

풍원광산 지역의 토양 및 농작물 중금속 오염

Heavy Metal Concentrations in Soils and Crops in the Poongwon Mine Area

김 좌 관[†]
Kim, Jakwan

ABSTRACT : Abandoned mines release acid mine drainage and cause the contamination of soil and crops around the mine area. The objective of current study is to evaluate effect of mine on the soil and crop contamination. Soils, water, and crops were collected and analyzed, and the heavy metal data were classified into types of the soil, types of crops, and distance from the minehead. Surface soils of the mine area were highly contaminated with heavy metals, especially with zinc and lead. Tailings and cultivated paddy soils were also highly contaminated. Heavy metal concentrations upon distance from minehead decrease steadily as the distance from the minehead increase. The correlation between heavy metals was extracted from soils and the content in the rice samples showed a positive relation for arsenic and cadmium but not a meaningful relation for other metals.

Keywords : Abandon mine, Heavy metals, Soil, Crops, Contamination

요 지 : 폐광산 주변의 광미장, 폐석더미로 인해 주변 지역의 토양 및 농작물들은 중금속으로 오염 될 수 있다. 본 연구는 주변토양 용도별, 농작물 재배품목별, 광산과의 이격거리별로 분류하여 광산 주변 중금속 오염실태조사를 수행하였다. 갯구인근 지역에서 Zn와 Pb이 토양오염기준치를 초과하였으며 다른 지역에 비해 광미장 지역과 논 경작지 토양의 중금속농도가 비교적 높은 것으로 나타났다. 광산과의 이격거리에 따른 중금속 농도는 갯구에서 거리가 멀어질수록 점차 감소하였다. 토양과 쌀 시료의 중금속 상관관계는 As와 Cd이 상관관계성이 있는 것으로 나타났으나 다른 중금속들은 관계성이 없는 것으로 조사되었다.

주요어 : 폐광산, 중금속, 토양, 농작물, 오염

1. 서 론

일제시대부터 1980년대까지 산업화에 의해 광물자원을 개발하여 왔으며 이러한 광물자원은 경제성장에 중요한 역할을 해왔으나, 1980년대 이후부터 산업구조의 변화와 생산성 감소에 의하여 대다수의 광산이 휴·폐광을 맞이하게 되었다.

국내에 약 1000여개의 금속광이 전국에 산재 되어 있으며 대부분의 금속광은 휴광 및 폐광된 상태이다(박용하, 1994). 휴·폐광산 지역에는 갯도 및 광산 폐석, 광미 적치장이 존재하고 있으며 폐갱도 내에는 지하수가 유입되어 광석내에 포함된 금속광물이 용해되어 다량의 금속이온을 포함한 갯내수를 발생시키며 주변하천과 합류하여 하천과 토양을 오염시키고 있다(전관수 등, 1998; Jurjovec 등, 2002; Kim 등, 2003; 조일형 등, 2007). 광산주변에 많은 양의 폐석과 광미 등의 폐기물이 적체되어 있으며 강우 시 빗물이 스며들어

폐기물에 포함된 황화물과 반응하여 다량의 중금속과 강한 산성을 나타내는 침출수가 유출되고 있다(Singer 등, 1970; Saria 등, 2006; Espana 등, 2005).

광산 폐기물과 갯내수에 의해 광산주변 농경지는 쉽게 오염되며 오염된 농경지에서 생산된 농작물에서 중금속이 검출되며 이러한 농작물을 인간이 섭취함으로써 건강에 유해한 영향을 미칠 수 있다(김경용, 1994; 박정숙 등, 2001; Liu 등, 2005; Li 등, 2007; Lim 등, 2008). 특히 폐광산 주변의 논이 오염됨으로써 인간이 중금속으로 오염된 쌀을 섭취할 수 있는 가능성이 높아짐으로 심각한 문제가 될 수 있다. 이러한 폐광산 주변 오염의 문제점이 야기 되면서 환경오염의 가능성이 있는 휴·폐광지역을 선정하여 주변토양, 하천, 농작물의 오염여부, 인근지역주민들의 오염물질에 대한 인체의 노출정도와 이로 인한 건강영향을 평가하는 등의 폐금속 광산 토양오염 실태 정밀조사 등 폐광산 오염실태 조사가 이루어져 왔다. 최근에는 중금속이 인체에 영향을 끼칠

[†] 정희원, 부산가톨릭대학교 환경공학과 교수(E-mail : jkkim@cup.ac.kr)

우려가 있어 식물에 함유된 중금속 함량 및 Mechanism 등 독성연구들이 이루어져 왔다(Shanker 등, 2005; Clemens, 2006). 특히 중금속은 식물의 생육을 저해할 뿐만 아니라 인간이 섭취하면 몸속에 축적되어 신경장애, 언어지각장애, 골연화증, 피부점막 등 인체의 질환을 유발한다. 이러한 폐광산 주변오염이 여러 가지 문제를 야기 시키고 있어 보다 정밀한 조사가 필요하며 이에 따른 적절한 광해방지 대책이 수립되어야 한다. 그러나 현재 대다수 광산이 정밀조사가 필요하며, 특히 국내 폐광지역에서 토양 및 농경지 분류, 토양과 농작물의 거리, 상관관계로 구분하여 조사한 사례가 거의 없다.

