한국지리정보학회지 2권 3호 : 35~45(1999)

광역적 녹지계획 수립을 위한 도시열섬효과 분석

박경훈[1] · 정성관[2]

Analysis on Urban Heat Island Effects for the Metropolitan Green Space Planning

Kyung-Hun Park[1] · Sung-Kwan Jung[2]

요 약

본 연구는 Landsat TM 영상자료를 이용한 표면온도와 NDVI의 추출을 통해서 대구광역시의 열섬분포패턴과 녹지활력도를 평가하고자 하며, 아울러 녹지의 열섬완화 효과를 정량적으로 설명하기 위해서 토지피복분류를 기준으로 한 표면온도와 NDVI의 상관성을 분석하였다. 연구결과에 따르면, 자연식생으로 피복된 산림의 경우는 NDVI가 높고, 표면온도가 낮은 곳에 분포하고 있는 반면에, 피복상태가 불투수층의 인공포장재료로 구성된 도시역은 NDVI가 낮고, 표면온도가 높은 곳에 분포하고 있는 것으로 분석되었다. 이는 토지피복상태에 따른 표면온도의 차이가 인공 포장면의 증가에 따른 도시열섬효과의 간접적인 발생 원인임을 증명하는 것으로서, 향후 도시계획을 위한 녹지계획 수립시에는 열섬분포 패턴에 관한 인자가 중요하게 고려되어져야 할 것으로 사료된다.

주요어: 도시열섬, 리모트센싱, 식생지수, 표면온도, 녹지

ABSTRACT

The research is to examine urban heat island effects which is resulted from urbanization using thermal infrared band of Landsat TM data and to demonstrate heat island alleviation effects of green spaces through correlation analysis of NDVI(Normalized Difference Vegetation Index) and surface temperature. According to the results, forests which are covered with natural vegetation have a high NDVI digital values, but surface temperature is very low, and urban areas which is composed of artificial paving materials have a low NDVI, surface temperature increases gradually. In summary, the analysis of relationship between NDVI and surface temperature, used in this study, is regarded as one of effective methodologies for proving heat island alleviation effects of vegetation.

KEYWORDS: Urban Heat Island, Remote Sensing, NDVI, Surface Temperature, Vegetation

1999년 10월 28일 접수 Received on October 28, 1999

1 경북대학교 대학원 조경학과(pcapitin@chollian.net) Dept. of Landscape Architecture, Kyungpook Nat'l Univ.

2 경북대학교 조경학과(sgjung@kyungpook.ac.kr) Dept. of Landscape Architecture, Kyungpook Nat'l Univ.

서 론

도시의 급격한 산업화와 경제·사회적 기능의 집중화로 인한 인구와 에너지 소비의 지속적인 증가는 기온 상승, 대기오염 물질의 증가 그리고 상대습도의 감소 등 국지적인 기후변화를 초래하게 하였다.

이러한 도시기후의 변화는 도시 주변부의 농촌지역과 뚜렷한 온도차이를 보이는 도시열섬(urban heat island)현상으로 설명되고 있는데, 이에 관한 종래의 연구는 지상의 기상관측자료를 토대로 규명되어 왔으나, 최근에는 위성영상자료를 이용한 원격탐사기법의 활용가능성이 입증되어 이 분야에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 관련된 선행연구를 살펴보면, Griend 등(1993)은 NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration) 영상자료를 이용한 식생지수와 표면온도의 상관성 분석을 통하여 지표면의 피복상태에 따른 온도분포의 추정가능성을 분석하였으며, Lambin과 Ehrlich(1996)은 AVHRR(advanced very high resolution radiometer) 영상자료를 이용하여 토지피복을 기준으로 한 표면온도와 식생지수의 공간상 분포특성을 파악하였다. 국내의 경우는 이현영(1989)이 AVHRR 자료를 이용하여 도시열섬현상을 규명하였으며, 이용식(1990)은 Landsat TM의 Band 6을 이용한 표면온도의 산출방법을 제시함과 동시에 지상의 정규관측소에서 측정된 온도자료와의 상관성을 분석하였다. 이와 같이 원격탐사기법을 이용한 표면온도의 추출은 광역적인 도시규모에서의 열섬분포패턴을 신속하게 분석할 수 있을 뿐만 아니라, 지표면의 구성요소에 따른 온도분포의 관련성을 분석하여 녹지의 열섬완화효과를 정량적으로 제시할 수 있게 되었다(Gallo. et al, 1993).

