

도시녹지의 대기환경개선 효과*

- 서울시 중구를 중심으로 -

조현길** · 조용현*** · 안태원****

강원대학교 산림경영·조경학부 · *서울시정개발연구원 도시환경연구부 · ****강원대학교 대학원

Effects of Urban Greenspace on Improving Atmospheric Environment - Focusing on Jung-gu in Seoul -

Jo, Hyun-Kil** · Cho, Yong-Hyeon*** · Ahn, Tae-Won****

**Landscape Architecture Program, Kangwon National University

***Dept. of Urban Environment, Seoul Development Institute

****Dept. of Landscape Architecture, Graduate School, Kangwon National University

ABSTRACT

This study explored effects of urban greenspace on improving atmospheric environment, which is concerned with CO₂, SO₂ and NO₂ uptake, and with reduction of summer air temperatures. The site of this study was focused on Jung-gu in Seoul. Tree density and cover were 1.1trees/100 m² and 12.5% respectively for the study area except forest lands. Atmospheric purification by greenspace was associated with changes in tree cover per unit area of each land use type. The mean CO₂ storage by woody plants was 19.4t/ha, and annual uptake averaged 2.2t/ha/yr for CO₂, 1.9kg/ha/yr for SO₂ and 5.0kg/ha/yr for NO₂. Entire tree plantings in the study area played a significant role by annually offsetting CO₂ emissions of about 1,830t from fossil fuel consumption by 330 persons, SO₂ emissions of 1,620kg by 1,080 persons, and NO₂ emissions of 4,230kg by 450 persons.

The summer air temperature was 3.6°C cooler at a location with 54% cover of woody plants and 4.5°C cooler at a forest site with 100% cover, compared to a place with no planting. A 10% increase of woody plant cover was estimated to decrease summer air temperature by approximately 0.6°C until a certain level of canopy cover. Analyzing data from the Automatic Weather Stations in Seoul revealed that increasing tree

* : 이 논문은 2001년도 서울특별시 지원 연구비에 의한 연구의 일부임.

† Corresponding author : Hyun-Kil Jo, Landscape Architecture Program, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea. Tel. : +82-33-250-8345, E-mail: jhk@kangwon.ac.kr

cover decreased mean air temperature for the summer season (Jun~Aug) in a nonlinear function. Woody plant cover was the best predictive variable of summer temperature reduction. The results from this study are expected to be useful in emphasizing the environmental benefits and importance of urban greenspace enlargement, and in urging the necessity for planting and management budgets.

Key Words: CO₂, SO₂, NO₂, Temperature, Woody Plants

I. 서론

화석연료 소비와 자연녹지 훼손은 기후변화의 주범인 CO₂를 비롯해 주요 대기오염물질인 SO₂ 및 NO₂의 대기농도를 증가시켜 왔다. 현 세대는 이미 이상기온, 강우량변화 등의 기후변화를 경험하고 있다. 도시 내 녹지부족과 건물, 포장 등 인공구조물의 우점은 열축적 및 방출을 증가시켜 도시열섬 현상을 야기한다.

수목은 광합성을 통한 생장과정에서 대기 CO₂를 흡수 저장할 뿐만 아니라, SO₂, NO₂ 등 오염물질을 흡수하여 그들의 대기농도를 낮춘다. McPherson(1998)은 새크라멘토시 도시수목에 의한 총 CO₂ 저장 및 연간 CO₂ 흡수량을 산정하고, CO₂ 배출을 상쇄시키는 수목의 가치를 계량화하였다. 그리고, Scott *et al.*(1998)은 침착속도모형을 적용하여 도시수목의 연간 대기오염물질 흡수와 그 경제적 가치를 산정하였다. 국내에서는 최근 조현길과 안태원(2001a)이 용인시를 대상으로 도시수목의 연간 CO₂, SO₂, NO₂ 흡수 및 O₂ 생산을 계량화하여, 도시 내 수목식재가 대기정화에 기여하는 가치를 구명한 바 있다. 도시 전체수목을 대상으로 단위면적차원의 CO₂, SO₂ 및 NO₂ 흡수와 관련된 대기정화 역할을 구명한 국내 연구는 흔치 않다.

