

공장지역 도로변 야생식물들의 중금속 축적

최윤정¹⁾ · 이종석²⁾

¹⁾ 양주시 농업기술센터 · ²⁾ 서울여자대학교 자연과학대학 환경생명과학부

Heavy Metal Accumulation in Wild Plants on the Roadside of Industrial Areas

Choi, Yun Jeang¹⁾ and Lee, Jong Suk²⁾

¹⁾ Yangju city Agricultural Technology Center,

²⁾ Division of Environmental and Life Sciences, College of Natural Sciences, Seoul Women's University.

ABSTRACT

This study was conducted to investigate the heavy metal accumulation in wild plants. The samples from 5 plant species on 14 sites were taken on the roadside where urban and industrial regions in northern Gyeonggi do. *Artemisia princeps* var. *orientalis*, *Chenopodium album* L. var. *centrobrum*, *Erigeron canadensis* L., *Rumex crispus* L. and *Taraxacum platycapum* H. Dahlst were taken from different parts of the plants gathered in surveyed sites for analysing. This study classified which species were suitable to accumulators, excluders, or indicators which were provided as Phytoremediation for heavy metals(Cd, Cr, Ni, Pb and Zn) and considered the applicability of that work.

1. The mean accumulation of 6 heavy metals in plants was as follows; Zn> Cu> Cr> Pb> Ni> Cd in rows except for Ni and Pb in *Erigeron*.

2. The highest heavy metal accumulators were *Taraxacum* and *Artemisia*.

3. The comparison of heavy metal accumulations between the tops and roots in the plants was as follows; Zn> Cd> Pb> Ni> Cu> Cr.

4. Comparison of heavy metal accumulations between tops and roots, root parts were higher than the top parts in most of the plants. Especially, in *Taraxacum*, a ratio was over 1.0 in Cr, Ni, and Zn. Therefore, *Taraxacum* was an accumulator for 3 heavy metals. And *Erigeron*, *Chenopodium*, *Rumex*, *Artemisia* were good for excluders which had lower than 1.0.

Key Words : *Phytoremediation*, *Accumulator*, *Excluders*, *Taraxacum*.

Corresponding author : Choi, Yun Jeang, Yangju city Agricultural Technology Center,
Tel : +82-31-820-5622, E-mail : miinchoi@kg21.net

I. 서 론

최근 급진적인 산업화와 도로 교통량의 폭주로 인해 발생하는 유독성 오염물질에 의한 환경 오염은 자연생태계와 인간의 생활환경에 유해한 요소로 대두되고 있다(Mellor and Revan, 1999; 김정규 등, 1999).

생태계 내 중금속 오염에 대한 종합적인 평가는 오염원의 확산방지와 정화를 목적으로 수행되었고 오염물질의 특성에 따라서 토양의 정화방법은 물리적, 화학적 및 생물학적인 방법 등을 사용하여 왔다(김정규 · 이상환, 1999). 오염된 토양을 정화하는데 있어서 식물을 이용하는 생물학적 방법은 처리비용이 저렴하고 정화과정에서 환경교란을 최소화할 수 있는 환경친화적 기술이란 점에서 1990년대 이후부터 관심이 높아지고 있다(박종선 등, 2002).

식물을 이용한 정화기법은 중금속 축적종(accumulator) 및 초축적 식물종(hyperaccumulator)을 이용하여 토양 중에 존재하는 금속을 뿌리조직에서 흡수하도록 하고 지상부 조직에 이동시켜 축적하게 한 후 수확하여 정화시키는 식물추출방법(phytoextraction), 그리고 고농도의 중금속에 대한 내성식물을 이용하여 토양 중에서 중금속의 이동성 및 생물학적 유효도를 감소시켜서 토양 내에서 확산을 차단하고 고정시키는 식물안정화(phytostabilization)기법이 대표적인 기술이다(강병화 등, 1998).

특정 금속이 고농도로 존재하는 토양에서 생육하는 내금속성 식물들에 대한 보고는 오래전부터 있어왔는데 일반적으로 토양 중에서 금속의 농도에 관계없이 금속을 0.1%이상 축적할 수 있는 식물종들을 축적성이 있다고 하였다(김정규 · 이상환, 1999). 각종 금속에 대한 축적종으로 알려진 식물들은 중금속이 다량 함유된 특정 지역에서만 서식하는 토착종이 대부분인데 금속을 고농도로 함유하고 있는 토양에서 발견되는 내금속성식물(metillophyte)은 광물의 탐사에 이용되기도 하였

다(김정규 · 이상환, 1999).