본 연구의 사례지인 대구광역시의 경우도 다른 대도시들과 마찬가지로 도시외곽을 둘러싸고 있는 개발제한구역으로 인하여 도시의 과밀화양상이 뚜렷하게 나타났으며, 이로 인한 녹지축의 단절과 파편화(fragmentation)현상은 녹지의 제기능인 대기정화 및 기온완화 효과마저 상실시킴에 따라 열섬현상의 발생을 더욱 가중시키고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 Landsat TM 영상자료를 이용한 표면온도와 정규식생지수(NDVI: normal difference vegetation index)의 추출을 통해서 대구광역시의 열섬분포패턴과 녹지의 활력도를 평가하고자 하며, 아울러 녹지의 열섬완화효과를 정량적으로 설명하기 위해서 Landsat TM 자료에서 토지피복분류를 실시한 후에 이를 기준으로 한 표면온도와 NDVI의 상관성을 분석함으로써, 도시화가 이루어진 기존의 도심지와 산림 및 농경지 등의 녹지공간의 열섬강도를 상호 비교·분석하였다.

연구내용 및 방법

본 연구의 수행과정은 그림 1과 같이 Landsat TM 영상자료[1]를 이용한 토지피복분류와 NDVI 및 표면온도의 추출을 통하여 상호간의 관련성을 분석함으로써, 녹지의 열섬완화 효과를 규명하고자 하였다.

분석과정은 먼저, Landsat TM자료의 Band 3과 4를 이용하여 NDVI를 추출하고, 표면온도는 Band 6을 이용하여 산출하였다. 또한 토지피복분류는 7개 Band 전체를 이용하여 무감독분류와 감독분류를 혼성적으로 사용하여 5개 Class로 분류하였다. 통계처리를 위한 표본집단의 추출은 분류계층별 무작위추출법을 이용하여 1,429개의 표본을 추출한 후, SPSS 7.0 Window 버전을 이용하여 상관분석, 회귀분석, 분산분석 등을 수행하였다.

1. 토지피복분류

토지피복분류는 위성영상자료를 이용한 원

1) 한국환경정책·평가연구원(KEI)에서 제공된 1997년 5월 17일 영상자료임.

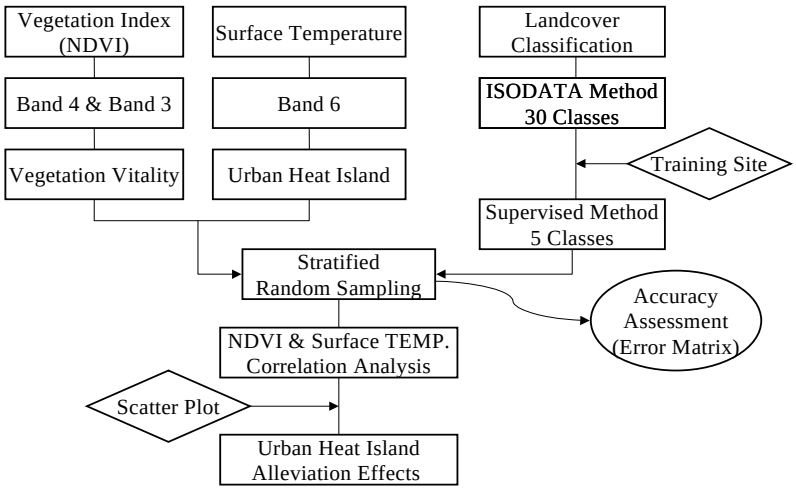

FIGURE 1. Analysis process of urban heat island alleviation effects by vegetation

격탐사의 응용기법으로서, 특히 도시규모 이상의 광역적인 지역에 대한 토지정보를 효율적으로 수집할 수 있는 도구가 된다.

분류항목은 콘크리트, 아스팔트 등의 불투수층 포장면으로 피복된 도시역과 초지, 논, 밭 등의 농경지 그리고 산림, 나지, 수역의 5개 class로 선정한 후, 무감독 분류와 감독분류법을 혼성적으로 사용하였다(Lillesand와 Kiefer, 1994).

분류과정을 단계별로 살펴보면, 먼저 무감독 분류의 ISODATA 기법(iterative selforganizing analysis technique)을 이용하여 30개 class로 분류한 후 1:20,000 항공사진과 1:50,000 지형도상의 훈련지역(training site) 선정을 통한 감독분류를 최종적으로 적용하여 5개 class로 분류하였다. 분류의 정확도 검증은 GPS를 이용한 현장답사가 가장 정확한 방법이지만, 비용과 시간이 많이 소요된다는 현실적인 문제점이 있다. 따라서 본 연구에서는 항공사진과 지형도, 임상도, 현존식생도, 토양도 등의 보조자료를 이용하여 검증자료를 생성하였다.

검증자료의 생성은 모집단, 즉 대구광역시 전체를 대상으로 할 수 없기 때문에 주관적인 표본추출을 최대한 배제함과 동시에 분류항목별이 아닌 지리적인 위치를 기준으로 하는 분류계층별 무작위추출법을 이용하여 표본을 추출하였다(Congalton, 1991).

