

## MODIS 다중시기 영상의 선형분광혼합화소분석을 이용한 한반도 토지피복분류도 구축

정승규\* · 박종화\*\* · 김상욱\*\*\*†

\*서울대학교 환경계획연구소, \*\*서울대학교 환경대학원, \*\*\*한국토지공사 국토도시연구원

### Land Cover Classification of the Korean Peninsula Using Linear Spectral Mixture Analysis of MODIS Multi-temporal Data

Seung-Gyu Jeong\*, Chong-Hwa Park\*\*, and Sang-Wook Kim\*\*\*†

\*Environmental Planning Institute, Seoul National University

\*\*Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University

\*\*\*Land and Urban Institute, Korea Land Corporation

**Abstract :** This study aims to produce land-cover maps of Korean peninsula using multi-temporal MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) imagery. To solve the low spatial resolution of MODIS data and enhance classification accuracy, Linear Spectral Mixture Analysis (LSMA) was employed. LSMA allowed to determine the fraction of each surface type in a pixel and develop vegetation, soil and water fraction images. To eliminate clouds, MVC (Maximum Value Composite) was utilized for vegetation fraction and MinVC (Minimum Value Composite) for soil fraction image respectively. With these images, using ISODATA unsupervised classifier, southern part of Korean peninsula was classified to low and mid level land-cover classes.

The results showed that vegetation and soil fraction images reflected phenological characteristics of Korean peninsula. Paddy fields and forest could be easily detected in spring and summer data of the entire peninsula and arable land in North Korea. Secondly, in low level land-cover classification, overall accuracy was 79.94% and Kappa value was 0.70. Classification accuracy of forest (88.12%) and paddy field (85.45%) was higher than that of barren land (60.71%) and grassland (57.14%). In mid-level classification, forest class was sub-divided into deciduous and conifers and field class was sub-divided into paddy and field classes. In mid level, overall accuracy was 82.02% and Kappa value was 0.6986. Classification accuracy of deciduous (86.96%) and paddy (85.38%) were higher than that of conifers (62.50%) and field (77.08%).

**Key Words :** MODIS, Linear Spectral Mixture Analysis (LSMA), Multi-temporal Imagery, Phenology, land cover classification.

**요약 :** 본 연구의 목적은 MODIS 다중시기영상과 선형분광혼합화소분석(Linear Spectral Mixture Analysis : LSMA)을 이용하여 한반도의 토지피복도를 작성하는 것이다. 다양한 공간해상도와 광역적인 활

영스케일의 MODIS 영상에 LSMA를 이용하여 토지피복분류의 정확도의 향상과 한반도 생물계절적인 특성을 분석하고자 하였다. LSMA는 하나의 화소를 단일의 지표물로 가정하여 영상을 처리하는 기존의 기법과 달리 대상지의 토지피복 특성을 가장 잘 반영하는 순수한 물체의 화소값(Endmember)을 선택하여 자연환경요소들의 하나하나를 분리하는 기법이다. 본 연구에서 MODIS 다중시기영상에 LSMA를 적용한 결과 남, 북한의 농경지 및 산림지역에 대한 서로 다른 생물계절적인 특성을 파악 할 수 있었으며, 이러한 결과 영상을 ISODATA 무감독분류기법을 통해서 대분류와 중분류하였다. 대분류에서는 79.94%의 전체 정확도를 보였으며, 농업지역은 85.45%, 산림지역은 88.12%로 다른 분류군들에 비해서 가장 높은 정확도를 보였다. 중분류에서는 산림지역과, 농업지역을 더욱 세분화 하여 분류하였다. 전체정확도는 82.02%였으며, 활엽수림 86.96%, 논 85.38%로 분류군중 가장 높은 정확도를 나타냈다.

## 1. 서론

일반적으로 범지구적 또는 국가단위의 토지피복도 구축이나 식생유형 변화탐지를 위해서 NOAA 위성의 AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) 영상이 많이 활용되어 왔다(Weiss and Milich, 1997). 그러나 최근에 다양한 공간 및 분광해상도와, 광역적인 촬영스케일 및 뛰어난 회기주기의 장점을 가지고 있는 MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) 센서 영상이 토지피복도 구축이나 식생의 변화 및 해양관측의 분야에서 많이 활용되고 있다.

생태요소들의 판별 및 토지피복분류도 작성과정은 단일시기 위성영상과 하나의 화소를 단일의 지표물로 가정하는 방법으로 분류하거나, 고해상도 위성영상과의 영상융합기법 등 공간해상도 향상을 통한 피복분류 정확도에 초점을 두고 있거나(환경부, 2001), 하나의 식생지수를 이용한 기법을 이용하고 있는 실정이다(황순옥, 1997; 남기덕, 1999). 이에 본 연구에서는 MODIS 다중시기 위성영상을 이용하여 혼합된 화소를 세분화하는 선형분광혼합화소분석(Linear Spectral Mixture Analysis: LSMA)을 이용하여 토지피복분류의 정확도를 높이고, 다중시기 영상을 이용하여 생태적인 특성을 반영한 토지피복도를 구축하고자 하였다. 일반적으로 위성영상은 순간시야각 내의 지표면에 있는 물체나 현상에 관한 정보를 수집한다. 이러한 영상의 화소들은 순간시야각이 하나의 물체만을 포함하고 있다면, 하나의 물체를 대표하는 값이 될 수 있지만 일반적으로 순간시야각은 하나의 동질적인 물체를 포함하기보다 분광반사도가 다른 여러 물체를 포함하는 경우가 많다(김대성,

2003). 그렇기 때문에 하나의 화소는 하나의 물체를 대표하는 것이 아니라 여러 물체를 포함한 대표 값으로 나타날 수 있다(이지민, 2004).

