

북한산 국립공원 삼림군집구조의 5년간 변화 연구¹

최 송 현² · 이 경 재³

A Study on the Change of the Plant Community Structure for Five years in Puk'ansan National Park¹

Song-Hyun Choi², Kyong-Jae Lee³

요 약

본 연구는 과중한 이용압력과 대기오염 및 산성우에 의한 만성적 피해로 날로 훼손되어 가는 북한산 국립공원을 대상으로 기왕에 조사된 기초자료(박 등, 1987)와 비교하여 천이의 발달상태를 알아보고자 하였다.

북한산국립공원 26군데의 조사구를 선정하여 식물군집구조조사를 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 식물군집구조분석을 위해 TWINSpan에 의한 classification 및 ordination 기법중 RA, DCA, CCA를 적용하여 분석한 결과 북한산 국립공원은 해발고도에 따라 4개의 군집으로 분리되었다. 분리된 각각의 군집은 아까시나무-참나무류군집, 혼효림군집, 졸참나무군집, 신갈나무군집이었다. 추정되는 천이계열은 해발고 500m이상의 교목상층에서 소나무→신갈나무, 해발고 500m이하 교목상층에서 아까시나무→상수리나무, 신갈나무, 산벚나무, 팔배나무→졸참나무 순이었으며, 교목하층과 관목층에서는 산초나무, 참싸리나무→개웃나무, 진달래, 철쭉→당단풍 순이었다.
2. 1987년도의 식물군집구조조사와 비교하여 천이가 진행된 자료는 얻을 수 없었고, 인간의 간섭과 대기오염 등에 의해 천이가 진행되지 못하는 것으로 추측되었다.

주요어 : 군집구조변화, 천이, TWINSpan, RA, DCA, CCA

ABSTRACT

To compare ecological succession stage between 1987 and 1992, this study was executed in Mt. Puk'an. 26 sample plots of 500m² were set up. The results were summarized as follows:

1. To analysis plant community structure, the classification by TWINSpan and CCA, DCA and RA ordination were applied to the study area. That of Mt. Puk'an was divided 4 groups by altitude. The dividing groups are *Robinia pseudo-acacia-Quercus spp.* community, mixed forest community, *Q. serrata* community, and *Q. mongolica* community. The successional trends of tree species over 500m seem to be from *Pinus densiflora* to *Q. mongolica* and below 500m in altitude seem to be from *Robinia pseudo-acacia* through *Quercus acutissima*, *Q. mongolica*, *Prunus sargentii*, *Sorbus alnifolia* to *Q. serrata* in the canopy layer. In the case of understory and

1 접수 7월 15일 Recieved on Jul. 15, 1993

2 서울시립대학교 대학원 Graduate School, Seoul City Univ., Seoul, 130-743, Korea

3 서울시립대학교 문리과 대학 College of Liberal Arts and Science, Seoul City Univ., Seoul, 130-743, Korea

shrub layer, the successional trends to be from *Corylus sieboldiana*, *Zanthoxylum schinifolium* through *Rhus trichocarpa*, *Rhododendron mucronulatum*, *Rh. schlippenbachii* to *Acer pseudo-sieboldianum*.

2. In comparing successional trends with 1987', the advanced data was not obtained in 1992. It was postulated that succession is not progressed by human disturbance and air pollution.

Key Words : Community Structure Change, Successional Trends, TWINSPAN, RA, DCA, CCA

서 론

북한산 국립공원은 행정구역상 서울특별시와 경기도에 걸쳐 있으며, 북한산과 도봉산을 포함하는 수도권의 중요녹지이다. 그러나 북한산 국립공원은 연간 1,000만명 이상의 이용객에 의한 이용압력(환경처, 1991), 산업발전과 자동차증가에 따른 환경오염 및 산성우로 삼림이 훼손되거나 심각한 영향하에 놓여 있는 처지이다.

삼림의 피해는 만성적 혹은 급성적으로 발생할 수 있으며(류, 1991) 특히, 만성적 피해로 생태적 천이진행이 중단되거나 퇴행하는 양상으로 나타날 경우 이의 규명은 시간에 따른 꾸준한 자료의 축적과 관찰을 통해서 가능할 것이다. 이러한 측면에서 북한산 국립공원은 박 등(1987)에 의해 1987년에 군집구조분석 및 천이계열예측이 시도된 적이 있어 5년이 지난 현재 삼림의 변화양상을 비교할 수 있을 것으로 사료된다.

따라서 본 연구는 북한산 국립공원내 정릉계곡과 제17휴식처 구간사이의 삼림을 대상으로 군집구조조사를 실시하여 5년전(박 등, 1987)에 보고된 조사자료와 비교하여 삼림의 생태적 변화를 파악하고 후속연구를 위한 자료의 연속된 축적 및 국립공원 관리에 필요한 기초자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

재료 및 방법

1. 조사구 설정

조사구 설정은 박 등(1987)이 조사한 자료와 비교하기 위하여 당시 조사참가자와 동행하였고 아울러 북한산 국립공원의 현존식생과 해발고, 방위 등의 환경조건을 고려하여 총 26개의 조사구(plot)를 20×25m의 크기로 하여 Figure 1에 나타내었다.

2. 환경요인조사

환경요인은 조사구의 일반적 개황과 토양성질을 조사 분석하였다. 일반적 개황은 조사구별로 해발고, 방위, 경사도, 교목상층군의 평균수고, 평균직경, 울폐

도, 교목하층군의 평균수고와 울폐도를 측정하였다. 토양의 이화학적 분석을 실시하기 위해 식물군집구조조사시 각 plot당 3개소를 택하여 지피층을 걷어내고 표층으로부터 15cm깊이의 토양을 채취, 함께 혼합하고 1kg 정도의 시료를 실험실로 운반하였다. 토양산도는 음건토양과 증류수의 비율을 1:5로 하여 30분간 진탕한 후 수소이온농도측정기로 측정하였고, 수분함량은 건조기에서 105℃로 24시간 건조시켜 측정하였으며, 유기물함량은 전기회화로서 600℃로 4시간 회화 후 평량, 계산하였다. 치환성 칼륨(K⁺), 칼슘(Ca⁺⁺), 마그네슘(Mg⁺⁺)은 음건시켜 2mm채로 친토양시료 2.5g에 CH₃COONH₄ 50ml를 가하여 30분간 진탕한 후 Atomic Absorption Spectrophotometer (Perkin Elmer 2380)로 각각 측정(농업기술연구소, 1988)하였다.

3. 식물군집구조분석

식생조사는 설치된 조사구의 방형구내에서 출현하는 흉고직경 2cm이상의 목본식물을 대상으로 교목상하층 및 관목층으로 구분하였다(박, 1985). 식생조사에서 얻어진 자료로 Curtis & McIntosh(1951)의 상대우점치(importance value, I. V.) 및 평균상대우점치(mean importance value, M. I. V.)를 계산하였다.

종구성 상태의 다양한 정도를 나타내는 측도인 종다양성은 Simpson의 종다양도(Krebs, 1985), Hurlbert의 종다양도(Cox, 1985), Shannon의 종다양도, 최대종다양도(maximum possible species diversity, H' max), 균재도(evenness, J'), 우점도(dominance, D)(Pielou, 1975)에 의하여 종합분석하였다.

