

## 도로변 배나무 과수원 토양과 수체의 중금속 함량

전병두<sup>1</sup>, 최종승<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>대전덕송초등학교, <sup>2</sup>배재대학교 생명환경디자인학부 도시원예학전공

## Heavy Metal Contents of Soil and Pear Tree near a Major Road

Byung Doo Jeon<sup>1</sup> and Jong Seung Choi<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Daejoen Deoksong Elementary School, Daejoen 305-320, Korea

<sup>2</sup>Dept. of Horticulture, Pai-Chai University, Daejoen 302-735, Korea

### 요 약

교통량이 많은 대전광역시 유성구의 32번 국도변 배 과수원의 토양과 수체의 중금속 오염 실태를 조사하였다. 도로에 인접한 과수원 토양의 표토와 심토 모두 Pb, Cu 및 Zn 함량은 도로에서 원거리에 위치한 과수원(대조구) 토양에 비하여 많았고 도로에 가까운 지점일수록 함량이 많았다. 도로에서 10m 지점의 표토 중금속 함량은 대조구보다 Pb는 4 배, Cu는 3배 그리고 Zn은 2.5배 많았다. 대조구 토양에 비하여 도로변 과수원 토양 표토의 Cd 함량이 많았으나 심토에서는 차이가 없었다. 도로변 과수원 배나무 잎의 중금속 최대 함량은 Pb 20.08, Cu 7.02, Zn 30.83, Cd 1.68mm·kg<sup>-1</sup>으로 대조구보다 많았다. 과실의 Cd 함량과 과경의 Pb 함량은 대조구보다 도로변 과수원에서 많았고 도로에서 가까울수록 많았다.

### Abstract

This research was conducted to determine heavy metal contents of soil and tree in pear orchard located near national road with heavy traffics. Topsoil (0-15 cm depth) and subsoil

---

**Corresponding Author :** Jong Seung Choi, Dept. of Horticulture, Pai Chai University, Daejeon 302-735, Korea. Tel. : +82-42-520-5399, E-mail : jsc@pcu.ac.kr

(15-30 cm) samples in pear orchard located within 40 m from national road had higher Pb, Cu, and Zn contents than background orchard (BG) and these heavy metal contents decreased with distance from road. Topsoil samples taken at 10 m from national road had 4 times higher level in Pb, 3 times in Cu, and 2.5 times in Zn compare to BG. The Cd contents of topsoil in orchard were higher than those of BG but were not in subsoil. Highest heavy metal contents of pear leaves in roadside orchard were 20.08 in Pb, 7.02 in Cu, 30.83 in Zn, and 1.68  $\text{mm}\cdot\text{kg}^{-1}$  in Cd and these heavy metal contents in roadside orchard were higher than BG. Cd contents of fruit and Pb contents of fruit stalk in roadside orchard were higher than BG and these heavy metal contents decreased with distance up to 40 m from the road.

*Additional keywords: cadmium, copper, heavy metal contamination, lead, roadside, zinc*

## I. 서 언

토양의 중금속은 교통량이 많은 도로 또는 공장지대에서 발생하는 분진이나 광산 주위에서 오염된 관개수 그리고 오염된 폐기물의 유입 등에 의하여 오염되는 것이 일반적이다. 교통량이 빈번한 도로에서는 자동차 배기가스나 타이어 등 부품의 마모에 의한 분진 등이 발생하여 도로변 토양을 오염시킨다. 도로변 토양에 오염되는 중금속은 주로 Cd, Pb, Cu, Zn 등으로 도로에서 가까울수록 그리고 교통량이 많을수록 오염 정도는 심하다 (Garcia와 Millan, 1998; Onianwa, 2001). 이들 중금속에 오염된 농작물은 생육이 불량하게 되고 수량성이 저하되는 것은 물론 오염된 농산물을 계속 섭취하였을 때 인체에 축적되므로 치명적인 인명 피해를 가져온다. 식품의 안전성이 무엇보다도 중요하기 때문에 중금속 오염 가능성이 있는 지역에서의 농작물 재배는 배제되거나 대책을 강구하여야 한다. 본 연구는 교통량이 많은 국도변에 위치한 배나무 과수원의 토양과 수체 부위별 중금속 함량을 도로에서의 거리별로 조사하여 환경오염 대책을 수립하는 데 기초자료로 활용하고자 수행되었다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 조사 지역 선정 및 성분분석용 시료 채취

