

## 임천광산 광미와 주변 토양 및 지하수의 오염조사

김선태 · 윤양희 · 박제안 · 심의섭 · 박경수

한국과학기술연구원, 특성분석센터

### Analysis of mine tailings, soils, stream sediments and ground water around Imcheon disused mine

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

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

## ABSTRACT

Mine tailings, soils, stream sediments, and ground water around Imcheon disused mine were analyzed in order to investigate their pollution levels of heavy metals and cyanide. The average contents of As, Cd, Cu, Hg, Pb, Zn, and  $CN^-$  in mine tailings were 366, 28.8, 202, 15.2,  $1.97 \times 10^3$ ,  $3.85 \times 10^3$ , 90.6mg/kg respectively. The pollution indices that calculated by the tolerance level of Kloke were 8~19 and the pH values were acidic in mine tailngs. In the field and paddy soils of Imcheon disused mine area except for soils nearby mine tailngs, concentratitons of the heavy metals were less than standards of soil pollution of agricultral area in the environmental protection law. The nitrate contents in the ground water for drink were more than tolerance level of the drinking water of Ministry of Health and Social Affairs.

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

## 요 약 문

임천광산의 광미와 주변 밭과 논·토양의 토양, 하상퇴적물 및 지하수에서의 중금속과 시안의 오염도에 대해 조사하였다. 광미 중의 As, Cd, Cu, Hg, Pb, Zn 및 CN<sup>-</sup>의 평균농도는 각각 366, 28.8, 202, 15.2,  $1.97 \times 10^3$ ,  $3.85 \times 10^3$ , 90.6mg/kg이었고 Kloke가 제안한 허용기준치를 이용한 오염지수는 8~19이었으며 pH는 산성이었다. 토양오염공정시험법에 의한 중금속 농도는 광미와 인접한 일부 토양만을 제외하고는 토양환경보전법의 농경지 우려기준이하였다. 광산 인근 주민들이 식수로 이용하는 일부 지하수에서 보건복지부의 음용수 수질기준을 훨씬 넘는 질산이온이 검출되었다.

**주제어** : 임천광산, 토양 분석, 광미 분석, 토양 중의 중금속

### 1. 서 론

임천광산은 충남 부여군 장암면 지토리에 소재한 광산으로 동경 126° 53', 북위 36° 10' 지점에 위치하고 있으며, 1916년 개광 이후 1988년에 폐광되었다<sup>1)</sup>. 현재까지도 선광시설등이 일부 남아있는 광산으로서 금을 주광종으로 하지만 생산량은 그렇게 많지 않아 광미 또한 많지 않다. 그러나 광산 바로 옆에 약 40가구 정도의 주민들이 거주하고 있으므로 광미로 인한 오염도 조사는 꼭 필요하다.

임천광산 주변 마을의 몇 가구는 마당에 광미를 포장함으로써(주민이 전하는 바에 따르면 잡초 제거용으로) 광미내의 pyrite로 인한 yellow boy 현상을 일으켜 동네 전체가 광미로 오염된 것처럼 보이지만<sup>2)</sup> 실제로는 오염도는 낮다고 본다. 선광장 앞의 광미위에는 흙관이 야적되어 있으므로 광미의 양을 정확하게 판단할 수는 없지만 그렇게 많지는 않다. 본 논문에서는 임천광산의 광미와 인근 논과 밭 토양 및 하상퇴적물 중의 중금속과 시안의 함량 및 pH 등에 대해서 조사하고, 임천광산 인근의 주민들이 식수로 사용하고 있는 지하수와 간이급수 중의 중금속 성분들과 음이온 등을 분석하였다.

토양오염 정도를 평가하는 방법에는 여러 가지가 있지만<sup>3)</sup> 본 논문에서는 오염지수(pollution

index, P.I.) 방법과 우리나라의 토양오염공정시험법에 의한 두 가지 방법을 주로 이용해 오염정도를 확인하고자 시도했다. 오염지수 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.

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

P.I.가 1 이상이면 평균적으로 토양 중의 중금속 함량이 허용한계치 이상임을 나타내고, 1 이하이면 인위적으로나 자연적인 요인으로 오염되지 않았다고 평가할 수 있다. Kloke<sup>4)</sup>가 제안한 토양오염의 허용한계치는 As 20, Cd 3, Cr 100, Cu 100, Hg 2, Mo 5, Ni 50, Pb 100, Sb 5, Se 10, Zn 300mg/kg 이다.

