

속성수를 이용한 쓰레기 매립지 침출수의 중금속 및 유해성분의 흡수, 제거 가능성*

이동섭¹ · 우수영¹ · 김동근¹ · 김판기² · 권오규¹ · 배관호¹ · 이은주³

¹상주대학교 산림자원학과,

²서울대학교 농업과학공동기기센터,

³서울대학교 자연과학대학 생명과학부

(2001년 4월 6일 접수)

Absorption Capacity of Heavy Metals and Harmful Elements of Waste Leachate Using by Fast Growing Trees*

Dong-Sup Lee¹, Su-Young Woo¹, Dong-Geun Kim¹, Pan-Gi Kim²,
Oh-Kyu Kwon¹, Kwan-Ho Bae¹ and Eun Ju Lee³

¹Dept. of Forest Resources, Sangju National Univ., Sangju, 742-711, Korea

²National Instrumentation Center for Environmental Management,

Seoul National University, Suwon 441-744, Korea

³School of Biological Sciences, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

(Manuscript received 6 April 2001)

ABSTRACT

Populus euramericana and *Betula platyphylla* var. *japonica* have been identified as possible species for use for phytoremediation of landfills. To identify the capacity of waste leachate absorption in *Populus euramericana* and *Betula platyphylla* var. *japonica*, four different treatments were applied to these 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 biomass were analyzed by Inductively Coupled Plasma emission spectrometer (ICP). These two species can take up the hazardous parts of the leachate such as heavy metals. Especially, these species showed good absorption capacity of Al, Cr, and Fe elements. The result of this study suggested that these two species can take up the toxic materials through their roots and transport them to stems or leaves.

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

I. 서 론

선진 외국에서는 phytoremediation의 개념이 도입되어 속성수나 뿌리의 생장이 좋은 수종을 도입하여 오염지역이나 쓰레기 매립지 주변에 식재하여 토양 독성을 완화하는 방법이 소개되어 실용화 되고 있다(Litch and Madison, 1995). 그러나 우리나라에서는 아직도

이러한 phytoremediation의 개념이 많이 소개 되어있지 않을 뿐만 아니라 실질적으로 활용하는데 기초자료가 부족하다.

Phytoremediation은 쓰레기매립지나 폐탄광 지역의 넓은 지역을 수목이나 식물로 녹화하고 이곳에서 생성되는 침출수나 중금속 등의 오염물질을 흡수하여 정화하는 것이다. 지금까지는 주로 초본류를 이용한 오염

지역의 피복, 녹화를 많이 시도하였는데 수목을 이용하면 다년생의 이점을 활용할 수 있을 것이다.

이미 앞선 연구에서(우수영 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. 두 수종 모두 공통적으로 침출수에 의해서 생장이 촉진된 결과를 얻었다.

생활 쓰레기 매립지에서 유출되는 침출수에는 산업쓰레기 매립지 침출수나 폐광 지역 침출수에 비해서 중금속의 함량은 적은 편이지만 속성수를 이용해서 이들을 흡수 할 수 있다면 여러 측면에서 활용 될 수 있다(이재우, 1997). 이미 구영분 등(1997, 1998)은 난지도 쓰레기 매립지에 이태리 포플러를 식재하고 성장을 보고하여 쓰레기 매립이 끝난 이후에 조림 복구 수종으로서의 가능성을 보여주었고 중금속을 얼마나 흡수, 제거하는지를 조사 보고하여 이 수종이 상당히 많은 유해성분을 흡수, 제거할 수 있다는 가능성을 보여주었다.

따라서 이 연구의 목적은 이태리 포플러와 자작나무가 쓰레기 매립지의 유해성분을 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 NO₃ 성분과 더불어서 BOD가 높았다. 침출수는 희석하여 침출수 원액(100% leachate), 50% 희석(50% leachate), 75% 희석(25% leachate), 대조구(control)로 구분하여 관수하였다. 대조구는 수돗물을 사용하여 관수하였다. 관수

Table 1. Waste leachate collected from Wha-seo landfill at Sangju city (Unit: mg · L⁻¹)

	Legal standard for discharge	Tab water	Leachate solution
pH	8.6	6.9	7.9
BOD	100.0	0.0	4050.0
NO ₃	10.0	0.03	1256.0
Total-P	4.0	CD	7.89
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	CD	6.8
Sn	ND	CD	0.44
Na	ND	CD	25.0
Ni	ND	CD	0.6
Mn	2	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

는 아침해가 뜨기 전에 했고 자작나무는 3월 17일부터 7월 17일까지 4개월, 이태리 포플러는 3월 29일부터 7월 4일까지 해주었다.

