

Landsat TM 영상을 이용한 제주도 도심지역 지표면온도분포와 식생지수의 상관성 분석

Analysis of Relationship Between LST and NDVI using Landsat TM Images on the City Areas of Jeju Island

권혁춘* · 이병걸**

Quan, He Chun · Lee, Byung Gul

要 旨

지표면 온도분포특성을 분석함에 있어서 많은 방법이 이용되지만 그 중에서 위성영상을 이용한 원격탐사기법을 가장 많이 사용하고 있다. 본 연구에서는 제주도의 도심지역인 제주시와 서귀포시를 연구대상으로 하였고 Landsat 영상에서 열적외선영상인 밴드 6 영상을 이용하여 NASA에서 제시한 방법으로 온도분포도를 작성하였다. 또한 밴드 3과 4를 이용하여 식생지수 분포도를 작성하고 식생지수와 온도분포사이의 상관성을 분석하였다. 그 결과 온도와 식생지수 사이의 상관계수는 제주시에서 -0.77, 서귀포시에서 -0.74의 매우 높은 반비례 상관계수 값을 나타내었다. 또한, 토지피복도를 이용한 지표면 온도분포특성을 분석한 결과 도심지역과 경작지, 초지와 과수원, 삼림세 지역사이에는 뚜렷한 온도차가 있는 것을 알 수 있었다. 이는 식생지수와 온도분포가 반비례관계에 있음을 나타내고 있다.

핵심용어 : 지표면온도, 식생지수, 토지피복도, 상관계수

Abstract

To analysis the LST distribution of Jeju island, remote sensing techniques using Landsat TM band 6 data were used. In this study, we made the LST distribution map based on the NASA. The study areas are the Jeju and Seogwipo cities of the Jeju Island. And we analyzed the correlation between the LST and NDVI which was calculated from the Landsat TM band 3 and ban 4. From the result, we found that the coefficients of the correlation were -0.77 and -0.74 on the Jeju and the Seogwipo cities, respectively. Finally, from the correlation between the land cover and LST, we also found that an inverse relationship between the LST and NDVI was exist.

Keywords : LST(Land Surface Temperature), NDVI(Normalized Difference Vegetation Index), Land Cover Classification, Coefficient of Correlation

1. 서 론

급속히 변하는 도시화의 영향으로 도시의 표면온도 분포는 많은 변화를 일으키고 있다. 특히 토지피복의 상태에 따라서 지표면온도의 공간적 분포는 큰 차이를 나타내는데, 높은 지표면온도는 도시열섬의 직접적인 원인이 되기 때문에 토지피복 상태에 따른 지표면온도의 파악은 대단히 중요하다. 도시표면온도는 산림이 아스팔트나 콘크리트로의 대체, 증발산에 활용되는 표면 습기의 감소, 도로의 복잡한 기하적 형태와 높은 건물

증가 등 도시화에 따라 변화되며 이런 공간적 온도분포 변화를 현장관측을 통해서 파악하는 것은 대단히 어려운 일이다. 그래서 위성영상을 사용하여 지표면온도를 파악하고자 하는 연구가 활발히 이루어지고 있다(B. Dousset, 2003).

지금까지 Landsat TM 영상을 이용한 지표면온도분포특성의 분석에 관한 연구는 많이 진행되어 왔다. 채효석과 송영수(1999)는 1995년도 보청천 유역에 대해서 획득된 5개의 Landsat TM 자료를 이용하여 지표면 알베도, 식생지수 및 지표면온도 등과 같은 수문인자의

2009년 10월 19일 접수, 2009년 11월 15일 채택

* 교신저자 · 제주대학교 해양과환경연구소 연구원(qhchun@hanmail.net)

