

## 강원도 평창지역 택벌림화 작업지의 임분밀도 조절에 관한 연구

백주현 · 임종수 · 신만용\*  
국민대학교 산림환경시스템학과

### Stand Density Control by Selection System in Pyungchang Area, Gangwon Province

Ju Hyoun Baek, Jong Su Yim and Man Yong Shin\*  
Dept. of Forest, Environment, and System, Kookmin Univ., Seoul, 136-702, Korea

**요약:** 본 연구는 강원도 평창지역의 천연 활엽수림을 대상으로 시간 경과에 따른 택벌림화 작업지의 임분밀도와 임목본수의 변화를 파악하고, 택벌림화 작업지에 적합한 무육방법을 제시함으로써 천연 활엽수림의 경영에 필요한 정보를 제공하고자 수행하였다. 임분밀도의 조절을 위해 임분밀도지수를 사용하여 매 5년 마다 ha당 흉고단면적의 10%, 12%, 그리고 14%를 제거하는 모의시업을 시행하였다. 그 결과 택벌림화 작업지를 목표로 하는 임분으로 유도하기 위해서는 30년 정도의 정리가 필요할 것으로 판단하였다. 최종적으로 30년이 경과하는 시점까지 각 시나리오에 따른 무육을 거치는 동안 적정 임분밀도를 유지하면서 많은 재적을 확보할 수 있는 방법을 택벌림화 작업지에 적합한 무육방법으로 판단하였다. 모의시업의 결과 매회 ha당 흉고단면적의 10%를 제거하였을 경우에는 정리기간 동안 임분밀도지수가 적정 수준을 초과하는 것으로 분석되었다. 반면, 매회 12%와 14%를 제거하였을 경우에는 적정 임분밀도를 유지하는 것으로 나타났다. 하지만 최종 수확시의 경제성을 고려한 결과 흉고단면적의 12%씩을 제거하는 시업강도를 적용하는 것이 가장 적합한 무육방법으로 평가되었다.

**Abstract:** This study was conducted to provide basic information on the management of natural deciduous forests by presenting suitable stand density over time for natural deciduous forests in Pyungchang Area. The stand density index(SDI) for the sampling point was also computed. The cutting scenarios were adopted by considering the SDI estimated in the sampling point. And then, simulation cutting was enforced to the stand. Cutting scenarios consisted of three cutting levels, with the period of 5 years where each suitable cutting level of selection system will not have the SDI over the maximum SDI throughout 30 years and consider harvest after 30 years. As a result of the simulation cutting, it was found that removing 12% and 14% of basal area per each time kept proper stand density while removing 10% exceed to the adequate basis. From an economic point of view, it was concluded that removal 12% of basal area would be the most suit cutting level in selection system.

**Key words :** selection system, stand density index, cutting scenarios, natural deciduous forests

### 서론

지난 1987년 UN에 보고된 지속가능한 개발의 개념이 산림분야에 적용되면서, “지속가능한 산림경영”이 중요한 과제로 대두되고 있다. 이러한 현실에서 목재 생산중심의 단순·동령림보다는 수종구성이 다양하고, 생물다양성 및 유전자원의 보존 측면뿐만 아니라 증가하는 국제적 환경 문제 및 수입목재에 의존하고 있는 고급 특수목재의 수요에 대응할 수 있는 자원으로써 잠재적 가치가 높은 천연

활엽수림에 대한 관심이 증대되고 있다(임업연구원, 1996). 우리나라의 천연 활엽수림은 수종구성이 다양하여 생물다양성과 안정성이 비교적 높은 상태이며, 경제적 가치 또한 향상될 수 있는 가능성을 지니고 있다(양희문 등, 2001). 하지만 일제침략기와 6·25사변 등과 같은 사회적 혼란과 침엽수 식재를 위한 유용 활엽수의 제거와 같은 근시안적 정책에 의해 활엽수림의 약 70% 이상의 면적이 III영급 이하에 편중되어 있다. 또한 천연 활엽수림은 그동안 체계적인 관리가 이루어지지 않아 임분 밀도가 높고 생장이 저조하며, 수형급도 불량한 상태여서 적절한 관리가 시급한 실정이다(임종수, 2001).

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

이러한 상황에서 “국유림 경영 현대화 산학협동 실연연구회”에서는 1990년부터 천연 활엽수림을 대상으로 체계적인 경영방안에 대한 연구를 시작하였다. 그 동안의 연구결과 천연 활엽수림의 보속구조 완성을 통해 경제적 가치와 공익적 기능을 동시에 달성할 수 있는 택벌림화 작업, 이단림화 작업, 그리고 산벌림화 작업의 3가지 경영방법을 제시하였다. 이 중에서 택벌림화 작업은 대경재를 매년 연년생장량만큼 생산할 뿐만 아니라 지속적으로 대경재의 생산이 가능한 구조를 갖도록 유도하는 작업방법이다(동부지방산림관리청, 2002). 또한 택벌림화 작업에 의해 택벌림으로 유도된 임분은 영급림과는 달리 윤벌기가 없고 동일한 공간에 치수부터 벌기에 달한 노령 임목들이 함께 생육하여 생태적으로 건전한 임분 구조를 갖는다(신만용 등, 1992). 최근 중요한 관심사로 떠오른 “지속가능한 산림경영”이라는 목표에 부합하기 위해서는 천연갱신을 지향하는 다층 및 다수종으로 혼효된 임분이 요구되는데 이러한 조건을 만족시켜줄 수 있는 임분의 형태가 택벌림이다.

