침엽수종 분류를 위한 초분광영상과 다중분광영상의 비교

조형갑 · 이규성[†]

인하대학교 지리정보공학과

Comparison between Hyperspectral and Multispectral Images for the Classification of Coniferous Species

Hyunggab Cho and Kyu-Sung Lee[†]

Department of Geoinformatic Engineering, Inha University

Abstract : Multispectral image classification of individual tree species is often difficult because of the spectral similarity among species. In this study, we attempted to analyze the suitability of hyperspectral image to classify coniferous tree species. Several image sets and classification methods were applied and the classification results were compared with the ones from multispectral image. Two airborne hyperspectral images (AISA, CASI) were obtained over the study area in the Gwangneung National Forest. For the comparison, ETM+ multispectral image was simulated using hyperspectral images as to have lower spectral resolution. We also used the transformed hyperspectral data to reduce the data volume for the classification. Three supervised classification schemes (SAM, SVM, MLC) were applied to thirteen image sets. In overall, hyperspectral image provides higher accuracies than multispectral image to discriminate coniferous species. AISA-dual image, which include additional SWIR spectral bands, shows the best result as compared with other hyperspectral images that include only visible and NIR bands. Furthermore, MNF transformed hyperspectral image provided higher classification accuracies than the full-band and other band reduced data. Among three classifiers, MLC showed higher classification accuracy than SAM and SVM classifiers.

Key Words : hyperspectral image, multispectral image, coniferous species, classification

요약 : 수종 간의 유사한 분광특성 때문에 기존의 다중분광영상을 이용한 수종분류는 한계가 있다. 본 연구에서는 경기도 광릉수목원에 분포하는 다섯 종류의 침엽수종을 분류하기 위하여 초분광영상과 다중분광영상의 적합성을 비교 분석하였다. 연구지역을 대상으로 두 종류의 항공 초분광영상(AISA, CASI)을 촬영하였으며, 비교 목적으로 초분광영상을 이용하여 모의 제작된 ETM+ 다중분광영상을 사용하였다. 영상분류에 사용된 영상은 초분광영상의 모든 밴드를 포함한 영상, PCA 및 MNF 기법으로 차원 축소된 영상, 그리고 분

접수일(2013년 10월 10일), 수정일(1차 : 2013년 12월 30일), 게재확정일(2013년 12월 31일).

[†] 교신저자: 이규성(ksung@inha.ac.kr)

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited

류등급의 분광분리도를 이용하여 소수의 밴드만을 추출한 영상이다. 또한 감독분류 과정에서 MLC, SAM, SVM 등 세 종류의 분류기를 적용하였다. 전체적으로 침엽수종의 분류에 있어서 초분광영상이 다중분광영상보다 높은 분류정확도를 제공하고 있다. 특히 중적외선 파장영역을 포함한 AISA-dual영상이 가장 좋은 분류결과를 보여주었다. 또한 많은 분광밴드를 가진 초분광영상을 MNF기법으로 차원 축소한 영상을 사용했을 때, 다른 영상보다 높은 분류결과가 나왔다. 감독 분류과정에서는 최대우도법(MLC)을 적용했을 때, 가장 높은 분류정확도를 얻었다.

1. 서론

산림의 수종별 분류는 산림 경영 및 환경생태 연구에 있어서 가장 중요한 정보로 꼽을 수 있다. 우리나라에서는 1970년대 초반부터 시행된 국가 산림자원조사에서 항공사진을 육안 판독하여 주요 산림 수종을 분류하고 있으며, 보다 세부적인 수종 분류를 위한 노력이 계속되고 있다. 다양한 종류의 원격탐사 영상을 이용하여 수종 분류를 자동화하려는 노력이 계속되고 있으나, 실무에 적용할 수준의 분류는 아직 미흡한 실정이다. 원격탐사 영상자료를 이용한 산림의 분류는 동일 수종으로 이루어진 일정 면적의 임상(forest type)별 분류가 주된 접근 방법으로, 다중분광영상이 주로 사용되어 왔다(Frank, 1988; Choi *et al.*, 2010). 개개목의 수종 분류는 높은 공간 해상도를 가진 영상자료가 나오면서 연구가 시작되었다(Franklin *et al.*, 2000; Wang *et al.*, 2004). Wang *et al.*(2004)은 Quickbird와 IKONOS위성의 고해상도 다중분광영상을 이용하여 세 종류의망그로브 수종분류를 실시하여 70%대의 분류정확도를 얻었다. 우리나라에도 고해상도 위성영상을 이용하여 수종분류를 수행하여 70%이상의 분류정확도를 확인한 연구가 있다(Chung *et al.*, 2011; Kim, 2008). 그러나 우리나라에서 산림분류에 관한 연구는 수종별 분류가 아닌 침엽수림, 활엽수림, 혼효림 등의 임상분류가 주를 이루고 있으며, 특히 저해상도 시계열영상을 이용한 식생 분류 연구가 진행되어 왔다(Cha *et al.*, 2011; Choi *et al.*, 2010).

수종분류와 같이 미세한 차이의 분광특성을 가진 물체들을 구분하기 위한 대안으로 초분광영상이 개발되었다. 초분광영상은 1987년 미국 항공우주국(NASA)에서 개발된 항공기용 초분광영상센서인 AVIRIS(Airborne Visible/InfraRed Imaging Spectrometer)와 함께 시작되었다. 그 후 캐나다 및 유럽 여러 나라에서 항공기 탑재 초

분광센서들이 개발 되었고, 2000년에는 초분광센서(Hyperion)를 탑재한 EO-1 실험위성이 발사되어 초분광영상을 이용한 연구가 활발히 진행 중이다(Kim *et al.*, 2005). 항공기 또는 위성 기반의 초분광영상을 이용한 식물관련 연구는 주로 임목, 농작물, 초분류 등의 종 분류와 식생의 물리화학적 특성에 관한 인자 추출, 그리고 식물의 병해충 피해 탐지 등으로 나눌 수 있다(Lucas *et al.*, 2008; Cho *et al.*, 2010; Demir and Erturk, 2010; Leckie *et al.*, 2005). Martin *et al.*(1998)은 AVIRIS를 이용하여 미국 동부지역 산림을 11개의 수종으로 분류하여 75%의 정확도를 얻었다. 또한 Bunting and Lucas(2006)은 CASI 항공 초분광영상의 수 십 개의 밴드와 높은 공간해상도를 이용하여 호주의 수종을 분류하는 연구를 진행하여 70% 이상의 정확도를 획득하였다. 이러한 선행 연구들은 비록 다중분광영상과의 직접적인 비교는 없었지만, 초분광영상으로부터 다양한 수종의 분류가 가능하다는 것을 보여주었다.