시계열 영상자료는 식생과 같은 자연환경요소의 파악에 활발히 활용되고 있으며(Chavez, 1996), DeFries 등(1995)은 연중 계절별 식생의 엽록소 농도 변화를 통하여 지피 유형을 구분하였으며, Zhu and Evans (1994)는 AVHRR 정규식생지수 자료를 기초로 한 시계열적, 다차원적인 위성 탐사 자료의 분석을 통하여 미국의 산림 식생 지도를 작성하였다. 또한 Stone(1994)은 1km의 해상도를 갖는 AVHRR LAC (Local Area Coverage) 자료에 근거하여, 현존 식생도, 식물계절 이론, 영상의 판독을 통해 31개의 범주로 나누어진 남아메리카 대륙의 산림 유형을 분류한 바 있다. MODIS를 활용한 이성구(2004)의 연구는 다중시기자료의 식생지수를 이용하여 한반도에 대한 토지피복을 분류하였다.

본 연구는 전 국토의 자연환경요소의 현황 파악, 탐지 및 체계적인 생태자원 분석과 평가를 위한 기초자료 제공을 위한 연구로서 수행 되었다. 본 연구의 목적은 다중시기 인공위성영상에 LSMA 기법을 이용하여 한반도의 자연환경요소 피복도 작성에 있어서 생물계절적인 특성의 반영과 함께 자연환경요소판별을 가장 명확하게 하기위한 피복분류도를 제작하는 것이다. 이를 달성하기 위한 세부 목표는 첫째, 다중시기 MODIS영상에 LSMA 분석을 적용하여 한반도의 자연환경요소들에 대한 시기별 생물계절적인 변형양상을 분석하고 고찰하였다. 둘째, 한반도의 자연환경요소들의 정확한 판별을 위한 토지피복분류기법을 연구하였다. 본 연구에서 채택한 분석 방법은 기존의 하나의 화소를 단일의 지표물로 가정하여 영상을 처리하는 기존의 기법과 달리 대상지

의 토지피복 특성을 가장 잘 반영하는 순수한 물체의 화소값(Endmember)을 선택하여 자연환경요소들의 하나인 식생, 토양, 수역의 순수한 물체의 화소값에 대한 분할영상(Fraction Images)을 생성하는 기법을 이용하여 한반도의 자연환경요소들의 피복분류도를 작성하였다. 셋째, 한반도 자연환경요소들의 분할영상을 이용하여 환경부 토지피복분류도 기준에 맞게 한반도에 대하여 대분류와 중분류도를 작성하였다.

## 2. 연구자료 및 방법

### 1) 자료의 취득 및 처리

MODIS는 36개의 파장 분해능과 2,330km의 수평 관측폭을 가지며 고도 705km에서 극궤도를 돌고 있다. 본 연구에서는 일 단위로 구축되어있는 MODIS (Level 1B)자료를 동경대의 WEB MODIS 사이트를 이용하여 한반도의 범위에 맞게 위도 : 33~43도, 경도 : 124~131도 범위 내에서 제공 받았다. 기존에 구축되어진 환경부 토지피복분류도와 경계 파일과의 호환성을 위해서 좌표

체계를 Plate Caree Projection (Latitude /Longitude Grid System)의 좌표계를 UTM (Universal Transverse Mercator)로 변환하였다. 한반도에 대하여 정확하고 용이한 다중시기 분석을 위해서 MODIS의 각각의 일 단위 영상에서 250m의 해상도를 갖는 1, 2 (Red/NIR)밴드를 이용하여 3개의 순수한 화소값을 선정(식생, 토양, 수역)하여 LSMA를 적용, 일별 영상을 도출하였고, 월별 종합도를 구하였다. WEBMODIS에서 받은 영상은 위도와 경도를 기준으로 영상을 받았기 때문에 한반도만의 데이터를 분석하기 위해서 환경부에서 제공하는 한반도 해안선 경계파일을 이용하여 한반도 이외의 나머지 지역은 마스킹처리 하였다.

본 연구를 위한 위성영상자료의 수집에서 적설과 구름은 순수한 물체의 화소값 선정에 영향을 미치기 때문에 겨울 및 여름 영상은 제외하였다. 따라서 본 연구에서는 2001년 6월부터 2002년 5월의 MODIS영상 중에서 구름과 눈의 영향이 적은 2001년 6월, 8월, 9월, 10월 2002년 4월 5월의 영상 자료를 대상으로만 LSMA를 실시하였다. 또한 고려한 다중시기 동안에는 토지피복 항목간의 변화가 없으며, 단지 상태변화만 있음을 전

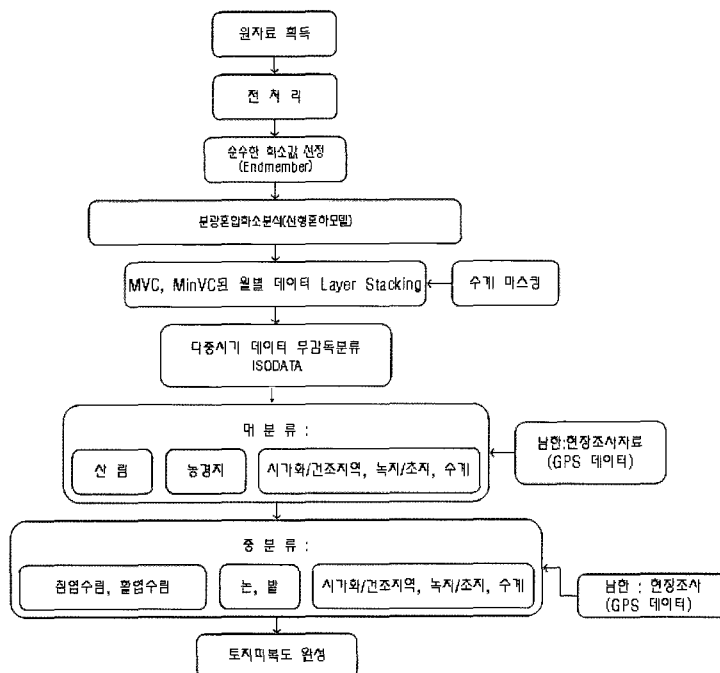


Fig. 1. The flowchart of this study.

