

점봉산 일대 천연활엽수림의 군집 유형별 천이 경향 분석

金光澤^{1*} · 金知洪²

¹중국 동북임업대학 생태학과, ²강원대학교 산림과학대학

The Analysis of Successional Trends by Community Types in the Natural Deciduous Forest of Mt. Jumbong

Jin Guang Ze^{1*} and Ji Hong Kim²

¹Department of Ecology, Northeast Forestry University, Harbin 150040,

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

요약 : 이 연구는 점봉산 일대 천연활엽수림의 군집 유형별 천이 경향을 보다 합리적으로 추정하기 위하여 Markov chain의 이론을 응용한 추이확률 모델을 이용하여, 중층의 수종구성으로부터 상층의 수종 구성을 추정하였고, 하층의 수종구성으로부터 중층의 수종 구성을 추정하였다. 개체수 비율로 작성된 대치확률행렬에 개개 수종의 광선 흡수 요인, 번식 요인 및 목재의 이학적 성질을 종합적으로 평가한 극성상지수의 제곱을 가중치로 주어 대치확률행렬을 재구성하여 임분의 천이경향을 예측하였다. 분석된 결과에 의한 각 군집별 안정상태 시기와 상층 및 중층 예측 우점 수종을 요약하면 다음과 같다.

군집 유형	안정화 세대	우점수종	
		상층	중층
신갈나무-피나무	2	피나무, 물푸레나무, 신갈나무	당단풍, 피나무
신갈나무-옻나무	2	고로쇠나무, 피나무, 신갈나무	당단풍, 피나무, 물푸레나무
신갈나무-까치박달	2	신갈나무, 고로쇠나무, 피나무	당단풍, 까치박달, 전나무
까치박달-고로쇠나무	2/3	고로쇠나무, 피나무, 난티나무	당단풍, 까치박달, 고로쇠나무
전나무-들메나무	3	고로쇠나무, 전나무, 난티나무	당단풍, 전나무, 귀룽나무
가래나무-층층나무	3	층층나무, 고로쇠나무, 귀룽나무	까치박달, 당단풍, 귀룽나무

당단풍과 까치박달은 생활형의 특성 때문에 상층으로 도약하기는 어렵지만, 높은 구성 비율을 유지할 것으로 예측됨으로서 연구대상 산림생태계에서 생태학적으로 차지하는 비중은 대단히 큰 것으로 평가되었다.

Abstract: Having employed the transitional probability model based on Markov chain, the study was carried out to examine successional trends for community types in the natural deciduous forest of Mt. Jumbong. The species composition of oncoming generation in overstory was estimated from that of mid-story, and the species composition in mid-story was based upon that of understory. Successional trend for each community was predicted from the re-organized probability matrix of tree replacement by the square of climax index, which was evaluated by the factors of light absorption, reproduction, and wood quality. As the result of analysis, following table shows the oncoming generation of steady state and dominant species in overstory and mid-story by community types.

Community Type	Steady State Generation	Dominant Species	
		Overstory	Mid-story
<i>Quercus mongolica</i> - <i>Tilia amurensis</i>	2	TA, FR, QM	AP, TA
<i>Quercus mongolica</i> - <i>Kalopanax pictus</i>	2	AM, TA, QM	AP, TA, FR
<i>Quercus mongolica</i> - <i>Carpinus cordata</i>	2	QM, AM, TA	AP, CC, AH
<i>Carpinus cordata</i> - <i>Acer mono</i>	2/3	AM, TA, UL	AP, CC, AM
<i>Abies holophylla</i> - <i>Fraxinus mandshurica</i>	3	AM, AH, UL	AP, AH, PP
<i>Juglans mandshurica</i> - <i>Cornus controversa</i>	3	CT, AM, PP	CC, AP, PP

Species abbreviations -- AH; *Abies holophylla*, AM; *Acer mono*, AP; *Acer pseudo-sieboldianum*, CC; *Carpinus cordata*, CT; *Cornus controversa*, FR; *Fraxinus rhynchophylla*, PP; *Prunus padus*, QM; *Quercus mongolica*, TA; *Tilia amurensis*, UL; *Ulmus laciniata*

*Corresponding author

E-mail: taxus@nefu.edu.cn, taxus@126.com

Even though *Acer pseudo-sieboldianum* and *Carpinus cordata* could hardly reach the canopy layer due to the intrinsic growth form, these species were predicted to maintain high compositional ratio so as to play an important ecological role in the study forest ecosystem.

Key words : forest succession, Markov model, climax index, natural deciduous forest

서 론

Markov chain의 이론을 응용한 Horn(1975)의 추이확률 모델은 현재의 중하층의 수종구성으로 미래 상층의 수종구성을 예측하는 모델로서, 현재의 식생상황자료만으로 천이경향을 추정할 수 있다는 장점이 있다. 즉 현재의 식생상황은 기후, 토양 및 수목간의 상호작용에 의해 형성된 결과라는 점을 강조하고 천이의 경로가 식물종의 확률적인 대치작용에 의한 결과라는 것이 기본 개념이다. 현재 상층 우세목이 하층 후계목들에 의해 어떤 정해진 확률로 대치된다는 것이며, 태풍이나, 산불, 벌목 등 교란작용이 없을 경우, 궁극적으로는 수종 구성비율이 거의 변화가 없는 안정상태로 수렴될 것이라는 것이다. 비록 현실적으로 산림천이가 Markov Chain 이론대로 일치하는 것은 아니지만(Binkley, 1980; van Hulst, 1980) 적용 범위와 대상에 한계를 짓고 계산 결과를 해석하는데 신중을 기하여(Enright와 Ogden, 1979) 적용할 경우 산림천이의 추세를 분석하는데 유용한 방법이라는데 많은 학자들의 의견이 일치한다(김지홍, 1992; 邵國凡 등, 1995).

천이경향을 추정함에 있어서 추이확률모델은 다음과 같은 가정을 전제로 한다. 첫째, 임관 율폐도가 일정하며, 상층의 임목은 반드시 중층의 임목으로 1:1로 대치된다. 둘째, 모든 상층목은 비슷한 수명을 가지며, 후계목에 의해 동시 대치된다. 셋째, 대치확률은 수종에 상관없이 해당 상층목 아래에 있는 수종들의 비율과 비례된다. 이러한 가정들은 예측의 불확실성을 높이는 근거가 되겠지만, 심오하고 복잡한 자연생태계를 완전하게 해석할 수 있는 모델은 없다고 판단된다. 따라서 추이확률을 보다 실제 상황에 부합되게 적용하는 것이 천이경향 분석의 단점을 극복하는 것이다.

