

## 生活쓰레기 埋立地 浸出水가 이태리 포플러와 자작나무 苗木에 미치는 影響 (Ⅱ)<sup>1\*</sup>

禹秀泳<sup>2\*</sup> · 李東燮<sup>2</sup> · 金東根<sup>2</sup> · 金坂基<sup>3</sup>

## Effects of Waste Leachate Irrigation on *Populus euramericana* and *Betula platyphylla* var. *japonica* Seedlings (Ⅱ)<sup>1\*</sup>

Su-Young Woo<sup>2\*</sup>, Dong-Sup Lee<sup>2</sup>, Dong-Geun Kim<sup>2</sup> and Pan-Gi Kim<sup>3</sup>

### 요 약

이 연구는 대표적인 속성수인 이태리 포플러와 자작나무가 쓰레기 매립지 주변의 조립 수종으로서 적당함을 평가하기 위해서 수행되었다. 두 수종 묘목에 대한 침출수 관수 효과를 알아보기 위해서 침출수 원액, 50% 침출수, 25% 침출수 그리고 대조구(수도물) 등 4가지 침출수로 다르게 희석하여 약 3개월 정도 관수했다.

이태리 포플러와 자작나무 공통적으로 묘고, 근원경, 물질생산량 모두 침출수 원액을 관수한 처리구가 다른 처리구보다 좋았다. 침출수 원액으로 관수한 묘목의 엽록소 지수, 광합성능력, 증산량이 수도물로 관수한 대조구보다 모두 유의하게 높음을 보여주었다. 이는 비록 3개월이라는 짧은 기간의 결과이긴 하지만, 이들 두 수종은 매립지 주변의 조립, 복구를 위해서 좋은 추천 수종임을 보여주고 있다.

### ABSTRACT

*Populus euramericana* and *Betula platyphylla* var. *japonica* have been identified as possible species for use for phytoremediation of landfills. To identify the effects of waste leachate on growth and physiological characteristics in *Populus euramericana* and *Betula platyphylla* var. *japonica*, four different treatments were applied to seedlings for 3 months: leachate solution(100% leachate), 50% dilution(50% leachate: 50% water, v/v), 75% dilution(25% leachate: 75% water, v/v) and control(tab water) were applied to these two species.

Treatment with waste leachate significantly stimulated both *Populus euramericana* and *Betula platyphylla* var. *japonica* height, diameter at root collar and biomass production relative to the water control. Chlorophyll contents, photosynthesis and transpiration of leachate irrigated-trees were significantly higher than those of water control. These results suggested that these two species could be suitable species for phytoremediation in landfills because these species showed good growth performance and were capable of taking up waste leachate.

*Key words* : phytoremediation, waste leachate, growth, chlorophyll contents, photosynthesis, transpiration, *Populus euramericana*, *Betula platyphylla* var. *japonica*

<sup>1</sup> 接受 2000年 11月 14日 Received on November 14, 2000.

審査完了 2001年 1月 2日 Accepted on January 2, 2001.

<sup>2</sup> 상주대학교 산림자원학과 Dept. of Forest Resources, Sangju National Univ., Sangju 742-711, Korea.

<sup>3</sup> 서울대학교 농업생명과학대학 농업생명과학공동기기센터 National Instrumentation Center for Environmental Management, Seoul National University, Suwon 441-744, Korea.

\* 이 논문은 2000년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음(KRF-2000-003-G00056).

\* 연락처자 E-mail : swwoo@samback.sangju.ac.kr

## 서 론

산업 사회가 발달하고 산업이 고도로 분화되면서 환경의 질이 날로 악화되고 있다. 특히 한국에서는 좁은 국토에서의 급속한 산업화로 인한 산업 시설의 증가로 생활수준이 증가한 반면 인구증가로 생활쓰레기와 더불어 산업쓰레기도 증가하는 추세다(이재우, 1997).

쓰레기를 매립한 후 매립장에서 유출되는 침출수는 높은 생물학적 산소요구량(BOD)으로 인해서 지하수 오염과 더불어 식생에도 부정적인 영향을 줄 수 있다. 더욱이 산업쓰레기에는 중금속이 다량 들어 있어서 침출수의 집적, 유출로 토양을 오염시켜 생태계를 위협하고 있다(정종관과 장원, 1995). 반면에 침출수에는 암모늄태와 질산태 질소성분이 다량 함유되어 있어서 수목의 생장에 부정적인 영향뿐만 아니라 이들 두 가지 질소 성분이 비료로서 작용할 수도 있다는 가능성이 보고되고 있다(Harrison, 1996).

