

녹지 조건에 따른 기온변화

윤 용 한¹⁾

¹⁾ 건국대학교 자연과학대학 산림과학과

Air Temperature Variation by Effect of Green Space Condition

Yoon, Yong-Han¹⁾

¹⁾ Dept. Forest Sci., College of Natural Sci., Konkuk University.

ABSTRACT

In this study, we observed air temperature to make clear that land coverage condition and stand form has a certain relationship to air temperature during the night in various green space. And with revolution analysis, we interpreted relationship of air temperature distribution in the green space, The way of analysis is this land coverage rate and air temperature, of number of tree · volume of tree air temperature. With this experimental result, we can propose green plan, which is taking into consideration lower effect of air temperature.

In this result, lower zone is formed in forest and water area, higher zone is formed in paved surface and barren ground. but this gap is a little. arbor+subarbor area, in the point of water area surrounded stand is formed relative lower air temperature. As a result to make up efficiency lower air temperature area, it is needed to make water area which has surrounded forest, and it is needed to make stand form lower air temperature 2~3 layer forest. In order of arbor, subarbor, shrub, the lower air temperature is more effect.

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

I. 서 론

도시의 규모 팽창과 인구 및 산업의 증가 등으로 도시는 독특한 도시기후를 형성하였다(河村, 1977; Landsberg, 1981). 특히, 도시의 열섬(Heat Island)현상은 생활환경을 악화시킨다. 이와 같은 현상은 주간뿐만 아니고 야간까지 지속되면서 열대야를 초래하였다. 그러나 도시 속의 녹지는 그 공간만이라도 냉섬(Cool Island)

을 형성한다(丸田, 1972; 本條, 1984; 浜田, 1994; 윤용한, 1998). 이러한 현상은 녹지의 규모가 크면 클수록 녹지내외의 기온저감효과는 크게 되는 경향을 보였다(윤용한, 1998). 녹지내외의 토지피복현황과 기온과의 관계를 보면, 냉원의 주체는 수림지, 수면, 초지의 순이다(윤용한, 1997, 2000). 수림간에도 그 형태에 따라 기온변화를 보였다. 특히, 교목+소교목층으로 피복되어 있는 구역이 비교적 낮은 기온이었다(丸田,

1972; 윤용한, 1997). 또한, 필자의 연구를 통해 기온저감효과와 관련된 綠(식물의 양)의 지표로서 녹적량의 이용가능성도 확인하였다(윤용한, 1997). 이러한 결과는 주로 일중에 있어서 녹지에 의한 열섬현상의 완화효과를 연구한 것이다. 그러나 전원적이면서 논과 밭으로 둘러싸여진 녹지내를 대상으로 야간의 최저기온에 미치는 영향에 대해서 상세히 연구한 예는 거의 없다. 이하 최저기온은 기온으로 정의한다.

따라서 본 연구는 토지피복현황과 수고 및 수림형태가 다양한 도시녹지(도시내 이용 또는 존재기능을 갖는 영구적인 공지(수면 포함)로, 건폐율 20% 미만으로 자연환경을 갖춘 것)를 대상으로 기온변화를 파악하기 위해 녹지내의 기온을 관측하였다. 그 데이터를 바탕으로 녹지내의 토지피복현황과 기온, 수고별 수목구루 및 녹적량과 기온저감효과와 관련성을 회귀분석 등에 의해 해석하였다. 그 실증결과를 바탕으로 기온저감효과를 고려한 녹지계획 및 설계 등의 제언을 행하였다.

II. 연구방법

1. 조사대상지의 선정기준

녹지내의 토지피복현황과 수림형태에 따른 기온저감효과를 파악하기 위한 조사대상지의 선정기준은 아래와 같다.

