

## 시계열 Landsat TM 영상과 연간 지표온도순환 모델을 이용한 열섬효과 분석

### Analysis of Urban Heat Island Effect Using Time Series of Landsat Images and Annual Temperature Cycle Model

홍승환\* · 조한진\*\* · 김미경\*\*\* · 손홍규\*\*\*\*

Hong, Seung Hwan · Cho, Han Jin · Kim, Mi Kyeong · Sohn, Hong Gyo

#### 요 旨

다중분광 위성영상을 이용한 원격탐측 기술은 광범위한 지역의 열섬효과 분석에 있어 유용하게 활용될 수 있다. 하지만 우리나라와 같이 구름이 많은 기상조건은 위성영상을 활용한 주기적인 관측을 어렵게 한다. 이에 본 연구에서는 시계열 Landsat 영상과 ATC 모델을 이용한 열섬현상 분석 방법을 제안하였다. 식생상태와 도시화정도를 분석하기 위하여 Landsat 영상으로부터 NDVI와 NDBI를 산출하였으며 ATC 모델의 파라미터 추정을 위하여 Landsat 열적외선 영상으로부터 지표온도를 산출하여 활용하였다. 또한 토지 피복 및 이용형태에 따른 열섬현상 분석을 위해 환경부에서 제공하는 토지피복도를 기반으로 ATC 모델의 파라미터를 비교하였다. 산출한 분광지수와 ATC 모델의 파라미터 간의 상관관계를 분석한 결과 ATC 모델의 MAST는 NDVI 및 NDBI와 각각 -0.76, 0.69의 강한 상관관계를 보였으며, YAST는 NDVI 및 NDBI와 각각 -0.53, 0.42의 상관관계를 나타냈다. 토지 피복 및 이용형태에 따라 ATC 모델의 파라미터를 비교한 결과 도시 지역에서의 MAST와 YAST가 도시 주변의 농업지역, 초지 등에 비해 높게 나타나는 것을 확인하였다. 또한 도시 지역 내에서 주거지역, 산업지역, 상업지역, 교통지역이 문화·체육·휴양지역, 공공시설지역에 비해 높은 MAST를 나타내며 주거지역, 산업지역, 상업지역이 다른 도시 지역들보다 높은 YAST 값을 지님을 확인할 수 있었다.

핵심용어 : 지표온도, 열섬현상, Landsat TM, 연간 지표온도순환, 상관관계 분석

#### Abstract

Remote sensing technology using a multi-spectral satellite imagery can be utilized for the analysis of urban heat island effect in large area. However, weather condition of Korea mostly has a lot of clouds and it makes periodical observation using time-series of satellite images difficult. For this reason, we proposed the analysis of urban heat island effect using time-series of Landsat TM images and ATC model. To analyze vegetation condition and urbanization, NDVI and NDBI were calculated from Landsat images. In addition, land surface temperature was calculated from thermal infrared images to estimate the parameters of ATC model. Furthermore, the parameters of ATC model were compared based on the land cover map created by Korean Ministry of Environment to analyze urban heat island effect relating to the pattern of land use and land cover. As a result of a correlation analysis between calculated spectral indices and parameters of ATC model, MAST had high correlation with NDVI and NDBI (-0.76 and 0.69, respectively) and YAST also had correlation with NDVI and NDBI (-0.53 and 0.42, respectively). By comparing the parameters of ATC model based on land cover map, urban area had higher MAST and YAST than agricultural land and grassland. In particular, residential areas, industrial areas, commercial areas and transportation facilities showed higher MAST than cultural facilities and public facilities. Moreover, residential areas, industrial areas and commercial areas had higher YAST than the other urban areas.

**Keywords** : Land Surface Temperature, Urban Heat Island Effect, Landsat TM, Annual Temperature Cycle, Correlation Analysis

Received: 2015.03.03

\* 정회원 · 연세대학교 토목환경공학과 박사과정(Member, Dept. of Civil & Environmental Engineering, Yonsei University, hotaem@yonsei.ac.kr)

\*\* 연세대학교 토목환경공학과 석사과정(Dept. of Civil & Environmental Engineering, Yonsei University, xkwks4568@yonsei.ac.kr)

\*\*\* 연세대학교 토목환경공학과 박사과정(Dept. of Civil & Environmental Engineering, Yonsei University, kimmikyeong@yonsei.ac.kr)

\*\*\*\* 교신저자 · 정회원 · 연세대학교 토목환경공학과 교수(Corresponding author, Member, Dept. of Civil & Environmental Engineering, Yonsei University, sohn1@yonsei.ac.kr)

## 1. 서 론

열섬현상이란 인구와 콘크리트 건물이 밀집한 도심지에서 주변 지역에 비해 온도가 높게 나타나는 현상을 말한다(Oke, 1973; Ackerman, 1985). 열섬현상은 삶의 질에 직접적인 영향을 미치며 따라서, 열섬현상의 완화를 위하여 토지에 대한 피복 및 이용 패턴을 분석하는 것은 도시 설계 및 개발에 있어 필수적이라고 할 수 있다. 하지만 광범위한 지역에 대하여 지표 상태 및 열섬현상 분석할 때 직접적으로 조사하는 방식은 비용 및 시간 효율성 면에서 뒤 떨어지기 때문에 다중분광 위성영상을 이용하여 분석하는 방법이 대안으로서 유용하게 활용되어왔다(Jensen and Cowen, 1999; Myeong et al., 2001; Villa, 2012; Kim et al., 2014).

