

도시녹지의 대기정화효과에 대한 분석적 연구
- 도시 가로수를 중심으로 -

성현찬¹⁾ · 문다미²⁾

¹⁾ 경기개발연구원 선임연구위원 · ²⁾ 경기개발연구원 위촉연구위원

An Analytical Study on the Air Purification Effect of
Urban Openspace

- Focusing on Urban Roadside Trees

Sung, Hyun-Chan¹⁾ and Moon, Da-Mi²⁾

¹⁾ Senior Researcher, Kyonggi Research Institute,

²⁾ Temporary Researcher, Kyonggi Research Institute.

ABSTRACT

The objective of this study is to review and verify whether the functions and effect of roadside trees generally known in theory are actually realized in urban roads and how well they are performed if the function and effect are really realized. The study was conducted with a focus on air purification effect of roadside trees. The major study result is as follows.

First, calculation of air purification effect of roadside trees showed that it is minimal. However, 7.4 units of broad-leaved trees is necessary in order to purify SO₂ discharged by one passenger car and 1,803.3 trees to purify NO₂.

Second, regarding pollutant absorption capacity, air pollutant absorption capacity increased as the number of rows planted gets higher (i.e., 2-row plantation absorbs pollutant better than 1-row plantation). In particular, "2-row plantation + lower-level shrub + buffer green belt" was as eight times high as "1-row plantation" in absorption capacity.

Third, out of 30 roads with over 8 lanes in 15 cities, only 33.3% or a total of ten roads in seven cities had a median strip. Out of these ten roads, nine roads were planted in a double-layer consisting forest trees, shrubs, ground plants (grass). Analysis showed that out of six tree species planted along these roads, about a half of them were weak to air pollution.

Also, based on the outcome of this study, charging a "plantation due" when people purchase a new car, improving layout of roadside trees, and reinforcing plantation of air purification tree species when selecting tree species for roadside trees were proposed.

Key Words : Roadside tree management and improvement plans, Buffer green area, Plantation due.

I. 서 론

도시녹지 중 도시의 가로수는 기후조절효과 및 대기오염 정화효과 등을 가질 뿐 아니라 도시내에 녹색을 도입하고 도시경관을 구성하는 주요 요소이며, 도시 녹지네트워크를 구축하는 선상 연결 녹지축으로서도 중요한 역할을 하는 것으로 알려져 왔다.

도시녹지의 기능과 효과에 대해서는 많은 실증적인 연구가 이루어져 왔음에도 불구하고, 가로수의 기능과 효과 중 대기정화효과에 대한 연구는 그동안 부족하였다고 할 수 있을 것이다. 선행연구를 고찰한 결과, 가로수의 기능과 효과에 대한 부분에 대한 연구는 상당히 미진하였는 바, 강호기의 1명(1986)이 가로수가 있는 가로경관의 시각적 선호도에 관한 연구를, 손창구 등(1990)이 우리나라 대도시 가로수 경관 비교 연구를 실시한 바 있으며, 대기정화 효과와 관련한 연구로서는 김동수(1979)가 가로수가 대기정화에 미치는 영향에 관한 연구를, 오인혜(1993)가 가로수 잎의 S 및 중금속 함량에 의한 대기오염도 측정에 관한 연구를 수행하였고, 국립환경연구원(1997)이 도시 유형별 녹지의 환경개선 기능 평가 연구에서 가로수와 관련된 일부 연구를 수행한 수준이었다.

그러나, 관련된 연구로는 상당히 다양한 바, 가로수의 현황과 문제점에 대해서는, 김정환 및 서울특별시(김정환, 1982; 서울특별시, 2000)가 서울시내 가로수의 현황에 관한 조사연구를 실시하였고, 임병삼외 1명(1985)과 신현탁(1996)은 대구시의 가로수를 조사하고 개선방안을 도출하였으며, 이경재(1996)는 서울특별시와 인천광역시, 두 지역에서의 도시 가로수 실태와 가로수 정비의 문제점을 비교·고찰하였고, 이상석 외1인(1999)은 광양시의 가로수를 조사하고 식재체계상의 문제점과 개선방안을 도출하였다. 가로수의 수종에 대해서는 신천식(1978)과 이용훈(1985)이 가로의 특성과 생육환경을 고려한 수종 선정에 관한 연구를 실시한 바 있으며, 생육여건에 대해서는, 황명교(1983)와 서울특별시(1999)에 의하여 조사 연구된 바 있었다.

또한 최근에 와서 김대관(1993)과 박용진·김태경(2000)은 가로수의 식재체계상 문제점과 식재체계의 수립방안을 종합적으로 연구하였으며, 김아영(2001)과 이윤정(2002)이 각각 부산의 가로수를 대상으로 관리상의 문제점과 개선방안을 구체적으로 제시하였다.

따라서, 본 연구는 상기와 같은 배경 하에, 도시녹지 중 이론적으로 알려져 있는 가로수의 대기정화 효과가 실제로 도시의 가로에서 어느 정도 발휘될 수 있는지, 가로수의 대기정화 효과를 높이는 방안이 무엇인지 등을 분석적으로 고찰해 봄으로써, 향후 가로수의 관리정책에 기초 자료를 제공하고자 하는 것에 그 목적이 있다.

II. 연구범위 및 방법

1. 연구의 범위

가로수의 대기정화효과를 분석하기 위하여, 본 연구에서는 이론적인 가로수의 대기오염물질 흡수율을 산정하고, 이를 보완하기 위하여 8차선 이상 도로에 대한 가로수의 실태를 현지 조사하고 분석하였다.

1) 가로수의 자동차 대기오염물질 흡수율 분석

대상 지역으로는 경기도 내 31개 시·군 전체를 대상으로 하였으며, 내용적 범위로는 시·군별 가로수의 자동차 대기오염물질 흡수율의 산정, 가로수 1그루 당 저감 자동차 수, 가로수 배치유형별 대기오염물질 흡수율의 분석을 포함하였다.