2.3. 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 sieve로 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 Al, Fe, Cr, Cd, 등 각종 중금속을 측정하였다.

수체는 분쇄기를 이용해서 분쇄한 후 1 g을 측정하여 100 ml용 플라스크에 넣고 진한 HNO₃를 5 ml 넣고 고르게 적시고 열을 가하여 180°C 정도에 이르게 하고 유기물을 모두 태웠다. Ternary solution 10 ml 을 넣고 다시 200°C 정도로 가열한 후 남은 액을 여과하여 여과된 액체를 Inductively Coupled Plasma emission Spectrometer(ICPS IV, Shimadzu)로 Al, Fe, Cr, Cd의 흡수된 양을 측정하였다.

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

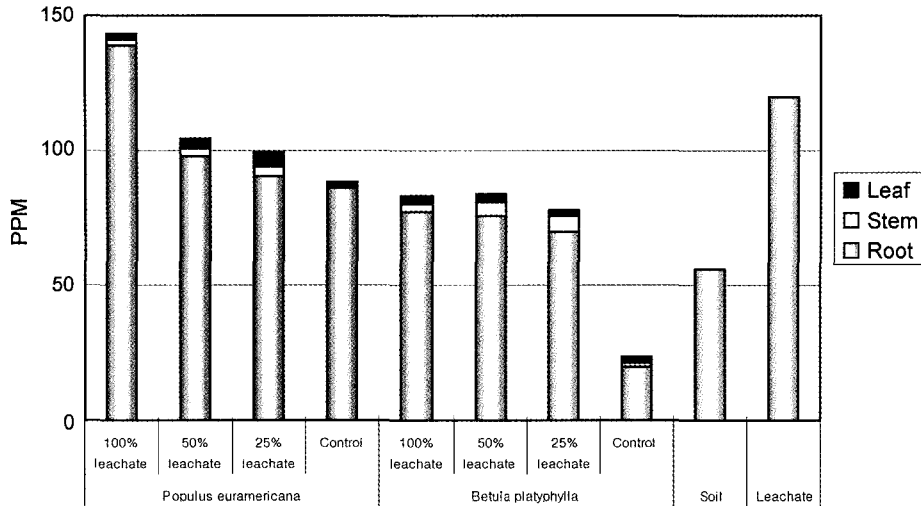


Fig. 1. Al absorption capacity of *Populus euramericana* and *Betula platyphylla* var. *japonica* on four different leachate treatments. Bars of Al contents in soil and leachate solution showed light side.

III. 결 과

3.1. Al

이태리포플러와 자작나무 부위별로 농도를 볼 때 공통적으로 뿌리에서의 알루미늄 농도가 가장 높음을 알 수 있다(Fig. 1). 이는 침출수의 알루미늄이 뿌리부분에 집적되어 뿌리에 흡수 혹은 흡착되어있다는 것을 시사해 준다. 수종별로 100% 침출수로 관수했을 때의 알루미늄의 흡수량이 가장 많은 것을 알 수 있다. 이태리 포플러의 경우는 침출수에 수돗물을 많이 희석한

순서로 알루미늄의 각 부위별 농도가 낮아지는 경향을 보여준다.

침출수 원액의 알루미늄 농도가 약 124 ppm 정도 되고(Fig. 1) 관수 후 토양에 남은 알루미늄의 농도가 약 60 ppm 정도인데 실험 후 다른 개체에서 나타난 농도가 이 두개의 농도를 합친 것보다 높은 것은 아마도 이미 실험 전에 묘목의 상태에서 성장할 때 알루미늄이 흡수되어 있었기 때문이라고 짐작된다. 이는 생장이 양호한 지역의 튜올림나무에서 약 400 ppm 이상의 알루미늄이 검출된 것으로 짐작 할 수 있다(이경준, 1993).

