

## 서울시 도시녹지의 환경개선 효과

- 토지이용에 따라 지표면의 온도 차이 존재
- 서울시 여름기온 분포추정과 녹지의 기온저감 효과
- 서울시 도시녹지의 대기정화 효과

### 토지이용에 따라 지표면의 온도 차이 존재

- 토지이용 강도가 높을수록 지표면 온도가 높아지는 것으로 나타났음. 즉, 교통시설지나 상업지의 지표면 온도는 높고, 녹지나 하천의 온도는 낮은 것으로 나타났음.
  - 토지이용 강도에 따라 지표면에 온도차이가 있는지 알아보기 위해 토지이용 유형을 11개 중분류로 통합하고, 도시생태현황도의 토지이용현황 자료를 이용하여 GRID 자료를 생성한 후, 토지이용 유형과 위성영상 Landsat TM band 6의 열적외선 수치를 이용한 통계분석(Unbalanced ANOVA 분석)을 실시하였음.
  - 분석결과, 일부 토지이용(도시부양시설지, 공공용도지, 주택지, 특수지역)의 경우 열적외선 수치(지표면 온도) 평균값이 차이가 있으나, 그 차이가 통계적으로는 유의하지 않은 것으로 밝혀졌으며, 그 밖의 토지이용들의 경우에는 모든 토지이용별 열적외선 수치(지표면 온도)의 차이가 통계적으로 유의한 것으로 나타났음. 예상과 달리 공업지가 가장 높은 지표면 온도를 보였고, 이어 상업·업무시설지, 교통시설지, 주거·상업혼합지, 도시부양시설지(공공용도지, 주택지, 특수지역도 같은 집단에 해당함), 나지, 녹지 및 오픈스페이스, 하천 및 호소 순으로 나타나, 산림과 하천 및 습지의 지표면 온도가 가장 낮은 것으로 나타났음(<표 1> 참조).

<표 1> 토지이용분류에 따른 열적외선 수치 및 지표면 온도

토지이용	사례수	Mean ± S.D.	F 값	Tukey Grouping								지표면 온도 추정치(℃) <sup>1)</sup>
				A	B	C	D	E	F	G	H	
공업지	2295	183.01 ± 9.86	10957.9***	•								46.99
상업·업무시설지	9542	179.42 ± 8.48			•							45.42
교통시설지	17638	178.27 ± 10.41				•						44.91
주거·상업혼합지	23091	175.93 ± 10.04					•					43.87
도시부양시설지	2229	175.08 ± 11.11						•				43.49
공공용도지	8814	175.08 ± 8.76						•				43.49
주택지	30296	174.96 ± 8.99						•				43.44
특수지역	3242	174.34 ± 14.09						•				43.16
나지	3974	173.43 ± 11.22							•			42.76
녹지 및 오픈스페이스	58283	160.94 ± 12.71								•		37.05
하천 및 호소	9279	148.82 ± 11.94									•	31.28
합계	168,683											

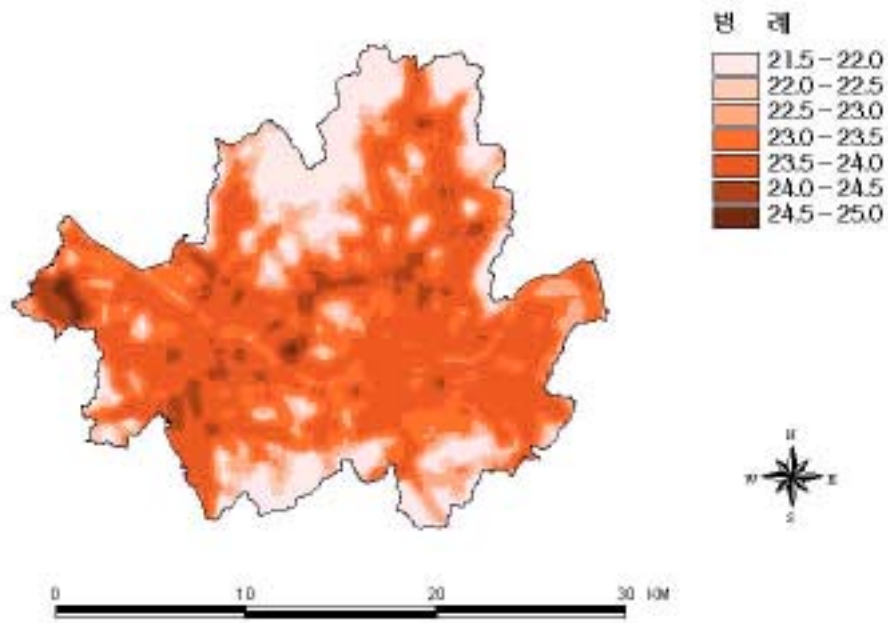
\*p < 0.05 \*\* p < 0.01 \*\*\* p < 0.001

