

구봉광산 주변 토양에서의 중금속과 시안의 분포

김 선태, 윤.양희, 박 제안, 심 의섭

한국과학기술연구원, 특성분석센터

Distribution of heavy metals and cyanide in tailings, soils, and stream sediments around Gubong disused mine

Sun Tae Kim, Yang Hee Yoon, Je Ahn Park, Ue Sup Shim

*Advanced Analysis Center, Korea Institute of Science and Technology,
Seoul, Korea, 136-791, Korea*

ABSTRACT

Mine tailings, soils, stream sediments around Gubong disused mine were analyzed in order to investigate their distribution and pollution levels of heavy metals and cyanide. The average contents of As, Cd, Cu, Hg, Pb, Zn, and CN in mine tailings were 6.93×10^3 , 56.9, 209, 5.03, 3.25×10^3 , 1.89×10^3 , 21mg/kg respectively. The pollution indices that calculated by the tolerance level of Klope were 42~95 and the pH values were slightly alkaline in mine tailings. The contents of heavy metals and cyanide in field soils near the mine were higher than the paddy soils. The contents of heavy metals in the stream sediment were up to that of the tailings, so contamination from the mine tailings were serious.

Key words : Gubong disused mine, soil analysis, tailing analysis, heavy metal in soil

요 약 문

구봉광산의 광미와 주변 밭과 논 토양 및 하상퇴적물에서의 중금속과 시안의 분포 및 오염도에 대해 조사하였다. 광미 중의 As, Cd, Cu, Hg, Pb, Zn 및 CN^- 의 평균농도는 각각 6.93×10^3 , 56.9, 209, 5.03, 3.25×10^3 , 1.89×10^3 , 21mg/kg이었고 Kloke가 제안한 허용기준치를 이용하여 계산한 오염지수는 42~95 이었으며 pH는 약알칼리성이었다. 광산과 인접한 밭 토양 중의 중금속과 시안 함량은 논 토양보다 높았다. 하상퇴적물 중의 중금속과 시안 함량은 광미 중의 분석치정도로 많이 검출되었다.

1. 서 론

구봉광산(대봉광산)은 충남 청양군 남양면 구룡리에 소재한 광산으로 동경 $120^\circ 45'$, 북위 $36^\circ 24'$ 지점에 위치하고 있다. 국내 최대 금광산 중의 하나였으며 매물현장에서 16일만에 구출된 양창선씨 사건으로 유명하다.¹⁾ 등록 광종은 Au, Ag, Cu, Pb, Zn이지만 주광종은 Au 이다. 구봉광산은 1908년 4월 부락민에 의하여 노두가 발견된 후 1972년 7월 휴광되기까지 60여년간의 광산활동으로 많은 양의 광미가 생산되었으나 청화처리를 위해 타지역으로 이동됨으로써²⁾ 소량의 광미만이 야적되어 있을 뿐이다. 그러나 이들 광미는 광산 아래쪽의 인근 밭이나 논으로 많이 이동되었고, 특히 하절기에 우수의 영향으로 많은 양의 광미가 하상으로 퇴적되었다. 지금 현재 광미 야적장은 배수용 콘크리트 암거 및 산복수도가 완공되었고 광해방지 사업이 공사 중에 있다.³⁾ 본 논문에서는 광미장에 야적된 광미 중의 중금속 함량과, 인근 밭과 논 토양 중의 중금속 분포, 특히 구봉광산의 앞을 흐르고 있는 시냇물의 하상퇴적물 중의 중금속 분포를 확인함으로써 토양오염 정도를 확인하고자 했다.

토양오염 정도를 평가하는 방법은 다음과 같다.⁴⁾ 첫째, 토양 중의 전체 중금속 원소들을 분석하고, 비교 지역의 토양(control sample)이나 정상적인

토양의 바탕값과 비교함으로써 토양의 오염을 평가하는 방법이다. 그러나 이 방법은 중금속의 전체 함량이 높아도 중금속의 이동성이나 생물흡수도(bioavailability)가 100%로 될 수 없으므로 중금속들의 화학적 형태를 분석하여 이온화나 용출 가능 정도를 판단함으로써 오염평가를 할 수 있다. 국내 토양 중의 중금속들의 자연 바탕값은 서⁵⁾ 등의 보고서에 의하면 As 4.84, Cd 0.14, Cu 15.7, Hg 0.086, Pb 17.3, Zn 40.4 mg/kg 이라고 발표한 바 있다. 둘째, 토양오염 평가 지역에서 생장하는 식물 내의 중금속 함량을 측정함으로써 평가하는 것이다. 셋째, 토양 중의 중금속 함량 변화를 광역적으로 조사해 광역 지구화학도를 작성함으로써 오염을 평가한다. 넷째, 토양오염의 수준과 정도를 지수로서 표시하는 오염지수(pollution index, P.I.) 방법이다^{6,7)}. 이 방법은 토양에서 농작물을 재배할 경우, 농작물의 섭취로 인해 인간과 동물의 건강이나 질병에 영향을 줄 수 있는 중금속들의 허용한계치(tolerance level)를 각각 정해 다음과 같은 식에 따라 오염평가를 한다.

$$P. I. = \frac{\sum(\text{토양 중의 중금속 원소 함량} / \text{허용한계치})}{\text{중금속 원소의 수}}$$

P.I.가 1 이상이면 평균적으로 토양 중의 중금속 함량이 허용한계치 이상임을 나타내고, 1 이하이면 인위적으로나 자연적인 요인으로 오염되지 않

있다고 평가할 수 있다. Klope⁸가 제시한 토양오염의 허용한계치는 As 20, Cd 3, Cr 100, Cu 100, Hg 2, Mo 5, Ni 50, Pb 100, Sb 5, Se 10, Zn 300 mg/kg 이다.

