

연-이연광산 지역 내 복토된 광미장 부지 농작물(벼)의 체내 중금속 오염도

이평근, 신영식*, 최상훈*

한국지질자원연구원 지질환경재해연구부 환경재해연구실, *충북대학교 지구환경과학과 (pklee@kigam.re.kr)

<요약문>

과거 광미장으로 사용되었던 곳을 복토 후 농경지로 전환한 지역을 대상으로 채취한 벼의 중금속 체내 흡수도를 평가하고자 하였다. 오염된 논에서 채취한 벼 뿌리의 중금속 함량은 배경 뿌리시료에 비교하면, Cd 65배, Pb 24배, Zn 15배, As 8.4배, Ni 3.5배, Cu 2.3배, Mn 2.1배 및 Cr 1.6배가 더 축적되어 있었다. 줄기의 경우, 배경 줄기시료에 비교하여 Pb 10.2배, Cd 5.4배, Zn 4.2배, Ni 1.9배, Cu 1.5배, Cr 1.3배 높은 것으로 나타났다. 논토양으로부터 뿌리로 흡수되는 중금속 함량은 매우 큰 것으로 나타났으나, 뿌리로부터 줄기로의 체내 흡수도는 급격하게 감소하는 것으로 나타났다.

key word : 농작물 오염, 체내 흡수도

1. 서론

일반적으로 여러 가지 다양한 금속광물을 함유하고 있는 광산지역에서 발생하고 있는 중금속 오염은 지질환경에서 단일 원소로 오염되기보다 여러 원소가 복합적으로 오염되는 경우가 많다. 특히, 광산개발과정에서 발생한 폐광석과 광미에는 여러 가지 다양한 중금속 원소가 함유되어 있으며, 선광과정에서 발생한 광미를 농경지로 부적절하게 이용하는 경우에는 주변 환경 특히 식물 (즉, 경작물)에서 다양한 중금속 오염이 발생하게 되고 이런 결과는 직접적으로 인간의 건강에 영향을 주게 된다¹⁾. 그러므로 이번 연구에서는 과거 광산개발과정에서 발생한 광미를 복토한 후 논으로 토지 용도를 전환하여 벼를 경작하고 있는 지역을 대상으로 벼의 중금속 체내 흡수도를 평가하고 원소별 특성을 고찰하고자 하였다²⁾.

2. 시료채취 및 실험

광산개발과정에서 발생한 광미를 복토한 후 벼를 경작하고 있는 지역에서 채취한 벼의 체내 중금속 오염도를 평가하기 위하여 오염된 논과 오염되지 않은 논을 대상으로 논토양과 벼를 대상으로 2001년 10월에 시료를 채취하였다. 작물(벼)의 시료채취는 삼을 이용해 뿌리를 내리고 있는 토양까지 채취하였고, 오염이 예상되는 논 8개 지점과 배경치 설정을 위해 광미의 영향이 전혀 없다고 판단되는 주변의 논 2개 지점에서 채취 하였다. 벼의 경우 뿌리와 줄기 부분으로 구분하였으며, 전처리과정에서 뿌리

부분의 토양을 제거하기 위하여 초음파세척기로 여러 차례 세척을 하였다. 이들 시료들에 대한 전함량 분석을 실시하였으며, 분석방법은 다음과 같다. 전처리된 시료 1g에 HNO₃ 5ml를 넣은 뒤 sand-bath를 이용해 110℃의 온도로 가열하여 완전히 증발시킨 후, 혼합산(HClO₄ : HNO₃ = 5 : 1)을 10ml를 가해 110℃의 온도로 기화되는 연기가 보이지 않을 때까지 충분히 가열한다. 잔류물에 6N HCl 10ml를 넣고 30분간 가열한 후, filter(0.45µm)로 여과하였다. 분석은 AAS(perkin elmer 3100, perkin elmer 5100)로 하였다.

