

점봉산 일대 천연활엽수림의 군집 유형별 천이지수 추정

金光澤¹ · 金知洪^{2*}

¹中國 東北林業大學 生態學科, ²江原大學校 山林科學大學

The Estimation of Succession Index by Community Types in the Natural Deciduous Forest of Mt. Jumbong

Jin Guang Ze¹ and Ji Hong Kim^{2*}

¹Department of Ecology, College of Forestry, Northeast Forestry University, Harbin 150040, P.R. China

²College of Forest Sciences, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

요 약: 산림천이는 비교적 장기간에 걸쳐서 진행되는 산림 구조와 기능의 변화 과정이므로 그 진행 과정에 대하여 모델 개발 혹은 통계적 방법을 통하여 객관성을 높일 수 있다. 본 연구는 점봉산 일대 천연활엽수림의 천이 진행 과정을 정량적으로 파악하기 위하여 수종의 극성상지수와 구성 비율로 산출되는 천이지수를 추정하였고, 천이의 진행에 따른 군집의 생활형 구성 비율의 차이와 종다양성의 차이에 대하여 검토하였다. 그 결과, 신갈나무-피나무군집의 천이지수가 67.5로 가장 높은 값을 보였고, 전나무-들메나무군집이 67.4로 그 다음 순이었으며, 가래나무-층층나무군집이 60.5로 가장 낮은 값을 보였다. 신갈나무-피나무군집을 제외한 대부분 군집에서 미래의 안정상태의 상층 임관 천이지수는 현재보다 증가하는 것으로 나타나 이 지역의 상층의 수종 구성은 현재 진행천이가 일어나고 있었고, 중층에서는 대체로 천이의 진행과 함께 천이지수가 증가하는 것으로 나타났으나 그 변화폭이 미미하여 중층과 하층의 천이 진척은 거의 동일 단계에 와 있음을 알 수 있었다. 천이지수의 값은 생활형 중 풍수산포형과는 유의수준 5%에서 부의 상관관계가 인정되었고, 동물산포형과는 정의 상관관계가 인정되었다. 천이지수와 교목, 관목, 초본 및 전체 종의 종풍부성 그리고 Shannon의 종다양성지수와는 상관관계가 인정되지 않았다.

Abstract: Since the forest succession is changing process in the structure and function of a forest for the long period of time, the objectivity of the process could be improved through the development of model or statistical methodology. This study was carried out to estimate succession index based on climax index and species composition parameters, thereupon to compare the succession index with life form and species diversity so as to grasp the information of quantitative successional process for the six community types in the natural deciduous forest of Mt. Jumbong area. The results indicated that *Quercus mongolica-Tilia amurensis* community had the greatest succession index of 67.5, followed by *Abies holophylla-Fraxinus mandshurica* community with 67.4. *Juglans mandshurica-Cornus controversa* community was recorded the smallest value of 60.5. The succession index of overstory tended to increase considerably at the stage of steady state for all community types except *Quercus mongolica-Tilia amurensis* community. However, The index of midstory hardly varied as the forest succession would progress for all community types. The succession index was negatively correlated to wind-water dispersion type of life form and positively to animal dispersion type at the 5% probability level. On the other hand, the index was not significantly correlated to the species richness and Shannon's species diversity index.

Key words : forest succession, succession index, climax index, life form, species diversity, natural deciduous forest

서 론

산림천이는 그 지역의 특징적인 선구종의 침입에 의해 시작되고, 시간이 지남에 따라 점차 다른 수종으로 교체

되는데 이러한 중구성상의 변화는 산림생태계의 기본적인 속성이다. 그러나 이러한 변화의 정도와 속도는 특정 생물상을 둘러싼 물리적·생물적 환경과 천이계열의 종류에 따라서 다양한 차이를 나타내는데, 이러한 변화는 궁극적으로는 종 구성의 변화가 거의 없는 상태, 즉 극성 상태에 도달하게 된다.

