

## 다시기 TM 밴드 6와 DEM을 이용한 지형별 온도변화 (서울시 영역을 대상으로)

### Temperature Variation by Terrain Using Multitemporal TM Band 6 and DEM(With Seoul City Area)

박민호<sup>1)</sup>

Park, Min-Ho

<sup>1)</sup> 목포대학교 지적학과 부교수(E-mail:mhpark@mokpo.ac.kr)

#### Abstract

The average temperatures by the land cover class, by the elevation extent, by the slope and by the aspect have been calculated using multitemporal Landsat TM band 6 and DEM. For this, the TM band 6 data from October 21, 1985, June 2, 1992, September 1, 1996, May 7, 2000 and the 28.5m x 28.5m grid elevation data of Seoul have been used. From the varying curve of the average land surface temperature by the elevation extent, the presence of the atmospheric inversion phenomenon and the scope of the inversion layer can be inferred. Especially, the average land surface temperature by the aspect can be effective for deciding a road line. For these reasons, it is expected that temperature estimation using remote sensing data shall be effective for the survey of heat damage, environmental temperature monitoring, and urban and environmental planning usage.

## 1. 서론

온도는 인간의 생태환경에 매우 중요한 요소이며, 특히 많은 사람들이 대규모로 밀집되어 생활하는 공간인 도시에서의 온도 및 그 변화는 인간의 생활에 매우 밀접한 관계가 있다. 따라서 도시지역의 온도에 대한 파악과 지형·지세에 따른 온도변화에 대한 분석, 평가 및 예측은 인간의 삶의 질을 높이기 위한 중요한 고려 요소라고 할 수 있다.

최근까지의 국내외 연구들에서 우리는 토지피복온도추출과 관련하여 원격탐사 데이터가 활용될 수 있음을 이미 어느 정도 확인한 단계이며, 앞으로도 보다 다양한 활용이 기대된다. 따라서 본 연구에서는 기존의 연구들을 개념적 기초로 삼고, 보다 활용적인 측면에서 지형·지세에 따라 온도가 어떻게 변화하는지에 대해 관심을 가져보고자 한다. 도시지역의 토지이용과 온도와의 관계, 지형·지세의 차이에 따른 온도 변화 등을 지점(point)별이 아닌 일정 범위의 영역에 대하여 짧은 시간 내에 파악하고자 할 때, LANDSAT TM 밴드 6와 DEM은 매우 유용한 자료가 될 수 있다. 그러므로 본 연구에서는 4개시기의 LANDSAT TM 밴드 6와 대상지역의 격자고도자료를 사용하여, 토지피복별, 고도별, 경사도별, 사면방향별 온도를 추출하고, 4개 시기간의 온도 비교 및 분석에 의해 지형·지세에 따른 온도의 변화 및 온도유형을 해석해 보고자 한다. 궁극적으로 토지피복 및 지형·지세와 온도 사이의 상관관계 파악에 의해, 인간의 열환경 개선과 미래의 환경계획 및 도로노선선정 등의 개략적 도시계획수립에 기여함을 목적으로 한다.

## 2. 데이터 취득 및 처리

연구대상지역으로는 매우 다양한 토지 피복을 구성하고 있는 서울시 영역을 선택하였다. 해당지역의

인공위성 원격탐사 데이터로는 구름이 덮여있지 않은 1985년 10월 21일, 1992년 6월 2일, 1996년 9월 1일, 2000년 5월 7일의 LANDSAT-5 TM 데이터를 채택하였다. 토지피복온도추출을 위해서는 TM 열적외 밴드 6을 사용하며, 토지피복에 대한 정보는 나머지 TM 데이터(밴드 1~밴드 5, 밴드 7)를 사용하여 얻어진다. 데이터를 처리하여 결과를 얻는 일련의 과정은 다음과 같다.