4. Ordination 및 TWINSPAN 분석

Ordination 분석은 canonical correspondence analysis(CCA)(TerBraak, 1987), reciprocal averaging(RA), detrended correspondence analysis(DCA)방법을, classification분석은 TWINSPAN(Two-Way Indicator Species Analysis)을 이용하여 Hill(1973, 1979a, 1979b)의 방법에 의거하여 분석

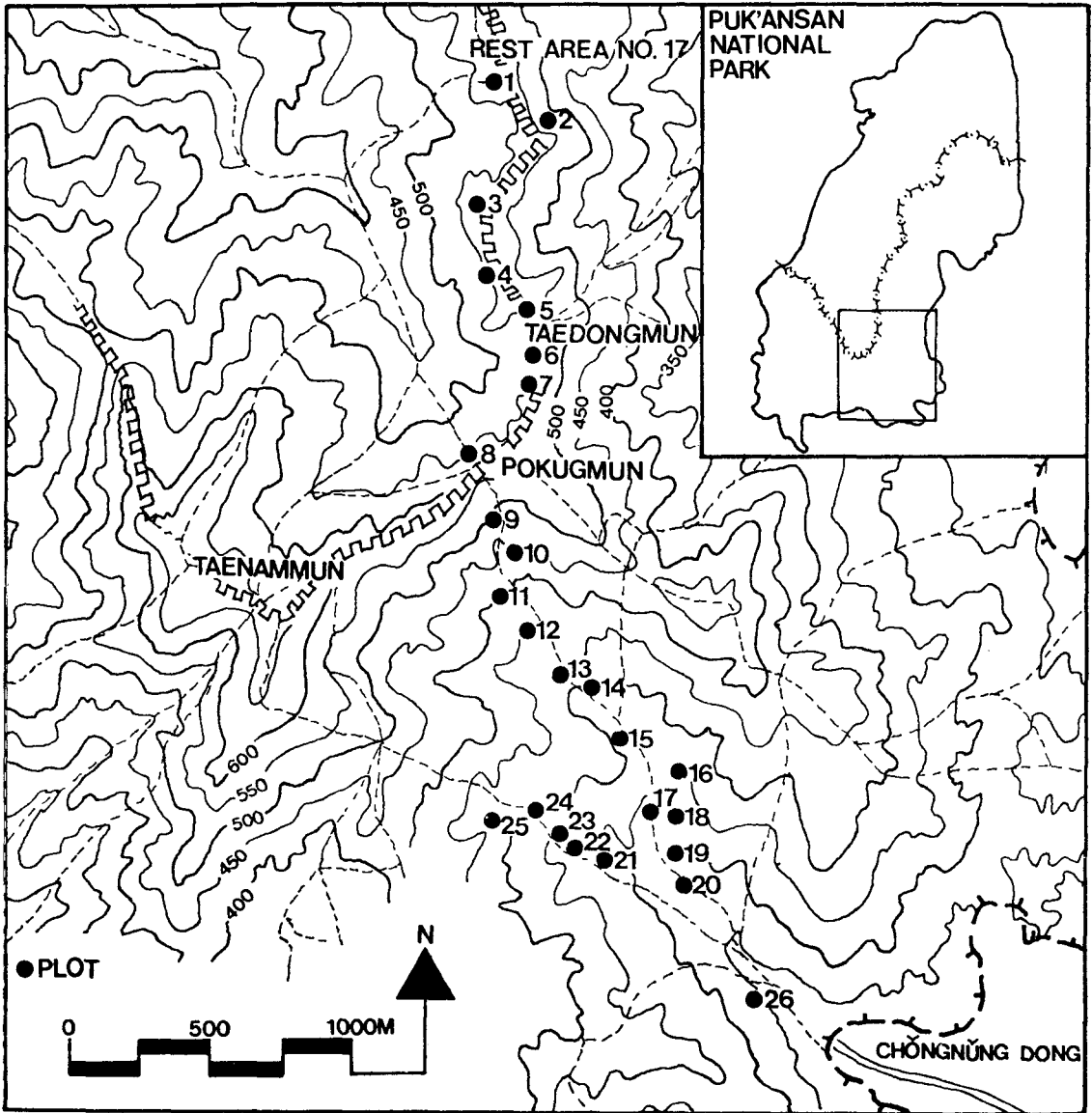


Figure 1. The location of the survey area in Puk'ansan National Park.

을 하였다. 이상의 분석을 위한 computer program은 서울시립대학교 환경생태연구실에서 개발한 plant data analysis package(PDAP)와 SPSS /PC+(statistics package for social science)를 사용하였다.

결과 및 고찰

1. 조사지 개황

북한산 국립공원은 1983년 4월에 우리나라에서 15 번째로 국립공원으로 지정되었다. 위도상으로 북위 37°35'~37°43', 동경 126°56'~127°03'에 위치하고 있으며, 행정구역상 서울의 4개구(도봉구, 성북구, 종로구, 은평구)와 경기도 고양시, 양주군, 의정부시에 속하며, 면적은 78.45km²이다. 경사도 20%이상이 전체 면적의 약 60%를 차지하고 있으며, 전체면적의 약 70%가 암석지로서 비교적 급경사의 험준한 지형으로 되어있다(건설부, 1984).

대상지 인접지역인 서울측후소(해발 87m)의 30년 간(1961-1990)의 기상자료에 의하면(기상청, 1991) 연평균기온 11.8℃, 연평균최고기온 23.2℃, 연평균최저기온 1.4℃, 연평균강수량 1369.8mm, 그리고 연평균총증발량은 1087.2mm이었다. 산지에서의 해발고증가에 따른 기온 체감율(0.6℃/100m)을 감안하면, 북한산의 연평균기온은 7~11℃사이로 추정된다. 주요수종으로는 신갈나무, 소나무, 물오리나무, 팔배나무, 당단풍 등이며 냉온대 낙엽활엽수림대에 속한다.

2. 조사구의 classification 및 ordination분석

26개 조사지의 일반적 개황을 나타낸 것이 Table 1 이고 4개의 군집 I, II, III, IV는 classification에 분리된 것을 적용한 것이다. 조사지에 대하여 TWINSPAN에 의한 classification분석을 실시한 것이 Figure 2이다. 첫번째 division에서 해발고에 의해 2개의 group으로 분리되었고, 두번째 division에서는 4개의 그룹(group)으로, 세번째 division에서 7개의 group

으로 나뉘었다. 일반적으로는 classification분석에서, 제 1 division에서 2개의 group, 제 2 division에서 4개의 group, 제 3 division에서 8개의 group으로 분리된다(Hill, 1979a; Hukusima and Kershaw, 1988; Kent and Ballard, 1987; 이 등, 1989, 1990a, 1990c). 그러나 본 조사에서는 제 3 division에서 1개의 조사구가 1개의 group에 포함되는 경우가 발생하였는데(이 등, 1990b), 조사구의 속성상 인접한 group과 유사하므로 제 3 division에서 군집 I 과 II, 제 2 division에서 군집 III, 그리고 제 1 division에서 군집 IV로 분리하는 것이 본 연구에서는 타당하겠다. 즉, 군집 I은 아까시나무-참나무류군집, 군집 II는 혼효림군집, 군집 III은 졸참나무-신갈나무-팔배나무군집, 그리고 군집 IV는 신갈나무-당단풍군집이었다.

각 조사지를 classification에 의하여 분리된 순서로 배열한 것이 Table 2이다. 4개의 군으로 분리된 군집의 구성종을 살펴보면, 군집 I은 7개의 조사지를 포함하는 아까시나무-참나무류군집으로서 전체평균 우점치는 아까시나무 33.04%, 졸참나무 30.95%, 상수

Table 1. Description of the physical features and the stratum of each plot by TWINSPAN stand classification.

Community	I								II				
	13	18	21	22	24	25	26	14	17	19	20	23	
Altitude(m)	300	220	250	260	290	315	250	320	250	200	280	280	
Aspect	S50W	S20E	S15W	S40W	S45W	N85E	S15W	S	S	S20E	S40W	S40W	
Slope(°)	10	20	20	5	15	5	20	15	5	15	15	15	
Height of tree layer(m)	15	18	13	13	12	20	13	14	12	20	15	15	
Mean DBH of tree layer(cm)	25	30	20	21	20	30	20	23	28	30	35	35	
Coverage of tree layer(%)	80	60	80	70	80	70	80	70	80	50	70	70	
Height of subtree layer(m)	8	8	8	7	9	7	8	6	7	9	6	6	
Coverage of subtree layer(%)	60	20	40	40	30	40	40	50	60	30	50	50	
Height of shrub layer(m)	2.0	1.5	2.0	2.0	1.2	1.0	2.0	1.5	2.5	2.0	1.5	1.5	
Coverage of shrub layer(%)	40	20	30	40	20	50	30	60	40	40	30	30	
Number of species	15	7	11	13	15	16	11	17	12	10	14	14	

Table 1. (Continued)

Community	III						IV							
	9	10	11	12	15	16	1	2	3	4	5	6	7	8
Altitude(m)	500	450	400	370	280	240	570	530	607	570	550	520	540	550
Aspect	S40E	S	S30E	N60E	N75E	E	S40W	N70E	N10W	S75W	S35W	N25W	N30W	N60W
Slope(°)	10	10	15	20	20	15	15	30	20	5	20	25	30	15
Height of tree layer(m)	14	12	12	12	15	15	9	15	13	13	17	10	12	14
Mean DBH of tree layer(cm)	28	25	28	25	30	25	20	25	20	23	25	15	25	25
Coverage of tree layer(%)	70	80	90	70	80	70	80	80	80	70	50	60	70	80
Height of subtree layer(m)	7	6	6	6	6	7	7	8	6	8	6	6	8	7
Coverage of subtree layer(%)	50	40	50	60	40	40	60	50	60	50	50	70	60	60
Height of shrub layer(m)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	2.0	2.0	3.0	2.0	2.0	1.5	1.0	1.5	1.5
Coverage of shrub layer(%)	30	30	30	40	20	30	50	40	30	30	80	30	40	20
Number of species	10	14	13	16	15	19	8	14	12	16	11	13	11	8

리나무 20.90% 였다. 교목상층에 있어서는 아까시나무 35.97%, 상수리나무 31.29%, 졸참나무가 12.55% 였으나, 교목하층에서는 졸참나무가 33.55%, 아까시나무가 28.64%로서 점차 아까시나무가 세력을 잃고 졸참나무가 우점종인 군집을 비롯한 참나무류로 천이가 진행될 것으로 판단된다.