본 연구에서는 현재 폐광된 금속광산 중 환경오염 가능성이 높은 경남 풍원광산을 대상으로 광미장 및 주변 농경지 토양조사, 갯내수 및 주변 하천 오염도 조사, 농경지에서 재배된 농작물의 오염도 조사를 실시하여 토양용도별, 농작물 재배품목, 광산과의 이격거리별, 토양과 농작물의 상관관계별로 나타내어 풍원광산 주변 중금속 오염 실태를 조사하고자 하였다.

2. 광산현황

본 연구지역인 풍원광산은 경남 거창군 남하면 대야리에 소재하며 지리좌표 상 경도 127. 58. 58. 2 위도 35.38.35.9

에 위치한다. 본 광산은 금, 은, 동, 아연, 연, 을 대상으로 한 광산이며 1918년부터 1994년까지 채광하였다. 수반광물은 황철광이 대부분이나 섬아연광, 방연광 및 황동광 등이 소량으로 분포하며 갯구의 크기는 가로 2m, 높이 1.7m 정도이며 현재 갯구는 폐쇄되어 있으나 많은 양의 갯내수가 유출되고 있다. 광산으로부터 채굴된 대부분의 폐광재는 도로공사의 기반암으로 사용되었으며 현재 남아있는 폐광재는 갯구 좌측에 쌓여 있다. 광산 직하부에 농경지가 존재하고 있고 상부 500m에 오가마을이 있으며 하류 1km 지점에 함천천이 흐르고 있다.

광산하류지역의 농경지는 소수 농경지만 현재 경작을 하고 있으며 대다수의 농경지는 휴경된 상태이고 상류지역 농경지는 현재 경작을 하고 있다. 연구지역의 지질은 선캠브리아기에 속하는 미그타이트 편마암 및 제 4계의 충적층으로 이루어져 있으며 광산은 열극충진함금은석영맥을 이루고 있다. 연구지역인 남하면의 토지는 총면적 49.83km³이며 인구수는 2,472명이다.

