

도시열섬 완화를 위한 나무심기운동에 따른 지표면 온도 변화 분석* - 구미시를 사례로 -

김경훈¹ · 김형수² · 권용하³ · 박인선⁴ · 정윤재^{5**}

Analysis of Changes in the Land Surface Temperature according to Tree Planting Campaign to reduce Urban Heat Island* - A Case Study for Gumi, South Korea -

Kyunghun KIM¹ · Hung Soo KIM² · Yong-Ha KWON³
Insun PARK⁴ · Yun-Jae CHOUNG^{5**}

요 약

기후변화로 인해서 전 세계적으로 온도가 상승하고 있다. 도시를 중심으로 급속한 성장을 이룬 우리나라는 도심지역에 대해서 열섬현상, 대기 오염 등 환경문제가 심각하게 발생하고 있다. 이를 해결하기 위해서 중앙정부와 지방자치단체들은 도시 숲, 공원 조성 등의 나무심기운동을 활발하게 추진하고 있다. 본 연구에서는 나무심기운동에 따른 도심지역의 녹지 증가와 식생의 생장 상태를 정량적으로 산정하였고 이에 따른 도심지역의 지표면 온도 변화를 분석하였다. 구미지역에 대해서 Landsat 영상을 이용하여 나무심기운동이 진행되기 전, 실행된 직후, 사업이 중간 정도 진행된 시점, 최종적으로 완료된 시점에 대해서 녹지면적과 식생지수, 지표면 온도를 산정하였다. 연구 결과, 두 지역에 대해서 녹지면적이 각각 7.24km², 4.93km² 증가하였고 식생지수는 0.14~0.16 증가하였으며, 지표면 온도는 0.8~1.2°C 감소하였다. 나무심기운동은 도시의 지표면 온도를 낮추는 역할뿐만 아니라 공기 정화, 탄소 흡수, 녹색 휴식 공간 제공 등 다양한 역할을 수행하기 때문에 지속적으로 진행되어야 한다.

2021년 12월 14일 접수 Received on December 14, 2021 / 2022년 01월 19일 수정 Revised on January 19, 2022 / 2022년 01월 21일 심사완료 Accepted on January 21, 2022

* 본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원 지원으로 수행되었음(과제번호 21AWMP-B121100-06)

1 인하대학교 토목공학과 박사과정 Ph.D. Student, Dept. of Civil Engineering, INHA University

2 인하대학교 사회인프라공학과 교수 Professor, Dept. of Civil Engineering, INHA University

3 ㈜지오씨엔아이 공간정보솔루션센터 부장 General Manager, Spatial Information Solution Center, Geo C&I Co., Ltd.

4 ㈜지오씨엔아이 공간정보기술연구소 과장 Manager, Geospatial Research Center, Geo C&I Co., Ltd.

5 ㈜지오씨엔아이 공간정보기술연구소 소장 CTO, Geospatial Research Center, Geo C&I Co., Ltd.

** Corresponding Author E-mail: chyj@geocni.com

주요어 : 기후변화, 나무심기운동, Landsat 위성영상, 녹지면적, 식생지수, 지표면 온도

ABSTRACT

Due to climate change, temperature is rising worldwide. Since rapid growth has been achieved focused on cities, South Korea is experiencing serious environmental problems such as heat island and air pollution in urban areas. To solve this problem, the central and each local government are actively promoting tree planting campaigns. This study quantitatively calculated changes in green areas and vegetation of Gumi by the tree planting campaign, and analyzed the temperature changes accordingly. For the target area, the green area, vegetation index, and ground temperature were calculated for 4 different time periods using the given Landsat satellite images. As a result of the study, the green area of was increased by 7.24km² and 4.93km² for two regions, respectively. Accordingly, the vegetation index increased by 0.14 to 0.16, and the temperature decreased by 0.8 to 1.2°C. The Tree planting campaign not only plays a role in lowering the temperature of the city but also does various roles such as air purification, carbon absorption, and providing green rest areas to citizens. Therefore the campaign should be carried out continuously.

KEYWORDS : *Climate Change, Tree Planting Campaign, Landsat Satellite Image, Green Area, Vegetation Index, Land Surface Temperature*

서 론

전 세계가 기후변화로 인해서 기온이 상승하고 있는 현상을 경험하고 있다. 도시를 중심으로 급격한 산업화가 진행된 우리나라의 경우에는 도시화의 급속한 진행, 도시의 인구집중과 그에 따른 건물이나 도로 등의 조성으로 인해 녹지와 하천과 같은 자연환경의 감소, 콘크리트와 아스팔트와 같은 인공 환경이 급격히 증가하였다(Choi and Lee, 2013). 이에 따라 도심지역의 온도가 주변 지역에 비해 높아지는 열섬현상이 나타나게 되었고, 열섬현상은 에너지 사용 증가와 대기오염 등 심각한 문제를 야기하고 있다.

