

가리왕산 일대 천연 활엽수림의 산림작업별 시업전후의 임분다양성 변화 평가

성주환¹ · 이영근¹ · 박고은¹ · 신만용^{2*}

¹국립산림과학원 산림생태연구과, ²국민대학교 산림환경시스템학과

Assessment of Stand Diversity Change by Different Silvicultural Treatments for Natural Deciduous Forests in Mt. Gariwang

Joo Han Sung¹, Young Geun Lee¹, Ko Eun Park¹ and Man Yong Shin^{2*}

¹Division of Forest Ecology, Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Koera

²Department of Forest, Environment, and System, Kookmin University, Seoul 130-702, Korea

요약: 본 연구는 강원도 평창군 가리왕산 일대의 천연 활엽수림을 대상으로 작업방법별 시업 전과 시업 후의 임분다양성 변화를 평가하여 산림생태계 경영에 필요한 정보를 제공하고자 수행하였다. 이를 위해 각 작업방법별로 30 m × 30 m(0.09 ha) 크기의 고정표본점을 3반복으로 설치하고 시업 전과 시업 후의 정밀 임분조사를 실시하였다. 이 자료에 근거하여 임분다양성 지수인 집락도, 흉고직경 변이 지수, 수고 변이 지수, 그리고 혼효지수와 관련된 2개의 지수, 총 8가지 지수를 추정 한 후, 3가지 작업방법에 대한 시업 전과 시업 후의 임분다양성 변화를 평가하였다. 본 연구에서는 시업 전후의 임분다양성 변화에 대한 통계검정을 위해 Duncan의 다중검정과 t-검정을 실시하였다. 임분다양성 지수를 분석한 결과 작업방법에 관계없이 시업을 통해 임분구조가 개선된 것으로 평가되었다. 또한 시업 전과 시업 후의 임분다양성 지수는 통계적인 차이를 보여 각 작업방법별 임분의 공간 구조는 시업을 통해 개선된 것을 확인할 수 있었다.

Abstract: This study was conducted to estimate the changes of stand diversity before and after applying three different silvicultural treatments such as selection cutting system, two-storied system, and shelterwood system. Data were collected in the natural deciduous forests in Pyungchang of Gangwon Province, Korea. Nine permanent sampling plots of 0.09 ha were established in the forests and the each of silvicultural treatments was applied to three sampling plots, respectively. Some tree variables were measured in each stand before and after the silvicultural treatments were applied. With these data, stand attributes were estimated in each stand before and after the silvicultural treatments. In this study, two different indices related to each of stand diversity indices such as contagion, DBH-difference, height-difference, and mingling were estimated and compared to analyze the differences of stand diversity among the stands before and after silvicultural treatments. As a result, total eight stand diversity indices were used to analyze the differences among structures of stands managed by three different silvicultural treatments. Duncan's multiple range test and t-test were then employed to statistically analyze the difference of stand diversity among the stands. The results revealed that stand structures seem to be improved after applying the silvicultural treatments. There are significant differences in the stand diversity indices between before and after silvicultural treatments for each stand. According to the evaluation of stand diversity indices, it was confirmed that spatial structure of the stands was improved by applying the silvicultural treatments.

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

서 론

최근 산림경영의 패러다임은 목재 생산기능과 함께 산

림이 가지고 있는 공익적인 기능을 동시에 만족시키는 방향으로 전환되어 왔다(Yim, 2001). 산림경영에 대한 시대적 변화는 수종구성이 다양하고 생물다양성 및 유전자원의 보존 측면뿐만 아니라 환경문제에 적극 대응할 수 있는 자원으로서 잠재적 가치가 높은 천연 활엽수림의 체계

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

적인 관리의 중요성을 강조하는 계기를 마련하였다(Korea Forest Research Institute, 1996). 우리나라의 천연 활엽수림은 변화가 심한 지형조건과 다양한 종 구성 등 복잡한 양상을 보이고 있으며(Eastern Regional Office of Korea Forest Service, 2009), 그동안 체계적인 관리가 이루어지지 않아 임분밀도가 높고 생장이 저조하며 수형급도 불량한 상태여서 적절한 관리가 시급한 상태이다(Yim, 2001). 이러한 현실에서 우리나라 산림의 약 26%를 차지하고 있는 천연 활엽수림에 적합한 관리체계의 구축이 필요한 실정이다.

우리나라에서는 지난 20년 동안 강원도 평창군 가리왕산 지역에서 천연 활엽수림의 경영 현대화 및 지속가능한 산림관리 기술 개발 실연 연구가 수행되어 왔다(Korea Forest Service, 1999; Eastern Regional Office of Korea Forest Service, 2009). 이 연구를 통해 천연 활엽수림의 작업방법으로 택벌림화 작업, 이단림화 작업, 그리고 산벌림화 작업의 3가지 작업종을 제시한 바 있다. 이는 각 임분의 구조 및 특성에 적합한 작업방법을 적용하여 천연 활엽수림으로부터 장차 유용한 목재자원의 확보뿐만 아니라 생태적으로도 건전한 숲으로 유도해 나가기 위함이다(Baek, 2005). 이 과정에서 각 산림작업별로 5 ha 규모의 시범지를 조성한 후 산림작업을 실시하고 시업전후의 임분구조를 파악하였으며, 산림작업별 장기 모니터링 조사를 위한 기반을 구축한 바 있다.

천연 활엽수림의 체계적인 관리를 위해서는 산림작업별 작업 전후 및 시간 경과에 따른 임분구조의 변화 양상을 구명하는 연구가 우선되어야 한다. 이를 위해 장기간에 걸쳐 기초 연구와 자료가 누적되어 있는 가리왕산 일대 천연 활엽수림에 대한 산림작업별 장기 모니터링 연구를 기반으로 생태적 산림관리 현장화 및 가이드라인 개발이 필요한 실정이다. 우리나라의 경우 시간 경과에 따른 상층임분 공간구조의 분석을 위한 임분다양성 지수와 관련된 연구가 부족한 것이 현실이며(Kim et al., 2012), 특히 산림생태계경영을 위해서는 천연 활엽수림의 작업방법과 연계된 임분다양성 지수에 대한 연구가 선행되어야 한다.

