

## 속성수를 이용한 쓰레기 매립지 침출수의 오염물질 흡수제거(II)

우 수 영

서울시립대학교 환경원예학과

(2003년 2월 7일 접수; 2003년 3월 3일 수락)

## Absorption of Heavy Metals of Waste Leachate Using by Fast Growing Trees(II)

Su-Young Woo

Department of Environmental Horticulture, Univ. of Seoul, Seoul 130-743, Korea

(Received February 7, 2003; Accepted March 3, 2003)

### ABSTRACT

To identify the capacity of waste leachate absorption in *Populus euramericana* and *Betula platyphylla* var. *japonica*, four different treatments were applied to seedlings: leachate solution (100% leachate), 50% dilution (50% leachate: 50% water, v/v) and 25% dilution, (25% leachate: 75% water, v/v) were applied to these two species. After the experiment, concentrations of heavy metals in tree parts were analyzed by an Inductively Coupled Plasma emission spectrometer (ICP). Treatment with waste leachate significantly stimulated both *Populus euramericana* and *Betula platyphylla* var. *japonica* biomass production relative to the water control. In addition, these species showed good absorption capacity of As, Co, Hg and Ni elements. The results of this study suggested that these two species can absorb the toxic materials through their roots and transport them to stems or leaves.

**Key words :** *Betula platyphylla* var. *japonica*, heavy metals, leachate, *Populus euramericana*

### I. 서 론

쓰레기를 매립한 후 매립장에서 유출되는 침출수는 과다한 암모늄태와 질산태 질소성분이 함유되어 있어서 수목의 생장에 부정적인 영향을 줄 수 있다. 더욱이 산업쓰레기에는 중금속이 다량 들어 있어서 침출수의 집적, 유출로 인해서 토양을 오염시켜 생태계를 위협하고 있다(Kukaszewski *et al.*, 1993).

미국은 EPA(Environmental Protection Agency)와 자치단체의 감독 하에서 쓰레기의 매립을 철저하게 감독하고 있으며 쓰레기 매립이 끝난 후에는 poplar 등의 속성수와 생활력이 강한 초본식물 그리고 콩과식물과 같이 질소를 고정하는 수종을 식재하여 매립지의

복구를 유도하고 있다. 또한 침출수에는 많은 질소성분이 있어서 산림지역에 뿌려줌으로써 두 가지 효과 즉, 쓰레기를 제거함과 동시에 산림에 양료공급 역할도 하고 있다(Litch and Madison, 1995).

이미 앞선 연구에서(우수영 등, 2001; 이동섭 등, 2001) 침출수를 관수했을 때 이태리 포플러(*Populus euramericana*)와 자작나무(*Betula platyphylla* var. *japonica*)의 성장과 광합성 등의 생리, 생태적인 특성이 어떻게 반응하는지 조사하였다. 그리고 이들 수종을 이용해서 유해 중금속을 흡수, 제거하는 가능성을 시사하였는데 그 가능성이 친환경적으로 좋은 것으로 알려졌다.

생활 쓰레기 매립지에서 유출되는 침출수에는 산업

쓰레기 매립지 침출수나 폐광 지역 침출수에 비해서 중금속의 함량은 적은 편이지만 속성수를 이용해서 이들을 흡수할 수 있다면 여러 측면에서 활용될 수 있다(이재우, 1997). 이미 구영본 등(1997, 1998)은 난지도 쓰레기 매립지에 이태리 포플러를 식재하고 생장을 보고하여 쓰레기 매립이 끝난 이후에 조림 복구 수종으로서의 가능성을 보여주었고 중금속을 얼마나 흡수, 제거 하는지를 조사 보고하여 이 수종이 상당히 많은 유해성분을 흡수, 제거할 수 있다는 가능성을 보여주었다.