각 분류항목별 정확도를 파악하기 위한 검증자료의 표본수는 대상지역의 크기와 분류항목의 개수에 따라서 상이할 수가 있는데, 기존의 연구(Congalton, 1991)에 따르면 피복분류 항목별로 최소 50개 정도의 표본이 필요하며, 특별히 크거나 혹은 많은 class로 구별해야 할 경우는 최소 표본수가 75~100개 정도면 적당하다고 제시하였다. 그리고 각 class의 중요도에 따라 표본수를 조정할 수도 있다. 예를 들어 변화가 크지 않은 수역의 경우에는 상대적으로 작은 수의 표본추출이 요구되나 변화가 큰 경우에는 상대적으로 많은 수의 표본이 필요하게 된다.

2. Landsat TM Band 6를 이용한 표면온도의 산출

절대온도 0°K 이상의 모든 물체는 일정 온도에 상응하는 열에너지를 전자파의 형태로 방사하기 때문에 대상물로부터 방사되는 전자

파를 측정하여 온도에 대한 정보를 얻을 수 있는데, 위성영상자료를 이용한 온도추출은 지표면에서 나오는 열적외선을 근거로 하기 때문에 지표면의 일정거리 위에서 측정한 기온과는 약간의 차이가 있을 수 있다. 따라서 지표면의 정확한 온도 측정에 이용되기보다는 대상지의 표면온도에 대한 상대적인 비교와 도시화된 지역의 열섬 분포패턴 및 강도의 특성을 분석하기 위해서 주로 이용되고 있다.

Landsat TM 영상자료의 경우는 몇몇 학자들에 의하여 Band 6의 수치값(DN: digital number)을 방사휘도(radiance)로 바꾸는 절대보정식들이 개발되어 있으나, 본 연구에서는 NASA (National Aeronautics and Space Administration) 모델을 이용하여 표면온도를 추정하였다. NASA 모델에서는 각각의 DN값에 대해 방사 및 기하학적으로 검정한 값을 QCAL이라는 기호로 표기하였으며, 이와 같은 QCAL값은 분광휘도(L_λ)로 전환하기 위한 값으로 6, 7, 8 bit의 DN값을 가진다. TM 스캐너(scanner)의 방사적인 검정은 인공위성에서 전송된 원 영상을 재배열하여 이루어지며, 이와 같이 검정된 수치영상 자료는 특정 기간동안 지상에서 처리된 모든 영상에 대해서 동일한 사후 검정범위를 갖게 된다(양인태 등, 1995).

TABLE 1. Landsat TM calibration data at NASA

Band	$LMIN_\lambda$	$LMAX_\lambda$
TM 1	-0.1500	15.210
TM 2	-0.2800	29.680
TM 3	-0.1200	20.430
TM 4	-0.1500	20.620
TM 5	-0.0370	2.719
TM 6	-0.1238	1.560
TM 7	-0.0150	1.438

영상자료의 QCAL값에서 분광휘도(L_λ)로의 변환은 특정한 밴드에 대한 사후 검정범위의 극한값인 $LMIN_\lambda$와 $LMAX_\lambda$가 표 1과 같이 주어졌을 때, 다음 식에 의해서 구할 수 있다.

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

여기서,

QCAL: DN 단위로 계산되고 정량화된 복사에너지

$LMAX_\lambda$: QCAL=0 일 때 분광 복사에너지

$LMIN_\lambda$: QCAL=QCALMAX 일 때 분광 복사에너지

QCALMAX: DN의 최대값(255)

표 1에서 분광휘도의 단위는 ($mW \cdot cm^{-2} \cdot ster^{-1} \cdot \mu m^{-1}$) 이며, 검정 후의 QCALMAX값은 모든 Landsat TM 데이터에서 255 DN값을 가진다.

이상과 같이 구해진 방사값 L_λ을 다음과 같은 NASA 모델식에 적용하여 절대단위 온도를 산출한다(양인태 등, 1995).

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

여기서, T : 절대온도 (°K)

K_2: 검정상수 (1,260.56)

K_1: 검정상수 (60.776)

L_λ: 스펙트럼 방사값

분석 및 고찰

1. Landsat TM 자료의 분석

1) Landsat TM Band 6에 의한 열섬현상 분석

대구광역시의 열섬분포 패턴을 시각적으로 명확하게 파악하기 위해서 Band 6에서 산출된 표면온도를 표 2와 같이 equal intervals 명령어를 이용하여 일정온도 간격의 5개 class로 재분류를 실시하였다. 분류결과를 살펴보면

14.4~21.4℃에 해당하는 classⅡ가 가장 많은 면적(483.7㎢)을 차지하고 있는 것으로 나타났는데, 이를 그림 2에서 살펴보면 도시외곽의 농경지와 저지대 구릉지의 산림이 대부분인 것으로 분석되었다.

