

點鳳山 일대 天然闊葉樹林의 地形的 位置에 따른 遷移 傾向 分析¹

李元燮² · 金知洪³ · 金光澤²

The Analysis of Successional Trends by Topographic Positions in the Natural Deciduous Forest of Mt. Chumbong¹

Won Sup Lee², Ji Hong Kim³ and Guang Ze Jin²

요 약

산림의 지형적 위치에 따라 수종 구성에 차이가 있을 것이라는 가정 하에, 점봉산 일대 천연활엽수림의 세가지 지형적 위치(계곡, 산복, 능선)에 대한 천이 경향을 비교 분석하였다. 계곡, 산복, 능선에서 각각 20개씩 총 60개의 20m×20m 표본구를 설정하여 현재 상층 임관을 형성하는 상층목들의 수종, 수고, DBH를 조사하고 상층목 밑에서 자라는 하층목의 수종을 조사했다. 시간이 지나면서 상층목이 그 밑에서 자라는 하층목에 의해서 대체되는 천이 경향을 Markov chain의 통계학적 이론을 응용한 추이행렬 모델을 사용하여 예측했다.

연구 결과, 계곡에서는 현재 우점 수종인 신갈나무와 물푸레나무가 각각 약 23%와 약 21%의 구성 비율에서 약 200년 후에 이르게될 안정상태에 가면 두 수종 모두 약 4% 정도로 현저히 감소할 것으로 추정되었다. 반면에, 전나무, 고로쇠나무, 피나무, 난티나무 등은 안정상태에서 증가할 것으로 예측되었다. 산복에서는 약 250년 후에 이르게될 안정상태가 되면, 현재 우점 수종인 가래나무, 옴나무, 피나무가 현재의 구성 비율인 15%, 8%, 15%에서 각각 2%, 1%, 5%로 현저히 감소할 것이 팔목할 만한 결과였다. 능선에서는 현재의 절대 우점 수종인 신갈나무가 58%의 구성 비율에서 약 200년 후에 이르게될 안정상태에서는 8%로 상당히 감소하고, 고로쇠나무와 피나무가 현재의 4%와 3%의 구성 비율이 각각 20%와 40%로 증가할 것으로 예측되었다.

전반적으로 연구대상 산림은 극상 군집이 아닌 천이가 진행 중인 상태이며, 입지 조건과 식생 발달 상황에서 여러 가지의 변수가 작용하겠지만, 상층 임관의 수종 구성 상 안정상태에 도달하려면 약 200년 이상의 기간이 소요될 것으로 추정되었다.

ABSTRACT

Taking account of the structural variation on species composition by topography, the successional trends were comparatively analyzed for the three topographic positions (valley, mid-slope, and ridge) in the natural deciduous forest of Mt. Chumbong area. The analysis was based upon the subsequent process of generation replacement by understory saplings and seedlings over the overstory trees which will be eventually fallen down. This study adopted the plot sampling method, establishing twenty 20m×20m quadrats and collecting vegetation and site data on each different topographic position. The transition matrix model, which was modified from the

¹ 接受 2000年 8月 31日 Received on August 31, 2000.

² 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.

³ 江原大學校 山林科學大學 山林資源學部 Division of Forest Management, College of Forest Sciences, Kangwon National University, Chunchon 200-701, Korea.

mathematical theory of Markov chain, was employed to analyze the successional trends and thereafter to predict the overstory species composition in the future for each different topographic position.

In valley, the simulation indicated the remarkable decrease in the proportion of species composition of present dominants *Quercus mongolica* and *Fraxinus mandshurica* from current 23% and 21% to around 4% of each at the steady state, which is predicted to take less than 200 years. On the other hand, the proportion of such species as *Abies holophylla*, *Acer mono*, *Tilia amurensis*, and *Ulmus laciniata* will increase at the steady state. In mid-slope, the result showed the remarkable decrease in the proportion of *Juglans mandshurica*, *Kalopanax pictus*, and *Tilia amurensis* from current 15%, 8%, and 15% to 2%, 1%, and 5%, respectively, at steady state predicted to take more than 250 years. In ridge, the current dominant *Quercus mongolica* was predicted to be decreased dramatically from 58% to 8% at steady state which could be achieved about 200 years. On the contrary, the proportion of *Acer mono* and *Tilia amurensis* will be increased from current 4% and 3% to more than 20% and 40%, respectively, at the steady state.

Overall results suggested that the study forest is more likely seral rather than climax community. Even though a lot of variation is inevitable due to various kinds of site and vegetation development, the study forest is considered to be more than 200 years away from the steady state or climax in terms of overstory species composition.

Key words : forest succession, topographic position, markovian model, climax, sere

서 론

변화는 산림생태계의 속성으로 식물, 동물, 미생물들이 서로 어우러져서 끊임없이 주위의 미세환경을 변화시키고, 어떤 한 시점의 산림 식생은 시간이 지나면서 주위의 미세환경을 변화시킨 만큼 자신은 이 변화된 환경에 적응하지 못하고 다른 식생에 의하여 대체된다. 이러한 산림군집의 발달, 즉 천이(succession)가 계속 되면서 군집 전체의 생산량은 꾸준히 증가하게 된다. 그러나, 비록 시간이 지나면서 생물상의 구성이 변하는 것이 모든 생태계의 속성이긴 하지만 그 변화 정도는 천이계열(sere)에 따라 혹은 같은 천이계열이라도 그 단계(stage)에 따라 크게 다양하며, 변화가 막연하게 계속 되지는 않는다. 산림생태계 내부의 생물적인 조건과 비생물적인 조건 사이에서 평형을 이루는 단계가 되면 변화율은 매우 느리게 되고 안정된 상태에 도달하게 된다. 이와 같이 최종적으로 안정된 군집을 극상군집(climax community) 혹은 산림에서는 극상림(climax forest)이라고 한다.

