

청계천 복원사업의 하천 주변 기온 지하 효과 예측

박종화* · 권영상**

*서울대학교 환경대학원 · **서울대학교 환경대학원 환경조경학과

I. 서론

도시 중심부는 단위면적당 에너지 사용량 및 열배출량이 높고, 아스팔트, 콘크리트 등의 인공물은 태양열의 흡수능력이 토양, 목재 등의 자연재료에 비해서 높다. 따라서 도시는 주변의 교외지역에 비해서 온도가 높은 현상, 즉 도시열섬(Urban heat island)현상이 발생된다. 여름철에는 해가 진 이후에도 대부분의 도시민이 불쾌감을 느끼는 고온, 즉 열대야 현상도 발생한다. 반대로 생육이 왕성한 식생 혹은 하천, 호수 등의 수면은 도시기후를 저하시키는 현상으로 인하여 도시내의 냉섬(Cool island)를 형성하게 된다. 현재 서울시가 추진 중인 청계천복원사업도 도시미기후 개선효과가 기대되지만 서울시가 작성한 청계천의 복원사업의 비용편익 분석 항목에는 이 효과를 포함하고 있지 않다.

영국의 Howard (1833)가 도시 열섬현상을 연구한 이래 국내외에서 많은 연구가 이루어 졌다. 우리나라의 경우 이동관측을 이용한 김일곤(1976), 김원도(1984) 등의 연구가 있었고, 고정관측을 통한 연구는 조현길(1999), 이은엽(1996), 송태갑(2000) 등의 연구가 있다. 이동관측이나 고정관측점을 이용한 기온 측정 방법은 문제점을 안고 있다. 이동측정법은 자동차에 온도계를 부착하고 간선도로를 따라 주행하면서 기온을 측정하는 방법인데 소수의 관측자가 짧은 시간에 광범위한 지역의 기온을 측정할 수 있으나 다음과 같은 문제점을 내포하고 있다. 첫째, 자동차의 방열에너지가 기온 관측치에 영향을 미쳐서 오차를 초래한다. 둘째, 시간경과에 따라서 기온이 변화하여 관측점이 많은 경우에는 오차가 발생한다. 셋째, 러시아워나 교통량이 많은 지역에서는 관측시간이 매우 길어진다. 넷째, 측정이 간선도로에 국한된다. 고정관측에서는 관측지점의 온도가 갖는 지역 대표성이 문제가 되며 광범위한 관측을 위해서는 많은 인적, 물적 자원이 요구된다는 단점이 있다. 반면에

원격탐사 기법을 이용한 도심 온도 연구방법은 지구의 복사평형이 일어나는 지표에서 물체의 반사 또는 방사 특성을 이용함으로써 적은 인적, 물적 자원의 투입으로 광범위한 지역의 탐사가 가능한 장점을 갖는다.

본 연구의 목적은 원격탐사 및 GIS를 이용하여 도시 하천에 의한 도시 기온저하 효과를 평가하는 방법을 개발하고, 서울시가 추진하는 청계천복원사업이 향후 서울시 도심에 미치는 기온저하 효과를 예측하는 것이다. 도시기온 저하효과는 서울시를 관통하는 한강에 유입되는 중랑천, 안양천, 창릉천, 탄천, 양재천에 의한 하천 주변 기후 저하 효과를 측정하고, 이 자료를 청계천 복원구간에 적용시키도록 한다.

II. 연구방법

1. 하천의 선정

청계천은 서울의 강북도심을 관통하여 중랑천에 합류하는 한강의 2차 지류이다. 도시하천의 주변 기온저하효과는 하천의 유량, 수면적, 하천변의 개발밀도 등과 밀접한 관계가 있다. 현재 복개된 청계천을 자연형 하천으로 복원한 이후에 예상되는 기온저하효과는 서울시내를 관통하는 유사하천의 기온저하효과를 분석하여 예측할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 한강 분류, 1차지류인 중랑천, 안양천, 탄천, 창릉천, 2차지류인 양재천을 대상으로 도시기후 저하효과를 측정하였다.

2. 원격탐사를 이용한 지표면 온도 측정

도시열섬 현상은 7 ~14um 범위의 열적외선 파장대를 열복사계나 열주사계를 사용한다. 특히 Landsat TM과 ETM+의 Band 6는 10.4 - 12.5 um 파장대의 지

표면 복사에너지의 측정에 광범위하게 활용되고 있다. 본 연구는 2001년 9월 7일 오전 10시에 취득한 Landsat ETM+ 영상 (path 116, row 34)을 이용하였다. 영상은 서울시 수치지도 (1:25,000)를 이용하여 기하보정하였으며, 서울시 행정구역도와 수계망도 등을 보조 자료로 활용하였다. 사용된 소프트웨어는 ERDAS IMAGINE 8.4 이다.