3. 시료전처리 및 분석

3.1 수질시료

수질시료는 총 10개 지점으로 갯내수 1개 지점, 하천수

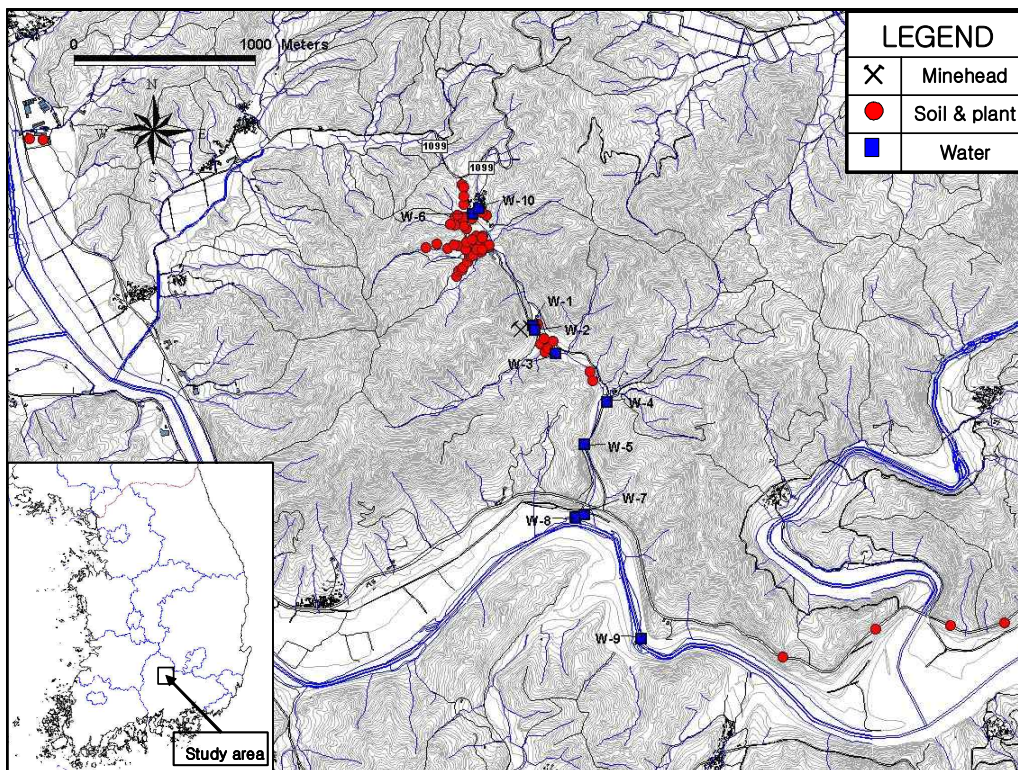


그림 1. 풍원광산 주변의 시료채취지점

8개 지점, 지하수 1개 지점으로 하천의 경우 갠내수에서 거리별로 8개 지점을 채취하였으며 지하수는 갠구상류 오가 마을 민가에서 채취하였다(그림 1). pH(ORION 5 STAR)는 현장에서 즉시 측정하였으며 시료채취 후 용액속의 중금속의 침전을 막기 위해 질산을 첨가하여 산성조건으로 한 후 실험실로 이동 후 0.45 μ m membrane filter로 여과한 다음 ICP-MS(Perkin Elmer-Elan DRC-e)를 이용하여 분석하였다. 수질시료의 검출한계는 0.1 μ g/L 이다.

3.2 토양시료

토양시료 채취는 갠구 주변 반경 4km 이내의 농경지를 중심으로 표토(0-30cm) 55개를 채취하였다(그림 1). 시료의 성질을 대표 할 수 있게 지그재그 형태로 여러 번 채취하여 혼합하여 사용하였으며, 시료는 비닐백 용기에 담아 실험실로 이동 후 25°C 에서 5일간 풍건시켰다. 건조된 시료는 As, Cd, Cu, Cr, Pb, Al, Bi, Mn, Sb 분석을 위하여 10 mesh, Zn 분석용 시료는 100 mesh로 체 걸음 한 다음 균일하게 혼합하여 분석용 시료로 하였다. 체 걸음된 시료 10g을 취하여 100mL polypropylene(PP) bottle에 넣고 염산 0.1N(Cd, Cu, Pb, Cr, Mn, Al), 염산 1N(As, Sb, Bi)을 50mL 넣은 후 100 rpm으로 회전식 교반기에서 60분 동안 교반시킨 후 5B여과지를 사용하여 여과하였다. Zn은 시료 3g을 취하여 등근바닥플라스크에 넣고 증류수 1mL로 적신 후 진한 염산(37%, Merck) 21mL 첨가하고 진한 질산(65%, Merck) 7mL를 첨가하였다. 흡수용기에는 질산(0.5M) 15mL을 넣은 후 흡수용기와 냉각관을 반응용기에 연결시킨 후 상온에서 2시간 정치 한 후 온도를 올려 2시간 동안 그 상태를 유지시킨다. 반응이 끝나면 냉각시킨 후 Whatman No.40 여과지로 여과한 다음 ICP-AES를 사용하여 분석하였다. 대조군 지역은 광산으로

부터 36km 떨어진 지역의 논토양 시료를 채취하여 동일하게 분석 하였다.

3.3 농작물시료

농작물 시료 채취는 토양시료채취지점과 동일한 지점에서 38개 시료를 채취하였다(그림 1). 시료의 성질을 대표할 수 있게 한 작물을 여러 번 채취해서 혼합하여 사용하였다. 벼를 제외한 나머지 작물은 헐잡물을 제거한 후 막자사발로 시료를 분쇄하여 고루 혼합하였고, 쌀의 경우 자연 건조 및 도정하였으며 막자사발로 시료를 파쇄하여 사용하였다. 각각의 시료 0.2g과 불산(40%, Merck) 0.5mL, 질산(65%, Merck) 2.5mL를 첨가하여 전자과분해장치(CEM, MARS5)를 이용하여 온도와 압력을 서서히 올려 15분 동안 800 psi, 200°C 조건을 유지하여 유기물을 완전히 분해하였다. 전 처리된 시료는 ICP-MS(Perkin Elmer-Elan DRC-e)를 이용하여 분석하였다.

수은은 건조가 안된 시료를 사용하였으며 이는 건조과정에서 수은이 증발할 가능성이 있기 때문이다. 수은 이온은 Direct Mercury Analyzer(Milestone 사 DMA-80)를 이용하여 분석하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 토양시료 분석결과

토양시료 분석결과를 광미장, 논토양(경작), 밭토양(경작), 논토양(비경작), 밭토양(비경작), 학교, 대조군 지역으로 분류한 평균값과 토양환경보전법상의 우려 기준을 초과하는 지점의 개수를 표 1에 나타내었다. 또한 경작지별 농도와

