森林科學硏究 第18號 : 73~86, 2002
J. For. Sci., Kangwon Nat'l Univ., No. 18 : 73~86, 2002

천연활엽수림의 지형적 위치와 사면방위에 따른 군집 구조적 속성 분석 및 비교

양 희 문[1]·김 지 홍[2]

Analysis and Comparison of Community Structural Attributes by Topographic Positions and Aspects in the Natural Deciduous Forest

Hee-Moon Yang[1] and Ji-Hong Kim[2]

요 약

강원도 가리산 일대 천연활엽수림을 대상으로 산림의 구조적 변화에 영향을 미칠 것으로 고려되는 지형적 위치와 사면방위에 따라 군집을 분류하고, 표본구 조사법에 의하여 군집 구조적 속성을 분석, 비교한 결과는 다음과 같다.

1. 계곡지역을 제외한 산복과 능선지역의 상층임관에서는 신갈나무의 세력이 가장 높게 나타났으나, 계곡지역에서 가장 높은 상대우점도를 보이는 가래나무, 능선지역에서만 높은 세력을 보이는 소나무 등에 의해 지형적 위치별 산림군집간 수종구성의 차이가 큰 것으로 파악되었다. 모든 사면방위 산림군집에서는 신갈나무가 가장 높은 상대우점도를 보이고 있으며, 공통적인 우점종들이 많이 나타나고 있어 지형적 위치별 산림군집들에 비해 수종구성의 변이가 크지 않은 것으로 파악되었다.
2. 상층임관에서는 산복지역의 종다양도가 1.96으로 가장 높았으나, 중층과 하층임관에서는 계곡지역의 종다양도가 각각 2.66, 2.77로 가장 높게 나타났다. 능선지역은 낮은 종풍부성과 균재성에 의해 모든 수관층에서 종다양도가 낮은 것으로 파악되었다. 사면방위에 따라서는 북동지역이 모든 수관층에서 가장 높은 것으로 파악되었으며, 군집간 종다양도의 변이 역시 지형적 위치별 산림군집이 사면방위 군집에 비해 큰 것으로 나타났다.
3. 지형적 위치별 산림군집간 유사도는 산복과 능선지역이 가장 높게, 계곡과 능선지역이 가장 낮게 산출되었으나, 전반적으로 유사도 수치가 낮아 산림군집간에는 구조적 차이가 큰 것으로 파악되었다. 반면에, 사면방위별 산림군집들은 전체 산림지역과의 유사도 뿐만 아니라 상호간의 군집간 유사도가 높은 것으로 파악되었다.

ABSTRACT

Taking account of the structural variation on species composition according to the different topographic positions and aspects, the forest community attributes such as

---

1) 江原大學校 大學院 森林經營學科 Department of Forest Management, Graduate School, Kangwon National University, Chunchon 200-701, Korea.
2) 江原大學校 山林科學大學 森林經營造景學部 Division of Forest Management and Landscape Architecture, College of Forest Sciences, Kangwon National University, Chunchon 200-701, Korea.

species composition, species diversity index, and similarity coefficient were comparatively analyzed for the three topographic positions and the four aspects in the natural deciduous forest of Mt. Gari area. The results are as follows :

1. The most dominant species in the overstory were *Quercus mongolica* in the mid-slope, the ridge, and all aspects areas, however, the stands of the topographic positions were less similar than the stands of the aspects in species composition, because of the appearance of the specific domonant species such as *Juglans mandshurica* in the valley area and *Pinus densiflora* in the ridge area.
2. Among the three topographic positions, the mid-slope area had greatest species diversity index in overstory, but the index of the valley had greater value than those of mid-slope and ridge in mid-story and understory. The north-east area among the aspects had greatest the index in all canopy layers. However, The stands of the aspects showed more smaller variation than the stands of the topographic positions.
3. The ridge area showed greatest similarity coefficient value with the mid-slope area, but showed least similarity coefficient value with the valley. However, similarity coefficient among the topographic positions had much smaller value than similarity coefficient among the aspects.

Key words : natural deciduous forest, species composition, species diversity, similarity coefficient

서 론

천연활엽수림은 매우 복잡한 구조와 기능을 갖는다. 이러한 복잡한 구조와 기능을 발생시키는 원인으로는 수종들의 분포, 생육, 생식양상의 차이, 경쟁 등 수종 내적 요인과 수종들의 생육과 직접적으로 관련된 광도, 바람, 수분, 토양무기질 등 주변 환경 요인들의 변이를 고려할 수 있다. 수종 내적 요인은 주변 환경 요인들에 대한 수종들의 적응과정을 통해 변화되며, 환경 요인들도 장기적으로 구성 수종에 의해서 영향을 받기 때문에 수종과 환경과의 관계는 상호의존 관계라 할 수 있다.

산림의 구조와 기능의 변화에 영향을 미치는 또 하나의 요인은 지형 요인이다. 지형요인은 미세환경 변화와 그에 따른 수종구성의 변화를 유발한다. 즉, 지형에 따라 복잡한 환경 변이가 발생하고, 환경 변이에 따라 수종구성이 영향을 받기 때문에, 산림에서 발생되는 복잡한 구조와 기능은 지형 변이에 의한 환경 변이, 그리고 환경 변이에 의한 수종구성 변이 등의 과정을 통해 발생되는 외형적 현상이라고 할 수 있다.

산림의 지형은 산림의 외관적 특징을 의미하며, 지형적 특징의 공간 배열과 형태는 물의 배수, 토성, 온도, 광도 같은 중요한 물리적 환경요소에 영향을 미친다. 지형 요소로는 임형, 경사도, 위도, 해발고 등과 계곡, 산복, 능선 같은 지형적 위치, 그리고 사면방위 등이 있다. 이들 지형 요소들은 각각 산림의 물리 환경을 변화시켜 식생 발달에 영향을 미치며, 상호간에 크고 작은 영향을 미치는 상호연관성을 띠고 있어, 지형은 전체적인(Holistic) 것이라고 할 수 있다. 그러나 국부적인 산림(한 산림 또는 비교적 동질성의 인접 산림들)의 지형과 산림식생과의 관계를 규명하기 위해서는 수종구성에 보다 큰 영향을 미치는 지형 요소를 규명할 필요가 있으며, 이를 통한 산림의 보다 명확한 생태적 속성 정보를 파악할 수 있다.

