

한반도 지역의 지표특성을 고려한 분광라이브러리의 설계 및 구축

신정일 · 김선화 · 이규성[†]

인하대학교 지리정보공학과

Design and Construction of Spectral Library for the Korean Peninsular

Jung-Il Shin, Sun-Hwa Kim, and Kyu-Sung Lee[†]

Department of Geoinformatic Engineering, Inha University

Abstract : Spectral library is a database that archives spectral reflectance and related metadata of earth surface materials. Spectral library plays important role to assist analyzing several types of remote sensor data, to determine suitable wavelength band for detecting a certain material, and to classify hyperspectral image data. This paper describes the structure and content of a spectral library that is suitable for the environment of the Korea peninsula while existing spectral libraries have certain limitations to apply for surface materials covering the region. We designed a spectral library that includes vegetation and man-made materials indigenous to the region. The spectral library also includes spectra of mineral and rock, soil, liquid, and some man-made materials from existing spectral libraries. Newly augmented spectra of vegetation and man-made materials were obtained by spectral measurements in laboratory and field. The spectral library viewer was developed to increase efficiency of usage and searching.

Key Words : Spectral library, spectral reflectance, hyperspectral data.

요약 : 분광라이브러리는 지구에 존재하는 다양한 물질의 분광반사 자료와 그에 대한 보조자료를 축적한 데이터베이스로 정의할 수 있다. 분광라이브러리는 다양한 분야에서 물질의 종류와 특성을 분석하기 위한 참조자료로 사용되고 있으며, 원격탐사 분야에서는 광학영상 자료와 연계하여 토지 피복의 종류와 속성을 분류하고 더 나아가 초분광영상의 해석에 중요한 자료로 사용되고 있다. 현존 분광라이브러리는 측정항목이나 측정방법, 보조자료 등이 표준화되어 있지 않으며, 특히 국내에 직접 적용하기에는 지표물의 종류가 한정되어 있다. 이 논문은 국내 환경에 직접 적용할 수 있는 분광라이브러리를 설계하고 구축하는 과정을 설명하고 있다. 국내 환경에 적합한 분광라이브러리를 구축하기 위하여 먼저 한반도 지역의 고유한 식물과 인공물에 대한 분광반사측정을 실시하였고 동시에 설계된 보조자료의 항목에 대한 측정 및 조사를 실시하였다. 또한 외국에서 개발된 분광라이브러리에서 보조자료가 충실한 광물 및 암석, 토양, 물 등의 분광반사자료를 함께 포함하고 있다. 구축된 분광라이브러리의 활용성 증대와 검색의 용이성을 위해 분광라이브러리 뷰어를 개발하였다.

접수일(2010년 2월 25일), 수정일(1차 : 2010년 4월 29일), 게재확정일(2010년 9월 1일).

[†] 교신저자: 이규성(ksung@inha.ac.kr)

1. 서론

지표면에 존재하는 물질은 고유의 분광반사특성(spectral characteristics)을 갖고 있으며, 이를 토대로 여러 파장영역에서 촬영된 원격탐사 영상자료로부터 지표물의 종류나 특성을 파악할 수 있다. 분광반사특성을 이용한 분석은 화학분야의 분광학(spectroscopy)에서 시작되었으며 지질, 환경, 농업, 해양, 의학, 대기·천문 등 다양한 분야에서 활용되고 있다. 분광반사(spectral reflectance) 자료는 실험실, 지상, 공중에서 측정될 수 있으며, 이 자료에 나타나는 파장에 따른 흡수나 반사 특성을 이용하여 물질의 종류나 상태를 분석할 수 있다 (Shpepherd와 Walsh, 2002). 1980년대 후반에 새로운 형태의 원격탐사센서로 등장한 초분광영상센서는 좁은 파장 폭을 갖는 연속적인 수백 개의 밴드를 갖고 있어 좁은 파장대에서 나타나는 미세한 분광반사 특성을 제공할 수 있으며, 이를 이용하여 다양한 지표물의 세부적인 특성에 관련된 정보를 얻을 수 있게 되었다.

분광라이브러리(spectral library)는 지표면의 다양한 물질의 분광반사자료와 그에 부가되는 정확한 물질의 정의 및 측정방법에 관한 보조자료를 포함하는 데이터베이스로 정의할 수 있다. 이상적인 분광라이브러리는 측정할 물질에 대한 순수한 측정표본을 넓은 파장 영역에서 연속적으로 측정된 분광반사값과 측정표본에 대한 성분 분석결과를 포함해야한다(Clark 등, 1993). 이러한 분광라이브러리는 자원, 환경, 우주탐사를 비롯한 마약이나 폭발물 탐지 등 여러 분야에서 물질의 종류와 속성을 분석하기 위한 참조자료로 활용되고 있으며, 다양한 연구기관 및 대학에서 목적에 맞는 분광라이브러리를 구축하여 사용하고 있다(Rivard 등, 2008; Howari, 2003; Lowry 등, 2009; DiGregorio, 2003; Grebenyuk와 Blank, 2001; Meston, 2004).

