분광각매퍼 기법을 적용한 항공기 탑재 초분광영상의 소규모 녹지공간 탐지

김태우¹ · 최돈정¹ · 위광재² · 서용철^{1*}

Detection of Small Green Space in an Urban Area Using Airborne Hyperspectral Imagery and Spectral Angle Mapper

Tae-Woo KIM¹ · Don-Jeong CHOI¹ · Gwang-Jae WE² · Yong-Cheol SUH^{1*}

요 약

도시녹지는 열섬현상을 감소시키고 여가나 휴식 공간으로 활용되는 등 도시민의 삶의 질을 향상시키는 중요한 역할을 하는 도시 기반시설이다. 그러나 양적인 개발효율에 치중한 관행으로 도시녹지의 체계적인 관리가 미흡했던 것이 사실이다. 녹지총량제와 같은 보존을 위한 제도적 틀은 갖추어 가고 있지만, 정확한 녹지량을 산정하는 기술적 측면은 상대적으로 보완할 여지가 크다. 최근 들어 원격탐사를 이용한 녹지나 도시 기반시설의 정량적 탐지를 수행한 다양한 연구들이 수행되었다. 그러나 기존 연구들이 활용한 자료의 공간 해상도를 고려하였을 때 도시 내에 무수히 존재하는 소규모 녹지공간의 탐지가 효과적으로 되었다고 보기 힘들다. 이러한 맥락에서 본 연구에서는 초분광 영상(CASI-1500)을 활용한 도시 내 소규모 녹지에 대한 정량적 탐지를 수행하였다. 이를 위해 식생지수를 산출하여 소규모 녹지공간의 탐지 여부를 검토한 뒤, ISODATA와 SAM 기법을 적용한 감독분류, 무감독분류를 통해서 각 방법들이 소규모 녹지공간 탐지에 적절한지 비교하였다. 미분류, 불투수성, 녹지로 의심되는 영역, 녹지의 4개의 피복으로 분류하여 SAM 기법에 사용된 참조스펙트럼의 차이를 비교하였다.

주요어 : 항공기 탑재 초분광 영상, 도시 소규모 녹지 공간, 분광각매퍼, 식생지수

ABSTRACT

Urban green space is one of most important aspects of urban infrastructure for

2013년 3월 5일 접수 Received on March 5, 2013 / 2013년 5월 6일 수정 Revised on May 6, 2013 / 2013년 5월 16일 심사완료 Accepted on May 16, 2013

1 부경대학교 공간정보시스템공학과 Dept. of Spatial Information Engineering, Pukyong National University

2 ㈜지오스토리 Geostory Inc.

* Corresponding Author E-mail : suh@pknu.ac.kr

improving the quality of life of city dwellers as it reduces the heat island effect and is used for recreation and relaxation. However, no systematic management of urban green space has been introduced in Korea as past practices focused on efficient development. A way to calculate the amount of green space needed to complement an urban area must be developed to preserve urban green space and to determine 'regulations determining the total amount of greenery'. In recent years, various studies have quantified urban green space and infrastructure using remotely sensed data. However, it is difficult to detect a myriad small green spaces in a city effectively when considering the spatial resolution of the data used in existing research. In this paper, we quantified small urban green spaces using CASI-1500 hyperspectral imagery. We calculated MCARI, a vegetation index for hyperspectral imagery, to evaluate the greenness of small green spaces. In addition, we applied image-classification methods, including the ISODATA algorithm and Spectral Angle Mapper, to detect small green spaces using supervised and unsupervised classifications. This could be used to categorize land-cover into four classes: unclassified, impervious, suspected green, and vegetation green.

KEYWORDS : *Airborne Hyperspectral Imagery, Urban Small Green Space, Spectral Angle Mapper, Vegetation Index*

서론

도시녹지는 광의(廣義)의 개념으로 인위적인 수단에 의하거나 자연적으로 각종 식물에 의해 녹화된 공간을 의미한다. 이러한 녹지는 소규모로 조성된 개인적인 녹지공간을 비롯하여 공공녹지, 자연녹지 등 다양한 형태로 존재한다(An, 2001). 또한 법규상의 도시공원이나 녹지뿐만 아니라 하천, 산림, 농경지까지 포함한 오픈스페이스(open space) 또는 녹화된 공간 전체(Kim, 1994)를 의미하기도 하고, 식물이 자랄 수 있는 토양을 가진 도시 내의 지역으로서 건물이 채워지지 않은 모든 토지와 물(Kim and Kim, 1992)을 포함하기도 한다.

도시녹지는 다양한 기능을 가진다. 가로수와 공원녹지는 커다란 시각적 영향력을 갖고 있어 도시림을 통하여 콘크리트 구조물이 주는 회색빛을 시각적으로 분산시키고 녹색의

안정감이 확보됨으로써 도시 이미지가 향상된다(Lee, 2008). Jeong(2002)은 도시 오픈스페이스 기능에 대해 화재의 방지 및 완화 공해의 방지 및 완화, 미기후 조절, 삶의 질 개선 등으로 요약하였다. 특히 미기후 조절기능은 도시 녹피율 향상에 의한 도시기후(특히 열환경) 영향을 시뮬레이션을 통해 정량적으로 예측, 평가하고자 하는 등(Park, 2011) 도시 열섬현상과 관련하여 다양하게 연구되고 있다(Park, 1999; Kwon, 2001; Kim *et al.*, 2004; Jo *et al.*, 2009; Lee *et al.*, 2010).

