

원격탐사자료를 이용한 도시지역 토지피복과 열 분포 상관성 분석

Relationship Analysis of Urban Land Cover with Temperature Distribution using Remotely Sensed Data

조명희¹ · 이광재¹ · 김운수² · 전병운³
Myung-Hee Jo¹ · Kwang-Jae Lee¹ · Woon-Soo Kim² · Byong-Woon Jun³

¹경일대학교 도시정보·지적공학과
Tel)+ 82-53-850-7312, Fax)+ 82-53-854-1272
mhjo@bear.kyungil.ac.kr, leek-j@hanmail.net

²서울시정개발연구원 도시환경연구부
woonkim@sdi.re.kr

³Dept. of Geography, University of Georgia, USA
bwjun@arches.uga.edu

요 약

오늘날 원격탐사와 GIS를 이용한 시·공간적 분석은 인간활동에서부터 자연환경에 이르기까지 다양한 정보를 추출하기 위한 기법으로 자주 사용되고 있다. 본 연구는 위성원격탐사자료와 GIS를 활용하여 시기별 도시지역에서의 열 분포 특성을 추출하여 토지피복과의 상관관계를 시·공간적으로 해석하였다.

이를 위하여 세 시기간 도시 열 분포의 특성을 도시성장과 함께 해석함과 동시에 보다 명확하게 규명하기 위하여 Landsat TM band 6의 DN value를 이용한 지표온도 추출에 있어서 NASA 모델을 활용하여 대구시 주변지역 8개 지점의 AWS 실측 값과 서로 상관 분석한 결과 평균 0.85의 상관정도를 얻었다. 또한 토지피복분류를 통하여 도시성장애 따른 열 분포 및 식생지수의 변화를 시·공간적으로 해석하기 위하여 1,000지점에서 sample 자료를 추출하여 지형특성별 열 분포의 패턴을 분석하였다. 이와 같은 결과는 향후 도시환경 특성을 고려한 환경 친화적인 도시계획수립에 있어서 중요한 인자로 작용할 것으로 사료된다.

I. 서 론

오늘날 도시의 급격한 팽창으로 인하여 도시의 내·외적 경관변화 뿐만 아니라 도시의 지형 및 기후의 변화 등도 초래하게 되었는데 이러한 국지기후의 변화는 단순한 자연 기상형태의 변화로 분석되어지기 보다는 대상지역의 지형적 요인이나 토지 이용과 함께 해석되어지고 있다. 종래의 연구에서는 지상의 고정기상관측소 자료를 토대로 도시의 기상형태 변화를 규명하여 왔다. 하지만 관측지점의 온도가 갖는 지역적 대표성이 문제가 되고 광범위

한 관측을 위해서는 보다 많은 인적·물적 자원이 요구된다. 또한 대부분의 기상관측소 위치가 도심과 산업시설 등으로부터 분리되어있으며 시가지보다 높은 해발고도에 자리잡고있다는 문제점 등이 있다. 하지만 최근 고해상도 위성영상 자료를 활용한 원격탐사기법과 GIS(Geographic Information System)를 이용한 다양한 공간분석 기법의 활용 가능성이 입증되면서 이를 활용한 연구들이 활발히 진행되어지고 있다. 이러한 원격탐사 분야는 위성으로부터 취득된 자료의 연속성, 광역성, 경제성이라는 특성을 기반으로 환경, 기상,

재해 및 지리정보시스템과의 연계를 통하여 그 활용범위의 폭을 급속히 넓혀가고 있는 실정이다.

우선 국내의 연구동향을 보면 박인환(1999)등은 Landsat TM band 6과 AWS 기온자료를 이용하여 지표온도 및 식생지수를 중심으로 경상북도 3개 도시의 열섬현상을 평가한바 있으며 채효석(1999)등은 지표면 수문인자 변화 분석을 위하여 Landsat TM 자료를 활용하여 식생지수, 알베도, 지표온도 등을 추출하였다. 외국의 경우 A. Prakash(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 대두되는 시점에서 각종 도시개발과정에서 도시환경에 미치는 영향을 보다 명확히 규명하기 위하여 Landsat TM 영상과 GIS의 공간분석 기능을 활용하여 도시지역 토지피복과 지형 및 지표온도 분포 특성 등을 상관분석하여 도시환경의 공간적 특성을 보다 체계적으로 규명하고자 한다.