교통량이 많은 국도에 인접하고 개원한 지 15-20년 된 배나무 과수원을 선정하여 도로로부터 토양이 중금속에 오염되는 정도를 파악하기 위하여 토양과 배나무 수체의 중금속 함량을 1998년에 조사하였다. 교통량이 많은 32번국도(대전광역시 유성구 구암동과 노은동 경계부근)에 북쪽으로 인접한 1개의 과수원을 선정하여 도로로부터 10m, 20m, 30m, 40m 떨어진 곳을 조사 지점으로 선정하였다. 그리고 큰 도로에서 멀리 떨어져서(2km 이상) 도로로부터 중금속이 오염되지 않는 지역이라 생각되는 대전광역시 유성구 북룡동에 위치하고 개원한 지 18년 되는 배나무 과수원 1개소를 선정하여 대조구로 삼았다.

도로변 과수원에서 선정된 4개 지점과 대조구 1개 지점 등 5개 지점 주위에서 각각 3개의 표본 채취 지점을 다시 선정하여 표토(0-15cm 깊이)와 심토(15-30cm 깊이)를 1998년 5월 11-15일에 채취하여 풍건한 후 중금속(Pb, Cu, Zn, Cd) 함량을 분석하였다. 토양을 채취한 각 지점 주위에 있는 배나무의 잎, 1년생 가지, 2년생 가지 및 과실을 채취하였다. 잎은 각 지점 당 50-60매씩 9월 17일, 가지는 12월 13일에 각각 채취하였고, 과실은 10월 13일에 성숙되고 중간 크기(500-600g)의 건전한 것으로 선별하여 성분분석용으로 조제하였다.

### 2. 토양 및 식물체 중금속 분석

채취한 토양을 풍건하여 2mm 체로 쳐서 성분분석 시료로 사용하였다. 토양의 Cu와 Zn은 분석시료 10g을 diethylene triamine penta acetic acid 20mL로 침출하였고 Pb와 Cd는 분석시료 10g을 0.1N-HCl 20mL로 침출하여 원자흡광분광광도계(AAS, Shimazu AA-680)로 측정하였다. 성분분석을 위하여 채취한 식물체를 세척하여 과실은 과경, 과피, 과육으로, 가지는 1년생 가지와 2년생 가지를 수피와 목질부로, 그리고 뿌리는 잔뿌리(직경 2mm 이하)와 굵은 뿌리(직경 2-10mm)로 분리하였다. 각각의 식물체를 건조한 다음 분쇄하여 성분분석용 시료로 조제하였다. 잎, 수피, 목질부, 뿌리 및 과피의 조제된 시료는 각각 2g, 과경은 0.5g, 과육은 3g을 습식분해하여 AAS로 Cd, Pb, Zn, Cu를 분석하였다.

### 3. 통계분석

조사자료를 SAS로 분산분석하고 Duncan의 다중검정으로 5%의 수준에서 유의성을 검정하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 토양의 중금속 함량