도시녹지는 차양, 증발산 등을 통해 도시열섬 현상을 완화한다. 즉, 수목차양은 태양복사를 차단 또는 흡수하여 인공구조물의 열축적 및 방출을 감소시키고, 녹지의 증발산은 현열을 잠열로 바꾸어 대기온도를 낮춘다. Akbari *et al.*(1992)은 도시의 온도상승 원인과 그에 따른 영향을 소개하고, 도시 내 수목식재 및 밝은 색 계통의 표면처리에 의한 도시열섬 현상의 완화효과와 그 전

락을 제시하였다. 조현길과 안태원(1999)은 도시수목의 증산량 및 토지피복재료의 알베도를 실측하고 도시 녹지에 의한 온도, 습도 등 미기후개선의 기능을 구명하였다. 윤용한과 송태갑(2000)은 도시공원에서 여름철 기온분포를 관측하고 녹지 내의 토지피복 상태 및 수림형태와 온도저감간 관련성을 회귀분석을 통해 해석하였다. 이처럼 도시열섬 현상과 관련하여 녹지의 온도저감 효과에 관한 연구가 수행되어 왔으나, 국내에서 수목피도 및 녹지면적 차이에 따른 온도저감 효과를 정량적으로 구명한 사례는 드물다.

인구증가와 도시팽창은 도시주변에 분포하는 녹지를 잠식하여 온 반면, 개발된 도시 내에는 빈약한 수목식재로 도시녹지의 대기환경개선 역할이 제한되는 상황이다. 대기정화 및 온도저감과 관련된 도시녹지의 역할을 파악하는 것은 국내에서 미흡한 관련 정보를 확충하고, 도시 내 녹지확충의 환경적 혜택과 필요성을 홍보하는데 일조할 수 있다. 본 연구의 목적은 서울시 중구를 중심으로, 도시수목의 대기 CO₂, SO₂ 및 NO₂ 흡수를 계량화하고 녹지면적과 여름철 온도간의 상관관계를 분석하여, 도시녹지가 대기환경개선에 기여하는 효과를 구명하는 것이다.

II. 연구방법

1. 대기정화 효과분석

서울시 중심부에 위치하는 중구를 대상으로 토지이용 유형을 고려한 체계적 표본추출을 통해 표본조사지점을 선정하였다. 축척 1/8,000의 행정구역도 상에 4cm

간격의 격자를 그려 각 격자점을 표본추출하되, 토지이용 유형 중 표본지점이 소수인 경우 2cm 간격의 격자점을 추가 선정하였다. 토지이용 유형별 표본수는 공원이 6개, 주거지, 상업지, 공공용지(병원, 은행, 학교 및 공공기관) 등 타 유형이 최소 11~최대 25개로, 하천 및 산림을 제외한 대상지 전체 표본추출수는 총 90개이었다.

현지답사를 통해 해당 표본지점 가장 가까이에 위치하는 건물을 선정하고 대지면적을 측정한 후, 그 대지경계 내에 분포하는 모든 수목의 수종, 직경, 수고, 수관체적, 피도 등을 조사하고 토지이용 유형을 기록하였다. 공원의 경우는 전체면적 내 식재된 수목을 전수조사하였다. 조사자료를 토대로 수종별(동일 수종의 방정식이 부재하는 경우 동일 속 또는 성상별) 단목(單木) 차원의 대기정화능 방정식을 적용하여 각 수목 개체의 대기정화량을 산정하고, 토지이용 유형별 단위면적당 CO₂, SO₂ 및 NO₂ 저감효과를 계량화하였다. 그리고, 토지이용 유형별 면적비에 준거하여 중구 전체 도시수목의 대기정화 효과를 산정하였다.

