

# 선형분광혼합화소분석을 이용한 서부지역 DMZ의 토지피복 변화 탐지

김상욱<sup>1\*</sup>

## Land-Cover Change Detection of Western DMZ and Vicinity using Spectral Mixture Analysis of Landsat Imagery

Sang-Wook KIM<sup>1\*</sup>

### 요 약

본 연구는 DMZ 및 민통선지역의 토지피복 변화양상을 생태학적 측면에서 파악해보는데 목적을 두고 있다. 한반도 허리를 가르는 대상형 지역인 DMZ에 대하여 남북간 왕래가 잦은 서부지역에 대하여 토지피복특성을 파악해 보았는데, 비접근지역인 연구지역 특성상 본 연구에서는 위성영상자료를 활용하여 토지피복의 현황 및 변화특성을 파악해 보았다. '80년대 중반(Landsat TM, '87.05.20) 및 2000년대 초반의 영상(Landsat ETM+, '02.06.06)을 활용함으로써 최근 15년 동안 토지피복이 어떻게 변화했는지 파악하였으며, 생태적 가치가 큰 DMZ 지역의 토지피복 분류정확도를 높이기 위하여, 선형분광혼합화소분석(linear spectral mixture analysis : LSMA)을 이용하였다. 이 분석법은 하나의 화소를 단일한 지표물로 가정하여 영상을 처리하는 기존의 기법과 달리, 각 화소의 토지피복의 혼합정도를 세분화 한 후 대상지의 토지피복 특성을 가장 잘 반영하는 순수한 화소값 별로 분할영상(fraction image)을 생성하였는데, 본 연구에서는 식생, 토양, 수문의 3가지 화소에 대한 분할영상을 생성하였다. 분석결과 토지피복 가운데 산림지역의 면적이 가장 많은 감소를 가져왔는데, 남한지역의 경우 산림의 39.04km<sup>2</sup>가, 북한지역은 52.37km<sup>2</sup>가 다른 토지피복으로 변화되었다. 농경지의 경우 북한은 농경지 면적의 56.15km<sup>2</sup>가 나대지로 변화되었는데, 이는 남한에 비하여 농경지 관리가 소홀하여 나대지 상태로 방치되고 있음을 알 수 있다. 공간적인 측면에서 볼 때, 민통선지역의 경우 전반적으로 토지피복의 변화가 나타나고 있으며, DMZ 내부의 경우도 장단반도 주변지역, 과주시 및 북한 관문군지역의 경우 그 변화가 민통선지역과 비슷한 양상을 보이고 있다.

주요어 : 토지피복변화, 서부 DMZ, 선형분광혼합화소분석, Landsat TM/ETM+

2006년 1월 26일 접수 Received on January 26, 2006 / 2006년 3월 24일 심사완료 Accepted on March 24, 2006

1 한국토지공사 국토도시연구원, Urban and Land Institute, Korea Land Corporation

\* 연락처 E-mail : laughi@iklc.co.kr

## ABSTRACT

The object of this study is to detect of land-cover change in western DMZ and vicinity. This was performed as a basic study to construct a decision support system for the conservation or a sustainable development of the DMZ and Vicinity near future. DMZ is an is 4km wide and 250km long and it's one of the most highly fortified boundaries in the world and also a unique thin green line. Environmentalists want to declare the DMZ as a natural reserve and a biodiversity zone, but nowadays through the strengthening of the inter-Korean economic cooperation, some developers are trying to construct a new-town or an industrial complex inside of the DMZ. This study investigates the current environmental conditions, especially deforestation of the western DMZ adopting remote sensing and GIS techniques.

The Land-covers were identified through the linear spectral mixture analysis(LSMA) which was used to handle the spectral mixture problem of low spatial resolution imagery of Landsat TM and ETM+ imagery. To analyze quantitative and spatial change of vegetation-cover in western DMZ, GIS overlay method was used. In LSMA, to develop high-quality fraction images, three endmembers of green vegetation(GV), soil, water were driven from pure features in the imagery.

Through 15 years, from 1987 to 2002, forest of western DMZ and vicinity was devastated and changed to urban, farmland or barren land. Northern part of western DMZ and vicinity was more deforested than that of southern part. (52.37km<sup>2</sup> of North Korean forest and 39.04km<sup>2</sup> of South Korean were change to other land-covers.) In case of North Korean part, forest changed to barren land and farmland and in South Korean part, forest changed to farmland and urban area. Especially, In North Korean part of DMZ and vicinity, 56.15km<sup>2</sup> of farmland changed to barren land through 15 years, which showed the failure of the 'Darakbat' (terrace filed) project which is one of food increase projects in North Korea.

