

# LANDSAT 영상을 이용한 세종특별자치시의 도시화와 열섬현상 분석

김미경\* · 김상필\*\* · 김남훈\*\*\* · 손흥규\*\*\*\*

Kim, Mi-Kyeong\*, Kim, Sang-Pil\*\*, Kim, Nam-Hoon\*\*\*, Sohn, Hong-Gyoo\*\*\*\*

## Urbanization and Urban Heat Island Analysis Using LANDSAT Imagery: Sejong City As a Case Study

### ABSTRACT

Rapid urbanization of Korea was an unprecedented example in the world and urban population increased significantly. As a result, unbalanced distribution of population is serious problem in Korea because approximately 50% of the population is concentrated in the capital area that is 10% of nation's territory, thereby occurring various urban problems including UHI. Hence, Sejong Special Autonomous City was inaugurated officially on 2 July 2012 in order to decentralize population of capital area and induce more balanced regional development. The Sejong City has been changed drastically over a period of years as developed practically since the late 2000's and is expected to have new problems of urbanization. The land cover change due to urbanization is the main cause of UHI that urban area is significantly warmer than its surrounding areas and UHI is not only affecting urban climate change but also natural environment. So the purpose of this research is to analyze level of urbanization and UHI effect and to provide the correlation analysis between Land Surface Temperature and spectral indices. To achieve this, satellite imagery from LANDSAT were used. NDVI, NDBI, and UI were calculated using red, near-infrared, mid-infrared (0.63 $\mu$ m-1.75 $\mu$ m) images and LST was retrieved utilizing thermal infrared (10.4 $\mu$ m-12.5 $\mu$ m) image. Based on each index and LST, Changes of NDVI, UI and UHI through TVI were analyzed in Sejong City. UHI effect increased around newly constructed multi-functional administrative city, the correlation between LST and NDVI was negative and UI was strong positive.

**Key words** : LANDSAT, NDVI, NDBI, LST, UHI, Sejong City

### 초록

우리나라는 세계적으로 유례없이 도시화가 급속하게 이루어졌으며 그 결과, 국토 면적의 10%인 수도권에 인구의 50%가 밀집하여 국토 개발의 불균형 및 열섬현상을 비롯한 각종 도시 문제가 수도권을 중심으로 발생하고 있다. 이에 수도권의 과잉 밀집을 해소하고 국토의 균형개발을 위해 2012년 7월 세종특별자치시가 출범하였으며, 세종시는 2000년대 후반부터 실질적인 개발이 진행되어 급격한 도시화를 겪고 있는 곳으로 급격한 개발에 따른 도시 문제를 수반할 것으로 예상된다. 도시화로 인한 지표면 특성의 변화는 도시열섬의 주요인이며 도시열섬현상은 결과적으로 도시지역의 기후변화 및 자연환경에 영향을 끼칠 수 있다. 본 논문은 급속한 도시화를 겪고 있는 세종시를 대상으로 도시화의 정도와 도시열섬효과를 파악하였고 도시화와 지표면온도와의 상관관계를 분석하였다. 이를 위하여 LANDSAT 영상을 사용하였으며, 2001년부터 2013년까지의 LANDSAT의 0.63 $\mu$ m-1.75 $\mu$ m에 해당하는 적색, 근적외선, 중적외선 영역 영상으로 NDVI, NDBI, UI를 산출하였고, 10.4 $\mu$ m-12.5 $\mu$ m에 해당하는 열적외선 영역대의 영상을 통하여 세종시의 지표온도를 추정하였다. 산출된 각 지수와 지표면 온도를 바탕으로 세종시의 NDVI의

\* 정회원 · 연세대학교 공과대학 토목환경공학과 통합과정 (kimmikyeong@yonsei.ac.kr)

\*\* 연세대학교 공과대학 토목환경공학과 통합과정 (spkim09@yonsei.ac.kr)

\*\*\* 연세대학교 공과대학 토목환경공학과 통합과정 (knamsang@gmail.com)

\*\*\*\* 정회원 · 교신저자 · 연세대학교 공과대학 토목환경공학과 교수, 공학박사 (Corresponding Author · Yonsei University · sohn1@yonsei.ac.kr)

Received December 6, 2013/ revised January 16, 2014/ accepted April 5, 2014

변화, UI의 변화를 파악하였고, TVI를 통해 도시열섬을 분석하였다. TVI를 통해 새로 건설된 행정중심복합도시 지역 일대를 중심으로 도시열섬현상이 두드러지게 증가한 것을 확인할 수 있었고 각 지수와 지표온도와의 상관관계 분석 결과 NDVI가 높을수록 온도는 낮아지는 음의 상관관계를, NDBI와 UI는 증가할수록 온도가 높아지는 양의 상관관계를 갖는 것으로 나타났으며 이 중에서도 UI는 지표면 온도와 가장 강한 양의 상관관계를 보였다.

**검색어** : LANDSAT, NDVI, NDBI, 지표면 온도, 도시 열섬, 세종시

## 1. 서론

도시화란 일차적으로 인구가 도시로 집중되는 과정이며 도시인구의 증가뿐만 아니라 인구 과밀에 의한 변화, 토지의 도시적 이용으로의 전환, 시가지 확대, 대도시권 형성에 의한 사회적 변화, 사회조직 변화 등을 포괄하는 용어로 사용된다. 도시화를 판단하는 척도로써 도시의 토지 피복에 대해 정확히 파악하는 것은 도시지역 관리, 도시의 환경 및 인간의 삶을 향상시킬 수 있으므로(Jensen and Cowen, 1999; Myeong et al., 2001; Villa, 2012) 도시지역의 사 공간적 지도화는 매우 중요하다. 이를 위하여 LANDSAT과 같은 다중분광 중해상도의 인공위성 영상은 매우 유용한 수단으로 이용되고 있으며(Villa, 2012) 분광지수를 활용하는 연구가 많이 진행되고 있다(Zha et al., 2003). 대표적으로 식생 고유의 반사 곡선이 갖는 특징을 이용한 정규식생지수(NDVI: Normalized Difference Vegetation Index)가 있으며, 도시지역과 나지를 식별하려는 노력으로 정규시가지지수(NDBI: Normalized Difference Built-up Index)가 개발되었다(Zha et al., 2003). 이러한 도시지역에서의 불투수면은 도시화의 정도와 토지의 도시적 이용 확장에 대한 지도화 및 정량화를 가능하게 하고(Civco et al., 2002; Yang et al., 2003; Bauer et al., 2004; Yuan and Bauer, 2007), 인구 성장, 도시화와 연관되어 있어 도시의 환경적인 측면에서 중요한 지표로 사용된다(Yuan and Bauer, 2007).

