

도시녹지의 미기후개선, CO₂ 흡수 및 화재방지의 효과

조현길, 野島義照¹⁾

강원대학교 건축·조경학부, ¹⁾동경 PREC 연구소

Effects of Urban Greenspace on Microclimate Amelioration, CO₂ Sequestration and Fire Obstruction

Hyun-Kil Jo and Yoshiteru Nojima¹⁾

Division of Architecture and Landscape Architecture, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea ¹⁾PREC Institute Inc., Tokyo 151-0062, Japan

ABSTRACT

This study quantified the effects of urban greenspace on microclimate amelioration and atmospheric CO₂ reduction for several residential districts selected in Korea and Japan. The study also explored fire obstruction by urban trees to develop systematic planting guidelines. Transpiration by a *Zelkova serrata* tree (diameter at breast height: 15 cm) in a day of August equaled cooling effect of about 3 air conditioners running for 12 hours. Average air temperature for the growing season was 0.5° C and 1.2° C cooler, respectively, in districts with 12% and 22% cover of woody plants than in a district with no vegetation. Annual CO₂ uptake and O₂ production by woody plants were 3 times greater in a district which was 2 times higher in their cover. Woody plants played, in a district with their 22% cover, an important role through offsetting total CO₂ emission from the district by about 3% annually, and through producing 10% of annual O₂ requirement by all residents within the district. Appropriate planning strategies of residential greenspace, including species selection, planting layout, greenspace enlargement, and maintenance were suggested to improve microclimate amelioration, air purification, and fire obstruction.

Key words : transpiration, cooling, energy savings, O₂ production, planning

서 언

수목, 초본 및 토양으로 구성되는 도시녹지는 콘크리트 건물, 아스팔트 포장 등 불투수면이 우점하

는 도시생태계에서, 에너지흐름과 물질순환을 건전한 방향으로 유도하여 도시환경의 질을 개선하는 역할을 담당한다. 도시녹지는 증발산의 기능을 통해, 또한 인공구조물에 도달하는 태양복사를 차단하거나 흡수하여 대기온도를 낮춘다. 도시열섬 현상은

Corresponding author: 조현길, 우200-701 강원도 춘천시 효자2동 192-1 강원대학교 건축, 조경학부
E-mail: jhk@cc.kangwon.ac.kr, Homepage: http://cc.kangwon.ac.kr/~jhk

녹지부족, 폐열방출, 대기오염 등 여러 요소의 상호 작용의 결과로 나타난다(Akbari *et al.*, 1992; Givoni, 1998). 이 현상은 여름철 시민의 더위 스트레스를 증가시키고, 냉방에너지 소비의 상승을 초래하여 대기 오염물질의 배출을 가중시킨다. Akbari *et al.*(1992)은 미국 St. Louis 도심의 온도는 교외지역보다 1~4.5°C 더 높았으며, 온도 1°C 상승은 미국 전체의 최대 냉방전력 요구를 약 4% 증가시킬 것을 보고하였다.

석탄, 석유, 가스 등 화석연료의 소비와 자연녹지의 훼손은 온실효과 및 기후변화 주범인 대기 CO₂의 농도를 증가시켜 왔다. 도시수목은 상기한 열섬현상 완화를 통해 여름철 냉방에너지를 절약하고, 겨울철 풍속감소를 통해 건물의 열손실을 낮추어 난방에너지를 절약한다. 냉난방에 필요한 화석연료의 절약은 CO₂ 및 기타 오염물질의 대기배출을 저감하게 된다. 또한, 수목은 광합성을 통한 성장의 과정에서 대기 CO₂를 흡수 저장하며 모든 생명체의 생존에 필요한 신선한 O₂를 방출한다. 엽면적 1,600m²인 활엽수 한 그루는 2.4kg/h의 CO₂를 흡수하고 1.7kg/h의 O₂를 방출한다(Bernatzky, 1980). 조(1999a)에 의하면, 강원도 일부 도시의 녹지는 광합성을 통해 해마다 전체 CO₂ 배출량의 4%를 상쇄시키는 것으로 나타났다.

이와 같이, 도시녹지는 미기후를 개선하고 대기를 정화하여 쾌적한 생활환경의 유지에 기여하지만, 관련 효과를 계량화하여 도시식물자원의 중요성을 구명한 국내 연구는 흔치 않다. 인구증가와 도시팽창은 도시주변에 분포하는 식물자원을 훼손하여 온반면, 개발된 도심내에는 빈약한 식재로 도시녹지의 역할이 제한되는 상황이다. 본 연구의 목적은 한국과 일본의 특정 도심내 주거녹지의 미기후개선 및 CO₂ 흡수 효과를 계량화하는 것이다. 또한, 도시수목에 의한 화재방지의 효과를 검토하고, 그들 효과를 함께 증진하기 위한 녹지계획 및 관리전략을 제시하는 것이다.

