

Landsat영상과 현지조사에 의한 여름철 논과 산림의 기온저감효과 평가

Assessment of the ATC Effect for Paddy Field and Forest Using Landsat Images and In-situ Measurement

박종화*, 나상일**, 김진수***

Jong Hwa Park, Sang Il Na, Jin Soo Kim

Abstract

The objective of this research was to find a direct and indirect method to estimate land surface temperature (LST) efficiently, using Landsat images and in-situ measurement. Agricultural fields including paddy fields have long been known to have multi-functions beneficial to the environment and ecology of the urban surrounding areas. Among these functions, the ambient temperature cooling (ATC) effect are widely acknowledged. However, quantitative and regional assessment of such effect has not had many investigations. Thermal remote sensing has been used over urban areas to assess ATC effect, to perform land cover classifications and as input for models of urban surface atmosphere exchange. Here, we review the use of thermal remote sensing in the study of paddy fields and urban climates, focusing primarily on the ATC effect. Landsat satellite images were used to determine the surface temperatures of different land cover types of a 441km² study area in Cheongju, Korea. The results show that the ATC are a function of paddy area percentage in Landsat pixels. Pixels with higher paddy area percentage have more significant cooling effect.

Key words: land surface temperature(LST), ambient temperature cooling(ATC) effect, Landsat

1. 서 론

도심부의 기온이 주변의 산림과 논지대보다 고온이 되는 것을 등온선으로 나타내면 등고선과 같이 나타나며 이는 마치 열섬과 같다하여 열섬현상이라 부르고 있다. 이러한 현상은 주로 대도시에서 나타나고 있는데 그 시작은 유럽의 대도시에서 19세기말부터 찾아볼 수 있다. 우리나라의 경우도 산업화와 도시화가 진행되면서 도심지역 아침기온이 교외보다 약 5°C 이상 높은 것으로 보고 되기도 하였다. 이러한 현상은 도시의 발달과 함께 광역화되고 있으며 지구온난화와 함께 도시환경에 미치는 영향은 매우 심각하게 나타나고 있다. 이와 함께 여름철에 자주 발생하고 있는 열대야와 도시지역에서 발생하는 국부적인 집중호우와 낙뢰 등도 열섬현상과 밀접한 관계가 있는 것으로 보고되고 있다. IPCC(2007)에서 발표한 전국적인 기온상승과 지구온난화에 대한 경고도 우리의 도심에서 발생하는 온열환경을 개선하여 열 교환과 소통을 원활하게하고 자연자원을 활용한

* 정회원 · 충북대학교 지역건설공학과 교수 · E-mail : jhpak7@chungbuk.ac.kr

** 정회원 · 선도소프트 U-전략사업단 · E-mail : sangil917@hanmail.net

*** 정회원 · 충북대학교 지역건설공학과 교수 · E-mail : jskim@chungbuk.ac.kr

도심지역의 기온완화방법에 대해 적극적인 검토가 필요한 시점에 와 있다는 것을 제시한 것으로 생각한다. 열섬현상완화대책 또는 도심지역의 기온저감효과를 얻어내기 위한 구체적인 목표는 가상적으로 존재하는 도심주변의 녹지와 같은 환경상태를 실현하는 것일 것이다.

따라서 본 연구에서는 Landsat TM(Thematic Mapper) (이후, TM) 데이터 및 수치고도모델(Digital Elevation Model; 이후 DEM) 데이터와 현지온도조사 결과를 이용하여 지표면의 폐복상태와 지표면온도와의 상관관계를 해석하고, 도심지역주변에 분포하는 논과 산림의 도심지역 기온저감효과에 관해 검토한 결과를 보고하고자 한다.

