

수도권 지표특성 분석을 위한 Landsat 자료의 활용

지준범* · 최영진

(재)기상기술개발원 차세대도시농림융합기상사업단, 121-835, 서울시 마포구 월드컵북로 434

Conjugation of Landsat Data for Analysis of the Land Surface Properties in Capital Area

Joon-Bum Jee* and Young-Jean Choi

Weather Information Service Engine, Center for Atmospheric and Earthquake Research,
Seoul 121-835, Korea

Abstract: In order to analyze the land surface properties in Seoul and its surrounding metropolitan area, several indices and land surface temperature were calculated by the Landsat satellites (e.g., Landsat 5, Landsat 7, and Landsat 8). The Landsat data came from only in the fall season with Landsat 5 on October 21, 1985, Landsat 7 on September 29, 2003, and Landsat 8 on September 16, 2013. The land surface properties used are the indices that represented Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI), Modified Normalized Difference Wetness Index (MNDWI), Normalized Difference Wetness Index (NDWI), Tasseled cap Brightness, Tasseled cap Greenness, Tasseled cap Wetness Index, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Normalized Difference Built-up Index (NDBI) and the land surface temperature of the area in and around Seoul. Most indices distinguish very well between urban, rural, mountain, building, river and road. In particular, most of the urbanization is represented in the new city (e.g., Ilsan) around Seoul. According to NDVI, NDBI and land surface temperature, urban expansion is displayed in the surrounding area of Seoul. The land surface temperature and surface elevation have a strong relationship with the distribution and structure of the vegetation/built-up indices such as NDVI and NDBI. While the NDVI is positively correlated with the land surface temperature and is also negatively correlated with the surface elevation, the NDBI have just the opposite correlations, respectively. The NDVI and NDBI index is closely associated with the characteristics of the metropolitan area. Landsat 8 and Landsat 5 have very strong correlations (more than -0.6) but Landsat 7 has a weak one (lower than -0.5).

Keywords: Landsat, NDVI, NDBI, Land Surface Temperature, Capital area

요약: 서울을 포함한 수도권지역의 지표면 특성분석을 위하여 Landsat 위성자료(Landsat 5, Landsat 7, Landsat 8)를 이용하여 다양한 지표 특성지수와 지표면 온도를 계산하였다. 연구에 사용된 Landsat 자료는 가을철 자료로써 1985년 10월 21일의 Landsat 5, 2003년 9월 29일의 Landsat 7 그리고 2013년 9월 1일의 Landsat 8 자료를 이용하였다. 그리고 서울과 주변지역에 대하여 토양조질 식생지수, 수정 정규 습윤지수, 정규 습윤지수, 태슬 모자형 밝기, 태슬 모자형 초록, 태슬 모자형 습윤, 정규 식생지수, 정규 건설지수와 같은 지표 특성지수와 지표면 온도를 산출하였다. 대부분의 지표 특성지수들은 도시, 시골, 산, 건물, 강 그리고 도로 등에서 잘 구별되었다. 특히, 도시화의 특징은 서울 주변의 신도시(예, 일산)에서 잘 나타났다. 정규 식생지수와 정규 건설지수 그리고 지표면 온도에 따르면 도시의 확장은 서울의 주변지역에서 뚜렷이 보였다. 지표면 온도와 지표고도는 식생 또는 건설물의 구조와 분포를 나타내는 정규 식생지수 그

*Corresponding author: rokmcjb717@gmail.com

Tel: +82-70-4617-3764

Fax: +82-2-6922-2930

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

리고 정규 건물지수와 강한 상관성이 나타났다. 정규 식생지수는 지표면온도와 양의 상관성을 보였고 지표고도와 음의 상관성을 가지는 반면, 정규 식생지수는 지표면온도와 지표고도에 대하여 각각 반대의 특성을 나타내었다. 또한, Landsat의 정규 식생지수와 정규 건물지수는 수도권지역에서 밀접한 관계를 보였다. Landsat 8과 Landsat 5에서는 -0.6 이하의 강한 상관성이 있었으며 Landsat 7에서는 -0.5 이상의 낮은 상관성이 나타났다.

주요어: Landsat 위성, 정규 식생지수, 정규 건물지수, 지표면 온도, 수도권

서론

최근 기후변화에 따른 기온상승, 온실효과 및 해수면의 상승으로 기상이변의 빈도는 급격하게 상승하고 있으며 돌발홍수, 폭설과 같은 기상재해가 증가 되고 있다. 기후변화와 더불어 인구가 집중되고 있는 도시는 인위적인 열배출로 인하여 기온상승이 가속화 되고 있으며 도시화에 따른 도시지역의 인위적 환경변화는 기온에 영향을 받기도 하지만 기온에 영향을 주기도 한다(Park, 2001). 또한 도시화에 따른 도시환경문제로 인하여 지속가능한 개발에 대한 관심이 증대되고 있다. 도시지역의 팽창에 따른 과도한 개발과 녹지공간의 축소는 도시지역 온도를 상승시켜 도시열섬을 발생시키고 있다(Landsberg, 1981).

위성영상자료를 이용한 지표변화 상태는 현장관측이나 항공사진을 이용한 방법에 비해 넓은 지역을 빠른 시간에 효과적으로 처리할 수 있으며, 비용이 저렴하고, 주기적인 데이터 획득이 가능하여 정보갱신이 용이하다는 장점을 가지고 있다. 또한 인공위성 영상자료는 공간적, 분광적 해상도의 다양화로 인해 GIS (Geological Information System)의 입력자료로서 활용가치가 급속도로 증대되고 있는 추세이다(Yoo, 1999). 이러한 노력의 일환으로 최근에는 원격탐사나 지리정보시스템을 이용한 지표변화에 대한 연구가 선진국을 중심으로 수행되고 있으며, 최근 우리나라도 원격탐사를 이용한 인공위성 영상자료의 활용방안이 주목받고 있다. 이러한 인공위성 영상자료는 빠른 시간 내에 넓은 지역에 해당되는 지표변화 상태를 알 수 있게 하므로 광대한 지역에 대하여 지속적인 감시를 위한 자료로 유용하게 활용될 수 있다. 이를 객관적으로 분석하기 위한 방법으로 Landsat 자료 등과 같은 인공위성 영상을 이용하기도 하는데, 이 방법은 온도 변화를 탐지하고 식생과의 상관관계를 효과적으로 분석하는데 유용한 방안 중 하나로 알려져 있다.

최근까지의 위성을 이용한 연구 동향을 살펴보면 국내의 경우, Landsat 영상에 의한 호수의 수질인자를 추출하는 연구(Kim et al., 1996; Choi and Yang,

1998)에서 표층수온의 추출이 시도되었으며, Jo et al. (2001)은 토지피복으로 구분하여 지표온도를 분석하였고, Lee et al. (2004a, 2004b)은 강릉시 산악지역의 산불의 특성을 분석하기 위하여 Landsat 자료를 이용하였다. Kim and Kwon (2005)은 Landsat 5 자료를 이용하여 지표면온도 및 식생상태를 연구하였으며, Lee and Kim (2005)은 Landsat 5와 Landsat 7 자료를 이용하여 NDVI와 지표온도의 관계성을 분석하였고, Kim et al. (2006)은 위성자료를 이용하여 대구광역시 지역의 증발산 효율을 산출하였다. Na et al. (2008)은 Landsat, SPOT, MODIS 위성영상 자료를 이용하여 연안환경의 변화를 분석하였고, Lee and Hong (2008)은 토지이용에 따라 온도분포가 다름을 밝혔고, Jeong (2009)은 도시열섬에 대한 공간적 특성을 연구하였다. Yoon and Ahn (2009)은 공원 조성 시 열섬완화 및 열 쾌적성을 분석하였고, Kang et al. (2010)은 도시화로 인한 열 분포의 변화를 탐지하고자 하였다.

국외의 경우, Prihodko and Goward (1997)는 NOAA-9 AVHRR 자료를 이용하여 기온을 추정하는 연구를 수행하였으며, Suga et al. (2003)은 계절별 실측표면 온도와 추정표면온도의 상관관계를 연구하였다. Steve et al. (2007)은 도시열섬에 영향을 미치는 다양한 토지이용유형의 영향을 조사하였으며, He et al. (2007)은 중국 전역을 대상으로 토지이용변화와 도시열섬 변화를 평가하였다. 그리고 Mallick et al. (2008)은 지표온도와 정규 식생지수의 매개변수 사이에는 강한 상관관계를 분석하였으며, Karnieli (2010)은 태양광에 의한 토지면 온도와 정규 식생지수 사이의 상호관계가 있음을 정의하였다.