이러한 문제점을 인식하고 대응하기 위하여 다양한 노력을 기울이고 있는데 그중에서 나무심기운동과 같은 녹지면적 증가를 위한 노력이 많이 수행되고 있다. 나무심기운동의 경우에는 환경부, 산림청 등 중앙정부에서 주도하는 ‘30

억 그루 나무 심기’, ‘내 나무 갖기 캠페인’ 외에도 각 지방정부에서 자체적으로 나무심기운동을 진행하여 도심지역의 환경을 개선하고자 노력하고 있다. 이러한 나무심기운동의 온도저감 효과 및 도시열섬 현상을 분석하기 위해서 과거에 여러 연구가 진행되었다. Lee(2001)는 인공위성 Landsat TM을 이용하여 산정한 지표면 온도와 도심과 관련된 변수 간의 상관분석을 실시하였으며, 개발 예정 지역이 개발됨에 따라서 도심 온도가 크게 상승하는 것을 확인하였다. Yoon and Ahn(2009)은 위성영상 자료를 이용하여 녹지가 주변 도심지역 기온 감소에 영향을 주는 범위를 분석하였다. 녹지로부터 반경 500m 이내의 지역들을 기준으로 기온 저감 효과를 받는 면적 및 인구 등을 산정하였으며 녹지 영향권 안과 밖의 온도 변화를 산정하여 비교하였다. Yun *et al.*(2013)은 Landsat 위성영상을 통해서 나무심기운동이 진행되기 전·후의 녹지면적과 온도를 산정 및 비교를 통해서 나무심기운동의 온도저감 효과에 대해서 분석하

였다. Song and Park(2017)은 도시열섬 연구를 위한 기초과정으로 ASTER 위성영상의 지표면 온도 자료의 적절성을 분석하였다. Song and Park(2019)은 김해시를 대상으로 토지피복 유형과 도시 온도의 관계성을 분석하여 시가화 지역과 농업지역은 표면온도 상승에 직접적인 효과를 주며, 반면에 산림지역은 기온 저감에 효과가 있는 것을 확인하였다. Hwang and Kang(2020)은 부산광역시를 대상으로 도시열섬과 도시오염섬의 공간적 분포패턴을 서로 비교 분석하여, 열섬지역과 도시오염섬 지역이 99.96% 이상 일치하는 것을 확인하였다. 이외도 토지피복과 도시열섬과의 관계에 대해서 분석한 Ahn *et al.*(2012), Park *et al.*(2016) 등의 연구들이 진행되었다. 그러나 나무심기운동의 효과를 분석한 연구의 경우에는 면적의 변화량에만 초점을 두고 있다. 하지만 실제로 나무심기운동이 효과적으로 작동하기 위해서는 조성한 식생이 건강함을 유지하여야 한다(Choi and Lee, 2013). 즉, 나무심기를 통하여 녹지의 양을 증가시키는 것뿐만 아니라, 그 후에 녹지가 질적으로 잘 성장할 수 있도록 관리하는 것이 중요하다. 따라서 본 연구에서는 나무심기운동에 따른 녹지면적 및 식생지수 변화와 도시의 지표

면 온도 변화의 관계성을 분석하여 나무심기운동의 온도저감 효과에 대한 정략적 근거를 제시하고자 하였다.

연구방법

1. 연구대상지

본 연구에서는 구미시를 대상 지역으로 선정하여 나무심기운동에 따른 대상 지역의 녹지면적, 식생지수, 온도 변화를 분석하여 비교하였다(그림 1). 구미시는 민선 4기인 2006년부터 녹색환경 도시로 바꾸는 일천만 그루 나무심기운동이 추진되면서 도심 내 식수량의 증가와 함께 가시적인 녹피울 증가 및 조경 관련 산업의 확대로 일자리 창출 등 양적·질적 성장을 이루었으며, 이는 구미시 주민들에게 큰 호응과 인식 전환의 계기를 마련하였다(Nam *et al.*, 2017). 총 1,000만 본(교목, 관목, 숙근초화류)을 목표로 시작된 일천만 그루 나무심기운동은 구미시 지역에 공원녹지 조성, 마을 쉼터 조성, 산지 조림 등의 공공부문뿐만 아니라 기업체, 아파트, 가정 식수, 현수 등 민간 부분까지 수행되었으며, 이를 통해서 사업이 완료된 2015년 12월 기준으로 총 1,021만 본의 목표를 달성하였다.

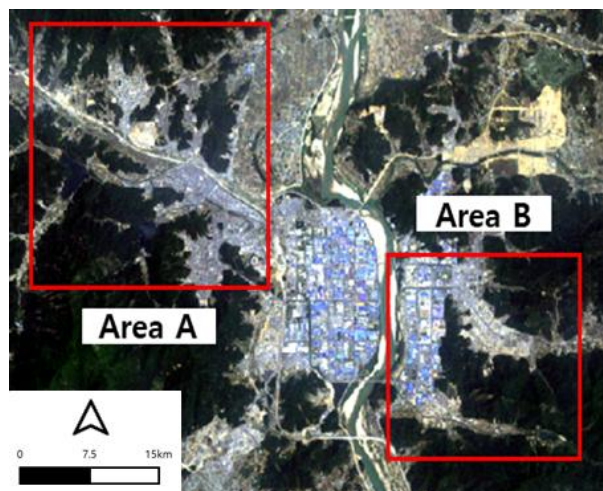


FIGURE 1. Satellite image of study area a(left) and b(right) in Gumi, South Korea

구미시 주도하에 총 87개소의 도시공원 및 쉼터와 3개소의 도시 숲이 조성되었다. 본 연구에서는 일천만 그루 나무심기운동 중에서도 원평 도시 숲(Area A)과 인동 도시 숲(Area B)이 조성된 지역을 중심으로 분석을 하였다. 원평 도시 숲과 인동 도시 숲은 각각 27억 원, 43억 원이 투자되었다.

