

## 하천 및 녹지와 온도의 관계에 대한 기초적 연구\*

- 청계천 복원을 중심으로 -

김재욱<sup>1)</sup> · 이동근<sup>2)</sup> · 오규식<sup>3)</sup> · 성현찬<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup> 마일엔지니어링 · <sup>2)</sup> 서울대학교 조경학과 · <sup>3)</sup> 한양대학교 도시공학과 · <sup>4)</sup> 나고야 대학교

## A Fundamental Study on the Relationship Between Riparian Vegetation and Surface Temperature

- Focused on *Cheonggaecheon* Stream Restoration -

**Kim, Jae-Uk<sup>1)</sup> · Lee, Dong-Kun<sup>2)</sup> · Oh, Kyu-Shik<sup>3)</sup> and Sung, Hyun-Chan<sup>4)</sup>**

<sup>1)</sup> Myil Engineering, <sup>2)</sup> Seoul National Univ, <sup>3)</sup> Hanyang Univ, <sup>4)</sup> Nagoya Univ.

### ABSTRACT

Human beings have pursued development and economic betterment; thus, enhancing convenience and prosperity. A flourish of human civilization upon the industrialization results a massive urbanization. However, human beings have connived the environmental importance in the course of rapid urbanization. The environmental quality now becomes one of the most important factors that determine the quality of life in a city. Many studies were proceeded about the heat island effect in large cities. In general, most studies have been done to investigate urban microclimate phenomena using meteorological network or AWS (automatic weather station) data. Those preceding studies do not seem to sufficiently reflect the and thus, failed to show regional representative.

In this study, temporal Landsat TM satellite imageries of May 20, 1987 and May 21, 1999 were used in order to detect the surface temperature of the study area using the band 6 (10.4 $\mu$ m ~ 12.5 $\mu$ m).

The surface temperature distribution detected by the band 6 of Landsat TM was overlaid with the land cover classification data in order to investigate the temperature difference of the paved road and the riparian areas of the stream. As a result, a surface temperature difference as much as 3 $^{\circ}$ C between the paved road and the riparian areas with vegetation was observed.

This study concludes that the land cover change is one of the main causes of urban heat island effect which may be closely affected by the paved areas and roads.

Besides, the change of the atmospheric temperature followed by the urban secular change could

---

\* 본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-2001-000-000459-0)지원으로 수행되었음.

have been confirmed. In the case of *Yangjaecheon* stream which underwent a heavy environmental restoration in 1995, the temperature was decreased as much as  $0.6^{\circ}\text{C}$  after the restoration.

The results of this study is expected to contribute to develop an urban space in harmony with the healthy human life and the environment respecting the crucial role of vegetation to stabilize the urban environmental dynamics.

**Key Words :** *Heat Island, Meteorological Network, Landsat TM Band 6, Surface Temperature.*

## I. 서 론

자연환경과 인간은 상호불가분의 관계를 맺고 하나의 조직을 이루어 환경체계를 형성하고 있다. 현재 우리가 생각하는 환경체계는 다분히 인간 중심적인 것으로 인식되고 있으나, 환경체계 내의 여러 요소들은 서로 영향을 주고받으며 그 시스템이 유지시키고 있다. 즉, 환경체계 내 구성요소들이 조화와 균형을 이룰 때 환경은 안정적으로 유지되고 발전한다. 하지만, 환경체계 내 일부 혹은 전체에 급격한 변화가 발생하고 그 변화에 환경을 구성하는 요소들이 적응하지 못하면 환경의 교란이 발생하여 결국 환경문제를 낳게 된다. 이러한 급격한 변화가 일어나기 시작한 시기는 인류의 산업혁명 이후 빠르게 나타나기 시작했다. 산업화·도시화가 이루어지고 인구집중현상이 나타나면서 여러 문제가 발생하기 시작하였고, 본 연구에서 살펴보고자 하는 열섬현상도 같은 원인으로 발생하고 있다.

