

## 임분구조 조정에 의한 평창지역 천연 활엽수림의 이단림 조성 방안

성주환<sup>1</sup> · 이영근<sup>1</sup> · 박고은<sup>1</sup> · 신만용<sup>2\*</sup>

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

## Method of Establishing Two-Storied Forests in Natural Deciduous Forests by Stand Structure Adjustment in Pyeongchang Area

Joo Han Sung<sup>1</sup>, Young Geun Lee<sup>1</sup>, Ko Eun Park<sup>1</sup> and Man Yong Shin<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Division of Forest Ecology, Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea

<sup>2</sup>Department of Forest, Environment, and System, Kookmin University, Seoul 130-702, Korea

**요약:** 본 연구는 강원도 평창지역의 천연 활엽수림을 대상으로 임분구조 조정에 의한 이단림 조성 방안을 제시하고자 하였다. 이를 위해 이단림 시범지를 선정 후 30 m×30 m의 고정표본점을 3반복으로 설치하고 정밀 임분조사를 실시하였다. 임분조사 자료에 근거하여 이단림 시범지의 시업전 임분통계량과 임분구조를 추정하고, 이단작업의 특성에 맞는 시업방안에 따라 시업후의 임분통계량과 임분구조의 변화를 시뮬레이션 기법을 통해 예측하였다. 시업전의 임분 현황을 분석한 결과 목표임분형으로 유도하기 위해서는 임분구조의 조정이 필요한 것으로 확인되었다. 시뮬레이션 기법을 통해 예측한 시업후의 임분 현황을 보면 시업후에도 목표임분형을 달성하기 위해서는 상당한 시간이 필요한 것으로 평가되었다. 시업후 상층목의 임목본수는 ha당 170본으로 이단림의 기준에 부합되는 것으로 평가되었다. 하지만 하층의 임목본수는 이단림의 기준과 상당한 차이를 보이고 있는데, 교목치수의 진계를 통해 어느 정도 보완할 수 있을 것으로 판단되지만 수하식재를 고려할 필요가 있다. 시업후의 임분 현황을 고려하면 이단림 상층목의 목표 임목축적은 ha당 150 m<sup>3</sup>가 적합한 것으로 평가되었으며, 이를 달성하려면 20년 정도가 소요되는 것으로 예측되었다. 이단림 조성을 위해서는 앞으로 5년 간격의 임분조사를 통해 시간 경과에 따른 임분구조의 변화를 파악하고, 필요할 경우 이단림 유도를 위한 추가적인 조치가 요구된다.

**Abstract:** This study was conducted to provide a method of establishing two-storied forests by the adjustment of stand structures in natural deciduous forests of Pyeongchang area. Three permanent sampling plots of 0.09 ha were established in study site and some tree variables were measured in each sampling plot before the treatment of two-storied system. Stand attributes and stand structures before treatment were estimated based on the data measured in sampling plots. The results indicate that the current stand status is different from typical stand structures of two-storied forests. A simulation technique was applied to predict stand attributes and stand structures after the treatment of two-storied system. Results suggest that significant time is required to accomplish target stand structures even after applying the treatment of two-storied system. Number of trees in the upper canopy class after treatment was predicted to be 170 trees/ha, which adequately meets the target of two-storied forests. It was predicted, however, that the lower canopy class trees has much less trees compared with the typical stand structures of two-storied forests. This problem could be solved with ingrowth of infant trees over time or by under-planting of tolerant species. It is confirmed that the target growing stock volumes of the upper canopy class should be approximately 150 m<sup>3</sup>/ha considering stand status after treatment. It is predicted that twenty years of conversion period is required to accomplish this goal. The changes in stand structures over time should be assessed based on stand inventory carried out every five years, and additional treatments for inducing two-storied forests should be applied if necessary.

**Key words:** natural deciduous forest, stand structure adjustment, treatment of two-storied system, environment-friendly forest management

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

## 서론

산림은 자원으로서의 가치뿐만 아니라 다양한 기능에 대한 재평가를 통해 그 중요성이 증대되고 있다. 특히 산림경영 패러다임의 변화로 인해 목재생산 중심의 단순 동령림보다는 수종구성이 다양하고 자원으로서 잠재적 가치가 높은 천연 활엽수림에 대한 관심이 증대되고 있는 실정이다(Korea Forest Research Institute, 1996). 하지만 우리나라 산림의 27%를 차지하고 있는 천연 활엽수림의 경우 그동안 체계적인 관리가 이루어지지 않아 임분밀도가 높고 생장이 저조하며 수형급도 불량한 상태여서 적절한 관리체계의 구축이 필요한 상태이다(Yim, 2001).