즉, CO₂ 저장량은 수종별 생체량방정식들(조현길, 1999)을 이용하여 생체량을 구한 후 CO₂량으로 환산하였다. 여기에서, 저장량이란 수목이 성장하면서 여러 해에 걸쳐 축적한 총량을 의미한다. 연간 CO₂ 흡수량은 CO₂ 교환을 실측을 통해 유도한 수종별 흡수량방정식(조현길과 조동하, 1998; 조현길과 안태원, 2001b)을, SO₂ 및 NO₂ 흡수량은 CO₂와 SO₂ 또는 NO₂간의 흡수 속도비를 활용하여 유도한 수종별 방정식(조현길과 안태원, 2001a; 2001b)을 각각 적용하여 산출하였다. 연간 SO₂ 및 NO₂ 흡수량 산정시 대기 CO₂ 농도는 적외선가스분석기로 실측한 춘천시의 계절별 평균치(조현길과 안태원, 2001b)를, SO₂ 및 NO₂ 농도는 환경부(<http://lib.me.go.kr/lib/>)에서 제공한 연구대상지 인근 5개 지점의 최근 3년간(1998~2000) 월별 농도자료를 각각 활용하였다.

2. 온도저감 효과분석

중구에서 수목피도 및 토지피복 유형을 현지 실측하여 직경 30m의 원경 내 수목피도가 상이한 3개 장소를

선정하였다. 선정지점은 수목피도가 0%인 서울시청 주차장, 54%인 덕수궁 정관현 서측, 그리고 약 100%인 남산의 수림지이었다. 각 지점의 지상 3m 높이에 소형 백엽상을 설치하고 자기온습도계(HOBO사의 H08-032-02)를 이용하여, 2001년 7월 중순부터 8월 중순까지 3회에 걸쳐 맑은 날 하루 24시간 동안 여름철 대기온도 및 습도를 실측하였다.

한편, 서울시 24개 자동기상관측망에서 측정된 1999년 여름철(6~8월) 매일의 시간별 온도자료와 각 지점의 수목피도 및 녹지면적을 분석하여, 녹지에 의한 여름철 온도저감 효과를 추정하는 회귀모델을 유도하였다. 즉, 수목피도, 녹지면적 등을 독립변수로 하고 평균 온도, 최저온도, 최고온도 등을 종속변수로 하되, 반복적인 선형 및 비선형 접근을 시도하여 가장 적합한 회귀식과 독립변수를 최종 도출하였다.

회귀모델 유도와 관련된 자동기상관측망 온도분석은 비가 내린 날과 4% 이상의 풍속(윤용환과 송태갑, 2000)이 발생한 날을 모든 지점에서 동일하게 제외하였다. 그리고, 하천에 의한 온도완화 영향거리 315m(박인환 등, 2000)를 근거로, 하천, 호수 등 수변에 접한 관측지점의 측정치는 분석대상에서 제외하였다. 도시에서 일정규모 이상 녹지를 형성하고 있는 공원의 온도완화 거리는 167~260m이므로(박인환 등, 2000), 자동기상관측망 인근 녹지분포 분석의 공간규모는 반경 150m로 한정하였다. 여름철에 촬영한 흑백항공사진을 이용하여 기상관측지점을 중심으로 반경 150m의 원을 작도한 후, 그 원 내에서 10m 간격의 격자점을 표본추출하였다. 관측지점별 총 700여개 격자점의 토지피복 유형을 판독하여 수목피도 및 녹지면적을 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 도시수목의 대기정화

1) 수목식재 현황

중구의 행정구역상 총면적은 1999년 기준 996ha이며, 하천 및 산림을 제외한 타 토지이용은 총면적의 약 85%를 점유하였다(서울시, 2000). 그 중 교통용지를 포함한 상업지의 점유비가 약 46%로서 가장 높고, 공

Table 1. Density, basal area, and cover of woody plants by land use type in Jung-gu(mean±SE)*

Land use		Density (tree/100m ²)	Basal area (cm ² /100m ²)	Cover (%)
Residential	Detached	1.2±0.4	90±35	9.4± 3.4
	Multifamily	4.2±0.4	164±21	15.0± 1.6
Commercial		0.4±0.1	140±41	7.5± 2.5
Transportation		0.4±0.1	231±64	11.9± 3.3
Institutional		1.0±0.2	163±30	11.5± 2.1
Park		4.2±0.7	685±86	54.2±10.6

* Density and basal area exclude shrubs.

공용지와 주거지는 각각 28% 및 21%를 구성하는 것으로 나타났다.

