

## 구봉광산 주변 중금속의 분포양상 및 인근농경지와 하천수계에 미치는 영향

이도경, 정덕영, 이규승

충남대학교 농화학과

## Heavy Metal Distribution Patterns and Its Effect on Paddy Soils and Stream around Gubong Mine

Lee Do-kyoung, Chung Doug-young, Lee Kyu-seung,

*Dept. of Soil Chemistry, Chungnam National University*

*\* Research & Development Center, KOLON ENG&CONST., Co., Ltd*

### ABSTRACT

This investigation was conducted to provide information for characteristics of environmental pollution by the heavy metals from the abandoned gold mine in order to characterize the distribution patterns and environmental damages of the contaminants to the surrounding environment. Through analysis of CN, Cd, Cu, Pb, Zn, As, Cr, and Hg in a mine tailings, paddy soils, and stream sediments, the physico-chemical properties of the mine tailings and paddy soils were measured.

The pH's were 5.4, 8.4 for the paddy soil and mine tailing, respectively. The maximum contents of CN, Pb, Cd, and As the in mine tailing were 99.98, 1,752.72, 31.88, and 298.50 mg/kg, respectively. The amounts of these ions were higher than the standard level of industrial area in Korea. The average content of CN and heavy metals in the paddy soils were higher than the background level of heavy metals in the unpolluted paddy soils around the mine. Especially, the contents of heavy metals in the paddy soils along the adjacent stream were higher compared to the paddy soil that was not influenced by the mine tailings. The contents of CN and heavy metals in the stream sediment close to the mine area were similar to those of the mine tailings, but decreased along the distance of the stream farther away from the tailings that was the source of these pollutants.

Key word : Heavy metal, CN, Mine tailings, Contaminated soil, paddy soil

## 요 약 문

오염된 토양을 복원하기 위해서는 주변 환경에 있어서 오염원의 분포 특성과 오염원에 의한 피해 정도를 조사하는 것이 필요하다. 본 조사는 폐금속 광산으로부터 발생된 중금속 오염 현황에 대한 정보를 얻기 위하여 광미와 농경지 토양의 물리화학적 특성을 조사하였으며 광미와 농경지 토양, 그리고 하천 침전물의 시안, 카드뮴, 구리, 납, 아연, 비소, 크롬, 그리고 수은의 함량을 조사하였다.

농경지 토양과 광미의 pH는 각각 5.4, 8.4이었다. 광미중 시안, 납, 카드뮴, 그리고 비소의 함량은 99.98, 1,752.72, 31.88, 298.50 mg/kg이었다. 이들 중금속의 함량은 공장 산업지역의 대책 기준치보다 높은 함량이었으며 농경지 토양에서 시안과 중금속의 평균량은 광산 주변 비오염지역보다 높았다. 특히, 하천 주변 농경지 토양의 중금속 함량은 다른 주변 농경지보다 높게 나타났다. 광미장 하부 하천의 시안과 중금속의 함량은 광미장의 함량과 비슷하였으나 광미장으로부터 거리에 멀어짐에 따라 하천에 잔존하는 시안과 중금속의 함량은 감소하는 경향을 보였다.

**주제어** : 중금속, 시안, 광미, 오염토양, 농경지

## 1. 서 론

공업화가 진전되고 도시화가 가중됨에 따라 자연의 자정능력을 초과하는 다양한 오염 물질이 물, 대기 등의 이동매체를 통하여 대기나 물 또는 토양에 유입되어 지하수 및 토양 자체에 심각한 환경 문제를 야기하고 있다.

특히, 농경지와 같은 토양의 오염은 작물 자체의 생육저하와 같은 직접적인 피해 뿐만 아니라, 이들 토양에서 재배된 작물을 섭취한 인축에게 치명적인 병해를 일으키게 하는 등 연속 중독 현상을 야기시킬 수 있기 때문에 주목되고 있다<sup>1)2)</sup>. 이러한 오염원중 최근에 관심이 집중되고 있는 폐광산이나 제련소에서 발생된 중금속, 시안 등과 같은 오염 물질이 점오염원의 형태로 주변으로 확대되어 농지 등의 오염이 심화되고 있다.

폐광산 주변에는 선광 부산물인 광미나 폐석등에 포함된 다양한 형태의 중금속이온들이 분진,

유거수에 의한 침식, 토양내 이동과정등을 통해 주변 토양, 지표수 그리고 지하수내의 유해금속의 농도를 증가시킬 뿐만 아니라 이온의 형태에 따라 토양이나 수질을 산성화 시킨다<sup>3)</sup>. 특히, 폐광의 표면에 적치된 광미는 강우에 의한 심한 침식으로 인해 농경지나 하천수계로 직접 유입되어 주변 환경오염의 주요인으로 작용하고 있다.

국내 휴·폐금속광산은 1500여개로 이들은 대부분 폐광이후 특별한 환경복구사업이 이루어지지 못한 채 광산 활동중 발생된 광산 폐기물(폐석 및 광미사)과 폐갱구, 폐시설물, 폐공가들이 방치되어있는 실정이다<sup>4)5)6)</sup>.

