

위성영상을 이용한 중분류 토지피복도의 제작과정 개선

박정재* · 구자용** · 김병선***

Improvement of the Level-2 Land Cover Map with Satellite Image

Jung Jae Park* · Cha Yong Ku** · Byung Sun Kim***

요 약

토지피복도는 지표면의 상태를 나타내는 자료로 특히 환경 분야에서 지역의 현황을 파악하고 정책을 수립하기 위한 기초적인 자료이다. 토지피복도를 효과적으로 제작하기 위해서는 인공위성을 이용하여 한 지표면 현황에 대한 정보를 신속하게 수집하고, 이를 지리정보로 변환하여 구축하고 관리하여야 한다. 본 연구에서는 우리나라 환경부에서 구축한 중분류 토지피복도의 제작과정을 검토하고, 이를 객관적이고 구체적으로 개선하고자 한다. 이를 위하여 국내외의 토지피복도 제작 현황과 문제점을 파악한 후, 중분류 토지피복도를 제작하기 위한 구체적이고 효과적인 개선방안을 제시하였다. 본 연구에서 제시한 경계선 설정기준과 속성정보 부여기준은 기존의 토지피복도 제작과정에서 나타난 문제점을 보완할 수 있었다.

주요어 : 중분류 토지피복도, 토지피복 분류체계, 토지피복도 제작과정, 위성영상

ABSTRACT : The land cover map represent the state of earth surfaces. It can be used as basic data to explore present conditions of earth surfaces and develop future plans for local areas. To produce the land cover map with efficiency, gathering geographic information from satellite images is important. Exporting, building, and managing processes on the land cover information are needed as well. In this study we aim to review the producing process of the level-2 land cover map in detail and enhance it. A present status of the producing process of the land cover map in Korea is reviewed, problems of the process are explored, and measures for improving it are proposed. The criteria for fixing boundaries and providing attributes for

*한국환경정책·평가연구원 책임연구원(Associate Research Fellow, Korea Environment Institute, jjpark@kei.re.kr)

**상명대학교 사회과학부 지리학과 부교수(Associate Professor, Department of Geography, Sangmyung University, koostar@smu.ac.kr)

***국토연구원 국토정보연구소 연구원(Researcher, Korea Research Institute for Human Settlements, kimbs@krihs.re.kr)

the land cover map are proposed. This proposed criteria may solve problems in a present producing process. The improving measures proposed in this study should be continuously revised in future studies.

Keywords : level-2 land cover map, land cover classification scheme, producing process of the land cover map, satellite images

1. 서 론

인간은 지표 공간상에서 활동하면서 토지를 이용하고 변형시킨다. 토지는 지표면에서 인간의 활동상태를 표현하기도 하며, 자연환경의 특성을 표현하기도 한다. 특히 자연환경 분야의 경우 인간의 활동으로 훼손된 지역을 파악하고 대책을 수립하기 위해서는 지표면의 상태에 대한 자료가 필요하다. 토지피복도는 토지표면의 물리적 현황 즉 지표면의 상태를 나타내는 자료로 특히 환경 분야에서 지역의 현황을 파악하고 정책을 수립하기 위한 기초적인 자료이다(한국환경정책평가연구원, 1999). 토지피복도를 통하여 토지의 이용현황을 공간적으로 파악할 수 있으며, 보전이 필요한 지리적 공간을 분석할 수 있다. 토지피복도를 효과적으로 제작하기 위해서는 원격탐사와 GIS 기법이 필수적이다. 토지는 인간의 영향을 받아 빠른 속도로 변화하고 있어, 토지피복 현황을 신속하고 정확하게 파악하고 관리하여야 하기 때문이다. 따라서 인공위성을 이용하여 한 지표면 현황에 대한 정보를 신속하게 수집하고, 이를 지리정보로 변환

하여 구축하고 관리할 필요가 있다.

우리나라 환경부에서는 1998년부터 전국을 대상으로 토지피복도를 제작하여 구축하였다. 1998년에는 위성영상을 이용하여 전국의 대분류 토지피복도를 제작하였으며, 2001년부터 2004년까지는 전국의 중분류 토지피복도를 제작하였다. 대분류 토지피복도는 우리나라 전역을 대상으로 위성영상 처리를 통하여 7개 토지유형으로 구분하였으며, 중분류 토지피복도는 위성영상을 판독하여 23개 토지유형으로 세분한 자료이다. 중분류 토지피복도는 대분류 토지피복도보다 지도의 축척이나 내용면에서 자세한 정보를 담고 있다. 따라서 지표면의 현황을 파악하고, 국토 또는 환경과 관련한 정책을 수립하기 위해서는 상세한 정보를 담고 있는 중분류 토지피복도의 활용도가 더욱 높을 것으로 전망된다.

영상처리 시스템을 이용하여 위성영상을 처리하는 대분류 토지피복도와는 달리 중분류 토지피복도는 영상을 수동으로 판독하여 제작되고 있으며 판독의 기준 또한 애매하기 때문에 지표정보를 보다 정확하게 표현하지 못할 위험이 있다. 따라서 지금까지 구축된 중분류 토지피복도의

제작과정을 검토하고, 이를 객관적이고 구체적으로 개선할 필요가 있다. 본 연구에서는 우리나라에서 지난 5년간 수행하였던 중분류 토지피복도의 제작과정을 검토하고, 이를 개선하는 방안을 제시하는 것을 목적으로 한다. 이를 위하여 국내외의 토지피복도 제작과정을 검토하고 우리나라 토지피복도의 현황과 문제점을 파악한 후, 중분류 토지피복도를 제작하기 위한 구체적이고 효과적인 개선방안을 제시하고자 한다.