극상림으로의 진행 과정은 산림천이에 입각한 일반적인 현상이지만, 그 산림이 처해 있는 제반 조건에 따라서 진행 과정의 정도와 내용이 달라진다. 기후 및 토양 조건, 환경 변화 정도, 생물상에

의한 환경 변화율, 서식 생물체의 수명, 군집의 입지 점유 정도 및 타 생물상의 침입에 대한 저항, 그리고 교란의 빈도와 심도 등에 의해서 천이 과정의 비율이 결정될 수 있다(Kimmins, 1997).

우리나라 산지는 지형이 대단히 복잡하고 굴곡이 심하기 때문에, 계곡, 산복, 능선의 구분이 뚜렷하다. 이러한 지형적 변이는 태양 광선 및 수분 조건의 양과 분배를 결정하는 중요한 요인으로 작용하여, 산림 식생의 종구성과 발달 상황에 지대한 영향을 미친다(Rowe, 1984). 그러므로 산림의 생태적 구조와 천이의 경향은 지형적 위치에 따라 다양하게 변하며 같은 지형 내에서도 토양에 따라 숲의 구성과 하층목에서 상층목으로의 대체 현상에도 상당한 영향을 미칠 것이다(Host 등, 1987).

이 연구는 산림의 지형적 위치(계곡, 산복, 능선)에 따라서 산림의 구조와 발달 상황이 달라질 것이라는 가정 하에, 산림천이 경향을 추정하는 여러 가지 modelling 방법 중에서 Markov chain을 이용하여 점봉산 일대 천연활엽수림의 지형적 위치에 따른 천이 경향을 분석하기 위하여 수행되었다. 이 모델은 천이의 경로가 식물종의 확률적인 대체 작용의 결과라는 것이 기본 개념이다. 산림군집 내의 각 임목들은 동일 수종의 다른 개체에 의해서 대체될 때, 혹은 다른 수종의 서식처 탈

취에 의해 자리물림을 할 때, 어떤 정해진 확률로써 이러한 현상이 일어난다는 것이다. 이 확률은 상층 우세목과 하층 후계목들과의 관계에서 설정된다. 산림천이의 과정은 이러한 추이확률행렬과 해당 임분의 현재 수종 구성 상태에 의해서 결정될 것이며, 앞으로 연구 대상 산림에 대한 산불 등 대규모 자연적 교란이나, 벌목, 개벌 등의 인위적인 교란이 배제될 경우, 군집의 수종 구성 비율은 궁극적으로는 변하지 않는 "안정상태(steady state)"로 수렴할 것이다(Horn, 1975; 김지홍, 1992). 이와 같은 개념을 바탕으로, 연구 대상 산림의 현재 천이 단계를 추정하고 미래의 천이 경향을 예측함으로써, 적용 모델의 민감도와 임분의 구조적인 성격에 대한 모델의 탄력성을 시험하여 그 적용성을 평가하고자 한다.

연구 대상지 및 연구 방법

태백산맥의 한 허리를 남북으로 가르는 한계령(935m)의 남쪽에 위치하여 북으로는 설악산(1,707m)을 마주 보고 남쪽 산자락 끝은 가칠봉(1,164m)으로 이어지는 점봉산 일대를 연구 대상 지역으로 선정하였다. 이 지역에는 일부 소규모의 소나무림과 동북아시아 기후가 생성해 낼 수 있는 낙엽활

엽수림이 넓은 면적에 걸쳐있다. 인간의 손길이 스쳐간 흔적을 드물지 않게 감지할 수 있어서 원시림으로 간주하기는 어려우나, 우리나라 대부분의 산림이 인위적인 교란 후에 생성된 참나무류 산림, 참나무류 소나무 혼효림, 혹은 소나무림 등의 2차림의 양상을 나타내는 것과 달리, 천연활엽수림이 잘 발달되어 있으며 일부분 유존군락(relict community)으로 추정되는 원시성을 띤 산림을 찾는 것은 어렵지 않아서 학술적인 가치는 다른 어느 산림에 못지 않을 것이다.

점봉산 일대 산림에 대한 대표적인 연구 실적을 검토하면, 1983~1984년에 걸쳐 한국자연보존협회(1984)에서 이 지역의 지질, 토양, 식생, 야생동물, 곤충 등에 대하여 조사하였고, 윤종화 등(1987)은 이 일대 산림의 군집 생태적 속성을 분석하였으며, Kim(1989)은 다변량분석법을 도입하여 천연활엽수림의 식생을 해석하여 당단풍, 물푸레나무, 신갈나무, 고로쇠나무 등의 출현이 군집 분포의 핵심임을 보고하였고, 이병천(1993)은 ZM식물사회학적 방법과 다변량 식생분석법을 이용하여 이 일대 산림 군락 구조 및 분포에 관한 연구를 수행한 바 있다.

연구 표본지 선정은 1:25,000 지도를 참조하여 계곡, 산복, 능선이 뚜렷하게 구별되는 위치를 지

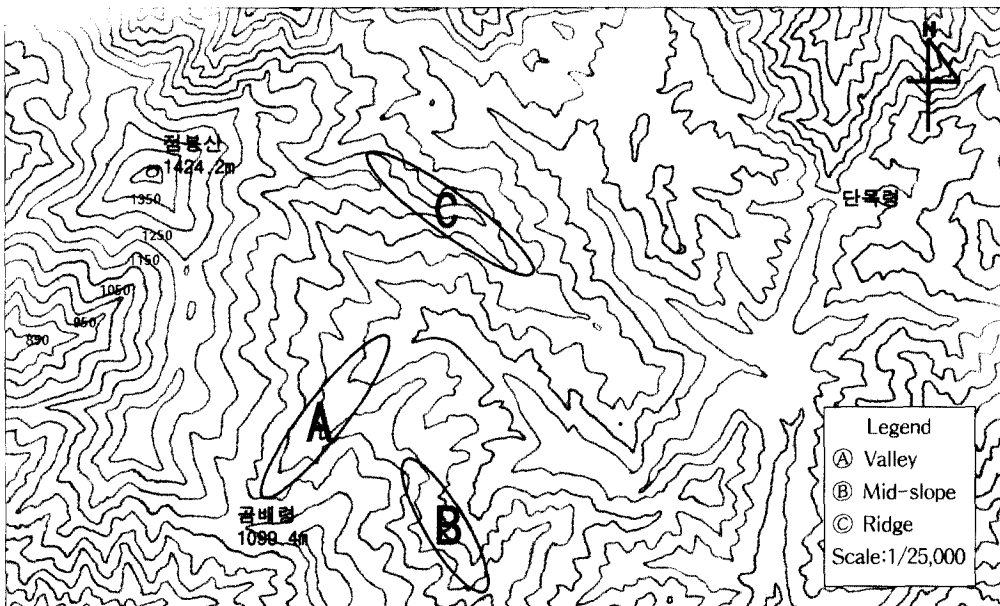


Fig. 1. The approximate location of study sites by topographic positions in Mt. Chumbong area.