**KEYWORDS** : *Land-Cover Change Detection, Western DMZ, LSMA(linear spectral mixture analysis), Landsat TM/ETM+*

## 서론

최근 비무장지대를 어떻게 활용할 것인가에 대한 논의가 남북화해무드와 발맞추어 정부, 민간단체, 학계에서 거론되고 있다. 생태적 보전론자(ecologist)들의 입장에서는 DMZ를 유네스코 세계유산에 등록시키고 이 지역에 대한 위성탐사를 통해 환경 생태 현황을 구체적으로 분석, 자연친화적 개발 계획을 수립해야 한다"고 주장했다(김계중, 2002). 반면에 개발론자들은 비무장지대 또한 통일이후의 국토계획 및 개발의 논리의 연장선상에서 개발될 곳

과 보전되어야 할 곳을 계획하는 작업의 선상에서 이해해야 된다고 주장하며, 생태평화공원 조성, 관광코스 개발 또는 평화시 건설의 입지로 활용 등이 제기되고 있다(우한정, 1997; 강원일보, 2006). 최근 남북경협사업의 일환인 개성공단사업이 활성화됨에 따라 특히 서부지역 DMZ의 경우 그 왕래가 빈번하며, 남북연결도로 사업, 경의선 연결공사 등으로 DMZ 및 주변지역의 토지이용변화가 빈번히 나타나고 있다. 또한 개성공단과 연계한 접경지역의 이용과 관련하여 지자체별로 발전전략을 수립·추진 중에 있다. 이렇게 지방자치단체는 지역의

낙후성 탈피 노력, 토지이용규제의 완화, 개인의 사적 재산권의 강화 등을 요구하면서 DMZ 일원에 대한 관리가 점점 어려워지고 있고 보전과 개발에 대한 갈등이 고조되고 있는 실정이다. 또한, 남한의 경우 민통선지역이 도시화 및 농경지화가 진행되고 있으며, 북한의 경우 화공에 의한 사계청소, 산림훼손 등으로 비무장지대 및 민통선의 생태적 환경에 많은 간섭 내지는 교란이 발생되고 있는 실정이다.

이에 본 연구에서는 DMZ 및 남·북한의 접경지역의 토지피복의 변화를 분석해 보았다. 과거 약 15년 전부터 현재에 이르는 시계열 자료를 이용하여 산림, 시가지지역, 농경지의 면적 및 공간적 변화를 살펴봄으로써, 통일 전후, 생태계의 보고로서의 서부 DMZ 지역의 지속가능한 개발을 위한 의사결정의 기초 자료를 구축하고자 하였다.

## 위성영상을 이용한 북한 및 DMZ 지역 토지피복 조사

북한의 토지는 사회주의적 소유관계를 선언한 “조선민주주의인민공화국 사회주의 헌법”을 기반으로 토지법, 도시경영법, 산림법, 대외경제관련법 등에 의하여 관리되고 있다. 북한은 전체 토지를 크게 6가지 용도로 구분하고 있는데, DMZ 및 민통선지역의 경우 특수토지, 산림토지 및 농업토지가 대부분을 차지할 것으로 판단된다(김상욱과 정종철, 2002). DMZ 북측지역은 특수토지 가운데에서도 군사용 토지로 구분되어 군부대가 그 이용 및 관리를 담당할 것으로 판단되며, 농업토지의 경우 경작이 가능한 농지만이 포함된다. 북한의 산림토지의 경우 무림목지, 잡관목지, 농경지, 과수원, 잡엽, 생산림지, 상전 등의 조성을 미리 예정하고 현재의 산림상태를 고려하여 계획을 세울 것을 요구하고 있는데 산림식생의 존재 여부와 관계없이 경사지(산지)를 대상으로 한 생산활동과 보호보존 및 서비스 활동까지를

포함하는 산지에서 발생하는 일체의 활동을 그 대상으로 하고 있어 생태학적 입장과 경영활동의 견지에서 산림토지를 합목적으로 쓸 수 있어야 함을 강조하고 있다(김광주, 1988).

위성영상을 이용한 북한관련연구에 있어서 가장 중요한 고려사항은 현장답사자료(ground truth)를 확보하지 못하는 상황에서 피복분류의 오차를 줄일 수 있는 방법의 연구에 대한 것이다. 피복분류의 정확도를 높이기 위해 기존 연구들은 토지피복을 대개 수채, 논, 밭, 주거지, 나지, 초지, 산림으로 구분하였으며 무감독분류(ISODATA) 후 감독분류(최대우도법)를 하는 방법 등을 이용하고 있다(이승호, 1997; 이규성과 정미령, 1998). 변화탐지(change detection)를 위해서는 피복분류 후 조사하는 방법이 일반적으로 이용되고 있으며 또한 정규식생지수(NDVI) 분석을 통해 산림을 침엽, 활엽, 혼효, 고산침엽으로 세분하였다. 이렇게 NDVI 또는 발전된 형태의 식생지수(TVI, GVI)를 이용하여 북한지역의 토지이용을 분류하고 그 양적 질적 변화를 분석하는 연구가 많이 제시되고 있다(산림청, 1995; John 등, 1998; 이규성과 정미령, 1998; 서창완과 전성우, 1998; 김상욱과 정종철, 2002). 또한 비접근지역에 대한 피복분류 정확도를 높이기 위하여 산림, 비산림, 수체의 3가지로 분류항목을 단순화시키고 있다(Kim, 1998).

