

## LANDSAT영상을 이용한 여름철 청주지역의 토지피복과 지표면온도와의 관계 분석

### Analysis of the Relationship Between Land Cover and Land Surface Temperature at Cheongju Region Using Landsat Images in Summer Day

박종화\* · 김진수\* · 나상일\*\*

Jong-Hwa Park · Jin-Soo Kim · Na, Sang-Il

#### Abstract

The objective of this research was to find an indirect method to estimate land surface temperature (LST) efficiently, using Landsat images. 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 is widely acknowledged. However, quantitative and regional assessment of such effect has not been performed. Thermal remote sensing has been used over urban areas to assess the ATC effect, Thermal Island Effect(TIE), 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 441 km<sup>2</sup> study area in Cheongju, Korea. The results show that the ATC is a function of paddy area percentage in Landsat pixels. Landsat pixels with higher paddy area percentage have much more cooling effect. The use of satellite data may contribute to a globally consistent method for analysis of ATC effect.

*Keywords : Landsat, Ambient temperature cooling (ATC) effect, Paddy fields, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Land cover, Land surface temperature (LST)*

#### I. 서론

지구온난화와 더불어 도시화에 따른 콘크리트 피복율의 증가, 공업단지의 증가와 자동차 보급률의 확대는 CO<sub>2</sub>발생량 증가를 가져와 도시 여름의 고온화를 가속하고 있다. 집중적인 아파트의 건설과 각 지역의 산업화에 따른 공단조성 등은 도시주변의 녹지를 인공구조물과 콘크리트 피복을 가속화하

\* 충북대학교 농업생명과학대학 지역건설공학과  
\*\* 충북대학교 대학원 지역건설공학과  
\* Corresponding author. Tel.: +82-43-261-2577  
Fax: +82-43-271-5922  
E-mail address: jhpak7@chungbuk.ac.kr

여 바람의 흐름을 저해하게 되고 지표면온도를 상승시켜 일사가 강한 여름철에 매우 높은 온도를 나타낸다(Carlson 등, 1981). 이는 다시 냉방설비를 이용하여 전력을 소비하게 하고 인공배열을 증가시켜, 주거환경을 악화시키는 등의 2차적인 에너지문제를 가져오고 있다.

Landsat위성을 이용하여 정도가 높은 지표면온도를 얻기 위해서는 대기보정이 필요하나 Landsat TM의 전 영상(185 km×170 km)에 포함되어 있는 고층 기상관측지점은 있다하더라도 거의 1개뿐이므로 고층 기상관측데이터를 입력하는 복사전달 모델을 사용하여 대기보정을 전 영상에 적용하는 것은 무리가 있다. 또한 NOAA AVHRR위성영상 등에 사용한 Split window method(Price, 1984)는 열적외선 파장대에서 2개의 밴드가 필요하나 Landsat은 1개의 밴드를 가지므로 Split window method를 적용할 수가 없다. 이러한 문제점을 가지고는 있으나 도시주변에 분포하는 논과 산 등의 토지피복 조건이 도시의 열환경과 지표면온도에 어떠한 영향을 미치는지에 대해 여름철에 취득한 Landsat 열적외 화상을 이용하여 해석하였다.

열섬현상의 완화와 도심의 높아진 기온을 저감할 필요성은 기온상승으로 여름철에 우리가 느끼는 집중력의 저하와 열에너지의 악순환에 따른 경제적인 손실 등을 들 수 있을 것이다. 예를 들어 서울의 연평균기온은 과거 40년간 약 2℃ 상승하였고, 7~8월의 평균기온은 과거 30년간 약 1~1.8℃ 상승하고 있는 것으로 보고되고 있다(KMA, 2004). 한편 2004년 7월 전력소비량은 51,264 MW로 전년 동기 대비 8.4%증가를 보였다. 여름동안에 1℃의 기온상승은 서울 전체에서 100~120만 kW 전력 수요를 초래하는 것으로 나타나고 있다. 산업자원부의 시산에 의하면 7~9월 기온 1℃를 낮추는데 냉방용 전력요금은 서울시에서만 연간 18~20억원(30일 기준) 줄일 수 있는 것으로 나타났다. 이와 같이 도심에서의 온도상승은 막대한 경제적 손실 또는 부담으로 나타나고 있어 여름철 도심의

온도를 줄이는 일은 삶의 쾌적성 회복은 물론 심적 또는 경제적인 측면에서도 해결해야 할 중요한 문제가 되고 있다. 로렌스 버클리 국립연구소(Lawrence Berkeley National Laboratory, LBNL)는 미국 주요도시에서 열섬완화책을 강구하는 경우 전력 절약에 의한 경제효과를 약5000억원으로 추정하고 있다. 또한 지구온난화에 따른 기온은 과거 100년간 세계적으로 평균 약 0.6℃상승 하였으며, 앞으로 100년 동안은 1.4~5.8℃범위에서 높아질 것으로 예측되고 있다. 이러한 국제적인 현상은 공업화와 산업화가 급속도로 진행되고 있는 우리나라의 경우 더욱 빠르게 진행되고 있는 것이 현실이다. 이에 점점 사라져가고 있는 논과 산 등의 역할이 감소하고 그 가치를 제대로 평가받지 못하고 있는 현실을 감안해 보면 논에서의 기능과 역할을 재평가해야 할 시점에 와 있다. 논이 갖는 다양한 기능 가운데 한 여름의 기온변화에 따른 논의 역할은 어떠한 것인가에 대해 위성영상을 통해 검토하였다.

