

지상 분광반사자료를 훈련샘플로 이용한 감독분류의 정확도 평가: 세종시 금남면을 사례로

Accuracy Assessment of Supervised Classification using Training Samples Acquired by a Field Spectroradiometer: A Case Study for Kumnam-myun, Sejong City

신정일* · 김익재** · 김동욱***

Shin, Jung Il · Kim, Ik Jae · Kim, Dong Wook

요 旨

많은 연구들에서 영상자료와 분류 알고리즘 측면에서 분류정확도를 비교하였지만, 참조자료 또는 분석자에 의존하는 훈련샘플에 의한 분류정확도 비교와 관련된 연구는 부족한 실정이다. 본 연구는 감독분류에 있어 훈련샘플로써 지상 분광반사자료의 유용성을 평가하고자 하였다. 이를 위하여 초분광영상과 다중분광영상을 대상으로 영상 수집 훈련샘플과 지상 분광반사자료를 사용하여 분류 정확도를 비교하였다. 그 결과 영상 수집 훈련샘플 사용 시 초분광영상과 다중분광영상에서 공통적으로 약 90%의 분류정확도를 얻을 수 있었다. 그러나 지상 분광반사자료를 훈련 샘플로 사용하면 초분광영상의 경우 약 10%p, 다중분광영상의 경우 약 20%p의 분류정확도 감소가 발생하였다. 특히 다중분광영상에서 분광반사특성이 유사하게 나타나는 클래스들의 경우 분류정확도가 초분광영상에 비해 매우 낮게 나타났다. 따라서 지상 분광반사자료는 다중분광영상에 적용하는 데에는 한계가 있지만, 초분광영상을 이용한 토지피복분류에 있어 유용한 훈련샘플이 될 수 있다.

핵심용어 : 감독분류, 정확도, 훈련샘플, 지상 분광반사자료

Abstract

Many studies are focused on image data and classifier for comparison or improvement of classification accuracy. Therefore studies are needed aspect of the training samples on supervised classification which depend on reference data or skill of analyst. This study tries to assess usability of field spectra as training samples on supervised classification. Classification accuracies of hyperspectral and multispectral images were assessed using training samples from image itself and field spectra, respectively. The results shown about 90% accuracy with training sample collected from image. Using field spectra as training sample, accuracy was decreased 10%p for hyperspectral image, and 20%p for multispectral image. Especially, some classes shown very low accuracies due to similar spectral characteristics on multispectral image. Therefore, field spectra might be used as training samples on classification of hyperspectral image, although it has limitation for multispectral image.

Keywords : Supervised Classification, Accuracy, Training Sample, Field Spectra

1. 서 론

지표면에 존재하는 물질은 고유의 분광반사특성을 갖고 있으며, 광학 원격탐사 자료는 이러한 분광반사특성을 이용하여 지표물의 종류 또는 특성을 파악하는데

사용된다. 감독분류는 훈련샘플을 기준으로 원격탐사 영상의 각 화소가 어떤 피복 또는 재질인지 분류하는 것으로 정의할 수 있다.

감독분류의 정확도는 사용하는 영상자료, 분류기법, 참조자료 또는 분석자에 의존하는 훈련샘플에 의해 달

Received: 2016.03.15, revised: 2016.03.27, accepted: 2016.03.28

* 교신저자 · 정회원 · (주)지오스토리, 기술연구소(Corresponding Author, Member, Geostory Inc., R&D center, jishin@geostory.co.kr)

** 정회원 · (주)지오스토리, 기술연구소(Member, Geostory Inc., R&D center, petchild88@geostory.co.kr)

*** (주)지오스토리, 기술연구소(Geostory Inc., R&D center, kim9dw@geostory.co.kr)

라진다. 많은 연구들에서 감독분류 정확도 비교를 위하여 영상의 분광해상도와 분류기법 측면에서 접근하였다(Choi et al., 2014; Dalponte et al., 2009; Zain et al., 2013; Mockel et al., 2014; Burai et al., 2015). 분광해상도에 따른 분류정확도 비교는 주로 초분광영상과 다중분광영상의 분류정확도를 비교하고 있으나, 다중분광영상의 경우 주로 동일 시점에 촬영된 실제 영상이 아닌 초분광영상을 이용하여 제작한 모의영상을 사용하였다(Herold et al., 2003; Hochberg and Atkinson, 2003; Cho et al., 2014; Cho and Lee, 2014; Stavrakoudis et al., 2014). 분류기법 측면에서는 다양한 영상 분류 알고리즘의 개발 및 개선을 통해 정확도 향상이 연구되고 있으며, 주로 훈련샘플의 통계값을 이용하는 알고리즘이 주를 이루고 있다(Han et al., 2003; Byun et al., 2007; Cerra et al., 2012; Lu et al., 2014).

