

위성영상과 GIS를 이용한 도시 열 공간정보 추출기법

조명희 · 이광재 · 김운수

경일대학교 도시정보지적공학과 부교수 · 대학원 석사과정
서울시정개발연구원 도시환경연구부

1. 서 언

농경사회에서 산업사회로의 발전은 도시의 내·외적 경관변화 뿐만 아니라 지형 및 기후 변화 등도 초래하게 되었는데 이러한 국지기후의 변화는 단순한 자연 기상형태의 변화로 해석되어지기보다는 지형적 요인이나 토지이용현황과 함께 분석되어지고 있다. 종래의 연구에서는 지상의 고정기상관측소 자료를 토대로 도시 기상형태의 변화를 규명하여 왔지만 오늘날 관측지점의 온도가 갖는 지역적 대표성의 신뢰성 문제가 대두됨으로서 위성원격탐사기법과 GIS(Geographic Information System)와 같은 보다 다양한 공간정보기술을 활용한 연구들이 활발히 진행되어지고 있다. 국내의 경우 박인환(1999)등은 Landsat TM band 6과 AWS기온자료와의 회귀분석을 이용하여 지표온도를 추출한 후 식생지수를 중심으로 경상북도 3개 도시의 열섬현상을 평가한바 있으며 채효석(1999)등은 Landsat TM 영상을 활용하여 식생지수, 알베도, 지표온도를 추출함으로써 지표면 수문인자의 변화를 분석하였다. 외국의 경우 Prakash. A(1999)등은 인도 탄전지대의 지표화재 연구에 있어서 Landsat TM 자료를 사용하여 지표온도를 추정하고 그 분포를 파악하였다. 한편 Yuzo Suga(2000)등은 Landsat 7/ETM+ band 6을 활용하여 히로시마 연안지역을 대상으로 지표온도 추출에 관한 연구를 수행하였다.

본 연구에서는 도시환경 특성을 고려한 새로운 도시계획 수요가 첨예한 관심사항으로 대두되고 있는 시점에서 Landsat TM 영상과 GIS의 공간분석 기능을 활용하여 도시지역에서의 토지피복현황 및 지형특성에 따른 지표온도 분포 특성 등을 상관분석함으로써 도시 열 환경의 공간적 분포특성을 보다 종합적으로 규명하고자 한다.

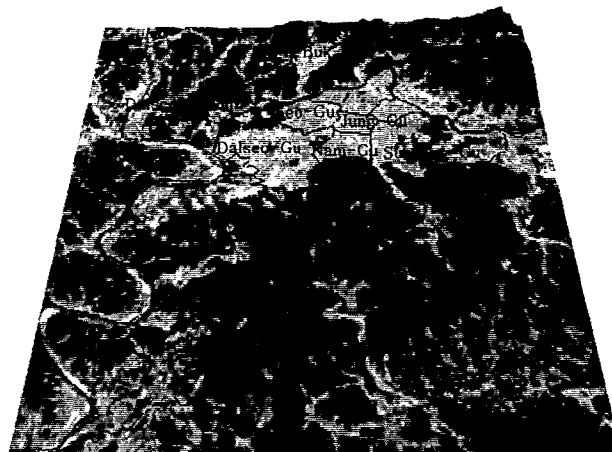


Figure 1. Landsat TM False Color Image in Taegu area(May. 07. 1999, band 4/3/2)

2. 연구자료 및 방법

연구 대상지역인 대구지역의 열 분포의 공간적 특성을 보다 효과적으로 규명하고자 다시기 Landsat TM(May. 17. 1997, May. 20. 1998, May. 07. 1999 촬영) 영상, 기상청이 운영하고 있는 대구지역 주변 8개 지점(화양, 가산, 왜관, 신령, 현풍, 경산, 하양, 금천)의 AWS 시간대별 기온자료, 1:5,000 수치지도 및 1:25,000 지형도를 이용하였다. 본 연구의 수행절차는 Figure 2와 같다.