본 연구는 DMZ 및 주변지역은 생태적인 측면에서의 토지피복의 변화를 살펴보고자 한다. 이에 식생지수 하나만을 활용하거나 고해상도 위성영상과의 영상융합을 통해 공간해상도를 향상시키는 기존의 기법과 달리 분류정확도를 보다 높이기 위하여 분류 항목을 최소화하고 분광혼합화소분석의 결과를 활용하기로 하였다. 본 연구의 토지피복 분류항목은 산림, 농경지, 수체, 시가지지역 및 나대지의 5가지로 구분한다. 농경지의 경우 논과 밭 지역을 포함하며, 수체의 경우 하천 및 저수지를 포함하며, 시가지지역은 도시지역, 도로 등 포장지역

과 나대지를 포함한다. DMZ 서부지역의 경우 습지가 나타나고 있으나, 그 지역이 넓지 않고 정확한 위치의 파악이 어렵기 때문에 Landsat 과 같은 중해상도 위성영상을 이용하는 본 연구에서는 분류항목에서 제외하였다.

## 연구자료 및 방법

### 1. 연구자료

본 연구에서는 '87년에 취득된 Landsat TM ('87.05.20) 영상과 '02년의 Landsat ETM+ ('02.06.06) 영상을 이용하여 '87년에서 '02년까지 15년간의 토지피복변화를 살펴보았다. '87년 영상의 경우 5월말에 취득되었으며, '02년의 영상은 6월초의 영상으로, 두 시기의 영상 모두 식생이 활착되는 단계에 있어, 생물계절 주기의 차이에 따른 토지피복분류 오차를 최소화하였다. 북한지역의 투영방법 및 Datum을 결정하는데 있어서 본 연구에서는 UTM52 지역을 그리고 타원체는 WGS84를 그 기준으로 한다. 위성영상의 분석 및 분광혼합화소분석을 위해서 ENVI 3.6을 이용하였으며, 면적계산 및 변화지역추출 등을 위해 GIS S/W인 ArcView 3.3을 활용하였다.

연구의 대상지는 김상욱과 정종철(2002)의 기준에 따라 서부평야지역만을 그 대상으로 하였다. 서부DMZ는 임진강입구, 장단반도에서 어룡리에 이르는 지역으로 DMZ 중부지역과 임진강으로 나뉘어진다. 연구대상지의 폭원은 DMZ 서부지역 및 군사분계선을 중심으로 각각 10km 폭원까지의 주변지역을 연구대상지를 선정하고 토지피복분류도를 구축하였다.

영상의 피복분류를 위한 현장자료(ground truth)는 '03년 8월 및 '04년 6월의 남북연결도로 주변 통행 시에 취득한 현장자료, 수치지형도(1:50,000) 그리고 고해상도 위성영상인 SPOT5('02.10.09) 자료를 활용하였다.

### 2. DMZ 지역의 토지피복분석과 분광혼합화소분석의 응용

DMZ 지역의 토지피복분석을 위해 본 연구에서는 선형분광혼합화소분석(linear spectral mixture analysis : LSMA) 기법을 적용하였다. Landsat 위성영상의 경우 하나의 화소는 일반적으로 하나의 동질한 물체의 분광 반사값을 나타내기보다는 다양한 분광값을 가진 물체들의 대표값으로 나타나게 된다. 이러한 혼합된 화소를 분해하는 방법을 SMA라하며 혼합된 화소를 분해하는 분광혼합화소분석 방법 가운데 가장 대표적인 방법이 LSMA이다 (Keshava와 Mustard, 2002). 특히 식생, 수문 및 토양요소들이 혼합된 생태계의 보고라 할 수 있는 DMZ 지역의 경우, 하나의 화소가 하나의 물체를 대표함을 전제로 하는 기존의 분석방법 보다는, 이렇게 발생하는 혼합화소(mixed pixel)를 대상지의 토지피복을 가장 잘 반영하는 순수한 화소값(endmember)들로 분해함으로써 보다 정확한 판별 및 분류를 가능케 하고자 한다. 또한 최근의 연구결과를 살펴보면 NDVI값 보다 SMA 식생분할영상이 보다 식생의 활력도를 잘 반영해주는 것으로 나타나고 있으며(Elmore 등, 2000), 산림 등 토지피복의 생태적 특성에 대한 분석과정으로서의 SMA 기법은 국내에서도 관련 연구가 수행되고 있다(이지민, 2003; 김대성 2003; Kim과 Park 2004).

