Landsat 7 ETM+ 영상에서 얻은 지표온도와 지형인자의 상관성 분석

Relationship Analysis between Topographic Factors and Land Surface Temperature from Landsat 7 ETM+ Imagery

이진덕*, 방건준*, 한승희**

금오공과대학교 토목환경공학부*, 공주대학교 건설환경공학부**

Jin-Duk Lee(jdlee@kumoh.ac.kr)*, Kon Joon Bhang(bhang.1@kumoh.ac.kr)*,
Seung Hee Han(shhan@kongju.ac.kr)**

요약

인공위성영상은 적외선 채널을 이용하여 지표에서 복사되는 열을 감지할 수 있기 때문에 이를 이용하여 도심지역의 지표온도와 열섬현상과의 관계를 밝히기 위한 많은 노력이 있어왔다. 그러나 사면향과 경사와 같은 지형인자와 지표온도와와의 상관성에 관한 연구는 그동안 다소 미흡하였다. 이에 본 연구에서는 사면향과 경사와 같은 지형인자의 변화에 따라 지표온도가 어떻게 변화하는지를 Landsat 7 ETM+을 사용하여 연구하였으며 지표에서 발생하는 인본열을 감지할 수 있는 가능성을 평가하였다. 지표의 사면향은 지표온도분포에 중요한 인자로 영향을 주지 않지만, 사면의 기울기는 태양의 고저에 의해 많은 영향을 받는 것으로 나타났다. 또한 위성영상은 지표면과 이루는 각으로 인해 영상에 정확한 지표온도를 기록할 수 없지만, 사면의 기울기 보정을 통해 보정한 결과 평균 지표온도분포 분석에서는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 확인 되었다. 또한 위성영상을 통해 지표발산 인본열 추출의 가능성을 확인하였다.

■ 중심어 : | 지표온도분포 | 지형인자 | 사면향 | 경사 | 인본열 |

Abstract

Because the satellite imagery can detect the radiative heat from the surface using the thermal IR (TIR) channel, there have been many efforts to verify the relationship between the land surface temperature (LST) and urban heat island. However, the relationship between geomorphological characteristics like surface aspects and LST is relatively less studied. Therefore, the geomorphological elements, for example, surface aspects and surface slopes, are considered to evaluate their effects on the change of the surface temperature distribution using the Landsat 7 ETM+ TIR channel and the possibility of the image to detect anthropogenic heat from the surface. We found that the surface aspect is ignorable but the surface slope with the sun elevation influences on the surface temperature distribution. Also, the radiative heat from the surface to the atmosphere could not be accurately recorded by the satellite image due to the surface slope but the slope correction process used in this study could correct the surface temperature under slope condition and the slope correction, in fact, was not influenced on the average temperature of the surface. The possibility of the anthropogenic heat detection from the surface from the satellite imagery was verified as well.

■ keyword : | Land Surface Temperature | Topographic Factors | Aspect | Slope | Anthropogenic Heat |

* 이 연구는 금오공과대학교학술연구비에 의하여 지원된 논문임.

접수번호 : #120723-008

접수일자 : 2012년 07월 23일

심사완료일 : 2012년 10월 29일

교신저자 : 방건준, e-mail : bhang.1@kumoh.ac.kr

I. 서론

도시화가 진행됨에 따라 인간은 도심을 통해 환경에 많은 영향을 미쳤는데, 이 결과로 도심지역은 식생의 에너지원으로 사용되는 입사되는 태양복사열을 식생을 대체한 도심지역의 인공구조물이 흡수하고 다시 대기로 복사하여 대기의 온도가 주변에 비해 높아지는데 이러한 도심지역에서의 온도상승효과를 ‘도시열섬현상’이라고 부른다. 낮 동안 태양복사에 의해 인공구조물에 흡수된 열은 저녁이 되면서 많은 양의 열이 대기로 방출됨으로 인해 도심지의 공기를 덥히게 되어 열대야 현상을 야기 시킨다. 열섬현상은 1818년 Luke Howard에 의해 처음 언급되어 많은 기상학자들에 의해 연구되어 왔으며 도심화로 인한 열섬현상은 다양한 원인의 복합적인 결과로 나타나는데 대표적으로 도심지의 크기, 지형, 지리적 위치, 대기오염, 인간이 사용하는 에너지 사용 등을 예로 들 수 있다[10]. 도시열섬현상은 토지피복의 상태에 따라 변화하는데[1], 이러한 현상은 지속적으로 확대되고 있으며, 연중 계속적으로 발생한다고 하였다[3].