본 연구에서는 광미와 밭토양, 논토양 및 하상퇴적물에 대해서 오염지수를 계산하여 오염정도를 평

가하고자 시도했고, 토양오염공정시험방법에 의한 염산용출 시험법으로 용출하여 토양 오염 기준과 비교하였다. 한편 우리나라 토양환경보전법(시행규칙 1996. 1. 4. 환경부령 제16호)에 의한 토양오염 기준은 Table 1과 같다.

Table 1. Soil Pollution Level for Heavy Metals and Cyanide of the Environmental Protection Law(1996, Ministry of Environment)

unit : mg/kg

Pollutant	Standards of soil pollution		Standards of measures against soil contamination	
	Agricultural area	Factory · industrial area	Agricultural area	Factory · industrial area
As	6	20	15	50
Cd	1.5	12	4	30
Cr ⁺	4	12	10	30
Cu	50	200	125	500
Hg	4	16	10	40
Pb	100	400	300	1,000
CN	2	120	5	300

2. 실험

2.1 시료채취

구봉광산의 오염현황을 측정하기 위해 Fig. 1과 같이 광미장을 중심으로 밭, 논, 하천에서 토양 시료를 채취하였다. 광미장 내에서는 7개의 시료를 채취하였고, 1개 지점은 깊이 1m 지하에서 광미를 채취하였다. 광미장 아래 610번 도로의 아래쪽 밭에서 6개의 토양시료를 채취하였고, 논 토양도 16개를 채취하였다. 또한 집옆 밭(2)은 토양의 색깔이 광미와 유사하여 동일지점(2)의 1m 깊이에서

시료를 채취하였다. 또한 하상퇴적물은 광산 인근의 하천부터 시작하여 11개 시료를 채취하였다. 각종 시료들은 표토(표면의 흙을 10cm 제거하고 10~15cm 부분에서 채취)와 심토(표면의 흙을 30cm 제거하고 30~35cm 부분에서 채취)를 각각 선정된 지점과 4 방향으로 7.5m 떨어진 지점에서 각각 시료를 동일량씩(약 100cm³) 채취해 혼합한 뒤 시료(약 500g)로 하여 대표성을 높였다. 한편 대조시료(control sample)로 사용하기 위해 구봉광산으로부터 500m 떨어진 지역의 토양과 하상퇴적물을 채취하였다.

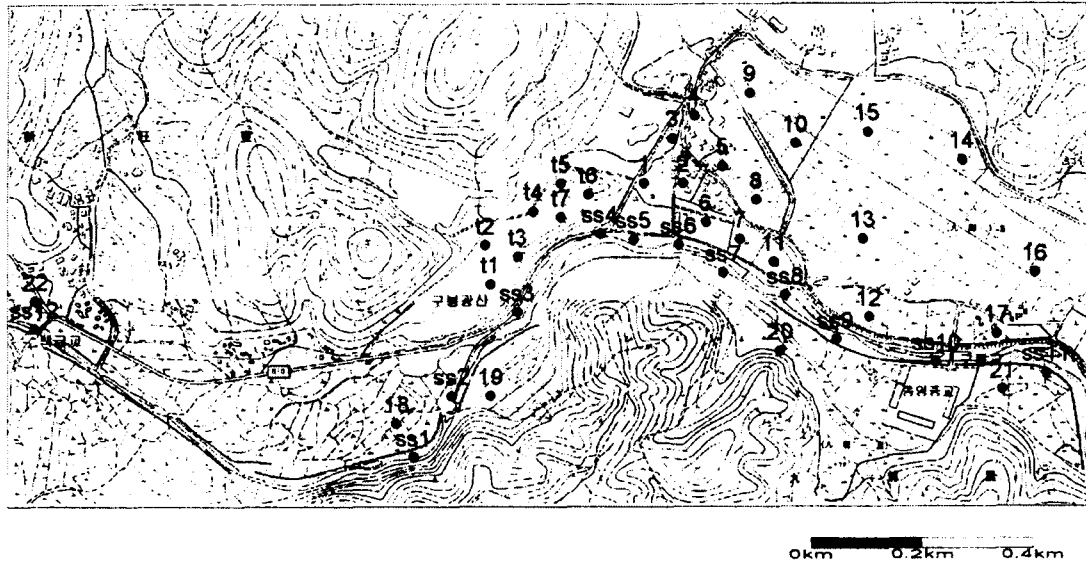


Fig. 1. Sampling location map in the vicinity of Gubong disused mine.

2.2 시료조제^{9,10)}

채취시료 중 약 2/3는 스테인레스쟁반(stainless tray)이나 폴리에틸렌제 받트(vat)에 넣고, 자갈이나 나무조각 등의 이물질을 제거한 후, 균일한 두께로 하여 직사광선이 닿지 않고 통풍이 잘 되는 곳에서 풍건(風乾)시켰다. 시료들을 가끔 섞어주고 건조가 완료되면 2mm 체 (8 mesh)에 통과시키고, 통과한 시료를 잘 섞고 4분법 등으로 일부를 채취해 100메쉬 이하로 분쇄하여 pH, Cd, Cu, Pb, Zn 및 As의 용출 시험용 시료로 하였다.

