

# Landsat 위성영상에 의한 용도지역 온도변화분석 Temperature Change Analysis for Land Use Zoning Using Landsat Satellite Imagery

정길섭\* · 구슬\*\* · 유환희\*\*\*  
Jung, Gil Sub · Koo, seul · Yoo, Hwan Hee

## 要 旨

토지이용이 인위적으로 이뤄져오면서 시외지역이나 공원지역에 비하여 도시지역의 온도가 상승하는 원인이 되어 왔다. 따라서 본 연구에서는 진주시를 대상으로 도시지역의 용도지역에 따른 온도변화를 Landsat TM/ETM<sup>+</sup> 영상을 이용하여 분석하였고, 정규식생지수와 온도변화와의 상관관계를 분석하는데 연구목적을 두었다. 그 결과 도시 표면온도의 분포가 용도지역별 정규식생지수(NDVI)값의 변화에 연계되어 있음을 알 수 있었다. 용도지역별 평균 온도를 고려하면 용도지역 중 공업지역이 가장 높은 반면 녹지지역은 가장 낮게 나타났다. 또한 도시온도와 정규식생지수와의 상관관계를 비교분석한 결과 녹지지역과 주거지역이 상업지역과 공업지역에 비해 높게 나타났으며, 이러한 연구결과는 도시열섬효과문제를 고려한 지속 가능한 도시계획을 수립하는데 중요한 요소로 활용될 것으로 기대된다.

핵심용어 : 도시표면온도, Landsat TM/ETM<sup>+</sup> 위성영상, 정규식생지수, 용도지역, 지속가능한 도시계획

## Abstract

The land use has been changed artificially and caused the result of temperature increase of city compared with the outside of city or region of park and forest.

The purpose of this research is to analyze the change of the urban surface temperature with land use zoning in Jinju using Landsat TM/ETM<sup>+</sup> imagery and to provide the correlation between NDVI(Normalized Difference Vegetation Index) and urban surface temperature change. The results presented that the spatial distribution of urban surface temperature was depending on the change of NDVI values on land use zoning. Considering to the average temperature by land use zoning, industrial area was the highest temperature but green area was the lowest temperature. Also as a result of comparing the correlation between surface temperature and NDVI, the green and residential area had higher correlation values than the commercial and industrial area. These results will be played a part as one of the major factors for implementing the sustainable urban planning considering the urban heat island effect problem.

Keywords : urban surface temperature, Landsat TM/ETM<sup>+</sup> imagery, NDVI, land use zoning, sustainable urban planning

## 1. 서 론

최근 지구촌 곳곳에서 자연재해로 인해 대규모 도시 재해와 인명피해 그리고 산업기반시설의 파괴가 발생하여 지역주민의 삶의 기반이 송두리째 파괴되는 재앙이 발생되고 있다. 또한 도시화로 인한 도시환경문제로

인하여 지속가능한 개발에 대한 관심이 크게 증대되고 있으며 도시지역의 지속적인 성장으로 인한 집중 및 과밀화, 그리고 평면적 개발확산을 통한 도시지역의 팽창은 과도한 토지이용문제를 잉태하고 있고, 이로 인한 도시지역의 과도한 개발과 녹지공간의 축소는 도시지역 온도를 상승시켜 도시열섬을 발생시키고 있다. 따라

2011년 4월 28일 접수, 2011년 5월 30일 채택

\* 정회원 · 새한향업(주) 지오메틱스연구소 연구원(jgsclride@naver.com)

\*\* 학생회원 · 경상대학교대학원 도시공학과 석사과정(BK21)(alice590@naver.com)

\*\*\* 교신저자 · 정회원 · 경상대학교 공과대학 도시공학과 교수(ERI, BK21)(hhyoo@gnu.ac.kr)

