

LANDSAT(MSS, TM) Data를 이용한 서울市の 土地利用 經年變化의 抽出에 관한 研究

(1972년~1985년)

A Study on Extracting the Landuse Change Information of
Seoul Using LANDSAT(MSS, TM) Data
(1972~1985)

安 哲 浩* · 安 基 元** · 金 勇 日***
Ahn, Chul Ho · Ahn, Ki Won · Kim, Yong Il

Abstract

In this study, we tried to extract the land-use change information of Seoul city using the multiple date images of the same geographic area. Multiple date image set is MSS ('72, '79, '81, '83) and TM('85), and we carried out geometric correction, digitizing(due to the administrative boundary) in pre-processing process. In addition, we performed land-use classification with MLC(Maximum Likelihood Classifier) after improving the predictive accuracy of classification by filtering technique. At the stage of classification, ground truth data, topographic maps, aerial photographs were used to select the training field and statistical data of that time were compared with the classification result to prove the accuracy. As a result, urban area in Seoul has been increased('72 : 25.3 % → '81 : 43.0 % → '85 : 51.9 %) and Forest area decreased ('72 : 39.0 % → '85 : 28.4 %) as we estimated. Finally, it is concluded that the utilization of satellite imagery is very effective, economical and helpful in the urban land-use/land-cover monitoring.

요 지

인공위성 데이터 정보의 응용분야는 여러가지가 있으나, 본 연구에서는 LANDSAT MSS데이터와 TM 데이터를 처리 분석하여 서울시 토지이용정보를 경년변화에 따라 추출하고자 하였다. 사용 데이터는 MSS(72, 79, 81, 83년), TM(85년)이며 입수된 데이터를 전처리를 통해 기하보정, 디지털화(행정구역에 따라) 등을 하고, 유효 band 선정 및 filtering을 통하여 정확도를 높인 후 MLC(Maximum Likelihood Classifier)로 토지이용분류를 실시하였다. 토지이용분류시 training field 선정 자료로는 현지조사

*正會員 · 서울大學校 工科大學 教授, 土木工學科

**正會員 · 慶尙大學校 工科大學 教授, 土木工學科

***正會員 · 서울大學校 工科大學 助教, 土木工學科

자료, 지형도, 항공사진을 참조하였고, 분류결과의 정확도는 각각 그 당시의 통계자료를 토대로 하여 비교해 보았다. 분석결과, 서울시의 도시지역은 72년(25.3%), 81년(43.0%), 85년(51.9%)로 증가되었고, 이에 대해 삼림은 72년(39.0%)에서 85년(28.4%)로 점차 감소되고 있었다. 이상과 같이 토지이용 경년 변화를 추출함으로써 도시의 토지 이용상황 monitoring에는 반복 주기를 가지는 인공위성 데이터의 활용이 경제적이며 효과적임을 알 수 있었다.

1. 서 론

1.1 연구의 목적

인공위성에서 관측·수집된 데이터의 처리 및 해석을 통하여 필요한 정보를 얻고자 하는 원격탐사 기법은 우주항공분야와 컴퓨터 분야의 급속한 발전에 따라 Sensor의 개발에서부터 데이터의 수신·처리 및 해석기법에 이르기까지 상당한 기술 축적이 이루어져 왔다.

지상, 지하, 대기권 및 우주공간의 대상물에서는 여러 파장대에 걸친 전자기파(Electro-Magnetic Energy)가 반사되고 있는데, 인공위성에 탑재된 Sensor로 이를 감지하고, 처리 분석하여 정보를 추출하고자 하는 것이 원격탐사의 목적이다. 원래 자원탐사를 목적으로 NASA에서 LANDSAT계획이 시작되었으나 자원탐사분야 뿐 아니라 환경조사, 도시 monitoring, 국토개발, 군사 등의 분야에 대한 많은 정보를 제공함이 밝혀짐에 따라 LANDSAT 데이터는 이미 여러분야에서 광범위하게 활용되고 있다. 도시의 토지이용정보 측면에서 본다면 토지이용 상황을 조사하고, 도시환경을 분석하여 효과적으로 도시계획 및 지역계획을 수립하는데 있어서 가장 중요한 것은 정보의 신속한 획득과 정확한 분석이다. 현재 여러가지 인문사회적 통계자료나 현지측량 또는 항공사진에 의한 정보획득 방법은 시간과 비용이 많이 들며 때에 따라서는 이미 낡은 정보가 되어 효과적이지 못할 경우가 있다. 따라서, 16일의 반복 주기를 갖고, 넓은 지역에 대해 균일한 정확도를 가지며, digital image processing 기법으로 빠른 시간에 최신의 정보를 얻을 수 있는 원격탐사 기법은 경성, 정확성, 신속성 등 여러 장점을 가지고 있다. 물론, 제한된 해상력을 가지므로, 세부적인 토지이용 정보를 얻기는 어려우나, 지형도나 항공사진에서 얻을 수 없는 macro한 토지이용변화의 추출이나 주기적인 도시 monitoring 등에는 아주 효과적

다. 또한 LANDSAT의 digital 데이터는 자료의 검색, 갱신 등도 가능하며 각종 다른 자료와 조합하여 연관성 해석이 가능하며, 특정한 지역을 대상으로 다양한 정보를 이용하는 geographic information system 구축에도 도움이 되어 사회경제문제, 자원개발, 환경보존 및 도시관리 등에 이용될 수 있다.

