

推移行列 모델에 의한 五臺山 闊葉樹-젓나무屬 混淆林의 遷移 傾向 分析^{1*}

金 知 洪²

Analysis of Successional Trend by Transition Matrix Model in the Mixed Broadleaved-Abies Forest of Mt. Odae^{1*}

Ji Hong Kim²

要 約

본 연구는 五臺山 國立公園內的 闊葉樹-젓나무屬 混淆林中에서 森林遷移 경향과 潛在 森林植生을 검토 분석한 것이다. 88개의 5m×50m 帶狀標本區를 설치하여 上層 優勢木의 아래에서 생육하는 下層木에 의해서 世代 交替되는 과정을 바탕으로 遷移 傾向을 평가하였다. 조사 대상 森林의 遷移 傾向 분석은 Markov chain의 數學的 이론에서 변형된 推移行列 모델을 사용하였다. 본 연구 결과가 암시하는 바에 의하면 조사 森林은 遷移의 中間段階에 있으며, 樹種 構成上 極盛相林에 도달하려면 700년 이상의 기간이 소요될 것으로 나타났다. 현재 28%와 13%의 높은 相對密度를 유지하고 있는 신갈나무와 피나무는 極盛相의 安定狀態가 되면 각각 3%와 5% 이하로 樹種 構成比率이 감소하리라 예상된다. 반면에, 젓나무, 당단풍, 까치박달, 그리고 잣나무의 構成比率은 증가할 것으로 사료되며, 현재 闊葉樹와 針葉樹의 混淆率이 6.5 : 3.5에서 5.0 : 5.0로 변화할 것이다. 신갈나무의 遷移系列上的 문제점을 고찰한 바, 신갈나무는 遷移 中반단계의 優勢種으로써 역할을 하며 極盛相 樹種은 아닌 것으로 추정한다. 推移行列 모델의 실제 상황에 대한 적용성을 평가하기 위하여 연구 모델의 假定과 敏感度 역시 고찰하였다. 전반적인 연구 결과가 지적하는 바에 의하면 조사 삼림의 현재 生態의 動態는 인간에 의한 방해와 攪亂이 있은후 천이가 진행 중임을 反映한다.

ABSTRACT

The successional status and potential natural vegetation were examined in a mixed broadleaved-*Abies* forest located at Mt. Odae National Park. The examination was based on the subsequent process of generation replacement by understory saplings for the dominant canopy trees within 88 5m×50m belt transects. The transition matrix model, which was modified from mathematical theory of Markov chain, was employed to analyze the successional status of the study forest. The model suggests that the study forest is still seral, and it is considered to be more than 700 years away from the steady state or climax in terms of species composition. The simulations predict a remarkable decrease in the proportion of species composition of the present dominant *Quercus mongolica* and *Tilia amurensis* from current 28% and 13% to less than 3% and 5%, respectively, at the steady state. On the contrary, the proportions of *Abies holophylla*, *Acer pseudo-sieboldianum*, *Carpinus cordata*, and *Pinus koraiensis* will increase at the steady state. The ratio of mixture between deciduous and coniferous trees will be gradually changed from current 6.5 : 3.5 to 5.0 : 5.0 at

¹ 接受 1992年 6月 3日 Received on Jun 3, 1992.

² 江原대학교 林科大學 College of Forestry, Kangweon National University, Chuncheon 200-701, Republic of Korea

* 이 論文은 1990年度 教育部支援 韓國學術振興財團의 地方大育成 研究助成費에 의하여 研究되었음.

equilibrium. Discussion for the problems of *Quercus mongolica* in successional status noted that the species behaved as a mid-successional dominant, not a climax species in the study forest. The hypothesis and sensitivity of the transition matrix model were also discussed to evaluate the applicability to the real situation. The overall results indicated that the present dynamics of the forest must reflect the seral state due to previous disturbance mainly by human related interference.

Key words : forest succession, climax, Markovian model, mixed forest Mt. Odae.

緒 論

高等生物群集이 존재하지 않는 암석지나 砂丘 등에는 下等植物부터 터를 잡고 有機物을 축적하기 시작하여 그 지역의 氣候와 결부된 植生을 형성하며, 인위적으로 혹은 자연적인 危害 요인에 의해서 황폐된 삼림은 원래 상태로 復歸하는 과정을 밟는다. 이러한 자연적인 植生 형성과 삼림의 再生 機能은 遷移(succession)라고 하는 연속적인 단계를 거쳐서 진행된다. 한 단계에서 번성한 식물 種들이 다음 단계에 가서는 後代 식물 種들에게 자리 물려줌을 계속함으로써 궁극적으로는 식물 種의 구성상 거의 변화가 없어지는 極盛相群集(climax community)에 도달한다는 理論이다. 그러나 이러한 遷移의 과정은 수천년 혹은 수백년의 오랜 기간 동안 진행되고 物理的·生物學的 環境要因에 따라서 천이 과정상 변이가 매우 다양하므로 일률적이고 단편적인 理論이나 方法에 의해서 해석하기에는 충분하지 못한 경우가 대부분이다.

전통적인 遷移의 개념은 Cowles(1899), Clements(1916), Weaver와 Clements (1938) 등에 의해서 정립되었으나, Odum(1969)에 의해서 상당한 발전을 보게되었다. Clements(1916)가 “水分, 溫度, 光線, 그리고 土壤의 極端的인 環境 條件이 存在하지 않는 모든 空閑地는 새로운 植物 群集이 造成된다.”는 학설을 내세우면서 遷移의 이론적인 根幹은 많은 비판과 검토와 수정을 거쳐서 生態學的 중심되는 개념으로 발전해왔다. 특히 Odum(1969)은 인간과 자연과의 관계에서 천이의 原理를 중요시 하였고, 현대 산업 사회가 겪고있는 環境危機를 극복하기 위하여는 천이의 개념을 도입함으로써 가능하다고 力說하였다. 짧은 生態學的 歷史에도 불구하고 수많은 학자들에 의해서 遷移의 개념은 정리되고 검토되

어 왔으며, 최근에는 West et al(1981)과 Sugart(1984) 등이 森林遷移의 理論의이며 실제 應用的인 면들을 集大成 하였다. 그리고 Jeffers(1988) 등이 數學과 統計學을 이용한 천이모델 개발에 관한 종합적인 연구를 하였다. 우리나라 천연림에서의 森林遷移에 대한 연구는 매우 부진한 상태이며, 박(1985), 송(1985), 박 등(1987, 1988), 윤 등(1987)에 의한 森林群集 연구에서 부분적으로 다룬바 있다.

森林遷移는 시간이 경과함으로써 야기되는 森林群集의 構造상의 변화이기 때문에 과거에는 오랜 세월을 두고 반복적인 조사나 혹은 보다 진행된 군집과의 비교를 통하여 연구되어 왔다. 그러나 이러한 방법들은 實驗 計劃上 시간적이며 공간적인 어려움으로 인하여 기대한 만큼의 결과를 얻지 못하는 경우가 많을 뿐만 아니라 종래의 군집대 군집을 기본으로 하던 천이의 연구가 林木의 代置 작용에 의한 수종 구성상의 양상을 분석하는 방향으로 진전을 보게 되었다. 즉 삼림천이는 특정한 천이단계에서 가장 잘 적응된 樹種들의 生存과 生長의 결과라는 관점이다. 이러한 假說을 바탕으로, 數學的이며 統計學的 方法들이 이용된 simulation을 통한 모델을 개발하여 천이의 進척 상황을 분석하는 연구가 많이 성행하게 되었고, 客觀的인 分析이란 면에서 광범위하게 받아들여지고 있다.