도시열섬현상을 직접적으로 평가할 수 있는 방법은 실측에 의한 방법과 인공위성의 열적외선 채널 영상을 이용하는 방법이 있다. 위성 영상을 사용하는 방법은 지표의 온도분포를 파악함으로써 도시열섬현상에 지표온도가 미치는 영향을 평가하는데, 1972년 도심지와 인근 비도심 지역과 도심지의 낮과 밤의 지표온도 분포를 ITOS-1(Improved TIROS Operational Satellite)을 사용하여 분석한 연구[11]를 시작으로 VHRR(Very High Resolution Radiometer)의 위성 영상을 이용한 도시열섬현상 연구[12]와 도심지역의 가열 범위와 강도를 평가에 관한 연구[13] 등 많은 연구가 이루어졌다. 이 외에도 밤에 대기 최저 온도가 지표 온도와 선형의 관계가 있음을 발견했으며[14] Landsat Thematic Mapper(TM)을 이용하여 도심과 비도심 지역의 중간규모 온도차를 관찰하기도 하였다[15]. TM 자료를 이용하여 싱가포르의 미기후를 모니터링 하였으며[16], 지표온도분포와 토지 피복과의 관계를 조사하기도 하였다[17][18]. [19]는 에너지 균형 모델을 사용하여 인본열을

현열 흐름의 형태로 정량화 하고 Aster와 Landsat ETM+ 적외선 채널을 사용하여 인본열 추출에 성공하였다. 이외에도 지표복사열이 토양의 함수비와 식생도에 따라 변화하는 함수관계를 보여 주었고[20], 식생도와 도심지표의 거칠기에 따라 다양하게 변화하는 지표온도분포와 에 대한 많은 연구가 있었으며[21-25], 국내에서도 TM 자료를 이용하여 열섬현상 연구를 시도하였으며[2], 지표온도분포와 식생지수와의 관계[4], 이들의 변화[5], 토지의 용도별 지표의 온도 분포[6], 그리고 도시온도와 NDVI의 상관성을 위한 중력모델의 개발[7] 등 많은 연구가 발표되었다.

위성영상을 이용하여 도시열섬현상을 일으키는 원인을 규명하고자 할 때, 원인을 규명하기 위한 다양한 시도가 필요한데 특히 지형의 영향(특히 사면의 방향과 경사[8])에 따라 태양 복사열의 흡수 및 복사 정도가 다르기 때문에 이로 인한 지표복사열에 차이가 생긴다. 또한 복사열은 온도, 파장, 보는 각도, 표면의 조도, 시간 등에 따라 다르기 때문에, 지표로부터 복사되는 열은 온도 영상을 촬영하는 센서의 위치와 지면의 경사 및 사면향, 그리고 태양의 위치에 따라 실제 복사열과 다른 지표 온도 분포를 가지게 된다. 지표의 피복 상태에 따른 지표 피복 물질의 흡수 능력과 재복사 능력에 따라 복사량도 큰 영향을 보인다. 이러한 이유로 절대 지표온도보정과정을 거치는 연구도 보고되었는데[9].

그러나 입사된 태양 복사열이 지표면을 가열한 후 수직인 방향으로 복사열이 발산되어 대기를 덥히는 것과는 달리 위성영상은 지표면의 수직 방향과는 다른 다양한 각을 이루며 지표면의 온도를 수집한다. 이 때문에 지표온도가 실제 대기에 미치는 영향은 모든 지표면에서 수직의 방향으로 복사열이 대기에 영향을 미친다고 보아야 하지만 위성영상을 이용한 분석에서는 지표면의 기울기와 사면향 보정을 하지 않고 평가해 왔기 때문에 오류를 포함하게 된다고 할 수 있다. 실제 표면에서 수직으로 발산되는 온도과장과 수직이 아닌 방향으로 발산되는 열은 열적외선 센서에 도달했을 때 서로 다르기 때문에 대기에 의해 미치는 효과를 더 정확히 계산하기 위해서는 지표복사열을 평면에 투영하였을 경우의 지표 온도분포를 추출해야 한다. 또한 지표면의

온도는 건물 내에서 인간이 사용하는 에너지의 사용에 의한 영향도 포함되어 있기 때문에 위성영상에서 수집된 TIR 영상은 인본열을 포함하고 있을 가능성이 매우 높다.

이러한 내용을 바탕으로 본 연구에서는 Landsat을 사용하여 도시열섬현상에 영향을 주는 인자들 중에 식생지를 제외한 순수한 인공구조물이 있는 도심지역에 대하여 (1) 사면향과 기울기를 고려했을 때 이를 고려하지 않은 경우의 지표 온도분포와 비교하여 어느 정도의 영향을 미치는지, 그리고 (2) 지표상에서 방출되는 인본열의 추출이 가능한지에 대하여 연구하였다.