열용량이 큰 콘크리트와 아스팔트 구조물로 뒤덮여있는 도심은 녹지가 많은 인근 교외지역이나 하천 등 수변공간에 비해 태양열로 쉽게 달궈지며 도시 내에는 공장, 주택, 자동차 등이 많아 연료를 연소시킬 때 많은 열이 발생하므로 주변의 다른 지역보다  $2\sim 5^{\circ}\text{C}$  가량 높은 온도를 형성하게 된다. 이때 기온이 같은 지점을 등온선으로 연결시켜보면 높아진 도시 내 기온 분포도가 섬의 등고선 같은 형태를 띠고 있어 열섬이란 이름이 붙여진 것이다. 이러한 현상을 열섬현상(Heat Island)이라고 하는데, 1818년에 Luke Howard에 의해 최초로 확인되었다. 반면에 도시에 있는 녹지와 하천은 열섬현상이 나타나는 가운데서도 주변의 온도를 낮춰서 쾌

적한 환경을 제공한다. 이를 열섬의 반대개념으로 냉섬(Cool Island)라고 지칭한다.

이처럼 하천과 녹지는 우리에게 좋은 생활환경을 제공하지만, 개발이라는 논리 아래 훼손되고 있는 것이 현실이다. 그러나 최근들어 생활수준이 높아지면서 환경에 대한 관심도 높아져 도시환경문제의 해결을 위하여 새로운 도시계획에서는 개발위주의 계획보다 보전 및 복원위주의 계획으로 변화되고 있다. 최근에 서울시에서는 청계천복원을 통하여 도시생태계 복원, 600년 서울의 역사성 회복과 문화공간의 창출 등 환경친화적, 인간중심적 도시공간으로의 변모를 꾀하고 있다.

이에 본 연구에서는 인공위성영상자료와 양재천의 사례연구를 통하여 하천과 녹지가 도시 미기후에 미치는 영향을 분석하여 도시의 기후환경을 개선할 수 있는 방안을 제시하고자 한다. 하천과 녹지의 온도를 측정하여 이들과 온도사이의 상관관계를 살펴보기 위해서는 지표면의 특성을 잘 반영하는 자료가 필요하지만, 현재 우리나라에서 온도를 측정하는 방법에는 정규 기상관측망을 이용하거나 무인기상관측장비인 AWS(Automatic Weather System : 자동기상관측장치)를 이용하여 기온을 측정한다. 하지만 이러한 방법은 지표의 온도를 대표하기보다는 특정 지점의 기온을 나타낸다고 할 수 있다. 이와 같은 단점을 보완하기 위해서 최근에는 인공위성영상을 이용한 연구가 많이 이루어지고 있다.

박경훈 등(1999)은 광역적 녹지계획 수립을 위한 도시열섬효과 분석에서 Landsat TM 영상자료의 Band6를 이용하여 표면온도를 산출하였고, Band 3, 4를 이용한 녹지분석에 있어 가장 일반적으로 사용되는 식생지수인 NDVI값을 추

출해서 그 상관성을 입증하였다. 즉, 불투수층의 인공포장으로 구성된 시가화지역은 NDVI가 낮고 표면온도가 높은 곳에 분포하는 것으로 나타나 토지피복상태에 따른 표면온도의 차이가 인공포장면의 증가에 따른 도시열섬효과의 간접적인 발생원인임을 증명하였다.

윤용한 등(2000)은 도시공원의 기온에 영향을 미치는 요인에 관한 연구에서 토지피복비율의 10% 증가에 따라 수림지의 경우  $0.09 \sim 0.28^{\circ}\text{C}$ , 초지  $0.07 \sim 0.20^{\circ}\text{C}$  정도 기온이 저감된다는 연구 결과를 발표하였다.

