

다량의 Landsat 위성영상 처리를 통한 광역 토지피복분류

박성미 · 임정호 · 사공호상

국토연구원 GIS연구센터

Land Cover Classification of a Wide Area through Multi-Scene Landsat Processing

Sung-Mi Park, Jung-Ho Im, and Ho-Sang Sakong

GIS Center, Korea Research Institute for Human Settlements (KRIHS)

Abstract : Generally, remote sensing is useful to obtain the quantitative and qualitative information of a wide area. For monitoring earth resources and environment, land cover classification of remotely sensed data are needed over increasingly larger area. The objective this study is to propose the process for land cover classification method over a wide area using multi-scene satellite data. Land cover of Korean peninsula was extracted from a Landsat TM and ETM+ mosaic created from 23 scenes at 100-meter resolution. Well-known techniques that used to general image processing and classification are applied to this wide area classification. It is expected that these process is very useful to promptly and efficiently grasp of small scale spatial information such as national territorial information.

Key Words : Land Cover, Multi-Scene, Landsat, Wide Area Classification

요약 : 원격탐사의 장점 중 하나는 넓은 지역의 정보를 신속하게 추출할 수 있다는 것이다. 이러한 장점은 광역지대의 토지피복을 분류하여 자원 및 환경을 신속하게 파악하고자 하는 수요에 부응할 수 있는 효과적인 수단이다. 이 연구에서는 다량의 위성영상을 이용하여 넓은 지역의 토지피복분류를 효율적으로 수행하는 방법을 제안하였다. 이를 위해 한반도를 대상으로 Landsat TM 및 ETM+ 위성영상 23 scene을 이용하여 공간해상도 100m인 토지피복분류를 수행하였다. 기존의 정형화된 위성영상처리 및 분류기법을 적용하여 다량의 위성영상을 처리하고 광역 토지피복분류를 효율적으로 수행하였다. 이러한 방법은 국토계획이나 광역 지역계획 등에서 필요한 전반적인 자원현황을 신속하고 효과적으로 제공할 수 있는 수단이 될 것으로 판단된다.

1. 서론

인공위성의 센서로부터 얻는 영상자료는 정기

적이고 반복적으로 자료를 취득할 뿐만 아니라 넓은 지역을 하나의 영상으로 볼 수 있다는 특징이 있다. 따라서 넓은 지역을 개관적으로 분석

2001년 4월 15일 접수 ; 2001년 7월 27일 수리.

(synoptic view)하는데 항공사진보다 훨씬 유용한 장점이 있다(Campbell, 1996). 이러한 인공위성 영상자료의 유용성으로 인해 전세계 규모의 지도를 제작하거나 인류가 직면한 환경문제에 대비할 수 있는 광역 모니터링이 가능하게 되었다. 넓은 지역의 지구자원정보를 표준화된 양식으로 제공하는 정보를 얻기 위해서는 위성영상을 여러 장(multi-scene)을 집성(mosaic)한 처리 분석 방법이 필요하다.

광역적인 분석을 위해 여러 scene의 NOAA AVHRR 위성영상을 집성하여 토지피복을 성공적으로 분류한 사례(Loveland *et al.*, 1991)에 비해, Landsat TM을 활용한 시도는 거의 없었다. 그러나 더 정교한 수준의 분석에 대한 필요성이 계속 증가하고 있어 해양 대기 관측용 센서보다 공간해상도가 높은 Landsat TM과 같은 위성영상을 이용할 필요가 있다. Landsat 위성영상은 관측폭이 180km로서 매우 넓지만 하나의 scene을 가지고는 행정적으로 의미있는 주제도 및 통계를 산출하기 어렵다. 예를 들어 Landsat의 공간해상도에 적합한 축척(1/50,000~1/100,000) 수준의 주제도를 작성할 때, 한 scene이 우리나라의 도경계를 다 포함하는 경우는 많지 않다. 인공위성을 이용하여 분석한 결과가 전반적인 국토자원의 현황을 파악하는 데 기여하기 위해서는 넓은 행정경계를 모두 포함할 수 있어야 한다. 이러한 요구는 한 두 scene의 위성영상일 수도 있지만 때로는 수십장의 영상처리를 필요로 하기도 한다. 그런데 다량의 영상을 처리하는 데에는 시간이 많이 소요되므로, 토지피복분류 결과의 최신성이나 주기성 등 시의성을 고려하여 분석 처리의 효율성을 어느정도 추구할 것인가에 대한 판단이 필요하다.