토지이용 유형별 수목피도는 공원이 약 54%로서 타 토지이용에 비해 현저하게 높았고, 이어서 다세대주거지 15%, 교통 및 공공용지 각각 12%, 단독주거지 9%, 상업지 8%의 순이었다(Table 1 참조). 흉고직경 2cm 이상의 교목밀도는 공원과 다세대주거지에서 4.2주/100m²로 평균적으로 가장 높았는데, 다세대주거지의 경우 성목의 분포가 상대적으로 적어 기저면적은 공원의 약 24%에 불과하였다. 반면, 교통용지에서는 교목밀도는 낮으나 성목의 분포가 많아 기저면적은 오히려 다세대주거지보다 1.4배 컸다. 중구 전체의 평균 교목밀도와 기저면적은 각각 1.1주/100m², 186cm²/100m²이고 수목피도는 12.5%이었다. 서울시 강남 및 중랑구에서 교목밀도가 3주/100m², 수목피도가 13%이었는데(조현길 등, 1998), 이에 비하면 중구의 교목 식재주수는 1/3 정도 수준이나 수목피도는 유사하였다.

흉고직경급 분포는 Figure 1과 같이, 표본추출된 전체 교목 중 10cm 미만이 약 59%, 20cm 미만이 89%, 30cm 미만이 97%를 점유하며 유목 내지는 성장과정의 수목들이 우점하는 것으로 나타났다. 특히, 다세대주거지는 직경 10cm 미만의 점유비가 88%, 20cm 미만은 99%로서 성목의 분포비가 상당히 낮았다. 이는 다세대 주택 건설 및 수목식재의 경과연수가 비교적 짧음에 기인하는 것으로 판단된다. 이에 반해, 주로 가로수가 생장하는 교통용지는 직경 20cm 이상의 성목 분포비가 타

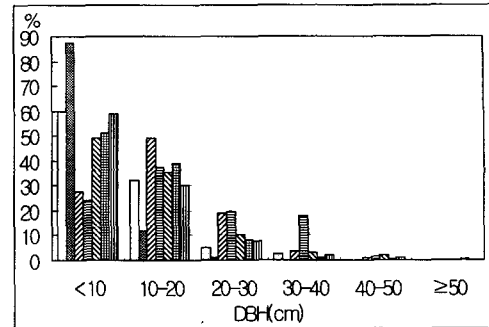


Figure 1. Percentages of DBH distribution of trees sampled in Jung-gu.

Legend: □: Detached residential; ▨: Commercial; ▩: Institutional; ▪: Multifamily residential; ▫: Transportation; ■: Park; ■: Total

토지이용에 비해 높고, 10cm 미만의 유목 분포비는 가장 낮았다.

상대우점치가 가장 높은 상위 5개 교목은 소나무(*Pinus densiflora*), 은행나무(*Ginkgo biloba*), 느티나무(*Zelkova serrata*), 단풍나무(*Acer palmatum*) 및 향나무(*Juniperus chinensis*)이었다. 관목의 경우는 회양목(*Buxus microphylla* var. *koreana*), 산철쭉(*Rhododendron yedoense* var. *poukhanense*), 개나리(*Forsythia koreana*), 주목(*Taxus cuspidata*), 진달래(*Rhododendron mucronulatum*) 등의 순이었다. 이들은 대개 경기도 용인시, 서울시 강남 및 중랑구에서도 상대적으로 높은 상대우점치를 보였던(조현길 등, 1998; 조현길과 안태원, 2001a) 도시의 주요 식재수종들이다.

2) 수목의 대기정화량

수목의 토지이용 유형별 단위면적당 CO₂ 저장량은 공원에서 74.2t/ha로서 가장 많았고, 단독주거지에서 8.4t/ha로서 가장 적었다(Table 2 참조). 성목의 분포가 많은 교통용지의 경우, 상대적으로 수목피도가 높은 다세대주거지보다 그 저장량이 1.6배 더 많았다. CO₂ 저장량은 대체로 단위면적당 기저면적이 클수록 많은 경향이었다. 연간 흡수량 역시 수목피도가 높은 공원에서 CO₂ 12.3t/ha/yr, SO₂ 8.3kg/ha/yr 및 NO₂ 21.8kg/ha/yr로서 가장 많았고, 피도가 낮은 단독주거지 혹은 상업지에서 가장 적었다. 이와 같이, 연간 CO₂, SO₂ 및 NO₂