선정된 두 지역의 Landsat 위성영상 자료들을 수집하고, 수집된 자료를 통해 지표면 온도, 녹지면적, 식생지수를 산정 및 비교를 통해서 나무심기운동에 따른 변화를 분석하였다.

2. Landsat 위성영상

Landsat 위성은 미국의 NASA(National Aeronautics and Space Administration)와 USGS(United States Geological Survey)가 공동으로 개발한 위성으로, 지구 표면에 있는 토양의 지질학적 구조, 토지 피복, 지표의 물 분포 등 다양한 요소를 관측한다. Landsat 위성은 1972년 1호를 시작으로 2013년 2월에 발사된 8호까지 상당히 긴 기간 동안 운영이 되었기 때문에 과거에서 현재에 이르는 변화탐지에 많이 활용되고 있다. 본 연구에서는 대상 지역의 녹지 및 식생,

TABLE 1. Summary of the given Landsat images

Date	Type	Sensor	Resolution
2002.05.22	Landsat 5	TM	30m
2006.05.01	Landsat 5	TM	30m
2009.05.25	Landsat 5	TM	30m
2016.05.05	Landsat 8	TIRS	30m

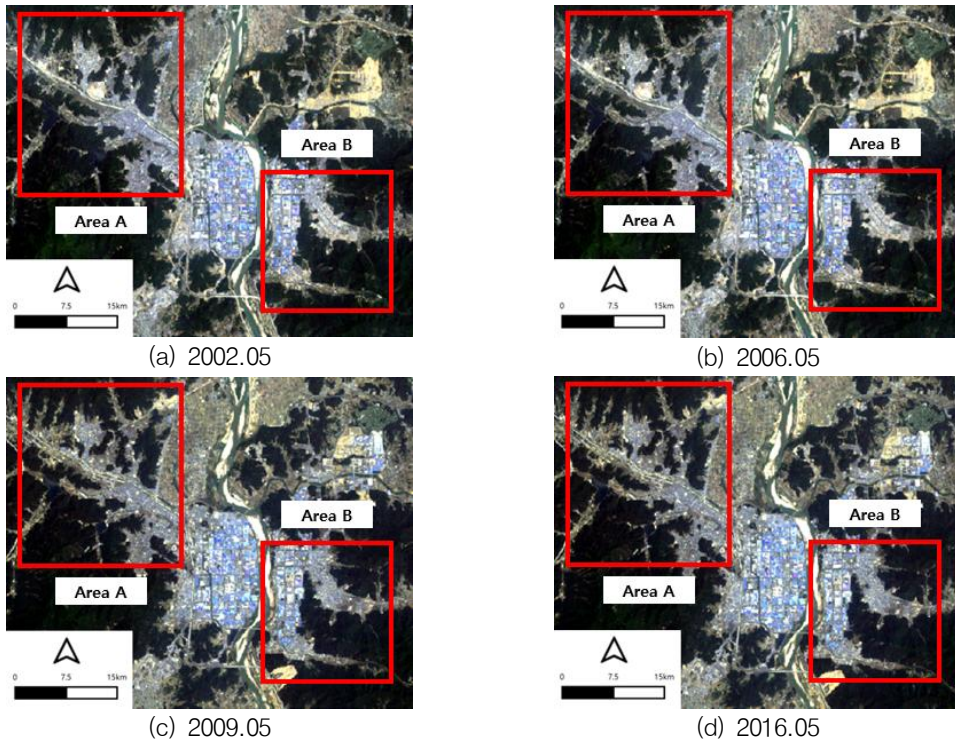


FIGURE 2. Landsat satellite image of each period

온도 변화를 탐지하기 위해서 나무심기운동이 진행되기 전인 2002년, 나무심기운동이 시작된 2006년, 중간 정도 진행된 2009년, 최종적으로 마무리가 된 2016년의 Landsat 위성영상 자료를 취득하였다. 표 1은 연구에서 사용된 Landsat 위성영상의 개요이며, 그림 2는 시기별 위성영상이다.

3. 지표면 온도 산정

Landsat 5 위성영상의 Band 6은 열적외선 영역(10.4~12.5 μm)에 대한 자료를 제공하고 있다. 따라서 Band 6 영상을 이용하여 분석하고자 하는 대상지역에 대한 지표면 온도를 산정할 수 있다. 단, 지표면 온도 산정 시에 위성에 탑재된 센서가 흑체(blackbody)와 접해 있다는 가정하에 계산된다. Band 6이 제공하는 관측된 DN(Digital Number)값을 이용하여 계산된 복사휘도 값을 NASA에서 제시한 지표면 온도 계산법에 적용하여 계산할 수 있다. 복사휘도 값은 아래 식을 사용하여 산정할 수 있다(Yun *et al.*, 2013).

$$L = \left(\frac{L_{MAX} - L_{Min}}{Q_{CALMAX} - Q_{CALMIN}} \right) (Q_{CAL} - Q_{CALMIN}) + L_{MIN} \quad (1)$$

여기서, L (절대 방사 휘도): 측정된 분광 방사량($W/m^2sr\mu\text{m}$)

L_{MIN} (최소 방사 휘도): $Q_{CAL} = Q_{CALMAX}$ 일 때 분광 복사에너지($W/m^2sr\mu\text{m}$)

