

도시지역의 수문학적 토지피복 분류를 위한 초분광영상의 분광혼합분석

신정일 · 김선화 · 윤정숙 · 김태근 · 이규성[†]

인하대학교 지리정보공학과

Spectral Mixture Analysis Using Hyperspectral Image for Hydrological Land Cover Classification in Urban Area

Jung-Il Shin, Sun-Hwa Kim, Jung-Suk Yoon, Tae-Geun Kim, and Kyu-Sung Lee[†]

Department of Geoinformatic Engineering, Inha University

Abstract : Satellite images have been used to obtain land cover information that is one of important factors for hydrological analysis over a large area. In urban area, more detailed land cover data are often required for hydrological analysis because of the relatively complex land cover types. The number of land cover classes that can be classified with traditional multispectral data is usually less than the ones required by most hydrological uses. In this study, we present the capabilities of hyperspectral data (Hyperion) for the classification of hydrological land cover types in urban area. To obtain 17 classes of urban land cover defined by the USDA SCS, spectral mixture analysis was applied using eight endmembers representing both impervious and pervious surfaces. Fractional values from the spectral mixture analysis were then reclassified into 17 cover types according to the ratio of impervious and pervious materials. The classification accuracy was then assessed by aerial photo interpretation over 10 sample plots.

Key Words : Hyperspectral sensing, spectral mixture analysis, hydrological land cover classification, Hyperion.

요약 : 넓은 면적의 유역에 대한 홍수유출모형 및 수문분석에서 중요한 인자로 이용되는 토지피복 정보를 얻기 위하여 인공위성 영상이 많이 활용되고 있다. 도시지역과 같이 다양한 형태의 토지피복이 혼재하는 공간에서는 보다 세분화된 토지피복 정보가 필요하나, 기존의 다중분광영상을 이용한 수문학적 토지피복분류에는 한계가 있다. 이 연구에서는 초분광영상을 이용하여 도시지역의 수문학적 토지피복 분류에 있어서 기존의 다중분광영상 보다 분류등급을 세분화하고 분류정확도를 향상시킬 수 있는 가능성을 밝히고자 한다. 미국 농무부 토양보전국(USDA SCS)의 도시지역 수문학적 토지피복분류를 목표로 서울지역의 Hyperion 영상을 분석하였다. 도시지역의 피복특성을 감안하여 투수성 및 불투수성 표면특성을 대표하는 8개의 endmember를 선정하여 분광혼합분석을 수행하였다. 분광혼합분석 결과 얻어진 각 endmember의 점유비율을 조합하여 17개 등급의 수문학적 토지피복도를 제작하였다. 분광혼합분석을 적용하여 얻어진 토지피복도의 정확도를 10곳의 표본점에 대한 항공사진 판독 결과를 통하여 검정한 결과, 미국 농무부에서 제시한 수문학적 토지피복등급이 비교적 정확하게 분류되었다.

2006년 5월 4일 접수 ; 2006년 12월 22일 수리.

[†] 교신저자: 이규성(ksung@inha.ac.kr)

1. 서론

홍수유출모형 및 수문분석에서 토지피복 정보는 매우 중요한 인자이며, 대부분의 수문모형에서 필수적인 매개변수의 하나로 취급된다. 넓은 면적의 유역에서 토지피복의 공간적 분포 자료를 비교적 정확하고 효율적으로 획득하기 위한 수단으로 원격탐사 영상자료가 널리 사용되어 왔다(Shultz,1988; Engman과 Gurney, 1991; 이규성, 1998a). 특히 산림 및 농지와 같이 비교적 토지피복 등급이 단순하고 각 토지피복형의 단위면적이 넓은 경우에는 위성영상을 이용한 토지피복도 제작이 매우 효과적일 수 있다. 그러나 도시지역과 같이 토지피복 구성상태가 복잡하고 각 토지피복형의 단위면적이 작을 경우에는 세분화된 수문학적 토지피복 정보의 획득이 곤란할 수 있다. 수문학적 토지피복분류는 지표면의 특수성에 기반을 둔 분류시스템이므로 포장상태 및 식물의 피복률 등이 매우 중요한 기준이 된다.

국내에서도 위성영상을 이용하여 미국 농무부 토양보전국(United State Department of Agriculture Soil Conservation Services - USDA SCS)의 강우유출모형을 위한 토지피복분류가 시도되어 왔다. Landsat MSS자료를 이용한 기초적인 수문학적 토지피복분류(조성익 등, 1986)부터 최근 환경부 토지피복도의 분류 결과를 이용한 시도까지(조홍제 등, 2001; 배덕효 등, 2004), 위성영상을 이용하여 미국 농무부의 강우유출계수(curve number-CN) 산정에 필요한 수문학적 토지피복분류가 꾸준히 연구되었다. 그러나 아직까지 국내에 적합한 수문학적 토지피복 등급체계가 개발되어 있지 않은 실정이며 이에 관한 연구 또한 미흡하고 강우-유출 모델에 적용 가능한 토지피복도 제작에 어려움이 따르고 있다. 이규성 등(1998b)은 Landsat-TM영상과 JERS-OPS영상을 이용하여 서로 다른 수문학적 토지피복 분류결과를 강우유출모형에 적용한 결과, 세분화된 토지피복분류 결과를 적용하였을 때 보다 정확한 유출량 산정이 가능함을 밝혔다. 또한 위성영상에서 추출되는 토지피복도의 분류정확도가 높을수록 강우유출모형에 의한 추정값의 오차가 낮아지는 결과가 발표되었다(박상영 등, 2002). 최근에는 공간해상도가 다른 두 종류의 영상(ETM+와 SPOT-5)으로 토지피복 분류결과를 강우유출 모형에 적용하였으나, 공간해상도에

따른 SCS-CN값의 변화는 나타나지 않았다(장은미 등, 2004). 이와 같이 국내에서 시도된 수문학적 토지피복 분류에서는 토지피복등급이 6~10개 정도로 비교적 단순한 등급에 불과하여 미국 농무부 유출모형에서 제시된 다양한 종류의 토지피복등급을 감안하면 제한된 분류등급이라 할 수 있다.