*Corresponding author
E-mail: kimjh@kangwon.ac.kr

산림천이는 비교적 장기간에 걸쳐서 진행되는 산림 구조와 기능의 변화 과정이므로 그 진행 과정을 파악하여 객관적인 분석 결과를 제시하는데 어려움이 많다. 오랜 기간동안 같은 장소에서 반복적인 측정 조사를 통하여 수종 구성과 생장을 분석하여야 한다(Fain *et al.*, 1994). 더욱이 산림 구조와 생장의 측정치는 일시적인 자료가 넓은 범위의 영급을 대표하여야 하기 때문에(Christensen and Peet, 1981), 연구 대상 임분의 역사를 파악하기 위하여 많은 수의 고사목과 생존목의 수간석해를 수행하기도 한다(Abrams *et al.*, 1995). 이와 같이 장기간이며 불확실성이 높은 산림의 천이 과정을 해석하기 위하여 모델 개발 혹은 통계적 방법을 통하여 객관성을 높일 수 있다.

이러한 어려움과 불확실성에도 불구하고, 각 천이계열이 형성하고 있는 산림 군집의 수종 구성으로부터 천이진행 상황을 판단할 수 있다. 천이의 진행정도를 정량화하기 위한 시도는 구성 수종의 중요치에 매개 수종의 극상 적합도(종이 극성군집의 환경에 적응한 정도를 판단하여 정한 값)를 곱하여 합한 천이지수(Brown and Curtis, 1952), 군집의 생활형의 구성의 변화를 이용한 천이도(沼田, 1961; 沼田와 大賀, 1971)가 있다.

한편, 산림천이계열의 물리적 및 생물학적 영향으로 해당 천이계열에 출현하는 특정 수종은 해당 천이계열에 출현할 수 있는 생태형태학적 특성을 지니고 있다(Horn, 1971). 이러한 생태형태학적 특성을 수량화하여 수종이 개척기에서 극성상기 상에 나타날 수 있는 위치를 나타낼 수 있는 것이 극성상지수이다(김지홍, 1993). 이러한 수종의 극성상지수에 군집을 형성하고 있는 해당 수종의 구성 매개변수(중요치, 상대 우점도 등)를 곱하고 합하여 얻은 천이지수는 그 군집이 현재 처해 있는 천이단계를 객관적으로 정량화하여 표현할 수 있을 것이다. 이 연구는 이러한 이론을 바탕으로 연구 대상지역의 군집 유형별로 천이지수를 산출하고, 생활형 구성 및 종다양성지수와와의 상관관계를 구명하고자 수행되었다.

자료 및 방법

1. 연구 자료

이 연구는 우리나라 자연지리적 조건이 전형적으로 생성해 낼 수 있는 식생을 갖고 있는 점봉산 일대 천연활엽수림에서 수행되었다. 이 일대 산림생태계 개황은 윤종화 등(1987), 이원섭(1999), 강성기(2000), 김광택(2002) 등의 문헌을 참조할 수 있다.

김광택(2002)은 점봉산 일대의 인위적인 교란이 없이 임분의 수직적 구조가 잘 발달되었다고 판단되는 천연활엽수림에서 1998년부터 2000년까지 3년에 걸쳐 총 106개의 20 m×20 m의 정방형 표본구를 설정하고 상·중·하

층의 수관층별 식생자료로서 군집 유형을 분류하였다. 군집 유형 분류는 TWINSPAN(Hill 1979)의 방법에 의하여 신갈나무-피나무군집, 신갈나무-옻나무군집, 신갈나무-까치박달군집, 까치박달-고로쇠나무군집, 전나무-들메나무군집, 가래나무-층층나무군집 등으로 분류하였다. 이 6가지 군집에 대하여 군집 구조가 해석되었고(김광택 등, 2002), Markov Chain 모델을 이용하여 천이 경향이 추정된 바 있다(김광택과 김지홍, 2005). 본 연구는 점봉산 일대 천연활엽수림의 동태를 파악하기 위한 천이지수를 추정하는데 이미 분류된 6가지 군집의 식생자료를 이용하였다.

