

대전시 가로수 식재지 토양의 화학적 특성에 관한 연구

고소현¹ · 박관수¹ · 강길남² · 방병욱³ · 김동일¹

A study on chemical properties of soil in roadside trees of Daejeon city

Sohyun Go¹ · Gwansoo Park¹ · Gilnam Kang² · Byunguk Bang³ · Dongil Kim¹

ABSTRACT

This study was carried out to examine the effect of heavy traffic on chemical properties of soil in roadside trees of Daejeon city. Soil samples at 0~10cm and 10~30cm depths were collected from soil of the roadside trees, *Platanus occidentalis*, and *Ginkgo biloba*. Soil pH in heavy traffic regions were around 7.0 at 0~10 cm and 10~30cm soil depths because of spraying of calcium chloride for snow moving. The concentrations of Fe, Cd, Cu, Zn, and Pb in soil were higher in heavy traffic regions(Daejeon Station and Daehwa Industrial Complex) than in light traffic region (Chungnam National University). The result could be from rubbing and wear of car tire and metals when they travel.

Keywords : Heavy metals, Soil contamination, Soil pH

¹ 충남대학교 농업생명과학대학 환경임산자원학부(Division of Environmental Science and Forest Resources, College of Agriculture and Life Sciences, Chungnam Nat'l Univ., Daejeon 305-764, Korea)

² 충남산림환경연구소(Chungnam Forest Environment Research Institute, Kongju 314-922, Korea)

³ 대전시청(Daejeon Metropolitan City, Daejeon 302-789, Korea)

교신저자 : 박관수(E-mail : gspark@cnu.ac.kr Tel : 042-821-5743)

I. 서 언

최근 인구의 증가와 다양한 경제활동에 따른 도시화와 산업화로 인해 도심 주변의 녹지가 급속히 감소하면서 도시민들의 자연에 대한 요구도가 점점 높아지고 있다. 특히 도시녹지 중 도시민들의 생활과 밀접한 관련이 있는 가로수는 기후조절, 대기오염정화 및 소음공해 감소효과 뿐만 아니라 도시경관을 구성하는 요소로 중요한 역할을 하고 있다.

우리나라의 가로수는 일제시대에 신작로와 함께 양버들이 전국적으로 식재되는 것을 시작으로 광복 이후 각종 도로건설과 함께 식재되었으며, 현재 약 210만 그루의 가로수가 식재되어 있으나 도시의 미관, 생태적인 기능을 도외시한 채 식재되어 많은 문제점을 안고 있다. 또한 도로변의 가로수는 해마다 가속되고 있는 교통량의 증가로 인하여 배기가스로 배출되는 중금속으로 오염되고 있으며 고사하거나 토양오염으로 인한 생리장애 현상이 나타나고 있다(유재윤과 손요한, 2003; 박기학, 1992). 특히 토양오염은 정화처리가 어려울 뿐 만 아니라 그 영향이 장기간 지속되는 특징을 가지며 가로수의 경우 초본과 달리 한 번 식재된 장소에서 수 십 년 내지 수 백 년을 살아야 하기 때문에 가로수 식재 시 토양조건을 충분히 고려해야 한다. 그러나 대부분의 가로수들이 충분한 토심이 확보되지 못한 상태에서 토양조건을 고려 없이 식재되며 가로수가 생육하고 있는 인도폭은 좁은데다 여러 가지 인공구조물로 포장되어 수목의 뿌리가 살고 있는 토양으로 양분 및 수분이 제대로 공급되지 못하고 식재 후에도 적절한 관리가 이루어지지 않고 있는 실정이다.

대전시의 경우 1989년 광역시 승격으로 인한 급속한 도시화와 공업화로 다양한 오염원들이 증

가하고 있으며 과중한 교통량과 더불어 고층건물들이 도로변에 밀집해 있으므로 자동차에서 배출되는 오염물질로 인하여 가로수 토양의 오염이 가속되었을 것으로 사료된다.

따라서 본 연구는 대전시 가로수의 절반 이상의 비율을 차지하고 있는 은행나무와 양버즘나무를 대상으로 비교적 오염원이 적은 충남대학교와 공장밀집지역인 대화공단, 교통량이 많은 구도심 지역인 대전역전, 그리고 비교적 신도심인 대덕연구단지의 가로수 토양의 화학적 특성을 비교분석하여 건전한 가로수 육성에 대한 지침 마련 및 합리적인 가로수 토양의 관리 방안을 제시하는데 그 목적이 있다.