현재 우리나라 삼림의 많은 면적을 차지하고 주위에서 흔히 접할 수 있는 참나무류와 소나무를 주요 構成 요소로 하는 天然林은 오랫동안 인간의 간섭과 방해로 인한 二次林으로 사료된다. 이와같은 삼림은 천이의 초기 내지는 중간단계 혹은 방해받은 森林土壤의 변형과 결부된 亞極盛相林(subclimax forest)으로 추정되어, 이들과 潛在 森林植生과 천이의 경향을 분석하기 위하여는 국소적으로 남아있는 遺存群落(relict community)과의 비교나 혹은 수학적인 simulation을

통하여 가능할 것이다.

본 연구는 여러가지 Modelling 방법중에서 Markov chain을 이용하여 五臺山 天然林에 대한 遷移 경향을 분석하기 위하여 수행되었다. Markov model은 遷移의 경로가 植物種의 確率的인 代置作用에 의한 결과라는 것이 기본 개념이다. 森林群集內的 각 林木들은 동일 수종의 다른 個體에 의해서 代置될때, 혹은 다른 樹種의 棲息處 탈취에 대한 자리물림을 할때, 어떤 정해진 확률로써 이러한 현상이 일어난다는 것이다. 이 확률은 上層 優勢木과 下層 後繼木들과의 관계에서 설정된다. 森林遷移의 과정은 이러한 推移確率 行列과 해당 林分の 현재 수종 구성 상태에 의해서 결정될 것이며, 삼림에 대한 攪亂作用이 배제될 경우 군집의 수종 구성비율은 궁극적으로는 변하지 않는 "安定狀態(steady state)"로 수렴할 것이다(Horn 1975a, 1975b, 1976). 이와 같은 개념을 바탕으로, 연구 대상 삼림의 천이 단계를 분석하고, Markov model의 敏感度와 임분의 구조적인 성격에 대한 model의 彈力性을 시험하여 그 適用性을 평가하고자 한다.

五臺山 闊葉樹-젓나무屬 混淆林

五臺山과 小金剛 지역 일대 약 300km²는 1975년부터 國立公園으로 지정되어 관리되고 있다. 五臺山의 삼림은 溫帶中部 지역의 대표적인 天然闊葉樹林지대로써 학술적인 가치로서도 다른 어느 삼림에 못지 않을 것이다. 樹種도 매우 다양하여 약 60여種의 喬木 樹種과 80여種의 灌木 樹種들이 복잡한 垂直的 階層 構造를 이루고 있다. 五臺山 지역의 地層은 산록지대는 花岡岩으로 구성되어 있고 중북 이상은 Precambria기의 花岡·片麻岩으로 이루어져 있으며, 地勢는 비교적 완만하며 경사가 급하지 않고 岩塊가 노출된 곳이 드물다. 대부분의 斜面은 위에서 이동해 내려온 모래와 점토의 혼합물로 두껍게 덮여 있으며 地盤의 기복에 의한 변화가 커서 토심이 7m 이상되는 곳도 보고된 바 있다. 이러한 사면은 森林腐植과의 土壤 生成 과정을 거쳐서 토심이 깊고 암갈색의 植質壤土가 대부분이며, 연간 약 1200mm 가량의 강우량으로 適濕하여 울창한 삼림을 유지하기에 적당하다(권 1971). 본 지역의 전반적인 植物相은 정과 유(1971), 이(1971), 박과

오(1971)가 韓國自然保存協會가 주관한 조사활동을 통하여 보고한 바 있다.

본 연구의 조사 지역은 비로봉, 호령봉, 그리고 상왕봉을 중심으로 설정된 國立公園 自然保存지구중에서 주능선의 東北部에 위치한 闊葉樹-젓나무屬 混淆林 일대를 대상으로 하였다. 상세한 삼림의 내력은 파악할 수 없으나, 인간에 의한 부분적인 伐採, 산불, 6.25 전쟁등으로 인한 삼림의 방해 요인은 어렵지 않게 감지할 수 있었으며, 도로나 등산로에서 깊숙이 들어가면 거의 방해 받지않은 原始 遺存群落으로 판단되는 임분도 쉽게 관찰할 수 있었다. 胸高直徑이 1m 이상 기록되는 젓나무, 신갈나무, 졸참나무, 피나무, 서어나무, 까치박달 등이 樹高 25m 이상씩 뻗어 있는 나무들을 어렵지 않게 접할 수 있어서 가히 森林資源의 寶庫라 할 만하다. 상층 優勢木 수종의 後繼木들과 더불어서 下層林冠을 점유하는 亞喬木 및 灌木류는 당단풍, 쪽동백나무, 함박꽃나무, 난티잎개암나무, 참개암나무, 철쭉, 미역줄나무, 백당나무, 노린재나무, 고광나무, 생강나무 등을 대표적으로 들 수 있고, 高度 1100m 정도에 等高線上으로 나타난 만병초 群落이 특기할 만하며, 조릿대의 소군락도 자주 만난다. 이들 遺存群落으로 사료되는 삼림은 천이 계열상 상당히 후반에 속하거나 혹은 極盛相林에 가까우리라는 판단 아래에서 본 연구를 실시하였다.

研究方法

연구 대상 삼림은 五臺山 國立公園 自然保存地區內的 闊葉樹 및 젓나무와 분비나무 및 잣나무로 구성된 天然 混淆林으로 하였다. 조사 대상 임분은, 본 연구 목적에 가장 부합되고, 인간에 의한 간섭을 적게 받은 林分을 선정하기 위하여, 航空寫眞을 참고로 하여 현지 답사를 통하여 결정하였다.

대상 임분에서 等高線과 수직되게 길이 50m 너비 5m의 帶狀標本區(belt transect) 88개를 임의로 설정하여 植生 조사를 실시하였다. 上層林冠을 점유하는 優勢木과 準優勢木의 樹種을 식별하고, 胸高直徑과 總樹高를 측정하였다. 개개의 上層 林木 아래에서 下層林冠을 이루며 생육하는 수고 50cm 이상 혹은 근주직경 2cm 이상되는 모든 喬木 수종의 小·中徑木과 幼齡木을 식

별하고, 직경과 수고를 측정하였다.