Table 1. Site conditions of the study forest by topographic positions.

	Valley	Mid-slope	Ridge
Soil	Loam~Clay loam Talus(20%)	Loam Talus(10%)	Clay loam
Slope gradient	4~15°	19~35°	10~33°
Aspect	S10°W~N45°W	N18°E~N70°W	N3°E~N75°E S~S80°W
Elevation	800~870m	850~1050m	1000~1150m

도상에서 파악한 후, 연구 대상 산림을 2회 답사 하여 교란 흔적이 극히 적은 잘 발달된 임분을 택 하였다. 각 지형적 위치(계곡, 산복, 능선)별 연구 대상지 위치를 Figure 1에 도시하였고, 각 표본지의 토양, 경사도, 사면 방향, 해발고는 Table 1과 같다.

연구 대상 산림에서 계곡, 산복, 능선별로 20m × 20m 정방형 표본구를 각각 20개씩 총 60개를 무작위로 선정하여 상층 임관을 이루고 있는 상층 우세목 및 상층목 아래에서 생육하면서 장차 상층 임관으로 도약할 가능성을 지니고 있는 수고 2m 이상의 중·하층목을 연구 대상 식생으로 삼았다. 대상 상층목의 수종을 식별하고, 수고, 흉고직경, 수관폭을 실측하였다. 상층목과 상층목 사이가 10m 이상 되는 곳으로 임관이 열려져 있는 곳은 숲틈(Gap)으로 간주하였으며, 상층목의 영향 아래 있는 숲틈의 중·하층목의 수종 및 수고를 조사하였다.

연구 표본구에서 조사된 수종 및 개체수는 계곡에서 상층 구성 수종 16종에 ha당 평균 164본, 하층 구성 수종은 24수종에 ha당 평균 2,031본; 산복에서 상층 구성 수종 17종에 ha당 평균 190본, 하층 구성 수종 26종에 ha당 평균 2,329본; 능선에서 상층 구성 수종 12종에 ha당 평균 281본, 하층 구성 수종 26종에 ha당 평균 1,949본이 조사되었다. 수종 식별과 명명은 이창복(1982)을 참조하였다.

상층임관을 형성하고 있는 상층목의 수종을 파악하고 그 상층목의 아래에서 생육하면서 장차 상층으로 도약할 가능성을 지닌 하층목의 개체수를 수종별로 파악하여 상층목이 시간이 지나면서 하층목으로 대체될 확률 즉, 천이 경향 예측을 Markov chain의 이론을 응용한 Horn(1975, 1976)의 추이행렬 모델(transition matrix model)을 이용하여 각 상층목 아래에서 수종별 하층목들이 상층목을 대체할 추이 확률은 다음과 같은 식으로 구했다.

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

$N_j(t+l)$: t+1세대에서 j 수종의 상층 구성 비율

$N_i(t)$: t세대에서 i 수종의 상층 구성 비율

P_{ij} : 상층목 i 수종이 j 수종으로 대체될 추이 확률

n : 상층 수종수 (=하층 수종수)

현 상층목(0세대) 수종 구성 비율 행렬과 하층목 수종 구성 비율이 만들어내는 추이확률 행렬을 곱하여 1세대의 수종 구성 비율을 구하고, 1세대의 구성 비율을 기준으로 하여 하층목 수종 구성 추이확률 행렬을 곱하여 2세대를 구하는 방법을 반복하여 추정한 결과로써 미래의 어떤 세대의 수종 구성 비율을 예측하였다.

위와 같은 방법으로 후계 세대의 수종 구성 비율을 계속 산출하다 보면 총 수종 구성 비율에서 변화가 점점 줄어서 변화율이 거의 없어지는 세대에 도달하게 된다. 이렇게 변화가 없는 세대를 산림이 안정된 상태 즉, 극상에 도달했다고 간주하였다. 연구 대상 산림의 지형적 위치별로 현재 수종 구성과 미래에 변화할 수종 구성의 양상을 검토하고 몇 세대 후에 이러한 산림으로 발달되는가를 추정함으로써 천이 경향을 분석하였다.

결과 및 고찰

1. 계곡 부위의 천이 경향

현 상층에서는 신갈나무가 ha당 38본에 상대밀도 23.2%로 가장 높게 나타났으며 들메나무가 35본에 21.3%, 전나무 21본으로 12.8%, 고로쇠나무 11본에 6.7%의 순으로 이 네가지 수종이 전체 상층 수종 구성의 64%를 차지하는 우점 수종으로 나타났다. 계곡에서 조사한 식생 자료를 Markov chain을 응용한 추이행렬 모델을 이용하여 천이 경향을 예측한 결과와 현재 구성수종의 평균 직경을 Table 2에 나타내었다. 1세대에서는 전나무 22.6%, 고로쇠나무 19.9%, 복장나무 13.6%, 피

Table 2. Predicted proportion(%) of species composition during successional generation by the simple model in the valley.