대표적인 다중분광 위성영상인 Landsat TM 영상은 30m 공간해상도를 가지고 있는 6가지 파장대별 밴드와 120m 공간해상도를 가지고 있는 열적외선 밴드로 구성되어 있다. 이와 같은 다중 분광대의 영상을 이용하여 지표온도 및 토지 피복 상태에 관련된 분광지수를 추정할 수 있다(Weng, 2009; Li et al., 2013). 열섬현상에 관련된 분광지수로써 정규화식생지수(NDVI; Normalized Difference Vegetation Index)와 정규도시화지수(NDBI; Normalized Difference Built-up Index)가 있으며 이와 같은 지수를 활용하여 다양하게 열섬현상을 분석하여왔다(Purevdorj et al., 1998; Zha et al., 2003). Quan and Lee (2009)는 제주도 도심지역의 지표온도와 NDVI와의 상관관계를 분석하였으며, Kim and Yeom (2012)은 경기도 일산 신도시에서 지표온도와 NDVI와의 상관관계를 분석하였다. Kim et al. (2014)은 세종시의 도시화에 따른 열섬현상 및 지표온도와 NDVI, NDBI의 상관관계를 분석하였다.

토지피복 및 토지 이용형태에 따라서 열섬현상이 어떻게 진행되는 지에 대한 많은 연구가 Landsat 영상을 이용하여 수행되어 왔다. Kang et al. (2010)은 Landsat 영상을 이용하여 대전의 도심지역 및 산림지역의 변화와 이로 인한 열변화를 탐지하였으며, Jung et al. (2011)은 Landsat 영상을 이용하여 진주지역의 토지 이용에 따른 NDVI와 지표온도변화와의 상관관계를 분석하였다. Na and Park (2012)은 Landsat 영상과 KOMPSAT-2 영상을 이용하여 토지피복 및 토지이용에 따른 도시열섬현상을 분석하였다.

구름과 같은 기상요인은 Landsat 영상을 이용하여 주기적인 도시 확장과 토지피복 변화에 따른 열섬현상을 분석할 때 큰 저해요소로 작용한다. 특히 우리나라와 같이 구름이 많은 기상 조건은 시계열 다중분광 영

상 자료를 활용한 지표 분석을 어렵게 한다. 이러한 이유로 기존 연구에서는 열섬현상 분석 시 특정 비교 시점의 영상들로부터 지표온도를 추정하여 분석을 수행했으나 이와 같은 기존의 접근방식은 연간 지표온도의 변동성을 파악할 수 없다는 한계가 있다.

위와 같은 한계점을 해결하기 위하여 Bechtel (2012)은 연간 지표온도순환(ATC; Annual Temperature Cycle) 모델을 제안하여 시계열 Landsat 열적외선 영상으로부터 산출한 지표온도의 연간 변동성에 대한 관계식을 제시한바 있다. 또한 Weng and Fu (2014)은 로스앤젤레스 지역을 대상으로 Landsat 영상 내 구름 픽셀이 Bechtel (2012)이 제안한 ATC 모델의 정확도에 미치는 영향을 분석하였으며, 그 결과 영상 내 구름 픽셀이 ATC 모델의 파라미터 중 연간 지표평균온도(MAST; Mean Annual Surface Temperature)를 감소시키며 연중 지표온도의 변동량(YAST; Yearly Amplitude of Surface Temperature)을 증가시키는 것을 확인하였다.

본 연구에서는 Bechtel (2012)이 제안한 ATC 모델을 기반으로 토지피복 및 토지이용형태에 따른 열섬현상을 분석하였다. 연구를 수행하기 위하여 2000년부터 2007년까지의 시계열 Landsat TM 영상을 사용하였으며 ATC 모델의 정확도를 높이기 위해 Zhu and Woodcock (2012)이 제안한 객체 기반의 구름 및 구름에 의한 그림자 분류 방법을 이용하여 Landsat 영상 내에 분포하고 있는 구름 및 구름에 의한 그림자 픽셀을 추출하여 열섬현상 분석에서 제외하였다.

또한 토지 피복에 따른 열섬현상 분석을 위하여 대상 지역의 식생상태 및 도시화 정도는 각각 NDVI와 NDBI를 Landsat 영상으로부터 산출하여 활용하였다. 산출한 ATC 파라미터와 분광지수 간의 상관관계 분석을 통하여 지표 상태에 따른 열섬효과를 분석하고 분석 결과를 단영상 내에서의 지표온도와 분광지수 간의 상관관계 분석 결과와 비교하여 ATC 모델의 활용성에 대하여 평가하였다. 최종적으로 환경부에서 제공하는 토지피복도를 기반으로 ATC 모델 및 분광지수를 비교 분석하여 토지피복 및 이용형태에 따른 열섬효과를 분석하였다.

