

PB4

## 금속 폐광산 주변 토양과 식물체 내 중금속 오염

서상우, 임정훈, 최철만<sup>1</sup>, 홍성철, 박연규

국립밀양대학교 환경공학과, <sup>1</sup>국립밀양대학교 환경기술연구소

### 1. 서 론

토양 중의 중금속은 난분해성 물질로서 고농도로 환경에 축적될 경우 지하수와 지표수를 오염시키는 직접적인 원인이 되며 토양의 기능을 상실시켜 산림 및 농작물의 생육 손실을 초래하고 먹이 사슬 등을 거쳐 사람과 동물에까지 영향을 미친다.

토양오염의 중요한 원인 중 하나인 휴·폐광 금속 광산의 폐석과 광미는 광산폐수의 원인으로 하천에 집적되어 자연경관을 훼손할 뿐만 아니라 대부분 높은 농도의 중금속을 함유하는 오염원이 된다. 이렇게 오염된 광산은 정화가 시급하지만, 오염된 토양의 유해 물질을 적절히 처리하는 것은 매우 어렵고 또한 처리 비용이 과다하기 때문에 토양 오염은 거의 영구적인 환경 오염 문제가 되고 있는 실정이다(정 등, 1999).

구운동(양구동) 광산은 경상남도 밀양시 무안면 마흘리에 위치하고 종남산(해발 663.5 m)의 줄기로 북방 약 2.5km에 위치하며 주된 채광 금속은 금, 은, 동, 납, 아연이었으나 광복 후 채산성 때문에 폐광이 되었다. 이후 토양오염방지사업의 일환으로 1996~1997년 밀양시에 의해 소류지 퇴적물의 준설과 유해 중금속으로 오염된 농경지의 토양 개선 사업의 시행 후, 방치됨에 따라 광구수 및 광미 유출수에 의해 주변 토양 및 수계가 Cu와 Pb으로 인하여 심각하게 오염되었다(류 등 1988; 박, 1994; 농, 2000; 박, 2002).

따라서 본 연구는 오염된 토양 개선 사업이 완료된 광산의 토양화학적 성분을 기초로 비경작지의 야생식물에 축적된 중금속 함량을 분석하여, 중금속 오염에 대한 내성이 있는 지표종을 규명함으로써 휴·폐광산을 관리하는데 기초 자료를 제공하고자 실시하였다.

### 2. 재료 및 방법

구운동 광산의 토양 시료 채취 지점은, 광미의 영향이 있을 것으로 추측되는 광산위 세지점(st. 1, st. 2, st. 3)과 많은 광미가 잔재하고 있는 광구 앞(st. 4), 강우에 의한 광미가 퇴적되어 있는 곳으로 광산으로부터 1,500m정도 하부에 위치한 휴경지(st. 5), 광산으로부터의 중금속 오염을 받지 않은 대조구 등 모두 6 지점으로 하였다.

시료의 채취방법은 광산 주변 지역에서 자라는 식물중 우점하고 있는 식물을 대상으로 지점별 20cm내의 식물을 채취하였으며 토양의 채취는 식물의 채취지점 밑부분의 토양으로 식물의 뿌리가 상하지 않도록 흙을 제거한 후 지표에서 20cm 아래 부분을 채취하였다.

토양의 이화학성 분석(농, 1988)은 pH의 경우 초자전극법, 유기물의 경우 Tyurin법, 유효인산의 경우 Lancaster법으로 분석하였고 치환성 Ca, Mg, K 등의 양이온은 1N-Ammonium acetate로 침출하여 ICP(Inductively Coupled Plasma, Perkin Elmer 3300

DV)로 분석하였다. 중금속분석(환, 1999)은 토양시료를 0.1N-HCl방법으로 용출하여 ICP로 분석하였다.

식물체 시료 조제 및 분석은 채집한 식물은 실내에서 세척 건조(105°C)한 다음 식물 전체를 고루 갈아 분말을 만든 다음 20mm 체(sieve)로 거른 10g을 자제도가니에서 정확히 측정하고 뚜껑을 닫은 후 회화로(600°C)에서 6시간 가열, 킬달 플라스크에 약 0.5g씩 넣어 혼합 분해액 ( $\text{HNO}_3:\text{H}_2\text{SO}_4:\text{HClO}_4 = 10:1:4$ ) 10ml를 주입하여 분해액이 백색이 될 때까지 분해하였다. 분해된 시료는 Toyo 5C 여지로 여과시켜 유기물을 제거한 후 100ml로 검량한 것을 ICP-OES(Perkin Elmer 3300DV)로 각 성분을 분석하였다.

또한 모든 시료는 신뢰도를 높이기 위하여 3반복으로 분석하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 토양의 일반 분석

조사 지점 토양의 평균 함량은 유기물 13.18g/kg, 유효인산 40.65mg/kg, 석회 5.06, 칼슘 6.85, 고토 1.94cmol/kg으로서 우리나라 밭 토양의 평균치보다 낮은 것으로 조사되었다.

#### 3.2. 토양 중의 중금속 함량

아연(Zn)의 평균 함량은 383.1mg/kg이었고 지점별로는 최저 58.5mg/kg(st. 2)~최고 945 mg/kg(st. 3)의 범위였으며 대조구와 st. 3은 약 30배의 차이를 보였는데 이것은 지점별로 약간의 고도차이가 있는 것과 관련하여 그 분포가 각기 다르기 때문인 것으로 판단된다. 아연에 대한 전국 밭 토양의 자연함유량은 8.50mg/kg으로 본 실험 결과와는 상당한 차이를 보였는데 그 이유는 본 조사지역 광산이 금, 은, 동, 납, 아연 광산으로, 채광 후 아연의 광미가 많이 잔재하고 있기 때문이라고 생각된다.