지표물에 대한 분광반사자료는 원격탐사에 있어서 특정 활용목적에 적합한 센서의 파장대역을 선정하거나, 광학영상자료의 해석 등에 있어서 매우 기초적인 자료로서의 중요한 역할을 담당하고 있다. 분광라이브러리를 포함한 실내의 분광반사자료는 영상신호와 연계하여 특정 지표물의 종류와 속성을 정확히 정의하는데 사용되고 있으며, 다중분광영상의 감도분류에 있어서 훈련통계값(training statistics)이나 분광혼합분석에서

endmember의 신호값으로 사용되고 있다. 그 사례로써 Drake 등(1999)은 AVIRIS 영상을 이용하여 반건조지역에서 초지에 분포하는 식물과 토양, 광물을 분류하기 위하여 분광라이브러리를 이용하였다. Heiden 등(2007)은 도시지역에 대하여 기 구축된 분광라이브러리, 현지 측정 분광반사자료, 그리고 초분광영상에서 추출한 분광반사값을 형태학적인 기법과 수학적 기법으로 비교한 결과, 측정 대상의 상태와 광원-표본-센서의 기하조건에 따라 분광반사율의 절대값은 바뀌지만 흡수 밴드와 형태는 유지되는 상태를 보고하였다. Franke 등(2009)은 초분광영상에서 추출한 도시지역의 분광라이브러리를 이용하여 토지피복분류와 분광혼합분석을 실시함으로써 도시지역의 토지피복 분류의 정확도를 향상시켰다. Powell 등(2007)은 Landsat-7 ETM+ 영상을 이용한 도시지역의 토지피복분류를 위해 분광라이브러리를 이용하여 분광혼합분석을 실시하였으며 분광라이브러리에서 유사한 항목과의 혼동을 피하기 위한 최적의 endmember를 추출하는 방법을 제안하였다.

위와 같은 목적에 따라 많은 연구에서 분광측정기(spectro-radiometer)를 이용하여 분광반사측정을 실시하고 연구 자료로 사용하고 있으나 공식적으로 발표되어 널리 사용되고 있는 분광라이브러리는 대략 10개 미만이다. 이들 분광라이브러리는 매우 다양한 종류의 지표물의 분광반사자료와 속성정보를 포함하고 있지만 측정 대상과 측정 장비가 다양하고 측정 방법, 속성 정보, 분광반사자료의 파장영역 또한 각각 다르기 때문에 실제 활용에 있어 제약이 따른다.

본 연구의 목적은 한반도 지역에 분포하는 고유의 식물 및 인공물의 분광반사자료를 포함하는 분광라이브러리를 설계하고 구축하는 과정을 제시하는 것이다. 국내 환경에 적합한 분광라이브러리의 구축은 외국에서 개발된 분광라이브러리를 기초로 하여 국내에 분포하는 고유의 지표물에 대한 분광반사자료를 지속적으로 추가함으로써, 원격탐사 분야의 연구개발 및 활용에 필요한 기반자료를 제공하고자 한다.

2. 분광반사 측정 및 현존 분광라이브러리 분석

1) 분광반사

지표면에 도달한 전자기에너지는 흡수, 투과, 또는 반사되며, 분광반사율은 각 파장별로 입사된 광량(irradiance)에 대한 반사된 광량(radiance)의 비율로 정의할 수 있다(Lillesand와 Kiefer, 1994). 그러나 분광반사율은 입사광과 반사광의 측정 기하 조건에 따라 세분하여 정의할 수 있다(Schapman-Strub 등, 2006). 특정 지표물의 반사특성을 가장 정확하게 설명할 수 있는 정의는 양방향반사분포함수(Bidirectional reflectance distribution function - BRDF)라 할 수 있다. BRDF는 아래 수식 (1)과 같이, 입사광과 반사광의 기하조건(방향)을 모두 고려한 개념적인 분광반사율이다. 여기서, ρ 는 반사율, θ_s 는 천정각, ϕ_s 는 방위각, 아래첨자 i 와 r 은 각각 입사, 반사를 의미하고 L 은 복사휘도(radiance), E 는 복사조도(irradiance)를 의미한다.

$$BRDF = \rho(\theta_i, \phi_i; \theta_r, \phi_r) = \frac{dL_r(\theta_r, \phi_r)}{dE_i(\theta_i, \phi_i)} \quad (1)$$

그러나 실제 분광반사율의 측정에 있어 입사광의 기하 조건을 정확히 측정하기 매우 어렵기 때문에 BRDF의 분모값을 얻기가 쉽지 않다(Swain과 Davis, 1978). 원격탐사에서 특정 표면의 반사율 측정은 일반적으로 양방향반사율(bidirectional reflectance factor -

BRF)을 측정한 결과이다. BRF는 모든 방향으로 빛이 고르게 완전히 반사되어 입사광 및 반사광이 방향에 관계없이 일정한 완전산란면(Lambertian 표면)을 이용하여 측정하게 된다. 즉 완전산란면에 가까운 백색판($BaSO_4$)에서 센서방향으로 반사된 광량(복사휘도, radiance)을 측정하고 측정할 대상물에서 반사되는 광량을 동일 조건에서 다시 측정하는 방법을 사용한다. 이렇게 측정된 값을 BRF라 정의하며 아래 식(2)와 같이 표현할 수 있다. 본 연구를 비롯하여 원격탐사 분야에서 측정되는 분광반사값은 실내 또는 야외에서 BRF를 측정한 결과를 지칭하는 경우가 많다.

$$BRF = \frac{L_{target}}{L_{reference}} \quad (2)$$

2) 현존 분광라이브러리 구축 현황

현존하는 대표적인 분광라이브러리는 Table 1과 같이 미국 지질조사국(United States Geological Survey - USGS)의 분광라이브러리, 미국 항공우주국 제트추진연구소(Jet Propulsion Laboratory - JPL)의 분광라이브러리, 그리고 존스홉킨스대학교(JHU)의 분광라이브러리 등을 들 수 있다. NASA에서는 Advanced Speceborne Thermal Emission Reflection Radiometer(ASTER)의 개발과정에 있어 이들 분광라이브러리를 통합한 분광라이브러리를 발표하였으며 약 2,000개의 자연 물질과 인공 물질에 대한 분광반사자료를 포함하고 있다(Baldrige 등, 2009). 국내에서는 한