## 2. 연구대상지역 및 사용 자료

### 2.1 연구대상지역

연구대상지역은 다양한 토지피복 및 이용형태를 지니고 있는 대전광역시로 선정하였다. 대전광역시는 대한민국 중부에 위치하여 경부고속도로, 중부고속도로,

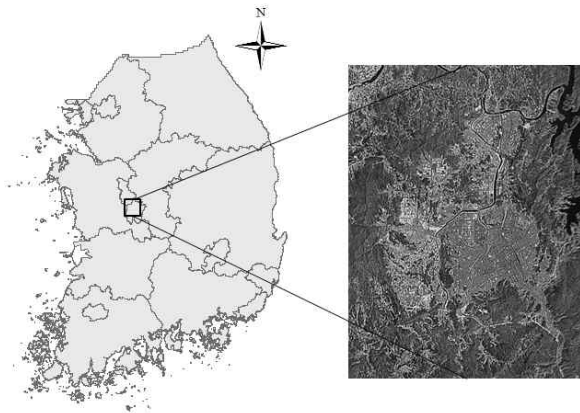


Figure 1. The study area: Daejeon city

경부선, 호남선 등 주요 고속도로와 철도들이 연결되어 있다. 2015년 1월을 기준으로 대전시 인구는 1,531,287 명이며 대전시의 행정구역은 동구·중구·서구·유성구·대덕구로 구분되어 있다 (Daejeon Metropolitan City, 2015). 분석에 활용한 연구대상지역의 면적은 약 519,010,200m<sup>2</sup>이며, 연구대상지역의 위치 및 대상지역의 영상은 Fig. 1과 같다.

2.2 위성영상 자료

연구에 사용한 Landsat TM 영상의 경우 2008년 이후로는 영상이 충분히 제공되고 있지 않기 때문에 2000년에서 2007년까지 106장의 영상을 본 연구에서 사용하였으며 사용 영상은 18:13 UTC (현지시간: 10:13) 경에 촬영되었다. Table 1은 사용한 Landsat 영상 내에 포함된 구름 및 구름에 의한 그림자 픽셀 비율에 따른 각 연도별 영상의 수이다. 여기서, 영상에 구름이 포함되어 있지 않으면 0% 이고 구름이 많이 포함될수록 그 %는 높아진다. 연구 기간 중 연구지역 내에 구름

Table 1. Number of scenes for percentage of cloud and cloud shadow pixels.

Year	Percentage of cloud and cloud shadow pixels						
	0%	0~20%	20~40%	40~60%	60~80%	80~100%	Total
2000	2	5	2	0	1	11	21
2001	1	4	0	1	1	11	18
2002	1	6	0	0	0	6	13
2003	0	6	1	0	1	9	17
2004	2	5	2	2	0	7	18
2005	0	3	0	0	0	0	3
2006	1	4	0	1	1	4	11
2007	0	3	1	0	0	1	5
Total	7	36	6	4	4	49	106

Table 2. Categorization of land use and cover types (code number).

Categories	Sub-categories
Urban area	Residential area (110), Industrial area (120), Commercial area (130), Cultural facilities (140), Transportation facility (150) and Public facility(160)
Agricultural area	Rice paddy (210), Farm (220), Cultivation (230), Orchard(240) and Others(250)
Forest	Deciduous forest (310), Coniferous forest(320) and Mixed forest (330)
Grassland	Natural grassland (410), Artificial grassland (420), and Others (430)
Wetland	Inland wetland (510) and Coastal wetland (520)
Bare land	Natural bare land (610) and Others (620)
Water	Inland water (710) and Marine water (720)

이 없는 영상 수는 Table 1에 표시된 바와 같이 총 7장이었고, 영상 내 픽셀 중 구름이 20% 이하로 사용이 가능하다고 판단되는 영상은 총 43장 (7+36 장)으로 나타났다.

2.3 토지피복 자료

연구에 사용된 토지피복 자료는 환경부 공간정보서비스에서 제공되는 2009년 10월 15일에 갱신된 중분류 토지피복도를 사용하였으며 사용된 토지피복도의 분류 체계는 Table 2와 같다. 환경부의 중분류 토지피복도는 고해상도의 아리랑 2호 영상 및 수치지형도, 항공사진 등을 참조자료로 활용하여 제작되었으며 5m 급의 공간해상도를 가지고 있으며 최근린법 (Nearest neighbor method)를 적용하여 Landsat TM 영상과 같은 해상도의 토지피복도를 제작하여 분석에 활용하였다 (Ministry of Environment).