도시지역의 토지피복 형태는 산림과 농지로 구성된 유역과 달리 토지피복 형태가 매우 복잡하고 불투수성 토지피복이 상당 부분 차지하고 있다. 도시지역의 불투수성 토지피복 특성에 따라 강우에 따른 침투 유출이 증가되고 도달 시간이 단축됨에 따라 침수피해가 빈번하게 된다. 도시지역의 수문학적 토지피복분류는 결국 투수성에 따라 결정되어 진다고 할 수 있으나, 중해상도 다중분광영상을 이용한 전통적인 토지피복분류 방법을 통하여 투수성에 따른 수문학적 등급분류를 얻기에는 한계가 있다. Wu(2004)는 전통적인 토지피복분류 방법에서 벗어나 ETM+ 영상을 이용한 분광혼합분석(spectral mixture analysis) 방법을 이용하여 도시지역의 투수성에 따른 토지피복 분류를 시행하였다. 비교적 공간해상도가 낮은 ETM+ 영상을 사용할 경우 하나의 화소공간(IFOV) 내에 두 종류 이상의 피복이 존재할 수 있으며 도시지역에서는 이러한 혼합화소의 빈도가 더 높다고 할 수 있다. 결과적으로 이러한 혼합화소들을 적절히 해석하기 위해서는 분광혼합분석이 적합한 방법이 될 수 있으나, 다중분광영상이 가지고 있는 분광정보의 한계(밴드수와 밴드폭)를 벗어나기 어렵다.

파장폭이 좁은 밴드수가 많은 초분광영상(hyperspectral image)은 다중분광영상의 한계인 분광해상도를 극복하여 보다 세분화된 토지피복분류가 가능한 대안으로 제시되고 있다(Van Der Meer 등, 2004; 김선화 등, 2005). 이미 Ben-Dor 등(2001)은 초분광영상을 이용하여 이스라엘 도시지역을 대상으로 도로의 포장재질, 건물재질, 지붕의 색과 재질에 따라 29개 등급의 상세한 토지피복분류를 시도하였다. Herold 등(2004)은 미국 도시지역을 대상으로 항공기 탑재 초분광영상인 AVIRIS 영상을 이용하여 도로 포장상태에 따른 26개의 피복등급을 분류하였고 동시에 다중분광영상도 초분광영상과 같은 처리방법을 적용하여 다중분광영상의 도로 포장재질에 따른 분류에 적용의 한계성을 지적하였다.

본 연구의 목적은 초분광영상을 이용하여 도시지역의 수문학적 토지피복도 제작하는 방법을 제시하고자 한다. 현재 위성탐재 초분광영상은 아직 실험적인 단계로 공급이 매우 제한되어 있으나, 지난 15년 동안 항공기탐재 초분광영상을 이용하여 축적된 다양한 연구결과를 통하여 기존의 다중분광영상의 한계를 극복할 수 있는 잠재력을 보여주고 있다. 비록 공간해상도는 ETM+ 영상과 비슷하지만, 초분광영상의 높은 분광해상도를 이용하는 분류방법을 적용한다면 불투수 면적 비율에 따라 구분되는 도시지역의 수문학적 토지피복분류에 적용될 수 있는 가능성을 밝히고자 한다.

2. 연구 방법

1) 연구지역 및 자료

연구지역은 서울특별시 강서구와 양천구 일대로 6×7km²의 면적이며 도시의 주요 피복인 아스팔트나 콘크리트뿐만 아니라 산림과 논, 수역 등 다양한 토지피복으로 구성된 지역이다(Fig. 1). 또한 고속도로나 공항과 같이 영상에서 판별하기 쉬운 대규모의 인공지표물이 분



Fig. 1. Hyperion image of the study area with ten sample plots for the accuracy assessment.

포하고 있다는 장점이 있어 상대적으로 공간해상도가 낮은 위성 초분광영상을 이용한 분광혼합분석의 적용이 용이하다고 판단되었다.

