Korean J. Environ. Agric.
Vol. 11, No. 3, December 1992

만경강 유역의 토양과 수도체 중 Pb 함량의 변화에 관한 연구

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

Variation of Lead Content in Paddy Rice and Soil of Mangyeoung River 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 contents of paddy soils and rice plants affected by municipal and industrial waste water pollution in Mangyeong River area, soil and plants samples were collected in 1982 and 1990 according to the distances from the main inlet source and depths of soil.

Soil samples were extracted with 4M-HNO_3 and plant sampler were digested with mixture of HNO_3 and $HClO_4$ for analyzing by atomic absorption spectrophotometry.

The Pb contents in soils ranged from 13.2 to 56.4 mg kg^{-1}. Average Pb level in 1990 was some higher than that in 1982. Variation of Pb content with the distances from the source of waste water showed decreasing tendency with distances, and it was clearer in 1990 than in 1982. A significant correlation was observed between Pb contents in surface and in subsurface soil, between Pb content in soils and soil properties as clay, OM, and Ca^{++} in 1982, and between Pb content in soils and contents of Cu and Zn in soils.

The average Pb content in leaf sheath was 3.42 times of that in brown rice. Pb content in brown rice ranged from 3.1 to 10.4mg kg^{-1}.

서 론

산업활동의 증대 및 도시화로 인한 인구 집중 현상에 의하여 환경오염 물질인 중금속물질이 하천 및 대기중에 증가되고 있다. 이 밖에도 중금속 물질의 증가요인으로 농업용수의 관개[1], 농약과 비료의 사용[2, 3], 도시하수 sludge 및 산업 폐기물의 농업자

* 원광대학교 농과대학
Colleage 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.

재로의 이용[4]등을 들 수 있으며 이로 인하여 토양 중 이들 중금속 물질을 증가시키는 결과가 되고 있다[5].

Dean등[6]은 식물독성 또는 먹이연쇄를 통하여 환경을 오염시킬 수 있는 원소 10가지로 Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb 및 Zn등을 들고 있으며, Culbard등[7]은 영국의 도시 분진 및 토양 중의 중금속 오염현상중 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 토양 중에서 그 함량이 높아진다[8]. 실제로 도시하수 sludge 중에는 이와같은 중금속물질들이 넓은 분포로 함유되어 있다[9].

토양 중에서의 Pb이동성은 CEC, pH, 및 가용성 인산의 함량과 관계가 있으며[10], 철과 함께 토양 중의 용해성 유기탄소량과 상관관계가 있고[11], 식물에 의한 Pb흡수작용의 경우 석회시용에 의해서 감소시킬 수 있는 것으로 알려져 있다[12, 13].

우리나라의 경우 토양 중 Pb 함량을 오염원 별로 보고된 평균적 함량을 보면 공단하류 지역이 8.66ppm, 도로변은 9.881ppm, 금속제련지역은 14.229ppm이었음을 보고하고 있다[1].

토양 표면의 퇴적물 중 중금속 물질의 농도는 정도의 차이는 있겠으나 도시하수 및 공단배출수가 유입되는 하천유역의 논토양에서 관개수에 의한 중금속물질의 유입으로 토양 중에 다른 중금속과 함께 Pb함량도 증가할 가능성이 높다[5].

본 연구는 수질오염에 따른 토양 중 Pb의 함량변화 차이를 구명하기 위하여 도시하수 및 공단배출수의 영향을 받는 만경강 유역의 논 토양을 중심으로 1982년도에 채취 보관하였던 토양시료와 1990년도에 표토와 심토로 구분하여 채취한 토양시료, 그리고 그 토양에서 재배된 수도체 중 Pb함량을 분석하여 변화요인을 추적 분석하기 위하여 수행된 것으로 그 결과를 이에 보고하는 바이다.

