

금정광산 주변 토양의
중금속 오염현황 및 그 처리 방안

이기철, 이승길, 한인호, 최광호, 정덕영*

코오롱엔지니어링 환경기술연구소

*충남대학교 농화학과

**Distribution of heavy metals in soils around the Keum-Jung mine
and remediation**

Lee Ki-Chul, Lee Seung-Kil, Han In-Ho, Choi Kwang-Ho, Chung Duk-Yung*

R&D Center, KOLON ENG. & CONST., Co., Ltd.

**Department of Agricultural Chemistry, Chungnam National University, Korea*

ABSTRACT

This geochemical study was carried out to find out the distribution of metals and cyanide in the soils around the Keum-Jung abandoned mine. Chemical analysis showed that extractable As contents in the soils near the mine exceeded 15mg/kg, Korean standard of soil contamination for farm land. The Results suggests that As contamination is due to input of tailings in the soils. According to total decomposition of tailings, As was highly concentrated in tailings. The water in a tailings impoundment was changed to acidic and contaminated by metals and sulfate which were released through oxidation of impoundment. Acid mine drainage from the tailings impoundment distribution channels directed to the paddy soils. The proper measures are required to prevent contamination of the soil and water in the vicinity of the Keum-Jung mine.

Key words : Keum-Jung mine, Tailings, Acid leachate, Soil contamination

초 록

경북 봉화군에 소재한 폐광산인 금정광산의 광미장 및 인근 농경지를 대상으로 금속성분 분포특성을 파악하고 그 처리방안을 모색해 보았다. 토양오염 공정시험법에 의한 분석자료에 의하면 광미장 주변의 논 및 밭에서 As가 농경지 토양오염대책 기준인 15 mg/kg을 초과하여 광미의 유입에 의해 토양이 오염 되는 것으로 나타났다. 광미중에는 As가 매우 높게 함유된 것으로 나타났고 특히 산화가 진행된 광미 장 지표면 부근의 광미에는 이러한 성분이 용탈되어 산성침출수가 농수로 방류되고 있다. 따라서 토양 오염 및 농수로의 오염의 확산 방지를 위해서는 광산주변에 산재하고 있는 광미 및 광미장에 대한 환경 오염방지 대책이 필요하다고 판단된다.

주제어 : 금정광산, 광미, 산성침출수, 토양오염

1. 서 론

국내 금속광산 중 상당수의 광산들은 현재 휴·폐광된 상태로서 휴·폐광지역에는 광산 개발 당시 발생한 광산폐기물(폐석 및 광미사)과 폐갱구, 폐시설물, 폐공가 등이 그대로 방치되어 있다. 특히 광미장 혹은 방치된 일부 광미들 중에는 중금속 및 시안화합물이 함유되어 있어 주변 환경 및 생태계가 파괴되고 있다. 이러한 환경문제는 폐광미 및 폐석을 자연상태에 방치하여 광미 및 폐석에 잔존하는 황화철의 산화에 따라 산성수가 발생하여 광물내에 존재하는 중금속 등을 용출시키기 때문이다.

폐광산 지역에서 발생할 수 있는 환경문제는 광미의 유실에 따른 주변 농경지의 황폐화와 산성광산 폐수의 주변 하천으로의 유실에 따른 하천 생태계 파괴 및 침전물이 하천바닥에 피복되어 나타나는 Yellow boy 현상에 따른 미관저하를 들 수 있다.

본 연구는 경북 봉화군에 소재한 폐광산인 금정광산 광미장 및 인근 농경지를 대상으로 금속성분 및 시안의 분포특성과 산성 침출수의 생성원인을 규명하고 안전한 농경지 및 수질관리를 위한 복원

기술 및 복원방안을 제시하는데 목적이 있다.