각 상층목 수종 아래에서 생육하는 하층목의 개체수를 수종별로 정리하여, 상층목이 하층목 수종별로 代置될 가능성을 가능하는 推移確率 (transition probability)을 계산하였다. 결과적으로, 상층 임관을 점유하고있는 수종 i는 그 수목 아래에서 생육하는 수종 j들에 의해서 계산된 推移確率로써 반복하여 代置될것이라는, Markov chain의 理論을 Horn(1975a, 1975b, 1976)이 森林遷移 연구에 적용한 分析 方法을 사용하였다.

$$N_j(t+1) = \sum N_i(t) P_{ij}$$

$N_i(t)$: 世代 t에서 上層木 樹種 i의 構成 比率

$N_j(t+1)$: 世代 t+1에서 下層木 樹種 j가 上層 林冠에서의 構成 比率

P_{ij} : 上層木 樹種 i가 下層木 樹種 j의 임목들에 의해서 代置될 確率

上記와 같은 방법으로, 현재 생육하고있는 상층 임목의 수종구성(세대 0)을 바탕으로 다음세대(세대 1)로 交替되는 理論的인 樹種構成 상태를 추정하고, 세대 1을 바탕으로 세대 2를 豫測하는 등과 같은 방법을 반복하여 推定한 결과로

써 세대 n+1까지의 수종구성을 예측하였다. 이러한 連鎖 計算의 결과는 세대가 거듭되면서 安定狀態에 도달하리라는 假定이다. 조사대상 삼림의 현재 수종구성과 미래에 변화할 수종구성의 양상을 검토함으로써 현재 森林의 遷移 傾向을 分析하였다.

樹種의 識別과 命名은 李(1982)를 參照하였다.

結果 및 考察

標本區內에 포함된 上層 林木의 喬木 樹種의 數는 23種이 조사되었으며 個體數는 總 616그루로 집계되었다. 이를 바탕으로 연구대상 삼림의 上層 林冠의 수종 구성을 추정하는 계산치 즉, 수종별 相對密度, 頻度, 直徑分布, 그리고 樹高分布의 결과를 표 1에 나타내었다. 신갈나무, 젓나무, 피나무, 잣나무, 서어나무, 까치박달이 비교적 높은 頻度로써 널리 분포하며, 약 83%의 相對密度를 차지하여 優占種으로 나타났다. 이러한 수종들은 遷移 系列上 후반 단계 혹은 중반

Table 1. Species composition for the canopy tree species in the study forest. RD : Relative density, FR : Frequency, DBH : Range of diameter at breast height, HT : Range of height

Species	RD(%)	FR(%)	DBH(cm)	HT(m)
<i>Quercus mongolica</i>	27.5	71.6	16-110	14-26
<i>Abies holophylla</i>	23.7	73.9	15-102	15-30
<i>Tilia amurensis</i>	13.0	56.8	17-106	19-27
<i>Pinus koraiensis</i>	6.8	36.4	23- 61	19-26
<i>Carpinus laxiflora</i>	7.0	30.7	19-102	14-25
<i>Carpinus cordata</i>	4.9	23.9	17- 99	15-25
<i>Acer pseudosieboldianum</i>	3.5	13.6	14- 49	14-24
<i>Kalopanax pictus</i>	2.2	12.5	22- 65	20-23
<i>Maackia amurensis</i>	1.4	8.0	13- 36	16-24
<i>Cornus controversa</i>	1.0	6.8	18- 43	14-21
<i>Acer mono</i>	1.0	6.8	26- 58	21-25
<i>Abies nephrolepis</i>	3.2	4.5	22- 47	15-23
<i>Betula cosdata</i>	0.6	4.5	20- 48	18- 24
<i>Quercus serrata</i>	0.6	4.5	47- 131	18-24
<i>Quercus aliena</i>	1.4	4.5	50- 110	9-24
<i>Acer tegmentosum</i>	0.6	3.4	11- 27	16-19
<i>Fraxinus rhynchophylla</i>	0.5	3.4	22- 28	18-19
<i>Sorbus alnifolia</i>	0.3	1.1	20- 26	21-25
<i>Prunus sargentii</i>	0.2	1.1	28	21
<i>Betula chinensis</i>	0.2	1.1	19	24
<i>Taxus cuspidata</i>	0.2	1.1	42	13
<i>Quercus variabilis</i>	0.2	1.1	75	17
<i>Ulmus davidiana</i>	0.2	1.1	20	14

Table 2. Species and numbers of saplings grown under the different canopy tree species in the study forest.

Sapling species	Canopy species													
	AH	AN	AM	AP	BC	CC	CL	CT	KP	MA	PK	QA	QM	TA
<i>Abies holophylla</i> (AH)	862	0	49	84	8	202	399	26	75	50	295	75	1316	512
<i>Abies nephrolepis</i> (AN)	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	68	9
<i>Acer mono</i> (AM)	21	0	4	0	1	6	2	0	6	0	3	1	9	8
<i>A. pseudosieboldianum</i> (AP)	755	61	19	40	4	146	249	13	74	23	149	63	912	270
<i>Betula cosdata</i> (BC)	18	0	0	0	7	2	3	1	0	0	4	0	3	1
<i>Carpinus cordata</i> (CC)	275	0	5	24	6	38	54	7	35	1	36	7	138	151
<i>Carpinus laxiflora</i> (CL)	17	0	5	1	0	5	22	0	7	2	8	1	66	18
<i>Cornus controversa</i> (CT)	14	0	0	4	1	1	4	2	0	0	1	0	8	8
<i>Kalopanax pictus</i> (KP)	8	0	0	1	2	5	7	0	1	2	2	3	18	13
<i>Maackia amurensis</i> (MA)	28	0	0	2	0	8	9	1	0	0	2	4	37	14
<i>Pinus koraiensis</i> (PK)	325	14	2	16	4	39	92	3	12	12	44	32	351	162
<i>Quercus aliena</i> (QA)	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Quercus mongolica</i> (QM)	29	4	0	0	0	0	5	11	0	2	0	13	14	47
<i>Tilia amurensis</i> (TA)	105	6	3	3	1	16	31	5	7	2	50	10	126	74

Table 3. Transition probability matrix for the canopy tree species possibly replaced by sapling species in the study forest.

Sapling species	Canopy species													
	AH	AN	AM	AP	BC	CC	CL	CT	KP	MA	PK	QA	QM	TA
<i>Abies holophylla</i> (AH)	35.1	0	56.3	48.0	23.5	43.2	45.5	37.7	34.6	53.2	49.7	35.9	42.9	39.8
<i>Abies nephrolepis</i> (AN)	0	10.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.2	0.7
<i>Acer mono</i> (AM)	0.9	0	4.6	0	2.9	1.3	0.2	0	2.8	0	0.5	0.5	0.3	0.6
<i>A. pseudosieboldianum</i> (AP)	30.7	64.2	21.8	22.9	11.8	31.2	28.4	18.8	34.1	24.5	25.1	30.1	29.7	21.0
<i>Betula cosdata</i> (BC)	0.7	0	0	0	20.6	0.4	0.3	1.4	0	0	0.7	0	0.1	0.1
<i>Carpinus cordata</i> (CC)	11.2	0	5.7	13.7	17.6	8.1	6.2	10.1	16.1	1.1	6.1	3.3	4.5	11.7
<i>Carpinus laxiflora</i> (CL)	0.7	0	5.7	0.6	0	1.1	2.5	0	3.2	2.1	1.3	0.5	2.2	1.4
<i>Cornus controversa</i> (CT)	0.6	0	0	2.3	2.9	0.2	0.5	2.9	0	0	0.2	0	0.3	0.6
<i>Kalopanax pictus</i> (KP)	0.3	0	0	0.6	5.9	1.1	0.8	0	0.5	2.1	0.3	1.4	0.6	1.0
<i>Maackia amurensis</i> (MA)	1.1	0	0	1.1	0	1.7	1.0	1.4	0	0	0.3	1.9	1.2	1.1
<i>Pinus koraiensis</i> (PK)	13.2	14.7	2.3	9.1	11.8	8.3	10.5	4.3	5.5	12.8	7.4	15.3	11.4	12.6
<i>Quercus aliena</i> (QA)	0.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1
<i>Quercus mongolica</i> (QM)	1.2	4.2	0	0	0	0	0.6	15.9	0	2.1	0	6.2	0.5	3.6
<i>Tilia amurensis</i> (TA)	4.3	6.3	3.4	1.7	2.9	3.4	3.5	7.2	3.2	2.1	8.4	4.8	4.1	5.7