반면, 금호강 일대의 공업단지와 중구를 중심으로 한 상업 및 고밀도 주거지역은 평균 표면온도 28.5℃ 이상의 고온역이 집중적으로 분포하고 있는 것으로 나타나, 향후 대구광역시의 녹지계획 수립시 도시열섬현상을 완화할 수 있는 방안으로서 금호강 주변의 수림대 조성 및 도심지내 녹지공간 확보 등이 고려되어져야 할 것으로 판단된다.

TABLE 2. Surface temperature using Landsat TM Band 6

	Class Ⅰ	Class Ⅱ	Class Ⅲ	Class Ⅳ	Class Ⅴ
Surface temperature	14.4℃ 미만	14.4~ 21.4℃	21.4~ 28.5℃	28.5~ 35.5℃	35.4℃ 이하
Area(㎢)	217.0	**483.7**	159.0	20.9	0.2

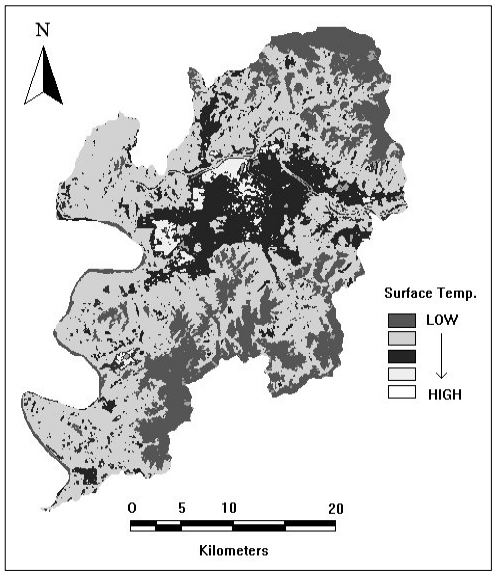

FIGURE 2. Map of urban heat island

2) NDVI를 이용한 녹지의 활력도 평가

녹지분석에 있어 가장 일반적으로 사용되는 영상분석은 식생지수에 의한 방법으로서, 이는 식물의 활력도와 녹지 피복에 따른 가시광선 및 근적외선 파장대 광선의 반사량 차이를 이용한다. 현재까지 녹지의 활력도를 평가하기 위해서 개발된 식생지수는 여러 종류가 있으나, 본 연구에서는 가장 일반적으로 사용되고 있는 NDVI를 이용하였다.

NDVI의 산출공식은 다음과 같은 과정을 통해서 최소 -1에서 최대 1까지 범위dml 값을 갖게 된다(Lillesand와 Kiefer, 1994).

NDVI = (Band4-Band3)/(Band4+Band3)

NDVI 산출결과는 표면온도와 마찬가지로 전체 5개 class로 분류함으로써, 평가결과의 명료화와 이해도를 향상시켰다. 분석결과를 표 3에서 살펴보면, NDVI의 Value값 0.5~0.8로 활력도가 가장 높은 classⅤ가 324.8㎢로 가장 많고, 0.2~0.5의 class Ⅳ(311.7㎢)가 다음으로 많은 면적을 차지하고 있는 것으로 나타났다.

TABLE 3. NDVI using Landsat TM Band 3 and Band 4

	Class Ⅰ	Class Ⅱ	Class Ⅲ	Class Ⅳ	Class Ⅴ
NDVI	-0.7~-0.4 미만	-0.4 ~-0.1	-0.1 ~0.2	0.2 ~0.5	0.5 ~0.8
Area(㎢)	2.6	13.8	227.9	311.7	**324.8**

녹지활력도의 공간적 분포패턴을 그림 3에서 살펴보면, 도시외곽으로 갈수록 녹지의 활력도가 점진적으로 증가하는 양상을 보이는 반면, 상업, 공업지역 등의 도시적 토지이용형태가 밀집되어 있는 지역은 점적인 형태의 공원녹지만이 비교적 활력도가 높은 것으로 평가되어, 향후 도심지내의 단절된 녹지축의 연결과 부족한 녹지공간의 확보가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