2. 연구방법

2.1 조사지역 개관

금정광산은 경북 봉화군 춘양면 우구치리 산 31번지에 소재한 광산으로 1923년부터 1943년 까지, 1972년부터 1988년까지 2차례에 걸쳐 가행된 것으로 알려져 있으며 주요광종은 금, 은, 동이다. 금정광산 주변에는 선광장 구조물, 폐갱도 및 광미장 등 광산 시설물이 존재한다. 광산은 물이 흐르는 계곡을 따라 약 1km정도 길게 형성되어 있으며, 선광장으로부터 계곡 상방향과 하방향을 따라 양쪽 측면에 선광 후 발생된 광미, 광재가 300m가량 길게 적치되어 있다. 적치된 폐기물은 총 7개 지점이며 이중 광미적치장이 3지점이었다. 광미장에는 계단식의 옹벽 등을 시설하고 덮개를 설치하여 우수 침투를 배제하였으나 대부분 훼손된 상태였다. 선광장 하부로 형성되어 있는 도로에는 광미가 길게 유실되어 있었다. 폐광석 및 광미의 적치량은 약 500,000m³으로 추정되며 규모가 매우 큰 것으로 보아 상당히 오랜기간 동안 가행되었음을 알 수 있

었다.

금정광산 일대의 지질은 선캄브리아기의 변성암 층에 의하여 구성되며 이는 운모질 규암, 흑운모-백운모 편암, 석영-운모-중청석 편암 및 실리마나이트-중청석 편암등으로 이루어져 있다. 광산 부근에 페그마타이트 또는 이와 비슷한 산성암맥이 많은 것으로 보아 이지역 변성암의 하부 깊지 않은 곳에 화강암의 대관입체가 잠재되어 있는 것으로 보인다. 본 광산의 형성원인은 광산부근의 저반상으로 관입한 화강암과 관계되어 생성된 것으로 화강암장 고결의 과정과 관련되어 페그마타이트질 잔액이 먼저 변성암의 열극에 따라 주입된 페그마타이트 암맥으로 형성하였고 여기에 열극의 재개열이 일어나고 이어서 한층 실리카성분(SiO₂)이 풍부하고 한층 더 유동성이 큰 아라스카이트 암장이 교

출된 것이다. 본 금광맥은 화강암과 관계된 것으로 추정된다.

봉화군 춘양면의 강수량은 8월달에 최고 415mm, 1월달에 최소 17mm를 기록하고 있다. 봉화지역의 기온은 최저 -20.4℃(1월) 그리고 31.2℃(7월)의 범위를 기록하였고 상대습도는 15~37%를 나타내고 있다.

2.2 현장 조사 및 시료채취

광미 및 토양에 대한 현장 조사와 토양 및 수질 시료 채취는 98년 5월 20~21일에 1차로 개황조사를 수행하였으며, 98년 7월 7~10일에 2차로 정밀 조사를 수행하였다. 시료를 채취한 지점을 그림 1에 나타내었다. 먼저 광산부근의 폐시설과 적치장

