

연구논문

지표 방사율에 의한 지표온도와 도시열섬효과 비교*

정 종 철

남서울대학교 지리정보공학과

(2009년 5월 17일 접수, 2009년 8월 18일 승인)

Comparison of Land Surface Temperatures Derived from Surface Emissivity with Urban Heat Island Effect*

Jong-chul Jeong

Dep. Geoinformatics Eng. Namseoul Univ.

(Manuscript received 17 May 2009; accepted 18 August 2009)

Abstract

Because of urban development and changed land cover types, It is very important to acquire pixel unit of land surface temperature(LST) information when the heat island effect(HIE) of regional area are investigated. The brightness temperature observed by satellite is very useful for assessing the pixel unit of LST distributions for the analysis of thermal environment problems of urban areas. Also, satellite land cover data are very useful to our understanding of surface conditions of study areas. In this study, brightness temperature information of Landsat TM thermal channel was analyzed and compared with land cover information of Jeon-ju city. The atmospheric correction of TM thermal channel carried out to explain for compared LST long term monitoring errors. However, simple estimation and evaluation methods to find a physical relationship between LST from satellite images and in-situ data are compared with reference channel emissivity.

Keywords : Urban Heat island effect, Spatial analysis, Emissivity, Land Surface Temperatures

* 이 논문은 2008년 남서울대학교 학술연구비지원에 의해 연구되었음.

Corresponding Author: Jong-chul Jeong, Dep. Geoinformatics Eng. Namseoul University, Maejuri, Seonghwan-eup, Cheonan-city, Choongnam, 331-707, Korea E-mail: jjc1017@paran.com

1. 서론

도시열섬효과에 대한 문제는 전 세계적으로 지구 온난화 문제와 함께 도시기후학적 연구가 이루어지고 있다. 특히 기온 자동관측 장비와 이동관측장비에 의해 시-공간적인 기온의 변화를 관측함으로써 도시의 장-단기적인 기온변화의 경향을 분석하고 있다. 국내에서도 국지적인 도시기후 환경의 변화를 모니터링하기 위한 다양한 연구가 이루어지고 있는데 윤일희 외(1994)는 대구시의 기온변화를 이동관측장비를 이용하여 도시열섬의 모델을 개발하였고, 한영호 외(1993)은 부산시의 열섬현상과 기온 변화에 대해 일주기의 변화와 계절적 기온변화를 분석하였다.

공간보간기법을 이용한 도시기후의 공간분석에 대한 연구로 Yang, *et al.*, (2004)은 Landsat ETM+를 이용하여 관측된 열적외 관측자료를 공간보간하였다. 또한 이를 지형정보와 비교하여 공간보간기법을 적용하고 이를 통해 지표온도 지도를 작성하고 공간 구조에 따른 추정을 분석하였다. 지표온도 지도는 도시환경의 공간계획과 고도자료에 의한 풍향과 풍속 등을 비교하여 미기상학의 관점에서 도시열섬효과를 분석하는데 매우 의미있는 자료이다. 김수봉 외(2001)는 도시열섬현상의 원인과 대책을 통해 도시 인공열과 토지피복의 관점에서 도시열섬이 전력 사용량을 증가시키고 스모그와 같은 대기오염의 영향에 따른 도시인의 건강위해성을 문제점으로 제기하고 이에 대한 대책으로 도시 녹화와 복사열의 반사 특성을 고려한 도시 관리 요소를 제시하였다. 이 연구는 여름철 대도시에서 발생하는 도시 열대야와 같은 현상을 보다 효율적으로 대응하기 위한 방안을 모색하였다.

인공위성영상을 이용한 연구로 박민호(2001)는 Landsat TM 자료를 이용하여 서울시의 도시열섬을 지형고도분석과 행정구역의 공간적 분포로 도시열섬에 대한 공간적 변이를 분석하였다. 박경훈 외(1999)는 광역적 녹지계획을 위해 식생지수 분석을 위성영상에 의한 복사온도 분포와 비교 분석하는 방법을 적용하여 대구광역시 지역의 열섬효과를 분석하

였다. 위성영상을 이용한 도시열섬효과의 분석은 위성이 지구관측을 수행하는 오전 10시 30분을 전후하여 지표면의 복사에너지에 의한 열적외선 관측을 통해 도시 지표면 온도를 공간적으로 분석하였다. 김운수 외(2001)는 서울시의 기상특성을 고려하여 도시의 열섬과 녹지계획 등에 의한 미기상학적인 효과를 연구하였다.

