

江原道 平昌 地域 天然 闊葉樹林의 立地類型別 林分構造와 競爭關係의 究明^{1*}

申萬鏞^{2*} · 任鍾洙² · 李敦求³

A Study on Stand Structure and Competition Status by Site Types in Natural Deciduous Forest of Pyungchang, Kangwon-do^{1*}

Man Yong Shin^{2*}, Jong Su Yim² and Don Koo Lee³

요 약

본 연구는 우리나라 온대 중·북부지방의 천연 활엽수림을 대표하는 강원도 평창 지역을 대상으로 입지유형을 해발고도(1,000m 이상, 700~1,000m, 700m 미만) 및 지형(능선, 사면, 계곡)에 따라 9가지로 구분하여 정밀 입분조사를 실시하고, 각 입지유형별 입분구조의 파악과 경쟁관계를 구명함으로써, 천연 활엽수림의 친환경적 경영방안에 필요한 기초 자료를 제공하기 위하여 수행하였다.

입지유형별 입분의 생장은 700~1,000m에서 가장 양호한 것으로 나타났으며, 종 다양성도와 풍부도는 해발고도가 낮아질수록 증가하는 것으로 파악되었다. 또한 지형별로는 능선, 사면, 계곡의 순서로 재적 등의 입분 상태가 양호한 것으로 나타났으며, 한 수종의 상대우점도가 높은 입지유형에서는 균재도는 낮은 값을 보이고 있었다.

입지유형별 최적 경쟁지수 모형은 7개 입지유형에서 거리독립경쟁지수가 선정되었으며, 1,000m 이상의 능선과 700~1,000m의 계곡에서만 거리종속경쟁지수가 높고직경 정기평균 성장량과 높은 상관을 나타내어 입지유형별로 다소 다른 결과를 보였다.

입지유형에 따른 수종별 성장특성과 경쟁관계를 분석한 결과 상대우점도가 높은 수종들이 상대적으로 경쟁 상태도 양호한 것으로 나타났다. 신갈나무는 해발고도 700m 이상의 지형에서 생장이 우수하였고, 음나무의 경우에는 해발고도 1,000m 이상의 지형과 700~1,000m의 능선에서 상대우점도가 상대적으로 낮았음에도 불구하고 높은 경쟁력을 유지하고 있는 것으로 파악되었다. 또한 느릅나무와 다릅나무는 1,000m 미만의 지형에서 다른 수종보다 높은 경쟁력을 보이고 있어, 앞으로 이러한 입지유형별 수종분포 및 경쟁관계를 고려한 무육작업이 필요할 것으로 보인다.

ABSTRACT

This study was conducted to reveal stand structure and competition status by site types of natural deciduous forest in Pyungchang, Kangwon-do. The study site was divided by nine different types based on elevation (higher than 1,000m, 700~1,000m, lower than 700m) and topography (ridge, slope, valley). The objective of this study is to provide a basic information necessary for the environment-friendly management methods of natural deciduous forest on the basis of the stand structure and competition

¹ 接受 2001年 3月 5日 Received on March 5, 2001.

審査完了 2001年 4月 13日 Accepted on April 13, 2001.

² 국민대학교 산림자원학과 Dept. of Forest Resources, Kookmin Univ., Seoul 136-702, Korea.

³ 서울대학교 산림자원학과 Dept. of Forest Resources, College of Agriculture and Life Science, Seoul National Univ., Suwon 441-744, Korea.

* 본 연구는 산림청에서 지원한 "환경친화적 조림기술과 지속가능한 산림관리 기술 개발 연구(I)"에 의하여 수행된 결과의 일부임.

* 연락처자 E-mail : yong@kmu.kookmin.ac.kr

status by site types.

It is confirmed that the range from 700m to 1,000m in elevation was the most suitable for stand growth. Species diversity and richness index also tended to be increased as elevation decreased. The ridge was the best in terms of stand growth by topography and followed by slope and valley in order. In addition, as expected, species with high importance value showed relatively low evenness index.

The distance-independent competition index was selected as the best competition index model in seven site types of natural deciduous forest. On the other hand, the distance-dependent competition index was highly correlated with periodic annual increment of diameter in both ridge at higher than 1,000m and valley of 700m to 1,000m in elevation. It is proved, as a result, that the best competition index model is somewhat different by site types.

From the analysis growth characteristics and competition status by site types, it is identified that the species with high importance value performed well in both growth and competition. The growth of *Q. mongolica* was excellent in the areas of higher elevation than 700m. Although *K. pitus* had relatively low importance value in higher elevation than 1,000m and ridge of 700m to 1,000m, the species had stronger competition status rather than other species. Also, *U. davidiana* and *M. amurensis* were good in competition status at lower elevation than 1,000m. It is necessary, therefore, that appropriate tending practice should be adopted based on the growth pattern and competition status of each species distributed by site types.

Key words : stand structure, site types, competition index, natural deciduous forest

서 론

우리나라는 과거 황폐한 산림을 짧은 기간 동안에 복구하는 과정에서 산림의 생태적 안정성보다는 목재생산이라는 경제적 기능을 우선적으로 고려한 산림정책으로 인하여 침엽수 위주의 단순 동령림을 대면적에 조성하고 육성하여 왔다. 이러한 사실은 단순 동령림이 갖는 빈번한 병해충의 발생과 생태적 불안정이라는 문제점이 야기되면서 천연 활엽수림에 대한 관심이 높아졌을 뿐만 아니라, 인구 증가와 산업 발달로 인하여 산림이 갖는 공익적 기능에 대한 관심이 높아지면서 산림의 경제적 기능과 환경·생태적 안정을 동시에 만족시킬 수 있는 친환경적 산림경영에 대한 필요성을 인식하는 계기가 되었다.