1) NASA 모델을 적용한 지표면 온도 추정치

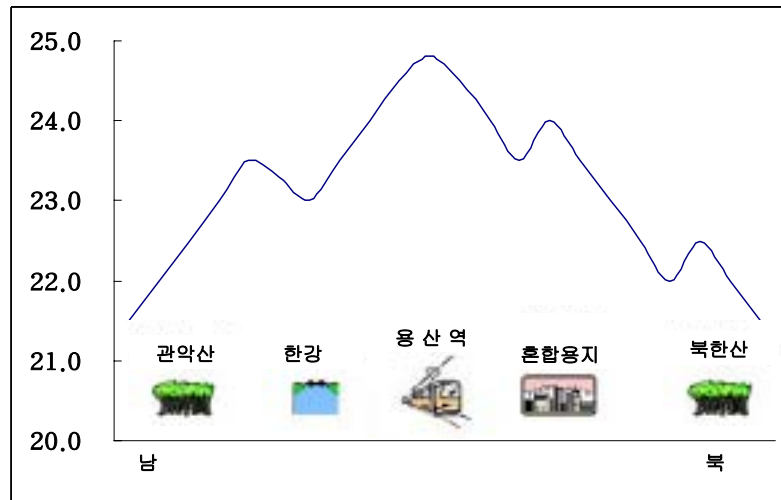
## 서울시 여름기온 분포 추정과 녹지의 기온저감 효과

- 서울시 여름 평균기온에 영향을 미치는 중요 변수는 숲 면적율과 교통시설지 면적율인 것으로 밝혀짐.
  - 여름철 평균기온에 영향을 미치는 요인을 분석하고, 다양한 설명변수의 선택과정과 국외점 등의 제거과정을 통하여 다중회귀분석을 수행한 결과 지금까지 보고된 어떤 회귀모형보다 설명력이 높은( $R^2 \geq 0.78$  이상) 여름 평균기온을 추정하는 식을 도출하였음.
  - 이 식에서 여름 평균온도의 변수는 숲 면적율과 교통시설지 면적율인 것으로 밝혀짐.
  - 두 변수 중 숲 면적율의 설명력이 훨씬 높았으나, 숲 면적율의 기온 저감효과는 교통시설지 면적율의 기온 상승효과보다 약간 적은 것으로 확인됨.
- 서울시는 숲이 도시 외곽에 분포하기 때문에 전형적인 도시열섬현상을 나타내고 있음.
  - 위에서 도출된 여름 평균기온을 추정하는 회귀모형을 이용하여 서울시 전역의 2001년 여름(6, 7, 8월) 평균기온의 분포도를 작성한 결과는 (그림 1)과 같고, 이를 근거로 하여 서울시를 가로질러 나타나는 기온분포 단면도는 (그림 2)와 같음.

- 이를 통해 서울시 여름의 기온은 도심으로 갈수록 높아지고, 숲이 주로 도시외곽에 분포하기 때문에 도시외곽으로 갈수록 낮아지는 전형적인 도시열섬 현상을 보이고 있음을 알 수 있음.
- 여름 평균기온은 최저 21.5℃에서 최고 24.7℃에 걸쳐 최대 3.2℃의 차이를 보임.



[그림 1] 서울시 2001년 여름 평균기온 분포도



[그림 2] 서울시 2001년 여름 평균기온 단면도

- 도시녹지는 여름 기온을 낮추는 효과가 있으므로 도시열섬현상을 완화하기 위해 도심의 집중녹화가 필요함.
- 여름평균기온 회귀모형의 검증과 서울시 온도분포 추정을 통해 도시림에 의한 여름 기온 저감효과가 입증되었고, 아울러 도시림 확충의 중요성과 개발압력에 대한 도시림 보존의 필요성도 입증됨.
- 이러한 도시림의 온도저감효과 분석을 통해 숲의 적극적 조성, 특히 도심의 집중 녹화 필요성이 제기됨.

## 서울시 도시녹지의 대기정화효과

- 녹지의 대기정화효과를 계량화하기 위해 식물별로 생장에 따른 대기 중  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  및  $\text{NO}_2$  저감효과를 원단위로 도출함.
- 서울시 전역에 대한 식물 조사가 불가능하므로, 서울시 전역에 걸친 녹지의 대기정화효과를 추정하기 위해서는 식생 유형별 또는 토지이용 유형별 원단위 산출이 필요하였음. 이를 위해 산림으로서 남산을, 시가지로서 중구를 사례조사지로 선정하여 녹지구조를 조사하였고, 이 조사 자료를 토대로 서울시에 적용할 식생유형별 및 토지이용 유형별 면적당  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  및  $\text{NO}_2$  저감효과 원단위를 도출하였음.