3. 위성영상 자료처리

3.1 영상 전처리

Landsat TM 영상으로부터 ATC 모델의 파라미터와

분광지수를 산출하기 위해서는 영상의 DN(Digital Number) 값을 반사도( $L_\lambda$ ) 값으로 변환하고 열적외선 영상의 반사도 값으로부터 절대 온도( $T$ ) 값을 산출하여야한다. 이를 위하여 Chander and Markham (2003) 및 NASA User Handbook (2013)에서 제시한 방법을 통하여 각 Landsat TM 영상의 DN 값을 반사도 값으로 변환하였다. DN 값으로부터 반사도로 변환하는 변환식은 Eq. (1), Eq. (2)와 같다.

$$L_\lambda = Gain * DN + Bias \quad (1)$$

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

여기서,

$L_\lambda$	: Radiance at the sensor's aperture ( $W/(m^2 \cdot srad \cdot \mu m)$ )
$DN$	: Original pixel value
$Gain, Bias$	: Given values from the header file of Landsat images
$\rho_\lambda$	: Unitless planetary reflectance
$d$	: Earth-Sun distance in astronomical units
$ESUN_\lambda$	: Mean solar exoatmospheric irradiance
$\theta_s$	: Solar zenith angle

계산된 Landsat TM 열적외선 영상의 반사도 값으로부터 Eq. (3)을 통하여 절대온도 ( $T$ )를 계산하였다.

$$T = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L_\lambda} + 1\right)} \quad (3)$$

여기서,  $K1, K2$ 는 헤더파일에서 주어지는 보정계수이다.

### 3.2 ATC 모델

시계열 영상을 활용한 열섬현상 분석을 위해 Bechtel (2012)이 제안한 ATC 모델을 적용하였으며, 모델식 ( $f(d)$ )은 Eq. (4)와 같다.

$$f(d) = MAST + YAST \cdot \sin\left(\frac{2d\pi}{365} + \theta\right) \quad (4)$$

여기서,  $d$ 는 기준일로부터의 경과시간,  $MAST$ 는 지표온도의 연간 평균값,  $YAST$ 는 연중 지표온도의 변동량,  $\theta$ 은 ATC 모델의 춘분일로부터의 위상이동량

(phase shift)이다. 본 연구에서는 Landsat 열적외선 영상으로부터 산출한 절대온도를 입력값으로 설정하여 ATC 모델의 파라미터들을 추정하였다. 비선형 모델식인 Eq. (4)로부터 ATC 모델의 파라미터를 추정하기 위하여 Weng and Fu (2014)가 ATC 모델 파라미터 추정에 사용했던 Levenberg-Marquardt 방법을 이용하였다 (Moré, 1978; Götttsche and Olesen, 2001).

### 3.3 분광지수 산출

토지피복 분석을 위해 지표온도와 직접적인 상관성이 있는 대표적인 분광지수인 NDVI와 NDBI를 활용하였다. NDVI는 근적외선(NIR; Near Infra-Red) 밴드와 적색(Red) 밴드의 지표 반사도 조합으로 표현할 수 있으며, NDBI는 중적외선(MIR; Mid Infra-Red) 밴드와 근적외선 밴드의 지표 반사도 조합으로 계산할 수 있다 (Purevdorj et al., 1998; Zha et al., 2003). NDVI 및 NDBI 산출식은 Eq. (5), Eq. (6)과 같다.

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \quad (5)$$

$$NDBI = \frac{MIR - NIR}{MIR + NIR} \quad (6)$$

여기서, 도시지역과 나지에서의 MIR 밴드의 반사도는 NIR 밴드의 반사도에 비해 높은 값을 가지기 때문에 NDBI는 도시 및 나지지역에서 높은 값을 나타낸다. 반면, 식생지역의 NIR 밴드의 반사도는 Red 밴드의 반사도에 비해 높은 값을 가지기 때문에 NDVI는 식생지역에서 높은값을 지닌다.

## 4. 결과 및 분석

### 4.1 ATC 모델 파라미터 추정

Fig. 2는 촬영시기의 영상 내에서 지표온도의 중간값을 이용하여 추정한 ATC 모델이며 X축은 기준일로부터의 경과일수, Y축은 지표온도이다. ATC 모델의 MAST는 286.2K, YAST는 12.5K, 위상 이동량은 231일 (기준일 2000년 1월 1일)로 나타났으며, 모델 추정에서의  $R^2$ 은 0.84로 나타났다. Fig. 2로부터 알 수 있듯이 ATC 모델이 연간 지표온도의 변동성을 표현함을 확인할 수 있다.

Fig. 3은 각 픽셀 별로 추정한 ATC 모델의 파라미터를 영상으로 표현한 것이다. 이때 MAST와 YAST의 평균값은 각각 286.7K, 12.5K로 나타났다. Fig. 8에서 박스로 표시된 지역은 대전광역시 중 도심지 지역으로 MAST와 YAST 모두 높은 값을 나타남을 확인할 수