차량 통행이 빈번한 32번 국도변에 위치한 배나무 과수원을 선정하여 도로로부터 거리 별로 토양을 채취하여 중금속(Pb, Cu, Zn, Cd) 함량을 조사한 결과는 Table 1과 같다. 토양의 Pb 함량은 도로로부터의 거리가 가까울수록 많았고, 동일 지점에서의 표토(0-15cm 깊이)가 심토(15-30cm 깊이)보다 많았다. 도로에서 10m 거리의 Pb 함량은 표토가  $4.01\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 심토가  $2.31\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 으로 도로에서 원거리이며 차량 통행이 거의 없어 중금속이 오염되지 않았다고 생각되는 과수원(이하 대조구라 함)에 비하여 각각 4배와 2.2배에 달하였다. 20m와 30m 거리의 표토 Pb 함량 역시 대조구보다 많았고 심토에서 유의성은 없었으나 많은 경향을 보였다. 이와 같이 도로에서 가까운 지점의 토양에서 Pb 함량이 많은 것은 자동차 배기가스와 antiknocking제의 주성분(Friberg와 Nelson, 1981)인 Pb가 배출되어 토양이 오염되었기 때문이라 생각하였다(Singir와 Hanson, 1969). 본 연구에서 조사 대상인 32번국도는 1일 평균 1만 6천 여 대의 차량이 통과하는 통행량이 많은 도로이다. Page와 Ganje(1970)도 교통량에 따라 토양의 Pb 축적량이 다르다고 하였는데 약 40년 동안 교통량이 많은 곳과 적은 곳의 Pb 함량을 조사한 결과를 보면 평방 마일 당 80대 이하의 곳은 Pb 축적은 없었고 580대 이상의 곳에서는 원래(40년 전)보다 표토(0-2.5cm)에 2-3배 더 축적되었다고 하였다. 도로에서 가까울수록 토양의 Pb 함량이 많고(Rodriguez와 Rodriguez, 1982; Zupancic, 1999), 식물체의 Pb 함량은 토양의 Pb 함량에 비례한다(Rodriguez와 Rodriguez, 1982). 따라서 본 시험의 도로변 과수원 토양은 도로에서 Pb가 오염되었다고 판단되었다.

Table 1. Changes of heavy metal concentrations in pear orchard soil near the national road as a function of distance from the road.

Distance (m)	Pb	Cu ... (mg·kg <sup>-1</sup> ) ...	Zn	Cd
<u>0-15 cm depth</u>				
10	4.01 a <sup>z</sup>	2.65 a	30.65 c	0.11 c
20	2.81 b	1.99 b	46.08 a	0.22 a
30	2.56 b	1.53 c	37.61 b	0.21 a
40	1.39 c	1.01 d	31.99 c	0.21 a
BG <sup>y</sup>	1.00 c	0.90 d	12.03 d	0.13 b
<u>15-30 cm depth</u>				
10	2.31 a	2.14 a	14.08 a	0.07 b
20	1.45 b	1.22 b	11.39 b	0.07 b
30	1.48 b	0.77 c	9.08 c	0.11 a
40	1.10 b	0.55 d	9.70 c	0.09 b
BG	1.03 b	0.78 c	9.08 c	0.08 b

<sup>z</sup>Mean separation within columns for each depth by Duncan's multiple range test at  $P < 0.05$ .

<sup>y</sup>BG (background) sample was taken at 2 km away from the main road.

도로변 과수원의 표토와 심토의 Cu 함량 또한 도로에서의 거리에 따라 차이를 보였으며 도로로부터 동일한 거리의 Cu 함량은 표토가 심토보다 많았다. 도로변에서 가까운 10m 지점의 Cu 함량은 표토가 2.65mg·kg<sup>-1</sup>, 심토가 2.14mg·kg<sup>-1</sup>으로 가장 많아서 대조구보다 각각 2.9배와 2.7배에 달하였다. 20m와 30m 거리의 표토와 심토 Cu 함량도 대조구보다 많았다. 이와 같이 도로에서 가까운 지점의 토양에서 Cu 함량이 많은 것은 자동차의 타이어 및 부품의 합금 등으로 이용된 Cu가 차량이 주행할 때 마찰 또는 마모되어 도로 주변으로 비산되어 토양이 오염되었기 때문이라 생각되었다(Hutton 등, 1988; Kim 등, 2001; Lee 등, 1999). Cu 최대 함량을 보인 도로에서 10m의 표토(2.65mg·kg<sup>-1</sup>)와 심토(2.14mg·kg<sup>-1</sup>)는 Kim 등(1993)이 조사한 배나무 과수원 토양(표토) 3.698mg·kg<sup>-1</sup>보다 적었다. 그러나 Byun 등(1999)이 조사한 서울 근교 도시림에서의 Cu 평균 농도인 표토 1.67mg·kg<sup>-1</sup>, 심토 0.55mg·kg<sup>-1</sup>와 본 조사의 최대 함량을 보인 것을 비교해 보면 표토는 1.6배, 심토는 약 4배 정도 많았다.