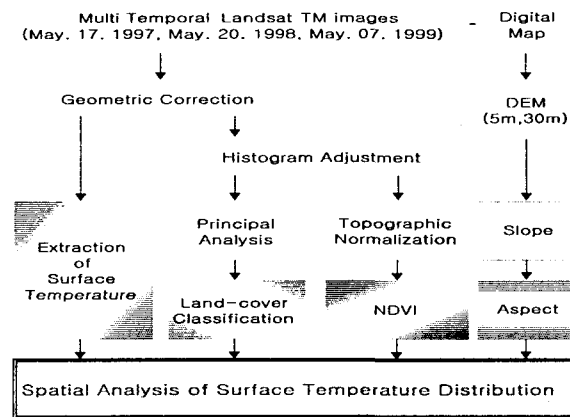


Figure 2. Flow chart of data processing with remotely sensed data and GIS

3. 위성영상을 이용한 도시공간정보의 추출

1) 이론적 배경

인공위성 영상과 같은 수치영상을 이용한 분류 및 분석은 각 밴드의 픽셀 값에 의존하여 행해지기 때문에 복사량에 존재하는 오차는 분류결과에 큰 영향을 미칠 수 있다. 따라서 보다 정확한 분류와 분석을 위해서는 사용목적에 맞는 처리 방법을 선정하여 오차를 보정해야 되는데 이런 왜곡을 보정하는 방법으로는 절대복사량 보정 방법과 상대복사량 보정 방법이 있다(John R. Jensen, 1996).

본 연구에서는 자료 수집 당시에 측정된 대기정보를 필요로 하지 않기 때문에 간단하게 수행할 수 있는 상대복사량 보정방법 중 Histogram 조정기법으로 대기의 영향을 감소하였다. 또한 이 방법은 각 분광밴드에 대해 계산된 편의치(bias)를 감해줌으로서 이루어질 수도 있는데 편의치는 모든 밴드들 중 수심이 깊은 물과 같은 reference target의 휘도값(Brightness value)에 대한 Histogram을 계산함으로써 측정할 수 있으며 계산식은 아래와 같다(John R. Jensen, 2000).

$$\text{Output } BV_{i,j,k} = \text{Input } BV_{i,j,k} - \text{bias}$$

where, Input $BV_{i,j,k}$ = input pixel value at line i and column j of band k

Output $BV_{i,j,k}$ = the adjusted pixel value at the same location

지형효과 보정의 궁극적인 목적은 동일한 대상체가 태양의 위치에 따라 서로 다른 반사값을 갖고 있을지라도 동일한 반사값으로 보정하는데 있다(Meyer, 1993). 본 연구에서는 분지형 도시인 대구지역의 지형적 특성을 고려하여 도심을 둘러싸고 있는 산악지역에서의 지형효과 보정을 위해서 Lambertian Reflectance Model을 사용하였다(Colby, 1991).

$$BV_{normal \lambda} = BV_{observed \lambda} / \cos i$$

where, $BV_{normal \lambda}$ = normalized brightness values
 $BV_{observed \lambda}$ = observed brightness values
 $\cos i$ = cosine of the incidence angle

2) Landsat TM 영상을 활용한 지표온도 추출

절대온도 0° K 이상의 모든 물체는 그 온도에 상응하는 열에너지를 전자파의 형태로 방사하는데 이렇게 대상물로부터 방사되는 전자파를 측정함으로써 온도에 대한 정보를 획득할 수 있다. Landsat TM영상의 열적외선 영역(10.4~12.5 μ m) band를 이용하여 넓은 지역에 대한 지표면 온도를 추출할 수 있는데 이 경우 위성에 탑재된 센서가 흑체(blackbody)와 접해있다는 가정 하에 이루어진다. 본 연구에서는 NASA모형을 이용하여 표면온도를 추정하였는데 Landsat TM 영상자료의 각 DN(Digital Number)에 대한 방사휘도를 이용하여 다음과 같이 절대온도를 계산할 수 있다 (Markham and Becker, 1986).

