

Landsat TM 자료를 이용한 광주시 환경변화 분석

Environmental Change Analysis of Kwangju City using Landsat TM Data

박 병 옥*
PARK, Byung-Uk

要 旨

도시의 발달에 따른 환경변화를 분석하는 것은 앞으로의 개발계획 수립시 중요한 지표가 된다. 본 연구에서는 Landsat TM 자료를 이용하여 최근 10년간 광주시의 토지피복변화를 분석하므로써 도시개발의 확산 추세를 정량화하고 그 특징을 추출하며, 지표면 온도 분석을 통한 영향 평가를 실시하고자 하였다. 토지피복변화의 분석결과 약 3%의 도시지역 증가가 이루어졌으며, 이러한 확산의 대부분이 기존 농경지역에서 진행되었고 논에 비닐하우스 단지가 많이 들어서는 영농형태의 변화를 알 수 있었다. 또한 새로이 광주시에 편입된 광산구의 집중개발 현상을 확인할 수 있었다. 지표면 온도 분석결과 온도가 토지피복종류와 밀접한 관계를 갖고 있으며, 도시확산에 따른 온도변화를 추정해본 결과 여름에 약 0.3°C의 상승효과를 가져 왔음을 알 수 있었다. 이러한 분석을 통하여 인공위성 자료를 이용한 환경변화 분석의 효율성을 입증하였다.

ABSTRACT

The analysis of environmental change followed by cultural development is useful for determining development plan hereafter. This study aimed for quantitative analysis about urban sprawl within 10 years, from 1984 to 1994, at Kwangju city, and to extract characteristics of change. For this purpose, we performed land cover classifications using Landsat TM data. And to evaluate influence of urbanization, we carried out surface temperature analysis using TM band 6 data. From the change analysis in land cover, it was found that expansion of urban areas amounted to 3% and get accomplished by exploitation of farm land area, and that a rice paddy fields were changed to vinyl house areas considerably. In the regional aspect, development was concentrated on Kwangsan-ku which had been incorporated into Kwangju city in 1988. The results from temperature analysis showed that there was close correlation between surface temperature and land cover types, and that urbanization would influence temperature to rise 0.3°C in summer. As a results, we can prove that satellite data is very effective for environmental change analysis.

1. 서 론

광주시는 전라남도에 속해 있을때 면적 215km²의 도시였으나 1986년 11월 1일 직할시로 승격된 후 1988년 1월 1일 광산군이 광주직할시로 편입되므로써 면적 501km²의 거대도시로 변화하였다. 직할시로의

승격은 단지 행정면적의 증가만이 아니라 도시개발을 가속화시켜 첨단과학단지, 상무신도심 및 일곡의 택지 개발, 하남 및 평동의 공단조성 사업 등이 이루어지고 있다.

이러한 도시개발은 긍정적인 측면과 함께 환경파괴 및 생산농지의 감소라는 부정적인 측면도 수반하므로

* 안성산업대학교 토목공학과 조교수

균형있는 개발이 요구된다 하겠다. 따라서 지금까지의 토지이용 변화의 추세를 파악하는 것은 앞으로의 개발계획을 수립하는데 중요한 지표가 될 것이다.

물론 지금까지 관계당국에서는 지적조사를 통한 변화의 추이를 파악하고 있지만 이것은 토지의 용도(지목)에 대한 것으로 실제의 토지이용과는 약간의 차이가 있다. 실세계의 토지이용현황을 파악하는데는 현지조사 및 항공사진 자료를 이용한 조사가 정확하지만 시간 및 비용이 많이 소요되고 또한 과거의 시점에 대한 조사가 어렵다.

반면, 인공위성을 이용한 원격탐사 자료는 1972년 Landsat 위성의 발사 이후 관측자료가 수치형태로 보관되어 오고 있으며, 컴퓨터를 이용한 신속한 분석이 가능하여 이를 이용한 토지이용실태 분석이 매우 효과적이며 다수의 연구를 통하여 입증되었다.²⁵⁾ 특히 Landsat TM(Thematic Mapper) 자료의 경우 열적외선 밴드를 포함한 다양한 파장에 대한 정보를 제공하여 각종 주제정보의 분석에 많이 이용되고 있다.⁴⁷⁾ 이러한 주제정보들은 지리정보시스템(GIS)과 결합되어 각종 의사결정에 활용되며, 자체적으로도 공간연산 처리가 쉬워 자료 중첩을 통한 변화분석을 효과적으로 수행할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 Landsat TM 자료를 이용하여 광주시가 직할시로 승격되기 이전인 1984년과 이후인 1994년에 대한 토지피복분류를 실시하고 그 변화를 파악하므로써, 10년 간에 걸친 도시개발의 확산 추세를 정량화 하고 그 특징을 추출하며, 아울러 각 구 단위로 비교하여 광산군 통합에 따른 영향을 분석하고자 하였다. 그리고 도시개발이 환경에 미치는 영향을 분석하기 위하여 TM 자료의 열적외선 밴드를 이용한 지표면 온도 분석을 실시한 후 토지이용의 변화에 따른 온도변화를 추정하고자 하였다.