본 연구에서는 관측년도가 서로 다른 5 scene의 MSS, TM Image를 서울시 행정구역에 따라 디지털화하고, 각각 토지이용분류를 실행하여 토지이용상황이 어떻게 변화하고 있는지 시각적, 통계적으로 나타내고 이 결과의 정확도를 통계연감과 비교하여 인공위성 Data를 이용한 토지이용정보 추출의 타당성을 제시하고자 하였다.

1.2 연구동향

1972년 LANDSAT 1호가 발사된 이후, MSS와 TM의 데이터는 토지이용도 작성 및 토지피복상태 조사에 널리 활용되어 왔다. 70년대의 실험적 연구에 이어 실용적 연구가 시작된 80년대 초, 외국의 연구경향을 보면 SAR의 brightness level과 도시 토지피복도 관계에 대한 연구(Floyd M. Henderson, 1983), 도시 및 지역의 토지이용도 조사를 위한 TM과 MSS 데이터의 평가(David L. Toll, 1984) 등이 있으며, 80년대 중반에는 토지이용분류에 multitemporal LANDSAT 데이터를 사용한 연구(Peter O. Adeniyi, 1985), TM, MSS imagery와 SPOT simulation imagery를 도시 monitoring에 적용한 연구(Robert N. Colwell, 1985) 등이 있었다. 그리고 최근에는 토지피복도 변화추출에서 classification differencing과 image differencing을 비교한 연구(Kuo-mu Chiao, 1987) 및 도시 열섬현상을 위성자료, 현지자료, 모델링으로 분석한 연구(James A. Henry, 1989) 등 그동안 수많은 연구가 있어왔다. 국내에서는 1984년 LANDSAT MSS 데이터에 의한 서울시 도시지역의 변화의 추출에 관한 연구(안철호)를 비롯하여 도시 및 지역연구를 위한 인공

위성 데이터 분석기법에 관한 연구(안철호, 1985), 인천지역의 토지이용분류에 있어서 TM과 MSS 데이터의 비교(박병욱, 1986), 분류정확도 향상을 위한 bitemporal classification 기법 적용(박민호, 1987), filtering 기법을 이용한 서울시 토지이용분류(김용일, 1987) 등의 연구가 진행되어, 토지이용정보 분야에 관한 여러가지 기법들이 연구개발되어 왔다.

1. 3 연구의 범위와 방법

해석 대상 영역은 서울시 전역(행정구역)으로서 TM의 경우 총 748,981 pixel, MSS의 경우 총 186,976 pixel로 구성되어 있으며 실제 총 면적은 약 608 km²이다. 토지이용 정보의 경년 변화추출을 위한 image data set는 다음 표 1과 같다.

본 연구에서는 위의 각각의 데이터에 대해 전처리, image processing, classification 과정을 거쳐 분류 결과를 이끌어 내었다. 관측 당시의 여러 조건 차이와 사용 센서의 차이로 인하여 image processing 과정에서 조금씩 다른 점들이 있다. 예를 들면 TM의 데이터 경우 30 m 해상력을 가지므로 MSS 데이터에 비해 noise 발생 가능성이 높고 토지 이용분류 특성상 filtering 기법을 통해 smoothing 을 해 줄 필요가 있으므로 3×3 median filter를 이

용하여 처리를 한 점 등이다.

또한 본 연구에서는 그동안 여러 연구에서 얻어진 최적의 방법(유효 Band 선정, filtering 등)을 통하여 각 image의 토지 이용 분류를 실행하였음을 밝혀둔다. Computer 작업은 본 대학 원격 탐사 연구실의 인공위성 화상 처리 장치(Image Processing System, M-301)로 이루어졌으며 image processing 작업은 항공사진(1/5,000~1/25,000)를 참조하여 분류 정확도 향상을 하였다.

1. 4 LANDSAT SYSTEM

LANDSAT SYSTEM 위성 System은 지구 자원 탐사를 목적으로 NASA에 의해 1967년 처음 계획되어, 1972년 7월에 LANDSAT 1호가 발사되었다. 그 후 오늘날까지 5호가 발사되었으며, 그 중 4, 5호만이 현재 활동중이다. 1~3호까지에 탑재된 sensor는 MSS, RBV이고, 4, 5호에는 MSS와 TM이 탑재되어 있다. 표 2에는 LANDSAT의 주요 내용이 나타나 있다.

(1) MSS(Multi-Spectral Scanner)

LANDSAT의 MSS는 궤도에 수직으로 185.3 km의 폭인 자표를 연속주사하는 sensor이다. 주사는 진동경에 의하여 위성 진행방향에 직각으로 행하

표 1. Image data set.

사용 데이터	탑재 위성	관측 일시	Path-Row	사용(유효) Band
MSS	LANDSAT 1	1972.10.31	125-34	4, 5, 7
MSS	LANDSAT 2	1979.10. 4	125-34	5, 7
MSS	LANDSAT 3	1981. 7.31	125-34	4, 6, 7
MSS	LANDSAT 4	1983. 9.22	116-34	5, 7
TM	LANDSAT 5	1985.10.21	116-34	1, 4, 7

표 2. LANDSAT의 내용

궤도 특성	1	2	3	4	5
	Sun-synchronous				
발사일	23/7/72	22/1/75	5/3/78	16/7/82	1/3/84
작동정지일	6/1/78	25/2/82	7/9/83	2/83(TM)	-
위성고도 (km)	900	"	"	705	"
1주 시간(분)	103.2	"	"	98.8	"
회귀일수(일)	18	"	"	16	"
적도통과시각	09:30(지방태양시)	"	"	09:45(지방태양시)	"
탑재 센서	MSS, RBV	MSS, RBV	MSS, RBV	MSS, TM	MSS, TM

