

연·아연 금속광산 주변 농경지 토양중 중금속의 수직분포와 토양특성과의 관계

Vertical Distribution of Heavy Metals in Paddy Soil Adjacent to Lead and Zinc Mining Sites and Their Relation to Soil Characteristics

이민호 (M.H. Lee)* · 유흥일 (H.I. Rhu)* · 서윤수 (Y.S. Suh)*

요 약 : 토양중 중금속의 수직분포비율과 토양특성과의 관계를 규명하기 위하여 중금속에 의한 토양 오염이 우려되는 연·아연 광산지역 주변농경지 27개 지점을 선정하여 토양깊이별로 시료를 채취하여 중금속함량과 토양의 이화학적 특성을 조사하였다. 본 연구를 통하여 얻어진 결과는 다음과 같다.

- 1) 중금속 원소의 토심별 분포는 표토(0 - 15 cm)에서는 42 - 51%, 15 - 30 cm에서는 21 - 29%, 30 - 60 cm에서는 12 - 17%, 60 - 100 cm에서는 11 - 14%였다.
- 2) 비소는 사양토와 양토간의 차이가 인정되나 Cd, Cu, Pb, Zn은 토성간에 차이가 없었다.
- 3) 토심별 각 원소의 함량분포비와 토양의 화학성과의 관계를 보면 각 원소 모두 pH와는 높은 유의성있는 부의 상관관을 보인 반면 유의성있는 정의 상관관을 나타내었다.
- 4) Cd, Cu, Pb 및 Zn 은 모든 토심에서 각 원소간에 대부분 높은 상관관이 있었고 특히 Pb와 Zn은 0 - 15 cm, 30 - 60 cm, 60 - 100 cm에서 Cd와 Zn은 15 - 30 cm에서 높은 상관관을 나타내었다.

Abstract : The objective of this study was to find out the relationships between the vertical distribution of heavy metals in paddy soils and some soil characteristics. One hundred eight soil samples were collected by soil depths from 27 points of paddy fields in the vicinity of lead-zinc mining sites, and heavy metal contents and the physico-chemical characteristics of the soils were analysed. The results obtained were summarized as follows;

- 1) Distribution of heavy metals (Cd, Cu, Pb, Zn and As) by soil depths were ranged 42 - 51% in 0 - 15 cm, 21 - 29% in 15 - 30 cm, 12 - 17% in 30 - 60 cm and 11 - 14% in 60 - 100 cm.
- 2) The distribution of As by soil depth showed clear difference between sandy loam and loam, while that of Cd, Cu, Pb and Zn did not show any difference between these textures.
- 3) Distribution of Cd, Cu, Pb, Zn and As by different soil depths showed significantly negative correlation with soil pH value but they showed significantly positive correlation with soil organic matter content.
- 4) Cadmium, copper, lead, and zinc in soil had tendency to be highly correlated in each soil depth. Especially, high correlation was shown at the depth of 0 - 15 cm, 30 - 60 cm and 60 - 100 cm for Pb and Zn, and 0 - 15 cm for Cd and Zn. Arsenic in soil was not correlated with these heavy metals.

서 론

중금속에 의한 농경지오염은 중금속을 함유한 도시 고형폐기물의 사용이나 광산활동에 의해 주로 나타나며 우리나라의 경우 후자로 광산활동으로 인해 배출되는 폐수, 분진 및 폐광재 등이 관개수를 통해 오염되기 때문에 주식인 쌀을 생산하는 벼 재배지가 주 피해대상이 되고 있다. 광산활동으로 인한 농경지 오염은 그 역사가 오래되었으며 중금속의 농경지오염으로 인한 인체 위해성의 인식은 우리와 농업환경이 유사한 일본에서 1950년대 중반에 지역의 풍토병으로 알려졌던 이따이 이따이 병이 카드뮴의 만성 질환에 의한 것으로 알려진 이후부터이다.

이 병은 일본 토야마현 진즈강 유역 주민들이 상류지역에 위치한 금속광산으로부터 배출된 카드뮴이 농경지와 하천에 유입되어 오염된 농산물과 음용수를 장기간 섭취하여 나타난 결과로 보고된 바 있다(Tsuchiya, 1969; Yamagata and Shigematsu, 1970). 이를 계기로 일본에서는 토양오염방지법이 제정되고 이를 근거로 토양오염지역에 대한 대책사업이 해당지역의 지방자치단체를 중심으로 활발히 수행되고 있다.