서 국내외적으로 도시지역의 온도상승 형태를 분석하기 위한 다양한 연구가 시도되어 왔으며, 국내연구동향을 살펴보면, 위성영상을 이용하여 식생활력도를 분석하고 열적외선 데이터로부터 토지피복에 따른 온도 차이를 분석한 결과가 제시되었으며(강승수, 2006), Landsat, SPOT, MODIS 위성영상 데이터를 이용하여 새만금 지역의 공사 이전과 공사 진행과정의 연안환경 변화를 모니터링 하여 지표면 온도변화를 비교·분석하였다(나상일 등, 2008). 그리고 열섬완화측면에서 법률상 공원 유치거리 및 배치의 적절성을 분석하여 향후 공원 조성 시 인간의 이용측면만이 아닌 열섬완화 및 열 쾌적성을 고려한 새로운 기준작성의 기초자료로서의 활용가능성을 제시하였다(윤민호 등, 2009). 외국의 연구동향을 보면, 태양광에 의한 토지표면온도와 정규식생지수사이에 상호관계가 있음을 정의하였으며(Karnieli 등, 2010), Mallick는 Landsat 7 ETM+ 영상을 이용하여 인도북부에 있는 델리지역의 토지표면 온도를 추정하면서 지표온도와 정규식생지수의 매개변수 사이에는 강한 상관관계가 존재한다고 정의하였다(Mallick 등, 2008). 따라서 본 연구에서는 진주지역을 연구대상지로 선정된 용도지역별 온도분포를 동일시간대 및 시계열적인 온도변화를 분석하였고, 이를 토대로 녹지지역의 분포와 도시온도변화와의 상관성을 제시하였다.

2. 위성영상에 의한 도시온도계산

도시지역의 온도분포를 좌우하는 요소로 고려할 때 도로나 건축물과 같은 각종 시설물은 온도를 상승시키는 요소로, 그리고 녹지 및 수변공간은 온도를 낮추는 요소로 생각할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 도시공간에 분포하고 있는 녹지지역을 추출하고 용도지역별 녹지면적의 점유비율을 고려하여 용도지역간의 온도차를 위성영상을 이용하여 분석하였다. 위성영상을 이용하여 녹지지역을 추출하기 위하여 정규식생지수를 계산하여 추출하였으며, 정규식생지수는 Landsat 위성영상의 밴드 중 밴드4 (근적외선 영역 : 0.7 ~ 1.1μm), 밴드 3(가시광선 중 적색 영역 : 0.6 ~ 0.7μm)을 이용하여 계산한다. 정규식생지수는 주로 식생 활력도로 해석되며, 밴드간 비율이 유용한 이유는 0.5 ~ 1.1μm의 파장에서 마른토양, 건강한 식물, 죽은 식물 등에 대한 반사율 차이 때문이고, 왕성하게 성장하는 녹색 식물은 근적외선(0.7 ~ 1.1μm)에서 입사량의 40~50%를 반사하고, 가시광선(0.4 ~ 0.7μm)의 80~90%를 흡수한다. 또한 Landsat 위성영상을 이용한 도시지표온도를 계산하기

표 1. 분광반사휘도값(Landsat TM/ETM+)

구 분	$L_{min}$	$L_{max}$
Landsat TM	0.1238	1.560
Landsat ETM+(High Gain)	3.2	12.65
Landsat ETM+(Low Gain)	0.0	17.04

위하여 절대방사량을 환원하는 NASA(National Aeronautics and Space Administration) 온도모델을 기반으로 하여 Landsat TM/ETM+ 영상의 도시지표면 온도를 계산하였다(NASA, 2004).

$$L_{\lambda} = \left( \frac{L_{max} - L_{min}}{Q_{calmax} - Q_{calmin}} \right) \times (Q_{cal} - Q_{calmax}) + L_{min} \quad (1)$$

여기서,  $L_{\lambda}$ (절대방사휘도) : 측정된 분광반사량

$$W / (m^2 sr \mu m)$$

$L_{min}$ (최소방사휘도) :  $Q_{cal} = Q_{calmax}$  일 때 분광복사 에너지  $W / (m^2 sr \mu m)$

$L_{max}$ (최대방사휘도) :  $Q_{cal} = 0$  일 때 분광복사에너지  $W / (m^2 sr \mu m)$

표 1은 Landsat TM/ETM+ 분광방사휘도값을 나타내고 있으며, Landsat TM/ETM+ 영상에서 구한 절대방사휘도  $L_{\lambda}$ 와 절대온도( $K$ ) 사이에는 다음과 같은 상관관계가 존재한다.

$$T(K) = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L_{\lambda}} + 1\right)} \quad (2)$$

여기서,

$T(K)$  : 위성관측온도(Kelvin)

$K1$  : 보정계수 1 ( $W / (m^2 sr \mu m)$ )

$K2$  : 보정계수 2 ( $W / (m^2 sr \mu m)$ )

$L_{\lambda}$  : 분광 방사휘도 ( $W / (m^2 sr \mu m)$ ) .