표 3 TM의 band별 특성

band number	파장대(μm)	spectral region	application
1	0.45-0.52	blue	물속으로 투과성이 있으므로 연안 수역 mapping에 이용되며 식생으로부터 토양의 분리, 토지이용분석 등에도 유용하다.
2	0.56-0.60	green	가시광선 중 녹색반사율이 가장 높은 반사대이므로 식물분류나 식물활력도 평가, 즉 작황상태평가에 유용하다.
3	0.63-0.69	red	chlorophyll흡수영역에 걸쳐 있으므로 식물과 비식물지역과의 대비가 강조될 뿐만 아니라 식물종류간의 구분도 가능하다.
4	0.76-0.90	near IR	biomass함유량 결정에 유용하며 또한 토양과 작물, 육역과 수역의 대비도 강조되어 나타난다.
5	1.55-1.75	middle IR	식물과 토양의 수분함량을 감지하는데 유용하며 또한 구름으로부터 눈을 식별하는데도 유용하다.
6	10.40-12.50	thermal IR	식물의 stress해석, 토양의 함습도 식별 및 열분포 지도작성에 유용함.
7	2.08-2.35	middle IR	암석의 종류 및 온천수 변질지역 분포등과 같은 지질학적 mapping에 유용하다.

며, 1회의 진동으로 4개의 파장대역의 각각 6라인이 동시에 주사된다. LANDSAT 1, 2호의 MSS는 가시, 근적외선 영역의 4개의 파장대를 포함 5개의 band를 보유하고 있으나, 1979년 3월 고장으로 운용이 정지되었다.

MSS의 band 4, 5, 6, 7의 IFOV(Instantaneous Field of View)는 79×79m이며, band 8에서의 IFOV는 237×237m이다. 따라서 band 4, 5, 6, 7의 주사는 6라인 동시에 행해지므로, 1회의 주사대가 474m로 되고, band 8 역시 2라인, 즉 474m로 된다.

(2) TM(Thematic Mapper)

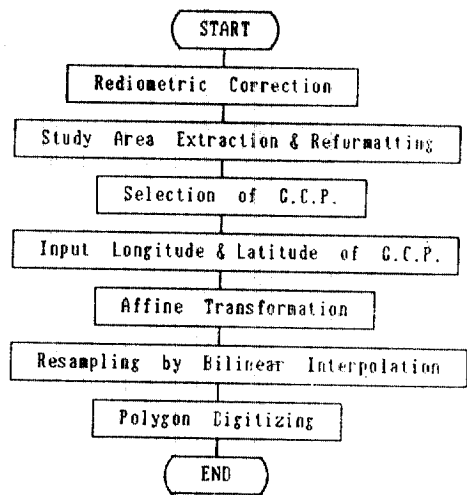
LANDSAT 4, 5호에는 MSS와 TM Sensor가 탑재되어 있으나, TM은 MSS보다 여러 면에서 개량된 Sensor이다. TM은 7개의 band로 구성되었는데, band 1~3은 가시광선 영역, band 4는 근적외선 영역, band 5~7은 중적외선 영역, band 6은 열적외선 영역으로 각기 여러가지 목적에 알맞도록 세분되어 있다(표 3).

또한 TM은 MSS보다 해상력이 2.6배 향상된 30m의 공간 해상력을 가진다.

2. 전처리 과정

1. 3에서 보듯이 이 연구에는 3개년의 데이터('79, '83 데이터첨가) 결과를 얻고자 하였고 전처리과정, image processing 과정에서 기법상 유사한 절차를 거쳐게 되므로 이 논문에서는 '85 TM 데이터의 처

표 4. 전처리 과정의 flow chart.



리과정은 예로 들어 연구진행을 정리하였다. 본 연구에서 전처리과정의 흐름도는 표 4와 같다.

2.1 기하보정

인공위성이 궤도를 돌며 지구를 관측할 때 센서의 감도 특성에 의한 radiometric distortion과, 위성의 궤도나 자세의 변동, 지구의 자전 등에 따른 geometric distortion이 생기게 된다.

지상의 수신소에서는 radiometric correction과 geometric correction 중 지상기준점(GCP: Ground Control Point)을 이용하지 않은 System 보정만을 하므로 GCP를 이용하여 image데이터를 지도좌표

계와 일치하도록 변환(scene보정)시켜야 한다.

(1) 지상기준점의 선정

그 당시의 1/25,000 지형도에서 각 GCP를 설정하고, 경위도좌표를 구한 후 지도좌표로 환산하여 1 Pixel당 지상면적을 기준으로 새로운 좌표(U, V)를 산출하고 이를 Image에서의 좌표 (X, Y)와 일치시켰다.

GCP는 Image상에서 시간적, 공간적 변화가 없이 확연히 구분되는 점 즉 교량, 시가지의 교차로, 학교운동장, 특이한 구조물 등을 선정한다.