2. 국내외의 토지피복도 제작과정

2.1 미국 USGS의 토지피복도 제작과정

미국 USGS에서는 위성영상이나 항공사진으로부터 토지의 피복유형을 분류하기 위하여 토지피복 분류체계를 작성하여 활용하고 있다. 이 분류체계는 인간의 활동이 개입된 토지이용 분류체계가 아니라 인간이 토지를 이용한 결과 나타나는 토지피복의 형태를 원격탐사로 분석할 수 있도록 개발된 분류체계이다. 이 분류체계에서는 토지유형이 계층별로 구성되어 있다. 대분류의 경우 도심지, 농촌, 초지, 삼림, 수역, 습지, 나지, 툰드라, 영구동토 등의 9가지 토지유형으로 구성되었으며 중분류의 경우 30개 분류체계로 구성되어 있다. 이 분류체계는 Anderson(1976)에 의하여 표준화된 체계로 발전하였다. 이 분류체계는 대분류를 7가지로, 중분류를 22가지로 간략화한 것으로 LANDSAT MSS

와 TM 영상, SPOT 영상, 항공사진 등 원격탐사 자료를 이용하여 토지피복을 체계적으로 분류하도록 접근하고 있다.

한편, 미국 USGS에서는 1970년대 이후 토지피복도를 작성하여 제공하고 있다. LULC(Land Use and Land Cover)라 부르는 이 자료는 1970년대와 1980년대 항공사진을 판독하고, 지도와 측량자료를 보조자료로 사용하여 작성하였다. LULC 자료는 미국 전역에 걸쳐 1:100,000 축척과 1:250,000 축척의 지형도 도엽에 맞게 제공하고 있다. 래스터 형태로 제공되는 GIRAS(Geographic Information Retrieval and Analysis System) 포맷의 경우 도시지역은 200미터 해상도, 비도시지역은 400미터 해상도를 가지고 있으며, CTG(Composite Theme Grid) 포맷의 경우 30미터 해상도를 가지고 있다.

2.2 유럽 Corine의 토지피복도 제작과정

유럽에서는 USGS와 별도로 Corine 분류체계를 이용하고 있다. Corine 분류체계 역시 계층적 분류를 이용하고 있으며, 5개의 대분류와 15개의 중분류로 구성되어 있다. Corine의 분류체계는 1:10,000 축척의 중분류 토지피복도를 작성하기 위하여 위성영상을 시각적으로 판독하여 디지털화하고 있다. 또한 Corine에서는 중분류 토지피복도를 작성하기 위한 상세한 작업지침을 제공하고 있다(한국환경정책평가연구원, 1999) 이 지침에 의하면 토지피복도 제작과정은 예비작업 단계, 위성영상의 제작, 컴퓨터를 이용한 화상판독, 디지털화, 데이터베이스 검증 등의 5개 단계로 구성

되어 있다.

Corine에서는 1:250,000 축척의 위성영상을 이용하여 1:100,000 축척의 토지피복도를 제작한다. 위성영상 이외에 지형도, 각종 주제도(식생도, 토지피복도, 토양도), 항공사진, 통계정보 등을 보조자료로 사용한다. 먼저 위성영상을 1:100,000 축척의 영상으로 작성한 후 윤곽 확인작업과 참조자료를 활용하여 화상판독을 수행한 후, 25헥타르(500×500미터) 면적의 최소 면적 이상의 구획을 선정하여 디지털화 작업을 수행한다. 디지털화가 완료된 자료는 검증작업을 거쳐 최종 토지피복도로 구축된다.

2.3 우리나라 환경부의 중분류 토지피복도 제작과정

우리나라 환경부에서는 1998년부터 우리나라 지표면의 물리적인 형태를 조사하고 분류한 토지피복도를 제작하였다. 1차년도(1998년)에는 위성영상을 분류하여 대분류 토지피복도를 작성하였으며, 2차년도(2001년)부터 5차년도(2004년)에는 위성영상을 판독하여 중분류 토지피복도를 작성하였다. 대분류의 토지피복도는 저해상도 위성영상을 수치영상처리과정을 통하여 감독분류하였으나, 중분류 토지피복도는 위성영상을 시각적으로 판독하고 관련 주제도들을 참고하여 작성하였다. 환경부에서는 3차년도 토지피복도 구축사업 결과보고서에 대분류와 중분류 토지피복도 제작지침을 마련하여, 5차년도 토지피복도 제작사업까지 적용되어 왔다. 이 제작

지침은 전체 토지피복 유형을 7가지 대분류와 23가지 중분류로 나누었으며, 각 중분류 계급에 대한 토지피복 유형을 정의하고, 분류에 필요한 특성과 지침을 제시하고 있다. 대분류와 중분류의 항목명과 코드는 다음과 같다.