산림이 갖는 다양한 기능을 발휘하고 생태적 안정성을 지속적으로 유지하기 위해서는 생태적으로 불안정한 임분구조를 지양하기 위해 천연갱신을 유도하거나 혼효림의 조성, 그리고 입지에 잘 적응된 수종 육성 등 이른바 친환경적인 산림관리를 전제조건으로 하여야 한다(Rief, 1993). 특히 우리나라는 산림 지형이 복잡하고 상대적으로 수종이 다양하여 수고나 직경분포와 같은 임분구조는 다른 나라와 비슷하더라도 수종구성의 측면에서는 매우 다양한 구조를 가지고 있으며, 이러한

임분을 합리적으로 경영하기 위해서는 임분의 구조를 이해하고 그에 따른 관리대책을 수립하는 것이 필요하다. 한편, 산림이 갖는 환경재로서의 기능에 대한 수요가 증대됨에 따라 침엽수 위주의 동령·단순림보다는 이령·혼효림인 천연 활엽수림의 중요성이 증대되고 있다. 따라서 천연 활엽수림의 산림경영 방법에서는 동령·단순림의 경영에 필요한 정보 외에 임분구조, 종 다양성 및 혼효율, 개체목간의 경쟁, 임분 밀도 등 친환경적 산림경영을 위한 정보가 부가적으로 필요한 실정이다(이우균, 1999).

임분 내의 개체목들은 바람, 폭풍 등으로부터는 서로를 보호하는 반면 광선, 수분, 양분 및 생육공간 등에 대해 상호 경쟁관계에 있으며, 이러한 경쟁은 제한된 자원을 차지하기 위한 각 개체목간의 상호작용으로 표현된다(Begon, 1991). 결과적으로 임목의 경쟁력은 각각의 개체목들이 가지는 상대적 크기와 생육공간의 크기를 서로 비교함으로써 결정되어지며, 이러한 임목 상호간의 관계는 경쟁지수를 추정함으로써 앞으로 각 개체목의 성장과 임분구조의 변화를 예측할 수 있는 정보로 활용될 수 있다. 또한 경쟁의 결과는 개체목의 생육본수뿐만 아니라 차세대 임목의 질에도 많은 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Wissel, 1989). 특히 천연림의 경우 인공림에 비하여 다양한 크기

의 개체목으로 구성된 임분 구조를 가지고 있어 개체목간의 경쟁관계가 분명한데(Keister, 1971), 이러한 경쟁관계를 임지유형별로 구명하는 것은 천연 활엽수림에 대한 합리적인 경영방안의 수립에 필요한 정보로 활용될 수 있을 것이다.

본 연구는 우리나라 온대 중·북부지방을 대표하는 강원도 평창 지역에 분포하는 천연 활엽수림을 대상으로 임지유형을 해발고도(1,000m 이상, 700~1,000m, 700m 미만) 및 지형(능선, 사면, 계곡)에 따라 9가지로 구분하여 정밀 임분조사를 실시하고, 각 임지유형별 임분구조의 파악과 경쟁관계를 구명함으로써, 천연 활엽수림의 친환경적 경영방안에 필요한 기초 자료를 제공하기 위하여 수행하였다.

재료 및 방법

1. 연구 대상지

본 연구는 강원도 평창군 진부면과 대화면에 속하는 동부지방 산림관리청 평창관리소 관내의 약 2,400ha의 국유림 경영단지 중에서 70%를 차지하는 천연 활엽수림을 대상으로 하였다. 연구지의 해발고도는 약 600~1,500m의 범위에 있으며, 평균해발고도는 1,000m로 비교적 험준한 산악지로 구성되어 있다.

연구 대상지의 기후대는 온대 중부 및 북부에 속하며(Yim, 1977), 연평균 최고, 최저 기온이 각각 11.1℃와 1.7℃이고, 연평균 상대습도는 74%이다. 특히 4~5월의 상대습도가 최저 30~40% 정도 밖에 되지 않아 수분 결핍에 의한 치수의 고사율이 매우 높다(산림청, 1992). 또한, 해발고도 1,000m 이상의 일부 지역에서는 한대림에 속하는 수종도 분포하고 있으며, 모암은 편마암 또는 석회암으로 되어 있고, 산림 토양은 비옥한 갈색토이다(산림청, 1990).

2. 연구방법

1) 임지유형별 정밀 임분조사 및 성장 조사

임지유형별 임분조사는 연구 대상지의 26%를 차지하는 동쪽사면 임분을 대상으로 해발고도를 1,000m 이상, 700~1,000m, 그리고 700m 미만의 3지역으로 구분한 후(산림청, 1999), 각 해발고도별로 능선, 사면, 계곡의 3가지 입지조건으로 나누어 전체적으로는 총 9개의 임지유형으로 분류

하였다. 이와 같이 분류된 각 임지유형별로 30 × 30m(0.09ha)의 표본점을 3개씩 설치하여 총 27개의 표본점에 대한 정밀 임분조사를 실시하였다. 정밀 임분조사의 항목은 각 표본점 내에 생육하고 있는 흉고직경 6cm 이상의 임목을 대상으로 수종, 흉고직경, 수고, 지하고, 임목의 위치, 그리고 8방위 수관폭을 측정하였다.

또한, 성장조사는 각 표본점의 외곽 5m씩을 완충지역으로 설정하여 내부의 20m × 20m에 포함된 흉고직경 6cm 이상의 모든 임목을 대상으로 실시하였다. 이는 거리중속경쟁지수를 추정하기 위해서는 경쟁목의 위치를 파악하여야 하는데, 표본점 내의 모든 임목에 대한 경쟁지수를 추정하기 위해서는 표본점의 범위를 벗어나는 임목들이 경쟁목에 포함되기 때문에 중심목의 범위를 Pukkala와 Kolström(1987)이 사용한 방법과 같이 표본점 내부의 일정한 범위로 제한한 것이다. 결과적으로 성장량은 표본점 내부의 20m × 20m에 포함된 임목들 중에서 흉고직경 6cm 이상의 모든 임목에 대하여 성장추를 이용하여 목편을 채취하고, 실내에서 연륜측정기를 사용하여 최근 5년간의 흉고직경 성장량을 측정하였다. 또한, 재적은 조사대상지가 천연 활엽수림인 것을 고려하여 임분형수를 0.4로 적용한 형수법에 의하여 추정하였다(산림청, 1993).

2) 임분구조의 분석

임분구조의 분석은 측정된 임분조사 자료에 근거하여 각 임지유형에 따른 임분통계량과 상대밀도, 상대빈도, 상대피도를 이용하여 총합적인 우점도의 하나로써 종간의 상대적인 양적 관계를 나타내는 상대우점도(RIV)와 한 조사구 내의 종 구성 상태를 나타내는 Shannon의 종 다양도(Diversity : H'), 상대적 종 다양도를 의미하는 균재도(Evenness : J'), 그리고 종이 얼마나 풍부하게 나타나는가를 나타내는 풍부도(Richness : R)를 추정하였다(Table 1).