한편, 토양오염공정시험방법에 의한 평가는 염산용출 시험법으로 용출하여 토양 오염 기준과 비교하였다. 우리 나라 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)**

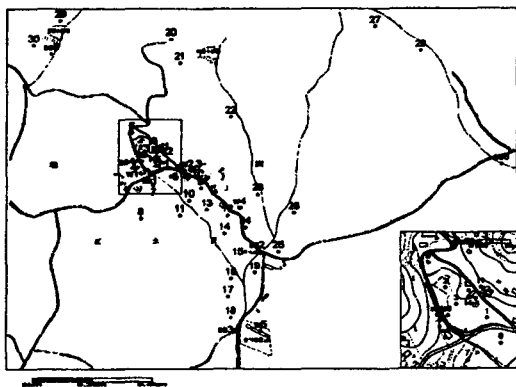
unit : mg/kg

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 <sup>+</sup>	4	12	10	30
Cu	50	200	125	500
Hg	4	16	10	40
Pb	100	400	300	1,000
CN <sup>-</sup>	2	120	5	300

## 2. 실험

### 2.1 시료채취

임천광산의 오염현황을 측정하기 위해 Fig. 1과 같이 광미장을 중심으로 밭과 논, 하천 등에서 토양 시료들을 채취하였다. 광미장 내에서는 9개의 광미 시료를 채취하였고, 이들 중 1개 지점은 표토와 심토를, 또 1개 지점은 깊이 1m 지하에서 광미



**Fig. 1. Sampling map in the vicinity of Imcheon disused mine.**

를 채취하였다.

한편 광산 인근의 밭 토양 시료 6개(4, 5, 11, 14, 20, 25), 비경작지 5개 지점(1, 2, 3, 6, 15), 논 토양 시료 16개, 및 하상퇴적물 시료 16개를 채취하였다. 이들 밭 토양과 논 토양 시료들(30개)은 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 100cm<sup>2</sup>) 채취해 혼합한 뒤 시료(약 500g)로 하여 대표성을 높였다. 한편 대조시료(control sample)로 사용하기 위해 임천광산으로부터 300m 이상 떨어진 지역의 토양(27, 28, 29)과 하상퇴적물(SS6)을 채취하였다. 또한 1지점과 7 지점은 1m 깊이에서 시료를 채취하였다.

또한 주민들이 식수로 사용하고 있는 간이급수 2개와 성북초등학교 식수를 포함한 지하수 3개를 채취하여 중금속 성분과 음이온 성분들을 분석하였다.

### 2.2 시료조제<sup>5),6)</sup>

채취 토양시료 중 약 2/3는 스텐레스쟁반

(stainless tray)이나 폴리에틸렌제 바트(vat)에 넣고, 자갈이나 나무조각 등의 이물질 제거 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 시험용 시료로 하였다. 또한 CN<sup>-</sup>과 Hg는 채취 시료 중에서 일부를 취해 직접 분석하고, 별도로 건조감량을 측정 한 후 건조감량만큼 보정했다.

또한 채취된 간이급수와 지하수는 음이온과 중금속을 분석하기 위해 각각 별도로 채취하였으며 중금속 분석 시료에는 질산을 가해 pH2 이하로 유지시켜 운반 후 분석했다.

### 2.3 기기 및 시약

토양환경보전법에서 규제하고 있는 오염물질을 분석하기 위해 용출시험에 이용한 항온수평진탕기는 온도 조절이 가능하고 100 rpm의 속도로 교반이 가능한 창신과학 제품이다. 그리고 용출된 시료 용액 중의 Cd, Cu, Pb 및 Zn을 분석하기 위해 사용한 원자흡수분광광도기(AAS)는 Varian SpectrAA 800이고, As를 분석하기 위해 사용한 유도결합플라스마 원자방출분광기(ICP-AES)는 Thermo Jarrel Ash model 61e이다. 또한 Hg를 분석하기 위해 사용한 AAS는 Perkin Elmer model 3030B이고, CN<sup>-</sup>을 분석하기 위해 사용한 자외선-가시선 분광광도기는 Perkin Elmer사의 model Lambda 19이다. 한편 토양시료의 pH는 Orion사의 model 720A 로 측정했다.

수질을 분석하기 위해 사용한 ICP/MS는 Perkin-Elmer Elan model 5000 이었으며, 음이온을 분석하기 위해 사용한 Ion chromatograph 는 Dionex 2000i 이었다.

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 중금속의 전체함량과 시안 및 pH를 측정하였다. 아울러 표토와 심토로 나누어 토양오염공정시험법에 준하는 용출시험을 수행하였다.

