

곡교천 주변의 토양과 자생식물의 중금속분포에 관한 연구

조해용 · 최창하
선문대학교, 환경공학과

A Study on the Distribution of Heavy Metals in Soils and Native Plants of Goggyochun

Cho, Hae-Yong · Choi, Chang-Ha
Department of Environmental Engineering, Sunmoon University

Abstract

This study was conducted to investigate the distribution pattern of plants on the streamside of Goggyochun, and to survey the distribution of heavy metal-contaminated soils and plants. A total of 11 survey sites were selected along the Goggyochun during the period of between June and September 1999. The wet land plants were composed of 44 species. The most frequently occurring species in the study sites were *Rumex crispus*, *Persicaria hydropiper*, *Cyperus amuricus* and *Setaria viridis*, and among them the *Humulus japonicus*, *Erigeron canadensis* and *Phragmites communis* species were dominants of the community. Analysis of soil properties showed that organic matter and clay contents were higher in the upstream region while sand content was higher in the downstream region. The pH and the organic matter contents of soils were at range of 6.70-9.94 and 2.39-15.16% respectively. The average contents of Pb and Cd in soils were 11.96mg/kg and 1.64mg/kg respectively, and these values were higher as compared with those of ordinary soil in Korea. The average contents of Zn and Pb in *Persicaria hydropiper* were 8.30mg/kg and 7.38mg/kg respectively, and these values were higher than other plants. The distribution of heavy metals in plants varied in accordance with the species regardless of the sites.

Key words : Heavy metal, Soil, Plant absorption, Plant distribution, Goggyochun

I. 서론

토양은 공기, 물과 더불어 지구의 제 3의 환경

매체로서 인간뿐만 아니라 동·식물의 생존기반이라는 절대적인 기능을 갖고 있으며 환경의 핵

심부분이다. 최근 우리나라는 급속한 도시화와 산업화에 의해서 각종 중금속 및 유해물질들에 의한 토양오염이 사회적으로 심각한 문제로 대두되고 있다. 토양오염은 대기나 수질오염과는 달리 그 영향이 서서히 진행되며 그 피해가 동·식물을 통해서 간접적으로 나타나기 때문에 그 동안 소홀히 다루어졌다. 그러나 토양 내에 축적된 중금속은 식물체내로 흡수되어 식물자체의 생육에 영향을 줄뿐만 아니라 먹이사슬에 의해 식물체를 소비하는 고등생물체내에 축적되고 최종적으로 인간에게까지 직·간접적으로 피해를 줄 수 있다¹⁾는 측면에서 더 이상 미룰 수 없는 문제가 되었다. 우리나라의 경우 토양환경의 보전정책의 일환으로 1996년 토양환경보전법이 제정되면서 본격적으로 토양오염의 현황을 파악하고 오염된 토양에 대한 정화와 복원계획 등을 수립하게 되었다. 그러나 오염지역의 정화 및 복원분야의 기술수준은 아직 국내 여건 및 인식부족으로 인하여 선진국에 비해 상대적으로 낮은 실정이다²⁾. 일반적으로 토양오염은 주로 물리·화학적 정화 방법과 생물적 정화방법을 이용하여 처리하고 있다. 물리·화학적 방법은 생물적 방법에 비해 토양정화에 소요되는 시간을 단축시킬 수 있고 오염정도가 심한 지역에서도 적용시킬 수 있는 장점을 가지고 있으나, 경제적인 측면에 있어서 막대한 처리비용과 노동력이 요구되는 단점이 있다. 최근에 식물을 이용한 오염토양의 정화기술(Phytoremediation)은 처리비용이 저렴할 뿐만 아니라 생태적인 기능을 복원하는데 있어 2차적인 환경 피해를 최소화할 수 있는 이점 때문에 활발하게 연구가 추진되고 있다³⁾. 이미 선진국에서는 중금속으로 인한 토양오염에 대한 정화지표 식물종의 선정방법, 중금속류의 활성도를 식물에 이용하는 방법, 정화능력의 극대화 방안 및 오염현장에의 적용 가능성 등에 대한 연구가 진행되고 있다⁴⁾. 우리나라도 이러한 식물을 이용한 중금속의 오염에 대한 자료를 마련하는 일이 시급하다.

따라서 본 연구는 하천변의 토양과 자생식물체내의 중금속함량의 조사를 통해 식물체를 이용한 중금속 제거 가능성을 파악함으로써 오염된 토양을 정화하는데 대한 기초자료를 제시하는데 목적을 두고 있다.