위성영상을 이용한 지표온도 분석과 도시열섬효과에 대한 공간분석 연구는 10 μ m에서 12 μ m 파장대의 열적외선 관측에 의한 지표온도 분석을 수행하여왔다. 육상의 지표온도 관측에는 Landsat 5호가 120m Landsat 7호는 60m의 공간해상력을 가지고 도시지역의 확장에 따른 지역적인 열 환경의 공간분석을 통해 도시열섬의 효과를 분석하였다. 그러나 지표온도를 추출하는 과정에서 대기효과를 고려하지 않거나, 지표물의 열 용량에 대한 특성, 태양고도와 위성의 관측 위치 등을 고려하지 않고 열적외선 채널의 디지털 값에 의한 온도 추출 적용식을 활용하고 있어서 정확한 지표 온도의 추출이 이루어지지 않고 있다(Southworth, 2004). 또한, 공간해상력이 도시의 식생, 도로, 하천 등의 특성을 구분하여 적용하기 어렵기 때문에 위성관측 지표온도를 지상의 관측자료와 비교 검증하는데 많은 오류가 발생하고 있다. 특히 기상 자동 관측장비와 같은 기온 자료를 지표 온도자료와 비교하여 정확도를 제시하는 등 태양광에 의한 열 환경의 매질 특성을 전혀 반영하지 않은 연구가 이루어지기도 하였다. 해양의 경우 NOAA AVHRR에 의한 해수면 온도 추출은 해수면 온도 관측자료와 위성자료를 비교하고 AVHRR의 열적외선 밴드를 2밴드 알고리즘이나 3밴드 알고리즘을 적용하여 대기의 에어로졸이나 습도와 같은 조건을 보정하기 때문에 오차요인을 최소화하고 있으며(Minoru Urai, 2002; 서영상 외, 2005), 특히 해양은 물이라는 매질의 수표면에서 방출되는 에너지를 위성에서 관측하기 때문에 공간적으로 매우 정확한 해수 온도 분포도를 생산할 수 있다. 그러나 육상에서는 Landsat의 경우 단일밴드에 의한 변환식을 적용하고 이를 보정하는

절차 없이 지표온도의 변화를 도시기후의 변화로 해석하는 등의 문제점이 발생하고 있다.

본 연구에서는 태양의 고도와 대기의 효과를 보정하고 지표의 특성을 반영한 온도 변환과정을 적용하여 도시열섬에 대한 공간적 특성을 분석하였다. 특히 식생에 의한 열 환경개선에 대한 효과를 공간적으로 해석하였다.

II. 연구방법 및 범위

1. 연구의 시-공간적 범위

본 연구의 시-공간적 범위는 도시와 농촌의 경계적 특성을 구분하기 용이한 전주시의 지난 20년 동안 기상관측자료와 Landsat 열적외선 영상을 분석하여 도시열섬효과와 열 환경의 공간적인 분포를 분석하였다. 서울이나 부산과 같은 대도시의 경우 한강이나 낙동강과 같은 수체의 영향이 연구지역에 분포하고 있어서 위성영상에 의한 지표온도를 통해 열섬효과를 분석하는데 오차의 요인 인자를 해석하기 어려울 것으로 판단되었다. 그림 1은 본 연구의 공간적 범위인 전주시의 행정구역 범위를 나타낸 것이며 열적외선 관측을 위해 Landsat 5호와 7호 영상자료를 이용하였다. 전주시의 1984년부터 2005년까지의 연도별 월평균 기온, 일조시간, 강우량 자

료 등의 기상관측 자료를 일 자료와 월 평균자료 단위로 분석하였다. 구름이 10 % 미만인 연도별 Landsat TM, ETM+의 열적외선 영상자료를 획득하여 NASA 열변환식을 적용한 지표면 온도를 추출하였고(정종철, 1999), 토지피복도와 식생지수를 산정하여 지표면의 온도와 비교하였다.

본 연구에 적용된 위성자료는 84년 11월 28일, 87년 4월 18일, 89년 3월 22일, 89년 10월 9일, 94년 4월 14일, 95년 5월 15일, 95년 10월 17일, 2000년 3월 13일, 2000년 5월 8일, 2000년 11월 23일, 2001년 9월 16일, 2001년 9월 23일, 2001년 10월 18일, 2001년 11월 19일, 2002년 1월 6일, 2002년 2월 14일, 2002년 3월 11일에 촬영된 Landsat TM, ETM+를 이용하여 지표면 온도를 추출하였고, 2005년 4월 22일 관측된 SPOT 5 영상을 이용하여 지표 온도의 공간적 분포를 판단하였다.