도시화가 진행됨에 따라 발생하는 현상의 하나인 도시 열섬(UHI: Urban Heat Island) 현상은 주위의 지역보다 도심지의 온도가 높게 나타나는 현상을 일컫으며, 주로 도시화가 진행됨에 따라 지표면을 아스팔트나 콘크리트로 포장하여 발생된 열특성이 큰 원인으로 작용한다(Oke, 1976; Ackerman, 1985; Jang, 2010). 도시 열섬은 결과적으로 도시지역의 기후변화 및 자연환경에 영향을 끼치며 도시 환경의 질을 저해할 수 있다. 이러한 도시 열섬을 분석하기 위하여 지표면의 실측 온도자료를 활용하는 것이 전통적인 방법이었으나 이는 기상관측지점이 균일하게 분포하지 않고 특정 지역 내의 전체적인 온도의 분포를 확인하기 어렵다는 단점이 있어 위성영상을 이용하여 온도의 분포를 추정하는 것이 가장 널리 사용되고 있는 방법이다(Liu and Zhang, 2011).

NDVI와 NDBI와 같은 분광지수를 통해 얻은 토지피복에 대한 정보를 이용하여 지표면 온도(LST: Land Surface Temperature)

와의 관계 또는 서로 다른 지표끼리의 관계를 밝히는 것이 가능하게 되었으므로 지표면의 온도와 도시화에 대한 관계를 분석하는 방법으로 많은 연구가 수행되었다(Oke, 1976; Arthur et al., 2000; Carlson and Arthur, 2000; Weng, 2001; Yuan and Bauer, 2007; Zhang et al., 2009). Yuan and Bauer (2007)는 도시 열섬 현상의 지표로 NDVI와 불투수면적의 비율을 비교하여 계절에 영향을 많이 받는 NDVI보다 상대적으로 불투수면적의 비율이 안정적인 지표인 것을 확인하였고, Liu and Zhang (2011)의 연구에서는 지표면 온도와 NDVI, NDBI의 상관관계를 분석하였다. 국내의 연구로는 Jung et al. (2011)이 진주시를 대상으로 도시지역의 용도지역에 따라 NDVI와 온도변화와의 상관관계를 분석하였고, Kim and Yeom (2012)이 일산지역에 대해 도시의 토지피복유형이 지표면온도에 미치는 영향을 파악하기 위해 공간해상도가 다른 MODIS, LANDSAT ETM+과 RapidEye 위성영상을 사용하여 NDVI와 지표면온도 사이에도 음의 선형상관관계가 있는 것을 파악하였다. Na and Park (2012)은 NDVI와 지표면 온도로 청주의 도시열섬에 대해 연구한 바 있다.

우리나라의 경우, 광복 후 남한에서 도시화가 급속하게 진행되었고 1960년대 이후 도시화가 본격적으로 가속화하여 1990년대에는 75%를 넘었다. 2005년 용도지역 기준 도시 지역의 인구비율은 우리나라 전체인구의 91.9%로 나타났고 이는 안정적인 추세로 접어들었다(MOLIT & LH, 2013). 그러나 우리나라 도시화의 특징적인 점은 국토 면적의 약 10%를 차지하는 수도권에 전체인구의 절반(49%, 2013년 8월 기준)이 밀집하여 경제력 및 각종 도시 기능이 수도권에 집중되어 있다는 점이다. 이와 같은 수도권의 사회경제적 집중은 지방의 중소 도시와 지역차를 발생시켜 지역 간 불균형을 초래하였다. 따라서 수도권 과밀화 해소, 국가 균형 발전을 목적으로 대한민국 정부는 행정중심복합도시 건립을 추진하여 충청남도 연기군 전체와 공주시 일부, 충청북도 청원군 일부를 포함한 세종특별자치시(이하 세종시)가 2012년 7월 정식 출범하였다. 세종시는 2007년 7월 행복도시 기공식을 가지며 법적 절차에 따라 건설이 시작되었으므로 해당 지역은 10년이 채 되지 않는 단기간 내에 토지 피복이 크게 변화하였으며 그 변화는 비도시에서 도시로의 전환 때문이다. 이는 주변 환경 변화의 주요 원인이 될 것이라 판단된다.

이러한 변화는 우리나라의 내에서도 특수한 경우라고 할 수

있다. 서울 및 부산과 같은 국내 대도시들에서 최근 수십 년 동안 진행된 도시화와 이로 인한 도시 열섬 현상이 발생하는 것에 비해 세종시는 수년간 빠르게 도시화를 겪고 있으며 이로 인한 도시 열섬 현상 역시 급격히 증가할 가능성이 있다. 따라서 도시화 및 도시 열섬 현상을 파악하는 것은 급격한 도시화 및 도시 열섬 현상의 증가로 인한 피해 방지 및 도시화 진행 속도나 도시 열섬 현상의 완화를 위하여 필요한 의사결정과정의 자료로 활용될 수 있다.

따라서 본 연구에서는 위성영상으로 급격한 도시화에 따른 변화와 도시열섬을 파악하기 위하여 세종시를 연구대상지로 선정하였다. LANDSAT 영상을 이용하였으며, 연구대상지역의 식생의 변화, 도시화의 정도는 분광지수를 통해 확인하였고 열적외선 영상을 체원으로 지표면의 온도 변화를 파악하여 도시열섬 현상을 분석하였다.

## 2. 연구대상지역과 자료

본 연구의 대상지역은 Fig. 1에 나타난 바와 같이 대한민국의 중부에 위치하는 세종시에 해당한다. 연구 대상지역은 충청남도 연기군 전체와 공주시 일부, 충청북도 청원군 일부를 포함하여 만들어진 계획도시로 행정구역은 1읍 9면 14동 125리로 구성되어 있다.