본 연구는 우리나라 온대북부에 분포하고 있는 천연 활엽수림의 산림 생태계경영을 위한 산림작업별 장기 모니터링 기반 구축을 위해 수행되었다. 이를 위해 가리왕산 일대 천연 활엽수림의 산림작업별 시업 전후의 임분다양성 변화를 평가하여 천연 활엽수림의 생태계경영에 필요한 정보를 제공하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 연구대상지

본 연구의 대상지는 강원도 평창군 진부면과 대화면에

위치한 동부지방 산림관리청 평창관리소 관내 2,396 ha의 국유림 경영단지에 속하며, 지리적으로는 북위 37°25'~30', 동경 128°11'~44'에 위치하고 있다. 연구대상지의 임상은 활엽수림이 71%(약 1,700 ha)로 대부분이 IV~VI영급으로 구성되어 있으며, 수종 구성은 신갈나무, 음나무, 고로쇠나무, 층층나무, 물푸레나무, 그리고 피나무 등으로 모두 30여종의 유용 활엽수종이 분포하고 있다(Korea Forest Service, 1997). 각 작업방법별 시범지는 연구 대상지의 천연 활엽수림 중에서 상대적으로 임상이 양호한 소반을 선정하여 각각 5 ha씩 조성하였다. 택벌림화 작업지와 이단림화 작업지의 경우에는 소반의 면적이 넓은 123임반 3소반 내에 각각 설치하였으며, 산벌림화 작업지는 121임반 5소반 내에 조성하였다.

2. 연구방법

1) 임분조사

본 연구에서는 각 작업방법별로 조성된 시범림 내에 30 m × 30 m(0.09 ha)의 표본점을 3반복으로 설치하고 시업 전의 임분현황을 파악하기 위해 정밀 임분조사를 실시하였다. 총 9개의 표본점을 대상으로 각각 표본점 내의 흉고직경 6 cm 이상의 모든 입목에 대해 수종명, 흉고직경, 수고, 지하고, 각 입목의 위치(X-Y 좌표), 8방위 수관폭, 임령을 측정하고, 모든 측정대상 입목의 목편을 채취하여 최근 5년간의 직경 성장량을 파악하였다. 이를 통해 해당 표본점의 임분 현황과 성장 특성과 임분의 수평 및 수직 구조를 파악함으로써(Shin and Oh, 1999) 각 작업방법별 시범지의 시업 전 임분 정보로 활용하였다. 이상의 임분조사 자료에 근거하여 각 표본점의 ha당 본수, ha당 흉고단면적, ha당 재적, 평균 흉고직경, 평균 수고, 그리고 직경성장률 및 직경성장률과 같은 임분통계량을 산출하였다. 한편 해당 시범림에 대해 각 작업방법을 적용하여 시업이 이루어진 이후, 동일한 표본점을 대상으로 시업 후의 임분통계량을 산출하기 위해 앞에서 언급한 수종명, 흉고직경, 수고 등과 같은 동일한 항목에 대한 정밀 임분조사를 실시하였다.

2) 임분구조 지수의 추정

본 연구에서는 산림작업별 시업 전후의 임분다양성의 변화를 추정하기 위해 다양한 임분구조지수 중에서 집락도, 흉고직경 변이지수, 수고 변이지수, 그리고 혼효도와 관련된 지수를 각각 2가지씩 총 8가지 지수를 사용하였다.

(1) 인접목의 수

임분다양성 지수는 주변 입목과의 상대적 다양성에 영향을 받기 때문에 주변목의 범위를 몇 분까지로 할 것인지를 결정하는 것이 매우 중요하다. 인접목의 범위는 지수산출 절차와 결과에 영향을 미치는 요소이지만, 지수의

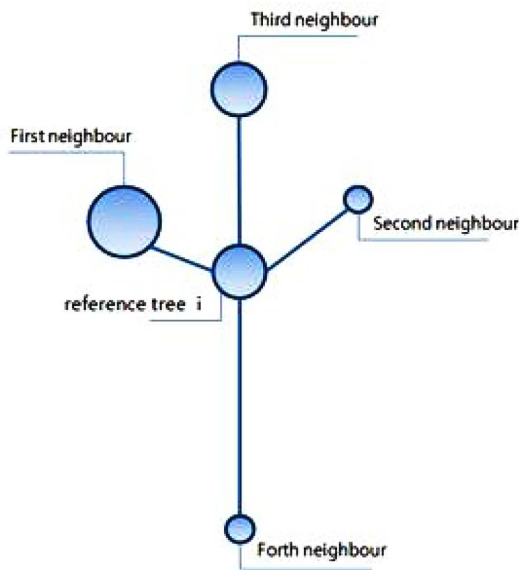


Figure 1. An example of structural group involving four neighbour trees.

특성을 반영하여 지수 산출에 문제가 없는 한도에서 최소한의 본수를 채택하는 것이 일반적이다. Davis and Pommerening(2008)은 주변목의 본수를 3본에서 7본까지 구분하였고, Pommerening(2006)은 여러 국가에서 수행된 관련 연구를 참고하여 지수별로 주변목의 본수를 다르게 하는 조합 간의 우열을 분석하여 보고하였다. 그 밖의 대부분의 연구에서는 주변목의 본수로 4본을 채택하여 임분 구조 지수를 산출하였다(Pommerening, 2002; Graz, 2003; Aguirre et al., 2003). 본 연구에서는 이러한 점을 고려하여 인접목의 수를 중심목에서 가장 가까운 4본으로 한정하여 임분다양성 지수를 산출하였으며, Figure 1은 본 연구에서 채택한 인접목 4본에 대한 모식도이다.

(2) 집락도

집락도는 임목의 공간적 분포상태를 나타내는 지수로 그 상태를 무작위 임분(Poisson stand), 규칙적 임분(Regular stand), 군집적 임분(Cluster stand)의 3가지로 분류하여 분석하는 방법이다. 본 연구에서는 집락도 산출을 위해 Contagion index(CI)와 Clark and Evans index(CE)의 2가지 지수를 사용하였다.