2. 열적외선 관측기법

위성영상의 열적외선을 이용한 지표면의 온도추출은 전자기 스펙트럼의 열적외선 영역을 이용하여 이루어지는데 지구 대기의 영향에 의한 방사량의 감소가 가장 적고 태양광의 직접반사에 의한 영향을 무시할 수 있는 $10.4 \mu\text{m} - 12.5 \mu\text{m}$ 파장대 영역의 전자기파를 이용하였다. 열적외선에 의한 방사 에너지를 온도로 추출하는 것은 지표면 물체의 대상에 따른 방사율에 의해 결정되고 정종철(1999), Markham and Baker(1986)에 의해 Landsat 열적외선의 전자기파와 지표 피복물질의 온도를 산출하는 식을 적용하였다. 지표면 물체의 대상에 따른 방사율은 아스팔트 0.93, 검은 고무판 1.0, 콘크리트 0.85, 잔디 0.92, 얼음 0.97, 철 0.2-0.32, 모래 0.76, 물 0.95-0.963, 나무 0.91 등이다.

지표면에서 방출되는 방사에너지는 가시영역의 채널에서 위성에 관측되는 신호에 비해 매우 낮은 전자기 에너지를 가지기 때문에 센서의 민감도와 대기의 오차 등을 정확하게 검증하는 것이 요구된

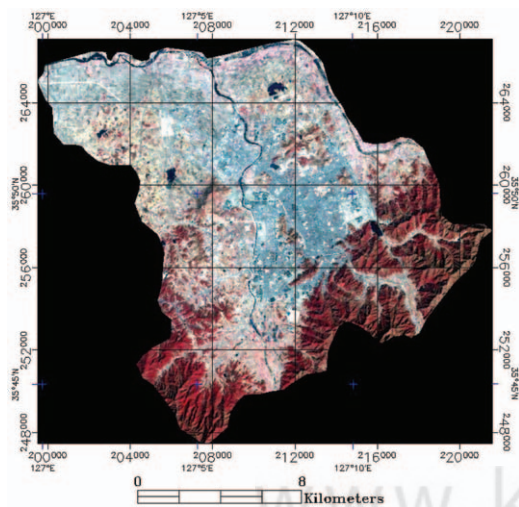


Figure 1. The study area and satellite image of Jeon-ju city

Table 1. Relative importance of the atmosphere on radiometric observation sea-surface temperature in terms of error (정중철, 1999)

10.4 mm -12.5 mm 채널영역	
undetected cloud	0 - 10 K
water vapor	1 - 8 K
aerosols	0.1 - 2 K
reflected sky	0.2 - 0.7 K
other gases	0.1 K

다. 대기효과에 의한 영향은 표 1과 같이 열적외선 파장에서 관측된 대기오차를 통해 계산된 온도 자료의 보정이 요구되는데, 해수면의 균질한 조건에서 관측된 오차 범위를 고려할 때 도시의 토지피복과 다양한 지표방사율은 대기의 조건에 따른 지표 온도 관측값이 개별 토지피복형태와 물질방사 정도에 따라 보정이 이루어져야 한다. 그러나 많은 국내 연구에서 지표방사율에 의한 지표온도를 기온 관측 자료와 비교하여 평가하거나 대기효과와 같은 오차 요인을 고려하지 않고 다양한 시기의 자료를 비교하여 도시온도 상승이나 도시 열섬효과를 공간적으로 해석하고 있어서 이에 대한 재평가가 요구된다.

도시의 내부와 외부의 지표방사율에 의한 열적외선 온도추출은 현장에서 열적외선 관측자료를 통해 보정 및 검증할 수 있는데, 본 연구에서는 이동용 열적외선 관측장비를 이용하여 Landsat이 연구지역을 통과하는 시간에 지표 방사율에 의한 지표온도 관측자료를 위성의 열적외선 관측자료와 비교하였다.

$$L(\lambda) = L_{min}(\lambda) + (L_{max}(\lambda) - L_{min}(\lambda)) Q_{dn} / Q_{max} \quad (식 1)$$

여기서, $L(\lambda)$ is the spectral radiance received by the sensor ($mWcm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$),

Q_{max} is the maximum DN value with $Q_{max}=255$

Q_{dn} is the grey level for the analysed pixel of TM image

$L_{max}(\lambda)$, $L_{min}(\lambda)$ are the minimum and maximum detected spectral radiance for $Q_{dn}=0$ and $Q_{dn}=255$

Landsat 5호의 채널 6은 중심 파장대가 11.475 μm 이고 분광반사율이 $L_{min}(\lambda) = 0.1238$ 과 $L_{max}(\lambda) = 1.56 mWcm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$ 이다(Schneider and Mauser 1996). 따라서 이를 적용하여 지표면 온도를 산출하기 위한 $L(\lambda) = 0.1238+0.005632156Q_{dn}$

이 된다. Landsat TM 채널 6을 이용하여 위성에서 관측되는 밝기온도를 계산하기 위해서는 다음 식 2의 계산식(Schneider and Mauser, 1996; Sospedra et al., 1998)을 적용한다.