DMZ 및 주변지역에 대한 위성영상의 각 화소의 식생, 수문 및 토양요소의 혼합정도를 분해한 후, 이들의 분할영상(fraction images)을 추출해내고 이를 원자료와 함께 피복분류에 이용하였다. 토지피복분류를 위해서 무감독분류(ISODATA) 후 감독분류(최대우도법)하는 방법을 이용하였다. 감독분류를 위한 현장조사자료(ground truth)의 확보는 국한된 지역이지만, 남북연결도로 주변의 지역에 대한 현황사진('04.05)과 둘째, 고해상도 위성영상인 SPOT 5

위성영상자료를 보조자료로 활용하였다. 선형 혼합모델은 분광혼합화소분석을 위한 가장 일반적인 방법이다. 다음의 식(1)은 분광혼합화소분석의 주요 식이다(Manolakis 2001).

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

$x$  spectrum of the mixed pixel

$s_k$  spectra of the endmembers

$a_k$  abundances of the endmembers

$M$  number of endmembers

$w$  residuals

$a_k \geq 0$  (nonnegativity constraint) /

$\sum_{k=1}^M a_k = 1$  (additivity constraint)

분할영상 생성을 위한 순수한 화소값 선정과 관련한 기존연구로는 spectral library를 이용한 방법(Roberts 등, 1998; Drake 등, 1999)이 있으며, 산란분포도를 이용하여 순수한 화소값을 선정하는 방법이 있다. 이러한 기법은 크게 자동화 방법과 산란분포도에서 직접 선정하는 수동적인 방법으로 나눌 수 있는데, 자동화 기법으로는 pixel purity index(Boardman 등, 1995) 방법과, N-FINDER(Winter, 1999) 방법 등이 있으며 산포도를 이용하는 수동적인 방법으로

는 Wu와 Murray(2003), Wu(2004), Kim과 Park (2004) 등이 있다. Wu(2004)에서는 주성분분석을 통해 주성분 1, 2, 3의 산포도 평면을 이용하여 순수한 화소값을 선정했으며 Kim과 Park(2004)에서는 적색밴드와 근적외밴드의 조합을 통해 순수한 화소값을 선정하였다. 본 연구에서도 영상과 산포도를 동시에 확인하는 수동적 기법을 이용하도록 한다.

## 결과 및 고찰

서부 DMZ 지역은 장단반도, 사천 주변으로 내륙습지가 분포되어 있는 등 생태적으로 중요한 토지피복이 분포되어 있기에 본 연구에서는 식생, 토양 및 물의 3개의 순수한 화소값(endmember)을 선정하여 혼합화소를 분할해 내었다.

### 1. 분광혼합화소분석 결과

그림 1은 '87년 서부 DMZ 지역 가운데 장단반도지역의 분광혼합화소분석 결과를 확대한 것이다. 첫 번째 그림은 식생의 endmember를 보여주고 있는데, 밝은 색으로 나타나는 지역은 식생의 활력도가 높은 지역이며 어두운 지역은 식생이 아닌 다른 토지피복이 있는 지역을 나타내준다. 즉 임진강의 수체부분 그리고 나대지 지역은 어두운 색으로 나타나고 있음

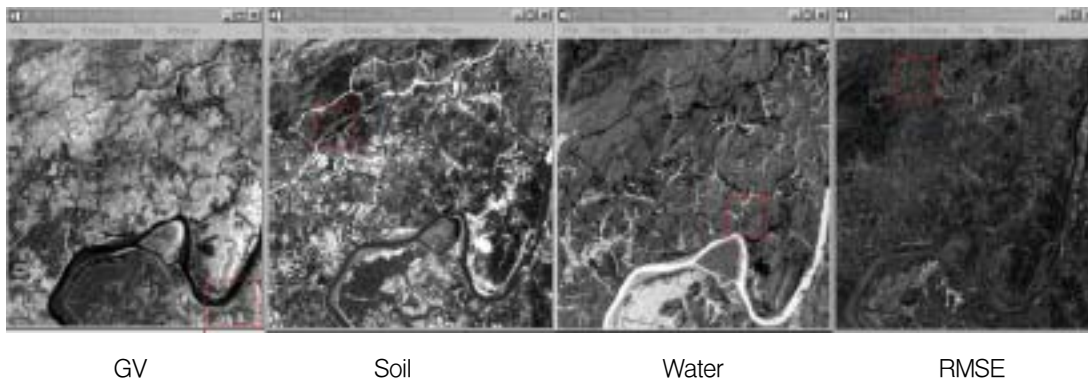


FIGURE 1. Fraction Images from LSMA of western DMZ '87

을 알 수 있다.