제로 하였다.

정확도 평가 및 무감독분류를 통한 분류군 명명에서는 GPS 데이터를 이용하였다. 본 연구에서는 위성영상 자료의 처리는 ENVI 4.1, ERDAS IMAGINE 8.6을 사용하였고, GIS프로그램으로는 ArcGIS 8.3을 사용하였다. 검증을 위한 좌표파악을 위해서 Garmin GPS V 수신기를 사용하였다. 본 연구의 수행을 위한 흐름도는 다음의 Fig. 1과 같다.

## 2) LSMA

본 연구는 자연환경요소의 구분이라는 측면에서 토지피복분류를 수행하였다. 일반적으로 자연환경요소의 분석에 정규식생지수(NDVI)값을 많이 이용하고 있다. 하지만 NDVI의 경우 활력도가 높은 식생대의 값을 제대로 반영하지 못하고 포화되는 경향을 보이고 있다. 반면 LSMA는 식생활력도가 높은 지역 또한 그 값을 제대로 반영하고 있다(Elmore *et al.*, 2000). 이에 본 연구에서도 식생활력도를 보다 정확하게 정량화시킬 수 있는 지수로서 LSMA를 활용하기로 한다.

LSMA는 혼합된 화소를 분해하는 방법 가운데 가장 대표적인 방법이다(Keshava *et al.* 2002). LSMA에서 가장 중요한 부분은 순수한 물체의 화소 값 선정이다. 분할영상 생성을 위한 순수한 화소값 선정과 관련한 기존연구로는 Spectral Library를 이용한 방법(Roberts *et al.* 1998; Drake *et al.* 1999)이 있으며, 산포도를 이용하여 순수한 화소값을 선정하는 방법이 있다. 이러한 기법은 크게 자동화 방법과 산포도에서 직접 선정하는 수동적인 방법으로 나눌 수 있는데, 자동화 기법으로는 Pixel Purity Index (Boardman, 1994) 방법과, N-FINDER (Winter, 1999) 방법 등이 있으며 산포도를 이용하는 수동적인 방법으로는 Wu(2004), Wu and Murray(2003), Kim and Park(2004) 등이 있다. Wu(2004)에서는 주성분분석을 통해 주성분 1, 2, 3의 산포도 평면을 이용하여 순수한 화소값을 선정하였으며, Kim and Park(2004)에서는 적색밴드와 근적외 밴드의 조합을 통해 순수한 화소값을 선정하였다. 적색밴드와 근적외밴드의 산포도는 Tasseled-cap 형태의 분포를 보이며 각 꼭지점은 수체(또는 습윤토양), 건조토양 및 식생의 특성을 나타내고 있기 때문에 보다 정확한 순수한 물체의 화소값 선정에 이용 가능하다. 이에 본

연구에서도 MODIS 영상의 적색밴드와 근적외 밴드의 산포도(Scatter Plot) 상에서 감독자가 직접 순수한 물체의 화소값을 선정하는 방법(Geometric Endmember Determination)을 수행하였다.

임의의 파장대를 가진 영상 내 하나의 화소에서 순수한 물체 A가 25%, B가 25%, C가 50%를 차지한다고 가정할 때, 각 순수한 물체의 밝기 값에 가중치를 곱한 최종적인 밝기 값이 하나의 화소값으로 기록될 수 있다. 이러한 조건을 일반식으로 나타내면 다음과 같다.

$$x = \sum_{k=1}^M s_k a_k + w = Sa + w, a_k \geq 0 \quad (1)$$

$$\sum_{k=1}^M a_k = 1 \quad (2)$$

여기서  $x$ 는 각 밴드별 화소 밝기 값,  $s_k$ 는 선택된 순수한 화소의 밴드별 밝기 값  $a_k$ 는 각 순수한 물체의 화소에서 차지하는 양(Abundance)으로서 가중치 개념  $w$ 는 각 밴드별 에러 값,  $M$ 은 사용된 순수한 물체의 수를 나타낸다. 본 연구에서는 LSMA 기법을 적용하여 3개의 순수한 물체의 화소값을 기준으로 최소제곱근방법을 통하여 MODIS영상에서 순수한 물체의 화소값에 대한 비율을 나타내는 영상과 각 순수한 물체의 화소값간의 제곱근 오차를 나타내는 RMSE (Root Mean Square Error-RMSE)영상을 생성하였다. 평균적으로 RMSE 값이 0.002 이하면 분리가 잘 되었다고 평가하고 있다 (Wu and Murray 2003).

본 연구에서의 사용한 MODIS 다중시기 영상은 한반도를 포함한 광범위한 공간적인 특성으로 인해서 구름으로 인한 오차 값을 포함하고 있다. 이러한 오차 값들은 토지피복분류시 지수분석이 불가능하기 때문에 오분류의 결과를 초래한다(이성구 2004). 이에 본 연구에서는 수분 함유량을 기준으로 지수 값 분석이 가능한 Vegetable, Soil, Water 세 개의 Class를 endmember로 선정하였다.

