

다시기 위성영상을 이용한 소유역의 토지피복변화 평가

The Land Cover Changes at the Small Watersheds Using the Multi-temporal Satellite Images

강 문 성 * · 박 승 우 * *

* 서울대학교 대학원 농공학과 · ** 서울대 농공학과

Kang, Moon Seong* · Park, Seung Woo**

* Dept. of Agricultural Eng., Graduate School, Seoul Nat'l Univ.

** Dept. of Agricultural Eng., Seoul Nat'l Univ.

ABSTRACT

The purposes of the study were to detect and evaluate the historical land use and land cover changes on the Balan watersheds from three thematic mapper (TM) data, which were taken in 1985, 1993, and 1996. The supervised and unsupervised classification methods were adopted to classify five land cover categories: Paddy, upland, forest, residential, and water. The results indicated residential areas increased significantly during the past eleven years. Forest and paddy were converted to the urban areas. Future land cover patterns were forecasted using a Markov chain method, and the simulated land cover change ratios presented.

I. 서론

농업유역은 도시영역의 확대에 의한 도로 신설 및 확장과 택지개발로 인한 산림지의 훼손 등으로 인해 토지피복상태의 변화가 이루어지고 있다. 이러한 토지피복의 변화는 유역의 수문유출 특성을 변화시키고, 하천 및 저수지의 수질보전에 많은 영향을 끼치게 된다. 따라서, 농업유역의 토지피복변화를 제대로 평가하고, 추정하는 것은 농업유역의 수문·수질 해석을 위해 중요하다고 하겠다.

유역의 토지피복을 판단하는 방법으로는 측량 및 현지조사를 통한 직접적인 방법과 지도나 항공사진, 위성영상 등의 보조자료를 이용하는 간접적인 방법이 있다. 직접적인 방법은 시간과 비용이 많이 드는 단점이 있으므로 간접적인 방법이 많이 사용된다. 특히, 위성영상의 이용은 정보의 최신성이나 분류의 자동화 및 결과의 수치화 등의 측면에서 이점을 가지고 있으며, Jackson(1977)과 Jensen(1996)은 넓은 유역에 대해서는 시간과 비용면에서도 효과적이라고 하였다.

위성영상을 이용한 원격탐사 기술은 항공사진의 발달과 더불어 그 응용이 시작되었으나, 최근 컴퓨터 및 우주항공기술의 발달에 따른 여러 가지 지구 관측위성의 발사로 인하여 그 기법 및 응용분야에 상당한 발전을 이룩하고 있다. 그 중에서 Landsat 자료를 이용하는 원격탐사 기술은 항공사진에 비하여 보다 광범위한 지역을 일시에 탐사할 수 있으므로 토지피복상태 조사는 물론, 자연환경 변화, 산림자원조사, 오염확산 상태 파악, 농작물의 작황분석, 홍수예측 및 관련자료 수집 등 여러 분야에서 그 활용성이 시도되고 있다.

토지피복분류에 많이 이용되는 위성영상은 Landsat의 MSS (Multi-Spectral Scanner sensor) 영상과 TM (Thematic Mapper sensor) 영상, SPOT의 HRV (High Resolution Visible sensor) 영상 등이 있으며, 일반적으로 Landsat의 TM 영상이 많은 연구자들에 의하여 사용되어지고 있다 (박희성, 1998).

토지피복에 대한 정확한 분류와 시기별 토지피복변화를 고찰하기 위해서는 단 하나의 위성영상자료만으로는 정확한 분류와 그에 따른 변화를 파악하기 어려운 경우가 많다. 따라서, 이를 극복하기 위해 다시기의 영상을 이용하는 방법이 제기되고 있다.