II. 연구방법

1. 연구대상지역

연구대상지역인 서울은 북한산(836m)을 최고점으로 하는 고양, 양주 구릉과 경기 평야와 접하는 지대에 자리잡고 있다. 주위에 북한산, 도봉산, 인왕산, 관악산 등 해발고도 500m 내외의 산과 구릉이 자연성벽과 같이 둘러싸서 분지를 형성한다. 북남방으로는 북한산, 남산, 관악산을 잇는 산악녹지축이 형성되어 있고 동서로는 한강이 가로지르고 있으며 곳곳에 구릉이 발달하였다. 서울은 2002년 12월 31일 기준 25개의 구와 424개의 동으로 구성되어 있으며 인구는 약 10,280천명에 이르는 대한민국의 제일의 거대도시이다.

2. 자료 및 프로세싱

2.1 사용 자료

Landsat은 미국 NASA와 USGS에서 1972년에 시작한 지구관측위성사업들 중 하나로, 40 여 년간 지구의 모습과 변화에 대한 연구를 가능하게 한 인공위성이다. 현재 Landsat 7이 스캔라인 오프 모드로 영상을 수집 중이며 Landsat 5와 함께 임무를 수행하고 있다. Landsat 7은 ETM+를 이용하여 지구 표면의 영상을 8개의 채널로 수집하고 있으나, 스캔라인 수집기(SLC)의 고장으로 영상에 빨래판과 같은 형태의 빈 공간이 존재한다.

2003년 SLC 고장 이후로 Landsat 7 ETM+ 영상을 사용하기에는 다소 어려움이 존재한다. 그래서 SLC 고장 이전의 수집 영상 중에 영상에 구름이 가장 적은 2002년 9월 10일 12시경에 수집된 Landsat 7 ETM+ 1G Level 영상을 미국 USGS의 Glovis를 통하여 다운 받아 사용하였다. ETM+ 한 개의 영상 폭은 185km로 약 34,000km²의 면적을 포함하며 1번부터 3번까지 가시광선 영역, 4번 근적외선, 5번과 7번 중적외선, 6번 열적외선, 8번 전정 채널의 총 7개의 채널을 가지고 있다. 1~5, 7번 채널은 30m, 6번 채널은 60m, 8번 채널은 15m의 공간해상도를 가진다.

2.2 영상 처리

다운받은 1G Level 영상은 대기 중의 작은 입자에 의한 효과를 제거하기 위해 [26]에서 제안된 COST 방법을 사용하여 대기의 연무효과를 제거하였다. 연무가 제거된 영상은 Landsat 7 Science Data Users Handbook [27]의 온도 추출 방법에 따라 지표온도를 추출하였다. 도심지역의 토지피복분류를 위하여 무감독 분류법을 이용하여 ISODATA 알고리즘을 적용하였다. 정확도를 높이기 위하여 분류 카테고리 50개로 생성한 후 참고 기준영상인 SPOT을 이용하여 도심지 토지피복(도심, 물, 나지, 식생 등)을 분류하였다. 분류된 피복의 정확도를 산출하기 위하여 무작위로 500개의 위치를 선정하여 참고기준영상과 비교하여 무작위 점들이 해당되는 피복분류에 해당하는지의 여부가 90% 이상 되도록 하였다. 분류된 피복도는 도심 지역만을 추출하기 위하여 ArcGIS의 'Reclassify'를 이용하여 도심지역을 제외한 나머지 피복을 모두 NoData로 설정하였다.

2.3 DEM 제작

국립지리원에서 2006년에 제작한 1:25,000 수치지형도를 이용하여 DEM(Digital Elevation Model)을 제작하였다. CAD 형식(dwg)의 수치지형도의 등고선과 삼각점의 고도를 이용하여 ArcToolbox의 'Topo to Raster'로 공간해상도 60m인 DEM을 제작하였다. 제작된 DEM은 Landsat 7에서 사용된 동일한 좌표계 설정을 위하여 TM 중부원점좌표계를 정의한 후 Landsat의

좌표체계인 UTM Zone 52N으로 투영하였다. 토지 피복도 제작과는 별도로 인본열 추출을 위하여 환경부에서 2008년에 제작된 중분류 서울지역 토지 피복 분류도를 기준으로 도심지역 피복을 거주지, 공업지, 상업지, 오락시설, 교통시설, 공공장소, 논, 과수원, 침엽수림, 활엽수림, 나지 등 총 17개로 나누고, 이를 기준으로 해당되는 지표온도를 Landsat ETM+ 온도 영상에서 추출하였다.

