

## 도시녹지의 계층구조가 기온에 미치는 영향

윤용한\* · 김원태

건국대학교 자연과학대학 산림과학과

### Influencing Degree to the Air Temperature of Stratification in the Urban Green Space

Yong-Han Yoon · Won-Tae Kim

Dept. Forest Sci., College of Natural Sci., Konkuk University

#### ABSTRACT

In this study, We measured air temperature in a vegetated area to investigate if stand types and height affect air temperature. With the measured data, we analyzed the relationships between air temperature vs. ground cover type, vegetated area, stand structure, stand density, and tree volume by regression analysis. The results show that the paved area and open field have higher air temperatures than the vegetated area and water-related areas. Among the stand types, the stand with overstory and sub-overstory showed relatively low are temperature. The stand with overstory had lower air temperature than the stand with sub-overstory. Increasing stand density was effective for lowering air temperature.

**Key words:** open space, land coverage, green volume, air temperature

#### 서 론

도시규모의 팽창과 인구 및 산업의 증가 등은 도심의 열섬(Heat Island)현상을 초래하였다(Baumgartner, 1967; 河村 武, 1977; Landsberg, 1981; Yoshino, 1981). 그러나 도시 속의 녹지는 그 공간만이라도 냉섬(Cool Island)을 형성한다(丸田, 1972; 本條, 1984; 浜田, 1994; 윤용한 등, 1998). 녹지가 냉원을 갖는 메커니즘을 식재지, 초지, 수면 등의 다양한 토지피복현황과의 관

계로부터 토지피복의 종류, 그 비율에 따라 기온저감효과가 서로 달랐다(윤용한 등, 1997; 윤용한, 2000). 식재간에도 그 계층구조에 따라 기온의 변화를 보였다. 특히, 교목+소교목층으로 피복되어 있는 구역이 비교적 낮은 기온이었다(丸田, 1972; 윤용한 등, 1997). 또한, 녹지의 규모가 크면 클수록 녹지 내외의 기온저감효과는 크게 되는 경향을 보였다(윤용한 등, 1998). 이처럼 녹지와 기온간에 다양한 연구가 진행되었으나, 현재까지 기온저감효과와 식재의 계층구조와의 관련성을 정량적으로 해석한 예는 너무 부족하다. 특히, 기온저감효과를 고려해서 녹지계

\*Corresponding author. Tel : 043-840-3538  
E-mail : yonghan7204@hanmail.net

획, 배치 및 설계를 한 예는 거의 없다.

따라서 본 연구는 토지피복현황 및 식재의 계층구조가 다양한 도시녹지(도시내 이용 또는 존재가능을 갖는 영구적인 공지(수면 포함)로, 건물폐울 20% 미만의 자연환경을 갖춘 것)를 대상으로 기온저감효과와의 관련성을 정량적으로 파악하기 위해 녹지 내의 기온을 관측하였다. 그 관측데이터를 바탕으로 녹지 내의 토지피복현황과 기온분포, 식재지율(식재의 면적비율)과 기온, 식재의 계층구조비율과 기온, 수목그루 및 녹적량(수목의 체적)과 기온저감효과와의 관련성을 회귀분석 등에 의해 해석하였다.

### 재료 및 방법

#### 조사대상지의 선정기준

토지피복현황 및 식재의 계층구조가 다양한 도시녹지를 대상으로 기온저감효과에 미치는 영향이 어느 정도인가를 파악하기 위해 녹지 내의 토지피복현황과 식재의 계층구조가 다양할 것 등을 고려하여, 그 조건에 부합된 城山公園(10.5ha)을 선정하였다.

녹지 내의 토지피복현황은 녹지의 중앙에 큰 수면이 있고, 그 이외에도 3개의 수면이 존재한다. 북쪽의 수면 주변은 식재지와 초지로 싸여져 있고, 북동쪽에는 운동장(나지)이 존재한다. 녹지주변은 전원적이면서 논과 밭으로 둘러싸였고, 군데군데 1, 2층 정도의 주택이 분산되어 있다. 조사대상지의 개요 및 관측일의 기상조건

은 Table 1과 같다.

#### 기상관측

기상관측은 1994년 7월 30일부터 8월 4일까지 실시하였다. 일사량의 관측은 일본제 MS-61형 일사계를 사용하였다. 그 관측 방법(内嶋, 1981)은 이동관측시간에 녹지 내에서 1일 1회(14시 전후)에 20분(평균 일사량) 실시하였다. 단, 4시의 경우 일사가 없기 때문에 제외하였다.