감독분류에 있어 훈련샘플의 수집 방법은 영상 자체에서 수집하는 방법과 참조자료를 이용하는 방법이 있을 수 있다(Richard and Jia, 2006; Van der Meer and De Jong, 2003). 영상 자체에서 훈련샘플을 수집하는 방법은 육안판독을 통해 화소를 선택하거나, 현장 조사를 통해 얻어진 좌표를 이용하여 영상에서 해당 위치의 화소를 선택할 수 있다(Cerra et al., 2012; Dalponte et al., 2009; Lu et al., 2014; Tamir and Arnon, 2015). 영상 자체에서 훈련샘플을 수집하기 위해서는 숙련된 영상 판독 기술 또는 현장조사를 위한 많은 비용이 필요하다(Richard and Jia, 2006). 참조자료를 이용하는 방법은 지도, 이중 영상, 지상 분광반사자료 등을 이용할 수 있다(Herold et al., 2003; Hochberg and Atkinson, 2003; Nasarudin and Shafri, 2011). 참조자료를 이용한 훈련샘플 수집의 경우 판독 기술 또는 현장조사 비용이 필요하지 않다. 그러나 시기 차이에 의한 오차와 훈련샘플의 개수가 충분하지 않아 적용 가능한 분류 알고리즘에 제한이 발생할 수 있다(Richard and Jia, 2006; Van der Meer and De Jong, 2003). 훈련샘플의 수집 방법 측면에서 많은 연구들이 영상 자체 또는 외부 자료와 같이 한 가지 출처에서 수집한 훈련샘플을 사용하여 분류정확도를 비교하였다. 그러나 다른 방식으로 수집한 훈련샘플이 분류정확도에 미치는 영향을 객관적으로 평가한 연구는 드물다.

따라서 훈련샘플의 수집 방법에 따라 감독분류를 수행하였을 때, 분류정확도의 차이를 정량적으로 비교할 필요가 있다. 특히 훈련샘플을 영상에서 수집할 수 있는 전문 지식이나 사전 정보가 없는 비전문가가 감독분류를 수행할 때를 고려하여 분광라이브러리 또는 지상 분광반사자료와 같은 외부자료로부터 수집한 훈련샘플

을 사용할 때 어느 정도의 분류정확도를 확보할 수 있는지 평가할 필요가 있다.

본 연구의 목적은 감독분류에 있어 훈련샘플로써 지상 분광반사자료의 유용성을 평가하는 것이다. 이를 위하여 초분광영상과 다중분광영상을 대상으로 영상 수집 화소와 지상 분광반사자료를 훈련샘플로 각각 적용하고, 분류정확도를 비교하고자 한다.

2. 연구지역 및 영상자료

2.1 연구지역

연구지역은 세종특별자치시 금남면 일대 약 4km × 3km의 지역으로 북쪽으로는 금강 세종보, 남쪽으로는 대전시 유성구의 복단에 이르는 지역이다. 이 지역은 국내 농촌과 도시의 특성이 적절히 혼합된 지역이다. 주요 토지피복으로는 농경지, 산림, 도로, 하천, 주거지를 들 수 있다.

2.2 영상자료

2.2.1 영상자료 종류

영상자료는 초분광영상인 CASI-1500 영상, 다중분광영상인 KOMPSAT-3 영상을 사용하였다(Table 1). 사용한 CASI-1500 영상은 2013년 2월 8일에 촬영되었으며 365~1050nm 파장영역의 48개 밴드로 구성되어 있고 공간해상도는 1m이다. KOMPSAT-3 영상은 2014년 3월 3일에 촬영되었으며 450~900nm 파장영역의 4개 밴드로 구성되어 있고 공간해상도는 2.8m이다. KOMPSAT-3 영상의 경우 CASI-1500 영상 촬영 날짜와 약 1년의 시간차를 갖지만 연구지역의 변화가 크게 발생하지 않았고, 계절적 특성도 동일한 시점이므로 동일시기에 촬영된 영상으로 가정할 수 있다. Fig. 1은 사용한 CASI-1500, KOMPSAT-3 영상 각각에 대한 자연광(RGB) 합성 영상을 보여주고 있다.