연구에 사용된 초분광영상은 미국 NASA의 EO-1 위성에 탑재된 Hyperion 영상으로 약 400nm부터 2,500nm의 파장영역에 걸쳐 모두 242개의 연속밴드로 구성되어 있으며 공간해상도는 30m이다. 본 연구에서는 2001년 6월 3일에 촬영된 연구지역의 Hyperion 영상을 사용하였다. Hyperion 영상은 실험단계의 초분광영상으로 항공초분광영상에 비하여 복사왜곡 현상이 심하고 신호대잡음비(signal-to-noise ratio)가 낮다. Hyperion 영상에서 나타나는 이상픽셀 라인을 Goodenough 등(2003)의 연구에서 제시된 좌우 픽셀의 평균값을 이용하는 방법으로 보정하는 전처리를 실시하였다. 242개 밴드 Hyperion 영상에서 디텍터의 이상으로 신호값이 잡히지 않는 밴드를 우선 제거했고, 노이즈(noise)가 심하거나 대기흡수 파장영역(1,400nm, 1,900nm) 주변에 걸쳐있는 밴드들을 제거한 후 비교적 영상신호가 양호하다고 판단되는 124개 밴드만을 사용하였다. 분류정확도를 검증하기 위한 참조자료로는 2001년 11월에 촬영한 1:10,000의 축척의 항공사진을 사용하였다. Hyperion 영상과 항공사진의 촬영시기가 일치하지 않지만 도시의 피복이 계절에 따라 크게 변화하지 않기 때문에 정확도검증의 자료로 사용하기에 적합하다고 판단되었다.

2) 도시지역의 수문학적 토지피복 등급 설정

미 농무부 토양보전국(USDA SCS)에서는 미국 전역을 대상으로 유역의 토지피복상태와 토양특성에 따라 총강우량으로부터 유출량을 추정하는 유출곡선(curve number-CN)법을 개발하였다(윤태훈, 1997). USDA SCS 토지피복 분류체계는 다양한 수문모델에서 입력인자로 널리 사용되고 있으며 논지, 산림, 초원, 도시지역을 포함하여 약 80여개의 수문학적 토지피복등급으로 나누어져 있다. 본 연구에서 적용하고자 하는 도시지역의 경우 크게 개발완료 지역과 개발 중인 지역으로 나누어 모두 18개의 토지피복등급으로 구분되어 있다(Table 1). 도시지역의 수문학적 토지피복분류는 결국 투수성에 따라 결정되는 데, 투수성은 콘크리트 및 지붕과 같은 불투수성 물질, 식물, 그리고 나지의 비율에 따라 결정

Table 1. USDA SCS hydrological land cover types for urban area (USDA NRSC, 1989).

Cover type and hydrologic condition		Average % of impervious area
Fully developed urban areas (vegetation established)	Open space (lawns, parks, golf courses, cemeteries, etc.): - Poor condition (grass cover < 50%) - Fair condition (grass cover 50% to 75%) - Good condition (grass cover > 75%)	
	Impervious areas: - Paved parking lots, roofs, driveways, etc.	
	Streets and roads: - Paved; curbs and storm sewers (excluding right-of-way) - Paved; open ditches (including right-of-way) - Gravel (including right-of-way) - Dirt (including right-of-way)	
	Western desert urban areas:	
	Urban districts: - Commercial and business - Industrial	85 72
	Residential districts by average lot size: - 1/8 acre or less (town houses) - 1/4acre - 1/3acre - 1/2acre - 1 acre - 2 acres	65 38 30 25 20 12
Developing urban areas	- Newly graded areas (pervious areas only, no vegetation) - Idle lands	

한다고 할 수 있다.

본 연구에서는 도시지역 토지피복 분류를 위하여 분광혼합분석 방법을 적용하여 각 화소에서 투수성 피복과 불투수성 피복의 점유비율(fraction)을 산출한 뒤 이를 재조합하여 최종적인 수문학적 토지피복도를 얻고자 하였다. 따라서 분광혼합분석의 대상은 투수성 피복(초본류, 수목, 나지)과 불투수성 피복(콘크리트, 아스팔트, 지붕)을 기준으로 수행하였다.

3) 분광혼합분석에 의한 피복 분류

광학영상에서 각 화소값은 단일 해상공간을 점유하고 있는 하나 이상의 순수피복형(endmember)에서 반사된 에너지의 혼합으로 볼 수 있다. 분광혼합분석(spectral mixture analysis)은 해상공간을 구성하는 각 endmember의 분광반사값을 알고 있을 때 각 endmember의 점유비율을 해석하는 기법이다. 선형분광혼합분석은 endmember간의 분광반사에서 상호작용(interaction)이 없다는 가정 하에 실시된다. 선형 분광혼합분석의 일반화 된 수식은 아래 식 (1)과 같다.

$$P_i = \sum_{j=1}^k (R_{ij} \cdot F_j) + E_i \quad (1)$$

P_i = Spectral reflectance of a mixed pixel at band i
 R_{ij} = Reflectance of j endmember at band i
 F_j = Fraction of j endmember
 E_i = Residual error

즉, 초분광영상에 기록된 각 화소의 신호값 P 와 각 endmember의 반사신호 R 을 알고 있으면, 화소를 점유하고 있는 endmember의 비율을 구할 수 있게 된다. 초분광영상의 분광혼합분석 과정은 크게 세 단계로 볼 수 있다(Keshava and Mustard, 2002; 김선화 외, 2005). 첫째로 영상의 노이즈를 제거하고 수많은 밴드에 걸쳐있는 분광정보를 압축하는 과정으로 주성분분석(principal component analysis)이나 MNF (minimum noise fraction)변환과 같은 기법들이 주로 사용된다. 두 번째로 영상의 혼합화소에 포함되는 각 endmember의 종류와 분광반사도를 정의하는 과정으로 가장 중요한 단계이며, 마지막으로 위의 식을 통하여 화소마다 각 endmember의 점유율(fraction)을 구하는 과정이다. 분광혼합분석을 실시하기 전에 먼저 화소값(DN)으로

부터 분광반사율로 변환하기 위한 대기보정을 실시하였다. 초분광영상의 대기보정은 촬영시점의 대기자료(수증기 농도)를 영상으로부터 직접 추정된 뒤 이를 복사전달모델(MODTRAN)에 적용하여 지표반사율을 산출하였다. 도시지역의 수문학적 토지피복 등급에 포함되지 않는 수역과 논을 무감독 분류를 통해 제거한 후 분광혼합분석을 적용하였다.