II. 재료 및 방법

1. 조사지의 현황

본 연구의 조사지역인 곡교천은 충남 연기군 전의면에서 발원하여 아산시를 동서로 관류하고, 하류에서 삼교천과 합류하여 아산만으로 유입한다. 하천의 유로연장은 42.9km이며, 유역면적은 532km²이다(Fig. 1). 중앙내륙지방에 위치하고 있어 한반도의 기후형인 온대온순형 기후이며, 서해안 해양성기후의 영향을 받아 겨울철과 여름철의 온도차가 심한 편이다. 연평균 온도는 13.3°C이며, 연평균 최고온도는 34.7°C, 연평균 최저온도는 -16.0°C로서 연교차가 심하다⁵⁾. 연강수량은 1,262mm로 우리나라의 연평균 강수량보다 약간 많은 편이며, 7월에서 9월의 월평균 강수량은 100mm 이상이고, 1월과 2월은 20mm 이하의 적은 양이다. 따라서 식물의 분포는 강수량보다 저온에 의하여 제한될 것이 예상된다.

2. 식생의 분포조사

지형도(1:50,000)를 이용하여 상류지역인 천안시와 아산시의 경계인 휴대리 지점에서 시작하여 아산만까지 11개 지점에서 식생분포를 조사하였다⁶⁾(Fig.1). 종의 동정과 명명은 한국의 발잡초⁷⁾, 자생식물 대백과⁸⁾ 및 한국의 자원식물⁹⁾을 참고로 하였다. 1999년 6월부터 9월에 걸쳐서 곡교천 주변의 조사지점을 무작위로 선정하고, 각 지점에서 1m×1m 크기의 방형구를 3-5개씩 설정

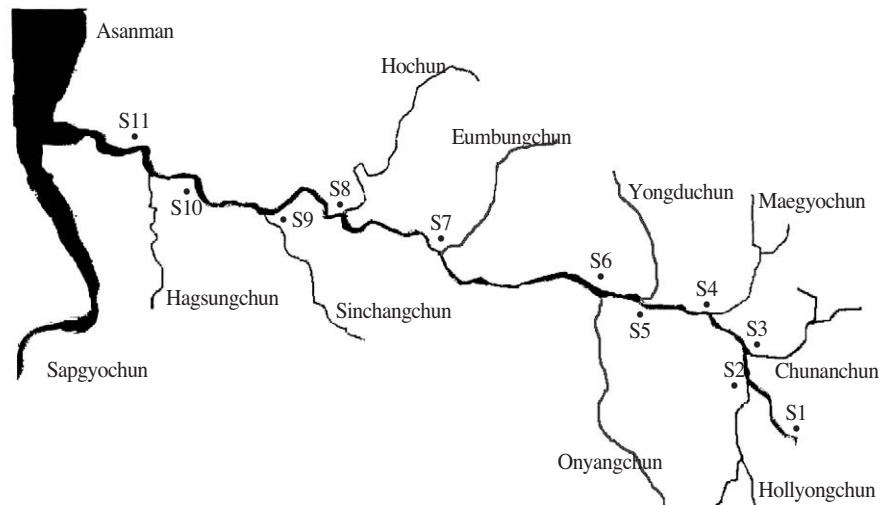


Fig. 1. Map for the survey sites in Goggyochun

하여 그 속의 모든 식물종에 대하여 피도를 조사하였다. 우점도는 Braun-Blanquet¹⁰⁾의 등급(Cover Scale)에 따라 75%이상, 50-75%, 25-50%, 10-25%, 10%미만으로 나누어 각각 5에서 1까지의 수를 부여하였다. 또한 각 조사지점은 하천수의 가장 자리 7m내에서 가능한 물과 가까운 곳에 설치하였다.

3. 토양의 분석

곡교천의 11개 조사지점마다 3개 지점을 선정하여 0-15cm 깊이의 토양을 1kg씩 채취하여 음건 조한후 토양의 특성을 조사하였다. 토성은 hydrometer법으로 분석하였다. 토양의 pH는 저토를 2mm체로 쳐서 자갈을 제거한 후 5g을 증류수 25ml로 1시간 진탕후 여과하여 LaMotte-pH Meter로 측정하였다¹¹⁾. 유기물함량은 저토를 Dry Oven(105°C)에서 48시간 건조시킨후 Furnace에 넣어 500-600°C에서 4시간동안 작열시킨후 유기물 소실량을 건량에 대한 백분율에 계산하였다¹²⁾. 토양의 중금속함량은 음건토 10g을 삼각프라스크

에 평량한후 0.1N-HCl용액 50ml를 가하고 상온에서 회전 진탕기로 1시간 진탕한후 No.6 여과지로 여과한 다음 그 여액을 ICP(Inductively Coupled Plasma Spectrophotometer)로 Zn, Cu, Cd, Pb, Cr등 중금속을 측정하고 표준액과 비교하여 각각의 함량을 산출하였다¹³⁾.