$$T_6 = K_2 / \ln(1 + K_1 / L(\lambda)) \quad (식 2)$$

여기서, T_6 ; at-satellite brightness temperature of TM 6

K_1, K_2 ; pre-launch calibration constants

$K_1=60.776 mWcm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$ and $K_2=1260.56 degK$

그러나 Landsat 5호는 1985년 발사된 위성으로 채널 6의 밝기온도 계산을 위해 적용한 K_1, K_2 와 같은 상수값은 위성 발사 전 지상에서 검증된 센서의 보정 계수값으로 위성이 궤도에서 운행하는 동안 센서의 자연적인 감도 저하 등의 문제가 발생할 수 있고, 이로 인해 채널 6에서 관측된 디지털 값의 세계에서 오차가 발생할 수 있다. SeaWiFS의 경우 이를 보정하기 위해 궤도운행 중에 달의 표면을 관측하여 센서를 보정하는 기법을 on-board calibration으로 적용하고 있으나, Landsat의 경우 지상관측에 의한 지표온도와 열적외선 방사보정이 유용한 방법으로 대기과 센서의 관측값 분석을 통한 지표면 온도 관측이 가장 효율적인 방법으로 제안될 수 있다.

본 연구에서는 전주 기상자료를 통해 대기효과와 보정값을 적용하고 물에서 관측되는 밝기값을 적용하여 식(1)과 식(2)의 결과를 센서 보정값으로 하여 그림 2의 관측되는 지표 대상물에 따른 계산값을 보정하였다.

오전 10시 30분경 한반도 지역을 관측하는

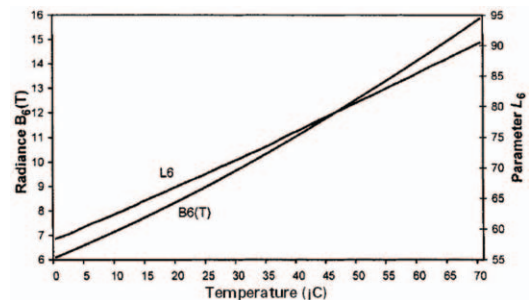


Figure 2. The Change of Planck's radiance $B_6(T)$ and the parameter L_6 with temperature for Landsat TM 6 (QIN, A. KARNIELI, 2001)

Landsat 자료는 태양의 일출시간과 계절적인 요인에 의해 도시 지표면의 콘크리트, 아스팔트, 식생, 함석지붕, 하천, 저수지와 같은 다양한 열 복사체에 따라 대상물의 방사율과 대기에 열 전달율의 차이가 발생한다. 이는 계절적으로 태양고도와 일조시간에 따라 차이가 있으며 대상물체의 표면 온도는 대류복사에 의한 기온과 차이를 나타내고 대상 복사체에 따라 3°C-15°C의 편차가 나타난다. Govindha (2008)는 태양의 고도와 일조시간에 의한 영향을 고려하여 도시 지표면의 피복형태와 피복비율에 의해 도시기후에 전달되는 영향의 정도가 다르게 나타남을 제시하였다. 이러한 지표 복사의 영향을 정량적으로 해석하기에는 위성자료의 공간해상력과 도시 지표면 열 복사체의 단위 픽셀에 의한 공간적 비교가 어려운 실정이다. 본 연구에서는 도시 열복사의 영향을 도시 내에 지표면 특성에 따른 평가를 제시하고 식생의 공간적 분포가 열섬을 저감시키는 효과가 있을 것으로 판단하여 이의 공간적 분석을 수행하였다.

III. 연구결과 및 고찰

도시의 열 환경은 봄, 가을, 겨울의 계절에 대한 온도편차가 여름의 월평균 기온과 같이 일조시간과 태양고도에 의한 열 복사에너지의 도시 지표면 방사에너지에 대한 관계를 잘 나타내고 있는데 이는

도시의 열대야와 같은 열 환경에 대한 영향이 기온의 편차와 관계하여 나타남을 알 수 있다.

기상관측 자료의 공간적 분포는 매우 제한된 관측장소와 관측점의 수에 의해 얻어진 기온 자료를 바탕으로 하기 때문에 열섬효과의 공간 규모를 평가하는데 제한된다. 그러나 위성관측 열적외선에 의한 도시공간의 지표온도를 평가하는 것은 픽셀단위의 면적을 바탕으로 이질적인 지표면의 공간 특성을 분석하는데 매우 효과적인 방법이며 전주시와 같은 도시 환경의 열 환경을 해석하여 시기적인 변화를 효과적으로 공간분석 할 수 있다. Manawadu (2008)은 도시의 지표 열환경 특성을 분석하여 도시공간에서의 공간적 특성을 비교 분석하였는데 전주시는 이러한 도시공간의 지표 특성이 열적외선에 의한 지표온도와 비교 가능하다.