위성의 센서가 구름의 영향을 받지 않는다면 일별 위성자료가 유용하게 사용될 수 있겠지만 대기에 구름이 있는 경우 센서는 지표의 반사치를 읽는 것이 아니라 구름의 반사치를 읽어 지표면의 반사치는 반영되지 못한다. 이러한 구름의 영향을 최소화하기 위하여 각각의 분할영상을 구름값과 비교하여 식생분할영상은 최대값 대체합성법(Maximum Value Composite: MVC)을 토양과 수역분할영상에 대해서는 최소값 대체합성법기법

(Minimum Value Composite: MinVC)을 사용하였다. MVC방법은 동일한 공간해상력과 동일한 좌표체계를 가진 복수의 위성영상자료를 중첩시켜 동일한 위치에 해당하는 각각의 픽셀 값을 비교하고 그중에서 최고값만을 선택하여 하나의 영상을 작성하는 것이다(황순옥, 1997). 식생분할영상은 구름과 비교해서 지수 값이 현저하게 높은 값을 가진다. 그러므로 최고값을 조합한 MVC를 이용한다면 낮은 구름 값은 제거되고 상대적으로 식생이 반사하는 높은 값만을 취하게 된다. 반면 토양과 수역분할영상은 구름에 비해서 상대적으로 낮은 지수 값을 가지므로 낮은 값을 조합한 MinVC를 이용한다면 구름은 제거되고 반사 값이 낮은 토양과 수역에 대한 값만을 취하게 된다. 이러한 과정을 거친 후 각각의 분할영상에 대해서 월별로 종합도를 구하였다.

### 3) 토지피복분류

LSMA를 적용하여 도출되어진 다중시기 분할영상을 이용하여 각각 ISODATA 무감독분류를 실시하였다. MODIS 자료의 밴드값을 입력 피쳐로 사용하여 ISODATA 무감독분류한 방법은 픽셀기반으로 토지피복분류를 실행하기 때문에 도심 내 고층빌딩의 그늘로 인해서 수역과 습지와 도심은 비슷한 분광적 특성을 갖게 되며, 이로 인해서 서로 오분류를 초래하게 된다(이성구, 2004). 이러한 문제점을 해결하기 위하여 이러한 분류군들을 서로 다른 분할영상에서 추출한 후 중첩연산을 통하여 토지피복도를 완성하였다.

식생분할영상에서는 시가화 건조지역, 산림, 농업지역, 나지, 초지를 추출하며, 토양분할영상에서는 마스킹 파일을 적용한 후 양수값만을 취하여 습지를 추출하며, 수역의 경우는 식생분할영상과 수역분할영상의 조합을 통하여 수역 분류군을 추출하였다. 이렇게 추출된 분류군들을 중첩연산을 통하여 최종 토지피복도를 완성하였다.

대분류에서는 현장조사자료(GPS데이터)를 이용하여 수역과 산림, 농업지역, 초지, 나지, 시가화 건조지역, 습지로 분류하였다. 토지피복분류의 정확도를 검증하기 위하여 북한지역 영상은 제외하고 남한지역만을 대상으로 하였다. 북한의 경우는 토지피복분류연구가 현재 거의 없고, 현황자료 또한 얻기 어렵고 참조자료의 신뢰성 문제로 인해 남한만을 대상으로 분류를 실시하였다. 현장자료(ground truth)의 수집은 남한지역의 대표적 토

지피복특성을 보이는 지역에 대하여 GPS 현장조사를 실시하였다. 토지피복분류 정확도 평가 및 분류군 명명 시 자료는 2004년 3월부터 2005년 6월까지 전라북도, 충청도, 경기도, 지리산, 소백산 인근에서 수집된 GPS 자료를 사용하였다.

중분류는 대분류 항목에서 농업지역과 산림지역을 더 세분화 하였다. 산림지역의 경우는 활엽수림, 침엽수림으로 농업지역의 경우는 논과 밭으로 구분 하였다. 중분류를 위하여 활엽수림, 침엽수림, 논, 밭 지역에 대한 세부 참조자료를 확보하였는데, 2004년 3월부터 2005년 6월까지 수집된 경기이남, 경기북부, 강원, 전북, 지리산, 소백산, 제주도 지역의 GPS데이터를 이용하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 1) 시기별 분할영상의 변화양상

다음의 Fig. 2, Fig. 3 및 Fig 4는 MODIS 영상의 LSMA 결과 생성된 월별 분할영상이다. Fig. 2는 토양의 분할영상이며, Fig. 3은 식생의 분할영상으로 각각 영상의 비율값의 비교를 통해서 한반도의 생물계절적인 특성을 확인할 수 있다. 토양분할영상인 Fig. 2에서 2002년 4월, 5월 영상의 경우 대표적인 농경지 지역인 김제, 나주평야 부분에서 토양의 비율값이 높은 것을 확인할 수 있으며, 북한지역의 경우도 평안남도의 안주평야를 비롯하여 서해안평야지대가 토양의 비율값이 높은 것으로 나타나고 있다. 반면에 식생분할영상인 Fig. 3에서는 농경지의 8~9월의 영상에서 가장 높은 식생의 비율값을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 4월전에는 농경지는 대부분 모내기 전으로서 토양의 비율값을 더 많이 포함하고 있지만 모내기 후 벼가 완전히 활착되어 왕성한 성장을 이루는 8월에는 토양보다는 식생의 비율값을 더 많이 포함하고 있는 것을 확인할 수 있었다. 특히 이러한 시기별 영상의 비율값의 비교를 통해서 남, 북한의 모내기와 추수시기의 차이 및 식생의 변화까지도 파악할 수 있을 것으로 판단된다. 이러한 결과는 한반도의 생물계절적인 특성이 시기별 어떻게 변하는지를 뚜렷하게 보여주고 있다. Fig. 5는 분할영상들의 월별 히스토그램 분포를 나타낸 것이다. 토양분할영상의 경우 1년