CI는 임목 내에 생육하는 임목의 공간적 분포 상태를 나타내는 지수로 0과 1 사이의 값을 갖는다. 즉, CI가 임의 분포일 경우 0에 가까워지고, 규칙적인 분포를 나타내면 0.5의 값을, 그리고 군상으로 분포할 경우에는 1에 가까운 특성을 보인다(Clark and Evans, 1954). 본 연구에서는 중심목으로부터 거리가 가장 가까운 4개의 인접한 임목을 대상으로 CI를 산출함으로써 임목의 횡적인 공간분포를 분석하였으며, CI를 산출하는 공식은 식 1과 같다.

$$CI_i = \frac{1}{j} \sum_{k=1}^j w_{ik} \tag{1}$$

여기서 CI_i =i번째 중심목의 집락도, w_{ik} =중심목 i와 각을 이루는 두 인접목 간의 각도가 90°미만이면 1이고, 90°이상이면 0, 그리고 j는 인접목의 본수를 나타낸다. CI는 중심목에 가장 가까이 인접하고 있는 4본의 임목이 중심목과 이루는 각도를 산출하여 90°미만이면 1, 그리고 90°이상이면 0을 배정하여 모두 합산한 후 인접목의 본수인 4로 나눈 평균에 의해 표현되는 지수이다. 따라서 해당 중심목의 CI 값이 0에 가까우면 임목 간의 거리가 확보되어 있어 임목이 산포되어 있는 것을 말하며, 반대로 CI의 값이 1에 가까우면 임목이 밀집되어 있다는 것을 의미한다.

한편 Clark and Evans(1954)는 임분 내에 위치한 임목의 공간적 분포 패턴을 나타내는 다른 형태의 집락도 관련 지수를 제안하였다. 식 2는 임분 내의 모든 개체목(N)을 중심으로 주변목들 간의 평균거리(r_i)와 임분 면적(A)의 관계를 분석하여 임분 내의 공간 구조를 파악하는 CE 지수이다.

$$CE = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N r_i}{0.5 \cdot \left(\frac{A}{N}\right)^{1/2}} \tag{2}$$

CE 지수가 1이면 임분구조가 무작위 분포, 1 이하이면 군집 분포, 그리고 1 이상이면 규칙적 분포를 나타내는 것으로 해석한다.

(3) 흉고직경 변이지수

각각의 임목이 갖고 있는 흉고직경 또는 수고의 크기로 임목간의 공간적 변이를 분석한 지수를 크기 변이지수라 한다. 그 중에서 주변 임목들의 흉고직경 크기를 사용하는 흉고직경 변이지수는 임분의 수평 구조를 파악하기 위한 방법이다. 본 연구에서는 중심목과 주변목들 간의 흉고직경의 크기를 비교·분석하여 산출하는 흉고직경 변이지수 중에서 DBH-Difference(DDiff)와 DBH-dominance(DDom)를 사용하였다.

식 3은 DDiff 지수의 산출식으로 중심목과 그 주변목들 간에 흉고직경 크기를 비교하여 유사성으로 산출되는 지수이다(Gadow and Fuldner, 1995).

$$Diff_i = 1 - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{\min(dbh_i, dbh_j)}{\max(dbh_i, dbh_j)} \tag{3}$$

즉, i번째 개체목과 인접한 j번째 임목간의 흉고직경의 크기를 비교하여 분자와 분모의 값 그리고 인접목의 개수(n)를 적용하여 산출되는 지수이다. 중심목과 인접목과의 흉고직경 크기의 차이가 적어질수록 DDiff 값은 0에 가까워지며, 이는 임목들 상호간의 수평적 공간의 차이가 작

다는 것을 의미한다. 반면에 흉고직경 크기의 차이가 커질수록 $DDiff_i$ 값은 1에 가까워지며, 이는 임목들 상호간의 수평적 공간의 차이가 크다는 것을 의미한다.

Aguirre et al.(2003)은 임목 상호간의 공간적 우점의 정도를 알아보기 위해 주변목을 4개로 설정한 $DDom$ 지수를 제안하였다. 식 4에 u_j 는 중심목 i 의 흉고직경이 주변목 j 보다 작을 때는 지수의 값은 1이 되고 그렇지 않을 경우에는 0의 값이 주어지게 되며, 이를 주변목의 개수(n)와의 관계로 산출되는 것이 $DDom$ 지수이다.

$$DDom_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n u_j \tag{4}$$

이 식에서 u_j 값의 범위는 0부터 1까지를 나타내게 되는데, u_j 값이 0인 경우에는 임목의 횡적 구조가 심한 피압 상태에 있는 것을 나타내는 것이며, 반면에 u_j 값이 1인 경우는 중심목의 흉고직경은 강한 우점을 나타내는 것을 의미한다.

(4) 수고 변이지수

수고 변이지수는 임분의 종적인 수직 구조를 파악하기 위한 방법으로 임분 내에 위치한 임목들의 수고를 비교하여 분석되는 지수이다. 수고 변이지수는 중심목과 주변목들 간의 수고의 크기를 비교하여 산출하는데, 본 연구에서는 Height-Difference($HDiff$)와 Height-dominance ($HDom$)의 2가지 지수를 사용하여 비교·분석하였다.

식 5는 $HDiff$ 의 계산식으로 해당 임목과 그 주변목들 간에 수고 크기를 비교하여 유사성으로 산출되는 지수이다 (Gadow and Fuldner, 1995). 즉, i 번째 개체목과 인접한 j 번째 임목간의 수고의 크기를 비교하여 분자와 분모의 값 그리고 인접목의 개수(n)를 적용하여 수고의 변이를 산출되는 지수이다.

$$HDiff_i = 1 - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{\min(\text{height}_i, \text{height}_j)}{\max(\text{height}_i, \text{height}_j)} \tag{5}$$

중심목과 인접목들간 수고 크기의 차이가 적어질수록 $HDiff$ 값은 0에 가까워지며, 이는 임목들 상호간의 수직적 공간의 차이가 작다는 것을 의미하는 것이다. 반면에 수고 크기의 차이가 커질수록 $HDiff$ 값은 1에 가까워지며, 이는 임목들 상호간의 수직적 공간의 차이가 크다는 것을 나타내는 것으로 해석된다.