3) 경쟁지수의 추정

본 연구에서는 임지유형별 경쟁관계의 합리적인 구명을 위해 거리중속경쟁지수 모형과 거리독립경쟁지수 모형 1개씩을 선정하여 사용하였다. 먼저 거리중속경쟁지수 모형은 임목 상호간의 상대적인 크기와 거리를 이용하여 경쟁지수를 계산하는 Hegyi(1974)의 모형을 사용하였다. 한편 거리독립경쟁지수 모형은 임분 내에서의 중심목의 상대적인 흉고단면적 크기와 상대공간지수(relative spacing

Table 1. Formula of diversity, evenness, richness index, and importance value.

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)	$R = S$
Importance value(I.V.) Curtis-Mcintosh (1951)	$RD_s = \left(\frac{n_s}{n} \right) 100$ $RF_s = \left(\frac{F_s}{\sum_{i=1}^s F_i} \right), F_s = \left(\frac{np_s}{np} \right) 100$ $RC_s = \left(\frac{C_s}{C} \right) 100$ $IV_s = \frac{RD_s + RF_s + RC_s}{3}$

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,
 n_s = number of species S ,
 np_s = number of plot, in which species S appears,
 np = total number of plot,
 C_s = coverage area of species S , and
 C = total coverage.
 RD_s = relative density of S species
 RF_s = relative frequency of S species
 RC_s = relative coverage of S species

Table 2. Competition index models used in this study.

Model Name	Model Abbreviation	Equation
Hegyi (1974)	H	$\sum_{j=1}^s \left \frac{d_i}{Dist_{ij}} \right $
Schröder and Gadow (1999)	S-G	$\frac{(1-p_i)}{RS}$

d_i = DBH of subject tree i ,
 d_j = DBH of competitor trees j ($j \neq i$),
 $Dist_{ij}$ = distance of subject tree i to competitor j ,
 p_i = basal area percentile (rank of a BA size class within sample stand), and
 $RS = \sqrt{\frac{10000/N}{H}}$, ($N = n/ha$, H = height of dominant tree in stand)

index)의 비에 의하여 임목의 경쟁관계를 구명하는 방법(Schröder and Gadow, 1999)을 이용하였다(Table 2).

거리중속경쟁지수의 경우에 경쟁지수를 계산하는 과정에서 가장 중요한 것은 주변의 임목들 중에서 어느 범위까지를 경쟁목에 포함시키느냐 하는 점이다. 보통 경쟁목은 중심목에서 일정거리에 있는 나무를 경쟁목으로 선택하거나, 각산정측정법의 흉고단면적정수 개념으로 만들어지는 가상적표준지(imaginary zone)의 범위 내에 포함된 임목들을 경쟁목으로 선정하는 방법(Spurr, 1962; Daniels, 1976; Michael and David, 1991), 그리고 경쟁목의 수고와 중심목으로부터의 거리에 의하여 만들어지는 각도를 고려하는 방법(Biging and Dobbertin, 1992; Pukkala and Kolström, 1987) 등 다양한 방법이 이용되어 왔다. 따라서 본 연구에서는 경쟁목 선정방법 6가지(Table 3)를 사용하여 결과적으로 6가지의 거리중속경쟁지수와 1가지의 거리독립경쟁지수를 임지유형별 경쟁지수의 추정에 이용하였다.

경쟁목 선정방법 중에서 D1~D4의 4가지는 단순히 중심목의 흉고직경 또는 중심목과 인접목의 흉고직경의 크기와 두 나무 사이의 거리를 비교하여 경쟁목에 포함시킬 것인가를 결정하는 방법이다. 이 방법들은 이론적으로 흉고단면적 정수를 2m²에서 9.2m²까지의 4단계로 변화시킬 때, 흉고 직경과 거리와의 관계인 $R_i = cD_i$ 에 의하여 계산된 식이다(Daniels et al., 1986). 여기서 R_i 와 D_i 는 각각 선택된 각 임목이 갖는 가상적 표준지의 반경과 중심목의 흉고직경이다. 또한 c 는 상수로 선택한 흉고단면적정수(basal area factor; BAF)에 의하여 달라지는데, 이론적으로

$$c = 0.5 \sqrt{\frac{1}{BAF}}$$

에 의하여 계산된다.

그 동안의 연구에 의하면 경쟁목 선정방법으로 흉고단면적정수를 이용하여 계산된 경쟁지수가 생장량과 높은 상관을 보이고 있어(Daniels, 1976; Daniel et al., 1986), 이 방법이 수종구성과 크기가 다양한 이령림의 경쟁지수를 추정하기 위해 주로 사용되어 왔다. 한편 H1과 H2는 다른 형태의 경쟁목 선정방법으로, 중심목에서 수직적으로 만든 가상의 각도 내에 포함되는 인접목을 경쟁목으로 선정하는 것이다. 따라서 인접목이 경쟁목에 포함되느냐는 흉고직경 대신 수고의 크기를 고려한다는 점이 앞의 방법과 다르며, 또한 어느 부위

Table 3. Competition index search radii investigated.

Variable name	A tree is included as a competitor if :	Explanation
D1	$Dist_{ij} < \frac{D_i + D_j}{8}$	9.2m ² /ha angle gauge (DBH in m times 100)
D2	$Dist_{ij} < 0.3536 \times D_i$	2m ² /ha angle gauge (DBH in m times 100)
D3	$Dist_{ij} < 0.25 \times D_i$	4m ² /ha angle gauge (DBH in m times 100)
D4	$Dist_{ij} < \frac{D_i + D_j}{6}$	5.7m ² /ha angle gauge (DBH in m times 100)
H1	$Dist_{ij} < \frac{HT_j}{1.19}$	50° height angle to the horizontal, starting from the foot of the subject tree.
H2	$Dist_{ij} < \frac{HT_j - HCB_i}{1.19}$	50° height angle to the horizontal, starting from the crown base of the subject tree.

