

## 평창지역 천연 활엽수림의 산림작업별 시업전후의 경쟁지수 비교

최현권<sup>1</sup> · 박병배<sup>2</sup> · 성주한<sup>2</sup> · 신만용<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>국민대학교 산림환경시스템학과, <sup>2</sup>국립산림과학원 산림생태연구과

## Comparison of Competition Indices by Silvicultural Systems Before and After Treatments for Natural Deciduous Forests in Pyeongchang

Hyun Kwon Choi<sup>1</sup>, Byung Bae Park<sup>2</sup>, Joo Han Sung<sup>2</sup> and Man Yong Shin<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Forest, Environment, and System, Kookmin University, Seoul 130-702, Korea

<sup>2</sup>Division of Forest Ecology, Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Koera

**요 약:** 본 연구는 강원도 평창군 가리왕산 일대의 천연 활엽수림을 대상으로 택벌림화 작업, 이단림화 작업, 그리고 산벌림화 작업의 3가지 작업방법별 시업 전과 시업 후의 경쟁지수 변화를 평가함으로써 산림생태계 경영에 필요한 정보를 제공하기 위해 수행하였다. 이를 위해 30 m×30 m(0.09 ha) 크기의 고정표본점을 각 작업방법별로 3반복으로 설치하고 시업 전과 시업 후의 정밀 임분조사를 실시하였다. 이와 같이 조사된 자료에 근거하여 Hegyi의 거리종속 경쟁지수를 추정하였으며, 경쟁목의 범위는 중심목의 지표로부터 50°로 시준된 각도에 의해 경쟁목을 선정하는 방법을 사용하였다. 각 작업방법별 그리고 시업 전후의 임분구조 변화를 평가하기 위해 Duncan의 다중검정과 t-검정을 실시하였다. 작업방법별 시업전후의 경쟁지수를 분석한 결과 작업방법에 관계없이 시업을 통해 임분구조가 개선된 것으로 평가되었다. 또한 시업 전과 시업 후의 경쟁지수는 통계적인 차이를 보여 각 작업방법별 임분의 공간 구조는 시업을 통해 개선된 것을 확인할 수 있었다.

**Abstract:** The objective of this study was to estimate the changes of stand structure before and after applying the three different silvicultural treatments such as selection cutting system, two-storied system, and shelterwood system. This study has been conducted in the natural deciduous forests in Pyeongchang of Gangwon Province, Korea. Nine permanent sampling plots of 0.09 ha were established in the forests and each of the three silvicultural treatments was applied to three sampling points. Some tree variables were measured in each stand before and after the silvicultural treatments were applied. With these data, stand attributes were estimated in each stand before and after applying the silvicultural treatments. In this study, a competition index was used to analyze the differences among structures of stands managed by three different silvicultural treatments. Hegyi's distance-dependent competition index was estimated and compared to analyze the differences of stand structures among the stands before and after silvicultural treatments. A method using a height angle 50° from the base of the subject tree was adopted as the selection method of competitor trees. Duncan's multiple range test and t-test were then employed to statistically analyze the difference of stand structure among the stands. The results revealed that competition status among trees in the stand seems to be improved after applying the silvicultural treatments. There are significant differences in the competition index between before and after silvicultural treatments for each stand. According to the evaluation of competition index, it was confirmed that spatial structure of the stands was improved by applying the silvicultural treatments.

**Key words :** natural deciduous forest, stand structure indices, selection cutting system, two-storied system, shelterwood system

### 서 론

천연 활엽수림은 수종구성이 다양하고 생물다양성 및 유전자원의 보존 측면뿐만 아니라 증가하는 환경문제 및

고급 특수목재 수요에 적극 대응할 수 있는 자원으로써 잠재적 가치가 높아 관심이 증대되고 있다(Korea Forest Research Institute, 1996). 우리나라의 천연 활엽수림은 복잡한 지형조건을 기반으로 다양한 종이 분포하고 있으며(Eastern Regional Office of Korea Forest Service, 2009). 그동안 단순 침엽수 위주의 근시안적 정책으로 인해 영급

\*Corresponding author  
E-mail: yong@kookmin.ac.kr

불균형이 심한 상태이다(Korea Forest Service, 2010). 또한 체계적인 관리가 이루어지지 않아 임분밀도가 높고 생장이 저조하며, 수형급도 불량한 상태여서 적절한 관리가 시급한 실정이다(Yim, 2001).

천연 활엽수림을 대상으로 생태적 산림관리 체계를 구축하기 위해서는 장기간의 연구가 필수적이다. 지난 20년 동안 강원도 평창군 가리왕산 지역에서 우리나라 천연 활엽수림의 경영 현대화 및 지속가능한 산림관리 기술 개발 실연 연구가 수행되었는데(Korea Forest Service, 1999; Eastern Regional Office of Korea Forest Service, 2009), 이 연구를 통해 천연 활엽수림의 친환경적 작업방법으로 택벌림화 작업, 이단림화 작업, 그리고 산벌림화 작업의 3가지 작업종을 제시한 바 있다. 이는 각 임분의 구조 및 특성에 적합한 작업방법을 적용하여 천연 활엽수림으로부터 장차 유용한 목재자원을 얻을 수 있을 뿐만 아니라, 천연 활엽수림을 생태적으로도 건전한 숲으로 유도해 나가기 위함이다(Baek, 2005). 이 과정에서 2008년에는 각 산림작업별로 5 ha 규모의 시범지를 조성한 후 산림작업을 실시하고 시업전후의 임분구조를 파악하였으며, 산림작업별 장기 모니터링 조사를 위한 기반을 구축하였다.