박민호(2001)는 Landsat TM 열적외 데이터틀 이용한 도시열섬현상에 관한 연구에서 물이 상대적으로 비열이 높아 다른 토지피복에 비해 온도가 낮다고 하였다.

조명희 등(2001)은 원격탐사자료와 GIS를 활용한 도시 표면온도의 공간적 분포특성에 관한 연구에서 인공위성영상자료에서 추출한 지표면의 온도와 AWS에서 실측한 온도를 비교하여 위성영상에서 얻은 온도에 대한 자료의 적합성을 증명하였다.

조용현 등(2002)은 도시림의 여름 대기온도 저감효과에서 인공위성영상 자료를 이용한 분석에서 교통시설지의 면적 백분율이 클수록 기온이 높아지고 숲 면적의 증가는 이와는 반대로 온도가 낮아짐을 밝혀 도시의 여름 기온절감을 위해서는 교통시설지에 대한 복사에너지 저감 대책을 세워야 한다고 강조하였다.

박종화 등(2003)은 청계천 복원사업의 하천 주변 기온 저하 효과 예측에서 한강의 지류하천인 안양천, 중랑천, 창릉천, 탄천, 양재천 등과 청계천 복원이후의 상황을 비교·분석하여 약  $2.5^{\circ}\text{C}$  정도의 기온절감 효과를 예측하였다.

이처럼 인공위성영상을 이용한 연구는 주로 녹지를 이용한 연구가 주를 이루고 있으나, 이번 연구에서는 위성영상을 이용해서 서울시내 도로의 기온과 한강을 제외한 한강의 지류하천의 기온을 분석하여 서울시가 추진중인 청계천 고가도로를 철거하고 청계천으로 복원시켰을 때의 기온절감 효과를 예측하고, 양재천의 경년변화를 통해서 자연형 하천의 추가적인 기온

절감 효과를 알아보려고 한다.

## II. 연구의 방법 및 내용

연구는 크게 3단계를 거쳐 수행되었으며, 각 단계별로 적용된 방법은 다음과 같다.

첫째, 본 연구에 필요한 인공위성영상자료를 선정하고 기하보정을 실시하여 왜곡된 영상을 수정한 다음, 수정된 영상에서 지표면의 온도를 산출하여 연구에 필요한 기초자료를 취득하였다.

지표면의 온도를 나타내는 인공위성영상을 이용하여 하천과 녹지가 갖는 기온절감효과를 알아보기 위하여 기온이 높은 여름에 가까운 영상을 검토하였으나 우리나라의 여름은 운량이 많아 영상선정에 어려움이 있었고, 경년변화를 살펴보기 위하여 동일시기의 영상을 검색한 결과 1987년 5월 20일과 1999년 5월 21일에 수신된 Landsat TM영상(Path 116 Row 34)을 선정하였다.

GPS로 측량된 지상기준점과 수치지도에서 GCP(Ground Control Point)를 선정하고, Affine의 좌표변환식을 이용하여 기하보정을 실시한다. 좌표변환이 이루어진 후, 화소들의 값을 Pixel값의 변화가 가장 적은 최근린내삽법(Nearest Neighborhood)으로 Resampling을 실시하였다.

우리가 영상을 통해 보는 인공위성 관측자료는 사실 지표면에 반사되어 인공위성의 탑재 센서에 입사한 태양광선의 세기를 전기적 신호로 변환시켜 놓은 것이다. 이것은 에너지의 개념으로 생각할 수 있다. 각각의 밴드로 입사하는 태양광선의 세기, 즉 영상 내 화소의 밝기는 결국 그 파장대에서 지상의 물체가 방사 또는 반사하는 전자기 에너지의 세기를 의미한다. 지표면에 있어서 흙, 물, 식생 등의 물체에 있어서의 표면온도는 거의  $300\text{K}(27^{\circ}\text{C})$ 이고, 대부분이 파장  $7 \sim 14\mu\text{m}$  범위에 분포하며, 최대복사는  $9.7\mu\text{m}$ 에서 일어나는데, 열적외선( $10.4 \sim 12.5\mu\text{m}$ )을 감지할 수 있는 열주사계의 일종인 TM의 Band 6이 파장대에서의 에너지의 세기, 즉 지표면 온도를 그대로 반영하고 있는 것이다. 이러한 Band 6을 이용해서 온도를 산출하는 변환공식은 많이 나와있지만, 기존의 연구에서 3~5월의 실측온도

