

## 울산 달천광산 인근의 식물체 중금속 축적에 관한 연구

김 철 · 최미희

동의과학대학

chulkim@dit.ac.kr, chm@dit.ac.kr

### ABSTRACT

This study was investigated the contents of heavy metals in plants at Dalcheon mine area, in order to offer basic data for phytoremediation on soil contamination by heavy metals. As the results of this study, the contents of Ni, As, Cd in plants were the highest at the west area of Dalcheon mine area. But the content of Zn was similar in all of Dalcheon mine area. For the herbaceous plants, the contents of heavy metals were higher in plants which were included in Gramineae and Compositae than any other families. And then the contents of Ni, Zn, Cd in root were higher 1.4~1.8 times than stem, especially the content of As was higher 4 times. For the trees, the contents of heavy metals were usually high in Zanthoxylum piperitum, Pine tree, Chestnut tree, Quercus acutissima and Lindera obtusiloba. The contents of heavy metals with parts of tree were almost same range. All experimental result, we paid attention on two conclusions. First, the contents of heavy metals in herbs was higher than in trees. And second, if there were some spices that the content of heavy metal in leaf were higher than in root, they could accumulate that kind of heavy metal. Therefore, It is above 2 times which the content of heavy metal in the leaf is higher than in the root about herbs, that kind of plants was regarded as a accumulation species. According as the heavy metals, accumulation species were selected. We think that the accumulation species are able to absorb the heavy metals from the soil, they will make use of phytoremediation on contaminated soil by heavy metals.

**Key words:** phytoremediation, heavy metal, mine

### 1. 서론

우리나라에서는 1960년대부터 1980년대 후반까지 산업원료 등을 확보하기 위하여 활발한 광산 개발이 이루어졌으나 산업구조의 변화 등으로 인하여 현재 전국의 약 900여개 금속광산 및 330여개의 석탄광들이 휴·폐광을 하게 되었다. 광산지역에서는 중금속을 함유하는 산성폐수의 배출, 건조기에 발생하는 광미 및 분진의 비산, 광산폐기물의 유실과 유해성 침출수의 누출, 지반침하 등으로 인하여 자연환경 및 인근 주변지역에 악영향을 미치는 것으로 알려져 있다.

최근 선진국에서는 중금속으로 인한 토양오염에 대한 정화지표 식물에 이용하는 방법, 중금속류의 활성도를 식물에 이용하는 방법, 정화능력의 극대화 방안 및 오염 현장에의 적용 가능성 등에 대한 연구가 진행되고 있으므로 우리나라도 토착 식물을 이용한 중금속의 오염에 대한 자료를 마련하는 일이 시급하다. 따라서 본 연구는 울산 달천 광산 및 인근지역에 분포하고 있는 자연식생 및 농장물의 중금속 함량을 조사하여 식생 오염도를 파악하고 향후 phytoremediation의 기초 자료로 제공하고자 한다.

## 2. 본 론

### 2.1 재료 및 방법

#### 가. 식물상 채취

식물상의 채취는 식생이 비교적 양호한 삼림지역 4개 지역(P1~P4)과 광산 활동 등으로 형성된 나대지에 조성된 이차초본 식생지역 7개 지역(B1~B7)에서 중금속 분석을 위한 식물체 채집을 수행하였다. 또한 식물체내 중금속 함량의 비교를 위하여 달천 광산 인근 지역의 자연 식생지역 1개 지점과 농경지 1개 지점을 대조지역으로 선정하였다. 식물체의 채집방법은 선정된 지점에서 직경 2m 범위내 같은 개체를 채취하여 교목 및 관목층은 줄기와 잎으로, 초본층은 지상부와 지하부로 분리하고 각각 혼합하여 대표시료로 사용하였다.

#### 나. 식물상 중금속 분석

채취한 식물을 실험실에서 흐르는 수돗물과 증류수로 수차례 세척하여 이물질 제거 후 90°C에서 약 1시간 가열하여 성장을 정지시킨 후 건조하였다. 건조시킨 잎 및 초본류는 70°C에서 24시간, 목본 및 열매는 70°C에서 48시간이상 건조하여 분쇄기로 파쇄한 후 60mesh의 체에 통과시켜 식물체 중금속 분석을 위한 시료로 사용하였다. 중금속 분석은 원자흡광광도기(Varian, SpectroAA-220HT)를 사용하였으며, As의 분석을 위하여 VGA(Varian, VGA 77)를 부착하였다.

