

[논문] 한국태양에너지학회 논문집  
*Journal of the Korean Solar Energy Society*  
Vol. 26, No. 4, 2006

# 하절기 단일 수목의 열 환경 관측을 통한 서열완화 효과 해석

최동호\*, 이부용\*\*

\* 대구가톨릭대학교 건축학과 부교수(dhchoi2@cu.ac.kr), \*\* 대구가톨릭대학교 환경과학과 부교수(bylee@cu.ac.kr)

## Analysis of Passive Cooling Effect of the Tree by Field Observations in the Summer

Choi, Dong-Ho\*, Lee, Bu-Yong\*\*

\* Associate Professor, Dept. of Architecture, Catholic University of Daegu(dhchoi2@cu.ac.kr)

\*\* Associate Professor, Dept. of Environmental Science, Catholic University of Daegu(bylee@cu.ac.kr)

### Abstract

The tree is regarded as an sustainable architectural outdoor design element which reduce urban heat island effect by its solar shading and evapotranspiration. This study carried out field observations of measuring thermal environment of selected tree and its ambience to determine passive cooling effects. Results from the field observations are as below: Tree-shading effect to the thermal environment can not be properly evaluated by merely measuring air temperature differences between tree-shaded space and unshaded space for the maximum temperature difference is less than 1.5°C. The differences of longwave radiation and shortwave radiation between tree-shaded space and unshaded space are measured. Shortwave radiation is considered as a main thermal comfort determining factor for the difference of the shortwave radiation is much bigger than that of longwave radiation. By thermal infrared image analysis, the surface temperature of the tree under strong solar radiation is measured same as ambient air temperature. By which the evapotranspiration is considered to retard tree surface temperature raising effectively.

Keywords : 히트아일랜드(Urban heat island), 복사환경(Radiant environment), 자연냉각(Passive cooling), 수목(Tree), 열화상(Thermal infrared image)

### 1. 서론

도시 열 환경은 지표면, 건축물, 도로 등 도시를

접수일자: 2006년 11월 14일, 심사완료일자: 2006년 11월 28일

구성하는 외피재료의 열 특성, 에너지 집중에 따른 인공배열, 시가지 형태에 기인한 국지 공기유동 특성 등과 같이 주로 인공적 요소에 크게 영향을 받는다. 건축스케일의 외부공간에 대한 환경설계에서도 도시 열 환경을 포함한 기후 특성이 반영되어야 하므로 도시기후 형성에 영향을 미치는 요소에 대한 관측과 검토가 이루어져야 한다. 건축외부공간은 거대한 공간규모와 환경제어상의 난점 등을 고려할 때 외부환경을 공조 등의 인위적 방법으로 제어하는 것은 실질적으로 어려울 뿐 아니라 그 제어 효과 또한 미미하여 자연이 가진 열 대사기능을 충분히 살린 패시브적 설계인자의 적용을 통한 환경 조절방법이 최선의 대안으로 인식되고 있다.

최근 도시열섬현상 규명과 완화를 위한 국제적인 관심이 한층 고조<sup>1)</sup>되고 있는 가운데, 국내에서도 도시열섬현상과 건축외부공간설계에 관련된 기초적인 연구<sup>2-4)</sup>가 부분적으로 시작되고 있으나, 이들에 대한 실태조사와 원인분석에 관한 해석, 완화 대책 수립을 위한 실증연구는 아쉽게도 거의 이루어지지 않고 있는 실정이다. 도시 및 건축외부공간을 친환경적으로 제어하기 위한 패시브적 수법 중 대표적으로 지목되는 것이 식생에 의한 냉각효과이며 건물의 옥상녹화, 가로수, 녹지에 의한 냉각효과 규명을 위한 일련의 연구가 진행되고 있다<sup>5-8)</sup>.

수목은 잎에 의한 태양복사차단과 증산에 의한 냉각효과가 기대되어 도시열섬완화와 친환경 건축외부공간 설계에 유효한 요소로 적용되고 있으나, 수목의 냉각효과를 실질적으로 입증한 연구사례는 거의 발표되지 않고 있는 실정이다. 본 연구에서는 하절기 수목에 의한 자연냉각효과를 규명하기 위해 단일 수목 및 수목주변의 미기상을 실측실험을 통해 관측하였으며 식생하부 음영부와 외부 일사노출지점에서의 기온, 표면온도, 복사환경, 풍향풍속, 상대습도를 관측하여 수목에 의한 냉각효과와 그 메커니즘을 파악하고자 하였다.

특히 본 연구에서는 수목하부 복사환경에 착목하여 단파복사(태양복사에너지), 장파복사(물체표

면온도에 의한 복사), 순복사(상·하향 복사수지량의 차), 흑구온도, 열화상카메라에 의한 표면온도 측정을 통해 수목 및 수목주변의 열이동 메커니즘을 체계적으로 해석하였다. 이 밖에 수목하부 음영부와 그 외부영역에 대한 쾌적온열환경을 평가함으로써 수목에 의한 하절기 서열완화효과를 다각적으로 분석하였다. 본 연구를 통해 얻어진 결과는 궁극적으로 도시의 열섬완화와 건축외부공간의 친환경설계를 위한 기초자료로 활용되며, 하절기 수목에 의한 spot cooling 효과 및 오아시스 효과의 정량적 평가자료로서도 참조될 수 있을 것으로 기대된다.

## 2. 실험개요 및 실험조건

### 2.1 실험대상공간

실험대상공간을 그림 1, 그림 2에 나타내었다. 대학 캠퍼스 내 잔디정원에 위치한 단일 수목을 실험대상으로 선정하여 수목하부 및 수목주변의 열 환경을 관측하였으며, 그 주변은 건물 등으로부터 일정거리 이격되어 열적 영향이 최소화될 수 있었다. 대상수목은 평탄한 지형에 식재되어 비교적 일사수열이 양호한 열린 장소에 위치하였으며 수고 약 7m, 폭 약 8m의 느티나무이다. 실험대상 수목의 남쪽에는 1층 규모의 건물이, 남서쪽에 4층 규모의 건물이 위치하고 있다. 그 외의 방향은 별도의 인공구조물이 없이 잔디로 구성되어 있다.