$$T = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{Ls} + 1\right)}$$

T = temperature in degrees Kelvin

Ls = spectral radiance in $w \cdot m^{-2} \cdot ster^{-1} \cdot mm^{-1}$

K1 = calibration constant 1 in $w \cdot m^{-2} \cdot ster^{-1} \cdot mm^{-1}$ (607.76)

K2 = calibration constant 2 in degree Kelvin(1260.56)

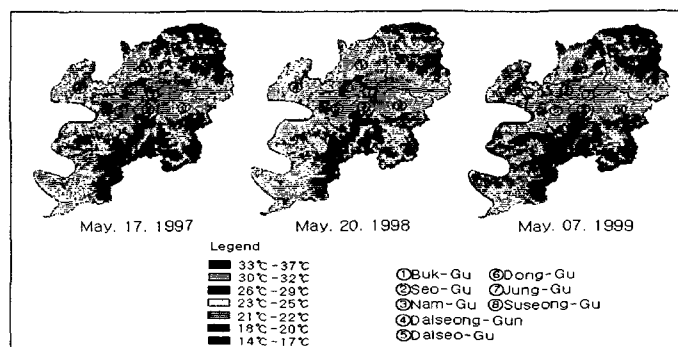


Figure 3. Distribution of surface temperature

Figure 3의 분류결과를 살펴보면 각 년도별로 21~22°C에 해당하는 클래스가 도시

외곽의 농경지와 저지대 산림지역에 걸쳐 가장 넓게 분포하고 있음을 알 수 있다 (1997:267.49km², 1998:318.80km², 1999:317.52km²). 한편 금호강 유역의 주요 공업단지와 대구 도심의 중심상업지역, 고 밀도 주거지역 및 공항지역은 평균 30℃이상의 고온대를 형성하고 있는데 이들 지역은 다른 저온 지역과 뚜렷한 온도 분포대 차이를 보이고 있다.

3) 도시공간정보 추출

3-1 토지피복분류도

토지피복분류는 광역지역에 대한 토지정보를 효율적으로 수집할 수 있는 위성원격탐사의 중요 응용기법 중 하나로서 도시지역에서는 도시의 성장과정을 보다 체계적으로 파악할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

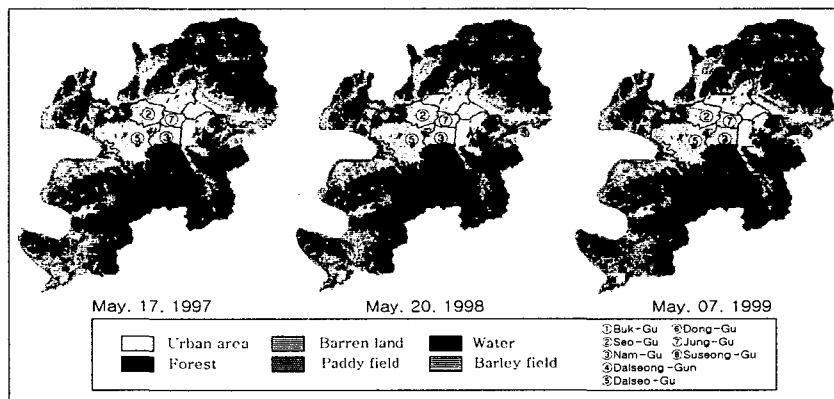


Figure 4. Landcover classification map in Taegu city

본 연구에서는 총 6개의 클래스(도시, 나대지, 수계, 삼림, 논, 밭)로 1:5,000수치지도 및 1:25,000지형도에서 모식지역(Training Area)을 선정하여 감독분류(Supervised Classification) 기법 중 Maximum Likelihood Classification 기법으로 토지피복분류를 실시하였다(참조 Figure 4).