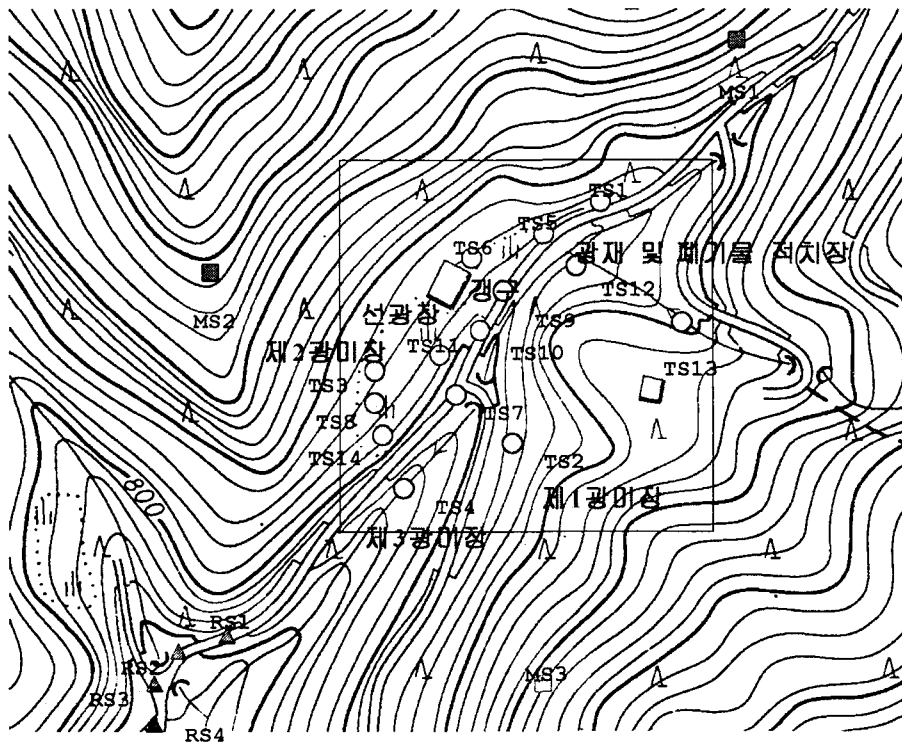


Fig. 1. Plotted Sampling Point on the Kuem-Jung Abandoned Mine

의 폐석, 광미의 적치량 산정 등 현장조사를 수행한 후 시료를 채취하였다. 시료는 총 24개로 광미, 발토양, 산토양 및 풍화 잔류토 등으로 구분된다.

오염현황조사를 위한 시료채취는 광미장과 농경지 그리고 하천 침전물과 퇴적물로 나누어 이루어졌으며 시료 채취방법은 Clustering/Random Sampling법과 삼각격자법 형식을 취하였다. 시료는 오거 및 꽃삽 등으로 채취되었고, 비닐 백에 넣어 실내로 이동하였다. 시료 채취 위치가 변경될 때마다 토양 시료 채취시 이전 시료에 의해 오염되지 않도록 세심하게 주의하였다. 시료 채취는 한 지점을 중심으로 반경 1m 범위 내에서 4~5개의 부시료를 채취한 후 이를 혼합하여 시료의 대표성을 높였다. 채취된 시료는 실내에서 2개로 분할하여 1개는 풍건시켜 중금속 분석용 시료로, 나머지 1개는 수분이 증발하지 않도록 밀봉하여 시안 분석용 시료로 사용하였다. 시료 채취 심도는 대부분 15cm내의 표층이었고 일부 시료에 한하여 30cm 이상에서도 행해졌다.

시료에 존재하는 시안과 중금속의 분석을 위해 전처리와 분석은 토양오염 공정시험법에 준하여 이루어졌으며 분석항목은 시안, 카드뮴, 구리, 납, 아연, 비소, 수은, 크롬 등 8개 항목이었다. 이때 중금속 분석은 원자흡광광도계(AA), 시안은 자외선 분광기(UV)를 이용하였다.

2.3 화학분석

2.3.1 광미 및 토양

채취된 광미, 토양, 물시료는 공정시험법에 의한 전처리를 행한 후 분석을 하였다.

(1) 완전분해법

광미장 내부의 광미 중 입도와 형상이 유사한 광미를 중심으로 완전분해시켜 화학분석을 수행하였다. 이때 이용된 광미는 1차, 2차 및 3차 광미장내의 황갈색 광미와 깊이 30cm 하부의 암회색 광미

를 시료로 하였다. 완전분해 방법은 시료를 0.5g 취하여 HCl 5ml, HNO₃ 5ml, HClO₄ 5ml에 HF 10ml를 테프론 비이커에 넣고 가열시켜 건고시킨 후 HCl 5ml로 용출시켜 ICP(JY 38+)에 의해 분석하였다.

(2) 토양오염공정시험법

광미 및 토양 등 고체시료의 전처리는 토양오염 공정시험방법에 준하여 0.1N(As는 1N) HCl 용액 50ml에 시료 10g을 넣어 충분히 shaking을 해서 용출실험을 한 후 용액을 원자흡수 분광기(AAS: Atomic Adsorption Spectrometer, Shimadzu 6701)로 화학 분석을 하였다. 화학 분석된 성분은 Cd, Cu, As, Hg, Pb, Cr⁶⁺ 및 시안 등 총 7성분이었고 복수시료를 이용하여 분석결과와의 신뢰도를 검증하였다.