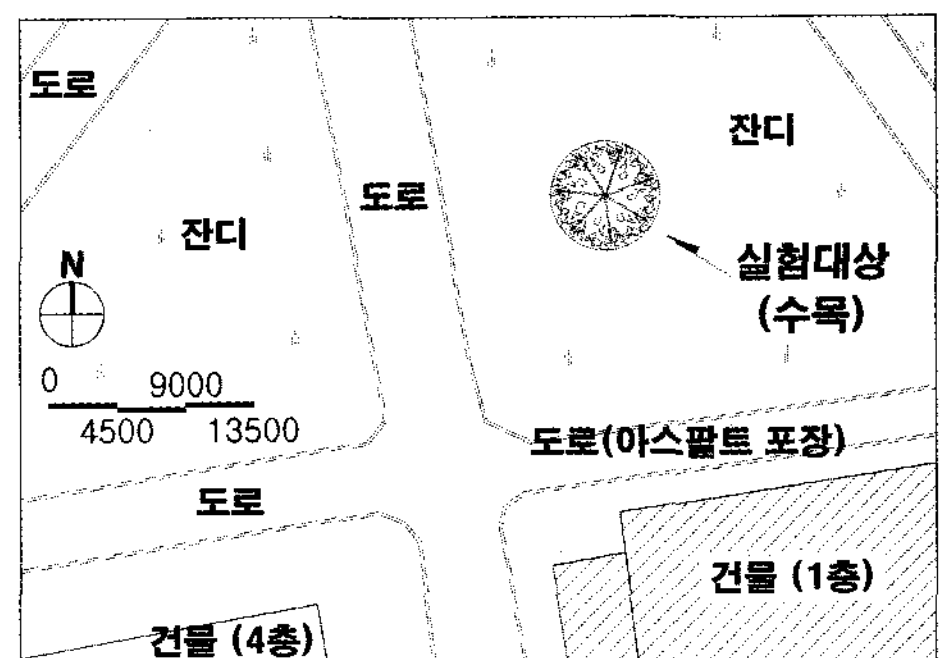


그림1. 실험대상 수목 배치도

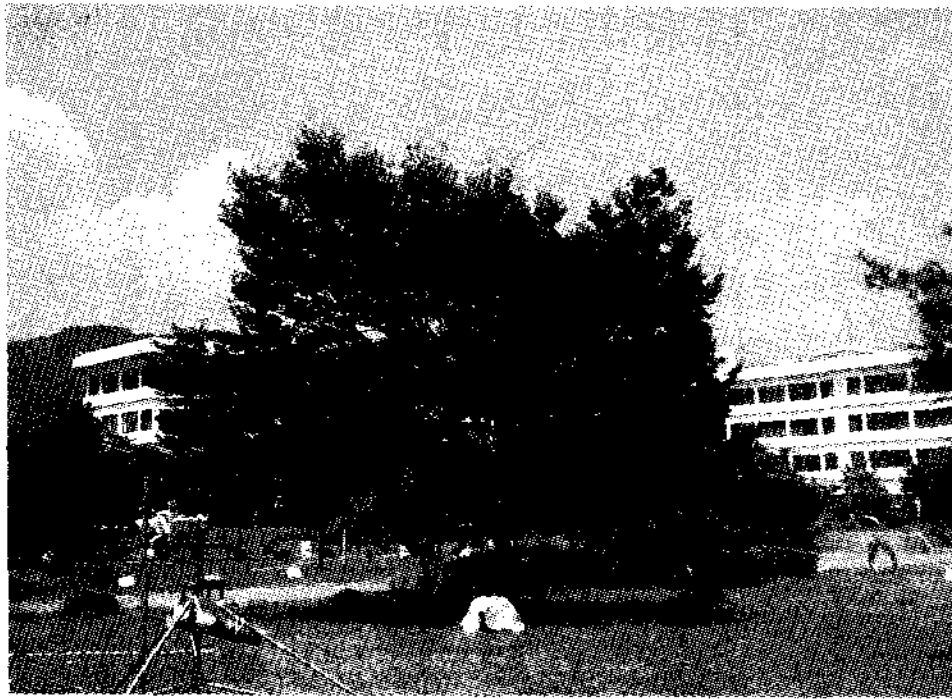


그림 2. 실험대상 수목 전경

### 2.2 측정항목 및 측정점 위치

측정항목, 측정기기, 측정점 위치를 표 1에 나타내었다. 측정점의 선정은 수목하부의 음영부와 수목외측의 양지를 기준으로 하였으며 기온, 표면온도, 흑구온도, 지중온도, 상대습도, 풍향풍속, 적외선복사온도, 복사환경을 측정항목으로 설정하여 시시각각 변화하는 수목주변의 미기상을 실시간으로 관측하였다. 특히 수목하부 음영부의 공기온도 및 흑구온도에 대해서는 높이에 따른 온도변화 추이를 비교하기 위하여 지상 0.8, 1.5, 2.0m 높이에서 관측하였으며, 공기온도 이외에 수목의 표면온도와 지중 깊이별 온도변화 추이를 관측하였다.

### 2.3 실험조건 및 측정기간

실험설정조건 및 대표일의 측정결과를 표 2에 나타내었다. 수목에 의한 패시브 냉각효과를 정량화하기 위하여 수목하부 음영부와 수목외부 양지에서 복사수지를 비롯한 열환경을 파악할 수 있도록 실험조건을 설정하였다. 실험은 2005년 8월 12~

표1. 측정항목별 측정기기와 측정점 위치

측정항목	측정기기	
	측정점 위치	
기온	Datascan 7320,7020, T-type열전대(0.25)	지상 0.8, 1.5, 2.0m 높이
표면온도	Datascan 7320,7020, T-type열전대(0.25)	수목 잎, 수관, 지면, 아스팔트 표면
흑구온도	Datascan 7320,7020, T-type열전대(0.25)	지상 0.8, 1.5m 높이
지중온도	Datascan 7320,7020, T-type열전대(0.25)	지중 2, 4, 8, 16, 32cm 깊이
일사량 (단파 복사)	①CM6B Pyranometer / Kipp&Zonen ②LI200X Pyranometer / Campbell Scientific	수목외부, 수목하부
상대습도	HMP45AC / Campbell Scientific	수목외부, 수목하부
복사온도	ThermaCAM S60 / FLIR사	수목 및 수목주변
순복사	Q7.1(Fritechen Type) / Campbell Scientific	수목외부, 수목하부
장파복사	CGR3 Pyrgeometer / Kipp&Zonen	수목외부, 수목하부
풍향풍속	05103 / Campbell Scientific	수목외부

28일까지 실시되었으며, 본 논문에서는 이 기간 중 기상조건이 양호한 8월 12~15일에 측정된 데이터를 중심으로 나타내었다. 다만, 장파복사 및 순복사에 대해서는 관측장비 조달관계로 8월 27일, 28일 양일간만 관측되었다. 표면온도는 열전대 이외에 적외선 열화상 카메라를 이용하여 수목전체의 표면 온도 변화추이를 파악하였다. 본 논문에서는 지상 0.8m를 기준높이로 설정하였으며, 기상상태가 양호하고 기온이 높은 8월 13일을 대표일로 설정하여 이날의 열환경에 대해 중점적으로 분석하였다.

표2. 실험설정조건 및 대표일의 측정결과

구분	실험기간	대표일	기온(°C)			흑구온도(°C)			상대습도(%)		풍속(m/s)		
			최고	최저	평균	최고	최저	평균	최고	최저	최고	최저	평균
수목외부(양지)	2005.08.12	2005.	35.9	22.6	27.9	50.8	21.7	32.4	95	47	3.4	0.0	0.7
수목하부(음지)	~08.15	08.13	35.0	22.3	27.7	41.4	22.5	29.4	94	49			

### 2.4 측정지점에서의 형태계수산출

측정지점에서의 형태계수산출을 위한 천공측과 지표측 어안렌즈 촬영결과를 그림 3에, 형태계수 산출결과를 표 3에 각각 나타내었다. 먼저 수목하부에서 산출한 형태계수는 상향 즉 전체 전천공 면적에 대한 수목이 차지하는 비율이 0.73(73%)을 나타내었으며, 수목 외측의 경우에는 상향 형태계수가 0.92(92%)를 나타내어 주변 사물에 의한 영향이 크지 않은 것으로 파악되었다. 하향 형태계수에 대해서는 수목 하부와 외부 모두 1.0(100%)으로 설정하였다.