이 연구에서는 개괄적인 현황을 파악할 필요가 있는 큰 규모의 지역을 선정하고, 다량의 위성영상 처리를 통한 광역 토지피복분류를 수행하였다. 이를 위해 기존에 검증된 영상처리와 분류방법들을 순차적으로 적용하고, 대상지역의 규모에 맞는 효율적인 방안을 제시하였다.

2. 대상지역 및 자료

이 연구에서는 지속적인 모니터링에 대한 필요성과 결과의 활용수요를 고려하여 대상지역을 한반도로 설정하였다. 한반도는 약 동서 590km×남북 1,100km의 대규모 지역으로서 다량의 위성영상을 이용한 광역적인 토지피복분류가 필요하다. 한반도를 대상으로 한 토지피복분류는 NOAA를 이용한 사례가 있으며, Landsat TM을 이용한 경우는 남한을 대상으로 수행된 바 있다(환경부 환경정책평가연구원, 1999). 지역범위를 남한으로 한정할 경우 비교적 정확한 정보를 얻을 수 있지만, 북한을 포함함으로써 지형적 단위인 한반도 지역에 대해 완결성을 갖는 결과를 얻고자 하였다.

연구에 사용한 자료는 한반도 전체를 포함하는 Landsat 위성영상 23 scene이다. Landsat 위성은 1999년 4월 15일에 7호기가 발사되어, 1984년에 발사된 5호와 함께 위성영상자료를 제공하고 있다. Landsat 7호에는 ETM+(Enhanced Thematic Mapper-Plus)센서를 탑재하고 있는데, 공간해상도 15m의 흑백영상이 추가되었다. 이 연구에서 사용한 Landsat 위성영상은 공간해상도 30m인 다중분광자료로서, 5호기의 TM센서 자료가 18 scene이고 7호기의 ETM+센서 자료가 5 scene이다. 시기적으로는 2 scene이 1997년도에 취득된 자료이고 나머지는 1999년도와 2000년도에 촬영한 자료이다.

Table 1은 연구에서 사용한 23 scene의 위성영상에 대해 정리한 것인데, 이 자료는 넓은 지역의 토지피복분류를 위해 다음과 같은 기준에 의해 선정하였다. 첫째, 최신의 자료를 수집하였다. 가능한 한 분류결과의 최신성을 확보하기 위해 최근에 촬영된 영상으로 검색하여 수집하였다. 그러나 2000년에 촬영된 영상이 있더라도 구름이 많거나 영상의 상태가 좋지 않은 것은 1999년의 영상으로 대체하였다. 둘째, 영상이 촬영된 계절의 차이를 최소화하였다. 가급적 5월~6월에 촬영된 영상으로 계절을 통일하여 scene 간에 발생할 수 있는 분류결과의 차이를 줄이고자 하였다. 그러나 북한 지역은 동일한 계절에 수신된 자료가 없어서 가장

Table 1. Summary of satellite data sets.

Path/Row	촬영날짜	운량	센서	Path/Row	촬영날짜	운량	센서
113-34	1999-04-30	0	TM	116-31	1997-07-18	0	TM
114-34	1999-05-07	0	TM	116-32	1999-05-21	2	TM
114-35	1999-05-07	0	TM	116-33	1999-05-21	0	TM
114-36	1999-05-07	0	TM	116-34	1999-05-21	8	TM
115-30	1999-05-30	0	TM	116-35	1999-05-21	0	TM
115-31	1999-05-30	12	TM	116-36	1999-05-05	17(바다)	TM
115-32	1999-05-30	2	TM	117-31	1999-06-29	0	TM
115-33	2000-05-08	47(바다)	ETM+	117-32	1999-06-29	0	TM
115-34	2000-05-08	10(바다)	ETM+	117-33	1999-08-16	0	TM
115-35	2000-05-08	0	ETM+	117-34	1999-08-16	3	TM
115-36	2000-05-08	0	ETM+	118-32	1997-06-14	0	TM
115-37	2000-05-08	0	ETM+				

근접한 계절의 영상을 확보하였다. 셋째, 육지에 구름이 없는 영상으로 확보하였다. 구름분포는 육지를 기준으로 10% 미만인 위성영상으로 수집하였고, 대체할 영상이 없는 115-31 지역 위성영상만이 구름량이 12%로 기준을 초과하였다.

한편 행정구역별 토지피복 현황을 파악하기 위해서 1/250,000 수치지형도에서 추출한 행정경계 데이터를 이용하였다. 행정경계 추출에 사용한 수치지형도는 남한 13도엽, 북한 13도엽으로 총 26도엽이다. 남한은 1987년, 북한이 1983년을 기준으로 조사된 자료이므로 위성영상의 최신성에 비해 다소 오래된 자료이다. 시도 단위의 통계를 산출하는데 이용하였기 때문에 남한은 현재의 행정구역과 동일지만, 북한은 자강도, 양강도가 없는 등 현재의 행정구역과는 다른 한계가 있다. 1/250,000 수치지형도 이외에도 북한지역의 기하보정과 training data 선정을 위해 남 북한의 1/50,000 지형도를 이용하였다.