3. 결과

1) 경작토양과 식물(벼)의 중금속 함량

광미에 의해 오염된 논토양의 중금속 함량은 평균 Mn 5,664µg/g, Zn 2,536µg/g, Pb 1,601µg/g, Cu 144µg/g, As 90µg/g, Ni 46.1µg/g, Cd 26.7µg/g 및 Cr 4.3µg/g이었다. 배경 논토양시료에 비교하면, 오염된 논토양은 Zn 282배, Pb 23배, Cd 20.5배, As 15배, Mn 8배, Cu 4배, Ni 1.6배 높았으며, Cr은 배경토양에 비해 더 낮은 함량을 보였다. 오염된 논에서 채취한 벼 뿌리의 중금속 함량은 평균 Zn 6,886µg/g, Pb 4,307µg/g, Mn 3,990µg/g, Cu 397µg/g, As 273µg/g, Cd 235µg/g, Ni 53.2µg/g 및 Cr 11.5µg/g이었다. 배경 뿌리시료에 비교하면, Cd 65배, Pb 24배, Zn 15배, As 8.4배, Ni 3.5배, Cu 2.3배, Mn 2.1배 및 Cr 1.6배가 더 축적된 것으로 나타났다. 오염된 논에서 채취한 벼 줄기의 중금속 함량은 평균 Mn 1,467µg/g, Zn 260µg/g, Pb 97.6µg/g, As 14.1µg/g, Cu 11.9µg/g, Ni 4.6µg/g, Cd 4.3µg/g 및 Cr 3.0µg/g으로, 배경 줄기시료에 비교하면, Pb 10.2배, Cd 5.4배, Zn 4.2배, Ni 1.9배, Cu 1.5배, Cr 1.3배 높았다. Mn은 배경 줄기시료보다 낮게 검출되었다.

Table 1. Mean concentration(µg/g) of heavy metals in soils and roots and trunks of rice crop from a abandoned Pb-Zn mine.

	sample	Zn	Pb	Cu	Cd	As	Ni	Cr	Mn
background area	soil	90	70	34.5	1.3	6	29	44.8	695
	root	470	182	175	3.6	32.4	15.2	7.2	1874
	trunk	62.0	9.6	7.2	0.8	0.0	2.4	2.4	3570
contaminated area	soil	2536 (1434-5299)	1601 (1090-2950)	144 (103-211)	26.7 (13.5-56.5)	90.0 (21-229)	46.1 (38-67)	24.3 (18.5-29)	5664 (3384-10500)
	root	6886 (2670-15414)	4307 (2734-7246)	397 (280-553)	235 (134-584)	273 (122-461)	53.2 (34.4-126)	11.5 (6.4-13.6)	3990 (2302-10158)
	trunk	260 (74-571)	97.6 (21.6-315)	11.9 (4.0-29.6)	4.3 (1.6-6.4)	14.1 (0.8-36.8)	4.6 (0.8-16.8)	3.0 (0.8-11.2)	1467 (414-2342)

2) 작물(벼)의 식물흡수도(bio-availability) 평가

논토양으로부터 벼 뿌리를 통하여 흡수되어 줄기와 열매(쌀)로 이동되는 중금속원소의 식물 흡수도를 평가하기 위하여, 뿌리 부분의 토양, 뿌리 및 줄기에서의 총 중금속 함량을 분석하고 논토양에서 뿌리, 뿌리로부터 줄기로 흡수된 비율을 다음과 같이 계산하였다.

$$\text{토양에서 뿌리로의 식물흡수도(bio-available fractionsoil-root)} = \frac{(M)_{\text{root}}}{(M)_{\text{root soil}}} \times 100\%$$

$$\text{뿌리에서 줄기로의 식물흡수도(bio-available fractionroot-trunk)} = \frac{(M)_{\text{trunk}}}{(M)_{\text{root}}} \times 100\%$$

논토양으로부터 뿌리로의 식물 흡수도는 Cr(48%)과 Mn(72%)를 제외하고, 최소 110% (Ni)으로부터 최대 1,143% (Cd)로 나타나 중금속의 뿌리 체내 축적량이 매우 큰 것으로 나타났다. 뿌리에 흡수된 중금속이 줄기로 이동된 함량비를 비교하면, 뿌리로부터 줄기로의 흡수도는 Cr(26.1%)와 Mn(43%)를 제외하면, 최소 2.3% (Pb)에서부터 최대 7.6% (Ni)로 나타나 뿌리로부터 줄기로의 체내 흡수도는 급격하게 감소하는 것으로 나타났다. Cr, Mn 및 Ni은 토양으로부터 뿌리로 흡수되는 함량이 다른 중금속 원소에 비하여 월등히 적은 반면에 일단 흡수된 이들 원소는 줄기로 쉽게 이동되는 것으로 확인되었다. 반대로 Cd, As, Zn, Cu 및 Pb은 모두 뿌리를 통하여 잘 흡수되지만 흡수된 이들 원소가 대부분 뿌리에 축적되고 거의 줄기로 이동되는 함량이 매우 적은 것임을 지시하고 있다. 이동 축적된 식물의 체내 흡수도(bio-availability)는 다음과 같다:

뿌리토양에서 뿌리로 Cd≫As>Zn≈Cu≈Pb≫Ni>Mn>Cr,
 뿌리에서 줄기로의 식물흡수도는 Mn>Cr≫Ni>Zn≈As>Cu>Cd≈Pb.

Table 2. Average percentage of heavy metals and trace elements bio-availability, compared pollution soil with rice corp in a lead-zinc mine.

sample		Zn	Pb	Cu	Cd	As	Ni	Cr	Mn
total average		3146	2444	177.2	37.5	134.6	57.2	14.6	8616
root soil average		2536	1601	144.1	26.7	90.0	46.1	24.3	5664
soil(⊕) : total(%)		80.6	65.5	81.3	71.2	66.9	80.6	166.5	65.7
root VS soil(⊕)(%)	mean	313	286	294	1143	424	110	48	72
	min	115	200	162	361	172	83.9	28.4	34
	max	989	537	405	3650.0	909	189	69	97
trunk VS root(%)	mean	5.1	2.3	3.2	2.4	4.7	7.6	26.1	43
	min	0.5	0.4	1.0	0.3	0.7	1.9	6.7	12
	max	9.6	5.2	8.7	4.2	8.0	13.3	1000	76

4. 결론

1) 오염된 논에서 채취한 벼 뿌리의 중금속 함량은 평균 Zn 6,886μg/g, Pb 4,307μg/g, Mn 3,990μg/g, Cu 397μg/g, As 273μg/g, Cd 235μg/g, Ni 53.2μg/g 및 Cr 11.5μg/g으로, 배경 뿌리시료에 비교하면, Cd 65배, Pb 24배, Zn 15배, As 8.4배, Ni 3.5배, Cu 2.3배, Mn 2.1배 및 Cr 1.6배가 더 축적되었다. 오염된 논에서 채취한 벼 줄기의 중금속 함량은 평균 Mn 1,467μg/g, Zn 260μg/g, Pb 97.6μg/g, As 14.1μg/g, Cu 11.9μg/g, Ni 4.6μg/g, Cd 4.3μg/g 및 Cr 3.0μg/g으로, 배경 줄기시료에 비교하면, Pb 10.2

배, Cd 5.4배, Zn 4.2배, Ni 1.9배, Cu 1.5배, Cr 1.3배 높았다. Mn은 배경 줄기시료보다 낮게 검출되었다.

2) 논토양으로부터 뿌리로의 식물 흡수도는 Cr(48%)과 Mn(72%)를 제외하고, 최소 110% (Ni)으로부터 최대 1,143% (Cd)로 나타나 중금속의 뿌리 체내 축적량이 매우 큰 것으로 나타났으나, 뿌리로부터 줄기로 이동된 함량비는 Cr(26.1%)와 Mn(43%)를 제외하면, 최소 2.3% (Pb)에서부터 최대 7.6% (Ni)로 나타나 뿌리로부터 줄기로의 체내 흡수도는 급격하게 감소하는 것으로 나타났다.

3) 같은 지역을 대상으로 올해 다시 시료를 채취하여 분석 결과를 검토할 예정이며, 향후 벼에서의 중금속 체내 흡수도에 미치는 요인 분석을 위한 pH, Eh, redox potential 등의 물리화학적 환경변화를 고려한 실내실험을 실시하고, 벼의 체내에서의 중금속 흡수도 차이를 발생시키는 원인을 규명할 예정이다.

5. 참고문헌

1. Jung, M. C. and Thornton, I. Heavy metal contamination and seasonal variation of metals in soils, plants and waters in the paddy fields around a Pb-Zn mine, Korea. Sci. Tot. Environ. v. 198, p. 105 - 121, 1997.
2. 신영식, 서성 연 · 아연광산 주변 농경지 및 작물의 중금속 오염평가와 존재형태 규명, 충북대학교 석사학위 논문, 99p, 2004.