

## 서울시 도시녹지의 대기정화효과\*

조용현<sup>1)</sup> · 조현길<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> 서울시정개발연구원 도시환경연구부 · <sup>2)</sup> 강원대학교 산림경영·조경학부

### A Study on Effects of Vegetative Cover on Atmospheric Purification in Seoul, Korea

**Cho, Yong-Hyeon<sup>1)</sup> and Jo, Hyun-Kil<sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup> Dept. of Urban Environment, Seoul Development Institute,

<sup>2)</sup> Division of Forest Management and Landscape Architecture, Kangwon National University

#### ABSTRACT

This study quantified CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub> uptake by vegetation in Seoul. The natural area was only 20% of the area of Seoul and its tree-age structure was dominated by a young and growing tree population. However the natural area accounted for about 65%, 60%, and 59% of total CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub> uptake relatively. In natural area broad-leaved forest was dominative and accounted for about 37.8%, 36.7%, 36.6% of total CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub> uptake in Seoul relatively. In urbanized area the park type land use played an important role. It's area was only 17% of the urbanized area in Seoul, but it accounted for about 67%, 57%, and 56% of CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub> uptake in urbanized area relatively.

Total annual uptake by vegetative cover was estimated as 446,741 ton/yr for CO<sub>2</sub>, 314 ton/yr for SO<sub>2</sub> and 815 ton/yr for NO<sub>2</sub>, and economic value of atmospheric purification for the entire area of Seoul amounted to approximately ₩228,073 millions/yr for the annual CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub> uptake.

The results from this study are expected to be useful not merely in informing the public of atmospheric purification values of vegetative cover, but in urging the necessity for replanting and management budgets.

Key words : *Land Use, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, Economic Value*

---

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

## I. 서 론

화석연료 소비와 자연녹지 훼손은 기후변화의 주범인 CO<sub>2</sub>를 비롯하여, 산성비를 유발하는 주요 대기오염물질인 SO<sub>2</sub> 및 NO<sub>2</sub>의 대기농도를 증가시켜왔다. 반면에 식물은 그 자체의 탄소동화작용으로 온실가스인 이산화탄소를 흡수 저장하고 산소를 방출시키고, 대기중의 입자상물질(매연, 훈연, 연무, 검댕, 먼지, 미세입자 등)을 흡착하고 침강시키며, 또한 대기중에 가스상 물질(SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, HC, NH<sub>3</sub>, Oxidant 등)을 흡착하는 등 대기오염 정화효과를 가진다.

최근에 자연환경을 훼손하는 도시의 과도한 확장, 환경오염의 증대, 도시열섬의 강화 등 도시환경악화는 야외 여가활동의 증가, 환경에 대한 사회적 관심의 증대 등 사회적 여건의 변화와 함께 도시생활의 질을 추구하는 시민의 입장에서 해결해야 할 중요한 문제로 부각되고 있다. 도시지역의 환경문제 해결을 위해서는 다각적인 접근방법 중 하나로서 도시 도처에 산재해 있는 도시녹지의 효율적인 조성 및 관리가 필요하다. 여기서 도시녹지는 도시계획 구역 내에서 수목, 초본 및 농작물 등에 의하여 피복된 토지 혹은 그 잠재력을 구비한 토지를 총칭하는 개념으로 사용하고자 한다. 특히 서울과 같은 대도시에 있어서 열섬현상과 대기오염이 가장 커다란 환경문제로 부각된 상황에서, 효과적인 도시녹지 관리 정책을 뒷받침하기 위해서는 우선 정량적인 도시녹지의 대기정화효과 측정과 같은 학술적 연구의 뒷받침이 시급히 요청된다고 하겠다.

따라서 본 연구목적은 도시녹지정책의 기초자료로 활용하기 위하여 서울시를 대상으로 도시녹지의 삼림유형별 및 토지이용별 대기정화효과 원단위 지표를 개발하고, 이 원단위 지표를 적용하여 도시 전체의 대기정화효과를 추정하며, 토지이용 및 도시녹지관리 정책에 시사점을 찾는 것이었다.

관련 연구로서는 Nowak(1994)이 Chicago시 전체를 대상으로 생체량방정식을 활용하여 수목에 의한 탄소저장량, 그리고 직경생장률을 적

용하여 연간 탄소흡수를 계량화하였으며, 도시수목의 가치와 한계를 검토하였다. 그 결과 수목밀도와 직경구조가 탄소저장 및 흡수량을 좌우하는 주요 인자인 것을 밝혔다. McPherson(1998)은 CO<sub>2</sub> 저장 및 흡수에 영향을 미치는 주요 인자는 흉고직경과 수목밀도임을 밝히고, 생체량방정식과 직경생장률을 이용하여 Sacramento 도시수목에 의한 총 CO<sub>2</sub> 저장 및 연간 CO<sub>2</sub> 흡수량을 산정하고, CO<sub>2</sub> 배출을 상쇄시키는 도시수목의 가치를 계량화하였다.

American Forests(2000)에서는 GIS tool로서 CITYgreen이라는 소프트웨어를 개발하여 수목 또는 다른 여러 식물을 통하여 제공받을 수 있는 환경적, 경제적 이익을 계산하였다.

대기오염물질 흡수와 관련해서는 Smith(1984)가 분진상 및 가스상 오염물질의 흡착 또는 흡수속도와 관련된 식물의 일반적 특성을 요약 제시하였으며, Scott et al.(1998)가 건성침착모델(dry deposition model)을 적용하여 Sacramento 도시수목의 연간 대기오염물질 흡수와 그 경제적 가치를 계량화하고, 흡수능은 오염물질농도가 상대적으로 높은 지역에서 클 수 있음을 시사하였다.