Canopy species	Present DBH(cm)	Generation					
		0	1	2	3	4	5
<i>Abies holophylla</i>	45.6±11.7	12.8	22.6	28.0	26.9	27.0	27.0
<i>Acer mandshuricum</i>	23.6±3.5	4.9	13.6	11.0	11.4	11.4	11.4
<i>Acer mono</i>	26.0±6.3	6.7	19.9	15.8	16.0	16.0	16.0
<i>Cornus controversa</i>	21.8±8.4	2.4	4.5	3.9	4.1	4.1	4.1
<i>Fraxinus mandshurica</i>	24.3±9.5	21.3	4.0	4.2	3.9	3.9	3.9
<i>Fraxinus rhynchophylla</i>	23.8±6.3	4.9	6.6	7.1	7.3	7.3	7.3
<i>Kalopanax pictus</i>	28.3±6.0	1.8	1.8	1.7	1.7	1.7	1.7
<i>Prunus sargentii</i>	23.3±2.8	4.9	3.0	3.2	3.0	3.0	3.0
<i>Quercus mongolica</i>	40.2±21.4	23.2	5.4	4.1	4.3	4.3	4.3
<i>Tilia amurensis</i>	31.6±12.5	3.0	7.2	6.2	6.5	6.5	6.5
<i>Ulmus laciniata</i>	24.8±11.5	3.0	6.7	9.1	9.2	9.3	9.3
Others	32.0±20.2	11.0	4.7	5.7	5.7	5.6	5.6

나무 7.2% 순으로 현재(0세대) 상층 수종 구성 비율과 많은 차이를 나타냈으나, 2세대에는 전나무 28.0%, 고로쇠나무 15.8%, 복장나무 11.0%, 난티나무 9.1% 순으로 3세대와 상대밀도의 변화가 거의 나타나지 않아서 2~3세대에서는 안정된 숲으로 될 것이라고 예측할 수 있으며, 이 숲은 현재 이미 상당히 발달된 단계에 있다고 판단된다.

이 모델에 의한 상층목이 하층목에 의하여 대체되는 추이확률은 수목의 수명을 고려하지 않고 단

지 세대별로 추정된 것이다. 그러나 수목마다 수명이 다르므로 이를 더욱 현실성 있게 나타내기 위하여 각 수목마다 적합한 평균 수명을 부여하고 5가지 중요 수종의 시간에 따른 상층 구성 변화를 Figure 2에 나타내었다.

수목의 수명은 Fowells(1965)에 의해서 발표된 북미대륙의 같은 속에 속하는 수종들의 평균 수명과 Miles 등(1985)에 의하여 추정된 중국 장백산의 수종들의 평균 수명을 참조하여 국내의 수목의

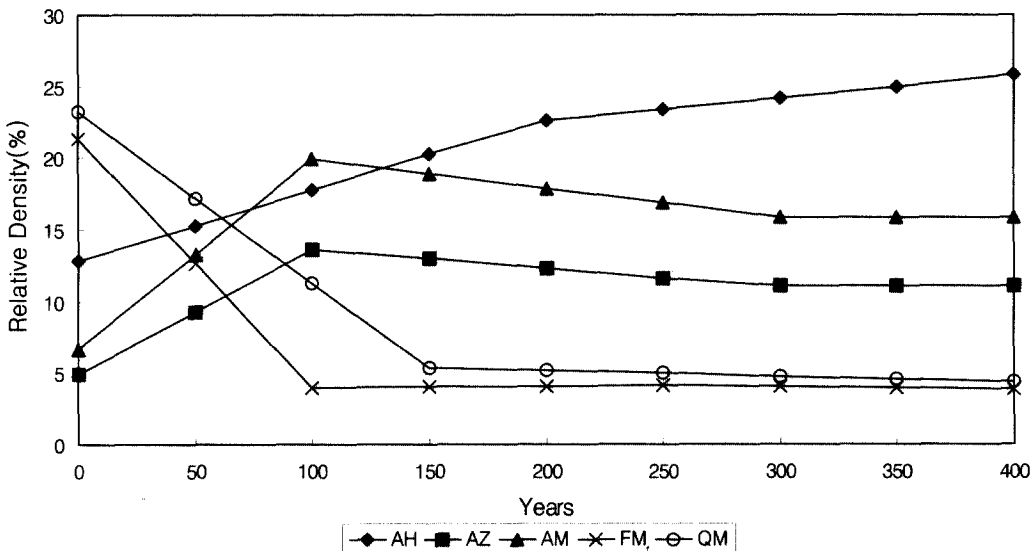


Fig. 2. Simulation of successional trends for five major species up to 400 years in the valley. AH, *Abies holophylla*; AZ, *Acer mandshuricum*; AM, *Acer mono*; FM, *Fraxinus mandshurica*; QM, *Quercus mongolica*.

수명을 추정한 김지홍(1992)의 논문을 참조하여 필자들의 전문적 경험을 토대로 추정하여 분석에 사용하였다.

전나무 350년, 고로쇠나무 200년, 복장나무 200년, 물푸레나무 200년, 들메나무 150년, 가래나무 150년, 읍나무 200년, 신갈나무 300년, 피나무 250년, 층층나무 150년으로 그 수명을 추정하였다. 그리고 현재의 상층 임관을 이루고 있는 수목은 이미 상당한 정도의 나이에 와 있다고 인정되어 그 수명을 다하고 다음 세대에 의하여 대체될 때까지의 최소한의 기간은 매 수종 평균 수명의 반미만으로 설정하였다.

이 방법에 의해서 분석된 천이 경향을 보면, 전나무, 고로쇠나무, 복장나무가 시간이 갈수록 크게 증가하는 양상과, 신갈나무와 물푸레나무가 미래에 크게 감소하는 양상은 Table 2에서 제시한 단순 모델의 결과와 유사하게 분석되었다. 또한, 전나무는 150년에서 400년까지 250년 동안 4% 정도의 상대밀도의 변화를 보일 뿐이며 그 외 수종들은 200년이 지나면서 1% 내외의 미미한 변화를 보일 뿐이므로 실제로 이 숲은 150~200년 후면 안정상태에 이를 것으로 예측된다(Figure 2).