Folly 등(1996)은 스페인에서 ULSE C-factor를 추정하는 과정에서 두 계절의 Landsat TM 영상과 GIS를 이용하여 피복(Land Cover)을 분류하고 지식 기반(knowledge-based)의 접근 방법을 통하여 토지 이용 분류의 정확도를 높이고자 하였고, Okamoto 등(1996)은 Landsat TM 영상

의 혼합셀 면적비를 통하여 논외 면적을 추정하는 연구를 수행하였으며, Civico(1997)은 Landsat TM 영상으로부터 화소내의 불투수 면적의 비율을 추정하는 하는 데 신경망 이론을 도입한 바 있다. 국내의 경우, 이현영 (1995)은 다시기 영상을 이용한 토지피복변화를 추출하고 이것이 국지기후에 미치는 영향을 평가한 바 있으며, 박민호(1988)는 다른 두 계절에 관측된 영상을 이용하므로써 분류의 정확도를 향상시키는 기법을 제시하였고, 박종화 (1995)는 도시녹지의 평가기법을 연구하여 서울시에 적용하여 주변부 탐지를 수행하였으며, 박희성 (1998)은 농업소유역의 토지이용분류 및 유출곡선변호를 추정하여 제시하는 등 국내외에 위성영상을 이용한 연구가 활발히 이루어져 왔다.

토지피복상태는 계속적으로 변화하므로 이를 조사하는데 많은 시간과 노력이 필요하다. 따라서 원격탐사 기법을 이용하면 보다 적은 조사기간과 경비 및 인력을 가지고 훨씬 더 정확한 자료를 얻어낼 수 있을 것이며, 다시기의 위성영상을 비교함으로써 대상지역의 토지피복변화를 평가할 수 있을 것이다.

본 연구의 목적은 다시기의 Landsat TM 영상을 이용한 소유역의 토지피복변화를 평가하기 위하여, 시험유역을 선정하고, 다시기 위성영상을 대상으로 최대우도분류법에 의한 감독분류 및 무감독 분류를 수행하여 토지이용상태를 추출하며, 시험유역의 토지피복변화를 고찰하고, Markov 과정을 이용하여 장래의 토지피복상태를 추정하여 그 변화율을 고찰하는 데 있다.

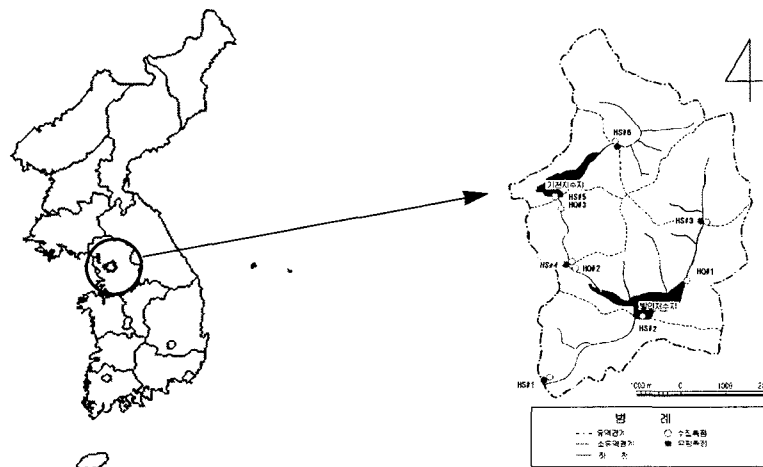


Fig. 1. Location map of the study watershed.

II. 연구방법

1. 시험유역의 개요

본 연구의 시험유역은 Fig.1 에서 보는바와 같이 경기도 화성군 봉담읍과 팔탄면 소재 발안저수지와 기천저수지 유역을 선정하였다. 본 소유역을 택한 이유는 산간지, 중산간지, 평탄지, 취락지 등 다양한 토지피복상태를 보이고 있어, 위성영상을 이용한 우리나라 농촌 소유역의 토지피복변화를 평가하는데 용이하기 때문이다. 또한, 1996년부터 서울대 농공학과에서 수문/수질관측을 통한 강우-유출 특성 분석 자료와 비점오염원의 정량적 해석 자료가 구축되어 있기 때문에 다양한 토지피복상태에 따른 수문·수질 변화 분석이 용이하기 때문이다.

2. 위성영상 자료

위성영상의 전처리는 워크스테이션 ERDAS IMAGINE-8.3.0 (1997)을 사용하였고, 위성영상의 분석은 지리정보 및 위성영상의 분류를 목적으로 개발된 PC용 IDRISI (Eastman, 1990)를 이용하였다.