$Q_{calmin}$  : DN(Digital Number)단위로 정량화된 최소 복사에너지

$Q_{calmax}$  : DN단위로 정량화된 최대복사에너지 (DN=255)

$Q_{cal}$  : DN 값

계산된 절대온도( $K$ )는 식(2)에 의해 섭씨온도( $^{\circ}C$ )로 환산된다.

$$T(^{\circ}C) = T(K) - 273.15 \quad (3)$$

표 2. 열 밴드의 검정계수(Landsat TM/ETM<sup>+</sup>)

구 분	Constant 1- <i>K</i> <sub>1</sub> <i>W</i> /( <i>m</i> <sup>2</sup> <i>sr</i> $\mu$ m)	Constant 2- <i>K</i> <sub>2</sub> <i>W</i> /( <i>m</i> <sup>2</sup> <i>sr</i> $\mu$ m)
Landsat TM	607.76	1260.56
Landsat ETM <sup>+</sup>	666.09	1282.71

### 3. 결과분석

#### 3.1 연구대상지 선정

연구대상지역으로 선정한 진주시는 도시지역과 비도시지역으로 구분되어 있으며, 도시지역은 주거지역, 상업지역, 공업지역, 녹지지역으로 구성되었다. 주거지역의 면적은 17.04km<sup>2</sup>, 상업지역은 3.00km<sup>2</sup>, 공업지역은 5.02km<sup>2</sup>, 녹지지역은 249.44km<sup>2</sup>이며, 비도시지역(계획관리지역, 생산관리지역, 보전관리지역, 관리지역, 농림지역, 자연환경보전지역)이 437.39km<sup>2</sup>이다. 본 연구에서는 도시지역인 주거지역(A), 상업지역(B), 공업지역(C) 그리고 녹지지역(D)을 대상으로 정하였다.

본 연구의 수행을 위해서 대상지역인 진주시의 Landsat TM/ETM+ 위성영상(1991, 1996, 2001, 2009년)과 대상지역의 현황을 파악하기 위한 참고자료로 수치지형도(1/1000, 1/5000), IKONOS 위성영상(2001년), KOMPSAT-2 위성영상(2009년), 항공영상, 진주시 토지적성평가 자료를 이용하였다.

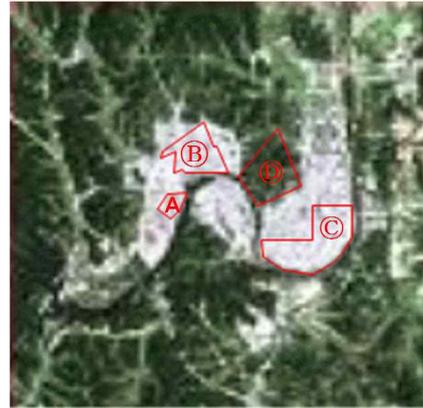


그림 1. 연구 대상지역(진주시)

#### 3.2 용도지역별 정규식생지수 변화분석

진주시에 지정되어 있는 용도지역 중 주거지역, 상업지역, 공업지역, 녹지지역에 대해 정규식생지수를 계산하고 이를 이용하여 용도지역내에 분포하고 있는 식생지역을 추출하였다. Landsat 위성영상에 의해 1991년(1991.08.28), 1996년(1996.09.26), 2001년(2001.09.16), 2009년(2009.05.09)의 용도지역별 식생면적을 구하기 위해 계산한 정규식생지수값의 최소, 최대, 평균값을 0에서 255로 표시하는 영상밝기값으로 변환하여 표 4에 나타냈으며, 그림 2, 3은 그 중 1991년, 2009년의 용도지역별 정규식생지수값의 변환값 분포를 나타내고 있다.

