

폐금속광산 주변환경의 중금속 오염분포특성 연구

이강혁 · 정연훈 · 김병록 · 박진호 · 정종필 · 박현구 · 김요용
북부지원 수질보전팀

A Study on the Distribution Characteristics of Heavy Metal Concentrations in Environment around Abandoned Mines

Kang-Hyuck Lee, Yeon-Hoon Jung, Byeong-Lok Kim, Jin-Ho Park, Jong-Pil Jung,
Hyun-Goo Park and Yo-Yong Kim
Water Preservation Team

Abstract

This study was investigated the distribution characteristics of heavy metal concentrations in soils around abandoned mines in Pochon city. The abandoned mines were Youngjung, Yongsog and Pochon. The results were as follows:

- 1) Heavy metal mean concentrations in minewastes were detected Cr 100.119 mg/kg, Cu 189.400 mg/kg in Youngjung mine, Cr 198.440 mg/kg, As 160.480 mg/kg in Yongsog mine and Cr 84.680 mg/kg, Zn 50.280 mg/kg in Pochon mine.
- 2) The mean concentrations in soils which is around mines were Cu 62.351 mg/kg in Youngjung mine, and As 95.024 mg/kg, Hg 11.279 mg/kg in Yongsog mine. All materials in Pochon mine were detected low level.
- 3) The concentrations of heavy metal showed low or not detected in water system (groundwaters, streams and sediments).

Key words : abandoned mines, heavy metal, minewastes, soils, water system

I. 서 론

토양은 공기·물과 같이 인류생존에 없어서는 안 될 기본적인 중요한 유한 자산이다. 토양은 단순히 인간 활동의 기반을 제공하는데 그치지 않을 뿐만 아니라 박테리아에서부터 곰팡이, 지렁이 등의 생물체와 광물질의 복합체로서 토양의 기능은 대단히 역동적이다¹⁾. 즉, 유해물질을 거르고, 완화 내지 변환시켜 지하수나 먹이 연쇄과정에 유해

물질이 직접적으로 인체에 도달되지 못하게 하는 등 토양의 기능은 매우 다양하다. 그런데 이런 토양오염을 유발시키는 원인은 인간의 생산과 소비 활동에서 발생하는 오염물질과 유독물, 중금속 함유물 등 유해화학물질 및 각종 폐기물을 들 수 있다. 특히, 광산 활동으로 인한 휴·폐광산의 갱내 폐수, 광미, 폐석 등은 수계나 바람에 의하여 주변 지역으로 이동하여 토양이나 하천의 수질을 악화시키는 대표적인 중금속 오염이다²⁾. 이러한 광산

주변지역의 오염은 자연적 정화 과정을 거쳐 안정화되기도 하지만, 지속적인 유입과 관리의 소홀로 인해 자연적 정화능력의 한계를 벗어나게 되면 환경오염 문제를 야기시키게 된다.

특히, 금속광산의 선광시설에서 배출되는 중금속 오염물질들이 전국적으로 산재되어 있고 휴·폐광산에 방치된 광재 또한 토양을 산성화시킨다. 뿐만 아니라 각종 유해 중금속의 이온화를 촉진시킴으로써 주된 중금속 원소들은 자연수를 매개로 이동하여 주변 토양 및 하상 퇴적물에 가용성 염으로 농축되거나 주변하천의 하류에 있는 농경지로 유입하게 된다³⁻⁵⁾. 이로인해 농작물의 생육에 지장을 초래해 수확량이 감소하게 되고 또, 오염된 농작물을 섭취하는 인간이나 동물들에게 만성적인 장해를 일으키기도 한다⁴⁾. 폐광산 관리부서와 이용자들은 폐광의 사후처리 대책을 수립하는데 중금속의 오염방지 대책이 우선적으로 고려되어야 함에도 불구하고, 휴·폐광 이후 관리부재로 고농도의 오염물질들이 자연생태계에 침투되어 심각한 환경문제로 제기되고 있다⁶⁾. 경기북부지역의 휴·폐광산은 2002년 현재 27 개로 폐광산의 경우 21 개소 중 14 개소는 산림복구 및 산지화 되었고 7 개소는 타시설로 전환하여 사용 중에 있다⁷⁾. 이중 환경오염의 우려가 있는 폐금속광산은 가평군과 포천시에 집중적으로 분포하고 있으며, 가평군에 위치한 폐광산의 경우 2001년 토양측정망에 편입되어 관리되고 있지만, 포천시 소재 폐광산은 그러지 못한 실정이다.