분류 대상 위성영상은 Landsat-5의 Thematic Mapper Sensor에 의하여 관측된 Path 116/Row 34의 영상중 남동쪽 사분을 사용하였다. 또한, 대상 소유역의 토지이용변화를 평가하기 위하여 1985년 5월 14일, 1993년 5월 20일, 그리고 1996년 9월 1일의 다시기 영상을 사용하였다. 대상영상은 경기도 일대와 서해지역, 충청북도, 그리고 서울 등의 일부지역이 포함되어 있다.

Landsat-5 위성은 1984년에 발사되었으며, 상공 700~900 km, 회전주기 매 16일, 그리고 분광밴드는 7개이며, 공간해상력은 30 m×30 m 이다.

3. 위성영상의 전처리

Landsat 위성영상의 1개 면적은 185×185 (km²)이고, 6.5 km/sec의 속도로 주사선을 28초 동안 보통 700~900 km의 고도에서 지구를 촬영하므로 촬영 주사선(Scanner)이 1차원인데 비해 위성의 운동은 2차원이다. 따라서, 인공위성의 자세, 지구의 회전, 곡률 등에 따른 왜곡이 생기게 되며, 이와 같은 상대적인 변위에서 발생하는 기하학적인 왜곡을 보정해 주어야만 한다. 또한, 영상 반사치의 영향으로 발생하는 요인을 제거하기 위해 방사량 보정을 실시하였다.

기하학적인 보정은 다시기 영상좌표와 지도에서 선정된 30개의 지상통제점인 GCP (Ground Control Point)를 이용하여 최소자승법에 의해 좌표변환식을 도출하였다. 고차다항식의 좌표변환식은 식(1)과 같으며, 본 연구에서는 3차다항식을 사용하였다.

$$\begin{aligned}
 X &= a_0 + a_1x + a_2y + a_3x^2 + a_4xy + a_5y^2 + \dots + a_kx^k y^l + \dots + a_y y^l \\
 Y &= b_0 + b_1x + b_2y + b_3x^2 + b_4xy + b_5y^2 + \dots + b_kx^k y^l + \dots + b_y y^l
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

여기서, X, Y는 변환된 좌표이며, x, y는 영상의 원래의 좌표이다.

좌표변환을 실시하여 최소자승법에 의해 RMSE (Root Mean Square Error)을 계산한 결과, 1985년 영상은 0.3714m, 1993년은 0.3857m, 그리고 1996년 영상은 0.3625 m의 값을 보였다.

화상의 화소값을 결정하기 위하여 Nearest Neighbor 방법을 이용하여 재배열(Resampling)을 실시하였다. 재배열의 방법중의 하나인 Nearest Neighbor 방법은 원래 영상과 좌표변환된 영상을 겹쳤을 때 가장 가까운 화소의 값을 좌표 변환된 영상의 화소값으로 결정하는 방법이다. 다시기 영

Table 1. Resampling Area.

Coordinate	Min.	Max.	Column : 500	
X	185000	200000	Row : 1000	Ref. system: TM
Y	400000	430000	Resolution : 30m	Korea (Mid ref.)

상의 재배열의 크기는 토지이용특성을 고려하여 분류가 용이하도록 실제 시험유역을 포함한 X(185,000, 200,000), Y(400,000, 430,000) 지역으로서, 500columns×1000 rows 영역을 추출하였으며, 해상력은 30m×30m로 하였다. Table 1은 재배열을 실시하기 위한 영상의 절출 영역과 특징을 나타내고 있다.

방사량보정은 대기층에 의해 흡수되는 영향을 제거하기 위해 ERDAS에 제공하는 메뉴중 Dehaze을 실시하였다. Dehaze는 흡수에 의한 변화인 Haze를 제거하기 위한 것으로서 Tasseled Cap 변환에 의하여 얻어진 영상으로부터 Haze 성분을 분류하고, 다시 본래 영상으로 역산하는 것이다.

4. 밴드의 선정

다시기 영상의 토지이용분류를 위한 밴드의 선정은 식생 정보를 잘 반영하는 식생지수 및 수분과 광물의 특성을 반영하는 지수밴드로 구성하였다.