본 연구는 폐 금속 광산으로부터 발생된 중금속의 주변 환경내 분포 특성을 조사하기 위해 광미 적치장으로부터 영향권으로 예상되는 농경지 토양과 적치장의 표면수가 유입되는 하천을 대상으로 하여 거리별에 따른 중금속의 오염 현황을 조사하였고, 이 결과를 토대로 본 광산 주변

환경의 중금속 오염 분포 특성을 체계화하였으며, 이를 제어하기 위한 대책의 기초 자료로 활용하고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 조사지역의 개관

본 연구의 대상 지역인 구봉광산은 동경 120° 45' 35", 북위 36° 24' 5" 지점에 위치하고 있으며 부근의 지질은 하부로부터 변성 퇴적암류, 대동계 퇴적암층, 염기성암 등으로 구성된다. 유구-광천 광화대는 천안 광화대의 서남부에 연속되는 광화대로서, 과거 남한 최대 규모의 금광산으로 알려졌던 구봉광산을 중심으로 대봉, 삼광광산 등이 위치하는 금·은 광화대이다<sup>7)</sup>.

특히, 본 광화대는 국내의 어떤 광화대의 금속 광산보다 섬아연광석중의 카드뮴 함량이 높은 것으로 나타나고 있어 카드뮴에 의한 중금속 오염 가능성이 높은 것으로 알려져있다. 본 광산은 과거 남한 최대의 금광산으로 연간 1 ton 이상의 금을 생산한 적도 있으나 1970년 8월 휴광된 이래 광업활동이 재개된바 없이 현재는 광산 활동에 의해 발생된 폐석과 광미등의 지표면적은 약 150,000m<sup>2</sup>이고 산사면에 적치한 관계로 위치에 따라 각각 그 깊이를 달리하여 산재되어 있는 실정이다<sup>8)</sup>. 광산의 주변에는 농가와 농경지가 분포되어 있으며, 광산으로부터 지표수와 침출수가 유입되는 구룡천은 광산으로부터 약 50km 지점에서 금강과 합류하고 있다. 특히 주변 농경지의 경우 부분적으로 작물이 심한 생육 장애를 보이고 있었다.

### 2.2 시료채취 및 분석

오염현황조사를 위한 시료채취는 광미장과 농

경지 그리고 하천 침전물과 퇴적물로 나누어 이루어졌으며 시료 채취방법은 Clustering/Random Sampling법과 삼각격자법 형식을 취하였다(그림 1). 광미시료의 채취는 광미 적치장으로부터 광미의 형상과 위치에 따라 14점과, 광미적치장 외의 비교 대상 토양으로 광미로부터 영향을 받지 않은 산림토양 2점 그리고 광미상 가운데의 우수로부터 20mm간격으로 4점 등 총 20점의 광미시료를 취하였으며 농경지 토양은 직접 오염 원으로 예상되는 지역으로 광미장 아래 0.2km지점에서 1km 지점에 이르는 C지역과 1km지점에서 1.7km지점에 이르는 D지역 그리고 간접 영향권으로 예상되는 광미장 왼쪽의 A지역에서 표토(0-10cm)와 심토(20-30cm)로 구분하여 각각 12, 6, 1개 지점에서 총 36점의 토양시료를 취하였다.

하천시료는 구룡천으로부터 하천 침전물과 하상퇴적으로 구분하여 광미장 표면수가 유입되는 지점으로부터 초기 1km까지 250m간격으로, 5km까지는 1km간격으로 50km까지는 5-10km간격으로 하천 침전물은 하천바닥에 침전되어 있는 침전물을 그리고 하상퇴적물은 하천 주변에 퇴적되어 있는 퇴적토를 0-10cm깊이에서 채취하였다. 이때 비오염지역으로 예상되는 광미장에 인접한 하천의 상부 0.5km지점과 표면수가 유입되는 바로 전지점의 시료도 함께 채취하였다(그림 1).

채취된 시료는 풍건시킨 후 8 mesh(< 2mm)를 통과시켜 공시시료로 사용하였으며 시안시료는 현장에서 채취직후 밀봉하여 실험실에서 헹잡물을 제거한 후 생토시료로 이용하였다. 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(Atomic Adsorption

