

## 장항제련소 지역의 토양과 수도체중 Cd 및 Zn 함량의 변화

김성조 · 백승화

### Variation of Cadmium and Zinc Content in Paddy Soil and Rice from the Janghang Smelter Area

Seong-Jo Kim, Seung-Hwa Baek

#### Abstract

To investigate differences in Cd and Zn contents in paddy soils and rice plants polluted by aerial emissions from the Janghang smelter, soil samples in the different directions and at the surface (0–15cm) and subsurface(15–30cm) in 1982 and 1990, and rice plants at the corresponding sampling sites in 1990 were collected from the Janghang Smelter Area.

Soil samples were extracted with 4M-HNO<sub>3</sub> and plant samples were digested with a mixture of HNO<sub>3</sub> and HClO<sub>4</sub> for analyzing by atomic absorption spectrophotometry.

The Cd and Zn contents in soils ranged from 0.09 to 4.42 and from 16.0 to 959.5mg kg<sup>-1</sup>, respectively. The average contents of Cd and Zn in 1990 were higher than those in 1982. The Cd and Zn contents of soils near the center of the smelter were higher than those of soils farther from the center and also decreased in the order of east > north-north east > north east > north. The Cd and Zn levels in surface soils were higher than those in subsurface soils. The contaminated areas of Cd and Zn were within 4 km in the east, and within 3 km in the north-north east and the north east.

Metal contents in brown rice were the lowest in rice plants. The Cd content of brown rice was one sixth of that in leaf blade and in leaf sheath. The Cd content of leaf blade, stem and panicle axis were significantly correlated with the levels of Zn, Cu and Pb in soils, and Zn content of stem was significantly correlated with the levels of Cu and Pb.

The Cd and Zn content in brown rice ranged from 0.05 to 0.25mg kg<sup>-1</sup> and from 10.5 to 30.9mg kg<sup>-1</sup> in the smelter area, respectively.

---

—Department of Agricultural Chemistry, College of Agriculture, Wonkang University(Iri, 570-749, Korea)

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

## 서 론

산업 활동의 증대 및 도시화로 인한 인구집중 현상은 환경오염 물질인 중금속물질을 하천 및 대기 중에 증가시키는 원인이 되고 이 밖에도 중금속 물질의 증가요인으로는 농업용수의 관개<sup>1)</sup>, 농약과 비료의 사용<sup>2,3)</sup>, 도시하수 sludge 및 산업 폐기물의 농업자재로의 이용<sup>4)</sup> 등을 들 수 있으며 이들은 토양 중 중금속 물질을 증가시키는 원인이 되었다<sup>5)</sup>.

Dean 등<sup>6)</sup>은 식물독성 또는 식품연쇄를 통한 환경을 오염시킬 수 있는 원소 10 가지로 Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb 및 Zn 등을 들고 있으며, Culbard 등<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 이들의 함량이 토양중에서 높아진다고 하였다<sup>8)</sup>.

Chaney 등<sup>9)</sup>은 토양 pH 증가는 작물에 의한 Cd의 흡수축적을 현저히 감소시키게 한다고 하였고, Zn의 첨가는 대두의 잎 중 Cd 농도를 증가시키면서도 대두 중의 Cd 함량을 감소시키는 결과를 나타내고 있음을 보고하고 있다. 이와같이 토양 중의 Cd 및 Zn 함량은 토양 pH, CEC, 중금속물질간의 상호작용, 유기물질 함량등과 관계가 있음이 알려져 있다.

우리나라의 경우 아연광산 주변 논토양의 표토 중에는 최고치로 Cd이 14.67 ppm, Zn이 1,763 ppm의 함량을 나타낸 곳도 있음을 보고하고 있다<sup>1)</sup>.

한편 토양표면의 퇴적물중 중금속 물질의 농도변화는 산업활동 또는 도시 인근 지역의 대기형 오염원에 가까울수록 높았으며<sup>10)</sup>, 이러한 현상은 화석연료의 사용과 제련소 배기 중에는 이들 중금속 물질이 함유되어 있어 대기이동과 함께 이동된 결과 일 것이다<sup>11,12)</sup>. 따라서 함량증가의 정도 차이는 있겠으나 점차로 대기오염형 특히 제련소 지역의 토양에서의 중금속 물질이 점차 증대될 가능성이 높다<sup>3)</sup>.

본 연구는 대기오염에 따른 토양 중 Cd 및 Zn의 함량변화 차이를 구명하기 위하여 대기형 오염물질의 방출 가능 지역으로 선정된 장항제련소 인근의

논토양을 중심으로 표토와 심토로 구분하여 1982년도에 채취한 것과 1990년도에 채취한 토양시료와 1990년에 토양시료 채취지역에서 재배된 수도채 중의 Cd 및 Zn 함량을 분석하여 변화요인을 추적하기 위하여 수행된 결과이다.