미국은 Environmental Protection Agency(EPA)와 자치단체의 감독 하에서 쓰레기의 매립을 철저히 감독하고 있으며, 쓰레기 매립이 끝난 후에는 poplar 등의 속성수와 생활력이 강한 초본식물 그리고 콩과식물과 같이 질소를 고정하는 수종을 식재하여 매립지의 친환경적인 복구를 유도하고 있다(Litch and Madison, 1995). 또한 침출수의 높은 질소성분때문에 산림지역에 뿌려줌으로써 두 가지 효과 즉, 쓰레기 침출수를 제거함과 동시에 산림에 양료공급 역할도 하고 있다(Nutter and Red, 1986). 이미 구영본 등(1998, 1997)은 난지도 쓰레기 매립지에 포플러류의 수종을 심어서 수목을 이용한 중금속의 흡수 가능성을 제시한 바 있다.

서울 주변에는 난지도와 김포쓰레기 매립지 같은 대규모의 쓰레기 매립장이 있어서 이곳에서 유출되는 침출수가 인근 하천과 지하수를 오염시키고 있으며 매립이 끝난 후 이곳의 빠른 피복녹화가 요구된다(구영본 등, 1998, 1997; 구영본, 1996). 이태리포플러(*Populus euramericana*)와 자작나무(*Betula platyphylla* var. *japonica*)는 대표적인 속성수의 일종이고 생장이 빠르고 양수이며 개척수종이다. 특히 이태리포플러는 매립지 주변 조림, 녹화를 위해서 식재하면 좋다는 연구 보고가 외국에서 많이 알려져 있다(Litch and Madison, 1995). 국내에서도 이태리포플러는 이미 쓰레기

매립이 끝난 난지도 지역에 식재되어 우수한 생장을 유지하고 있어 침출수 및 중금속의 흡수가능성을 시사해 주고 있다(구영본 등, 1998). 하지만 이태리 포플러를 매립지 주변 조림 수종으로 추천하려면 아직 많은 자료가 축적되어야 한다. 또한 자작나무는 오염지역을 조림, 복구하는 수종으로 가능성 여부 자료가 거의 없어서 침출수에 대한 성장반응 자료가 필요한 실정이다.

이 연구의 목적은 쓰레기 매립지에서 유출되는 침출수가 이태리포플러, 자작나무묘목의 생장에 미치는 영향을 조사하여, 쓰레기 침출수의 양로로서 공급 가능성 여부와 그 효과를 검토하고, 쓰레기 매립으로 발생하는 침출수를 수목을 이용해서 줄일 수 있는 식생적인 방법을 개발하는 자료를 제공하는 것이다.

## 재료 및 방법

### 1. 이태리포플러, 자작나무 묘목

이태리포플러(*Populus euramericana*) 묘목은 임업연구원 육종부 수원 채수포에서 채취한 삼수를 삼목해서 키운 1년생을 직경 38cm의 화분에 식재하여 실험에 사용하였다. 화분 속의 배양토는 모래와 황토를 1:1(V/V)로 혼합한 것을 이용하였다. 자작나무(*Betula platyphylla* var. *japonica*)는 경상북도 선산군이 운영하는 양묘장에서 1년생 묘목을 분양받아 실험에 사용하였다. 3월부터 매달 1회씩 수고, 근원경, 엽수를 측정하였다. 실험이 끝난 후 수확하여 80℃에서 72시간 증량의 변동이 없을 때까지 건조하여 건조량을 조사하였다.

### 2. 침출수 성분 및 처리

침출수는 경상북도 상주시 화서 쓰레기 매립지에서 실험에 필요할 때마다 채취하여 사용하였다. 침출수의 pH는 7.9정도이고 수도물보다는 pH값이 높았지만 방류 허용치보다는 그 값이 낮았고 크롬, 비소 등의 중금속 함량 또한 방류허용치보다 낮았다(Table 1). 그리고 이 연구에서 사용한 침출수는 NO<sub>3</sub>를 높게 함유하고 있는 동시에 높은 BOD값을 보여주었다. 침출수는 침출수 원액(100% leachate), 50% 침출수, 25% 침출수, 대조구(control)로 구분하여 관수하였다(Table 2). 대조구는 수도물을 사용하여 관수하였다. 관수는 매일 한 번씩 화분 당 2리터씩 메스실린더로 정확히 측정하여 일출 전에 했고 화분 밑으로 흐르는

침출수는 받침대를 이용해서 계산에서 빼주었다. 두 수종 모두 3월 29일부터 7월 4일까지 약 3개월 동안 처리를 해 주었다.