그러나 국내외의 연구들은 위성자료를 이용하여 다양한 지표특성 지수의 산출에 대한 방법과 기초적인 해석이 부족하였으며 도시화의 분석 및 활용에 대한 연구는 적었다. 따라서 본 연구에서는 Landsat 자료를 이용하여 수도권의 도시화와 지표면 특성을 분석하기 위하여 1985년 Landsat 5와 2003년 Landsat 7 그리고 2013년 Landsat 8 자료를 이용하였으며 서울

을 포함한 수도권지역의 지표특성 지수들을 산출하였다. 그리고 지표면 고도와 지표이용도를 활용하여 지표특성지수와 지표면 온도를 비교분석하였다. 이러한 분석 결과를 이용하여 수도권 지역의 도시화와 지면의 특성을 분석하였으며 Landsat 위성자료의 활용에 대하여 논하였다.

자료 및 방법

연구대상지역

Landsat 자료를 이용한 지표특성을 분석하기 위하여 서울을 포함한 수도권지역을 연구대상지역으로 선정하였다. 서울시는 1960년대 이후 지속적인 성장위주의 경제개발정책으로 인해 인구집중과 도시화가 가속화되어 자연생태계 훼손, 도시열섬현상 발생 등 심각한 환경문제를 야기하고 있다. 또한, 지역에 따라 개발정도의 양상이 차별화되고, 토지이용 형태가 상이하여 녹지의 규모 및 분포양상이 다양하다. 따라서 도시화의 영향에 따른 지표특성의 변화와 위성자료에 의한 특성을 자세히 살펴볼 수 있다. Fig. 1은 연구대상지역의 지표고도와 지표이용도를 나타낸 것이다. 지표고도 자료는 국립지리원에서 제공된 10 m×10 m 해상도 자료를 Landsat 위성자료와 비교하기 위하여 50 m×50 m로 공간평균하였고, 지표이용도는 2012년 국립지리원의 중분류 토지이용도를 USGS (United States Geological Survey) 33개 분류(Table 1)로 재분류하여 50 m×50 m로 내삽하였다. 수도권 지역은 한강이 가로지르고 있으며 남쪽과 북쪽으로 산악이 있고 서울 주변지역으로 주거를 위한 신도시가 위치하고 있다. Fig. 1b의 지표이용도에서 Table 1과 같이 31과 32는 도시의 건물의 조밀도에 따라 분류된 도시지역이며, 33은 공업 또는 상업지역으로서 서울 주변에 발달한 신도시 또는 공업지역이 나타나고 있다. 그리고 30 이하로 분류된 곳은 산림, 나대지 또는 하천 등의 지역으로 도시화가 이루어지지 않은 지역이 서울 주변으로 나타나고 있다.

연구 자료

Landsat 위성은 1972년 7월 23일 Landsat 1을 시작으로 2013년 2월 13일 Landsat 8이 발사되어 운영 중에 있다. Landsat 5, Landsat 7, Landsat 8 위성에서 관측되는 파장 특성은 Table 2, 3, 4와 같으며 Landsat 5 위성은 1984년 3월 1일, Landsat 7 위성은

1999년 4월 15일 Landsat 8 위성은 2013년 2월 11일에 미국 USGS와 NASA의 공동으로 발사되었으며 연구 영역의 관측(Row: 116, Path: 34)은 10시 30분에서 11시 10분 사이에 수행되었다. 또한 각각의 위성에서 산출되는 값들을 비교하기 위하여 Landsat 7과 Landsat 8의 중심 파장을 이용하여 Landsat 5의 파장의 밴드를 기준으로 Table 2와 같이 일치시켰다.

본 연구에서는 1985년 10월 21일 Landsat 5 위성, 2003년 9월 29일 Landsat 7 위성 그리고 2013년 9월 16일 Landsat 8 위성의 맑은 날의 자료를 이용하였다. Fig. 2는 선정된 날들의 RGB 영상들로서 Fig. 7b의 Landsat 7 위성 영상들은 2003년 5월부터 위성의 관측센서 보정의 문제로 인하여 불연속이 나타나고 있으나 이 연구에서는 불연속을 보정하지 않은 원자료를 이용하였다. 보정영상은 원자료의 보정에 따른 이차적인 오차가 발생할 수 있고 원자료를 이용하여 분석하여도 본 연구의 영상 해석과 결과 분석에는 영향을 미치지 않는다. RGB 영상의 조합은 많은 방법들이 있으며 조합 방법에 따라 관측밴드의 특성들이 그대로 반영되기 때문에 다양하게 지표의 특성을 분석할 수 있다.

Fig. 2의 RGB 영상들을 살펴보면 RGB 321영상은 사람이 보는 것과 유사하며 도시지역은 밝은 회색이며 산림지역은 녹색으로 나타나고 구름은 하얀색으로 보인다. RGB 432영상은 식생이 붉은색, 도시는 푸른색으로 보이고 토양은 갈색으로 나타난다. RGB 742 영상은 식생은 녹색이고 맨땅 또는 인공 구조물은 분홍색이며 황무지는 노란색과 갈색 그리고 물은 파란색으로 보인다. RGB 541영상은 RGB 742와 유사한 특징이 나타나지만 산림지역에서 갈색으로 뚜렷이 나타난다. RGB영상 대부분 산림지역, 도시, 그리고 인공 구조물, 초지, 건물, 도로, 강, 호수, 간석지 등을 구분하여 분석할 수 있다(World Meteorological Organization, 2007).

연구방법

Landsat 위성자료는 Table 2, 3, 4와 같이 밴드별로 정량화된 복사에너지(Digital Number)로 제공되기 때문에 위성별 밴드특성을 이용하여 복사에너지 또는 반사도로 변환한다. Landsat 5와 7 위성자료는 변환식을 이용하여 변환된다(Chander et al., 2009; Teillet et al., 2001).

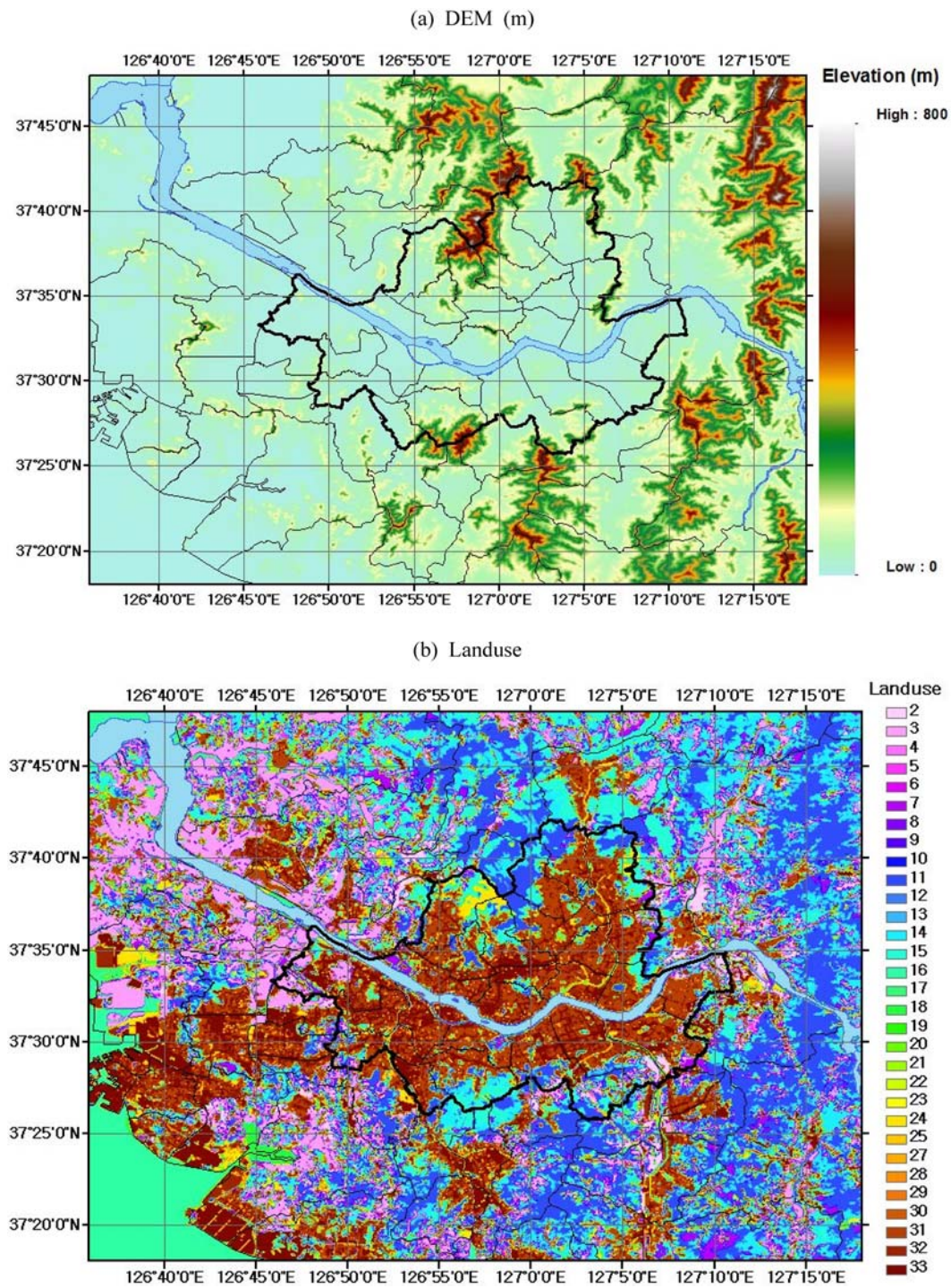


Fig. 1. DEM (Digital Elevation Model; a) and Landuse (b) for study area. Landuse category specify in Table 1.