와 상관성이 가장 높은 Quadratic regression Model(Lathrop and Lillesand, 1987)을 이용하여 상대온도를 추출하였다. 그리고, 이를 이용하여 AWS의 실측온도와 회귀분석을 실시하여 서울시 전체의 실제기온을 예측하였다.

#### Quadratic regression Model

$$\text{Temperature}(\text{°C}) = 209.830966 + 0.834313 \times \text{TM6} - 0.001372 \times \text{TM6}^2 - 273.15$$

둘째, IRS-1C와 Landsat TM을 융합한 위성영상자료를 이용하여 토지피복분류를 실시하여 서울시의 도로와 하천을 추출하였다.

토지피복분류도는 지표면의 물리적 표면상태를 나타내는 것으로 토지의 이용에 목적을 둔 토지이용현황도와는 차이가 있다. 토지피복분류도란 지표면의 지형지물의 형태를 일정한 기준에 따라 조사·분석하여 동질의 특성을 지닌 지역을 지도의 형태로 나타내는 일종의 주제도이다. 분류항목을 높여 자세한 분류를 위해 고해상도 위성인 IRS-1C와 Landsat TM 융합영상을 이용하여 분류를 실시하였는데, 융합된 영상은 전형적인 통계적기법의 자동분류방법을 적용할 수 없어 위성영상을 모니터상에서 육안으로 판별하는 On Screen Digitizing방법을 이용하였다. 이와 같은 방법은 통계적기법의 분류보다 객관성이 떨어지기 때문에 분류의 정확도를 높이기 위해서

지형도, 임상도, 토지이용현황도 등을 이용하여 분류하였다.

분류항목은 지표면의 특성을 생태적 관점에서 국토이용, 공간계획 등 환경분야에서 요구하는 항목들과 미국의 USGS의 분류체계, 유럽연합의 CORINE 분류체계를 검토하여 작성된 환경부의 23가지 항목으로 구분하였다.

셋째, 토지피복분류에서 추출된 도로, 하천자료와 Landsat에서 취득한 온도자료를 이용하여 하천과 온도, 녹지와 온도와의 관계를 통하여 하천과 녹지가 도시의 기온절감에 있어서 어떤 효과가 있는지 분석하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 서울시 기온분포

인공위성영상에서 추출된 온도는 지표면의 특색을 잘 반영한 것을 알 수 있다. 하천이나 녹지가 많은 비율을 차지하고 있는 지역은 대체로 온도가 다른 지역보다 낮게 나타나고 있으며, 인구가 밀집되어 있거나 공장이 많이 밀집되어 있는 지역은 온도가 비교적 높게 나타나는 것을 알 수 있다.

1987년 5월 20일 위성영상에서 추출한 온도를 살펴보면 평균기온은 19.32°C를 나타내고 있으며, 온도가 높은 상위 5개구를 살펴보면, 동대문구가 22.14°C로 가장 높고, 중구, 성동구, 구로구, 양천구 순으로 나타났다. 하위 5개구는

