

## Classification 및 Ordination 방법에 의한 용문산 삼림의 식물군집 구조분석

李景宰·趙在昌\*·柳彰熙

(서울시립대학교 조경학과, \*서울대학교 대학원 임학과)

### Analysis on the Structure of Plant Community in Mt. Yongmun by Classification and Ordination Techniques

Lee, Kyong-Jae, Jae-Chang Jo and Chang-Hee Ryu

(Department of Landscape Architecture, Seoul City University, Seoul and

\*Department of Forestry, Graduate School, Seoul National University, Suweon)

#### ABSTRACT

To investigate the structure of the plant community structure of Mt. Yongmun in Kyonggi-do, fifty-four plots were set up by the clumped sampling method. The classification by TWINSpan and DCA ordination were applied to the study area in order to classify them into several groups based on woody plants and environmental variables. By both techniques, the plant community were divided into two groups by the aspect. The dominant species of south aspect were *Pinus densiflora*, *Quercus aliena*, *Q. mongolica*, *Carpinus laxiflora* and of north aspect were *Q. mongolica*, *Fraxinus rhynchophylla*. The successional trends of tree species in south aspect seem to be from *P. densiflora* through *Q. serrata*, *Q. aliena*, *Q. mongolica* to *C. laxiflora*. As a result of the analysis for the relationship between the stand scores of DCA and environmental variables, they had a tendency to increase significantly from the *P. densiflora* and *Q. mongolica* community to *C. laxiflora* and *F. rhynchophylla* community that was the soil moisture, the amount of soil humus and soil pH.

#### 서론

식물군집 구조분석은 최근에 컴퓨터의 발달로 정량적인 방법을 주로 채택하고 있으며, 대표적인 정량적 식생분석 방법은 ordination, classification, gradient analysis 등이 있다. 이 중 유사한 조사구나 종들이 인접되어 유사하지 않은 것들과 분리할 때 ordination을, 유사한 속성을 갖는 조사구를 분리할 때는 classification을 많이 이용하게 된다(Gauch, 1982). 이러한 방법들은 환경인자에 의해 달라지는 군집을 분리하는데 매우 효과적임이 많은 학자들에 의해 보고되었다(Schmelz and Lindsey, 1970; Gauch and Whittaker, 1972; Taylor *et al.*, 1987; Huang and Moral, 1988; Hukusima and Kershaw, 1988; Parke, 1988). Kent and Ballard(1988)는 1960년부터 1986년까지의

classification 및 ordination을 이용한 논문 734편을 분석한 결과 1970년대까지 각 기법들이 독자적으로 이용되었으나 최근에 들어서는 두 기법을 함께 적용하여 상호 보완적으로 이용하는 경향이 계속 증가하고 있다고 보고하였다.

용문산의 식물상에 관한 조사는 여러 학자들에 의해 실시되었으나, Lee(1964)에 의해 475종이 고도별로 정리된 것이 체계적인 것으로 처음이었고, 이후 김(1984)에 의해 식물구계가 조사되어 용문산은 서어나무, 졸참나무 등이 나타나는 온대중부구이며 소산식물은 540종류로 밝혀졌으나, 아직까지 식물사회학적인 조사는 이루어지지 않았다.

본 논문은 ordination 기법 중 PO, PCA, RA의 측의 양쪽에서 압축되어 왜곡되는 현상을 수정보완한 DCA 기법(Hill, 1979a)과 TWINSpan에 의한 classification 방법을 이용하여 용문산 삼림의 군집구조를 밝히는 것을 그 목

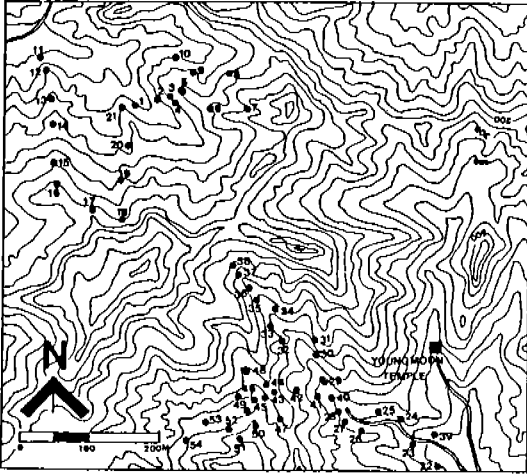


Fig. 1. Location of the study area in Mt. Yongnum.

적으로 하였다.

## 조사지 설정 및 방법

**조사지설정.** 용문산(해발 1,157 m)의 남사면과 북사면의 자연림에 Fig. 1과 같이 임의로 54개의 조사구(plot)를 설정하였다. 각 조사구는 10×10m의 방형구(Quadrat) 5개씩을 설치하여 면적을 500m<sup>2</sup>로 하였으며 조사시기는 1988년 6월이었다.