토양의 Zn 함량을 보면 표토는 40m까지 심토는 20m까지 대조구보다 많았고 심토의 30-40m 거리에서도 많은 경향을 보였다. 10m 거리에서는 20-30m 거리보다 오히려 Zn 함량이 적었지만 표토와 심토의 함량은 대체로 도로에서 거리가 가까울수록 많은 경향을 보였

다. 최대 Zn 함량을 보인 20m의 표토와 10m의 심토는 대조구에 비하여 각각 3.8배와 1.5배로서 도로에서 오염되었음을 알 수 있었다. Yim(1998)은 우리나라 일반 과수원의 토양 표토 Zn 함량이  $13.7\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 이라고 하였는데 본 시험의 대조구 표토  $12.03\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 과는 비슷한 함량으로서 본 시험의 도로변 과수원 토양은 도로에서 Zn이 오염되었음을 확인할 수 있었다.

토양의 Cd 함량을 보면 표토의 경우 거리별 차이는 보이지 않았지만 20-40m 지역에서 대조구보다 많았고 가장 가까운 10m에서는 대조구와 차이가 없었으며, 심토에서는 30m 지점이 가장 많았고 그 외 지점은 대조구와 같았다. 표토의 Cd 함량이 심토의 함량보다 많았다. 도로변 토양의 최대 Cd 함량은 보인 20m 지점의 표토  $0.22\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 은 Yim(1998)이 조사한 일반 과수원 토양의 Cd 함량  $0.205\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 과 비교하여 볼 때 비슷하여 많은 함량이라고 볼 수 없었다. 본 조사에서 도로변 과수원 토양의 Cd은 도로에서 오염되었다고 단정할 수 없었다.

우리나라 3개 고속도로 주변 토양의 Cd와 Pb 함량을 조사한 결과를 보면(Kim, 1988), 개통이 오래될수록 함량이 많았고 그 함량 범위를 보면 Cd는 0.137-0.168, Pb는  $4.338\text{--}5.573\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 으로 본 조사의 국도변 토양 함량과 비슷하였다. 또한 본 조사의 중금속 최대 함량(Pb:  $4.01\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , Cu:  $2.65\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , Cd:  $0.22\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )은 우리나라 Ministry of Environment(1999)에서 제정한 토양환경보전법의 농업용지 및 주거지에 대한 우려기준(Pb:  $100\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , Cu:  $50\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , Cd:  $1.5\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )보다는 적기 때문에 아직까지 오염 정도가 심각하지 않다고 생각되었다.

## 2. 배나무의 중금속 함량

Table 2. Tissue lead contents of pear trees as a function of distance from the national road.

Distance (m)	Lead contents ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ DW)							
	Leaf	1 year old branch		2 years old branch		Fruit		
		Bark	Wood	Bark	Wood	Fruit stalk	Peel	Flesh
10	17.78 a <sup>z</sup>	16.91 a	12.78 a	15.87 a	14.16 a	112.6	18.79 a	16.07 a
20	20.08 a	14.39 b	13.00 a	15.63 a	12.31 a	54.0	18.13 a	18.54 a
30	18.68 a	15.35 b	13.91 a	15.76 a	14.03 a	70.6	19.95 a	17.70 a
40	18.18 a	14.82 b	13.86 a	16.05 a	13.24 a	85.6	19.35 a	17.41 a
BG <sup>y</sup>	14.00 b	15.53 b	14.08 a	13.50 a	12.94 a	7.7	17.27 a	17.40 a

<sup>z</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at  $P<0.05$ .

<sup>y</sup>BG (background) sample was taken at 2 km away from the main road.

