered by the atmosphere

A, B = Coefficients that depend on atmospheric and geometric conditions but not on the surface.

2.3 객체기반분석에 의한 산불연료 분류

객체기반 분류 기법을 이용하여 산불 연료를 분류하기 위한 과정은 1) 영상의 객체화, 2) 분광 혼합분석기법을 이용한 영상분석, 3) 분류 기준에 따른 영상 재구성의 3단계 분석을 통해서 이루어졌다.

2.3.1 영상의 객체화

영상의 객체화는 화소단위로 구성되어 있는 영상을 객체 혹은 세그먼트 단위로 변환시키는 과정으로 객체기반분석을 위한 가장 기본적인 과정으로 수행된다. 객체 혹은 세그먼트에 대한 개념은 Kettig와 Landgrebe(1976)가 1970년대 이미 기존의 화소단위 분석의 한계점을 인지하고 세그먼트기법(ECHO)을 이용한 분류방법을 소개하였으며, Cross와 Mason (1988), Gorte(1998)등은 이를 발전시킨 quad tree segmentation기법을 제시하였다. 또한 다른 segmentation기법들에 대한 연구 및 검증도 계속 진행되고 있다(Carleer et al., 2005). 현재 이러한 분류 접근 방법을 적용한 많은 연구들이 다양한 분야 및 자료들을 기반으로 진행되고 있다(Van de Sande et al. 2003). 객체기반분류기법은 이러한 세그먼트를 기반으로 영상의 분광특성뿐만 아니라 형태(shape), 텍스

처, 구조, 전후관계(context)등 다양한 정보를 분석하여 분류를 수행한다. 이러한 다양한 정보를 이용하기 위한 기반으로 퍼지 이론(fuzzy logic)을 활용하고 있으며, 또한 다양한 GIS 레이어와 통합분석을 통해 시너지 효과도 이끌어 낼 수 있는 장점을 가지고 있다.

본 연구에서는 이를 수행하기위해 상용프로그램인 eCognition 4.0 프로그램을 이용하였다. 객체화를 위한 기본 파라미터는 scale은 12, shape는 0.2, compactness는 0.7을 각각 적용하였으며, 반복 수행을 통해 최적의 결과를 도출하였다.

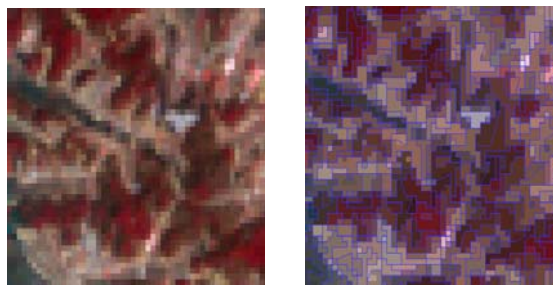


그림 5. 객체화(object) 전 후 모습

2.3.2 분광혼합분석

위성에 탑재된 광학센서를 이용하여 영상을 취득할 경우, 센서 고유의 공간해상력에 따라 일정면적을 하나의 화소로 촬영하게 된다. 이때 지표면의 구성물이 단일한 경우보다는 두가지 이상의 물질로 구성된 경우가 보다 많으며, 이로 인해 각 화소에는 두가지 이상의 지표물의 반사에너지가 정량적으로 혼합된 결과로 나타나게 된다. 이러한 혼합된 정보를 분석하기 위한 기법 중 하나로 분광혼합분석(SMA) 기법이 제시되었다. 분광혼합분석기법은 각 화소에 포함되어 있는 여러 지표물의 고유한 분광반사특성을 이용하여 각 화소를 구성하는 지표물의 점유비율을 해석하는 기법이다. 이때 각 화소를 이루고 있는 단일의 순수한 지표물을 endmember라 하며, 각 화소는 여러 endmember의 구성비율의 합으로 나타낼 수 있다. 다음의 수식 (3)은 일반적으로

많이 활용되고 있는 선형 분광혼합기법 (linear-SMA)의 수식으로 본 연구에서도 이를 활용하여 분석을 수행하였다.

$$R_{mix,b} = \sum(f_{em} R_{em,b}) + \epsilon_b \quad \text{and} \quad \sum f_{em} = 1, 0 \leq f_{em} \leq 1 \quad (3)$$