이러한 도시녹지의 정량적인 관리를 위해 일정면적의 녹지를 의무적으로 확보하도록 하는 녹지보전지역의 하한선을 규정하는 '녹지총량제'¹⁾와 같은 제도가 마련된 바 있다. 또한 도시공간의 자연환경을 평가하고 국토계획의 기초자료로 활용하기 위해 녹피율과 같은 여러 녹지관련 지표들이 마련되었다. 식물피복지의 양을 평가하는 기준이 되는 녹피율은 도시전체의 면적에 대하여 하늘에서 볼 때,

나무와 풀 등 녹지로 피복된 면적의 비율로 수관투영면적의 비율을 말한다. Um(2006)은 녹피율의 총량규제과정에서 필요한 공간객체를 산림녹지, 시가화녹지, 농경지, 나대지, 수공간, 개발지역 등으로 Landsat TM 영상을 이용하여 분류하였다. Park(2009)는 안산시의 5개 근린공원을 대상으로 도시공원의 식재공간을 경관, 녹음, 완충, 생태 기능공간으로 나누어 각 기능을 평가하고 각 기능의 항목에서 녹피율을 평가지표로 활용하여 도시근린공원의 식재기능 평가지표 개발의 항목으로 활용하였다. Moon(2009)에 따르면 녹피율을 산정하는 방법은 사례로 확인할 수 있는데, 위성영상의 구적을 이용하는 방법과 중분류 토지피복도를 이용하는 방법이 있다. 고해상도 위성영상을 활용하여 녹피로 식별되는 지역을 디지털이징하고 이 면적을 통해 녹피면적을 구적하여 산정하는 방법과 중분류 토지피복도가 가지는 23개 항목 중 녹피와 관련된 항목의 분류코드의 면적을 추적하여 녹피율로 산정하는 방법이 있다. Moon(2009)은 토지피복도와 수치지형도를 참고하여 녹피율을 산정하는 방법을 제안하였다. 이외에도 식생지수를 활용하는 원격탐사를 이용한 방법은 여러 저자들을 통해서 확인되었다(Park, 1995; Song and Kim, 1997; Hwang *et al.*, 2005). 원격탐사 자료와 녹피율을 이용하여 도시녹지의 총량을 관리하는 정량적 근거를 마련하고자 하는 기존 연구들의 취지는 도시계획의 관점에서 그 의미가 매우 높다고 할 수 있다.

도시의 공간 특성은 근린주구(residential neighborhood)개념의 확산으로 점차 미시적인 패러다임을 추구하고 있다. 이는 과거의 거시적 개발에 따른 삶의 질이 아니라 커뮤니티 공간 단위에서부터 보장되는 삶의 질로써 변모해가고 있다는 뜻으로 이해할 수 있다. 녹지의 측면에서 이러한 변화는 지역 단위의 녹지 외에, 근린생활권의 녹지 또한 관리의

필요성이 증대될 것이라 판단된다.

그러나 기존 연구들이 채택한 자료의 공간 해상도와 피복분류의 공간적 범위를 고려하면, 도시녹지를 구성하는 소규모 녹지공간은 녹피율 산정에서 필연적으로 고려되지 못할 가능성이 매우 크다. 1:1,000 수치지형도를 통해서 가로수를 반영할 수 있겠지만, 최근 대두되고 있는 옥상녹화와 주차장 녹화, 육교 녹화 등 녹화사업을 통한 녹지공간은 여전히 녹피율 산정에서 제외될 수 있다. 또한 기존의 고해상도 CIR(Color InfraRed) 항공영상의 육안판독으로는 도심지 내에서 녹화된 옥상이나, 녹색페인트로 칠해진 것과 실제 식생이 있는 녹지를 구분하기가 힘들다. 초분광 영상은 이러한 한계점을 보완할 수 있는 자료로써 그 활용가치가 매우 높다. 이러한 맥락에서 본 연구는 공간해상도가 높은 항공기탑재 초분광 영상을 이용함으로써 소규모 녹지공간을 탐지하는 것을 목표로 한다.

연구대상지역 및 자료

사용된 영상은 약 1,500m 고도에서 CASI-1500 센서로 취득되어, 368.8nm에서 약 7.2nm간격으로 1041.0nm까지 48개의 밴드를 가지며, 0.75m의 공간해상도를 가진다. 초분광영상은 2010년 10월 28일 오전에 촬영된 것으로 (쥬지오스토리로부터 방사보정과 기하보정(모자이크 포함)된 영상을 제공받았다. 아래 그림 1은 연구대상지역인 부산시 수영구 광안2동의 true color와 false color composite 이미지이다. 대상지역은 남쪽으로 광안해수욕장(수변공원)을 포함하고 북쪽으로는 황령산을 두고 있고 그 사이에 주택가가 밀집하고 있다. 가로수 등의 연결녹지의 역할이 중요한 지역으로 소규모 녹지를 활용하여 녹지의 연결성을 강화할 필요가 있는 지역이다.