2.4 DEM을 이용한 사면 방향과 경사 결정

제작된 DEM을 이용하여 사면 방향(또는 사면향)을 북, 북동, 동, 남동, 남, 남서, 서, 북서의 8 방향으로 나누고, 경사를 0-5, 5-10, 10-15...와 같이 40도까지 8개로 분류하였다. 분류된 자료는 마스킹 작업을 통해 다시 각 사면향별 경사도의 64개로 분류하였다. 위성영상에서 얻어진 지표온도와 함께 ArcGIS를 이용하여 해당하는 사면향별, 경사별, 그리고 각 사면향과 경사에 따른 지표온도를 추출하였으며, 이때 각 항목별 전체 픽셀 개수가 10개 이하일 경우 불확실성을 감소시키기 위하여 계산에서 제외하였다. 또한 통계 처리를 위하여 3σ 밖에 해당하는 픽셀 값들은 이상치(Outliers)로 보고 계산에서 제외하였다.

2.5 사면 기울기에 따른 지표 재복사 보정

사면의 기울기가 변화하면 흡수되는 태양 복사열이 태양 복사열의 지표 흡수는 태양열 복사 방향과 직각에서 최대가 되며 경사가 기울어질수록 감소한다. 이에 따라 지표에서 재 복사되는 복사열도 사면의 경사에 따라 변하게 되는데 이를 보정하기 위하여 수치지형도에서 얻어진 DEM을 사용하여 각 픽셀의 기울기를 다음과 같은 방법으로 결정하였다[그림 1]. 본 과정에서 태양의 고도와 방향각은 고려하지 않았는데, 이유는 지표로 흡수되는 태양복사열이 얼마인지는 모르지만 지표에 흡수되었던 열이 재복사되어 위성의 열적외선 감지 센서에 도달하는 과정은 태양의 고도 그리고 방향각과는 무관하기 때문이다.

1) 제작된 DEM을 사용하여 [그림 1]과 같이 각 픽셀

((x1, x2), (x2, x3) ..., (y1, y2), ...) 사이의 값(px1, px2..., py1...)을 Spline 보간법을 이용하여 계산한다.

2) 계산된 픽셀 사이의 값을 이용하여 다음의 식을 이용하여 해당되는 픽셀의 기울기를 산정한다.

$$grad_{x_2} = \frac{px_2 - px_1}{spatial\ resolution} \quad (1)$$

여기서 Landsat 7 ETM+ 온도영상의 공간해상도는 60m이다.

3) 계산된 기울기는 해당되는 픽셀의 두 축(x와 y)에 대한 기울기(radian값)를 나타내는 각각의 영상을 만든다.

그림 1. 각 픽셀에 대한 x 축과 y 축에 대한 기울기 결정

4) 결정된 두 영상을 아래의 식을 사용하여 기울기가 없는 평면에 투영시키고, 두 영상을 곱하면, 각 경사에 대한 보정계수를 결정할 수 있다.

$$f = \cos(grad_{\xi}) \cdot \cos(grad_{y_i}) \quad (2)$$

5) 보정계수를 위성 영상에서 추출된 지표영상에 곱하면 보정된 지표온도를 구할 수 있다.

계산된 결과는 제작된 사면향, 경사, 그리고 사면향별 경사를 이용한 마스킹 작업을 통해 각각의 온도를 추출하여 평균을 구하였다. 또한 보정되지 않은 자료와 보정된 자료의 비교를 위하여 각각의 자료에 대해 동일한 과정을 거쳐 각각의 결과물을 얻어내었다.

그림 2. 도심지역의 (a) 사면향과 (b) 기울기

III. 결과

1. 사면향 별 지표온도 분포

그림 3. 2002년 9월 10일 촬영된 Landsat ETM+의 열적외선 영상 처리 결과(단위: °C)

[그림 4]에서와 같이 사면향에 대한 지표의 온도는 평지인 경우를 제외하고 동쪽과 남동쪽에서 비교적 높게 나타났고 사면향이 태양에서 멀어질수록 지표의 온도는 줄어듦을 볼 수 있다. Landsat 7의 위성영상에 포함된 메타데이터를 통해 태양의 위치가 정북을 기준으로 141.4°방향에 위치한 것을 고려해 볼 때, 동남 방향을 향하고 있는 사면향이 다소 두드러지게 지표온도가 높게 나오는 것은, 여러 가지 원인이 있을 수 있으나, 사면향이 태양을 향하고 있을 때 가장 많이 복사열을 받는다는 것을 암시한다.

