

토양 정밀 조사에 의한 폐광산 주변 토양의 오염 부지 특성 규명

차종철, 이정산, 이민희, 최정찬, 김진원*

부산광역시 남구 대연3동 부경대학교 환경지질과학과 · * 한국수자원공사 댐환경처 (geologist@empal.com)

<요약문>

광산 및 폐광산으로부터의 오염 및 유해영향에 대한 보고와 관심이 대두되면서 휴·폐광산에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 연구는 경북 군위군의 고로 폐광산 주변 중 광미 및 광폐석으로 오염된 것으로 생각되어지는 하천 및 농경지에 대한 오염 정도와 분포를 규명하기 위하여 토양정밀조사를 실시하였다. 토양 오염 정밀조사 지침에 따라 총 741개의 토양 시료 분석 결과 Cu, Cd, Pb은 토양 오염 우려 기준에 훨씬 미치지 못하였지만 As는 표토 및 심토 구간(0~30cm)에서 토양 오염 우려 기준 농도를 상당 수 초과하여 하천 및 농경지의 복원이 필수적임을 알 수 있었다. 합리적인 복원물량을 산출하기 위하여 배경치 농도(1.23mg/kg), 토양오염우려기준 40%농도(2.4mg/kg), 토양오염우려기준농도(6mg/kg), 토양오염대채기준농도(15mg/kg)별로 오염 등급을 나누어 오염 지도를 작성하고, 각 등급별 복원목표에 따라 복원이 필요한 면적과 복원대상물량을 산출하였다. 본 연구는 오염토양의 복원을 목적으로 국내에서 최초로 실시된 대규모의 토양정밀조사라는 점에서 의미가 있으며, 이 결과는 실제 고로 폐광산지역의 복원 사업설계에 중요한 자료로 사용될 수 있다.

주요어 : 폐광산, 광미, 토양오염복원, 토양정밀조사, 비소오염

1. 서 론

1995년 토양환경보전법이 제정되고 토양오염 문제에 대한 인식이 확대됨에 따라 90년대 후반에는 휴·폐광산 주변의 토양과 농작물, 하천수에 대한 중금속 오염 연구가 활발히 진행되었다(이효민 외, 1998; 김선태 외, 1998, 1999; 황은하 외, 2000). 그러나 대부분의 연구과정이 광산주변의 오염도를 개략적으로 평가하는데 머물러 광산의 영향으로 인한 오염분포 및 복원규모를 설정하는데 한계가 있었다. 본 연구는 경북 군위군 고로면 석산리에 위치한 고로 폐광산을 중심으로 인근 하천과 농경지 토양의 오염 특성을 규명하고 차후 폐광산과 연결된 주 하천 하부에 댐 건설시 중금속으로 인한 수계 오염을 방지하고자 연구지역내 하천 및 농경지(오염토양)의 복원 대상 물량을 제시하고자 하였다. 고로 폐광산은 1964~1972년에 걸쳐 주 광석광물로 아연을 채광 하였으며, 일부 광폐석이 미처리된 채로 노출되어 홍수 시 광미에 의한 주변 농경지 및 하천의 오염이 있는 것으로 판단되고 있다(이민희 외, 2003). 현재 갱구에서 500m하류 부(과거 제련소 및 광미 침전지)의 부지에 4~5m정도의 콘크리트 옹벽을 치고 뒷채움의 형태로 광미와 광폐석이 현장 매립 되어있다(한국 수자원 공사, 2003). 2002년 본 연구지역의

개황조사 결과 하천 퇴적토 16개 조사지점 중 7개, 농경지 토양 11개 조사지점 중 4개에서 비소농도가 SPWL(Soil Pollution Warning Limit)이상으로 나타남에 따라 폐광산 주변 농경지 및 하천의 오염 가능성이 높은 것으로 판단되어 2003년 1월부터 토양 오염 정밀 조사를 시행하였다.