한편 Aguirre et al.(2003)은 임목 상호간의 공간적 우점의 정도를 알아보기 위해 주변목을 4개로 설정한 $HDom$ 지수를 제안하였다. 식 6에 u_j 는 중심목 i 의 수고가 주변목 j 의 수고보다 작을 경우는 1의 값이 주어지고, 그렇지 않을 경우에는 0의 값이 주어지며 주변목의 개수(n)를 고려하여 산출한다. 흉고직경 변이지수인 $DDom$ 과 마찬가지로 u_j 값이 0인 경우에는 중심목이 주변 임목에 비해 수고

가 작아 심한 피압을 받고 있다는 것을 의미하며, 1인 경우는 반대로 중심목이 종적 구조에서 강한 우점상태에 있음을 의미하는 것이다.

$$HDom_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n u_j \tag{6}$$

(5) 혼효지수

임분의 다양성을 중심목과 인접목의 수종을 비교하여 분석하는 방법으로 사용하는 혼효지수는 임분의 종 구성을 평가하는 지수이다. 이 지수는 임목간의 거리를 고려하지 않은 종다양도와는 달리 임목간의 거리를 고려하기 때문에 임분의 혼효 정도를 파악하는 거리종속(distance-dependent)지수이다(Albert, 1999). 본 연구에서는 연구대상지에 대한 시업전후의 혼효지수를 파악하기 위해 Mingling Index(MI)와 Segregation Index(SI)를 사용하여 비교·분석하였다.

Gadow and Fuldner(1995)는 중심목의 수종과 그 주변목의 수종이 동일한지의 여부에 따라 0에서 1사이의 값을 갖는 MI를 제시하였다(식 7). 이 식에서 중심목의 수종과 인접목의 수종이 모두 동일할 경우에는 u_j 의 값이 0이 되고, 모두 다른 수종일 경우에는 1이 되는데 이때 주변목의 개수(n)도 함께 고려된다.

$$MI_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n u_j \tag{7}$$

한편 Pielou(1997)는 중심목의 수종과 인접한 그 주변목들의 수종과의 관계를 통하여 혼효의 정도를 분석하였다. Table 1은 중심목의 수종(수종 1)과 그 주변목의 수종(수종 2)과의 관계를 행렬로 표현한 것이며, 식 8은 이 행렬의 요소를 조합하여 혼효지수를 산출하는 식을 나타낸 것이다. 중심목을 기준으로 중심목과 인접목의 수종을 비교했을 경우 동일한 임목의 본수를 a 라고 하며, 그렇지 않은 임목의 본수를 b 라고 한다. 반대로 주변목을 기준으로 주변목의 수종과 중심목의 수종이 동일하지 않은 본수를 c 그리고 동일한 본수를 d 로 하여 구성된 행렬이 Table 1이다.

결과적으로 SI에 의한 혼효지수의 산출은 식 8에 대입하여 산출한다. 이 지수의 경우 0이하 이면 중심목의 수종과 그 주변목의 수종이 서로 달라 수종의 구성이 다양한

Table 1. Matrix of object and neighbor trees necessary for estimating segregation index.

Classification	Neighbor Tree			
	Species 1	Species 2	Sum	
Object Tree	Species 1	a	b	m
	Species 2	c	d	n
	Sum	v	w	N

것이며, 결과 값이 0이상 이면 중심목의 수종과 그 인접목들의 수종이 유사한 것을 의미한다.

$$SI = 1 - \frac{N \cdot (b+c)}{v \cdot n + w \cdot m} \quad (8)$$

3) 통계분석 방법

본 연구의 목적은 각 작업방법을 적용한 임분의 시업 전과 시업 후 임분다양성의 변화뿐만 아니라 각 작업방법 간의 임분다양성의 변화가 통계적으로 차이가 있는지를 평가하는 것이다. 이를 위해 시업 전과 시업 후에 각 작업방법별로 측정된 임분조사 자료에 근거하여 앞에서 제시한 집락도, 흉고직경 변이지수, 수고 변이지수, 그리고 혼효지수에 대해 2가지씩 총 8개의 지수를 각 표본점별로 산출하였다.

본 연구에서 적용한 택벌림화 작업, 이단림화 작업, 그리고 산벌림화 작업의 3가지 작업방법 간에 임분다양성 지수 각각에 통계적 차이가 있는지를 평가하였다. 이를 위해 시업 전과 시업 후로 구분하여 총 8개 지수에 대한 Duncan의 다중검정을 실시하였다(Che et al., 1993). 또한 각 작업방법별로 산출된 8가지 지수에 대해 시업 전과 시업 후의 변화를 평가한 후, 시업을 통해 통계적으로 의미가 있는 차이가 있는지를 확인하기 위해 t-검정을 실시하였다.

결과 및 고찰

1. 시업 전후의 작업방법별 임분통계량

작업방법별로 30 m × 30 m(0.09 ha)의 표준지 3개씩을 고정표본점으로 설정하고 측정된 정밀 임분조사 자료에 근거하여 시업 전과 시업 후의 ha당 본수, 흉고단면적, 재적 그리고 평균 흉고직경과 수고를 파악하여 비교한 결과는 Table 2와 같다. 택벌림화 작업지의 시업 전 임분통계량은 상당히 양호한 것으로 분석되었다. 시업 전의 택벌림화 작업지는 다른 작업방법별 시범지에 비해 상대적으로 밀도가 낮은 편이지만 ha당 재적이 157 m³인 것으로 분석되었다. 또한 평균 흉고직경과 수고는 각각 18.4 cm

와 12.0 m로 추정되었고, ha당 임목 본수 및 흉고단면적은 각각 711본과 25.1 m²인 것으로 파악되었다.

이 임분은 목표임분형인 택벌림으로 유도하기 위한 시업 후의 ha당 본수는 485본, 단면적은 16.5 m², 그리고 재적은 113.1 m³로 줄어 상당한 정도의 벌채가 이루어졌지만 여전히 양호한 임상을 유지하고 있다. 택벌림화 작업지는 시업을 통해 ha당 본수는 226본(32%), ha당 흉고단면적은 8.6 m²(34%), 그리고 ha당 재적은 43.9 m³(29%) 등 비교적 많은 양이 제거된 것으로 분석되었다. 이는 택벌림으로 유도하기 위해 형질 불량목과 폭목을 우선적으로 제거하면서 동시에 잔존목의 공간분포를 고려한 결과로 평가된다. 반면에 임분의 평균 흉고직경은 시업 전과 후에 모두 18.4 cm로 차이가 없는 것으로 분석되었으며, 평균 수고는 시업을 통해 0.5 m가 증가한 12.5 m로 나타났다. 결과적으로 택벌림화 작업지는 시업을 통해 임목의 크기는 큰 변화가 없지만 형질이 우수한 임목 위주로 적합한 밀도를 유지하도록 시업이 이루어진 것으로 평가된다.