지형 요소 중 위도와 해발고도는 매우 광범위한 범위를 갖기 때문에 광대한 산림환경 및 식생 변이를 유발하는 것으로 알려져 있다. 가장 대표적인 예는 수목한계선(Treeline) 등, 위도와 고도에 따른 식생대의 변화이다. 반대로 임형과 경사도는 매우 미세한 변화를 유발하는 지형 요소이다. 산림에서 임형과 경사도는 매우 불규칙하게 그리고 매우 조밀하고 다양하게 분포하기 때문에, 산림단위의 식생 및 환경변화의 원인으로서는 고려되지만, 이러한 지형 요소의 변이로서 산림의 식생 및 환경변화를 분류하기는 곤란하며, 발생되는 변이의 차는 상대적으로 미비한 것으로 판단된다. 일반적으로 한 산림 또는 비교적 동질성의 산림 식생은 지형 요소 중 계곡, 산복, 능선 등 지형적 위치와 사면방위에 따라 비교적 뚜렷한 변이를 보이는 것으로 파악되고 있으며, 식생과 이들 지형 요인간의 관계 또한 쉽게 분석되고 있다. 특히, 우리나라와 같이 산지 지형이 복잡하고, 굴곡이 심하여, 계곡, 산복, 능선의 구별이 뚜렷한 곳에서는 이러한 지형 변이가 태양광선 및 수분 조건의 양과 분배를 결정하는 중요한 요인으로 작용하여, 산림의 수종구성과 발달 상황에 지대한 영향을 미치는 것으로 파악되고 있다(강성기 등, 2000; 이원섭 등, 2000; 李德志, 1991; 山本博一 등, 1995; Rowe, 1984).

이 연구는 천연활엽수림을 대상으로 군집 구조적 차이가 예상되는 계곡, 산복, 능선 등 지형적 위치와 북동, 남동, 남서, 북서 지역 등 4곳의 사면방위에 따라 구분된 산림군집의 구조적 속성을 분석하고, 지형적 위치별 산림군집의 유사도와 사면방위별 산림군집의 유사도를 분석, 비교함으로써 산림의 구조에 보다 영향을 미치는 지형 요인을 파악하고자 수행되었다. 복잡한 구조를 갖는 천연활엽수림의 지형 요인에 따른 군집 구조적 속성과 군집 구조의 비교 결과는 산림의 생태적 속성을 비교적 명확히 파악하고, 이에 적합한 산림관리 방안을 모색해야 할 새로운 생태적 산림관리에 있어 중요한 기초 정보가 될 것이다.

자료 및 방법

1. 조사지 개황

이 연구는 강원도 춘천시와 홍천군에 걸쳐 위치한 가리산 일대 중 춘천국유림관리소 관내 천연활엽수림을 대상으로 실시되었다. 연구대상 지역의 총 산림면적은 약 8,168ha이며, 이중 약 59%는 신갈나무 등 참나무류가 주종을 이루는 천연활엽수림이며, 나머지 41%는 낙엽송과 잣나무가 주종을 이루는 인공침엽수림으로 분포되어 있다.

가리산 지역의 모암은 화성암 및 수성암(퇴적암), 변성암으로 형성되어 있으며, 석영, 운모, 장석이 주성분이나, 군청석, 전기석, 흑연 등과 혼효하여 편상이나 입상을 나타내고 있다. 산악부에는 암석, 석력들이 많이 존재하나, 대부분 사질양토이며, 산정부는 척박하고, 산록부는 부식질의 함량이 많아 임목 생육에 적합한 토양을 이루고 있으며, 토양습도 역시 대체로 적당하다. 수계는 가리산에서 대룡산에 이르는 주능선을 중심으로 북측사면으로 북한강으로 유입되는 소양강 수계와 남측으로는 홍천강의 2대 수계로 구분된다. 특히, 가리산의 북측사면의 물은 대부분 계곡형 단일 수계를 형성하며, 소양댐으로 직접 유입되는 과정에서 모래와 자갈층이 함께 운반되어 하상에 두껍게 퇴적되고 있다(춘천국유림관리소, 1999).

소양댐이 건설된 1973년부터 2001년까지 29년간 춘천지역의 기후자료를 수집하여 연구대상 지역의 기상조건을 분석한 결과, 연구대상 지역의 연 평균기온, 평균 최고기온, 그리고 평균 최저기온은 각각 약 10.7℃, 약 16.8℃ 그리고 약 5.7℃로 파악되었으며, 하절기의 연 평균기온, 평균 최고기온, 평균 최저기온은 각각 약 23.2℃, 28.4℃, 19.0℃, 그리고 동절기의 연 평균기온, 평균 최고기온, 평균 최저기온은 각각 약 -2.7℃, 약 3.0℃, 약 -7.6℃로 나타났다. 연 평균 상대습도는 약 73%이며, 집중호우의 영향을 받는 하절기는 다소 높아 약 79%, 그리고 동절기는 약 71%로 파악되었다. 연 평균강수량은 1,257mm이나, 임목생육기간인 5월~8월 사이

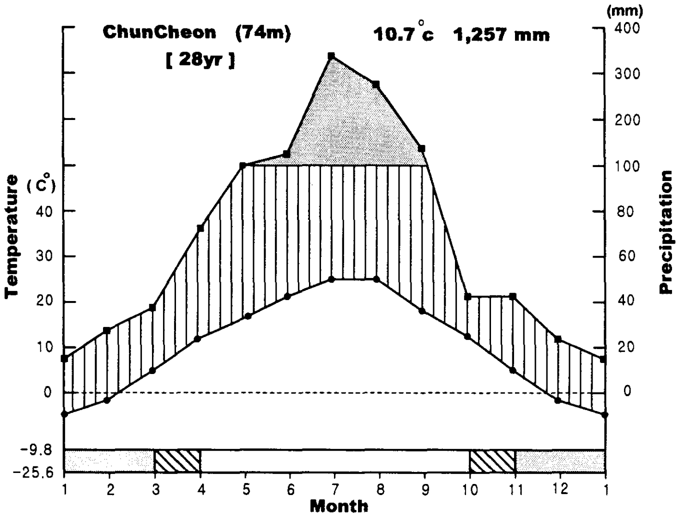

Figure 1. Climate diagram of the study area.

에 약 1,000mm의 강우가 집중되며, 특히 장마철에는 집중 호우가 빈번하게 발생하여 산사태 등 기상재해가 자주 발생하는 것으로 나타났다(Figure 1).