미국과 일본의 경우 이러한 도시의 열 환경 악화로 인해 도시의 기온이 외각지대에 비해 높게 되는 열섬현상(Heat island)을 감소하기 위한 대책이 다각도로 모색되고 있다(Oke, 1973). 서울시의 경우 청계천의 복원사업으로 하천이 바람 길의 통로역할을 하게 되어 열 환경이 어느 정도는 개선될 것으로 생각되며, 앞으로 하천 복원과 공원과 옥상 녹화 등 도심에서의 열 환경 개선을 위한 다양한 방법이 제시될 것으로 예측된다. 이와 함께 점점 비대해가는 도시의 열 환경이 어떻게 형성되어 있고 앞으로 어떻게 변화해 갈 것인지와 도시개발 때 열 환경개선을 위해 어떠한 방법이 필요한지 그 효과는 어느 정도인지를 정량적으로 평가하는 방법을 개발하여 도시 열섬현상의 방지와 열대야를 줄여야 할 것이다. 이와 함께 도심주변에서 점점 사라져 가고 있는 숲과 논이 도시주변의 열 환경에 미치는 영향이 어느 정도인지를 정확하게 파악할 필요가 있을 것이다. 이는 여름철 도시의 열 환경 개선 방안으로 도심주변에 위치한 농지와 산

림 등의 녹지 및 도심에 분포해 있는 녹지를 활용한다면 한 여름 높아진 기온을 완화하는데 유용하게 활용될 수 있을 것이다. 논과 산림 등의 녹지에 의한 도심부 기온완화작용의 실태를 파악하기 위해서는 광범위한 다수의 녹지를 대상으로 식생피복상태와 지표면온도 분포와의 관계를 정량적으로 해석할 필요가 있을 것이다. 이를 통해 주변지역의 논 등에 의해 도심부의 기온이 어느 정도 저감효과를 가져오는지와 열섬현상이 어느 정도 완화될 수 있는지에 대해 평가할 필요가 있을 것이다.

따라서 본 연구에서는 Landsat Thematic Mapper (이후, Landsat TM) 데이터 및 수치고도모델 (Digital Elevation Model; 이후 DEM) 데이터를 이용하여 지표면의 피복상태와 지표면온도에 관해 해석하고, 논·의 여름철 도심부의 기온저감효과에 관해 검토하였다.

## II. 사용 데이터와 해석방법

### 1. 대상지역과 사용 데이터

해석에 이용한 자료는 Table 1과 같이 공간해상도 30 m인 Landsat TM데이터(Path: 115, Row: 35)와 수치고도자료(DEM)를 이용하였다. 연구대상 지역의 위성영상은 '92년, '04년의 영상을 이용하였고, 수치고도자료는 국립지리원 발행 1/25,000 수치지형도(1999. 10. 18 발행)에서 추출한 DEM 자료(36°30'25"N, 127°14'E~36°45'25"N, 127°34'15"E)를 이용하였다. Landsat영상은 30 m 해상도의 밴드 1~4(가시광선~근적외선), 밴드 5, 7(중장 적외선)과 60 m 해상도의 밴드 6(열적외선 밴드) 및 15 m 해상도의 panchromatic 밴드영상(밴드 8)로 구성되어 있다. 본 연구에서는 식생 피복 조사에 적합한 가시광선~근적외선 밴드와 열적외선 밴드를 이용하여 지표면온도를 추정하였다.

해석대상 범위는 Fig. 1과 같이 청주시를 포함하는 1150×950화소로 34.5 km×28.5 km (36°

Table 1 Usage of satellite images and digital elevation model data

Landsat Images						
Path/Row	115/35 (36°30'25"N, 127°14'E~ 36°45'25"N, 127°34'15"E)					
Sensor	Landsat 5 TM		Landsat 5 TM			
Date	1992. 05. 02		2004. 08. 31			
Digital Elevation Model(DEM) data						
Scale	1/25,000					
Date	1999. 10. 18					
Map No.	367061	367062	367063	367064	367071	367073
Area	Jeondong	Chengju	Jochiwon	Wechon	Naesu	Enhang

30'25"N, 127°14'E~36°45'25"N, 127°34' 15"E)의 수치지형도 6장 범위의 지역을 대상으로 하였다. 연구대상지역의 특징은 청주시가 삼각형의 형태로 도심개발이 이루어져 있고, 주위가 오창평야와 가래산 등이 위치하여 청주시를 에워싼 형태로 되어 있다. 해석대상 지역에 대해 Red(밴드 7), Green(밴드 5), Blue(밴드 1)로 설정하여 Natural color로 표시하고, DEM데이터와 함께 3차원으로 나타내면 Fig. 1과 같다. 해석은 주로 2004년 8월 31일(수) 13:48분에 촬영한 청주시 주변 Landsat TM데이터를 이용하였다.