2) 8차로 이상 도로에서의 가로수 실태조사 분석

도로의 폭이 넓을수록 녹지의 양이 많아야 할 것인 바, 차량의 이용이 많고 대기오염배출물질의 발생도 많다고 판단되는 8차로 이상의 도로에서는, 적어도 중앙분리대를 설치하여 가로수의 양을 더 늘리고(중앙분리대에 가로수를 식재하여 도로를 반으로 나눔으로서), 성목의 대기정화수종이 식재되어야 할 것이다. 이러한 배경에서 본 실태조사와 분석이 실시되었으며,

조사 및 분석내용은 중앙분리대의 설치 유무, 가로수의 수종 및 식재유형, 대기정화수종 식재 유무, 가로수의 규격 등을 조사하고, 대기정화효과에의 기여방안을 분석하였다.

대상도시로는 환경부에 의해 ‘대기환경 규제 도시’로 지정된 수원시, 성남시, 고양시, 부천시, 안양시, 안산시, 의정부시, 남양주시, 광명시, 시흥시, 군포시, 구리시, 하남시, 의왕시, 과천시 등 15개 도시로 하고, 각 도시당 대표적인 8차로 이상의 도로를 2개소씩 선정하여 총 30개 도로가 선정되었다. 단, 의정부시, 남양주시, 광명시, 군포시 등 4개 도시와 시흥시, 하남시 등 2개 도시는 도시의 규모 상 가장 넓은 도로인 각각 6차로와 4차로가 선정되었다.

2. 연구의 방법

1) 가로수의 자동차 대기오염물질 흡수율 분석
 도로변에 심겨지는 가로수에 의한 자동차 대기오염물질의 정화효과를 알아보기 위하여, 먼저, 가로수 수종별 대기오염물질 흡수량의 기준을 설정한 다음, 이를 근거로 경기도 시·군별 가로수의 대기오염물질 흡수량을 산정하고, 또한 시·군별 자동차로부터 배출되는 대기오염물질 배출량을 산정하여, 이 두가지의 결과를 바탕으로 가로수의 자동차 대기오염물질 흡수량 및 흡수율을 산정하였다. 모든 자료는 2001년 말의 자료를 기준으로 하였다.

(1) 가로수 수종별 대기오염물질 흡수량의 기준 설정

수목의 대기오염물질 흡수에 대해서는 국외의 여러 연구와 국내의 국립환경연구원의 연구사례가 있으나, 수목의 대기오염 저감기능 산출량 계산 과정의 형평성 등을 고려하여, 국내의 국립환경연구원(1997)의 도시 유형별 녹지의 환경개선 기능평가 연구내용을 주로 사용하였다. 물론 이 연구에서의 수목의 규격이나 생육상태가 실제 도로에서의 가로수와는 차이가 상당하지만, 본 연구는 대기정화효과의 절대적인 수치를 밝히는 것이 아니라, 가로수의 대기정화효과를 상대적으로 산정해보기 위한 것임을 전제로 하는 것이다.

이 연구에서 대기정화효과가 연구된 수목의 수종은 총 11종(활엽수 4종, 침엽수 7종)이나, 경기도에 식재되어 있는 총 48여종의 가로수에 대한 흡수량을 모두 계산하기에는 부족한 자료였다. 따라서 연구결과에 수록되지 않은 수종들의 대기오염물질 흡수량에 대해서는, 활엽수와 침엽수로 구분하고, 연구된 활엽수와 침엽수 흡수량의 평균치로 기준 흡수량을 설정하였다. 또한, 활엽수와 침엽수의 대기오염물질 흡수량 평균치의 계산시, 편차를 줄이기 위해 표에서 제외

표 1. 가로수 수종별 대기오염물질 흡수량의 기준 설정표

구 분	수 종 명	SO ₂ (g/그루/yr)	NO ₂ (g/그루/yr)	비고
활엽수	가중나무	50.3	13.2	
	버드나무류	12.4	2.6	※ 1
	은단풍	14	8.4	※ 2
	양버즘나무	6.24	2.20	
	활엽수	13.2	5.5	※ 3
침엽수	소나무	20.2	4.7	※ 4
	곰솔	28.3	8.2	
	잣나무	31.7	6.6	
	리기테다	26.0	7.5	
	테다소나무	29.3	10.5	
	은행나무	21	4.10	
	갯나무	136.5	32.4	
	침엽수	27.3	7.5	※ 5

자료 : ‘국립환경연구원(1997), 도시 유형별 녹지의 환경개선 기능 평가’에서 편집 정리.

주 1 : 버드나무류 - 현사시나무, 포플러, 은수원사시, 버드나무, 수양버들, 미루나무에 적용.

주 2 : 은단풍 - 은단풍, 중국단풍, 청단풍, 단풍나무, 홍단풍에 적용.

주 3 : 활엽수 - 표에 제시된 활엽수 5종을 제외한 35종의 활엽수에 적용.

주 4 : 소나무 - 리기다소나무, 소나무에 적용.

주 5 : 침엽수 - 메타세쿼이아, 주목, 히말라야시다, 측백나무에 적용.

주 : 음영부분은 경기도 내에 식재되어 있지 않은 수종으로 수목분류별 평균값 산정에만 활용되었음.

시된 활엽수 4종, 침엽수 7종의 수치 중 중간 값에 영향을 미치는 최대값과 최소값은 제외하고 평균치를 산정하였다.

(2) 시·군별 가로수의 대기오염물질 흡수량 산정

가로수 수종별 대기오염물질 흡수량을 근거로, 경기도내 31개 시·군에 식재된 가로수가 가지는 SO₂, NO₂ 등 대기오염물질의 흡수량을 시·군별로 산정하였다.

(3) 시·군별 자동차 대기오염물질 배출량 산정 먼저, 경기도내에서 자동차 1대가 내뿜는 대기오염물질 배출량을 구하기 위하여, 전국 차량 대수와 차량별 대기오염물질 배출량을 근거로 ‘경기도내 자동차 1대의 오염물질 배출량’을 산출하였다. 다음으로, 이 결과에 ‘경기도 시·군별 차량 대수’를 이용하여, ‘경기도 시·군별 자동차 대기오염물질 배출량’을 산출하였다.