Fig. 1. The Study Area Around Sejong City

Table 1. Summary of Imagery Used in the Study

Date acquired	Scene Center time	Satellite	Sensor	Path /Row	Datum / map projection
2001-05-27	10:55:04	LANDSAT 7	ETM+	115 /35	WGS 84 / UTM zone 52N
2003-05-17	10:53:58	LANDSAT 7	ETM+		
2006-10-24	10:59:30	LANDSAT 5	TM		
2009-05-25	10:53:12	LANDSAT 5	TM		
2013-06-06	11:07:18	LANDSAT 8	OLI/TIRS		

본 연구에는 북위 36도 동경 127도에 해당하는 대상지역을 포함하는 2001년-2013년 사이의 LANDSAT TM, ETM+, OLI/TIRS의 영상이 사용되었다. 대상지역은 4계절 변화에 따른 NDVI의 변동이 크기 때문에, 계절적인 변화를 줄이기 위하여 봄과 가을에 해당하는 시기의 운량이 적은 영상을 사용하였다. LANDSAT 7의 경우, 2003년 이후 ETM+의 SLC (Scan Line Corrector)의 기계적 결함으로 인해 온전한 영상을 취득할 수 없어 SLC-off 영상은 사용하지 않았으며 TM 영상을 우선적으로 사용하였다. 사용된 자료의 정보는 Table 1과 같다.

LANDSAT은 열적외선 영역과 전정색 밴드를 제외했을 때, 공간해상도는 30m로 TM, ETM+, OLI/TIRS 모두 동일하다. 열적외선 영역의 경우 해상도에 다음과 같은 차이가 있다. TM과 ETM+는 모두 10.4-12.5 $\mu$ m 영역을 사용하며 각각 120m, 60m의 공간해상도를 지녔다. OLI/TIRS는 10.3-11.3 $\mu$ m, 11.5-12.5 $\mu$ m 두 밴드로 분리되었으며 공간해상도는 100m이다.

Table 1에서 사용된 영상은 우리나라 시간으로 오전 11시를 전후하여 촬영된 것을 확인할 수 있다. 동일 시간대의 지표온도를 비교하기 위하여 영상 취득시간에 해당하는 실측온도자료를 사용하였다. 실측온도는 기상청에서 제공하는 AWS (Automatic Weather Station, 자동기상관측지점) 자료를 사용하였으며 연구 대상지역 내에 설치된 세종전의, 세종연서, 세종연기, 세종금남의 기온정보를 사용하였다. 지표면 온도를 보정하기 위한 과정에 필요한 습도 정보는 연구 대상 지역 내의 관측지점에서 구할 수 없어 인접한 청주, 대전, 천안의 일평균습도를 평균하여 사용하였다.

## 3. 연구 방법

지표면의 대상물체에서 방사되는 에너지가 센서에 도달할 때 노이즈를 포함하게 되므로 이를 보정하기 위한 자료의 전처리 과정으로 반사 및 방사보정을 수행하였다. 이후, NDVI와 NDBI,

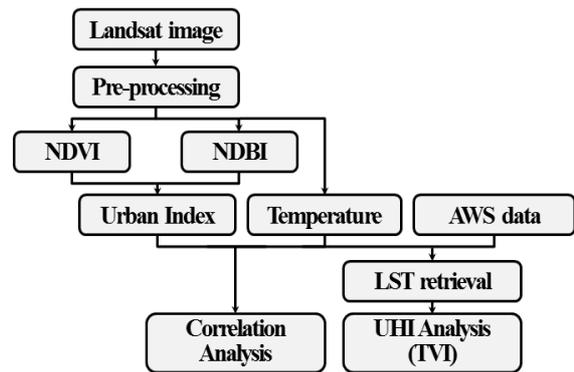


Fig. 2. Flowchart

도시지역지수(UI: Urban Index)를 산출하여 대상지역에 대한 변화를 살펴보았다. 또한, 도시열섬현상을 분석하기 위해 열적외선 영상에서 산출된 밝기 온도에 기상청의 실측자료를 활용하여 지표면 온도로의 보정을 하였고, 온도변동지수를 구하여 지표면의 온도 변화를 파악하였다. 이후 산출된 지표면 온도와 각 지수간의 상관관계를 분석하였다. Fig. 2는 본 연구의 전반적인 과정을 나타내는 흐름도이다. 각 방법에 대한 설명은 아래의 3.1에서 3.5절에서 상세히 서술하였다.

### 3.1 전처리

영상자료를 처리하기에 앞서, 센서의 오차와 조도 및 대기의 조건에서 기인하는 오차를 보정하기 위한 전처리 과정이 필요하다. DN (Digital number) 으로 저장된 영상의 값을 반사도 값으로 변환하기 위해 NASA에서 제공하는 User Handbook의 지침을 이용하였다.

$$L_{\lambda} = Gain \times DN + Bias \quad (1)$$

$$\rho_{\lambda} = \frac{\pi L_{\lambda} d^2}{ESUN_{\lambda} \cos(\theta_s)} \quad (2)$$

여기서,

- $L_{\lambda}$  : Radiance at the sensor's aperture (W/(m<sup>2</sup>·srad·μm))
- $DN$  : original pixel value
- $Gain, Bias$  : given from the header file of LANDSAT images
- $\rho_{\lambda}$  : Unit less planetary reflectance
- $d$  : Earth-Sun distance in astronomical units
- $ESUN_{\lambda}$  : Mean solar exoatmospheric irradiances
- $\theta_s$  : Solar zenith angle (NASA User Handbook)

### 3.2 NDVI, NDBI, UI 계산

각 밴드에서 계산된 반사도 값을 이용하여, NDVI와 NDBI를 계산할 수 있다. 식생은 적색 영역에서 반사도가 낮고 근적외선영역에서 높기 때문에 적색과 근적외선 밴드 사이의 반사도의 차이를 이용한 NDVI로 식생에 대한 활력도를 분별할 수 있다. NDBI는 식물의 수분량의 변화에 민감한 지표로 제안된 정규적외선지수(NDII: Normalized Difference Infrared Index) 와 동일한 것으로, 도시지역의 효과적인 추출을 위해 Zha et al. (2003)에 의해 제안되었다. Zha et al. (2003)의 연구에서 제시된 NDBI는 도시지역과 나지의 분광 반사 특성이 근적외선의 반사도보다 중적외선의 반사

도가 낮다는 사실을 이용하였으며, 도시지역과 나지는 식생과 반대로 적색 밴드의 반사도가 근적외선보다 높다는 사실을 이용하여 NDBI에서 NDVI를 차분하는 방법으로 식생 및 물의 영향을 줄여 도시지역을 추출하였다. 이에 본 연구에서는 NDBI와 NDVI의 차분된 값을 UI로 표현하고 도시화 정도를 나타내는 지표로 사용하였다.