2. 자료처리 과정

2.1 사용 자료

연구에 사용된 자료는 Landsat-5호의 TM 센서로 관측 수집된 115-36 scene 자료로서, 1984년 10월 11일 및 1994년 6월 1일에 각각 관측된 것이며 구름이 전혀 없는 양질의 자료이다. TM 자료는 공간해상력이 30m이며(밴드 6은 120m), 총 7개 밴드로 구성되어 있고 각각의 밴드는 표 2.1과 같이 주제별 분석에 적합하도록 세분화되어 있다.¹¹⁾

행정경계에 따른 자료 절출을 위하여 1/50,000 지형도를 이용하여 광주시 및 각 구의 경계를 디지털화하였고, 기하보정에 필요한 지상기준점의 선정을 위하여 1/25,000 지형도를 이용하였다. 분석결과의 비교 평가를 위하여 광주시 및 전남 통계연보 자료를 이용하였으며, 자료처리 시스템으로는 PC-486 및 ERDAS 소프트웨어를 사용하였다.

표 2.1 TM의 밴드별 파장대 및 주요 응용분야

밴드	파장대 (μm)	주요 응용분야
1	0.45-0.52 (청색)	연안수의 조사 토양과 식물의 구분 산림 유형 조사 인공지물 확인
2	0.52-0.60 (녹색)	식물 구별 및 활력도 조사 인공지물 확인
3	0.63-0.69 (적색)	엽록소에 따른 식물의 종류 구분 인공지물 확인
4	0.76-0.90 (근적외선)	식물 유형 및 활력도, 작황 조사 수역 추출 토양의 함수량 차이 조사
5	1.55-1.75 (중적외선)	식생 및 토양의 함수량 측정 구름과 눈의 구분
6	10.4-12.5 (열적외선)	식물의 피로 분석 토양의 함수량 차이 조사 온도분포 조사
7	2.08-2.35 (중적외선)	광물과 암석의 유형 조사 식물의 함수량 조사

2.2 자료처리 과정

자료처리 과정은 크게 전처리 과정, 분류 과정, 후처리 과정으로 나눌 수 있다.

전처리 과정은 위성의 관측 궤도에 따른 기하학적 왜곡을 바로잡아 지상 좌표계와 일치시키는 것으로서, 화상에서 명확히 식별되는 점(지상기준점)에 대한 화상좌표와 지상좌표를 측정 후 affine 변환식을 적용하여 정밀 기하보정을 실시하였다.

이때 재배열 방법으로는 공일차 내삽법(bilinear interpolation)을 적용하였으며, 화소 간의 간격은 28.5m가 되도록 하였다.(TM 자료의 공간해상력은 30m 또는 120m이지만 지상 수신소에서 사용자에게 공급하는 자료는 일련의 처리과정을 거쳐 모든 밴드에서 1화소가 나타내는 지상면적이 사방 약 28.5m가 된다) 이후 디지털이징한 행정경계 자료를 이용하여 광주시 영역만을 절출하였으며, 그 결과 화일크기는 806line x 1211column 이었다.(광주시는 1988년 부터 영역이 크게 확장되었으나 비교를 위하여 1984년 자료에서도 확장된 영역을 기준으로 절출하였다)

분류 과정은 전처리된 수치화상 자료를 일정한 기준에 의하여 특성에 따라 몇개의 항목으로 단순화하는 것으로서, 본 연구에서는 토지피복분류를 위하여 각 분류항목 별로 training field(임의 분류항목의 특성을 대표하는 화상영역)를 선정 후 이 특성값을 이용하여 모든 화소를 순차적으로 분류하는 감독분류(supervised classification) 방법을 사용하였고, 이 중에서도 가장 정확한 분류방법으로 알려져 있는 최대우도법(maximum likelihood classifier)을 적용하였다.⁹⁾ 최대우도법은 training field의 데이터가 정규분포를 따른다는 가정하에 각 분류항목의 평균벡터와 공분산행렬을 계산한 후, 확률밀도함수를 이용하여 각각의 화소를 확률이 가장 높은 분류항목으로 분류하는 방법이다. 또한 지표면의 온도 분석을 위해서는 밴드 6 자료에 대해 수식에 의한 화소값 변환을 통하여 온도를 산출하였다.

후처리 과정은 분류결과에 대한 가공처리 과정으로서, 먼저 10년간의 경년변화를 파악하기 위하여 1984년 및 1994년의 토지피복분류 결과를 중첩하여 변화

추세를 분석하였으며, 이것을 다시 각 구별로 나누어 특징을 비교 분석하였다. 한편 지표면의 온도는 그 관측시기가 각각 10월과 6월로서 계절에 따른 온도차가 존재하므로 우선 각 년도별로 토지피복분류 결과와 중첩하여 토지피복종류에 따른 평균온도를 산출하고, 이 결과를 기초로 토지피복변화가 온도에 미치는 영향을 분석하였다.

3. 지적통계상 지목변화 분석

광주 및 전남 통계연보 자료로 부터 1984년과 1994년의 광주시의 토지 지목별 현황을 정리하여 표 3.1에 나타냈다.¹⁸⁾ 여기서 1984년의 면적은 당시 광주시와 광산군으로 나누어져 있었으나 94년과 비교를 위하여 두 자료를 합산하여 나타냈으며, 토지의 지목은 이후 인공위성 자료에 의한 분류결과와 비교하기 위하여 적절한 항목끼리 묶었다.