따라서 이 연구의 목적은 앞선 보고와 같이 속성수에 해당하는 이태리 포플러와 자작나무가 쓰레기 매립지의 유해성분 즉 비소, 수은, 코발트, 니켈 같은 유해 성분을 얼마나 흡수, 제거할 수 있는지를 알아 보는 것이다. 또한 이러한 흡수 가능성을 통해서 이들 수종이 오염지역의 조림수종으로 적합한지 그 가능성을 알아보는 것이다.

## II. 재료 및 방법

### 2.1. 이태리 포플러와 자작나무 묘목

이태리 포플러는 임업연구원 육종부의 수원 채수포에서 채취한 삽수를 삼목해서 키운 1년생 이태리 포플러를 직경 38 cm의 화분에 식재하여 실험에 사용하였다. 배양 흙은 모래와 황토를 1:1(v/v)로 혼합한 것을 이용하였다. 자작나무는 경상북도 선산군이 운영하는 양묘장에서 1년생 묘목을 분양 받아 실험에 사용하였다.

### 2.2. 침출수 처리

침출수는 상주시 화서 쓰레기 매립지에서 실험에 필요할 때마다 채취하여 사용하였다. 침출수의 성분은 Table 1에서 조사한 것과 같이 높은 NO<sub>3</sub> 성분과 더불어서 BOD가 높았다. 침출수는 침출수 원액(100% leachate), 50% 희석(50% leachate), 75% 희석(25% leachate), 대조구(control)로 구분하여 관수하였다. 대조구는 수돗물을 사용하여 관수하였으며, 관수는 아침 해가 뜨기 전에 했고 자작나무는 3월 17일부터 7월 17일 까지 4개월, 이태리 포플러는 3월 29일부터 7월 4일까지 해 주었다.

### 2.3. 물질생산량 분석

물질생산량은 침출수 관수가 끝난 후 실험에 사용한

**Table 1.** Waste leachate collected from Wha-seo landfill at Sangju city (Unit: mg. L<sup>-1</sup>)

	Legal standard for discharge	Tab water	Leachate solution
pH	8.6	6.9	7.9
BOD	100.0	0.0	4050.0
NO <sub>3</sub>	10.0	0.03	1256.0
Total-P	4.0	CD	7.9
K	ND	0.5	124.0
Ca	5.0	0.2	3850.0
Fe	37.0	0.1	89.0
Co	ND	CD	0.8
Cu	3.0	CD	6.8
Sn	ND	CD	0.4
Na	ND	CD	25.0
Ni	ND	CD	0.6
Mn	2.0	0.1	105.0
Al	ND	0.1	124.0
Cd	0.1	CD	0.15
Cr	2.0	0.01	2.0
As	0.5	0.01	0.08

CD: could not be detected, ND: No data available

수목을 부위별(잎, 줄기, 뿌리)로 나누어서 수확하였고 이들을 건조기에 넣고 80°C에서 3일간 건조시킨 후 물질 생산량을 측정하였다.

### 2.4. 토양, 수체 및 침출수 원액 분석

실험이 끝난 후 처리구 별로 토양을 채취하여 토양 속에 잔류하고 있는 유해성분을 분석하였다. 토양은 통풍이 잘되는 음지에서 건조하여 2 mm 토양채로 거르고 5 g을 정확하게 측정하였다. 0.1 N HCl을 50 ml 넣고 진탕 수조에 1시간 진탕한 후 여과지를 이용하여 거르고 Inductively Coupled Plasma emission spectrometer(ICPS IV, Shimadzu)를 이용해서 As, Co, Hg, Ni 등 각종 중금속을 측정하였다.

수체는 분쇄기를 이용해서 분쇄한 후 1 g을 측정하여 100 ml 용 플라스크에 넣고 진한 HNO<sub>3</sub>를 5 ml 넣고 고르게 적시고 열을 가하여 180°C 정도에 이르게 하고 유기물을 모두 태웠다. Ternary solution 10 ml을 넣고 다시 200°C 정도로 가열한 후 남은 액을 여과하였으며, 여과된 액체를 Inductively Coupled Plasma emission spectrometer로 As, Co, Hg, Ni의 흡수된 양을 측정하였다.