표 1. 풍원광산 주변토양의 중금속 평균농도

Sampling site (Number of samples)	Average heavy metal concentration of soils										
	As (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Hg (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Al (mg/kg)	Bi (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Sb (mg/kg)
Measure Level Standard	15	4	125	300	700	10	10				
Concern Level Standard	6	1.5	50	100	300	4	4				
tailings (2)	0.195	0.015	0.1	5.5	208.7	0.070	0.06	156.7	11.5	179.5	542.5
paddy soil(cultivated) (21)	0.087	0.174	2.7	22.9	134	0.037	0.22	500.5	10.9	60.7	474.5
dry field soil (cultivated) (12)	0.061	0.030	1.2	5.8	57.8	0.057	0.14	579.3	11.9	47.2	414.0
paddy soil (not cultivated) (3)	0.067	0.063	2.2	6.5	108.5	0.037	0.35	548.3	10.8	43.6	587.3
dry field soil (not cultivated) (15)	0.061	0.043	1.3	8.0	74.7	0.029	0.09	565.8	12.3	47.4	486.4
school (2)	0.025	0.040	0.6	2.6	29.8	0.020	0.00	263.1	16.5	14.2	1238.8
control area (7)	0.086	0.066	3.4	3.6	25.8	0.026	0.68	865.4	45.1	443.1	2782.4
Number of sites with higher values than concern level				1	2						

대조군 지역의 농도 비를 표 2에 나타내었다.

분석결과 일반적으로 모든 지점에서 Pb, Zn이 대조군 지역보다 높은 농도를 보이고 있다. As는 다른 지역에 비해 광미장에서 고농도로 검출되었으며 대조군에 비해 2배 정도 높은 농도를 보이고 있다. Cd는 주 오염원인으로 예상되었던 광미장보다 는 경작지에서 더 높은 농도를 나타내고

있으며 이는 대조군에 2.6배, 논 비경작지의 2.7배에 해당된다. Pb 또한 다른지역에 비해 는 경작지에서 높은 농도를 보이고 있으며 1개 지점(178mg/kg)에서 우려기준을 초과하였다. 광미장과 논 경작지에서 Zn의 함량이 높게 검출되었으며 는 경작지 2개 지점(391mg/kg, 433mg/kg)에서 우려기준을 초과하였다. Cr, Al, Bi, Mn, Sb 등은 전 지역에서 낮은

표 2. 광산지역 경작지와 대조군 지역의 중금속 농도 비

	As (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Hg (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Al (mg/kg)	Bi (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Sb (mg/kg)
tailings	2.26	0.23	0.04	1.55	8.08	2.68	0.09	0.18	0.26	0.41	0.19
paddy soil (cultivate6)	1	2.63	0.8	6.44	5.18	1.4	0.32	0.58	0.24	0.14	0.17
dry field soil (cultivated)	0.7	0.45	0.36	1.63	2.24	2.17	0.2	0.67	0.26	0.11	0.15
paddy soil (not cultivated)	0.77	0.96	0.65	1.82	4.2	1.4	0.52	0.63	0.24	0.1	0.21
Dry field soil (not cultivated)	0.71	0.65	0.38	2.24	2.89	1.1	0.14	0.65	0.27	0.11	0.17
school	0.29	0.6	0.17	0.74	1.15	0.77	0	0.3	0.36	0.03	0.45