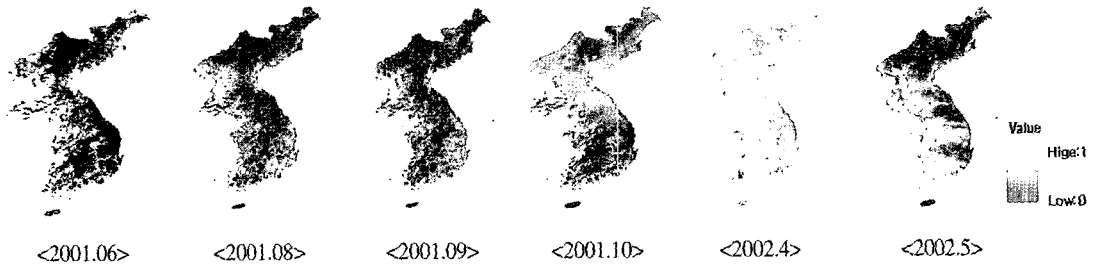


Fig. 2. Seasonal Change of Monthly Soil Fraction Images.

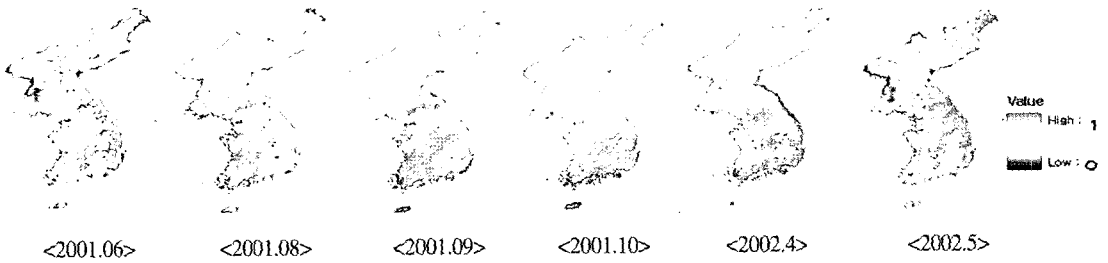


Fig. 3. Seasonal Change of Monthly Vegetation Fraction Images.

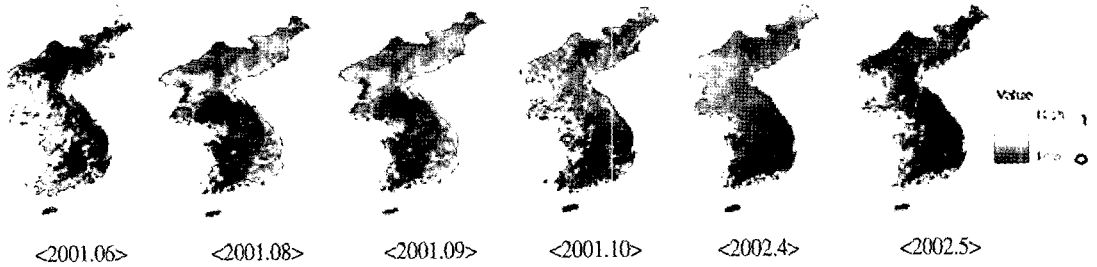


Fig. 4. Seasonal Change of Monthly Water Fraction Images.

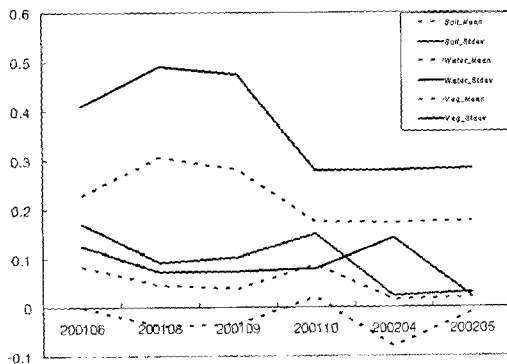


Fig. 5. Monthly Histograms of Fraction Images.

동안 0.1 이하의 값의 분포를 보이고 있다. 토양분할영상의 경우 습윤토양과 건조토양의 특성을 동시에 담고

있는데, 습윤토양은 논외의 특성을, 건조토양은 나대지와 시가화건조지역의 특성을 반영하고 있다. 본 연구에서는 모내기과 추수로 인한 계절적 특성변화를 파악해볼 수 있다. 식생분할영상의 경우 6월에서 9월 사이에 가장 높은 값을 보이고 있으며, 최소값으로 떨어진 10월 이후 그 값의 변화가 거의 없는 것으로 나타나고 있다.

## 2) 대분류 결과

LSMA를 이용하여 분석한 토지피복분포(Fig. 6)를 살펴보면 산림이 대부분을 차지하고 있고, 농경지는 대부분이 서해안에 위치하고 있음을 알 수 있다. 서울, 인천, 대전, 부산 등 집중적으로 발달한 도시를 쉽게 찾을 수 있다. 갯벌 같은 해안습지는 대부분 서해안에 위치하고 있는 것으로 나타났다.

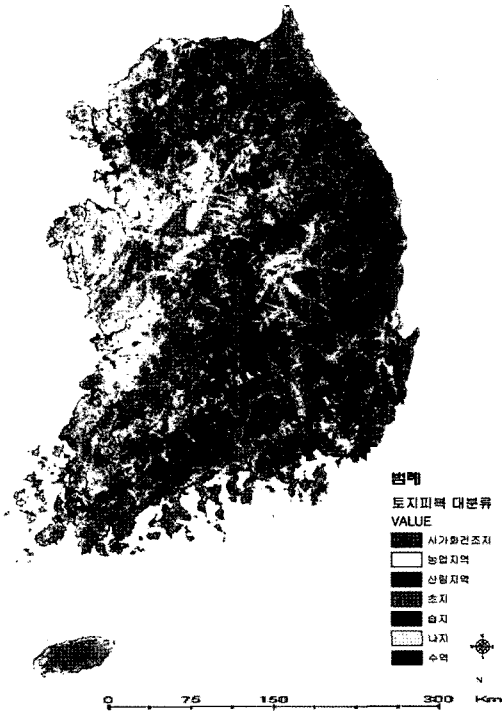


Fig 6. Low-Level Land-cover Classification Map of the South Korea Using MODIS Images.