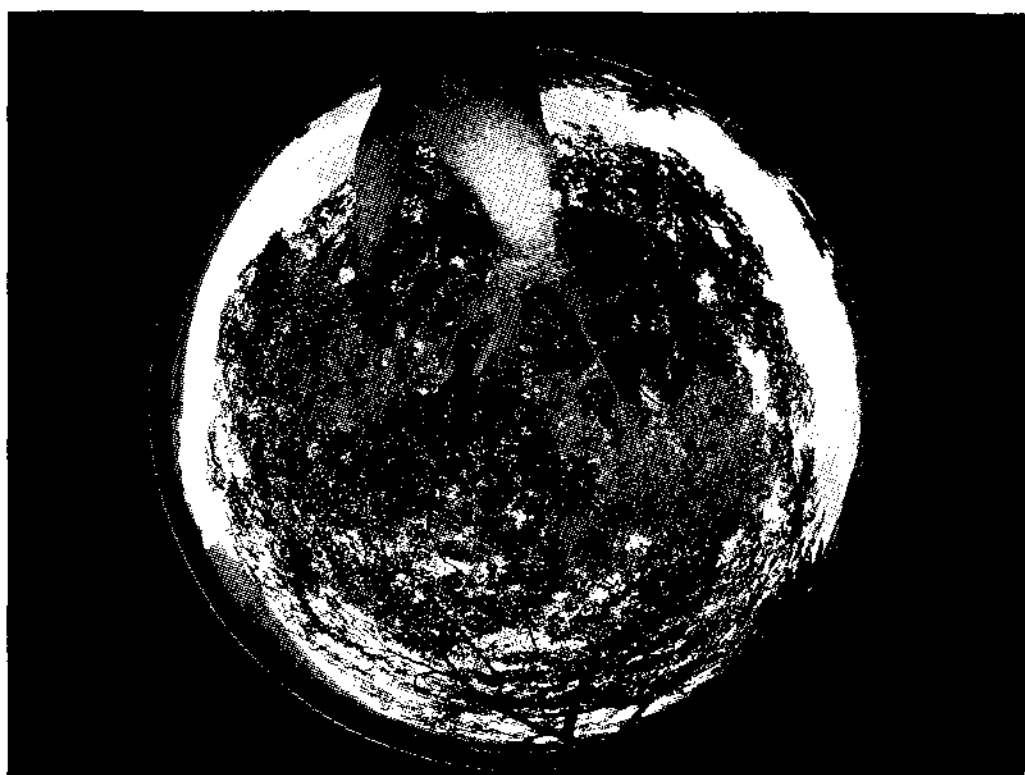
### 2.5 온열환경지표 산출조건

본 논문에서 산출한 온열환경지표는 평균복사

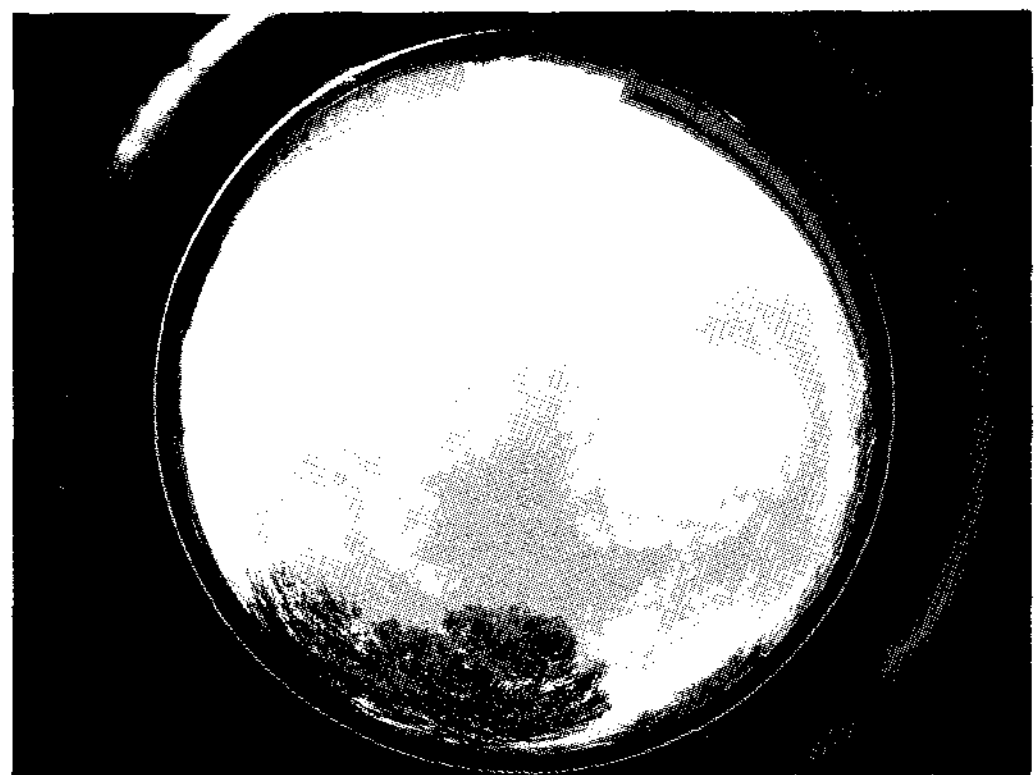
온도 MRT(Mean Radiant Temperature), 인체의 열적 중립온도 예측지표인 PMV(Predicted Mean Vote), 신유효온도  $ET^*$ , 신표준유효온도  $SET^*$ 이며, 이들 온열환경지표들을 산출하기 위한 환경조건으로서 인체 착의량은 얇은 여름옷(가벼운 반바지·반소매 오픈셔츠·얇은 하의) 착용시의 기초열저항치인 0.54clo, 대사량은 착석휴식시를 가정하여 1.0met로 설정하였다. 실내 각 위치의 공기온도, 상대습도, 기류속도는 측정치를

표3. 각 측정지점에서의 상하향 형태계수

측정지점	상향 형태계수	하향 형태계수
수목하부(음지)	0.73	1.0
수목외부(양지)	0.92	1.0



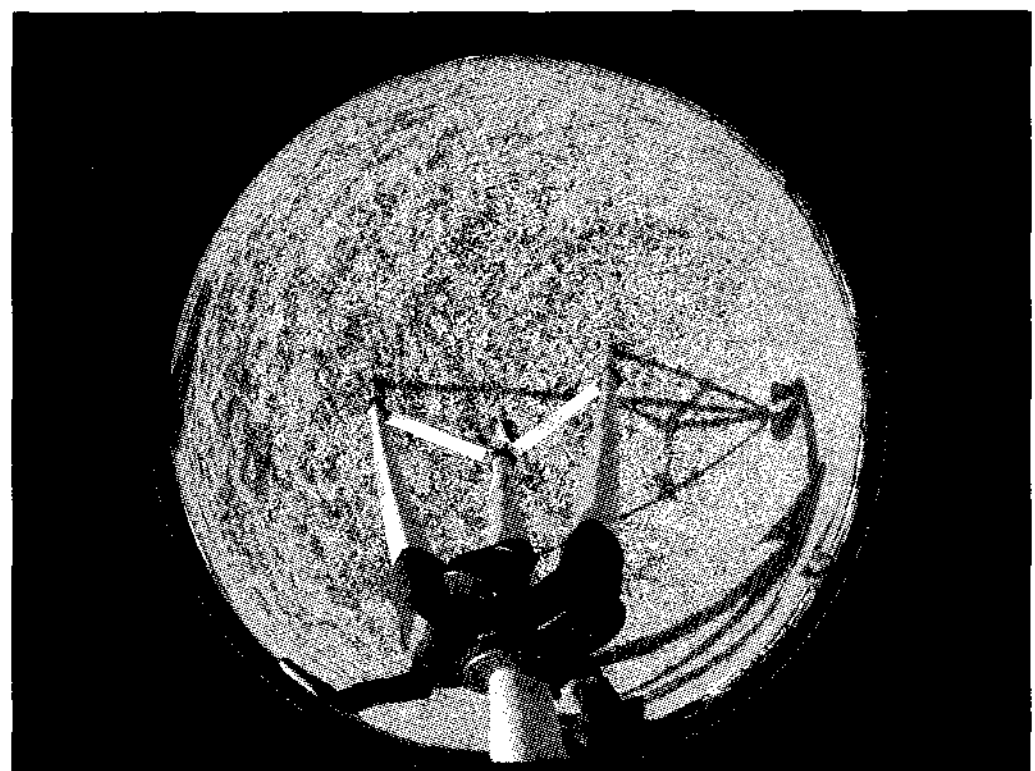
(a) 수목하부에서의 천공측(상향)



(b) 수목외부에서의 천공측(상향)



(c) 수목하부에서의 지표측(하향)



(d) 수목외부에서의 지표측(하향)

그림3. 어안렌즈에 의한 천공측과 지표측 사진자료



활용하였으며, MRT는 흑구온도와 기온, 풍속을 이용한 관계식에 의해 산출하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 일사량, 상대습도, 풍속분포

일사량, 상대습도, 풍속분포를 그림 4, 5, 6에 각각 나타내었다. 대표일의 일사량은 수목외부(양지)의 경우 정오를 전후하여 최대  $1,000\text{W/m}^2$ 을 상회하는 값을 나타내었으나, 수목하부 음영부에서는 이보다 낮은  $50\sim 200\text{W/m}^2$  사이의 값을 나타내었다(그림 4). 대표일의 일중 상대습도는 47~95% 범위 내에서 분포하였으며, 수목외부와 수목하부의 상대습도차는 거의 발생하지 않는 것으로 관측되었다(그림 5). 한편, 대표일의 풍속은 최대풍속  $3.4\text{m/s}$ , 평균풍속  $0.7\text{m/s}$ 로 관측됨으로서 청명하고 바람이 거의 없는 평온한 기상조건 하에서 실험이 진행되었음을 확인할 수 있었다(그림 6).