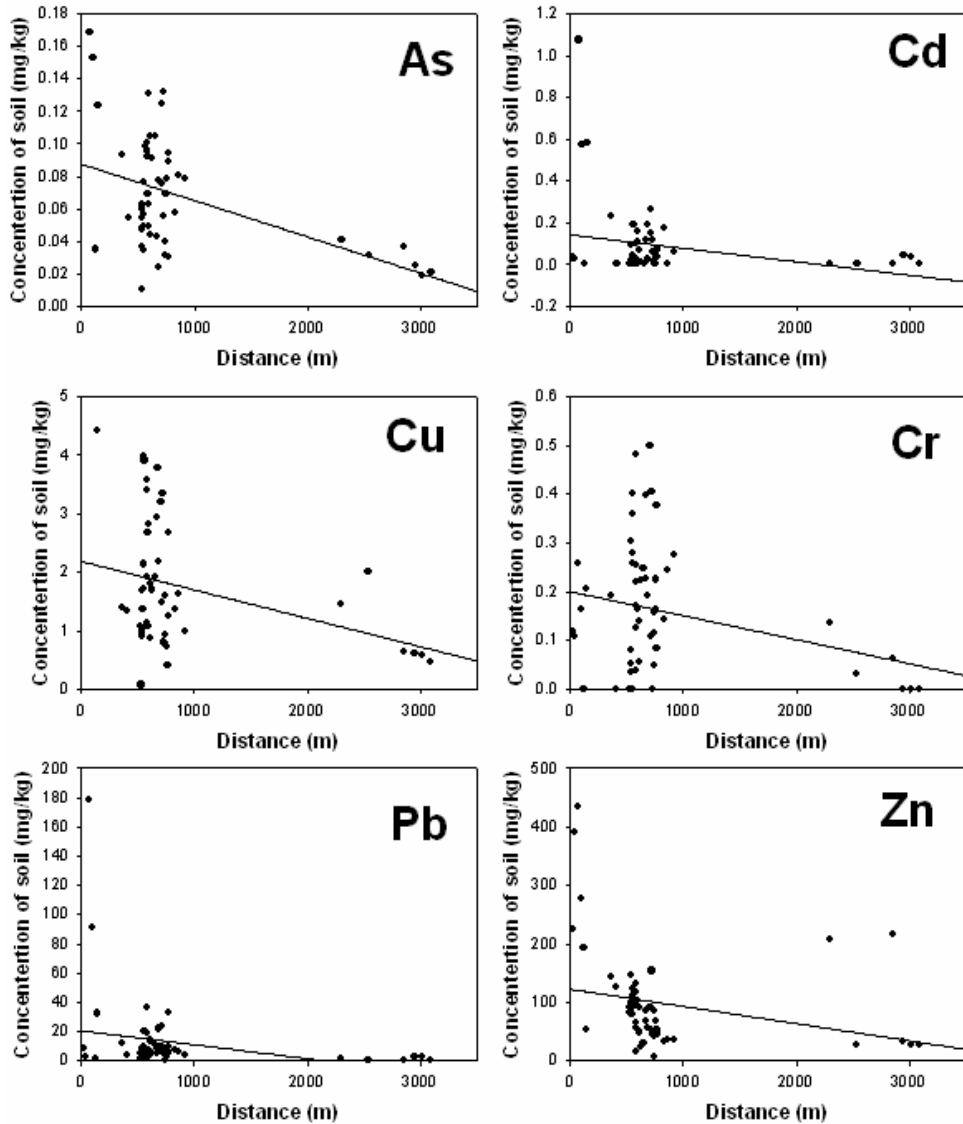


그림 2. 광산과의 이격거리에 따른 토양시료 중금속 농도의 상관관계

농도로 분포하고 있는 것을 확인할 수 있으며 논 경작지와 비 경작지의 경우 비 경작보다 논 경작지가 As, Cd, Cu, Pb, Zn이 더 높은 농도를 보이는 반면 밭 토양은 이와 반대로 경작지보다 비 경작지가 더 높은 농도를 보이고 있는 것으로 조사되었다. 광산 주변 지역의 토양오염의 원인은 광산 폐수와 기반암의 영향에 의한 것과 광미·광재적치물의 비산에 의한 영향이라고 볼 수 있다(Davies, 1983). 학교 토양 시료는 모든 항목에서 대조군 지역보다 낮은 농도를 보이고 있다. 이는 광산 확산방향과 떨어져 광산의 영향을 받지 않는 것으로 보인다.

토양시료의 각 중금속 함량을 갱구에서 이격거리별로 나타내었다(그림 2). As, Cd, Cu, Cr, Pb, Zn, Mn은 갱구에서 멀어질수록 중금속 함량이 낮아지는 것을 확인할 수 있었으며 이는 광산에서 배출되는 갱내수와 광재의 비산에 의해 오염이 확산되어지는 것으로 판단된다.

4.2 수질시료 분석결과

풍원광산의 갱내수, 하천수, 지하수의 분석결과를 표 3에 나타내었다. 갱내수의 pH는 7.03으로 중성영역을 보이고 있으며 As는 0.003mg/L, Cd는 0.001mg/L, Ni는 0.002mg/L, Zn

는 0.066mg/L로 검출되었으며 나머지 항목은 검출되지 않았다. 일반적으로 금속광산의 갱내수는 광물과 반응하여 낮은 pH와 높은 농도의 중금속의 분포를 보이는 반면 풍원광산의 갱내수는 중성영역의 pH와 낮은 중금속함량을 보여 갱내수의 중금속 오염이 심각하지 않는 것으로 나타났다.

풍원광산의 하천수는 상류 오가마을에서 내려오는 하천과 산에서 내려오는 계곡수가 합류하여 하류 합천천으로 유입되고 있다. 갱내수가 하천에 유입되고 있으며 이 하천수는 광산하류의 농경지에 농업용수로 사용되고 있다. 하천수 분석결과 pH는 7.03-7.7로 중성영역을 보이고 있으며 As의 경우 0-0.001mg/L, Cu는 0-0.002mg/L, Ni는 0-0.002mg/L, Pb는 0-0.001mg/L, Zn는 0.002-0.039mg/L의 범위로 나타났으며 분석된 모든 항목에서 수질기준을 초과한 지점은 없었다.

지하수는 광산상류 오가마을 인근에서 채취하였으며 현재 음용수로 사용하고 있다. 분석결과 pH는 6.69로 중성영역이며 모든 중금속항목이 낮은 농도를 보이고 있다.

