

# 국내 38개 금속광산의 광상 형태에 따른 광산폐기물의 중금속오염 연구

정명채<sup>1)</sup>·전효택<sup>2)</sup>·안주성<sup>2)</sup>·정영옥<sup>3)</sup>·민정식<sup>3)</sup>

## 1. 서론

국내에는 900 여개의 휴/폐광 금속광산이 산재되어 있으며, 대부분 적절한 환경오염방지 시설이 설치되지 않아 광미 및 폐석더미에 함유된 유독성 중금속들이 비와 바람에 의해 이동되어 주변의 농경지와 수계를 오염시키고 있다. 이러한 휴/폐광산의 환경오염은 주로 황화물과 관련된 광물들의 풍화에 기인하므로 각 광산들의 광화작용에 따라 오염 정도가 다를 수 있다. 예를 들면, 황화물이 적게 포함된 광산폐기물에서는 유독성 중금속의 함량이 낮지만 다량의 황화광물을 함유하고 있는 광미/광산폐기물에서는 중금속의 함량이 상대적으로 높다. 그러므로 이 연구에서는 국내의 대표적인 38개 휴/폐광 금속광산을 대상으로 광미 또는 광산폐기물을 채취하여 광상 형태에 따른 중금속오염을 조사하고자 하였다.

## 2. 시료의 채취와 분석

국내에 분포되어 있는 38개 광산에서 1~4개씩 총 48개의 광산폐기물을 채취하여, 자연건 조시키고 체질한 시료를 0.1N 염산과 왕수로 추출하여 AAS로 분석하였고, 일부 시료는 단계적 추출법을 이용하여 화학적 결합형태를 조사하였다. 또한 각 시료의 pH와 석회시용량도 측정하였다. 한편 각 광산의 지질과 광화작용에 대한 문헌조사를 통하여, ① Au-Ag 광산, ② base metal 광산 및 ③ 기타 광산으로 구분하여 고찰하였다.

## 3. 결과 및 고찰

광산폐기물의 pH는 광화작용과 밀접한 관계를 가지고 있었다. 즉, 황화물이 없거나 소량인 금은광산 광미/광산폐기물의 pH는 7이상으로 높은 반면, 황화물을 다량 함유한 금은광산 광미/광산폐기물의 pH는 2~7정도의 범위를 가지며 대부분 낮았다 (Table 1). Base metal 광산의 광미/광산폐기물의 pH는 모양에 따라 그 변화폭이 컸다. 석회시용량을 조사한 결과 pH값과 양호한 음의 상관성을 관찰하였다. 공정시험법으로 Cd, Cu, Pb, Zn 함량을 조사한 결과, 황화물을 많이 함유한 금은광산의 광미/광산폐기물에서는 토양오염 우려/대책기준을 초과하는 고함량이 검출되었다. 왕수로 분해하여 분석한 결과에서도 자연함유량의 수백~수천배에 해당하는 고함량이 검출되어 광산활동이 주요한 토양오염원임을 다시 확인하였다. 특히 황화물을 다량 함유한 금은광산에서는 이러한 경향이 뚜렷하게 관찰되었다. 이러한 결과는 오염지수(pollution index)를 적용하여 조사한 결과에서도 관찰되었다. 총 48개 시료 중에서 비교적 함량이 높은 11개 시료에 대해 단계별 추출법을 적용하여 조사한 결과, 원소들의 존재형태는 시료에 따라 많은 차이가 있지만 주로 황화물과 관련되어 결합된 것으로 조사되었으며, 일부 시료에서는 교환가능한 형태의 일부 중금속의 함량비율이 10~30% 정도로 조사되어 이들 광산에 대한 환경오염처리시설이 조속히 건설되어야 할 것으로 판단된다.

주요어: 휴/폐광 금속광산, 광화작용, 중금속 오염, 광미, 광산폐기물

1) 세명대학교 자원환경공학과 (jmc65@venus.semyung.ac.kr)

2) 서울대학교 공과대학 지구환경시스템공학부

3) 한국자원연구소 자원연구부

#### 4. 결론

국내에서 대표적인 38개 금속광산을 대상으로 광미/광산폐기물의 중금속오염을 조사한 결과는 다음과 같다. ① 광산의 형태별로 조사한 결과에 의하면, 금은광산 중에서 황화물을 포함한 광미/광산폐기물에서 토양오염 우려/대책기준을 초과하는 Cd, Cu 및 Pb함량이 검출되었다. Base metal 광산에서도 다량의 중금속이 검출되어 이들 역시 주요한 중금속 오염원으로 조사되었다. ② 광미/광산폐기물의 pH는 모암의 특성을 잘 반영하고 있으며, 석회시용량을 실험한 결과, 광미/광산폐기물의 pH값과 양호한 음의 상관성을 갖는다. ③ 대표적인 11개 광미/광산폐기물을 대상으로 조사된 중금속의 화학적 형태의 고찰 결과, 시료에 따라 결합형태가 다양하게 나타났지만 많은 시료에서 황화물과 결합된 형태로 조사되었으며 일부 시료는 10~30% 정도의 중금속이 교환가능형으로 조사되었다.