2. 분석 방법

1) 산림군집의 천이지수

연구대상지의 군집 유형별 천이 진행 상황을 정량적으로 파악하기 위하여 천이지수를 추정하였다. 천이지수는 천이계열을 형성하고 있는 수종 구성과 모든 수종의 극성상지수를 인자로 하였으며, 각 수종의 극성상지수는 광선 흡수요인, 번식요인 및 목재의 이학적 성질 등을 바탕으로 표준화된 점수를 부여하고 총점에 대한 합계 점수의 백분율로 나타낸 극성상지수(김지홍, 1993)를 이용하였다. 극성상지수가 제시되지 않은 일부 침엽수종과 활엽수종은 근연종의 극성상지수 값을 참조하고 또한 수종의 천이계열의 위치를 고려하여 추정하였다.

$$S_i = \sum_{i=1}^s \left(CI_i \cdot \frac{n_i}{N} \right)$$

S_i : 군집의 천이지수

CI_i : 수종 i 의 극성상지수

n_i : 수종 i 의 개체수

N : 모든 수종의 총 개체수

s : 수종 수

2) 생활형

어떤 산림천이계열은 독특한 군집 구조를 가지며, 이것은 출현하는 식물종들의 생활형 구성과 할당에 연관이 있다는 점을 감안하여(Yoshioka, 1966; Whittaker, 1975), 천이지수의 변이에 따른 생활형의 분포를 검토하였다. 생활형은 군집 유형별로 Numata식의 생활형 분류 방법(Numata and Asano 1969, 1970; 이우철, 1996) 중 종자나 과실의 산포를 유형화한 지하기관형의 산포기관형, 즉 풍수산포형, 동물산포형, 자동산포형, 중력산포형, 종자나 생기지 않는 영양번식형 5가지로 구분하여, 각 유형의 백분율을 산출하였다.

3) 종다양성지수

산림천이가 진행될수록 종다양성이 증가한다는

Odum(1969)의 가설은 논란의 여지가 많다. 온대활엽수림의 경우, 성숙한 극상림의 상층 임관이 울폐되면, 내음성이 강한 몇 가지 수종에 의해서 우점 될 수 있기 때문이다. 본 연구에서는 Odum의 가설을 검토하기 위하여 6가지 군집의 종다양성과 천이지수를 비교 검토하였다.

군집 유형별로 교목, 관목, 초본으로 나누어, 종풍부성 그리고 종풍부성과 균재도를 종합한 종다양성지수를 산출하였고, 종다양성지수는 Shannon의 종다양성지수를 이용하였으며(Krebs, 1998), 자료의 계산은 상대우점도를 대개변수로 하였다.

$$H' = \sum_{i=1}^s (P_i)(\log_e P_i)$$

H' : Shannon의 종다양성지수

P_i : 전체에 있어서 종 i의 비율

s : 종수

결과 및 고찰

1. 군집 유형별 천이지수의 추정

이미 분류된 6가지 군집 유형별로 천이 진행 정도를 정량적으로 파악하기 위해 구성수종의 중요치와 극성상지수를 이용한 천이지수를 산출하여 Figure 1에 도시하였다. 신갈나무-피나무군집이 67.5로 가장 높은 값을 보였고, 전나무-들메나무군집이 67.4로 그 다음 순이었으며, 가래나무-층층나무군집이 60.5로 가장 낮은 값을 보였다. 가정적으로, 천이지수가 높은 군집은 보다 극성상에 가까워지는 군집이라고 사료되나, 천이 진행 정도와 속도 등의 속성은 파악하기 어렵다.

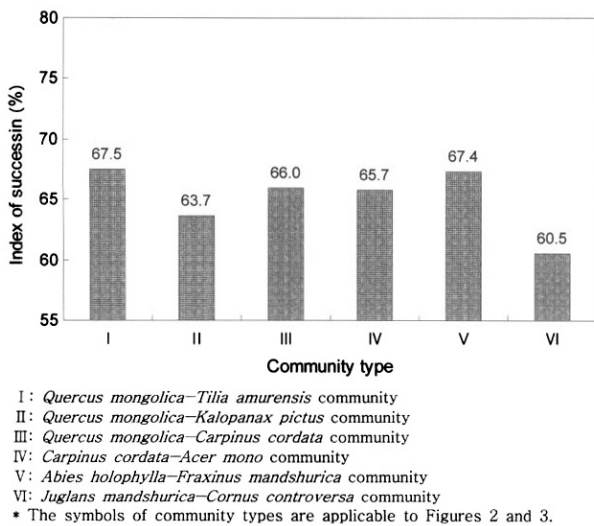


Figure 1. The estimation of succession indices for six communities.