본 연구는 폐금속광산인 영중광산, 용석광산, 포천철광을 대상으로 토양 중에서 분해되지 않고 오랫동안 잔류하는 물질로서 중금속 7 항목(Cd, Cu, As, Hg, Pb, Cr, Zn)에 대해 폐광주변의 토양, 저니토, 하천수 및 지하수의 중금속 함량조사를 통하여 향후 폐광산 및 주변환경의 오염방지대책을 세

우는데 기초자료를 제공하고자 한다.

II. 실험 및 방법

1. 연구대상

폐금속광산으로 인한 주변환경의 오염이 의심되는 포천시 소재 광산 3 개소를 선정하였으며 선정된 폐광산의 개괄적인 현황은 Table 1 과 같다.

Table 1. The history of research mines⁸⁾

mines	minerals	abandoned year
Youngjung	Au, Ag	1997
Pochon	Au, Ag, Cu, Pb	1979
Yongsog	Au, Ag, Cu, Pb, Zn	1996

2. 시료채취

본 조사연구에서는 2003년 7월부터 2004년 1월까지 영중광산, 용석광산, 포천철광등 3 개의 폐광산을 대상으로 하여 광미 및 주변토양 그리고 하천수, 저니토 및 지하수를 채취하였다.

토양은 광산의 갱구 입구로부터 일정거리의 간격을 두고 부삽을 이용하여 표토를 광구에서 1 Km 이내까지 채취하였으며, 하천수 및 저니토는 광산의 폐석디미보다 아래쪽에 흐르는 소하천을 대상으로 같은 지점을 채취하였다. 그리고 지하수는 각 광산의 영향권으로 판단되는 주변 가정에서 채수하였다. 광산별 시료채취 현황은 Table 2 와 같다.

대조토양은 오염원인 광미사의 영향을 가장 적게 받을 것으로 판단되는 각 광산별로 1 건씩 갱입구로부터 윗 지점의 토양을 채취한 후 비교 분석을 하였다.

Table 2. The number of samples and the kind of samples in environment of around mines (unit : each)

mines	soils(minewastes)	sediments	streams	groundwaters
Youngjung	96(3)	3	3	5
Pochon	89(3)	3	3	3
Yongsog	85(3)	3	3	2

3. 시료처리 및 분석방법

1) 토양 및 저니토

채취한 토양 및 저니토 시료는 균일하게 혼합하여 직사광선이 닿지 않는 장소에서 자연 건조시킨 후 8 mesh 체를 통과한 미분쇄 토양을 분석시료로 사용하였다.

분석은 조제된 시료 500mg을 정확히 평량하여 용매(질산 10ml)와 microwave digester (Questron, 130~170°C, 25 min, 750 W)를 이용하여 전처리한 다음 여지(Advantec, 5종 C)로 여과한 후 그 여액을 ICP Mass(Agilent)로 분석하였다.

그리고 현행 토양오염공정시험방법⁹⁾은 시료의 전처리 방법이 염산용액(0.1N, As는 IN) 50ml에 용출시킨 후 분석하게 되어있으나 일부항목(Hg, Ni, Zn)이 전함량 시험방법이며, 2004년에는 국제적인 추세에 따라, 전항목으로 확대·개정할 예정이다¹⁰⁾. 따라서 본 연구는 microwave digester 를 이용하여 전함량 시험방법으로 수행하였다.