4. 식물체내의 중금속함량

식물체는 수돗물에 깨끗이 세척한 후에 음지에서 건조후 종이봉투에 넣어 80°C 전기건조기내에서 4일간 재건조하여 식물체 분쇄기로 분쇄하였다. 분말 3g을 칭량하여 삼각프라스크에 넣고 Ternary solution(HNO₃ : HClO₄ : H₂SO₄=10 : 4 : 1) 20ml를 가하여 열판상에서 가열 분해하고 그 분해액에 물을 넣어 희석하고 No.6 여지로 여과하였다. 그 여액을 ICP(Inductively Coupled Plasma Spectrophotometer)를 이용하여 Zn, Cu, Cd, Pb, Cr등 중금속을 측정하고 표준액과 비교하여 각각의 함량을 산출하였다¹⁴⁾.

III. 결과 및 고찰

1. 식생의 분포

본 조사에서 밝혀진 식물의 종은 총 18과 44종으로 파악되었다. Braun-Blanquet의 우점도(Dominance)등급에 따라 곡교천의 하천변에 서식하고 있는 식물들의 우점도는 Table 1과 같다. 우점도의 등급이 3이상으로 나타난 종은 *Humulus japonicus*, *Persicaria hydropiper*, *Erigeron canadensis*, *Chenopodium album*, *Persicaria thunbergi*, *Echinochloa crus-galli* var. *caudata* 및 *Phragmites communis* 등이다. 이들 식물은 화분과(Compositae)와 마디풀과(Polygonaceae)에 속하며 우리나라 각지의 낮은 지대의 냇가 및 도랑가 또는 하천변의 물가 습지에 자생하는 대표적인 종이다. 환삼덩굴이 채취된 지점중 50%가 우점도의 등급이 3으로 주로 순군락을 형성하며 서식하고 있다. 조사지점별로 종의 다양성에 있어서는 상류지역과 하류지역의 차이를 보이고 있다. 상류지역(S1-5지점)에서는 지점별 평균 11.2종이 채취되었으나, 하류지역(S6-11지점)에서는 지점별 15.3종이 발견되어 하류지역이 상류지역보다 종의 다양성을 나타내고 있다. 하류지역인 S10지점에서는 21종이 채취되었으며, 이는 곡교천 주변에서 채취된 종의 약 50%에 해당된다. 반면 최상류 지역인 S1지점의 경우는 쑥과 갈대가 우점종이며, 각각의 순군집을 이루고 있고, 그 밖에 *Persicaria hydropiper*, *Persicaria thunbergi* 및 *Setaria viridis* 등의 습지성 식물이 부분적으로 나타나고 있다. 상류지역은 대체로 호안의 지형경사도가 심하여 습지식물이 서식하기에 적합하지 않고, 반면 하류지역은 호안이 평탄하고 높이 형성되어 있어 다양한 식물이 서식할 수 있는 자연적인 조건을 갖고 있다. 또한 종들의 출현빈도에 있어서도 상류지역과 하류지역에서 상당히 차이를 보이고 있다. 조사지역에서 빈도가 가장 많은 종은 *Panicum dichotomiflorum*으로

서 11개 지점중 10개 지점에서 출현하였다. 즉 절대빈도가 90.9%가 되고, 그 다음은 *Rumex crispus*가 72.7%를 차지하고 있다. 조사지역에서 발견된 44종중에 10종만이 절대빈도가 50%이상으로 나타났다. *Artemisia princeps* var. *orientalis*의 경우 절대빈도가 45.5%로 나타나고 있으나 다른 식물의 하부에서 자라며 생물량이 낮아 군집내에서의 역할은 크지 않을 것으로 보여진다. 한편 *Persicaria perfoliata*, *Rumex acetosa*, *Eclipta prostrata*, *Calystegia sepium* var. *americana*, *Solanum nigrum* 등 15종은 조사지점에서 단 한번만 출현하였다. 이들 식물은 하천의 폭이 넓은 지역에서 잘 생육하는 식물이나 장마철에 상당 기간동안 물에 잠긴 상태에 적응능력이 적어 개체수가 줄어든 것으로 사료된다.

