

# 위성영상을 이용한 토지이용 변화 검색기법 비교연구\*

박순호\*\* · 김우관\*\*\*

우리나라에서 위성자료를 이용한 토지이용에 관한 연구는 현황분석이 중심이고, 토지이용 변화에 관한 연구는 분석기법에 대한 적실성 평가 없이 특정기법이 적용되어 왔다. 본 연구는 도시지역의 토지이용 변화 검색에 많이 활용되고 있는 다섯 가지 토지이용 변화 검색기법을 선정하여 대구광역시 북구를 사례로 각 검색기법의 정확도를 비교·분석하였다. 핵심데이터는 1994년과 1997년에 촬영한 Landsat TM영상과 항공사진이다. 위성자료를 이용한 토지이용 변화검색에는 pre-classification comparison method가 post-classification comparison method보다 효과적이었다. Pre-classification comparison methods 중에서는 image differencing method가, 특히 임계치 1.0에서의 image differencing method의 DIF2 변화이미지의 경우가 가장 정확도가 높게 나타났다.

**主要語** : 토지이용, 토지이용 변화 검색기법, 위성영상, pre-classification comparison method, post-classification comparison method

## 1. 서론

도시지역의 토지이용 정보는 도시계획과 자원관리에 있어서 매우 중요하다. 최근 도시의 경제적·사회적 성격의 변화와 기술의 발달은 도시 토지이용 변화패턴을 급격하게 변화시키고 또 그 변화범위도 넓어지고 있다. 비도시 지역의 토지가 도시로 전용되는 것을 쉽게 인지할 수 있지만, 토지이용 변화에 대한 자세한 최신 자료를 얻기는 쉽지 않다.

토지이용 변화 검색 (land use change detection)은 동일지역에 대한 다른 시간의 토지이용을 비교하여 차이를 밝히는 것이다. 현재 토지이용 변화는 기존의 종이지도, 항공사진 혹은 인공위성의 디지털 이미지 (digital image)를 이용하여 파악되고 있다. 종이지도를 이용한 경우 과거에는 light table상에서 중첩 방법이 주로 사용되었다.

그러나 GIS(Geographic Information System)의 개발이래 GIS를 이용함으로써 종이지도의 토지이용 변화 정보는 벡터데이터체제(vector data format)에서는 커버리지(coverages) 간의 폴리곤(polygon)의 비교, 혹은 라스터체제(raster data format)에서는 화소간의 비교를 통하여 검색될 수 있다. 따라서 GIS를 이용하면 작업 자체는 단순하지만, 각 지도의 토지이용 분류체계가 상이할 경우, 정확한 토지이용 변화를 검색할 수 없다.

항공사진을 이용한 토지이용 변화 검색 작업 자체는 아주 간단하지만 많은 시간을 필요로 할뿐만 아니라 변화된 지역 전체를 확인하지 않을 경우 누락지역이 발생하게 된다 (Shepard, 1964). 그리고 인공위성의 디지털이미지를 이용하면 두 시기의 위성영상을 자동적으로 상호 관련시킬 수 있기 때문에 변화가 일어난 지리적 위치와 속성을

\* 이 논문은 1998년도 경북대학교 post-doc. 연수지원에 의하여 연구되었음.

\*\* 경북대학교 post-doc

\*\*\* 경북대학교 사회과학대학 지리학과 교수

신속·정확하게 파악할 수 있다 (Ridd, 1988). 따라서 디지털 원격탐사 데이터 이용이 가능해진 이후에는 종이지도 비교 방법이나 아날로그 항공사진의 이용보다는 원격탐사 데이터의 이용을 훨씬 선호하게 되었다 (Yuan, et al, 1998).

1972년에 지구자원과 환경 탐사목적으로 Landsat 1호 인공위성이 발사된 이후, 수집된 인공위성 디지털 자료를 이용하여 토지이용 변화를 정확하게 파악하기 위한 방법의 개발이 활발히 이루어져 왔으며 그 결과 토지이용 변화 검색방법도 다양해지고 있다<sup>1)</sup>.

현재 토지이용 변화 검색에 주로 이용되고 있는 기법은 크게 post-classification comparison method와 pre-classification comparison method로 대별될 수 있다(Li & Yeh, 1998; Yuan & Elvidge, 1998). 이 중에서 post-classification comparison method가 보편적으로 많이 이용되어 왔다. 이 기법은 비교대상이 되는 두 기간의 위성영상 데이터를 각각 독립적으로 분류한 다음 분류된 이미지를 비교하여 토지이용의 변화를 분석하는 기법이다 (Jensen, 1996). 이 기법의 장점은 첫째, 이해와 실행이 비교적 쉽고 (Jensen and Narumalani, 1992), 둘째, 두 시기의 데이터가 각각 독립적으로 분류됨으로 周年制 (anniversary) 데이터가 아니고 같은 센서 시스템에서 입수된 위성영상만이 아닐지라도 이용가능하며, 셋째, 변화된 지역의 면적, 위치 뿐만 아니라 성격까지 파악할 수 있다는 점이다 (Hwang, 1997; Howard and Wickware 1981). 그러나 이 기법은 두 기간의 위성영상의 토지이용분류가 완벽하다는 전제하에서만 분석이 가능하다는 점이 결정적인 단점이다(Singh, 1989).