D_i = DBH of subject tree i ,
 D_j = DBH of competitor trees j ($j \neq i$),
 HT_j = height of competitor trees j ($j \neq i$),
 HCB_i = height to the base of the live crown of subject tree i , and
 $Dist_{ij}$ = distance between subject tree i and competitor trees j

에서의 투사한 각도를 기준으로 하느냐에 따라 여러 가지 방법이 고안되었다. H1은 중심목의 지표부위에서 50°로 시준하였을 경우 인접목의 수고감이 각도에 의하여 시준된 지점보다 크면 경쟁목에 포함시키는 방법이다. 반면에 H2는 중심목의 수관 하단부에서 50°로 시준된 각도를 고려하여 경쟁목을 선택하는 방법으로 중심목의 지하고와 밀접한 관련이 있다(Biging and Dobbertin, 1992).

결과 및 고찰

1. 입분구조의 분석

1) 입지유형별 입분통계량

Table 4는 9개 입지유형별로 분석된 입분 현황에 대한 요약이다. 해발고도에 따라 입분통계량은 차이를 보이고 있는데 전체적으로 해발고도 700m 이상의 입지조건에서 상대적으로 양호한 입상을 유지하고 있는 것으로 파악되었다.

입분밀도를 나타내는 ha당 본수의 경우 입지유형별로 어떤 일정하지는 않으나, 해발고도에서는 700~1,000m에서 가장 입분밀도가 높게 나타났으며 지형별로는 큰 차이가 나타나지 않았다. 또한 해발고도 1,000m 이상에서는 능선, 사면, 계곡에

관계없이 759~821본으로 비교적 고르게 분포되어 있고, 700~1,000m에서는 계곡, 사면, 능선의 순서로 본수가 많은 것으로 분석되었다. 하지만 700m 미만에서는 능선에서 본수가 가장 많았고 계곡과 사면에서는 거의 차이가 없는 것으로 나타났다.

천연림의 경우 같은 공간에 수령이 다른 다양한 크기의 임목이 존재하기 때문에 입분밀도 추정은 ha당 본수보다는 ha당 흉고단면적이 더욱 합리적이라 할 수 있다. 따라서 입지유형별 흉고단면적은 본수와는 다소 다른 경향을 보이고 있다. 흉고단면적은 해발고도가 높아질수록 크게 나타나고 있으며, 지형별로는 능선, 사면, 계곡의 순서로 크게 나타나고 있다. 해발고도 700~1,000m의 경우 능선에서 본수는 다른 지역보다 적었지만 흉고단면적은 높게 추정되었는데 이는 평균 흉고직경이 상대적으로 큰 결과로 해석된다.

입지유형별 평균 흉고직경은 해발고도가 증가할수록 크지만 평균수고는 700~1,000m, 700m 미만, 1,000m 이상의 순서로 높게 나타났는데, 해발고도 1,000m 이상의 고지대에서는 입지조건에 관계없이 평균수고가 10.1~10.8m로 기후조건 때문에 수고생장이 저조한 것으로 판단된다.

입지유형별 ha당 재적을 보면 700~1,000m에서

Table 4. Summary of stand statistics by site types.

Site Types		Variable	N/ha	BA/ha(m ²)	V/ha(m ³)	\overline{DBH} (cm)	\overline{HT} (m)
		Elevation					
Higher than 1,000m	Ridge		821	24.5	116.4	17.4	10.8
	Slope		792	20.9	106.2	16.3	10.7
	Valley		759	16.0	75.7	14.8	10.1
700~1,000m	Ridge		740	20.3	137.2	17.3	15.0
	Slope		999	16.4	99.2	13.0	12.7
	Valley		1014	14.5	95.5	12.4	13.7
Lower than 700m	Ridge		1018	12.5	67.2	11.4	11.5
	Slope		761	10.0	56.3	12.0	11.5
	Valley		762	11.7	75.1	12.6	13.3

N/ha = number of trees per hectare, BA/ha = basal area per hectare, and V/ha = volume per hectare

가장 양호한 분포를 나타내고 있으며, 1,000m 이상에서도 능선과 사면은 100m² 이상의 양호한 축적을 보유하고 있으나 계곡지역은 상대적으로 낮은 축적을 가지는 것으로 나타났다. 그러나 700m 미만의 지역은 전반적으로 낮은 축적을 유지하고 있었다.

전체적으로 보면 해발고도 700m 이상의 입지조건에서 가장 양호한 임상을 나타내고 있는데 이는 다른 지역에 비하여 직경 및 수고생장이 우수한 결과이다. 이를 지형별로 보면 능선, 사면, 계곡의 순서로 좋은 임상을 유지하고 있다. 하지만

700m 미만의 지역에서는 지형조건이 계곡, 능선, 사면의 순서로 양호하여 다른 지역과는 다른 경향을 보이고 있다. 결과적으로 해발고도 700~1,000m 지역의 능선에서 수고 및 직경생장이 가장 양호한 것으로 파악되었다.

2) 입지유형별 임분의 상대우점도 분석

입지유형별로 분포되어 있는 수종의 분포양상을 보다 합리적으로 파악하기 위하여 9개 입지유형별로 출현하는 각 수종에 대해 상대밀도, 상대피도, 상대빈도를 계산하여 입지유형별로 분포하

Table 5. Analysis of relative importance value by site types.