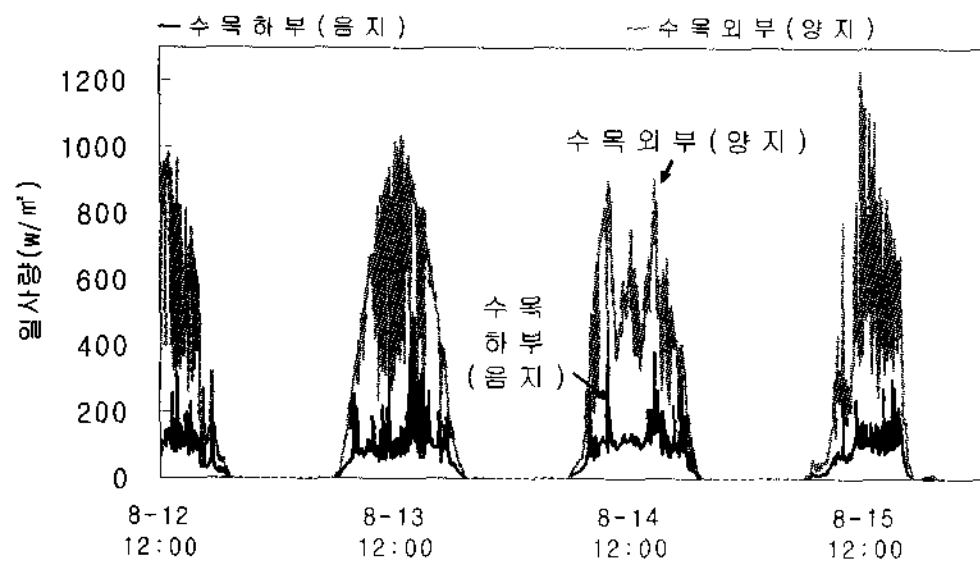


그림 4. 일사량 분포

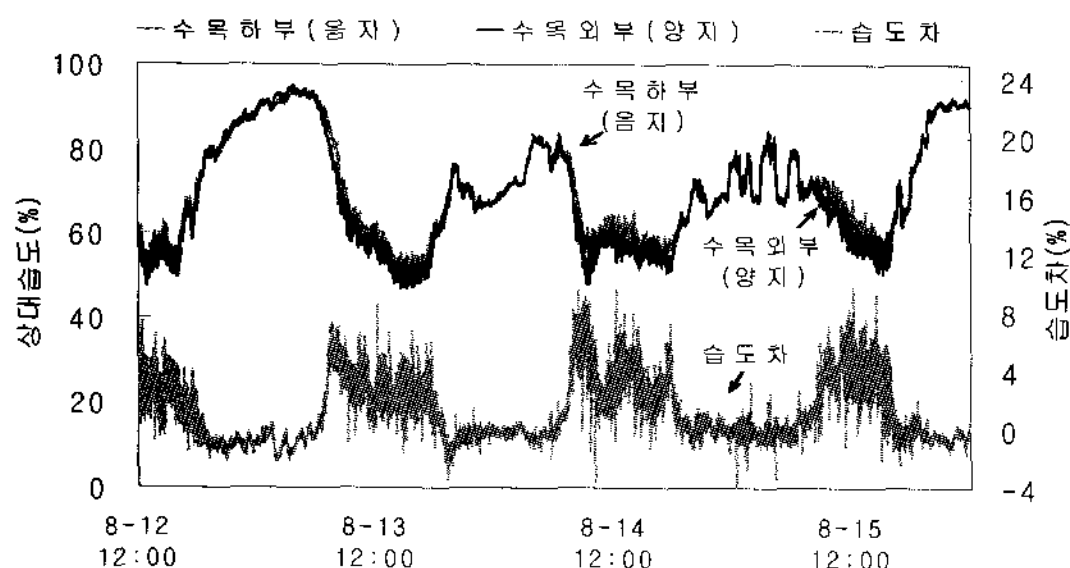


그림 5. 상대습도 분포

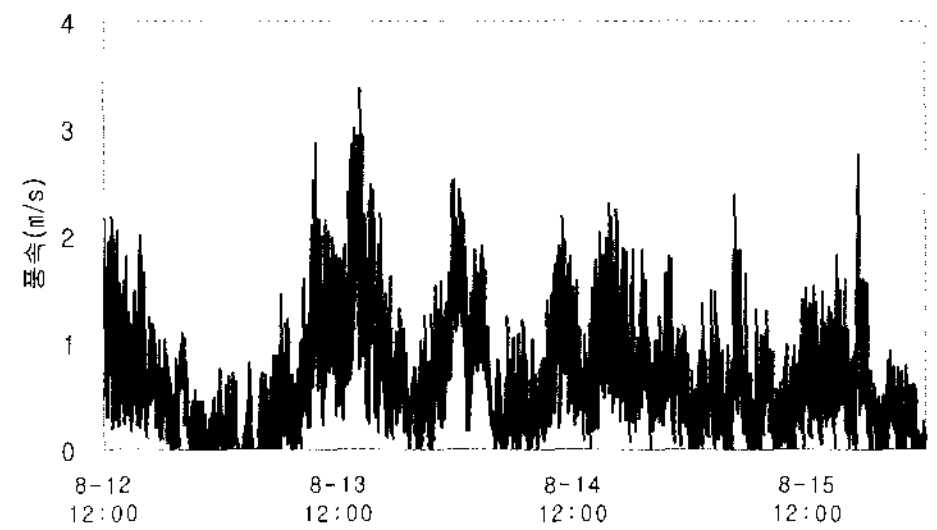


그림 6. 풍속분포

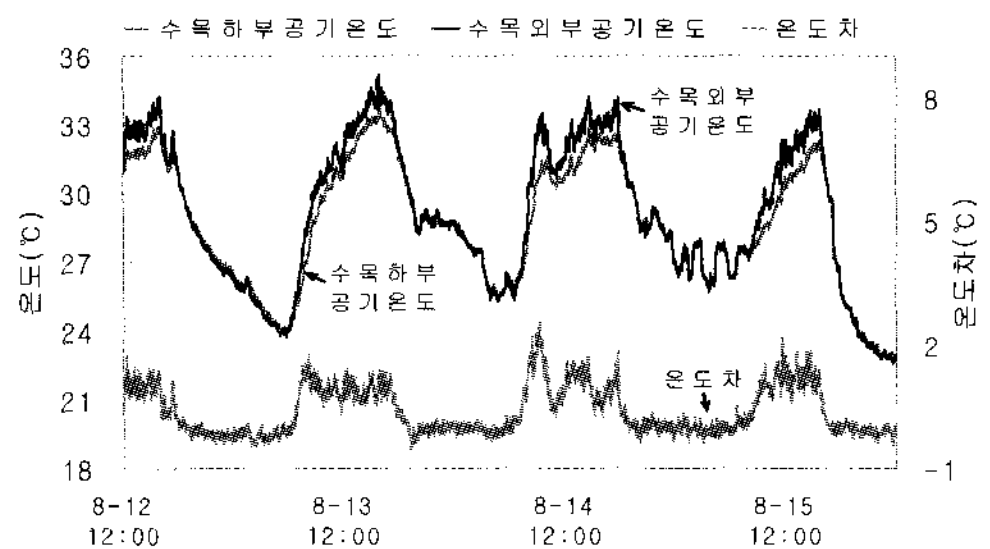


그림 7. 외기온도, 수목하부공기온도 비교

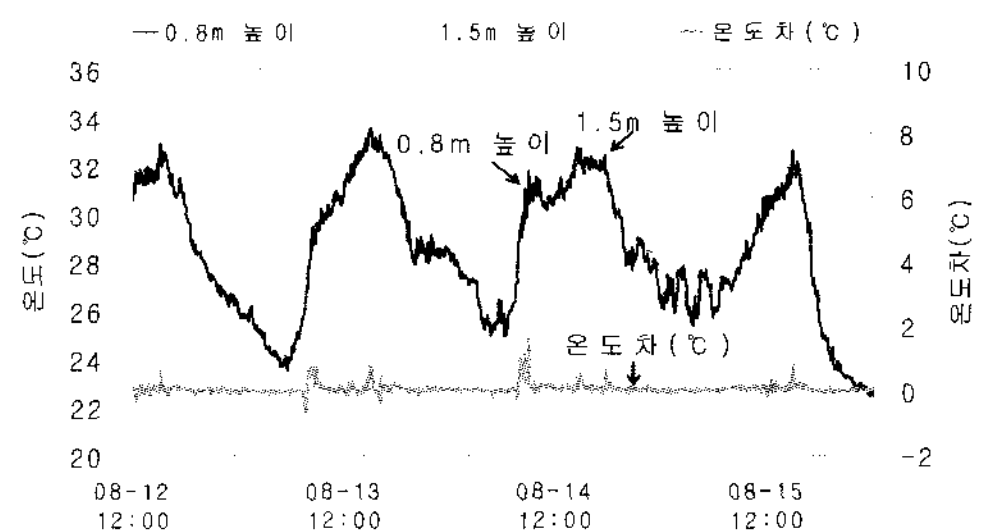


그림 8. 수목하부 높이별 공기온도 비교

#### 3.2 온도분포

##### 3.2.1 공기온도

수목외부 및 수목하부 공기온도를 그림 7, 8에 나타내었다. 대표일의 수목외부공기온도는 05:40분을 전후하여 일중 최저온도( $23.7^\circ\text{C}$ )를, 15:50분 무렵에 일중 최고온도( $35.2^\circ\text{C}$ )를 각각 기록하였다. 한편, 수목하부 음영부의 공기온도는 전반적으로 수목외부와 거의 유사하였으나 주간의 경우 수목외부공기온도 대비  $0.3\sim 1.5^\circ\text{C}$  가량 낮은 온도를 나타내었다(그림 7). 수목하부 음영부에서의 지상  $0.8\text{m}$ 와  $1.5\text{m}$ 높이 간의 온도차는 거의 발생하지 않았다(그림 8).

