

## 서울시 가로수의 연륜층 및 식재주변 토양의 중금속 농도와 연륜 생장

유재윤 · 손요환\*

고려대학교 환경생태공학부

(2003년 1월 29일 접수, 2003년 5월 13일 수리)

### Heavy Metal Concentrations in Tree Ring Layer and Soil and Tree Ring Growth of Roadside Trees in Seoul

Jae-Yun Yoo and Yo-Whan Son\* (Division of Environmental Science and Ecological Engineering, Korea University, Seoul 139-701, Korea)

**ABSTRACT :** This study was carried out to examine the heavy metal concentrations in soils under roadside trees and tree ring layers, and to investigate the relationship between heavy metal concentrations and tree ring growth of roadside trees in Seoul. Soil samples at 0~20 cm depth and tree rings were collected from *Platanus occidentalis* and *Ginkgo biloba* at nine streets, and pH and heavy metal concentrations were analyzed. Soil pH ranged from 6.62 to 8.01 and soil heavy metal concentrations under roadside trees were higher (Zn 109.03, Pb 26.49 and Cu 44.98 mg/kg) compared with those of the referred forest soils. Soils at Cheonggye2ga street showed the highest heavy metal concentrations, and seemed to be related to heavy traffic and dense hardware stores. Tree ring width significantly decreased from 1979 through 2000 for both species. There were positive correlations between Cr, Pb and Cu concentrations in soils and tree ring layers for *P. occidentalis* and Ni for *G. biloba*. However, there were negative correlations between Cr concentration in tree ring layers and tree ring width for *P. occidentalis*, and Ni and Cu for *G. biloba*. Also there were no significant correlations between climatic factors in Seoul and tree ring width.

**Key words:** soil pH, heavy metal, roadside tree, tree ring, *Ginkgo biloba*, *Platanus occidentalis*.

## 서론

최근 도시생태계는 인구 증가와 다양한 경제 활동에 따른 부작용으로 심각한 환경오염 문제에 직면하고 있으며, 환경오염은 인간의 건강과 도시생태계 전반에 영향을 미치고 있다. 특히 20세기 후반부터 시작된 자동차의 증가와 화석연료의 소모로 인하여 대기중의 중금속 농도는 과거에 비해 현저히 증가하고 있다<sup>1)</sup>. 일반적으로 도로상에서 차량에 의해 발생하는 중금속들은 주로 입자형태로 방출되고 방출지점으로부터 대기를 통하여 다양한 거리로 운반되어 주변지역을 오염시킨다<sup>2,3)</sup>. 중금속을 함유한 큰 입자상 물질은 도로에 근접하여 퇴적되는 반면 작은 입자상 물질은 대기 중으로 넓게 분산되기 때문에 이들이 축적되는 토양과 가로수 내 중금속 농도는 도로에서 멀어질수록 감소한다<sup>4)</sup>. 그 가운데 Pb, Cd와 같은 중금속은 식물의 생장에 불필요한 물질임에도 불구하고 수체 내에

과다 축적되어<sup>5)</sup> 대도시 주변의 산림이나 가로수에 영향을 미칠 수 있다.

한편, 수목은 생장과정에서 일어나는 주변 환경의 영향으로 연륜 형태가 변화될 수 있다. 따라서 연륜연대학과 연륜화학을 이용한 연구로 과거 연륜이 형성되었던 당시의 환경 변화 등에 관한 통합된 정보를 얻을 수 있다<sup>6,8)</sup>. 1960년대 중반 이후부터 시작된 수목의 연륜 분석을 통한 연륜화학적 방법이 중금속 변화를 모니터링 하는데 이용되고 있다<sup>9)</sup>. Robitaille<sup>10)</sup>은 제련소에 인접해 있는 발삼나무(*Abies balsamea*)의 연륜을 분석하여 공장이 가동된 후 형성된 연륜에서 중금속 농도가 증가함을 보고하였으며, Hupp 등<sup>11)</sup>은 월로우참나무(*Quercus phellos*)와 오버킵참나무(*Quercus lyrata*)의 연륜을 분석하여 도시와 가장 인접한 지역에서 중금속 농도가 증가한다고 보고하였다. 국내의 경우, Kim and O<sup>12)</sup>는 온산공단지역에서 자란 해송의 연륜 내 중금속 함량과 연륜폭의 변화를 분석한 결과, 공장이 가동된 이후 수목에 흡수되는 중금속의 양이 증가하여 연륜폭이 감소하였으며, 해송의 가지적인 쇠퇴 현상과 일치하였음을 보고한 바 있다. Kim and Kim<sup>13)</sup>은 남

\*연락처:

Tel: +82-2-3290-3015 Fax: +82-2-928-0842

E-mail: yson@korea.ac.kr

해고속도로변의 토양 및 가로수 엽 내 중금속 함량을 조사한 결과 공단주변이나 도시 도로변보다 일반적으로 낮았으나 차량통행이 많은 지역에서 함량이 높아 차량통행과 밀접한 관계가 있는 것으로 보고하였다. 그러나 차량통행이 많은 대도시 도로 주변의 수목은 높은 농도의 오염물질에 노출되어 생장에 영향을 받고 있을 것으로 추정되지만, 이에 대한 연구는 토양 또는 가로수의 식물체 부위별 중금속 농도에 국한되고 연륜을 포함하여 이들간의 상호 관련성에 대한 연구는 거의 없는 실정이다. 따라서 본 연구는 서울 도심의 가로수 중에서 수령이 30년 이상된 양버즘나무(*Platanus occidentalis* L.)와 은행나무(*Ginkgo biloba* L.)를 대상으로 식재지 주변 토양의 중금속 농도와 가로수 연륜층 내 중금속 농도를 분석하여 오염정도를 평가하고 이들 중금속이 가로수의 연륜 생장에 미치는 영향을 구명하기 위해 수행되었다.

### 재료 및 방법

#### 시료채취

본 연구를 위하여 서울시내 9개 지역(종로구 종로 2가, 청계 2가, 돈화문로, 창경궁로, 효자로, 중구 새문안길, 성북구 안암로, 서초구 잠원로, 중랑구 용마산길)의 가로수 식재지 주변 토양과 가로수의 연륜을 채취하였다.

토양 시료는 2001년 8월에 지역에 따라 6~9개 지점씩 총 68개 지점에서 직경 5 cm, 길이 20 cm의 토양채취기를 사용하여 0~20 cm 까지의 토양을 채취하였다. 채취한 시료는 비닐봉지에 밀봉한 후 실험실로 운반하여 풍건시킨 다음 2 mm 체에 통과시켜 분석에 사용하였다.

연륜 시료는 30년 이상된 양버즘나무와 은행나무를 대상으로 2001년 4~5월에 지역에 따라 수종별로 3본씩 총 45본을 가슴높이의 세 방향에서 생장추를 이용하여 채취하였다. 채취한 시료를 음료수용 빨대에 넣어 밀봉한 다음 -10℃에서 냉동 보관한 후에 연륜 생장 및 중금속 농도 분석에 사용하였다.

#### 시료 분석

연륜폭은 연륜측정 System(연륜측정기 Jahringmesseger-aete Johan Type II 1 Set, 16Bit Personal Computer(AT), 측정 프로그램을 이용하여 측정하였다. 연륜폭 측정이 끝난 시료는 5년 단위로 절단한 다음 80~90℃ 에서 향량이 될 때까지 건조시켜 분쇄하였다. 이 중 0.2 g의 시료를 취하여 과산화수소(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)와 황산(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)을 가하여 Block digester (Lachat, BD-46)로 360℃에서 4~5시간 분해한 후 ICP-AES(Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometer, Jobin Yvon, 138 Ultrace)를 사용하여 중금속 농도를 측정하였다<sup>14)</sup>.

토양의 pH(1:5)는 pH meter(Orion 710A)로 측정하였다. 풍건토양 10 g을 250 mL 삼각플라스크에 취하고 침출액(0.1 N HCl 용액 50 mL)을 가하여 항온수평진탕기 (30℃, 1시간)에서 진탕한 다음 여과지(Whatman No.4)를 사용하여 여과한

후 ICP-AES로 중금속 농도를 측정하였다<sup>15)</sup>.

#### 통계 분석

토양 및 지역별 가로수 연륜층 내 중금속 농도 차이, 연도별 연륜층 내 중금속 농도 차이는 general linear model을 사용하여 검정하였다. 각 자료의 평균값은 Duncan의 다중검정으로 비교하였으며, 연도별 연륜폭 변화는 회귀식으로 검정하였다. 또한, 토양과 가로수 연륜층 내 중금속 농도, 토양 내 중금속 농도와 연륜 생장, 연륜층 내 중금속 농도와 연륜 생장, 기후인자(기온, 강수량, 강수일수)와 연륜 생장과의 관계를 알아보기 위하여 상관분석을 수행하였다. 모든 통계분석에 SAS<sup>16)</sup>를 사용하였다.