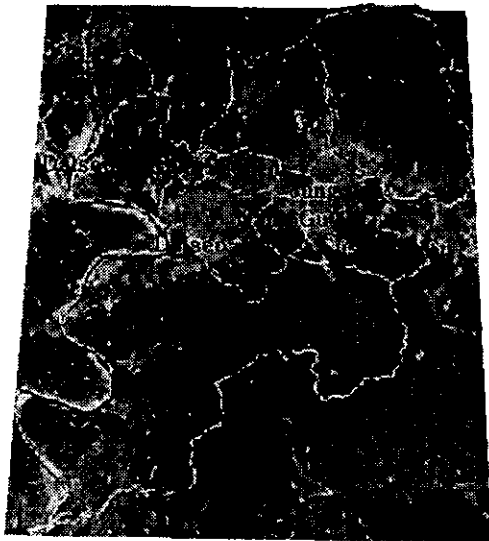


Figure 1. Location of the study area (Landsat TM, May. 07. 1999, band4/3/2)

II. 연구자료 및 방법

연구 대상지역인 대구지역의 지형 및 열분포의 특성을 분석하여 도시환경의 공간적 변화를 보다 효과적으로 규명하고자 본 연구에서는 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.

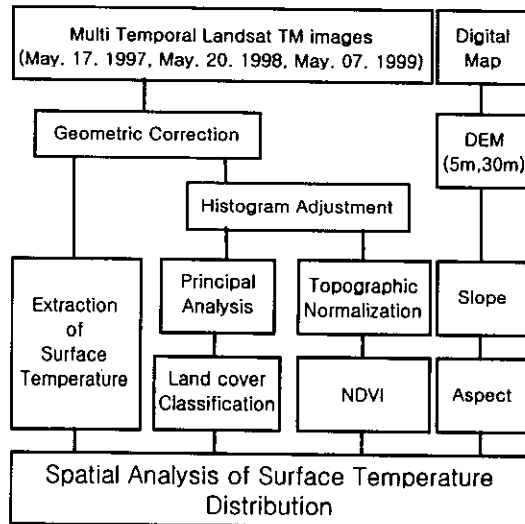


Figure 2. Flow chart of data processing on remotely sensed data and GIS

우선 AWS(Automatic Weather Station) 자료에서 Landsat TM 영상의 대구지역 촬영시간대를 고려하여 오전10시 기온자료만을 정리하였으며 1:5,000 수치지도와 1:25,000 지형도를 확인하여 AWS의 정확한 좌표를 추출하였는데 이는 Landsat TM band 6을 이용하여 추출한 지표온도의 사후 검증자료로 활용하기 위한 선행작업으로 이루어졌다. 1:5,000 수치지도 및 1:25,000 지형도에서 GCP(Ground Control Point)를 추출하여 다시기 Landsat TM영상을 NT ERDAS Imagine 8.4에서 기하보정(Geometric Correction)을 실시하였는데 이때 발생한 RMS(Root Mean Square)오차는 0.4 화소(pixel) 이내이고 DEM(Digital Elevation Model) 및 GIS자료와의 통합을 위하여 3차 중첩 내

삽법(Cubic Convolution)을 이용하여 30m로 재배열(Resampling) 하였다. 한편 NASA 모델을 이용하여 지표온도를 추정하였으며 본 연구에서는 대기 및 지형의 영향을 고려하여 히스토그램 조정 및 지형 정규화를 실시하였다. 또한 1:5,000 수치지도에서 5m 간격의 등고선만을 추출하여 5m, 30m의 DEM을 생성하였으며 slope 및 aspect를 구하여 연구대상지역의 열 분포 현황을 지형적 특성과 통합하여 분석하였다.

III. Landsat TM 영상을 활용한 도시 열 분포특성의 시·공간적 해석

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 왜곡을 보정하는 방법으로는 절대복사량 보정 방법과 상대복사량 보정 방법이 있으며 보통 상대복사량 보정 방법은 자료 수집 당시에 측정된 대기정보를 필요로 하지 않기 때문에 간단하게 수행할 수 있다 (John R. Jensen, 1996).