2) 하천수 및 지하수

하천수 및 지하수 시료는 GF/C 여지로 부유물질을 제거한 후 그 여액을 ICP Mass(Agilent)로 분석하였다.

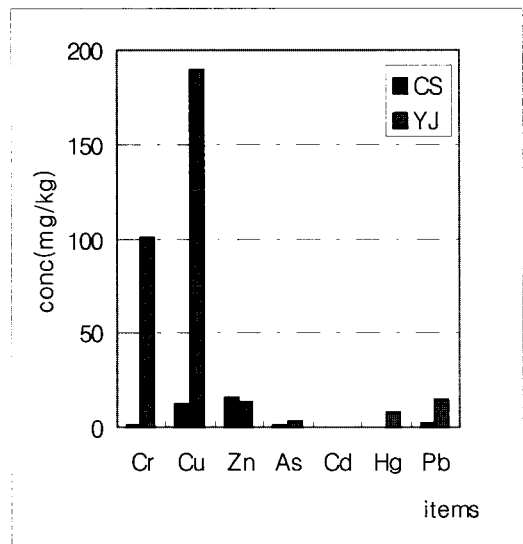
3) 분석항목

연구대상에 대해 토양 중에서 분해되지 않고 오랫동안 잔류하는 물질인 Cd, Cu, As, Hg, Pb, Cr, Zn 항목을 분석하였다.

한 광미사가 자연의 물리적인 힘에 의해 농경지에 유입 되던가, 혹은 하천의 저질토양에 퇴적되면서 중금속 성분이 물에 용출되어 수로를 통하여 논이나 밭에 유입 될 경우, 농경지가 오염되는 것으로 알려져 있다.

이렇게 오염원이 되고있는 이들 폐광산 지역별 광미사와 대조토양의 평균 중금속 농도와의 비교를 Fig. 1, Fig. 2 및 Fig. 3 에 나타내었다.

그림에서 보는 바와 같이 대조토양의 농도와 비교해 볼때, 영중광산에서 Cr 100.119mg/kg, Cu 189.400mg/kg 및 Hg 8.492mg/kg로, 용석광산에서 Cr 198.440mg/kg, As 160.480mg/kg, Hg 77.240mg/kg이, 포천철광에서 Cr 84.680mg/kg, Zn 50.280mg/kg으로 검출되었다.



CS : contrast soil, YJ : Youngjung mine

Fig. 1. Comparison of heavy metal mean concentrations between minewastes and a contrast soil in Youngjung mine.

III. 결과 및 고찰

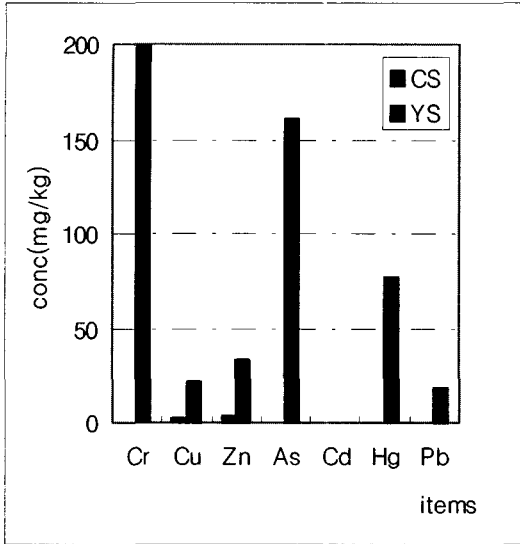
1. 폐광산 주변토양의 중금속 농도

1) 광미사의 중금속 농도

금속광산의 광미사는 원래 광물에 포함된 각종 금속성분이 지하에 매장되어 있는 것을 파내어 잘게 부수고 파쇄하여 가루로 만들어 필요한 금속성분을 추출하는 선광과정에서 발생한다. 이 광미사는 금속성분이 100% 추출되지 못하고 모래나 돌가루에 미량씩 남아있는 상태로 버려지게 된다. 또