2) 8차로 이상 도로에서의 가로수 실태조사 분석

2002년 9월 1일부터 9월 30일까지 약 한달간 조사가 이루어졌으며, 표준화된 조사 야장을 이용하여, 연구자가 직접 조사대상 도시의 도로를 방문하고 실측조사 및 사진촬영을 실시하였다.

III. 연구결과

1. 가로수의 자동차 대기오염물질 흡수율 분석

1) 시·군별 가로수의 자동차 대기오염물질 흡수율

‘시·군별 가로수의 대기오염물질 흡수량’과 ‘시·군별 자동차의 대기오염물질 배출량’에 근거하여, 경기도 31개 시·군별 가로수에 의한 이론적인 자동차 대기오염물질의 흡수율을 산정한 결과는 다음과 같다.

먼저, ‘가로수의 대기오염물질 흡수량’에 있어서는, 경기도내 식재된 총 432,494그루의 가로수는 연간 총 SO₂를 6.85톤 NO₂를 2.065톤 만큼 흡수하는 것으로 나타났다. 31개 시·군 중 가로수

가 가장 많이 식재되어 있는 성남시의 경우 총 42,950그루의 가로수에 의해 연간 SO₂ 674kg, NO₂ 208kg이 흡수되는 것으로 나타나, 경기도 전체 흡수량의 약 10%를 흡수하고 있으며, 반면 총 3,454그루가 식재되어 가로수가 가장 적게 식재된 군 지역인 포천군은 연간 SO₂ 62kg, NO₂ 15kg을 흡수하여 경기도 전체 흡수량의 약 0.9%가량만 흡수하고 있는 것으로 나타났다.

다음으로, ‘자동차의 대기오염물질 배출량’에 있어서, 우선 2001년 현재, 경기도내 트럭은 19.2%, 승합차(버스)는 10.6%, 승용차는 70.2%를 차지해, 승용차가 트럭과 승합차를 합친 차량 대수보다도 2.4배에 달하는 높은 점유율을 나타내고 있었으나, 시·군별 자동차 대기오염물질 총 배출량 산정결과, 트럭에서 배출되는 총 배출량은 연간 SO₂ 62.5%(1,243t), NO₂ 59.6%(59,811t), 승합차는 SO₂ 28.0%, NO₂ 21.4%, 승용차의 경우는 차량대수에서 나타나는 70.2%의 높은 점유율과는 반대로 SO₂ 와 NO₂ 의 배출량이 9.5%(188t), 19.0%(19,055t)의 점유율에 불과한 것으로 나타났으며, 결과적으로 트럭 > 승합차 > 승용차 순으로 오염물질이 배출되는 것으로 나타나, 오염물질 배출량이 전체 차량 대수보다 트럭의 대수에 더욱 많은 영향을 받는 것으로 나타났다.

차량 전체의 자동차 대기오염물질 총 배출량은, 연간 총 SO₂를 1,988톤 NO₂를 100,324톤 배출하는 것으로 나타났으며, 31개 시·군 중 대기오염물질 배출이 가장 많은 시·군은 수원시로서 SO₂ 171톤, NO₂ 8,768톤을 배출하여 경기도 전체 배출량의 약 8.7%를 배출하고 있으며,

표 2. 차량 대수 비율과 대기오염물질 배출량의 비율 비교

구 분	승 용 차	승합차(버스)	트럭	전 체
차량대수 비율	70.2% (1,921,202대)	10.6% (290,043대)	19.2% (524,553대)	100.0% (2,735,798대)
SO ₂	9.5% (188t)	28.0% (557t)	62.5% (1,243t)	100.0% (1,988t)
NO ₂	19.0% (19,055t)	21.4% (21,458t)	59.6% (59,811t)	100.0% (100,324t)

반면 대기오염물질을 가장 적게 배출하는 시·군은 과천시로서, 연간 SO₂ 9톤, NO₂ 466톤을 배출하여 경기도 전체 배출량의 약 0.46%가량만 배출하고 있는 것으로 나타났다.

이에 따라 경기도 31개 시·군의 ‘가로수의 자

동차 대기오염물질 흡수율’은 가로수의 수량이 적음으로 해서, 또는 공원 및 도시내 잔존산림 등을 포함하지 않아, 전체적으로 1%가 넘지 않는 미미한 효과를 나타내고 있는 것으로 분석되었다. 이 중, 가로수에 의한 대기오염물질 흡수