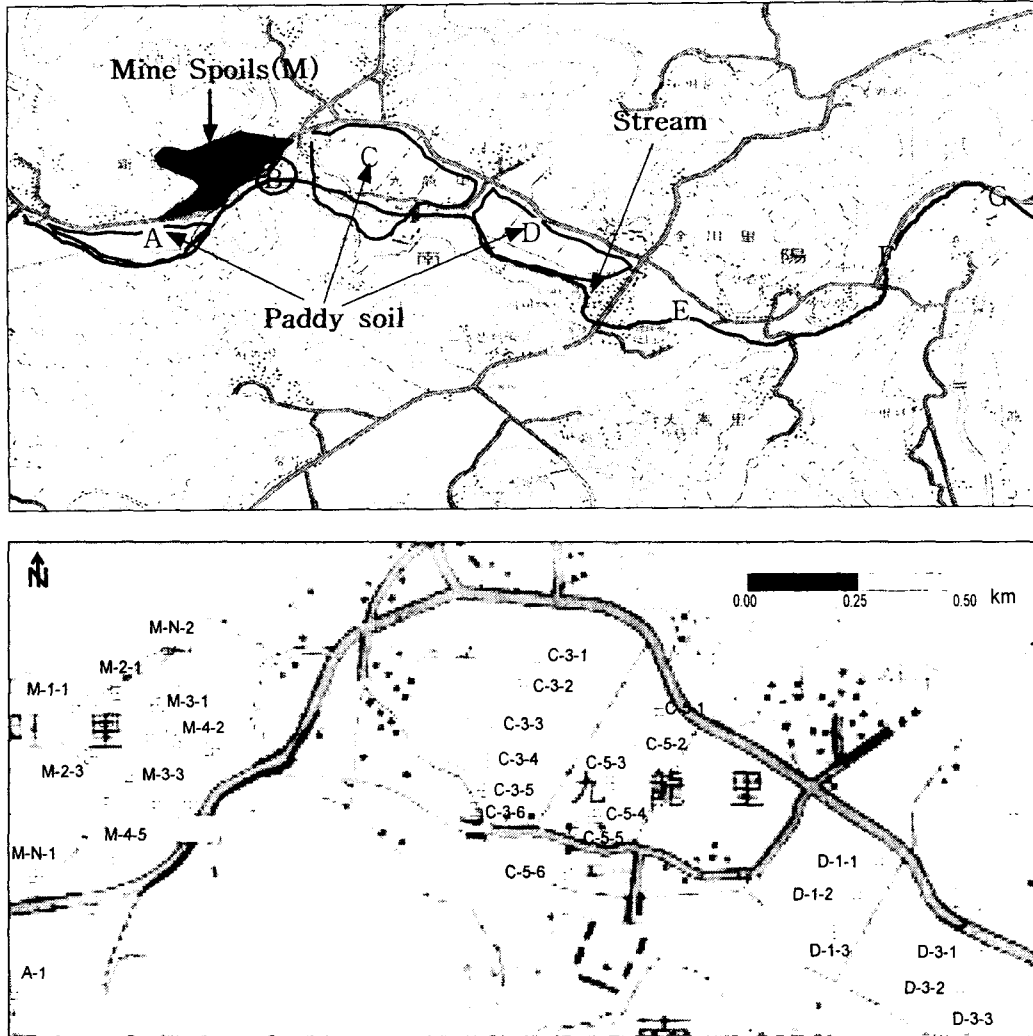


Fig 1. Map indicating sampling sites of mine spoils, paddy soils, and stream sediments.

Spectrophotometer, Shimadzu AA6701F), 시안은 자외선 분광기(UV Spectrophotometer, HP 8453)를 이용하였다.

광미 및 농경지 대표시료의 유기물 분석은 Walkley-Black법으로 정량하였으며, 양이온치환용량(CEC)은 초산 암모니아(1N CH<sub>3</sub>COONH<sub>4</sub>, pH=7.0)법으로 정량하였다. 입경분석은 Hydrometer법을 이용하여 측정하였으며 포화투

수계수는 일정수두법(Constant Head Method)을 이용하여 측정하였다.

### 3. 조사 결과 및 고찰.

#### 3.1 광미 및 농경지 토양의 물리화학적 특성.

금광산으로부터 발생된 광미에 의한 주변 환경

Table 1. Physical and chemical properties of the mine tailings and the paddy soils in the abandoned Gubong mine area.

Sample No.	pH	OM***	CEC	K****	Soil Texture(%)		
		(%)	(cmolc/kg)	(cm/sec x 10-4)	Clay	Silt	Sand
A-1-T*	5.74	2.21	7.96	1.71	12.4	30.9	56.7
A-1-U**	7.01	2.33	6.59	4.22	14.4	24.7	60.9
C-3-2-T	5.59	1.93	7.73	1.34	14.3	26.5	59.3
C-3-2-U	5.58	1.41	4.79	5.72	10.2	18.3	71.5
D-3-2-T	5.42	2.86	8.24	1.22	8.7	34.9	56.4
D-3-2-U	5.58	1.19	9.3	3.23	16.7	39.7	43.7
M-2-3	7.80	1.01	2.86	1.15	9.9	34.9	56.4
M-4-2	8.35	0.52	2.12	0.29	13.2	42.1	45.3
M-4-5	7.95	0.34	2.07	0.35	11.8	39.4	48.8

\*T: indicated that the samples collected from the 0 to 10cm on the surface.

\*\*U: indicated that the samples collected from the 20 to 30cm on the subsurface.

\*\*\*OM: organic matter

\*\*\*\*K: Saturated Hydraulic conductivity

Table 2. Cyanide and heavy metal contents in top 10cm of the mine tailings.