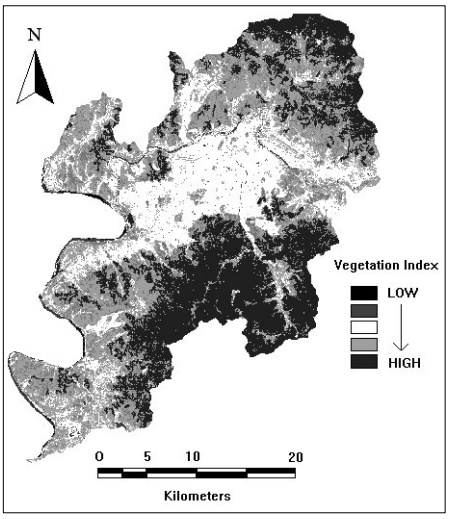

FIGURE 3. Map of NDVI

3) 토지피복분류의 정확도 검증

녹지의 열섬완화 효과를 설명하기 위해서 먼저 그림 4와 같이 주거, 상업, 공업지역 등의 도시역과 수역, 농경지, 나지, 산림으로 토지피복분류를 실시하였다. 분류결과에 대한 정확도 검증은 분류계층별 무작위추출법을 통해서 추출된 검증자료를 표 4와 같이 error matrix를 작성하여 평가하였다.

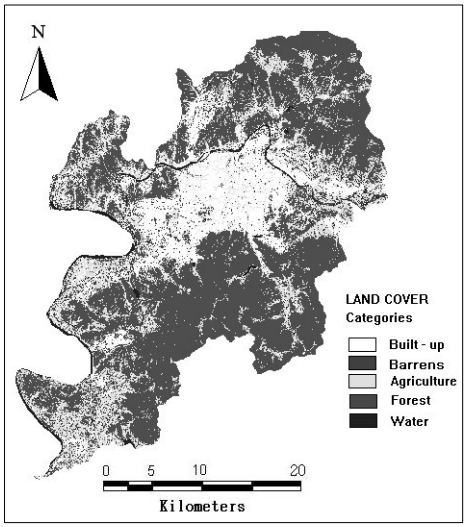

FIGURE 4. Map of land cover

TABLE 4. Accuracy assessment for land cover classification

Reference Date

Image Data	BU	B	A	F	W	row total
BU	229	21	17	0	0	267
B	3	42	12	2	0	59
A	8	13	252	10	3	286
F	0	2	18	758	3	781
W	0	5	8	1	22	36
column total	240	83	307	771	28	1,429

Land Cover Categories
BU = Built-up
B = Barrens
A = Agriculture
F = Forest
W = Water

OVERALL ACCURACY
= 1,303/1,429×100 = **91.2%**

PRODUCER'S ACCURACY

BU	=	229/240	=	95.4%
B	=	42/83	=	50.6%
A	=	252/307	=	84.1%
F	=	758/771	=	98.3%
W	=	22/28	=	75.6%

USER'S ACCURACY

BU	=	229/267	=	85.8%
B	=	42/59	=	71.2%
A	=	252/286	=	88.1%
F	=	758/781	=	97.1%
W	=	22/36	=	61.1%

정확도 검증을 위해서 추출된 표본수는 총 1,429개의 점자료로서 토지피복분류도와 검증자료인 1:20,000 항공사진과 지형도, 임상도 등에서 각각의 value값을 도출하였다. 표 4에서 생산자 정확도(producer's accuracy)는 각 class에서 정확하게 분류된 픽셀(pixel)수를 검증자료의 픽셀수로 나눈 값으로서, 이는 표본추출된 검증자료 내에서의 분류정확도를 나타내는 것이다. 사용자 정확도(user's accuracy)는 표본집단 내에서 정확하게 분류된 픽셀수를 위성영상자료에 의한 토지피복분류 결과의 각 class별 총 픽셀수로 나눈 것으로서 대상지역 전체가 얼마나 정확하게 분류되었는가를 설명하는 것이다.

정확도 검증결과 overall accuracy가 91.2%이고, producer's accuracy는 도시역이 95.4%로 비교적 정확하게 분류된 반면에, 나지의 경우는 50.6%로서 상당한 오차를 보이고 있는 것으로 나타나기 때문에, 향후 정확도 향상을 위해서 좀더 향상된 분류기법의 개발과 GPS등의 장비를 이용한 검증자료의 생성이 이루어져야 할 것이다.

2. 녹지의 열섬완화 효과

1) 토지피복형태별 표면온도 분포패턴 분석

토지피복형태별 표면온도의 평균값을 살펴보면, 표 5와 같이 도시역(24.2℃) > 나지(21.3℃) > 농경지(18.7℃) > 산림(15.0℃) > 물(14.8℃)의 순으로 나타났다. 전체 토지피복형태의 25% 정도를 차지하고 있는 도시역은 중구의 상업지역과 대규모의 택지개발사업이 이루어진 달서구와 수성구에 집중적으로 나타나고 있으며, 특히 금호강을 중심으로 분포하고 있는 검단공단, 염색공단, 제3공단 등에 집중적으로 나타나고 있기 때문에, 향후 금호강을 축으로 하는 선적인 형태의 수림대 조성과 공단 주변에 일정한 폭 이상의 완충적인 녹지대 조성 등의 녹지정책이 이루어져야 할 것으로 사료된다.