Table 1. Existing spectral libraries

구축기관	총 스펙트럼	분광반사측정기	측정 대상물				
			광물	토양	식생	인공물	액체
USGS	496개	Beckman 5270, ASD FieldSpec FR, Nicolet FTIR, AVIRIS	O	O	O	O	O
JHU	617개	Beckman UV5240, Nicolet FTIR	O	O	O	O	O
NASA JPL	160개	Beckman UV5240	O	X	X	X	X
NASA ASTER	2,000개	USGS, JHU, JPL 통합	O	O	O	O	O
IGCP	130개	Beckman 5270외 4가지	O	X	O	X	X
ICRAF	30,000개	ASD FieldSpec FR	X	O	O	O	X
ASU	324개	Nicolet FTIR (Thermal Emission)	O	O	X	X	X
KIGAM	187개	GER 3700, ASD FieldSpec-3	O	X	O	O	X

IGCP : International Geological Correlation Program, UNESCO

ICRAF : International Centre for Research in Agroforestry (World Agroforestry Center)

ASU : Arizona State University

KIGAM : Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (한국지질자원연구원)

국지질자원연구원에서 분광라이브러리 구축을 시도하였는데, 한국에 분포하는 주요 광물과 토양, 인공물, 식물에 대한 분광반사자료를 포함하고 있다(지광훈 등, 2007).

USGS와 JHU 분광라이브러리의 경우 광물, 토양, 식생, 인공물, 액체 등의 다양한 물질에 대해 분광반사 측정을 실시하였으나 그 밖의 분광라이브러리는 구축기관 고유의 목적에 맞는 물질에 대한 분광반사 측정을 주로 실시하였다(Kruse 등, 1993; Rivard 등, 2008; Shpепherd와 Walsh, 2002). 또한 각 분광라이브러리는 측정 장비에 따른 파장영역과 분광해상도가 다양하고 측정 방법, 속성 정보 등이 표준화 되어 있지 않아 실제 활용에 있어 제약이 따른다.

3) 현존 분광라이브러리의 구축 방법

USGS 분광라이브러리의 경우 구축 초기에는 광물 및 토양 위주로 측정되었으나 현재는 비교적 다양한 지표물의 측정값들이 포함되고 있다. Kokaly 등(2003)은 미국 Yellowstone 국립공원에서 AVIRIS 영상 촬영과 동시에 현지 분광반사 측정을 실시하여 AVIRIS 영상을 보정한 후 이를 토대로 USGS 분광라이브러리에 수관층의 분광반사자료를 추가하였다. USGS와 JHU 분광라이브러리 중 암석의 경우 다양한 입자 크기별 분광반사 측정을 실시하여 입자 크기에 따른 분광반사율의 변화를 관찰할 수 있으며 USGS 분광라이브러리 중 인공물

의 경우 화학적 구성 성분의 비율을 다양하게 하여 분광 반사 측정을 실시하였다(Clark 등, 1993; Rivard 등, 2008).

Table 2는 기존 분광라이브러리 중 가장 많이 사용되는 USGS, NASA JPL, JHU 분광라이브러리와 한국지질자원연구원 분광라이브러리의 구축방법과 보조자료의 정보를 요약하여 보여주고 있다. USGS의 경우 Beckman UV 5270, ASD FieldSpec FR, Nicolet FTIR, AVIRIS의 4가지 분광반사 측정기를 사용하였으며 장비별 파장 영역과 측정방법 및 기하조건이 모두 다르다. 측정 항목의 경우 광물과 토양을 주요 대상으로 토양, 액체, 인공물, 식생의 6가지 대분류 항목으로 구분되어 있으며, 측정 대상물의 수집위치, 입자크기, 측정방법 등의 상세한 설명이 포함되어 있다. 또한 표본의 화학적 성분분석이 가능한 경우 X선 회절(X-ray diffraction: XRD) 분석이나 X선 형광(X-ray fluorescence: XRF) 분석 그리고 전자미세탐침(electron microprobe: EM)을 이용한 성분분석을 실시하여 화학적 순수도를 등급으로 표현하였다(Clark 등, 1993).

NASA JPL 분광라이브러리는 토양을 광물에 포함시켜 측정하였으며 광물과 토양의 입자 크기를 미세입자(진흙; <45 μ m), 중간입자(가는 모래; 45-125 μ m), 굵은 입자(중간 모래; 125-500 μ m)의 3가지 종류로 나누었는데 이는 세계토양학회의 기준이다(Baldrige 등,

Table 2. Measurement method and description of existing spectral libraries

Library	USGS	JPL	JHU	한국지질자원연구원
측정장비	Beckman UV5270, ASD FieldSpec, Nicolet FTIR, AVIRIS	Beckman UV5240	Beckman UV5240, Nicolet FTIR	GER 3700, ASD FieldSpec-3
파장영역	0.2~3.0 μ m	0.4~2.5 μ m	0.4~2.5 μ m, 2.08~14 μ m	0.3~2.5 μ m
분광반사율	Bi-directional reflectance (Hemispherical-directional)	Hemispherical reflectance	Bi-conical / Directional-hemispherical reflectance	Bi-directional reflectance (Hemispherical-directional)
암석/토양 입자 크기	다양	<45 μ m, 45-125 μ m, 125-500 μ m	0-75 μ m, 50-1500 μ m	암석
화학적 성분 분석	XRD, XRF, EM	XRD, EM	XRD, XRF, EM	XRD
속성항목	표본 분류 체계, 표본명/물질명, 수집위치, 표본 상세 설명, 입자 크기, 화학성분 분석 결과, 사진	표본 분류 체계, 표본명/물질명, 표본 상세 설명, 입자크기, 반사율 종류, 화학 성분 분석 결과	표본 분류 체계, 표본명/물질명, 표본 상세 설명, 입자크기, 반사율 종류	표본 분류 체계 (3단계), 표본명, 수집위치, 태양 기하 조건, 기상자료, 표본 상세 설명, 화학성분 분석 결과, 사진

2009). 분광반사측정기는 Beckman UV5240을 사용하였는데 실험실에서 0.4~2.5 μm 와 2~15.4 μm 파장영역의 분광반사율을 측정한 후 화학 성분 분석을 위해 X선 회절 분석을 실시하였다(Baldrige 등, 2009).