**Table 1.** Waste leachate collected from Wha-seo landfill at Sangju city. (Unit : ppm)

	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> <sup>-</sup>	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	3.0	CD	6.8
Sn	ND	CD	0.44
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 (환경부, 1998)

**Table 2.** Waste leachate treatments of this experiment.

Treatments	Leachate (%)	Water (%)	Periods
100% leachate	100	0	
50% leachate	50	50	March 29
25% leachate	25	75	-July 4
Control	0	100	

**3. 광합성능력, 증산량, 엽록소지수**

**1) 광합성능력과 증산량**

묘목의 광합성 능력(net photosynthesis; 순광합성량)과 증산량은 Licor-6400 portable photosynthesis system(USA)를 이용해서 측정하였다. 개체의 연령 차이에서 오는 오차를 줄이기 위해서 임의로 leaf plastochron index(LPI) 5-6의 잎에서 일괄적으로 측정하였다. 공기압력(flow rate)은 500 μmol s<sup>-1</sup>을 유지하였고, 외부의 CO<sub>2</sub> 농도는 360-370ppm을 유

지하도록 하였다. 이 기계의 기본 엽면적은 6cm<sup>2</sup>였고, 증산량 측정시의 leaf cuvette의 온도는 25℃, 상대습도는 35%, 광량(photosynthetically active radiation; PAR)은 1000 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>를 유지하도록 하였다. 그리고 증산량 1분당 1cm<sup>2</sup>의 면적에서 증산되는 수분의 양으로 표현하였다.

**2) 엽록소 지수**

엽록소 지수는 SPAD-502 chlorophyll meter (Minolta, Japan)로 측정하였다. SPAD-502와 엽록소 함량에 대해서는 丹下 등(1991)이 높은 상관관계에 있음을 입증하였다. 그리고 이 기기는 비파괴적인 방법으로 엽록소함량을 추정하는 특징을 가지고 있어서 최근 이를 이용한 연구가 상당 수 있다(김판기 등, 1999). 엽록소 지수의 측정은 한 개체마다 30지점 위의 측정치를 평균하여 계산하였다.

**4. 수목의 침출수 흡수, 제거량**

수목의 침출수 흡수와 제거량을 조사하기 위해서 침출수 관수 후 화분 밑으로 빠져 나온 침출액의 부피를 정확하게 측정하여 각 수목 개체의 침출수 흡수, 제거량을 추정하였다. 화분에서 토양의 증발을 통해서 없어지는 수분을 막기 위해서 알루미늄호일을 사용하여 각각의 화분을 관수할 때를 제외한 전기간 동안 덮어 주었다. 각각의 화분 밑에는 플라스틱 받침대를 사용해서 침출액이 흘러나가지 못하도록 하였다.

**5. 통계처리**

물질 생산량, 광합성 능력, 증산량, 침출수 흡수량은 통계 프로그램 SPSS PC+를 이용하여 유의수준 5%에서 Duncan의 다중 검정을 하여 비교했다.

**결 과**

**1. 수고, 근원경 생장**

침출수의 관수 후 이태리포플러나 자작나무 공통적으로 수고생장과 근원경생장 모두 침출수 원액을 관수했을 때가 다른 처리구보다 생장이 좋았다(Figure 1과 Figure 2). 이것은 아마도 침출수가 양료의 역할을 했을 가능성이 있다. 일반적으로 쓰레기 매립지에서 발생하는 침출수는 수목의 생장과 인근 하천의 생태계에 나쁜 영향을 미친다

는 사실과는 다른 결과라고 할 수 있다. 특히 수도물로 관수한 control은 다른 어느 처리구보다 수고나 근원경 생장이 좋지 않았다.

2. 물질 생산량

두 수종 모두 공통적으로 물질생산량을 침출수

관수로 조사한 결과, 수고, 근원경생장의 결과처럼 침출수를 관수한 처리구에서의 물질 생산량이 수도물을 관수한 대조구보다 좋았다(Figure 3). 특히, 이태리 포플러의 경우 줄기의 건물질 생장이 다른 부분보다 침출수 원액에 의해 생장이 촉진된 것임을 알 수 있다. 이태리포플러의 경우 침

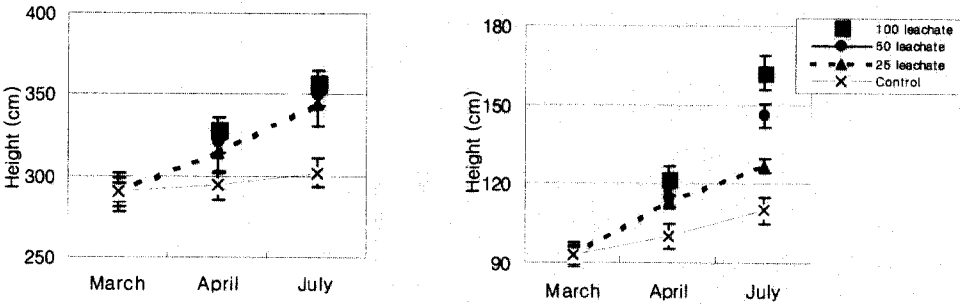


Figure 1. Height growth changes of *Populus euramericana*(left) and *Betula platyphylla* var. *japonica* (right) on four different leachate treatments. Bars indicate standard error.

