

天然 潤葉樹林의 立地類型別 生長 및 生態的 特性을 利用한 山林管理

申萬鏞\*·李承挽·李敦求<sup>1</sup>

국민대학교 산림자원학과, <sup>1</sup>서울대학교 산림자원학과

Forest Management Using Growth and Ecological Characteristics by Site Types in the Natural Deciduous Forest

Man Yong Shin\*, Seung Man Lee and Don Koo Lee<sup>1</sup>

Dept. of Forest Resource, Kookmin Univ., Seoul, 136-702, Korea

<sup>1</sup>Dept. of Forest Resource, College of Agriculture and Life Science, Seoul National Univ., Suwon 441-744, Korea

**요 약:** 본 연구는 강원도 평창 지역의 천연 활엽수림을 대상으로 입지유형별 임분의 성장 특성과 생태적 특성을 구명함으로써 각 임분 특성에 맞는 산림관리 방안을 제시하고자 하였다. 이를 위해 연구 대상지를 방위, 해발고도, 지형 조건에 따라 36개의 입지유형으로 구분하고 각 입지유형별로 직경 성장량과 직경 성장률 그리고 Shannon-Wiener의 다양성지수, 균재도, 풍부도를 파악하여 임분의 성장 특성과 생태적 특성을 비교·분석하였으며, 이를 근거로 산림관리 방안을 제시하였다. 임분의 성장 특성은 방위에 따라서는 동쪽 사면과 서쪽 사면이, 해발고도에 따라서는 서쪽 사면을 제외하고는 해발고도가 낮아짐에 따라, 그리고 지형 조건에 따라서는 사면과 계곡이 양호한 성장 상태를 유지하고 있었다. 생태적 특성은 적정한 습도 조건을 유지할 수 있는 지역으로 방위별로는 북쪽 사면과 서쪽 사면, 지형 조건별로는 계곡의 종 다양성이 높게 나타난 반면 해발고도에 따른 일정한 경향은 찾아볼 수 없었다. 입지유형별 산림관리 방안은 남쪽 사면과 동쪽 사면의 경우 임목 성장과 생태적 특성을 함께 고려한 무육작업이 필요한 반면 서쪽 사면과 북쪽 사면은 성장 촉진을 위주로 한 밀도조절이 필요한 것으로 파악되었다. 해발고도에 따라서는 저지대는 생태적 특성을 고려한 무육관리가 필요하며, 고지대와 중지대는 직경 성장률이 2% 미만인 지역에 대해서는 성장 촉진을 위한 무육작업이 시급한 것으로 나타났다. 한편 지형 조건에 따라서는 남쪽 사면의 중지대와 고지대를 제외하고는 계곡의 생태적 안정성이 가장 양호한 것으로 나타나 친환경적 경영에 가장 적합한 지역으로 평가되었다.

**Abstract:** The study was carried out to provide information about growth and ecological characteristics by site types of natural deciduous forest in Pyeongchang, Gangwon Province. The data were collected from four aspects(the East, the West, the South, and the North) with three elevation(higher than 1,000 m, 700~1,000 m, lower than 700 m) and three topographical conditions(ridge, hill, and valley). Growth parameters by site types were evaluated based on the growth performances of dbh for the last 5 to 10 years; which were also estimated based on both Pressler and Schneider formulae. In addition, ecological characteristics such as Shannon-Wiener's diversity index, evenness index and richness index were analyzed by site types. The management methods by site types were suggested by considering stand density, growth patterns, and ecological characteristics. It was found that the stands on the South and the East are necessary the tending practices to improve growth and ecological characteristics. On the other hand, the West and the North needed the tending practices focusing on stand density management to increase growth rate rather than ecological management. It was also found that the area lower than 700 m in elevation showed higher growth rate than other areas. As a management standard considered in terms of growth rate, it was suggested that tending practices should be applied to the stands of which growth rate for the last 5 to 10 years were lower than 2%. Considering topographical conditions, valley area showed better ecological characteristics than both ridge and hilly areas. Consequently, it was revealed that the valley areas were suitable for the ecological management.

**Key words:** ecological characteristics, growth characteristics, management methods, natural deciduous forest

서론

오늘날의 산림은 산림의 물질적 생산 기능뿐만 아니라 환경정화 기능, 수자원함양 기능, 국토보전 기능 및 생물다양성

보존 등과 같은 다양한 공익적 기능이 함께 요구되고 있는 실정이다. 이에 따라 산림경영의 개념도 목재생산 위주의 보속경영에서 다목적 경영으로 변천하였으며, 산림 생산물과 생태적 건전성을 현 세대뿐만 아니라 미래 세대에도 지속적으로 유지·공급할 수 있는 지속가능한 산림경영의 개념으로 발전하여 왔다.

따라서 지속가능한 산림 경영을 실천하기 위해서는 산림의

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

국소 지형에 따른 입지적 특성을 고려하여 다양한 수종으로 구성된 천연 활엽수림 위주의 임분 조성 및 경영이 필요하다. 이에 따라 그 동안 시장성의 결여로 비생산적인 것으로 간주되어 활엽수림으로 취급받던 활엽수림이 환경적·경제적 가치의 재평가와 함께 그 중요성이 부각되어 관심이 증대되고 있는 실정이다(임업연구원, 1996; 김지홍 등, 1999). 이러한 현실에서 천연 활엽수림에 대한 체계적인 경영계획안의 수립, 수확·벌채 후 후계림 조성을 위한 시업 체계의 확립, 그리고 조림적·생태적인 정보의 필요성이 절실하게 되었다.

천연 활엽수림과 관련된 그 동안의 연구는 임분 구조에 대한 생태학적 구명에 집중되어(Camball and Frankin, 1981; Choi and Yim, 1984; 박인협, 1985; 장윤석과 임양재, 1985; 김태욱 등, 1989; Dale, 1998), 활엽수림의 생산 기능 향상을 위한 연구는 부족한 실정이었으나, 최근에는 천연 활엽수림의 환경적 가치와 경제적 가치를 함께 고려한 친환경적 산림관리에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다(윤종화 등, 1985; 임행진 등, 1986; Solomon and Gove, 1999; Courbaud 등, 2001; 임종수, 2001; 신만용 등, 2001, 2002).