분류정확도 평가는 LSMA를 이용하여 추출된 분류결과와 GPS를 이용한 현장조사 자료와 비교하였으며, 그 결과를 Error Matrix (Jensen, 1996)로 요약하였다. 대분류의 분류 결과 Overall Accuracy는 79.94%, Kappa value는 0.70으로 나타났다. 대분류 항목 중에서는 산림이 88.12%, 농업지역이 85.45%로 분류군 중에서 가장 높게 나왔으며, 나지와 초지는 60.71%, 57.14%로 분류 정확도는 높지 않은 것으로 나타났다(Table 1).

본 연구에서는 상대적으로 초지와 나지와 같은 적은 면적을 차지하는 항목의 분류정확도가 낮았는데 그 이유는 LSMA 이용해서 혼합된 화소를 분리하기 위해서는 순수한 물체의 화소값 선정이 매우 중요한데 본 연구에서는 초지의 생육특성을 잘 반영할 수 있는 봄과 가을의 영상이 구름의 영향으로 인해서 순수한 물체의 화소값 선정에 영향을 주기 때문에 시기별 영상은 제외시켰다. 이로 인해서 초지의 생물계절특성을 반영하지 못해 분류 정확도 또한 낮은 결과를 보였다. 나지는 250m라는 해상력으로 인하여 면적이 적은 분류군들이 산림이나 농업지역과 같이 큰 면적을 차지하는 분류군에 묻혀

Table 1. Low-Level Land-cover Classification Result of the South Korea Using MODIS Images.

	Area (km <sup>2</sup> )	Percent (%)
urban	5,481	5.60
forest	69,614	71.16
paddy field	19,766	20.21
waterbody	430	0.44
grass	1,147	1.17
wetlands	852	0.87
barren	535	0.55
Total	97,825	100

Table 2. Accuracy Results of Low-level Land-cover Classification. (unit: pixels)

	field	urban	water	forest	grass	wet-lands	barren	Total
field	235	5	11	6	4	0	4	265
urban	6	27	6	0	0	0	1	40
water	0	0	44	1	0	0	0	45
forest	17	1	6	89	4	0	0	117
grass	13	3	0	5	17	0	0	38
wet-lands	2	1	0	0	1	9	0	13
barren	1	1	2	0	2	0	8	14
Total	274	38	69	101	28	9	13	532

서 적게 분류되었기 때문이라 판단된다.

### 3) 중분류 결과

대분류 항목 중에서 산림과 농경지를 세분화하여 중분류를 실시하였다. 산림의 경우는 활엽수림과 침엽수림으로 농경지는 논과 밭으로 분류하였다. 남한의 토지 피복 중분류는 Fig. 7과 같이 나타났다.

중분류의 토지피복분포를 살펴보면 산림 중에는 활엽수림이 농업지역에서는 논지역이 많은 분포를 차지하고 있는 것을 확인할 수 있었다. 논지역의 경우는 서해안을 중심으로 많은 분포를 보였으며, 침엽수림은 강원도, 경기북부지방을 중심으로 많은 분포를 보였다. 중분류 분류정확도 평가는 대분류 항목의 농업지역과 산림지역을 세분화 하여 논, 밭, 침엽수림, 활엽수림의 4개의 분류군만을 비교하였다. LSMA로부터 추출된 분류결과와 GPS를 이용한 현장조사 자료와의 비교를 통하여 그 결과를 error matrix (Jensen, 1996)로 요약하였다. 중분류 결과 overall accuracy는 82.02%, Kappa value는 0.6986으로 나타났다.

Table 3. Mid-Level Land-cover Classification Result of the South Korea Using MODIS Images.

	Area (km <sup>2</sup> )	Percent (%)
Urban	5,481	5.60
forest	69,614	71.16
paddy field	19,766	20.21
waterbody	430	0.44
grass	1,147	1.17
wetlands	852	0.87
barren	535	0.55
Total	97,825	100

이 생물계절적특성을 가장 잘 나타내는 겨울영상은 적설의 영향으로 인해서 순수한 화소값 선정 시 노이즈값을 갖게 된다. 이러한 이유로 본 연구에서는 겨울영상을 제외 시켰는데, 그 결과 활엽수림에 비해서 상대적으로 낮은 분류 정확도를 나타낸 것을 확인할 수 있었다.

### 5. 결론

본 연구는 MODIS 다중시기 영상을 LSMA로 남, 북한을 포함한 한반도의 월별 분할영상의 결과를 무감독 분류하여 광역적인 스케일의 한반도 토지피복도를 제작하였다.

본 연구를 통하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 첫째, MODIS 다중시기 영상에 LSMA를 적용한 분류결과에서 남한의 산림, 농업지역, 수역, 시가화 건조지역, 해안습지의 토지피복분류 정확도가 과거의 NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)와 EVI (Enhanced Vegetation Index)를 이용한 무감독분류(이성구, 2004)결과보다 향상 되었으며, 자연환경요소들의 생물계절적인 특성도 파악할 수 있었다.

둘째, 토지피복도 대분류와 중분류에서 전체적으로 약 80%의 분류정확도를 보였으며, 과거의(이성구, 2003) NDVI와 EVI를 이용한 무감독분류결과보다 수역은 63%, 농경지는 85%로 정도까지 분류정확도가 향상된 결과를 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 NDVI는 녹색식물의 상대적 분포량과 활동성, 광합성 흡수복사량등과 관련된 지표로 사용되기 때문에 식생의 생물리학적 정보를 파악하는데는 적합할 수 있으나, 이 또한 하나의 화소를 단일 지표물로 가정하기 때문에 토지피복분류의 정확도면에서는 오분류를 초래하기 쉽다.