### 3.2.2 흑구온도

수목 내외부에서의 흑구온도 측정결과를 **그림 9, 10**에 나타내었다. 태양복사의 영향을 직접적으로 받는 수목외부 흑구온도는 21.7~50.7°C를, 수목하부(음영부) 흑구온도는 22.7~41.4°C를 각각 나타내어, 주간(주간)의 경우 최대 14.1°C의 수목 내외부간 온도차가 관측되었다(**그림 9**). 수목 내외부간 흑구온도차는 태양복사를 받는 주간시간대에는 외부(양지)가 현저히 높게 나타났으나, 복사 냉각이 있는 야간시간대에는 역전되어 외부(양지)가 수목하부(음지)보다 0.8°C 정도 낮게 관측되었다. 이것은 수목외부의 경우 차폐물 없이 대기에 개방됨으로서 주간에는 태양복사에 의해 높게, 야간에는 천공냉각복사의 영향을 받아 낮게 나타났다. 수목하부는 수목에 의해 천공복사가 차단됨과 동시에 수목에 의한 장파복사(수목 표면온도에 의한 복사) 효과가 복합적으로 작용하여 야간이 상대적으로 높게 나타난 것으로 해석된다. 수목하부에서의 흑구온도와 공기온도의 상호비교에서도 흑구온도는 공기온도에 비해 주간에는 상대적으로 높게, 야간에는 낮게 나타나는 특징과 함께 주변의 복사환경에 민감하게 반응하는 특징을 나타내었다. 즉, 수목하부의 흑구온도는 수목 및 수목 주변으로부터 산란·반사된 단파복사의 영향으로 흑구온도의 일변화폭이 공기온도보다 상대적으로 크게 관측되었다(**그림 10**).

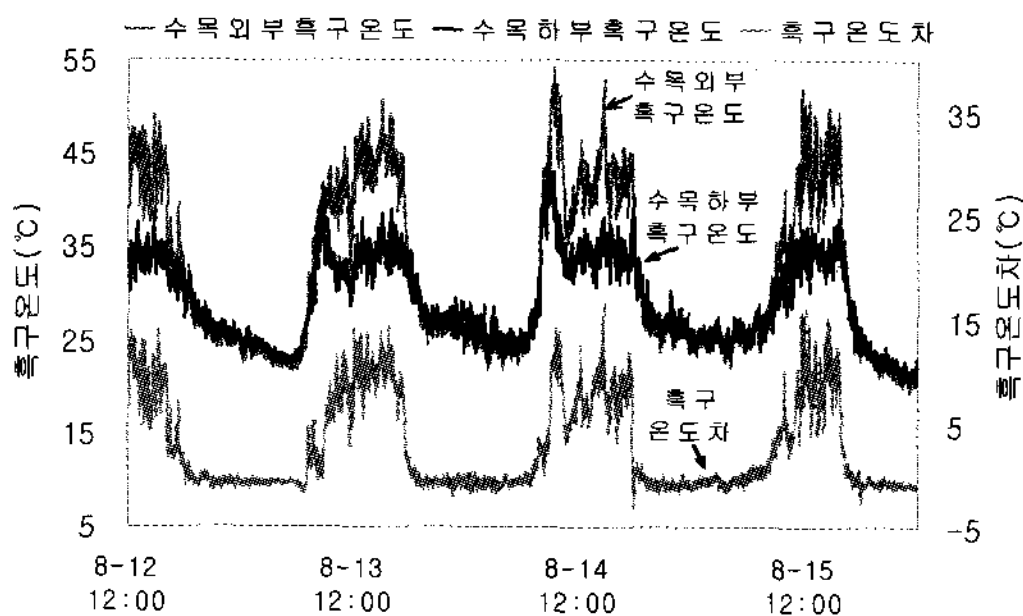


그림 9. 수목 내외부 흑구온도 비교

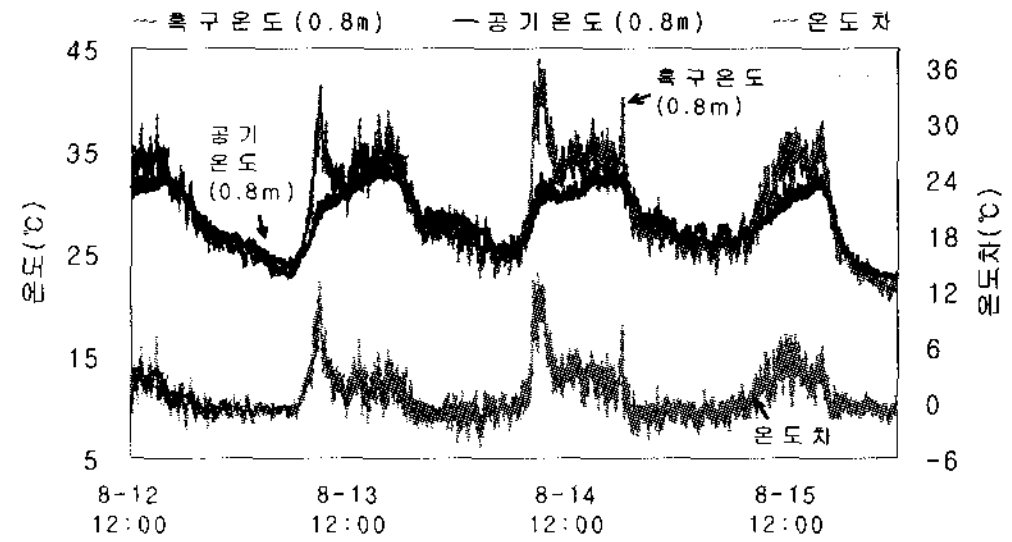


그림 10. 수목하부 공기온도, 흑구온도 비교

### 3.2.3 수목 및 수목주변 표면온도

대표일의 수목 및 주변 표면온도를 **그림 11**에 나타내었다. **그림 11 (a)**는 수목 인근의 건물(4층) 옥상에서 수목방향으로 촬영한 가시화상이며, **그림 11 (b)~(f)**는 06, 11, 13, 15, 22시경에 같은 지점에서 방사율을 0.96으로 설정하여 촬영한 적외화상 사진이다. 대표일의 시각대별 표면온도는 일출 후(06시)의 경우 위치와 무관하게 표면온도는 약 24.5°C를 나타내어 극히 균일한 온도분포를 나타내었다(**그림 11 (b)**). 오전 11시의 경우에는 일출 후 6시에 관측한 표면온도에 비해 잔디가 약 11°C, 수목이 약 6°C정도 표면온도가 상승하여 잔디표면이 상대적으로 온도상승율이 높은 것으로 확인되었다(**그림 11 (c)**).

태양고도가 높은 13시의 경우 일사를 직접 받는 수목의 표면온도는 33.3°C로 주변의 공기온도 32.8°C에 근접한 값을 나타내었다. 이것은 수목의 증산작용으로 일사수열에 따른 표면온도 상승을 억제한 결과로 추정된다(**그림 11 (d)**). 수목하부 음영부분의 표면온도는 이 보다 낮은 약 31.4°C를 나타내었다. 수목외부(양지)의 잔디 표면온도는 약 39.7°C를 나타내어 수목하부 음영부 잔디표면보다 약 8°C가량 높은 것으로 나타났다. 한편 인근의 아스팔트 포장면 온도는 약 53°C 전후의 값을 나타내어 수목하부에 비해 22°C정도 높게 나타났다.