II. 재료 및 방법

1. 조사지역

대전시의 가로수는 총 107,980그루로 은행나무가 32.7%로 가장 많고 양버즘나무가 15.9%로 두 번째로 많은 본수를 차지하고 있다(대전시 환경국, 2004).

본 연구는 대기오염이 가로수에 미치는 영향을 비교 분석하기 위해 비교적 교통량이 적은 곳으로 판단되는 충남대학교와 교통량이 증가하고 있는 신도심 지역인 대덕연구단지, 교통 체증과 고층빌딩 및 상가의 밀집으로 대기오염이 가장 클 것으로 예상되는 구도심의 대전역전지역, 그리고 다양한 화학공장이 위치하고 있는 대화공단 도로변을 실험대상지역으로 선정하고 도로변에 생육하고 있는 양버즘나무(*Platanus occidentalis* L.)와 은행나무(*Ginkgo biloba* L.) 가로수를 실험 대상으로 선정하였다(표 1).

Table 1. Characteristics of the study species.

Sampling Site	Species	Mean D.B.H* (cm)	Mean Height (m)	Ages (yr)
Chungnam National University	<i>Platanus occidentalis</i> L.	38	10	35
	<i>Ginkgo biloba</i> L.	24	9	25
Daejeon Station	<i>Platanus occidentalis</i> L.	42	10	55
	<i>Ginkgo biloba</i> L.	34	8	50
Daedeok Science Town	<i>Platanus occidentalis</i> L.	22	10	25
	<i>Ginkgo biloba</i> L.	18	8	25
Daehwa Industrial Complex	<i>Platanus occidentalis</i> L.	33	11	35
	<i>Ginkgo biloba</i> L.	16	7	20

* D.B.H : Diameter of Breast Height

2. 시료 채취 및 분석

분석을 위한 가로수 토양은 2004년 9월중 대기가 5일 이상 건조한 날을 정하여 실시하였다. 토양시료는 총 4개 조사지역(충남대학교, 대전역전, 대화공단, 그리고 대전역전)의 은행나무와 양버즘나무 가로수 식재지에서 각각 약 5m 간격으로 5그루의 표본목을 선정하여 지표로부터 깊이별(0~10cm, 10~30cm)로 채취하였다.

충남대학교, 대전역전, 대화공단, 그리고 대덕연구단지의 각 조사지점에서 수종별로 0~10cm 그리고 10~30cm 깊이의 가로수 토양을 채취하여 약 10일간 실내에서 건조한 후 2.0mm체로 체별하여 분석용 시료로 사용하였다.

토양 pH는 1:5로 분석하였다. 토양의 중금속 및 미량원소(Fe, Pb, Cd, Cu, Zn)는 0.1N HCl로 침출한 후 ICP로 측정하였다(농촌진흥청, 2000). 지역별 가로수 토양의 화학적 특성의 평균값은 유의수준 0.05에서 Tukey HSD test로 비교하였으며 모든 통계분석에 SAS system을 이용하였다(SAS institute, 1985).

III. 결과 및 고찰

은행나무 식재지 토양의 pH는 0~10cm 깊이에서 5.53~7.69, 10~30cm 깊이에서 5.47~7.80으로 분포하였으며, 양버즘나무 토양은 0~10 cm 깊이에서 5.68~7.78, 10~30cm 깊이에서 6.04~7.74로 분포하였다(표 2). 외부 환경의 영향을 쉽게 받는 0~10 cm 깊이의 토양에서 지역간에 유의적인 차이를 보였다. 토양 pH는 충남대학교의 경우를 제외한 나머지 지역에서 7.0내외의 높은 값을 보였다. 이 수치는 전효택과 김주용(1993)이 보고한 서울시 도로 주변에 위치한 건물의 화단 상부 토양의 pH 7.1~8.9보다는 다소 낮았으나 김권래 등(2001)이 조사한 서울시 주요 도로변 토양의 pH 6.3~8.5와는 유사하였다. 일반적으로 양버즘나무의 생육에 적절한 토양 pH는 6.6~7.3이며 은행나무의 토양 pH는 5.6~6.5이다(산림과 임업기술, 2000). 본 연구 조사지역에서 은행나무 토양 pH의 경우 대전역전과 대화공단에서 적정생육 pH보다 높게 나타나 건전한 가로수 육성을 위해 토양 pH를 낮추기 위한 노력이 필요

하다고 사료된다.

