

## 시설양묘과정에서 용기에 따른 편백 유묘의 성장 특성 변화

조민석 · 양아람 · 황재홍\*

국립산림과학원 산림생산기술연구소

### Container Types Influence *Chamaecyparis obtusa* Seedling Growth During Nursery Culture

Min Seok Cho, A-Ram Yang and Jaehong Hwang\*

Forest Practice Research Center, Korea Forest Research Institute, Pocheon 487-821, Korea

**요약:** 본 연구는 시설양묘과정에서 편백 용기묘(2-0묘) 생산을 위해 요구되는 적정 용기의 구 용적 및 생육밀도를 구명하고자 수행하였다. 용기 20구(400 mL/구, 150본/m<sup>2</sup>), 24구(320 mL/구, 200본/m<sup>2</sup>), 35구(240 mL/구, 260본/m<sup>2</sup>)에서 편백의 근원경, 간장, 생체량, 뿌리밀도 및 묘목품질지수를 조사·분석하였다. 용기에 따른 근원경, 간장, 생체량, 뿌리밀도 및 묘목품질지수는 20구 용기에서 유의적으로 가장 높은 값을 보였지만, H/D율과 T/R율은 용기에 따른 차이가 없었다. 단위 면적 당 총 물질생산량은 35구에서 가장 낮았으며, 20구와 24구 용기에서는 유의적 차이가 없었다. 또한, H/D율과 T/R율을 제외한 근원경, 간장, 물질생산량, 뿌리밀도 및 묘목품질지수는 용기 구 용적과는 정의 상관관계, 생육밀도와는 부의 상관관계를 보였다. 본 결과를 바탕으로 시설양묘 단계에서 편백 2-0묘는 20구(400 mL/구, 150본/m<sup>2</sup>) 용기가 적정 규격으로 판단된다. 편백 2-0묘 생산을 위한 적정 용기의 선정으로 우량 묘목 생산 및 경제적 비용 절감 효과와 함께 우수한 조림 성과를 거둘 수 있을 것으로 기대된다.

**Abstract:** The purpose of this study was to evaluate the effects of container types on seedling growth of *Chamaecyparis obtusa* (2-year-old) in the container nursery culture. We used three container types [20 cavities (400 mL/cavity, 150 seedlings/m<sup>2</sup>), 24 cavities (320 mL/cavity, 200 seedlings/m<sup>2</sup>), and 35 cavities (240 mL/cavity, 260 seedlings/m<sup>2</sup>)] and measured root collar diameter (RCD), height, biomass, root density and seedling quality index (SQI). The RCD, height, biomass, root density and SQI were the highest at 20 cavities/tray because this container has the largest volume and lowest seedling density. However, H/D and T/R ratio at all container types were not significantly different. The total biomass per unit area (m<sup>2</sup>) were the lowest at 35 cavities/tray and those at both 20 and 24 cavities/tray were not significantly different. Container volume was positively correlated with RCD, height, biomass, root density and SQI except for H/D and T/R ratio, while seedling density negatively affected on them. Based on these results, 20 cavities/tray are optimal for container seedling production of *C. obtusa*. Usage of optimal container will make us get better quality seedlings and reduction of production costs in the container nursery as well as good field performances with higher survival rate in plantation.

**Key words:** *Chamaecyparis obtusa*, container seedling, container volume, growth performances, seedling density

## 서 론

편백(*Chamaecyparis obtusa*)은 측백나무과 상록 침엽교목으로 우리나라에는 1904년 일본으로부터 도입되었고, 주로 제주도, 전남, 경남 해안에 인접한 지역에 분포한다(Kim et al., 1983; Lee, 1986). 2012년 1,870 ha 면적에 약 3,980천본이 조림되었으며, 우리나라에서 침엽수종 중

소나무를 제외하고 조림 면적과 식재 본수가 가장 높은 수종이다(KFS, 2013). 최근에는 목재의 이용뿐만 아니라 수종 특유의 향기와 향균 물질 등으로 숲 치유와 산림휴양 분야에서 각광 받고 있으며(Choi et al., 2012; KFS, 2013; Park et al., 2008), 이에 편백 묘목 생산 및 조림 면적이 중부 이남을 중심으로 증가하고 있다(KFS, 2014).

현재 편백 노지묘는 1-1, 1-1-2, 1-2-2 묘령으로 양묘 및 조림이 이루어지고 있으며, 2009년부터 시설양묘에 의한 용기묘 조림이 시작되었다(Song et al., 2012). 그러나 최

\*Corresponding author  
E-mail: jhwang@forest.go.kr

근 빈번히 발생하는 기상이변으로 노지묘의 경우 여름철 집중호우에 의한 침수 피해와 겨울철 월동과정에서의 동해 피해가 묘목 생산현장에서 대량으로 발생되고 있으며 (Kim et al., 2010a), 이에 시설양묘로의 전환이 필요한 시점이다.

시설양묘는 노지양묘보다 조림 시 높은 활착률, 우수한 성장, 연중 조림 가능, 양묘기간 단축, 생력화 가능, 노동력 절감 등의 이점을 가지고 있다(Wilson et al., 2007). 또한 현재 시설양묘 수종 확대 및 기준 마련과 현장에서의 다양한 수종에 대한 용기묘 식재 요구가 증가하고 있는 실정이다(Kwon et al., 2009). 시설양묘과정에서는 광, 온도, 수분 등의 생육환경 조절과 용기 종류, 상토, 시비기술 등이 중요한 영향을 미친다(Aghai et al., 2014; Grossnielke, 2005). 특히 용기에 따라 구 용적, 생육밀도, 용기 높이, 폭 등이 변화하며, 이는 용기묘 양묘 시 생육환경의 변화를 뜻한다(Cho et al., 2012; Pinto et al., 2012; Romero et al., 1986). 또한 이러한 용기는 양묘과정뿐만 아니라 조림 후까지 묘목의 생리 및 형태학적 특성에 영향을 미치기 때문에 용기에 따른 변화 요인을 확인하는 것이 중요하다(Landis et al., 1990; Pinto et al., 2011a).