한편 15시의 경우 수목과 아스팔트 표면온도는 13시와 유사한 온도를 나타내었으나 잔디표면온

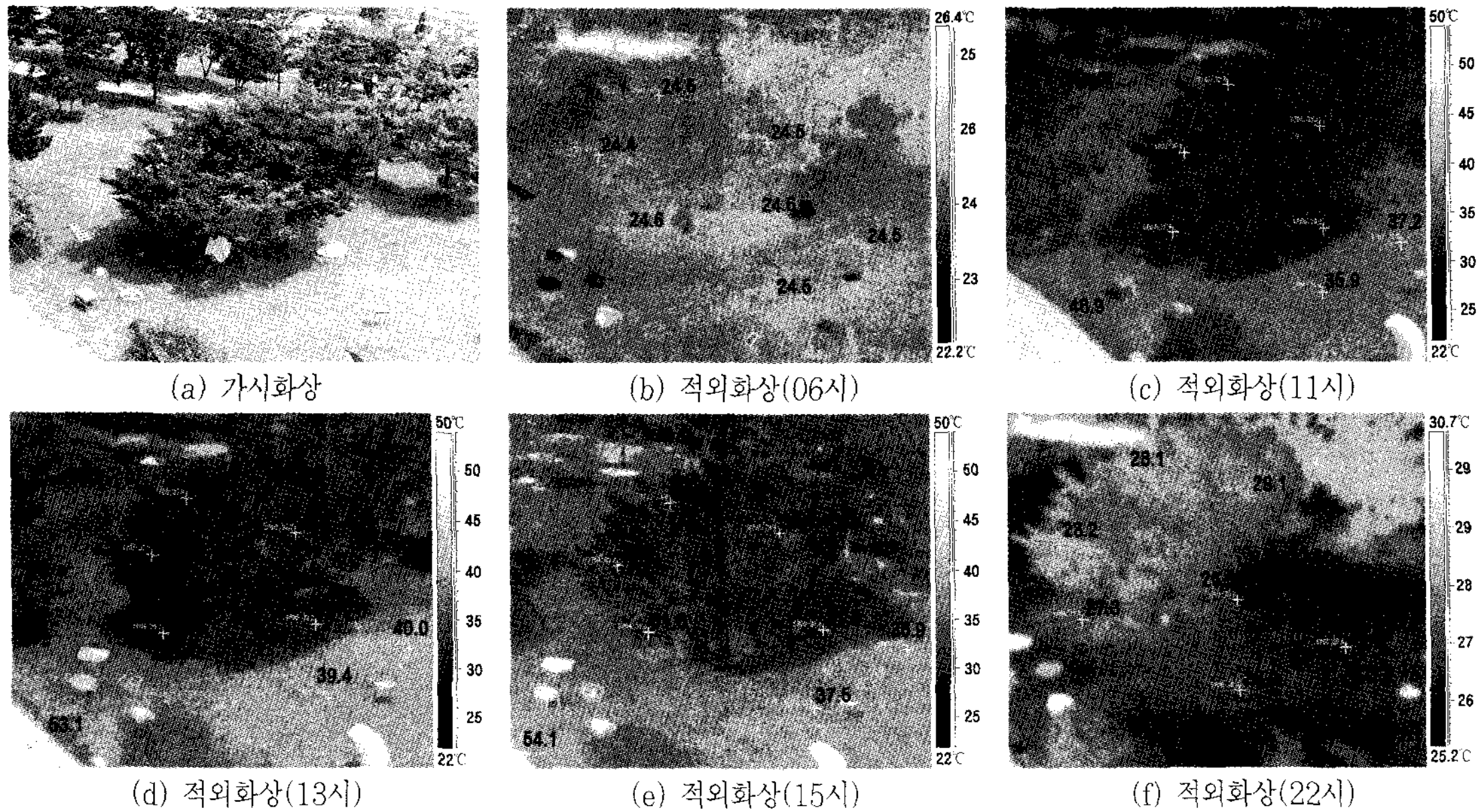


그림11. 대표일의 수목 및 수목주변의 표면온도

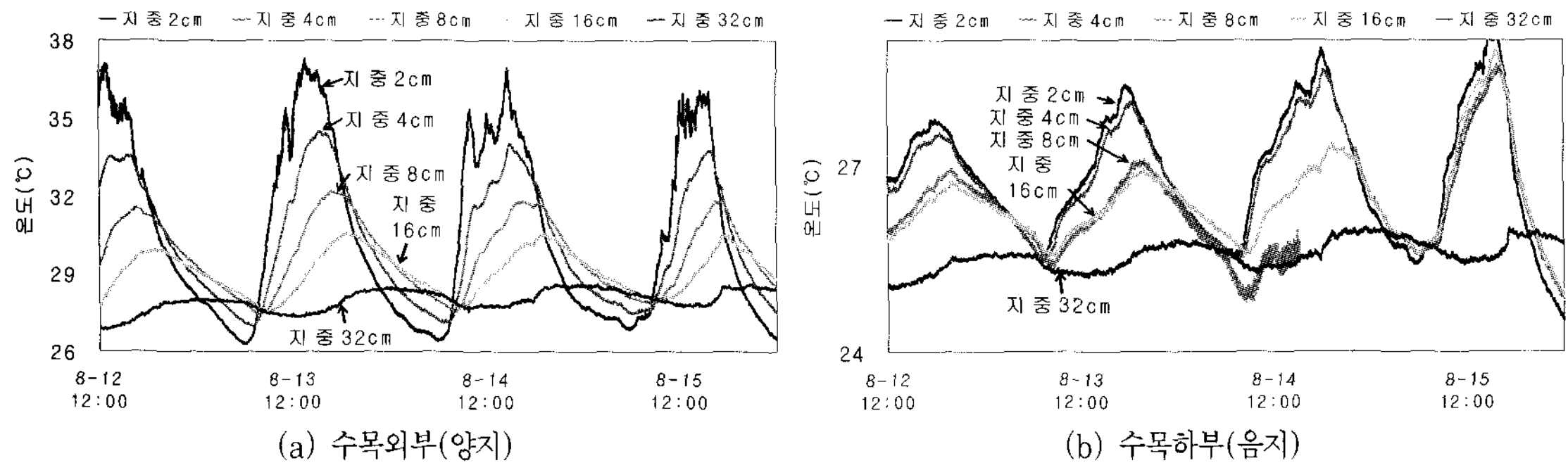


그림12. 깊이별 지중온도 변동추이

도는 수목과 아스팔트와는 상이한 약 2°C이상 온도 하강을 나타낸 것으로 확인되었다(그림 11 (e)). 마지막으로 일몰 후인 22시에서는 상대적으로 수목이 주변의 잔디보다 표면온도가 높게 나타난 것은 수목의 경우 잎이 다층구조의 형태를 취하고 있어 야간복사에 의한 냉각속도가 잔디에 비해 느리기 때문인 것으로 설명할 수 있다(그림 11 (f)).

### 3.2.4 지중온도

수목외부 및 수목하부의 지중온도(2, 4, 8,

16, 32cm깊이) 변화추이를 그림 12에 나타내었다. 수목외부 잔디면에서의 지중온도는 깊이가 깊어질수록 낮게, 온도변화폭은 작게 나타났으며 지표면에 가장 근접한 지중 2cm 깊이의 일변화가 약 11°C, 가장 깊은 지중 32cm에서 1.1°C의 일변화가 관측되었다(그림 12 (a)). 한편 수목하부 음영부 2cm 깊이에서는 2.8°C, 32cm에서는 0.6°C의 일변화를 보였다(그림 12 (b)). 수목외부와 수목하부 지중 2cm에서의 온도변화폭을 비교하면 수목외부가 약 4배 정도, 32cm에서는 약 2

배 정도 큰 온도의 일변화를 보였다.

### 3.3 복사환경

#### 3.3.1 단파복사량

대표일 수목외부의 단파(태양)복사량은 정오를 전후하여  $1,000\text{W/m}^2$ 을 상회하는 값을 나타내었으나, 수목에 의한 직달일사 차폐의 영향으로 수목하부 음영부에서는 이보다 현저히 낮은  $50\sim 200\text{W/m}^2$  사이의 값을 나타내었다(그림 4). 전체 실측기간동안의 수목외부 일사량은 운량에 따라 큰 변화를 나타내었으며, 수목하부(음영부)에서는 산란과 반사에 의해 간접적으로 수목하부로 유입되는 복사량이 직달일사에 의한 복사량보다는 많기 때문에 일중 변화의 폭이 비교적 작게 나타났다(그림 4). 수목하부 음영부에서 관측된 단파복사의 상향과 하향 성분의 합은  $116\text{W/m}^2$ 이고 수목외부(양지)에서는  $1,087\text{W/m}^2$ 으로 수목외부(양지)가 수목하부 음영부보다 9.4배 높게 나타나 단파 복사량 관측결과를 통해 수목에 의한 자연냉각과를 확인할 수 있었다(표 4). 수목외부(양지)와 수목하부(음영부) 간에는 9.4배의 단파복사량의 차이가 확인되었고 두 지점 간의 기온관측결과에서는 불과  $0.3\sim 1.5^\circ\text{C}$ 의 극히 작은 기온 차만이 확인된 것을 감안하면, 환경에 노출된 인간이 직접 체감하게 되는 온열감은 기온보다 단파복사가 절대적 영향을 미치는 주요인자임을 본 결과를 통해 알 수 있었다.