군집 II는 5개 조사지가 포함되며 졸참나무, 상수리나무, 아까시나무, 산벚나무, 소나무가 각각 18.21, 15.71, 14.11, 12.88, 10.95%로서 혼효군집을 이루고 있다. 그러나 교목하층에서 졸참나무 I.V.가 26.51%

로 가장 높아 졸참나무로의 천이가 추론된다. 6개의 조사지가 포함된 군집 III은 참나무류가 우점종인 군집으로 졸참나무, 신갈나무, 상수리나무의 전체 평균우점치는 27.98, 13.98, 10.81%였다. 교목하층에서는 갈참나무와 신갈나무가 각각 5.08, 6.80%였고, 팔배나무는 14.33%로서 21.16%의 졸참나무와 우점을 이루고 있어 졸참나무를 비롯한 참나무류와 팔배나무로의 천이가 예측된다.

군집 IV는 신갈나무군집으로서 조사지 7개 모두가 해발고 520m이상에 위치하며 교목상층에서는 신갈나

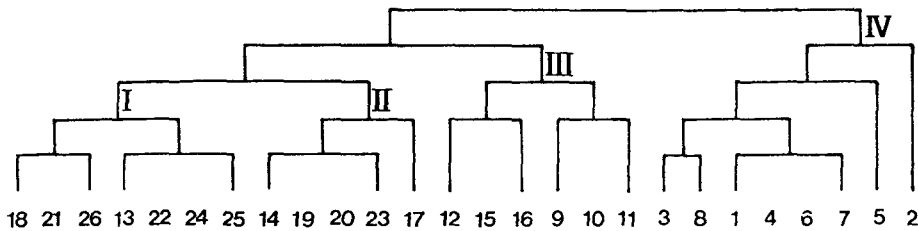


Figure 2. The dendrogram of TWINSpan stand classification of twenty six plots in Mt. Puk'an.

Table 2. Importance value of each plot for classified type by TWINSpan.

	I							II				
	13	18	21	22	24	25	26	14	17	19	20	23
<i>Pinus densiflora</i>	3.29	.	.	.	.	.	.	21.92	15.29	.	13.88	.
<i>Juniperus rigida</i>	0.62	.	.	0.58	0.48	.	.	1.09	0.95	0.40	.	0.85
<i>Alnus hirsuta</i>	1.48	.	.	.	.	2.84	.	.	.	.	5.96	.
<i>Corylus sieboldiana</i>	0.46	1.03	.	.	0.76	1.05	.	.	.	.	.	3.82
<i>Quercus acutissima</i>	25.91	53.46	25.73	21.52	0.35	15.27	.	18.51	.	40.57	4.84	19.59
<i>Q. aliena</i>	18.54	10.22	.	10.60	.	17.03	.	16.86	1.52	6.02	4.82	4.30
<i>Q. mongolica</i>	3.56	.	.	0.58	0.54	1.48	.	2.48	.	.	2.81	4.56
<i>Q. serrata</i>	19.49	4.05	36.58	13.71	37.14	23.03	3.95	19.11	3.93	14.91	25.05	45.65
<i>Lindera obtusiloba</i>	.	.	.	.	.	0.71	4.93	.	.	.	.	.
<i>Sorbus alnifolia</i>	1.08	2.70	0.44	1.24	1.58	2.52	3.40	1.09	11.98	1.27	.	2.39
<i>Prunus sargentii</i>	2.62	9.11	6.75	9.14	0.86	.	15.58	2.14	11.84	21.48	18.13	11.30
<i>Robinia pseudoacacia</i>	11.20	10.45	22.06	39.16	53.22	25.57	77.07	5.86	40.46	3.38	3.93	0.94
<i>Rhus trichocarpa</i>	.	.	0.48	.	.	.	.	0.52	.	0.64	0.55	.
<i>Acer pseudo-sieboldianum</i>	.	.	.	.	2.30	0.68	.	.	.	.	.	.
<i>Rhododendron mucronulatum</i>	7.36	.	0.91	.	0.54	0.60	.	5.40	1.97	5.08	5.27	2.32
<i>Rh. schlippenbachii</i>	2.56	.	0.44	1.06	0.35	.	.	2.96	1.32	6.25	5.04	2.96
<i>Symplocos chinensis</i> for. <i>pilosa</i>	0.68	.	.	0.80	0.35	0.60	.	0.23	.	.	.	.
<i>Fraxinus rhynchophylla</i>	.	.	.	0.38	.	2.39	.	.	.	.	3.25	.
<i>Callicarpa japonica</i>	.	.	.	0.49	.	.	.	0.47	4.59	.	1.70	0.35
<i>Viburnum erosum</i>	1.16	.	.	0.76	0.38	.	.	.	.	.	0.48	.
<i>Zanthoxylum schinifolium</i>	.	.	.	.	.	.	.	0.40	3.56	.	1.67	0.46
OTHERS	0.00	0.00	6.64	0.00	0.42	1.47	0.00	0.99	2.57	0.00	2.64	0.48

Table 2. (Continued)

	III						IV							
	9	10	11	12	15	16	1	2	3	4	5	6	7	8
<i>Pinus densiflora</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	30.52	.	48.32	11.65	.
<i>Juniperus rigida</i>	.	.	0.28	0.67	.	1.00	1.00	.	.	0.66	.	.	.	.
<i>Alnus hirsuta</i>	.	.	.	9.28	.	1.93	.	.	.	.	.	.	2.39	.
<i>Corylus sieboldiana</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	1.00	.	.	.	.	.
<i>Q.acutissima</i>	23.45	12.07	.	3.47	.	1.41	.	.	.	34.55	.	.	.	.
<i>Q.aliens</i>	0.61	7.28	2.91	7.64	28.25	9.12	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Q.mongolica</i>	14.79	3.42	17.13	35.69	8.97	11.37	64.96	50.14	59.00	30.65	18.15	13.42	47.42	47.57
<i>Q.serrata</i>	28.66	57.87	51.93	5.58	6.69	23.68	.	.	.	0.33	2.64	.	.	.
<i>Lindera obtusiloba</i>	5.56	0.64	7.41	.	0.38	.	.	1.09	.	.	0.46	3.18	.	.
<i>Sorbus alnifolia</i>	10.67	0.82	0.75	5.82	24.71	10.22	3.52	.	1.86	2.30	8.67	10.94	4.23	4.20
<i>Prunus sargentii</i>	.	5.47	7.98	.	9.95	11.10	.	.	.	0.57	.	1.83	.	9.83
<i>Robinia pseudoacacia</i>	.	.	.	10.32	5.66	1.86	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Rhus trichocarpa</i>	.	2.31	2.87	9.45	1.82	2.65	0.98	1.28	0.34	0.37	.	2.16	2.49	0.44
<i>Acer pseudo-sieboldianum</i>	.	0.96	.	1.54	3.97	3.03	8.87	25.95	23.83	6.92	6.59	5.58	15.81	34.25
<i>Rhododendron mucronulatum</i>	11.26	2.51	2.72	6.36	2.56	5.47	13.37	.	0.77	12.45	.	7.30	4.47	0.81
<i>Rh.schlippenbachii</i>	.	0.64	.	0.70	3.82	2.48	1.17	.	0.25	2.34	1.67	3.92	5.41	2.34
<i>Symplocos chinensis for. pilosa</i>	0.44	4.81	3.90	0.98	0.78	2.44	.	5.69	2.01	0.45	2.74	.	.	0.56
<i>Fraxinus rhynchophylla</i>	1.20	.	.	1.46	.	0.38	.	0.45	.	.	.	.	.	.
<i>Callicarpa japonica</i>	.	0.64	.	.	0.46	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Viburnum erosum</i>	.	.	.	0.40	1.27	0.66	.	.	.	.	1.11	.	0.57	.
<i>Zanthoxylum schinifolium</i>	.	.	.	0.56	.	0.38	.	.	.	.	.	.	.	.
OTHERS	3.36	0.58	2.13	0.00	0.71	10.81	0.70	11.96	9.86	6.65	7.36	1.60	3.63	0.00

무 63.48%, 소나무 21.87%, 교목하층에서는 당단풍 39.04%, 팔배나무 9.53%, 신갈나무 3.65%로서 전체 평균유점치는 신갈나무 37.55%, 당단풍 16.08%, 소나무 13.49%이다. 신갈나무군집에서 당단풍의 I. V. 가 높게 나타났는데, 이는 박 등(1987)의 보고와 일치하나 당단풍은 생태적 지위상 교목상층에서 극상수종이 되지 못할 것이다(이, 1989).