연구대상도시를 서울시만으로 한정하였으므로, AutoCAD System을 이용하여 1/10,000 지형도에서 서울 행정경계를 디지털화하여 벡터데이터를 취득하며, 이 벡터선에 의해 서울을 포함하고 있는 넓은 범위의 인공위성영상데이터로부터 서울시 행정구역만의 래스터 데이터를 切出한다. 비교분석을 위해 4개시기 모두에 대해 동일한 처리과정이 적용된다. 고도와 경사도 및 사면방향 산출을 위한 높이 데이터는 서울지역에 대해 1/25,000 지형도에서 가로x세로를 75mx75m 간격으로 하는 격자고도데이터를 추출하고, 이 데이터를 TM 데이터의 1畫素 면적인 28.5mx28.5m로 내삽하여 사용한다. 연구수행과정에서 래스터 데이터의 조작, 지상실좌표계화, 통계적 처리, 칼라圖示 등의 모든 처리는 영상처리 소프트웨어인 ERDAS IMAGINE 8.3.1 로 수행한다. 그 주요 내용은 토지피복별 · 고도별 · 경사도별 · 사면방향별 평균 온도의 계산 등이다.

### 3. TM 밴드 6의 온도변환 수식

#### 3.1 Thematic Mapper 밴드 6 데이터 수치를 토지피복온도(°K)로 변환

##### 3.1.1 TM 밴드 6 데이터 수치로부터 分光放射輝度로의 변환식

열적외 데이터로부터 분광방사휘도를 계산하는 식은

$$L = (L_{max} - L_{min})Q_{cal}/255 + L_{min} \quad (\text{단위: } \text{mWcm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}) \quad \text{-----}(1)$$

로 주어진다. 여기서 L은 분광방사휘도이고  $L_{max}$ ,  $L_{min}$ 은 검출기의 최대, 최소 방사휘도이며  $Q_{cal}$ 은 열적외 데이터의 수치이다. NASA에서 제시된 자료에서 보면 TM 밴드 6 데이터에 대해  $L_{min} = 0.1238$ ,  $L_{max} = 1.560$  이다(Campbell, 1996 ; Markham 등, 1986).

그러므로, 본 연구에서는  $L = 0.005632157 * Q_{cal} + 0.1238$  -----(2)을 사용하였다.

##### 3.1.2 분광방사휘도로 부터 토지피복온도로의 변환식

TM 밴드 6 데이터 수치를 토지피복온도 값으로 변환하는 방법으로는 이미 발표된 여러 개의 회귀모델 실험식이 있으나, 본 연구에서는 NASA의 Markham 등(1986)과 USGS의 Chander(2003)에 의해 제시된 모델식을 이용하였다(Goetz 등, 1993 ; Nichol 1994b). 다음 식은 방사율(Emissivity) 1이라는 가정을 전제로 한다.

$$T_a = K_2 / \ln(K_1/L + 1) \quad \text{-----}(3)$$

여기서  $K_1 = 60.776 \text{ mWcm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$

$K_2 = 1260.56^\circ\text{K}$

$L = \text{분광방사휘도}(\text{mWcm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1})$

$T_a = \text{외견상 토지피복온도(Apparent Temperature, } ^\circ\text{K)}$

### 3.2 방사율에 따른 실제토지피복온도의 계산

일반물체는 완전한 흑체가 아니므로 물질고유의 방사율을 가지고 있다. 따라서 관측한 적외선 방사에너지를 온도로 변환하기 위해서는 대상물의 방사율을 알아야한다. 방사율은 대상체의 물질, 표면상태, 파장 등에 의존하며 정확히 구해지는 것은 어렵다. 또한 상온부근의 비교적 좁은 온도범위를 대상으로 하는 경우, 평균방사율을 채용하는 것이 일반적이다(日本寫眞測量學會, 1986). 그러나 본 연구에서는 토지피복별 온도분포의 파악과 미세한 온도차이에 대한 분석을 요하므로, 가능한 한 정확한 지표면 온도

의 취득을 위해, 토지피복별로 방사율을 달리 채택한다.

열적외 데이터로부터 변환되는 외견상 토지피복온도  $T_a$ 를 그 물체에 해당되는 방사율을 적용하여 물체의 실제 표면온도  $T_s$ 로 변환하는 방법은 다음 (4)식에 의한다(Nichol, 1994b).

$$T_s = \epsilon^{-1} T_a \text{ -----(4)}$$

여기서,  $\epsilon$  : 방사율

이상의 과정을 정리하면, 식 (2), (3)을 이용하여 TM 밴드 6 데이터 수치로부터 외견상온도  $T_a$ 를 구하고,  $T_a$ 를 식 (4)에 대입하여 실제온도  $T_s$ 를 구하게 된다.