Barden(1981)은 내음성 수종들의 가중치가 늘어나는 것을 극복하기 위하여 숲틈에서의 치수들의 자료를 대치확률에 이용하였고, 내음성 수종은 유년기의 생장 기간이 길기 때문에 수종의 수명으로 대치확률에 가중치를 주면 정확도에 영향을 미친다고 하였다. White 등(1985)은 전통적인 계산방법인 치수의 개체수의 비율만으로 대치확률을 주어 임분구조를 예측하는 것은 수관 하에서의 각 수종의 경쟁력과 각 수종의 수명을 고려하지 않기 때문에 상당히 취약하다고 하였으며, 대치확률 선택에 있어서 수종의 생물학적 특성, 수명 등을 고려해야 한다고 하였다.

수종의 극성상지수는 수종의 광선흡수요인, 번식요인 및 목재의 이학적 성질을 종합적으로 평가한 것으로서, 수종이 천이가 진행됨에 따라 변화된 물리적 및 생물학적 환경에 보다 잘 적응하여 생육하고 후대를 번식하는 능력을 나타낼 수 있다(Horn, 1971; 김지홍 1993). 따라서 이 연구는 개체수 비율로 작성된 대치확률행렬에 김지홍(1993)이 추정된 개개 수종의 극성상지수의 제곱을 가중치로 주어 대치확률행렬을 재구성함으로써 보다 합리적으로 점봉산 일대 천연활엽수림의 군집유형별 미래 임분의 구성을 예측하고자 실행되었다.

재료 및 방법

1. 자료 수집

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

연구대상 산림의 식생 및 지형자료를 수집하기 위하여 1:25,000 지형도를 참조하여 2차 답사를 거쳐, 인위적인 교란이 없이 임분의 수직적 구조가 잘 발달되었다고 판단되는 지역에 1998년부터 2000년까지 3차년에 걸쳐 20 m × 20 m 정방형 표본구를 총 106개 설치하였다. 표본구내 상·중·하층의 수관층별로 수종을 식별하고, 수고, 흉고 직경, 수관폭 등을 측정하였다. 수종 식별과 명명은 대한식물도감(이창복, 1982)을 참조하였다.

임분의 최상층을 점유하고 있는 것은 상층으로, 상층 임관 아래 피압되어 있으나 수고가 3m 이상인 것은 중층으로, 수고가 3m 미만인 것은 하층으로 구분하였다. 개개의 상층 임목수관 아래에서 생육하고 있는 중층 임목, 개개의 중층 임목 아래에서 생육하고 있는 모든 하층 임목을 조사하였다. 상층목은 표본구 내에 있으나, 그 상층목 아래에서 생육하고 있는 중하층 임목이 표본구 내에 있지 않을 경우도 모두 조사하였다.

2. 분석방법

최근에 金光澤(2002)이 TWINSpan을 이용하여 분류한 6개 군집 유형별 천이 경향은 중층의 수종구성으로부터 상층의 수종구성을 추정하고, 하층의 수종구성으로부터 중층의 수종 구성을 추정하였다. 이렇게 함으로써 하층에

서 생육하고 있는 개체와 중층에서 생육하고 있는 개체를 모두 동일시하여 같은 확률을 부여하는 불합리성을 배제하였다.

상층입관을 형성하고 있는 상층목의 수종을 파악하고 그 상층목 아래에 생육하고 있는 중층목의 개체수를 수종별로 파악하여, 상층목이 시간이 지나면 중층목으로 대체될 확률을 matrix로 작성하였다. 개개 수종의 고사율, 수명 등이 다르기에 매개 수종이 똑같은 확률로 대체된다는 것은 비합리적이므로, 이 연구에서는 대체확률에 수종의 극성상지수(김지홍, 1993)의 제곱을 가중치로 주어, 중층목으로 대체될 확률 matrix를 재구성하였으며, Markov chain의 이론을 응용한 Horn(1975)의 추이확률 모델을 이용하여 세대별 수종구성을 추정하였다.

$$N_j(t+1) = \sum_{i=1}^n N_i(t)P_{ij}$$

$$P_{ij} = \frac{p_{ij}CI_j^2}{\sum_{k=1}^n p_{ik}CI_k^2}$$

- $N_j(t+1)$: 세대 t+1에서 j 수종의 상층 구성 비율
- $N_i(t)$: 세대 t에서 i 수종의 상층 구성 비율
- P_{ij} : 상층목 i가 고사한 후, i 수종이 j 수종으로 대체될 추이 확률
- n : 상층 수종수
- P_{ij} : 상층목 i 수관 하에 있는 전체 수종 중 j 수종의 비율
- m : 상층목 i 수관 하에 있는 전체 수종 수
- CI_j : 수종 j의 극성상지수

즉, 현재의 상층목(0세대) 수종 구성 비율에 재구성된 중층목의 대체확률 행렬을 곱하여 1세대의 수종 구성 비율을 추정하고, 다시 1세대를 기준으로 중층목의 대체확

률 행렬을 곱하여 2세대를 추정한다. 이러한 계산을 반복하면 중구성 비율의 변화가 거의 없는 t+1세대의 수종 구성을 추정할 수 있으며, 이때의 t+1세대를 산림이 안정된 상태 즉, 극상에 도달했다고 가정하는 것이다. 같은 방법으로 중층목 아래에 생육하고 있는 하층목의 개체수를 수종별로 파악하고 중층목이 시간이 지나면 하층목으로 대체될 확률을 matrix로 작성하고, 위 식을 이용하여 세대별 중층의 수종구성을 추정하였다.

대체 확률 matrix를 작성함에 있어서 현재의 상층에는 존재하지 않지만 중층에는 존재하고 있는 수종은 다음 세대(1세대)의 상층에는 출현하게 된다. 이런 수종의 경우는 대체확률이 없기에 그 다음 세대(2세대)의 수종 구성 추정이 불가능하게 되는데, 이 연구에서는 이러한 수종의 대체확률을 현재 중층의 전체 구성 수종의 비율에 극성상지수의 제곱을 가중치로 주어 잠정적으로 정하였다.

결과 및 고찰

1. 신갈나무-피나무군집

현재 상층(평균 수고 17 m)에서 74.7%의 높은 우점률을 보인 신갈나무는 세대가 교체되면서 세력이 급격히 약화되어 거의 안정상태에 근접하는 2세대에 가서는 14%대로 떨어졌다. 불푸레나무와 피나무는 각각 현재의 6.8%와 10.7%에서 2세대에서는 14.9%와 64.9%로 세력이 더욱 확대되는 것으로 파악되었다(Table 1). 세대가 경과함에 따라 신갈나무의 구성비율이 급격히 감소하여 쇠퇴하는 것은 상층목 수관 아래에 생육하는 중층목의 숫적 열세에서 기인한 것으로 생각된다. 陽倉熙와 伍業鋼(1988)은 중국 장백산지역의 천연활엽수림의 수령 구조를 분석한 결과 신갈나무는 60년생 이하와 160년생 이상만 분포하여 있고, 60~160년 사이에는 분포가 없었다고 하면서, 신갈나무는 단절형 갱신수종이라고 하였다. Cho(1999)는 점봉산에서 신갈나무의 개체군 동태분석에서 흉고직경이 30 cm

Table 1. Predicted proportion (%) of species composition during successional generation simulated from mid-story to overstory and understory to midstory in *Quercus mongolica*-*Tilia amurensis* community.