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \quad (3)$$

$$NDBI = \frac{MIR - NIR}{MIR + NIR} \quad (4)$$

$$UI = NDBI - NDVI \quad (5)$$

본 연구에서는 LANDAT의 가시광선의 적색, 근적외선, 중적외선 영역 영상이 사용되었으며 TM과 ETM+의 경우 각각 밴드3, 밴드4, 밴드5가 해당 영역의 영상이며 OLI/TIRS의 경우 1번 해안 에어로졸 밴드가 추가되었기 때문에 밴드4, 밴드5, 밴드6을 사용하였다. 각각의 밴드를 사용하여 산출된 지수에 대하여 시계열 추이와 차분을 통해 연구대상지역의 변화를 알아보았다.

### 3.3 온도 산출

LANDSAT의 열적외선 밴드를 이용하여 지표면의 온도를 추정하기 위한 식은 NASA에서 제공하고 있으며 아래와 과정을 통해 산출할 수 있다. 열적외선 영상의 DN값을 분광반사량으로 변환하고 Eq. (1)에서 변환된 값(방사량,  $L_{\lambda}$ )을 이용해 지표온도는 아래의 Eq. (6)과 같이 절대온도로 산출될 수 있다.

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_{\lambda}} + 1\right)} \quad (6)$$

$K_1$ 과  $K_2$ 는 주어지는 보정계수(단위: W/(m<sup>2</sup>·srad·μm))이며 자세한 내용은 Table 2와 같다.

Table 2. Thermal Band Coefficients of LANDSAT

Sensor	Band	K_1	K_2
ETM+	6	666.09	1282.71
TM	6	607.76	1260.56
OLI/TIRS	10	774.89	1321.08
	11	480.89	1201.14

### 3.4 지표면 온도 보정

열적외선 밴드를 사용한 온도 추정에는 대기의 상태나 지표면의 대상물의 고유특성을 제대로 반영하기에 한계가 있다. 센서에 도달한 복사에너지는 대기의 상태에 따라, 지표면 특성에 따라 달라질 수 있으므로 대기 투과율과 지표면의 방사율(Emissivity) 또한 고려하여야 실제 운동온도를 추정할 수 있다.

지표면 온도를 보정하기 위해 Qin et al. (2001)에 의해 mono-window algorithm이 제안되었으며 이 알고리즘은 하나의 열적외선 밴드만으로도 지표면 온도를 추정할 수 있어 적용이 간단하다는 장점이 있다. 열적외선 영상 이외에 정확한 지표면 온도를 구하기 위해서는 지표면의 방사율과 대기의 수분량에 대한 정보를 통한 보정과정이 필요하다(Bhattacharya et al., 2009). mono-window algorithm은 아래와 같은 식의 형태이다.

$$T_s = \frac{a(1 - C - D) + (b(1 - C - D) + C + D) T_6 - DT_a}{C} \quad (7)$$

$$C = \varepsilon \tau \quad (8)$$

$$D = (1 - \tau)[1 + (1 - \varepsilon)\tau] \quad (9)$$

$T_s$ 는 절대온도로 구해지는 지표면의 온도이며, a와 b는 밝기 온도( $T_6$ )와 방사량 사이의 선형 회귀 분석 방법을 통해 구해진 계수이다.  $\varepsilon$ 는 지표면의 방사율이며  $\tau$ 는 대기 투과율이며 수분량에 의해 결정된다.  $T_a$ 는 유효 평균 대기 온도이다.

본 연구에서는 Qin et al. (2001)의 연구에서 제안된 결과에 따라,  $a=67.355351$ ,  $b=0.458606$ 의 계수를 사용하였으며 유효 평균 대기 온도( $T_a$ )와 대기 투과율을 추정하는 아래의 식을 사용하였다.

$$T_a = 16.0110 + 0.92621 T_0 \quad (10)$$

$$\tau = 1.05371 + 0.14142w \quad (11)$$

지표면 인접 온도( $T_0$ )는 기상청의 AWS 기상자료의 값을 활용하였으며 대기 수분량( $w$ )은 Li (2006)의 연구에서 제안된 결과를 활용하였다.

$$w = 0.0981 \left[ (10)(0.6108) \exp \left\{ 17.27 \times \frac{T_0}{237.3 T_0} \right\} \times RH \right] + 0.1697 \quad (12)$$

지표면 방사율에 대한 정확한 정보는 지표면 온도를 보정하는

Table 3. NDVI Ranges and Corresponding Emissivity Values

NDVI ranges	Emissivity
$NDVI < -0.185$	0.995
$-0.185 \leq NDVI < 0.157$	0.970
$0.157 \leq NDVI \leq 0.727$	$1.0094 + 0.047 \ln(NDVI)$
$NDVI > 0.727$	0.990

과정에 중요한 역할을 한다. 방사율은 특정 온도에서 얻어지는 물체의 복사 에너지와 흑체의 복사에너지의 비로 정의되며, 지표면의 방사율은 상이한 지면 피복, 식생과 토양수분의 시간적 변동으로 인하여 사공간적 변동성이 매우 크다. 따라서 지표면 온도 산출을 위한 광범위한 지역의 방사율 측정자료가 부족하여 위성관측 자료를 통해 방사율을 산출한다(Park and Suh, 2013). 방사율 산출의 한 방법으로 Van de Griend and Owe (1993)의 연구결과에서 제시된  $1.0094 + 0.047 \ln(NDVI)$  관계에 따라 Zhang et al. (2006)이 완성한 Table 3과 같은 방사율 추정방법을 사용하였다(Liu and Zhang, 2011).

### 3.5 온도 변동지수 산출

열섬효과의 정도가 교외의 지역보다 도심지의 온도가 높게 나타나는 현상이기 때문에 다음 Eq. (13)과 같은 온도변동지수(TVI: Temperature Variation Index)를 계산하였다. 대상지역의 평균 온도 값과의 차이를 통해 상대적인 온도의 분포를 파악할 수 있고 이를 통해 열섬효과의 정도를 확인할 수 있다.

$$TVI = \frac{T - T_{mean}}{T_{mean}} \quad (13)$$

## 4. 결과 및 분석

### 4.1 NDVI, UI 변화지역 탐지

연구 대상지역의 식생의 변동과 토지피복의 변화를 NDVI와 UI를 통해 파악한 결과는 아래와 같다. 연구대상지역의 세부 행정구역에 대해 값의 변동을 살펴보고 변화가 큰 지역을 파악하기 위해 차분을 이용하여 변화를 살펴보았다.