신갈나무-피나무군집은 능선지역과 산복 윗부분의 비교적 건조한 지역에 위치하고, 전나무-들메나무군집은 계곡의 습윤한 지역에 위치하고 있다. 신갈나무-피나무군집의 경우, 건조하고 척박한 토양에 보다 잘 적응하고 성장하는 신갈나무와 피나무의 비율이 높는데, 이 두 수종의 비교적 높은 극성상지수(신갈나무 72.9, 피나무 68.9; 김지홍, 1993)로 인하여 천이지수가 높게 산출되었고, 그에 따라서 기타 중성계열의 군집보다 천이의 과정이 보다 많이 진척되었다고 판단된다. 전나무-들메나무군집에서는 전나무와 같은 극성상 수종이 습기가 많은 계곡 부위에 다수 분포하고 있으므로 천이지수를 높였고, 극성림에 보다 가까이 다가가고 있음을 시사한다.

군집에 먼저 이주한 식물이 타감물질을 분비하여 다른 수종의 발아와 성장을 억제하고 천이의 진행을 방해하는 (Keever, 1950; Rice, 1984) 선례 연구에서 보듯이, 가래나무-층층나무군집은 가래나무의 타감작용으로 인하여 천이 진행이 늦어진 것으로 생각되나, 정확한 원인을 구명하기 위하여 보다 심도 있는 연구가 요구된다.

군집 유형별 현재 상층의 천이지수와 김광택과 김지홍(2005)이 추정한 안정상태에 근접한 세대의 상층의 천이지수를 예측하여 그 비교 상황을 Figure 2에 나타내었다. 신갈나무-피나무군집을 제외한 모든 군집의 미래 안정상태의 천이지수는 증가하는 것으로 나타나, 이 지역 활엽수림의 많은 부분이 진행천이가 일어나고 있음을 알 수 있다. 신갈나무-피나무군집의 천이지수 감소는 극성상지수 값이 높은 신갈나무의 미래 개체수 감소에 기인하는 것으로 판단된다(김광택과 김지홍, 2005).

신갈나무의 천이계열에서의 위치에 대해서는 학자들 간에 상당한 견해 차이를 보이고 있다. Suh와 Lee(1998)는 신갈나무림의 구조와 갱신 연구에서 신갈나무는 극상수종이라고 하기보다는 천이단계에서 선구수종으로의 역할을 한다고 하였고; 김지홍(1992)은 오대산에서 신갈나무는 서어나무류, 단풍나무류, 피나무류 등과 해발고도가 높

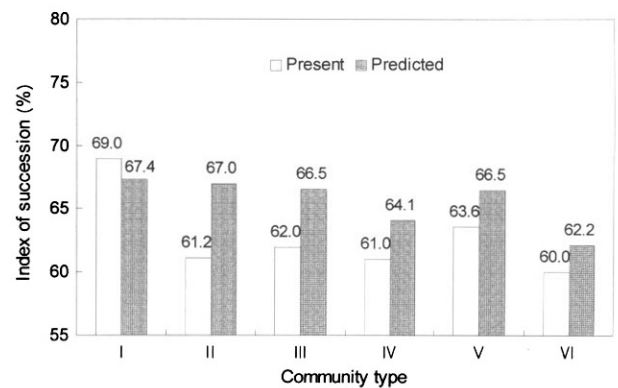


Figure 2. The comparison of present and predicted value of succession indices for six communities in overstory.

은 지역의 전나무, 분비나무, 잣나무 등의 경쟁으로 인해 세력이 약화되는 천이 중간단계의 우점종이라 하였으며; 王業濂 등(1995)은 중국 동북부 침엽수-활엽수혼효림에서의 수종들에 대해 내음성, 고사율, 자연 성숙 연령, 극성상 수종과의 혼생 상황 등 4개 인자를 종합 고찰하여 극성상 지수를 부여한 결과 피나무는 신갈나무의 후기 수종이라고 판정하였고; You 등(1996)은 Gap모델을 이용하여 광릉림에서의 천이경향을 추정한 결과, 서어나무, 까치박달, 신갈나무, 졸참나무가 극상수종으로 추정되었다고 하였다. 신갈나무의 갱신 특성, 천이계열에서의 상대 비율 등을 고려할 때, 점봉산 일대의 신갈나무는 천이의 초기에서부터 천이 후기까지 긴 시간적 범위에 분포하고 있으며, 천이 초기와 중간계열에서 높은 비율로 존재하다가, 극상에 가까워지면서 그 우점율이 다소 약화되는 양상을 보일 것으로 예측되었다.