3-2 식생지수

오늘날 고도화된 산업화 사회에서 광역지역에 대한 식생정보는 시·공간적으로 급격하게 변화하기 때문에 현지 조사를 통한 정보의 획득은 현실적으로 매우 어려운 상황이다. 하지만 살아있는 식생의 경우 근적외선(0.76~0.90 μ m) 영역에서는 강한 반사도를 보이는 한편 적색(0.63~0.69 μ m) 영역에서는 엽록소에 의한 반사도가 낮게 나타나는 위성원격탐사 원리를 이용하여 넓은 지역에 대한 식생정보를 보다 효과적으로 분석할 수 있게 되었다. 본 연구에서는 가장 일반적으로 사용되고 있는 NDVI 산출 공식을 이용하였다.

$$NDVI = (band4 - band3) / (band4 + band3)$$

식생의 활력도를 나타내는 NDVI는 -1에서 1사이의 값을 나타내는데 본 연구에서는 이를 8bit(0-255) 값을 가지는 이미지로 변환하였다. 그 결과 Figure 5와 같이 대구중심지역에서 교외지역으로 나아갈수록 NDVI값이 증가한다는 사실을 알 수 있었는데 이는 대구지역이 주변 산으로 둘러싸여 있는 분지지역이라는 지형적 특성 때문에 대구중심지역의 낮은 NDVI 분포와 교외지역의 높은 NDVI 분포대가 뚜렷하게 구분되어 나타나고있다.

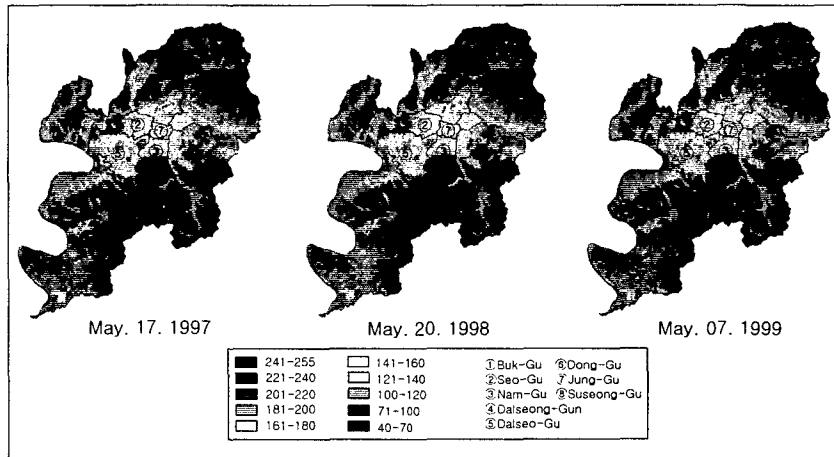


Figure 5. Preparation of NDVI distribution map

3-3 지형정보분석

대구시 지역의 지형 특성별 열 분포 패턴을 보다 세분화하여 분석하고자 Landsat TM 영상의 공간해상도와 동일한 30m DEM(Digital Elevation Model)을 생성하여 사면 방향과 경사를 구하였다.

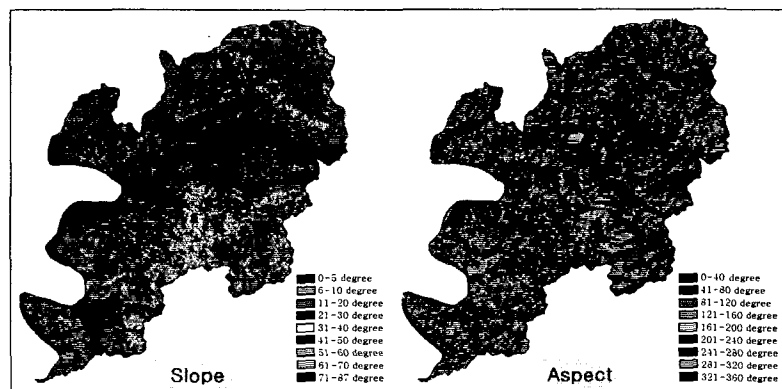


Figure 6. Analysis of topographic factor

4. 도시 열 분포의 공간적 상관분석

1) NASA모델에 의한 지표온도와 AWS기온자료의 상관관계

본 연구에서는 Landsat TM band 6의 DN값을 활용하여 추출한 지표온도와 AWS 현지 관측자료의 상관정도를 비교, 분석하기 위하여 대구시지역 주변 8개 지점의 AWS 기온자료를 활용하여 Pearson correlation coefficient(R)를 구하였다.

