

## 부산지역내 휴·폐광산 지역의 토양오염도 정밀조사 및 대책마련을 위한 우선순위 수립 및 대책제시

현재 국내에는 총 906 개의 금속광산이 전국에 산재되어 있으며, 2004년 말 기준으로 9개소가 가행중이고, 134개소가 휴광, 763개소가 폐광된 상태로 있다.

본 과업의 목표인 부산 지역 내에는 납석 광산 등의 비금속 광산을 포함하여 현재 8개소가 휴광, 또는 폐광 상태에 있으며, 일부 휴·폐광산은 불량광해방지 사업 및 방치로 인하여 오염 문제를 유발하고 있다. 이들 중 임기납석광산 및 일광광산은 광해방지사업이 완료된 상태이지만, 현재 지속적으로 산성광산배수를 배출하고 있으며, 주변의 토양은 높은 중금속 오염도를 나타낸다고 보고되어 있다. 또한 일부 폐광은 조사가 미비한 상태에 있으며, 문서마다 폐광에 대한 소재가 다르게 보고되어 있어서 폐광관리에 문제점을 안고 있다. 이러한 폐광산들 중 일부는 현재 까지 토양오염망 지역망에 포함되어 오염정도의 단순한 파악에 그친 정도이며, 이와 같이 지속적으로 토양오염을 유발할 가능성이 있는 휴·폐광산에 대한 정확한 실태파악 및 대책이 필요하다.

따라서 본 연구는 이러한 폐광산에 대한 정확한 예비조사를 토대로 정밀조사에 대한 우선순위를 정할 필요성 및 오염범위 및 실상에 대한 종합적인 조사를 위한 예비조사의 성격으로 이루어 졌다. 이를 위하여, 부산광역시 소재 광산 중 침출수 및 토양오염에 대한 자료를 토대로 경창, 용천, 임기, 용호 4개 광산을 선정하여 토양 및 물시료에 대하여 pH, As, 및 중금속 7종(Cd, Cr<sup>6+</sup>, Cu, Hg, Ni, Zn, Pb)총 9종에 대하여 분석 및 평가를 통하여, 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

### 1. 경창광산

○ 토양 pH는 3.05에서 6.49 까지의 범위를 나타내고 있으며, 갯구 인접지역은 약 6.0 이상을 보이고 있으나, 그 외는 전형적인 산림토양의 pH 범위를 나타내고 있다.

○ 토양 중 중금속은 Pb 및 As를 제외하고는 전 지역에서 토양오염 우려기준 이하로 나타났으며, Pb는 일부 지점에서 높은 농도를 나타내었다. 특히, 갯구 주변의 밭 토양 및 폐석더미의 토양(KS6,7)은 우려기준 이상의 농도를 나타내었다. 그 중 밭(지목: 답)에 인접한 지점에서 채취된 토양인 KS9은 “가”지역에 대한 Pb의 대책기준인 300 mg/kg을 초과한 426.50 mg/kg 을 보이고 있다.

○ KS9 지점은 As 또한 대책 기준인 15 mg/kg을 초과한 28.12 mg/kg을 나타내고 있으며, KS8 지점의 경우는 우려 기준을 초과한 6.72 mg/kg으로 분석되었다.

○ 비록 제한된 지점(KS 6,7,8,9)을 제외하고는 토양의 오염도가 매우 낮은 상태 이지만, 경창광산 갱구 주변에서의 작물의 재배 행위는 오염 토양에 대한 오염도의 저감과 같은 적절한 대책이 이루어질 때까지는 제한되어야 한다고 판단된다.

○ 갱내수(KW1) 및 계곡수(KW2, KW3) 모두 pH 5.8 정도를 나타내 산성배수의 발생 및 'Yellow boy'는 관찰되지 않았다. 분석된 모든 중금속 종은 검출한계 이하 또는 먹는물 기준 및 사람의 건강보호기준 이하로 분석되어, 수질 오염문제는 없는 것으로 판단된다.