Table 1. Specification of used image sets

Sensor	CASI-1500	KOMPSAT-3
Number of band	48	4
Spectral range	365~1050nm	450~900nm
Spatial resolution	1m	2.8m
Radiometric resolution	14bit	14bit
Acquisition date	2013.02.08	2014.03.03



Figure 1. Natural color composite image of study area from CASI-1500 (Top), KOMPSAT-3 (Bottom)

2.2.2 영상자료 전처리

영상자료의 전처리는 복사보정, 기하보정, 대기보정의 순서로 실시하였다. 감독 분류 시 영상의 화소를 훈련샘플로 사용하는 경우 복사보정과 대기보정의 절차를 생략할 수 있으나, 이중 영상 또는 지상 분광반사자료를 훈련샘플로 사용하기 위해서는 복사보정과 대기보정을 통하여 영상의 화소값이 분광반사율이 되도록 하여야 한다(Jensen, 2005).

복사보정을 통해 원시영상(DN)에 복사보정계수(Gain, Offset)를 적용하여 센서에 도달한 복사휘도(At-sensor Radiance)를 산출하였다. 기하보정 과정에서 CASI-1500은 GPS/IMU 자료와 지상기준점 측량 자료를 이용하여 지리 좌표를 등록하였고, KOMPSAT-3 영상은 상대적으로 공간해상도가 높은 CASI-1500 영상을 기준으로 지리 좌표를 등록하였다. 대기보정은 복사보정을 통하여 획득된 복사휘도를 지상 분광반사율로 보정하는 과정으로, CASI-1500 영상의 경우 복사전달모델

인 MODTRAN 기반의 ATCOR-4 소프트웨어를 이용하였다. KOMPSAT-3은 대기보정이 완료된 CASI-1500 영상을 기준으로 실험적 대기보정(Empirical Line)을 실시하였다. 실험적 대기보정은 시간에 따른 변이값과 반사율이 다양한 13개 지점을 대상으로 샘플 화소들을 수집한 후 각 밴드에 대한 선형 회귀모델을 구성하고, 이를 영상 전체에 적용하는 방법으로 수행하였다. CASI-1500 영상은 전처리 수행 후 공간해상도가 낮은 KOMPSAT-3 영상에 맞추어 2.8m로 리샘플링하였다. 이 때 분광정보의 왜곡을 방지하기 위하여 최근린 보간법(Nearest Neighbor)을 사용하였다.

3. 연구방법

3.1. 분류 등급 정의

연구지역에 주로 분포하는 주거지, 도로, 농경지, 산림, 하천은 토지의 이용을 기준으로 한 등급이다. 따라서 분광특성을 이용한 토지피복분류를 위하여 각 토지 이용등급을 분광특성에 따른 등급으로 세분화하거나 재정의 하였다. 본 연구에서 분광특성에 의해 정의한 분류 등급은 주거지 3개(녹색지붕, 적색지붕, 청색지붕), 도로 2개(아스팔트, 콘크리트), 농경지 2개(농지, 비닐하우스), 산림 2개(활엽수, 침엽수), 하천으로 총 10개이다. 분류등급 간의 분리도(Separability)는 3.2절에서 언급하였다.

3.2 훈련샘플 수집

3.2.1 영상 훈련샘플 수집

영상판독을 통하여 각 클래스별 52개의 화소를 훈련샘플로 수집하였다. 훈련샘플 수집 시 CASI -1500 영상의 촬영일과 KOMPSAT-3 영상의 촬영일이 다르기 때문에 시간에 따른 분류 등급 변화가 없는 지점을 대상으로 하였다. 훈련샘플을 이용하여 각 영상에서 분류등급 간 분리도를 확인하였다. 분리도는 Jeffries-Matusita 거리(JM distance)를 이용하여 계산하였다. Jeffries-Matusita 거리는 0에서 2.0까지의 값을 가지며 일반적으로 1.9 이상은 매우 높은 분리도를, 1.0 이하는 매우 낮은 분리도를 뜻한다.

본 연구에서는 10개의 분류등급을 대상으로 등급 쌍 간의 분리도를 계산하여 총 45개의 등급 쌍을 대상으로 분리도를 계산하였다. Table 2는 각 영상에서 1.9 이상의 분리도를 갖는 등급 쌍의 개수와 1.9 미만의 분리도를 갖는 등급 쌍 개수 그리고 그 등급 쌍의 종류를 보여주고 있다.