구리(Cu)는 평균 함량이 135.2mg/kg이었고 최저 1.8~최고 535mg/kg의 범위로 조사되었는데 토양환경보전법상의 토양오염 우려 기준(50mg/kg)과 대책 기준(125mg/kg)에 비추어 볼 때 우려 기준을 초과하는 지점은 st. 1과 st. 4였고 대책 기준을 초과한 지점은 st. 3이었다.

납(Pb)의 평균 함량은 105.4mg/kg이었고, 최저 1.1~최고 289.5mg/kg의 범위로 조사되었으며 토양환경보전법상 토양오염 우려 기준(100mg/kg)과 대책 기준(300mg/kg)에 비추어 볼 때 st. 3과 st. 4지점이 우려 기준을 초과하였지만 대책 기준을 초과하지는 않았다. st. 4는 광구 앞 지점으로, 복토 후에도 많은 양의 광미가 계속 존재하고 있음을 알 수 있었다.

#### 3.3. 식물체 내 중금속 함량

각 조사지점별 우점하고 있는 식물은, 광구 위 3지점(st. 1, st. 2, st. 3)은 쑥(*Artemisia* spp.), 차즈기(*Perilla frutescens* var. *acuta*), 싸리(*Lespedeza bicolor* var. *japonica*)였고 광구 앞(st. 4) 지점은 차즈기, 휴경지(st. 5)는 억새(*Miscanthus sinensis*)로 조사되었다.

식물체 내 중금속 함량은 아연의 경우, st. 1(광산 위)의 차즈기에서 3,430mg/kg으로 가장 높았고 st. 4(광산 앞)의 차즈기에서 1,992mg/kg, st. 5(휴경지)의 억새 571mg/kg, st. 2

(광산 위)의 썩 331mg/kg, st. 3(광산 위)의 싸리 94mg/kg 순으로 조사되었다. 광산 위(st. 1)의 차즈기는 대조구의 차즈기보다 아연 함유량이 35배나 높게 조사되었다. 구리의 경우는 광산 위의 차즈기 656.5mg/kg, 광산 앞의 차즈기 152.4mg/kg, 썩 31.8mg/kg, 싸리 26.3mg/kg, 역새 16.7mg/kg의 순으로 조사되었고 납의 경우, st. 4의 차즈기 227mg/kg, st. 1의 차즈기 160.7mg/kg, st. 2의 썩 39.6mg/kg, st. 3의 싸리 24.6mg/kg, st. 5의 역새 20.8mg/kg의 순으로 조사되었다.

토양 내 중금속 함량과 식물체 내 중금속 함량과의 관계를 생각해 볼 때 차즈기는 각 중금속 함량이 다른 식물들에 비해 그리고 토양의 중금속 함량에 비해 월등히 높게 조사되어 중금속에 대한 내성을 가지고 있음을 간접적으로 추측할 수 있어 지표 식물로 생각되어지는 바, 향후 이에 대한 지속적인 보완, 검증 실험(중금속 축적 능력을 확인하는 표토 실험)이 필요할 것으로 판단된다.

#### 4. 요약

오염 토양 개선사업이 완료된 밀양시 구운동 광산의 이·화학적 성분을 기초로 하여 비경작지의 일부 야생식물 중 축적된 중금속 함량을 분석한 결과, 토양의 각 지점별 평균 함량은 유기물 13.18g/kg, 유효인산 40.65mg/kg, 석회 5.06, 칼슘 6.85, 고토 1.94cmol/kg으로서 우리나라 밭 토양의 평균보다 낮았고 중금속 함량은 아연(Zn)이 평균 383.1mg/kg, 구리(Cu) 135.2mg/kg, 납(Pb) 105.4mg/kg로 조사되었다. 조사 지점 중 광미의 퇴적으로 인한 오염이 있는 광산 위 st. 3에서 아연(945mg/kg)과 구리(535mg/kg)의 함량이 가장 높았고 다음이 광미가 많이 잔재하고 있는 광구 앞인 st. 4였으며 이곳은 납(289.5mg/kg)의 함량이 가장 높은 지점이었다. 식물체 내의 중금속 함량은 차즈기>썩>역새>싸리 순이었고 특히 차즈기의 경우는 다량의 중금속이 축적되어 있어 중금속 오염 지역에 대한 내성이 있는 지표종으로 추측되어 이에 대한 중금속 축적 능력 확인 실험이 필요할 것으로 판단된다.

#### 참고 문헌

- 농업진흥청, 1988, 토양 화학분석법.
- 농촌진흥청, 2000, 영남농업시험장, 시험연구보고서, 400~411.
- 류홍일 등, 1988, 토양오염 우심지역 정밀조사(I), 국립환경연구원보고서.
- 박성학, 2002, 폐광 인근 토양 및 수자원의 중금속 오염형태, 국립밀양대학교 공학석사 학위논문.
- 박용하, 1994, 휴·폐광 금속광산지역의 오염관리대책, 한국환경기술개발원.
- 이재영, 이인영, 이순영, 1989, 금속폐광산 주변의 토양, 식물 및 하천의 중금속 오염에 대한 지화학적 연구 - 달성 및 경산광산, 자원환경지질, 29, 597~613.
- 정교철, 김지수, 박수인, 손호용, 오창환, 우남철, 윤성택, 이동진, 정승수, 정찬호, 최상훈, 함세영, 1999, 환경지구과학, 시그마프레스, 서울, 470pp.
- 환경부, 1999, 토양오염공정시험방법.