

경북지역 폐금속광산이 환경에 미치는 영향

이재영* · 김종근* · 이인호* · 이진국**

Environmental Effects Caused by Abandoned Metal Mines in the Kyungpook Province

Jae Yeong Lee*, Jong Gun Kim*, In Ho Lee* and Jin Kook Lee**

ABSTRACT: The heavy metal contents are more abundant in stream waters, paddy soils and rice plants in the vicinity of abandoned mines compared to the surrounding areas in the Kyungpook province. However, these contents tend to decrease with distance from mines, and show some variation under different geological and geochemical environments. The Sin-stream waters have high contents of Cu=4.9 ppm, Pb=0.1 ppm, Zn=3.5 ppm and other heavy metals (Ni, Co, Cd) at Dalsung abandoned mine and low contents of Cu=0.4 ppm, Pb=0.1 ppm, Zn=0.1 ppm and other metals=0.002 ppm in the surrounding area. The high contents decrease in the downstream in the area of calcareous sedimentary rocks. The paddy soils have high contents of approximately Cu=51 ppm, Pb=83 ppm, Zn=211 ppm, and Cd=11.3 ppm in the vicinity of Gunwi abandoned mine but low contents of Cu=4.5 ppm, Pb=2.9 ppm, Zn=60 ppm and Cd=0.4 ppm in the surrounding area. The Dadeog abandoned mine also shows similar trends to Gunwi mine. The contents of heavy metals of rice plants are high in the roots but trends to decrease through stem+leaf and become low in brown rices.

서 언

광산은 휴폐광이 된 이후에도 구개도와 폐석 및 광미의 퇴적장으로 부터 침출되는 폐수로 주변 및 하류에 있는 수계의 수질을 오염시킬 수 있으므로 이를 농업용수로 이용할 경우 농토는 오염되고, 인간은 농작물을 통해 피해를 입게 된다. 특히, 경북지역이 위치하는 경상분지내에는 철, 동, 연·아연 및 중석·취수연 등의 금속광상이 한반도 동남단에서 내륙방향으로 대상 (이상만, 1972; 이재영, 1981)으로 분포하고, 이들 광상의 수반광물 중에는 각종 유해한 중금속이 함유되어 있으므로 경북지역에 방치되어 있는 폐광산은 낙동강 상류수계의 오염원이 될 수 있다 (이재영 등, 1993). 따라서 폐광으로 인하여 야기될 수 있는 수질, 토양 및 농작물의 오염에 대한 연구가 필요하며 이에 대한 대책이 강구되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 경북지역내 여러 폐금속광산이 환경에 미치는 영향을 구체적으로 파악하기 위하여 광산을 광종별로 구

분하여 중석광산은 대구 근교에 있는 달성광산, 동광산은 군위의 군위광산, 그리고 연·아연광산은 봉화의 다덕광산을 선정하여 이들 폐광산이 각각 하천의 수질이나 토양 또는 농작물에 미치는 영향을 조사하였다. 달성광산은 필자들이 계속 조사해 온 자료에 의한 것이고 군위광산과 다덕광산은 문헌조사 자료에 의한 것이다.

경북지역의 지질 및 광상

경북지역의 지질은 선캄브리아기의 편암류·편마암류와 이를 관입한 쥐라기의 화강암류, 그리고 이들을 부정합으로 덮은 경상계 퇴적암류와 이들 암류를 다시 관입한 백악기말의 화강암류 등으로 주로 구성되고, 본 역 남동부에서는 이들 암류를 부정합으로 덮는 제3기 암층이 분포한다 (김영기 등, 1976). 선캄브리아기의 변성암류와 백악기 심성암류는 본 역 서북단과 북단에 분포하고, 제3기 암층은 영일 등 일부지역에 약간 분포하며, 대부분은 경상계 암층 및 이를 관입한 화강암류와 반심성암류로 되어 있다. 화강암류는 흑운모화강암이 대부분이고 섬록암, 화강섬록암, 각섬석화강암, 석영몬조니암, 미문상화강암 및 화강반암이 암주상 또는 그 연변상으로 산출된다. 본 역내

* 경북대학교 지질학과 (Department of geology, Kyungpook National University, Taegu 702-701, Korea)

** 경북대학교 환경과학연구소 (Environmental Science Institute, Kyungpook National University, Taegu 702-701, Korea)

광상은 백악기 화강암류를 관련암으로 하고, 경상계의 안산암류와 산성화산암 및 각력암과 그 밖의 경상계 퇴적암류를 모암으로 하여 형성된 맥상의 열극충진광상이 대부분이며 기성광상은 드문편이다 (이상만, 1972; Lee, 1984). 이들 광상들은 동남단에서 북서 내륙방향으로 동, 연-아연, 휘수연-중석의 순으로 대상분포하며, 화강암류별로 관련 광종을 보면 불국사화강암류에는 동, 연-아연, 금은, 휘수연-중석, 철 등 광상이 많이 발달하고, 특히, 함 Zn, Pb, Au, Ag 동광상은 흑운모화강암에 관련된다. 진동화강암류에는 동광상이 많이 발달하며, 함 Co, As, W 동광상은 화강섬록암에 관련된다. 마산암류에는 동, 연-아연, 금은 및 철광상이 발달하는데, 특히, 철광상은 미문상화강암에 관련되는 특징을 보인다 (Kim, 1971; 이상만, 1972; 이재영, 1981).