2. 토양환경

곡교천주변의 식생분포와 식물체내의 중금속함량에 미치는 환경요인을 알아보기 위해 토양의 특성을 조사하였다(Table 2). 토성의 분석은 일반적으로 상류지역이 하류지역에 비해 점토의 성분이 많았으며, 사토의 함량은 하류지역에 더 높은 것으로 나타났다. 토양 pH에 있어서는 상류와 하류지역의 특성을 찾아 보기 어려우나 지점별로는 상당히 큰 차이를 나타내고 있다. pH는 생태계에서 중요한 환경요인으로 토양중금속 원소들의 존재 형태에 대한 예측을 가능하게 하는 좋은 지침으로 이용할 수 있다. 토양은 일반적으로 pH가 5.0-8.0일 때 양이온 형태의 중금속을 쉽게 흡착하며, 식물체는 토양에 흡착된 중금속을 쉽게 흡수할 수 있다¹⁵⁾. 전체 조사지점의 토양 pH는 6.70-9.42의 범위에 있으므로 중성과 약알칼리성을 보이고 있다. 따라서 토양에서 배출된 중금속은 지점 S2, S5, S10을 제외한 나머지 지점에서는 쉽게 식물체에 흡수될 것으로 보여진다. 토양의 pH가 가장 높은 지점은 천안천과 합류하는 봉강철교에서 9.42로 나

Table 1. A list of major plant species found at the 11 survey sites on the streamside of Goggyochun

Species	Site No. acronym	Survey Sites											Frequency (%)	
		s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7	s8	s9	s10	s11		
<i>Humulus japonicus</i>	HUJA	1	3			3	3	3	+	1	1		54.5	
<i>Persicaria hydropiper</i>	PEHY	1	3		3		+	+	3	r			63.6	
<i>Persicaria filiforme</i>	PEFI									r			9.1	
<i>Persicaria nodosa</i>	PENO	r	r	2	2						+	r	54.5	
<i>Persicaria thunbergi</i>	PETH	1			1	2		3		r			36.4	
<i>Persicaria perfoliata</i>	PEPE				r								9.1	
<i>Cyperus amuricus</i>	CYAM		+		1	+	+	+	r	r			63.6	
<i>Portulaca oleracea</i>	POOL		r				1						18.2	
<i>Amaranthus lividus</i>	AMLI		1		1	r	2						36.4	
<i>Rorippa islandica</i>	ROIS		1	1	+			r		1			45.5	
<i>Panicum bisculatum</i>	PABI				1	+		1		2		r	45.5	
<i>Panicum dichotomiflorum</i>	PADI		+	1	2	1	+	2	1	1	2	1	90.9	
<i>Setaria viridis</i>	SEVI	1		3	r			1	+	1	1		63.6	
<i>Setaria glauca</i>	SEGL		r	+									18.2	
<i>Digitaria sanguinalis</i>	DISA			2						1	+	1	+	45.5
<i>Bidens frondosa</i>	BIFR			1	1		r	r		1		1	54.5	
<i>Rumex crispus</i>	RUCR			r	1	r	1	+	+	+	1		72.7	
<i>Salvia plebeia</i>	SAPL			r	r			+					27.3	
<i>Echinochloa crus-galli</i> var. <i>oryzicola</i>	ECOR				r	1		r	3	r	+	r	63.6	
<i>Rumex acetosa</i>	RUAC				r								9.1	
<i>Eclipta prostrata</i>	ECPR				r								9.1	
<i>Echinochloa crus-galli</i> var. <i>caudata</i>	ECCA			3	3	+	2	+		r	r	r	63.6	
<i>Phragmites communis</i>	PHCO	3				3		1	+	3	+	3	45.5	
<i>Calystegia sepium</i> var. <i>americana</i>	CASE					r							9.1	
<i>Artemisia princeps</i>	ARPR	3				1		1	1	1	+		45.5	
<i>Solanum nigrum</i>	SONI					r							9.1	
<i>Paspalum thunbergi</i>	PATH					1						1	18.2	
<i>Clinopodium chinense</i> var. <i>parviflorum</i>	CLCH					r			+				18.2	
<i>Trifolium repens</i>	TRRE					1		2	1		1		36.4	
<i>Lindernia procumbens</i>	LIPR						1						9.1	
<i>Stellaria aquatica</i>	STAQ							r	+	r	r		36.4	
<i>Miscanthus sinensis</i> var. <i>purpurascens</i>	MISI							+			+		18.2	
<i>Aeschynomene indica</i>	AEIN							r			+		18.2	
<i>Sonchus asper</i>	SOAS								r				9.1	
<i>Erigeron canadensis</i>	ERCA					3				3	3		9.1	
<i>Erigeron annuus</i>	ERAN								r		+		18.2	
<i>Oenothera odorata</i>	OEOD								r				9.1	
<i>Ixeris dentata</i>	IXDE								r		+		18.2	
<i>Datura stramonium</i>	DAST									r	r		18.2	
<i>Kochia scoparia</i>	KOSC									+			9.1	
<i>Taraxacum mangolicum</i>	TAMA										1		9.1	
<i>Vicia tetrasperma</i>	VITE										r		9.1	
<i>Chenopodium album</i>	CHAL						3				3		9.1	
<i>Typha angustata</i>	TYOR											3	9.1	

r : Solitary, with small coverage. + : Few, with small coverage. 1 : Scattered, with coverage up to 10 %.