풍향풍속의 관측은 일본제 BIRAMU형 풍향풍속계를 사용하였고, 그 관측방법은 일사량의 관측방법과 같으며, 1일 2회(14시, 4시 전후)에 실시하였다. 또한, 토지피복현황과 기상관측점은 Fig. 1과 같다.

녹지 내의 49개의 정점관측점은 일본제 썬스

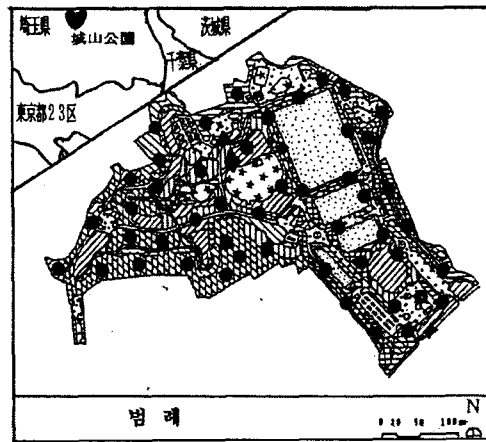


Fig. 1. 녹지 내의 토지피복현황과 관측점

Table 1. 조사대상지의 개요와 관측일의 기상조건

조사대상지	규모 (ha)	관측년월일 (1994)	관측 (시간)	풍향	풍속 (m/s)	일사량 (MJm <sup>2</sup> )	관측 (시간)	풍향	풍속 (m/s)
城山公園	10.5	7. 30	14시	동	2.9	1.24	4시	남	1.2
		7. 31		남남서	2.8	2.90		남	0.7
		8. 1		북동	3.8	3.18		남남서	0.9
		8. 2		남서	3.2	3.44		북서	1.0
		8. 3		남서	4.3	1.98		북서	0.7
		8. 4		북서	3.6	1.36		북동	1.1

형의 최고최저온도계(Six's thermometer)에 의해 관측하였다. 최고최저온도계는 1일의 최고 및 최저기온을 기록할 수 있다는 점에서 데이터의 수집은 1일 1회(9시 전후)에 기록하였다. 각 온도계에는 알루미늄의 방사차폐우산을 설치하여 직사일광을 차단하였다.

또한, 기온데이터의 보완을 위해 이동관측을 병행하였고, 이동관측은 써미스터 온도계(모델 TX-100, Yokogawa Instruments, 일본제)를 사용하였고, 감지기는 방사차폐용에 알루미늄으로 덮은 통속에 넣어 이것을 탑재한 오토바이에 의해 1일 2회(14시, 4시 전후)에 지상고 1.5m에서 실시하였다. 단, 녹지주변의 경우는 기온관측이 불가능하여(논과 밭) 제외하였다.

모니터용으로서 녹지 내(식재지, 초지, 나지) 3개소에 설치한 일본제 바이메탈 자기온도계(bimetal thermograph)의 데이터를 이용하여 1일의 기온변화와 이동관측의 데이터를 최고 및 최저치와 비교해서 보정을 실시하였다. 보정은 자기온도계의 일종의 최고치, 이른 아침의 최저치와 관측시간에 나타난 일종의 기온과 이른 아침 기온과의 차이를 각각 이동관측의 관측치에 증감하여 실시하였다.

이상과 같은 방법으로 얻어진 데이터 가운데 맑은 날 풍속은 3m/s 전후를, 일사량 3MJm<sup>2</sup> 전후를 선택해서 아래의 해석방법을 활용하였다. 이때, 흐린 날과 풍속 및 일사량 등이 연구 목적에 부합되지 않는 날은 제외시켰다.

### 녹지 내의 기온분포

녹지 내의 관측치를 근거로 최고 및 최저기온 분포도를 작성하였다. 현지의 기초조사 및 토지피복현황의 파악은 1994년 6~7월에 실시하였고, 그 내용은 현지와 식재도면의 비교, 수관과 수고 및 식재의 계층구조비율 등을 산출하였다. 또한, 확대한 항공사진(1994, 1/2,500, 일본국 토지리원)과 식재도면 및 설계도면의 파악은

Eriacabumeta를 이용하여 식재지, 초지, 나지, 수면, 포장면 및 인공구조물로 분류하였다. 식재지는 교목(8m 이상), 소교목(3~8m), 관목(3m 이하)으로 구분하고(豊田, 1991), 식재의 계층구조에 따라 교목+소교목+관목, 교목+관목, 소교목+관목으로 구분하여 토지피복현황도를 작성하였다. 이것들을 중첩시켜 녹지 내의 토지피복현황과 기온과의 관련성을 검토하였다.