현재 우리나라 천연 활엽수림의 임분 구조를 고려할 때 택벌림화 작업에 의해 목표 임분형으로 유도하여 경영 목표에 부합되는 임분을 조성하기까지는 상당한 시간이 소요될 것으로 예상된다. 이와 함께 택벌림화 작업을 적용하여 목표 임분형으로 유도하기 위해서는 최소한 5년 단위의 무육작업과 목표 임분형으로의 유도 가능성에 대한 모니터링이 필요하며, 양호한 임목생장을 위해 임분밀도를 적정 수준으로 유지해 주는 관리가 필요하다. 이러한 관점에서 본 연구는 천연 활엽수림을 대상으로 택벌림화 작업을 적용하여 시간 경과에 따른 임분 밀도와 임목본수의 변화를 파악하고, 택벌림화 작업지에 적합한 무육방법을 제시함으로써 천연 활엽수림의 경영에 필요한 정보를 제공하기 위하여 수행하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 연구대상지

본 연구의 대상지는 행정구역상으로 강원도 평창군 진부면과 대화면에 위치한 동부지방 산림청 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 기후대는 온대중부 및 북부에 속하며, 연평균기온이 6.3로서 매우 낮고, 연평균 상대 습도는 74%로 비교적 높은 편이다(산림청, 1992). 한편 연구 대상지의 임상은 활엽수림이 71%(약 1,700 ha)로 대부분이 III~V영급으로 구성되어 있다. 수종 구성은 신갈나무, 읍나무, 고로쇠나무, 층층나무, 물푸레나무, 그리고 피

나무 등으로 모두 30여종의 유용 활엽수종이 분포하고 있다(산림청, 1997).

### 2. 연구방법

#### 1) 임분 조사

본 연구에서는 연구 대상지 중에서 택벌림화 작업을 적용하여 목표 임분형으로 유도될 가능성이 있는 임분을 선정 후, 40 m×40 m(0.16 ha) 크기의 표본점을 설치하여 정밀 임분조사를 실시하였다. 임분조사는 표본점 내에 생육하고 있는 흉고직경 6 cm 이상의 임목을 대상으로 수종명, 흉고직경, 수고, 지하고, 임목의 위치(x, y 좌표), 그리고 8방위 수관폭을 측정하였다. 또한 직경 성장량을 측정하기 위해 표본점 내의 흉고직경 6 cm 이상의 모든 임목을 대상으로 성장추를 이용하여 목편을 채취하였다.

이상의 임분조사 자료에 근거하여 각 표본점의 ha당 본수, ha당 흉고단면적, ha당 재적, 평균 흉고직경, 평균 수고, 평방 평균직경, 그리고 직경성장량 및 직경성장률과 같은 임분통계량을 경급별로 산출하였다.

#### 2) 임분밀도의 측정

본 연구에서는 임분의 밀도를 측정하는 방법으로 Reineke(1933)가 제시한 임분밀도지수(stand density index; SDI)를 이용하여 택벌림화 작업지로 결정된 표본점의 임분밀도지수를 측정하였다. 임분밀도지수는 간벌을 실시하지 않은 상태에서 최대 밀도에 도달한 임분(fully stocked stand)에서는 단위 면적 당 임목 본수(N)와 평방 평균직경( $\bar{d}_q$ )간에 아래와 같은 관계를 가지며(식 1), Reineke(1933)가 제시한 수종이나 입지조건에 관계없이 감소계수  $\beta$ 는 -1.6을 갖는다는 것에 착안한 임분밀도 측정 방법이다(Clutter *et al.*, 1983). 이 식에서  $\alpha$ 와  $\beta$ 는 임분 조건에 따라 실측자료에 의해 추정하여야 할 계수이다.

$$N = \alpha(\bar{d}_q)^\beta \quad (\bar{d}_q = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i^2}, d_i = \text{DBH at individual tree } i) \quad (1)$$

이상과 같은 본수와 평방 평균직경과의 관계에서 평방 평균직경이 25 cm가 될 때의 임목본수를 임분밀도지수라 한다. 따라서 임분밀도지수는 다음과 같은 식 (2)로 표현된다.

$$SDI = \alpha 25^\beta \quad (2)$$

위의 식을 변환하면 다음과 같이 단위 면적 당 임목본수와 임분밀도지수의 관계를 추정할 수 있다.

$$SDI = N \left( \frac{25}{\bar{d}_q} \right)^\beta \quad (3)$$

임분밀도지수는 원래 동령임분의 밀도를 측정하기 위

해 고안된 방법이지만, 경급별 임분밀도지수를 계산하여 합산하는 방법으로 이령림에도 적용이 가능한 것으로 알려져 있다(Woodall *et al.*, 2003). 따라서 천연 활엽수림을 대상으로 하는 본 연구에서 사용된 임분밀도지수의 계산식은 다음과 같다.

$$SDI = \sum_{i=1}^3 N_i \left( \frac{25}{d_{qi}} \right)^\beta \quad (4)$$

여기서  $\bar{d}_{qi}$ 는  $i$ 번째 직경급의 평방 평균직경,  $N_i$ 는  $i$ 번째 직경급의 임목 본수이다. 그리고  $i$ 는 1, 2, 3인데 각각 소경급, 중경급, 그리고 대경급을 의미하며, 경급의 구분은 소경급이 6~16 cm, 중경급이 18~28 cm, 그리고 대경급은 30 cm 이상으로 하였다. 따라서  $\bar{d}_{qi}$ 는 각각 임분의 소경급, 중경급, 그리고 대경급의 평방 평균직경을 말한다.