2. 산복 부위의 천이 경향

현재 상층에는 가래나무와 피나무가 각각 같은 개체수가 출현하여 ha당 22본(14.7%), 신갈나무

가 16본(10.7%), 물푸레나무와 읍나무는 각각 12본(8%)씩 출현하여, 이 5종의 수종이 전체 상층림 구성의 56.1% 차지하여 우점 수종으로 나타났으며(Table 3), 구성 수종과 비율 면에서 계곡과 다소 차이를 보였다. 천이 경향을 분석한 결과는 Table 3에 나타났듯이, 2세대에서는 층층나무 21.9%, 고로쇠나무 19.3%, 물푸레나무 8.4%, 복장나무 10.6%, 신갈나무 7.9%로 구성 비율이 현 상층 구성과는 사뭇 다른 양상을 나타내었다. 높은 밀도를 차지하는 5개 수종은 2세대와 3세대에서는 상대밀도에서 1%내외로 변했고 3세대와 4세대 사이에서는 미미한 변화만이 나타났다. 산복에서는 3세대는 되어야 안정된 숲으로 될 것으로 판단된다. 복장나무와 소나무는 상층에서 각각 2.7%로 같은 상대밀도를 나타냈으나 복장나무는 1세대에서 15.7%, 2세대 이후로는 꾸준히 9%정도를 유지하며 상층수종으로 중요한 자리를 차지할 것으로 예상되었다. 이에 비해 내음성이 극히 약한 소나무는 바로 차세대부터 그 자취를 감추게 될 것으로 예측되었고 상층에서 6.7%의 점유율을 보였던 층층나무는 꾸준히 증가하여 3세대부터는 27%의 점유율을 보이면서 안정될 것으로 추정된다.

계곡에서와 마찬가지로 수목의 나이를 부여하고 산복에서 중요한 5가지 수종에 대한 400년 후까지의 천이 경향을 Figure 3에 나타내었다. 고로쇠나

Table 3. Predicted proportion(%) of species composition during successional generation by the simple model in the mid-slope.

Canopy Species	Present DBH(cm)	Generation					
		0	1	2	3	4	5
<i>Abies holophylla</i>	30.5±0.7	1.3	6.5	4.5	3.7	3.5	3.4
<i>Acer mandshuricum</i>	30.5±8.4	2.7	15.7	10.6	9.0	9.1	9.2
<i>Acer mono</i>	27.0±6.5	5.3	18.8	19.3	17.9	17.7	17.5
<i>Cornus controversa</i>	21.3±4.9	6.7	11.3	21.9	25.7	26.7	27.3
<i>Fraxinus mandshurica</i>	33.4±18.5	4.7	2.1	1.4	1.8	1.9	1.8
<i>Fraxinus rhynchophylla</i>	20.2±7.5	8.0	14.8	8.4	7.2	6.9	6.8
<i>Juglans mandshurica</i>	25.8±4.9	14.7	1.6	1.1	1.8	2.0	2.2
<i>Kalopanax pictus</i>	32.0±7.0	8.0	0.9	0.7	1.1	1.2	1.3
<i>Maackia amurensis</i>	—	0.0	0.4	0.1	0.1	0.1	0.1
<i>Prunus sargentii</i>	24.8±7.5	5.3	2.8	5.2	5.1	4.8	4.8
<i>Pinus densiflora</i>	34.5±8.1	2.7	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Quercus mongolica</i>	25.4±18.2	10.7	4.7	7.9	7.3	6.8	6.7
<i>Tilia amurensis</i>	33.5±17.8	14.7	7.4	4.3	4.6	4.6	4.5
<i>Ulmus laciniata</i>	28.6±9.5	4.7	4.7	6.7	6.9	6.7	6.5
Others	28.7±6.9	10.7	8.0	7.6	7.4	7.4	7.3

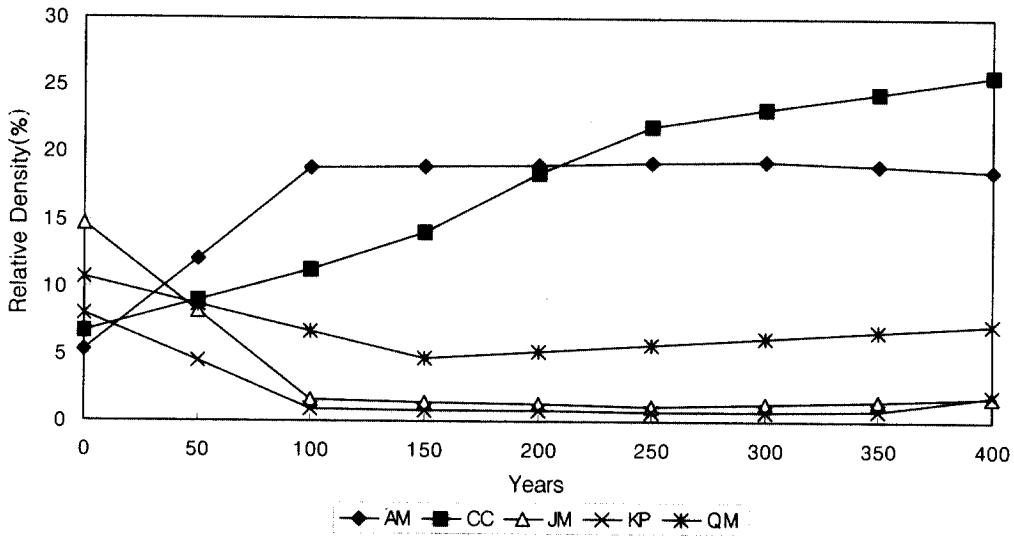


Fig. 4. Simulation of successional trends for five major species up to 400 years in the ridge. AM, *Acer mono*; KP, *Kalopanax pictus*; QM, *Quercus mongolica*; TA, *Tilia amurensis*; FR, *Fraxinus rhynchophylla*.