JHU 분광라이브러리는 광물의 경우 암석 덩어리와 두 가지 입자크기(0~75 μm , 50~1500 μm)로 분쇄하여 Nicolet FTIR 분광반사측정기를 이용하여 2.08 μm ~14 μm 의 파장영역에서 측정하였다. 그 외의 표본에 대해서는 Beckman UV5240을 사용하여 0.4~2.5 μm 영역의 directional-hemispherical reflectance를 측정하였다(Johns Hopkins university spectral library, http://speclib.jpl.nasa.gov/documents/jhu_desc).

한국지질자원연구원 분광라이브러리는 측정 대상의 분류체계를 3단계의 계층구조로 설계하였고, 실내외 분광반사측정을 통하여 분광라이브러리를 구축하였다. 광물의 경우 외국 사례와 달리 암석 덩어리 형태로 측정하였다. 보조 자료는 측정 표본의 수집위치나 측정위치, 기상조건, 표본의 상세설명, X선 회절분석 결과 등을 포함하고 있다.

기준에 구축된 분광라이브러리가 제공하는 보조 자료의 정보를 살펴보면 측정대상물의 명칭과 4단계 계층적 분류항목(type, class, subclass, sample) 이외에 추가적으로 측정물의 상세한 정보(입자크기, 화학적 성분 구성, 측정 장비, 측정 위치, 측정 조건 등)가 포함되어 있으나 측정 대상물의 분류 기준이 다르고 제공하는 정보의 항목이나 수준이 다르거나 누락된 경우가 많아 실제 활용에 있어 제약이 있다. 특히 표본에 대한 분광반사율을 측정할 때 센서의 기하조건에 따라 분광반사율에 차이가 날 수 있으므로, 분광반사측정 시점의 기하조건에 대한 기술은 향후 분광라이브러리에 활용에 있어서 중요한 요소이나 현존 라이브러리에는 이에 관한 자료가 누락된 경우가 대부분이다. 따라서 분광라이브러리의 유용성 증대를 위하여 분광반사측정 방법이나 보조 자료의 내용에 대한 표준화와 적합한 설계기준이 필요하다.

3. 국내에 적합한 분광라이브러리 설계

1) 분광반사자료 획득 방안

국내 실정에 적합한 분광라이브러리 구축에 있어서

가장 우선시 되어야 하는 것은 측정 대상의 설정이다. 국내에서 외국과 가장 차별되는 지피물은 식물인데, 국토 면적의 90% 이상이 산림과 농지에 해당하므로 국내에 분포하는 주요 수종과 작물의 분광반사값이 포함되어야 한다. 그리고 인공물의 경우 외국과 다른 재질이나 배합(혼합)기준을 갖고 있으므로 일부 인공물에 대해 국내 실정을 반영할 필요가 있다(김주원, 2002). 한국통계연감에 따르면 2006년 현재 남한의 토지이용면적 중 식생으로 포함할 수 있는 농경지, 임야, 과수원, 목장용지의 면적이 86%에 이르고 그 외의 용도지역에 존재하는 식생을 포함할 경우 국토면적의 약 90%가 식생으로 피복되어 있다고 할 수 있다(통계청, 2007). 또한 북한의 경우에도 이규성 등(2009)의 연구에 따르면 90년대 후반 환경부에서 제작한 토지피복도에서 식생으로 포함시킬 수 있는 산림, 농경지, 초지의 면적 비율이 95%를 차지하고 있다. 한반도의 주요 자생 수종은 활엽수의 경우 1996년 현재 참나무류, 서어나무, 산벚나무, 아까시나무, 물푸레나무, 밤나무, 오리나무, 층층나무, 단풍나무가 87%를 차지하고 있고 침엽수의 경우 소나무, 낙엽송, 리기다소나무, 잣나무가 98%를 차지하고 있다(산림청, 2009; 임업연구원, 1996). 농작물의 경우 벼가 81%로 가장 높은 비중을 차지하고 있으며 그 외 두류, 맥류, 서류(고구마, 감자), 잡곡의 순서로 나타났다(농림부, 2006).

암석이나 토양은 국내에서 지표면으로 노출된 경우가 드물고 기존 분광라이브러리에 거의 모든 종류의 분광반사자료가 포함되어 있으므로 이를 사용하여도 무방할 것으로 판단하였다. 특히 USGS와 JHU 분광라이브러리는 거의 모든 종류의 암석과 토양 그 외에도 다양한 물질의 분광반사자료를 보유하고 있기 때문에 이들 분광라이브러리 자료를 사용하는 것으로 결정하였다. 아래 Table 3은 본 연구에서 구축하고자 하는 분광라이브러리의 측정 대상물 구성과 자료 획득 방안을 보여주고 있는데, 인공물, 도로, 액체, 광물, 토양의 경우 USGS와 JHU 분광라이브러리 자료를 사용하고 일부 인공물과 도로, 식생의 경우 국내 실정에 맞도록 분광반사측정 대상을 설정하고 자료 획득 방안을 수립하였다. 기존 분광라이브러리 자료를 사용하는데 있어 암석과 토양 분류체계의 기준이 USGS의 경우 주요 성분이지만 JHU의 경우 암석의 생성방법(화성암, 퇴적암, 변성암)이르

로 호환성이 낮다. 따라서 본 연구에서는 성분을 기준으로 한 USGS 분광라이브러리 자료를 주로 사용하였다.