반면에 pre-classification comparison method는 이미지 변화검색을 위하여 각 시기별 데이터의 분류 없이 각 밴드의 화소(pixel)의 라디오메트릭 값 (radiometric value)을 비교하여 토지이용의 변화를 검색하는 기법이다. Pre-classification comparison method는 image differencing method, image rationing method, image regression method, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) differencing method, Principal Component Analysis (PCA) differencing method

와 Tasseled Cap Transformation (TCT) differencing method로 세분된다. Pre-classification comparison method는 post-classification comparison method에서 위성영상의 원이미지 (original image)를 잘못 분류한 결과로 나타날 수 있는 오차문제를 해결할 수 있다는 큰 장점이 있다. 그러나 토지이용 변화의 성격을 파악할 수 없다는 단점이 있다. Pre-classification comparison method에서의 토지이용 변화는 화소의 라디오메트릭 값 크기의 비교를 통하여 검색된다. 따라서 비교 이미지의 지상 기준점에 의한 좌표변환과 라디오메트릭 수정 (radiometric correction)이 매우 중요하다.

지금까지 우리나라에서 위성자료를 이용한 토지이용에 관한 연구는 토지이용의 변화 분석보다는 토지이용의 현황분석이 중심이고 토지이용 변화에 관한 연구(Hwang, 1997)는 제한적으로 이루어져 왔다. 더욱이 토지이용에 관한 분석기법에 있어서도 다양한 분석기법에 대한 철저한 적실성 평가 없이 특정기법을 적용하는 경우가 일반적이었다. 본 연구는 대구광역시 그린벨트의 토지이용변화에 대한 연구<sup>2)</sup>의 일환으로 위성영상을 이용하여 도시 지역의 토지이용 변화검색에 가장 많이 활용되고 있는 5가지 토지이용 변화 검색기법, 즉 post-classification comparison method와 pre-classification comparison method의 image differencing method, NDVI differencing method, TCT differencing method, 그리고 PCA differencing methods를 선정하여 대구광역시 북구를 사례로 각 검색기법 정확도를 비교·분석함에 그 목적이 있다. 토지이용 변화 검색기법 비교연구 절차는 위성이미지 전처리과정 (image preprocessing), 토지이용 변화검색, 그리고 토지이용 변화검색 결과에 대한 정확도 검증으로 구성된다.

## 2. 사례연구지역과 자료

사례연구지역으로는 대구광역시 북구를 선정하였다. 선정 이유는 대구광역시에서 최근 inner city 재개발사업, 대규모 아파트단지 (칠곡지구)와 유통단지의 건설 등으로 상대적으로 연구기간내에

토지이용 변화가 빈번하게 이루어 졌기 때문이다. 뿐만 아니라, 관내에는 하천, 그린벨트, 산지, 국도 및 고속도로, 나아가서 상·공업 및 주택 지역 등 토지이용이 다양하게 이루어지고 있으므로 토지이용 변화의 검색기법의 적실성을 비교·분석함에 이상적인 지역으로 판단되기 때문이다.

본 연구의 목적은 post-classification comparison method외에 pre-classification comparison

로 작성한 도로망, 수계망, 행정구역과 등고선 등 수치데이터를 이용하였다. 위성영상에서의 토지이용 변화검색의 정확도를 측정하기 위하여 1994년 11월 3일과 1997년 12월 5일 촬영한 1:6,000 항공사진 판독과 현지조사 결과를 이용하였다. 현지 조사를 실시한 이유는 위성영상과 항공사진의 촬영시기가 6~7개월 차이가 나기 때문이다.

그림 1. 대구시 북구, 1994년 5월 7일  
False color Landsat TM,  
RGB= 밴드 2, 3, 4

그림 2. 대구시 북구, 1997년 5월 17일  
False color Landsat TM,  
RGB= 밴드 2, 3, 4

method의 4가지 기법을 비교·분석하는데 있으므로 주기적 위성영상 데이터가 요구된다.

따라서 1994년 5월 7일과 1997년 5월 17일에 촬영된 Landsat TM 영상을 이용하였다 (그림1과 그림 2). 그림1과 그림2는 각각 1994년과 1997년에 촬영한 대구광역시 북구의 펄스칼라합성(false color composite) 영상으로 원 이미지(original image)를 지상 기준점에 의하여 좌표를 UTM체계한 것이다. 화소의 크기는 30×30m이고 화소의 수는 103,831개이다.

그리고 지상기준점에 의한 좌표전환을 하기 위한 자료로는 1994년에 수정된 1:50,000 지형도를 기초로, 1990년에 수정된 1:5,000 지형도를 참고

### 3. 위성이미지 전처리과정

#### 1) 지상 기준점을 이용한 좌표변환

서로 다른 시기의 2개 이상의 위성영상 데이터를 활용하여 토지이용 변화를 밝히기 위해서는 위성영상 이미지를 지상기준점을 이용한 정확한 기하학적인 좌표변환이 전제된다 (Singh, 1986). 또 좌표 변환에 있어서는 정확도 평가 기준인 RMSE (Root Mean Square Error)의 오차가 0.5 화소 즉 Landsat TM 영상인 경우 지표면에서 15m 이하여야 한다 (Jensen, 1986).

영상의 좌표와 실제세계의 좌표 사이의 좌표 변환

위성영상을 이용한 토지이용 변화 검색기법 비교연구

을 위하여 지상기준점이 필요하다. 본 연구에서의 좌표 변환을 위한 지상기준점은 1:50,000의 지형도를 기초로 하여 구축된 하계망, 도로망 등의 수치지도를 활용하였다. 그러나 기존의 종이지도를 활용하여 지상기준 점 좌표를 정확하게 찾아 RMSE를 0.5화소로 하기는 매우 어렵다. 따라서 지상기준점 설정에 이용된 수치지도를 작성함에 있어서 정확도를 제고하기 위하여 1:5,000의 지형도를 참조하였다.

본 연구의 좌표 변환을 위한 지상기준점은 1994년 이후 변화되지 않은 대구광역시 전역의 주요 도로간의 교차점과 하천과 도로의 교차지점에 위치한 20개 지점이 선정되었다. 좌표변환계수는 second-order polynominal 식 (공식1)을 이용하여 구하였고, 그 결과는 표 1과 같다.