즉, 인공위성 자료 분류시에는 인공적인 구조물이 나타나는 대지, 공장용지, 포장도로, 철도 등이 비슷하게 나타나므로 도시라는 항목으로 묶었으며, 목장용지나 묘지 같은 초지와 조림 밀도가 낮은 과수원 등은 전(田)과 비슷하게 나타나므로 이들을 밭으로 묶었고, 매마른 토양이 주를 이루는 잡종지, 학교용지, 체육용지, 제방 등은 나지라는 항목으로 묶었다. 전체 면적에 있어서 약간의 증가가 나타난 것은 행정경계가 매년 약간 변동되기 때문인데 광주시의 경우 매년 인접지역을 조금씩 수용해나가 증가함을 알 수 있었다.

표 3.1에서 보면 10년 동안 가장 많은 변화를 보인 부분은 도시항목으로서 전체 면적의 3%가 증가하여 도시의 팽창현상을 알 수 있으며, 기존의 논, 밭, 산림지역이 감소하여 이러한 지역들이 도시화되거나 나지로 변화하였음을 알 수 있다.

한편 광산군이 광주시로 편입되므로서 발생한 도시화의 영향을 분석하기 위하여 통합되기 전의 행정경계를 기준으로 10년간의 도시화 증가율을 산출하고, 이를 광주시에 인접한 5개 군 및 전남의 3개 도시(행정면적의 변화가 작은 도시)의 변화율과 비교하여 표 3.2에 나타냈다. 여기서 도시화 비율은 표 3.1의 도시

표 3.1 광주시 토지 지목별 현황 (자료 : 통계연보)

분류 항목 (지목)	1984년 면적(km ²)	1994년 면적(km ²)	변화 면적(km ²)
도시(대지, 공장용지, 도로, 철도용지)	54.3 (10.8%)	69.0 (13.8%)	+14.7 (+3.0%)
산림(임야, 공원)	212.6 (42.5%)	207.0 (41.3%)	- 5.6 (-1.2%)
논 (답)	127.8 (25.5%)	119.9 (23.9%)	- 7.9 (-1.6%)
밭 (전, 과수원, 목장용지, 묘지)	55.8 (11.1%)	49.3 (9.8%)	- 6.5 (-1.3%)
물 (하천, 구거, 유지)	35.9 (7.2%)	37.2 (7.4%)	+ 1.3 (+0.2%)
나지(잡종지, 학교용지, 체육용지, 제방, 기타)	14.3 (2.9%)	18.9 (3.8%)	+ 4.6 (+0.9%)
합 계	500.7 (100%)	501.3 (100%)	+ 0.6 (0.0%)

항목의 지목과 나지항목 중 학교용지 지목을 합한 비율이다.

표 3.2로 부터 크게 두가지 현상을 파악할 수 있다. 첫째, 대부분 도시지역의 도시화 비율은 10년 동안 약 3% 이상의 증가율을 보인 반면 군지역은 1% 미만의 증가율에 그쳐 도시지역의 집중개발 현상을 알 수 있다. 둘째, 광산군의 경우 도시지역과 비슷한 3%의 증가율을 나타내 다른 인접 군에 비하여 현저히 높게 나타나므로써 광주시로의 편입이 크게 영향을 미쳤음을 알 수 있다.

표3.2 지적통계상 10년간 도시화 비

행정명 (면적) \ 도시화 비율	1984년	1994년	변화율
광주시 (215km ²)	17.7%	21.1%	+ 3.4%
광산군 (286km ²)	7.4%	10.4%	+ 3.0%
나주군 (535km ²)	5.1%	5.9%	+ 0.8%
화순군 (782km ²)	2.4%	2.8%	+ 0.4%
담양군 (455km ²)	4.1%	4.8%	+ 0.7%
장성군 (514km ²)	3.9%	4.6%	+ 0.7%
함평군 (387km ²)	5.1%	5.7%	+ 0.6%
여수시 (45km ²)	16.1%	22.4%	+ 6.3%
순천시 (89km ²)	9.4%	13.0%	+ 3.6%
나주시 (61km ²)	10.5%	12.8%	+ 2.3%

4. TM 자료를 이용한 토지피복변화 분석

4.1 토지피복분류

1984년 및 1994년의 Landsat TM 자료에 대하여 기하보정 후 광주시 영역만 절출한 모습을 사진 4.1과 사진 4.2에 나타냈으며, 이것은 밴드 4,7,3에 적,녹,청색의 필터를 조합하여 위색칼라(false color)로 합성한 사진이다. 일반적으로 위색칼라사진에서 산림은 붉게 나타나며, 도시지역은 옅은 하늘색으로, 물은 남색으로, 나지는 하양계 나타난다. 1984년 사진에서는 밭에 채소들이 많이 재배되어 옅은 적색으로 나타나고 있으며 논이 도시지역과 비슷한 색조를 보이고 있다. 1994년 사진에서는 논이 모내기 후 얼마되지 않아 물이 많으므로 청색으로 나타나고 있다.

전처리 과정을 실시한 후 사전확률을 이용하는 Bayesian 최대우도법을 적용하여 토지피복분류를 실시하였으며 이때 7개 밴드 모두를 사용하여 분류하였다. 여기서 사전확률은 분류항목 간의 가중치를 의미하는 것으로, 이 방법은 training field의 조정으로도 미진한 부분을 항목간 가중치를 다르게 부여하므로써 해결할 수 있어 분류 정확도를 높일 수 있다.³⁾

분류항목으로는 두개 년도의 자료에서 공통적으로 분류할 수 있는 도시, 산림, 논, 밭, 물, 나지, 비닐하우스 등 총 7개 항목으로 설정하였다. 그러나 실제 분류시에는 분류항목 간의 분리도를 고려하여 좀 더 세분화하여 분류한 후 다시 7개 항목으로 재변환 하였다.