## 재 료 및 방 법

### 1. 시료의 채취 및 조제

충청남도 서천군 장항읍에 위치한 장항제련소의 배기연돌을 중심으로 동, 동북, 북북동 및 북쪽 등 4개 방향에서 전보<sup>13)</sup>의 그림 1과 같이 1km 간격으로 1982년에는 16개 지점에서 4월 30일부터 2주간, 1990년에는 22개 지점에서 10월 6일부터 1주간에 걸쳐 층위별로 표토(0-15 cm : A)와 심토(15-30 cm : B)로 구분 채취하였으며 그늘진 곳에서 풍건 후 2mm체에 통과시켜 polyethylene병에 보관하여 토양분석 시료로 하였다. 1982 및 1990년에 채취한 토양을 표·심토 별로 나누어 물리화학적 성질을 분석한 결과는 전보<sup>13)</sup>의 표 1과 같다.

수도채 시료는 수확직전에 토양시료를 채취한 동일지점에서 1990년 10월 6일부터 1주간에 걸쳐 지상부위 수도채를 채취하였다. 다만 미작지가 아닌 곳에서는 채취가 불가능 하였다. 수도채 시료는 음건한 상태를 50°C에서 2시간 동안 재건조하여 엽초, 엽신, 줄기, 화서축, 왕겨는 20 mesh, 현미는 60 mesh로 분쇄하여 분석하였다.

### 2. 중금속분석

공시토양의 총중금속 함량은 풍건세토 3.5g에 4M HNO<sub>3</sub> 20ml를 가하여 70°C에서 24시간 가열 환류 추출하고 여기에 탈이온 증류수를 가하여 35ml로 정용 후 30분간 진탕시켜 여과한 여액을 원자흡광분광광도계(Model: Varian SpectrAA 30; Graphite furnace GTA-96)로 분석하였다<sup>14)</sup>.

수도채 중 중금속함량은 엽초, 엽신, 줄기, 화서축, 왕겨 및 현미 각 0.2g에 진한 HNO<sub>3</sub> : 진한 HClO<sub>4</sub> (v/v, 2 : 1) 부피의 비로 만든 혼합액을 2ml 가하고,

서서히 가온시켜 최종 분해온도를 70°C로 유지, 분해액의 색이 미색 또는 투명해지면 분해가 종료된 것으로 하여 60°C 수욕조에서 3시간 증탕 후 탈이온 증류수로 20ml로 정용하고 그 여액을 원자흡광분광광도계(Model: Varian SpectrAA 30; Graphite furnace GTA-96)로 분석하였다<sup>15)</sup>.

## 결 과

### 1. 토양 중 Cd 및 Zn 함량

토양 중의 Cd 및 Zn 함량을 년도, 방향 및 표·심토 별로 범위, 평균 값을 나타낸 것은 표 1과 같다.

제련소 동쪽 방향의 표토에서 '90년의 경우 예외적으로 '82년 보다 낮았으나 다른 방향들은 1990년도 토양 중의 Cd 함량이 1982년도 토양 중의 Cd

함량 보다 높았으며 Zn의 경우도 Cd와 유사하였다. 토심별로는 1982년 표토의 Cd 함량이 북동쪽의 경우를 제외하고 심토 보다 높은 반면, 1990년도 토양에서는 북쪽방향을 제외하고는 오히려 심토층에서 다소 높은 경향을 볼 수 있었고 Zn 함량의 경우 1982년도 및 1990년도 토양 모두에서 예외적으로 1982년도 북동쪽 심토에서 높았을 뿐 그외의 모든 방향에서 표토중 Zn 함량이 높았다.

그림 1과 2는 제련소 인근 토양 중 Cd 및 Zn 함량의 변화를 배연연들을 중심으로 채취 년도를 달리하여 거리, 토심 및 방향별로 나타낸 것이다.

제련소를 중심으로 한 방향별 Cd의 함량변화를 보면 동쪽 방향(E)지역에서 Cd 함량 증가가 뚜렷하였고, 다음이 북북동(NNE)이었다. 전체적인 Cd 함량변화를 보면 제련소 배연중심에 가까울 수록 Cd 함량이 많고 표·심토간의 차이에서도 주로 표토에

Table 1. Contents of Cd and Zn in soils with the directions, with the soil depths and and with the years at the Janghang Smelter area in 1982 and 1990.