는 위성영상의 밴드별 각 화소의 라디오메트릭 값의 변화가 토지이용의 변화에 의한 것이라는 것을 전제로 한다. 하지만 화소의 라디오메트릭 값의 변화는 토지이용에 의하여 가장 큰 영향을 받지만, 태양고도각의 차이, 대기 환경변화, 토양의 수분, 식생의 계절적 기후 (phenology), 인공위성에 탑재된 다양한 센서의 조절 등의 여러 요인에 의해 서로 영향을 받는다. 따라서 자연적 환경 조건이 유사한 같은 시기에 촬영된 주년제 (anniversary) 영상데이터를 이용하면 토지이용의 자연적 환경영향에 의한 라디오메트릭 값의 변화는 최소화할 수 있다 (Prakash and Gupta, 1998; Frihy, et. al., 1998).

본 연구에서는 1994년 5월 7일과 1997년 5월 17일에 각각 촬영된 Landsat TM 영상을 이용함

$$X = a_0 + a_1X_0 + a_2Y_0 + a_3Y_0^2 + a_4X_0Y_0^2 + a_5Y_0^2 \dots\dots\dots \text{공식1}$$

$$Y = a_0 + a_1X_0 + a_2Y_0 + a_3X_0Y_0 + a_4X_0^2 + a_5Y_0^2$$

여기서 X와 Y : 수치데이터의 좌표  
 X<sub>0</sub>와 Y<sub>0</sub> : 영상의 좌표  
 a<sub>i</sub> : 변환계수

표 1. 1994년과 1997년 위성영상의 좌표변환 계수

| 1994 Landsat TM | X            | Y            | 1997년 Landsat TM | X            | Y            |
|-----------------|--------------|--------------|------------------|--------------|--------------|
| a <sub>0</sub>  | -3052.850793 | -8662.058313 | a <sub>0</sub>   | -3122.964171 | -8440.070110 |
| a <sub>1</sub>  | 0.033990     | 0.007641     | a <sub>1</sub>   | 0.034043     | 0.007541     |
| a <sub>2</sub>  | -0.006348    | 0.030108     | a <sub>2</sub>   | -0.005803    | 0.030122     |
| a <sub>3</sub>  | -0.000000    | 0.000000     | a <sub>3</sub>   | -0.000000    | 0.000000     |
| a <sub>4</sub>  | 0.000000     | -0.000000    | a <sub>4</sub>   | 0.000000     | -0.000000    |
| a <sub>5</sub>  | -0.000000    | 0.000000     | a <sub>5</sub>   | -0.000000    | 0.000000     |

지상기준점을 이용한 좌표변환의 결과 RMSE는 1994년 4.43m 이고 1997년은 9.07m이므로 이는 Landsat TM 화소의 0.5, 즉 15m보다 작다. 좌표변환의 RMSE는 토지이용변화검색이 pre-classification comparison method를 채택하는데 충분하다.

으로써 자연적 조건의 차이에 의한 라디오메트릭 값의 변화를 최대한 줄이고자 하였다. 두 시기의 영상이 같은 5월에 촬영되었으므로 태양고도가 유사하고 대기환경·토양의 수분·식생의 계절적 기후가 유사하여 큰 무리 없이 비교할 수 있다. 그러나, 두 이미지를 단순 비교하면 화소값의 범위가 다르므로 두 데이터 세트의 통계적 표준화 (radiometric normalization)가 요구된다 (Prakash and Gupta, 1998). 데이터 세트간의 표준화는 1994년 영상의 화소값의 평균과 표준편차를 1997

2) 라디오메트릭 수정 (Radiometric Correction)

인공위성 영상을 이용한 토지이용변화 검색에서

년 이미지의 화소값에 맞추어 이루어졌다 (공식2).

$$\text{NorRV}_{ijk①} = (\text{Sd}_{k②}^{1/2} \times \text{Sd}_{k①}^{-1/2})(\text{RV}_{ijk①} - \text{MRV}_{k①}) + \text{MRV}_{k②} \dots\dots \text{공식 2}$$

NorBV<sub>ijk①</sub> : 시기 1의 정규화된 이미지 화소값

Sd<sub>k①</sub> : 시기 1의 이미지 화소값의 표준편차

Sd<sub>k②</sub> : 시기 2의 화상 화소값의 표준편차

RV<sub>ijk①</sub> : 시기 1의 이미지 화소값

MRV<sub>k①</sub> : 시기 1의 이미지 화소값 평균

MRV<sub>k②</sub> : 시기 2의 이미지 화소값 평균

i : 행 번호

j : 열 번호

k : 밴드 번호 (예, TM band 4)

공식2에 의한 1994년 화소의 라디오메트릭 값 1994년 Landsat TM 영상 화소의 라디오메트릭 값의 표준화한 결과는 표2와 같다. 즉 표준화된 값의 평균, 중앙값, 최빈수가 1997년 Landsat