Species	Midstory to overstory						Understory to midstory					
	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5
<i>Acer mono</i>	0.4	4.3	3.8	3.8	3.8	3.8	2.4	3.1	2.9	2.9	2.8	2.8
<i>Acer pseudo-sieboldianum</i>	-	-	-	-	-	-	35.5	37.1	38.6	39.4	39.7	39.8
<i>Carpinus cordata</i>	-	-	-	-	-	-	5.8	6.2	6.1	5.9	5.9	5.8
<i>Fraxinus rhynchophylla</i>	6.8	11.7	14.9	15.7	15.8	15.8	9.3	13.2	14.0	14.1	14.1	14.1
<i>Kalopanax pictus</i>	4.3	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4	0.3	0.0	0.0	0	0.0	0.0
<i>Prunus sargentii</i>	0.0	0.4	0.1	0.1	0.1	0.1	0.5	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
<i>Quercus mongolica</i>	74.7	22.0	14.9	14.1	14.1	14.1	10.8	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2
<i>Sorbus alnifolia</i>	0.0	1.0	0.3	0.2	0.2	0.2	1.1	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
<i>Tilia amurensis</i>	10.7	58.8	64.9	65.3	65.3	65.2	31.9	24.6	22.0	21.2	20.9	20.9
Others	3.1	1.6	0.8	0.4	0.3	0.4	2.4	3.1	3.7	3.8	3.9	3.9

미만인 임목은 1920~1950년대에 성립되었고, 40 cm보다 크고 80 cm보다 작은 대경목은 1750~1800년 사이에 성립되어, 신갈나무는 오랜 기간동안 시간적 간격을 두고 성립되었다고 하였다. 신갈나무의 이러한 갱신특성 때문에 현재의 신갈나무의 중하층목의 구성 비율만으로 임분에서의 신갈나무의 미래 구성을 예측하고 그 결과의 해석에 신중을 기하지 않으면, 신갈나무가 급격히 감소하는 결과를 얻는 오류를 범할 수 있다. Miles 등(1985)은 추이확률 모델을 이용하여 장백산지역의 잣나무-활엽수혼효림의 천이경향을 예측한 결과, 이 지역의 극상수종인 잣나무는 갱신을 유지하지 못하여 궁극적으로는 멸종하게 되고, 고로쇠나무가 우점수종이 될 것이라고 예측하였다. 현재 중층을 구성하고 있는 수종 중, 신갈나무는 숲적 열세와 상당한 경쟁력을 지닌 피나무의 도약으로 세력이 약화되었으나, 안정상태에 도달할 때까지 그 세력이 모델에서 추정된

바와 같은 낮은 값은 보이지는 않을 것이라 판단된다.

피나무와 물푸레나무는 직경분포에서 전형적인 역 "J" 자형 분포를 하고 있어(Figure 1) 갱신치수 및 소경목의 수가 많아 지속 또는 증가형 군집으로 나타났다(Barbour 등, 1987). 현재의 상층에는 출현하지 않지만 중층에 생육하고 있는 산벚나무, 팔배나무 등의 수종은 다음 세대(1세대)에는 상층에 출현하게 된다. 중층에서는 현재 우점 수종으로 생육하고 있는 당단풍, 물푸레나무, 신갈나무는 미래에도 세력이 더욱 확대될 것으로 예상되며, 현재 31.9%의 높은 우점률을 보인 피나무는 세력이 조금 약화되어 20.9%로 떨어질 것으로 예측되었다. 피나무의 갱신치수가 비교적 많음에도 불구하고 그 구성비율이 증가하지 않는 것은 당단풍의 개체수가 상대적으로 많음으로 인한 것으로 생각된다.

안정상태에 도달하는 2세대가 되면, 상층에서는 피나무,

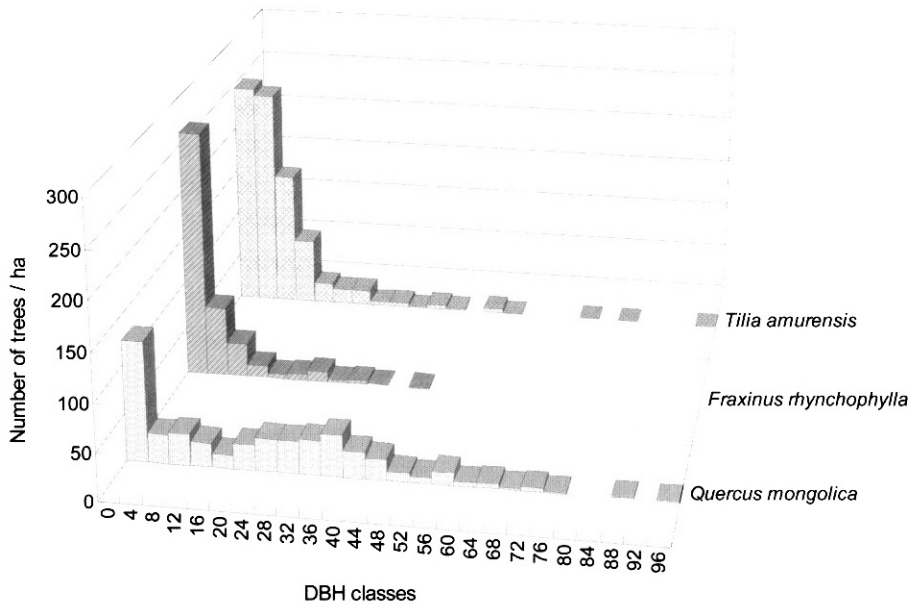


Figure 1. DBH class distribution of major tree species in *Quercus mongolica*-*Tilia amurensis* community.

Table 2. Predicted proportion (%) of species composition during successional generation simulated from midstory to overstory and understory to mid-story in *Quercus mongolica*-*Kalopanax pictus* community.