Directions	Soil depth (cm)	1982		1990	
		Range	Mean	Range	Mean
..... Cd (mg kg <sup>-1</sup> ) .....					
E	0-15	0.54-4.42	1.39	0.67-2.14	1.14
	15-30	0.54-1.05	0.77	0.52-2.20	1.21
NE	0-15	0.45-0.72	0.60	0.56-1.02	0.85
	15-30	0.40-0.95	0.64	0.73-1.30	1.04
NNE	0-15	0.58-0.90	0.69	0.59-1.80	0.95
	15-30	0.21-0.63	0.45	0.74-2.54	1.20
N	0-15	-	-	0.20-1.22	0.65
	15-30	-	-	0.09-1.13	0.58
..... Zn (mg kg <sup>-1</sup> ) .....					
E	0-15	73.7-959.5	255.0	62.8-767.6	232.4
	15-30	50.9-134.2	92.7	64.6-474.7	185.7
NE	0-15	43.5-123.5	70.0	48.8- 84.4	66.2
	15-30	42.4-252.5	84.9	52.9- 86.2	66.3
NNE	0-15	49.4- 67.5	57.0	49.4-818.1	191.0
	15-30	21.6- 64.3	42.8	49.9-646.4	158.4
N	0-15	-	-	14.4- 72.9	65.5
	15-30	-	-	16.0- 59.5	55.2

서 더 많은 함량을 나타내고 있었다. 토양 중 Zn 함량 또한 그 변화양상이 Cd의 변화와 유사하였으며 특히 제련소 동쪽방향 토양 중의 Cd 및 Zn 함량이 배연연들로 부터 멀 수록 감소하는 변화가 뚜렷하였다.

표 2는 토양 중의 Cd 및 Zn 함량과 시료채취

년도별, 토양의 깊이에 따른 상관관계를 조사한 것이다.

토양 중 Cd 함량은 표토에서 1982년도와 1990년도 사이에 유의성 있는 상관을 나타내고, Zn은 1990년도 표·심토간에 유의성있는 상관관계를 나타내었다.