달성광산지역

지질 및 광상

대구근교, 신천상류에 위치하는 달성광산의 주변지질은 신라통에 속하는 응회암, 집괴암 등의 분출암류와 이를 관입한 유천층군의 안산암질암류 및 두 암류를 후기에 관입한 몬조니암과 규장암질암맥 등으로 되어 있다 (Fig. 1). 안산암질암류는 몬조니암에 의하여 심하게 열수변질되어 입상안산암화 및 견운모-규화되어 있는 것을 관찰할 수 있다 (원종관, 김종배, 1971). 따라서 본 역의 수질은 몬조니암과 안산암류에 의하여는 중-약알카리성이 되고 중금속이 신천하류로 유입되는 것을 제한하는 효과를 가져오게 되나 (이재영 등, 1992) 안산암 중에 황철석이 산점해 있는 곳에서는 이의 분해로 산성을 띠 수 있다. 광상은 안산암질암 각력구조대내에 부존하는 각력광상과 맥상광상으로 대분되며, 각력광상은 장경 (N35°E)이 100~250 m, 단경이 50~120 m의 타원형을 이루는데, 주광석 광물은 흑중석, 회중석, 황동석이며, 섬아연석, 휘창연석, 금속창연, 자연금 외에 자유철석, 유비철석, 능철석 등이 수반된다 (원종관, 김기태, 1966). 유체포유물의 균일화온도는 대부분이 210~290°C 와 310~370°C 로 이는 중열수-심열수광상에 대비된다 (지정만 등, 1974). 따라서 구경구와 폐석 및 광미퇴적장에서 유출되는 침출수 중에는 중열수-심열수 유화광물 중에 미량으로 들어 있는 여러 가지 중금속이 함유될 수 있다.

광산의 하류쪽에 위치하는 대구의 중심부 지질 (Fig. 1)은 하양층군의 퇴적암류가 북서부에서 동남방향으로 칠곡층, 신라력암층, 학봉비암, 함안층, 반야월층의 순으로

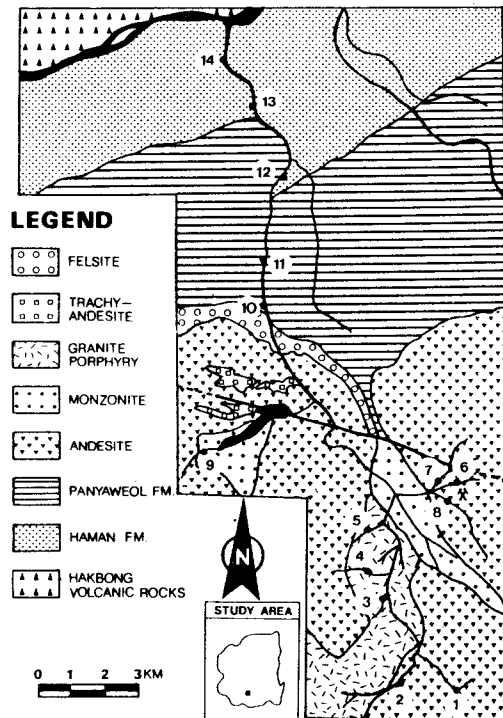


Fig. 1. Map showing geology and sampling sites of stream waters.

분포하고 안산암질암류도 이를 부정합으로 덮고 있으며 (장기홍, 1978; 김종근, 1990) 불국사 화강암류인 몬조니암에 의하여 관입되어 있다 (원종관, 김기태, 1966; 이재영, 1971). 대구중심부의 함안층은 주로 저색-녹색의 니암, 니질세일 및 사암으로 구성되고, 반야월층은 주로 흑색-암회색의 세일로 구성되는데, 양 층은 석회질 성분이 많고 장석은 심히 풍화되어 칼슘의 용출이 용이하며, 본 역 자연수가 알카리성을 띠게 되는 주요 요인이 된다. 그 결과 상류에서나 주변에서 중금속이 유입되어 온다고 하더라도 침전 또는 점토광물에 의한 흡착으로 지하수 중 함량은 제한될 수 있다 (이재영 등, 1992).

달성폐광산이 신천수질에 미치는 영향

달성폐광산의 폐석과 광미로부터 침출되는 폐수로 부근 하천이 받는 영향을 검토하기 위하여 광산과 부근에 있는 비광화지대에서도 하천수를 채수하였다. 그리고 대구 중심부는 광산폐수가 유입되는 신천의 하류쪽에 위치하고 있으므로 주택지가 있는 하류에서도 채수하였다 (Fig. 1 및 Table 1, 2). Eh와 pH는 현지에서 측정하였고, 화학분석은 본 과에 있는 원자흡광분광분석기 (AAS 40, Va-

Table 1. Eh, pH and content of major elements of Sin-stream water (unit: ppm).