연구방법

1. 증산량 측정

국내 도시에 흔히 식재되는 조경수종들인(이 등, 1979; 조 등, 1998), 은행나무(*Ginkgo biloba*), 플라타너스(*Platanus occidentalis*), 느티나무(*Zelkova serrata*) 및 단풍나무(*Acer palmatum*)를 춘천시 도심에서 선정하여 월별 증산량을 측정하였다. 은행나무와 플라타너스는 가로상에, 그리고 느티나무와 단풍나무는 공공건물 주변에 식재된 정상적 생장을 보이는 수목이었다. 수종별 단위시간 및 단위엽면적당 증산량을 운반형 적외선가스분석기(ADC의 LCA-4)를 이용하여, 조와 안(1999c)의 방법으로 자연상태 하에서 현지 측정하였다. 이 측정은 수목의 생장기인 5월부터 10월까지(1997년) 6개월간 매월 중순에, 해당일 오전 8시경부터 오후 11시경까지 3시간 간격으로 6회에 걸쳐 실시되었다. 증산량 측정시 그에 영향을 환경인자들을 적외선가스분석기로 자동측정하여, 계절별 환경인자들의 변화와 관련된 각 수종의 단위시간 및 단위엽면적당 증산을 계량화하는 회귀식을 산출하였다. 즉, 광량, 온도 및 습도를 독립변수로 하고 증산량을 종속변수로 하되, 반복적인 선형 및 비선형 접근을 시도하여 가장 적합한 회귀식과 독립변수를 최종 산출하였다.

산출된 회귀식을 적용하여 단목(單木)의 수관 전체 증산량을 추정하기 위해, 상기한 생장기간 동안 매월 초순, 중순 및 하순의 3회, 해당일 오전 8시경부터 오후 11시경까지 3시간 간격으로 환경인자들을 측정하였다. 광량은 광량계(LI-COR의 LI-189)를 이용하여 대상수목의 수관 중간부위에서 측정되었다. 수관을 중심으로 한 방향별 광량차이를 고려하여 수관외부와 내부 각각 8개 방향(동, 동남, 남, 서남, 서, 서북, 북 및 동북)에 걸쳐 수목별 총 16개 지점의 광량을 측정하였다. 대기온도와 습도는 휴대용 온습도계(Teston의 TH-100)를 이용하여 대상수목의 수관 및 수관을 중심으로 한 주변부에서 측정되었다. 매월 초, 중 및 하순의 시간별 수관내외부 16개 지점의 광량과 온도 및 습도의 독립변수 측정치들을 증산량 산정회귀식에 대입하여, 단목의 해당월 단위시간 및 단위엽면적당 평균 증산량을 산정하였다. 이 단위시간당 증산량에 월별 평균 일장시간을 곱하여 주간 단위엽면적당 증산량을 산출하고, 비가 내린 날을

제외한 해당월의 일수를 곱하여 각 수종의 월별 단위면적당 증산을 계량화하였다.

2. 온습도 측정

춘천시를 대상으로 흑백 항공사진상(축척 1/15,000)에서 행정동별 토지피복 유형을 판독하고, 수목피도를 포함하는 녹지면적의 대소에 따라 2개의 주거지구를 선정하였다. 지구별 전체의 녹지면적을 대변하는 중앙의 특정 지점을 선정하여 직경 30m의 원을 그린 후, 현지답사를 통해 원내에 접한 모든 주택의 수목피도 및 토지피복 유형을 실측하였다. 각 지점의 지상 3m에 소형 백엽상을 설치하고 자기온습도계(HOBO의 H08-032-02)를 이용하여, 1998 및 1999년의 2년 동안 수목의 생장기인 5월에서 10월까지 6개월간 매월 초순, 중순 및 하순의 하루 24시간 대기온도와 습도를 측정하였다. 또한, 직경 30m의 원경내에 수목이 부재하는 도심의 한 지구를 추가 선정하여 온습도를 측정하고, 수목피도의 차이가 미기후에 미치는 영향을 비교 분석하였다. 한편, 일본 동경시를 대상으로 식생이 거의 없는 도심과 교외의 느티나무림내에서 온도를 측정 비교하였다. 이 측정은 9월 초순(1997년)에 자기온습도계로 지상 1.5m 높이에서 24시간 동안 실시되었다.

3. CO₂ 흡수 및 O₂ 방출량 산정

일본 松戶市(동경시에 인접)를 대상으로, 축척 1/15,000의 지형도상에 500 x 500m 등간격의 격자들을 그린 후 임의로(random number 이용) 한 격자를 표본추출하였다. 축척 1/2,500의 지형도상에서 선정된 격자의 X 및 Y축을 각각 2.5m 등간격으로 구분하여 좌표를 설정하고, 좌표점의 토지이용상 주거지에 속하는 총 24개의 지점을 표본추출하였다. 현지답사를 통해 해당 지점에 가장 가까이 위치하는 주택을 대상으로, 대지내 식재수목의 수종, 흉고직경(흉고 직경 2cm 이하의 관목은 근원직경), 수고, 피도 등을 조사하였다.

