

## 하천연변에서 3년생 포플러 및 버드나무 클론의 생육특성 및 적응능력

여진기 · 우관수 · 구영본 · 김영식

국립산림과학원 산림유전자원부

### Growth Performance and Adaptability of Three-year-old Poplar and Willow Clones in a Riparian Area

**Yeo, Jin-Kie · Woo, Kwan-Soo · Koo, Yeong-Bon and Kim, Yeong-Sik**

Dept. of Forest Genetic Resources, Korea Forest Research Institute, Suwon 441-847, Korea.

#### ABSTRACT

One-year-old rooted cuttings of ten poplar clones and one willow clone were planted in a riparian area in Osan. Survival rate, growth performance, biomass, vitality, defoliation, leaf damages by diseases and/or insects and stem borer damage of the poplar and willow clones have been investigated for three growing seasons. Average survival rate of all eleven clones was declined from 80.7% for the first year to 60.7% for the third year. At three years after planting, poplar clones Dorskamp, ST-148 and Eco-28 showed the best survival rate of 80%. For height and DBH growth, the poplar clone Ay-48 and the willow clone 131-25 were the highest 8.3m and 9.5cm, respectively. However, poplar clones 72-30 and 72-31 were lower than those of the other clones. Clones Ay-48 and 131-25 seemed to have strong vitality when compare to the other clones. No serious damages by diseases and insects were found in most clones. Clones Ay-48 and ST-148 were the most tolerant to various diseases and insects. Clone Ay-48 produced the largest biomass for individual and annual total biomass, 22.5kg and 18.7ton ha<sup>-1</sup>, respectively. Clone Dorskamp showed the best adaptability, which was estimated with survival rate, biomass and damages by various diseases and insects in the riparian area and followed by clones Ay-48, 97-19 and Eco-28. As a consequence, the four clones seemed to be the best candidate poplar clones for the establishment of riparian woody buffer.

---

**Corresponding author** : Yeo, Jin-Kie, Dept. of Forest Genetic Resources, Korea Forest Research Institute, Suwon 441-847, Korea,  
Tel : +82-31-290-1103, E-mail : jkyeo@foa.go.kr

**Received** : 8 June, 2007. **Accepted** : 14 September, 2007.

Key Words : *Riparian area, Poplar, Willow, Clone, Adaptability, Growth performance, Biomass, Vitality, Damage.*

## I. 서 론

오늘날 시비를 병행한 집약적 농업시스템은 비점오염원을 발생 시키는 주요 원인 중 하나로 대두되었다(Bischoff 등, 2001). 비점오염원은 발생체계 및 수계로의 유입 경로가 매우 복잡하고 광범위하여 통제하는데 어려움이 있다(US EPA, 1995; Lowrance 등, 1997a, b). 그 대안의 하나로 수변완충림(riparian forest buffer)을 조성하여 비점오염원을 저감시키는 방안이 활발히 진행되고 있다. 수변완충림은 교목, 관목 및 초본을 하천연변을 따라 대상(帶狀)으로 식재한 하나의 식생대로서 수계로 유입되는 오염물질을 저감시키고 하천생태계를 안정화 시키는 중요한 기능과 역할을 담당하고 있다(Welsch, 1991; Isenhardt 등, 1997; Schultz 등, 2004). 알맞은 폭으로 조성된 수변완충림은 식생과 토양을 통하여 농경지로부터 발생하는 영양물질의 상당부분을 흡수하고 여과하여 주변 수계의 오염 부하량을 현저히 저감시키는 중요한 역할을 담당하고 있다(Peterjohn and Correll, 1984; Lowrance 등, 1984, 1992). 특히 수변완충림은 유거수(流去水, run off)에 포함된 질소 화합물의 함량을 낮추어 수질을 개선하는 것으로 알려져 있다(Wigington 등, 2003; Puckett, 2004). 이와 관련하여 Spruill(2004)은 North Carolina의 수변완충림이 유거수에 포함된 질소화합물의 양을  $\ell$  당 6mg에서 0.02mg으로 대폭 저감시켜 수질을 개선하는데 많은 기여를 하는 것으로 보고 하였다. 수계로 유입되는 오염물질을 보다 많이 제거하기 위해서는 속성수와 같이 하천 환경에 대한 적응력이 높고 성장과 biomass 생산능력이 우수한 수종의 선택이 요구된다. 왜냐하면 식물체 조직의 오염물질 축적량이 상대적으로 적더라도 생체량이 많으면 그만큼 개체당 흡수 총량이 증가하기 때문이다(Ebbs 등, 1997; Yeo, 2002). 대

표적인 속성수인 포플러와 버드나무는 수변완충림 조성에 흔히 이용되는데 그 이유는 오염물질에 대한 저항성이 강하고 다양한 환경에 대한 적응력이 우수할 뿐만 아니라 줄기는 1년에 3~5m, 뿌리는 3~4m까지 뻗어나갈 정도로 생장이 신속하여 광범위한 지역에서 보다 많은 오염물질을 흡수 할 수 있기 때문이다(Dix 등, 1997; Isebrands and Karnosky, 2001). 또한 세근이 많이 발달하여 수분과 영양분을 흡수하는데 유리하며, 토양미생물의 서식에 유익한 환경을 제공함으로써 토양의 질을 향상시켜 준다(Westphal and Isebrands, 2001). 따라서 본 연구에서는 포플러와 버드나무를 하천연변에 식재하여 성장과 활력 및 피해를 3년간 조사하고 하천 환경에 대한 적응력을 클론별로 평가, 비교함으로써 향후 수변완충림 조성에 적합한 속성수 클론을 선발하는 기초 자료로 이용하고자 한다.