2. 자료 수집

연구대상 산림에 총 138개의 10m×10m 정방형 표본구를 계곡에서 능선까지 수직적으로 설치하고, 이를 4곳의 사면방위에 따라 반복하여 지형적 위치와 사면방위에 따른 식생 자료를 수집하였다. 계곡, 산복, 능선지역 등 지형적 위치별 표본구의 분포를 살펴보면, 넓은 지리적 범위를 갖는 산복지역에는 70개의 표본구가, 상대적으로 적은 면적을 갖는 계곡지역과 능선지역에는 각각 32개, 36개가 포함되고 있으며, 사면방위에 따라서는 0~90 ° 사이의 북동사면에 36개, 91~180 °사이의 남동사면에 37개, 181~270 ° 사이의 남서사면에 24개, 그리고 271~360 ° 사이의 북서사면에 41개의 표본구가 설치되었다.

계곡, 산복, 능선지역의 구분은 산림의 상관(相觀)을 기준으로 하였으며, 계곡의 중심 부위에서 구성 식생의 변화가 관찰되는 좌우 25m~30m 범위를 계곡지역으로, 능선의 중심에서 좌우 15m~20m 범위를 능선지역으로 구분하였으며, 나머지 지역은 모두 산복지역으로 구분하였다.

식생자료 수집은 표본구내 수고 1m 이상의 목본수종들을 대상으로 상층, 중층, 하층 등 수관층별에 따라 수종을 식별하고, 흉고직경, 총수고, 수관폭 등의 자료를 조사하였다. 수관층 구분을 위해 수고 13m 이상의 임목들 중 임관의 최상층을 차지하는 임목들은 상층목으로, 상층목 아래에서부터 수고 3m까지의 임목들은 중층목으로, 그리고 수고 3m 미만의 임목들은 하층목으로 구분하였다.

3. 연구방법

(1) 수종구성

연구대상 지역의 지형적 위치와 사면방위별 산림군집의 수종구성을 파악하기 위해 Curtis and McIntosh(1951)에 의해 고안되고, Brower and Zar(1977)에 의해 백분율(%)로 정리된, 중요치 산출방법을 이용하여 수관층별 수종들의 상대우점도를 분석하였다.

중요치는 상대밀도, 상대피도, 상대빈도를 합산한 평균치로서 산출되며, 구성 수종들의 개체수, 점유면적, 출현빈도 등에 의해 수종들간의 우점도

를 비교할 수 있는 상대적인 생태적 측도이다.

수종구성은 산림군집의 특성을 설명하는 가장 기초적인 군집 구조적 속성으로, 구성 수종들의 상호간 관계를 평가하고, 물리적 환경과의 관계를 분석하며, 군집을 분류하는 데 기본이 된다. 따라서 산림군집의 생태학적인 성격을 파악하기 위해서는 우선적으로 수종구성에 대한 정보가 파악되어야 할 것이다.

(2) 종다양도

지형적 위치와 사면방위별 산림군집들을 대상으로 Shannon-Wiener Function(Shannon과 Weaver, 1949)을 이용하여 산림군집의 종다양도를 파악하였다. 종다양도 산출은 log base e (자연대수)를 기준으로 하였으며, 공식은 다음과 같다.

$$H' = -\Sigma P_i \log P_i$$

$$H_{max}' = \log s \qquad J' = H' / H_{max}'$$

H' : Shannon's diversity index
H_{max}' : Maximum diversity index by H'
J' : Evenness by H'
$1-J'$: Dominance by H'
P_i : Proportion of sample belonging to i species($= n_i/N$)
s : Number of species in sample

Shannon-Wiener Function은 정보이론을 바탕으로 고안되었으며, 생물군집에서 무작위로 어떤 개체를 추출할 때 종다양도가 높을수록 한번 선택된 종이 다시 선택될 가능성이 희박해진다는 불확실성 이론을 기초로 하고 있다. 즉, 어떤 종이 예측될 불확실성은 산림의 수종구성의 변이가 높을수록(종다양도가 높을수록) 증가할 것이며, 반대로 수종구성의 변이가 낮을수록(종다양도가 낮을수록) 감소한다는 이론에 따른 방법이다. Shannon-Wiener Function은 종의 개체수 크기보다는 종의 출현에 더욱 민감하며, 넓은 지역에 걸친 산림군집에서 무작위로 추출한 표본구에서 획득한 식생자료를 이용하여 종다양도를 산출하는데 매우 적당한 방법이다(Brower and Zar, 1977).

종다양도는 종의 수를 의미하는 종풍부성과 각 종들간의 개체수 균등분포 정도를 의미하는 균재성 등 두 가지 개념을 결합한 이종성의 다양도 측도이다. 즉, 종다양도는 군집내 식물 종들의 구성 양상을 평가하는 군집을 주체로 한 속성이며, 다른 군집과의 비교나 또는 같은 군집의 시간의 경과에 따른 변화 등에 초점을 맞추는 비교 중심적인 개념이라 할 수 있다. 종다양도는 산림군집의 구조상의 복잡성, 외부 교란 요인으로부터의 안정성, 그리고 천이진행과 임분 발달과정상이 성숙도와 정비례하는 경향이 짙으며(Odum, 1969), 산림군집내 종다양도의 변이 원인은 시간적 변화, 종분화율, 포식관계, 환경안정도, 환경의 동질성 및 이질성 등으로 고려되고 있다(Kimmins, 1997). 종다양도는 군집의 안정성과 성숙도의 척도로 활용 가능하며, 생물다양성의 대체 측도로서 활용되는 것이 일반적이다(Krebs, 1999). 특히, '생태계경영(Ecosystem management)' 이라는 새로운 산림경영 개념이 도입되면서, 산림의 생태적 속성에 적합한 경영을 추구하고, 산림의 안정성을 유지하기 위해 종다양도의 중요성은 날로 중요시되고 있고, 세계적인 관심사가 되고 있다.