### 결과 및 고찰

#### 토양의 pH와 중금속 농도

토양 중 pH와 중금속 농도는 Table 1과 같다. 조사지역의 pH는 6.6~8.0의 범위로 서울시 주요 도로변 토양의 pH 6.3~8.5과 유사하였으며<sup>17)</sup>, 중부지역 도시 자연녹지 토양에서 조사한 pH 3.7~5.2보다 약 3.0 정도 높게 나타났다<sup>18)</sup>. 도시나 산업지역의 산림이 산성강하물로 인해 산성화되고 있으나<sup>19)</sup>, 가로수 식재 부근 토양은 제설작업을 위해 사용된 염화칼슘 및 식재지 주변 콘크리트나 보도블록으로부터 분해된 무기염이 토양 중으로 이행되어 축적되면서 pH가 높게 나타나는 것

Table 1. Soil pH and heavy metal concentrations under roadside trees in Seoul

Site	No. of Samples	pH (1:5)	mg/kg				
			Cr	Zn	Pb	Ni	Cu
Jongno2ga (JN2)	8	6.9bc (0.19)	0.39b (0.15)	94.11b (9.64)	10.95b (2.51)	1.75b (0.44)	29.70b (10.96)
Donhwamunno (DHM)	9	7.9c (0.30)	0.37b (0.06)	67.33b (6.56)	18.50b (4.66)	1.17b (0.17)	29.94b (7.53)
Changgyungungno (CGG)	9	7.2bc (0.41)	0.47b (0.08)	85.00b (13.17)	22.47b (2.96)	1.42b (0.22)	24.02b (1.23)
Cheonggye2ga (CG2)	6	6.6a (0.24)	2.16a (1.01)	314.58a (77.79)	89.40a (22.33)	6.73a (3.09)	200.28a (112.09)
Seamunangil (SMA)	9	7.1bc (0.41)	0.44b (0.19)	85.64b (39.72)	14.53b (3.15)	0.91b (0.23)	13.19b (3.94)
Anamno (AAN)	9	8.0c (0.13)	0.53b (0.10)	91.92b (13.98)	17.28b (2.66)	1.44b (0.16)	20.16b (0.36)
Hyojaro (HJR)	6	6.8ba (0.39)	0.33b (0.05)	56.57b (3.40)	31.92b (9.38)	0.75b (0.10)	16.21b (0.81)
Yongmasangil (YMS)	6	7.8c (0.09)	0.22b (0.09)	41.79b (18.35)	7.40b (1.16)	1.04b (0.19)	9.81b (1.46)
Jamwonno (JWN)	6	7.7c (0.31)	0.20b (0.17)	59.89b (19.45)	11.80b (2.34)	1.08b (0.06)	14.13b (4.98)
Weighted mean		7.12	0.63	109.03	26.49	1.98	44.98

\*Values in parentheses are one standard error of the mean. Values with the same letter do not differ among sites by Duncan's multiple comparison test at p=0.05.

으로 사료된다<sup>20)</sup>.

조사지역 전체의 Zn, Pb, Cu의 평균 농도는 각각 109.03, 26.49, 44.98 mg/kg 등으로 나타났다. 이것은 서울시 주요 산림토양에서 측정된 Zn (2.81 mg/kg), Pb (9.6 mg/kg), Cu (1.87 mg/kg)의 평균 농도<sup>21)</sup>와 비교하여 매우 높아 가로수 식재지 토양의 중금속 오염이 산림토양보다 매우 심한 것으로 볼 수 있다.

Cr은 청계 2가에서 가장 높은 농도를 보였으며, 조사지역의 평균 Cr 농도는 0.20~2.16 mg/kg으로 나타났다. Zn은 모든 조사지역에서 서울근교 도시림의 토양보다 상당히 높은 값을 나타냈다. 조사지역의 평균 Zn 농도는 41.79~314.58 mg/kg의 범위로 우리나라 산림토양의 평균 Zn 농도인 4.08 mg/kg보다 약 10~77배 정도 높게 나타났으며, 또한 남산과 성주산의 자연녹지 토양보다는 약 3~23배 정도 높은 수치였다<sup>17,18)</sup>. Pb의 평균농도는 7.40~89.40 mg/kg로, 이 중 청계 2가에서는 서울근교 도시림 토양의 Pb 평균농도인 9.09 mg/kg과 비교하여 최고 10배에 달하는 것으로 나타났다<sup>17)</sup>. 그리고 Ni의 평균농도는 0.75~6.73 mg/kg이었다. Cu의 평균 농도는 9.81~200.28 mg/kg으로 서울근교 도시림 표토의 평균 농도인 1.67 mg/kg<sup>17)</sup>의 6배 이상의 값을 보였으며, 조사지점 중 청계 2가에서는 토양환경보전법상의 토양오염 우려기준인 200 mg/kg<sup>22)</sup>을 초과하였다.