### 식재지율과 기온

녹지 내의 토지피복현황과 기온과의 관련성을 보면, 저온역은 식재지와 수면주변에서 형성되었다(丸田, 1973; 윤용한, 2000). 그래서 녹지 내의 많은 면적을 차지하면서 냉원의 주체인 식재지를 대상으로 기온저감효과와의 관련성을 정량적으로 파악하기 위해 회귀분석은 43개의 관측점을 중심으로 직경 50m 범위 내의 식재지율과 기온과의 관계를 1-2-3 Atoin 통계(RIJ)를 이용해서 단순회귀분석을 실시하였다. 여기서 직경 50m 범위 내로 한 것은 관측점으로부터의 거리에 따라 기온과 토지피복과의 중상관계수가 이 범위에서 안정한다는 필자의 기초실험과 北山(1992)의 보고를 참고로 하였다. 아래의 해석방법 3), 4), 5)의 43개의 관측점과 통계방법 등은 2)와 같다.

### 식재의 계층구조비율과 기온

식재의 계층구조와 기온과의 관련성을 보면, 교목+소교목층으로 피복되어 있는 곳이 비교적 낮은 기온이었다(丸田, 1973; 윤용한, 2000). 그래서 식재의 계층구조와 기온저감효과와의 관련성을 정량적으로 파악하기 위해 관측점을 중심으로 직경 50m 범위 내의 1층림률(교목, 소교목, 관목), 2층림률(교목+소교목, 교목+관목, 소교목+관목), 3층림률(교목+소교목+관목)과 기온 간의 다중회귀분석을 실시하였다.

**교목 및 소교목 그루와 기온**

식재기준은 단위면적당 수목그루로 나타내는 경우가 많다. 그래서 수고에 따라 교목, 소교목의 그루를 산출하고 이것을 설명변수, 기온을 목적변수로 하여 다중회귀분석을 실시하였다. 단, 3m 이하의 수목(주로 군식 및 산울타리)에 대해서는 수목그루의 견적산출이 어렵기 때문에 제외하였다.

**교목, 소교목 및 관목량과 기온**

기온저감효과에 영향을 미치는 실제적인 요인은 수목의 총엽면적과 같은 증산능력에 관련된 지표라고 생각된다. 그런데 수목의 엽면적 추정은 매우 어렵기 때문에 수목이 차지하는 공간의 녹적량을 증산능력의 지표로서 이용하는 것을 시도하였다. 녹적량은 외견상으로 수목의 체적을 의미한다(田畑, 1984). 녹적량은 수목을 수형에 따라 분류하고(飯島, 1993), 이를 근거로 다음과 같이 관계식을 구하였다.

**교목**

- 원추형(圓錐型) :  $V = 1/3 \pi r^2 H$
- 종란형(縱卵型) :  $V = 4/3 \pi (H/2)^2 r$
- 횡란형(橫卵型) :  $V = 4/3 \pi (H/2)r^2$
- 원통형(圓筒型) :  $\pi r^2 H$

**관목**

- 선형(扇形) :  $1/2 \cdot 4/3 \cdot \pi r^3$
  - 군식 및 산울타리 :  $V = a \cdot D \cdot H$
- V : 체적 r : 수관 폭(반경) H : 수관 높이  
a : 폭 D : 거리

이상의 관계식을 통하여 수고에 따라 교목, 소교목 및 관목을 정하고 그 양을 구해, 각각의 녹적량을 설명변수, 기온을 목적변수로 하여 다중회귀분석을 실시하였다.

**결과 및 고찰**

**녹지 내의 기온분포**

토지피복현황과 기온변화와의 관련성을 파악하기 위해 녹지 내의 관측치를 근거로 작성한 대표적인 최고 및 최저기온분포도를 Fig. 2에 나타냈다.