각 녹지내의 토지피복현황과 기온과의 관련성을 파악하기 위해 토지피복현황이 다양한 녹지일 것. 수목구루와 녹적량과 기온저감효과와의 관련성을 파악하기 위해 수고와 수림형태가 다양할 것 등을 고려하였다. 그 조건에 부합된 녹지로서 日本에 위치한 城山公園(10.5ha), 上尾丸山公園(13.1ha), 加曹利貝塚公園(8.2ha)을 선정하였다. 그 조사대상지의 개요와 관측일의 기상 조건은 Table 1과 같다. 각 녹지내의 토지피복현황은 아래와 같다.

城山公園 : 녹지의 중앙에 큰 수면이 있고, 그 이외에도 3개의 작은 수면이 존재한다. 북쪽의 수면주변은 식재지, 초지로 싸여져 있고, 북동쪽에는 운동장(나지)이 존재한다.

Table 1. Outline of survey

Target research area	Scale (ha)	Observation date	Observation time	Wind direction	Wind velocity
Hiroyama Park	10.5	7. 31	4 o'clock	S	0.7m/s
		1994. 8. 1		SSW	0.9m/s
		8. 2		NW	1.0m/s
Ageomaruyama Park	13.1	8. 24	4 o'clock	SSW	0.8m/s
		1994. 8. 26		SW	0.6m/s
		8. 27		ESE	0.6m/s
Kasorikatsuka Park	8.2	8. 2	4 o'clock	SW	0.9m/s
		1995. 8. 3		S	0.2m/s
		8. 4		SE	0.7m/s

上尾丸山公園 : 녹지의 서쪽에 긴 수면이, 동·남쪽에는 주차장이 존재한다. 또한 남쪽에 나지가, 북동쪽에는 넓은 수림지가, 녹지의 중앙에는 초지가 존재한다.

加曹利貝塚公園 : 녹지의 서쪽, 남서 및 북동쪽에는 포장면과 나지가 존재한다. 또한 남서쪽에는 등근 원로가, 수림지는 전체적으로 분산되어 있다.

각 녹지주변은 전원적이면서 논과 밭으로 둘러싸였고, 군데군데 1, 2층 정도의 주택이 분산되어 있다.

2. 기상관측

기상관측은 1994년~95년의 7~8월에 실시하였다. 풍향풍속의 관측은 일본제 Biramu형 풍향풍속계를 사용하였고, 그 관측시간은 약 20분(평균 풍속) 실시하였다. 관측방법은 주로 각 녹지내에서 정점관측을 중심으로 1일 1회(4시 전후) 실시하였다. 대표적인 기상관측점은 Figure 1과 같다.

기온관측은 일본제 썬스형 최저온도계(Six's thermometer)에 의해 1일 1회 각 녹지내에서 정점관측을 실시하였다.

정점데이터의 보안을 위해 각 녹지내에서 이동관측을 병행하였다. 그 관측은 써미스터 온도계(모델 TX-100, Yokogawa Instruments, 일본제)를 사용하였다. 관측방법은 온도계를 탑재한 오토바이에 의해 1일 1회(이른 아침 4시 전후)에 지상고 1.5m에서 20분 정도 실시하였다. 데이터의 기록은 오토바이를 정지한 상태에서 실

시하였다. 단, 녹지주변의 경우는 기온관측이 불가능해(논과 밭) 제외하였다.

모니터용으로서 녹지내(수림지, 초지, 나지) 3개소에 일본제 바이메탈 자기온도계(bimetal thermograph)를 설치하였다. 그 데이터를 근거로 기온과 이동관측의 데이터를 비교하기 위해 보정을 실시하였다. 보정은 자기온도계의 기온과 이동관측시간에 나타난 이른 아침 4시 기온과의 차이를 각각 이동관측의 관측치에 증감하여 실시하였다.

이상과 같이 얻어진 데이터 가운데 주간이 맑은 날을 대상으로 풍속이 1m/s 전후를 선택해서 아래의 해석방법을 활용하였다. 이때 주간에 흐림 등의 기상조건이 다르고 연구목적에 부합되지 않는 날은 제외시켰다.