L_{MAX} (최대 방사 휘도): $Q_{CAL} = 0$ 일 때 분광 복사에너지($W/m^2sr\mu\text{m}$)

Q_{CALMIN} : DN 단위로 정량화된 최소복사에너지(DN=0: TM or NLAPS products in ETM+, DN=1: LPGS products in ETM+)

Q_{CALMAX} : DN 단위로 정량화된 최대복사에너지(DN=255)

Q_{CAL} : DN

Landsat 5 위성영상에서 구한 절대 방사 휘도와 절대온도(K)의 관계는 아래 식을 통해서 표현될 수 있다. 산정된 절대온도에 대해서 273.15를 감하여 섭씨온도($^{\circ}\text{C}$)로 변환해줄 수 있다.

$$T(K) = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L} + 1\right)} \quad (2)$$

여기서, $T(K)$: 절대온도 단위의 지표면 온도

K_1 : 보정 상수 1 ($W/m^2sr\mu\text{m}$)

K_2 : 보정 상수 2 (K)

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

식 2와 3에서 사용되는 매개 변수들은 모든 Landsat 위성영상 자료와 함께 제공된다. Landsat 8 위성영상에서는 적외선 영역에 해당하는 자료를 제공하는 밴드는 Band 10(10.6~11.19 μm)와 Band 11(11.50~12.51 μm)이다. 지표면 온도를 산정하기 위해서, Landsat 8 위성 자료에 제공되고 있는 값을 우선 복사에너지로 변환한다. 아래 식과 같은 선형회귀식의 상수를 이용하여 계산할 수 있다(USGS, 2015).

$$L_{\lambda} = A Q_{CAL} + B \quad (4)$$

여기서, A , B 는 선형회귀식의 상수이며, 밴드 별로 제공되는 상수값이다.

이렇게 산정된 절대 방사 휘도는 Landsat 5에서와 같이 식 2를 통해서 절대온도로 변환해줄 수 있다. 최종적으로 변환된 온도에 대해서 보정계수를 곱하고 273.15를 감하여 섭씨온도로 산정할 수 있다.

$$T(^{\circ}\text{C}) = \varepsilon^{\frac{1}{4}} T(K) - 273.15 \quad (5)$$

여기서, ε 는 방출률을 의미한다.

Jee *et al.*(2016)은 Landsat 위성영상을 활

용하여 산출된 지표면 온도와 측정된 지표면 온도를 비교하였고, 그 결과 상관계수는 0.88이고 평방근 오차가 5.33℃로 산정되었으며, 구름 화소를 제거한 경우에 상관계수가 0.98이고 평방근 오차가 2.84℃로 상관성 계수는 높아지고 오차는 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 본 연구에서도 위성영상을 통해서 산정된 지표면 온도의 오차를 줄이기 위해서 구름이 1% 미만으로 영향을 주고 있는 영상만을 수집하여 지표면 온도를 산정하였다.

4. 영상분류

영상의 분류는 유사한 특성을 가진 픽셀들을 동일한 항목 또는 군집으로 분류하는 과정을 의미하며, 이를 통해서 각 픽셀을 여러 가지 대상물들로 구분할 수 있다. 모든 물체는 각기 고유한 분광 신호와 분광 반응패턴을 가지고 있는데, 이렇게 물체의 분광 특성이 서로 다른 원리를 이용하여 영상을 분류한다.

본 연구에서는 구미시 녹지면적의 변화를 파악하기 위해서 영상분류를 하였다. 이를 위해 QGIS에서 제공하고 있는 SCP 플러그인을 활용하였으며, 분류항목으로 농경지(farmland), 수계(water), 도심(urban), 녹지(forest) 4가지 토지 피복으로 구분하여 트레이닝 셋을 설정하였다. 본 연구에서는 감독 분류 방법 중에서 정확도가 비교적 높고 영상분류 연구에 폭넓게 활용되는(Yun *et al.*, 2013) 최대우도법(Maximum likelihood)을 사용하여 주어진 위성영상을 기반으로 영상분류를 수행하였다. Landsat 5 위성영상에 대해서는 Band 4, 3, 2를 조합하고

Landsat 8 위성영상에 대해서는 Band 5, 4, 3을 조합하여 사용하였다. 표 2는 영상분류를 통해 산출한 토지피복 항목을 보여준다.

개별 위성영상에 영상분류 작업을 적용하여 산출한 녹지면적의 변화량을 계산하였다.

5. 식생지수 산정

식생지수(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)는 근적외선(Near Infrared, NIR) 밴드와 가시광선 적색 밴드를 이용하여 작물의 성장 상태를 지수로 표현한 것이다. NDVI는 식생에 의한 파장별 반사율이 태양광선의 입사각과 위성의 촬영 각도에 의해 변하고 대기 상태에 따라서도 관측되는 값이 다르게 되는 문제점을 일반화하여 이들의 영향을 감소시킬 수 있는 장점이 있다(Park *et al.*, 2013). NDVI는 전세계에서 가뭄 모니터링, 농업 생산 예측 및 화재 지역 등의 식생 모니터링 업무에 폭넓게 사용되고 있으며, 도시의 식생과 관련된 연구들에 많이 활용되고 있는 대표적인 식생지수이다(Hwang *et al.*, 2005; Jeong, 2012; Kim *et al.*, 2015). 본 연구에서도 NDVI를 이용하여 나무 심기에 따른 대상 지역의 식생 활력도 변화를 분석하고자 NDVI를 산정하여 비교하였다.