식생지수는 식물의 활력도 및 녹피율에 따른 가시광선 및 근적외선 파장대 광선의 반사량의 차이를 이용하여 추출한다. 현재까지 개발된 식생지수 중에서 가장 정교한 것은 Kauth와 Thomas(1976)가 Gram-Schmidt의 연속직교기법 (Sequential Orthogonalizaion Technique)을 이용하여 개발한 Tassled Cap 변환지수이다. 따라서, 본 연구의 토지 이용분류에 사용된 식생지수는 토양명도지수 (Soil Brightness Index), 녹색식생지수 (Green Vegetation Index), 그리고 토양수분지수 (Soil Moisture Index)이다.

본 연구에서 사용한 Tasseled Cap 변환계수는 Table 2에서와 같다.

지수밴드는 반사체의 식생이외의 정보를 추출하기 위해 물과 광물의 특징을 반영한 것으로서, 물의 경우 밴드구성은 TM2/TM1, 광물의 경우 TM3/TM1, TM5/TM7, 그리고 TM5/TM4로 구성하였다.

5. 토지이용분류 기법

다시기 영상을 대상으로 토지피복변화를 평가하기 위해 과거의 토지피복정보가 정확하지 않은 1985년 영상과 1993년 영상에 대해서는 무감독 분류를 실시하였고, 비교적 최근인 1996년 영상은 1997년에 발간된 1/25,000 지형도를 이용하여 감독분류를 실시하였다. 이는 훈련지역으로 선정된 지역이 현재의 상황이나 도엽과 정확하게 일치하지 않았기 때문에 감독분류와 무감독분류를 병행한 것이다. 시험유역인 기천/발안지 유역은 유역도 벡터 자료를 이용하여 Masking을 통해 절취하였으며, 토지피복상태는 궁극적으로 논, 밭, 산림, 물, 기타로 구분하여 분류하였다.

가. 무감독 분류 (Unsupervised Classification)

무감독 분류는 훈련지역의 반사특성을 입력하지 않고, 단지 분류하고자 하는 유형의 종류만 지정하여 집락분석법 (Clustering algorithm)으로 영상을 분류하는 방법이다.

1985년과 1993년의 영상은 과거의 정확한 토지이용상태를 판단하는데 한계가 있으므로 각각 31개의 class로

Table 2. Tasseled Cap transformation coefficients of TM data.

Index	TM BAND					
	1	2	3	4	5	7
SBI	0.33138	0.33121	0.55177	0.42514	0.48087	0.25252
GVI	-0.24717	-0.16263	-0.40639	0.85468	0.05493	-0.11749
SMI	0.13929	0.22490	0.40359	0.25178	-0.70133	-0.45732

* SBI; Soil Brightness Index, GVI; Green Vegetation Index, SMI; Soil Moisture Index
Source : Crist and Cicone(1984)

clustering을 실시한 후 현지 답사와 1/25,000 지형도를 이용하여 5개의 토지이용상태로 재분류하였다.

나. 감독 분류 (Supervised Classification)

감독 분류는 영상에서 분류하고자 하는 각 대상물에 대해 유형별 훈련지역의 밴드별 반사특성에 관한 통계자료를 이용하여 영상을 분류하는 것으로서, 참고자료와 분류대상지역에 대한 해박한 지식이 요구되는 방법이다.

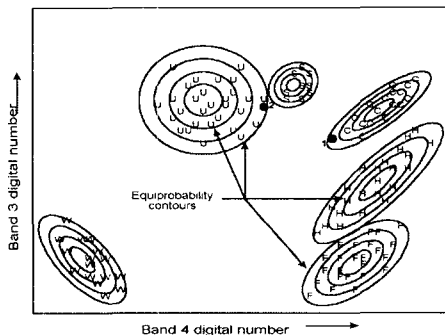


Fig. 2. Maximum Likelihood Classification (Lillesand, et al., 1994).