표 2. 화소의 라디오메트릭 값의 표준화 결과

| 밴드 | 구분   | 1994년   | 1997년    | 표준화된 1994년 |
|----|------|---------|----------|------------|
| 1  | 평균   | 90.0627 | 96.9432  | 96.9498    |
|    | 중앙값  | 84.1801 | 88.0302  | 90.2369    |
|    | 최빈수  | 78      | 82       | 83         |
|    | 표준편차 | 15.1692 | 18.5565  | 16.7508    |
| 2  | 평균   | 41.6039 | 41.7665  | 41.7667    |
|    | 중앙값  | 37.2564 | 37.4647  | 37.6247    |
|    | 최빈수  | 32      | 32       | 31         |
|    | 표준편차 | 9.8317  | 11.0354  | 10.3737    |
| 3  | 평균   | 48.1972 | 66.4022  | 66.4042    |
|    | 중앙값  | 41.1704 | 54.1574  | 56.9998    |
|    | 최빈수  | 31      | 43       | 44         |
|    | 표준편차 | 18.4887 | 27.1645  | 22.4337    |
| 4  | 평균   | 79.7857 | 113.099  | 113.1082   |
|    | 중앙값  | 80.0310 | 111.9717 | 110.6248   |
|    | 최빈수  | 78      | 104      | 110        |
|    | 표준편차 | 19.0661 | 27.153   | 22.7618    |
| 5  | 평균   | 91.1424 | 117.5326 | 117.5337   |
|    | 중앙값  | 88.4714 | 117.1873 | 113.7687   |
|    | 최빈수  | 75      | 125      | 100        |
|    | 표준편차 | 28.0456 | 31.3803  | 29.6774    |
| 7  | 평균   | 43.5169 | 41.9991  | 41.9975    |
|    | 중앙값  | 37.9167 | 36.4266  | 36.6674    |
|    | 최빈수  | 24      | 23       | 18         |
|    | 표준편차 | 21.9681 | 19.7373  | 20.8621    |

TM 영상의 통계치와 유사하게 되었다.

#### 4. 토지이용 변화검색

토지이용 변화검색의 절차는 크게 변화이미지 산출과 임계치 (Threshold) 설정으로 구분된다.

##### 1) 변화이미지 (change image)의 도출

본 연구의 연구대상인 5가지 토지이용 변화검색 기법 중 post-classification comparison method 를 제외한 pre-classification comparison method 의 image differencing method [DIF], NDVI differencing method, TCT differencing method 와 PCA differencing method 의 토지이용 변화 검색 절차는 유사하다. 먼저 변화이미지 도출방법 을 검색기법별로 살펴보면 다음과 같다.

첫째, Image differencing method의 경우에는 1997년과 1994년의 Landsat TM 영상간의 각 밴드별 차이를 구하면 된다. 이때 일반적으로 값이 부의 값을 갖는 것을 피하기 위하여 상수(c)를 더 한다<sup>3)</sup>. 결과적으로 Image differencing method에서는 6개의 변화이미지 (DIF1, DIF2, DIF3, DIF4, DIF5 와 DIF7)가 도출되었다.

둘째, 토지이용 변화검색에 널리 이용되고 있는 NDVI differencing method의 변화이미지는 Landsat TM 밴드 3과 Landsat TM 밴드 4를 이용하여 1997년과 1994년 영상의 NDVI  $[(TM4-TM3)/(TM4+TM3)]$ 을 구한 다음 1997년 NDVI 이미지와 1994년 NDVI 이미지의 차에 의해 구해진다 (Jensen, 1996: 179-187; Lyon et. al. 1998).

셋째, TCT differencing method는 Kauth와 Thomas (1976)가 Landsat MSS 영상에 적용되었던 Gram-Schmidt orthogonalization을 Landsat TM에 적용하였을 때, Landsat TM에는 Landsat MSS에서 발견된 brightness index와 greenness index 외에 새로운 축 즉 wetness index가 하나 더 있음을 밝힘으로써 개발된 방법이다 (Crist & Cicone, 1984). 본 연구에서는 Crist 와 Cicone (1984)의 TCT를 1994년과

1997년 Landsat TM 영상데이터에 적용하여 두 시기의 3개의 이미지 즉 brightness, greenness, wetness를 각각 구한 후, 1994년과 1997년간의 brightness, greenness 와 wetness의 영상 차이로 brightness 변화이미지 ( $\Delta B$ ), greenness의 변화이미지 ( $\Delta G$ ), 그리고 wetness의 변화이미지 ( $\Delta W$ ) 를 도출하였다.

넷째, PCA differencing method는 화상의 정보를 거의 상실하지 않고도 자료량을 줄일 수 있는 기법이다 (Fung and LeDrew, 1987; Eastman and Fulk, 1993). 멀티스펙트럼 Landsat TM영상에서 각 밴드 자료간에 상관성이 높기 때문에 이 기법은 주성분 분석을 이용하여 현재의 이미지에 포함되어 있는 대부분의 정보를 가상적인 소수밴드로 나타낼 수 있다. 본 연구에서는 1994년과 1997년 제 I 주성분만의 이미지간의 차이를 이용하여 변화이미지를 도출하였다.

마지막으로, post-classification comparison method를 이용하여 토지이용 변화를 분석하기 위해서는 토지이용도가 작성되어야만 한다. 따라서 먼저 1994년과 1997년 항공사진판독과 야외조사를 근거로 하여 각각 독립된 트레이닝 에어리어 (Training Area)를 선정하였다. 그리고 1994년 Landsat TM 영상과 1997년 Landsat TM 영상은 Maximum likelihood classification method를 이용하여 1994년 5월 7일과 1997년 5월 17일 대구광역시 북구의 토지이용도를 작성하고 이들 분류된 토지이용도를 중첩하여 토지이용변화 정보를 구하였다.

##### 2) 임계치 (Threshold) 설정

Pre-classification comparison method에 의해 구해진 11개의 변화이미지 (change image)는 임계치에 의해 변화 지역과 비변화 지역으로 구별된다. 따라서 임계치 설정 문제는 매우 중요하다. 먼저 1997년 Landsat TM 밴드 2와 표준화된 1994년 밴드 2 간의 변화이미지의 라디오메트릭 값 분포와 임계치의 관계를 살펴보면 토지이용의 비변화구역은 평균주위에 집중하는 반면, 토지이용이 변화된 구역은 꼬리부분에 집중하고 있다 (그림 3).