대부분의 도시림이 산성 강하물로 인하여 산성화가 가속화되고 있다는 많은 연구 결과와 달리 본 조사에서 실시한 도심 내부의 도로 주변 토양에서는 pH가 높게 나타났다. 이와 같이 도심 내부의 도로 주변 토양의 pH가 도시림 토양의 pH보다 높게 나타난 것은 제설용으로 살포되고 있는 염화칼슘이나 산성우에 의해서 콘크리트로부터 용해되어 흘러나오는 알칼리성분 때문인 것으로 사료된다. 김종갑과 이충규(1998)는 대기분진에 포함된 염기성 물질들이 대기강하물질과 함께 토양에 유입되어 토양 pH에 영향을 미친다고 하

였다. 본 연구에서 토양 pH의 지역별 차이는 식생에 의한 차이보다는 오염이나 외부의 간섭에 의해서 발생한 것으로 사료된다.

은행나무 가로수 토양의 Fe 농도는 0~10cm 깊이에서 0.61~1.96%, 10~30cm 깊이에서 0.70~2.26%로 분포하였으며, 0~10cm 깊이에서 지역별로 유의적인 차이가 나타났으며, 다른 지역에 비해 대전역전에서 가장 높은 값을 보였다(표 3).

양버즘나무 가로수 토양의 Fe 농도는 0~10cm 깊이에서 0.77~2.44%, 10~30cm 깊이에서 0.71~1.59%로 나타났으며, 다른 지역보다 대전역전에서 가장 높은 평균값을 보였다(표 3).

Table 2. Soil pH(1:5) at 0~10cm and 10~30cm soil depths of roadside trees, *Ginko biloba* L. and *Platanus occidentalis* L., in Daejeon city.

Species	Soil depth (cm)	C · N · U*	D · S	D · I · C	D · S · T
<i>Ginko biloba</i> L.	0~10	5.88±0.35c*	6.69±0.32b	7.42±0.18a	6.82±0.30b
	10~30	5.78±1.20b	6.74±0.63a	7.51±0.28a	6.67±0.11a
<i>Platanus occidentalis</i> L.	0~10	5.91±0.23b	7.31±0.40a	6.88±0.39a	6.91±0.54a
	10~30	6.47±1.21a	6.74±0.63a	7.51±0.28a	6.67±0.11a

※C · N · U : Chungnam National University, D · S : Daejeon Station, D · I · C : Daehwa Industrial Complex, D · S · T : Daedeok Science Town.

* Different letters indicate statistical differences among the treatments at the 5% level.

Table 3. Soil iron(%) at 0~10cm and 10~30cm soil depth of roadside trees, *Ginko biloba* L. and *Platanus occidentalis* L., in Daejeon city.

Species	Soil depth (cm)	C · N · U*	D · S	D · I · C	D · S · T
<i>Ginko biloba</i> L.	0~10	1.09±0.16b*	1.78±0.23a	1.26±0.29b	0.84±0.23b
	10~30	1.45±0.69a	1.52±0.21a	1.07±0.29a	0.73±0.04a
<i>Platanus occidentalis</i> L.	0~10	0.89±0.15b	1.64±0.53a	1.45±0.40ab	1.21±0.31ab
	10~30	0.95±0.20a	1.44±0.16a	0.99±0.25a	1.18±0.25a

※ C · N · U : Chungnam National University, D · S : Daejeon Station, D · I · C : Daehwa Industrial Complex, D · S · T : Daedeok Science Town.

* Different letters indicate statistical differences among the treatments at the 5% level.

은행나무 및 양버즘나무 토양의 경우 0~10cm 토양깊이에서 Fe 함량은 교통량이 가장 많을 것으로 예상됐던 대전역전지역에서 가장 높게 나타나서 다른 선행연구 결과(김권래 등 2001)와 일치하였다.