수종 및 개체별 다수의 생체량방정식(建設省土木研究所, 1992; 조와 안, 1999a)을 적용하여 평균 생체량을 구하고, 이를 광합성 수식에 따라 CO₂량으로

전환하여(1g 생체량 = 1.63g CO₂) 식재수목의 CO₂ 저장량을 산정하였다. 여기에서, CO₂ 저장량이란 광합성에 의해 다년간 흡수 축적한 CO₂량을 의미하는 것으로서, 한해 동안 흡수한 연간 CO₂ 흡수량과는 구별된다. 수목의 연간 CO₂ 흡수는 조와 안(1999a)의 방법으로 수종별 생체량방정식과 연간 직경생장률(建設省土木研究所, 1992; 조와 안, 1999a)을 적용하여 계량화되었다. 즉, 수목의 연간 직경생장률로부터 조사 전년도와 후고직경 또는 근원직경(관목)을 파악하고, 이 직경변수를 생체량방정식에 대입하여 전년도의 생체량을 산출하였다. 조사년도의 생체량에서 전년도의 생체량을 제감하여 연간 증가된 생체량을 구하고 이를 CO₂ 흡수량으로 전환하였다.

수목의 연간 O₂ 방출량은 6mole의 CO₂(분자량: 264g)를 흡수하고 6mole의 O₂(분자량: 192g)를 방출하는 광합성 수식에 근거하여, 흡수한 CO₂량에 0.7273을 곱하여 산정되었다. 한편, 본 연구과정의 일부인 조와 안(1999a)의 탄소흡수량 산출결과에 기초하여, 전기한 춘천시 2개 주거지구내 수목의 연간 CO₂ 흡수 및 O₂ 방출을 계량화하고 松戶市 주거지 수목의 효과와 비교하였다.

4. 화재방지와 식재전략

건물주변 수목식재는 수평적, 수직적 화염의 확산을 방지하여 화재피해를 경감시킨다(Clark, 1995; 野島, 2000). 그러나, 건물 가까이 무분별하게 식재된 수목은 화재발생시 오히려 화염원이 될 수 있으므로, 본 연구과정의 일부인 野島(2000)의 연구결과와 관련 문헌에 근거하여 주거녹지의 적정한 계획 및 관리전략을 모색하였다.

결과 및 고찰

1. 도시수목의 증산량

증산량 측정대상수목의 흉고직경과 수관체적은 각각 은행나무 21cm 및 15m³, 플라타너스 15cm 및 20m³, 느티나무 15cm 및 33m³, 단풍나무 16cm 및 38m³이었다. 수목의 단위면적당 증산량은 Table 1 및 Fig. 1과 같이 수종, 계절, 시간 등에 따라 차이가

Table 1. Monthly transpiration rates per unit leaf area for each species of urban trees during growing season (kg/m²)

Species	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct
<i>Acer palmatum</i>	11.1	20.1	16.3	22.4	17.7	6.1
<i>Ginkgo biloba</i>	16.9	40.0	54.8	65.8	8.2	5.7
<i>Platanus occidentalis</i>	29.3	42.5	63.1	74.5	13.0	8.7
<i>Zelkova serrata</i>	24.2	41.4	36.0	54.2	26.6	15.6

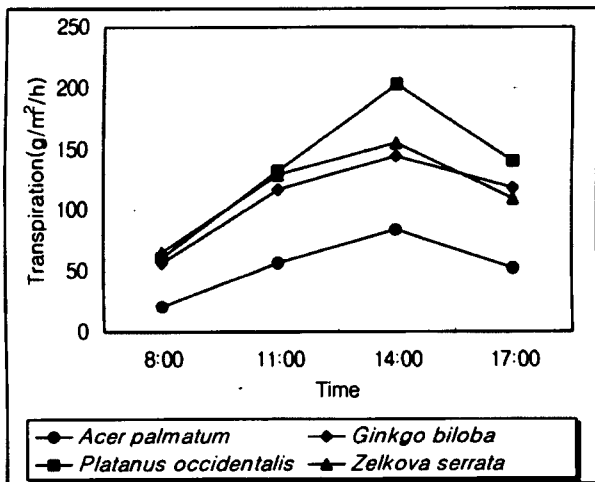


Fig. 1. Hourly changes of transpiration per unit leaf area for each species of urban trees during growing season