이후에 번성하는 수종들로 사료되어, 조사 대상 삼림은 우리나라의 다른 참나무류 삼림의 수종 구성을 바탕으로 추정된 遷移 系列보다 천이가 상당히 진척된 삼림으로 판단된다. 각 上層木 수종 아래에서 생육하는 幼齡木 혹은 小·中徑木 수종의 개체수(표 2)를 이용하여, 上層木이 下層木에 의해서 代置될 推移 確率을 산출하여 표 3에 표시하였다. 표 1에 열거된 상층임목 수종 중에서 3개 이하의 標本區에서만 출현한 8가지 수종은 분석의 不確實性을 피하고, 誤謬를 줄이기 위하여 분석에서 제외시켰다. 물푸레나무 小徑木 및 幼齡木 20그루가 下層木으로 조사되었으나,

상층목이 존재하지 않으므로 推移確率을 산출해 낼수 없고, 졸참나무는 상층목은 드물게 존재하였지만 하층목이 없으므로 인하여 쇠퇴가 불가피한 관제로 분석 결과에서는 제외시켰다.

1. 遷移의 傾向

推移確率에 의해서 삼림의 수종 구성이 계산될 때는 上層 林冠의 수종 구성 비율이 일정하게 되는 不變의 수종 구성 분포가 이루어질 것이다. 그러나 본 모델에 의한 분석에서는, 齡級의 균일성, 모든 상층목의 동일한 壽命, 모든 幼齡木의 동일한 生存率과 競爭力, 後繼木에 의한 同時代

Table 4. Predicted species composition during successional generation by the simple model in the study forest.

Canopy species	Generation				
	0	1	2	3	4
<i>Abies holophylla</i> (AH)*	24.2	38.0	41.8	41.6	41.6
<i>Abies nephrolepis</i> (AN)	3.2	0.5	0.1	0.0	0.0
<i>Acer mono</i> (AM)	1.0	0.7	0.6	0.6	0.6
<i>A. pseudosieboldianum</i> (AP)	3.6	29.2	27.2	27.3	27.3
<i>Betula cosdata</i> (BC)	0.6	0.4	0.5	0.5	0.6
<i>Carpinus cordata</i> (CC)	5.0	7.7	10.7	10.8	10.8
<i>Carpinus laxiflora</i> (CL)	7.1	1.0	0.9	0.9	0.9
<i>Cornus controversa</i> (CT)	1.0	0.4	1.0	1.0	1.0
<i>Kalopanax pictus</i> (KP)	2.3	0.9	0.6	0.6	0.6
<i>Maackia amurensis</i> (MA)	1.5	1.2	1.1	1.1	1.1
<i>Pinus koraiensis</i> (PK)	7.0	12.3	10.8	10.7	10.7
<i>Quercus aliena</i> (QA)	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Quercus mongolica</i> (QM)	28.1	2.9	0.9	0.9	0.9
<i>Tilia amurensis</i> (TA)	13.3	4.8	4.0	4.0	4.0

* Species abbreviations are applied to Figure 1.

置 등의 假定을 전제로 한 것이다. 이러한 단순 모델을 이용하여 산출해낸 연구 대상 林分의 미래 수종 구성 비율을 표 4에 나타내었다.

본 연구의 결과에서 지적될 수 있는 사항들은 다음과 같다.

- 1) 현재 優占種으로 生育하고 있는 신갈나무, 젓나무, 피나무, 서어나무, 잣나무, 까치박달 중에서 젓나무, 잣나무, 까치박달은 미래에도 세력이 더욱 확대될 것으로 예상되나, 신갈나무, 피나무, 서어나무는 한 世代가 지나면서 優占力이 급격히 약화되리라 예상된다. 耐陰性이 강하면서 下層에서 生育하고 있는 수 많은 당단풍의 幼齡木 내지는 壯齡木들이 미래의 수종 구성에 커다란 변화를 초래하리라고 예상된다.
- 2) 젓나무와 잣나무 構成 比率의 증가 추세는 針葉樹와 闊葉樹의 混淆率을 현재의 3.5:6.5에서 5.0:5.0의 비율로 변화시켜 혼효림의 성격이 커질 전망이다. 대표적인 闊葉樹 수종으로는 까치박달, 당단풍, 피나무로 구성될 것이며 참나무류의 勢力이 衰退하리라고 예상된다.
- 3) 世代가 경과함에 따른 신갈나무의 구성비율의 급격히 감소할 것으로 나타났다. 신갈나무의 쇠퇴는 上層木 樹冠 아래에서 生育하는 신갈나무의 更新 稚樹, 小徑木, 中徑木의 劣勢에서 기인되는 불가피한 현상으로 사료된다.

다.

- 4) 본 연구 대상 삼림에서 수종 구성 비율이 거의 변동없이 균형을 이루는 極盛相 群集은 4 世代 이후에 일어날 것으로 산출되었으나, 2 世代가 지나면서 安定 狀態에 거의 근접할 것으로 나타났으며, 지금부터 약 700년 이상의 기간이 소요되리라 추정한다.

수종 구성 비율이 이미 산출된 세대에서 그 전 단계의 수종 구성의 추정이 가능 하리라는 전제 아래 推移行列의 逆數를 대입한 모델을 이용하여 조사 대상 삼림이 極盛相林인가의 여부를 檢定하였다(Miles et al, 1985). 그 결과, 世代가 거듭됨에 따라서 구성 비율의 변화 폭이 심해지는 당단풍, 까치박달, 그리고 신갈나무의 구성 비율치가 負의 값을 나타냄으로써, 조사 대상 삼림은 遷移가 進行 중인 삼림이고 極盛相林이 아니라는 증거가 되기도 하여, 세대가 지남에 따라서 수종 구성 변화를 단적으로 암시한다. 이것은 현재 上層木들의 수종 구성 비율과 中層 혹은 下層에서 기회를 엿보며 上層 優勢木으로 跳躍할 潛在力을 지닌 수종들의 구성 비율이 다르기 때문이다.

2. 모델의 假定

上層 優勢木이 下層木에 의해서 代置될 推移確率으로써 미래의 수종구성을 예측하는 천이모델은 檢討해야 할 假定이 몇가지 있다.

첫째, 한 그루의 上層木이 枯死하여 넘어지는

空間에 한 그루의 下層木에 의해서만 代置되는 모델이므로 林冠의 鬱閉度와 林分 密度는 항상 일정하게 현재 수준을 유지한다는 가정이다. 이것은 실제 상황과 상당히 근접하는 가정으로 사료된다. 한그루의 上層木이 쓰러지고 난 空間에는 微細環境(주로 光線, 溫度, 水分條件)의 변화로 말미암아 여러가지의 수종과 多數의 수목들이 移住하여 생육할 것이지만, 競爭의 결과 궁극적으로 한그루에 의해서 그 空間이 채워진다는 Barden(1979, 1980)의 보고가 이를 뒷받침한다.