우리나라에도 전국적으로 많은 금속광산이 산재해 있으며 이들 광산은 경제성의 악화로 대부분 휴광하거나 폐광되어 있어 이들 주변 농경지가 토양오염이 우려되고 있다. 따라서 이들 지역에 대한 토양오염방지를 위해 관련 국가연구기관이나 일부 대학에서 오염실태조사가 수행된 바 있으나 오염지역에서 토양의 이화학적성이 중금속의 토양깊이별 중금속의 분포에 어떠한

*서울특별시 은평구 불광동 208-17, 국립환경연구원(National Institute of Environmental Research)

영향을 미치는지에 대한 연구는 거의 수행된 바 없다.

따라서 본 연구는 연·아연 금속광산인근 농경지를 대상으로 토심별 중금속의 함량분포정도를 조사하고 이들과 토양특성과의 관계, 오염원소별 토양분포, 원소별 상관관계 등을 조사하여 오염농경지의 대책사업수행시 기초자료로 이용코자 본 연구를 실시하였다.

연구내용 및 방법

시료채취 및 조사항목

가. 시료채취

시료채취지역은 연·아연을 주 생산광종으로 하는 울진광산(울진군 북면), 금장광산(울진군 남면), 구운동광산(밀양군 무안면), 시흥광산(광명시 학운동) 및 삼보광산(화성군 봉담면) 주변 농경지를 대상으로 하였고, 시료채취는 이들 각 광산을 기점으로 하천을 따라 거리별로 5-6개 지점을 선정하여 총 27개 지점에서 토양깊이(0-15 cm, 15-30 cm, 30-60 cm, 60-100 cm)로 108점의 토양을 채취하였다.

시료채취방법은 표층에서 직경 60 cm 정도로 깊이 1 m까지 수직으로 파서 깊이별로 토양시료를 채취하였다.

나. 조사항목

- 중금속 : Cd, Cu, Pb, Zn, As
- 토양의 화학성 : pH, OM, CEC, K, Ca, Mg, Na
- 토양의 물리성 : 토성

중금속의 분포비율

$$\text{토양별 중금속분포비} = \frac{A \dots}{A+B+C+D} \times 100$$

- A : 0-15 cm 중 중금속함량
- B : 15-30 cm 중 중금속함량
- C : 30-60 cm 중 중금속함량
- D : 60-100 cm 중 중금속함량

분석방법

가. 토양

(1) 시료조제

채취한 토양시료 약 2 kg을 환경오염공정시험법(1988)의 토

양편에 준하여 시료를 조제하고 분석용시료로 사용 하였다.

(2) 분석방법

토양의 이화학성 분석 : 토양 pH는 시료 10 g을 취하여 100 ml의 삼각플라스크에 넣고 증류수 50 ml를 넣어 가끔 흔들어 주면서 1시간 후에 pH로 측정하였다. 유기물함량은 200 mesh 로 통과시킨 토양시료를 Walkley - Black법으로, 양이온 치환용량은 1N - ammonium acetate법으로, 치환성 양이온은 1N - ammonium acetate(pH 7.0)로 침출하여 원자흡광분석기에서 정량하였으며, 토성분석은 hydrometer 법으로 측정하여 미농무성법으로 분류하였다(토양화학분석법, 1988; 토양조사편람, 1978).

구리, 카드뮴, 납, 아연 및 비소 : 구리, 카드뮴, 납 및 아연을 시료 10 g을 취하여 100 ml의 삼각플라스크에 넣고 0.1N - HCl 용액 50 ml를 가하여 공정시험법 토양편의 Cu, Cd 분석법에 준하여 원자흡광광도법으로 측정하였다. 비소는 시료 10 g을 취하여 100 ml의 삼각플라스크에 넣고 1N-HCl용액 50 ml를 가하여 공정시험법에 준하여 Ag - DDTC 피리딘법으로 비색정량하였다(환경오염공정시험법, 1991).

