

## 장항제련소 지역의 토양과 수도체 중 Pb 함량의 변화에 관한 연구

김성조\* · 류택규\* · 이만상\* · 양창휴\*\* · 전경수\* · 백승화\*

### Variation of Lead Content in Paddy Rice and Soil of Janghang Smelter Area

Seong-Jo Kim\* , Taek-Kyu Ryu\*, Man-Sang Lee\*, Chang-Hyu Yang\*\*,  
Kyung-Soo Jeon\*, Seung-Hwa Beak\*

#### Abstract

To investigate differences in lead content in soils and paddy rices, affected by air pollutants from the Janghang Smelter, soil samples at the different directions, distances, and depths, surface(0–15cm depth) and subsurface(15–30cm depth) in 1982 and 1990, and rice plants at soil sampling sites in 1990 were separately collected at the Janghang Smelter area affected by combustible waste gas from the smelter chimney. Soil samples were extracted with 4M-HNO<sub>3</sub> and plant samples were digested with mixture of HNO<sub>3</sub> and HClO<sub>4</sub> for analyzing by atomic absorption spectrophotometry.

The Pb contents in soils ranged from 10.3 to 644.8mg kg<sup>-1</sup>. The average content in 1990 was higher than that in 1982. The Pb content in soils at sites nearer the center of the smelter was higher than that at sites farther from the center. The highest lead content was found at the east direction, and was low in order of east>north-north east>north east > north. The variation of Pb level in soils at east sites was more considerable than other directions. The Pb level in surface soils was higher than that in subsurface soils. The contaminated radius of Pb was until 3km all at east, north-north east and north east. A significant correlation was found between Pb content in surface soils of 1982 and that in surface soils of 1990, between Pb content in soils and contents of Cd and Zn in soils, and between Pb content in soils and soil properties as organic matter, available silicate, cation exchange capacity, exchangeable Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup> and Na<sup>+</sup>.

\* 원광대학교 농과대학  
College of Agriculture, Wonkwang University, Iri, 570–749, Korea

\*\* 호남작물시험장  
Honam Crop Experiment Station, RDA., Iri, 570–080, Korea

본 연구는 한국과학재단의 목적기초연구비 지원(KOSEF 90–0700–13)에 의하여 수행되었음.

Pb content in brown rice was low in the panicle axis, and brown rice, and Pb content in stem was 3.26 times of that in brown rice. Pb content in brown rice ranged from 2.2 to 9.0mg kg<sup>-1</sup>.

## 서 론

산업활동은 환경오염 물질인 중금속물질을 하천 및 대기중에 방출하게 되고, 이 밖에도 중금속 물질의 증가요인으로 농업용수의 관개<sup>1)</sup>, 농약과 비료의 사용<sup>2, 3)</sup>, 도시하수 sludge 및 산업폐기물의 농업자재로의 이용<sup>4)</sup>등을 들 수 있으며 이로 인하여 토양 중 이들 중금속 물질을 증가시키는 결과가 되고 있다<sup>5)</sup>.

Dean 등<sup>6)</sup>은 식물독성 또는 식품연쇄를 통한 환경을 오염시킬 수 있는 중금속 원소 10가지로 Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb 및 Zn등을 들고 있으며, Culbard등<sup>7)</sup>은 영국의 도시 분진 및 토양 중의 중금속 오염현상을 Pb, Cd, Cu, Zn을 중심으로 연구한 결과 미량의 중금속 물질에 장기간 노출되는 경우 토양중에 이들의 함량이 높아진다고 하였다. 한편 도시하수 및 산업배출수 중에도 이들 중금속 물질이 함유되어 있어서 이들을 농업용수로 관개하였을 경우 이와같은 그 함량이 높아진다<sup>8)</sup>. 실제로 도시하수 sludge중에는 이와같은 중금속물질들이 넓은 분포로 함유되어 있다<sup>9)</sup>. Neuman등<sup>10)</sup>은 Pb제련소 인근 토양 중의 Pb농도는 제련소에 가까울수록 높았고, 이 지역 소의 혈중 Pb농도 역시 제련소에 가까운 지역에서 방목된 경우에 더 높은 것으로 보고 하고 있다.

토양 중에서의 Pb이동성은 CEC, pH 및 가용성 인산의 함량과 관계가 있으며<sup>11)</sup>, 철과 함께 토양 중의 용해성 유기탄소량과 상관관계가 있고<sup>12)</sup>, 식물에 의한 Pb흡수작용의 경우 석회사용에 의해서 감소시킬 수 있는 것으로 알려져 있다<sup>13, 14)</sup>.