침출수 원액 가운데 유해 성분이 얼마나 흡수되었는지 비교하기 위해서 침출수 원액에 대해서도 위에서 언급한 항목들을 분석하여 비교하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 3.1. 물질 생산량

두 수종 모두 공통적으로 침출수를 관수한 처리구에서의 물질 생산량이 수도물을 관수한 대조구보다 높았다(Figs. 1, 2). 특히, 이태리 포플러의 경우 줄기의 건물질 생장이 다른 부분보다 침출수 원액에 의해 생장이 촉진되었음을 알 수 있다. 이태리포플러의 경우 침출수를 관수하지 3개월 정도가 지난 수확시기에는(7월) 모든 실험구에서 잎이 떨어지는 현상이 나타났고, 잎 마름병이 발생하는 경향이 있어서 살충제를 한번 살포하였다. 그러나 침출수의 독성 때문에 잎마름병이 나타난 것이라고는 보이지 않는다. 왜냐하면, 일반적으로 이태리 포플러를 비롯한 포플러류는 잎에서 마름병이 일반적으로 나타나는데 이와 비슷한 현상이라고 볼 수 있다. 자작나무의 경우도 침출수 원액을 관수한 처리구에서 침출수를 희석하여 관수한 처리구보다 통계

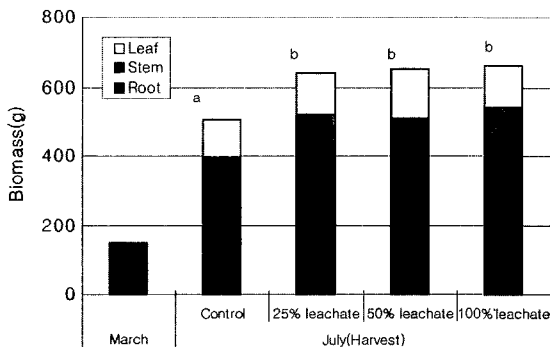


Fig. 1. Biomass changes of *Populus euramericana* on four different leachate treatments. Bars followed by different letters were statistically different at the 5% significant level.

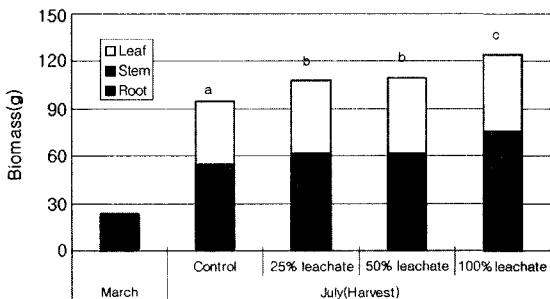


Fig. 2. Biomass changes of *Betula platyphylla* var. *japonica* on four different leachate treatments. Bars followed by different letters were statistically different at the 5% significant level.

적으로 유의하게 생장이 촉진되었음을 알 수 있다.

일반적으로 고농도의 침출수는 높은 BOD와  $\text{NO}_3$  때문에 수목의 생장을 저해한다고 알려져 있다. 침출수가 인근 하천으로 유입되면 지하수를 오염시킨다고 하는 것도 이와 같은 이유에서이다. 그러나 이 결과에서는 침출수의 농도가 증가할수록 이태리 포플러와 자작나무 공통적으로 물질생산량이 증가, 촉진된 것을 보여준다.

침출수 속의 높은 농도의 질소성분이 수목의 수고와 직경생장을 촉진했을 가능성이 있다. 왜냐하면 생활쓰레기 매립지의 침출수와 산업쓰레기 매립지의 침출수는 다르기 때문이다. 여기서 사용한 생활쓰레기 매립지의 침출수에는 중금속이 별로 포함되지 않았기 때문에 고농도의 질소함량이 수목의 입장에서 일시적으로 양료 역할을 했다고 볼 수도 있다. 산업쓰레기 매립지에서 나오는 침출수는 산업쓰레기의 속성상 유해 중금속이 다량 함유되어 있어서 생장저해제로 작용할 수 있다. 중금속이 뿌리를 통해서 흡수되어 식물의 조직에 잔류하고 혹은 고농도의 카드뮴이나 알루미늄 성분이 뿌리의 생장을 저해할 수도 있다(McNeiely, 1994; Schaedle *et al.*, 1989). 그러나 이 실험에서 사용한 침출수는 중금속이 많이 포함되어 있지 않은 생활쓰레기 매립지에서 유출된 것이기 때문이다.