Table 1. Specification of landuse category from USGS 33 landuse categories

Category	Specification	Category	Specification
1	Urban and Built-Up Land	18	Wooded Wetland
2	Dryland Cropland and Pasture	19	Barren or Sparsely Vegetated
3	Irrigated Cropland and Pasture	20	Herbaceous Tundra
4	Mixed Dryland/Irrigated Cropland and Pasture	21	Wooded Tundra
5	Cropland/Grassland Mosaic	22	Mixed Tundra
6	Cropland/Woodland Mosaic	23	Bare Ground Tundra
7	Grassland	24	Snow or Ice
8	Shrubland	25	Playa
9	Mixed Shrubland/Grassland	26	Lava
10	Savanna	27	White Sand
11	Deciduous Broadleaf Forest	28	Unassigned
12	Deciduous Needleleaf Forest	29	Unassigned
13	Evergreen Broadleaf Forest	30	Unassigned
14	Evergreen Needleleaf Forest	31	Low Intensity Residential
15	Mixed Forest	32	High Intensity Residential
16	Water Bodies	33	Industrial or Commercial
17	Herbaceous Wetland		

Table 2. Specifications of spectral bands for Landsat 5

Landsat 5	Wavelength (μm)	Resolution (m×m)	Landsat 7	Landsat 8
Band 1	0.45-0.52	30	Band 1	Band 2
Band 2	0.52-0.60	30	Band 2	Band 3
Band 3	0.63-0.69	30	Band 3	Band 4
Band 4	0.76-0.90	30	Band 4	Band 5
Band 5	1.55-1.75	30	Band 5	Band 6
Band 6	10.40-12.50	120	Band 6	Band 10
Band 7	2.08-2.35	30	Band 7	Band 7

Table 3. Same as Table 2 except for Landsat 7

Landsat 7	Wavelength (μm)	Resolution (m×m)
Band 1	0.45-0.515	30
Band 2	0.525-0.605	30
Band 3	0.63-0.69	30
Band 4	0.75-0.90	30
Band 5	1.55-1.75	30
Band 6	10.40-12.5	60
Band 7	2.09-2.35	30
Pan Band	0.52-0.90	15

Table 4. Same as Table 2 except for Landsat 8

Landsat 8	Wavelength (μm)	Resolution (m×m)
Band 1	0.433-0.453	30
Band 2	0.450-0.515	30
Band 3	0.525-0.600	30
Band 4	0.630-0.680	30
Band 5	0.845-1.885	30
Band 6	1.560-1.660	60
Band 7	2.100-2.300	30
Pan Band	0.500-0.680	15
Band 9	1.360-1.390	30
Band 10	10.300-11.300	100
Band 11	11.500-12.500	100

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

여기서, L_{λ} (복사에너지)는 관측된 복사에너지($W/m^2/sr/\mu m$)이며 Q_{calmin} 는 정량화된 최소 복사에너지(DN=0)이고 Q_{calmax} 는 정량화된 최대 복사에너지(DN=255 (Landsat 5, 7), DN=65535 (Landsat 8))이며 Q_{cal} 은 관측 정량화된 복사에너지(DN)이다. 그리고 L_{\min} 는 최소 복사에너지로 $Q_{cal}=Q_{calmax}$ 일 때 복사

에너지($W/m^2/sr/\mu m$)이며 L_{\max} 는 최대복사에너지로 일 때 복사에너지($W/m^2/sr/\mu m$)이다.

그리고 Landsat 8 위성자료는 제공되는 선형회귀식의 상수를 이용하여 계산할 수 있다.

$$L_{\lambda} = A Q_{cal} + B \quad (2)$$

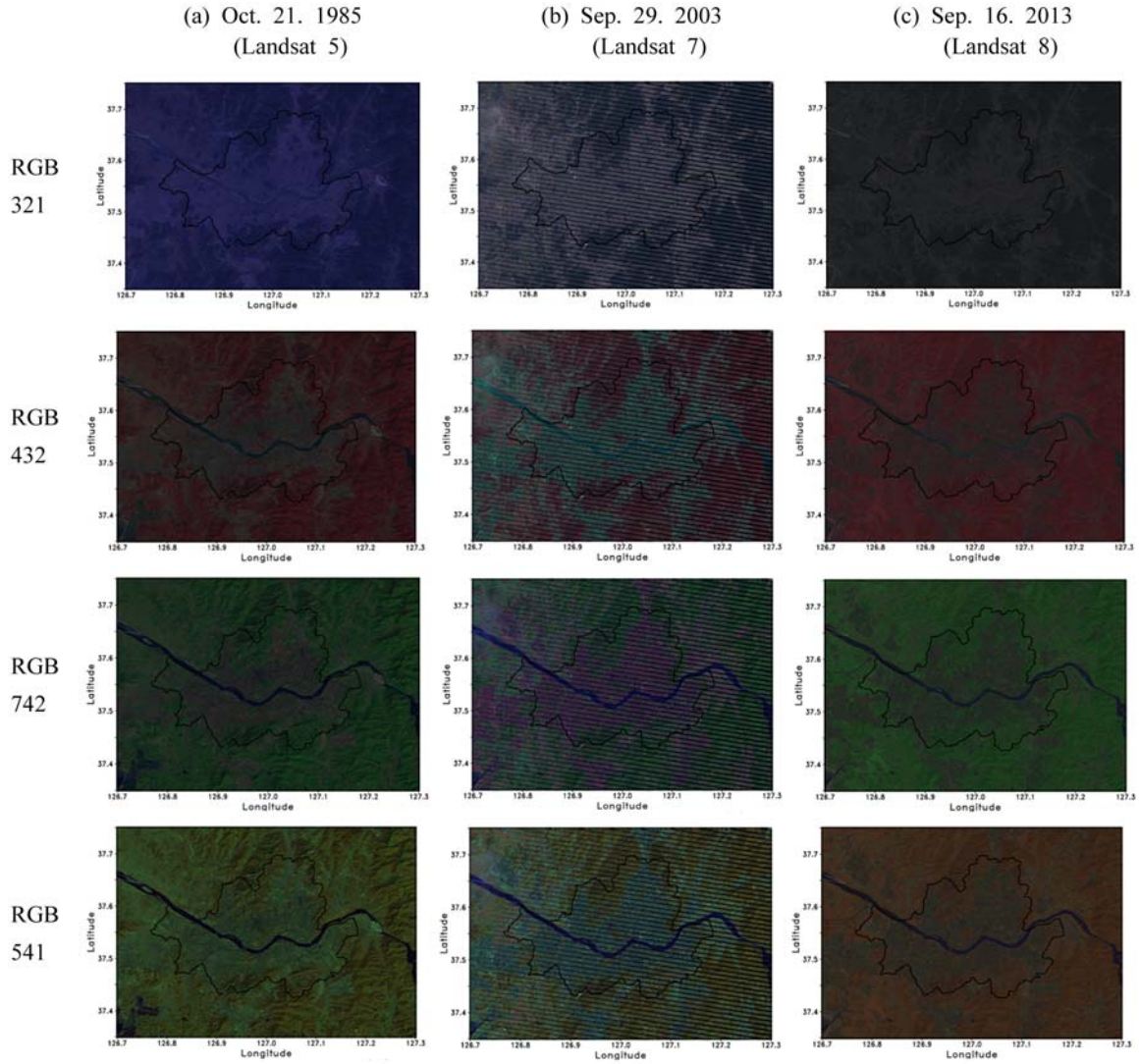


Fig. 2. RGB images for Landsat 5 (a), Landsat 7 (b) and Landsat 8 (c), respectively.