표 3. 시·군별 가로수의 자동차 대기오염물질 흡수율

시군별	가로수 본수(본)	자동차 대수(대)	가로수 오염물질 흡수량		자동차 오염물질 배출량		흡수 비율	
			SO ₂ (t/년)	NO ₂ (t/년)	SO ₂ (t/년)	NO ₂ (t/년)	SO ₂ (%)	NO ₂ (%)
수원시	24,817	275,689	0.462	0.113	171	8,768	0.271	0.001
성남시	42,950	236,198	0.674	0.208	134	6,984	0.503	0.003
고양시	41,267	232,440	0.635	0.205	137	7,081	0.463	0.003
부천시	26,832	194,252	0.405	0.118	141	7,090	0.287	0.002
안양시	17,051	154,481	0.277	0.074	96	4,918	0.290	0.002
안산시	28,780	176,260	0.403	0.134	129	6,489	0.313	0.002
용인시	15,203	150,476	0.258	0.069	100	5,095	0.259	0.001
의정부	10,687	91,313	0.190	0.047	64	3,196	0.298	0.001
남양주	8,953	105,561	0.153	0.040	87	4,318	0.175	0.001
평택시	32,077	110,196	0.498	0.162	82	4,154	0.608	0.004
광명시	8,000	74,478	0.141	0.039	48	2,435	0.296	0.002
시흥시	29,225	109,010	0.451	0.156	86	4,287	0.525	0.004
군포시	8,159	70,067	0.113	0.035	42	2,184	0.269	0.002
화성시	9,050	75,575	0.146	0.040	71	3,511	0.204	0.001
파주시	7,678	71,240	0.129	0.032	62	3,107	0.206	0.001
이천시	8,671	61,093	0.149	0.035	52	2,615	0.286	0.001
구리시	5,261	47,013	0.082	0.023	34	1,700	0.244	0.001
김포시	4,680	62,634	0.094	0.028	53	2,618	0.177	0.001
포천군	3,454	49,387	0.062	0.015	50	2,476	0.122	0.001
광주시	12,637	58,719	0.182	0.069	56	2,704	0.327	0.003
안성시	9,505	44,361	0.160	0.043	40	1,984	0.402	0.002
하남시	6,971	34,188	0.120	0.036	29	1,438	0.412	0.002
의왕시	4,330	34,874	0.066	0.022	23	1,192	0.282	0.002
양주군	4,338	43,572	0.075	0.019	40	1,988	0.185	0.001
오산시	4,749	33,843	0.072	0.023	23	1,157	0.316	0.002
여주군	12,125	38,467	0.173	0.053	44	2,170	0.392	0.002
양평군	20,163	23,309	0.299	0.105	21	1,043	1.424	0.010
동두천	4,428	19,780	0.080	0.021	16	807	0.491	0.003
과천시	7,274	19,097	0.093	0.034	9	466	1.087	0.007
가평군	8,729	15,289	0.139	0.046	14	705	0.972	0.007
연천군	4,450	22,936	0.071	0.023	34	1,645	0.209	0.001
총합계	432,494	2,735,798	6.850	2.065	1,988	100,324	0.345	0.002

율이 가장 높은 지역은 양평군으로 SO₂, NO₂가 1.992%, 0.012%의 흡수율을 나타내고 있으며, 과천시와 가평군이 1.087%, 0.007%와 0.972%, 0.007%로 그 뒤를 잇고 있다. 반면 가로수의 오염물질 흡수율이 가장 낮은 지역은 경기도내 가로수가 가장 적은 지역인 포천군으로 SO₂, NO₂의 흡수율이 각각 0.122%, 0.001%를 차지하는 것으로 나타났으며, 이 밖에도 남양주시와 김포시, 양주군의 흡수율이 낮은 지역으로 나타났다.

표 4. 가로수 1그루 당 저감 자동차 대 수

구 분		가로수 1그루당 저감 자동차 대 수	
		SO ₂	NO ₂
활엽수	승용차	0.13	0.0006
	승합차	0.01	0.0001
	트럭	0.01	0.00005
침엽수	승용차	0.28	0.0008
	승합차	0.01	0.0001
	트럭	0.01	0.0001

표 5. 자동차 1대 당 필요 가로수 본 수

구 분		자동차 1대당 필요 가로수 본 수	
		SO ₂	NO ₂
승용차	활엽수	7.41	1,803.31
	침엽수	3.59	1,322.43
승합차	활엽수	145.47	13,451.53
	침엽수	70.44	9,864.46
트럭	활엽수	179.49	20,731.28
	침엽수	86.92	15,202.94
자동차 전체	활엽수	110.79	11,995.37
	침엽수	53.65	8,796.61
	평균	82.22	10,395.99

2) 가로수 1그루 당 저감 자동차 수

차량 1대의 대기오염 배출량에 대한 가로수의 대기오염물질 흡수량의 효과를 더 구체적으로 나타내기 위하여, 차량 1대의 대기오염물질 배출량을 흡수하는데 가로수가 얼마나 필요한지, 또한 가로수 1그루가 몇 대의 차량에서 배출되는 대기오염물질을 흡수하는지를 산정하여 분석하였다.

먼저, 차량(전체 차종 평균) 1대의 SO₂를 흡수하기 위해서는 약 82.22그루의 가로수가 필요하며, 차량 1대의 NO₂를 흡수하기 위해서는 그보다 많은 10,395.99그루의 가로수가 필요한 것으로 나타났다. 이 가로수를 모두 활엽수로 심는다면, 차량 1대당 SO₂의 흡수를 위해서는 110.79그루, NO₂의 흡수를 위해서는 11,995.37그루의 나무가 필요한 반면, 모두 침엽수로 심는다면, SO₂의 흡수를 위해 53.65그루, NO₂의 흡수를 위해 8,795.61그루의 나무가 필요하게 되어, 침엽수에 의한 흡수량이 활엽수 가로수에 비해 1.5배 가량 많은 것으로 나타났다.

승용차를 예로 들면, 1대의 SO₂를 흡수하기 위해서는 약 7.41그루의 활엽수 가로수가 필요하며, NO₂를 흡수하기 위해서는 그보다 많은 1,803.31그루의 활엽수 가로수가 필요한 것으로 나타났다. 반대로, 활엽수 가로수 1그루는 승용차 0.13대의 SO₂와 0.0006대의 NO₂를 흡수하게 되며, 트럭 0.01대의 SO₂와 0.00005대의 NO₂를 흡수하게 되는 것으로 나타났다. 즉, 상가의 간판을 가린다거나 보행에 불편하다는 이유로 가로수를 제거하게 될 경우, 가로수 1그루 제거 당 승용차 0.13대 분의 대기오염물질의 배출을 방지하는 것과 같은 문제가 발생한다는 것이다.

또한, 승용차 1대의 SO₂를 흡수하기 위해서는 7.41그루의 활엽수 가로수가 필요하나, 버스나 트럭 1대의 SO₂를 흡수하기 위해서는 무려 20배나 되는 146그루 혹은 180그루의 활엽수 가로수가 필요하게 되어, 대형차량의 대기오염 배출이 심각하며, 그에 따른 가로수의 필요량이 기하급수적으로 늘어나게 되는 것으로 분석되었다.

