

청주시 무심천 주변의 열 환경 특성 분석

Analysis of the Thermal Environmental Characteristic for Musim Stream

박진기*, 박종화**, 나상일***

Jin Ki Park, Jung Haw Park, Sang Il Na

요 지

본 연구는 충북 청주시에 위치한 무심천 주변을 대상으로 하천이 도시 주변 열 환경에 미치는 영향에 대해 원격탐사(Remote Sensing; RS)기법을 이용하여 분석하였다. 열 환경 특성 분석 순서는 먼저 Landsat 5 TM 위성영상의 열적외 밴드를 이용하여 대상지역의 표면 온도(Land Surface Temperature; LST)를 추출하였다. 다음으로 추출된 LST를 이용하여 무심천을 중심으로 주변의 공업단지와 주거지, 산림 지역의 지표면 온도 분포를 비교·분석하여 하천이 주변의 열 환경에 미치는 영향을 정량화하였다. 또한 공간적 특성 분석을 위해 등온선을 작성하여 하천 주변 열 환경을 파악하였다. 그 결과 온도분포에 따른 열 이동의 크기와 방향을 확인할 수 있었고 열 분포의 공간분포는 공업지>주거지>하천>산림 순으로 나타나 토지이용특성에 따른 열 분포의 경향을 파악할 수 있었다.

핵심용어 : 열환경 특성, 원격탐사, Landsat 5 TM, UHI, LST

1. 서 론

도시발달에 따른 토지이용변화와 피복상태의 변화, 에너지 소비 증가 등으로 도시열섬현상이 나타나고 있다. 이와 같이 도시 발달에 따라 도시부와 교외부와의 기온차가 발생하는 것은 1833년에 Howard에 의해 발견되어, 1958년에 Manley에 의해 도시열섬현상(Urban Heat Island; UHI)으로 불리게 되었다. 이후 도시열섬현상에 관한 연구는 세계적으로 도시 환경에 대한 관심과 함께 높아지고 있으며 현재도 활발하게 연구되고 있다. UHI는 도시 기온이 주변 또는 시골지역의 기온보다 더 높은 인공 열섬이 되는 현상을 말한다. 이런 현상은 도시의 건축물, 아스팔트, 콘크리트 등이 태양열을 흡수해 저장했다가 주변의 공기 중으로 방출하기 때문이다. UHI은 도시고유의 기후를 형성하여 계절에 따라 도시 열 환경을 악화시키고 있다. 도시 열 환경의 악화는 다시 전력 소비 증가에 따른 2차적인 에너지 문제를 가져오고 스모그 현상 가중, 주거환경 악화 등의 문제를 가져오는 원인이 되고 이러한 문제 해결을 위해 도심 녹지 형성, 수변 공간 조성을 통한 바람길 형성 등 다양한 방법들이 제시되고 있다.

본 연구는 충북 청주시에 위치한 무심천 주변을 대상으로 하천이 도시의 열 환경에 미치는 영향에 대해 원격탐사 기법을 이용하여 분석하였다.

* 정회원 · 충북대학교 지역건설공학과 석사과정 · E-mail : krfamily@nate.com

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

*** 정회원 · 충북대학교 지역건설공학과 박사과정 · E-mail : sangil917@hanmail.net

2. 연구지역 및 사용데이터

2.1 연구지역

연구 대상지역은 충북 청주시 주변지역으로 무심천을 중심으로 서쪽은 상당구, 동쪽은 흥덕구로 도심지가 발달하여 하천이 도심지 환경에 미치는 영향을 파악하기에 적절하다. 또한 청주시 서쪽으로 공업단지가 위치하고 있으며, 도심녹지가 적절하게 분포되어 도시 열 환경에 따른 공간분포특성 파악이 용이한 지역이다. 대상지역의 여름철 열환경 특징은 1968년부터 2009년까지 8월 평균 온도를 보면 매년 변동 폭은 보이나 장기적으로는 계속적으로 높아지는 경향을 보이고 있다(Figure 1).