임목의 성장과정에서 임분 내의 개체목들은 주변 환경으로부터 서로를 보호하는 반면 광선, 수분, 양분 및 생육 공간 등에 대해서는 상호 경쟁관계에 있다(Kramer, 1988). 특히 생육 공간에 대한 임목들의 상호관계는 경쟁지수(Competition Index)를 통하여 비교할 수 있다. 경쟁지수를 추정하는 주된 목적은 해당 임목의 경쟁상황을 파악하여 주변 임목들과의 경쟁 상태에 따라 앞으로의 성장을 예측하여 이에 대한 적절한 시업 및 경영체계를 수립하기 위함이다. 산림 생태계경영을 위해서는 천연 활엽수림의 작업방법과 연계된 임분구조의 변화를 포함한 임분다양성 연구가 선행되어야 한다. 특히 체계적인 생태적 산림관리를 위해서는 산림작업별 작업 전후 및 시간 경과에 따른 임분 구조 변화 양상을 구명하는 연구가 우선되어야 한다. 하지만 우리나라의 경우 산림작업 전후의 임분구조 변화와 임분 내 임목들의 경쟁상태 변화를 파악하기 위한 연구는 부족한 것이 현실이다. 본 연구는 강원도 평창 가리왕산 일대 천연 활엽수림을 대상으로 택벌림화 작업, 이단림화 작업, 그리고 산벌림화 작업을 실시한 후 각 산림작업별 시업전과 시업후의 경쟁지수 추정을 통해 임분구

조의 변화를 평가하고자 하였다. 이를 위해 본 연구에서는 시업 전과 시업 후의 산림작업 간의 경쟁 상태를 각각 비교하였으며, 각 작업방법별로 시업 전과 시업 후의 경쟁관계를 비교 분석하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 연구대상지

본 연구의 대상지는 강원도 평창군 진부면과 대화면에 위치한 동부지방 산림관리청 평창관리소 관내 2,396 ha의 국유림 경영단지에 속하며, 지리적으로는 북위 37° 25'~30', 동경 128° 11'~44'에 위치하고 있다. 연구 대상지의 해발고도는 약 550~1,500 m의 범위에 있으며, 평균 해발고도는 1,000 m로 비교적 험준한 산악지로 구성되어 있다. 이 지역의 기후는 연평균기온이 6.3로서 매우 낮고, 연평균 상대 습도는 74%로 비교적 높은 편이다(Korea Forest Service, 1990). 또한 해발고도 1,000 m 이상의 일부 지역에서는 한대림에 속하는 수종도 분포하고 있으며 모암은 편마암 또는 석회암으로 되어 있고 산림 토양은 비옥한 갈색토이다(Korea Forest Service, 1990). 연구대상지의 임상은 활엽수림이 71%(약 1,700 ha)로 대부분이 IV~VI영급으로 구성되어 있으며, 수종은 신갈나무, 음나무, 고로쇠나무, 층층나무, 물푸레나무, 그리고 피나무 등 모두 30여종의 유용 활엽수종이 분포하고 있다(Korea Forest Service, 1997). 연구 대상지의 작업방법별 시범지의 입지 및 임상 특성은 Table 1에 요약되어 있다.

### 2. 연구방법

#### 1) 임분조사

본 연구에서 사용한 자료는 2008년 여름에 각 작업방법별로 5 ha 규모의 시범림을 조성한 후, 시범림 내에 30 m×30 m(0.09 ha)의 표본점을 3반복으로 설치하고 정밀 임분조사를 통해 측정된 자료이다. 총 9개의 표본점을 대상으로 각각 표본점 내의 흉고직경 6 cm 이상의 모든 임목에 대해 수종명, 흉고직경, 수고, 지하고, 각 임목의 위치(X-Y 좌표), 8방위 수관폭, 임령을 측정하고, 모든 측정대상 임목의 목편을 채취하여 최근 5년간의 직경 성장량을 파악하였다. 이를 통해 해당 표본점의 임분 현황, 성장 특성, 그리고 임분의 수평 및 수직구조를 파악함으로써(Shin

Table 1. Stand characteristics of study sites applied by different silvicultural systems.