연구결과 및 고찰

토심별 중금속분포

원소의 토양깊이별 분포비율은 Table 1과 같다. As는 0-15 cm에서 50%, 15-30 cm에서 21%, 30-60 cm에서 17%, 60-100 cm에 12%가 분포되어 있었고 다른 4종의 중금속성분도 비소와 유사한 분포를 보여 이들 원소는 표층인 0-15 cm에서는 42-51%, 15-30 cm에서는 21-29%, 30-60 cm에서는 12-17%, 60-100 cm에서는 11-15% 정도 분포되어있어 0-30 cm에 63-80% 정도가 함유되어 대부분 작토층에 축적되어 있었다. 한편 토양깊이에 따른 이들 중금속의 함량은 토심별 함량 차이를 보면 0-15 cm, 15-30 cm, 30-60 cm에서는 토심이 깊어질수록 유의성있는 감소를 나타낸 반면 30-60 cm, 60-100 cm에서는 차이가 없었다.

涉谷(1979)도 중금속이 오염된 농경지에서 채취한 토심별(0-35 cm) 중금속 분포비를 조사한 결과 Cd, Cu, Pb 및 Zn 성분은 0-15 cm에서 43-52%, 15-25 cm에서 31-34%, 25-35 cm에서 17-24% 정도 분포되어 있었다고 하였으며 표토에서의 분포비율은 본 연구결과와 유사하였다.

Table 1. Distribution ratio of heavy metal in soil with soil depth

(Unit:%)

Soil depth	0-15 cm	15-30 cm	30-60 cm	60-100 cm
As	50.15±23.82 ^a	21.37±12.13 ^b	16.74±12.43 ^c	11.63±7.67 ^c
Cd	42.63±8.32 ^a	29.30±7.61 ^b	16.89±7.82 ^c	11.15±5.38 ^c
Cu	46.0±11.96 ^a	26.26±10.56 ^b	14.74±7.99 ^c	12.33±7.10 ^c
Pb	45.56±12.54 ^a	25.15±10.55 ^b	15.52±7.86 ^c	14.89±6.27 ^c
Zn	51.19±15.09 ^a	26.96±11.30 ^b	12.37±9.97 ^c	11.81±11.90 ^c

Note: Means followed by the same letter are not significantly different at the 5% level according to the Waller - Duncan test.

Table 2. Distribution ratio of heavy metal in soil by different soil texture

Soil depth		0-15 cm	15-30 cm	30-60 cm	60-100 cm
As	SL	20.0±11.81	29.6±10.24	26.6±13.22	15.8± 8.41
	L	63.2±18.18	16.5±10.36	10.9± 7.5	9.2± 6.2
Cd	SL	44.0± 7.83	33.2± 7.18	14.3± 8.0	8.5± 5.6
	L	41.8± 8.73	27.0± 7.07	18.4± 7.5	12.7± 4.7
Cu	SL	45.2±13.78	33.2±10.64	13.8±11.3	7.8± 5.9
	L	44.2±10.16	22.2± 8.35	15.3± 5.6	15.9± 5.6
Pb	SL	45.9±11.45	30.7± 9.66	12.2± 7.0	11.2± 7.3
	L	45.4±13.75	20.8±11.10	17.5± 7.8	17.1± 4.5
Zn	SL	50.3±10.47	32.6± 9.70	8.9± 3.9	6.3± 6.4
	L	51.7±17.54	22.5± 9.81	13.8±11.9	15.1±13.3

Note: SL = Sandy loam L = Loam

토성별 중금속분포

토성에 따른 각 원소의 토양 깊이별 분포정도는 Table 2와 같다.

비소의 경우 사양토에서는 0-60 cm까지는 각 깊이별 분포비가 27-30% 정도로 거의 유사하였고 60-100 cm에서는 16%를 나타낸 반면 양토에서는 0-15 cm에 과반수가 넘는 63%가 분포하였고 15-30 cm에서 17%, 30-60 cm 및 60-100 cm에서 9-10%가 함유되어 있어 사양토에 비해 표토에서는 약 2.3배 정도 높게 나타났다. 반면 Cd를 비롯한 4종의 원소들은 각 깊이에서 토성간에 뚜렷한 차이를 보이지 않았다.