**환경요인조사.** 환경요인은 조사구의 일반적 개황과 토양성질을 조사·분석하였다. 일반적 개황은 조사구별로 해발고, 방위, 경사도, 교목상층군의 평균수고, 평균직경, 울폐도, 교목하층군의 평균수고와 울폐도, 관목층군의 평균수고와 울폐도를 측정하였다. 토양분석을 위해 조사구별로 3개소를 택하여 지피층을 걷어내고 표층으로부터 15 cm 깊이에서 토양을 채취, 함께 혼합하여 1kg 정도의 시료만을 실험실로 운반하였다. 토양산도는 토양과 증류수의 비율을 1:5로 하여 유리전극으로 측정하였고, 수분함량은 건조기에서 105°C로 24시간 건조시켜 측정하였으며, 유기물함량은 회화로에서 800°C로 4시간 회화 후 평량·계산하였다.

**식물군집 구조분석.** 식생조사는 설치된 조사구의 방형구내에서 출현하는 흉고직경(DBH) 2cm 이상의 목본식물을 대상으로 수종명 및 DBH를 측정하고 층위는 교목상·하층으로 구분하였다(박, 1985). 식생조사에서 얻어진 자료로 Curtis and McIntosh (1951)의 방법에 따라 중요치(importance value; IV)를 계산하였다. 종다양성은 Pielou (1977)의 방법에 의해 종다양도(species diversity; H'), 균재도(evenness; J'), 우점도(dominance; D), 최대종다양도(maximum of species diversity; H'<sub>max</sub>)를 분석하였다. 식생자료 중에서 classification 및 ordination에

필요한 합성치를 각각 Hill (1979b), Gauch (1982)의 방법에 따라 구하였다. Classification은 TWINSpan (Hill, 1979b)에 의하여 계산하였고, Ordination은 DCA (deter-ended correspondence analysis) 방법 (Hill, 1973, 1979a)을 이용하였다. 이상의 모든 분석은 서울시립대학교 환경생태연구실에서 개발한 plant data analysis package (PDAP)와 SAS package를 프로그램으로 이용하였고, 컴퓨터는 IBM-PC와 VAX/780을 이용하였다.

## 결과 및 고찰

**조사지 개황.** 수원측후소 양평분실에서 측정된 기상자료(1985-1986년의 평균치)에 의하면 연평균 기온 10.3°C, 연평균 최고기온 16.9°C, 연평균 최저기온 4.8°C, 온량지수 94.4°C, 한랭지수 -31.7°C이고 연간강수량 1,229 mm로서 임 (1985)이 구분한 수평적 삼림대에 의하면 온대중부림에 해당되며 소나무, 서어나무, 신갈나무, 때죽나무가 우점종으로 출현되는 지역이다.

Table 1은 각 조사구의 일반적 개황을 나타낸 것으로 8개의 군집은 classification의 제3 division에서 분리된 것을 이용한 것이다. 조사구 1~21은 북사면, 조사구 22~54는 남사면으로 classification에 의하면 남·북사면이 제1 division에서 분리가 되었다. 조사구들은 해발 230~950 m에 위치하고 경사도는 10~35°이었다. 남사면의 교목상층의 평균수고 및 흉고직경은 각각 17 m, 24 cm이었으나 북사면은 각각 12 m, 15 cm이었으며, 교목하층은 남사면과 북사면이 각각 7.3 m 및 5.4 m 이었고, 500 m<sup>2</sup>당 출현하는 수종수는 각각 21종, 15종이었다. 용문산의 북사면은 육군전사에 의하면 1951. 5. 16~5. 20까지 용문산 지구 전투가 있었던 남쪽끝지역으로서 치열한 점전으로 삼림이 거의 훼손되었을 것으로 추측되며, 이로 인하여 신갈나무 2차림이 형성되었을 것이다.

**조사구의 classification 및 ordination 분석.** 54개 조사구에 대하여 TWINSpan에 의한 classification 분석을 한 내용이 Fig. 2이다. 제1 division에서 남사면과 북사면으로 나뉘었고, 제3 division에서는 전체가 8개의 군집으로 나뉘어졌다. 즉 남사면은 활엽수군집, 소나무군집, 신갈나무군집, 서어나무군집으로, 북사면은 신갈나무군집, 신갈나무-물푸레나무군집, 물푸레나무군집으로 분리되어 사면간에는 삼림구조의 차이가 크게 나타났다. 우리나라에서 보고된 다른 지역의 군집의 분리를 살펴보면, 광릉(이 등, 1990)은 제1 division에서 건조형과 습윤형으로 분리되었고 제2 division에서는 다시 4개의 group으로 나눌 수 있어 갈참나무-서어나무군집, 서어나무-갈참나무군집, 갈참나무-서어나무-까치박달나무군집, 까치박달-갈참나무군집으로 분리되었다. 치악산(박 등, 1989)에서는 제1 division에서 건조형과 습윤형, 제2 division에서는 해발고로 분리되어 건조형군집은 소나무 및 잣나무가, 습윤형은 졸참나무, 신갈나무, 서어나무, 까치박달나무가 우