(3) 군집간 유사도

지형적 위치와 사면방위에 따라 분류된 산림군집들이 어느 정도의 구조상 유사도와 상이도를 보이는 가를 분석하여, 지형적 위치와 사면방위 중 어떤 지형적 요인이 군집분류에 더욱 영향을 미치는 가를 파악하기 위해, 지형적 위치별 산림군집들과 전체 연구지역, 그리고 사면방위별 산림군집들과 전체 연구지역의 백분율 유사도를 산출하였다. 백분율 유사도 계수(Percentage Similarity

Coefficient)는 Renkonen(1938)에 의해 생태학 분야에 최초로 소개되었으며, Wolda(1981)와 Legendre and Legendre (1983)에 의해 간단하면서도 표본 크기와 종다양성에 영향을 받지 않는 매우 유용한 유사도 산출방법으로 추천되고 있다. 백분율 유사도 계수는 군집간 수종들의 상대적인 비율의 최소치를 이용하여 군집간 유사도를 0~100(%)의 범위로 표현하는 방법으로 이 연구에서는 수종들의 상대우점도를 이용하여 유사도를 산출하였으며, 공식은 다음과 같다.

$$PS = \Sigma \min(X_{ik}, X_{jk})$$

min : Minimum of two values
i, j : Community
k : Species

결과 및 고찰

1. 수종구성

조사된 연구대상 전체 산림지역에는 총 44개의 목본수종들의 생육하고 있으며, 상층임관에는 20개 수종, 중층임관에서는 36개 수종, 하층임관에서는 39개 수종이 출현하는 것으로 파악되었다.

(1) 지형적 위치별 산림군집의 수종구성

계곡, 산복, 능선지역 등 지형적 위치에 따라 산림군집을 분류하고, 수관층별 수종의 상대우점도를 분석하여 Table 1에 나타내었다. 계곡, 산복, 능선지역의 상층임관에는 각각 11개, 19개, 8개 수종이 출현하고 있으며, 중층임관에는 각각 24개, 29개, 24개 수종이, 그리고 하층임관에는 각각 26개, 27개, 27개 수종이 생육하고 있다.

계곡지역의 상층임관에서는 가래나무가 가장 높은 상대우점도를 보이는 반면에, 산복지역과 능선지역에서는 신갈나무가 가장 높은 상대우점도를 보이는 것으로 나타났다. 계곡지역의 상층임관에서 상위의 상대우점도를 보이는 수종은 가래나무, 층층나무, 신갈나무, 고로쇠나무로 파악되었으며, 산복지역에서는 신갈나무, 졸참나무, 찰피나무, 가래나무, 능선지역에서는 신갈나무, 소나무, 졸참나무가 높은 상대우점도를 보이는 것으로 나타났다.

중층임관의 수종구성을 살펴보면, 계곡지역에서는 산뽕나무, 고로쇠나무, 층층나무, 가래나무, 산복지역에서는 신갈나무, 쪽동백나무, 산뽕나무, 졸참나무, 그리고 능선지역에서는 신갈나무, 쪽동백나무, 졸참나무가 높은 상대우점도를 보이는 것으로 파악되었다.

하층임관에서는 고추나무, 고로쇠나무, 생강나무, 당단풍나무, 국수나무가 계곡지역에서 높은 상대우점도를 보이며, 산복지역에서는 신갈나무, 생강나무, 쪽동백나무, 고로쇠나무, 고추나무, 그리고 능선지역에서는 쪽동백나무, 신갈나무, 생강나무, 당단풍나무의 상대우점도가 높은 것으로 파악되었다.

각 지역의 수관층별 수종구성의 변이를 살펴보면, 계곡지역의 상층과 중층임관을 우점하는 가래나무와 층층나무는 하층임관에서 전혀 출현하지 않거나 세력이 매우 미약하여 하층목이 상층목으로 도약하는 미래에는 세력이 약화될 것으로 예측되는 반면에, 고로쇠나무, 물푸레나무, 찰피나무는 교목수종 중 중층과 하층임관에서 높은 세력을 보이고 있어, 앞으로 계곡지역은 장차 이들 수종들에 의해 우점되는 양상을 보일 것으로 판단된다. 산복지역에서는 상층임관 우점수종인 신갈나무, 졸참나무가 중층과 하층임관에서 상대적으로 세력이 낮은 것으로 파악되고 있으나, 비교적 상위의 수준을 유지하고 있어 세력의 확장이 기대되는 고로쇠나무, 물푸레나무, 찰피나무 등과 함께 미래에도 산복지역을 우점할 것으로 판단된다.

능선지역에서는 소나무의 쇠퇴가 예상되며, 신갈나무와 하층임관에서 양호한 세력을 보이는 물푸레나무, 졸참나무가 우점할 것으로 판단된다.

Table 1. Species composition of the valley, mid-slope and ridge area by vertical layers in the study forest.