Cureton *et al.*(1991)은 집종포플러(*Populus nigra x maximowiczii*)의 묘목을 침출수로 관수 했을 때 수고와 근원경 생장이 촉진되었다는 보고를 하였다. 이는 아마도 화분 안의 토양이 높은 BOD를 어느 정도 낮추어 주는 완충제 역할을 했기 때문인 것으로 사료된다. 실제로 이 실험은 자작나무의 경우는 3월 17일에서 7월 17일까지, 이태리 포플러의 경우는 3월 17일에서 8월 5일까지의 짧은 생육기간만의 결과이므로 토양이 독성을 완화시켜 주었을 가능성이 있다. 침출수에는 일반적으로 중금속 성분보다는 높은 농도의  $\text{NH}_4$ 와  $\text{NO}_3$  성분 때문이므로 이들이 토양의 희석역할로 인해서 비료로 작용했을 수도 있다(Harrison, 1996). 실제로 침출수 원액을 관수한 이태리포플러와 현사시의 생장이 수도물을 관수한 처리구보다 높았으며(구영본 등, 1998) 이는 침출수가 수목의 초기생장이나 희석된 농도에서는 수목의 생장에 양료 역할을 할 수도 있음을 시사해 준다(Nutter and Red, 1986).

서울에서 가까운 지역에 위치한 난지도 쓰레기 매립지에 이태리 포플러를 1994년에 식재하고 2년이 지난

후, 1995년에 식재하고 2년이 지난 후 수고와 DBH를 조사했다(구영본 등, 1997) 산림지역에서 생육하는 같은 연령의 이태리 포플러보다 수고와 DBH가 각각 5.9 cm, 6.2 cm 가량 생장이 좋은 것으로 나타났다. 이것은 이 실험에서 얻은 결과와 비슷한 경향이다. 또한 토양에 난지도 쓰레기 매립지의 매립물 유기물이 부후하여 양료의 역할을 하기 때문에 판단된다.

이와 비슷한 예로 하수 슬러지의 풍부한 유기물을 이용하여 산림지역의 수목에 영양분을 공급하는 일을 도입하려 하고 있다. 미국에서 Douglas fir에 하수 슬러지를 공급하여 요소비료를 준 수목보다 2배 이상의 성장효과를 보인 경우가 있다(Nutter and Red, 1986). 그러므로 하수 슬러지나 쓰레기 매립지의 침출수가 이와 같이 수목의 생장에 긍정적으로 작용하여 이들을 산림지역에 뿌릴 수 있다면 환경오염원을 제거함과 동시에 수목의 생장에 도움이 되는 비료의 공급도 함께 하는 일석이조의 효과를 거둘 수 있을 것이다.

특히 포플러의 경우는 뿌리가 천근성이기 때문에 쓰레기 매립지의 조림용으로 적당하다고 할 수 있다. 매립지는 쓰레기 유기물의 증가로 인하여 항상 산소부족 현상이 일어나고 있다. 포플러의 경우는 천근성 수종이며 뿌리가 땅속 깊이 들어가지 않기 때문에 유기물의 분해로 인해 산소가 부족한 표토 근처에서도 생장이 잘 유지되는 생태적인 특징이 있기 때문이다(Gilman, 1989). 또한 자작나무의 경우는 양수이기 때문에 매립지의 조림복구를 하는데 좋은 수종이고 더구나 이 연구에서 처럼 침출수 처리에도 불구하고 생장이 촉진되는 경우라면 매립지 혹은 침출수가 유출되어 오염이 예상되는 지역에 조림한다면 좋은 효과를 얻을 수 있을 것으로 예상된다.