재료 및 방법

1. 시료의 채취 및 조제

전라북도 만경강 유역에 공단단지로부터 배출되는 배수로와 도시하수 배출의 영향을 받는 전주천이 연결되는 지점을 기점으로 하여 하류방향으로 만경강 유역의 제방내에서 1km간격으로 그림1에서와 같이 각 30개지점을 선정하여 1982년에는 4월 30일부터 2주간, 1990년에는 10월 6일부터 1주간에 걸쳐 층위별로 표토(0−15cm : A)와 심토(15−30cm : B)로 구분하여, 토양시료를 채취하였다. 토양시료를 그늘진 곳에서 풍건 후 2mm체를 통과시켜 Polyethylene병에 보관하였다가 토양분석시료로 하였다.

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

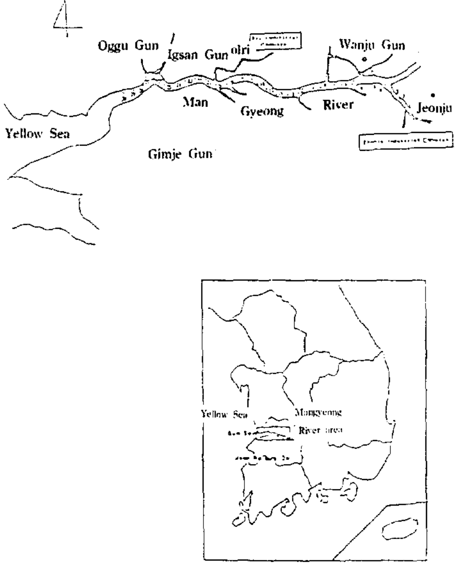


Fig. 1. Sampling sites along Mangyeong River area.

2. 일반분석 및 중금속분석

공시토양의 일반적 이화학적 성질로 점토함량, pH, 유기물함량, 유효인산과 유효규산함량, 염기치환용량(CEC) 및 치환성양이온함량 등에 대하여 상법[5]에 의하여 분석을 하였다. 토양 중의 총중금속 함량은 풍건세토 3.5g에 4M에 HNO_3 20mℓ를 가

하여 70℃에서 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[14].

수도체 중 중금속함량은 엽초, 엽신, 줄기, 화서축, 왕겨 및 현미 각 0.2g에 진한 HNO_3 2 : 진한 $HClO_4$ 1 부피의 비로 만든 혼합액을 2mℓ 가하고, 서서히 가온시켜 최종 분해온도를 70℃로 유지하여, 분해액의 색이 미색 또는 투명해지면 분해가 종료된 것으로 하여 60℃ 수욕조에서 3시간 중탕 후 탈이온 증류수로 20mℓ되게 정용하고 그 여액을 원자흡광법(Model : Varian SpectrAA 30; Graphite furnace GTA-96)에 의하여 측정하였다[15].

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.

분석결과를 평균치로 비교해 보면 pH, 유기물 함량, 유효 P_2O_5, 유효 SiO_2, 치환성 K^+, Mg^{++}등은

Table 1. Physico-chemical properties of surface and subsurface soils in the Polluted Mangyeong River area in 1982 and 1990.

Item of analysis		1982 Range	1982 Mean	1982 Median	1990 Range	1990 Mean	1990 Median
				Surface soil(0-15cm)			
Clay(%)		5.00 - 25.00	17.27	16.50	1.50 - 23.50	16.07	18.25
pH		4.60 - 6.10	5.21	5.10	4.60 - 5.90	5.24	5.25
Organic matter(%)		0.80 - 2.70	1.99	1.70	0.70 - 6.50	2.12	1.75
Available P_2O_5(ppm)		32.00 - 434.00	159.77	134.00	4.00 - 450.00	168.70	147.50
Available SiO_2(ppm)		19.00 - 74.00	38.50	33.00	49.00 - 234.00	85.17	73.00
C. E. C.(me/100g)		7.90 - 14.70	10.36	10.30	2.20 - 22.20	12.11	5.80
Exchangeable	K	0.13 - 0.99	0.48	0.39	0.17 - 0.82	0.75	0.42
Cations	Ca	3.10 - 5.47	4.23	4.17	0.78 - 6.16	2.28	2.11
(me/100g)	Mg	0.30 - 5.52	1.27	1.12	0.23 - 16.50	1.43	0.75
	Na	0.01 - 1.51	0.10	0.03	0.01 - 0.81	0.08	0.05
				Subsurface soil(15-30cm)			
Clay(%)		3.50 - 43.00	21.45	21.50	2.50 - 27.50	17.73	18.50
pH		4.90 - 7.20	5.90	5.90	4.90 - 7.20	5.95	5.90
Organic matter(%)		0.50 - 2.50	1.27	1.20	0.60 - 4.80	1.69	1.50
Available P_2O_5(ppm)		13.00 - 249.00	77.06	76.00	45.00 - 447.00	150.90	126.00
Available SiO_2(ppm)		22.00 - 105.00	48.87	41.50	24.00 - 229.00	70.87	57.50
C. E. C.(me/100g)		7.70 - 13.70	10.13	10.20	2.40 - 16.10	7.49	6.70
Exchangeable	K	0.14 - 0.83	0.38	0.37	0.15 - 1.37	0.45	0.41
Cations	Ca	3.28 - 5.21	4.33	4.36	1.30 - 6.17	3.08	2.91
(me/100g)	Mg	0.06 - 4.77	1.44	1.10	0.21 - 6.71	1.68	0.75
	Na	0.01 - 0.77	0.09	0.02	0.01 - 0.95	0.17	0.06