하지만 천연 활엽수림에 대한 관리 방안에 대한 연구는 여전히 미미한 상태로, 체계적이고 종합적인 결과 도출을 위해서는 방대한 자료의 수집에 근거한 분석과 평가가 요구된다. 특히 천연 활엽수림의 효율적인 산림관리를 위해서는 입지 유형에 따른 성장 특성이나 생태적 특성을 체계적으로 구명할 필요가 있다. 이러한 관점에서 본 연구는 우리나라 온대중·북부 천연 활엽수림을 대표하는 강원도 평창 지역의 국유림을 대상으로 방위별 해발고도와 지형조건에 따른 임분의 성장과 생태적 특성을 비교·분석함으로써 입지유형별 특성에 맞는 산림관리 방안의 수립에 필요한 정보를 제공하고자 수행하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 연구 대상지

본 연구의 대상지역은 행정구역상으로 강원도 평창군 진부면과 대화면에 위치한 동부지방 산림관리청 평창관리소 관내 지역 중 2,396ha의 국유림 경영 단지에 속하며, 지리적으로는 북위 37°25'~37°30', 동경 128°11'~128°44'에 위치하고 있다(산림청, 1992). 또한, 해발고도는 약 550~1,500 m의 범위에 있으며, 평균 해발고도는 1,000 m로 비교적 험준한 산악지로 구성되어 있다(임종수, 2001). 연구 대상지의 기후대는 온대중부 및 북부에 속하며 해발 1,000 m 이상의 일부 지역에서는 한대림에 속하는 수종도 분포하고 있는 것으로 파악되었다. 연구 대상지는 천연 활엽수림이 전체 산림 면적의 71%(약 1,700 ha)로 대부분이 III~V 등급에 분포하며, 주요 수종은 신갈나무, 음나무, 고로쇠나무, 층층나무, 물푸레나무, 그리고 피나무 등 30여 종의 유용 활엽수로 구성되어 있다.

### 2. 연구방법

#### 1) 입지유형별 임분 조사

연구 대상지를 일차적으로 GIS 프로그램을 이용하여 동(45°~135°), 서(225°~315°), 남(135°~225°), 북(0°~45°, 315°~360°)의 4방위로 구분하고, 각 방위별로 해발고도를 고지대(1,000 m 이상), 중지대(700~1,000 m) 그리고 저지대(700 m 미만)의 3지역으로 구분하였다(산림청, 1999). 그리고 다시 각

해발고도별로 능선, 사면, 계곡의 3가지 지형 조건으로 나누어 각 방위별로 9개의 입지유형으로 분류하였다. 이와 같이 분류된 방위별 입지유형에 대해 30×30 m(0.09 ha)의 표본점을 3개씩 무작위로 설치하여 각 방위별로 27개씩의 표본점을 설치하였다. 결과적으로 본 연구에서 임분 조사가 실시된 표본점은 총 108개이며, 각 표본점 내에 생육하고 있는 흉고직경 6 cm 이상의 임목을 대상으로 수종, 흉고직경, 직경생장량 등을 측정하였다.

#### 2) 임분의 성장 특성과 생태적 특성의 파악

직경 성장량은 각 표본점의 외곽 5 m씩을 제외한 20 m×20 m(0.04 ha)에 포함되는 6 cm 이상의 모든 임목을 대상으로 성장추를 사용하여 목편을 채취하고, 연륜분석기에 의해 최근 5년 및 10년간의 직경생장량을 측정하였다. 이와 같이 측정된 직경생장량을 이용하여 Pressler식에 의해 직경생장률을 산정하였다(김갑덕, 1986).

또한 입지유형별 생태적 특성의 파악을 위해 표본점 내의 종 구성 상태를 나타내는 Shannon-Wiener의 다양성지수(diversity index; H'), 각 종마다 개체수의 분포 정도를 의미하는 균재도(evenness index; J') 그리고 특정 군집에 생육하는 종의 수를 의미하는 풍부도(richness index; R)를 Table 1에 나타낸 식에 의하여 추정 후 입지유형별로 정리하였다.

#### 3) 입지유형별 관리방안의 선정기준

각 입지유형별로 어떤 관리방안을 적용할 것인가를 제시하기 위해 위에서 제시한 정량적 방법으로 측정된 임분 밀도, 성장 특성, 그리고 생태적 특성을 종합적으로 평가하였다. 먼저 임분 밀도는 각 임목의 생육공간 확보와 성장촉진이라는 측면에서 시업시기와 강도를 결정할 수 있는 지침으로 활용된다. 본 연구에서는 임분의 흉고단면적과 평방 평균임분직경을 병합한 상대밀도(relative density; RD)를 이용하여(Curtis, 1982) 각 입지유형별로 임분 밀도를 파악하였으며(Table 2), 상대밀도 등급을 객관적 기준으로 이용하여 무육 지침을 결정하였다.

이와 같이 산출된 상대밀도의 관점에서 Table 3의 Cur-

Table 1. Formulas of species diversity, evenness, and richness index

Index	Equation
Diversity Index(H') Shannon-Wiener(1949)	$H' = - \sum_{i=1}^s \left[ \left( \frac{n_i}{n} \right) \ln \left( \frac{n_i}{n} \right) \right]$
Evenness Index(J') Pielou(1969)	$J' = \frac{H'}{\ln(S)}$
Richness Index(R)	R=S

$n_i$ : number of individuals belonging to the  $i$ th of S species in the sample,  $n$ : total number of individuals in the sample,  $S$ : number of species.

Table 2. Formula of relative density

Variable name	Equation
RD	$RD = \frac{BA}{\sqrt{d_q}}$

RD = relative density, BA = basal area per hectare, and  $d_q$  = quadratic mean stand diameter.