외국의 경우 임업선진국을 중심으로 다양한 산림작업 방법에 대한 연구(Oliver and Larson, 1990; Evans, 1997)가 수행되어 산림작업을 적용한 모델숲이 경영되고 있다. 이를 통해 산림작업별로 시간경과에 따른 장기적인 임분구조 변화에 대한 자료가 누적되어 산림경영 정보로 활용되고 있다. 우리나라는 가리왕산 일대 천연 활엽수림을 대상으로 지난 20여 년 동안 국유림 경영 현대화, 지속가능한 산림경영, 그리고 최근의 산림 생태계경영 등과 같은 다양한 연구가 수행되어 왔다. 특히 이 연구들을 통해 천연 활엽수림에 대한 친환경적 작업방법으로 택벌작업, 이단작업, 그리고 산벌작업의 3가지 작업종을 제시한 바 있다(Korea Forest Service, 1999; Eastern Regional Office of Korea Forest Service, 2009). 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). 이러한 작업방법은 최근 이슈가 되고 있는 친환경적 벌채방법(Mitchell and Beese, 2002; Aubry et al., 2004; Forestry Tasmania, 2009)의 도입과도 관련이 있는 것으로, 영급 이상의 산림면적이 많은 우리나라 산림의 영급분포를 고려할 때 친환경적 산림관리의 측면에서 중요한 의미를 갖는다.

이단작업은 임분의 수직구조에서 중층에 분포하는 임목들을 인위적으로 제거하여 상층과 하층의 두 개의 층으로 분리하는 작업방법이다. 이단림의 임분구조에서 가장 중요한 것은 수직구조를 상층과 하층으로 분리한 후, 상층의 분수를 충분히 확보할 수 있느냐 하는 점이다(Eastern Regional Office of Korea Forest Service, 2003). 이단림으로 조성된 임분은 상층 임목을 수확한 후에도 하층의 후계림이 존재하기 때문에 개별에 의한 피해를 줄일 수 있어 친환경적이며 산림 생태계경영에 부합하는 작업방법이다. 이와 동시에 상층부 임목은 충분한 생육공간을 확보할 수 있어 고급 대경재의 생산에 유리한 특징을 가지고 있다. 천연 활엽수림을 이단림으로 유도하기 위해서는

작업 전후 및 시간 경과에 따른 임분 구조 변화 양상을 구명하는 연구가 우선되어야 하며, 이를 통해 우리나라 실정에 적합한 합리적 시업 방안의 도출이 요구된다.

본 연구는 강원도 평창지역 천연 활엽수림을 대상으로 임분구조 조정을 통해 이단림 조성의 가능성을 평가하기 위해 수행하였다. 이를 위해 이단림 시범지를 조성하고 정밀 임분조사 자료를 통해 얻어진 자료와 이단림 시업방안에 근거한 시뮬레이션 기법을 이용하여 시업전후의 임분통계량과 임분구조를 추정하여 비교하였다. 또한 시업후의 임분통계량, 임분구조 특성, 직경 및 수고생장, 그리고 교목치수 분포 등을 종합적으로 고려하여 시간 경과에 따른 임분구조의 변화를 예측함으로써 이단림 조성에 필요한 임분구조 조정 방안을 제시하였다. 본 연구로부터 얻어진 결과는 천연 활엽수림의 친환경적 산림관리 방안의 기반 구축에 필요한 정보로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

## 재료 및 방법

### 1. 연구대상지

본 연구의 대상지는 강원도 평창군 진부면과 대화면에 위치한 동부지방 산림관리청 평창관리소 관내의 국유경영 시범계획구의 176임반 2소반이다. 평창 국유림관리소의 제8차기 산림경영계획서에 의하면 이 소반은 영급의 27 ha의 면적이며, 신갈나무를 포함하여 물푸레나무, 고로쇠나무, 느릅나무, 다릅나무, 들메나무, 난티나무, 음나무, 그리고 피나무 등 14개 유용 수종의 분포하고 있는 천연 활엽수림이다(Korea Forest Research Institute, 2014).

연구 대상지의 해발고도는 약 800~900 m의 범위에 있으며 비교적 험준한 산악지로 구성되어 있지만, 시범계획구에 포함된 전체 소반 중에서는 상대적으로 해발고도가 낮아 성장상태가 양호한 편이다. 기후조건은 연평균기온이 6.3°C로서 매우 낮고 연평균 상대 습도는 74%로 비교적 높으며, 모암은 편마암 또는 석회암으로 되어 있고 산림 토양은 비옥한 갈색토이다(Korea Forest Service, 1990).

### 2. 연구방법

#### 1) 임분조사

이단림 조성을 위해 선정된 176임반 2소반을 대상으로 30 m×30 m(0.09 ha)의 표본점을 3반복으로 설치하고 시업 전의 임분현황을 파악하기 위해 정밀 임분조사를 실시하였다. 각 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

측정하였다. 또한 각 표본점 내에 5 m×5 m의 교목치수 표 준지를 설치하고 치수의 수종명, 흉고직경(또는 근원경), 그리고 수고를 측정하여 치수분포 상황을 파악하였다.