4.3 농작물 시료 분석결과

농작물 시료는 광산하류 쌀 시료와 광산상류 쌀 시료, 상류 밭작물 등으로 구분하여 나타내었다(표 4). Pb, Cd에 대

표 3. 수질시료의 중금속 농도

Sites (class of water)	pH	As (mg/L)	Cd (mg/L)	Cu (mg/L)	Ni (mg/L)	Pb (mg/L)	Zn (mg/L)	Hg (mg/L)
W-1 (mine water)	7.03	0.003	0.001	N.D.	0.002	N.D.	0.066	N.D.
W-2 (stream water)	7.29	0.001	N.D.	0.002	0.002	0.001	0.029	N.D.
W-3 (stream water)	7.19	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.010	N.D.
W-4 (stream water)	7.25	N.D.	N.D.	0.001	N.D.	N.D.	0.009	N.D.
W-5 (stream water)	7.27	N.D.	N.D.	0.001	0.001	N.D.	0.011	N.D.
W-6 (stream water)	7.11	N.D.	N.D.	0.002	0.002	N.D.	0.009	N.D.
W-7 (stream water)	7.34	N.D.	N.D.	0.001	N.D.	N.D.	0.002	N.D.
W-8 (stream water)	7.7	N.D.	N.D.	0.001	0.002	N.D.	0.039	N.D.
W-9 (stream water)	7.41	N.D.	N.D.	0.001	0.001	N.D.	0.004	N.D.
W-10 (ground water)	6.69	N.D.	N.D.	0.015	0.002	N.D.	0.034	N.D.

표 4. 풍원광산 주변 식물과 농작물의 중금속 평균농도

Sampling site (number of samples)	Average heavy metal concentration of the crops										
	As (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Hg (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Al (mg/kg)	Bi (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Sb (mg/kg)
Korean Standard		0.2		0.2							
rice of downstream (6)	0.662	0.17	2.45	0.00	12.21	0.003	0.32	4.10	0.003	8.71	0.20
rice of upstream (15)	0.429	0.06	1.89	0.20	12.08	0.003	0.56	0.94	0.627	9.66	0.13
crops and plants of upstream (17)	0.037	0.02	2.73	0.00	4.96	0.001	0.11	1.90	0.020	10.28	0.01
Rice from control area (7)	0.810	0.03	3.02	0.80	14.58	0.000	1.24	20.25	0.077	9.76	0.30
Number of sites showing higher values than the Korean standard		2		1							

한 기준치는 10대 작물에 대해 식품의약품안전청의 기준치를 적용하였다. 분류된 지역별로는 광산하류 쌀 시료에서 Cd이 높은 농도를 보이고 있으며 나머지 항목들은 낮은 농도분포를 나타내고 있다. 광산직하부 쌀 시료가 2개 지점에서 Cd이 기준치를 초과하였다. 이는 폐광산에서 배출되는 갠내수의 영향과 경작지 토양오염의 영향인 것으로 예상된다. 그러나 갠내수 수질분석 결과 갠내수의 Cd 농도가 낮게 검출되어 갠내수의 영향보다는 경작지 토양오염에 의한 영향이 높을 것으로 사료된다.

광산상류 쌀 시료에서는 모든 항목이 낮은 농도로 검출되었으나 1개 지점에서 Pb이 기준치를 초과하였으며 초과한 지점은 갠구에서 상류 500m 떨어진 농경지로 갠내수의 영향 보다는 광재의 비산에 의한 것이거나 광산활동과 관련

이 없는 원인에 의한 것으로 판단된다. 광산상류 발작물 또한 낮은 농도 분포를 보이고 있으며 기준치를 초과한 지점은 없었다. 광산하류, 상류 쌀 시료의 Cd을 제외한 나머지 항목들은 낮은 농도분포를 보이고 있다.

농작물 시료의 각 중금속 항목의 농도를 이격거리별로 나타내었다(그림 3). As, Cd, Zn은 토양시료와 유사하게 갠구에서 멀어지면서 농도가 낮아지는 경향을 보이고 있어 각 중금속 오염이 광산의 간접적인 영향을 받는 것으로 나타났다.

토양시료의 중금속농도와 농작물시료의 중금속농도와 비교하여 상관관계를 나타내었다(그림 4). 다른 중금속들보다 As와 Cd이 토양과 식물의 함량이 양의 상관관계를 나타내고 있다. 그러나 본 조사연구에서 토양의 중금속 농도는 산 용출에 의한 방법으로 식물에 의한 중금속 흡수도를 대