Species	Overstory			Mid-Story			Understory		
	Valley	Mid-Slope	Ridge	Valley	Mid-Slope	Ridge	Valley	Mid-Slope	Ridge
Acer mono(AM)[1]	6.7	1.8	--	12.6	4.9	2.7	11.3	9.0	2.9
Acer pseudo-sieboldianum(AP)	--	--	--	2.6	3.9	3.5	7.6	6.2	7.4
Betula davurica(BD)	--	0.4	--	--	--	--	--	--	--
Betula schmidtii(BS)	3.7	4.1	6.1	--	1.2	3.3	--	--	--
Carpinus cordata(CC)	--	--	--	--	--	--	0.6	--	--
Cornus controversa(CO)	18.2	5.1	--	12.2	2.7	0.6	1.7	0.2	0.2
Corylus heterophylla var. *thunbergii*(CH)	--	--	--	3.6	1.8	--	2.8	4.1	0.4
Deutzia parviflora(DP)	--	--	--	--	--	--	1.1	--	1.0
Euonymus sachalinensis(ES)	--	--	--	--	--	--	0.7	--	--
Fraxinus mandshurica(FM)	--	--	--	--	--	--	--	0.6	--
Fraxinus rhynchophylla(FR)	5.8	5.3	1.2	5.3	3.2	3.8	4.3	6.4	5.9
Juglans mandshurica(JM)	43.1	6.8	1.5	11.6	1.1	--	--	0.3	0.2
Kalopanax pictus(KP)	2.2	1.9	0.6	0.5	1.0	--	0.7	2.0	1.3
Lespedeza bicolor(LB)	--	--	--	0.4	--	--	4.3	--	1.2
Lindera obtusiloba(LO)	--	--	--	7.6	4.3	2.5	11.0	13.3	9.4
Maackia amurensis(MA)	--	--	--	0.8	0.9	--	1.5	2.1	1.8
Magnolia sieboldii(MS)	--	--	--	0.9	1.0	0.5	0.7	2.2	1.0
Morus bombycis(MB)	1.5	0.4	--	14.0	6.3	0.9	5.1	1.1	--
Phellodendron amurense(PA)	--	0.9	--	--	0.2	--	--	--	--
Philadelphus schrenckii(PH)	--	--	--	--	0.2	--	2.3	1.3	--
Philadelphus tenuifolius(PT)	--	--	--	0.4	0.2	--	4.2	0.8	--
Picrasma quassioides(PQ)	--	0.4	--	1.2	0.5	0.3	3.1	1.0	--
Pinus densiflora(PD)	--	1.4	29.2	--	--	5.4	--	--	2.4
Pinus koraiensis(PK)	--	--	--	--	--	0.3	--	0.5	3.9
Prunus mandshurica var. *glabra*(PM)	--	0.6	--	--	0.7	0.8	--	--	--
Prunus padus(PP)	--	--	--	--	0.4	--	--	2.6	--
Prunus sargentii(PS)	--	--	--	--	0.8	0.6	--	--	0.2
Quercus dentata(QD)	--	--	--	--	--	0.3	--	--	0.5
Quercus mongolica(QM)	10.6	41.8	48.2	2.4	26.1	43.2	3.0	14.0	21.2
Quercus serrata(QS)	1.4	14.9	8.6	0.9	6.2	6.6	1.0	3.8	4.8
Quercus variabilis(QV)	--	5.2	4.6	--	1.4	3.3	--	--	0.4
Rhododendron schlippenbachii(RS)	--	--	--	0.5	0.2	1.9	1.6	--	6.8
Rhus chinensis(RC)	--	--	--	0.4	0.2	--	--	--	0.2
Rhus trichocarpa(RT)	--	--	--	--	1.0	2.0	--	0.4	1.6
Salix hulteni(SH)	--	0.5	--	--	--	--	--	--	--
Sorbus alnifolia(SA)	--	0.5	--	1.3	--	0.3	1.3	--	--
Staphylea bumalda(SB)	--	--	--	4.7	1.1	--	12.1	8.3	0.3
Stephanandra incisa(SI)	--	--	--	--	--	--	6.7	0.3	0.5
Styrax obassia(SO)	--	--	--	6.1	22.5	14.4	--	12.7	21.8
Symplocos chinensis for. *Pilosa*(SC)	--	--	--	0.9	--	--	5.9	--	--
Tilia amurensis(TA)	--	1.0	--	--	--	1.9	--	0.2	1.2
Tilia mandshurica(TM)	4.3	7.0	--	6.6	4.9	0.6	4.2	6.1	1.4
Ulmus parvifolia(UP)	2.5	--	--	2.5	0.9	0.4	1.3	0.4	--
Zanthoxylum schinifolium(ZS)	--	--	--	--	--	--	--	0.2	--

[1] Species abbreviations are applied to Table 2.

계곡, 산복, 능선지역의 수종구성 분석 결과, 산림군집을 구성하는 종의 수와 종류, 그리고 수종의 상대우점도에서 큰 차이가 있는 것으로 파악되어, 지형적 위치별 군집들간에는 수종구성의 이질성이 큰 것으로 판단된다. 특히, 교목수종들만 생육하는 상층임관에서 군집간 수종구성의 차이는 더욱 두드러지게 나타나고 있다. 즉, 계곡지역에서는 상대적으로 높은 수분 요구도를 갖는 가래나무, 층층나무, 고로쇠나무 등의 세력이 높게 나타나는 반면에, 강한 광선과 바람에 의한 건조한 환경이 예상되는 능선지역에서는 신갈나무, 소나무 등이 높은 세력을 갖는 양상이 나타나고 있다. 따라서 지형적 위치에 따라 구성 수종과 우점종의 종류가 다르기 때문에 각 지역의 수종구성에 적합한 산림관리 방안을 모색하는 것이 효과적일 것으로 판단된다.

(2) 사면방위별 산림군집의 수종구성

북동, 남동, 남서, 북서사면 등 사면방위에 따라 산림군집을 분류하고, 수관층별 수종구성을 분석하여 Table 2에 나타내었다. 북동, 남동, 남서, 북서사면 산림군집의 상층임관에는 각각 16개, 14개, 10개, 13개 수종, 중층임관에는 각각 26개, 22개, 25개, 33개 수종, 그리고 하층임관에는 각각 25개, 24개, 27개, 30개 수종이 생육하는 것으로 파악되었다.

사면방위별 산림군집의 상층임관에서는 모두 신갈나무가 가장 높은 상대우점도를 보이는 것으로 나타났다. 신갈나무 다음으로 북동사면에서는 박달나무, 가래나무, 층층나무, 찰피나무의 세력이 높은 것으로 나타났으며, 남동사면에서는 졸참나무, 소나무, 가래나무, 남서사면에서는 소나무, 가래나무, 졸참나무, 층층나무, 박달나무, 그리고 북서사면에서는 졸참나무, 소나무, 가래나무, 굴참나무의 세력이 높은 것으로 파악되었다. 상층임관에서 소나무, 졸참나무, 굴참나무는 북동사면에서의 세력이 상대적으로 다른 사면에 비해 매우 낮은 것으로 나타났으며, 반대로 박달나무는 북동사면의 세력이 매우 높게 나타나고 있다. 찰피나무는 북동과 남동사면에서의 세력이 높은 것으로 파악되었다. 수종마다 요구하는 서식지의 환경 조건이 다르며, 또한 환경에 대한 적응력이 다르기 때문에 지형적 요인별 수종구성 뿐만 아니라 수종들의 지형적 요인별 서식 분포에 대한 정보는 효율적인 산림관리를 위해 매우 유용한 정보가 될 것으로 판단되며, 따라서 보다 많은 연구의 수행이 뒤따라야 할 것이다.

중층임관의 북동사면에서는 쪽동백나무, 신갈나무, 찰피나무, 산뽕나무, 북동사면에서는 신갈나무, 쪽동백나무, 고로쇠나무, 남동사면에서는 신갈나무, 쪽동백나무, 졸참나무, 남서사면에서는 신갈나무, 쪽동백나무, 고로쇠나무, 그리고 북서사면에서는 신갈나무, 쪽동백나무, 고로쇠나무, 물푸레나무 등이 높은 상대우점도를 보이고 있다.

하층임관에서는 고추나무, 국수나무, 생강나무, 당단풍나무, 신갈나무, 고로쇠나무 등이 북동사면에, 국수나무, 신갈나무, 생강나무, 철쭉꽃 등이 남동사면에, 신갈나무, 국수나무, 생강나무 등이 남서사면에, 그리고 신갈나무, 국수나무, 물푸레나무, 생강나무 등이 북서사면에서 상위의 세력을 보이는 것으로 파악되었다.