표 3. 연구 대상지역에 대한 영상 및 수치자료

LANDSAT 위성영상		취득시기: 1991, 1996, 2001, 2009년 Sensor : MSS/TM/ETM+ 자료형태: Raster 대상지역: 진주시
토지적성평가 자료		취득시기: 2006년 자료형태: Vector 대상지역: 진주시
수치지도 (1/1000, 1/5000)		취득시기: 2000년 자료형태: DXF 대상지역: 진주시

표 4. 용도지역별 변환된 정규식생지수값의 분포

용도지역	$NDVI_{min}$				$NDVI_{max}$				$NDVI_{mean}$			
	1991	1996	2001	2009	1991	1996	2001	2009	1991	1996	2001	2009
주거지역	118	105	85	71	212	215	177	184	155	134	106	113
상업지역	119	105	80	69	160	160	128	145	126	110	96	100
공업지역	89	80	78	60	195	187	164	172	127	125	102	100
녹지지역	121	114	93	105	206	209	190	210	181	180	162	164

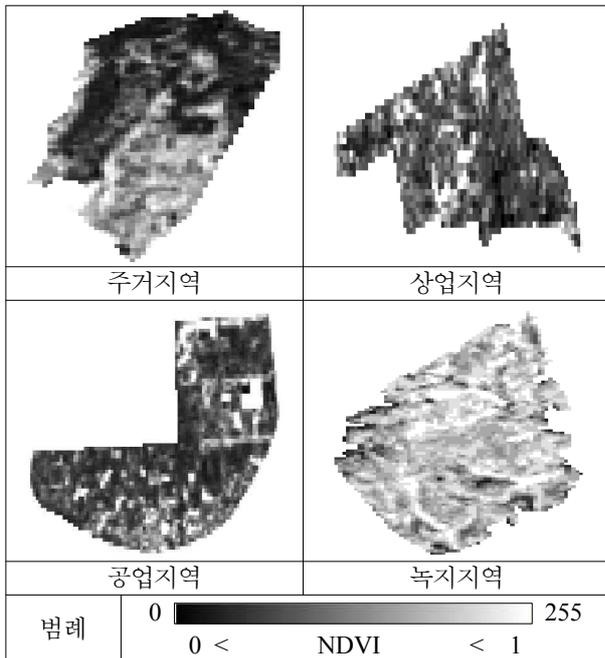


그림 2. 용도지역별 정규식생지수(1991년)

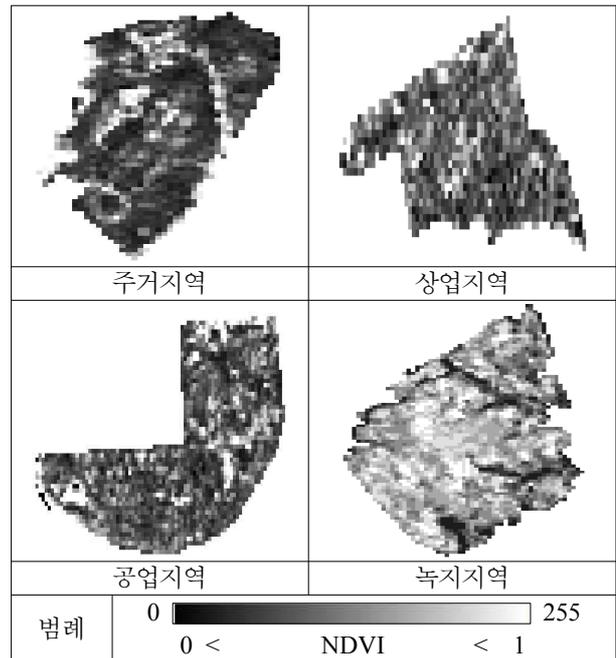


그림 3. 용도지역별 정규식생지수(2009년)

Landsat 위성영상의 취득시기를 보면 1991년, 1996년, 2001년은 8월과 9월로서 식생의 활력이 왕성한 시기이나 2009년은 5월로서 식생활력이 타 년도에 비해 다소 미흡한 시기로 판단되나 위성영상의 구입에 있어서 원하는 시기의 자료를 자율적으로 구입할 수 없는 여건을 고려하여 구입 가능한 자료를 중심으로 연구를 수행하였다. 따라서 연도별 식생분포나 온도를 정확하게 비교하기는 어렵지만 동일시기내 용도지역별 식생 분포나 온도차를 분석하는데 큰 어려움이 없다고 판단하였다.