속성수는 기공을 통해서 유해가스도 흡수하고 뿌리를 통해서 유해 금속 등을 흡착하기 때문에 이들 수종을 잘 응용하여 폐광지역에 조림한다면 오염물질을 흡수, 제거하는 Phytoremediation의 효과를 올릴 수 있을 것이다(Litch and Madison, 1995; Schnoor, 1992).

### 3.2. 유해 중금속의 흡수 및 제거

#### 3.2.1. As

이태리 포플러의 경우 100% 침출수로 관수한 처리구에서 As의 농도가 가장 높은 것을 알 수 있다(Fig. 3). 특히 알루미늄은 뿌리 부분에서 농도가 높게 검출

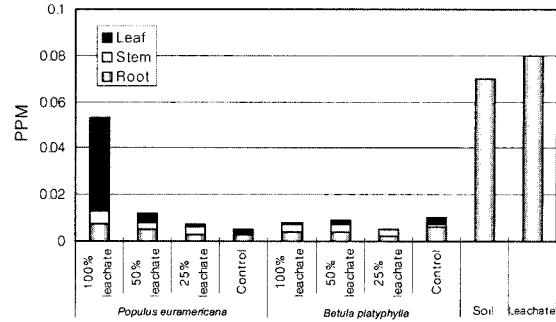


Fig. 3. As absorption capacity of *Populus euramericana* and *Betula platyphylla* var. *japonica* on four different leachate treatments. Bars of As contents in soil and leachate solution showed light side.

된 것과는 다르게(이동섭 등, 2001) As는 앞에서 높은 농도로 검출되었다. 특히 100% 침출수로 관수했을 때 이태리 포플러가 자작나무보다는 많은 양의 As를 흡수함을 알 수 있다.

As는 토양오염을 시키는 중금속 가운데 하나로 알려져 있기 때문에 이들 수종을 이용해서 비소를 흡수한다면 효과가 있을 것이라고 생각된다. 특히 중금속 가운데 알루미늄은 식물체의 뿌리를 통해서 흡착되는 양이 많은 것으로 알려져 있지만 비소는 Fig. 3과 같이 앞에서 많은 양이 검출되었다. 그렇기 때문에 비소는 식물의 잎까지 이동하기 때문에 다른 금속보다 많은 양을 식물체가 체내에 흡수, 흡착할 수 있는 것이라 알려져 있다. 특히 비소는 이태리포플러의 앞에서 많은 양이 검출된 것을 미루어서 As로 오염되어 있는 토양은 자작나무 보다는 포플러류의 식재가 더욱 바람직하다고 볼 수 있다.

#### 3.2.2. Co

Co는 식물체내에서 질소를 고정하는 필수원소 가운데 하나이며 중요한 역할을 하는 미량필수원소라고 할 수 있다(이경준, 1993). 그러나 토양내의 그 농도가 높으면 식물에 대해서 독성으로 작용하는데 목본식물에 대한 피해 연구는 별로 되어 있지 않다.

Co는 이태리 포플러와 자작나무 모두 비슷한 농도로 검출되었다(Fig. 4). 개체별로 모두 0.1-0.2 ppm 정도의 농도로 검출이 되었다. 특히 다른 원소들에 비해서 두 수종 공통적으로 뿌리, 줄기, 잎에 고르게 분포되어 검출되었다. 이는 이태리 포플러와 더불어 자작나무도 코발트 흡수에 상당한 효과가 있는 것을 시사해 준다.

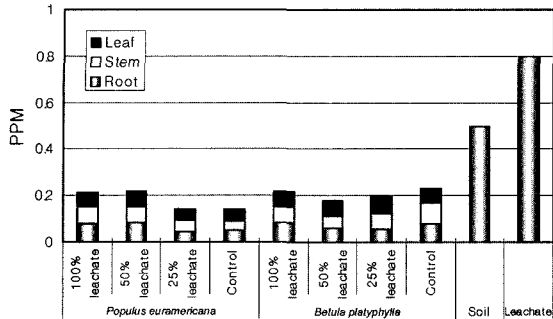


Fig. 4. Co absorption capacity of *Populus euramericana* and *Betula platyphylla* var. *japonica* on four different leachate treatments. Bars of Co contents in soil and leachate solution showed light side.