두 번째 그림은 토양 endmember를 보여주는데, 밝은 색으로 나타나는 지역은 시가화건조구역, 나대지 및 하천 사구 등을 보여주고 있다. 세 번째 영상은 물 endmember 분할영상으로 임진강 및 논 지역이 밝은 색으로 나타나고 있다. 마지막 그림은 잔차값을 보여주고 있는데, 한 화소의 endmember 별 분할이 제대로 되었는지를 그래픽으로 보여주고 있다. 즉 각각의 화소마다 endmember 별로 정확히 분할되었다면, 그 화소는 0에 가까운 값을 보이며 RMSE 영상은 검게 나타나게 된다. 그림 1에서의 RMSE 영상은 전반적으로 어둡게 나타나고 있으나, 일부 논 주변지역의 화소값이 밝은 색으로 나타나고 있다.

그림 2는 '02년 서부 DMZ 지역의 분할영상들이다. '87년과 마찬가지로 첫 번째 그림은 식생 endmember를 이용한 분할영상으로 대부분의 지역이 상당히 밝은 값으로 나타나고 있다. 두 번째 토양 분할영상의 경우 국도 1호선 연결구간 및 경의선 남한구간 공사 명확히 나타나고 있다. 세 번째 물 분할영상의 경우 임진강 및 논 지역이 밝은 값으로 나타나고 있는데, 이는 영상의 촬영시기가 6월 초로 모내기 위해 논에 물이 대어진 상태를 잘 보여

주고 있다.

## 2. 토지피복 분류 결과

'87년 Landsat 위성영상의 원자료와 분광혼합화소분석 결과를 모두 이용하여 피복분류한 결과는 그림 3과 같다. DMZ 서부지역 및 군사분계선을 중심으로 각각 10km 폭원으로 연구대상지를 선정하고 토지피복분류도를 구축하였다. 연구 대상지를 가로지르는 굵은 실선이 군사분계선이며, 2km 폭원의 남북한계선과 북방한계선의 내부지역이 DMZ이다.