청주시상대 데이터에 따르면 촬영당일의 청주시

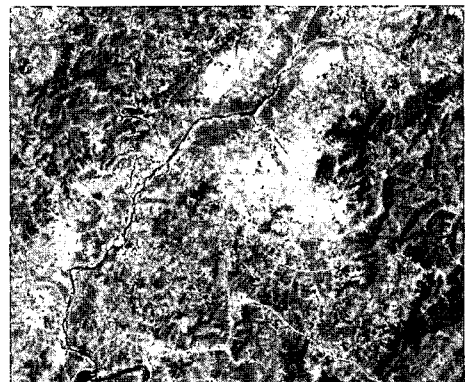


Fig. 1 RGB composite image of study area [R(7)-G(5)-B(1)]

는 맑고, 평균기온은 24.3 °C, 최고기온은 29.6 °C 이었다(KMA, 2004). 위성이 통과한 시간에 오차에서 측정된 온 기온은 28.4 °C, 습도는 60.9%, 풍향은 남서풍(250.5°)으로 풍속은 3.5 m/s, 일사량은 13.7 MJ/m<sup>2</sup>이었다. 일반적으로 열섬현상과 열대야 발생이 많은 8월 전후의 위성영상은 대기의 불안정과 대기중 수증기의 영향으로 노이즈가 많이 포함되며, 위성의 통과시기가 구름을 많이 포함하는 경우가 많으나 이 날은 맑은 날씨에 양질의 영상을 얻을 수 있었다.

## 2. 토지피복분류

토지피복분류를 위하여 위성영상처리의 전단계로 기하보정(geomatic 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.

토지피복분류 결과와 정확도를 정리하면 Table 2와 같다.

## 3. 화소내 식생피복율의 추정

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. 여기서 NDVI는 식생피복상태에 따라 비선형으로 변화하는 특성을 갖는다. Hirano 등(2002)은 화소내 피복상태를 보다 직접적으로 면적비 표현을 위해 선형복합모델을 적용한 추정식을 이용하고 있다. 그러나 육지의 화소내 피복율의 경우 선형복합모델 방법이나 선형회귀 등의 간편한 방법을 사용하여도 정도에는 거의 영향이 없는 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 NDVI에 의한 선형회귀 추정방법을 적용하여 화소내 식생피복율을 구하였다. 여기서 2개의 위성영상 중 여름철의 온도분포를 파악하기 위한 것이므로 '04년 8월 31일 영상을 중심으로 해석하였다.

## 4. 정규화 식생지수(NDVI)의 계산

Landsat 5호의 위성영상 데이터를 이용하여 구한 식생지수는 Band 3(분광해상도 0.63~0.69 μm, 공간해상도 30×30 m)과 Band 4(분광해상도 0.775~0.805 μm, 공간해상도 30×30 m)를 조합하여 계산하였다. 즉, Landsat영상의 정규화 식생지수(NDVI<sub>Landsat</sub>)는 식 (1)과 같이 구하였다.

$$NDVI_{\wedge sat} = \frac{Band4 - Band3}{Band4 + Band3} \dots\dots\dots(1)$$

Table 2 Error matrix and accuracy for the Cheongju site on August 31, 2004

[Error Matrix]								[Accuracy]		
Class	urban	water	barren	farm	glass	forest	Total	Class	Producer's Accuracy	User's Accuracy
urban	5708	0	36	6	0	0	5750	urban	86.85	99.27
water	0	434	1	25	0	0	460	water	52.67	94.35
barren	854	388	613	147	23	13	2038	barren	93.87	30.08
farm	1	2	1	6710	203	26	6943	farm	96.83	96.64
glass	9	0	2	6	216	0	233	glass	43.64	92.70
forest	0	0	0	36	53	15867	15956	forest	99.75	99.44
Total	6572	824	653	6930	495	15906		Overall Accuracy : 0.94162		
								The KHAT Statistic : 0.91062		

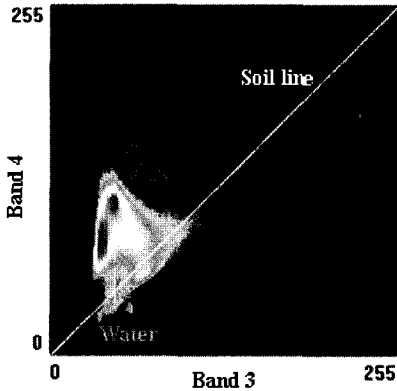


Fig. 2 The relationship between Band 3 and Band 4

여기서 Band 3은 빨강(R)색 파장을 나타내며, Band 4는 근적외선(NIR) 파장을 나타낸다.