3. 해석방법

1) 녹지내의 기온분포

각 녹지내의 토지피복현황과 기온변화와의 관련성을 파악하기 위해 각 관측점의 관측치를 근거로 기온분포도를 작성하였다.

기온과 관련하는 현지조사 및 토지피복현황의 파악은 1994~95년에 실시하였고, 그 내용은 현지와 식재도면의 비교, 수관과 수고 및 녹적량 등을 산출하였다. 또한 확대한 항공사진

(1994, 95 1/2,500, 일본국토지리원)과 식재도면 및 설계도면의 파악은 Eriacabumeta를 이용하여 수림지, 초지, 나지, 수면, 포장면 및 인공구조물로 분류하였다. 수림지는 교목(8m 이상), 소교목(3~8m), 관목(3m 이하)으로 구분하고(豊田, 1991), 수림형태에 따라 교목, 소교목, 관목으로 구성된 수림과 교목과 관목으로 구성된 수림, 소교목과 관목으로 구성된 수림으로 구분하여 토지피복현황도를 작성하였다. 이것들을 중첩시켜 녹지내의 토지피복현황과 기온과의 관련성을 비교 및 검토하였다.

2) 토지피복비율과 기온

보다 상세히 각 녹지내의 토지피복비율별 기온간에 어떤 영향을 어느 정도 미치는가를 정량적으로 파악하기 위해 관측점을 중심으로 직경 50m 범위내의 수림지율, 초지율, 나지율 및 수면율과 기온간의 관계를 1-2-3 Atoin 통계(RIJ)를 이용해서 다중회귀분석을 실시하였다. 여기서 직경 50m 범위내로 한 것은 관측점으로부터의 거리에 따라 기온과 토지피복과의 중상관계수가 이 범위에서 안정한다는 필자의 기초실험과 北山(1992)의 보고를 참고로 하였다.

3) 교목 및 소교목 그루와 기온

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

4) 교목, 소교목 및 관목량과 기온

기온저감효과에 영향을 미치는 실제적인 요인은 수목의 총엽면적과 같은 증산능력에 관련된 지표라고 생각된다. 수목의 엽면적 추정은 매우 어렵기 때문에 수목이 차지하는 공간의 녹적량을 증산능력의 지표로서 이용하였다. 녹적량은 외견상으로 수목의 체적을 의미한다(田畑, 1984). 녹적량은 Table 2와 같이 수목을 수

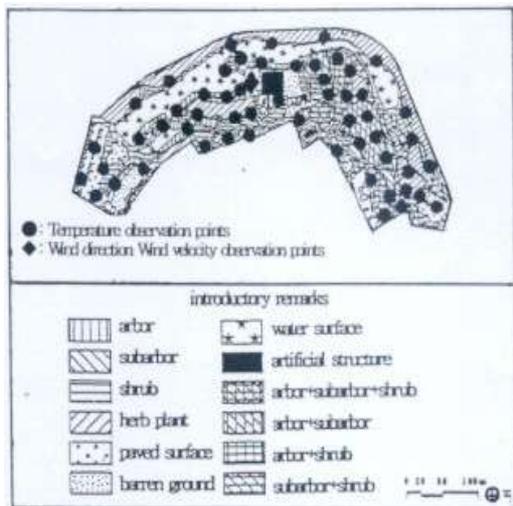


Figure 1. Land coverage map and observation points.

Table 2. Relation of method green volume

	Tree form	Relation of method
Arbor	Conical	$V=1/3\pi^2H$
	Oval	$V=4/3\pi(H/2)r^2$
	Umbrella	$V=4/3\pi(H/2)r^2$
	Cylindrical	πr^2H
Shrub	Alluvial	$1/2 \cdot 4/3 \cdot \pi r^3$
	Cluster	$V=a \cdot D \cdot H$

V : Here r : width of canopy H : crown of high
a : breadth D : depth

형에 따라 분류하고(飯島, 1993), 이를 근거로 관계식을 구하였다.