#### 2.4.1 전체 중금속 함량의 분석

2.2에서 조제된 시료 0.5g 정도를 정확히 취해 테프론 비커에 넣고, HNO<sub>3</sub>와 HClO<sub>4</sub>를 가해 시료를 분해시키고 HClO<sub>4</sub>의 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 장치에서 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.

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 하상 퇴적물 중의 전체 중금속 함량

임천광산의 광미 9개와 발 토양 12개, 논 토양 20개(비교지역 포함) 및 하상퇴적물 시료 6개 중의 전체 중금속 함량을 조사한 결과 Table 2~3과 같았다.

3.1.1 광미 중의 중금속 함량

광미 중의 중금속들의 전체함량은 Table 2에서 알 수 있는 바와 같이 As 110~1.02×10<sup>3</sup>mg/kg, Cd 13.2~58.8mg/kg(tailing 4 제외), Cu 120~383mg/kg, Hg 4.23~35.6mg/kg(tailing 6S 제외), Pb 528~5.53×10<sup>3</sup>mg/kg, Zn 668~6.60×10<sup>3</sup>mg/kg 으로 Kloke<sup>4</sup>가 제시한 허용한계치 As 20, Cd 3, Cu 100, Hg 2, Pb 100, Zn 300mg/kg를 tailing 4와 6s만을 제외하고는 모두 초과하였다(음영표시). 또한 광미 중의 As, Cd, Cu, Hg, Pb 및 Zn의 전체 함량의 평균 농도는 각각 366, 28.8(tailing 4 제외), 202, 15.2(tailing 6s 제외), 1.97×10<sup>3</sup> 및 3.85×10<sup>3</sup>mg/kg이었다. 또한 이들 광미들의 전체 중금속 함량을 이용해 오염지수(P.I.)를 계산한 결과 8.13~18.8 이었다.

3.1.2 논과 밭의 토양 및 하상퇴적물 중의 중금속 함량

논과 밭의 토양 및 하상퇴적물 중의 중금속 함량은 Table 3과 같았다. 우리나라 대부분의 광산 지역은 As 함유량이 높은 경향이 있는데 Kloke의

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	196	25.8	142	30.3	1.21 × 10 <sup>3</sup>	3.82 × 10 <sup>3</sup>	9.97
Tailing 2	1.02 × 10 <sup>3</sup>	20.3	196	9.44	3.49 × 10 <sup>3</sup>	4.02 × 10 <sup>3</sup>	18.8
Tailing 3	260	25.9	120	16.8	1.05 × 10 <sup>3</sup>	3.82 × 10 <sup>3</sup>	9.08
Tailing 4	314	1.29	134	35.6	5.53 × 10 <sup>3</sup>	668	15.5
Tailing 5t	390	31.0	239	8.24	1.18 × 10 <sup>3</sup>	5.27 × 10 <sup>3</sup>	11.0
Tailing 5s	413	40.6	198	4.23	1.31 × 10 <sup>3</sup>	6.60 × 10 <sup>3</sup>	13.4
Tailing 5d	110	58.8	383	5.80	528	4.78 × 10 <sup>3</sup>	8.84
Tailing 6t	269	14.5	247	11.1	1.27 × 10 <sup>3</sup>	2.94 × 10 <sup>3</sup>	8.13
Tailing 6s	320	13.2	161	1.87	2.15 × 10 <sup>3</sup>	2.70 × 10 <sup>3</sup>	8.91

\* t : top tailing, s : sub tailing, d : deep tailing(1m)