혼합화소를 분해하기 위해서는 먼저 j 개의 endmember를 선정하고, 각 endmember의 분광반사값 R_{ij} 를 얻어야 한다. Endmember의 분광반사값을 얻는 방법은 현장에서 분광측정기(spectrometer)를 이용하여 직접 측정하거나 기존에 측정된 값을 이용하는 방법과, 영상에서 다른 지표물과 혼합되지 않고 비교적 순수한 상태로 추정되는 화소들을 선정하여 영상으로부터 직접 그 지표물의 분광반사값을 얻는 방법이 있다(이지민 등, 2003). 후자의 방법은 각 endmember가 다른 지표물과 혼합되지 않고 순수하게 분포되어 있는지를 확인하는 추가적이 절차가 필요하다. 밴드 수가 많은 초분광영상에서 이 방법을 적용하기 위해서는 무수히 많은 조합의 산포도(scatter plot)를 판독해야 하는 어려움이 있다. 따라서 영상에서 endmember를 선정하기 위해서는 먼저 여러 개 밴드의 영상을 소수의 밴드로 압축하는 과정이 먼저 수행되어야 한다. Hyperion 영상의 많은 밴드에 걸쳐있는 분광정보를 압축하기 위하여 MNF(minimum noise fraction)변환 기법을 사용하였다. MNF 변환 기법은 초분광영상의 압축과 노이즈제거를 위해 주성분분석(PCA)의 단점을 보완한 기법으로 밴드별 노이즈의 분산(variance)을 계산한 후 이를 기준으로 하여 노이즈 효과가 제거된 밴드별 고유의 분산을 최대화하는 방향으로 변환된다(김선화 외, 2005). MNF 변환된 4개의 밴드를 이용하여 그려지는 산포도의 가장 자리에 위치하는 화소들을 각 endmember로 선정하였다. Figure 2는 최종적으로 얻어진 아스팔트, 콘크리트, 청색지붕, 녹색지붕, 적색지붕, 나지, 산림, 초지의 8개 endmember의 분광반사곡선을 보여주고 있다.

분광혼합분석의 결과는 각 화소마다 8개 endmember의 점유비율을 나타내는 영상(fraction maps)이다. 각 endmember의 점유비율을 적절히 조정하여 수문학적 토지피복으로 재분류하였다(Table 2). 먼저 식물이 있는 개방지역(open space)은 USDA SCS

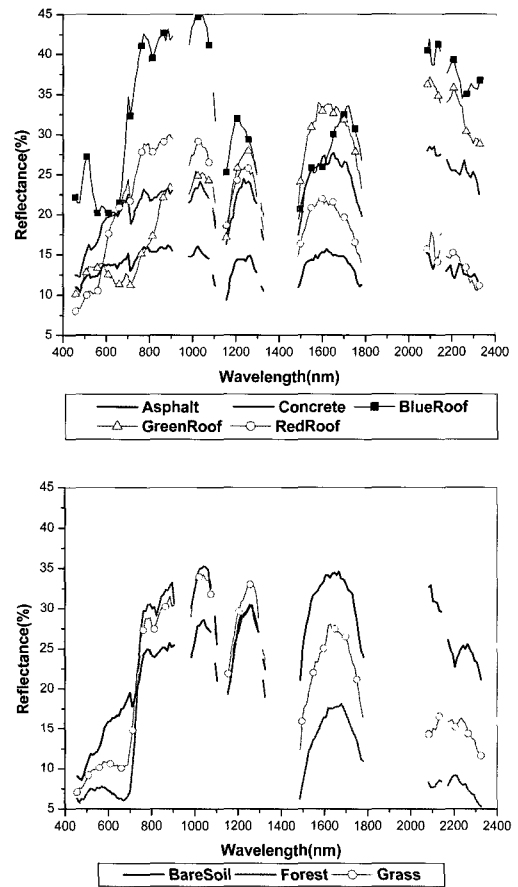


Fig. 2. Reflectance spectra of endmembers obtained from the Hyperion image.

Table 2. Recategorization of fraction values obtained from the spectral mixture analysis for the generation of USDA SCS land cover class in urban area.

SCS LC class	Threshold level of endmember fraction
Open space - Poor	Grass < 50% and Soil 50%
Open space - Fair	50 Grass < 75% and 25 Soil < 75%
Open space - Good	Grass 75% and Soil < 25%
Roofs	Roof(each color) 75%
Paved streets	Asphalt 75% or Concrete 75%
Commercial	over 85% impervious endmembers
Industrial	72-84% impervious endmembers
Residential 1/8 acre	65-71% impervious endmembers
Residential 1/4 acre	38-64% impervious endmembers
Residential 1/3 acre	30-37% impervious endmembers
Residential 1/2 acre	25-29% impervious endmembers
Residential 1 acre	20-24% impervious endmembers
Residential 2 acre	12-19% impervious endmembers
Developing urban	Bare Soil 75%
Woods - good	Forest 75%
Water	Water
Rice Paddy	Rice Paddy