** 정회원 · 제주대학교 토목공학과 교수·공학박사(leebgprof@empal.com)

변화 특성을 분석하였다. 조명희 외(2001)는 대구시와 서울시를 대상으로 Landsat TM 열밴드에서 추출한 지표면온도를 AWS자료와 비교하여 토지피복과 지형 및 지표면온도의 공간분포 특성을 분석하였다. 이광재와 조명희(2004)는 Landsat TM 열밴드에서 추정된 지표면온도와 AWS자료를 비교 분석하여 지표면온도와 식생지수(NDVI)의 상관관계 및 토지 피복 유형별 지표면온도의 분포특성 등을 GIS 기법과 연계하여 지표면온도의 공간 분포 특성을 규명하였다. 안지숙 외(2006)는 Landsat TM 자료를 이용하여 대구지역의 지표면온도를 추정하고 토지이용도에 따른 열섬포텐셜을 산출하였다. 김재익과 여창환(2005)은 Landsat 5 TM 영상을 이용하여 지표면온도 및 식생상태의 상관관계를 연구한 결과 식생이 적은 도시지역의 지표면온도는 높고 반면 식생이 많은 농업 및 임야지역의 지표면온도가 낮아 음의 상관관계에 있다고 밝혔다. 이러한 대부분의 선행 연구들은 Landsat TM 영상을 이용하여 도시지역에 대한 지표면온도와 식생지수나 토지피복 사이의 상관성을 주로 분석하였고 결과적으로 식생지수와 지표면온도는 음의 상관관계성을 가지고 있음을 나타냈다.

본 연구에서는 이러한 선행연구에 기초하여 한정된 삼림지역이 도시화로 날로 감소하고 있는 제주도의 도시지역에 대하여 지표면온도분포도와 식생지수사이의 상관성을 분석하고자 하였으며 지금까지 연구된 적이 없는 섬에서의 그 상관성이 내륙지대에서와 같은 성향을 나타내는지 확인하고자 하였다. 이에 제주시와 서귀포시를 연구대상지로 선정하였고 Landsat TM 영상의 열적외 밴드 6번으로부터 NASA에서 제시한 방법으로 지표면온도분포도를 작성하고 토지피복도를 이용하여 토지피복에 따른 지표면온도의 분포를 분석하고 밴드 3과 4를 이용하여 식생지수 분포도를 작성하였으며 상관계수와 그래프를 통하여 상관성을 설명하였다.

2. 연구대상지역 및 위성영상자료

제주도는 126°05'10"E부터 126°58'37"E, 33°06'31"N부터 33°35'55"N 사이에 위치하고 있고 섬 전체가 거의 화산암류로 구성되어 있으며 형성시기가 비교적 짧고 개석(開析)의 정도가 얼마 되지 않아 화산원지형이 잘 보존되고 있다. 제주도의 평면상의 형태는 동서장축의 길이가 약 74km, 남북단축의 길이는 약 34km인 타원형으로 그 면적은 1,848.3km²이다. 장축방향은 N75E로서 한반도의 남해안 선과 나란하며 이는 요동방향과 일치하며 해발고도 1950m인 한라산을 정점으로 동서사면은 경사가 3°~ 5°로서 전체적으로 순상화



Fig. 1. The study area.

Table 1. Statistics from Landsat TM images

Type	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
Min	0	0	0	0	0	0	0
Max	255	231	255	255	255	173	255
Mean	77.14	28.05	25.16	21.06	22.44	108.59	13.23
SD	25.57	10.53	11.59	20.81	20.1	33.52	10.14

산에서 흔히 볼 수 있는 아스피테(Aspite)형이다.

제주도는 섬이라는 특성상 주변바다의 기후영향을 많이 받으며 태풍, 폭우 등에 의한 피해가 증가하고 있는 추세이다. 도시지역의 지표면온도와 식생지수사이의 상관성을 분석하기 위하여 본 연구에서는 Fig. 1과 같이 제주도의 도시지역인 제주시와 서귀포시를 연구대상지역으로 선정하였다.

본 연구에서는 2007년 5월 20일 Landsat 5호 위성에서 촬영된 TM 영상을 사용하였고 TM영상의 각 밴드의 밝기 값의 최소치, 최대치, 평균치와 표준편차 값은 Table 1과 같다.

3. 지표면 온도분포도

3.1 지표면 온도분포 식

Landsat TM에는 지표면 온도를 추출할 수 있는 열적외선 영역(10.4~12.5 μ m)에 대한 자료를 획득할 수 있는 센서를 탑재하고 있으며, 자료 획득 당시 넓은 지역에 대한 지표면 온도를 분석할 수 있다. Landsat TM의 밴드 6자료를 이용하여 지표면 온도를 계산할 경우에는 위성에 탑재된 센서가 흑체(blackbody)와 접해있다는 가정 하에서 계산된다.