그림 4. DIF2 (빨간색=변화, 하늘색=비변화), T=0.25

그림 5. DIF2 (빨간색=변화, 하늘색=비변화), T=0.5

그림 6. DIF2 (빨간색=변화, 하늘색=비변화), T=1.0

임계치 설정은 연구자의 경험 혹은 통계적 방법에 의해 정해진다. 본 연구에서는 Singh(1984)와 Yuan & Elvidge(1998)가 이용한 평균과 표준편차를 이용하여 임계치를 설정하였다. 평균±0.25, 0.50과 1.00 표준편차 값이 절대 값보다 크면 변화지역 그리고 적으면 비변화지역으로 구분된다. 그림 4는 1997년 Landsat TM 밴드 2와 표준화된 1994년 밴드 2간의 차이를 나타내는 변화이미지에 임계치 (T) = 0.25, 그림 5는 T=0.5 그리고 그림 6은 T=1.0을 적용하였을 때 변화와 비변화지역을 보여 주고 있다. 결론적으로 동일한 변화이미지의 경우에도 임계치 (T)에 따라 변화지역과 비변화지역이 달라짐을 알 수 있다.

### 5. 토지이용 변화 검색기법의 비교

본 장에서는 지금까지 고찰한 토지이용 변화검색의 절차와 방법에 근거하여 5가지 검색기법의

정확도를 비교·분석하고자 한다. 각 기법에 의한 토지이용 변화검색 결과의 정확도는 표 3과 같은 토지이용 변화 검색 확률 에러행렬(changedetection probability error matrix)에 의해서 검증될 수 있다.

본 연구에서는 변화 검색 확률 에러행렬을 구축하기 위하여 대구광역시 북구전역에 720m 간격의 체계적 추출(systematic sampling)에 의하여 179 지점이 선정되었다. 이들 179지점에 대한 항공사진 판독과 야외조사의 결과, 1994년과 1997년간에 토지이용이 변화한 지점은 32개(17.8%)이고 147 지점(82.1%)에서는 토지이용이 변화되지 않았다.

표 3의 토지이용 변화검색 확률 에러행렬을 이용하여 각 기법별 정확도 측정지표인 Overall Accuracy(A)와 Kappa Index Agreement (K)를 구할 수 있다 (Yuan and Elvidge, 1998).

Overall Accuracy (A)는 영상이미지 검색방법에 의하여 토지이용 변화가 정확하게 분류될 확률

표 3. 토지이용 변화검색 확률 여러영역

| 항공사진<br>판독 및 현지조사 | 이미지 검색 | 변화                      | 비변화                     | 한계확률                      |
|-------------------|--------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|
| 변화                |        | $P_{cc} = N_{cc}/N_c^*$ | $P_{cn} = N_{cn}/N_c^*$ | $P_c^* = N_c^*/N = 0.179$ |
| 비변화               |        | $P_{nc} = N_{nc}/N_n^*$ | $P_{nn} = N_{nn}/N_n^*$ | $P_n^* = N_n^*/N = 0.821$ |
| 한계확률              |        | $P^*c = N^*c/N$         | $P^*n = N^*n/N$         | 1                         |

$N_{cc}$ : 토지이용 변화지점이 변화검색기법에서 변화로 검색된 샘플 수  
 $N_{cn}$ : 토지이용 비변화지점이 변화검색기법에서 변화로 검색한 샘플 수  
 $N_{nc}$ : 토지이용 변화지점을 변화검색기법 비변화로 검색한 샘플 수  
 $N_{nn}$ : 토지이용 비변화지점을 변화검색기법에서 비변화로 검색한 샘플  
 $N$ : 총 샘플 수  
 출처: Yuan and Elvidge, 1998.

로 공식3에 의해서 구할 수 있다.

$A = P_{cc}P_c^* + P_{nn}P_n^*$  ..... 공식 3

- $P_{cc}$ : 토지이용 변화지점이 변화검색기법에서 변화 지점으로 검색될 확률
- $P_c^*$ : 연구지역내 토지이용이 변화일 확률
- $P_{nn}$ : 토지이용 비변화 지점이 변화검색기법에서 비변화 지점으로 검색될 확률
- $P_n^*$ : 연구지역내 토지이용이 비변화일 확률

그리고 Kappa Index Agreement [K]는 공식4

$K = \{ (P_o - P_e) / (1 - P_e) \}$  ..... 공식 4

- $P_o$ : 검색결과가 토지이용변화여부와 일치된 관찰확률 ( $P_{cc}P_c^* + P_{nn}P_n^*$ )
- $P_e$ : 검색결과가 토지이용변화여부와 일치될 기대비율 ( $(P_c^* \times P_c^*) + (P_n^* \times P_n^*)$ )
- $P_c^*$ : 변화검색기법에서 변화지점일 확률
- $P_n^*$ : 변화검색기법에서 비변화지점일 확률

에 의하여 산출된다.

이상과 같이 산출된 Overall Accuracy와 Kappa index agreement 값의 범위는 0.0에서 1.0이다. 즉 0.0은 변화이미지의 결과가 실제 토지이용결과와 전혀 일치하지 않은 경우이고 1.0은 양자가 완전히 일치함을 의미한다.

Overall Accuracy와 Kappa Index Agreement 값이 크면 클수록 변화검색기법의 신뢰도가 높은 동시에 임계치도 잘 선정되었음을 의미한다. 그러나 Yuan 과 Elvidge (1998)는 Overall Accuracy 가 0.7이하는 토지이용 변화검색이 토지이용 변화 여부를 충분히 검색하지 못한다고 지적하였다. 또 Yuan (1996)은 토지이용변화 검색 결과의 수용여

부를 A 와 K 값의 기준외에  $P_{cc}$ 와  $P_{nn}$ 을 고려하여야 한다고 지적하였다. 예를 들면,  $P_{cc}$ 가 0.3인 경우는, 이 토지이용 변화 검색기법은 연구기간 동안의 토지이용 변화를 단지 30%만 검색하고 나머지 70%를 검색하지 못함을 의미한다. 바꾸어 말하면 실제의 변화지역을 영상에서 변화지역으로 정확하게 검색하기 보다는 검색하지 못하고 누락한 변화지역이 더 많게 된다. 그리고  $P_{nn}$ 이 0.4이하인 경우는 영상에서 검색한 비변화 지역보다 더 많은 비변화지역이 누락되는 경우이므로 합당한 토지이용 검색기법이라고 할 수 없다.