본 연구에서 3.6%의 上層 林冠 相對密度에 지나지 않지만, 미래 구성비율은 27% 이상될 것으로 推算된 당단풍(Acer pseudo-sieboldianum)에 대하여 고찰할 필요가 있다. 이(1982)와 홍 등(1987)은 당단풍의 가능 수고 생장을 8m 내외까지 이를 것으로 기술하고 있어서 上層 優勢木으로 성장하는데에는 한계가 있는 中層 이하의 수종임을 암시하고 있으나, 본 연구 삼림에서 조사된 바에 의하면(표 4) 樹高 생장이 양호하고(최고 24m, 최저 14m) 上層 林冠을 占有하는 당단풍 多數가 上層 標本木으로 취하여졌다. 그리고 당단풍의 역할 중에서 괄목할 만한 것은 枯死木이 만들어 놓는 空間에 상당수의 당단풍 更新 稚樹들이 생육하고 있는 것이다. 이런 점들을 고려할때 당단풍의 上層木으로의 跳躍 可能性을 過少評價 할 수 없는 것으로 판단된다. 그러나, 참나무류, 서어나무류, 피나무류 등의 闊葉樹와 樹高生長 潛在力을 동등하게 취급하여 下層木의 密度와 頻度에 의한 空間 代置 推移率을 같은 수준에서 산출하는것 또한 문제점이 없지 않을 것이다. 이렇듯이 각 수종이 갖고 있는 고유의 生活形의 변이로 인한 본 모델의 矛盾性을 부인할 수는 없다. 당단풍의 生活形이 진술한 闊葉樹種과는 다소 차이가 있으나, 강한 耐陰性을 바탕으로 中·上層部 林冠에서 세력을 확장하는 특성을 무시할 수는 없다. 비록 樹高가 큰 優勢種으로 上層 林冠을 점유하는 비율은 높지 않을지라도 中·上層部 林冠에서 높은 個體 密度를 유지함으로써 해당 林分의 生産力과 營養循環 등과 같은 生態的 優勢種의 역할은 충분히 유지하리라 평가한다.

둘째, 본 모델이 작성되어 계산 절차가 이루어지는 과정이 의미하는 바는 모든 上層木이 推移率에 의하여 동시에 代置된다는 假定을 바탕으

로하며, 이것은 현실성이 부족하다. 임목들의 평균 壽命은 遷移 初期段階 樹種들의 150년에서부터 400년 이상까지 변이가 많기 때문이다. 현재를 기준으로 壽命이 짧은 천이 초기의 상층목 수종은 보다 일찍기 하층목에 의해서 대치될 것이며, 수명이 긴 상층목 수종은 보다 늦게 하층목에 의해서 대치될 것이다.

임목의 壽命의 차이에 따르는 모델의 불합리성을 보완하고 현실성에 접근하기 위하여 각 수종의 壽命을 고려한 미래의 수종 구성 상태를 검토하였다(Figure 1). 韓半島 中部地方의 闊葉樹 수종들의 신빙성있는 평균 수명을 명시한 문헌이 없는 관계로, Fowells(1965)에 의해서 발표된 北美大陸의 같은 屬에 속하는 수종들의 평균 수명과 Miles et al(1985)에 의해서 추정된 中國 長白山의 수종들의 평균 수명을 참고로 하여 본 연구 삼림의 수종들의 평균 수명은 筆者 임의대로 추정하여 분석에 사용하였다. 현재 齡級 분포의 변이는 고려하지 않았으나, 수명이 다하면 그 임목은 枯死하는 것으로 假定하였고 수명은 50배

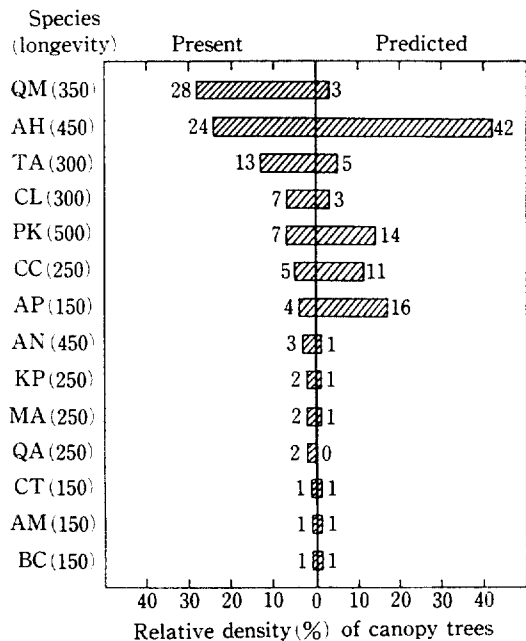


Fig. 1. Present and predicted distribution of canopy trees in the study forest. The prediction was calculated from the matrix of probabilities and weighted longevity of each species. Species abbreviations are referred to the Table 4.

數로 정하였기 때문에 모델의 倍加 年數는 50이 된다. 평균 수명을 고려한 현재의 수종 구성 비율과 평균 수명을 고려한 1500년 후 安定狀態에서의 수종 구성 비율을 비교하여 Figure 1에 나타내었다. 표 4의 단순모델에 의해 분석된 결과와 비교할때, 평균 수명이 250 내지 300년 가량으로 추정된 피나무와 까치박달 그리고 優勢種이 아닌 수종들의 구성 비율은 거의 변화가 없는 것으로 나타났으나, 수명을 150년으로 추정한 당단풍의 구성비율은 현저히 낮아졌으며, 신갈나무, 서어나무, 잣나무 그리고 젓나무의 구성 비율은 증가할 것으로 推算되었다. 그러나 일반적인 수종 구성 비율의 변화 추세는 표 4에 나타난 상황과 큰 차이를 보이지 않았으며, 신갈나무와 서어나무의 급격한 감소 추세는 여전하며, 이 두 수종이 枯死한 뒤 생길 空間의 상당 부분이 젓나무, 당단풍, 까치박달 그리고 잣나무의 下層木들에 의해서 점유될 것으로 예상한다.

그리고 上層木의 현재 齡級 분포 또한 본 모델에서 예측하는 미래의 수종 구성에 영향을 미칠 것으로 사료된다. 상층목들의 枯死 시기가 일률적일 수가 없기 때문에 하층목에 의해서 代置되는 시간상의 변화들은 遷移 진행 과정에 영향을 미칠 수 있을 것이다. 英國과 中國의 연합 연구팀이 中國측 白頭山 부근 삼림에서 현재 영급분포에 따르는 極盛相林의 수종 구성을 분석한 연구 결과에 의하면, 현재 齡級에 따라서 極盛相으로 진행되는 천이 도중의 수종 구성은 다소의 변화가 있었으나, 정작 極盛相에 가서는 거의 동일한 수종 구성비율을 보이는 것으로 보고하여, 현재 林分의 齡級분포는 미래 수종 구성비율을 예측하는 변수로써는 고려하지 않아도 된다고 제시하였다(Miles 1985).