## II. 연구방법

### 1. 시험림 조성

2003년 3월 하순에 경기도 오산지 누읍동 소재 오산천 지천(하천 폭 약 5m)에 포플러 및 버드나무를 이용하여 시험림을 조성하였으며, Figure 1은 2004년 시험림에서 시험목의 실제 생육상황을 촬영한 사진이다. 시험에 사용된 묘목은 2002년 3월 경기도 수원시 소재 국립산림과학원 산림유전자원부 포지에 삼목하여 1년간 양묘한 삼목묘이며 종류는 미류나무 2클론(*Populus deltoides* : Ay-48, ST-148), 이태리포플러 2클론(*Populus euramericana* : Eco-28, I-476), 현사시 2클론(*Populus alba*×*P. glandulosa* : 72-30, 72-31), 미류나무 교잡종 2클론(*Populus deltoides*×*P. nigra* : Dorskamp, *Populus deltoides*(Lux)×*P. deltoides*(Ay-48) : 97-19), 양황철(*Populus nigra*×*P.*



**Figure 1.** Test plantation established for this study in the riparian area in Osan.

*maximowiczii* : 62-2), 수원포플러(*Populus koreana* × *P. nigra* var. *italica*) 및 버드나무(*Salix alba* : 131-25)의 총 11개 클론이었다. 이들 클론은 하천 양쪽 가장자리로부터 약 1m 정도 떨어진 위치의 연변에 1열, 2m의 간격으로 약 500m 범위에 걸쳐 클론당 10본씩 총 440본이 4반복으로 식재되었다.

## 2. 생육특성 및 피해조사

하천환경에서 포플러 및 버드나무의 클론별 적응능력을 비교하기 위하여 식재 당년부터 3년간 매년 9월에 전체 시험목의 생존율, 수고, 흉고 직경, 수세, 조기낙엽, 식엽충 및 천공충 피해를 조사하였다. 수세(vitality)는 가지 수, 잎의 크기, 신초지 성장 등 개체의 전반적인 생육상태와 활력을 종합 판단하여 정도에 따라 3등급으로 구분한 다음 1~3점까지 점수를 부여하였다. 조기낙

엽(defoliation), 잎 피해(leaf damage) 및 천공충(stem borer) 피해는 Ke와 Skelly(1989)의 West German System 피해등급 분류 기준을 일부 변형하여 적용하였다. 조기낙엽은 수세 약화로 인해 비정상적으로 일찍 떨어진 잎의 비율을 정도에 따라 5등급으로 구분하여 1~5점까지 점수를 부여하였다. 병·해충에 의한 잎 피해는 전체 잎 가운데 병·해충에 의해 가해를 받은 잎의 비율을 정도에 따라 5등급으로 구분하여 1~5점까지 점수를 부여하였다. 천공충 피해는 줄기에 나타난 천공충의 상흔 개수를 5등급으로 나누어 1~5점까지 점수를 부여하였다(표 1).

## 3. 바이오매스 조사

식재 후 3년이 경과한 2005년 9월에 전체 11개 클론에서 정상적인 생육을 한 개체를 대상으로 반복 당 3본씩 총 132본의 표본목에 대하여 지상부와 지하부 바이오매스를 수확하였다. 지상부 바이오매스는 지표의 높이에서 줄기를 절단한 다음 뿌리, 줄기, 잎으로 나누어 수확하고 현장에서 각 부위별 전체 생중량을 측정하였다. 지하부는 가능한 묘목의 세근을 제외하고 굴취가 가능한 모든 뿌리를 수확한 다음 현장에서 흙을 깨끗이 씻어내고 생중량을 측정하였다. 각 부위별 바이오매스의 일부를 취한 즉시 생중량을 측정한 다음 80°C dry oven에 72시간 이상 무게변동이 없을 때까지 건조시켜 건조량을 측정하고 생중

**Table 1.** Categories for vitality, defoliation, leaf damage and stem borer damages in poplar and willow clones planted in the riparian area in Osan.

Vitality		Defoliation		Leaf damage		Stem borer damage	
degree	score	degree(%)	score	degree(%)	score	degree*	score
Weak	1	0 -10	5	0 -10	5	none	5
		11-25	4	11-25	4	1-3	4
Intermediate	2	26-50	3	26-50	3	4-6	3
		51-75	2	51-75	2	7-9	2
Strong	3	76-100	1	76-100	1	10>	1

\*Number of scars by stem borer.

량 : 건중량 비를 구하여 각 바이오매스 성분의 전체 생중량에 대한 건중량 값을 추정하였다.