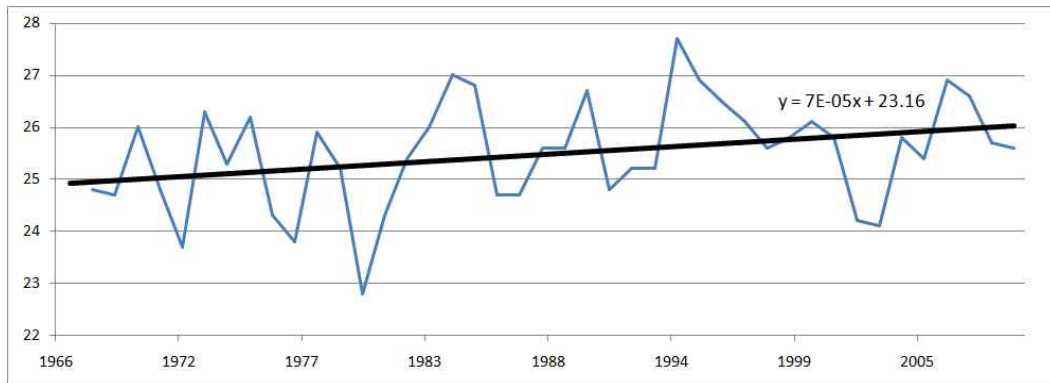


Figure 1. Average temperature change on August in Cheongju

2.2 사용데이터

본 연구에서는 2006년 8월 5일에 촬영한 중해상도의 LANDSAT 5 TM과 2008년 8월 31일에 촬영한 고해상도의 KOMPSAT-2를 사용하였다. LANDSAT 5 TM 영상은 3개의 가시광선 밴드와 4개의 적외선 밴드를 가지고 있다. 그중에 열적외선 밴드인 6번 밴드를 이용하여 지표온도를 추정하였다. KOMPSAT-2 영상은 3개의 가시광선 밴드와 1개의 적외선 밴드를 포함하는 4×4m의 고해상도 영상으로 토지이용분류를 위해 사용하였다. 하천이 도시 주변 열 환경에 미치는 영향 파악을 위해 도심지를 경계로 하천을 포함한 지역과 토지이용별 열환경 비교·분석을 위해 공업지와 산림을 포함한 범위로 영상을 추출하였다.

3. 연구방법

3.1 지표면온도 계산

LANDSAT TM은 지표면온도(Land Surface Temperature, LST)를 추정할 수 있는 열적외선 영역(10.4~12.5 μ m)에 대한 데이터를 취득할 수 있는 밴드 6을 가지고 있다. 이 밴드를 이용하여 LST를 구할 경우 LANDSAT에 탑재된 센서가 흑체와 접해 있다는 가정아래 Plank 식으로 나타낼 수 있다(박종화 등, 2006). Plank 식은 파장과 주파수 및 파수의 함수로 흑체에서 방출되는 온도가 복사휘도 또는 에너지강도로 표현된다.

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

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

LANDSAT 열화상 데이터를 취득하여 식 (1)와 같은 Plank방정식을 이용하면 식 (2)과 같은 LST 식이 얻어진다.

$$T_{LST} = \frac{C_2}{\lambda_i \ln\left(\frac{C_1}{\pi \lambda_i^5 L_\lambda} + 1\right)} \quad (2)$$

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

식 (1), (2)를 이용하여 구한 LST는 LANDSAT TM 밴드 6의 해상도인 120×120m 격자 형태로 이루어져 있어 하천 주변의 열 환경을 파악하기에는 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 GIS의 내삽기법 중 미지의 관측지점에서의 속성값은 그 위치에서 정의된 확률 변수의 결과들로 모델링된다는 확률 함수의 개념에 기반을 둔 Kriging 기법을 이용하여 10×10m 격자형태로 보간하였다(Goovaerts, 1997).

3.2 토지이용분류 및 하천 주변 버퍼 생성

토지이용분류별 열환경 특성을 알아보기 위해 KOMPSAT-2 영상을 이용하여 스크린 디지털화(Screen Digitizing) 기법으로 토지이용분류를 실시하였고, 참고자료로 수치지형도를 이용하였다(Figure 2). 주거지는 일반주거지역과 고밀도 주거지역으로 분류하였고, 산림과 공원 등은 녹지로 분류하였다. 또한 공업지, 공공용지, 나지, 농경지, 수역으로 총 8개 항목으로 분류하였다. 분류 결과 하천 주변으로 주거지가 집중되어 있고 도심 곳곳에 공원과 산림 등 녹지로 이루어져 있다.

하천으로부터 떨어진 거리에 따른 온도의 공간분포를 추출하기 위하여 하천을 기준으로 700m까지 100m 간격으로 버퍼(Buffer)를 생성하였다(Figure 3). 생성된 버퍼는 토지이용분류상 대부분 주거지로 이루어져 있으며 일부 녹지를 포함하고 있다.