다음 표 6은 각 시·군에 식재된 가로수가 흡수할 수 있는 대기오염물질량을 자동차 종류별 대수로 산정한 결과인 바, 경기도의 경우

총 가로수 432,494그루가 SO₂를 기준으로 승용차 21,107.1대 분의 대기오염물질을 흡수한다는 것으로 분석된 것이다.

3) 가로수 배치유형별 대기오염물질 흡수율 앞의 분석결과에서처럼, 가로수만으로 도시

전체의 자동차 대기오염을 정화하기에는 상당히 어려움이 뒤따를 것이나, 자동차 대기오염물질의 발생과 가장 근접한 정화시설인 가로수의 식재는 매우 중요하다고 할 수 있으며, 이에 따라 대기오염 우심지역인 도심지에서는 더욱 더 많은 가로수의 식재가 이루어져야 할 것이

표 6. 시·군별 식재 가로수의 대기오염물질 저감 가능 차량 대수

시·군별	승용차(대)		승합차(대)		트럭(대)	
	SO ₂	NO ₂	SO ₂	NO ₂	SO ₂	NO ₂
수원시	1,158.3	46.6	59.0	6.2	47.8	4.1
성남시	2,123.1	68.0	108.2	9.1	87.7	5.9
고양시	2,090.9	64.1	106.5	8.6	86.3	5.6
부천시	1,201.7	40.8	61.2	5.5	49.6	3.6
안양시	758.8	27.9	38.7	3.7	31.3	2.4
안산시	1,366.1	40.7	69.6	5.5	56.4	3.5
용인시	703.0	26.0	35.8	3.5	29.0	2.3
의정부시	480.8	19.1	24.5	2.6	19.9	1.7
남양주시	408.1	15.4	20.8	2.1	16.9	1.3
평택시	1,652.6	50.3	84.2	6.7	68.2	4.4
광명시	395.5	14.2	20.2	1.9	16.3	1.2
시흥시	1,591.6	45.5	81.1	6.1	65.7	4.0
군포시	362.7	11.4	18.5	1.5	15.0	1.0
화성시	410.8	14.7	20.9	2.0	17.0	1.3
파주시	329.7	13.0	16.8	1.7	13.6	1.1
이천시	360.5	15.0	18.4	2.0	14.9	1.3
구리시	238.6	8.3	12.2	1.1	9.9	0.7
김포시	283.2	9.4	14.4	1.3	11.7	0.8
포천군	155.6	6.2	7.9	0.8	6.4	0.5
광주시	704.3	18.3	35.9	2.5	29.1	1.6
안성시	434.9	16.1	22.2	2.2	18.0	1.4
하남시	366.7	12.1	18.7	1.6	15.1	1.0
의왕시	222.7	6.6	11.4	0.9	9.2	0.6
양주군	196.4	7.5	10.0	1.0	8.1	0.7
오산시	239.6	7.2	12.2	1.0	9.9	0.6
여주군	536.6	17.5	27.3	2.3	22.2	1.5
양평군	1,068.1	30.1	54.4	4.0	44.1	2.6
동두천시	217.0	8.0	11.1	1.1	9.0	0.7
파천시	345.0	9.3	17.6	1.3	14.2	0.8
가평군	470.2	14.1	24.0	1.9	19.4	1.2
연천군	234.1	7.1	11.9	1.0	9.7	0.6
계	21,107.1	690.6	1,075.6	92.6	871.7	60.1

다. 이에 따라, 도시 내에서 가로수의 배치 유형을 개선할 경우 대기오염정화 효과가 어떻게 달라지는지를, 기본적인 1열 식재에서부터 2열 식재와 완충녹지대에 이르기까지 5단계의 대안을 만들어 검토하였다.

도로 길이 1km 도로구간을 설정하여, 현재 가로수 식재의 기본적인 형태인 양쪽 ‘1열 식재 도로’를 ‘기본안’으로, ‘1열 식재 + 하단 관목식재 도로’를 ‘1안’으로, ‘2열 식재 도로’를 ‘2안’으로, ‘2열 식재 + 하단 관목식재 도로’를 ‘3안’으로, ‘2열 식재 + 하단 관목식재 + 완충녹지대’를 ‘4안’으로 하여, 각 대안별 대기오염물질 흡수량을 산정하였다.

5개 대안의 가로수 유형별 대기오염물질 흡수량을 산정한 결과, 표 7과 같이, 기본안에 비하여 대안 1, 대안 2, 대안 3, 대안 4로 갈수록 흡수능력이 증가하였으며, 1열식재에서 가로수 하단에 관목식재(1안)만 더하여도 1.5배의 흡수능력이 증가하는 것으로 분석되었다. 또한 여기에 가로수를 1열만 더 추가(대안 3)하면 기본안의 3배 정도로 흡수능력이 증가하였으며, 특히, 완충녹지대와 연계할 경우(대안 4) 경우는 기본안의 약 8배에 해당하는 상당한 흡수능력을 가지게 되는 것으로 분석되었다. 즉, 기본안에서 SO₂ 기준으로 승용차 18.85대 분의 대기오염물질을 흡수한다면, 대안 4의 경우 무려 147.78대 분의 대기오염물질을 흡수하는 것으로 분석된 것이다.

2. 8차로 이상 도로에서의 가로수 실태조사 · 분석

1) 중앙분리대 설치 유무

사례 대상 15개 도시 중 가로수가 식재된 중앙분리대가 있는 곳은 성남시, 안양시, 부천시, 광명시, 안산시, 고양시, 과천시 등 7개 도시, 총 10개 도로로 나타났다. 이는 총 30개의 8차로 도로 중 33.3%에 불과한 수치로서, 전체 사례 대상 8차로 도로 중 2/3에 해당하는 도로에 중앙분리대가 없는 것으로 분석된 것이다. 특히, 성남시의 ‘성남로’의 경우, 동일 도로 노선인데도 북동쪽 방향의 성남로 구간(성남로 1)에

는 중앙분리대가 있으며, 남서쪽 방향의 구간(성남로 2)에는 중앙분리대가 없는 경우도 조사되었다.