4. 적응능력

클론별 하천연변 적응능력을 평가하기 위해 생육 및 피해에 대한 특성들을 이용하여 equation 1과 같이 적응지수를 산출하였다.

$$A = \sum_{i=1}^n I_{Ti} \dots\dots\dots \text{(equation 1)}$$

A : adaptability,  $I_{Ti}$  : adaptation index of  $i$ th trait

이때  $I_{Ti}$  는 equation 2와 같이 표현할 수 있다.

$$I_{Ti} = \frac{X_i}{\bar{X}} * W_{Ti} \dots\dots\dots \text{(equation 2)}$$

W : weight of  $i$ th trait,

$T_i$  :  $i$ th trait,  $X_i$  : individual observed value of  $i$ th trait,  $\bar{X}$  : mean observed value of  $i$ th trait.

적응지수 산출을 위해 개체의 바이오매스, 생존율, 조기낙엽, 잎 피해, 천공충 피해를 지표로 사용하였다. 사용된 특성에 대해서는 중요도에 따라 차등을 두어 가중치를 부여 하였다. 하천 환경조건에서 견디어 낼 수 있는 지표인 생존율에 대하여 가장 높은 40%, 생장에 대한 대표적인 지표인 바이오매스에 대하여 30% 그리고 각종 병해충 피해에 대하여 30%(조기낙엽 10%, 잎 피해

10%, 천공충 피해 10%)의 가중치를 적용하였다.

5. 통계분석

클론간의 수고, 흉고직경 및 바이오매스의 차이는 SAS/STAT(ver. 6.12. SAS Institute Inc., 1996) 프로그램의 GLM(General Linear Model) 기법을 이용하여 분석하였다. 수세, 조기낙엽, 잎 피해 및 천공충 피해는 정규분포를 보이지 않는 범주형 데이터 분석에 용이한 Nonparametric (Kruskal-Wallis Test) 기법을 이용하여 분석하였다(SYSTAT Software Inc., 2004).

III. 결과 및 고찰

1. 생장 및 생존율

식재 후 3년째 묘목의 수고생장은 클론간에 통계적인 차이를 나타냈다(F=3.43; P<0.01). 전체 11클론의 평균 수고는 식재 당년에 3.3m에서 식재 후 3년째에는 7.4m로 매우 양호한 생장을 하였다(Figure 2).

클론별 수고 생장을 보면 식재 당년에는 미류나무 교잡종인 97-19 클론이 3.9m로 가장 우수한 생장을 한 반면 현사시 72-30 클론과 버드나무 131-25 클론이 가장 저조한 생장을 나타냈다. 그러나 식재 후 3년째에는 미류나무 교잡종인 Ay-48 클론이 8.3m로 생장이 가장 우수하였으

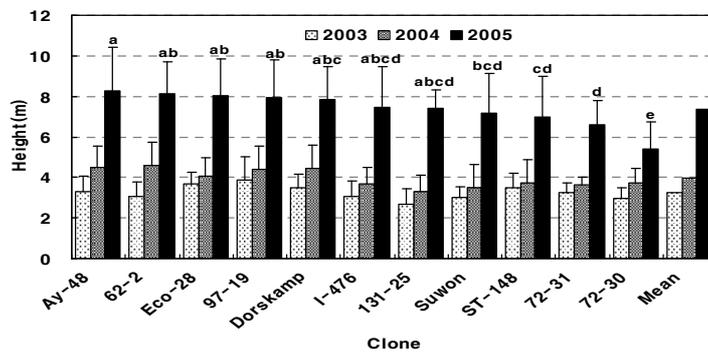
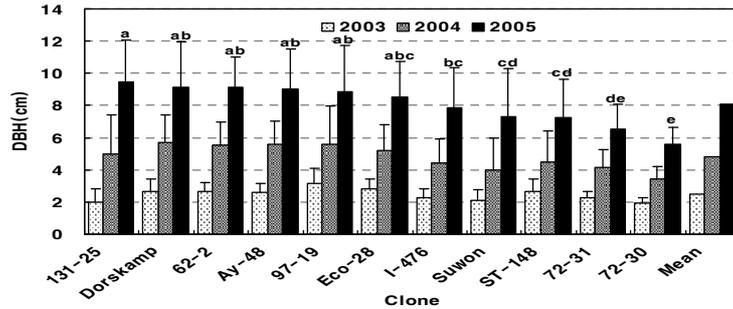


Figure 2. Year-on-year changes of height growth of poplar and willow clones planted in the riparian area in Osan. Same letters are not significantly different at p<0.05 according to Duncan's multiple range test. Bars indicate standard deviation.



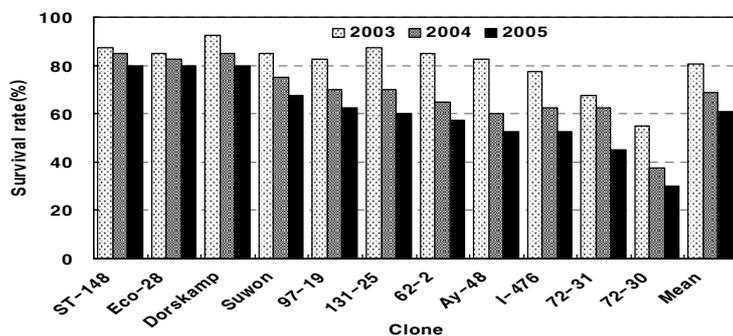
**Figure 3.** Year-on-year changes of DBH growth of poplar and willow clones planted in the riparian area in Osan. Same letters are not significantly different at  $p < 0.05$  according to Duncan's multiple range test. Bars indicate standard deviation.