2. 연구지역과 사용 데이터

2.1 연구지역

연구지역 선정의 특징은 도심지에서 발생하는 열섬현상과 이를 완화하는 주변 산림과 논의 기온저감효과 평가를 위해 청주시를 연구지역의 중심에 두어 해석하였다. 청주시는 삼각형 모양으로 도심이 형성되어 있고, 주위에 오창평야와 가래산 등이 위치하여 시를 에워싼 형태로 되어 있다. 연구대상지역은 그림 1과 같이 청주시를 포함하는 1150×950 화소로 $34.5\text{km} \times 28.5\text{km}$ ($36^{\circ}30'25''\text{N}$, $127^{\circ}14'E$ ~ $36^{\circ}45'25''\text{N}$, $127^{\circ}34'15''\text{E}$)의 수치지형도 6장의 지역을 대상으로 하였다. 2004년 8월 31일(수) 13:48분에 촬영한 Landsat TM데이터를 이용하여 대상지역에 대해 Red(밴드 7), Green(밴드 5), Blue(밴드 1)로 설정하여 Natural color로 나타내면 그림 1과 같다.

2.2 사용 데이터

본 연구에서 사용한 Landsat영상은 30m 해상도의 밴드 1~4(가시광선~근적외선), 밴드 5, 7(중앙 적외선)과 60m 해상도의 밴드 6 (열적외선 밴드) 및 15m 해상도의 panchromatic 밴드영상 (밴드 8)로 구성되어 있다. 위성영상은 '92년 5월 2일, '04년 8월 31일의 영상을 이용하였고, 식생피복조사에 적합한 가시광선~근적외선 밴드와 열적외선 밴드를 이용하여 지표면온도를 추정하였다. 수치고도(DEM)자료는 국립지리원 발행 1/25,000 수치지형도(1999.10.18 발행)에서 추출한 DEM자료 ($36^{\circ}30'25''\text{N}$, $127^{\circ}14'E$ ~ $36^{\circ}45'25''\text{N}$, $127^{\circ}34'15''\text{E}$)를 이용하였다. 현지조건의 기상판측은 오창의 논과 밭 지역 및 도심지에 관측시설을 설치하여 조사하였다. 또한 이동식 복사온도계를 이용하여 5개 분류그룹에 대해 현장온도조사를 실시하였다.



그림 1 연구대상지역

표 1 사용 영상 데이터와 DEM 데이터

| Landsat 영상 | |
|----------------------------------|--|
| 영상 위치 | $1150/35$ ($36^{\circ}30'25''\text{N}$, $127^{\circ}14'E$ ~ $36^{\circ}45'25''\text{N}$, $127^{\circ}34'15''\text{E}$) |
| 사용 센서 | Landsat 5 TM |
| 날짜 | 1992.05.02 |
| Digital Elevation Model(DEM) 데이터 | |
| 도면 | 1/25,000 |
| 날짜 | 1999. 10. 18 |
| 도번 | 367061 367062 367063 367064 367071 367073 |
| 지역 | 전동 청주 조치원 외촌 내수 은행 |

3. 위성영상처리

3.1 토지피복분류

토지피복분류를 위하여 위성영상처리의 전단계로 기하보정(geometric correction)과 해당지역의 영상추출(subset) 등의 전처리를 실시하였다. 토지피복 분류는 미국지질조사원(USGS)과 우리나라 환경부의 분류체계를 참고하여 습지를 제외한 도심지, 수역, 나지, 농경지, 초지, 산림의 6개 항목(Class)으로 분류하였다. 대상지역의 토지피복분류는 1/25,000 수치지형도(DEM data)를 참조자료로 사전에 선정된 표본집단(Training Data)을 활용하여 감독분류기법(Supervised Classification) 중 최대우도분류기법(Maximum Likelihood Method)으로 분류하였다.