있었다. 수종별로는 모든 계절 및 대부분의 측정시간대에 걸쳐 플라타너스의 증산능이 가장 높았고 단풍나무의 경우가 가장 낮았다. 월별로는 8월에, 그리고 시간별로는 오후 2시경에 가장 많은 증산량을 나타냈다. 8월의 단위엽면적당 평균 증산량은 플라타너스 약 75kg/m²(251g/m²/h), 은행나무 66kg/m²(221g/m²/h), 느티나무 54kg/m²(183g/m²/h), 단풍나무 22kg/m²(75g/m²/h)이었다. 야간의 증산작용은 거의 없는 것으로 분석되었다. 조와 안(1999c)에 의하면, 수관 중앙부의 특정 단엽에 의한 플라타너스와 단풍나무의 8월 증산량은 각각 298g/m²/h, 136g/m²/h이었다. 본 연구의 증산량은 수관내외부 다양한 광량조건을 반영한 수관전체의 것으로서, 동일 수종이라도 기존의 그 측정결과보다 적었다.

단목의 하루 증산량은 8월 맑은 날 느티나무 약 470kg, 은행나무 290kg, 플라타너스 190kg, 단풍나무 140kg이었다. 상기한 단위엽면적당 증산능과는 달리, 플라타너스 및 은행나무 단목의 증산량이 느티

나무보다 적은 이유는 측정대상의 플라타너스 및 은행나무가 가로수로서, 연간 반복되는 전정의 영향으로(조와 조, 1998) 수관체적과 엽면적이 상대적으로 적었기 때문이다. Kozłowski and Pallardy(1997)는 수목의 하루 증산량이 200~400kg에 달한다고 보고하였는데, 본 연구대상의 느티나무 증산량은 그보다 많은 반면 단풍나무는 그보다 적었다. 수목의 증산은 顯熱(sensible heat)을 潛熱(latent heat)로 바꾸어 주변 온도를 감소시킨다. 물 1g이 수증기로 증발할 때 약 600cal의 열을 필요로 한다(Herrington, 1984). 느티나무 한 그루의 8월 하루 증산량은 7,100kcal/h(사무실 24평용) 냉방능력을 가진 냉방기를 12시간 동안 약 3대를, 단풍나무의 경우는 1대를 각각 가동하는 효과와 같았다.

2. 녹지면적과 온습도의 차이

Table 2는 춘천시 주거지구내 수목피도와 투수성 면적(초본 및 나지)의 차이가 성장기간 동안 월별 온습도에 미친 효과를 보여 준다. 온습도는 풍속 2m/s 이하의 대체로 맑은 날에, 풍향에 관계없이 지구별 녹지의 영향을 반영하도록 총면적이 1~3km²인 지구의 중앙부위에서 측정된 것이다. 수목피도가 12%이고 투수성 면적이 13%인 지구의 성장기간 평균 온도는 녹지가 부재하는 지구보다 0.5°C 더 낮았다. 수목피도가 22%이고 투수성 면적이 44%인 지구는 녹지부재 지구보다 온도는 평균 1.2°C 더 낮았고 습도는 6% 더 높았다. 기존 연구들(Huang *et al.*, 1987; Profous, 1992)도 본 결과와 유사하게 수목피도 10% 증가는 여름철 온도를 0.5~1°C 감소시킴을 보고한 바 있다. 수목의 증산량이 상대적으로 적고 광도가 낮아지는 가을의 경우, 지구간 온습도 차이는 타 계절에 비해 적은 것으로 나타났다. 온도 차이의 하루 중 시간별 변화를 분석하면(Fig. 2), 수목피도가 높고

Table 2. Effects of difference in woody plant cover and pervious area on monthly air temperature and humidity averaged for two years' growing seasons from 1998 to 1999*

Cover (%)	Pervious (%)	May		Jun		Jul		Aug		Sep		Oct		Mean	
		T	H	T	H	T	H	T	H	T	H	T	H		
0	0	20.4	61	25.9	66	28.9	56	26.9	66	22.7	79	9.8	71	22.4	67
12	13	19.4	62	25.5	69	28.2	58	26.4	68	22.4	80	9.7	72	21.9	68
22	44	18.6	67	24.9	72	27.2	65	25.5	74	21.8	84	9.4	76	21.2	73

*T: Temperature (°C), H: Humidity (%)

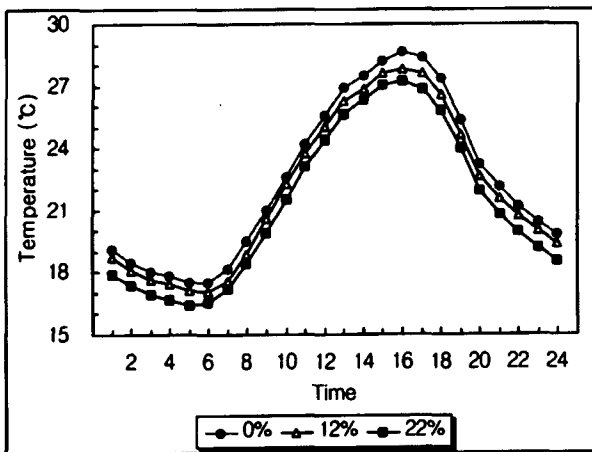


Fig. 2. Hourly changes of air temperatures averaged for two years' growing seasons from 1998 to 1999 by different cover of woody plants