(3) 폐기물오염공정시험법

광미에 대하여는 강우시 발생하는 침출수와 용출특성의 관계를 알아보기 위하여 폐기물오염공정 시험법에 준하여 화학분석을 수행하였다.

시료를 균일하게 혼합하여 원추 4분법에 의한 축소법으로 시료량을 축소한 후 염산으로 pH가 5.8~6.3으로 조절된 물에 시료를 혼합하였으며(시료 1:용매 10) 500ml 이상의 혼합액을 제조하였다. 그 다음 시료액을 분당 3000 회전으로 20분 이상 원심분리하여 상등액을 분석용액으로 하였다. 상등액은 AA로 As, Cd, Pb, Cu, Hg, Cr⁶⁺을 분석하였다.

2.3.2 물

물 시료는 각 분석 항목에 따라 수질오염공정시험법에 의한 전처리를 수행한 후 As, Cd, Pb, Cu, Hg, Cr⁶⁺은 원자흡광 분광기(AAS: Atomic Absorption Spectrometer, Shimadzu 6701)로 분석되었으며, 시안 화합물 및 SO₄²⁻은 UV(Hewlett Packard사)에 의해 분석되었다.

3. 조사 결과 및 고찰

— 선광장을 중심으로하여 광산지역을 대상으로 Surfer(for windows, version 6.04, Golden Software Inc.) 프로그램을 이용하여 image modeling을 수행하였다. 결과는 Fig. 2에 나타내었다.

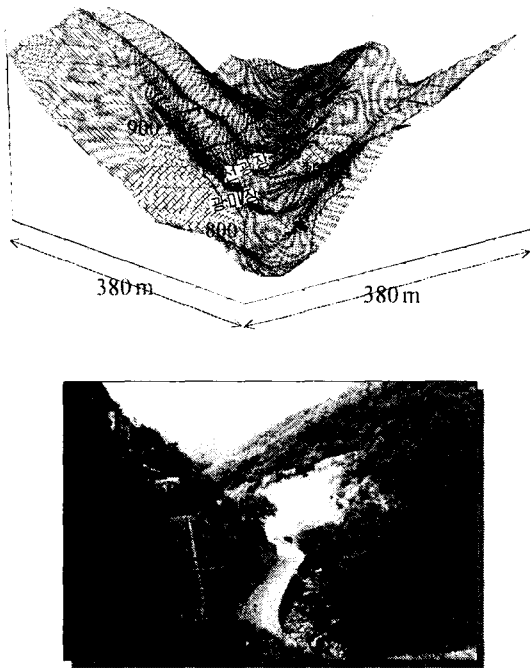


Fig. 2. Image Modeling Output and Real Landscape of the Keum-Jung Abandoned Mine.

3.1 광미 및 폐석장 주변토양의 물리화학적 특성

금정광산으로부터 발생된 광미에 의한 주변 환경의 영향을 조사하기 위해 광미와 주변 농경지 토양의 물리화학적 특성을 조사하였다. 광미 및 폐석장의 시료의 pH는 2.1~4.7로 산성을 나타내는 반면 선광장, 폐석 및 광미장 주변의 토양은 5.2~8.5로 대부분 중성에 가까운 특성을 보였다. 이는 이 지역의 모암광물에 다량의 유황성분과 pyrite 계열의 황철광이 존재하여 장기간에 걸친 산화를 통해 광미 및 폐석의 산성화에 의한 것으로 판단된다.

광미의 경우 미사와 모래의 함량이 90%이상이었으므로 낮은 양이온 치환용량을 나타내었다. 미사와 모래의 함량이 높은 반면 수리전도도는 낮은 값을 보였는데 이는 용적밀도가 1.5g/cm³ 이상으로 다져져 있기 때문인 것으로 판단된다.

금정광산 주변 폐석 및 광미에서 용출되는 중금속 농도를 조사한 결과 Table 1.과 같이 비소(As)의 농도는 높으나 다른 중금속의 농도는 대체로 낮게 나타났다. 비오염지역으로 예상되는 산토양과 경작과정에 의해 다소 중화 및 지력이 회복된 밭토양에 비하여 광미의 비소농도는 매우 높게 나타났으며, 폐석에서는 구성광물의 안정적인 구조에 의해 용출농도는 매우 낮게 나타났다. 반면 납성분의 농도는 밭토양에서 가장 높게 나타났다.