또한 CN 과 Hg는 채취 시료 중에서 일부를 취해 직접 분석하고, 별도로 건조감량을 측정된 후 건조감량만큼 보정했다.

2.3 기기 및 시약

토양환경보전법에서 규제하고 있는 오염물질을 분석하기 위해 용출시험에 이용한 항온수평진탕기는 창신 과학 제품으로 온도 조절이 가능하고

100rpm의 속도로 교반이 가능하다. 그리고 용출된 시료 용액 중의 Cd, Cu, Pb 및 Zn을 분석하기 위해 사용한 원자흡수분광광도기(AAS)는 Varian SpectrAA 800 AAS이고, As를 분석하기 위해 사용한 유도결합플라즈마 원자방출분광기(ICP-AES)는 Thermo Jarrel Ash model 61e이다. 또한 Hg를 분석하기 위해 사용한 AAS는 Perkin Elmer model 3030B이고, CN을 분석하기 위해 사용한 자외선-가시선 분광광도기는 Perkin Elmer사의 model Lambda 19이다. 한편 토양시료의 pH는 Orion사의 model 720A pH meter로 측정했다.

한편 본 실험에서 사용한 산류는 동우반도체약품사의 반도체 가공용으로서 금속 성분들을 철저히 제거한 전자급 시약이다. 또한 물은 증류후 이온교환수지로 정제한 것을 사용하였다.

2.4 시료분석

광미와 하상퇴적물 및 논과 밭의 토양에서 중금

속의 전체함량과 시안 및 pH를 측정하였다. 아울러 광미를 제외한 발토양과 논토양 및 하상퇴적물에 대해서는 표토와 심토로 나누어 용출시험도 병행하였다.

2.4.1 전체 중금속 함량의 분석

2.2에서 조제된 시료 0.5g 정도를 정확히 취해 테프론 비커에 넣고, HNO₃와 HClO₄를 가해 시료를 분해시키고 HClO₄의 백연을 낸 후 HF를 가해 규산질을 제거하여 완전 분해시켰다. 일정부피로 채워 Cd, Cu, Pb 및 Zn을 AAS로 분석했으며, As를 ICP-AES로 분석했다.

2.4.2 중금속의 용출

2.2에서 조제된 시료 10g을 정확히 달아 100mL 삼각플라스크에 넣고, 0.1N HCl 50mL를 가한다. 항온 수평 진탕기(100회/분, 진폭 10cm)를 사용하여 30℃를 유지하면서 1시간 진탕한 다음 거름종이 5B로 여과하고, Cd, Cu, Pb 및 Zn을 AAS로 분석했다. 한편 As는 0.1N HCl 대신 1N HCl을 가하고 30분간 용출하여 ICP-AES로 분석했다.

2.4.3 Hg 분석

채취시료 중 건조하지 않은 시료 약 5g을 정확히 달아 환류냉각기가 부착된 장치(Fig. 2)에서 질산과 황산을 이용하여 분해시킨 후 토양오염공정시험법에 준하여 cold vapor atomic absorption spectrophotometry(CVAAS)로 수은을 분석하고 건조감량만큼 보정했다.

2.4.4 CN 분석

채취시료 중 건조하지 않은 시료를 적당량(50μg 이하 CN 포함) 취해 토양오염공정시험법에 준하여 분석하고 건조감량만큼 보정했다.

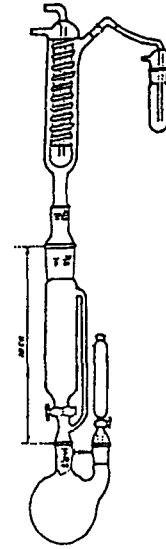


Fig. 2. Sample digestion apparatus for mercury analysis

2.4.5 pH 측정

2.2에서 조제한 시료 약 5g을 정확히 취해 50mL 비커에 넣고 증류수 25mL를 넣어 가끔 유리막대로 저어 주면서 1시간 방치 후 pH를 측정했다.

3. 결과 및 고찰

3.1 광미와 발토양, 논토양 및 하상퇴적물 중의 전체 중금속 함량

구봉광산의 광미 7개와 발토양 6개, 논토양 16개 및 하상퇴적물 시료 11개 중의 전체 중금속 함량을 조사한 결과 Table 2~4와 같았다.

3.1.1 광미 중의 중금속 함량

광미 중의 중금속들의 전체함량은 Table 2에서 알 수 있는 바와 같이 As 0.35~1.03%, Cd 38~102mg/kg, Cu 78.7~471mg/kg, Hg

Table 2. Heavy metal contents and pollution indices of mine tailings

unit : mg/kg

sample	As	Cd	Cu	Hg	Pb	Zn	P.I.
Tailing 1	3.53×10^3	102	471	3.90	6.33×10^3	3.00×10^3	48.4
Tailing 2	4.10×10^3	50.5	210	4.74	2.53×10^3	1.27×10^3	42.6
Tailing 3	6.22×10^3	61.8	104	1.29	3.36×10^3	1.69×10^3	62.1
Tailing 4	8.39×10^3	43	315	3.40	2.15×10^3	1.31×10^3	77.9
Tailing 5	1.03×10^4	38	107	12.0	2.81×10^3	2.03×10^3	94.9
Tailing 6	7.78×10^3	56	179	9.80	2.94×10^3	1.57×10^3	74.8
Tailing 7	8.17×10^3	46.8	78.7	0.11	2.60×10^3	2.37×10^3	76.5