Silvicultural Systems	Age Class	Crown Density	Site Quality	Elevation (m)	Aspect	Slope (°)	Accessibility	Soil Depth
Selection	V	Medium	Medium	870~1,220	Northeast	25	1	Deep
Two-storied	V	Medium	Medium	860~1,250	Northeast	28	1	Deep
Shelterwood	VI	Dense	High	640~820	West	25	1	Deep

and Oh, 1999) 각 작업방법별 시범지의 시업 전 임분 정보로 활용하였다. 이상의 임분조사 자료에 근거하여 각 표본점의 ha당 본수, ha당 흉고단면적, ha당 재적, 평균 흉고 직경, 평균 수고, 그리고 직경성장량 및 직경성장률과 같은 임분통계량을 산출하였다. 한편 해당 시범림은 시업 전 조사가 완료된 후 2008년 가을에 각 작업방법을 적용하여 시업이 이루어졌으며, 2009년 여름에는 동일한 표본점을 대상으로 시업 후의 임분통계량을 산출하기 위해 수종명, 흉고직경, 수고 등과 같은 시업 전과 동일한 항목에 대해 정밀 임분조사를 실시하였다.

2) 경쟁지수의 추정

Doyle(1983)은 거리중속 경쟁지수의 경우 어떤 변수를 이용하여 계산하느냐에 따라 크게 크기비율지수(size ratio index), 생육공간지수(growing spacing index), 그리고 수관 중첩지수(crown overlap index)로 구분하였다. 본 연구에서는 임목의 상대적 크기와 임목간의 거리만으로 경쟁지수를 비교적 간단하게 계산할 수 있는 크기비율지수 모형 중에서 가장 널리 알려진 Hegyi의 경쟁지수(1974)를 사용하였다. 이 경쟁지수는 중심목의 흉고직경( $d_i$ )과 주변  $j$ 번째 경쟁목의 흉고직경( $d_j$ )의 상대적 크기의 비율과 중심목과 경쟁목의 거리( $Dist_{ij}$ )를 사용하여 산출한다 (Table 2).

경쟁지수를 계산하는 과정에서 가장 중요한 것은 주변의 임목들 중에서 어느 범위까지를 경쟁목에 포함시키느냐 하는 점이다. 보통 경쟁목은 중심목에서 일정거리에 있는 나무를 경쟁목으로 선택하거나, 각산정측정법의 흉고 단면적정수 개념으로 만들어지는 가상적표준지(imaginary zone)의 범위 내에 포함된 임목들을 경쟁목으로 선정하는 방법, 그리고 경쟁목의 수고와 중심목으로부터의 거리에 의하여 만들어지는 각도를 고려하는 방법 등 다양한 방법이 이용되어 왔다(Shin et al., 2002).

본 연구에서는 다양한 경쟁목 선정방법 중에서 이전 연구(Lee, 1999; Shin et al., 2002)를 통해 가장 합리적인 방법으로 확인된 중심목의 지표로부터 50°로 시준된 각도에 의해 경쟁목을 선정하는 방법을 사용하였다(Table 3, Figure 1). 즉, 중심목의 지표로부터 50°로 시준한 연장선보다 주변 임목의 수고가 크면 경쟁 대상목으로 선정하는 방법이다. 이 방법은 Table 2에서 보는 바와 같이 중심목

Table 2. Competition index model used in this study.

Model Name	Equation
Hegyi (1974)	$\sum_{j=1}^n \left[ \frac{d_j}{d_i} \right] \left[ \frac{1}{Dist_{ij}} \right]$

Table 3. Competition index search radii investigated.

Variable name	A tree is included as a competitor if:	Explanation
H	$Dist_{ij} < \frac{HT}{1.19}$	50° height angle to the horizontal, starting from the foot of the subject tree

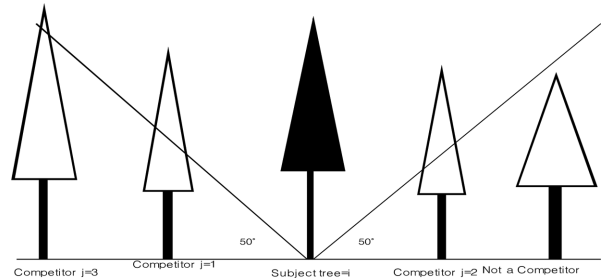


Figure 1. Competitors chosen with a height angle 50° from the base of the subject tree.

과 경쟁목 간의 거리( $Dist_{ij}$ ) 및  $j$ 번째 경쟁목의 수고( $HT_j$ )에 의해 경쟁목의 범위를 설정한다.

3) 통계분석 방법

본 연구의 목적은 각 작업방법을 적용한 임분의 시업 전과 시업 후 임분구조의 변화뿐만 아니라 각 작업방법 간의 임분구조의 차이가 있는지를 평가하여, 각 작업방법이 지향하는 목표 임분형에 적합한 임분구조의 기준을 제시하기 위함이다. 이를 위해 본 연구에서는 시업 전과 시업 후에 각 작업방법별로 측정된 임분조사 자료에 근거하여 앞에서 언급한 Hegyi의 경쟁지수를 각 표본점별로 산출하였다. 이와 같이 산출된 경쟁지수에 대해 시업 전과 시업 후의 변화를 평가한 후, 시업을 통해 통계적으로 의미가 있는 차이가 발생하였는지를 확인하기 위해 t-검정을 실시하였다. 이를 위해 통계분석 프로그램인 SAS의 PROC TTEST 명령문을 사용하였다(SAS Institute, 1985).