2) 분석 방법

정밀 임분조사 자료에 근거하여 각 표본점의 ha당 본수, ha당 흉고단면적, ha당 재적, 평균 흉고직경, 평균 수고, 그리고 직경성장률 및 직경성장률과 같은 임분통계량을 산출하였다. 한편 임분구조 분석을 위해 수평구조, 수직구조, 그리고 3차원 공간구조를 분석하였으며(Shin and Oh, 1999), 이단림 작업방법을 적용한 시뮬레이션 기법으로 시 업 후의 임분통계량과 임분구조의 변화를 예측하였다.

이단림 조성을 위한 목표임분형을 설정하기 위해서는 시업후의 임분통계량, 직경성장률, 수고성장 패턴, 그리고 교목치수 현황 등과 같은 다양한 정보가 필요하다. 특히 성장상태의 파악은 시간 경과에 따른 임분구조의 변화를 예측하는데 매우 중요한 요소이다(Kim, 1992). 성장률을 추정하는 방법은 다양한데 Schneider식은 이령 천연림의 성장률 추정에 적합한 것으로 알려져 있다(Prodan, 1965). 본 연구에서는 식 (1)의 Schneider법에 의해 직경성장률을 추정하였다(식 1).

$$P = \frac{k}{nD} \tag{1}$$

이 식에서 n은 생장목편 1 cm에 포함된 연륜의 개수, D는 흉고직경, 그리고 k는 상수이다. 직경성장률의 경우 상 수 k는 200으로 고정되어 있으며, 단면적 성장률은 400, 그리고 재적성장률은 수고생장과 형수의 변화를 고려하 기 때문에 일반적으로 500에서 800사이의 값을 갖는다.

시간이 경과하면서 이단림 시범지의 임분구조가 어떻 게 변화할지를 예측하기 위해서는 흉고직경 성장 외에 수 고의 변화 패턴을 이해해야 한다. 이를 위해 본 연구에서 는 시간경과에 따른 임분 내 각 입목의 수고변화를 예측

하기 위해 시업후 임분통계량에 근거하여 수고 곡선식을 조제하였다. 본 연구에서 사용한 수고곡선 모형은 일반적 으로 흉고직경-수고의 관계를 통해 수고를 예측하는 지수 식으로 이 모형의 형태는 식 (2)와 같다. 이 식은 다른 수 고곡선 모형과 비교하여 천연 활엽수림과 같이 상대적으로 임령의 범위가 넓은 자료를 사용할 때 적합한 식으로 알려져 있다(Arabatzis and Burkhart, 1992). 이 식에서 HT는 수고, D는 흉고직경, 그리고  $b_0$ 와  $b_1$ 은 회귀분석을 통해 추정해야 하는 회귀계수이다.

$$HT = b_0 D^{b_1} \tag{2}$$

3) 임분구조 조정 방안

본 연구에서는 이단림을 조성하기 위해 시업후 임분통 계량, 직경성장률, 수고곡선식, 그리고 교목치수 분포 현 황 등의 정보를 이용하여 목표임분형을 설정하고 목표임 분형 달성을 위한 임분구조 조정 방안을 수립하였다. 목 표임분형의 설정에서는 이단림으로 조성되었을 경우 보 유해야 할 상층과 하층의 임목본수 및 임목축적 그리고 이단림 조성에 소요되는 기간인 정리기를 제시하였다. 이 와 함께 설정된 목표임분형을 달성하기 위해 해당 임분의 추가적인 조사와 동일한 모니터링 계획을 수립함으로써 현재의 임분구조를 조정하여 이단림으로 유도하기 위한 방안을 제시하였다.

결과 및 고찰

1. 시업 전후의 임분통계량

Table 1은 이단작업 시범지의 시업전후 임분통계량을 경 급별로 비교한 것이다. 이단작업 시범지의 ha당 본수는 시 업전 653본이었는데 시업을 통해 전체의 약 28%인 186본 을 제거하여 시업후에는 ha당 467본이 남겨지는 것으로 예측하였다. 특히 시업을 통해 제거되는 임목은 전체의

Table 1. Comparison of changes in stand attributes before and after treatment for inducing two-storied forests.