청계 2가에서는 모든 중금속 농도가 다른 조사지점에 비해 높은 값을 보였으며, 특히 Cu의 경우 청계 2가를 제외한 지역의 평균값(19.65 mg/kg)보다 10배나 높은 농도를 보였다. 이 지역의 중금속 농도가 높은 것은 금속 및 철물을 취급하는 상가가 밀집해 있고 차량의 통행량도 많은 것과 관련이 있는 것으로 생각된다. 이러한 결과는 토양 내 높은 Cu와 Cr의 농도가 도로주변의 산업과 경제활동에서 기인한다고 보고한 Lee 등<sup>23)</sup>의 연구결과와 유사한 것이다.

#### 연륜층 내 중금속 농도

가로수 연륜을 기준으로 5년 단위의 연륜층 내 중금속 농도는 Fig. 1과 같다. 양버즘나무에서 Cr의 농도는 1990년까지 감소하다가 이 후에는 증가하는 경향을 보였으며, 은행나무는 소폭의 증가와 감소가 반복되다가 최근에는 양버즘나무와 마찬가지로 증가하는 경향을 보였다. 그러나 연도별 Cr의 농도 차이에 대한 분산분석 결과 두 수종 모두 유의성이 없는 것으로 나타났다( $p>0.05$ ). Zn의 농도는 양버즘나무에서 1990년 전반까지 차이가 없었으나, 이 후 급격한 증가를 나타내어 연도별 농도 차이에 유의성이 인정되었다. 은행나무의 경우 약간 증가 또는 감소하였지만 연도별 농도 차이는 통계적으로 유의하지 않았다.

Lee 등<sup>24)</sup>은 1993년 이후 유연회발유의 공급 중단으로 서울의 대기중 Pb 농도가 감소할 것으로 예측하였다. Pb은 수목의 연륜 내에서 거의 이동을 하지 않기 때문에<sup>25)</sup> 연륜층을 분석함으로써 이러한 Pb의 연도별 변화 경향을 알 수 있을 것으로 예상하였지만, 분산분석 결과 유의성이 인정되지 않았다.

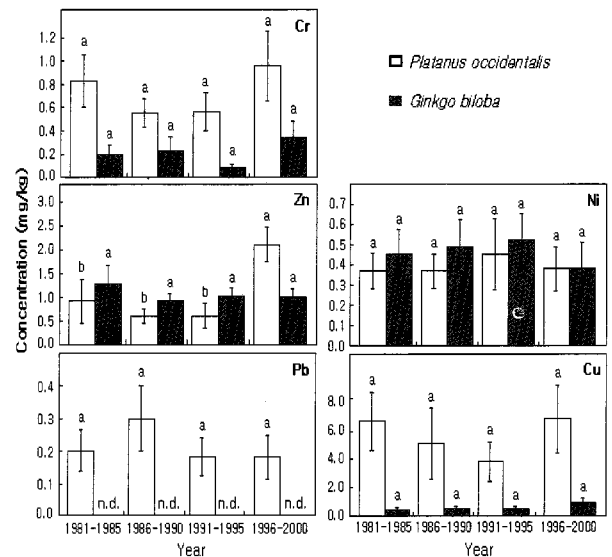


Fig. 1. Changes of heavy metal concentrations in tree ring. Values with the same letter do not differ by Duncan's multiple comparison test at  $p=0.05$ . Vertical bars are one standard error of the mean. n.d.: not detectable.

Ni의 농도는 두 수종 모두에서 1990년 전반까지 약간 증가하다가 이후 감소하는 경향을 보였으나, 연도별 농도 차이에 대한 유의성은 인정되지 않았다. Cu의 농도는 양버즘나무에서 1990년대 중반까지 감소하다가 그 후 증가하는 경향이었고, 은행나무는 1980년 이후 약간 증가하는 경향이었으나 연도별 농도 차이는 유의성이 인정되지 않았다.

연륜층별로 분석한 중금속 농도의 조사지역별 평균치는 Fig. 2와 같다. 양버즘나무에서 Cr의 평균농도는 용마산길과 청계 2가, 안암로 간의 차이가 인정되었으며, 안암로 및 용마산길에서 각각 1.29, 0.15 mg/kg으로 최고와 최저 농도를 보였다. 또한 은행나무에서는 창경궁로와 청계 2가, 새문안길, 안암로 간의 차이가 인정되었으며, 창경궁로 및 안암로에서 각각 0.57, 0.06 mg/kg으로 최고와 최저 농도를 보였다.