우리나라의 경우 토양 중 Pb함량을 오염원 별로 보고된 평균적 함량을 보면 공단하류 지역이 8.661ppm, 도로변은 9.881ppm, 금속제련지역은 14.229ppm이었음을 보고 하고 있다<sup>1)</sup>.

한편 토양표면의 퇴적물 중 중금속 물질의 농도 변화는 일반적으로 산업활동 또는 도시인근 지역의 대기형 오염원에 가까울 수록 높고, 이와 같은 오염원에서 먼 곳에서는 Ca, Mg, K, Na의 함량이 높다고 하였는데<sup>15, 16)</sup>, 이러한 현상은 화석연료의 사용에

따른 배기중에는 이들 중금속 물질이 함유되어 있어 대기이동과 함께 이동된 결과일 것이다<sup>17)</sup>. 따라서 함량증가의 정도는 차이가 있겠으나 점차로 대기오염형 특히 제련소 지역의 토양 중에 다른 중금속과 함께 Pb함량은 점차 증대될 가능성이 높다<sup>5)</sup>.

본 연구는 대기오염에 따른 토양 중 Pb의 함량변화 차이를 구명하기 위하여 대기형 오염물질 방출 지역으로 장항제련소 인근지역의 논 토양을 중심으로 표토와 심토로 구분하여 1982년도에 채취한 것과 1990년도에 채취한 토양시료를, 그리고 1990년에 토양시료 채취 지역에서 재배된 수도채 중 Pb 함량을 분석하여 변화요인을 추적 분석하기 위하여 수행된 것으로 그 결과를 보고하는 바이다.

## 재료 및 방법

### 1. 시료의 채취 및 조제

충청남도 서천군 장항읍에 위치한 장항제련소의 배기연돌을 중심으로 동, 동북, 북북동 및 북쪽 등 4개 방향에서 그림 1과 같이 1km간격으로 1982년

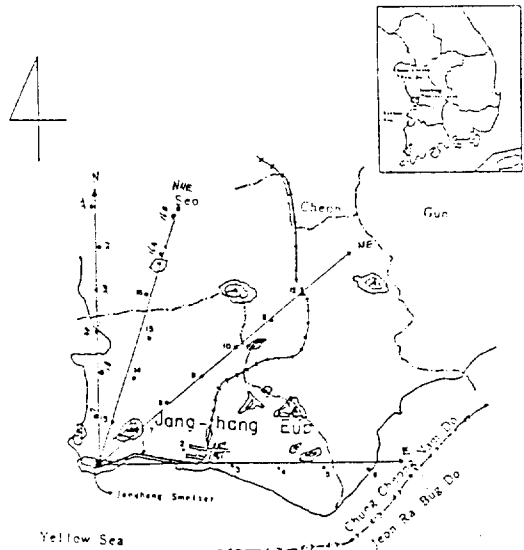


Fig. 1. Sampling sites at the Janghang Smelter area.

에는 16개 지점에서 4월 30일부터 2주간, 1990년에는 22개 지점에서 10월 6일부터 1주간에 걸쳐 층위별로 표토(0-15cm : A)와 심토(15-30cm : B)로 구분 채취하였으며 그늘진 곳에서 풍건 후 2mm체를 통과시켜 Polyethylene병에 보관하였다가 토양분석 시료로 하였다.

수도체 시료는 수확직전에 토양시료를 채취한 동일지점에서 1990년 10월 6일부터 1주간에 걸쳐 지상부위 수도체를 채취하였다. 다만 미작지가 아닌 그림 1의 1, 2, 3, 20 및 21 위치에서는 수도체의 시료채취가 불가능하였다. 수도체 시료는 음건한 상태를 50°C에서 2시간동안 재건조하여 엽초, 엽신, 줄기, 화서축, 왕겨는 20mesh, 현미는 60mesh에 통과되도록 분쇄한 것을 수도체 분석시료로 하였다.

## 2. 일반성분 분석 및 중금속분석

공시토양의 일반적 이화학적 성질로 점토함량, pH, 유기물함량, 유효인산함량, 유효규산, 염기치환용량(CEC) 및 치환성 양이온 등에 대하여 상법<sup>5)</sup>으로 분석을 행하였고, 토양 중의 총중금속 함량은 풍건세토 3.5g에 4M HNO<sub>3</sub> 20ml를 가하여 70°C에서 24시간 가열 환류추출하고 여기에 탈이온 증류수를 가하여 35ml로 정용 후 30분간 진탕시켜 여과한

여액을 원자흡광법(Model : Varian SpectrAA 30; Graphite furnace GTA-96)으로 분석하였다<sup>18)</sup>.