한편 본 연구에서 적용한 택벌림화 작업, 이단림화 작업, 그리고 산벌림화 작업의 3가지 작업방법 간에 산출된 경쟁지수의 통계적 차이가 있는지를 평가하였다. 이를 위해 시업 전과 시업 후로 구분하여 경쟁지수에 대한 Duncan의 다중검정을 실시하였다(Che et al., 1993). 이 분석의 경우에도 SAS의 PROC ANOVA를 통해 분산분석을 실시한 후, 평균치들 간의 다중검정을 위해 Duncan이라는 부가적인 분석명령으로 결과를 도출하였다.

결과 및 고찰

1. 작업방법별 시업전후의 임분통계량

Table 4는 각 작업방법별 임분통계량을 시업전과 시업 후로 구분하여 비교한 결과이다. 본 연구에서 채택한 택

Table 4. Comparison of stand statistics by silvicultural systems before and after prescriptions.

Silvicultural Systems	Classification	n	N/ha	Ba/ha (m <sup>2</sup> )	V/ha (m <sup>3</sup> )	$\overline{DBH}$ (cm)	$\overline{HT}$ (m)
Selection	Before Treatment	192	711	25.1	157.0	18.4	12.0
	After Treatment	131	485	16.5	113.1	18.4	12.5
Two-storied	Before Treatment	244	904	27.1	182.8	16.6	11.8
	After Treatment	146	541	21.1	146.3	19.4	13.2
Shelterwood	Before Treatment	228	844	28.7	199.6	17.9	12.9
	After Treatment	139	515	19.8	141.4	19.4	13.6

벌림화 작업은 영급림과는 달리 윤벌기가 없고 동일한 공간에 치수부터 벌기에 달한 노령 임목들이 함께 생육하여 생태적으로 건전한 임분 구조를 갖도록 유도하는 작업방법이다(Shin et al., 1992). 시업 전의 택벌림화 작업지는 다른 작업지에 비해 상대적으로 밀도가 낮은 편이지만 ha당 157 m<sup>3</sup>를 보유하고 있는 것으로 나타났다. 택벌림화 작업지는 시업을 통해 ha당 본수는 226본(32%), ha당 흉고단면적은 8.6 m<sup>2</sup>(34%), 그리고 ha당 재적은 43.9 m<sup>3</sup>(29%) 등 비교적 많은 양이 제거된 것으로 분석되었다. 이는 택벌림으로 유도하기 위해 형질 불량목과 폭목을 우선적으로 제거하면서 잔존목의 공간분포를 동시에 고려한 결과로 평가된다(Eastern Regional Office of Korea Forest Service, 2008). 반면에 임분의 평균 흉고직경은 시업 전과 후에 모두 18.4 cm로 차이가 없는 것으로 분석되었으며, 평균 수고는 시업을 통해 0.5 m가 증가한 12.5 m로 나타났다.

한편 이단림화 작업은 임분의 수직구조에서 중층에 분포하는 임목들을 인위적으로 제거하여 상층과 하층의 두 개의 층으로 분리하는 작업방법이다(Eastern Regional Office of Korea Forest Service, 2003). 이단림화 작업지의 시업 전 ha당 본수, 흉고단면적, 재적 그리고 평균 흉고직경과 수고를 표본점별로 파악한 결과 택벌림화 작업지에 비해 상당히 양호한 임황을 보이고 있음을 알 수 있다. 시업 전의 이단림화 작업지의 ha당 본수 및 흉고단면적은 각각 904본과 27.1 m<sup>2</sup>인 것으로 나타났다. 이러한 결과는 ha당 재적에서도 확인되는데 182.8 m<sup>3</sup>로 추정되어 상당히 양호한 임분 조건을 보이고 있다. 이단림화 작업지에서 시업을 통해 제거된 임목은 ha당 본수가 363본(40%), 흉고단면적이 6.0 m<sup>2</sup>(22%), 그리고 재적이 36.5 m<sup>3</sup>(20%)인 것으로 분석되었다. 이는 수직구조에서 중층을 차지하고 있는 소경목 위주로 벌채하면서 일부 중경목이 제거되었음을 의미하는 것이다. 시업 후의 ha당 본수는 541본이고 흉고단면적은 21.1 m<sup>2</sup>, 그리고 재적은 146.3 m<sup>3</sup>로 추정되어 여전히 양호한 임상을 유지하고 있다.