Table 1. Description of the physical features and the stratum of each plot for classified type by TWINSPAN in Mt. Yongmun

Community	A												B												C												D											
	25	32	49	26	27	41	29	40	43	23	24	39	22	31	36	42	44	45	50	51	28	47	53	33	34	54	37	38																				
Plot Number	260	520	460	300	290	330	340	320	470	230	240	240	230	540	650	470	480	390	350	300	480	430	570	580	460	680	710																					
Altitude (m)	SW	NE	SW	NE	NE	SE	NE	NE	N	NESW	SW	SE	SW	NE	N	SE	NE	SE	SW	SE	NE	SE	NE	SW	E	NE	NE																					
Aspect	10	20	30	20	10	10	15	10	15	15	15	25	20	20	15	15	25	15	15	20	30	20	20	20	20	25	15	35																				
Slope(°)	18	16	12	23	18	12	10	14	13	12	12	15	10	18	12	13	13	15	8	13	12	6	15	12	15	15	12	10																				
Height of tree layer (m)	40	20	15	40	40	20	20	25	20	40	40	30	20	20	20	20	20	20	15	17	30	12	17	20	20	25	15																					
Mean DBH of tree layer (cm)	70	80	80	70	80	80	80	80	80	60	60	80	70	85	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80																					
Cover of tree layer (%)	8	8	8	8	8	8	8	7	8	7	8	4	2.5	8	8	8	8	5	8	7	4	8	8	8	8	8	8																					
Height of subtree layer (m)	80	60	60	80	70	70	60	70	60	80	80	30	40	70	60	60	60	60	60	30	60	30	60	40	60	40	70																					
Cover of subtree layer (%)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2																					
Height of shrub layer (m)	50	50	50	50	40	50	50	50	40	50	50	80	95	50	40	50	60	20	50	50	50	50	80	40	40	40	60																					
Cover of shrub layer (%)	31	24	25	24	25	26	27	30	23	22	22	19	16	10	23	20	19	22	19	16	20	15	16	20	11	21	24																					
Number of woody species																																																

Community	E												F												G												H											
	3	4	7	20	2	5	11	21	46	48	52	12	13	14	1	6	15	16	9	10	8	19	17	18	30	35																						
Plot Number	610	620	820	800	550	710	530	700	480	540	380	570	650	750	500	800	800	900	700	650	750	900	900	950	440	620																						
Altitude (m)	SW	SW	S	N	SW	NE	NE	N	SW	SW	SE	N	E	NNW	N	NE	NE	N	N	NENW	N	NE	NE	NE	SW	NE																						
Aspect	20	30	30	10	27	10	30	10	30	30	20	25	30	30	35	20	30	30	30	30	30	25	10	20	15	20	15																					
Slope (°)	15	12	12	13	12	10	15	13	9	6	13	10	10	9	15	12	9	7	13	13	15	15	7	15	14	12																						
Height of tree layer (m)	17	12	10	15	20	11	40	13	15	12	17	17	17	9	18	10	25	10	15	12	9	15	10	13	20	15																						
Mean DBH of tree layer (cm)	95	100	90	90	90	90	80	95	80	80	80	95	90	90	90	80	90	80	100	100	70	90	90	90	80	80																						
Cover of tree layer (%)	7	7	7	2.3	5	6	5	8	6	4	8	2.5	3	2.5	6	5	4	2.5	6	5	5	4	2.2	7	8	8																						
Height of subtree layer (m)	20	15	10	40	30	30	70	40	70	60	60	40	20	20	40	30	20	10	30	40	20	30	10	40	60	70																						
Cover of subtree layer (%)	2	2	1	1	1.7	1.7	1	2	2	2	1.5	1.5	1.2	2	1.7	1.3	1.2	1.2	0.9	1	1	1.3	1.5	2	2																							
Height of shrub layer (m)	20	20	10	20	10	30	60	10	40	50	40	30	50	15	30	40	10	10	10	30	10	10	40	30	30	50																						
Cover of shrub layer (%)	14	10	12	23	21	11	16	15	18	17	18	16	10	10	13	12	12	16	16	12	14	18	20	19	20	20																						
Number of woody species																																																

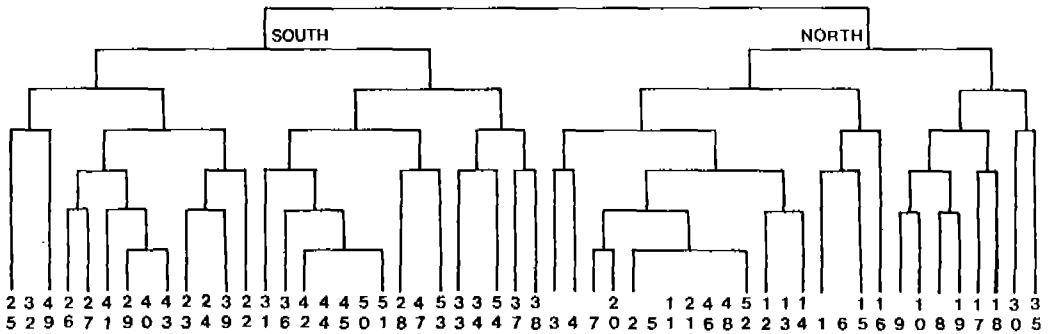


Fig. 2. Dendrogram of TWINSpan stand classification of fifty-four plots in Mt. Yongnum forest.