연구 대상 산림군집들의 중층에서는 대체로 천이의 진행과 함께 천이 지수가 증가하는 것으로 나타났으나 그 변화폭이 미미하여 중층과 하층의 천이 진척은 거의 동일한 단계에 와 있음을 시사한다(Figure 3). 전나무-들메나무군집에서 소목의 감소를 보인 것은 극성상지수 값이 낮은 귀룽나무 갱신치수의 증가와 극성상지수 값이 높은 까치박달의 감소와 연관이 있는 것으로 사료된다.

2. 천이 지수와 생활형 구성과의 관계

연구대상지역에서 종자에 의해서 번식되지 않는 영양 번식형을 제외한 기타 4가지 유형과 그 조합형이 생육하고 있는 것으로 조사되었다. 그 중, 풍수산포형 D1이 전체 출현종에 차지하는 비율은 가래나무-층층나무군집, 신갈나무-까치박달군집, 신갈나무-옴나무군집, 까치박달-고로쇠나무군집, 전나무-들메나무군집, 신갈나무-피나무군집의 순이었는데, 동물산포형 D2는 이와 정반대의 경향을 보여, 풍수산포형 D1이 증가함에 따라 동물산포형 D2는 감소하였다(Table 1).

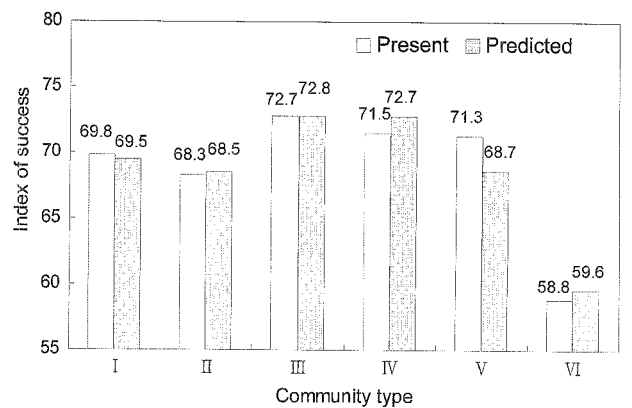


Figure 3. The comparison of present and predicted value of succession indices for six communities in midstory.

Yoshioka(1966)는 산포력이 큰 풍수산포형 D1이 천이 초기에 많이 정착하고, 극상림으로 갈수록 감소하며, 동물산포형 D2는 반대로 증가한다고 하였다. 이를 근거로 군집유형의 천이진행 정도를 파악한 결과 신갈나무-피나무군집, 전나무-들메나무군집, 까치박달-고로쇠나무군집, 신갈나무-옴나무군집, 신갈나무-까치박달군집, 가래나무-층층나무군집의 순위인 것으로 나타났다. 이 값을 수종의 극성상지수를 이용하여 군집의 구성 수종에 대해서 천이진행상황을 추정 한 천이 지수(Figure 1)와 Pearson 및 Spearman의 상관관계를 분석한 결과 풍수산포형 D1과는 유의수준 5%에서 부의 상관관계가 인정되었고, 동물산포형 D2와는 5%의 유의수준에서 정의 상관관계가 인정되었다(Table 1). 산포기관형은 표본구에 출현한 모든 식물종에 대한 통계치인 반면에 천이 지수는 수종의 극성상지수와 상층 수종의 구성을 이용하여 산출된 결과이지만 군집의 천이진행 상황을 진단함에 있어서는 매우 유사한 결과를 얻었다.

2차 천이가 시작하는 초기에는 식물종의 생활형의 유형과 무관하게 식물체 크기에 큰 차이가 없기 때문에 상대 우점도로 양적인 것을 표현하는 것이 용이하지만(김광택

Table 1. Composition(%) for disseminule form of plants by community type in Mt. Jumbong.