1984년 자료는 10월 중순 경에 관측되어 논이 경우 추수를 하지 않은지역, 완전히 추수가 끝나 나지처럼 된 지역, 그 중간 단계 지역 등 다양하게 나타나 이들

을 세분화 하였다. 6월 초에 관측된 1994년 자료에서는 밀도가 낮은 도시와 구획정리가 실시된 나지의 구분을 위해 각각 두개로 세분하였다. 산림의 경우 둘 다 밝은 색조(활엽수 계통)와 어두운 색조(침엽수 계통)로 나누었지만, 6월의 자료에서 새순의 활발한 성장에 따른 밝은 색조가 훨씬 많았기 때문에 정확한 변화 비교가 어려워 분류후 단일항목으로 통합하였다. 7개 항목으로의 재분류 후 반경 1의 원형 원도위를 이용한 majority 필터링을 적용하여 원자료의 잡음 및 혼합화소의 영향을 소거하였다.³⁾

이와 같이 분류한 광주시 토지피복현황의 최종 결과를 사진 4.3(1984년)과 사진 4.4(1994년)에 나타냈으며, 사진에서 도시는 적색, 산림은 녹색, 논은 노란색, 밭은 갈색, 물은 청색, 나지는 흑색, 비닐하우스는 담청색으로 표현하였다.

두 사진을 비교해 보면 몇가지 특징을 알 수 있다.

첫째, 1984년의 중앙상단에 보이는 나지는 하남공단 조성지역으로서 1994년에는 완전한 공단을 갖추고 북쪽으로 더욱 확장되었으며 아울러 남단으로 새로운 주거단지를 형성하였다. 또한 1994에 새로이 형성된 대규모 나지지역은 이전에 주로 논, 밭지역으로서 요즘 개발되고 있는 첨단과학단지과 평동공단지역이다. 따라서 대체적으로 농경지가 나지의 형태를 거쳐 도시화되고 있음을 알 수 있다. 둘째, 1994년에는 비닐하우스가 상당히 많아졌으며 이것이 주로 기존의 논 지역에서 대단위로 발생하고 있다. 1994년 자료가 모내기 후인 6월 초 자료임을 감안한다면 농가소득 향상을 위한 영농형태의 뚜렷한 변화를 알 수 있다. 셋째, 도시지역의 확산이 기존 도시지역을 중심으로 외곽방향으로 이루어지는 것을 알 수 있다. 이것을 강조하기 위하여 1994년 분류결과중 새로이 도시화된 지역만을 분홍색으로 표시하여 사진 4.5에 나타냈다.

4.2 분류결과의 분석

토지피복분류 결과를 수치적으로 분석하기 위하여 정량화하여 표 4.1에 나타냈으며, 그림 4.1에 각 항목의 비율을 비교하여 표현하였다. 여기서도 논, 급격한 감소와 비닐하우스의 급격한 증가가 대조를 이루

는 것을 볼 수 있으며, 도시지역이 지적통계와 같은 수치인 3% 증가 하였음을 알 수 있다.

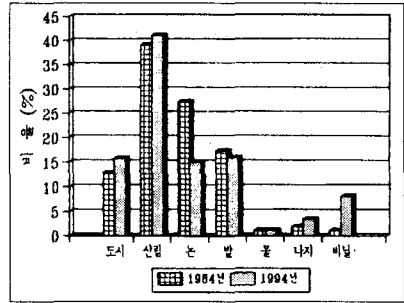


그림 4.1 광주시 토지피복 분류항목별 비율의 변화

표 4.1을 지적통계 자료인 표 3.1과 비교해보면 약간의 차이가 발생함을 볼 수 있다. 물론 지적통계는 토지의 용도를 규정한 것이고, 위성자료의 분류결과는 실제의 토지이용현황을 반영한 것이기 때문에 단순비교만을 할 수는 없다. 특히 분류항목 중 비닐하우스는 지목에는 없는 것으로, 앞서 언급한 바와 같이 이것이 주로 기존 논지역에서 발생하였으므로 토지피복분류 결과의 논과 비닐하우스 항목의 합을 지적통계의 논 항목과 비교하는 것이 타당할 것이다.

년도별 항목의 비율을 비교해 볼때 전반적으로 토지피복분류 결과가 지적통계보다 밭이 약 6% 많게, 물은 약 6% 적게 분류되었다. 이것은 지적자료에서 물로 구분하였던 하천, 구거, 유지의 지목으로 지정된 토지에는 물도 있지만 실제 물이 흐르지 않고 토사로 이루어져 잡초로 뒤덮인 지역이 많아 이것이 밭으로 분류되었기 때문으로 추정된다. 또한 지적통계보다 도시가 약간 많고 나지는 약간 적게 분류된 것은, TM 자료의 공간해상력 관계로 소규모 나지들이 도시로 분류되고 식생지역 중 그 밀도가 극히 낮은 지역이 도시로 분류되었기 때문으로 판단된다.