지금까지 중금속 축적식물에 관한 연구는 자생지에서의 초축적종들이 체내 중금속함량과 성장형태에 초점을 두고 진행되어 왔고, 오염지역에서 생육하고 있는 식물들을 조사, 분석하는 현장조사와 몇 가지 식물들에 대하여 인공적으로 중금속의 투여량을 높여 주고 흡수량을 분석하는 방법들(김현아 등, 2002)이었다.

그러나 이러한 연구들은 대부분 단일 중금속에 대한 조사로 국한되어 있고 공장 및 도로변 오염지를 대상으로 한 중금속 축적종에 대한 연구는 거의 없었으며 여러 종류의 중금속을 동시에 조사하여 중금속간의 상호관련성을 알아보는 연구는 지금까지 시도된 바가 없었다.

따라서 본 연구에서는 중금속 오염 우려지역인 공장지역 도로변의 식물체를 현장 조사하여 모든 지역에 우점하는 식물을 선택하고 그 식물들에서 Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn 등 6종의 주요 중금속 축적정도와 상관관계를 보고 중금속 원소들간, 식물종간, 식물체 부위별 흡수능력 등을 비교하여 Phytoremediation에 이용할 적합한 식물체를 선발코자 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 시료 채취

경기도 북부지역에 소재한 공장지역 14개소를 선정하였고, 각 지역별 교통량과 공장매연 발생량을 조사하여 환경오염 정도의 척도로 사용하였다. 대조지역으로는 상수도 보호구역을 선정하였다. 시료의 채취 지점은 공장지역을 관통하는 주요도로의 반경 10m이내에서 채취하되 2003년 5월과 6월 사이의 건조한 시기에 대상 지역별 3개 지점에서 하였다.

식물체는 조사지역 14개소에서 공통적으로 분포하는 우점종 초본류인 망초(*Erigeron canadensis* L.), 명아주(*Chenopodium album* L. var. *centrobrum*), 민들레(*Taraxacum platycapum* H. Dahlst.), 소리

쟁이(*Rumex crispus* L.), 쑥(*Artemisia princeps* var. *orientalis*(P_{AMPAN}) H_{ARA}) 등 5종을 선택하였고, 각각의 식물체는 종별로 5개체 이상에서 지상부와 지하부로 구분하여 생체중 200g정도를 채취하였다.

2. 시료조제 및 분석방법

채취한 식물체는 흐르는 물에 깨끗이 씻은 후 통풍 건조기 내에서 5일 동안 완전히 건조시킨 다음 분쇄하여 분석에 사용하였다. 식물체 내 중금속 함량의 분석은 시료 2g을 삼각플라스크에 칭량한 후 농질산(Conc. HNO₃) 10ml를 가하여 하루 밤을 방치한 다음 전열판에서 서서히 가열하여 진한 갈색 연기가 다 날아가면 전열판에서 내려 식혔다. 분해액인 Ternary solution(HNO₃ : H₂SO₄ : HClO₄=10 : 1 : 4) 20ml를 가하여 열판(hot plate)에서 분해액의 색깔이 무색이 될 때까지 가열한 후 식히고 Toyo No. 6 여과지로 여과한 후 증류수첨가 100ml로 맞추어 유도결합플라σμα 발광광도계(ICP-OES, Integra XMP, Australia)로 정량하였다.

3. 통계처리

조사된 식물체들의 중금속 축적정도를 비교하기 위해서 SAS(Version 8.0)프로그램을 이용하여 평균 및 변량 간의 상관관계를 조사하였고 군집분석(Clustering analysis), 주요인 성분분석(Principal components analysis) 및 Mantel test는 NTsys (Version 2.11)를 이용하여 분석하였고(Legendre Pierre and Legendre Louis, 1998), Mantel test

statistics를 사용하여 적합도를 표시하였고 그 결과는 Table 1에 의하여 판정하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 식물의 중금속 축적 특성

조사지역에서 우점하고 있는 망초, 명아주, 민들레, 소리쟁이, 쑥 등 5종류의 식물들은 우리나라 어디에서나 흔히 볼 수 있는 식물들로서 유사 중금속 내성식물(김현아 등, 2002)이며 광산지역이나 폐광지역 등에서도 쉽게 찾아 볼 수 있으며 식물체 내 중금속 축적량은 Figure 1과 같았다.

