

녹지의 배치와 식재형태가 열환경저감효과에 미치는 영향

윤 옹 한*

건국대학교 자연과학대학 산림과학과

Temperature Lowering Effects Varied by the Arrangement and Types of Vegetation

Yong-Han Yoon

Dept. of Forest Science, College of Natural Science, Konkuk Univ.

ABSTRACT

Temperature lowering effects varied by the arrangement and types of vegetation. The effects of the arrangement and types of vegetation on lowering temperature have shown following results.

- 1) The temperature range of a vegetation shows that a higher temperature was recorded near urban towns while lower temperature was observed around the vegetation area and small streams.
- 2) The relationship between the arrangement of a vegetation and the temperature indicates that the lower temperature area matches with each vegetation area. Streets between vegetations and the lower end of the wind area have also lower temperature.
- 3) The relationship between inter-vegetation streets and the temperature indicates that the lower temperature area has been observed not only at the streets of the lower end of the wind but at the streets in-between streets as well. Even when there's no vegetation area from which the wind blows, inter-vegetation streets showed the lower temperature.
- 4) With land coverage ratio and the temperature, the increase of planted areas, grass areas, and water level have positive effects on lowering the temperature while bare areas increase it.
- 5) From arbor to sub-arbor, the increase of trees has a significant effect on lowering the temperature of nearby area.

Key words : green space, air temperature, land coverage, number of trees

※ 본 연구는 2002년도 건국대학교 신입교수 학술연구비 지원의 일부에 의한 것임.

* Corresponding author Tel : 043 : 840-3538

E-mail : yonghan7204@hanmail.net

서론

녹지내는 기온상승의 요인이 적고, 녹지는 일사차폐와 증발산작용을 통해 기온저감에 효과적이라는 논문이 清田(1991), 윤용한(1998, 2000) 등에 의해 다수 발표되었다. 녹지내의 기온이 주변시가지의 기온과 비교해서 낮고(前田 昌 1990; 尹龍漢 1998), 토지피복현황이 기온 변화에 영향을 주고 있음(Oke 1971, 1979; Rosenberg 1983; 尹龍漢 1997)이 지금까지의 기상관측을 통해 밝혀졌다. 이러한 현상은 소규모의 녹지보다 대규모의 녹지가 내외의 기온저감효과에 미치는 영향 등이 더 크다(尹龍漢, 1998). 그러나 현재의 도시에서 대규모의 녹지 증가는 현실성이 떨어진다(梅干, 1993). 또한, 1개 이상의 녹지가 산재하고 있는 지역(이하 복수녹지라 한다)에 있어서(Honjo, 1991)는 시물레이션을 통해 효율적인 녹지구성을 고려하면 녹지를 분산 배치하는 것이 기온저감에 효과적이라고 예측하였다. 그러나 복수녹지를 대상으로 실측 및 배치수법에 대한 연구는 거의 이루어지고 있지 않다.

본 연구에서는 녹지의 배치 및 식재형태에 착안하여 녹지내외에 미치는 기온저감효과를 파악하기 위해 녹지의 기온분포를 관측하였다. 그 관측결과를 바탕으로 토지피복현황과 기온분포, 녹지의 배치와 기온, 녹지간 시가지(이하 녹지와 녹지사이)와 기온, 수목그루와 기온저감효과와의 관련성을 회귀분석 등을 통해 해석하였다.

자료 및 방법

조사대상지의 선정기준

녹지의 배치와 식재형태가 녹지내외에 미치는 기온저감효과의 영향범위 등을 조사하기 위해 ① 1개 이상의 녹지가 산재하고 있는 지역일 것. ② 녹지내의 토지피복현황과 기온분포와의 관련성을 파악하기 위해 토지피복현황이 다양할 것. ③ 녹지내의 식재형태가 다양할 것 등의 조건에 따라 日本에 위치한 東稜籜公園(Higasiyase park)과 堀之内貝塚綠地(Horinouchiduke)를 선정하였다.

東稜籜公園은 1의 녹지(4.62ha), 2의 녹지(6.46ha)로 구분되어 있다. 그 합계는(11.08ha)이다.