Figure 3은 4개군집의 중요수종에 대한 흉고직경급별 빈도분포를 나타낸 것이다. 군집 I에서는 DBH 7cm이상에서 아까시나무 빈도수가 앞서고 있으나, 7cm미만에서는 졸참나무의 빈도가 많아 졸참나무가 아까시나무를 제압할 것으로 생각된다. 군집 II에서는 교목상층에서 소나무와 아까시나무가 우점종이나 교목하층에서는 아까시나무와 졸참나무가 경쟁중이어서 참나무류로의 천이진행은 오랜 기간이 걸릴 것이다. 군집 III은 참나무류간의 경쟁이 치열한데 DBH 22cm미만에서 졸참나무의 빈도수가 압도적으로 많아 신갈나무와 팔배나무를 제치고 졸참나무로의 천이진행이 예상된다. 한편, 해발고가 높은 지역에 위치한 군집 IV는 소나무의 도태가 뚜렷하며 DBH 12cm이상

서 신갈나무의 빈도수가 단연 높지만 DBH 12cm이하에서는 아까시나무의 빈도수가 높아 아까시나무와 신갈나무의 경쟁상태가 오랜 기간 지속될 것이다.

3. 종다양성과 유사도지수분석

4개의 군집 별로 종다양성을 계산한 것을 Table 3에 나타냈다. Shannon과 Simpson의 종다양성지수의 근본적 차이는 부하(負荷, weight)를 희귀종과 일반종중 어느 곳에 두었는가에 달려있다. 즉, Shannon은 희귀종(rare species)에 Simpson은 일반종(common species)에 보다 많은 부하를 두었다(Krebs, 1985). 군집 I의 Shannon의 종다양도 및 균재도는 각각 0.9266, 0.6629로서 4개의 군집중 가장 낮았는데, 아까시나무의 세력이 매우 집중되어 종의 분화가 아직 활발하게 진행되지 못하였음을 보여 준다. 군집 II는 Simpson지수에서 9.8996, 군집 III은 Shannon지수에서 1.1182로 종다양성이 제일 높았는데, 군집 II는 혼효림으로서 여러 수종이 경쟁상태가 되어 일반종의 부하량이 높고 P.I.E.가 0.8990이 되어 Simpson지수가

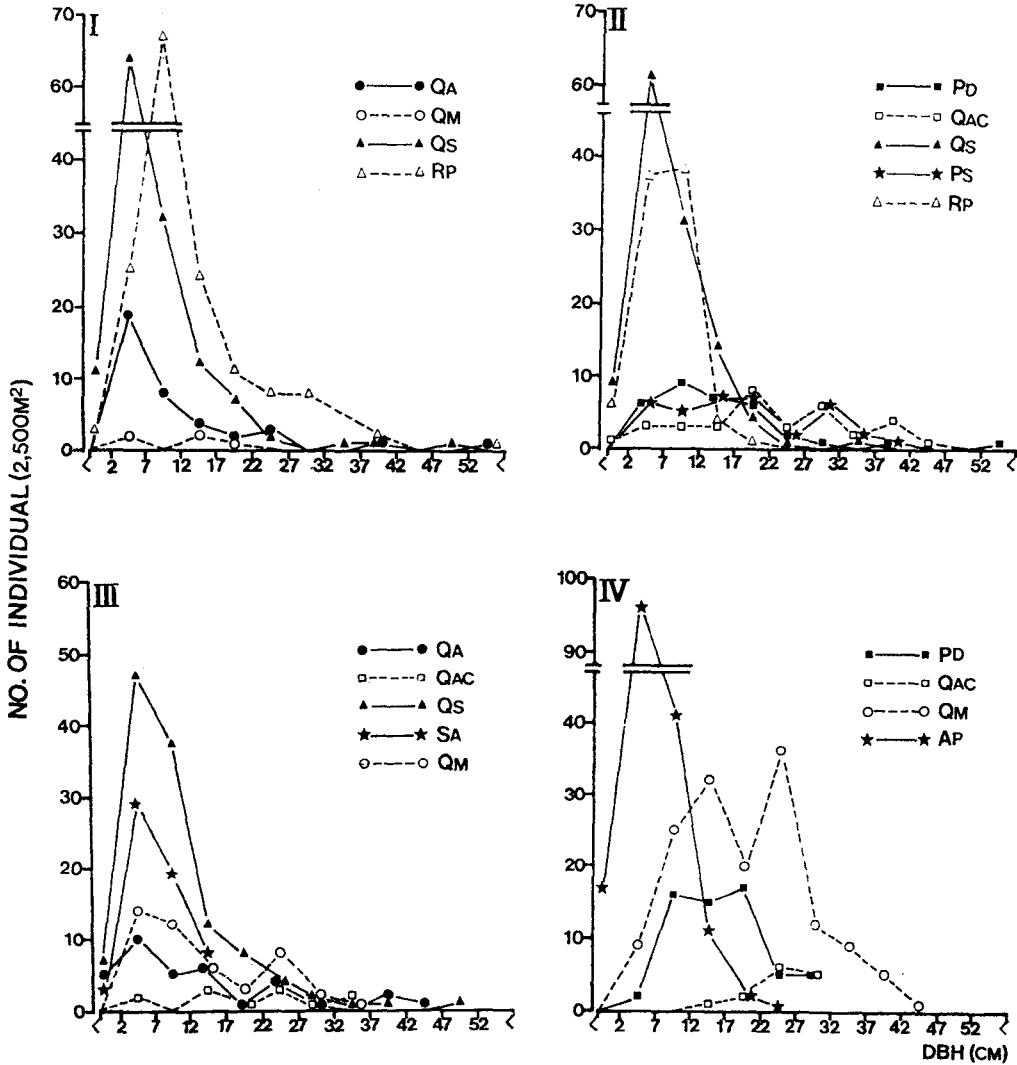


Figure 3. The DBH class distribution of major tree species for each community.

(Qa : *Quercus aliena*, Qm : *A. mongolica*, Qs : *Q. serrata*, Rp : *Robinia pseudoacacia*, Qac : *Q. acutissima*, Sa : *Sorbus alnifolia*, Pd : *Pinus densiflora*, Ps : *Prunus sargentii*, Ap : *Acer pseudo-sieboldianum*)

높았으나 군집 III에서는 졸참나무에 우점치가 집중되어 군집II에서 우점종이던 수종이 본 군집에서는 일반종보다는 희귀종에 속할 정도로 종의 분화가 이루어져 Shannon지수가 높았던 것으로 판단된다.

4개의 군집간의 유사도지수를 나타낸 것이 Table 4이다. 군집III과 군집IV만이 56.86%이고 나머지 군집간의 유사도지수는 매우 낮은 값을 보였다. 이는 각 군집의 우점종이 달라 각기 다른 환경적 niche를 형성하여 종구성이 매우 상이하기 때문으로 여겨진다. 그리고 군집간의 유사도지수는 이미 classification분석을

통하여 비슷한 군집끼리 묶였기 때문에 연속성이 떨어지는 것으로 추측된다. 이와 유사한 국내의 보고로는 치악산에서 박 등(1988), 가야산에서 이 등(1989), 지리산에서 이 등(1991), 서울 안산에서 오(1992) 등이 있다.

26의 조사지에 대해 3종류의 ordination기법을 적용하여 요약한 것(Ludwig and Reynolds, 1988)이 Figure 4와 5이다. RA, DCA, CCA 제 1, 2축에서의 eigenvalue는 각각 58.9, 84.45, 70.00%로 매우 높아 ordination 결과의 분석이 용이함을 생각하여 (Aus-

Table 3. Various species diversity of each community classified by TWINSPAN.