**Table 3. Guide of relative density**

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

tis(1982)의 상대밀도 등급을 적용하여 입지유형별로 관리방안을 제시하였다. 상대밀도가 2.9 이하일 경우에는 개체목들이 주변 임목과의 경쟁에서 자유로운 상태로 현 단계에서는 무육작업이 불필요한 등급이며, 상대밀도가 2.9~3.8일 경우에는 임목간의 경쟁이 본격적으로 시작되어 임분의 생장이 점차 감소하게 되는 등급이다. 그리고 상대밀도가 3.8 이상일 경우에는 임목간의 경쟁이 심하여 임분의 생장이 급격히 감소하여 무육작업이 시급히 요구되는 등급으로 분류하였다. 또한 최대 임목본수는 산정된 상대밀도를 기준으로 입지유형별 임분 밀도와 ha당 본수 그리고 평균 흉고직경을 적용하여 추정하였다(신만용 등, 2002).

입지유형별 관리 방안을 수립하기 위한 다른 기준인 성장 특성은 직경 성장량에 근거하여 최근 5년 및 10년간의 직경 성장량을 추정한 후, 직경성장률이 2% 미만일 경우 또는 최근 5년간의 직경성장률이 지난 10년간의 직경성장률보다 저조한 임분에 대해서는 성장촉진에 필요한 무육작업이 필요한 것으로 평가하였다. 한편 임분의 생태적 특성은 다양성지수, 균재도 그리고 풍부도를 근거로 하여 입지유형별로 양호, 보통, 불량 3단계로 구분하고 그 결과에 근거하여 관리방안을 제시하였다.

### 결과 및 고찰

#### 1. 임분의 성장 특성과 생태적 특성의 비교

##### 1) 입지유형별 성장 특성

연구 대상지의 입지유형별 최근 5년간의 직경성장량과 Pressler식에 의한 직경성장률을 추정한 결과를 Table 4에 나타내었다. 동쪽 사면의 해발고도에 따른 직경생장은 저지대의 직경성장량이 1.53~1.87 cm로 가장 크며, 다음으로는 중지대가 1.36~1.50 cm로 고지대의 1.19~1.27 cm 보다 직경 성장량이 크지만 그 차이는 그다지 크지 않은 것으로 확인되었다. 고지대의 지형조건별 직경 성장량은 능선, 사면, 계곡에 따라 큰 차이를 보이지 않았으며, 직경성장률은 1.76~1.90%의 범위로 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 중지대의 경우 직경성장량은 지형조건에 따라 큰 차이를 보이지 않았으나, 직경성장률은 능선(1.94%)이 사면(3.11%)이나 계곡(2.58%)에 비해 크게 떨어지는 결과를 보였다. 이는 능선이 사면이나 계곡보다 임목의 분포가 중·대경목 위주로 구성되어 있어 비슷한 직경 성장량을 갖더라도 성장률은 낮게 추정된 결과로 해석된다. 저지대의 경우 소경목 위주의 임분 구조를 보이고 있어, 중·대경목의 성장 정보가 적지만 수집된 성장추정 자료를 근거로 분석한 결과 다른 지역에 비하여 양호한 성장상태를 유지하고 있었는데, 저지대의 직경성장률은 3.03~4.10%로 고지대나 중지대보다 현저하게 높게 나타났으나 직경 성장량에 있어서는 중지대와 큰 차이를 보이지 않았다.

서쪽 사면의 직경성장 특성은 고지대와 중지대에서는 사면에서의 생장이 가장 양호하며, 다음은 계곡 그리고 능선의 순서로 직경생장이 좋은 것으로 파악되었다. 저지대의 경우는 능선, 사면, 계곡의 순으로 생장이 좋아 해발고도에 따라 다소 다른 성장 특성을 보였다. 해발고도에 따른 직경생장을 보면 동쪽 사면과 마찬가지로 저지대의 생장이 가장 양호하였다. 고지대와 중지대의 직경생장은 고지대가 크지는 않으나 중지대보다는 양호한 것으로 나타나 동쪽 사면과는 다른 양상을 보이고 있다. 따라서 임목 생장에 미치는 다양한 입지요인 중에서 방위의 변화가 성장 패턴에 영향을 미치는 것으로 판단된다. 한편, 저지대의 생장이 다른 지역에 비해 우수한 것은 동쪽 사면과 마찬가지로 소경목과 중경목 위주의 임분 구조로 대경목과의 경쟁이 없는 상태에서 높은 직경성장률을 나

**Table 4. Comparison of growth characteristics by site types**

Site Types		Variables	Diameter growth amount (cm)	Diameter growth rate (%)	Site Types		Diameter growth amount (cm)	Diameter growth rate (%)	
East	Higher than 1,000 m	Ridge	1.19	1.90	South	Higher than 1,000 m	Ridge	1.17	1.36
		Hill	1.27	1.90		Hill	0.96	1.17	
		Valley	1.20	1.76		Valley	1.01	1.44	
	700~1,000 m	Ridge	1.42	1.94		700~1,000m	Ridge	1.16	1.60
		Hill	1.50	3.11		Hill	1.29	2.00	
		Valley	1.36	2.58		Valley	1.35	2.09	
Lower than 700 m	Ridge	1.53	3.03	Lower than 700 m	Ridge	1.48	2.62		
	Hill	1.81	3.46	Hill	1.48	2.82			
	Valley	1.87	4.10	Valley	1.42	2.54			
West	Higher than 1,000 m	Ridge	1.18	1.74	North	Higher than 1,000 m	Ridge	1.12	1.87
		Hill	1.75	2.89		Hill	1.20	1.96	
		Valley	1.43	2.24		Valley	1.05	1.49	
	700~1,000 m	Ridge	1.15	1.89		700~1,000 m	Ridge	1.20	1.84
		Hill	1.38	2.32		Hill	1.21	1.69	
		Valley	1.46	2.17		Valley	1.32	2.08	
Lower than 700 m	Ridge	1.76	4.50	Lower than 700 m	Ridge	1.25	2.46		
	Hill	2.00	4.00	Hill	1.91	3.47			
	Valley	1.54	2.99	Valley	1.23	2.21			