3. 연구방법

1) 위성영상 전처리

토지피복을 분류하기 위해 기하보정, 히스토그램

매칭(histogram matching), 영상집성 등의 전처리를 수행하였다. Landsat 위성영상의 전처리는 많은 영상자료를 효율적으로 처리하며, 넓은 지역의 분류를 보다 일관적으로 수행할 수 있도록 Fig. 1과 같이 수행하였다.

참조영상(reference image)은 여러 장의 위성영상을 처리하는 데 걸리는 시간을 단축하기 위하여 기존의 분석결과를 이용한 것으로, 기하보정과 토지피복분류시 training data를 선정하는 데 이용하였다. 이 연구에서는 환경부의 기하보정 위성영상 및 토지피복분류 결과(환경부 환경정책평가연구원, 1999)를 참조영상으로 선정하였다. 이 참조영상은 GPS측정으로 취득한 GCP를 이용하여 RMSE 0.5화소 이내의 정확도로 기하보정하고, 분류정확도가 대략 75~85%로 평가된 것으로 국내에서 가장 체계적이고 정교하게 분류된 결과이다. 위성영상의 촬영시기도 평균 1998년으로 이 연구에서 사용한 영상과 시기적 차이가 적어 참조영상으로 삼기에 적합하다.

남한지역 위성영상의 기하보정은 참조영상을 이용하여 image to image 방법으로 수행하였다. 처리해야 할 위성영상의 수가 많고 넓은 지역의 경우에는 참조영상을 이용한 image to image 방법이 매우 효율적이다. 북한지역의 경우는 참조할 수 있는 기존 자료가 없으므로 1/50,000 축척의 북한

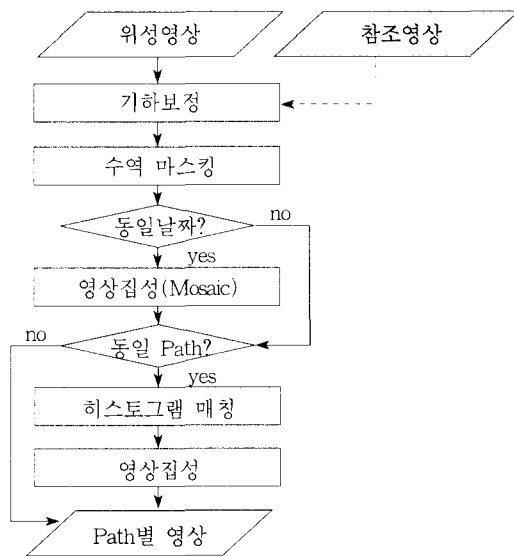


Fig. 1. Flowchart of Landsat data pre-processing.

지형도에서 GCP를 취득하여 기하보정을 수행하였다. 기하보정 결과 남한지역은 RMSE 0.5화소, 북한지역은 1화소로 나타났다.

넓은 지역의 영상분류는 scene 별로 처리하는 것보다 영상집성 후에 실시하는 것이 효과적이다. 그러나 보다 정확한 분류를 위해 정교하게 집성선을 설정하거나 인접 scene 간의 히스토그램을 정밀하게 비교하는 작업이 오히려 비효율성을 야기할 수 있다(Homer *et al.*, 1997). 따라서 여기서는 분류이전에 영상집성을 먼저 수행하되, 영상의 촬영 날짜와 촬영 path를 고려하여 영상집성을 하였다. 인접영상간의 히스토그램 분석과 집성테스트 결과 촬영시기가 크게 다른 영상은 집성효과가 낮은 것으로 판단되었다. 그리고 분류과정에서 training data의 수를 줄이기 위해 같은 날 촬영된 영상, 촬영 path가 같은 영상 순으로 집성하여 2~5 scene씩 그룹화 된 path별 영상을 생성하였다. 이 때 히스토그램의 bimodal 분포로 인한 인접영상과의 매칭오류를 없애기 위해, 영상집성 전에 근적외선 4번 밴드를 이용해 수역을 마스크처리하였다.

북한지역의 경우는 동일 path의 영상을 집성하지 않았다. 동일 path라 하더라도 남한과 달리 계

절적인 차이가 커서 집성결과가 좋지 않았기 때문이다. 집성과정에서 인접부분 화소값이 변경되므로 같은 토지피복도 다른 class로 분류되어 일일이 확인해야 하는 경우가 발생하였다.