한편 국내에서는 도시녹지와 SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> 등 대기오염물질을 연결시킨 연구는 다수 존재하나(이경재, 1993), 주로 특정시기 엽내의 오염물질 함량 분석, 내공해성의 강약여부 파악 등에 초점이 두어졌다. 도시녹지의 CO<sub>2</sub>흡수 및 대기정화효과에 관한 연구는 많지 않으며, 다만 기후변화의 심각성과 관련하여 도시녹지에 의한 대기 CO<sub>2</sub> 흡수를 계량화한 연구가 일부 존재한다(조현길, 1999; 조현길과 안태원, 2000; 조현길과 이기의, 2000; 조현길, 2001).

## II. 재료 및 방법

### 1. 사례지 식생조사 및 대기정화효과 원단위 산출 방법

서울시 중심부에 위치하고 있는 도시자연공원인 남산을 자연지 사례연구지로, 중구를 시가화지역 사례연구지로 선정하였다. 남산에 대해

서는 임상도(1992)상에서 식생유형 및 영급을 반영한 체계적 임의표본추출(systematic random sampling)을 통해 총 87개의 표본지점을 선정하였다. 표본지점을 현지답사하여 방형구법에 의해 수종, 직경, 수고, 피도 등 식생조사를 실시하였다. 방형구의 크기는 교목(흉고직경 2cm 이상) 10×10m, 관목 5×5m이었다. 현지조사 결과 기본도로 사용된 임상도의 식생유형 및 영급 분류에 오차가 나타났다. 임상도의 제작시기가 약 10년 경과한 것을 감안하고 실측한 흉고 직경으로부터 수령을 추정한 후(조현길과 안태원, 2000), 산림자원조사 요령(http://152.99.72.107//snlm/doc/sl2\_1\_2.htm)을 참고하여 표본지점의 식생유형 및 영급을 조정하였다.

시가화지역 사례연구지인 중구의 경우, 축척 1/8,000의 행정구역도상에 4cm 간격의 격자를 그려 표본추출지점들을 선정하였다. 토지이용 유형 중 조사될 표본지점이 소수인 경우에 대해서는 2cm 간격의 격자점을 추가 선정하였다. 각 토지이용 유형별 표본수는 공원(5개)을 제외하면 11~25개로, 조사된 표본지점은 총 90개였다. 현지답사를 통해 해당 표본추출지점의 토지이용 유형과 부지경계내에 분포하는 식생을 전수조사하고 그 부지면적을 측정하였다.

각 사례연구지의 조사자료를 토대로, 근재도(Alatalo, 1981), 상대우점치(Krebs, 1978) 등을 포함하는 각 연구대상지의 식생구조를 분석하였다.

대상지 식생의 CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> 및 NO<sub>2</sub> 저감효과는 식생조사 자료를 근거로, 단목차원의 대기정화효과 방정식들을 적용하여 계량화하였다. 도시수목의 CO<sub>2</sub> 저장량은 기존 연구에서 발췌한 수종별 생체량방정식들(조현길, 1999)을 이용하여 생체량을 구한 후 CO<sub>2</sub>량으로 전환하였다. 생체량방정식의 이용은 수목 개체별로 평균 생체량을 구하여 가능한 한 산정치의 신뢰성을 증진하는데 주력하였다. 생체량방정식을 구할 수 없는 특정 수종의 경우는 동일 속(genus) 또는 그룹(활엽수 또는 침엽수)의 방정식들을 대용하였다. 관목의 연간 SO<sub>2</sub> 및 NO<sub>2</sub> 흡수량은 CO<sub>2</sub>와의 흡수속도비를 반영하여, 교목의 SO<sub>2</sub> 또는 NO<sub>2</sub>

흡수량에 교목과 관목간 CO<sub>2</sub> 흡수량비를 적용하여 산정하였다. 대기 SO<sub>2</sub> 및 NO<sub>2</sub> 농도는 남산 인근 5개 지점의 최근 3년간(1998~2000)의 월별농도자료(http://www.me.go.kr/www/db/index.html)를 수집하여 적용하였다. 측정장소는 덕수궁(중구 정동), 이화동사무소(종로구 이화동), 숭인여자중학교(동대문구 신설동), 동도중학교(마포구 염리동) 및 한강공원관리사업소(용산구 한남동)에 위치하며, 남산을 중심으로 반경 5km 이내에 분포하였다. 대기 CO<sub>2</sub> 농도는 관련 자료가 부재하여 적외선가스분석기로 실측한 춘천시의 계절별 평균치(조현길, 2001)를 이용하였다.