시설양묘는 다양한 용기의 개발과 함께 발전되어 왔으며, 묘목 생산자는 작은 용기에서 양묘하는 것을 선호하는데 이는 용기 구 용적이 작을수록 상토의 비용이 감소하며, 단위면적 당 묘목 생산량이 증가하기 때문이다(Apholo and Rikala, 2003). 그러나 대부분의 수종은 용기 구 용적이 크고, 생육밀도가 낮을수록 생장이 우수하다(Dominguez-Lerena et al., 2006). 수종에 따른 차이는 있지만, 대부분 용기가 클수록 양분이용 능력과 뿌리 발달이 좋으며, 우수한 성장과 식재 후 높은 활착률을 보인다(Hsu et al., 1996; McConnughay and Bazzar, 1991). 반면, 생육밀도는 높을수록 낮은 근원경 성장을 나타낸다(Ortega et al., 2006). 또한 용기묘에서는 구 용적에 따라 뿌리돌림(Root spiraling) 문제가 발생할 수 있으며, 이는 조림 후 몇 년 간 성장에 부정적인 영향을 미치게 된다

(Day and Parker, 1997). 즉, 수종 및 묘령별 성장과 묘목 품질에 문제가 없는 수준에서 최대한 많은 묘목을 생산할 수 있으며, 수종의 성장 및 형태학적 특성에 맞는 구 용적, 생육밀도, 용기 높이 및 폭 등이 고려 된 용기 개발이 필요하다.

이에 본 연구는 주요 조림수종인 편백을 대상으로 세 가지 용기에 따른 근원경, 간장, 생체량, 묘목품질지수 등 성장 특성을 조사·분석하여 시설양묘과정에서 실질적으로 적용 가능한 적정 용기를 구명하고자 수행하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 공시 수종 및 시험지

시험지는 경기도 포천에 위치한 국립산림과학원 산림생산기술연구소 시설온실(N 37° 45', E 127° 10')이다. 서부지방산림청 보성양묘사업소에서 분양 받은 편백 종자를 이용하여 2009년 4월 파종을 실시하였으며, 2010년 가을까지 2년간 용기에 따른 성장 특성을 조사하였다.

### 2. 용기 및 양묘 방법

본 연구에 이용된 용기는 현재 국내에서 생산되는 시설양묘용 플라스틱 용기 3 종류이며, 용기의 특성은 Table 1과 같다. 용기 당 구의 개수가 증가 할수록 구 용적은 감소하며, 생육밀도는 증가한다. 용기별 각각 20 tray씩 총 60 tray에 양묘하였으며, 총 1,580본의 용기묘를 이용하였다.

양묘 시 피트모스:펄라이트:버미큘라이트(1:1:1, v/v)의 생육상토(Table 2)를 이용하였다. 2009년과 2010년 각각 4월부터 10월까지 매일 m<sup>2</sup>당 20 L를 관수하였으며, 시비는 6월부터 3달 동안 수용성 비료인 MultiFeed 19(19N:19P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:19K<sub>2</sub>O, Haifa Chemicals, Israel)를 1 g·L<sup>-1</sup> 배액으로 희석하여 주 1회 관수와 병행하여 실시하였다. 실험 대상 용기묘 모두 2009년 11월부터 1달간 야외 경화과정을 거쳐 12월부터 다음해 2월까지 온실 내에서 월동하였으며, 주 1-2회 관수하였다. 또한 2010년 3월부터 1달 동

**Table 1. Physical characteristics of containers.**

Container type (cavity no./tray)	Tray size (L×W×H, cm)	Cavity volume (mL)	Cavity width (Φ, mm)	Seedling density (no./m <sup>2</sup> )
20	40×32×15	400	68	150
24	42×28×14	320	64	200
35	44×30×16	240	50	260

**Table 2. Physical and chemical properties of media.**

Composition rate(%)			pH	EC (ds m <sup>-1</sup> )	Total N (g kg <sup>-1</sup> )	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	Exch. Cations (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )			CEC (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )
Peat moss	Perlite	Vermiculite					K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	
33.3	33.3	33.3	5.3	0.1	3.7	13.6	0.20	1.52	0.85	17

안 야의 경화처리 후 2년차 양묘 및 성장 특성 조사를 실시하였다.

### 3. 성장 특성 조사

용기에 따른 성장을 조사하기 위하여 용기별 묘목을 40본씩 선정하여 2009년은 6월부터 30일 간격으로 5회, 2010년에는 5월부터 20일 간격으로 7회씩 각각 근원경과 간장을 반복 측정하였다. 또한 편백 용기묘의 성장 특성을 분석하기 위해 매년 근원경과 간장의 첫 번째 측정값에 대한 상대성장량(mm or cm·day<sup>-1</sup>) 및 양묘된 묘목의 건전도를 판단할 수 있는 H/D율[ $SQ; Sturdiness\ Quotient = height(cm)/root\ collar\ diameter(mm)$ ]을 계산하였다(Bayala et al., 2009; Hughes and Freeman, 1967; Lee et al., 2006). 근원경과 간장 측정에는 전자식캘리퍼스와 스틸테이프를 각각 이용하였다. 2010년 9월 중순 모든 실험이 끝난 후 근원경과 간장을 측정했던 용기별 40본의 묘목 중 무작위로 각 10본씩 선정하여 잎, 가지, 뿌리로 구분한 뒤 48시간 동안 65°C로 건조한 후, 각각의 건조량을 측정하였다. 건조량 측정결과에 의해 용기묘 부위별 생체량, 총 생체량, T/R률(Ratio of aboveground to belowground biomass) 및 뿌리밀도[ $Root\ density = Root\ dry\ weight(g)/Cavity\ volume(L)$ ]를 계산하였다(Dominguez-Lerena et al., 2006; Šestak et al., 1971). 또한, 종합적으로 양묘된 묘목의 품질을 최종 판단할 수 있는 묘목품질지수[ $SQI; Seedling\ Quality\ Index = Seedling\ dry\ weight(g)/(H/D\ ratio + T/R\ ratio)$ ]와 묘목생산의 효율을 알 수 있는 단위 면적(m<sup>2</sup>) 당 총 물질생산량[ $Total\ biomass = Seedling\ dry\ weight(g) \times Seedling\ density(no./m^2)$ ]을 계산하였다(Cho et al., 2012; Deans et al., 1989).