2) 토지피복분류

토지피복 분류는 위성영상 활용분야에서 가장 활발히 연구되는 테마 중의 하나이다. 그런 만큼 방법도 다양하고 여러 가지 목적으로 활용될 수 있다. 이 연구에서 수행하는 토지피복 분류는 한반도의 규모에 맞는 축척 1/500,000의 주제도를 생성하는 것을 목표로 하였다. 이에 따라 넓은 지역의 많은 데이터를 정확도 수준을 맞추면서 빠르게 분류하는 방법을 선택하였다. 이를 위해서 기존의 분류결과를 최대한 활용하고, 종이지도로 최소한으로 사용하였으며, 하드웨어 및 소프트웨어 여건에 적합한 데이터 용량을 유지하도록 하였다. 이러한 영상처리의 기술적 문제와는 달리 북한지역을 어떻게 분류할 것인가가 문제가 된다. 북한을 대상으로 한 토지피복 분류연구(민숙주 외, 2000; 이규성 외, 2000)가 현재 거의 없고, 현황자료 또한 얻기 어렵기 때문에 남한에 비해 분석이 어렵고 기준으로 삼을 만한 자료가 불충분하다. 이러한 현실을 감안하여 북한지역에 대해서는 남한과는 다른 분류방법을 적용하였다.

영상처리 시간과 용량을 줄일 수 있는 방법으로는 영상재배열(resampling) 기법을 고려할 수 있다. 영상재배열은 위성영상의 공간해상도 및 좌표를 변화시켜 처리용량, 분석의 정밀성, 위치 등을 조절하는 방법(Lillesand, Kieffer, 1999)이다. 이 연구에서는 분류시간과 데이터 용량을 줄이기 위한 방법으로 재배열을 실시하여 영상의 해상도를 30m×30m에서 100m×100m로 낮추었다. 축척 1/500,000에 적합한 래스터자료의 격자간격은 지면에서 육안으로 식별할 수 있는 최소거리를 0.2mm(유복모, 1995)로 하였을 때 약 100m이다. 이때 영상의 데이터용량은 1/(10/3)² 약 1/11로 줄어 들어 연산시간도 줄일 수 있다. 해상도가 낮아짐에 따라 정확도가 떨어지는 단점이 있으나 한반도 규

모의 목표수준에는 부합된다고 볼 수 있다. 그리고 참조영상으로부터 training data를 수집할 때 좌표체계를 동일하게 하면 분류작업이 손쉽게 때문에 분류 전에 재배열을 수행하고, 넓은 지역의 분류이므로 대체적인 분광특성을 그대로 살리기 위해 내삽법은 최근근내삽법을 이용하였다.

분류기법에 있어서는 Richards와 Jia(1999)이 제시한 무감독분류와 감독분류가 혼용된 방법의 분류단계에 따라 무감독분류를 선행하여 감독분류할 면적을 줄임으로써 training data 선정에 드는 시간을 단축하는 방법을 선택하였다. 그러나 북한지역의 경우는 이 혼합방법이 효과적이지 않았기 때문에 지형도를 이용한 감독분류만을 수행하였다.

토지피복 분류항목은 참조영상이 되는 환경부의 토지피복분류체계를 따라 7가지로 설정하였다. 시가지는 주거지역, 산업 상업지역, 교통, 공공시설물을 포함하는 지역이며, 농경지는 논, 밭, 과수원 등 경작지를 말한다. 산림은 활엽수, 침엽수, 혼효림 등 자연적으로나 인공적으로 조성된 수림을 의미한다. 초지는 녹지, 묘지, 수목밀도가 높지 않은 야산 등을 포함하는데, 초분류의 식생이 자생하는 지역이나, 골프장과 같은 시설, 도심내에 조성된 도심공원 등이 이에 해당한다. 습지는 늪이나 갯벌, 염전 등을 말한다. 나지는 광산, 채석장 등 채광지역, 해변의 백사장, 강기슭의 모래사장, 미개밭지역이 이에 해당한다. 수계는 하천, 호수 등 내륙수와 해양수를 말한다.

(1) 남한지역

남한지역의 토지피복분류는 전처리 과정에서 생성한 parh별 영상을 100m로 재배열하여 데이터의 용량을 줄이고, ISODATA(Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique) clustering 무감독분류를 수행하였다. 군집수는 100개, 수렴도 95%, 반복회수 100번으로 하였다. 무감독분류 결과 생성된 각 군집을 참조영상과 비교하여 80%이상 일치하는 항목이 있을 경우 분류된 class로 지정하며 이 과정을 3차례 반복하였다. 무감독분류를 통해 class가 지정된 화소는 전체의 60~70%로

나타났다. 무감독분류를 통해 분류된 지역은 대부분 산림과 농경지이며, 시가지도 일부 포함된다. 나지, 습지, 초지 등은 소규모로 산재되어 분포하므로 무감독분류로는 잘 분류되지 않은 것으로 판단되며, 특히 초지는 산림, 농경지와 매우 유사한 분광특성을 가지므로 무감독으로 분류하기는 어렵다.