이상의 관계식으로 수고별 교목, 소교목 및 관목으로 분류하고 그 양을 구하여, 각각의 녹색량을 독립변수, 기온을 종속변수로 하여 다중회귀분석을 실시하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 녹지내의 기온분포

각 녹지내의 토지피복현황과 기온변화와의 관련성을 파악하기 위해 관측치를 근거로 작성한 대표적인 기온분포도는 Figure 2와 같다.

그림 2를 보면, 고온역은 포장면과 나지 주변에, 저온역은 수림지와 수면 주변에서 형성되었다. 같은 고온역(포장면, 나지) 및 저온역(수림지, 수면)이라도 그 주변의 구성요소에 따라 기온분포에 차이가 있었다. 각 녹지내의 최고치와 최저치의 차이는 3장소 모두 1.0~1.5℃ 정도였다. 수림지는 지금까지의 연구결과(丸田, 1973; 윤용한, 2000)와 같이 수림형태가 교목과 소교목층으로 피복 되어 있는 구역이 조금 낮은 기온이었다. 城山公園의 경우, 수림으로 둘러싸인 수면, 소하천 주변에도 저온이 형성되었다.

이상과 같이, 토지피복현황 및 수림형태가 기온분포에 영향을 미쳤다. 이러한 현상은 주간에 수목으로 인한 일사의 차폐효과와 증산작용에 의한 냉기가 야간까지 지속된 결과라고 생각된다. 또한, 토지피복현황별 방사냉각의 차이로도 설명된다.

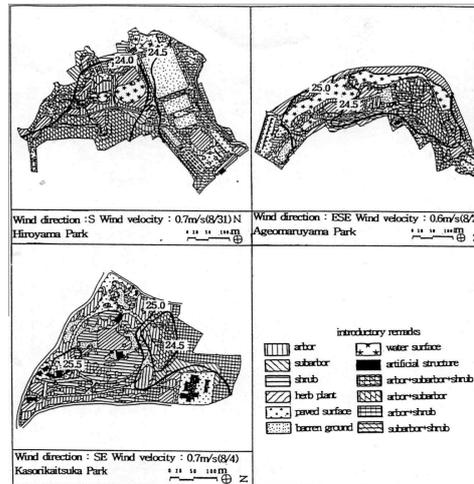


Figure 2. Air temperature distribution in inside park.

2. 토지피복비율과 기온

각 녹지내의 관측점을 중심으로 직경 50m 범위내의 수림지율, 초지율, 나지율 및 수면율과 기온간의 다중회귀분석결과는 Table 3과 같다. 그 결과, 모두 유의상관이 인정되었다.

Table 3. Air temperature - multiple regression formula of land coverage ratio within range of 50m diameter

Target research area	Observation date	Regression formula	R ²
Hiroyama Park	7. 31	$Y=-0.015X1 -0.010X2 +0.000X3 -0.008X4 +25.21$	0.755
	8. 1	$Y=-0.010X1 -0.007X2 +0.007X3 -0.004X4 +24.62$	0.835
	8. 2	$Y=-0.020X1 -0.015X2 +0.004X3 -0.011X4 +26.58$	0.868
Ageomaruyama Park	8. 24	$Y=-0.013X1 -0.008X2 +0.000X3 -0.010X4 +24.97$	0.827
	8. 26	$Y=-0.014X1 -0.009X2 +0.008X3 -0.006X4 +25.89$	0.883
	8. 27	$Y=-0.009X1 -0.005X2 +0.013X3 -0.012X4 +25.18$	0.914
Kasorikaistuka Park	8. 2	$Y=-0.011X1 -0.011X2 +0.009X3 - +26.26$	0.867
	8. 3	$Y=-0.014X1 -0.010X2 +0.008X3 - +26.13$	0.760
	8. 4	$Y=-0.012X1 -0.010X2 +0.002X3 - +25.64$	0.808