## 2. 용천광산

○ 용천광산에는 1개의 무명 갱구와 광해방지사업이 이루어지지 않은 채 방치되어 납석 채굴적은 심하게 산화되어 있으며, 소량의 침출수가 배출되어 하류의 계곡수와 합류하고 있다.

○ 용천광산 주변은 폐광재가 지표면에 그대로 노출되어 있으며, 일부 폐석 지역은 리기다 소나무가 식재되어 있다.

○ 계곡수가 형성된 주변에서 채취된 토양의 pH는 3.19 ~ 5.09의 범위를 나타내어 심하게 산성화되어 있음을 알 수 있다.

○ As를 제외하고 분석된 모든 중금속 항목은 기준 이하의 매우 낮은 농도를 보이고 있다. As는 특이하게 YS8 지점에서 비록 우려기준 15.0 mg/kg를 초과한 19.14 mg/kg을 나타내고 있다. 이는 YS8 지점에서 채취된 토양내에 비소를 고농도로 함유한 광물질이 특이하게 포함되었을 수 있어서 나온 결과라고 판단되며, 다른 지점과 비교할 때 전반적으로 낮은 오염도를 나타내고 있다.

○ 갱으로부터 침출되는 물(YW1)과 채굴적으로 부터 침출되는 물(YW2)은 모두 pH 2.8의 강한 산성을 나타내고 있으며, 채굴적으로 부터 약 50 m 하류의 계곡수(YW3)는 pH 3.3으로 산도가 약간 증가하지만, 가장 하류지역인 YW4에서도 pH3.5로 나타나 광산 하류부 전체에 걸쳐 산성배수가 발생함을 알 수 있다.

○ 분석된 시료의 모든 항목에서 검출한계 미만 또는 먹는물 기준 및 사람의 건강보호기준 이하로 평가되어 중금속에 의한 수질의 문제는 적은 것으로 판단되나, 침출수 및 계곡수 전 구간에 걸쳐 pH 3.5 이하의 산성수 조건이 나타나는 것에 대하여, 본 연구에서는 규명할 수 없으며, 원인 규명을 위한 향후 연구가 필요하다고 생각된다.

### 3. 임기납석광산

○ 임기광산은 채굴을 마친 후 광해방지사업이 이루어 졌으나, 부실작업으로 인하여 채광지역이 공기중에 노출되어 있어 지속적인 산화가 이루어지고 있으며, 또한 석회를 이용하여 토양의 중화를 하고자 한 지역도 강우에 의하여 심하게 침식되거나 무너진 상태로 있고, 식재된 소나무들도 성장하지 않거나 거의 고사된 상태이다.

○ 임기광산을 통과하는 계곡수는 광산 정면의 산과 형성하는 계곡에서 발원하여 광산 폐석 및 폐광재 지역을 약 1 km 정도 통과하여 회동수원지 상류의 수영강 수계와 합류하고 있다. 계곡 하류 지역에는 식당업을 하는 3 가구 및 교회 1개소가 형성되고 있으며, 이들은 계곡의 발원지로부터 파이프를 이용하여 채수된 물을 용수로 사용하고 있다. 광산을 통과하는 계곡수는 철 및 황산염에 의하여 황색으로 심하게 피복된 상태이며, 이러한 현상은 수영강 상류 수계와 합류되는 곳까지 이어지고 있다.

○ 토양 pH는 2.91 ~ 7.06 까지 매우 넓은 범위를 보이고 있으며, 광산 상부지역은 약 pH 3 정도로 심하게 산성화 되어 있으나, 하류부의 경작지 토양은 중성 근처를 나타내고 있다.

○ 분석된 전 시료에 있어서 중금속은 기준이하의 매우 낮은 농도로 나타났으며, 이는 ISS 8, 15, 18 지점에서 채취한 심토의 경우도 마찬가지로 낮은 농도로 나타났다. IS 8 시료의 경우 우려기준을 초과한 7.145 mg/kg로 다른 지점에 비해 다소 높은 As 농도를 보이고 있다.