Table 5. Comparison of ecological characteristics by site type

Site Types		Variables	H'	J'	R	Site Types		Variables	H'	J'	R
East	Higher than 1,000 m	Ridge	1.53	0.64	8.33	South	Higher than 1,000 m	Ridge	0.73	0.53	4.00
		Hill	1.90	0.82	10.33			Hill	1.24	0.59	7.00
		Valley	2.05	0.81	12.67			Valley	1.80	0.81	9.67
	700~1,000 m	Ridge	1.06	0.51	7.33		700~1,000 m	Ridge	0.90	0.45	7.33
		Hill	1.85	0.81	10.00			Hill	1.67	0.77	9.00
		Valley	1.68	0.70	11.00			Valley	1.64	0.78	8.33
	Lower than 700 m	Ridge	1.70	0.72	10.67		Lower than 700 m	Ridge	1.82	0.80	9.67
		Hill	2.03	0.85	11.33			Hill	1.53	0.70	8.67
		Valley	1.75	0.78	10.00			Valley	1.50	0.63	10.67
West	Higher than 1,000 m	Ridge	1.61	0.71	9.67	North	Higher than 1,000 m	Ridge	2.27	0.85	14.67
		Hill	1.75	0.78	9.67			Hill	1.83	0.75	11.67
		Valley	2.23	0.87	13.00			Valley	2.04	0.84	11.33
	700~1,000m	Ridge	1.71	0.74	10.00		700~1,000 m	Ridge	2.07	0.84	12.00
		Hill	2.26	0.88	13.00			Hill	2.17	0.87	12.33
		Valley	2.18	0.87	12.33			Valley	2.43	0.90	15.00
	Lower than 700 m	Ridge	1.43	0.61	10.00		Lower than 700 m	Ridge	2.40	0.89	15.00
		Hill	2.18	0.87	12.33			Hill	2.36	0.90	14.00
		Valley	1.94	0.78	12.00			Valley	2.18	0.88	12.00

타내는 것으로 추정된다. 결과적으로 저지대의 경우에는 조사된 생장 자료가 소경목과 중경목이라는 제약조건이 있지만, 현재의 생장 상태가 매우 양호한 것으로 보아 앞으로 적절한 시업이 이루어진다면 현재보다 훨씬 양호한 임분 구조로 변화할 가능성이 있는 것으로 판단된다.

남쪽 사면의 경우 해발고도에 따른 생장의 특성은 동쪽 사면과 같이 해발고도가 낮아질수록 직경 생장량과 생장률이 증가하는 경향을 보이고 있으며, 특히 저지대의 생장이 가장 양호한 것으로 파악되었다. 그러나 이 지역은 동쪽 사면이나 서쪽 사면에 비해서는 상대적으로 생장이 저조한 것으로 분석되었다. 또한 지형 조건에 따라서는 고지대에서는 사면보다는 능선과 계곡이 비교적 양호한 생장을 보이고 있었으며, 중지대는 능선에 비해 사면과 계곡이 더 우수한 생장을 보이고 있었다. 반면 저지대의 생장은 지형 조건별로 큰 차이를 보이지 않는 것으로 파악되었다. 이러한 결과는 해발고도와 지형 조건에 따른 입지유형의 차이에 의한 결과로 판단된다.

북쪽 사면은 고지대와 중지대에서는 지형 조건별로 생장의 차이가 거의 없는 것으로 나타났다. 반면에 저지대의 생장은 다른 지역에 비해 양호한 것으로 파악되었으며, 지형 조건별로는 사면이 가장 양호한 생장 상태를 보였고 능선이 가장 불량한 것으로 나타났다. 그러나 동쪽 사면이나 서쪽 사면과 비교하여 전반적으로 저조한 생장을 보이고 있다.

입지 유형별 생장 특성을 종합적으로 살펴보면, 서쪽사면을 제외한 동쪽, 남쪽, 북쪽 사면은 해발고도가 낮아짐에 따라 생장이 증가하는 경향을 보였다. 이는 강호상과 이돈구(1998)의 음나무 생장 특성에 관한 연구와 동일한 결과이다. 방위별로는 동쪽 사면과 서쪽 사면이 가장 양호한 생장 상태를 보이는 것으로 분석되었다. 이는 방위와 해발고도의 변화에 따른 기후조건에 차이가 기인하는 것으로 판단된다. 즉, 입지 유형별로 나타나는 직경생장의 차이가 주로 방위나 해발고도의 영향을 받은 기후의 변이에 영향을 받은 것으로, 이는 기존의 다른 연구와도 유사한 결과이다(이동섭과 정영관, 1986; Weaver and Bauer, 1986).

2) 입지유형별 생태적 특성

Table 5는 다양성지수, 균재도 그리고 풍부도 등의 입지 유형별 생태적 특성을 요약한 결과이다. 다양성지수의 분석 결과 방위별, 지형조건별로 차이가 있음을 알 수 있다. 대체적으로 북쪽 사면의 다양성지수가 1.83~2.43으로 가장 높은 반면 남쪽 사면이 0.73~1.82로 가장 낮게 나타났는데, 이는 다른 연구 결과와 동일한 경향을 보인 것이다(Choi and Yim, 1984; 신현철과 이강영, 1990; 강성기 등, 2000). 일반적으로 중 다양성은 과습이나 건조한 지역보다는 습도가 적당한 지역에서 높은 것으로 알려져 있는데(Dale, 1998), 본 연구 대상지의 북쪽 사면은 적당한 습도를 유지하여 다른 지형보다는 상대적으로 다양한 종이 출현하는 것으로 판단되며, 남쪽 사면은 상대적으로 건조하여 다양성지수가 낮은 것으로 해석할 수 있다.

Whittaker(1965)는 해발고도가 증가함에 따라 환경 조건이 악화되어 이러한 조건 내에서 견딜 수 있는 내성을 가진 종 수가 감소하게 되며, 또한 종간의 경쟁이 심하게 되어 종 다양성은 감소한다고 하였다. 그러나 본 연구 대상지의 경우 해발고도 변화에 따른 다양성지수의 변화가 일정한 경향을 보이지 않고 있어, 다른 지역의 연구와 다소 다른 결과를 보이고 있다(장윤석 등 1985; 김태욱 등 1989; 신수철 등, 1993). 한편, 다양성지수를 지형 조건별로 보면 대체로 계곡, 사면, 능선의 순서로 크게 나타나고 있는데, 이는 방위에서와 마찬가지로 습도 조건이 종 출현 수에 가장 영향을 많이 미치는 요인임을 알 수 있다.