표 7. 가로수 배치유형별 대기오염물질 흡수능력 비교

구분	대기오염물질 평균 흡수량 (g/yr)	흡수가능 차량대수				
		SO ₂	NO ₂	승용차	승합차	
기본안	활엽수	3,326.40	1,386.00	승용차	34.00	0.14
				승합차	1.730	0.02
				트럭	1.400	0.01
	침엽수	6,869.52	1,890.00	승용차	70.21	0.19
				승합차	3.58	0.03
				트럭	2.15	0.02
평균	5,097.96	1,638.00		18.85	0.07	
대안 1	활엽수	4,989.60	2,079.00	승용차	50.99	0.21
				승합차	2.60	0.03
				트럭	2.11	0.02
	침엽수	10,304.28	2,835.00	승용차	105.31	0.29
				승합차	5.37	0.04
				트럭	4.35	0.02
평균	7,646.94	2,457.00		28.47	0.10	
대안 2	활엽수	8,316.00	3,465.00	승용차	84.99	0.35
				승합차	4.33	0.05
				트럭	3.51	0.03
	침엽수	17,173.80	4,725.00	승용차	175.52	0.48
				승합차	8.94	0.06
				트럭	5.38	0.04
평균	12,744.90	4,095.00		47.13	0.17	
대안 3	활엽수	9,979.20	4,158.00	승용차	101.99	0.42
				승합차	5.20	0.06
				트럭	4.21	0.04
	침엽수	20,608.56	5,670.00	승용차	210.62	0.57
				승합차	10.73	0.08
				트럭	8.70	0.05
평균	15,293.88	4,194.00		56.93	0.20	
대안 4	활엽수	25,898.40	10,791.00	승용차	264.68	1.09
				승합차	13.49	0.15
				트럭	10.93	0.09
	침엽수	53,532.26	14,715.00	승용차	547.10	1.48
				승합차	27.88	0.20
				트럭	22.59	0.13
평균	39,715.40	12,753.00		147.78	0.52	

2) 가로수의 수종 및 식재유형

가로수와 중앙분리대의 식재 수종을 살펴보면, 먼저, 가로수의 경우 30개 도로에 식재되어 있는 가로수는 수고가 높거나, 넓은 수관폭을 가지는 은행나무(*Ginkgo biloba*)와 양버즘나무(*Platanus occidentalis*)가 각각 9개소씩 식재되어 있는 것으로 나타났으며, 높이 자라기보다는 옆으로 적정한 수관을 가지게되는 느티나무(*Zelkova serrata*)가 8개소, 벚나무(*Prunus yedoensis*)류가 4개소 등으로 조사되었다.

중앙분리대의 경우에는 가장 많이 식재되어 있는 교목은 은행나무로 10개 도로 가운데 5개 도로에서 식재되어 있었으며, 느티나무 3개 도로, 살구나무(*Prunus armeniaca*), 중국단풍(*Acer buergerianum*)이 각각 1개 도로에서 식재되어 있는 것으로 조사되었다. 또한 가로수에 식재되어 있는 수종과 중앙분리대에 식재되어 있는 수종이 동일한 지역은 10개 도로 중 고양시 “백마로”의 느티나무 1개 도로에 불과하였으며, 나머지 9개 도로에서는 가로수의 수종과 중앙분리대의 수종이 서로 다르게 식재되어 있는 것으로 조사·분석되었다.

다음으로 식재유형으로는, 중앙분리대가 설치된 10개 도로 중 9개의 도로에서 교목+관목+지피식물(잔디)의 복층 식재 구조로 이루어진 것으로 조사되었으며, 나머지 1개 도로에서만 교목이 단독으로 식재되어 있는 것으로 조사되었다.

3) 가로수의 규격

30개 도로의 가로수 평균 수고와 흉고직경을 조사한 결과, 평균 수고는 6.79m, 평균 흉고직경은 14.82cm로 조사되었으며, 이들 가로수 가운데 평균 흉고직경에도 미치지 못하는 가로수가 식재된 도로가 총 30개 도로 가운데 46.7%, 14개 도로로 조사되었는 바, 이는 8차로 이상의 광로 중 절반의 도로에서 왜소한 가로수가 식재되어 있다고 분석된 것이다. 수고에 있어서는 30개 도로의 평균 수고에 미치지 못하는 가로수

가 식재된 도로가 53.3%, 16개 도로로 조사되었는데, 이도 역시 절반의 도로에서 왜소한 수목이거나 수고가 높게 자라지 않는 수종이 식재되어 있는 것으로 분석된 것이다. 이 중 수고가 평균이하인 수종은 느티나무로 조사되었는데, 느티나무의 경우 30개 도로 가운데 8개 도로에 식재되어 있으나, 이 중 2개 도로를 제외한 6개 도로에서 평균수고를 넘지 못하는 것으로 나타났다. 또한 30개 도로 중 4개 도로에 식재된 (왕)벚나무의 경우도, 4개 도로 모두에서 평균수고를 넘지 못하는 것으로 나타나고 있어, 이 2개의 수종은 수고가 높게 자라지 않는 수목의 특성상 8차선이상의 광로에서는 식재를 피하는 것이 좋을 것으로 판단된다.

표 8. 15개 도시 8차로 이상도로에서의 가로수 수고 분석

가로수 수종	식재된 도로 개소(A)	평균수고에 미달하는 도로 개소(B)	비율 (B/A×100)
느티나무	8	6	75%
은행나무	9	3	33.3%
양버즘나무	9	3	33.3%
(왕)벚나무	4	4	100%
계	30	16	53.3%

4) 대기정화 수종 식재 유무

가로수 중 4개 수종과 중앙분리대의 4개 수종, 총 6개 수종(2개 수종이 겹침) 중 은행나무와 양버즘나무 및 (왕)벚나무는 ‘대기정화 수종’에 속하지만, 느티나무와 중앙분리대에 식재된 살구나무와 중국단풍나무는 대기정화수종이 아닌 것으로 분석되었다. 또한, 식재된 가로수 중에서도 가장 대기오염에 시달리게 되고, 가장 대기정화 능력이 탁월해야할 중앙분리대의 수종 및 본 수종 절반이 대기공해에 약한 것으로 분석되었다.