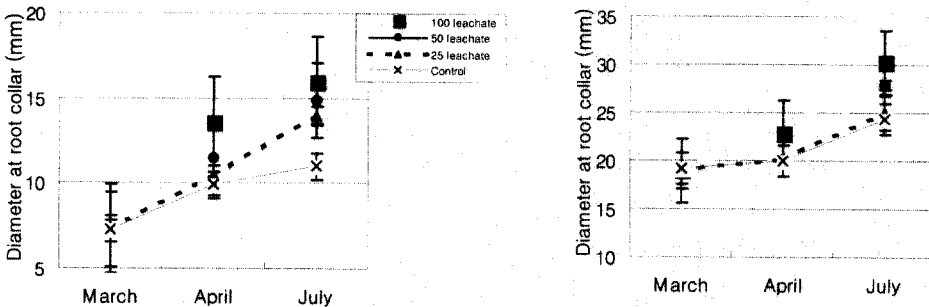


Figure 2. Diameter at root collar growth changes of *Populus euramericana*(left) and *Betula platyphylla* var. *japonica*(right) on four different leachate treatments. Bars indicate standard error.

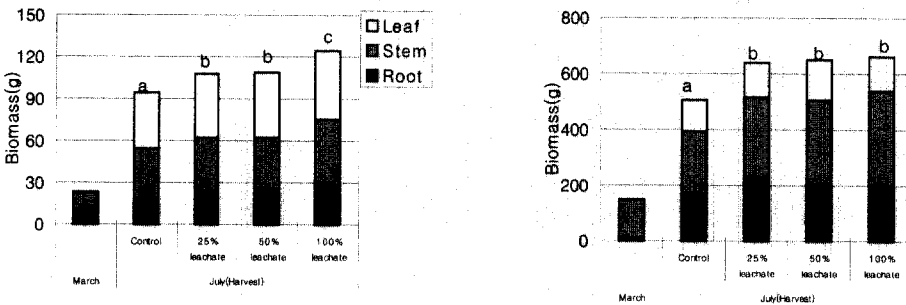


Figure 3. Biomass changes of *Populus euramericana*(left) and *Betula platyphylla* var. *japonica*(right) on four different leachate treatments. Bars followed by different letters were statistically different at the 5% significant level.

출수를 관수한지 3개월 정도가 지난 수확시기에는 (7월) 모든 실험구에서 잎이 떨어지는 현상이 나타났고 잎 마름병이 발생하는 경향이 있어서 살충제를 한번 살포하였다. 침출수 처리를 1년 동안 유지하고 그 다음해에도 같은 침출수 처리를 하면 원인을 확실하게 알 수 있을 것이다. 자작나무의 경우도 침출수 원액을 관수한 처리구에서 침출수를 희석하여 관수한 처리구보다 통계적으로 유의하게 생장이 촉진되었음을 알 수 있다.

**3. 증산량과 침출수 흡수제거량**

증산량과 침출수 흡수 추정량의 단위가 틀리지만 통계처리 한 결과, 두 수종 모두 공통적으로 침출수 원액을 관수했을 경우가 수도물을 관수한 경우보다 증산량이 많음을 알 수 있다(Figure 4). 또한 일일 침출수 흡수 제거량도 침출수 원액을 관수하였을 경우에 가장 많은 흡수제거능력을 보

여주었다. 그리고 이 침출수 제거능력의 경향은 증산량의 순서와 비슷한 경향을 나타냄을 알 수 있다. 그러므로 실외에서 간단하게 증산량의 측정으로 침출수의 흡수 제거량을 추정할 수 있을 것이다.

**4. 광합성능력**

물질생산량과 밀접한 관계가 있는 광합성능력 결과 또한 수고, 근원경 생장의 결과와 비슷한 경향을 보였다. 수도물을 관수한 처리구보다 침출수 원액을 주거나, 희석을 했을 경우가 광합성능력이 높음을 보여준다(Figure 5). 특히 이태리포플러의 경우 침출수 원액을 관수 했을 때 유난히 높은 광합성능력을 나타내었다.