수도체 중 중금속함량은 엽초, 엽신, 줄기, 화서축, 왕겨 및 현미 각 0.2g에 진한 HNO<sub>3</sub> 2:진한 HClO<sub>4</sub> 1 부피의 비로 만든 혼액을 2ml가하고, 서서히 가온시켜 최종 분해온도를 70°C로 유지, 분해액의 색이 미색 또는 투명해지면 분해가 종료된 것으로 하여 60°C 수욕조에서 3시간 증탕 후 탈이온 증류수로 20ml되게 정용하고 그 여액을 원자흡광법(Model : Varian SpectrAA 30; Graphite furnace GTA-96)에 의하여 측정하였다<sup>19)</sup>.

## 3. 통계처리

분석되어진 모든 자료는 SYSTATS STATISTICS PACKAGE와 CRICKET GRAPH를 이용하여 상관관계를 구하였다.

## 결 과

### 1. 토양 중 Pb함량

1982 및 1990년에 채취한 토양을 표·심토 별로 나누어 물리화학적 성질을 분석한 결과는 표 1과 같다.

Table 1. Some physico-chemical properties of surface and subsurface soils at the Janghang Smelter area in 1982 and 1990.

Item of analysis	1982			1990			
	Range	Mean	Median	Range	Mean	Median	
Surface soil(0-15cm)							
Clay (%)	4.50 - 5.20	26.00	25.50	0.00 - 33.00	15.02	77.00	
pH	4.90 - 7.70	5.60	5.85	5.10 - 8.30	6.44	6.40	
Organic matter (%)	0.60 - 3.40	2.00	2.00	0.10 - 3.80	2.02	2.10	
Available P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (ppm)	10.00 - 148.81	148.81	142.50	5.00 - 466.00	114.76	66.00	
Available SiO <sub>2</sub> (ppm)	51.85 - 462.00	133.05	107.00	52.00 - 711.00	167.00	125.00	
C. E. C.(me/100g)	6.70 - 30.80	12.44	10.15	4.40 - 11.80	9.02	9.20	
Exchangeable Cation (me/100g)	K	0.08 - 1.17	0.31	0.26	0.11 - 0.51	0.25	0.25
	Ca	1.59 - 3.13	2.30	2.31	0.95 - 3.13	2.43	2.43
	Mg	0.49 - 3.88	2.02	1.83	0.63 - 3.85	1.56	1.33
	Na	0.10 - 21.70	3.21	0.73	0.02 - 1.42	0.37	0.20
Sub surface soil(15-30cm)							

Clay (%)		3.50 - 52.00	29.09	34.50	0.00 - 33.00	16.38	18.00
pH		4.80 - 8.60	6.28	6.00	3.90 - 8.00	6.14	6.00
Organic matter (%)		0.40 - 9.60	2.33	1.70	0.10 - 3.50	1.91	2.10
Available P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (ppm)		5.00 - 459.00	118.39	52.10	3.00 - 388.00	99.40	49.00
Available SiO <sub>2</sub> (ppm)		57.00 - 697.00	118.29	141.30	42.00 - 348.00	141.60	120.00
C. E. C.(me/100g)		4.20 - 16.00	9.22	9.35	0.90 - 11.00	6.47	6.60
Exchangeable Cation (me/100g)	K	0.08 - 0.95	0.27	0.18	0.13 - 0.73	0.31	0.30
	Ca	1.37 - 3.03	2.34	2.21	0.32 - 10.40	3.31	2.93
	Mg	0.37 - 3.83	2.25	2.48	0.26 - 3.92	1.24	1.06
	Na	0.07 - 5.30	0.92	0.46	0.01 - 0.79	0.13	0.06

Table 2. Lead contents in paddy soils with the different directions, soil depths and years in the Janghang Smelter affected area.