점중이었다. Kent and Ballard(1988)에 의하면 1960~1986년까지 학술지에 발표된 classification 기법을 이용한 논문은 500 편으로서 1966~1975년까지 divisive monothetic method가 가장 많이 이용되었고, agglomerative polythetic method는 1960년대 중기에 나타나 그 이용이 계속 증가되어 현재까지 계속되고 있었으며, divisive polythetic method 및 TABORD는 1970년대부터, TWINSpan은 1980년대부터 이용되기 시작하여 이 방법들을 가장 많이 이용하고 있다. TWINSpan 방법이 현재 비관적인 면이 가장 적으며 ordination 기법과 상호 보완적으로 많이 이용되고 있다. TWINSpan에 의해 군집이 분리될 때 환경인자가 중요한데, 그 중 토양습도 (Huang and Moral, 1988 ; Taylor *et al.*, 1987), 산불 (Allen and Partridge, 1988)의 인자가 중요하다고 보고된 바 있으며, 본 연구에서는 방위가 분리의 중요인자로 나타났다.

각 조사구를 classification에 따라 분리된 8개의 군집으로 나누어 놓은 것이 Table 2이다. 남사면과 북사면의 삼림간에 우점종이 큰 차이를 보였다. 즉 남사면의 28개의 조사구의 평균 IV는 소나무 11.4, 신갈나무 7.2, 갈참나무 6.4, 서어나무 6.8%이나 북사면 26개 조사구의 평균 IV는 신갈나무 33.1, 물푸레나무 5.8, 굴참나무 4.6%로서 남사면은 소나무-참나무류군집, 북사면은 신갈나무군집으로 명명할 수 있었다. 또한 특이한 것은 남사면은 서어나무 군집이 출현하나 북사면은 거의 출현하지 않았고, 대신 물푸레나무군집이 나타났다. 남사면인 군집 A는 3개의 조사구가 포함되어 있으나 우점종이 뚜렷하지 않은 군집이었다. 군집 B는 10개의 조사구가 포함되며 소나무의 평균 IV가 27.1%로 우점종을 차지하였으며, 특히 조사구 22 및 39는 소나무의 IV가 각각 50.0, 48.9%이었고 그밖에 갈참나무의 평균 IV가 9.1%, 산뿔나무 5.2%이었다. 군집 C에는 10개의 조사구가 속하여 있으며 신갈나무의 평균 IV가 16.6%, 갈참나무 6.0%, 때죽나무 6.0%, 서어나무 5.7%이었다. 군집 D는 5개의 조사구를 포함하고 있었으며 서어나무의 평균 IV가 17.3%로 우점종인데 조사구 33 및 54는 각각 30.0, 22.6%이었고, 이외에 주요 종

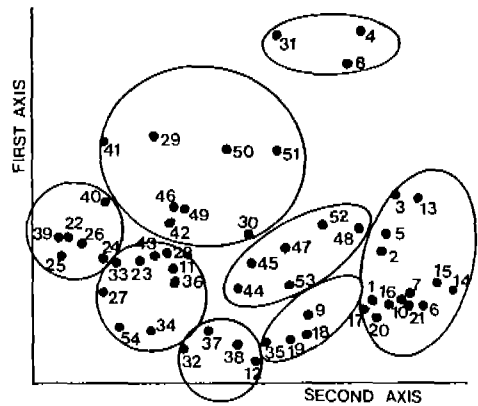


Fig. 3. DCA ordination of the sample plots in Mt. Yongnum forest.

의 평균 IV는 개치박달나무 9.9%, 때죽나무 9.4%, 층층나무가 5.4%이었다. 북사면에 위치하는 군집 E에는 14개의 조사구가 속하여 가장 많은 수의 조사구가 포함되었으며 신갈나무의 평균 IV가 39.3%로 우점종이고 조사구 14의 신갈나무 IV는 63.6%로서 매우 높았으며, 그밖의 수종이 평균 IV는 졸참나무 7.6%, 소나무가 4.0%로서 우점치가 뚜렷하게 높은 수종은 없었다. 군집 F는 4개의 조사구가 포함되며 신갈나무의 평균 IV가 39.8%로 우점종이며 다른 수종은 물푸레나무 5.2%, 때죽나무 3.6%이었다. 군집 G에는 6개의 조사구가 속하며 신갈나무와 물푸레나무의 평균 IV가 각각 23.3, 10.4%로 두 수종이 우점종이며, 때죽나무의 평균 IV가 9.0%, 층층나무가 7.0%이었다. 군집 H는 2개의 조사구만이 포함되며 물푸레나무의 평균 IV가 16.0%로 우점종이며, 그밖에 평균 IV가 높은 수종은 신갈나무 5.5%, 굴참나무 5.4%이었다. Classification 방법에서는 한 두 수종의 우점치에 의해서 각 군집이 뚜렷하게 구분되어질 수가 있는데 (Peet and Loucks, 1977), 본 연구에서도 소나무, 신갈나무, 서어나무, 물푸레나무의 우점치에 의해서 각 군집이 분리되었다.