최고기온의 경우, 녹지 북동쪽의 운동장(나지) 주변에서 고온역이, 서쪽의 식재지, 수면주

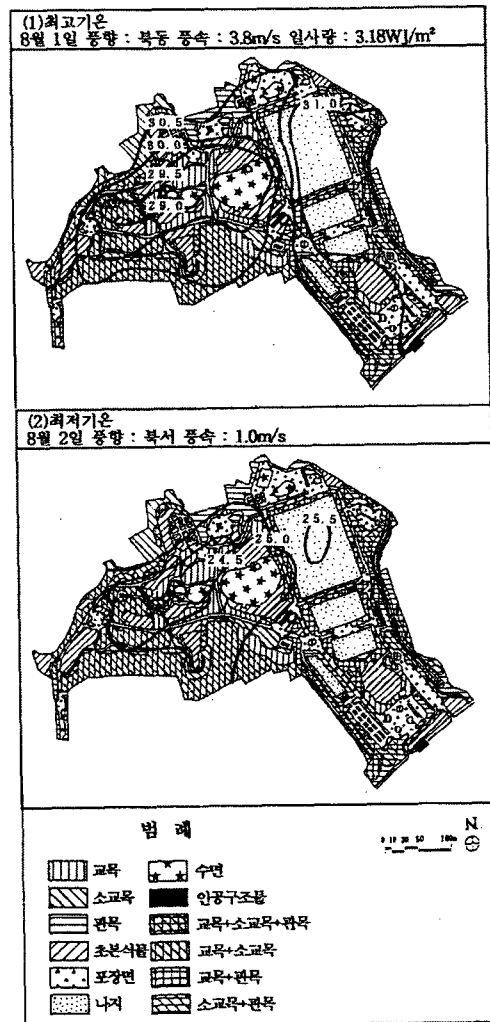


Fig. 2. 녹지 내의 최고 및 최저기온분포도

변에서 저온역이 형성되었다. 그 최고치와 최저치의 차이는 2.0~2.5℃ 정도였다. 식재지에 있어서도 그 계층구조에 따라 기온의 변화를 보였다. 특히, 교목+소교목층으로 피복되어 있는 구역과 식재로 둘러싸인 수면 주변은 비교적 낮은 기온이었다.

최저기온의 경우, 고온역 및 저온역의 출현위치 등은 최고기온과 거의 같은 경향을 보였다. 그 최고치와 최저치의 차이는 1.0~1.5℃ 정도였다. 또, 등온선의 밀도는 최고기온보다 상대적으로 단순하였다.

이상과 같이, 토지피복현황(식재지, 초지, 나지, 수면, 인공구조물)뿐만 아니라 식재의 계층구조에 따라서도 기온의 변화를 보였다. 이것은 각각의 증발산량과 일사차폐량 등의 차이에 의한 결과라고 생각된다. 또한, 식재지는 포장면, 나지보다 비열이 큰 것에 기인한 것으로도 설명된다(吉野, 1986).

**식재지율과 기온**

녹지 내의 관측점을 중심으로 직경 50m 범위 내의 식재지율과 기온과의 단순회귀분석결과는 Table 2와 같다. 그 결과, 모두 유의수준 1%의 부(負)의 상관이 인정되었다. 또한 식재지율과 기온과의 회귀직선은 Fig. 3과 같다.

Table 2를 보면, 식재지율과 최고 및 최저기온과는 부(負)의 관계이고, 회귀계수와 상관계

수의 절대치를 보면 최저기온보다 최고기온이 비교적 컸다.

**식재의 계층구조비율과 기온**

녹지 내의 관측점을 중심으로 직경 50m 범위 내의 1층림률, 2층림률, 3층림률과 기온간의 다중회귀분석결과를 Table 3에 나타냈다. 그 결과, 모두 유의수준 1%의 상관이 인정되었다.

