

## 편백림의 1차 솥아베기 방법에 따른 성장효과와 적절성 연구

박준형<sup>1\*</sup> · 손영모<sup>1</sup> · 이광수<sup>2</sup> · 박은정<sup>1</sup> · 정수영<sup>2</sup>

<sup>1</sup>국립산림과학원 산림바이오소재연구소, <sup>2</sup>국립산림과학원 난대아열대산림연구소

### The Adequacy Assessment and Growth Effects by Methods of 1<sup>st</sup> Thinning in *Chamaecyparis obtusa* Forest

Joon Hyung Park<sup>1\*</sup>, Yeong-Mo Son<sup>1</sup>, Kwang Soo Lee<sup>2</sup>,  
Eun Jung Park<sup>1</sup> and Su Young Jung<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Forest Biomaterials Research Center, National Institute of Forest Science, Jinju 52817, Korea

<sup>2</sup>Warm-Temperate and Subtropical Forest Research Center, National Institute of Forest Science, Jeju 63582, Korea

**요약:** 본 연구는 전북 고창지역 편백 임분의 솥아베기 강도 처리 이후 해당 임분의 성장특성의 변화를 통해 시업 효과를 분석하고자 하였다. 솥아베기는 2000년(22년생)에 시행하였고, 솥아베기 강도에 따라 극강도구, 강도구, 중도구, 약도구, 대조구 등 총 5가지 시험 처리를 하였다. 2018년까지 모니터링을 한 결과, 솥아베기 후 개체목의 흉고직경 및 제적 성장량은 솥아베기 강도에 정의 관계를 보였고, 임분 제적의 경우 부의 관계가 나타났다. 형상비(H/D)는 흉고직경 성장량의 증가로 인해 약 70~80까지 낮아져 임목 형질 개선효과가 나타났으나, 2018년 현재는 다시 증가한 상태로 조사되었다. 1차 솥아베기 직후 상대수확량지수(Ry) 0.75~0.95 사이로 나타나, 1차 솥아베기 적정 시기를 놓친 것으로 판단되었다. 본 연구의 결과는 향후 편백림의 솥아베기 시업 체계 구축에 있어서 기초자료로 활용이 될 것으로 기대된다.

**Abstract:** This study examines the effect of thinning in terms of changes in the growth characteristics of *Chamaecyparis obtusa* stands after they were thinned with varying intensity in Gochang, North Jeolla Province, Korea. Thinning was carried out in 2000 on *Chamaecyparis obtusa* stands (22 years old), and the stands were categorized in terms of the thinning intensity in the experiment: very heavy, heavy, medium, light, and control. The results of monitoring up to 2018 revealed that the diameter at breast height and the growth rate of individual trees after thinning had a positive correlation with the thinning intensity, whereas the stand volume showed a negative correlation. The height to diameter (H/D) ratio decreased by up to 70–80 due to the increased diameter at breast height after thinning and thereby resulted in better quality. The relative yield index right after the first thinning was between 0.75 and 0.95, which suggests the best timing for the first thinning had been missed. This study's findings are expected to serve as a basic reference in establishing the thinning system for *Chamaecyparis obtusa* forests.

**Key words:** thinning effect, thinning intensity, relative yield index, hinoki cypress, forest tending

## 서론


편백림은 일제 강점기에 우리나라에 조림되었다는 것이 일반적인 견해이며, 대단위 조림은 1960년대부터 시작되었다(National Institute of Forest Science, 2012). 현재는 한반도 온대 남부지역을 중심으로 약 52,423 ha의 면적에 인공림이 조성되어 있으며, 평균 임목축적은  $73 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ 이다. 최근 편백의 조림면적이 지속적으로 증가하고 있으며,

2016년 기준 약 4,570 ha에 조림을 하여 단일수종으로는 소나무 4,873 ha에 이어 두 번째로 높은 실정으므로, 앞으로 편백림의 숲 가꾸기 사업량이 지속적으로 증가될 것으로 예상된다(Korea Forest Service, 2017).

2005년에 산림청에서는 지속가능한 산림자원관리 지침과 표준매뉴얼이 제정·보급하였고, 이에 따라 편백림에 대한 숲가꾸기 방법이 보다 구체적이고 명확하게 제시되었다. 특히 임분밀도 관리 체계를 제시하여 생산목 표별로 솥아베기 시기와 양을 제시하였으며, 솥아베기 후 흉고직경별 잔존본수 기준표를 수록하였다. 하지만 이에 대한 기본적인 검증과 적절성에 대한 분석을 현재까지 하지 못했고, 약 10년이 지난 지금 이에 대한 모니

\* Corresponding author  
E-mail: asd747@naver.com

ORCID

Joon Hyung Park  https://orcid.org/0000-0003-4510-0956

터링 결과가 필요한 시점이다.

국내의 편백림 관련 학술연구는 편백림의 식생구조와 천이, 종다양도의 특성을 연구하고(Park and Kang, 2015), 입지 환경 인자에 따른 성장량(Park et al, 2015)과 지위지수 추정모델 개발 (Kim et al., 2008), 바이오매스 및 탄소 흡수량 추정(Lee et al., 2006) 과 같이 산림 경영에 있어서 도움을 줄 수 있는 연구 위주로 수행되었다. 그리고 시설양묘과정에서 묘목의 성장특성이나 시비 및 적정 규격(Jae et al., 2015; Cho et al., 2014), 조림지 활착 및 생장에 관한 연구가 수행된 바가 있으나(Yang et al., 2014), 숲아베기 시업법의 적절성에 관한 검토는 아직 연구되지 못한 상황이다.