양버즘나무의 Zn 농도는 새문안길 및 돈화문로에서 각각 1.59, 0.21 mg/kg을 보였으며, 은행나무는 창경궁로 및 효자로에서 각각 1.44, 0.53 mg/kg으로 최고와 최저 농도를 보였으나 지역별 농도 차이는 유의성이 없었다. Zn의 농도는 지역별로 모두 2 mg/kg 이하로써 양버즘나무와 은행나무의 잎과 줄기에서의 농도(최고 428 mg/kg, 최저 14.50 mg/kg)<sup>26)</sup>보다 매우 낮은 것으로 나타났다. 대부분의 식물체 내에는 Zn이 20~25 mg/kg 이상 존재하며 식물에 독성을 나타내는 농도는 150~400 mg/kg의 범위에 있는 것으로 알려져 있다<sup>27)</sup>. 그러나 본 연구에서 Zn의 평균농도는 이보다 매우 낮게 나타나 수목의 성장에 미치는 영향은 크지 않을 것으로 판단된다.

양버즘나무에서 Pb의 농도는 종로 2가, 청계 2가와 나머지 지역간의 차이가 인정되었으며, 청계 2가에서 0.52 mg/kg으로 최고 농도를, 안암로 및 잠원로에서 0.03 mg/kg으로 최저 농도를 보였다. Kim<sup>20)</sup>은 지역별 식물체 내의 Pb 농도가 차량

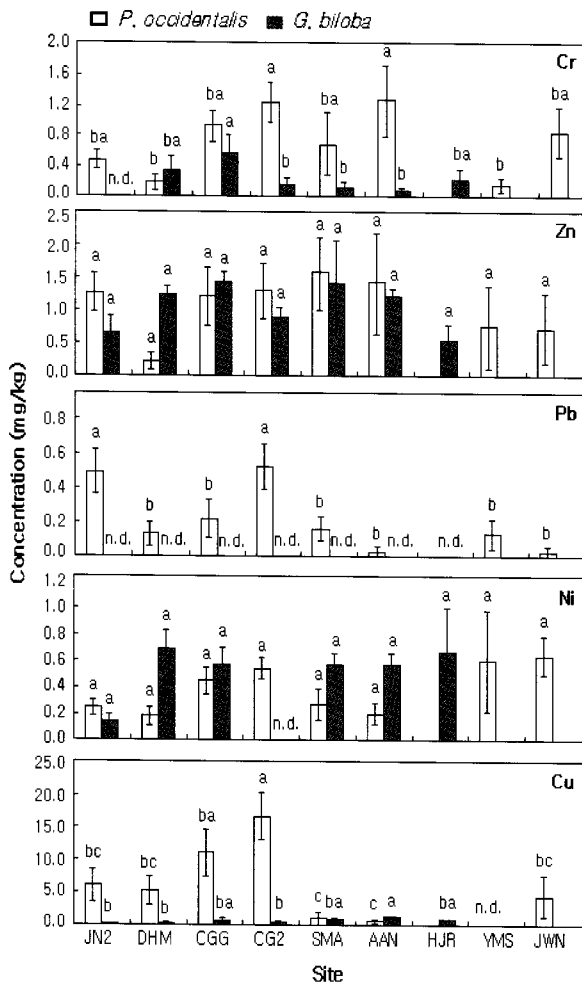


Fig. 2. Heavy metal concentrations among sampling sites. Vertical bars are one standard error of the mean. Values with the same letter do not differ by Duncan's multiple comparison test at  $p=0.05$ .

통행량과 직접 관련이 있는 것으로 보고하였고, 1994부터 2001년까지 청계 2가와 종로 2가의 평균 일일교통량은 각각 20만 3천, 10만 4천여대로써<sup>28)</sup> 본 연구에서도 차량통행이 많은 이들 지역에서 Pb의 농도가 높게 나타나 유사한 경향을 보이고 있다. Ni의 농도는 양버즘나무의 경우 잠원로 및 돈화문로에서 각각 0.64, 0.18 mg/kg, 은행나무의 경우는 돈화문로 및 종로 2가에서 각각 0.69, 0.14 mg/kg으로 최고와 최저 농도를 보였지만 지역별 농도 차이에는 유의성이 없었다.

Cu의 농도는 양버즘나무의 경우 청계 2가 및 안암로에서 각각 16.77, 0.56 mg/kg, 은행나무의 경우 안암로 및 종로 2가에서 각각 1.21, 0.09 mg/kg으로 최고와 최저 농도를 보였다. Cr, Zn, Pb, Ni의 농도는 지역간 차이가 없지만, Cu의 농도는 지역별 차이가 현저한 것으로 나타났다.