그러나 사면향별 평균지표온도는 변화가 0.5°C 이내이며 오차가 [그림 4]와 같이 $\pm 1.5^\circ\text{C}$ 임을 고려해 볼 때, 도심지역에서 사면향에 따른 지표온도의 영향은 그다지 크지 않다. 도심지에서 지표의 태양열 흡수 효과와 지표의 건물벽(Building Wall)에 방해를 받고, 사면향별 지표온도 분포는 열섬현상을 줄이기 위하여 태양복사열을 흡수하지 못하도록 처리한 지붕으로 인하여 영향을 받았을 것으로 추측할 수 있고, [그림 4]은 이러한 원인에 의해 사면향별 지표온도가 비교적 뚜렷하게 구분되지 않는 것으로 판단할 수 있다. 또한 태양 복사열은 태양의 크기, 또 태양과 지구와의 거리를 고려해 볼 때 수평면에 직각의 방향으로 입사한다고 볼 수 있으므로 사면향은 방향으로 인하여 태양 복사열의 흡수 및 지표 재복사에 미치는 영향은 사면향에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단할 수 있다.

그림 4. 사면향에 따른 지표온도분포의 평균값과 오차 범위

2. 경사별 지표온도 분포

도심 지역에서의 경사별 지표 온도분포는 [그림 5]과

같이 경사가 없는 지역에서 더 높은 복사열을 나타내며 경사도가 증가할수록 온도는 낮아짐을 볼 수 있다. 그러나 경사도가 25° 이후부터는 변화가 거의 없다. 위성 영상이 취득된 시각의 태양의 고도가 약 51.37° 로 실제 태양열의 입사각과 직각이 되는 경사지($90^\circ - 51.37^\circ = 38.63^\circ$)에서 더 높은 지표열이 많은 복사열이 생성되어야 함에도 불구하고 평지에서 많은 복사열이 생성됨을 확인하였다.

도심지역에서 경사도가 15° 를 넘는 지역은 거의 없지만, 이런 기울기를 보이는 경우는 해당 픽셀 안에 빌딩이 존재하여 픽셀의 표고가 높게 나타나 기울기가 가파르게 증가하는 경우로 생각되며, 이런 경우 태양복사열은 건물의 벽면흡수효과(Side wall effect) 또는 반사를 통해 지표재복사량이 낮아지기 때문으로 추측할 수 있다.

그러나 DEM과 위성의 온도영상의 각 픽셀은 다양한 영향을 내포하고 있으므로 그 원인을 파악하기에는 더 많은 노력과 연구가 필요하며, 지속적인 연구로 확인 작업이 수행되어야 한다.

그림 5. 경사에 따른 온도 분포

그림 6. 사면향별 기울기에 따른 온도분포

3. 사면향과 경사에 따른 지표온도

사면향별 경사에 따른 지표온도는 [그림 6]와 같다. 사면향별 경사에 따른 온도 변화율(선형 추세선의 기울기)을 [표 1]에 나타내었다. 사면향별 경사에 따른 온도 감소율은 동(E), 북서(NW), 남(S)향 경사에서 가장 작게 나타나 경사에 따른 지표 온도의 변화가 적으며, 북, 북서(NW)향 경사에서 반대로 민감하게 일어났다. 도심 지역에서의 대기온도는 인공 구조물이나 지표면에서의 지표 재복사에 의해 영향을 받는데, 이를 고려하면 태양을 중심으로한 사면향별 경사의 유형은 도시열섬현상을 이해하는 중요한 고려사항이라고 할 수 있다. 또한 태양을 향한 사면향이 많을수록, 그리고 일정의 태양 복사열을 많이 흡수하는 경사면이 많다면, 도시열섬현상에 더 큰 영향을 미칠 수 있다는 가설을 세울 수 있다.

온도분포는 사면 경사가 작은 $0^\circ\sim5^\circ$ 사이에서 대부분의 평균온도가 27.8°C 로 이 경사 근방에서의 사면향별 지표온도 분포는 큰 차이를 나타내지 않는다. 그러나 경사가 급해질수록 사면향에 따른 온도 감소는 분명한 변화를 보인다. 그러나 사면향별 온도 분포의 결과에서 가장 큰 영향을 주는 NE는 E보다 변화율이 적음을 알 수 있다. 복사열을 많이 받음으로 인해 온도가 상대적으로 높아지는 사면향에서는 기울기별 온도변화에 대한 민감도가 작음($\text{NE}=-0.6$, $\text{E}=-0.382$)을 볼 수 있다.

표 1. 사면향별 기울기에 따른 지표온도 변화율

사면향	N	NE	E	SE
온도변화율	-1.386	-0.600	-0.382	-0.666
사면향	S	SW	W	NW
온도변화율	-0.619	-0.800	-1.161	-1.406

태양에서 복사된 열을 지표에서 흡수할 때 가장 많이 흡수하는 사면향과 경사는 태양을 바라보고 있는 사면이며 경사는 낮을수록 지표 재복사가 많음을 알 수 있다. 이것은 인공 구조물 등에 의한 도심지의 지표의 거칠기, 한 픽셀의 다양한 물질의 혼합 및 DEM 자료의 정확도 등과도 밀접한 관련이 있으므로, 불확실성을 제거하기 위하여 더 자세한 연구가 필요하다.