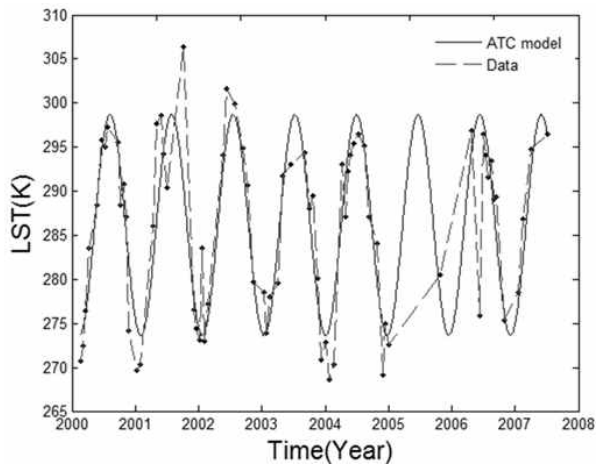
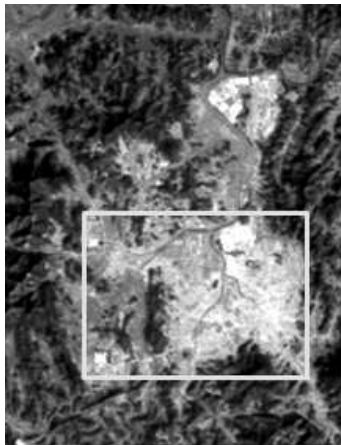
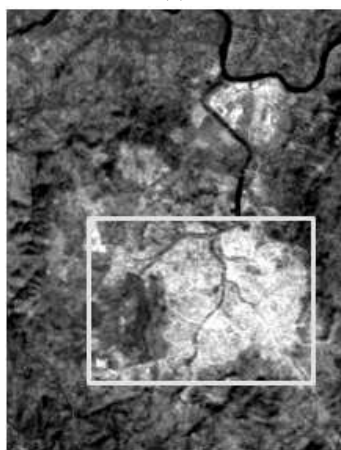


Figure 2. Estimation of the parameters of an ATC model using median values of land surface temperature in each scene.



(a)



(b)

Figure 3. Estimated parameters of ATC model: (a) MAST (b) YAST (box: urban area in research site)

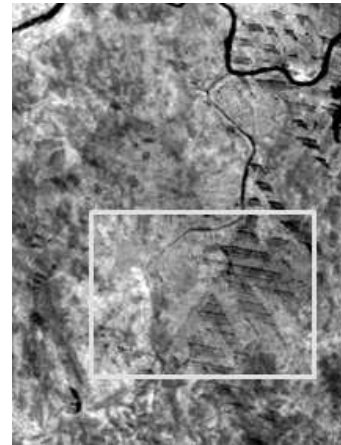


Figure 4. Estimated phase shift of ATC model (box: urban area in research site).

있었다. 또한 주변 산지, 농경지, 수계 지역은 비교적 낮은 MAST와 YAST를 지님을 확인할 수 있었다.

Fig. 4는 ATC 모델의 위상 이동량을 영상화시켜서 표현한 것이다. 그림으로부터 알 수 있듯이 위상 이동량의 경우 토지 피복 형태와 무관함을 확인할 수 있었다. Bechtel (2012)의 연구결과에서도 ATC 모델의 위상 이동량은 공간적 변동성이 떨어지며 스캔라인 에러, 사용 영상 샘플의 시간 간격 등에 따라 영향을 많이 받는 것으로 나타나 본 연구와 유사한 결과를 보였다. 이때 평균 위상 이동량은 233일로 나타났다.

#### 4.2 상관관계 분석

##### 4.2.1 단영상 내 지표온도와 분광지수 간 상관관계 분석

단영상 내의 지표온도와 분광지수의 상관관계 분석을 위하여 연구기간 중 구름 픽셀이 없는 7장의 영상만을 사용하였다. Table 3은 사용한 영상과 해당 영상 내 지표온도와 분광지수 간의 상관관계를 나타낸 표이다.

Table 3. Correlation between land surface temperature and each spectral index in cloud-free images.

Date	NDVI	NDBI
2000/03/13	-0.51	0.47
2000/06/01	-0.80	0.79
2001/04/17	-0.56	0.59
2002/05/22	-0.79	0.75
2004/04/25	-0.76	0.80
2004/08/31	-0.81	0.76
2006/09/22	-0.80	0.75

\* p-values were below 0.0001

전체 영상 내 픽셀값을 이용하여 상관관계 분석을 수행한 결과, 지표온도와 NDVI는 -0.56~-0.80의 음의 상관관계를 보였으며 지표온도와 NDBI는 0.47~0.80의 양의 상관관계를 보였다. 그러나 표로부터 알 수 있듯이 사용한 영상별로 지표온도와 분광지수와의 상관계수가 다르게 나타났다. 특히 2001/04/17 영상과 2004/04/25 영상을 보면 같은 계절에 촬영된 영상임에도 불구하고 상관계수가 크게 차이가 나는 것을 확인할 수 있다 (NDVI: 0.20, NDBI: 0.21).