Species	Midstory to overstory						Understory to midstory					
	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5
<i>Acer mono</i>	5.7	29.4	28.7	29.2	29.5	29.6	14.7	6.1	4.9	4.8	4.8	4.7
<i>Acer pseudo-sieboldianum</i>	-	-	-	-	-	-	28.1	40.5	41.9	41.9	41.7	41.6
<i>Betula costata</i>	13.9	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Carpinus cordata</i>	-	-	-	-	-	-	9.2	7.9	7.1	6.9	6.8	6.8
<i>Cornus controversa</i>	3.3	4.6	3.9	4.1	4.1	4.1	3.9	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3
<i>Fraxinus rhynchophylla</i>	12.7	12.8	14.1	14.7	14.7	14.6	10.2	12.6	12.1	12.1	12.0	12.0
<i>Kalopanax pictus</i>	14.7	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.9	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4
<i>Quercus mongolica</i>	40.8	24.1	20.2	19.2	19.0	19.0	12.3	5.3	5.8	5.8	5.8	5.8
<i>Sorbus alnifolia</i>	0.8	2.6	1.8	1.8	1.8	1.8	2.6	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9
<i>Tilia amurensis</i>	2.9	20.3	24.0	23.6	23.5	23.5	10.9	15.0	15.7	15.6	15.7	15.8
Others	5.2	5.0	6.2	6.3	6.3	6.3	6.4	7.8	7.9	8.3	8.6	8.7

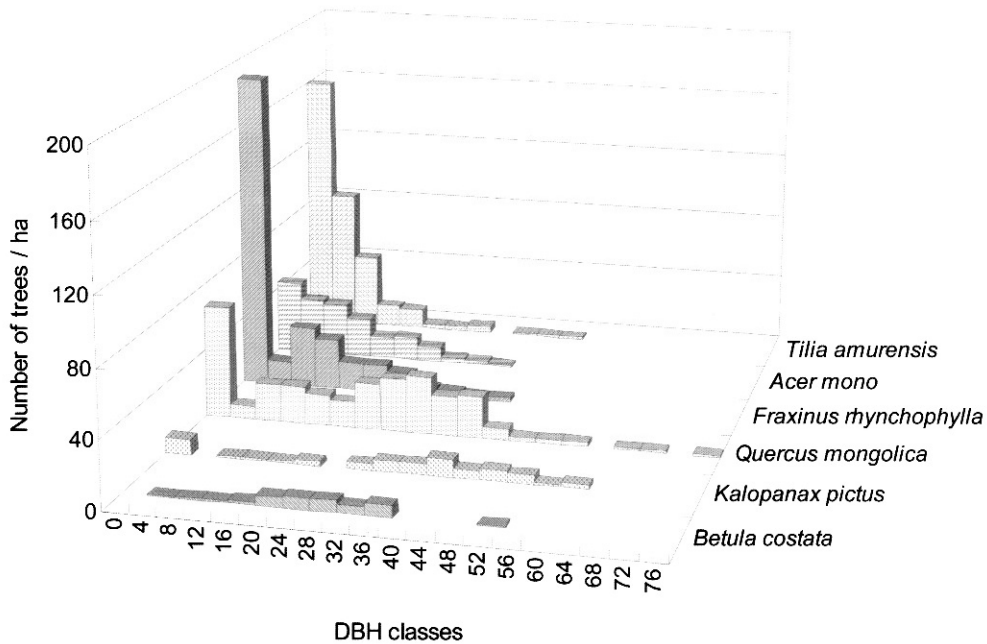


Figure 2. DBH class distribution of major tree species in *Quercus mongolica*-*Kalopanax pictus* community.

물푸레나무, 신갈나무가 우점하고, 중층에서는 당단풍, 피나무가 우점하는 산림으로 구성될 것으로 예상된다.

2. 신갈나무-읍나무군집

현재 상층(평균 수고 18 m)의 우점수종으로 생육하고 있는 신갈나무, 읍나무, 거제수나무는 세대가 바뀌면서 그 세력이 급격히 약화하여 읍나무와 거제수나무는 1%미만에 이르고 신갈나무는 40%대에서 19%대로 떨어졌다(Table 2). 거제수나무는 중층에서의 현재 구성비율이 0.8% 밖에 되지 않아 중하층에 매우 적게 분포하고 있었는데, 거제수나무는 치수활착에 다량의 광선을 요구하기에 산림에 교란이 없는 한, 갱신치수의 활착이 어렵기 때문이다. 읍나무 또한 갱신치수 및 중층에 개체수가 적어 갱신이 잘 이루어지지 않았음을 알 수 있다. 신갈나무는 중층에서도 감소하는 추세였는데, 그 직경분포는 신갈나무-피나무군집에서의 직경 분포와 유사하였다(Figure 2).

상층에서 비교적 높은 우점률을 보인 물푸레나무는 그 세력을 계속 유지할 것으로 예상되나, 비교적 낮은 값을 보인 고로쇠나무와 피나무는 그 세력이 큰 폭으로 확대되었다. 하지만 고로쇠나무는 중층에서 세대가 반복됨에 따라 그 값이 떨어졌고, 피나무와 물푸레나무는 증가하였는데 이는 하층에서의 개체수 분포에서 고로쇠나무의 개체수가 피나무, 고로쇠나무보다 상대적으로 적었기 때문이다. 직경분포에서도 이러한 경향을 볼 수 있는데, 피나무, 물푸레나무, 고로쇠나무는 모두 역 “J” 자형을 나타냈지만, 피나무와 물푸레나무는 그 변화폭이 급한 반면에 고로쇠나무는 변화폭이 완만하였다. 중층에서의 높은 값을

보인 당단풍은 세대가 반복함에 따라 그 값이 증가하여 차세대에서의 중층에서의 세력은 더욱 확대될 것으로 예상된다.

수종 구성의 변화가 거의 없는 2세대에 가서는 상층에서는 고로쇠나무, 피나무, 신갈나무, 물푸레나무가 우점하고 중층에서는 당단풍, 피나무, 물푸레나무 등이 우점하는 산림으로 변할 것으로 예상된다.

3. 신갈나무-까치박달군집

현재 상층(평균 수고 17.5 m)에서 높은 세력을 떨치고 있는 신갈나무(46.4%)는 안정상태에 근접하는 2세대에서는 22.3%로 떨어졌고, 읍나무, 물박달나무도 우점률이 떨어졌으며 이러한 경향은 중층에서도 같은 추세였다. 상층에서 비교적 높은 우점률을 보인 피나무와 물푸레나무는 모두 증가하는 추세였고, 구성비율이 비교적 낮은 고로쇠나무는 대폭 증가하는 추세였으며, 중층에서는 고로쇠나무와 피나무는 작은 감소를 보였고, 물푸레나무는 소폭 증가하는 추세였다. 전나무는 상층 및 중층에서 모두 증가하는 추세였고, 산벚나무, 팔배나무, 난티나무는 상층에서는 증가하는 추세였으나 중층에서는 감소하는 추세였다. 상층에서 4.5%의 비율로 존재하던 소나무는 2세대에 와서는 0으로 나타났고, 현 중층의 구성도 0.1%로써, 중층 및 하층에는 소나무가 거의 생육하고 있지 않음을 알 수 있다(Table 3).

중층에서 당단풍은 현재의 27.4%에서 41.4%로 증가하고, 까치박달은 41.1%에서 30.4%로 감소하는 추세였다. 즉 현재의 중층에서는 까치박달이 우세하지만, 세대가 가

Table 3. Predicted proportion (%) of species composition during successional generation simulated from midstory to overstory and understory to midstory in *Quercus mongolica*-*Carpinus cordata* community.