은행나무 가로수 토양의 Cd 농도는 0~10cm 깊이에서 1.12~1.92mg kg⁻¹, 10~30cm 깊이에서 1.24~1.85mg kg⁻¹로 분포하였으며, 0~10cm 깊이에서 지역별로 유의적인 차이가 나타났으며, 다른 지역에서보다 대전역전에서 가장 높은 평균 값을 보였다(표 4).

양버즘나무 가로수 토양의 Cd 농도는 0~10cm 깊이에서 0.92~1.69mg kg⁻¹, 10~30cm 깊이에서 1.10~1.62mg kg⁻¹로 각 구역별로 유의적인 차이가 없는 것으로 나타났다(표 4).

은행나무 및 양버즘나무 토양의 경우 0~10cm 토양깊이에서 Cd 함량은 충남대학교에 비해 다른 지역의 가로수 토양에서 높게 나타났다. 이는 교통량이 많은 지역의 경우 자동차의 유탄유나 타이어에 함유된 다량의 Cd이 배출됨으로써 토양 내 Cd 농도가 높게 나타난다는 선행연구 결

과(김권래 등, 2001)와 일치한다.

은행나무 가로수 토양의 Cu 농도는 0~10cm 깊이에서 21.5~177.0mg kg⁻¹, 10~30cm 깊이에서 25.0~95.0mg kg⁻¹로 분포하였으며, 10~30cm 깊이에서도 충남대학교 토양에 비하여 다른 지역의 토양에서 높게 나타났다(표 5).

양버즘나무 가로수 토양 내 Cu 농도는 0~10cm 깊이에서 16.0~280.0mg kg⁻¹, 10~30cm 깊이에서 22.0~70.0mg kg⁻¹로 분포하였으며 조사 지별 평균 함량은 은행나무 토양과 유사한 경향을 보였다(표 5).

토양 중 Cu 농도는 충남대학교에 비해 오염이 심할 것으로 예상되는 역전과 대화공단 지역에서 높게 나타났다(표 5). 이와 같은 결과는 서울시 주변 산림지역에서 보다 주요 도로변 9개 지점의 가로수 식재지 토양에서 높은 Cu 값을 보인 선행연구 결과와 일치한다(유재윤과 손요환, 2003).

특히, 은행나무 토양의 경우 대전역전과 대화공단에서, 양버즘나무의 경우 대전역전에서 환경부에서 제정한 토양환경보전법상의 우려기준인 50mg kg⁻¹ 보다 높은 수치를 보였다. 그리고 서

Table 4. Soil cadmium concentrations(mg kg⁻¹) at 0~10cm and 10~30cm soil depth of roadside trees, *Ginkgo biloba* L. and *Platanus occidentalis* L., in Daejeon city.

Species	Soil depth (cm)	C · N · U*	D · S	D · I · C	D · S · T
<i>Ginkgo biloba</i> L.	0~10	1.29±0.10b*	1.69±0.16a	1.55±0.28ab	1.65±0.27ab
	10~30	1.42±0.12a	1.43±0.17a	1.48±0.17a	1.77±0.13a
<i>Platanus occidentalis</i> L.	0~10	1.14±0.27a	1.18±0.15a	1.43±0.18a	1.32±0.18a
	10~30	1.39±0.21a	1.32±0.01a	1.42±0.28a	1.40±0.10a

※C · N · U : Chungnam National University, D · S : Daejeon Station, D · I · C : Daehwa Industrial Complex, D · S · T : Daedeok Science Town.

* Different letters indicate statistical differences among the treatments at the 5% level.

Table 5. Soil copper concentrations(mg kg⁻¹) at 0~10cm and 10~30cm soil depth of roadside trees, *Ginko biloba* L. and *Platanus occidentalis* L., in Daejeon city.

Species	Soil depth (cm)	C · N · U*	D · S	D · I · C	D · S · T
<i>Ginko biloba</i> L.	0~10	27.14±4.02c*	120.10±39.11a	76.48±24.35b	40.40±6.04bc
	10~30	30.00±5.27a	82.07±39.23a	52.50±24.90a	35.83±0.76a
<i>Platanus occidentalis</i> L.	0~10	22.40±5.49b	116.20±93.37a	48.10±10.92ab	27.10±5.79b
	10~30	25.50±4.44b	61.83±7.59a	26.83±2.75b	24.33±0.76b

※C · N · U : Chungnam National University, D · S : Daejeon Station, D · I · C : Daehwa Industrial Complex, D · S · T : Daedeok Science Town.