| Classification         | DBH Class | N/ha | BA/ha (m <sup>2</sup> ) | V/ha (m <sup>3</sup> ) | $\overline{DBH}$ (cm) | $\overline{HT}$ (m) |
|------------------------|-----------|------|-------------------------|------------------------|-----------------------|---------------------|
| Before Treatment (a)   | Small     | 219  | 2.4                     | 11.6                   | 11.3                  | 8.5                 |
|                        | Medium    | 356  | 14.5                    | 81.2                   | 22.6                  | 12.5                |
|                        | Large     | 78   | 7.7                     | 48.8                   | 35.1                  | 16.3                |
|                        | Total     | 653  | 24.6                    | 141.6                  | 20.3                  | 11.6                |
| After Treatment (b)    | Small     | 200  | 2.0                     | 9.6                    | 10.9                  | 8.3                 |
|                        | Medium    | 189  | 8.3                     | 47.1                   | 23.4                  | 12.6                |
|                        | Large     | 78   | 7.7                     | 48.8                   | 35.1                  | 16.3                |
|                        | Total     | 467  | 18.0                    | 105.5                  | 20.0                  | 11.4                |
| Amount of Change (b-a) | Small     | -19  | -0.4                    | -2.0                   | -0.4                  | -0.2                |
|                        | Medium    | -167 | -6.2                    | -34.1                  | +0.8                  | +0.1                |
|                        | Large     | 0    | 0                       | 0                      | 0                     | 0                   |
|                        | Total     | -186 | -6.6                    | -36.1                  | -0.3                  | -0.2                |

90%인 167본이 중경급에 해당되어 이단작업의 특징을 잘 나타내고 있다. 즉, 수관을 상층과 하층의 2개로 분리하는 과정에서 집중적으로 벌채되는 임목들의 경급이 대부분 중경급에 분포되어 있음을 알 수 있다. 이단작업 시범지에서는 상층과 하층을 분리하기 위해 경급으로는 중경급, 그리고 수고는 11~14 m의 범위에 포함되는 임목을 주로 제거하는 것으로 계획되었다. 이외에 형질불량목이 우선적으로 벌채 대상이 되기 때문에 소경목에서 19본이 제거되었지만, 형질불량목이 없는 대경급 임목은 벌채 대상에서 제외되었다.

임분밀도의 지표인 ha당 흉고단면적은 시업전에 24.6 m<sup>2</sup>이었는데, 시업을 통해 약 27%가 감소한 ha당 18.0 m<sup>2</sup>가 남겨지는 것으로 예측되었다. 특히 이단림 조성을 위해 벌채되는 임목들의 경급별 흉고단면적을 보면 중경급에서는 6.6 m<sup>2</sup>로 대부분을 차지하고 있다. 이단작업 시범지의 시업전 임목축적은 141 m<sup>3</sup>/ha이었지만, 시업후에는 약 25%의 임목축적이 감소하여 ha당 105.5 m<sup>3</sup>가 존치되는 것으로 예측되었다. 또한 이단작업 시범지의 시업전 평균 흉고직경과 평균 수고는 각각 20.3 cm와 11.6 m이었으며, 이단작업 후의 평균 흉고직경과 평균 수고는 0.3 cm와 0.2 m가 감소하여 각각 20.0 cm와 11.4 m가 되는 것으로 추정되었다.

## 2. 시업 전후의 임분구조 비교

### 1) 직경분포

다양한 수종으로 구성된 천연 활엽수림을 이단림으로 유도하기 위해서는 작업 후에 상층과 하층을 구성하는 본수를 충분히 확보할 수 있느냐 하는 점과 상층과 하층의 직경분포가 확연히 구분되느냐 하는 것이 중요하다. 이단림의 조건을 충족하기 위해서는 이단작업 후에 이단림 상층의 본수는 우량목 위주로 ha당 150본 내외, 그리고 하층은 ha당 500~600본 정도를 확보하여야 한다(Korea Forest Service, 1999). 이러한 조건은 임분의 수직구조를 상층과 하층으로 나누기 위하여 중층 임목들의 집중적인 벌채와 함께 폭목과 형질 불량목을 제거하는 무육을 시행한 이후에 남겨진 임목의 본수를 말하는 것이다. 따라서 천연림을 이단림으로 유도하기 위해서는 상층과 하층의 직경분포가 영급림에서 나타나는 정규분포 형태로 같은 공간에 동시에 존재하도록 조절하여야 한다. 시업의 초반에는 이러한 형태가 완전하게 나타나지는 않지만 최종적인 임분의 형태에서는 이 조건을 만족시켜야 하며, 특히 추가시업으로 상층과 하층의 명확한 층위 구분이 이루어지도록 조치해야 한다.

Figure 1은 이단작업 시범지의 시업전후 직경분포의 변화를 비교한 것이다. 과거 연구를 통하여 연구 대상지의 이단림은 상·하층을 분리하는 직경의 분기점이 대체로

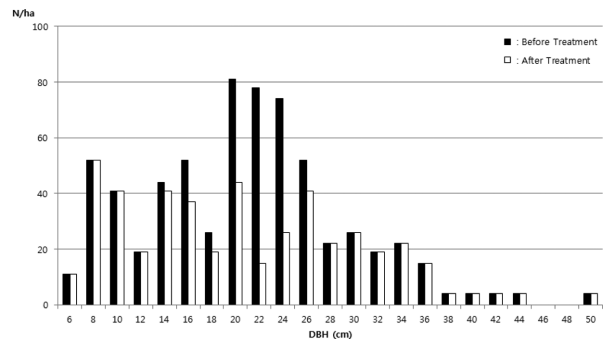


Figure 1. Changes in DBH distribution before and after treatment for inducing two-storied forests.