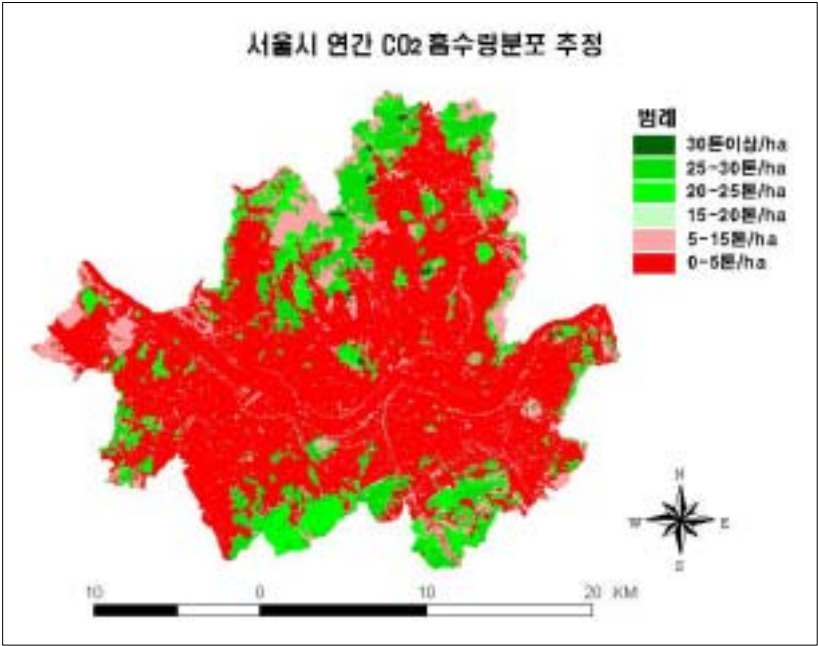
- 식생유형별로는 나무나이가 높을수록 대기정화능력이 증가하였고, 동일 나무나이에서는 침엽수림보다 활엽수림이 더 큰 경향이 있음.
  - 남산을 대상으로 조사된 영급(나무나이)에 따른 단위면적당 대기정화능력은 대체로 기저면적(나무밑둥)의 변화와 유관하여 영급이 높을수록 증가하였고, 특히 활엽수림의 영급간 차이가 침엽수림이나 혼효림(침엽수와 활엽수의 혼합림)보다 더 컸음. 침엽수림은 단위면적당 기저면적이 동일 영급의 타 식생유형보다 크지만, 대기정화능력은 생장량 및 엽면적의 차이로 활엽수림이나 혼효림보다 오히려 적었음.
- 토지이용별 대기정화효과는 공원에서 가장 컸고, 단독주거지 및 상업용지에서 가장 적었음.
  - 시가화지역 사례연구지인 중구의 토지이용별 단위면적당 평균 CO<sub>2</sub> 저장량은 <표 2>와 같이 공원에서 74.2 t/ha로 가장 많았으며, 이어서 교통용지, 공공용지, 다세대주거지, 상업지의 순이었고 단독주거지에서 가장 적었음. 한편 토지이용별 연간 SO<sub>2</sub> 및 NO<sub>2</sub> 흡수량은 수목피도(전체면적 중 나무가 덮고 있는 비율)의 고저와 유관하였음. 따라서, 단위면적당 평균 흡수량은 수목피도가 가장 높은 공원에서 가장 많았고, 이어서 다세대주거지, 공공 및 교통용지, 단독주거지 순이었으며, 수목피도가 가장 낮은 상업지에서 가장 적었음.
- 서울시 산림지역 면적은 서울시 면적의 20%에 불과하지만 CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> 흡수량은 시가화지역 동일면적 대비 각각 7.4배, 6배, 5.8배의 대기정화효과를 나타냄.
  - 서울시의 산림은 5영급 이상(수령 40년 이상)의 면적이 산림면적의 3.1%에 불과하여 전체적으로 어린 나무 내지는 성장과정의 수목이 주를 이룸.
  - 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 나타냄.
  - 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 공원형태의 도시녹지의 기여도를 확인할 수 있었음.

