

# 도시녹지의 대기정화 및 온도저감 효과\*

조현길\*\* · 조용현\*\*\* · 안태원\*\*\*\* · 신수영\*\*\*

\*\*강원대학교 산림경영 · 조경학부 · \*\*\*서울시정개발연구원 · \*\*\*\*강원대학교 대학원

## I. 서론

도시수목은 광합성을 통한 성장과정에서 대기 CO<sub>2</sub>를 흡수 저장할 뿐만 아니라, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> 등 가스상 오염물질을 흡수한다. 수목은 태양복사를 차단 또는 흡수하여 인공구조물의 열축적 및 방출을 감소시킨다. 또한, 녹지는 증발산을 통해 현열을 잠열로 바꾸어 대기온도를 낮추고 도시 열섬현상을 완화한다. 인구증가와 도시팽창은 도시주변에 분포하는 녹지를 잠식하여 온 반면, 개발된 도시 내에는 빈약한 수목식재로 도시녹지의 역할이 제한되는 상황이다. 서울시의 경우, 녹지율은 전체면적의 약 27%이지만 대부분 도시외곽에 위치하며, 시청을 중심으로 반경 5km 이내의 녹지율은 5%에 불과하다(이경재, 1993). 본 연구의 목적은 서울시 일부지역을 대상으로 도시수목의 대기 CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> 및 NO<sub>2</sub> 흡수량을 계량화하고 여름철 온도와 녹지면적간의 상관관계를 분석하여, 도시녹지가 대기정화 및 온도저감에 기여하는 효과를 구명하는 것이다.

## II. 연구방법

### 1. 대기정화 효과분석

서울시 중심부에 위치하는 중구를 대상으로 체계적 표본추출에 의해 총 90개의 표본지점을 선정하였다. 현지답사를 통해, 해당표본지점의 토지이용 유형과 부지경계 내의 수종, 직경, 수고, 수관체적, 피도 등 녹지구조를 조사하였다. 그리고 단목차원의 방정식을 적용하여 CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> 및 NO<sub>2</sub> 저감효과를 계량화하였다. 즉, CO<sub>2</sub> 저장량은 수종별 생체량방정식들(조현길, 1999)을 이용하여 생체량을 구한 후 CO<sub>2</sub>량으로 전환하였다. 여기에

서, 저장량이란 수목이 성장하면서 여러 해에 걸쳐 축적한 총량을 의미한다. 연간 CO<sub>2</sub> 흡수량은 CO<sub>2</sub> 교환을 실측을 통해 유도한 수종별 흡수량방정식(조현길과 조동하, 1998; 조현길과 안태원, 2001b)을, SO<sub>2</sub> 및 NO<sub>2</sub> 흡수량은 CO<sub>2</sub>와 SO<sub>2</sub> 또는 NO<sub>2</sub>간의 흡수속도비를 활용하여 유도한 수종별 방정식(조현길과 안태원, 2001a; 2001b)을 적용하여 산출하였다. 연간 SO<sub>2</sub> 및 NO<sub>2</sub> 흡수량 산정시 대기 CO<sub>2</sub> 농도는 적외선가스분석기로 실측한 춘천시외의 계절별 평균치(조현길과 안태원, 2001b)를, SO<sub>2</sub> 및 NO<sub>2</sub> 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 수립지이었다. 각 지점의 지상 3m 높이에 소형 백엽상을 설치하고 자기온습도계(HOBO의 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) 시간별 기상자료와 각 지점의 수목피도 및 녹지면적을 분석하여, 녹지에 의한 여름철 온도저감 효과를 추정하는 회귀모형을 유도하였다. 즉, 수목피도, 녹지면적 등을 독립변수로 하고 평균온도, 최저온도, 최고온도 등을 종속변수로 하되, 반복적인 선형 및 비선형 접근을 시도하여 가장 적합한 회귀식과 독립변수를 최종 도출하였다. 녹지의 온도저감 효과와 관련

\* : 본 연구는 2001년도 서울특별시 지원 연구비에 의해 수행된 결과의 일부임.

된 신뢰성을 감안하여, 비가 내린 날과 4m/sec 이상의 풍속(윤용환과 송태갑, 2000)이 발생한 날은 모든 지점에서 동일하게 제외하였다. 그리고, 하천에 의한 온도완화 거리 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 공간 규모는 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. 중구 도시수목의 대기정화

중구의 행정구역상 총면적은 1999년 기준 996ha이며, 하천 및 산림을 제외한 도시생태계 토지이용은 총면적의 약 85%를 점유하였다(서울시, 2000). 그 중 교통용지를 포함한 상업지의 점유비가 약 46%로서 가장 높고, 공공용지와 주거지는 각각 28% 및 21%를 차지하였다.