그 외 숲아베기 성장 효과 및 적정 방법에 관련하여 붉가시나무림(Park et al., 2015)과, 잣나무림(Choi et al., 2014)에서 숲아베기 강도별 성장 변화에 관한 모니터링 연구 결과, 숲아베기 강도가 강할수록 흉고직경과 개체목의 재적 생장은 증가하고 임분 재적 생장은 감소하는 효과가 있는 것으로 보고된 바 있다. 또한 숲아베기 적정 시기에 대해서는 대부분의 연구결과에서 대상 임분에 한하여 몇 년 후 숲아베기 적용하는 것이 타당한 것인지에 대해 논하고 있다. 하지만 이는 임분의 입지조건 및 지위, 성장특성에 따라 상이할 수 있으므로, 임분밀도에 대한 정량적인 평가를 통해 그 기준을 확립하는 것이 필요하다. 최근 국외에서 활용하는 임분밀도관리도(Stand density management diagram)가 국내에서도 개발되고 활용성이 검증되어 임분 내 개체목의 크기에 따른 임분밀도를 수치화할 수 있는 기반이 마련되었다 (Park et al., 2016., Park et al., 2018). 임분의 지위에 영향을 받는 시간적 개념으로 적정 시기를 평가하기 보다는 정량적인 임분밀도와 임내 개체목의 크기로 그 적정 시기를 결정하는 것이 보다 합리적으로 숲아베기 강도와 시기를 결정하고 이용자 또한 그 시기를 미리 예측할 수 있는 방법으로 생각되며, 이를 적극 활용할 필요가 있다.

따라서 본 연구는 2000년에 조성된 편백림의 숲아베기 강도별 시험지의 모니터링 자료를 이용하여 숲아베기 효과 검증과 함께 임분밀도관리도의 상대수확량지수(Relative density index)를 적용하여 1차 숲아베기 시업법의 적절성을 검토 하고자 한다.

## 재료 및 방법

### 1. 조사지 개황

연구 대상지는 전라북도 고창군 고창읍 월산리 산 145에 위치한 편백 인공림으로 총 면적은 3.5 ha 중 시험지 면적은 2.5 ha이다. 1978년에 조림하여 조사 당시 임령은

40년이며, 조림본수는 ha당 3,000본, 지위지수는 14~16이다. 평균 고도는 328 m이며, 평균경사는 21.5°, 사면방위는 북동사면으로 토양배수가 양호한 지역이다. 고창지역의 평균기온의 30년 평년값은 13.1°C 이며, 최저기온은 8.2°C 연 강수량은 1317.3 mm이다(Korea Meterological Association, 2010).

### 2. 시험구 조성 및 현지 조사

숲아베기 시험구는 지난 2000년에 1차 숲아베기 시업은 정량 하층 숲아베기를 적용하였고, 시험처리는 극강도구, 강도구, 중도구, 약도구, 대조구로 총 5개 강도로 처리를 하여 현재까지 성장변화에 대한 모니터링 연구를 수행하였다. 대조구의 경우 ha당 3,000본 조림 후 현재까지 단 한 번도 숲아베기를 하지 않았으며, 나머지 처리구의 경우 흉고직경급별 잔존본수 기준표(Korea Forest Service, 2005)에 근거하여 중도구를 ha 당 1,700본으로 설정하였다. 중도구의 잔존본수를 기준으로 200본 간격으로 조절하여 극강도구 1,300 trees · ha<sup>-1</sup>, 강도구 1,500 trees · ha<sup>-1</sup>, 약도구 1,900 trees · ha<sup>-1</sup>으로 잔존시켜 흉고 직경급별 잔존본수 기준표를 검증하고자 하였다.

시험구 면적 총 2.5 ha 중 각 처리구는 0.5 ha씩 구획하였고, 조사구는 20×20 m 크기의 고정 조사구를 설치하여 개체목별 라벨링을 통해 매년 성장 증가량을 파악하였다. 각 처리별 조사구의 위치는 인접한 처리구의 영향을 받지 않도록 최소 10 m 이상 거리를 두었고, 대조구를 제외한 각 처리는 3개 반복 조사구를, 대조구는 위치적인 문제로 인해 2개의 반복 조사구를 조성하였다(Figure 1). 조사항목은 흉고직경과 수고, 지하고이며, 조사 시기는 2000년부터 2003년과 2009년, 2013년, 2018년까지 총 5회의 조사를 실시하였다.

### 3. 성장 분석

조사 시기별 개체목 성장 비교를 위해 임분 내 개체목의 평균 흉고직경과 평균 수고를 산출하였으며, 임분 내 개체목의 건전성을 평가하기 위해 수고와 흉고직경을 이용하여 형상비(H/D ratio)를 산출 후 평균 비교 분석하였다. 또한 임분 흉고단면적과 임분 재적, 임분밀도를 산출하여 처리 간 비교 분석을 하였다. 분석 방법은 일원분산분석(One-way ANOVA)을 실시하였고, 사후검정은 던컨의 다중검정(Duncan's multiple range test)을 실시하였다.

임분 재적과 간재적 산출을 위해 임분수확표 및 재적표(Korea Forest Service, 2015)에 포함되어 있는 Kozak의 수간곡선식을 이용하여 Smalian의 구분구적법 적용하였으며, 말구직경 6 cm 부위까지의 수피 내 재적을 이용재적으로 하였다. 비교를 위해 분산분석을 실시하였고, 사후 검정