#### 3.3.2 장파복사량 및 순복사량

수목하부 및 외부에서 관측한 장파복사량 및 순복사량을 표 4, 그림 13에 나타내었다. 8월 28일 수목하부 음영부에서의 장파복사량은 하향성분  $459\text{W/m}^2$ , 상향성분  $460\text{W/m}^2$ 으로 거의 동일한 값을 나타내었으며 그 합은  $919\text{W/m}^2$ 이었다. 한편 수목외부(양지)에서는 장파복사 하향성분  $431\text{W/m}^2$ , 상향성분  $509\text{W/m}^2$ 로 각각 다르게 관측되었으며 그 차이는  $78\text{W/m}^2$ 이고 합은

$940\text{W/m}^2$ 으로 관측되었다. 따라서 수목하부에서는 수목을 포함한 물체의 표면온도가 거의 같게 형성됨으로서 상·하향 복사량은 차이가 없었던 반면, 수목외부는 상대적으로 높은 잔디표면 온도와 천공의 낮은 온도에 의해서 비교적 큰 복사량 차를 확인할 수 있었다(표 4). 장파와 단파 두 복사량의 합인 총복사량은 수목하부에서  $1,035\text{W/m}^2$ , 수목외부에서는  $2,027\text{W/m}^2$ 로 인간이 받게 되는

표4. 복사수지 측정 결과 (2005년 8월 28일 측정)

측정지점	방향	단파복사 [ $\text{W/m}^2$ ]	장파복사 [ $\text{W/m}^2$ ]	총복사량 [ $\text{W/m}^2$ ]
수목하부 (음지)	하향성분	84	459	543
	상향성분	32	460	492
	성분의 차	▼ 52	▲ 1	▼ 51
	성분의 합	116	919	1,035
수목외부 (양지)	하향성분	838	431	1,269
	상향성분	249	509	758
	성분의 차	▼ 589	▲ 78	▼ 511
	성분의 합	1,087	940	2,027

주) 각 실험조건별 측정시각은 수목하부 12:45~13:05, 수목외부 13:08~13:24

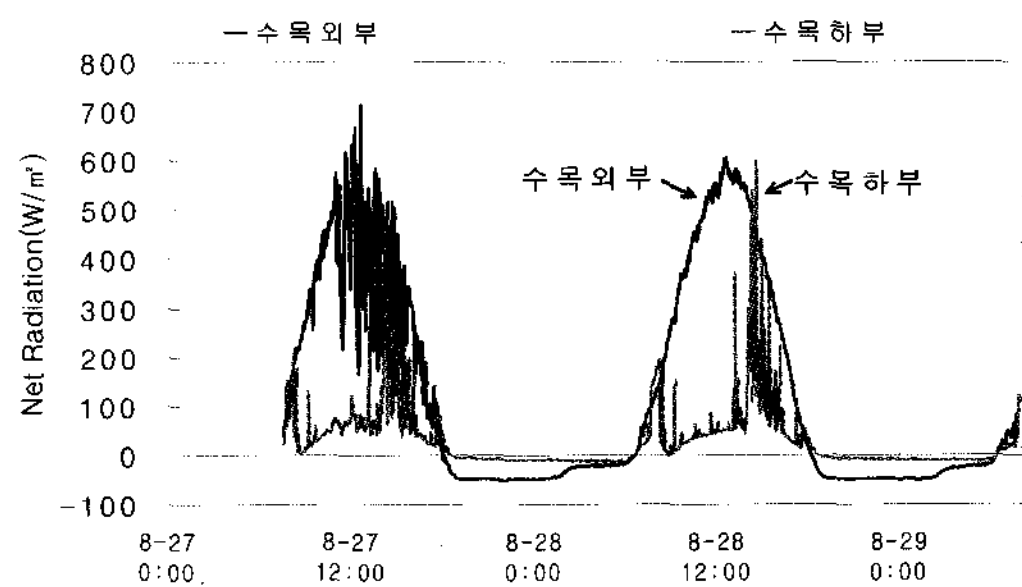


그림13. 수목외부와 하부의 순복사량 비교

총복사량은 수목외부가 2배정도 많은 것으로 계산되어, 단파복사만을 고려했을 때 계산된 9.4배보다는 현저히 낮음을 알 수 있었다. 이것은 장파복사가 수목하부 음지에서는  $919\text{W/m}^2$ , 수목외부 양지에서는  $940\text{W/m}^2$ 로 단파복사량에 비해 수목하부와 외부에서의 장파복사량은 위치에 관계없이



일정하여 결국 총복사에너지 중에서 장파복사가 차지하는 비율이 높기 때문에 풀이된다.

8월 28일 수목하부와 외부에서의 주간 순복사량은 수목외부(양지)에서 약  $600\text{W/m}^2$ , 수목하부(음지)에서 약  $50\text{W/m}^2$ 을 나타내어 수목외부가 하부보다 순복사량이 약 12배 정도 높게 관측되었다(그림13). 한편 야간의 경우에는 수목하부(음지)에서  $-13\sim-5\text{W/m}^2$ , 수목외부(양지)에서  $-50\sim-20\text{W/m}^2$ 의 값을 나타내어 수목하부와 외부간의 순복사량 차는 현격히 축소됨으로서 수목에 의한 야간복사냉각 억제효과를 확인할 수 있었다(그림 13).

### 3.4 온열환경지표

#### 3.4.1 MRT분포

대표일의 MRT분포를 그림 14에 나타내었다. 수목외부의 MRT는 일출 무렵에  $21.9^\circ\text{C}$ 로서 일중 최저치를, 15시를 전후하여 일중 최고치( $52.5^\circ\text{C}$ )를 나타내었으며, 수목하부의 음영부의 최고치는  $36.9^\circ\text{C}$ 를 나타내어 수목외부 양지부와 하부

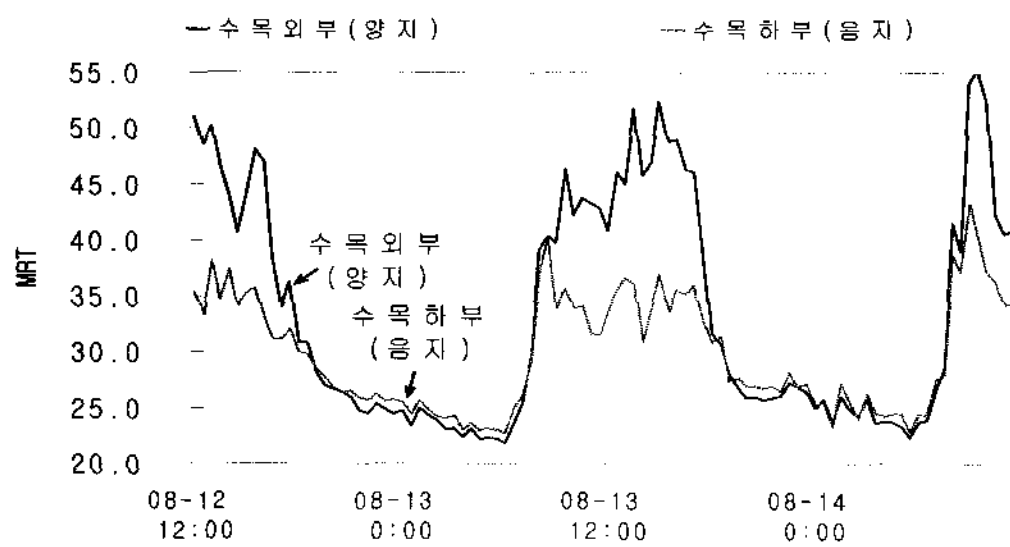


그림 14. MRT 분포

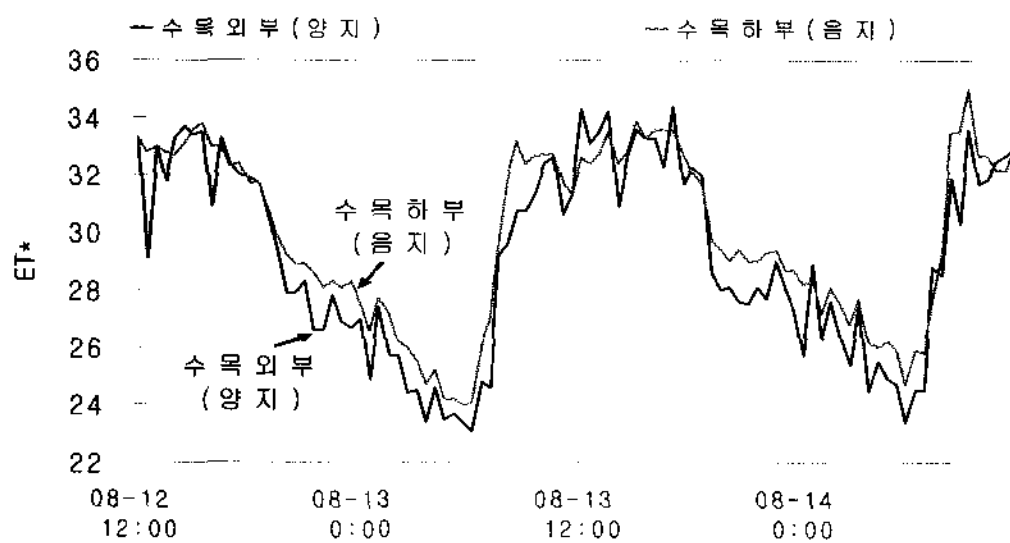


그림 16. ET\* 분포

음영부 사이에는 약  $15^\circ\text{C}$ 내외의 비교적 큰 차가 관측되었다. 한편 일몰 후에는 수목에 의한 복사냉각 차폐효과의 영향으로 수목하부가 오히려 수목외부보다 약  $1^\circ\text{C}$ 정도 낮은 값을 나타내었다.