3) 최대 임분밀도의 추정

Reineke의 방법을 이용하여 최대임분밀도지수를 추정하기 위해서는 무육을 실시하지 않은 상태에서 최대밀도에 도달한 임분에서 조사한 평균흉고직경과 ha당 임목본수 자료를 이용해야 한다. 그러나 현실적으로 간벌을 실시하지 않은 상태에서 최대밀도를 나타낸다고 인정되는 임분과 그로부터 조사된 자료의 확보에는 많은 어려움이 따르게 된다(이우균 등, 2000). 최대임분밀도지수를 산출하기 위해서는 최대 밀도에 도달한 임분의 자료를 통해 식 (1)의  $\alpha$ 와  $\beta$ 를 추정해야 하기 때문에 다양한 현실 임분 자료 중에서 객관적으로 최대 밀도에 근접한 것으로 판단되는 자료가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 최대 임분 밀도에 도달했다고 판단되는 자료를 수집하기 위해 2000년부터 2003년까지 4년 동안 연구 대상지인 강원도 평창의 천연 활엽수림을 대상으로 수집한 108개의 표본점 자료에 근거하여, Curtis(1982)가 제시한 상대밀도(Relative Density; RD)를 계산한 후, 임분 밀도가 상위 10% 이내인 임분을 최대 임분밀도에 도달한 임분으로 설정하였다(Table 1). 이와 함께 상위 10%의 임분에서 얻어진 자료에 근거하여 식 (1)의 모수를 추정한 후, 추정된 모수를 식 (2)에 대입하여 최대임분밀도지수를 산출하였다. 이상과 같이 최대 밀도에 도달했다고 간주되는 임분의 임분밀도지수를 추정하기 위해 상대밀도를 사용한 이유는 임분밀도지수가 임분밀도의 추정에 있어서 절대

Table 1. Guide of relative density.

Guide	Explanation
RD ≤ 2.9	open growth stand
2.9 < RD < 3.8	stand growth slow to where commercial thinning may be desirable
RD ≥ 3.8	the ability of trees to respond to release is diminished

적인 기준을 제시하는 반면, 상대밀도는 임분밀도에 대한 상대적인 개념으로 현실적으로 최대 임분 밀도의 자료를 수집하기 어려운 상황에서 최대 밀도의 기준을 제시할 수 있는 방안으로 판단하였기 때문이다.

4) 임분밀도의 조절

천연림에서의 임분밀도는 동령림에서의 ha당 본수보다는 흉고단면적의 일정 비율을 감소시킴으로써 조절하는 것이 일반적인 방법이다(Pukkala *et al.*, 1998; Solomon and Gove, 1999; Rautiainen, 1999; Suadicani and Fjeld, 2001). 본 연구에서는 시간 경과에 따른 임분밀도의 조절에 의해 택벌림화 작업지를 목표 임분형으로 유도한다는 목적에 따라 현재 임분에 대하여 계산된 흉고단면적의 10%, 12%, 그리고 14%를 제거하는 세 가지 시업 시나리오를 사용하였다.

한편 본 연구에서는 시업을 통해 제거하는 대상목을 선정하는데 있어서 직경생장률(P)과 수고에 대한 지하고의 비율(Clear-Length to Total Height; HCL)을 수치화한 값을 합산하여 저조한 생장을 보이면서 상대적으로 지하고가 낮은 임목을 선별하여 제거목으로 결정하였다. 제거목의 결정을 위한 지표 중에서 임목의 성장능력에 관해서는 직경 생장률(P)이 낮은 임목부터 높은 임목의 순으로 1부터 7까지의 값을 부여하였다. 임목의 경제적 가치에 대한 값은 HCL이 30% 이하인 임목에 가장 작은 값인 1을 부여하였고, HCL이 65~70%인 임목에 가장 큰 값인 7을 부여하였다. HCL이 70%를 상회하는 임목은 수관점유율이 다른 임목에 비해 낮다고 판단하여, HCL이 커질수록 점차 작은 값을 부여하였다(Table 2). 이와 같이 제거목의 결정에 있어서 개개의 임목에 특정 값을 부여한 것은 제거목의 선정이 작업자의 주관에 의해 결정되는 것이 아니라 수치화된 값을 이용하여 객관적으로 결정할 수 있는 기준을 마련하기 위함이다.

또한 본 연구에서는 40 m×40 m 크기의 표본점을 16등분하여 10 m×10 m 크기의 섹터로 나눈 후, 제거목을 섹터별로 골고루 분산시켜 선정하였다. 이는 임분밀도를 조

Table 2. Criteria for the selection of cutting trees.