투수성 면적이 클수록 온도가 하루 종일 상대적으로 더 낮았다. 주간 중 그 온도차는 부분적으로 증발산의 효과에 의해 오전보다는 오후 시간대에 더 컸다. 녹지부재 지구에서 야간에도 계속 온도가 높은 이유는 주간에 흡수한 복사열을 야간에 방출하는 인공구조물의 영향 때문이다. 녹지에 의한 습도 증가는 여름 한 계절 바람직하지 않을 수 있으나, 건조한 봄과 가을의 장기간 동안 쾌적성 유지에 기여할 수 있다.

일본 동경 시내 선정장소간 9월 초순 온도의 측정 결과(풍속 2m/s 이하의 맑은 날) 역시, 식생이 거의 없는 도심의 온도가 교외의 느티나무림내보다 하루 종일 높았다. 주간 중 온도차는 춘천시의 경우와 유사하게 오전보다 오후 시간대에 더 컸으며 그 온도차는 최대 3.6°C이었다. 도심의 측정장소는 간선로변 건물로 위요된 읍지임에도 불구하고, 온도가 하루 종일 느티나무림내보다 높은 이유는 인접한 인공

구조물의 복사열 축적과 건물냉방 및 차량통행으로부터의 폐열방출 때문인 것으로 판단된다.

3. 도시수목의 CO₂ 흡수 및 O₂ 방출량

일본 松戶市에서 표본추출된 주택들은 대부분 단독주택으로서 그들의 호당 평균 대지면적은 231m²이었다. 대지내 평균 수목피도는 19%이었고, 수목의 CO₂ 저장량은 호당 평균 1,424.1±816.6(95% 신뢰구간)kg인 것으로 나타났다. 춘천시 단독주택의 경우, 수목의 CO₂ 저장량은 수목피도 12%인 주거지구(평균 대지면적: 199m²)에서 호당 평균 264.0±104.1kg이었고, 수목피도 22%인 주거지구(평균 대지면적: 377m²)에서 893.3±394.6kg이었다(조와 안, 1999a). 즉, 수목피도가 약 2배 더 높은 지구에서 CO₂ 저장량은 3배 더 많았다. 수목피도 19%인 일본 주거지구의 CO₂ 저장량은 피도 22%인 춘천시 주거지구보다 평균적으로는 더 많았으나, 95% 수준의 신뢰구간에서 유의한 차이가 없었다. Nowak(1994)은 미국 Oakland 및 Chicago 주거지에서(교목피도 각각 21% 및 23%), 수목의 CO₂ 저장량이 각각 3.8kg/m² 및 6.3kg/m²이라고 보고하였다. 피도 22%인 춘천시 주거지구의 경우는 2.9kg/m²로서 미국의 그들 주거지에 비해 적은데, 이는 수령과 수목 기저면적의 차이에 기인하는 것으로 판단된다.

Table 3과 같이, 일본 주거지구내 수목의 연간 CO₂ 흡수량은 호당 평균 171.0±73.6kg/yr이었고 연간 O₂ 방출량은 124.4±53.6kg/yr이었다. 춘천시 주거지 수목의 연간 CO₂ 흡수량과 O₂ 방출량은 피도 12% 지구에서 각각 호당 평균 37.8±15.8kg/yr 및 27.5±11.5kg/yr이었고, 피도 22% 지구에서 각각 116.6±46.6kg/yr 및 84.8±33.9kg/yr이었다. 상기한

Table 3. Annual CO₂ uptake and O₂ release per residence by woody plants in detached-residential districts (mean ± 95% confidence interval in kg)

City	Plant cover of district (%)	CO ₂ uptake*	O ₂ release
Matsudo	19	171.0 ± 73.6	124.4 ± 53.6
Chuncheon	12	37.8 ± 15.8	27.5 ± 11.5
	22	116.6 ± 46.6	84.8 ± 33.9

* The uptake in Chuncheon estimated based on Jo and Ahn(1999a)

CO₂ 저장량의 경우처럼, 연간 CO₂ 흡수량과 O₂ 생산량은 수목피도가 2배 더 높은 지구에서 3배 더 많았고, 일본 주거지구와 피도 22%인 춘천시 주거지구 간 CO₂ 흡수량 및 O₂ 생산량은 95% 수준의 신뢰구간에서 유의한 차이가 없었다.