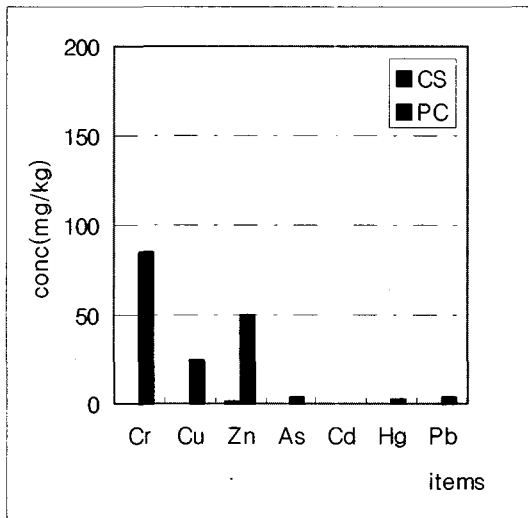
또한 Table 3 은 우리나라 농경지 토양중의 토양오염우려기준 및 대책기준을 나타낸 것이다. 영중광산에서는 Cu, Hg이 용석광산은 As, Hg 이 토양오염우려기준을 초과 하였고, 포천철광은 모두 토양오염우려기준 이내로 나타났다. 특히 토양오염 대책기준으로 볼때 영중광산 및 용석광산의 광미

는 적절한 오염방지대책이 검토되어야 할 것으로 판단된다.



YS : Yongsog mine

Fig. 2. Comparison of heavy metal mean concentrations between minewastes and a contrast soil in Yongsog mine.



PC : Pochon mine

Fig. 3. Comparison of heavy metal mean concentrations between minewastes and a contrast soil in Pochon mine.

Table 3. The standards of cultivated soil in Korea (unit : mg/kg)¹¹⁾

classification	Cd	Cu	As	Hg	Pb	Zn
the apprehension standards of soil pollution	1.5	50	6	4	100	300
the counterplan standards of soil pollution	4	125	15	10	300	700

2) 폐광산 주변토양의 중금속 농도

광미사의 영향을 받는 조사지역 주변토양과 대조토양의 중금속 평균농도를 Fig. 4, Fig. 5 및 Fig. 6에 나타내었다. Cr 농도는 영중광산 8.537mg/kg, 용석광산 13.568mg/kg, 포천철광 5.328mg/kg 으로 조사되었다. Cu 농도는 영중광산 62.351mg/kg 로 토양오염우려기준(농경지) 50 mg/kg을 약간 상회하는 농도로 검출되었다. 용석광산과 포천철광은 대조토양보다는 높았으나 토양오염우려기준(농경지)보다는 각각 1/8, 1/4 수준이었다.

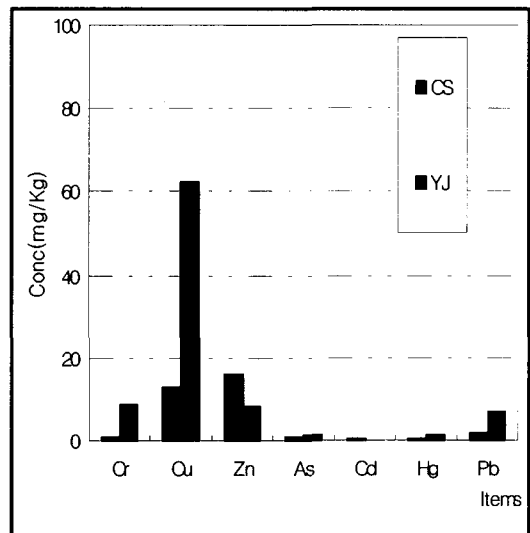


Fig. 4. Comparison of heavy metal mean concentrations between soils and contrast soil in around Youngjung mine.