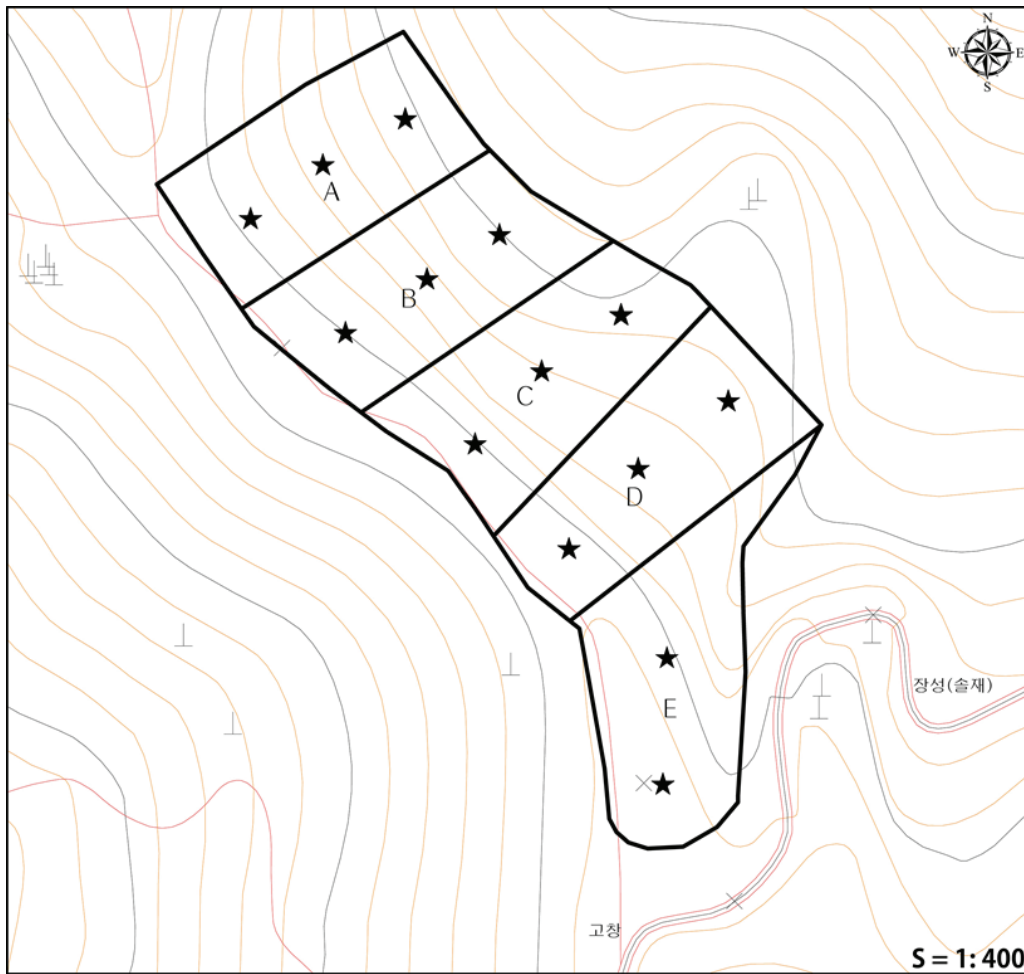


Figure 1. The location of experimental plots in study area. stars is location of survey plots. A to E is divided into five groups depending on the thinning intensity in an experiment: A=heavy thinning, B=Very heavy thinning, C=Medium thinning, D=light thinning and E=control.

은 Duncan의 다중검정으로 각 처리 간 차이를 비교하였다.

임분밀도의 영향을 받아 크기의 변화가 나타나는 수관부의 변화를 분석하기 위해 측정된 지하고를 활용하여 수관길이, 수관울을 산출하였다. 수관길이와 수관울은 지하고에서 산출되는 수치이지만, 각각이 임분 경쟁 정도와 임분의 과밀여부를 나타내는 지표가 될 수 있으므로, 각각 비교 분석하였다. 수관길이는 수고와 지하고의 차이로 나타내었고, 수관울은 수고와 수관길이의 비를 나타내었다. 솎아베기 강도처리에 따라 지하고, 수관길이, 수관울의 변화를 비교하기 위해 일원분산분석(One-way ANOVA)과 함께 사후검정으로 던컨의 다중검정(Duncan's multiple range test)을 실시하였다.

#### 4. 임분밀도의 평가

임분밀도는 일반적으로 단위면적당 본수로 나타낸다. 하지만, 동일한 본수가 동일한 면적에 분포해 있어도 흉고

직경 크기에 따라 그 경쟁 정도는 다르기 때문에, 이를 수치화하는데 어려움이 따른다. 하지만, 이는 최대밀도 이론을 기반으로 한 상대수확량지수(Relative yield index: Ry)를 도입하면 수치화 할 수 있으며, 이를 위해 Park et., al. (2018)이 제시한 우리나라 편백림의 임분밀도관리도에 포함된 상대수확량 지수 추정식을 적용하였다(식 1). 상대수확량지수는 0~1 사이의 값으로 나타내며, 1은 최대밀도를 의미하여 1에 가까울수록 밀도가 높음을 의미한다(Park et al., 2016). 이러한 상대수확량지수의 적용을 통해 각 조사 시기별 임분밀도의 변화를 수치화하여 비교하였다.

$$Ry = \frac{1 - (v \times 8600.426 HT^{-3.191})}{1 - Rf} \quad (1)$$

Where, Ry=Relative yield index, Rf=Relative competition index at full density (0.110041141), v=mean of individual tree volume, HT=mean of dominant height