표 4의 결과에서 정규식생지수값의 용도지역별 분포를 보면 녹지지역이 가장 우수한 것으로 분석되었고 그 다음으로 주거지역, 공업지역, 상업지역 순이었다. 이것은 주거지역내에 조성된 공원이나 공업지역내에 조성된 완충녹지 등이 중요한 역할을 하고 있음을 알 수 있으며, 상업지역의 경우 도심 중심부로서 식생이 가장 작음을 알 수 있다. 또한 연도별 변화를 보면 모든 용도지역이 1991년에서 2009년으로 변해오는 동안 식생면

적이 모두 감소하는 것을 나타나고 있어서 도시공간에서의 녹지공간이 점점 감소되고 있음을 나타내고 있다.

### 3.3 용도지역별 온도변화분석

Landsat TM/ETM<sup>+</sup> 영상을 이용하여 지표면온도의 변화를 측정하기 위해 지표면방사 온도를 밴드 6으로부터 유도하였다. 그림 4는 Landsat 영상으로부터 연도별 진주지역 지표면 온도분포를 나타낸 그림이다.

그림 4, 5, 6과 표 5에서 보면 관측계절의 차이는 있으나 1991년에서 2009년으로 갈수록 점점 도시온도가 증가되는 것을 볼 수 있고 범위도 확대되는 추세를 알 수 있다. 이것은 도시의 성장에 의한 개발과 연관되어 있음을 알 수 있으며, 표 5에서 제시한 기상청 발표 온도는 오전 03시부터 오후 24시까지 3시간 간격으로 8회 관측한 값을 산술평균한 값으로 진주지역 평균온도를 발표한 것으로서 위성영상에서 분석된 온도와 다소 차이가 있음을 보여주고 있다. 또한 용도지역별 온도를 보면 녹지지역이 가장 낮고 다음으로 주거지역, 상업지