기준 그대로 식물과 나지의 혼합비율 임계치를 그대로 적용하였다. 다만, 사막지표나 도로와 같이 국내에 존재하지 않거나 영상에서 분광특성만으로 판별이 불가능한 항목은 제외하였다. 불투수표면 비율이 임계치로 사용되는 등급의 경우 불투수 endmember의 비율을 합하여 등급을 결정하였고 피복율이 제시되지 않은 단일등급의 경우 Good의 기준인 75%를 임계치로 사용하였다. 산림의 경우 SCS에서 제시하는 기준으로 봤을 때 국내의 산림은 대부분이 Woods-good 등급에 해당되어 모든 산림을 Woods-good 한 등급으로 결정하였다. 또한 분광혼합분석 이전에 무감독분류로 제거하였던 논과 수역을 각각 한 등급으로 부여하여, 모두 17개의 토지피복 등급으로 구성된 수문학적 토지피복/이용도를 제작하였다.

3) 분류정확도 검증

토지피복 분류의 정확도 검증을 위해서 보통 기존의 토지피복도를 사용하거나 현지조사의 방법을 주로 사용하지만, 본 연구에서는 영상의 촬영시점과 연구시점의 시기적 차이에 따른 현지 검증의 어려움이 있고 신뢰성 있는 기존의 참조자료가 존재하지 않았다. 최종 분류된 도시지역의 수문학적 토지피복도의 정확도 검증을 위하여 동일지역의 항공사진을 이용하여 10개의 표본 지점을 선정하여 투수지와 불투수지로 구분하였다. 각 표본 지점마다 투수지와 불투수지의 판독결과를 디지털화(digitizing)한 후 분광혼합분석 결과와 비교하였다 (Figure 3). Hyperion영상의 분광혼합분석 결과에서 불투수면적의 비율은 각 픽셀마다 불투수 endmember

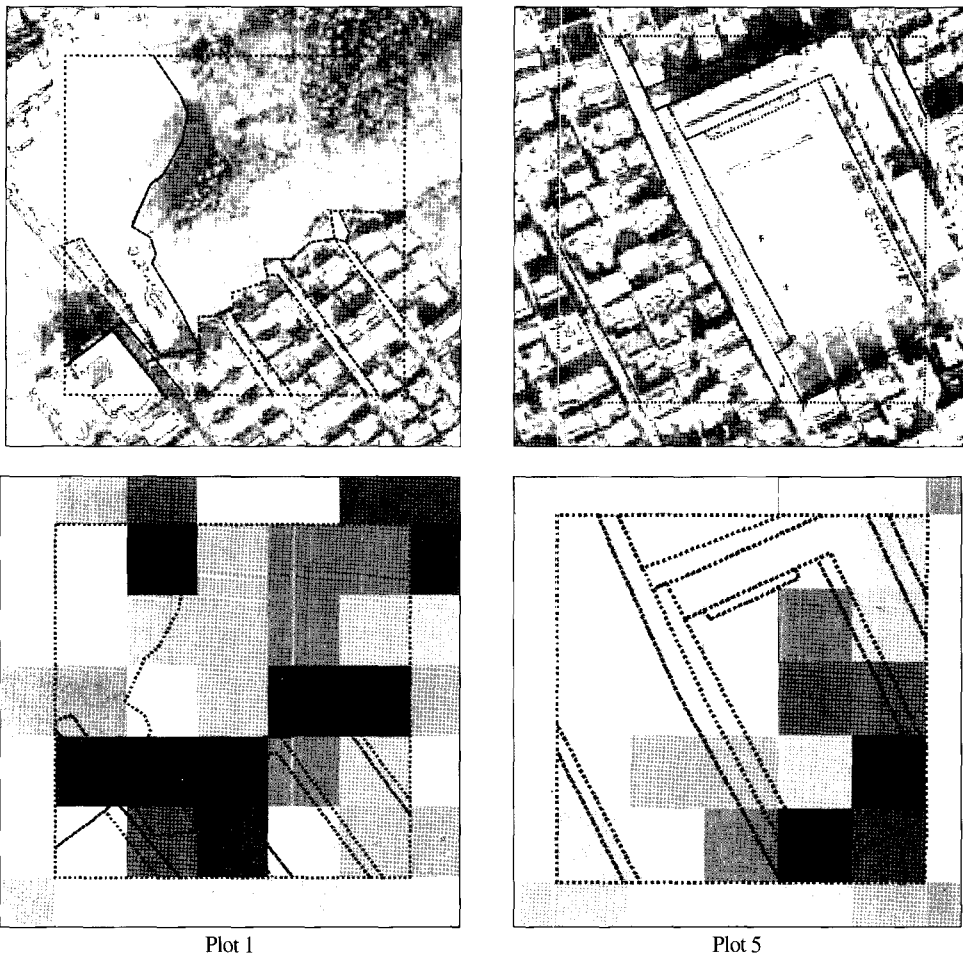


Fig. 3. Examples of aerial photo interpretation plot to delineate the impervious area (left) and corresponding fraction maps of impervious endmember (right) for the accuracy assessment.