### 2.2 식물상 종류

달천 광산내 분포하는 식물상은 총 54과 101종으로 임상상태가 양호한 삼림지역(P지역)의 식생군락은 소나무-졸참나무 군락 및 밤나무-졸참나무 군락이며, 광산 활동이 이루어진 나대지에서는 어린 졸참나무 및 참억새 등의 이차초원 군락이 자생하고 있다. 또한 광산내 삼림이 형성된 일부지역에서는 농경지가 형성되어 파, 고추, 배추등 재배식물이 조성되어 있었다. 식물체 중금속 함량의 분석을 위하여 채취한 식생은 교목, 아교목, 초본 및 농작물로 구분하였다.

### 2.3 중금속 함량

#### 2.3.1 자연식생

조사지점별 식물체내 평균 Ni 함량은 Fig. 1과 같이 비교적 식생이 양호한 달천 광산 동측의 P지역(15.0~36.4mg/kg)이 광산활동이 이루어진 B지역(23.7~110.4mg/kg)보다 낮은 것으로 나타났다. 또한 평균 Zn 함량은 Fig. 2와 같이 P지역(65.5~162.1mg/kg)에 분포하는 식생의 Zn 함량이 B지역(44.2~120.3mg/kg)보다 높았으며, 평균 Cd 함량은 Fig. 3과 같이 P지역(2.0~9.1mg/kg)보다는 B지역(약 4.6~10.1mg/kg)에서 다소 높았다. 그러나 식물체의 평균 As 함량은 Fig. 4와 같이 P지역에서는 3.7~16.4mg/kg, B지역에서는 1.2~42.8mg/kg으로 다른 중금속과 비교하여 P지역과 B지역으로 구분되는 양상을 나타내지 않았다.

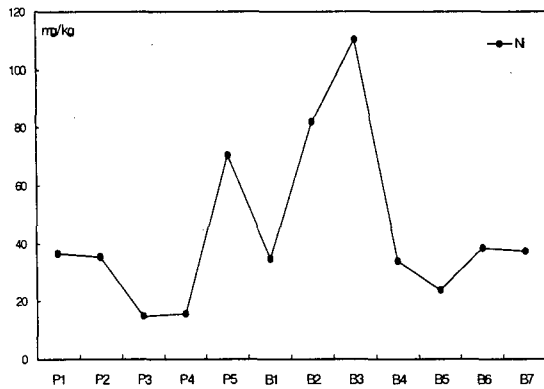


Fig. 1. The average Ni level of plants with investigation sites.

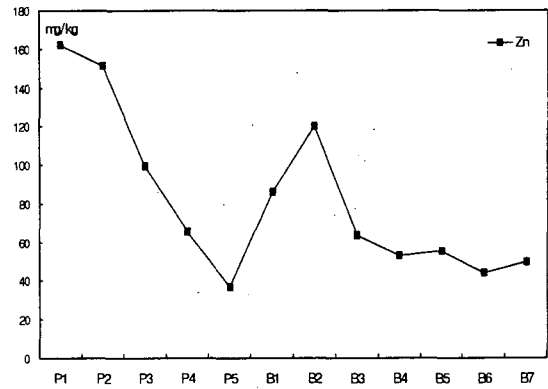


Fig. 2. The average Zn level of plants with investigation sites.

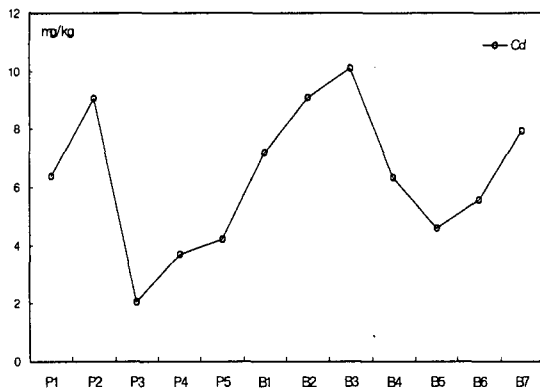


Fig. 3. The average Cd level of plants with investigation sites.

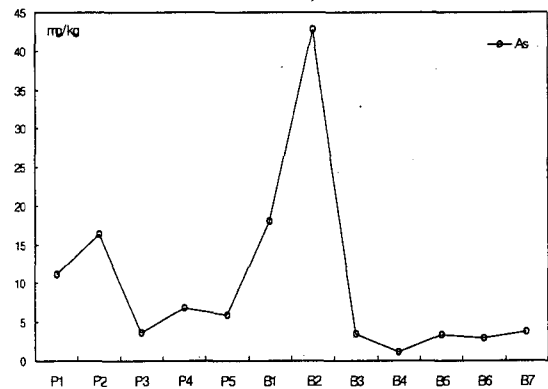


Fig. 4. The average As level of plants with investigation sites.