며, 현사시 72-30 및 72-31 클론이 가장 저조하였다. 그 밖에 양황철 62-2 및 이태리포플러인 Eco-28 클론 등도 다른 클론에 비해 비교적 우수한 성장을 하였다. 식재 후 3년째 묘목의 흉고직경 역시 클론간에 많은 차이를 나타냈다( $F=4.22$ ;  $P < 0.01$ ). 전체 11클론의 연도별 평균 흉고직경은 식재당년 2.5cm에서 식재 후 3년째 8.1cm로 대폭 증가하였다(Figure 3).

클론별 흉고직경 생장은 버드나무 131-25 클론이 9.5cm로 가장 우수하였고 다음으로 미류나무 교잡종 Dorskamp, 양황철 62-2 클론 순으로 우수한 반면 현사시 클론들은 저조한 것으로 나타났다. 전체 묘목의 식재 당년 평균 활착율은 80.7%로 비교적 우수하였다(Figure 4).

그 중 Dorskamp 클론이 92.5%로 가장 우수한 활착율을 보인 반면 현사시인 72-30 클론은 55.0%로 매우 저조한 활착율을 보였다. 그 다음

해인 2004년의 평균 생존율은 68.6%로 전년도에 비해 크게 감소되었다. 전년도에 가장 우수한 활착율을 보인 Dorskamp 클론과 미류나무 교잡종인 ST-148 클론이 85.0%로 가장 우수한 생존율을 보였다. 2005년의 평균 생존율은 60.7%로 전년도에 비해 생존율의 하락폭이 많이 감소되어 시험목들이 하천환경에 안정적으로 적응을 하였던 것으로 보여진다. 그 중 Dorskamp, ST-148 및 Eco-28 클론이 80.0%의 우수한 생존율을 나타냈다. 그러나 본 시험지에서는 현사시 클론들이 다른 포플러에 비해 생장이 저조하였다. 이러한 결과는 전형적으로 하천입지가 임지와 달리 평탄하고 비옥하며 수분이 충분할 뿐만 아니라 배수가 잘 되는 사질양토로 형성되어 있으므로 이러한 입지조건이 미류나무 교잡종 등 다른 포플러나 버드나무에 적합하여 나타나는 현상으로 생각된다. 식재 후 3년째 Dorskamp 클론의 흉고



**Figure 4.** Year-on-year changes of survival rate of poplar and willow clones planted in the riparian area in Osan.

직경생장은 전체 포플러 클론들 가운데 가장 우수하였고 이 클론이 본 시험지와 유사한 하천입지에서 양호한 흉고직경생장을 하였던 기존의 연구결과와 일치하였다(Koo 등, 1996). 식재 후 2년째 전체 클론의 평균 생존율은 식재 당년에 비해 급격히 하락하였는데 이와 같은 생존율 하락의 원인은 쓰레기매립지에서 포플러 시험림의 경우 메탄 등 유해가스에 의한 피해라고 추정하였다(Koo 등, 2006). 그러나 본 시험지의 경우 수목의 생장에 피해를 줄 수 있는 결정적인 오염원이 없었던 것으로 보아 시험림 조성에 따른 이식의 충격이 묘목의 생존율 하락의 원인 가운데 하나로 작용하였을 것으로 생각된다.

2. 수세 및 피해

묘목의 평균 수세(vitality) 점수는 Table 2와 같이 식재당년 2.8이었으나 식재 후 3년째에는 2.5로 약간 감소하였고 클론간에 유의한 차이를 보였다( $\chi^2=22.15$ ;  $P<0.01$ ). 클론별 수세는 식재당년생의 경우 이태리포플러 Eco-28 클론이 3.0으로 다른 클론에 비해 강한 수세를 보였으며 식

재 후 3년째에는 미류나무 Ay-48 및 버드나무 131-25 클론이 비교적 수세가 강한 것으로 나타났다. 그러나 현사시 클론들은 식재당년부터 3년째까지 다른 클론에 비해 약한 것으로 나타나 쓰레기매립지에서 우수한 수세를 나타냈던 이전의 연구결과와는 상이하게 나타났다(Koo 등, 2006). 이와 같은 이유는 본 시험지에 수목의 생육에 지장을 줄 수 있는 오염원이 없었으며 하천입지 환경이 현사시를 제외한 다른 포플러 클론의 생육에 더욱 적합하여 나타난 결과로 생각된다. 묘목의 평균 조기낙엽(defoliation) 점수는 표 2와 같이 식재당년 3.8에서 식재 후 3년째 3.5로 약간 감소하였고 클론간에 통계적인 차이를 나타냈다( $\chi^2=68.86$ ;  $P<0.01$ ).

클론별 조기낙엽은 식재 당년에 Dorskamp가 4.8로 전체 앞 가운데 25%이하만 조기 낙엽하여 가장 우수한 결과를 보였으며 식재 후 3년째에도 역시 가장 우수한 결과를 보였다. 그밖에 Ay-48 클론도 시험기간 동안 조기낙엽 점수가 상위를 유지하며 비교적 안정적으로 하천 환경에 적응하고 있는 것으로 나타났다. 식엽층에 의한 잎 피해

**Table 2.** Year-on-year changes of vitality, defoliation, leaf and stem borer damages of poplar and willow clones planted in the riparian area in Osan.