$NDVI_{Landsat}$ 은  $-1 \leq NDVI_{Landsat} \leq 1$ 의 값을 갖는다. 두 밴드 사이의 관계는 Fig. 2와 같다.

### 5. 열적외 데이터 해석

Landsat의 열적외 Band 6을 이용한 지표면의 열복사는 Plank식으로 나타낼 수 있으며, 이것은 온도와 복사율의 함수가 된다. Plank 함수는 온도 값으로 표현되는 흑체에서 방출되는 복사휘도 또는 에너지강도를 나타내며, 파장과 주파수 및 파수의 함수이다.

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

여기서,  $\lambda$ 는 파장,  $T$ 는 흑체의 절대온도,  $L_{\lambda}(T)$ 는 복사휘도  $W(m^2 \cdot sr \cdot m)$ ,  $h$ 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 지표면 온도( $T_{LST}$ , Land Surface Temperature, LST) 식이 얻어진다.

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

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

## III. 결과 및 고찰

### 1. DEM에 의한 고도

국립지리원에서 제작한 DEM자료를 이용하여 연구대상지역인 청주주변지역에 대해 처리하면 Fig. 3과 같다. 지형특성은 『人』 자형으로 저지대가 형성되어 있고 동쪽에 가래산 등 높은 산이 위치해 있다. 청주시는 산과 평야로 둘러싸여 있고, 대각선을 따라 미호천과 오창평야가 펼쳐져 있다. 이러한 지형특성 때문에 여름철의 바람방향은 하천을 따라 부는 남서풍이 가장 많은 것으로 나타났으며, 도심의 열은 미호천 상류방향으로 수송되는 것으로 판단된다.

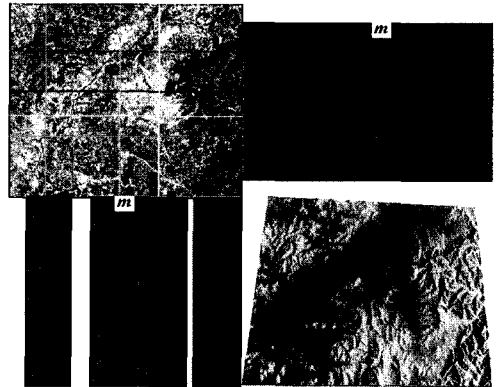


Fig. 3 Study area's elevation using digital elevation model (DEM) image

### 2. 정규화 식생지수(NDVI)의 분포

도시의 열 환경과 논의 기온저감효과를 파악하기 위해서는 토지피복상태의 공간적 분포를 알 필요가

있다. 이를 위해 2004년 8월 31일 관측된 Landsat 5호 TM데이터를 이용하여 식 (1)과 같이 NDVI를 계산하여 DEM을 고려한 3D영상과 NDVI값을 등치처리하면 Fig. 4와 같다. NDVI값이 가장 높은 곳은 산림지역으로 평균 0.5~0.6이며, 다음이 논으로 평균 0.38~0.49를 나타냈다. 한편 가장 낮은 곳은 수변이 -0.1~-0.35, 공업단지가 평균 -0.09, 다음이 시가지로 평균 -0.08을 기록하였다. 이는 공업단지와 시가지의 경우 지표면피복형태가 콘크리트 등으로 되어 있어 식생지수가 가장 낮은 것으로 해석된다. 논에서 조사한 현장 정규화 식생지수  $NDVI_{field}$ 는 이앙기에 낮게 나타나, 분얼기와 유수형성기, 수잉기, 출수기(8월 20일 전후)까지 증

가하다가, 이후 성숙기부터는 낮아진다(Park 과 Ryu, 2004).

토지피복분류를 이용하여 연구대상지역의 토지피복상태를 구분하고 면적을 구하면 Table 3과 같으며 Fig. 5와 같이 6가지로 구분할 수 있다. 토지피복상태의 양이 가장 많은 것은 산림지역으로 431.79  $km^2$ (44%), 다음이 농경지로 225.58  $km^2$ (23%), 다음이 논, 도심, 초지, 수변의 순으로 나타났다. 12년 사이에 가장 큰 변화를 가져온 것은 청주시와 오창 등의 개발로 인한 논지로 약 181.62  $km^2$ 가 늘었으며, 이러한 도심확장과 개발로 인해 줄어든 면적은 산림이 104.85  $km^2$ , 농경지가 93.61  $km^2$ 로 가장 두드러진 것으로 나타났다. 청주의 경우 도시개발이 도심에서부터 시의 외곽으로 진행되어 기존의 청주공업단지주위까지 시가 확장되어 시 중심에는 식생이 거의 없는 상태로 택지개발이 진행되고 있는 것을 반영한 결과로 해석된다. 이렇게 형성된 공업단지와 시가지의 경우 지표면피복형태가 콘크리트와 아스팔트 등으로 되어 있으며, 논은 청주의 남쪽과 오른쪽 대각선에 위치하며 평야부를 형성하고 있는데 도심 주변 농경지의 많은 양이 12년 사이에 도심부로 변한 것으로 평가된다. 그러나 12년이 경과한 현재도 미호천주변에 위치한 논은 산림과 함께 청주시 주변을 감싼 형태로 되어 있는 것이 특징이다.