이단림화 작업지의 시업 전 ha당 본수, 흉고단면적, 재적 그리고 평균 흉고직경과 수고를 파악한 결과 택벌림화 작업지와 비교하여 상대적으로 양호한 임황을 보이고 있다. 시업 전의 이단림화 작업지는 임분 밀도가 상대적으로 높은 편으로 ha당 본수 및 흉고단면적은 각각 904본과 27.1 m²인 것으로 나타났다. 이 결과는 ha당 재적에서도 확인되는데 182.8 m³로 추정되어 임목축적이 매우 큰 것을 알 수 있다.

이단림화 작업지에서 시업을 통해 제거된 임목은 ha당 본수가 363본(40%), 흉고단면적이 6.0 m²(22%), 그리고 재적이 36.5 m³(20%)인 것으로 분석되었다. 이는 이단림화 작업을 통해 벌채된 임목본수의 비율은 높지만 흉고단면적이나 재적의 관점에서는 상대적으로 적은 것이다. 이는 이단림으로 유도하기 위해 수직적으로 중층을 구성하는 소경목 위주로 벌채하면서 일부 중경목이 제거된 결과로 해석할 수 있다. 시업 후의 ha당 본수는 541본이고 흉고단면적은 21.1 m², 그리고 재적은 146.3 m³로 추정되어 시업 후에도 여전히 양호한 임상을 유지하고 있음을 알 수 있다. 하지만 시업을 통한 밀도 조절로 인해 임목들

Table 2. Comparison of stand statistics by silvicultural systems before and after prescriptions.

Silvicultural Systems	Classification	n	N/ha	BA/ha(m²)	V/ha(m³)	DBH(cm)	HT(m)
Selection	Before Treatment	192	711	25.1	157.0	18.4	12.0
	After Treatment	131	485	16.5	113.1	18.4	12.5
Two-storied	Before Treatment	244	904	27.1	182.8	16.6	11.8
	After Treatment	146	541	21.1	146.3	19.4	13.2
Shelterwood	Before Treatment	228	844	28.7	199.6	17.9	12.9
	After Treatment	139	515	19.8	141.4	19.4	13.6

의 공간 재배치가 이루어져 목표 임분형인 이단림을 조성하기 위한 기반을 조성한 것으로 평가된다.

산벌림화 작업지의 시업 전 임분 현황은 다른 작업지와 같이 상당히 양호한 상태를 보이고 있다. 이 임분의 ha당 본수는 844본으로 다른 작업지와 유사한 임목 본수를 보이고 있다. 하지만 ha당 흉고단면적이나 재적은 각각 28.7 m²와 199.6 m³로 다른 작업방법을 적용한 시업지에 비해 큰 것으로 확인되었다. 산벌림화 작업지의 시업 전 평균 흉고직경은 17.9 cm이고 평균 수고는 12.9 m로 분석되어, 이 임분은 다른 작업지보다 상대적으로 큰 임목들로 구성되어 있음을 알 수 있다.

산벌림화 작업지의 시업 후의 임분 현황을 보면 이 임분의 ha당 본수는 515본으로 시업에 의해 전체의 39%인 329본이 제거되었다. 형질 불량목 위주의 벌채를 통해 ha당 흉고단면적은 8.9 m²(31%) 그리고 재적은 58.2 m³(29%)가 제거되었다. 하지만 시업 후 ha당 흉고단면적과 재적은 각각 19.8 m²와 141.4 m³로 여전히 양호한 임상을 유지하고 있다. 이는 산벌림화 작업의 시업 대상 임목은 폭목과 함께 주로 소경목 위주의 형질 불량목으로, 이들을 대상으로 벌채가 집중된 결과이다. 산벌림화 작업지는 상대적으로 큰 임목이 많이 포함되어 있는데, 시업 후 평균 흉고직경이 19.4 cm이고 수고가 13.6 m로 시업을 통해 오히려 각각 1.5 cm와 0.7 m가 증가한 것으로 분석되었다.

2. 작업방법별 시업 전 임분구조의 비교

시업 전 임분구조 지수를 Duncan의 다중검정을 통해 비교한 결과는 Table 3과 같다. 집락도의 경우 보통 임분 내에 분포하고 있는 임목들은 규칙성(regular), 무작위(random), 그리고 군집형(clumped)의 3가지 형태로 구분할 수 있다(Gadow et al., 1998). Contagion Index(CI)는 평균치가 0.5 미만인 경우 규칙성의 분포로 규정하며, 0.5~0.6이면 무작위 분포, 그리고 0.6 이상일 경우에는 군집형 분포로 평가한다(Albert, 1999; Pommerening, 2002). 시업 전의 작업방법별 집락도를 보면 산벌림화 작업지의 평균 집락도는 0.171로 가장 크며, 이단림화 작업지는 0.158, 그리고 택벌림화 작업지는 0.115로 추정되어 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 한편 Clark and Evans 지수(CE)를 보면 작업방법별로 1.5~1.8의 범위를 보이고 있는데, 모두 1 이상으로

규칙적인 분포를 나타내고 있음을 확인할 수 있다.

Duncan의 다중검정 결과를 보면 CI의 경우 이단림화 작업지와 산벌림화 작업지는 통계적 차이가 없지만, 택벌림화 작업지와는 5% 유의수준에서 차이가 인정되었다. 하지만 다른 집락도 지표인 CE 지수는 택벌림화 작업지와 이단림화 작업지는 차이가 없지만 산벌림화 작업지는 나머지 작업지와 5% 수준에서 유의적인 차이를 보이는 것으로 분석되어 사용하는 지수에 따라 다른 결과를 보였다. 일부 작업방법 간에 차이가 있지만 시업 전의 각 작업방법별 임분구조는 집락도의 관점에서 보면 매우 규칙성을 갖는 분포를 보이고 있는 것으로 해석된다.