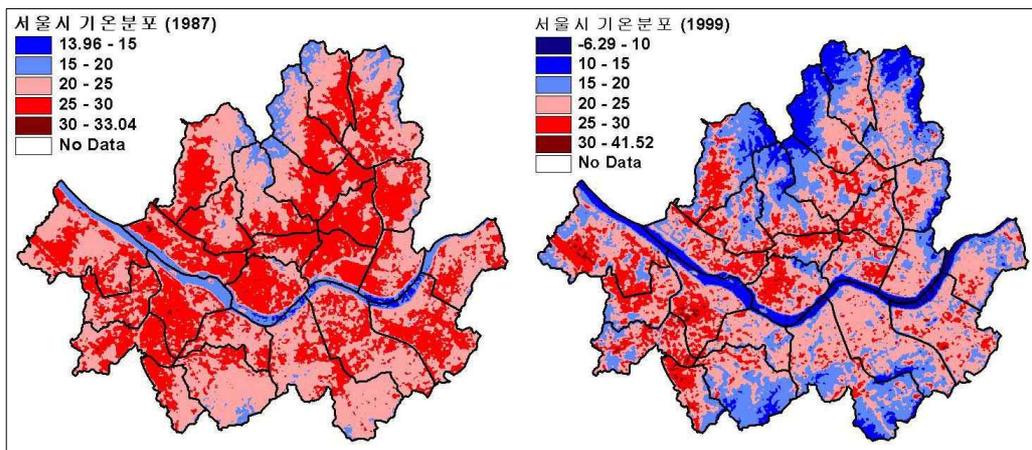


그림 1. Landsat TM Band6에서 추출한 기온분포

강북구가 17.72℃로 가장 낮고, 관악구, 서초구, 광진구, 종로구 순이다.

1999년 5월 21일 위성영상의 경우 평균기온은 20.87℃이고, 온도가 높은 상위 5개구를 살펴보면, 동대문구가 23.54℃, 중구, 구로구, 금천구, 양천구 순으로 나타났다. 하위 5개구는 강북구가 18.11℃로 가장 낮고, 노원구, 도봉구, 서초구, 관악구 순이다.

위성영상을 통한 경년변화를 살펴보면 온도차가 가장 심한 지역은 금천구로 3.46℃의 차이를 보이고 있으며, 강서구, 양천구, 구로구, 영등포구 순으로 나타났다.

이러한 결과를 토대로 인공위성영상을 이용한 기온의 추출방법은 광역적인 규모의 열섬현상 뿐만 아니라, 지표면의 피복상태를 통한 온도의 분포나 개발패턴 등의 분석에 정량적인 자료를 제시할 수 있을 것으로 기대된다(그림 1).

2. 서울시 도로와 하천기온 비교

인공위성영상을 이용한 토지피복분류에서 도로와 지류하천으로 분류된 지역과 Landsat TM Band 6을 중첩하여 온도를 추출한 결과 평균기

온(일평균기온 : 20.87℃, 1999년 5월 21일 기준)은 도로가 23.14℃, 하천은 19.69℃, 하천의 수변구역 30m는 20.15℃로 나타났다.

이처럼 도로의 기온이 특히 높은 것은 아스팔트의 도로포장으로 인한 복사열 증가에 따른 대기온도의 상승으로 나타는 현상으로 추측된다. 반면에 하천의 수변구역은 물의 증발산에 의한 영향으로 도로보다 약 3℃ 낮은 기온이 나타났다(그림 2). 물 1kg이 증발될 때 540kcal의 에너지가 소비되므로 많은 양의 물을 활용하여 주변의 열에너지를 빼앗아 갈 수 있으므로 수변공간의 면적이 증대됨에 따라 기온을 조절할 수 있는 범위는 넓어지게 된다. 또한, 녹지에 의한 냉방비용에 대한 계산의 결과들이 다양하게 보고되고 있는데 이동근·오규식(2002)은 그린벨트내의 녹지가 다른 용도로 바뀌면 인근 주민들은 냉방사용량증가로 1세대당 6,800원의 추가비용이 발생하게 되는 것으로 분석되어 녹지가 갖는 경제적 효과도 뛰어나다고 할 수 있다. 현재 서울시에서 진행 중인 청계천 고가도로를 철거하고 하천으로 복원할 경우 지금보다 약 3℃ 정도의 온도절감 효과가 나타나 도시의 미기후에 많은 영향을 미칠 것으로 예상된다.