셋째, 토지피복 대분류에서 산림과 농업지역, 해안습지와 도심은 높은 분류정확도를 보인 반면 면적이 적은 나지와 초지는 상대적으로 낮은 분류정확도를 가졌다. 나지는 250m라는 공간해상력으로 인해 적은 분류군들이 산림과 같이 큰 면적을 차지하는 분류군에 묻혀서 적게 되었고, 초지의 경우는 구름의 영향과 소규모로 산재되어 있어 순수한 물체의 화소값 선정에 어려웠던 점이 낮은 분류정확도를 나타냈다.

넷째, 농업지역과 산림지역을 세분화한 중분류에서

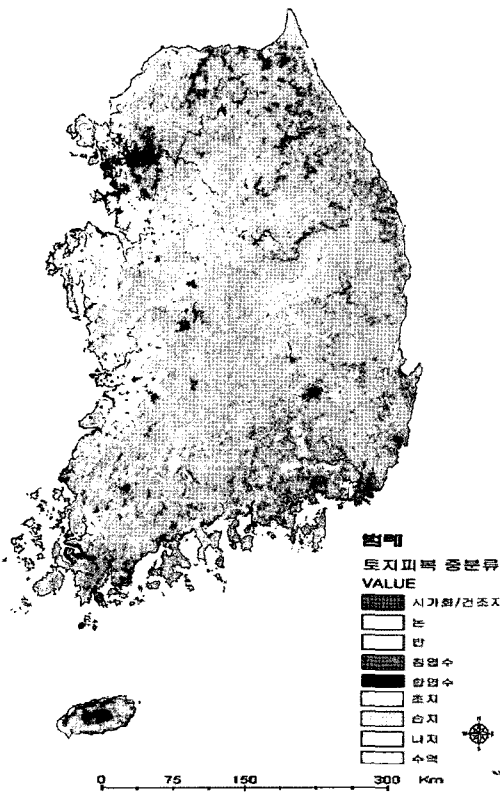


Fig. 7. Mid-Level Land-cover Classification Result of the South Korea Using MODIS Images.

이러한 결과는 과거의 MODIS 다중시기영상에 EVI (Enhanced Vegetation Index) 식생지수를 이용하여 무감독분류 결과에 비해서 전체 정확도가 약 20% 정도 향상 되었으며(2004 이성구, 논은 61.68%에서 85.38%, 활엽수림은 68.05에서 86.96%로 정확도가 향상된 결과를 보여 주었다. 표 4를 보면 활엽수림과 논지역의 분류결과가 비교적 좋으며, 침엽수림은 상대적으로 분류 일치도가 높지 않은 것으로 나타났다. 침엽수림



Table 4. Accuracy Result of Mid-Level Land-cover Classification. (unit: pixels)

	deciduous	paddy	field	conifers	total
deciduous	20	7	1	6	34
paddy	0	111	10	0	121
field	2	9	37	0	48
conifers	1	1	0	10	12
Total	23	128	48	16	215

는 활엽수림, 논, 밭 지역은 과거의 NDVI를 적용한 무감독분류 결과 보다 각각 약 20%, 24%, 12%의 향상된 분류정확도를 보여 주었다. 표 4에서, 침엽수의 분류정확도가 상대적으로 낮은 것을 볼 수 있다. 이는 활엽수림과 침엽수의 생물계절적인 특성을 잘 구별할 수 있는 겨울철 시기별 영상이 누락되었기 때문이다. 감독자가 직접 순수한 물체의 화소값 선정 시 구름이나 적설은 다른 자연환경요소들과 혼합되어 있어 순수한 물체의 화소값 선정이 어렵기 때문에 LSMA를 적용 시 본 연구에서 제의 시켰다 이러한 이유로 인해서 생물계절적인 특성을 반영한 정확한 토지피복분류 정확도를 보여주지 못했다. 중분류와 대분류 결과에서 보듯이 LSMA는 자연환경 요소들 중 산림과 농경지 판별에 더욱 적합하다는 것을 확인할 수 있었다. 본 연구에서는 기존의 고해상도 영상과 중·저해상도 영상을 이용한 토지피복분류시 하나의 화소를 단일의 지표물로 가정하여 토지피복분류시 오분류를 초래하는 단점과 단일시기 영상을 이용함으로써 자연환경요소들의 생물계절적인 특성을 반영하지 못하는 점을 개선시키기 위해 LSMA과 다중시기위성영상을 이용하였다. MODIS 다중시기 영상에 LSMA를 적용하여 자연환경요소들의 생물계절적인 특성을 분석할 수 있었고, 토지피복분류시, 혼합된 화소를 세분화함으로써 토지피복분류의 정확도 향상 및 자연환경요소 판별에 더욱 명확한 결과를 확인할 수 있었다. 본 연구의 한계점으로는 북한을 대상으로 한 토지피복분류 연구가 현재 거의 없고 기준으로 삼을 만한 자료가 불충분하여 북한지역의 토지피복분류 정확도 평가가 이루어지지 못한 점이다. LSMA는 혼합된 화소를 분리하기 때문에 순수한 물체의 화소값을 기준으로 혼합된 요소를 분리하기 때문에 순수한 물체의 화소값 선정이 매우 중요하다. 그러나 MODIS영상은 250m의 공간해상력과 광역적인 스케일로 인해서 영상 내에 구름을 포함하고 있으며, 이러한

구름의 값은 순수한 물체의 화소값 포함되어 오분류를 초래하거나 자연환경요소의 생물계절적인 특성을 반영하지 못하는 결과를 초래한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 구름제거 마스킹 기법을 이용하여 생물계절 특성을 반영할 수 있는 시기별 영상을 보완한다면 모든 자연환경요소들의 생물계절적인 특성과 함께 토지피복분류 시 더욱 정확한 분류결과를 제시해 줄 것으로 판단된다.