No.	K	Na	Ca	Mg	Eh	pH	rocks	areas
1	1.49	8.46	6.46	3.39	0.31	6.45	andesite	unmineralized area (Sin-upstream)
2	1.08	5.86	1.29	1.24	0.24	7.66	*gr. porphyry	
3	0.34	4.98	4.10	0.35	0.24	7.65	*gr. porphyry	
4	1.03	5.29	4.10	0.72	0.24	7.66	*gr. porphyry	
5	1.83	6.35	7.10	1.31	0.23	7.73	*gr. porphyry	
9	1.02	6.99	4.30	1.22	0.23	7.83	monzonite	
av.	1.13	5.16	4.56	1.37	0.25	7.50		
6	3.28	105	67.5	44.2	0.48	3.68	andesite	mine area
7	0.87	8.65	38.4	8.62	0.39	5.23	andesite	
8	0.83	7.73	35.7	13.70	0.40	4.94	andesite	
av.	1.37	40.46	47.2	22.17	0.42	4.62		
10	6.46	31.46	12.1	5.59	0.25	7.78	Panyaweol fm.	residence area (Sin-downstream)
11	9.70	59.70	67.19	7.96	0.23	7.42	Panyaweol fm.	
12	13.26	76.90	18.58	12.43	0.20	6.95	Panyaweol fm.	
13	12.64	60.35	24.81	9.68	0.19	6.90	Haman fm.	
14	16.19	66.93	41.19	8.35	0.18	7.07	Haman fm.	
av.	11.65	59.10	32.70	8.80	0.21	7.04		

*gr. porphyry; granite porphyry, av.; average, and fm.; formation

Table 2. Heavy metal content of Sin-stream water (unit: ppm).

	Cu	Pb	Zn	Ni	Co	Cd	Fe	Mn	areas
1	0.39	0.05	0.01	0.01	ND	0.002	0.004	0.004	unmineralized area
2	0.41	0.02	0.07	0.001	ND	0.002	0.007	0.04	
3	0.38	0.02	0.09	ND	ND	0.003	ND	ND	
4	0.45	0.04	0.05	ND	0.01	0.002	0.001	0.01	
5	0.33	0.05	0.23	ND	ND	ND	0.10	0.01	
9	0.29	0.06	0.08	ND	ND	0.003	0.01	0.02	
av.	0.38	0.09	0.09	0.002	0.002	0.002	0.02	0.01	
6	12.97	0.10	7.37	0.56	0.24	0.06	0.27	13.5	mine area
7	0.57	0.05	1.93	ND	0.02	0.02	0.2	2.14	
av.	4.88	0.07	3.54	0.19	0.11	0.04	1.25	7.60	
10	ND	ND	0.055	0.012	0.011	0.005	0.008	0.240	Sin-downstream
11	ND	ND	0.053	0.008	0.014	0.005	0.006	0.21	
12	ND	0.005	0.173	0.015	0.029	0.004	0.029	0.25	
13	ND	ND	0.127	0.007	0.011	0.004	0.016	0.250	
14	ND	ND	0.075	0.080	0.026	0.006	0.027	0.390	
av.	ND	0.001	0.096	0.024	0.018	0.005	0.017	0.223	

rian)로 실시하였다.

Eh-pH환경

본 역 하천의 Eh-pH영역은 광산지대가 Eh=0.39~0.48 v, pH=3.68~5.23, 비광화지대가 Eh=0.23~0.24 v, pH=7.65~7.83로 광산지대와 비광화지대는 현저히 구분된다 (Table 1). 이를 일반광산수와 하천수에 비교해 보면 Eh는

양 지대의 하천이 모두 낮은 편인데, 이는 지표수에 비해 Eh값이 낮은 계곡토양수에 의한 혼입 때문이며, pH의 차이는 하천수에 의한 중화에 기인된 것으로 생각된다. No. 1 지점의 하천수의 경우는 Eh=0.31 v, pH=6.45로 비광화지대에 있으면서 광산지대의 하천수에 가까운 값을 보이는데 이것은 확인되지는 않았으나 부근의 안산암질 암이 광산의 모암처럼 입상안산암화되어 황철석이 많이

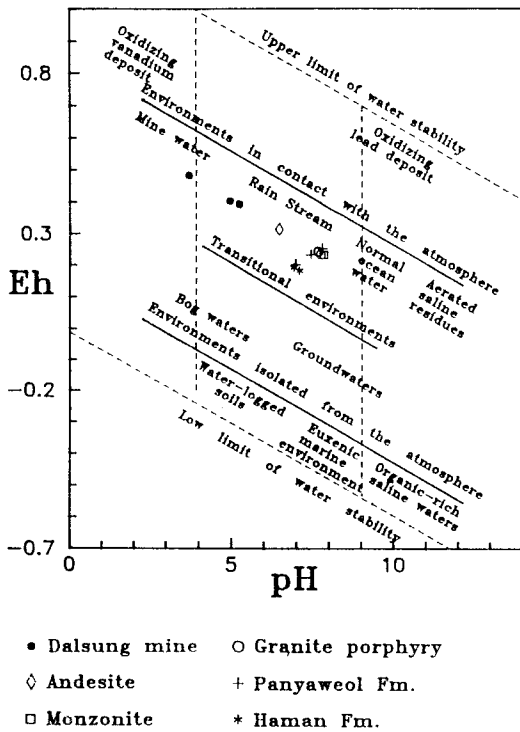


Fig. 2. Eh-pH values of mine waters and stream waters of various rocks in the study area.