1996년의 영상은 비교적 현재와 유사한 토지피복상태를 보임으로, 현지답사와 1997년에 발간된 1/25,000 지형도를 이용하여 논 (담수, 비담수), 밭, 산림 (음, 영), 주거지 및 기타, 물 등의 7개의 훈련지역을 선정하여 7개의 밴드지수에 의해 Signature를 추출하였다. 감독분류 방법은 가장 많이 이용되고 있는 분류법중의 하나인 최대우도법 (Maximum Likelihood Classifier)을 사용하였다. 최대우도법은 Fig. 2에서와 같이, 화소가 각 군집에 속할 확률을 구하고 확률이 가장 큰 군집에 포함되는 것으로 판단하는 통계적인 방법으로 분류 이전의 단계에서 확률에 의한 분석이 가능한 방법이다. 즉, 최대우도법은 각 클래스에 대한 화소자료의 우도 (Likelihood)를 구하고 최대우도 클래스에 그 화소를 분류하는 방법이다.

6. 토지피복변화 추이 분석

시험구역의 토지피복상태를 예측하기 위하여 각 연도의

토지피복상태의 토지피복변화율로 추이행렬을 구성하고 Markov 과정을 적용하였다. 토지피복상태의 예측식은 식 (2)와 같다.

$$y^t = x^t A \quad (2)$$

여기서, y^t 는 장래 토지피복상태의 전치행렬, x^t 는 현재 토지피복상태의 전치행렬, A 는 추이행렬을 나타낸다.

III. 결과 및 고찰

1. 토지피복분류 결과

1985년 영상과 1993 영상에 대해서는 무감독 분류를 실시하고, '96년 영상은 감독분류를 수행하였으며, 재배열에 의해 절출된 영역에 대한 해당 년도의 토지피복분류 결과는 Fig. 3에서와 같다. Fig. 3에서와 같이 논과 산림은 감소하는 추세를 보였고, 주거지 등은 증가하는 경향을 나타내고 있다.

재배열을 수행한 영상에 대해 무감독 분류와 최우도법에 의한 감독분류를 실시한 후, 시험구역의 유역도 벡터 레이어를 중첩시켜 Masking을 수행함으로써 시험구역만을 추출한 '85년, '93년, 그리고 1996년의 결과는 Fig. 4에서와 같다. Fig. 4에서의 1985년과 1993년도의 영상은 무감독 분류 후 재분류를 실시하여 시험구역만을 Masking한 결과이며, 1996년 영상은 감독분류를 한 것이다. Fig. 4에서 보는 바와 같이, 시험구역은 저수지를 중심으로 음식점과 도로 신설 및 확장으로 인해 주거지 등이 급속히 증가하는 추세를 보이고 있다.

본 연구에서 유역단위 경계로 토지피복분류 결과를 비교한 이유는 단지 토지피복상태만을 고찰하는 것이 아니라, 유역내에서의 토지피복의 변화를 파악함으로써 유역내 수문, 수질 기작에 미치는 영향이나 변화를 고찰하고자 하기 때문이다.

다시기의 토지피복 면적과 그 비율의 산정 결과 및 국립지리원에서 발간한 지형도에서 직접 추출한 결과는 Table 3에서와 같다. 시험구역의 총면적은 2,668 ha 이었으며, 1985년에 논과 산림의 비율이 23.9 %, 59.9 %에서 1996년에는 각각 17.2 %와 55.9 %로 감소하였음을 알 수 있다.

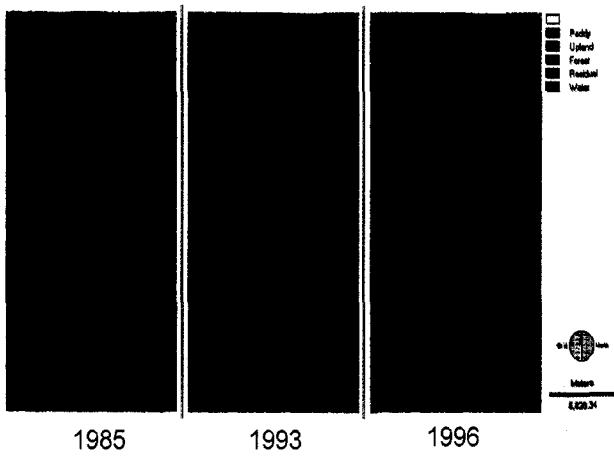


Fig. 3. The Image of Land Cover Classification for Resampling Area.