FIGURE 1. Study area color composite images

(a) True color composite(R640.9nm, G655.2nm, B555.1nm) (b) False color composite(R855.2nm, G655.2nm, B555.1nm)

연구 방법

고해상도의 항공기 탑재 초분광 영상을 처리하고 분석하기 위해서 ENVI 4.8 프로그램을 이용하였고, 영상자료와 GIS자료의 좌표를 맞추기 위하여 ArcGIS 10.1 프로그램을 사용하였다. 소규모 녹지의 탐지를 위해서 우선 식생지수를 계산하고 감도분류와 무감도분류를 적용하였다. 수많은 식생지수들 중에서 항공기탑재 초분광 영상에 적용하기에 비교적 적합하다고 판단되는 MCARI(Modified Chlorophyll Absorption in Reflectance Index)를 적용하였다(Zarco-Tejada *et al.*, 2004; Kim *et al.*, 2012). 감도분류는 수치 지도를 이용해 얻은 훈련자료를 이용하여 SAM(Spectral Angle Mapper; 분광각매핑) 기법을 적용하고, MNF(Minimum Noise Fraction; 최소잡음비율) 변환과 다차원 산포도를 통해 얻은 endmember를 이용하였다. 무감도분류는 ISODATA알고리즘을 적용하였다. 이들 분석 결과를 검토하여 도시 내 소규모 녹지공간의 분포를 확인하였다(그림 2).

FIGURE 2. Work flow

1. 전처리 및 훈련자료

대기보정은 FLAASH(Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes) 모듈을 이용하였다. FLAASH에 사용된 대기모델은 U.S Standard로, 현장에서 정확한 수증기량을 관측하지 않았기 때문에, 대상지역의 10월, 11월 평균기온인 약 17℃에 가장 근접하는 조건을 가진 모델이다(U.S Standard의 경우 표면 대기온도 15℃). 수증기 탐색 채널은 820nm로 770~870nm범위에서 영상 내에 포함된 수증기 양을 탐색하도록 설정하였다. 낮은 고도로 비행하여 촬영된 영상 전반에 걸친 양반성반사분포(bidirectional reflectance distribution) 효과를 반영하지 못하였으나 태양광에 의해 과하게 밝거나 직접적인 반사로 인한 이상치를 제거하기 위해서 Anomaly detection 모듈의 RXD-UTD(hybrid method of Reed-Xiaoli Detector and Uniform Target Detector) 알고리즘을 이용하여 대상지역 전체에 대해 영상의 배경부와 분광학적으로 구분되는 이상치 탐지를 실시하여 1,204픽셀(2,072,888픽셀 중 0.0581%)을 탐지하였다. 대부분의 이상치는 일부 차량과 건물지붕(옥상) 등에서의 강한 반사로 확인되어 분석대상에서 제외하였다.

소규모 녹지공간을 탐지하는데 있어서 오분

류 가능성이 있는 높은 대상을 포함하여 분류 기준을 설정하였다. 옥상이나 건물 지붕 색이 녹색인 경우와 최근 도시건강성을 위해 확산되고 있는 녹색페인트의 산책로가 될 수 있다. 따라서 분류항목은 식생이 존재하는 녹지영역, 도심지를 구성하는 아스팔트와 시멘트 등의 불투수성영역, 식생이 존재하지 않는 녹색을 띠는 건물옥상이나 인조운동장(녹색코트) 등 녹지로 의심되는 영역, 그리고 나머지 미분류 영역으로 고려하였다.

감독분류를 위한 훈련자료로 1K, 5K 수치 지도를 활용하였다. 5K 수치지도에서 건물, 도로 및 경계 레이어를 추출하였고, 1K 수치 지도는 가로수와 경관(조경수) 데이터가 포함되어 있어 소규모 녹지공간을 탐지하는데 도움이 될 것이라 판단되어 이들 레이어를 추출하였다. 하지만 개인녹지 공간과 주차장 녹화, 옥상 녹화 등은 포함되지 않기 때문에 훈련지역을 선택할 때 주의를 요한다. 훈련영역은 영상과 지도를 중첩하여 시각적으로 확연히 확인가능한 도로, 가로수, 조경수, 녹색 지붕, 빨간 지붕, 회색 지붕(옥상), 바다로 지정하였고, 다음 표 1과 같이 분류하였다.

TABLE 1. The spectral classes for image classification

Classes	Training	Images
green space	street trees landscape trees	street trees forest
suspected green space	building green roof	building green roof artificial turf green paint
impervious	road building roof (blue, red, grey)	road building roof (blue, red, grey)
unclassified	ocean	sand bare land shadow ocean

2. 식생지수

식물은 건강하고 활기가 있을 때에 가시광선 파장대역의 550nm 부근 녹색광선 파장대

역에 특징적인 피크(peak)가 나타난다. 즉 광합성 작용을 위해 태양광선을 선별적으로 흡수하고 필요하지 않은 파장대역의 광선은 반사하게 된다(Hwang *et al.*, 2005). 또한 700~1150nm의 근적외선 파장대역에서 강한 반사를 보여주지만 건강상태가 좋지 않은 식생은 근적외선의 반사가 크게 떨어짐과 동시에 Red-edge라 불리는 약 690nm에서 700nm 부근의 적색광선 파장대역에서 반사가 높아진다. Hwang *et al.*(2005)에 따르면 녹색식생의 반사특성은 500~600nm에서 약간 높은 반사를, 600~700nm에서는 반사가 거의 없으며, 700~3000nm에서는 50% 이상의 높은 반사율을 가진다. 이러한 클로로필에 의한 반사특성과 관련하여 식생지수들은 구조적 지표와 클로로필 지표로 구분된다(Zarco-Tejada *et al.*, 2004). 본 연구에서 사용한 식생지수 MCARI는 다양한 비광합성 물질들에 의해 발생하는 radiation의 가변성(광합성 활동에 의해 발생)을 감소시키기 위해 1994년에 설계된 CARI(Chlorophyll Absorption Ratio Index)를 개량한(modified) 것이다. CARI는 광합성 색소의 최소 흡수에 대응하는 밴드 550nm와 700nm 중심 파장과 클로로필a의 최대흡수 밴드인 670nm 주변 파장을 결합하여 사용한다(Daughtry *et al.*, 2000).