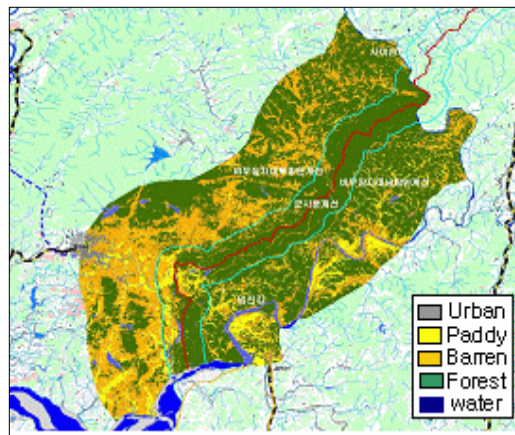


FIGURE 3. '87 Land-cover map of western DMZ

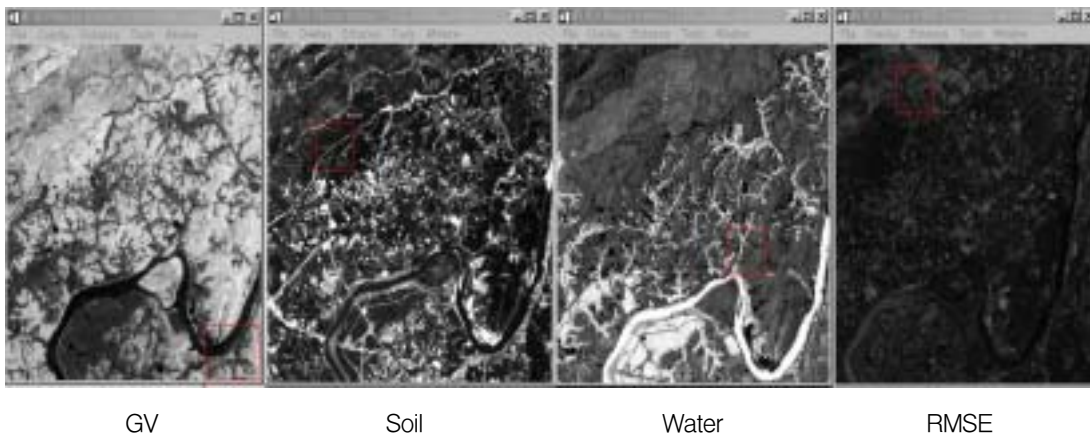


FIGURE 2. Fraction Images from LSMA of western DMZ '02

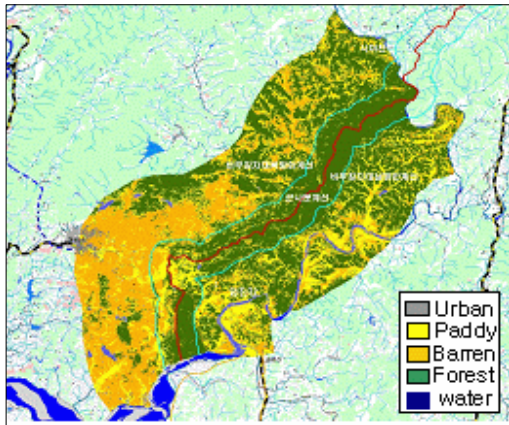


FIGURE 4. '02 Land-cover map of western DMZ

남한지역은 임진강 주변으로 농경지가 분포되어 있음을 알 수 있으며 북한지역은 비무장지대 북측구간을 제외하고는 상당히 넓은 면적이 나대지 상태임을 알 수 있다. 북한의 경우 우리의 민통지역에 해당되는 지역이 따로 지정되어 있지는 않은 것으로 파악되고 있으나, DMZ 인근지역의 경우, 군사지역이 대부분으로, 취락은 거의 발달되지 않은 것으로 판단되고 있다. 비무장지대의 경우 대부분 산림으로 분류되었지만, 북측구간의 경우 일부 농경지와 나대지로 분류되어 있어, 비무장지대 내부라도 경작 및 사계청소를 위한 산림훼손이 지속적으로 발생되고 있음을 알 수 있게 해준다.

'02년도도의 경우 '87년에 비하여 전반적으로 산림면적이 감소한 것을 알 수 있는데, 특히 개성시 판문읍 아래편의 산림지역의 면적이 상당히 감소하였음을 알 수 있다(그림 4). 남한지역의 경우 민통선지역의 산림이 농경지로 변화되었음을 알 수 있다. 북한지역의 경우도 마찬가지로 삼림이 농경지 또는 나대지로 상당부분 변화한 것을 알 수 있다. 비무장지대 내부의 경우 대성동 및 기정동 마을 주변으로 농경지와 나대지 면적이 상당히 늘어난 것으로 분석할 수 있다.

### 3. 토지피복별 면적변화 조사

서부 남한지역은 임진강입구의 고루리, 장단반도, 파주군 석곡리 및 연천 사미천 지역에 이른다. 표 1은 서부 DMZ 남한지역의 토지피복 변화를 매트릭스로 작성한 것이다. 열측으로는 '87년의 토지피복을 그리고 행측으로는 '02년의 토지피복을 나열한 것이다. 산림지역의 경우 농경지로의 변화가 가장 많이 나타났으며 일부 나대지로 변화되었다. 이는 민통선지역의 경우 일부 산림지역을 농경지화 하였음을 유추할 수 있게 해준다. 나대지의 경우 농경지로의 변화가 가장 많은 면적을 차지하고 있는데, 이는 나대지를 개간하여 농경지로 활용하고 있음을 알 수 있게 해준다. 또한 산림으로 복원된 면적도 상당함을 보여주고 있는데 이는 기존의 나대지가 초지 또는 잡목지로 천이가 진행되었거나 또는 식생의 활착과 관련하여 영상의 촬영시기의 차이에 따른 오차일 가능성 또한 배제할 수 없다. 농경지를 살펴보면 산림으로 변화한 지역이 상당히 많은 면적을 차지하고 있는데, 산림지역이 농경지로 변화된 면적과 거의 비슷한 양상을 나타내고 있다.

서부 북한지역은 개성직할시 판문군과 장풍군을 그 행정구역으로 하고 있으며, 판문읍, 판문점, 장단반도, 어룡저수지, 사천유역을 그 대상으로 하고 있다. 현장조사 결과, 북한의 서부지역의 민통선지역 및 외부지역의 구릉지 및 계곡부는 다락밭으로 조성되었다가 현재는 식생의 피복도나 밀집도가 떨어진 묵밭, 나대지 또는 무림목지의 형태로 방치되고 있다.

서부 DMZ 북측구간의 토지피복변화를 정리하면 표 2와 같으며, 그 경향은 남한구간의 그것과 비슷한 양상을 보이고 있다. 산림지역의 경우 나대지 및 농경지로의 변화가 대부분인데, 이는 산림을 다락밭으로 개간하여 식량증산에 이용하거나, 겨울을 나기 위하여 땔감으로 산림훼손이 빈번하게 나타나고 있다. 나대지의 경우 농경지 및 산림지역으로 변화된 면

적이 꽤 나타나고 있는데, 이는 개간을 통해 밭이나 과수원 등으로 활용하고 있음을 추측해 볼 수도 있으며, 다른 한편으로는, 분석에 이용된 영상의 촬영시기에 약간의 차이를 보임으로 인하여 휴경농지가 나대지로 분류된 결과가 반영되었을 수 있겠다.