산점되어 있을 경우 가능하다. 기타 비광화지대의 하천은 몬조니암지역이 pH=7.8, 안산암류지역이 pH=7.6~7.7 (이재영 등, 1992)로 화강암류가 안산암류보다 약간 높은 경향을 보인다 (Fig. 2).

신천하류에 있는 주택지대의 하천은 Eh=0.18~0.25, pH=6.90~7.42로 일반 하천에 비하면 Eh는 낮고 pH는 조금 높은 편이다. 신천이 중성을 띠는 것은 퇴적암층에 함유되어 있는 석회질 성분에 기인되며, 반야월층보다 하류쪽에 있는 함안층에서 Eh가 낮은 것은 유기질 오염물에 기인되는 것으로 생각된다 (Table 1). 양 퇴적암류에 함유된 석회질 성분과 점토질 성분은 하천수 중 중금속을 침전 및 흡착시키는 중요한 역할을 한다 (이재영 등, 1992; Lee et al., 1992). 신천 상류에서 달성폐광산수가 유입됨에도 대구 중심부의 하류에서 영향이 잘 나타나지 않는 것은 신천상류지역에는 넓게 분포하는 화강반암에 의하여 중금속이 중화, 침전 및 흡착될 뿐만 아니라, 하류쪽에는 반야월층과 함안층이 분포하고 이들 퇴적암류에는 석회질 성분과 점토질 성분이 많이 함유되어 있어서 대부분의 중금속은 침전 및 흡착 (Reid and McDuffie, 1981)되기 때문이라 생각된다. 대구 중심부의 지하수에서 달성폐광

산수의 영향이 거의 나타나지 않는 것도 이와 관련된다 (이재영 등, 1992; Lee et al., 1992). 그러나 주택지에서 방류되는 하수와 관련된 오염은 심한 것으로 나타난다. 예로 가창댐이나 고산골 등 비오염지대의 신천 상류에서는 평균해서 $\text{NO}_3^- \text{-N} = 0.86 \text{ ppm}$, $\text{SO}_4^{2-} = 7.12 \text{ ppm}$, $\text{PO}_4^{3-} < 1.0 \text{ ppm}$ 으로 매우 낮은 편이나 경대교 부근의 신천 하류에서는 $\text{NO}_3^- \text{-N} = 1.80 \text{ ppm}$, $\text{SO}_4^{2-} = 35.59 \text{ ppm}$, $\text{PO}_4^{3-} = 0.74 \text{ ppm}$ 으로 상대적으로 매우 높다.

주원소

신천상류에 분포하는 화성암류로부터 용해되어 나오는 주원소의 함량은 광산지대 (평균 Na=40.5 ppm, Ca=47.2 ppm, Mg=22.2 ppm)가 비광화지대 (Na=5.2 ppm, Ca=4.6 ppm, Mg=1.4 ppm)보다 현저히 높다. 광산지대에서는 광산 직하류의 No. 6 지점이 가장 높고, 비광화지대에서는 약 산성을 띠는 상류의 No. 1 지점이 가장 높으며, 주원소의 함량은 대체로 pH와 밀접한 관계를 보인다 (Table 1). 칼륨 함량은 광산지대와 비광화지대가 공히 현저히 낮는데 이는 풍화에 대한 K-조암광물의 저항도와 관계되며, 칼슘과 나트륨이 칼륨에 비하여 함량이 비교적 높은 것은 사장석은 K-장석보다 풍화에 약하여 용출이 용이하기 때문이다. 신천 하류에서는 칼륨 (11.7 ppm)과 나트륨 (59.1 ppm) 함량이 광산지대보다도 높다. 이에반해 칼슘 (32.7 ppm)과 마그네슘 (8.8 ppm)의 함량은 광산지대 보다 낮으나 비오염지대 보다는 높다. 이는 칼륨과 나트륨은 주택지대에서 유입되는 생활하수에 많이 용존하기 때문이고, 칼슘과 마그네슘은 반야월층과 함안층의 광물 및 화학조성과 관련되기 때문인 것으로 생각된다. 즉, 양 퇴적암류에는 장석류와 탄산염광물이 많고 장석은 대부분이 심하게 풍화되어 있어서 칼슘과 마그네슘의 용출이 용이할 것으로 생각된다.

미량원소

하천수 중 미량중금속원소의 함량은 광산지대가 비광화지대보다 현저히 높는데, 철 (1.3 ppm), 망간 (7.6 ppm), 동 (4.9 ppm), 아연 (3.5 ppm)이 가장 높고, 니켈, 코발트, 카드뮴, 연도 높은 경향을 보인다 (Table 2). 이는 광상의 광물조성과 관련된다. 즉, 철, 망간은 흑중석의 주원소이고, 동과 아연은 황동석과 섬아연석의 주원소이며, 연, 니켈, 코발트, 카드뮴은 이들 유화광물에 으레히 미량으로 함유되어 있다 (Thornton, 1983). 비광화지대 하천의 중금속 함량은 매우 낮고 암류간의 차이도 거의 없다.