변화율을 비교해 보면 지적통계에서는 산림이 소량 감소한 반면 분류결과에서는 오히려 증가된 것으로 나타났고, 논,의 경우 비닐하우스로의 변화를 감안해도 논,의 감소율이 지적통계보다 크게 나타나고 있다. 이것은 1984년 자료가 추수시기여서 논이 매우 다양한

양상을 보인 관계로 분산이 높았고 이에 따라 밭중 기존 논지역에 비닐하우스 단지가 많이 들어서고 있

표 4.1 TM 자료를 이용한 광주시 토지피복분류 결과

분류 항목	1984년 면적(km ²)	1994년 면적(km ²)	변화 면적(km ²)
도 시	63.5 (12.7%)	78.6 (15.7%)	15.1 (+ 3.0%)
산 립	195.1 (38.9%)	205.5 (41.0%)	10.4 (+ 2.1%)
논	137.3 (27.4%)	75.1 (15.0%)	62.2 (-12.4%)
밭	86.4 (17.2%)	79.3 (15.8%)	7.1 (- 1.4%)
물	4.7 (0.9%)	5.3 (1.1%)	0.6 (+ 0.2%)
나 지	9.3 (1.9%)	17.2 (3.4%)	7.9 (+ 1.5%)
비닐하우스	4.8 (1.0%)	40.1 (8.0%)	35.3 (+ 7.0%)
합 계	501.1 (100%)	501.1 (100%)	0.0 (0.0%)

채소 수확이 끝난 일부지역이 논으로 분류되어 논이 실제 면적보다 많게 분류되었기 때문이다. 또한 채소가 한창 자란 밭지역이 산림과 비슷한 양상을 보여 산림의 일부가 밭으로 분류되므로서, 산림은 실제보다 적게 분류되었고 밭은 비슷한 비율을 유지 하였다. 따라서 추수시기의 자료가 식생 항목간의 분류에는 적합하지 않음을 느낄 수 있었다.

반면 도시, 밭, 물, 나지 등의 변화율은 매우 비슷하게 나타나고 있다. 따라서 1984년 자료에서의 논과 밭, 산림 간의 일부 오분류를 제외하면 양호하게 분류 되었으며, 전반적으로 실제의 토지이용실태를 잘 분석 할 수 있었음을 알 수 있다.

인공위성 자료를 이용한 토지피복분류는 지적통계에 비하여 토지피복의 분포를 한눈에 파악할 수 있다는 장점 뿐만 아니라, 경년변화의 분석에 있어서 두 자료를 중첩시켜 봄으로서 각 항목간의 변화 추이를 쉽게 파악할 수 있다는 장점이 있다. 표 4.2에 그 결과를 나타냈다.

표 4.2에서 보면 앞서 언급한 1984년 자료에서의 오분류의 영향을 쉽게 발견할 수 있다. 이것을 제외한 부분을 기준으로 평가해 볼때, 새로이 도시화된 지역이 대부분 기존 논이나 밭이었던 것을 알 수 있으며,

음을 알 수 있다. 또한 기존 나지의 대부분이 도시화 되고 새로운 나지는 기존 논 밭에서 변화되고 있으므로, 결국 농경지가 나지의 형태를 거쳐 도시화되는 현상을 확실히 알 수 있다. 반면 산림은 거의 훼손되지 않고 잘 보존되고 있음을 알 수 있다.

따라서 도시화는 우선적으로 개발이 쉬운 농경지를 대상으로 이루어지고 이후에 산림지대로 확산되는 경향이 있다는 것을 짐작할 수 있으며, 광주시와 같이 아직 농경지가 많은 도시에서는 이러한 추세가 앞으로도 지속될 것으로 예측된다. 이러한 개발 경향은 자연녹지 보존측면에서는 바람직 하지만 생산녹지의 급격한 감소를 가져오므로 적절한 대안이 요구되며, 특히 논이 비닐하우스 단지로 전용되는 것은 쌀생산4의 감소를 의미하므로 벼 재배의육 고취를 위한 대응 정책의 적극적 대응이 요구된다 하겠다.

각 구별로 도시화의 변화정도를 비교 분석해 보기 위하여 새로이 도시화된 지역 및 새로이 나지로 변환 지역의 구별 분포를 파악하여 표 4.3에 나타냈다. 여기서 보면 도시확산 부분의 52.8%가 광산구에서 진행 되었으며 동구의 경우는 거의 정체되어 있음을 알 수 있다. 이것은 광산구의 경우 면적도 크고 1984년 당시 농경지의 비율이 58.5%로 다른 구에 비해 가장 많

아 도시확산의 여건이 좋은데다 1988년 새로이 광주

Stefan-Boltzmann의 법칙에 따르면 절대온도 OK

표 4.2 광주시 토지피복의 10년간(1984-1994) 경년변화 (단위 : km²)

94년 84년	도시	산림	논	밭	물	나지	비닐 하우스	계
도시	44.9	4.0	3.3	7.0	0.9	1.1	2.3	63.5
산림	2.6	175.7	0.8	9.8	0.2	1.5	4.5	195.1
논	13.9	6.7	64.0	21.3	1.1	8.7	21.6	137.3
밭	12.2	17.2	4.3	38.0	0.5	4.5	9.7	86.4
물	0.1	0.5	0.8	0.4	2.5	0.2	0.2	4.7
나지	3.9	0.4	1.6	1.7	0.1	1.0	0.6	9.3
비닐	1.0	1.0	0.3	1.1	0.0	0.2	1.2	4.8
계	78.6	205.5	75.1	79.3	5.3	17.2	40.1	501.1

시로 편입되면서 개발이 집중되었던 것으로 판단된다. 이에 비해 동구의 경우 무동산을 끼고 있어 1984년 당시 산림이 76%나 되고 개발 가능한 농경지의 비율이 6.4%에 불과해 이미 도시화의 포화상태에 있었던 것으로 나타났다.