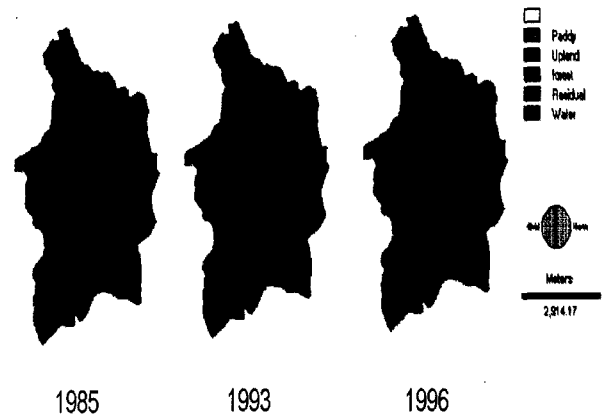


Fig. 4. The Image of Land Cover Classification for Study Watershed.

이에 비해 주거지 등으로 분류된 기타 클래스는 1985년에 7.3%에서 20.6%로 증가하였다. 이는 시험유역이 최근에 면에서 읍으로 승격된 것에서 알 수 있듯이, 1993년까지 나타나지 않았던 도로와 음식점 등이 급증한 이유 때문으로 생각된다.

1/25,000의 지형도에서 직접 추출한 토지피복상태는 1995년 이전의 상태를 나타내므로 본 연구 결과 중에서 1993년 영상의 토지이용상태와 비교하는 것이 시기적으로 볼 때 비교적 적절하다고 생각된다. 시험유역의 총면적의 차

이는 0.7%의 근소한 차이를 보였으며, 전체적인 비율에서 볼 때, 영상에서 추출한 결과가 논인 경우 3.2%, 산림의 경우는 5.2% 정도 작게 나타났고, 이에 반해 주거지 등 기타는 8.5% 정도 크게 나타났다. 이러한 결과는 발안저수지와 접해 있는 상류 지역이 지형도상에는 논과 산림으로 되어 있으나, 실제로는 군사시설이 들어서 있어서 영상분류시에 주거지로 지형도에 의한 분류에서는 논과 산림으로 분류되었기 때문으로 생각된다.

Table 3. The Results of Land Cover Classification.

Item	Area (ha)			Ratio of Area (%)			Park et al. (1997)*	
	1985	1993	1996	1985	1993	1996	Area (ha)	Ratio of Area (%)
Paddy	638	527	459	23.9	19.8	17.2	609	23.0
Upland	136	118	95	5.1	4.4	3.6	119	4.5
Forest	1,597	1,550	1,491	59.9	58.1	55.9	1,677	63.3
Residual	195	382	549	7.3	14.3	20.6	153	5.8
Water	102	91	74	3.8	3.4	2.8	91	3.4
Sum	2,668	2,668	2,668	100	100	100	2,649	100

* Park, S. W. et al., 1997. Monitoring of Agro-Ecological Environments at Small watershed, Journal of KSRP, Vol. 2, No. 2, pp. 91-102.

2. 토지피복변화 분석 및 추정

다시기 영상의 토지피복분류를 근거로 하여 각각의 토지 피복이 서로 어떤 형태로 전환되었는지를 분석하였다. 토지 피복의 변화는 1985년 토지피복 분류자료를 각각의 분류 클래스인 5개의 토지피복상태로 Masking하여 단일 클래스 자료를 생성하고, Error Matrix를 이용하여 1993년과 1996년의 토지피복분류 결과와 비교함으로써 추출하였다.

토지피복변화는 Table 4에서와 같이, 1985년도의 토지피복상태에 비해 1993년과 1996년도에는 산림이 약 300 ha 이상, 논이 약 200 ha 이상이 주거지 등 기타로 전용되었음을 알 수 있다. 이는 시험지구가 전형적인 논농사 중심의 농촌지역이면서도, 저수지를 중심으로 많은 식당이 들어서고 있고, 도로가 계속적으로 신설 및 확장되고 있음을 대변하고 있다.