1의 녹지는 녹지의 중앙에는 큰 운동장(나지)이, 그 주위는 식재지로 싸여져 있고 서쪽에는 작은 하천이 존재한다. 또한, 남서쪽에는 작은 녹지가 분산되어 있다.

2의 녹지는 녹지의 동쪽에는 큰 운동장(나지)이, 남서쪽은 교목을 중심으로 큰 식재지가 존재하고 그 중심에는 2개의 나지가 분산되어 있다.

堀之内貝塚綠地은 1개의 녹지로, 그 면적은 4.46ha이다. 녹지의 북동쪽에는 인공구조물(건물)과 나지가 있고, 서쪽에는 비교적 넓은 식재지가 존재한다. 각 녹지주변은 주로 주거지역으로 지정되어 있다. 그 조사대상지의 개요 및 관측일의 기상조건을 Table 1에 나타냈다.

Table 1. 조사대상지의 개요와 관측일의 기상조건

조사대상지	규모(ha)	관측년월일	관측기온	풍향	풍속(m/s)	관측기온	풍향	풍속(m/s)
東稜籜公園	합계 11.09	1996. 8. 17		남남동	4.7		북	1.8
		8. 18		남	4.9		동북동	1.6
		8. 19		동	4.0		서남서	1.0
堀之内貝塚綠地	4.46	1997. 8. 7	최고기온	남남동	3.5	최저기온	남	0.8
		8. 8		북동	3.2		북서	1.0
		8. 9		동	3.0		남동	0.9

기상관측

Table 1에 나타난 바와 같이 기상관측은 한여름을 중심으로 1996, 97년 8월에 실시하였다. 일사량의 관측은 MS-61형 일사계를 사용하였다. 그 관측 방법(内嶋, 1981)은 이동관측 시간에 녹지내에서 1일 1회(14시 전후)에 20분(평균 일사량) 실시하였다. 단, 4시의 경우 일사가 없기 때문에 제외하였다.

풍향풍속의 관측은 Biramu형 풍향풍속계를 사용하였고, 그 관측방법은 일사량의 관측방법과 같으며, 1일 2회(14시, 4시 전후)에 실시하였다. 또한, 東稜嶺公園의 토지피복현황과 배치 및 각 관측점은 Fig 1과 같다.

각 정점관측은 Six형의 최고최저온도계(Six's thermometer)에 의해 관측하였다. 최고최저온도계는 일 최고 및 최저기온을 기록할 수 있는 점에서 데이터의 수집은 1일 1회로 하였다. 각 최고최저온도계에는 알루미늄호일의 방사차폐우산을 부착하여 직사광을 차폐하고 지상고 1.5m에서 관측하였다.

각 녹지주변의 관측은 Thermistor 온도계 모듈 TX-100을 사용하였고, 감지기는 방사차폐용에 알루미늄 호일을 덮은 통속에 넣어 이것을 탑재한 오토바이에 의한 이동관측(1일 2회, 4시 및 14시 전후)을 실시하였다. 모니터용으로서 바이메탈 자기온도계(bimetal thermograph)의 데이터를 이용해 이동관측의 데이터를 14시 및 4시의 기온과 비교해서 보정을 실시하였다.

보정은 자기온도계의 「일중 최고치, 이른 아침의 최저치」와 「관측시각에 나타난 일중의 기온, 이른 아침의 기온」과의 차이를 각각 이동관측의 관측치에 증감하였다.

이상과 같은 방법으로 얻어진 데이터 가운데 맑은 날을 대상으로 풍속은 4m/s 전후의 기상 조건의 데이터를 선택해서 아래의 해석방법을 활용하였다. 이때 흐린 날의 경우는 연구목적과 부합하지 않기 때문에 제외하였다.