2 : with coverage 10 ~ 25 %. 3 : with coverage 25 ~ 50 %. 4 : with coverage 50 ~ 75 %.

5 : with coverage more than 75 %

Table 2. Properties of soils from sampling sites along the Goggyochun

Soil	Site No.	Upstream					Downstream					
		s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7	s8	s9	s10	s11
Soil Texture(%)												
	Sand	82.0	79.5	83.0	84.5	84.0	84.7	83.7	84.0	83.6	87.1	85.5
	Clay	12.2	13.5	13.0	12.3	10.4	12.5	10.2	12.4	11.0	11.2	10.9
	pH	6.93	9.42	7.71	7.53	9.25	7.95	7.56	6.70	6.79	8.62	7.84
	Organic matter(%)	15.16	2.29	5.75	10.17	2.39	4.69	3.38	4.12	3.81	3.64	3.89

타났으며, 하류지역인 강청교 부근에서는 6.70으로 가장 낮았다. 인근 지역은 여러 공장과 주거지역에서 유입된 폐수에 의해 다른지점에 비해 하천오염이 심각하여 호안부에 정수식물이 출현되지 않았다. 한편 토양의 유기물함량은 무기성분과 중금속의 흡착과 밀접한 관련이 있다. 본 조사지역의 유기물함량은 평균치가 5.39%로 대부분의 지점에서 대체적으로 우리나라 경작지 토양의 평균함량인 2-3%보다 높았다. 상류지역의 유기물함량은 평균 7.15%인데 비해 하류지역은 3.92%로서 약 1.8배의 비교적 뚜렷한 차이를 나타내고 있다. 이는 상류지역은 주로 삼림과 농지지역인 반면 하류지역은 큰 도로와 인접하고 있기 때문에 유기물의 공급원이 차단된 때문인 것으로 보여진다.

지점별로는 최상류 지역인 1지점에서 토양의 유기물이 가장 높은 15.16%를 함유하고, 그 다음

은 지점 S4에서 10.17로 나타났다. 이 두 지점 부근에 많은 소규모의 축사들이 위치하고 있으므로 축산폐수에 의해 토양의 유기물함량이 높은 것으로 분석된다.

토양시료의 중금속함량은 0.1N HCl 침출법에 의해 이루어졌으며, 곡교천 11개 지점의 Zn, Cu, Pb, mg/kgCd 및 Cr 농도 측정 결과를 Fig. 2와 Fig. 3에 나타냈다. 토양중 Pb의 평균함량은 11.96mg/kg이고, Cd의 평균함량은 1.64mg/kg로 일반 토양보다는 Pb의 경우 상당히 높게 나타났고, Cd의 경우는 약간 높았다. 일반적으로 오염되지 않은 농경지 토양내의 Pb는 5.37mg/kg, Cd는 0.13mg/kg으로 보고되고 있다¹⁶⁾. 우리나라 경작지 토양에서 Pb의 함량은 4.16-4.63mg/kg이고, Cd의 함량은 1.16-0.127mg/kg으로 보고하고 있다¹⁷⁾. Pb의 경우 곡교천의 상, 하류에서 유사하게 함유하