**5. 엽록소지수**

두 수종 공통적으로 엽록소지수는 침출수 원액

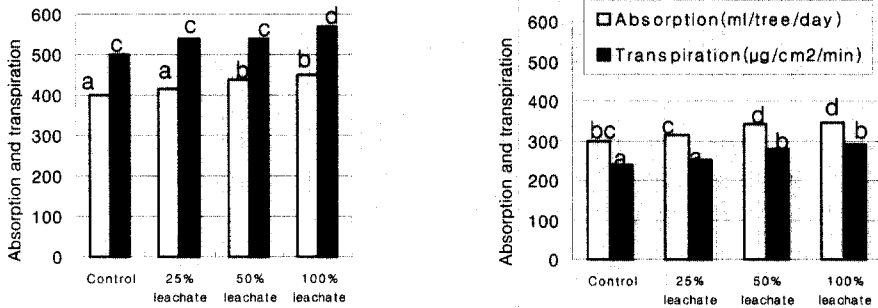


Figure 4. Amount of leachate absorption and transpiration of *Populus euramericana*(left) and *Betula platyphylla* var. *japonica*(right) on four different leachate treatments. Bars followed by different letters were statistically different at the 5% significant level.

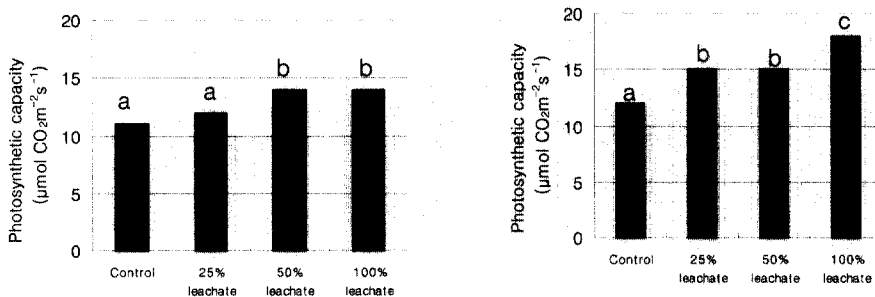


Figure 5. Photosynthetic capacity of *Populus euramericana*(left) and *Betula platyphylla* var. *japonica* (right) on four different leachate treatments. Bars followed by different letters were statistically different at the 5% significant level.

을 관수한 처리구에서 다른 처리구보다 높게 나타났다(Figure 6). 특히 이태리포플러의 경우 침출수 원액으로 관수한 처리구의 엽록소 지수가 다른 처리구보다 최종 수확시기에 높음을 알 수 있다. 이태리포플러와 자작나무 공통적으로 수도물을 관수한 control에서 가장 낮은 엽록소지수를 보여주었다.

## 고 찰

### 1. 수고, 근원경 생장

이태리포플러와 자작나무 공통적으로 침출수에 의해서 수고, 근원경 생장 모두 증가된 것을 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 연구 결과에서는 침출수 농도가 증가할수록 이태리 포플러와 자작나무 공통적으로 수고와 근원경 생장이 촉진된 것을 보여준다.

침출수의 높은 농도 질소성분이 수목의 수고와 직경생장을 촉진했을 가능성이 있다. 실제로 산업쓰레기 매립지에서 나오는 침출수는 산업쓰레기의 속성상 유해 중금속이 다량 함유되어 있어서 생장저해제로 작용을 할 수 있다. 중금속이 뿌리를 통해서 흡수되어 식물 조직에 잔류하고 혹은 고농도의 카드뮴성분이 뿌리의 생장을 저해할 수도 있다(Balsberg, 1989; Baker 등, 1986). 그러나 여기서 사용한 생활, 위생 쓰레기 매립지 침출수에는 중금속이 별로 포함되어 있지 않기 때문에(Table 1) 고농도의 질소함량이 수목의 입장에서 일시적으로 양료역할을 했다고 볼 수도 있다

(Nutter and Red, 1986). 이 실험에서 사용한 침출수 경우, 알루미늄 농도가 방류허용치보다는 약간 높게 나타났긴 했지만 수목 생장에 유해하게 작용할 수 있는 카드뮴, 크롬, 비소 같은 중금속 농도가 법적 방류허용치와 비교할 때 비슷하거나 낮기 때문에 침출수의 질소 성분이 수목 생장에 도움이 되었을 가능성이 있다(Table 1). Cureton *et al.* (1991)은 잡종포플러(*Populus nigra* × *maximowiczii*) 묘목을 침출수로 관수 했을 때 수고와 근원경 생장이 촉진되었다는 보고를 하였다.