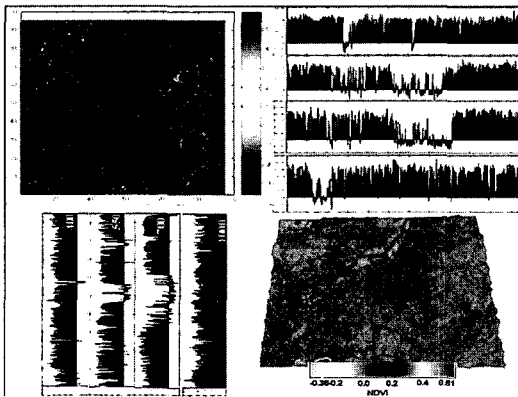


Fig. 4 Spatial distribution of NDVI derived from Landsat Band 3 and Band 4

Table 3 Land use and land cover classification

Class	1992. 5. 2			2004. 8. 31			variation	
	pixel	area ( $km^2$ )	rate	pixel	area ( $km^2$ )	rate	pixel	area ( $km^2$ )
urban	48,114	43.30	0.04	53,243	47.92	0.05	+5,129	+4.62
water	3,309	2.98	0.003	32,204	28.98	0.029	+28,895	+26.01
barren	28,174	25.36	0.026	229,976	206.98	0.21	+201,802	+181.62
farm	354,645	319.18	0.324	250,639	225.58	0.23	-104,006	-93.61
glass	62,583	56.32	0.057	47,258	42.53	0.043	-15,325	-13.79
forest	596,266	536.64	0.55	479,771	431.79	0.44	-116,495	-104.85
Total	1,093,091	983.78	1.00	1,093,091	983.78	1.00	0	0

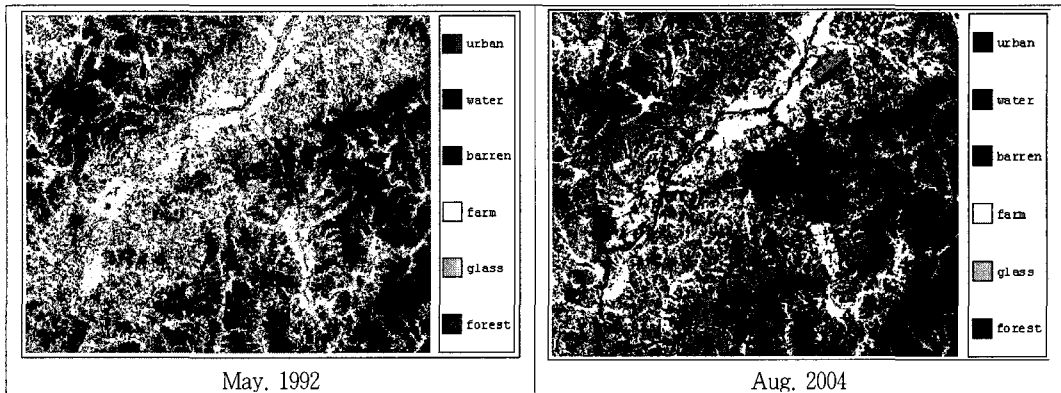


Fig. 5 Land use and land cover map in 1992 and 2004

### 3. 지표면온도의 추정

RS로 측정한 지표면온도를 대기 가열량의 지표로 사용하기 위해서는 지표면온도의 절대치보다 방향의 장과 복사량이 중요하다. 따라서 지표면온도의 추정은 식 (3)에 Landsat 5호 TM데이터 Band 6의 DN 값을 적용하여 섭씨온도로 환산하였다. Landsat 5호 Band 6을 이용하여 계산한 지표면온도  $T(^{\circ}\text{C})$ 를 DEM 데이터와 함께 표시하면 Fig. 6 오른쪽 아래 그림과 같으며, 각 지점의 온도분포를 등온선으로 나타내면 Fig. 6 왼쪽 위의 그림과 같다. 또한 청주시와 주변지역의 온도분포 파악을 위

하여 동서, 남북지역으로 각각 4개 단면으로 잘라 각 단면에 대한 온도를 구하여 정리하였다. 그 결과, 지표면온도분포는 지표면피복에 따른 NDVI값과는 반대의 경향을 보인다.