여기서, A, B 는 선형회귀식의 상수이며 밴드별로 제공된 상수값을 이용한다.

식 (1), (2)를 통하여 계산된 복사에너지(L_λ)를 이용하여 밴드별 반사도, 지표온도 등으로 변환할 수 있다. 복사에너지(L_λ)와 절대온도(K) 사이의 관계성을 이용하여 위성관측 온도를 계산한다(National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2004).

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

여기서, $T(K)$ 는 위성관측온도이고 K_1 과 K_2 는 보정 계수($W/m^2/sr/\mu m$)이다.

또한, 위성관측 반사도(r_λ)는 위성관측 복사에너지 (L_λ), 지구의 이심률(eccentricity)과 위성의 고도각을 이용하여 계산된다.

$$r_\lambda = \pi L_\lambda d^2 / SUN_\lambda \cos \theta \quad (4)$$

여기서, r_λ 는 위성관측 반사도이고 d 는 지구와 태양사이의 거리, SUN_λ 는 밴드별 태양 복사에너지($W/m^2/sr/\mu m$)이며 θ 는 태양의 천정각이다.

Table 5. The constants for Tasseled cap indices by Huang et al. (2002)

Index	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Band 5	Band 7
Brightness	0.3561	0.3972	0.3904	0.6966	0.2286	0.1596
Greenness	-0.3344	-0.3544	-0.4556	0.6966	-0.0242	-0.2630
Wetness	0.2626	0.2141	0.0926	0.0656	-0.7629	-0.5388

식 (4)에서 계산된 밴드별 반사도를 이용하여 다양한 지수를 산출할 수 있다. 정규 식생지수(NDVI, Normalized Difference Vegetation Index)는 밴드사이의 반사도 비율을 이용하여 계산된다.

$$NDVI = \frac{r_4 - r_3}{r_4 + r_3} \quad (5)$$

여기서, NDVI는 정규 식생지수이고 r_4 와 r_3 은 Landsat 5의 밴드 4와 3의 반사도이며 Landsat 7과 8은 Table 2에서 언급된 밴드의 반사도를 이용하였다.

토양조절 식생지수(Soil-Adjusted Vegetation Index)는 Huete (1988)에 의하여 제안된 지수로 NDVI와 유사하나 배경의 토양상태가 적용된 지수이다.

$$SAVI = (1+L) \frac{(r_4 - r_3)}{(r_4 + r_3 + L)} \quad (6)$$

여기서, SAVI는 토양조절 식생지수이고 L 은 토양 명도 보정계수(soil brightness correction factor)로 Huete (1988)에서 제안된 0.5를 이용하였다.

정규 구조물 지수(Normalized Difference Built-up Index)는 빌딩, 건물, 도로, 다리 등 인공구조물의 특성을 나타내는 지수로 인공 구조물이 밀집된 곳에서 높게 나타난다.

$$NDBI = \frac{r_5 - r_4}{r_5 + r_4} \quad (7)$$

여기서, NDBI는 정규 구조물 지수이고 r_5 , r_4 는 Landsat 5의 밴드 5와 4의 반사도이며 Landsat 7과 8은 Table 2의 반사도를 이용하였다.

지표의 습윤정도는 정규 습윤 지수(Normalized Difference Wetness Index)와 수정 정규 습윤 지수(Modified Normalized Wetness Index)를 이용하여 나타낼 수 있다.

$$NDWI = \frac{r_2 - r_4}{r_2 + r_4} \quad (8)$$

$$MNDWI = \frac{r_2 - r_5}{r_2 + r_5} \quad (9)$$

Tasseled cap 지수는 Huang et al. (2002)이 제안한 것으로 밝기(brightness), 초록(greenness), 습윤(wetness) 지수로 산출되며 각각의 지수는 토양 배경 반사도의 변화, 다양한 녹색 식생의 변화, 지표의 습함의 변화를 의미한다.

$$Tas \cdot cap_i = (C_1 \times r_1) + (C_2 \times r_2) + (C_3 \times r_3) + (C_4 \times r_5) + (C_5 \times r_5) + (C_6 \times r_6) \quad (10)$$

여기서, $Tas \cdot cap_i$ 은 Tasseled cap 지수로서 i 는 Tasseled cap brightness, greenness, wetness의 세 가지 지수를 의미한다. r 은 밴드별 반사도이며 C 는 Tasseled cap 지수의 상수들로서 Huang et al. (2002)의 연구에서 사용된 지수들을 모든 Landsat 위성자료에 적용하였으며 Table 5와 같다.

식 (3), 식 (5)-(10)는 지표의 특성을 나타내는 지수로 식생, 구조물, 습윤, 밝기 등 다양한 특성을 나타낸다. 따라서 본 연구에서는 선정된 사례의 지표특성 자료와 Fig. 1의 지표이용도 및 지표고도를 이용하여 수도권의 지표특성을 조사하고 관련성이 높은 지수를 선별하여 선형회귀와 상관계수 등 기초 통계 값을 분석하였다.

결 과

선정된 사례일의 Landsat 자료를 이용하여 SAVI, MNDWI, NDWI, Tasseled cap Brightness, Tasseled cap Greenness, Tasseled cap Wetness 지수, NDVI, NDBI 그리고 지표면 온도를 계산하였다(Fig. 3). 각각의 지수들은 정규화를 하지 않았기 때문에 위성사이에 값의 범위 차이는 있으나 대부분의 지수에서 산림지역, 도시 그리고 강 등의 지역이 뚜렷이 구별되고 있다(Fig. 1). SAVI 지수의 경우 Landsat 7에서 값의 범위가 컸으며 도시지역에서 비교적 작은 값이 나타나고 있으며, Landsat 8의 값이 산악지역에서 다른 위성보다 크게 나타나고 있다. MNDWI 지수의 경우 Landsat 8의 값이 상대적으로 작았으며 산림지역에서 작은 값을 가지며 대부분 도시지역(Fig. 1b)의