54개 조사지에 대한 ordination 기법 중 국내에서 가장

Table 2. Importance values of tree species in each plot for classified type by TWINSpan

Community	A										B										C										D									
	25	32	49	26	27	41	29	40	43	23	24	39	22	31	36	42	44	45	50	51	28	47	53	33	34	54	37	38												
<i>Pinus densiflora</i>	11.5					16.0	17.7	4.3	14.5	21.6	10.6	41.9	45.2	48.9	50.0																									
<i>Quercus mongolica</i>	1.4	1.0		3.2		2.9	1.8	9.8	7.8	1.9	1.7					4.4	9.8	24.0	21.1	9.4	23.7	10.0	30.0	33.1		3.0	6.0	2.4	11.4											
<i>Q. aliena</i>	7.4		8.2	16.8	2.2	26.4	10.4	14.2	11.4	0.9	3.0	3.5	2.3			5.3	13.2		7.0	14.3	5.2	11.8			3.2	4.6	2.2	4.4	2.2											
<i>Q. serrata</i>	1.8	3.2	9.6	4.7	4.5	3.4	3.0	2.4	5.4	0.9	4.0	4.1	8.1	7.8	2.2	2.9	2.1	5.1	6.4	13.7	7.0	10.3	5.1	6.1	2.0	2.7	7.4	1.4												
<i>Q. variabilis</i>			6.8			7.5	14.0	6.6		0.4				52.6	3.0	4.4	2.1	0.8	11.7	14.3				5.0		1.8														
<i>Carpinus laxiflora</i>	1.8	1.3	1.7	6.7	11.6		1.7	2.4	2.9	8.9	5.6	1.4	1.2	1.0	16.1	8.2		2.1					1.5	19.6	6.3	2.5	30.0	18.8	22.6	4.6	10.3									
<i>C. cordata</i>	3.0	7.3	6.3	0.7		0.4		3.5						1.1	12.0											1.6	11.5	29.0	6.0	1.6										
<i>Prunus sargentii</i>	1.5		11.1	5.5	5.2	5.1	10.8	4.7	8.2	0.6	7.0	1.9	2.8	0.9		6.6	2.9	7.8	7.3	4.3	1.4	0.6	1.1	5.8	2.8	3.1	1.5													
<i>Fraxinus rhynchophylla</i>		7.2	8.4	0.6	0.5	3.1	2.5	3.1		0.4	0.7	0.9	5.0	7.0	0.8	3.9	2.1	2.4	2.1					1.3		1.8	2.2													
<i>Cornus controversa</i>		10.2			2.2	12.7	0.5	0.4						2.9		1.4	1.8									1.7	10.0	10.1	5.2											
<i>Syrax obtusata</i>	1.1	6.3	3.9	4.5	4.9	2.2	2.1	1.9	8.4	1.0	5.6	3.6	3.9	3.6	3.8	3.3	7.3	9.0	6.7	4.9	9.3	6.1	6.3	14.8	17.2	8.6	4.6	1.8												
<i>Acer pseudo-sieboldianum</i>	1.4	0.7	0.6	3.5	2.3	3.2	5.1	2.3	9.5	2.9	1.4		3.0	5.8	5.8	4.1	6.1	6.7	3.7	3.3	2.9	8.0	4.1	2.8	4.5	5.4	8.4													