앞으로의 도시확산이 예상되는 신 나지 지역의 경우도 광산구가 가장 많으며, 북구도 농경지 면적이 비교적 많아 주 개발대상이 되고 있음을 볼 수 있다.

표 4.3 광주시 도시확산의 구별 분포

	구별면적, km ² (1984농경지비율)	신도시화지역 의 구별 비율	신 나 지역의 구별 비율
광산구	286.3 (58.5%)	52.8%	62.1%
북구	120.9 (35.8%)	26.6%	30.1%
동구	49.2 (6.4%)	2.5%	0.9%
서구	44.7 (32.6%)	18.1%	6.9%
합계	501.1 (45.6%)	100%	100%

5. 지표면 온도 분석

5.1 해석 이론

이상의 모든 물체는 절대온도의 4제곱에 비례하는 에너지를 방사한다. 또한 Wien의 편위법칙에 따르면 이와 같이 방사되는 에너지의 가장 우세한 파장(dominant wavelength, λ_m)은 절대온도(T)에 반비례하며, 흑체(blackbody)의 경우 식(5.1)과 같다.^{11,12)}

$$\lambda_m = A/T, A = 2898 \mu\text{mK} \quad (5.1)$$

따라서 지표면의 평균온도를 약 300K로 가정할 경우 지표면에서 방사되는 에너지의 우세파장은 약 9.7 μm 가 된다. 그러나 실제 지표면은 흑체에 근사할 뿐 흑체는 아니기 때문에 우세파장은 10 μm 이상이 된다.

대부분의 인공위성을 이용한 원격탐사는 물체가 반사 또는 방사하는 에너지를 수집하는 수동적 시스템으로서, 수집되는 대부분 파장의 에너지는 입사된 태양에너지에 대한 물체의 반사율과 관련된 것이지만 열적외선 파장(3 μm -14 μm)의 에너지에는 위에서 언급한 바와 같은 물체 표면온도에 의한 방사에너지가 포함되어 있다. 따라서 열적외선 밴드의 정보를 분석하면 물체의 온도를 추정할 수 있다.

Landsat TM의 밴드 6은 지표면 온도에 의해 방사

되는 에너지의 우세파장 수집에 적합한 $10.4\mu\text{m}$ - $12.5\mu\text{m}$ 파장대를 관측하도록 설계되어 있어 이를 이용한 지표면 온도분석이 가능하다. NASA에서 공표한 바에 따르면 TM 밴드 6으로 관측한 물체의 방사휘도 $R(\text{mWcm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1})$ 과 절대온도 $T(\text{K})$ 와의 관계식은 식(5.2)와 같다.¹³⁾

$$R=5.1292 \times 10^{-5} T^2 - 1.7651 \times 10^{-2} T + 1.6023 \quad (5.2)$$

한편, 관측된 방사휘도 R 은 다음 식(5.3)에 의하여 데이터값 V 로 기록된다. 여기서 D_{max} 는 데이터의 최대값으로 255이며, R_{max} 및 R_{min} 는 방사휘도의 최대 최소값으로 밴드 6의 경우 각각 1.5303과 0.1238이다.

$$R=V(R_{\text{max}}-R_{\text{min}})/D_{\text{max}}+R_{\text{min}} \quad (5.3)$$

따라서 식(5.2)와 식(5.3)으로부터 데이터값 V 와 절대온도 T 의 관계식은 식(5.4)로 유도되며, 이로부터 데이터 값 0에 대응되는 온도는 200K, 255에 대응되는 온도는 340K임을 알 수 있다.

$$T=172.064+\sqrt{(107.532 \times V+781.003)} \quad (5.4)$$

그러나 식(5.4)로 구한 온도는 간접측정에 의한 방사온도 T_{rad} 으로서 온도계로 직접 측정할 때의 실제온도 T_{kin} 과는 약간 차이가 있으며, 그 관계식은 식(5.5)와 같다. 여기서 ϵ 는 물체의 방사율로서 흑체를 1로 할때의 상대적인 값이다.

$$T_{\text{kin}}=\epsilon^{-1/4} T_{\text{rad}} \quad (5.5)$$

위 식으로부터 물체의 온도를 1K의 정확도로 산출하기 위해서는 물체의 방사율을 0.02의 정확도로 적용

해야 하는데, 방사율은 물체의 종류 뿐만 아니라 공간적 분포 및 파장대에 따라서도 변화하기 때문에 정확한 값을 적용하기가 어렵다.¹⁰⁾ 따라서 일반적으로 원격탐사에 의한 온도측정은 정확한 실제온도를 구하기 보다는 전체적인 온도분포의 패턴이나 상대적인 차이를 분석하는데 이용되며, 보다 정확성을 유지하기 위해서는 관측당시 지상에서의 실측자료에 의한 보정이 요구된다.

5.2 지표면 온도 분석

본 연구에서는 TM 자료의 밴드 6 데이터 값으로부터 식(5.4)에 의한 절대온도를 구한 후 식(5.5)에 의한 보정시 연구대상지역의 대부분을 차지하고 있는 식생의 평균 방사율 0.96을 적용하였으며 이후 섭씨온도로 환산하였다.