흉고직경 변이지수와 수고 변이지수는 모두 주변 임목들과의 상대적 크기의 차이를 평가하여 임분구조의 다양성을 파악하는 지표이다. 흉고직경 변이지수는 임분의 수평적 구조와 관련이 있는 반면, 수고 변이지수는 수직적 구조의 다양성에 초점을 맞춘 평가지표이다. Pommerening (2002)은 임분구조의 정량화에 적합한 다양한 지수를 소개하면서, DDiff 지수를 4가지 범주로 구분하여 임분의 수평구조를 평가하였다. 즉, DDiff가 0.3 미만이면 해당 임분 내의 가장 작은 흉고직경을 갖는 임목이 70% 이상으로 임목 간의 흉고직경의 차이가 작은 것으로 평가하였다. 한편 흉고직경 변이지수가 0.3 이상 0.5 미만일 경우에는 평균적인 차이를 보이는 임분이며, 0.5 이상 0.7 미만은 큰 차이, 그리고 0.7 이상에서는 주변 임목들의 흉고직경이 매우 큰 차이를 보이는 임분으로 규정하였다. 반면에 DDom 지수는 중심목의 흉고직경이 주변목의 흉고직경과 비교하여 어느 정도 큰지를 평가하는 지수로써, 0에 가까우면 중심목의 흉고직경이 상대적으로 작아 피압을 받는 상태이고, 반대로 1에 가까우면 중심목의 흉고직경이 상대적으로 큰 것으로 나타내는 지표이다.

Table 3에서 보는 바와 같이 시업 전의 각 작업방법별 DDiff 추정치는 모두 0.35~0.40 범위에 있어 이들 임분은 평균적인 차이를 나타냈다. 이는 연구 대상지로 선정된 임분이 각 작업방법별 시범지로 지정되어 시업이 시행되기 이전에 상당 기간 동안 정상적인 산림경영이 이루어져 임분밀도를 포함한 임분구조가 정상적으로 관리되어 온 결과로 판단된다. 작은 차이이지만 시업 전의 DDiff는 택벌림화 작업지, 이단림화 작업지, 그리고 산벌림화 작업지의

Table 3. Results of Duncan's multiple range test for stand diversity indices before silvicultural systems were applied.

Silvicultural Systems	Contagion		DBH-difference		Height-difference		Mingling	
	CI	CE	DDiff	DDom	HDiff	HDom	MI	SI
Selection	0.115 b*	1.772 a	0.393 a	0.486 a	0.313 a	0.496 a	0.731 a	-0.633 a
Two-storied	0.158 a	1.647 a	0.390 a	0.501 a	0.301 a	0.523 a	0.703 a	-0.527 b
Shelterwood	0.171 a	1.506 b	0.358 b	0.483 a	0.243 b	0.501 a	0.594 b	-0.307 c

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

순서로 큰 것으로 추정되었다. 또한 통계분석 결과 산별림화 작업지는 택벌림화 작업지 및 이단림화 작업지와 통계적 차이가 인정되었지만, 택벌림화 작업지와 이단림화 작업지는 통계적 차이가 없는 것으로 분석되었다. 한편 DDom에 대한 작업방법별 추정치를 보면 0.48-0.50으로 나타났으며, DDiff와는 달리 작업방법 간에 통계적인 차이가 없는 것으로 분석되었다.

이러한 결과는 수고 변이지수의 경우에도 동일하게 나타났다. 산별림화 작업지의 HDiff는 주변 임목들 간에 차이가 작은 것으로 평가되었다. 반면에 택벌림화 작업지와 이단림화 작업지는 그 차이가 평균적인 것으로 평가되었고, 작업방법별 HDiff에 대한 Duncan의 다중검정 결과는 DDiff와 동일하였다. 한편 중심목이 주변목의 수고와 비교하여 상대적으로 얼마나 큰지를 평가함으로써 중심목의 우점상태를 나타내는 HDom은 작업방법별 평균치가 모두 0.5 정도를 보여 임분 내의 수고의 크기는 어느 정도 차이를 보이는 것으로 분석되었다. 또한 HDom 지수에 대한 Duncan의 다중검정 분석 결과를 보면 작업방법 간에 통계적인 차이를 찾을 수 없어 흉고직경 변이지수와 마찬가지로 사용한 지수에 따라 검정 결과가 다를 수 있다.

혼효지수의 경우 MI는 1에 가까울수록 다양한 수종이 혼효되어 있음을 나타내는 것이다(Gadow and Fuldner, 1995). Table 3에서 보면 택벌림화 작업지와 이단림화 작업지의 MI는 각각 0.73과 0.70으로 비교적 높지만, 산별림화 작업지는 0.59로 추정되어 상대적으로 낮게 나타났다. 연구 대상지가 천연 활엽수림이며 30여 종의 유용 활엽수가 혼효되어 있는 점을 고려하면 높은 혼효 상태를 보이는 것은 당연한 결과이다. MI에 대한 통계분석 결과 산별림화 작업지만 다른 작업지와 통계적으로 차이가 인정되는 것으로 분석되었다. 한편 다른 혼효지수인 SI를 분석한 결과 모두 0 이하의 음수로 수종의 혼효 정도가 높은 것으로 나타났다. 또한 작업방법 간에도 택벌림화 작업지, 이단림화 작업지, 그리고 산별림화 작업지의 순서로 혼효도가 높으며, 각 작업방법별 혼효도는 모두 통계적인 차이가 인정되어 MI와는 다른 결과를 나타냈다.

3. 작업방법별 시업 후 임분구조의 비교

각 작업방법에 따라 시업이 이루어진 후 측정된 임분조사 자료에 근거하여 추정된 8가지 임분다양성 지수에 대

해 통계분석을 실시한 결과는 Table 4와 같다. 시업 후의 임분구조는 작업방법에 관계없이 모두 다양성이 개선된 것으로 나타났다.

시업 후의 집락도(CI)는 약간 감소하여 시업을 통한 임목 분포의 규칙성이 다소 강화되어 작업방법 간에 통계적 차이를 확인할 수 없었다. 흉고직경 변이지수(DDiff)와 수고 변이지수(HDiff)는 모두 시업 후에 약간씩 증가하여 주변 임목들과의 흉고직경 및 수고의 차이가 증가하였으며, 수종의 혼효 정도(MI)도 약간 증가한 것으로 나타났다. 하지만 이들 지수에 대한 작업방법별 통계적 차이를 분석한 결과는 시업 전과 동일한 것으로 나타났다. 즉, 임분 내의 흉고직경의 변이, 수고의 변이, 그리고 수종의 혼효 정도는 모두 산별림화 작업지가 가장 낮았으며, 통계적으로도 다른 작업지와 차이가 인정되었다. 하지만 택벌림화 작업지와 이단림화 작업지는 모두 차이가 없는 것으로 평가되었다.