Directions	Soil depth (cm)	1982			1990		
		Range	Mean	Median	Range	Mean	Median
..... Pb(mg kg <sup>-1</sup> ) .....							
E	0-15	51.2-644.8	181.12	65.2	33.2-404.2	153.76	54.4
	15-30	31.4- 94.5	56.82	46.4	24.6-359.2	143.49	48.5
NE	0-15	38.8- 84.2	56.64	43.2	27.3-113.7	62.61	59.1
	15-30	20.7- 84.2	47.67	34.6	30.0-115.9	53.47	43.3
NNE	0-15	42.4-208.5	102.77	57.4	32.1-275.1	89.52	54.1
	15-30	24.5-106.9	53.60	29.4	32.4-282.3	86.28	51.9
N	0-15	-	-	-	10.3- 70.8	40.25	38.5
	15-30	-	-	-	11.3- 67.2	35.58	30.8

분석치의 평균치를 비교해 보면 시료채취 년도와 관계없이 심토에서 보다는 표토에서 유효 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 유효 SiO<sub>2</sub>, CEC, 치환성 Na<sup>+</sup>가 높았고, 점토와 pH는 표토보다는 심토에서 높았으며, OM 및 K<sup>+</sup>, Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>과 같은 치환성 양이온은 표·심토간 차이가 거의 없었다.

토양 중의 Pb함량을 년도, 방향 및 표·심토별로 분포범위, 평균 및 중앙값을 나타낸 것을 표 2와 같다.

토양 중 Pb함량은 제련소 동쪽 및 북북동쪽 지역에서 1982년도 시료 토양의 표토에서 다소 평균함량이 1990년도 시료 토양 중의 것 보다 많은 경우가 있으나 일반적으로 1990년도 시료 중

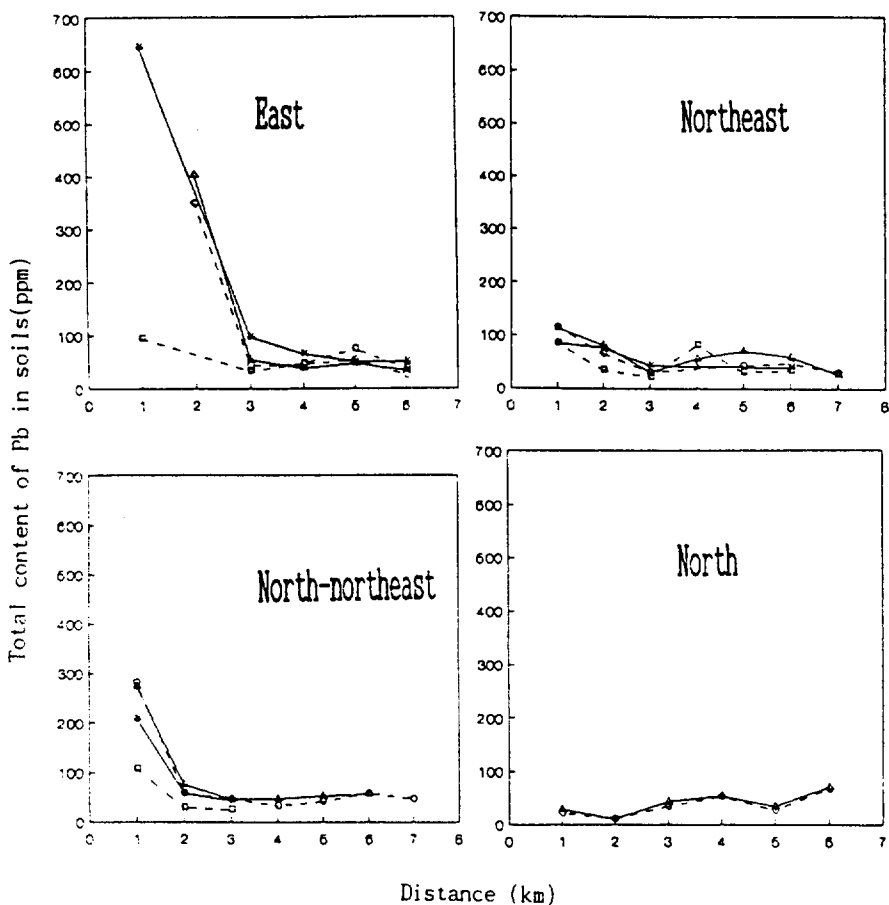
의 Pb함량이 더 높았고 특히 심토 중의 토양은 1990년도 시료가 모든 방향에서 더욱 높은 것으로 나타나고 있었다.

그림 2는 제련소 인근 토양 중 Pb함량의 변화를 배연연들을 중심으로 채취 년도를 달리하여 거리, 토심 및 방향별로 나타낸 것이다.

토양 중 Pb의 함량변화를 보면 제련소 배연을 중심으로 한 동쪽방향에서 그 함량이 가장 많고 거리별 변화량이 뚜렷하였다.

표 3은 토양 중의 Pb함량과 시료채취 년도별, 토양의 깊이에 따른 상관관계를 조사한 것이다.