그 결과 1984년 10월의 경우 평균온도가 20.8℃, 1994년 6월의 경우 39.6℃로 분석되었다. 광주 기상청의 백엽상에서 관측한 온도자료에 따르면 1984년이 19℃, 1994년이 26℃이었다. 따라서 1984년 자료의 분석결과는 잘 부합되지만 1994년 자료의 분석결과는 상당한 차이가 발생하였으며, 이것은 Landsat-5호가 발사된지 10여년이 지나서 그동안 밴드 6의 R_{min} , R_{max} 값에 변동이 발생하였던 것으로 추측된다. 온도 분석의 주 목적이 상대적인 온도분포 파악 및 도시화의 영향을 추정하는 것이므로 이러한 차이는 무시하였다.

온도분석의 결과와 토지피복분류 결과를 중첩시켜 토지피복의 종류에 따른 평균온도를 산출한 결과 표 5.1과 같았다. 이로 부터 전반적으로 도시지역이 온도가 가장 높게 나타나고 산림 및 물이 가장 낮게 나타나며, 기온이 높은 여름철이 토지피복에 따른 온도

표 5.1 토지피복의 종류별 평균온도 (단위 : ℃)

관측일	도시	산림	논	밭	물	나지	비닐	평균온도
1984. 10. 11	22.3	19.7	21.5	21.0	19.9	21.5	21.9	20.8
1994. 6. 1	46.7	36.0	38.5	42.3	35.6	44.1	39.2	39.6

차이가 많이 발생하고 있음을 알 수 있다.

도시화에 따른 기온의 변화를 추정하기 위하여 표 5.1의 결과를 서로 다른 연도의 토지피복면적에 적용하여 평균온도를 산출하여 보았다. 즉, 84년의 온도를 94년의 토지피복상태에 적용시켰을 때 1994년 10월 11일의 평균온도는 똑같은 20.8°C가 되었으며, 94년의 온도를 84년에 적용시켰을 때 1984년 6월 1일의 평균온도는 39.3°C로 추정되었다. 결국 10년간의 도시확산으로 인하여 지표면의 평균온도가 여름철에 약 0.3°C 높아졌으며, 가을에는 별 차이가 없음을 알 수 있다.

온도분포를 시각적으로 파악하기 위하여 토지피복에 따른 온도 차이가 많이 발생한 1994년 자료에 대하여 6단계로 재분류하여 사진 5.1에 표현하였다. 이때 단계 구분은 평균값, 평균값±(0.6x표준편차), 평균값±(1.2x표준편차)를 경계로 하였다.⁶⁾ 사진 5.1을 사진 4.4 및 사진 4.2와 비교하여 살펴보면 온도분포가 토지피복분류 결과와 비슷한 양상을 보이고 있어 서

서 집중적인 개발이 이루어지고 있음을 알 수 있었으며, 이는 지적통계상으로 광주시 인근 군지역과 비교해 볼때도 현저한 차이를 보여 그 영향을 확인할 수 있었다.

넷째, 지표면 온도 분석결과 온도가 토지피복종류와 밀접한 관계를 갖고 있으며, 도시지역이 가장 높고 산림 및 물이 가장 낮게 나타났다. 아울러 10년간 도시확산에 따른 온도변화를 추정해본 결과 여름에 약 0.3°C의 상승효과를 가져 왔으며, 가을에는 별다른 차이가 없음을 알 수 있었다.

로 밀접한 관계가 있음을 알 수 있으며, 산림의 경우 고산시대 및 북서사면이 온도가 더 낮다는 것을 확인할 수 있다.

다섯째, 인공위성 자료를 이용한 환경변화 분석이 지적통계보다 토지이용의 현황 파악 및 변화추이 분석에 매우 효율적임을 입증할 수 있었으며, 따라서 앞으로 환경평가 및 국토 개발계획 수립시 원격탐사 자료가 적극 활용되어야 할 것이다.

6. 결 론

본 연구에서는 Landsat TM 자료를 이용하여 최근 10년간 광주시의 환경변화를 분석하고자 하였으며, 이를 위하여 1984년 및 1994년 자료를 이용한 토지피복분류 및 지표면 온도 추출을 실시하고 그 변화를 분석하므로써 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

첫째, 10년간 전체 면적의 약 3%의 도시지역 증가가 이루어졌으며, 이러한 도시확산이 주로 개발이 쉬운 기존 농경지 지역에서 이루어졌다. 아울러 논 의 경우 비닐하우스 단지로의 전환이 급속히 이루어져 쌀 생산지역이 많이 감소하였고, 반면 산림은 잘 보존되고 있음을 알 수 있었다.

둘째, 기존 나지의 상당부분이 도시화 되고 새로운 나지의 대부분이 기존 농경지에서 발생하여 농경지가 나지의 형태를 거쳐 도시화되는 현상을 파악할 수 있었으며, 나지가 예비 도시화지역임을 알 수 있었다.