흥미로운 사실은 $0^\circ\sim5^\circ$ 사이의 경사면에서 지표의 평

균 온도는 사면향과 관계없이 최대를 나타내고 있는데, 이를 이용하여 다음과 같은 가능성을 예상할 수 있다. 즉, 도심지표에서의 복사열의 기준이 되는 지표열은 0°사면에 나타나며, 이것을 복사 기준열로 볼 때, 전달 태양복사열보다 높은 지표온도는 인간의 활동으로 인해 추가적으로 발열된 인본열을 포함할 수 있다고 추측할 수 있다.

또한 선행연구에서 대기의 효과에 의해 감소하는 지표복사열 파장의 감소로 인하여 위성에 도달하는 온도 파장은 본 연구에서는 약 0.4°C의 평균온도 감소효과를 보였는데, 이를 보정한다면 28.2°C가 된다. 결국 지표에서 복사되는 기준이 되는 온도는 본 연구의 영상을 기준으로 하였을 경우 이른 가을(9월 초) 도심지 평균 지표 복사열은 28.2°C로 가정할 수 있다.

2002년 9월 10일 영상에서 경사가 낮은 지역의 지표 복사열 28.2°C를 기준지표복사열이라고 가정한다면, 대기의 온도는 이 보다 몇 도 낮은 대기 온도를 나타낼 것으로 예상할 수 있다. 기상청에서 설치한 27개의 서울에 분포된 AWS(Automatic Weather System)의 자료를 참고하면, 위성이 서울을 통과하여 영상을 찍은 시각(약 11PM)의 대기 평균 기온이 26.8±1.16°C로 실제 지표의 복사열보다 평균값의 차이 1.4°C 가량 낮다. 서울지역에 대한 평균기온의 오차 범위는 1.16°C임을 고려하면 위성영상과 비교했을 경우, 지표의 온도는 AWS의 평균기온과 매우 유사함을 확인할 수 있다.

4. 경사보정 후 지표온도

경사면에서의 지표 온도를 평면에 투영된 지표 온도로 보정하기 위하여 DEM을 사용하여 각 픽셀을 경사를 고려하여 위성 영상에서 얻은 지표온도를 보정하였다. 경사보정 전의 지표온도분포는 0.1~41.3°C, 보정 후의 지표온도분포는 8.2~40.4°C로 많은 변화가 있었다. 그러나 본 연구에서 사용한 픽셀의 온도 값들에 대한 평균값은 보정에 의해 미치는 영향이 매우 작은 것(본 연구에서는 약 0.07°C 이하)으로 나타났다. 이를 통해 사면향과 기울기에 따른 지표온도의 변화는 연구 방법에 따라 다소 차이를 보이나 본 연구에서처럼 평균 온도를 사용하는 경우는 보정 없이 사용해도 무관하다.

5. 인본열 감지

위에서 가정한 지표의 복사열을 28°C로 가정한다면 토지 이용에 따른 지표온도를 [그림 5]와 같이 도출할 수 있다. x축의 번호는 토지 이용을, y축은 온도를 나타내고 있다. 토지 이용별 온도 분포를 관찰하면 대체로 도심지 이외의 토지 이용별 지표온도는 기준지표복사열보다 많이 낮은 것을 알 수 있다. 그러나 도심지의 경우, 특히 주거지(1), 공업지(2), 상업지(3), 교통시설(5) 등은 기준 지표 복사열 보다 일반적으로 높음을 알 수 있다. 특히 공업지역이 가장 높고, 다음으로 상업지역, 교통시설, 주거지 순으로 지표온도 분포를 보이는데 에너지 사용과도 밀접한 관련이 있어 보인다.

공장지역, 상업지역, 주거지역을 구성하는 건축재료나 지붕의 특성으로 인하여 발열되는 특성이 다른 이유도 있겠지만, 이 지역에서 인간의 에너지 소비활동으로 소비되는 열에 의한 온도 효과를 생각해 본다면 인본열에 의한 효과가 반영되어 있을 수 있다고 판단할 수 있다.

그림 7. 토지 이용에 따른 온도분포의 박스도표 (1: 주거지, 2: 공업지, 3: 상업지, 4: 오락시설, 5: 교통, 6: 공공시설, 7: 논, 8: 과수원, 9: 온실용지, 10: 활엽수지, 11: 침엽수지, 12: 혼합지, 13: 자연식생, 14: 골프장, 15: 기타 식생, 16: 나지, 17: 물)

IV. 결론

본 연구는 Landsat 7 ETM+를 이용하여 지표온도의 분포가 지표면의 사면향과 경사에 따라 어떤 분포를 이

루고 있는지, 그리고 이를 통하여 지표면의 기준이 되는 복사열을 추출했을 때 도심지역의 토지 이용에 따른 인본열 추출의 가능성을 확인하였다.