Table 2. Number of class pairs by JM distance and pairs under 1.9 of JM distance

Image JM distance	CASI-1500	KOMPSAT-3
1.9 ≥ JM dist.	45	39
1.9 < JM dist.	0	6
Pairs with JM dist. under 1.9	-	Green rooftop - Coniferous Green house - Concrete Asphalt - Concrete Crop land - Concrete Crop land - Deciduous Asphalt - Green house

3.2.2 지상분광자료 수집

지상분광자료는 2015년 3월에 현장조사를 통해 수집하였다. 총 10개 분류등급에 해당하는 1~3개 지점에서 분광복사계(Spectro-Radiometer)를 이용하여 분광반사율을 측정하여 평균하였다. 분광복사계는 미국 ASD 사의 FieldSpec-3 장비를 이용하였으며, 측정 시 FOV 10°의 Bare Optic을 사용하였고 측정 높이 70cm에서 황산바륨(BaSO₄) 기준판을 이용하여 입사광량(Irradiance) 측정 후 측정대상의 반사광량(Radiance)을 측정하여 분광반사율(Spectral reflectance)을 획득하였다.

3.3 분류 알고리즘

감독분류 기법은 크게 거리 기반 분류법, 통계값 기반 분류법, 분광패턴 기반 분류법으로 나눌 수 있다(Shin, 2012). 거리 기반 분류법은 Euclidean Distance, Spectral Angle Mapper (SAM)로 대표되며, 훈련샘플과 화소의 반사율 차이를 계산한다. 통계값 기반 분류법은 Maximum Likelihood, Mahalanobis Distance로 대표되며, 훈련샘플과 영상의 통계값을 기반으로 분류등급을 판단한다. 분광패턴 기반 분류법은 Spectral Feature Fitting, Binary Encoding으로 대표되며, 훈련샘플과 화소의 분광반사곡선이 갖는 형태 또는 패턴을 기반으로 한다. 일반적으로 통계값 기반 분류법의 정확도가 상대적으로 높은 것으로 알려져 있으나, 밴드 수보다 많은 훈련샘플을 요구한다(Chang, 2003; Manolakis et al., 2003; Jia and Richards, 1993; Heiden et al., 2007).

이 연구에서는 지상분광자료와 같이 제한된 개수(밴드 수 이하)의 훈련샘플을 이용할 때 적용할 수 있는 SAM 알고리즘을 이용하였다. SAM 알고리즘은 분광반사곡선을 벡터로 가정하고 벡터 사이의 각(내적)을 이용하여 기준 분광반사곡선과 화소 분광반사곡선의

유사도를 측정하는 방법이다(Jensen, 2005). 따라서 SAM 알고리즘은 벡터의 길이(반사율의 절대값)에 영향을 받지 않는다는 장점이 있다. 또한 유사도 측정 결과인 분광각의 범위가 0~90°로 정해져 있다는 장점을 갖고 있어 널리 이용되고 있다(Chang, 2003; Jensen, 2005).

3.4 영상 분류 및 정확도 검증

본 연구에서는 초분광영상과 다중분광영상을 대상으로 훈련샘플의 수집 방법에 따른 분류 정확도를 비교하고자 하였다. 따라서 전처리가 완료된 CASI-1500 영상과 KOMPSAT-3 영상을 대상으로 영상에서 수집한 훈련샘플과 지상 분광반사자료를 훈련샘플로 적용하여 SAM 감독분류를 실시하였다.

정확도 검증을 위하여 영상 판독을 통해 훈련샘플과 중복되지 않는 화소들을 검증샘플로 수집하였다. 검증샘플의 개수는 최소 58개에서 최대 200개로 구성되어 있다. 분류등급별로 녹색지붕 74개, 적색지붕 73개, 청색지붕 78개, 아스팔트 114개, 콘크리트 58개, 농경지 176개, 비닐하우스 92개, 침엽수 199개, 활엽수 123개, 하천 107개이다. 정확도는 사용자 정확도(user accuracy)를 비교하였다.

4. 연구결과 및 고찰

훈련샘플에 따른 분류정확도를 비교하기 위하여 영상 수집 훈련샘플과 지상 분광반사자료를 이용한 분류결과를 비교하였다. 영상은 초분광영상인 CASI-1500 영상과 다중분광영상인 KOMPSAT-3 영상을 대상으로 하였고, 분류 알고리즘은 SAM을 이용하였다. Fig. 2는 영상의 종류와 훈련샘플의 종류에 따른 4가지 분류결과를 보여주고 있다.