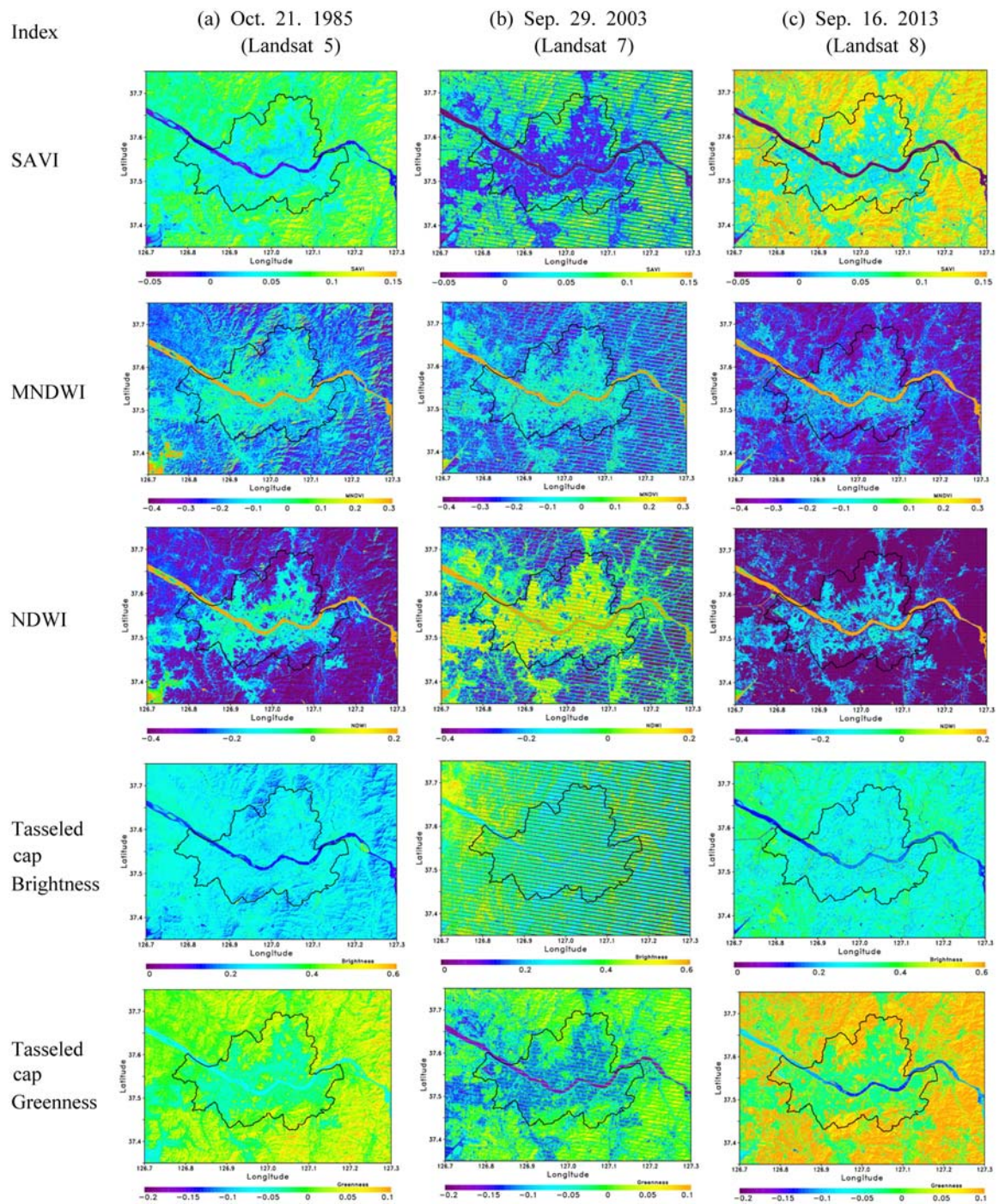


Fig. 3. Indices of SAVI, MNDWI, NDWI, Tasseled cap Brightness, Greenness and Wetness, NDVI, NDBI and Land Surface Temperature, and for Landsat 5 (a), Landsat 7 (b) and Landsat 8 (c), respectively.

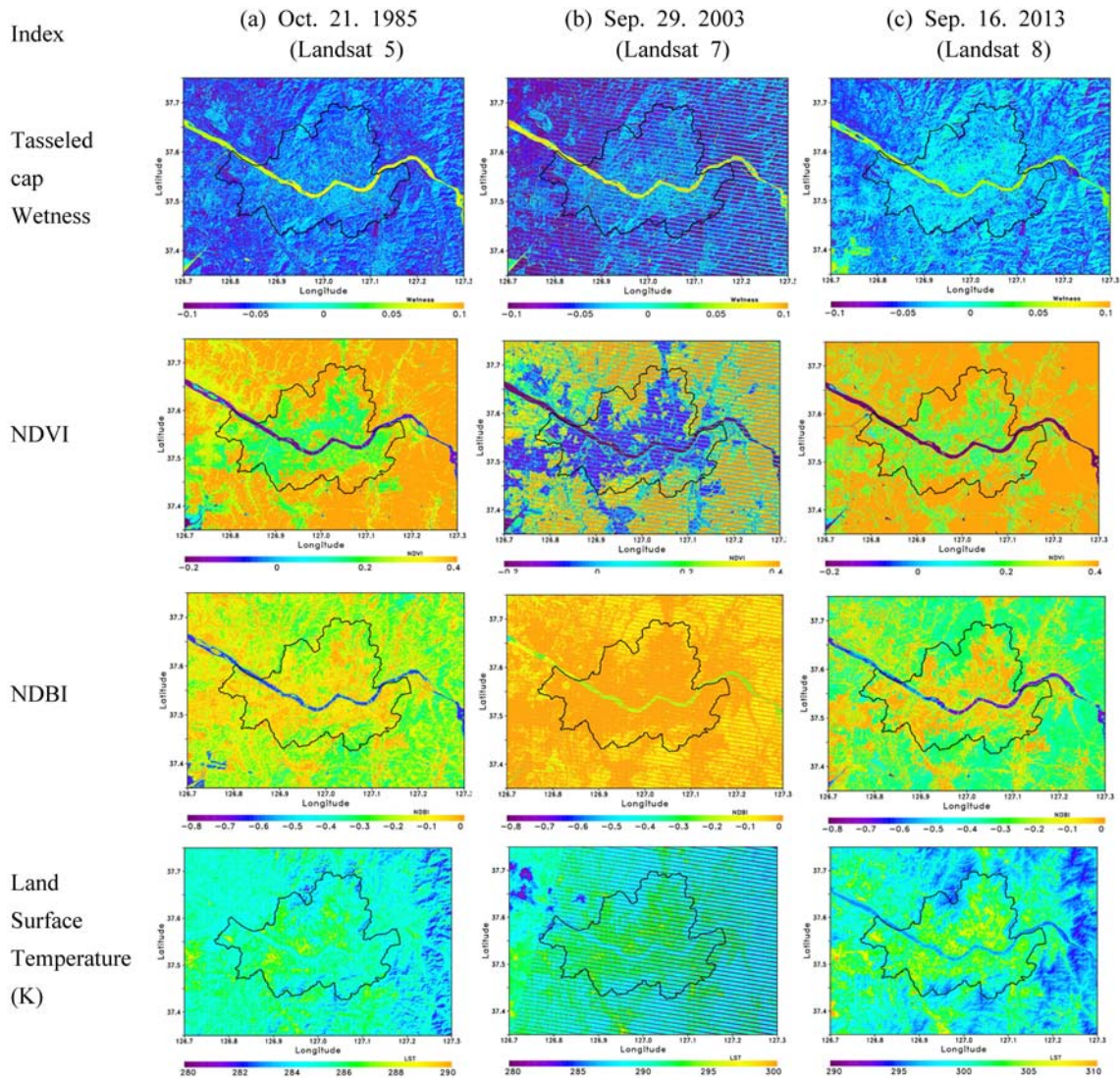


Fig. 3. Continued.

지표이용도 31-33)에서 높으며 특히 도로와 건물이 밀집된 부분에서 크게 나타난다. Landsat 5의 경우 일부 산의 정상부(Fig. 1b의 지표이용도 10-15)에서 큰 값이 보인다. NDWI 지수는 MNDWI 지수와 유사하나 Landsat 7의 값이 비교적 높은 값을 가진다. Tasseled cap Brightness 지수는 대체로 서울 외곽 지역에서 큰 값을 가지나 Landsat 5는 작은 값으로 나타난다. Tasseled cap Greenness 지수는 산림지역과 공원지역 등의 식생지역에서 큰 값을 가지며 Landsat 8의 값이 비교적 크게 나타나고 있고 Landsat 7은 값의 범위가 크게 분포한다. Tasseled cap Wetness 지수는 MNDWI 지수 또는 NDWI 지수와 유사하게

나타나고 있으나 Landsat 7은 비교적 작은 값을 가지고 있으며 1988년부터 개발된 일산 등 서울의 위성 신도시 지역(Fig. 1b의 서울경계 외곽의 지표이용도 31-33)의 변화가 시간에 따라 뚜렷이 감소되는 것을 볼 수 있다. NDVI 지수는 산림지역 내에서 큰 값을 가지며 중심지로 갈수록 크게 나타났고 도시 중심부에서 작은 값을 보였으며 Landsat 7의 값이 대체적으로 작았다. NDBI는 NDVI와 반대 경향을 보였고 도시에서 큰 값을 보였으며 서울 주변의 신도시에서 증가되는 경향이 나타났다. 지표면 온도는 도시내부에서 높았고 도시에서 멀어질수록 낮았다.