식물중에 따른 중금속의 평균함량을 비교하기 위하여 교목층과 아교목층에서는 같은 수종의 중금속 함량을 평균하고 초본층에서는 모든 종을 과(family)로 분류한 후 중금속 농도를 평균하여 Table 2.와 같이 정리하였다. 식생중에 따른 중금속 함량은 식물종 및 식물이 분포하는 위치에 따라 차이가 있으며, 수종별로도 Ni, Zn, Cd, As의 함량비가 다른 것으로 나타났다.

식생 층위에 따른 중금속 함량은 교목층, 아교목층, 초본층으로 구분하고 각 층위별로 식물체내 중금속 함량을 비교하기 위하여 P 및 B지역과 대조구로 구분하여 식물체내 중금속 함량을 층위별로 평균하여 Table 3.에 정리하였다. P지역의 경우 모든 체내 중금속 함량은 초본층>아교목층>교목층의 순으로 나타났으며, 초본층의 경우에도 초본류가 목본류에 비해 체내 중금속 함량이 높은 것으로 조사되었다. B지역에서는 Ni, Cd, As의 체내 함량은 초본층>아교목층>교목층, Zn은 초본층>교목층>아교목층의 순이었으며, As를 제외하고는 각 층위별 식생체내 중금속 함량의 차이는 그다지 크지 않았다. 초본층의 As 함량은 P지역에서는 아교목층에 비해 약 3.5배, 교목층에 비해 3~6배였으며, B지역에서는 아교목층에 비해 약 5.2배, 교목층에 비해 약 9.4배로 B지역에서는 층위별 식물체내 As 함량의 차이가 큰 것으로 나타났다.

식생 부위에 따른 식물체내 중금속 함량을 비교하기 위하여 P 및 B지역과 대조구로 구분하여 식물체내 중금속 함량을 부위별로 평균하여 Table 4.에 정리하였다. 아교목층 및 교목층의 부위별 중금속 함량은 모든 조사지점(P지역 및 B지역)에서 줄기보다 잎에서 높았으며, 중금속 함량의 차

이도 거의 없는 것으로 나타났다. 초본층의 부위별 중금속 함량은 P지역의 경우 초본층의 초본과 목본내 모든 중금속함량이 지상부에서 높은 것으로 나타났다. 초본의 경우 지하부에서 의 Ni, Zn, Cd 함량은 약 1.4~1.8배, As의 함량은 약 4배정도가 지상부에 비해 높았으며, 목본의 경우 Zn과 As의 함량은 약 2배, Ni과 Cd의 함량은 약 3배정도 높았다. B지역의 경우도 P지역과 마찬가지로 지하부의 중금속 함량이 높았으나 지하부의 Ni 함량은 약 19배, As 함량은 약 4배정도가 지상부에 비해 높았으며, Zn 및 Cd의 함량은 지하부 및 지상부에서 거의 유사하였다

Table 2. The average heavy metal level of species

(단위: mg/kg)

Heavy metals		Ni	Zn	Cd	As
Species of plants					
Tree's	<i>Pinus densiflora</i>	27.60	63.52	4.82	3.90
	<i>Quercus serrate</i>	15.75	69.91	2.62	2.88
	<i>Castanea crenate</i>	17.05	43.94	3.38	3.18
	<i>Quercus aliena BL.</i>	29.69	31.39	2.94	1.11
	<i>Quercus acutissima</i>	33.16	119.97	7.22	1.66
	<i>Corylus heterophylla .</i>	9.03	61.98	2.65	2.98
	<i>Aralia elata</i>	1.82	25.52	2.32	3.67
	<i>Thuja orientalis</i>	6.56	33.58	1.13	3.62
	<i>Robinia pseudo-acacia</i>	22.81	40.56	4.53	1.68
Shurb's	<i>Castanea crenate</i>	23.67	78.40	2.04	8.39
	<i>Zanthoxylum schinifolium</i>	30.82	38.70	4.70	3.03
	<i>Zanthoxylum piperitum</i>	29.44	49.42	7.11	0.41
	<i>Rhus orbiculatus</i>	20.13	20.88	3.81	2.78
	<i>Stephanandra incisa</i>	14.22	44.27	2.75	3.12
	<i>Clerodendron trichotomum</i>	2.04	25.60	0.85	2.44
	<i>Lindera obtusiloba</i>	45.19	33.62	2.13	3.87
	<i>Boehmeria spicata</i>	30.88	26.24	6.00	1.34
Tendrils	22.68	52.01	5.05	4.09	
Hurb's	<i>Gramineae</i>	56.84	72.50	6.96	8.19
	<i>Compositae</i>	59.27	88.14	7.33	14.44
	<i>Rosaceae</i>	52.20	68.96	4.50	10.56
	<i>Chenopodiaceae</i>	139.27	67.53	7.96	17.33
	<i>Polygonaceae</i>	21.78	43.70	4.72	2.83
	<i>Amaranthaceae</i>	-	113.95	-	3.18
	<i>Violaceae</i>	14.72	168.72	3.03	3.18
	<i>Plantaginaceae</i>	114.19	57.85	10.86	18.82
	<i>Solanaceae</i>	27.26	70.66	3.83	4.48
	<i>Leguminosae</i>	1.88	52.70	0.00	5.83
	<i>Commelinaceae</i>	51.76	58.37	4.43	9.00
	<i>Cyperaceae</i>	13.13	16.18	3.38	0.37
	<i>Portulacaceae</i>	34.56	147.52	8.72	14.09
<i>Rubiaceae</i>	36.56	90.48	7.75	3.86	