Alima 등(1985)은 비소는 배수가 용이한 토양에서는 토심 20-40 cm에서의 함량이 표토보다 높게 분포되어 있다고 하였고 점토 함량이 높은 heavy gley soil에서는 대부분이 표토에 축적되어 있다고 하였다. 한편 小山(1975)이 Vianogradov의 자료를 인용보고한 바에 의하면 소련의 각종 토양의 층위별 비소함량은 부식이 집적된 podozol 토양에서는 용탈층에 80% 정도 축적되어 있는 반면 사양질인 울색토에서는 무기물의 용탈, 집적층보다 기층에서 비소의 함유량이 더 높았다고 하였고 涉谷(1979)도 많은 비소 오염지의 경우 깊이 40-50 cm까지 비소가 집적하며 지하수위가 높고 강 점토질토양에서는 표층에 비소함량이 높다고 하였다. 이와같이 비소가 다른 중금속에 비해 사양토에서 토양깊은 곳까지 집적되는 것은 비소가 인과 물리화학적 성질이 유사하여(Jhonston *et al.*, 1979) 이동성이 카드뮴, 동, 아연, 납보다 높아 논물의 지하 침투 시 함께 용탈되기 때문으로 판단된다.

토양 깊이별 중금속분포와 토양특성과의 관계

조사지점 전체토양의 토양깊이에 대한 토양중 중금속의 분포비와 이들 토양에서의 화학성과의 관계를 보면 Table 3과 같다. 이들 각 원소들은 pH와는 모두 유의성있는 부의 상관관계를 나타낸 반면 유기물함량과는 모두 유의성 있는 정의 상관관계를 나타내었고 CEC와는 유의성은 없으나 모두 정의 상관관계를 나타내었다. 또한 치환성 양이온중 Mg은 대부분의 원소들과 유의성있는 부의 상관관계를 나타내었고 K, Ca와도 유의성은 없으나 부의 상관관계를 나타내었다. pH는 일반토양에서 토양용액중 pH가 4.0-5.5 범위에서 카드뮴, 아연의 농도가 높고 pH가 7.0-8.0에서는 이들의 농

도가 저하된다고 하였다(涉谷 등, 1983). 따라서 토양의 pH가 높아질수록 중금속의 용해도가 크게 감소되어 하층으로 용탈되는 양이 적어 이들 원소들과 pH간에는 정의 상관관계가 나타날 것으로 판단했으나 반대 현상이 나타났다. Davies(1976)는 영국 서부 공업지역의 중금속이 심화된 지역에서 이들 토양의 화학성과 중금속간의 관계를 조사한 결과 본 연구결과와 같이 이들간에는 부의 상관관계가 나타났다고 하였으며 이는 이 지역이 강우량이 많은 지역으로 토양이 강우에 의해 염기의 용탈로 산성화가 촉진되었고 또한 이 지역에서 생산되는 광물이 주로 황화광물(황철석 등)로 이들 광물의 산화에 의해 영향을 받았을 것으로 추정하였다. 본 조사지역도 토양의 pH가 3.9-6.5의 범위로 대부분의 토양이 5.0을 다소 상회하거나 밑도는 산성을 나타내고 있어 강우에 의해 표토의 염기가 하층으로 용탈됨으로써 이들간의 관계에 큰 영향을 주었을 것으로 판단되며 이들 지역의 광물도 황화광물(양정일 등, 1979; 이영훈 등, 1980)로 광산활동으로부터 토양에 집적된 이들 물질도 대기나 빗물 등에 의해 산화작용을 받음으로써 pH와 이들 물질간의 부의 관계에 영향을 미쳤을 것으로 사료된다.

한편 Cd를 비롯한 이들 원소들과 유기물함량간에 유의성있는 정의 상관관계를 나타내는 것은 토양중 유기물은 분해과정중 oleic acid나 palmitic acid 등 각종 유기산이 생성되어 중금속이 이들 물질과 반응하여 염을 형성, 불용화(涉谷 등, 1983) 되므로 이들 간에는 유의성있는 정의 상관관계가 나타나는 것으로 판단된다. 또한 이들 원소들과 점토함량과의 관계를 보면 모두 정의 상관관계를 보이고 있으나 유의성은 없었다. 토양중 점토함량이 높을수록 점토의 물리, 화학적 성질에 의한 중금속의 흡착량이 많아 이들 간에 유의성있는 상관관계가 있을 것으로 예상했으나 유의성이 나타나지 않는 것은 토성별 점토함량이 일정치 않은데 기인되는 것으로 판단된다.