<표 1> 환경부의 토지피복도 분류항목

대분류 항목	대분류 코드	중분류 항목	중분류 코드
시가화 건조지역	100	주거지역	110
		공업지역	120
		상업지역	130
		위락시설지역	140
		교통지역	150
		공공시설지역	160
농업지역	200	논	210
		밭	220
		하우스재배지	230
		과수원	240
		기타재배지	250
산림지역	300	활엽수림	310
		침엽수림	320
		혼효림	330
초지	400	자연초지	410
		골프장	420
		기타초지	430
습지	500	내륙습지	510
		연안습지	520
나지	600	채광지역	610
		기타나지	620
수역	700	내륙수	710
		해양수	720

출처: 한국환경정책평가연구원, 2002

3. 우리나라의 중분류 토지피복도 제작과정과 문제점

3.1 환경부 중분류 토지피복도 제작현황

우리나라 환경부에서는 1998년부터 2005년까지 토지피복 구축사업을 실시하여 전국의 토지피복도를 제작하였다. 1998년 실시된 제1차년도 토지피복 구축사업에서는 전국의 대분류 토지피복도를 제작하였으며, 제2차년도 토지피복 구축사업부터는 중분류 토지피복도를 제작하였다. 이 사업을 통해 2차년도 수도권의 121도엽, 3차년도 한강권 및 금강권의 321도엽, 4차년도 낙동강권의 225도엽, 5차년도 영산강권의 173도엽을 제작하여 4년간 총 840도엽의 우리나라 전역에 대한 중분류 토지피복도를 제작하였다. 환경부에서 수행한 중분류 토지피복도 구축사업 현황은 <표 2>와 같다.

3.2 토지피복도 제작에 사용된 위성영상

환경부에서는 중분류 토지피복도 작성

을 위하여 다양한 위성영상을 사용하였다. 1차년도는 Landsat TM 영상을 이용하여 대분류 토지피복도를 제작하였다. LANDSAT TM 영상은 30미터 해상도의 공간 해상도를 가지고 있기 때문에 소축척의 대분류 토지피복도 제작에 이용되었다. 대분류 토지피복도는 위성영상을 수치영상처리 과정을 통하여 감독분류한 후 잘못 분류된 지역을 수정하는 방식으로 진행하였다.

2차년도와 3차년도에는 Landsat TM, ETM+ 영상과 IRS-1C 영상을 혼합한 영상을 이용하여 중분류 토지피복도를 제작하였다. 당시에는 공간해상도가 높은 고해상도 영상이 본격적으로 사용되기 이전의 단계였기 때문에 비교적 가격이 저렴하면서 해상도가 좋은 이들 영상을 융합하여 사용하였다. 즉, 5미터의 공간 해상도를 가진 IRS-1C 영상을 LANDSAT TM 영상과 융합함으로써 5미터 해상도의 다중분광 영상을 이용할 수 있게 되었다. 이들 영상을 융합하여 공간해상도와 분광해상도가 향상된 영상을 취득하였지만, 영상의 융합과정에서 정보가 누락될 위험도 가지고 있다.

<표 2> 환경부의 토지피복도 제작사업 현황

구분	2차(2001년)	3차(2002년)	4차(2003년)	5차(2004년)
지역	수도권 (한강일부)	한강권 금강권	낙동강권	영산강권
제작도엽 (1/25,000)	121	321	225	173
위성영상	LANDSAT ETM+ IRS-1C/1D	LANDSAT ETM+ IRS-1C/1D	SPOT-5	SPOT-5
해상도	30m, 5.8m	30m, 5.8m	2.5m	2.5m

출처 : 환경정책평가연구원, 2002~2005

4차년도(2002년)과 5차년도(2003년)에는 프랑스의 SPOT 5 영상을 획득하여 중분류 토지피복도를 구축하였다. 2002년 5월에 발사된 SPOT 5는 기존의 SPOT 위성의 기본 특성을 유지하면서 최신 기술을 수용하여 정확한 고해상도 영상을 제공하고 있다. SPOT 5 영상은 전정색 영상의 공간 해상도가 10m에서 5m와 2.5m로 향상되었으며, 가시광선과 근적외선 밴드의 다중분광 영상의 공간 해상도가 20m에서 10m로 향상되었다. 이와 같이 SPOT 5 영상은 높은 공간 해상도를 가진 다중 분광 영상을 제공하고 있기 때문에 환경부의 중분류 토지피복도 제작과정에 이용되고 있다.

우리나라의 토지피복도 제작에 이용되는 영상은 이와 같이 시기별, 지역별로 다르기 때문에 위성영상으로부터 제작된 토지피복도의 내용 역시 조금씩 상이한 문제가 있다. 따라서 향후 토지피복도 구축을 위해서는 표준적인 위성영상을 선정하여 제작에 사용할 필요가 있다.

3.3 우리나라 중분류 토지피복도 제작과정의 특성

환경부에서는 중분류 토지피복도의 제작을 위하여 자체적으로 분류지침을 마련하여 적용하여 왔다(한국환경정책평가연구원, 2002). 한국환경정책연구원의 인공 위성자료를 이용한 토지피복지도 구축 3차년도 사업보고서에 의하면, 중분류 토지피복도의 제작을 위하여 LANDSAT TM 영상과 IRC-1C 영상을 융합한 후 시각적 판독에 의하여 토지피복을 분류하고 있

다. 이 분류 지침은 외국의 USGS나 Corine의 분류체계와는 많은 차이를 보이고 있다. 예를 들면, Corine에서는 도시지역에 인공녹지와 채광지역을 포함하였으나 환경부의 지침에서는 각각 초지(기타초지)와 나지(채광지역)로 분류하고 있다. 환경부의 분류지침과 외국의 분류체계가 상이한 원인은 토지이용과 토지피복의 차이 때문으로 보인다. 외국의 경우 토지피복을 중심으로 분류하되 인공적인 시설 등은 토지이용을 어느 정도 고려하여 분류하였으나, 환경부의 분류체계는 철저히 위성영상 촬영당시의 토지피복 상태만을 표현하고 있기 때문이다.