(2) 좌표 변환

여러가지 좌표변환식들 중 Affine변환식을 사용하였다.

$$U = f(x, y) = a + bx + cy$$

$$V = g(x, y) = d + ex + fy$$

이 때 6개의 미지계수는 최소제곱법에 의해 결정되며, 좌표축의 회전, 축의 비수직성, 두축의 축적변화 및 원점의 양방향으로의 이동 등에 의해

표 5. 기하보정결과

```

AFFINE TRANSFORM BY LSQ METHOD.
INPUT CP FILE=TS810GCP
TRANSFORMATION PARAMETERS...
  XX = x - 212.1 + 0.980 x X + 0.204 x Y
  YY = -83.272 + -0.204 x X + 0.978 x Y
GCP INPUT/OUTPUT COORDS & ERRORS(PIXEL)
  658      442      523      215      0.199
  344      584      244      418      0.355
  916      276      742       0      0.066
  182     1024      175      881      0.144
  300      874      260      710      0.171
  1178     876     1121     533      0.230
  156      292       0      170      0.518
  404      339     253     165      0.284
RMS ERROR = 0.249
INPUT FILENAME = TSEO16
OUTPUT FILENAME = TSEOG16
4 CORNERS COORDINATES (INPUT/OUTPUT)
  1.0       1.0       0.0       137.5
  1.0      856.0     174.3     973.5
  674.0     856.0     834.0     836.4
  674.0       1.0     659.7       0.4
CORRECTION PARAMETERS...
  XX = 29.005 + 0.978 x X + -0.204 x Y
  YY = x - 133.7 + 0.204 x X + 0.980 x Y
OUTPUT/INPUT COORDS
  1.0       1.0       29.8      -132.6
  1.0      973.0     -168.3     820.2
  833.0     973.0     645.2     989.7
  833.0       1.0     843.3      36.9
    
```

기하보정을 수행한다.

표 5는 '81 MSS 데이터의 기하보정 결과로서 RMS Error가 0.249이며 6개의 미지계수 값이 표시되어 있다.

2.2 Resampling

기하보정이 끝난 image는 전체적으로 변형되었으므로 보정된 image의 각 pixel값을 원 image에서 찾아 재배열 시켜야 한다.

흔히 쓰이는 Nearest Neighbor, Bilinear Interpolation, Cubic Convolution기법 중, 토지이용분류에서 가장 적합한 방법으로 알려진 bilinear interpolation을 실시하였다.

이는, 보정된 image의 pixel 값을 결정하기 위해 이 pixel이 걸쳐있는 원 image의 4 pixel값의 거리에 따른 가중평균값을 구하여 이 값으로 결정하는 방법이다. 이 방법은 고른 image를 나타내고 기하학적으로도 정확하지만 DN이 바뀌게 되므로 연속적 분광 pattern 분석에는 문제가 생길 수 있다.

기하보정과 resampling이 끝난 후, 대상지역을 해석대상영역(서울시 행정구역)으로 digitizing하였다. 이는 토지이용 분류를 실행한 뒤, 서울시 통계자료와 비교할 수 있도록 하기 위하여 해석대상영역 외의 데이터는 모두 제외시키는 과정이다.

3. Image Processing

Image processing 과정에서 수행하는 작업은 다음과 같다.

- ① 연구목적 및 data 상황에 따른 분류 class의 선정
- ② 항공사진, 지도, 현지조사 등을 통한 training field의 선정
- ③ band간 correlation 추출에 의해 분류정확도를 예측하고 연구목적에 유효한 band 선정
- ④ 분류 정확도를 높이기 위해 band간 연산(Multi-Band Method)
- ⑤ data 특성에 따라 smoothing이 필요한 경우 filtering

3.1 분류 Class 및 Training Field 선정

분류 가능한 class 수를 결정하기 위해, 데이터 값 자체의 분포만으로 분류하는 기법인 Cluster Analysis를 실행한 결과, 16가지 class분류가 가능하였다(TM).

표 6. Correlation 및 통계자료

Mean and Covariance Matrix of each Classes.			
CLASS		WATER	
74.1	3.06	0.95	0.04
10.8	0.95	0.52	-0.02
4.1	0.04	-0.02	0.17
CLASS		URBAN	
85.5	5.07	2.93	2.57
34.4	2.93	8.06	9.72
36.4	2.57	9.72	22.66
CLASS		CROP	
78.5	0.61	0.55	0.61
53.7	0.55	7.11	-1.78
29.3	0.61	-1.78	2.58
CLASS		FOREST	
65.2	1.81	3.64	2.31
47.7	3.654	55.95	20.95
19.8	2.31	20.95	12.19
CLASS		BARE SOIL	
113.8	57.81	6.54	92.78
64.2	6.54	4.29	8.96
61.2	92.78	8.36	168.81

그러나 MSS의 경우 해상력이 떨어지고, 특히 72년 데이터 경우 미보정 데이터이므로 correlation이 높으므로 이를 기준으로 다른 데이터들과 비교하기 위해서 5 class(도시역, 수역, 삼림, 농경지, 나지)로 동일하게 class를 설정하였다.

Class를 선정하고, 지형도, 항공사진 및 현지 조사를 바탕으로 각 class에 대한 training field를 선정하였다. 이 training field는 동일 class로 판단되는 지역을 image상에서 추출하여 그 DN(Digital Number)을 기준으로 하여 class 분류의 지표로 삼는 것이므로 이 training field 선정이 분류 정확도에 미치는 영향은 매우 크다.

3.2 Correlation 추출과 유효 Band 선정

각 class간의 분리도를 높이기 위하여 가장 효과적인 band를 선정하여야 하는데, image processing에 있어서 사용 band 수가 많을수록 정확도는 향상되지만, 사용 band 수가 너무 많을 경우 오히려 비효율적이므로 2~4개의 band로 충분하다. 즉, 사용 band수와 class간 분리도의 관계를 연구한 논문(안철호, 1984)에서 4개의 band를 이용했을 경우

Coincident Spectral Plots.

