

GIS와 위성영상을 이용한 도시의 변화량 분석

An Analysis for Urban Change Using Satellite Images and GIS

신계종* · 유영걸** · 황의진***

Shin, Ke-Jong · Yu, Young-Geol · Hwang, Eui-Jin

Abstract

The domestic Remote Sensing field uses mainly Landsat TM image that is used to the monitoring of the wide area. In this study, it is analyzed the land cover change of rural and urban area by time series using satellite images and is proposed the vision for a urban balanced development.

It execute an analysis for urban change which is a fundamental data of city planning through the integration of the spatial analysis technique of GIS and Remote Sensing using satellite data.

keyword : GIS, Remote Sensing, Satellite

요 지

국내의 원격탐사분야는 광범위한 지역의 모니터링에 이용되는 Landsat TM영상을 주로 사용하고 있다. 이 연구에서는 위성영상을 이용하여 시계열별로 도농지역간의 토지피복변화를 분석하였으며, 도시의 균형발전을 위한 비전을 제시하고자 하였다.

위성영상을 이용하여 GIS와 원격탐사의 공간분석기술의 통합을 통하여 도시계획의 기초자료로 사용되는 도시변화량에 대한 분석을 수행하였다.

주요어 : 지리정보시스템, 원격탐사, 위성

* 정회원 · 충주대학교 공과대학 건설도시공학과 교수

** 비회원 · 강원대학교 공과대학 토목공학과 공학박사

*** 비회원 · 충북대학교 공과대학 토목공학과 박사과정

1. 서론

최근 들어 영상정보를 얻기 위한 방법인 위성을 이용한 원격탐사기술과 GIS를 결합하려는 시도가 많이 행하여지고 있다(이사로, 1999). 즉, 공간지형 자료를 얻기 위하여 항공사진뿐만 아니라 위성영상을 활용하고자 하는 것이다.

GIS자료 구축을 위하여 원격탐사자료인 위성영상을 이용하면 단시간에 매우 광범위한 지역의 데이터를 획득할 수 있으며, 여러 시간대의 영상으로부터 지형, 토지, 자연생태계, 도시화 등의 변화에 대한 자료를 획득할 수 있는 장점이 있다. 또한 수치표고모델(DEM: Digital Elevation Model)이나, 토지이용도 및 피복도에 관련된 주제도도 생성할 수 있어서 저렴한 비용으로 수치 지도를 제작하거나 수정할 수 있다(L. Lackey, 1994).

한편, 도시지역에 대한 제반 문제의 해결을 위한 GIS의 이용은 GIS라는 새로운 개념의 시스템이 등장한 이후 약 30년이 경과되고 있다. 그러나 그 대부분의 시도는 도시지역에 대한 데이터베이스 구축이라고 하는 독자적인 측면에서의 접근이 그 주류를 차지하고 있다. 마찬가지로 인공위성 데이터에 의한 도시문제에의 적용도 독자적인 사용목적에 중점을 두어왔다. 그러나 보다 효과적이고도 효율적인 도시문제의 해결을 위해서는 양자간의 상호 유기적인 협조 체제가 이루어져야 할 것이다.

우리나라의 경우, 도시문제에 대한 GIS의 이용은 선진국 못지않은 수준에 달하고 있다. 반면에 인공위성 데이터를 이용한 연구는 많이 수행되어 있지 않은 상태이다. 근본적인 원인으로는 인공위성 데이터에 대한 인식이 자리를 잡지 못하고 있기 때문인 것으로 사료된다. 그러나 도시화의 급속한 진행과 함께 심각한 문제로 대두되고 있는 도시환경 문제는 도심 지역만을 고려하는 단편적인 시각으로는 해결의 실마리를 찾기 어렵다. 도심지역과 그 주변지역을 폭넓게 고려하는 방법론, 즉 대규모 지역이 분석 가능한 인공위성 데이터를 이용할 경우 보다 효율적인 연구가 수행될 수 있을 것이다.