* P.I. = (As/20 + Cd/3 + Cu/100 + Hg/2 + Pb/100 + Zn/300) / 6

Table 3. Heavy metal contents and pollution indices of field soils and paddy soils

unit : mg/kg

sample	As	Cd	Cu	Hg	Pb	Zn	P.I.
1	5.89×10^3	92.5	337	8.62	6.95×10^3	2.85×10^3	68.7
2	1.12×10^3	14.3	117	2.91	1.41×10^3	448	11.5
3	224	1.4	46.3	0.25	125	284	2.38
4	187	1.3	64.9	0.85	119	244	2.14
5	136	7.54	38.4	0.61	141	463	2.16
6	293	1.4	40.1	0.56	306	242	3.28
7	143	<1	23.2	0.034	40.0	184	1.46
8	256	<1	24.5	0.25	111	107	2.50
9	201	<1	26.0	0.16	73.0	215	2.03
10	79.2	<1	27.8	0.27	42.9	89.8	0.91
11	168	<1	24.5	0.084	56.5	98.3	1.65
12	87.0	<1	20.2	0.034	77.3	77.1	0.99
13	224	<1	18.7	0.12	73.1	93.4	2.14
14	100	<1	29.0	0.21	37.6	86.6	1.07
15	133	<1	30.0	0.24	42.5	98.4	1.36
16	143	<1	24.8	0.27	35.1	227	1.50
17	168	<1	12.2	0.047	45.9	81.3	1.60
18	150	<1	25.9	0.023	36.5	187	1.52
19	115	<1	26.1	0.19	65.5	106	1.24
20	156	<1	30.1	0.16	86.6	124	1.63
21	138	<1	20.7	0.098	50.4	145	1.41
22*	58.5	<1	17.2	0.044	25.6	86.3	0.67

* Control area

Table 4. Heavy metal contents and pollution indices of stream sediments

sample	As	Cd	Cu	Hg	Pb	Zn	P.I.
SS 1	98.4	<1	15.3	<0.01	18.9	67.1	0.97
SS 2	160	<1	18.6	0.070	38.6	83.3	1.54
SS 3	1.36×10^3	25.4	117	0.31	1.07×10^3	575	15.1
SS 4	4.19×10^3	33.2	212	0.23	1.94×10^3	957	40.9
SS 5	2.60×10^3	28.6	128	0.35	1.49×10^3	853	26.5
SS 6	1.96×10^3	23.6	147	0.21	1.70×10^3	802	21.2
SS 7	2.42×10^3	13.5	107	0.038	1.06×10^3	486	23.0
SS 8	2.73×10^3	25.7	147	0.063	1.62×10^3	768	27.6
SS 9	2.75×10^3	24.6	128	0.064	1.62×10^3	745	27.6
SS 10	2.58×10^3	25.2	130	0.031	1.70×10^3	715	26.3
SS 11	2.48×10^3	15.8	77.6	0.22	637	501	23.0
SS 12*	100	<1	18.3	0.020	23.5	103	1.02

unit : mg/kg

* Control area

0.11~12mg/kg, Pb 0.21~0.63%, Zn 0.13~0.30% 으로 Kloke가 제시한 허용한계치를 모두 초과하였다(음영표시). 또한 광미 중의 As, Cd, Cu, Hg, Pb 및 Zn의 전체 함량의 평균농도는 각각 6.93×10^3 , 56.9, 209, 5.03, 3.25×10^3 , 1.89×10^3 mg/kg이었다. 또한 오염지수도 42~95이었다.

3.1.2 밭 토양 중의 중금속 함량

밭 토양 시료들(1~6)은 Table 3에서 알 수 있는 바와 같이 1, 2 지역의 중금속 함량은 광미와 비슷하였고, 3~6지역은 Kloke 허용한계치 수준이었고, 오염지수는 1을 초과하였다. 또한 국내 토양 중의 중금속들의 자연 바탕값⁵⁾을 훨씬 초과하였으며 비교지역(22)인 백금교 밑의 토양과도 상당한 차이를 주었다.

3.1.3 논 토양 중의 중금속 함량

논 토양 시료들(7~21)은 Table 3에서 알 수 있는 바와 같이 밭토양에 비해 훨씬 낮은 값들을 나

타냈고, 특히 Cd는 1mg/kg 이하였고, 다른 원소들도 낮은 결과를 주었다.

그러나 비소의 경우 Kloke의 허용한계치(음영표시)를 초과했고, 수질환경보전법 시행령 제 30조(농수산물의 재배 등 제한) 제 1항 중 재배 토양 중의 비소 및 그 화합물의 전체농도가 15mg/kg 이상인 경우 재배를 제한하고 있으나 논토양들의 비소 함량은 규제치를 초과하고 있다. 오염지수는 대부분 1 이상이었다. 또한 국내 토양 중의 자연 바탕값을 대부분 초과하였으며 비교지역²²⁾보다 대부분 높은 값을 주었다.