조와 안(1999a)에 의하면, 수목의 주택 냉난방에너지 절약에 의한 연간 CO₂ 배출저감량은 피도 22%인 춘천시 주거지구에서 상기한 흡수량보다 2.5배 많은 호당 평균 286.8kg/yr이었다. 즉, 주택주변에 식재된 도시수목 한 그루는 삼림수목 한 그루보다 냉난방에너지 절약의 부가적 효과로 대기 CO₂ 농도의 저감에 더 크게 공헌함을 알 수 있다. 그 배출저감량을 흡수량과 합하면, 수목은 피도 22% 지구에서 호당 403.4kg/yr의 CO₂를 흡수 및 배출저감한 셈이다. 춘천시에서 최근 화석연료 소비에 기인한 대기로의 연간 CO₂ 배출량은 호당 약 15,730kg/yr이었다(조, 1999a). 피도 22% 지구내 식재수목은 광합성과 에너지절약을 통해 그 지구 총 CO₂배출량의 약 3%를 해마다 상쇄시키는 중요한 역할을 담당하였다. 인구 1인당 호흡에 필요한 산소량은 연간 약 270kg/yr이다(김, 1984). 피도 22% 지구의 수목은 그 지구내 거주민 모두(호당 평균 3.3인 기준)가 연간 필요로 하는 산소량의 약 10%를 생산하였다.

전기한 증산량 측정대상수목의 한 그루당 연간 CO₂ 흡수량은 느티나무 69.7kg/yr 및 단풍나무 12.8kg/yr이었고, 전정으로 수관체적이 작은 은행나무와 플라타너스의 경우는 각각 4.0kg/yr 및 -2.2kg/yr이었다(조와 조, 1998). 연간 O₂ 방출량은 느티나무 50.7kg/yr, 단풍나무 9.3kg/yr, 은행나무 2.9kg/yr 등이었고, 동화기간의 CO₂ 흡수량에 비해 비동화기관의 호흡에 의한 CO₂방출량이 더 많았던 플라타너스는

오히려 대기의 산소를 1.6kg/yr 소비하는 것으로 나타났다. 휘발유 10리터 소비는 대기에 약 22kg의 CO₂를 배출한다(조, 1999a). 정상적으로 생육하는 흉고직경 15cm의 느티나무 한 그루는 해마다 32리터의 휘발유 소비에 따른 CO₂ 배출량을 상쇄시키며, 또한 한 사람이 68일간 호흡하는데 필요한 산소량을 생산하였다.

본 연구에서, 일부 수종의 CO₂ 흡수 및 저장은 식재수종별 충분한 표본수의 확보와 벌목을 통한 생체량 측정이 불가하여, 삼림수목의 생체량방정식 및 직경생장률을 대용하여 계량화되었다. 도시수목의 생체량 측정은 미기후, 경쟁 등 성장환경 조건의 차이로 삼림수목과는 다를 수 있다. 향후, 도시수목의 수종별 생체량 및 CO₂ 흡수량에 관한 보강연구를 통해 비교 검토되어야 할 것이다.

4. 녹지계획 및 관리 전략

전기한 연구결과는 주거지구내 녹지면적 증가가 열섬현상을 완화하고 냉난방에너지를 절약하며 대기를 정화하는 효과를 증진할 수 있음을 시사한다. 한편, 녹지확충만을 강조하는 주택주변 다량의 부적절한 수목식재는 화재시 연료원을 제공하는 셈이 될 수 있다. 이러한 상충성을 최소화하고 미기후개선, CO₂ 농도저감 및 화재방지의 효과를 동시에 증진하는 측면에서, 도시 주거녹지의 계획 및 관리전략을 제시하면 다음과 같다.

1) 적정수종 선정

도시의 불량한 환경조건하에서도 광합성능 및 생장률이 커서 연간 증산량과 CO₂ 흡수량이 많고, 아울러 잎이 밀생하며 흡수량이 많은 내화수종을 선정

한다(은행나무, 느티나무 등). 침엽수는 잎이 가늘며 마른 잎이 장기간 붙어 있고 수지(樹脂)를 함유하므로, 연소성이 높아 방화수중으로서 부적합하다(Clark, 1995; 野島, 2000). 침엽수는 활엽수보다 연간 성장률도 낮은(조, 1999a) 단점을 지닌다.

2) 적정식재 기법

가. 서향 및 동향 식재: 수목차양에 의해 주택의 냉난방에너지를 절약하여 CO₂ 배출을 저감하는 효과가 가장 큰 식재방위는 건물의 서향이다(조와 안, 1999b). 여름철 온도가 가장 높은 시간대는 주간 오후이며, 서향의 교목식재는 그 시간대에 강한 일사를 차단하여 건물 벽 및 내부의 온도를 감소시킨다. 동향의 수목도 여름철 오전 차양을 통해 서향 수목만큼 냉방에너지를 절약하나 겨울철엔 난방에너지 요구를 증가시킨다(조와 안, 1999b). 그러므로, 겨울철 오전 일조를 방해하는 동향에의 소교목 및 상록수 식재는 바람직하지 않다. 화재방지의 차원에서, 수관이 건물에 닿지 않도록 이격시켜 식재하고, 수관의 중심부가 연소하기 쉬운 추녀 밑을 보호할 교목을 식재한다(Clark, 1995; 野島, 2000).