Elevation	Topography	Relative Importance Values by Species
Higher than 1,000m	Ridge	<i>Q. mongolica</i> (57.8), <i>A. mono</i> (9.3), <i>T. amurensis</i> (8.9), <i>A. pseudo-sieboldianum</i> (6.2), <i>K. piotus</i> (4.6)
	Slope	<i>F. rhynchophylla</i> (25.5), <i>A. mono</i> (18.6), <i>Q. mongolica</i> (17.1), <i>T. amurensis</i> (5.4), <i>K. piotus</i> (5.2)
	Valley	<i>A. mono</i> (22.1), <i>F. rhynchophylla</i> (17.2), <i>A. mandshuricum</i> (10.2), <i>C. controversa</i> (8.6), <i>B. costata</i> (8.5)
700~1,000m	Ridge	<i>Q. mongolica</i> (53.2), <i>A. mono</i> (10.8), <i>F. rhynchophylla</i> (17.2), <i>M. amurensis</i> (8.3), <i>U. davidiana</i> (6.3)
	Slope	<i>F. rhynchophylla</i> (21.1), <i>Q. mongolica</i> (22), <i>A. mono</i> (11.4), <i>M. amurensis</i> (13.9), <i>T. amurensis</i> (11.9)
	Valley	<i>F. rhynchophylla</i> (38.8), <i>A. mono</i> (10.5), <i>Q. mongolica</i> (10.8), <i>M. amurensis</i> (9.8), <i>U. davidiana</i> (5.3)
Lower than 700m	Ridge	<i>Q. mongolica</i> (25.1), <i>F. rhynchophylla</i> (17.7), <i>U. davidiana</i> (13.9), <i>J. mandshurica</i> (12.7), <i>A. mono</i> (5)
	Slope	<i>F. rhynchophylla</i> (20.5), <i>U. davidiana</i> (15.3), <i>M. amurensis</i> (15.2), <i>A. mono</i> (9), <i>T. amurensis</i> (8.8)
	Valley	<i>Q. mongolica</i> (29.3), <i>U. davidiana</i> (13.6), <i>F. rhynchophylla</i> (10.2), <i>J. mandshurica</i> (8.4), <i>M. amurensis</i> (4.6)

는 수종의 종합적 중요성을 나타내는 값인 상대우점도를 산출하였다(Table 5).

해발고도 1,000m 이상의 지역에서의 수종별 상대우점도는 지형조건에 따라 다른 경향을 보이고 있는데, 능선에서는 신갈나무의 상대우점도가 57.8%로 다른 수종에 비하여 월등히 높은 값을 보이고 있다. 특히 상대밀도, 상대빈도, 상대피도 모두에서 가장 높은 값을 보여 1,000m 이상의 능선에서 우점하는 수종임을 알 수 있다. 사면의 경우에는 물푸레나무, 고로쇠나무, 신갈나무가 유사하게 분포하고 있는데, 물푸레나무는 상대밀도, 상대빈도, 상대피도에서 높은값을 나타내어 중요 수종임을 알 수 있었으며, 신갈나무는 상대적으로 상대피도가 높게 나타났는데 이것은 다른 수종과 비교하여 수관의 상층을 차지하는 임목이 많은 결과임을 알 수 있다. 계곡에서는 고로쇠나무, 물푸레나무, 복장나무, 층층나무 등의 순서로 상대우점도가 높아 다른 지형과는 차이가 있었으며 상대적으로 다양한 수종이 고르게 분포하고 있음을 보여주고 있다.

해발고도 700~1,000m에서의 지형별 상대우점도를 살펴보면 능선의 경우 1,000m 이상과 유사한 분포를 나타내고 있었는데 신갈나무가 53.2%로 우점하고 있어 700m 이상의 능선지역에서는 신갈나무가 가장 많이 분포하는 중요 수종임을 알 수 있다. 사면에서는 신갈나무와 물푸레나무가 중요한 수종으로 나타났으며, 이외에도 다릅나무, 고로쇠나무, 피나무 등이 중요한 수종으로 출현하였다. 또한 계곡에서는 물푸레나무의 상대우점도가 38.8%로 높아지고 신갈나무는 상대적으로 10.8%로 낮아졌다. 결과적으로 물푸레나무는 계곡, 사면, 능선 순서로 상대우점도가 큰 반면 신갈나무는 반대의 결과를 보여주고 있다.

한편, 해발고도 700m 미만의 지형에서도 몇 가지 특징적인 수종분포를 제외하고는 다른 지역과 비슷한 경향을 보이고 있다. 능선에서는 다른 지역과 같이 신갈나무의 상대우점도가 가장 높았지만 상대적으로 낮은 값을 보이고 있으며, 특이하게 다른 해발고도에서는 출현하지 않은 가래나무가 12.7%를 나타냈는데 이것은 산촌 민가와 인접하고 있어 인공적으로 식재된 수종으로 추측된다. 반면 사면에서는 다른 지역과는 달리 신갈나무의 상대우점도가 상당히 낮게 나타났지만 계곡에서 다시 신갈나무가 가장 상대우점도가 높은 수종으로 출현하는 것으로 볼 때 표본지 선정에 따

른 문제점으로 판단된다. 계곡의 경우에는 신갈나무가 29.3%로 가장 높았으며, 느릅나무, 물푸레나무, 가래나무 등이 분포하고 있으며 가래나무가 입지조건에 관계없이 해발고도 700m 미만의 지역에서는 고르게 분포되어 있음을 알 수 있다.

3) 입지유형별 임분의 다양성지수

천연 활엽수림은 임분의 구조가 매우 다양하고 복잡하기 때문에 친환경적 산림경영을 위해서는 재적추정에 필요한 정보뿐만 아니라 종 다양성 및 혼효율의 정보 등이 요구된다.

Table 6은 본 연구 대상지의 입지유형별 종 다양성과 균재도, 풍부도를 분석한 결과로 종 다양성도와 종 풍부도는 해발고도가 낮아질수록 증가하는 경향을 보였으며, 이러한 결과는 다른 지역에서의 연구와 유사한 결과이다(신수철 등, 1993). 이를 지형별로 살펴보면 대체로 계곡, 사면, 능선의 순서로 종 다양성도와 종 풍부도가 크게 나타나고 있는데, 이는 습도와 종 출현 수의 관계에 영향을 받은 것으로 보인다. 일반적으로 종 다양성은 과습이나 건조한 지역보다는 습도가 적당한 지역에서 높다는 것으로 알려져 있는데(Dale, 1998), 본 연구 대상지의 계곡은 적당한 습도를 유지하여 다른 지형보다는 상대적으로 다양한 종이 출현하는 것으로 해석된다. 하지만 해발고도 700~1,000m에서는 사면지역의 종 다양성도는 계곡보다 높게 나타나 다른 경향을 보이고 있어 사면 지역이 종 출현에 적당한 습도 조건을 유지하는 것으로 유추할 수 있다.

Table 6. Analysis of species diversity, richness, and evenness by site types.