2) 분광라이브러리 설계

현존 분광라이브러리들은 표준화된 기준이 없기 때문에 분광라이브러리의 활용성과 확장성을 고려할 때 적합한 설계기준이 필요하다. 본 연구에서 구축한 분광라이브러리의 대상물은 USGS 분광라이브러리와 같은 4단계의 계층 구조로 분류하였는데, 그 이유는 기 구축된 분광라이브러리 및 현재 토지피복분류 체계와의 호환성, 사용의 편의성, 그리고 향후 확장성을 고려하기

위함이다. 또한 각 단계별로 두 자리 숫자 코드를 부여하여 각 분광반사자료와 보조파일은 동일한 총 8자리(8 byte) 숫자로 된 파일명을 부여하여 향후 검색 및 분광정합에 사용 시 속도를 향상하고자 하였다. 아래 Table 4는 4단계 계층구조에 의한 파일명을 부여한 예를 보여주고 있다.

분광반사측정값은 float type의 3개 열(column)로 구성되어 있으며 첫 번째 열은 nm 단위의 파장을 두 번째 열은 백분율(%) 단위의 평균 분광반사율을 그리고 세 번째 열은 평균 분광반사율의 표준편차를 나타냄으로써 평균한 자료의 질(quality)을 표현하도록 하였다.

Table 3. Structure of the proposed spectral library and strategy of data acquisition

분광라이브러리 구성	자료 획득 방안
인공물 (man-made)	국내 신규 측정, USGS / JHU 분광라이브러리 사용
도료 (coatings)	USGS 분광라이브러리 사용, (국내 도료 측정)
물/눈/얼음 (liquid)	USGS / JHU 분광라이브러리 사용
광물 (mineral)	USGS 분광라이브러리 사용
토양 (soil)	USGS 분광라이브러리 사용
식생 (vegetation)	국내 식생 신규 측정 (활엽수 10대 중, 침엽수 4대 중, 농작물 10대 중), USGS / 지질자원연구원 분광라이브러리 사용

Table 4. Hierarchical naming of each spectrum file of a target

계층명	Level 1(대분류)	Level 2(중분류)	Level 3(소분류)	Level 4(세분류)
속성 수준	Type	Class	Subclass	Material / Sample
파일명 (코드)	01	02	01	07
예시	Artificial	Road paving	Asphalt	Asphalt road, old, weathered, dark gray
파일명 (코드)	01	02	02	06
예시	Artificial	Road paving	Concrete	Concrete, old, weathered, gray
파일명 (코드)	06	01	01	52
예시	Vegetation	Tree	Deciduous	Oriental white oak (<i>Quercus aliena</i>) - Canopy, 20090423
파일명 (코드)	06	01	02	34
예시	Vegetation	Tree	Coniferous	Pitch pine (<i>Pinus rigida</i>) - Canopy, 20090522

Table 5. Primary information of metadata for each spectrum (Milton 등, 2009)

측정 위치	측정 사이트 / 표본 지점의 좌표, 고도
측정 위치의 정보	측정 사이트의 토지피복 또는 구성
표본 정보	표본의 상태, 표본지점 주변 상태, 상세정보
측정 시간 및 태양 기하	측정 시간의 태양 기하 및 태양 가림 여부
기상 자료	운량, 기온, 습도, 기압, 에어로졸 광학 두께 (AOT), 수증기량 등
측정 장비	측정장비 모델, 최근 검보정 일자, FOV, 분광해상도
측정 방법	측정거리, reference panel 종류
측정 조건	센서와 타겟의 각도(기하), 센서와 타겟 상단부와의 거리, 측정소요시간, reference panel 측정 후 타겟 측정까지 시간
측정 값	radiance, reflectance

분광라이브러리의 보조자료(description 또는 metadata) 형식은 현재 국제적 표준이 제시되지 않았기 때문에, Milton 등 (2009)이 장기간의 분광반사측정 경험을 통해 제시했던 분광라이브러리의 보조자료에 반드시 포함되어야 하는 항목을 기초로 구성하였다(Table 5). 본 연구에서 구축한 분광라이브러리의 보조자료는 Milton 등 (2009)이 제안한 항목을 기준으로 하였으며 기존 분광라이브러리의 보조파일의 내용을 설정한 기준에 맞도록 재구성하여 입력하였다. 여기에서 기존의 분광라이브러리를 사용할 때 그 보조자료의 내용이 정의된 보조자료의 항목에서 누락되어 있을 경우 공란으로 처리하였다.

4. 분광라이브러리 구축

1) 분광반사측정

국내 실정을 반영한 분광라이브러리의 항목으로 선정한 식생, 인공물 일부에 대하여 야외 및 실험실에서 분광반사측정을 실시하였다. 분광반사측정에 사용한 분광 반사 측정기 (spectro-radiometer)는 ASD FieldSpec-3으로 350~2500nm 구간에서 1nm 간격으로 분광반사율을 측정한다. 여기서 측정한 분광반사율은 백색 기준판을 이용하여 입사광량을 측정한 BRF이다.

야외 측정 시 FOV는 10° fiber-optic을 사용하였으며 오전 10시부터 오후 2시 사이에 측정을 실시하였다.

평균 분광반사율은 10~15회 측정의 평균값을 사용하였으며 이들의 표준편차를 분광반사자료에 함께 포함시켜 측정자료의 변이를 표현하였다. 측정과 동시에 샘플의 상태와 정확한 측정위치, 측정 시간, 기상조건, 측정 시기하조건 등의 Table 5에서 제시한 보조자료 항목을 측정하였다. 측정위치의 좌표는 GPS로 측정하였으며 기상자료는 Microtops II sunphotometer와 기상청의 시간별 관측자료를 사용하였다. Table 6은 신규 분광반사 측정을 실시한 인공물과 식물의 목록을 보여주고 있다. 인공물의 경우 야외측정을 실시하였고, 식물의 경우 국내 산림의 90% 이상을 점유하고 있는 주요 수종을 대상으로 측정하였으며, 작물의 경우 우선 벼, 옥수수, 잔디를 측정하였다. 식물의 측정은 잎과 수관의 야외 측정을 실시하고 그와 동시에 잎에 한하여 FieldSpec-3의 plant-probe를 사용하여 인공조명 하에서 측정하였다.