<표 2> 서울시 도시녹지의 유형별 대기정화효과(1999년 기준)

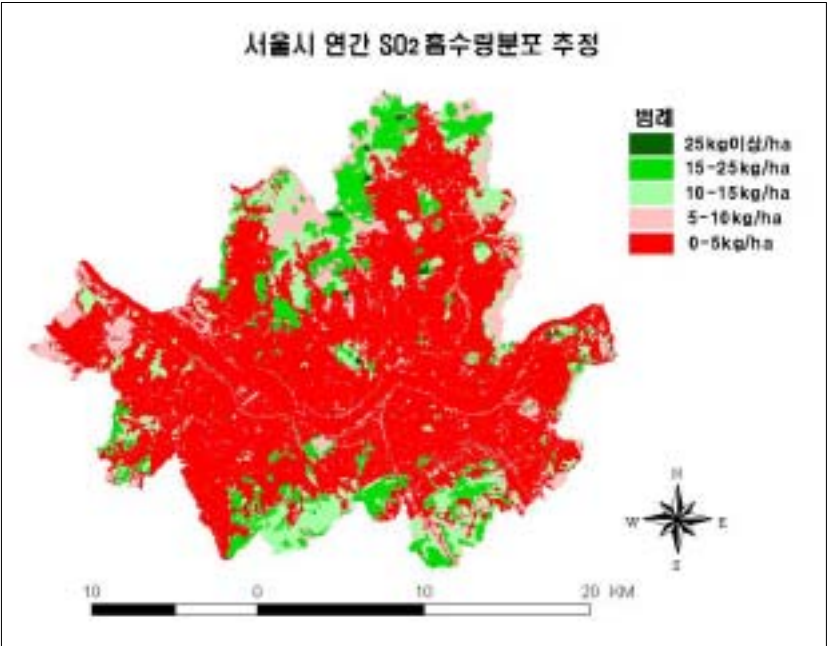
구분	유형 분류	면 적		흡수량 원단위			흡수량 총량					
		(ha)	(%)	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>		SO <sub>2</sub>		NO <sub>2</sub>	
				(t/ha/yr)	(kg/ha/yr)	(kg/ha/yr)	(ton)	(%)	(kg)	(%)	(kg)	(%)
산림지역	I영급	0.656	0.0	17.1	8.6	21.2	11.218	0.0	5.642	0.0	13.907	0.0
	침엽 II영급	59.236	0.1	17.1	8.6	21.2	1,012.936	0.2	509.430	0.2	1,255.803	0.2
	III영급	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
	수림 IV영급	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
	V영급	47.837	0.1	24.2	14.1	35.0	1,157.655	0.3	674.502	0.2	1,674.295	0.2
	혼효림 II영급	10.358	0.0	21.6	13.1	33.3	223.733	0.1	135.690	0.0	344.921	0.0
	III영급	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
	IV영급	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
	V영급	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
	활엽 II영급	29.068	0.0	20.1	12.3	31.7	584.267	0.1	357.536	0.1	921.456	0.1
	III영급	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
	수림 IV영급	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
	V영급	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
	계	12,098.871	19.9				289,629.056	64.9	188,695.844	60.1	483,519.222	59.3
시가화지역	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
	계	48,697.776	80.1				157,112.849	35.1	125,069.802	39.9	331,351.393	40.7
합 계		60,796.647	100				446,741.905	100	313,765.646	100	814,870.615	100

\* 1영급: 수령이 10년 이하, 2영급: 수령이 10년~20년, 3영급: 수령이 20년~30년, 4영급: 수령이 30년~40년, 5영급: 수령이 40년~50년