Community	H'(Shannon)	Simpson	P.I.E.	J'(evenness)	D(dominance)	H'max
I	0.9266	5.3681	0.8137	0.6629	0.3371	1.3979
II	1.1028	9.8996	0.8990	0.7990	0.2010	1.3802
III	1.1182	9.3611	0.8932	0.7812	0.2188	1.4314
IV	1.0556	8.0098	0.8752	0.7013	0.2987	1.5051

* P.I.E. = the probability of interspecific encounter
 * Shannon's diversity index uses logarithms to base 10.

Table 4. The similarity indices between communities in Mt. Puk'an.

Community	I	II	III
II	30.66		
III	32.80	35.91	
IV	23.36	36.29	56.86

RA의 제 2축의 왜곡현상을 개선한 것이 DCA이고 (Hill, 1979b), 조사구와 종 그리고 환경인자까지 좌표에 구현한 것이 CCA로서 가장 널리 사용되는 세 방법을 비교하였다. 본 연구에서 RA는 제 2축에 확장되어 분포하나, DCA에서는 이것이 개선되어 고르게 분포됨을 보였다. DCA에 나타난 분리현상을 살펴보면, 왼쪽에서 오른쪽으로 아까시나무-참나무류 group, 혼효림 group, 졸참나무 group, 신갈나무 group의 4개의 group으로 분리되었다. CCA분석에서는 환경인자인 해발고, 수분, 유기물, 수소이온농도가 제 1축과 높은 상관관계를 보였으며, 특히 상대적으로 긴 화살표로 나타난 해발고, 수분, 유기물, 치환성 칼슘이 강한 상관성을 보였다(Jongman *et al.*, 1987). 그 밖에 치환성칼슘과 칼륨은 제 2축과 상관성을 나타내었다. 신갈나무군집인 조사구 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8은 수소이온농도와 높은 상관성을 보였고, 해발고, 수분, 유기물과는 중간정도의 상관성을 보였으며 기타의 아까시나무-참나무류군집, 혼효림군집, 졸참나무군집과는 낮은 상관성을 보였다. 전체적으로 환경인자와 조사구간에는 중간 혹은 낮은 상관성이 주류를 이루어 환경인자의 질이 개선되지 않은 양상을 보여주고 있고, 조사구 및 수종의 분포는 DCA와 비슷한 경향을 보였으며 대체로 classification의 분리와도 일치하였다.

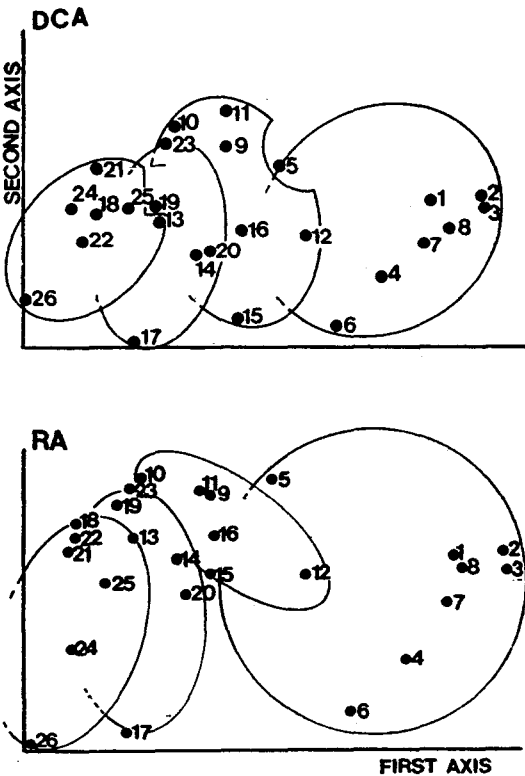


Figure 4. DCA and RA ordination of the sample plots in Mt. Puk'an.

4. 수종의 classification 및 ordination 분석

본 조사지에서 출현된 수종중 빈도가 5회이상되는 주요종에 대한 classification 및 ordination분석의 내용을 Figure 6과 7에 도시하였다. 수종의 classification분리는 조사지에서와 같이 해발고에 의해 분리되었으며, 교목상층은 classification과 ordination분석에서 대체로 비슷한 경향을 보였다. 신갈나무는 해발고 500m이상에서 물푸레나무, 소나무와 묶였으며, 졸참나무는 해발고 500m미만에서 갈참나무, 아까시나무와 함께 묶였다. 교목하층 및 관목층에서도 양분석 결과 비슷하였다.

tin and Greig-Smith, 1968) data를 변형하지 않고 분석하였다. Ordination방법중 조사구와 종을 동시에 좌표에 구현한 것이 RA와 DCA이며(Gauch, 1982)

이상의 조사지와 수종의 classification과 ordination분석을 통해 북한산 국립공원 정릉계곡주변의 삼

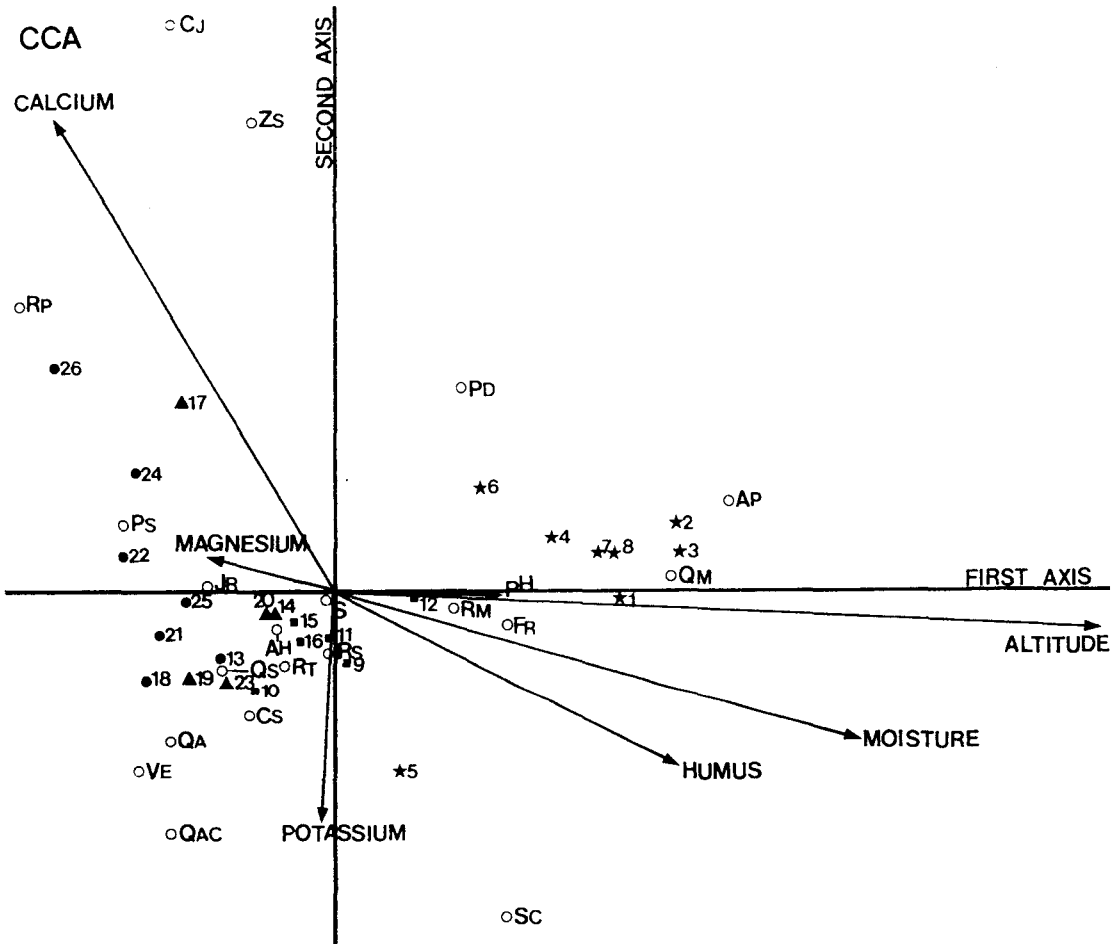


Figure 5. CCA ordination diagram of Mt. Puk'an vegetation with respect to quantitative environmental variables. Each arrow indicate seven environmental variables(altitude, pH, moisture, humus, exchangeable potassium, magnesium, calcium) and the communities are : ● : *Robinia pseudoacacia-Quercus* spp. comm., ▲ : Mixed forest comm., ■ : *Q. serrata* comm., * : *Q. mongolica* comm. And species symbols were indicated by ○. (Ap : *Acer pseudo-sieboldianum*, Fr : *Farxinus rhynchophylla*, Sc : *Symplocos chinensis* for. *pilosa*, Qm : *Quercus mongolica*, Pd : *Pinus densiflora*, Rt : *Rhus trichocarpa*, Rs : *Rhododendron schlippenbachii*, Rm : *Rh. mucronulatum*, Cs : *Corylus sieboldiana*, Cj : *Callicarpa japonica*, Ps : *Prunus sargentii*, Qac : *Q. acutissima*, Jr : *Juniperus rigida*, Rp : *Robinia pseudoacacia*, Qs : *Q. serrata*, Qa : *Q. aliena*, Ve : *Viburnum erosum*)