표 2는 Landsat 영상에 의한 지표온도와 기상관측 온도 자료를 비교하여 제시한 것이다. 기상관측 관측점 위치를 중심으로 픽셀단위의 비교와 3 X 3 픽셀 평균 자료를 비교하여 제시한 것으로 계절적인 변이가 뚜렷하고 시기적으로 과거보다 전체적인 도시 지표 온도의 상승은 나타나지 않고 있다. 다만 토지피복에 따른 지표면 온도 증가지역의 공간적 변화를 비교 관측한 위성자료 분석결과를 그림 3에 의해 지표온도의 분포를 파악할 수 있다. Landsat 채널 6의 지표 온도는 대기효과와 지표방사율을 적용하여 분석한 결과 중에서 1989년 10월, 2000년 8

Table 2. The comparison of Landsat surface temperature and air temperature with field research

찰 영 일 시		위성관측 지표온도(°C)			실측온도(°C)	
		최 저	최 고	평 균	관측기온	지면온도
봄	89.3.22	3.24	28.33	14.14	7.70	14.68
	00.3.13	5.98	24.21	10.55	6.65	9.23
	02.3.11	3.23	26.36	15.32	7.25	5.45
여름	00.8.12	17.52	37.46	27.95	30.10	32.20
	01.9.16	18.22	39.81	31.33	25.85	32.38
가을	89.10.9	6.30	26.34	16.23	13.85	19.98
	01.10.18	11.22	34.24	19.95	16.50	29.28
겨울	84.11.28	-3.78	9.57	2.70	1.25	1.50
	00.11.23	0.09	21.43	9.53	6.8	4.00
	01.11.19	4.17	22.00	12.14	8.35	12.18

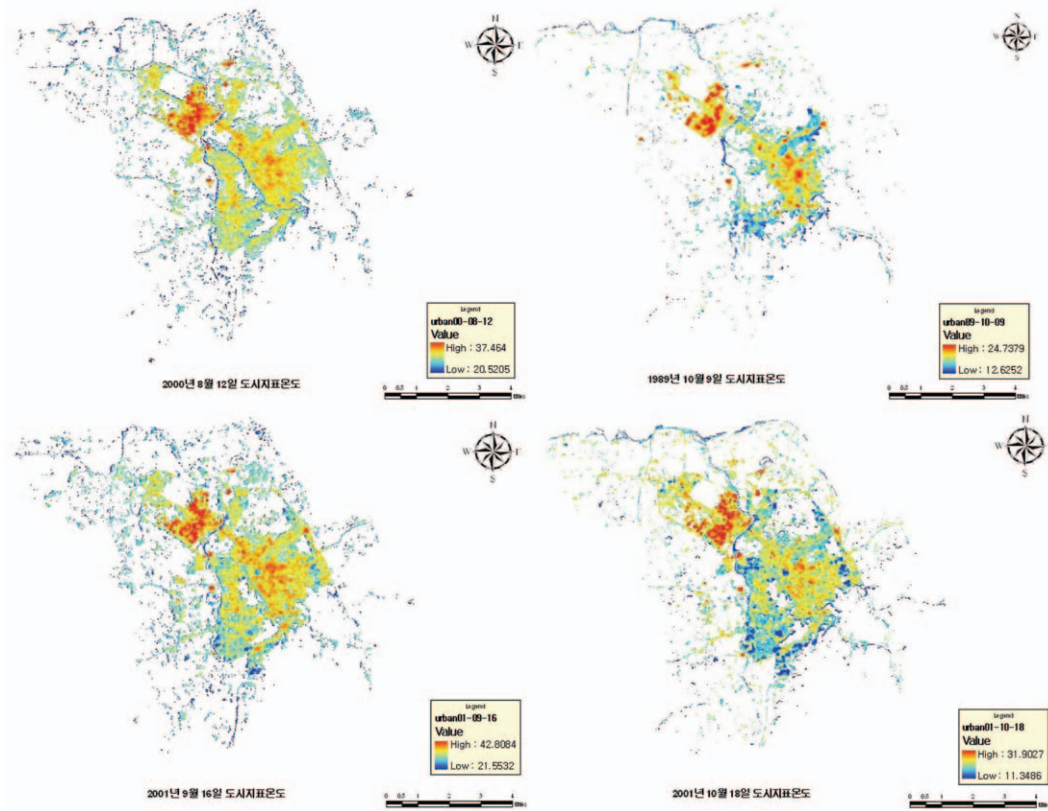


Figure 3. Spatial distribution of surface temperature with atmospheric correction