**Table 1. The comparison of growth change from thinning intensity by individual tree level.**

Survey year	Variable	Thinning intensity					F-value	p-value
		Control	Light	Medium	heavy	Very heavy		
2000	DBH (cm)	13.8 <sup>b</sup>	15.1 <sup>a</sup>	14.5 <sup>ab</sup>	15.6 <sup>a</sup>	15.5 <sup>a</sup>	4.711	0.021
	Height (m)	13.0 <sup>a</sup>	14.3 <sup>a</sup>	14.3 <sup>a</sup>	14.1 <sup>a</sup>	14.2 <sup>a</sup>	1.680	0.230
	H/D ratio	94.3 <sup>ab</sup>	95.1 <sup>ab</sup>	99.1 <sup>a</sup>	90.7 <sup>b</sup>	92.0 <sup>ab</sup>	1.929	0.182
	Merchantable volume (m <sup>3</sup> )	0.086 <sup>a</sup>	0.115 <sup>a</sup>	0.106 <sup>a</sup>	0.121 <sup>a</sup>	0.119 <sup>a</sup>	3.082	0.068
2003	DBH (cm)	14.4 <sup>c</sup>	15.7 <sup>ab</sup>	15.2 <sup>bc</sup>	16.4 <sup>a</sup>	16.4 <sup>a</sup>	7.443	0.005
	Height (m)	14.7 <sup>a</sup>	14.6 <sup>a</sup>	15.2 <sup>a</sup>	15.0 <sup>a</sup>	14.8 <sup>a</sup>	0.129	0.968
	H/D ratio	102.1 <sup>a</sup>	93.1 <sup>a</sup>	100.5 <sup>a</sup>	91.3 <sup>a</sup>	90.1 <sup>a</sup>	2.094	0.156
	Merchantable volume (m <sup>3</sup> )	0.108 <sup>a</sup>	0.126 <sup>a</sup>	0.124 <sup>a</sup>	0.142 <sup>a</sup>	0.140 <sup>a</sup>	1.786	0.208
2009	DBH (cm)	16.2 <sup>d</sup>	17.8 <sup>c</sup>	17.9 <sup>c</sup>	19.5 <sup>b</sup>	20.8 <sup>a</sup>	46.083	0.000
	Height (m)	17.7 <sup>a</sup>	16.5 <sup>a</sup>	17.4 <sup>a</sup>	16.8 <sup>a</sup>	16.8 <sup>a</sup>	0.458	0.765
	H/D ratio	109.3 <sup>a</sup>	92.9 <sup>bc</sup>	97.4 <sup>b</sup>	86.0 <sup>cd</sup>	80.6 <sup>d</sup>	11.247	0.000
	Merchantable volume (m <sup>3</sup> )	0.166 <sup>c</sup>	0.184 <sup>bc</sup>	0.198 <sup>bc</sup>	0.226 <sup>ab</sup>	0.252 <sup>a</sup>	5.513	0.007
2014	DBH (cm)	18.3 <sup>d</sup>	20.1 <sup>c</sup>	21.0 <sup>c</sup>	22.5 <sup>b</sup>	26.4 <sup>a</sup>	40.020	0.000
	Height (m)	19.1 <sup>a</sup>	18.7 <sup>a</sup>	18.8 <sup>a</sup>	18.8 <sup>a</sup>	18.6 <sup>a</sup>	0.117	0.974
	H/D ratio	104.5 <sup>a</sup>	92.8 <sup>b</sup>	89.8 <sup>bc</sup>	83.6 <sup>c</sup>	70.4 <sup>d</sup>	27.174	0.000
	Merchantable volume (m <sup>3</sup> )	0.227 <sup>c</sup>	0.268 <sup>bc</sup>	0.291 <sup>bc</sup>	0.333 <sup>b</sup>	0.438 <sup>a</sup>	14.844	0.000
2018	DBH (cm)	18.9 <sup>d</sup>	20.8 <sup>c</sup>	21.5 <sup>bc</sup>	23.0 <sup>b</sup>	27.2 <sup>a</sup>	32.958	0.000
	Height (m)	21.7 <sup>a</sup>	20.8 <sup>a</sup>	21.2 <sup>a</sup>	21.2 <sup>a</sup>	20.6 <sup>a</sup>	0.557	0.700
	H/D ratio	120.6 <sup>a</sup>	108.7 <sup>ab</sup>	101.8 <sup>b</sup>	95.7 <sup>b</sup>	77.1 <sup>c</sup>	10.276	0.012
	Merchantable volume (m <sup>3</sup> )	0.277 <sup>d</sup>	0.318 <sup>cd</sup>	0.348 <sup>bc</sup>	0.394 <sup>b</sup>	0.516 <sup>a</sup>	25.261	0.000

Note) Different letters in each column indicate significant differences according to Duncan's multiple range test ( $p < 0.05$ ), same letters are not significant.

## 결과 및 고찰

### 1. 개체목의 처리별 성장 효과

숙아베기 후 개체목 단위에서 나타나는 성장반응 효과를 각 처리별로 비교하기 위해 흉고직경과 수고, 형상비, 이용재적을 비교하였다(Table 1). 숙아베기 후 흉고직경 생장은 2000년 당시 대조구를 제외하고는 모두 유사한 수준이었으나, 2003년부터 차이가 발생하여 2018년에는 극강도구가 27.2 cm로 가장 우수한 성장을 보였으며 ( $p=0.000$ ), 임목 간 거리 순으로(극강도구 > 강도구 > 중도구 > 약도구 > 대조구) 평균 흉고직경이 높은 것으로 조사되었다. 수고의 경우 전체 조사시기에서 유의적인 차이가 없는 것으로 나타났다( $p > 0.05$ ). 숙아베기 강도에 따라 흉고직경 성장 차이가 발생하는 현상은 붉가시나무 (Park et al., 2015) 잣나무(Choi et al., 2014) 등 다양한 수종에 대한 연구를 통해 입증된 바 있는 대표적인 숙아베기 효과로 본 연구에서도 유사한 결과를 도출하였다.