부, 가래나무, 음나무는 100년까지는 큰 폭의 증감을 보이었으나 그 이후부터는 1%내에서 미미한 변화를 보이었으며 층층나무는 250년까지는 큰 변화를 보이나 그 이후로는 안정될 것으로 예측된다.

3. 능선 부위의 천이 경향

현재 능선의 상층에는 신갈나무가 ha당 130본(57.8%), 음나무(*Kalopanax pictus*) 23본(10.2%), 거제수나무(*Betula costata*) 20본(8.9%), 물푸레나무 16본(7.1%) 순으로 구성되어 있으며 이 네가

지 수종이 전체 상층구성의 84%를 차지했으며, 신갈나무와 음나무의 대경목들이 다수 생육하고 있었다(Table 4). 특히 계곡이나 산복에 비해서 신갈나무가 월등히 높은 상대밀도와 많은 개체수를 보였다. 능선의 조사 자료를 이용하여 천이경향을 예측한 결과는 Table 4와 같다.

1세대에서는 상대밀도가 피나무(37.6%), 신갈나무(18.8%), 고로쇠나무(16%) 순으로 신갈나무가 큰 폭으로 감소한 반면 피나무는 상대적으로 큰 폭으로 증가할 것으로 예측되어 대조적이었고

Table 4. Predicted proportion(%) of species composition during successional generation by the simple model in the ridge.

Canopy species	Present DBH(cm)	Generation					
		0	1	2	3	4	5
<i>Acer mono</i>	22.5±5.3	4.0	15.9	20.6	22.5	23.1	23.3
<i>Betula costata</i>	28.7±8.4	8.9	0.1	0.3	0.3	0.2	0.2
<i>Cornus controversa</i>	23.2±5.9	1.8	3.2	3.0	2.7	2.6	2.6
<i>Fraxinus mandshurica</i>	21.5±5.0	0.9	0.5	0.1	0.1	0.0	0.0
<i>Fraxinus rhynchophylla</i>	26.7±6.5	7.1	10.7	6.7	5.3	4.9	4.7
<i>Juglans mandshurica</i>	33.5±7.9	1.8	0.9	0.3	0.3	0.3	0.3
<i>Kalopanax pictus</i>	43.3±8.2	10.2	0.8	1.7	2.0	2.0	2.1
<i>Prunus sargentii</i>	38.0	0.4	1.0	0.8	0.6	0.5	0.5
<i>Quercus mongolica</i>	38.2±12.0	57.8	18.8	12.4	11.1	10.8	10.8
<i>Tilia amurensis</i>	52.1±16.7	3.1	37.7	44.9	46.7	47.2	47.3
Others	25.8±7.2	4.0	10.4	9.1	8.5	8.4	8.3

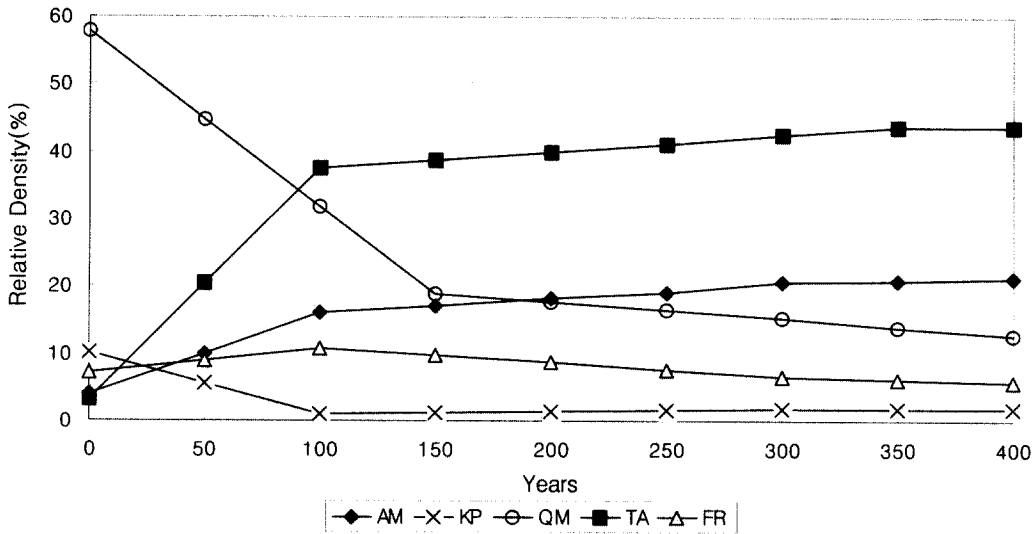


Fig. 4. Simulation of successional trends for five major species up to 400 years in the ridge. AM, *Acer mono*; KP, *Kalopanax pictus*; QM, *Quercus mongolica*; TA, *Tilia amurensis*; FR, *Fraxinus rhynchophylla*.

2세대에서도 역시 신갈나무는 11.6%로 더욱 감소하고, 반면에 내음성이 강한 고로쇠나무가 20.6%로 증가할 것으로 판단된다. 현재 약 9% 가량의 구성 비율을 갖고 있는 거제수나무는 내음성이 약하고 후계목을 보유하고 있지 못한 관계로 바로 다음 세대부터 쇠퇴할 것으로 예측되었다. Table 4에서 보는 바와 같이, 2세대와 3세대에서는 신갈나무와 물푸레나무만이 2% 정도 줄었을 뿐 그 외 수종은 1%내외에서 변했다. 능선에서도 현재의 숲은 상당히 발달된 숲으로 인정되며 2세대 이후부터는 안정된 상태의 숲으로 되어 그 변동이 거의 없을 것으로 예측된다.

다른 지형 위치에서와 마찬가지로 수목의 나이를 부여하여 능선에서 중요한 5가지 수종에 대한 400년까지의 천이 경향을 분석하여 Figure 4에 나타내었다. 능선 부위에서는 약 200년 후면 안정한 상태에 도달할 것으로 예측된다.