신천의 중금속 함량은 화성암지역의 상류와 퇴적암지역의 하류간에 큰 차이는 없으나, 동 (0.4 ppm)과 연 (0.1

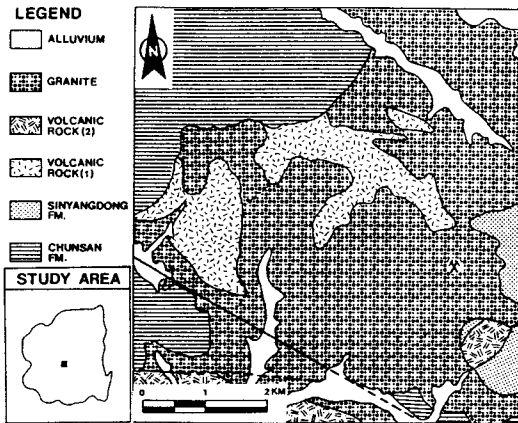


Fig. 3. Geological map of Gunwi mine area.

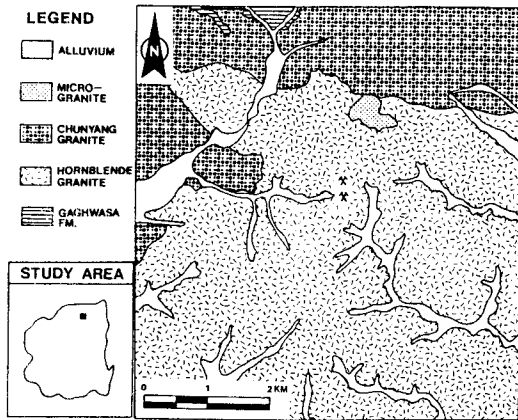


Fig. 4. Geological map of Dadeog mine area.

ppm)은 상류쪽이 높고, 니켈, 코발트, 카드뮴은 함안층이 있는 하류쪽이 약간 높다 (Table 2). 이는 오염뿐만 아니라 이들 중금속의 함량이 타암류에 비하여 높은 함안층 (이재영 등, 1992)에 기인되는 것으로 생각된다.

군위 및 다덕 광산지역

지질 및 광상

군위광산

경북 군위군 고사면 석산동에 있는 군위광산 (구산동도폭내) 부근의 지질은 하양층군의 춘산층과 신양동층을 유전층군의 안산암질 (volcanic rock (1)) 및 유문암질 (volcanic rock (2)) 화산암이 부정합으로 피복하고 있으며, 불국사화강암류는 상기 양 층군의 암류를 관입하고 있다 (Fig. 3) 춘산층은 사암, 셰일, 응회암 및 역암으로 구성

되어 있고, 신양동층은 셰일과 사암으로 구성되어 있으며 양 층의 화강암류와의 접촉부는 변성되어 있다. 화강암류는 석영몬조니암, 화강섬록암, 화강반암류로 구성되어 있다. 광상은 화강암체내의 열극을 충전한 함금-동광상으로 삼조의 맥이 있고, 그 중 일호맥만이 가해대상이었다. 본 맥의 주향과 경사는 N70°W, 80°SW이고 맥폭은 2 cm~2 m에 달한다. 광석광물은 반동석과 휘동석에 휘은석이 미량으로 산출되며 공작석, 적동석, 자연동, 염화는 (광업진흥공사, 1968)등이 이차광물로서 상부쪽에 수반된다.

다덕광산

경북 봉화군 봉성동, 우곡동에 있는 다덕광산 (춘양도폭내)부근의 지질은 선캄브리아기의 울리통에 해당하는 각화사층과 고선리층을 백악기 (?)의 춘양화강암이 관입 접촉하고 있으며, 본 화강암을 접촉하는 각섬석화강암은 시대미상으로 양 화강암류의 관계는 불분명하다 (손치무, 김수진, 1963). 그러나 각섬석화강암은 백악기 (?)의 미화강암에 의하여 관입된 양상을 보인다 (Fig. 4). 광상은 부둔리, 갈방리, 풍정리, 우곡리 등 여러 곳에 분포해 있는데, 조사대상이 된 우곡리의 광상은 각섬석화강암의 열극을 따라 충전된 열수광맥광상이다. 광석광물은 섬아연석, 방연석이며, 황동석, 황철석, 유비철석, 자류철석 등이 수반된다 (손치무, 김수진, 1963; 광업진흥공사, 1968). 상기 양 폐광산에서 유출되는 강 산성의 침출수는 많은 중금속을 함유하고 있어 부근의 수질과 토양에 위험한 오염원이 된다.

폐광산이 토양 및 작물에 미치는 영향

경북 및 폐광산 지역 토양 중의 중금속

광산지역의 토양 중 중금속의 종류와 함량은 해당 광상의 광종 및 광석광물의 조성 및 밀접한 관계가 있다. Table 3에서 보는 바와 같이 중금속 함량의 순위는 군위광산은 시료 GW-R을 제외하고는 Cu>Pb, Zn; 다덕광산은 DD-1을 제외하고는 Pb, Zn>Cu이고 달성광산은 동, 연의 함량이 매우 낮는데, 이는 군위광산은 동광상이고 다덕광산은 연-아연광상 (광업진흥공사, 1968)이며, 달성광산은 중석광상이기 때문이다 (원종관, 김기태, 1966; 이재영 등, 1971)). 토양 중 중금속 함량은 광산의 덤프에서는 매우 높고 광산에서 멀어질수록 감소하는 경향이 있으나 개발이 활발하였던 광산지역은 부근의 토양이 모두 심하게 오염되어 광산에서 먼 곳에서도 높은 함량을 보인다 (이재영, 1971; 이항교, 신현수, 1989; 이정제, 최정, 1984). 군위광산의 토양에서 동 함량이 높은 것은 광종이 동이기 때문

Table 3. Heavy metal content in soils at mine areas (unit : ppm).