환경부에서는 이와 같은 분류체계를 이용하여 위성영상 자료를 컴퓨터 스크린 상에서 판독하여 경계선을 그리는 방식으로 토지피복도를 제작하였다. Corine의 토지피복도 제작과정에서는 위성영상을 1:100,000 축척의 아날로그 사진으로 작성한 후, 영상판독작업은 아날로그 사진을 대상으로 수행하고 그 결과를 디지털화 하였으나, 환경부의 경우, 컴퓨터 영상처리 시스템을 활용하여 직접 화면상에서 판독하고 경계선을 입력하는 방법을 사용하였다. 따라서 영상의 아날로그화와 디지털화에 소요되는 비용과 시간을 절감할 수 있으며, 영상의 판독과 경계선 설정 역시 정확하게 수행할 수 있다는 장점이 있다. 컴퓨터의 영상강조처리 기법을 활용하면 영상의 시각적 판독력을 더욱 높일 수 있기 때문이다. 환경부에서는 위성영상과 함께 수치지형도, 지형도, 임상도, 생태자연도, 토지이용현황도, 항공사진 등의 참조자료를 함께 활용하였다.

3.4 우리나라 중분류 토지피복도 제작과정의 문제점

환경부에서 1998년 토지피복도 제작 사업을 수행한 이래 지난 5년간 적용하였던 제작지침은 많은 문제점을 가지고 있다. 토지피복도 제작사업 이전에 마련된 제작지침은 원칙적이고 이론적인 지침으로 실제 분류업무에 혼란을 초래하였다. 또한 토지피복도 제작과정 중에 수정, 보완된 분류지침은 체계적이고 표준적인 접근이 이루어져 있지 않은 채, 상황에 따라 수정되었기 때문이다. 지금까지 토지피복도 제작에 사용된 제작지침의 문제점은 다음과 같다.

첫째, 토지피복분류에 필요한 위성영상에 대한 설명이 부족하다. 토지피복분류에 필요한 공간해상도나 분광해상도와 같은 위성영상에 대한 사용의 정리가 필요하다. 특히 토지피복도 제작사업에 사용되는 위성영상인 LANDSAT TM, IRS-1C, SPOT-5, 아리랑 1-2호, IKONOS 등 현행 위성영상의 특성을 정리할 필요가 있다.

둘째, 다양한 참조자료를 이용하여 토지피복을 분류할 필요가 있다. 위성영상은 특정시간의 상황만을 표현하고 있으므로 다양한 참조자료를 활용해야 한다. 현재까지 토지이용현황도, 임상도, 수치지형도 등을 참조자료로 이용하고 있지만 정확한 속성정보를 위해서는 편집지적도, 자연생태현황도, 하천도, 도시계획도 등과 같은 다양한 참조자료의 사용을 고려할 필요가 있다. 또한 이들 참조자료들의 품질과 제작일자 등도 고려하여야 할 것이다.

셋째, 토지피복 대분류와 중분류의 체

계적인 연계가 부족하다. 현재 토지피복 중분류에 대한 지침은 대분류와 관계없이 병렬적으로 구성되어 있다. 환경부의 토지피복 분류작업은 대분류와 중분류가 별개의 자료를 이용하였고, 작업절차 또한 다르지만, 중분류를 체계적으로 수행하기 위해서는 대분류와의 연계가 필요하다. 즉 현재의 자료를 이용하여 대분류를 수행하고 그다음 과정에서 중분류를 수행하는 것이 체계적이다.

이러한 문제점을 해결하고 우리나라의 중분류 토지피복도를 보다 효과적으로 구축하기 위해서는 토지피복도 제작을 위한 위성영상 사양부터 공간정보의 구축기준, 속성정보의 구축기준 등이 명확히 정의되어야 한다. 따라서 본 연구에는 다음과 같은 중분류 토지피복도 제작과정의 개선 방안을 제안하고자 한다.

4. 중분류 토지피복도 제작과정 개선방안

4.1 중분류 토지피복도 제작에 필요한 위성영상

환경부에서 중분류 토지피복도를 제작하기 위해서는 저렴한 가격의 고해상도 위성영상이 필요하다. 우리나라 전역을 대상으로 토지피복도를 작성하여야 하기 때문에 가격이 저렴하면서도 중분류의 토지피복도 판독을 위한 고해상도의 영상이 필요하기 때문이다. 과거에는 이러한 조건에 맞는 위성영상이 없기 때문에 다른 센서의 위성영상을 융합하여 사용하였으

나, 최근에는 저가의 고해상도 위성영상이 등장하고 있어, 효과적인 중분류 토지피복도를 작성할 수 있게 되었다.

향후 환경부에서 토지피복도 제작에 사용할 위성영상은 두 가지 대안이 있다. 하나는 4차년 도부터 사용하고 있는 SPOT 5 영상을 지속적으로 사용하는 것이며, 다른 하나는 우리나라 기술로 만든 아리랑 2호의 영상을 이용하는 것이다.