표 9. 15개 도시 8차로 이상도로에서의 중앙분리대 설치 유무와 수종분석

도시명	도로명	차로 (왕복)	가로수			중앙분리대	
			수종	수고 (m)	흉고직경 (cm)	유무	수종
수원시	월계로	8	은행나무	7	9		
	서수원 수인산업도로	8	은행나무	9	20		
성남시	성남로 1	8	양버즘나무	5	12	○	느티나무+관목+잔디
	성남로 2	8	양버즘나무	5	12		
고양시	백마로	8	느티나무	4.8	15	○	느티나무+관목+잔디
	고봉로	8	양버즘나무	8	11	○	은행나무+관목+잔디
부천시	계남대로	8	느티나무	6	17		
	중동대로	8	양버즘나무	8	17	○	살구나무+관목+잔디
안양시	경수산업도로	8	은행나무	6	19		
	관악로	8	양버즘나무	9	21	○	느티나무+관목+잔디
안산시	중앙로	8	은행나무	7	13	○	은행나무
	수인산업도로	8	은행나무	8	15	○	중국단풍+관목+잔디
의정부시	의정부시청앞	6	벚나무	4.8	14		
	충정로	6	양버즘나무	8	21		
남양주시	경강국도6번	6	벚나무	5	15		
	경춘국도 46번	6	은행나무	15	30		
광명시	노안로	6	느티나무	5.5	12	○	은행나무+관목+잔디
	오리로	6	느티나무	7	21		
시흥시	국도42번	4	은행나무	7	10		
	지방도397번	4	느티나무	8	15		
군포시	47번국도	6	왕벚나무	6	7		
	오금동-노인회관	6	양버즘나무	5	15		
구리시	국도 43번	6	느티나무	6.5	3.5		
	국도 6번	8	은행나무	6.5	9		
하남시	시도 176번	4	은행나무	5	7		
	신평로	4	느티나무	4.5	10		
의왕시	1번국도	8	느티나무	6	17		
	부곡로	8	왕벚나무	3.2	7		
과천시	47번국도	8	양버즘나무	7	20	○	은행나무+관목+잔디
	청사로	8	양버즘나무	11	30	○	은행나무+관목+잔디
계	15개 도시 30개 도로		총 4종	6.79 (평균)	14.82 (평균)	7개도시 10개소	-

4. 대기정화효과 고양을 위한 가로수 식재방안 제안

1) 자동차 신규 구입시 ‘식재 부담금제’ 도입
일본의 경우, 자주 발생하는 지진으로부터
피난처를 확보하기 위하여, 공공시설(시청의 청

사 신축 등)등의 신축시에는 반드시 1인당 1m²
의 재해녹지를 의무적으로 확보하도록 규정하
여, 시가지내에 공공시설 및 인구의 신규증가
에 따른 적정규모의 녹지를 확보하고 있다.

따라서, 유사한 방법으로 시가지내 자동차의

표 10. 15개 도시 8차로 이상도로에서의 대기정화 수종 여부 분석

가로수 식재수종	가로수 수종	중앙분리대 수종	대기정화수종 유무
느티나무	○(8개소)	○(3개소)	×
은행나무	○(9개소)	○(5개소)	○
양버즘나무	○(9개소)		○
(왕)벚나무	○(4개소)		○
살구나무		○(1개소)	×
중국단풍		○(1개소)	×
계	총 4종(30개소)	총 4종(10개소)	총 3종

댓수의 증가분만큼 가로수나 도시내 녹지를 증가시킬 수 있도록 ‘식재 부담금 제도’를 도입하는 방안을 검토해보는 것도 바람직 할 것이다. 즉, 택시회사나 버스회사가 새로이 설립되어 차량을 구입하거나, 기존 회사에서 또는 개인의 신규차량 구입시, 신규 차량이 향후 배출할 대기오염물질에 대한 대책으로서, 차량 당 가로수 식재 비용을 ‘식재 부담금’으로 납부하는 조건으로 허가하는 방안이다. 이렇게 마련된 ‘식재 기금’은 주로 도시내의 가로수 및 도시내 녹지의 확대 식재 및 보식, 관리 등의 비용에만 활용하도록 법제화하여야 할 것이다.

2) 가로수 배치유형의 개선

앞으로 신설되는 도로에서나 기존 도로의 확장 또는 정비시 가로수의 배치 유형을 하단식재, 2열식재의 유형으로 점차 발전시켜야 할 것이며, 적어도 4차로 이상의 도로 개설시에는 가로수 식재와 완충녹지대를 연계하여 조성하도록 유도해야 할 것이다. 또한, 8차로 이상의 광로의 신설 및 확장시에는, 첫째, 넓은 도로를 가로수가 캐노피(Canopy)로 덮어줄 수 있고, 대기정화효과를 최대화할 수 있도록, 중앙분리대 설치와 식재를 의무화하는 방안이 검토되어야 할 것이며, 둘째, 중앙분리대의 수종 선정은, 느티나무, 벚나무와 같이 수고가 낮고 수관이 넓게 자라는 수종보다는, 수고가 높게 자라면서 수관도 넓게 자라는 수종이 선정되어야 할 것이고, 셋

째, 중앙분리대의 가로수 식재 방법도 교목의 단순 식재보다는 생태적, 환경적 효과를 최대화할 수 있도록 ‘교목 + 관목 + 지피식물’의 복층 식재 구조로 이루어져야 할 것이다.

3) 가로수 수종선정시 대기정화 수종의 식재 강화

도시 외곽지 보다 환경의 악화정도가 매우 심한 도심 시가지 내 도로의 가로수와 중앙분리대의 수종 선정시에는 대기정화수종의 선정을 우선으로 하는 방안이 장려되어야 할 것이다. 대기정화수종의 경우, 대기오염의 흡착능력이 다른 수종에 비해 탁월하며, 또한 병충해와 척박한 환경에서도 대부분이 잘 성장하는 나무이므로 도심 시가지의 가로수 수종으로 적합하다고 할 것이다.