Community type	Disseminule form ¹⁾					
	D1	D2	D3	D4	D1,4	D2,4
<i>Quercus mongolica-Tilia amurensis</i> community	24.6	20.3	4.3	44.9	0.0	5.8
<i>Quercus mongolica-Kalopanax pictus</i> community	32.6	15.1	3.5	43.0	1.2	4.7
<i>Quercus mongolica-Carpinus cordata</i> community	32.6	12.8	4.7	41.9	1.2	7.0
<i>Carpinus cordata-Acer mono</i> community	27.8	17.8	6.7	40.0	1.1	6.7
<i>Abies holophylla-Fraxinus mandshurica</i> community	25.5	18.4	8.2	38.8	0.0	9.2
<i>Juglans mandshurica-Cornus controversa</i> community	33.9	10.2	6.8	40.7	0.0	8.5
Pearson's correlation coefficient	-0.816 ²⁾	0.834 ²⁾	0.005	0.102	-0.007	-0.076
Spearman's correlation coefficient	-0.899 ²⁾	0.829 ²⁾	-0.029	0.143	-0.278	0.029

¹⁾D1: wind-water dispersion type, D2: animal dispersion type, D3:automatic dispersion type, D4: gravitation dispersion type, D1,4: both D1 and D4, D2,4: both D2 and D4

²⁾Correlation is significant at the P ≤ 0.05 level.

Table 2. Species richness (number of species) and Shannon's species diversity indices by community type in Mt. Jumbong.

Community types	Species richness				Shannon's index		
	Tree	Shrub	Herb	all	Tree	Shrub	Herb
<i>Quercus mongolica-Tilia amurensis</i> community	21	12	36	69	1.633	1.840	2.777
<i>Quercus mongolica-Kalopanax pictus</i> community	30	12	45	87	2.347	1.906	3.041
<i>Quercus mongolica-Carpinus cordata</i> community	28	14	44	86	2.356	2.323	2.700
<i>Carpinus cordata-Acer mono</i> community	26	16	48	90	2.490	2.400	2.668
<i>Abies holophylla-Fraxinus mandshurica</i> community	28	18	52	98	2.606	2.314	3.157
<i>Juglans mandshurica-Cornus controversa</i> community	19	8	32	59	2.338	1.945	2.917
Pearson's correlation coefficient	0.364	0.776	0.558	0.584	-0.215	0.370	-0.113
Spearman's correlation coefficient	0.058	0.493	0.257	0.257	0.086	-0.143	-0.029

과 김지홍, 2000), 본 연구에서와 같이 산림이 상당히 발달된 곳은 상대우점도를 이용하여 생활형의 구성에 가중치를 준다는 것은 쉽지는 않다. 군집의 구성원이 초본, 관목, 교목 등으로 생물체의 크기에 많은 차이가 있기 때문에 생활형의 구성을 단순히 종의 유무에 따른 백분율로 표시할 경우, 군집에 있는 우점종이나 희소종에 대해 모두 같은 가중치가 부여된다는 것이 문제점이라 할 수 있다. 그럼에도 불구하고 본 연구에서와 같이 산림이 상당히 발달된 곳에서 이와 같이 유사한 결과를 얻었다는 것은 괄목할 만하다.

3. 천이지수와 종다양성과의 관계

연구대상 산림의 6가지 군집별로 종풍부성과 Shannon의 종다양성지수를 산출하여 Table 2에 요약하였다. 교목의 종풍부성은 가래나무-층층나무군집과 신갈나무-피나무군집에는 각각 19종, 21종이 출현하여 낮은 값을 보였고, 기타 군집은 비교적 높게 나타났다. 신갈나무-피나무군집에는 능선과 산복 상부 지역의 건조한 환경에서 보다 경쟁력을 갖는 신갈나무 및 피나무가 우점하고 있기 때문이라 생각된다. 관목과 초본 및 전체 종수에 있어서 가래나무-층층나무군집을 제외한 기타 군집은 능선에서 떨어져 계곡으로 갈수록 종풍부성이 높게 나타났다.