특히 자작나무의 경우 침출수에 관한 기존의 자료가 없기 때문에 침출수가 확실한 생장 촉진을 유발했는지는 확인할 수 없다. 하지만 묘목을 키운 화분의 토양이 침출수 독성을 완충시켜서 묘목의 수고, 직경생장을 촉진 시켰을 수도 있다. 실험에 사용한 화분의 토양이 침출수의 높은 BOD를 어느 정도 낮추어 주는 완충제 역할을 했기 때문일 것이다. 침출수를 하수슬러지와 함께 수목에 뿌려주어서 Douglas-fir를 비롯한 여러 수종들의 생장이 촉진 된 이유도 토양의 완충 능력때문이라고 보고했다(Chapman-King 등, 1986). 실제로 이 실험은 3월 29일에서 7월 4일까지의 약 96일 정도의 생육기간만의 결과이므로 토양이 독성을 완화시켜 주었을 가능성이 있다. 약 3개월은 침출수가 토양에 잔류하여 독성으로 작용하기에는 짧은 기간이다. 그렇기 때문에 이러한 결과를 더욱 확실하게 알아보기 위해서는 단기간이 아닌 다년간의 침출수 효과를 검사해 보는 것이 필요하다.

서울에서 가까운 지역에 위치한 난지도 쓰레기 매립지에 이태리포플러를 1994년과 1995년에 각각 식재하여 2년이 지난 후 수고와 DBH를 조사

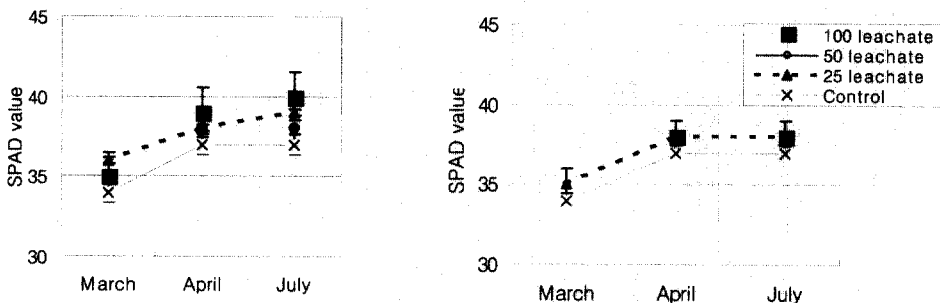


Figure 6. Chlorophyll contents changes of *Populus euramericana*(left) and *Betula platyphylla* var. *japonica*(right) on four different leachate treatments.

한 바 경기도 용인지역 저지대의 같은 연령의 이태리포플러보다 수고와 DBH가 1994년도에 식재한 것은 160%(1.6배), 180%(1.8배), 1995년에 식재한 것은 130%(1.3배), 180%(1.8배)정도 각각 생장이 좋은 것으로 나타났다(구영본, 1996). 또한 난지도에서 조사된 이태리포플러의 수고는 지위지수 28인 지역에서 생장한 것과 비슷한 결과라서 상당히 좋은 수고 생장에 해당된다(구영본 등, 1997). 이것은 앞에서도 언급한 것과 같이 난지도 쓰레기 매립지에서 매립물 유기물이 부후하면서 생성된 침출수의 높은 농도의 질소 성분이 양료의 역할을 하기 때문일 것으로 짐작된다(구영본 등, 1998; 1997). 이러한 효과는 침출수가 산림생태계 양료순환에 많은 영향을 미치고 양료로서 충분한 역할을 수행할 수 있기 때문에 가능하다(Brockway 등, 1986).

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

**2. 물질 생산량**

물질생산량 또한 수고와 근원경의 영향을 받아서 침출수로 관수한 포플러와 자작나무의 경우, 수도물을 관수한 경우보다 많았음을 나타내어 침출수가 물질생산량의 측면에서도 긍정적으로 작용하는 것 같다. 수목이 스트레스를 받으면 호흡작용이 증가하여 지하부로 분배되는 탄수화물의 양이 줄어들어 뿌리의 생장이 저해되어 건중량이 감소한다(Mooney and Winner, 1994). 그래서 스트레스를 받은 수목은 물질생산량 중에서 뿌리부분의 감소가 현저하게 나타나는데 여기서는 뿌리부분인 지하부의 생장이 그렇게 많이 감소하지 않은 것으로 보여 침출수가 오염원으로서 지하부의 생장에 스트레스를 준 것 같지는 않다.