초분광영상이 높은 분광해상도를 바탕으로 기존의 다중분광영상의 한계를 극복할 수 있는 자료로 기대되지만, 실제 초분광영상과 다중분광영상의 효과를 직접적으로 비교한 연구는 많지 않다. 비록 산림의 수종분류는 아니지만, 초분광영상이 다중분광영상에 비하여 초분류 및 농작물 분류에 있어서 향상된 분류정확도를 보이는 것으로 나타났다(Thenkabail *et al.*, 2004; Bork *et al.*, 1999). 또한 Asner and Heidebrecht(2002)는 AVIRIS 영상이 Landsat TM, MODIS, ASTER와 같은 다중분광영상보다 광합성식물과 비광합성식물을 더 효과적으로 구분할 수 있음을 확인하였으며, Lee *et al.*(2004)는 AVIRIS 영상이 엽면적지수(leaf area index) 추정하는 데 있어서 다중분광영상보다 유리함을 보여 주었다. 수종분류의 어려움과 중요성을 감안한다면 분광해상도가 높은 초분광영상의 가치를 직접적으로 비교 분석하는 연구가 기대되지만, 실제 기존의 다중분광영상과 직접적으로

비교한 연구는 실제 많이 이루어지지 않았다.

초분광영상은 수백 개의 분광밴드를 가진 대용량의 자료이기 때문에, 영상에서 정보를 획득하는 처리 과정이나 영상분류 방법이 기존의 다중분광영상에 적용되던 방법들과 차이가 있다. 초분광영상을 이용한 식물이나 수종 분류에 있어서 모든 밴드를 사용하는 것 보다는, 분류에 적합한 특정 밴드를 선택하거나 주성분분석(PCA)과 같이 소수의 밴드로 축소하여 분류하는 방법이 적용된다(Han *et al.*, 2003; Thenkabail *et al.*, 2012). Papes *et al.*(2010)은 Hyperion 초분광영상을 이용하여 5개의 열대우림수종을 분류할 때 25개의 선택된 밴드가 가장 좋은 결과임을 보여주었다. 또한, Cho *et al.*(2010)은 전체 밴드를 사용한 초분광영상보다 분류대상의 분광특성을 고려하여 밴드선택알고리즘을 적용한 초분광영상이 분류에 더 효과적이라는 결과를 보여주었다.

본 연구에서는 육안에 의한 판독이 쉽지 않고 또한 매우 유사한 분광특성을 가지고 있는 침엽수종을 분류하기 위하여 초분광영상의 적합성을 분석하고자 한다. 초분광영상이 다중분광영상보다 향상된 분광해상도를 가지고 있기 때문에, 유사한 분광특성을 가진 수종분류에 있어서 향상된 결과를 기대할 수 있지만, 이를 실제 검증한 연구는 많지 않다. 물론 초분광영상에 적용되는 분류방법과 영상의 차원축소방법이 매우 다양하기 때문에, 분류 결과 또한 매우 다르게 나타날 수 있다. 본 연구에서는 초분광영상을 이용한 우리나라 주요 침엽수종 분류에 있어서 모든 밴드 사용, 차원축소방법, 적정밴드를 선정 등 분류에 사용될 초분광영상의 종류를 구분하여 분석하고자 한다. 궁극적으로는 침엽수종 분류에 있어서 다중분광영상과 초분광영상의 차이점을 비교하고, 더 나아가 초분광영상을 이용한 수종분류에 적합한 분류방법을 제시하고자 한다.

2. 연구지역 및 자료

본 연구에서는 우리나라에서 수종별로 인공 침엽수림이 구성되어 있는 경기도 광릉 국립수목원을 연구지역으로 선정하였다. 국립수목원은 경기도 포천시와 남양주시 사이에 위치하고 있으며, 해발 537 m 고도의 소리봉을 중심으로 형성된 천연림과 임업연구를 위하여

조성된 다양한 수종의 침엽수림과 활엽수림이 존재하고 있다. 광릉 국립수목원은 국가연구시험림으로 오랜 기간 보존 관리되고 있으며, 현지 자료가 풍부하게 갖추어져 있다. 분류를 위하여 항공사진판독과 현지조사를 통하여 제작된 임상도를 참조자료로 사용하였다. 본 연구에서는 분광반사 특성이 서로 유사하고 영상분류에 필요한 충분한 훈련표본(training samples)과 검증표본(test samples)을 추출할 수 있는 면적을 가진 5개 침엽수림을 대상으로 선정하였다. 5개의 침엽수종은 전나무(*Abies holophylla*, **Ab**), 잣나무(*Pinus koraiensis*, **Pk**), 스트로브잣나무(*Pinus strobes*, **PL**), 리기다소나무(*Pinus rigida*, **PR**), 잎갈나무(*Larix olgensis* var. *koreana*, **La**)다. 다섯 수종의 침엽수림은 최소한 2등급 이상으로 이루어져 있으며, 각 수종별 임상면적은 1 ha에서 15 ha 사이에 구성되어 있다.