1990년도 토양 중 Pb함량은 1982년도 시료 토양 중 Pb함량과 유의성 있는 상관관계를 보였으



82A : Surface soil(1-15 cm) in 1982  
 82B : subsurface soil(15-30 cm) in 1982  
 90A : Surface soil(1-15 cm) in 1990  
 90B : Subsurface soil(15-30 cm) in 1990

Fig. 2. Variation of lead content in soils with the different directions, soil depths and distances in the Janghang Smelter affected area in 1982 and 1990.

Heavy metal	Year	Soil depth (cm)	1982		1990	
			0-15	15-30	0-15	15-30(cm)
Pb	1982	0-15	1.000			
		15-30	0.451	1.000		
	1990	0-15	0.879**	0.285	1.000	
		15-30	0.896**	0.317	0.996**	1.000

\* :  $P < 0.05$ , \*\* :  $P < 0.01$

Table 3. Correlation coefficient( $r$ ) between lead content in soil with the different soil depths and years in the Janghang Smelter affected area.

**Table 4. Correlation coefficient(r) between lead contents in soils and soil properties in the Janghang Smelter affected area.**

Heavy metal	Year	Soil					Av-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Av-SiO <sub>2</sub>	CEC	Exchangeable cation			
		depth (cm)	Clay	pH	OM	Ca				Na	K	Mg	
Pb	1982	0-15	0.174	0.338	0.559**	0.365	0.826	0.772**	0.451*	0.795**	-0.042	0.462*	
		15-30	0.191	-0.195	-0.183	-0.359	-0.208	0.610**	-0.062	0.704**	-0.083	0.252	
	1990	0-15	0.065	0.108	0.145	0.286	0.033	-0.180	-0.180	-0.165	0.078	-0.039	
		15-30	-0.107	0.227	0.007	0.413	0.299	0.130	0.130	-0.173	0.092	0.093	

\* : P<0.05, \*\* : P<0.01

나, 1982년도 심토 중 Pb함량은 1990년도 Pb함량과 상관관계가 없었다.

**2. Pb의 토양 중 잔류와 토양 특성과의 관계**

토양의 몇가지 물리화학적 성질과 토양 중 Pb함량과의 상관관계를 나타낸 것은 표 4와 같다.

토양 특성과의 관계는 1982년도 표토 중의 Pb함량이 OM, CEC, 유효규산, 치환성 Ca<sup>++</sup>, Na<sup>+</sup> 및 Mg<sup>++</sup>, 등과 유의성 있는 상관관계를 나타내고 있으나, 1990년도 토양 중에서는 토양 특성과 상관관계를 인정할 수 없었다.

또한 토양 중에서 Pb함량과 다른 중금속과의 상관관계를 나타낸 것은 표 5이다.

토양 중 Pb함량과 Cd, Cu 및 Zn등과의 공존성에 미치는 상관관계를 보면 1982년도 표토 중 Cd, Cu, Zn 및 1990년도 표·심토중 Cd 및 Zn함량과 유의성 있는 상관관계를 보였다.

**Table 5. Correlation coefficient(r) between contents of heavy metals in soil with the year and with the soil depth at the Janghang Smelter affected area.**

Metal	Year	Soil depth (cm)	Heavy metals in soil		
			Cd	Zn	Cu
Pb	1982	0-15	0.951**	0.902**	0.624*
		15-30	0.523	0.650**	0.307
	1990	0-15	-0.909**	0.977**	0.408
		15-30	0.884**	0.984**	0.076

\* : P<0.05, \*\* : P<0.01

**3. 수도체 중 Pb함량**

1990년 수도체에 대하여 방향에 따른 부위별 Pb함량의 범위, 평균, 중앙 값을 나타낸 결과는 표 6과 같다.

수도체 부위별 Pb함량 축적은 토양 중 Pb함량이 많았던 동쪽 및 동북쪽의 염신과 염초 중에서 그 축적량이 많았는데, 화서축 중 현미층의 Pb함량은 이들 중의 함량이 많았을 경우도 오히려 평균적으로 감소된 경향을 보이고 있었다. 결과적

**Table 6. Lead contents with the directions in different parts of paddy rice grown on soils of the Janghang Smelter affected area in 1990.**