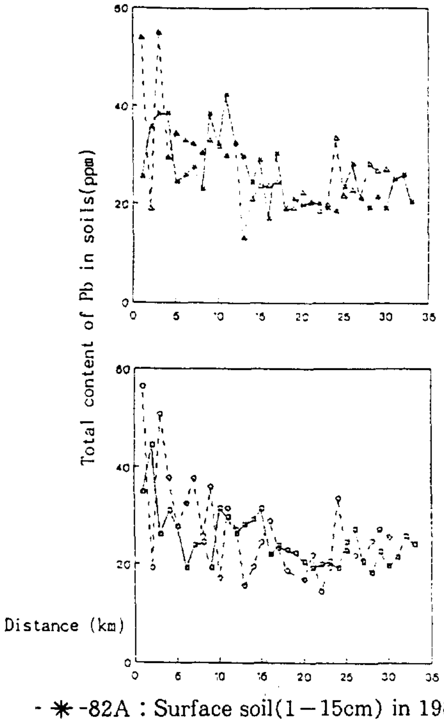
1990년도 토양이 1982년도 보다 높았고, 점토함량 및 치환성 Ca^{++}함량은 1990년도 토양이 1982년도 토양보다 낮았다. 표토와 심토 간 차이를 비교해 보면 표토중 유기물 함량, 유효 P_2O_5, 치환성 K^+ 함량은 심토보다 높아졌고, 점토함량, pH, 치환성 Ca^{++}과 Mg^{++}은 심토가 표토보다 많아졌다.

토양 중의 Pb함량은 표토와 심토 및 년도 별로 범위, 평균 및 중앙값을 나타낸 것은 표 2와 같다.

Table 2. Lead contents in soils in the polluted Mangyeong River area in 1982 and 1990.

Metal	Soil depth (cm)	1982			1990		
		Range	Mean	Median	Range	Mean	Median
		(mg kg^{-1})					
Pb	0-15	17.0-42.3	25.86	14.30	13.2-54.9	27.33	24.60
	15-30	18.2-44.3	24.73	22.90	14.4-56.4	26.53	24.38

표토와 심토 모두 1990년의 Pb함량이 1982년도 토양 중 함량 보다 평균 함량이 높으나, 최소치는 1982년도 함량이 최고치는 1990년 함량이 높아 1990년 토양 중의 Pb함량의 분포 범위가 보다 넓어졌고, 표토와 심토 간의 Pb함량은 년도에 관계없이 표토에서 약간 높았다.



- ✱ -82A : Surface soil(1–15cm) in 1982
-□- 82B : Subsurface soil(15–30cm) in 1982
-△- 90A : Surface soil(1–15cm) in 1990
-O- 90B : Subsurface soil(15–30cm) in 1990

Fig. 2. Variation of lead contents in soils with the soil depths and with the distances from the waste-water source in the Polluted Mangyeong River area in 1982 and 1990.