Clone	2003				2004				2005			
	Vitality	Defoliation	Leaf damage	Stem borer	Vitality	Defoliation	Leaf damage	Stem borer damage	Vitality	Defoliation	Leaf damage	Stem borer damage
Ay-48	2.8(0.5)*	4.4(0.9)	5.0(0.0)	4.9(0.3)	2.8(0.5)	4.1(0.9)	3.5(1.0)	4.5(0.6)	2.8(0.6)	4.0(0.8)	3.3(1.2)	5.0(0.0)
ST-148	2.9(0.3)	4.2(1.1)	4.8(0.5)	4.6(0.5)	2.7(0.5)	3.7(0.9)	3.4(0.8)	4.4(0.7)	2.4(0.7)	3.8(0.6)	3.5(0.8)	5.0(0.0)
Eco-28	3.0(0.2)	3.0(0.7)	4.9(0.2)	4.6(0.5)	2.9(0.2)	3.3(0.7)	2.9(0.6)	4.4(0.5)	2.5(0.8)	3.4(0.9)	2.9(1.3)	5.0(0.0)
I-476	2.7(0.5)	2.8(0.6)	5.0(0.2)	4.1(0.5)	2.7(0.5)	2.8(0.8)	2.4(0.5)	4.0(0.8)	2.3(1.0)	3.4(1.0)	3.3(1.1)	5.0(0.0)
72-30	2.5(0.5)	3.9(0.8)	5.0(0.0)	4.3(0.6)	2.6(0.5)	3.8(0.9)	3.2(0.8)	4.1(0.7)	2.1(0.7)	2.9(1.1)	3.0(1.0)	5.0(0.0)
72-31	2.6(0.5)	3.2(0.8)	5.0(0.0)	4.3(0.5)	2.7(0.5)	3.4(1.2)	3.0(0.9)	4.0(0.6)	2.3(0.7)	3.4(0.6)	2.9(1.0)	5.0(0.0)
97-19	2.8(0.4)	3.8(0.8)	5.0(0.0)	4.5(0.5)	2.7(0.7)	3.3(0.8)	3.0(0.7)	4.1(0.8)	2.5(0.7)	3.8(0.7)	3.2(1.1)	5.0(0.2)
62-2	2.9(0.4)	3.5(0.9)	5.0(0.0)	3.9(0.5)	2.8(0.6)	4.2(1.0)	3.3(0.7)	3.9(1.0)	2.7(0.6)	3.3(1.3)	2.3(0.7)	5.0(0.0)
Dorskamp	2.9(0.3)	4.8(0.5)	4.7(0.6)	4.3(0.6)	2.9(0.4)	3.9(1.0)	3.8(1.0)	4.1(0.7)	2.7(0.6)	3.9(0.7)	3.3(1.4)	5.0(0.0)
Suwon	2.6(0.6)	3.6(1.0)	5.0(0.0)	4.6(0.6)	2.4(0.7)	3.0(1.2)	2.7(0.8)	4.5(0.5)	2.4(0.8)	2.3(0.9)	2.9(0.9)	5.0(0.0)
131-25	2.8(0.4)	4.4(0.7)	5.0(0.0)	5.0(0.2)	2.8(0.6)	4.0(0.9)	2.9(0.4)	4.6(0.5)	2.8(0.4)	3.8(0.5)	3.4(0.9)	5.0(0.0)
Mean	2.8	3.8	4.9	4.5	2.7	3.6	3.1	4.2	2.5	3.5	3.1	5.0

\*Values in parenthesis are one standard deviation of the mean.

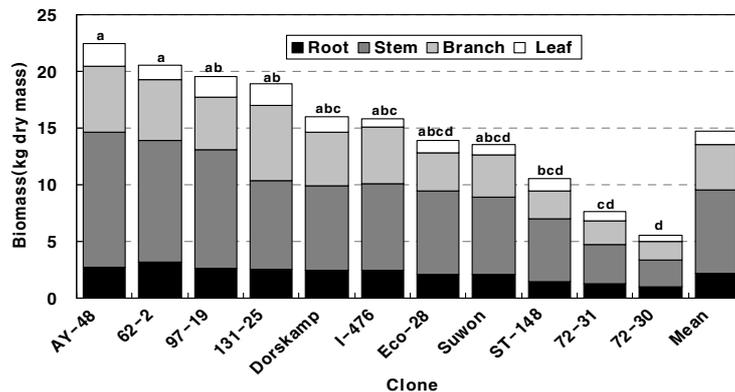
(leaf damage) 점수는 Table 2와 같이 식재당년 평균 4.9에서 식재 후 3년째에는 평균 3.1로 감소하였고 클론간에 통계적인 차이를 보였다 ( $\chi^2=35.81$ ;  $P<0.01$ ). 식재 당년에는 잎 피해 정도가 클론간에 큰 차이를 보이지 않았지만 식재 후 2년째부터 클론간에 다소 차이를 나타냈고 Dorskamp 클론이 식엽층의 가해를 가장 적게 받는 것으로 조사되었다. 박쥐나방(*Phassus excrescens* Butler)과 버드나무기미(*Crptorrhynchus lapathi* Linne) 등에 의한 천공충 피해는 식재 당년과 2년째에 전체 클론에서 경미하게 나타났지만 3년째에는 모든 클론이 거의 피해를 받지 않는 것으로 나타났다(표 2). 본 시험지에서 포플러 및 버드나무 클론들의 피해는 성장과 뚜렷한 관련성을 나타내지 않아 본 시험목이 받은 피해의 정도는 묘목의 생육에 영향을 미치지 않을 만큼 경미한 것으로 생각된다.