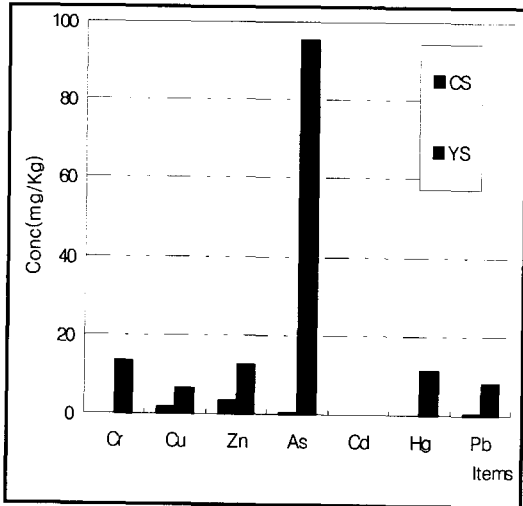


Fig. 5. Comparison of heavy metal mean concentrations between soils and contrast soil in a round Yongsog mine.

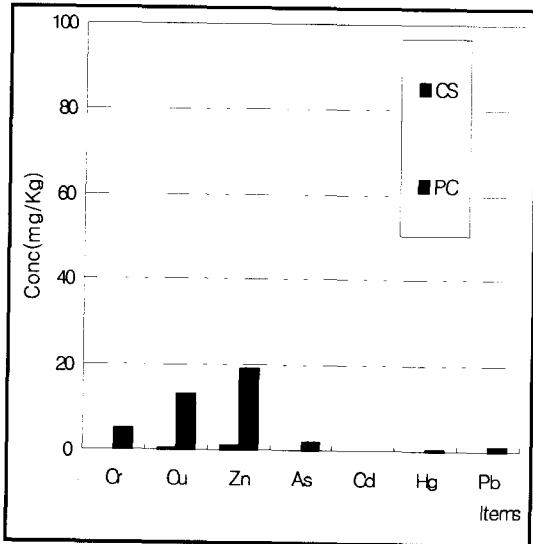


Fig. 6. Comparison of heavy metal mean concentrations between soils and contrast soil in around Pochon mine.

Zn 농도는 영중광산 8.027 mg/kg, 용석광산 12.364 mg/kg, 포천철광 19.241 mg/kg 로 조사되었으며, 토양오염우려기준(농경지)에 비해 아주 낮은 수치로 조사되었다.

As 농도는 영중광산 1.208 mg/kg, 용석광산

95.024 mg/kg, 포천철광 1.968 mg/kg로 조사되었는데, 용석광산이 다른 광산에 비하여 As가 아주 높게 검출되었다. 이는 토양오염우려기준(농경지)을 16 배 정도 초과한 수치였다. Cd 농도는 3 개 광산모두 대조토양과 비슷하거나 약간 상회하는 농도로 나타났다.

Hg 농도는 용석광산 11.279 mg/kg 로 토양오염우려기준(농경지) 보다도 2 배 이상 높은 농도로 검출되었고 영중광산 및 포천철광은 토양오염우려기준(농경지)이내의 결과를 보였다. Pb 농도는 영중광산 7.023 mg/kg, 용석광산 8.394 mg/kg, 포천철광 1.485 mg/kg 로 모두 토양오염우려기준(농경지) 이하로 조사되었다.

본 조사결과에 따르면 용석광산의 As 와 영중광산의 Cu가 토양오염우려기준(농경지)을 초과된 것으로 나타났다. 특히, 용석광산의 As는 농수산물 재배 등을 제한할 수 있는 토양오염대책기준을 6 배 가량 초과하였다. 이 지역에 대하여 추가적인 정밀조사를 통하여 대책이 강구되어야 할 것으로 판단되었다. 포천철광은 광미로 인한 중금속에 그리 오염되어 있지 않았다.