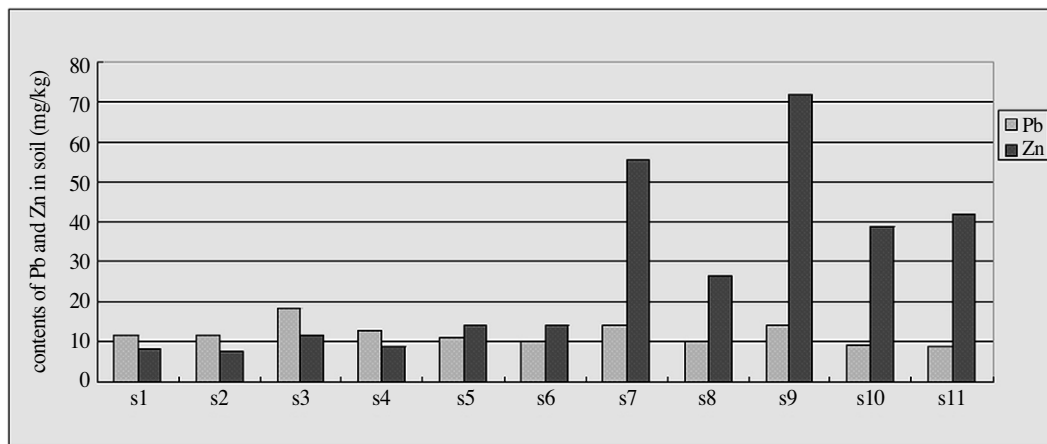


Fig. 2. Variation of Pb and Zn contents by sampling sites on the Goggyochun

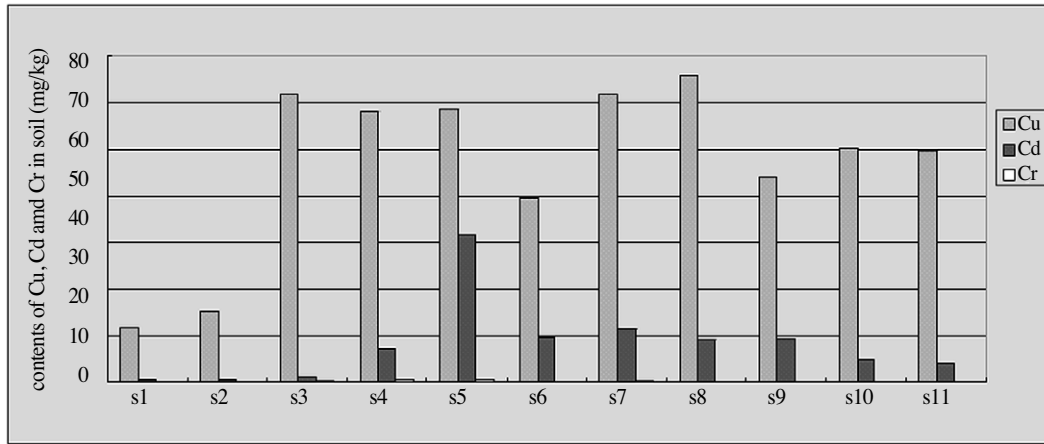


Fig. 3. Variation of Cu, Cd and Cr contents by sampling sites on the Goggyochun

고 있었으나, Cd의 경우에는 조사지점에 따라 상당히 큰 차이를 보이고 있다. Pb의 함량이 가장 높은 S3지점은 교통량이 비교적 많은 온양대로와 봉강철교가 통과하는 지점인데, 우리나라의 일반적으로 오염되지 않은 지역에 비해 3배이상으로 나타났다. Cd의 경우 S7지점이 2.31mg/kg으로 가장 높게 나타났다. 이는 주변지역에 제지산업과 화학제품을 생산하는 공장들로부터의 폐수유입으로 인해 토양에 축적된 것으로 사료된다. Cu와 Zn의 함량에 있어서도 곡교천의 상류인 S1과 S2를 제외하고는 모든 지점에서 우리나라 일반토양의 함량을 초과하고 있다. Cu의 경우 S3에서부터 S8까지 유사하게 나타났으나 하류지점인 S9, S10, S11에서 함량이 급격히 줄어들었다. 이는 Cu의 농도가 여름철에 집중 호우로 인해 상류에서 토사가 하류로 유입되어 새로이 퇴적된 토양에 의한 영향으로 사료된다. 조사지역의 Cr의 평균함량은 0.06mg/kg으로 우리나라의 평균치와 유사한 경향을 보이고 있으며, S1과 S10지점에서는 전혀 검출되지 않았다. 곡교천 주변지역의 토양에 중금속함량은 대체로 토양환경보전법 상의 토양오염 우려기준과 대책기준의 범위내에 있었으나, Cr을 제외한 다른 중금속류는 우리나라 일반토양의 평균함유량보다 상당히 상회하는 지점도 있었다.

3. 식물체내의 중금속함량

토양채취 지역과 동일한 11개 지점에서 각지점별로 2종의 우점종을 선정하여 식물체내의 중금속함량을 측정된 결과는 Table 3와 같다. 식물체내에 함유된 중금속의 평균축척치는 Zn 6.33mg/kg>Pb 4.93mg/kg>Cu 2.42mg/kg>Cd 0.60mg/kg>Cr 0.58mg/kg의 순으로 많았다. 이는 토양의 중금속함량이 많은 것이 식물체내에서도 유사한 경향으로 나타났다. 조사지점과 자생식물의 종류에 따라 중금속 축척정도가 상당한 차이를 보였다. Zn의 경우 전체 조사식물중 마디풀과인 *Persicaria hydropiper*가 평균 8.30mg/kg으로 가장 높게 나타났다. 조사지점별로 살펴보면, S4지점에서 16.01ppm로 가장 많이 함유하고 있고, 반면 S2지점에서는 3.55mg/kg으로 가장 적게 나타났다. *Typha angustata*, *Chenopodium album* 및 *Echinochloa crus-galli* var. *oryzicola*는 각각 1.57mg/kg, 2.55mg/kg, 2.53mg/kg을 함유하고 있어 식물종에 따라 상당한 차이를 보이고 있다. Pb의 함유량은 *Persicaria hydropiper*, *Artemisia princeps*, *Erigeron canadensis*, *Rumex crispus*, *Humulus japonicus* 순으로 많았으며, 각각의 평균치가 7.38mg/kg, 7.23mg/kg, 6.79mg/kg, 5.58mg/kg,