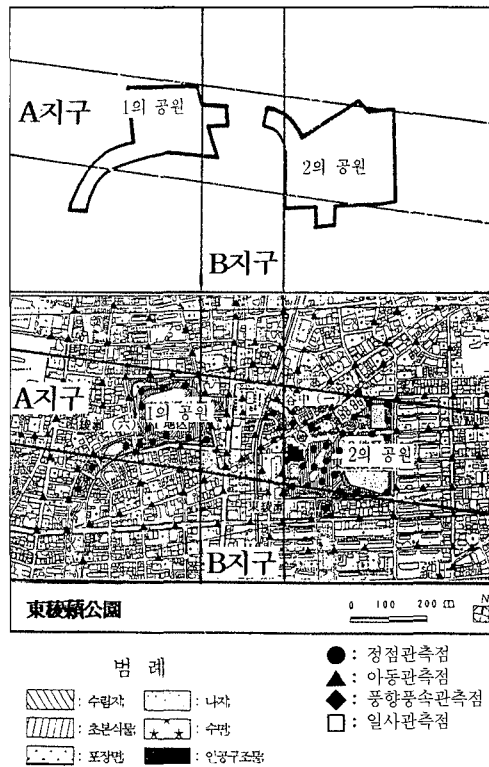


Fig. 1. 東稜嶺公園의 토지피복현황과 배치 및 각 관측점

해석 방법

녹지의 기온분포

각 녹지내외의 관측치를 근거로 최고 및 최저기온분포도를 작성하였다.

현지의 기초조사 및 토지피복현황의 파악은 1996년 6~7월과 1997년 6~7월에 실시하였고, 그 내용은 현지와 식재도면의 비교, 수고 및 식재형태 등을 파악하였다. 또한, 확대한 항공사진(1994, 1/2,500, 일본국토지리원)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), 식재형태에 따라 교목+소교목+관목, 교목+관목, 소교목+관목으로 구분

하여 토지피복현황도를 작성하였다. 이것들을 중첩시켜 녹지의 토지피복현황과 기온과의 관련성을 파악하였다.

녹지의 배치와 기온

Fig. 1에 나타낸 A지구내의 관측점에 대해서 녹지의 배치와 내외기온과의 관련성을 파악하였다. 또한, 풍하쪽 주변시가지에 미치는 기온저감효과의 영향범위는 복수녹지를 중심으로 풍상과 풍하쪽의 관측점에 대해서 녹지의주로부터의 거리와 기온과의 단회귀분석을 하였다. 이때 주변시가지에 미치는 기온저감효과의 영향범위는 풍상쪽의 평균치와 풍하쪽의 단회귀선과의 교점까지로 정의하였다. 그 정의에 따라서 풍상쪽 데이터의 평균치를 구하고, 풍하쪽의 단회귀선과의 비교를 통해 풍하쪽에 미치는 기온저감효과의 영향범위와의 관련성을 검토하였다.

녹지간 시가지의 기온

Fig. 1에 나타낸 B지구내의 녹지간 시가지의 기온과 주변시가지와의 기온저감효과의 차이를 검토하였다. 위와 같은 방법으로 풍하쪽에 미치는 기온저감효과의 영향범위와의 관련성을 조사하였다.

토지피복비율과 기온

보다 상세히 토지피복비율과 기온간에 어떤 영향을 어느 정도 미치는가를 파악하기 위하여 직경 50m 범위내의 식재지울, 초지울, 나지울 및 수면울과 기온과의 중회귀분석을 하였다. 여기에서 직경 50m 범위내로 한 것은 관측점으로부터의 거리에 따라 기온과 토지피복과의 중상관계수가 이 범위에서 안정한다는 필자의 기초실험과 北山(1992)의 보고를 참고로 하였다.

교목(수고 8m 이상) 및 소교목(수고 3~8m) 그루와 기온

수목을 수고에 따라 교목, 소교목 그루를 구하고 이것을 설명변수, 기온을 목적변수로 하여 중회귀분석을 하였다. 이때, 3m 이하의 수목은 주로 균식 및 생울타리이고, 그루의 계측이 어렵기 때문에 제외시켰다.

결과 및 고찰

녹지의 기온분포

각 녹지의 토지피복현황과 기온변화와의 관련성을 파악하기 위해 관측치를 근거로 작성한 대표적인 최고기온분포도를 Fig 2에 나타냈다.