Y : air temperature(℃) X1 : forest ratio(%)

X2 : Grass land ratio(%)

X3 : bare ground ratio(%) X4 : water surface ratio(%)

Table 3을 보면 수림지와 초지 및 수면은 기온저감에 효과적이거나, 일종의 최고기온(윤용한, 1997, 1998)만큼 현저하지는 않았다. 또, 초지보다는 수림지가 기온저감의 효과가 약간 컸다(近

藤, 1983; 清田, 1991; 윤용한, 1997, 1998). 이것은 앞에서 설명한 것과 같이 수림에 의한 주간 냉기가 야간까지 지속된 결과라고 생각된다. 윤용한(1997, 1998)에 의하면, 최고기온은 초지보다는 수면이 기온저감효과가 크나, 여기서는 거의 같은 결과를 보였다. 이것은 수면의 경우는 초지보다 방열하기 어려운 성질을 갖고 있기 때문이다. 나지는 약간의 기온상승효과를 보였다.

3. 교목 및 소교목 그루와 기온

각 녹지내의 관측점을 중심으로 직경 50m 범위내의 교목, 소교목 그루와 기온간의 다중회귀분석결과는 Table 4와 같다. 그 결과, 모두 유의상관이 인정되었다.

Table 4를 보면 수고별 수목그루와 기온과는 모두 부(負)의 관계이고, 그 효과는 소교목보다 교목이 컸다.

Table 4. Air temperature-multiple regression formula of arbors and sub-arbors ratio within range of 50m diameter

Target research area	Obervation date	Regression formula	R ²
Hiroyama Park	7. 31	Y=-0.00023X1 -0.00022X2 -0.00019X3 +25.26	0.756
	8. 1	Y=-0.00022X1 -0.00021X2 -0.00015X3 +25.00	0.789
	8. 2	Y=-0.00026X1 -0.00018X2 -0.00014X3 +26.18	0.821
Ageomaruyma Park	8. 24	Y=-0.00024X1 -0.00020X2 -0.00019X3 +25.35	0.661
	8. 26	Y=-0.00028X1 -0.00026X2 -0.00025X3 +26.62	0.705
	8. 27	Y=-0.00027X1 -0.00024X2 -0.00016X3 +26.03	0.702
Kasorikaitsuka Park	8. 2	Y=-0.00021X1 -0.00015X2 -0.00016X3 +26.46	0.774
	8. 3	Y=-0.00019X1 -0.00019X2 -0.00014X3 +26.06	0.775
	8. 4	Y=-0.00015X1 -0.00014X2 -0.00015X3 +25.52	0.699

Y : Air temperature(℃)

X1 : No. of arbors(8m and above)

X2 : No. of sub-arbors(3 to 8m)

4. 교목, 소교목 및 관목량과 기온

각 녹지내의 관측점을 중심으로 직경 50m 범위내의 교목, 소교목 및 관목량과 기온간의 다중회귀분석결과는 Table 5와 같다. 그 결과, 모두 유의상관이 인정되었다.

Table 5를 보면 수고별 녹적량의 증가는 기온저감에 효과적이다. 그 효과는 교목, 소교목,

관목량의 순이지만, 교목과 소교목의 차이는 아주 작았다. 이것은 녹적량이 수고에 관계없이 기온저감효과의 지표로서 이용 가능성이 인정된 것이다.

III. 결과 및 제언

본 연구는 토지피복현황과 수고 및 수림형태가 다양한 녹지내를 대상으로 기온저감효과의 실증결과를 바탕으로 기온저감효과를 고려한 녹지계획, 배치 및 설계 등의 제언을 행하였다.