### 4. 통계분석

용기에 따른 측정결과를 비교·분석하기 위해서 Duncan의 다중검정법을 이용한 유의성 분석 및 용기의 구 용적

과 생육밀도에 따른 성장 특성과의 상관관계 분석을 실시하였으며, 모든 통계분석은 PC SAS program Version 8.2(SAS, 2000)를 이용하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 근원경 및 간장 성장

용기에 따른 편백 1-0묘 근원경과 간장 성장 및 상대성장량은 35구 용기에서 가장 낮은 값을 보였으며, 용기 구 용적이 클수록, 생육밀도가 낮을수록 높은 성장을 나타냈다. 편백 2-0묘의 경우 1년생 묘목과 같이 20구 용기에서 가장 우수한 성장을 보였지만 1, 2년생 모두 20구와 24구 용기간 성장의 유의적 차이는 없었다(Figure 1, Table 3). 소나무(Dominguez-Lerena et al., 2006; Ortega et al., 2006), 낙엽송(Aghai et al., 2014), 전나무(Timmis and Tanaka, 1976) 및 가문비나무(Paterson, 1996; Scarratt 1972) 등의 침엽수종에서 용기 구 용적이 크고, 생육밀도가 낮을수록 높은 근원경과 간장 성장을 보인 결과와 같은 경향을 나타냈다. 이는 생육밀도가 낮을수록 지상부 생육공간의 확보, 관수 및 시비 효과 증진, 통기성 향상 등의 이점과 함께 구 용적이 클수록 지하부 성장 증진, 상토내 양분함량 증가, 뿌리돌림 방지 효과 등으로 용기묘의 성장에 긍정적 영향을 미친 것으로 판단된다(Dumroese et al., 2013). 그러나 성장뿐만 아니라 생산적 측면도 고려되어야 하므로 묘목의 품질에 문제가 없는 가운데 최대한 묘목을 많이 생산 할 수 있는 용기 선정이 필요하다.

편백 1-0묘( $P=0.65$ )와 2-0묘( $P=0.16$ ) 모두 용기에 따른 H/D율 차이는 없었다. 시설양묘과정에서는 대부분 수종별 묘목 품질이 가장 우수한 용기에서 상대적으로 가장 낮은 H/D율을 보인다(Cho et al., 2012). 또한 수목은 일반적으로 생육밀도가 높을수록 묘목간의 수광 경쟁에 의해 활발한 지상부 성장을 보이면서 H/D율이 높아지는 경향을 나타낸다(Kozłowski et al., 1991). 지하부 성장 대비

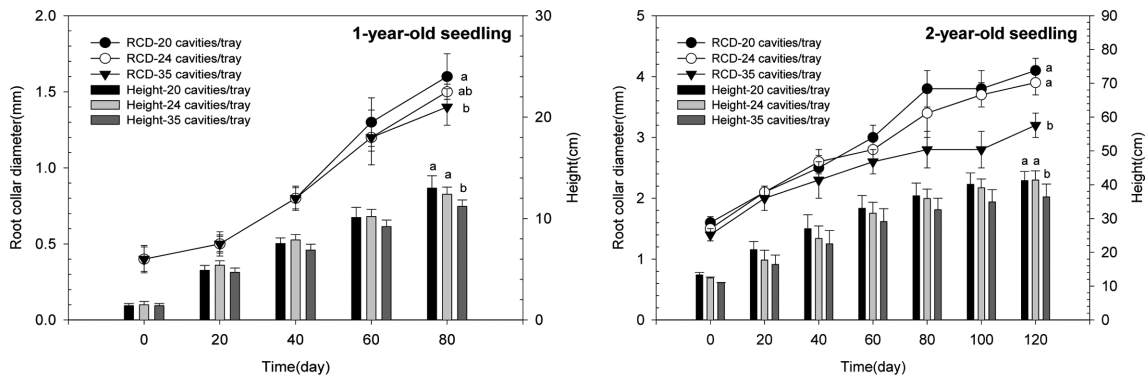


Figure 1. The growth patterns of root collar diameter and height of 1- and 2-year-old container seedlings grown at three different container types. Vertical bars represent SD of the mean (n=40). Different letters within seedling age show statistical differences among container types at the 5% levels by Duncan's multiple range test.

**Table 3. The root collar diameter, height and H/D ratio of 1- and 2-year-old container seedlings grown at three different container types.**

Seedling age (year old)	Container type (cavity no./tray)	Root collar diameter		Height		H/D ratio (cm mm <sup>-1</sup> )
		Growth (mm)	RGR <sup>2</sup> (mm day <sup>-1</sup> )	Growth (cm)	RGR (cm day <sup>-1</sup> )	
1	20	1.6±0.2 <sup>a</sup>	0.013±0.001 <sup>a</sup>	13.0±1.2 <sup>a</sup>	0.129±0.013 <sup>a</sup>	8.4±0.7 <sup>a</sup>
	24	1.5±0.1 <sup>ab</sup>	0.012±0.001 <sup>b</sup>	12.4±0.7 <sup>b</sup>	0.121±0.008 <sup>a</sup>	8.5±0.5 <sup>a</sup>
	35	1.4±0.1 <sup>b</sup>	0.011±0.001 <sup>b</sup>	11.2±0.6 <sup>b</sup>	0.109±0.008 <sup>b</sup>	8.2±1.0 <sup>a</sup>
2	20	4.1±0.2 <sup>a</sup>	0.021±0.002 <sup>a</sup>	41.2±2.7 <sup>a</sup>	0.233±0.027 <sup>a</sup>	10.0±0.3 <sup>a</sup>
	24	3.9±0.2 <sup>a</sup>	0.020±0.002 <sup>ab</sup>	41.4±2.7 <sup>a</sup>	0.242±0.024 <sup>a</sup>	10.7±0.5 <sup>a</sup>
	35	3.2±0.2 <sup>b</sup>	0.015±0.001 <sup>b</sup>	36.4±3.8 <sup>b</sup>	0.211±0.032 <sup>a</sup>	11.3±1.6 <sup>a</sup>

<sup>2</sup>RGR: Relative growth rate. Values are means of 40 replicates±SD. Values with different letters in the columns within a seedling age indicate statistical differences at the 5% levels by Duncan's multiple range test.