단영상을 사용하여 지표온도와 토지피복 간의 상관관계를 분석할 경우에는 사용 시점에 따라 상관계수가 다름에도 불구하고 단일 시점에서의 상대적인 공간 분석은 가능하였다. 그러나 7장의 영상만으로는 지표온도의 연중 변동성과 토지 피복 간의 상관관계를 분석하기에 한계가 있었다. 따라서 지표온도의 연중 변동성을 분석하기 위해서는 시계열 영상 자료를 활용하여 연중 변동성의 대표성을 지니는 파라미터들을 산출하여야 할 필요성이 있었다. 이를 위해 본 연구에서는 ATC 모델을 통해 연중 변동성을 나타내는 대표 파라미터를 추출하여 토지피복과 지표온도 변동성 간의 상관관계 분석에 활용하였다. 또한 모델 파라미터 추정에 있어서의 왜곡을 최소화하기 위하여 각 영상의 구름 및 구름에 의한 그림자 픽셀을 제거하였다.

4.2.2 ATC 모델 파라미터와 분광지수의 상관관계

Fig. 5는 ATC 모델의 MAST와 NDVI 및 NDBI의 상관관계를 나타낸 것으로  $R^2$  값을 통하여 모델 파라미터와 분광지수 간의 상관관계를 평가하였다 (Walpole et al., 2010). 그림에서 알 수 있듯이 모델의 MAST는 NDVI 및 NDBI와 각각 -0.76, 0.69의 강한 상관관계를 보여 단영상을 통하여 분석하였을 때와 유사한 패턴을 나타내었다. 위와 같은 결과는 지표의 식생이 열섬

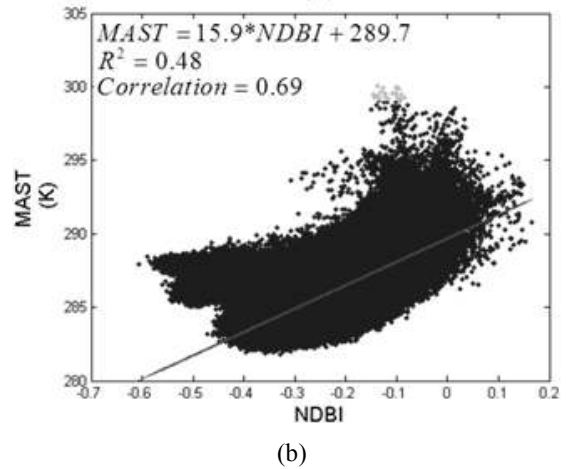


Figure 5. Correlation analysis between MAST and each spectral index: (a) NDVI & MAST (b) NDBI & MAST.

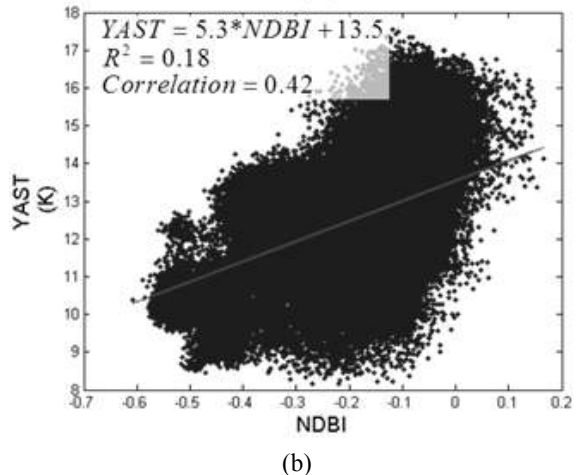
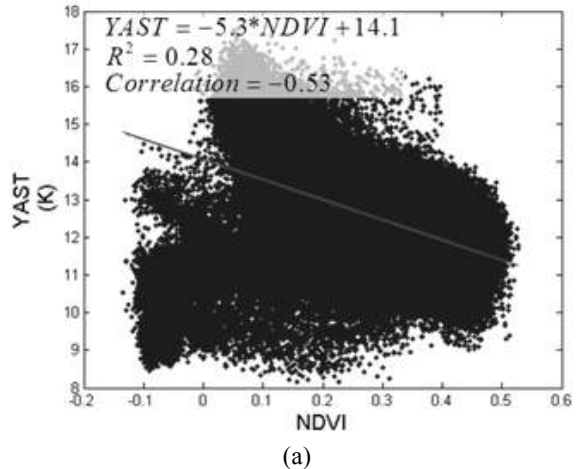
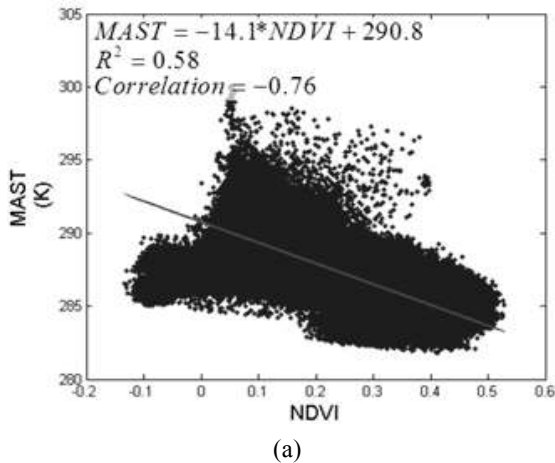


Figure 6. Correlation analysis between YAST and each spectral index: (a) NDVI & YAST (b) NDBI & YAST.



(a)

Table 4. MAST and YAST of ATC model and spectral indices relating to land cover type.