식물체별 중금속 축적 순위를 살펴보면, 망초에 축적된 6종의 중금속은 Zn> Cu> Cr> Ni> Pb> Cd순이었고, 명아주, 민들레, 소리쟁이, 쑥은 Zn> Cu> Cr> Pb> Ni> Cd 순이었다. 망초에 있어서 Ni, Pb간 순서가 바뀐 것을 제외하면 중금속 축적 순서는 Zn> Cu> Cr> Pb> Ni> Cd으로서 식물체에 가장 많이 축적된 중금속은 Zn이었고 가장 적게 축적된 중금속은 Cd였는데, 정기채 등(1993)에 의하면 식물체 내의 중금속 함량은 Cu, Zn> Cd라는 보고와 유사한 결과로 나타났다. Zn과 Cu의 식물체 내 축적이 상대적으로 많았던 것은 식물의 필수원소로 그 축적량이 많았을 경우에만 독성을 나타내는 중금속(김계훈·김권래, 2000)이었기 때문으로 생각되었다.

식물체에 축적된 중금속의 군집분석결과는 크게 4그룹으로 구분인 것으로 판단되었고 Ni와 Pb

Table 1. Interpretation of the results fitness.

Level	Interpretation
$0.9 \leq r$	Very good fit
$0.8 \leq r < 0.9$	Good fit
$0.7 \leq r < 0.8$	Poor fit
$r < 0.7$	Very poor fit

r : Standardized Mantel statistics.

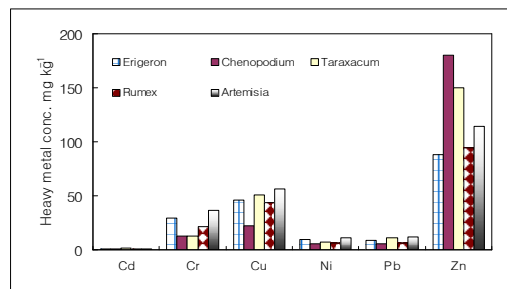


Figure 1. Mean heavy metal accumulations in plant species of surveyed sites in industrial areas.

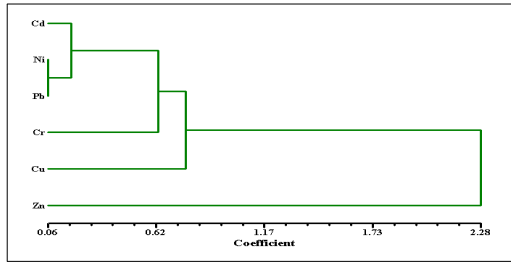


Figure 2. Clustering analysis of 6 heavy metals content on the basis of heavy metal accumulations in plants.

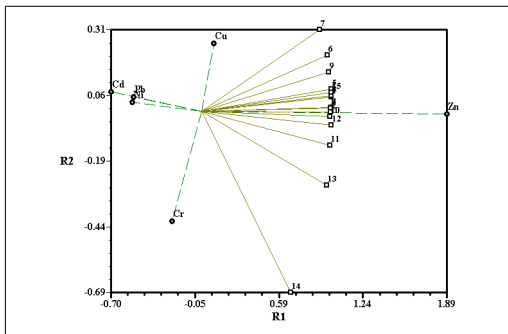


Figure 3. Principal components analysis(2-dimension) of 15 surveyed sites and 6 heavy metals content on the basis of heavy metal accumulation in plants.

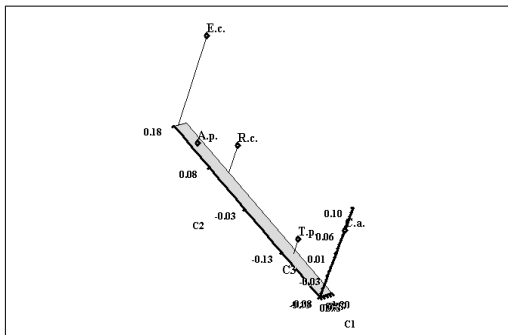


Figure 4. Principal components analysis of 5 plant species on the basis of heavy metal content in plants.

* Plant species : E. C.(*Erigeron canadensis* L.), C. a. (*Chenopodium album* L. var. *centrobrum*), T. p.(*Taraxacum platycapum* H. Dahlst.), R.c.(*Rumex crispus* L.) A. p. (*Artemisia princeps* var. *orientalis*(PAMPAN) HARA).