감독분류는 무감독분류로는 관별되지 않은 나머지 군집들에 대해서 수행하였다. Class가 지정되지 않은 화소에 대해서 참조영상을 이용하여 path별 영상당 100여개의 training data를 선정하고 최대우도분류기법으로 감독분류를 실시하였다. 그리고 참조영상과 지형도를 통해 각 항목별로 오분류를 체크하고, 무작위로 추출한 샘플과 비교하여 정확도가 평균 80% 이하일 경우는 감독분류를 다시 수행하였다. 무감독분류 결과와 감독분류 결과를 병합하여 최종적인 분류결과를 만들고 분류결과의 잡음을 줄이기 위해(Homer et al., 1997) 3×3 윈도우를 이용한 필터링을 수행하였다. Fig. 2는 위와 같은 남한지역의 토지피복 분류과정을 나타낸 것이다.

(2) 북한지역

북한지역의 토지피복분류는 1/50,000 지형도 227도엽을 참조하여, 각 영상 당 50~100개의 training data를 선정하고 감독분류를 시행하였다. 북한지역을 남한지역에 적용한 Fig. 2와 같은 절차로 분류하기에는 여러 가지 문제점이 발생하였다. 첫째, 100m로 재배열을 하는 것은 신속한 분류에 도움을 주기보다는 영상이 흐려짐으로 인해 피복형태를 관독하여 training data의 영역을 설정하는 데 어려움을 가중시켰다. 북한의 지형과 토지피복 특성을 전혀 알지 못하므로, Landsat의 영상특성을 경험적으로 잘 알더라도 1/50,000 지형도만을 가지고 토지피복을 판단하기는 매우 어렵다. 둘째, 무감독분류와 감독분류를 혼용한 방법이 효율적이지 못하였다. 무감독분류된 군집이 어떤 class에 해당하는지를 판단하는 데 많은 시간이 소요되기 때문이다. 이 외에도 어느 지역에 어떤 토지피복

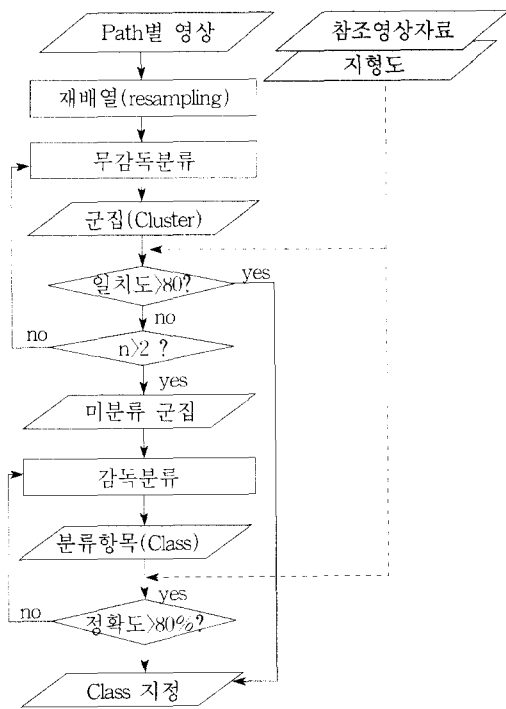


Fig. 2. Flowchart of land cover classification process for South Korea.

이 많이 분포하며, 동일한 토지피복이더라도 지역 별로 분광특성이 어떻게 다른지에 대한 사전지식이 부족하여 정확한 training data를 선정하기 어려운 문제가 있다. 이러한 이유로 북한지역은 남한과 같이 효율적인 분류방법을 적용하지 못하고, 지형도를 이용한 감독분류 방법에 의존할 수밖에 없다.