3.1.4 하상퇴적물 중의 중금속 함량

하상퇴적물의 평균 중금속 분석 결과는 Table 4에서 알 수 있는 바와 같이 As 2.53×10^3 , Cd 24.0, Cu 133, Hg 0.17, Pb 1.50×10^3 , Zn 711mg/kg이므로 As, Cd, Pb 및 Zn을 광미의 결과와 비교할 때 광미의 약 40%에 해당한다고 볼 수 있다. Cu는 약 60%이므로 개천을 흐르는 유수에 다른 중금속 보다 영향이 적다고 볼 수 있고,

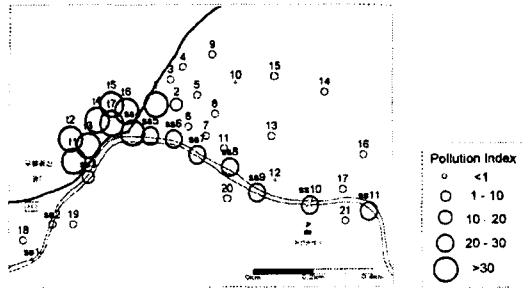


Fig. 3. Pollution index map of tailings, soils and stream sediments in the vicinity of Gubong disused mine.

이에 비해 Hg는 4%에 지나지 않으므로 유수에 가용성인 수은 화합물로 제거되었거나 하상의 더 깊은 곳으로 유입되었으리라 추측된다. 또한 비교 지역인 SS12 지역에 비해 오염지수가 15~41배에 이른다.

이상 이들의 오염지수를 그림으로 그리면 Fig. 3과 같다. 광미와 하상퇴적물의 오염지수가 논이나 밭보다 월등히 큼을 알 수 있다.

3.2 용출시험법에 의한 중금속 함량과 시안 및 pH

토양오염공정시험법에 의해 중금속들과 시안 함

량 및 pH의 분석 결과를 종합한 결과 Table 5~8과 같다.

3.2.1 구봉광산 광미

광미의 용출 시험 결과들을 볼 때 Table 5에서 알 수 있는 바와 같이 As와 대부분 지역의 Cd 및 Pb는 Table 1의 공장·산업지역의 우려기준을 초과하고 있으며(음영 표시), 농업지역의 우려기준 이상인 지역(고딕 표시)도 있다. Cu는 1개의 광미만을 제외하고는 농경지 우려기준 이하이다. Zn은 규제대상에 포함되지 않은 원소이지만 대부분 300mg/kg을 초과하고 있다. 또한 CN⁻은 대부분 농경지 우려기준을 초과하였으며 pH는 약알칼리성이었다. 광미는 이와 같이 중금속원소들과 CN⁻으로 오염되어 있으므로 이들 오염물질들의 용출을 막기 위한 조치가 필요하다고 본다.

3.2.2 구봉광산 인근 밭 토양 중의 중금속 함량

구봉광산의 광미 야적장으로부터 610번 도로를 사이에 두고 형성된 밭에서 채취된 토양(1지역~6지역) 중의 중금속 원소와 CN⁻의 함량 및 pH는 다음 Table 6과 같다. Table 6에서 알 수 있는 바와 같이 광미장으로부터 가까운 지역의 밭에서 중금속들이 많이 검출된 것은 밭의 토양에 광미장의

Table 5. Analytical results of heavy metals, CN⁻, and pH in mine tailings by the method recommended environmental protection law

sample	As	Cd	Cu	Hg	Pb	Zn	CN ⁻	pH
	1N HCl	0.1N HCl	0.1N HCl	total	0.1N HCl	0.1N HCl	total	
Tailing 1	194	26.0	13.6	3.90	2.98 × 10 ³	722	1.16	8.55
Tailing 2	784	25.2	42.8	4.74	1.46 × 10 ³	601	14.9	8.13
Tailing 3	264	9.44	6.84	1.29	879	209	1.76	8.39
Tailing 4	3.74 × 10 ³	32	190	3.40	252	774	64	7.90
Tailing 5	2.34 × 10 ³	25	21	12.0	795	1.58 × 10 ³	3.7	7.69
Tailing 6	754	21	40	9.80	603	527	13	8.32
Tailing 7	3.00 × 10 ³	34.9	14.9	0.11	314	1.26 × 10 ³	48.5	6.78

unit : mg/kg

Table 6. Analytical results of heavy metals, CN-, and pH in field soil by the method recommended environmental protection law

unit : mg/kg

sample	As		Cd		Cu		Hg	
	topsoil	subsoil	topsoil	subsoil	topsoil	subsoil	topsoil	subsoil
1	2.07 × 10³	2.04 × 10³	52.9	55.1	67.5	81.4	8.62	6.46
2	1.09 × 10³	1.94 × 10³	11.4	36.5	67.2	45.0	2.91	10.7
2 ds	—	791	—	16.2	—	19.2	—	2.26
3	32.5	357	1.18	6.53	11.2	41.5	0.25	5.93
4	49.6	33.0	0.97	0.94	12.7	10.9	0.85	0.54
5	49.7	57.8	5.55	3.03	9.12	9.91	0.61	0.80
6	85.4	1.07 × 10³	1.18	8.02	9.73	26.5	0.56	1.81

sample	Pb		Zn		CN ⁻		pH	
	topsoil	subsoil	topsoil	subsoil	topsoil	subsoil	topsoil	subsoil
1	582	556	1.52 × 10 ³	1.36 × 10 ³	38.1	22.7	7.22	7.17
2	515	1.08 × 10³	234	331	0.55	1.71	5.94	7.29
2 ds	—	516	—	373	—	1.10	—	7.19
3	45.2	589	49.9	33.6	0.15	0.30	5.11	7.12
4	30.5	29.6	54.0	20.9	0.11	0.015	7.51	7.35
5	25.4	39.6	23.4	17.4	0.14	0.034	6.02	6.52
6	85.8	425	29.4	198	0.15	2.14	4.91	5.61