은 하나의 그룹으로 묶여있어서 식물체 내에 축적경향이 같은 원소들이므로 판단되었다. Cu

와 Zn의 축적량은 다른 원소들에 비해 상대적으로 많았는데, 식물종들을 그룹화 하는 중요한 요인으로 추정되었다(Figure 2).

Figure 4는 식물 5종들 간의 중금속 축적량을 기준으로 한 주요 성분분석결과로 식물체 내 축적된 중금속들 간 주요인 성분분석(Figure 3) 및 군집분석결과(Figure 2)에서 나타난 바와 같이 소리쟁이와 쭉, 명아주와 민들레가 서로 가장 유사한 중금속 축적 경향을 보였다(Figure 5). 이는 앞서 중금속에 대한 주요 성분분석 결과에서 나타난 바와 같이 Ni과 Pb이, Zn와 Cu의 축적농도 차가 식물체들을 그룹으로 묶는데 중요요인이 되었던 것으로 판단되었다. 따라서 같은 그룹으로 묶인 명아주와 민들레, 소리쟁이와 쭉은 두가지 식물 중에서 어느 한 종만을 선택하여 중금속 축적량을 조사한다 하더라도 식물체 축적정도를 평가할 수 있을 것으로 생각되었다.

Pb은 교통량이 많은 고속도로면 식물체에 함량이 높았다는 몇몇 연구결과(김종갑 · 김재생, 1990)가 있었는데 본 연구 결과에 있어서도 비슷한 결과로 나타났다. 식물체 내에 축적된 중금속 간의 단순 상호관계를 보면 Cd은 Cu, Pb과 Cu는 Pb, Zn과 Pb은 Zn과 상관관계가 높게 나타나서(Table 2) 자동차 배출가스가 식물체 중금속 축적에 영향

Table 2. Correlation coefficients among heavy metal in plants of surveyed sites in industrial areas.

Heavy metals	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Cd	1.00000	-0.26333 (0.3430)	0.85770 (<.0001)	0.18884 (0.5003)	0.80971 (0.0003)	0.68128 (0.0052)
Cr		1.00000	-0.14630 (0.6029)	0.32352 (0.2395)	-0.03231 (0.9090)	-0.16020 (0.5685)
Cu			1.00000	0.45088 (0.0916)	0.77067 (0.0008)	0.85729 (<.0001)
Ni				1.00000	0.17368 (0.5359)	0.45300 (0.0899)
Pb					1.00000	0.68955 (0.0045)
Zn						1.00000

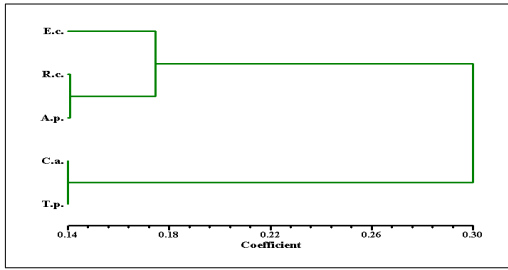


Figure 5. Clustering analysis of 5 species on the basis of heavy metal content in plants.

* Plant species : E.C.(*Erigeron*), C.a.(*Chenopodium*), T.p.(*Taraxacum*), R.c.(*Rumex*), A.p.(*Artemisia*).

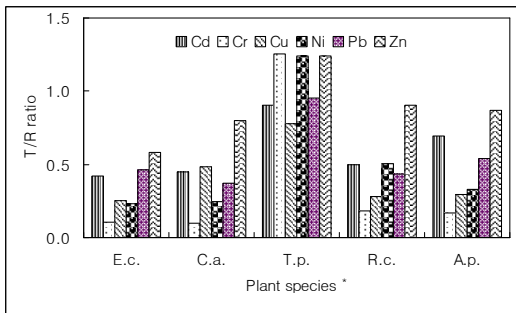


Figure 6. T/R ratio of heavy metals in plant species of surveyed sites in industrial areas.

* Plant species : E.C.(*Erigeron*), C.a.(*Chenopodium*), T.p.(*Taraxacum*), R.c.(*Rumex*), A.p.(*Artemisia*).

을 주고 있다는 것을 시사해 주고 있었다. 특히 Cd와 Cu, Cu와 Zn은 다른 원소에 비해 고도의 정의 상관관계를 갖고 식물체 내에 축적되어 있었다.