위와 같은 연구는 조명희 등(1999)은 GIS와 위성영상을 이용한 수질오염인자의 공간변화분석을 하였고, 조명희 등(1999)은 위성영상과 GIS를 이용한 과수재배 분포도 작성 기법에 관한 연구를 하

였고 김성준 등(2000)은 GIS와 RS를 이용한 비점원오염 모형의 적용에 관한 연구를 하였다. 이 연구에서는 인공위성 데이터(Landsat TM 영상)를 이용한 원격탐사 기술과 GIS의 공간분석 기술을 통합하여 도시계획에 이용될 수 있는 기초 자료인 도시변화량에 대한 분석을 실시하였다.

원격탐사를 통한 연구대상지의 1989년 영상과 1995년 영상에 대해 물, 산림, 인공구조물, 나대지, 경작지, 초지의 6항목으로 토지피복 분류를 수행하였으며 인공위성 영상에 나타난 시계열적인 도시피복의 변화 현상을 파악하였다. 이러한 각각의 결과를 상호 유기적으로 통합하여 종합적인 도시지역내의 공간현상을 파악하고자 하였다. 또한 시간의 경과에 따라 각각의 항목별 변화에 대한 통계량을 추출하기 위해 GIS의 GRID 연산을 수행하여 도시내 공간적인 변화를 분석하였다.

2. 이론적배경

2.1 GIS접목

지리적으로 참조 가능한 모든 형태의 정보를 효과적으로 수집, 저장, 갱신, 조정, 분석, 표현할 수 있도록 설계된 컴퓨터 하드웨어, 소프트웨어, 지리적 자료 그리고 인적자원의 통합체를 GIS라고 할 수 있다.

지리정보시스템은 자연 및 사회, 경제적 정보를 지리적 공간위치에 맞추어 입력, 저장해서 여러 목적에 맞게 활용, 분석하는 기술로써 각종 데이터의 수집과 처리작업에 대해 경제성과 능률성을 제공해주며 디지털 컴퓨터의 이용으로 데이터 저장 및 공간정보 이용에 획기적인 계기를 마련해 주었다. 지리정보시스템은 실제 세계의 모델을 의미하며, 자료는 상호관련 되어 접근, 변화, 관리되기 때문에 환경변화의 분석, 경향분석(Analysis of trends) 또는 의사결정과 결과의 예측 등을 실험할 수 있는 모델이다. 이는 컴퓨터 기술과 공간자료(spatial data)를 효율적으로 이용하고자 시작되었는데 자료수집 방법은 종래의 지도나 보고서, 최근에는 인공위성이나 항공촬영용 비행기로부터 Sensor를 통하여 입수된 HDD T(High Density Digital Tape)의 수집 방법이 중요하게 작용하고 있다(그림 1).