방위별 균재도를 보면 다양성지수와 마찬가지로 북(0.75~0.90), 서(0.61~0.88), 동(0.51~0.85), 남쪽 사면(0.45~0.81)의 순서로 높음을 알 수 있는데, 이는 신현철과 이강영(1990)이 수행한 금산의 남북사면에 따른 산림식생 구조에 관한 연구와 유사한 결과이다. Dale(1998)은 해발고도가 높아질수록 균재도가 낮아지며, 이것은 극한 기후 조건에 적응하는 단일 수종 또는 우점 수종이 출현하게 된 결과라고 보고하였다. 연구 대상지 역시 해발고도별 균재도의 경우에 저지대가 중지대나 고지대의 균재도보다 높아 출현하는 종의 빈도가 고른 것으로

분석되었다. 지형조건별 균재도를 보면 계곡, 사면, 능선의 순서로 높게 나타났는데, 이는 다양성지수와 마찬가지로 습도 조건이 종 출현 빈도에 영향을 미친 결과로 해석할 수 있다.

방위별 풍부도는 다양성지수와 균재도와 매우 유사한 결과를 보이고 있다. 즉, 북(11.33~15.00), 서(9.67~13.00), 동(7.33~12.67), 남쪽 사면(4.00~10.67)의 순서로 풍부도가 높았는데, 다양성지수 및 균재도와 마찬가지로 적당한 습도 조건을 유지하는 북쪽 사면의 풍부도가 높은 반면 가장 일사량이 많은 남쪽 사면의 경우에는 상대적으로 건조한 습도 조건으로 인하여 풍부도가 낮은 것으로 분석되었다. 이는 Choi and Yim(1984)이 설악산 대청봉 지역을 대상으로 풍부도를 조사한 결과와 동일한 것이다. 연구 대상지의 풍부도는 해발고도가 낮아질수록 증가하는 경향을 보였는데, 이러한 결과는 다른 지역에서의 연구 결과와 유사하다(신수철 등, 1993; Dale, 1998). 이를 지형별로 살펴보면 대체로 계곡, 사면, 능선의 순서로 풍부도가 크게 나타나고 있는데, 이 또한 습도 조건이 종 출현 수에 영향을 미친 것으로 판단된다.

**2. 입지유형별 관리 방안**

본 연구에서는 앞에서 분석한 연구 대상지의 입지 유형별 성장 특성, 그리고 생태적 특성을 종합적으로 고려하여 입지 유형의 특성에 맞는 관리 방안을 제시하였다. Table 6은 현재의 평균 흉고직경과 상대밀도를 고려하여 입지유형별 최대 허용 임목본수를 산정한 결과이다. 즉, 최대 허용 임목본수는 현재의 직경분포를 고려할 때 간벌이 시급한 등급에 속하는 상대밀도 3.8 이하를 유지하기 위해 필요한 ha당 임목 본수의 최대치를 의미하는 것이다. 결과적으로 임분 현황에서 파악된 ha당 임목 본수와 최대 허용 임목본수를 비교하면 입지유형별로 해당 임분을 어떻게 관리하여야 하는 지에 대한 지침을 얻을 수 있다.

입지유형별 관리방안을 수립하기 위해 참고하여야 할 다른 지침으로 본 연구에서는 임분밀도 이외에 직경생장률과 생태적 특성을 고려하였다. Table 7은 최대 허용 임목본수와 현재의 임목본수의 비교, 직경생장률 그리고 생태적 특성을 종합

적으로 고려하여 입지유형별로 관리방안을 선정한 결과이다. 즉, 최근 10년 동안의 직경생장률과 5년 동안의 생장률을 비교하여 성장 상태의 추이를 판단하되, 특히 최근 5년 동안의 직경생장률이 2% 이하일 경우는 임분 밀도의 조절이 시급한 것으로 평가하였다. 또한 각 입지유형에 대한 다양성지수, 균재도, 풍부도를 종합적으로 평가한 결과를 양호, 보통, 불량 3단계로 구분하여 요약한 결과이다.

**1) 동쪽 사면의 관리방안**

연구 대상지 동쪽 사면의 고지대는 지형 조건에 관계없이 현재 임목 본수가 최대 허용 임목 본수를 초과하고 있을 뿐만 아니라 직경생장률도 저조한 것으로 나타나 무육간벌을 통해 지형 조건에 따라 임목 본수를 630~750본 정도 유지시키는 것이 적절한 것으로 판단된다. 또한 생태적 특성에 있어서 능선은 다른 지형에 비해 극히 불량해 임목의 성장과 생태적 인 부분을 함께 고려한 임분 관리가 필요한 것으로 분석되었다.

중지대의 경우 능선과 사면은 최대 허용 임목본수보다 현재 임목본수가 많고 직경생장률에 있어서도 능선은 2%에 미달하고 있으며, 사면은 최근 5년간의 직경생장률이 10년간의 직경생장률보다 낮은 것으로 나타나 잔존 임목본수를 능선은 600본, 사면은 850본 정도 남기는 것이 적절한 것으로 분석되었다. 계곡의 경우 현재 임목 본수가 최대 허용 임목본수에 근접해 있으며, 직경생장률에 있어서도 능선이나 사면에 비해 양호하기는 하지만 최근 5년간의 직경생장률이 10년간의 직경생장률보다 다소 저조하게 나타나 조만간 무육작업이 필요할 것으로 평가되었다. 한편 생태적 특성에 있어서 고지대와 마찬가지로 능선이 가장 불량한 것으로 나타나, 능선의 경우에는 종 다양성을 고려한 무육작업이 이루어져야 할 것이다.

저지대의 경우 능선, 사면, 계곡 모두 현재 임목본수가 최대 허용 임목본수보다 적고 직경생장률과 생태적 특성에 있어서도 상대적으로 양호한 것으로 분석되었다. 따라서 현 단계에서는 무육작업이 필요하지 않은 것으로 판단되며, 앞으로 생장률과 생태적 변화 추이를 지속적으로 모니터링하여 그 결과에 따라 무육작업의 시기를 결정하도록 한다.