Landsat TM 자료의 밴드 6을 이용하여 지표면 온도를 구하고자 할 경우, 관측된 DN(Digital Number)값을 이용하여 계산된 복사휘도 값을 NASA에서 제시한 지표면 온도 계산법에 적용하여 계산한다.

영상자료의 복사휘도 값은 식(1)을 이용하였다 (Markham et al., 1986; Chander et al., 2003).

$$L_{\lambda} = \left(\frac{LMAX_{\lambda} - LMN_{\lambda}}{Q_{calmax} - Q_{calmin}} \right) * (Q_{cat} - Q_{calmin}) + LMN_{\lambda} \quad (1)$$

- L_{λ} : 분광복사휘도 $W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$
- Q_{cat} : DN단위로 정량화된 복사에너지
- Q_{calmin} : DN단위로 정량화된 최소복사에너지
- Q_{calmax} : DN단위로 정량화된 최대복사에너지
- LMN_{λ} : Q_{calmin} 에서 분광복사 에너지 $W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$
- $LMAX_{\lambda}$: Q_{calmax} 에서 분광복사 에너지 $W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$

위 식(1)은 다음 식(2)과 같은 선형식으로 표현될 수 있다.

$$L_{\lambda} = G_{rescale} * Q_{cat} + B_{rescale} \quad (2)$$

- 여기서 $G_{rescale} = \left(\frac{LMAX_{\lambda} - LMN_{\lambda}}{Q_{calmax}} \right)$ unit of $W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$
- $B_{rescale} = LMN_{\lambda}$ unit of $W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$

또한 Landsat TM Band6의 $LMAX_{\lambda}$, LMN_{λ} , $G_{rescale}$, $B_{rescale}$ 의 계산값은 Table 2와 같다.

복사휘도를 이용한 지표면 온도 계산은 NASA에서 제시한 식 (3)을 이용하였다.

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_{\lambda}} + 1\right)} \quad (3)$$

- T : 절대온도(Kelvin)
- K_1 : 보정상수 $W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$
- K_2 : 보정상수(Kelvin)
- L_{λ} : 복사휘도

Table 2. Landsat TM spectral radiance, postcalibration dynamic ranges

Band 6	$LMAX_{\lambda}$	LMN_{λ}	$G_{rescale}$	$B_{rescale}$
6	15.303	1.2378	0.055158	1.2378

Table 3. Landsat TM thermal band calibration constants

Constant	K_1	K_2
Unit	$W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$	Kelvin
Landsat-5 TM	607.76	1260.56

여기서 K_1 과 K_2 는 보정상수로 값은 Table 3에 나타내었다.

3.2 제주시와 서귀포시의 토지피복에 따른 지표면온도분포특성

위의 과정을 거쳐 계산된 절대온도를 섭씨온도로 변환하고 연구대상지역인 제주시와 서귀포시의 지표면온도분포도를 작성하여 나타낸 결과는 Fig. 2와 Fig. 3과 같다.

최종 생성된 연구대상지의 지표면온도분포도의 정확도를 분석하기 위하여 제주시와 서귀포시에 설치된 자동기상관측지점(AWS)에서 위성영상획득과 같은 시간대에 관측된 지표면 온도와 동일 지점에서 위성영상으로 계산된 지표면온도 값을 비교해 본 결과 Table 4와 같고 그래프로 나타내면 Fig. 4와 같다. 이 그래프에서 NASA방법으로 산출된 지표면온도 값은 자동기상관측지점에서 관측된 지표면온도 값보다 제주시에서 1.2°C, 서귀포시에서 1.6°C 가량 높았으며 이는 연구대상지역에서 계산된 지표면온도가 실제관측 값보다 높게 계산되었다는 것을 설명한다. 본 연구에서는 제주시와 서귀포시의 지표면온도분포도를 분석하기 위하여 토지피복도를 사용하였고 Fig. 5와 같이 제주도 전체지역에 대하여 작성된 토지피복도에서 연구대상지역만 추출하여 적용하였다.