중구 도시생태계 전체의 평균 교목밀도와 기저면적은 각각 1.1주/100m<sup>2</sup>, 186cm<sup>2</sup>/100m<sup>2</sup>이고 수목피도는 12.5%이었다. 흉고직경 20cm 미만의 교목이 전체의 약 89%를, 그리고 30cm 미만은 97%를 차지하였다. 토지이용별 수목피도는 공원이 약 54%로서 타 토지이용에 비해 현저하게 높았고, 이어서 다세대 주거지 15%, 교통 및 공공용지 각각 12%, 단독주거지 9%, 상업지 8%의 순이었다. 다세대 주거지는 식재밀도는 높으나 흉고 직경 10cm 미만인 교목이 88%(20cm 미만 99%)로서 성목의 분포비가 상당히 낮았다. 반면, 가로수가 생장하는 교통용지는 식재밀도는 낮으나 성목의 분포비가 높은 유형이었다.

수목의 토지이용별 단위면적당 CO<sub>2</sub> 저장량은 수목피도가 높은 공원에서 74.2t/ha로서 가장 많았고, 단독주거지에서 8.4t/ha로서 가장 적었다. 성목의 분포가 많은 교통용지의 경우 수목피도가 높은 다세대주거지보다 오

히려 1.6배 더 많았다. CO<sub>2</sub> 저장량은 대체로 단위면적당 기저면적이 클수록 많은 경향이었다. 연간 흡수량 역시 공원에서 CO<sub>2</sub> 12.3t/ha/yr, SO<sub>2</sub> 8.3kg/ha/yr 및 NO<sub>2</sub> 21.8kg/ha/yr로서 가장 많았고, 피도가 낮은 단독주거지(CO<sub>2</sub> 0.9t/ha/yr) 혹은 상업지(SO<sub>2</sub> 0.9kg/ha/yr, NO<sub>2</sub> 2.5kg/ha/yr)에서 가장 적었다. 연간 CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> 및 NO<sub>2</sub> 흡수량은 수목피도의 고저와 연관하였다. 전체 토지이용의 단위면적당 평균 CO<sub>2</sub> 저장량은 19.4t/ha이었고, 연간 흡수량은 CO<sub>2</sub> 2.2t/ha/yr, SO<sub>2</sub> 1.9kg/ha/yr 및 NO<sub>2</sub> 5.0kg/ha/yr이었다. 용인시의 경우 CO<sub>2</sub> 저장량은 13.1t/ha이었고, 연간 흡수량은 CO<sub>2</sub> 2.0t/ha/yr, SO<sub>2</sub> 2.0kg/ha/yr 및 NO<sub>2</sub> 4.0kg/ha/yr이었다(조현길과 안태원, 2001a). 중구 식재수목의 CO<sub>2</sub> 저장량은 용인시보다 다소 높고 연간 흡수량의 경우는 유사한 경향이었다. 도시생태계에서 수목의 대기정화 효과는 인위적 식재량에 따라, 그리고 그들 오염물질의 대기농도 고저에 따라 도시별로 다소 차이가 있을 것으로 판단된다.

중구 전체 식재수목은 총 16,450t의 CO<sub>2</sub>를 저장하고 있으며, 해마다 CO<sub>2</sub> 1,830t/yr, SO<sub>2</sub> 1,620kg/yr 및 NO<sub>2</sub> 4,230kg/yr을 흡수하는 것으로 나타났다. 서울시에서 화석연료 소비에 기인한 인구 1인당 연간 CO<sub>2</sub> 배출량은 약 5.5t/yr이고(조현길과 이기의, 2000), 1인당 SO<sub>2</sub> 및 NO<sub>2</sub> 배출량은 각각 1.5kg/yr 및 9.3kg/yr이었다(환경부, 1998; 1999; 2000). 이들 배출량에 근거하면 중구 식재수목은 해마다 시민 약 330인의 CO<sub>2</sub> 배출량을, 1,080인의 SO<sub>2</sub> 배출량을, 450인의 NO<sub>2</sub> 배출량을 각각 상쇄하는 역할을 담당하였다. 그리고, 중구 전체 인구의 약 2%에 해당하는 2,990인이 1년간 배출하는 CO<sub>2</sub>량을 저장하고 있는 셈이었다.

#### 2. 도시녹지의 온도저감 효과

수목피도 및 녹지면적이 상이한 장소에서 여름철 온도를 실측한 결과, 녹지가 전무한 장소에 비해 수목피도가 약 54%인 장소에서 평균 3.6°C, 그리고 100%인 수림지에서 4.5°C 더 낮았다. 조현길과 안태원(1999)은 수목피도가 12% 및 22%인 주거지구의 여름철 온도가 수목이 전무한 장소보다 각각 0.6°C 및 1.4°C 더 낮음을 보고한 바 있다. 이러한 결과는 수목피도 약 50% 이상에서는 피도증가에 따른 온도저감 효과가 다소 둔화될 수 있으나, 일정 수준까지의 수목피도 10% 증가는 여

름철 온도를 약 0.6°C씩 저감하는 효과가 있음을 의미한다. 즉, 녹지의 온도저감은 녹지가 우점하는 지구에 비해 인공구조물 피복이 우점하나 수목식재의 증가가 가능한 지구에서 상대적으로 효과적일 수 있음을 시사한다. 측정장소간 하루 중 시간별 온도차는 냉방전력 부하가 최대인 오후 시간대에 가장 컸다.