3. Endmembers

다중분광 영상에서 영상의 고유값을 이용해 영상이 가지는 주성분을 이용하는 분석이 수많은 밴드를 가지는 초분광 자료 처리에도 사용된다. 특히 분광데이터 양을 축소하여 공간적으로 일관성이 높은 데이터 차원으로 변환하는 MNF방법이 주로 사용된다. MNF변환은 endmember 산정 시에도 매우 유용하게 사용된다. 축소할 밴드의 개수를 정하는 기준은 연구자마다, 데이터 특성마다 다를 수 있어서 본 연구에서는 약 81.21% 이상 공간적 일관성을 갖도록 48개 분광 데이터 차원을 13개 차원으로 축소시켰다. MNF 변환된 데이터에

서 endmember를 추출하기 위해서 기하학적 단위지표물 산정방법인 다차원-산포도(Lee and Lee, 2003)를 적용할 수 있다. 이 산포도의 끝에 분포하는 픽셀들을 endmember로 결정할 수 있다. 산포도의 중간에 위치하는 픽셀들은 다양한 분광정보들이 혼합된 화소이다(Kim *et al.*, 2012). 초분광 영상 자체를 이용하여 단위지표물을 얻는 방법으로 분광 라이브러리를 이용하는 것보다 더욱 정확하게 순수 픽셀을 구할 수 있는 장점이 있다.

4. SAM(분광각매퍼)

SAM은 대기보정된 픽셀을 이용해 이들과 참조스펙트럼과 동일한 n차원에서 비교한다. 여기서 참조스펙트럼은 현장에서 혹은 실험실에서 측정하고 수집한 분광복사계에 의한 값이거나, endmembers 값이 될 수 있다. 수치지도로부터 추출한 훈련자료를 참조스펙트럼으로 사용하였다. SAM은 n차원에서 훈련데이터(r)와 초분광 영상 픽셀 측정벡터(t) 사이의 각도(α)를 비교하여 가장 작은 각도를 만들어내는 훈련자료 클래스에 이 값을 할당한다. 단순히 2차원으로 본다면, 미지의 물질 t 가 물질 k 의 스펙트럼보다 참조스펙트럼 r 에 보다 더 유사한 스펙트럼을 가지고 있음을 보여준다. 즉, r 과 t 사이의 라디안 각도가 더 작다는 것이다. 이를 수식으로 나타내면 다음 식 (1)과 같다(Jensen, 2005).

$$\alpha = \cos^{-1} \left(\frac{\sum_{i=1}^n t_i r_i}{\left(\sum_{i=1}^n t_i^2 \right)^{\frac{1}{2}} \left(\sum_{i=1}^n r_i^2 \right)^{\frac{1}{2}}} \right) \quad (1)$$

SAM 결과는 라디안 각도를 임계값으로 두어 분류된 이미지를 생성한다. 임계각이 낮으면 훈련자료와 매치되는 픽셀이 적을 수 있지만 각이 작은 만큼 훈련자료와 더욱 잘 일치

한다고 볼 수 있다. 임계값이 높으면 공간적으로 일관성 있는 이미지가 나타날 수 있지만 중첩되는 픽셀은 낮은 임계값을 했을 때보다 훈련자료와 잘 일치하지 않을 수도 있다.

연구 결과

1. 식생지수 산출

본 연구에서는 다양한 식생지수들 중 국내 산림과 사용된 CASI-1500 센서특성과 상관성이 높은(Kim *et al.*, 2012) 클로로필 지표에 속하는 MCARI를 식생지수 산출을 위해 선택하였다. 식 (2)는 MCARI의 단순화된 산출식이다(Daughtry *et al.*, 2000; Zarco-Tejada *et al.*, 2004)

$$MCARI = \frac{[(R_{700} - R_{670}) - (0.2 \times (R_{700} - R_{550}))]}{(R_{700} / R_{670})} \quad (2)$$

여기서 R_{700} 은 700nm에서의 반사도를 의미한다. 즉 700nm 파장대를 사용한다는 것이다. CASI-1500 센서에서 밴드중심대역이 가장 근접한 700nm는 698.1nm를, 670nm는 669.5nm를 550nm는 555.1nm를 선택하였다. 그림 3은 산출된 MCARI 결과이다. 하지만 식생뿐만 아니라 건물일부 지붕에서 높은 값이 나타남을 확인할 수 있었다.

2. ISODATA를 이용한 무감독분류

영상분류에 있어서 전통적인 방법으로 ISODATA(Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique) 알고리즘을 이용한 무감독분류를 실시하였다. 분류기준은 불투수성 영역(건물과 도로), 녹지 영역(어두운 식생부터 밝은 식생), 그림자 영역, 그리고 모래와 버스 지붕 등 밝은 반사를 가지는 나지 영역과 미분류 영역이다. 그림 4는 ISODATA 분류결과이다.