그림 2은 만경강 유역의 토양 중 Pb함량을 년도, 표토와 심토 및 거리별로 나타낸 것이다.

도시하수 및 공단폐수에 의한 토양 중 Pb함량은 이들 오수가 만경강에 유입되는 지점으로부터 멀어질수록 낮아지고 있었다. 그 경향은 1990년도 토양이 1982년도 토양 보다 잘 나타나고 있었고, 심토에서도 표토와 유사한 경향을 나타내고 있었으며, 토층 간의 Pb함량 차이를 인정하기 어려웠다.

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

1982년도와 1990년 모두 표토의 Pb함량이 많으면 심토의 Pb가 많은 것으로 나타나는 표토와 심토 간의 상관관계가 나타나고 있으나, 시료채취 년도 간에는 1982년도 표토와 1990년도 표토 간의 상관이 있을 뿐 그 외에는 상관관계가 나타나지 않았다.

2. Pb의 토양 중 잔류와 토양특성과의 관계

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

토양 중 Pb의 축적에 미치는 인자로서는 1982년도의 유기물함량, 치환성 Ca^{++}과의 상관관계가 있는 것으로 나타났고, 1982년도의 pH와는 부에 상관관계를 나타내고 있으나, 1990년도에는 토양의 특성인자와 상관관계를 볼 수 없었다.

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

Table 3. Correlation coefficient(r) between lead contents in soils with the soil depths and with the years in the polluted Mangyeong River area.

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	0.584**	1.000		
	1990	0－15	0.427*	0.294	1.000	
		15－30	0.258	0.328	0.900**	1.000

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

Table 4. Correlation coefficient(r) between content of lead in soils and soil properties at the Mangyeong River area.

Heavy metal	Year	Soil depth (cm)	Clay	pH	OM	Av.-P_2O_5	Av.-SiO_2	CEC	Exchangeable cation			
									Ca	Na	K	Mg
Pb	1982	0－15	-0.240	0.023	0.451*	0.244	0.159	-0.029	0.491**	-0.272	-0.115	-0.403*
		15－30	-0.046	-0.458*	0.545**	0.161	-0.050	0.272	0.559**	-0.130	-0.183	-0.274
	1990	0－15	-0.297	0.243	-0.038	0.079	-0.146	-0.170	0.046	-0.213	-0.433	-0.194
		15－30	-0.052	0.097	-0.075	0.076	0.370	-0.010	0.054	0.018	-0.053	-0.088

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

Table 5. Correlation coefficeent(r) between contents of heavy metals in soils with the years and with the soil depths at the Mangyeong River area.

Heavy metal	Year	Soil depth (cm)	Heavy metals in soil		
			Cd	Cu	Zn
Pb	1982	0－15	0.190	0.907**	0.889**
		15－30	0.727**	0.862**	0.900**
		0－15	-0.032	0.923**	0.909**
	1990	15－30	0.047	0.765**	0.837**

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

토양 중 Pb함량과 다른 중금속들의 공존과의 상관관계를 보면 시료채취 년도와 관계없이 Cu와 Zn의 함량과 고도의 상관관계를 나타내고 있어 토양중에서 Cu 및 Zn과 Pb의 공존관계가 인정되었으나, Cd의 경우는 1982년도 심토에서만 상관관계를 나타내고 있어 공장배출수 및 도시하수에 의한 경우 토양 중에서 Pb함량과 Cd함량과의 공존성이 있는 상관관계를 인정하기 어려웠다.

3. 수도체 중 Pb함량

1990년도 수도체에 대하여 부위별 Pb함량을 범위, 평균 및 중앙값을 나타낸 결과는 표 6과 같다.

수도체에 의한 Pb 흡수 축적량을 부위별로 보면

Table 6. Lead contents in different parts of paddy rice grown on soils of the Mangyeong River area in 1990.