Table 3. Concentrations in various kind of plants at different sampling sites

Site	Scientific name	Concentrations of heavy metals(mg/kg)				
		Pb	Cd	Cu	Cr	Zn
s1	<i>Artemisia princept</i>	7.23	0.98	2.02	0.56	3.56
	<i>Phragmites communis</i>	5.51	0.51	2.07	0.21	5.04
s2	<i>Persicaria hydropiper</i>	2.57	0.87	1.04	0.35	3.55
	<i>Humulus japonicus</i>	5.24	0.82	4.27	0.62	11.36
s3	<i>Echinochloa crus-galli</i> var. <i>caudata</i>	6.54	0.34	1.59	ND	5.55
	<i>Setaria viridis</i>	2.52	ND	1.08	ND	3.09
s4	<i>Persicaria hydropiper</i>	12.01	1.08	4.02	1.07	16.01
	<i>Echinochloa crus-galli</i> var. <i>caudata</i>	8.09	0.21	0.53	0.42	4.03
s5	<i>Phragmites communis</i>	1.03	0.58	2.57	0.54	10.53
	<i>Erigeron canadensis</i>	11.06	0.51	4.55	1.03	11.07
s6	<i>Chenopodium album</i> var. <i>centrorubrum</i>	6.02	0.37	2.03	0.47	8.02
	<i>Humulus japonicus</i>	3.07	0.84	4.06	0.73	12.54
s7	<i>Persicaria thunbergi</i>	1.52	1.24	0.56	1.02	3.58
	<i>Humulus japonicus</i>	7.05	0.92	3.01	0.91	10.02
s8	<i>Echinochloa crus-galli</i> var. <i>oryzicola</i>	2.53	ND	0.59	ND	2.53
	<i>Persicaria hydropiper</i>	7.56	1.13	1.53	1.47	4.58
s9	<i>Phragmites communis</i>	3.52	0.75	2.02	0.65	10.05
	<i>Erigeron canadensis</i>	5.58	0.52	4.02	1.04	10.02
s10	<i>Erigeron canadensis</i>	2.52	0.63	11.56	0.86	3.09
	<i>Chenopodium album</i> var. <i>centrorubrum</i>	2.04	0.21	1.51	0.36	2.55
s11	<i>Typha angustata</i>	1.08	0.42	0.56	0.35	1.57
	<i>Phragmites communis</i>	4.53	0.66	ND	0.32	2.07

* ND : not detectable

5.06mg/kg으로 나타났다. S4와 S5지점에서 채취한 식물체내에서 비교적으로 높게 나타나고 있으며, 하류지역인 S10지점에서는 다른 지점에 비해 상당히 적게 함유하고 있다. *Phragmites communis*의 경우 조사지점에 따라서 Pb의 함유량이 최상류인 S1과 최하류인 S11에서 높았고, 반면 중류에서 대체로 낮게 나타났다. 특히 *Persicaria thunbergi* (1.52mg/kg)와 *Typha angustata* (1.08mg/kg)은 다른 조사식물체에 비해 Pb의 함유량이 상당히 미량이었다. Cu의 평균함량은 *Erigeron canadensis* (8.05mg/kg), *Rumex crispus*(4.02mg/kg), *Humulus japonicus*(3.53mg/kg) 순으로 나타났으며, *Erigeron canadensis*는 *Rumex crispus*보다 Cu의 함량이 2배 정도 높다. 따라서 Cu에 의해 오염된 토양에 *Erigeron canadensis*를 이용하여 토양복원을 할 수

있을 것으로 사료된다. Cd과 Cr은 Zn과 Pb에 비해 식물체내에 상당히 미량으로 축적되어 있었다. *Persicaria hydropiper*, *Persicaria thunbergi*의 경우 Cd의 함량이 가장 많을 뿐아니라 Cr의 함량도 다른 조사식물체에 비해 높았다. *Setaria viridis*의 경우 Cd과 Cr이 전혀 나타나지 않았다.

IV. 결 론

본 연구에서는 1999년 6월부터 9월까지 곡교천의 상류지역에서 아산만부근의 하류에 이르기까지 11개의 조사지점을 선정하여 자생식물의 분포, 토양과 식물의 중금속분포 등을 조사하였다.