FIGURE 3. Calculated MCARI imagery

FIGURE 4. ISODATA

3. 수치지도를 이용한 SAM

그림 5는 수치지도를 훈련자료로 사용한 분광각매퍼(이후 SAM1)의 결과이다. 임계각이 낮을수록 미분류로 지정된 그림자 영역이 불투수성지역으로 편입되는 것이 보인다. 또 미분류(특히 그림자)에 가려진 녹지가 탐지됨을 확인할 수 있다. 앞서 설명하였듯이 임계각이 낮은 만큼 훈련자료와 잘 일치하지만 공간적 일관성이 낮아질 수 있기 때문에, 낮은 임계각으로 공간적 일관성을 함께 유지하는 임계

각을 결정할 필요가 있다. 표 2는 SAM1의 임계각별 결과를 비교한 것이다. 수치지도에서 추출한 훈련자료 중 녹지로 의심되는 영역은 영상과 중첩한 후 녹색을 띄는 건물옥상을 기준으로 하였기 때문에, 옥상에 식생이 존재할 경우 녹지로 판별될 수 있다. 따라서 녹지로 의심되는 영역의 비율이 수렴하는 0.8° 를 임계각으로 결정하였다.

FIGURE 5. SAM1 results in different thresholds

TABLE 2. Classes ratio in different thresholds (%)

SAM1	Unclassified	Impervious	Suspected green space	Green space
0.1°	79.39	18.43	0.49	1.69
0.2°	62.28	32.64	2.52	2.55
0.3°	55.40	38.86	3.00	2.74
0.4°	51.54	42.41	3.20	2.85
0.5°	49.05	44.76	3.27	2.92
0.6°	47.41	46.32	3.29	2.98
0.7°	46.33	47.34	3.30	3.03
0.8°	45.63	48.00	3.31	3.06
0.9°	45.18	48.43	3.31	3.09

4. Endmembers를 이용한 SAM

수치지도를 이용한 SAM에서 임계각을 결정하였지만 수치지도에서 추출한 훈련자료와 endmember는 명확히 다른 특성을 가지기 때문에 동일한 임계각을 사용할 수 없다. endmember의 분광반사정보를 얻을 수 있지만 각 endmember가 어떤 물질을 의미하는지 단정하기 어렵기 때문이다. 그림 6은 추출한 14개의 endmember들 중 영상에서 확인가능한 녹지의 분광 프로파일과 유사한 3개의 endmember들의 그래프이다. 영상의 칼라 조합과 분광 프로파일을 통해 14개의 endmember를 5개의 분류(모래가 포함된 나지 포함)로 구분하였다.

FIGURE 6. Spectral profiles of 3 endmembers with similar vegetation(sample) spectral profile

Endmember를 이용한 SAM(이후 SAM2) 또한 SAM1과 마찬가지로 낮은 임계각으로 공간적 일관성을 함께 유지하는 임계각을 결정하기 위하여 임계각에 따른 결과를 비교할 필요가 있다. 그림 7에서 검은색 부분은 건물에 의한 그림자이고 임계각이 커질수록 그 내부에 녹지가 탐지되는 것을 확인할 수 있었다. 녹지로 의심되는 영역과 녹지의 분포비율은 표 3에 제시하였다. 본 연구에서는 녹지의 탐지를 목적으로 하기 때문에, 불투수성지역과 밝은 반사를 가지는 나지영역보다는 녹지와, 녹지로 추정되는 녹지로 의심되는 영역의 비

율에 초점을 두어 값이 일정 비율로 수렴하기 시작하는 0.7° 을 임계각으로 결정하였다.

5. 녹지 탐지 결과 비교

분류된 영상들은 각각 녹지의 양이 다르기 때문에 어느 분석방법을 적용하는 것이 올바르게 소규모 녹지를 탐지할 수 있는지 판단해야 한다. 우선 ISODATA 분류결과와 식생지수 MCARI를 이용해 탐지한 결과를 검토하였다. 그림 8은 RGB 컬러조합에 ISODATA 분류 결과 중 녹지영역을 중첩한 이미지로, 폴리곤으로 표시된 부분은 건물지붕이 녹지로 잘못 분류된 영역이다. MCARI 역시 밝은 영역이 식생이 높은 영역이지만 명확한 건물지붕에서 높은 식생지수값이 분포하는 것을 볼 수 있다. MCARI가 초분광 영상에 비교적 적절한 식생지수라고 판단하였으나, 원격탐사 센서의 차이와 식생지수 산출을 위한 밴드선택이 다르기 때문으로 (Kim *et al.*, 2012) 사

FIGURE 7. SAM2 results with different thresholds

TABLE 3. Classes ratio in different thresholds(%)

SAM2	Unclassified	Impervious	Suspected green space	Green space	Bare land
0.1°	85.16	7.29	0.63	1.34	5.58
0.2°	61.12	24.92	1.89	2.44	9.62
0.3°	54.16	31.48	2.01	2.60	9.75
0.4°	71.49	13.77	2.29	2.68	9.77
0.5°	49.74	35.46	2.30	2.73	9.77
0.6°	48.64	35.51	3.31	2.76	9.77
0.7°	47.99	37.95	1.50	2.78	9.77
0.8°	47.60	38.33	1.50	2.80	9.77
0.9°	47.60	38.01	1.50	2.80	9.77

FIGURE 8. Misclassified to green class

6. SAM 결과의 분류정확도

각각 다른 참조스펙트럼(수치지도를 이용해 얻은 훈련자료와 endmember)으로 감독분류된 2개의 SAM 결과를 상대적으로 비교하기 위해 오차행렬을 생성하였다(표 4). 이에 SAM2의 분류기준인 나지 영역을 불투수성지역으로 재분류하여 분류기준을 맞추었다.