지상부 성장 비율인 H/D율은 양묘된 묘목의 건전도를 판단할 수 있으며(Deans et al., 1989), 묘목의 내건성 지표로서 H/D율이 높을수록 조립 후 바람, 건조, 저온 등의 스트레스에 취약한 것으로 알려져 있다(Burdett, 1990; Grossnickle, 2012; Thompson, 1985). 그러나 본 연구 결과와 같이 Pinto et al.(2011b)은 소나무(Ponderosa pine)를 대상으로 실시한 연구에서 용기별 H/D율 차이가 없으며, 이는 수종별 적정 뿌리 생육 공간과 함께 양분 및 수분 공급에 문제가 없는 기준 이상 용기 규격의 경우 지상부와 지하부 성장 배분에 문제가 없었기 때문에 H/D율 차이가 없었던 것으로 보고하였다. 그러나 H/D율 지표만으로 적정 용기를 선정하는 것은 문제가 있으며 용기묘의 생리 및 성장 특성, 단위 면적당 묘목 생산량 및 생산 비용이 함께 고려되어야 할 것으로 판단된다.

**2. 생체량 및 묘목품질지수**

용기에 따른 편백 2-0묘의 잎, 줄기, 뿌리 및 총 생체량 모두 유의적 차이를 보이면서 35구 용기에서 가장 낮았고, 용기 구 용적이 클수록, 생육밀도가 낮을수록 높은 생체량을 보였다(Table 4). 이는 용기 구 용적이 작을수록 또는 생육밀도가 높을수록 편백(Song et al., 2012), 낙엽송(Aghai et al., 2014), 소나무와 전나무(Jinks and Mason, 1998), 참나무류(Tsakalidimi et al., 2005), 자작나무(Aphalo and Rikala, 2003), 물푸레나무(Cho et al., 2012)

등의 용기묘 생체량이 낮아지는 경향과 같다. 시설양묘과정에서 용기 구 용적과 생육밀도는 광 환경, 수분 조건, 온도 조건, 시비 효율 등에 영향을 미치며, 특히 수종별 잎의 형태학적 특성은 용기 규격과 복합적으로 작용하여 광 투광률, 상토 내 수분함량, 온도, 통기성 등의 차이를 가져 오게 된다(Dominguez-Lerena et al., 2006; Pinto et al., 2012). 이러한 시설양묘과정에서의 생육환경 변화는 수종에 따라 생리적 반응과 관련하여 광, 온도, 수분 시비 등의 과·부족에 의한 스트레스를 받을 수 있다(Dumroese et al., 2013; Khan et al., 1996). 이에 따라 생체량과 각각의 부위별 비율은 용기에 따라 수종별로 다르게 나타나며(Cho et al., 2010), 용기에 따른 생육환경의 변화와 이에 따른 광합성 산물의 배분이 수종별로 어떻게 이루어지는지를 판단할 수 있다(Groves et al., 1998). 편백은 삼나무보다 토양 수분이 감소하면 성장과 광합성 활동이 저하되며(Nagakura et al., 2004), 생육공간의 광도 및 토양 내 양분함량이 감소할수록 상대적으로 엽 성장 및 광합성 능력이 불량해지는 것으로 보고되고 있다(Hagihara and Yamaji, 1993; Han and Chiba, 2009). 본 연구에서도 여러 복합적인 요인이 있겠지만 구 용적의 감소와 생육밀도의 증가에 따라 특히 광 부족 및 관수와 시비 효율 감소의 영향으로 35구 용기에서 가장 낮은 생체량을 보인 것으로 판단된다. 즉, 수종별 적정 용기에 따른 최적 생육환경은 높은 양분이용효율과 우수한 생체량을 보이며(Richards et

**Table 4. The effect of container types on the biomass production, T/R ratio and root density of 2-year-old container seedlings.**

Container type (cavity no./tray)	Dry weight (g)				T/R ratio (g·g <sup>-1</sup> )	Root density (g·L <sup>-1</sup> )
	Needle	Stem	Root	Seedling		
20	4.36±0.08 <sup>a</sup>	0.97±0.19 <sup>a</sup>	0.99±0.17 <sup>a</sup>	6.33±0.41 <sup>a</sup>	5.46±0.72 <sup>a</sup>	2.48±0.43 <sup>a</sup>
24	3.30±0.22 <sup>b</sup>	0.77±0.10 <sup>ab</sup>	0.65±0.06 <sup>b</sup>	4.72±0.27 <sup>b</sup>	6.32±0.44 <sup>a</sup>	2.02±0.19 <sup>ab</sup>
35	1.83±0.39 <sup>c</sup>	0.56±0.16 <sup>b</sup>	0.39±0.08 <sup>c</sup>	2.79±0.58 <sup>c</sup>	6.10±0.46 <sup>a</sup>	1.64±0.35 <sup>b</sup>

Values are means of 10 replicates±SD. Values with different letters in the columns indicate statistical differences at the 5% levels by Duncan's multiple range test.

al., 1973), 스트레사와 병해충 저항성이 강한 묘목이 생산되기 때문에 적정 용기의 적용은 묘목생산에서 생장 외에도 매우 중요한 요인이다(Will and Teskey, 1997).