## 4. 적용 및 결과

### 4.1 화소별 토지피복온도 추출

서울시 TM 영상의 화소별 토지피복 온도를 추출하는데 있어, 평균방사율을 적용하기보다는 토지특성별로 서로 다른 방사율을 적용함으로써 보다 정확한 화소별 온도추정을 가능하게 한다. 토지특성별로 서로 다른 방사율을 적용하기 위해 우선적으로 서울시 영역의 TM 영상에 대해 토지피복분류를 실시한다. 토지피복분류와 온도추출 후 GIS 파일화를 위한 모든 조작은 ERDAS 상용소프트웨어를 사용하였다. 분류된 토지피복항목별로 해당되는 방사율을 적용하여 화소별 토지피복온도를 계산하였다. 토지피복분류 항목은 TM 영상데이터에 해당되는 USGS 분류기준 LEVEL I을 기초로 하여 도시역, 농경지, 산림역, 수역, 나지의 5개로 하였으며(Jensen, 1996), 해당되는 방사율은 원격탐사 관련자료를 기준으로 표 1과 같이 정하였다(Lillesand 등, 2000 ; Sabins 1997). 이상과 같이 처리되어 구해진 서울시 토지피복 온도분포는 그림 2, 3, 4, 5와 같다.

표 1. 토지피복분류 항목별 방사율

분류항목	방사율( $\epsilon$ )	분류항목	방사율( $\epsilon$ )
도시역(Urban Land)	0.95	수역(Water)	0.98
농경지(Agricultural Land)	0.98	나지(Barren Land)	0.92
산림역(Forest Land)	0.98		

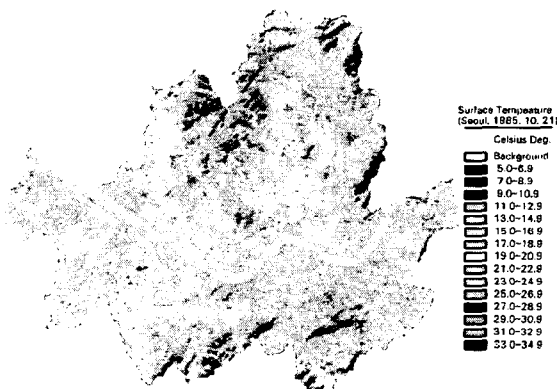


그림 2. 서울시 토지피복온도 분포도 (1985년 10월 21일)

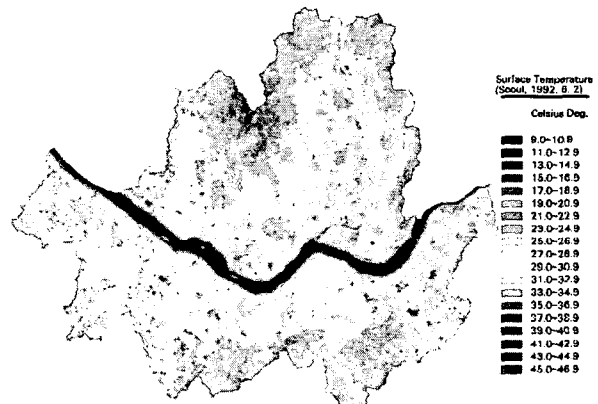


그림 3. 서울시 토지피복온도 분포도 (1992년 6월 2일)

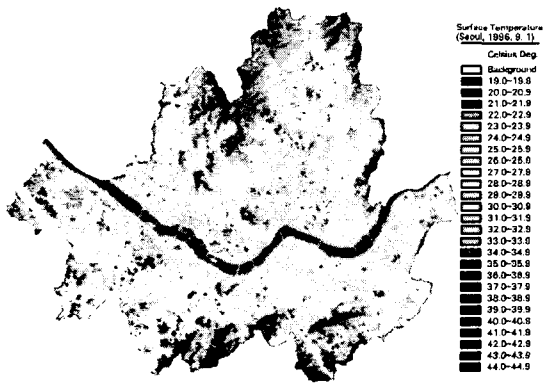


그림 4. 서울시 토지피복온도 분포도  
(1996년 9월 1일)