No.	Cu	Pb	Zn	Cd	distance (m)	mines
GW-1	130.1	73.3	98.7	1.8	<300	Gunwi
GW-2	117.5	58.3	55.7	1.3	400~900	
GW-3	112.2	60.4	32.4	1.1	>900	
GW-R	134.3	534.9	579.5	6.8	paddy near mine	
DD-1	5282.9	4375.7	475.9	6.5	200~500	Dadeog
DD-2	35.9	120.7	158.0	1.5	500~700	
DD-3	84.3	1541.3	377.4	1.0	700~1000	
DD-d	769.1	2704.7	1275.0	4.37	dump	
DD-R	20.7	24.7	272.5	0.9	paddy near mine	
DD-u	0.8	2.3	3.1	0.0	uncontam. paddy	
DS-1	20.8	48.4	-	-	<300	Dalsung
DS-2	14.9	53.0	-	-	400~900	
DS-3	19.6	24.7	-	-	>900	

Data: GW; Lee and Choi (1984) and DD; Park et al. (1988) and Cheong (1992).

만이 아니라 광상의 지표부가 심하게 풍화되어 이차부화된 산화 및 탄산동과 관련되는 것으로 생각된다 (Table 3). 그런데 다행히 본 역에는 화강암류가 분포하여 주변 하천수를 알카리성이 되게 하며, 폐광산에서 유입되는 중금속을 침전 및 흡착시켜 광산에서 멀리 떨어진 곳에서는 하천수를 농업용수로서 사용할 수 있다.

폐광산지역 토양 중 중금속

경북지역 논밭의 중금속 함량 (강중희, 김두희, 1992)은 사용하는 비료와 농약의 영향을 많이받지만 토질은 해당 지역의 암류, 그리고 하천의 수질은 해당지역의 지질조건과 밀접한 관계를 가지므로 경작지의 중금속 함량은 암류와 지질의 영향을 많이 받게 된다. 특히 광산지역의 토양은 광산개발시나 휴폐광이 된 이후에도 광산에서 부터 날아온 광진으로 오염이 되어 있을 뿐만아니라 광산폐수가 유입된 자연수를 농업용수로 사용함으로써 중금속으로 오염될 수 있다. 경상북도에는 폐광산이 많이 산재해 있으므로 (광업진흥공사, 1968; 정병걸, 이학교, 1988; 박영규

등, 1988) 토양은 폐광산에 의한 피해를 받을 가능성이 매우 높다.

경상북도 토양의 중금속 함량은 경작지 (Cu=2.5 ppm, Pb=3 ppm, Zn=4.8 ppm, Cd=0.1 ppm)가 비경작지 (Cu=7.8 ppm, Pb=3.3 ppm, Zn=11.7 ppm, Cd=0.1 ppm)보다 높고 (강중희, 김두희, 1992), 광산지대가 비광화지대에 비하여 현저히 높은 값을 보인다. 그리고 난용성의 연보다도 가용성의 아연과 동의 함량이 높는데, 경작지는 비경작지에 비하여 2~3배 정도 밖에 높지 않으나 광산지대는 비광화지대에 비하여 연은 10배, 동은 20배, 아연은 수백배나 높은 값을 보인다 (Table 4). 그 결과 부근에 자라는 작물에도 영향을 미치게 되며, 벼의 경우 광산지역이 비광화지역에 비하여 월등히 높은 값을 보인다.

작물 중 중금속

농작물의 중금속 함량은 토양의 중금속 함량과 반드시 일치하지는 않는다. 이는 토양의 조성 광물에서 공급되는 중금속은 비료, 농약과는 달리 농작물에 바로 흡수되는 것이 아니고 농작물이 흡수할 수 있는 가용성의 상태로 되어 있어야 하기 때문이다. 그리고 농작물의 종류와 채취부위에 따라서 중금속의 함량에 차이가 있는데 (이정재, 최정, 1984), 경상북도 농작물의 중금속 함량은 동, 연, 아연 및 카드뮴 모두 대체로 곡류>채소류>과수의 순위를 보이며 (김병태 등, 1990), 곡류 중 농축이 가장 잘 되는 대두는 Cu=7.7 ppm, Pb=0.6 ppm, Zn=38.0 ppm, Cd=0.06 ppm이고 농축이 가장 덜 되는 사과는 Cu=0.4 ppm, Pb=0.05 ppm, Zn=0.4 ppm, Cd=0.01 ppm이다. 이와 같은 현상은 곡류는 농약과 비료의 영향을 많이 받고, 사과는 뿌리가 깊어 곡류보다 토양의 오염을 덜 받기 때문이라 생각된다. 과수류는 일반적으로 해당지역의 지질, 풍화정도, 원소의 흡착성 등의 영향을 받게 된다.