4. 전반적인 천이 경향

Table 2, 3, 4의 수종들의 예측 구성 비율에서 보는 바와 같이, 앞으로 2~3세대가 경과하면 연구 대상 지역의 숲은 수종 구성상의 큰 변화가 없이 일정한 구성 비율이 계속되는 안정된 군집을 보일 것으로 예측되어 이미 상당한 천이 단계에 와 있는 것으로 판단된다.

햇빛, 토양, 수분조건 등 미세환경이 서로 다른, 계곡, 산복, 능선은 현재에도 상층구성이 다를 뿐만 아니라 천이 모델에 의하여 예측된 안정 단계에 도달했을 때의 숲의 구성도 많은 차이를 보일 것으로 추정된다. 그러나 내음성이 약한 몇 가지 수종(소나무, 거제수나무 등)을 제외하고는 각 지형에 따른 구성 비율이 달라질 뿐 현재의 다양성을 유지할 것이다.

현재 상층에서 생육하고 있는 소나무와 거제수나무는, 상층의 교란에 의해서 광물질 토양이 드러나서 종자 발아가 용이해지고 유입 광선의 양이 많아지지 않는 한, 다음 세대부터 전혀 출현하지 않아서 극상에 가까운 천이 단계에서는 살아남기 힘들다고 사료된다.

들메나무의 구성비율은 세가지 지형 모두에서 극상으로 갈수록 점차 감소되는 것으로 예측되었다. 현재에는 계곡에서 21.3%의 구성 비율을 보이면서 신갈나무(23.2%) 다음의 우점종으로 변성하고 있으나, 다음 세대부터 4%의 구성 비율로 크게 떨어졌으며 산복에서는 현재 4.7%에서 2세대 이후로는 1.8%를 유지했으며 능선에서는 현재 0.9%로 그 출현율이 미미했으며 2세대 이후부터는 출현율이 "0"을 보임으로서 능선에서는 사라져갈 것으로 예측된다. 들메나무는 어려서는 내음성이 있다고 알려져 있으나(조무연, 1989) 하층에서

급격히 줄어드는 것으로 보아 수분 문제보다는 수목이 성장하면서 보다 많은 광선을 요구하기 때문에 점차 다른 수종에 그 자리를 물려줄 것으로 추정된다.

내음성이 강한 것으로 알려진 전나무는 현재 계곡에서 상대밀도 12.8%의 점유율을 보이거나 2세대부터는 28%로 최고의 점유율을 나타낼 것이지만, 산복과 능선에서는 점유율이 감소될 것으로 예측되었다. Geiger(1965)에 의하면 독일가문비나무(*Picea abies*)나 전나무류 숲에서는 임상에 도달하는 광선이 전광의 2%까지도 감소한다고 하고, Burns(1923)나 Bates(1928) 등은 내음성이 매우 강한 설당단풍나무(*Acer saccharum*)와 같은 수종들은 전광의 5%정도의 낮은 수준에서도 살아 남는다고 한다. 본 조사에서 전나무 하층에 생육하고 있는 수종들 중에서 전나무와 고로쇠나무가 가장 높은 비율을 차지하는 것은 높은 내음성에 기인하는 것으로 판단된다. 실제로 내음성은 지상부의 적은 광량에 대한 적응뿐만 아니라 지하부에서 치열하게 일어나는 수분과 무기양료에 대한 경쟁이 더욱 중요하기 때문에(Kimmins, 1997; Oliver and Larson, 1996), 내음성을 갖추지 못한 수종들은 전나무 숲 밑에서 오랜 기간을 견디면서 상층으로 도약하기는 어려울 것으로 생각된다.

신갈나무는 능선과 계곡에서 가장 높은 비율로 상층을 차지하고 있으나 1세대에서는 세가지 지형적 위치 모두에서 가장 큰 폭으로 감소하는 것으로 나타났다. 그러나 2세대 이후부터는 계곡에서 약 4%, 산복과 능선에서 약 9% 정도로 꾸준히 변

하지 않는 점유율을 보임으로써 안정기에 접어들어서도 산복과 계곡에서는 중요한 수종으로 그 자리를 유지할 것으로 예상된다.

각 지형에 따른 종합적인 천이 경향 경로를 Table 5에 나타내었다. 계곡에서는 현재는 신갈나무-물푸레나무의 임형을 나타내고 있으나 중간단계에서는 상층에서 물푸레나무의 비율이 급격히 줄어들고 고로쇠나무-전나무 임형을 나타내다가, 안정기에 도달하면 상층에서 신갈나무의 비율은 현저히 감소하여 전나무-고로쇠나무 임형을 유지할 것으로 예측된다. 산복에서는 현재 가래나무-피나무 임형을 나타내고 있으나 중간단계에서는 고로쇠나무가 급격히 증가하여 고로쇠나무-층층나무 임형을 보이고 안정기에서는 층층나무-고로쇠나무 임형을 유지할 것으로 추정된다. 능선에서는 현재 신갈나무-읍나무 임형을 나타내고 있으나 중간단계에서는 읍나무가 급격히 줄고 신갈나무-피나무 임형을 보일 것이고 안정기에는 신갈나무도 줄어들고 피나무-고로쇠나무 임형을 유지할 것으로 판단된다.

까치박달(*Carpinus cordata*), 당단풍(*Acer pseudo-sieboldianum*), 돌배나무(*Pyrus pyrifolia*), 호랑버들(*Salix hulteni*) 등이 상층에서 소수 출현하기는 하였으나 생활형의 특성상 중층에서 상층 임관으로의 진입이 어려운 수종으로 분류되므로 상층으로의 도약 여부는 무시하였다. 또한 상층 수종으로 인정되나 상층에는 출현하지 않고 하층에만 출현하는 박달나무(*Betula schmidtii*), 사시나무(*Populus davidiana*), 황벽나무(*Phellodendron*

Table 5. The estimation of species compositional change and successional pathways in overstory, predicted from Markov chain model by three topographic positions.