### 4 용호광산

○ 주요광종은 금,은,동, 연 등이며 주로 동을 주된 광석으로 채굴하였다. 현재 소유주가 거주하는 지역은 과거 선광장으로 사용되던 지역이며, 채굴된 폐광재는 모두 제거된 상태이다.

○ 용호동 섭자리 위의 비포장 도로 및 동생말 주변은 제철 슬래그를 다량 매립한 지역으로, 일부 지역에서 슬래그 및 풍화된 슬래그 입자들이 노출된 상태로 방치되어 있다.

○ 광산은 최초 5개의 갱으로 개발되었으며, 1호 갱은 섭자리 근처에 위치하며 현재우물로 사용하고 있다. 2호 갱은 해안에 위치하며 현재 갱구는 붕괴 및 안전을 위하여 인위적으로 사면붕괴를 시켜 폐쇄시켜놓은 상태다. 2호 갱은 원래 수평 550 m, 수직 380 m의 규모를 가진 갱으로 크기는 가로, 세로 각 2 m 정도로 형성되었다고 알려져 있다. 3,4호 갱은 해안 산책로 중간지점에 위치하지만, 입구가 붕괴되었고, 식생으로 덮여있어 육안 식별이 어려운 상태로 있다. 5호 갱은 소유주 거주지 마당에 수직갱으로 굴착되었으며, 현재 안전을 위하여 철판으로 덮어놓은 상태다.

○ 현재 침출수는 2호 갱으로부터 소량 유출 되고 있으나, 발생량은 많지 않은 상태이며, 침출수가 있던 지역은 산화구리 침전물이 표면을 피복하고 있는 상태이다.

○ 토양 pH는 4.95 ~ 9.10의 범위를 보이고 있으며, 염기성을 나타내는 일부 지점을 제외하고는 전형적인 산림토양의 pH 범위에 있다. 염기성을 나타내는 일부 지역은 제철 슬래그가 매립된 지역 근처로 이의 영향을 받은 것으로 판단된다.

○ 분석된 중금속 항목 중  $Cr^{6+}$ , As, Pb 과 Ni은 전 지점에서 검출한계 미만 또는 낮게 검출되었으나, Cu와 Cd은 일부 지점에서 우려기준 및 대책기준을 초과할 정도로 높은 농도를 보이고 있다. Cu의 경우 제철슬래그가 노출된 지점 및 2, 3, 4호 갱이 위치한 지점에서 특히 높은 농도를 나타내고 있으며, 2호 갱 침출수 지점의 퇴적토(저질토)에서는 약 3250 mg/kg의 높은 농도로 검출되었다.

○ Cu의 경우 2호 갱 부근인 YH 15 및 16 지점은 각각 156 mg/kg과 978.5 mg/kg, 그리고 3,4호 갱 지점인 YH10은 1175.5 mg/kg으로 대책기준을 초과하며, YH11 및 YH14는 각각 84.22 mg/kg 및 54.75 mg/kg으로 '가'지역에 대한 우려기준을 초과하고 있다.

○ 제철 슬래그가 매장되어 있는 도로변(HYS2,4,5)은 비록 우려기준('나' 지역)을 이하의 농도를 보이고 있지만, 슬래그가 노출된 해안산책로 일부 주변(YHS7,8)은 광산지역을 제외한 다른 지역에 비하여 '가'지역(임야)의 기준을 적용할 경우 대책기준을 초과하는 94.20 mg/kg 및 85.20 mg/kg의 농도를 나타내고 있다.

○ Cd의 경우는 2호 갯 퇴적토(YHSD 15)에서 대책기준을 초과할 정도의 높은 농도 (63.5 mg/kg)를 나타내었으며, 주변 토양에서도 다른 지점과 비교하여 높은 값을 보이고 있다. 2호 갯 주변 토양 인 YHS15와 16은 각각 2.08 mg/kg과 4.17 mg/kg으로 ‘가’지역에 대한 우려기준을 초과하고 있다.