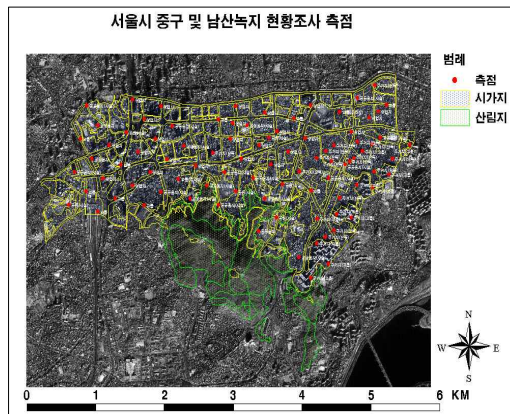


그림 2. 서울시 중구 및 남산 녹지 현황조사 축점

## 2. 서울시 도시녹지의 대기정화효과 및 경제가치 추정 방법

이산화탄소 저감효과와 대기정화효과 산출을 위해서는 수목에 대한 정확한 정보가 필요하다. 수목에 관한 정보의 신뢰도와 분별력 측면에서 현재 활용이 가능한 가장 우수한 자료는 도시생태현황도(서울시, 2000; 서울시, 2001)와 임상도(임업연구원, 1992)이다. 따라서 사례지로서 선택되어 현장조사가 이루어진 자연지로서 남산과 시가화지역으로서 중구의 조사결과로부터 도출된 CO<sub>2</sub> 및 대기오염(SO<sub>2</sub> 및 NO<sub>2</sub>) 저감효과와 원단위를 자연지역의 경우에는 임상도에 적용하고, 나머지 시가화지역의 경우에는 토지이용과 식생을 동시에 반영하는 자료인 도시생태

현황도의 비오톱유형도에 적용하였다.

그러나 모든 비오톱 유형과 모든 임상에 대해 현장조사를 수행하기는 현실적으로 곤란하였다. 따라서 원단위를 생성하지 못한 유형에 대해서는 이미 파악된 원단위의 적용이 가능하도록 녹지구조가 가장 유사한 유형으로 원자료를 수정하였다. 수정된 산림지역 임상도 GIS 자료와 서울시의 비오톱유형도 GIS 자료에 이미 파악된 CO<sub>2</sub> 및 대기오염(SO<sub>2</sub> 및 NO<sub>2</sub>) 저감효과와 원단위를 적용하여 서울시 전체의 CO<sub>2</sub> 및 대기오염(SO<sub>2</sub> 및 NO<sub>2</sub>) 저감효과를 추정하였다.

원자료 수정과정에서 임상도(1992) 원자료의 임상 유형중 소나무림, 잣나무림, 낙엽송림, 리기다소나무림은 침엽수림으로, 참나무인공림과 참나무자연림, 포플라림, 죽림은 활엽수림으로 수정하였고, 미입목지, 경작지, 제지, 목장은 시가화지역의 공원으로 수정하였다(표 1 참조). 임상 등급이 10여년이 경과한 자료인 점과 현지조사 결과를 감안하여 1등급씩 상향조정하였다. 다만 일부 원단위가 파악되지 않은 영급(침엽수 I영급과 V영급, 혼효림 II영급과 V영급, 활엽수 II영급)에 대해서는 해당 면적이 적고(자연지 총 면적의 2% 미만), 한 등급의 영급 차이에 따른 원단위 차이도 최대 32%로서 전체에 미치는 대기정화효과는 1% 이내로 추정되어, 별도 원단위를 생성하지 않고 각 유형에서 가장 인접한 영급의 원단위를 적용하였다(표 6 참조).

한편 비오톱유형도(서울시, 2000)의 경우에는 원자료의 세분류 유형을 식생분포 유형과 식생구조가 가장 유사한 시가화지역의 원단위 기준인 토지이용 유형으로 수정하였으며, 그 내용은 표 2에 정리하였다.

마지막으로 도시녹지의 대기정화효과의 경제가치는 이상의 과정을 거쳐 환산된 대기정화량에 CO<sub>2</sub> 약 50만원/ton, SO<sub>2</sub> 200만원/ton, NO<sub>2</sub> 500만원/ton 등의 처리 또는 저감비용(California Energy Commission, 1992; 임업연구원, 1997; 에너지경제연구원, 1999)을 적용하여 환산하였다.

표 3. 임상도의 수정

기 호	원자료의 임상구분	수정된 임상
C	침엽수림	침엽수림
H	활엽수림	활엽수림
M	침활혼효림	혼효림
CA	밤나무림	활엽수림
PD	소나무인공림	
PK	잣나무림	침엽수림
PL	낙엽송림	
PR	리기다소나무림	
PQ	참나무인공림	활엽수림
PO	포플라림	
D	소나무림	침엽수림
Q	참나무림	활엽수림
B	죽림	
PC	침엽수인공림	침엽수림
PH	활엽수인공림	활엽수림
O	미입목지	
L	경작지	공원 (시가화지역)
R	제지	
LP	목장	