1) SPOT 5 영상

SPOT 위성은 프랑스 국립 우주 센터(CNES)가 주도하는 프랑스 지구 관측 위성 프로그램이다. SPOT 5는 공간해상도가 전정색 모드에서 5m와 2.5m로 크게 향상되었으며, 다중분광 모드에서도 10m로 향상되었다. SPOT 5의 분광해상도 역시 2개의 가시광선 밴드와 2개의 근적외선 밴드로 구성되어 있어, 식생의 특정한 특성을 제외하고는 대부분의 토지피복 유형의 분류에 적용할 수 있다. 따라서 SPOT 5 위성영상의 분광해상도는 환경부의 중분류 토지피복도 제작에 적합하다고 할 수 있다.

이상을 종합하면, SPOT 5 영상은 공간해상도와 분광해상도 모두 중분류 토지피복도에서 요구하는 사항을 만족하고 있으며, 비교적 저렴하다는 장점도 가지고 있어 우리나라의 중분류 토지피복도 제작을 위한 효과적인 자료라고 할 수 있다.

2) 아리랑 2호 영상

두 번째 대안인 아리랑 2호는 지난 2006년 7월 28일 한국항공우주연구원이 발사한 다목적실용위성(KOMPSAT II)이다. 우

리나라에서 개발한 10번째 인공위성인 아리랑 2호는 IKONOS와 같은 해상도인 1m급의 고해상도 위성영상을 제공할 수 있다. 즉 전정색에서 1m의 공간해상도를 4개 밴드의 다중분광 모드에서 4m의 공간해상도를 가진 영상을 제공한다. 이는 외국의 상용 위성영상과 동일한 품질의 영상을 제공하는 것이다.

아리랑 2호에서 전송되는 영상이 활용될 경우 우리나라의 지도제작과 GIS 분야에도 큰 영향을 미칠 것으로 예상된다. 무엇보다도 고해상도의 고품질 영상을 비교적 쉽게 접근할 수 있기 때문이다. 환경부의 토지피복도 제작사업 역시 아리랑 2호의 영상이 쉽게 공급된다면 중분류는 물론 세분류의 토지피복 분류까지 가능해질 것이다. 아직까지는 위성에서 시범적인 영상만을 제공하고 있지만, 이들 영상을 이용한 다양한 연구와 활용분야가 진전될 경우 아리랑 2호의 영상은 중분류 토지피복도의 제작을 위해 효과적으로 활용될 수 있을 것이다.

4.2 토지피복도의 공간정보 추출방안

위성영상으로부터 토지피복 항목을 분류하고 경계 레이어를 추출하기 위해서는 모든 중분류 항목을 위성영상으로부터 획득하기는 어렵다. 따라서 본 연구에서는 우선 위성영상으로부터 대분류 항목을 추출하고, 이를 바탕으로 중분류 항목을 추출하는 것을 원칙으로 제안하고자 한다. 즉 1차적으로 위성영상으로부터 대분류 경계를 추출한 후, 2차적으로 중분류 경계를 추출한다. 대분류의 경우 위성영상

으로부터 경계선을 추출하는 것을 원칙으로 하나 몇몇의 예외의 경우에는 주제도를 이용한다. 중분류 경계는 대분류 경계를 기준으로 대분류 경계내부에서 중분류 경계를 추출한다. 중분류의 경우에는 위성영상뿐만 아니라 토지피복 특성별로 주제도 자료를 참조하여 경계선을 추출한다. 구체적인 경계선 설정기준은 다음과 같다.

1) 대분류 경계선 설정

기본의 분류지침에서는 대분류는 위성영상을 감독분류하여 그 경계를 추출하였고 중분류는 영상을 시각판독하여 경계를 추출하였다. 이러한 경우 대분류와 중분류에서 사용되는 자료와 작업절차가 상이하기 때문에 대분류와 중분류의 결과가 각각 다른 형태로 나타나는 문제점이 있다. 즉, 대분류의 분류결과와 중분류의 분류결과가 서로 연결되지 않고, 각각 다른 자료로 사용되는 문제점이 있다. 이에 본 연구에서는 위성영상으로부터 대분류 경계를 우선적으로 추출하고, 이를 기반으로 중분류 경계를 추출하는 것을 원칙으로 하고자 한다.

대분류의 경계선은 위성영상을 판독하여 7개 분류항목, 즉 시가지, 농경지, 삼림, 초지, 습지, 나지, 수역 등으로 경계선을 설정한다. 이러한 대분류 경계선을 설정하기 위한 기준은 다음과 같다.

시가화지역의 경우, 위성영상으로부터 콘크리트로 포장되었으며 면적이 $62,500\text{m}^2$ 이상인 지역을 추출한다. Corine의 분류지침의 경우 최소면적을 $250,000\text{m}^2$ 으로 권

장하나 이는 1:100,000 축척을 기준으로 하였을 때이다. 우리나라의 토지피복도 사업과 같이 1:25,000 축척을 기준으로 할 경우에는 1/4인 $250\text{m} \times 250\text{m} = 62,500\text{m}^2$ 이 적합한 면적기준이 된다. 이 면적기준은 환경부의 자연생태현황도의 면적 기준이기도 하다. 그러나 고층건물, 발전소, 항만, 공항시설, 고속국도의 경우 면적이 이 기준보다 적더라도 추출한다.

농경지의 경우, 위성영상으로부터 경작지나 과수원 등과 같이 인간의 영향에 의해 식생과 토양이 함께 노출된 지역을 추출한다. 논외의 경우 위성영상에 경작경계가 나타나기 때문에 쉽게 구분되지만, 밭이나 과수원의 경우 수치지형도를 중첩하여 경계를 추출한다.