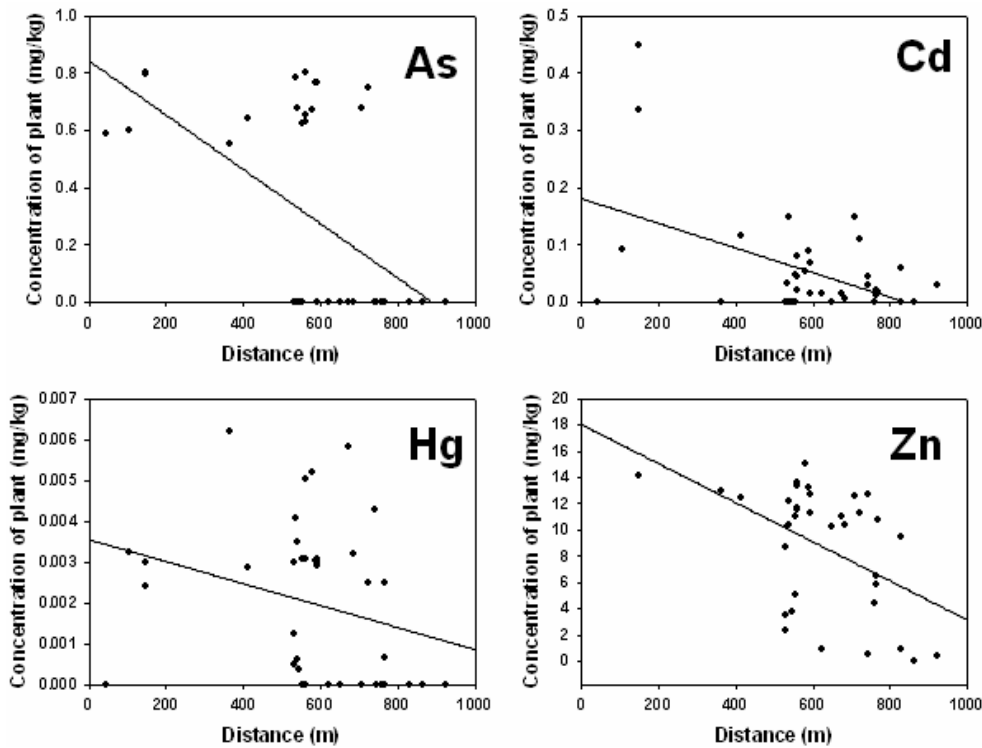


그림 3. 광산과의 이격거리에 따른 식물시료 중금속 농도의 상관관계

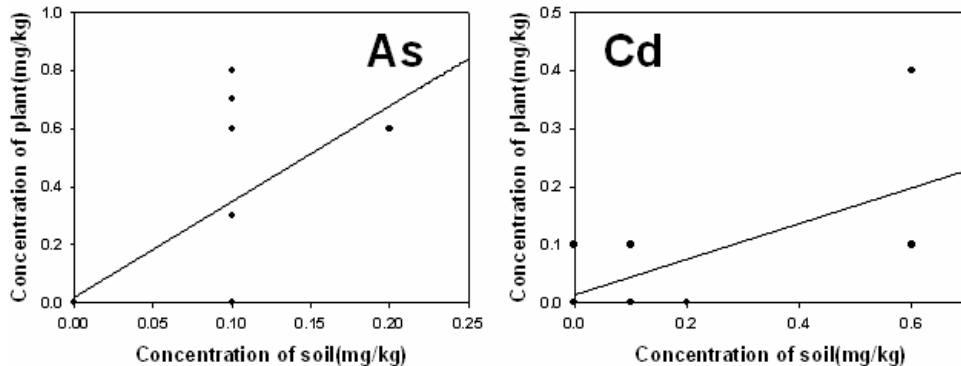


그림 4. 토양시료와 쌀 시료의 중금속 농도의 상관관계

변할 수 없다. 이는 식물의 종류에 따라 중금속을 흡수하는 정도가 다르며 흡수를 하더라도 뿌리 및 줄기로 흡수될 가능성이 크기 때문에, 중금속 종류에 따라 0.1~1N HCl에 의한 용출법을 식물뿌리에 의한 용해성 중금속의 흡수와 직접적으로 연관지어 설명하기 어렵다.

5. 결 론

풍원광산 주변 농경지 토양, 농작물, 하천의 중금속 함유량 조사를 하였다. 광산의 영향반경 4km 이내 토양, 농작물, 하천 시료를 분석하였으며 각 시료를 경작지별로 분류하여 비교 하였고 광산에서의 이격거리별로 중금속 농도의 상관관계를 검토하였다. 토양시료는 토양오염 공정시험법에 의한 실험결과 총 55개의 시료 중 갱구에 인근한 지역 2개 지점에서 Zn와 Pb이 토양오염 기준치를 초과하였으며, 지역별로는 광미장과 논 경작지 지역이 다른 지역에 비해 높은 농도를 보이는 것으로 조사되었다. 이격거리별 평가결과 갱구에 인접한 지역이 농토의 오염도가 상대적으로 높아 광산 활동에 의한 오염도가 기타요인에 비해 높은 것으로 보인다.

수질시료는 갯내수, 지하수, 하천수 전 시료가 환경기준을 초과하지 않은 낮은 중금속 분포를 나타내고 있다. 농산물시료는 총 38개 시료 중 갱구인근지역 쌀 시료 2개 지점에서 Cd과 상류 500m지점 쌀 시료에서 Pb이 기준치를 초과하였다. 토양과 농산물시료의 이격거리별 상관관계 평가결과 다른 중금속 보다는 As와 Cd이 상관관계를 나타내고 있으며 토양, 농작물의 이격거리별 중금속 평가결과 As, Cd, Zn이 다른 중금속에 비해 확산성이 높은 것으로 조사되었다. 이는 각 중금속의 용해성과 주변환경의 영향에 따라 확산성이 다르기 때문에 중금속의 특성과 지역에 따라 달라질 수 있다. 풍원광산 주변지역의 오염도는 일부지역으로 국한되며 농경지의 오염과 농작물의 오염정도가 비교적 낮다고 할 수 있다. 그러나 농경지의 높은 중금속 농도는 광산 활동에 의한 영향이 있는 것으로 나타나고 있으며, 이는 타 지역의 폐광산 조사 및 주변지역에 대한 영향조사에 참고될 수 있는 결과이다. 과거 경제개발 시대에 전국적으로 개발된 광산은 주변 환경에 영향을 미치고 있으며 보다 자세한 연구가 필요하다.