최고기온의 경우, 東稜巒公園에 있어서 고온역은 주변시가지에, 저온역은 각 녹지의 형태와 거의 일치하는 경향을 보였다. 녹지내의 경우, 저온역은 식재지 및 소하천주변이고, 고온역은 각 운동장(나지) 주변에서 형성되었다. 녹지내의 최고치와 최저치의 차이는 1의 녹지는 1.0~1.5℃, 2의 녹지는 1.5~2.0℃ 정도였다.

堀之內貝塚綠地에 있어서 인공구조물과 나지 주변에서 고온역이, 넓은 식재지 주변에서 저온역이 형성되었다. 녹지내의 최고치와 최저치의 차이는 2.0℃ 정도였다. 또한, 교목+소교목층으로 피복 되어 있는 구역에서 현저한 저온을 나타냈다.

최저기온의 경우, 각 녹지 모두 고온역과 저온역의 출현위치는 최고기온과 거의 같은 경향을 보였다. 녹지내의 최고치와 최저치의 차이는 東稜巒公園에 있어서 1의 녹지는 0.5℃, 2의 녹지는 0.5~1.0℃ 정도였다. 堀之內貝塚綠地에 있어서 1.0℃ 정도였고, 등온선의 밀도는 최고기온보다 각 녹지 모두 소밀(疏密)하게 나타났다.

이상과 같이 녹지내에 있어서 최고 및 최저기온 모두 고온역은 운동장(나지)주변에서, 저

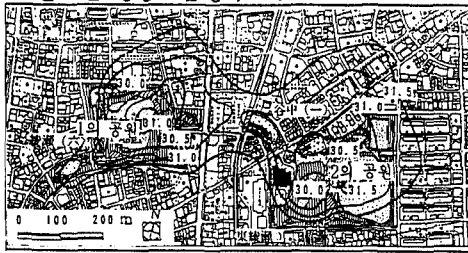
온역은 소하천 및 식재지 주변에서 형성되었다. 이것은 수목의 일사차폐효과와 증발산작용에 의한 지면의 기온상승억제효과라고 생각된다. 이에 대해 吉野(1986)는 식재지는 포장면, 나지보다 비열이 큰 것에 기인한다고 설명하였다.

녹지의 배치와 기온

8월 19일 최고기온(풍향 : 동)과 8월 18일 최저기온(풍향 : 동북동)의 경우, Fig. 1에 나타난 A지구내의 관측점에 대해서 해석하였다. 이 경우는 1의 녹지에서 2의 녹지 위를 바람이 통과하는 것이 된다. 복수녹지를 중심으로 풍상과 풍하쪽의 복수녹지의주로부터의 거리와 기온간의 단회귀분석결과를 Table 2에 나타냈다. 그 결과 최고 및 최저기온 모두 풍상쪽보다는 풍하쪽이 상대적으로 높은 유의상관이 인정되었다. 또한, 녹지배치의 거리와 기온과의 관계를 Fig 3에 나타냈다.