14~18 cm 범위에 있었다(Korea Forest Service, 1998; Eastern Regional Office of Korea Forest Service, 2002). 하지만 본 연구의 이단림 시범지는 상층의 임목본수를 150본 내외 확보할 수 있는 상·하층의 분기점이 중경급인 16~24 cm의 범위인 것으로 확인되었다. 이는 연구 대상지의 해발고도가 상대적으로 낮기 때문에 수고생장 상태가 양호한 결과로 해석된다. 결과적으로 이단림 조성을 위해서는 중경급에서 집중적인 벌채가 이루어져야함을 알 수 있다.

본 연구의 대상지인 이단림 시범지는 임목본수가 적은 반면 상대적으로 큰 임목들로 구성되어 있다. 따라서 이단작업에서 상층과 하층으로 분리한 후 하층의 임목본수를 충분히 확보하기 쉽지 않을 것으로 분석되었다. 실제로 시업후의 ha당 임목본수는 467본으로 예측되었는데 (Table 1) 상층의 150본 정도를 제외하면 하층의 임목본수는 ha당 약 310본 내외가 될 것으로 예측되었다. 시간이 경과되면서 이단작업 시범림에 분포하는 교목치수가 진계되어 하층의 임목본수를 보충할 수는 있지만, 이를 위해서는 상당한 시간이 소요될 것으로 판단된다. 이단림을 조성한 이후 모니터링 과정에서 하층의 본수 확보가 여의치 않을 경우에는 음수의 특성이 강한 음나무나 전나무와 같은 수종을 수하식재하여 하층 임목을 보완하는 방안을 적극적으로 검토할 필요가 있다.

시업후의 이단작업 시범지의 직경분포를 보면 흉고직경 20 cm를 기점으로 상층과 하층의 두 개 수관층으로 구분되어 목표로 하는 이단림으로 유도될 것으로 평가되었다. 이러한 가능성을 더욱 높이기 위해서는 지속적인 모니터링과 함께 필요할 경우 추가적인 시업을 통해 이단림으로 유도하기 위한 조치가 필요하다. 특히 이단작업에서는 인위적으로 분리한 상·하층의 수관을 지속적으로 유지하는 것이 중요하며, 이 임분의 경우 충분한 하층 임목의 확보 가능성을 지속적으로 모니터링해야 한다.

### 2) 수고분포

이단작업 시범림의 평균수고는 시업전에 11.6 m였지만

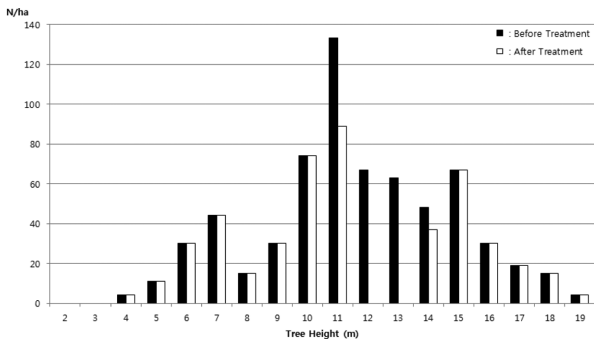


Figure 2. Changes in height distribution before and after treatment for inducing two-storied forests.

시업후에는 11.4 m로 시업에 의한 평균수고의 변화가 거의 없는 것으로 분석되었다(Table 1). 이단림으로 유도하기 위해서는 임분 전체의 평균 수고보다는 상층과 하층의 목표 수고를 설정하고 상·하층의 확실한 구분을 위한 작업계획이 필요하다. 이단림 시범지의 수고분포 현황을 고려할 때 상층의 최저수고와 하층의 최고수고의 차이는 최소한 5 m 이상을 유지하는 것이 필요한 것으로 평가되었다. Figure 2는 이단작업 시범지의 시업전과 시업후의 수고분포 변화를 비교한 결과이다.

수고의 관점에서 이단작업을 통해 벌채된 임목은 주로 수고 11~14 m에 집중된 것을 확인할 수 있다. 그 결과 시업전의 수고분포는 어떤 특징을 찾을 수 없었지만, 시업을 통해 수고 10 m 이하와 15 m 이상의 두 개의 층으로 구분된 것을 알 수 있다. 시업후에도 상층과 하층의 분기점인 수고 11 m와 14 m에 일부 임목이 남아 있는데, 이들은 시간이 경과하면서 성장조건에 따라 상층이나 하층에 편입될 것으로 판단된다. 수고분포의 관점에서 성공적인 이단림 조성의 가능성을 평가하기 위해서는 주기적인 모니터링과 평가가 수반되어야 한다.