FILE NAME=TSLF 1

CLASS	MEAN	ST. DEV	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
WATER	74.14	1.75					*M*						
URBAN	85.52	2.25						**M*					
CROP	78.50	0.78					M						
FOREST	65.17	1.34				M*							
BARREN	113.83	7.60							****M***				

FILE NAME=TSLF 4

CLASS	MEAN	ST. DEV	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
WATER	10.81	0.72	M*										
URBAN	34.35	2.84		*M*									
CROP	53.73	2.67					**M*						
FOREST	47.67	7.48					****M***						
BARREN	64.25	2.17					*M*						

FILE NAME=TSLF 7

CLASS	MEAN	ST. DEV	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
WATER	4.08	0.42	M										
URBAN	36.42	4.76					**M**						
CROP	29.32	1.61				M*	**M*						
FOREST	19.77	3.49			**M*								
BARREN	61.17	12.99						*****M*****					

분리도가 가장 높았으나 3개 band를 사용한 경우와 거의 비슷하였고, 작업효율면에서 볼 때 2개 band를 사용하는 경우도 효과적이었다.

본 연구에서는 표 3, 표 4에서 나타낸 MSS와 TM의 여러 band 중 토지이용 분류에 가장 적합한 band를 선정하여 filtering기법을 이용하여 실시하였다. Band간 correlation과 분리도를 알 수 있는 자료중 결정적인 것은 coincident spectral plot으로서 이는 각 band별로 training data에 대한 class별 평균값과 표준편차를 도표로 나타낸 것이다.

3.3 Filtering

본 연구에서는 중심 pixel의 DN이 그 pixel 주의 pixel들의 DN과의 관계에 따라 변환되는 spatial filtering 중, 토지이용분류에 가장 효과적이었던 3×3 median filter를 TM 데이터에 적용시켰다(김용일, 1988).

MSS 데이터의 경우 해상력이 약 80m이므로 도시지역과 같이 좁은 지역내에 여러가지 상이한 특성이 나타나는 경우 이미 smoothing효과를 갖고 있음과 다름없다. 하지만, 해상력 30m인 TM데이터의 경우 비교적 세밀한 특성까지 얻을 수 있는 장점이 있지만, 그에 따른 noise의 발생, 토지의 각 class를 구성하는 데이터가 높은 분산을 나타내는 단점이 있으므로 도시지역 토지이용 분류의 경우 spatial filtering을 통해 smoothing을 해 줄 필요가 있다.

이 median filter의 원리는 처리 영역내의 pixel 값들이 크기 순으로 배열되어, 그 중앙값으로 중심 pixel 값이 정해지는 것이다.

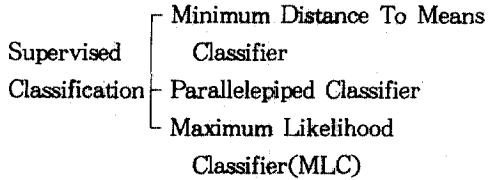
이러한 non-linear operation의 효과로 isolated noise가 제거되고 분산이 감소되며 class간 경계선

도 잘 보존되지만, filter크기가 커지면 더 많은 양의 분산, 즉 noise는 제거되지만 원 데이터 변질이 우려될 수 있다.

4. CLASSIFICATION

4.1 기법의 종류

분류 기법은 크게 나누어, ground truth data를 이용하는 supervised classification과 이를 사용하지 않는 unsupervised classification이 있다. 일반적인 기법으로 세분하면 다음과 같다.



Unsupervised Classification — Cluster Analysis

4.2 MLC

여러가지 기법들 중 MLC는 training field의 평균 vector와 covariance matrix를 계산한 후 확률 밀도함수를 이용하여 각 pixel을 확률이 가장 높은 class로 분류하는 방법으로서 비교적 계산 속도가 많이 걸리는 기법이나 정확도 면에서 뛰어나므로 토지이용 분류와 같이 높은 분류 정확성을 요하는 분야에서는 가장 효과적이다. 본 연구에서는 각 image를 MLC로 3차원적으로 해석하였다.

5. 분류결과 및 결론

5.1 경년변화의 추찰

이상과 같은 image processing을 통해 표 7과 같

표 7. 분류결과와 통계자료의 비교

분류항목 년도	도 시 역		수 역		농 경 지		삼 립		나 지	
	분류결과	통계자료	분류결과	통계자료	분류결과	통계자료	분류결과	통계자료	분류결과	통계자료
72년(8월) MSS	25.3 % 153.9 km ²	29.4 % 184.2 km ²	2.1 % 12.9 km ²	13.7 % 85.8 km ²	22.4 % 136.3 km ²	23.5 % 147.5 km ²	39.0 % 237.7 km ²	33.4 % 209.6 km ²	11.2 % 67.7 km ²	
72년(10월) MSS	40.0 % 243.1 km ²	33.4 % 209.4 km ²								
72년(7월) MSS	43.0 % 261.1 km ²	42.8 % 268.5 km ²	4.5 % 27.2 km ²	9.6 % 60.1 km ²	15.9 % 96.8 km ²	17.2 % 107.6 km ²	33.2 % 107.6 km ²	30.4 % 202.0 km ²	3.4 % 20.4 km ²	
72년(9월) MSS	46.8 % 284.8 km ²	42.7 % 259.7 km ²								
72년(10월) TM	50.9 % 315.0 km ²	46.7 % 282.7 km ²	3.9 % 23.5 km ²	10.3 % 62.4 km ²	13.2 % 80.2 km ²	13.5 % 81.5 km ²	28.4 % 172.8 km ²	29.6 % 178.8 km ²	2.6 % 16.0 km ²	