**Table 6. Decision of maximum number of trees by site types**

Site Types	Variables	DBH (cm)	Maximum number of trees (N/ha)	Site Types	Variables	DBH (cm)	Maximum number of trees (N/ha)		
East	Higher than 1,000 m	Ridge	17.4	700	South	Higher than 1,000 m	Ridge	21.0	500
		Hill	16.3	700			Hill	19.3	600
		Valley	14.8	800			Valley	16.8	700
	700~1,000 m	Ridge	17.3	700		700~1,000 m	Ridge	15.8	800
		Hill	13.0	1,000			Hill	15.8	800
		Valley	12.4	1,100			Valley	16.4	700
	Lower than 700 m	Ridge	11.4	1,300		Lower than 700 m	Ridge	12.7	1,000
		Hill	12.0	1,200			Hill	12.2	1,200
		Valley	12.6	1,000			Valley	13.3	1,000
West	Higher than 1,000 m	Ridge	16.5	700	North	Higher than 1,000 m	Ridge	15.6	800
		Hill	17.3	700			Hill	18.9	600
		Valley	15.2	800			Valley	17.6	700
	700~1,000 m	Ridge	14.3	900		700~1,000 m	Ridge	18.4	600
		Hill	17.2	700			Hill	17.9	700
		Valley	15.9	800			Valley	19.1	600
	Lower than 700 m	Ridge	11.2	1,400		Lower than 700 m	Ridge	13.2	1,000
		Hill	12.5	1,100			Hill	13.8	900
		Valley	12.8	1,000			Valley	14.7	800

Table 7. Management methods by site types

Site Types	Variables	Maximum number of trees (N/ha)	N/ha	Diameter growth rate (%)		Ecological characteristics	Number of trees to be left (N/ha)	
				5years	10years			
East	Higher than 1,000 m	Ridge	700	821	1.9	2.0	Bad	650
		Hill	700	792	1.9	2.0	Medium	630
		Valley	800	959	1.8	2.0	Good	720
	700~1,000 m	Ridge	700	740	1.9	2.3	Bad	600
		Hill	1,000	999	3.1	3.8	Medium	850
		Valley	1,100	1,014	2.4	3.3	Medium	-
	Lower than 700 m	Ridge	1,300	1,018	3.4	4.8	Medium	-
		Hill	1,200	761	3.4	4.4	Good	-
		Valley	1,000	762	3.4	4.4	Medium	-
West	Higher than 1,000 m	Ridge	700	910	1.8	2.1	Bad	680
		Hill	700	903	2.9	3.3	Medium	760
		Valley	800	862	2.3	2.6	Good	690
	700~1,000 m	Ridge	900	1,114	1.9	2.2	Medium	830
		Hill	700	759	2.2	3.0	Good	600
		Valley	800	847	2.2	2.4	Good	690
	Lower than 700 m	Ridge	1,400	1,161	4.6	4.1	Bad	-
		Hill	1,100	759	4.0	5.0	Good	-
		Valley	1,000	932	3.0	3.9	Good	-
South	Higher than 1,000 m	Ridge	500	592	1.7	1.9	Bad	440
		Hill	600	725	1.2	1.4	Bad	540
		Valley	700	836	1.4	1.7	Medium	540
	700~1,000 m	Ridge	800	1,010	1.7	2.1	Bad	750
		Hill	800	688	2.1	2.5	Medium	580
		Valley	700	725	2.3	2.8	Bad	580
	Lower than 700 m	Ridge	1,000	877	2.6	3.4	Medium	-
		Hill	1,200	814	2.8	3.6	Bad	-
		Valley	1,000	821	2.4	2.9	Bad	-
North	Higher than 1,000 m	Ridge	800	844	1.8	2.2	Good	710
		Hill	600	656	1.9	1.6	Medium	590
		Valley	700	644	1.5	1.8	Good	590
	700~1,000 m	Ridge	600	615	1.9	2.2	Good	550
		Hill	700	574	1.8	2.0	Good	500
		Valley	600	530	1.8	2.7	Good	450
	Lower than 700 m	Ridge	1,000	856	2.3	2.7	Good	770
		Hill	900	604	3.5	4.3	Good	-
		Valley	800	626	2.3	2.9	Good	560

2) 서쪽 사면의 관리방안

고지대는 능선, 사면, 계곡 모두 현재 임목본수가 최대 허용 임목본수를 초과하고 있으며 직경성장률도 2% 미만이거나 최근 5년간의 직경성장률이 10년간의 직경성장률보다 저조한 것으로 나타나, ha당 본수를 능선은 680본, 사면은 760본 그리고 계곡은 690본으로 유지할 수 있도록 하였다. 생태적 특성에 있어서 다른 지형 조건과는 달리 능선이 가장 불량한 것으로 나타나 이 지형에 대한 생태적 안정성을 개선할 필요가 있으며, 사면과 계곡은 각각 보통과 양호한 것으로 분석되어 현 상태를 유지할 수 있는 무육작업이 고려되어야 한다.

중지대 역시 고지대와 마찬가지로 모든 지형 조건에서 현재 임목본수가 최대 허용 임목본수를 초과하고 직경성장률도 저조한 것으로 분석되어 임분 밀도를 낮출 필요성이 있다. 따라서 능선은 25%를 제거한 830본, 사면과 계곡은 20%를 제거한 600본과 690본을 잔존시키도록 하였다. 생태적 특성에 있어서도 모두 보통 이상인 것으로 나타나 중지대의 경우 임분 밀도 관리 위주의 무육작업이 필요한 것으로 평가된다.

저지대의 경우 동쪽 사면과 마찬가지로 지형조건에 관계없

이 모두 현재 임목본수가 최대 허용 임목본수보다 적고 직경성장률도 양호하여 현시점에서는 특별한 임분밀도 관리를 위한 조치가 불필요하다. 다만 능선의 경우 생태적 안정성이 불량한 것으로 분석되었기 때문에 이를 개선하기 위한 조치가 필요하다.