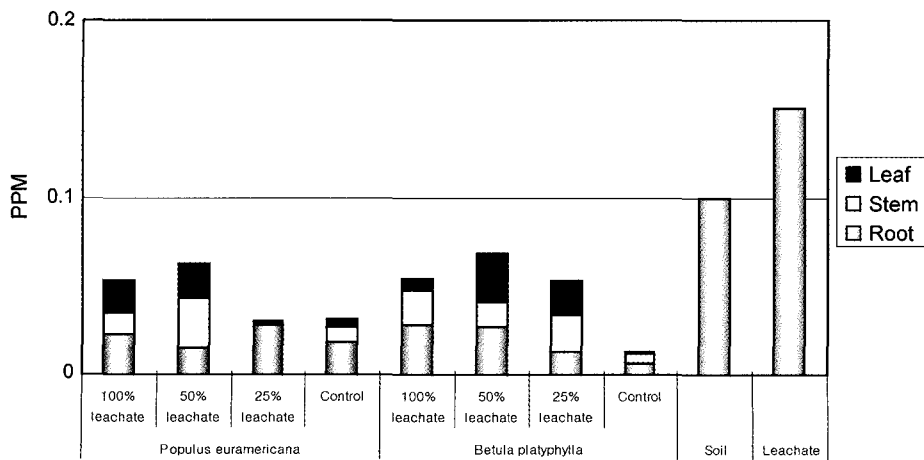


Fig. 2. Cd absorption capacity of *Populus euramericana* and *Betula platyphylla* var. *japonica* on four different leachate treatments. Bars of Cd contents in soil and leachate solution showed light side.

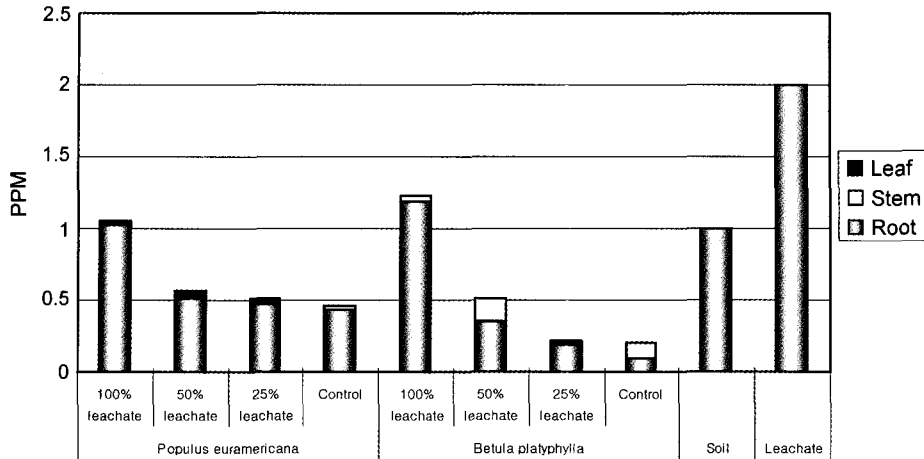


Fig. 3. Cr absorption capacity of *Populus euramericana* and *Betula platyphylla* var. *japonica* on four different leachate treatments. Bars of Cr contents in soil and leachate solution showed light side.

3.2. Cd

생활쓰레기 매립지에서 발생하는 침출수에는 일반적으로는 카드뮴이 검출이 되지 않는 것이 보통인데 화석 쓰레기 매립지의 침출수에서는 카드뮴이 검출되었고(Table 1), 수목에서도 검출이 되었다(Fig. 2). 이태리 포플러와 자작나무 모두 뿌리 부위에서 다른 부위보다 많은 양이 검출되었다.

3.3. Cr

Cr은 두 수종 모두 뿌리 부분에서 가장 많이 검출되었다(Fig. 3). 이는 수목이 뿌리를 통해서 Cr을 흡수하기 보다는 흡착하는 경향이 크다는 것을 알 수

있다. 왜냐하면 줄기나 잎에서는 Cr이 거의 검출되지 않기 때문이다. 침출수 원액으로 관수한 처리구에서 두 수종 모두 가장 많은 Cr이 검출되었고 침출수를 희석한 농도 순서로 차례로 낮게 검출되었다.

3.4. Fe

이태리 포플러와 자작나무 공통적으로 침출수를 희석한 순서대로 Fe도 순서대로 낮은 농도로 검출되었다(Fig. 4). 침출수 원액을 관수한 처리구에서 가장 많은 Fe가 검출되었고 control에서 가장 낮은 농도로 검출된 것을 알 수 있다. 수종별로는 이태리 포플러가 자작나무보다는 높은 농도로 검출되었고 부위