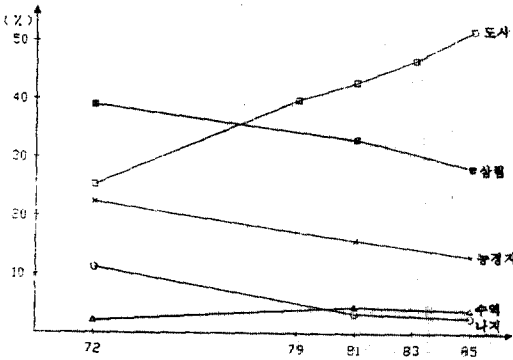


그림 1. 분류결과와의 경년변화 그래프.

이 5개년도의 서울시 토지이용 정보에 대한 경년 변화 추출을 하였다.

이 표에서 통계자료 항목은 인공위성 데이터 취득당시와 가장 근사한 시기의 도시연감자료를 토대로 한 것이다.

여기서 분류결과와 통계자료를 비교함에 있어서 주의할 점이 몇가지 있다.

(1) 엄밀하게 볼 때, 인공위성 데이터를 이용한 토지이용정보의 취득은 지표의 반사율특성에 의한 land-cover에 대한 것이며, 통계자료는 land-use이므로 개념적으로 차이가 난다.

*land-cover : 지표상에 존재하고 있는 인공지물이나 지형, 토지피복 물질(나무, 잔디)등에 대한 물리적인 정보를 나타내는 것.

*land-use : 지표상에 존재하고 있는 토지피복물질, 인공지물 등이 문화적, 사회적 관점에서 어떻게 이용되고 있나를 나타내고자 하는 것.

예를들면, 같은 잔디지역이라도 land-cover측면에서는 잔디 그 자체이지만 land-use측면에서는 공원 또는 주택가가 될 수 있다.

(2) 시기적으로 인공위성데이터를 취득한 날짜에 정확히 일치하는 통계자료를 구하는 것은 거의 불가능하다.

예를들면, 74년 도시연감이라고 하면 73.12.31을 기준으로 하여 그 이전 1년동안 수집한 자료를 정리하였다는 의미이므로, 정확한 인공위성 데이터 날짜와 맞추기는 불가능하다. 특히 수역같은 경우 계절별 차이가 워낙 크므로, 통계자료자체가 비교될 수 없다고 판단된다.

(3) 도시연감에 있어서 분류는 주택지, 공장용지, 학교용지, 농지(전, 답, 기타) 임야, 하천호수, 도로, 철도, 공원, 염전, 묘지, 기타 등의 land-use 분류로 되어 있고 인공위성데이터 분류는 도시역, 수역, 농경지, 삼림, 나지 등의 land-cover 분류로 되어 있다. 이들 분류 class를 일치하게 묶기는 어려우므로 (1)에서 지적한 점에 의한 불일치가 나타날 수밖에 없다.

예를 들어, 분류결과에서 수역이란 물이 나타내는 반사율특성에 의해 수역으로 피복되어 있는 지표상의 면적을 의미하지만, 통계자료에서 하천 호수란, 그 주변지역(제방, 둑 등)도 포함되므로 훨씬 넓게 나타난다.

(4) 표 7에서 78년, 83년 데이터는 측지학회 2권1호(1984, 안철호)에 발표되었던 것으로서 도시역 부분의 변화를 자세히 살펴보기 위하여 참조하였다.

(5) 통계자료(도시연감)에서 년도별로 서울시 행정구역 면적에 차이가 나므로(예 : '79년에는 627.06 km²→'84년에는 605.33 km²), 인공위성 데이터 분류결과를 계산할 때는 디지털이징한 면적 608 km²을 기준으로 하였다.

이상과 같이 분류와 그 비교가 끝난 후, 각각의 분류결과를 시각적으로 display해 보았으며, 어느 지역이 어떻게 변했는가를 시각적으로 판독가능하게 하기 위해 72년→81년, 81년→85년, 72년→85년의 경년변화모습을 추출해 내었다.

이는 digital image processing을 하기 때문에 가능한 작업으로 각 class의 DN의 차이를 년도별로 비교하여 그 수치값이 변하는 것을 추출해 내는 기법이다.

본 논문에 첨부된 경년변화 결과사진에서 중요한 변화항목은 다음과 같다(사진 7, 8, 9).

- ① 붉은색 지역 : 도시역→도시역으로 분류
 - ② 분홍색 지역 : 도시가 아니었던 지역→도시역으로 변화
 - ③ 노란색 지역 : 도시역→도시가 아닌 지역으로 변화
- '72→'81사이의 토지이용변화를 보면 다음과 같다.