한편 이들 원소들과 치환성 양이온인 Ca, Mg, K 이온의 관계를 보면 모두 부의 상관관계를 나타내었으며 특히 Mg은 대부분의 원소들과 유의성있는 상관관계를 보였다. 이는 앞에서 기술한 pH와 이들 원소들과의 관계에서 부의 상관관계를 나타낸 것은 Mg, Ca, K 이온의 용탈에 의한 영향을 받았기 때문으로 판단되며 특히 Mg

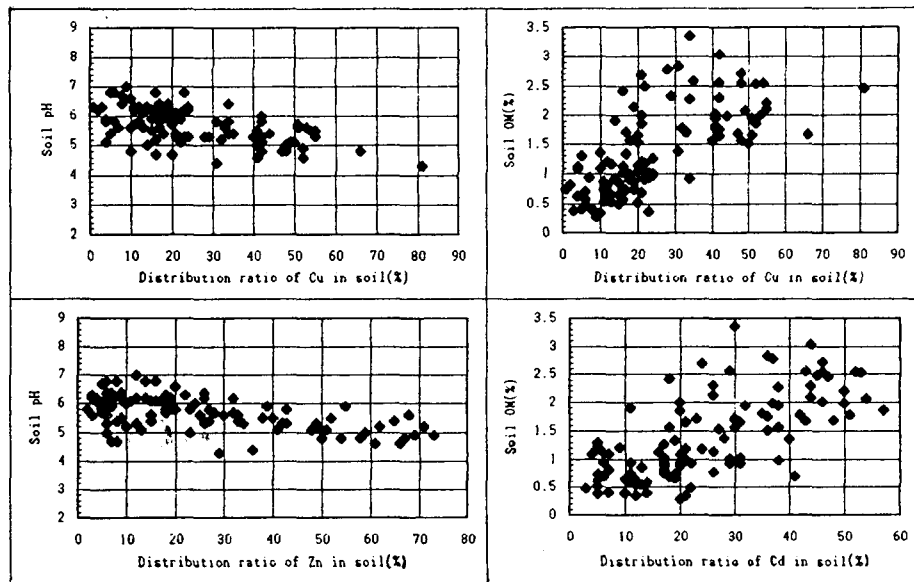


Figure 1. Scatter diagram between distribution ratio of heavy metal in soil and soil characteristics.

Table 3. Correlation coefficient between distribution ratio of soil heavy metal for different soil depth and respective soil chemical property.

	pH	OM	CEC	K	Ca	Mg	Na
As	-0.557**	0.520**	0.022	-0.120	-0.309**	-0.337**	0.157
Cd	-0.519**	0.691**	0.179	0.108	-0.038	-0.210*	0.076
Cu	-0.581**	0.681**	0.173	-0.080	-0.131	-0.196*	0.050
Pb	-0.575**	0.611**	0.120	-0.080	-0.040	-0.221*	0.175
Zn	-0.587**	0.632**	0.190	-0.094	-0.116	-0.165	0.194

***: Significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

과 이들 원소들간에 유의성있는 상관을 나타내는 것으로 미루어 보아 Mg가 중금속의 용탈에 크게 영향을 주는 것으로 사료된다.

Figure 1은 Table 3에서 토양 깊이에 대한 토양중 중금속의 분포와 토양특성들과의 관계에서 상관이 높게 나타난 토양 pH와 Cu, Zn의 분포 및 토양 유기물함량과 Cd, Cu 분포와의 관계를 나타내었다. 이들 중금속은 토양중 그 분포비가 높아짐에 따라 토양 pH는 완만하게 감소하는 반면 토양유기물함량은 뚜렷히 증가하는 경향을 보이고 있어 토양유기물이 토양 pH 보다 토양중 중금속의 이동에 더 크게 영향을 미치는 것으로 판단되며, 이와 같은 결과는 Levi 등(1976)이 토양의 특성이 상이한 10개의 토양을 이용하여 토양별 카드뮴의 흡착정도를 조사한 연구에서 토양에 흡착된 카드뮴량은 유기물함량과는 높은 정의 상관을, 토양 pH와는 부의 상관을 보였다는 보고와 일치하고 있다.