**연륜 성장**

2000년까지 가로수의 연륜 성장을 조사한 결과는 Fig. 3과 같다. 양버즘나무의 경우 1980년대 중반과 1990년대 중반에

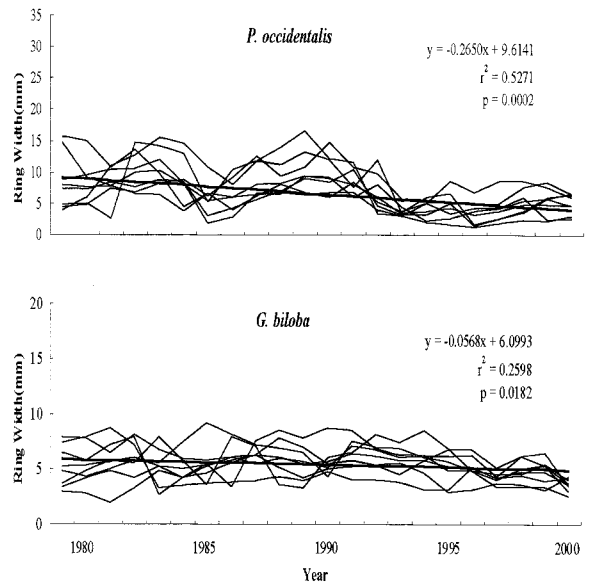


Fig. 3. Changes of tree ring width in *P. occidentalis* and *G. biloba* for 9 sampling sites.

Table 2. Correlation coefficients between heavy metal concentration in soil and tree ring

	<i>P. occidentalis</i>					<i>G. biloba</i>			
	Cr	Zn	Pb	Ni	Cu	Cr	Zn	Ni	Cu
Tree ring	0.51*	0.47	0.69*	0.03	0.49	0.23	-0.55*	0.70*	-0.13
Soil	0.24	0.22	0.38	-0.01	0.47	-0.13	-0.53*	0.09	0.02
	0.46	0.36	0.50*	0.19	0.47	-	-	-	-
	0.25	0.19	0.58*	0.09	0.69*	0.35	-0.41	0.57*	0.25
	0.34	0.22	0.52*	0.14	0.55*	0.15	-0.54*	0.65*	0.02

\* means statistically significant at  $p=0.05$ .

연륜폭 감소가 현저하였으며 지역별로 비교적 일정한 경향을 보였으나, 은행나무의 경우는 지역별 연륜폭 변화가 상당히 불규칙하게 나타났다.

두 수종에 대한 연도별 연륜폭 평균값을 회귀식으로 나타낸 결과, 두 수종 모두 연륜폭이 감소하는 경향을 보였다.

**상관관계분석**

토양과 가로수 연륜층 중 최근 5년간 생장부위 내 중금속 농도간의 상관관계는 Table 2와 같다. 토양 중 Cr, Pb 및 Cu의 농도는 양버즘나무의 연륜층 내 이들의 농도와 양의 상관관계를 보였다. 또한 Zn과 Ni은 양의 상관을 보였으나 통계적으로 유의성은 없는 것으로 나타났다. 은행나무에서는 Ni과 Zn이 토양과 연륜층 내에서 각각 양과 음의 상관을 나타냈다. 이러한 결과는 은행나무와 양버즘나무의 가지와 토양 중 Zn, Pb, Cu에 대한 상관분석에서 Zn은 두 수종 모두 양의 상관을, Pb과 Cu는 상관관계를 나타내지 않았다는 결과<sup>26)</sup>와는 큰 차이를 보였다.

본 연구에서는 양버즘나무의 토양 중 Cr, Ni, Cu 농도와 연륜층 내 Pb 농도, 토양 중 Ni의 농도와 연륜층 내 Cu 농도

**Table 3. Correlation coefficients between heavy metal concentration in tree ring and ring width of the two roadside tree species**

	Ring width	
	<i>P. occidentalis</i>	<i>G. biloba</i>
Tree ring	Cr	-0.51*
	Zn	-0.16
	Pb	0.26
	Ni	0.18
	Cu	0.56*

\* means statistically significant at  $p=0.05$ .

사이에 각각 양의 상관관계를 보였다. 또한, 은행나무에서 토양 내 Cr, Cu의 농도와 연륜층 내 Zn과 Ni의 농도는 각각 음의 상관관계를 나타내었다. 이것은 토양 내 존재하는 중금속 간의 상호작용으로 식물이 중금속을 흡수하는데 길항작용과 상승작용이 동시에 작용한 것으로 판단되었다<sup>29,30</sup>.