(1) 강서 : 구로구, 관악구, 화곡동, 공향동, 고척동 등의 도시역으로의 변화가 두드러지며,

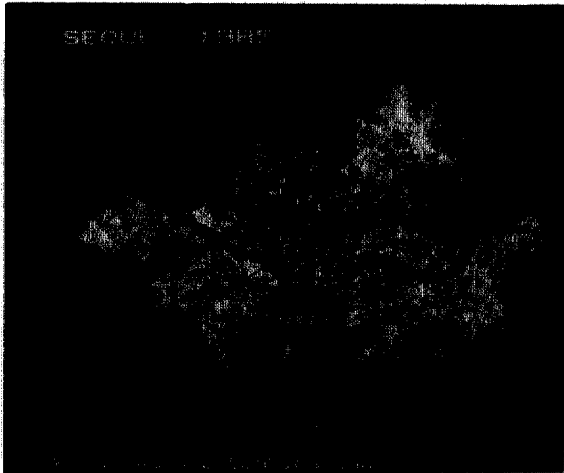


사진 1. TM Band 2, 3, 4의 Color합성(Natural Color).



사진 2. TM Band 2, 3, 4의 Color합성(False Color).

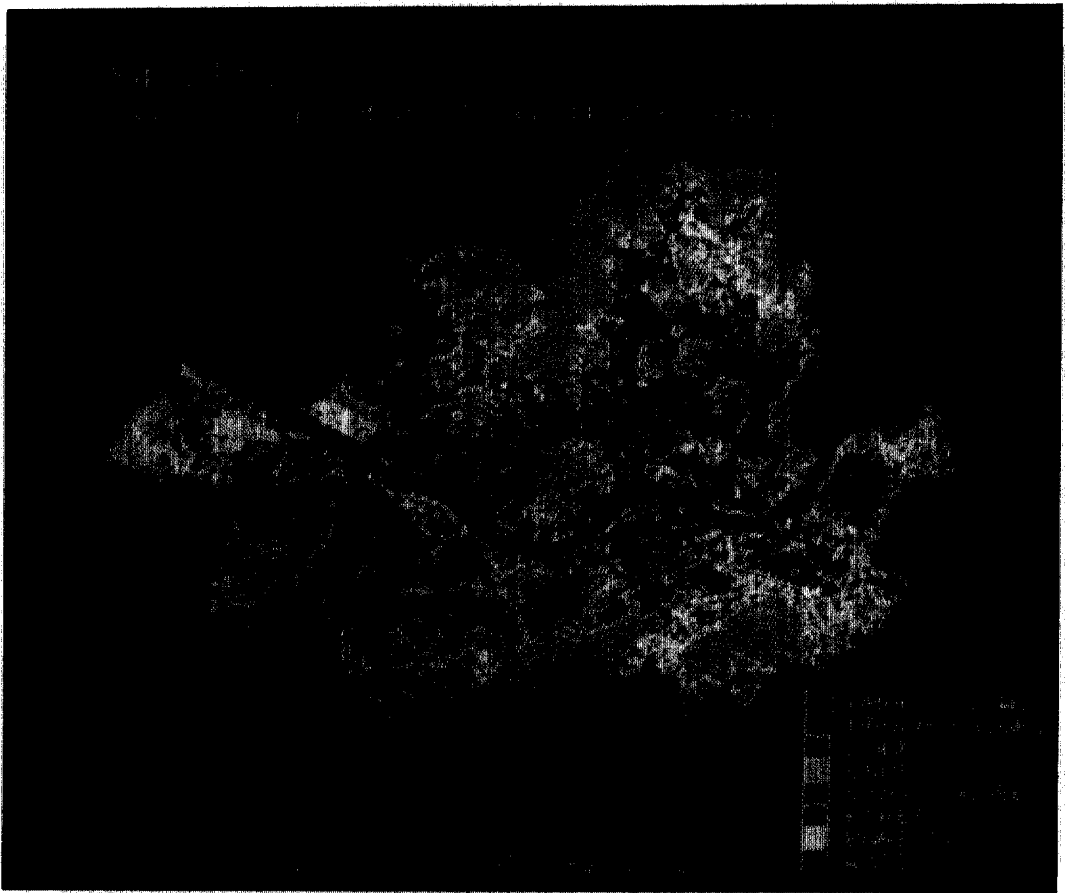


사진 3. TM data의 85年度 서울市 土地利用分類



사진 4. '72年度 土地利用分類



사진 7. '72~'81 土地利用 經年變化



사진 5. '81年度 土地利用分類



사진 8. '81~'85 土地利用 經年變化



사진 6. '85年度 土地利用分類



사진 9. '72~'85 土地利用 經年變化

(2) 강남: 반포, 사당동, 논현동 일부, 잠실 일부 그리고 천호동 일부가 개발되었음을 알 수 있고,

(3) 강동: 성동구 즉 어린이대공원을 중심으로 많은 주택가가 들어섬으로써 도시역의 확장이 이루어 졌으며,

(4) 강북: 광화문, 종로를 중심으로하는 중구지역은 72년과 81년이 별차이가 없음을 알 수 있다.

이때, 각 구(區)별 변화율은 구(區)별 경계를 별도로 해석하지 않았으므로 현재 연구에서는 알 수 없다. 이 인공위성데이터를 이용한 원격탐사기법은 전체도시의 넓은 지역에 대한 macro한 분석을 목적으로 하는 것이므로, 세부적 정보추출에는 항공사진이 더욱 효과적일 수 있다. 하지만 현재 계속 개발되고 있는 고해상력 센서의 출현으로 앞으로 인공위성 데이터로서도 더욱 자세한 분석이 가능하리라고 본다.

'81→'85 사이의 토지이용변화는 안양천 서쪽(목동, 신정동)부근과 강남구 동쪽(개포동, 가락동, 둔촌동), 그리고 화랑부근(목동, 공릉동)등의 도시역으로의 변화가 두드러진다.