임목 형상비의 경우 산림 관리에 있어 임분의 건전성

대변하는 지표로 활용되고 있으며(Kim et al., 2015), 이 수치는 임분의 경쟁 상태를 나타내는 지표로 활용할 수 있다. 2000년 숙아베기 당시 전체 처리구에서 90이상의 높은 상태로 유의적인 차이가 없었으며( $p=0.230$ ), 2003년 에도 각 처리 간 유의적인 차이는 존재하지 않았다 ( $p=0.156$ ). 2009년 조사에서 극강도구 형상비가 80.6으로 가장 낮았고, 대조구가 109.3으로 가장 높은 것으로 조사 되었으며( $p=0.000$ ), 숙아베기 처리구들은 전체적으로 형상비가 감소하는 효과가 나타났다. 2014년에도 동일하게 대조구의 형상비는 가장 높았고, 극강도구가 가장 낮았다( $p=0.000$ ). 약도구의 형상비는 2009년 92.8에 비해, 2014년에는 92.9로 조사되어 감소하는 경향이 나타나지 않았으며, 이는 타처리구 보다 이르게 임내 경쟁이 숙아 베기 직후에 비해 심화된 것으로 사료된다. 타 처리구에서 2018년에 측정된 형상비가 2014년에 비해 증가하여 2차 숙아베기 시기가 늦었음을 나타내었다. 적정 수준의 형상비는 수종마다 조금씩 차이가 있으나, 일반적으로 형상비가 80 이상일 때 임분밀도가 과밀한 상태로 보며, 기

**Table 2. The comparison of crown developments by thinning intensity in 2018 year.**

Thinning intensity	Crown height (m)	Crown length (m)	Crown ratio (%)
Control	17.1 <sup>a</sup>	4.6 <sup>a</sup>	18.7 <sup>c</sup>
Light	16.8 <sup>ab</sup>	4.8 <sup>b</sup>	18.8 <sup>c</sup>
Medium	16.1 <sup>ab</sup>	5.1 <sup>b</sup>	23.9 <sup>b</sup>
Heavy	15.4 <sup>b</sup>	5.8 <sup>b</sup>	24.5 <sup>b</sup>
Very Heavy	12.8 <sup>c</sup>	7.8 <sup>ab</sup>	37.8 <sup>a</sup>
<i>F</i> -value	15.165	4.168	31.553
<i>p</i> -value	0.000	0.035	0.000

Note) Different letters in each column indicate significant differences according to Duncan's multiple range test ( $p < 0.05$ ), same letters are not significant.

상재해 등 안정성이 높은 임분은 70이하가 적합하다고 알려져 있으므로(National Institute of Forest Science, 2015), 현 임분은 1차 숲아베기가 다소 늦었던 것으로 판단된다.

이용재적은 상업적으로 이용되는 임목의 줄기 중에서 용재로 활용 가능한 부위의 재적을 의미하며 경제적 수익과 직접적으로 연관되므로, 이에 대한 중요성은 높다. 숲아베기 강도에 따른 각 처리별 개체목의 평균 이용재적 변화를 비교한 결과(Table 2), 2000년과 2003년에는 각 처리 간 이용재적 유의한 차이가 없었다( $p > 0.05$ ). 2009년에는 극강도구가 0.252 m<sup>3</sup>로 가장 높은 값이 나타났으며, 강도구 0.226 m<sup>3</sup>, 중도구 0.198 m<sup>3</sup>, 약도구 0.184 m<sup>3</sup>로 나타났고, 대조구는 0.166 m<sup>3</sup>로 가장 낮은 값을 보였다 ( $p = 0.007$ ). 2013년을 거쳐 2018년에도 동일한 양상이 나타나 극강도구의 이용재적은 0.516 m<sup>3</sup>이었고, 대조구는 0.277 m<sup>3</sup>로 나타나 약 2배에 가까운 차이를 보였다 ( $p = 0.000$ ). 개체목의 이용재적이 숲아베기 후 잔존본수가 적을수록 증가하는 결과는 일반적으로 숲아베기 후 개체목 재적이 증가하는 효과와 일맥상통한 결과로 사료된다.

## 2. 수관부의 변화

숲아베기 후 임분밀도에 따른 수관부의 변화를 일원배치 분산분석을 통해 비교한 결과(Table 2), 대조구의 지하고는 17.1 m로 극강도구 12.8 m, 강도구, 15.4 m에 비해 높은 것으로 나타났다( $p = 0.001$ ). 수관길이는 각 처리구 간 유의한 차이를 보였고( $p = 0.035$ ), 수관율은 극강도구(37.8%), 강도구(24.5%)와 중도구(23.9%), 약도구(18.8%)와 대조구(18.7%) 순으로 나타났다( $p = 0.000$ ). 임분밀도 관리의 중요한 지표로 활용되는 수관율은 현 연구대상지와 같이 V영급의 임분의 경우 50%전후가 적절하지만(NIFOS, 2015), 2018년 현재 각 처리별 수관율은 40% 미만인 수준이며, 이는 2차 숲아베기 적기를 이미 지나쳤음을 의미한다. 약도구의 경우 숲아베기를 하지 않은 대조구와 동일한 수준으로 분석되었다. 수관길이가 짧다는 것은 엽량이 상대적으로 적다는 것을 의미하며, 이는 숲아베기 후에

도 엽량 부족으로 개체목의 광합성 총량이 상대적으로 적어서 생장 증진 효과가 나타나지 못하거나, 그 시간이 상대적으로 장시간 소요될 가능성이 높다.