Site Types		Index		
		H'	J'	R
Elevation	Topography			
Higher than 1,000m	Ridge	1.495	0.583	13
	Slope	2.119	0.764	16
	Valley	2.336	0.767	21
700~1,000m	Ridge	1.547	0.623	12
	Slope	2.162	0.780	16
	Valley	2.021	0.675	20
Lower than 700m	Ridge	2.217	0.740	20
	Slope	2.038	0.770	20
	Valley	2.474	0.800	22

H' = diversity index, J' = evenness index, and R = richness index

한 임분내에서 출현 종이 어느 정도 유사하게 분포되어 있는가를 의미하는 군재도는 모든 종이 동일한 빈도로 출현할 때 최대치 1을 나타낸다. 즉 군재도가 클수록 다양한 수종이 출현하는 것을 의미하며 낮을수록 특정 수종이 우점하는 것을 의미한다. Dale(1998)은 고도가 높아질수록 군재도가 낮아지며, 이것은 극한 기후 조건에 적응하는 단일목 또는 우점 수종의 출현하게 된 결과라고 보고하였다. 본 연구에서의 입지유형별 결과를 살펴보면 해발고도 1,000m 이상에서는 계곡, 사면, 능선의 순서로 높은 값을 나타내고 있는데, 특히 능선에서는 0.583이라는 낮은 값을 보였는데 이러한 결과는 상대우점도 분석에서 언급하였듯이 신갈나무의 상대우점도가 매우 높아 이 지역에서는 신갈나무 하나의 수종이 우점한 결과로 해석된다.

또한 700~1,000m에서는 사면, 계곡, 능선의 순서로 군재도가 높게 나타났는데, 계곡에서는 물푸레나무의 상대우점도가 38.8%이고 능선에서는 신갈나무의 상대우점도가 53.2%로 우점한 결과이다. 700m 미만의 경우에는 지형별로 모두 높은 값을 나타냈으며 계곡이 0.8로 다른 지역보다 다양한 수종이 유사하게 출현하고 있음을 보여준다.

2. 입지유형별 경쟁관계 구명

1) 입지유형별 최적 경쟁지수 모형 선정

연구 대상지의 입지유형별 임분에 적합한 경쟁지수 모형을 선별하기 위해 6개 경쟁목 선정방법에 의해 추정된 Hegyi 경쟁지수, 흉고단면적 크

기와 상대적 공간크기의 비에 의해 추정된 S-G 경쟁지수와 지난 5년간의 흉고직경 정기평균성장량(periodic annual increment; PAI)과의 상관관계를 분석하였다(Table 7).

주변 임목들과의 경쟁에서 우위를 차지하는 경우에는 경쟁지수의 값이 0에 가까운 반면 경쟁이 심한 임목들의 경쟁지수는 큰 값을 갖는다. 그러므로 경쟁이 심한 임목은 그 임목이 가지고 있는 성장능력을 충분히 발휘하지 못하고 저조한 성장을 보인다. 따라서 정기평균 성장량과 경쟁지수의 상관계수는 -1에 가까울수록 임분 내의 임목의 경쟁관계를 잘 설명하는 것으로 간주할 수 있다.

Table 7을 보면 본 연구에서 분류한 9개 입지유형 중에서 7개는 임목간의 거리를 고려하지 않고 상대적 공간 크기를 이용한 S-G의 모형이 거리를 고려한 Hegyi의 모형보다 경쟁관계를 더 잘 설명하는 것으로 나타났다. 반면에 해발고도 1,000m 이상에서의 능선과 700~1,000m에서의 계곡에서는 Hegyi의 모형 중에서 수고를 고려하여 경쟁목을 선정하는 H1모형이 흉고직경 성장량과 상관성이 높아 최적 경쟁지수로 선정되었다.

일반적으로 개체목의 경쟁관계는 임목간의 거리를 고려한 거리종속경쟁지수가 거리독립경쟁지수보다 잘 추정되는 것으로 알려져 있는데(Martin and Ek, 1984; Alemdag, 1978), 본 연구의 결과는 다소 다른 경향을 보이고 있다. 또한 우리나라 천연 혼효림을 대상으로 한 이전의 연구(신만용, 1999)에서는 거리독립경쟁지수와 거리종속경쟁지수가 임목 간의 경쟁력을 추정하는 능력에서 큰

Table 7. Correlation coefficients between periodic annual increments and competition indices by site types.

Elevation	Topography	Competition Indices						
		H-D1	H-D2	H-D3	H-D4	H-H1	H-H2	S-G
Higher than 1,000m	ridge	-0.18999 ^{NS}	-0.18137 ^{NS}	-0.16303 ^{NS}	-0.19718 ^{NS}	-0.21193*	-0.20772*	-0.11048 ^{NS}
	slope	-0.25440*	-0.20216 ^{NS}	-0.21302*	-0.26419*	-0.31684**	-0.32138**	-0.38871**
	valley	-0.24979*	-0.20208 ^{NS}	-0.19920 ^{NS}	-0.25758*	-0.37433**	-0.36014**	-0.43855**
700~1,000m	ridge	-0.04192 ^{NS}	0.00783 ^{NS}	0.00397 ^{NS}	-0.05347 ^{NS}	-0.20700*	-0.21062*	-0.21832*
	slope	-0.00891 ^{NS}	0.02738 ^{NS}	0.04295 ^{NS}	-0.02307 ^{NS}	-0.15392 ^{NS}	-0.15076 ^{NS}	-0.37035**
	valley	-0.19637*	-0.17989 ^{NS}	-0.12395 ^{NS}	-0.24609**	-0.41574**	-0.37577**	-0.40382**
Lower than 700m	ridge	0.03541 ^{NS}	0.06962 ^{NS}	0.09335 ^{NS}	0.06341 ^{NS}	-0.13944 ^{NS}	-0.12581 ^{NS}	-0.14764^{NS}
	slope	0.01184 ^{NS}	0.03196 ^{NS}	0.08062 ^{NS}	-0.05018 ^{NS}	-0.20736 ^{NS}	-0.17766 ^{NS}	-0.39462**
	valley	-0.26733*	-0.24904*	-0.21475*	-0.32365**	-0.48175**	-0.44097**	-0.56545**

NS = non significant, * = significant at 5% level, and ** = significant at 1% level

차이를 보이지 않은 것으로 보고되어 입지유형별 임분구조에 따라 다른 경향을 보이는 것으로 판단할 수 있다.