Species	Midstory to overstory						Understory to midstory					
	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5
<i>Abies holophylla</i>	2.2	7.4	4.3	4.5	4.4	4.4	1.6	6.8	6.0	6.0	6.0	6.0
<i>Acer mono</i>	3.0	19.9	20.0	20.3	20.3	20.3	5.1	4.1	4.3	4.2	4.2	4.2
<i>Acer pseudo-sieboldianum</i>	-	-	-	-	-	-	27.4	38.4	41.1	41.4	41.4	41.4
<i>Betula davurica</i>	4.5	0.4	0.1	0.1	0.1	0.1	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Carpinus cordata</i>	-	-	-	-	-	-	41.1	33.5	30.7	30.5	30.4	30.4
<i>Fraxinus rhynchophylla</i>	5.6	10.5	14.7	14.0	14.0	14.0	4.0	5.2	5.8	5.7	5.7	5.7
<i>Kalopanax pictus</i>	7.9	0.6	0.3	0.2	0.2	0.2	0.6	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
<i>Pinus densiflora</i>	4.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Prunus sargentii</i>	4.1	3.0	5.7	5.3	5.4	5.4	1.4	1.1	1.0	0.9	0.9	0.9
<i>Quercus mongolica</i>	46.4	19.7	22.3	22.0	22.0	22.0	5.1	2.2	1.8	1.8	1.8	1.8
<i>Sorbus alnifolia</i>	0.7	5.4	3.8	3.9	3.9	3.9	3.0	1.3	1.6	1.5	1.5	1.5
<i>Tilia amurensis</i>	7.9	25.0	17.8	18.7	18.6	18.6	6.6	3.6	3.4	3.4	3.4	3.4
<i>Ulmus laciniata</i>	0.0	0.6	3.8	3.8	3.8	3.8	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Others	13.2	7.4	7.2	7.2	7.3	7.3	3.5	3.4	3.9	4.2	4.3	4.3

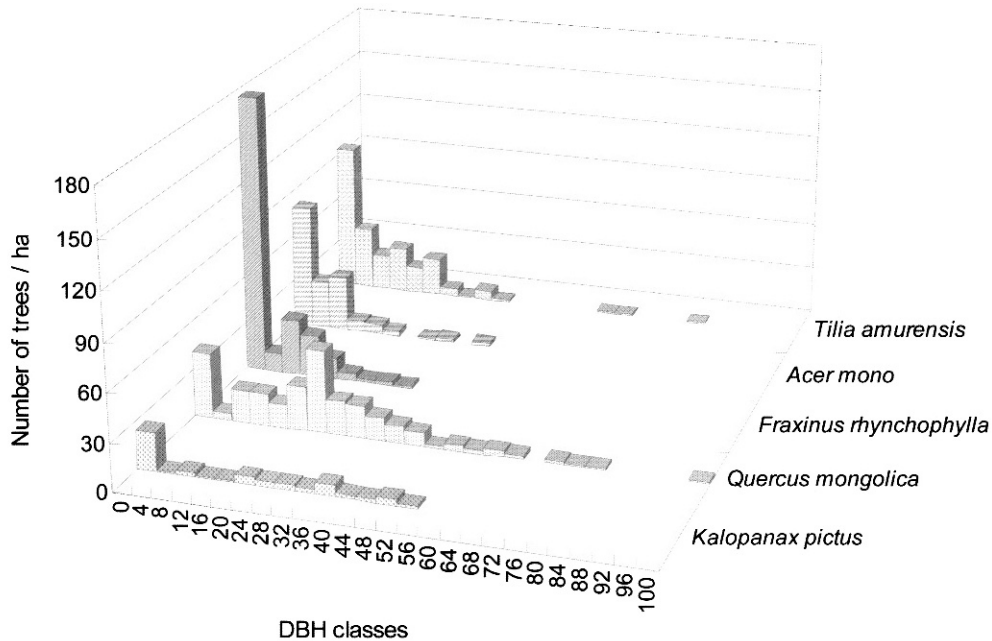


Figure 3. DBH classes distribution of major tree species in *Quercus mongolica*-*Carpinus cordata* community.

들되면서 당단풍이 까치박달의 세력을 능가할 것으로 추정한다.

직경 분포에서 고로쇠나무, 피나무, 물푸레나무는 모두 역 “J” 자형 분포를 보였는데, 이 3수종 모두 중층에서부터 상층으로의 천이 경향은 증가하는 추세였지만, 하층에서부터 중층으로의 천이 경향은 물푸레나무만 증가하는 추세였고, 고로쇠나무와 피나무는 모두 감소하는 추세를 나타내었다(Figure 3). 이것은 작은 직경급의 물푸레나무 개체수가 상대적으로 많고, 고로쇠나무와 피나무는 상대적으로 적기 때문이라고 생각된다.

수종 구성의 변화가 거의 없는 2세대에 가서는 상층에

서는 신갈나무, 고로쇠나무, 피나무, 물푸레나무가 우점하고 중층에서는 당단풍, 까치박달, 전나무, 물푸레나무 등이 우점하는 산림으로 변할 것으로 예상된다.

4. 까치박달-고로쇠나무군집

건조형 군집의 상층에서 40% 이상의 점유율을 보이던 신갈나무는 습윤형으로 전환되면서 점유율이 상당히 많이 떨어졌고, 이 군집에서는 10% 이상의 비율을 나타내는 수종이 기타 군집보다 많은 것이 특징이다. 현재의 상층(평균 수고 16.5 m)에서 우점하는 신갈나무, 옻나무, 산벚나무, 들메나무는 세대가 거듭됨에 따라 감소하고, 고로쇠나무, 피

Table 4. Predicted proportion (%) of species composition during successional generation simulated from mid story to overstory and understory to midstory in *Carpinus cordata*-*Acer mono* community.

Species	Midstory to overstory						Understory to midstory					
	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5
<i>Abies holophylla</i>	0.9	2.4	1.0	1.0	1.1	1.1	0.4	8.5	6.0	6.1	6.0	6.0
<i>Acer mono</i>	11.8	34.0	29.7	27.3	27.3	27.4	9.1	12.2	12.7	13.7	13.6	13.6
<i>Acer pseudo-sieboldianum</i>	-	-	-	-	-	-	21.6	28.2	34.4	32.9	33.0	33.0
<i>Carpinus cordata</i>	-	-	-	-	-	-	42.8	28.7	27.5	27.6	27.8	27.8
<i>Cornus controversa</i>	2.7	6.3	5.3	6.7	7.2	7.2	2.0	2.1	1.5	1.4	1.4	1.4
<i>Fraxinus mandshurica</i>	7.3	2.2	1.9	2.0	2.0	2.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Fraxinus rhynchophylla</i>	9.1	15.9	14.4	14.1	14.2	14.2	8.6	3.3	1.7	1.4	1.3	1.3
<i>Kalopanax pictus</i>	11.8	1.4	2.2	2.0	1.9	1.9	0.7	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1
<i>Prunus sargentii</i>	10.0	2.6	4.4	3.7	3.5	3.5	1.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2
<i>Quercus mongolica</i>	20.9	7.7	5.6	5.1	5.2	5.2	2.0	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8
<i>Tilia amurensis</i>	13.6	10.7	15.0	16.5	16.4	16.3	3.1	4.0	4.8	5.5	5.5	5.5
<i>Ulmus laciniata</i>	2.7	8.5	15.2	16.3	16.1	16.0	2.0	1.2	1.4	1.6	1.5	1.5
Others	9.2	8.3	5.3	5.3	5.1	5.2	5.4	10.6	8.9	8.7	8.8	8.8