산벌림화 작업은 임분내의 불량목 혹은 폭목과 같은 임목들을 제거함으로써 임분의 구조를 개선시켜 정상적인

발달을 유도하는 작업방법이다. 이와 같이 유도된 임분은 시간이 경과한 후 종국적으로 산벌림화 작업에 의해 갱신이 가능한 임분이 되도록 구조를 개선해 나가는 것이다. 산벌림화 작업지의 시업 전 ha당 본수는 844본으로 다른 작업지와 유사한 임목 본수를 보이고 있다. 하지만 ha당 흉고단면적이나 재적은 각각 28.7 m<sup>2</sup>와 199.6 m<sup>3</sup>로 다른 작업방법을 적용한 시업지에 비해 큰 것으로 확인되었다. 또한 시업 전 평균 흉고직경과 수고는 각각 17.9 cm와 12.9 m인 것으로 분석되었다. 산벌림화 작업지는 시업을 통해 전체의 39%인 329본이 제거되었다. 형질 불량목 위주의 벌채를 통해 ha당 흉고단면적은 8.9 m<sup>2</sup>(31%) 그리고 재적은 58.2 m<sup>3</sup>(29%)가 제거되었음에도 불구하고 시업 후 ha당 흉고단면적과 재적은 각각 19.8 m<sup>2</sup>와 141.4 m<sup>3</sup>로 여전히 양호한 임상을 유지하고 있다. 한편 산벌림화 작업지는 시업 후 평균 흉고직경이 19.4 cm이고 수고가 13.6 m로 시업을 통해 각각 1.5 cm와 0.7 m가 증가한 것으로 분석되었다.

## 2. 시업전과 시업후의 작업방법 간의 경쟁지수 비교

Table 5는 시업전과 시업후의 임분조사 자료에 근거하여 추정된 작업방법별 Hegyi 경쟁지수를 Duncan의 다중검정을 이용하여 작업방법 간에 차이가 있는지를 비교한 결과이다. 시업전의 작업방법별 경쟁상태는 이단림화 작업지, 산벌림화 작업지, 그리고 택벌림화 작업지의 순서로 경쟁지수가 큰 것으로 분석되었다. 하지만 통계분석 결과 임분밀도가 유사한 이단림화 작업지와 산벌림화 작업지 간에는 통계적인 차이가 없는 것으로 평가되었다. 반면에 임분밀도가 상대적으로 낮아 경쟁상태가 비교적 양호한 택벌림화 작업지는 이단림화 작업지 및 산벌림화 작업지에 비해 경쟁지수가 훨씬 작으며, 이는 통계적으로 차이가 인정되는 수준임을 알 수 있다. 이는 동일한 작업지를 대상으로 작업방법별 임분구조 지수를 비교한 연구(Kim et al., 2012)와 비교하면 집락도와 동일한 결과를 나타낸 것이다. 하지만 임목간의 상대적인 크기를 비교하는 흉고직경 변이지수와 수고 변이지수는 작업방법별 경쟁지수와 다른 결과를 보였다. 집락도는 임목 내에 생육하는 임

**Table 5. Results of Duncan's multiple range test for Hegyi's competition index before and after silvicultural systems were applied.**

Silvicultural Systems	Competition Index	
	Before Treatment	After Treatment
Selection	6.03 b*	4.56 b
Two-storied	9.86 a	7.47 a
Shelterwood	8.80 a	5.44 b

\*Same letters stand for no significant difference at 5% level.

목의 공간적 분포 상태를 나타내는 지수로(Clark and Evans, 1954), 시업 전 임분의 경쟁관계는 임목의 크기보다는 오히려 임목간의 거리로 표현되는 임분의 공간분포가 더 영향을 미치는 것으로 해석할 수 있다.

시업 후의 작업방법별 경쟁지수를 보면 시업을 통해 모두 감소한 것으로 나타났는데, 특히 산벌림화 작업지의 경우 8.80에서 5.44로 큰 폭으로 감소한 것으로 분석되었다. 시업 후의 임분에서 추정된 경쟁지수에 대해 작업방법 간에 차이가 있는지를 파악하기 위해 수행한 Duncan의 다중검정 결과를 보면, 시업 전과는 달리 택벌림화 작업지와 산벌림화 작업지는 차이가 없는 것으로 나타났다. 하지만 시업 전과 마찬가지로 경쟁지수 가장 큰 이단림화 작업지는 시업 후에도 다른 작업지에 비해 상대적으로 임목 간의 경쟁이 심한 것으로 분석되었으며 통계적으로도 다른 작업지와 차이가 인정되었다.

시업 후의 작업방법별 경쟁지수는 다른 임분구조 지수인 집락도, 흉고직경 변이지수, 그리고 수고 변이지수의 분석 결과(Kim et al., 2012)와는 다른 통계분석 결과를 보였다. 본 연구에서 사용한 Hegyi의 거리종속 경쟁지수는 주변 임목과의 거리 및 임목의 상대적 크기를 함께 비교하지만, 집락도 및 흉고직경 변이지수와 같은 임분구조 지수는 각각 임목의 공간분포와 상대적 크기를 고려하여 추정된 지수이기 때문에 통계검정 결과가 다르게 나타난 것으로 해석할 수 있다. 결국 경쟁지수는 몇 가지 임분구조 지수의 특성을 통합하여 임분의 다양성을 평가한다고 볼 수 있다.