분류결과를 육안으로 비교하였을 때 영상 수집 훈련샘플을 이용한 CASI-1500 영상의 분류결과 (Fig. 2a)는 아스팔트, 농경지, 활엽수, 침엽수 등의 분류등급을 비교적 정확히 분류하고 있다. 지상 분광반사자료를 이용한 CASI-1500 영상의 분류결과 (Fig. 2b)는 영상 수집 훈련샘플을 이용한 결과에 비해 비닐하우스를 잘 분류하고 있다. 그러나 농경지와 활엽수 간의 혼동이 발생하는 것을 볼 수 있다. 이는 영상의 획득 시기가 개엽 및 경작시기가 아닌 2월로 농경지와 활엽수림의 피복이 고사식생 (NPV: Non-Photosynthetic Vegetation)으로 구성되어 있어, 분광반사특성이 유사하기 때문으로 판단된다. Fig. 2(c)는 영상 수집 훈련샘플을 이용하여 KOMPSAT-3 영상을 분류한 결과를 보여주고 있다.

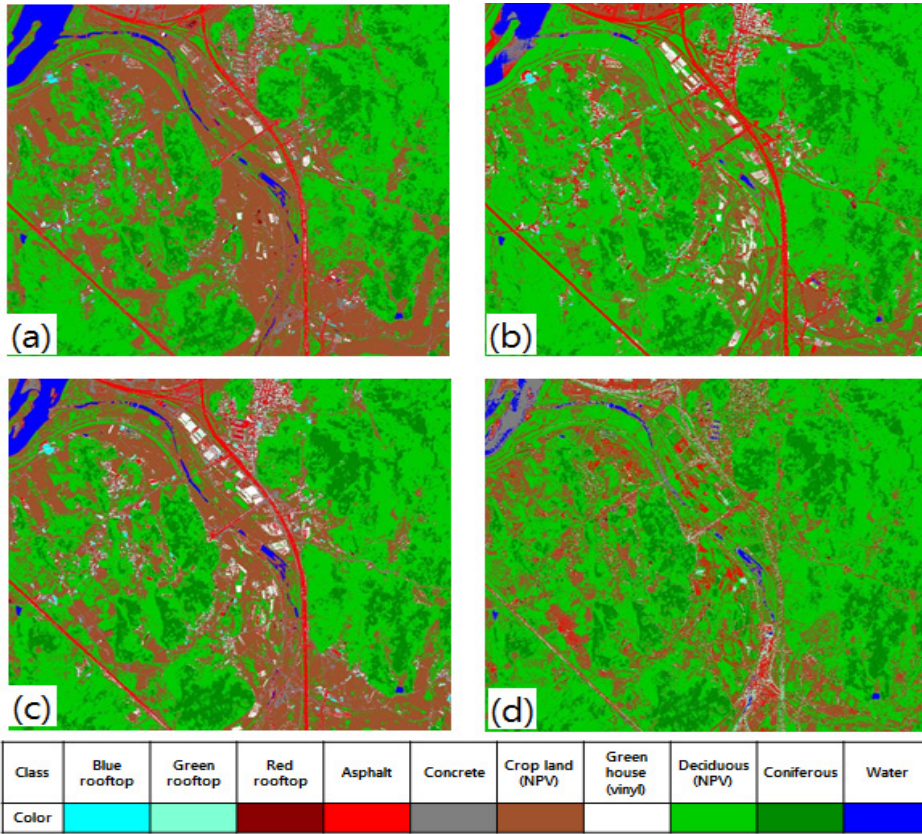


Figure 2. Classification results using SAM classifier using (a) CASI-1500 image and image collected training samples, (b) CASI-1500 image and field spectra, (c) KOMPSAT-3 image and image collected spectra, (d) KOMPSAT-3 image and field spectra

동일한 훈련샘플을 이용하여 CASI-1500 영상을 분류한 결과(Fig. 2a)와 육안으로 비교하였을 때 전체적으로 유사한 결과를 보여주고 있다. KOMPSAT-3 영상이 CASI-1500 영상에 비해 비닐하우스를 보다 정확하게 분류하고 있으나, 농경지가 비닐하우스로 오분류되는 경향이 있다. 또한 비닐하우스, 농경지, 활엽수, 콘크리트 간의 오분류가 발생하고 있다. Fig. 2(d)는 지상 분광반사자료를 이용하여 KOMPSAT-3 영상을 분류한 결과를 보여주고 있다. 지상분광반사자료를 CASI-1500 영상에 적용한 결과(Fig. 2b)와 같이 농경지와 활엽수 간의 혼동이 심하게 발생하고 있으며, 그 외 다른 클래스들도 오분류가 크게 나타나고 있는 것을 볼 수 있다. 이는 영상의 분광해상도가 낮아 클래스 간의 구분이 잘 되고 있지 않음을 의미한다.