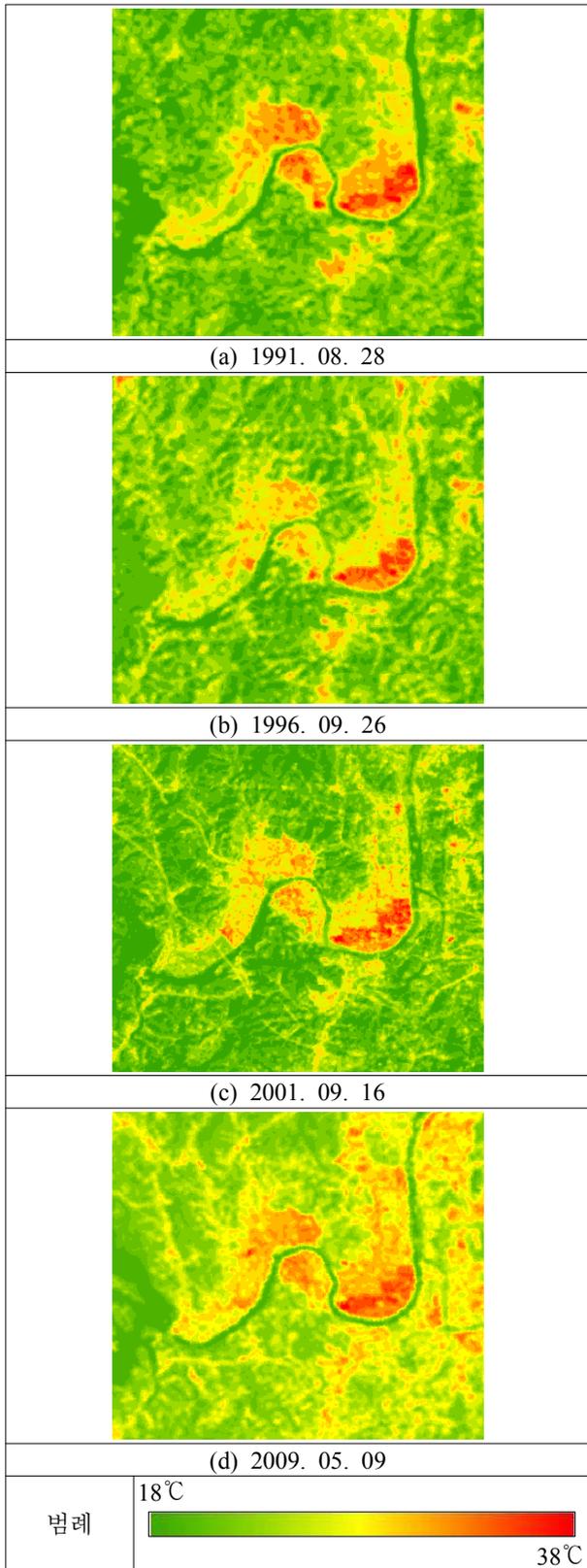


그림 4. 진주지역의 연도별 지표면 온도분포  
역, 공업지역 순으로 나타났다. 이것은 식생지수값의

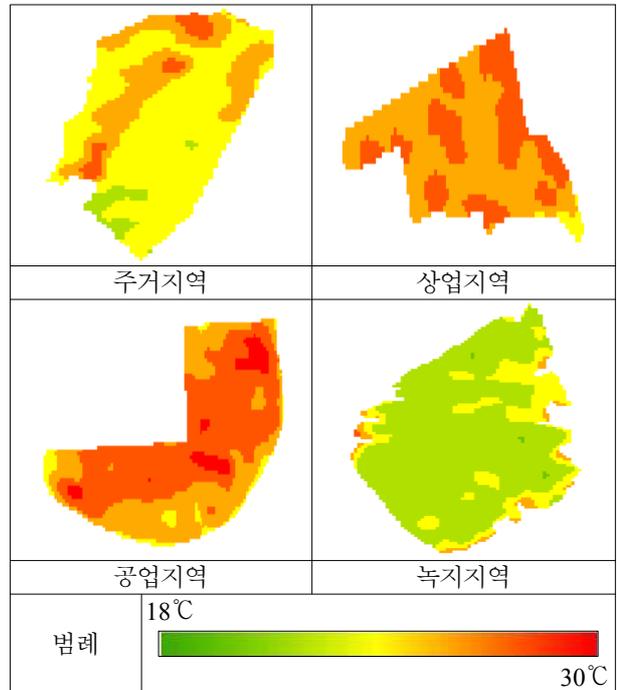


그림 5. 용도지역별 온도분포(1991년)

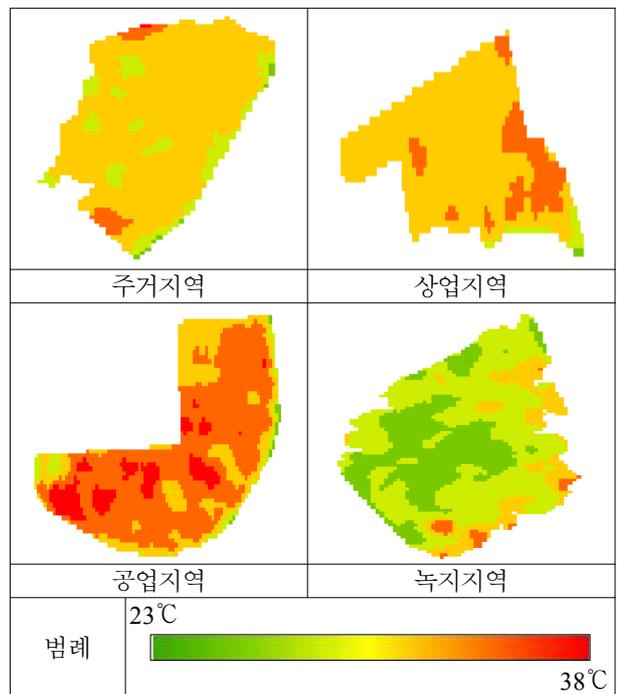


그림 6. 용도지역별 온도분포(2009년)

분포와 비슷한 경향을 보이고 있으며, 단지 상업지역과 공업지역의 결과가 바뀐 것은 공업지역에서 공장가동에 의한 열 방출이 위성영상에 영향을 준 것으로 추측된다.