6. 결 론

본 연구에서 얻어진 주요결과 및 평가는 다음과 같다.

(1) LANDSAT MSS, TM데이터를 이용하여 72년에서 85년 사이 3개년도('79, '83자료 추가)의 토지이용변화율, digital image processing기법으로 추출해 낼 수 있었다.

여러 분류항목중 도시역은 '72(25.3%)→'79(40.0%)→'81(43.0%)→'83(46.8%)→'85(51.9%)로 급속한 속도로 확장하고 있음을 알 수 있었고, 2개년도 변화율을 나타내는 image합성으로 도시화의 위치와 방향을 시각적으로 판독해 낼 수 있었다.

72년에는 85년사이의 평균적 도시확장율은 1년당 8.1%이며 면적은 1년에 124km²씩 증가하고 있다.

(2) TM데이터(해상력 30m)의 경우 8가지 이상의 class로 토지이용분류가 가능하였으나(사진 3 참조) 해상력이 80m인 MSS데이터와 맞추기 위해 5가지 class로 분류하였다. 앞으로 해상력 20m(Panchromatic 10m)인 SPOT HRV와 같은 고해상력의 데이터를 사용하여 더욱 정확하게 자세한 분류결

과를 얻어낼 수 있을 것이다.

더우기, remote sensing을 이용한 GIS(Geographic Information System)는 도시계획가, 행정가 및 일반인들에게도 유의하고 많은 정보를 제공해 줄 것이다.

(3) 본 연구에서는 통계자료와 비교하고자 서울시 행정구역을 절충하여 분석하였지만 89년 현재 서울시의 도시비대화 현상은 행정구역내에만 국한된 것이 아니다. 결과 사진에서 보듯이 산지(山地)등을 제외하면 행정구역내에선 개발할 곳이 매우 부족한 실정이다.

(4) 분류결과와 통계자료를 비교하여 분류정확도 및 타당성을 검토하고자 하였으나, 자료취득기법상의 차이점과 분류항목의 차이점으로 인하여 바람직한 비교가 이루어질 수 없었다. 우리나라에도 미국이나 일본과 같이 토지이용분류기준을 더욱 명확히 하고 통일된 사용을 도모하여 여러분야에서 정보나 자료의 호환성을 높여야 할 것이다.

(5) 일반적인 지도는 그 정보가 vector형식으로 구성되어 있음에 비해, 인공위성 데이터는 raster형식이므로, 구성하고 있는 pixel 하나하나가 반사율에 따라 다른 수치값을 가지고 있다. 이러한 digital image의 특성으로 그 pixel에 표고데이터 또는 지가(地價), 소유주, 인구 등의 정보를 입력시켜 도시에 대한 자연적 정보 뿐 아니라 인문, 사회적 정보도 구성할 수 있다(GIS). 이러한 전(全)도시적 monitoring system을 구축하는데는 방대한 양의 자료와 컴퓨터 용량이 요구된다. 앞으로 이러한 분야에 대한 연구도 활발히 진행되기를 기대한다.

감사의 말

본 연구는 1988년도 한국과학재단의 연구비 지원을 받아 수행되었으므로 이에 심심한 사의를 표합니다.

參考文獻

1. 안철호, Remote Sensing Data의 처리와 해석, 한국측지학회지 1 (2), 7 (1983).
2. 안철호, 인공위성(LANDSAT) Data에 의한 서울시에 있어서의 도시역의 변화의 추출, 한국측지학회지 2 (1), 5 (1984).
3. T. M. Lilleasand and R. W. Kiefer, "Remote Sensing and Image Interpretation", p.454, John Wiley & Sons, New York, 1979.

4. American Society of photogrammetry, *Manual of Remote Sensing*, Vol. 1, 2nd Edition, p.547, ASP, Virginia, 1983.
5. R. A. Schowengerdt, *Techniques for Image Processing and Classification in Remote Sensing*, p.72, Academic Press, Florida, 1983.
6. R. M. Hord, *Digital Image Processing of Remotely Sensed Data*, p.86, Academic Press, New York, 1982.
7. Floyd M. Henderson, *A Comparison of SAR Brightness Levels and Urban Land-Cover Classes*, PE & RS XLIX(11), 1585 (1984).
8. David L. Toll, *An Evaluation of Simulated TM data and Landsat MSS data for discriminating Suburban and Regional Land Use and Land Cover*, PE & RS L(12) 1713 (1984),
9. J. Funso Olorunfemi, *Land Use and Population : A Linking Model*, PE & RS L(2), 221 (1985).
10. Peter O. Adeniyi, *Digital Analysis of Multitemporal Landsat Data for Land-Use/Land-cover Classification in a Semi-Arid Area of Nigeria*, PE & RS LI (11), 1761 (1985).
11. Robert N. Colwell, *SPOT Simulation Imagery for Urban Monitoring : A Comparison with Landsat TM and MSS Imagery*, PE & RS LI (8), 1093 (1985).
12. Kuo-Mu, Chiao, *A Comparison between Classification Differencing and Image Differencing for Land Cover Type Change Detection*, ASPRS Technical Paper, 1 (1987).
13. James A. Henry, *Comparison of Satellite, Ground-Based, and Modelling Techniques for Analyzing the Urban Heat Island*, PE & RS LV (1), 69 (1989).
14. B. Forster, *An Examination of some Problems and Solutions in Monitoring Urban Areas from Satellite Platforms*, *Int. Journal of Remote Sensing* 6-1 139-15 (1985).

(接受 : 1989. 7. 20)