### 3. 작업방법별 시업전후의 경쟁지수 비교

Table 6은 각 작업방법별 시업을 통해 임분의 경쟁상태가 어떻게 변화되었는지를 분석하기 위해 t-검정을 실시한 결과이다. 각 작업방법별로 시업을 통해 임목 간의 경쟁이 상당한 정도로 완화되었음을 확인할 수 있다. 특히 산벌림화 작업지의 경쟁지수는 다른 작업지에 비해 큰 폭으로 감소하였는데, 이는 시업을 통해 폭목 및 형질 불량목 등 주변목의 경쟁에 방해가 되는 임목들을 우선적으로 제거한 결과로 판단된다. 각 작업방법별로 시업전과 시업

**Table 6. Results of t-tests for Hegyi's competition index within the stands before and after silvicultural systems were applied.**

Silvicultural Systems	Before		After		t	Pr> t
	Mean	SD	Mean	SD		
Selection	6.03	3.82	4.56	3.86	-2.72	0.0091
Two-storied	9.86	7.07	7.47	6.43	-2.67	0.0082
Shelterwood	8.80	5.57	5.44	3.28	-4.19	<0.0001

후의 경쟁지수는 통계적으로 명확한 차이가 있는 것으로 분석되었는데(Table 6), 이는 각 작업방법별 시업을 통해 목표임분으로 유도하는 과정에서 임목 간의 경쟁을 완화하고 잔존목의 성장을 촉진하기 위한 적절한 조치가 이루어졌음을 의미하는 것이다. 즉, 각 작업방법별 시업지침에 따라 밀도를 조절하면서 공간구조를 개선하였기 때문에 잔존목의 경쟁이 완화된 것을 알 수 있다. 결과적으로 시업을 통해 잔존목의 성장을 촉진하여 목표 임분형으로 유도할 수 있는 여건을 마련한 것으로 평가된다.

택벌림화 작업지의 경우 시업을 통해 임목 간의 경쟁이 완화되어 통계적으로 인정할 수 있을 정도의 경쟁지수의 감소를 보였다. 택벌림화 작업에서는 다층의 수직구조를 유지할 수 있도록 시업을 했기 때문에 임분의 공간구조가 개선되면서 경쟁관계도 완화된 것을 확인할 수 있는 결과이다. 이단림화 작업지의 경우에도 시업 전과 시업 후의 경쟁지수는 통계적으로 차이를 보여 시업을 통해 상당한 정도의 경쟁이 완화되었음을 알 수 있다. 이단림화 작업은 수직적으로 중층을 구성하는 임목을 벌채하여 동일한 공간에 수고층이 상층과 하층으로 구분되도록 시업하는 것으로, 이 과정에서 경급의 정돈도 함께 이루어지면서 임목 간의 경쟁이 완화된 것으로 평가된다. 산벌림화 작업지의 시업 전과 시업 후의 경쟁지수 변화를 보면 큰 폭으로 감소하여 임분구조의 측면에서 경쟁상태가 상당히 개선된 것을 알 수 있다.

각 작업방법별 시업을 통해 경쟁지수가 상당한 정도로 감소하여 시업의 효과를 확인할 수 있었다. 하지만 이 결과는 시업 전후의 임분구조 지수를 비교한 이전 연구(Kim et al., 2012)와는 다소 다른 결과이다. 임목의 공간분포를 나타내는 집락도의 경우 작업방법별로 시업전후의 추정치 간에 통계적인 차이가 없는 것으로 나타났다. 임목의 상대적 크기를 나타내는 흉고직경 변이지수와 수고 변이지수는 택벌림화 작업지와 이단림화 작업지는 시업전후에 차이가 인정되었지만 산벌림화 작업지는 통계적으로 차이를 인정할 수 없어 경쟁지수와는 다른 결과를 보였다. 이는 경쟁지수가 집락도 및 흉고직경변이지수, 그리고 수고변이지수 등의 몇 가지 임분구조 지수를 포괄하는 특성

을 반영한 결과이다.

#### 4. 작업방법별 경쟁상태 변화에 대한 고찰

Doyle(1983)은 거리종속 경쟁지수의 경우 어떤 변수를 이용하여 계산하느냐에 따라 크게 크기비율지수(size ratio index), 생육공간지수(growing spacing index), 그리고 수관 중첩지수(crown overlap index)로 구분하였다. Hegyi(1974)의 경쟁지수는 대표적인 크기비율지수 모형으로 임목의 상대적 크기와 임목간의 거리만으로 경쟁지수를 비교적 간단하게 계산할 수 있는 장점이 있다. 그 동안 발표된 다른 거리종속 경쟁지수 모형(Martin and Ek, 1984, Braathe, 1984; Sanniga, 1989)들은 Hegyi의 모형을 약간 변형한 것에 불과하다.