## 3. 처리별 임분 생장 효과

2000년에 시행된 1차 숲아베기 후 조사 시기에 따른 숲아베기 강도별 임분 단위 생장 반응 분석 결과는 Table 3와 같다. 숲아베기 직후 2000년에 각 처리구별 임분 재적은 극강도구가 126.8 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>로 가장 낮았으며, 대조구는 266.7 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>로 가장 높아, 숲아베기 강도가 강할수록 임분 내 잔존 재적이 감소하는 경향을 보였다( $p = 0.000$ ). 이 차이는 약 18년이 흐른 2018년에도 동일한 경향으로 극강도구가 가장 낮았고, 약도구와 중도구, 강도구는 같은 수준으로 나타났고, 대조구가 가장 높았다( $p = 0.000$ ). 이러한 결과를 통해 현실 임분에서 숲아베기를 시행할 경우 그렇지 않은 경우보다 많은 양의 임분 재적이 생산되지 않는 것으로 판단된다. 또한 숲아베기 직후부터 5차례 조사에서 강도구가 중도구의 임분 재적은 유의적인 차이가 나타나지 않았으나, 실질적인 생장량이 중도구가 강도구보다 수치적으로 낮은 결과가 나타났다. 이는 숲아베기 직후 형상비 값이 가장 높은 처리구가 중도구였으며, 형상비는 경쟁의 지표가 될 수 있으므로, 숲아베기 전 임분 상태에서 과한 경쟁으로 인해 생지비율이 낮고 엽량이 적은 상태였을 가능성이 있고 이에 따라 이후 공간을 확보하였음에도 불구하고 기대한 생장을 보이지 못한 것으로 추정된다. 또한 시간이 흐름에 따라 임목 간 경쟁이 심화되어 고사목 발생량이 증가하였고 중도구의 재적 손실이 상대적으로 높게 나타난 것으로 추정된다. 숲아베기 직후 각 처리구별 임분밀도는 대조구 2,900 trees·ha<sup>-1</sup>, 약도구 1,942 trees·ha<sup>-1</sup>, 중도구 1,617 trees·ha<sup>-1</sup>, 강도구 1,467 trees·ha<sup>-1</sup>, 극강도구 1,017 trees·ha<sup>-1</sup>로 조절되었고, 시간이 흐름에 따라 지속적으로 자연고사가 발생하여, 2018년에는 대조구가 2,075 trees·ha<sup>-1</sup>로 약 825 trees·ha<sup>-1</sup> 가량이 감소하였다(Table 1). 약도구는

**Table 3. The comparison of stand growth by thinning intensity.**

Survey year	Variable	Thinning intensity					F-value	p-value
		Control	Light	Medium	heavy	Very heavy		
2000	Stand density (trees · ha <sup>-1</sup> )	2,900 <sup>a</sup>	1,942 <sup>b</sup>	1,617 <sup>c</sup>	1,467 <sup>c</sup>	1,017 <sup>d</sup>	182.546	0.000
	Basal area (m <sup>2</sup> · ha <sup>-1</sup> )	43.2 <sup>a</sup>	34.6 <sup>b</sup>	26.6 <sup>c</sup>	28.1 <sup>c</sup>	19.0 <sup>d</sup>	54.702	0.000
	Stand volume (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	266.7 <sup>a</sup>	234.5 <sup>a</sup>	180.5 <sup>b</sup>	187.7 <sup>b</sup>	126.8 <sup>c</sup>	24.145	0.000
2003	Stand density (trees · ha <sup>-1</sup> )	2,888 <sup>a</sup>	1,942 <sup>b</sup>	1,575 <sup>c</sup>	1,408 <sup>c</sup>	850 <sup>d</sup>	91.51	0.000
	Basal area (m <sup>2</sup> · ha <sup>-1</sup> )	47.0 <sup>a</sup>	37.4 <sup>b</sup>	28.5 <sup>c</sup>	29.8 <sup>c</sup>	17.9 <sup>d</sup>	34.882	0.000
	Stand volume (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	328.5 <sup>a</sup>	256.7 <sup>b</sup>	203.0 <sup>b</sup>	210.3 <sup>b</sup>	122.7 <sup>c</sup>	17.118	0.000
2009	Stand density (trees · ha <sup>-1</sup> )	2,625 <sup>a</sup>	1,908 <sup>b</sup>	1,483 <sup>c</sup>	1,350 <sup>c</sup>	608 <sup>d</sup>	110.254	0.000
	Basal area (m <sup>2</sup> · ha <sup>-1</sup> )	54.0 <sup>a</sup>	47.3 <sup>ab</sup>	37.5 <sup>c</sup>	40.5 <sup>bc</sup>	20.5 <sup>d</sup>	29.288	0.000
	Stand volume (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	449.7 <sup>a</sup>	362.9 <sup>b</sup>	303.0 <sup>b</sup>	316.4 <sup>b</sup>	157.2 <sup>c</sup>	17.937	0.000
2014	Stand density (trees · ha <sup>-1</sup> )	2,375 <sup>a</sup>	1,825 <sup>b</sup>	1,433 <sup>c</sup>	1,325 <sup>c</sup>	525 <sup>d</sup>	178.738	0.000
	Basal area (m <sup>2</sup> · ha <sup>-1</sup> )	62.3 <sup>a</sup>	58.2 <sup>ab</sup>	49.7 <sup>c</sup>	52.9 <sup>bc</sup>	28.0 <sup>d</sup>	36.189	0.000
	Stand volume (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	552.6 <sup>a</sup>	501.9 <sup>ab</sup>	429.6 <sup>b</sup>	457.7 <sup>b</sup>	235.0 <sup>c</sup>	28.11	0.000
2018	Stand density (trees · ha <sup>-1</sup> )	2,075 <sup>a</sup>	1,708 <sup>b</sup>	1,358 <sup>c</sup>	1,300 <sup>c</sup>	525 <sup>d</sup>	81.837	0.000
	Basal area (m <sup>2</sup> · ha <sup>-1</sup> )	60.4 <sup>a</sup>	60.1 <sup>a</sup>	51.6 <sup>a</sup>	55.9 <sup>a</sup>	30.9 <sup>b</sup>	22.95	0.000
	Stand volume (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	600.1 <sup>a</sup>	580.2 <sup>ab</sup>	508.0 <sup>b</sup>	535.5 <sup>b</sup>	288.9 <sup>c</sup>	18.215	0.000

Note) Different letters in each column indicate significant differences according to Duncan's multiple range test ( $p < 0.05$ ), same letters are not significant.