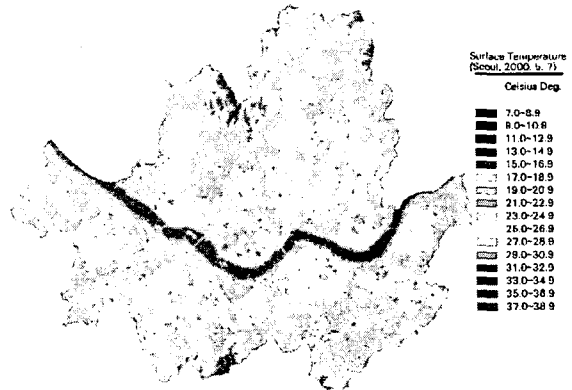


그림 5. 서울시 토지피복온도 분포도  
(2000년 5월 7일)

#### 4.2 토지피복별 평균온도 추출

표 1의 방사율에 따라 3장의 온도변환수식에 의해 토지피복별 지표면 평균온도를 계산하면 표 2와 같다.

표 2. 토지피복별 평균온도

토지 피복	1985년 10월 21일		1992년 6월 2일		1996년 9월 1일		2000년 5월 7일	
	평균 DN	평균온도 (°C)	평균 DN	평균온도 (°C)	평균 DN	평균온도 (°C)	평균 DN	평균온도 (°C)
수역	112.206	14.8	149.948	18.1	127.885	22.1	114.348	15.9
산림	109.812	13.7	158.027	21.4	133.088	24.5	122.505	19.7
농경지	114.469	15.9	167.927	25.4	131.424	23.7	128.810	22.5
도시역	115.427	18.6	174.624	30.6	141.141	30.4	131.633	26.2
나지	115.411	21.0	175.690	33.5	139.611	32.1	129.546	27.6

표 2에서 보면 1992년 6월 2일의 평균온도가 평균DN(Digital Number)에 비하여 매우 낮게 기록되어 있음을 알 수 있다. 이는 1992년 6월 2일 TM데이터의 경우, USGS가 아닌 다른 수신소에서 데이터의 Calibration 및 처리에 문제가 있었기 때문이다. 본 연구에서는 시기상으로 비슷한 온도를 가지며 실제기온을 잘 나타내고 있는 1996년 9월 1일 서울시 전체 토지피복 평균온도와 기상청 온도자료를 기준으로 실제온도와 유사하도록 조정하였다. 결과적으로 표 2의 1992년 6월 2일 평균온도는 이상의 조건 및 기준에 의해 TM 밴드 6의 디지털 값이 일정한 양만큼 읊셋되어 추정된 온도이다.

#### 4.3 高度別 평균온도 추출

고도 100m까지는 20m, 30m, 50m 간격으로 구분하고, 그 이상은 100m 간격으로 구분하여 고도별 토지피복 온도분포를 계산하였다. 서울 행정구역 안에서는 북한산 지역을 최고로 하여 고도 값이 800m 이내이므로 총 10개 영역으로 구분되며, 그 결과는 표 3과 같다.

#### 4.4 傾斜度別 평균온도 추출

경사도의 단위는 Degree로 하고, 0°영역을 제외하고는 5°간격으로 나누어 총 9단계로 영역을 구분한

다. 40° 이상의 급격한 경사도는 거의 나타나지 않으므로 경사도별 토지피복온도 추출범위에서 제외한다. 이와 같이 구해진 경사도별 토지피복 평균온도는 표 4와 같다.

#### 4.5 事面方向別 平均 온도 추출

토지피복면 방향에 따라 9가지 방향으로 분류하여 평균온도를 산출하였다. 계산된 결과는 표 5와 같다.