상대복사량 보정 방법으로는 Histogram 조정기법과 회귀식을 이용한 Multi-date 영상의 정규화 방법이 많이 사용되고 있는데 본 연구에서는 Histogram 조정기법을 사용하여 대기보정을 실시하였다. 이 방법은 가시광선 영역이 대기 산란에 민감하게 반응하는 반면 0.7 μ m 이상의 적외선 영역은 대기 산란의 영향을 별로 받지 않는다는 사실에 기초한 것으로 각 가시광선 영역에서 0에 가까운 값을 갖게 하기 위해 히스토그램을 조정하는 방법이다. 또한 이 방법은 각 분광밴드에 대해 계산된 편의치(bias)를 빼줌으로서 이루어질 수 있는데 계산식은 아래와 같다(John R. Jensen, 2000).

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

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

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

한편 지형의 경사와 방위는 그림자 지역에서 화소의 밝기 값에 심각한 영향을 끼치는데 특히 산악지형에서 지형효과에 의한 왜곡을 많이 볼 수 있다. 이와 같은 지형효과 보정의 목적은 동일한 대상체가 태양의 위치에 따라 다른 반사값을 갖고 있을지라도 동일한 반사값으로 보정하는데 있다(Meyer, 1993).

본 연구에서는 지형효과 보정을 위해서 Lambertian Reflectance Model을 사용하였다(Colby, 1991).

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

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

여기서 incidence angle는 다음과 같이 해석되어진다.

$$\cos i = \cos(90 - \theta_s)\cos\theta_n + \sin(90 - \theta_s)\sin\theta_n \cos(\phi_s - \phi_n)$$

i = the angle between the solar rays and the normal to the surface

θ_s = the elevation of the sun

ϕ_s = the azimuth of the sun

θ_n = the slope of each surface element

ϕ_n = the aspect of each

2. Landsat TM band 6을 이용한 지표온도 추출

Landsat TM에는 지표면 온도를 추출할 수 있는 열적외선 영역(10.4~12.5 μ m)의 센서를 탑재하고 있어 넓은 지역에 대한 지표면 온도를 추출할 수 있는데 이 경우 위성에 탑재된 센서가 흑체(blackbody)와 접해있다는 가정 하에서 계산된다.

본 연구에서는 NASA 모델을 이용하여 표면온도를 추정하였는데 Landsat TM 영상을 이용하고자 할 때는 각 DN(Digital Number)에 대해 방사적 그리고 기하학적 으로 검정한 검정값을 QCAL이라는 기호로서 나타내어 이용하는데 QCAL값으로부터 분광휘도 L_λ 로의 변환은 특정한 밴드에 대한 사후 검정범위의 극한값인 LMIN

L_λ 와 $LMAX_\lambda$ 이 주어졌을 때 다음 식에 의하여 구할 수 있다(Markham and Becker, 1986).

$$L_\lambda = \frac{(LMAX_\lambda - LMIN_\lambda)}{QCALMAX} \times QCAL + LMIN_\lambda$$

QCAL = quantized and calibrated scaled radiance of a specific pixel in units of digital numbers(DN)

$LMIN_\lambda$ = minimum spectral radiance at QCAL($-0.1238mW \cdot cm^{-2} \cdot ster^{-1} \cdot \mu m^{-1}$ for TM band 6)

$LMAX_\lambda$ = maximum spectral radiance at QCAL($1.560mW \cdot cm^{-2} \cdot ster^{-1} \cdot \mu m^{-1}$ for TM band 6)

QCALMAX = maximum DN(255)

이상과 같이 구해진 방사휘도를 이용하여 다음과 같이 절대온도를 계산할 수 있다.

$$T_s = \frac{K_2}{\ln\left[\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right]}$$

T = temperature in degrees Kelvin

L_λ = spectral radiance($mW \cdot cm^{-2} \cdot ster^{-1} \cdot \mu m^{-1}$)

K_1 = calibration constant 1(60.776K)