2. 토양 오염 정밀 조사 및 분석

폐광 주변 농경지 및 하천의 오염 특성 및 규모를 설정하기 위하여 사전 개황조사결과를 바탕으로 하여 문제가 되는 중금속(As, Cu, Cd, Pb)을 중심으로 토양 정밀 조사를 시행하였다. 토양 오염 정밀조사 지침(환경부고시 제2001-186호)에 따라 총 1500m²(30m×50m)면적 당 표토(0~10cm) 1개, 심토(10~30cm)는 표토 3개 지점에 1개씩 채취하였다. 조사구간의 설정은 고로 폐광산을 따라 흐르는 하천과 그 하천을 중심으로 범람 가능성이 있는 좌·우 농경지 지점을 대상으로 하였고 폐광의 영향이 없을 것으로 생각되는 지점으로부터 대조군 샘플을 채취하였다. 연구 지역 내 전체 샘플 수는 741개로 농경지 표토 382개, 심토 135개, 하천은 표토 126개, 심토 38개이며 대조군 시료는 표토 33개, 심토 15개에 대해 조사되었고 연속시료(Geoprobe sample)는 4개이다. 이렇게 조사된 토양 시료들은 토양공정시험법에 의해 비소용 및 기타 중금속용으로 각각 전처리 되어 토양오염분석기관인 한국 수자원공사 수돗물 검사센터에서 ICP/MS, AAS로 분석하였다.

3. 정밀조사 결과분석 및 오염면적·물량 산출

연구 지역인 고로 폐광산 주변지역의 농경지 및 하천에 대한 중금속 오염 농도를 최대, 최소, 평균값으로 나타내어 현 토양 오염 기준과 비교한 결과 Cu, Cd, Pb는 토양오염 우려 기준치인 50, 2, 100 mg/kg을 훨씬 미치지 못하였으나 As의 경우 토양 오염 우려기준인 6mg/kg을 초과하는 시료가 표토 평균 22.95%, 심토 평균 12.35%로 비소에 의한 오염이 심각한 것으로 나타났다. 그러나 심토의 경우 전체 샘플 시료 중 토양 오염 대책기준을 초과하는 시료가 1개로 나타나 본 정밀 조사 지역의 비소에 대한 오염이 0~30cm에 제한되어 있음을 알 수 있었다. 배경치 농도가 1.23mg/kg으로 다소 높게 나타남을 알 수 있었는데 이는 조사 지역 일대의 토양 형성 과정과 일차적으로 관계있을 것으로 사료된다(문희수, 1995). Table 1에서는 전체 조사 샘플들의 복원 규모를 설정하기 위해 오염등급을 배경치 농도(1.23mg/kg), 토양 오염 우려기준 40%농도(2.4mg/kg), 토양 오염 우려기준농도(6mg/kg), 토양 오염 대책기준농도(15mg/kg)로 구분하여 각 등급별로 개수와 백분율로 오염 분포를 나타내어 농경지와 하천에 대한 오염 지도 작성을 위한 기본 등급을 설정하였다.

Table 1. Pollution grade for remediation scale creation

(unit : counts)

		Farmland soil		River deposit	
		Surface soil	Deep soil	Surface soil	Deep soil
I grade	Lower than 1.23 mg/kg	81 (21.2%)	81 (60.0%)	8 (6.3%)	2 (5.2%)
	1.23~2.4 mg/kg	115 (30.1%)	19 (14.1%)	11 (8.7%)	5 (13.2%)
II grade	2.4~6.0 mg/kg	117 (30.6%)	23 (17.0%)	72 (57.2%)	25 (65.8%)
III grade	6.0~15 mg/kg	43 (11.3%)	12 (8.9%)	27 (21.4%)	5 (13.2%)
IV grade	Higher than 15 mg/kg	26 (6.8%)	0 (0.0%)	8 (6.4%)	1 (2.6%)

토양 정밀 조사 결과를 기초로 하여 화북댐 예정지역의 하천과 농경지에 대해 가장 합리적인 복원 면적 및 물량을 산출하기 위해 오염 지도를 작성하였으며 댐 건설 후 수몰지역으로 예상되는 면적을 별도로 산정하여 그 복원 방법 및 복원 규모 설정에 기본이 되는 자료를 Table 2와 Table 3에 나타내었다.