표 3. 고도별 토지피복 평균온도

고도	년도	1985년	1992년	1996년	2000년
	10월 21일 평균온도 (°C)	6월 2일 평균온도 (°C)	9월 1일 평균온도 (°C)	5월 7일 평균온도 (°C)	
1m~20m		18.19	29.16	29.25	25.18
21m~50m		17.96	29.67	29.61	25.24
51m~100m		16.82	25.77	27.65	22.89
101m~200m		15.46	21.46	25.52	19.66
201m~300m		14.88	19.89	24.77	17.77
301m~400m		14.94	19.20	24.50	17.19
401m~500m		15.20	18.50	24.30	17.07
501m~600m		15.49	17.97	24.04	17.10
601m~700m		15.13	17.58	23.97	17.21
701m~800m		13.01	15.99	22.82	17.13

표 4. 경사도별 토지피복 평균온도

경사도	년도	1985년	1992년	1996년	2000년
	10월 21일 평균온도 (°C)	6월 2일 평균온도 (°C)	9월 1일 평균온도 (°C)	5월 7일 평균온도 (°C)	
0°		17.06	27.44	28.05	23.99
1°~5°		17.30	29.35	28.92	25.17
6°~10°		15.65	26.22	26.56	23.13
11°~15°		14.08	22.76	24.26	20.66
16°~20°		13.18	20.82	23.02	18.87
21°~25°		12.72	19.97	22.55	17.87
26°~30°		12.79	19.64	22.51	17.55
31°~35°		12.88	19.85	22.70	17.71
36°~40°		13.03	20.51	22.95	18.75

표 5. 사면방향별 토지피복 평균온도

사면방향	년도	1985년 10월 21일		1992년 6월 2일		1996년 9월 1일		2000년 5월 7일	
	평균온도(°C)	온도 순위	평균온도(°C)	온도 순위	평균온도(°C)	온도 순위	평균온도(°C)	온도 순위	
남동	18.23	1	27.30	3	28.62	2	23.73	4	
남	18.17	2	27.20	6	28.55	5	23.70	5	
평지	18.03	3	28.85	1	29.38	1	24.80	1	
동	17.78	4	27.16	7	28.59	4	23.67	6	
남서	17.71	5	27.40	2	28.60	3	23.77	3	
북동	17.29	6	27.24	5	28.54	6	23.77	2	
서	16.93	7	27.29	4	28.40	7	23.61	7	
북	16.50	8	26.84	8	28.20	8	23.35	8	
북서	16.36	9	26.71	9	28.05	9	23.15	9	

## 5. 분석 및 결론

### 5.1 지형별 평균온도의 비교분석

표 2의 토지피복별 평균온도에서 1992년, 1996년, 2000년의 수역온도가 가장 낮은 반면 1985년 데이터에서는 오히려 산림영역이 가장 낮은 온도를 나타내고 있다. 이는 1985년 데이터의 계절이 가을이고 나

머지 시기의 데이터는 봄, 여름인 것에 원인이 있을 것이다. 봄, 여름의 경우 수역이 나머지 토지피복에 비해 태양에 의한 온도 상승에 있어 보다 많은 열을 필요로 한다. 즉, 물의 비열이 가장 크므로 봄, 여름 데이터의 경우 수역의 온도가 상대적으로 가장 낮게 되는 것이다. 봄, 여름 데이터만의 경우에 있어서 1992년과 2000년 데이터에서는 나지>도시역>농경지>산림>수역 순서로 온도가 높다. 그러나 1996년 데이터에서는 산림과 농경지의 온도순위가 서로 바뀐 것을 볼 수 있다. 대체적으로 1996년 9월 1일은 농경지의 식물이 가장 풍성하게 자라 있을 상태이므로, 1992년, 2000년의 경우처럼 봄에 바닥의 흙이 드러나 보일 때와 달리, 농경지와 산림이 거의 흡사한 피복상태를 갖는다. 따라서 0.8℃ 차이로 산림과 농경지의 온도가 거의 비슷한 것을 볼 수 있다. 이외에 주목할 사항은 나지의 평균 DN이 도시역의 평균 DN과 비슷하거나 오히려 낮아도, 나지의 방사율이 0.92로서 가장 낮기 때문에 도시역의 온도보다 높게 나타난다는 점이다.