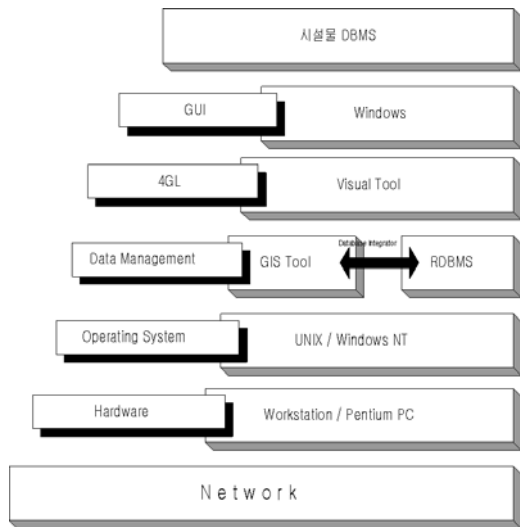


그림 1. GIS 개념

2.1.1 수치지도

수치지도는 벡터지도 용어로 쓰이기도 하는데 우리가 사용하는 종이 지도를 컴퓨터에서 쓰기 위해 더 자세히 이야기하자면 GIS에서 쓰기 위해 전산적으로 데이터화한 지도를 의미한다. 지리정보시스템을 구축하는데 필요한 기본요소로써 도로, 지형지물, 건물, 지명, 수계 등을 포함하고 있는 지도를 의미한다. 수치지도는 도로와 신호체계, 교차로 등의 도로관련 정보의 수록을 목적으로 제작된 도로망도, 항공촬영 사진을 기본으로 등고선, 건물경계 등의 정보를 수록하고 있는 지형도, 토지의 경계와 토지인식 부호인 지번을 수록하고 있는 지번도 등으로 분류할 수 있다.

수치지도는 점과 선, 면 등으로 구성되는데 이 데이터는 CAD 및 기타 여러 가지 GIS툴을 이용해 제작되어지는데 화일형태는 보통 DXF와 같은 호환포맷으로 Data를 공유하고 있다.

항공사진은 측량에 의한 지도가 아니라 항공에서 사진촬영한 지도로서 현재 수치지도상에 많이 맵핑하는 방법으로 활용되고 있다. 외국에서는 이 항공사진을 수치지도와 결합하여 패키지 형태로 제품이 많이 나오고 있으며 GIS업체들도 이 사진들과 지도를 함께 맵핑할 수 있는 제품개발에 힘

을 쏟고 있는 실정이다.

2.1.2 원격탐사

원격탐사(Remote Sensing)란 대상물로부터 반사 또는 복사되는 전자파 등에 의해 원거리 측정을 하여 분석할 수 있는 것을 말하며 이러한데 사용되어지는 수신기를 센서(sensor)라 하고 카메라와 스캐너 등이 여기에 해당한다. 그리고 이런 센서를 탑재하는 이동체를 플랫폼(platform)이라 하는데 항공기와 인공위성 등이 있다.

그림 2는 이러한 일련과정을 그림으로 나타내었다.

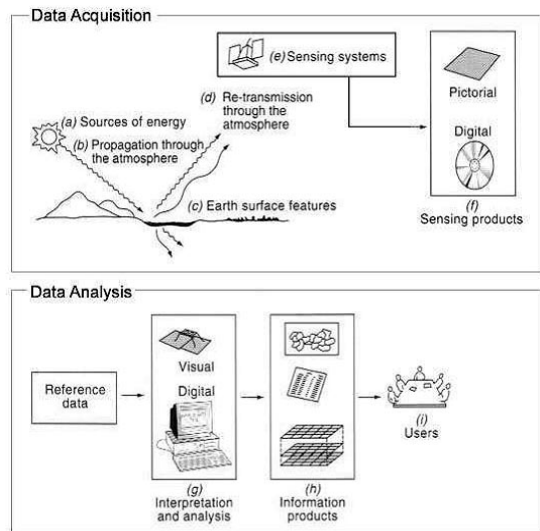


그림 2. 인공위성의 자료 획득 원리

2.1.3 영상의 전처리

인공위성이나 항공기에 의해 수집된 미보정 원격탐사 영상은 지구의 불규칙한 표면을 표현하고 있다.

그러나 짧은 주기로 원격탐사 영상 내에서 추출된 정보는 지도의 형식으로 사용자들에게 제공되어지거나 GIS에서 기본도 자료에 통합되어질 수 있다. 이처럼 지도의 투영 특성과 축척을 부여하기 위하여 원격탐사 영상을 변환시키는 것을 "기하보정"이라 한다.