셋째, 본 모델에서 계산되는 推移確率은 하층목들의 相對 出現 頻度數와 같다는 가정이다. 하층목들이 수종간 경쟁에 의해서 상층 임관으로 올라갈 수 있는 우월성이 개체수 頻度率에 의해서 동등히 작용되리라는 것을 의미하며, 이 가정 역시 전적으로 현실성에 부합되는 것은 아니다. 상층목이 고사한 후 발생하는 공간에서는 하층목들의 수고 생장의 차이점이 代置 推移確率을 결정하는 가장 중요한 요소이다. 그러나 極盛相 樹種들은 耐陰性이 비교적 높고 樹高 성장력이 특출나게 뛰어난 수종은 드물기 때문에, 이러한 수

종들의 하층목 밀도를 바탕으로 계산되는 代置 推移確率은 실제값에 가까와질 가능성은 크다 할 것이다. 실제로, Runkle(1981)이 美國 東北部 여섯 天然老齡林에서 極盛相 樹種 구성 비율을 예측한 연구 결과에 의하면, 推移確率에 의해서 推算된 林分 수종 구성은 실제 관찰된 수종 구성 비율과 매우 비슷한 것으로 보고된 바 있다. 그리고 이 가정은 현재 상황에서 작성된 推移確率 이 시간이 경과하더라도 변하지 않는다는 가정과도 相通한다. 수 십년 단위의 비교적 짧은 기간 동안의 推移確率은 統計學的으로는 변화가 있지만(Binkley 1980), 美國 Connecticut州의 삼림에서 추정치와 실측치를 비교하여 실제 수종 구성 비율을 검토한 결과는 두가지 값 사이에 유의적인 차이가 없다는 것이 Waggoner와 Stephens(1970)에 의해서 연구된 바 있다. 수 백년 단위의 장기간 동안은 임목에 의해서 삼림내 환경의 변화를 초래할 수 있기 때문에(Fox 1977), 특히 土壤의 변화는 수종 구성과 삼림식생 분포에 지대한 영향을 미칠 수 있기 때문에(Miles 1981), 代置 推移確率은 비교적 변화의 폭이 클 것이다. 그러나 본 연구 대상 삼림의 비옥하고 토심이 깊은 植壤質 토양은 적어도 수백년 동안 토양의 변화에 의해 영향받는 수종구성의 변화는 거의 없으리라 판단된다.

3. 신갈나무(*Quercus mongolica*)의 行方

본 연구에서 적용한 推移行列 모델에 의해서 미래의 수종 구성상태를 예측한 바 중에서 특기할 만한 사항은 신갈나무 구성비율의 급격한 감소이다. 현재 27% 이상의 相對密度를 나타내면서 제 1의 優占種의 위치를 차지하고있는 신갈나무는 세대가 거듭되면서 구성비율이 급격히 떨어지리라는 예측이다. 이것은 표 2에 나타난 바와 같이 신갈나무 하층목의 숫자가 다른 수종의 하층목의 숫자와 비교하여 상대적으로 매우 적은 요인이 본 모델에 적용되기 때문이다. 이 현상은 원시성을 띤 삼림으로 추정되는 點鳳山에서도 유사하게 지적된 바 있어서(윤 등 1986), 천이가 비교적 진척되어 林木의 種多樣性이 높아진 삼림에서는 일어날 가능성이 큰 현상이 아닌가 추측된다.

우리나라 대부분 闊葉樹林 지역에서 50% 이상의 산복 부위부터 능선에 이르기까지는 신갈나무

가 대표적인 優勢種으로 생육하고 있는 현상을 자주 접하며, 極盛相 수종으로 인식되는 경우가 많다. 그러나 본 연구 삼림에서 조사된 바로는 현재 신갈나무의 우점력을 계속 유지하기 위하여는 中層 이하의 後繼木들의 密度와 頻도가 높아야 할 것이다. 1970년대 이전까지 광범위하게 행하여졌던 인위적인 삼림의 攪亂 현상이 신갈나무의 萌芽 更新力에 의한 再生 잠재력 때문에 현재와 같은 우세종의 자리를 점유하고 있으나, 보다 耐陰性이 강하고 種子에 의한 번식이 잘되는 闊葉樹類, 즉, 서어나무류, 단풍나무류, 피나무류 등과 海拔高가 높은 지역의 잣나무, 분비나무, 잣나무 등과의 경쟁 관계에서는 상대적으로 세력이 약화할 것으로 사료된다.

삼림이 발달함에 따라서, 특히 본 조사 대상 삼림과 같이 針葉樹와 闊葉樹가 混淆林일 경우 낙엽 분해속도가 느리므로 낙엽층이 두꺼워진다. 이로 인해 신갈나무 종자의 發芽力이 저하되고 설치류 동물에 의한 종자의 피해는 신갈나무 更新稚樹의 수를 감소시키게 된다. 신갈나무가 枯死된 후 萌芽力에 의한 更新을 고려할 수 있으나, 壽命이 다한 상태의 枯死인 경우에는 母樹의 활력이 떨어져 萌芽更新의 기대도 어려움이 따른 것이다(Peterson 1989). 이와같은 현상들은 현재 신갈나무의 상층목과 중층목의 生育 密度로부터도 추정될 수 있다. 표 5는 신갈나무, 잣나무, 피나무 3大 優占種의 상층목과 중층목의 直徑級에 따르는 밀도를 표시한 것이다. 흉고직경 50 cm 이하의 활력이 강한 임목이 중층에서 생육하면서 상층목이 枯死할 경우 상층임관에 올라갈 수 있는 가능성을 지닌 임목의 數는 신갈나무가 가장 적음을 알 수 있다. 반면에 잣나무와 피나무의 上層木과 中層木을 합한 임목들의 齡級별

본포는 逆 J모양의 異齡林의 성격을 나타내어, 上層木이 枯死할 경우 비교적 많은 數의 後斷木들이 上層으로 도약할 기회가 많음을 암시한다. 이것은 直徑 10cm 이하의 小徑木을 포함시키게 되면 그 경향이 더욱 짙어지게 될 것이다.

신갈나무는 종자의 성격 및 발아의 어려움, 일의 특성, 그리고 耐陰性 등을 미루어 볼때, 遷移 초기단계의 生態的 특성은 갖고 있지 않다(Wells 1976). 그러나, 외부 攪亂 요인에 의한 二次遷移가 진행 될때는 왕성한 맹아력과 空閑地에서의 비교적 좋은 생장으로 단기간에 우세종의 역할을 하며, 천이의 중·후반기까지 계속될 것으로 추정된다. 반면에, 울폐도가 높은 일본내에서 小徑木과 稚樹들의 생장이 왕성하지 못하고 更新 稚樹의 숫적 열세와 더불어서 極盛相 수종으로써의 역할을 하기에는 어려움이 따른 것이다. 궁극적으로, 많은 수의 신갈나무 상층목들이 중층은 당단풍에 의해서 代置되고 상층은 잣나무, 잣나무, 피나무, 까치박달 등에 의해서 代置될 것으로 예상된다.