Directions	Parts of plant	Range	Mean	Median	Pb(mg kg <sup>-1</sup> )	
					Min	Max
E	Leaf blade	8.5-12.0	10.66(2.10)	11.50		
	Leaf sheath	9.5-12.5	10.83(2.13)	10.50		
	Stem	12.0-13.0	12.50(2.46)	12.50		
	Panicle axis	2.1- 5.2	3.66(0.72)	3.75		
	Rice bran	8.0- 9.4	8.53(1.68)	8.20		
NE	Brown rice	3.9- 5.6	5.08(1.00)	5.00		
	Leaf blade	9.5-16.5	13.00(2.35)	14.00		
	Leaf sheath	5.0-18.0	10.67(1.86)	10.50		
	Stem	5.5-11.0	8.36(1.46)	9.00		
	Panicle axis	3.0- 5.2	3.86(0.67)	3.35		
	Rice bran	7.0- 9.6	8.63(1.50)	8.80		
	Brown rice	3.5- 7.4	5.74(1.00)	6.14		

NNE	Leaf blade	6.8- 8.0	7.50(2.08)	7.50
	Leaf sheath	7.0- 9.3	8.27(2.30)	8.40
	Stem	9.0-16.0	11.75(3.26)	10.75
	Panicle axis	1.9-17.0	4.30(1.12)	4.25
	Rice bran	8.2-10.4	9.03(2.51)	8.80
	Brown rice	2.2- 5.0	3.60(1.00)	3.50
	N	Leaf blade	8.0-10.5	8.95(1.23)
Leaf sheath		13.0-14.5	13.75(1.90)	13.75
Stem		10.3-15.0	12.25(1.69)	11.85
Panicle axis		39- 5.8	4.98(0.69)	5.10
Rice bran		8.2-10.4	9.50(1.31)	9.70
Brown rice		6.3- 9.0	7.25(1.00)	6.85

으로 토양 중 Pb함량이 1990년도에 10.4-404.2 mg kg<sup>-1</sup>의 넓은 분포를 보였는데도 수도체 중 Pb 함량이 토양 중 농도 분포와는 관계가 적은 1.9-18.0mg kg<sup>-1</sup>의 분포를 보이고 있었다.

#### 4. 토양 중 중금속 함량과 수도체 중 Pb 함량과의 관계

토양 중 중금속 함량과 수도체에 흡수된 부위 별 Pb함량과의 상관관계를 조사한 결과는 표 7과 같다.

대기오염에 의한 토양 중 Pb함량과 수도체 부

위별 Pb함량간 유의성 있는 상관관계는 볼 수 없었다. 또한 토양에 함유된 다른 중금속 Cd, Zn, Cu의 존재도 수도체 부위 별 Pb함량과는 유의성 있는 상관관계가 없었다.

## 고 찰

### 1. 토양 중 Pb함량

서로 비교된 제련소 배연의 방향들에서 시간이 지남에 따라 토양 중 Pb함량이 증가되는 것으로 나타났고, 배연중심에 가까울 수록 토양 중 Pb함량이 높고 거리별 변화도 뚜렷하여 졌는데, 이는 Neuman<sup>10)</sup>등이 행한 납 제련소 주위의 토양 중 Pb함량이 제련소에 가까울 수록 높고 방향에 따라 함량이 달랐던 결과와 잘 일치하였으며, 결과적으로 이지역 토양 중 Pb함량이 제련소 배연에 영향을 많이 받은 것으로 나타났다.

이와 같은 현상은 화석연료의 연소결과 물질 중 Pb농도는 Bottom ash보다는 Fly ash중의 농도가 높다는 보고와도 잘 일치되고 있었다<sup>17)</sup>. 년도별 Pb의 함량 변화는 동쪽방향 3km 지점까지는 19

Table 7. Correlation coefficient(r) between lead contents in different parts of paddy rice grown and contents of heavy metal in soil of the Janghang Smelter affected area in 1990.

Heavy metals in Soil	Soil depth (cm)	Pb in parts of plant					
		LB	LS	ST	PA	RB	BR
Cd	0-15	-0.248	0.123	0.340	0.289	0.353	-0.070
	16-30	-0.071	-0.168	0.245	-0.132	0.109	-0.378
Zn	0-15	-0.280	-0.137	0.367	-0.017	-0.046	-0.063
	16-30	-0.271	-0.161	0.348	-0.055	-0.081	-0.082
Cu	0-15	-0.047	-0.065	0.267	0.016	0.024	-0.038
	16-30	-0.125	0.022	0.307	0.038	-0.029	-0.050
Pb	0-15	-0.174	0.067	0.424	0.085	0.001	-0.045
	16-30	-0.199	0.079	0.407	0.105	-0.009	-0.035

LB : leaf blade, LS : leaf sheath, ST : stem, PA : panicle axis, RB : rice bran, BR : brown rice

\* : P<0.05, \*\* : P<0.01

90년도 토양이 1982년도 토양 중의 것 보다 높았으나 그 이상의 거리에서는 큰차이를 보기 어려웠는데, 이는 대기중의 pb물질의 경우 비교적 지면에 낙하되기가 쉬운 때문인것으로 생각되었다<sup>10, 17)</sup>. 실제로 Grigal등<sup>16)</sup>은 산림토양 중 Cd 및 Pb함량이 인류 발생원에 가까운 곳에서 더욱 높았다고 하였다.