Land Cover	Urban area						Agricultural area			
	110	120	130	140	150	160	210	220	230	240
MAST (K)	289.3	290.9	290.1	288.4	289.3	288.7	286.8	286.7	287.7	286.7
YAST (K)	14.0	14.3	14.3	13.5	13.7	13.5	12.1	12.3	12.2	12.4
NDVI (MEAN)	0.148	0.155	0.126	0.193	0.151	0.182	0.268	0.293	0.241	0.320
NDBI (MEAN)	-0.100	-0.067	-0.089	-0.119	-0.113	-0.094	-0.187	-0.154	-0.162	-0.167
Number of pixels	59010	9226	12577	2155	28553	13232	49028	40944	5071	2716
Land Cover	Forest			Grassland			Wetland	Bare land	Water	
	310	320	330	410	420	430	510	620	710	
MAST (K)	287.2	284.9	285.4	285.3	288.0	287.3	287.5	287.2	285.5	
YAST (K)	12.5	11.9	12.3	12.0	12.5	12.9	12.7	11.8	11.4	
NDVI (MEAN)	0.249	0.365	0.373	0.370	0.232	0.309	0.277	0.237	0.323	
NDBI (MEAN)	-0.126	-0.223	-0.253	-0.221	-0.123	-0.159	-0.131	-0.163	-0.124	
Number of pixels	96052	122085	53292	4165	1074	27781	7159	25458	16074	

\* land cover labelled according to the categorization by Korean Ministry of Environment as below: Residential area (110), Industrial area (120), Commercial area (130), Cultural facilities (140), Transportation facility(150), Public facility(160), Rice paddy (210), Farm (220), Cultivation (230), Orchard(240), Other agricultural area (250), Deciduous forest (310), Coniferous forest(320), Mixed forest (330), Natural grassland (410), Artificial grassland (420), Other grassland (430), Inland wetland (510), Coastal wetland (520), Natural bare land (610), Other bare land (620), Inland water (710) and Marine water (720).

현상을 완화시키는 반면 콘크리트 건물, 아스팔트 도로, 나지 등의 불투수면이 이를 악화시키기 때문에 판단 된다.

ATC 모델의 YAST와 NDVI 및 NDBI의 상관관계는 Fig. 6을 통해 나타내었다. YAST 또한 NDVI와는 -0.53의 음의 상관관계를 보였으며 NDBI와는 0.42의 양의 상관관계를 보였다. 하지만 각 상관관계는 MAST에 대한 분석결과에 비해 NDVI의 경우 0.23, NDBI의 경우에는 0.27만큼 작은 상관관계수가 나타남을 확인할 수 있었다. 이는 YAST 값은 토지피복에도 영향을 받지만 토지의 이용형태에도 영향을 받기 때문에 판단 된다.

4.3 토지피복 및 이용 형태에 따른 열섬현상 분석  
 토지피복 및 이용형태에 따른 ATC 모델 비교를 위하여 환경부에서 제공하는 중분류 토지피복도를 기반으로 Table 4와 같이 ATC 모델 파라미터와 분광지수

를 나타냈다. 표에서 알 수 있듯이 도시 지역에서의 MAST와 YAST가 높게 나타났다. 특히 주거지역(110), 산업지역(120), 상업지역(130), 교통지역(150)의 MAST가 높게 나타났는데 이는 콘크리트와 아스팔트로 포장된 토지피복 특성이 열섬현상을 심화시킨 것으로 판단 된다. 주거지역과 산업지역의 NDVI가 유사한 값을 지님에도 불구하고, 산업지역의 MAST가 1K 가량 높게 나타났다. 이는 대전지역의 산업단지 내에 식생이 다수 분포하고 있으나 산업시설의 인공열 발생이 직접적으로 MAST에 영향을 주기 때문에 판단된다. 또한 도심지에서 비교적 높은 NDVI를 지닌 문화·체육·휴양지역(140), 공공시설지역(160)은 도시 지역 내 타 지역에 비해 상대적으로 낮은 MAST를 나타냈다. 이를 통하여 도심지 내 공원, 학교와 같은 시설들이 열섬효과를 완화함을 확인할 수 있었다.

또한 주거지역, 산업지역, 상업지역의 YAST가 다른 도시 지역들보다 약 0.5~1K 가량 크게 나타난 것을 확

인할 수 있었다. 이는 거주지역 및 상업지역에의 인구 밀도가 높고 산업지역에서의 인공열 발생이 크기 때문에 나타난 현상으로 추측해 볼 수 있다. 반면, 도시 지역 주변에 분포하여 있는 농업지역, 초지, 나지는 비교적 낮은 MAST와 YAST를 나타냈다. 특히, 고도와 식생지수가 높은 산림지역에서 매우 낮은 MAST가 나타남을 확인할 수 있었다.