Sample No.	CN	Cu	Pb	Cd	Zn	Cr	As	Hg
	mg/kg soil							
M-N-1	0.57	1.52	26.26	0.14	4.09	Nd	7.32	Nd
M-N-2	1.31	0.13	12.97	Nd	5.42	Nd	2.17	Nd
M-1-1	0.40	3.13	967.91	11.39	276.78	Nd	23.83	Nd
M-2-1	1.03	Nd	601.30	0.84	1103.82	Nd	67.72	Nd
M-2-2	0.07	40.02	1752.70	31.88	163.43	Nd	145.83	Nd
M-2-3	0.94	0.00	536.92	2.62	120.92	Nd	Nd	Nd
M-2-4	1.26	6.83	578.99	4.23	121.50	Nd	96.70	Nd
M-2-5	0.50	Nd	279.74	1.56	100.24	Nd	74.07	Nd
M-3-1	99.98	44.96	590.17	15.90	458.59	Nd	187.26	Nd
M-3-2	9.54	17.25	989.91	10.71	154.01	Nd	126.92	Nd
M-3-3	76.02	1.94	247.04	0.76	12.94	Nd	281.27	Nd
M-3-4	6.52	7.37	50.77	2.44	51.21	Nd	298.50	Nd
M-3-5	0.37	19.70	1686.55	6.67	85.78	Nd	131.28	Nd
M-4-2	15.69	15.12	165.70	3.47	111.85	Nd	14.95	Nd
M-4-5	11.43	21.80	902.59	11.41	155.72	Nd	144.10	Nd
M-D-1	2.63	7.24	179.61	5.35	113.43	Nd	199.18	Nd
M-D-2	0.72	17.44	724.04	9.18	179.01	Nd	69.79	Nd
M-D-3	1.87	24.93	843.40	16.78	471.00	Nd	194.14	Nd
M-D-4	2.12	28.56	937.61	23.54	585.87	Nd	224.71	Nd

의 영향을 조사하기위해 광미와 주변 농경지 토양의 물리화학적 특성을 조사한 결과는 표1과 같았다. 광미장에서 pH는 7.8-8.4 정도의 약 알칼리성으로 나타났고, 반면에 농경지 토양에서는 pH가 약 5정도로 비교적 낮은 약산성으로 나타났다. 광미장의 경우 이 지역의 모암광물에 석회물질이 다량으로 존재하기 때문인 것으로 판단되었으며, 농경지의 경우 다년간의 지속적 농업활동의 영향인 것으로 추정된다.

농경지 토양의 유기물의 함량은 일반 농경지와 큰 차이가 없었으며, 토양의 양이온 치환용량은 일반 농경지와 비교해 볼 때 낮게 나타났는데 이는 토양의 양이온 치환 용량에 영향을 미치는 점토(< 0.002mm)의 함량이 일반 농경지에 비해 매우 낮은 반면 미사(0.002-0.05mm)와 모래(0.05-2mm)의 함량이 85%이상으로 높기 때문인 것으로 판단된다.

또한 광미의 경우도 미사와 모래의 함량이 90%이상으로 낮은 양이온 치환용량을 나타내었다. 그리고 수리전도도를 조사한 결과 미사와 모래의 함량이 높은 것에 비해 낮은 값을 보였는데 이는 조사된 토양의 물리적 구성요소중 용적밀도가 1.5g/cm<sup>3</sup> 이상으로 공극율과 공극의 크기가 감소하여 수리전도도에 영향을 미친 것으로 판단된다. 따라서 이러한 낮은 수리전도도는 6, 7월의 집중된 강우기간 동안 지표면 광미의 침식을 가속시켜 주변 농경지 및 수계로 오염원의 확산 및 오염정도를 높이는 주요 요인으로 작용하리라 판단한다.

한편 우기기간동안 폐광산 광미장으로부터 발생되는 폐수에 의한 토양이나 수질의 산성화의 영향은 극히 미미할 것으로 판단되나, 비산이나 강우 등에 의해 침식 또는 광미로부터 서서히 용출되는 중금속은 하천이나 농경지에 유입될 경우 하천생태계의 파괴뿐만 아니라 수분요구도와 증발산량이 큰 수도재배지역에서는 이들 중금속

이온의 작물체내로 전이가 증가되어 수도생육장에 뿐만 아니라 이러한 오염된 농작물 섭취에 의한 인체유해에 직접적인 원인 원인으로 작용할 것으로 판단된다.

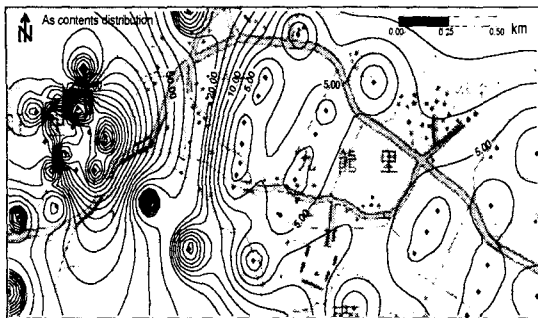
### 3.2 광미중 시안과 중금속의 함량

폐광산의 여러 곳에 산재되어 있는 광미로부터 얻어진 시료를 대상으로 중금속과 시안을 분석한 결과 시료채취지점의 지형적 특성차이에 따라 조사된 이온의 농도 차이는 있으나 일반적으로 매우 높은 농도로 검출되고 있음을 알 수 있었다 (표 2).