3) 남쪽 사면의 관리방안

고지대의 능선, 사면, 계곡 모두 현재의 임목본수가 최대 허용 임목본수보다 많고 직경성장률도 2% 미만으로, 이 지역은 무육작업을 통해 능선은 440본, 사면과 계곡은 540본 정도를 남기는 것이 적정한 것으로 평가되었다. 또한 생태적 특성에 있어서도 계곡을 제외하고는 모두 불량한 것으로 분석되어 밀도 조절을 위한 무육작업에서 생태적 다양성을 개선할 수 있도록 수종 선택에 유의하여야 한다.

중지대의 능선, 사면, 계곡 모두 고지대와 마찬가지로 임분 밀도가 높고, 직경성장률은 능선은 최근 5년간의 직경성장률이 2% 미만이며, 사면과 계곡은 최근 5년간의 직경성장률이 10년간의 직경성장률보다 저조한 것으로 추정되었다. 따라서

이 지역의 능선, 사면, 계곡에서는 각각 전체 임목본수의 25%, 15%, 20%의 무육간벌을 통해 750본, 580본, 580본을 잔존시키도록 하였다. 생태적 특성에 있어서는 능선과 계곡이 불량하기 때문에, 이 지역에서는 무육간벌을 통한 본수 조절에서 비교적 개체수가 많은 수종 위주로 선정하여 별채함으로써 생태적 다양성을 높일 필요가 있다.

저지대는 서쪽 사면이나 동쪽 사면의 저지대와 마찬가지로 임분 밀도와 직경생장률이 양호한 상태를 유지하고 있어 현 시점에서는 무육작업이 필요하지 않다. 따라서 이 지역에 대해서는 앞으로 지속적인 모니터링을 통해 직경생장률이 2% 미만으로 떨어지면 무육작업을 실시하면 된다. 한편 저지대의 사면과 계곡의 생태적 특성은 불량한 것으로 나타나 추후의 무육작업에서 생태적 특성을 개선하기 위한 시업계획을 수립해야 할 것이다.

#### 4) 북쪽 사면의 관리방안

고지대의 경우 모든 지형 조건에서 현재 임목본수가 최대 허용 임목본수를 초과하고 있으며 직경생장률도 2% 미만으로 저조하게 나타나, 무육간벌을 통해 능선은 710본, 사면과 계곡은 590본을 남기도록 하였다. 또한 생태적 특성에 있어서는 양호 또는 보통인 것으로 분석되어 현재 상태를 유지할 수 있도록 하였다.

중지대의 경우 고지대와 마찬가지로 능선, 사면, 계곡 모두 임분 밀도가 높고 직경생장률이 저조한 상태로 무육간벌을 통해 능선, 사면, 계곡의 잔존 임목본수를 각각 550본, 500본, 450본을 유지할 필요가 있다. 그러나 이 지역의 생태적 특성은 모두 양호한 상태이기 때문에 필요한 산림 관리는 임목의 성장 촉진을 위한 무육작업으로 평가된다.

저지대의 경우에는 능선, 사면, 계곡 모두 현재 임목본수가 최대 허용 임목본수에 미달하고 있으나, 능선과 계곡은 최근 5년간의 직경생장률이 10년간의 직경생장률보다 저조한 것으로 나타나 각각 약 10%씩의 무육간벌을 통해 770본과 560본 정도를 유지하는 것이 적정한 것으로 판단된다. 한편 생태적 특성에 있어서는 중지대와 마찬가지로 지형 조건에 관계없이 모두 양호한 것으로 분석되어, 이 지역의 산림 관리도 임목생장의 촉진을 위주로 한 무육작업이 필요하다.

## 결 론

본 연구에서는 우리나라 온대 중·북부 천연 활엽수림을 대표하는 강원도 평창지역의 국유림을 대상으로 방위별 해발고도와 지형 조건의 입지유형에 따른 직경생장 특성과 생태적 특성을 비교·분석함으로써 입지유형별 특성에 맞는 산림관리 방안을 제시하였다. 입지유형별 성장 특성의 경우 방위별로는 동쪽 사면과 서쪽 사면이 다른 지역에 비해 양호한 성장 상태를 보이고 있었다. 한편 해발고도에 따라서는 서쪽 사면을 제외하고는 해발고도가 낮아짐에 따라 생장이 양호하게 나타났는데, 이는 저지대의 경우 소경목과 중경목 위주의 임분 구조로 대경목과의 경쟁이 없는 상태에서 높은 생장률을 나타내는 것으로 판단된다. 지형 조건에 따른 성장 특성은 방위나 해발고도에 따라 어느 정도의 차이는 있으나 전반적으로 사면이나 계곡이 능선에 비하여 양호한 성장 상태를 유지하고 있었다.

입지유형별 임분의 생태적 특성은 방위에 따라서는 적절한 습도 조건을 유지하고 있는 북쪽 사면과 서쪽 사면의 종 다

양성이 높게 나타난 반면, 일사량이 많은 남쪽 사면은 상대적으로 다양성이 낮은 것으로 분석되었다. 또한 지형 조건의 경우 방위와 마찬가지로 습도 조건이 양호한 계곡이 사면이나 능선에 비해 종 다양성이 높게 나타났다. 그러나 해발고도에 따른 종 다양성은 일정한 경향을 찾을 수 없었다.

이러한 각 입지유형의 성장 특성과 생태적 특성을 고려한 관리 방안을 보면 방위별로는 남쪽 사면과 동쪽 사면의 경우 임목의 성장과 생태적 특성을 함께 고려한 무육작업이 필요한 것으로 평가되었다. 하지만 북쪽 사면과 서쪽 사면의 경우에는 생태적 다양성 보다는 성장을 촉진하기 위한 밀도관리가 필요한 것으로 분석되었다. 해발고도별로는 700 m 미만의 저지대는 대부분 현재 임목본수가 최대 허용 임목본수보다 적어 임분 밀도조절이 필요하지 않고 또한 직경생장률도 대부분 2% 이상을 유지하고 있어 임분 밀도의 조절보다는 생태적 특성을 고려한 무육 관리가 필요한 것으로 평가되었다. 하지만 고지대와 중지대의 경우에는 평균 흉고직경은 크지만 대부분 직경생장률이 상대적으로 낮은 것으로 나타났다. 특히 최근 5년간의 성장률과 10년간의 성장률이 2% 미만인 지역은 성장 촉진을 위한 무육작업이 시급한 것으로 판단된다. 지형 조건에서는 계곡이 남쪽 사면의 중지대와 고지대를 제외하고 모두 생태적 특성이 보통 이상인 것으로 나타났다. 결과적으로 천연 활엽수림에서 다양한 수종을 유지하면서 친환경적 경영에 적합한 지형 조건은 계곡인 것으로 판단된다.