지형적 위치별 산림군집에서와 마찬가지로 모든 사면방위 산림군집에서도 중층과 하층임관으로 갈수록 교목수종보다는 아교목 및 관목수종의 세력이 매우 강해지는 것으로 나타났다. 그러나 아교목 및 관목수종들은 생육특성상 상층목으로의 도약을 기대하기 어렵고, 장차 상층목으로 생육하는 교목수종들의 천연갱신 및 생육에 큰 저해요소로 작용한다. 산림의 생태적 경영은 산림의 안정성을 유지하면서 고가치의 다양한 산림산물을 지속적으로 생산하는 것을 의미한다. 따라서 산림의 최소한의 안정성을 유지하면서 용재생산 등 높은 산림수확이 기대되는 교목수종의 생육과 발달을 촉진시킬 수 있는 적절한 산림 시업 방안이 모색되어야 할 것이다.

신갈나무는 모든 사면방위별 산림군집의 모든 수관층에서 가장 높거나 매우 높은 상대우점도를 보이는 것으로 파악되었으며, 사면방위별 산림군집들의 수관층별 우점종에는 중복되는 수종들이 많은 것으로 나타나, 구성 수종과 우점종의 차이는 지형적 위치별 산림군집간의 차이에 비해 적은 것으로 파악되었다.

Table 2. Species composition of the north-east, south-east, south-west, and north-west areas by vertical layers in the study forest.

Species	Overstory				Mid-Story				Understory			
	NE*[1]	SE	SW	NW	NE	SE	SW	NW	NE	SE	SW	NW
AM	1.9	2.2	1.7	1.9	4.5	4.9	6.4	5.9	8.3	5.3	4.2	7.0
AP	--	--	--	--	5.4	1.7	4.1	3.4	9.0	3.2	9.9	8.3
BD	--	--	--	0.7	--	--	--	--	--	--	--	--
BS	13.2	--	6.9	0.8	4.7	--	2.4	0.7	--	--	--	--
CC	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0.3	--	--
CO	6.4	2.1	8.1	5.9	1.6	3.0	4.7	5.1	0.3	--	1.5	0.2
CH	--	--	--	--	1.1	2.5	1.8	1.1	2.0	1.9	1.4	2.0
DP	--	--	--	--	--	--	--	--	--	1.9	1.9	--
ES	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0.6	--
FM	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0.8	--	--
FR	5.4	2.4	5.5	3.5	2.5	3.5	2.2	5.6	4.8	2.6	3.6	10.5
JM	10.1	10.5	14.8	8.8	1.7	2.4	5.0	1.0	--	0.3	--	0.4
KP	2.6	1.6	--	1.5	1.4	--	0.4	0.6	1.1	0.6	1.9	2.0
LB	--	--	--	--	0.3	--	--	--	2.9	1.2	--	--
LO	--	--	--	--	5.7	4.9	5.8	1.6	9.6	13.3	11.6	9.2
MA	--	--	--	--	1.6	--	0.7	0.3	2.3	--	1.5	2.8
MS	--	--	--	--	1.4	--	1.2	0.8	2.9	--	1.1	1.4
MB	1.0	0.8	--	--	6.8	5.7	5.6	5.1	1.3	0.8	1.7	1.0
PA	0.9	--	--	0.7	--	--	--	0.3	--	--	--	--
PH	--	--	--	--	--	--	--	0.2	0.2	--	1.1	2.0
PT	--	--	--	--	--	--	--	0.5	0.4	--	--	2.4
PQ	0.8	--	--	--	0.3	0.5	0.4	0.9	0.4	0.3	2.3	1.2
PD	4.8	11.6	17.8	11.3	--	3.6	1.5	1.9	0.7	1.5	0.6	1.0
PK	--	--	--	--	--	0.3	--	--	2.7	2.6	--	1.1
PM	1.2	--	--	--	1.3	0.3	0.4	0.5	--	--	--	--
PP	--	--	--	--	--	--	--	0.6	--	--	--	3.3
PS	--	--	--	--	--	0.4	2.2	0.3	--	--	0.4	--
QD	--	--	--	--	--	--	--	0.3	--	--	--	0.8
QM	37.9	41.6	30.9	42.6	19.7	29.3	28.3	34.1	8.3	20.2	18.3	20.4
QS	5.9	13.0	9.0	12.4	4.9	6.9	5.8	4.3	4.8	1.9	5.7	4.4
QV	--	4.4	3.7	7.3	--	3.8	1.7	1.4	--	--	1.0	--
RS	--	--	--	--	0.3	1.5	0.4	0.6	1.5	8.5	1.8	--
RC	--	--	--	--	--	--	--	0.5	--	--	--	0.3
RT	--	--	--	--	0.6	1.6	2.4	0.5	--	1.5	2.2	0.6
SH	1.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
SA	--	0.9	--	--	0.6	--	--	0.6	--	--	0.5	0.2
SB	--	--	--	--	3.0	0.9	1.7	0.2	12.9	2.4	3.6	1.6
SI	--	--	--	--	--	--	--	--	4.1	0.7	--	0.6
SO	--	--	--	--	20.5	16.0	13.0	17.6	10.8	22.8	16.8	11.7
SC	--	--	--	--	0.6	--	--	--	1.9	--	2.3	--
TA	0.8	1.4	--	--	1.2	--	--	1.2	1.6	--	--	0.5
TM	6.1	5.8	1.6	2.6	7.7	4.9	0.9	1.4	5.2	5.0	1.8	2.8
UP	--	1.5	--	--	0.4	1.6	1.0	0.9	--	0.6	0.6	0.3
ZS	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0.2

* NE : the north-east area(aspects of 1 ~ 90°) SE : the south-east area(aspect of 91 ~ 180°)
SW : the south-west area(aspect of 181 ~ 270°) NW : the north-west area(aspect of 271 ~ 360°)

[1] Aspect abbreviations are applied to Table 8.

2. 종다양도

(1) 지형적 위치별 산림군집의 종다양도

Shannon-Wiener의 종다양도 산출식을 이용하여 지형적 위치별 산림군집의 수관층별 종다양성 지수, 최대다양성 지수, 균재도, 우점도, 종풍부도를 산출하고, 그 결과를 Table 5에 나타내었다.

종다양도는 모든 지역에서 상층임관보다는 중층임관이, 중층임관 보다는 하층임관이 높은 것으로 파악되었다. 상층임관에서는 종의 수가 가장 많은 산복지역의 종다양도가 1.96으로 가장 높게 산출되었으나, 중층과 하층임관에서는 계곡지역의 종다양도가 각각 2.66과 2.77로 가장 높게 산출되었다. 이러한 원인은 계곡지역의 종의 수가 산복지역에 비해 적지만 분포 종들의 균등한 개체수 분포 즉, 높은 균재성에 의한 것으로 파악되었다.