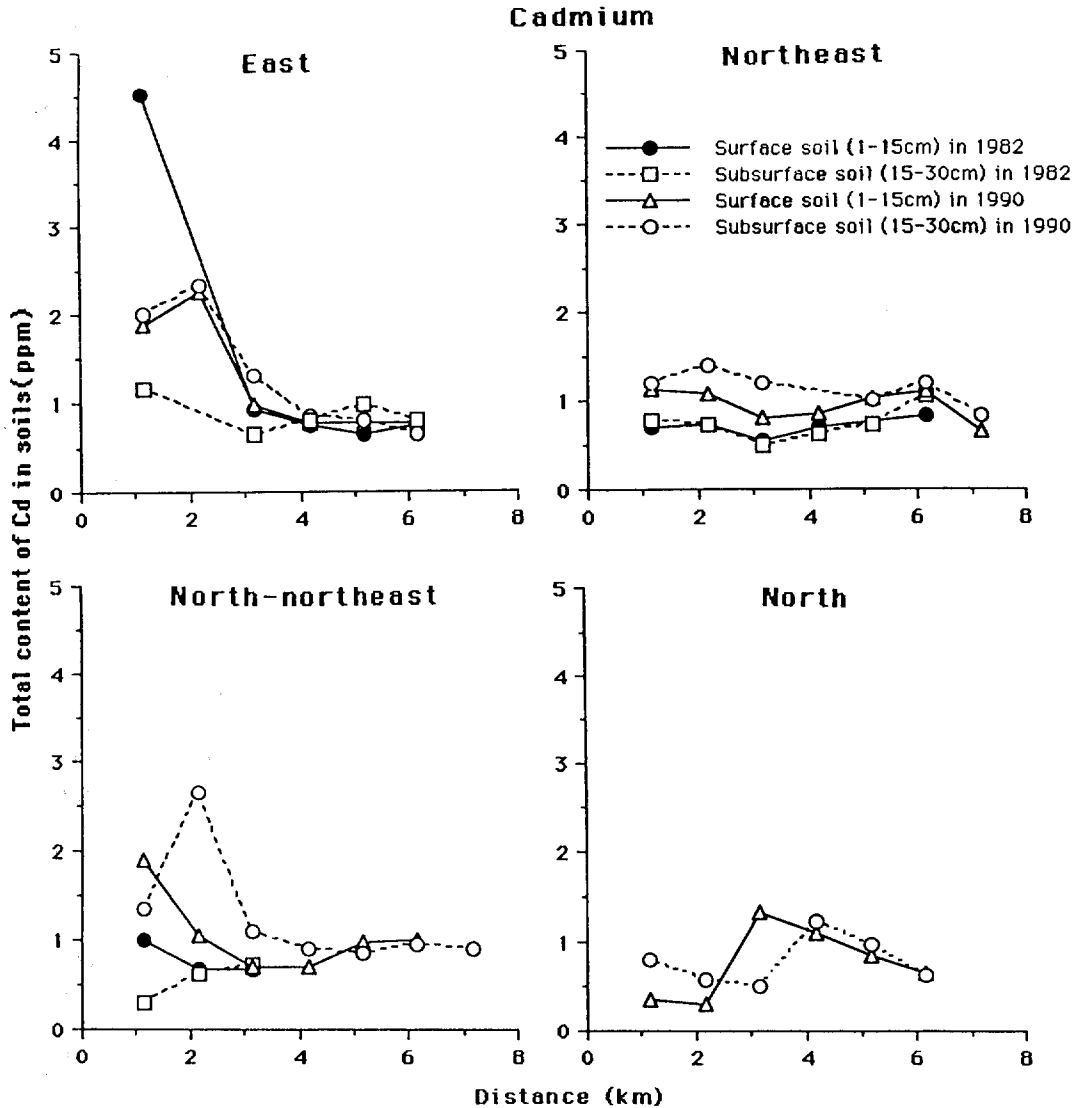


Fig. 1. Variations of cadmium contents in soils with the different directions, soil depths and distances in the Janghang Smelter affected area in 1982 and 1990.

## 2. Cd 및 Zn의 토양 중 잔류와 토양특성과의 관계

토양의 몇가지 물리화학적 성질과 토양 중 Cd 및 Zn 함량과의 상관관계를 나타낸 것은 표 3과 같다.

Cd 및 Zn의 토양 잔류에 영향을 주는 인자가 1982년도 표토 중에서 유기물, 유효인산 함량, CEC,

치환성  $Ca^{++}$ 과  $Na^+$  만이 유의성 있는 상관관계를 나타내고 있으나 1982년도 심토와 1990년도 표·심토에서는 유의성 있는 상관관계를 볼 수가 없었다.

또한 토양 중에서 Cd 및 Zn 존재량과 다른 중금속과의 상관관계를 나타낸 것은 표 4이다.