Shannon의 종다양성지수는 교목의 경우 대체로 계곡부위에 가까이 분포하는 군집일수록 종다양성지수는 높은 값을 보였다. 가래나무-층층나무군집은 높은 균제도에도 불구하고 종다양성지수 값이 낮은 것은 출현 종수가 적었기 때문이다. 관목에 있어서 Shannon의 종다양성지수는 까치박달-고로쇠나무군집, 신갈나무-까치박달군집, 전나무-들메나무군집, 가래나무-층층나무군집, 신갈나무-옻나무군집, 신갈나무-피나무군집의 순으로 나타났으며, 초본의 경우도 전나무-들메나무군집, 신갈나무-옻나무군집, 가래나무-층층나무군집, 신갈나무-피나무군집, 신갈나무-까치박달군집, 까치박달-고로쇠나무군집의 순으로 나타났다 (Table 2). 군집유형별 천이지수와 교목, 관목, 초본 및 전체 종의 종풍부성 그리고 교목, 관목, 초본의 종다양성지

수와의 관계를 검토하기 위하여 Pearson 및 Spearman의 상관관계를 산출한 결과, 군집 유형별 천이지수는 이들의 종풍부성 및 Shannon의 종다양성지수와 상관관계가 인정되지 않았다(Table 2).

산림군집내에 얼마나 많은 종들이 생육하고 있는가 하는 정도를 나타내는 종다양성은 산림군집의 구조상의 복잡성, 외부 교란 요인으로부터의 안정성, 그리고 천이진행과 발달과정 상의 성숙도와 정비례하는 경향이 짙다(Odum, 1969). Margalef (1968)는 천이 초기 또는 중간단계에서의 종다양성이 가장 높게 나타나서 극상림으로 갈수록 감소한다고 언급하였고, Bormann과 Likens(1979)은 미국 뉴햄프셔주의 Hubbard Brook 시험림에서 개별작업이 이루어진 후의 산림생태계의 변화양상을 바탕으로 종풍부성은 재편성기(reorganization phase)때 가장 높다고 하였다. Loucks(1970)는 식물의 종다양성은 천이의 초기단계에서는 증가하지만, 온대지방의 경우 천이의 후기단계에서는 수관층이 밀폐되고 소수의 종이 우점종이 됨에 따라 종다양성이 감소하므로 종다양성을 최대로 유지하기 위해서는 군집을 천이의 초기단계로 후퇴시키는 주기적인 소규모의 교란이 필요하다고 하였으며, 김지홍 등(1996)은 훼손된 지역보다는 자연 상태를 유지하고 있는 지역이 높다고 하였다. 이와 같이 학자에 따라 연구대상지역에 따라 상이한 결과를 보이고 있으며, 이 연구에서는 천이지수와 종다양성지수는 상관관계가 없는 것으로 나타났는데, 금후, 천이 진행상태가 보다 차이가 있는 군집간의 비교를 실시하여 그 상관관계에 대한 재검토가 필요하다.

인용문헌

1. 강성기. 2000. 점봉산 일대 천연활엽수림의 지형적 위치에 따른 군집 구조적 속성 분석. 강원대학교 대학원 산림경영학과 석사학위논문, 61pp.
2. 김광택. 2002. 점봉산 일대 천연활엽수림의 군집 유형별 생태적 구조 및 동태 분석. 강원대학교 대학원 산림경영학과 박사학위논문. 139pp.
3. 김광택, 김지홍. 2000. 임도 절토사면이 침입 식생에 대한