중금속원소간의 상관관계

토양의 깊이별 중금속 원소들간의 관계를 Table 4에서 보면 표토인 0-15 cm에서는 Cd와 Cu, Pb, Zn, Cu와 Pb, Pb와 Zn 간에는 유의성있는 정의 상관을 나타내었고 15-30 cm, 30-60 cm, 60-100 cm 깊이에서도 이들 중금속 간의 관계는 표토와 같

은 경향을 나타내었다. 그러나 비소의 경우는 Cd를 비롯한 다른 원소들과의 관계는 층위에 관계없이 유의성이 없었다. 이와같이 이들 원소중 Pb, Zn, Cd간에 높은 유의성있는 상관을 보이는 것은 이들 지역의 주 산출광물이 납, 아연이고 특히 카드뮴은 아연 광석중에 1/100-1/300 정도의 일정한 양이 포함(Chizhikov, 1966; Sneed, 1955) 되어있어 있기 때문이며 비소의 경우 이들 원소들과 상관이 없는 것은 원광석중에 소량 함유되어 있고 토양에 노출되어 토양의 환원시 일반 중금속의 토양중 행동과는 반대로 5가에서 3가로 되면서 오히려 그 용해도가 증가되는 차이 이외도 이온반경이나 비중등의 차이에도 기인될 것으로 판단된다.

토양중 중금속원소의 분포

이들 광산지역에서 분포되어있는 중금속의 함량을 카드뮴을 기준으로 하여 그 분포량을 구해보면 Table 5와 같이 Zn > Pb > Cu > As > Cd 순이며 토심별로도 같은 경향이다. 토심에 따른 이들 원소의 함유비를 보면 Zn은 토양의 깊이가 깊어질수록 함유비가 감소하는 반면 Cu, Pb, As는 별다른 차이가 없었다. 成田 등(1976)은 폐광산 인근의 카드뮴오염 농경지에서 토양중 중금속 함량을 조사한 결과 이들 지역에서 중금속의 분포는 Zn > Pb > Cu > Cd의 순으로 컸고 Cd를 기준으로 했을때 Cd : Cu : Pb :

Table 4. Correlation coefficient between the element of heavy metals by different soil depth.

Element		Cd	Cu	Pb	Zn
0-15	Soil depth (cm)				
	As	-0.199	-0.080	0.064	0.194
	Cd		0.411*	0.368**	0.570**
	Cu			0.419	0.279
15-13	As	0.022	0.310	0.050	-0.050
	Cd		0.338	0.602**	0.766**
	Cu			0.405*	0.260
	Pb				0.555*
30-60	As	0.250	0.094	0.115	0.033
	Cd		0.886**	0.566**	0.412*
	Cu			0.611**	0.272
	Pb				0.673**
60-100	As	0.168	-0.167	0.177	0.193
	Cd		0.666**	0.503**	0.729**
	Cu			0.451*	0.522**
	Pb				0.719**
Regardless of soil depth	As	0.132	0.188	0.229	0.217*
	Cd		0.508**	0.667**	0.686**
	Cu			0.502**	0.375**
	Pb				0.688**

***: Significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

Table 5. Distribution ratios of the other metals to the Cd content in soil by different soil depth.

metals soil depth(cm)	Cd	Cu	Pb	Zn	As
0-15	1	12.1	30.5	58.2	1.3
15-30	1	10.2	24.9	49.3	0.8
30-60	1	10.7	33.9	38.9	1.8
60-100	1	12.9	48.0	41.2	1.6

Zn의 분포비는 1 : 19 : 62 : 94 였다는 보고와 비교해보면 금속별 분포 정도는 본 조사와 유사하였고 금속별 분포비는 상기 지역보다 다소 낮았다. 한편 토양의 깊이가 깊어짐에 따라 Zn의 분포비가 감소하는 것은 전술한 바와 같이 Cd와 Zn은 일정한 비율로 함유되어 있기때문으로 판단된다.