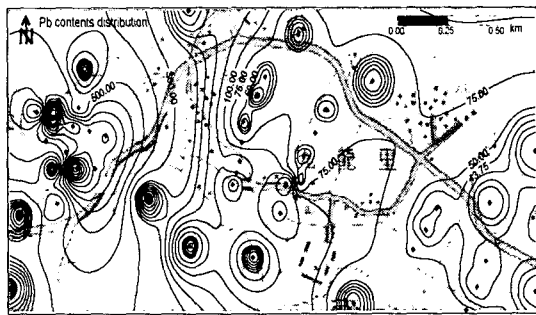
조사된 시안의 함량은 0.07-100mg/kg까지 변이가 넓은 범위의 농도로 공장·산업지역의 우려기준인 120mg/kg보다는 낮게 검출되었으나 농경지 토양의 대책 기준인 5mg/kg보다는 훨씬 높은 양이 검출되었다. 시료가 채취된 지점의 광미의 색이 회색이나 갈색을 띠는 지역에서는 5mg/kg으로 비교적 낮은 농도로 검출되었으나, 청색을 띠는 광미중에서는 70mg/kg 이상의 높은 농도로 검출되었다. 이는 선광 공정중 사용된 시안이 가지는 색에 기인하는 것으로 추정되며, 한편 색의 농도에 따라 시안의 집적정도를 육안으로도 판별할 수 있을 것으로 판단된다.

광미중 구리의 함량은 대부분의 시료에서 우리나라 토양의 자연 함유량 4mg/kg보다 높으나 농경지 우려기준인 50mg/kg보다는 낮게 검출되었으며, 비오염지역으로 예상되는 M-N-1, 2 지역의 구리 농도와 비교해 볼 때 크게 차이를 보이지 않았다. 따라서 광미중 구리의 함량으로 볼 때 광미로부터 발생하는 구리에 의한 주변 수계나 농경지의 오염의 정도는 높지 않은 것으로 추정된다.

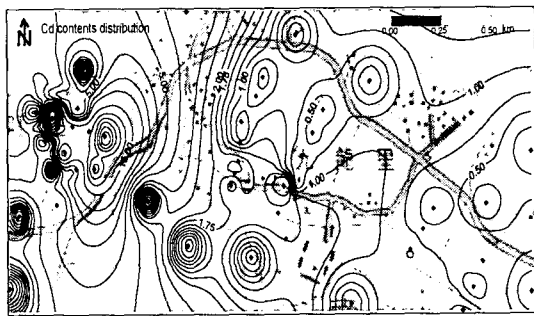
납의 함량은 시료에 따라 차이는 있으나 비오염지역 토양내 납의 함유량이 10-20mg/kg을 보



(a)



(b)



(c)

Fig 2. Delineating the contents of the heavy metals in a-bandoned Gubong mine, (a): As, (b): Pb, (c) : Cd.

인 반면 나머지 모든 시료에서 약 5배에서 70배 정도의 높은 농도로 검출되었다. 조사된 각각의 지점의 납의 농도는 대부분 500mg/kg을 초과하고 있으며, 광미장에 위치한 M-2-2와 M-3-5의

2개 지점에서 1,600mg/kg이상을 함유하고 있어 공장·산업지역의 대책기준치인 1,000mg/kg을 초과하고 있었다. 특히, 우기에 광미장내에 형성되는 우수로와 우수로 아래쪽의 위치한 웅덩이에 이르기까지의 납의 함량을 거리에 따라 조사한 결과 우수로가 위치하는 상부의 지역보다 강우에 의한 침식물이 퇴적하는 하부 웅덩이 부근에서 더 높게 조사되었다. 본 조사결과에 의하면 다량의 중금속을 함유한 광미가 강우의 의하여 쉽게 침식되는 것을 알 수 있었으며, 또한 강우의 정도에 따라 중금속의 이동 정도가 다르며, 주변 수계나 농경지로 다량 유입될 수 있음을 예측할 수 있다.

카드뮴의 경우 공장·산업지역의 대책기준치인 30mg/kg을 초과하는 광미는 M-2-2의 1개 지점, 우려기준인 12mg/kg을 초과하는 광미는 M-3-1, M-D-3, 및 M-D-4의 3개 지점이었으며, 이외의 대부분의 조사지점에서는 농경지 대책기준인 4mg/kg을 초과하고 있었다. M-2-2 지점의 경우 위에서 살펴본 바와 같이 납과 구리 또한 높은 농도로 검출되어 이들 이온간의 상호연관성 및 집적특성을 조사하여야 할 것으로 판단된다.

비소의 함량은 공장·산업지역의 대책 기준치인 50mg/kg보다 높은 100mg/kg 이상의 지점이 M-2-2를 비롯한 총 11개소이고 이중 M-3-3과 지역과 같이 200mg/kg 이상을 초과하는 지역도 4개소에 달하고 있으나, 이들 지역은 모두 광미장의 낮은 경사에 위치하고 있어 광미장의 타지점으로부터 이동되어 집적된 것으로 추정된다. 그리고 나머지 산림토양을 제외하고 대부분의 광미에서도 농경지 토양의 대책 기본치인 농경지 토양의 대책 기준치인 15mg/kg을 초과하는 것으로 나타났다. 환경내 독성이 가장 큰 것으로 알려진 수은과 6가 크롬은 광미장내에서는 검출되지 않았다.

Table 3. Cyanide and heavy metal contents in the surface and subsurface of the adjacent paddy soils.