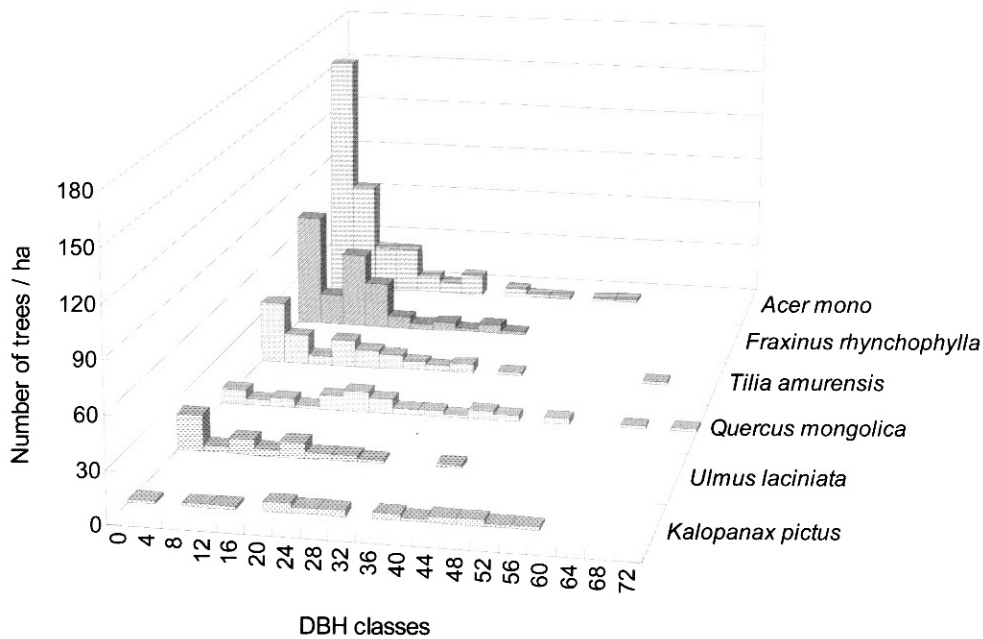


Figure 4. DBH class distribution of major tree species in *Carpinus cordata*-*Acer mono* community.

나무, 물푸레나무는 미래에 세력이 더욱 확대될 것으로 추정되었다. 상층에서 2.7%의 낮은 점유율을 나타내던 난티나무는 그 세력이 16%대로 증가할 것으로 나타났다(Table 4). 이러한 경향은 직경분포에서 거의 일자형을 나타낸 신갈나무와 음나무는 중층 및 갱신치수의 수가 적어 감소하고, 역 “J” 자형을 보인 고로쇠나무, 물푸레나무, 피나무, 난티나무는 증가할 것으로 예측되었다(Figure 4).

중층에서는 전나무, 고로쇠나무, 당단풍, 피나무의 비율이 증가하고 까치박달, 물푸레나무는 감소하는 것으로 나타났다. 이 군집에서도 까치박달과 당단풍의 비율은 모두 높게 나타나 이 두 수종은 현재뿐만 아니라, 미래에도 약 60%의 비율을 차지할 것으로 예측되었다.

이 군집에서는 2세대 혹은 3세대에 가서야 수종의 변화가 거의 없는 안정상태에 근접하고, 상층에서는 고로쇠나무, 피나무, 난티나무, 물푸레나무가 우점하고 중층에서는 당단풍, 까치박달, 고로쇠나무가 우점하는 산림으로 변화할 것으로 예측되었다.

5. 전나무—들메나무군집

이 군집은 침엽수가 비교적 많이 출현하는 지역으로써, 주로 전나무가 많이 생육하고 있었다. 상층(평균 수고 16.8 m)에서 뿐만 아니라 중층에서도 전나무의 세력이 확장될 것으로 추정되었고, 고로쇠나무, 층층나무, 난티나무도 상층에서는 우점률이 확대될 것으로 추정되었으나 중

Table 5. Predicted proportion (%) of species composition during successional generation simulated from mid-story to overstory and understory to midstory in *Abies holophylla*-*Fraxinus mandshurica* community.

Species	Midstory to overstory						Understory to midstory					
	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5
<i>Abies holophylla</i>	12.6	13.4	16.1	15.8	15.5	15.5	4.1	18.3	19.9	20.6	20.9	20.9
<i>Acer mandshuricum</i>	9.4	6.9	6.8	8.7	8.9	8.9	4.2	5.5	5.6	5.7	5.8	5.8
<i>Acer mono</i>	5.7	29.7	26.1	25.8	26.1	26.1	10.2	7.0	7.0	6.8	6.7	6.7
<i>Acer pseudo-sieboldianum</i>	-	-	-	-	-	-	22.2	30.5	27.2	25.7	25.1	24.9
<i>Carpinus cordata</i>	-	-	-	-	-	-	34.3	15.1	11.3	11.0	11.1	11.1
<i>Cornus controversa</i>	3.8	10.3	10.0	9.2	9.0	9.0	4.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Fraxinus mandshurica</i>	26.4	5.7	3.9	3.7	3.7	3.7	2.6	0.8	0.6	0.5	0.5	0.5
<i>Fraxinus rhynchophylla</i>	5.0	3.5	2.9	3.0	2.9	2.9	1.9	3.2	4.6	4.7	4.8	4.8
<i>Prunus padus</i>	0.0	1.4	0.6	0.5	0.5	0.5	1.3	9.7	12.3	13.1	13.3	13.4
<i>Prunus sargentii</i>	3.8	0.9	2.8	2.5	2.5	2.5	0.7	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
<i>Quercus mongolica</i>	17.6	10.0	8.4	8.3	8.0	7.8	3.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3
<i>Tilia amurensis</i>	3.8	3.9	2.3	2.5	2.5	2.5	1.5	2.4	2.3	2.2	2.2	2.2
<i>Ulmus laciniata</i>	6.9	10.5	14.0	14.0	14.4	14.6	4.2	2.7	3.2	3.2	3.2	3.2
Others	5.0	3.8	6.1	6.0	6.0	6.0	4.6	4.2	5.5	6.0	5.9	6.1