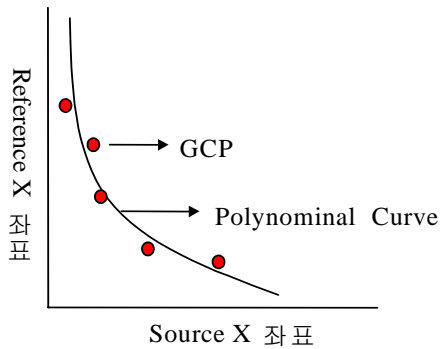


그림 3. 지상기준점과 다항식

지상기준점은 예측할 수 없는 왜곡을 보정하기 위해 쓰인다. 그림 3은 기하보정을 통하여 나타내어지는 점들의 불규칙적인 형태를 통하여 추출되어지는 점들에 선정을 보여주었다. 기하보정을 하기 위해서는 영상에서 뚜렷이 구분되고 시간에 따라 변화가 심하지 않은 지역을 각각 지도와 위성영상에서 선택해야 한다.

기하보정된 결과의 위치오차는 RMSE식을 통하여 오차로 나타낼 수 있다. RMSE 오차란 지도에서의 지상기준점과 위 변환 식에 의해 변환된 영상의 지도좌표가 정확히 일치하지 않을 수 있는데, 이 차이를 잔차(Residual)라 부르며 거리차를 RMSE 오차라 한다.

$$RMSE = \sqrt{(x_r - x_i)^2 + (y_r - y_i)^2}$$

여기서 x_i 및 y_i 는 참조 좌표이고 x_r 및 y_r 은 기하보정 후 좌표이다. 그리고 $(x_r - x_i)$ 는 x 잔차, $(y_r - y_i)$ 는 y 잔차 이다. 위 식은 1차식이지만 지상기준점의 개수, 영상의 뒤틀린 정도, 영상의 해상도 정도 등에 따라 2차 이상의 방정식을 사용할 수 있다.

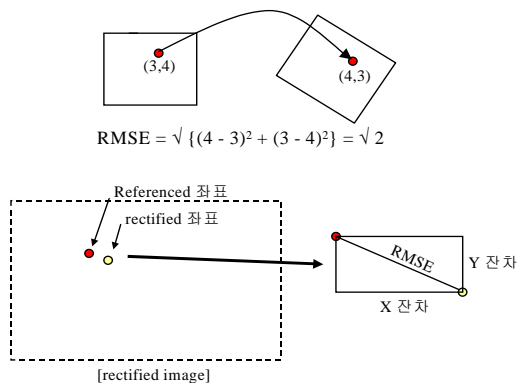


그림 4. RMSE 계산예

일반적인 RMSE 허용치는 다음과 같다.

- GPS를 이용하여 지상기준점을 수집했을 경우 : 10m 이내
- 1/25,000 지형도에서 지상기준점을 수집했을 경우 : 20m 이내

즉, 30m 해상도를 가진 Landsat TM 영상의 RMSE 허용치는 약 0.5 화소(15m) 정도이다.

2.1.4 토지피복분류

분류처리는 위성영상의 개개 화소들이 지질학적인 또는 지표면 피복형태 같은 지리학적인 실측치와 상관식이 성립됨을 의미한다. 다른 표현으로 설명하면 분류처리는 정해진 수의 분류항목이나 범주로 화소들을 소팅(Sorting)하는 처리(Image Segmentation)라 할 수 있다.

분석자가 원래의 영상 자료로부터 추출하고자 하는 정보의 형태에 따라 분류항목들은 탐사지역 내에서 나타난 기지 목표물의 분광반사 특성들(분광신호)과 비교되어 화소 값에 "물" 또는 "토지"와 같은 지상 사상을 상관시킨다. 하나의 분류된 원격탐사 영상이 디지털 주제별 지도(Digital Thematic Map)의 형태를 갖고 있으며 위성영상의 분석은 다음과 같은 방정식을 사용하여 표현할 수 있다.

$$BV_{ij}(1) \leftrightarrow BV_{ij}(2) \rightarrow D_{ij}$$

여기서,

- D_{ij} = 변화영상의 화소값
- $BV_{ij}(1)$ = 시기1의 분류영상 화소값
- $BV_{ij}(2)$ = 시기2의 분류영상 화소값
- i = line의 수
- j = pixel의 수

3. 분석 및 고찰

연구대상지역은 도농 통합지역인 충주시 전체지역을 선정하였으며 충주시는 우리나라의 중앙부와 동북부에 위치하며 동북으로 제천시, 서쪽으로 음성군, 남쪽으로 괴산군과 경상북도, 북쪽으로 경기도/강원도와 경계를 이루는 지역으로 위도상으로

볼 때 대개 북위 37도 16분 ~ 36도 18분을 차지한 중위도 지역으로 온대 계절풍 지대를 형성하고 있다. 그림 5는 위성영상의 RGB화 한 것으로 지역의 형상을 표현하였다.