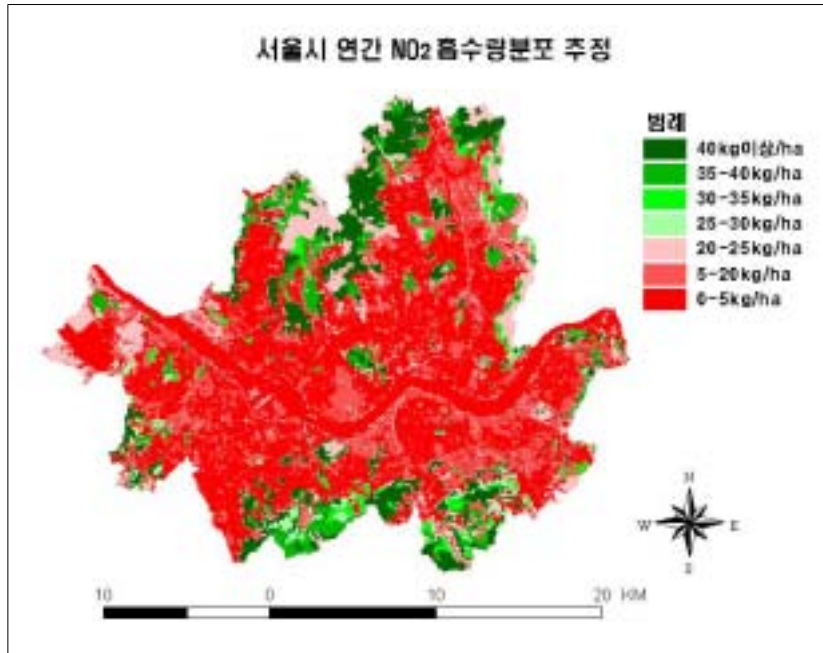
- 숲이 도시 외곽에 편중되어 있어 대기정화효과도 떨어지므로, 도시 내부에 집중녹화가 필요함.
- 상기 식생유형별 및 토지이용유형별 대기정화효과 원단위를 적용하여 서울시 전체 도시녹지의 환경보전효과 총량을 산출하였음.
- 서울시 도시녹지의 CO<sub>2</sub> 및 대기오염(SO<sub>2</sub> 및 NO<sub>2</sub>) 저감효과 추정 결과의 공간적 분포는 <그림 3>~<그림 5>와 같음. 여기서 알 수 있듯이 서울시의 경우 도시녹지가 주로 도시외곽에 분포하여 도시녹지의 CO<sub>2</sub> 및 대기오염(SO<sub>2</sub> 및 NO<sub>2</sub>) 저감효과 역시 주로 도시외곽에 편중되어 분포함. 이는 도시내부에 녹지가 분포하는 것에 비교하여 단위면적당 저감효과도 떨어짐. 따라서 향후 도시녹지의 효과를 높이기 위해서도 도시녹화를 주로 도시 내부지역에 집중해야 하고, 저감효과의 공간적 균형확보를 위해서도 도시전역을 고르게 녹화해야 함.



[그림 3] 서울시 연간 CO<sub>2</sub> 흡수량 분포 추정



[그림 4] 서울시 연간 SO<sub>2</sub> 흡수량 분포 추정



[그림 5] 서울시 연간 NO<sub>2</sub> 흡수량 분포 추정

- 자치구별로도 숲이 편중 분포되어 도시녹지의 자치구별 균형 배치 노력이 요청됨.
  - 서울시의 자치구별 CO<sub>2</sub> 저장량(녹지가 흡수하여 보유하고 있는 양)이 가장 높은 구는 관악구로 ha당 117.5 t이며 가장 낮은 구는 영등포구로 ha당 15.1 t에 불과하여 7배 이상의 차이를 보임.
  - CO<sub>2</sub> 흡수량(연간 녹지가 흡수하는 양)이 가장 높은 구는 강북구로 ha당 13.4 t/년이며 가장 낮은 구는 영등포구로 ha당 1.6 t/년임. 따라서 자치구간 편차가 최고 8배 이상으로 매우 큰 것으로 나타남.
  - SO<sub>2</sub> 연간 흡수량도 강북구가 최고로 ha당 9.3 t/년이고 영등포구가 ha당 1.4 t/년으로 6배 이상의 차이가 나타남.
  - NO<sub>2</sub> 연간 흡수량도 강북구가 ha당 24.1 t/년, 영등포구가 ha당 3.7 t/년으로 6배 이상의 차이가 나타남.
- 서울시 도시녹지는 서울시 CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> 총배출량의 각각 1.46%, 2.85%, 0.95%를 흡수하여 정확하고 있음.
  - 인간 활동에 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 3>과 같음. 서울시 도시녹지는 해마다 CO<sub>2</sub> 446,741ton, SO<sub>2</sub> 314ton, NO<sub>2</sub> 815ton을 흡수하는 것으로 나타났으며, 이는 서울시 CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> 총배출량의 각각 1.46%, 2.85%, 0.95%에 해당하였음.



- 연간 대기정화 경제가치는 총 2,280억원에 해당하며, 이 중 CO<sub>2</sub> 대기정화가치가 98%를 차지하고 있음.
- 서울시 전체 도시녹지에 의한 연간 대기정화효과의 경제가치는 CO<sub>2</sub> 2,233억원, SO<sub>2</sub> 6억원, NO<sub>2</sub> 41억원으로서 이들을 합치면 2,280억원에 해당하였음.
- 연간 대기정화 경제가치 중 CO<sub>2</sub> 흡수가치의 점유비가 약 98%로서 대부분을 차지하였음.

<표 3> 서울시 도시녹지의 연간 대기정화효과

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

조용현 | 서울시정개발연구원 연구위원  
02-2149-1156  
ecoinfo@sdi.re.kr