먼저 지형의 기복을 고려하여 실제 지표에서 복사되는 열을 보정하기 위해서 각 픽셀의 복사열을 평면으로 투영했을 경우로 보정하고 지표열을 분석하였다. 그 결과 사면향에 따른 지표온도는 태양의 고도와 방향각에 큰 영향을 받지 않았는데 그 차이는 0.5°C 정도를 보였으며, 지표온도 분포에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 사료된다. 경사도에 따른 지표온도는 태양을 바라보는 경사가 높아질수록 지표온도가 감소하는 비율이 사면향과는 다르게 뚜렷하게 구별된다. 아마도 도심지역에서의 건물의 굴곡이 지형에 미치는 영향으로 인해 도심지에서의 사면향 자체 만으로는 큰 의미를 부여하기 어렵다고 판단된다. 그러나 사면향의 차이가 경사를 동시에 고려했을 경우의 온도 변화에 뚜렷한 영향을 미치고 있으며, 도시 열섬현상을 일으키는 인자로 지표열을 고려할 때 사면향과 경사는 동시에 고려되어야 할 것이다.

본 연구에서 평지에서 복사열이 가장 큰 것을 알 수 있었으며, 평지의 온도(28°C)를 기준복사열로 가정할 경우 토지 이용도를 이용하여 인본열 추출을 수행하였다. 위성영상을 이용한 지표온도분포를 통하여 도심지에서 공업지역이 지표온도가 가장 높고, 상업지역, 교통(도로 등)지역, 주거지역 순으로 지표온도가 낮아짐을 확인하였으며, 기준복사열을 초과하는 공업지와 상업 지역에서는 태양열의 재복사 보다는 이 지역에서 인간이 사용하는 에너지로 인해 방출되는 열과 밀접한 관계가 있을 것으로 예측할 수 있다. 이를 위한 더 세밀한 연구를 통해 위성영상을 지표에서 발생하는 인본열 추출에 이용할 수 있는 가능성을 확인할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] 조은주, 토지이용변화에 따른 지표 온도 분포 및 그 변화에 관한 연구-서울시를 중심으로-, 이화여자대학교 대학원 석사학위논문, 1996.
- [2] 이용식, 도시열섬 분석에 있어서 원격탐사기법의 적용 관한 연구-LANDSAT TM 자료를 이용하여, 서울대학교 환경대학원 환경계획학과, 석사학위논문, 1990.
- [3] 이귀옥, 이화윤, “RAMS를 이용한 도시 열환경의 수치모의-부산지역의 열대야 특성과 RAMS모형의 재현성 평가”, 한국기상학회 학술대회 논문집, pp.185-186, 2004.
- [4] 권혁춘, 이병길, “Landsat TM 영상을 이용한 제주도 도심지역 지표면온도분포와 식생지수의 상관성 분석”, 대한지형공간정보학회논문집, 제17권, 제4호, pp.39-44, 2009.
- [5] 나상일, 박종화, 신형섭, “위성영상을 활용한 새만금사업지구 정규화식생지수와 표면온도 및 식생온도 지수의 변화탐지”, 한국관계배수, 제15권, 제1호, pp.28-38, 2008.
- [6] 정길섭, 구슬, 유환희, “Landsat 위성영상에 의한 용도지역 온도변화분석”, 한국지형공간정보학회집, 제19권, 제2호, pp.55-61, 2011.
- [7] 신언석, 김형무, 이재봉, 이흥로, “Landsat TM을 이용한 도시온도와 도시 NDVI의 상관관계 추출을 위한 래스터 GIS기반 중력모델에 관한 연구”, 한국콘텐츠학회 종합학술대회 논문집, 제2권, 제2호, pp.197-202, 2004.
- [8] 박민호, “LANDSAT TM 열적외 데이터를 이용한 도시열섬현상에 관한 연구 - 서울시를 대상으로-”, 대한토목학회논문집, 제21권, 제6호, pp.861-874, 2001.
- [9] 엄대용, 이진덕, “Landsat TM/ETM+영상과 기상자료를 이용한 절대지표온도의 보정”, 한국콘텐츠학회 춘계 종합학술대회 논문집, 제5권, 제1호, pp.1-5, 2007.
- [10] T. R. Oke, G. T. Johnson, D. G. Steyn, and I. D. Watson, “Simulation of surface urban heat islands under ‘ideal’ conditions at night part 2: Diagnosis of causation,” Bound. Layer Meteorol, Vol.56, No.4, pp.339-358, 1991.
- [11] P. K. Rao, “Modified version of the improved TIROS operational satellite (ITOS D-G),”