금정광산내 폐석장, 광미장 및 주변토양의 중금속 오염현황에 대한 조사 결과를 요약 정리하여

Table 1. 금정광산 폐석 및 광미에서 용출되는 중금속 농도

구 분	As	Cu	Pb	Cd	Cr ⁶⁺	Hg
폐 석	2.97	0.43	0.74	0.05	0.17	ND
광 미	694.28	2.34	7.80	0.20	0.65	ND
밭 토 양	5.85	0.72	17.03	0.20	0.02	ND
산 토 양(대조군)	0.03	0.45	1.58	0.02	ND	ND

* ND : Not Detected

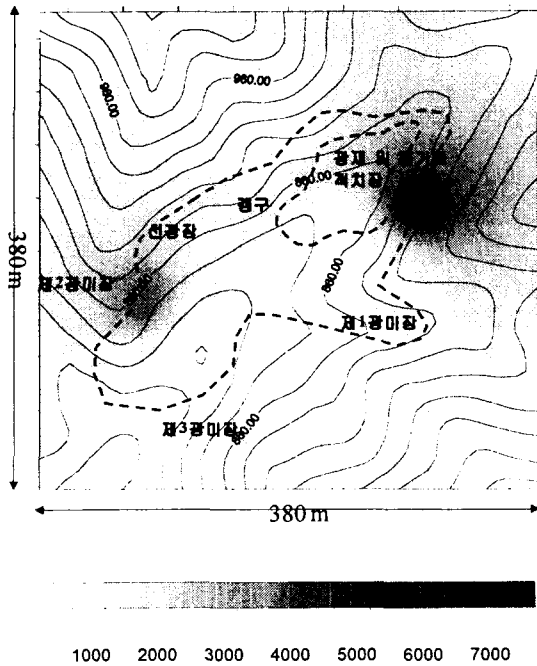


Fig. 3. Contaminated Level Mapping on the Kuem-Jung Abandoned Mine.

Table 2.에 나타내었고 그 결과를 가지고 오염도 mapping을 한 결과를 Fig. 3에 나타내었다. Table 2.에서와 같이 광산개발 초기에 투여된 광미/폐석 적치장의 시료에서는 비소농도가 가장 높았으며, 폐기된 기간이 길수록 비소의 용출농도가 높게 나타났다. 또한 폐석 및 광미의 중금속 용출농도를 비교해 보면, 입자크기 및 분쇄상태에 따라 농도가 다르게 나타나는 것을 알 수 있다.

광미 및 폐석의 강우유실에 의한 오염확산과 산성우 및 침출수에 의한 오염확산에 따라 선광장, 광미장 및 폐석장 주변의 토양의 중금속 용출농도 또한 매우 높게 나타나 토양환경보전법의 대책기준을 초과하였다. 도로변의 토양의 중금속 농도를 조사한 결과 과거 채광당시 광미를 이송·폐기시 유실된 광미가 쌓여 주변토양과 혼합으로 중금속의 농도가 높게 나타난 것으로 보인다. 밭토양의 경우

선광장으로 부터의 거리에 관계없이 중금속의 농도가 높게 나타나는 것으로부터 광미의 복토시 활용하였거나 광미의 강우 유실 및 개천의 범람에 의한 것으로 판단된다.

3.2 광산 주변 수질 및 하상 퇴적토의 중금속 함량

본 조사대상지역은 침출수의 발생이 없어 주요 오염원은 광미의 유실에 의한 주변토양과 하천오염인 것으로 판단되며 광산주변 수질 및 하상퇴적토 시료를 분석하여 광미 등의 오염원이 주변에 미치는 영향을 조사하였다.