Landsat ETM+의 Band6는 지표면 60×60m 단위의 복사에너지지를 기록하며, 지표면 온도 변환공식을 이용하여 기온을 계산할 수 있다. 본 연구에서는 NASA에서 제공하는 몇 가지 지표면 온도산출공식 중에서 장갑수 등(1999)의 연구에서 가장 높은 신뢰성을 나타낸 선형회귀식 (식 1)을 적용하였다.

$$\text{온도}(^{\circ}\text{C}) = 219.97218 + 0.525959 \times \text{BAND6} - 273.15 \quad (\text{식 1})$$

여기서,

BAND6 : Landsat ETM+ Band 6의 관측값

Landsat ETM+을 이용하여 705km 고도상의 지구궤도에서 추출한 지표면 온도는 대기중의 미세먼지, 수증기 등에 의해서 교란되기 때문에 정확도 검증 및 보정이 필요하다. 이를 위해서 그림 1과 같이 서울시 환경보건연구원에서 제공하는 16개 자동오염측정지점의 좌표와 위성통과시간의 실측 기온을 이용하여 보정하였다. 즉 열밴드로부터 추출된 지표면 온도를 독립변수로 하여 각 픽셀의 기온을 추정하는 회귀식을 이용하였다.

3. 하천별 기온 저하효과 계산 및 청계천복원사업 효과 예측

대상하천 주변의 온도분포의 공간적 변이를 보다 자세히 관측하기 위하여 영상을 30m 간격으로 재배열하였다. 온도의 변화는 ArcView 3.2 GIS 소프트웨어를 이용하여 한강과 각 지천의 수변에서부터 양안으로 30m 폭의 버퍼링을 하고, 각 거리별 평균온도를 계산하였다. 수변으로부터의 거리(X축) 및 평균온도(Y축)의 산포도를 이용하여 회귀식을 구하였다.

청계천복원사업 이후의 도시기후 저하효과는 다음의 두가지 기준을 이용하였다. 첫째, 이미 자연형하천 복원공사를 시행하였고, 청계천과 마찬가지로 한강의 2차지

류인 양재천을 기준으로 한다. 둘째, 양재천 유역과 청계천 유역은 인구 및 산업의 밀집정도가 상이하여 정당한 비교가 곤란한 점이 있기 때문에 대신에 5개 지천의 평균적 기후저하효과를 기준으로 사용한다.

청계천 복원시 예상되는 주변 기온 저감 효과는 다음의 방법으로 예측한다. 첫째, 복개된 청계천에서 30m 간격의 현재 기온분포도를 그린다. 둘째, 비교하천인 청계천과 지천의 평균적 기온저하효과를 청계천에서의 기온온도에서 저감하여 복원효과를 예측한다.

III. 연구 결과 및 고찰

1. 서울시 기온 추정

위성영상을 이용한 서울시의 공간해상력 30m 기온 추정 결과는 다음과 같다. 첫째, Landsat ETM+ Band6를 이용하여 식 1의 변환식을 이용하여 계산된 2001년 9월 7일 오전 10시의 서울시 지표면 온도와 동일 시간에 서울시 대기오염자동관측망 (AWS) 16개소의 실측 기온과의 피어슨 상관계수는 0.899의 높은 수준을 가지기 때문에 정확도를 신뢰할 수 있다. 서울시의 온도분포는 최저 7°C, 최고 32°C, 평균 24.3°C이었다. 실측기온의 평균 24.9°C와 비교하여 다소 낮지만 이것은 한강 수면을 모두 포함하기 때문인 것으로 판단된다. 둘째, 위성영상을 이용한 지표면 온도를 기온으로 변환시키는 직선회귀식은 유의수준 0.01에서 R²는 0.809이고, 그 결과는 그림 1과 같다. 서울시 밀집개발 구역의 온도는 주변의 녹지 및 한강 등에 비해서 높은 것은 도시열섬의 존재를 확인할 수 있었다. 특히 강북 구도심의 청계천 일대의 기온은 가장 높은 것을 알 수 있다.