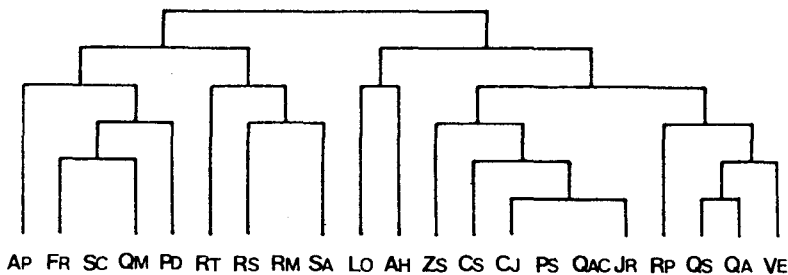


Figure 6. The dendrogram of TWINSPLAN species classification of twenty on woody species of in Mt. Puk'an. The species labels are the same as figure 5.

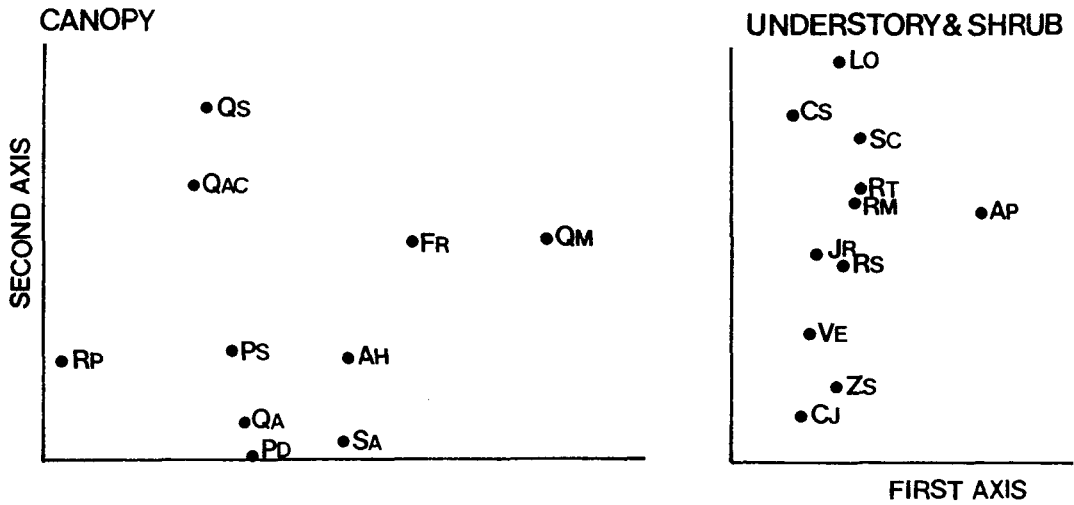


Figure 7. Tree species ordination on the first two axes, using DCA. The species labels are the same as figure 5.

Table 5. Successional trends of the major species in Mt. Puk'an.

Canopy layer		Understory & shrub layer
Over 500m	Below 500m	
<i>Pinus densiflora</i>	<i>Robinia pseudo-acacia</i>	<i>Corylus sieboldiana</i> <i>Zanthoxylum schinifolium</i>
↓	↓	↓
	<i>Quercus acutissima</i> <i>Q. mongolica</i> <i>Prunus sargentii</i> <i>Sorbus alnifolia</i>	<i>Rhus trichocarpa</i> <i>Rhododendron mucronulatum</i> <i>Rh. schlippenbachii</i>
↓	↓	↓
<i>Q. mongolica</i>	<i>Q. serrata</i>	<i>Acer pseudo-sieboldianum</i>

림생태적 천이과정을 정리한 것이 Table 5이다. 교목상층에서의 천이과정은 해발고 500m를 기준으로 500m이상에서 소나무→신갈나무로의 천이가 진행중이었고, 500m미만에서는 아까시나무→상수리나무, 신갈나무, 산벚나무, 팔배나무→졸참나무 순이었다. 한편, 교목하층 및 관목층에서는 산초나무, 참깨암나무→개웃나무, 진달래, 철쭉→당단풍 순으로 천이가 진행중인 것으로 추정되었다. 박 등(1987)은 북한산 삼림식생군집의 천이가 교목상층에서 소나무→졸참나무, 산벚나무, 팔배나무→신갈나무, 들메나무로, 교목하층과 관목층에서 산초나무, 참싸리→개웃나무, 웃나무, 생강나무, 진달래, 철쭉→당단풍, 함박꽃나무, 참빗살나무 순으로 천이가 진행중이라 보고하였는데, 본 조사와는 다소 상이하였다. 그 이유는 1987년 행하여진 조사는 북한산국립공원지역 전반에 걸쳐 실시된 반면, 본 조사는 정릉계곡에서부터 제 17휴식처 구간에 국소적으로 실시된 점에 기인하는 것 같다. 또한 박 등

(1987)의 보고에는 TWINSPAN분석이 실시되지 않았으나 본 연구에서는 TWINSPAN과 ordination이 함께 실시되어 이전에는 해발고 차이에 의해 천이양상이 나뉘어지는 것이 밝혀지지 않았으나 본 연구에서는 이런 경향이 구체적으로 분리가 되어 차이가 나는 것이다. 그러나 전체적으로 소나무나 아까시나무에서 참나무류로의 천이는 여전히 진행중임을 알 수 있었다. 교목하층과 관목층에서는 박 등(1987)의 보고와 대체로 일치하였다. 우리나라 중부온대림에서의 삼림군집 천이과정은 소나무→참나무류→서어나무 순으로 진행된다고 보고되었으나, 박 등(1987)은 인간간섭에 따른 물리적 방해요인때문에 서어나무로의 천이진행이 의심스럽다고 하였는데, 5년이 경과한 현재 천이가 진척된 자료는 얻을 수 없어, 북한산의 식물생태계는 환경오염과 인간간섭에 의해 앞으로의 천이가 음수인 서어나무로 진행될 수 없을 것이다. Table 6은 몇 수종의 우점치에 대한 상관관계를 계산한 것이다. 신갈

Table 6. Correlation between the importance values of major species.

	Pd	Jr	Ah	Cs	Qac	Qa	Qm	Qs	Lo	Sa	Ps	Rp	Zs	Rt	Ap	Rm	Rs	Sc	Fr	Cj
Jr	.																			
Ah	.	.																		
Cs	.	.	.																	
Qac																
Qa															
Qm	---	-														
Qs	---													
Lo	+												
Sa	+	.	.	.											
Ps	---	.	.	.										
Rp	-								
Zs	++	+						
Rt	.	.	++						
Ap	.	-	.	.	-	-	++	---					
Rm	+
Rs	+	+	-
Sc	-
Fr	+
Cj	++
Ve	++	.	.	.	+

1. 1-tailed signifi. ; -, +:5%, --, ++:1%

2. Pd: *Pinus densiflora*, Jr: *Juniperus rigida*, Ah: *Alnus hirsuta*, Cs: *Corylus sieboldiana*, Qac: *Quercus acutissima*, Qa: *Q. aliena*, Qm: *Q. mongolica*, Qs: *Q. serrata*, Lo: *Lindera obtusiloba*, Sa: *Sorbus alnifolia*, Ps: *Prunus sargentii*, Rp: *Robinia pseudoacacia*, Zs: *Zanthoxylum schinifolium*, Rt: *Rhus trichocarpa*, Ap: *Acer pseudo-sieboldianum*, Rm: *Rhododendron mucronulatum*, Rs: *Rh. schlippenbachii*, Sc: *Symplocos chinensis* for. *piloso*, Fr: *Fraxinus rhynchophylla*, Cj: *Callicarpa japonica*, Ve: *Viburnum erosum*

나무와 상수리나무, 신갈나무와 졸참나무는 고도의 부의 상관성이, 신갈나무와 갈참나무도 부의 상관성이 인정되었다. 이는 이러한 수종이 한 niche에서 공존할 수 없음을 보이고 있다. 그러나 신갈나무와 당단풍은 고도의 정의 상관성을 보여 북한산 삼림의 신갈나무-당단풍나무군집이 현재 가장 발전된 단계임을 뒷받침하고있다. 기타 산성토양에서 잘 자라는 소나무와 진달래, 철쭉도 정의 상관성이 인정되었다.