토양 중 Cd 함량과 다른 중금속과의 상관관계를

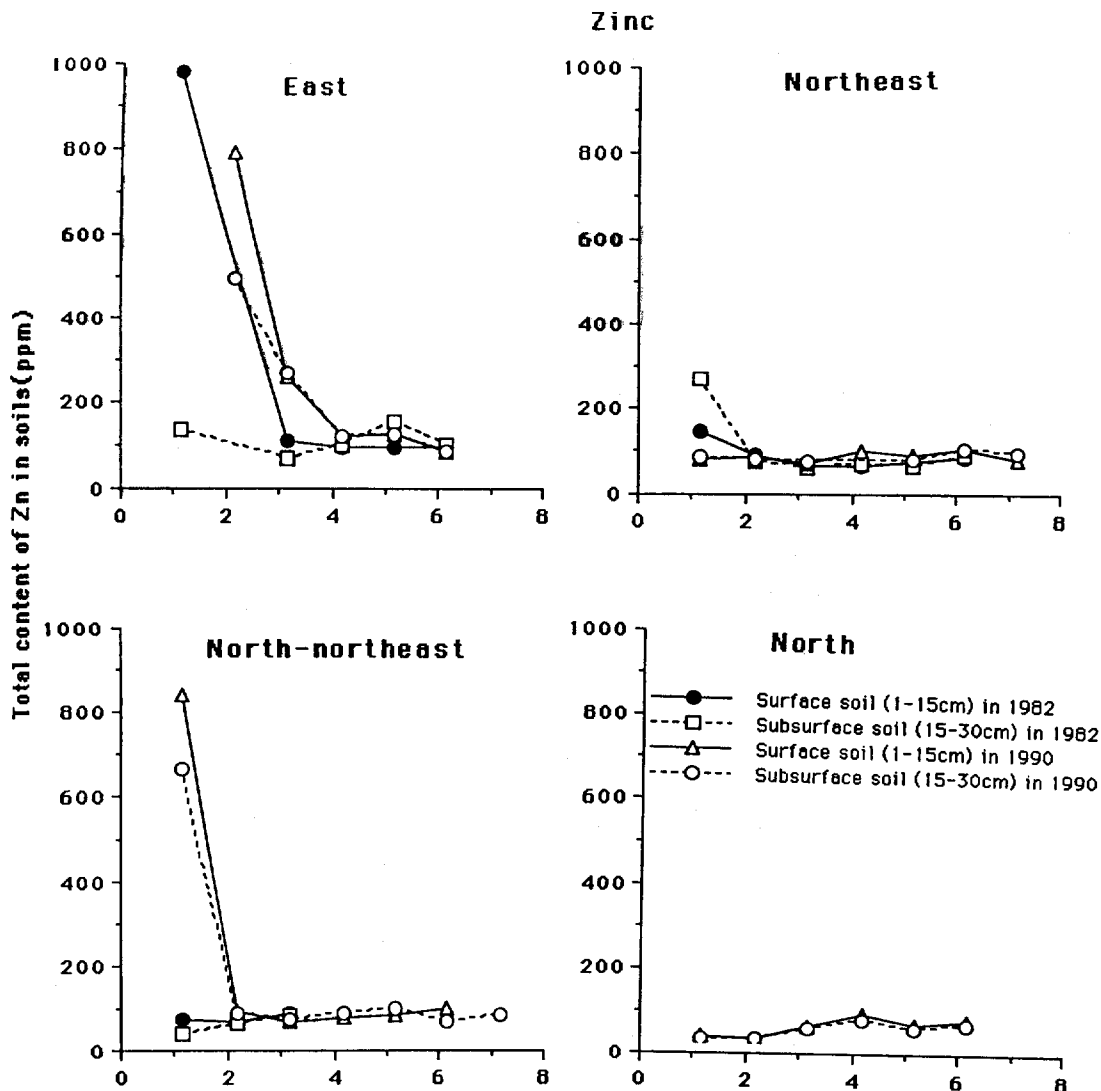


Fig. 2. Variations of zinc contents in soils with the different directions, soil depths and distances in the Janghang Smelter affected area in 1982 and 1990.

보편 대기형의 특징이 표층토의 Cd 함량이 많으면 토양 중에 Cu, Zn, Pb 등의 함량이 많이 존재하는 고도의 유의성이 있는 상관관계를 나타내고 있으나 심토에서는 이와 같은 현상을 볼 수 없는 특징을 보였다. Zn의 경우는 표토에서의 Cd 및 표심토에서의 Cu, Pb 함량과 고도의 유의성 있는 상관 관계를 나타내고 있어 Cd의 경우와 약간 달랐다.

**Table 2. Correlation coefficient(r) between contents of Cd and Zn in soils with the different soil depths and years in the Janghang Smelter affected area.**

Heavy metal	Year	Soil depth (cm)	1982		1990
			0-15	15-30	0-15
Cd	1982	0-15	-		
		15-30	0.515	-	
	1990	0-15	0.603*	0.391	-
		15-30	0.497	0.203	0.511
Zn	1982	0-15	-		
		15-30	0.241	-	
	1992	0-15	-0.056	-0.211	
		15-30	-0.043	-0.213	0.996**

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

**Table 3. Correlation coefficient(r) between contents of Cd and Zn in soils and soil properties in the Janghang Smelter affected area.**

Heavy metal	Year	Soil depth (cm)	OM <sup>a</sup>	Ap <sup>b</sup>	CEC <sup>d</sup>	Exchangeable cation			
						Ca	Na	K	Mg
Cd	1982	0-15	0.522**	0.799**	0.892**	0.492*	0.829**	-0.056	0.470
		15-30	-0.402	0.294	0.008	-0.026	0.589*	-0.103	0.055
	1990	0-15	0.193	0.028	-0.057	0.204	-0.357	0.136	-0.041
		15-30	0.150	0.329	0.176	0.194	-0.099	0.121	0.513
Zn	1982	0-15	0.500*	0.779**	0.895**	0.510*	0.822**	-0.024	0.434
		15-30	0.036	0.387	0.008	-0.060	0.473	0.092	0.343
	1990	0-15	0.146	-0.148	0.028	0.161	-0.084	0.154	0.056
		15-30	0.164	0.169	-0.008	-0.156	0.062	0.133	0.229

a : Organic Matter(%), b : Available phosphate(ppm), c : CEC(me/100g)

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

### 3. 수도체 중 Cd 및 Zn 함량

1990년도 수도체에 대하여 방향에 따른 부위별 Cd 및 Zn 함량의 범위, 평균을 나타낸 결과는 표 5와 같다.

식물체의 부위별 함량이 가장 많은 부위는 동쪽 방향의 경우를 제외하고는 엽신에서 가장 많았고, 현미 중의 Cd농도가 평균 최고치 0.18ppm으로 현미에로의 흡수 이동성이 낮은 편이었다. 이것은 대기오염형에 의한 Cd가 식물의 전체적인 흡수는 상당히 많은 편이나 현미에로의 이동이 작은 것으로 나타났다. 실제로 엽초 중의 Cd 함량은 현미 중의 것보다 거의 7배에 해당하고 있었다. Zn의 경우는 수도체별 흡수량이 토양 중의 함량과 비례적으로 차이가 나지 않았고, 양적분포가 10.1에서 78.4mg kg<sup>-1</sup>의 범위였다.

### 4. 토양 중 중금속 함량과 수도체 중 Cd 및 Zn 함량과의 관계

토양 중 중금속함량과 수도체에 흡수된 부위별 Cd 및 Zn 함량과의 상관관계를 조사한 결과는 표 6과 같다.