Table 3. 식생 층위별 식물체내의 평균 중금속함량  
(단위 : mg/kg)

Station		Heavy metals		Ni	Zn	Cd	As
		초본층	목본				
P	초본층	초본		32.56	122.58	6.34	18.60
		목본		12.86	60.69	2.12	8.64
	아교목층	목본		14.41	58.96	2.89	5.38
		교목층	목본		10.70	50.20	1.97
B	초본층	초본		62.67	72.88	7.66	12.25
	아교목층	목본		29.48	43.67	6.10	2.36
	교목층	목본		29.35	66.34	5.58	1.34
P5 (Comparison)	초본층	초본		84.87	36.47	4.63	6.97
	교목층	목본		27.74	54.71	5.37	1.10

Table 4. 식생 부위별 식물체내의 평균 중금속 함량  
(단위 : mg/kg)

Station			Heavy metals		Ni	Zn	Cd	As
			초본층	목본				
P	초본층	초본	지하부		44.40	158.35	7.48	34.77
			지상부		24.14	95.65	5.43	8.93
		목본	지하부		21.22	81.00	3.62	9.05
			지상부		3.76	54.48	0.68	3.97
	아교목층	목본	줄기		13.54	48.23	3.24	4.30
			잎		17.74	65.48	2.81	4.97
교목층	목본	줄기		6.83	36.45	1.78	3.35	
		잎		10.36	59.04	2.17	4.27	
B	초본층	초본	지하부		88.48	87.86	8.20	20.06
			지상부		46.52	64.54	7.16	7.55
	아교목층	목본	줄기		26.07	37.28	5.67	1.83
			잎		34.50	40.96	5.98	2.82
	교목층	목본	줄기		27.97	55.14	5.56	1.28
			잎		26.75	79.80	5.57	1.39
P5 (Comparison)	초본층	초본	지하부		145.41	29.35	4.65	12.53
			지상부		51.58	40.03	4.62	3.91
	교목층	목본	줄기		15.00	26.83	2.13	2.73
			잎		3.25	38.38	0.00	0.12

### 2.3.2 농장물의 중금속 함량

농작물중에 따른 중금속 함량을 비교하기 위하여 농작물 부위별로 측정된 중금속 함량을 평균 하여 Table 5.에 정리하였다. 농작물의 중금속 함량은 달천 광산보다 달천 광산 동남측에 위치한 대조지역 경작지의 농작물에서 Ni 및 As의 함량이 높은 것으로 나타났다. 또한 Cd 함량은 대조지역 농작물보다 광산내 농작물에서 높은 함량을 보였으며, Zn 함량은 유사한 것으로 나타났다. 채취한 농작물중 광산지역과 대조지역에서 중복되는 종은 무와 겨울초밖에 없었으므로 광산지역과 대조지역의 오염정도를 비교할수 있을 것으로 판단되었다. 따라서 이들의 체내 중금속 함량을 비교한 결과 겨울초는 대조지역보다 달천 광산지역의 농작물에서 모든 중금속 함량이 높은 것으로 나타났다. 그러나 무의 경우에는 Ni 함량은 대조지역에서, As 함량은 광산지역에서 높았으며, Zn 과 Cd 함량은 유사하게 나타났다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 울산 달천 광산내에 분포하는 식물상 및 식생을 파악하고 식생의 중금속 오염 현황을 등을 조사하였다.

달천 광산내 식물상은 총 54과 101종으로 식생은 소나무, 졸참나무 및 밤나무가 주를 이루는 식재 이차림이며 나대지에서는 자생적으로 생육한 초본류에 의한 이차초원이 형성되어 있는 것으로 조사되었다.