3.2 식생지수(NDVI)

위성 RS에 의한 식생피복율의 추정방법은 연구 목적 및 대상에 따라 다양하게 제시되고 있으며, 그 중 정규화 식생지수(이후, NDVI)를 이용하는 추정법이 가장 실용적인 방법으로 알려져 있다. Landsat 5호의 위성영상 데이터를 이용하여 구한 식생지수는 공간해상도 30×30m, 분광해상도 0.63~0.69 μm 인 Band 3(빨강(Red) 파장)과 분광해상도 0.775~0.805 μm 인 Band 4(열적외선(NIR)파장)를 조합하여 계산하였다. 즉, Landsat영상의 정규화 식생지수($NDVI_{Landsat}$)는 식 (1)과 같이 구하였다.

$$NDVI_{Landsat} = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \quad (1)$$

여기서 $NDVI_{Landsat}$ 은 $-1 \leq NDVI_{Landsat} \leq 1$ 의 값을 갖는다.

3.3 지표면온도분포

위성영상데이터를 이용한 온도추출은 지표면에서 방출하는 열적외선 값을 측정한 값이기 때문에 지표면의 일정거리에서 측정한 기온과는 약간의 차이를 보일 수 있다. Landsat의 열적외선 Band 6을 이용한 지표면의 열복사는 Plank식으로 나타낼 수 있으며, 이것은 온도와 복사율의 함수가 된다. Plank 함수는 온도 값으로 표현되는 흑체에서 방출되는 복사획도 또는 에너지강도를 나타내며, 파장과 주파수 및 파수의 함수이다

$$L_\lambda(T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5 (\exp(hc/kT\lambda) - 1)} \quad (2)$$

여기서, λ 는 파장, T 는 흑체의 절대온도, $L_\lambda(T)$ 는 복사획도 $W/(m^2 \cdot sr \cdot m)$, h 는 Plank상수 $W \cdot s^2$, c 는 빛의 속도 m/sec , k 는 Boltzmann상수 J/K 이다.

Landsat 열화상 데이터를 취득하여 식 (2)와 같은 Plank방정식을 이용하면 식 (3)과 같은 지표면온도(T_{LST} , Land Surface Temperature, LST) 식이 얻어진다.

$$T_{LST} = \frac{C_2}{\lambda_i \ln \left(\frac{C_1}{\pi \lambda_i^5 L_\lambda} + 1 \right)} \quad (3)$$

여기서, $C_1 = 2\pi hc^2$, $C_2 = hc/(m^\circ K)$ 이다.

4. 분석과 고찰

4.1 NDVI를 이용한 토지피복분류

도시와 도심주변 녹지의 기온저감효과를 파악하기 위해서는 토지피복상태의 공간적 분포를 알 필요가 있다. 논과 산림 등의 녹지는 일사의 차단과 증발산작용에 의해 기온의 상승을 억제하는 기능을 가지고 있어 열섬현상의 완화에 여러 가지 효과를 발휘하고 있다. 따라서 Landsat 5호 TM데이터를 이용하여 식 (1)과 같이 NDVI를 계산한 결과는 그림 2와 같다. NDVI해석 결과는 산림지역(평균 0.5~0.6)>논(평균 0.38~0.49)>시가지(평균 -0.08)>공업단지(평균 -0.09)>수면(-0.1~-0.35)의 순으로 나타났다. '92년 5월의 NDVI는 시가지와 논밭지역이 낮게 나타나 있는데 이는 관개기를 맞이하여 논밭 등에 담수가 시작되어 녹지역의 NDVI가 시가지와 유사하게 나타난 것으로 해석된다.