TABLE 4. Confusion matrix of SAM1 and SAM2

	class	SAM1					C.E
		0	1	2	3	Total	
SAM2	0	945794	0	0	0	945794	0
	1	48427	940436	6206	0	995069	5.49
	2	45	43597	24730	141 ^(A)	68513	63.90
	3	587 ^(B)	5231 ^(C)	107 ^(D)	57587	63512	9.33
	Total	994853	989264	31043	57728	2072888	0
	O.E	4.93	4.94	20.34	0.24		

Overall Accuracy = 1968547/2072888 = 94.97%

Kappa Coefficient = 0.9086

SAM1 : Reference spectrum is the digital maps
 SAM2 : Reference spectrum is the endmembers
 0.unclassified, 1.impervious, 2.suspected green space,
 3.green space
 O.E=Omission Error(%) C.E=Commission Error(%)

오차행렬 결과는 SAM 분석을 통해 녹지로 의심되는 영역으로 판단되는 픽셀들을 검토하는데 유용하다. 위의 표 4에서 (A)(B)(C)(D)로 표시된 부분은 식생이 아닌 녹색에 의해 분류될 가능성이 있는 픽셀 집합이다. 구체적으로는 SAM1-SAM2에서 녹지이지만 녹지로 의심되는 영역으로 (A)그룹, SAM2-SAM1에서 녹지로 판단되지만 미분류된 (B)그룹, 불투수성으로 판단된 (C)그룹, 녹지로 의심되는 영역으로 판단된 (D)그룹이다. (A)그룹은 SAM1의 녹지분류에서 SAM2의 녹지로 의심되는 영역과 중첩하는 영상으로 얻을 수 있다. 나머지 그룹 역시 같은 방법으로 계산하였다. 그림 9는 RGB 영상을 강조하여 중첩한 것으로 ABCD그룹 모두 식생이지만 그림자로 인해 결과가 달라짐을 확인할 수 있다. 즉 SAM 분석 기법에서 사용하는 참조 스펙트럼에 대하여, MNF변환으로 축소한 밴드에서 추출한 endmember일 경우, 참조스펙트럼이 수치지도를 중첩하여 식생이 분명하다고 판단되는 훈련데이터를 참조 스펙트럼으로 설정한 것 보다 그림자의 영향을 더 많이 받는 것으로 판단된다.

FIGURE 9. Overlap each suspected green groups with the RGB color origin images

7. 도시 내 소규모 녹지 분포

식생지수를 이용한 결과는 그림자 영역 안에서도 가로수의 탐지가 가능하였으나, 식생 없는 영역을 녹지로 오탐(誤探)하는 결과가

나타났다. ISODATA를 이용한 결과 역시 녹지로 의심되는 영역과 녹지가 하나의 분류항목으로 분류되었고, 그림자 영역이 분류되어 그림자에 가려진 식생의 탐지가 어려웠다. SAM 분석에서 참조스펙트럼으로 사용한 endmembers의 스펙트럼보다 수치지도를 이용해 얻은 참조 스펙트럼이 녹지에 더욱 적합하다고 볼 수 있다. 오차행렬에서는 분류항목이 적고, 미분류와 불투수성의 개수가 많기 때문에 전체정확도를 신뢰할 수 없지만 0.9086의 높은 카파계수를 가져 SAM1과 SAM2가 유사한 분류결과를 가진다고 할 수 있다. 또한 O.E(누락오차)와 C.E(위임오차)를 통해서, 녹지와 녹지로 의심되는 영역의 구분은 SAM1 분석 결과가 SAM2보다 상대적으로 우수하다고 판단된다.

대상지역에 대한 동단위의 녹지의 비율인 녹피율이 조사되진 않지만, 소규모 녹지를 탐지하여 대상지역의 녹피율이 약 3.06% (녹지 픽셀(녹지) ÷ 나머지픽셀(도시면적) × 100)로 산정할 수 있었다. 그림 10은 SAM1 결과와 검은색 실선으로 표시한 건물과 도로, 흰색으로 표현한 가로수와 경관(조경수)을 중첩한 그림이다. 가로수와 경관은 포인트 형태의 벡터 자료이나, 시각적 효과를 위해서 임의의 벡터(3m)를 지정하였다.

FIGURE 10. Overlap SAM1 result and the green objects(trees) in 1K digital map

결론 및 고찰

도시녹지(urban green space)는 국가 통계지표로 사용될 만큼 중요한 지표로 산업화와 경제성장으로 인하여 도시적 정주형태로 변화됨에 따라 도시민의 여가, 휴식, 공공건강 등을 위한 도시공원, 녹지 등의 관리가 중요하다. 도시의 녹지량을 산정하는 방법은 현장 관측에 의존적이기 때문에, 투입인력 및 관리 시스템이 부족한 실정이며, 넓은 범위의 정보를 취득할 수 있는 고해상도 원격탐사 기술이 요구된다. 일반적으로 토지피복지도를 이용하지만 토지피복 분류체계에서는 도시 녹화를 위한 새로운 사례들이 포함되지 않고 소규모 녹지공간을 배제되기 때문에 정확한 녹지량을 산정하기 어렵다.

최근 도입되기 시작한 항공기탑재 초분광영상에 대해 기존의 영상분류 알고리즘을 적용하여 분류 결과를 검토하였다. 특히 SAM 기법은 사용되는 참조데이터를 수치지도가 아닌 영상에서 추출한 endmember로 적용하여도 좋은 탐지결과를 얻을 수 있었다. 하지만 맑은 날 오전시간대에 촬영한 영상에서 나타나는 그림자에 의해 소규모 녹지공간이 일부 제외되는 결과를 얻었다. 녹지로 의심되는 영역과 녹지의 잘못 분류된 비율은 SAM1에서 A그룹 0.24%, B그룹 0.06%, C그룹 0.53%, D그룹 0.34%를 보였고, SAM2에서 A그룹 0.21%, B그룹 0.92%, C그룹 8.24%, D그룹 0.17%로 전체 약 9.33%의 비율을 나타냈다. 이러한 오차들의 대부분이 높은 건물에 의한 그림자로 가려져 밝기값이 낮아진 식생으로 확인되었다.