광미장의 하부로 흐르는 하천의 오염 정도를 조사하기 위해 광미에 의한 비영향권으로 예상되는 지역과 갭내수, 광미의 침출수 및 하천수에 대한 수질분석을 수행한 결과 Table 3.과 같았다. Table 3.에서 알 수 있는 바와 같이 갭내수 및 광미장의 침출수에 의한 하천수의 영향은 거의 없는 것으로 판단된다.

하천 저질토의 중금속 함량을 보면 Table 4.와 같이 비소의 농도가 높게 나타나 광미가 집적된 퇴적토임을 알 수 있다. 다만 비소 등 중금속 농도가 낮은 것은 물에 의해 흡착태나 유기물 결합태가 용탈되었기 때문으로 판단된다. 제 2광미장 하부의 하상퇴적토에서 중금속의 함량이 높게 나타났는데, 이는 각 광미장으로부터 유실된 광미에 기인된 것으로 판단되었으며 제 3광미장 하부의 하상 퇴적토에서 중금속 함량이 낮은 것은 직선방향의 하천으로 인해 광미의 퇴적이 이루어지지 않았고 다른 계곡의 하천과 합류로 중화 및 혼합되었기 때문인 것으로 판단되었다.

3.3 복원기술 및 금정광산 복원방안

폐광산 복원기술로는 크게 오염확산방지기술과 분리 및 정화기술로 나눌 수 있다. 이중 기술의 난

Table 2. 금정 광산 폐석장, 광미장 및 주변 토양의 중금속 농도

Sample	농도(ppm)					
	As	Cu	Pb	Cd	Cr ⁺⁺	Hg
TS 1(광미/폐석 적치장)	7500.00	2.87	2.08	ND	ND	ND
TS 2(제 1광미장)	4720.00	58.40	7.24	0.12	ND	ND
TS 3(제 2광미장)	1850.00	6.24	5.79	ND	ND	ND
TS 4(제 3광미장)	1215.00	6.16	24.51	ND	ND	ND
TS 5(폐석장)	437.00	12.46	5.27	ND	0.11	ND
TS 6(선광장 주변)	208.67	7.49	8.87	0.14	2.87	ND
TS 7(제 1광미장 주변)	205.67	7.42	8.67	ND	1.63	ND
TS 8(제 2광미장 주변)	205.27	5.92	0.30	ND	1.58	ND
TS 9(선광장 하부 암회색)	171.97	5.85	3.49	0.10	2.55	ND
TS10(선광장 하부 황갈색)	168.63	4.88	3.97	0.11	2.46	ND
TS11(선광장 하부 황색)	166.52	1.05	1.03	ND	0.87	ND
TS12(폐석장 주변)	105.00	8.71	3.91	0.14	0.09	ND
TS13(폐석장 상부)	99.00	3.38	2.42	ND	ND	ND
TS14(제 2광미장 하부)	71.50	3.72	2.67	ND	ND	ND
RS1(선광장 200m 하부)	207.58	8.40	7.76	ND	4.35	ND
RS2(선광장 230m 하부)	203.58	9.19	0.10	ND	2.35	ND
RS3(선광장 260m 하부)	196.81	13.17	4.67	0.10	1.61	ND
RS4(선광장 300m 하부)	195.47	6.42	2.83	ND	2.86	ND
PS1(선광장 300m 하부)	9.25	1.89	6.85	ND	0.04	ND
PS2(선광장 350m 하부)	7.70	1.62	4.52	ND	0.02	ND
PS3(선광장 400m 하부)	12.75	5.17	9.08	0.16	0.20	ND
PS4(선광장 600m 하부)	10.40	2.31	4.11	0.12	0.13	ND
PS5(선광장 800m 하부)	81.50	3.44	9.92	0.07	0.10	ND
PS6(선광장 1km 하부)	5.10	4.87	7.62	0.27	ND	ND
PS7(선광장 1.5km 하부)	4.69	3.76	5.96	0.16	ND	ND
PS8(선광장 2km 하부)	5.85	0.72	17.03	0.20	ND	ND
MS1(비오염예상지역)	0.1	0.35	1.27	ND	ND	ND
MS2(비오염예상지역)	0.07	0.23	1.63	ND	ND	ND
MS3(비오염예상지역)	0.03	0.45	1.58	ND	ND	ND