2. 각 원소별 식물체의 중금속 축적

Cd에 대한 조사대상 식물들의 축적정도는 민들레> 썩> 망초> 소리쟁이> 명아주 순으로 1.19, 1.00, 0.68, 0.56, 0.51mg kg⁻¹이었고, Cr은 썩> 망초 > 소리쟁이> 민들레> 명아주 순으로서 각각 36.37, 29.23, 21.18, 12.88, 12.60mg kg⁻¹ 이었다. Cu는 썩> 민들레> 망초> 소리쟁이> 명아주 순위 이었고 각각 56.51, 50.78, 46.06, 43.31, 22.28mg kg⁻¹ 이었고, Ni은 썩> 망초> 민들레 > 소리쟁이> 명아주 순으로 각각 11.09, 9.32, 7.45, 6.61, 5.58mg kg⁻¹ 이었다. Ni은 Cr이나 Cu의 경우에서

Table 3. Mantel test between the matrices of correlation coefficients on the basis of 6 heavy metals content in 5 plant species.

Plant species*	Level (r)	t	z	Interpretation
E. c.×R. c.	0.7521	2.8139	2.8077	Poor fit
E. c.×C. a.	0.8835	2.2080	3.3057	Good fit
E. c.×T. p.	0.6912	3.8474	2.5861	Very poor fit
E. c.×A. p.	0.5834	2.9160	2.1828	Very poor fit
C. a.×T. p.	0.6124	2.2794	1.2179	Very poor fit
C. a.×R. c.	0.5987	2.4391	1.4633	Very poor fit
C. a.×A. p.	0.4229	1.9548	1.0945	Very poor fit
T. p.×R. c.	0.5297	2.0060	2.7827	Very poor fit
T. p.×A. p.	0.4934	1.8963	3.7530	Very poor fit
R. c.×A. p.	0.6784	1.9044	2.5375	Very poor fit

* Plant species : E.C.(*Erigeron*), C.a.(*Chenopodium*), T.p.(*Taraxacum*), R.c.(*Rumex*), A.p.(*Artemisia*).

처럼 썩이 가장 높았고, 명아주가 가장 낮았으나 소리쟁이는 썩에 비해 약 1/2정도 낮았다. Pb은 썩이 명아주보다 약 2배정도 높았고, 식물의 종류에 따른 차이는 썩> 민들레> 망초> 소리쟁이> 명아주 순위로서 각각 12.06, 10.82, 8.67, 6.65, 5.83mg kg⁻¹ 이었다. Zn의 축적은 명아주> 민들레> 썩> 소리쟁이> 망초 순위이었는데 각각 180.50, 144.66, 114.85, 95.17, 88.92mg kg⁻¹ 이었다. 그러므로 Cd과 Zn을 제외하면 5종의 식물들 중에서 썩이 중금속의 축적량이 가장 많았다(Figure 1).

생육기간에 따른 식물의 중금속함량 조사결과(정기채 등, 1993)를 보면 Cd의 축적 농도는 다년생> 월년생> 1년생 순위라고 하였고, Cu는 1년생> 다년생> 월년생이라고 보고된 바 있어서 본 연구결과에서 나타난 다년생> 월년생> 1년생의 순위와 비슷하였으며, Zn은 다년생, 월년생, 1년생이 모두 비슷하다고 보고 되었으나 본 연구 결과에서는 1년생> 다년생> 월년생 순으로 나타나서 차이가 있었다.

5종의 식물들 간 중금속 축적관계는 Table 3에서 나타난 바와 같이 망초와 명아주가 식물체 내 중금속 축적에 있어 통계적 유의성을(Good fit) 갖는 유사성을 보였고, 주요인 성분분석결과(Figure

3) Cd, Ni, Pb이 서로 연관성이 높은 것으로 나타났다.

그러므로 이후에 수행될 연구는 망초와 명아주 두 종류 중에서 한종을 선택하여 중금속 축적량을 조사하더라도 같은 결과가 얻어질 수 있을 것으로 판단되었다.

식물체의 중금속 축적정도는 같은 종의 식물이라 할지라도 조사지역에 따라서 축적정도가 다르고, 토양내의 중금속농도, 오염원, 기상 등 생육 및 재배조건에 따라 서로 다른 결과가 나타남(천선희 · 김종희, 1996)을 알 수 있었다. 그러나 본 연구결과는 망초를 제외한다면 명아주, 민들레, 소리쟁이, 쑥의 중금속간 축적순위가 같았다. 특히 쑥과 민들레는 같은 국화과 식물로서 휴 · 폐광지에서 식물자원 탐색 결과(김정규 등, 1999)에서 나타난 바와 같이 본 연구결과에 있어서도 중금속에 대한 내성이 우수한 식물종으로 판단되었다.