**TABLE 1.** Land-cover change in southern part of western DMZ ('87~'02) (단위: km<sup>2</sup>)

Land cover	'87 southern part of western DMZ					
	forest	barren	paddy	urban	water	Area
forest	204.52	16.37	16.33	0.01	0.21	237.44
barren	13	17.95	13.33	0.4	0.23	32.91
'02 paddy	25.08	22.93	59.13	0.11	1.37	663.32
urban	0.14	0.12	0.62	0.87	0.04	1,328.43
water	0.67	0.48	2.48	0.11	6.44	2,667.04
Area	243.56	57.88	91.89	1.5	8.3	-
Change	39.04	39.94	32.76	0.63	1.85	-

**TABLE 2.** Land-cover change in northern part of western DMZ ('87~'02) (단위: km<sup>2</sup>)

Land-cover	'87 northern part of western DMZ					
	forest	barren	paddy	urban	water	Area
forest	210.49	20.54	11.31	0.06	0.24	244.64
barren	23.8	138.89	56.15	0.85	0.38	709.35
'02 paddy	27.99	23.59	53.46	1.03	1.55	1,526.32
urban	0.02	1.36	2.29	2.62	0.08	3,059.01
water	0.32	0.34	1.67	0.06	3.19	5.57
area	262.86	184.74	124.96	4.62	5.45	-
Change	52.37	45.85	71.5	2	2.26	-

서부 DMZ 남한 및 북한지역을 비교해보면, 변화면적에 있어 북한지역의 면적 변화가 보다 크게 나타나고 있다. 물론 연구 대상지의 면적이 북한지역이 좀 더 넓게 분석된 영향도 있지만, 산림의 경우 남측은 39.04km<sup>2</sup> 북측은 52.37km<sup>2</sup>가 다른 토지피복으로 변화되었다. 농경지의 경우 북한은 농경지 면적의 56.15km<sup>2</sup>가

나대지로 변화되었는데 이는 남한에 비하여 농경지 관리가 소홀하여 나대지 상태로 방치되고 있음을 알 수 있다. 실제로 식량증산을 위해 '70년대부터 조성했던 다락밭의 경우 관개시설 등이 미비하고 지속적인 관리가 불가능한 현실이며, 하계 집중 강우 시 표토 등의 토사유출로 나대지로 방치되고 있는 것 또한 사실이다.

**4. 토지피복의 공간적 변화 분석**

면적변화를 통해 DMZ 지역의 토지피복의 양적인 변화를 살펴볼 수 있었다. 하지만 토지피복간의 변화는 DMZ 서부지역의 공간적 변화를 반영할 수 없으며, 이에 '87년에서 '02년에 이르는 동안 공간적인 변화를 살펴보았으며 그 결과는 그림 5와 같다. 그림 5는 서부 DMZ 지역에서 토지피복변화가 나타난 지역을 표시한 것으로 DMZ 내부를 제외하고는 DMZ 지역이 전반적으로 토지피복에 변화가 나타나고 있음을 알 수 있다. DMZ 내부의 경우도 장단반도 주변지역, 파주시 및 판문군지역의 경우 토지피복 변화의 양상이 주변지역과 비슷한 형태로 나타나고 있다.



**FIGURE 5.** Spatial change mapping of the land-cover in the western DMZ



DMZ 남한지역을 살펴보면, 통일대교 건설, 국도1호선의 연결 등으로 인한 토지피복변화가 그대로 나타나고 있으며, 장단반도의 경우 대규모 면적의 토지피복변화가 있음을 보여주고 있는데, '87년에는 산림지역이 대부분이었지만 '02년에는 나대지와 일부 농경지로의 변화되었다. 민통선지역에 비하여 남방한계선에서 군사분계선에 이르는 DMZ 내부지역의 경우 변화가 상대적으로 적게 있었음을 알 수 있다. 단 대성동마을 및 관문점 주변지역의 경우 상당한 변화가 있었음을 알 수 있다.

DMZ 북한지역을 살펴보면 남한과 마찬가지로 전반적으로 토지피복의 변화가 있었음을 알 수 있다. 특히 접근이 자유롭지 못한 군사분계선에서 북방한계선에 이르는 지역 또한 많은 변화가 있었음을 알 수 있는데, 이는 화공을 통한 시계확보 그리고 군부대의 식량증산 또는 땀감마련을 위한 산림벌채 등이 그 원인이라 하겠다.


## 결 론

서부 DMZ 남한 및 북한구간 모두 양 한계선 및 군사분계선과 같은 방향의 선형으로 매우 뚜렷한 토지피복 변화가 나타나고 있다. 이는 남·북한 모두 군 작전을 위한 산림훼손, 경작을 위한 농경지로의 개간 등이 주원인이라 유추해볼 수 있겠다. 특히 북한지역의 경우 민통지역이라는 행정경계가 따로 없는 상황으로 남한에 비하여 토지피복의 변화가 보다 심각한 실정이다.

본 연구는 저해상도 위성영상의 토지피복분류, 특히 자연환경요소에 대한 판별을 위한 보다 개선된 분석방법인 LSMA기법을 이용하였다. 현장검증자료를 구할 수 없는 상황에서 분류결과는 '03년~'04년에 걸친 남북연결도로 주변의 자료만을 이용하여 검증하였으며, 정성적으로나마 개선된 분류결과를 가져온 것으로 판단할 수 있으나, 향후 고해상도 영상의 활용 및 보다 구체적인 현장검증자료의 취득을 통

해 정확도를 높이기 위한 구체적 방법론 또한 필요하리라 본다. 특히 남북연결도로 지역의 경우 묵논·묵밭이 내륙습지로 천이된 지역이 상당부분 분포되어 있다. 즉 생태적으로 그 가치가 크지만 그 규모가 크지 않아 중·저해상도 위성영상을 통해서도 정확히 감지되지 못하는 내륙습지와 같은 토지피복에 대해서는 고해상도 위성영상을 이용한 분석이 향후 필요하리라 본다.