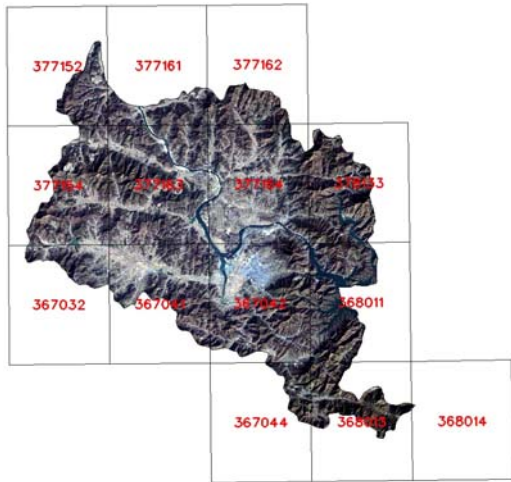


그림 5. 연구대상지역

표 1. 원격탐사 영상의 정보

관 측 일	1995년 10월 25일	2002년 11월 27일
위성/센서	LANDSAT 5호 / TM	
PATH-ROW	1 1 6 - 3 4	
FORMAT	BIL	

3.1 도시변화량 분석

토지피복에 대한 감독분류를 수행하기 위해서 식별 가능한 토지피복을 6가지 항목인 물, 산림, 인공구조물, 나대지, 농경지, 초지로 분류하여 표본추출을 실시하였다. 이 때 유사한 분광특성만을 가진 화소로 자동표본추출을 해주는 Region Growing 기법을 이용하여 트레이닝 표본을 선정하였으며 분류항목간 공분산 행렬, 평균벡터, 표준편차 등의 통계 계산치를 추출하였다. 이후 최대우도 분류 결정규칙을 이용하여 토지피복분류를 실시하였다. 이 피복분류를 통하여 도심의 변화와 활용형태를 분석할 수 있다.

그림 6, 7은 1995년과 2002년의 영상으로 전처리를 통한 면적을 표 2를 통하여 수치적인 측면으로 표현하였다.

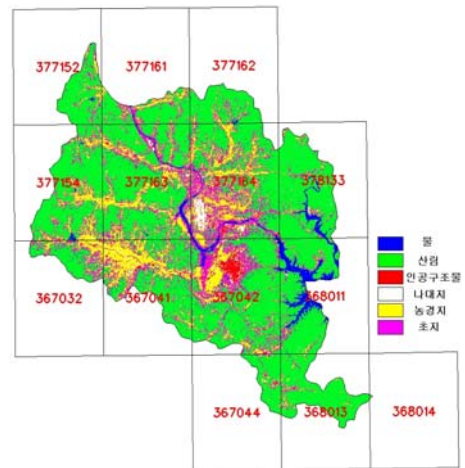


그림 6. 토지피복분류영상(1995년)

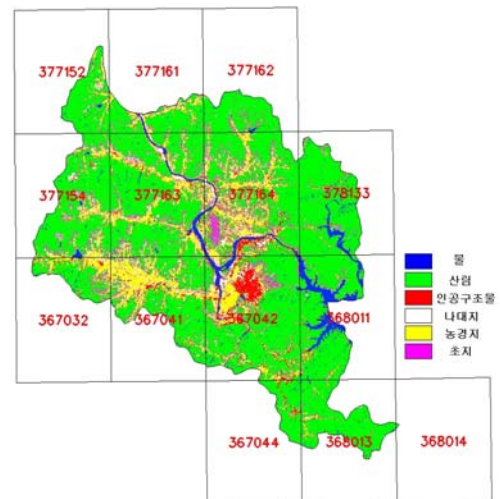


그림 7. 토지피복분류영상(2002년)