Table 2. Atmospheric purification by woody plants for each land use type in Jung-gu(mean±SE)

Land use	CO ₂ storage (t/ha)	Annual uptake			
		CO ₂ (t/ha/yr)	SO ₂ (kg/ha/yr)	NO ₂ (kg/ha/yr)	
Residential	Detached	8.4± 3.5	0.9±0.4	1.4±0.6	3.7±1.5
	Multifamily	15.0± 2.1	1.6±0.3	2.5±0.5	6.6±1.3
Commercial		14.6± 4.5	1.0±0.3	0.9±0.3	2.5±0.8
Transportation		24.0± 6.3	1.6±0.4	1.7±0.5	4.5±1.2
Institutional		17.8± 3.3	2.8±0.6	1.9±0.4	5.1±1.0
Park		74.2±12.4	12.3±2.6	8.3±1.6	21.8±4.2

흡수량은 수목피도의 고저와 유관하였다.

전체 토지이용의 단위면적당 평균 CO₂ 저장량은 19.4t/ha이었고, 연간 흡수량은 CO₂ 2.2t/ha/yr, SO₂ 1.9 kg/ha/yr 및 NO₂ 5.0kg/ha/yr이었다. 용인시 도시수목의 CO₂ 저장량은 13.1t/ha이었고, 연간 흡수량은 CO₂ 2.0t/ha/yr, SO₂ 2.0kg/ha/yr 및 NO₂ 4.0kg/ha/yr이었다 (조현길과 안태원, 2001a). 춘천시와 서울시 강남 및 중랑구의 경우는 CO₂ 저장량이 각각 17.2t/ha, 24.2t/ha, 26.4t/ha이었고, 연간 CO₂ 흡수량이 각각 2.1t/ha/yr, 1.9t/ha/yr, 2.9t/ha/yr이었다(Jo, 2002). 도시생태계에서 수목의 대기정화 효과는 식재량에 따라, 그리고 그들 오염물질의 대기농도 고저에 따라 도시별로 다소 차이가 있는 것으로 분석된다.

중구 전체의 식재수목은 총 16,450t의 CO₂를 저장하고 있으며, 해마다 CO₂ 1,830t/yr, SO₂ 1,620kg/yr 및 NO₂ 4,230kg/yr을 흡수하는 것으로 나타났다. 서울시에서 화석연료 소비에 기인한 인구 1인당 연간 CO₂ 배출량은 약 5.5t/yr이고(조현길과 이기의, 2000), 1인당 SO₂ 및 NO₂ 배출량은 각각 1.5kg/yr 및 9.3kg/yr이었다(환경부, 1998; 1999; 2000). 이들 배출량에 근거하면 중구 식재수목은 해마다 시민 약 330인의 CO₂ 배출량을, 1,080인의 SO₂ 배출량을, 450인의 NO₂ 배출량을 각각 상쇄하는 중요한 역할을 담당하였다. 그리고, 중구 전체 인구의 약 2%에 해당하는 2,990인이 1년간 배출하는 CO₂량을 저장하고 있는 셈이었다.

2. 도시녹지의 온도저감

1) 토지피복에 따른 온습도 차이

수목피도 및 녹지면적이 상이한 장소에서 여름철 대기온도와 습도를 실측한 결과(Table 3 참조), 수목피도가 약 54%인 장소의 온도는 녹지가 전무한 장소에 비해 평균 3.6℃ 더 낮았다. 수목피도가 약 100%인 수림지는 녹지부재의 장소보다 온도는 4.5℃ 더 낮고 습도는 17% 더 높았다. 조현길과 안태원(1999)의 연구에 의하면, 수목피도가 12% 및 22%인 주거지구의 여름철 온도가 수목이 전무한 장소보다 각각 0.6℃ 및 1.4℃ 더 낮았다. 이러한 결과는 수목피도 약 50% 이상에서는 피도증가에 따른 온도저감 효과가 다소 둔화될 수 있으나, 일정 수준까지의 수목피도 10% 증가는 여름철 온도를 약 0.6℃씩 낮추는 효과가 있음을 의미한다. 국외 연구들(Huang *et al.*, 1987; Profous, 1992) 역시 상기한 연구결과와 유사하게 수목피도 10% 증가는 여름철 온도를 0.5~1℃ 감소시킴을 보고한 바 있다. 향후, 수목피도 50% 이상에 대한 보다 세부적인 보강연구를 통해 그 온도저감의 경향을 검증할 필요가 있다. 측정장