출처 : 임업연구원, 1992. 임상도를 수정함

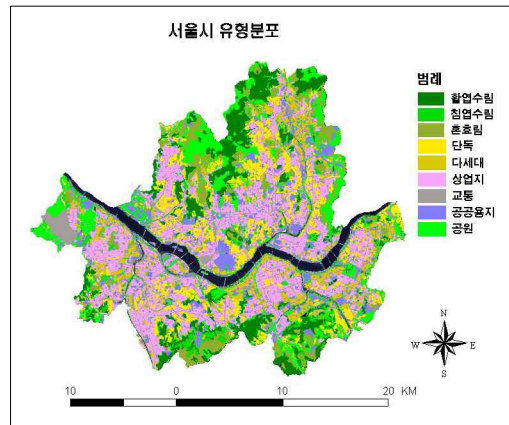


그림 3. 서울시 토지이용 및 산림 유형 분포

출처 : 임업연구원, 1992. 임상도 & 서울특별시, 2000. 서울시 도시생태현황도의 비오톱유형도를 수정하여 작성

표 5. 서울시 비오텍유형도의 수정

원자료의 비오텍유형	수정된 비오텍 유형	
<b>A : 주거지 비오텍</b>		
A1 불투수포장비율이 높은(70%이상) 단독주택지	단독	
A2 불투수포장비율이 낮은(70%미만) 단독주택지		
A3 4층이하의 불투수포장비율이 높은(70%이상)공동주택지	다세대	
A4 4층이하의 불투수포장비율이 낮은(70%미만)공동주택지		
A5 5~10층의 불투수포장비율이 높은(70%이상)공동주택지		
A6 5~10층의 불투수포장비율이 낮은(70%미만)공동주택지		
A7 11층이상의 불투수포장비율이 높은(70%이상)공동주택지		
A8 11층이상의 불투수포장비율이 낮은(70%미만)공동주택지		
A9 자연재료를 이용한 전통취락지		단독
<b>B : 상업및 업무지 비오텍</b>		
B1 5층이하의 불투수포장비율이 70%이상인 상업 및 업무지	상업지	
B2 5층이하의 불투수포장비율이 70%미만인 상업 및 업무지		
B3 6~10층의 불투수포장비율이 70%이상인 상업 및 업무지		
B4 6~10층의 불투수포장비율이 70%미만인 상업 및 업무지		
B5 11층이상의 불투수포장비율이 70%이상인 상업 및 업무지		
B6 11층이상의 불투수포장비율이 70%미만인 상업 및 업무지		
B7 불투수포장비율이 70%이상인 혼합지		
B8 불투수포장비율이 70%미만인 혼합지		
<b>C : 공업지 및 도시기반시설지 비오텍</b>		
C1 불투수포장비율이 높은(70%이상) 공업지	상업지	
C2 불투수포장비율이 낮은(70%미만) 공업지		
C3 하수처리장	공공 용지	
C4 유수지		
C5 배수지		
C6 쓰레기 매립장		
C7 정수장		
C8 발전소		
C9 쓰레기 소각장		
C10 농수산물시장		
C11 쓰레기 중간집하장		
C12 1ha 이상의 공공시설		
C13 1ha 이하의 공공시설		

표 2. 서울시 비오텍유형도의 수정 (계속)

원자료의 비오텍유형	수정된 비오텍 유형
C14 건설현장지역	
C15 특수지역	
<b>D : 교통시설 비오텍</b>	
D1 불투수포장비율이 높은(70%이상) 철도 및 관련시설지	교통
D2 불투수포장비율이 낮은(70%미만) 철도 및 관련시설지	
D3 도로	
D4 큰 주차장	
D5 공항지역	
<b>E : 조경녹지 비오텍</b>	
E1 1ha 미만의 조경수목 식재지	공원
E2 1ha 이상의 조경수목 식재지	
E3 묘지	
E4 골프장	
E5 식물원	
E6 고궁	
<b>F : 하천 및 습지 비오텍</b>	
F1 수면	물
F2 인공재료로 정비된 수면	
F3 자연형으로 정비된 수면	
F4 건천	
F5 습지	
<b>G : 경작지 비오텍</b>	
G1 논	공원
G2 밭	
G3 방목지	
G4 과수원	
G5 시설물이 있는 경작지	
G6 묘포장	공원
<b>H : 산림지 비오텍</b>	
H1 인공조림지로서 외래종 낙엽활엽수림	공원
H2 인공조림지로서 외래종 침엽수림	
H3 자연림으로서 소나무림	
H4 자연림으로서 참나무림	
H5 자연림으로서 건조지성 낙엽활엽수림	
H6 자연림으로서 습윤지성 낙엽활엽수림	
H7 외래종 초본식생지	
H8 건조자생 초본식생지	
H9 벌채지 및 나지	
H10 암석노출지(암석이 노출된 산림의 일부)	
<b>I : 유희지 비오텍</b>	
I1 도시유희지(방치된 나지)	공공 용지

출처 : 서울특별시, 2000. 서울시 도시생태현황도의 비오텍유형도를 수정함

### Ⅲ. 결과 및 고찰

#### 1. 사례지 지피유형별 대기정화효과 원단위

남산공원의 식생유형 및 영급별 단위면적당 CO<sub>2</sub> 저장량은 활엽수림 V영급이 482.4t/ha로서 상대적으로 가장 많은(P<0.01) 반면, 침엽수림 II영급이 109.8t/ha로서 가장 적었다(P<0.05). 연간 흡수량 역시, 활엽수림 V영급이 CO<sub>2</sub> 31.4t/ha/yr, SO<sub>2</sub> 25.3kg/ha/yr, NO<sub>2</sub> 65.5kg/ha/yr로서 타 식생유형 및 영급에 비해 가장 많았고, 침엽수림 II영급이 CO<sub>2</sub> 17.1t/ha/yr, SO<sub>2</sub> 8.6kg/ha/yr, NO<sub>2</sub> 21.2kg/ha/yr로서 가장 적은 경향이였다(표 3 참조). 영급에 따른 단위면적당 대기정화능은 대체로 기저면적의 변화와 연관하여 영급이 높을수록 증가하였고, 특히 활엽수림의 영급간 차이가 침엽수림이나 혼효림보다 더 컸다(조현길 등, 2002a). 침엽수림은 단위면적당 기저면적이 동일 영급의 타 식생유형보다 크지만, 대기정화능은 성장량 및 엽면적의 차이로(조현길, 2001) 활엽수림이나 혼효림보다 오히려 적었다.