시계열로 NDVI의 추이를 살펴본 결과는 Fig. 3과 같다. 연구 대상지역 전체에 대한 추이의 변화는 크게 두드러지게 나타나지 않았으며 행정구역 단위로 살펴본 결과 한솔동 일대의 NDVI가 감소하는 것으로 보인다. 조치원읍 일대는 기 개발된 지역이 많은 관계로 녹지의 면적이 적어 다른 세부 지역에 비해 NDVI가 낮은 것으로 나타났고 다른 세부 행정구역에서는 큰 변화가 띄지 않았다. Fig. 4는 각 행정구역의 평균 UI와 도시 전체의 평균 UI의 차이를

나타낸 그래프이며 이 그래프에서는 한솔동이 2006년 이후로 유의하게 증가하는 것을 확인하였다. 도시지역지수를 통해서도 역시 조치원 일대가 예전부터 개발이 이루어져 높은 UI를 나타냄을 알 수 있다. Fig. 5에서는 2013년과 2003년의 UI의 차분을 통해 가시화한 것으로 역시 한솔동 일대에서 크게 UI가 증가한 것을 확인할 수 있다.

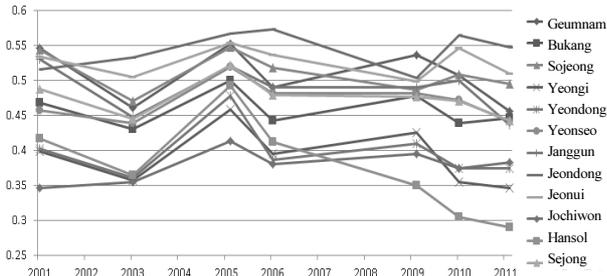


Fig. 3. Changes in NDVI from 2001 to 2011

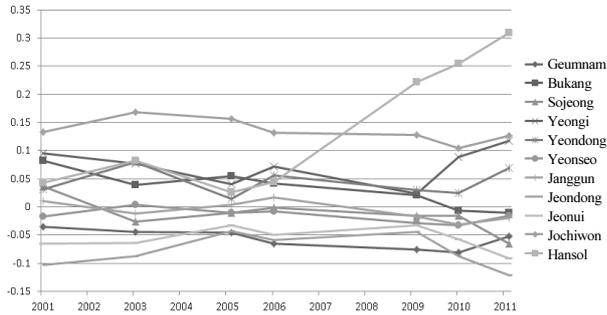


Fig. 4. Changes in UI from 2001 to 2011

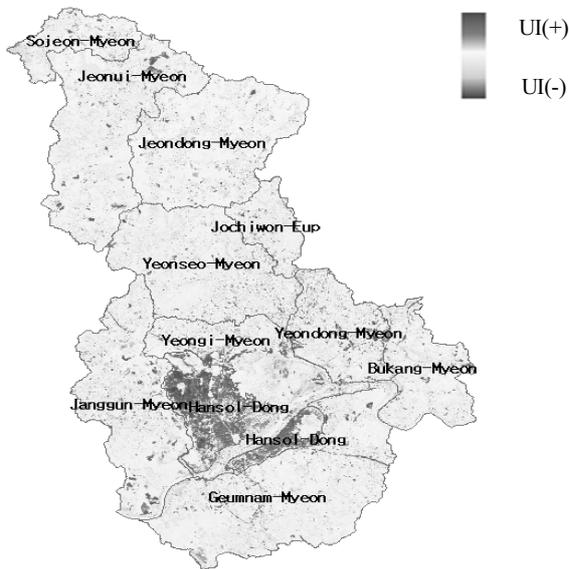


Fig. 5. Urban Index Difference Between 2003 and 2013

#### 4.2 봄과 가을의 온도 분포 비교

LANDSAT 영상을 이용하여 6월 5일과 10월 27일 세종시의 밝기 온도를 비교하였고 Fig. 6에 나타나있다. 이는 2006년의 영상 중 해당 지역에 운량조건을 만족하는 봄의 영상자료가 없어 부득이하게 10월 영상을 사용하였으므로 온도 분포 경향을 파악하기 위함이다. 6월의 영상은 최저온도 17.48°C, 최고온도 40.79°C, 평균온도 25.99°C, 표준편차 2.16°C이다. 10월 영상의 최저온도는 9.03°C, 최고온도 30.62°C, 평균온도 13.61°C, 표준편차 1.62°C이다. 10월 영상의 온도의 변화폭이 23.31°C에서 21.59°C로 약 1.7°C 정도 작은 것을 확인할 수 있고 표준편차는 약 0.6°C 가량 작아지므로 영상 내 온도의 차이 폭이 작아지는 것을 알 수 있다. 온도 차의 절대값은 작아지지만 전반적으로 온도의 분포 경향은 유사한 것으로 나타났다. Fig. 6(b)의 온도 영상에서 높은 온도를 보이고 있는 부분은 전의지방산업단지, 조치원 산업단지, 부용산업단지와 같은 산업단지와 한솔동 일대인 것으로 확인된다. 실제 온도를 확인해보면 Fig. 6(a)에서 한솔동 일대 약 30°C, 부용산업단지 33°C, 산지부근이 23°C, 금강유역의 온도는 19°C로 나타나며 각각의 지역이 Fig. 6(b)에서는 동일한 순서로 약 17°C, 20°C, 12°C, 13°C로 나타난다. 온도차이 값이 비슷한 정도로 나타나는 것으로 보아 지표면 온도가 Fig. 6(b)에서 전반적으로 낮게 계산된 것으로 보이며, 온도의 분포는 유사한 것으로 나타나 도시열섬을 분석하는 것에 문제가 없음을 확인할 수 있다.