한편 다른 임분다양성 지수인 집락도(CE), 흉고직경 변이지수(DDom), 수고 변이지수(HDom), 그리고 혼효지수(SI) 추정치를 보면 시업을 통해 임분다양성이 증가한 것으로 나타났다. 이와 함께 Duncan의 다중검정 결과를 보면 모든 지수가 작업방법 간에 통계적인 차이가 없는 것으로 분석되었는데(Table 4), 시업 전의 분석 결과와 비교하면 시업을 통해 임분다양성의 측면에서 집락도와 혼효도가 개선되면서 시업 전과는 달리 작업방법 간의 차이가 없는 것으로 분석되었다.

4. 시업전후의 작업방법별 임분구조의 변화 비교

Table 5는 각 작업방법별 시업을 통해 임분다양성이 어떻게 변화되었는지를 비교한 결과이다. 이를 위해 시업 전과 시업 후의 8가지 임분다양성 지수에 대해 t-검정을 실시하였다. 택벌림화 작업지의 경우 시업을 통해 임분구조의 다양성이 개선된 것으로 나타났다. 특히 수고 변이지수인 HDiff와 혼효지수인 MI는 시업 전과 시업 후의 변화가 통계적으로 인정할 수 있을 정도의 차이를 보였다. 택벌림화 작업은 시업을 통해 다층의 수직구조를 유지해야 하기 때문에 임분 내의 수고변이가 커지고 혼효도가 높아져 임분다양성이 개선된 것을 확인할 수 있다.

이단림화 작업지의 경우 시업을 통해 집락도를 나타내는 수치는 감소하여 좀 더 규칙적인 임목분포로 정돈되었

Table 4. Results of Duncan's multiple range test for stand diversity indices after silvicultural systems were applied.

Silvicultural Systems	Contagion		DBH-difference		Height-difference		Mingling	
	CI	CE	DDiff	DDom	HDiff	HDom	MI	SI
Selection	0.114 a	1.844 a	0.412 a	0.491 a	0.340 a	0.489 a	0.783 a	-0.584 a
Two-storied	0.133 a	1.754 a	0.415 a	0.521 a	0.331 a	0.510 a	0.801 a	-0.647 a
Shelterwood	0.139 a	1.815 a	0.360 b	0.502 a	0.246 b	0.478 a	0.723 b	-0.594 a

Table 5. Results of t-tests for stand diversity indices within the stands before and after silvicultural systems were applied.

Silvicultural Systems	Indices	Before		After		t	Pr> t	
		Mean	SD	Mean	SD			
Selection	Contagion	CI	0.11	0.16	0.11	0.17	-0.05	0.9583
		CE	1.77	0.66	1.84	0.59	1.02	0.3068
	DBH-difference	DDiff	0.39	0.13	0.41	0.12	1.43	0.1547
		DDom	0.49	0.35	0.49	0.34	0.12	0.9032
	Height-difference	HDiff	0.31	0.12	0.34	0.12	2.10	0.0366
		HDom	0.50	0.37	0.49	0.35	-0.19	0.8521
Mingling	MI	0.73	0.23	0.78	0.20	2.24	0.0256	
	SI	-0.63	0.41	-0.58	0.45	1.00	0.3197	
Two-storied	Contagion	CI	0.16	0.20	0.13	0.17	-1.37	0.1701
		CE	1.65	0.72	1.75	0.66	1.50	0.1334
	DBH-difference	DDiff	0.39	0.12	0.42	0.11	2.23	0.0261
		DDom	0.50	0.36	0.52	0.36	0.52	0.6053
	Height-difference	HDiff	0.30	0.12	0.33	0.11	2.67	0.0079
		HDom	0.52	0.37	0.51	0.35	-0.33	0.7424
MinglingM	MI	0.70	0.24	0.80	0.22	4.41	<0.0001	
	SI	-0.53	0.49	-0.65	0.39	-2.66	0.0081	
Shelterwood	Contagion	CI	0.17	0.21	0.14	0.18	-1.64	0.1011
		CE	1.51	0.77	1.82	0.58	4.36	<0.0001
	DBH-difference	DDiff	0.36	0.12	0.36	0.12	0.20	0.8445
		DDom	0.48	0.35	0.50	0.36	0.51	0.6126
	Height-difference	HDiff	0.24	0.11	0.25	0.11	0.28	0.7776
		HDom	0.50	0.35	0.48	0.33	-0.62	0.5385
Mingling	MI	0.59	0.29	0.72	0.24	4.73	<0.0001	
	SI	-0.31	0.65	-0.50	0.47	-4.90	<0.0001	

으나, 시업 전과 통계적인 차이는 없는 것으로 분석되었다. 반면에 흉고직경 변이지수인 DDiff, 수고 변이지수인 HDiff, 그리고 혼효지수인 MI와 SI는 시업을 통해 모두 증가하였는데, 그 증가량이 통계적으로 유의한 것으로 판명되었다. 즉, 이단림화 작업을 통해 임분의 수평 및 수직구조뿐만 아니라 수종의 구성도 다양하게 변화되었음을 알 수 있다. 이단림화 작업은 수직적으로 중층을 구성하는 임목을 벌채하여 동일한 공간에 수고층이 상층과 하층으로 구분되도록 시업하는 것이다. 이 과정에서 경급의 정돈도 함께 이루어지기 때문에 수직구조뿐만 아니라 수평구조도 다양성이 증가한 것으로 평가된다. 이와 함께 시업을 통해 수종의 혼효 정도도 좀 더 다양해진 것으로 분석되었다.

산별림화 작업지의 시업 전과 시업 후의 임분다양성 지수의 변화를 보면 집락도와 혼효지수는 임분구조의 측면에서 상당히 개선된 것을 알 수 있다. 하지만 통계분석 결과를 보면 집락도인 CI의 경우 수치적으로 시업 후에 0.3 정도 감소하였지만 통계적으로는 시업 전과 차이가 없는 것으로 분석되었다. 하지만 다른 집락도 지수인 CE는 시

업전과 시업후에 통계적으로 큰 차이를 보이고 있다. 또한 혼효지수 중의 하나인 MI는 0.13이 증가하였고 SI는 0.19가 감소하여 수종의 다양성이 개선되었으며, 통계적으로도 시업 전과 차이가 있는 것으로 나타났다. 하지만 산별림화 작업의 특성상 흉고직경 변이지수와 수고 변이지수는 모두 통계적으로 변화가 없는 것으로 분석되었다.