의 함으로 0~1의 값을 갖는다. Hyperion 영상의 공간 해상도가 30m라는 점을 고려할 때 공간해상도가 높은 항공사진에서는 미세한 위치오차에도 불투수면적의 비율이 크게 변화한다(Wu, 2004). 이러한 특성을 고려하여 각 표본 지점의 크기는 $150 \times 150 \text{m}^2$ (5×5 pixels)로 결정하였고, 10개의 표본지점의 불투수 면적 비율이 40~96%로 고르게 분포되도록 선정하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 4는 분광혼합분석에 의하여 얻어진 8개의 endmember의 점유비율(fraction)을 보여주고 있다. 수역과 눈에 해당하는 지역은 분광혼합분석에서 제외를 하였기 때문에 임의의 값으로 처리되었다. 각 화소의 밝기값은 점유비와 비례하는 데, 가령 아스팔트 영상을 보면 주요 간선도로가 매우 밝게 나타나며 이는 곧 아스팔

트의 점유비가 다른 endmember의 점유비보다 높다는 것을 의미하기 때문이다. 반면에 산림, 나지, 초지의 경우 대부분 어둡게 나타나고 있는 것은 도시지역의 토지 피복 특성상 식물이나 나지가 분포가 매우 제한되어 있으며, 공원 등으로 제외한 대부분의 지역에서 점유비가 낮기 때문이라 할 수 있다.

Fig. 5는 Table 2에서 제시된 기준에 의하여 각 endmember의 점유비에 따라 재구성된 연구지역의 수문학적 토지피복도를 보여주고 있다. 한강지역과 눈을 제외하면 대부분의 화소는 불투수성 피복의 비율에 따라 피복등급의 변화가 심한 형태를 관찰할 수 있다. 또한 최종 제작된 토지피복도를 항공사진과 함께 비교 판독한 결과, 실제 토지피복과 다른 등급으로 분류되었음을 관찰할 수 있었다. 이는 도시지역의 주거형태나 토지 이용 상황이 미국과 다르기 때문에 나타난 현상이라 할 수 있으나, 강우유출 특성을 좌우하는 투수지와 불투수지의 비율 측면에서는 매우 유사한 결과를 나타내기 때

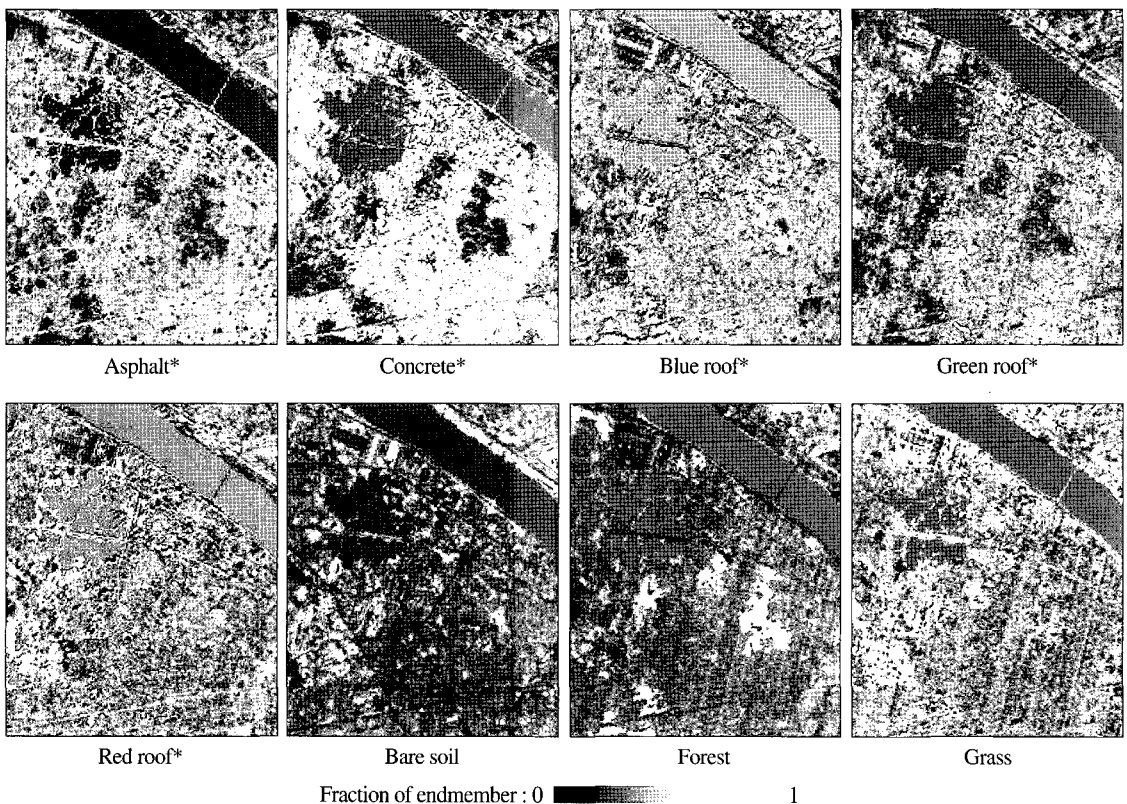


Fig. 4. Fraction images of each endmember obtained from the spectral mixture analysis (*impervious endmember).