Criteria	P	HCL
1	P = 1	HCL < 30
2	1 < P = 2	30 < HCL = 45
3	2 < P = 3	45 < HCL = 50, 85 < HCL
4	3 < P = 4	50 < HCL = 55, 80 < HCL = 85
5	4 < P = 5	55 < HCL = 60, 75 < HCL = 80
6	5 < P = 6	60 < HCL = 65, 70 < HCL = 75
7	6 < P	65 < HCL = 70

P = diameter growth as a percentage value

HCL = a percentage value of clear-length to the total height

절하여 주어진 시간 내에 목표 임분형에 도달하기 위해서는 임목이 공간적으로 골고루 분포되는 것이 바람직하기 때문에, 특정 구역에서 집중적으로 임목이 제거되는 것을 방지하기 위함이다. 이와 함께 동일한 공간에 치수부터 별기에 달한 노령 임목들이 함께 생육한다는 택벌림의 특성에 따라 제거 대상목을 소·중·대경급에서 골고루 선정하였다.

5) 정기평균 성장량의 추정

본 연구에서는 임분조사를 통해 표본점 내의 흉고직경 6 cm 이상의 임목을 대상으로 채취한 목편을 실내에서 연륜분석기를 사용하여 최근 5년간의 흉고직경 성장량을 파악하였으며, 이를 이용하여 각 임목의 흉고직경의 정기평균 성장량을 도출하였다. 또한 각 개체목의 수고 성장량을 파악하기 위해 각 표본점에서 측정된 흉고직경과 수고의 자료를 이용하여 흉고직경·수고 관계식을 도출하였다. 이와 같이 얻어진 수고곡선식을 이용하여 5년 전의 수고를 추정하고, 현재의 수고와 추정된 5년 전의 수고와의 차이에 의해 각 임목의 수고 성장량을 추정하였으며, 이 자료에 근거하여 수고의 정기평균 성장량을 도출하였다. 본 연구에서 수고를 추정하기 위해서 사용된 수고곡선 모형은 식 (5)와 같다.

$$H = aD^b \tag{5}$$

여기서 H는 임목의 수고, D는 흉고직경, 그리고 a, b는 회귀계수 추정치이다.

6) 적정 시업강도의 선정

택벌림화 작업지에 적합한 시업의 강도를 선정하기 위해 정리기 동안 앞서 제시한 세 가지 시업 시나리오에 따라 모의 시업을 실시하였다. 특히 현재의 임분구조를 고려하여 정리기를 30년으로 결정하였으며, 이 기간 동안에 목표 임분형으로 유도하기 위해 5년 주기로 임분구조 조정을 위한 모의 시업을 실시하였다. 따라서 매 5년마다 시업전후의 임분밀도를 예측하였으며, 시업강도에 따른 임분밀도지수를 산출하였다.

적정 시업강도의 결정은 정리기 동안 지속적으로 적정 임분밀도를 유지하는가 하는 점과 최종 임분의 재적수확을 통한 경제성을 고려하였다. 즉, 시업 시나리오에 제시된 세 가지 시업강도 중에서 매 5년 간격으로 30년간의 시업을 거치면서 임분의 밀도가 최대임분밀도지수를 초과하지 않아 표본점 내 임목의 성장능력을 충분히 발휘할

수 있는 시업강도를 선정하는 것이다. 이와 함께 정리기에 도달한 30년 후에 임목재적의 경제성을 함께 고려하여 최종적으로 택벌림화 작업지에 적합한 시업강도를 결정하였다. 한편 임분의 시간 경과에 따른 임분 구조의 변화를 예측하는 과정에서 정리기인 30년이 경과하는 동안의 진계성장량(ingrowth)과 고사량은 분석에서 고려하지 않았다.

결과 및 고찰

1. 임분현황

연구 대상지에 설치된 표본점을 대상으로 실시한 임분조사 자료에 근거하여 ha당 본수(N/ha), ha당 흉고단면적(BA/ha), ha당 재적(V/ha), 평균 흉고직경( $\overline{DBH}$ ), 그리고 평균수고( $\overline{HT}$ ) 등의 임분통계량을 산출한 결과는 Table 3과 같다.

표본점의 임분통계량을 항목별로 살펴보면, 임분의 밀도를 나타내는 지표인 ha당 본수는 944본이며, 이 중에서도 소경목(6~16cm)이 612본, 중경목(18~28 cm)과 대경목(30 cm 이상)이 각각 263본과 69본인 것으로 파악되었다. 경급별 임목본수를 비율로 환산하면 소·중·대경급이 65:28:7인 것으로 분석되었다. 임분의 밀도를 나타내는 또 다른 지표인 ha당 흉고단면적의 경우 23.8 m<sup>2</sup> 추정되었다. 한편 ha당 재적은 154.4 m<sup>3</sup>로 추정되었는데, 이를 경급별로 보면 소·중·대경급의 비율이 24:45:31로 중경급의 비율이 가장 높음을 알 수 있다. 또한 평균 흉고직경과 평균 수고는 각각 16.1 cm와 13.3 m로 분석되어 비교적 큰 임목으로 구성되어 있음을 알 수 있다.