Fig. 5에서 나타낸 토지피복도는 감독분류기법으로 본 연구에서 사용된 Landsat TM 영상을 이용하여 작

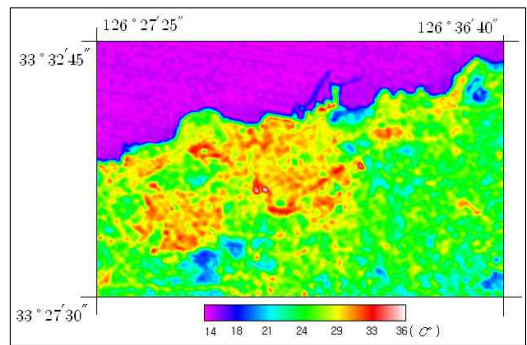


Fig. 2. The land surface temperature map in Jeju city.

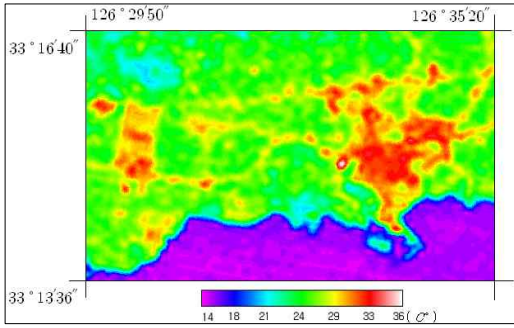


Fig. 3. The land surface temperature map in Seogwipo city.

Table 4. The comparison of the calculation and observation data.

지역	제주시(°C)	서귀포시(°C)
관측 값(a)	20.5	19.7
계산 값(b)	21.7	21.3
차이(b-a)	1.2	1.6

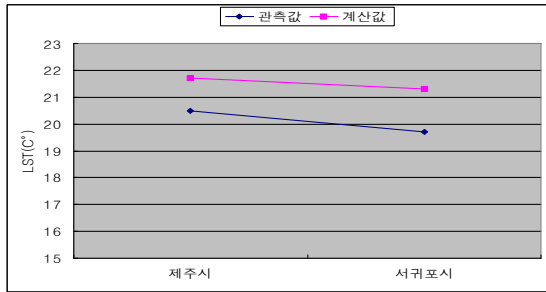


Fig. 4. The comparison of the calculation and observation data at the Jeju and Seogwipo city.

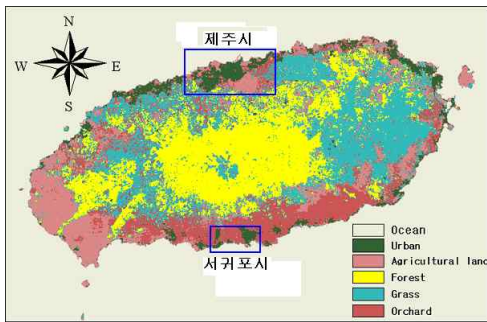


Fig. 5. The land cover classification map of Jeju Island.

성되었고 분류등급은 주거지, 삼림, 초지, 과수원, 경작

지 5개의 클래스로 나뉘었다. 지표면온도분포도를 보면 제주시 지역에서 최저지표면온도는 13.6°C이고 최고지표면온도는 37.4°C이며 평균지표면온도는 23.5°C이다.