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

Table 3. Heavy Metal Contents and Pollution Indices of Soils and Sediments

unit : mg/kg

sample	As	Cd	Cu	Hg	Pb	Zn	P.I.
1#	64.7	1.06	28.4	4.14	1704	237	3.96
1d	68.2	<0.5	29.2	1.56	105	130	1.02
2#	136	4.80	63.8	3.62	933	1019	3.93
3#	94.3	11.0	57.2	1.09	1778	2307	5.82
4(F)	45.9	<0.5	13.4	0.12	57.9	135	0.61
5(F)	142	<0.5	48.3	1.18	1115	267	3.40
6#	39.0	1.09	18.0	0.54	99.7	281	0.78
7(P)	39.9	<0.5	18.9	0.63	81.1	167	0.67
7d	19.8	<0.5	14.0	0.28	66.2	131	0.42
8(P)	88.3	<0.5	19.6	0.09	27.6	87.2	0.90
9(P)	43.1	<0.5	13.4	0.16	81.0	126	0.63
10(P)	82.3	1.37	20.3	1.57	253	340	1.54
11(F)	19.0	<0.5	22.8	0.13	35.9	103	0.35
12(P)	27.3	<0.5	19.0	0.43	73.6	147	0.53
13(P)	11.8	<0.5	16.2	0.96	111	173	0.51
14(F)	23.0	0.85	12.4	0.44	99.3	138	0.54
15#	55.3	<0.5	11.3	0.20	68.3	131	0.71
16(P)	15.9	<0.5	13.0	0.47	105	152	0.48
17(P)	22.7	0.65	17.6	0.92	135	196	0.67
18(P)	110	<0.5	12.3	0.27	74.0	113	1.17
19(P)	30.9	<0.5	13.0	0.13	63.0	89.0	0.47
20(F)	26.8	<0.5	77.6	<0.014	59.1	103	0.54
21(P)	95.1	<0.5	15.4	0.54	89.5	138	1.12
22(P)	36.8	<0.5	13.8	0.14	53.4	127	0.53
23(P)	59.1	<0.5	6.42	<0.015	39.3	57.9	0.63
24(P)	12.1	<0.5	18.8	0.020	22.9	81.1	0.25
25(F)	5.78	<0.5	12.8	0.17	47.5	126	0.26
26(P)	69.6	<0.5	7.75	0.080	41.7	58.4	0.73
27*	33.3	<0.5	6.19	0.042	43.2	70.4	0.43
28*	21.4	<0.5	6.22	0.013	36.2	45.8	0.30
29*	18.9	<0.5	9.35	0.088	49.9	81.9	0.34
30(P)	77.0	<0.5	13.0	0.031	52.1	121	0.85
SS1	70.1	<0.5	17.8	1.65	176	317	1.25
SS2	22.5	<0.5	13.6	0.23	45.4	89.9	0.38
SS3	54.9	<0.5	14.7	0.43	60.5	175	0.74
SS4	94.1	<0.5	17.2	0.14	389	99.8	1.56
SS5	42.2	<0.5	12.0	0.088	54.2	181	0.60
SS6*	23.4	<0.5	3.66	<0.010	32.4	46.1	0.31

\* control area, # uncultivated land, F : field soil, P : paddy soil

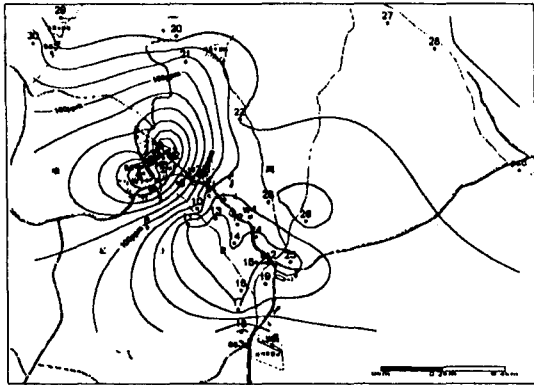


Fig 2. Distribution of Arsenic contents in soil around Imcheon disused mine.

허용기준치만을 가지고 설명할 때 As는 대부분 허용한계치 20mg/kg를 초과했으며 비교지역의 일부도 초과하였다. Cd는 2개 지점, Hg는 2개 지점, Pb와 Zn은 광미장에서 가까운 몇 개 지점만 Kloke의 허용기준을 초과하였고, 이 기준으로 계산한 오염지수는 대부분 1 이하였으며 1을 초과하는 지역은 밭은 1개, 논은 3개 지점뿐으로 임천광산 인근의 논과 밭은 대체적으로 오염정도가 낮았다. 이들 중금속들 중 As만이 대부분의 토양시료 중에서 허용한계치를 초과했으므로 As의 오염지도를 그린 결과 Fig. 2와 같았다. As 한 원소만을 가지고 확산 여부를 말할 수 없지만 광미장 인근의 오염도가 큰 것으로 보아 광미의 유실로 인한 것으로 사료되어 광미장에 대한 대책이 절실히 요구된다.

카드뮴과 비교지역을 제외하고 논 토양 16개의 중금속 성분 평균농도를 구한 결과 As 51.4, Cu 14.9, Hg 0.40, Pb 81.5, Zn 136mg/kg으로서<sup>7)</sup> 등이 보고한 논 토양에서의 자연함량인 As 4.84, Cu 15.7, Hg 0.086, Pb 17.3, Zn 40.4mg/kg와 비교할 때 광산활동의 영향을 약간 받았음을 알 수 있다.