Table 3을 보면, 식재의 계층구조비율의 증가는 모두 기온저감에 효과적이다. 이것은 일사

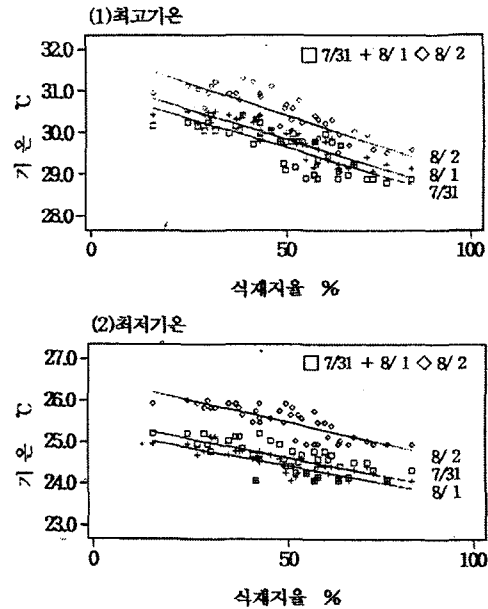


Fig. 3. 녹지 내의 식재지율과 기온과의 회귀직선

Table 2. 기온-직경 50m 범위 내의 식재지율 간의 단순회귀식

	관측일	회귀계수		R <sup>2</sup>
		X	정수항	
최고기온	7. 31	-0.034	31.25	-0.766**
	8. 1	-0.039	31.77	-0.835**
	8. 2	-0.031	32.57	-0.777**
최저기온	8. 31	-0.021	25.49	-0.731**
	8. 1	-0.019	25.13	-0.705**
	8. 2	-0.023	26.35	-0.701**

Y : 기온(℃), X : 식재지율(%), \*\* : 유의수준 1%

**Table 3.** 기온-직경 50m 범위 내의 식재의 계층구조비율간의 다중회귀식

	관측일	회귀계수				R <sup>2</sup>
		X1	X2	X3	정수항	
최고기온	7. 31	-0.012	-0.019	-0.020	30.33	0.617**
	8. 1	-0.016	-0.013	-0.024	31.00	0.653**
	8. 2	-0.018	-0.022	-0.021	31.63	0.560**
최저기온	7. 31	-0.009	-0.012	-0.013	24.95	0.552**
	8. 1	-0.011	-0.013	-0.012	24.63	0.553**
	8. 2	-0.013	-0.014	-0.015	25.81	0.575**

Y : 기온(°C), X1 : 1층립률(%), X2 : 2층립률(%), X3 : 3층립률(%), \*\* : 유의수준 1%

의 차폐량과 증산량이 많아지는 것에 따른 결과라고 생각된다. 기온저감효과는 최저기온보다 최고기온의 경우, 단층립보다 2, 3층립의 식재의 계층구조가 효과적이다.

#### 교목 및 소교목 그루와 기온

녹지 내의 관측점을 중심으로 직경 50m 범위 내의 교목, 소교목 그루와 기온간의 다중회귀분석결과를 Table 4와 같다. 그 결과, 모두 유의수준 1%의 상관이 인정되었다.

Table 4를 보면, 기온저감효과는 소교목보다 교목이 컸다. 이것은 교목이 소교목보다 일사량의 영향을 직접 받는 상부의 엽온은 높지만, 그 수관의 하부는 일사량 차폐와 증산량의 차이에 의해 낮은 기온을 나타낸다(新田, 1981). 따라서, 식재내의 기온저감효과는 교목이 좌우한다고 볼 수 있다.

#### 교목, 소교목 및 관목량과 기온

녹지 내의 관측점을 중심으로 직경 50m 범위 내의 교목, 소교목 및 관목량과 기온 간의 다중회귀분석결과를 Table 5와 같다. 그 결과, 모두 유의수준 1%의 상관이 인정되었다.

Table 5를 보면, 기온저감효과는 교목, 소교목, 관목량의 순인 경우가 많지만, 특히 교목과 소교목의 차이는 아주 작았다. 이것은 녹적량이 수고에 관계없이 기온저감효과의 지표로서 이용 가능성이 인정된 것이다.

## 요 약

본 연구는 토지피복현황과 식재의 계층구조가 다양한 도시녹지를 대상으로 기온저감효과에 미치는 영향을 파악하기 위해 녹지 내의 기온을 관측하였다. 그 데이터를 바탕으로 녹지 내의 토지피복현황과 기온분포, 식재지율(식재

**Table 4.** 기온-직경 50m 범위 내의 교목 및 소교목 그루와 기온과의 다중회귀식

	관측일	회귀계수			R <sup>2</sup>
		X1	X2	정수항	
최고기온	7. 31	-0.046	-0.044	31.63	0.876**
	8. 1	-0.036	-0.035	31.43	0.765**
	8. 2	-0.044	-0.040	32.38	0.766**
최저기온	7. 31	-0.029	-0.021	25.25	0.693**
	8. 1	-0.025	-0.019	24.96	0.667**
	8. 2	-0.024	-0.024	26.20	0.696**