표 2. 토지피복분류 통계

분류항목	95년 영상		02년 영상	
	면적(km ²)	비율(%)	면적(km ²)	비율(%)
물	35.6	3.6	39.4	4.0
산림	667.5	67.8	655.6	66.6
인공구조물	17.2	1.7	42.2	4.3
나대지	14.6	1.5	53.5	5.4
농경지	145.3	14.8	109.5	11.1
초지	103.6	10.5	83.6	8.5
계	983.8	100.0	983.8	100.0

3.2 변화탐지

3.2.1 충주시 전체

표 3에서, 두 시기에 대한 토지피복의 분류항목 별 년 변화율이며, 1995년 분류항목을 기준으로 2002년의 변화를 나타낸 것이다.

항목별 변화량을 살펴보면 두 시기의 영상이 1995년 10월 25일과 2002년 11월 27일로 관측일이 계절적 차이가 1개월가량 차이가 나기 때문에 약간의 분류항목별 오차를 포함하고 있다.

그러나 변화 경향을 분석하는데 목적이 있으므로 각각의 항목별로 살펴보았다.

물의 경우는 일부지역에서 산림으로 변화한 지역이 발생하였는데 이는 산림지역의 경우 음지가 물과 비슷한 반사특성을 나타내는 지역이 있기 때문인 것으로 사료된다.

산림의 경우는 시기적인 차이 때문에 초지로 변한 지역이 있는데 분류시에 초지와 산림의 경계가 모호한 경우가 발생하기 때문으로 판단된다.

인공구조물의 경우는 개발이 진행중인 나대지로 변한 지역이 가장 많은 비중을 차지하고 있는 것으로 나타났다.

나대지의 경우는 인공구조물과 초지로 변한 지역의 가장 많은 것으로 분석되었다.

농경지의 변화는 개발을 통해 인공구조물과 나대지로 변한 지역이 상대적으로 많게 나타났다.

초지의 변화는 비슷한 반사특성을 나타내는 산림으로 변한 경우가 많았으며 비슷한 반사특성을 나타내는 농경지로 변한 지역이 두 번째를 차지하고 있다.

변화탐지의 결과로부터 연구지역인 충주시가 나대지와 농경지가 개발되어지고 있음을 간접적으로 분석할 수 있었다. 또한 행정구역의 구분을 통하여 보면 큰 변화가 이루어진 충주시와 이류면 지역의 비교를 통하여 주변지역변화를 알 수가 있다(표4, 5).

표 3. 변화탐지의 항목별 변화율(%)

구 분	2002년 영상						
	물	산림	인공 구조물	나대지	농경지	초지	
1995년 영상	물	89.2	4.8	4.4	0.7	0.6	0.4
	산림	1.9	91.3	1.1	0.9	1.1	3.8
	인공 구조물	0.9	1.6	71.3	16.1	7.2	2.9
	나대지	0.9	13.2	21.2	25.8	14.2	24.8
	농경지	0.1	11.7	15.7	18.3	46.7	7.5
	초지	2.4	34.9	10.1	10.9	21.4	20.4

표 4. 충주시 변화탐지의 항목별 변화율(%)

구 분	2002년 영상						
	물	산림	인공 구조물	나대지	농경지	초지	
1995년 영상	물	90.7	4.2	2.4	1.1	0.0	1.7
	산림	1.7	91.3	1.4	0.9	1.3	3.4
	인공 구조물	0.5	2.9	51.0	17.6	21.0	7.0
	나대지	0.0	13.4	16.0	42.0	24.0	4.7
	농경지	0.1	10.3	3.6	18.8	52.9	14.3
	초지	0.4	38.4	9.3	10.1	23.1	18.8