국도에서 거리별 배나무 수체 및 과실 부위별 Pb 함량을 조사한 결과는 Table 2와 같다. 배나무 잎의 Pb 함량은 도로에서 40m까지는 대조구에 비해 많았고 도로에서 40m까지 거리에 따른 유의성은 없었다. 수피의 경우 국도변 과수원 1년생 가지에서만 10m에서 많았고 가지의 다른 부위에서는 거리별 차이가 없었다. 과실의 경우 과경만 거리가 가까울수록 함량이 많았고 과피와 과육은 차이가 없었다. 수체의 각 부위별 Pb 함량을 보면 도로변 과수원 과실 과경의 함량이 많았고 다른 부위는 비슷하였다. 특히 도로변 과경의 Pb 함량은 대조구의 약 7-14배 많았다. 도로변 토양의 Pb 함량이 대조구보다 많았는데 수체에서는 잎과 과경에서만 토양과 같은 경향을 보였다. Othman 등(1997)은 도로에서 가까울수록 토양과 식물체의 Pb 함량이 높다고 보고한 것과 본 시험의 도로변 40m 이내 지점에서 잎의 Pb 함량이 많은 것으로 보아 토양의 Pb 함량도 많았지만 공중으로 비산되는 미립자 상태의 Pb가 잎의 표면에 침하되어 잎 표면에서 흡수되었기 때문이라 생각되었다(Haygarth와 Jones, 1992; Warren과 Delavault, 1962). Lee와 Kim(1991)은 도로변 토양의 Pb를 화학적 결합 형태별로 분류하여 본 결과 토양에서의 이동과 식물의 흡수가 용이한 형태의 Pb 비율이 적다고 하였다. 또한 과수원은 보통 인산질 비료를 적정량 사용하기 때문에 토양의 Pb이 인산 이온과 결합하여  $Pb_3(PO_4)_2$ 의 형태로 침전되어(Kim 등, 1986) 뿌리에서의 흡수가 저해된다. 따라서 토양의 Pb 함량에 따라 식물체의 Pb 함량이 항상 일치할 수는 없을 것이라고 생각되었다.

도로변 배나무 잎의 Pb 최대 함량이 각각  $20.08mg \cdot kg^{-1}$ 이었는데, Yim(1998)은 충주지역 일반 과수원 사과나무 잎의 Pb 함량이  $18.6mg \cdot kg^{-1}$ 이라고 하여 본 시험에서 조사된 함량보다 약간 적었다. Yim(1998)이 조사한 일반 과수원 사과나무 잎과 본 시험의 배나무 잎의 Pb 함량을 단순 비교하여 오염의 여부를 단정할 수는 없는데 이는 과종이 다르기 때문이라고 생각되었다. 그러나 국도변 과수원 잎의 Pb 함량이 대조구보다 많은 것으로 보아 도로에서 유래된 Pb가 뿌리 또는 잎을 통하여 흡수되어 잎에 축적된 것으로 볼 수 있었다. 도로변 과수원 과실의 과피와 과육의 Pb 함량은 적고 과경에 축적된 양이 많은 것이 흥미로운데, 잎 또는 가지의 표면이나 토양에서 흡수된 Pb의 일부가 과실로 전류될 때 과경에서 과실로의 전류가 방해되는 어떤 시스템이 있다고 생각되었다.

Table 3. Tissue copper contents of pear trees as a function of distance from the national road.

Distance (m)	Copper contents (mg·kg <sup>-1</sup> DW)							
	Leaf	1 year old branch		2 years old branch		Fruit		
		Bark	Wood	Bark	Wood	Fruit stalk	Peel	Flesh
10	5.34 b <sup>z</sup>	5.55 b	3.94 a	6.29 a	3.86 a	8.20	4.43 c	3.74 c
20	7.02 a	6.43 a	3.54 b	5.59 b	3.94 a	11.30	5.52 bc	3.72 c
30	6.48 a	5.73 b	3.50 b	4.89 c	3.68 a	8.60	6.73 b	5.89 a
40	6.72 a	4.75 c	4.07 a	4.88 c	3.23 b	10.20	6.39 bc	5.22 b
BG <sup>y</sup>	4.90 b	2.75 d	2.33 c	3.08 d	2.34 c	5.87	9.47 a	5.93 a

<sup>z</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at  $P < 0.05$ .

<sup>y</sup>BG (background) sample was taken at 2 km away from the main road.