대류권에서의 기온체감울에 의하면 기온은 고도가 100m 상승할 때 약 0.5℃ 감소한다. 기온은 지표면 복사열의 영향을 받으므로 토지피복온도도 기온체감울의 영향에 의해 고도가 상승함에 따라 온도가 감소할 것으로 예상된다. 그러나 표 3에서 보면 1985년 10월 21일의 300m~600m 구간과 2000년 5월 7일의 500m~700m 구간에서 오히려 온도가 상승하고 있음을 볼 수 있다. 이는 위의 고도구간에서 대기역 전현상에 의해 역전층이 형성되었기 때문인 것으로 추측된다. 일반적으로 대기역전현상은 지표가 쉽게 냉각되는 가을, 겨울 날씨에 발생하며, 지표가 쉽게 식지 않는 여름에는 거의 발생하지 않는다. 즉, 1985년 10월 21일은 계절이 가을이고, 2000년 5월 7일은 계절은 봄이지만 기상청 측정 온도는 14.7℃로서 온도가 가을 날씨에 가까우며, 위성데이터가 취득된 시간이 약 오전 10시 30분경이므로 날씨조건 및 시간상으로 위의 두 고도구간에서 기온 역전층이 존재하는 것으로 판단되는 것이다. 2000년 5월 7일의 역전층이 1985년 10월 21일에 발생한 역전층 보다 약 200m 위에 존재하며 층두께가 얇은 이유는, 일출 후 역전층이 상부로 이동되면서 점점 사라지게 되는데, 5월 7일이 10월 21일보다 일출이 약 1시간 15분 빠르므로) 역전층이 약 200m 더 상승해 있는 상태인 것으로 추정된다(한국천문연구원 웹사이트). 표 3에서 각 시기별로 1m~20m 구간과 21m~50m 구간의 평균온도는 거의 차이가 없다. 따라서 구간을 나눌 필요 없이 1m~50m의 단일 구간으로 평균온도를 계산해도 무방할 것이다. 고도별 토지피복평균온도의 변화에 대한 판단을 돕기 위해 그림 6과 같이 그래프로 나타내었다.

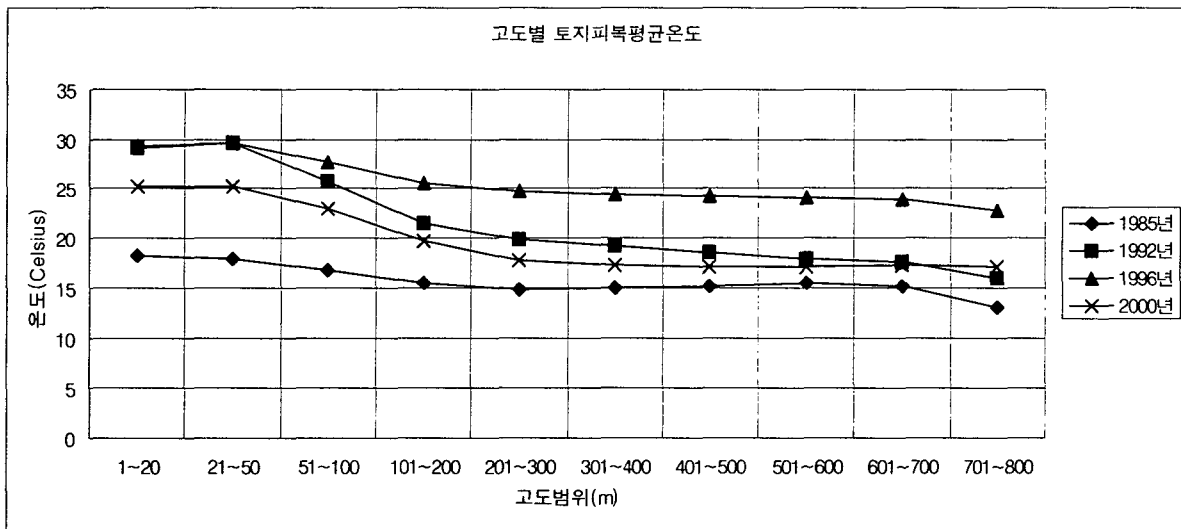


그림 6. 고도별 토지피복평균온도 연도별 변화 그래프

경사도별 토지피복온도는 표 4에 나타난 결과와 같이 온도변화패턴이 4개시기 모두 서로 매우 흡사하다. 0°를 제외한 처음 3개구간에서는 온도가 급격히 하락하는 형태이며, 그 이후 3개구간에서는 온도가

1) 한국천문연구원 제공: 1985년 10월 21일(일출: 6시 45분 32초), 2000년 5월 7일(일출: 5시 30분 29초)

조금씩 하락하는 형태를 보이다가 다시 온도가 미세하게 상승하는 형태이다(그림 7. 그래프 참조). 0°구간이 1°~ 5°구간보다 온도가 낮은 이유는 경사도 0°구간에 한강수역이 포함되어 있기 때문인 것으로 판단된다.