$R_{mix,b}$ = reflectance of observed image spectrum at each band

f_{em} = fraction of each endmember in observed mixed spectrum

$R_{em,b}$ = reflectance of each endmember at each band

ϵ_b = band residual

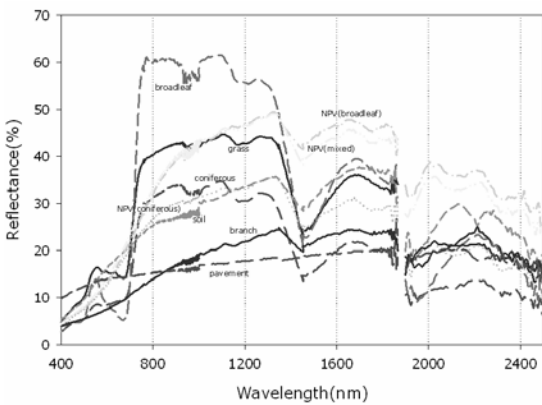


그림 6. 분광반사측정 결과(GER3700)

본 연구에서 분광혼합분석기법에 사용된 endmember는 식생 (green vegetation, GV), 비광합성 식물(non-photosynthetic vegetation, NPV), 토양(soil), 그림자(shadow/water), 농경지 (agriculture land), 포장지(impervious)이며, 사전에 야외 분광반사측정기인 GER 3700 장비를 이용하여 측정된 분광반사특성 값(그림 6)과 칼라 정사항공영상을 참고로 하여 상대적으로 순수한 곳을 영상에서 찾아 선정하였다.

2.3.3 산불 연료 분류

분광혼합분석 결과를 바탕으로 최종적으로 산불 연료 타입으로 재구성을 수행하였다. 이를 위해 이러한 산불 연료 모델에서 가장 범용적으로 사용되고 있는 Anderson의 13가지 분류 체계 (Anderson, 1982)를 Hyperion 영상의 해상력과 촬영 시기를 고려하여 다시 설계하였으며, 이는 표 1과 같다. 산불 연료의 분류는 분류조건과 우선순위를 고려한 계층적 접근방법(hierarchical approach)을 이용하였다. 즉 다시 말해 분광혼합 분석영상을 기반으로 Type 1(priority 1)을 우선적으로 분류하고 나머지 부분에 대하여 Type 5(priority 2)를 분류하는 방식으로 전체적인 분류를 수행하였다.

분류 정확도의 검증을 위해 본 연구에서는 토

표 1. 산불연료 분류 기준

Cover type	Condition	priority
Type 1	No vegetation(bare soil, water, pavement, low fire danger) - bare soil > 60% - impervious > 60% - water/shadow > 60%	1
Type 2	Land fuels(few grasslands, low-lying shrubs and bare land areas) - NPV < 30% - agricultural land > 30%	5
Type 3	Forest areas with medium understory(high fire danger) - 30% < NPV < 60%	4
Type 4	Forest areas with dense understory(highest fire danger) - NPV > 60%	3
Type 5	Forest areas(forest with dense live leafy part of the tree) - GV > 60%, except Type 1.	2

지 피복분류의 정확도를 파악하는 가장 대표적인 방법인 error matrix 기법을 활용하였다. 이를 위해 분류된 영상에서 478개의 화소를 임의 선택방식(stratified random sampling)을 이용하여 추출한 후 이를 1m의 공간해상력을 가지는 칼라정사 영상과의 비교를 통해 전체 정확도, 사용자 정확도, 생산자 정확도, K_{hat} 값 등을 산출하였다.

2.4 화소기반분석에 의한 산불연료 분류

화소기반 분류 기법의 방법은 영상 객체화 과정을 제외하고 나머지 전 과정이 객체기반 분류 기법과 동일하게 적용되어 분석되었다. 마찬가지로 분류 정확도 검증도 동일한 방법으로 진행되었다.

3. 결과 및 고찰

다음의 그림 7은 객체 분석 기법을 기반으로 분광혼합분석을 적용하여 얻어진 6개 endmember의 점유비율을 보여주고 있다. 각 화소의 밝기값은 해당 endmember의 점유율이 높을수록 밝은 색을 가지게 된다. 본 연구에 사용된 영상은 4월 3일에 촬영된 영상으로 산림의 녹지는 그림 7-b에 나타나있는 것과 같이 일부 침엽수림지역에 한정되어 있으며, 이를 제외한 대부분의 지역이 나무 가지형태나 바닥의 낙엽 등의 NPV 상태로 존재하고 있음을 파악할 수 있었다(그림 7-a).