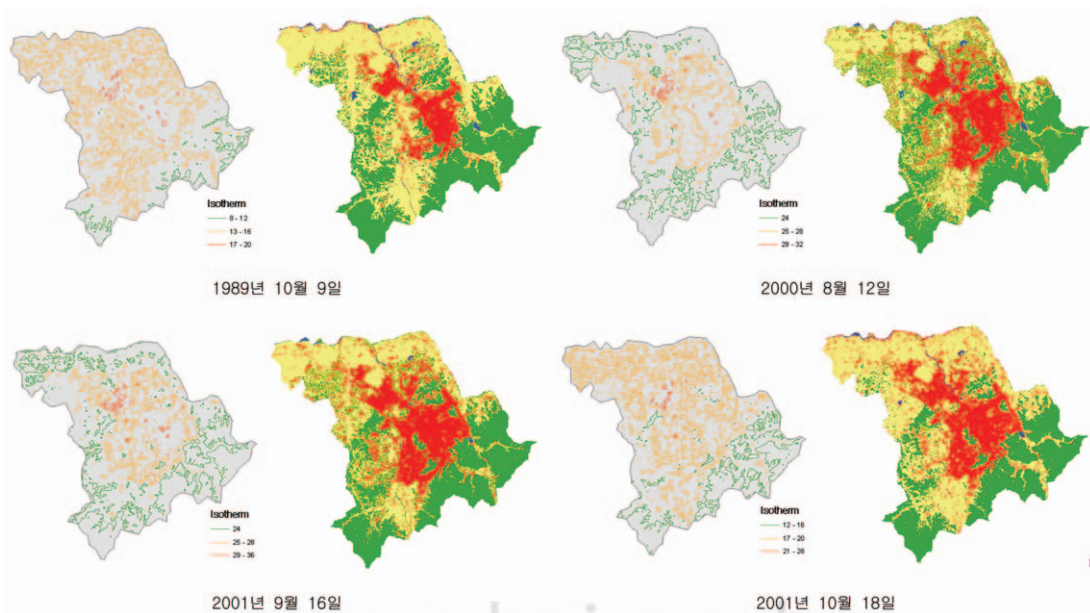


Figure 4. The spatial distribution of surface temperature and land cover type

(Agriculture Grass Forest Built up Bare soil Water)

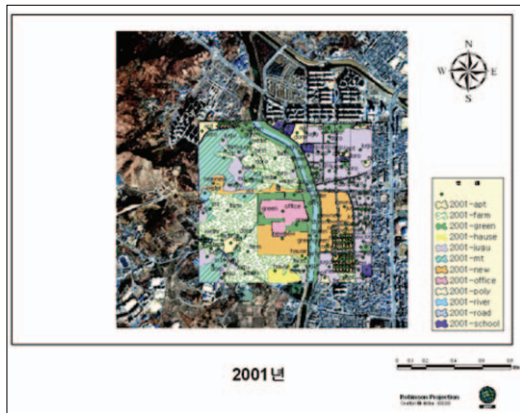


Figure 5. Calibration of land surface temperatures derived from surface emissivity with IKONOS image

월, 2001년 9월과 10월 자료를 그림 3에 제시하였다. 이는 대기의 에어로졸과 미세한 구름의 효과가 없는 영상과 분석한 영상 중에서 전날 강우가 있어서 강우에 의한 수분효과의 영향을 받은 자료를 제외하여 분석한 결과이다.

토지피복과 지표면 온도의 상관관계는 그림 4와 같다. 열 적외선에 의해 추출된 지표 온도의 등온도 분포는 같은 시기의 토지피복분류 6단계의 분류에 의해 공간적 비교를 수행하였다. 도시지역은 89년에 비해 2001년 도시지역의 중심지 부분이 3°C – 7°C 높은 것으로 나타났고, 식생이나 농업지역과 인접한 도시지역의 경우 중심부에 비해 5°C – 15°C 낮은 지표온도 분포를 나타냈다.

도시지역과 비도시지역은 그림 4의 토지피복분류에 의해 공간적인 분포를 구분하고 도시지역의 열섬현상이 등온선 분포의 공간영역에서 발생하는 것을 판단할 수 있다. 특히 도시지역으로 분류된 공간범위는 그림 4에서 구분할 수 있는 것 처럼 8월, 9월, 10월의 지표면 온도 분포가 특정 지역에서 높게 나타나고 있다. 그림 5는 지표 방사율에 의해 계산된 지표온도와 Landsat 열적외 채널에 의해 관측된 자료를 보정하기 위해 IKONOS 영상자료에 분석결과와 지표 특성을 비교하고 이를 보정한 자료이다. 도시열섬효과는 도시지역과 비도시지역에 의한 구분으로 공간적 경계를 나타내는데 지표방사

율 특성이 비교적 균질한 비도시지역에 비해 열 환경용량의 차이가 큰 도시경계지역의 공간적 분석이 필요하다. 이를 구분하기 위해서는 도시지역의 경계에 대한 지표방사 특성을 위성관측과 비교 가능한 범위로 보정하였다.