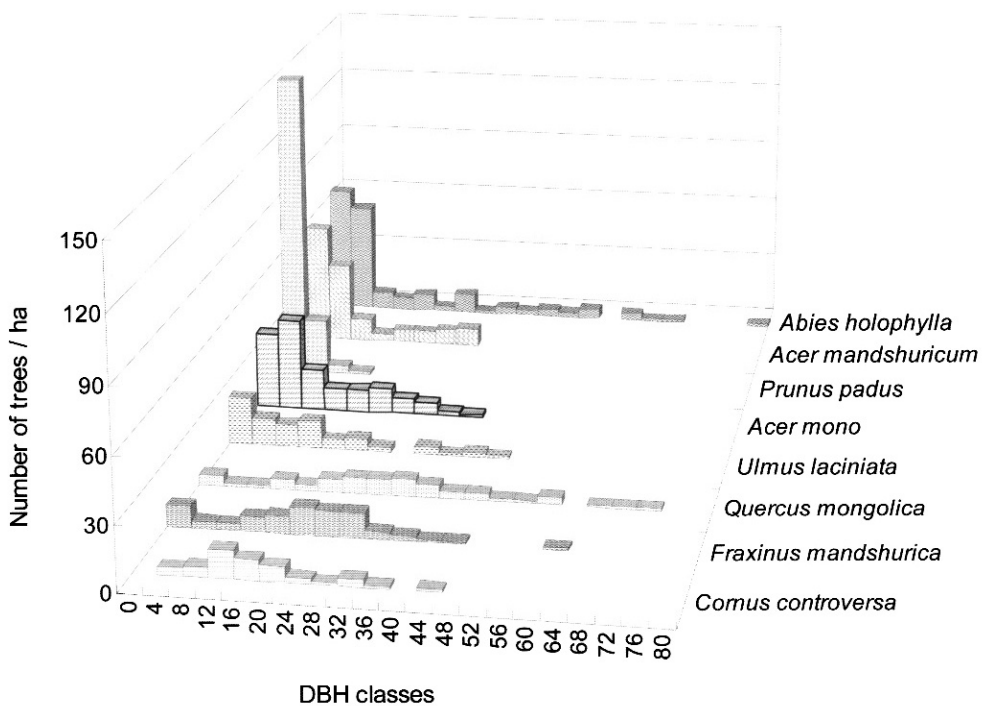


Figure 5. DBH class distribution of major tree species in *Abies holophylla*-*Fraxinus mandshurica* community.

층에서는 모두 감소하는 것으로 나타났다.

현재 상층에서 우점종으로 생육하고 있는 들메나무, 신갈나무는 그 세력이 약화될 것으로 예상되었고, 중층에서도 마찬가지로 감소하였다. 복장나무는 상층에서는 현재의 수준, 중층에서는 소폭의 증가세를 나타내었고, 중층에서 당단풍과 귀룽나무는 증가하고 까치박달은 감소하는 것으로 나타났다. 또한 당단풍과 까치박달의 합계는 현재의 56.5%에서 안정상태에 근접한 3세대에서는 36.7%로 감소할 것으로 예측되었다(Table 5).

직경분포에서 전나무, 복장나무, 귀룽나무, 난티나무는 모두 역 “J” 자형 분포를 보였는데, 분포곡선의 변화 기울기에 따라 상층과 중층에서의 증감은 상이한 값을 보이고 있다. 즉, “0” 직경급에서 높은 값을 보이고 있는 전나무, 복장나무, 귀룽나무는 중층에서 증가하는 추세이고, 작은 값을 갖는 난티나무는 중층에서 감소하는 추세였다. 정규분포 모양을 나타내고 있는 신갈나무, 들메나무는 모두 감소하는 추세였지만, 층층나무와 고로쇠나무는 상층에서는 증가하는 추세이지만 중층에서는 감소하는 추세

Table 6. Predicted proportion (%) of species composition during successional generation simulated from mid-story to overstory and understory to midstory in *Juglans mandshurica*-*Cornus controversa* community.

Species	Midstory to overstory						Understory to midstory					
	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5
<i>Abies holophylla</i>	-	-	-	-	-	-	0.0	5.1	7.8	8.8	9.5	9.7
<i>Acer mandshuricum</i>	1.7	13.4	7.9	7.8	8.2	8.2	13.9	16.7	12.5	12.0	11.8	11.8
<i>Acer mono</i>	6.7	27.2	26.6	23.7	23.1	23.0	16.9	19.2	24.7	23.9	23.4	23.1
<i>Acer pseudo-sieboldianum</i>	-	-	-	-	-	-	5.1	4.0	4.6	4.9	5.2	5.3
<i>Carpinus cordata</i>	-	-	-	-	-	-	13.5	20.7	22.8	24.3	24.6	24.8
<i>Cornus controversa</i>	23.3	26.5	37.9	38.7	38.9	39.2	17.3	3.1	1.4	1.3	1.4	1.5
<i>Fraxinus rhynchophylla</i>	3.3	5.3	1.9	1.7	1.9	1.9	5.9	2.8	1.8	1.9	1.9	1.9
<i>Juglans mandshurica</i>	46.7	6.3	4.1	5.3	5.5	5.5	4.6	0.6	0.7	1.0	0.9	0.9
<i>Kalopanax pictus</i>	8.3	0.6	0.5	0.7	0.8	0.8	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Prunus padus</i>	0.0	10.4	8.6	9.9	9.9	9.8	11.0	23.0	19.0	18.0	17.6	17.4
<i>Quercus mongolica</i>	1.7	3.1	8.0	7.6	7.0	6.9	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Tilia amurensis</i>	5.0	4.6	3.1	3.3	3.5	3.5	3.4	3.0	1.4	0.8	0.7	0.6
Others	3.3	2.6	1.4	1.3	1.2	1.2	5.9	1.8	3.3	3.1	3.0	3.0