Training data는 지형도와 영상을 비교하여 토지 피복이 뚜렷이 판단되는 지역을 찾아 한 영상 당 50~100개를 선정하였다. 북한의 토지피복 형태에 대해 사전지식이 부족하기 때문에 색상은 비슷하지만 구분이 잘 안가는 지역의 경우, 밴드 조합을 바꾸어 가며(RGB: 432→RGB: 752 등) 물체를 구분하고 이를 지형도와 비교하여 확인하는 작업을 반복하였다. 지형도 제작 시기(1980년대 후반~1990년대 초)와 영상의 취득시기의 차이가 큰 경우는 산림의 중앙, 대규모 경작지의 중앙 등 변화가 거의 없었을 것으로 판단되는 지역을 위주로

training data를 선정하였다. 북한지역의 training data를 선정하는 데에는 여러 가지 어려움이 도출되었다. 시가화지역과 나지의 구분이 모호하고, 산림의 분광특성이 남한과 매우 달라 class를 단정짓기 어려우며, 논과 초지 사이에 들판성 분포하고 있는 과수원을 구분해 내기가 어려운 등의 문제점이 있다.

1차적으로 선정한 training data로 최대우도분류 기법을 이용한 감독분류를 수행하고, 그 결과를 원 영상과 눈으로 대조하여 오분류율이 높은 항목의 training data를 보완한 후 다시 감독분류를 수행하였다. Training data를 보완하는 반복작업은 지형도에서 수집한 샘플자료와 비교하여 70% 이상의 정확도가 확보될 때까지 계속 수행하였다. 115-31영상과 116-32영상은 구름에 가려진 지역이 있어, 짙은 구름이 있는 지역은 분류에서 제외하였고 얇은 구름이 있는 지역은 구름이 없는 다른 지역의 분류에 영향을 미치지 않도록 따로 분리하여 분석하였다. 분류 후에는 3×3 윈도우를 이용한 필터링을 수행하였다.

4. 결과 및 토의

1) 한반도 토지피복분포

23 scene의 Landsat 위성영상자료를 이용하여 분석한 한반도의 토지피복은 Fig. 3과 같이 나타났다. 한반도의 토지피복분포를 살펴보면 산림지역이 대부분을 차지하고 있고, 농경지는 대부분이 서해안에 위치하고 있음을 알 수 있다. 시가화 지역은 큰 강을 끼고 발달한 모습을 쉽게 파악할 수 있으며, 서울, 평양 등 집중적으로 발달한 도시를 쉽게 찾을 수 있다. 염전이나 갯벌 같은 습지는 대부분 서해안에 위치하고 있으며 비율은 전체 국토면적의 0.4%로 높지 않다.

남 북한 토지피복 특성을 비교하면 농경지는 남한의 경우 논과 밭이 골고루 분포하고 과수원은 그 보다는 적은 비율을 차지하고 있으나, 북한의

경우 서해안에 대규모 논과 소규모 과수원이 산재해 있는 것으로 나타났다. 그러나 지도상에는 발로 표시된 지역이 거의 없었다. 산림의 경우 위성영상의 취득시기가 대부분 5월이었음에도 불구하고 남북한간 분광특성이 현저히 달랐다. 남한의 경우 산림의 식생이 활발하여 적외선 밴드의 화소값이 높는데 비해 북한은 낮게 나타났으며, 그 이유는 잎이 아직 나지 않았거나 침엽수림이 대부분이기 때문인 것으로 판단된다. 초지는 남한의 경우 산림과 농경지나 시가지 지역이 만나는 끝자락

에 약간의 초지가 있고 골프장, 도시공원 등 인공적으로 조성된 초지가 많은 반면, 북한의 경우는 서쪽 지역의 산자락 대부분이 초지로 분류되어 산림의 훼손이 심각한 것으로 유추된다. 나지는 남한의 경우 거의 존재하지 않았으나 북한은 강가에 나지가 분포하는 것을 흔히 볼 수 있고, 농경지와 산림이 만나는 지점에 나지로 분류되는 경우도 많아 산림의 훼손과 관계가 있을 것으로 판단된다.

Table 2는 한반도 전체의 토지피복현황과 함께 남한, 북한의 토지피복분포를 구분하여 나타낸 표

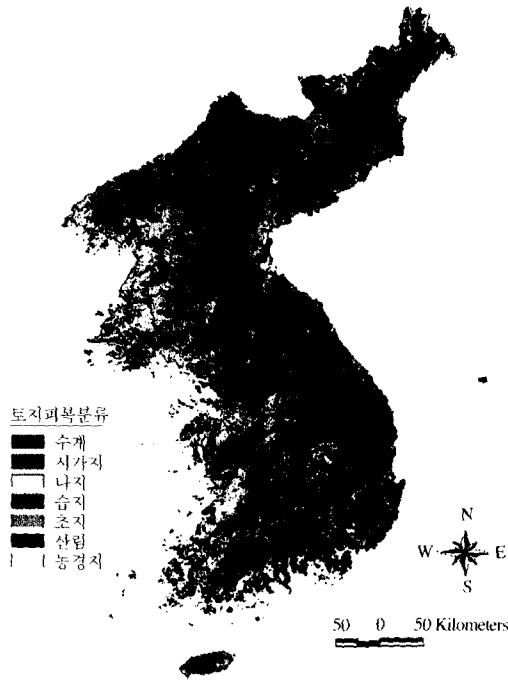


Fig. 3. Land Cover of Korean Peninsula using Landsat data.