현재의 우점종인 신갈나무는 遷移가 더욱 진전되어 수종 구성비율이 거의 변하지 않는 極盛相林에 도달할 경우, 後繼木의 현재 밀도가 빈약하고 다른 수종과의 更新 경쟁에서 상대적으로 열세인 것을 감안할 때 구성비율은 5% 이상을 넘지 못할 것으로 추정되어 優勢種의 자리를 물려주어야 할 것으로 예상된다. 그러나 본 지역이 國立公園의 自然保存地域인 만큼 인위적인 삼림의 훼손은 없을 것으로 가정하고, 산불이나 바람에 의한 피해등과 같은 자연적 요인에 의한 규모가 큰 방해요인이 일어날 경우, 낙엽층의 분해 촉진으로 인한 신갈나무의 種子 發芽力 증가, 萌芽 更新 稚樹의 발생 등으로 인한 後繼木의 밀도

Table 5. Number of trees by diameter classes for three major tree species in the study forest. C : Canopy trees in overstory, M : Saplings and large trees undergrown in mid-story

Species		Diameter class (x 10cm)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Quercus mongolica</i>	C		4	21	31	30	29	13	18	20	5
	M	11	47	26	11	3	3		1		
<i>Abies holophylla</i>	C		2	22	24	19	24	19	15	12	9
	M	101	202	69	28	7	4				
<i>Tilia amurensis</i>	C		3	11	24	10	12	8	4	4	4
	M	68	153	31	11		2				

가 증가하여 상층 우세목의 구성비율은 다소 증가하리라 추정한다.

4. 모델의 檢討

Markov chain의 數學的 이론을 遷移 傾向 分析에 적용하고 그것의 장단점을 고찰한 연구의 實例들은 Enright and Ogden(1979), van Hulst (1979, 1980), Usher(1979, 1981), Gibson 등 (1983), 그리고 Ogden(1983)에 의해서 보고된 바 있다. 森林遷移가 Markov chain 이론대로 결점 없이 일치하는 것은 아니며(Binkley, 1980; van Hulst, 1980), 적용 범위와 대상에 한계가 있고 계산 결과를 해석하는데 신중을 기하여(Enright and Ogden 1979) 적용할 경우 삼림천이의 추세를 분석하는데 대단히 유용한 방법이라는데 많은 학자들의 의견이 일치한다. 기본적으로 自然界의 현상을 해석하기 위하여 여러 가지의 이론들과 방법들이 개발되고 변형되어 적용되지만, 그 어느 하나도 심오하고 복잡한 自然生態界를 완전무결하게 설명할 수 있는 것이란 없다. 여기에 우리는 모델을 이용하는 것이다. 본 연구에서 사용된 推移行列 모델은 실제 상황에 부합되는 것이건 아니건 간에 몇가지의 가정을 전제로 하는 것이며, 가정에 따르는 차이점들은 공통된 결과에 대한 계산 과정상의 차이라 할 수 있다. Horn의 모델을 실제 상황과 보다 부합되게 변형·수정·보완하는 것은 추이확률행렬 그 자체에 변화를 주어야만이 극성상 수종구성에 유의적인 효과가 있음이 본 연구 결과 나타났다.

본 연구에서 적용된 모델의 한가지 두드러진 결점은 森林植生 자료가 다양하지 못하다는 데에 있다. 비교적 균일한 立地條件에서 植生 조사가 이루어졌기 때문에, 微細環境의 변이에 따르는 推移行列의 차이점을 추적해내지 못하였다. 조사대상 삼림이 보다 광범위하여 식생자료가 微細環境의 변이를 반영할 수 있는 연구가 요망된다. 특히 斜面方向, 경사도, 주능선에서의 거리 등에 의한 수분조건과 토양성질의 차이로 인한 수종구성의 변화를 추정하는 연구를 수행함으로써 보다 현실성에 가까운 遷移 傾向 分析이 가능하리라 사료된다. 이와 비슷하게, 시간이 지남에 따라서 推移確率이 일정하게 적용되는 가정은 검토되어야 한다. 최소한 수백년을 통하여 토양을 비롯한 微細環境에 변화가 거의 없고, 산불이나 벌채와

같은 삼림의 攪亂作用이 없을 경우에는 Markov chain을 응용한 모델은 신빙성이 높아진다. 그리고 현재 상층목이 존재하지 않으므로 推移確率을 산출할 수 없었기 때문에 본 연구의 분석 대상에서 제외된 물푸레나무(*Fraxinus rhynchophylla*)와 後斷木이 없으므로 해서 분석에서 제외된 졸참나무(*Quercus serrata*) 上層木의 미래의 枯死 공간의 행방을 추정할 수 없는 것이 본 모델의 수정 보완점이라 할 것이다.

조사대상 삼림에서 遷移 傾向 분석과 觀察을 통하여 주요 優勢 樹種 上層木들의 상호간 경쟁 체계에 의한 전반적인 代置作用의 假想的인 모델을 Figure 2에 圖示하였다. 여기에 나타난 수종들은 極盛相 혹은 準極盛相 수종들이며, 화살표 방향쪽의 수종으로 代置될 確率이 높은 경향이 있음을 표시한 것이다. 極盛相에 도달하였을 경우 젓나무, 까치박달, 잣나무, 피나무 등이 上層 林冠의 60% 이상 점유할 것이며, 中層에서는 당단풍의 生態的 세력이 강할 것이다. 신갈나무는 젓나무와 잣나무에게 자리를 양보할 가능성이 높고, 活力이 강한 壯齡木이 넘어질 경우에는 萌芽力에 의해서 自體 更新(점선 표시)도 가능할 것이다. 젓나무, 까치박달, 피나무는 耐陰性이 높고 종자에 의한 更新力도 비교적 높기 때문에 다른 수종의 上層木의 위치를 탈취하기도 하고 또한 自體 更新도 가능할 것이다. 여기에 제시한 假想的인 천이의 양상은 抽象的인 개념이며 주어진 수종들의 代置作用이 일어날 수 있는 가능성이 높음을 나타낸 것이므로 필연성이 뒤따르는 것은 아니다. 混淆林의 특성인 여러가지의 수종들이 다양한 微細環境과 서로 상호연관 작용에 의해서 분포하고 생육하는 것을 감안할때, 조사대상 임분의 관찰을 통하여 Figure 2와 같은 천이의 양상을 추정하는 것이다. 이와같은 수종 代置作用의 循環 경로는 後繼木의 존재여부에 의한 것이므로 수종간의 공존 관계를 반영하여 混淆林으로 계속 유지되리라는 예상을 뒷받침한다.

結論的으로, 미래 樹種 構成의 변화에 의한 森林遷移의 양상을 파악하는데 가장 중요한 문제는 현재 上層木의 수종 구성비율에 대하여 後繼木의 密度와 生長 및 更新 潛在力을 주도 면밀하게 분석함으로써 천이의 경향을 추정하는 것이다. Horn(1975a 1975b 1976)이 Markov chain의 이론을 바탕으로 개발한 遷移 모델을 五臺山의 闊

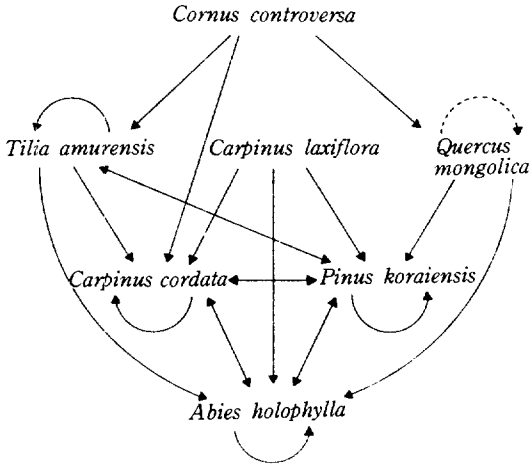


Fig. 2. Model of replacement sequences for the major tree species in the study forest. An arrow indicates being replaced by.