표 5. 용도지역별 온도분포(°C)

용도 지역	Landsat 영상을 이용한 온도				기상청 발표 온도 (진주시역)			
	1991	1996	2001	2009	1991	1996	2001	2009
주거 지역	23.5	25.1	28.6	30.1	22.9	18.6	21.3	22.3
상업 지역	25.6	25.7	29.3	31.3	22.9	18.6	21.3	22.3
공업 지역	26.1	28.0	31.6	33.2	22.9	18.6	21.3	22.3
녹지 지역	21.3	22.0	24.4	25.9	22.9	18.6	21.3	22.3

표 6. 정규식생지수와 온도의 상관성분석

용도지역	상관계수			
	1991	1996	2001	2009
주거지역	0.7	0.6	0.6	0.6
상업지역	0.3	0.4	0.3	0.3
공업지역	0.6	0.4	0.5	0.4
녹지지역	0.8	0.7	0.8	0.7

3.4 정규식생지수와 온도의 상관성분석

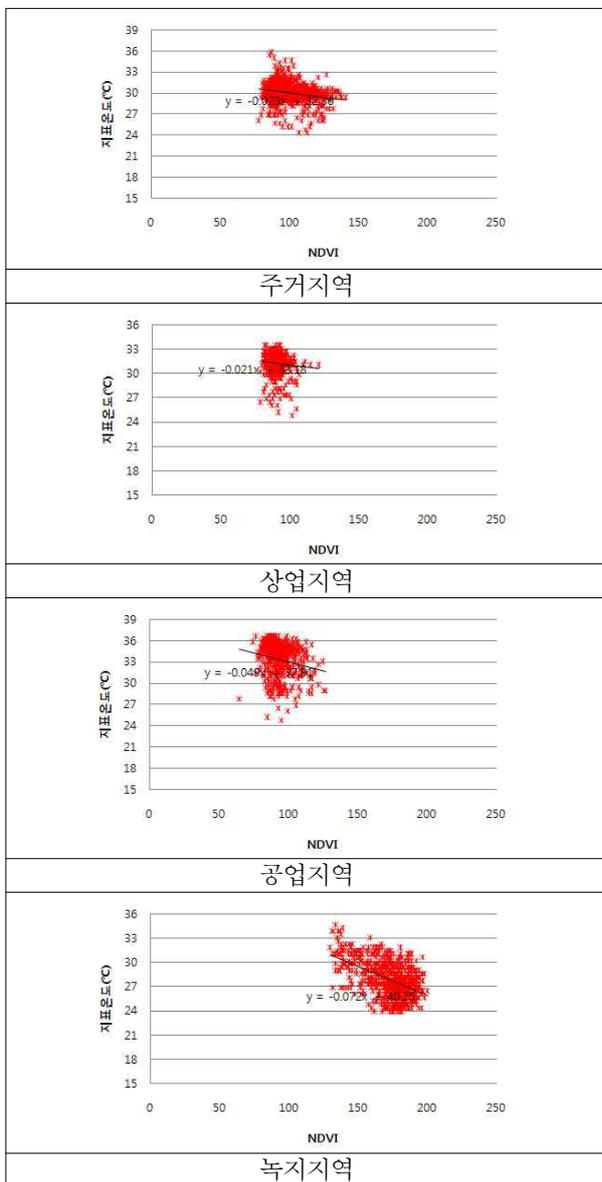


그림 7. 정규식생지수와 온도의 상관관계(2009년)

용도지역별 정규식생지수를 구하여 식생분포특성을 파악하고 이에 따른 온도관측이 상호 어느 정도의 상관관계가 있는지를 분석하기 위해 상관성분석을 실시하였다.