또한 대기 중에 오랜시간 동안 노출된 1990년도 토양 중에서 토심별 토양 중 Pb함량의 차이가 1982년도 보다 적었던 것은 Pb가 토양 중에서 시간이 지남에 따라 하층토로의 이동이 있었던 것으로 볼 수 있었고<sup>20)</sup>, 년도간 표토 중 Pb함량간에 상관관계가 있었던 것은 대기 중 Pb함량이 표토 층에 먼저 집적되는 오염 유형의 차이인 것으로 볼 수 있었다.

## 2. Pb의 토양 중 잔류와 토양특성과의 관계

Pb의 토양 중 잔류와 토양특성과의 관계는 1982년도 시료 표토 중의 Pb함량이 OM, CEC, 유효규산, 치환성  $Ca^{++}$ ,  $Na^{+}$  및  $Mg^{++}$ , 등과 상관관계를 나타내고 있고<sup>11, 12, 13, 14)</sup>, 1990년도 토양 시료 중에서는 토양특성과 상관관계를 인정할 수 없었던 것과는 달리, 토양 중에 존재하는 다른 중금속들과는 유의성 있는 상관관계를 나타내고 있었다. 이것은 이들 중 어느 한 중금속의 존재로 서로 다른 중금속들의 토양 중 존재와 제련소 배연 중의 성분조성등도 예측할 수 있을 것으로 생각되었다.

## 3. 수도체 중 Pb함량

수도체 부위별 Pb함량 축적은 토양 중 Pb함량이 많은 경우에도 토양으로 부터 Pb흡수량이 상대적으로 적었는데, 이는 배연 중에 함유되어 있는 것과 같은 대기 중 Pb의 형태가 토양 중에 유입 되었을 경우 식물이 흡수축적하기 어려운 상태였던 결과라 생각되었다.

## 4. 토양 중 중금속 함량과 수도체 중 Pb 함량과의 관계

대기오염에 의한 토양 중 Pb함량과 수도체 부

위별 Pb함량간 또는 상관성이 없었던 것은 광산 폐수에 의한 토양에 축적된 Pb와 콩과식물 중의 Pb함량과의 관계를 연구한 Taylor등<sup>21)</sup>의 연구에서 토양 중 형태별 Pb함량은 대두 중의 함량과는 상관성을 나타내고 있으나, cowpea 중의 Pb농도와는 상관성이 없었던 결과와 유사하게 이들간의 상관관계를 볼 수 없을 경우도 있었다.

## 요 약

대기오염에 따른 Pb의 함량변화 차이를 구명하기 위하여 대기형 오염물질 방출지역으로 장항제련소 인근지역의 논 토양을 표·심토로 구분하여 1982년도에 표토와 심토로 구분하여 채취한 것과 1990년도에 채취한 토양시료 및 1990년도의 토양시료채취 지역에서 재배된 수도체 시료중 Pb함량을 분석하여 그 변화요인을 추적 분석하였다.

제련소 인근지역의 토양 중 Pb함량은 10.3-644.8  $mg\ kg^{-1}$ 였고, 평균함량은 90년 토양이 82년도 토양보다 높았으며, 82년도 표토 중 Pb함량은 90년도 표토 중 Pb함량과 유의성 있는 상관관계를 나타냈다. 배연의 중심으로 부터 동쪽 방향이 거리별 Pb함량 변화가 뚜렷 하였고, 그 정도는 동쪽 > 북북동 > 북동 > 북쪽 순으로 작아졌다. 또한 배연에 의한 오염반경은 동쪽, 북북동 및 북동에서 3km 였다. 이 지역의 토양 중 Pb함량은 토양의 유기물함량, 유효규산, CEC, 치환성  $Ca^{+}$ ,  $Mg^{++}$ 과  $Na^{+}$  함량, 토양 중 Cd 및 Zn 함량과 유의한 상관관계를 나타내었고, 시료로 채취한 수도체의 부위에 따른 Pb함량 차이가 있었다. 현미중 Pb함량은 제련소 인근 지역의 경우 2.2-9.0  $mg\ kg^{-1}$ 이었다.