특히 포플러의 경우는 뿌리가 천근성이기 때문에 쓰레기 매립지의 조립용으로 적당하다고 할 수

있다. 매립지는 쓰레기 유기물의 증가로 인하여 항상 산소부족 현상이 일어나기 때문이다. 포플러의 경우는 천근성 수종이고 뿌리가 땅속 깊이 들어가지 않기 때문에 유기물의 분해로 인한 산소가 부족한 표토 근처에서도 생장이 잘 유지되는 생태적인 특징이 있다(Gilman, 1989). 또한 자작나무의 경우는 양수이기 때문에 매립지의 조립복구를 하는데 좋은 수종이고 더구나 이 연구에서처럼 침출수 처리에도 불구하고 생장이 촉진되는 경우라면 매립지 혹은 침출수가 유출되어 오염이 예상되는 지역에서 좋은 효과를 얻을 수 있을 것으로 예상된다(Schnoor 등, 1992).

**3. 엽록소지수**

기존에는 잎을 채취하여 유기용매를 사용해서 Arnon(1949)의 공식에 의해 엽록소함량을 측정하였으나 이 기계(SPAD-502 chlorophyll meter)를 이용하면 잎을 채취하지 않고 현장에서 엽록소지수를 측정할 수 있다. 또한 이것은 엽록소함량과 직선회귀관계에 있기 때문에 이 수치를 가지고 엽록소함량의 경향을 많이 추정하고 있다. 특히 김종진과 홍성각(1998)은 자작나무묘목의 엽록소 함량을 이 기계를 이용해서 추정하기도 하였다.

이 연구에서 엽록소지수의 변화는 두 수종 모두 광합성능력과 비례해서 나타나는 것으로 확인되었다(Figure 5와 6). 엽록소지수는 침출수로 관수한 이태리 포플러와 자작나무 공통적으로 수도물로 관수한 경우보다 높은 것으로 확인되었다. 엽록소함량의 변화는 광합성능력을 평가하는 간접적인 척도가 되므로 일반적으로 높은 엽록소함량을 가진 개체가 높은 광합성능력을 가지고 이는 물질생산량을 비롯한 수고, 근원경 성장 등 생육을 촉진시키는 방향으로 작용한 것으로 짐작된다.

**4. 광합성능력**

광합성능력은 이태리포플러나 자작나무 모두 침출수로 관수한 처리구에서 수도물로 관수한 처리구보다 높은 경향을 나타내 주었다(Figure 5). 쓰레기 매립지의 침출수가 수목의 광합성능력에는 부정적으로 작용하여 생장을 저해하는 것이 일반적이는데 여기서는 침출수처리가 광합성능력을 증가시킨 것으로 나타났다. 앞에서도 언급했듯이 토양이 침출수의 독성을 완충해 주었을 수 있고, 침출수의 높은 질소성분이 비료의 역할을 했을 가

능성이 있다(Nutter and Red, 1986). 산업쓰레기의 침출수는 많은 중금속의 축적으로 수목의 광합성을 저해할 수 있지만(Cureton 등, 1991) 여기서 사용한 침출수는 생활 쓰레기 매립지에서 유출된 것이어서 중금속 성분이 거의 검출되지 않는 것이 보통이다(Table 1). 이것이 아마도 침출수가 수목의 생장에 긍정적으로 작용한 것으로 짐작된다.

### 5. 증산량과 침출수 흡수제거량

포플러를 통해서 유해한 침출수를 제거하고자 하는 시도는 이전에 구영본 등(1997)에 의해서 시도되었다. 몇 가지 포플러와 같은 속성수를 이용해서 증산량과 침출수 흡수, 제거량을 추정해서 매립지의 조립수중으로의 가능성을 제시해주었다. 위에서 얻은 증산량과 침출수 흡수 능력을 통해서(Figure 4) 자작나무 또한 포플러와 같이 침출수를 흡수할 수 있는 한 수종이라는 것을 제시해주며 쓰레기 매립지 주변의 조립 수중으로 추천할 수 있다.

수목의 증산량과 흡수 제거량은 어느 정도 비례하는 경향을 보인다. 특히 침출수 원액을 관수한 개체의 경우 증산량과 흡수제거량 모두 가장 좋은 경향을 보여 주었다. 이는 위의 수종을 조립하면 침출수를 흡수, 제거할 가능성이 있다는 것을 보여 준다. 실제로 미국에서 침출수 펄프로써 잡종 포플러를 식재하여 1kg의 건물질당 600 리터의 침출수를 흡수 제거한다는 것을 보고하여 조립수중으로 가능성을 보여준 연구가 있다(Litch and Madision, 1995).