5. 환경인자의 ordination 분석

26개의 조사지에 대해 classification 분석에 의해 나눈 4개의 군집에 대한 토양인자의 화학적 분석치를 Table 7에 나타내었다. 수분, pH, 유기물, K⁺함량 등의 토양조건은 삼림의 천이가 진행된 단계에 가까울수록 양호하였다. 그러나 Ca⁺⁺와 Mg⁺⁺은 혼효림에서 값이 높았다. 박 등(1987)은 1987년 북한산삼림토양의 pH가 4.4~5.3으로서, 중부온대림의 극상수종인 서어나무, 층층나무 등이 자랄 수 있는 pH 5.5이상의 환경이 조성되지 못해, 호산성의 소나무나 참나무류가 우점종인 군집에서 머물 것이 라고 하였는데, 현재 토양의 pH는 4.1~5.2로서 오히려 산도가 심화되어 천

Table 7. Soil characteristics of each community for classified type by TWINSPAN.

Com-munity	Moisture (%)	Humus (%)	pH	Exchangeable Cations(m.e./100g)		
				Potassium	Calcium	Magnesium
I	6.74	4.80	4.57	0.164	0.105	0.019
II	6.71	4.94	4.44	0.124	0.131	0.028
III	7.75	5.68	4.66	0.096	0.021	0.015
IV	13.13	6.53	4.64	0.211	0.049	0.017
Mean	8.58	5.49	4.58	0.149	0.076	0.020

이의 진행이 중단되었을 가능성을 뒷받침하고 있다. 또한 창덕궁후원은 pH 4.5~5.6(오와 이, 1986), 선정릉은 pH 4.3~4.5(이 등, 1987b), 종묘는 pH 4.2~4.9(이 등, 1988) 수준의 산도를 보이는데 이 모든 곳이 현재 갈참나무 우점종이다.

각 조사지의 종조성 차이에 관련되는 환경요인을 판단하기 위하여 6개 환경요인들을 5단계로 나누어 (Table 8) DCA기법을 이용하여 좌표에 표시한 것이 Figure 8이다. 수분과 유기물은 왼쪽에서 오른쪽으로 갈수록 증가하고 정의 상관성을 보였으며, 치환성 칼슘은 오른쪽으로 갈수록 감소하였고 부의 상관성을 보였다. 이것은 본 연구에서 전체 조사구의 천이진행이

Table 8. Ratings of representing ranges of environmental variables.

Class	Moisture (%)	Humus (%)	pH	Exchangeable cations (m.e. /100g)		
				Potassium	Calcium	Magnesium
1	< 6.72	< 2.49	< 4.38	< 0.061	< 0.032	< 0.017
2	6.72~10.89	2.49~ 4.06	4.38~ 4.57	0.061~0.103	0.032~0.060	0.017~0.024
3	10.90~15.07	4.07~ 5.63	4.58~ 4.78	0.104~0.144	0.060~0.089	0.025~0.031
4	15.08~19.25	5.64~ 7.21	4.79~ 4.98	0.145~0.186	0.089~0.117	0.032~0.039
5	19.25 <	7.21 <	4.98 <	0.186 <	0.117 <	0.039 <

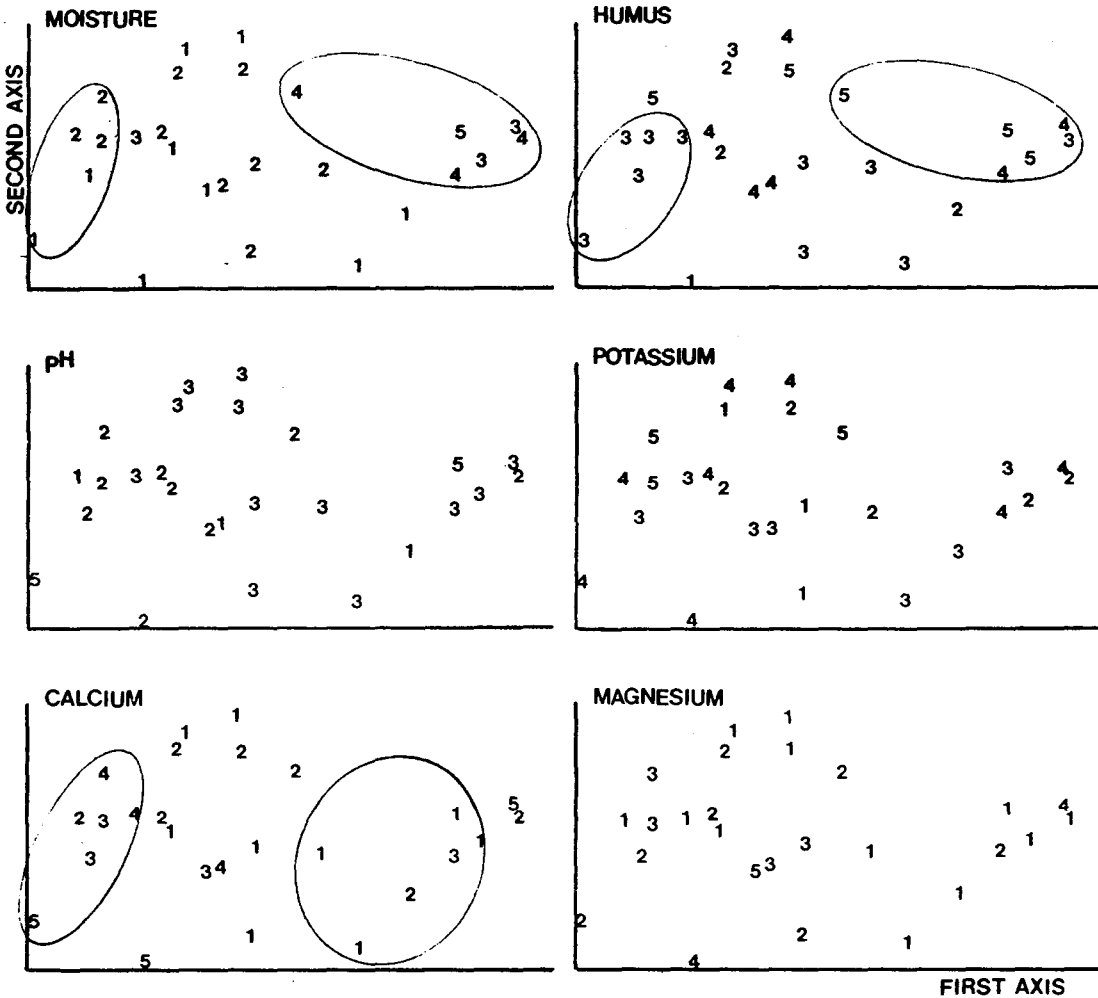


Figure 8. The distribution of environmental variables on the first two axes of DECORANA stand ordination. The ratings for range of environmental variables should be referred to Table 8.

(Table 8) DCA기법을 이용하여 좌표에 표시한 것이 Figure 8이다. 수분과 유기물은 왼쪽에서 오른쪽으로 갈수록 증가하고 정의 상관성을 보였으며, 치환성 칼

슘은 오른쪽으로 갈수록 감소하였고 부의 상관성을 보였다. 이것은 본 연구에서 전체 조사구의 천이진행이 천이단계의 초기에서 머물고 있어, 천이 발전에 따른

토양변화가 진전되지 않은 것으로 생각된다(이 등, 1990b). 천이가 극상림에 다다를 수록 토양의 환경인자의 질이 개선된다는 이론은 국내에서도 다수 발표된 바 있다(강과 오, 1982; 이 등, 1990a, 1990d).