Table 3. Effects of difference in woody plant cover and greenspace area on mean air temperature and humidity for summer season(Jul~Aug)

Cover (%)	Greenspace (%)	Building (%)	Paving (%)	Temperature (℃)	Humidity (%)
0	0	42	58	30.1	48
54	55	22	23	26.5	62
100	100	0	0	25.6	65

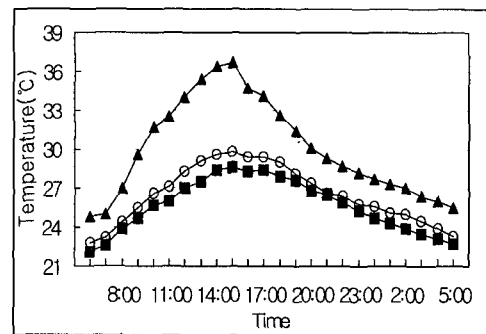


Figure 2. Hourly changes of summer air temperature by different cover of woody plants.

Legend: ▲: 0%; ○: 54%; ■: 100%

소간 하루 중 온도차의 시간별 변화를 살펴보면(Figure 2 참조), 수목피도가 높을수록 온도가 하루 종일 상대적으로 더 낮았고, 야간보다 주간에 그 차이가 더 큰 것으로 나타났다. 주간 중 온도차는 수목의 증발산이 비교적 활발하고 냉방전력 부하가 최대인 오후 시간대에 더욱 컸다.

녹지가 전무한 측정지점의 30m 직경 내 토지피복은 Table 3과 같이 건물과 불투수성 포장만으로 구성되어 있으며, 소형 백엽상을 설치한 지점으로부터 약 2m 북측에 건물이 위치하였다. 수목피도 54%인 지점의 경우는 서북측에 건물, 동북측엔 불투수성 포장, 그리고 남측에는 대부분 활엽수종의 교목이 분포하였다. 수목피도 약 100%인 지점은 활엽수림이었다. 측정지점간 거리는 녹지부재 지점과 수목피도 54%인 지점이 약 300m, 녹지부재 지점과 수림지가 1.5km이었다. 측정일 풍속은 최소 0.3~최대 4.4%이고 풍향은 북동풍 내지 동풍이었다.

본 연구는 자연상태 하에서 수목영향을 고려한 온도를 실측하는데 중점을 두어서, 수목피도 외 온도에 영향을 미치는 모든 주변여건을 인위적으로 동일하게 제어하기 어려운 한계가 있었다. 그러나, 국지적 강풍여부를 고려하고 중구 내 서로 근접한 거리에서 각 측정지점을 선정하여, 기압적 타 변수의 영향을 최소화하려고 시도하였다. 향후, 토지피복재료의 알베도, 폐열방출 등을 포함하는 다양한 연구의 수행을 통해 온도증감에 영향을 미치는 주변인자의 역할을 구명할 필요가 있다.

2) 녹지면적과 온도간 회귀모델

서울시 자동기상관측망의 반경 150m 내 수목피도 및 녹지면적은 최소 10% 미만에서 최대 약 100%로서 그 분포가 다양하였으며, 5개 관측망이 수변에 인접해 있는 것으로 분석되었다. 설치위치는 대부분 옥상이며, 그 높이는 소수 산림지를 제외하면 해발고도 100m 이 내이었다. 관측망 중 금천은 수목피도가 3%에 불과하나 평균온도는 관측지점 중 가장 낮았고, 수목피도 5%인 중랑과는 2.3°C의 온도차를 보였다. 금천은 예외적으로 녹지가 아닌 파악불가한 타 변수가 온도에 절대적인 영향을 미친 것으로 추측된다. 이상치를 보인 금천과 수변 인근을 제외한 관측지점 전체에서, 풍속 4%