이상의 결과로 미루어보아 이들 원소들은 표토(0-30 cm)에서 63-80% 정도 분포하고 있으며 토성간에는 비소를 제외한 Cd, Cu, Pb, Zn 원소들에는 차이가 없는 것으로 미루어보아 이들 원소들의 오염이 주로 문제시되는 연·아연광산 인근농경지에서는 표층토의 중금속 함유정도에 따라 작토심이 50 cm 이상되는 지역에서는 중금속 함유정도가 낮은 30 cm 이하의 하층토를 성토하고 표층토를 하층토로 매몰하는 것이 바람직할 것으로 판단되며 작토심이 얇은경우는 비오염토(산적토)를 오염정도를 감안하

여 객토를 10-20 cm 정도하는 것이 좋을 것으로 판단된다.

결 론

우리 나라의 전통적인 토양오염지역인 금속광산 인근 농경지에 대해 효과적인 대책사업수행을 위한 기초자료를 얻기 위해 오염현지 토양을 대상으로 토양의 깊이별 중금속의 분포와 토양의 이화학성과의 관계를 조사하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

토양의 깊이별 중금속의 분포를 보면 이들 원소들은 깊이 30 cm까지 80-83% 정도 분포하고 있어 대책사업 수행시 오염농경지의 작토심이 50 cm 이상인 경우 오염농도가 낮은 30 cm 이하의 하층토와 반전하여 사용하면 가할 것으로 판단되며 작토심이 얇은 경우 토양오염 정도 및 지형등을 감안하여 비오염토를 10-30 cm 정도 객토하는 것이 좋을 것으로 판단된다.

한편 토양중 Cd, Cu, Pb 및 Zn 성분은 토양 pH와는 유의성 있는 부의 상관을 보임으로써, 토양개량제로써, 알카리성 물질인 석회물질을 토목적 공법에 의한 대책사업 수행지역에 적정 사용(150-200 kg/10g) 함으로써 토양을 개량하고 보다 안전한 농산물을 생산할 수 있을 것이다.

참고문헌

양정일의 2인, 1979, 울진지역 연, 아연등 혼합유화광에 관한 선평 연구, 동력자원연구소 조사연구보고서, 제 6 호.
 이영훈, 안영기, 1980, 매장량조사보고서, p. 124-125, 268p.
 토양조사편람, 1978, 농촌진흥청, 농업기술연구원.
 토양화학분석법, 1988, 농업기술연구원.
 환경보전법, 1987, 환경처.
 환경오염공정시험법, 1991, 환경처.
 涉谷政夫, 1979, 土壤汚染の機構解析, 産業圖書, 日本, p. 218-219.
 涉谷政夫外 3人, 1983, 環境汚染と農業, 博友社, 日本, p. 157-163,
 小山雄生, 1975, 土壤 作物系の 砒素의 舉動, 日本土壤肥料學雜誌, 46(11), p. 491-502.
 成田美代, 長屋光行, 家入健二, 1976, 廢鑛山周邊에 대한 微量金屬에 의한 環境汚染에 관한 研究(I), 岐阜 醫紀, 24, p. 61-70.
 Alina K.P. and Henryk P., 1985, Trace Elements in Soils and Plants, CRC Press Inc.
 Chizhikov, D.M., 1966, Cadmium, New York, Pergamon press.
 Davies, B.E., 1976, Mercury content of Soils in western Britain with special reference to contamination from hase metal mining, Geoderma, 16, p. 183-192.
 Johnston, S.E. and Barnard, W.M., 1979, Comparative effectiveness of fourteen solutions for extracting arsenic from four western New York Soils, Soil Sci, Soc, Am.J., 43, p. 304-308.
 Levi-Minzi, R., Soldatini, G.F. and Riffaldi, R., 1976, Cadmium adsorption by soils, Jour. of Soil Science, 27, p. 10-15.
 Sneed, M.C. and Brasted, R.C., 1955, Comprehensive inorganic chemistry, Princeton, N.J. Van Nostrand, 4, 64p.
 Tsuchiya, K., 1969, Causation of Ouch-Ouch disease, An introductory review, Keio J. Med. 18, 181p.
 Yamagata, N. and Shigematsu, 1970, Cadmium pollution in perspective, Institute of Public Health, Tokyo, Bull. 19, 1p.