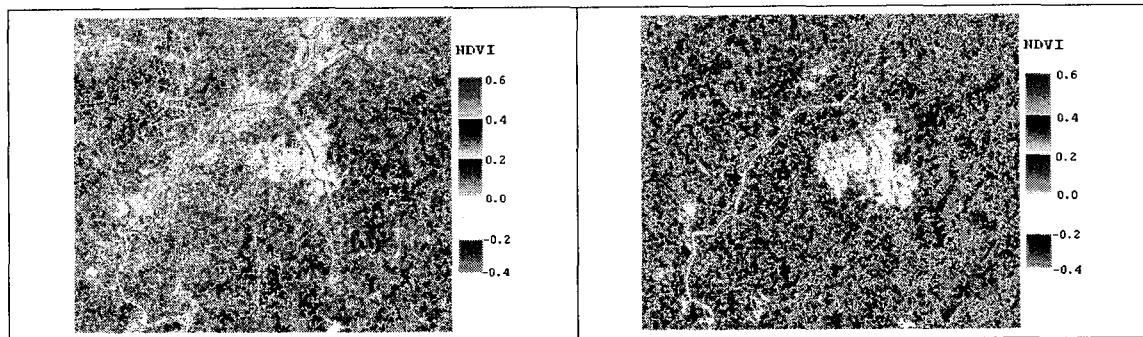


그림 2 NDVI분포도(좌: '92년 5월 2일, 우: '04년 8월 31일)

NDVI와 DEM을 이용하여 연구대상지역의 토지피복을 6가지로 구분하고 면적을 구하면 표 2와 같다. 토지이용분류가 명확한 '04년 8월 31일 자료의 토지피복상태는 산림지역 431.79km²(44%) > 농경지 225.58km²(23%) > 나지 206.98km²(21%) > 시가지 47.92km²(5%) > 초지 42.53km²(4.3%) > 수면 28.98km²(2.9%)의 순으로 나타났다. 12년 사이에 가장 많은 변화는 청주시와 오창 등의 개발로 인한 나지로 약 181.62km²가 늘었으나, 이로 인해 줄어든 곳은 산림이 104.85km², 농경지가 93.61km²로 가장 두드러졌다. 논은 청주의 남쪽과 오른쪽 대각선에 위치하며 평야부를 형성하고 있으며, 미호천주변에 위치한 논은 산림과 함께 청주시 주변을 감싼 형태로 되어 있는 것이 특징이다.

표 2 토지이용과 토지피복분류 결과

| 변화 분류 | 1992. 5. 2 | | | 2004. 8. 31 | | | 변화 | |
|----------|------------|----------------------|-------|-------------|----------------------|-------|-----------|----------------------|
| | 화소수 | 면적(km ²) | 비율 | 화소수 | 면적(km ²) | 비율 | 화소수 | 면적(km ²) |
| 시가지 | 48,114 | 43.30 | 0.04 | 53,243 | 47.92 | 0.05 | + 5,129 | + 4.62 |
| 수변 | 3,309 | 2.98 | 0.003 | 32,204 | 28.98 | 0.029 | + 28,895 | + 26.01 |
| 나지 | 28,174 | 25.36 | 0.026 | 229,976 | 206.98 | 0.21 | + 201,802 | + 181.62 |
| 농경지 | 354,645 | 319.18 | 0.324 | 250,639 | 225.58 | 0.23 | -104,006 | -93.61 |
| 초지 | 62,583 | 56.32 | 0.057 | 47,258 | 42.53 | 0.043 | -15,325 | -13.79 |
| 산림 | 596,266 | 536.64 | 0.55 | 479,771 | 431.79 | 0.44 | -116,495 | -104.85 |
| 총계 | 1,093,091 | 983.78 | 1.00 | 1,093,091 | 983.78 | 1.00 | 0 | 0 |

4.2 지표면온도의 추정

지표면온도의 추정은 식 (3)에 Landsat 5호 TM데이터 Band 6의 DN 값을 적용하여 복사획도로 바꾸는 절대보정식을 이용하여 지표면온도 $T(^{\circ}\text{C})$ 를 산출하면 그림 3과 같다. 분석 결과, 지표면온도분포는 지표면피복에 따른 NDVI와 반대의 경향을 보인다.