Topographic position (soil texture)	Current forest type	Midway composition	Steady state composition
Valley (loam to clay loam, talus)	QM-FM	AM-AH loss of FM & QM	loss of QM, replaced by AH & AM
Mid-slope (loam, talus)	JM-TA	AM-CC thrift of AM, loss of JM & KP	loss of JM & TA, replaced by CC & AM
Ridge (clay loam)	QM-KP	QM-TA loss of QM & KP, thrift of TA	loss of QM & KP, replaced by TA & AM

QM, *Quercus mongolica*; FM, *Fraxinus mandshurica*; AM, *Acer mono*;
AH, *Abies holophylla*; JM, *Juglans mandshurica*; TA, *Tilia amurensis*;
KP, *Kalopanax pictus*; CC, *Cornus controversa*

amurense)는 추이 확률 산출이 불가능하므로 상층 점유 비율 산출에서는 제외하였다.

당단풍, 까치박달, 귀룽나무(*Prunus padus*), 함박꽃나무(*Magnolia sieboldii*), 마가목(*Sorbus commixta*), 팔배나무(*Sorbus alnifolia*) 등은 최상층 임관으로의 도약은 비록 힘들지라도 중하층에서 차지하는 비율이 높아서 중하층 수종 구성에 중요한 자리를 차지할 것으로 예측된다. 특히 까치박달과 당단풍은 계곡에서 전체 중하층 개체수의 53.5%, 산복에서 46.1%, 능선에서 36.2%를 차지하므로 중하층에서 가장 중요한 수종으로 임분의 수직적 구조 분할에 중요한 역할을 할 것이다.

자연의 오묘한 이치를 단순한 수학적 모델에 의존해서 미래를 예측한다는 것은 물론 무리가 따를 것이다. 그러나 천이를 예측함에 있어서 Markov chain을 이용한 추이행렬 모델이 상당히 신빙성이 있는 것은 첫째, 현재의 상층목은 반드시 그 밑에 있는 하층목에 의해서만 대치된다는 것이다. 둘째, 산림천이의 연구에서 가장 어려움이 있는 시간적인 문제점을 간단히 해결한다는 장점이 있다. 셋째, 본 연구와 같이 교란이 거의 없었던 천연림이나 2차 천이의 증대기(aggradation phase)(Borman & Likens 1979) 이후의 산림에 이 모델의 적용은 상당히 신빙성이 있는 예측을 할 수 있다. 그러나, 이 모델이 보완해야 될 한계성과 단점도 몇 가지 있다. 첫째, 나무의 수명이나 생장률 등의 함수들이 수종마다 다르지만, 이러한 인자들을 고려하지 않고 모두 동일하게 취급함으로써 인한 불합리성이다. 둘째, 현재 하층 수종의 상대밀도가 계속되는 차세대에도 동일한 상대밀도로 하층에 존재할 것이라는 가정은 현실성이 부족한 면이 있다. 즉, 변화되는 미세환경을 이 모델은 제대로 반영할 수 없다. 셋째, 한 그루의 상층목은 필히 한 그루의 하층목만으로 대치된다는 한계성을 가지고 것 또한 본 모델로써는 해결하기 어려운 문제점이다.

인 용 문 헌

- 김지홍. 1992. 추이행렬 모델에 의한 오대산 활엽수-것나무속 혼효림의 천이 경향 분석. 한국임학회지. 81(4) : 325-336.
- 윤종화, 한상섭, 김지홍. 1987. 원시림의 환경과 구조에 관한 연구. 강원대 연습림 연구 보고. 7 : 3-26.
- 이병천. 1993. 점봉산 산림 군락 구조 및 분석에 관한 연구. 경북대 박사학위 논문. 84pp.
- 이창복. 1982. 대한 식물도감. 향문사. 990pp.
- 조무연. 1989. 원색한국수목도감. 도서출판 아카데미서적. 415pp.
- 한국자연보존협회. 1984. 강원도 점봉산 일대 종합학술 조사보고서. 22호 124pp.
- Bates, C.G. and J.Roeser Jr. 1928. Light intensities required for growth of coniferous seedlings. Amer J. Bot. 15 : 185-244.
- Bormann, B.T. and G.E. Likens. 1979. Pattern and process in a forested ecosystem springer-Verlag. New York. 253pp.
- Burns, G.P. 1923. Measurement of solar radiant energy in plant habitats. Ecology 4 : 189-195.
- Oliver, C.D. and B. C. Larson. 1996. Forest Stand Dynamics. John Wiley and Sons. Inc. New York. 521pp.
- Fowells, H.A. 1965. Silvics of Forest Trees of the United States. U.S. Dept. Agriculture, Forest service, Agriculture Handbook 271, Washington D.C. 762pp.
- Geiger, R. 1965. the Climate Near the Ground. Harvard Univ. Press, Cambridge, Mass. 611pp.
- Horn, H.S. 1975. Markovian properties of forest succession. Pages 196-211 in M. L. Cody and J.M. Diamond. ed. Ecology and Evolution of Communities. Harvard University.
- Horn, H.S. 1976. Succession. Pages 187-204 in R.M. May. ed. Theoretical Ecology : Principles and Applications. Blackwell Sci. Publ. Oxford.
- Host, G.E., K.S. Pregitzer, C.W. Ramm and J.B. Hart. 1987. Landform-Mediated Differences in Successional Pathways Among Upland Forest Ecosystems in Northwestern Lower Michigan. Forest Science 33 : 445-457.
- Kim, J. H. 1989. The forest communities of Mt. Chombong described by combined methods of classification and ordination. Jour. Kor. For. Soc. 8 : 255-262.
- Kimmins, J.P. 1997. Forest ecology. MacMillan. New York. 596pp.
- Miles, J., D.D. French, Z.B. Xu and L.Z.

- Chen. 1985. transition matrix models of succession in a stand of mixed Broadleaved-Pinus Koraiensis forest in Changbaishan, Kirin province, North-East China. *J.Env. manag.* 20 : 357-375.
19. Rowe, J.S. 1984. Forestland classification : limitations of the use of vegetation. p276. *in* Forestland Classification : Experiences problems. Perspectives. J. Bockheim (ed). Proc. Symp. Univ. Wisconsin.