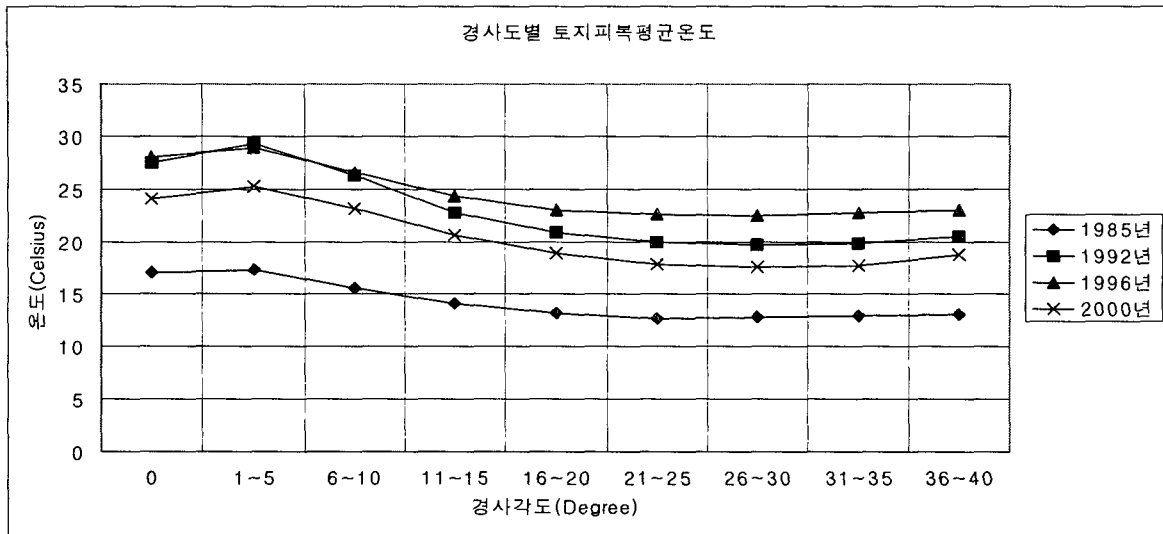


그림 7. 경사도별 토지피복평균온도 연도별 변화 그래프

토지피복면 방향에 따른 온도는 보편적으로는 오전 10시 30분경 햇빛이 비취지는 면인 동쪽면과 남쪽면이 포함된 사면들의 온도가 높고, 그들이 지게 되는 서쪽면과 북쪽면이 포함된 사면은 온도가 낮을 것으로 예상된다. 이러한 예측과 잘 부합되는 것은 1985년 10월 21일 위성데이터이다. 나머지 3개 시기에서는 약간 다른 온도패턴을 보이고 있다. 일정한 방향성을 갖는 온도순위패턴으로 보기는 어려우나, 대체적으로 남쪽과 동쪽이 포함된 면이 온도가 높았고, 1985년을 제외한 나머지 시기에서 평지면이 가장 높은 온도순위를 나타냈으며, 1992년 6월 2일 데이터의 서쪽면을 제외하고는 서, 북, 북서 순서로 가장 낮은 7, 8, 9위의 온도순위를 유지하였다. 1992년, 1996년, 2000년 데이터에서 사면방향들 사이에 온도값이 거의 차이가 없고 1위와 7, 8, 9위를 제외하고는 온도순위가 불규칙적인 것은, 이 3개시기의 일출이 1985년 데이터 보다 약 43분에서 1시간 33분 정도까지 빠르므로<sup>2)</sup>, 해가 더 높게 떠 있는 관계로 그들이 줄어들고, 토지피복이 더 오랫동안 열을 흡수하였기 때문인 것으로 추측된다(한국천문연구원 웹사이트).