3. 식물체 부위별 중금속 축적

5종의 식물에 있어서 중금속 축적에 대한 지상부/지하부 축적비율(T/R율)을 보면, Cd는 민들레가 0.90으로 가장 높았고 지상부가 지하부에 비해 많은 축적비율을 보였다.

조사된 6종의 중금속 Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn등은 5종류의 식물들 중 T/R율을 기준으로 볼 때 지상부 중금속 축적이 민들레에서 가장 많았던 것으로

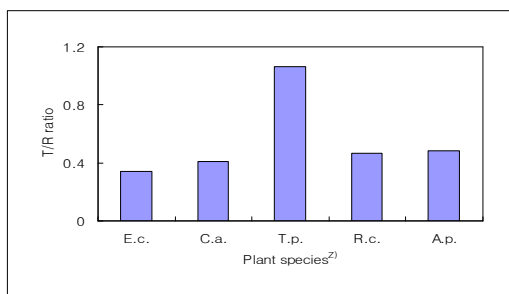


Figure 7. T/R ratio of total heavy metal contents in all plants species of surveyed sites in industrial areas.

* Plant species : E.C.(*Erigeron*), C.a.(*Chenopodium*), T.p.(*Taraxacum*), R.c.(*Rumex*), A.p.(*Artemisia*).

나타났다(Figure 7). 조희두(1999)는 광주지역 수목을 대상으로 한 중금속 축적 연구에서 Zn, Cr, Cu는 잎보다 뿌리에 축적량이 많았다고 하였는데, 본 연구에서도 민들레의 경우를 제외한다면 모든 식물종들이 지상부보다 지하부에 중금속 축적이 많았다.

식물체 내에서 금속이온의 이동량이나 범위는 중금속의 종류와 식물의 기관과, 식물체의 연령 등에 따라서 다른데(Alloway, B.J., 1995), Zn과 Cd는 식물체의 지상부까지 쉽게 이동되고 Ni, Cu는 중간정도 Cr, Pb는 이동성이 극히 낮고, Pb, Cu같은 중금속은 대기 중에 머물다가 토양에 흡착되거나 식물체의 기공을 통하여 잎에 흡수되는데 이때 토양을 통해 뿌리부근에서 흡수되는 것과 잎에서 흡수되는 것은 상호간에 이동이 거의 없다(천선희 · 김종희, 1996)하였다. 본 연구결과로 미루어 볼 때 식물체에 축적된 중금속 원소들의 지하부와 지상부간 축적비를 비교해보면 Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn은 모두 지상부에 비해 지하부의 축적이 많았고, 축적비는 Zn > Cd > Pb > Ni > Cu > Cr 순으로 각각 0.88, 0.59, 0.55, 0.51, 0.42, 0.36이었는데 Zn과 Cd의 이동성이 좋은 편이었고 Cr이 가장 낮았다고 생각되었다.

식물체 내에 중금속 축적량은 민들레와 쑥이 거의 같은 수준으로서 가장 많았고, 명아주가 그 다음이었으며 망초와 소리쟁이 순이었다. 정기채 등(1993)은 다년생이 일년생이나 월년생보다 중금속함량이 높은 경향을 보였다고 하였는데, 조사된 중금속의 경우, 민들레와 쑥은 다년생으로 거의 같은 수준의 축적을 보였으나, 망초는 2년초, 소리쟁이는 다년생으로서 서로 다른 생활상을 갖고 있는 식물종끼리 비슷한 정도의 중금속이 축적되어 생육기간에 따라 일관성을 보이지는 않았다.

식물체의 지상부에 축적된 중금속함량의 차이는 Zn > Cu > Cr > Pb > Ni > Cd 순으로 각각 117.38, 24.52, 7.86, 6.34, 4.79, 0.61 이었고, 지하부는 Zn > Cu > Cr > Pb > Ni > Cd 순으로 각각 133.38, 63.05, 37.04, 11.27, 11.24, 0.97 으로서

지상부와 지하부에 축적된 중금속함량 간 차이의 순위는 같았으며 지상부와 지하부에 축적된 중금속간에는 정비례 하였다.