표 1. 구별 기온분포

| 구 명   | 1987  | 1999  | 온도차  | 구 명   | 1987  | 1999  | 온도차  |
|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|------|
| 강 남 구 | 19.36 | 20.68 | 1.32 | 서대문구  | 20.15 | 21.76 | 1.61 |
| 강 동 구 | 19.00 | 20.06 | 1.06 | 서 초 구 | 18.26 | 19.60 | 1.34 |
| 강 북 구 | 17.72 | 18.11 | 0.40 | 성 동 구 | 21.26 | 22.30 | 1.05 |
| 강 서 구 | 18.70 | 21.97 | 3.27 | 성 북 구 | 19.91 | 21.15 | 1.25 |
| 관 악 구 | 18.06 | 19.61 | 1.55 | 송 파 구 | 19.69 | 21.38 | 1.69 |
| 광 진 구 | 18.46 | 20.08 | 1.62 | 양 천 구 | 20.47 | 23.21 | 2.74 |
| 구 로 구 | 20.86 | 23.27 | 2.41 | 영등포구  | 19.26 | 21.64 | 2.38 |
| 금 천 구 | 19.81 | 23.27 | 3.46 | 용 산 구 | 19.57 | 21.67 | 2.10 |
| 노 원 구 | 18.72 | 18.73 | 0.01 | 은 평 구 | 18.87 | 19.91 | 1.04 |
| 도 봉 구 | 18.65 | 18.86 | 0.21 | 종 로 구 | 18.55 | 19.90 | 1.35 |
| 동대문구  | 22.14 | 23.54 | 1.40 | 중 구   | 21.30 | 23.42 | 2.11 |
| 동 작 구 | 19.74 | 21.97 | 2.24 | 중 랑 구 | 20.07 | 20.94 | 0.87 |
| 마 포 구 | 20.30 | 21.87 | 1.57 |       |       |       |      |

3. 양재천의 경년변화

서울시에서는 지난 1995년부터 2000년까지 약 3.5km의 양재천을 하천공간의 효율적인 활용과 환경 친화적인 자연하천으로 기능을 회복시켜 각종 동·식물의 서식처를 확보하기 위해 생태공원을 조성하였다. 그 결과, 1995년에 비해 생물종다양성이 많이 향상되었으며, 자연과 인공의 조화, 시가지와 하천 자연환경요소의 조화로운 경관이 조성되었다. 이러한 녹지는 도시의 미기후에도 영향을 미치는데, 나무의 생리적 작용에 의해서 온도를 조절하는 작용을 한다.

이러한 결과는 영상의 분석에서도 나타나는데, 자연형 하천으로의 복원공사 이전인 1987년의 경우보다 식생이 자리잡고 자연생태계가 정착되어가는 1999년에 약 0.6℃ 정도 온도의 감소 현상이 나타나서 직강공사와 같이 식생이 없을 때보다 자연형 하천으로 복원할 경우 온도의