한편 하상퇴적물 중 As는 Kloke의 허용농도를 초과하였으며, SS1의 Pb와 Zn, SS4의 Pb만을 제외하고는 Kloke의 허용기준 이하였다. 이들의 평균값은 As 56.8, Cu 15.1, Hg 0.51, Pb 145, Zn 173mg/kg 이었으며, 오염지수 또한 SS1과 SS4를 제외하고는 1 이하로서 오염도가 낮았다.

### 3.2 용출시험법에 의한 중금속 함량과 시안 및 pH

토양오염공정시험법에 의해 중금속들과 시안 함량 및 pH의 분석 결과를 종합한 결과 Table 4~6과 같다.

#### 3.2.1 광미의 용출시험

Table 4에 나타난 바와 같이 Table 1의 토양오염기준에 따를 때 As는 토양오염의 농경지 우려기준을 초과하지 않는 광미는 2개이고, 초과하는 광미는 7개(고덕 표시), 농경지 대책기준을 초과하는 광미는 3개(음영 고덕 표시)이다. Cd는 공장·산업지역의 대책기준을 초과하는 광미가 1개 있었지만 대부분 농경지 대책기준을 초과하지 않았다. Cu는 1개를 제외하고는 농경지 우려기준 이하였다. Hg는 1개를 제외하고는 농경지 우려기준을 모두 초과하였으며 공장·산업지역 우려기준을 초과하는 광미도 3개 있었다. Pb는 농경지 우려기준을 초과하는 광미는 3개 있었고 공장·산업지역의 우려기준을 초과하는 광미는 1개 있었다. CN<sup>-</sup>은 농경지 우려기준을 모두 초과하였고 공장·산업지역의 우려기준을 초과하는 광미는 1개 있었다. pH는 2.14~4.13으로 모두 산성을 나타냈다.

동일 지점에서 깊이에 따른 중금속의 농도에 있어서 5지역의 광미는 표토나 심토에 비해 1m 깊이의 광미에서 Cd가 다량 검출되었으며 Cu, Hg, CN<sup>-</sup>도 많이 검출되어 이 지점에서 광미가 깊이 쌓여 있음을 알 수 있다. 6지역의 표토나 심토는 Hg를 제외하고는 큰 차이가 없었다.

**Table 4. Analytical Results of Heavy Metals, CN<sup>-</sup>, and pH in Mine Tailings by the Method Recommended Environmental Protection Law**

unit : mg/kg

sample	As	Cd	Cu	Hg	Pb	Zn	CN <sup>-</sup>	pH
	1N HCl	0.1N HCl	0.1N HCl	total	0.1N HCl	0.1N HCl	total	20%v/v
Tailing 1	4.83	0.25	2.48	30.3	396	29.2	77.9	3.12
Tailing 2	23.4	0.96	11.2	9.44	107	175	118	2.14
Tailing 3	3.33	0.18	1.46	16.8	809	22.3	86.0	3.35
Tailing 4	15.7	0.90	6.11	35.6	27.9	131	236	2.49
Tailing 5t	19.3	2.18	9.01	8.24	61.3	330	80.4	2.54
Tailing 5s	17.2	1.64	7.98	4.23	73.5	238	31.6	2.75
Tailing 5d	15.5	51.5	98.2	5.80	31.4	1675	97.7	4.13
Tailing 6t	48.0	2.05	7.20	11.1	43.8	356	39.4	2.37
Tailing 6s	58.1	2.32	8.13	1.87	36.1	410	48.4	2.58

### 3.2.2 논과 밭 토양 및 하상퇴적물의 용출 시험

Table 5에서 알 수 있는 바와 같이 광미장으로 부터 가까운 비경작지 3개(1#, 2#, 3#)와 밭 1개(5 지점) 및 논 1개(10지점)의 5개 지점에서 농경지 우려기준을 초과하는 중금속들의 용출이 있었으며, 광미장 바로 옆의 흙관을 야적한 비경작지인 1 지역의 심토에서 Pb가 농경지 대책기준을 초과했으며, 다른 논이나 밭에서는 농경지의 우려기준 이하였다.

또한 Table 6에서 알 수 있는 바와 같이 광미장 바로 옆의 SS4 지점의 하상퇴적물에서 As와 CN<sup>-</sup>만이 농경지 우려기준을 약간 초과했을 뿐이다. pH는 광미장에 근접한 1지점의 1m 깊은 곳(1d)이나, 5지점의 밭, SS4의 하상퇴적물에는 광미가 섞인 것으로 판단된다.