본 연구는 임분의 성장 및 생태적 특성에 중점을 두고 입지 조건과의 관계를 구명함으로써 관리방안을 제시하였다. 천연 활엽수림은 단순동령림과는 달리 임분 내에 다양한 수종이 분포하며, 각 수종은 분포 위치나 크기에 있어서도 복잡한 양상을 보이고 있다. 결국 천연 활엽수림의 관리방안은 이러한 임분 내의 수종별 성장 및 생태적 특성을 고려하여야 하지만 본 연구는 이러한 측면에서 미흡한 것이 사실이다. 따라서 앞으로의 연구에서는 임분 뿐만 아니라 특정 수종과 입지 조건과의 관계 구명을 통한 생태적 안정성과 산림의 생산적 기능이 동시에 고려될 수 있는 산림 관리방안이 마련되어야 할 것이다.

## 감사의 글

본 연구는 동부지방산림관리청에서 지원한 “환경친화적 조림기술과 지속가능한 산림관리 기술 개발 연구(IV)”에 의하여 수행된 결과의 일부임.

## 인용문헌

1. 강성기, 김지홍, 진광재, 양희문. 2000. 점봉산일대 천연활엽수림의 지형적 위치에 따른 군집 구조적 속성 분석(I). 강원대학교 산림과학연구 16: 93-104.
2. 강호상, 이돈구. 1998. 강원도 평창군 중왕산 지역 음나무의 입지환경 및 성장특성. 한국임학회지 87(3): 483-492.
3. 김갑덕. 1986. 삼림측정학. 향문사. 275pp.
4. 김지홍, 양희문, 김광백. 1999. 천연활엽수림의 세가지 조림작업종에 따른 천연갱신 양상. 한국임학회지 88(2): 169-178.
5. 김태욱, 이돈구, 서민환. 1989. 설악산 오색계곡의 해발고도에 따른 식생분포에 관한 연구(피나무류의 분포를 중심으로). 서울대학교 농학연구 14(2-1): 21-26.
6. 박인협. 1985. 백운산지역 천연림생태계의 삼림구조 및 물질생산에 관한 연구. 서울대학교 대학원 박사학위논문. 48pp.
7. 산림청. 1992. 국유림 경영 현대화 산학 협동 실현 연구보고서(III). 9-11p.

8. 산림청. 1999. 국유림 경영 현대화 산학 협동 실연 연구보고서 (X). 144-152p.
9. 신만용, 임종수, 이돈구. 2001. 강원도 평창 지역 천연 활엽수림의 입지유형별 입분구조와 경쟁관계의 구명. 한국임학회지 90(3) : 295-305.
10. 신만용, 임종수, 이돈구. 2002. 천연 활엽수림의 입지유형별 입분구조와 경쟁관계를 이용한 친환경적 산림관리 방안. 한국임학회지 91(6) : 722-732.
11. 신수철, 김창호, 박교수. 1993. 소백산 산림구조에 관한 연구. 동국대학교 연습림논문집 3 : 36-52.
12. 신현철, 이강영. 1990. 금산의 남북사면에 따른 삼림식생 구조. 한국임학회지 79(3) : 245-254.
13. 윤종화, 한상섭, 김지홍. 1985. 천연림의 입분구조 해석에 관한 연구(참나무천연림의 식립생장). 한국임학회지 71 : 50-54.
14. 이농섭, 정영관. 1986. 삼림환경인자에 의한 굴참나무입분의 생산력추정. 한국임학회지 75 : 1-18.
15. 임업연구원. 1996. 활엽수자원조사보고서(전국 총괄). 임업연구원 연구자료 122. 508pp.
16. 임종수. 2001. 입지유형에 따른 강원도 평창 지역 천연 활엽수림의 친환경적 산림관리 방안에 관한 연구. 국민대학교 대학원 석사학위논문 66pp.
17. 임행진, 박인협, 김준선. 1986. 해발고에 따른 신갈나무 천연집단의 변이에 관한 연구. 순천대학논문집(자연과학편) 5 : 67-72.
18. 상윤석, 임양재. 1985. 지리산 피아골의 식생형과 그 구조. 식물학회지 28(2) : 165-175.
19. Cambell, R.K. and J.E. Frankin. 1981. A comparison of habitat type and elevation for seed zone classification of Douglas-Fir in Western Oregon. Forest Science 27(1) : 49-59.
20. Choi, K.R. and Y.J. Yim. 1984. On the dominance-diversity in the forest vegetation of Mt. Seolag. Korean Journal of Botany 27(1) : 25-32.
21. Courbaud, B.F., G.P. Dreyfus and F.R. Bonnet. 2001. "Evaluating thinning strategies using a tree distance dependent growth model: some examples based on the CAPSIS software uneven-aged spruce forests" module. Forest Ecology and Management 145 : 15-28.
22. Curtis, R.O. 1982. A simple index of stand density for Douglas-fir. Forest Science 18 : 92-94.
23. Dale, G.B. 1998. Forest plant diversity at local and landscape scales in the Cascade Mountains of southwestern Washington. Forest Ecology and Management 109 : 323-341.
24. Solomon, D.S. and J.H. Gove. 1999. Effects of uneven-age management intensity on structural diversity in two major forest types in New England. Forest Ecology and Management 114 : 265-274.
25. Weaver, P.L. and G.P. Bauer. 1986. Growth, survival and shoot damage in mahogany plantings in the Luqillo forest in Puerto Rico. Turrialba 36(4) : 509-522.
26. Whittaker, R.H. 1965. Dominance and diversity in land plant communities. Science 147 : 250-259.

(2005년 1월 4일 접수; 2005년 2월 4일 채택)