민들레는 조사된 중금속 6종 중에서 Cr, Ni, Zn의 지상부 축적이 지하부보다 많은 것으로 나타났다는데, 식물체들 간에 T/R값은 민들레>쑥>소리쟁이>명아주 >망초 순위였고 이들의 생활형을 구분해 볼 때 다년생>1년생>2년생 순으로 지상부로의 이행이 낮아지는 경향을 보여 다년생이 1년생이나 2년생에 비해 생육기간이 길어 지상부로의 중금속 이행이 오랫동안 진행되어 나타난 것으로 생각되었다. 민들레는 T/R이 1.06으로 0.34인 망초에 비해 지상부로의 중금속의 이행이 약 3배나 많았다.

식물학적 오염토양 정화방법은 식물체의 중금속 축적능이 중요하지만 특히 식물추출방법은 뿌리조직에서 토양 중에 존재하는 중금속을 흡수하고 지상부로 수송하여 조직에 축적시킨 후 수확하여 정화시키는 방법으로 지상부의 축적량이 중요하다. 그러므로 유용한 식물체는 지하부에 비해 지상부의 중금속 축적율이 1.0 이상인 것을 그 대상으로 한다(김현아 등, 2002). 민들레(*Taraxacum*)는 중금속 Cr, Ni, Zn의 경우 T/R율이 1.0보다 높아 여기에 해당되었다. 그러나 식물체는 대체적으로 지상부에 비해 지하부에 중금속을 더 많이 축적하고 있는데, 본 연구결과에서도 망초(*Erigeron*), 명아주(*Chenopodium*), 소리쟁이(*Rumex*), 쑥(*Artemisia*)은 지상부에 비해 지하부에 중금속을 더 많이 축적하고 있는 것으로 조사되었다(Figure 7). 따라서 민들레는 다른 조사 식물들과 달리 지상부로의 중금속 축적이 많아 T/R비가 가장 높았고, Cr, Ni, Zn의 중금속 축적식물로 식물추출방법을 이용한 생태정화용 대상 식물로 사용할 수 있을 것으로 생각되었다.

김현아 등(2002)은 포사격장에 쑥을 전체 중량 100ton을 재배할 때 Cd 0.6kg, Cu 1.4kg, Pb 0.2kg, Zn 3.5kg을 제거하는 효과가 있다 하였고, 광미퇴적장에 골풀을 재배한다면(정병연 등, 1990) Cd

0.86kg, Cu 1.4kg, Pb 2kg, Zn 2.4kg을 제거할 수 있다 하였다. 본 연구 대상지인 공장지역 도로변에서 민들레의 지상부를 전체 중량 100ton을 재배·수거할 경우 Cr 1.43kg, Ni 0.8kg, Zn 16.6kg 제거가 가능할 것으로 추정되었다. 그리고 본 대상지역처럼 중금속 축적정도가 심하지 않을 경우 물리·화학적 방법보다는 식물학적 오염토양 정화방법이 적합하며, 지역의 식물종을 이용하므로 외부 식물 종의 도입으로 인한 생태적 교란도 최소화할 수 있을 것으로 생각되었다.

이외에 망초, 명아주, 소리쟁이, 쑥은 지상부/지하부 축적비(T/R)가 1.0 이하로 차단종이라 생각되고, 민들레와 쑥은 국화과로 김정규 등(1999)의 보고에서 국화과식물이 중금속에 대한 내성이 있다 하였는데, 본 연구에서도 국화과 식물들이 중금속에 대한 내성이 있는 것으로 판단되었다.

IV. 결 론

본 연구는 산업화와 도시화가 급격히 진행되는 수도권 인근지역의 중금속오염이 우려되는 공장지역 도로변 14곳에서 우점하는 민들레, 쑥, 망초, 소리쟁이, 명아주등 5종의 야생식물에 축적된 중금속의 정도를 조사하였다. 본연구의 목적은 지속적인 산업 활동의 원인으로 발생될 수 있는 대기오염원과 식물의 중금속 축적과의 관계를 통해, 중금속 오염지에 대한 식물복원 개량대책을 위한 기초 자료로서 사용코자 식물종들의 축적종, 차단종으로서 활용 가능성을 알아 보고자 한 결과는 다음과 같다.

1. 식물체 내 평균 중금속 축적 농도는 망초 내 Ni, Pb의 차이를 제외하면 Zn> Cu> Cr> Pb> Ni> Cd 순이었다.
2. 식물체에 축적된 중금속 간에는 Cd는 Cu, Pb과 Cu는 Pb, Zn과 Pb은 Zn과 서로 유의성이 있는 상관관계가 나타났다.
3. 식물체에 축적된 중금속의 주요인 성분분석결과 Cd, Ni, Pb은 서로 유사한 축적경향을 보였다.