LSMA 기법 상의 분할영상 생성을 위하여 본 연구에서는 endmember의 순수한 값을 나타내는 지역을 영상 내에서 직접 찾는 경험에 기반한 결정기법을 이용하였으나, 향후 N 차원의 산포도를 활용하는 등 보다 과학적인 기반의 방법의 응용에 대한 검토가 필요하다 하겠다.

또한 분석결과 남북연결도로 사업으로 인한 대규모의 토지피복변화가 관찰되기는 하였으나, '02년에 이르는 토지피복의 변화탐지로 인하여 개성공단사업 및 경의선 연결사업이 활성화된 '04년 이후의 현황을 반영하지 못하고 있는 실정이다. 하여 향후 보다 최근의 영상을 활용하여 남북간의 경험사업 활성화 이후의 변화양상에 대한 분석 또한 필요하리라 판단된다. 

## 참고 문헌

- 강원일보. 2006. 준공 앞 둔 동해북부선 - 지역과급효과.
- 김계중. 2002. DMZ 생태계의 보전 : 한반도 자연보전의 협력. 한반도 환경협력 실현을 위한 국제심포지엄 자료집.(<http://cice.kfem.or.kr/>)
- 김광주. 1988. 산의 종합적 리용에서 제기되는 몇 가지 문제. 『산림과학연구논문집』 제1호, pp.471-480.
- 김대성. 2003. Linear Spectral Mixing 모델을 이용한 하이퍼스펙트럴 영상의 Sub-pixel 인식에 관한 연구. 서울대학교 대학원 석사학위논문. pp14-44.

- 김상욱, 정종철. 2002. 식생지수를 이용한 DMZ의 생태적 영향권 조사, 한국지리정보학회지, 5(4):24-34.
- 산림청. 1995~2000. 비무장지대 및 인접지역의 산림생태계 조사 종합보고서.
- 서창완, 전성우. 1998. 원격탐사와 GIS기법을 이용한 접경지역 토지피복연구, 환경영향평가학회지 7(1):20쪽
- 우한정. 1997. 비무장지대 및 인접지역의 자연자원 보전과 이용, 한반도 비무장지대의 환경보전과 개발에 관한 국제 심포지엄 논문집, 한국조경학회. 43-62쪽.
- 이규성, 정미령, 1998, '북한지역의 토지피복분류를 위한 위성영상의 시기적 특성', 춘계 학술대회 논문집. 대한원격탐사학회. 34-37쪽.
- 이승호. 1997. 인공위성에서 본 북한의 산림자원현황. 월간임업정보 제74호. 임업연구원. 45-48쪽.
- 이지민. 2003. 산림지역에서 Landsat-7 ETM+ 영상의 혼합화소분석, 인하대학교 대학원 석사학위논문. 15-57쪽.
- Boardman J.W., F.A. Kruse, and R. O. Green, 1995, Mapping target signatures via partial unmixing of AVIRIS data, in Summaries of the V JPL Airborne Earth Science Workshop. Pasadena. CA.
- 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., J.F. Mustard, S.J. Manning, and D.B. Lobell, 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.
- John G. Lyon. et. al. 1998. A Change Detection Experiment Using Vegetation Indices, PE & RS, vol. 64, No. 2. pp.143-150.
- Keshava N., J.F. Mustard, 2002, Spectral Unmixing, IEEE Signal Processing Magazine. pp.44-57.
- Kim S., 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. Vol. 7, No.3. pp.48-55.
- Kim., C. 1998, Remote Sensing for Monitoring for Deforestation in North Korea, Proceedings of The Joint German-Korean Symposium. pp.76-82.
- Manolakis D., C. Siracusa and G. Shaw, 2001, Hyperspectral subpixel target detection using the linear mixing model, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. 39(7) : 1392~1409.
- Roberts, D.A., M. Gardner, R. Church, S. Ustin, G. Scheer and R.O. Green, 1998. Mapping Chaparral in the Santa Monica Mountains using Multiple Endmember Spectral Mixture Models, Rem. Sens. Environ. 65: 267-279.
- 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, C. 2004. Normalized spectral mixture analysis for monitoring urban composition using ETM+ imagery. Remote Sensing of Environment. 93. 480-492.
- Wu, Changsan and Alan T. Murray. 2003. "Estimating Impervious Surface Distribution by Spectral Mixture Analysis." Remote Sensing of Environment 84:493-505. 