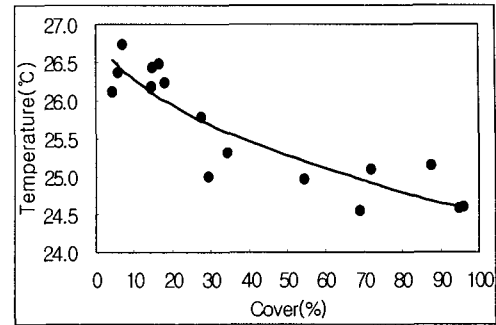


Figure 3. Relationship between woody plant cover and summer air temperature

이하의 맑은 날 여름철 평균온도 및 평균풍속은 각각 25.5°C 및 1.5%이었다. 관측지점별 평균온도는 최소 24.1°C, 최대 26.7°C이었고, 수목피도 및 녹지면적이 큰 지점에서 상대적으로 더욱 낮았다.

서울시 자동기상관측망 자료와 녹지면적 분석에 근거하면, 여름철 평균온도는 수목피도가 낮은 관측지점에서 높고 피도증가에 따라 점점 낮아졌다. 그 온도저감 효과는 낮은 수목피도에서 더욱 현저하고 수목피도가 높아지면서 다소 둔화되는 비선형적 경향이었다(Figure 3 참조). 이러한 결과는 전기한 실측지점간 온도차이에서도 나타난 것으로서, 녹지의 온도저감은 녹지가 우점하는 지구에 비해, 인공구조물 피복이 우점하나 수목식재의 증가가 가능한 지구에서 더욱 효과적일 수 있음을 시사한다.

녹지에 의한 여름철 온도저감 효과를 추정하기 위해 유도한 주요 회귀모델의 독립변수와 수식유형은 Table

Table 4. Regression equations generated to estimate summer temperature reduction by woody plant cover and greenspace area.

Equations*	r ²	P
$Y = 27.7763 - 0.6619 \ln X_1$	0.77	<0.0001
$Y = 27.0827 - 0.2558 \sqrt{X_1}$	0.81	<0.0001
$Y = 26.5831 - 0.0198 X_2$	0.74	<0.0001
$Y = 27.3224 - 0.2604 \sqrt{X_2}$	0.73	<0.0001

*: Y: Summer air temperature(°C), X₁: Woody plant cover(%), X₂: Greenspace area(%)

4와 같다. 온도저감 효과를 가장 잘 설명하는 독립변수는 수목피도이었고, 수목피도로부터 온도를 추정하는 가장 적합한 회귀모델은 아래의 식 1인 것으로 분석되었다. 이 회귀모델은 r^2 가 0.81로 적합도가 양호하고 통계적으로 유의하였으며($P < 0.0001$), 타 수식유형에 비해 피도증가에 따른 온도저감 경향을 가장 잘 설명하는 것으로 나타났다. 수목, 초본 및 나지를 포함하는 녹지면적을 독립변수로 하는 선형 및 비선형 회귀모델 또한 통계적으로 유의하였으나, r^2 는 각각 0.74 및 0.73으로서 수목피도의 경우보다 적합도가 낮았다.

$$Y = 27.0827 - 0.2558\sqrt{X} \quad (\text{식 1})$$

여기서, Y=여름철 평균온도(°C)

X=수목피도(%)

IV. 결론

본 연구는 날로 악화되고 있는 도시생활 환경에서, 도시녹지가 대기 CO₂, SO₂ 및 NO₂ 농도를 저감하고 열섬현상 완화와 관련된 온도저감에 기여하는 대기환경개선 효과를 구명하였다. 중구 전체의 교목밀도는 1.1주/100m²이고 수목피도는 12.5%이었다. 토지이용 유형별 단위면적당 녹지의 대기정화량은 대체로 수목피도의 고저와 유관하였다. 식재수목의 단위면적당 평균 CO₂ 저장량은 19.4t/ha이었고, 연간 흡수량은 CO₂ 2.2t/ha/yr, SO₂ 1.9kg/ha/yr 및 NO₂ 5.0kg/ha/yr이었다. 중구 전체 식재수목은 해마다 시민 약 330인의 화석연료 소비에 따른 배출량에 해당하는 1,830t의 CO₂를, 1,080인에 해당하는 1,620kg의 SO₂를, 450인에 해당하는 4,230kg의 NO₂를 흡수하는 중요한 역할을 담당하였다.