셋째, 광산구의 경우 1988년 광주직할시로 편입되면

감사의 글

본 연구는 한국학술진흥재단 연구지원 과제의 일환으로 수행되었으며, 연구에 필요한 TM 자료 및 ERDAS 소프트웨어를 제공하여 주신 환경부 및 캐드랜드(주)의 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 광주광역시, 제35회 광주통계연보, 1995, pp. 62-63.
2. 김영표, 김순희, "인공위성 영상자료를 이용한 수도권 토지이용 실태분석", 한국GIS학회지, 제2권 제2호, 1994, pp. 135-145.
3. 박병욱 "수치위성자료를 이용한 광역의 토지피복분류 기법", 한국측지학회지, 제14권 제1호, 1996, 게재예정.
4. 안철호, 김용일, 이창노, "인공위성 데이터를 이용한

박 병 옥

- 간척지역의 환경정보의 추출”, 한국측지학회지, 제7권 제1호, 1989, pp. 49-57.
5. 안철호, 윤정섭, 안기원, “도시 및 지역연구를 위한 인공위성 Data의 분석 및 그 활용방안에 관한 연구”, 한국측지학회지, 제3권 제1호, 1985, pp. 1-13.
 6. 유근배, 지리정보론, 상조사, 1992, p. 109.
 7. 유복모, 조기성, “온배수 확산분석을 위한 Remote Sensing 활용에 관한 연구”, 한국지형공간정보학회지, 제1권 제2호, 1993, pp. 185-194.
 8. 전라남도, 제25회 전남통계연보, 1985, pp. 42-45.
 9. Brown, N. and Smith C., ERDAS Field Guide, ERDAS Inc., 1990, pp. 156-157.
 10. Curran, P.J., Principles of Remote Sensing, Longman, 1985, pp. 36-40.
 11. Lillesand, T.M. and Kiefer, R.W., Remote Sensing and Image Interpretation, John Wiley & Sons, 1994, pp. 3-9, p. 468.
 12. Sabins, F.F., Remote Sensing : Principles and Interpretation, Freeman, 1978, pp. 119-124.
 13. 리모트센싱기술센터, 地球觀測データ利用ハンドブック, 1986, pp. 6-1 - 6-2.

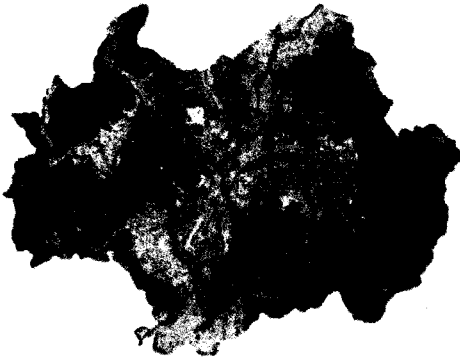


사진 4.1 광주시 TM 자료(1984. 10. 11)

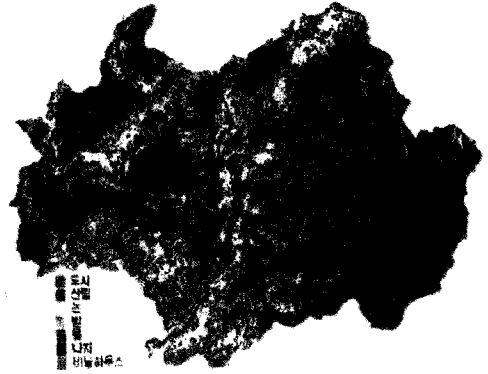


사진 4.4 광주시 토지피복분류 결과(1994)

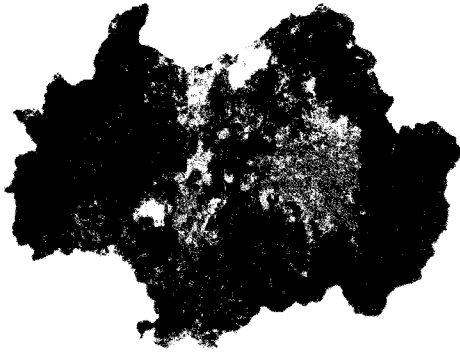


사진 4.2 광주시 TM 자료(1994. 6. 1)

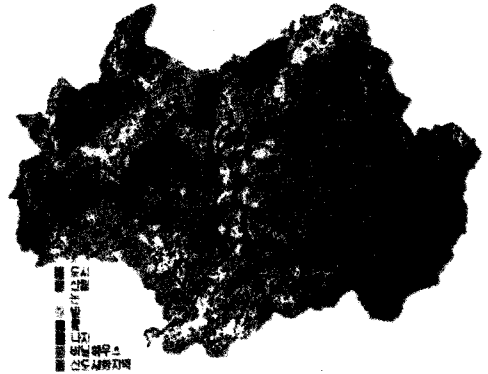


사진 4.5 신 도시화 지역 분포도(1994)

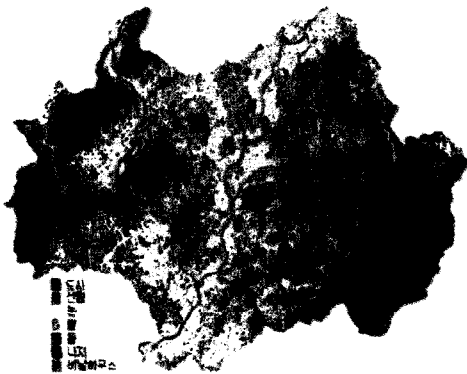


사진 4.3 광주시 토지피복분류 결과(1984)

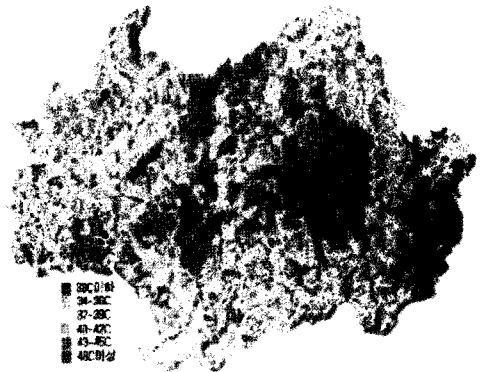


사진 5.1 지표면 온도 분포도(1994)