달천 광산내 분포하는 자연식생에서 4종류의 중금속 함량을 조사한 결과 달천광산의 서측 외곽 지역(B1~B3)을 중심으로 식생내의 Ni, As, Cd의 함량이 높았으며, Zn은 전 조사지점에 관계없이 유사한 범위인 것으로 나타났다. 수목종별로는 초본류중 벼과 및 국화과에서 중금속 함량이 가장 높았으며, 교목의 경우 상수리나무, 소나무, 밤나무, 초피나무, 생강나무에서 높은 것으로 나타났다. 초본류는 지상부(잎 및 줄기)비해 지하부(뿌리)에서 Ni, Zn, Cd 함량이 약 1.4~1.8배, As 함량이 약 4배정도 높은 것으로 나타났다. 수목의 경우는 잎이 줄기보다 다소 높은 중금속 함량을 보였으나 중금속류에 의한 함량의 차이는 거의 없는 것으로 나타났다. 이상의 결과를 종합하면 중금속의 축적은 초본류에서 가장 높았으므로 초본류의 중금속 함량을 (지상부/지하부)로 산정하여 2를 초과하는 경우 중금속 축적종으로 규정하여 중금속 종류에 따라 축적종을 선정하였다. 선정된 중금속 축적종은 이 지역 토양의 중금속을 흡수할 수 있는 능력이 있을 것으로 판단되므로 식물을 이용한 중금속 제거(phytore-mediation)를 고려할 경우 이용 가능할 것으로 판단된다. 달천광산 인근에서 재배되는 농작물은 경남일대를 비롯한 다른 지역의 농작물의 중금속 함량보다 다소 높은 것으로 나타났으며, 특히 As는 약 10배 이상의 높은 함량으로 보였다.

#### 4. 참고 문헌

1. 정희돈, 이재숙, 菜蔬園의 栽培종歷 菜蔬 및 土壤의 重金屬含量에 미치는 影響, J.Kor. Soc. Hort. Sci. 22(1), pp 1-8, 1981
2. 김명찬, 성낙기, 심기환, 이민호, 이재인, 晉州地方의 園藝作物中 重金屬含量, KOR. J. FOOD SCI. TECHNOL. 13(4), pp 299-306, 1981
3. 김병우, 數種植物의 生育에 미치는 重金屬의 影響에 關한 研究, Korean J. Ecology 5(4), pp 176-186, 1982
4. 김종갑, 김재생, Soft X-ray分析에 의한 大氣汚染地域에서 자란 海松(Pinus thunbergii)의 年輪의 特徵, Jour. Korean For. Soc. 80(4), pp 351-359, 1991
5. 김종갑, 溫山工團 周邊의 森林植生에 關한 調查, Korean J. Ecol. 15(1), pp 231-246, 1992
6. 김종갑, 溫山工團 周邊 海松林의 草本植生에 關한 調查, Korean J. Ecol. 15(3), pp 247-255, 1992
7. 김복영, 土壤中 重金屬含量이 과, 상처의 重金屬吸收 및 生育에 미치는 影響, Korean J. Enviro. Agric. 14(3), pp 253-262, 1995
8. 강인구, 류홍일, 최광수, 황동진, 김대선, 권명희, 박재성, 여인석, 전영주, 重金屬에 대한 生體暴露 評價에 關한 研究, Report of NIER. Korea 18, pp 11-17, 1996
9. 이민호, 이길철, 이문순, 윤정기, 이종천, 정성웅, 이군택, 강진규, 장성희, 土壤中 有害物質 殘留 現況 調查(II), Report of NIER. Korea 20, pp 259-270, 1998
10. 김경웅, 1997, 달성광산지역 토양의 중금속함량 분석결과와 평가, J of Korean Society of Groundwater Environment 4(1), pp 20-26, 1998

11. 정명채, 전효택, 삼보 연-아연광상 주변 농경지에서의 중금속함량의 계절적 변화와 환경오염, 한국자원공학회지 35, pp 19-29, 1998
12. 민일식, 송석환, 김명희, 충남 금산 폐탄광지역의 토양 및 식물체내 중금속 오염, J of KoSES 3(2), pp 41-51, 1998
13. 송석환, 김명희, 민일식, 장인수, 충남 서부 백동 사문암지역 식물체의 중금속 함량, J of KoSES 4(2), pp 113-125, 1999
14. 조해용, 최창하, 곡교천 주변의 토양과 자생식물의 중금속분포에 관한 연구, 환경영향평가 9(4), pp339-348