2. 임분밀도의 조절

1) 최대 임분밀도지수의 추정

본 연구에서는 임분밀도가 최대로 도달한 시점의 임분밀도지수를 추정하여 이를 택벌림화 작업지에 적용해야

Table 3. Summary of stand attributes by diameter class for study area.

Classification	N/ha	BA/ha (m <sup>2</sup> )	V/ha (m <sup>3</sup> )	$\overline{DBH}$ (cm)	$\overline{HT}$ (m)
Small DBH Class	612	6.7	36.5	11.4	11.3
Medium DBH Class	263	10.4	69.6	22.2	16.6
Large DBH Class	69	6.7	48.3	34.7	19.0
Total	944	23.8	154.4	16.1	13.3

Small DBH Class : 6 cm ≤ dbh < 18 cm, Medium DBH Class : 18 cm ≤ dbh < 30 cm, and Large DBH Class : 30 cm ≤ dbh

Table 4. Relative density estimates of 11 sampling points in study area.

Sampling points	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	average
Relative density	5.8	5.8	7.1	5.7	6.0	5.7	6.7	5.8	5.9	6.6	5.7	6.1

할 임분 밀도의 기준으로 삼았다. 그러나 현실적으로 최대 임분 밀도에 도달한 것으로 간주할 수 있는 임분조사 자료가 없는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 연구 대상지의 천연 활엽수림에서 지난 2000년부터 2003년까지 4년 동안 수집한 0.04 ha 크기의 108개 표본점 자료를 이용하였으며(동부지방산림관리청, 2003), 이중 상대밀도가 상위 10%에 포함되는 11개 표본점의 자료를 정리하여(Table 4) 최대 임분밀도를 추정하였다.

11개 표본점의 평균 상대밀도(RD=6.1)는 상대밀도에 있어서 주변 임목과의 경쟁이 심하여 개체목의 성장능력이 급격하게 감소하기 때문에 무육이 시급한 등급으로 분류되는 기준(RD=3.8)을 훨씬 상회하는 것이다(Curtis, 1982; 동부지방산림관리청, 2002). 따라서 이들 임분을 최대 밀도에 도달한 상태로 간주하는 것은 적절한 것으로 판단된다.

11개 표본점의 자료를 식 (1)에 적용하여 회귀계수를 추

정한 결과 최대 밀도에 도달한 임분에서의 ha당 본수(N)와 평방 평균직경( $\bar{d}_q$ ) 사이의 관계는 아래의 식과 같았다.

$$N = 85,113(\bar{d}_q)^{-1.53}$$

이상의 ha당 본수와 평방 평균직경과의 관계를 식 (2)에 대입하면  $SDI = 85,123(25)^{-1.53} = 618$ 이 된다. 따라서 본 연구에서는 천연활엽수림에 적용할 최대 임분밀도지수를 618로 설정하였다.

2) 임분구조의 변화 예측

연구 대상지에서 추정된 현실 임분밀도지수는 534로 앞에서 설정된 최대 임분밀도지수인 618과는 다소 차이가 있는 수치이다. 따라서 현재 임분에 대해서는 시업을 실시하지 않고, 5년이 경과한 시점부터 시업을 시행하여도 무방할 것으로 판단된다. 또한 현재의 성장상태에 근거하

Table 5. Prediction of the changes of stand attributes by selection system for 30 years at every 5 years.

Classification		Variables	N/ha	BA/ha (m <sup>2</sup> )	V/ha (m <sup>3</sup> )	$\overline{DBH}$ (cm)	$\overline{HT}$ (m)	$\bar{d}_q$ (cm)	SDI
		before cutting	944	28.0	185.1	17.7	14.1	19.4	608
5 years later	after cutting	10%	825	25.4	171.1	18.1	14.3	19.8	547
		12%	788	24.7	167.5	18.3	14.4	20.0	530
		14%	750	24.2	164.5	18.5	14.6	20.3	516
10 years later	before cutting	10%	825	29.7	204.3	19.7	15.1	21.4	619
		12%	788	28.8	199.3	19.9	15.2	21.6	599
		14%	750	28.1	195.6	20.2	15.3	21.9	582
	after cutting	10%	769	26.8	185.5	19.4	15.1	21.1	562
		12%	713	25.3	174.6	19.5	15.0	21.3	528
		14%	681	24.1	168.0	19.6	15.2	21.2	506
15 years later	before cutting	10%	769	31.1	220.3	21.0	15.9	22.7	633
		12%	713	29.3	207.5	21.2	15.8	22.9	594
		14%	681	28.1	200.1	21.3	16.0	22.9	570
	after cutting	10%	713	27.9	196.9	20.7	15.6	22.4	572
		12%	644	25.8	182.2	20.9	15.7	22.6	525
		14%	613	24.2	171.1	20.8	15.7	22.4	496
20 years later	before cutting	10%	713	32.2	233.0	22.3	16.4	24.0	640
		12%	644	29.7	215.6	22.5	16.5	24.2	587
		14%	613	27.9	202.8	22.5	16.5	24.1	555
	after cutting	10%	663	29.1	211.9	22.0	16.4	23.7	584
		12%	575	26.2	189.9	22.4	16.3	24.1	520
		14%	525	23.9	174.4	22.4	16.5	24.1	474
25 years later	before cutting	10%	663	33.2	249.2	23.6	17.2	25.3	648
		12%	575	29.9	233.4	24.0	17.1	25.7	577
		14%	525	27.3	205.7	24.0	17.3	25.7	527
	after cutting	10%	588	30.0	225.1	23.8	17.2	25.5	582
		12%	481	26.3	197.9	24.7	17.4	26.4	503
		14%	444	23.6	178.3	24.3	17.4	26.1	454
30 years later	10%	588	33.9	263.6	25.4	18.0	27.1	642	
	12%	481	29.7	230.7	26.3	18.2	28.1	554	
	14%	444	26.8	208.8	26.0	18.2	27.7	501	