葉樹-젓나무屬 混濶林에 적용하여 삼림천이의 경향을 분석하여 본 바, 보편적으로 삼림의 相觀 (physiognomy)을 보고 가정하듯 하는, 조사대상 삼림이 極盛相 群集은 아니며, 천이의 중간단계에 있는 것으로 분석되었다. 본 모델은 群集生態的인 측면에서의 적용성은 비교적 양호하나, 森林遷移 과정을 추정하는데 필수적 요소인 森林生態界의 構造와 機能을 이해하는 기본적인 연구자료가 부족함을 느낀다. 특히, 각 수종들의 生理生態學的 기초자료들이 충분하지 못하여, 群集내에서의 각 樹種의 環境要求度, 壽命, 更新에 따르는 특성과 같은 중요한 정보가 미비하여 遷移의 전체적인 윤곽을 설정하는데 어려움이 있다. 그러나, 신갈나무, 당단풍, 젓나무, 잣나무, 까치박달, 피나무, 서어나무와 같은 수종들의 森林遷移上의 역할에 대하여 假說的으로 고찰한 것은 본 연구에서 얻어진 두드러진 所得이라 할 것이다.

引用 文 獻

1. Barden, L.S. 1979. Tree replacement in small canopy gaps in a *Tsuga canadensis* forest in the southern Appalachians, Tennessee. *Oecologia* 44 : 141-152.
2. Barden, L.S. 1980. Tree replacement in a cove hardwood forest of the southern Appalachians. *Oikos* 35 : 16-19.

3. Binkley, C.S. 1980. Is succession in hardwood forests a stationary Markov process? *For. Sci.* 26 : 566-570.
4. 정영호·유광일. 1971. 오대산의 식물상. 오대산 및 소금강 종합 학술예비조사보고서. 한국자연보존연구회 조사보고. p99-115.
5. Clement, F.E. 1916. Plant succession : An analysis of the development of vegetation. Carnegie Inst. Pub. 242. Washington D.C. 512pp.
6. Cowles, H.C. 1899. The ecological relations of the vegetation on the sand dunes of Lake Michigan. *Bot. Gaz.* 27 : 95-117, 167-202, 281-308, 361-369.
7. Enright, N. and J Ogden. 1979. Application of transition matrix models in forest dynamics : *Araucaria* in Papua New Guinea and *Nothofagus* in New Zealand. *Aust. J. Ecol.* 4 : 3-23.
8. Fowells, H.A. 1965. Silvics of Forest Trees of the United States. U.S. Dept. Agriculture, Forest Service, Agriculture Handbook 271, Washington D.C., 762p.
9. Fox, J.F. 1977. Alteration and coexistence of tree species. *Am. Nat.* 111 : 69-89.
10. Gibson, C.W.B., T.C. Guilford, C. Hambler, and P.H. Sterling. 1983. Transition matrix models and succession after release from grazing on Aldabra atoll. *Vegetatio* 52 : 151-159.
11. 홍성천·변수현·김삼식. 1987. 원색한국수목도감. 계명사.
12. Horn, H.S. 1975a. Forest succession. *Scient. Am.* 232 : 90-98.
13. Horn, H.S. 1975b. Markovian properties of forest succession. In *Ecology and Evolution of Communities*(M.L. Cody and J.M. Diamond, eds) : 196-211.
14. Horn, H.S. 1976. Succession. In *Theoretical Ecology ; Principles and Application* (R.M. May, ed.) : 187-204.
15. Jeffer, J. N. R. 1988. *Practioner's Handbook on the Modelling of Dynamic Change in Ecosystems.* John Wiley & Sons.
16. 권혁재. 1971. 소금강 및 오대산의 자연지리. 오대산 및 소금강 종합 학술예비조사보고서. 한국자연보존연구회 조사보고. p89-98.
17. 이창복. 1971. 소금강 및 오대산의 식생. 오

- 대산 및 소금강 종합 학술예비조사보고서, 한국자연보존연구회 조사보고, p117-131.
18. 이창복. 1982. 대한식물도감. 향문사.
 19. Miles, J. 1981. Problems in heathland and grassland dynamics. *Vagitation* 46 : 61-74.
 20. 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.
 21. Odum, E.P. 1969. The strategy of ecosystem development. *Science* 164 : 262-270.
 22. Ogden, J. 1983. Community matrix model predictions of future forest composition at Russell State Forest. *N.Z.J. Ecol.* 6 : 71-77.
 23. 박봉규·오지영. 1971. 오대산의 식생. 오대산 및 소금강 종합 학술예비조사보고서. 한국자연보존연구회 조사보고, p131-138.
 24. 박인협. 1985. 백운산지역 천연림생태계의 삼림구조 및 물질생산에 관한 연구. 농학박사학위논문. 서울대학교 농과대학 임학과, 48p.
 25. 박인협·이경재·조재창. 1987. 북한산 지역의 산림군집 구조에 관한 연구 응용생태연구 1 : 1-23.
 26. 박인협·이경재·조재창. 1988. 치악산 국립공원의 삼림군집 구조--구룡사-비로봉지역을 중심으로. 응용생태연구 2 : 1-8.
 27. Peterson, M.E. 1989. Natural regeneration after logging of black ash stands in central Minnesota. M.S. Thesis, College of Natural Resources, University of Minnesota. 58p.
 28. Runkle, J.R. 1981. Gap regeneration in some old-growth forest of the eastern United States. *Ecology* 62 : 1041-1051.
 29. Shugart, H.H. 1984. A theory of Forest Dynamics. The ecological Implication of Forest Succession Models. Springer-Verlag.
 30. 송호경. 1985. 계룡산 삼림 군집형과 그의 구조에 관한 연구. 농학박사학위 논문. 서울대학교 농과대학 임학과, 54p.
 31. Usher, M.B. 1979. Markovian approaches to ecological succession. *J. Anim. Ecol.* 48 : 413-426.
 32. Usher, M.B. 1981. Modelling ecological succession, with particular reference to Markovian models. *Vegetatio* 46 : 11-18.
 33. van Hulst, R. 1979. On the dynamics of vegetation : succession in model communities. *Vagitation* 39 : 85-96.
 34. van Hulst, R. 1980. Vegetation dynamics or ecosystem dynamics : dynamics sufficiency in succession theory. *Vegetatio* 43 : 147-151.
 35. Waggoner, P.E. and G.R. Stephens. 1970. Transition probabilities for a forest. *Nature* 225 : 1160-1161.
 36. Weaver, J.E., and F.E. Clements. 1938. *Plant Ecology*. McGraw Hill.
 37. Wells, P.V. 1976. A climax index for broadleaf forest : N-dimensional ecomorphological models of succession. *Central Hardwood Conference Proceeding* 1 : 131-176.
 38. West, D.C., H.H. Shugart, and D.B. Brokin (eds). 1981. *Forest Succession. Concepts and Application*. Springer-Verlag.
 39. 윤종화·한상섭·김지홍. 1987. 원시림의 환경과 구조에 관한 연구. 강원대 연습림 연구보고 7 : 3-26.