* Different letters indicate statistical differences among the treatments at the 5% level.

Table 6. Soil lead concentrations(mg kg⁻¹) at 0~10cm and 10~30cm soil depth of roadside trees, *Ginko biloba* L. and *Platanus occidentalis* L., in Daejeon city.

Species	Soil depth (cm)	C · N · U*	D · S	D · I · C	D · S · T
<i>Ginko biloba</i> L.	0~10	19.12±1.36b*	25.50±2.65a	24.62±2.65a	24.96±2.86a
	10~30	21.00±0.79a	21.37±1.88a	23.03±4.38a	25.13±1.50a
<i>Platanus occidentalis</i> L.	0~10	22.02±4.55a	24.36±4.35a	25.98±4.29a	21.98±1.14a
	10~30	23.47±2.82a	36.13±15.28a	22.83±2.37a	22.70±2.07a

※C · N · U : Chungnam National University, D · S : Daejeon Station, D · I · C : Daehwa Industrial Complex, D · S · T : Daedeok Science Town.

* Different letters indicate statistical differences among the treatments at the 5% level.

울근교 도시림에서의 평균농도 0.55mg kg⁻¹보다 약 70배 정도 높은 수치를 보였다. 자동차의 타이어 및 부품의 합금 등으로 이용된 Cu는 도로 주행 시 마찰 또는 마모되어 도로주변으로 배출됨으로써 환경을 오염시키는 것으로 보고되고 있다(Howells, J. 1991). 특히, 대전역전 지역의 높은 Cu 농도는 많은 교통량에 의한 오염 때문으로 사료된다.

은행나무 가로수 토양의 Pb 농도는 0~10cm 깊이에서 17.20~28.20mg kg⁻¹으로 분포하였으며, 10~30cm 깊이에서는 18.40~27.10mg kg⁻¹으로

분포하였고, 0~10cm 깊이에서만 지역간에 유의적인 차이를 보였다(표 6).

양버즘나무 가로수 토양 중 Pb의 농도는 0~10cm 깊이에서 16.9~32.4mg kg⁻¹, 10~30cm 깊이에서 20.2~52.8mg kg⁻¹으로 분포하였으며 조사 지역간에 통계적 유의성은 나타나지 않았다(표 6).

토양 중 Pb의 농도는 0~10cm 토양깊이에서 충남대학교에 비해 다른 지역에서 큰 차이는 아니지만 높게 나타나는 경향을 보였다. 본 연구지 Pb의 평균농도는 서울 근교 도시림에서의 평균

농도인 9.09mg kg⁻¹에 비해 약 2배 이상 높은 수준이었다(김권래 등, 2001).

은행나무 가로수 토양의 Zn 농도는 0~10cm 깊이에서 50.0~429.5mg kg⁻¹, 10~30cm 깊이에서 48.0~150.0mg kg⁻¹으로 분포하였으며, 0~10cm 깊이에서 지역간에 유의적인 차이를 보였다(표 7). 은행나무 가로수 토양 내 Zn의 평균농도는 대전역전 > 대화공단 > 대덕연구단지 > 충남대학교의 순으로 나타났다. 특히, 대전역전 은행나무 가로수 토양에서 높은 Zn 농도를 보였는데 이는 우리나라 산림토양의 평균 Zn 농도인 4.08 mg kg⁻¹보다 약 12~67배 정도 높은 것이다. 이와 같은 결과는 서울시 가로수 주변 토양에서의 높은 Zn 값을 보인 선행연구와 일치한다(김권래 등, 2001; 유재윤과 손요환, 2003).

양버즘나무 가로수 토양 내 Zn의 농도는 0~10cm 깊이에서 100.0~415.0mg kg⁻¹, 10~30cm 깊이에서 105.5~185.0mg kg⁻¹으로 분포하였으며 지역별 평균농도는 은행나무와 같은 순으로 나타났다(표 7). 양버즘나무 가로수 토양 내 Zn의 평균농도는 대전역전이 다른 지역에 비해 2배 이상 높은 값을 보였으며, 0~10cm 깊이의 토양에서

통계적 유의성이 나타났다(표 7).