### 3. 바이오매스

바이오매스의 평가는 목적에 따라서 여러 가지 지표가 이용되고 있지만 본 연구에서는 가장 보편적으로 이용되는 건중량을 바이오매스 평가 지표로 이용하였다. 식재 후 3년째 시험목의 개체당 바이오매스는 클론별로 유의한 차이가 있었

다( $F=4.22$ ;  $P<0.01$ ). 전체 11클론의 평균 바이오매스는 14.7kg으로 나타났고 부위별로는 잎, 줄기, 가지 및 뿌리가 각각 8.2%, 49.6%, 27.2% 및 15.0%로 구성되어 있었으며, 지상부대 지하부 바이오매스의 비율은 각각 85.0%와 15.0%로 나타났다(Figure 5).

클론별 개체당 바이오매스는 미류나무 Ay-48 클론이 22.5kg으로 가장 우수하였으며, 수원포플러, 97-19 클론 순으로 우수하였고 현사시 72-31, 72-30 클론이 각각 7.6kg, 5.5kg의 바이오매스를 생산하여 가장 저조하였다. 본 시험지의 ha당 년 평균 바이오매스 생산능력 추정량은 12.2ton으로 비교적 양호하였다. Ay-48 클론의 ha당 연평균 바이오매스 생산능력 추정치는 18.7ton으로 나타나 가장 우수하였다. 일부 시험지에서 버드나무는 연간 최고 24~30ton의 바이오매스를 생산한 사례가 있으나(Christersson, 1986; Adegbedi 등, 2001; Labrecque 등, 2003), 대체로 버드나무와 포플러 등 속성수의 연간 바이오매스 생산능력은 10~20톤 정도인 것을 감안할 때(Heilman and Stettler, 1985; Koo 등, 1992; Walsh 등, 1998; Volk 등, 2001; Stanton 등, 2002; Hall, 2002; Labrecque 등, 2003) Ay-48 클론의 바이오매스 생산능력은 비교적 우수한 것으로 생각된다. 이



**Figure 5.** Above- and below-ground biomass after three growing seasons of poplar and willow clones planted in the riparian area in Osan. Same letters are not significantly different at  $p<0.05$  according to Duncan's multiple range test on total above- and below-ground biomass.

와 같은 바이오매스 생산능력이 우수한 클론은 수체 조직의 단위 무게 당 오염물질 축적 능력이 다른 클론과 유사하다고 가정하였을 경우 바이오매스 생산이 저조한 클론에 비해 상대적으로 많은 질소, 인산 등의 수질오염원을 흡수하여 체내에 축적할 수 있을 것으로 기대된다. 그러나 본 연구에서 평가한 단위면적당 바이오매스 생산량 추정치는 시험목이 100% 생존 하였을 경우를 가정하여 추정한 최댓값이며, 일반 조림지 포플러의 자연 고사율을 감안하여 추정하였을 경우 약간 낮아질 수 있다.

#### IV. 결론 및 제언

전체 클론을 대상으로 수식 1을 이용하여 평가한 클론별 적응 능력은 Figure 6과 같이 미류나무 교잡종인 Dorskamp 클론이 가장 우수한 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 Koo 등 (1996)이 적응성 검정을 위해 조성하였던 시험지 중 하나인 하천변 입지에서 Dorskamp 클론이 우수한 생장을 보였던 이전의 연구결과와 일치하였다. 그 다음으로 미류나무 Ay-48, 97-19, Eco-28 클론 등이 하천변에서 비교적 양호한 적응력을 보이는 것으로 나타났다. 특히 미류나무 97-19 클론은 국립산림과학원 산림유전자원부(수원) 포지에서 생장과 병해충에 대한 내성 등에 대한 우수성이 인정되어 선발된 클론으로서,

과거 조림용으로 널리 보급된 이태리포플러 I-476과 Eco-28 클론에 비해 적응력이 우수하였다. 이들 클론들을 이용하여 하천연변의 수변완충림(riparian forest buffer) 조성에 활용한다면 하천으로 광범위하게 유입되는 비점오염원의 효율적인 저감과 탄소 고정 및 목재 생산이 용이할 것으로 생각된다. 반면 현사시는 축산폐수 오염지, 쓰레기매립지 등 다양한 환경에 대하여 적응력이 우수하였던 이전의 연구결과(Yeo 등, 2003; Koo 등, 2006)와는 달리 본 연구에서 현사시 클론들의 적응능력은 다른 클론에 비해 저조하였다. 이러한 현상은 현사시가 척박하고 열악한 입지조건에서 다른 클론에 비해 우수한 생육 특성을 나타내지만 본 시험지는 하천연변에 조성되어 비옥하고 수분 공급이 원활할 뿐만 아니라 시험목들의 정상적인 생육에 지장을 초래할 수 있는 환경저해 요인이 없어 나타난 결과로 생각된다. 뿐만 아니라 시험목들의 수령이 3년생으로 비교적 어리고 왕성한 생장을 계속하는 상태이므로 여전히 각 특성별로 순위변동의 여지가 있을 수도 있다. 그러므로 하천입지에서 적응능력이 높은 포플러 클론의 최종 선발은 보다 성숙된 시험목을 대상으로 수행되어야 할 것으로 생각된다. 본 시험지는 본 연구의 수행 이후 공공시설물 설치 용지로 전용되어 묘목의 성숙단계까지 생육 추이를 지켜볼 수 없었다.