Community	E										F										G										H									
	3	4	7	20	2	5	11	21	46	48	52	12	13	14	1	6	15	46	9	10	8	19	17	18	30	35														
<i>Pinus densiflora</i>			3.5			3.9	33.0		2.5	4.6	1.5	7.5			2.0			4.3								1.6														
<i>Quercus mongolica</i>	37.4	19.7	52.8	37.0	39.4	52.3	14.2	48.9	34.7	40.4	32.3	27.6	49.7	63.6	30.9	48.8	38.0	41.4	19.6	48.7	5.6	18.8	38.4	8.6	3.8	7.1														
<i>Q. aliena</i>	3.7	2.4			2.7			2.5	2.0	1.1	3.3																													
<i>Q. serrata</i>					0.5			3.1	1.3	8.8																														
<i>Q. variabilis</i>	11.7	49.8			4.2	6.2		9.1	6.3	6.4	1.2	11.6					1.5								10.7															
<i>Carpinus laxiflora</i>					0.6																																			
<i>C. cordata</i>					1.2		0.6	0.9		0.9																1.2	10.7	3.0	0.9	2.3	1.7									
<i>Prunus sargentii</i>	1.2	2.2	1.2	3.4	2.4			9.1	3.3	4.4	2.8	1.0	2.4		0.8	1.6	2.0		2.9	1.9	3.7	2.4	5.3	1.5	3.7	1.8														
<i>Fraxinus rhynchophylla</i>	2.8		3.7	3.8	4.5	3.6		2.0	1.3	0.5	1.8	10.0	1.0	1.7	2.6	0.8	13.1	4.1	4.7	3.2	1.0	15.8	8.1	29.7	13.7	18.1														
<i>Cornus controversa</i>			0.9	3.8		1.6					1.4				2.9	5.5	1.8	2.2	6.7							21.7	5.2	0.7	7.9	3.2	2.0									
<i>Syrax obtusata</i>	3.1	0.8	2.2	4.8	2.2	4.0	3.1	0.7	4.1	9.7	8.1	2.5		7.8	4.2	1.5	0.8	27.1	14.6	10.8	1.2				7.3	1.0														
<i>Acer pseudo-sieboldianum</i>			3.1	4.4	0.9	4.1	1.2	5.3	2.8	2.1	3.7	1.6			2.4	2.4	8.0	8.1	0.7	7.0	2.1	1.3																		

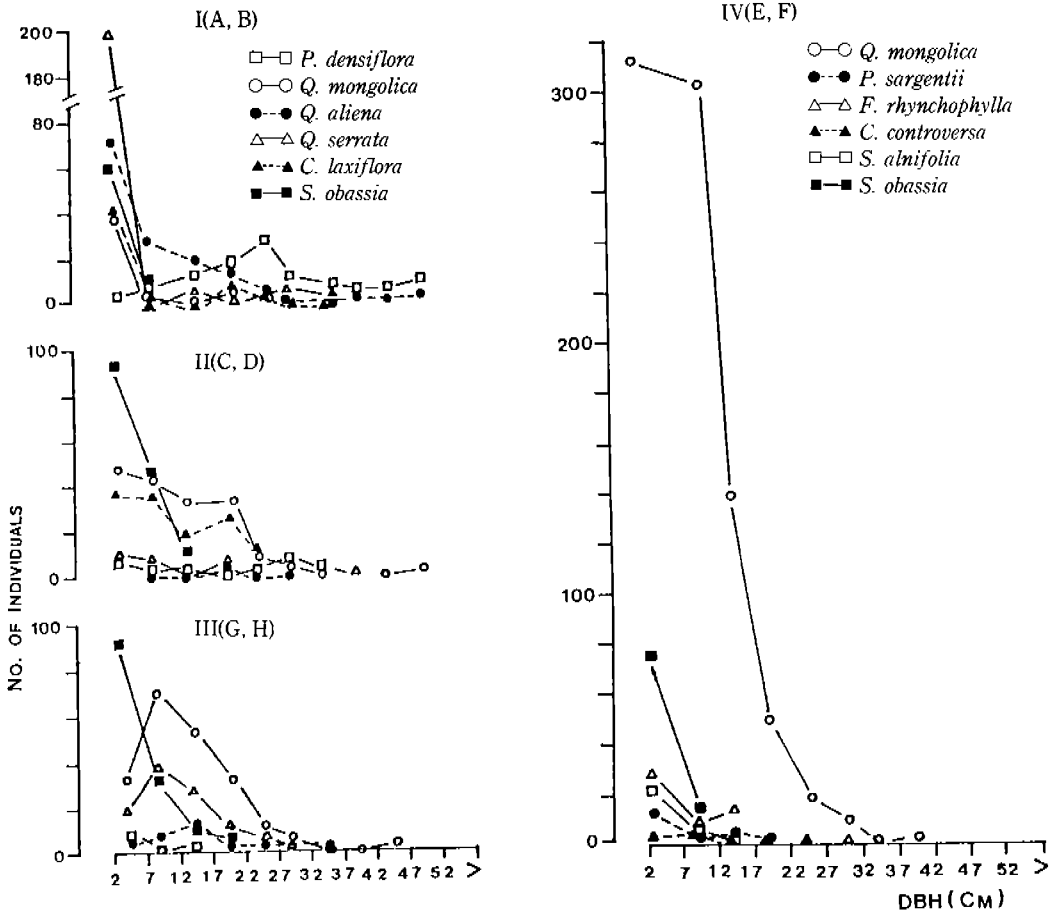


Fig. 4. DBH class distribution of major tree species in each community for classified type by TWINSpan.