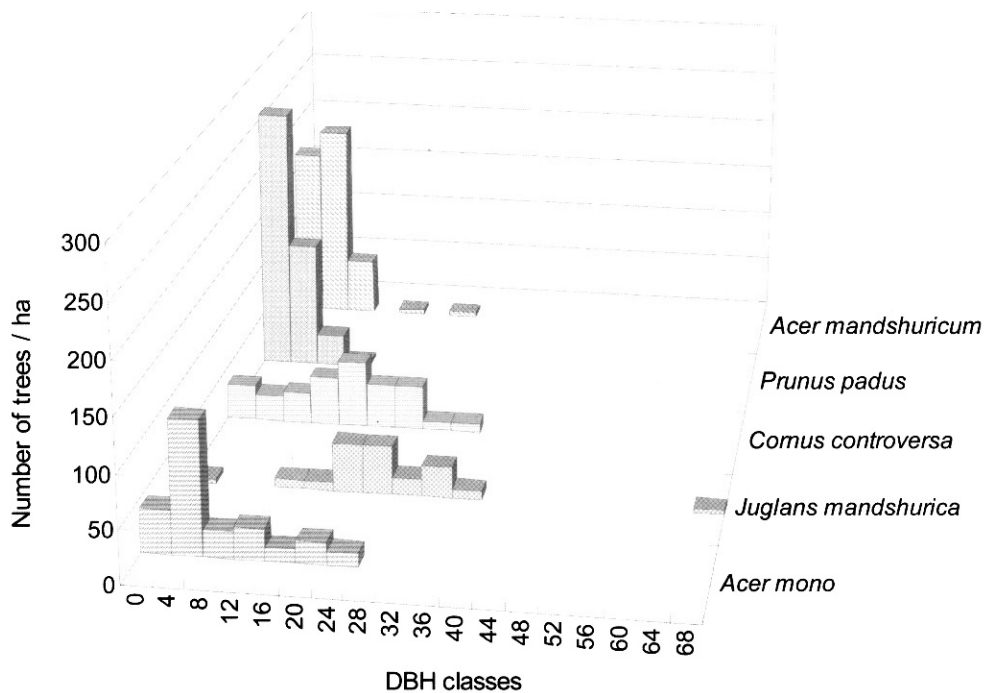


Figure 6. DBH class distribution of major tree species in *Juglans mandshurica*-*Cornus controversa* community.

이다(Figure 5).

이 군집은 3세대에서 수종의 변화가 거의 없는 안정상태에 근접하는데, 상층에서는 고로쇠나무, 전나무, 난티나무, 층층나무 등이 우점하고 중층에서는 당단풍, 전나무, 귀룽나무, 까치박달 등이 우점하는 산림으로 변화할 것으로 예상된다.

6. 가래나무-층층나무군집

현재 상층(평균 수고 16.5 m)의 우점수종으로 생육하고 있는 가래나무와 음나무는 한 세대가 지나면서 우점률이 급격히 약화되고, 층층나무와 고로쇠나무는 우점률이 증

가할 것으로 예상되었다. 또한 현재의 상층에서는 우점률이 낮지만 미래에 우점수종으로 진입할 것으로 추정되는 수종으로는 복장나무, 귀룽나무, 신갈나무 등이 있다. 이 중 신갈나무는 앞의 5개 군집에서 모두 그 세력이 약화되는 것으로 나타났지만 이 군집에서는 증가하는 것으로 나타났다(Table 6). 중층에서 전나무, 당단풍, 까치박달, 귀룽나무는 증가하는 추세였고, 층층나무, 가래나무 등은 감소하는 추세였다.

직경급 분포에서도 16 cm 직경급에서 40 cm 직경급까지 주로 분포하고 있는 가래나무는 갱신치수와 소경목의 부족으로 상층과 중층에서 그 세력이 모두 약화될 것이라

는 것을 예상할 수 있다. 반면에 작은 직경급에 많은 개체수가 생육하고 있는 복장나무, 귀룽나무, 고로쇠나무는 증가하고 층층나무의 경우는 소경목에서 상대적으로 많은 개체수가 분포하고 있어 상층은 증가하는 양상을 보이지만 갱신치수의 부족으로 중층에서는 감소하는 경향을 보였다(Figure 6).

이 군집은 3세대에서 수종의 변화가 거의 없는 안정상태에 근접하고, 상층에서는 층층나무, 고로쇠나무, 귀룽나무, 복장나무 등이 우점하고, 중층에서는 까치박달, 당단풍, 귀룽나무, 복장나무, 전나무 등이 우점하는 산림으로 변화할 것으로 예상된다.

인용문헌

- 강성기. 2000. 점봉산 일대 천연활엽수림의 지형적 위치에 따른 군집 구조적 속성 분석. 석사논문, 강원대학교 대학원 산림경영학과, 61pp.
- 金光澤. 2004. 점봉산 일대 천연활엽수림의 군집유형별 생태적 구조 및 동태 분석. 박사논문, 강원대학교 대학원 산림경영학과, 139pp.
- 金光澤, 唐艷, 김지홍. 2002. TWINSpan 에 의해 분류된 점봉산 일대 천연활엽수림의 군집구조 해석. 한국임학회지 91(4): 523-534.
- 김지홍. 1992. 추이행렬 모델에 의한 오대산 침엽수-깃나무속 혼효림의 천이 경향 분석. 한국임학회지 81(4): 325-336.
- 김지홍. 1993. 생태형태학적 특성 분석에 의한 활엽수종의 극성상지수 추정. 한국임학회지 82(2): 176-187.
- 윤종화, 한상섭, 김지홍. 1987. 원시림의 환경과 구조에 관한 연구. 연습림연구보고 7: 3-26, 강원대학교 임과대학 연습림.
- 이원섭. 1999. 점봉산 일대 천연활엽수림의 지형적 위치에 따른 천이 경향 분석. 석사 논문, 강원대학교 대학원 산림경영학과, 42pp.
- 이창복. 1982. 대한식물도감. 향문사. 서울. pp. 990.
- 陽含熙, 伍業綱. 1988. 長白山自然保護區潤葉紅松林林木種屬組成, 年齡結構更新策略的研究. 林業科學 24(1): 17-18.
- 邵國凡, 趙士洞, 舒?特. 1995. 森林動態模擬—兼紅松優化經營. 中國林業出版社. 北京. 中國. pp. 159.
- Barbour, M. G., Burk, J. H. and Pitts, W. D. 1987. Terrestrial Plant Ecology. The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc. Menlo Park, California, U.S.A. pp. 634.
- Barden, L. S. 1981. Forest development in canopy gaps of a diverse hardwood forest of the southern Appalachians. Oikos 37: 205-209.
- Binkley, C. S. 1980. Is succession in hardwood forests a stationary Markov process? Forest Science 26: 566-570.
- Cho, D.S. 1999. Population dynamics of *Quercus mongolica* in Mt. Jombong. Korean Journal of Ecology 22(6): 355-361.
- Enright, N, and Ogden, J. 1979. Application of transition matrix models in forest dynamics : Araucaria in Papua New Guinea and Nothofagus in New Zealand. Austria Journal of Ecology 4: 3-23.
- Horn, H. S. 1971. The Adaptive Geometry of Trees. Princeton University Press, U.S.A. pp. 144.
- Horn, H.S. 1975. Forest succession. Scientific American 232: 90-98.
- Miles, J., French, D. D., Xu, Z. B. and Chen, L. Z. 1985. Transition matrix models of succession in stand of mixed broadleaved-*Pinus koraiensis* forest in Changbaishan, jilin Province, North-east China. Journal of Environment and Management 20: 357-375.
- Van Hulst, R. 1980. Vegetation dynamics or ecosystem dynamics : dynamics sufficiency in succession theory. Vegetatio 43: 147-151.
- White, P. S., Mackenzie, M. D. and Busing, R. T. 1985. A critique on overstory/ understory comparisons based on transition probability analysis of an old growth spruce-fir stand in the Appalachians. Vegetatio 64: 37-45.

(2005년 6월 21일 접수; 2005년 11월 30일 채택)