식생지수는 아래 식을 통해서 산정될 수 있다.

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (6)$$

여기서, NIR은 근적외선 밴드, RED는 가시광선 적색 밴드를 의미한다.

식생지수는 -1부터 1 사이의 값을 가지고 있

TABLE 2. Types of the land covers derived through the land cover classification tasks

Subjects	Class	
Water	Blue	
Farmland	Yellow	
Urban	Red	
Forest	Green	

으며, NDVI 값이 높을수록 해당 지역에서 식생의 활력도가 높음을 나타내며 이는 건강한 식생은 다른 파장에 비해서 극적외선과 녹색광을 더 많이 반사하고 적색광을 많이 흡수하기 때문이다(Jeong, 2012). Landsat 5 위성영상에서는 Band 4가 근적외선 밴드, Band 3이 적색 밴드를 의미하며, Landsat 8 위성영상에서는 Band 5가 근적외선 밴드, Band 4가 적색 밴드를 의미한다.

결과 및 고찰

1. 녹지변화 및 식생지수 변화 탐지

주어진 Landsat 위성영상에 영상분류를 적용하기 이전에 영상분류기의 성능을 확인하였다. 2009년 위성영상에 대해서 먼저 영상분류를 적용하고, 분류된 결과를 환경 공간정보 서비스에서 제공하고 있는 대분류 토지피복지도 2000년대 말 자료(lv1_2000yr)와 비교하였다. 비교 결과 4가지 분류에 대해서 모두 92~95%의

matching rate를 보여주었다. 대상 지역인 A지역과 B지역에 대한 영상분류 결과를 이용하여 나무심기운동 전인 2002년, 시작한 2006년, 운동의 50% 정도 진행된 2009년, 완료된 2016년의 녹지면적을 산출하고 비교하였다. A지역과 B지역의 영상분류 결과는 그림 3과 같다. A지역과 B지역의 총 픽셀 수는 각각 54,984 (49.49km²)과 37,600(33.84km²)개이다.

영상분류 결과를 통해서, 2002년부터 2006년 사이에 농경지가 감소하고 도심지역이 커진 것을 볼 수 있으며, 나무심기운동이 시작된 이후에 도심과 농경지가 감소하고 녹지면적이 커진 것을 볼 수 있다. 표 3은 분류 결과를 통해 산출된 녹지의 픽셀 개수와 면적 변화를 나타낸다.

표 3에서 2002년과 2006년을 비교해보면, 두 지역 모두 녹지면적이 약 1km²이 감소된 것을 볼 수 있다. 이는 구미지역에 대한 도시화가 진행되었기 때문이다. 나무심기운동이 진행된 2009년을 보게 된다면 두 지역 모두 급격하게 녹지면적이 증가한 것을 확인할 수 있다. A지역

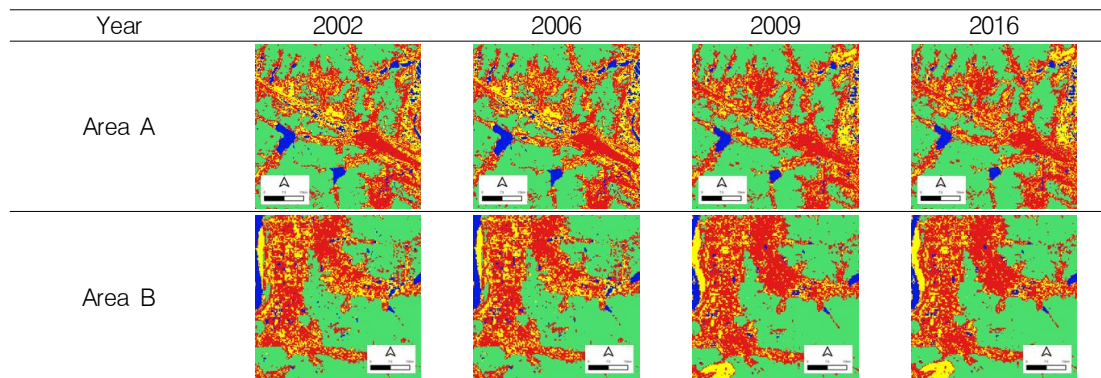


FIGURE 3. Results of land cover classification in Areas A and B

TABLE 3. Number of pixels and extent of forest areas in Area A and Area B

Year	Area A		Area B	
	Pixel	Extent(km ²)	Pixel	Extent(km ²)
2002	19,987	17.99	13,563	12.21
2006	18,950	17.06	12,524	11.27
2009	23,495	21.15	16,004	14.40
2016	26,995	24.30	17,598	16.20

TABLE 4. NDVI of Area A and Area B

Year	Area A	Area B
2002	0.246	0.24
2006	0.121	0.129
2009	0.261	0.249
2016	0.283	0.265

의 녹지면적은 4.09km², B지역의 녹지면적은 3.13km²이 증가하였다. 이는 2006년 기준으로 기존 면적의 24%와 28%에 해당하는 면적이다. 사업이 완료된 2016년의 분석 결과에서는 2009년에 증가한 녹지면적보다는 다소 작은 면적이 증가한 것으로 나타났다. A지역은 3.15km², B지역은 1.8km²이 증가하였으며 2006년 기준으로 18%와 16%에 해당하는 면적이다. 나무심기 운동을 통한 녹지면적의 증가를 확인하기 위해서 2006년과 2016년의 면적을 비교해보면, A 지역은 최종적으로 7.24km², B지역은 4.93km²이 증가하였으며, 사업 전보다 녹지면적이 1.43배 증가하였다. 표 4는 A지역과 B지역의 NDVI 변화를 나타낸다.