대기에 의한 토양 중 Cd 함량 증가는 엽신, 줄기 및 화서축 중의 Cd와 상관관계가 나타나고 있으나

Table 4. Correlation coefficient(r) between contents of heavy metals in soils 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
Cd	1982	0-15	-	0.996**	0.926**	0.963**
		15-30	-	0.379	0.395	0.523
	1990	0-15	-	0.833**	0.877**	0.880**
		15-30	-	0.202	0.037	0.061
Zn	1982	0-15	0.996**	0.930**	0.961**	
		15-30	0.379	-	0.938**	0.650*
	1990	0-15	0.833**	-	0.887**	0.929**
		15-30	0.202	-	0.814**	0.896**

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

Table 5. Cd and Zn 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	Cd		Zn	
		Range	Mean	Range	Mean
..... (mg kg <sup>-1</sup> ) .....					
E	Leaf blade	0.20-0.30	0.23(1.53)*	16.8-40.4	26.93(1.95)
	Leaf sheath	0.40-0.60	0.50(3.33)	26.0-35.9	30.46(2.20)
	Stem	0.30-0.60	0.43(2.87)	24.7-30.5	27.23(1.97)
	Panicle axis	0.30-0.45	0.38(2.53)	10.6-27.1	16.36(1.18)
	Rice bran	0.15-0.30	0.22(1.47)	12.6-28.8	18.36(1.33)
	Brown rice	0.10-0.20	0.15(1.00)	10.5-16.5	13.83(1.00)
	NE	Leaf blade	0.60-1.00	0.73(6.08)	32.5-52.7
Leaf sheath		0.50-0.85	0.69(5.75)	17.6-35.1	22.84(1.21)
Stem		0.25-0.80	0.48(4.00)	19.3-32.8	22.69(1.21)
Panicle axis		0.20-0.40	0.34(2.83)	18.9-27.3	22.71(1.21)
Rice bran		0.10-0.40	0.26(2.17)	10.1-21.5	14.51(0.77)
Brown rice		0.05-0.20	0.12(1.00)	13.8-21.0	18.81(1.00)
NNE		Leaf blade	0.65-2.40	1.16(6.44)	30.3-78.4
	Leaf sheath	0.40-0.80	0.62(3.44)	17.5-26.8	21.25(0.87)
	Stem	0.60-1.20	0.82(4.56)	18.8-32.9	24.42(0.99)
	Panicle axis	0.30-0.90	0.51(2.83)	17.9-32.8	22.15(0.90)
	Rice bran	0.20-0.40	0.25(1.39)	18.8-30.7	23.62(0.96)
	Brown rice	0.10-0.25	0.18(1.00)	19.9-30.9	24.55(1.00)
	N	Leaf blade	0.40-1.00	0.69(6.90)	22.0-38.9
Leaf sheath		0.30-0.80	0.55(5.50)	19.3-29.3	25.28(1.05)
Stem		0.30-0.70	0.53(5.30)	19.8-23.0	21.00(0.87)
Panicle axis		0.20-0.40	0.31(3.10)	25.0-34.0	29.00(1.21)
Rice bran		0.20-0.35	0.25(2.50)	23.2-33.4	26.58(1.11)
Brown rice		0.05-0.15	0.10(1.00)	20.5-26.7	24.05(1.00)

( ) \* : Values in parenthesis indicate the relative value based on Cd, Zn contents in brown rice.

현미 중 함량은 토양 중 Cd 함량과는 유의한 상관관계를 나타내지 않았다. Zn의 경우는 토양 중 함량이 엽신 및 현미중의 함량 증대에 영향을 미치는 상관관계를 나타내고 있었다.

## 고 찰

### 1. 토양 중 Cd 및 Zn 함량

1990년도 시료 토양이 1982년도 시료 토양보다 제련소 주위의 토양 중에서 Cd 및 Zn 함량이 보다 높아지고 있음은 배연과 함께 계속적으로 이들 중금속들이 방출되고 있음을 나타내었다. 이는 1990년도 Cd에서는 다소의 예외는 있었으나, 전체적으로 Cd 및 Zn 함량의 토층간의 분포가 Levy등<sup>10)</sup>의 결과와 유사하게 표층토에 분포가 많았다. 또한 제련

소 배연에 의한 토양 중의 함량증가는 Cd 보다 Zn의 함량이 월등히 많았는데 이는 제련소의 제련과정에서 Zn의 함량이 Cd의 함량보다 월등히 많았던 것이 원인이 되었다고 볼 수 있었다<sup>7,12)</sup>. 제련소 배연 중에 Cd 및 Zn이 함유되어 토양 중의 이들 함량을 높일 수 있을 가능성에 대하여는 Fly ash중의 Cd 및 Zn농도가 Bottom Ash중의 농도보다 높은 것으로 보고하고 있는 Eary 등<sup>12)</sup>의 결과에서 알수 있었는데 이와 같이 제련과정에서 생긴 배연 중에는 이들 중금속들이 존재하여 토양오염이 생길 수 있을 것이다.