Sample No.	CN	Cu	Pb	Cd	Zn	As
	mg/kg soil					
A-1-T	0.22	6.59	9.01	Nd	6.54	0.41
A-1-U	0.11	0.95	13.42	Nd	101.62	0.09
C-3-1-T	0.49	4.41	27.50	0.25	114.86	2.66
C-3-1-U	0.48	6.20	49.87	1.34	108.71	2.92
C-3-2-T	0.13	6.71	22.11	0.08	6.99	1.26
C-3-2-U	0.62	15.78	152.83	2.20	56.57	0.95
C-3-3-T	0.17	10.58	61.75	0.58	10.32	0.21
C-3-3-U	0.28	3.56	1.53	Nd	4.80	0.05
C-3-4-T	0.39	8.35	18.99	0.30	9.84	0.24
C-3-4-U	0.59	9.34	23.54	0.45	14.52	0.07
C-3-5-T	1.00	10.49	16.04	0.55	111.58	1.24
C-3-5-U	0.24	6.98	20.11	Nd	7.01	0.06
C-3-6-T	0.55	14.31	27.91	0.30	126.68	0.57
C-3-6-U	0.23	4.73	7.91	Nd	4.73	0.08
C-5-1-T	2.61	17.84	42.59	1.67	123.12	2.15
C-5-1-U	2.25	12.50	162.34	0.98	113.43	0.87
C-5-2-T	0.56	11.82	59.54	1.59	15.41	2.04
C-5-2-U	1.45	13.51	201.31	2.86	23.21	1.57
C-5-3-T	0.25	5.62	8.62	Nd	8.64	0.08
C-5-3-U	0.36	5.21	7.69	0.04	10.24	0.09
C-5-4-T	0.16	8.12	28.61	0.45	132.45	0.36
C-5-4-U	0.23	5.69	12.34	0.21	98.56	1.36
C-5-5-T	0.28	6.64	56.23	0.31	75.82	2.05
C-5-5-U	0.34	7.23	46.89	0.15	8.34	2.14
C-5-6-T	0.12	8.26	26.35	0.05	2.69	0.85
C-5-6-U	0.27	5.34	32.56	0.23	12.34	0.56
D-1-1-T	0.08	12.32	48.65	1.03	53.26	2.08
D-1-1-U	0.11	10.56	24.87	0.56	128.25	2.13
D-1-2-T	0.12	8.96	32.16	0.53	145.32	0.86
D-1-2-U	0.09	9.56	12.89	0.32	56.23	1.23
D-1-3-T	0.28	7.81	36.21	0.24	8.63	1.68
D-1-3-U	0.04	5.63	25.64	0.05	24.59	1.85
D-3-1-T	0.13	11.29	53.31	1.13	131.62	2.02
D-3-1-U	0.04	9.57	32.06	0.25	9.87	2.04
D-3-2-T	0.22	8.39	28.68	0.23	117.83	1.57
D-3-2-U	0.00	9.40	23.99	0.32	117.93	1.63
D-3-3-T	0.08	14.01	32.36	0.74	132.54	0.85
D-3-3-U	0.14	8.32	20.16	0.00	6.49	0.32



### 3.3 농경지 토양내 시안과 중금속의 함량

광미에 의해 오염이 예상되는 주변 농경지 토양의 중금속과 시안의 함유량의 조사는 광미장으로부터 영향을 받지 않을 것으로 추정되는 A 지역과 광미장으로부터 발생하는 유거수나 침식에 의해 영향을 받은 것으로 추정되는 C와 D 지역을 택하여 조사한 결과는 표3과 같다.

조사된 C와 D 지역의 시안의 함량은 하천에 인접한 C-5-1-T 지점에서 표층토와 심토 모두 농경지 토양의 우려기준인 2mg/kg을 초과하는 최고값인 2.61mg/kg과 2.25mg/kg으로 보였고, 하천으로부터 멀어짐에 따라 시안의 농도는 급격히 감소하여 하천으로부터 가장 먼곳에 위치하는 지점인 C-5-6-T, U의 경우 C-5-1-T, U의 약 1/10이하 값으로 조사되었다.

C와 D 지역간의 시안의 분포를 비교해보면 광미장으로부터 가까운 거리에 위치하는 C 지역의 수치가 D지역보다 높은 농도로 조사되었으며 표층토와 심층토내의 시안의 농도는 극히 일부 지역을 제외하고는 모두 조사된 지점에서 심층토에서 높은 값으로 존재하고 있음을 알 수 있었다. 따라서 이러한 조사결과를 근거로 하여 시안의 농경지내의 분포특성을 추론하여 보면 농경지내의 시안의 존재는 하천 수계의 의해 영향을 받은 것으로 추정되며, 표층토보다 심층토내의 시안의 농도가 상대적으로 높으므로 표층토로부터 시안이 심층토로 이동하였거나 또는 높은 하천수위에 따른 토양내 확산평형에 의한 시안의 집적이 예상된다. 그리고 광미장에 의해 영향을 받지 않은 지역으로 추정되는 비교대상지점인 A 지역의 표층토와 심층토내의 시안의 농도는 D 지역의 시안의 농도분포와 유사한 값을 보이고 있다. 따라서 이러한 A 지역의 시안 조사결과는 시안이 단지 수계에 의한 영향 뿐만 아니라 미세한 광미물질의 풍식에 의해서도 영향을 받을 수

있을 것으로 추정된다. 따라서 이러한 시안의 분포동향으로 미루어 시안에 의한 주변 농경지 오염을 막기 위해서는 광미장의 풍식과 수식의 두 가지 요인을 감소시키는 방안이 마련되어야 할 것으로 판단된다.