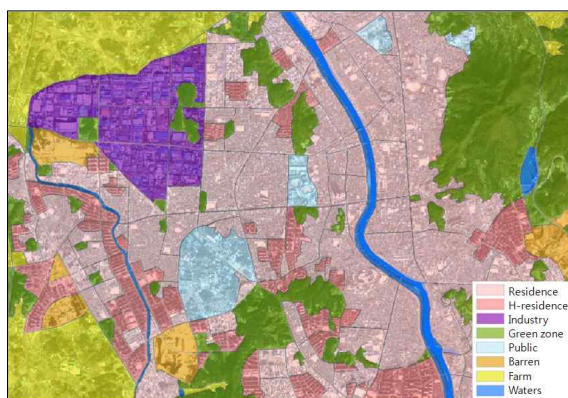


Figure 2. Landuse of study area



Figure 3. Buffer creation

4. 연구결과

4.1 지표온도(LST) 분포

LANDSAT 영상의 밴드 6을 이용하여 LST를 산정하고 1℃ 단위의 등온선을 작성하였다(Figure 4). 분석 결과 대체로 산림과 공원이 분포하고 있는 녹지는 가장 낮은 25℃ 전후로 나타나고, 녹지의 100~300m 주변은 주거지 보다 낮은 온도를 형성하고 있다. 공업지의 경

우 29°C 이상의 가장 높은 온도 분포를 보이고, 하천은 도심지의 온도 보다 1~2°C 낮게 분포하고 있다.

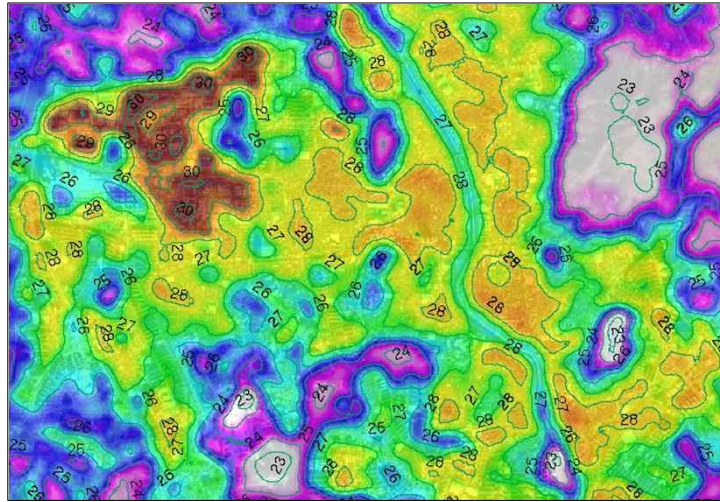


Figure 4. Isotherm of study area

4.2 토지이용별 온도분포

Figure 5는 토지이용별 지표면온도 변화 파악을 위해 A점과 B점 사이의 온도분포를 나타내었다. Table 1은 스크린 디지털라이징 기법으로 추출한 토지이용분류와 LANDSAT 위성영상을 이용하여 추출한 지표면온도를 이용하여 토지이용별 온도를 분석한 결과이다. 서쪽에 위치한 공업단지가 평균 28.8°C로 가장 높게 나타났으며, 다음은 주거지로 평균 27.4°C로 나타났다. 한편 지표면온도가 가장 낮은 지역은 동쪽에 위치한 산림으로 평균 24.8°C의 온도 분포를 나타냈다. 도심지에 위치한 하천의 경우 주변의 주거지 보다 1~2°C 정도 낮은 온도 분포를 보인다. 토지이용별 온도분포는 지표면 피복형태에 따라 공업지 > 거주지 > 공공용지 > 수역 > 녹지 순으로 나타났다.

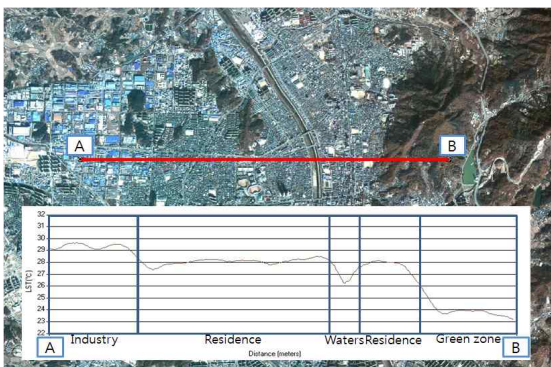


Figure 5. LST from A to B

Table 1. LST for landuse types

	Mean	Max	Min	Stdev
Residence	27.4	30.0	22.2	0.81
Industry	28.8	32.5	24.8	1.00
Public	26.4	29.1	22.2	0.94
Green zone	24.8	28.5	21.7	1.21
Waters	26.2	28.3	22.2	0.90