3) 공간분포

Figure 3의 3차원 공간구조를 보면 시업전에는 임분의 수직구조가 천연림 특유의 다층으로 복잡한 형태를 유지

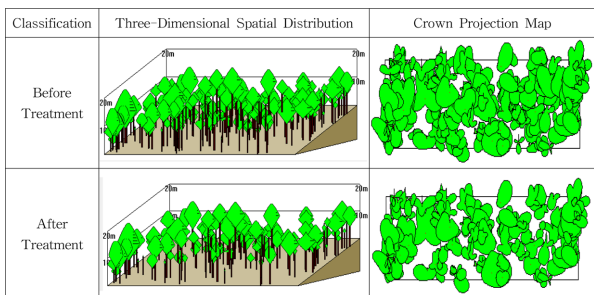


Figure 3. Comparison of changes in three-dimensional spatial distribution and crown distribution for inducing two-storied forests.

Table 2. Prediction of changes in crown statistics for inducing two-storied forests.

| Classification         | Ratio of Crown Closure(%) | Area of Crown Projection (ha) | Sum of Crown Areas |
|------------------------|---------------------------|-------------------------------|--------------------|
| Before Treatment (a)   | 86.1                      | 0.232                         | 5,400              |
| After Treatment (b)    | 77.8                      | 0.210                         | 3,874              |
| Amount of Change (b-a) | -8.3                      | -0.022                        | -1,526             |

하고 있지만, 시업후에는 인위적으로 중층을 제거함으로써 상층과 하층으로 구성된 이단의 수관층으로 유도되었음을 확인할 수 있다. 이단림 유도를 위한 시업을 통해 수관밀도도 완화되었는데 시업전후의 수관투영도를 보면 공간적으로 이단림에 적합하게 전체적으로 잘 정돈되었음을 알 수 있다.

이러한 사실은 이단작업 시범지의 시업전후 수관면적과 수관유효도를 비교한 결과에서도 확인할 수 있다(Table 2). 이단작업 시범지의 시업전 수관유효도는 86.1%이었는데, 시업후에는 77.8%로 8.3%가 감소하여 상당히 많은 임목들이 벌채되었다. 즉, 시업전에는 수관유효의 정도가 높은 편이었지만 이단작업을 통해 어느 정도 완화된 것을 확인할 수 있다. 이단림 시업지에서 실제 벌채로 인해 감소된 수관면적의 합계를 보면 시업전의 이단작업 시범지는 고정표본점 면적의 2배인 5,400이었지만, 시업을 통해 약 28%가 감소하여 시업후에는 수관면적 합계가 3,874로 예측되었다. 결과적으로 이단작업 시범지의 공간구조는 시업을 통해 이단림에 적합한 방향으로 조정되었음을 알 수 있다.

3. 임분구조 조정 방안

본 연구에서 이단작업을 적용한 176임반 2소반의 시업전 ha당 임목본수는 653본, ha당 흉고단면적과 임목축적은 각각 24.6 m<sup>2</sup>와 141.6 m<sup>3</sup>로 추정되어 임분밀도가 높은 편이다. 이단림 조성을 위해 형질이 불량한 임목들을 제거한 후, 수고가 11~14 m의 범위에 있는 임목들을 집중적으로 벌채하여 상층은 수고 15 m 이상으로 제한하고 하층은 수고 10 m 이하의 임목으로 구분하여 상층과 하층의 수고는 최소한 5 m 정도의 차이가 나도록 조정하였다. 이상의 시업을 수행한 후 추정한 임분통계량을 보면 ha당 본수는 186본이 벌채되어 467본이 남았으며, ha당 임목축적도 36.1 m<sup>3</sup>를 제거하여 105.5 m<sup>3</sup>로 감소하였다.

이단림의 임분구조에서는 수직구조가 가장 중요한데 이는 수관층이 동일한 공간에서 두 개의 층으로 분리되어야 하기 때문이다. 이 임분의 시업전과 시업후의 3차원 공간구조를 분석한 결과를 보면(Figure 3), 시업전에는 수직구조가 복잡한 복층의 구조를 보이지만, 시업후에는 상층과 하층이 어느 정도 구분되는 구조로 변한 것을 확인할 수

있다. 수관층을 상층과 하층으로 구분하기 위해 우선적으로 고려하였던 점은 상층 임목본수의 충분한 확보이다. 상층의 형질불량목을 별채한 후 수고를 15 m 이상으로 제한하였을 경우, 상층에 포함되는 임목의 본수는 ha당 135본이 되어 다소 부족하지만, 수고 14 m를 포함하면 170본이 되어 이러한 기준에 부합되는 것으로 평가되었다. 하지만 이 임분을 이단림으로 조성하는 과정에서 하층에 남겨진 ha당 본수는 297본인 것으로 분석되었다. 이단림에서는 상층을 수확한 후 하층이 후계림으로서의 역할을 감당하게 된다. 따라서 하층의 충분한 임목본수를 유지하는 것이 이단림 조성에서는 중요한 과제 중의 하나이다. 일반적으로 이단림의 하층은 ha당 500~600본 정도가 적합한 것으로 알려져 있다(Korea Forest Service, 1999). 결과적으로 이 임분은 이단작업을 시행한 이후에 필요한 하층 임목본수보다 훨씬 적은 본수가 남겨진 것을 알 수 있다.