Fig. 3은 위에서 언급한 오분류 원인 중 시기적으로 농경지와 활엽수 간 분광반사특성의 유사성을 보여주고 있다. 영상에서 추출한 분광반사율의 경우 적색광

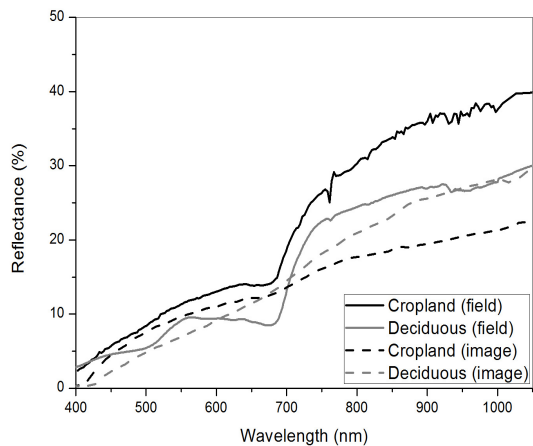


Figure 3. Field measured spectra and image spectra of crop land and deciduous

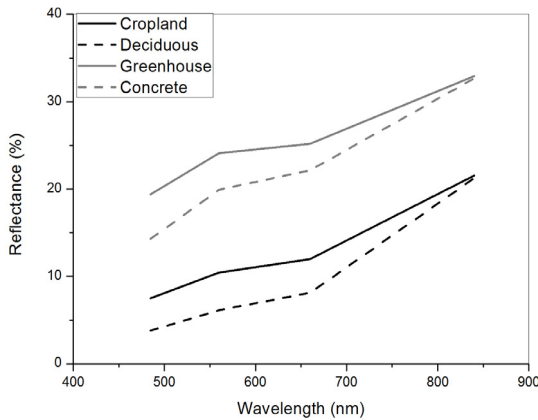


Figure 4. Spectra of KOMPSAT-3 image for crop land, deciduous, green house, and concrete

(700nm)을 기준으로 활엽수의 반사율이 더 높게 나타나는 다른 패턴을 보이고 있다. 그러나 지상 분광반사 자료의 경우 두 피복의 절대반사율에는 약간의 차이가 있지만 전체적인 패턴이 유사하게 나타난다. 따라서 지상분광반사자료를 훈련샘플로 이용할 경우 농경지와 활엽수 간의 혼동이 발생할 수 있다. Fig. 4는 KOMPSAT-3 영상의 낮은 분광해상도로 인하여 발생하는 오분류의 원인을 보여주고 있다. 영상의 분광반사곡선을 보면 주요 오분류 클래스인 비닐하우스, 농경지, 활엽수, 콘크리트의 특성이 유사하게 나타나는 것을 볼 수 있다.

Table 3은 4가지 분류결과에 대한 분류정확도를 보여주고 있다. 위의 육안으로 비교한 결과와 같이 CASI-1500 영상을 이용한 분류결과에서 지상 분광반사자료를 이용하였을 때 농경지와 활엽수의 분류정확도가 영상 추출 훈련샘플을 이용했을 때 보다 낮게 나

타고 있다. 또한 비닐하우스의 경우 지상 분광반사자료를 이용한 분류결과에서 더 높은 정확도를 보이고 있다. 전체정확도는 영상 수집 훈련샘플 이용 시 90%, 지상 분광반사자료 이용 시 10%p 낮은 80%를 보인다. KOMPSAT-3를 이용한 분류결과 중 영상 수집 훈련샘플을 이용한 결과는 CASI-1500 영상을 이용하였을 때와 큰 차이를 보이지 않는다. 클래스 별 분류정확도를 보다 상세히 살펴보면 CASI-1500 영상에 비해 KOMPSAT-3 영상에서 비닐하우스의 분류정확도가 높게 나타나는 것을 볼 수 있다. 그러나 아스팔트, 농경지, 활엽수의 분류정확도가 CASI-1500 영상을 이용한 분류결과 보다 낮다. 즉 가시광선 및 근적외선에서 분광반사율이 명확한 차이를 보이는 클래스들의 경우 두 영상에서 분류정확도의 차이가 크게 나타나지 않지만, 분광반사특성이 유사한 클래스들은 CASI-1500 영상에 비해 KOMPSAT-3 영상의 분류정확도가 낮게 나타나는 것을 볼 수 있다. 지상 분광반사자료를 이용하여 KOMPSAT-3 영상을 분류한 결과의 정확도는 68%로 다른 3가지 결과에 비해 낮게 나타나고 있다. 또한 세부적으로 클래스 별 정확도를 비교해 보면 위에서 언급한 바와 같이 영상에서 분광반사특성이 유사하게 나타나는 아스팔트, 콘크리트, 농경지의 분류정확도가 낮게 나타나는 것을 볼 수 있다. 따라서 지상 분광반사자료를 훈련샘플로, 그리고 SAM 분류 알고리즘을 사용하여 다중분광영상을 분류하는 것에는 한계가 있음을 시사한다.