연구에 사용된 초분광영상은 두 종류의 상용 항공초분광센서인 CASI와 AISA를 이용하여 촬영하였다. 캐나다에서 개발된 CASI는 가시광선 및 근적외선 파장영역을 포함하는 초분광영상센서로서 밴드별 분광해상도(spectral resolution)는 항공기의 촬영고도와 공간해상도에 따라 조정이 가능하다. AISA는 핀란드에서 개발되어 운용 중인 센서로서 400-970 nm 구간을 5 nm폭으로 촬영하는 카메라(Eagle)와 중적외선(SWIR) 파장영역을 포함하여 970-2500 nm 구간을 6 nm폭으로 촬영하는 카메라(Hawk)로 분리되어 있다. 두 개의 카메라는 독립적으로 촬영할 수 있지만 본 연구에서 사용된 AISA의 경우, 두 센서를 동시에 촬영하는 듀얼(Dual)모드를 통해 공간해상도와 기하보정을 동일하게 보정할 수 있었다. 그로 인해 가시광선부터 중적외선 파장영역까지 357개의 밴드를 가진 AISA 초분광영상을 획득하였다. CASI 영상은 2010년 10월 26일에 약 1.25 m의 공간해상도와 96개 밴드로 조정하여 밴드별 파장폭(bandwidth)이 7 nm가 되도록 하였다. 그림자 영향을 최소화하기 위하여 태양고도가 높은 정오 무렵에 촬영하였다. AISA영상은 CASI 촬영 후 약 1년 후인 2011년 11월 21일에 촬영되었다. AISA영상은 Eagle카메라와 Hawk카메라의 공간해상도가 각각 1 m와 2 m로 다르지만, 본 연구에서는 듀얼모드로 동시에 촬영하여 공간해상도를 1 m로 처리되어 공급되었다. Table 1은 연구지역의 CASI와 AISA 촬영 조건과 각 센서의 간단한 사양을 보여주고 있다.

Table 1. Specification of Airborne Hyperspectral Image Acquisitions over the Study Area

Sensor	CASI-1500	AISA	
acquisition date	Oct. 26, 2010	Nov. 21, 2011	
acquisition time	12:10 ~ 13:15 (local)	10:49 ~ 13:22 (local)	
flying altitude	2500m	1500m	
coverage	19km × 12km	19km × 12km	
spatial resolution	1.25m	1m (Eagle),	2m (Hawk)
wavelength region	365 ~ 1045nm	400 ~ 970nm	970~2500nm
spectral bands	96	127	240
spectral resolution	7nm	5nm	6nm
FWHM	±3.6nm	±2.5nm,	±3.0nm
geometric correction	GPS/INS	GPS/INS	
format	unsigned integer (16bit)	unsigned integer (16bit)

(a)

(b)

Fig. 1. Forest stand map of five coniferous species on the natural color composites of two airborne hyperspectral images over the Korea National Arboretum located in Kyonggi Province in Central Korea. (a) CASI image of October 26, 2010, (b) AISA image of November 21, 2011.

AISA와 CASI 두 영상 모두 촬영 시점에 항공기에 장착된 GPS/INS시스템을 이용하여 자동 기하보정 처리과정을 거쳤으며, 센서 내부의 복사보정 처리과정을 통하여 각 화소는 복사휘도(radiance) 값으로 공급되었다. Fig. 1은 연구지역의 초분광영상을 보여주고 있는데, 기하보정 처리되어 지상좌표에 등록되었기 때문에 국립수목원에서 제작된 수치임상도를 중첩하여 각 임분의 정확한 위치를 파악할 수 있었다. 자연색 칼라합성(natural color composite)으로 생성된 두 영상은 모두 10월 이후에 촬영된 영상이므로 활엽수림의 경우 잎의 변색이 시작되었거나 이미 낙엽 상태임을 볼 수 있다. 특히 11월21

에 촬영된 AISA영상에서는 모든 활엽수는 이미 낙엽 상태이며, 낙엽 침엽수종인 잎갈나무림(La) 역시 대부분의 잎이 떨어진 상태임을 확인할 수 있다. 침엽수림만이 두 영상에서 모두 수관의 고유한 분광반사특성을 유지하고 있기 때문에 본 연구에서는 침엽수종만을 분류 대상으로 선정하였으며, 잎갈나무의 경우 잎이 남아 있는 CASI영상에서 훈련표본을 선정하여 연구를 진행하였다. CASI와 AISA의 촬영 시기는 약 25일의 차이가 나타나지만, 잎갈나무를 제외한 나머지 네 종류의 침엽수종 간에는 수관부의 잎의 양이나 상태에 큰 차이는 없는 것으로 판단되었다.

3. 연구 방법

본 연구에서는 침엽수종 분류에 있어서 초분광영상의 적합성 여부를 분석하기 위하여, 여러 종류의 영상들을 대상으로 분류작업을 수행하였다. 먼저 침엽수종 분류에 있어서 초분광영상과 기존의 다중분광영상의 차이점을 밝히고자 하였다. 두 번째로 초분광영상은 밴드 수가 매우 많기 때문에 영상분류에 있어서 영상변환이나 밴드 선정과정을 통하여 분류에 사용되는 영상자료의 양을 감소시키는 데, 어떠한 변환방법이 효율적인가를 찾고자 하였다. 세 번째는 감독분류 방법에서 침엽수종 분류에 적합한 분류기(classifier)를 제시하고자 하였다.

1) 분류에 사용된 영상자료의 종류

Table 2는 침엽수림 분류에 사용된 13종류의 초분광영상과 다중분광영상 조합을 보여주고 있다. 이 연구에서는 먼저 분광특성이 유사한 침엽수종을 분류하는 데 있어서 초분광영상이 기존의 다중분광영상보다 우수한 결과를 얻을 수 있는지를 비교하고자 하였다. 초분광영상과 동일 시점에 동일한 공간해상도로 촬영된 다중분광영상의 획득이 어려우므로, 다른 조건은 같고 분광해상도만 낮은 다중분광영상과의 객관적인 비교를 위해 AISA-dual영상을 이용하여 Landsat ETM+ 다중분광영상을 모의 제작하였다. 모의영상 제작은 Landsat-7 ETM+ 센서의 밴드별 감광함수(spectral response function-SRF)를 이용하여 제작하였다. 즉 ETM+의 각 밴드의 파장영역에 포함되는 AISA-dual 밴드들의 파장별 감광함수값을 식(1)과 같이 적용하여 모의영상을 제작할 수 있다.

$$S_{_ETM\ band(N)} = \frac{\sum_{i=1}^n \{SR_i \times HS_i\}}{\sum_{i=1}^n SR_i} \quad (1)$$