시간이 경과하면서 특정 임분이 어떤 형태로 변화할 것인가를 예측하기 위해서는 교목 치수의 발생 현황을 파악하는 것이 필요하다. 이는 시간 경과에 따라 진계되는 임목의 양을 예측할 수 있는 기본 정보가 되기 때문이다. 특히 시업을 통해 목표 임분형으로 유도하기 위해서는 시간 경과에 따른 미래 임분구조의 예측이 필수적인데, 진계성장되는 임목의 밀도는 임분 공간패턴의 변화에 있어서 중요한 요인으로 알려져 있다(Wolf, 2005). 하지만 이단작업 시범지의 교목치수는 적은 편인데, 특히 흉고직경 4 cm 이상의 치수는 ha당 266본으로 많지 않아 그 효과를 예측하기 쉽지 않다. 만일 후계림 조성에 필요한 하층 임목본수를 확보하기 어렵다면 수하식재를 통해 보완하는 방안도 검토할 필요가 있다.

이단림의 상층을 구성하는 임목들은 계획된 시점에 이르러 수확을 하게 되는데, 이단림의 목표 중의 하나는 상층목의 수확을 통해 부가가치가 높은 우량 대경재를 생산하는 것이다. 문제는 우량 대경재인 상층목을 생산할 수 있는 시점이 언제냐 하는 점이며, 이 시점까지 소요되는 시간이 이단림 조성에 필요한 시간이라고 할 수 있다. 이단작업은 이와 같이 우량한 상층목을 수확함과 동시에 안정적인 후계림 조성이 가능한 이단림으로 유도하는 작업 방법이다. 본 연구에서 설정한 이단림 시범지의 시업후 상층목의 ha당 임목축적은 약 72 m<sup>3</sup>인 것으로 추정되었다. 앞에서 언급한 바와 같이 상층목의 수고는 최소 14m이기 때문에 평균 수고는 16~17 m 정도는 될 것으로 보인다. 또한 상층목의 평균 흉고직경도 30 cm 내외인 것으로 추정되었다.

이 임분의 시업후 상층을 점유하는 임목의 흉고직경이나 수고는 상대적으로 양호하지만 임목본수가 ha당 170본에 불과하기 때문에 현재 상층목의 임목축적은 적은 편이다. 이러한 점을 고려할 때 이단림의 목적을 달성하기

위해서는 상층 임목의 수확을 통해 생산할 수 있는 임목축적은 ha당 150 m<sup>3</sup> 정도는 되어야 할 것으로 판단된다. 따라서 이 임분의 경우 이단작업을 통해 목표로 하는 이단림을 조성하려면 상당한 시간이 필요하다. 식 (1)의 Schneider 식에 의한 이 임분의 직경성장률은 2.2%인 것으로 추정되었다. 하지만 이단작업을 시행하는 과정에서 임분밀도가 상당한 정도로 완화되기 때문에 생장은 개선될 것으로 보인다. 특히 상층의 임목들은 하층 임목에 비해 임목 간의 경쟁에서 우위를 차지하기 때문에 더욱 양호한 성장을 할 것으로 판단된다. 이러한 점을 고려하면 이단림 조성에 필요한 시간도 어느 정도 단축될 수 있을 것이다.

결과적으로 이단림 시범지의 목표임분형인 이단림을 조성하는데 필요한 시간은 20년 정도로 예측되었다. 상층 임목들은 충분한 공간 확보로 인해 재적성장률은 4% 이상을 유지할 것으로 보이며, 현재의 임목축적과 직경성장률 그리고 수고생장을 감안하면 본 연구에서 설정한 상층목의 목표 임목축적은 20년 이내에 달성할 수 있을 것으로 판단된다. 하지만 이 기간 동안에 충분한 하층목의 임목본수를 확보할 수 있을지는 단정하기 어렵다. 만일 교목 치수의 진계를 통해 후계림의 확보가 어렵다면 앞에서 언급한 바와 같이 음수의 성질이 강한 수종을 위주로 수하식재한다면 문제를 해결할 수 있을 것이다.