2. 폐광산 주변 하천저니토의 중금속 농도

오염되지 않은 자연적인 퇴적물에서의 중금속 농도는 Cd 0.6mg/kg, Cu 45mg/kg, Pb 34mg/kg, Zn 75mg/kg 이다.¹²⁾

Fig. 7은 3개 폐광산 주변 저니토의 중금속 평균 농도를 나타낸 것이다.

대조토양에 비해 상대적으로 높았으나, 오염되지 않은 침전물내 중금속 농도에 비해 낮은 농도를 보였으며, 특히 토양오염우려기준 이내로 조사되었다. 이와같은 조사에 의하면 3개 폐광산 모두 주변 수계의 잠재적인 2차 오염원으로 작용할 가능성이 낮은 것으로 나타났다.

3. 폐광산 주변 지하수 및 하천수 중금속 농도

본 조사지역에서 채취한 지하수 및 하천수의 분석결과를 Fig. 8 및 Fig. 9 에 나타내었다. 지하수의 경우 먹는물 수질기준¹³⁾과 비교해 볼때, 분석항

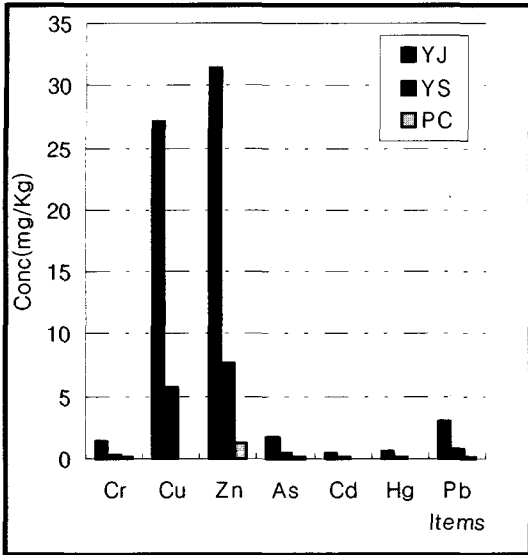


Fig. 7. Heavy metal mean concentrations of sediments in around mines.

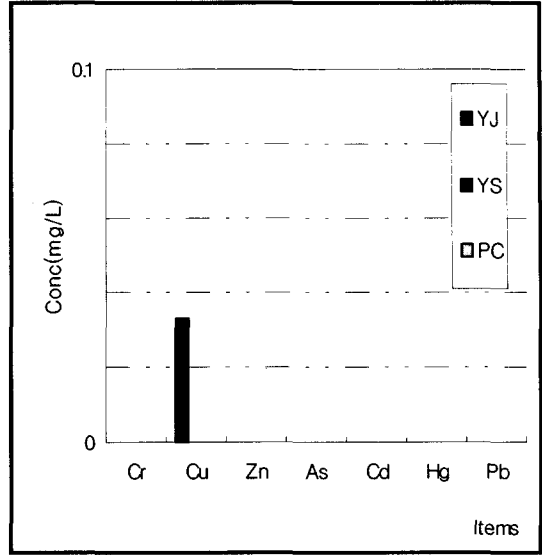


Fig. 9. Heavy metal mean concentrations of groundwaters in around mines.

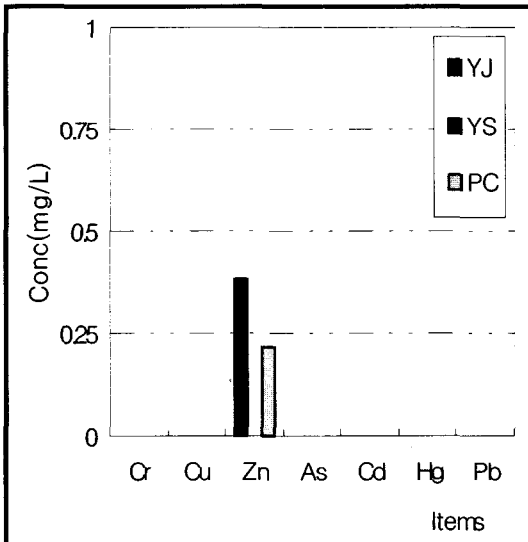


Fig. 8. Heavy metal mean concentrations of streams in around mines.