한편 군위광산지역의 동은 담배 (6.83)가 제일 높고 기타 중금속은 벼 (Pb=3.58, Zn=65.62, Cd=0.65)가 제일 높다 (이정재, 최정, 1984). 부위별로는 뿌리>줄기이며, 벼의

Table 4. Heavy metal content in paddy soils (unit : ppm).

	Kyungbuk prov. (a)			Dadeog mine (b)		product (c)	rice plant at Gunwi mine (d)	
	uncultiv.	cultiv.	limit	uncontam.	mine area	Kyung. prov.	uncontam.	mine
Cu	2.15	7.79	125	0.8	20.7	1.88	4.5	50.99
Pb	2.99	3.31	450	2.3	24.7	0.27	2.9	83.33
Zn	4.81	11.69	325	3.1	272.5	20.1	60.0	210.93
Cd	0.09	0.11	25	0.0	0.9	0.03	0.4	11.28

(a); Kwon et al. (1992), (b); Park et al. (1988), (c); Kim et al. (1990), and (d); Lee,Choi (1984).

Table 5. Heavy metal content in rice plant (unit : ppm).

element	soil	(a) stem+leaf	brown rice			
			brown rice	(b)	(c)	(d)
Cu	122.84	65.46	1.22	0.39	1.87	1.34
Pb	701.91	41.00	3.03	-	0.28	0.21
Zn	737.67	390.07	67.79	2.00	25.52	14.17
Cd	12.07	11.54	1.86	0.59	0.04	0.005

Data: (a); Gunwi mine (Lee and Choi, 1984), (b); Dadeog mine (Lee and Shin, 1989), (c); Kyungbuk prov. (Kim et al., 1990), and (d); tap water (Kwon, 1978).

경우 다행히 현미 (1.22)는 뿌리나 줄기+잎보다도 1/10 배와 1/5배 정도로 함량이 감소된다. 그러나 수돗물에 재배된 벼의 현미에 비하면 약간 높다. 원소별로는 가용성인 아연의 함량이 가장 높다 (Table 5). 물론 벼의 중금속 함량은 광산지대가 비광산지대보다 현저히 높고, 광산으로부터의 거리와 지역에 따라 농축의 정도가 일정하지 않다. 그러나 가용성의 원소일수록 함량이 높으며 대체로 Zn>Cu>Pb의 경향을 보인다. 이들 중 특히 유해한 중금속원소의 함량을 허용기준치 (Pb=2 ppm, Cd=0.4 ppm)에 비하면 연은 군위광산이 약간 초과하고, 카드뮴은 군위광산과 다덕광산이 모두 초과량을 보인다.

종합 및 결론

달성폐광산 하류의 소천은 비광화지대의 소천이 중성-약 알칼리성 (pH=7.65~7.83)을 띠는데 반하여 산성 (pH=3.68~5.23)을 띠며, 주원소의 함량은 칼륨을 제외하고는 전자 (Na=405 ppm, Ca=47.2 ppm, Mg=22.2 ppm)가 후자 (Na=5.2 ppm, Ca=4.6 ppm, Mg=1.4 ppm)보다 10배 전후, 그리고 중금속 원소의 함량은 수십-수백 배나 높다. 칼륨과 나트륨의 함량은 주택지대의 하류천 (K=11.65 ppm, Na=59.1 ppm)이 광산지대의 소천보다 높고, 칼슘과 마그네슘의 함량은 광산지대보다는 낮으나 역시 하류천 (Ca=32.7 ppm, Mg=8.8 ppm)이 비광화지대의 소천보다는 높다. 이는 칼륨과 나트륨은 주택지에서는 하수에 의한 영향을 받고 칼슘과 마그네슘은 반야월층과 함안층의 광물 및 화학조성과 관련되는 것으로 생각된다. 중금속 함량은 하류천이 광산지대의 소천보다도 현저히 낮는데 이는 상류의 수질은 중성-약 알칼리성이고 중류 지역에는 화강반암이 넓게 분포하고 있어 광산폐수가 유입된다고 해도 대부분의 중금속은 침전, 흡착되기 때문이다. 뿐만 아니라 하류의 반야월층과 함안층에는 방해석과 점토가 많이 함유되어 있어 중금속이 침전 및 흡착되기

때문이라 생각된다.

토양 중 중금속 함량은 경작지가 비경작지보다 약간 높는데 비하여, 광산지대 (군위 및 다덕광산)는 비오염지대보다 현저히 높다. 원소별로는 가용성의 동은 20배, 아연은 90배, 연은 10배 정도 높게 나타난다. 전체적으로 볼 때 토양 중 중금속의 함량은 비오염지대<비경작지<경작지<광화지대의 순으로 증가한다. 이는 광산이 대개 산간벽지에 위치하기 때문에 비광화지대는 오염의 소지가 거의 없고, 농촌은 비록 비경작지라고 하더라도 비료, 농약의 영향을 받게 되므로 오염의 소지가 있다. 그리고 도시에 가깝거나 교통이 빈번한 도로변의 토양은 공장과 자동차로 부터 배출되는 매연의 영향을 받을 수 있다.