농경지 토양의 중금속 함량은 비교대상 지역인 A와 비교해 볼 때 C와 D지역은 대부분 높은 농도로 검출되었다. 그리고 하천에 가깝게 위치할 수록 농도가 높았으며, 광미장에 더 가까이 위치하는 C지역에서 중금속의 농도가 D지역보다 상대적으로 높은 농도로 존재함을 알 수 있었다. 따라서 시안에서 살펴보았던 바와 같이 중금속 이온들의 분포는 광미장으로부터 유입되는 광미에 의해 영향을 받을 뿐만 아니라, 하천 수계 및 광미장으로부터의 거리와 밀접한 관계를 가지고 있음을 알 수 있었다. 그리고 조사된 전지역의 표층토와 심층토내 중금속의 함량을 비교하여 보면 심층토내에 중금속의 함량이 매우 높게 존재하고 있음을 알 수 있는데 이 또한 이들 중금속 이온들이 토양내 수분이동현상에 따라 토양의 심층부로 이동 축적된다는 것을 알 수 있었다. 또한 C와 D 지역의 농토양에서 검출된 성분을 농도별로 살펴보면  $Zn > Pb > Cu > Cd > As > Cu$  순으로 나타났으며 광미장으로부터 1.5km 지점까지 큰 차이를 보이지 않았고 이들 이온이 높은 농도로 나타나는 C-3, 5 지역에서 자라고 있는 벼의 생육이 A나 D에 비교하여 현저히 저하된 것을 육안으로도 관찰할 수가 있었다<sup>9)</sup>. 벼의 생육이 심한 생육장해를 보인 C-3-2 지역에서는 Pb와 Cd가 각각 152.83, 2.20mg/kg으로 농경지 토양오염 우려기준인 100, 1.5mg/kg보다 각각 높게 나타났다. 따라서 이러한 중금속 이온들의 농도가 작물에 생육에 영향을 미치고 있음을 확인 할 수 있었다.

### 3.4 하천 수계의 중금속과 시안의 함량

광미장에 인접한 하천의 오염 정도를 조사하기 위해 비영향권으로 예상되는 광미장 수계상부에 약 500m에 위치하는 A지역으로부터 금강에 합류하기 전인 광미장으로부터 50km지점까지 거리별로 하천 침전물과 하상퇴적토 시료에 대한 시안과 중금속의 분석결과는 표 4와 같다.

비오염지역으로 예상되는 A지역과 광미장 침출수 및 표면수가 유입되는 지점인 B-1지역의 중금속 농도를 조사한 결과 A지역에서 채취된 수질 시료내의 중금속 및 시안의 농도가 표면수가 유입되는 지역(B-1)의 농도에 비해 모든 조사 항목에서 매우 적게 조사되었다. 한편 표면수가 직접 유입된 B-2지역 하상 퇴적토의 경우 시안, 구리, 납, 카드뮴 그리고 아연의 함량은 각각 1.94, 29.36, 1,277.02, 18.42, 18.42 mg/kg으로 상기에서 조사된 광미내의 각각의 이온의 함량과 비교해 볼 때 큰 차이를 보이지 않았다. 그리고 광미장으로부터 1.5km 떨어진 C지역과 D지역에서의 시안 함량은 B지역에 비해 낮은 반면, 중금속 함량은 B지역과 비슷한 함량을 나타내었으며, 광미장으로부터 2.8km 이후의 지점에서는 중금속과 시안의 함량은 광미장으로부터의 거리에 멀어짐에 따라 감소하는 경향을 나타내었다<sup>2)</sup>. 그러나 납과 아연의 경우 광미장으로부터 30km 지점인 K지역에서도 각각 108mg/kg과 49.37mg/kg으로 조사되었는데, 이는 이 지역의 하천폭이 급격히 넓어짐에 따라 유실된 광미가 이곳에 퇴적된것에 의한 영향으로 생각되며, 또한 광미 자체내 이들 이온들이 높은 농도로 존재하기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 수계에 따른 이온의 분포는 이들 이온의 발생지의 이온의 농도에 따라 결정됨을 알 수 있었다. 또한 하상 퇴적토내의 중금속 함량이 하천 침전물의 중금속 함량보다 높게 나타나 이는 강우등에 의한 침식

이동거리가 이들 이온의 하천수계내에 분포를 결정짓는 것으로 추정한다.

## 4. 결론

구봉 광산 광미장과 주변 토양에 대한 이온의 분포 및 농도를 조사한 결과 광미장으로부터 직접적인 영향을 받는 지역의 토양내에 시안과 중금속 농도가 영향권 이외의 지역보다 높게 나타났고 한편 하천수계에 따른 시안과 중금속이온의 분포는 광미장으로부터의 거리와 밀접한 관계가 있음을 보여주고 있다.