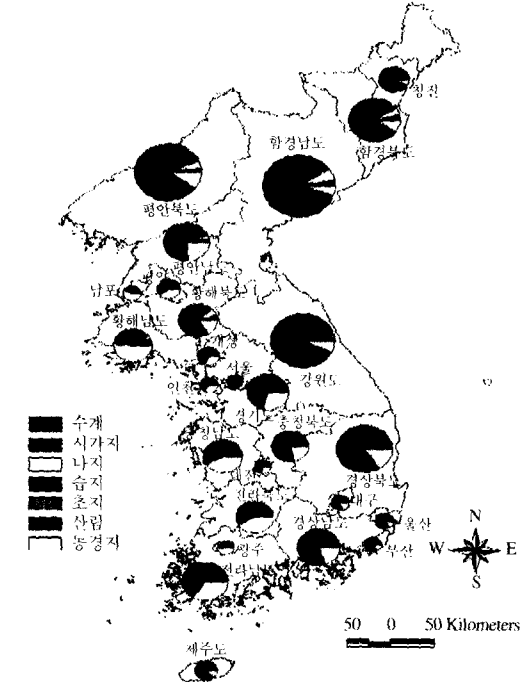


Fig. 4. Proportion of each land cover class by administrative boundaries.

Table 2. Land cover distribution of Korean Peninsula.

단 위 : km²(%)

지역	항목	수계	시가지	나지	습지	초지	산림	농경지	계*
한반도		3,442	4,713	6,129	870	8,255	159,145	40,840	223,394
		(1.5)	(2.1)	(2.7)	(0.4)	(3.7)	(71.2)	(18.3)	(100.0)
남한		1,744	2,219	472	158	634	71,560	23,795	100,582
		(1.7)	(2.2)	(0.5)	(0.2)	(0.6)	(71.1)	(23.7)	(100.0)
북한		1,698	2,494	5,657	712	7,621	87,585	17,045	122,812
		(1.4)	(2.0)	(4.6)	(0.6)	(6.2)	(71.3)	(13.9)	(100.0)

이다. Fig. 4는 시 도 행정구역별로 각 토지피복 항목에 해당하는 면적의 분포비율을 나타낸 차트이다. 이는 1/250,000 수치지형도에서 추출한 행정 구역 레이어에서 산출한 것이며, 남한은 1999년을 기준으로 재편집된 자료이고 북한은 1/250,000 지형도 제작 시점인 1983년 자료이다.

2) 분류결과 평가

분류정확도의 평가는 위성영상으로부터 추출된 분류결과와 참조영상 및 지형도로부터 추출한 기준자료를 비교하였으며, 그 결과를 error matrix (Jensen, 1996)로 요약하였다. 남한지역과 북한지역이 분류방법이 달랐기 때문에 Table 3과 Table 4에서처럼 결과를 나누어 평가하였다. 남한의 경우 overall accuracy는 83.68%, Kappa value는 0.73으로 나타났다. 이는 3×3 Majority 필터링을 수행한 토

지피복분류결과에 대한 수치로서 필터링을 수행하기 전의 결과(overall accuracy = 80.76 %, Kappa value = 0.69)보다 향상된 수치를 보인다. Table 3에서 볼 때 수계, 산림, 시가지의 분류결과가 비교적 좋으며, 습지와 초지의 분류 일치도는 높지 않은 것으로 나타났다. Table 4는 북한지역에 대한 error matrix로서 overall accuracy는 70.4%, Kappa value는 0.63으로 나타났다. 북한의 경우 1983년에 제작된 지형도를 사용하였기 때문에 기준자료와 비교 대상이 되는 자료간의 시간차이가 크다.