### 결 론

이태리 포플러와 자작나무 공통적으로 묘고, 근원경, 물질생산량 모두 침출수 원액을 관수했을 때 다른 처리구 보다 좋았다. 침출수 원액으로 관수한 묘목의 엽록소 지수, 광합성능력, 증산량이 수도물로 관수한 대조구보다 모두 유의하게 높음을 보여주었다. 이는 3개월이라는 짧은 기간의 결과이긴 하지만, 이들 두 수종은 매립지역의 조립 복구를 위해서 가능성이 있는 수종임을 보여주고 있다. 이처럼 두 속성수들이 좋은 생장을 보여준 것은 침출수의 높은 농도의 BOD는 화분의 토양이 희석하였고 높은 농도의 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 성분이 양료의 형태로 작용했을 가능성이 있다. 하지만 침출수의 효과를 더욱 확실하게 알기 위해서는 더욱

장기간에 걸친 실험이 필요하다.

### 감사의 글

이태리 포플러 묘목을 정성스럽게 삼목해서 제공해 주시고 많은 조언을 해 주신 임업연구원 육종부의 구영본 박사님 및 연구실원 여러분께 진심으로 감사드립니다. 자료를 찾고 수확하는데 도움을 준 박병배후배, 침출수 관수를 날마다 해준 상주대학교 권순목군, 결과 분석에 도움을 주신 서울대학교 NICEM의 박은우 소장님께 감사드립니다.

### 인 용 문 헌

1. 구영본·노의래·우수영·이성규. 1998. 포플러를 이용한 쓰레기 매립지의 녹화 및 침출수 처리. 포플러 15 : 19-29.
2. 구영본·이성규·김판기·변광욱·우수영. 1997. 난지도 폐기물 매립지의 포플러 생장 및 오염물질 흡수 가능성. 포플러 14 : 23-32.
3. 구영본. 1996. 포플러를 심자. 포플러 13 : 34-38.
4. 김종진·홍성각. 1998. 자작나무 컨테이너 묘의 경화단계생장에 미치는 UV-B와 수분 스트레스의 효과. 한국임학회지 87(4) : 601-610.
5. 김판기·이갑연·김세현·한상섭. 1999. 우리나라에 분포하는 오미자과 2속 3종의 잎 질 및 광합성 특성. 한국농림기상학회지 1(2) : 90-96.
6. 이재우. 1997. 범람하는 쓰레기 우리는 생매장될 것인가? 산림. 임업협동조합 중앙회, pp 24-31.
7. 정종관·장원. 1995. 쓰레기 매립지 침출수 거동 예측평가 연구. 환경영향평가 4(1) : 9-15.
8. 환경부. 1998. 환경통계연감. 환경부, 서울 p646.
9. 丹下 健, 金坂基, 佐々木惠彦, 1991 : ポプラバイオマス林の樹冠各部の受光條件と葉の生理特性. 바이오マス變換計畫研究報告 31 : 43-56.
10. Arnon, D. I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts, polyphenol-oxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiology 24 : 1-15.
11. Baker, J.M., C.J. Grant, M.H. Martin, S.C. Shaw and J. Whitebrook. 1986. Induction and loss of cadmium tolerance in *Holcus*



- lanatus* L. and ther grasses. *New Phytologists* 102 : 575-587.
12. Balsberg, A-M. 1989. Toxicity of heavy metals (Zn, Cu, Cd, Pb) to vascular plants *Water, Air and Soil Pollution* 47 : 287-319.
  13. Brockway, D.G., D.H. Urie, P.V. Nguyen and J. B. Hart. 1986. Wastewater and Sludge Nutrient Utilization in Forest Ecosystems. In Cole D. W., C. L. Henry and W. L. Nutter (eds). *The forest alternative for treatments and utilization of municipal and industrial waste* 221-245. University of Washington Press. Seattle.
  14. Chapman-King, R., T. M. Hinckley and C.C. Grier. 1986. Growth Response of Forest Trees to Wastewater and Sludge 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* 209-220. University of Washington Press. Seattle.
  15. 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.
  16. Gilman, E. F. 1989. Tree root depth relative to landfill tolerance. *Horticulture Science* 24 (5) : 857.
  17. Harrison, R. B. 1996. Snoqualmie Pass Sewer District Wastewater Treatment System Monitoring Project. Web site. <http://weber.u.washington.edu/~robh>.
  18. 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
  19. Mooney, H. A. and Winner W. E. 1994. Partitioning responses of plants to ozone stress. In : Mooney, H. A, W. E. Winner and E. J. Pell (Eds.) *Response of plants to multiple stresses*. New York, Academic Press Inc. p129-141.
  20. 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. University of Washington Press. Seattle
  21. 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.