나. 남향 식재 회피: 남향의 수목은 겨울철 광선을 차단하여, 난방기간이 긴 중부지방에서 난방에너지 요구 및 CO₂ 배출을 가중시킨다(조와 안, 1999b). 따라서, 이들 방향에서의 식재를 회피하거나, 또는 내화수종이면서 태양고도가 낮은 난방기간 중 광선투과가 양호한 낙엽성 대형 교목(층층나무, 은행나무 등)을 식재해야 한다. 대형 교목은 태양고도가 높은 여름철엔 지붕에의 일사를 차단한다. 단, 여름철 시원한 서남풍의 주택내 유입을 방해하는 식재는 옳지 않다.

다. 북향 균식: 북향에는 수목을 균식하여 광합성에 의한 CO₂ 흡수를 최대화하고, 증발산과 방풍에 의한 미기후개선 및 에너지절약 효과를 증진해야 한다. 서북향의 방풍식재는 난방에너지 절약으로 CO₂ 배출을 저감하며, 또한 건조하고 바람이 강한 계절 화재의 발생과 피해를 줄일 수 있다. 이러한 방화 및 방풍효과를 높이기 위해, 서북향에는 내화성 상록수(화백, 주목, 사철나무)를 혼식하는 것이 바람직하

다. 북향 균식과 건물 사이에 완충공지를 확보할 수 있다면 화재시 화염의 수평적, 수직적 확산을 차단하는데 효과적이다(Clark, 1995; 野島, 2000). 한편, 북향의 교목식재가 이웃 주택의 남향에서 겨울철 일조를 방해하는 경우, 상기한 바와 같이 광선투과가 양호한 낙엽수를 식재한다.

3) 대지내 조경면적규정 강화 및 녹지확충

건축법시행령 제27조에 의하면, 대지내 조경면적은 200m² 이상의 대지에 한하여 건축물의 연면적에 따라 최소 5~15%이어야 한다(권 등, 1998). 그러나, 대지면적 200m² 이하인 주택수가 실제 적지 않고(수목피도 12%인 춘천시 연구지구의 경우 약 50%이었음) 최소 5%의 조경면적도 부당한 매우 적은 규모이므로, 이들 조향에 대한 개정을 통해 녹지확충을 도모해야 한다. 대지내 조경면적 확충은 화재방지를 위한 수목식재와 완충공지 확보를 위해서도 필요하다.

4) 관리전략

수목전정, 잔디깎기 등의 식생관리는 흡수 저장한 CO₂를 다시 대기에 환원할 뿐만 아니라, 기계 가동을 위한 에너지소비를 유발하여 CO₂를 배출하게 된다(조, 1999b). 화재시 연소하기 쉬운 죽은 가지나 잎, 또는 건물에 닿는 가지일부를 제거하는 정도로 관리강도를 최소화한다. 가공선의 보호차원에서 매년 반복되는 주거지 가로수의 과도한 전정은 결국 증산 및 CO₂ 농도저감을 저해하므로, 전선의 지하매설을 통한 정상적인 성장공간 확보나 대교목보다는 중소형 수종 선정의 전략이 요구된다. 관리에 적지 않은 에너지투입을 요구하는 잔디(조, 1999b)는 타자생지피식물로 대체 식재하여 CO₂ 방출을 저감할 수 있다. 전정된 가지는 정원에 매립하여 유기물로서 토양내 탄소축적에 기여토록 한다. 수목직경은 춘천시 연구지구 모두 유목 및 성장과정의 수목들이 우점하는(흉고직경 20cm 이하의 교목이 95~100% 차지) 단령구조를 보였다. 중장기적 식재 및 관리계획을 통해 다령구조로 전환하고 성목의 지속적 미기후개선 및 CO₂ 흡수 효과를 도모해야 할 것이다.