본 연구에서 사용된 Hegyi의 경쟁지수는 주변목의 크기가 중심목에 비해 흉고직경이 상대적으로 크거나 가까운 거리에 있으면 지수가 커지기 때문에 지수의 수치가 클수록 해당 임분에 있는 임목들 간의 경쟁이 심하다는 것을 의미한다. 따라서 본 연구에서 각 작업방법을 적용하기 위해 선정한 시범림은 이단림화 작업지와 산벌림화 작업지는 택벌림화 작업지에 비해 상대적으로 임목 간의 경쟁상태가 심한 것을 알 수 있다(Table 5). 하지만 경쟁지수의 수치는 임목 간의 경쟁상태에 대한 상대적인 의미이기 때문에 경쟁상태의 경중을 수치만으로 직접 비교하기는 어려운 것이 사실이다. 다만 경쟁지수 외에 임분의 본수, 흉고단면적, 재적 등과 같은 임분통계량을 경쟁지수와 함께 종합적으로 고려할 경우 시업에 필요한 시기 등을 파악할 수 있을 것으로 판단된다. Table 5의 시업 전과 시업 후의 작업방법별 시범지의 경쟁지수 변화를 보면 모든 작업지가 시업을 통해 경쟁상태가 완화되었지만, 작업지별 경쟁상태의 순서는 변하지 않았음을 알 수 있다.

시업을 통한 경쟁상태의 완화 정도는 각 작업방법의 특성과 관련하여 해석할 수 있다. 택벌림화 작업과 이단림화 작업은 임분의 수평적 공간분포와 수직적 공간분포를 함께 고려하여 임분의 구조를 조정해 나가는 작업방법이다 (Eastern Regional Office of Korea Forest Service, 2009). 이 중에서 택벌림화 작업은 수평적 구조조정에 더 중점을 두는 반면 이단림화 작업은 두 개의 수관층을 구성하도록 유도하기 때문에 수직구조의 조정이 우선되어야 한다. 한편 산벌림화 작업은 특성상 수직구조보다는 수평구조의 조정이 중요한 작업법이다. 이러한 작업방법별 특성은 Hegyi의 경쟁지수가 주변목의 크기 및 거리와 같은 수평구조와 연관이 있다는 사실을 감안하면 시업 전과 시업 후의 작업방법별 경쟁지수의 차이를 이해할 수 있다. 결과적으로 작업방법별로 시업을 통해 경쟁지수가 감소하고 경쟁상태가 완화되었지만, 작업방법별 특성에 따라 수평구조에 중점을 둔 택벌림화 작업지와 산벌림화 작업지

는 통계적으로 경쟁상태가 차이가 없는 것으로 나타났다. 반면에 수직구조의 조정이 중요한 이단림화 작업지는 시업을 통해 경쟁지수가 감소했음에도 불구하고 여전히 상대적으로 높은 경쟁상태를 유지하면서 다른 작업지와 통적인 차이를 보였다(Table 5).

만일 경쟁지수 모형 중에서 주변 임목의 흉고직경을 비교하는 것이 아니라 수고의 크기를 비교하는 거리종속 경쟁지수 모형(Braathe, 1984; Sanniga, 1989)을 사용했다면 다른 결과를 얻을 수도 있었을 것으로 판단된다. 즉, 경쟁지수 모형의 선택에 따라 최종적으로 얻어지는 경쟁지수 수치는 달라질 수 있다. 하지만 본 연구의 목적은 경쟁지수 수치 자체가 아니라 각 작업방법별 시업을 통해 경쟁상태가 어느 정도로 완화되었는지를 통계적 분석을 통해 확인하고자 하는 것이다. 경쟁지수만으로 작업방법별 임분구조의 변화를 모두 해석할 수는 없지만 선행 연구(Kim et al., 2012)의 작업방법별 임분구조 지수 변화의 결과와 함께 해석한다면 목표임분형으로 유도하기 위한 작업방법별 시업강도 및 적절성을 확인할 수 있는 결과를 얻은 것으로 평가된다.

이와 함께 작업방법의 적합성과 시의성을 경쟁지수 평가를 통해 좀 더 명확하게 밝히기 위해서는 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다. 본 연구에서 사용한 Hegyi의 모형이 대표적인 거리종속 경쟁지수임에는 분명하지만, 거리독립 경쟁지수를 포함한 다양한 경쟁지수를 이용한 후속 연구를 통해 산림시업 후 다양하고 복잡한 임분의 구조 및 동태에 대한 비교 분석 연구를 수행할 필요가 있다.

## 결론

본 연구는 강원도 평창지역의 천연 활엽수림을 대상으로 택벌림화 작업, 이단림화 작업, 그리고 산벌림화 작업의 3가지 작업방법을 적용하여 각각의 임분에서 시업 전과 시업 후의 Hegyi 경쟁지수를 추정한 후 시업에 의한 임분구조 변화를 예측하였다. 이를 위해 각 작업방법별로 시업 전과 시업 후에 측정된 정밀 임분조사 자료를 정리한 후 고정표본점의 임분통계량을 추정하고 임분구조를 분석하였다. 이상과 같이 정리된 자료에 근거하여 각 작업방법별 경쟁지수를 산출하였는데, 본 연구에서 거리종속 경쟁지수 중의 하나인 Hegyi의 경쟁지수를 사용하였다. 한편 경쟁 대상목의 범위는 중심목의 지표로부터 50°로 시준된 각도에 의한 방법을 사용하였다.