도시화가 진행된 2002년부터 2006년까지 식생지수가 50% 감소한 것을 볼 수 있다. 2006년 이후 나무심기운동을 통해서 식생지수가 다시 증가하였으며, 최종적으로 2002년보다 높은 식생지수를 가지는 것으로 나타났다.

두 지역에 대해서 녹지면적 및 식생지수가 증가하게 된 것은 두 지역에 대해서 일천만 그루 나무심기운동의 대표적인 사업인 도시 숲이 조성되었기 때문이다. 구미시는 2006년부터 A 지역과 B 지역에 각각 27억 원과 43억 원을 투자하여 원평 도시 숲과 인동 도시 숲을 조성하였으며, 이후에는 65억 원을 투자하여 철로 변에 도시 숲을 조성하였다. 또한, 도시 숲 조성

시에 이팝나무, 마로니에, 느티나무, 왕벚나무 등 다양한 종류의 나무들을 활용하여 식생의 다양성을 높였다(KLOG(Korean Association for Local Government Studies), 2016). 도시 숲이 조성된 이후에도 다양한 행사를 통해서 도시 숲 주변 지역에 대해서 나무심기운동이 지속해서 진행되었다.

2. 온도 변화 산정

1절에서 분석한 지역에 대해서 지표면 온도를 산정하였으며 이는 표 5와 동일하다.

동일한 기간에 두 지역에서 발생한 온도 변화는 앞서 분석한 녹지면적 및 식생지수 변화와 반대의 경향을 보여주었다. 2002년부터 2006년까지는 온도가 증가하였으며, 이후 나무심기운동이 진행되면서 온도가 감소하게 되었다. 2006년을 기준으로 2016년에 A지역은 1.18℃, B지역은 0.76℃가 감소하였다.

이러한 온도 감소 효과가 구미시의 온도 변화로 인해서 발생한 것일 수도 있으므로 동일한 기간의 기온 자료를 수집하여 자료의 추세를 확인하여 비교하였다. 같은 지표면 온도 자료를 활용하고자 하였으나, 구미시에 대해서 수집된 지표면 온도 자료가 부재하기 때문에 기상청에서 관리하는 구미시 종관기상관측소의 기온 관측자료를 활용하였다. 지표면 온도가 산정된 시점이 5월이기 때문에 2002년부터 2016년까지

TABLE 5. Land surface temperature of Area A and Area B

Year	Area A	Area B
2002	20.03℃	20.04℃
2006	20.42℃	20.17℃
2009	19.72℃	19.68℃
2016	19.24℃	19.41℃

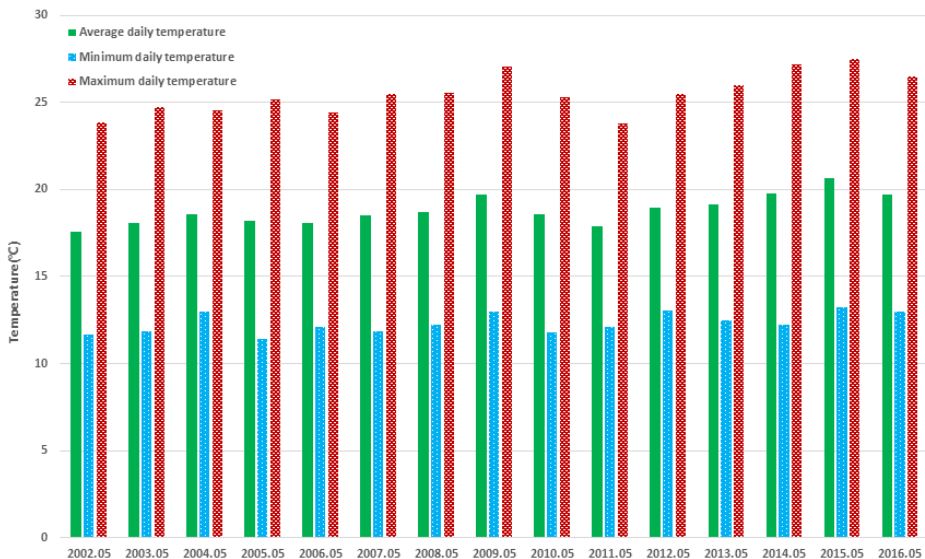


FIGURE 4. Variation of daily air temperature in May from 2002 to 2016

일 단위의 5월 평균기온, 최저기온, 최고기온을 수집하였다(그림 4). 연도에 따른 각 온도의 변화를 살펴보면 대체로 2002년 이후에 기온이 상승하고 있는 것을 볼 수 있다. 이는 앞서서 각 지역에 산정된 지표면 온도와는 다른 추세를 보인다. 즉, 구미시의 기온은 증가추세를 보이고 있지만 나무심기운동이 진행된 지역의 지표면 온도의 경우에는 반대로 온도가 감소한 사실을 알 수 있다.