- 계량 생태학적 분석. 강원대학교 삼림과학연구 16: 1-16.
4. 김광택, 김지홍. 2005. 점봉산 일대 천연활엽수림의 군집유형별 천이경향 분석. 한국임학회지 94(6): 387-396
 5. 金光澤, 唐艷, 金知洪. 2002. TWINSpan 에 의해 분류된 점봉산 일대 천연활엽수림의 군집구조 해석. 한국임학회지 91(4): 523-534.
 6. 김지홍. 1992. 추이행렬 모델에 의한 오대산 침엽수-짓나무속 혼효림의 천이 경향 분석. 한국임학회지 81(4): 325-336.
 7. 김지홍, 1993. 생태형태학적 특성 분석에 의한 활엽수종의 극성상지수 추정. 한국임학회지 82(2): 176-187.
 8. 김지홍, 이병천, 이유미. 1996. 남산 및 광릉 산림생태계의 식물 종다양성의 비교 평가. 한국임학회지 85(4): 605-618.
 9. 이원섭. 1999. 점봉산 일대 천연활엽수림의 지형적 위치에 따른 천이 경향 분석. 석사 논문, 강원대학교 대학원 산림경영학과, 42pp.
 10. 이우철. 1996. 한국식물명고(I). 도서출판 아카데미서적. 서울. pp. 1688.
 11. 윤종화, 한상섭, 김지홍. 1987. 원시림의 환경과 구조에 관한 연구. 연습림연구보고 7: 3-26, 강원대학교 임과대학 연습림.
 12. 沼田 眞. 1961. 生態遷移における問題點. 生物科學 13(4): 146-152.
 13. 沼田 眞, 大賀宣彦. 1971. 森林植生の遷移度. 第18回日本生態學會大會講演要旨: A303.
 14. 王業遽 等. 1995. 潤葉紅松林. 東北林業大學出版社. 哈爾濱, 中國. pp. 503.
 15. Abrams, M.D., Orwig, D.A., and Demeo, T.E. 1995. Dendroecological analysis successional dynamics for a presettlement-origin white-pine-mixed-oak forest in the southern Appalachians, USA, Journal of Ecology 83: 123-133.
 16. Bormann, F.H., Likens, G.E. 1979. Pattern and Process in a Forested Ecosystem. Springer-Verlag. New York. U.S.A. pp. 253.
 17. Brown, R.T. and Curtis, J.T. 1952. The upland conifer-hardwood forest of northern Wisconsin. Ecological Monographs 22 : 217-234.
 18. Christensen, N.L. and Peet, R.K. 1981. Secondary forest succession on the North Carolina Piedmont. pp. 230-245. In: D.C. West et al. eds. Forest Succession: Concepts and Applications. Springer-Verlag. New York.
 19. Fain, J.J., Volk, T.A., and Fahey, T.J. 1994. Fifty years of change in an upland forest in south-central New York: General patterns. Bulletin of the Terry Botanical Club 12: 130-139.
 20. Hill, M.O. 1979. -TWINSpan- A FORTRAN program for arranging multivariate data in an ordered two-way table by classification of the individuals and attributes. Section of Ecology and Systematics, Cornell University, Ithaca, New York. pp. 49.
 21. Horn, H.S. 1971. The Adaptive Geometry of Trees. Princeton University Press, U.S.A. pp. 144.
 22. Kever, C. 1950. Causes of succession on old fields of the Piedmont, North Carolina. Ecological Monographs 20: 229-250.
 23. Krebs, C.J. 1998. Ecological Methodology (2nd ed). Addison-Wesley Educational Publishers, Inc., Menlo Park, CA. U.S.A. pp. 620.
 24. Loucks, O.L. 1970. Evolution of diversity, Efficiency and community stability. American Zoologist 10: 17-26.
 25. Margalef, R. 1968. Perspectives in Ecological Theory. University of Chicago Press. Chicago, USA. pp. 111.
 26. Numata, M. and Asano, S. 1969. Biological Flora of Japan-Sympetalae 1. Tsukiji Shokan, Tokyo. pp. 165.
 27. Numata, M. and Asano, S. 1970. Biological Flora of Japan-Sympetalae 2. Tsukiji Shokan, Tokyo. pp. 173.
 28. Odum, E.P. 1969. The strategy of ecosystem development. Science 164: 262-270.
 29. Rice, E.L. 1984. Allelopathy. 2nd ed. Academic Press, New York. pp. 422.
 30. Suh, M.H. and Lee, D.K. 1998. Stand structure and regeneration of *Quercus mongolica* forest in Korea. Forest Ecology and Management 106: 27-34.
 31. Whittaker, R.H. 1975. Communities and Ecosystems. MacMillan Pub. Co. New York. pp. 385.
 32. Yoshioka, K. 1966. Development and recovery of vegetation since the 1929 eruption of Mt. Komagatake, Hokkaido, I. Akaikawa pumice. Ecology Review 16: 271-292.
 33. You, Y.H., Park, S.T. Lee, C.S., and Kim, J.H. 1996. Simulation of forest succession in Kwangnung experimental forest with gap model. Korean Journal of Ecology 19: 499-506.

(2006년 9월 1일 접수; 2006년 9월 21일 채택)