여기서 HS_i 는 ETM+의 각 밴드의 파장범위에 포함되는

모든 초분광영상 밴드의 복사휘도값이며, SR_i 는 각각의 초분광밴드에 해당하는 감광함수(SRF) 값을 말한다. Landsat ETM+영상은 30 m의 공간해상도를 가지고 있지만 본 연구에서는 침엽수종 분류를 위한 분광특성을 비교하고자, 초분광영상과 동일한 1 m의 공간해상도로 하였고, 열적외선 밴드를 제외한 6개 밴드의 모의 ETM+영상을 제작하였다. 결국 모의 ETM+ 영상은 연구에 사용된 AISA초분광영상과 공간해상도 및 광학특성은 동일하며, 분광해상도만 차이가 난다고 할 수 있다. 물론 CASI와 AISA-Eagle영상은 거의 동일한 파장영역(400~1000 nm)을 포함하지만, AISA-Eagle의 밴드폭이 5 nm로 CASI의 밴드폭 7 nm보다 다소 높은 분광해상도를 가지고 있다. 물론 CASI와 AISA의 촬영 시점에 약간의 차이가 있지만, 잎갈나무를 제외하고는 수종별 분광특성의 차이점은 크지 않다고 판단된다.

AISA-Eagle영상은 127개의 밴드를 가지고 있으나, CASI영상의 파장영역(400~1048 nm)에 일치시키기 위하여 AISA-Hawk영상의 8개 밴드를 추가하여 135개의 밴드가 사용되었다. 즉 CASI와 AISA-Eagle의 비교는 동일한 파장영역에서 7 nm와 5 nm의 분광밴드 폭의 차이를 비교하고자 하였다. AISA-dual은 CASI와 AISA-Eagle과 달리 중적외선영역을 포함하고 있기 때문에 밴드 수가 가장 많다.

세 종류의 초분광영상은 먼저 모든 밴드를 그대로 분류에 사용하였다. 가시광선과 근적외선 파장영역에서 촬영된 CASI와 AISA-Eagle은 96개 밴드와 135개 밴드를 모두 사용하였다. AISA-dual은 367개 밴드로 촬영되었으나, 대기흡수 파장역인 1400 nm, 1900 nm, 2300 nm 주변의 밴드들은 대기수분흡수와 잡음현상이 심하기 때문에, 이들 밴드를 제외하고 260개 밴드만을 분류에 사용하였다.

초분광영상을 분석하기 위한 일반적인 처리방법은 먼저 센서에 기록된 신호 값에서 대기의 영향을 제거하

Table 2. Image sets used for the classification in this study

Image sets	CASI-1500	AISA-Eagle	AISA-dual	Simulated ETM+
Original bands excluding water absorption bands	96 bands	135 bands	260 bands	6 bands without TIR band
PCA transformed	first 3 components	first 5 components	first 5 components	
MNF transformed	first 6 components	first 6 components	first 6 components	
Band selection (TD)	7 selected bands	10 selected bands	11 selected bands	

고 반사율(reflectance)을 얻기 위한 대기보정이 필요하다(Kim *et al.*, 2005). 이러한 대기보정은 초분광영상의 화소별 반사율을 이용한 분광혼합분석(spectral mixture analysis)이나 지표물의 생물리적 특성인자와의 관계분석 등에 꼭 필요한 처리과정이다. 그러나 본 연구는 초분광영상을 이용한 영상분류가 주목적이고, 절대적인 반사율이나 분광반사곡선의 형태에 따라 침엽수종을 분류하는 것이 아니기 때문에 대기보정처리 없이 복사휘도(radiance)값을 그대로 사용하였다.

2) 초분광영상 차원축소 및 밴드선정

수 백 개의 밴드를 가진 초분광영상의 모든 밴드를 사용하여 영상분류를 수행할 경우 인접한 밴드간의 상관성이 높아 불필요하게 처리 시간이 크게 증가하며, 밴드마다에 존재하는 잡음의 영향으로 높은 분류 효과 역시 보장할 수 없다. 또한 밴드 수에 비례하여 처리되는 자료의 양이 축적되기 때문에 저장 용량이 증가하고 과다한 처리 시간이 소요된다. 그러므로 정보의 손실 없이 초분광영상의 밴드를 줄이는 노력이 이루어져 왔으며, 이미 많은 연구에서 다양한 방법의 특징추출 기법(feature extraction) 및 밴드선정기법(feature selection)이 사용되고 있다(Han *et al.*, 2003; Papes *et al.*, 2010; Thenkabail *et al.*, 2012). 본 연구에서는 초분광영상의 차원 축소를 위하여 대표적인 특징추출 기법인 주성분분석(Principal Component Analysis - PCA) 변환과 차원축소 과정에서 영상이 가지고 있는 잡음의 영향력을 최소화하는 기법인 최소잡음추출(Minimum Noise Fraction - MNF) 변환 기법을 적용하였다. 또한 감독분류를 위하여 추출된 훈련통계값(training statistics)을 이용하여 분류등급 간의 차이를 나타내는 분리도(spectral separability)가 최대가 되는 밴드들을 선정하였다.

PCA변환기법은 다중밴드 영상처리에서 사용되는 대표적인 차원축소 기법으로, 영상의 전체 변이량을 기준으로 가장 많은 변이량을 포함하도록 최초의 고유벡터(eigenvector)를 산출하여 변환하는 방법이다. 원영상의 밴드 수만큼의 주성분밴드가 생성되지만 소수의 초기 주성분밴드로 원영상이 가지고 있는 대부분의 정보를 설명할 수 있다. Fig 2는 연구에 사용된 세 종류의 초분광영상을 PCA변환 후 상대적 변이량의 누적분포를 나타내어 보여주고 있다. 이 연구에서는 원영상의 99% 고유

Fig 2. Cumulative percentage of Eigenvalue after PCA transformation for AISA-Dual, AISA-Eagle, CASI-1500 hyperspectral images.

값(eigenvalue)을 포함하는 주성분을 선정하였는데, AISA-Dual영상과 AISA-Eagle영상은 상위 5개의 주성분이 선정되었으며, CASI영상은 상위 3개 주성분이 선정되었다.