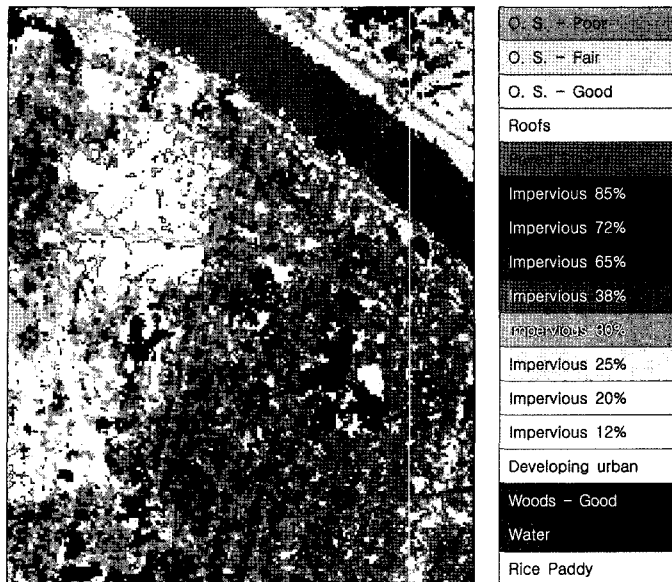


Fig. 5. Hydrological land cover map of the study area obtained by spectral mixture analysis of Hyperion image.

Table 3. Comparison between spectral mixture analysis (SMA) and photo interpretation (impervious fraction and error).

Plot	Impervious fraction		relative error (%)
	SMA	Aerial photo interpretation	
1	43.6	35.3	8.3
2	44.0	49.8	5.8
3	38.3	42.0	3.7
4	49.2	49.6	0.4
5	59.8	66.4	6.6
6	58.5	53.0	5.5
7	53.5	50.5	3.0
8	58.7	60.4	1.7
9	61.8	96.2	34.4
10	61.0	82.7	21.7

문에 수문학적 이용에는 큰 문제가 되지 않으리라 판단 된다. 예를 들면 다세대 주택이 밀집한 주거지역의 경우 불투수면적 비율이 매우 높기 때문에 USDA SCS 등급에서는 상업 및 업무지역(commercial and business)이나 공업지역(industrial)으로 분류되는 경우가 많았지만, 강우유출 특성은 크게 차이가 나지 않는다. 다만, 본 연구에서 얻어진 토지피복자료를 수문학적 목적에 적용 여부를 최종 판단하기 위해서는 추가적으로 강유-유출 모형에 적용하여 최종적인 검증 절차를 밟아야 할 필요

가 있다.

10개의 표본지점에 대하여 항공사진 판독결과와 분광혼합분석의 결과에서 나타나는 불투수면적의 비율을 비교한 결과는 Table 3과 같다. 불투수 면적 비율이 40~60%정도인 1번부터 8번 표본지는 초분광영상의 분류결과와 항공사진 판독 결과의 차이가 0.4~8.3%로 비교적 분류정확도가 높게 나타나고 있다. 30m 공간해상도를 갖는 Hyperion영상의 화소별 단위면적에 따른 구분을 감안한다면, 초분광영상의 분광혼합분석에 의하여 얻어진 불투수 면적의 비율이 매우 정확하게 분류되었음을 알 수 있다. 그러나, 불투수면적 비율이 높은 9-10번 표본 지점에서는 분류결과가 항공사진에서 얻은 값보다 각각 34.4%와 21.7% 낮게 나타나고 있다.

이와 같이 불투수면적 비율이 높은 표본지에서 분광혼합분석 결과가 항공사진 판독 결과에 비해 매우 낮게 나타나는 이유는 녹색과 적색지붕의 경우 가시광선과 근적외선 파장영역에서 식생이나 토양과 분광반사특성이 유사하게 나타나 불투수 endmember인 지붕이 투수 endmember인 산림, 초지, 나지의 비율로 포함되었다고 판단된다. 초분광영상에서 추출된 각 endmember의 분광반사곡선을 보면 녹색지붕, 적색지붕, 산림, 초지, 나지의 분광반사값이 가시광선과 근적외선영역에서 매우 유사한 패턴을 나타내는 것을 볼 수 있다. 즉 녹색지

붕은 초지 및 산림과 유사한 분광반사 특성을 보이고 있으며, 적색지붕은 나지와 유사한 분사반사 특성이기 때문에 분광혼합분석 과정에서 서로 혼란이 발생하였음을 볼 수 있다.

도시지역의 수문학적 토지피복 분류는 결국 피복의 투수성에 따라 결정된다고 할 수 있으며, 도시지역에서 볼 수 있는 다양한 종류의 피복형이 혼재된 혼합화소의 특성을 분석하기 위해서는 초분광영상이 적합한 원격탐사자료라 할 수 있다. 본 연구에서 시도된 Hyperion 영상을 이용한 분광혼합분석 결과 USDA SCS 도시지역 수문학적 토지피복 등급 중 17개의 등급을 분류할 수 있었다. 물론 다중분광영상을 이용하여 분광혼합분석을 실시할 수 있으나, 선형분광혼합 분석의 경우 endmember의 수는 영상의 밴드 수에 제한을 받으므로 피복형이 복잡한 도시지역에서 적용하기에는 적합하지 않다. 비록 8개의 endmember만을 적용하였으나 비교적 높은 분류 정확도를 얻을 수 있음을 보여주었고, 초분광영상의 밴드 수를 감안하면 향후 도시지역의 복잡한 피복형을 고려한 보다 다양한 endmember의 도입도 가능하다고 할 수 있다.