수목의 경우 잎과 수관의 분광반사곡선이 다른 형태로 나타나는데 이는 수관의 구조, 수관 내 그림자나 배경의 토양 그리고 하층식생에 의한 것으로 알려져 있다 (Van Der Meer와 De Jong, 2003). 특히 원격탐사 센서에서 획득되는 분광반사자료는 수관을 대상으로 하는 경우가 많으므로 수관층에 대한 분광반사자료 획득은 필수적이라고 할 수 있다. 수관층의 분광반사율은 Fig. 1과 같이 고공크레인을 이용하여 수관상단부와 센서의 거리가 약 20m인 상태에서 연직으로 측정하였으며 10° FOV bare-optic을 사용하였고 이러한 조건에서 FOV의 지름은 약 3.5m 이며 측정 시 태양의 고도각(sun zenith angle)은 55°~75° 이었다. 또한 식물은 생육주

Table 6. Newly measured spectral reflectance data

대분류	중분류	소분류	세분류
Man-made	Roofing	Metal roof	청색 샌드위치 판넬 지붕
		Concrete	녹색 방수페인트 칠해진 콘크리트 지붕
	Road paving	Asphalt	아스팔트도로 (오래되어 오염되고 짙은 회색)
		Concrete	콘크리트도로 (오래되어 오염되고 회색)
	Construction	Bricks	대리석 블록 (새 것, 오래된 것)
Vegetation	Tree	Deciduous	신갈나무, 굴참나무, 상수리나무, 졸참나무, 갈참나무, 산벚나무, 아까시나무, 물푸레나무, 밤나무, 오리나무, 층층나무 (잎/수관, 갈참나무 시계열)
		Coniferous	소나무, 낙엽송, 리기다소나무, 잣나무 (잎/수관, 리기다소나무 시계열)
	Herbaceous	Grass	잔디, 고사 잔디
	Crop	Rice	논 (시계열)
		Corn	옥수수 밭 (시계열)

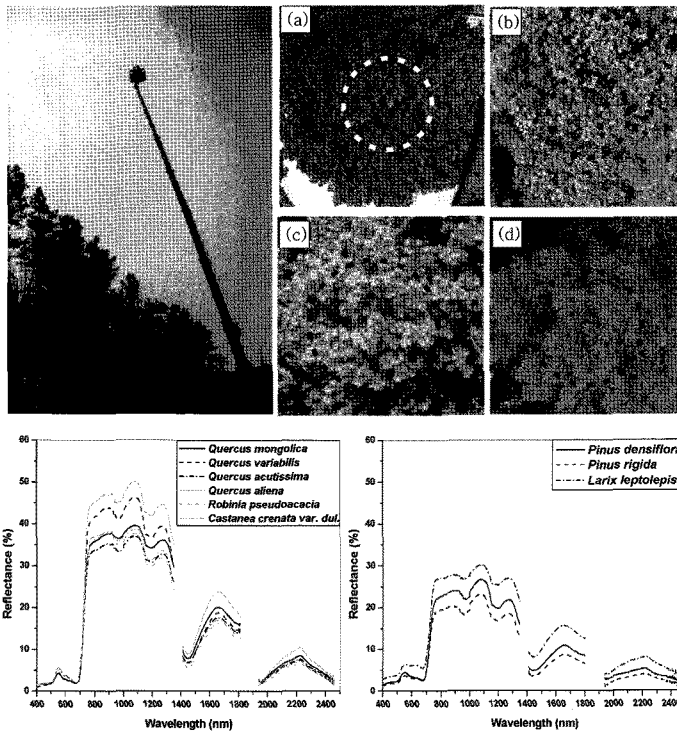


Fig. 1. Spectral measurement (2009. 6. 24.) of tree canopy and estimated FOV (red dot circle) of *Quercus mongolica* (a), *Quercus aliena* (b), *Pinus rigida* (c), and *Larix leptolepis* (d): top, spectra of various tree species: bottom.

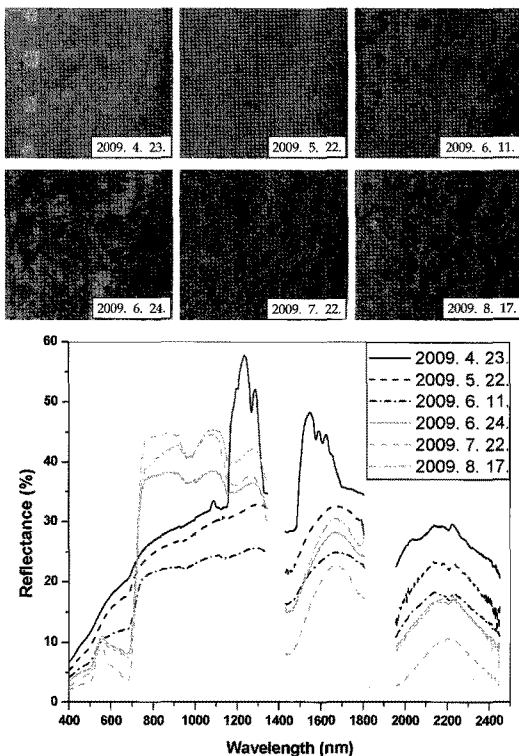


Fig. 2. Multi-temporal measurements of spectral reflectance over the corn field at different growing stage.