Parts of plant	Range	Mean	Median
	······ Pb(mg kg^{-1}) ······		
Leaf blade	4.0−13.9	10.46(1.58)	9.2
Leaf sheath	13.0−39.0	22.66(3.42)	22.2
Stem	2.0−39.0	13.28(2.00)	11.0
Panicle axis	8.5−43.0	14.77(2.23)	13.7
Rice bran	14.3−42.5	21.32(3.22)	21.8
Brown rice	3.1−10.4	6.63(1.00)	6.4

엽초, 왕겨 중의 Pb함량이 가장 많고 엽신, 줄기, 화서축 등의 함량이 그 다음이고 현미중의 Pb함량이 가장 낮은 편이었다. 그러나 현미중의 Pb함량은 다른 금속에 비하여 상당이 높은 편이었다.

4. 토양 중 중금속 함량과 수도체 중 Pb함량과의 관계

토양 중 중금속 함량과 수도체 부위별로 흡수된 Pb함량과의 상관관계를 조사한 결과는 표 7과 같다.

도시하수 오염에 의한 토양 중 Pb함량의 증가로 인한 수도체 각 부위별 Pb함량과 유의성 있는 상관

Table 7. Correlation coefficient(r) between lead contents in different parts of paddy rice grown on and contents of heavy metals in soils of Mangyeong River area in 1990.

Heavy metals in Soil	Soil depth (cm)	Pb in parts of plant LB	LS	ST	PA	RB	BR
Cd	0−15	0.105	−0.276	0.056	−0.059	0.118	−0.035
	16−30	−0.129	−0.136	0.308	−0.009	−0.003	0.009
Zn	0−15	0.204	0.078	−0.121	0.043	0.024	0.131
	16−30	0.193	−0.021	−0.117	0.108	−0.048	0.224
Cu	0−15	0.273	0.040	−0.046	0.077	0.023	0.103
	16−30	0.180	−0.128	−0.109	−0.151	0.051	0.139
Pb	0−15	0.090	−0.083	−0.058	0.200	0.127	0.213
	16−30	0.143	−0.213	−0.031	0.243	0.014	0.311

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

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

관계를 볼 수 없었고, 토양에 함유된 다른 중금속 Cd, Zn, Cu의 증가도 수도체부위별 Pb함량과는 유의성 있는 상관관계를 인정할 수 없었다.

고 찰

1. 토양 중 Pb함량

표토와 심토 모두 1990년도 Pb함량이 1982년도 토양 중 함량보다 평균 함량이 높으나, 최소치는 1982년도 함량이 최고치는 1990년 함량이 높아 1990년 토양 중의 Pb함량의 분포 범위가 보다 넓어졌다. 또한 표토와 심토간의 Pb함량은 년도에 관계없이 표토에서 약간 높았는데, 이는 Levy등[16]이 행한 광산폐수에 의한 토양 중 Pb함량 변화에서 토심에 의한 뚜렷한 함량차이는 적었으며 지면에 가까울 수록 Pb함량이 많았던 Sidle등의 결과와 같았다[17]. 또한 오염원으로 부터 멀어질수록 감소하는 경향은 있었으나, 토층간의 Pb함량차이는 인정하기 어려워 수질오염에 따른 토양 중 Pb함량은 표·심토간 이동성이 큰 것으로 볼 수 있었다.

2. Pb의 토양 중 잔류와 토양특성과의 관계

토양 중 Pb함량과 1982년도의 유기물함량 및 치환성 Ca^{++}등의 토양특성과 상관관계가 있는 것으

로 나타났고, 토양 중 Pb함량과 다른 중금속들의 공존간에는 시료채취 년도와 관계없이 Cu와 Zn의 함량과 고도의 상관관계를 나타내고 있어 토양 중에서 Cu 및 Zn함량과 Pb함량의 공존 관계를 인정할 수 있었다. 그러나 Cd의 경우는 1982년도 심토에서만 상관관계를 나타내고 있어 공장배출수 및 도시하수에 의한 경우 토양 중에서 Pb함량과 Cd함량과의 공존성이 있는 상관관계를 인정하기 어려웠다.