그림 8의 (a)와 (b)는 각각 객체기반 분류방법 및 화소기반 분류방법을 적용하여 분석한 분광혼합분석결과를 이용, 칼라 영상으로 재구성한 모습이다. 여기서 붉은 색이 강조되어 표시된 지역은 NPV endmember의 영향이 큰 지역으로 산불 발생에 매우 취약한 지역이다. 분석된 두개의 영상을 비교해 보면 객체기반 분석을 바탕으로 한

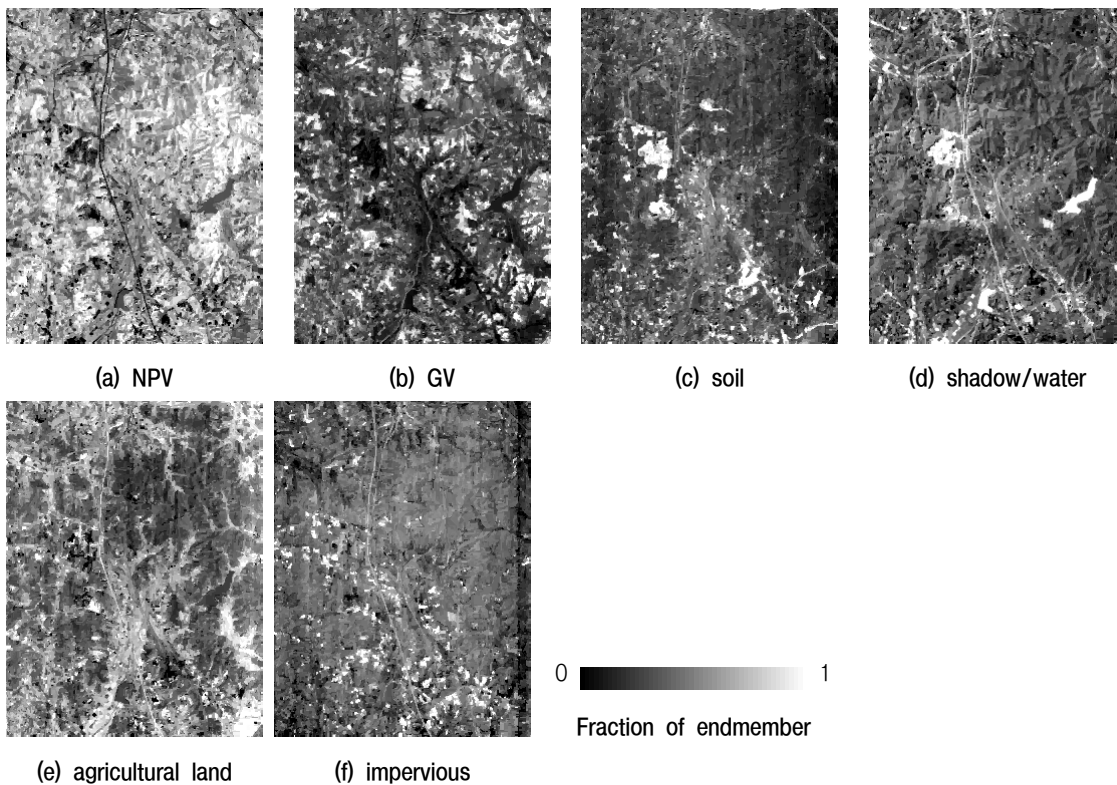
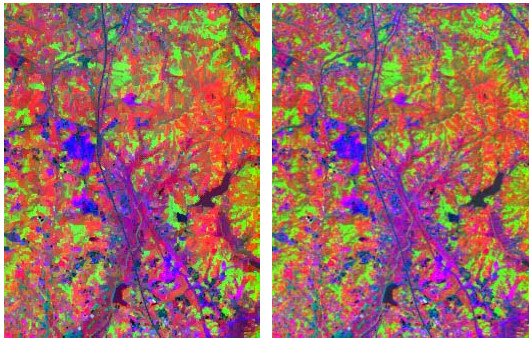


그림 7. 객체기반 분광혼합분석 결과

그림 8-a의 경우에는 영상 분석 모습이 군집형태로 주변과 패턴을 이룬 모습을 보인 반면, 화소기반 분석방법을 이용한 그림 8-b의 경우에는 전반적인 분류 결과는 유사하지만, 화소와 화소간 특성의 급격한 변화가 자주 발생하는 salt and pepper 현상이 많이 보이고 있다.