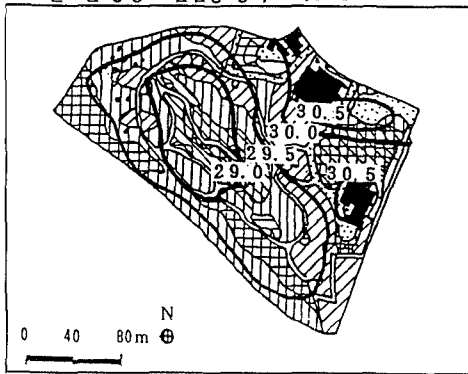
(1) 東稜嶺公園

8월 18일 풍향 : 남 풍속 : 4.9m/s



(2) 堀之内貝塚跡地

8월 7일 풍향 : 남남동 풍속 : 3.5m/s



범례

- 교목
- 소교목
- 관목
- 초본식물
- 포장면
- 나지
- 수변
- 인공구조물
- 교목+소교목+관목
- 교목+관목
- 소교목+관목

Fig. 2. 각 녹지의 최고기온분포도

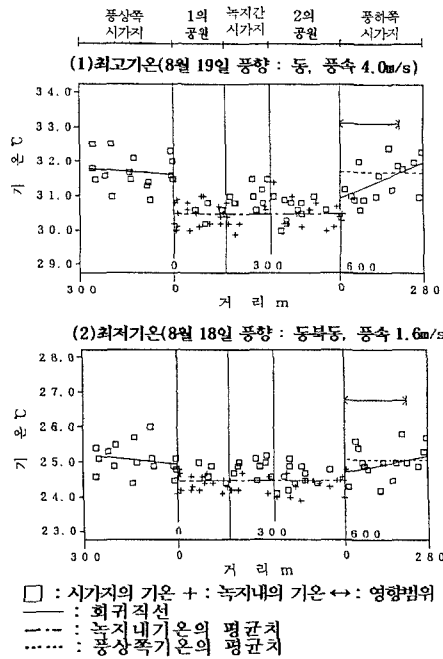


Fig. 3. 녹지배치의 거리와 기온과의 관계

Table 2. 녹지의 주로부터의 거리와 기온간의 단회귀식

조사대상지	관측기온	관측일	풍 상 쪽			풍 하 쪽		
			회 귀 계 수			회 귀 계 수		
			X	정수항	R ²	X	정수항	R ²
東稜嶺公園	최고기온	8. 19	0.0007	31.61	-0.142	0.0036	28.95	-0.515
	최저기온	8. 18	0.0008	24.99	-0.220	0.0021	23.46	-0.400

Y : 기온(°C) X : 거리(m)

Table 3. 기온-직경 50m 범위내의 토지피복비율간의 중회귀식

조사대상지	관측기온	Date	회귀계수				정수항	R ²
			X1	X2	X3	X4		
東稜巖公園	최고기온	8. 14	-0.028	-0.019	0.020	-0.016	32.37	0.918
		8. 15	-0.034	-0.015	0.019	-0.017	33.12	0.790
		8. 16	-0.029	-0.016	0.018	-0.019	32.99	0.818
堀之内貝塚線地	최저기온	8. 7	-0.014	-0.009	0.009	—	31.83	0.555
		8. 8	-0.023	-0.013	0.005	—	31.41	0.781
		8. 9	-0.018	-0.015	-0.013	—	32.22	0.739
東稜巖公園	최고기온	8. 14	-0.015	-0.011	-0.003	-0.008	25.30	0.825
		8. 15	-0.019	-0.019	0.009	-0.011	25.22	0.846
		8. 16	-0.017	-0.014	0.006	-0.013	25.67	0.817
堀之内貝塚線地	최저기온	8. 7	-0.014	-0.009	0.000	—	25.05	-0.717
		8. 8	-0.011	-0.004	-0.002	—	24.65	0.722
		8. 9	-0.008	-0.003	-0.008	—	24.95	0.689

Y : 기온(°C) X1 : 식재지율(%) X2 : 초지율(%) X3 : 나지율(%) X4 : 수면율(%)

각 녹지내에는 주변시가지보다 기온이 낮고, 1의 녹지와 2의 녹지 사이에 있는 녹지간 시가지도 약간 저온의 경향을 보였다.

풍상쪽의 경우, 최고 및 최저기온 모두 편차가 심한 경우가 많으나, 회귀직선을 보면 녹지 외주로부터 주변시가지를 향해 거의 일정기온의 경향을 보였다.

풍하쪽의 경우, 풍상쪽과 마찬가지로 기온분포가 분산되어 나타났는데 회귀직선을 보면 최고 및 최저기온 모두 각 녹지에 가까워질수록 저온의 영향범위가 넓어지는 것을 알았다. 또한 녹지간 시가지는 풍하쪽 저온의 영향범위보다도 0.3°C 낮은 기온을 보였다. 이것은 각 녹지로부터의 냉기에 의한 것이라고 생각된다.

폭원이 약 160m인 1의 녹지와 270m인 2의 녹지 사이의 거리는 130m 정도 떨어졌지만, 녹지간 시가지의 기온을 약간 저감시키는 효과를 보였다. 복수녹지로부터 주변시가지에 미치는 기온저감효과의 영향범위는 최고기온에서는 290~350m, 최저기온에서는 300m 정도였다. 복수녹지의 배치에 따라 풍하쪽 주변시가지 뿐만 아니라 녹지간 시가지에서도 저온역을 효율적으로 만들 가능성이 인정되었다.