#### 3.4.2 PMV분포

대표일의 PMV분포를 그림 15에 나타내었다. 주간시간대의 PMV는 시간대에 따라 변화가 있으나 수목외부와 하부의 PMV 최고값은 각각 3.05, 2.94를 나타내어 열적쾌적 범위를 크게 상회하였으며, 일반적인 권장쾌적범위( $-0.5 < \text{PMV} < +0.5$ )를 유지하는 시간은 새벽 02시부터 07시 사이의 불과 5시간에 지나지 않았다.

#### 3.4.3 ET\*분포

대표일의 ET\*분포를 그림 16에 나타내었다. 수목하부에 그들이 안정적으로 형성되는 낮 시간대(태양고도가 높은 11~15시 사이)에는 수목외부보다 수목하부가  $1^\circ\text{C}$ 이상 낮은 값을 나타내었다. 그러나 일몰이후부터 익일 일출 전까지의 야간시간

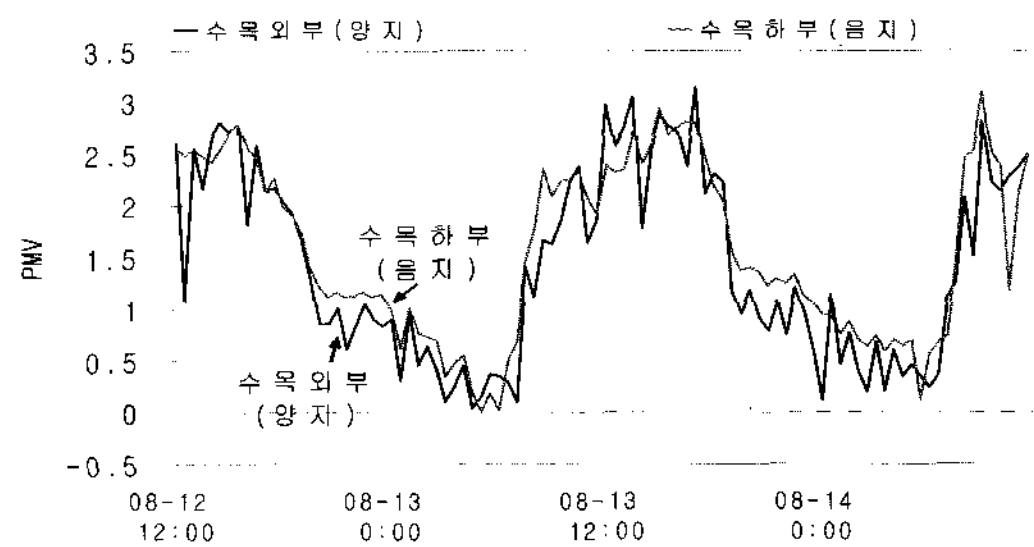


그림 15. PMV 분포

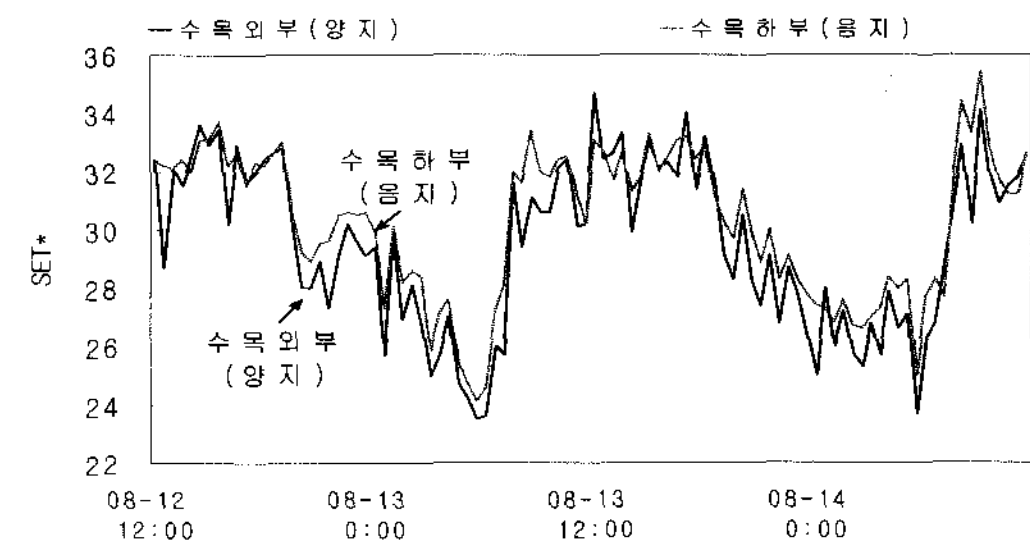


그림 17. SET\* 분포

대에는 수목외부와 수목하부의 ET\*값은 반전되어 오히려 수목외부가 약 1°C정도 낮게 나타났다.

#### 3.4.4 SET\*분포

대표일의 SET\*분포를 그림 17에 나타내었다. 대표일의 SET\*는 수목외부가 23.5~34.7°C, 수목하부에서 24.1~33.3°C를 나타내어 이미 앞에서 검토한 온열환경지표들의 분석결과 경향과 동일하게 천공에 노출됨으로서 주간 태양복사와 야간의 천공복사냉각의 영향을 크게 받는 수목외부가 상대적으로 일중 변화폭이 큰 것으로 파악되었다.

### 4. 결론

- 1) 하절기 수목 내외부의 기온을 비교한 결과, 주간 수목하부 음영부와 수목외부의 일사노출지점간의 기온 차는 최대 1.5°C 이하의 작은 온도차만이 관측되어 수목하부의 열 환경을 단순히 기온만으로 평가하는 것은 타당하지 않은 것으로 파악되었다.
- 2) 수목하부와 수목외부에 대한 기온과 장·단파복사환경 관측결과 두 지점 간에는 기온차는 불과 0.3~1.5°C이었으며 장파복사량은 21W/m<sup>2</sup>, 단파복사량 차이는 971W/m<sup>2</sup>으로 인간이 직접 체감하게 되는 온열감에는 기온, 장파복사보다 단파복사가 절대적인 주요인자로서 영향을 미치고 있음을 본 결과를 통해 알 수 있었다.
- 3) 적외선 열화상자료를 분석한 결과 수목의 표면온도는 강한 일사수열에도 불구하고 주변의 공기온도에 근사한 값을 나타낸 것은 잎의 증산작용으로 수목의 표면온도상승이 효과적으로 억제된 결과로 해석할 수 있다.

### 후 기

본 논문은 2004년 정부재원(교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단에 지원을 받아 연구되었음(KRF-2004-202-D00702)

### 참 고 문 헌

1. International Workshop on Countermeasures to Urban Heat Islands, MLIT & IEA, Tokyo, Japan, 2006.08.03~04
2. 정창원, 윤인, "도시가로에 있어서 일사와 장파복사의 상호반사가 체감기후에 미치는 영향에 관한 연구", 대한건축학회논문집 계획계, Vol.17, No.9, pp.219-226, 2001.09
3. 정창원, 윤인, "옥외열환경에 있어서 일사를 고려한 체감기후평가에 관한 연구", 대한건축학회논문집 계획계, Vol.17, No.5, pp.153-162, 2001.05
4. 윤용한, 조계현, 백승엽, 김승태, 김원태, "녹지 주변의 토지이용형태가 녹지내의 기온저감효과에 미치는 영향", 한국산디학회지, Vol.17, No.1, pp.45~51, 2003.03
5. 강재식, 변혜선, 김현수, "옥상녹화시스템의 개발과 열성능에 관한 기초연구", 대한건축학회 논문집 계획계, Vol.15, No.3, pp.127~134, 1999.03
6. 이충국, 최창호, 서승직, "기하학적 형태를 갖는 옥상녹화 시스템의 열성능에 관한 실험적 연구", 한국태양에너지학회 2002 춘계학술발표대회논문집, pp.173~178, 2002.05
7. 송영환, 강재식, 박현준, 손장열, "옥상녹화시스템의 재료별 열성능 및 수분수지특성에 관한 연구", 대한건축학회 학술발표대회논문집, Vol.21, No.2, pp.905~908, 2001.10
8. 윤용한, "녹지의 배치와 식재형태가 열환경 저감효과에 미치는 영향", 한국산디학회지, Vol.17, No.4, pp.165~172, 2003.12