Table 1. The pH value, heavy metal concentrations and lime requirement of tailings and mine wastes from 38 mining sites in Korea

Group	Type	Mine name	pH	Extracted by 0.1N HCl (mg/kg)				Extracted by aqua regia (mg/kg)				Lime Req. <sup>1)</sup>	
				Cd	Cu	Pb	Zn	Cd	Cu	Pb	Zn		
Au-Ag mine	Hydrothermal vein type with carbonates	Changkum	7.56	0.11	9.0	1.7	9	0.5	34	16	31	0.02	
		Dongbo	7.73	1.13	0.1	2.0	10	4.5	53	115	584	0.00	
		Geumwang	8.11	0.08	3.2	21.5	20	0.1	6	24	100	0.00	
		Haksan	7.45	0.06	5.4	25.0	62	1.4	7	34	74	0.01	
		Manri	7.67	2.82	26.0	321	381	4.0	203	880	808	0.00	
		Samdong	7.76	0.49	0.4	1.7	30	0.8	109	488	280	0.00	
			7.64	0.75	10.5	17.6	57	2.8	95	293	241	0.00	
		Woryu	7.73	0.32	0.3	1.3	28	1.6	18	47	80	0.00	
		Hydrothermal vein type with sulfides	Byungsa	2.00	2.52	420	2.6	870	36.8	5,280	932	1,660	1.82
			Chonbo	8.10	0.75	3.3	83.5	147	1.0	8	177	277	0.02
	Chungyang		4.33	47.3	52.0	103	1,520	986	2,130	35,200	29,300	0.54	
			2.50	0.75	87.5	27.8	143	6.8	1,690	29,500	1,440	0.84	
			2.55	0.86	103	252	162	7.9	2,000	38,300	1,700	0.85	
	Daduk		2.85	1.15	13.5	6.4	133	3.3	252	14,200	1,500	0.90	
			3.50	1.34	24.4	73.5	187	2.9	83	13,100	304	0.84	
	Darak		3.50	1.34	24.4	73.5	187	2.9	83	13,100	304	0.84	
	Dukgok		2.98	7.20	6.9	52.0	57	12.0	14	1,430	72	0.65	
	Eunchi		4.23	58.0	239	126	10,400	142	876	18,100	24,300	0.75	
	Eunchi		2.75	14.3	74.5	206	2,345	188	852	15,600	2,750	0.81	
	Geumjang		5.94	20.8	1,240	51.0	3,880	58.4	4,220	10,000	14,300	0.10	
	Gomyung		2.28	4.65	14.4	5.0	2,570	36.4	132	28,400	4,084	1.08	
	Gubong		7.20	24.5	16.6	205	580	114	222	5,640	2,350	0.00	
	Haman		6.85	0.24	1.9	1.4	2	1.4	984	21	58	0.06	
	Imcheon		1.73	5.53	31.8	60.5	655	73.6	249	11,200	11,300	1.21	
	Juneu	7.41	2.01	16.0	25.6	247	3.0	35	83	388	0.00		
	Samkwang	7.59	13.2	7.6	51.0	500	27.4	35	720	1,650	0.00		
Songcheon	1.80	2.08	106	52.0	990	8.5	456	17,200	2,910	1.32			
Sugyo	4.89	0.08	7.4	37.2	8	1.8	13	106	29	0.27			
Taechang	3.28	0.24	7.7	1.4	49	1.0	66	4	169	0.79			
Base metal mine	Hydrothermal replacement type	Eungok	7.55	0.03	4.3	10.2	8	0.0	13	27	44	0.02	
		Joil	4.93	5.85	15.0	32.6	675	10.7	144	2,070	22,70	0.46	
			2.04	0.67	8.8	49.3	115	18.6	230	4,480	3,540	1.09	
		Sambo	4.59	0.56	46.1	263	625	5.4	104	1,080	3,100	0.21	
	Subok	7.48	6.25	0.4	2.1	72	44.3	946	1,010	3,880	0.00		
	Skarn type	Geumsung	7.00	0.13	0.2	1.0	2	0.4	10	11	116	0.00	
		Gudo	7.82	0.17	270	6.4	46	3.5	504	22	86	0.00	
		Gudo	3.43	0.14	204	1.7	32	1.6	528	17	78	0.65	
		Kahag	7.53	2.08	0.7	6.8	19	20.1	39	1,140	2,220	0.00	
		Sangdong	7.73	0.90	4.5	1.9	28	3.2	111	34	88	0.00	
			2.75	16.5	99.0	53.5	2,080	26.1	988	13,900	4,650	1.01	
		Wuljin	2.38	0.84	6.0	51.0	127	2.6	121	3,100	1,180	1.12	
			7.72	0.13	0.2	1.2	10	0.8	48	18	28	0.00	
		Yunhwa	5.66	3.96	0.1	4.3	97	84.4	404	7,480	9,640	0.20	
Others		Pegmatite, Alaskite vein and breccia pipe types	Dalsung	2.48	1.19	2,200	1.3	108	1.2	3,270	2,270	141	1.23
	Geumjung		7.08	0.06	8.7	5.0	8	0.1	22	13	19	0.00	
			7.20	0.08	7.0	0.3	7	0.1	19	12	19	0.00	
			2.12	0.35	13.0	2.5	331	0.5	740	225	510	1.55	
	2.05		0.32	12.6	2.8	233	0.9	72	182	840	1.60		
	Sangjun		2.47	0.08	69.5	7.1	10	0.7	1,120	58	15	0.83	

1) Lime req. = lime requirement (ton of pulverized limestone per 1,000 tons of wastes)

※ 자세한 자료는 <http://venus.semyung.ac.kr/~jmc65>에서 얻을 수 있습니다.