**Table 4. The comparison of Relative yield index (Ry) changes by thinning intensity.**

Survey years	Relative yield index by thinning intensity				
	Control	Light	Medium	Heavy	Very heavy
2000	0.93	0.88	0.84	0.82	0.73
2003	0.96	0.89	0.86	0.83	0.63
2009	0.99	0.93	0.90	0.86	0.66
2014	1.00	0.95	0.92	0.90	0.67
2018	1.00	0.97	0.94	0.94	0.73

2018년까지 1,708 trees·ha<sup>-1</sup> 가 잔존하였고, 중도구는 1,358 trees·ha<sup>-1</sup>, 강도구 1,300 trees·ha<sup>-1</sup>, 극강도구에서는 525 trees·ha<sup>-1</sup>가 잔존하였다. 특히 2002년 태풍 루사로 인해 전체 시험구에서 풍도목이 다량 발생하였으며, 2000년과 2003년의 그 중 극강도구의 피해는 약 15%의 임목이 고사하였고, 이로 인해 2000년 숲아베기 직후에 비해 2003년에는 임분 재적 생장이 감소하는 현상이 나타났다. 숲아베기 강도가 강할수록 임분 성장과 임 내 개체목의 고사율은 상대적으로 낮으며, 대조구는 가장 높은 임분 재적 성장량을 보였다. 하지만 임목 간 경쟁에 의한 개체목 고사율이 높아 임목 손실이 큰 것으로 분석되었고, 이러한 결과는 붉가시나무 천연림(Park et al., 2015)과 잣나무 인공림(Choi et al., 2014)에서도 동일한 결과가 보고된 바 있다.

#### 4. 임분밀도 관리의 적절성 검토

숲아베기의 적정 시기 및 강도를 분석하기 위해서

2018년에 개발된 편백 임분밀도관리도의 상대수확량지수(Ry)를 적용하였고(Park et al., 2018), 그 결과는 Table 4와 같다. Ry값은 최대밀도를 기준으로한 상대적인 밀도를 의미한다(Park et al., 2016). 수중에 따라 다르지만 일반적으로 Ry 0.60~0.80 사이가 적절하며, 0.8이 넘을 경우 과밀이라고 판단한다(National Institute of Forest Science, 2015). 또한 이때 Ry 0.80을 관리 기준으로 하여 이에 도달할 경우 숲아베기 혹은 주벌의 적기로 삼을 수 있고, 적정 강도는 숲아베기 후 0.6이하로 내려가지 않도록 하면 적정 숲아베기 방법이 될 수 있다.

본 연구에서는 숲아베기 직후 2000년에 실시한 조사에서 각 처리별 Ry 값은 대조구가 0.93으로 가장 높았고, 숲아베기 강도가 강할수록 Ry 값이 낮은 경향을 보였다. 2003년에는 극강도구에서 전년 대비 감소하는 추세가 나타났으며, 이는 2002년 태풍 루사에 의해 시험구 전체가 피해를 입었고 그 중 극강도구가 특히 피해가 극심했기 때문으로 판단된다. 실질적으로 태풍이나 강풍으로 인한

도복현상은 솎아베기 시기를 놓쳐 임내 개체목의 형상비 및 수관율의 문제로 해석할 수 있으며, 특히 형상비나 수관율이 높은 상태에서 솎아베기가 강하게 적용될 경우 그 피해는 극심해질 수 있다(Valinger and Pettersson, 1996; National Institute of Forest Science, 2015). 태풍피해의 경우 솎아베기 적정 시기가 늦었음을 나타내는 지표이며, 우리나라 낙엽송의 경우 한계 형상비를 80으로 규정하고 있고(Moktan et al., 2015), 곱술은 70을 초과하지 않는 것을 원칙으로 제시하여 기준 값 이상의 형상비가 나타날 경우 풍해 및 설해의 위험이 높다고 보고한 바 있다(Kim et al., 2015). 본 연구 대상지에서는 최초 초기 솎아베기 당시 이미 90 이상의 높은 수치를 보였고 이는 태풍 피해의 위험이 높았음을 의미하며, 1차 솎아베기 시기의 부적절성을 의미한다. 솎아베기 강도가 약할수록 인접한 임목들은 방풍효과로 태풍피해를 완화시키는 효과가 나타난 것으로 볼 수 있을 것으로 사료된다.

2014년에는 대조구가 최대밀도에 해당하는 Ry 1.00에 도달하였고, 극강도구를 제외한 모든 솎아베기 처리구에서 Ry 0.90 이상의 높은 밀도를 보이고 있으며, 2018년 조사에서도 유사한 상황을 보이고 있다. 솎아베기 직후 극강도구를 제외한 처리구는 Ry 0.80 이상의 밀도를 유지하고 있고, 이는 이미 2차 솎아베기 적정 시기를 지나쳤음을 알 수 있다. 또한 솎아베기 후에도 적정 밀도까지 밀도가 낮아지지 않았기 때문에 빠른 시일 내에 2차 솎아베기를 시행하는 것이 필요했던 것으로 사료된다. 하지만 솎아베기를 시행하지 못하여 현재는 최대밀도에 가까워졌고, 형상비는 높아지고 있으며, 수관의 크기는 매우 작아서 솎아베기 효과가 나타나기 어려운 형태의 임분구조로 변화하였다.

## 결론

본 연구는 전라북도 고창군의 문수산에 조성된 편백림에서 1차 솎아베기 시험을 실시하여 모니터링 하였다. 솎아베기 강도처리는 극강도구, 강도구, 중도구, 약도구, 대조구이며, 모니터링 기간은 솎아베기 후 2000년부터 2018년까지이다. 모니터링 결과 솎아베기 강도가 강할수록 개체목의 성장 효과는 우수하였으나, 임분 단위의 성장 효과가 저조하였다. 임분밀도를 상대수확량지수(Ry)로 평가한 결과, 극강도구를 제외한 모든 처리구들은 솎아베기 직후의 Ry값이 적정 밀도보다 높은 수준이었으며, 극강도구 역시, 솎아베기 직전의 밀도가 높았음을 알 수 있었다. 이러한 현상은 솎아베기 시기가 늦었음을 의미하며, 이에 따라 형상비가 높고 수관율이 낮아서 강도의 솎아베기를 할 경우 풍도목이 다량 발생하는 현상이

나 솎아베기 후 성장 증진 효과가 미비한 현상이 발생할 가능성이 높다.