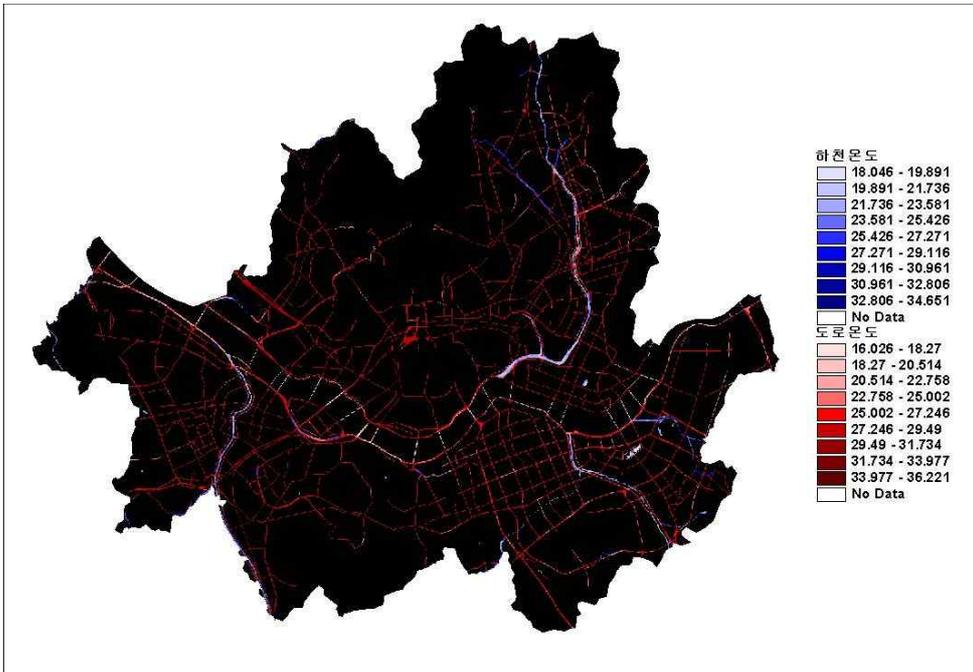


그림 2. 서울시 도로와 하천의 기온비교

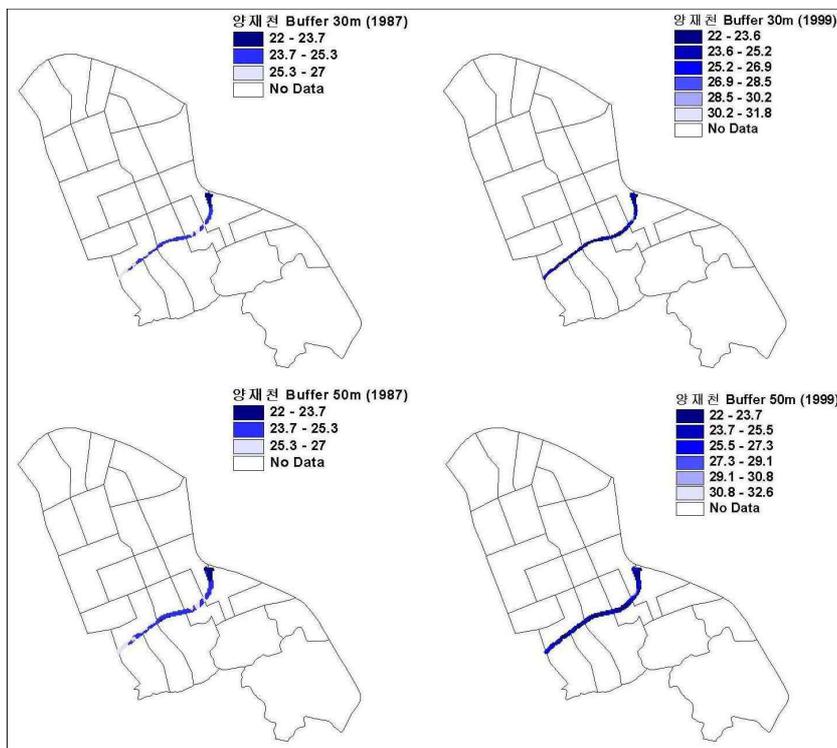


그림 3. 양재천 온도 비교

절감효과가 더 뛰어나다는 것을 알 수 있었다. 이러한 현상은 1999년의 온도가 1987년의 온도보다 높게 나타나고 있고, 하류로 갈수록 온도의 절감효과가 뛰어난 것을 알 수 있다(그림 3). 만약 온도가 더 높은 여름에는 물의 증발열에 의한 기온절감 현상은 더욱 효과가 더 클 것으로 사료된다(표 2).