K_2 = calibration constant 2($1,260.56 mW \cdot cm^{-2} \cdot ster^{-1} \cdot \mu m^{-1}$)

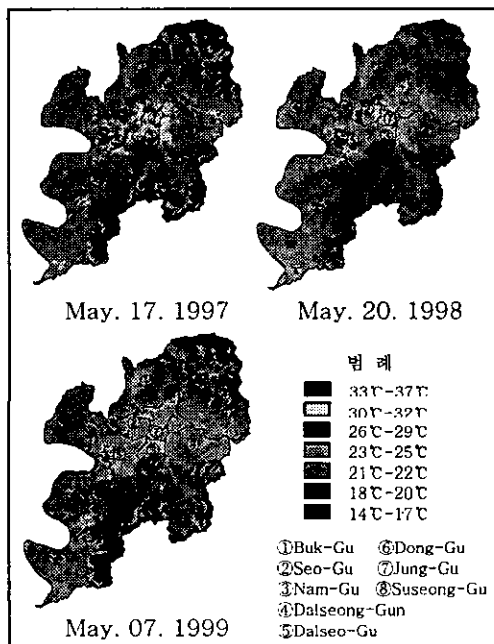


Figure 3. Distribution of surface temperature

본 연구에서는 대구시 지역의 열 분포패턴을 보다 명확하게 파악하기 위하여 band 6에서 산출된 지표온도를 7개의 클래스로 재 분류하였다

Figure 3에서 분류결과를 살펴보면 각년도별로 21~22°C에 해당하는 클래스가 도시 외곽의 농경지와 저지대 산림지역에 걸쳐 가장 넓게 분포하고 있음을 알 수 있다. 그러나 금호강 유역의 공업단지와 도심의 중심상업지역 및 공항지역은 평균 30°C이상의 고온대를 형성하고 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.

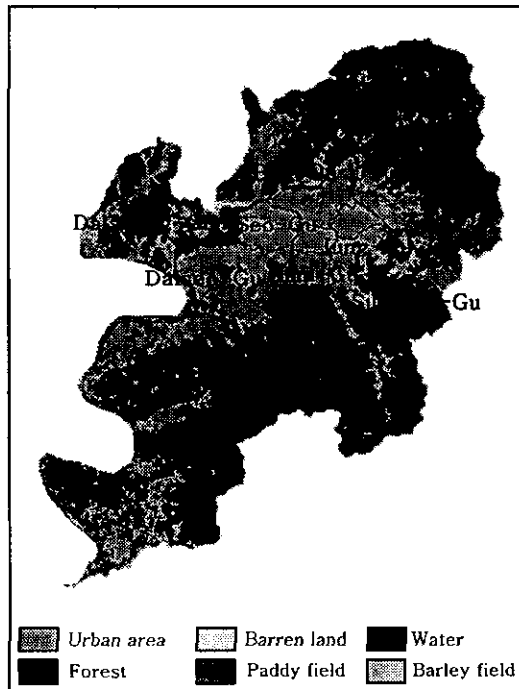


Figure 4. Landcover classification map in Daegu city(May. 07. 1999)

본 연구에서는 총 6개의 클래스(도시, 나대지, 수계, 산림, 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.

3-2. 식생지수

오늘날 고도화된 산업화 사회에서 광역 지역에 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.

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

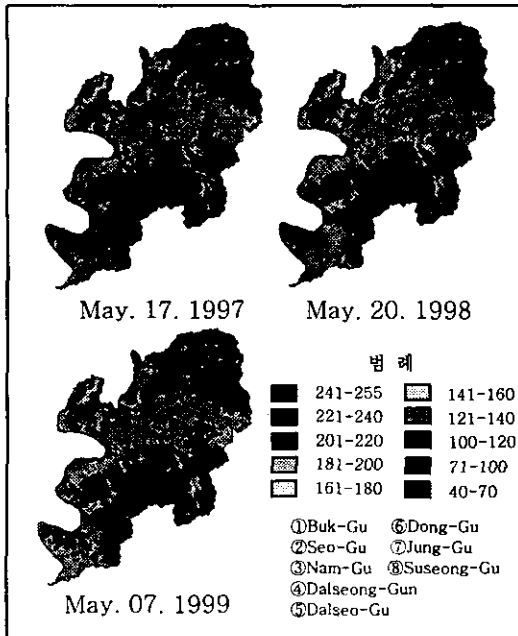


Figure 5. Preparation of NDVI distribution map

식생의 활력도를 나타내는 NDVI는 -1에서 1 사이의 값을 나타내는데 본 연구에서는 이를 8bit 값을 가지는 이미지로 변환하였다(Figure 5 참조).