또한 Hegyi의 모형 중에서 흉고단면적 정수를 이용하여 경쟁목을 선정하는 경쟁지수 모형이 성장량과 높은 상관관을 보인다고 하였지만(Daniels, 1976; Daniel et al., 1986), 본 연구에서 나타난 결과(Table 7)는 수고와 지하고를 고려하여 경쟁목을 선정하는 H1과 H2 모형이 흉고직경 성장량과 높은 상관관을 나타내고 있어 잣나무 유형임분의 경쟁관계를 구명한 연구결과와 일치하고 있다(이태희, 1999).

2) 입지유형에 따른 수종별 경쟁상태

각 입지유형별로 선정된 최적 경쟁지수 모형을 이용하여 입지유형에 따른 수종별 경쟁지수를 분석하여 경쟁상태가 양호한 상위 5개 수종을 요약한 결과는 Table 8과 같다.

해발고도 1,000m 이상의 경우에는 지형에 따라 다소 차이가 있지만 상대우점도가 높았던 수종들이 경쟁상태가 우수하여 생장이 좋은 것으로 나타났다. 하지만 능선에서는 상대우점도가 낮았던 거제수와 음나무의 경쟁상태가 우수한 것으로 판명되었다.

또한, 700~1,000m 지역에서도 상대우점도가 높았던 5개 수종이 경쟁상태가 양호하였으며, 1,000m 이상에서는 볼 수 없었던 느릅나무, 다릅나무 등의 다양한 수종들이 지형별로 양호한 경쟁상태를 보였다. 결과적으로 700m 이상에서 신갈나무, 물푸레나무, 고로쇠나무는 입지유형에 관계없이 상대우점도와 함께 경쟁상태도 양호하여

중요한 수종임을 알 수 있다.

700m 미만에서는 신갈나무의 상대우점도는 능선과 계곡에서 가장 높았지만 경쟁지수는 각각 5위와 5위 내에 포함되지 않았으며, 느릅나무와 피나무의 경쟁상태가 가장 양호한 것으로 나타났다. 따라서, 이 지역에서는 현재 상대우점도가 높은 신갈나무는 특별한 무육조치가 없는 한 시간이 경과하면서 점차 쇠퇴하게 되고 느릅나무, 피나무, 고로쇠나무와 물푸레나무가 중요한 수종으로 유지될 것으로 보인다.

이상과 같은 입지유형별 분석결과를 수종별로 살펴보면 신갈나무는 700m 이상에서 입지유형에 관계없이 상대우점도가 압도적으로 높고 경쟁상태에서도 가장 양호한 상태를 유지하고 있으나, 700m 미만에서는 현재 상대우점도는 높지만 경쟁상태에서는 다른 수종에 밀려 쇠퇴할 것으로 보인다. 음나무의 경우에는 해발고도 1,000m 이상의 모든 지형조건과 700~1,000m에서의 능선에서 상대우점도는 상대적으로 낮았지만 경쟁상태는 우수하여 해발고도가 높은 고지대가 음나무의 생육조건에 적합한 것으로 판단할 수 있으며, 이러한 특성은 음나무에 관한 다른 연구에서도 유사한 결과를 나타내었다(강호상, 이돈구, 1998). 느릅나무는 해발고도 1,000m 이상에서는 상대우점도도 낮고 경쟁상태도 불량하였으나 1,000m 미만에서는 해발고도가 낮아질수록 상대우점도는 증가하고 경쟁상태도 우수하였다. 또한 다릅나무도 느릅나무와 같이 1,000m 이상의 지형에서는 경쟁상태의 상위수종에 나타나지 않았으나, 700~1,000m에서는 상대우점도와 경쟁력이 높아 앞으로 수종분포에서 중요한 위치를 차지할 것으로 유추된다.

Table 8. Competition status of species by site types.

Elevation	Topography	Rankings of competition status				
		1	2	3	4	5
Higher than 1,000m	ridge	<i>Q. mongolica</i>	<i>B. costata</i>	<i>K. piotus</i>	<i>A. mono</i>	<i>T. amurensis</i>
	slope	<i>K. piotus</i>	<i>Q. mongolica</i>	<i>F. rhynchophylla</i>	<i>T. amurensis</i>	<i>A. mono</i>
	valley	<i>Q. mongolica</i>	<i>K. piotus</i>	<i>F. rhynchophylla</i>	<i>A. mono</i>	<i>T. amurensis</i>
700~1,000m	ridge	<i>Q. mongolica</i>	<i>K. piotus</i>	<i>T. amurensis</i>	<i>A. mono</i>	<i>F. rhynchophylla</i>
	slope	<i>U. davidiana</i>	<i>B. costata</i>	<i>Q. mongolica</i>	<i>M. amurensis</i>	<i>F. rhynchophylla</i>
	valley	<i>Q. mongolica</i>	<i>M. amurensis</i>	<i>B. costata</i>	<i>T. amurensis</i>	<i>U. davidiana</i>
Lower than 700m	ridge	<i>U. davidiana</i>	<i>T. amurensis</i>	<i>A. mono</i>	<i>F. rhynchophylla</i>	<i>Q. mongolica</i>
	slope	<i>T. amurensis</i>	<i>U. davidiana</i>	<i>M. amurensis</i>	<i>F. rhynchophylla</i>	<i>A. mono</i>
	valley	<i>A. mono</i>	<i>U. davidiana</i>	<i>F. rhynchophylla</i>	<i>T. amurensis</i>	<i>M. amurensis</i>

물푸레나무와 고로쇠나무는 해발고도와 지형조건에 관계없이 상대우점도와 경쟁상태가 양호하여 동사면의 어떤 입지유형에서도 잘 생육하는 것으로 판단된다.

결론

부가가치가 높은 목재생산뿐만 아니라 생태적 건전성을 유지할 수 있는 친환경적 산림경영을 위해서는 천연 활엽수림에 대한 합리적인 경영방안의 수립이 필요하다. 하지만 천연 활엽수림은 입지유형에 따라 입분구조가 복잡하고 다양하기 때문에 동령·단순림과는 달리 재적 추정에 필요한 입분통계량의 정보뿐만 아니라 입지유형에 따른 입분구조의 특성을 파악하고, 각 입지유형에 잘 적응하는 경쟁력 높은 수종의 선정이 요구된다.