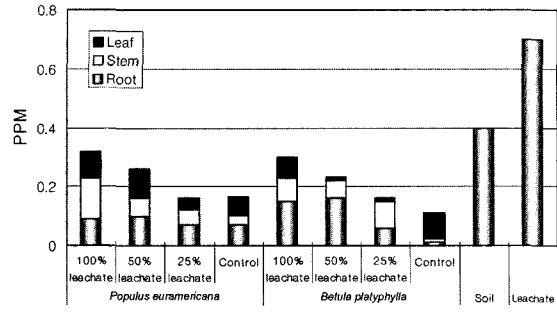


Fig. 6. Ni absorption capacity of *Populus euramericana* and *Betula platyphylla* var. *japonica* on four different leachate treatments. Bars of Ni contents in soil and leachate solution showed light side.

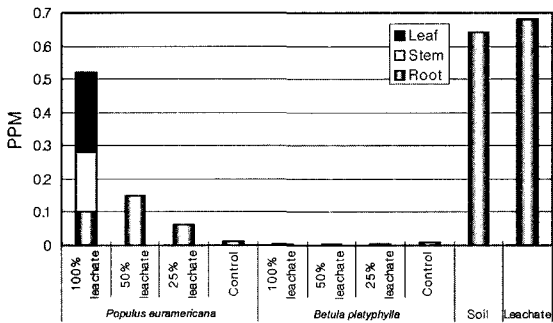


Fig. 5. Hg absorption capacity of *Populus euramericana* and *Betula platyphylla* var. *japonica* on four different leachate treatments. Bars of Hg contents in soil and leachate solution showed light side.

3.2.3. Hg

Hg는 이태리 포플러나 자작나무 모두 잎에서 뿌리나 줄기 등 다른 부위보다 높은 농도로 검출되었다 (Fig. 5). 특히 Hg는 중금속 가운데 독성이 있고 체내에 축적이 되는 원소이기 때문에 이들 두 수종을 식재하면 Hg를 어느 정도 흡수해서 제거할 수 있는 효과를 올릴 수 있을 것으로 생각된다. 그렇지만 이태리 포플러의 100% 침출수 관수만 제외하고 다른 중금속 보다는 검출되는 양이 적은 것으로 나타났다.

3.2.4. Ni

이태리 포플러와 자작나무 공통적으로 침출수의 농도가 낮아지는 순서로 Ni의 농도가 낮아지는 것으로 나타났다(Fig. 6). 다른 말로 표현하면 두 수종 모두 침출수를 25% 함유하고 있는 처리구와 대조구인 control에서 가장 낮은 Ni의 농도가 검출되었다. 특히 유럽 국가에서는 니켈의 토양 오염이 문제되는 곳이

많기 때문에 많은 연구가 진행되고 있다(이길철 등, 1994).

특히 *Alyssum bertolonii*, *Sebertia acuminata* 류는 1%의 Ni 이 앞에서 검출되어 니켈의 흡수 식물종으로 알려져 있고, Genus *Thlaspi*는 1000-10,000 ppm의 중금속을 흡수할 수 있는 것으로 알려져 있으며, cesium, strontium, pesticide, cadmium, solvents, TNT 등으로 오염된 지역에서 nitroreductase 효소를 분비하여 오염원을 제거할 수 있는 것으로 알려져 있다(Cureton et al., 1991; Balsberg, 1989).