3-3. 지형분석

대구시 지역의 열 분포 현황을 지형적

특성과 함께 분석하고자 Landsat TM 영상의 공간해상도와 동일한 30m DEM을 생성하여 aspect 와 slope를 구하였다.

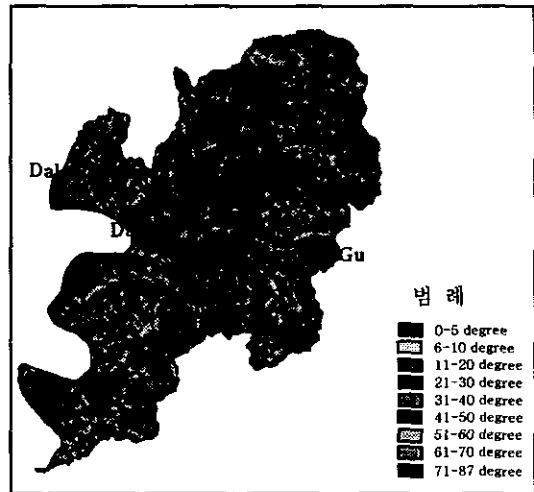


Figure 6. Slope of Daegu area

IV. 분석 및 고찰

1. Landsat TM band 6에서 추출된 지표온도와 AWS기온자료의 상관관계

본 연구에서는 Landsat TM band 6의 DN값을 활용하여 추출된 지표온도와 AWS 현지 관측자료의 상관정도를 비교, 분석하기 위하여 대구지역 주변 8개 지점의 AWS 기온자료를 활용하여 Pearson correlation coefficient(R)을 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	23
827	23.1	23	23.9	24	23.7	25
828	23.3	24	24	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 활용하여 추출된 지표온도 값과 AWS 현지관측 자료와는 서로 상관성이 있음이 Table 1을 통해서

확인되었다. 하지만 지표온도와 AWS 기온자료와는 약 $\pm 0.5 \sim 1.5^\circ\text{C}$ 정도의 차이를 보이고 있으며 본 연구에서는 8개 지점의 AWS자료를 활용하여 대구지역의 열 분포 현황을 검증하였는데 보다 많은 AWS 관측자료의 활용 필요성이 대두되었다.

2. 토지피복분류 형태별 지표온도 패턴 분석

우선 토지피복유형별 지표온도의 평균값을 구하기 위하여 각 클래스별로 무작위로 100개의 sample point를 선정, 총 600지점에서 클래스별 지표온도 값을 추출하였는데 그 결과는 Table 2와 같다.

Table 2. Surface temperature per landcover classes Unit : $^\circ\text{C}$

Class	May. 17. 1997	May. 20. 1998	May. 07. 1999
Urban area	26.35	28.22	28.5
Barren land	25.31	29.08	27.13
Water	18.24	20.37	19.17
Forest	20.75	21.96	20.9
Paddy field	22.48	24.27	22.69
Barley field	24.56	25.4	22.69

Table 2의 결과에서 도시지역, 나대지, 밭, 논, 삼림, 수계 순으로 높은 온도 분포대를 보이고 있으며 도심 지표온도는 그 주변 지역의 토지이용현황에 따라 열 분포 패턴을 달리한다는 것을 알 수 있었다.

3. 지표온도와 NDVI와의 상관성 분석

지표온도와 NDVI간의 상관정도를 파악하기 위하여 임의로 선정한 약 400군데의 sample지역에서 추출한 지표온도별 NDVI 값을 구하여 상관분석 및 회귀분석을 실시하였다. 그 결과는 Table 3과 같다.