Fig. 2와 같이 제주시 지역에서는 적색과 흰색으로 된 지표면온도가 32°C이상인 지역들은 선형으로 분산되어 분포되었으며 토지피복도에서 주로 도시지역에 위치하고 항공사진과 현장조사를 통하여 확인한 결과 아스팔트로 된 비교적 넓은 면적의 주차장과 도로인 것을 알 수 있었다. 노란색으로 표시된 지역은 지표면온도범위가 27°C~31°C사이이며 주로 제주시의 건물들이 집중적으로 분포된 곳이다. 지표면온도가 23°C~26°C사이인 녹색으로 표시된 지역은 토지피복도에서 경작지, 초지나 과수원과 같은 지역들이므로 확인되었으며 주로 도시의 주변에 분포하고 있다. 하늘색으로 표시된 지표면온도가 23°C이하인 지역들은 주로 오름이 분포된 지역이며 이런 지역에는 삼림이 분포하여 있기 때문에 지표면온도가 가장 낮게 나타나고 있다. Fig. 3과 같이 서귀포시 지역의 최저지표면온도는 13.1°C이고 최고지표면온도는 36.2°C이며 평균지표면온도는 23.2°C로 나타났다. 이 지역에서는 적색과 흰색으로 된 지표면온도가 32°C이상인 지역들은 큰 단위의 면적으로 도심지역에 집중되어 분포하고 있으며 노란색으로 표시된 지표면온도범위가 27°C~31°C사이인 지역들은 주로 일반도로와 마을들이 분포한 지역으로 확인되었다. 경작지, 초지나 과수원과 같은 지역들은 지표면온도가 23°C~26°C사이인 녹색으로 표시된 지역에 분포하였으며 지표면온도가 23°C이하인 지역들은 제주시와 마찬가지로 오름들이 분포한 지역으로 확인되었다. 제주시와 서귀포시의 토지피복별 지표면온도 평균값을 계산하여 비교하여 본 결과 도시지역은 경작지지역, 초지, 과수원 지역보다 약 5°C가량 높고 삼림지역보다는 약 10°C 가량 높은 것을 알 수 있었다.

4. 식생지수(NDVI)와 지표면온도 분포와의 관계

4.1 식생지수

각 파장대에 따른 반사특성에 기초를 두고 분광대 간의 특성을 조합하여 식생의 밀집도 등을 구하는 식을 만드는 것이 가능한데, 이를 식생지수(Vegetation Index)라고 한다. 식생지수는 나뭇잎 면적, 식생분포 면적, 나무 높이, 수종 등을 정량적으로 나타낼 수 있는 척도로 사용 가능하도록 개발되었으며, 관측된 각 파장대 영상 간의 비, 차, 선형조합 등 여러 가지 방법으로 구현될 수 있어 많이 사용하고 있는 방법이다. 식생지

수의 계산 원리는 가시광선(특히 적색 영역)과 근적외선 영역에서 녹색 식물의 반사율 차이가 크게 나는 것을 이용하여 두 영역에서 관측되어진 영상에 일정한 수식을 적용하여 식생의 상태를 나타내는 영상을 얻어낼 수 있다.

NDVI(Normalized Difference Vegetation Index)는 가장 일반적으로 사용되어지는 식생지수로서, 가시광선과 근적외선대의 두 영상으로부터 분광차이를 구하여 식생의 반사 특성을 강조하고, 이를 두 영상의 합으로 나누어 일반화한 것이다.

Landsat TM 및 ETM 영상자료의 경우 NDVI는 식(4)을 이용하여 계산할 수 있다.

$$NDVI = \frac{Band_4 - Band_3}{Band_4 + Band_3} \quad (4)$$

가시광선이 근적외선보다 반사 값이 크면 NDVI 값이 음수가 되며, 암석, 마른 토양 등은 두 과장대에서 반사특성이 거의 같기 때문에 NDVI 값은 0에 가깝게 나타난다. 녹색 식물인 경우에는 가시광선 영역의 반사율이 근적외선 영역보다 적으므로 NDVI 값이 양수가 된다. 식생이 존재하는 대부분의 영역은 식생이 갖는

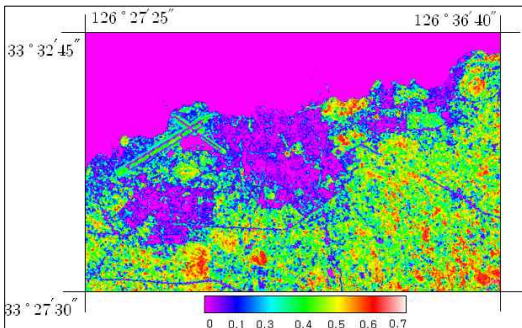


Fig. 6. The NDVI image in Jeju city.