본 연구는 우리나라 온대 중·북부지방에 분포하는 천연 활엽수림 중에서 동쪽 사면에 분포하는 임분을 대상으로 해발고도(1,000m 이상, 700~1,000m, 700m 미만) 및 지형(능선, 사면, 계곡)에 따른 입지유형별 입분구조와 수종별 경쟁관계를 구명하기 위해 수행하였다.

임목의 생장은 700~1,000m에서 가장 양호한 것으로 나타났으며, 임분의 구조는 입지유형에 따라 차이를 보였는데, 종 다양도와 풍부도는 해발고도가 낮아질수록 증가하는 경향을 보였으며, 지형별로는 능선, 사면, 계곡 순으로 증가하였다. 또한 균재도는 한 수종의 상대우점도가 높은 입지유형에서는 낮은 값을 나타내었다.

천연활엽수 임분에서 개체목의 경쟁지수는 1,000m 이상의 능선과 700~1,000m의 계곡을 제외한 입지유형에서 측정이 복잡한 거리종속 경쟁지수보다 측정이 단순한 거리독립 경쟁지수가 정기 평균생장량과 높은 상관성을 보였으며, 입지유형에 따른 수종별 경쟁상태는 입지유형에 따라 다양한 분포를 보이고 있는데, 상대적으로 상대우점도가 높은 수종들이 경쟁력도 우수한 것으로 나타났다.

그러나 임목의 생장은 수종별 경쟁지수뿐만 아니라 입지유형에 따른 기후조건, 토양특성 및 수종별 성장특성 등 많은 요인이 복합적으로 작용한다. 따라서 경쟁지수만으로 입지유형의 주요 수종으로 선정하기에는 한계를 가지고 있다. 앞으로의 연구에서는 입지유형에 따른 기후 조건과 수종별 성장 특성의 관계를 규명하는 것이 필요하며, 특히 천연 활엽수림의 경우 입분구조의 다양

성과 복잡성으로 입분 구조의 파악을 통한 경영방안의 설정과 산림의 관리가 요구된다.

인용문헌

1. 강호상·이돈구. 1998. 강원도 평창군 중왕산 지역 옴나무의 입지환경 및 성장특성. 한국임학회지 87(3) : 483-493.
2. 산림청. 1990. 국유림 경영 현대화 산학 협동실연 연구 보고서(I). p.6-7.
3. 산림청. 1992. 국유림 경영 현대화 산학 협동실연 연구 보고서(III). p.9-13.
4. 산림청. 1993. 국유림 경영 현대화 산학 협동실연 연구 보고서(IV). p.40-44.
5. 산림청. 1999. 국유림 경영 현대화 산학 협동실연 연구 보고서(X). p.144-152.
6. 신만용. 1999. 천연 혼효임분의 경쟁관계 구명 : 거리종속 경쟁지수모델과 거리 독립 경쟁지수모델의 비교. 국민대학교 산림과학연구소 11 : 67-78.
7. 신수철·김창호·박교수. 1993. 소백산 산림구조에 관한 연구. 동국대학교 연습림논문집 3 : 36-52.
8. 이우균. 1999. 다목적 산림자원조사기술. 산림측정학회지 2(2) : 45-56.
9. 이태희. 1999. 잣나무 유령임분의 경쟁관계 구명에 의한 생장예측. 국민대학교대학원 석사학위논문 p.3-12.
10. Alemdag, I. S. 1978. Evaluation of some Competition indexes for the Prediction of diameter increment in planted White spruce. Forest Management Institute Report. FMR-X-108 : 39.
11. Begon, M. 1991. Ökologie, Individuen, Populationen und Lebensgemeinschaften. Birkenhäuser Verlag, Basel.
12. Biging, G. S. and M. Dobbartin. 1992. A comparison of distance-dependent Competition Measures for Height and Basal Area Growth of Individual Conifer Trees. Forest Science 38(3) : 695-720.
13. Curtis, J. T. and McIntosh. 1951. An upland forest continuum in the prairie-forest border region of Wisconsin. Journal of Ecology 32(3) : 476-496.

14. Dale G. B. 1998. Forest plant diversity at local and landscape scale in the Cascade Mountains of southwestern Washington. *Forest Ecology and Management* 109 : 323-341.
15. Daniels, R. F. 1976. Simple competition indices and their correlation with annual Loblolly pine tree growth. *Forest Science* 22 : 454-456.
16. Daniels, R. F. H. E. Burkhart and T. R. Clason. 1986. A comparison competition measure for predicting growth of loblolly pine trees. *Canadian Journal of Forest Research* 16 : 1230-1237.
17. Hegyi, F. 1974. A simulation model for managing jack-pine stands. Royal College of Forest Research Stockholm, Sweden p.74-90.
18. Keister, T. D. 1971. A measure of the intraspecific competition experienced by an individual tree in a planted stand. Louisiana Agriculture Experiment station Bulletin. No. 447.
19. Martin, G. L. and A. R. Ek. 1984. A Comparison of competition measures and growth models for predicting plantation red pine diameter and height growth. *Forest Science* 30 : 731-743.
20. Michael, J. H. and D. R. David. 1991. Competition indices for Mixed Species Northern Hardwoods. *Forest Science* 37(5) : 1338-1349.
21. Rief, A. 한국의 보속적인 산림이용-전제 조건과 전망. 숲과 문화연구회. 1993. 숲과 문화 2(6) : 7-15.
22. Pielou, E. C. 1969. An Introduction to Mathematical Ecology. Wiley-Interscience, New York, 286pp.
23. Pukkala, T. and T. Kolström. 1987. Competition indices and the prediction of radial growth in Scots pine. *Silva Fennica* 21(1) : 55-67.
24. Schröder, J. and K. von Gadow. 1999. Testing a new competition index for Maritime pine in northwestern Spain. *Canadian Journal of Forest Research* 29 : 280-283.
25. Shannon, C. E. and W. Weaver. 1949. The Mathematical Theory of Communication. University of Illinois Press, Urbana.
26. Spurr, S. H. 1962. A measure of point density. *Forest Science* 8 : 85-96.
27. Wissel, C. 1989. Theoretische Ökologie. Eine Einführung. Springer Verlag, Berlin.
28. Yim, Y. J. 1977. Distribution of vegetation and climate in the Korean peninsula. *Japanese Journal of Ecology* 27 : 177-189, 269-278.