시가화지역 사례연구지인 중구의 토지이용별 단위면적당 평균 CO<sub>2</sub> 저장량은 표 4와 같이 공원에서 74.2t/ha로 가장 많았으며, 이어서 교통용지, 공공용지, 다세대주거지, 상업지의 순이었고 단독주거지에서 가장 적었다. 수목의 CO<sub>2</sub> 저장량은 대체로 단위면적당 기저면적이 클수록 많은 경향이였다. 연간 CO<sub>2</sub> 흡수량 역시 타 토지이용에 비해 수목식재량이 현저히 많은 공원에서 12.3t/ha/yr로 가장 많았고, 이어서 공공용지, 교통용지 및 다세대주거지, 상업지, 단독주거지 등의 순이었다. 성목의 분포가 가장 많은 교통용지의 경우, CO<sub>2</sub> 저장량은 공공용지보다 약 35% 더 많았으나 연간 CO<sub>2</sub> 흡수량은 공공용지보다 43% 더 적은 경향을 보였다. 이는 일정 수령 이상의 성목에서는 동화기관의 흡수량에 비해 비동화기간의 호흡량이 증가하면서 연간 성장률이 서서히 느려지기 때문이다. 더구나, 교통용지의 가로수는 가공선의 보호차원에서 해마다 과도하게 전정되어(조현길 등, 1998), 동화기관의 연간 흡수효과가 전정량이 적은 수목에 비해 적기 때문인 것으로 판단되었다.

한편 중구 식재수목의 토지이용별 연간 SO<sub>2</sub> 및 NO<sub>2</sub> 흡수량은 수목피도의 고저와 연관하였다(표 4 참조). 즉, 단위면적당 평균 흡수량은 수목피도가 가장 높은 공원에서 가장 많았다. 이어서 다세대주거지, 공공 및 교통용지, 단독주거지 순이었고 수목피도가 가장 낮은 상업지에서 가장 적었다(조현길 등, 2002b).

#### 2. 서울시 도시녹지의 CO<sub>2</sub> 및 대기오염(SO<sub>2</sub> 및 NO<sub>2</sub>) 저감효과

앞에 서술된 방법을 적용하여 추정된 각 도시녹지의 유형별 대기정화효과는 표 5에 정리하였다. 표 5에서 알 수 있듯이 서울시의 산림은 5영급 이상의 면적이 산림면적의 3.1%에 불과하여 전체적으로 유목 내지는 성장과정의 수목이 주를 이루었다. 이 산림지역 면적은 전체 서울시 면적의 약 20%에 불과하지만 CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> 흡수량은 각각 65%, 60%, 59%정도로서 시가화지역보다 동일면적 대비 각각 7.4배, 6배, 5.8배의 대기정화효과를 나타냈다.

한편 시가화지역 중 17%에 불과한 ‘공원’유형의 원단위가 적용된 지역이 시가화지역의 CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> 흡수량의 각각 67%, 57%, 56%를 점하고 있어, 시가화지역내에서 공원 형태의 도시녹지의 기여도를 확인할 수 있었다.

인간활동에 의한 CO<sub>2</sub> 및 대기오염(SO<sub>2</sub> 및 NO<sub>2</sub>)의 연간 배출량, 도시녹지에 의한 연간 대기정화효과, 그리고 연간 대기정화효과의 경제가치는 표 6과 같다. 서울시 도시녹지는 해마다 CO<sub>2</sub> 446,741 ton, SO<sub>2</sub> 314 ton, NO<sub>2</sub> 815 ton을 흡수하는 것으로 나타났다. 이는 서울시 CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> 총배출량의 각각 1.46%, 2.85%, 0.95%에 해당하였다. 전체면적의 연간 대기정화가치는 CO<sub>2</sub> 2,233억원, SO<sub>2</sub> 6억원, NO<sub>2</sub> 41억원으로서 이들을 합치면 2,280억원에 해당하였다. 연간 대기정화 경제가치 중 CO<sub>2</sub> 흡수가치의 점유비가 약 98%로서 대부분을 차지하였다.

한편 표 7에서 보듯이 저감효과가 가장 저조한 NO<sub>2</sub>를 기준으로 도시녹지 조성으로 연간 부하량의 5% 저감을 달성하기 위해서는 1인당 23그루의 교목을 심어야 하는 것으로 계산되었다.

표 3. 서울시 중구의 토지이용 유형별 대기오염 정화 및 이산화탄소 흡수 원단위

토 지 이 용	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>
	저장량 (ton/ha)	연간흡수량 (ton/ha/yr)	연간흡수량 (kg/ha/yr)	연간흡수량 (kg/ha/yr)
단독 주거지	8.4±3.5	0.9±0.4	1.4±0.6	3.7±1.5
다세대 주거지	15.0±2.1	1.6±0.3	2.5±0.5	6.6±1.3
상업지	14.6±4.5	1.0±0.3	0.9±0.3	2.5±0.8
교통지	24.0±6.3	1.6±0.4	1.7±0.5	4.5±1.2
공공용지	17.8±3.3	2.8±0.6	1.9±0.4	5.1±1.0
공원	74.2±12.4	12.3±2.6	8.3±1.6	21.8±4.2

표 4. 서울시 남산의 대기정화능 및 이산화탄소 흡수량 원단위

입상유형	영급	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>
		저장량 (ton/ha)	연간흡수량 (ton/ha/yr)	연간흡수량 (kg/ha/yr)	연간흡수량 (kg/ha/yr)
침엽수림	II	109.8±7.5	17.1±1.1	8.6±0.6	21.2±1.4
	III	145.3±13.2	20.8±2.6	11.3±1.5	27.9±3.7
혼효림	III	199.3±26.2	21.6±2.8	13.1±1.6	33.3±4.0
	IV	238.0±15.8	23.5±1.1	14.8±0.8	37.6±2.0
활엽수림	III	171.4±16.7	20.1±1.2	12.3±0.9	31.7±2.2
	IV	275.3±22.5	25.1±2.2	17.1±1.4	44.2±3.6
	V	482.4±25.4	31.4±1.4	25.3±1.1	65.5±2.8