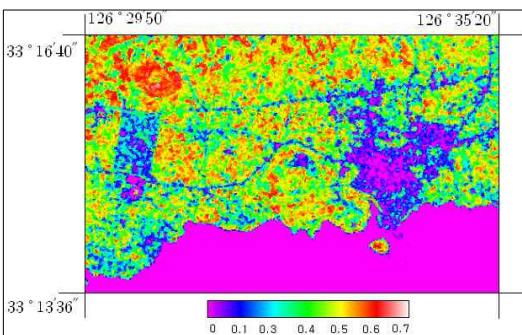


Fig. 7. The NDVI image in Seogwipo city.

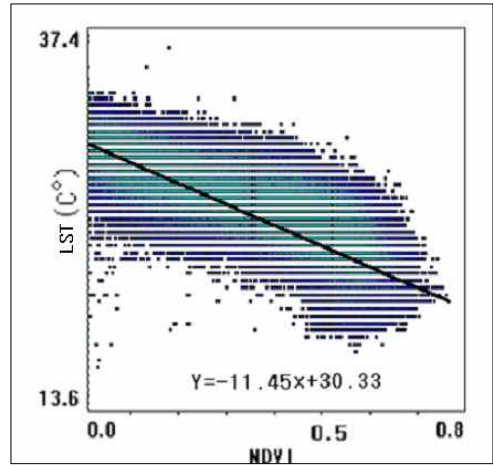


Fig. 8. The relationship between the LST and NDVI in Jeju city.

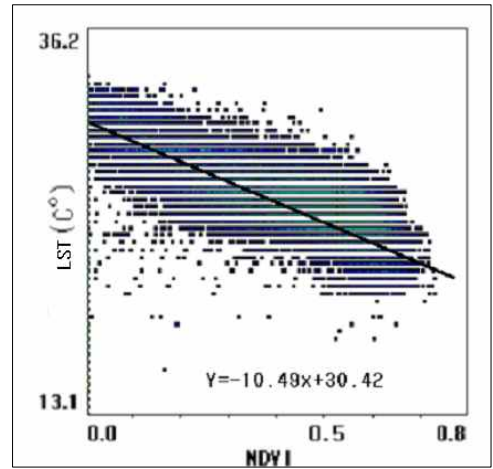


Fig. 9. The relationship between the LST and NDVI in Seogwipo city.

수분 상태를 고려하지 않는다면 보통 0.1~0.6 사이의 값을 갖는 것이 일반적이다. 여기서 NDVI는 식생활력도를 나타내는 지수, $Band_4$ 는 Landsat TM영상의 4번 밴드, $Band_3$ 은 Landsat TM영상의 3번 밴드에 해당한다. 위의 식을 이용하여 제주시와 서귀포시에 대한 식생지수 분포도를 그리면 Fig. 6과 Fig. 7과 같다. 제주시 지역의 식생지수 분포도에서 최소 식생지수 값은 0이고 최대 식생지수 값은 0.75이며 평균 식생지수 값은 0.28이다. 서귀포시에서는 최소 식생지수 값은 0이고 최대 식생지수 값은 0.77이며 평균 식생지수 값은 0.22이다. 두 지역에서 모두 가장 작은 식생지수 값을

가지는 0~0.1인 지역은 주로 건물이 집중된 도시지역과 도로가 분포된 지역이며 경작지, 초지가 분포된 지역의 식생지수 값은 0.2~0.4이며 식생지수가 0.4 이상인 지역은 과수원과 산림이 분포된 지역인 것을 확인하였다. 그 중에서도 산림이 집중적으로 분포된 오름 지역은 식생지수가 0.6이상으로 가장 컸으며 그림에서 적색으로 나타난 지역들이다.