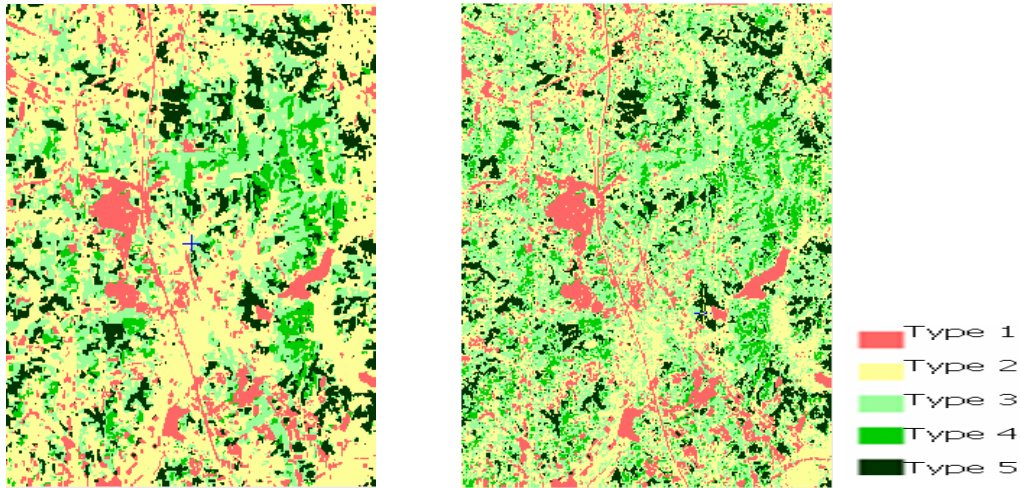
(a) object-based (b) pixel-based

그림 8. 분광혼합분석 결과(R: NPV, G: GV, B: soil)

다음의 그림 9는 분광혼합분석 결과를 바탕으로 표 1의 분류 기준에 따라 최종적으로 산불연

료의 특성을 분석한 결과이다. 그림 8의 경우와 마찬가지로 대부분의 지역이 산불 위험지역인 Type 3과 Type 4로 분류된 모습을 살펴볼 수 있었다.

표 2는 객체기반 및 화소기반 분석기법을 이용하여 분석한 산불연료 분류 결과에 대한 검증 결과를 보여주고 있다. 객체기반 분석 결과의 경우 전체적인 정확도가 80.8%로 비교적 양호한 결과를 보여주고 있었다. 다만, Type3의 생산자 정확도와 Type4의 사용자 정확도가 상대적으로 낮았는데, 이들 분류 항목의 대상이 지상 표층의 잔가지, 낙엽, 이끼 등 다양한 식생이 혼합된 지역으로 Type 3과 Type 4의 분석 항목간 분류 경계가 모호함에 따른 오류가 발생했기 때문이다. 또한 대상영상이 4월로 활엽수의 경우 새로운 잎이 나지 않은 상태여서 이에 따른 화소간 분석 오류도 내포하고 있다. 화소기반 분류 결과의 경우는 74.1%로 객체기반 분류 결과에 비해 상대적으로 낮은 정확도를 보이고 있으며, 객체기반 분류 방법과 마찬가지로 Type 3과 Type 4의 정확도가 낮게 분석되었다.



(a) object-based (b) pixel-based

그림 9 산불연료 분류 분석 결과

표 2. 객체기반 및 화소기반 분류 결과에 대한 정확도 검증 결과 요약

	Object-oriented classification		Pixel-based classification	
	Producer(%)	User(%)	Producer(%)	User(%)
Type1	93.18	100.00	93.18	98.80
Type2	96.94	91.35	73.47	82.76
Type3	38.18	77.78	47.22	51.52
Type4	91.78	49.63	70.67	49.07
Type5	91.74	97.09	88.07	95.05
Overall accuracy = 80.75%			Overall accuracy = 74.06%	
K _{hat} = 76.11%			K _{hat} = 67.58%	

4. 결 론

산불 연료지도는 산불의 예방 및 산불 피해 경로 등의 예측에 활용되는 매우 중요한 자료이다. 과거에는 이러한 자료를 만들기 위해 수많은 인력과 막대한 예산 및 시간을 투자하여 제작하였음에도 불구하고, 도심화에 따른 주변 환경의 변화나 시간이 지남에 따라 생태계의 변화가 발생되면 이를 사용할 수 없게 된다. 갱신 또한 앞서 언급한 바와 같은 막대한 시간적·경제적 비용이 소요되기 때문에 용이하지 않은 상황이었다. 원격탐사 기법은 이러한 어려운 문제를 해결하기 위한 최적의 방법으로, 본 연구에서는 여러 분석 기법 중 객체기반 분류 방법을 제시하였다. 또한 이러한 방법과 기존 화소기반 분류 방법과의 비교를 통해 본 연구에서 제안한 방법의 우수성을 검증하고자 하였다.