* ND : Not Detected

- 1) TS : Tailing Soil(광미 및 폐석장)
- 2) RS : Road Soil(도로변 토양)
- 3) PS : Plowland Soil(밭토양)
- 4) MS : Mountain Soil(산토양 대조군)

Table 3. 금정광산 주변 수질분석 결과

측정항목 시료	pH	As	Cd	Pb	Cu	Cr ⁶⁺	Hg	Zn	Al
W1(갱내수)	8.2	0.220	0.001	0.005	0.001	ND	ND	0.001	0.379
W2(침출수)	6.0	0.039	0.016	0.075	0.017	ND	ND	0.790	1.030
W3(하천수)	8.2	0.053	0.001	0.005	0.001	ND	ND	0.001	0.090

* ND : Not detected

Table 4. 금정광산 하부 하천수 저질토의 유해물질 함량

측정항목 측정지점	pH	As	Cd	Pb	Cu	Cr ⁶⁺	Hg	CN화합물
선광장 하부	7.3	52.3	0.08	8.16	5.09	ND	ND	0.10
제2광미장 하부	3.3	103.5	0.09	1.05	8.97	ND	ND	0.58
제3광미장 하부	7.0	43.5	0.18	3.01	6.64	0.02	ND	1.04

* ND : Not detected

Table 5. 분석법에 따른 금정광산 광미의 중금속 농도

구분		As	Cu	Pb	Cd	Cr ⁶⁺	Hg
광미장 시료	완전분해법	1203.7	260.7	240.5	17.1	7.4	ND
	토양오염 공정시험법	226.1	10.4	3.0	0.1	2.6	ND
	폐기물 공정시험법	0.1	0.1	ND	ND	ND	ND
폐석장 시료	완전분해법	328.8	28.2	138.8	21.9	35.3	ND
	토양오염 공정시험법	125.5	6.7	14.3	2.72	0.38	ND
	폐기물 공정시험법	16	ND	0.1	0.02	ND	ND

* ND : Not detected

이도 및 적용성에 비추어 오염확산방지기술이 현재 가장 많이 이용되고 있으며, 향후 자원 고갈에 따라 광미와 같이 유용성분이 다량 함유된 폐기물이 자원화되었을 때 오염확산방지기술은 이 자원을 이용할 수 있다는 장점이 있다. 본 오염확산 방지기술 중 일반화된 기술로는 방수재와 같은 HDPE를

이용하는 방법과 불투수벽을 형성하는 고화기술이 이용되고 있다. 이 두 기술의 장·단점과 경제성을 검토한 결과 Table 6.과 같이 정리될 수 있다.

Table 6.에서 알 수 있는 바와 같이 방수재를 이용한 오염확산방지기술은 오염원을 굴착하여 이송 후 방수시설을 설치해야 하므로 소요비용이 증

가하고 현재 상용화된 방수재로는 고분자를 이용한 방수재가 대부분이며 기계적 강도나 내구성이 떨어져 지형의 변화에 대한 대책이 적다는 단점이 있는 반면 고화를 이용한 방수 및 오염확산방지기술은 본 지질과 격리가 없는 상태로 그 기능을 할 수 있어 방수재를 이용한 오염확산방지기술에 비해 안정하다고 볼 수 있다.

Table 6.의 기술이 폐광산 복원기술로 적합한 것을 Table 5.에서 확인할 수 있다. 금정광산의 경우 Table 5.에 나타난 바와 같이 폐기물공정시

험법에 의한 분석결과 중금속의 용출량이 거의 없는 것으로부터 일반 강우시 중금속 용출은 거의 없으므로 강우에 의한 유실방지와 산성우의 광미장내로의 침투를 방지하는 것이 적당하다. 또한 금정광산에서 폐석/광미의 적치 형태를 살펴보면 협소한 협곡을 사이에 두고 적치되어 있어 다량의 강우시 강우에 의한 유실의 우려가 있으며, 경사가 급하고 폐석과 광미가 혼재하여 고화제를 이용하거나 복토를 통해 복원사업을 수행하는 것이 바람직하다고 사료된다.