#### 4.3 온도 변화 지역의 분석

Table 4에서 확인할 수 있듯이 NASA의 온도 추정식과 mono-window algorithm을 적용하였을 때의 값과 차이가 존재하며 전체적인 평균값을 비교하였을 때 mono-window algorithm을 사용한 값이 약 2-3°C 높게 추정되는 것을 확인할 수 있다. 기상청 자료와 비교하면 밝기 온도는 기상청 실측 온도보다 낮거나 비슷한 경향이

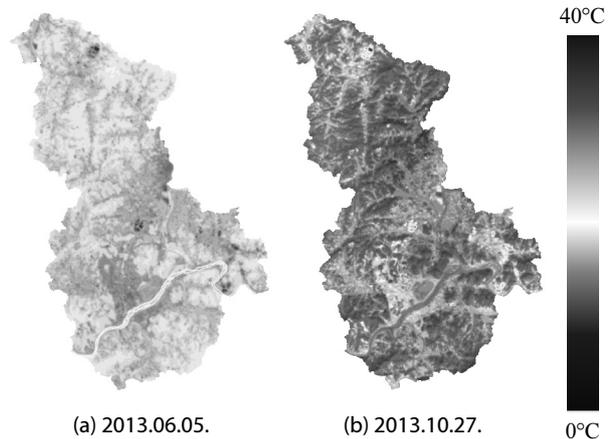


Fig. 6. Comparison of Temperature Distribution

Table 4. Comparison on Temperature (unit: °C)

Date	Brightness temperature (NASA)		LST retrieval (Mono-window algorithm)		Mean temperature (AWS)
	Mean	Std.dev	Mean	Std.dev	
2001-05-27	22.16	6.25	24.32	7.71	23.9
2003-05-17	21.22	2.7	23.56	3.88	23
2006-10-24	16.39	1.53	18.6	2.36	16.13
2009-05-25	23.9	2.14	26.6	3.42	23.43
2013-06-06	25.99	2.16	28.81	3.48	26.35

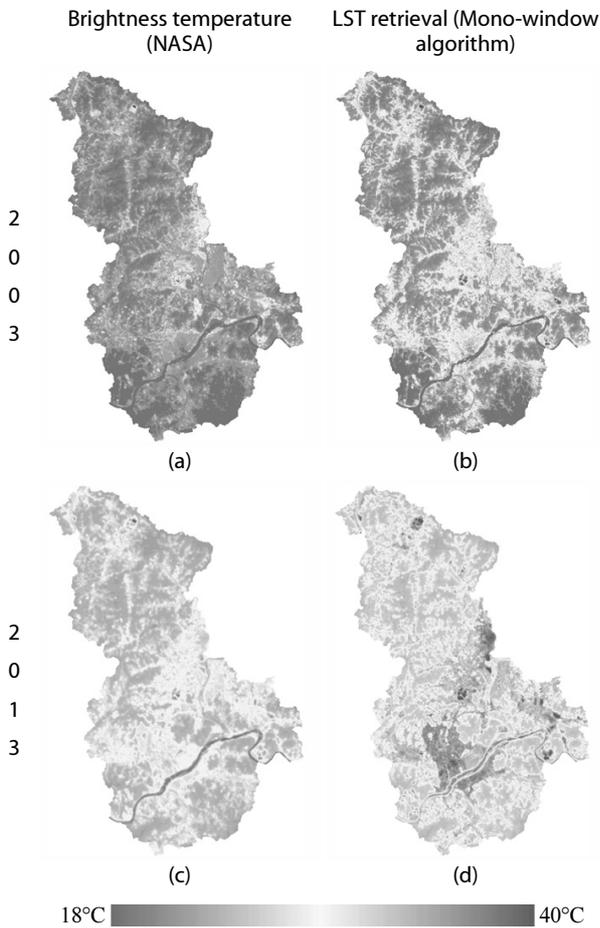


Fig. 7. LST Retrieval Results

며 mono-window algorithm을 통해 계산된 지표면 온도는 다소 온도가 높아진 것을 확인할 수 있었다. 이와 같은 차이는 영상을 통해서도 식별이 가능하다. Mono-window algorithm을 통해 추정된 온도가 높게 추정되는 이유는 대기의 상태 및 지표면 특성에 대한 보정이 되었기 때문이다. LANDSAT은 지상에서 방출되는 방사열을 705km 상공에서 측정한다. 이 방사열은 상공의 센서에

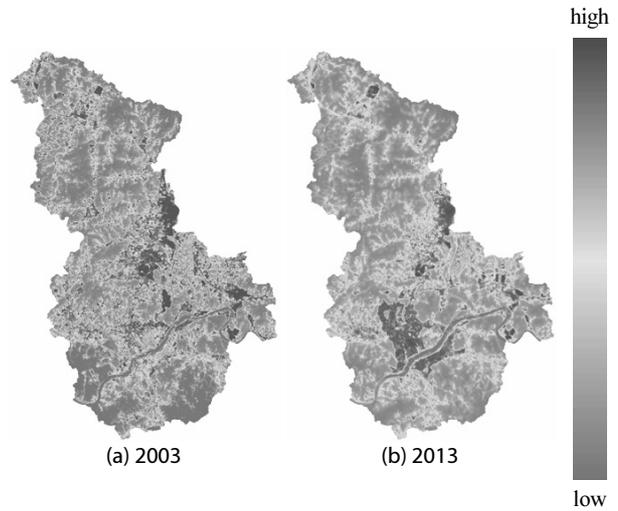


Fig. 8. TVI of 2003 and 2013, Respectively

도달할 때 대기 흡수에 의해 약화되며 대기 방사량(upwelling atmospheric emittance)과 섞여 측정된다. 게다가 지표면은 대기의 방사량(downward atmospheric emittance)을 반사시킬 수도 있다. 방사열을 측정할 때 대기의 효과는 지표면 온도를 추정에 고려되어야 하는 사항이다. 또한 동일 온도를 지나는 지표라도 색상(color), 표면거칠기(surface roughness), 수분함유량(moisture content) 등에 따라 방사율이 다르기 때문에, 대상지표의 온도를 측정하기 위해서는 대상지표의 방사율이 필수적으로 요구된다(Park et al., 2013; Otte and Stroll, 1993). 지표면 온도의 보정을 위한 유효 평균 대기온도 추정에 mono-window algorithm은 간단하지만 실질적인 방법을 제시하였다(Qin et al., 2001). Figs. 7(a) and 7(c)는 각각 2003년과 2013년의 영상을 NASA의 모델을 사용한 밝기 온도이며 Figs. 7(b) and 7(d)는 mono-window algorithm을 이용하여 지표면 온도로 보정한 결과이다.