4.3 하천에서 거리별 온도 분포

무심천을 중심으로 거리에 따른 온도 분포특성 파악을 위하여 100m 간격의 버퍼를 생성하여 거리별 평균온도를 산출하였다(Figure 6). 하천 오른쪽 지역의 온도분포는 하천에서 가장 낮고 하천에서 멀어질수록 온도가 증가하다가 200m 이후 더 이상 증가하지 않고 조금씩 감소하여 주거지의 평균온도에 가까워졌다. 반면에 하천 왼쪽 지역은 하천에서 가장 낮고

하천에서 300m까지는 증가하다가 이후 조금씩 감소하였다. 이는 도심 공원의 영향으로 주거지 온도보다 낮게 분포하는 것으로 판단되었다. 하천을 중심으로 100~150m 반경내에서는 주위 도심지보다 1~2℃정도 낮은 온도 분포를 보이고 있어, 여름철 하천이 도심의 기온 저감에 영향을 미치는 것으로 판단되었다.

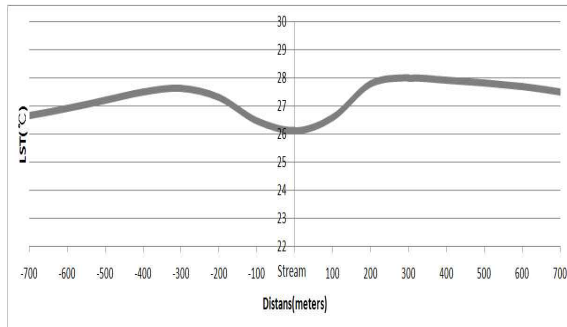


Figure 6. LST changes with distance from stream

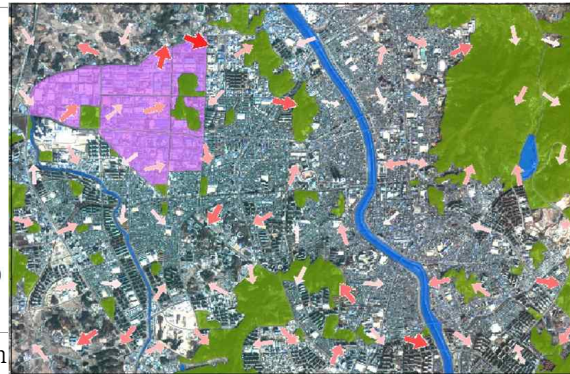


Figure 7. Thermal moving path

4.4 대상지역 열의 이동

Figure 7은 열의 이동 방향을 벡터로 나타낸 것이다. 화살표의 방향은 높은 온도에서 낮은 온도로 표시되고 열 이동 크기가 클수록 화살표의 크기가 크고 진한색으로 표시하였다. 열의 이동 방향은 주거지와 공업지에서 발생한 열이 산림과 공원 등의 녹지로 이동하고 있으며 하천 주변의 주거지에서 발생한 열은 하천으로 이동한다. 특히 공업지역에서 발생하는 열은 주변으로 이동하며 도심 주변의 열환경을 악화시키는 역할을 하고 있는 것으로 판단된다.

5. 결론

본 논문은 RS기법을 이용하여 청주시 무심천 주변의 열 환경 특성을 분석하였다. 얻어진 결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 등온선 작성결과 녹지는 25℃ 전후로 나타나고, 공업지는 29℃ 이상의 가장 높은 온도 분포를 보이고, 하천은 도심지의 온도 보다 1~2℃ 낮게 분포하는 것으로 나타났다.
2. 토지이용별 온도분포는 지표면 피복형태에 따라 공업지 > 거주지 > 공공용지 > 수역 > 녹지 순으로 나타났다.
3. 하천 중심으로 100~150m 반경내에는 도심지보다 1~2℃정도 낮은 온도 분포를 보이고 있어, 여름철 하천이 도심의 기온 저감에 영향을 미치는 것을 파악할 수 있었다.

6. 참고문헌

1. Goovaerts, P., 1997. Geostatistics for Natural Resources Evaluation, Oxford University Press.
2. 나상일, 박종화, 박진기. 2008. Quick-bird와 Landsat영상을 하천 주변의 열환경 특성 분석, 한국수자원학회 2008년도 학술발표회 논문집, pp. 2023~2027
3. 박종화, 김진수, 나상일. 2006. Landsat영상을 이용한 여름철 청주시역의 토지피복과 지표면온도와의 관계 분석, 한국농공학회논문집 48(5), pp. 39~48