적 요

본 연구는 한국과 일본의 특정 도시내 주거녹지의 미기후개선 및 CO₂ 농도저감 효과를 계량화하였다. 또한, 도시수목에 의한 화재방지의 효과를 검토하고, 그들 효과를 함께 증진하기 위한 녹지계획 및 관리전략을 제시하였다. 수목 성장기간 중 평균 온도는 수목피도 12% 및 22%인 지구에서 녹지부재의 지구보다 각각 0.5°C, 1.2°C 더 낮았다. 수목의 호당 연간 CO₂흡수량과 O₂ 생산량은 수목피도가 2배 더 높은 지구에서 3배 더 많았다. 수목피도 22% 지구의 수목은 광합성과 에너지절약을 통해 지구 총 CO₂배출량의 약 3%를 해마다 상쇄시켰고, 지구내 거주민 모두가 연간 필요로 하는 산소량의 약 10%를 생산하는 중요한 역할을 담당하였다. 흉고직경 15cm인 느티나무 한 그루의 8월 하루 증산량은 7,100kcal/h(사무실 24평용) 냉방능력을 가진 냉방기를 12시간 동안 약 3대 가동하는 효과와 같았다. 또한, 그 수목은 해마다 32리터의 휘발유 소비에 따른 CO₂ 배출량을 상쇄시켰고, 한 사람이 68일간 호흡하는데 필요한 산소량을 생산하였다. 화재방지를 비롯한 미기후개선 및 CO₂ 농도저감의 효과를 증진하기 위해, 수종선정, 건물주변 식재기법, 녹지확충, 식생관리 등과 관련된 도시 주거녹지의 적절한 계획 및 관리전략을 제시하였다. 제안한 전략은 현존 단독주거지에서는 물론 새로운 주거단지를 조성하는데 유용하게 적용될 수 있을 것으로 기대한다.

사 사

이 논문은 1996년도 한국학술진흥재단의 국제협력연구과제 연구비에 의하여 연구되었음.

인용문헌

김기원. 1984. 삼림육장 설계를 위한 기초연구. 한국 임학회지 65: 31-42.
권오준, 이명우, 임봉구. 1998. 조경설계·시공관계 법규. 서울: 도서출판 조경.
이종석, 김일중, 심우경, 이석래. 1979. 우리나라의

조경식물 이용경향에 관한 연구. 한국조경학회지 13: 1-11.
조현길. 1999a. 강원도 일부도시의 경관내 탄소흡수 및 배출과 도시녹지의 역할. 한국조경학회지 27(1): 39-53.
조현길. 1999b. 도시식생의 관리에 의한 에너지소비 및 탄소방출. 한국환경생태학회지 13(2): 101-108.
조현길, 안태원. 1999a. 주거지구간 수목피도에 따른 직간접적 CO₂ 흡수의 차이. 한국환경생태학회지 13(3): 255-261.
조현길, 안태원. 1999b. 춘천시 주거지구내 수목피도의 차이가 난방에너지 이용 및 비용에 미치는 효과. 한국조경학회지 27(2): 19-28.
조현길, 안태원. 1999c. 도시녹지에 의한 미기후개선의 기능. 한국조경학회지 27(4): 23-28.
조현길, 이경재, 권전오. 1998. 서울시의 토지이용 및 녹지구조. 환경생태학회지 12(1): 30-41.
조현길, 조동하. 1998. 도시 주요 조경수종의 연간 CO₂ 흡수. 한국조경학회지 26(2): 38-53.
建設省土木研究所. 1992. 道路綠化樹木の二酸化炭素固定に関する研究. 土木研究所資料第3059號.
野島義照. 2000. 街路樹の防災機能(龜山 章, 街路樹の綠化工). 東京: ソフトサイエンス社. pp. 44-49.
Akbari, H., Davis, S., Huang, J., Liu, P., and Taha, H. 1992. The urban heat island: causes and impacts. In H. Akbari, S. Davis, S. Dorsano, J. Huang, and S. Winnett (eds.), *Cooling Our Communities*. Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office. pp. 5-26.
Bernatzky, A. 1980. *Tree Ecology and Preservation*. New York: Elsevier.
Clark, J. R. 1995. Fire-safe landscapes. In G. A. Bradley (ed.), *Urban Forest Landscapes*. Seattle: University of Washington Press. pp. 164-172.
Givoni, B. 1998. *Climate Considerations in Building and Urban Design*. New York: Van Nostrand Reinhold.
Herrington, L. P. 1984. Climatic variables. In E. G. McPherson (ed.), *Energy-Conserving Site Design*. Washington, D.C.: ASLA. pp. 59-77.
Huang, J., Akbari, H., Taha, H., and Rosenfeld, A. 1987. The potential of vegetation in reducing summer cooling loads in residential buildings. *Journal of Climate and Applied Meteorology* 26: 1103-1116.

Kozlowski, T. T. and Pallardy, S. G. 1997. Physiology of Woody Plants. New York: Academic Press.

Nowak, D. J. 1994. Atmospheric carbon dioxide reduction by Chicago's urban forest. In E. G. McPherson, D. J. Nowak, and R. A. Rowntree (eds.), Chicago's Urban Forest Ecosystem: Results of the Chicago Urban Forest Climate Project. General Technical Report NE-186. Radnor, PA: USDA Forest

Service, Northeastern Forest Experiment Station. pp. 83-94.

Profous, G. V. 1992. Trees and urban forestry in Beijing, China. Journal of Arboriculture 18: 145-153.

(접수일 2000. 4. 25)

(수리일 2000. 8. 25)