결론

본 연구는 강원도 평창군 가리왕산 일대의 천연 활엽수림을 대상으로 3가지 작업방법을 적용한 후 시업 전과 시업 후의 임분다양성 변화를 평가하기 위해 수행하였다. 이를 위해 각 작업방법별로 시업 전과 시업 후에 측정된 정밀 임분조사 자료를 정리한 후 고정표본점의 임분통계량을 추정하고 임분구조를 분석하였다. 이상과 같이 정리된 자료에 근거하여 각 작업방법별 임분다양성 지수를 산출하였는데, 임분 내의 집락도, 흉고직경 변이, 수고 변이, 그리고 혼효도를 나타내는 2개씩의 지수 총 8가지를 사용하였다.

산림작업별 임분다양성 지수를 분석한 결과 시업을 통해 임분구조가 개선되었음을 알 수 있었다. 즉, 본 연구에서 사용한 8가지 임분구조 지수를 각 작업지에 적용한 결과 공간구조의 다양성이 향상되었음을 확인할 수 있었다. 각 지수별 분석결과를 보면 작업방법에 관계없이 혼효지수는 시업을 통해 통계적으로 의미가 있는 정도로 개선되었다. 반면에 집락도는 작업방법 간에 통계적으로 차이가 없는 것으로 확인되었다. 한편 시업 후의 흉고직경 변이 지수는 이단림화 작업지에서, 그리고 수고변이 지수는 택별림화 및 이단림화 작업지에서 시업 전과 통계적으로 차이를 보이는 것으로 분석되었다.

본 연구로부터 얻어진 결과는 우리나라 온대북부 천연 활엽수림의 생태적 산림관리 체계 수립에 필요한 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 본 연구의 결과에 의하면 목표임분형으로 유도하기 위해 본 연구에서 채택한 3가지 작업방법으로 시업을 할 경우 임분의 다양성이 개선되었음을 알 수 있다. 이러한 결과는 목재생산뿐만 아니라 생태적 건전성을 유지하는 천연 활엽수림의 친환경적 작업방법으로서 택별림화 작업, 이단림화 작업, 그리고 산별림화 작업이 적합한 시업방법임을 나타내는 결과이다.

본 연구에서는 임분다양성을 평가하기 위해 집락도, 흉고직경 변이 지수, 수고 변이 지수, 그리고 혼효도의 평가에 이용되는 2가지씩의 지수를 사용하였다. 본 연구의 결과를 보면 전체적인 경향은 유사하지만 어떤 지수를 사용하였느냐에 따라 다소 다른 결과를 얻는 것으로 확인되었다. 따라서 임분다양성 평가에 사용할 지수를 선택할 때 이러한 점을 고려할 필요가 있으며, 임상이나 임령 등과 같은 임분의 형태에 따라 어떤 지수의 적용이 임분다양성 평가에 적합한지에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 논문은 2013년 국립산림과학원 산림생태연구과 위탁연구과제 ‘가리왕산 일대 국유림경영 시범계획구의 산림작업 실현방안 수립’ 연구 결과의 일부입니다. 연구비 지원에 감사드립니다.

References

- Aguirre, O., Hui, G., Gadow, K., and Jimenez, J. 2003. An analysis of spatial forest structure using neighbourhood-based variables. *Forest Ecology and Management* 183: 137-145.
- Albert, M. 1999. Analyse der eingriffsbedingten Strukturveränderung und Durchforstungsmodellierung in Mischbeständen. Dissertation, Fak. f. Forstwiss. u. Waldökologie d. Univ. Göttingen. Hainholz-Verlag, Band 6: 201S.
- 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.
- Che, Y.A., Koo, J.O., Seo, H.S., and Lee, Y.M. 1993. *Basic Biological Statistics* (4th ed.), Hyangmunsa Book Co. pp. 418.
- Clack, P.J. and Evans, F.C. 1954. Distance to nearest neighbour as a measure of spatial relationships in populations. *Ecology* 35: 445-453.
- Davies, O. and Pommerening, A. 2008. The contribution of structural indices to the modelling of Sitka spruce (*Picea sitchensis*) and birch (*Betula* spp.) crowns. *Forest ecology and management* 256: 68-77.
- 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.
- Gadow, K. and Fuldner, K. 1995. Zur Beschreibung forstlicher Eingriffe. *Forstw. Cbl.* 114: 151-159.
- Gadow, K., Hui, G.Y., and Albert, M. 1998. Das Winkelmaß-ein Strukturparameter zur Beschreibung der Individualverteilung in Waldbeständen. *Centralblatt für das gesamte Forstwesen* 115(1): 1-9.
- Graz, F.P. 2003. The growth of Schinziophyton rautanenii seedlings under different shade conditions. *Dinteria* 28: 44-46.
- Kim, Y.J., Sung, J.H., Yang, H.M., and Shin, M.Y. 2012. Changes in stand structures before and after silvicultural treatments in natural deciduous forests of Pyungchang area. *Journal of Korean Forest Society* 101(2): 297-304.
- Korea Forest Research Institute. 1996. National Resource Inventory Reports for Deciduous Species. KFRI Research Report No. 122. pp. 508.
- Korea Forest Service. 1997. A forest practice-university cooperative study on the modernization of national forest management (VIII). pp. 291.
- Korea Forest Service. 1999. A forest practice-university cooperative study on the modernization of national forest management (X). pp. 500.
- Pielou, E.C. 1977. *Mathematical Ecology*. John Wiley & Sons. pp. 385.
- Pommerening, A. 2002. Approaches to quantifying forest structures. *Forestry* 75: 305-324.
- Pommerening, A. 2006. Evaluating structural indices by reversing forest structural analysis. *Forest Ecology and Management* 224: 266-277.
- Shin, M.Y. and Oh, J.S. 1999. Development of a computer program for stand spatial structure analysis. *The Journal of Korean Forestry Society* 88(3): 389-399.
- Yim, J.S. 2001. A study on the environment-friendly management methods by site types for the natural deciduous forest on Pyungchang in Gangwon Province. Master's Thesis. Kookmin University. pp. 66.