녹지간 시가지의 기온

앞절과 거의 90°풍향이 다를 때 8월 18일 최고기온(풍향 : 남)과 8월 17일 최저기온(풍향 : 북)의 경우, Fig. 1에 나타낸 B지구내의 녹지간 시가지의 기온과 주변시가지와의 관련성을 검

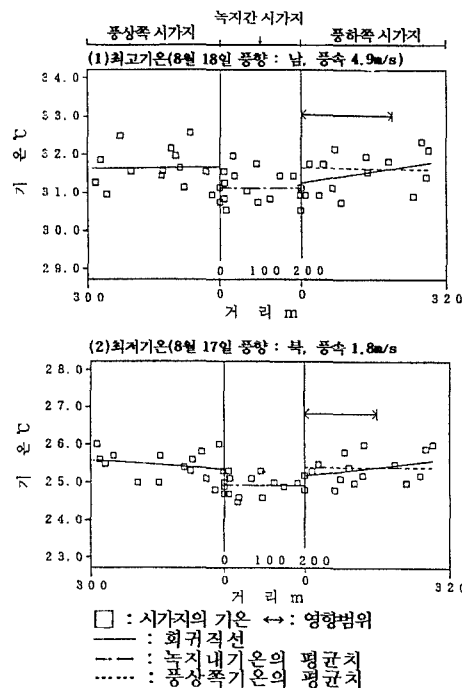


Fig. 4. 녹지간 시가지의 거리와 기온과의 관계

토하였다. Fig 4에는 B지구내의 녹지간 시가지와 기온과의 관계를 나타냈다. 녹지간 시가지의 주요부터의 거리와 기온과의 관계를 나타냈는데, 지금까지의 예와 마찬가지로 녹지상의 냉기는 풍하쪽 주변시가지로 이동하는 것이 확인되었다. 녹지간 시가지의 기온은 풍상쪽에 녹지가 산재하지 않음에도 불구하고 최고 및 최저기온 모두 주변시가지보다 약간 저온의 경향을 보였다. 이것은 풍향의 정도 및 변화에 의한 복수녹지로부터의 냉기에 의한 효과라고 생각된다. 녹지간 시가지로부터 주변시가지에 미치는 기온저감의 영향범위는 최고기온에서는 260~280m, 최저기온은 160m 정도였다.

토지피복비율과 기온

보다 상세히 토지피복비율과 기온간에 어떤 영향을 어느 정도 미치는가를 밝히기 위해 각 녹지내의 정점관측점을 중심으로 직경 50m 범위내에 식재지율, 초지율, 나지율 및 수면율과 기온간의 중회귀분석결과는 Table 3과 같다. 그 결과 식재지, 초지, 나지, 수면 모두 높은 유의상관이 인정되었다.

이상과 같이 식재지와 초지 및 수면은 기온저감에 효과적이고, 초지보다는 식재지가 기온저감의 효과가 컸다(近藤, 1983; 清田, 1991; 윤용한, 2000). 이것은 일사량의 차폐효과가 적은 초지의 토양면은 건조상태로 변해 증발산량이 적어지면서 기온저감효과가 작아지지만, 일

사차폐효과와 증산능력이 많은 식재지는 증산량의 변동이 적기 때문에 초지보다 큰 기온저감효과를 가지고 있다고 생각된다. 녹지내의 냉원의 주체는 식재지이고, 그 다음은 수면, 초지이다. 그러나 일사차폐요인이 없는 나지는 거의 기온상승의 효과를 보였다.

교목 및 소교목 그루와 기온

녹지내의 관측점을 중심으로 직경 50m 범위내의 교목 및 소교목 그루와 기온간의 중회귀분석 결과는 Table 4와 같다. 그 결과, 모두 비교적 높은 유의상관이 인정된다.

이상과 같이, 각 녹지내의 교목 및 소교목 모두 그루의 증가는 기온저감에 유효하였다. 또한, 소교목보다 교목이 기온저감효과에 미치는 영향이 크다는 것을 확인하였다. 이것은 新田(1981)에 의하면, 교목은 소교목보다 상부의 엽온은 일사를 받아 높지만 수관 아래에서는 엽면의 차폐효과와 증산량에 의해 냉각이 좌우된다. 그러므로, 식재지내의 기온저감효과는 교목이 좌우한다고 생각된다.