- NOAA Tech. Memo. NESS Vol.35, pp.48, 1972.
- [12] T. N. Carlson, J. A. Augustine, and F. E. Boland, "Potential application of satellite temperature measurements in the analysis of land use over urban areas," *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol.58, pp.1301-1303, 1977.
- [13] J. C. Price, "Assessment of the urban heat island effect through the use of satellite data. *Monthly Weather Review*", Vol.107, pp.1554-1557, 1979.
- [14] G. F. Byrne, J. D. Kalma, and N. A. Streten. "On the relation between HCMM satellite data and temperatures from standard meteorological sites in complex terrain," *Int. J. Remote Sens*, Vol.5, No.1, pp.56-77, 1984.
- [15] W. H. Carnahan and R. C. Larson, "An analysis of an urban heat sink," *Remote Sensing of Environment*, Vol.33, No.1, pp.65-71, 1990.
- [16] J. E. Nichol, "A GIS-based approach to microclimate monitoring in Singapore's high-rise housing estates," *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol.60, pp.1225-1232, 1994.
- [17] Q. Weng, "A remote sensing-GIS evaluation of urban expansion and its impact on surface temperature in the Zhujiang Delta, China," *International Journal of Remote Sensing*, Vol.22, No.10, pp.1999-2014, 2001.
- [18] Q. Weng, "Fractal analysis of satellite-detected urban heat island effect," *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol.69, No.5, pp.555-566, 2003.
- [19] S. Kato and Y. Yamaguchi, "Analysis of urban heat-island effect using ASTER and ETM+ Data: Separation of anthropogenic heat discharge and natural heat radiation from sensible heat flux," *Remote Sensing of Environment*, Vol.99, No.1-2, pp.44-54, 2005.
- [20] T. W. Owen, T. N. Carlson, and R. R. Gillies, "An assessment of satellite remotely-sensed land cover parameters in quantitatively describing the climatic effect of urbanization," *International Journal of Remote Sensing*, Vol.19, No.9, pp.1663-1681, 1998.
- [21] T. N. Carlson, R. R. Gillies, and E. M. Perry, "A method to make use of thermal infrared temperature and NDVI measurements to infer soil water content and fractional vegetation cover," *Remote Sens. Rev.*, Vol.52, pp.45-59, 1994.
- [22] K. P. Gallo and T. W. Owen, "Assessment of urban heat island: a multi-sensor perspective for the Dallas-Ft. Worth, USA region," *Geocarto International*, Vol.13, No.5, pp.35-41, 1998.
- [23] R. R. Gillies and T. N. Carlson, "Thermal remote sensing of surface soil water content with partial vegetation cover for incorporation into climate models," *Journal of Applied Meteorology*, Vol.34, No.4, pp.745-756, 1995.
- [24] C. P. Lo, D. A. Quattrochi, and J. C. Luvall, "Application of high-resolution thermal infrared remote sensing and GIS to assess the urban heat island effect," *International Journal of Remote Sensing*, Vol.18, No.2, pp.287-304, 1997.
- [25] K. J. Bhang and S. S. Park, "Evaluation of the surface temperature variation with surface settings on the urban heat island in Seoul, Korea, using Landsat-7 ETM+ and SPOT," *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, Vol.6, No.4, pp.708-712, 2009.
- [26] P. S. Chavez Jr, "Image-based atmospheric corrections - Revisited and improved,"

Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol.62, No.9, pp.1025-1036, 1996.

[27] <http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov>

저 자 소 개

이 진 덕(Jin-Duk Lee)

종신회원

- 1983년 2월 : 충남대학교 농공학과(공학사)
- 1986년 2월 : 충남대학교 토목공학과(공학석사)
- 1992년 2월 : 충남대학교 토목공학과(공학박사)

▪ 1990년 4월 ~ 현재 : 금오공과대학교 토목환경공학부 교수

<관심분야> : 디지털매핑, 디지털사진측량 및 원격탐사

방 건 준(Kon Joon Bhang)

정회원

- 1998년 2월 : 국민대학교 토목환경공학과(공학사)
- 2003년 3월 : 오하이오주립대학교 토목환경측지공학과(공학석사)
- 2008년 8월 : 오하이오주립대학교 환경학협동과정(박사)

▪ 2011년 3월 ~ 현재 : 금오공과대학교 토목환경공학부 조교수

<관심분야> : 원격탐사 및 지형정보시스템

한 승 희(Seung Hee Hang)

정회원

- 1984년 2월 : 충남대학교 토목공학교육학과(공학사)
- 1987년 2월 : 충남대학교 토목공학과(공학석사)
- 1993년 2월 : 충남대학교 토목공학과(공학박사)

▪ 1993년 ~ 현재 : 공주대학교 건설환경공학부 교수

<관심분야> : GIS, 수치사진측량