가로수 내 연륜층별 중금속 농도와 연륜폭 변화와의 상관분석에서 양버즘나무의 연륜층 내 Cr의 농도는 연륜폭과 음의 상관관계를 보였으며, Cu의 농도는 연륜폭과 양의 상관관계를 보였다. 은행나무에서는 연륜층 내 Ni, Cu의 농도가 연륜폭과 음의 상관관계를 나타냈다(Table 3).

가로수 연륜폭 변화에 미치는 연륜층 내 중금속 농도와 기후요인의 영향정도를 비교하기 위하여 기후인자와 연륜폭 변화간의 상관분석을 실시하였다(Table 4). 서울지역의 연평균 기온, 강수량, 강수일수<sup>31</sup>와 연륜폭의 연도별 변화 경향은 유사하였으나 통계적으로 유의성은 인정되지 않았다. 이것은 소나무의 연륜생장이 일 평균기온의 상승과 강수일수가 증가함에 따라 늘어났다는 연구결과<sup>32</sup>와 차이를 보이는 것이다.

이상의 결과에서 가로수 식재지는 일반 산림지역과 다른 환경적 특성을 가지고 있기 때문에 본 연구에서 검토한 중금속 뿐만 아니라 지역특성을 잘 반영하는 대기오염 등 다른 복합적인 환경요인이 작용하고 있는 것으로 생각되며, 이러한 환경요인을 감안한 종합적인 연구가 앞으로 필요하다고 판단된다.

## 요 약

본 연구는 서울 도심에 위치한 가로수 중에서 수령이 30년 이상 된 양버즘나무(*Platanus occidentalis* L.)와 은행나무(*Ginkgo biloba* L.)를 대상으로 토양 및 가로수의 연륜층별 중금속 농도를 분석하여 이들 중금속이 가로수의 연륜생장에 미치는 영향 정도를 비교 검토하였다. 가로수가 식재되어 있는 토양의 pH는 6.62~8.01이었으며, 중금속 평균농도는 Cr 0.63, Zn 109.03, Pb 26.49, Ni 1.98, Cu 44.98 mg/kg으로써 이 중 Zn, Pb, Cu의 농도는 일반 산림토양보다 높은 것으로 나타났다. 특히 금속 및 철물을 취급하는 상가가 밀집해 있고 차량통행이 많은 청계 2가 지역의 중금속 농도가 가장 높게 나타났다. 가로수의 연륜폭을 1979년부터 2000년까지 측정하

**Table 4. Correlation coefficients between climatic factors and tree ring width of the two roadside tree species**

Ring width		Temperature	Precipitation	Days of precipitation
		<i>P. occidentalis</i>	-0.21	-0.08
	<i>G. biloba</i>	-0.30	-0.14	0.03

여 회귀식으로 나타낸 결과, 두 수종 모두 감소하는 경향을 보였다. 또한, 토양 내 Cr, Pb, Cu의 농도는 양버즘나무의 최근 5년간 연륜층 내 Cr, Pb, Cu 농도와 양의 상관관계를 보였으며, 토양 내 Ni 농도는 은행나무의 연륜층 내 Ni 농도와 양의 상관관계를 보였다. 양버즘나무의 5년 단위 연륜층별 Cr 농도와 은행나무의 5년 단위 연륜층별 Ni, Cu 농도는 각각 연륜생장에 음의 상관관계를 나타냈다. 한편 서울지역의 연평균 기온, 강수량, 강수일수와 연륜폭의 연도별 변화 경향은 유사하였으나 통계적으로 유의성은 인정되지 않았다.

## 감사의 글

본 연구의 시료분석에 도움을 주신 한국기초과학지원연구원 서울분소 관계자 여러분께 깊이 감사드립니다.

## 참고 문헌

- Suzanne, F., Nicholas, N. S. and Phillip, R. S. (2002) Dendrochemical analysis of lead and calcium in Southern Appalachian American beech, *J. Environ. Qual.* 31, 1137-1145.
- Lee, P. K. and Touray, J. C. (1998) Characteristics of polluted artificial soil localized on a motorway border and effects of acidification on the leaching behavior of heavy metals (Pb, Zn, Cd), *Water Research* 32, 3425-3435.
- Lee, P. K., Baillif, P., Touray, J. C. and Ildefonse, J. P. (1997) Heavy metal contamination of settling particles in a retention pond along the A-71 motorway in Sologne, France, *The Science of the Total Environment* 201, 1-15.
- Watmough, S. A., Hutchinson, T. C. and Sager, E. P. S. (1998) Changes in tree ring chemistry in sugar maple (*Acer saccharum*) along an urban-rural gradient in southern Ontario, *Environ. Pollutio.* 101, 381-390.
- Reeves, R. D. and Baker, A. J. M. (2000) Metal-accumulating plants, In: Raskin, I. and Ensley, B. D. eds. *Phytoremediation of Toxic Metals: Using Plants to Clean up the Environment*, New York, USA: John Wiley & Sons Inc., p.193-229.
- Orlandi, M., Pelfini, M., Pavan, M., Santilli, M. and Colombini, M. P. (2002) Heavy metals variations in some conifers in Valle d'Aosta(Western Italian Alps)