능선지역은 모든 수관층에서 가장 낮은 종다양도를 보이며, 특히 상층임관에서는 상대적으로 적은 종의 수와 신갈나무, 소나무 등 높은 세력을 갖는 우점종의 출현으로 1.27의 낮은 종다양도를 보이고 있다. 능선지역 상층임관의 낮은 종다양도의 원인 즉, 적은 종의 출현과 몇 개의 특정 종에 의해 우점되는 양상은 여러 수종들이 발생하고, 생육하기에 부적합한 능선지역의 열악한 환경조건 때문인 것으로 판단된다. 능선지역은 광선이 직접 임지에 유입될 정도로 소개되어 있으며, 강한 바람에 의해 토양조건과 수종들의 생육상태도 불량한 것으로 관찰되었다.

(2) 사면방위별 산림군집의 종다양도

사면방위별 산림군집의 수관층별 종다양성 지수, 최대다양성 지수, 균재도, 우점도, 종풍부도 등을 산출하여 Table 6에 나타내었다.

북동지역은 상층임관에서 2.06, 중층임관에서 2.52, 그리고 하층임관에서 2.79로 모든 수관층에서 사면방위별 산림군집 중 종다양도가 가장 높은 것으로 나타났으며, 북서지역은 상층임관에서 가장 낮은 종다양도(1.78)를, 남동지역은 하층임관에서 가장 낮은 종다양도(2.14)를 갖는 것으로 파악되었다. 상층임관에서 남서지역은 종의 수가 가장 적게 출현함에도 불구하고, 높은 균재성에 의해 보다 많은 종이 출현하는 남동지역과 북서지역 보다 종다양도가 높게 산출되었다.

지형적 위치와 사면방위에 따른 산림군집의 종다양도 분석 결과, 지형적 위치별 산림군집간의 종다양도 차이가 사면방위별 산림군집간 보다 큰

Table 5. Species diversity indices of the valley, mid-slope, ridge, and whole areas in the study forest.

Vertical Layers		H'^{1}	$H_{max}'^{2}$	J'^{3}	$1\text{-}J'^{4}$	R^{5}
Overstory	Valley	1.72	2.40	0.72	0.28	11
	Mid-Slope	1.96	2.94	0.66	0.34	19
	Ridge	1.27	2.08	0.61	0.39	8
Mid-Story	Valley	2.66	3.18	0.84	0.16	24
	Mid-Slope	2.38	3.37	0.71	0.29	29
	Ridge	2.06	3.18	0.65	0.35	24
Understory	Valley	2.77	3.26	0.85	0.15	26
	Mid-Slope	2.59	3.30	0.78	0.22	27
	Ridge	2.25	3.30	0.68	0.32	27

[1] Shannon's diversity index
[2] Maximum diversity index by Shannon's index
[3] Evenness by Shannon's index
[4] Dominance by Shannon's index
[5] Richness

Table 6. Species diversity indices of the north-east, south-east, south-west, north-west areas in the study forest.

Vertical Layers		H'[1]	H_{max}'	J'	$1\text{-}J'$	R
Overstory	NE	2.06	2.77	0.74	0.26	16
	SE	1.81	2.64	0.68	0.32	14
	SW	1.88	2.30	0.81	0.19	10
	NW	1.78	2.56	0.69	0.31	13
Mid-Story	NE	2.52	3.26	0.77	0.23	26
	SE	2.41	3.09	0.78	0.22	22
	SW	2.51	3.22	0.78	0.22	25
	NW	2.41	3.50	0.69	0.31	33
Understory	NE	2.79	3.22	0.87	0.13	25
	SE	2.14	3.18	0.67	0.33	24
	SW	2.52	3.30	0.76	0.24	27
	NW	2.46	3.40	0.72	0.28	30

[1] Abbreviations from Table 5.

것으로 나타나고 있다. 이러한 양상은 산복지역과 계곡지역에 비해 능선지역에서 상이한 구조를 보이기 때문으로 판단된다. 그러나 사면방위별 산림군집간에도 상대적으로 적지만 종다양도의 차이가 나타나고 있어, 계곡, 산복, 능선 등 지형적 위치뿐만 아니라 사면방위에 따라서도 서식 식생의 종류와 구성이 다른 것을 알 수 있다. 따라서 산림에 대한 구조 분석은 산림을 전체적으로 고려한 분석보다는 지형 인자 또는 환경 경사에 따라 몇 가지 군집으로 분류하여 분석하는 것이 특히, 고산시대가 많고, 산세가 험한 우리나라에서는 반드시 필요한 것으로 판단된다.

Table 7. Similarity indices of the vertical layers for the valley, mid-slope, ridge, and whole areas in the study forest.

Communities		Percent Similarity(%)			
		Valley	Mid-Slope	Ridge	Whole Area
Overstory	Valley	--	41	19	44
	Mid-Slope		--	64	85
	Ridge			--	71
	Whole Area				--
Mid-Story	Valley	--	26	25	49
	Mid-Slope		--	67	89
	Ridge			--	73
	Whole Area				--
Understory	Valley	--	58	37	57
	Mid-Slope		--	63	84
	Ridge			--	77
	Whole Area				--

3. 군집간 유사도

(1) 지형적 위치별 산림군집간 유사도

지형적 위치별 산림군집, 그리고 전체 산림지역의 군집간 유사도를 산출하여 Table 7에 나타내었다.

전체 산림지역과 가장 유사한 지역은 산복지역으로 나타났으며, 가장 상이한 지역은 계곡지역으로 파악되었다. 산복지역은 상대적으로 면적이 협소한 계곡과 능선지역에 비해 광범위한 면적을 갖기 때문에 전체 산림과 가장 유사하게 나타나게 된 것으로 판단되나, 관찰 결과, 산복 하부지역과 상부지역의 수종구성의 차이가 큰 것으로 파악되어 효율적인 산림관리를 위해서는 산복지역을 상부지역과 하부지역 등으로 구분하여 군집구조에 대한 정보를 파악하는 것이 효율적인 산림관리를 위해 바람직할 것으로 판단된다. 계곡지역은 가래나무, 층층나무 등 생육특성상 충분한 수분을 요구하는 일부 수종들이 집중적으로 분포하고 있어 전체 산림과 유사도가 낮게 평가된 것으로 생각된다. 능선지역은 강한 바람과 직접 임지에 도달하는 강한 광선 때문에 임목의 발생과 생육에 열악한 환경 조건을 갖는 것으로 판단되지만, 능선지역 뿐만 아니라 전체 산림지역 전역에서 높은 상대우점도를 보이는 신갈나무에 의해 전체 산림과 유사도가 비교적 높게 나타난 것으로 판단된다.