Table 6. 방수재(HDPE)를 이용한 매립기술과 고화제를 이용한 복토기술 비교

	차수막을 이용한 매립기술	불투수벽 + 복토처리기술
개념도		
자 재	HDPE(차수막) & 부직포	고화제
기술의 특징	<ul style="list-style-type: none"> - 차수막(HDPE) 이용 - 콘크리트 옹벽 - 복토 및 식재, 우수배재 - 기타 : 굴착, 평탄 및 사면보호공사 	<ul style="list-style-type: none"> - 고화처리기술을 이용한 불투수벽 - 복토 및 식재, 우수배재 - 기타 : 평탄 및 사면보호공사
장, 단점	<ul style="list-style-type: none"> - 오염원의 확산 방지 가능 - 침출수 발생 및 유출 방지 - 시설투자비 과다 - 시공불량시 침출수 유출 우려 - 차수막 파손 우려 	<ul style="list-style-type: none"> - 시공이 간편하다. - 오염원의 확산방지 가능 - 침출수 유출방지 - 지하면까지 원위치 처리 가능
시공기간	1.5 ~ 2년	6월 ~ 1년

4. 결 론

금정광산의 오염현황을 조사한 결과 As 외에 다른 오염물질은 크게 문제가 되지 않는 것으로 나타났다. 선광장과 폐석/광미 적치장을 중심으로 As의 농도가 매우 높았고, 이로 인해 인근 토양이 오염된 것으로 나타났다. 하천수를 포함한 주변 수질 분석 결과로 볼 때 인근 지역으로의 오염 확산은 우수에 의한 광미의 유실로 인한 것으로 추정된다. 폐석적치장에는 양측 사면형태로 폐석이 적치되어 있어 우수에 의한 붕괴의 위험이 예상되었다. 처리방안에 있어서 금정광산의 경우 확산방지 차원의 대책이 적당할 것으로 생각되며 폐석을 광미장 하부에 평탄화하고, 벽면은 고화처리, 그 상부를 복토 식재하여 광미의 유실로 인한 인근 오염을 방지하는 것이 적당할 것으로 사료된다.

5. 참 고 문 헌

1. 류순호, 노광준, 이상모, 박무언, 김계훈. 1996a. 가학광산 주변 논 토양의 카드뮴, 구리, 납 및 아연의 함량 분포. 한국토양비료학회지, 29(4) : 424-431.
2. 류순호, 노광준, 이상모, 박무언, 김계훈. 1996b. 가학광산 지역 하천 저니토 중금속의 화학적 특성. 한국토양비료학회지, 29(4) : 432-438
3. 나춘기, 전서령. 1995. 모악 금·은광산에 방치된 폐석이 주변 수계 및 생태계에 미치는 환경적 영향. Econ. Environ. Geol., 28(3) : 221-229.
4. 이승길, 정영욱, 민정식, 최광호, 최수일. 1997. 다덕광산 주변 환경오염 조사 사례 연구. 한국토양환경학회, 춘계학술발표회 논문집, pp. 65-69.
5. 민정식, 정영욱, 이현주, 송덕영. 1995. 광산지역 광해 대책 연구. 자원연구소 연구보고서, KR-95(C)-37, pp. 5-156.
6. 민정식, 정영욱, 이현주, 송덕영. 1995. 광산광산지역 광해조사 및 대책 연구. 자원연구소 연구보고서, KR-96(C)-41, pp. 5-374.
7. 전효택. 1996. 토양오염 조사 및 광해방지 시스템 연구. 대한광업진흥공사 보고서
8. 김경웅. 1996. 유구-광천 금·은 광화대 지역에서의 토양 및 농작물의 중금속 오염. 배재대학교, 석사학위 논문.
9. 이종팔, 박무언, 박선도, 최부설, 김복진. 1996. 아연광산 인근 토양중의 중금속 함량이 콩의 생육 및 중금속 흡수에 미치는 영향. 한국환경농화학회지, 15(3) : 275-281.
10. 공정시험방법, 1998, 성문기술