토지피복과 지표면 온도의 상관관계를 비교하면 식생지역이나 식생지 분포 영역은 NDVI에 의해 지표온도와 역상관 관계를 분석할 수 있는데 그림 6은 연도별 지표면 온도와 NDVI 사이의 관계를 산포도로 나타낸 것이다. 그림 6에서 (a) 항목은 전주 시 전체, (b)는 도시지역, (c)는 수체, (d)는 수체를 포함하지 않는 비도시지역에서의 표면 온도와 NDVI 사이의 상관관계를 나타낸다. 각 산포도 아래에는 표면온도와 NDVI 사이의 상관관계수 r , 1차 회귀식과 결정계수 R^2 를 제시하였다. 지표면온도와 NDVI의 일편차가 큼을 고려할 때, 그림 6의 산포도에서 연도별 변화추이를 살펴보는 힘드나 토지피복에 따른 NDVI와 지표온도 상호간의 관계를 파악할 수 있다. 수체와 도시지역의 상대적인 산포는 대기효과에 의한 비교가 용이하다.

IV. 결론

본 연구에서는 태양 열 복사에너지의 위성관측 자료를 바탕으로 도시의 열섬을 공간적으로 구분하고 토지피복과 식생지수 등에 의한 도시 열 환경의 영향을 분석하였다. 신도시 개발을 비롯한 다양한 개발사업은 토지의 피복상태를 변화시키고 도로, 보도, 주차장, 건물 등을 포함한 인공지물 표면들에 의해 불투수층이 증가하고 열 용량이 큰 콘크리트와 아스팔트는 많은 양의 태양에너지를 흡수하여 도시의 열 환경을 급격히 변화시키고 있다. 위성영상에 의한 지표온도 관측은 공간해상력과 대기효과 그리고 센서의 민감도에 의해 정확한 밝기온도를 제공하는데 5%에서 8%의 오차 범위를 나타내지만 동일한 일시의 관측영상 내에서는 지표 방사율에 따른 온도 추출에 있어서 관측자료의 비교가 용이하고 특히 도시와 산림지역의 공간적 경계와 기온