또한 본 연구에서는 한반도 전역의 피복분류에 있어서 제주도지역을 포함시켜서 분석하였는데, 제주도의 경우 내륙과는 다른 자연환경특성을 보이고 있어 분류정확도의 파악에 영향을 미칠 수 있을 것으로 판단되며, 향후 제주도를 제외한 분석 또한 고려해야할 것으로 보인다.

## 사 사

This study was supported by Korea Remote Sensing Center (KRSC) project of the Korea Aerospace Research Institute which is concerned with the research for "Public Application of Satellite Data".

## 참고문헌

- 김대성, 2003. Linear Spectral Mixing 모델을 이용한 하이퍼스펙트럴 영상의 Sub-Pixel 인식에 관한 연구, 서울대학교 석사학위논문.
- 김원주, 2004. 자연환경 관련 공간변수를 이용한 한반도 생태지역 분류, 서울대학교 환경대학원 박사학위논문.
- 남기덕, 1999. 한반도 식생의 연중 변화 고찰을 위한 Global NDVI 자료의 보정 방법, 서울대학교 환경대학원 석사학위논문, pp 24-26.
- 박종화, 김원주, 남기덕, 이경렬, 1999. Seasonal Index를 사용한 Global 1Km AVHRR 자료의 부분이상 보정 방법 『춘계 학술대회 논문집』, 대한원격탐사학회, 2: 20-24.
- 박종화, 최상일, 2002. Classification Strategies for

- Korean Forests: A Case Study of Namhansansung Provincial Park, Korea, International Symposium on Remote Sensing, Sokcho, Korea, p708.
- 이성구, 2004. MODIS 시계열영상을 이용한 한반도 토지피복 분류, 서울대학교 환경대학원 석사학위논문.
- 이지민, 2004. 산림지역에서 Landsat-7 ETM+영상의 혼합화소분석, 인하대학교 석사학위논문, pp1-5.
- 환경부, 2001. 인공위성영상자료를 이용한 토지피복분류도 구축 완료보고서, 한국전산원, pp.48-87.
- 황순옥, 1997. NOAA/AVHRR 자료를 이용한 북한지역 지피 식생 및 농경지 모니터링, 서울대학교 환경대학원 석사학위논문.
- Boardman, J. W., 1994. Geometric mixture analysis of imaging spectrometry data, *Surface and Atmospheric Remote Sensing: Technologies, Data Analysis and Interpretation International*, 4: 2369 -2371.
- Stone, T. A., P. Schlesinger, G. M. Woodwell, and R. A. Houghton, 1994. A Map of the Vegetation of South America Based on Satellite Imagery.
- Chavez, P. S., Jr., 1996. Image-based atmospheric corrections-revisited and revised, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 62(9): 1025-1036.
- DeFries, R. S., C. B. Field, I. Fung, C. O. Justice, S. Los, P. A. Matson, E. Matthews, H. A. Mooney, C. S. Potter, K. Prentice, P. J. Sellers, J. R. G. Townshend, C. J. Tucker, S. L. Ustin, and P. M. Vitousek, 1995. Mapping the land surface for global atmosphere-biosphere models: Toward continuous distributions of vegetation's functional properties, *J. Geophys. Res.* 100: 20867-20882.
- 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 Image, *Remote Sensing of Environment*, 68: 12-25.
- Elmore A. J., *et al.*, 2000. Quantifying Vegetation Change in Semiarid Environments: Precision and Accuracy of Spectral Mixture Analysis and the Normalized Difference Vegetation Index, *Remote Sensing of Environment*, 73(1): 87-102.
- Jensen, J. R., 1996. *Introductory Digital Image Processing: A remote sensing perspective*, 2nd Edition. NJ: Prentice-Hall.
- Keshava N. and J. F. Mustard, 2002. Spectral Unmixing, *IEEE Signal Processing Magazine*, 44-57.
- Kim S. and C. Park, 2004. Identification of Palustrine Wetlands in Paldang Reservoir Using Spectral Mixture Analysis of Multi-Temporal Landsat Imagery, *Journal of the Korea Society for Environmental Restoration and Revegetation Technology*, 7(3): 48-55.
- Roberts, D. A., Gardner, M., Church, R., Ustin, S., Scheer, G., and Green, R. O., 1998. Mapping Chaparral in the Santa Monica Mountains using Multiple Endmember Spectral Mixture Models, *Remote Sensing of Environment*, 65: 267-279.
- Weiss and Milich, 1997. Errors in a standard method for generating interannual NDVI coefficient of variation (CoV) images, *International Journal of Remote Sensing*, 18(18), 1997, 3743-3748(6).
- Winter M. E., 1999. N-FINDER An algorithm for fast autonomous spectral endmember determination in hyperspectral data, in *Proceedings of SPIE Imaging Spectrometry V*, 266-275.
- Wu, Changsan and Alan T. Murray, 2003. Estimating Impervious Surface Distribution by Spectral Mixture Analysis, *Remote Sensing of Environment*, 84: 493-505.
- Wu, C., 2004. Normalized spectral mixture analysis for monitoring urban composition using ETM+

- imagery, *Remote Sensing of Environment*, 93: 480-492.
- Yi-Hsing and TSENG, 2000. Spectral Unmixing for the classification of hyperspectral images, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol.XXXIII, Part B7. Am.2000.
- Zhu, Z. and Evans, D. L., 1994. U.S. forest types and predicted percent forest cover from AVHRR data. *Photogrammetric Eng. & Remote Sensing*, 60(5): 525-531.