여름철 평균온도는 녹지가 전무한 장소에 비해 수목피도가 약 54%인 장소에서 평균 3.6°C, 그리고 100%인 수림지에서 4.5°C 더 낮았다. 일정 수준까지의 수목피도 10% 증가는 여름철 온도를 약 0.6°C씩 낮추는 효과가 있는 것으로 나타났다. 서울시 자동기상관측망 자료와 녹지면적 분석에 근거하면, 여름철 평균온도는 수목피도가 낮은 관측지점에서 높고 피도증가에 따라 점점 낮아졌다. 그 온도저감 효과는 낮은 수목피도에서 더욱 현저하고 수목피도가 높아지면서 다소 둔화되는 비선

형적 경향이었다. 온도저감 효과를 가장 잘 설명하는 독립변수는 수목피도인 것으로 분석되었다. 본 연구결과는 도시 내 녹지확충의 환경적 혜택과 중요성을 강조하고, 식재 및 관리를 위한 예산확보의 필요성을 설득할 객관적 기반정보가 될 것으로 기대한다. 본 연구는 녹지의 온도저감 효과를 분석함에 있어 수목피도나 녹지면적 차이에 초점을 두었으나, 향후 수관체적, 엽면적 등의 차이를 포함하는 보강연구가 수행될 필요가 있다.

인용문헌

1. 박인환, 장갑수, 김중용, 박중화, 서동조(2000) 대도시에 있어 냉섬의 유형별 온도완화효과. 한국조경학회지 28(1): 11-18.
2. 서울시(2000) 서울통계연보.
3. 윤희한, 송태갑(2000) 도시공원의 기온에 영향을 미치는 요인. 한국조경학회지 28(2): 39-48.
4. 조현길(1999) 강원도 일부도시의 경관내 탄소흡수 및 배출과 도시녹지의 역할. 한국조경학회지 27(1): 39-53.
5. 조현길, 안태원(1999) 도시녹지에 의한 미기후개선의 기능. 한국조경학회지 27(4): 23-28.
6. 조현길, 안태원(2001a) 도시생태계 수목의 대기정화 역할-용인시를 사례로-. 한국조경학회지 29(3): 38-45.
7. 조현길, 안태원(2001b) 도시 침엽수에 의한 연간 CO₂ 흡수 및 대기정화. 한국환경생태학회지 15(2): 118-124.
8. 조현길, 이정재, 권전오(1998) 서울시의 토지이용 및 녹지구조. 환경생태학회지 12(1): 30-41.
9. 조현길, 이기의(2000) 도시녹지의 에너지절약 및 대기 CO₂ 농도저감과 계획지침. 한국조경학회지 27(5): 38-47.
10. 조현길, 조동하(1998) 도시 주요조경수종의 연간 CO₂ 흡수. 한국조경학회지 26(2): 38-53.
11. 환경부(1998) 환경통계연감 1998(제11호).
12. 환경부(1999) 환경통계연감 1999(제12호).
13. 환경부(2000) 환경통계연감 2000(제13호).
14. Akbari, H., S. Davis, S. Dorsano, J. Huang, and S. Winnett(1992) Cooling Our Communities: A Guidebook On Tree Planting And Light-Colored Surfacing. Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency.
15. Huang, J., H. Akbari, H. Taha, and A. Rosenfeld(1987) The potential of vegetation in reducing summer cooling loads in residential buildings. Journal of Climate and Applied Meteorology 26: 1103-1116.
16. Jo, H. -K.(2002) Impacts of urban greenspace on offsetting carbon emission for middle Korea. Journal of Environmental Management 64: 115-126.
17. McPherson, E. G.(1998) Atmospheric carbon dioxide reduction by Sacramento's urban forest. Journal of Arboriculture 24(4): 215-223.
18. Profous, G. V.(1992) Trees and urban forestry in Beijing, China. Journal of Arboriculture 18: 145-153.
19. Scott, K. I., E. G. McPherson, and J. R. Simpson(1998) Air

pollutant uptake by Sacramento's urban forest. Journal of
Arboriculture 24(4): 224-234.
20. <http://lib.me.go.kr/lib/>

원 고 접 수 : 2003년 6월 26일
최종수정본 접수 : 2003년 8월 1일
3인익명 심사필