여 5년 후의 임분밀도지수를 추정한 결과는 608로 최대 임분밀도에 근접한 것으로 분석되어, 5년이 지난 시점의 임분은 시업이 필요한 것으로 평가되었다.

정리기인 30년 동안 5년 간격으로 매회 ha당 흉고단면적의 10%, 12%, 그리고 14%를 제거하는 3가지 시업 시나리오를 적용하여 시업강도에 따라 모의시업을 실시한 후, 시간 경과에 따른 시업 전과 시업 후의 임분 밀도를 추정하고 임분 구조의 변화를 예측한 결과는 Table 5와 같다.

먼저 5년이 경과한 시점의 임분에 대해 흉고단면적의 10%를 제거하는 모의시업을 실시한 경우 ha당 본수는 119본이 제거되고, 재적은 6.0 m<sup>3</sup>가 감소한 171.1 m<sup>3</sup>가 되며, 임분밀도지수는 61이 감소하여 547이 될 것으로 예측되었다. 이러한 임분 구조에 대해 다시 흉고직경과 수고의 정기평균 성장량을 적용하여 10년이 경과된 시점에서의 시업 전 임분구조를 예측한 결과 ha당 재적은 5년 동안 33.2 m<sup>3</sup>가 증가하고, 이와 더불어 임분밀도지수는 619가 되어 최대 임분밀도의 경계인 618을 초과하는 것으로 분석되었다. 이와 같은 과정을 5년 마다 반복하여 모의시업을 실시할 경우, 전체적으로 본수는 감소하는 반면 ha당 재적과 임분밀도지수는 점점 높아지는 것으로 예측되었다. 특히 임분밀도지수는 10년이 지나면서 매회 마다 최대임분밀도지수인 618을 상회하게 되어 정리가 끝나는 30년 후에는 642로 매우 높은 임분밀도를 유지하는 것으로 추정되었다.

다른 시업 시나리오는 5년 마다 ha당 흉고단면적의 12%씩 제거하는 것이다. 이 경우 5년이 경과한 시점의 시업 후 ha당 본수와 재적은 시업 전에 비해 각각 156본과 17.6 m<sup>3</sup>가 감소하며, 임분밀도지수는 78이 줄어든 530이 되는 것으로 예측되었다. 이와 같은 상황에서 다시 5년이 경과한 현재로부터 10년 후의 시업 전 ha당 재적은 199.3 m<sup>3</sup>로 5년 동안 31.8 m<sup>3</sup>가 증가하며, 임분밀도지수는 다시 599로 상당히 높아지는 것으로 분석되었다. 이러한 과정의 모의시업을 5년 마다 실시하면서 시업전과 시업후의 임분 구조의 변화와 임분밀도지수를 추정하였다. 그 결과 임분밀도지수는 시업 후에 시간이 경과하면 다시 높아지지만, 시업이 거듭되면서 점점 낮아지게 되어 정리가 끝나는 30년 후에는 554가 되는 것으로 예측되었다. 즉, 시업강도를 흉고단면적의 12%로 할 경우 30년의 시업기간 동안 임분밀도지수는 최대임분밀도의 한계인 618을 초과하지 않는 것으로 나타났다. 결국 30년 후의 ha당 재적은 230.7 m<sup>3</sup>가 되고 평균 흉고직경과 평균수고도 각각 26.3 cm와 18.2 m가 되는 것으로 추정되었다. 즉, ha당 흉고단면적의 12%를 제거하는 시업의 경우 택벌림화 작업지는 중·대경목 위주의 양호한 임분구조를 갖게 될 것으로 예측되었다.

한편 가장 강도가 높은 14%의 흉고단면적을 제거하는

방법을 통해 임분구조의 변화를 예측한 결과 5년 후 최초의 시업에 의해 ha당 본수는 194본이 제거되어 750본이 되고, ha당 재적은 20.6 m<sup>3</sup>가 감소하여 164.5 m<sup>3</sup>가 되며, 임분밀도지수는 92가 감소하여 516이 되는 것으로 나타났다. 이 임분을 택벌림으로 유도하기 위해 5년 간격으로 14%의 흉고단면적을 택벌림화 작업의 시업방법에 의해 제거하면서 시업전후의 임분구조의 변화를 예측한 결과, 이 기간 동안 임분밀도는 최대 임분밀도에 도달되지 않는 것으로 파악되었다. 결과적으로 이 임분은 정리가 끝나는 30년 후에 평균 흉고직경과 평균 수고가 각각 26.0 cm와 18.2 m가 되는 것으로 추정되었으며, ha당 재적은 208.8 m<sup>3</sup>가 되어 택벌림으로 유도된 이 임분은 우량 대경목이 다수 포함된 양호한 임분구조를 갖는 것으로 예측되었다.