## 결론

본 연구는 강원도 평창군 가리왕산 일대의 국유림경영 시범계획구에 분포하는 천연 활엽수림을 대상으로 이단림 조성을 위한 임분구조 조정방안을 제시하여 산림 생태계경영에 필요한 정보를 제공하고자 하였다. 이를 위해 이단림 시범지를 선정한 후, 시범지 내에 30 m×30 m의 고정표본점을 3반복으로 설치하고 정밀 임분조사를 실시하였다. 이와 같이 조사된 표본점 자료에 근거하여 이단림 시범지의 시업전 임분통계량과 임분구조를 추정하고 이단작업의 특성에 맞는 시업방안에 따라 시업후의 임분통계량과 임분구조의 변화를 시뮬레이션 기법을 통해 예측하였다.

시업전의 임분 현황을 분석한 결과 비교적 양호한 임상을 보유하고 있는 것으로 평가되었다. 하지만 이단림 시범지는 목표임분형과 차이가 있는 것으로 평가되어 시업을 통해 임분의 구조조정이 필요한 것으로 확인되었다. 이단작업의 특성에 근거하여 시업방안을 수립한 후, 시뮬레이션 기법에 의해 시업후의 임분 현황을 추정하였는데 시업후에도 목표임분형을 달성하기 위해서는 상당한 시간이 필요한 것으로 평가되었다.

이단작업 시범지의 시업후 상층목의 임목본수는 ha당

170본으로 이단립의 기준에 부합되는 것으로 평가되었다. 하지만 이단립으로 유도하는 과정에서 하층에 남겨진 ha당 본수는 297본으로 이는 하층의 적합한 본수인 ha당 500~600본과는 큰 차이가 있는 결과이다. 부족한 하층 임목의 본수는 교목치수의 진계를 통해 어느 정도 보완할 수 있을 것으로 판단되지만 경우에 따라서는 수하식재를 고려할 필요가 있다. 한편 시업후의 임분 현황을 고려하면 이단립 상층목의 목표 임목축적은 ha당 150 m<sup>3</sup>가 적합한 것으로 평가되었으며, 이를 달성하려면 20년 정도가 소요되는 것으로 예측되었다. 이상의 결과는 시뮬레이션 기법에 의해 추정된 시업후의 임분통계량과 임분구조 추정치에 근거한 것이다. 따라서 앞으로 실제 시업이 이루어진 후에 시업후의 임분구조를 파악하기 위해 정밀 임분조사에 필요하며, 시업후 5년 간격의 재조사를 통해 이단립 시범지의 임분구조 변화를 점검할 필요가 있다.

### 감사의 글

본 논문은 2014년 국립산림과학원 산림생태연구과 위탁연구과제 ‘가리왕산 일대 국유림경영 시범계획구의 산림작업 실현방안 수립(2)’ 연구 결과의 일부입니다. 연구비 지원에 감사드립니다.

### References

Arbatzis, A.A. and Burkhart, H.E. 1992. An evaluation of sampling methods and model forms for estimating height-diameter relationships in loblolly pine plantation. *Forest Science* 38(1): 192-198.

Aubry, K.B., Halpern, C.B., and Maguire, D.A. 2004. Ecological effects of variable retention harvests in the north-western United States: the DEMO study. *Forest Snow Landscape Research* 78(1): 119-137.

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.

Eastern Regional Office of Korea Forest Service. 2002. Practical application research on eco-friendly silvicultural techniques and development of sustainable forest management techniques in natural deciduous forests (III). pp. 202.

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 (IV). pp. 206.

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.

Evans, J. 1997. Silviculture of hardwoods in Great Britain. *Forestry* 70(4): 309-314.

Forestry Tasmania. 2009. A new silviculture for Tasmania's public forests: a review of the variable retention program. pp. 107.

Kim, G.D. 1992. Forest measurements. Hyangmum Book Co. pp. 275.

Korea Forest Research Institute. 1996. National resource inventory reports for deciduous species. KFRI Research Report No. 122. pp. 508.

Korea Forest Research Institute. 2014. Development of practical management methods for national forests applied by different silvicultural systems in Mt. Gariwang(2). 109p.

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

Korea Forest Service. 1998. A forest practice-university cooperative study on the modernization of national forest management (IX). pp. 427.

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

Mitchell, S.J. and Beese, W.J. 2002. The retention system: reconciling variable retention with the principles of silvicultural systems. *The Forestry Chronicle* 78(3): 397-403.

Oliver, C.D. and Larson, B.C. 1990. Forest stand dynamics. McGraw-Hill, Inc. pp. 467.

Prodan, M. 1965. Holzmesslehre. J.D. Sauerlander's Verlag, Frankfurt am Main, pp. 644.

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.

Wolf, A. 2005. Fifty year record of change in tree spatial patterns within a mixed deciduous forest. *Forest Ecology and Management* 215: 212-223.

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.