Table 5와 Table 6의 결과로 보아 광미장의 인근을 제외하고는 아직 오염이 확산되지 않았다고 사료되므로 앞으로 오염이 확산되기 전에 오염확산 방지대책을 강구해야 한다고 본다.

### 3.3 임천광산 인근 지하수와 간이급수 분석

임천광산의 토양오염도 조사 중 주민들의 요구

로 채취된 간이급수와 지하수의 분석결과는 Table 7 및 8과 같다. Table 7에서 알 수 있는 바와 같이 진료소 옆의 지하수에서 철분이 다량 검출되었을 뿐(펌프로부터의 녹물이라 판단됨) 유해 중금속이나 CN<sup>-</sup> 등은 수질기준(1991, 보건사회부)<sup>8)</sup>에 전혀 문제가 없었다. 그러나 Table 8에서 알 수 있는 바와 같이 지하수의 음이온 중 질산이온이 10mg/L 이상 검출되었고 황산이온이 200mg/L 이상 검출되기도 했다. 지하수의 질산이온에 대한 오염원을 추적한 결과 광미에서 1,000mg/kg 이상의 질산이온이 용출됨을 확인하였다. Au를 회수하기 위해 질산을 다량 사용함으로써 지하수가 오염되었다고 추정된다. 광미에는 pyrite성분이 존재하므로 산화물인 황산이온이 일부 오염되었다고 본다. 주민들의 일부는 간이급수의 급수량 부족으로 이와같이 오염된 지하수를 식수로 하고 있었으며 특히 광산으로부터 약 1km 떨어진 성북 초등학교에서도 지하수를 식수로 음용하고 있었다. 지금 현재는 정수기를 이용해 정수해서 식수로 하고 있지만 일부 주민들의 식수 문제를 시급히 해결해 주어야 한다고 본다.



**Table 5. Analytical Results of Heavy Metals and CN<sup>-</sup>, and pH in Field Soils and Paddy Soils by the Method Recommended Environmental Protection Law**

sample	unit : mg/kg															
	As		Cd		Cu		Hg		Pb		Zn		CN <sup>-</sup>		pH	
	topsoil	subsoil	topsoil	subsoil	topsoil	subsoil	topsoil	subsoil	topsoil	subsoil	topsoil	subsoil	topsoil	subsoil	topsoil	subsoil
1	<2.5	<b>6.40</b>	0.42	0.58	6.08	7.91	<b>4.14</b>	2.22	<b>330</b>	<b>422</b>	47.9	63.0	<b>27.0</b>	<b>27.6</b>	6.13	7.39
1d	-	<2.5	-	0.12	-	1.71	-	1.56	-	7.56	-	14.9	-	<b>6.21</b>	-	3.36
2	<b>19.9</b>	<b>11.3</b>	<b>4.04</b>	<b>3.82</b>	25.9	20.7	3.62	<b>5.91</b>	<b>332</b>	<b>140</b>	319	282	0.42	0.30	8.19	8.42
3	<b>7.57</b>	<b>7.81</b>	<b>9.14</b>	<b>4.94</b>	12.0	10.0	1.09	1.26	50.8	70.1	1486	719	2.65	13.3	6.37	6.33
4	<2.5	<2.5	0.10	0.21	2.11	2.33	0.12	0.12	9.20	8.53	11.4	20.3	0.16	0.064	5.02	6.62
5	<b>12.1</b>	<b>15.7</b>	0.44	0.52	4.01	3.01	1.18	0.72	1.65	3.07	72.1	88.9	<b>38.9</b>	<b>29.9</b>	2.78	3.02
6	<2.5	<2.5	0.96	1.20	5.35	4.66	0.54	0.35	23.3	16.5	91.8	78.7	<0.017	0.017	8.48	8.67
7	<2.5	<2.5	0.31	0.39	6.63	5.98	0.63	0.70	22.5	39.2	24.7	21.7	0.023	0.042	6.87	7.79
7d	-	<2.5	-	0.19	-	4.15	-	0.28	-	17.8	-	40.6	-	0.30	-	6.61
8	<2.5	<2.5	<0.1	<0.1	3.50	3.74	0.09	0.24	3.10	4.47	3.41	3.03	<0.017	<0.016	5.93	6.84
9	<2.5	<2.5	0.13	0.72	3.18	13.0	0.16	0.42	21.6	59.5	15.2	62.3	0.059	0.10	6.98	7.96
10	<b>7.92</b>	<2.5	1.12	0.96	9.41	6.42	1.57	1.27	<b>152</b>	<b>129</b>	108	157	<0.017	0.18	7.59	7.92
11	<2.5	<2.5	<0.1	<0.1	1.47	0.95	0.13	0.12	2.84	2.78	4.80	1.59	<0.017	0.019	5.21	5.47
12	<2.5	<2.5	0.16	0.18	5.50	4.67	0.43	0.41	23.6	20.9	24.3	19.7	0.13	0.059	6.93	7.01
13	3.12	<2.5	0.29	0.22	6.30	3.74	0.96	0.67	54.6	23.5	60.4	9.87	0.023	0.071	5.42	6.65
14	<2.5	<2.5	0.39	0.34	4.64	3.11	0.44	0.56	32.7	22.5	67.5	40.8	0.11	0.073	7.52	7.41