배연의 방향별 1982년도와 1990년도의 Cd 함량 변화를 보면 1990년도의 Cd 함량의 모든 방향의 토양에서 토심의 깊이와 관계없이 많아지고 있고, 토양 중 Cd 및 Zn 함량이 동쪽 방향에서 많았던

Table 6. Correlation coefficient(r) between contents of Cd and Zn in different parts of paddy rice grown on soil heavy metal contents in soils and of the Janghang Smelter affected area in 1990.

Heavy metal in soil	Soil depth (cm)	Heavy metal cotents in parts of plant					
		leaf blade	leaf sheath	stem	panicle axis	rice bran	brown rice
..... Cd .....							
Cd	0-15	0.752**	-0.205	0.433	0.472*	-0.211	-0.113
	16-30	0.314	-0.203	0.492*	0.144	-0.104	0.325
Zn	0-15	0.824**	0.001	0.617**	0.756**	0.131	0.057
	16-30	0.827**	-0.010	0.621**	0.770**	0.144	0.097
Cu	0-15	0.792**	-0.070	0.529*	0.621**	-0.054	-0.040
	16-30	0.828**	-0.018	0.651**	0.648**	0.030	-0.011
Pb	0-15	0.816**	0.093	0.720**	0.668**	0.122	-0.027
	16-30	0.818**	0.106	0.726**	0.675**	0.157	-0.023
..... Zn .....							
Cd	0-15	0.467*	0.262	0.365	0.434	0.423	0.332
	16-30	0.522*	-0.151	-0.119	-0.073	-0.055	-0.109
Zn	0-15	0.645*	0.184	0.425	0.423	0.380	0.546*
	16-30	0.663**	0.179	0.428	0.396	0.354	0.521*
Cu	0-15	0.648**	0.250	0.470*	0.379	0.270	0.304
	16-30	0.653**	0.343	0.551*	0.380	0.337	0.400
Pb	0-15	0.623**	0.303	0.521*	0.393	0.377	0.470*
	16-30	0.595**	0.325	0.537*	0.393	0.387	0.517*

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



것은 제련소가 서해안에 위치하고 있고, 우리나라의 기후 중 편서풍의 영향을 많이 받은 결과라 생각되었다<sup>10)</sup>. 이와 같이 제련소 배연이 계속 될 동안은 토양 중의 Cd 및 Zn 함량의 증가가 있을 것으로 볼 수 있었는데 이는 Grigal 등<sup>11)</sup>이 산림토양 중의 중금속 함량이 인간활동의 근원에 가까운 쪽에서 그 함량이 더 많았다는 대기오염에 의한 토양오염과 유사하였다.

## 2. Cd 및 Zn의 토양 중 잔류와 토양 특성과의 관계

각 금속별로 토양잔류에 미치는 토양특성 인자는 Cd와 Zn 모두 1982년 표토층에서 OM, 유효인산함량, CEC, 치환성  $Ca^{++}$ 과  $Na^+$ 과 유의성 있는 상관관계를 나타내고 있는데, 그중 OM, CEC, 유효인산 등은 대기중 오염물질이 낙하되었을 때 반응이 일어나 Cd 및 Zn의 함량이 높아질 수 있을 것으로 생각되며 이는 대기형 오염물질이 시간과 종류에 따라 집적양상이 달라진 결과와 유사하였다<sup>17)</sup>. 또한, 토양 중 중금속함량 상호간의 상관관계를 보면 대부분 유의성 있는 상관관계를 보이고 있었는데, 이는 양적인 차이를 인정하면서도 이들 중 어느 한 중금속의 토양중 오염은 다른 중금속이 같이 혼합되어 오염되고 있음을 보여주는 결과였다.

## 3. 수도체 중 Cd 및 Zn 함량

식물체의 부위별 함량이 가장 많은 부위는 동쪽 방향의 경우를 제외하고는 엽신에서 가장 많았고, 현미 중의 Cd 농도가 평균 최고치  $0.18mg\ kg^{-1}$ 으로 현미에로의 흡수 이동성이 낮은 편이었다. 이것은 대기오염형에 의한 Cd가 식물의 전체적인 흡수는 상당히 많은 편이나 현미에로의 이동이 적은 것으로 나타났다. 실제로 엽초 중의 Cd함량은 현미중의 것보다 거의 7배에 해당하고 있었다. 그러나 Zn의 경우는 수도체별 흡수량이 토양 중의 함량과 비례적으로 차이가 나지 않아 평균적 양적분포가 13.83에서  $53.01mg\ kg^{-1}$ 의 범위였다.