청주시 주변의 지표면온도는 청주시 북서쪽에 위치한 공업단지가 34~35 $^{\circ}\text{C}$ 전후로 가장 높으며, 다음은 시가지의 아스팔트와 콘크리트로 덮여 있는 아파트, 주택단지 26~30 $^{\circ}\text{C}$ 정도의 온도분포를 형성한다. 한편 지표면온도가 가장 낮은 지역은 청주 동쪽에 위치한 산지(선도산, 가래산 등)로 22~23 $^{\circ}\text{C}$ 전후로 나타났다. 다음으로 도시 주위에 분포하고 있는 논 등 경작지의 지표면온도가 24~25 $^{\circ}\text{C}$ 전후의 온도를 형성하고 있다. 이와 같이 온도가 가장 낮은 동쪽의 선도산과 가래산지역과 공단지역과의 온도 차는 약 12~13 $^{\circ}\text{C}$ 정도로 크게 나타났다. 이와 같은 결과는 Oue 등(1993, 1994)의 연구결과와 일치하는 것으로 현지조사결과와 동일한 결과를 보여준 것이다. Oue는 일본 에히메에서 조사한 결과 아스팔트 포장면의 표면온도가 50 $^{\circ}\text{C}$ 를 넘을 때 눈은 27 $^{\circ}\text{C}$ 를 보인 것으로 조사되었다. 또한 지표면 20 cm위 지점의 기온은 눈의 기온보다 최고 4.7 $^{\circ}\text{C}$  높게 나타났다. 이러한 결과는 현지조사한 연구결과와 일치하는 것으로 아스팔트나 콘크리트 피복지역의 온도가 식생이 있는 곳에 비해 매우 높은 온도를 나타낸다.

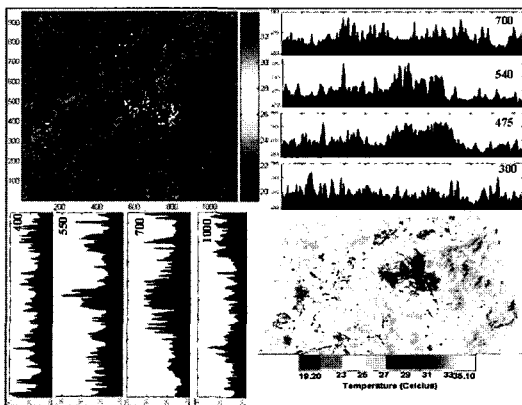


Fig. 6 Geographical distribution of land surface temperature(LST) for the center of Cheongju

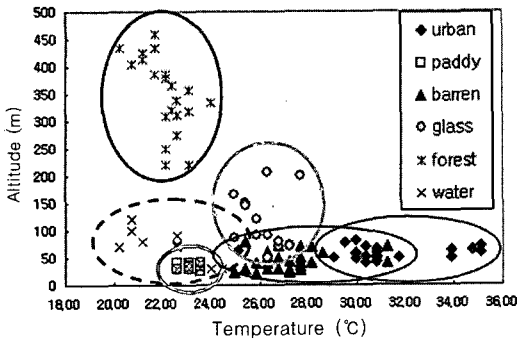


Fig. 7 The relationships between Land surface temperature and Altitude

또한 청주의 남과 북쪽에 많이 분포하고 있는 논  
의 경우 도심지역에 비해 지표면온도가 상대적으로  
약 3~8 °C정도 낮은 것으로 나타났다. 같은 시간에  
관측된 지표면 온도분포는 지표면 피복형태에 따라  
공업단지>시가지>나지>초지>논>산림의 순으로 나  
타났다.

DEM자료를 이용하여 표고별 식생피복별 지표면  
온도를 그림으로 정리하면 Fig. 7과 같다. 고도가  
높은 산과 저수지, 하천의 물이 위치한 지역의 지  
표면온도가 낮고, 고도가 50 미이하인 지역에서는  
논지역의 온도가 낮은 것이 확인되었으며, 50 m전  
후에 위치한 나지와 도심부의 지표면온도는 매우  
높았다. 이 결과는 한 여름철 도심부의 경우 온도  
상승이 급격하게 이루어진 반면 도심주변의 녹지

즉 산과 논은 서서히 온도가 상승하며 도심부보다  
낮은 온도분포를 보여, 산과 수변, 논에 의해 도심  
지역의 온도상승을 억제하는 기능을 발휘하는 것으  
로 판단된다. 즉, 한여름의 경우 열 배출이 많은 공  
업단지와 도심에서 높아진 온도를 도심주변의 산림  
과 논 등의 낮은 온도가 열평형을 이루기 위해 이  
동하여 열 교환이 이루어지면서 평형을 이루는 것  
으로 판단된다. 따라서 공업단지와 시가지의 경계  
에 위치한 잡목과 혼성지대는 열 교환이 이루어지  
는 지점이 되어 논과 시가지 온도의 중간 온도를  
보이는 것으로 판단된다. 이와 같이 한 여름철 도  
심부에 위치한 공업단지와 콘크리트 등의 구조물은  
도시의 열 환경을 악화시켜 여름밤의 열대야와 도  
시의 열섬현상을 가속화하는 것으로 생각된다. 또  
한 Fig. 8과 같이 12년전의 위성영상과 비교하였  
을 때 청주시 등의 급격한 확장과 시 외곽에 건축  
되고 있는 아파트 등으로 인한 도심의 열환경은 더  
욱 악화되고 있는 것으로 나타났다. '92년의 경우  
도심과 주위의 논과의 열의 이동이 활발하여 논과  
도심의 온도 차이가 그리 크지 않으나, '04년의 경  
우 청주시 주변 택지개발지구인 율량동, 가경동, 하  
북대, 분평동의 고층 아파트 등의 영향으로 도심부  
의 열이 주변의 산과 논 등의 평야부와 열교환을  
이루지 못하고 높은 열섬을 형성하고 있다. 그러나  
미호천과 무심천주변의 열교환은 어느 정도 활발한