각 작업방법별 시업지는 시업을 통해 경쟁상태가 상당한 정도로 완화되어 공간분포가 재편된 것을 확인할 수 있었으며, 각 작업방법의 특성에 따라 시업 전과 시업 후의 경쟁상태가 다르게 나타나고 있음을 확인할 수 있었다. 즉, 본 연구에서 사용한 Hegyi의 경쟁지수를 각 작업지에

적용한 결과 임분의 공간구조가 임목생장에 유리한 방향으로 개선되었음을 확인할 수 있었다. 시업을 통해 경쟁지수는 작업방법에 관계없이 큰 폭으로 감소하여 시업 전과 통계적으로 뚜렷한 차이를 보이는 것으로 분석되었다. 본 연구로부터 얻어진 결과는 임분 공간구조지수 및 종다양성 지수와 함께 시업을 통한 임분구조 변화를 예측할 수 있어 각 작업방법별 목표임분형 유도에 필요한 정보로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

### 감사의 글

본 논문은 2012년 국립산림과학원 산림생태연구과 위탁연구과제 ‘가리왕산 일대 산림작업 실연지의 임분 현황 구명(2)’ 연구 결과의 일부입니다. 연구비 지원에 감사드립니다.

### 인용문헌

Baek, J.H. 2005. A study on the determination of suitable stand density by silvicultural systems over time for natural deciduous forests in Pyungchang area. Master's Thesis. Kookmin University. pp. 63.

Braathe, P. 1984. Development of regeneration with different mixtures of conifers and broadleaves. Proceedings of IUFRO Working party S 1.05-03 on b. pp. 268-277.

Che, Y.A, Koo, J.O., Seo, H.S., and Lee, Y.M. 1993. Basic Biological Statistics (4<sup>th</sup> ed.), Hyangmunsa Book Co., pp. 418

Clack, P.J. and Evans, F.C. 1954. Distance to nearest neighbour as a measure of spatial relationships in populations. Ecology. 35: 445-453.

Doyle, T.W. 1983. Competition and Growth relationships in a mixed-aged, mixed-species forest community. Ph. D. Dissertation. University of Tennessee. pp. 86.

Eastern Regional Office of Korea Forest Service. 2003. Practical application research on eco-friendly silvicultural techniques and development of sustainable forest management techniques in natural deciduous forests (III). pp. 206.

Eastern Regional Office of Korea Forest Service. 2008. Practical application research on eco-friendly silvicultural techniques and development of sustainable forest management techniques in natural deciduous forests (IX). pp. 182.

Eastern Regional Office of Korea Forest Service. 2009. Practical application research on eco-friendly silvicultural techniques and development of sustainable forest management techniques in natural deciduous forests (X). pp. 337.

Hegy, F. 1974. A simulation model for managing jack-pine stands. Royal College of Forestry, Stockholm, Sweden. pp. 75-91.

Kim, Y.J., Sung, J.H., Yang, H.M., and Shin, M.Y. 2012. Changes

in stand structures before and after silvicultural treatments in natural deciduous forests of Pyungchang Area. The Journal of Korean Forestry Society 101(2): 297-304.

Korea Forest Service. 1990. A forest practice-university cooperative study on the modernization of national forest management (I). pp. 5-10.

Korea Forest Service. 1997. A forest practice-university cooperative study on the modernization of national forest management (VIII). pp. 291.

Korea Forest Service. 1999. A forest practice-university cooperative study on the modernization of national forest management (X). pp. 500.

Korea Forest Service. 2010. Statistical yearbook of forestry. pp. 491.

Korea Forest Research Institute. 1996. National Resource Inventory Reports for Deciduous Species. KFRI Research Report No. 122. pp. 508.

Kramer, H. 1988. Waldwachstumslehre: Okologische und anthropo-gene Einflusse auf das Wachstum des Waldes, seine Massen-und Wertleistung und die.

Lee, T.H. 1999. Growth prediction of Korean white pine in juvenile stage by the investigation of competition status. Master's Thesis. Kookmin University. pp. 60.

Martin, G.L. and Ek, A.R. 1984. A Comparison of competition measures and growth models for predicting plantation red pine diameter and height growth. Forest Science 30: 731-743.

Sanniga, M. 1989. Einfluß der interspezifischen Konkurrenz auf das Wachstum der Fichte in Buchenjüngwüchsen. In : Treatment of young forest stands, IUFRO Working Party, Drsdn, GDR, pp. 292-301.

SAS Institute. 1985. SAS User's Guide: Statistics. pp. 956.

Shin, M.Y., Chung, D.J. and Kim, J.H. 2002. A study on the selection of the optimal competition index for young stands of Korean white pine. The Journal of Korean Forestry Society 91(1): 59-70.

Shin, M.Y., Lim, J.H., Chun, Y.W. and Ko, Y.Z. 1992. Regeneration and tending practices for natural mixed stands of *Quercus mongolica-Abies holophylla*. I. Stand structure and silvicultural system. The Journal of Korean Forestry Society 81(1): 21-29.

Shin, M.Y. and Oh, J.S. 1999. Development of a computer program for stand spatial structure analysis. The Journal of Korean Forestry Society 88(3): 389-399.

Yim, J.S. 2001 A study on the environment-friendly management methods by site types for the natural deciduous forest on Pyungchang in Gangwon Province. Master's Thesis. Kookmin University. pp. 66.