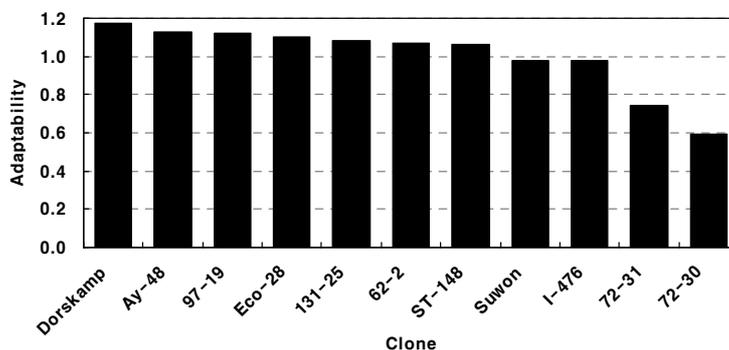


Figure 6. Adaptability after three growing seasons of poplar and willow clones planted in the riparian area in Osan.

## 인용문헌

- Adegbidi, H. G., Briggs, R. D., Volk, T. A., White, E. H., and Abrahamson, L. P. 2003. Effect of organic amendments and slow-release nitrogen fertilizer on willow biomass production and soil chemical characteristics. *Biomass and Bioenergy*, 25 : 389-398.
- Bischoff, J. M., Bukaveckas, P., Mitchell M. J., and Hurd, T. 2001. N storage and cycling in vegetation of a forested wetland : Implications for watershed N processing. *Water, Air, and Soil Pollution*, 128 : 97-114.
- Christerson, L. 1986. High technology biomass production by *Salix* clones on a sandy soil in southern Sweden. *Tree Physiology*, 2 : 261-272.
- Dix, M. E., Klopfenstein, N. B., Zhang, J. -W., Workman, S. W., and Kim, M. S. 1997. Potential use of populus for phytoremediation of environmental pollution in riparian zones. *USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. RM-GTR* : 297.
- Ebbs, S. D., Lasat, M. N., Brady, D. J., Cornish, J., Gorden, R., and Kochian, L. V. 1997. Phytoextraction of cadmium and zinc from a contaminated soil. *Journal of Environmental Quality*, 26 : 1424-1430.
- Hall, J. P. 2002. Sustainable production of forest biomass for energy. *The Forestry Chronicle*, 78 : 391-396.
- Heilman, P. E., and Stettler, R. F. 1985. Genetic variation and productivity of *Populus trichocarpa* and its hybrids. Part II. Biomass production in a 4-year plantation. *Canadian Journal of Forest Research*, 15 : 384-388
- Isebrands, J. G., and Karnosky, D. F. 2001. Environmental benefits of poplar culture. In : Dickmann, D. I., Isebrands, J. G., Eckenwalder, J. E., Richardson, J. editors. *Poplar Culture in North America*. Ottawa, Ontario, Canada : NRC Research Press : 207-218.
- Isenhardt, T. M., R. C. Schultz and J. P. Colletti. 1997. Watershed restoration and agricultural practices in the midwest : Bear Creek in Iowa. Chapter 15. In : Williams, J. E., M. P. Dombeck and C.A. Wood(eds), *Watershed Restoration : Principles and Practices*. American Fisheries Society.
- Ke, J., and Skelly, J. M. 1989. An evaluation of norway spruce in Northeastern United States. *Air Pollution and Forest Decline*(Bucher, J. B. and Bucher-Wallin, I., eds.). Proc. 14th Int. Meeting for Specialists in Air Pollution Effects on Forest Ecosystems, IUFRO P2.05, Interlaken, Switzerland, Oct. 2-8, 1988. Birmensdorf, 1989, P.55-60.
- Koo, Y. B., K. S. Woo, J. K. Yeo and Y. S. Kim. 2006. Selection of superior poplar and willow clones in growth performance and adaptation abilities at Sudokwon Landfill Site. *Journal of Korean Forest Society*, 95(6) : 743-750.
- Koo, Y. B., and J. K. Yeo. 2003. The status and prospect of poplar research in Korea. *Journal of Korea Forestry Energy*, 22(2) : 1-17.
- Koo, Y. B., S. K. Lee, E. R. Noh and H. R. Park. 1996. Selection of poplar clones by regional growth performance of hybrid poplar and introduced poplar clones. *Research Report of Forest Genetics Research Institute*, 32 : 25-31.
- Koo, Y. B., E. R. Noh, S. K. Lee and C. S. Kim. 1992. Selection of superior hybrid poplar clones for above-ground biomass production. *Research Report of Forest Genetics Research Institute*, 28 : 90-95.