본 연구를 통해서 SAM 기법의 적용에 있어서 참조 스펙트럼의 설정과 그 임계값이 중요함을 확인하였다. 특히 endmember를 참조 스펙트럼으로 사용함에 있어서 endmember를 구하는 과정에서 MNF 변환으로 데이터 차원을 축소시킬 때부터 신중하게 데이터 차원을 결정하는 것이 중요하다. 또한 효과적인 소규모 녹지공간을 탐지하기 위해서는 그림자 영

역에 대해서는 별도의 방법론을 적용하여 탐지하는 것이 반사도로 변환된 영상자료의 한계를 극복할 수 있을 것으로 사료된다. 나아가 수많은 밴드를 가지는 초분광영상의 장점을 극대화할 수 있도록 여타 보조자료 없이 영상자체만을 이용하여 그림자 영향을 효과적으로 제거하는 방법을 검토함으로써, 보다 우수한 녹지탐지 결과를 얻을 수 있을 것으로 기대한다.

주

- 1) 단일 개발사업에서는 녹지훼손이 심하지 않지만 인접한 위치에서 행해지는 여러 사업을 합할 경우 녹지축 자체가 통째로 소멸되는 현상을 막고자 하는 것이 이 제도의 취지이다. 대상지역은 100만평 이상 택지지구 및 도시개발 지역, 200만평 이상 관광단지, 150만평 이상 국가·지방 산업단지 등 난개발이 우려되는 곳과 5년간 연평균 인구성장률이 10% 넘는 지역, 개발행위허가 형질변경 등이 집중돼 환경훼손이 심화할 것으로 우려되는 지역, 개발제한구역, 상수원보호구역, 보존가치가 높은 지역 등이다.

감사의 글

본 논문은 교육과학기술부의 재원으로 지원을 받아 수행된 산학협력 선도대학(LINC) 육성사업의 연구결과입니다.

참고문헌

- An, Y.H. 2001. Environmental Planning. Taerim Press, Seoul, Korea 726pp. (안영희. 2001. 녹지환경학. 태림문화사. 726쪽).
- Daghtry, C.S.T., C.L. Walthall, M.S. Kim, E. Brown de Colstoun and J.E. McMurtrey III. 2000. Estimating corn leaf chlorophyll concentration from leaf and canopy reflectance. Remote Sensing of Environment 74:229-239.
- Hwang, E.J., K.J. Shin, S.K. Choi and J.K. Lee. NDVI analysis of downtown using satellite image and GIS. Proceedings of the Korean Association of Geographic Information Studies Conference 2005:249-253 (황의진, 신계중, 최석근, 이재기. 2005. 위성영상과 GIS를 이용한 도심의 식생지수 분석. GIS/RS 공동 춘계학술대회, 249-253쪽).
- Jensen J.R. 2005. Introductory Digital Image Processing : A Remote Sensing Perspective. 3rd edition. Sigma Press, Seoul, Korea. (임정호, 박종화, 손홍규 옮김. 2005. 원격탐사와 디지털 영상처리 제3판, 시그마프레스. 580쪽).
- Jeong, I.H. 2002. A study of the urban open space management program using RS and GIS. Master Thesis, Chonnam National University. Gwangju. Korea, 80pp. (정인호. 2002. 인터넷 GIS와 원격탐사를 이용한 도시 오픈스페이스 관리시스템 연구-광주광역시를 사례지역으로-. 전남대학교 대학원 석사학위논문 80쪽).
- Jo, M.H., G.J. Lee and W.S. Kim. A study on the spatial distribution characteristic of urban surface temperature using remotely sensed data and GIS. Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies 4(1):57-66 (조명희, 이광재, 김운수. 2001. 원격탐사자료와 GIS를 활용한 도시표면온도의 공간적 분포 특성에 관한 연구. 한국지리정보학회지 4(1):57-66).
- Jo, M.H., Y.W. Jo and S.J. Kim. 2009. The application of ASTER TIR satellite