Fig. 3에서 나타난 주요 특징은 산림지역에서 식생

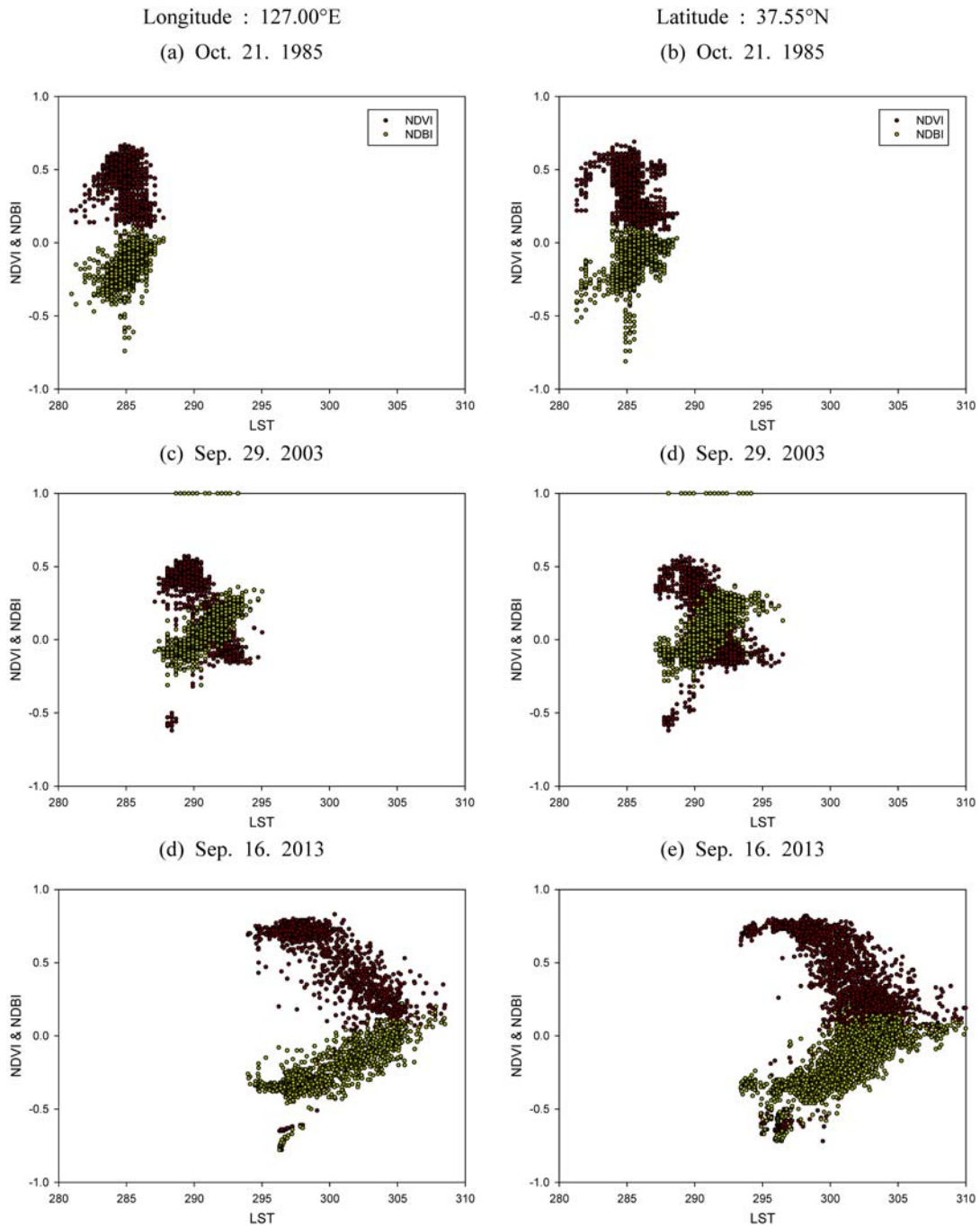


Fig. 4. Relationship between Land Surface Temperature and NDVI and NDBI with Longitude (127.00°E) and Latitude (37.55°N), respectively.

등의 영향으로 SAVI 지수, Tasseled cap Greenness 지수가 컸으며 도시에서는 MNDWI 지수, NDWI 지수, Tasseled cap Wetness 지수가 큰 값을 가진다. 그러나 대체로 Landsat 7의 값이 다른 위성과 비교하

여 값의 범위가 다소 차이가 나타났으며 SAVI 지수, Tasseled cap Greenness 지수의 경우 Landsat 8의 값이 크게 나타났다. 또한 도시의 확장이나 개발 등의 시간적인 변화가 나타나고 있으며 특히 Landsat 8에

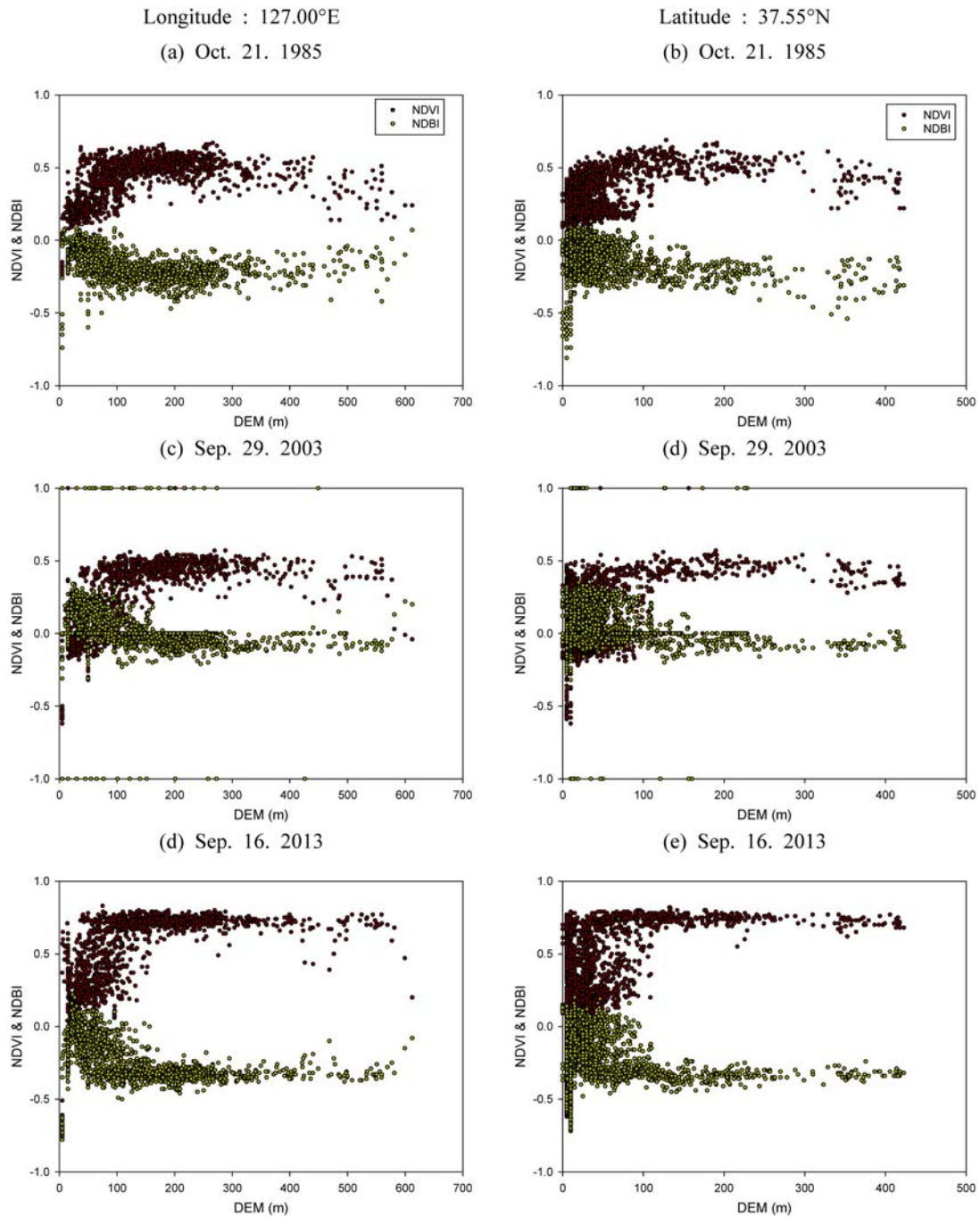


Fig. 5. Same as Fig. 4 except for between DEM (m) and NDVI and NDBI.

서의 지표온도와 NDBI 지수 등이 서울 주변의 신도시에서 증가되는 경향을 보였다. 이러한 공간 분포가 나타나는 것은 영상의 시간적인 차이와 Landsat 8의 밴드별 파장의 범위가 작기 때문인 것으로 분석된다.