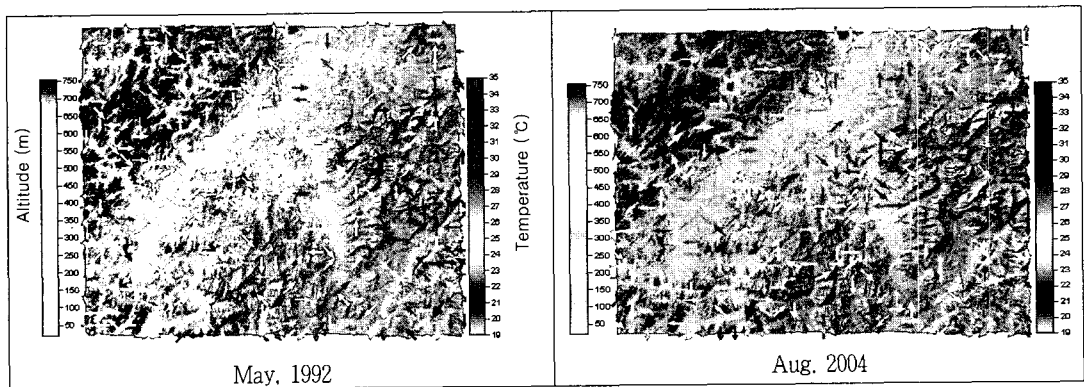


Fig. 8 Historical comparison of land surface temperature



것으로 나타난다. 따라서 논과 수변공간이 도심부의 열 환경개선과 기온저감효과의 평가는 도심부에 미치는 영향은 크지 않으나 도심외곽과 공업단지 주변에서의 효과는 매우 큰 것으로 평가된다. 특히 청주 북서부지역의 경우 공업단지와 논과의 경우 약 7~8 °C의 온도 차이가 나지만 그 중간지역은 약 4~5 °C의 차이를 보인다. 이와 같이 공업단지 등의 높게 형성된 온도는 한 여름철에 많은 남서풍의 영향과 함께 열의 이동은 미호천을 따라 오창평야에서 온도평형을 이루며 도심주변의 온도를 완화해주는 것으로 판단된다. 여름동안에 1 °C의 기온을 낮추는 것은 청주 전체에서 6~7만 kW 전력을 확보하는 것과 같다. 따라서 여름철 논이 7~9월에 도심의 기온을 1 °C 낮추게 된다면 냉방용 전력요금은 청주시에서만 연간 1.4~1.8억원(30일 기준)을 줄이는 효과가 있을 것이다.

한편 Oue 등(1993, 1994)의 연구결과 관개와 식생의 존재는 온도환경을 완화해주며, 온도의 상승을 완화하는 효과가 특히 식생이 높다는 것을 반영한 결과로 해석된다. 따라서 앞으로 도시의 열 환경 개선을 위해 식생과 공원 등의 배치, 도심 주변의 논과 산림의 재평가 등 다양한 검토가 진행되어야 할 것이다. 이와 함께 한 여름철 논 등의 기온저감효과의 평가는 낮과 밤에 촬영된 영상을 이용하면 좀 더 정확한 평가가 가능할 것으로 판단된다.

#### 4. NDVI와 지표면온도와의 관계

2004년 8월 31일 Landsat 5호 TM데이터로부터 구한 NDVI와 지표면온도와의 관계를 산포도로 나타내면 Fig. 9와 같다. 그림과 같이 NDVI와 지표면온도의 상호관계는 높은 부의 상관관계가 있으나 반드시 선형관계를 이루지는 않는 것으로 나타났다. 특히 NDVI가 -0.2~0에 가까울 경우 지표면온도는 다양한 분포를 보인다. 이 값은 물과 구조물 및 토양과 식생분포가 갖는 경계지점에서 보이는 영향이 온도분포에 반영된 것으로 판단된다.

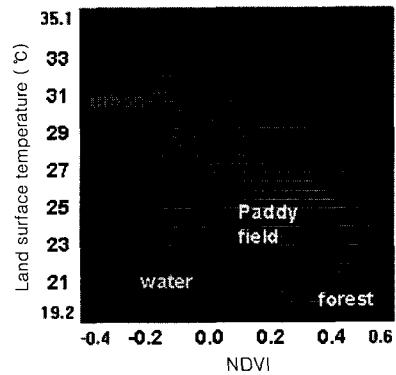


Fig. 9 The relationships between Land surface temperature and NDVI

NDVI가 0보다 큰 경우는 NDVI가 증가함에 따라 지표면온도는 상대적으로 감소하는 경향을 보였다. 이와 같이 도심 주변에 분포하는 많은 녹색 식물(산림과 벼)들은 상대적으로 낮은 표면온도(Fig. 9의 오른쪽 아래)를 나타내고 있어 도심에서 높아진 온도를 완화하는 기온저감효과를 갖는 것으로 확인되었다. 이러한 고밀도의 분포가 많을수록 도심의 열을 흡수할 수 있는 층이 확보되므로 기온저감효과는 높아질 것이다.