본 연구의 비교·분석대상인 pre-classification comparison method의 3개 임계치별 11개 변화

표 4. 토지이용 변화검색기법의 정확도 측정 요약

| 임계치    | 기법                                    | 변화이미지 | A     | K     | Pcc   | Pnn   |
|--------|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| T=0.25 | DIF                                   | DIF1  | 0.486 | 0.156 | 0.937 | 0.387 |
|        |                                       | DIF2  | 0.463 | 0.109 | 0.843 | 0.380 |
|        |                                       | DIF3  | 0.480 | 0.132 | 0.875 | 0.394 |
|        |                                       | DIF4  | 0.424 | 0.093 | 0.875 | 0.326 |
|        |                                       | DIF5  | 0.446 | 0.138 | 0.968 | 0.333 |
|        |                                       | DIF7  | 0.469 | 0.124 | 0.875 | 0.380 |
|        |                                       | NDVI  | △NDVI | 0.474 | 0.148 | 0.937 |
|        | TCT                                   | △B    | 0.458 | 0.136 | 0.937 | 0.353 |
|        |                                       | △G    | 0.430 | 0.117 | 0.937 | 0.319 |
|        |                                       | △W    | 0.424 | 0.113 | 0.937 | 0.312 |
|        | PCA                                   | △PCA  | 0.553 | 0.168 | 0.712 | 0.496 |
|        | T=0.5                                 | DIF   | DIF1  | 0.620 | 0.242 | 0.843 |
| DIF2   |                                       |       | 0.687 | 0.308 | 0.843 | 0.653 |
| DIF3   |                                       |       | 0.687 | 0.260 | 0.687 | 0.687 |
| DIF4   |                                       |       | 0.525 | 0.073 | 0.625 | 0.503 |
| DIF5   |                                       |       | 0.648 | 0.069 | 0.875 | 0.598 |
| DIF7   |                                       |       | 0.675 | 0.304 | 0.843 | 0.639 |
| NDVI   |                                       |       | △NDVI | 0.648 | 0.214 | 0.687 |
| TCT    |                                       | △B    | 0.659 | 0.274 | 0.812 | 0.625 |
|        |                                       | △G    | 0.564 | 0.178 | 0.812 | 0.510 |
|        |                                       | △W    | 0.631 | 0.220 | 0.631 | 0.605 |
| PCA    |                                       | △PCA  | 0.703 | 0.293 | 0.718 | 0.700 |
| T=1.0  |                                       | DIF   | DIF1  | 0.770 | 0.340 | 0.593 |
|        | DIF2                                  |       | 0.810 | 0.447 | 0.687 | 0.836 |
|        | DIF3                                  |       | 0.798 | 0.389 | 0.593 | 0.843 |
|        | DIF4                                  |       | 0.687 | 0.090 | 0.343 | 0.761 |
|        | DIF5                                  |       | 0.648 | 0.254 | 0.875 | 0.598 |
|        | DIF7                                  |       | 0.804 | 0.386 | 0.562 | 0.857 |
|        | NDVI                                  |       | △NDVI | 0.804 | 0.372 | 0.531 |
|        | TCT                                   | △B    | 0.748 | 0.245 | 0.468 | 0.809 |
|        |                                       | △G    | 0.776 | 0.350 | 0.593 | 0.816 |
|        |                                       | △W    | 0.770 | 0.297 | 0.500 | 0.829 |
|        | PCA                                   | △PCA  | 0.798 | 0.376 | 0.562 | 0.850 |
|        | post-classification comparison method |       | POST  | 0.575 | 0.165 | 0.750 |

A: Overall Accuracy

K: Kappa Index Agreement

P<sub>cc</sub>: 토지이용 변화지점이 변화검색기법에서 변화 지점으로 검색될 확률

P<sub>nn</sub>: 토지이용 비변화지점이 변화검색기법에서 비변화 지점으로 검색될 확률

이미지와 post-classification comparison method 것이 표 4이다.  
 에 대한 Overall Accuracy [A], Kappa index Pcc와 Pnn이 0.5미만과 Overall Accuracy가  
 agreement [K], Pcc와 Pnn 값을 산출·제시한 0.7미만은 토지이용 변화검색기법으로 정확성이

표 5. 토지이용 변화검색기법의 정확도 순위

| 임계치   | 기법   | 변화이미지 | A | K |
|-------|------|-------|---|---|
| T=0.5 | PCA  | △PCA  | 9 | 9 |
| T=1.0 | DIF  | DIF1  | 7 | 7 |
|       |      | DIF2  | 1 | 1 |
|       |      | DIF3  | 4 | 2 |
|       |      | DIF7  | 2 | 3 |
|       | NDVI | △NDVI | 2 | 5 |
|       | TCT  | △G    | 6 | 6 |
|       |      | △W    | 7 | 8 |
|       | PCA  | △PCA  | 4 | 4 |

\* 정확도순위는 내림차순

떨어지므로 고려하지 않는다. 결과적으로 34개의 변화이미지 중 9개만 토지이용 변화 검색기법의 정확도 비교 분석의 고려대상이 될 수 있다. 즉 임계치 1.0에서 DIF1, DIF2, DIF3, DIF7, △NDVI, △G, △W와 △PCA 그리고 임계치 0.5에서 △PCA의 변화이미지만이 고려대상이 된다.