sample	As		Cd		Cu		Hg		Pb		Zn		CN <sup>-</sup>		pH	
	topsoil	subsoil	topsoil	subsoil	topsoil	subsoil	topsoil	subsoil	topsoil	subsoil	topsoil	subsoil	topsoil	subsoil	topsoil	subsoil
15	<2.5	<2.5	0.20	0.19	1.83	1.78	0.20	0.18	12.5	13.0	44.6	21.5	0.074	0.072	5.14	5.47
16	4.34	<2.5	0.49	0.30	6.45	4.81	0.47	0.36	11.9	39.1	47.3	27.1	0.24	0.12	7.13	7.11
17	<2.5	<2.5	0.60	0.68	7.83	7.73	0.92	0.47	8.22	86.0	55.8	54.3	<0.017	0.46	7.39	7.75
18	<2.5	<2.5	0.21	0.19	4.02	4.24	0.27	0.13	33.0	25.0	13.8	9.99	0.081	0.044	5.76	7.16
19	<2.5	<2.5	0.14	0.16	4.44	4.75	0.13	0.14	21.6	20.8	10.1	12.9	0.023	<0.014	5.50	4.74
20	<2.5	<2.5	0.14	0.21	48.8	126	<0.014	0.047	15.0	28.2	18.8	28.4	0.59	0.16	6.53	6.04
21	<2.5	<2.5	0.26	0.26	5.83	5.12	0.54	0.25	42.2	33.9	25.7	27.0	0.071	0.14	5.27	5.04
22	<2.5	<2.5	0.13	0.17	4.86	4.54	0.14	0.13	17.5	17.0	39.4	8.06	0.046	0.091	5.18	5.31
23	<2.5	<2.5	<0.1	<0.1	0.82	1.48	<0.015	0.024	3.91	5.01	2.18	3.49	<0.012	0.017	6.02	5.59
24	<2.5	<2.5	<0.1	<0.1	1.70	1.17	0.020	<0.020	1.77	1.10	1.84	1.64	<0.011	<0.013	6.91	6.95
25	<2.5	<2.5	<0.1	<0.1	4.25	3.27	0.17	0.13	11.9	8.31	6.36	4.04	0.031	<0.012	5.53	5.76
26	<2.5	<2.5	<0.1	<0.1	2.27	2.15	0.080	0.057	8.47	7.76	3.74	3.62	<0.010	<0.011	5.33	5.35
27*	<2.5	<2.5	<0.1	<0.1	1.91	1.44	0.042	<0.017	11.3	8.62	3.72	2.70	<0.012	<0.012	5.38	5.13
28*	<2.5	<2.5	<0.1	<0.1	1.48	1.24	0.013	<0.015	4.73	4.38	1.48	1.07	<0.011	<0.014	5.42	5.81
29	<2.5	<2.5	<0.1	<0.1	2.82	2.23	0.088	0.016	9.71	9.19	4.60	3.53	<0.013	<0.010	5.16	5.12
30	<2.5	<2.5	<0.1	<0.1	3.19	4.29	0.031	<0.014	7.70	3.95	5.42	3.14	<0.009	<0.012	5.53	5.75

\* control area

**Table 6. Analytical Results of Heavy Metals and CN<sup>-</sup>, and pH in Stream Sediments by the Method Recommended Environmental Protection Law**

unit : mg/kg

sample	As	Cd	Cu	Hg	Pb	Zn	CN <sup>-</sup>	pH
	1N HCl	0.1N HCl	0.1N HCl	total	0.1N HCl	0.1N HCl	total	20*%,%
SS1	5.96	0.77	8.04	1.65	66.6	116	1.17	7.08
SS2	<2.5	0.20	7.12	0.23	16.8	19.7	0.05	7.67
SS3	<2.5	0.22	4.59	0.43	23.1	30.8	<0.018	7.50
SS4	<b>14.4</b>	0.38	3.09	0.14	5.58	60.0	<b>2.55</b>	3.78
SS5	<2.5	0.32	2.99	0.088	5.12	17.0	<0.017	5.71
SS6*	<2.5	<0.1	0.57	<0.01	2.92	3.62	<0.011	6.57