결과적으로 영상 수집 훈련샘플 이용 시 초분광영상과 다중분광영상 모두 약 90%에 이르는 분류정확도를 보여준 반면, 지상 분광반사자료를 훈련샘플로 이용하였을 때 초분광영상과 다중분광영상 각각에 대하여 80%와 68%의 분류정확도를 보여주었다. 초분광영상

Table 3. User accuracy of classes

Class \ Source	CASI-1500 (Hyperspectral)		KOMPSAT-3 (Multispectral)	
	Image	Field spectra	Image	Field spectra
Blue rooftop	100%	100%	100%	100%
Green rooftop	100%	100%	86%	84%
Red rooftop	100%	100%	100%	67%
Asphalt	85%	75%	77%	43%
Concrete	89%	65%	49%	5%
Crop land	86%	54%	72%	4%
Green house	57%	86%	87%	71%
Deciduous	98%	82%	87%	81%
Coniferous	100%	100%	100%	98%
Water	100%	100%	100%	82%
Overall	90%	80%	87%	68%

의 경우 지상 분광반사자료 사용 시 10%p의 분류정확도 감소가 발생하였지만, 다중분광영상의 경우 약 20%p의 분류정확도 감소가 발생하였다. 특히 다중분광영상에서 유사한 분광반사특성을 갖는 클래스들에서 초분광영상에 비해 매우 낮은 분류정확도를 보여주었다. 따라서 초분광영상의 경우 지상 분광반사자료를 훈련샘플로 사용하여도 어느 정도 분류정확도를 확보할 수 있지만, 다중분광영상의 경우 훈련샘플을 신중하게 수집할 필요가 있다고 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 훈련샘플로써 지상 분광반사자료의 유용성을 평가하고자 하였다. 이를 위하여 초분광영상과 다중분광영상을 대상으로 영상 수집 화소와 지상 분광반사자료를 훈련샘플로 각각 적용하여 감독 분류를 수행하였다. 그 결과 영상 수집 훈련샘플을 사용하면 초분광영상과 다중분광영상에서 공통적으로 약 90%의 분류정확도를 얻을 수 있었다. 그러나 지상 분광반사자료를 훈련 샘플로 사용하면 초분광영상의 경우 약 10%p, 다중분광영상의 경우 약 20%p의 분류정확도 감소가 발생하였다. 특히 다중분광영상에서 분광반사특성이 유사하게 나타나는 클래스들의 경우 분류정확도가 초분광영상에 비해 매우 낮게 나타났다. 이는 다중분광영상의 분류에 있어 지상 분광반사자료를 훈련 샘플로 사용하는 것은 신중한 검토가 필요함을 의미한다. 결론적으로 지상 분광반사자료는 초분광영상을 이용한 토지피복분류에 있어 유용한 훈련샘플이 될 수 있지만, 다중분광영상에 적용하는 데에는 한계가 있다고 판단된다. 그러나 본 연구에서는 자료의 한계로 단일 시기에 획득된 자료만을 사용하였으므로 제시한 연구 결과를 일반화 하는데 한계가 있다. 따라서 향후 연구에서는 보다 다양한 시기와 지역에서 획득된 자료 그리고 다양한 종류의 영상자료를 이용하여 분류정확도를 비교해 볼 필요가 있다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 도시건축개발사업 연구비지원(13도시건축A02)에 의해 수행되었음.

References

1. Burai, P., Deak, B., Valko, O. and Tomor, T., 2015, Classification of herbaceous vegetation using

airborne hyperspectral imagery, *Remote Sensing*, Vol. 7, No. 2, pp. 2046-2066.

2. Byun, Y. G., Eo, Y. D. and Yu, K. Y., 2007, Classification of hyperspectral image using spectral mutual information, *Journal of the Korean Society for Geospatial Information System*, Vol. 15, No. 3, pp. 33-39.

3. Cerra, D., Mueller, R. and Reinartz, P., 2012, A classification algorithm for hyperspectral data based on synergetics theory, *Proc. of ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Melbourne, Australia, Vol. 1-7, pp. 71-76.