Fig. 3에서 관계성이 높은 지수들과 Fig. 1의 지표고도와 토지이용도 사이의 관계성을 살펴보기 위하여 서울의 중심부를 통과하는 위도 37.55°N (경도 126.6°E-127.3°E)과 경도 127.00°E (37.3°N-37.8°N) 선이

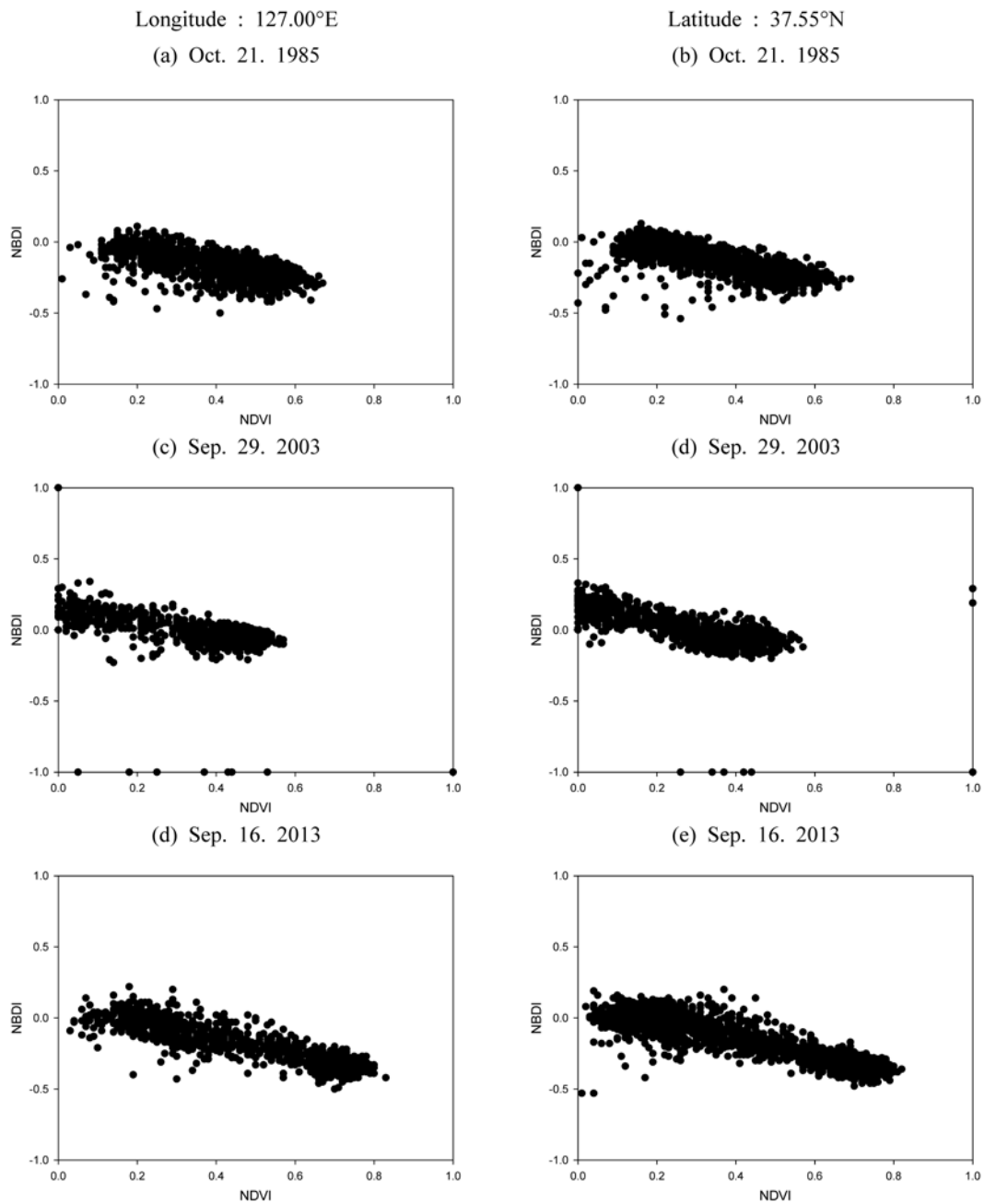


Fig. 6. Scatterplot between NDVI and NDBI with Longitude (127.00°E) and Latitude (37.55°N), respectively

지나가는 화소의 값들을 추출하여 Fig. 4-6에 나타내었다. Fig. 4는 위성에서 산출된 지표면 온도와 NDBI, NDVI 지수를 나타낸 것으로 지표면 온도와 NDVI 지수는 지수형태의 음의 관계성을 보였으며 NDBI 지수와는 지수형태의 양의 관계성을 가지는 것을 볼 수 있다. 이러한 관계성은 도시의 인공구조

물이 복잡한 곳에서 지표온도가 높으며 식생이 많은 곳에서 지표온도가 낮은 것을 의미한다. 각 영상에서 지표온도의 분포가 다르게 나타나는 것은 시간에 따른 것으로 온도의 분포가 뚜렷이 나타나고 있다. 다른 위성의 관계성과 달리 Landsat 7의 경우에서 NDVI 지수와 NDBI 지수가 겹쳐져 나타나는데 이는

Table 6. Statistics between NDVI and NDBI with Fig. 6

Date (Satellite)	Reference line	Statistics				
		average NDVI	average NDBI	Correlation	Slope	Intercept
Oct. 21, 1985 (Landsat 5)	127.00°E	0.31	-0.11	-0.73	-0.53	0.05
	37.55°N	0.41	-0.18	-0.67	-0.46	0.01
Sep. 29, 2003 (Landsat 7)	127.00°E	0.22	0.03	-0.47	-0.56	0.16
	37.55°N	0.28	0.00	-0.46	-0.44	0.13
Sep. 16, 2013 (Landsat 8)	127.00°E	0.42	-0.15	-0.89	-0.59	0.09
	37.55°N	0.56	-0.23	-0.90	-0.56	0.08

위성의 채널 관측값의 차이로 분석된다. 또한 Fig. 4c, 4d에서 NDBI 지수와 NDVI 지수가 1 또는 -1의 극값이 나타나고 있는데 이는 2003년 5월 이후 스캔 라인 보정기의 고장에 따른 불연속을 보정하지 않았기 때문인 것으로 분석된다.

Fig. 5은 지표고도와 NDBI, NDVI 지수를 나타낸 것으로 지표면 온도와 NDVI 지수는 양의 지수형태의 관계성을 가지며 NDBI와는 음의 지수형태의 관계성을 가진다. 식생은 고도가 높은 곳일수록 많이 나타나고 인공구조물은 고도가 낮은 곳에서 많이 나타나는 것을 의미한다. 또한 위도에 따른 분포에서 두 지수가 뚜렷이 분리되고 있으며 경도에 따른 분포는 일부 혼합되어 나타나고 있다. Fig. 4와 마찬가지로 Landsat 7의 경우에서 낮은 고도에서 NDVI와 NDBI가 겹쳐져 보이며 Fig. 5c, 5d의 NDBI, NDVI 값이 1 또는 -1로서 극값이 나타난다.

Fig. 4와 Fig. 5에서 음의 상관성이 보이는 NDVI 지수와 NDBI 지수를 Fig. 6에 나타내었다. 대체로 음의 상관관계가 보이며 NDVI 지수는 0.0부터 0.8사이에서 보였고 NDBI 지수는 -0.6부터 0.3의 범위에서 나타났다. 식생의 활동이 활발한 여름철에 가까운 Landsat 8에서 NDVI 지수의 최대값이 0.8까지 나타났다. NDVI 지수와 NDBI 지수의 값을 이용하여 통계값을 Table 7에 정리하였다.

NDVI 지수의 평균값은 Landsat 8, Landsat 5, Landsat 7 순으로 높게 나타났고 NDBI 지수의 평균값은 NDVI 지수의 역순으로 나타났다. Landsat 8의 상관성이 가장 높았고 Landsat 7의 상관성이 가장 낮게 나타났다. Landsat 7의 상관성이 낮게 나타난 이유는 스캔 라인 보정기의 고장에 따른 Landsat 7의 채널별 관측이 다른 위성의 관측에 비하여 오차가 크기 때문인 것으로 분석된다.

이상의 결과를 정리하면, Landsat 자료를 이용하여 RGB 영상분석, 지표특성 지수와 지표온도 산출결과

는 서울과 주변지역의 차이가 뚜렷이 나타났다. 특히, Landsat 5와 Landsat 8의 지표특성 지수와 지표온도에서는 서울에서 주변 신도시 지역으로 도시의 확장이 나타났다. 그리고 기존 연구결과들과 같이 NDVI 지수와 NDBI 지수는 지표온도 및 지표고도와 강한 상관성을 보였으며, NDVI 지수와 NDBI 지수의 상관성을 분석한 결과 Landsat 5와 Landsat 8에서 강한 음의 상관성이 나타났다.

결론

고해상도 위성인 Landsat 관측자료를 이용하여 지표특성 지수의 산출과 해석을 이용하여 위성자료의 활용을 분석하기 위하여 서울을 포함한 수도권지역의 Landsat 자료를 이용하여 지표특성 지수를 산출 및 분석하였다. Landsat 위성은 1972년 이후 관측을 시작하여 최근 Landsat 8 위성이 운영 중이다. 이 연구에서는 1985년 Landsat 5호, 2003년 Landsat 7호 그리고 2013년 Landsat 8호의 관측영상자료를 이용하여 다양한 지표특성지수와 지표면 온도 그리고 지표고도와 지표이용도 자료를 활용하였다.