Table 1. Correlation analysis between surface temperature and AWS data unit: °C

NO	May. 17. 1997		May. 20. 1998		May. 07. 1999	
	AWS data	TM band 6	AWS data	TM band 6	AWS data	TM band 6
813	20.1	21	24.9	25	20.9	21
824	20.9	20	23.2	22	22.6	22
825	20.8	20	23.2	22	21.2	21
826	21.7	22	24.9	25	23.0	23
827	23.1	23	23.9	24	23.7	25
828	23.3	24	24.0	25	21.9	23
840	21.6	22	22.4	22	22.7	23
848	22.1	22	24.2	24	22.6	22
R	0.88		0.90		0.85	

Landsat TM band 6을 이용하여 추출된 지표온도 값과 AWS 현지 관측자료와의 상관정도는 Table 1의 결과로 확인할 수 있었다. 하지만 지표온도와 AWS 기온자료와는 $\pm 0.5 \sim 1.5^\circ\text{C}$ 정도의 차이를 보이고 있다.

2) 토지피복분류 형태별 지표온도 분석

토지피복유형별 지표온도의 평균값을 구하기 위하여 각 클래스별로 무작위로 100개의 sample point를 선정, 총 600지점에서 클래스별 지표온도 값을 추출하였는데 그 결과는 Table 2와 같은데 도시지역, 나대지, 밭, 논, 산림, 수계 순으로 높은 온도분포대를 보이고 있으며 지표온도는 그 주변 지역의 토지이용현황에 따라 패턴을 달리한다는 것을 알 수 있었다.

Table 2. Surface temperature per landcover classes unit: °C

Class	May. 17. 1997	May. 20. 1998	May. 07. 1999
Urban area	26.35	28.22	28.50
Barren land	25.31	29.08	27.13
Water	18.24	20.37	19.17
Forest	20.75	21.96	20.90
Paddy field	22.48	24.27	22.69
Barley field	24.56	25.40	22.69

3) 지표온도와 NDVI와의 상관성 분석

Table 3의 결과에서 뚜렷한 음(-)의 상관관계를 확인할 수 있었으며 이를 기초으로 한 지표온도와 NDVI의 회귀분석 결과 식생에 의한 지표온도를 약 70%정도 설명할 수 있다고 판단된다.

Table 3. Correlation analysis between surface temperature and NDVI

YEAR	Regression Equation	R	R ²
May. 17. 1997	$Y = -7.3645x + 369.99$	-0.8979	0.8062
May. 20. 1998	$Y = -7.62x + 382.18$	-0.8667	0.7512
May. 07. 1999	$Y = -6.5278x + 343.52$	-0.8187	0.6702

4) 지형특성별 열 분포 패턴 해석



Figure 7. Temperature distribution map by topographic characteristics(May. 07. 1999)

1999년도 대구시 지역에서 해발고도 60m이내, 사면경사 40degree이내, 지표온도 25~40°C의 조건을 부여하였을 때에 Figure 7과 같은 온도분포 특성을 보이고 있다. 이들지역에서의 토지피복현황을 분석한 결과 약 90% 이상이 도시지역으로 분류되었음을 알 수 있었다.

5. 요약 및 결론

본 연구에서는 위성원격탐사 자료와 GIS를 이용하여 도시지역의 토지피복분류 형태별 지표온도패턴을 지형적 특성과 함께 분석하는데 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. Landsat TM band 6을 이용하여 추출한 지표온도를 AWS 현지관측자료와 상관분석한 결과 약 85% 정도의 신뢰성을 얻을 수 있었으나 지표온도와 AWS 기온자료와는 약 ±0.5~1.5°C 정도의 차이를 보이고 있다.

2. 토지피복분류 형태별 지표온도를 분석한 결과 도시지역, 나대지, 밭, 논, 삼림, 수계순으로 높은 온도 분포대를 보이고 있음을 알 수 있었으며 도시외곽으로 갈수록 녹지의 활력도가 점진적으로 증가하는 한편 점차 저온대의 지표온도 분포대를 형성하고 있다. 반면 도심지에서는 점적인 형태로 분포되어 있는 공원녹지 지역에서만 낮은 온도분포대를 보이고 있어 향후 도시공원녹지의 공간확충 필요성이 요구된다.