- from 1930 to 2000, *Microchem. J.* 73, 237-244.
7. Shaun, A. W. and Thomas, C. H. (1996) Analysis tree rings inductively coupled plasma mass spectrometry to record fluctuations in a metal pollution episode, *Environ. Pollution* 93, 93-102.
  8. Cutter, B. E. and Guyette, R. P. (1993) Anatomical, chemical and ecological factors affecting tree species choice in dendrochemistry studies, *J. Environ. Qual.* 22, 611-619.
  9. Watmough, S. A. (1999) Monitoring historical changes in soil and atmospheric trace metal levels by dendrochemical analysis, *Environ. Pollution* 106, 391-403.
  10. Robitaille, G. (1981) Heavy metal accumulation in the annual rings of balsam fir *Abies balsamea* (L.) Mill, *Environ. Pollution* 2, 193-202.
  11. Hupp, C. R., Woodside, M. D. and Yanosky, T. M. (1993) Sediment and trace element trapping in a forested wetland Chickahominy River Virginia, *Wetlands* 13, 95-104.
  12. Kim, J. K. and O, K. C. (1999) Analysis of heavy metals in annual rings of *Pinus thunbergii* at air polluted area, *J. Korean For. Soc.* 88, 429-437.
  13. Kim, J. K. and Kim, J. S. (1990) Studies on the contents of pollutants in soil and leaves of ornamental trees in the Namhae Expressway, *J. Korean For. Soc.* 79, 352-358.
  14. 농촌진흥청 농업과학기술원. (2000) 토양 및 식물체 분석법.
  15. 환경부. (1999) 토양오염공정시험방법.
  16. SAS. (1988) *SAS/STAT User's Guide*, 6.03 edition. SAS Institute, Cary, NC, USA.
  17. Kim, K. R., Ryu, H. J., Chung, J. B. and Kim, K. H. (2001) Investigation of soil contamination at major roadside in Seoul - I. Manguro in Chungnanggu, *J. Korean Soc. Agric. Chem. Biotechnol.* 44(2), 103-108.
  18. Kim, K. H. and Park, S. N. (2000) Distribution of  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  and heavy metals in some urban-rorest soils of central Korea, *Korean J. Environ. Agric.* 19, 351-357.
  19. Lee, C. K. and Kim, J. K. (1998) Studies on the relation of heavy metals between rainfall and soil in the forest, *J. Korean For. Soc.* 87, 584-589.
  20. 서울특별시. (1998) 가로수 생육여건 개선을 위한 조사연구.
  21. 서울특별시. (1998) 서울시 산림 생태계 조사 연구보고서.
  22. 환경부. (2002) 토양환경보전법.
  23. Lee, P. K., Yun, S. T., Choi, S. H. and Choi, B. Y. (1999) The assessment of heavy metal pollution in sewage sludges from gully pots alongside some main roads in Seoul, Korea, *Econ. Environ. Geol.* 32, 633-644.
  24. Lee, D. S., Lee, Y. K., Huh, J. W., Lee, S. I., Sohn, D. H. and Kim, M. G. (1994) Annual variation of atmospheric lead concentration in Seoul (1983~1993), *J. KAPRA.* 10, 170-174.
  25. Schweingruber, F. H. (1996) *Tree Rings and Environment Dendroecology*, Paul Haupt Berne, p.27.
  26. Kim, B. S. (1998) Heavy metal concentration in foliage and twigs of some ornamental trees in Seoul city, Master's Thesis, Korea University.
  27. 조성진, 박천서, 엄대익. (1998) 삼정토양학, 향문사, p.314-326.
  28. 서울특별시. 서울통계연보 (1994-2001).
  29. Alloway, B. J. (1995) *Heavy Metals in Soils* (2nd ed.), Blackie Academic & Professional, Glasgow, UK.
  30. Kabata-Pendias, A. and Pendias, H. (1992) *Trace Elements in Soils and Plants* (2nd ed.). CRC Press.
  31. 기상청, 기후자료(1979-2000).
  32. Choung, Y. S. (1998) Effects of dam construction on the radial growths of *Pinus densiflora*, *Korean J. Ecol.* 21, 251-255.