IV. 결 론

본 연구는 도시녹지 중 이론적으로 알려져 있는 가로수의 대기정화 효과가 실제로 도시의 가로에서 어느 정도 발휘될 수 있는지, 가로수의 대기정화 효과를 높이는 방안이 무엇인지 등을 분석적으로 고찰해보고자 한 연구이다. 가로수의 대기정화 효과를 중심으로 연구한 결과, 가로수가 상당한 수준의 기능과 효과를 발휘하고 있다는 결과를 도출하였다. 주요 연구 결과는 다음과 같다.

첫째, 대기정화 효과를 산정한 결과, 미미한 효과를 나타내고 있으나, 승용차 1대의 SO₂를 정화하기 위해서는 7.4그루, NO₂는 1,803.3그루의 활엽수 가로수가 필요한 것으로 분석되었다.

둘째, 오염물질 흡수능력에 있어서는 ‘1열 식재’, ‘1열 식재+하단 관목’, ‘2열 식재’, ‘2열 식재+하단 관목’, ‘2열 식재+하단 관목+완충녹지대’로 갈수록 대기오염물질의 흡수능력이 증가하며, ‘2열 식재+하단 관목’의 경우 ‘1열 식재’보다 3배 정도의 흡수능력을, ‘2열 식재+하단 관목+완충녹지대’는 8배의 흡수능력을 가지게 되는 것으로 나타났다.

셋째, 사례 대상 15개 도시의 8차로 이상 30

개 도로 중 중앙분리대가 설치된 도로는 7개 도시, 총 10개 도로로 33.3%에 불과하며, 중앙분리대가 설치된 10개 도로 중 9개 도로에서 교목+관목+지피식물(잔디)의 복층 식재 구조로 가로수가 식재된 것으로 분석되었으며, 식재 가로수 6개 수종 중 절반이 대기공해에 약한 수종으로 분석되었다.

또한, 연구결과를 토대로, 대기정화효과 고양을 위한 가로수 식재방안으로서, 자동차 신규구입시 '식재 부담금제'를 도입하는 방안과 가로수 배치유형의 개선 방안, 가로수 수종선정시 대기정화 수종의 식재 강화 방안 등을 제안할 수 있었다.

인 용 문 헌

- 강태호 등. 2000. 경북지역 국도변 도로조경 현황조사 및 개선방안. 지역발전연구.
- 강호기의 1인. 1986. 가로수가 있는 가로경관의 시각적 선호도에 관한 연구.
- 국립환경연구원. 1997. 도시 유형별 녹지의 환경 개선 기능 평가 연구. 국립환경연구원 보고서.
- 국립환경연구원. 1999. 대기오염물질배출량. 국립환경연구원 보고서.
- 김대관. 1993. 도시 가로수 관리체계에 관한 연구. 서울대학교 대학원 석사학위논문.
- 김동수. 1979. 가로수가 대기정화에 미치는 영향에 관한 연구. 강원대 논문집.
- 김아영. 2001. 부산의 가로수 관리 개선방안. 부산발전포럼.
- 김정환. 1982. 서울시내 가로수 현황에 관한 조사 연구. 고려대학교 대학원 석사학위논문.
- 박용진 · 김태경. 2000. 가로수 식재 체계 수립. 한국조경학회지 28(5) : 98
- 서울특별시. 1999. 가로수 생육여건 개선을 위한 조사연구. 서울특별시 보고서.
- 서울특별시. 2000. 서울시 가로수 보호수 등 수목센서스 조사연구. 서울특별시 보고서.
- 서울특별시. 1995. 서울시 가로수의 식재체계 정립 및 관리개선방안. 서울특별시 보고서.
- 성현찬. 2001. 경기도내 가로수의 현황조사 및 현황도 작성. 경기개발연구원 보고서.
- 성현찬. 2002. 경기도 가로수의 식재 및 관리 개선방안. 경기개발연구원 보고서.
- 손창구 등. 1990. 우리나라 대도시 가로수 경관 비교. 환경과 조경 38 : 140-144.
- 신천식. 1978. 가로수의 특성을 고려한 적정 가로수종의 선정에 대한 연구. 서울대학교 환경대학원 석사학위 논문.
- 신현탁. 1996. 대구광역시 가로수 현황 및 개선방안(<http://ynucc.yeungnam.ac.kr/~llape/garosu.html>).
- 심경구 등. 1990. 조경관리학. 한국조경학회 편 (조경학 대계 3). 서울 : 문운당.
- 오인혜. 1993. 가로수 잎의 S 및 중금속 함량에 의한 대기오염도 측정. 한국생태학회지 16(2) : 199-208.
- 이경제. 1996. 우리나라 도시의 가로수 실태와 가로수 정비의 문제점-서울시와 인천광역시를 중심으로. 도시문제.
- 이상석 외1인. 1999. 광양시 가로수 식재체계 계획에 관한 연구. 순천대학교 논문집.
- 이용훈. 1985. 도시생육환경을 고려한 서울시 가로수 선정에 관한 연구. 서울시립대학교 대학원 석사학위논문.
- 이윤정. 2002. 부산의 가로수 관리 개선방안. 부산발전포럼.
- 인천광역시. 1995. 인천광역시 가로수 식재체계 정립과 관리개선 방안. 인천광역시 보고서.
- 임병삼외 1명. 1985. 대구시내 가로수의 현황과 개선안. 영남대학교 조경학과 조경연구집 1 : 28-31.
- 자동차등록현황. 2001. <http://www.kg21.net>
- 최재영. 1991. 도시가로수의 현황과 관리에 관한 연구. 성균관대학교 대학원 박사학위논문.
- 환경부. 2001. '제 2장 대기환경보전'. 환경백서.
- 황명교. 1983. 가로수 생육환경에 관한 고찰. 동아대학교 대학원 석사학위논문.

接受 2003年 4月 9日