국내외에서 폐광이 계속 늘어가면서 하천이나 토양의 오염이 심각한 문제로 대두되고 있다. 과거에 채광을 하다가 현재는 폐광으로 방치된 폐광지역이 문경, 점촌, 태백, 정선 등지에 많이 산재하고 있기 때문에 이들 지역의 빠른 복구가 절실히 요구된다. 이 지역에서는 중금속을 다량 함유한 침출수가 유출되고 있어서 이들 중금속을 흡수할 수 있는 수종의 식재, 조림이 절실히 필요하다. 이에 위에서 검정한 이들 수종을 잘 조합하여 식재한다면 중금속의 흡수를 비롯한 좋은 환경 조성도 얻게 될 것이다. 특히 이들은 속성수이지만 천근성 수종이기 때문에 심근성 수종의 개발도 깊은 토양오염을 제거하기 위해서는 연구해 볼 필요가 있다. 현재 한국에서는 참나무 같은 한국적이면서도 생태계에서 안정된 위치를 차지하고 또한 심근성 수종의 대표적인 수종이기 때문에 이 수종의 개발도 필요하며 현재 임업연구원에서 이들을 대상으로 오염지역에 식재하여 결과를 모니터링 하는 것으로 알려져 있다.

또한 쓰레기 종량제 때문에 폐기물 발생량이 많이

줄어들었으나 산업폐기물의 양은 종량제와는 무관하게 그 생산량이 그대로 유지되고 있다. 이들 산업쓰레기에는 다량의 중금속이 함유되어 있기 때문에 이들이 토양오염의 주범으로 대두되고 있다. 또한 매립방법을 open dumping하는 방법 대신 sanitary landfill 형식을 취하고 있기 때문에 이들 중금속의 제거가 또한 필요하다. 실질적으로 1994년에는 산업폐기물이 차지하는 비율이 50% 이상이었음을 보여준다(환경부, 2001). 산업 폐기물의 매립으로 중금속이 토양에 축적될 수 있기 때문에 중금속을 매립하는 산업폐기물 매립지에는 중금속을 흡수할 수 있는 수종의 선발, 조림이 필요하다(환경부, 1998). 실제로 난지도 쓰레기 매립지에 이태리 포플러를 식재하여 중금속의 흡수제거의 가능성을 제시한 결과도 있다(구영본 등, 1998).

현재는 phytoremediation의 목적을 달성하기 위해서 주로 초본성 식물과 관목이 많이 이용되고 있다. 주로 많이 쓰이고 있는 식물로서는 water hyacinth, duckweed, pennywort, water velvet, indian mustard plants, *Streptanthus polygaoides*, *Brassica juncea* (broccoli), parrot feather weed(nature's kidneys), Eurasian water milfoil 등이 있다. 이에 나가서 수목류의 개발이 필요하며 이는 여러 해 살이 이기 때문에 경제적이고 생태적인 측면에서 바람직하다고 볼 수 있다. 그러나 현재 수목을 이용한 오염물질 흡수, 제거 연구결과는 극히 제한되어 있는 실정이다.

## V. 적 요

쓰레기 매립지 침출수의 중금속과 유해성분을 자작나무와 이태리 포플러 묘목이 얼마나 흡수, 제거하는지를 알아보기 위해서 침출수 원액, 50% 침출수, 25% 침출수 그리고 대조구 등 4개의 처리로 나누어서 관수하였다. 실험이 끝난 후에 뿌리, 줄기, 잎을 분쇄기로 분쇄하고 그 함량을 Inductively Coupled Plasma emission spectrometer(ICP)로 조사하였다.

위에서 살펴 본 것과 같이 이태리 포플러와 자작나무 모두 쓰레기 매립지 침출수의 유해 중금속을 흡수할 수 있는 능력이 있어 매립지나 황폐지 같은 지역의 빠른 조림을 위해서 활용이 기대되는 수종임을 알 수 있다. 특히 토양의 비소(As), 수은(Hg), 코발트(Co) 그리고 니켈(Ni) 등의 오염이 문제가 되는 지역에 이들 수종을 식재하게 되면 뿌리를 통해서 이들 원

소를 흡착, 흡수할 수 있는 효과를 올릴 수 있다.