4.2 식생지수와 지표면온도분포도의 상관성분석

제주시와 서귀포시의 지표면온도분포도와 식생지수 분포를 비교해 보면 밀접한 관계를 가지고 있는 것을 알 수 있다. 즉 지표면온도분포도에서는 도시지역에서 지표면온도가 비교적 높고 초지나 산림지역에서는 비교적 낮다. 반면 식생지수는 도시지역에서 낮은 반면 산림지역에서는 비교적 큰 값을 가진다. 정확한 상호관계성을 알기 위하여 Fig. 8과 Fig. 9와 같이 제주시와 서귀포시의 지표면온도와 식생지수의 상관관계를 나타내었다. 그래프로부터 제주시와 서귀포시 두 지역의 지표면온도는 모두 식생지수와 음의 상관관계를 가지고 있는 것을 알 수 있다. 최소제곱법으로 각각의 음의 선형관계식을 유도하면 그래프에서 표시한 바와 같다. 또한 지표면온도분포도와 식생지수분포도 사이의 상관계수를 식 (5)를 이용하여 계산하여 보면 제주시는 -0.77, 서귀포시는 -0.74로 매우 높은 상관성을 나타내고 있으며 기존의 연구에서 계산된 내륙지대에서의 상관계수와 큰 차이를 나타내지 않았다. 식생지수는 나뭇잎 면적, 식생분포 면적, 나무 높이, 수종 등을 정량적으로 나타낼 수 있는 척도로 사용 가능하도록 개발되었으며 식생활력도를 나타내는 지수이다. 그러므로 지표면온도는 식생분포 면적과 밀도 등의 영향을 많이 받는 것을 알 수 있다.

$$r_{kl} = \frac{cov_{kl}}{s_k s_l} \quad (5)$$

여기서

cov_{kl} - 두밴드(k, l)사이의 공분산

s_k, s_l - 두밴드(k, l)의 표준편차

5. 결 론

Landsat TM 영상으로부터 제주시와 서귀포시의 지표면온도와 식생지수 분포도를 작성하고 토지피복에 따른 지표면온도분포특성, 지표면온도와 식생지수의 상관성을 각각 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, Landsat TM 영상의 열적외밴드 6번으로부터

지표면온도분포도를 작성하고 Band 3과 Band 4로 작성한 식생지수분포와 비교분석한 결과 제주시와 서귀포시의 지표면온도는 도시지역에서 높고 산림지역에서 낮으며 식생지수는 그와 반대인 경향을 나타내었으며 상관계수가 각각 -0.77과 -0.74인 매우 높은 음의 상관관계를 가지고 있는 것을 알 수 있었다.

둘째, 도시, 산림, 초지, 과수원, 경작지로 나누어진 토지피복도를 이용하여 제주시와 서귀포시의 지표면온도분포를 분석한 결과 도시지역과 경작지지역에서 지표면온도가 가장 높게 분포하였으며 산림지역의 지표면온도가 가장 낮게 나타났으며 초지와 과수원의 지표면온도는 그 사이에 분포하였다. 도시지역의 평균지표면온도는 약 30C°로 초지, 과수원 지역보다 약 5C°가 높고 산림지역보다는 약 10C° 가량 높은 것을 알 수 있었으며 이는 식생지수와 지표면온도분포도의 음의 상관관계를 잘 설명해주고 있음을 알 수 있었다.

참고문헌

1. 김재익, 여창환, 2005, "도시지역 지표온도와 토지이용 및 식생상태와의 상관관계에 관한 연구: 대구광역시의 경우", *한국지리정보학회지*, 제8권, 제2호, pp.21-30.
2. 조명희, 이광재, 김운수, 2001, "원격탐사 자료와 GIS를 활용한 도시 지표면온도의 공간적 분포특성에 관한 연구", *한국지리정보학회지*, 제4권, 제1호, pp.57-66.
3. 채효석, 송영수, 1999, "Landsat TM 자료를 이용한 지표면 수문인자 변화 분석", *한국지리정보학회지*, 제2권, 제3호, pp.46-59.
4. 안지숙, 김해동, 김사우, 2006, "대구의토지이용도 유형에 따른 여름철 도시열섬포텐셜 추정연구", *한국환경과학회지*, 제16권, 제1호, pp.65-71.
5. 이광재, 조명희, 2004, "공간정보기술을 활용한 도시지역 지표온도 분포 특성 해석", *대한원격탐사학회지*, 제20권, 제6호, pp.397-408.
6. B. Dousset, F. Gourmelon, 2003, "Satellite multi-sensor data analysis of urban surface temperatures and landcover", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 58: pp.43-54.
7. Chander, G. and B. Markham, 2003. "Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41(11): pp.2674-2677.