영상의 모든 밴드에는 다소의 잡음이 항상 존재한다. 특히 초분광영상과 같이 수 백 개의 밴드로 구성되어있는 경우, 잡음에 대한 영향은 더욱 커지게 된다. MNF변환기법은 PCA변환기법과 마찬가지로 고유값과 고유벡터를 생성하게 되지만, 그 전에 영상 내 신호값의 분포도를 검증하여 잡음에 대한 정보량을 추출한 후 잡음을 제외한 변이량으로 특징추출을 한다(Green *et al.*, 1988). 세 종류의 초분광영상에 MNF변환을 적용한 후 상위 6개 밴드를 사용하여 분류를 진행하였다.

훈련통계값에 나타나는 분류등급 간의 분리도를 이용한 밴드선정 기법에는 분리도의 계산 방법에 따라 Bhattacharyya 거리, Divergence, Transformed Divergence (TD) 등이 있다. 본 연구에서는 TD를 이용하여 분리도가 최적이 되는 밴드를 선정하였다. 이 연구에서는 모든 분류등급간의 분리도가 최대값인 2000을 나타내는 밴드 조합을 선정하였으며, AISA-Dual영상은 7개, AISA-Eagle영상은 10개, 그리고 CASI영상은 11개 밴드가 선정되어 분류에 사용되었다.

3) 영상분류

감독분류에 있어서 분류결과 및 분류정확도 산출은 분석자가 영상에서 추출하는 훈련표본(training sample)과 검증표본(test sample)에 의하여 크게 영향을 받는다.

이 연구에서 훈련표본과 검증표본은 2007년 국립산림과학원에서 제작한 수치임상도와 현지 조사를 토대로 화소 단위로 선정하였다. 분류에 사용된 모든 영상의 공간해상도가 1 m에 근접하므로, 표본 화소 선정과정에서 영상에 나타나는 그림자 음영지역 및 지표면을 배제하였고 최대한 수관층에서 추출되도록 하였다. 훈련표본과 검증표본은 수종별로 각각 30개와 60개 화소로 겹치지 않게 선정되었으며, 전나무(Ab), 잣나무(Pk), 그리고 잎갈나무(La)의 경우 임분이 두 군데 위치하고 있기 때문에 추가적인 표본을 선정하였다. 분류에 사용될 13 종류의 모든 영상에 동일한 조건을 부여하기 위하여, 동일한 위치에서 추출된 각각의 훈련표본과 검증표본을 적용하였다.

감독분류를 위한 수종별 훈련통계값이 마련된 후, 세 종류의 분류기(classifier)를 적용하였다. 다중분광영상에서 가장 일반적으로 사용되는 최대우도분류법(Maximum Likelihood Classification-MLC), 초분광영상에서 자주 적용되는 지지벡터법(Support Vector Machine-SVM), 그리고 영상종류에 구분 없이 사용되는 분류기법인 분광각탐지법(Spectral Angle Mapper-SAM)을 적용하였다(Han *et al.*, 2003; Park *et al.*, 2012; Enkhbaatar *et al.*, 2009; Demir and Erturk, 2010). MLC기법은 훈련표본에서 얻어진 클래스별 평균벡터와 공분산을 이용하여 미지의 화소가 각 클래스에 속할 확률을 구하여 가장 높은 확률을 가진 클래스로 분류하는 방법이다. 이 방법은 각 클래스에 해당하는 화소값이 정규분포를 가진다고 가정하여 분류하기 때문에, 상대적으로 밴드수가 많은 초분광영상에 적합한 분류방법은 아니다. 또한, MLC기법은 영상의 밴드 수보다 많은 훈련표본을 요구하기 때문에 수 백 개의 밴드를 가지고 있는 초분광영상에서는 적용하기 어려운 방법이다. 따라서 본 연구에서는 모든 밴드를 그대로 사용하는 경우에는 MLC분류방법을 적용하지 않았고, 차원축소기법을 적용하여 변환된 초분광영상에 한하여 적용하였다.

SAM방법은 훈련표본에 의하여 얻어진 밴드별 신호값이 이루는 분광각을 이용하여 모든 화소를 분류하는 기법으로 비교적 용이하게 적용되는 분류기법이다. SAM기법은 최대각(maximum angle)을 조절하는 임계값만을 요구하기 때문에 적용이 쉬우며, 영상의 밴드 수나 클래스의 수에 제한을 받지 않는 분류기법이다(Kruse *et*

al., 1990; Cho *et al.*, 2010). 초분광영상 분류에서 널리 사용되는 SVM기법은 통계적인 이론에 기반을 두어 개발된 분류기법으로, 훈련통계값을 이용하여 클래스 사이에 마진(margin)을 설정하고 마진의 어느 경계에 포함되는지를 커널(kernel)을 이용하여 계산하여 분류하는 방식이다(Demir and Erturk, 2010). 본 연구에서는 영상마다의 최적의 커널함수를 선정하였으며, 초분광영상은 선형 커널방식을 적용하였고 다중분광영상은 RBF(radial basis function)커널방식을 사용하였다.

4. 결과 및 토의

CASI와 AISA 초분광영상의 모든 밴드와 이 자료를 변환하여 모두 12종류의 초분광영상을 대상으로 세 가지 분류방법을 적용하여 모두 33개(모든 밴드에는 MLC 분류기법을 미적용)의 분류결과를 얻었다. 비교를 위하여 모의 제작된 ETM+영상 6개 밴드에서 얻은 3개의 분류결과를 합하여 모두 36가지 분류작업을 수행하여 얻어진 전체 분류정확도는 아래 Table 3과 같다. 영상의 종류 및 분류방법에 따라 분류정확도가 다양하게 나타나고 있음을 볼 수 있다.

1) 초분광영상과 다중분광영상의 비교

먼저 침엽수종 분류에 있어서 모의 ETM+영상을 MLC기법으로 분류한 결과 96.8%의 매우 높은 분류정확도를 보이고 있다. 이 정도의 높은 분류정확도라면 초분광영상을 이용할 필요 없이 기존의 다중분광영상만으로도 다섯 종류의 침엽수종을 분류하는 데 부족함이 없으리라 판단된다. 그러나 검증표본으로만 추정되는 분류정확도는 종종 검증표본의 숫자와 분포에 따라 정확도가 좌우될 수 있으므로, 객관적인 분류정확도를 판단하기 위해서는 실제 분류영상의 판독도 함께 이루어져야 한다. 모의 ETM+영상을 MLC방법으로 분류한 결과(Fig. 3-b)를 실제 임상도(Fig. 3-a)와 비교하면, 비록 96.8%의 높은 분류정확도로 추정되었지만 잣나무림(Pk), 리기다소나무림(PR), 전나무림(Ab)에서 상당한 오분류가 발생하였음을 관찰할 수 있었다.

