

다시기 Landsat TM 영상을 이용한 소유역의 토지이용변화 분석

A Study on the Land-Use Changes on the Balan Watersheds Using the Multi-temporal Landsat TM Images

강 문 성* (서울대) · 박 승 우 (서울대)
Kang, Moon Seong · Park, Seung Woo

Abstract

The purposes of the study were to detect and evaluate the land use changes on the Balan Watersheds, located southwest of Suwon, using the Thematic Mapper (TM) data. Three sets of TM data taken in 1985, 1993, and 1996 were used and the changes in the land use analyzed and compared. The supervised and unsupervised classification methods were adopted to classify five land-cover categories: Paddy, upland, forest, residential, and water. Future land use patterns were simulated using a Markov chain method, and the change ratios presented.

I. 서 론

원격탐사 기술은 항공사진의 발달과 더불어 그 응용이 시작되었으나, 최근 컴퓨터 및 우주항공 기술의 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 토지이용상태 조사는 물론, 자연환경 변화, 오염확산 상태 파악, 농작물의 작황분석, 홍수예측 및 관련자료 수집 등 여러 분야에서 그 활용성이 시도되고 있다 (조성익, 1996).

농업유역은 도시영역의 확대로 인한 도로 신설 및 확장과 택지개발로 인한 산림지의 훼손 등으로 인해 토지이용상태의 변화가 이루어지고 있다. 이러한 토지이용의 변화는 유역의 수문 유출 특성을 변화시키고, 하천 및 저수지의 수질보전에도 많은 영향을 끼치게 된다. 따라서, 농업유역의 토지이용변화를 제대로 평가하고, 추정하는 것은 농업유역의 수문·수질 해석을 위해 중요하다고 하겠다.

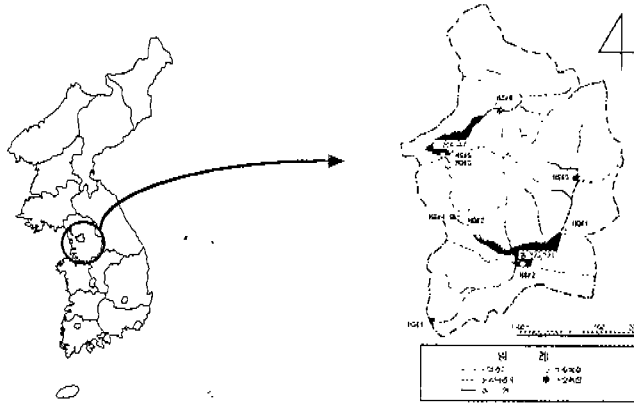
토지이용상태는 계속적으로 변화하므로 이를 조사하는데 많은 시간과 노력이 필요하다. 따라서 원격탐사 기법을 이용하면 보다 적은 조사기간과 경비 및 인력을 가지고 훨씬 더 정확한 자료를 얻어낼 수 있다. 또한, 다시기의 화상을 비교함으로써 지역의 토지이용변화를 평가할 수 있다.

본 연구의 목적은 다시기의 Landsat TM 영상을 이용한 소유역의 토지이용변화를 평가하기 위하여, 시험유역을 선정하고, 다시기 위성영상을 감독 및 무감독 분류에 의해 토지이용상태를 추출하며, 시험지구의 토지이용변화를 고찰하고, Markov 과정을 이용하여 장래의 토지이용상태를 추정하여 그 변화율을 분석하는 데 있다.

II. 연구방법

1. 시험구역의 개요

본 연구의 시험구역으로 경기도 화성군 발안 및 팔탄면 소재 발안저수지와 기천저수지 유역을 선정하였다 (그림1). 본 소유역을 택한 이유는 산간지, 중산간지, 평탄지, 취락지 등 다양한 토지이용상태를 보이고 있어, 위성영상을 이용한 우리나라 농촌 소유역의 토지이용변화를 평가하는데 용이하기 때문이다. 또한, 1996년부터 서울대 농공학과에서 수문/수질관측을 통한 강우-유출 특성 분석 자료와 비점오염원의 정량적 해석 자료가 구축되어 있기 때문에 다양한 토지이용상태에 따른 수문·수질 변화 분석이 용이하기 때문이다.