삼림의 경우, 위성영상으로부터 식생이 짙게 피복된 지역을 추출한다. 적외선 영상을 이용하면 삼림지역의 경계를 쉽게 추출할 수 있다. 특히 과수원과의 경계는 수치지형도를 참조하여 결정한다.

초지의 경우, 위성영상으로부터 식생이 얇게 피복된 지역을 추출한다. 골프장이나 인공초지의 경우 위성영상에서 그 형태가 쉽게 식별될 수 있다.

습지의 경우, 위성영상으로부터 물에 잠겨있는 식생이나 나지를 추출한다.

나지의 경우, 위성영상에서 토양이 노출된 나지를 추출한다. 일반적으로 영상에서 황색으로 표현된다.

수역의 경우, 위성영상에서 물에 잠긴 수역을 추출한다. 적외선 영상의 경우 수역의 경계가 짙은 남색으로 쉽게 표현된다.

2) 중분류 경계선 설정

중분류의 경계선은 위에서 설정한 대분류의 경계선을 세분하는 것을 원칙으로 한다. 즉 대분류가 상이한 토지피복간의 경계선은 대분류 경계선으로 설정하고, 중분류의 경계선은 대분류 경계내에서 중분류가 상이한 토지피복을 구분하는 역할을 하도록 한다.

중분류 경계선을 설정하기 위한 기준은 다음과 같다.

첫째, 중분류를 위한 면적기준은 대분류 면적의 절반인 $125m \times 125m = 15,625m^2$ 로 한다. 단, 다음의 경우에는 면적이 기준보다 작더라도 중분류로 설정한다.

- 왕복 8차선 이상의 도로
- 위락시설, 공공시설, 공항이나 항만 등 교통시설
- 인공나지 (운동장이나 공사중나지)

셋째, 중분류의 경계는 위성영상을 이용하여 설정하는 것을 원칙으로 하나, 다음과 같은 경우에는 주제도를 참조하여 경계를 설정한다.

- 시가화 건조지역내 주거, 상업, 공업 지역 구분 : 토지이용현황도 이용
- 농업지역내 논, 밭, 과수원 : 수치지형도 또는 편집지적도 이용
- 삼림지역내 활엽수, 침엽수, 혼효림 : 임상도 이용
- 내륙수와 해양수 : 하구언이나 방조제가 있는 경우는 그 시설을 경계로, 시설이 없는 경우는 하구역을 직선으로 가로질러 경계를 설정

넷째, 중분류의 속성은 토지피복이 혼합될 경우에는 면적이 넓은 것을 우선으로 한다.

4.3 토지피복도의 속성정보 추출방안

토지피복도의 경계설정이 완료되면 각각의 사상(feature)에 속성을 부여해야 한다. 속성정보를 입력하기 위해서는 분류항목에 맞게 참고자료를 선별적으로 사용해야 하는데, 지금까지는 활용된 참고자료 중 산림지역을 제외한 대부분의 항목들이 수치지형도와 토지이용현황도에 의존해 있었다. 그러나 토지이용현황도의 경우 2001년 이후 갱신되지 않았기 때문에 이를 보완할 수 있는 참고자료를 선택해야 한다. 이를 대체할 수 있는 참고자료로는 건설교통부에서 구축한 KLIS(Korea Land Information System)의 지적도 데이터가 가장 적합하다고 판단된다. KLIS의 지적 데이터의 경우 각 필지별로 28종류의 지목이 속성으로 입력되었고 지목 분류항목이 토지피복 중분류 항목과 중복 또는 유사하므로 참고자료로 사용하기에 매우 유용하다. 본 연구에서는 KLIS 자료를 포함하여 총 11개의 참고자료를 활용하고자 한다. 참고자료의 내용은 <표 3>과 같다. 특히 이들 참고자료를 효과적으로 사용하기 위해서는 각 참조자료의 제작일자와 제작기관, 자료의 축척 등과 같이 자료에 대한 메타데이터가 확보되어야 한다.

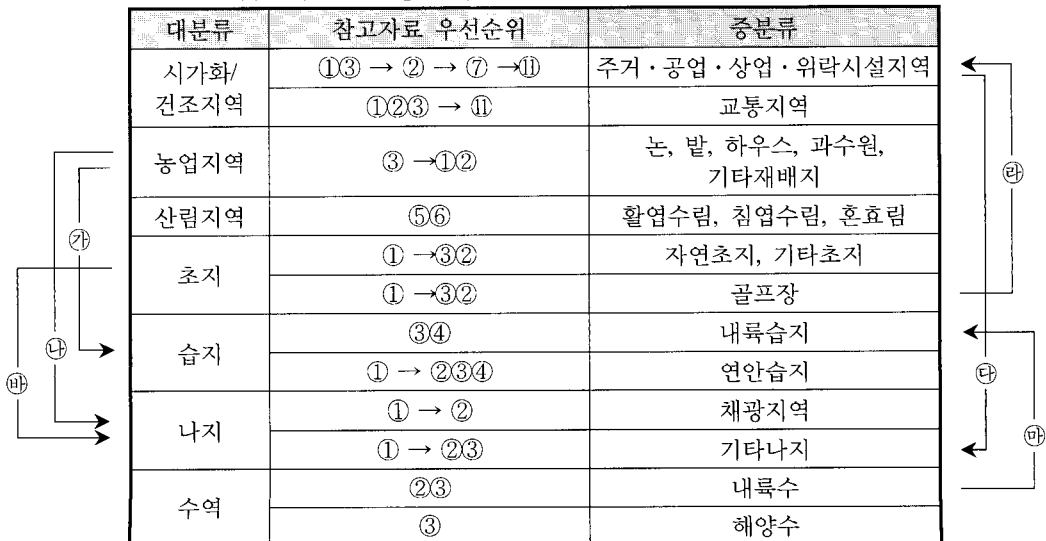
토지피복도 작성을 위하여 사용되는 참고자료 중 가장 분류항목이 일치되는 자료는 토지이용현황도이다. 하지만 앞서 언급한 바와 같이 토지이용현황도는 그 구축 시기가 매우 늦기 때문에 자료의 신뢰성이 떨어진다. 따라서 토지이용현황도의 속성과 유사한 속성을 갖는 참고자료인 지