기에 따라 수관층의 분광반사율에 급격한 차이를 나타내므로, 갈참나무, 리기다소나무, 논, 옥수수과 같은 주요 식물에 대하여 2009년 4월부터 10월까지 연중 생육 주기에 따른 시계열 측정을 실시하였다. Fig. 2는 옥수수 밭의 시계열 연직사진과 시계열 분광반사곡선을 보여주고 있다. 현재까지 측정된 지표물 이외에도 주요 식물 및 인공물에 대하여 지속적인 분광반사측정을 실시하여 분광라이브러리에 보강해나갈 예정이다.

2) 분광라이브러리 구축 및 뷰어 제작

앞에서 언급한 설계를 기반으로 기존 분광라이브러리에 국내 신규 분광반사측정을 실시하고 분광반사자료의 속성인 보조 자료의 내용을 포함하여 국내 지표특성을 고려한 분광라이브러리를 구축하였다. 아래 Table 7은 구축한 분광라이브러리에 포함된 912개 지표물의 출처별 개수를 보여주고 있다.

각각의 분광반사자료와 보조자료는 앞에서 언급한 바와 같이 8byte의 동일한 파일명을 갖도록 저장하였으며 현재 특정 데이터베이스의 형태가 아닌 파일만으로

Table 7. Number of spectra by acquisition method

대분류	USGS 분광라이브러리	ASTER (JHU) 분광라이브러리	신규 측정	합 계
인공물	99개	35개	7개	141개
도료	12개			12개
액체	24개	8개		32개
광물	424개			424개
토양	110개			110개
식물	101개		92개	193개
합계	770개	43개	99개	912개

구성되어 있고 Microsoft Excel 포맷과 ASCII 포맷의 두 가지 파일포맷으로 저장되어 있다. 이들 개별 파일은 현재 상태에서 그대로 사용할 수도 있고 목적에 맞추어 특정 데이터베이스의 형태로 변환할 수도 있다.

분광라이브러리의 가시적 검색과 활용을 위해서 Visual C++ 6.0을 이용하여 아래 Fig. 3과 같이 뷰어를 제작하였다. 영상처리 S/W인 ENVI의 경우 기존 분광라이브러리를 내장하여 분광 분석에 활용할 수 있도록 하였으나 분광반사자료만 있고 보조 자료가 없어 자세한 속성을 알 수 없다. 따라서 본 연구에서는 분광라이브러

리의 계층적 구조에 따라 사용자가 세분류 항목을 선택하면 분광반사곡선과 보조파일의 내용을 동시에 보여주도록 하였다.

5. 요약 및 결론

본 연구에서는 국내 환경에 적합한 분광라이브러리를 구축하기 위하여 기 구축된 분광라이브러리들의 구축방법 및 속성정보에 대하여 분석하였으며 그 결과 표준화 된 측정 및 구축방법과 속성정보의 항목이 필요하다고 판단하였다. 또한 국내에 적합한 분광라이브러리를 구축하기 위하여 국내 고유의 지표물이라 할 수 있는 주요 식물과 인공물 99개 표본에 대하여 분광반사측정을 실시하였고, 그 밖의 다른 피부에 대해서는 기존 분광라이브러리 자료를 사용하였다. 분광반사자료의 파장 영역은 광학원격탐사에서 가장 많이 사용되는 0.4~2.5µm영역으로 설정하였고 평균 분광반사율의 표준편차를 표현하여 측정 자료의 변이를 파악할 수 있도록 하였다. 속성정보의 경우 Milton 등 (2009)이 제안한 항목을 국내 표준으로 제안하며 그에 맞추어 속성정보를 재구성하거나 신규 측정 및 조사를 실시하였다. 또한 구축한 분광라이브러리의 검색을 위해 분광라이브러리 뷰어를 제작하였으며 향후 영상 분류나 분광혼합분석 등에 분광라이브러리를 활용함으로써 구축한 분광라이브러리의 활용 가능성을 검증할 예정이다.

본 연구에서 제시한 분광라이브러리는 향후 국내 여러 연구자 및 기관에서 측정될 수 있는 분광반사측정의 기준을 제시했다고 할 수 있다. 이를 토대로 각 기관에서 측정된 분광반사자료를 함께 공유할 수 있는 체계를 제공할 수 있으며 더 나아가 다양한 분야에서 분광라이

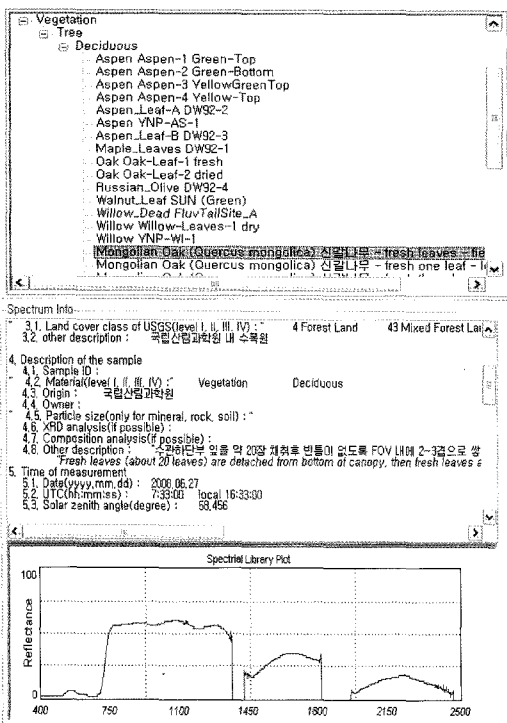


Fig. 3. Spectral library viewer developed for this study (Vegetation - Tree - Deciduous - field measured leaves of Quercus mongolica).

브러리의 활용도를 높일 수 있으리라 기대한다.

사 사

본 연구는 한국과학기술원 영상정보특화연구센터를 통한 방위사업청과 국방과학연구소의 연구비 지원으로 수행되었습니다(계약번호 UD100006CD).