MLC방법으로는 초분광영상의 모든 밴드를 분류하지 못했기 때문에 모의 ETM+영상과 초분광영상의 정

Table 3. Overall classification accuracies of 36 classifications applied to the AISA and CASI hyperspectral image sets and the simulated ETM+ image by three classifiers

image set classifier	AISA-Dual	AISA-Eagle	CASI	Simulated ETM+
all bands	260 bands	135 Bands	96 Bands	6 Bands
MLC	-	-	-	96.8%
SAM	77.7%	76.8%	82.7%	80.8%
SVM	97.3%	93.9%	95.2%	86.0%
PCA transformed	first 5 PC	first 5 PC	first 3 PC	
MLC	97.2%	95.6%	88.1%	
SAM	75.2%	76.4%	59.7%	
SVM	71.8%	77.0%	74.7%	
MNF transformed	first 6 components	first 6 components	first 6 components	
MLC	99.7%	99.1%	96.2%	
SAM	88.5%	85.0%	85.6%	
SVM	95.6%	87.5%	86.8%	
Band Selection	7 selected bands	10 selected bands	11 selected bands	
MLC	98.7%	97.0%	96.8%	
SAM	82.0%	81.4%	79.1%	
SVM	89.1%	87.3%	81.8%

Fig 3. Classification results as compared by the reference forest stand map (a). Classified image using the simulated ETM+ image (b), the MNF-transformed AISA-dual image (c), the PCA-transformed AISA dual image (d), the band-selected AISA dual image (e), and the all AISA-dual image classified by SVM method.

확도를 직접적으로 비교하기 어렵다. 그러나 동일한 분류기법을 적용했을 때, 차원축소 또는 밴드 추출된 초분

광영상의 분류정확도가 다중분광영상보다 대체로 높게 나타나고 있다. 예외적으로 PCA변환된 초분광영상들

의 분류정확도가 낮게 나타나고 있는 데, PCA변환은 초분광영상에 존재하는 잡음이 정보량과 함께 축약되어 수종분류에 적합한 분광정보가 결여되기 쉽다. 초분광영상에 존재하는 잡음효과를 어느 정도 최소화하는 MNF방법으로 변환된 영상을 사용한 결과, 분류정확도가 매우 높게 나타나고 있다. 특히 ETM+영상과 같이 중적외선 파장영역까지 포함하는 AISA-dual 영상을 MNF 변환하여 MLC기법으로 분류한 결과에서 가장 높은 분류정확도(99.7%)를 나타냈다.

물론 99.7%의 분류정확도라고 할지라도, 분류된 결과를 보면 여전히 오분류 부분을 관찰할 수 있다. Fig. 3에 보여준 임상도(a)는 임분단위의 지도지만, 본 연구에 사용된 1m 고해상도영상의 화소단위 분류 결과에는 나무 사이의 그림자와 지표면 등이 나타나기 때문에 직접적인 비교는 무리가 있을 수 있다. 그러나 전체적인 수종별 분류결과에서 초분광영상이 모의 ETM+영상보다 각 임분의 수종을 분류하는 데 더 나은 결과를 보여주고 있음을 관찰할 수 있다. 즉 유사한 분광특성을 가진 침엽수종을 분류하는 데 있어서 초분광영상의 높은 분광해상도가 다중분광영상보다 유리할 수 있다. 특히 가시광선부터 중적외선 파장영역을 모두 포함하는 AISA-dual 영상이 다른 근적외선 파장영역까지만 포함하는 AISA-Eagle이나 CASI영상보다 더 나은 분류결과를 보여주고 있다. 이는 중적외선 파장영역에서의 분광특성이 침엽수종 분류에 있어서 도움이 될 수 있다는 것을 보여준다. 400 nm에서 1000 nm까지 동일한 파장영역을 가지고 있는 AISA-Eagle이나 CASI 초분광영상은 비록 밴드의 파장폭이 5 nm와 7 nm로 다소 차이가 있지만, 침엽수종 분류에 있어서 커다란 차이를 보이지 않는다.

수종별 분류정확도를 보면 먼저 낙엽침엽수종인 잎갈나무가 가장 잘 분류된 것을 볼 수 있는데, 이는 11월 AISA영상이나 이를 이용하여 제작된 모의 ETM+영상에서는 이미 잎갈나무가 낙엽상태이므로, 다른 침엽수종과 뚜렷한 차이를 보이기 때문에 차원축소방법이나 분류방법에 상관없이 비교적 잘 분류되었다. 그러나 잎갈나무의 잎이 존재하는 10월의 CASI영상에서는 잎갈나무의 분류정확도가 다소 낮아지며, 이에 따라 전체 분류정확도 역시 CASI영상에서 낮게 나타난다.

2) 차원축소기법 및 영상분류기법 비교

초분광영상에 적용된 영상변환 및 밴드선정 기법 중, MNF변환으로 차원 축소된 영상들을 사용하였을 때 분류정확도가 상대적으로 높게 나타나고 있다. MNF변환은 초분광영상에 적합하도록 개발된 영상변환기법으로, 원리는 PCA변환과 유사하지만 영상에 존재하는 잡음의 영향을 최소화하여 원 자료가 가진 순수 신호값의 변이를 최대화하는 방식이다. AISA-dual 영상에서 대기흡수밴드 및 잡음이 심한 밴드들을 제외하고 260개 밴드만을 사용했지만, PCA변환에서 각각의 밴드에 포함된 잡음의 영향이 크게 작용했음을 볼 수 있다. PCA변환된 AISA-dual영상을 MLC로 분류하였을 때 정확도가 97.2%(Fig. 3-d)로 높게 나타났지만, 실제 분류된 결과를 관찰하면 상당한 오분류가 존재하고 있음을 볼 수 있다. PCA변환된 영상보다는 오히려 분류통계값의 분리도를 토대로 선정된 밴드만을 이용하여 분류하였을 때와 MNF변환을 선행한 후의 분류결과가 다소 높게 나타나고 있다. Fig. 3-e는 AISA-dual에서 최적으로 선정된 7개 밴드만을 이용하여 분류한 결과(98.7%)로, 동일영상을 PCA변환하여 분류한 결과보다 오류가 감소하였음을 볼 수 있다. 또한 Fig. 3-c 역시 AISA-dual을 MNF변환한 후 분류한 결과로, PCA변환하여 분류한 결과와 비교하였을 때, 99.7%로 가장 높은 분류정확도를 얻었음을 확인할 수 있다.