Fig. 8은 TVI의 결과이다. 이 지수가 높을수록 열섬현상의 강도가 높은 것을 알 수 있다. Fig. 8(a)가 2003년의 TVI 결과로 조치원 일대, 전의지방산업단지, 월산지방산업단지와 같은 산업단지 일대의 열섬현상이 강한 것을 확인할 수 있다. Fig. 8(b)는 2013년의 TVI 결과로 기존의 열섬현상이 강했던 지역 이외에도 세종정부청사 및 행정중심복합도시가 건설된 한솔동 일대의 열섬현상이 매우 강해진 것을 확인할 수 있다. 열섬현상이 강해진 지역은 Fig. 5에서 UI가 크게 증가한 지역과 매우 유사하다.

#### 4.4 상관관계

이전의 연구에서 NDVI는 온도와 음의 상관관계를 갖고 NDBI가 양의 상관관계를 갖는다는 사실이 밝혀졌다(Liu and Zhang, 2011). 본 연구에서는 추가적으로 UI와 지표면 온도와의 상관관계

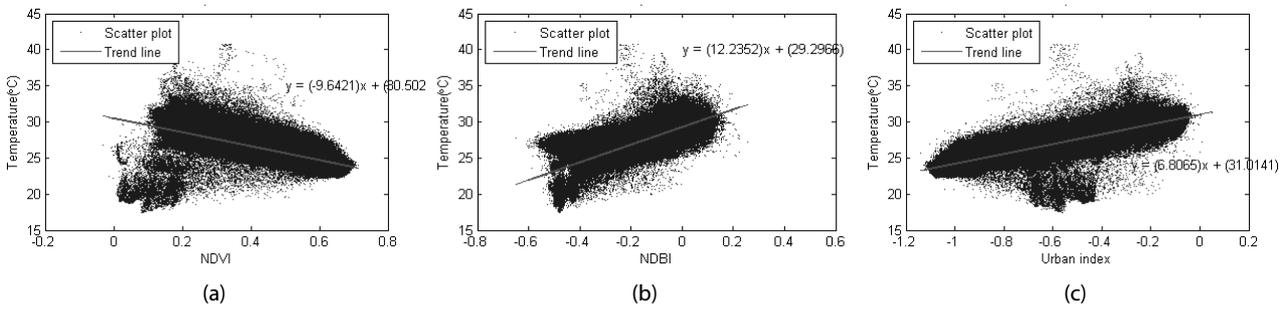


Fig. 9. Correlation for Temperature

Table 5. Correlation Coefficients with Temperature

	NDVI	NDBI	UI
2003	-0.5594	0.6708	0.7379
2009	-0.6066	0.6434	0.7289
2013	-0.6550	0.7796	0.8009

를 파악하여 도시 열섬 분석에 더욱 효과적인 지수임을 확인하였고 아래의 Fig. 9은 온도와 NDVI, NDBI, UI의 상관관계를 나타내기 위한 그래프이다. 2013년 영상의 결과만을 도시하였고, 각각의 상관계수는 Table 5에서 확인할 수 있다. 각 상관계수를 살펴보면 NDVI는 음의 상관관계를 갖고 NDBI는 양의 상관관계를 갖는다. UI는 이보다 더 큰 양의 상관관계를 갖는 것으로 나타났다. 0.7-0.8이라는 강한 양의 상관관계를 나타내는 것을 알 수 있다. 이를 통해 도시 온도와 UI와의 상관성이 매우 높다는 것을 확인할 수 있다.

지표면 온도와 NDVI 사이의 음의 상관관계를 갖는다는 것은 녹지가 많을수록 도시 열섬을 완화할 수 있다는 것을 뜻하며 반대로 나지가 많을수록 도시 열섬 현상은 심해질 수 있다. 이와 더불어 UI는 NDBI보다 지표면 온도와 더 강한 양의 상관관계를 가지므로 도시 열섬 분석에 더욱 효과적인 지표로써 활용이 가능하다.

2012년 12월 31일 지적공부현황을 살펴보면 세종시 총 면적의 약 54%가 임야지대로 절반이 산지라고 할 수 있다. 이러한 산지는 TVI가 낮고 세종시에서 개발이 집중된 한솔동 및 조치원 일대는 불투수면으로 피복이 변화하였기 때문에 TVI가 높은 것을 확인할 수 있다.

### 5. 결론

본 연구에서는 연구지역의 도시화의 정도를 파악하기 위하여 NDVI와 NDBI를 활용하여 UI를 효과적으로 도시화의 정도를 파악할 수 있는 지표로써 활용하였다. 또한, 지표면 온도 추정을

통하여 지표온도변화를 파악하고 연구지역의 도시열섬현상을 파악하여 UI와 열섬현상과의 상관성을 제시하였다. 도시화의 정도를 나타내기 위해 사용된 UI는 지표면 온도와 강한 상관관계를 나타냈으며 열섬현상을 나타내는 지표로 활용이 가능하다는 것을 알 수 있었다.

또한 LANDSAT의 열적외선 영상을 이용하여 지표면의 온도를 추정하였고, 보다 실질적인 지표면의 온도를 추정하기 위해 mono-window algorithm을 적용하였다. 이 방법의 경우, 추정된 온도의 신뢰성 분석을 위해서 지표면 온도 측정 자료가 필요하지만 해당 영상 일자의 실측데이터를 구하는 것은 현실적으로 어려운 일이기 때문에 AWS 실측자료와 비교하였다. 비교 결과, mono-window algorithm의 경우 실측자료와 영상자료로부터 지표면의 온도에 대한 경향을 파악하는 데에는 유용하다고 할 수 있다.

세종시의 경우, 연구 대상지역 전체에 대한 변화보다는 세종정부청사가 들어선 한솔동 일대로 2006년 이후로 NDVI의 감소, UI 및 TVI의 증가와 같은 변화가 집중된 것을 확인할 수 있었다. 행정구역단위별로 파악하여 개발이 집중된 지역에서 열섬현상의 강도가 높게 변화한 것을 알 수 있었다. 이미 개발된 조치원 일대와 산업단지를 제외하면 세종정부청사 및 행정중심복합도시가 건설된 한솔동 일대의 열섬현상이 매우 강해진 것을 확인할 수 있었으며 열섬현상이 강해진 지역은 UI가 크게 증가한 지역과 유사하였다.

### 감사의 글

본 연구는 소방방재청의 방재개념을 고려한 사회분야별 기술정책 프레임워크 개발(과제번호:NEMA-자연-2012-56)의 지원에 의해 수행되었습니다.