참고문헌

- 김주원, 2002. 간추린 아스팔트 혼합물의 역사. 토지개발기술, 15(1): 7-24.
- 농림부, 2006. 농림통계연보.
- 산림청, 2009. 임업통계연보. 제 39호.
- 이규성, 윤여상, 김선화, 신정일, 윤정숙, 강성진, 2009. 한반도 토지이용 및 토지피복 모니터링을 위한 현안 분석. 대한원격탐사학회지, 25(1): 71-83.
- 임업연구원, 1996. 활엽수자원조사보고서: 전국총괄. 임업연구원 연구자료, 제122호.
- 지광훈, 이성순, 이홍진, 2007. 지표피복물 분광정보 라이브러리 - 암석 · 식생 · 인공구조물. 한국지질자원연구원 공공원격탐사 지상센터.
- 통계청, 2007. 한국통계연감. 제54호.
- Baldridge, A. M., S. J. Hook, C. I. Grove, and G. Rivera, 2009. The ASTER spectral library version 2.0. *Remote Sensing of Environment*, 113(4): 711-715.
- Clark, R. N., G. A. Swayze, A. J. Gallagher, T. V. V. King, and W. M. Calvin, 1993. The U. S. Geological Survey, Digital spectral library: version 1 (0.2 to 3.0 μ m). U.S. Geological Survey, Open file report, 93-592, http://speclab.cr.usgs.gov/spectral.lib04/clark1993/spectral_lib.html.
- DiGregorio, B. E., 2003. The planetary shared sample library - A new tool for planetary science. *Spectroscopy*, 18(3): 32.
- Drake, N. A., S. Mackin, and J. J. Settle, 1999. Mapping vegetation, soils, and geology in semiarid shrublands using spectral matching and mixture modeling of SWIR AVIRIS imagery. *Remote Sensing of Environment*, 68(1): 12-25.
- Franke, J., D. A. Roberts, K. Halligan, and G. Menz, 2009. Hierarchical multiple endmember spectral mixture analysis (MESMA) of hyperspectral imagery for urban environments. *Remote Sensing of Environment*, 113(8): 1712-1723.
- Grebenyuk, N. N. and Blank, A. B., 2001. Method of eliminating systematic errors of atomic absorption analysis in atomization of a material in a graphite furnace. *Journal of Applied Spectroscopy*, 68(5): 859-861.
- Heiden, U., K. Segl, S. Roessner, and H. Kaufmann, 2007. Determination of robust spectral features for identification of urban surface materials in hyperspectral remote sensing data. *Remote Sensing of Environment*, 111(4): 537-552.
- Howari, F. M., 2003. Comparison of spectral matching algorithms for identifying natural salt crusts. *Journal of Applied Spectroscopy*, 70(5): 782-787.
- Kokaly, R. F., D. G. Despain, R. N. Clark, and K. E. Livo, 2003. Mapping vegetation in Yellowstone National Park using spectral feature analysis of AVIRIS data. *Remote Sensing of Environment*, 84(3): 437-456.
- Kruse, F. A., A. B. Lefkoff, J. W. Boardman, K. B. Heidebrecht, A. T. Shapiro, P. J. Barloon, and A. F. H. Goetz, 1993. The spectral image processing system (SIPS) - Interactive visualization and analysis of imaging spectrometer data. *Remote Sensing of Environment*, 44(2-3): 145-163.
- Lillesand, T. M. and Kiefer, R. W., 1994. *Remote sensing and image interpretation*, Third edition.

- John Wiley & Sons, New York, pp. 12-17.
- Lowry, S., Wieboldt, D., Dalrymple, D., Jasinevicius, R., and Downs R. T., 2009. The use of a Raman spectral database of minerals for the rapid verification of semiprecious gemstones. *Spectroscopy*, 24(5): 52-60.
- Meston, S. K. T., 2004. Far-infrared spectroscopy helps defend against threat of terrorism. *Spectroscopy*, 19(1): 66.
- Milton, E. J., M. E. Schaepman, K. Anderson, M. Kneubuhler, and N. Fox, 2009. Progress in field spectroscopy. *Remote Sensing of Environment*, 113(S1): S92-S109.
- Powell, R. L., D. A. Roberts, P. E. Dennison, and L. L. Hess, 2007. Sub-pixel mapping of urban land cover using multiple endmember spectral mixture analysis: Manaus, Brazil. *Remote Sensing of Environment*, 106(2): 256-267.
- Rivard, B., J. Feng, A. Gallie, and A. Sanchez-Azofeifa, 2008. Continuous wavelets for the improved use of spectral libraries and hyperspectral data. *Remote Sensing of Environment*, 112(6): 2850-2862.
- Schaepman-Strub, G., Schaepman, M. E., Painter, T. H., Dangel, S., and Martonchik, J. V., 2006. Reflectance quantities in optical remote sensing - definitions and case studies. *Remote Sensing of Environment*, 103(1): 27-42.
- Shepherd, K. D. and M. G. Walsh, 2002. Development of reflectance spectral libraries for characterization of soil properties. *Soil Science Society of America Journal*, 66: 988-998.
- Swain, P. H. and S. M. Davis, 1978. *Remote Sensing: The Quantitative Approach*, McGraw-Hill Inc., U.S.A.
- Van Der Meer, F. D. and S. M. De Jong, 2003. *Imaging spectrometry - Basic principles and prospective application*. Kluwer academic publishers, Dordrecht, The Neherlands.
- ASU spectral library, <http://speclib.asu.edu/>
- ICRAF spectral library, <http://gcmd.nasa.gov/KeywordSearch/Metadata.do?Portal=GCMD&KeywordPath=&NumericId=15023&MetadataView=Brief&MetadataType=0&lbnode=mdlb2>
- Johns Hopkins university spectral library, http://speclib.jpl.nasa.gov/documents/jhu_desc