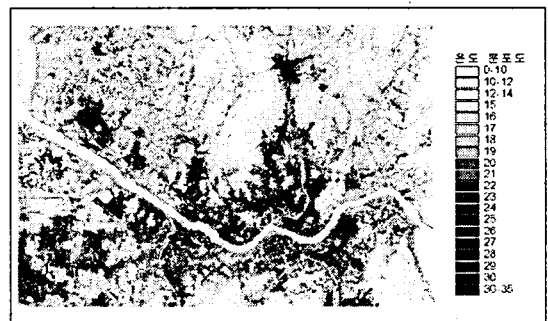


그림 1. 서울시 기온 분포 현황

2. 도시하천의 기온 저하 효과 추정

안양천, 중랑천, 창릉천, 탄천, 양재천 등의 한강 지천 변에서의 거리와 수변으로부터 30m 간격의 평균기온과의 회귀식을 구성하여 하천에 의한 대기온도 저하효과를 추정한 결과는 그림 2와 같다. 첫째, 각 하천변의 평균기온은 하천의 폭, 수량, 수변 지역의 개발 정도에 따라서 상이하다. 즉 하천변의 평균기온은 북한산 서쪽의 창릉천이 19.0°C로서 가장 낮고, 안양천, 탄천, 양재천, 중랑천의 순으로 높아진다. 둘째, 각 하천의 주변부 기온 저하효과도 역시 상이하다. 즉 하천의 규모가 작고, 하천변에 상대적으로 녹지가 풍부한 양재천의 수변(21.1°C)과 210m 지점(22.7°C)의 평균온도 차이는 1.6°C이고, 그 영향권은 210m이다. 반면에 서울의 북동부 밀집시가지지를 관통하는 중랑천의 수변 평균온도는 21.1°C로서 양재천과 동일하지만 180m 지점에서의 평균온도는 24.7°C로서 최대 3.6°C의 저감효과를 갖는다. 셋째, 한강의 5개 지천의 수변 평균기온은 19.9°C이고, 210m 지점의 평균기온은 22.8°C이어서 이들 지천의 평균 하천변 기온저감 효과는 2.9°C이다.

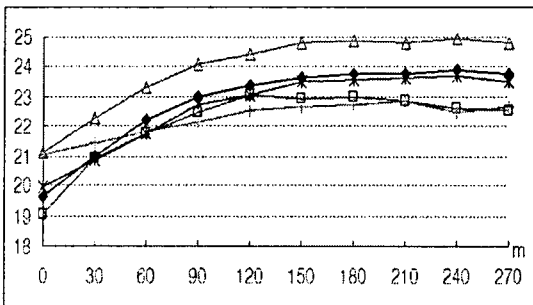


그림 2. 지류 별 주변 기온 저감 효과

범례 : ◆ : 안양천, □ : 창릉천, ▲ : 중랑천, — : 양재천, * : 탄천

3. 청계천 복원에 의한 도시기온 저하효과 예측

청계천 고가도로를 철거하고 하천 유지유량 90,000m³/일을 유지하게 되면 현재에 비해서 상당한 도시기온 저하효과를 갖게 될 것이다. 청계천 복원에 의한 주변의 기온 저하 효과는 그림 3과 같이 복원 이전의 온도 분

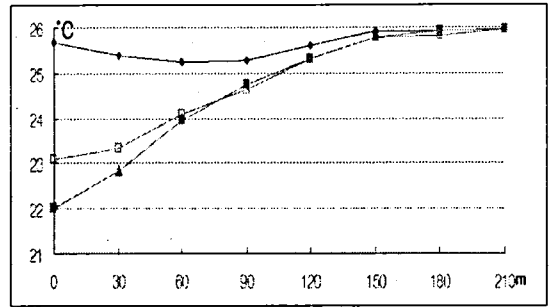


그림 3. 청계천 복원 후 예상 기온 저감 평가

범례 : ◆ : 청계천 복원 이전, □ : 복원효과예측1 : 양재천 기준, — : 복원효과예측2 : 지천평균기준

포, 하천의 규모가 청계천과 가장 유사한 양재천 및 5개 지천의 평균기온과 비교하여 예측할 수 있다. 첫째, 복원되지 않은 청계천변의 평균기온은 25.6°C이고, 60 - 90m 지점에서 24.3°C로 저하되다가 그 이후 구간에서 25.8°C로 상승하고 있다. 즉 기존의 청계천으로는 도시고속도로, 밀집된 상업 및 도시공업지역으로 인하여 기온이 상대적으로 높고, 남북의 종로 및 을지로에 가까워질수록 다시 상승한다. 둘째, 청계천 주변의 거리별 평균기온에서 전술한 양재천의 거리별 기온저하효과를 반영하면 청계천 복원 후에는 수변 23.1°C, 60m 지점 24.1°C, 120m 지점 25.2°C로 예측된다. 셋째, 한강의 5개 지천의 평균 기온저하효과를 반영하면 수변 (22.0°C), 30m (22.8°C), 60m (24.0°C)으로 예측되고, 90m 이후에는 양재천의 저하효과와 차이가 없는 것으로 예측된다. 넷째, 청계천 복원에 의한 기온저하 효과는 여름철 더위가 다소 지난 9월 초순을 기준으로 하였기 때문에 여름철의 도시열섬 발생 기간 중에는 적어도 양재천에 의한 도시기후 저하 효과를 갖고, 최고 5개 지천의 평균에 해당하는 기온 저하효과가 예상된다.

인용문헌

- 이동인·한영호·김보현(1993) 부산지역 도심지의 열섬 현상과 기온분포에 관한 연구. 한국기상학회지 29(3): pp.313-314.
- 장갑수·박인환·김중용(1999) 추이대를 중심으로한 경상북도 3개 도시의 열섬 평가. 환경영향평가 8(2): pp.73-82.
- 조현길(1999) 도시 녹지에 의한 미기후 개선의 기능에 대한 연구. 한국조경학회지 27(4) pp. 23-28.