초분광영상은 밴드 수가 많은 대용량 자료이므로, MLC와 같은 분류기법을 그대로 적용하기 어려운 경우가 많다. 이 연구에서는 세 종류 초분광영상의 모든 밴드를 이용하여 SAM과 SVM의 두 가지 분류기법을 적용하였지만, 변환된 영상보다 나은 분류결과를 얻을 수 없었다. 일반적으로 SVM이 SAM보다 높은 분류정확도를 보여주고 있지만, 실제 분류결과를 관찰하면 MLC를 적용한 분류결과보다 정확도가 낮음을 볼 수 있다. Fig. 3-f는 AISA-dual영상의 260개 모든 밴드를 이용하여 SVM 분류기법을 적용한 결과로 SVM기법을 적용한 결과 중 가장 높은 분류정확도를 얻었다. 비록 97.3%의 분류정확도지만, 리기다소나무림과 잣나무림에서 많은 오분류가 발생했음을 볼 수 있다. 차원축소 및 밴드 선정된 초분광영상자료에 적용된 분류기법 중 MLC기법이 가장 높은 분류정확도를 보여주고 있다. SVM기법은 지지함

수(support vector)를 정하는 알고리즘의 종류와 임계값 설정에 따라 그 결과가 매우 다양하게 나타날 수 있으며, SAM기법은 클래스별 훈련통계값의 유사도에 따라 분류되기 때문에 다른 분류기법에 비해 미분류된 화소가 많이 나타났다. 초분광영상은 본 연구에 적용된 세 가지 분류기법 이외에도 다양한 영상분류기법에 의하여 처리될 수 있다. 초분광영상을 영상변환이나 밴드선정 등으로 밴드의 수를 축소시켜 분류할 경우, 지난 수십 년 동안 감독분류과정에서 사용자에게 익숙한 MLC기법으로 분류하여도 매우 높은 분류정확도를 얻을 수 있음을 보여주었다.

5. 결론

초분광영상은 기존의 다중분광영상에서 얻을 수 없었던 높은 분광해상도를 바탕으로 새로운 활용분야에 적용되고 있다. 본 연구에서는 침엽수종 분류에 있어서 초분광영상과 다중분광영상의 효과를 비교하고자 하였다. 현지 검증자료가 잘 구비된 광릉의 침엽수림을 대상으로 다양한 종류의 초분광영상을 대상으로 감독 분류를 시행하였다. 세 종류의 초분광영상(AISA-Dual, AISA-Eagle, CASI-1500)이 다중분광영상보다 침엽수종 분류에 있어서 향상된 분류결과를 보여주었다. 초분광영상의 모든 밴드를 이용하여 분류하는 것은 분류기(classifier) 적용에도 한계가 있지만, 분류정확도 측면에서도 큰 향상이 없음을 볼 수 있었다. 특징추출이나 밴드선정 기법을 적용하여 차원축소된 초분광영상들을 사용하여 분류한 결과, MNF변환된 영상이 가장 좋은 결과를 보여 주었다. 감독분류방법중에서는 MLC가 가장 높은 분류정확도를 보였주었다. MLC기법은 밴드의 수보다 훈련표본이 많아야 한다는 제약이 있지만, 차원축소된 초분광영상의 분류에 있어서 적용하기 쉽고 분류결과 또한 우수하게 나타났다.

모든 영상분류에 있어서 검증표본에 의하여 계산되는 분류정확도는 분석자의 주관에 따라 달라질 수 있다. 본 연구에 사용된 모든 영상자료는 1m급의 높은 공간해상도를 가지고 있기 때문에 수관유효도가 높은 산림일지라도, 임목의 수관층, 임목사이의 지표면, 수목의 고도에 따른 그림자 등 다양한 분광특성이 혼재되어 있다. 검

증표본은 주로 수관층에서 선정되기 때문에, 현실적으로 쉽지 않지만 정확한 분류정확도를 산출하기 위해서는 개개목 단위의 분류를 시행하여야 할 것이다. 분류결과와의 비교에 있어서 숫자로 표현되는 분류정확도도 중요하지만, 실제 임상과의 비교를 통하여 보다 객관적인 분류성과가 비교되어야 한다.

본 연구에서는 세 종류의 초분광영상에, 세 종류의 특징추출 및 밴드선정 기법을 적용하였고, 세 가지 분류기를 사용하였다. 그러나 초분광영상의 분류에 있어서 적용할 수 있는 방법은 매우 많다. 본 연구에 적용된 방법 이외에도 분광혼합분석(spectral mixture analysis)와 분광특징매칭(spectral feature matching) 등 초분광영상에 적합한 처리기법을 통하여 수종을 분류할 수도 있다. 비록 초분광영상이 높은 분광해상도를 가진 영상자료로 미세한 분광반사율의 차이를 가지고 있는 유사한 물체들을 구분하는 데 유리하지만, 이를 현실적으로 적용하는 데에는 많은 변수가 있다. 최근 초분광영상이 소개되면서 여러 분야에서 활용하려는 시도가 활발히 진행되고 있으나, 실제 초분광영상과 기존의 다중분광영상의 차이를 실증적으로 비교 분석한 경우는 많지 않다. 본 연구에서는 산림의 수종 분류에 있어서 초분광영상이 다중분광영상보다 우수한 결과를 제공할 수 있음을 보여주었다. 초분광영상의 성공적인 활용을 위해서는, 초분광영상의 특징과 지역적 특성에 맞는 최적의 분류방법을 찾기 위한 충분한 실험이 선행되어야 한다.