하지만, 지표면 온도의 경우에는 기온뿐만 아니라 토양수분, 토지 피복, 지표면 방출율, 휘도 온도차, 수증기량 등 다양한 요소에 영향을 받기 때문에(Choi and Suh, 2016), 이러한 인자들의 변화와 비교하는 것이 필요하다.

두 지역에서 발생한 온도 변화를 비교하면, B지역이 A지역에 비해서 낮게 온도가 감소한 것을 확인할 수 있다. Song and Park(2019)의 연구 결과에 의하면, 도심의 면적이 증가할수록 지표면 온도가 상승하고, 녹지는 반대의 경향을 보여준다. 또한 녹지는 기온 저감에 있어서 직접적인 효과가 있는 것으로 분석되었다. 이러한 연구 결과를 바탕으로 A 및 B지역의 온도 변화 차이를 해석해보면, A지역이 B지역보다 녹지면

적이 더 많이 증가하였고 A지역은 도심의 면적이 감소했지만, B지역은 2006년과 2016년 유사한 도심 면적을 유지하고 있으므로 A지역이 더 많은 온도 감소를 가지는 것으로 해석할 수 있다.

결론

본 연구에서는 Landsat 위성영상을 이용하여 대상 지역인 구미시의 녹지면적 및 식생지수, 온도 변화를 분석하여 아래와 같은 결론을 얻었다.

첫째, 다른 시기의 Landsat 영상을 이용하여 나무심기운동에 따른 녹지면적 변화 및 NDVI 변화를 산출하여 비교하였다. 녹지면적이 기존보다 43%가 증가하였으며, 대상 지역의 식생 활력도가 상대적으로 좋아진 것을 확인할 수 있었다.

둘째, Landsat 영상의 열적외 데이터를 통해서 산정한 지표면 온도를 이용하여 녹지면적 증가에 따라 도심지역의 온도가 최대 1.18°C가 감소하는 효과가 있는 것을 확인할 수 있었다.

본 연구에서는 도심지역의 온도 변화가 나무심기운동에 의해서만 발생한 것으로 가정하고

연구를 진행하였다. 그러나 실제 온도 변화에 있어서 구미시에서 실행한 도로 살수 운영, 녹색 지붕, 쿨루프 등의 여러 환경 정책들이 영향을 주기 때문에 이러한 요소들을 고려하여 온도 변화를 해석할 필요가 있다. 추후 연구에서는 이러한 점을 반영하여 연구를 진행할 필요가 있다. 그럼에도 불구하고 본 연구에서는 도심지역의 온도를 감소시키기 위해서 많이 진행되고 있는 나무심기운동에 대한 효과를 녹지면적, 식생지수 등을 활용하여 정량적으로 분석하여 제시하였다. 분석된 결과를 통해서 나무심기운동이 도심지역의 온도를 낮추는 데 효과가 있음을 확인할 수 있었다. 나무심기운동은 도심지역의 온도를 낮추는 역할뿐만 아니라 공기 정화, 탄소흡수량을 증가, 해당 도시의 주민들에게 녹색 공간을 제공함으로써 여가 활동 및 심리적 안정을 제공할 수 있다. 따라서 중앙정부뿐만 각 지방정부는 이러한 나무심기운동을 일회성이 아니라 지속해서 진행해야 하며, 조성된 녹색 공간에 대한 관리가 진행되어야 한다. 이에 있어서 본 연구의 결과가 나무심기운동의 효과 혹은 사업성 분석에 있어서 기초자료로써 활용될 수 있을 것으로 판단된다. **KAGIS**

REFERENCES

- Ahn, J.S., J.D. Hwang, M.H. Park and Y.S. Suh. 2012. Estimation of urban heat island potential based on land cover type in Busan using Landsat-7 etm+ and AWS data. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 15(4): 65-77 (안지숙, 황재동, 박명희, 서영상. 2012. Landsat-7 ETM+ 영상과 AWS 자료를 이용한 부산의 토지피복에 따른 여름철 도시열섬포텐셜 산출. *한국지리정보학회지* 15(4): 65-77).
- Choi, Y.J. and I. Lee. 2013. Analysis of surface temperature change by variation of vegetation in urban area - studies in Bundang new town and Ilsan new town-. *Proceedings of the Korean Institute of Landscape Architecture Conference*. pp.85-88 (최윤조, 이인성. 2013. 도시 내 식생변화에 따른 지표온도 변화 분석 -분당·일산신도시를 대상으로-. *한국조경학회 2013년도 추계학술대회 초록집*. 85-88쪽).
- Choi, Y.Y. and M.S. Suh. 2016. Improvement of COMS land surface temperature retrieval algorithm by considering diurnal variation of air temperature. *Korean Journal of Remote Sensing* 32(5):435-452 (최윤영, 서명석. 2016. 기온 일 변동을 고려한 COMS 지표온도 산출 알고리즘 개선. *대한원격탐사학회지* 32(5):435-452).
- Hwang, E.J., K.J. Shin, S.K. Choi and J.K. Lee. 2005. NDVI analysis of downtown using satellite image and GIS. *Proceedings of GIS/RS Joint Conference 2005*. pp.249-253 (황의진, 신계종, 최석근, 이제기. 위성영상과 GIS를 이용한 도심의 식생지수 분석, 2005 GIS/RS 공동 춘계학술대회 초록집. 249- 253쪽).
- Hwang, H.S. and J.E. Kang. 2020. Spatial distribution of urban heat and pollution islands using remote sensing and private automated meteorological observation system data -focused on Busan metropolitan city, Korea-. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 23(3): 100-119 (황희수, 강정은. 2020. 위성영상과 민간자동관측시스템 자료를 활용한 도시열섬과 도시오염섬의 공간 분포 특성 -부산광역시를 대상으로-. *한국지리정보학회지* 23(3): 100-119).
- Jee, J.B., B.Y. Kim, I.S. Zo, K.T. Lee and Y.J. Choi. 2016. Retrieval of land surface temperature based on high resolution Landsat 8 satellite data. *Korean Journal of*