편백 2-0묘의 T/R률은 용기에 따른 유의적 차이는 없었다( $P=0.22$ )(Table 4). 일반적으로 양묘과정에서 묘목은 광조건이 불량할수록 수광 경쟁에서 우위를 점하기 위해 지상부에 광합성 산물을 더 많이 배분하여 T/R률이 증가하는 경향을 보이는 반면, 수분과 온도 조건이 불량하면 양분 및 수분이용효율을 높이기 위해 지하부에 광합성 산물이 더 많이 배분되어 T/R률이 감소되는 경향을 나타낸다(Kozłowski et al., 1991). Cho et al.(2012)은 용기 구 용적이 작을수록, 생육밀도가 높을수록 백합나무, 들메나무, 느티나무 및 참느릅나무의 T/R률은 감소하였지만, 물푸레나무와 백합나무는 반대의 경향이 나타났다고 보고하였다. 따라서 용기 구 용적과 생육밀도가 각기 다른 용기는 광, 온도, 수분 등의 요인에 복합적인 영향을 미치기 때문에 생리적 특성과의 상관분석이 필요할 것으로 판단된다.

뿌리 밀도( $g \cdot L^{-1}$ )는 구 용적 대비 용기묘의 지하부 발달을 알 수 있는 지표로서, 본 연구에서는 35구 용기에서 다른 두 용기보다 유의적으로 낮은 값을 보였다(Table 4). 뿌리 및 총 생체량이 우수한 20구와 24구 용기에서 우수한 뿌리 성장을 보였는데 그 이유는 35구 용기에서는 수광 경쟁에 의해 지하부보다 지상부에 배분되는 광합성 산물이 상대적으로 20구와 24구 용기보다 많았기 때문이라 판단된다. 용기묘는 용기 구 용적에 따라 뿌리돌림 문제가 발생할 수 있으며, 이는 조림 후 몇 년 간 생장에 부정적인 영향을 미친다(Day and Parker, 1997). 본 연구에서 편백 2-0묘는 24구 용기 구 용적인 약 320 mL까지 지하부 생장 및 뿌리돌림 문제가 없었으며, 24구 용기 구 용적 이상의 조건이 필요할 것으로 판단된다. 또한 뿌리 발달이 우수한 용기에서 생산된 조림목은 높은 생존율과 우수한 생장을 기대할 수 있으며, 조림성과 향상을 위해서는 지하부 생장과 관련된 높은 근원경, 뿌리 물질생산량, 뿌리 밀도와 함께 낮은 H/D율 및 T/R률 조건을 가진 묘목 생산이 필요하다(Davis and Jacob, 2005; Dumroese et al., 2013).

용기에 따른 편백 2-0묘의 묘목품질지수는 유의적 차이를 보이면서 35구 용기에서 가장 낮은 값을 보였으며, 용기 구 용적이 클수록, 생육밀도가 낮을수록 묘목품질지수가 높아지는 경향을 나타냈다(Figure 2). 근원경, 간장 및 생체량 값이 가장 높은 20구 용기에서 묘목품질이 가장 우수한 결과를 보인 것이다. 그러나 근원경, 간장 및 생체량 등의 생장이 우수한 묘목이 무조건적으로 묘목품질이 우수한 것은 아니며(Cho et al., 2012), 생리적 특성과 함께 생장뿐만 아니라 지상부와 지하부의 균형적 생장이 이루어졌을 때 묘목품질이 적정한 것으로 판단된다. 즉, 양

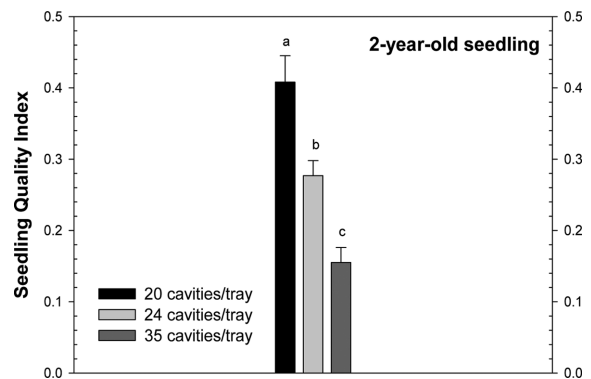


Figure 2. The effect of container types on seedling quality index(SQI) of 2-year-old container seedlings. Vertical bars represent SD of the mean ( $n=10$ ). Different letters show statistical differences among container types at the 5% levels by Duncan's multiple range test.

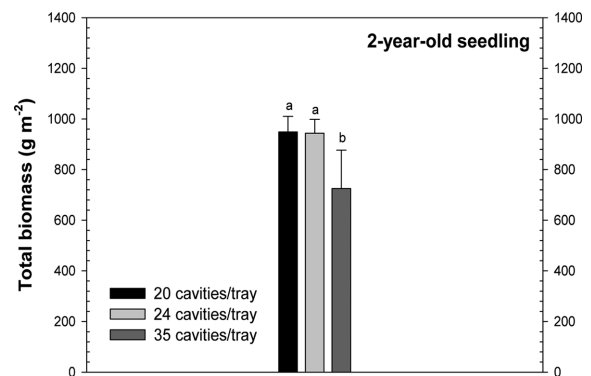


Figure 3. The total biomass per unit area ( $m^2$ ) of 2-year-old container seedlings grown at three different container types. Vertical bars represent SD of the mean ( $n=10$ ). Different letters show statistical differences among container types at the 5% levels by Duncan's multiple range test.

묘과정에서는 낮은 H/D율과 T/R률 및 높은 물질생산량일 때 건전하게 생산된 묘목으로 평가받는 것이다(Bayala et al., 2009).