지형적 위치별 산림군집간의 유사도는 산복과 능선이 가장 유사도가 높고, 계곡과 능선이 가장 낮은 것으로 나타났다. 그러나 최대 유사도 지수(100 %)를 감안할 때 가장 유사한 산복과 능선의 유사도 지수가 최고 67%(중층임관)에 지나지 않아 지형적 위치별 산림군집간의 구조적 차이는 큰 것으로 판단된다.

(2) 사면방위별 산림군집의 군집간 유사도

북동, 남동, 남서, 북서지역 등 사면방위별 산림군집, 그리고 전체 산림지역의 군집간 유사도를 Table 8에 나타내었다.

Table 8. Similarity indices of the vertical layers for the north-east, south-east, south-west, north-west and whole areas in the study forest

Communities		Percent Similarity(%)				
		NE	SE	SW	NW	Whole Area
Overstory	NE	--	74	74	74	82
	SE		--	74	89	89
	SW			--	77	83
	NW				--	90
	Whole Area					--
Mid-Story	NE	--	72	74	70	79
	SE		--	83	80	89
	SW			--	80	88
	NW				--	87
	Whole Area					--
Understory	NE	--	83	67	69	77
	SE		--	88	83	91
	SW			--	74	74
	NW				--	82
	Whole Area					--

전체 산림지역과 가장 유사한 사면방위 군집은 상층임관에서는 북서지역, 중층과 하층임관에서는 남동지역으로 파악되었으나, 모든 수관층에서 사면방위 산림군집이 전체 산림지역과 비교적 높은 유사도를 보이고 있으며, 특히 상층임관에서는 최소 82%의 높은 유사도를 보이고 있다. 따라서 지형적 위치별 산림군집에 비해 전체 산림지역과 구조적인 차이가 적은 것으로 파악되었다.

사면방위별 산림군집간 가장 유사한 군집은 남동지역과 북서지역의 상층임관이며, 가장 상이한 지역은 북동지역과 남서지역의 하층임관으로 파악되었으나, 전반적으로 유사도 지수가 지형적 위치별 군집들 보다 매우 높은 것으로 나타났다. 따라서 사면방위는 지형적 위치에 비해 군집 구조의 변이에 적은 영향을 미치는 것으로 파악되었다.

결 론

강원도 가리산 일대 천연활엽수림을 대상으로 지형적 위치와 사면방위에 따라 군집을 분류하고, 군집 구조적 속성을 분석·비교한 결과, 북동, 남동, 남서, 북서 등 사면방위와 계곡, 산복, 능선 등 지형적 위치에 따라 군집 구조적 차이가 발생하며, 사면방위 보다는 지형적 위치에 따라 변이가 더 큰 것으로 파악되었다.

지형적 위치와 사면방위는 산림의 미세환경을 변화시키는 대표적인 산림의 지형 요인이며, 같은 산림에서 종구성의 이질성을 발생시키는 주원인이다. 따라서 산림의 총체적인 구조 및 기능에 대한 정보 파악에 전념하기보다는 지형적 위치, 사면방위 등의 지형 또는 환경 요인에 따라 산림을 여러 군집으로 분류하고, 각 군집의 구조적 속성을 파악·비교하여, 이를 통해 전체적인 산림을 이해하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 이러한 지형과 환경요인에 따른 산림군집의 정보는 최근에 새로이 등장하고 있는 생태적인 산림관리를 위해서도 바람직할 것으로 판단된다.

인 용 문 헌

1. 강성기, 김지홍, 김광택, 양희문. 2000. 점봉산일대 천연활엽수림의 지형적 위치에 따른 군집 구조적 속성 분석(Ⅰ). 강원대학교 산림과학연구 16 : 93-104.
2. 이원섭, 김지홍, 김광택. 2000. 점봉산 일대 천연활엽수림의 지형적 위치에 따른 천이 경향 분석. 한국임학회지 89(5) : 655-665.
3. 춘천국유림관리소. 1999. 제7차기 영림계획서(춘천영림계획구).
4. 李德志. 1991. 帽兒山地區天然次生林環境梯度與群集梯度的綜合分析. In 周曉峰(ed), 森林生態系統定位硏究. 東北林業大學出版社. 哈爾濱. 445-453 pp.
5. 山本博一, 仁多見俊夫, 木佐貫博光. 1995. 針廣混交天然林の林分構造の解析(Ⅰ) 樹種構成と地形要因の關係. 日林誌 77(1) : 47-54.
6. Brower, J.E. and J.H. Zar. 1977. Field and Laboratory Methods for General Ecology. WM. C. Brown Co. Publ. Dubuque, Iowa. 194 pp.
7. Curtis, J.T. and R.P. McIntosh. 1951. An upland forest continuum in the prairie-forest boarder region of Wisconsin. Ecology 32 : 476-498.
8. Kimmins, J.P. 1997. Forest Ecology. 2nd ed., Prentice-Hall, Inc. New Jersey. 596 pp.
9. Krebs, C.J. 1999. Ecological Methodology, 2nd ed. Addition-Welsey Educational Publishers, Inc., California. 620 pp.
10. Legendre, P.S. and L. Legendre. 1983. Numerical Ecology. 1st ed., Elsevier, New York. 419 pp.
11. Odum, E.P. 1969. The strategy of ecosystem development. Science 164: 262-270.

12. Renkonen, O. 1938. Statisch-okologische Untersuchungen uber die terrestiche kaferwelt der finnischen bruchmoore. Ann. Zool. Soc. Bot. Fenn. Vanamo 6 : 1-231.

13. Rowe, J.S. 1984. Forestland classification : Limitation of the use of vegetation. p276. in Forestland Classification : Experiences probles. Perspectives. J. Bockheim(ed). Proc. Symp. Univ., Wisconsin.

14. Shannon, C.E. and W. Weaver. 1949. The Mathematical Theory of Communication. Science 185 : 27-39.

15. Wolda, H. 1981. Similarity indices, sample size and diversity. Oecologia (Berl.) 50 : 296-302.