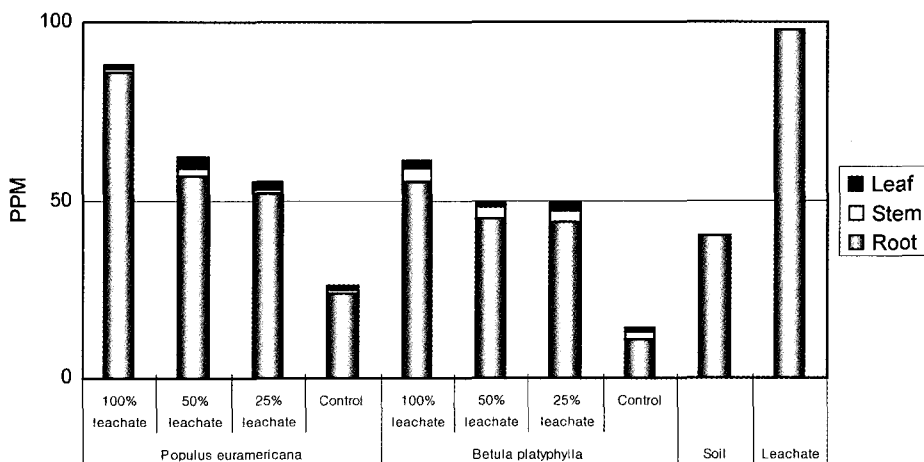


Fig. 4. Fe absorption capacity of *Populus euramericana* and *Betula platyphylla* var. *japonica* on four different leachate treatments. Bars of Fe contents in soil and leachate solution showed light side.

별로는 뿌리에서 줄기나 잎보다 많은 농도로 검출되었다. 앞에서 살펴 보았듯이 각 부위별 분포가 Al과 Cr 등과 비슷한 경향을 보여주었다. 이들 2가지 원소는 Fe와 같이 모두 뿌리에서 가장 많은 양이 검출되었다.

IV. 고 찰

4.1. 중금속 흡수 및 흡착

의의 결과에서 이태리 포플러와 자작나무가 중금속을 흡수하는 능력을 살펴보았다. 앞에서 언급한 결과를 볼 때 이들 두 수종을 오염지역에 조립하면 중금속을 흡수, 제거할 수 있는 가능성이 있다는 것을 보여 준다. 특히 알루미늄(Al), 크롬(Cr), 철(Fe) 등으로 토양이 오염되어 있는 경우 이들 두 수종은 뿌리 부분에 이들 원소를 흡착하는 능력이 대단히 커서 효과가 있는 것으로 생각이 된다(Fig. 1, 3, 4). Hentsschel et al. (1993)은 알루미늄에 대해서 전디는 정도를 수목의 종류에 따라서 구분했는데 몇 가지 포플러류가 알루미늄에 대해서 강한 성질이 있는 것으로 보고하고 있다.

최근에는 생물을 이용해서 토양 중금속을 흡수, 제거하거나 중금속으로 오염된 지역에서 조립 후 좋은 생장을 유지할 수 있는 식생의 개발이 국내외에서 많이 이루어지고 있다(Schnoor, 1992; Hilary and Wilkins, 1987). 갈조류인 *Undaria pinnatifidas*가 Pb를 흡착하는 능력이 강하며, 이는 주로 세포벽에 존재하는 알긴산 때문이라는 것이 밝혀졌고 알긴산에 의한 흡착콜로이드성 실리카겔을 이용하여 생물흡착제를 고정화하는 것이 산업화되고 있다(김용환, 1996). 알긴산의 OH기는 중금속흡착에 큰 역할을 하지 못하기 때문에 여기에 다른 수산화기(S, P)를 도입하여 세포벽을 튼튼히 하여 납, 중금속흡착능력을 3배 이상 늘렸다.

*Holcus lanatus*를 이용하면 Cd의 흡착능력을 13% 늘릴 수 있고, Cu, Zn, Cd, Pb에 대해서 내성을 가지고 흡수하는 수종이 있다는 것이 알려져 있다. *Betula pendula*(Silver birch), *Salix caprea*(goat willow)등이 탄광지역에서 Pb/Ca가 낮다는 것을 보고하여 이들 수종이 납을 흡수할 수 있는 능력이 있다는 것이 보고되었다. 또한 *Violetum calaminariae*의 수체내에서 Pb/Ca가 높음을 보여 중금속의 흡수가능성을 보여주었다(이길철 등, 1994; Balsberg, 1989).

또한 수목에 균근을 접종하여 중금속을 흡착, 흡수하는 시도도 있다. *Picea abies*에 외생균근을 접종시켜 Al을 제거하는 방법이 시도되었고, *Betula pendula*를 외생균근에 감염시켜 Zn를 보다 많이 흡착하였다. *Populus marlandica*는 Cu, Pb, Zn, Cd에 저항성을 가지는 클론이 있는 반면 *Populus balsamifera*는 저항성을 가지지 못하는 것으로 밝혀냈다. *Alnus glutinosa*, *Betula* spp., *Pinus* spp., *Quercus* spp.에서 Al의 저항성 개체를 선발하였다(Kukaszewski, 1993).