표 5. 서울시 도시녹지의 유형별 대기정화효과(1999년 기준)

구 분	유 형 분 류	면 적		흡수량 원단위			흡수량 총량					
		(ha)	(%)	CO <sub>2</sub> (t/ha/yr)	SO <sub>2</sub> (kg/ha/yr)	NO <sub>2</sub> (kg/ha/yr)	CO <sub>2</sub>		SO <sub>2</sub>		NO <sub>2</sub>	
							(ton)	(%)	(kg)	(%)	(kg)	(%)
산 림 지 역	I 영급	0.656	0.0	17.1	8.6	21.2	11.218	0.0	5.642	0.0	13.907	0.0
	II 영급	59.236	0.1	17.1	8.6	21.2	1,012.936	0.2	509.430	0.2	1,255.803	0.2
	III 영급	938.590	1.5	20.8	11.3	27.9	19,522.672	4.4	10,606.067	3.4	26,186.661	3.2
	IV 영급	156.960	0.3	24.2	14.1	35.0	3,798.432	0.9	2,213.136	0.7	5,493.600	0.7
	V 영급	47.837	0.1	24.2	14.1	35.0	1,157.655	0.3	674.502	0.2	1,674.295	0.2
	II 영급	10.358	0.0	21.6	13.1	33.3	223.733	0.1	135.690	0.0	344.921	0.0
	III 영급	953.287	1.6	21.6	13.1	33.3	20,590.999	4.6	12,488.060	4.0	31,744.457	3.9
	IV 영급	3,019.009	5.0	23.5	14.8	37.6	70,946.712	15.9	44,681.333	14.2	113,514.738	13.9
	V 영급	150.216	0.2	23.5	14.8	37.6	3,530.076	0.8	2,223.197	0.7	5,648.122	0.7
	II 영급	29.068	0.0	20.1	12.3	31.7	584.267	0.1	357.536	0.1	921.456	0.1
III 영급	380.956	0.6	20.1	12.3	31.7	7,657.216	1.7	4,685.759	1.5	12,076.305	1.5	
IV 영급	6,171.679	10.2	25.1	17.1	44.2	154,909.143	34.7	105,535.711	33.6	272,788.212	33.5	
V 영급	181.019	0.3	31.4	25.3	65.5	5,683.997	1.3	4,579.781	1.5	11,856.745	1.5	
<b>계</b>		<b>12,098.871</b>	<b>19.9</b>				<b>289,629.056</b>	<b>64.9</b>	<b>188,695.844</b>	<b>60.1</b>	<b>483,519.222</b>	<b>59.3</b>
시 가 화 지 역	단독주거지	6,526.230	10.7	0.9	1.4	3.7	5,873.607	1.3	9,136.722	2.9	24,147.051	3.0
	다세대주거지	5,009.148	8.2	1.6	2.5	6.6	8,014.637	1.8	12,522.870	4.0	33,060.377	4.1
	상업지	12,484.919	20.5	1.0	0.9	2.5	12,484.919	2.8	11,236.427	3.6	31,212.298	3.8
	교통지	6,273.392	10.3	1.6	1.7	4.5	10,037.427	2.2	10,664.766	3.4	28,230.264	3.5
	공공용지	5,631.954	9.3	2.8	1.9	5.1	15,769.471	3.5	10,700.713	3.4	28,722.965	3.5
	공원	8,531.121	14.0	12.3	8.3	21.8	104,932.788	23.5	70,808.304	22.6	185,978.438	22.8
물	4,241.012	7.0	0	0	0	0.000	0.0	0.000	0.0	0.000	0.0	
<b>계</b>		<b>48,697.776</b>	<b>80.1</b>				<b>157,112.849</b>	<b>35.1</b>	<b>125,069.802</b>	<b>39.9</b>	<b>331,351.393</b>	<b>40.7</b>
<b>합 계</b>		<b>60,796.647</b>	<b>100</b>				<b>446,741.905</b>	<b>100</b>	<b>313,765.646</b>	<b>100</b>	<b>814,870.615</b>	<b>100</b>

3. 서울시 도시녹지의 CO<sub>2</sub> 및 대기오염(SO<sub>2</sub> 및 NO<sub>2</sub>) 저감효과 분포

서울시 도시녹지의 CO<sub>2</sub> 및 대기오염(SO<sub>2</sub> 및 NO<sub>2</sub>) 저감효과 추정 결과의 공간적 분포는 그림 3~그림 5와 같다. 여기서 알 수 있듯이 서울시의 경우 도시녹지가 주로 도시외곽에 분포하여 도시녹지의 CO<sub>2</sub> 및 대기오염(SO<sub>2</sub> 및 NO<sub>2</sub>) 저감효과 역시 주로 도시외곽에 편중되어 분포하였다. 이는 도시내부에 녹지가 분포하는 것에 비하여 저감효과도 떨어진다. 따라서 향후 도시녹지의 효과를 높이기 위해서도 도시 녹화를 주로 도시 내부지역에 집중해야 할 것이고, 저감효과의 공간적 균형확보를 위해서도 도시전역을 고르게 녹화해야 할 것이다.