## 참고문헌

1. 유순호, 서윤수 (1990) : 우리나라 농업용수의 수질과 토양오염실태. 환경오염과 농업에 관한 국제 심포지엄 : 96-111.
2. 김동호, 임수길, 권오경 (1989) : 사과 과수원 토양과 그 잎 중의 중금속 함량과의 관계에 관한 연구. 한국환경농학회지. 8:1-6.
3. Rhoads, F. M., S. M. Olsen, and A. Manning



- (1989): Copper toxicity in tomato plants. *J. Environ. Qual.* 18: 195 ~197.
4. Kim, S.J., A.C. Chang, A.L. Page, and J.E. Warneke. 1988. Relative concentrations of cadmium and zinc in tissue of selected food plants grown on sludge-treated soils, *J. Environ. Qual.*, 17 : 568-573.
  5. 김성조, 양환승(1985) : 제련소인근지역의 토양 및 수도체 중 중금속 함량에 관한 조사연구. 한국토양비료학회지, 18:336-347.
  6. Dean, J.G., F.L. Bosqui, and K.H. Lanovette (1972): Removing heavy metals from wasted water, *Environ. Sci. Technol.*, 6 : 518-522.
  7. Culbard, E.B., I. Thornton, J. Watt, M. Wheatley, S. Moorcroft, and M. Thompson (1988) : Metal contamination in British urban dusts and soils, *J. Environ. Qual.*, 17 : 226-234.
  8. Elliott, H.A., B.A. Dempsey, and P.J. Maille (1990): Content and fractionation of heavy metals in water treatment sludges, *J. Environ. Qual.*, 19: 330-344
  9. Page, A.L.(1974): *Fate and effects of trace elements in sewage sludge when applied to agricultural lands.* EPA-670/2-74-005. USE-PA, Washington, DC.
  10. Neuman, D.R. and D.J. Dollhopf (1992) : Lead levels in blood from cattle residing near a lead smelter, *J. Environ. Qual.*, 21 : 181-184.
  11. Hassett, J.J.(1974) :Capacity of selected Illinois soils to remove lead from aqueous solution, *Comm. Soil Sci, Plant Anal.* 5:499-505.
  12. Driscoll, C.T., R.D. Fuller, and D.M. Simone. (1988): Longitudinal variations in trace metal concentrations in a northern forested ecosystem, *J. Environ. Qual.*, 17:101-107.
  13. Boon, D.Y. and P.N. Soltanpour(1992) :Lead, cadmium, and zinc contamination of aspen garden soils and vegetation, *J. Environ. Qual.*, 21:82-86.
  14. Cox, W.J., and D.W. Rains(1972): Effect of lime on lead uptake by five plant species, *J. Environ. Qual.*, 1:167-169.
  15. Friedland, A.J., A.H. Johnson, and T.G. Siccama(1986): Zinc, Cu, Ni and Cd in the forest floor in the Northeastern United States, *Water Air Soil Pollut.*, 29 : 233-243.
  16. Grigal, D.F. and L.F. Ohmann(1989) : Spatial Pattern in elemental concentrations of the forest est floor across the North Central USA, *J. Environ. Qual.*, 18 : 368-373.
  17. Eary, L.E., Dhanpat Rai, S.V. Mattigod, and C.C. Ainsworth(1990) : Geochemical factors controlling the mobilization of inorganic constituents from fossil fuel combustion residues : II. Review of the minor elements, *J. Environ. Qual.*, 19:202-214.
  18. Cao, H., A.C. Chang, and A.L. Page(1984) : Heavy metal contents of sludge-treated soils as determined by three extraction procedures, *J. Environ. Qual.*, 13:632-634.
  19. Ganje, T.J., and A.L. Page(1974) : Rapid acid dissolution of plant tissue for cadmium determination by atomic absorption spectrophotometry, *At. Absorpt. Newsl.*, 13:131-134.
  20. Levy, D.B., K.A. Barbarick, E.G. Siemer, and L.E. Sommers(1992): Distribution and partitioning of trace metals in contaminated soils near Leadville, Colorado, *J. Environ. Qual.*, 21: 185-195.
  21. Taylor, R. W., I.O. Ibeabuchi, K.R. Sistani, and J.W. Shuford(1992) : Accumulation of some metals by legumes and their extractability from acid mine spoils, *J. Environ. Qual.*, 21: 176-180.