## 4. 토양 중 중금속 함량과 수도체 중 Cd 및 Zn 함량과의 관계

대기에 의한 토양 중 Cd 함량 증가는 엽신, 줄기 및 화서축 중의 Cd와 상관관계가 나타나고 있으나 현미중 함량은 토양 중 Cd 함량과는 유의한 상관관계를 나타내지 않았다. Zn의 경우는 토양 중 함량이 엽신 및 현미 중의 함량 증가에 영향을 미치는 상관관계를 나타내고 있었다. 이는 대기중에 토양 중 Zn 함량에 영향을 미치는 Zn 농도가 높았음을 나타냈다<sup>18)</sup>.

## 요 약

대기오염에 따른 토양 및 식물체중의 Cd 및 Zn의 함량변화 차이를 구명하기 위하여 대기형 오염물질 방출지역으로 장항제련소 인근지역의 영향을 받는 논토양을 중심으로 1982년도, 1990년도에 표토와 심토로 구분 채취한 토양시료를 그리고 1990년도의 토양 채취지역에서 재배된 수도체 시료 중 Cd 및 Zn 함량을 분석하여 그 변화를 분석하였다.

제련소 인근지역의 토양 중 이들 중금속의 분포는 Cd이  $0.09-4.42$ , Zn이  $16.0-959.5mg\ kg^{-1}$ 이었으며 평균함량이 1982년도 보다 1990년도에 더 많아지고 있었고 Cd의 경우 년도간에 유의한 상관성이 나타나고 있었다. 배연중심으로부터 동쪽방향인 거리가 멀어짐에 따라 Cd 및 Zn의 함량이 감소하는 변화가 뚜렷하였고, 방향별 토양 중 Cd 및 Zn의 함량은 배연으로부터 동쪽>북북동쪽>북동쪽>북쪽 순으로 작아지고 있었다. 오염반경은 동쪽이 4km, 북북동, 북동쪽의 경우는 3km로 볼 수 있었고, 표토 중 Cd 및 Zn의 함량이 심토 보다 많았다. 또한 이 지역의 1982년 토양 중의 Cd 및 Zn의 함량은 이들 금속의 상호간에, 이들 금속과 토양 중 Cu 및 Pb 함량과 그리고 토양의 유기물함량, 유효인산, CEC, 치환성  $Ca^{++}$ 과  $Na^+$  함량과 유의성 있는 상관관계를 나타내었다. 수도체의 경우 부위별 Cd 함량은 현미중의 함량이 가장 낮았으며, 이 양은 엽신 및

엽초중 Cd 함량의 7분의 1의 수준이었고, 엽신, 줄기 및 화서축 중 Cd함량은 토양 중 Zn, Cu, Pb 함량과 유의성 있는 상관관계를 나타내었다. 또한 엽신 중 Zn 함량은 토양 중 Cd, Cu 및 Pb 함량과 유의성 있는 상관관계를 나타내었고, 줄기 중의 Zn 함량은 토양 중 Cu와 Pb 함량과 유의성 있는 상관관계를 나타냈다.

장항제련소 지역의 현미 중 Cd의 함량은 0.05-0.25mg kg<sup>-1</sup>, Zn의 함량은 10.5-30.9mg kg<sup>-1</sup> 범위였다.

### 참 고 문 헌

1. 유순호, 서윤수. 1990. 우리나라 농업용수의 수질과 토양오염실태. 환경오염과 농업에 관한 국제 심포지엄 : 96-111.
2. 김동호, 임수길, 권오경. (1989) : 사과 과수원 토양과 그 잎층의 중금속 함량과의 관계에 관한 연구. 한국환경농학회지 **8** : 1-6.
3. Rhoads, F. M., S. M. Olson, 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 수도체중 중금속함량에 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. Friedland, A. J., A. H. Johnson, and T. G. Siccoma. (1986) : Zinc, Cu, Ni and Cd in the forest floor in the Northeastern United States. *Water Air Soil Pollut.* **29** : 233-243.
9. Chaney, R. L., M. C. White and M. V. Tienhoven. (1976) : Interaction of Cd and Zn in phytotoxicity to and uptake by soybean. *Agron. Abst.* **21**.
10. 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.
11. Grigal, D. F. and L. F. Ohmann. (1989) : Spatial Pattern in elemental concentrations of the forest floor across the North Central USA. *J. Environ. Qual.* **18** : 368-373.
12. 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.
13. 김성조, 이만상 등 (1994) : 장항제련소 지역의 토양과 수도체중 Cu 함량의 변화에 관한 연구. 한국환경농학회지. **13(1)** : 1-9.
14. 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.
15. 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.
16. 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.
17. King, L. D. (1988b) : Retention of cadmium by several soils of the Southeastern United States. *J. Environ. Qual.* **17** : 246–250.
18. 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.