Zn은 동식물에 필요한 원소이지만, 그 양이 많을 때에는 독성을 나타내며, 일반적으로 토양 중 Zn함량은 평균 30~50mg kg⁻¹으로 보고된다(삼정토양학, 2002). 이에 비하여 본 연구의 가로수 토양 Zn의 함량은 비교적 높은 농도를 보였으며 모든 조사지역에서 서울근교 도시림의 토양보다 상당히 높은 값을 나타냈다(김권래 등, 2001). 특히 대전역전의 가로수 토양은 충남대학교 토양에 비해 약 3배 이상 높은 농도의 Zn이 검출되었으며, 이 같은 결과는 대전역전 주변에 금속 및 철물을 취급하는 상가가 밀집해 있고 차량 통행량이 많은 이유 때문으로 사료된다.

IV. 적 요

본 연구는 교통량이 가로수 식재지 토양의 화학적 특성에 미치는 영향을 파악하기 위하여 실시되었다. 이를 위해 대전시에 위치한 은행나무와 양버즘나무 가로수 주변 토양의 화학적 특성을 조사 분석하였다. 교통량이 많은 지역의 토양

Table 7. Soil zinc concentrations(me/100g) at 0~10 cm and 10~30 cm soil depth of roadside trees, *Ginko biloba* L. and *Platanus occidentalis* L., in Daejeon city.

Species	Soil depth (cm)	C · N · U*	D · S	D · I · C	D · S · T
<i>Ginko biloba</i> L.	0~10	64.20±6.17b*	276.80±120.12a	109.14±26.83b	84.10±36.56b
	10~30	65.70±6.29a	147.83±78.27a	80.50±42.43a	50.00±0.50a
<i>Platanus occidentalis</i> L.	0~10	103.20±4.31b	231.20±114.71a	154.30±14.13ab	124.20±12.01b
	10~30	118.50±14.29a	171.83±12.35a	128.67±35.88a	122.00±10.69a

*C · N · U : Chungnam National University, D · S : Daejeon Station, D · I · C : Daehwa Industrial Complex, D · S · T : Daedeok Science Town.

* Different letters indicate statistical differences among the treatments at the 5% level.

pH는 7.0 내외로 높게 나타났으며, 이는 제설용으로 살포되고 있는 염화칼슘이나 콘크리트로부터 용해되어 흘러나오는 알칼리성분 및 염기성분진 때문으로 사료된다. 토양 중 Fe, Cd, Cu, Zn, 그리고 Pb 농도는 충남대학교 지역에서 보다 교통량이 많은 대전역전과 대화공단지역에서 높게 나타났다. 이와 같은 결과는 자동차의 타이어 및 부품의 합금 등으로 이용된 물질들이 도로주행 시 마찰 또는 마모되어 도로주변으로 배출되었기 때문으로 사료된다.

인용문헌

1. Howells, J. (1991) In Lead minerals in soils contaminated by mine-waste: implications for human health, Univ. of London, p 250.
2. SAS. 1998. SAS/STAT User's Guide, 6.03 edition. SAS Institute, Cray, NC, USA.
3. 김권태, 류형주, 정중배, 김계훈. 2001. 서울시 주요 도로변의 토양오염 조사. 한국농화학회지 44(2): 103-108
4. 김종갑, 이충규. 1998. 산림내 강우에 의한 산성 강하물의 영향 평가. 한국생태학회지 21(5): 449-456
5. 농촌진흥청 농업과학기술원. 2000. 토양 및 식물체 분석법.
6. 대전시 환경국. 2004. 대전시가로수현황
7. 박기학. 1992. 교통량 과밀 도로주변의 토양과 가로수, 대기중 Pb, Cu, Zn 중금속 농도와 그 상관성에 관한 연구. 한국환경위생학회지 18(2): 19-25.
8. 산림과 임업기술. 2000. 산림청.
9. 삼정토양학. 1986. 향문사. 396p.
10. 유재윤, 손요한. 2003. 서울시 가로수의 연륜층 및 식재주변 토양의 중금속 농도와 연륜 성장. 한국환경농학회지 22(2): 118-123