토지피복에 따른 표면온도의 차이를 통계적인 방법으로 검증하기 위해서 표 6과 같이 표본집단을 추출하여 분산분석(ANOVA)을 실시한 결과, F값은 393.364이고, 유의도가 0.000이므로 '토지피복분류에 따라 표면온도의 평균값은 차이가 없다.'라는 귀무가설은 유의수준 0.05에서 기각되기 때문에, 5개의 분류항목인 도시역, 나지, 농경지, 산림, 수역에 대한 표면온도의 평균값은 차이가 있다고 할 수 있다.

TABLE 6. ANOVA test of surface temperature and land cover classification

	Sum of squares	df	Mean square	F	Sig.
Between groups	15309.677	4	3827.419	**393.364**	.000
Within groups	11685.698	1428	9.730		
Total	26995.375	1429			

TABLE 5. Surface temperature and land cover classification

Land Cover	Surface temperature(℃)	MIN. (℃)	MAX. (℃)	Standard dev.(℃)	Area (㎢)	Ratio (%)
Built-up	24.2	11.0	42.5	3.1	165.2	18.8
Barrens	21.3	11.0	36.8	2.7	36.5	4.1
Agriculture	18.7	8.9	38.3	2.3	194.6	22.1
Forest	15.0	7.3	37.3	1.8	460.1	52.2
Water	14.8	9.4	33.1	1.8	24.4	2.8

2) 표면온도와 NDVI의 상관성 분석을 통한 열섬완화효과 분석

녹지의 열섬완화효과를 분석하기 위해서 표면온도와 NDVI 간의 상관정도를 파악하기 위해서 등간척도에 적용되는 피어슨의 상관계수(Pearson correlation coefficient: r)를 구하였으며, 분석결과 표 7에서와 같이 유의수준 5% 내에서 피어슨의 상관계수값이 -0.633이므로 표면온도와 NDVI는 뚜렷한 음(-)의 상관관계가 존재하고 있는 것으로 해석할 수 있다.

TABLE 7. Correlation analysis of surface temperature and NDVI

		Surface temperature	NDVI
Surface temperature	Pearson correlation	1.000	**-.633****
	Sig. (2-tailed)	.	.000
	N	1429	1429

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

상관분석은 두 연속형 변수 사이에 어느 정도 밀접한 상관관계가 있는가를 분석하는 것으로 두 변수사이의 관계에 대한 인과관계는 설명할 수가 없기 때문에 표 8과 같이 선형회귀분석(linear regression analysis)을 실시하였다.

NDVI값을 독립변수로, 표면온도를 종속변수로 하여 분석한 결과 표면온도(Y) = 21.767 - 11.979 · NDVI(X)의 회귀식이 도출되었으며, 이 식에 대한 적합도 분석은 결정계수(R^2)로 설명될 수 있는데, R^2 = 0.400로서 분석에 사용된 사례의 경우 NDVI 식생지수에 의해 표면온도를 40%정도 설명할 수 있다고 생각된다.

그림 5는 녹지의 열섬완화 효과를 설명하기 위해서 토지피복의 특성에 따른 표면온도와 식생지수의 공간적 분포특성을 산포도 형식으로 작성한 결과로서, 지표면의 투수성 정도와 녹피율에 따른 표면온도의 차이가 뚜렷하게 나타나고 있음을 파악할 수 있다.

특히 불투수층의 인공적인 포장재료로 피복되어 있는 도시역은 토양수분함량이 매우 낮은 건조한 상태로서, 대기 중으로 증발되는 수분의 양이 적어 다른 피복상태에 비해서 표면온도가 매우 높게 나타나고 있다. 반면, 토양의 수분함량이 도시역에 비해서 높은 나대지의 경우는 좀더 낮은 온도분포를 보이고 있으나, 식물에 의한 증산작용이 거의 없기 때문에 농경지 또는 산림에 비해서는 상대적으로 높은 온도를 보이고 있는 것으로 판단된다.

논, 밭, 초지 등으로 구성된 농경지의 경우는 탄소동화작용을 통해서 지중의 수분이 대기중으로 방출되는 증산작용이 도시역이나, 나대지에 비해서 점차적으로 증가함에 따라, 표면온도가 낮아지고 있는 것으로 나타났다. 산림지역의 경우는 토양수분과 식물의 엽면에서 일어나는 증발산(evapotranspiration)작용이 증가함에 따라 표면온도가 다른 피복상태에 비해 가장 낮은 분포역을 보이고 있는 것으로 분석되었다.