- Remote Sensing 32(2):171-183 (지준범, 김부요, 조일성, 이규태, 최영진. 2016. 고행상도 Landsat 8 위성자료기반의 지표면 온도 산출. 대한원격탐사학회지 32(2):171-183).
- Jeong, J.J. 2012. Comparison of built-up area extraction methods: classification method vs. vegetation index method. Journal of the Korean Cartographic Association. 12(3):34-44 (정재준. 2012. 위성영상분류와 식생지수를 이용한 도시지역 추출 비교 연구. 한국지도학회지. 12(3):34-44).
- Kim, J.S., D.K., Lee, S.Y. Sung, S.G. Jeong and J.H. Park. 2015. Study of vulnerable district characteristic on urban heat island according to land use using normalized index - focused on Daegu metropolitan city residential district-. Journal of Korea Planning Association. 50(5):59-72 (김준식, 이동근, 성선용, 정승규, 박종훈. 2015. 정규화 지수를 이용한 토지용에 따른 도시열섬 취약지 특성 분석 -대구시 주거지역을 중심으로-. 대한 국토 · 도시 계획 학회 지 「국토 계획」. 50(5):59-72).
- KLOG(Korean Association for Local Government Studies). 2016. Campaign of planting 10 million trees. Proceedings of Korean Association for Local Government Studies Conference. pp.277-294 (한국지방정부학회. 2016. 일천만 그루나무 심기운동. 한국지방정부학회 학술대회 논문집. 277-294쪽).
- Lee, H.S. 2001. Analysis of the influence of greenery on the urban temperature using satellite image. Master's Thesis. University of Seoul. 108p (이혜선. 2001. 인공위성 영상자료를 이용한 녹지의 도시온도 저감효과에 관한 연구. 서울시립대학교 석사학위논문. 108쪽).
- Nam, J.U., T.Y. Jeong and G.M. Park. 2017. A Study on changes in green policy to establish a park and green area creation system -10 million tree planting campaign in Gumi-. Proceedings of the Korean Institute of Landscape Architecture Conference 2017. pp.3-4 (남제우, 정태열, 박금미. 2017. 공원 · 녹지 조성체계 확립을 위한 녹화정책변화 연구 -구미시 일천만그루 나무 심기운동을 대상으로-. 한국조경학회 2017 학술대회 논문집. 3-4쪽).
- Park, J.G., S.Y. Go and G.S. Cho. 2013. Vegetation classification using KOMPSAT-2 imagery and high-resolution airborne imagery in urban area. Journal of the Korea Society for Geospatial Information System. 21(4): 21-27 (박정기, 고신영, 조기성. 2013. KOMPSAT-2 영상 및 고해상도 항공영상을 이용한 도심지역 식생분류. 한국지형공간정보학회지. 21(4):21-27).
- Park, K.H., B.G. Song and J.E. Park. 2016. Analysis on the effects of land cover types and topographic features on heat wave days. Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies. 19(4):76-91 (박경훈, 송봉근, 박재은. 2016. 토지피복유형과 지형특성이 폭염일수에 미치는 영향분석. 한국지리정보학회지. 19(4):76-91).
- Song, B.G. and K.H. Park. 2017. Comparison of ASTER satellite and ground-based surface temperature measurements for urban heat island studies. Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies 20(3):104-124 (송봉근, 박경훈. 2017. 도시열섬연구를 위한 ASTER 위성영상과 지표면의 표면온도 비교. 한국지리정보학회지 20(3):104-124).
- Song, B.G. and K.H. Park. 2019. A study on the relationship between land cover type and urban temperature - focused on Gimhae city -. Journal of the Korean

- Association of Geographic Information Studies 22(2):65-81 (송봉근, 박경훈. 2019. 토지피복유형 특성과 도시 온도의 관계 분석 - 김해시를 대상으로-. 한국지리정보학회지 22(2):65-81).
- USGS(United States Geological Survey). 2015. Landsat 8(L8) data users handbook. Department of the Interior US Geological Survey, v1. <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-8-data-users-handbook>(Accessed February 15, 2022).
- Yoon, M.-H. and T.-M. Ahn. 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(3):46-53 (윤민호, 안동만. 2009. 위성영상을 이용한 도시녹지의 기온저감 효과 분석. 한국조경학회지 37(3):46-53).
- Yun, H.C., M.G. Kim and K.Y. Jung. 2013. Analysis of temperature change by forest growth for mitigation of the urban heat island. Journal of the Korean Society of Surveying, Photogrammetry and Cartography 31(2):143-150 (윤희천, 김민규, 정갑용, 2013, 도시열섬 완화를 위한 녹지 증가에 따른 온도변화 분석. 한국측량학회지 31(2):143- 150). **KAGIS**