- Labrecque, M., and Teodorescu, T. I. 2003. High biomass yield achieved by *Salix* clones in SRIC following two 3-year coppice rotations on abandoned farmland in southern Quebec, Canada. *Biomass and Bioenergy*, 25(2) : 135-146.
- Lowrance, R., Vellidis, G., Wauchope, R. D., Gay, P., and Bosch, D. D. 1997a. Herbicide transport in a managed riparian forest buffer system. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.*, 40 : 1047-1057.
- Lowrance, R., Altier, L. S., Newbold, J. D., Schnabel, R. R., Groffman, P. M., Denver, J. M., Correll, D. L., Gillian, J. W., Robinson, J. L., Brinsfield, R. S., Staver, K. W., Lucas, W., and Todd, A. H., 1997b. Water quality functions of riparian forest buffer systems in Chesapeake Bay watersheds. *Environmental Management*, 21 : 687-712.
- Lowrance R. 1992. Groundwater nitrate and denitrification in a coastal plain riparian forest. *Journal of Environmental Quality*, 21 : 401-405.
- Lowrance R. R., Todd, R. L., Fail, J. Jr, Hendrickson, O. Jr, Leonent, R., and Asmussen, L. 1984. Riparian forests as nutrient filters in agricultural watersheds : I. Phreatic movement. *Journal of Environmental Quality*, 13 : 22-27.
- Peterjohn, W. T., and Correll, D. L. 1984. Nutrient dynamics in an agricultural watershed : Observation on the role of a riparian forest. *ASAE 32* : 513519. *Ecology*, 65 : 1466-1475.
- Price and Impacts on the Traditional Agricultural Crops. In proceedings of conference, *Bioenergy 98 : Expanding Bioenergy Partnerships*, vol.2, pp.1302-10. Madison, WI, October 4-8.
- Puckett, L. J. 2004. Hydrogeologic controls on the transport and fate of nitrate in ground water beneath riparian buffer zones : results from thirteen studies across the United States. *Water Science Technology*, 49 : 47-53.
- Robinson, B. H., Mills, T. M., Petit, D., Fung, L. E., Green, S. R., and Clothier, B. E. 2000. Natural and induced cadmium-accumulation in poplar and willow : Implications for phytoremediation. *Plant Soil*, 227 : 301-306.
- SAS Institute Inc. 1996. *SAS/STAT User's guide*, Version 6.12. USA.
- Schultz, R. C., T. M. Isenhardt, W. W. Simpkins and J. P. Colletti. 2004. Riparian forest buffers in agroecosystems-lessons learned from the Bear Creek Watershed, central Iowa, USA. *Agroforestry Systems*, 61 : 35-50.
- Spruill, T. B. 2004. Effectiveness of riparian buffers in controlling ground-water discharge of nitrate to streams in selected hydrogeologic settings of the North Carolina Coastal Plain. *Water Science Technology*, 49 : 63-70.
- Stanton, B., Eaton, J., Johnson, J., Rice, D., Schuette, B., and Moser, B. 2002. Hybrid poplar in the Pacific Northwest : the effects of market-driven management. *Journal of Forestry*, 100(4) : 28-33.
- SYSTAT Software Inc. 2004. *SYSTAT 11, Statistics II*. SYSTAT Software Inc., Richmond, C.A. 657 pp.
- US EPA. 1995. *Ecological restoration : a tool to manage stream quality*. Office of Water, US Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA 841-F-95-007.
- Volk, T.A., Kiernan, B. D., Kopp, R. F., and Abrahamson, L. P. 2001. First- and second-rotation yields of willow clones at two sites in New York State. In : *Proceedings of the Fifth Biomass Conference of the Americas*. Orlando, FL.

- Walsh, M. E., de la Torre Ugarte, D., Slinsky, S., Graham, R. L., Shapouri, H., and Ray, D. 1998. "Economic Analysis of Energy Crop Production in the U.S.-Location, Quantities, Price and Impacts on the Traditional Agricultural Crops". In proceedings of conference, Bionergy 98 : Expanding Bionergy Partnerships 2 : 1302-1310. Madison, WI, October 4-8.
- Welsch, D. J. 1991. Riparian Forest Buffers : Function and Design for Protection and Enhancement of Water Resources. NA-PR-07-91. USDA Forest Service, Randor, Pennsylvania.
- Westphal, L. M., and Isebrands, J. G. 2001. Phytoremediation of Chicago's brownfields-consideration of ecological approaches and social issues. Proceedings Brownfields 2001 Conference, Chicago, IL, USA. BB-11-02.
- Wigington, P. J. Jr, Griffith, S. M., Field, J. A., Baham, J. E., Horwath, W. R., Owen, J., Davis, J. H., Rain, S. C., and Steiner, J. J. 2003. Nitrate removal effectiveness of a riparian buffer along a small agricultural stream in western Oregon. Journal of Environmental Quality, 32 : 162-170.
- Yeo, J. K. 2002. Use of Poplars for Elimination of Livestock Waste Water, Salt and Lead. Kyungpook National University. Ph.D. Thesis 107pp.
- Yeo, J. K., I. S. Kim, Y. B. Koo, Y. J. Kim and S. H. Joo. 2003. Growth and absorption of livestock waste water of poplar species at test plantation. Journal of Korea Society of Waste Management, 20(8) : 742-749.