요 약

본 연구는 녹지의 배치와 식재형태가 기온저감효과에 미치는 영향을 파악한 결과 다음과 같은 점이 밝혀졌다.

- 1) 녹지의 기온분포도로부터 교온역은 주변시

Table 4. 기온-직경 50m 범위내의 교목, 소교목 그루와의 단회귀식

조사대상지	관측기온	관측일	회귀계수			R2
			X1	X2	정수항	
堀之内貝塚緑地	최고기온	8. 7	-0.024	-0.017	32.05	0.598
		8. 8	-0.029	-0.023	31.36	0.739
		8. 9	-0.025	-0.020	32.27	0.623
	최저기온	8. 7	-0.016	-0.009	24.81	0.664
		8. 8	-0.011	-0.009	24.48	0.583
		8. 9	-0.014	-0.010	25.16	0.731

Y : 기온(℃) X1 : 교목(8m) X2 : 소교목(3~8m)

- 가지에서, 저온역은 각 녹지내의 식재지 주변과 소하천주변에서 확인되었다.
- 2) 녹지의 배치와 기온과의 관계를 보면, 저온역은 각 녹지와 거의 일치하고 녹지간 시가지 및 풍하쪽에도 저온역이 형성되었다.
 - 3) 녹지간 시가지와 기온과의 관계를 보면 저온역은 풍하쪽 시가지뿐 아니라 녹지간 시가지에서도 나타났다. 또한, 풍상쪽에 녹지가 존재하지 않은 경우에도 녹지간 시가지는 주변 시가지보다 낮은 기온이었다.
 - 4) 토지피복비율과 기온에서 식재지, 초지 및 수면이 증가하면 모두 기온저감에 효과적이고, 나지의 증가는 기온상승에 효과적이다.
 - 5) 교목, 소교목의 순으로 그 그루의 증가는 기온저감에 유효하게 관련되어 있는 것이 파악되었다.

참고문헌

1. 清田 新, 北宅善昭, 原茵芳信, 失吹万壽. 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.
2. 윤용한. 2000. 공원에 의한 고온성 저감효과에 관한 연구. 한국정원학회지 18(1) : 83-90.
3. 前田昌一郎 等. 1990, “市街地における公園の暑熱緩和効果に関する研究(その2) 公園とその周辺市街地の熱環境”, 日本建築學會學術講演概集, 1271-1272.
4. 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”, 랜드스케이프研究 61(5), 769-772.
5. Oke, T. R. 1979. "Advectively-assisted evapotranspiration from irrigated urban vegetation", Boundary-Layer Meteor, 17, 167-173.
6. Rosenberg, N.J; Blad, B.L. and Verma, S.B. 1983. "Microclimate the biological environment(2nd Ed.)", A Willey-Interscience Pub, New York, 495.
7. 尹龍漢 等. 1997. “公園綠地内における氣温及び相對濕度分布と土地被覆状態との關連性 について”, 第11回環境情報科學論文集, 19-24.
8. 梅干野 等. 1993. 都市の綠地와 環境物理, 熱, 光・水環境과 綠地: 日本建築學會大會(關東)環境工學部門, 1-4.
9. Honjo, T. 1990/91. "Simulation of thermalefects of urban green areas on their surrounding areas". Energy and Buildings, 15-16, 443-446.
10. 内嶋善兵衛. 1981. 日射の測定法. 農業氣象, 37(2) : 137-138.
11. 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.
12. 北山廣樹 等. 1992. “都市における土地利用と氣温分布に関する調査研究”, 日本建築學會大會學術講演集, 1403-1404.
13. 吉野政敏. 1986. 新版小氣候, 地人書館, 84-86.
14. 近藤三雄, 間仁田和行, 浜田容三, 小澤知雄 樹木. 1983. 芝生の微氣象調節効果に関する實証的研究. 造園雜誌, 46(3) : 161-175.
15. 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.