Y : 기온(°C), X1 : 교목그루(8m 이상), X2 : 소교목그루(3~8m), \*\* : 유의수준 1%

**Table 5.** 기온-직경 50m 범위 내의 교목, 소교목 및 관목량과 기온간의 다중회귀식

	관측일	회귀계수				R <sup>2</sup>
		X1	X2	X3	정수항	
최고기온	7. 31	-0.00039	-0.00033	-0.00021	31.39	0.876**
	8. 1	-0.00037	-0.00038	-0.00027	31.64	0.934**
	8. 2	-0.00041	-0.00039	-0.00027	32.45	0.876**
최저기온	7. 31	-0.00023	-0.00022	-0.00019	25.26	0.756**
	8. 1	-0.00022	-0.00021	-0.00015	25.00	0.789**
	8. 2	-0.00026	-0.00018	-0.00014	26.18	0.821**

Y : 기온(℃), X1 : 교목량(8m 이상), X2 : 소교목량(3~8m), X3 : 관목량(3m 이하)(m<sup>2</sup>), \*\* : 유의수준 1%

의 면적비율)과 기온, 식재의 계층구조비율과 기온, 수목그루 및 녹적량(수목의 체적)과 기온 저감효과와의 관련성을 회귀분석 등에 의해 해석하였다.

그 결과, 고온역은 인공구조물과 나지 주변에서, 저온역은 식재지와 수면 주변에서 형성되었다. 또한, 식재의 계층구조가 2, 3층으로 덮여 있는 구역과 수면을 핵으로 그 주변이 식재로 둘러싸인 구역이 상대적으로 낮은 기온을 나타냈다. 수목그루 및 녹적량의 증가는 어떤 수고라도 기온저감에 효과적이고 그 효율은 교목, 소교목, 관목의 순이다.

### 참고문헌

- 尹龍漢·丸田賴一·柳井重人. 1997. 公園綠地内における氣溫および相對濕度分布と土地被覆狀態との關聯性について. 環境情報科學論文集 11:19-24.
- 尹龍漢·丸田賴一·本條 毅·柳井重人. 1998. 都市における公園内外の 氣溫分布特性について. 日本造園學會誌 61(5):769-772.
- 윤용한. 2000. 공원에 의한 고온성 저감효과에 관한 연구. 한국정원학회지 18(1):83-90.
- 飯島 亮. 1993. 庭木과 綠化樹 1. 誠文堂新光社:84-85
- 内嶋善兵衛. 1981. 日射の測定法. 農業氣象. 37(2):137-138.
- 河村 武. 1977. 都市氣候分布の實体. 都市氣候に關する最近の展望. 氣象研究 133:26-47.
- 北山廣樹·片山忠久·林 徹夫·鹽月義隆·古川太郎·土橋英久. 1992. 都市における土地利用と氣溫分布に關する調査研. 日本建築學會大會學術講演集:1403-1404.
- 田畑貞壽·井手久登·田代順孝. 1984. 綠と居住環境. 古今書院:12, 58
- 豊田幸夫. 1991. 建築家のための造園設計資料集. 誠文堂新光社:100
- 丸田賴一. 1972. 公園綠地の都市自然環境におよぼす影響. 都市計劃 69, 70:49-77.
- 丸田賴一. 1973. 公園綠地内の氣象. 造園雜誌 37(5):33-35.
- 新田伸三·東集 成·石井昭夫. 1981. 環境綠化における微氣象の設計. 鹿島出版會:116-135
- 吉野正敏. 1986. 新版小氣候. 地人書館:84-86
- 浜田 崇·三上岳彦. 1994. 都市内綠地の Cool island 現象-明治神宮·Yoyogi公園を事例に - 地理學論評. 67A(8):518-529.
- 本條 毅·高倉 直. 1984. 綠地が都市内熱環境におよぼす影響(1)實測に依る收支的解

- 析. 農業氣象 40(3):257-261.
16. Baumgartner, A.. 1967 Energetic base for differential vaporization from forest and agricultural lands. Int. Symp. For. Hydrol. Oxford, pergamon:381-389.
17. Landsberg, H. E. 1981. Urban climate. Academic Press:275.
18. Yoshino M. M.. 1981. Change of air temperature distribution due to urbanization in Tokyo and its surrounding regions. Sci. Rept. Geoscience. Univ. Tsukuba Sect. A. Vol:2. 45-60.