도로에서의 거리별 배나무 수체 및 과실 부위별 Cu 함량은 Table 3과 같다. 배나무 잎의 Cu 함량은 20-40m에서는 대조구보다 많았고 10m에서는 많은 경향을 보였다. 1년생 가지의 Cu 함량은 도로에서 10-40m의 거리는 대조구보다 많았지만 거리에 따른 일정한 경향을 찾을 수 없었다. 그러나 2년생 가지는 10-40m 지점이 대조구의 함량보다 많았고 거리가 가까울수록 많았다. 과실 과경의 Cu 함량은 대조구보다 도로변에서 많았으나 과피와 과육은 오히려 도로변에서 적었다. 본 조사에서의 국도변 배나무 잎의 Cu 최대 함량은 7.02mg·kg<sup>-1</sup>으로써 Yim(1998)이 조사한 일반 과수원 사과나무 잎의 Cu 함량 6.5mg·kg<sup>-1</sup>보다는 다소 많지만 우려할 만한 농도는 아니라고 생각되었다.

도로로부터 거리별 수체의 Zn 함량은 Table 4와 같다. 도로변 배나무 잎의 함량은 대조구보다 많았고 20m 지점의 것이 가장 많았다. 그러나 1년생 가지, 2년생 가지의 수피 및 과실은 도로변보다 대조구의 함량이 많았다. 도로변 토양의 Zn 함량(표 1)과 잎의 함량과는 서로 상관을 인정할 수 있었지만, 토양의 함량과 가지 또는 과실의 함량과 상관이 없는 원인은 정확히 판단할 수 없었다. 그러나 도로변 과수원과 대조구 과수원 토양은 Zn의 화학적 결합형태가 다르거나 토양조건이 달라 뿌리의 흡수량이 달랐고, 도로변 잎의 Zn 함량이 많은 것은 비산되는 Zn이 잎에서 흡수되었다고 생각되지만 추후 자세한 연구가 필요하다고 생각하였다. 본 연구의 배나무 잎 Zn 최대 함량(73.37mg·kg<sup>-1</sup>)은 Yim(1998)이 조사한 일반 과수원 사과나무 잎(121.00mg·kg<sup>-1</sup>)보다 낮아 도로변 배나무 잎의 Zn 오염 정도는 심각한 수준이 아니라고 판단되었다.



Table 4. Tissue zinc contents of pear trees as a function of distance from the national road.

Distance (m)	Zinc contents (mg·kg <sup>-1</sup> DW)							
	Leaf	1 year old branch		2 years old branch		Fruit		
		Bark	Wood	Bark	Wood	Fruit stalk	Peel	Flesh
10	30.80 b <sup>z</sup>	50.16 b	7.64 c	44.33 b	8.12 c	13.60	10.98 b	6.97 d
20	36.33 a	35.46 d	10.17 a	43.47 b	10.77 ab	17.50	8.35 c	10.36 b
30	32.20 b	36.80 d	8.76 b	37.01 c	10.90 ab	18.60	8.79 c	6.74 d
40	30.83 b	41.60 c	8.58 b	37.84 c	11.40 a	14.80	10.47 b	7.71 c
BG <sup>y</sup>	20.47 c	55.58 a	10.27 a	54.20 a	9.87 b	34.80	19.30 a	12.20 a

<sup>z</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at  $P < 0.05$ .

<sup>y</sup>BG (background) sample was taken at 2 km away from the main road.

배나무 수체 부위별 Cd 함량은 Table 5와 같다. 잎과 과실의 Cd 함량은 대조구보다 도로변에서 많았지만 40m까지 거리별 함량의 차이는 일정한 경향이 없었다. 도로변 토양의 Cd 함량은 대조구와 큰 차이를 보이지 않았기 때문에 배나무 수체의 함량도 부위에 따라 또는 거리에 따라 일정한 경향을 볼 수 없었다. 이와 같은 결과만을 보면 도로에서 Cd가 오염되었다고 단정할 수 없었다. 그러나 잎의 Cd 함량을 보면 대조구보다 도로변의 함량이 많아 도로에서 비산되어 잎에 침하 흡수된 것이라는 가정을 버릴 수가 없었다.

Table 5. Tissue cadmium contents of pear trees as a function of distance from the national road.