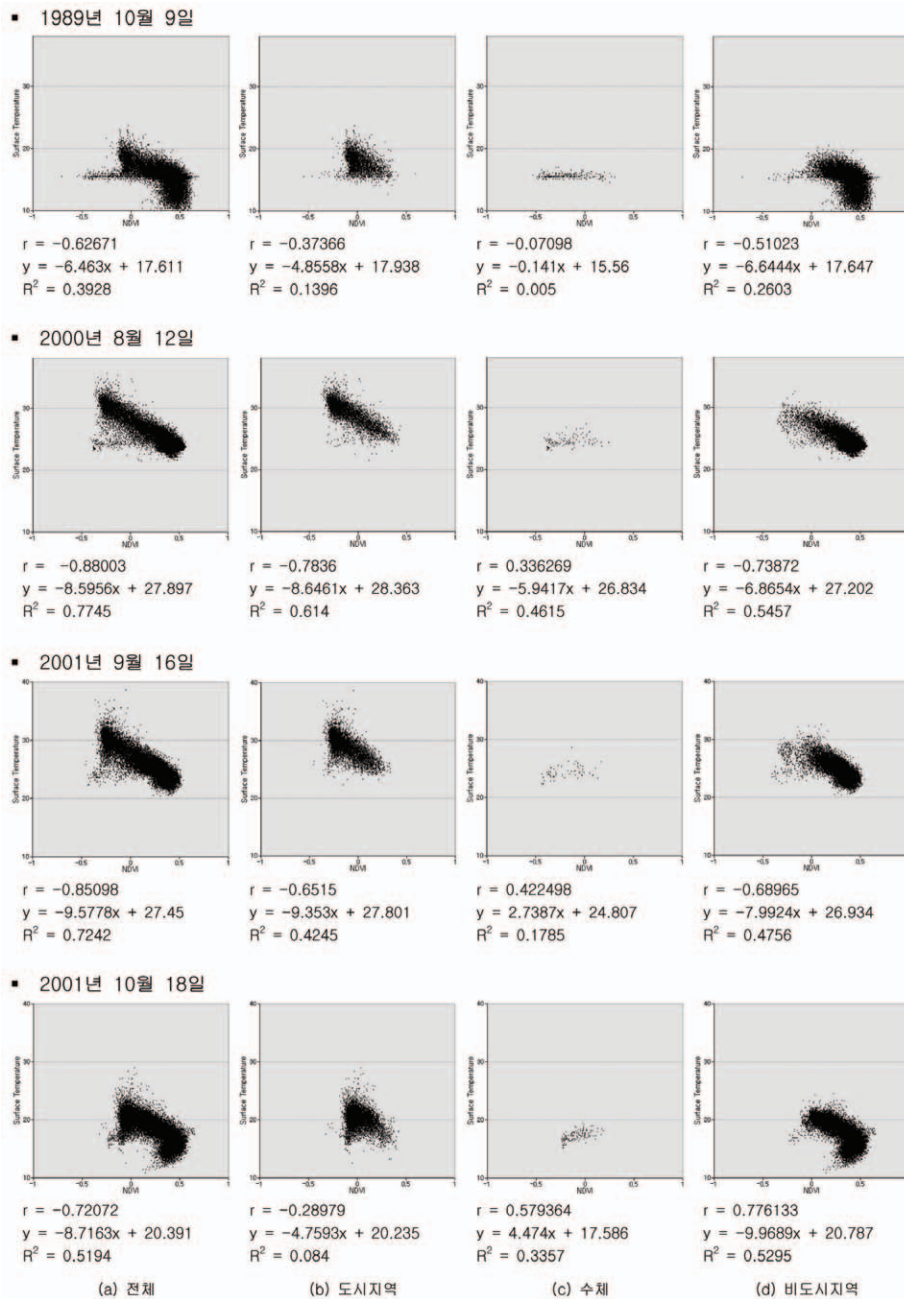


Figure 6. The relationship between NDVI and surface temperature of classified types

의 영향권역을 분석하는데 효과적인 것으로 판단된다. 또한 도시공간의 영역과 하천이나 저수지의 수체 영역을 이용한 지표온도의 분석은 하루 중 위성

관측 시간대인 오전 10시의 관측 자료를 대표하기 때문에 하루 중 기온의 변화를 고려하기 어려운 제한요소를 가지고 있다.

참고문헌

- 김수봉 외, 2001, 도시열섬현상의 원인과 대책, 환경과학논집, 6(1), 63-89.
- 김운수 외, 2001, 서울시 기상특성을 고려한 도시계획기법 연구, 서울시정개발원, 34-75.
- 박민호, 2001, Landsat TM 열적외데이터를 이용한 도시열섬효과에 관한 연구, 측량 및 지형공간정보, 21(6), 861-874.
- 박경훈, 정성관, 1999, 광역적 녹지계획 수립을 위한 도시열섬효과분석, 한국지리정보학회지, 2(3), 35-45.
- 서영상 외, 2005, NOAA/AVHRR 위성자료를 이용한 한반도 표면온도의 시공간적 변동 추정, 한국지리정보학회지, 8(3), 150-160.
- 윤용한, 2001, 녹지에 의한 열섬효과와 저감효과에 관한 연구, 대한국토도시계획학회, 36(2), 187-196.
- 윤일희 외, 1994, 대구지역 기상특성 연구 및 대기확산 모델 개발, 한국기상학회지, 30(2), 303-313.
- 이종범 외, 1993, 춘천지역 도시열섬의 특성과 대기질에 미치는 영향, 한국대기보전학회지, 9(4), 303-309.
- 정종철 외, 1999, Landsat TM을 이용한 표층수온 분석 오차, 대한원격탐사학회지, 15(1), 1-8.
- 한영호 외, 1993, 부산지역 도심지의 열섬현상과 기온변화에 관한 연구, 한국기상학회지, 29(3), 205-216.
- Govindha RAJ, 2008, Surface Temperature Estimation from Landsat ETM Data for a part of the Baspa Basin, NW Himalaya, India, Bulletin of Glaciological Research, 25, 19-26.
- Manawadu and Nirosha Liyanage, 2008, Identifying Surface Temperature Pattern of the City of Colombo, ENGINEER - Vol. XXXXI, No. 05, 133-140.
- Minoru Urai, 2002, Heat discharge estimation using satellite remote sensing data on the Iwodake volcano in Satsuma-Iwojima, Japan, *Earth Planets Space*, 54, 211-216.
- QIN, A. KARNIELI, 2001, A mono-window algorithm for retrieving land surface temperature from Landsat TM data and its application to the Israel-Egypt border region, *Int. J. remote sensing*, 22(18), 3719-3746.
- Schneider, K., and Mauser, W., 1996, Processing and accuracy of Landsat Thematic Mapper data for lake surface temperature measurement. *Int. Journal of Remote Sensing*, 17, 2027-2041.
- Sospedra, F., Caselles, V., and Valor, E., 1998, Effective wavenumber for thermal infrared bands application to Landsat TM. *Int. Journal of Remote Sensing*, 19, 2105-2117.
- Southworth, 2004, An assessment of Landsat TM band 6 thermal data for analysing land cover in tropical dry forest regions, *Int. Journal of Remote Sensing*, 25(4), 689-706.
- Yang, *et al.*, 2004, Estimation of Land Surface Temperature Using Spatial Interpolation and Satellite-Derived Surface Emissivity, *Journal of Environmental Informatics*, 4(1), 37-44.