편백 2-0묘의 단위 면적 당 총 물질생산량( $g \cdot m^{-2}$ )은 35구에서 가장 낮았으며, 20구와 24구 용기는 유의적 차이가 없었다(Figure 3). 용기에 따른 생육밀도의 차이는 단위 면적 당 총 물질생산량에 영향을 미친다. 즉, 시설양묘 과정에서는 생장 및 묘목품질이 우수하여도 생육밀도가 낮으면 단위 면적 당 묘목 생산 본수가 줄어들기 때문에 단위 면적 당 총 물질생산량은 낮아지며, 경제적 측면에서 손해를 볼 수 있다. 그러나 본 연구에서는 단위 면적 당 묘목 생산 본수가 가장 낮은 20구 용기가 24구 수준의 단위 면적 당 총 물질생산량을 보였으며, 이는 20구 용기가 다른 두 용기보다 상대적으로 생장이 월등히 높았기 때문으로 사료된다. 이러한 결과는 활엽수 5수종을 대상으로 한 선행 연구에서도 확인 할 수 있다(Cho et al., 2012). 즉, 묘목의 품질과 생산성을 동시에 만족시키기 위

**Table 5. The correlation (*r*) between container characteristics and growth performances of 2-year-old container seedlings.**

Container variables	Dependent variables							
	RCD <sup>2</sup>	Height	H/D ratio	SDW <sup>2</sup>	T/R ratio	Root density	SQI <sup>3</sup>	Total biomass
Cavity volume	0.88***	0.54*	NS	0.97***	NS	0.78*	0.98***	0.69*
Seedling density	-0.89***	-0.56*	NS	-0.97***	NS	-0.76*	-0.97***	-0.71*

<sup>2</sup>RCD : Root collar diameter. <sup>2</sup>SDW : Seedling dry weight. <sup>3</sup>SQI : Seedling quality index. \*P = 0.05-0.01, \*\*P = 0.01-0.001, \*\*\*P = <0.001 and NS = P>0.05.

해서는 용기묘의 생리 및 성장 특성과 단위 면적 당 묘목 생산량, 효율 및 비용이 함께 고려되어야 하며, 본 연구 결과 편백 2-0묘는 20구 용기에서 묘목품질 및 생산성 두 가지 측면 모두 문제가 없는 것으로 판단된다.

**3. 용적 및 생육밀도에 따른 상관관계 분석**

시설양묘에서 대부분의 수종은 용기의 구 용적과 근원경, 간장, 물질생산량, 양분이용효율 등은 정의 상관관계, H/D율, T/R률과는 부의 상관관계를 보이며, 반면 생육밀도는 용기 구 용적 결과와는 반대의 경향을 나타낸다 (Apholo and Rikala, 2003; Cho et al., 2012; Dominguez-Lerena et al., 2006; Grossnickle, 2005; Jinks and Mason, 1998; Kim et al., 2010b; Landis al., 1990; Ortega et al., 2006; Pinto et al., 2011b; Timmis and Tanaka, 1976). 또한 용기별 생육환경 변화는 묘목의 지상부와 지하부의 형태학적 특성에 영향을 미치며, 용기에 따라 묘목의 품질과 생산성이 달라진다(Martini et al., 1991).

편백 2-0묘의 근원경, 간장, 생체량, 뿌리밀도, 묘목품질지수 및 단위 면적 당 총 물질생산량은 용기 구 용적과 정의 상관관계, 생육밀도와는 부의 상관관계를 보였으며, 특히 근원경, 생체량 및 묘목품질지수는 강한 상관관계 결과를 나타냈다. 그러나 기존 연구결과와 달리 H/D율과 T/R률은 상관관계가 없었으며, 각각의 분산분석에 의한 유의적 차이가 없었기 때문에 판단된다(Table 5). 우수한 묘목의 품질과 높은 생산성을 가지는 용기를 한 가지 결과로 판단하는 것은 쉽지 않다. 이에 따라 용기 규격별 구 용적 및 생육밀도와 모든 측정 인자들의 상관관계를 분석하였으며, 편백 2-0묘는 20구 용기에서 대부분의 측정 인자를 만족시켰다.

용기묘의 근원경, 간장, 생체량, 뿌리밀도 등의 묘목 규격으로만 적정 용기의 적용은 부족한 부분이 많이 있다. 이에 따라 묘목의 형태적인 측면뿐만 아니라 생리적 특성과 물질생산량의 적절한 배분을 판단할 수 있는 H/D율, T/R률, 묘목품질지수와 함께 생산 비용에 따른 경제적인 측면이 다각적으로 고려되어야 할 것으로 판단된다. 용기 구 용적 및 생육밀도에 따른 성장, 물질생산량의 배분, 묘목품질지수 및 경제적 측면인 묘목 생산비용을 동시에 고

려했을 시 편백 2-0묘 생산을 위해서는 20구(400 mL/구, 150본/m<sup>2</sup>) 용기가 적정한 것으로 판단된다.

본 연구결과에서도 용기 규격에 따른 편백 성장 특성 변화를 볼 수 있었다. 용기에 따른 구 용적 및 생육밀도는 시설양묘과정에서 묘목의 품질뿐만 아니라 생육환경과 묘목 생산의 비용적 측면에서 매우 큰 영향을 미친다. 또한, 수종 및 묘령별 적정 용기의 선정은 우량 묘목 생산으로 우수한 조림 성과를 거둘 수 있고, 이와 함께 단위 면적 당 묘목 생산량 증가 및 생산비용 절감, 양묘기간의 단축 등 경제적 측면에서도 이점을 줄 수 있을 것으로 기대된다.

**결 론**

본 연구는 주요 조림수종인 편백을 대상으로 세 가지 용기에 따른 근원경, 간장, 생체량, 뿌리밀도, 묘목품질지수 등의 성장 특성을 조사·분석하여, 적정 용기 규격을 구명하고자 수행하였다.

용기별 용기 구 용적 및 생육밀도 변화에 따라 편백의 성장 특성 변화를 볼 수 있었다. 근원경, 간장, 생체량, 뿌리밀도 및 묘목품질지수는 20구 용기에서 유의적으로 가장 높은 값을 보였으며, 용기 구 용적이 작고, 생육밀도가 높을수록 낮았다. 그러나 H/D율과 T/R률은 용기에 따른 차이가 없었다. 또한, H/D율과 T/R률을 제외한 근원경, 간장, 생체량, 뿌리밀도 및 묘목품질지수는 용기 구 용적과는 정의 상관관계, 생육밀도와는 부의 상관관계를 보였다. 단위 면적 당 총 물질생산량은 35구에서 가장 낮았으며, 20구와 24구 용기는 유의적 차이가 없었다.