Table 3. Correlation analysis between surface temperature and NDVI

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

Table 3의 상관계수(R)에서 나타나듯이 지표온도와 NDVI 사이에는 뚜렷한 음(-)

의 상관관계가 존재하고 있다는 사실을 알 수 있었다. 또한 지표온도를 종속변수로 NDVI를 독립변수로 하여 회귀분석을 실시한 결과 식생에 의한 지표온도를 약 74%정도 설명할 수 있다고 판단된다.

4. 지형적 열 분포 특성의 공간적 해석

본 연구에서는 대구시의 열 분포 패턴을 지형적 특성과 함께 연계하여 분석함으로써 지역별 열 분포 상태를 파악할 수 있었다.

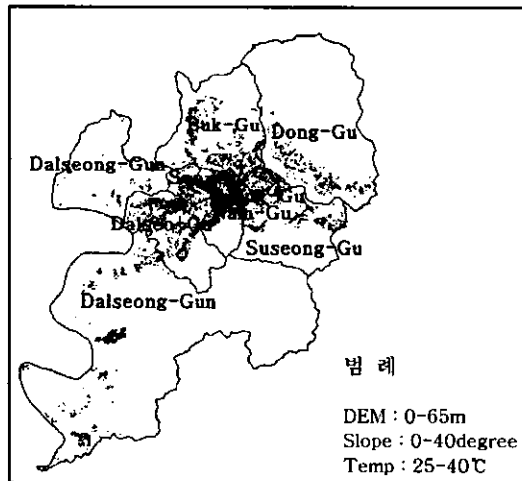


Figure 7. Temperature distribution map by topographic characteristics (May.07.1999)

1999년도 대구시 지역에서 해발고도 60m이내, 사면경사 40degree이내, 지표온도 $25 \sim 40^\circ\text{C}$ 의 조건을 부여하였을 때에 Figure 7과 같은 온도 분포 특성을 보이고 있다. 이들 지역에서의 토지피복현황을 분석한 결과 약 90% 이상이 도시지역으로 분류되었음을 알 수 있었다.

V. 요약 및 결론

본 연구에서는 위성원격탐사 자료와 GIS를 이용하여 도시지역의 토지피복분류 형태별 지표온도의 패턴을 지형적 특성과 함께 분석하였다.

1. Landsat TM band 6을 이용하여 추출한 지표온도를 AWS현지 관측자료와 상관분석한 결과 약 85%정도의 신뢰성을 얻을 수 있었으나 지표온도와 AWS 기온자료와

는 약 $\pm 0.5 \sim 1.5^{\circ}\text{C}$ 정도의 차이를 보이고 있다.

2. 토지피복분류 형태별 지표온도를 분석한 결과 도시지역, 나대지, 밭, 논, 삼림, 수계 순으로 높은 온도 분포대를 보이고 있음을 알 수 있었다.

3. Sample 지역에서 추출한 지표온도와 NDVI를 상관분석한 결과 80% 이상의 음(-)의 상관을 구할 수 있었으며 회귀분석 결과 세 시기 평균 74%의 신뢰성을 보이고 있다.

4. 대구시 지역의 지형특성별 열 분포 현황을 분석한 결과 해발고도 65m 및 사면경사 43degree 이내, 사면방향이 남동쪽으로 향해있는 지역에서 높은 열 분포대를 보이고 있다. 하지만 사면방향은 계절에 따라 다른 결과를 보일 것으로 예상된다. 한편 이들 지역에서 토지피복분류 현황은 90% 이상이 도시지역으로 분류되어있음을 알 수 있었다.

향후 보다 많은 AWS 현지관측자료를 토대로 위성영상자료로부터 추출된 지표온도를 검증할 필요성이 있으며 도시지역의 토지피복 및 지형적 특성을 보다 세분화하여 열 분포 패턴을 분석한다면 보다 효과적이고 합리적으로 도시 열 분포의 공간적 특성을 파악할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

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 도시 표면온도의 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.

A. Prakash, 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, Yoshinari Oguro. 2000. Verification of surface temperature from Landsat 7/ETM+ data. The 21st Asian Conference on Remote Sensing. pp.182-187.