도심의 열 환경을 개선하기 위해서는 도심주변에 위치한 농지와 산림 등의 녹지와 도심에 존재하는 녹지의 활용에 의한 기온완화작용이 있을 것이다. 이와 같은 녹지는 식물과 토양으로부터 증발산을 촉진시켜 습도와 잠열 운송량을 높이는 작용을 한다. 그 결과 산과 농지 등의 녹지주변은 온도가 낮아지고 주변 도시의 고온과 낮은 습도와 평형을 이루기 위하여 기온완화작용을 하게 될 것이다. 청주시의 경우 도시개발이 집중적으로 이루어진 곳의 열환경은 악화되어 있으나, 주변의 많은 산과 농경지가 분포하고 있어 여름철 기온저감효과 기능을 발휘하고 있는 것으로 판단된다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 Landsat 5호 TM데이터와 DEM을 이용하여 지표면의 피복상태와 지표면온도에 관

해 해석하고, 도심 주변의 논과 산림이 도시의 기온저감효과에 어떠한 역할을 하는지에 대해 조사하였다. 얻어진 결과를 정리하면 다음과 같다.

1. NDVI 값은 산림지역이 평균 0.5~0.6으로 가장 높고, 다음으로 논이 평균 0.38~0.49로 높았다. 한편 가장 낮은 지역은 수면으로 -0.1~-0.35, 공업단지 평균 -0.09, 다음이 시가지로 평균 -0.08로 나타났다

2. DEM데이터와 Landsat 5호 TM Band 1, 2와 Band 6의 DN 값을 이용하여 3D DEM NDVI와 지표면온도를 유도하고 제시하였다.

3. NDVI를 이용하여 연구대상지역의 토지피복상태를 구분한 결과 산림지역이 431.79 km<sup>2</sup>(44%)로 가장 많았으며, 다음이 농경지로 225.58 km<sup>2</sup>(23%), 다음이 나지, 도심, 초지, 수면의 순으로 나타났다.

4. 지표면의 피복율을 나타내는 NDVI와 지표면온도는 높은 부의 상관관계가 있었으나, 반드시 선형 관계는 아닌 것으로 나타났다.

5. 청주시 주변의 한 여름의 온도가 가장 높은 지역은 공업단지였으며 다음이 시가지로 나타났다. 반면 온도가 가장 낮은 지역은 산림지역이고, 다음으로 논 지역으로 나타났다. 온도가 가장 낮은 동쪽의 선도산, 가래산지역과 공업단지지역과의 온도차는 약 12~13℃정도로 크게 나타났다. 같은 시간에 관측된 지표면 온도분포는 피복형태에 따라 공업단지>시가지>나지>초지>논>산림의 순으로 나타났다.

6. 청주의 남과 북쪽에 많이 분포하고 있는 논인 경우 도심지역에 비해 지표면온도가 상대적으로 약 3~8℃정도 낮은 것으로 나타났다. 이는 산과 논에 의해 도심지역의 온도상승을 완화하는 기능을 갖는 것으로 판단된다.

본 연구는 농림기술관리센터의 연구비지원(과제번호: 204109-03-3-CG000)에 의해 수행되었습니다.

## References

1. Carlson, J. K. Dodd, S. G. Benjamin, and J. N. Cooper, 1981. Satellite estimation of the surface energy balance, moisture availability and thermal inertia. J Appl. Meteor., 20, 67-87.
2. Hirano Y., Y. Yasuoka, R. Shibasaki, 2002. Pragmatic Approach for Estimation of Vegetation Cover Ratio in Urban Area Using NDVI, J. of Japan Remote Sensing, 22(2), 163-173. (in Japanese)
3. Korea Meteorological Administration (KMA) Homepage, 2004. <http://www.kma.go.kr/weather/index.jsp>.
4. Oke, T. R., 1973. City size and the urban heat island, Atmos. Environ., 7, 769-779.
5. Oue H., H. Tagashira. T. Otsuki, and T. Maruyama 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. (in Japanese)
6. Oue H., T. Fukushima. and T. Maruyama, 1994, A micrometeorological function of paddy fields and control temperature conditions, J. of JSIDRE 62(10): 955-960. (in Japanese)
7. Park J. H., Ryu K. S. 2004. Variation characteristics of Vegetation Index(NDVI) Using AVHRR images and spectral reflectance characteristics, J. KERRT 8(2) : 33-40. (in Korean)
8. Price, J. C., 1984. Land surface temperature measurements from the split window channels of the NOAA-7 advanced very high resolution radiometer, J. Geop. Res., 89, 7231-7237.