* ds : deep soil (1 meter)

광미가 섞여 있다고 판단할 수 있다. 광미중에는 As의 함량이 높았고 Pb와 Cd의 함량이 정상적인 토양에 비해 월등히 높았다. 대체적으로 표토보다 심토에서 더 많은 중금속이 검출되었다. 또한 시료 한 개로서 전체를 이야기할 수는 없지만 2번 지점의 1m 깊이(2d)에서도 As와 Pb 및 Cd등이 많이 검출된 것으로 보아 광미가 지표면이 아닌 깊은 부분까지도 혼재한다고 판단할 수 있다. 주민의 의견에 따르면 원래 이 밭(2)에는 광미가 깔려 있었고, 밭으로 사용하기 위해 다른 지역에서 토양을 옮겨와 복토했다고 하므로 오염도에 대해 자세한 언급을 하기는 어려울 것으로 판단된다. 표토에 경작하면서 광미와 섞여 이러한 오염도를 나타내고 있는 것이라고 생각되며 심토의 오염도가 높은 것은 표토는 지속적인 농작물의 경작으로 감소될 수 있지

만 심토는 반응하지 않은 상태로 그대로 존재할 확률이 크므로 높은 함량의 중금속이 검출되었다고 판단할 수 있다. pH는 대체적으로 표토의 pH가 낮았으며 이는 경작 등 외부적인 요인에 의해 pH가 낮아졌으리라 생각되고 심토가 더 높은 것은 광미의 영향이라 볼 수 있다. Table 7의 비교토양인 22지역의 중금속의 결과들과 비교할 때, 광미장으로부터 떨어져 있는 4 지역과 5 지역이라 해도 중금속의 함량이 월등히 높음을 알 수 있다.

3.2.3 구봉광산 인근 논토양 중의 중금속 함량

구봉광산 인근의 논 토양들(7지역~21지역)의 중금속 함량은 Table 7과 같이 비교지역인 22 지역의 중금속 함량보다 대부분 높은 결과를 보여주고 있다. 또한 논토양에서 분석된 결과들을 종합할

Table 7. Analytical results of heavy metals, CN^- , and pH in paddy soils by the method recommended environmental protection law
unit : mg/kg

sample	As		Cd		Cu		Hg		Pb		Zn		CN		pH	
	topsoil	subsoil	topsoil	subsoil	topsoil	subsoil	topsoil	subsoil	topsoil	subsoil	topsoil	subsoil	topsoil	subsoil	topsoil	subsoil
7	4.16	5.48	0.19	0.39	4.09	3.20	0.034	0.086	11.0	15.8	3.07	3.55	0.032	0.013	5.54	5.71
8	71.5	34.2	0.55	0.79	8.22	8.32	0.25	0.25	43.5	25.1	10.2	12.0	0.051	0.023	5.47	6.14
9	28.4	23.9	0.44	0.64	8.23	8.67	0.16	0.29	18.0	23.9	7.55	8.85	0.063	0.020	5.65	5.65
10	14.1	13.6	0.42	0.40	9.01	6.38	0.27	0.40	21.0	13.6	8.08	3.22	0.042	0.023	5.74	6.24
11	9.93	7.47	0.41	0.56	5.91	4.51	0.084	0.099	25.1	19.8	5.42	3.77	0.097	0.072	5.07	5.44
12	6.38	13.6	0.26	0.32	3.55	3.87	0.034	0.094	8.33	31.3	3.15	3.01	0.021	0.015	5.95	6.08
13	32.0	97.1	0.28	0.69	3.85	8.69	0.12	0.48	20.3	48.8	5.49	11.9	0.022	0.032	5.82	6.23
14	7.16	4.15	0.17	0.18	8.22	7.20	0.21	0.084	16.4	14.1	3.15	2.47	<0.01	0.015	5.47	6.09
15	8.31	10.6	0.26	0.24	7.77	6.44	0.24	0.23	15.1	11.9	3.98	4.04	0.025	0.019	5.89	6.09
16	16.1	10.5	0.42	0.33	8.20	5.89	0.27	0.25	17.3	13.3	6.99	4.52	<0.01	0.025	5.31	5.80
17	13.6	8.60	0.57	0.27	4.75	2.84	0.047	0.051	18.8	10.3	8.27	4.30	0.039	0.023	5.58	5.73
18	3.80	<2	<0.1	<0.1	4.98	0.76	0.023	0.020	7.19	1.89	4.03	1.26	0.034	0.014	5.55	5.91
19	2.91	<2	0.43	0.22	6.35	5.19	0.19	0.25	27.9	19.4	5.44	2.09	0.024	<0.01	5.94	5.66
20	8.39	9.98	0.56	0.45	6.93	5.30	0.16	0.15	31.1	18.4	4.80	3.24	0.022	0.015	5.83	5.94
21	18.4	3.84	0.48	0.15	4.72	2.81	0.098	0.025	16.4	5.94	5.04	1.46	0.043	<0.01	5.61	5.93
22*	<2	<2	<0.1	<0.1	3.17	2.61	0.044	0.051	6.30	4.29	2.10	1.38	<0.01	<0.01	5.64	6.17