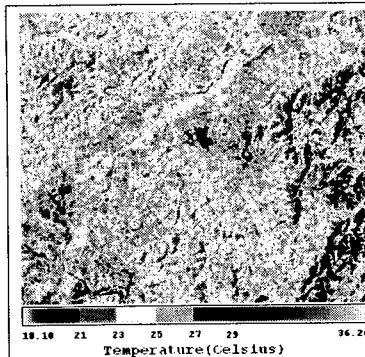


그림 3 Landsat 5 TM을 이용한 지표면온도

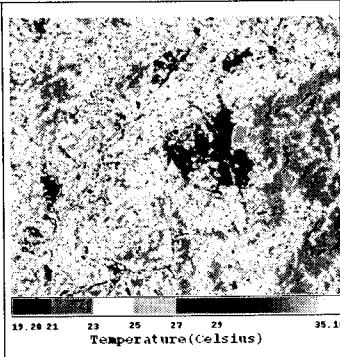


그림 4 토지피복에 따른 고도별 온도분포

청주시 주변의 지표면온도는 공업단지 $34\sim35^{\circ}\text{C}$ > 시가지 $26\sim30^{\circ}\text{C}$ > 농경지 $24\sim25^{\circ}\text{C}$ > 수변 $20\sim24^{\circ}\text{C}$ > 산림 $22\sim23^{\circ}\text{C}$ 의 순서로 나타났다. 이와 같이 온도가 가장 높은 공업단지 및 시가지와 낮은 산림지역과의 온도 차는 약 $12\sim13^{\circ}\text{C}$ 정도로 크게 나타났다. 이 결과는 OUE 등(1993, 1994)의 연구결과 및 각 기상관측지점에서 조사한 결과와 일치하는 것으로 아스팔트 포장면의 표면온도가 50°C 를 넘을 때 논은 27°C 를 보인 것으로 조사되었다. 또한 지표면 20cm 위 지점의 기온은 논의 기온보다 최고 4.7°C 높게 나타났다. 또한 청주의 남과 북쪽에 많이 분포하고 있는 논의 경우 도심지역에 비해 상대적으로 약 $3\sim8^{\circ}\text{C}$ 정도 낮은 것으로 나타났다.

DEM자료를 이용하여 고도에 따른 식생피복별 지표면온도를 그림으로 정리하면 그림 4와 같다. 산과 저수지, 하천의 물이 위치한 지역의 지표면온도가 낮고, 고도가 50m 이하인 지역의 경우 논지역의 온도가 낮았으며, 50m 전후에 위치한 나지와 도심부의 지표면온도는 매우 높게 나타났다. 논과 산림이 도심의 열 환경개선과 기온저감에 미치는 영향은 크지 않으나 시가지와 꽈과 공업단지주변에서의 효과는 매우 큰 것으로 평가된다. 여름동안에 1°C 의 기온을 낮추는 것은 청주 전체에서 $6\sim7\text{만kW}$ 전력을 확보하는 것과 같다. 따라서 여름철 논이 7~9월에 도심의 기온을 1°C 낮추게 된다면 냉방용 전력요금은 청주시에서만 연간 $1.4\sim1.8\text{억원}$ (30일 기준)을 줄이는 효과가 있을 것이다.

3. 결 론

본 연구에서는 Landsat 5호 TM데이터와 DEM을 이용하여 지표면의 피복상태와 지표면온도에 관해 해석하고, 도심 주변의 논과 산림이 도시의 기온저감효과에 어떠한 역할을 하는지에 대해 조사하였다. 그 결과 논과 산림이 도심의 열 환경개선과 기온저감에 미치는 영향은 크지 않으나 시가지와 꽈과 공업단지주변에서의 효과는 매우 큰 것을 알 수 있었다. 앞으로 각 관측지점의 기상 실측데이터와 지구의 상세한 GIS데이터를 이용한다면 도심주변 녹지에 의한 기온저감효과를 좀 더 명확하게 규명할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- Oue H., 외 3, 1993, The characteristics of heat balance and temperature regime in the paddy, potato, bare field and the asphalt area, J. of JSIDRE 164: 97-104.