각 용도지역별 정규식생지수 분포값과 온도값을 ASCII 포맷 자료로 변환하고 엑셀을 이용하여 상관계수를 구하였고(표 6), 그림 7은 그 중 2009년 결과만을 표시한 그림이다. 각 용도지역별 상관계수를 살펴보면, 녹지지역과 주거지역은 상관계수가 0.6 이상으로 비교적 상관성이 높게 나타났으나 상업지역과 공업지역은 0.3-0.6으로 비교적 낮게 나타났다. 본 연구의 결과만을 고려하여 판단하기는 어려움이 있으나 녹지나 공원이 크게 조성된 지역은 식생면적에 의해 도시온도 상승이 저감되는 효과를 얻을 수 있으나 공업지역이나 상업지역은 식생분포가 매우 미소하여 현재의 Landsat 영상의 해상력으로 식생의 영향을 파악하기에는 문제가 있음을 예견할 수 있다고 판단된다.

4. 결론

Landsat TM/ETM+ 영상을 이용하여 진주시역의 용도지역별 정규식생지수를 계산하고 이에 따른 식생분포를 분석하고 밴드 6값을 NASA 온도모델에 적용하여 도시 표면온도를 산출하여 연도별 및 용도지역별 온도변화를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 정규식생지수값의 용도지역별 분포를 보면 녹지지역이 가장 우수하고, 그 다음으로 주거지역, 공업지역, 상업지역 순이었다. 이것은 주거지역이나 공업지역 내에 조성된 공원이나 완충녹지 등의 영향이 크고, 상업지역의 경우 도심 중심부로서 식생이 가장 작음을 알 수 있다. 연도별 변화를 보면 1991년부터 2009까지 지속적으로 감소되는 추세를 보여 도시공간에서 녹지공간이 점점 감소되고 있음을 나타내고 있다.

둘째, 용도지역별 온도를 보면 녹지지역이 가장 낮고 다음으로 주거지역, 상업지역, 공업지역 순으로 나타났다. 이것은 정규식생지수값의 분포와 비슷한 경향을 보이고 있으며, 단지 상업지역과 공업지역의 결과가 바뀐

것은 공업지역에서 공장가동에 의한 열 방출이 위성영상에 영향을 준 것으로 추측된다.

셋째, 정규식생지수와 온도의 상관계수를 살펴보면, 녹지지역과 주거지역은 상관계수가 비교적 높게 나타났으나 상업지역과 공업지역은 낮게 나타났다. 이것은 현재의 Landsat 영상의 해상력으로 식생면적이 작은 지역에 대해 분석하는 것이 어려움이 있음을 알 수 있었다.

### 감사의 글

본 연구는 한국연구재단 2009기초연구사업(일반연구 자지원사업-지역대학우수과학자)에 의해 수행되었습니다.

### 참고문헌

1. 강승수, 2006, "Landsat TM과 EMT<sup>+</sup> 영상자료를 이용한 도시지역의 토지피복에 따른 열 분포 해석", *석사학위논문*, 금오공과대학교.
2. 나상일, 박종화, 신형섭, 2008, "위성영상을 활용한 새만금사업지구의 정규화식생지수와 표면온도 및 식생온도 지수의 변화탐지", *한국관개배수* 제15권 제1호, pp.28-38.
3. 윤민호, 안동만, 2009, "위성영상을 이용한 도시녹지의 기온저감 효과 분석", *한국조경학회지*, Vol.37 No.3, pp.46-53.
4. Karnieli, A., et al., 2010, "Use of NDVI and Land Surface Temperature for Drought Assessment", *American Meteorological Society* 2010, Vol.23, pp.618-633.
5. Mallick, J., Kant, Y., and B.D.Bharath, 2008, "Estimation of land surface temperature over Delhi using Landsat-7 ETM<sup>+</sup>", *J. Ind. Geophys. Union*, Vol.12 No.3, pp.131-140.
6. NASA Landsat Project Science Office, 2004, "Landsat 7 Science Data Users Handbook", Chapter 11-Data Products.