#### 4. 결 론

Landsat 영상을 이용한 열섬현상 분석에 있어 ATC 모델을 활용한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

ATC 모델의 파라미터와 분광지수 간의 상관관계를 분석한 결과 ATC 모델의 MAST 값은 NDVI 및 NDBI와 강한 상관관계를 보이며, 이는 단영상의 지표 온도 값을 이용한 결과와 유사한 패턴을 나타내는 것을 확인하였다. ATC 모델의 YAST 값도 NDVI 및 NDBI와 각각 음의 상관관계, 양의 상관관계를 나타내는 반면 ATC 모델의 위상 이동량은 지표 상태와 상관관계가 적음을 확인할 수 있었다.

중분류 토지피복도를 기반으로 토지 피복 및 이용형태에 따른 ATC 모델의 파라미터를 비교 분석한 결과 도시 지역에서의 MAST, YAST가 높게 나타났다. 특히 주거지역, 산업지역, 상업지역, 교통시설이 지표의 열특성 및 인공열 발생으로 열섬효과를 악화시키는 것으로 나타난 반면 비교적 건물 밀도가 낮고 식생이 많은 문화·체육·휴양지역, 공공시설지역이 열섬현상을 완화시키는 것을 확인할 수 있었다.

#### 감사의 글

본 연구는 국민안전처 재난안전기술개발기반구축사업 ("NEMA-기반-2014-111")의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

#### References

- Ackerman, B., 1985, Temporal march of the Chicago heat island, *Journal of Climate and Applied Meteorology*, Vol. 24, No. 6, pp. 547-554.
- Bechtel, B., 2012, Robustness of annual cycle parameters to characterize the urban thermal landscapes, *Geoscience and Remote Sensing Letters*, IEEE, Vol. 9, No. 5, pp. 876-880.
- Chander, G. and Markham, B., 2003, Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges, *Geoscience and Remote Sensing*, IEEE Transactions on, Vol. 41, No. 11, pp. 2674-2677.
- Daejeon Metropolitan City, 2015, <http://www.daejeon.go.kr/sta/StaStatisticsFldView.do?ntatcSeq=1042691&menuSeq=&column1Cont=&column2Cont=&pageIndex=1#>.
- Göttsche, F. M. and Olesen, F. S., 2001, Modelling of diurnal cycles of brightness temperature extracted from METEOSAT data, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 76, No. 3, pp. 337-348.
- Hua, L. and Wang, M., 2012, Temporal and spatial characteristics of urban heat island of an Estuary city, China, *Journal of Computers*, Vol. 7, No. 12, pp. 3082-3087.
- Jensen, J. R. and Cowen, D. C., 1999, Remote sensing of urban/suburban infrastructure and socio-economic attributes, *Photogrammetric engineering and remote sensing*, Vol. 65, 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 Geospatial Information System*, Vol. 19, No. 2, pp. 55-61.
- 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*, Vol. 28, No. 2, pp. 197-206.
- 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.
- Kim, M. K., Kim, S. P., Kim, N. H. and Sohn, H. G., 2014, Urbanization and urban heat island analysis using LANDSAT imagery: Sejong city as a case study, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 34, No. 3, pp. 1033-1041.
- Li, Z. L., Tang, B. H., Wu, H., Ren, H., Yan, G., Wan, Z., Trigo, I. F. and Sobrino, J. A., 2013, Satellite-derived land surface temperature: Current status and perspectives, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 131, pp. 14-37.
- Ministry of Environment, <http://egis.me.go.kr>.
- Moré, J. J. 1978, The Levenberg-Marquardt algorithm: implementation and theory *Numerical*



- analysis (pp. 105–116): Springer.
15. Myeong, S., Nowak, D., Hopkins, P. and Brock, R., 2001, Urban cover mapping using digital, high-spatial resolution aerial imagery, *Urban Ecosystems*, Vol. 5, No. 4, pp. 243–256.
  16. 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.
  17. NASA User Handbook, 2013, Landsat 7 science data users handbook, <http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/>
  18. Oke, T. R., 1973, City size and the urban heat island, *Atmospheric Environment (1967)*, Vol. 7, No. 8, pp. 769–779.
  19. Purevdorj, T., Tateishi, R., Ishiyama, T. and Honda, Y., 1998, Relationships between percent vegetation cover and vegetation indices, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 19, No. 18, pp. 3519–3535.
  20. Quan, H. C. and Lee, B. G., 2009, Analysis of relationship between LST and NDVI using Landsat TM images on the city areas of Jeju island, *Journal of the Korean Society for Geospatial Information System*, Vol. 17, No. 4, pp. 39–44.
  21. 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.
  22. Walpole, R. E., Myers, R. H., Myers, S. L., and Ye, K., 2010, *Probability and statistics for engineers and scientists*, 9/E, Pearson, pp. 518–520.
  23. Weng, Q., 2009, Thermal infrared remote sensing for urban climate and environmental studies: Methods, applications, and trends, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 64, No. 4, pp. 335–344.
  24. Weng, Q. and Fu, P., 2014, Modeling annual parameters of clear-sky land surface temperature variations and evaluating the impact of cloud cover using time series of Landsat TIR data, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 140, pp. 267–278.
  25. 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.
  26. Zhu, Z. and Woodcock, C. E., 2012, Object-based cloud and cloud shadow detection in Landsat imagery, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 118, pp. 83–94.