Table 5. Air temperature-multiple regression formula of arbors sub-arbors and shrubs ratio within range of 50m diameter

Target research area	Observation date	Regression formula	R ²
Hiroyama Park	7. 31	Y=-0.029X1 -0.021X2 +25.25	0.693
	8. 1	Y=-0.025X1 -0.019X2 +24.96	0.667
	8. 2	Y=-0.024X1 -0.024X2 +26.20	0.696
Ageomaruyma Park	8. 24	Y=-0.024X1 -0.022X2 +25.10	0.725
	8. 26	Y=-0.023X1 -0.024X2 +26.09	0.628
	8. 27	Y=-0.028X1 -0.024X2 +25.71	0.709
Kasorikaitsuka Park	8. 2	Y=-0.023X1 -0.018X2 +26.69	0.666
	8. 3	Y=-0.017X1 -0.015X2 +26.11	0.576
	8. 4	Y=-0.016X1 -0.015X2 +25.70	0.679

Y : Air temperature(℃)

X1 : volume of arbor(8m and above)

X2 : volume of sub-arbor(3 to 8m)

X3 : volume of shrubs(within 3m)

1) 기온분포도로부터 포장면과 나지 주변에는 고온역이, 수림지와 수면 주변에는 저온역이 형성되었다. 수림간에도 교목과 소교목층으로 형성된 구역과 수림으로 둘러싸인 수면, 소하천 주변도 조금 낮은 기온이었다.

2) 녹지가 저온역을 갖는 메커니즘을 수림지, 초지, 수면의 다양한 토지피복현황과의 관계로부터 토지피복의 종류, 그 비율에 따라 기온저감효과의 정도가 서로 조금씩 달랐다. 1), 2)의 결과로부터 저온역의 확대는 수림지와 수면의 배치가 좋고 그 효과를 보다 효율적으로 만들기 위해서는 수면을 핵으로 그 주변을 교목중심의 수림으로, 그 형태는 단층림보다 2, 3층의

수림이 기온저감효과에 보다 효율적이라고 생각된다.

3) 수목그루와 기온저감효과와의 관계를 보면, 교목, 소교목의 순이고, 그 그루의 증가는 모두 기온저감에 효과적이다.

4) 녹적량과 기온저감효과와의 관계를 보면, 각 녹적량의 증가는 모두 기온저감에 효과적이다. 그 효과의 효율은 교목, 소교목, 관목의 순이나, 교목과 소교목의 차이는 아주 작았다. 3), 4)의 결과로부터 수목이 크고, 녹적량이 많으면 많을수록 기온저감에 보다 효과적이라고 생각된다. 또한, 기온저감에 효과적인 녹적량은 수고에 관계없이 녹(식물의 양)의 지표로서 많은 이용을 제안한다.

인 용 문 헌

- 尹龍漢 等. 1997. 公園綠地内における氣温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 等. 1998. 都市における公園内外の氣温分布特性について. 日本造園學會誌 61(5) : 769-772.
- 尹龍漢 等. 1998. 綠地の規模と周邊市街地の氣温低下との關聯性について. 環境情報科學論文集 : 275-280.
- 윤용한. 2000. 공원에 의한 고온성 저감효과에 관한 연구. 한국정원학회지 18(1) : 83-90.
- 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 等. 1992. 都市における土地利用と氣温分布に關する調査研. 日本建築學會大會學術講演集. 1403-1404.
- 近藤三雄 等. 1983. 樹木, 芝生の微氣象調節效果に關する實証的研究. 日本造園雜誌. 46(3) : 161-175.
- 清田 新 等. 1991. 林地と芝生における熱收支の比較. 環境情報科學. 20(2) : 62-66.
- 田畑貞壽 等. 1984. 綠と居住環境. 古今書院. 12, 58.
- 豊田華夫. 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.
- 飯島 亮. 1993. 庭木と綠化樹 1. 誠文堂新光社. 84-85.
- 浜田 崇 等. 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 殷 等. 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.
- Landsberg, H. E. 1981. Urban climate. Academic Press : 275.

接受 2002年 6月 10日