탄광지 혹은 쓰레기 매립지에는 몇 가지 수종을 이용해서 녹화하려는 시도가 있다. 속성수로서 빠른 회복을 이룩할 수 있는 수종들이 많이 이용되고 있고, 주로 오리나무(*Alnus* spp.)와 공생하는 *Frankia*나 자귀나무(*Albizia* spp.)와 공생하는 *Rhizobium*을 이용해서 근계를 개량한 수종을 식재하고 있다(Environmental Health Perspectives, 1995). *Agrobacterium tumefaciens*나 *Agrobacterium rhizogenes*를 형질전환해서 새로운 개체를 개발하여 조립한다면 활착과 중금속의 흡착에 효과가 있는 것으로 보고되고 있다. *Mimulus guttatus*가 중금속을 흡수하는데 관여하는 유전력이 0.32-0.44가 된다고 보고되어 이러한 중요수종의 육종도 가능성이 있음을 시사해 주었다(McNeiely, 1994). 또한 몇 가지 수종의 알루미늄에 대한 흡수 수종과 저항성을 가지는 수목의 종류(Hentsschel et al., 1993)와 이들 수종을 검정하였다.

4.2. 쓰레기 매립지 복원을 위한 Phytoremediation

Phytoremediation의 개념은 궁극적으로 친 환경적이고 친 생태적인 조림을 하자는 것이다. 쓰레기매립지나 폐탄광의 넓은 지역을 수목으로 녹화하고 이곳에서 침출되는 침출수나 오염원을 흡수하는 동시효과를 올릴 수 있다. 수목을 식재하게 되면 근계에서 분비되는 각종 분비물(exudates and enzymes)이 미생물과 소동물의 활동을 자극하여 토양을 개량하는 효과를 올릴 수 있다(Hentsschel et al., 1993; Hilary and Wilkins, 1987).

현재는 phytoremediation의 목적을 달성하기 위해서는 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. 특히 *Alyssum bertolonii*, *Sebertia acuminata*류는 1%의 Ni이 있어서 검출되어 니켈의 흡수 식물종으로 좋고, 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 있다(Cureton *et al.*, 1991; Balsberg, 1989).

특히 속성수나 자작나무류 등을 이용한 매립지의 빠른 조림이 필요하다. 속성수는 유해가스에 견디는 능력이 검정되지는 않았지만 기공의 개폐가 다른 수종에 비해서 많으므로 기공을 통한 유해가스의 흡수, 제거의 효과를 올릴 수 있고, 또한 많은 biomass로 인해서 유해한 침출수를 근계를 통한 흡수제거가 가능하리라고 보고 되고 있다(Litch and Madision, 1995; Schnoor, 1992).

침출수의 산림지역내 살포방안 검토도 필요하다. 유해한 침출수는 일반적으로 중금속 성분보다는 높은 농도의 NH_4 와 NO_3 성분 때문이므로 침출수를 희석하여 액화비료로 활용할 수도 있다(Harrison, 1996). 실제로 침출수 원액을 관수한 이태리포플러와 현사시의 생장이 수돗물을 관수한 처리구보다 높았다(구영본 등, 1998). 이는 침출수가 수목의 초기생장이나 희석된 농도에서는 수목의 생장에 양료 역할을 할 수도 있음을 시사해 준다(Nutter and Red, 1986).

현재 수도권 쓰레기 매립지 가운데 하나인 난지도 쓰레기 매립지는 1994년에 매립이 중단된 이후에 버드나무류, 오동나무류, 아카시나무 등의 속성수들이 개척수종으로 정착하고 있다. 이곳에서 활착물과 생장이 좋은 수종만을 선발하여 무성번식을 통해서 증식한 후 이곳에 재조림하여 침출수와 중금속을 동시에 흡수, 흡착 제거 할 수 있는 최적의 수종구성을 유도할 수 있다(구영본 등, 1998, 1997).

특정 형질 발현을 유도하기 위해서 형질전환을 유도하는 것도 매립지의 조림효과를 높이기 위해서 필요하다. 실제로 *Agrobacterium rhizogenesis*로 형질 전환된 *Calystegia pepium*이 특정 중금속 특히 Cd 흡수 능력이 다른 수종에 비해서 좋다고 보고되고 있다(Stomp *et al.*, 1994).