목중 영증광산과 포천철광에서 Zn이 각각 0.386 mg/l, 0.219 mg/l 가 검출되었으나 먹는물기준치 (1 mg/l) 이하였으며, 용석광산에서는 조사항목이 모두 검출되지 않았다. 또한 하천수의 경우 영증광산에서 Cu가 0.033 mg/l 가 검출되었을 뿐 용석광산 및 포천철광에서는 검출되지 않았다. 이와 같

은 결과는 현재 광미로 인해 지하수 및 하천수가 오염되지 않고 있는 것으로 판단된다.

IV. 결 론

경기 포천시에 위치한 폐광 3 개소를 대상으로 중금속 농도를 조사한 결과는 다음과 같다.

1. 광미의 중금속 평균 농도는 영증광산의 경우 Cr 100.119mg/kg, Cu 189.400mg/kg, Hg 8.492mg/kg이 검출되었고, 용석광산에서 Cr 198.440mg/kg, As 160.480mg/kg, Hg 77.240mg/kg, 포천철광에서 Cr 84.680mg/kg, Zn 50.28mg/kg으로 검출되었다.
2. 폐광 주변 광구 1km이내의 임야 토양의 중금속 농도를 조사한 결과 영증광산에서 Cu가 62.351 mg/kg, 용석광산에서 As가 95.024mg/kg, Hg 11.279mg/kg 으로 비교적 높게 검출되었으며 그 외 항목은 대부분 낮은 농도로 검출되었다.
3. 지하수는 영증광산 및 포천철광에서 Zn 이 각각 0.386mg/l, 0.219mg/l로 검출되었으며, 하천수의 경우 Cu가 영증광산에서 0.033mg/l가 검출되었지만, 포천철광에서는 모두 검출되지 않았다.

4. 하천 저니토의 경우 3 개 광산에서 모두 낮은 농도를 보였으며, 폐광 주변수계의 잠재적인 2차 오염원으로 작용할 가능성이 거의 없는 것으로 조사되었다.

이상과 같은 결과에 의하면 본 조사지역은 광미로 인한 폐광산 주변환경은 그리 우려할 만한 수준으로 오염되지는 않았다. 그렇지만 광미의 경우 아직도 중금속에 오염이 되어 있었으며, 이에 대한 광미처리 및 토양오염 방지 대책이 이루어져야 할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. 신관호(2003). 토양환경보전정책방향, 한국지하수토양환경학회.
2. 신익중(2003). 휴·폐광산 인근 농경지 토양중 중금속 성분의 작물체 이행특성, 충남대학교 석사학위논문.
3. Weng, C. H.(1990). Removal of heavy metals by fly ash, Thesis for master of civil

- engineering, University of Delaware, pp. 61.
4. Fergusson, J. E. (1990). Environmental impacts and health effects, Pergamon Press, pp. 371.
5. Devenny, J. S. (1990). Subsurface migration of hazardous waste, Van strand Reingold, pp. 387.
6. 충남대학교 환경문제연구소(1996). 충남환경종합대책 기본계획수립.
7. 경기도제2청사 내부자료(2002)
8. 경인지방환경관리청(2000). 폐금속광산 오염실태 정밀조사, pp. 11, pp. 45.
9. 토양환경공정시험방법, 환경부고시 제 2002-23호 (2002. 2. 14).
10. 국립환경연구원장(2003.10). 전국시·도보건환경연구원장 회의자료.
11. 토양환경보전법, 법률 제06893호(2003. 5. 29).
12. Persaud, D., Jaagumagi, R. and Layton, A. (1989). Development of provincial sediment quality guideline, Ontario Ministry of the Environment, pp. 364.
13. 먹는물관리법, 법률 제06627호(20 02. 1. 26).