4. 조사된 5종의 식물 중 민들레에 중금속의 축적량이 가장 많았고 썩도 거의 같은 수준이었는데 전체적으로 보면 민들레, 썩> 명아주> 망초> 소리쟁이 순위이었다.

5. 식물체 내에 축적된 중금속의 지상부/지하부 비율을 비교하면 Zn> Cd> Pb> Ni> Cu> Cr 순위로 Zn이 지하부에서 지상부로의 이행이 가장 잘되는 중금속이었다.

6. 식물체별 지상부/지하부 중금속 축적 비율은 민들레> 썩> 소리쟁이> 명아주> 망초의 순으로 민들레가 5종의 식물 중에서 가장 지상부로의 중금속 이행이 가장 잘되었다.

7. 식물체들은 대부분 지하부가 지상부보다 중금속축적이 많았는데 민들레의 경우 Cr, Ni, Zn의 지상부/지하부의 비율이 1.0이상으로 나타났다. 즉 지상부의 축적이 높아 식물학적 오염토양 정화방법에서 축적종 식물로 적합하다고 판단되었고, 차단종은 지상부/지하부 비율이 1.0 이하인 망초, 명아주, 소리쟁이, 썩이라고 판단되었다.

인 용 문 헌

강병화 · 심상인 · 이상각 · 김광호 · 정일민. 1998. 중금속 오염에 대한 Phytoremediation 용 야생식물 연구. 한국환경농학회지 17(4) : 312-318.

김계훈 · 김권래. 2000. 경기도 하남시 토양의 중금속 함량 분포 조사. 한국환경농학회지 19(4) : 345-350.

김정규 · 이상환. 1999. 식물을 이용한 토양복원 Phytoremediation. 한국환경농학회 1999년도 심포지움 <환경복원 기술 및 동향> 및 학술발표회 논문집. pp. 57-88.

김정규 · 임수길 · 이상환 · 이창호 · 정창윤. 1999. 휴 · 폐광지역 오염토양의 phytoremediation을 위한 식물자원 탐색. 한국환경농학회지 18(1) : 28-34.

김종갑 · 김재생. 1990. 남해고속도로변의 식수목에 대한 토양 및 엽의 오염물질함량에 대한 연구. 한국임학회지 79(4) : 352-358.

김현아 · 배범한 · 장운영 · 이인숙. 2002. 철광산 및 포사격장 식물의 중금속 축적에 관한 연구. 한국생태학회지 25(1) : 7-14.

박종선 · 신중두 · 한성수 · 윤덕중. 2002. 미나리 재배에 의한 중금속 오염수의 식물정화. 한국환경농학회지 21(2) : 122-129.

신현식 · 유병열 · 김용성 · 이재호 · 이봉규 · 임종현 · 김태영. 2000. 대기중 중금속과 가로수의 상관성에 관한 조사연구. 충청북도 보건환경연구원보 9 : 91-109.

정기채 · 김복진 · 한상국. 1993. 아연광산 인근 지역 야생식물중의 중금속 함량 조사. 한국환경농학회지 12(2) : 105-111.

정병연 · 이향교 · 박하주 · 이정자 · 정상번 · 김영봉. 1990. 잡초를 이용한 중금속 오염지 환경개선. 경상북도 보건환경연구소연보 3 : 185-192.

조희두. 1999. 광주지역에서 주요 수목의 대기오염물질과 중금속 흡수 정화기능에 관한 연구. 한국임학회지 88(4) : 510-522.

천선희 · 김종희. 1996. 마산시 도로 주변 은행나무와 양버즘나무의 잎과 수피 및 토양의 중금속 함량. 한국생태학회지 19(3) : 241-249.

Alloway, B. J. 1995. Heavy metals in soils. UK. Blackie Academic & Professional. Glasgow. pp. 368.

Legendre Pierre and Legendre Louis. 1998. Numerical ecology. Second English edition. Elsevier Science B. V, Amsterdam. pp. 551-557.

Mellor A. and J. R. Revan. 1999. Lead in the soils and stream sediments of an urban catchment in tyneside, UK. Water, Air and Soil Pollution 112 : 327-348.

接受 2005年 8月 19日