## 5.2 요약 및 결론

토지피복별 온도에 대한 비교분석으로부터, 토지피복온도가 방사율에 의해 크게 좌우됨을 알았다. 고도별 평균온도는 시기에 따른 특별한 변화는 없다. 그러나 고도별 온도값 분포로부터 데이터가 취득된 시간에 대기역전현상의 여부와 역전층의 위치 및 두께를 파악해낼 수 있음을 알게 되었다. 경사도별 평균온도의 변화는 고도별 평균온도변화와 유사하며, 마찬가지로 시기에 따른 특징적인 변화는 없다. 단, 각 시기별로 높은 경사도에서 오히려 온도가 상승하는 것을 알게 되었는데, 이를 일반적 성질로 단정하기는 어려우며, 보다 많은 시기의 데이터로부터의 확인이 필요할 것으로 사료된다. 사면 방향별 토지피복평균온도는 토지피복이 햇빛에 노출되느냐 아니냐에 따라 영향을 받을 것으로 예상되지만, 온도값 결과로 볼 때 일률적으로 적용되는 것은 아님을 알 수 있다. 주변의 다른 조건, 즉 계절이나 데이터 취득 시간에 따라 달라질 수 있다. 또한 사면방향과 해당온도 정보는 도로노선을 선택하는데 도움을 줄 수 있을 것이다.

2) 한국천문연구원 제공: 1992년 6월 2일(일출: 5시 12분 12초), 1996년 9월 1일(일출: 6시 2분 9초)

이상의 효용성 외에, 본 연구의 데이터 처리결과 및 분석결과에 대한 다양한 활용방법을 개발함으로써, 열관련 재해조사, 환경모니터링, 도시의 열환경 개선, 미래의 환경계획 및 도시계획수립에 도움이 될 것으로 기대된다.

## 참고문헌

기상청 웹사이트: <http://www.kma.go.kr>

최승필, 양인태 (1997), LANDSAT TM 영상에 의한 원자력 발전소로부터의 온배수 확산의 추적조사, **한국측지학회지**, 한국측지학회, 제15권, 제2호, pp. 231-236.

최승필, 양인태 (1998), LANDSAT TM 영상에 의한 호수 수질인자 추출, **한국측지학회지**, 한국측지학회, 제16권, 제2호, pp. 225-233.

최승필, 양인태, 이기부 (1998), 인공위성 LANDSAT TM영상에 의한 임해발전소로부터의 온배수 확산의 모니터링, **지형공간정보**, 한국지형공간정보학회, 제6권, 제1호, pp. 105-116.

한국천문연구원 웹사이트: <http://www.kaeo.re.kr/html/info/sunrise.html>

日本寫眞測量學會 (1986), **熱赤外線リモートセンシングの技術と實際**, 鹿島出版會, pp. 2-53.

Campbell, James B. (1996), *Introduction to Remote Sensing*, Second Edition, The Guilford Press, p. 605.

Chander, Gyanesh and Brian Markham (2003), Revised Landsat 5 TM Radiometric Calibration Procedures and Post-Calibration Dynamic Ranges, *USGS and NASA*. p. 4.

Jensen, John R. (1996), *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*, Second Edition, Prentice-Hall, pp. 200-201.

Lillesand, Thomas M. and Ralph W. Kiefer (2000), *Remote Sensing and Image Interpretation*, Fourth Edition, John Wiley & Sons, pp. 325-334, 480-482.

Markham, Brian L. and John L. Barker (August 1986), Landsat MSS and TM Post-Calibration Dynamic Ranges, Exoatmospheric Reflectances and At-Satellite Temperatures, *EOSAT: LANDSAT Technical Notes*, No. 1, pp. 3-8.

Nichol, Janet E. (1994a), A GIS-Based Approach to Microclimate Monitoring in Singapore's High-Rise Housing Estates, *PE&RS*, Vol. 60, No. 10, pp. 1225-1232.

Nichol, Janet E. (1994b), Modelling the Relationship between LANDSAT TM Thermal Data and Urban Morphology, *ASPRS/ACSM*, Vol. One, pp. 494-502.

Sabins, Floyd F. (1997), *Remote Sensing: Principles and Interpretation*, Third Edition, W. H. Freeman and Company, New York, p. 69.