Pcc와 Pnn이 각각 0.5이상이고 A가 0.7이상인 조건을 만족하는 변화이미지별 정확도를 Overall Accuracy와 Kappa Index Agreement의 값을 기준으로 내림차순으로 순위를 정하였다 (표 5). 변화이미지에서 토지이용 변화를 검색함에 있어서 임계치 (T)=1.00은 T=0.25 혹은 0.5보다 더 좋은 기준으로 나타났다. 토지이용 변화 검색에서 수용 가능한 9개 변화이미지 중 1위부터 8위까지는 임계치 1.0에 있고, 나머지 9위는 임계치 0.5이다. 즉 표 5에서 보는 것과 같이 임계치의 값이 클수록 토지이용변화 검색의 정확도는 높아짐을 알 수 있다.

그리고 전체적으로 post-classification comparison method는 인공위성자료를 활용하여 토지이용 변화 검색에 대체로 많이 이용되고 있는 방법이지만 (Hwang, 1997; Jensen, 1996), pre-classification comparison method가 토지이용 변화검색에서 보다 효과적인 것으로 밝혀졌다. Pre-classification comparison method 중에서는 image differencing method가 효과적이다. 즉 9

개 수용가능한 변화이미지에서 4개가 이 방법에 의한 것이다. 반면에 principal component differencing method는 유일하게 T=0.5 뿐만 아니라 T=1.00 에서도 수용가능한 방법이다. 결론적으로 가장 정확도가 높은 토지이용 변화검색기법은 임계치 1.0에서 image differencing method의 DIF2 변화이미지의 경우이고, 이때 Overall Accuracy(A)는 0.810이고 Kappa Index Agreement 값은 0.447로 밝혀졌다.

## 5. 요약 및 결론

본 연구는 인공위성자료를 이용한 도시지역의 토지이용 변화검색에 활용되고 있는 다섯 가지 검색기법을 선정하여 각 검색기법의 정확도를 비교·분석하였다. 그 결과 pre-classification comparison method는 토지이용변화 검색에 보편적으로 이용되고 있는 방법인 post-classification comparison method는 보다 정확도가 높은 것으로 밝혀졌다. Pre-classification comparison method 중에서는 image differencing method가, 특히 임계치 1.0에서의 image differencing method의 DIF2 변화이미지의 경우가 가장 정확도가 높게 나타났다. 이때 Overall Accuracy는 0.810이고 Kappa Index Agreement 값은 0.447 이었다.

토지이용변화 검색기법의 정확도 검증에서 중요한 것 중에 하나가 변화이미지에서 변화지역과 비변화지역을 구별하는 임계치 설정이다. 본 연구는 가장 보편적으로 이용되고있는 변화이미지 라디오메트릭 값의 평균±0.25, 0.50과 1.00 표준편차를 활용하여 임계치를 채택하였다. 그 결과 임계치가 1.00일 때 가장 높은 정확도를 나타냈지만, 앞으로 다양한 임계치 설정방법에 대한 보다 심도있는 논의가 이루어져야 할 것이다.

사례연구지역에서 다양한 지형·지물에 대한 radiometric 값을 정확하게 파악한 후 트레이닝에 어리어를 선정하였거나 토지이용 분류를 더욱 세분화하였으면, 토지이용변화 검색에서 본 연구의 결과에 나타난 post-classification comparison method의 정확도가 향상될 수 있다.

註

- 1) 위성영상을 이용한 토지이용변화 검색방법에 관한 대표적인 연구는 다음과 같다.

| 연구자                 | 년도   | 영상자료     | 변화검색 기법   |
|---------------------|------|----------|---|
| Gordon              | 1980 | MSS      | post-classification comparison                      |
| Jensen and Toll     | 1982 | MSS      | image differencing                                  |
| Howarth and Boasson | 1983 | MSS      | image rationing: vegetation index                   |
| Crist and Cicone    | 1984 | TM       | Tasseled-cap transformation                         |
| Duggin et al        | 1986 | TM       | image rationing: 주성분분석                              |
| Fung and LeDrew     | 1987 | MSS      | 주성분분석   |
| Quarmby and Cushine | 1989 | SPOT HRV | image differencing                                  |
| Kwarteng and Chavez | 1989 | TM       | 주성분분석   |
| Li and Yeh          | 1998 | TM       | 주성분분석   |
| Fung                | 1990 | TM       | image differencing: Tasseled-cap transformation     |
| Gong et al          | 1992 | TM       | image differencing                                  |
| Wang                | 1993 | MSS      | image differencing                                  |
| Hwang               | 1997 | TM       | postclassification                                  |
| Lyon, et al.        | 1998 | MSS      | Vegetation Index                                    |
| Frihy et. al.       | 1998 | MSS      | false colour composite, unsupervised classification |

- 2) 필자는 경북대학교 Post-Doc.의 연구과제 "원격탐사와 GIS통합분석기법과 그 적용-그린벨트의 문제점과 개선방안을 사례로"에 관한 연구를 수행 중에 있다.
- 3) Image difference method의 변화 이미지 산출공식은  $DV_{ijk} = RV_{ijk①} - RV_{ijk②} + c$   
 $DV_{ijk}$  : 변화이미지의 화소값

$RV_{ijk①}$ : 1997년 이미지의 화소값  
 $RV_{ijk②}$ : 1994년 이미지의 화소값  
 c: 상수

文 獻

Crist, E. P. and Cicone, R. C., 1984, Application of the Tasseled Cap Concept to simulated Thematic Mapper data, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 50, 343~352.

Duggin, M.J., Rowntree, R., Emmons, M., Hubbard, N., Odell, A.W., Sakhavat, H., and Lindsay, J., 1986, The use of multirate multichannel radiance data in urban feature analysis, *Remote Sensing of Environment*, 20, 95~105.