○ Zn의 경우 해안 산책로 부근에 노출된 슬래그인 HYS7이 878.8 mg/kg으로 ‘가’지역 대책기준 700 mg/kg을 초과하고 있다. 그러나, 이와 같은 도로변을 제외한 슬래그에 대한 시료는 노출된 슬래그만을 집중적으로 취했으므로 일반적인 공정시험법상의 토양오염도 조사방법인 동서남북 4방향으로부터 채취하여 합한 토양시료를 분석한 결과 보다 높은 값을 보일 가능성이 있음을 밝히며, 슬래그 매립 지역의 높은 중금속 농도는 용호광산의 광업행위와는 무관하다고 판단된다.

○ 중금속의 존재상태를 파악하기 위해 연속추출을 한 결과, Cu의 경우, 슬래그 매립지역 또는 슬래그의 영향을 받은 토양지역에 대한 강우 또는 지하수에 의해 용출 가능한 부분인 1단계 이온교환태는 각각 0.41%(YHS2), 0.11%(YHS4), 0.00%(YHS5), 0.04%(YHS7), 0.00%(YHS8)으로 평가되어, 이들이 비록 이 지역들이 비록 농도가 높은 경향을 나타내지만, 이온교환 가능한 부분은 이미 풍화과정을 거쳐 용출 되었거나, 슬래그 형성과정에서 고형화/또는 안정화되어 강우에 의한 용출 가능성은 거의 없는 것으로 판단된다. 광산지역의 Cu 또한 YHS16은 2.28%로 이미 이온교환 가능한 부분이 많이 제거된 상태임을 알 수 있다.

○ Cd의 경우도 1단계 이온교환가능 부분이 YHS2(10%)를 제외하고는 YHS4(2.1%), YHS5~7이 0.00%로 Cu와 같은 경향을 보이고 있으며, 2호 갯 침출수 지역 저질토인 YHSD15과 YHS16에 대한 1단계 이온교환 가능부분은 각각 28.57%과 27.27%로 강우에 의해 용출 가능성이 높은 것으로 판단된다.

○ Zn의 경우 또한 슬래그 지역인 YHS2, 4, 7에 대한 이온교환가능태 부분이 각각 0.82%, 0.27%, 및 0.13%로 강우에 의한 용출 가능성은 매우 낮음을 알 수 있으며, YHSD15의 경우 상대적으로 높은 8.29%로 평가되었다.

○ 연속추출결과는 슬래그 매립지역 또는 슬래그의 영향을 받은 지역의 토양 또는 노출된 슬래그가 비록 높은 농도로 분석되어 토양환경기준을 초과 또는 그에 근접하지만, 강우 또는 지하수와 접촉 시 용출이 될 가능성이 있는 1단계 이온교환가능태가 거의 ‘0%’

정도임을 알 수 있으며, 이는 슬래그가 이미 그 형성과정을 통하여 고형화/안정화 되어 용출되지 않은 것으로 판단된다.

○ 슬래그가 노출된 YHS 4와 YHS8에서 우려기준을 초과하는 것으로 평가되었으나, 현재 YHS4 지점의 경우 YHS 1,2,3 지점과 함께 도로확장 사업을 한 관계로 시료를 채취할 당시 슬래그 또는 슬래그 혼재 토양이 제거된 상태이다.

○ 물시료 분석결과 pH는 6.75 ~ 7.61의 범위에 있으며, 침출수의 Cd 농도를 제외하고는 검출한계 미만 또는 먹는물 기준 이하의 농도를 나타내었다. Cd의 경우 침출수에서 0.412 mg/L로 사람의 건강보호기준인 0.01 mg/L를 약 40배 초과하고 있으나, 침출수 발생량이 매우 적으며, 또한 발생량이 계절적인 차이로 인하여 농도의 변화가 클 것으로 판단한다. 이러한 침출수는 대부분 지하로 침투되며 해안에서의 누출은 관찰되지 않고 있다.

평가된 결과로부터 조사사업은 용호, 경창, 임기, 용천광산 순서로 이루어져야 한다고 판단되며, 비록 임기 및 용천광산이 토양오염도 측면에서 정밀조사의 필요성이 떨어지지만, AMD의 발생 측면에서 볼 때는 이에 대한 규명을 할 필요가 있다고 생각한다.