- imagery data for surface temperature change analysis -a case study of Cheonggye stream restoration project. Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies 12(1): 73-80 (조명희, 조운원, 김성재. 2009. 도시복원사업의 열환경 변화분석을 위한 ASTER 열적외 위성영상자료의 활용-청계천 복원사업을 사례로-. 한국지리정보학회지 12(1):73-80).
- Kim, G.H., S.B. Kim and E.H. Jeong. 2004. A study on green net-work construction for urban heat island mitigation in Dalseo district, Daegu metropolitan city. Journal of the Environmental Sciences 13(6):527-535 (김기호, 김수봉, 정웅호. 2004. 도시열섬현상 저감을 위한 그린네트워크 구축 방안에 관한 연구: 대구광역시 달서구를 대상으로. 한국환경과학회지 13(6):527-535).
- Kim, K.G. 1994. Urban Park and Green Space Planing and Design. Seoul National University Press. Seoul, Korea. 353pp. (김귀곤. 1994. 도시공원녹지의 계획·설계론. 서울대학교출판부. 353쪽).
- Kim, S.B. and Y.S. Kim. 1992. The role of green space in metropolitan-region with practical reference to Taegu city, Korea-. Journal of Korean Institute of Landscape Architecture 19(4):1-11 (김수봉, 김용수. 1992. 대도시 공원녹지의 역할에 관한 연구(I) -대구시민의 공원녹지의 가치분석을 중심으로-. 한국조경학회지 19(4):1-11).
- Kim, T.W., G.J. We and Y.C. Suh. 2012. Correlation analysis with vegetation indices and vegetation-endmembers from airborne hyperspectral data in forest area. Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies 15(3):52-65 (김태우, 위광재, 서용철. 2012. 산림지역의 항공기 탑재 하이퍼스펙트럴 영상에 대한 식생-endmember와 식생지수의 상관 분석. 한국지리정보학회지 15(3):52-65).
- Kwon, Y.A. and H.Y. Lee. 2001. Spatial distribution of temperature in and around urban parks-a case study of around Changkyeong palace, Changdeok palace and Jongmyo in Seoul-. Journal of the Korean Geographical Society 36(2):126-140 (권영아. 2001. 도시녹지와 그 주변 기온의 공간적 분포 -서울시 종로구 창경궁, 창덕궁, 종묘 주변을 사례로. 대한지리학회지 36(2):126-140).
- Lee, J.M. and K.S. Lee. 2003. Analysis of forest cover information extracted by spectral mixture analysis. Korean Journal of Remote Sensing 19(6):411-419 (이지민, 이규성. 2003. 분광혼합분석 기법에 의한 산림피복 정보의 특성 분석. 대한원격탐사학회지 19(6):411-419).
- Lee, D.J. 2008. The greening of parks and urban forests in Singapore. Proceedings of Korean Society of Environment & Ecology Conference 2008(2):96-98 (이덕재. 2008, 싱가포르의 도시림 및 공원 녹지 사례. 한국환경생태학회 학술대회지. 2008(2):96-98).
- Lee, W.S., S.G. Jung, K.H. Park and K.T. Kim. 2010. Analysis of urban thermal environment for environment-friendly spatial plan. Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies 13(1):142-154 (이우성, 정성관, 박경훈, 김경태. 2010. 친환경적 공간계획을 위한 도시 열환경 분석. 한국지리정보학회지 13(1):142-154).

- Moon, C.S. 2009. A comparative study of calculation methods on the ratio of green coverage using satellite images and land cover maps. Masters Thesis, Paichai University, Daejeon, Korea, 86pp. (문창순. 2009. 위성영상과 토지피복도를 활용한 녹피율 산정방법 비교. 배재대학교 대학원 석사학위논문. 86쪽).
- Park, C. 1995. A study on the evaluation method of urban open spaces of Seoul with remote sensing: detection of the ecotone of the Mt. Pukhansan national park. Journal of the Korean Society of Remote Sensing 11(3):71-81 (박종화. 1995. 위성영상자료를 이용한 서울시 도시 녹지의 평가기법 연구: 북한산 국립공원 주변부 탐지. 대한원격탐사학회지 11(3): 71-81).
- Park, K.H. and S.K. Jung. 1999. Analysis on urban heat island effects for the metropolitan green space planning. Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies 2(3):35-45 (박경훈, 정성관. 1999. 광역적 녹지계획 수립을 위한 도시열섬효과 분석. 한국지리정보학회지 2(3):35-45).
- Park, S.C. 2009. A study on the development of evaluation indicators for planting functions in urban neighborhood park : in case of Ansan, Gyeonggi-do. Master Thesis, University of Seoul, Seoul, Korea. 80pp. (박석철. 2009. 도시 근린공원 식재기능 평가지표 개발 연구. 서울시립대학교 대학원 석사학위논문. 80쪽).
- Park, S.J. 2011. The improvement of thermal environment by increasing green coverage ratio. Master Thesis, Pusan National University. Busan, Korea. 88pp. (박수진. 2011. 도시 녹피율 향상에 따른 열환경 개선효과에 관한 연구. 부산대학교 대학원 석사학위논문. 88쪽).
- Shin, S.I., S.H. Kim, J.S. Yun, T.G. Kim and K.S. Lee. 2006. Spectral mixture analysis using hyperspectral image for hydrological land cover classification in urban area. Korean Journal of Remote Sensing 22(6):565-574 (신정일, 김선화, 윤정숙, 김태근, 이규성. 2006. 도시지역의 수문학적 토지피복 분류를 위한 초분광영상의 분광혼합분석. 대한원격탐사학회지 22(6):565-574).
- Song, T.G. and E.I. Kim. 1997. A study on environmental condition and situation of green covered in urban area by remote sensing method and geographic information systems. The Journal of Korean Planners Association 32(5):203-214 (송태갑, 김은일. 1997. Remote sensing 기법과 지리정보체계(GIS)를 이용한 도시지역의 녹피구조와 환경특성에 관한 연구. 대한국토·도시계획학회지 32(5):203-214).
- Um, J.S. 2006. Acquisition of evidential information to control total volume in accordance with degradation trends of green space. The Journal of GIS Association of Korea 14(3):299-319 (엄정섭. 2006. 녹피율 훼손추세 평가를 통한 총량규제 근거자료 확보 방안. 한국GIS학회지 14(3):299-319).
- Zarco-Tejada, P.J., A. Berjón and J.R. Miller. 2004. Stress detection in crops with hyperspectral remote sensing and physical simulation models. Proceedings of Airborne Imaging Spectroscopy Workshop, Bruges, Belgium, October 8, 2004. **KAGIS**