Eastman J.R. and Fulk, M., 1993, Long sequency time series evaluation using standardized principal components, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 59, 1307~1312.

Frihy, O.E., Mewindar, K.M., Nasr, S.M. and Raey, M.M.E., 1998, Change detection of the northern Nile Delta of Egypt:

- shoreline changes, spit evolution, margin changes of Nanzala lagoon and its islands, *International Journal of Remote Sensing*, 19, 1901~1912.
- Fung, T. and LeDrew, E.F., 1987, Application of principal component analysis of multitemporal change detection, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 53, 1149~1454.
- Fung, T., 1990, An assessment of TM imagery for land-cover change detection, *IEEE Transactions of Geoscience and Remote Sensing*, 28, 681~684.
- Gong, P., LeDrew, E.F., and Miller, J.R., 1992, Registration-noise reduction in difference images for change detection, *International Journal of Remote Sensing*, 13, 773~779.
- Hwang, M., 1997, Land use change detection for monitoring urbanization by using Landsat data in the capital region, Korea, *Journal of the Korean Geographical Society*, 32, 329~340.
- Howard, P.J. and Boasson, E., 1983, Landsat digital enhancements for change detection in urban environments, *Remote Sensing and Environment*, 13, 149~160.
- Howard, J. P. and Wickware, G. M., 1981, Procedure for change detection using Landsat digital data, *International Journal of Remote Sensing*, 2, 277~291.
- Jensen, J.R., 1996, *Introductory digital image processing: a remote sensing perspective*, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- Jensen, J.R., 1986, *Introductory Digital Image Processing*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J.
- Jensen, J.R., Cowen, D., Narumalani, S. and Halls, J., 1997, Principles of change detection using digital remote sensor data, in Star, J.L., Eates, J.E. and McGwire, K.C. (eds.), *Integration of Geographic Information Systems and Remote Sensing*, Cambridge University Press, 37~54.
- Jensen, J.R. and Narumalani, S., 1992, Improved remote sensing and GIS reliability diagrams, image genealogy diagrams, and thematic map legends to enhance communication, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 6, 125~132.
- Jensen, J.R. and Toll, D.L., 1982, Detecting residential land-use development at the urban fringe, *Photogrammetric Engineering*, 48, 629~643.
- Kauth, R.J. and Thomas, G.S., 1976, The tasseled cap—a graphic description of the spectral-temporal development of agricultural crops as seen by Landsat, *Proceedings*, Symposium on machine processing of remote sensing data, West Lafayette, IN: Laboratory for Applications of Remote Sensing, 41~51.
- Kwarteng A.Y., and Chavez, P.S. Jr., 1989, Change detection study of Kuwait city and environs using multi-temporal Landsat thematic mapper data, *Remote Sensing and Environment*, 19, 1651~1662.
- Li, X. and Yeh, A.G.O., 1998, Principal component analysis of stacked multi-temporal images for the monitoring of rapid urban expansion in the Pearl River Delta, *International Journal of Remote Sensing*, 19, 1501~1518.
- Lyon, J.G., Yuan, D., Lunetta, R.S. and Elvidge C.D., 1998, A change detection experiment using vegetation indices, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 64, 143~150.
- Prakash, A. and Gupta, R.P., 1998, Land-use mapping and change detection in a

- coal mining area-a case study in the Jharia coalfield, India, *International Journal of Remote Sensing*, 19, 391~410.
- Quarmby, N.A., and Cushine, J.L., 1989, Monitoring urban land cover changes at the urban fringe from SPOT HRV imagery in southeast England, *International Journal of Remote Sensing*, 10, 953~963.
- Ridd, M.K., and Liu, J., 1987, A comparison of four algorithms for change detection in an urban environment, *Remote Sensing and Environment*, 63, 95~100.
- Shepard, J. R., 1964, A concept of change detection, *Photogrammetric Engineering*, 30, 648~651.
- Singh, A. 1989, Digital change detection techniques using remotely-sensed data, *International Journal of Remote Sensing*, 10, 989~1003.
- Singh, A. 1986, Change detection in the tropical forest environment of Northern India using Landsat, in Eden, M. J. and Parry, J. T. (eds.), *Remote Sensing and Tropical Land Management*, John Wiley and Sons, New York, 237~254.
- Wang, F., 1993, A knowledge-based vision system for detecting land changes at urban fringes, *IEEE Transactions of Geoscience and Remote Sensing*, 31, 136~145.
- Yuan, D., 1996, Natural constraints for inverse area estimate corrections, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 62, 385~392.
- Yuan, D. and Elvidge, C., 1998, NALC land cover change detection pilot study: Washington D.C. area experiments, *Remote Sensing and Environment*, 66, 166~178.

## Comparison of Land Use Change Detection Methods with Satellite Image\*

Soon-Ho Park\*\*  
Woo-Kwan Kim\*\*\*

### abstract

Five land use change detection methods were applied to 1994 and 1997 Landsat Thematic Mapper (TM) images of Pook-Gu, Taegu city to determine the land-cover changes between the two dates. The two images were coregistered to UTM coordinates.

A post-classification comparison method was the most commonly used quantitative method of change detection. A pre-classification comparison method was more effective method to change detection of land cover than a post-classification comparison method. Two indices were used to assess the

accuracies of the studied methods. A image differencing method was found to be most accurate for detecting change verse no change among five land use change detection methods. The difference image of band 2 was found to be most accurate. The overall accuracy and Kappa index agreement of the difference image of band 2 were 0.810 and 0.447.

**key word** : land use, land use change detection method, satellite image, pre-classification comparison method, post-classification comparison method

---

\* This work was supported by grant of Post-Doc. Program from Kyungpook National University(1988)

\*\* Post-doc., Kyungpook National University.

\*\*\* Professor, Department of Geography, Kyungpook National University.