\* control area

**Table 7. Analytical Results of Heavy Metals and pH in Ground Waters**

unit : μg/L

sample	As	Cd	Cu	Fe	Pb	Zn	pH*
W1 simple feedwater	0.42	0.00	31.7	0.00	1.01	298	6.72
W2 simple feedwater	0.71	0.00	2.27	0.72	0.83	14.9	8.11
W3 ground water nearby clinic	0.63	0.05	6.91	1174	1.61	16.0	7.56
W4 ground water	0.38	0.00	6.90	200	2.42	82.0	6.47
W5 ground water of Sungbuk elementary school	0.25	0.13	4.06	9.63	0.81	8.64	5.64
tolerance level	50	10	1,000	300	100	1,000	5.8~8.5

\* unitless

**Table 8. Analytical Results of Anions, Hg, and CN<sup>-</sup> in Ground Waters**

unit : mg/L

sample	F <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Hg	CN <sup>-</sup>
W1 simple feedwater	<1	14.5	<1	11.2	44.1	N.D.	N.D.
W2 simple feedwater	<1	3.4	<1	<1	14.1	N.D.	N.D.
W3 ground water nearby clinic	<1	29.2	<1	51.2	140	N.D.	N.D.
W4 ground water	<1	18.6	<1	10.9	213	N.D.	N.D.
W5 ground water of Sungbuk elementary school	<1	16.7	<1	49.9	26.2	N.D.	N.D.
tolerance level	<1	<150	<10		<200	N.D.	N.D.

\* N.D. : not detected(Hg : <0.0005mg/L, CN<sup>-</sup> : <0.001mg/L)

#### 4. 결 론

임천광산의 광미를 분석한 결과 As, Cd, Cu, Hg, Pb, Zn 등이 Kloke가 제안한 토양오염의 허용기준치를 대부분 초과하였다. 논과 밭의 토양 및 하상퇴적물에서는 As만이 허용기준을 초과하였고, Hg, Pb, Zn 등은 일부 토양시료에 대해서만 초과하였다.

토양오염공정시험법에 의한 용출시험법으로는, 광미 중의 중금속과 시안함량은 대부분 농경지 우려기준 이상인 반면 논과 밭 토양 중의 중금속과 시안 함량은 광미장 인접지역을 제외하고는 농경지 우려기준 이하였다. 전체적으로 볼 때 광미장 규모가 작아 인접 지역만이 오염되어 있음을 알 수 있었다.

한편 임천광산 인근 주민들이 식수로 하고 있는 지하수에서는 질산이온이 다량 검출되었고 일부 지하수에서는 황산이온이 많이 검출되었다. 이상 이들 분석결과들을 종합할 때 광미장으로부터의 오염 확산을 위한 방지대책이 필요하다고 사료되며 특히 질산이온이나 황산이온의 용출 방지를 위한 특별대책이 필요하다고 생각한다. 앞으로 폐광산 인근 거주 주민들 중 지하수를 식수로 하고 있는 지역의 수질오염도 조사가 절대적으로 필요하다고 사료되

며 정부에서도 이의 조사를 위한 대책이 필요하다고 본다.

#### 참 고 문 헌

1. 대한광업진흥공사, 한국의 광상, 제5호, pp.166 (1973).
2. 민정식, 광산지역 광해조사 및 대책연구, 한국자원연구소, 연구보고서, KR-97(C), pp.310 (1997).
3. 전효택, "토양시료 채취방법의 문제점 및 해결 방안" (폐광산 중심), 오염토양분석 Workshop, KIST, pp.120~121(1998)
4. Kloke, A., "Content of As, Cd, Cr, Fe, Pb, Hg, Ni in plants grown on contaminated soil," UN-ECE Symp.(1979).
5. 土壤汚染公定試験方法, 環境部(1997).
6. 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).
7. 서운수 외 5, 국립환경 연구소보, 4, pp.189~198 (1982)
8. 음용수의 수질기준 등에 관한 규칙 1991. 7. 4 보건사회부령 제 871호 제 2조