본 연구를 종합해보면 편백 2-0묘는 20구(400 mL, 150 본/m<sup>2</sup>) 용기가 적합한 것으로 판단된다. 편백 2-0묘 생산을 위한 적정 용기의 선정으로 우량 묘목 생산 및 경제적 비용 절감 효과와 함께 우수한 조림 성과를 거둘 수 있을 것으로 기대된다.

**References**

Aghai, M.M., Pinto, J.R. and Davis, A.S. 2014. Container volume and growing density influence western larch (*Larix*

- occidentalis* Nutt.) seedling development during nursery culture and establishment. *New Forests* 45: 199-213.
- Apholo, P. and Rikala, R. 2003. Field performance of silver-birch planting-stock grown at different spacing and in containers of different volume. *New Forests* 25: 93-108.
- Bayala, J., Dianda, M., Wilson, J., Ouedraogo, S.J., and Sanon, K. 2009. Predicting field performance of five irrigated tree species using seedling quality assessment in Burkina Faso, West Africa. *New Forests* 38: 309-322.
- Burdett, A.N. 1990. Physiological processes in plantation establishment and the development of specifications for forest planting stock. *Canadian Journal of Forest Research* 20: 415-427.
- Cho, M.S., Kim, G.N., Kwom, K.W., and Lee, S.W. 2010. Effect of planting season and vegetation competition on growth performances of containerized seedlings of *Pinus densiflora*. *Journal of Korean Forest Society* 99(3): 367-367 (in Korean).
- Cho, M.S., Lee, S.W., Hwang, J., and Kim, S.K. 2012. Growth performances of container seedlings of deciduous hardwood plantation species grown at different container types. *Journal of Korean Forest Society* 101(2): 324-332 (in Korean).
- Choi, H.S., Kang, Y.J., Kim, I.S., Park, Y.K., and Ryu, K.O. 2012. Growth and heritability of Hinoki Cypress (*Chamaecyparis obtusa*) families in Jeju. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 14(4): 236-245 (in Korean).
- Davis, A.S. and Jacobs, D.F. 2005. Quantifying root system quality of nursery seedlings and relationship to outplanting performance. *New Forests* 30: 295-311.
- Day, D.C. and Parker, W.C. 1997. Morphological indicators of stock quality and field performance of red oak (*Quercus rubra* L.) seedlings underplanted in a central Ontario shelterwood. *New Forests* 14: 145-156.
- Deans, J.D., Mason, W.L., Cannell, M.G.R., Sharpe, A.L., and Sheppard, L.J. 1989. Growing regimes for bare-root stock of sitka spruce, douglas fir and scots pine. 1. Morphology at the end of the nursery phase. *Forestry* 62: 53-60.
- Dominguez-Lerena, S., Sierra, N.H., Manzano, I.C., Bueno, L.O., Rubira, J.L.P., and Mexal, J.G. 2006. Container characteristics influence *Pinus pinea* seedling development in the nursery and field. *Forest Ecology and Management* 221: 63-71.
- Dumroese, R.K., Sung, S.S., Pinto, J.R., Davis, A.S. and Scott, D.A. 2013. Morphology, gas exchange, and chlorophyll content of longleaf pine seedlings in response to rooting volume, copper root pruning, and nitrogen supply in a container nursery. *New Forests* 344: 881-897.
- Grossniclke, S.C. 2005. Importance of root growth in overcoming planting stress. *New Forests* 30: 273-294.
- Grossniclke, S.C. 2012. Why seedlings survive: influence of plant attributes. *New Forest* 43: 711-738.
- Groves, K.M., Warren, S.L. and Bilderback, T.E. 1998. Irrigation volume, application, and controlled-release fertilizer: I. Effect on plant growth and mineral nutrient content in containerized plant production. *Journal of Environmental Horticulture* 16: 176-181.
- Hagihara, A. and Yamaji, K. 1993. Interception of photosynthetic photon flux density by woody elements in a hinoki (*Chamaecyparis obtusa* [Sieb. et Zucc.] Endl.) stand. *Ecological Research* 8: 313-318.
- Han, Q. and Chiba, Y. 2009. Leaf photosynthetic responses and related nitrogen changes associated with crown reclosure after thinning in a young *Chamaecyparis obtusa* stand. *Journal of Forest Research* 14: 349-357.
- Hughes, A.P. and Freeman, P.R. 1967. Growth analysis using frequent small harvests. *Journal of Applied Ecology* 4: 553-560.
- Hsu, Y.M., Tseng, M.J., and Lin, C.H. 1996. Container volume affects growth and development of wax apple. *Horticulture* 31(7): 1139-1142.
- Jinks, R. and Mason, B. 1998. Effects of seedling density on the growth of corsican pine, scots pine and douglas fir in containers. *Annales des Sciences Forestieres* 55: 407-423.
- Khan, S.R., Rose, R., Haase, D.L., and Sabin, T.E. 1996. Soil water stress: Its effects on phenology, and morphology of containerized douglas-fir seedlings. *New Forests* 12: 19-39.
- Kim, J.J., Kwon, K.W., Kim, P.G., Yoon, T.S., Lee, K.J., Chung, Y.S., and Son, K.S. 2010a. Characteristics of meteorological disasters in Korean nursery industry. *Journal of Climate Research* 5(1): 42-53 (in Korean with English abstract).
- Kim, J.J., Lee, K.J., Son, K.S., Cha, Y.G., Chung, Y.S., Lee, J.H., and Yoon, T.S. 2010b. Exploration of optimum container for production of *Larix leptolepis* container seedlings. *Journal of Korean Forest Society* 99(4): 638-644 (in Korean).
- Kim, J.W., Kim, Y.G., Kim, D.K., Kim, K.S., Oh, M.Y., Park, S.G., Kim, T.O., Lee, W.Y., Suh, J.B., and Park, N.C. 1983. Studies on distribution, suitable site in Korea and planting method of *Cryptomeria japonica* D. Don, *Chamaecyparis obtusa* Endl. The Research Reports of The Forest Research Institute 30: 41-88 (in Korean).
- Korea Forest Service. 2013. Actual Results of Afforestation in 2013. KFS. pp. 638 (in Korean).
- Korea Forest Service. 2014. Annual Action Plan of Forest Resources in 2014. KFS. pp. 211 (in Korean).
- Kozłowski, T.T., Kramer, P.J., and Pallardy, S.G. 1991. The Physiology of Woody Plants. A.P. New York. pp. 811.
- Kwon, K.W., Cho, M.S., Kim, G.N., Lee, S.W., and Jang, K.H. 2009. Photosynthetic characteristics and growth performances of containerized seedling and bare root seedling of *Quercus acutissima* growing at different fertilizing schemes. *Journal of Korean Forest Society* 98(3): 331-338 (in Korean with English abstract).