1. 곡교천 주변지역에서 18과 44종의 식물들이 조

사되었다. 순군락지를 형성하여 자생하는 우점 종들은 *Humulus japonicus*, *Persicaria hydropiper*, *Erigeron canadensis*, *Chenopodium album* 및 *Phragmites communis* 등이다. 이들 식물들은 화본과, 국화과 및 마디풀과에 속하며 하천주변에 서식하는 대표적인 습지식물이다. 일반적으로 가장 흔히 나타나는 종으로는 *Rumex crispus*, *Persicaria hydropiper*, *Cyperus amuricus*, *Setaria viridis*, *Echinochloa crus-galli* var. *caudata* 등으로 출현빈도가 높은 종들이다.

2. 토양을 분석한 결과, 상류지역에 점토가 많았고 하류지역으로 갈수록 모래성분이 증가하는 추세였다. 식물이 토양의 중금속을 흡수하는데 중요한 역할을 하는 pH는 6.70-9.42범위에 있었다. 지점 S2, S5 그리고 S10을 제외한 나머지 지점에서는 토양의 중금속이 식물체내로 쉽게 흡수될것으로 사료된다. 유기물은 상류지역이 하류지역보다 상당히 많이 함유하고 있었으며, 평균함유량은 5.39%로서 우리나라 일반 경작지에 비해 2-3%가 높게 나타났다. 토양의 중금속함량은 조사지점과 성분에 따라 상당한 차이를 보였다. Pb와 Cd의 평균함량은 각각 11.96mg/kg, 1.64mg/kg으로 우리나라 일반 토양보다 Pb의 경우 상당히 높았고 Cd은 약간 상회하였다. Cu와 Zn에 있어서도 S1과 S2를 제외하고는 일반 토양의 함량을 초과하였다. Cr의 경우 평균함유량이 0.06mg/kg으로 우리나라의 평균치와 유사하게 나타났다.
3. 식물체내에 함유된 중금속의 평균축척치는 Zn 6.33mg/kg>Pb 4.93mg/kg>Cu 2.42mg/kg>Cd 0.60mg/kg>Cr 0.58mg/kg의 순으로 많았다. 이는 토양의 중금속함량이 많은 것이 식물체내에서도 유사하게 나타난 것으로 볼 수 있다. Zn과 Pb에 있어서 *Persicaria hydropiper*가 평균 8.30mg/kg, 7.38mg/kg으로 조사식물중에 가장 많이 함유하고 있었으며, *Erigeron canadensis*의 경우 Cu의 성분이 다른 식물에 비해 상당히

높게 나타났다. 따라서 *Persicaria hydropiper*와 *Erigeron canadensis*등이 토양정화식물로서 가치가 있다고 사료된다. 이러한 연구결과에서 볼 때, 앞으로 자생식물에 대한 중금속의 내성, 생리적 특성 등에 관한 보다 구체적인 연구가 진행되어야 할 것이다.

참고문헌

1. Hayes, J. A., 1989, Metal toxicity in a Guide to General Toxicology, 2nd Ed. J. A. Marquis, Ed. karger, New York, 179-189
2. 하성훈, 1999, 식물정화기술을 활용한 오염지역의 환경복원, 현대환경리포트 9, 72-86
3. Cunningham, Scott D. and W. David, 1996, Promises and Prospects of Phytoremediation, *Plant Physiol* 110: 715-719
4. Salt, D. E. and I. Raskin, 1998, Phytoremediation, Annual, Rev. Plant Physiol, *Plant Mol. Biol.* 49: 643-668
5. 아산시, 1996, 2016년 아산시도시기본계획(안), 아산시, 15-18
6. 아산시, 1996, 아산시 지형도, 국립지리원
7. 농진회(사단법인), 1993, 한국의 밭잡초, 상록사, 7-136
8. 안영희, 이택주, 1997, 자생식물 대백과, 생명의 나무, 12-256
9. 김태정, 1996, 한국의 자원식물, 1권-5권, 서울대학교 출판사,
10. 김준민, 김철민, 박봉규, 1987, 식물조사법 -식물사회학적 연구법, 일신사, 24-27
11. 환경부, 1995, 공정시험방법(수질오염, 토양, 폐기물), 동화기술, 118-120
12. 김용범, 임양재, 1990, 탄천의 대형수생식물군집의 분포와 환경, 한국생태학회지 13 (4): 297-309

13. 농업진흥청, 1988, 토양화학분석법, 184-224
14. 김정규 외4인, 1999, 휴 · 폐광지역 오염토양의 Phytoremediation을 위한 식물자원 검색, 한국환경농학회지, 18 (1): 28-34
15. 박진영, 1998, 인천광역시의 지역적 특성에 따른 토양오염에 관한 연구, 서울시립대 석사학위논문, 26-31
16. 환경부, 1998, 환경백서, 환경부, 225
17. 서운수 외5인, 1981, 토양중금속 자연함유량에 관한 연구, 국립환경연구소보고 3, 177-182