4. 결론

토지피복도는 강우유출 모형을 비롯한 다양한 목적의 물 관리 분야에서 활용되는 자료이다. 수문학적 토지피복도는 기존의 범용 토지피복도와 달리 지표의 투수성에 따라 세분하는 특징을 가지고 있기 때문에 기존의 다중분광영상에서 분류할 수 있는 등급은 한정되어 있다. 특히 도시지역의 경우 소규모 단위의 복잡한 토지피복형이 혼재되어 있는 까닭에 수문학적 토지피복 분류에 어려움이 많다. 본 연구에서는 현재 실험적으로 연구되고 있는 초분광영상을 이용하여 도시지역의 수문학적 토지피복분류를 실시한 결과, 미국 농무부에서 제시한 토지피복등급의 대부분을 비교적 정확하게 분류할 수 있었다. 초분광영상은 기존의 다중분광영상에서 얻을 수 없었던 다양한 피복형의 분광반사특성을 최대한 재현할 수 있는 영상자료로서 보다 복잡한 도시지역의 토지피복분류에 적합한 자료라 할 수 있다. 기존의 다중분광영상이 가지고 있는 도시지역의 토지피복분류의 한계

를 극복할 수 있는 초분광영상의 잠재력을 확인할 수 있었으며, 이러한 자료를 적극 활용할 수 있는 우리나라 지역에 적합한 수문학적 토지피복분류체계의 개발이 필요하다.

분광혼합분석 방법은 endmember 선정 및 endmember의 분광반사값 추출 방법에 따라 분류결과가 다양하게 나타날 수 있다. 본 연구에서는 사용된 초분광영상인 Hyperion의 경우 영상의 상대적 신호대잡음비가 낮고 또한 공간해상도의 한계 때문에 현지측정에 얻어진 분광반사값이나 이미 구축된 분광라이브러리(spectral library)를 이용하는 데 어려움이 많으나, 초분광영상의 질이 개선된다면 보다 적극 수용할 수 있는 방법이라 할 수 있다. 향후 공급이 확대될 전망이다 초분광영상 활용을 위한 다양한 분야의 연구가 활발히 수행되고 있는 현황을 감안하여 우리나라에서도 이를 적극 수용할 수 있는 기반연구가 필요한 시점이라 할 수 있다.

참고문헌

- 김선화, 이규성, 마정립, 국민정, 2005. 초분광원격탐사의 특성, 처리기법 및 활용현황, 대한원격탐사학회지, 21(4): 341-369.
- 박상영, 하성룡, 박대회, 2002. 위성영상의 분류정확도가 도시 강우-유출 모형의 예측 정도에 미치는 영향, 한국지리정보학회, 5(2): 16-24.
- 배덕효, 이병주, 정일원, 2004. 위성영상 피복분류에 대한 CN값 산정, 한국수자원학회 논문집, 36(6): 985-998.
- 윤태훈, 1997. 응용수문학, 청문각
- 이규성, 1998a. 수문학 및 수자원 관리를 위한 원격탐사 기술, 한국수자원학회지, 31(1): 58-69.
- 이규성, 1998b. 위성자료를 이용한 미계측 특정지역의 하천재해 분석을 위한 기초연구, 행정자치부 국립방재연구소 연구보고서 97-07.
- 이지민, 이규성, 2003. 분광혼합분석 기법에 의한 산림 피복 정보의 특성 분석, 대한원격탐사학회지, 19(6): 411-419.
- 장은미, 정인균, 2004. 공간해상도에 따른 유역평균 SCS-CN값 변화에 관한 연구, 대한원격탐사학회

- 회지, 20(6): 361-368.
- 조성익, 박경운, 최규홍, 최원식, 1986. Landsat 영상과 DTM자료의 하천유역 해석에의 응용기법 개발. 대한원격탐사학회지, 2(2): 117-131.
- 조홍제, 김광섭, 이충희. 2001. Landsat 영상을 이용한 CN값 산정에 관한 연구, 한국수자원학회 논문집, 34(6): 735-743.
- Ben-Dor, E., N. Levin, and H. Saaroni, 2001. A spectral based recognition of the urban environment using the visible and near infrared spectral region, A case study over Tel Aviv, Israel, *International Journal of Remote Sensing*, 22(11): 2193-2218.
- Engman, E. T. and R. J. Gurney, 1991. *Remote Sensing in Hydrology*, University Press, Cambridge, Great Britain, 225p.
- Goodenough, D. G., A. Dyk, K. O. Niemann, J. S. Pearlman, H. Chen, T. Han, M. Murdoch, and C. West, 2003. Processing Hyperion and ALI for forest classification, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41(6): 1321-1331.
- Herold, M., D. A. Roberts, M. E. Gardner, and P. E. Dennison, 2004. Spectrometry for urban area remote sensing-development and analysis of a spectral library from 350 to 2400nm, *Remote Sensing of Environment*, 91: 304-319.
- Keshava, N., and J. F. Mustard, 2002. Spectral Unmixing, *IEEE Signal Processing Magazine*, 19(1): 44-57.
- Schultz, G. A., 1988. Remote Sensing in Hydrology, *Journal of Hydrology*, 100: 239-265.
- USDA NRCS, 1989. SCS Engineering Field Handbook Chapter 2. Estimating Runoff and Peak Discharges, (<http://www.info.usda.gov/CED/>)
- Van Der Meer F. D. and De Jong Steven M., 2004. *Imaging Spectrometry*, Kluwer Academic Publisher.
- Wu, C., 2004. Normalized spectral mixture analysis for monitoring urban composition using ETM+ imagery, *Remote Sensing of Environment*, 93(4): 480-492.