Table 2. Estimation of remediation area based on each grade

Remediation limit	Research area	Contaminated area need to remediation (m ²)		
		River deposit	Farmland soil	Total
Over SPWL	Submerged area	3,200	105,300	108,500
	Non-submerged area	30,800	124,700	155,500
	Total area	34,000	230,000	264,000
Over 40% concentration of SPWL	Submerged area	78,600	252,300	330,900
	Non-submerged area	102,400	345,700	448,100
	Total area	181,000	598,000	779,000
Over background level concentration	Submerged area	83,900	310,300	394,200
	Non-submerged area	105,000	470,000	575,000
	Total area	188,900	780,300	969,200

* SPWL : Soil Pollution Warning Limit

Table 3. Estimation of remediation volume depend on remediation grades

Remediation limit	Soil volume to remediate (m ³)		
	River deposit	Farmland soil	Total
Over SPWL	10,200	69,000	79,200
Over 40% concentration of SPWL	54,300	179,400	233,700
Over background level concentration	56,670	234,090	290,760

* SPWL : Soil Pollution Warning Limit

* Back ground level concentration : 1.23 mg/kg

복원 면적을 기초로 하여, 복원 토양 심도를 30cm로 가정한 복원 물량 산출결과로부터, 토양오염 우려기준농도의 40%이상과 배경치 농도 이상을 복원목표로 선정하는 경우 복원 물량차이가 크지 않음을 알 수 있었다. 따라서 댐 건설 후 수계의 안정성을 확보하기위해서 배경치 농도 이상을 기준으로 하여 복원 규모를 설정하는 것이 가장 합리적이라고 생각되어진다.

4. 결론

본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

1) 토양정밀조사 지침에 따라 총 741개의 하천 및 농경지 토양, 대조군, 연속시료를 채취하여 오염 농도와 특성을 규명하였다. 폐광산 주변 오염토양의 복원을 목적으로 실시된 국내 최초의 대규모 토양

정밀조사라는 점에서 그 의미가 크다.

2) 오염 분석결과 Cu, Cd, Pb는 토양 오염 우려기준을 훨씬 미치지 못하였으나 As의 경우 토양 오염 우려기준인 6mg/kg을 초과하는 시료가 표토 평균 22.95%, 심토 평균 12.35%로 비소에 의한 오염이 심각한 것으로 나타났다. 그러나 심토의 경우 전체 샘플 시료 중 토양 오염 대책기준을 초과하는 시료가 1개로 나타나 본 정밀 조사 지역의 비소에 대한 오염이 0~30cm에 제한되어 있음을 알 수 있었다.

3) 복원 규모를 설정하기 위해 총 4개의 오염 등급으로 구분하여 오염 면적 및 오염 지도를 작성하여 복원 물량을 산출하였다. 특히 토양 오염 우려기준의 40%농도 이상의 복원 면적과 물량은 779,000m², 233,700m³으로 나타나 배경치 농도 이상의 복원 면적과 물량인 969,200m², 290,760m³과 비교 했을 때 물량차이가 많이 나지 않아 배경치 농도를 복원 목표를 설정하는 것이 댐 건설 후 수계의 안정성 확보에 보다 바람직할 것으로 생각되어진다.

5. 참고문헌

- 김선태 외, 임천광산 광미와 주변 토양 및 지하수의 오염 조사, 한국토양환경학회지, Vol.3, No.3 33~44, 1998
- 김선태 외, 진곡광산 광미와 주변 토양의 오염조사, 한국토양환경학회지, Vol.4, No.2 175~183, 1999
- 문희수, 점토광물학, 민음사, pp 615~623, 1995
- 이민희 외, 고로 폐광산 주변 농경지 토양 및 하천 퇴적토의 중금속 오염 분포 및 복원 대책 설계, 자원환경지질, 제36권, 제2호 89~101, 2003
- 이효민 외, 폐광산 지역의 비소오염에 대한 복원목표 설정, 한국토양환경학회지, Vol.3, No.2 13~29, 1998
- 최병순 외, 토양오염개론-부록, 도서출판 동화기술, pp. 263~265, 2001
- 한국 수자원 공사, 화북댐 유역 및 고로폐광산 토양오염 복원대책 수립 연구, 2003
- 한국 수자원 공사, 화북댐 건설사업 환경영향평가서(보완), pp.327~337, 2003
- 환경부, 토양오염 공정시험법, 2003a
- 환경부, 환경부고시 제 2001-186호, 토양정밀 조사지침, 2001
- 황은하 외, 서성 연-아연 광산 주변 농경지 토양의 중금속 오염 연구, 한국토양환경학회지, Vol.5, No.2 67~85, 2000