농업구역의 토지피복은 1980년대 중반 이후 경지면적이 급격히 감소하기 시작하여 1990년대 들어 감소추세가 더욱 증가하는 실정이다. 이러한 토지피복변화는 국내외의 원인

및 요소와 정부 시책 등에 의해 인위적으로 변화하므로 정확히 추정하기란 쉽지 않다. 본 연구에서는 1993년과 1996년의 토지피복변화율을 이용하여 3년 간격으로 그 추이 확률이 추이행렬로 주어진다고 가정하였고, 1999년과 2002년의 토지이용상태를 예측하였으며, 그 결과는 Table 5에서와 같다. 1999년과 2002년의 토지피복상태는 논이 각각 16.4%, 16.2%, 산림이 각각 54.4%, 53.7% 등으로 감소하는 반면, 주거지 등의 기타는 각각 22.9%, 23.9% 등으로 꾸준히 증가하는 추세를 보였다. 다만, 물의 경우 1.9%까지 감소하는 것으로 나타났는데, 이는 시험구역에서 물로 분류된 영역이 저수지임을 고려할 때 과다하게 평가되었음을 알 수 있다.

IV. 요약 및 결론

다시기 Landsat TM 영상을 이용한 소유역의 토지피복변화를 평가하기 위하여, 시험유역을 선정하고, 1985년, 1993

Table 4. Land Cover Changes.

Unit : ha

Item	From 1985 to 1993					From 1993 to 1996						
	Paddy	Upland	Forest	Residual	Water	Sum	Paddy	Upland	Forest	Residual	Water	Sum
Paddy	399	13	84	142	0	638	315	17	99	92	4	527
Upland	2	17	102	16	0	137	12	13	51	42	0	118
Forest	110	53	1,304	126	4	1,597	73	27	1,261	189	0	1,550
Residual	6	36	58	95	0	195	56	39	76	211	0	382
Water	10	0	1	4	87	102	2	0	3	16	71	92
Sum	527	119	1,549	383	91	2,669	458	96	1,490	548	75	2,669

Table 5. Estimation of Land Cover Changes.

Unit : ha(%)

Year	Paddy	Upland	Forest	Residual	Water
1999	437 (16.4)	107 (4.0)	1451 (54.4)	612 (22.9)	61 (2.3)
2002	432 (16.2)	113 (4.2)	1433 (53.7)	639 (23.9)	51 (1.9)

를 실시하였으며, 각각의 시기에 대한 토지이용상태를 추출하였고, Markov 과정을 이용하여 장래의 토지이용상태를 추정하여 그 변화율을 분석하였다.

본 연구의 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 발안저수지 시험유역의 토지피복상태를 분류하기 위해 1985, 1993, 그리고 1996년의 다시기 영상에 대해 기하학적 보정과 방사량 보정 등의 전처리를 수행하였으며, 30개의 GCP를 이용하여 좌표변환을 한 결과 RMSE는 1985, 1993, 그리고 1996년에 대해 각각 0.37 m, 0.39 m, 그리고 0.36 m의 값을 나타냈다.
- 2) 다시기 위성영상의 토지피복변화를 평가하기 위해 Tasseled Cap 변환지수와 지수밴드를 구성하였으며, Nearest Neighbor 방법에 의해 재배열을 실시한 후 1985년 영상과 1993년 영상은 무감독 분류를 실시하였고, 1996년의 영상은 최대우도법을 이용하여 감독분류를 수행하였다.
- 3) 토지피복분류를 실시한 결과, 시험유역의 총면적은 2,668 ha 이었으며, 1985년에 논과 산림의 비율이 23.9 %, 59.9 %에서 1996년에는 각각 17.2 %와 55.9 %로 감소하였고, 주거지 등으로 분류된 기타 클래스는 1985년에 7.3 %에서 '96년에는 20.6 %로 증가하였다.
- 4) 본 연구 1993년 토지피복상태와 기존의 지형도에서 직접 추출한 토지피복상태를 비교한 결과, 시험유역의 총면적의 차이는 0.7%의 근소한 차이를 보였으며, 전체적인 비율에서 볼 때, 영상에서 추출한 결과가 논, 주거지 등 기타는 8.5 % 정도 크게 분류되었는데, 이는 발안저수지와 접해 있는 상류 지역이 지형도상에는 논과 산림으로 되어있으나, 실제로 군사시설이 들어서 있는 주거지로 분류되었기 때문으로 생각된다.
- 5) 토지피복변화는 1985년도와 토지피복상태에 비해 1993년과 1996년도에는 산림이 약 300 ha 이상, 논이 약 200 ha 이상이 주거지 등 기타로 전용되었으며, 이는 도로 신설 과 확장 그리고 음식점이 급증하였기 때문으로 생각된다.
- 6) Markov 과정을 이용하여 1999년과 2002년의 토지피복상태를 예측한 결과, 1999년과 2002년의 토지피복