* Control soil

Table 8. Analytical results of heavy metals, CN⁻, and pH in stream sediments by the method recommended environmental protection law

unit : mg/kg

sample	As		Cd		Cu		Hg		Pb		Zn		CN		pH	
	topsoil	subsoil	topsoil	subsoil	topsoil	subsoil	topsoil	subsoil	topsoil	subsoil	topsoil	subsoil	topsoil	subsoil	topsoil	subsoil
SS 1	<2	<2	<0.1	<0.1	0.89	0.76	<0.01	<0.01	1.16	1.09	3.21	2.38	<0.01	<0.01	6.70	6.79
SS 2	6.56	10.4	0.20	0.28	3.31	3.11	0.070	0.047	11.6	12.4	5.01	6.07	0.023	0.012	6.09	6.21
SS 3	252	167	12.3	7.61	15.5	9.53	0.31	0.32	778	163	286	173	0.38	0.46	6.99	7.14
SS 4	501	391	18.9	18.2	28.4	18.7	0.23	0.45	1.39 × 10 ³	1.19 × 10 ³	504	561	0.56	0.18	7.30	7.69
SS 5	633	814	16.1	22.3	23.4	29.3	0.35	0.97	897	1.48 × 10 ³	313	486	0.85	0.75	7.27	7.86
SS 6	612	657	17.6	26.4	29.2	27.4	0.21	0.42	1.02 × 10 ³	1.57 × 10 ³	407	548	0.56	0.60	7.81	7.87
SS 7	1.28 × 10 ³	1.55 × 10 ³	9.54	9.92	20.6	31.9	0.038	0.44	527	585	177	174	0.88	0.53	5.19	5.59
SS 8	775	770	13.5	16.4	21.9	27.7	0.063	0.44	1.00 × 10 ³	1.19 × 10 ³	314	368	0.63	0.62	7.20	7.09
SS 9	1.58 × 10 ³	1.48 × 10 ³	17.7	8.29	36.4	19.8	0.064	0.30	725	433	312	126	0.51	0.33	5.33	4.59
SS 10	1.58 × 10 ³	1.64 × 10 ³	17.2	11.7	18.4	15.2	0.031	0.50	403	342	341	312	1.17	1.09	4.64	4.45
SS 11	218	208	7.07	8.15	9.21	12.3	0.22	0.40	384	536	169	190	0.55	0.79	6.69	6.67
SS 12*	<2	-	<0.1	-	2.30	-	0.020	-	4.06	-	166	-	<0.01	-	6.90	-

* Control stream sediment

때, 토양오염 기준상 As는 대부분 농경지 우려기
준을 초과하고 있지만 다른 원소들은 모두 농경지
우려기준 이하이다.