적도, 수치지도의 항목과 일치하지 않을 경우 위성 또는 항공사진을 통해 그 지역의 속성을 결정한다. 만일 위성, 항공사진으로 판독이 불가능하면 그 지역을 체크하여 현장답사를 통해 속성을 결정한다. <표 4>는 각 항목별로 참고자료를 사용하는 순서를 나타내고 있다. 표에서 원안의 기호는 <표 3>의 참고자료 목록의 번

<표 3> 참고자료 목록 및 특징

순서	참고자료	축척	일자	비고
1	토지이용현황도	1:25,000	2000년 11월	
2	지적도(KLIS)			
3	수치지도	1:25,000 1:5,000	1997년	국립지리원
4	지형도	1:25,000		국립지리원
5	임상도	1:25,000	1992년	환경부
6	생태자연도	1:25,000	2003년	환경부
7	용도지역지구도			
8	도시계획도			
9	자연생태현황도	1:25,000		환경부
10	하천도			
11	항공사진	-	-	-

<표 4> 참고자료를 이용한 항목간 분류의 흐름



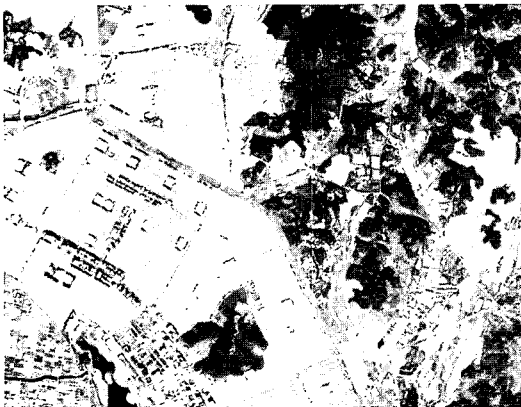
호이다. 그리고 ㉑에서 ㉒까지의 기호들은 속성입력 과정에서 나타나는 자료간의 이동을 나타낸다. ㉑는 논에서 습지로 ㉒는 논에서 기타나지로 ㉓는 시가화/건조지의 항목분류시 운동장과 같은 나지들은 기타나지로, ㉔는 골프장에 있는 시설들을 위락시설로, ㉕는 내륙수의 경계설정시 초지가 있는 지역들을 내륙습지로, ㉖는 스키장의 슬로프를 나지와 초지로 분류되는 과정을 표현한 것이다. 표에서 시가화 건조지역의 경우 토지이용현황도와 수치지도로 우선 참조한 후, 수치 지적도를 참조하고, 용도지역 지구도와 항공사진을 참조하는 것이다. 이와 같이 참고자료를 활용하여 토지피복의 속성정보를 부여할 수 있다.

4.4 개선방안의 사례지역 적용과 평가

본 연구에서 제안한 토지피복도 제작과정의 개선안을 실제 토지피복도 제작과정에 적용하여 개선된 내용을 비교하였다.

사례지역은 경기도 고양시 일산구 일대로 1:25,000 축척의 376081 도엽에 해당되는 지역이다. 본 연구에서는 사례지역 중에서 주거지역 분류계급만을 대상으로 하였으며, 사례지역에서 주거지역에 해당되는 지역은 [그림 1]과 같다. 그림은 위성영상과 현행 중분류 토지피복도의 주거지역을 중첩한 결과이다. [그림 1]을 위성영상을 통해 판독한 결과 주거지역내에 산림지역이나 경작지, 나지, 도로 등이 포함되어 있어 정확한 토지피복 분류가 이루어졌다고 볼 수 없다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 일차적으로 위성영상을 통한 시각적 판독을 수행하고, 2차로는 <표 4>에서 제안된 순서에 따라 참고자료를 사용하였다. [그림 2]는 사례지역에 토지이용도의 속성 중 주거지역이 포함된 대지(垸地)만을 표현한 것이다. [그림 1]과 비교해서 경작지와 산림 등의 토지피복을 갖는 지역이 제외되었다. 그러나 지목상 대지의 경우 주거지역 이외에 상업지역이나 공공시설지역 등이



[그림 1] 토지피복도상의 주거지역



[그림 2] 지목도상의 대지 지역



[그림 3] 지목도와 용도지역지구도



[그림 4] 주거지역 중분류 결과

포함되어 있다. 따라서 용도지역지구도를 이용하여 주거용도의 지목을 추출한다.