### References

Ackerman, B. (1985). "Temporal march of the Chicago heat island." *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, Vol. 24, No. 6,

- pp. 547-554.
- Arthur, S. T., Carlson, T. N. and Ripley, D. A. J. (2000). "Land use dynamics of chester county, Pennsylvania, from a satellite remote sensing perspective." *Geocarto International*, Vol. 15, No. 1, pp. 25-35.
- Bauer, M. E., Heinert, N. J., Doyle, J. K. and Yuan, F. (2004). "Impervious surface mapping and change monitoring using landsat remote sensing." *Proc. of ASPRS annual conference*, May 23-28, 2004, Denver, Colorado., unpaginated CD-ROM, p. 10.
- Bhattacharya, B. K., Mallick, K., Padmanabhan, N., Patel, N. K. and Parihar, J. S. (2009). "Retrieval of land surface albedo and temperature using data from the Indian geostationary satellite: A Case Study for the Winter Months." *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 30, No. 12, pp. 3239-3257.
- Carlson, T. N. and Arthur, S. T. (2000). "The impact of land use/land cover changes due to urbanization on surface microclimate and hydrology: A Satellite Perspective." *Global and Planetary Change*, Vol. 25, pp. 49-65.
- Civco, D. L., Hurd, J. D., Wilson, E. H., Arnold, C. L. and Prisloe, M. P. (2002). "Quantifying and describing urbanizing landscapes in the Northeast United States." *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 68, No. 10, pp. 1083-1090.
- Jang, Y. J. (2010). *A study of urban heat island in Chuncheon area using meteorological model and in situ observation*, Master Thesis, Kangwon National University, Korea (in Korean).
- Jensen, J. R. and Cowen, D. J. (1999). "Remote sensing of urban/suburban infrastructure and socio-economic attributes." *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 65, No. 5, pp. 611-622.
- Jung, G. S., Koo, S. and Yoo, H. H. (2011). "Temperature change analysis for land use zoning using landsat satellite imagery." *Journal of the Korean Society for Geo-Spatial Information System*, Vol. 7, No. 8, pp. 55-61 (in Korean).
- Kim, H. O. and Yeom, J. M. (2012). "Effect of the urban land cover types on the surface temperature: Case Study of Ilsan New City." *Korean Journal of Remote Sensing*, Vol. 28, No. 2, pp. 203-214.
- Li, J. (2006). "Estimating land surface temperature from Landsat-5 TM." *Remote Sensing Technology and Application*, Vol. 21, No. 4, pp. 322-326.
- Liu, L. and Zhang, Y. (2011). "Urban heat island analysis using the landsat TM data and ASTER data: A Case Study in Hong Kong." *Remote Sensing*, Vol. 3, No. 7, pp. 1535-1552.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT) & Korea Land and Housing cooperation (LH) (2013). *2012 city planning status*, Available at: [http://www.city.go.kr/jsp/board/boardDown.jsp?file\\_seq=34589](http://www.city.go.kr/jsp/board/boardDown.jsp?file_seq=34589) (in Korean).
- Myeong, S., Nowak, D. J., Hopkins, P. F. and Brock, R. H. (2001). "Urban cover mapping using digital, high-spatial resolution aerial imagery." *Urban Ecosystems*, Vol. 5, No. 4, pp. 243-256.
- Na, S. I. and Park, J. H. (2012). "Assessment of the urban heat island effects with LANDSAT and KOMPSAT-2 data in cheongju." *Journal of Agricultural Science*, Vol. 39, No. 1, pp. 87-95.
- NASA User Handbook (2013). *Landsat 7 science data users handbook*, Available at: <http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/>.
- Oke, T. R. (1976). "City size and the urban heat island." *Atmospheric Environment*, Vol. 7, No. 8, pp. 769-779.
- Ottle, C. and Stroll, M. (1993). "Effect of atmospheric absorption and surface emissivity of the determination of land surface temperature from infrared satellite data." *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 14, pp. 2025-2037.
- Park, K. H. and Suh, M. S. (2013). "Inter-comparison of three land surface emissivity data sets (MODIS, CIMSS, KNU) in the Asian-Oceanian regions." *Korean Journal of Remote Sensing*, Vol. 29, No. 2, pp. 219-233 (in Korean).
- Park, S. H., Jung, H. S. and Shin, H. S. (2013). "An efficient method to estimate land surface temperature difference (LSTD) using landsat satellite images." *Korean Journal of Remote Sensing*, Vol. 29, No. 2, pp. 197-207 (in Korean).
- Qin, Z., Karnieli, A. and Berliner, P. (2001). "A mono-window algorithm for retrieving land surface temperature from Landsat TM data and its application to the Israel-Egypt border region." *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 22, No. 18, pp. 3719-3746.
- Van de Griend, A. A. and Owe, M. (1993). "On the relationship between thermal emissivity and normalized difference vegetation index for natural surfaces." *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 14, No. 6, pp. 1119-1131.
- Villa, P. (2012). "Mapping urban growth using soil and vegetation index and landsat data: The Milan (Italy) City Area Case Study." *Landscape and Urban Planning*, Vol. 107, No. 3, pp. 245-254.
- Weng, Q. (2001). "A remote sensing-GIS evaluation of urban expansion and its impact on surface temperature in the zhujiang delta, China." *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 22, No. 10, pp. 1999-2014.
- Yang, L., Huang, C., Homer, C. G., Wylie, B. K. and Coan, M. J. (2003). "An approach for mapping large-area impervious surfaces: Synergistic use of Landsat 7 ETM+ and High Spatial Resolution Imagery." *Canadian Journal of Remote Sensing*, Vol. 29, No. 2, pp. 230-240.
- Yuan, F. and Bauer, M. E. (2007). "Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in Landsat imagery." *Remote Sensing of Environment*, Vol. 106, No. 3, pp. 375-386.
- Zha, Y., Gao, J. and Ni, S. (2003). "Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery." *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 24, No. 3, pp. 583-594.
- Zhang, J., Wang, Y. and Li, Y. (2006). "A C++ program for retrieving land surface temperature from the data of Landsat TM/ETM Band 6." *Computers and Geosciences*, Vol. 32, No. 10, pp. 1796-1805.
- Zhang, Y., Odeh, I. O. A. and Han, C. (2009). "Bi-temporal characterization of land surface temperature in relation to impervious surface area, NDVI and NDBI, using a sub-pixel image analysis." *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Vol. 11, No. 4, pp. 256-264.