표 6. 서울시 도시녹지의 연간 대기정화효과 (1999년 기준)

구분	총 배출량 (ton/yr)	도시녹지의 총 흡수량 (ton/yr)	경제적 가치 (백만원/yr)
CO <sub>2</sub>	30,532,840 (100.00%)	446,741 (1.46%)	223,370
SO <sub>2</sub>	11,000 (100.00%)	314 (2.85%)	628
NO <sub>2</sub>	85,500 (100.00%)	815 (0.95%)	4,075
계			228,073

표 7. 배출량 5% 저감 위한 1인당 수목소요량 (1999년 기준)

구분	총 배출량 (ton/yr)	1인당 배출량* (kg/yr)	배출량의 5% (kg/yr)	수목 1주당 흡수량**		1인당 소요 수목량 (주)
				자연	도시	
CO <sub>2</sub>	30,532,840	2,958.19	147.91	자연 10.30kg/yr	도시 12.05kg/yr	15
				5.30g/yr	6.95g/yr	10
SO <sub>2</sub>	11,000	1.07	0.05	자연 5.30g/yr	도시 6.95g/yr	10
				13.50g/yr	17.95g/yr	31
NO <sub>2</sub>	85,500	8.28	0.41	자연 13.50g/yr	도시 17.95g/yr	31
				23		

\* 인구 : 10,321,449인(1999년 기준)

\*\* 수목당 흡수량은 흉고직경 10cm 침엽수와 흉고직경 10cm 활엽수의 평균 흡수량으로 산출함

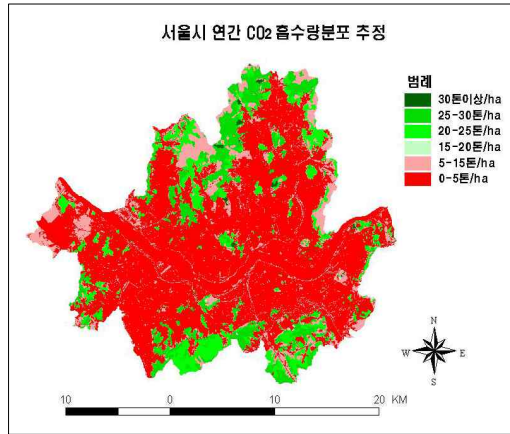


그림 4. 서울시 연간 CO<sub>2</sub> 흡수량 분포 추정

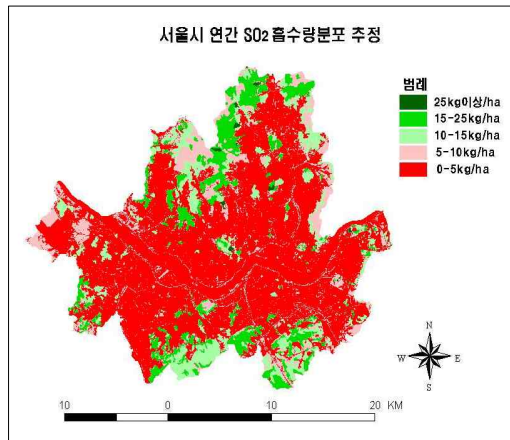


그림 5. 서울시 연간 SO<sub>2</sub> 흡수량 분포 추정

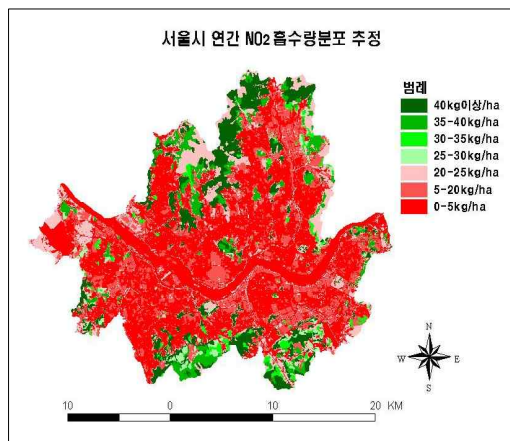


그림 6. 서울시 연간 NO<sub>2</sub> 흡수량 분포 추정



#### IV. 결 론

본 연구는 날로 악화되고 있는 도시환경에서 서울시를 대상으로 도시녹지가 가지는 대기 중 CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> 및 NO<sub>2</sub> 농도 저감효과를 분석하였다. 저감효과를 좌우하는 주요 변수는 식생유형, 흉고직경 및 밀도였다. 따라서 도시녹지의 대기정화효과 분석은 토지이용 및 식생유형 파악, 직경 및 영급 구분, 밀도나 기저면적 산정, 저감효과 계량화의 순서로 진행되었다.

도시녹지의 유형을 자연지와 시가화지역으로 양분한 후, 자연지로서 남산을, 시가화지역으로서 중구를 사례조사지로 선정하고, 식생조사를 실시하여 각 사례조사지의 세부 유형별 생체량 등 정량적 특성을 분석하였고, 이 조사결과를 토대로 사례지 단위면적 당 CO<sub>2</sub> 및 대기오염 저감효과 원단위를 산출하였다. 남산 수목의 단위면적당 대기정화 효과는 식생유형별로 영급이 높을수록 증가하였고, 동일 영급내에선 침엽수림보다 활엽수림이 더 큰 경향이였다. 한편 중구 토지이용별 단위면적당 대기정화효과는 수목 피도가 높은 공원에서 가장 크고, 피도가 낮은 단독주거지 혹은 상업지에서 가장 적었다.