쓰레기 매립지의 녹화 조림에 적당한 수종의 개발은 우선 속성수를 위주로 하는 것이 효과적일 것이다. 속성수는 빠른 성장 때문에 녹화의 효과를 기대할 수

있고 물질 생산량도 많기 때문에 흡수량도 많을 것으로 보고되기 때문이다.

그리고 매립지에서는 토양의 오염 정도가 심할 것으로 생각되기 때문에 근계의 생육이 좋은 수종의 조림이 필요할 것으로 생각된다(이길철 등, 1994; Gilman, 1989). 뿌리의 활착율을 높이기 위해서는 균근과 root hair를 많이 생기게 해주는 미생물의 이용 등의 방법을 생각할 수 있다. 현재 매립지 부근에는 *Salix* 계통의 수종이 개척수종으로 많이 생육하는데 이들 수종 중 높은 광합성을 하거나, 유해물질을 분해할 수 있는 효소의 활성이 높은 수종을 대상으로 선발도 필요하다(Environmental Health Perspectives, 1995).

V. 적 요

쓰레기 매립지 침출수의 중금속과 유해성분을 자작나무와 이태리포플러 묘목이 얼마나 흡수, 제거 하는지를 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 살펴본 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 알루미늄(Al), 크롬(Cr), 철(Fe) 등의 오염이 문제가 되는 지역에 이들 수종을 식재하게 되면 뿌리를 통해서 이들 원소를 흡착, 흡수 할 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 농업과학공동기기센터의 박은우 소장님과 정인호 연구원에게 깊은 감사를 드립니다.

인용문헌

구영본, 노의래, 우수영, 이성규. 1998: 포플러를 이용한 쓰

- 레기 매립지의 녹화 및 침출수 처리. 포플러 15, 19-29.
- 구영분, 이성규, 김관기, 변광옥, 우수영. 1997: 난지도 폐기물 매립지의 포플러 생장 및 오염물질 흡수 가능성. 포플러 14, 23-32.
- 김용환. 1996: 화학적으로 변형된 바다갈조류를 *Undaria pinnatifida*를 이용한 중금속 제거연구. 서울대학교 박사논문. pp231.
- 우수영, 이동섭, 김동근, 김관기. 2001: 생활쓰레기 매립지 침출수가 이태리 포플러와 자작나무 묘목에 미치는 영향. 한국임학회지 90(1), 55-63.
- 이경준. 1993: 수목 생리학. 서울대학교 출판부. 서울. 193p.
- 이재우. 1997: 범람하는 쓰레기 우리는 생매장될 것인가? 산림. 임업협동조합 중앙회. pp24-31.
- 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.
- 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.
- Environmental Health Perspectives. 1995: Absorbing Possibilities: Phytoremediation. Web site. [http://ehpnet1.niehs.nih.gov/docs/1995/103\(12\):Inovations.1](http://ehpnet1.niehs.nih.gov/docs/1995/103(12):Inovations.1)
- Harrison, R. B. 1996: Snoqualmie Pass Sewer District Wastewater Treatment System Monitoring Project. Web site. <http://weber.u.washington.edu/~robh>.
- Hentsschel, E., D. L. Godbold, P. Marschner, H.Schlegel and G. Jentschke. 1993: The effects of *Paxillus involutus* Fr. on aluminum sensitive of Norway spruce seedlings. *Tree Physiology*, 12, 379-390.
- Hilary, J. D. and D.A. Wilkins. 1987: Zinc tolerance in *Betula* spp. I. Effect of External concentration of zinc on growth and uptake. *New Phytologists*, 106, 517-524.
- Gilman, E. F. 1989. Tree root depth relative to landfill tolerance. *Hortscience*, 24(5), 857.
- Kukaszewski, Z., R. Siwecki, J. Opydo and W. Zembrzusi. 1993: The effects of industrial pollution on copper, lead, zinc and cadmium concentration in xylem rings of resistant (*Populus marilatica*) and sensitive (*P. balsamifera*) species of poplar. *Trees*, 7, 169-174.
- Litch, L.A. and M. Madision. 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. pp218.
- 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.
- 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.
- Stomp, A-N, K. H. Han, S. Wilbert, M. P. Gordon and S.D. Cunningham. 1994: Genetic strategies for enhancing Phytoremediation. Reprint of Recombinant DNA Technology II Vol. 721 of the Annals of the New York Academy of Sciences.