TABLE 8. Linear regression analysis of surface temperature and NDVI

Model	Unstandardized coefficients		Standardized coefficients	t	Sig.
	B	Std. error	Beta		
1 (Constant)	**21.767**	0.173		126.121	0.000
NDVI	**-11.979**	0.423	-0.633	-28.344	0.000

* Dependent variable: Surface temperature

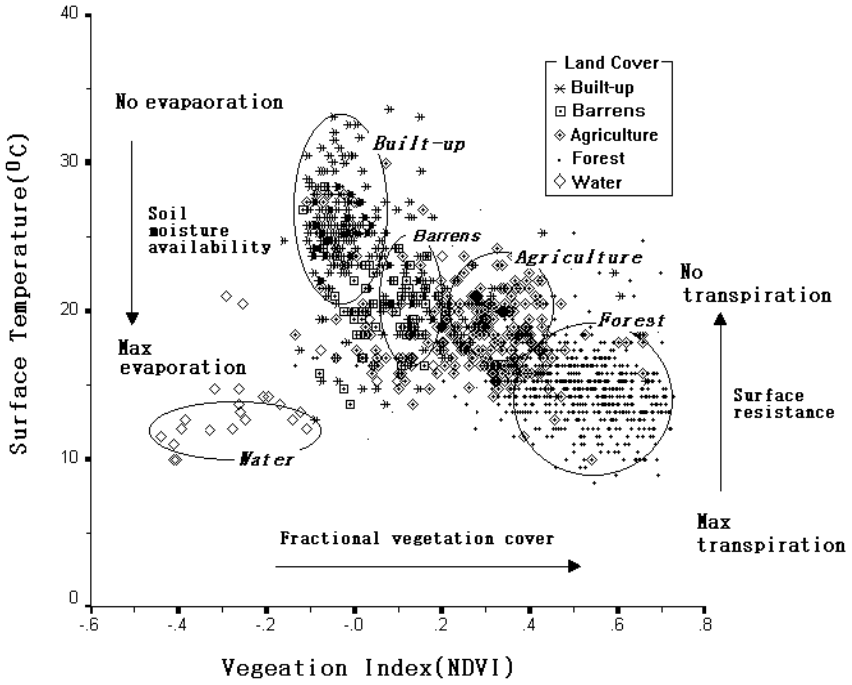

FIGURE 5. Relations in the surface temperature-vegetation index space for water-limited environments

이상과 같이 대구광역시의 외곽에 분포하고 있는 농경지, 산림지역 그리고 도심지내의 공원녹지는 토지피복상태가 콘크리트, 아스팔트 등의 인공포장면으로 구성된 도시역에 비해서 매우 낮은 온도분포를 보이고 있는 것으로 나타났는데, 이는 식물의 엽면적과 토양수분 함량에 기인하는 것으로서, 향후 도시계획 수립시에 이러한 녹지의 열섬완화 효과를 최대화할 수 있는 녹지계획이 수립되어져야 할 것으로 사료된다.

결 론

본 연구는 Landsat TM 영상자료를 이용한 표면온도와 NDVI의 상관성 분석을 통해서 대구광역시의 열섬분포 패턴과 녹지의 열섬완화 효과를 규명하였으며, 최종적인 분석결과를 요약하면 다음과 같다.

1. Landsat TM 자료의 Band 6을 이용하여 표면온도를 추출한 결과 도시외곽의 농경지와 산림지역은 14.4~21.4℃의 온도분포를 보이는 반면, 열섬효과가 가장 뚜렷하게 나타난 지역인 금호강 주변의 공업단지와 중심상업지역 등의 도심지역은 28.5℃ 이상의 고온역에 분포하고 있는 것으로 나타났다.
2. NDVI에 의한 녹지의 활력도 평가결과는 도시외곽의 산림지역에 해당하는 class V(0.5~0.8)가 가장 많은 면적을 차지하고 있는 것으로 나타났으며, 전체적인 분포양상은 도시외곽으로 갈수록 녹지의 활력도가 점진적으로 증가하는 반면에, 도심지는 점적인 형태로 분포되어 있는 공원녹지만이 비교적 활력도가 높은 것

으로 평가되어, 향후 도심지내의 녹지공간 확보를 위한 정책수립이 요구된다.