References

- Asner, G.P. and K.B. Heidebrecht, 2002. Spectral unmixing of vegetation, soil and dry carbon cover in arid regions: comparing multispectral and hyperspectral observations, *International Journal of Remote Sensing*, 23(19): 3939-3958.
- Bork, E.W., N.E. West, and K.P. Price, 1999. Calibration of broad- and narrow-band spectral variables for rangeland cover component quantification, *International Journal of Remote Sensing*, 20(18): 3641-3662.
- Bunting, P. and R. Lucas, 2006. The delineation of tree

- crowns in Australian mixed species forests using hyperspectral compact airborne spectrographic imager (CASI) data, *Remote Sensing of Environment*, 101: 230-248.
- Cha, S.Y., U.H. Pi, J.H. Yi, and C.H. Park, 2011. Identification of two common types of forest cover, *Pinus densiflora*(Pd) and *Quercus mongolica*(Qm), using the 1st harmonics of a discrete fourier transform, *Korean Journal of Remote Sensing*, 27(3): 329-338.
- Cho, M.A., P. Debba, R. Mathieu, L. Naidoo, J.V. Aardt, and G.P. Asner, 2010. Improving discrimination of Savanna tree species through a multiple-endmember spectral angle mapper approach: canopy-level analysis, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 48(11): 4133-4142.
- Choi, H.A., W.K. Lee, Y.H. Son, T. Kojima, and H. Muraoka, 2010. Vegetation classification using seasonal variation MODIS data, *Korean Journal of Remote Sensing*, 26(6): 665-673.
- Chung, S.Y., J.S. Yim, and M.Y. Shin, 2011. A comparison of pixel-and segment-based classification for tree species classification using QuickBird imagery, *Journal of Korean Forest Society*, 100(4): 540-547 (in Korean with English abstract).
- Demir, B. and S. Erturk, 2010. Empirical mode decomposition of hyperspectral images for support vector machine classification, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 48(11): 4071-4084.
- Enkhbaatar, L., S. Jayakumar, and J. Heo, 2009. Support vector machine and spectral angle mapper classifications of high resolution hyper spectral aerial image, *Korean Journal of Remote Sensing*, 25(3): 233-242.
- Frank, T.D., 1988. Mapping dominant vegetation communities in the Colorado Rocky Mountain Front Range with Landsat Thematic Mapper and digital terrain data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 54: 1727-1734.
- Franklin, S.E., R.J. Hall, L.M. Moskal, A.J. Maudie, and M.B. Lavignei, 2000. Incorporating texture into classification of forest species composition from airborne multispectral images, *International Journal of Remote Sensing*, 21(1): 61-79.
- Green, A.A., M. Berman, P. Switzer, and M.D. Craig, 1988. A Transformation for Ordering Multispectral Data in Terms of Image Quality with Implications for Noise Removal, *IEEE Transactions On Geoscience And Remote Sensing*, 26(1): 65-74.
- Han, D.Y., Y.W. Cho, Y.I. Kim, and Y.W. Lee, 2003. Feature selection for image classification of Hyperion data, *Korean Journal of Remote Sensing*, 19(2): 171-179 (in Korean with English abstract).
- Kim, C., 2008. Use of crown feature analysis to separate the two pine species in QuickBird Imagery, *Korean Journal of Remote Sensing*, 24(3): 267-272.
- Kim, S.H., K.S. Lee, J.R. Ma, and M.J. Kook, 2005. Current status of hyperspectral remote sensing: principle, data processing techniques, and applications, *Korean Journal of Remote Sensing*, 21(4): 341-369 (in Korean with English abstract).
- Kruse, F.A., K.S. Keirein-Young, and J.W. Boardman, 1990. Mineral Mapping at Cuprite, Nevada with a 63-channel Imaging spectrometer, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 56: 83-92.
- Leckie, D.G., F.A. Gougeon, S. Tinis, T. Nelson, C.N. Burnett, and D. Paradine, 2005. Automated tree recognition in old growth conifer stands with high resolution digital imagery, *Remote Sensing of Environment*, 94(3): 311-326.
- Lee, K.S., W.B. Cohen, R.E. Kennedy, T.K. Maierasperger, and S.T. Gower, 2004. Hyperspectral versus multispectral data for estimating leaf area index in four different

- biomes, *Remote Sensing of Environment*, 91: 508-520.
- Lucas, R., P. Bunting, M. Paterson, and L. Chisholm, 2008. Classification of Australian forest communities using aerial photography, CASI and HyMap data, *Remote Sensing of Environment*, 112(5): 2088-2103.
- Martin, M.E., S.D. Newman, J.D. Aber, and R.G. Congalton, 1998. Determining Forest Species Composition Using High Spectral Resolution Remote Sensing Data, *Remote Sensing of Environment*, 65: 249-254.
- Papes, M., R. Tupayachi, P. Martinez, A.T. Peterson, and G.V.N. Powell, 2010. Using hyperspectral satellite imagery for regional inventories: a test with tropical emergent trees in the Amazon Basin, *Journal of Vegetation Science*, 21(2): 342-354.
- Park, N.W., H.Y. Yoo, Y.H. Kim, and S.Y. Hong, 2012. Classification of remote sensing data using random selection of training data and multiple classifiers, *Korean Journal of Remote Sensing*, 28(5): 489-499 (in Korean with English abstract).
- Thenkabail, P.S., J.G. Lyon, and A. Huete, 2012. *Hyperspectral Remote Sensing of Vegetation*, CRC Press Taylor & Francis Group, Broken Sound Parkway, NW, USA.
- Thenkabail, P.S., E.A. Enclona, M.S. Ashton, and B. Van Der Meer, 2004. Accuracy assessments of hyperspectral waveband performance for vegetation analysis applications, *Remote Sensing of Environment*, 91(3-4): 354-376.
- Wang, L., W.P. Sousa, P. Gong, and G.S. Biging, 2004. Comparison of IKONOS and QuickBird images for mapping mangrove species on the Caribbean coast of Panama, *Remote Sensing of Environment*, 91(3-4): 432-440.