3. 수도체 중 Pb함량

수도체에 의한 Pb흡수 축적량을 부위별로 보면 엽초, 왕겨 중의 Pb함량이 가장 많고 엽신, 줄기, 화서축 등의 함량이 그 다음이고 현미 중의 Pb함량이 가장 낮은 편이었다. 그러나 현미 중의 Pb함량은 다른 금속에 비하여 상당이 높은 편이었는데[5] 이것은 수질오염에 의해 토양에 유입된 Pb는 그 농도가 낮다 할지라도 현미에서의 축적량이 많아질 수 있음을 보여주는 결과라 하겠다.

4. 토양 중 중금속함량과 수도체 중 Pb함량과의 관계

도시하수 중 Pb함량 증가에 의한 토양 중 Pb함량 변화는 수도체 각 부위별 Pb함량과 상관관계가 나타나지 않았는데, 이는 하수 중의 Pb함량에 의한 토양 중 Pb형태의 차이와 식물체의 종류에 따라 흡수축적하는 형태가 달라졌기 때문이다. 실제로 Leita등[18]이 연구한 광산지역의 토양 중 중금속 함량과 식물체 중의 Pb함량과의 상관성이 없었던 결과와 유사하였고, 또한 광산폐수에 의한 토양에 축적된 Pb와 콩과식물 중의 Pb함량과의 관계를 연구한 Taylor등[19]의 연구에서 토양 중 형태별 Pb함량은 대두 중의 함량과는 상관성을 나타내고 있으나, cowpea중의 Pb농도와는 상관관계가 없었던 결과와 유사하였다.

요 약

수질오염에 따른 Pb의 함량변화 차이를 구명하기 위하여 도시하수 및 공단배출수의 영향을 받는 만경강 유역의 논토양을 중심으로 1982년도에 표토와 심토를 구분하여 채취한 토양시료와 1990년도에 채취한 토양시료를, 그리고 1990년도의 토양시료 채취 지역에서 재배된 수도체 시료 중 Pb함량을 분석하여 변화 요인을 추적 분석하였다.

만경강 유역의 토양 중 Pb함량은 13.2－56.4mg kg^{-1}의 범위였고 년도별 표·심토가 함량간에 상관관계가 있었다. 1990년도 토양 중 Pb함량이 1982년도 토양 보다 조금 높았다. 그리고 도시하수 유입지역으로부터 거리별 Pb함량 변화가 1982년보다 1990년도 토양이 보다 규칙적으로 거리가 멀수록 그 양이 감소하고 있었다. 또한 이 지역의 토양 중 Pb함량은 1982년도에 토양의 점토 및 유기물 함량과 치환성 Ca^{++}함량과 유의성 있는 상관관계가 있었고, 토양 중의 Cu 및 Zn함량과 유의성 있는 상관관계를 나타냈다. 수도체 부위별 평균 Pb축적량은 엽초중에서 가장 많았으며 이는 현미중 Pb함량에 비하여 3.42배가 되었으며 현미중 Pb함량은 3.1－10.4mg kg^{-1}의 범위였다.

참고문헌

1. 유순호, 서윤수, 1990. 우리나라 농업용수으 수질과 토양오염실태. 환경오염과 농업에 관한 국제 심포지엄 : 96－111.
2. 김동호, 임수길, 권오경. 1989. 사과 과수원 토양과 그 잎중의 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. 만경강 유역의 토양 및 수도체 중 중금속 함량. 한국환경농학회지 5 : 11－23.
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. USEPA*, Washington, DC.
10. Hassett, J. J. 1974. Capacity of selected Illinois soils to remove lead from aqueous solution. Comm. Soil Sci. *Plant Anal.* 5 : 499−505.
11. 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.
12. 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.
13. Cox, W.J., and D.W. Rains. 1972. Effect of lime on lead uptake by five plant species. *J. Environ. Qual.* 1 : 167−169.
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. Sidle, R.C., J.C. Chambers, and M.C. Amacher, 1991. Fate of heavy metals in an abandoned lead-zinc tailings pond : Ⅱ. Sediment. *J. Environ, Qual.* 20 : 752−758.
18. Leita, L., M. De Nobili. 1989. Anomalous contents of heavy metals in soils and vegetation of a mine area in S. W. Sardina, Italy. Water, *Air*, and Soil Pollution. 48 : 423−433.
19. 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.