서울시 전역에 대한 원단위의 적용과정에서, 산림지역에 대해서는 수치임상도를 일부 수정하여 남산 조사결과로 도출된 원단위를 적용하였다. 도시화지역에 대해서는 서울시 비오톱유형도의 유형구분을 수정한 후 중구 조사결과에서 도출된 원단위를 적용하였다. 서울시 전체 대기정화효과를 추정할 결과에 의하면 전체면적 중 산림지역 면적이 약 20%에 불과하지만 CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> 흡수량은 각각 65%, 60%, 59% 정도로서 시가화지역보다 동일면적 대비 각각 7.4배, 6배, 5.8배의 대기정화효과를 나타냈다. 한편 시가화지역 대비 17%에 불과한 '공원'유형의 원단위가 적용된 지역이 시가화지역 CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> 흡수량의 각각 67%, 57%, 56%를 점하고 있어, 시가화지역내에서 공원형태를 띠는 도시녹지의 기여도를 확인할 수 있었다.

서울시 도시녹지는 해마다 CO<sub>2</sub> 446,741 ton, SO<sub>2</sub> 314 ton, NO<sub>2</sub> 815 ton을 흡수하는 것으로

나타났고, 이는 서울시 CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> 총배출량의 각각 1.46%, 2.85%, 0.95%에 해당하였다. 서울시 도시녹지의 연간 대기정화효과의 경제적 가치는 CO<sub>2</sub> 2,233억원, SO<sub>2</sub> 6억원, NO<sub>2</sub> 41억원으로서 이들을 합치면 2,280억원에 해당하였다.

본 연구의 결과는 일차적으로 도심 내 녹지확충의 환경적 중요성과 개발압력에 대한 녹지보존의 필요성을 홍보하는 데 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 단위면적차원의 대기정화효과 자료는 식생유형 및 영급별 대기정화 가치의 고저를 비교하며, 토지 개발 또는 보존여부의 정책결정에 활용될 수 있을 것이다. 또한, 본 연구가 서울시 전체 또는 권역별 오염물질배출량 대비 지속가능한 녹지총량 지표의 수립에 일조 할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 시간과 자원의 제약으로 서울시의 모든 도시녹지 유형에 대해 실사를 하지 못하고, 대표적 유형에 한정하여 원단위를 작성하고 이를 대기정화효과 산출에 적용하였는데, 이는 향후 도시녹지 조사의 과제라 할 수 있겠다. 그리고 원단위 산출에서 서울시 이산화탄소 농도의 실측치가 없어 춘천에서 실측된 자료를 사용하였는데, 향후에는 대기측정망 측정항목으로 이산화탄소 농도가 추가되어야 할 것이다.

#### 인 용 문 헌

- 김운수·김학렬. 2001. 서울시 기상특성을 고려한 도시계획기법 연구(II).  
 서울특별시. 2000. 서울 도시생태현황도.  
 서울특별시. 2001. 서울시 비오톱 현황조사 및 생태도시 조성지침 수립.  
 에너지경제연구원. 1999. 한국의 지구온실가스 배출과 저감정책 도입방안 연구. p.120.  
 이경재. 1993. 대기오염과 산성비가 생태계에 미치는 영향. 한국대기보전학회지 9(1) : 11-18.  
 임업연구원. 1992. 임상도.  
 임업연구원. 1997. 산림의 공익기능 계량화. 임업연구보고서.  
 조현길. 1999. 강원도 일부도시의 경관내 탄소

- 흡수 및 배출과 도시녹지의 역할. 한국조경학회지 27(1) : 39-53.
- 조현길. 2001. 식생의 CO<sub>2</sub> 흡수 및 대기정화능 지표 개발. 지속가능한 개발을 위한 생태계지표 개발 전문가 초청 세미나 III. 서울대학교 환경계획연구소. pp.39-73.
- 조현길 · 안태원. 2000. 자연생태계 수목의 생장에 따른 탄소저장 및 흡수량 지표. 한국환경생태학회지 14(3) : 175-182.
- 조현길 · 이경재 · 권전오. 1998. 서울시의 토지이용 및 녹지구조. 환경생태학회지 12(1) : 30-41.
- 조현길 · 이기의. 1999. 도시녹지의 에너지절약 및 대기 CO<sub>2</sub> 농도저감과 계획지침. 한국조경학회지 77 : 38-47.
- 조현길 · 조용현 · 안태원. 2002a. 서울 남산공원의 대기정화능과 가치. 환경생태학회지
- 조현길 · 조용현 · 안태원. 2002b. 서울시 중구 도시녹지의 대기안정화 효과에 관한 연구. (미발표 논문)
- Alatalo, R.V. 1981. Problems in the measurement of evenness in ecology. OIKOS 37 : 199-204.
- American Forest. 2000. CITYgreen calculating the value of nature. American Forest.
- California Energy Commission. 1992. Electricity report : Air Quality. Sacramento, CA.
- Krebs, C.J. 1978. Ecology : The experimental analysis of distribution and abundance (2nd ed.). New York : Harper and Row.
- McPherson, E.G. 1998. Atmospheric carbon dioxide reduction by Sacramento's urban forest. Journal of Arboriculture 24(4) : 215-223.
- Nowak, D.J. 1994. Atmospheric carbon dioxide reduction by Chicago's urban forest. In McPherson, E.G., 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.
- 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.
- Smith, W.H. 1984. Pollutant uptake by plants. In Treshow, M., ed. Air Pollution and Plant Life. New York : John Wiley & Sons. pp. 417-450.
- [http : //152.99.72.107//snlm/doc/sl2\\_1\\_2.htm](http://152.99.72.107//snlm/doc/sl2_1_2.htm)
- [http : //www.me.go.kr/www/db/index.html](http://www.me.go.kr/www/db/index.html)

接受 2002年 7月 15日