효율적인 DCA 방법(박 등, 1987, 1988; 이 등, 1989; 이 등, 1990)을 이용하여 분석한 것이 Fig. 3이다. 제 1축과 제 2축의 eigen value가 각각 39.8%, 27.7%로서 total variance의 집중률이 높기 때문에 data를 변형하지 않고 분석하였다. 분석결과 소나무군집, 갈참나무-굴참나무군집, 굴참나무군집, 신갈나무-쪽동백나무군집, 층층나무군집, 물푸레나무-신갈나무군집, 신갈나무군집의 8개 군집으로 분리되어 사면에 의한 분리가 뚜렷하여 신갈나무군집과 물푸레나무-신갈나무군집이 북사면에 속하고 나머지는 모두 남사면에 속하여 남사면의 군집분리가 북사면보다 다양함을 보여주었다. 이러한 면이 TWINSpan에 의한 classification의 방법과 다른 점으로 본 연구에서는 DCA 기법이 TWINSpan 기법보다 더 효율적이라고 생각된다. 이런 결과는 국내에서 발표된 다른 연구결과(박 등, 1988; 이 등, 1990)과 상이한 결과인데 이런 현상은 용문산의 삼림이 전쟁으로 인한 산불에 의한 인간간섭이 발생된 후 생태적 천이의 역사가 짧은 것에 기인되는 것으로 판단

된다. Kent and Ballard(1988)에 의하면 1960-1986년에 발표된 ordination 논문은 모두 414편으로 1960년대에 나타나 25년간 이용된 것이 PO(polar methods)와 PCA(principal components analysis)로서 PO는 1970년대 이후 거의 이용이 안되고 PCA는 계속 이용 중이다. 1970년대 초반에 RA(reciprocal averaging) 및 CA(correspondence analysis), 1970년대 후반에 DCA(deterended correspondence analysis)가 발견되어 현재는 PCA, RA/CA, DCA가 가장 널리 이용되고 있으며 DCA와 TWINSpan을 함께 이용하여 상호보완하는 논문이 계속 증가되고 있다고 하였다.

Fig. 4는 8개의 군집을 2개씩 합쳐서 흉고직경급별 빈도분포를 보인 것이다. 빈도분포에 의해서 생태적 천이과정을 추론할 수가 있으므로(박, 1985; 이 등, 1987, 1989) 본 graph에서 용문산 식생군집의 천이과정을 예측할 수 있겠다. Graph I(군집 A, B)에서는 소나무가 DBH 22cm 이상에서는 우점종이나 22cm 이하에서는 굴참나무, 갈참

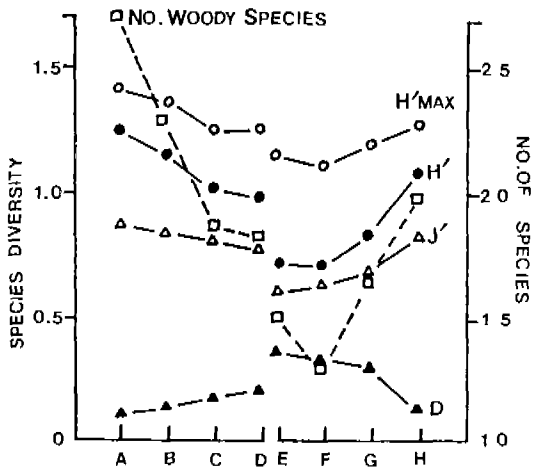


Fig. 5. Values of various diversity in each community for classified type by TWINSpan (H': species diversity, H' max: maximum of species diversity, J': evenness, D: dominance).

나무가 우세하므로 소나무는 도태될 것이다. Graph II(군집 C, D)에서는 전체 경급에서 신갈나무가 우점종이나 서어나무가 경쟁종으로서 현재의 삼림이 계속 보존된다면 서어나무로의 천이가 진행될 것이다. Graph III(군집 G, H)에서는 신갈나무, 졸참나무, 갈참나무가 함께 경쟁을 하고 있고, Graph IV(군집 E, F)에서는 신갈나무가 절대적으로 세력이 강해 다른 수종으로의 천이를 예측하기가 곤란하다. 그러므로 용문산에서의 식생천이는 북사면은 예측이 곤란하고 남사면은 소나무→졸참나무, 갈참나무, 신갈나무→서어나무의 천이 진행을 예측할 수 있겠다.

사면별, 군집별로 종다양성을 계산하여 도면화한 것이 Fig. 5이다. 양사면은 종다양성의 경향이 다르게 나타나고 있는데, 즉 남사면은 소나무림에서 서어나무림으로 향할수록 종다양성의 값이 감소하는 바 이는 군집의 구성수종들이 경쟁상태에서 안정상태로 전환하고 있음을 알 수 있다. 그러나 북사면은 신갈나무림에서 물푸레나무림으로 향할수록 종다양성의 값이 증가하는데 이는 신갈나무의 우점치가 높은 군집이 여러 종의 활엽수가 경쟁하는 군집으로 변화여가는 현상으로 해석할 수 있다. 이러한 현상은 최대 종다양도와 종다양도의 차이에서 알 수가 있는데, 최대 종다양도에 종다양도의 값이 근접할수록 안정상태에 도달된 숲 (Collins et al., 1987; O'Connon and Aarssen, 1987; Whittaker, 1956; 이 등, 1987, 1990)으로서 남사면의 최대 종다양도와 종다양도의 차이가 북사면보다 크게 나타났고, 또한 북사면에서 신갈나무군집보다 물푸레나무군집에서 그 차이가 작게 나타났다.