- Landis, T.D., Tinus, R.W., McDonald, S.E. and Barnett, J.P. 1990. Containers and growing media. The container tree nursery manual: Agriculture handbook 674. Vol. 2. USDA. Forest Service. Washington. pp. 88.
- Lee, C.B. 1986. Dendrology. Hyangmunsa. Seoul. pp. 331 (in Korean).
- Lee, C.H., Shin, C.H., Kim, K.S., and Choi, M.S. 2006. Effects of light intensity on photosynthesis and growth in seedling of *Kalopanax pictus* Nakai. Korean Journal of Medicinal Crop Science 14(4): 244-249.
- Martini, C.A., Ingram, D.L., and Ne11, T.A. 1991. Growth and photosynthesis of *Magnolia grandiflora* 'St. Mary' in response to constant and increased container volume. Journal of the American Society for Horticultural Science 116(3): 439-445.
- McConnughay, K.D.M. and Bazzar, F.A. 1991. Is physical space a soil resource?. Ecology 72(1): 94-103.
- Nagakura, J., Shigenaga, H., Akama, A., and Takahashi, T. 2004. Growth and transpiration of Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*) and Hinoki cypress (*Chamaecyparis obtusa*) seedlings in response to soil water content. Tree Physiology 24: 1203-1208.
- Ortega, U., Majada, J., Mena-Petite, A., Sanchez-Zabala, J., Rodriguez-Inturizar, N., Txarterina, K., Azpitarte, J., and Dunabeitia, M. 2006. Field performance of *Pinus radiata* D. Don produced in nursery with different types of containers. New Forests 31: 97-112.
- Park, M.J., Choi, W.S., Min, B.C., Kim, H.Y., Kang, H.Y., and Choi, I.G. 2008. Antioxidant activities of oils from *Chamaecyparis obtusa*. Journal of Korean Wood Science and Technology 36(6): 159-167 (in Korean).
- Paterson. 1996. Growing environment and container type influence field performance of black spruce container stock. New Forests 13: 325-335.
- Pinto, J.R., Dumroese, R.K., Davis, A.S., and Landis, T.D. 2011a. Conducting seedling stocktype trials: a new approach to an age old question. Journal of Forestry 109(5): 293-299.
- Pinto, J.R., Marshall, J.D., Dumroese, R.K., Davis, A.S., and Cobos, D.R. 2011b. Establishment and growth of container seedlings for reforestation: a function of stocktype and edaphic conditions. Forest Ecology and Management 261: 1876-1884.
- Pinto, J.R., Marshall, J.D., Dumroese, R.K., Davis, A.S., and Cobos, D.R. 2012. Photosynthetic response, carbon isotopic composition, survival, and growth of three stock types under water stress enhanced by vegetative competition. Canadian Journal of Forest Research 42: 333-344.
- Richards, N.A., Leaf, A.L., and Bickelhaupt, D.H. 1973. Growth and nutrient uptake of coniferous seedlings: comparison among 10 species at various seedbed densities. Plant and Soil 38: 125-143.
- Romero, A.E., Ryder, J., Fisher, J.T., and Mexal, J.G. 1986. Root system modification of container stock for arid land plantings. Forest Ecology and Management 16: 281-290.
- SAS Institute Inc. 2000. SAS/STAT TM guide for personal computer. Version 8 edition. SAS Institute Inc., N.C. pp. 1026.
- Scarratt, J.B. 1972. Effect of tube diameter and spacing on the size of tubed seedling planting stock. Info Rep O-X-170. Canadian Forestry Service, Great Lakes Forest Research Centre. Sault Ste. Marie. ON. pp. 16.
- Šestak, Z., Catsk, J., and Jarvis, P.G. 1971. Plant photosynthetic production manual of methods. The Hague. Herto-genbosch. pp. 818.
- Song, K.S., Cha, Y.G., Choi, J.Y., and Kim, J.J. 2012. Comparison of growth characteristics of 1- and 2-year-old bare root and container seedling of *Chamaecyparis obtusa*. Journal of Korean Forest Society 101(2): 317-323 (in Korean).
- Tsakalidimi1, M., Zagaz, T., Tsitoni, T., and Ganatsas, P. 2005. Root morphology, stem growth and field performance of seedlings of two Mediterranean evergreen oak species raised in different container types. Plant and Soil 278: 85-93.
- Thompson, B.E. 1985. Seedling morphological evaluation. What you can tell by looking. In: Duryea, M.L. (Ed.), Evaluating seedling quality: Principles, procedures, and predictive abilities of major tests. Forest Research Laboratory. Oregon State University. Corvallis. OR. pp. 59-72.
- Timmis, R. and Tanaka, Y. 1976. Effects of container density and plant water stress on growth and cold hardiness of douglas-fir seedlings. Forest Science 22: 167-172.
- Will, R.E. and Teskey, R.O. 1997. Effect of elevated carbon dioxide concentration and root restriction on net photosynthesis, water relations and foliar carbohydrate status of loblolly pine seedlings. Tree Physiology 17: 655-661.
- Wilson, E.D., Vitols, K.C., and Park, A. 2007. Root characteristics and growth potential of container and bare-root seedlings of red oak (*Quercus rubra* L.) in Ontario, Canada. New Forests 34: 163-176.