[그림 3]은 용도지역지구도에서 주거지역을 추출하여 중첩한 결과이다. 사례지역의 지목도 중에서 용도지역지구도의 주거용도 지역을 추출하여 최종적인 중분류 토지피복도를 작성할 수 있다. [그림 4]는 최종적인 주거지역 토지피복도의 작성결과이다. [그림 1]의 중분류 토지피복도와 비교해 볼 때 주거지역의 추출이 훨씬 정확하게 이루어졌다고 평가할 수 있다.

[그림 1]과 [그림 4]를 비교하면, 환경부에서 제작한 중분류 토지피복도의 경우, 자세한 분류지침이 제시되어 있음에도 불구하고, 위성영상에서의 경계선 설정과 속성정보 부여에 있어서 구체적이고 객관적인 처리과정이 표현되어 있지 않아, 토지피복도의 분류결과가 포괄적으로 형성되어 있다. 이에 반하여 본 연구에서 제안한 토지피복도 제작과정은 위성영상뿐만 아니라 다양한 참조자료를 활용하여 자료를 체계적으로 처리하기 때문에 보다 정확하고 객관적인 토지피복 분류를 실시할 수 있었다.

5. 결 론

토지피복도는 지표면의 상태를 표현한 지리정보를 담고 있어, 토지의 효율적인 관리와 정책수립에 참고가 되는 주요한 자료이다. 또한, 지표면의 자연상태를 나타내고 있어 환경정책과 환경계획에 있어서도 매우 중요한 자료로 활용되고 있다. 우리나라 환경부에서는 1998년부터 2005년까지 우리나라 전역의 토지피복도를 제작하여 구축하였다. 특히 중분류 토지이용도는 1:25,000 축척의 상세한 토지피복정보를 제공하고 있어, 다양한 분야에서 활용이 예상되고 있다.

본 연구에서는 중분류 토지피복도의 제작과정을 검토하고 객관적이고 체계적으로 제작할 수 있는 개선방안을 제시하였다. 중분류 토지피복도의 체계적인 작성을 위하여 위성영상의 경계선 판독기준을 보다 구체적으로 제시하였으며, 속성정보의 부여시 다양한 참조자료를 활용하도록 제안하였다.

본 연구의 결론은 다음과 같다. 첫째, 본 연구에서 제시한 경계선 설정기준과 속성정보 부여기준은 기존의 토지피복도 제작과정에서 나타난 문제점을 보완할 수 있었다. 특히 객관적인 면적기준과 속성정보 우선순위를 제시함으로써 작업자에게 체계적인 토지피복도를 작성할 수 있도록 제안하였다. 둘째, 토지피복도 제작을 위해서는 위성영상 뿐만 아니라 다양한 참조자료를 사용해야 한다. 최근 다양한 지리정보가 데이터베이스로 구축됨에 따라 지적, 용도지역지구, 식생, 임상, 토양 등 다양한 주제의 지리정보를 접근할 수 있게 되었다. 그러나 이러한 지리정보를 토지피복에 활용하기 위해서는 분류계급 특성에 맞게 자료들을 체계화 시킬 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 토지피복 중분류 계급에 따라 참고자료 적용의 기본적인 틀을 제시하였고 이를 사례지역에 적용하여 타당성을 검증하였다.

마지막으로 우리나라에서 발사한 아리랑 2호 영상을 본격적으로 활용할 경우 보다 구체적인 토지피복도를 제작할 수 있을 것이다. 아울러 외국의 사례와 비교해 볼 때 우리나라의 토지피복 분류체계에 대한 지속적인 보완이 필요하다. 또한 본 연구에서 제안된 개선안 역시 토지피복도의 제작과정에서 지속적으로 수정과 보완이 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

- 국토지리정보원, 2005, 국토모니터링 사업 보고서
- 민숙주 · 김계현, 1999, “활용성 높은 토지이용 분류체계의 정립에 관한 연구,” 대한지리학회 추계학술대회 발표논문집, 272-276.
- 채효석 외 공역, 2003, 환경원격탐사, 시그마프레스. (Jensen, J. R. 2000. *Remote sensing of the environment*, Prentice Hall.)
- 한국전산원, 2001, 인공위성자료를 이용한 토지피복분류 2차년도 연구보고서
- 한국환경정책평가연구원, 1999, 인공위성자료를 이용한 토지피복분류 1차년도 연구보고서
- 한국환경정책평가연구원, 2002, 인공위성자료를 이용한 토지피복분류 3차년도 연구보고서
- 한국환경정책평가연구원, 2003, 인공위성자료를 이용한 토지피복분류 4차년도 연구보고서
- 한국환경정책평가연구원, 2005, 인공위성자료를 이용한 토지피복분류 5차년도 연구보고서
- 환경부, 2005, 토지피복지도 구축사업의 효율적인 추진방향 설정을 위한 개혁과제 연구 보고서
- Anderson, James R. *et al.* 1976. A Land use/land cover classification system for use with remote sensing data. *U.S. Geol. Survey prof. Paper* 964.
- Davis, F. *et al.* 1991. Environmental analysis using integrated GIS and remotely sensed data: Some research needs and priorities. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 57(6): 689-697.
- Jensen, J. R. 1970. Urban/suburban land use analysis. in Estes, J. E. eds. *Manual of remote sensing*. Volume II: 1571-1666.
- Jensen, J. R. 1996. *Introductory digital image processing: A remote sensing perspective* 2nd ed. Prentice-Hall Inc., New Jersey, USA.
- Lillesand, T. M and Kieffer, R. W. 1994. *Remote sensing and image interpretation* 3rd ed., John Wiley and sons.