표 2. 1987년과 1999년의 양재천 기온비교

| 날 짜         |     | 1987년<br>5월 20일    | 1999년<br>5월 21일    | 비 고              |
|-------------|-----|--------------------|--------------------|------------------|
| 서울시<br>평균기온 |     | 19.32℃<br>(17.4℃)* | 20.87℃<br>(19.4℃)* | +1.55℃<br>(+2℃)* |
| 양재천         | 30m | 20.54℃             | 19.89℃             | -0.65℃           |
|             | 50m | 20.59℃             | 19.96℃             | -0.63℃           |

\* : ( )는 기상청 자료.

#### IV. 결 론

본 연구에서는 시가화지역을 하천으로 복원했을 때, 하천에 식생이 완전히 자리잡았을 때 도시의 미기후에 어떠한 효과를 미치는지 알아보았다. 연구방법으로는 기존에 주로 이용되었던 기온측정의 방법이 아닌, 인공위성영상자료를 이용해서 지표의 특성을 반영하는 기온을 이용하였다.

그 결과, 청계천을 하천으로 복원하였을 때, 시가화지역인 지금보다 약 3℃ 정도의 절감효과가 나타났고, 양재천의 경우 수변구역 30m 이내에서 자연형 하천으로의 복원 후 직강공사의 형태의 복원보다 0.65℃ 정도의 추가절감효과를 나타내었다. 이러한 결과를 종합해서 청계천복원에 적용시킨다면, 지금의 시가화지역일 때보다는 약 4℃ 가량의 기온절감효과가 나타나 주변의 생활공간을 쾌적하게 만들어 줄 수 있을 것으로 생각된다. 이러한 연구결과는 기존에 연구된 박중화 등(2003)의 연구와 비슷한 결과를 얻을 수 있었다.

이와 같이 인공위성영상을 이용할 경우, 광범위한 지역의 연구나 한 지역의 경년변화를

연구하는데 크게 유용할 것이나, 표면온도의 상관성을 높이기 위한 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것이다.

#### 인 용 문 헌

권영아 · 이현영. 2002. 토지이용유형이 국지 기온 분포에 미치는 영향. 2002년도 봄 초청강연 및 학술발표회.

박경훈 · 정성관. 1999. 광역적 녹지계획 수립을 위한 도시열섬효과 분석. 한국지리정보학회지 2(3) : 35-45.

박민호. 2001. LANDSAT TM 열적외 데이터를 이용한 도시열섬현상에 관한 연구. 대한토목학회논문집 21(6-D) : 861-874.

박중화 · 권영상. 2003. 청계천 복원사업의 하천 주변 기온 저하 효과 예측. 한국조경학회 춘계 학술논문발표회 논문집 15-17.

윤용한 · 송태갑. 2000. 도시공원의 기온에 영향을 미치는 요인. 한국조경학회지 28(2) : 39-48.

이동근 · 오규식 · 윤소원. 2002. 녹지가 갖는 환경적, 경제적 효과에 관한 기초적 연구. 한국복원녹화기술학회 5(4) : 10-18.

이상익. 2003. 토지피복도의 제작과 분류결과 비교분석. 제5차 GIS2003대회 학술연구발표집 329-342.

이재원. 2003. 미기후 조절기법을 적용한 수원역 조경 기본설계. 서울대학교 대학원 석사학위논문.

조명희 · 이광재 · 김운수. 2001. 원격탐사자료와 GIS를 활용한 도시 표면온도의 공간적 분포특성에 관한 연구. 한국지리정보학회지 4(1) : 57-66.

조용현 · 신수영. 2002. 도시림의 여름 대기온도 저감효과. 한국조경학회지. 30(4) : 28-36.

http : //www.metro.seoul.kr/kor2000/chungaehome/seoul/main.htm

接受 2003年 5月 11日