상태는 논이 각각 16.4 %, 16.2 %, 산림이 각각 54.4 %, 53.7 % 등으로 감소한 반면, 주거지 등의 기타는 각각 22.9 %, 23.9 % 등으로 꾸준히 증가하는 추세를 보였다.

이상과 같이, 다시기 위성영상을 이용한 토지피복상태의 추출은 정보의 최신성과 인력, 시간 및 비용면에서 효과적이며, 농업유역의 경지면적 변화를 파악함으로써 작물의 수확량을 예측할 수 있고, 토지이용변화에 따른 비점오염원의 기여도 평가가 가능하므로 하천의 오염부하량을 간접적으로 파악할 수 있으며, 정부나 연구단체에서 토지 전용 및 농촌 계획의 시책을 결정하는 기초자료로서의 제공이 가능할 것으로 기대된다.

参考文献

1. 농촌진흥청, 1998, 연구사업보고서, 농업경영연구보고 제60호.
2. 박민호, 1988, 원격탐사 Data의 정확도 향상을 위한 Bitemporal classification 기법의 적용, 서울대학교 석사학위 논문.
3. 박종화, 1992, Landsat 녹색식생지수를 이용한 서울시 도시녹지 변화 조사, 대한원격탐사학회지, Vol. 8, No. 1, pp. 27-43.
4. 박희성, 1998, 위성영상을 이용한 토지이용분류 및 유출곡선번호의 추정, 서울대학교 석사학위 논문.
5. Adinarayana, J., and N Rama Krishna, 1996, Integration of multi-seasonal remotely-sensed images landuse classification of a hilly watershed using geographical information systems, Int. J. Remote Sensing 17 (9) : 1679-1688.
6. ERDAS Inc., 1991, ERDAS Field Guide, Atlanta, Georgia.
7. Folly, A., M.C. Bronsveld, and M. Clavaux, 1996, A knowledge-based approach for C-factor mapping in Spain using Landsat TM and GIS, Int. J. Remote Sensing 17 (12) : 1401-1415.
8. Jackson, T.J., R.M. Ragan, and W.N. Fitch, 1977, Test of Landsat-Based Urban Hydrologic Modeling,

- J. Water Resour. Plann. Manage. Div., ASCE 103(WR1) : 141-158.
9. Jensen, John R., 1996, *Introductory Digital Image Processing : A Remote Sensing Perspective*, Englewood Cliffs, New Jersey , Prentice-Hall.
10. Lee, H. Y, 1995, Potential Effects of Land-Use Change on the Local Climate, *Journal of KSRS*, Vol. 11, No. 3, pp. 71-81.
11. Lenington, R. K. and C. T. Sorensin, R. P. Heydorn, 1984, A Mixture Model Approach for Estimating Crop Areas from Landsat Data, *Remote Sensing of Environment* 14 : 197-206.
12. Lillesand, Thomas M. and Ralph W. Kiefer, 1994, *Remote Sensing and Image Interpretation*, New York : John Wiley and Sons.
13. Okamoto, K. and M. Fukuhara, 1996, Estimation of paddy field area using the area ratio of categories in each mixel of Landsat TM, *Int. J. Remote Sensing* 17 (9) : 1735-1749.
14. Park, C. H, 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 KSRS*, Vol. 11, No. 3, pp. 71-81.
15. Sabins, Floyd F., Jr., 1987, *Remote Sensing Principles and Interpretation*, New York : W.H. Freeman and Co.