### 3. 적정 시업강도의 결정

택벌림화 작업지에 적합한 시업강도를 결정하기 위해 3가지의 시업 시나리오에 근거한 모의시업을 시행한 결과, 흉고단면적의 10%를 제거하는 방법을 적용하면 임분밀도지수가 10년 후부터 618을 상회하는 것으로 예측되었다. 따라서 10%를 제거하는 시업강도를 적용하면 임목들 간의 심한 경쟁이 불가피한 것으로 추정되며, 결과적으로 경쟁에 의한 생장의 저하와 함께 산림생산성이 현저히 낮아질 것으로 예상된다.

반면에 흉고단면적의 12%씩을 5년 간격으로 제거하는 시업강도를 적용할 경우에는 정리기 동안 임분밀도지수가 최대 임분밀도를 나타내는 618을 초과하지 않는 것으로 추정되었다. 따라서 이 시업 시나리오를 적용하면 비교적 임목간의 경쟁을 감소시키고 임목의 성장을 양호한 상태로 유지시킬 수 있는 적정 임분밀도를 유지할 수 있을 것으로 판단된다. 한편 시업강도가 가장 높은 흉고단면적의 14%를 제거하는 시나리오를 적용하면 정리기 동안 임분밀도지수가 항상 618보다 작았지만 목표 임분형인 택벌림에 도달한 30년 후의 재적은 흉고단면적의 12%씩 제거해주는 방법에 비해 약 22 m<sup>3</sup> 정도 적을 것으로 분석되었다.

이 경우 만일 재적성장률을 5%라고 가정하면 매년 ha당 1.1 m<sup>3</sup>의 생장이 감소하는 것으로, 택벌림의 경우 매년 연년생장량 만큼씩 대경목에서 생산이 가능한 임분 구조를 갖기 때문에 12%와 14%의 시업 시나리오에 따라 최종적으로 얻어지는 결과는 큰 차이를 보인다. 특히 택벌림은 연년생장량 만큼씩의 생산이 영구히 지속되는 임분구조를 유지하기 때문에 시간이 갈수록 경제적 손실은 매우 클 것으로 예상된다.

결론적으로 5년마다 흉고단면적의 12%씩을 제거하는 시업강도를 적용하는 것이 낭비가 없는 생육공간을 유지

하면서 목표 임분형으로 유도할 수 있는 방법으로 평가되었다. 이 방법은 정리기 동안 임목의 성장을 양호한 상태로 유지함과 동시에 30년 후에 많은 양의 임목축적을 확보할 수 있는 가장 적합한 시업강도로 판단된다. 이 경우 택벌림으로 유도된 30년 후의 ha당 재적은 약 230 m<sup>3</sup>가 되는 것으로 추정되었다. 이상적인 택벌림에서의 ha당 재적은 300 m<sup>3</sup> 이상을 유지하는 것이지만, 이 임분은 이러한 기준보다는 재적이 적을 것으로 예측되었다. 하지만 본 연구에서는 정리기인 30년 동안 전개되는 임목의 재적을 감안하지 않았기 때문에 실제로는 이상적인 택벌림의 재적에 근접할 것으로 보인다. 한편 5년 간격의 시업을 통해 수확되는 임목의 재적은 소·중·대경목을 모두 포함하여 ha당 약 130인 것으로 분석되었다. 또한 택벌림으로 조성된 후에는 5%의 재적성장률을 적용할 경우 매년 연년 성장량인 ha당 11.5 m<sup>3</sup>씩을 대경목에서 생산할 수 있는 것으로 평가되었다.

한편 정리가 끝난 택벌림화 작업지에 남아있는 임목의 분수는 ha당 481본으로 예측되었다. 이를 경급별로 보면 소경급은 88본, 중경급은 262본, 그리고 대경급은 131본인 것으로 분석되어 이상적인 택벌림의 경급별 분수 비율인 7:2:1과는 상당한 차이를 보이고 있다. 특히 소경목의 분수가 상대적으로 매우 적은데, 이는 앞에서 언급한 바와 같이 흉고직경 6 미만의 치수가 정리기인 30년 동안 전개성장하여 소경목으로 편입되는 경우를 분석에서 고려하지 않았기 때문이다. 하지만 본 연구에서 제시한 시업의 과정이 실제로 이루어진다면 전개성장으로 인해 소경급에 보다 많은 임목이 분포할 것으로 예상된다. 결과적으로 택벌림의 임목분수는 481본 보다 실제로는 더 많아질 것으로 판단된다.