4. Chang, C. I., 2003, *Hyperspectral imaging: Techniques for spectral detection and classification*, Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, pp. 2-35.

5. Cho, H. G., Kim, D. W. and Shin, J. I., 2014, Study of comparison of classification accuracy of airborne hyperspectral image land cover classification though resolution change, *Journal of the Korean Society for Geospatial Information System*, Vol. 22, No. 3, pp. 155-160.

6. Cho, H. G. and Lee, K. S., 2014, Comparison between hyperspectral and multispectral images for the classification of coniferous species, *Korean Journal of Remote Sensing*, Vol. 30, No. 1, pp. 25-36.

7. Choi, B. G., Na, Y. W., Kim, S. H. and Lee, J. I., 2014, A study on the improvement classification accuracy of land cover using the aerial hyperspectral image with PCA, *Journal of the Korean Society for Geospatial Information System*, Vol. 22, No. 1, pp. 81-88.

8. Dalponte, M., Bruzzone, L., Vesco, L. and Gianelle, D., 2009, The role of spectral resolution and classifier complexity in the analysis of hyperspectral images of forest areas, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 113, No. 11, pp. 2345-2355.

9. Han, D. Y., Kim, H. J., Kim, D. S., Cho, Y. W. and Kim, Y. I., 2003, Feature selection for image classification of hyperion data, *Korean Journal of Remote Sensing*, Vol. 19, No. 2, pp. 171-179.

10. Heiden, U., Roessner, S. S. and Kaufmann, H., 2007, Determination of robust spectral features for identification of urban surface materials in

- hyperspectral remote sensing data, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 111, No. 4, pp. 537-552.
11. Herold, M., Margaret, E. and Roberts, D. A., 2003, Spectral resolution requirements for mapping urban areas, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 41, No. 9, pp. 1907-1919.
 12. Hochberg, E. J. and Atkinson, M. J., 2003, Capabilities of remote sensors to classify coral, algae and sand as pure and mixed spectra, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 85, No. 2, pp. 174-189.
 13. Jensen, J. R., 2005, *Introductory digital image processing: A remote sensing perspective*, 3rd Edition, Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall, pp. 431-465.
 14. Jia, X. and Richards, J. A., 1993, Binary coding of imaging spectrometer data for fast spectral matching and classification, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 43, No. 1, pp. 47-53.
 15. Lu, Q., Huang, X. and Zhang, L., 2014, A Novel clustering-based feature representation for the classification of hyperspectral imagery, *Remote Sensing*, Vol. 6, No. 6, pp. 5732-5753.
 16. Manolakis, D., Marden, D. and Shaw, G. A., 2003, Hyperspectral image processing for automatic target detection applications, *Lincoln Laboratory Journal*, Vol. 14, No. 1, pp. 79-116.
 17. Mockel, T., Dalmayne, J., Prentice, H. C., Eklundh, L., Purschke, O., Schmidtlein, S. and Hall, K., 2014, Classification of grassland successional stages using airborne hyperspectral imagery, *Remote Sensing*, Vol. 6, No. 8, pp. 7732-7761.
 18. Nasarudin, N. E. M. and Shafri, H. Z. M., 2011, Development and utilization of urban spectral library for remote sensing of urban environment, *Journal of Urban and Environmental Engineering*, Vol. 5, No. 1, pp. 44-56.
 19. Richards, J. A. and Jia, X., 2006, *Remote sensing digital image analysis: An introduction*, Fourth Edition, Springer, Germany, pp. 296-297.
 20. Shin, J. I., 2012, Comparative analysis and improvement of target detection algorithms in hyperspectral image, Doctoral thesis, Inha University, pp. 7-13.
 21. Stavrakoudis, D. G., Dragozi, E., Gitas, I. Z. and Karydas, C. G., 2014, Decision fusion based on hyperspectral and multispectral satellite imagery for accurate forest species mapping, *Remote Sensing*, Vol. 6, No. 8, pp. 6897-6928.
 22. Tamir, C. and Arnon, K., 2015, Ground-level classification of a coral reef using a hyperspectral camera, *Remote Sensing*, Vol. 7, No. 6, pp. 7521-7544.
 23. Van der Meer, F. D. and De Jong, S. M., 2003, *Imaging spectrometry: Basic principles and prospective applications*, Kluwer Academic Publishers, Netherlands, pp. 44-61.
 24. Zain, R. M., Ismail, M. H. and Zaki, P. H., 2013, Classifying forest species using hyperspectral data in balah forest reserve, Kelantan, Peninsular Malaysia, *Journal of Forest Science*, Vol. 29, No. 2, pp. 131-137.