## 감사의 글

본 연구의 실험재료로 사용한 이태리 포플러 묘목을 제공하여 주신 임업연구원 임목육종부의 구영본 박사님과, 토양 및 식물체 분석을 하는데 많은 도움을 주신 서울대학교 농업과학 공동기기센터의 박은우 소장님께 깊은 감사를 드립니다.

## 인용문헌

- 구영본, 노의래, 우수영, 이성규, 1998: 포플러를 이용한 쓰레기 매립지의 녹화 및 침출수 처리. 포플러, 15, 19-29.
- 구영본, 이성규, 김판기, 변광옥, 우수영, 1997: 난지도 폐기물 매립지의 포플러 생장 및 오염물질 흡수 가능성. 포플러, 14, 23-32.
- 우수영, 이동섭, 김동근, 김판기, 2001: 생활쓰레기 매립지 침출수가 이태리 포플러와 자작나무 묘목에 미치는 영향. 한국임학회지, 90(1), 55-63.
- 이경준, 1993: 수목 생리학. 서울대학교 출판부. 서울. 193pp.
- 이동섭, 우수영, 김동근, 김판기, 권오규, 배관호, 이은주, 2001: 속성수를 이용한 쓰레기 매립지 침출수의 중금속 및 유해성분의 흡수, 제거 가능성. 한국농림기상학회지, 3(2), 81-87.
- 이재우, 1997: 범람하는 쓰레기 우리는 생매장될 것인가? 산림. 임업협동조합 중앙회. 24-31.
- 이길철, 설중민, 이민효, 이홍재, 김동호, 박윤희, 김성수, 윤정기, 최정호, 이원석, 1994: 오염토양의 정화방법에 관한 연구 (III-1)-식물에 의한 오염토양 정화효과-국립환경연구원보, 16, 201-209.
- 환경부, 2001: 환경통계연감. 환경부. 서울, 723pp.
- 환경부, 1998: 환경통계연감. 환경부. 서울, 646pp.
- Balsberg, A-M. 1989: Toxicity of heavy metals (Zn, Cu, Cd, Pb) to vascular plants. *Water, Air and Soil Pollution*, 47, 287-319.
- Cureton, P. M., P. H. Groenevelt and R. A. McBride, 1991: Landfill leachate recirculation: Effects on vegetation vigor and clay surface cover infiltration. *Journal of Environmental Quality*, 20, 17-24.
- Harrison, R. B. 1996: Snoqualmie Pass Sewer District Wastewater Treatment System Monitoring Project. Web site. <http://weber.u.washington.edu/~robh>.
- Gilman, E. F. 1989: Tree root depth relative to landfill tolerance. *Hortscience*, 24(5), 857.
- Kukaszewski, Z., R. Siwecki, J. Opydo, and W. Zembruski, 1993: The effects of industrial pollution on copper, lead, zinc and cadmium concentration in xylem rings of resistant(*Populus marilantica*) and sensitive (*P. balsamifera*) species of poplar. *Trees*, 7, 169-174.

- Litch, L. A. and M. Madison, 1995: Using Poplar Trees as a Landfill Cover: Experiences with the Ecolotree Cap. SWANA 11th Annual Northwest Regional Soil Waste Symposium, Portland Oregon April 12-14.
- McNeiely, T. 1994: Soil mineral stresses. Springer-Verlag press. New York. 218pp.
- Nutter, W. L. and J. T. Red, 1986: Future directions: Forest Wastewater application. In Cole D. W., C. L. Henry and W. L. Nutter (Eds). The forest alternative for treatments and utilization of municipal and industrial waste 55-69. U. of Washington Press. Seattle.
- Schaedle, M., F. C. Thornton, D. J. Raynal, and H. B. Tepper, 1989: Response of tree seedlings to aluminum. *Tree Physiology*, **5**, 337-356.
- Schnoor, J. L., L. A. Licht, S. C. McCutcheon, N. Lee and L. H. Carreira, 1992: Phytoremediation of organic and nutrient contaminants. *Environmental Science and Technology*, **29**(7), 318-323.