5. 결론

보다 정확하고 효과적으로 Landsat TM 위성영상을 분석하는 기법은 지금까지 많이 소개되어 왔

Table 3. Error matrix for assessing the classification accuracy of the South Korea. 단 위 : 화소수 (Pixel Number)

		기준자료 (Reference Data)							
		수계	시가지	나지	습지	초지	산림	농경지	계
분류 결과	수 계	1,700,537	2,245	1,796	9,972	2,097	18,802	47,687	1,783,136
	시가지	5,178	113,248	4,297	1,114	1,021	28,969	130,652	284,479
	나 지	4,385	15,606	11,001	984	1,477	29,127	85,372	147,952
	습 지	17,944	5,336	815	24,594	129	3,245	26,737	78,800
	초 지	3,533	8,786	2,116	261	5,961	184,296	161,815	366,768
	산 립	13,251	7,047	3,244	578	11,548	5,150,967	337,813	5,524,448
	농경지	13,428	20,303	8,663	3,054	12,030	394,038	1,354,815	1,806,331
	계	1,758,256	172,571	31,932	40,557	34,263	5,809,444	2,144,891	9,991,914

Table 4. Error matrix for assessing the classification accuracy of the North Korea. 단 위 : 화소수 (Pixel Number)

		기준자료 (Reference Data)							
		수계	시가지	나지	습지	초지	산림	농경지	계
분류 결과	수 계	319	3	7	4	1	4	20	358
	시가지	8	268	14	1	4	10	23	328
	나 지	24	100	184	1	35	12	51	407
	습 지	6	0	5	72	0	2	1	86
	초 지	21	56	50	1	133	15	30	306
	산 립	50	44	91	5	54	1,072	39	1,355
	농경지	37	102	74	6	24	21	463	727
	계	465	573	425	90	251	1,136	627	3,567

으며, GIS 분석의 한 레이어로 사용되는 토지피복 분류의 경우 일반적으로 정형화된 틀을 형성하였다. 그러나 국토계획이나 환경 등의 응용분야에서 필요로 하는 광역성과 시의성을 충족시키기 위해서는 알려진 기법들을 적용하는 구체적이고 효율적인 방법을 표준화 할 필요가 있다. 이는 위성영상의 활용자가 폭넓게 확대되어가고 있는 지금의 추세에 요구되는 사항이기도 하다.

이 연구에서는 한반도와 같이 넓은 지역의 토지피복분류를 수행하기 위해, 정형화된 여러 가지 기법들을 종합적으로 적용하여 다량의 Landsat 위성영상을 처리하고 분석하는 절차를 제안하였다. 위성영상처리 및 토지피복분류시 보편적으로 알려진 기법들을 순차적으로 적용할 때 대상지역의 특성과 영상처리 여건에 따라 여러 가지 문제가 발생하고 이를 해결하기 위한 세밀한 적용기법이 선택되어야 한다. 영상재배열, 영상집성 등의 전처리의 순서와 방법, 무감도 및 감도분류의 적용 등이 기존에 참조할 만한 자료와 사전지식이 있는지 여부에 따라 크게 좌우될 수 있다. 또한 여러 scene을 처리하는 데 있어 동일시기에 획득된 자료는 전체적인 처리효율을 크게 향상시킬 수 있으므로, 여건이 허락할 경우 자료수집에 많은 노력을 들이는 것이 좋은 결과를 낼 수 있다. 여기서 기술된 구체적인 방법과 한반도 지역의 토지피복분류결과는 국토계획이나 광역 지역계획 등에서 필요한 전반적인 자원현황을 신속하고 효과적으로 제공할 수 있는 수단이 될 것으로 판단된다.

감사의 글

이 연구에 사용한 Landsat 위성영상자료는 해양수산부의 「위성영상획득 및 관리 운용기술 개발」 과제를 통해 수집되었으며, 토지피복분류를

위한 참조영상은 환경부의 '1/50,000 토지피복분류 지도'를 이용하였습니다. 자료를 협조해 주신 관계기관에 감사드립니다.

참고문헌

- 민숙주, 김계현, 김현명, 2000. 다목적 실용위성영상을 이용한 이북지역의 토지피복 분석에 관한 연구. 한국GIS학회 2000년도 추계학술대회 자료집, 104-110.
- 유복모, 1995. 측량학원론(I), 박영사.
- 이규성 외, 2000. 다목적실용위성 영상을 이용한 북한 지역의 토지피복현황도 작성. 한국자원연구소.
- 환경부 한국환경정책평가연구원, 1999. 인공위성 영상자료를 이용한 토지피복분류.
- Campbell, J.B., 1996. *Introduction to Remote Sensing*, the Guilford Press, New York.
- Homer, C.G. et al., 1997. Landscape Cover-Type Modeling Using a Multi-Scene Thematic Mapper Mosaic, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 63(10): 1453-1463.
- Jensen, J.R., 1996. *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*, Prentice Hall, New Jersey.
- Lillesand, T.M. and R.W. Kieffer, 1999. *Remote Sensing and Image Interpretation*, John Wiley & Sons, New York.
- Loveland, T.R. et al., 1991. Development of a land-cover characteristics database for the conterminous U.S., *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 57(1): 59-67.
- Richards, J.A., and X. Jia, 1999. *Remote Sensing Digital Image Analysis*, Springer. Berlin.