Distance (m)	Cadmium contents (mg·kg <sup>-1</sup> DW)							
	Leaf	1 year old branch		2 years old branch		Fruit		
		Bark	Wood	Bark	Wood	Fruit stalk	Peel	Flesh
10	1.43 b <sup>z</sup>	1.92 a	1.10 a	1.99 a	1.15 a	5.40	1.40 ab	1.34 a
20	1.68 a	1.63 c	1.16 a	1.64 bc	1.23 a	2.30	1.41 ab	1.17 ab
30	1.49 ab	1.53 d	1.15 a	1.44 c	1.13 a	2.20	1.30 b	1.22 ab
40	1.63 ab	1.54 d	1.21 a	1.45 c	1.22 a	3.40	1.60 a	0.99 b
BG <sup>y</sup>	1.10 c	1.84 b	1.20 a	1.84 ab	1.26 a	1.20	0.40 c	0.60 c

<sup>z</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at  $P < 0.05$ .

<sup>y</sup>BG (background) sample was taken at 2 km away from the main road.

#### IV. 인용문헌

- Byun, J.K., J.H. Yoo, C.S. Kim, J.H. Jeong, and B.L. Lee. 1999. Estimation of heavy metal concentrations by soil property of forest soils in Seoul. *FRI. J. For. Sci.* 61:97-101.
- Friberg, L. and N. Nelson. 1981. Introduction, general finding sand general recommandations. *Environ. Health Perspect.* 40:123-132.
- Garcia, R. and E. Millan. 1998. Assessment of Cd, Pb and Zn contamination in roadside soils and grasses from Gipuzkoa (Spain). *Chemosphere* 37:1615-1625.
- Haygarth, P.M. and K.C. Jones. 1992. Atmospheric deposition of metals to agricultural surface: In *biochemistry of trace metals*. Lewis Publishers, Chelsea.
- Kim, B.W. 1988. Survey on the heavy metal contents in paddy soil around highway. MS Diss., Yeungnam University.
- Kim, B.Y., K.S. Kim, and K.H. Han. 1986. Studies on uptake of lead by crops and reduction of it's damage. III. Effect of water management and lime application on Pb uptake in paddy rice. *J. Kor. Soc. Soil, Sci. Fert.* 19:291-296.
- Kim, B.Y., K.S. Kim, C.S. Lee, and S.H. Yoo. 1993. Survey on the natural heavy metal contents in fruits and orchard soils. *RDA. J. Agri. Sci.* 35(2):280-290.
- Kim, K.R., H.J. Ryu, J.B. Chung, and K.H. Kim. 2001. Investigation of soil contamination at major roadside in Seoul. 1. Manguroin Chungnanggu. *J. Kor. Soc. Agric. Chem. Biotechnol.* 44:103-108.
- Lee, J.H., G.H. Park, and Y.D. Jeoung. 1996. Relation between the pollution level of the atmosphere and that of the soil in the vicinity of roads. *Kor. J. Environ. Agric.* 15:494-500.
- Lee, S.J. and J.E. Kim. 1991. Pollution of Pb in paddy field soil and rice plants at roadside areas. II. A study of the relationship between the content of Pb in paddy field soil and rice plants. *Kor. J. Environ. Agr.* 10:138-148.
- Ministry of Environment. 1999. In Annual report of operation of soil contamination monitoring network in 1998. Ministry of Environment Republic of Korea, Seoul.
- Onianwa, P.C. 2001. Roadside topsoil concentrations lead and other heavy metal in Ibadan,

- Nigeria. Soil and Sediment Contamination 10:577-591.
- Othman, I., M. Al-Oudat, and M.S. Al-Masri. 1997. Lead levels in roadside soils and vegetation of Damascus city. Sci. Total Environ. 207:43-48.
- Page, A.L. and T.J. Ganje. 1970. Accumulations of lead in soils for regions of high and low motor vehicle traffic density. Environ. Sci. & Technol. 4:140-142.
- Rodriguez, M. and E. Rodriguez. 1982. Lead and cadmium levels in soil plants near highways and their correlation with traffic density. Environmental Pollution, Ser B 4:281-290.
- Warren, H.V. and P.R. Delavault. 1962. Lead in some food crops and trees. J. Sci. Food Agr. 13:96-98.
- Yim, Y.J. 1998. Comparison of mineral nutrient contents of soil and leaf as influenced by cultivation years in 'Fuji' apple orchards around Chungju Lake. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 39:442-445.
- Zupancic, N. 1999. Lead contamination in the roadside soils of Slovenia. Environ. Geochem. Health 21:37-50.