(그림1) 시험구역의 위치 및 개요

2. 위성영상 자료

위성영상의 전처리에는 익스테이션 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 (그림1)에서와 같이, 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 29개의 지상통제점인 GCP (Ground

Control Point)를 이용하여 최소자승법에 의해 좌표변환식을 도출하였다. 고차다항식의 좌표변환식은 식(1)과 같으며, 본 연구에서는 3차 다항식을 사용하였다.

$$X = a_0 + a_1x + a_2y + a_3x^2 + a_4xy + a_5y^2 + \dots + a_kx^i y^j + \dots + a_n y^i \quad (1)$$

$$Y = b_0 + b_1x + b_2y + b_3x^2 + b_4xy + b_5y^2 + \dots + b_kx^i y^j + \dots + b_n y^i$$

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

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

화상의 화소값을 결정하기 위하여 Nearest Neighbor 방법을 이용하여 Resampling을 실시하였다. 다시기 영상의 Resampling 크기는 토지이용특성을 고려하여 분류가 용이하도록 실제 시험유역을 포함한 X(185000, 200000), Y(400000, 430000) 지역으로서, 501 Columns × 1001 Rows 영역을 추출하였으며, 해상력은 30 m로 하였다.

방사량보정은 대기층에 의해 흡수되는 영향을 제거하기 위해 Dehase를 실시하였다.

4. 밴드의 선정

다시기 영상의 토지이용분류를 위한 밴드의 선정은 식생정보를 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 Orthogonalization Technique)을 이용하여 개발한 Tasseled Cap 변환지수이다. 따라서, 본 연구의 토지이용분류에 사용된 식생지수는 토양명도지수 (Soil Brightness Index), 녹색식생지수 (Green Vegetation Index), 그리고 토양수분지수 (Soil Moisture Index)이다. 본 연구에서 사용한 Tasseled Cap 변환계수는 <표 1>과 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 (박, 1998).

<표 1> TM 자료의 Tasseled Cap 변환계수 (Crist & Cicone, 1984)

구 분	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

5. 토지이용분류 기법

다시기 영상을 대상으로 토지이용변화를 평가하기 위해 과거의 토지이용정보가 정확하지 않은 1985년 영상과 1993년 영상에 대해서는 무감독 분류를 실시하였고, 비교적 최근인 1996년 영상은 1997년에 발간된 1/25000 지형도를 이용하여 감독분류를 실시하였다. 시험유역인 기천/발안지 유역은 유역도 벡터 자료를 이용하여 Masking을 통해 절취하였다. 토지이용상태는

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 clustering을 실시한 후 현지 답사와 1/25000 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.

1996년의 영상은 비교적 현재와 유사한 토지이용상태를 보임으로, 현지답사와 1997년에 발간된 1/25000 지형도를 이용하여 논 (답수, 비답수), 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 각 클래스에 대한 화소자료의 우도 (Likelihood)를 구하고 최대우도 클래스에 그 화소를 분류하는 방법이다.

6. 토지이용변화 추이 분석

시험구역의 토지이용상태를 예측하기 위하여 각 연도의 토지이용상태의 토지이용변화율로 추이행렬을 구성하고 Markov 과정을 적용하였다. 토지이용상태의 예측식은 식(2)와 같다.

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

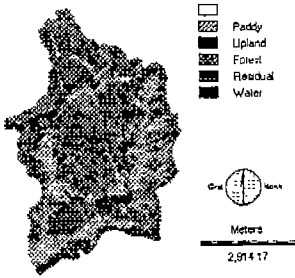
여기서, y^T 는 장래 토지이용상태의 역행렬, x^T 는 현재 토지이용상태의 역행렬, A 는 추이행렬을 나타낸다.

III. 결과 및 고찰

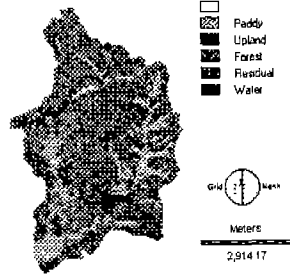
1. 토지이용분류 결과

무감독 분류와 최우도법에 의해 감독분류를 실시한 후, 시험유역을 Masking한 1985년, 1993년, 그리고 1996년의 결과는 (그림2)~(그림5)에서와 같다. (그림2)와 (그림3)은 무감독 분류 후 재분류를 실시하여 시험유역만을 Masking한 결과이며, (그림4)는 분석 영상의 감독분류를 한 것이다. (그림5)는 감독분류 후 재분류를 통하여 시험유역을 Masking한 결과이다.