환경구배에 따른 식생분포를 파악하기 위하여 환경인자와 DCA의 제 1, 2축의 점수와 상관관계를 Table 9와 같이 구하였다. DCA의 제 1축의 분리는 환경인자, 특히 해발고와 고도의 정의 상관관계가 인정됨으로서 명확하여 졌다. 또한 토양수분도 고도의 정의 상관성이 인정되었다.

Table 10은 각 수종의 우점치와 환경인자간의 상관관계를 나타낸 것이다. 신갈나무는 토양의 유기물, pH, 수분함량, 제 1축, 해발고에서 고도의 정의 상관

성을 보인 반면 아까시나무는 고도의 부의 상관성을 나타내었다. 졸참나무와 아까시나무는 제 1축과 고도의 부의 상관성을 보여 같은 niche에 존재하기에 상호간 경쟁을 하게되어 천이가 진행될 것이다. 종다양성과의 관계에 있어서는 소나무, 물오리나무, 갈참나무 등이 정의 상관성을 보였는데, 천이가 진행되는 과정에서 종의 분화가 이루어져 종다양성이 높아진 것으로 생각되나 반면, 아까시나무는 타감작용(allelopathy)에 의해 종의 분화가 저지되는 것으로 생각되지만 이에 대해서는 좀 더 연구가 진행되어야 할 것이다.

인용 문헌

1. Austin, M. P. and P. Greig-Smith, 1968. The application of quantitative methods to vegetation survey II. Some methodological problems of data from rain forest. *J. Ecology* 56:827-844.
2. Cox, C. W. 1985. *Laboratory manual of general ecology*. Wm. C. Brown Company Publishers, Debuque, Iowa.
3. Curtis, J. T. and R. P. McIntosh. 1951. An upland forest continuum in the prairie-forest border region of Wisconsin. *Ecology* 32:476-796.
4. Gauch, H. G. 1982. *Multivariate analysis in*

Table 9. Correlation between environmental variables and DCA stand scores of two axes.

	1st Axis	2nd Axis
Humus	.4030*	.3335*
Exchangeable potassium	-.0372	.1997
Exchangeable calcium	-.3463*	-.4423*
Exchangeable magnesium	-.1457	-.1868
Soil pH	.1768	.1578
Moisture	.6152**	.2663*
Altitude	.8589**	.1935

I. 1-tailed signifi. ; * : 5%, ** : 1%

Table 10. Correlation between the importance values of major species and environmental variables.

	Hum.	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺	pH	Moi.	AX1	AX2	Alt.	Sha.	Sim.	PIE
<i>Pinus densiflora</i>	--	.	+	+	+
<i>Juniperus rigida</i>	--	--	.	.	-	+	+	.
<i>Alnus hirsuta</i>	++	++	+
<i>Q. acutissima</i>	.	+	--	+
<i>Quercus aliena</i>	-	.	-	+	+	+
<i>Q. mongolica</i>	+	.	.	.	+	++	++	.	++	.	.	.
<i>Q. serrata</i>	-	--	++
<i>Lindera obtusiloba</i>	++
<i>Sorbus alnifolia</i>	--
<i>Prunus sargentii</i>	-	--	.	--	.	.	.
<i>Robinia pseudoacacia</i>	-	.	++	.	.	-	--	-	--	--	-	--
<i>Zanthoxylum schinifolium</i>	--	.	++	.	-	.	.	--
<i>Rhus trichocarpa</i>	++	+	.
<i>Acer pseudo-sieboldianum</i>	+	++	++	.	++	.	.	.
<i>Rhododendron mucronulatum</i>	.	.	-	+	++	++
<i>Rhododendron schlippenbachii</i>	-	.	++	++	++
<i>Symplocos chinensis for. pilosa</i>	.	++	.	.	.	++	.	.	++	.	.	.
<i>Fraxinus rhynchophylla</i>	+
<i>Callicarpa japonica</i>	-	.	++	+	.	.	.	-
<i>Viburnum erosum</i>	-	+	+	.

I. I-tailed signifi. ; -, +:5%, --, ++:1%

- community ecology. Cambridge Univ. Press, 298 pp.
5. Hill, M. O. 1973. Reciprocal averaging: An eigenvector method of ordination. *J. Ecology*, 61:237-249.
 6. Hill, M. O. 1979a. TWINSpan-a FORTRAN program for arranging multivariate data in an ordered two-way table by classification of the individuals and attributes. Cornell Univ., N. Y., 99pp.
 7. Hill, M. O. 1979b. DECORANA- a FORTRAN program for detrended correspondence analysis and reciprocal averaging. *Ecology and Systematics*, Cornell University, Ithaca, New York, 52pp.
 8. Hukusima, T. and K. A. Kershaw. 1987. The Impact on the Senjogahara ecosystem of extreme run-off events from the River Sakasagawa, Nikko National Park II. The correlation of vegetation and environmental disturbance using TWINSpan and DCA ordination techniques. *Ecol. Res.* 2:85-86.
 9. Jongman, R. H., C. J. F. Ter Braak and O. F. R. van Tongeren. 1987. Data analysis in community and landscape ecology. Wageningen, 299pp.
 10. Kent, M. and J. Ballard. 1988. Trends and problems in the application of classification and ordination methods in plant ecology. *Vegetatio* 78:109-124.
 11. Krebs, C. J. 1985. *Ecology: The experimental analysis of distribution and abundance*. Third Edition. Harper International Edition, 513-562pp.
 12. Ludwig, J. A. and J. F. Reynolds. 1988. *Statistical ecology*. Wiley interscience, Inc. New York, 337.
 13. Pielou, E. C. 1975. *Ecological diversity*. Wiley, New York.
 14. Ter Braak, C. J. F. 1987. CANOCO- a FORTRAN program for canonical community ordination by [partial] [detrended] [canonical] correspondence analysis, principal components analysis and redundancy(ver. 2. 1). ITI-TNO, Wageningen, 95pp.
 15. 강윤순, 오계철. 1982. 광릉삼림군집에 대한 ordination방법의 적용. *한국식물학회지* 25(2):83-100.
 16. 건설부. 1984. 북한산국립공원계획. 553쪽
 17. 기상청, 1991. 한국기후표 제 II 권 - 월별평년값 - (1961-1990). 418쪽.
 18. 농업기술연구소. 1988. 토양화학분석법 - 토양 식물체 토양미생물 -. 농촌진흥청. 450쪽.
 19. 류창희. 1991. 수도권지역 환경오염에 의한 수목 및 식물군집피해 판단에 관한 연구. 서울시립대학교 석사학위논문. 84쪽.
 20. 박인협, 이경재, 조재창. 1987. 북한산 지역의 삼림 군집구조에 관한 연구. *응용생태연구* 1(1):1-23.
 21. 박인협, 이경재, 조재창. 1988. 치악산국립공원의 삼림군집구조 - 구룡사-비로봉지역을 중심으로 -. *응용생태연구* 2(1):1-8.
 22. 박인협. 1985. 백운산지역 천연림생태계의 삼림구조 및 식물생산에 관한 연구. 서울대학교 대학원 박사학위논문. 48쪽.
 23. 오구균, 이경재. 1986. 창덕궁후원 자연식생의 식물사회학적 연구. *한국조경학회지* 14(2):27-42.
 24. 오충현. 1992. 도시녹지의 생태학적 조성 및 관리 방안에 관한 연구. 서울시립대학교 대학원 석사학위논문. 96쪽.
 25. 이경재. 1987. 내장산국립공원 내장사지구의 자연 보전관리대책에 관한 연구. 서울시립대학교 문리과대학. 100쪽.
 26. 이경재, 조재창, 우종서. 1989. Ordination 및 Classification 방법에 의한 가야산지구의 식물군집구조분석. *응용생태연구* 3(1):28-41.
 27. 이경재, 조재창, 이봉수, 이도석. 1990a. 광릉삼림의 군집구조(I) - Classification 및 Ordination 방법에 의한 소리봉지역의 식생분석 -. *한국임학회지* 79(2):173-186.
 28. 이경재, 임경빈, 조재창, 류창희. 1990b. 속리산 삼림군집구조에 관한 연구(I) - 소나무림 보존 계획 -. *응용생태연구* 4(1):23-32.
 29. 이경재, 조재창, 류창희. 1990d. Classification 및 Ordination방법에 의한 용문산 삼림의 식물군집구조분석. *식물학회지* 33(3):173-182.
 30. 이경재. 1991. 자연공원의 생태계 파괴현황과 방지대책. 대구대학교부설 농업과학 연구소. 농업기술정보지 5:31-44.
 31. 환경처. 1991. 한국환경연감 제 4호. 548쪽.