3. Sample 지역에서 추출한 지표온도와 NDVI를 상관분석한 결과 80% 이상의 음(-)의 상관성을 확인할 수 있었으며 회귀분석결과 세 시기 평균 74%의 신뢰성을 보이고 있다. 한편 가장 높은 온도 분포대를 나타내는 금호강 유역의 공장지대 및 도심지역이 가장 낮은 녹피율을 보이고 있는 것으로 확인되었다.

4. 대구시 지역의 지형특성별 열 분포 현황을 분석한 결과 해발고도 65m 미만 및 사면경사 5 degree 이내, 사면방향이 남동쪽으로 향해있는 지역에서 높은 열 분포대를 보이고 있는 것으로 확인되었다. 하지만 사면방향에 의한 온도 분포대는 계절 및 위성의

촬영시각에 따라 서로 다른 결과를 보일 것으로 예상되어진다. 한편 이들 지역에서 토지피복분류 현황은 90%이상이 도시지역으로 분류되어있음을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- 김영섭 · 서애숙 · 조명희, 1998, 원격탐사개론, 동아기술.
- 박경훈 · 정성관, 1999, 광역적 녹지계획 수립을 위한 도시열섬효과 분석, 한국지리정보학회지, 2권 3호, pp.35-45.
- 박인환 · 장갑수 · 김종용, 1999, 추이대를 중심으로 한 경상북도 3개 도시의 열섬평가, 한국환경평가학회, 제8권 제2호, pp.73-82.
- 이용식, 1990, 도시열섬 분석에 있어서 원격탐사 기법의 적용에 관한 연구, 서울대학교 환경대학원 환경계획학과 석사학위논문.
- 양인태 · 김만덕 · 윤범한 · 김연준, 1995, Landsat TM 영상에 의한 난지도 매립지의 발생 열 분포해석, 환경영향평가학회지, 제14권 제2호, pp.59-63.
- 조명희 · 이광재 · 서애숙 · 오성남 · 김운수, 2000, 위성영상과 GIS를 이용한 도시표면온도의 공간적 분포특성에 관한 연구, 한국지리정보학회 2000 추계 학술논문 발표대회, pp.184-191.
- 채효석 · 송영수, 1999, Landsat TM 자료를 이용한 지표면 수문인자 변화 분석, 한국지리정보학회지, 2권 3호, pp.46-59.
- Prakash. A and R. P. Gupta, 1999, Surface fires in Jharia coalfield, India-their distribution and estimation of area and temperature from TM data, International Journal of Remote Sensing, Vol.20, No.10, pp.1935-1946.
- Colby, J. D., 1991, Topographic normalization in rugged terrain, PE & RS, Vol.57, No.5, pp.531-537.
- John R. Jensen, 1996, Introductory digital image processing, Prentice Hall.
- John R. Jensen, 2000, Introductory digital image processing-second edition, Prentice Hall.
- Markham, B.L and J. L. Becker, 1986, Landsat MSS and TM post-calibration dynamic ranges, exoatmospheric reflectances and at-satellite temperatures, EOSAT Landsat Tech Notes, 1:3-7.
- Meyer, P., K. I. Itten, T. Kellenberger, S. Sandmeier, and R. Sanmeier, 1993, Radiometric Corrections of topographically induced effects on Landsat TM data in an Alpine environment, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol.48, No.4, pp.17-28.
- Pat S. Chavez, Jr, 1996, Image-Based Atmospheric Corrections-Revisited and improved, PE & RS, Vol.62, No.9, pp.1025-1036.
- Yuzo Suga, Motohide Yoshimura, Shoji Takeuchi and Yoshinari Oguro, 2000, Verification of surface temperature from Landsat 7/ETM+data, The 21st Asian Conference on Remote Sensing, pp.182-187.