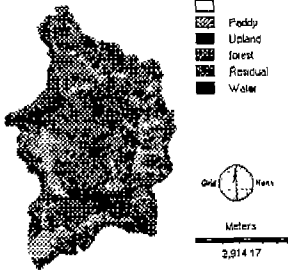
다시기의 토지이용 면적과 그 비율은 <표1>에서와 같이 시험유역의 총면적은 2,668 ha 이었으며, 1985년에 논과 산림의 비율이 23.9 %, 59.9 %에서 1996년에는 각각 17.2 %와 55.9 %로 감소하였음을 알 수 있다. 이에 비해 주거지 등으로 분류된 기타 클래스는 1985년에 7.3 %에서 20.6 %로 증가하였다. 이는 시험유역이 최근에 면에서 읍으로 승격된 것에서 알 수 있듯이, 1993년까지 나타나지 않았던 도로와 음식점 등이 급증한 이유 때문으로 생각된다.



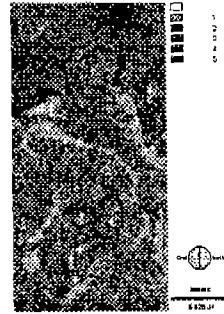
(그림2) 토지이용분류 결과 (1985년)



(그림3) 토지이용분류 결과 (1993년)



(그림4) 토지이용분류 결과 (1996년)



(그림5) 재분류 결과 (1996년)

<표1> 다시기 영상의 토지이용 면적과 비율

구 분	면적 (ha)			면적 비율 (%)		
	1985	1993	1996	1985	1993	1996
논	638	527	459	23.9	19.8	17.2
밭	136	118	95	5.1	4.4	3.6
산림	1597	1550	1491	59.9	58.1	55.9
기타	195	382	549	7.3	14.3	20.6
물	102	91	74	3.8	3.4	2.8
합계	2668	2668	2668	100	100	100

2. 토지이용변화 분석

다시기 영상의 토지이용분류를 근거로 하여 각각의 토지이용이 서로 어떤 형태로 전환되었는지를 분석하였다. 토지이용의 변화는 1985년 토지이용분류자료를 각각의 분류 클래스인 5개의 토지이용상태로 Masking하여 단일 클래스 자료를 생성하고, Error Matrix를 이용하여 1993년과 1996년의 토지이용분류 결과와 비교함으로써 추출하였다.

토지이용변화는 <표2>에서와 같이, 1985년도의 토지이용상태에 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.

<표2> 시험지구의 토지이용변화율

Unit : ha

구분	1985년에서 1993년으로 토지이용변화					1993년에서 1996년으로 토지이용변화				
	논	밭	산림	기타	물	논	밭	산림	기타	물
논	399	13	84	142	0	315	17	99	92	0.7
밭	2	17	102	16	0	12	13	51	42	0
산림	110	53	1304	126	4	73	27	1261	189	0
기타	6	36	58	95	0	56	39	76	211	0
물	10	0	1	4	87	2	0	3	16	91

1993년과 1996년의 토지이용변화율을 이용하여 3년 간격으로 그 추이 확률이 추이행렬로 주어진다고 가정하고, 1999년과 2002년의 토지이용상태를 예측한 결과는 <표3>과 같다. 1999년과 2002년의 토지이용상태는 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 시험구역의 물로 분류된 영역이 저수지임을 고려할 때, 과대하게 평가된 것으로 추정된다.

<표3> 토지이용상태 추정 결과

Unit : ha (%)

구분	논	밭	산림	기타	물
1999년	437 (16.4)	107 (4.0)	1451 (54.4)	612 (22.9)	61 (2.3)
2002년	432 (16.2)	113 (4.2)	1433 (53.7)	639 (23.9)	51 (1.9)

IV. 요약 및 결론

다시기 Landsat TM 영상을 이용한 소유역의 토지이용변화를 평가하기 위하여, 시험유역을 선정하고, 1985년, 1993년, 그리고 1996년의 위성영상에 대해 감독 및 무감독 분류를 실시하였으며, 각각의 시기에 대한 토지이용상태를 추출하였고, Markov 과정을 이용하여 장래의 토지이용상태를 추정하여 그 변화율을 분석하였다.

본 연구의 결과를 정리하면 다음과 같다.

1) 발안저수지 시험구역의 토지이용상태를 분류하기 위해 1985년 영상과 1993년 영상은 무감독 분류를 실시하였고, 1996년의 영상은 감독분류를 실시하였다.

2) 토지이용분류를 실시한 결과, 시험구역의 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 1996년에는 20.6 %로 증가하였다.

3) 토지이용변화는 1985년도의 토지이용상태에 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.

4) Markov 과정을 이용하여 1999년과 2002년의 토지이용상태를 예측한 결과, 1999년과 2002년의 토지이용상태는 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.