본 연구 결과를 통해 객체 기반 분류 기법과 화소 기반 분류 기법은 각각 80.8%와 74.1%의 분류 정확도를 얻어 객체 기반 분류 기법의 우수성을 확인할 수 있었다. 또한 화소기반 분석기법의 약점인 salt and pepper 현상도 효과적으로 방지할 수 있었다. 다만 분류 항목 중 Type 3과 Type 4의 결과는 분류 기준의 모호함으로 인해 다소 미흡한 결과를 보여주었으며, 분류 항목에 대한 보다 깊이 있는 연구가 필요함을 알 수 있었다.

Hyperion 영상과 같은 초분광영상들은 간접적

인 측정방법인 산불 연료 수분함량 및 식생량 측정을 포함하여 다양한 산불연료지도를 제작하는데 커다란 도움을 줄 수 있다. 본 연구에서 사용된 Hyperion은 최초의 인공위성 초분광 센서로 이전에 주로 연구되었던 항공기 탑재 초분광센서들에 비해 해상도 및 영상 질적인 면에서는 다소 부족하지만, 인공위성만이 가지는 특징인 궤도를 따라 주기적으로 전 세계에 걸쳐 영상을 확보할 수 있다는 점에서 커다란 장점을 가지고 있으며, 앞으로 관련 연구에서 활발한 활용이 기대된다.

참 고 문 헌

1. Anderson, H. E. 1982, Aids to determining fuel models for estimating fire behavior . USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, INT-122.
2. Carleer, A.P., Debeir, O., and E. Wolff., 2005. Assessment of very high spatial resolution satellite image segmentations, PE&RS, 71(11), pp.1285-1294.
3. Han, T., Goodenough D. G., Dyk, A., and Love, L., 2002, Detection and correction of abnormal pixels in hyperion images, IGRSS 2002, pp.1327-1330.
4. Cross, A.M. and D.C. Mason., 1988. Segmentation of remote-sensed images by split-and-merge process. Int. Journal of Remote Sensing, 9(8), pp.1329-1345.

5. Elmore, A. J., Mustard J. F., Manning, S. J., and Lobell, D. B., 2000, Quantifying vegetation change in semiarid environments: Precision and accuracy of spectral mixture analysis and the normalized difference vegetation index. *Remote Sensing of Environment*, 73, pp. 87-102.
6. Gorte, B., 1996. Multi-spectral quadtree based image segmentation, *Int'l Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 9(8), pp.251-256.
7. Jensen. J. R., 2002. *Introductory digital image processing: a remote sensing perspective.*, Prentice Hall, pp.247-252
8. Keane R. E, Burgan, R., and Watendon, J., 2001. Mapping wildland fuels for management across multiple scales: Integrating remote sensing, GIS, and biophysical modeling. *International Journal of Wildland Fire*, 10, pp.301-309.
9. Kettig, R.L. and Landgrebe, D.A., 1976. Classification of multispectral image data by extraction and classification of homogeneous objects, *IEEE Transaction on Geoscience Electronics*, 14(1), pp.19-26.
10. Roberts, D. A. and Dennison, P. E., 2003. Hyperspectral technologies for wildfire fuel mapping. in *Proc. 4th Int. Workshop on RS and GIS Applications to Forest Fire Management*, pp. 66-75.
11. Rolf, A., Goodwin, N., and Merton, R., 2005. Assessing fuel loads using remote sensing. University of New South Wales, Australia, pp. 5-9.
12. Tompkins, S., Mustard, J. F., Pieters, C. M., and Forsyth D. W., 1997. Optimization of endmembers for spectral mixture analysis. *Remote Sensing of Environment*, 59: pp. 472-489
13. Yoon, Y.S. and Kim, Y.S., 2007. Application of Hyperion hyperspectral remote sensing data for wildfire fuel mapping. *Korean Journal of Remote Sensing*. 23(1), pp.21-32.
14. van der Sande, C.J., S.M. de Jong, and A.P.J. de Roo, 2003. A segmentation and classification approach of IKONOS-2 imagery for land cover mapping to assist flood risk and flood damage assessment, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 4, pp.217-229.