서울시 자동기상관측망의 반경 150m내 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 일부 산림지를 제외하면 해발고도 100m 이내였다. 이상치를 보인 금천과 수변 인근을 제외한 관측지점 전체에서 풍속 4m/sec 이하의 맑은 날 여름철 평균 온도 및 평균풍속은 각각 25.5°C 및 1.5m/sec이었다. 관측지점별 평균온도는 최소 24.1°C, 최대 26.7°C이었으며, 수목피도 및 녹지면적이 큰 지점에서 온도가 상대적으로 더 낮아지는 경향을 보였다. 서울시 자동기상관측망 자료와 녹지면적 분석에 근거하면, 수목피도로부터 온도를 추정하는 가장 적합한 회귀모델은 다음의 식인 것으로 나타났다.

$$Y = 27.0827 - 0.2558\sqrt{X} \quad (R^2 = 0.81, P < 0.0001)$$

여기서, Y: 여름철 평균온도(°C); X: 수목피도(%)

여름철 평균온도는 수목피도가 낮은 관측지점에서 높고 피도증가에 따라 점점 낮아졌으나 그 저감정도는 다소 둔화되는 경향이었다. 온도저감 효과를 가장 잘 설명하는 독립변수는 수목피도인 것으로 분석되었다. 수목, 초본 및 나지를 포함하는 녹지면적을 독립변수로 하는 회귀모델 또한 통계적으로 유의하였으나 수목피도의 경우보다 적합도( $R^2 = 0.74$ )가 낮았다.

## IV. 결론

본 연구는 날로 악화되고 있는 도시생활 환경에서, 도시녹지가 대기 CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> 및 NO<sub>2</sub> 농도를 저감하고 열섬현상 완화와 관련된 온도저감에 기여하는 효과를 구명하였다. 중구 도시생태계 전체의 교목밀도는 1.1주/100m<sup>2</sup>이고 수목피도는 12.5%이었다. 토지이용별 단위면적당 대기정화량은 대체로 수목피도의 고저와 유관하였다. 식재수목의 단위면적당 평균 CO<sub>2</sub> 저장량은

19.4t/ha이었고, 연간 흡수량은 CO<sub>2</sub> 2.2t/ha/yr, SO<sub>2</sub> 1.9kg/ha/yr 및 NO<sub>2</sub> 5.0kg/ha/yr이었다. 중구 전체 식재수목은 해마다 시민 약 330인이 배출하는 1,830t의 CO<sub>2</sub>를, 1,080인이 배출하는 1,620kg의 SO<sub>2</sub>를, 450인이 배출하는 4,230kg의 NO<sub>2</sub>를 흡수하는 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 낮아졌으나 그 저감정도는 다소 둔화되는 경향이었다. 온도저감 효과를 가장 잘 설명하는 독립변수는 수목피도인 것으로 분석되었다. 연구의 결과는 도시 내 녹지확충의 중요성 및 환경적 혜택을 강조하고 식재 및 관리를 위한 예산확보의 필요성을 설득할 객관적 기반정보가 될 것으로 기대한다. 본 연구는 녹지의 온도저감 효과를 분석함에 있어 수목피도나 녹지면적 크기에 초점을 두었으나, 향후 녹지의 공간 네트워크계획에 필요한 녹지간 거리차이의 효과에 대한 보강연구가 필요하겠다.

## 인용문헌

1. 박인환, 장갑수, 김종용, 박종화, 서동조(2000) 대도시에서 있어 냉설의 유형별 온도완화효과, 한국조경학회지 28(1): 11-18.
2. 서울시(2000) 서울통계연보.
3. 윤용한, 송태갑(2000) 도시공원의 기온에 영향을 미치는 요인, 한국조경학회지 28(2): 39-48.
4. 이경재(1993) 환경이 보존되는 범위내의 개발과 이용, 지속가능한 개발(ESSD)을 위한 학제간 대토론회, 한국환경정책학회·삼성지구환경연구소, pp. 141-153.
5. 조현길(1999) 강원도 일부도시의 경관내 탄소흡수 및 배출과 도시녹지의 역할, 한국조경학회지 27(1): 39-53.
6. 조현길, 안태원(1999) 도시녹지에 의한 미기후개선의 기능, 한국조경학회지 27(4): 23-28.
7. 조현길, 안태원(2001a) 도시생태계 수목의 대기정화 역할, 한국조경학회지 29(3): 33-45.
8. 조현길, 안태원(2001b) 도시 침엽수에 의한 연간 CO<sub>2</sub> 흡수 및 대기정화, 한국환경생태학회지 15(2): 118-124.
9. 조현길, 이기의(2000) 도시녹지의 에너지절약 및 대기 CO<sub>2</sub> 농도저감과 계획지침, 한국조경학회지 27(5): 33-47.
10. 조현길, 조동하(1998) 도시 주요조경수종의 연간 CO<sub>2</sub> 흡수, 한국조경학회지 26(2): 33-53.
11. 환경부(1998) 환경통계연감 1998(제11호).
12. 환경부(1999) 환경통계연감 1999(제12호).
13. 환경부(2000) 환경통계연감 2000(제13호).
14. <http://lib.me.go.kr/lib/>