표 5. 이류면 변화탐지의 항목별 변화율(%)

구 분	2002년 영상						
	물	산림	인공 구조물	나대지	농경지	초지	
1995년 영상	물	70.0	20.5	7.5	1.1	0.6	0.4
	산림	2.9	88.5	2.0	1.1	1.1	4.5
	인공 구조물	0.6	1.3	77.5	10.1	7.8	2.6
	나대지	0.6	2.3	41.8	36.0	15.5	3.8
	농경지	0.1	4.6	14.5	18.5	54.3	7.9
	초지	6.3	23.0	18.5	14.1	18.7	19.3

3.3 결과 및 고찰

위에 분석한 자료는 LANDSET 위성의 TM 영상자료를 기초로 분석한 결과이다. 기본적 셀의 크기를 30m로 하여 충주지역을 대상으로 시계열자료로 분석한 결과 충주지역의 피복상태의 변화를 파악할 수 있었다. 1995년부터 2002년까지의 충주시의 변화 형태를 면단위의 행정구역으로 비교·분석한 결과 이 지역의 발전 형태를 알 수 있었다. 대부분이 산림형태를 가지고 있는 농촌형태를 가지고 있으며 많은 변화는 없었지만 충주시를 기준으로 한 지역주변의 촌락들은 인공구조물의 비율이 상대적으로 많은 증가추세를 보이고 있으며 대부분이 평탄한 지형에 인공구조물이 형성되어지고 조금씩 늘어난 산림지역의 변화는 도로와 같은 선형체계를 가지고 있어 이 지역의 형태변화를 간략하게 설명하면 산악지역을 도로로 건설을 하고 그 도로지역을 중심으로 촌락과 같은 인공구조물들이 평지부에 건설되어지고 있는 형태를 갖추고 있음을 알 수 있었다.

그 형태의 변화를 표 6을 통해 분석해 보았다. 대부분의 지역이 인공구조물과 나대지로 변화한 것으로 분석되어지며 특히 충주시 지역은 인공구조물의 면적이 많은 변화를 보이고 있다.

그리고 인공구조물과 나대지의 변화량이 많이 변화한 지역을 보면 우선 수안보중심의 관광지역이 우선적으로 보이고 그 주변의 상모면 또한 다른 행정구역보다는 변화량이 늘어나는 것을 알 수 있다. 또 하나의 지역으로는 충주대학교 주변의 변화로 1995년보다 2002년에는 많은 지역이 인공구조물과 도로 면적이 늘어난 것을 알 수 있다.

이러한 자료들을 보면 충주시는 도심의 중심으로 발달되고 있으며 그 형태는 도로의 선형에 따라 발전을 하고 있는 것으로 보아서 사람들의 발전을 유도하기 위해서는 교통이 뒷받침 되어야함을 알 수 있으며, 주거형태는 평지부에 건설되어지면 도시와 도시와의 도로형태는 평지부의 토지를 사용하지 않으며 대부분 산악지역의 토지를 이용하여 건설하고 있음을 알 수 있다. 또한 사람들의 도로확장을 통한 관광지역의 발전이 이루어짐을 알 수 있으며 교육여건을 통한 발전이 더불어 이루어짐을 알 수 있다.

이렇게 쉽게 도시의 형태를 분석하고 연구하는데 GIS는 상당히 많은 부분들에 적용되며, 위성자

표 6. 행정구역별 토지변화량

행정 구역	인공구조물 변화량(km ²)	나대지 (km ²)	농경지, 초지(km ²)
양성면	+1.3	+4.0	-6.7
소태면	+1.0	+3.4	-5.8
엄정면	+0.8	+2.9	-6.1
산척면	+0.9	+1.8	-5.1
노은면	+0.5	+2.7	-4.5
가금면	+1.3	+2.9	-6.3
금가면	+1.7	+0.9	-6.3
동량면	+2.1	+2.9	-8.6
신니면	+1.2	+2.8	-5.7
주덕면	+1.1	+4.1	-7.9
이류면	+1.8	+3.0	-6.4
충주시	+7.4	+6.0	-17.6
살미면	+2.2	+0.7	-4.1
상모면	+2.5	+1.3	-4.5