감사의 글

본 연구는 2009년도 부산가톨릭대학교 교내연구과제에 의하여 연구되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 김경웅 (1997), 달성광산지역 토양의 중금속 함량 분석결과에의 평가, *대한지하수환경학회지*, Vol. 4, No. 1, pp. 20~26.
2. 박용하 (1994), *휴·폐광된 금속광산지역의 오염관리 대책*, 연구보고서, RE-14, 한국환경기술개발원, pp. 1~14.
3. 박정숙, 김충목, 이미경 (2001), 전라남도 광산 주변에서 수확한 농산물의 미량금속 조사, *한국식품영양학회지*, Vol. 14, No. 1, pp. 132~137.
4. 전관수, 이철희, 원양수, 정진욱, 박병삼, 신덕구 (1998), 폐광산 주변 토양 및 하천의 중금속 함량, *한국환경과학회지*, Vol. 8, No. 2, pp. 197~204.
5. 조일형, 천석영, 장순웅 (2007), 폐광산지역 토양 중금속원소들에 대한 통계학적 환경오염 평가, *한국환경과학회지*, Vol. 16, No. 12, pp. 1451~1462.
6. Clemens, S. (2006), Toxic Metal Accumulation, Responses to Exposure and Mechanisms of Tolerance in Plants, *Biochimie*, Vol. 88, No. 11, pp. 1707~1719.
7. Davies, B. E. (1983), *Heavy Metal Contamination from Base Metal Mining and Smelting: Implication for Man and His Environment*, In Applied Environmental Geochemistry (Ed., I. Thornton), Academic Press, London, pp. 425~462.
8. Espana, J. S., Pamo, E. L., Santofimia, E., Aduvire, O., Reyes, J. and Baretino, D. (2005), Acid Mine Drainage in the Iberian Pyrite Belt (Odiel River Watershed, Huelva, SW Spain): Geochemistry, Mineralogy and Environmental Implications, *Appl. Geochem.*, Vol. 20, No. 7, pp. 1320~1356.
9. Jurjovec, J., Ptacek, C. J. and Blowes, D. W. (2002), Acid Neutralization Mechanisms and Metal Release in Mine Tailings: a Laboratory Column Experiment, *Geochim. Cosmochim. Acta*, Vol. 66, No. 9, pp. 1511~1523.
10. Kim, M. J., Ahn, K. H., Jung, Y., Lee, S. and Lim, B. R. (2003), Arsenic, Cadmium, Chromium, Copper, Lead, and Zinc Contamination in Mine Tailings and Nearby Streams of Three Abandoned Mines from Korea, *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, Vol. 70, No. 5, pp. 942~947.
11. Li, M. S., Luo, Y. P. and Su, Z. Y. (2007), Heavy Metal Concentrations in Soils and Plant Accumulation in a Restored Manganese Mineland in Guangxi, South China, *Environmental Pollution*, Vol. 147, No. 1, pp. 168~175.
12. Lim, H. S., Lee, J. S., Chon, T. H. and Sager, M. (2008), Heavy Metal Contamination and Health Risk Assessment in the Vicinity of the Abandoned Songcheon Au-Ag Mine in Korea, *Journal of Geochemical Exploration*, Vol. 96, No. 2-3, pp. 223~230.
13. Liu, H., Probst, A. and Liao, B. (2005), Metal Contamination of Soils and Crops Affected by the Chenzhou Lead/Zinc Mine Spill (Hunan, China), *Science of the Total Environment*, Vol. 339, No. 1-3, pp. 153~166.
14. Saria, L., Shimaoka, T. and Miyawaki, K. (2006), Leaching of Heavy Metals in Acid Mine Drainage, *Waste Manage. Res.*, Vol. 24, No. 2, pp. 134~140.
15. Shanker, A. K., Cervantes, C., Loza-Tavera, H. and Avudainayagam, S. (2005), Chromium Toxicity in Plants, *Environment International*, Vol. 31, No. 5, pp. 739~753.
16. Singer, P. C. and Stumm, W. (1970), Acidic Mine Drainage: the Rate-Determining Step, *Science*, Vol. 167, No. 3921, pp. 1121~1123.

(접수일: 2009. 9. 21 심사일: 2009. 10. 26 심사완료일: 2009. 12. 28)