## 결론

본 연구는 강원도 평창지역의 천연활엽수림을 대상으로 택벌림화 작업을 적용한 후, 시간 경과에 따른 임분밀도의 변화를 파악하여 택벌림화 작업지에 적합한 무육방법을 제시하였다. 현실임분을 목표 임분형으로 유도하기 위해서는 30년간의 정리기가 필요할 것으로 판단하였으며, 매 5년 간격으로 ha당 흉고단면적의 10%, 12%, 그리고 14%를 제거하는 세 가지 시업 시나리오를 적용하여, 시업강도에 따른 임분밀도지수의 변화를 파악하였다. 그 결과 매회 ha당 흉고단면적의 10%를 제거하였을 경우에는 10년이 경과한 시점부터 임분밀도지수가 최대 임분밀도지수를 초과하게 되었으나, 12%와 14%를 제거하는 시업 시나리오를 적용하였을 경우에는 정리기 동안 적정 임분밀도를 유지하는 것으로 추정되었다. 정리기 동안 적정 임분밀도를 유지할 것으로 추정된 두 가지 방법 중에서

매회 ha당 흉고단면적의 12%를 제거하는 방법은 30년 후의 ha당 임목축적이 230.7 m<sup>3</sup>가 될 것으로 추정되어 14%를 제거하였을 경우의 208.8 m<sup>3</sup>보다 약 22 m<sup>3</sup> 정도를 더 많은 것으로 나타났다. 이에 근거하여 임목의 양호한 성장능력을 유지시킴과 최종 수확시의 경제성을 고려한 결과 흉고단면적의 12%씩을 제거하는 시업강도를 적용하는 것이 낭비가 없는 생육공간을 유지하면서 목표 임분형으로 유도할 수 있는 방법으로 평가되었다.

천연 활엽수림은 다양한 수종이 수직적으로 다층을 형성하고 있기 때문에 이에 대한 관리의 시간이 경과하면서 달라지는 임분의 구조와 주변 환경요인을 고려하여 결정하여야 한다. 본 연구에서 얻어진 결과는 표본점에서 측정된 임분 현황, 성장 상태, 그리고 택벌림화 작업의 시업 방법에 근거하여 도출한 것이다. 하지만 본 연구는 시간 경과에 의해 달라지는 임목 성장의 특성이나 치수의 전개 성장 상황을 정확하게 파악하지 못한 한계를 가지고 있다. 따라서 시간 경과에 따른 적정 시업방법 및 적정 임분밀도를 명확하게 제시하기 위해서는, 본 연구의 결과에 근거하여 앞으로 시업을 해 나가는 과정에서 임분 구조의 변화 양상을 파악하고 이에 따른 추가적인 관리방안을 도출하여 보완할 필요가 있다.

## 인용문헌

1. 동부지방산림관리청. 2002. 환경친화적 조림기술과 지속 가능한 산림관리 기술 개발 연구(III). pp. 202.
2. 동부지방산림관리청. 2003. 환경친화적 조림기술과 지속 가능한 산림관리 기술 개발 연구(IV). pp. 206.
3. 산림청. 1992. 국유림 경영 현대화 산학 협동 실연 연구보고서(III). pp. 9-11.
4. 산림청. 1997. 국유림 경영 현대화 산학 협동 실연 연구보고서(VIII). pp. 169-171.
5. 신만용, 임주훈, 전영우, 고영주. 1992. 신갈나무-전나무 혼효임분의 경신 및 무육방법 I. 임분구조와 작업종. 한국임학회지 81(1): 21-29.
6. 양희문, 강성기, 김지홍. 2001. 천연 활엽수림의 경영대상 수종 선정 및 구성 비율 추정. 한국임학회지 90(4): 465-475.
7. 이우균, 서정호, 배상원. 2000. 강원도지방 소나무 동령 임분의 최대임목분수 및 고사모델. 한국임학회지 89(5): 634-644.
8. 임업연구원. 1996. 활엽수 자원 조사 보고서(전국 총괄). 임업연구원. 연구자료 제122호. pp. 508.
9. 임종수. 2001. 입지유형에 따른 강원도 평창 지역 천연 활엽수림의 친환경적 산림관리 방안에 관한 연구. 국민대학교 대학원 석사학위논문. pp. 66.
10. Clutter, L., Fortson, J.C., Pienaar, L.V., Brister, G.H. and Bailey, R.L. 1983. Timber management: a quantitative approach. Krieger. pp. 72-75.

11. Curtis, R.O. 1982. A simple index of stand density for Douglas-fir. *Forest Science* 18: 92-94.
12. Pukkala, T., Miina, J., Kurttila, M. and Kolstrom, T. 1998. A spatial yield model for optimizing the thinning regime of mixed stands of *Pinus sylvestris* and *Picea abies*. *Scandinavian Journal of Forest Research* 13: 31-42.
13. Rautanen, O. 1999. Spatial yield model for *Shorea robusta* in Nepal. *Forest Ecology and Management* 119: 151-162.
14. Reineke, L.H. 1933. Perfecting a stand-density index for even-aged forests. *Journal of Agricultural Research* 46: 627-638.
15. Solomon, D.S. and Gove, J.H. 1999. Effects of uneven-aged management intensity on structural diversity in two major forest in New England. *Forest Ecology and Management* 114: 265-274.
16. Suadicani, K. and Fjeld, D. 2001. Single-tree and group selection in Montane Norway Spruce stands : Factors influencing operational efficiency. *Scandinavian Journal of Forest Research* 16: 79-87.
17. Woodall, C.W., Fiedler, C.E. and Milner, K.S. 2003. Stand density index in uneven-aged ponderosa pine stand. *Canadian Journal of Forest Research* 33: 96-100.

---

(2010년 2월 8일 접수; 2010년 3월 23일 채택)