료의 도입, 접목을 통한 도시의 시계열적인 분석이 가능하며, 이런 자료들의 누적으로 도시의 발전 형태를 추정할 수 있으며, 도심의 발달에 주요패턴이 어떠한 것에 영향을 받아 이루어지는가를 분석할 수 있다. 이러한 모든 것들을 살펴볼 때 GIS와 위성자료의 접목은 계속 이루어져야하며 지형의 효율적 사용을 통한 산림의 회손 및 방치를 막을 수 있을 것이라 판단된다.

4. 결 론

위성영상과 GIS를 이용하여 도시변화량을 추출하고 분류항목별 변화량을 분석하였으며 그 결과는 다음과 같다.

첫째, 연도별 분류영상에 200개의 랜덤 포인트를 발생시켜 위성영상을 분석한 결과 영상과 각각의 랜덤 포인트를 모니터 상에 출력하고 축척 1/25,000 수치지도를 참고하여 95년은 94.54%와 02년은 96.09%의 분류정확도를 얻었다. 이는 분류 방법이 적절함을 보여주고 있다.

둘째, 도시행정구역별 변화되어진 면적을 분석, 통계를 통하여 지역의 특성을 분석하고 발전되어지는 패턴을 통한 체계적인 도심의 모습으로 발전

시키는데 도움이 될 것이다.

셋째, 원격탐사 기술과 GIS의 통합을 통하여 시각적으로 두 시기의 영상을 판독할 수 있게 하고 정량적 변화면적 통계값을 추출함으로써 도시계획 수립 및 개발을 위한 기초 의사결정 자료로 이용할 수 있다.

넷째, 위성의 자료는 쉽게 탐측할 수 있으며, 시차적인 판독이 유용하다. 이러한 시차적인 분석을 통하여 앞으로의 발전 형태를 예측하고 과거자료들의 통계를 통하여 주요지역에 필요한 제반시설

물 등의 위치를 설정할 때 유용할 것이다.

감사의 글

본 연구는 2004학년도 충주대학교 학술연구조성비에 의하여 연구 되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

(접수일자 : 2005년 9월 20일)

참고문헌

1. 김성준, 이윤아, 이남호, 윤광식, 홍성구 (2000), GIS와 RS를 이용한 비점오염 모형의 적용에 관한 연구.
2. 김용일 (1991), 인공위성 원격탐사 데이터의 분석 정확도 향상에 관한 연구.
3. 사공호상, 임정호 (2003), IKONOS 위성영상을 이용한 토지이용 현황분석에 관한 연구.
4. 이사로, 최위찬, 민경덕 (1999), GIS를 이용한 지질도 데이터 베이스 구축에 관한 연구.
5. 조명희, 권봉겸, 부기동 (1999), GIS와 위성영상을 이용한 수질오염 인자의 공간변화분석.
6. 조명희, 부기동, 이정협, 이광재 (1999), 위성영상과 GIS를 이용한 과수재배 분포도 작성 기법에 관한 연구.
7. 한갑수 (2003), GIS와 원격탐사를 이용한 경관유형의 특성분석에 관한 연구.
8. ESRI (1997), User's Guide, Cell-based Modeling with GRID. Environmental Systems Research Institute, Redlands.
9. Fung, T. and E. LeDrew(1998), The Determination of Optimal Threshold Levels for Change Detection Using Various Accuracy Indices. PE & RS, Vol.54, No.10, pp. 1449~1454.
10. Green, K.D. Kempka, and L. Lackey(1994), Using Remote Sensing to Detect and Monitor Land-Cover and Land-Use Change. PE & RS, Vol.60, No.3, pp. 331~337.