3. 토지피복은 도시역, 수역, 농경지 등의 5개 class로 분류되어졌으며, error matrix에 의한 분류정확도 검증결과는 전체적인 정확도가 91.2%로서 비교적 정확한 분류결과를 얻었으나, 검증자료를 기준으로 한 생산자의 정확도는 나지가 50.6%로서 상당한 오차를 보이고 있는 것으로 나타나, 향후 GPS를 이용한 현장검증 및 분류결과의 향상을 위한 방법론적 연구가 이루어져야 할 것으로 사료된다.
4. 녹지의 열섬완화 효과를 분석하기 위해서 토지피복형태별 지표온도의 분포패턴을 분석한 결과 도시역, 나지, 농경지, 산림, 물의 순으로 평균온도가 높게 나타났으며, 이를 통계적으로 검증하기 위해서 분산분석을 실시한 결과, 5%의 유의수준에서 토지피복형태별 표면온도의 평균값이 차이가 있음이 입증되었다. 또한 지표온도와 NDVI의 상관관계를 분석한 결과 r값이 -0.633으로서 뚜렷한 음(-)의 상관관계가 존재하고 있으며, 회귀분석 결과는 NDVI 식생지수에 의해 표면온도를 40%정도 설명할 수 있는 것으로 나타났다.
5. 지표온도와 식생지수의 공간분포를 토지피복을 기준으로 살펴보면, 열섬현상이 가장 뚜렷하게 나타나는 도시역은 NDVI가 낮고, 표면온도가 가장 높은 곳에 분포하는 반면에, 녹피율이 점진적으로 증가하는 산림지역의 경우는 지표면의 증발산이 극대화되어 다른 피복형태에 비해서 상대적으로 낮은 온도분포를 보이고 있는 것으로 나타났다.

본 연구는 광역적 녹지계획을 수립하기 위한 기초자료로서 위성영상자료를 이용한 대구광역시의 도시열섬 효과를 규명하였으며, 향후에는 위성영상자료에 의한 표면온도의 정확성 향상을 위한 방법론적 연구와 열섬현상을 완화하기 위한 녹지축 조성 등의 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것으로 사료된다. KAGIS

참고문헌

김귀곤. 1993. 생태도시계획론. 대한교과서주식회사. 19-30쪽.

박경훈. 1998. 환경보전을 위한 종합적 녹지평가 방법론. 경북대학교 조경학과 석사학위논문.

양인태, 김만덕, 윤범한, 김연준. 1995. Landsat TM 영상에 의한 난지도 매립지의 발생열 분포해석. 환경영향평가학회지. 14(2):59-63.

이용식. 1990. 도시열섬 분석에 있어서 원격탐사 기법의 적용에 관한 연구. 서울대학교 환경대학원 환경계획학과 석사학위논문.

이현영. 1989. 원격탐사기법에 의한 도시열섬 연구. 지리학 제14호:1-13.

임업연구원. 1996. 한국산림과 온실가스. 임업연구원 연구자료 제126호.

전성우, 박종화. 1997. 자연환경부문의 원격탐사기법 도입방안에 관한 연구. 한국환경정책・평가연구원

전성우, 정성문. 1998. 생태・자연도 작성 및 활용을 위한 원격탐사기법 연구(Ⅰ). 한국환경정책・평가 연구원.

정충영, 최이규. 1996. SPSSWIN을 이용한 통계분석. 무역경영사. 115-232쪽.

Congalton, R. G. 1988. A Comparison of sampling schemes used in generating error matrices for assessing the accuracy of maps generated from remotely sensed data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 54(5):593-600.

Congalton, R.G. 1991. A review of assessing the accuracy of classification of remotely sensed data. Remote Sensing of Environment 37:35-46.

Gallo, K.P. et al. 1993. The use of a vegetation index for assessment of the urban heat island effect. International Journal of Remote Sensing 14(11):2223-2230.

Hope, A.S. and T.P.McDowell. 1992. The relationship between surface temperature and a spectral vegetation index of a tallgrass prairie: effects of burning and other landscape controls. International Journal of Remote Sensing 13:2849-2863.

Kim, H.H. 1992. Urban heat island. International Journal of Remote Sensing 13(12):2319-2336.

Lambin, E.F. and D.Ehrlich. 1996. The surface temperature-vegetation index space for land cover and land-cover change analysis. International Journal of Remote Sensing 17(3):463-487.

Lillesand, M. and W.Kiefer. 1994. Remote Sensing and Image Interpretation. 3rd ed. New York, John Wiley.

Saitoh, T. S. 1998. The present and future state of urban warming in the tokyo metropolitan area: Japanese Urban Environment, G.S.Golany et al.(ed.). Pergamon press. Chapt. PartII-A. pp.99-116.

Smith, R.C. and B.J.Choudhury. 1991. Analysis of normalized difference and surface temperature observations over southeastern Australia. International Journal of Remote Sensing 12(10):2021-2044.

Van de Griend, A.A. and M.Owd. 1993. On the relationship between thermal emissivity and the normalized difference vegetation index for natural surfaces. International Journal of Remote Sensing 14:1119-1131.

Voogt, J.A. 1995. Thermal remote sensing of urban surface temperatures. Unpublished Ph.D. Thesis. The University of British Columbia, Vancouver. KAGIS