광미장의 pH는 7.8-8.4로 중성에서 알칼리성으로 나타났으며 농경지 토양은 pH 5내외로 약 산성을 나타내었다. 광미중 시안의 함량은 0.07-100mg/kg까지 광미의 성상에 따라 다양하게 나타났다. 광미중 납의 함량은 2지점에서 1,600mg/kg 이상으로 공장·산업지역의 대책 기준치인 1,000mg/kg을 초과하고 있었으며, 대부분의 광미에서 500mg/kg 이상의 높은 함량을 보였다. 카드뮴의 함량은 공장·산업 지역의 대책 기준치인 30mg/kg을 초과하였고 3지점에서 우려기준인 12mg/kg을 초과하고 있었다. 비소의 함량은 11지점에서 100mg/kg 이상으로 공장·산업지역의 대책 기준치인 50mg/kg을 초과하고 있었으며, 일부 광미는 기준치의 6배를 초과하고 있었다. 이러한 광미장내의 이온의 분포의 변이는 조사시료가 채취된 지점의 지형 및 강우등에 의한 이들 이온의 지표면 이동특성을 달리하고 있기 때문인 것으로 추정된다.

광미장 주변 농경지 토양의 시안과 중금속의 분포특성은 비교구인 비오염농경지 토양보다 높게 검출되었으며, 특히 하천 주변에 바로 인접하는 농경지토양내의 시안과 중금속의 함량중 납과 카드뮴의 함량이 각각 152.83, 2.20mg/kg으로 농경지 토양오염 우려기준인 100, 1.5mg/kg

Table 4. Cyanide and heavy metal contents in the stream sediment and the soils adjacent to stream.

Sample No.	CN	Cu	Pb	Cd	Zn	Cr
mg/kg soil						
A-1-S*	0.00	0.40	0.49	0.00	6.59	0.00
A-1-K**	0.00	0.77	5.81	0.00	7.45	0.00
B-1-S	0.52	1.01	13.56	0.16	82.53	0.00
B-1-K	0.00	1.52	34.56	0.01	94.84	0.00
B-2-S	1.19	8.05	406.59	5.35	92.32	0.00
B-2-K	1.94	29.36	1277.02	18.42	18.42	0.00
C-3-S	0.05	7.09	302.11	4.06	108.92	0.00
C-3-K	0.08	25.65	1242.32	18.21	125.64	0.00
C-7-S	0.14	11.14	185.24	3.24	56.27	0.00
C-7-K	0.61	29.01	990.26	17.46	131.72	0.00
D-4-S	0.08	5.85	182.19	3.17	82.62	0.00
D-4-K	0.65	11.75	485.36	6.86	108.71	0.00
E-S	0.30	9.75	277.35	3.81	88.75	0.00
E-K	0.20	23.03	767.90	10.66	109.25	0.00
G-S	0.00	2.51	75.60	1.60	72.08	0.00
G-K	0.26	20.84	407.22	9.41	130.37	0.00
H-S	0.11	4.72	108.74	1.82	102.07	0.00
H-K	0.38	11.17	155.34	4.28	134.19	0.00
I-S	0.14	0.14	16.66	0.18	65.47	0.00
I-K	0.13	1.03	38.21	0.31	82.63	0.00
J-S	0.09	3.64	27.30	0.01	7.14	0.00
J-K	0.00	0.00	8.87	0.00	3.38	0.00
K-S	0.00	0.00	6.28	0.00	4.64	0.00
K-K	0.00	13.31	108.00	1.62	49.37	0.00

\*S indicated that the samples collected from the stream sediment.

\*\*K indicated that the samples collected from the soil adjacent to stream.

을 초과하는 등 동일선상에 위치하는 내륙지점의 함량보다 높게 검출되어, 광미장으로 발생된 이들 조사된 이온들이 하천수의 흐름에 따라 영향을 받고 있음을 알 수 있었다. 그리고 표층토와 심층토내의 이들 이온의 분포를 살펴보면 심층토가 표층토보다 높게 조사되었는데 이는 논토양의 특성인 담수에 의해 표층토에 있던 이온들이 물의 이동과 함께 토양의 하부로 이동되었고 표층토에 위치하는 이온은 토양과 이들 이온

간의 화학적 반응, 즉 흡착에 의해 영향을 받는 것으로 추정된다. 그러나 광미장내의 깊이별 이온의 분포동향은 광미장 표층토의 낮은 수리전도도 및 광미장 토양의 수분특성 즉 불포화에 의해 낮은 이온의 이동속도에 의해 표층토에 높은 농도로 유지되는 것으로 추정한다.

광미장으로부터 발생하는 지표수와 침출수가 유입되는 하천 침전물과 하상 퇴적토내 중금속의 함량은 광미장 인접지역에서 광미와 비슷한

농도로 검출되었으며, 광미장으로부터 거리가 멀어질수록 중금속의 농도는 감소하였다. 따라서 거리에 따른 이들 이온의 감소는 각각의 토양의 화학적 특성 및 하천수계의 유속 및 유량에 의해 영향을 받는 것으로 추정된다.

### 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 □ 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.