우리나라 편백림의 1차 솎아베기는 지위 상 임분을 기준으로 할 때, 25년이며, 조림본수는 ha당 5000본이다(Korea Forest Service, 2005). 하지만, 본 대상지인 고창 문수산의 지위 상 편백림의 솎아베기 시기는 22년으로 3년 이르게 시행하였고, ha당 조림본수는 3000본으로 현행 매뉴얼보다 조림본수는 적은 임분이다. 그리고 본 연구 대상지의 1차 솎아베기 시업의 시기는 늦었다는 결론에 도달하였으므로, 이 결과는 현행 1차 솎아베기 시업에 대한 시사점을 던져주고 있으며, 본 연구의 결과를 바탕으로 향후 솎아베기 시업 개선에 대한 검토가 필요할 것으로 판단된다.

## References

- Cho, M.S., Yang, A.R. and Hwang, J. 2014. Container type influence *Chamaecyparis obtusa* seedling growth during nursery culture. *Journal of Korean Forest Society* 103(4): 556-563.
- Choi, J.K., Lee, B.K., Lee, D.S. and Choi, I.H. 2014. Growth monitoring of Korean White pine(*Pinus koreaiensis*) plantation by thinning intensity. *Journal of Korean Forest Society* 103(3): 422-430.
- Jae, D.Y., Seo, H., Cho, H.S., Ahn, H.C. and Kim, C.S. 2015. Growth of containerized *Chamaecyparis obtusa* seedlings as affected by fertilizer and container volume. *Journal of Korean Forest Society* 104(1): 26-34.
- Jung, S.Y., Ju, N.G., Lee, K.S., Yoo, B.O., Park, Y.B., Yoo, S.B. and Park, J.H. Thinning intensity and growth response in a *Quercus acuta* stand. *Journal of Korean Forest Society* 104(4): 536-542.
- Kim, D.H., Kim, E.G., Lee, S.G., Chung, Y.G. and Jeong, J.H. 2008. The effects of site environmental factors on estimation of site index function for *Chamaecyparis obtusa* Endlicher stands. *Journal of Environmental Sciences* 17(8): 891-898.
- Kim, S.W., Chun, K.W., Park, K.H., Lim, Y.H., Yun, J.U., Kwon, S.M., Youn, H.J., Lee, J.H., Teramoto, Y. and Ezaki, T. 2015. The necessity and method of stand density control considering the shape ratio of *Pinus thunbergii* coastal disaster prevention forests in south Korea. *Journal of Korean Forest Society* 104(3): 411-420.
- Korea Forest Service. 2005. Sustainable forest resources management standard manual. pp. 291.
- Korea Forest Service. 2017. Forestry statistical yearbook. <http://www.forest.go.kr/kfswb/kfs/idx/Index.do> (2018.10.05.)

- Korea Forest Service and National Institute of Forest Science. 2015. Stand volume · biomass & Stand yield table. pp. 261.
- Korea Meteorological Association. 2010. Climatological normals of Korea. www.kma.go.kr.
- Lee, Y.J., Lee, M.H., Lee, K.H., Son, Y.M., Seo, J.H., Park, I.H. and Son, Y.H. 2006. Effect of stand age classes on biomass expansion factors and stem densities in *Chamaecyparis obtusa* plantation. Journal of Korean Forest Society 95(1): 50-54.
- Moktan, M.R., Kwon, J., Lim, J.H., Shin, M.H., Park, C.W. and Bae, S.W. 2015. Wind stability of commercially important tree species and silvicultural implications, Daegwallyeong Korea. Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology 17(1): 58-68.
- National Institute of Forest Science. 2012. economical species *Chamaecyparis obtusa* .
- National Institute of Forest Science. 2015. Thinning and targeted forest type. pp. 161.
- Park, S.G. and Kang, H.M. 2015. Characteristics of vegetation structure in *Chamaecyparis obtusa* stands. Korean Journal of Environment and Ecology 29(6): 907-916.
- Park, S.G., You, H.C., Oh, C.J. and Choi, W.K. 2015. Analysis of the correlation between site environmental factors and tree ring growth in *Chamaecyparis obtusa* stand in Jeonnam province. Korean Journal of Environmental and Ecology 29(5): 777-784.
- Park, J.H., Lee, K.S., Yoo, B.O., Park, Y.B. and Jung, S.Y. 2016. Development and validation of the stand density management diagram for *Pinus densiflora* forests in Korea. Journal of Korean Forest Society 103(3): 342-350.
- Park, J.H., Yoo, B.O., Lee, K.S., Park, Y.B., Kim, H.H and Jung, S.Y. 2018. Prediction of mortality and tyield for *Chamaecyparis obtusa* using stand density management diagram. Journal of Korean Forest Society 107(2): 174-183.
- Valinger, E. and Pettersson, N. 1996. Wind and snow damage in a thinning and fertilization experiment in *Picea abies* in southern Sweden. Forestry 69: 29-33.
- Yang, A.R., Hwang, J. and Cho, M.S. 2014. Regional early growth performances of planted *Chamaecyparis obtusa* seedlings in relation to site properties. Journal of Korean Forest Society 105(3): 375-382.

---

Manuscript Received : April 3, 2019

First Revision : May 7, 2019

Second Revision : June 5, 2019

Accepted : June 10, 2019