각각의 표토와 심토들의 분석 결과들을 비교할
때, 대체적으로 심토에 비해 표토층의 중금속 함량
이 약간 높은 것은 표토에 광미의 일부가 바람이나

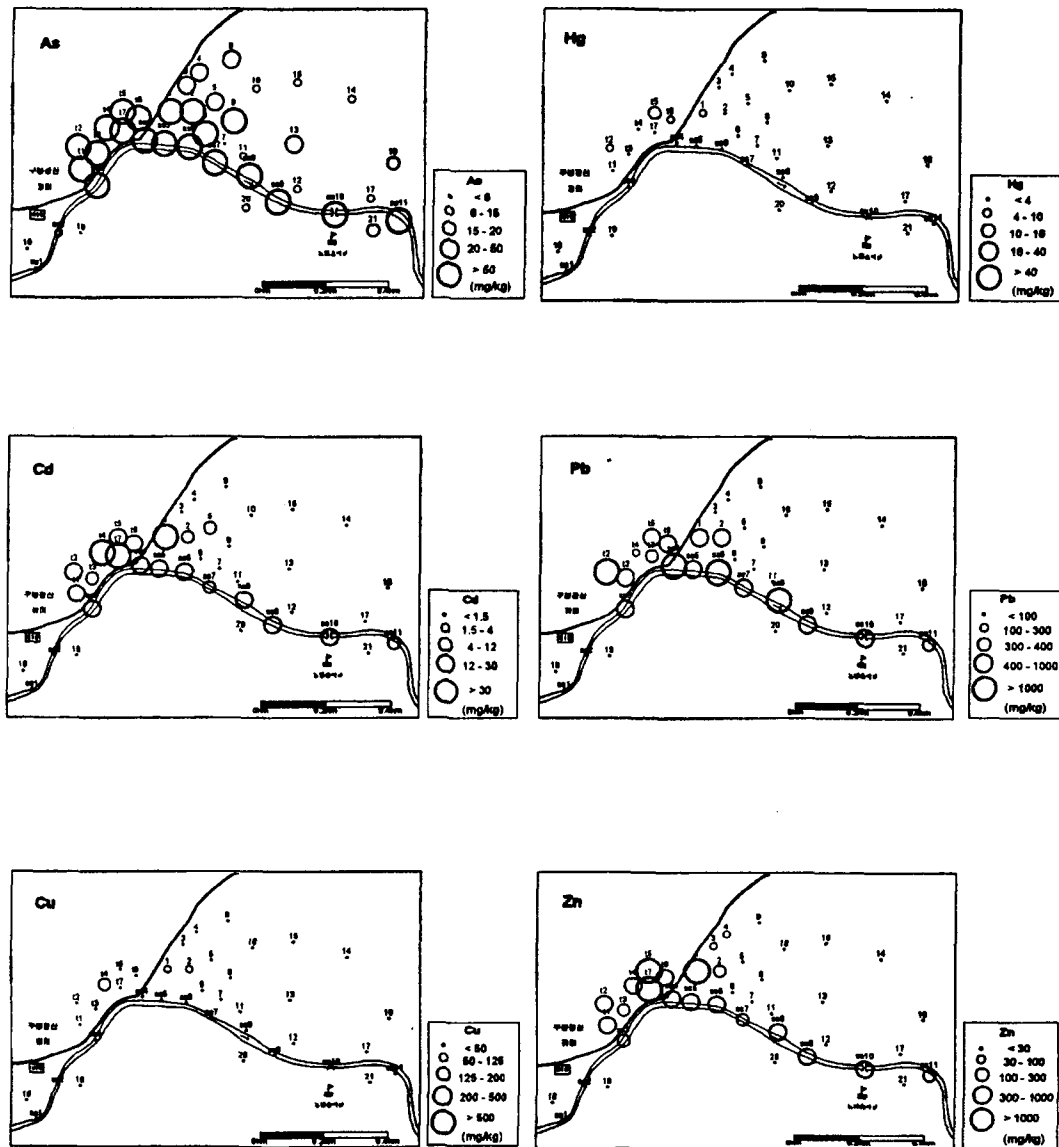


Fig. 4. Distribution of heavy metals in the vicinity of Gubong disused mine by HCl extraction methods.

수계의 흐름 등에 의해 약간 높은 결과를 준 것으로 사료된다. 이것은 대조시료인 22지역의 비교에서도 잘 나타난다고 볼 수 있다. 한편 표토와 심토의 pH는 대부분 심토가 더 높는데 표토는 경작 등에 의해 산도가 더 낮거나 대외적인 변화를 수렴하는 과정의 산물이라 생각된다.

3.2.4 구봉광산 인근 하상퇴적물 중의 중금속 함량

하상퇴적물을 분석하여 Table 8의 결과들을 얻었다. 백금교(白琴橋)에서 채취한 비교시료(SS12)를 기준으로 볼 때 SS1 지역과 SS2 지역을 제외하고 광산과 인접하는 SS3부터 As와 Cd 및 Pb의 오염이 두드러지게 나타나 하상퇴적물의 대부분은 광미라고 일컬을 정도이다. 이들 금속은 공장·산업지역의 우려, 대책기준을 초과하며 특히 As는 1600mg/kg에 이르는 곳도 있었다. 광미 중 Cu와 Hg는 자연 바탕값 이하였다.

표토와 심토를 비교할 때 수은을 제외하고는 별다른 유의성은 없었다. 심토 중의 수은 함량은 미량이지만 표토에 비해 SS2 지역만을 제외하고는 대부분 높았는데, 표토의 수은은 가용성 수은 화합물로 이동되었는지 아니면 비중이 커서 심토로 내려갔는지 확인할 수 없다.

이상 용출시험에 따른 결과를 그림으로 종합하면 Fig 4와 같으며 As, Cd, Pb의 오염이 두드러짐을 알 수 있다.

4. 결 론

구봉광산의 광미 야적장에 있는 광미 중의 중금속을 분석한 결과 비소가 다량 검출되었고, 카드뮴과 납도 검출되었다. 또한 인근 밭이나 논 토양의 중금속을 분석한 결과 일부의 밭이 오염되어 있었다. 특히 하상퇴적물에는 광미 중 중금속 함량의

약 40%에 해당하는 중금속들이 오염되어 있음을 확인하였다.

구봉광산의 광해방지사업이 진행 중에 있으므로 앞으로 광미 야적장으로부터의 오염은 줄일 수 있지만 이미 광미가 혼입된 밭이나 논에 대해서는 상응하는 조치가 필요하다고 생각되며, 특히 광산 앞을 흐르고 있는 냇물에 퇴적된 하상퇴적물을 준설하여 광해방지사업이 진행되고 있는 야적장으로 옮기든지 특별한 조치가 필요하다고 생각한다.

참 고 문 헌

1. 동아일보, 1967년 9월 7일, 사회면
2. 대한광업진흥공사, 한국의 광상, 제12호, 54(1990).
3. 민정식, 광산지역 광해조사 및 대책연구, 한국자원연구소, 연구보고서, KR-97(C), 314(1997).
4. 전효택, 토양시료 채취 방법의 문제점 및 해결 방안 (폐광산 중심), 오염토양분석 Work-shop, KIST, 120~121(1998).
5. 서윤수 외 5, 국립환경연구소보, 4, 189~198(1982).
6. 전동진, 전효택, 전용원, "신예미 Pb-Zn-Fe 광산과 거도 Cu-Fe 광산 주변 토양·하상퇴적물 및 하천수의 중금속 오염", 한국자원공학회지, 32(5), 409~423(1995).
7. 황호송, 전효택, "시흥 Cu-Pb-Zn 광산 주변에서의 중금속 원소들의 분산 및 존재 형태와 흡착 처리", 자원환경지질, 28(5), 455~467(1995).
8. Kloke, A., Content of As, Cd, Cr, F, Pb, Hg, Ni in plants grown on contaminated soil, UN-ECE Symp.(1979).
9. 土壤汚染公定試驗方法, 環境部(1997).
10. 公害關係の分析法と解説(改訂3版), 神奈川縣公害對策事務局,(1974).