지표특성 지수인 SAVI, MNDWI, NDWI, Tasseled cap Brightness, Tasseled cap Greenness, Tasseled cap Wetness 지수, NDVI, NDBI 지수 그리고 지표면 온도는 서울 등의 도시지역과 주변지역사이에서 뚜렷한 차이를 보였다. 특히 도시의 빌딩, 건물, 다리 등 인공구조물과 산림지역, 공원, 강, 호수 등에서 지표특성 지수의 차이를 분석할 수 있었다. 그리고 수도권 지역의 도시화로 인한 주변지역으로 도시의 확장이 나타났다. 특히 일산 등의 신도시는 개발전후의 NDVI 지수, NDBI 지수, 지표온도의 변화가 뚜렷이 보였다. 그러나 Landsat 7의 분석에서는 다른 위성과 달리 관측값과 지수 등의 범위가 다르게 나타나 상호 비교에 어려움이 있는 것으로 분석된다.

지표의 식생분포와 구조물 등의 특성이 나타나는 NDVI 지수와 NDBI 지수는 지표온도와 지표고도와 강한 관계성이 보였다. NDVI 지수는 지표온도와는 음의 상관성이 그리고 지표면 고도와는 양의 상관성이 나타났으며 NDBI는 반대의 상관성이 보였다. 수도권지역에서 변화한 도시는 대체로 낮은 고도에 위치하며 높은 고도는 대부분 산악으로 이루어져 있는 것과 동일하였다.

Landsat의 지표특성 지수 중 수도권 지역과 밀접한 관련성이 있는 NDVI 지수와 NDBI 지수의 상관성을 분석하였다. Landsat 5와 Landsat 8에서 -0.6 이하로 강한 음의 상관성이 나타났으나 Landsat 7의 경우 -0.5 이상으로 상관성이 낮았다. 이러한 Landsat 7의 낮은 상관성은 위성관측 장치의 고장에 따른 오차로 분석된다.

Landsat 위성은 1972년부터 최근 Landsat 8호까지 장기적으로 운영되고 있으며 고해상도의 위성영상 및 관측자료는 다양한 분야에서 활용되고 있다. 그러나 위성자료의 활용에 있어 위성자료의 상호보정이 수행되어야 연속적인 분석이 가능하다. 특히, Landsat 7의 스캔라인 보정기의 고장에 따른 불연속 영상의 보정 또한 중요한 문제로 사료된다.

따라서 Landsat 위성 등의 고해상도 위성자료를 이용하여 산출된 지면특성과 지표온도는 지표면의 특성을 그대로 반영하기 때문에 다방면의 연구에 활용될 수 있다. 특히 지표면의 관측자료가 부족한 지역의 특성 연구, 고해상도 열 또는 식생지도 작성, 도시화, 도시열섬 등의 다양한 연구에 유용할 것으로 사료된다. 그리고 위성사이의 보정과 지표 관측자료의 보정 등을 통하여 현실에 맞는 지수산출 등의 연구가 수행되어야 할 것으로 분석한다.

사 사

본 연구는 기상청 차세대도시농림융합스마트기상서비스개발(WISE) 사업의 지원으로 수행되었습니다 (153-3100-3133-302-350).

References

Chander, G., Markham, L., and Helder, D.L., 2009, Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. *Remote Sensing of Environment*, 113, 893-903.

Choi, S.P. and Yang, I.T., 1998, Extraction of land surface change information by using Landsat TM images. *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry, and Cartography*, 21, 261-267. (in Korean)

He, J.F., Liu, J.Y., Zhuang, D.F., Zhang, W., and Liu, M.L., 2007, Assessing the effect of land use/land cover change on the change of urban heat island intensity. *Theoretical and Applied Climatology*, 90, 217-226.

Huang, C., Wylie, B., Yang, L., Homer, C., and Zylstra, G., 2002, Derivation of a tasseled cap transformation based on Landsat 7 at-satellite reflectance. *International Journal of Remote Sensing*, 23, 1741-1748.

Huete, A.R., 1988, A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 25, 295-309.

Jeong, J.C., 2009, Comparison of land surface temperatures derived from surface emissivity with urban heat island effect. *Journal of Environmental Impact Assessment*, 18, 219-277. (in Korean)

Jo, M.H., Lee, K.J., and Kim, W.S., 2001, A study on the spatial distribution characteristic of urban surface temperature using remotely sensed data and GIS. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, 4, 57-66. (in Korean)

Kang, J.M., Ka M.S., Lee, S.S., and Park, J.K., 2010, Detection of heat change in urban center using Landsat imagery. *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry, and Cartography*, 28, 197-206. (in Korean)

Karnieli, A., 2010, Use of NDVI and land surface temperature for drought assessment: Merits and limitations. *Journal of Climate*, 210, 618-633.

Kim, H.D., Im, J.W., and Lee, S.H., 2006, Distribution of relative evapotranspiration availability using Satellite data in Daegu metropolitan. *Journal of Korean Earth Science Society*, 27, 667-686. (in Korean)

Kim, J.I. and Kwon, J.H., 2005, Identifying urban spatial structure through GIS and Remote Sensing data: The case of Daegu metropolitan area-. *The Korean Association of Geographic Information Studies*, 8, 21-30. (in Korean)

Kim, T.G., Kim, K.E., Jo K.S., and Kim, K.H., 1996, Monitoring of lake water quality using LANDSAT TM imagery data. *Journal of the Korean Society for Geo-Spatial Information System*, 4, 23-33. (in Korean)

Landsberg, H.E., 1981, *The urban climate*. Academic press, New York, USA, 275 p.

Lee, H.R. and Kim, H.M., 2005, A correlation analysis between land surface temperature and NDVI in Kunsan city using Landsat 7 TM/ETM+ satellite images. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, 8, 31-43. (in Korean)

Lee, J.Y., Ynag D.Y., Kim, J.Y., and Chung, G.S., 2004a,

- Application of Landsat ETM image indices to classify the wildfire area of Gangneung, Gangweon province, Korea. *Journal of Korean Earth Science Society*, 25, 754-763. (in Korean)
- Lee, J.Y., Yang, D.Y., Kim, J.Y., and Chung, G.S., 2004b, Application of Landsat ETM image to estimate the distribution of soil types and erosional pattern in the wildfire area of Gangneung, Gangweon province, Korea. *Journal of Korean Earth Science Society*, 25, 764-773. (in Korean)
- Lee, K.K. and Hong, W.H., 2008, A study on the urban heat environment pattern analysis and alleviation plan. *Journal of Architectural Institute of Korea*, 24, 253-260. (in Korean)
- Mallick, J., Kant, Y., and Bharath, B.D., 2008, Estimation of land surface temperature over Delhi using Landsat-7 ETM+. *Journal Indian Geophysical Union*, 12, 131-140.
- Na, S.I., Park, J.H., and Shin, H.S., 2008, Change detection of NDVI, surface temperature and VTCI in Saemangeum area using Satellite imagery. *Korean National Committee on Irrigation and Drainage Journal*, 15, 28-38.
- National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2004, Landsat 7 science data users handbook. http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/pdfs/Landsat7_Handbook.pdf (February 15th 2014)
- Park, M.H., 2001, A Study on the urban heat island phenomenon using LANDSAT TM thermal infrared data: In the case of Seoul. *Korean Society Civil Engineering*, 21, 861-874. (in Korean)
- Prihodko, L. and Goward, S.N., 1997, Estimation of air temperature from remotely sensed surface observations. *Remote Sensing of Environment*, 60, 335-346.
- Steve, K.J., Wong, N.H., Emlyn, H., Roni, A., and Hong, Y., 2007, The influence of land use on the urban heat island in Singapore. *Habitat International*, 31, 232-242.
- Suga, Y., Ogawa, H., Ohno, K., and Yamada, K., 2003, Detection of surface temperature from Landsat-7/ETM+. *Advances in Space Research*, 32, 2235-2240.
- Teillet, P.M., Barker, J.L., Markham, B.L., Irish, R.R., Fedosejevs, G., and Storey, J.C., 2001, Radiometric cross-calibration of the Landsat-7 ETM+ and Landsat-5 TM sensors based on tandem data sets. *Remote Sensing of Environment*, 78, 39-54.
- World Meteorological Organization (WMO), 2007, RGB composite satellite imagery workshop. Final Report, Boulder, CO, 5-7 p.
- Yoo, B.M., 1999, Introduction to geospatial information. DongMyung, Seoul, Korea, 511 p. (in Korean)
- Yoon, M.H. and Ahn, D.M., 2009, An application of satellite image analysis to visualize the effects of urban green areas on temperature. *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture*. 37, 46-53. (in Korean)

2013년 12월 7일 접수
 2014년 1월 10일 수정원고 접수
 2014년 2월 12일 채택