광산지대 토양의 중금속 함량은 광산의 광종과 반드시 일치하지는 않으나 대체로 군위동광산에서는 동이 연, 아연보다 높고, 다덕연-아연광산에서는 연, 아연이 동보다 높은 경향을 보인다. 그리고 중금속 함량은 광산에서 멀어질수록 감소한다. 그러나 광산부근 일대가 모두 심하게 오염된 곳에서는 거리와는 관계없이 전체적으로 높은 경향을 보인다. 경북지역 농작물의 중금속 함량은 일반적으로 아연이 연보다 높는데, 군위광산의 경우도 벼의 중금속 함량은 아연이 연보다도 현저히 높다. 이는 아연은 가용성이기 때문에 난용성의 연에 비해 쉽게 용해되어 농작물에 흡수되기 때문이다.

중금속 함량은 작물의 부위에 따라서도 다른데, 벼의 경우 뿌리가 줄기+잎 보다 높고 현미가 가장 낮다. 그러나 폐광산으로 오염된 논에서 경작된 것은 연, 아연 및 카드뮴의 함량이 높다. 그리고 일반 경작지의 현미도 수도물로 재배된 현미에 비하면 아연과 카드뮴의 함량이 높다. 따라서, 폐광산에서 침출수가 유입되는 하천수로 경작되는 농작물은 중금속으로 오염될 위험이 있으며 이에 대한 연구와 대책이 마련되어야 한다.

사 사

본 연구에 대한 전략광물자원연구센터의 부분지원에 대하여 감사한다.

참고문헌

강중희, 김두희 (1992) 경북지역 전토양의 오염원별 중금속 함량. 경북대 환경과학연구소 논문집, 6집, p.1-14.
 광업진흥공사 (1968) 한국의 광상. 1호, p. 363.
 권수광, 장봉기, 김두희 (1992) 특용작물 경작지 토양의 중금속 함량. 경북대 환경과학연구소 논문집, 6집, p. 79-92.
 권영택 (1979) 농업용수 중의 중금속이 쌀의 오염에 미치는

- 영향. 경북대 농학석사논문, pp. 25.
- 김병태 외 (1990) 경북지역 주요농산물의 미량중금속 함량조사. 경북도 보건환경연구소, 3권, p. 53-64.
- 김영기, 이재영, 김상욱, 고인석 (1976) 경상북도 일원에 부존하는 금속지하자원의 지질광상학적 연구. 광산지질, 9권, p. 143-156.
- 박영규 외 (1988) 휴폐광 대책을 위한 조사연구 보고서. 대구 환경청, p. 300.
- 손치무, 김수진 (1963) 춘양지질도폭 설명서. 국립지질조사소.
- 원종관, 김기태 (1966) 달성광산 부근의 지질과 광화작용에 대하여. 지질학회지, 2권, 52-68.
- 원종관, 김종배 (1971) 경산도폭 및 설명서, 국립지질조사소.
- 이상만 (1972) 경상분지내의 화강암류와 광화작용. 손치무교수 송수기념논문. p. 195-219.
- 이재영 (1981) 경상분지내 유화광상의 지화학적 연구-화강암류와 광화작용. 경북대학교 논문집, 32권, p. 289-313.
- 이재영 외 (1971) 안산암지대 광화작용의 지화학적 연구. R-71-41.
- 이재영, 김영기, 이진국, 서정울 (1992) 대구시 지하수의 금속 오염에 대한 지화학적 연구. 지질공학회지, 2권, 173-200.
- 이재영, 이진국, 이인호 (1993) 경북지역 휴폐광산이 환경에 미치는 영향. 제 2 회 전략광물자원 연구센터 학술발표.
- 이정재, 최 정 (1984) 경작지의 중금속 오염도 조사. 경북대 농학지, 2권, p. 119-128.
- 이진국, 최욱진, 이재영 (1989) 달성폐광산에 의한 중금속오염에 관한 조사연구. 경북대 환경과학연구소 논문집, 3집, p. 13-36.
- 이항교, 신현수 (1989) 폐광산 지역의 중금속 오염도 실태 조사보고. 경북도 보건환경 연구소, 2권, p. 45-54.
- 장기홍, 고인석, 이재영, 김상욱 (1977) 구산동 도폭. 자원개발연구소.
- 정병걸, 이항교 (1985) 광산폐수가 낙동강에 미치는 영향조사와 그 관리대책. 경북도 보건연구소, p. 113.
- 정상섭 (1992) 폐광산 주변 토양 및 식물체의 중금속 존재형태와 함량조사. 경북대 농학석사 논문.
- Garrels, R. M. and Christ, C. L. (1965) Solutions, minerals and equilibria. Harper & Row, p. 450.
- Kim, O. J. (1971) Metallogenic epochs and provinces of South Korea. J. Geol. Soc. Kor., v. 7, P. 37-59.
- Lee, J. Y. (1984) Geochemistry on major and trace elements in the granitic rocks from the Gyeongsang basin in relation to mineralization. J. Geol. Soc. Kor., v. 20, p. 326-344.
- Lee, J. Y., Koh, I. S., Lee, J. K., Lee, I. H. and Suh, J. Y. (1992) A Study on the effects of some geological environments on the quality of groundwater in Taegu city. J. Environ. Sci. (Kyungpook Nat. Univ.), v. 6, p. 31-40.
- Reid, J. C. and McDuffie, B. (1981) Sorption of trace on clay minerals and river sediments. Water, Air and Soil Pollution, v. 15, p. 375-386.

1993년 6월 19일 원고접수