**수종의 ordination 분석.** 본 조사지에서 나타나는 수종 중 출현빈도가 5회 이상되는 주수종에 대한 DCA 방법에 의하여 분석한 내용이 Fig. 6이다. 교목상층에서 사면에 따라 2개의 group으로 분리가 되었다. 남사면은 소나무,

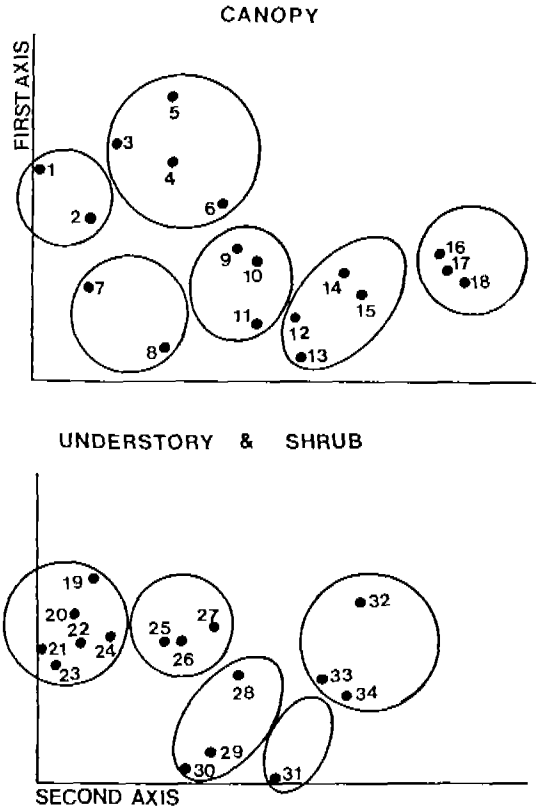


Fig. 6. Species ordination on the first two axes, using DCA. (1. *Castanea crenata*, 2. *Pinus densiflora*, 3. *Quercus aliena*, 4. *Q. serrata*, 5. *Acer palmatum*, 6. *Prunus sargentii*, 7. *Carpinus laxiflora*, 8. *C. cordata*, 9. *A. pseudo-sieboldianum*, 10. *Styrax obassia*, 11. *A. mono*, 12. *Kalopanax pictum*, 13. *Cornus controversa*, 14. *Fraxinus rhynchophylla*, 15. *Sorbus alnifolia*, 16. *Maackia amurensis*, 17. *Q. mongolica*, 18. *Q. acutissima*, 19. *Zanthoxylum schinifolium*, 20. *Callicarpa japonica*, 21. *Aralia elata*, 22. *Staphylea bumalda*, 23. *Weigela subsessilis*, 24. *Corylus sieboldiana*, 25. *Lespedeza maximowiczii*, 26. *Rhus trichocarpa*, 27. *Lindera obtusiloba*, 28. *Rhododendron mucronulatum*, 29. *Philadelphus schrenckii*, 30. *Euonymus sieboldianus*, 31. *Magnolia sieboldii*, 32. *Symplocos chinensis* for *pilosa*, 33. *Rh. schlippenbachii*, 34. *Rhus japonica*).

갈참나무 및 졸참나무, 서어나무 및 까치박달나무로 북사면은 신갈나무, 물푸레나무 및 층층나무로 분리되어 앞서의 홍고적경분포와 마찬가지로 남사면은 소나무→갈참나무, 졸참나무→서어나무의 천이 진행이 예측되었다. 교목하층 및 관목층에서도 교목상층과 동일하게 사면별로 분리가 되었다. 우리나라의 다른 지역에서 천이제열이 추정된 것에 의하면 서어나무가 극상수종 (climax species)으로 알려져 있는데(강과 오, 1982; 박, 1985; 박 등, 1988; 이 등, 1989, 1990) 본 연구결과도 이들의 결과와 동일하다.

**환경인자의 DCA 분석.** 각 조사지의 종조성 변화에

Table 3. Ratings of representing ranges of environmental variables

	Altitude (m)	Slope (°)	Soil moisture (%)	Soil humus (%)	Soil pH
1	>375	>16	>18.7	>13.3	>4.05
2	375-518	16-20	18.7-25.6	13.3-17.4	4.05-4.33
3	519-662	21-25	25.7-32.6	17.5-21.6	4.34-4.62
4	663-806	26-30	32.7-39.6	21.7-25.8	4.63-4.92
5	806>	30>	39.6>	25.8>	4.92>

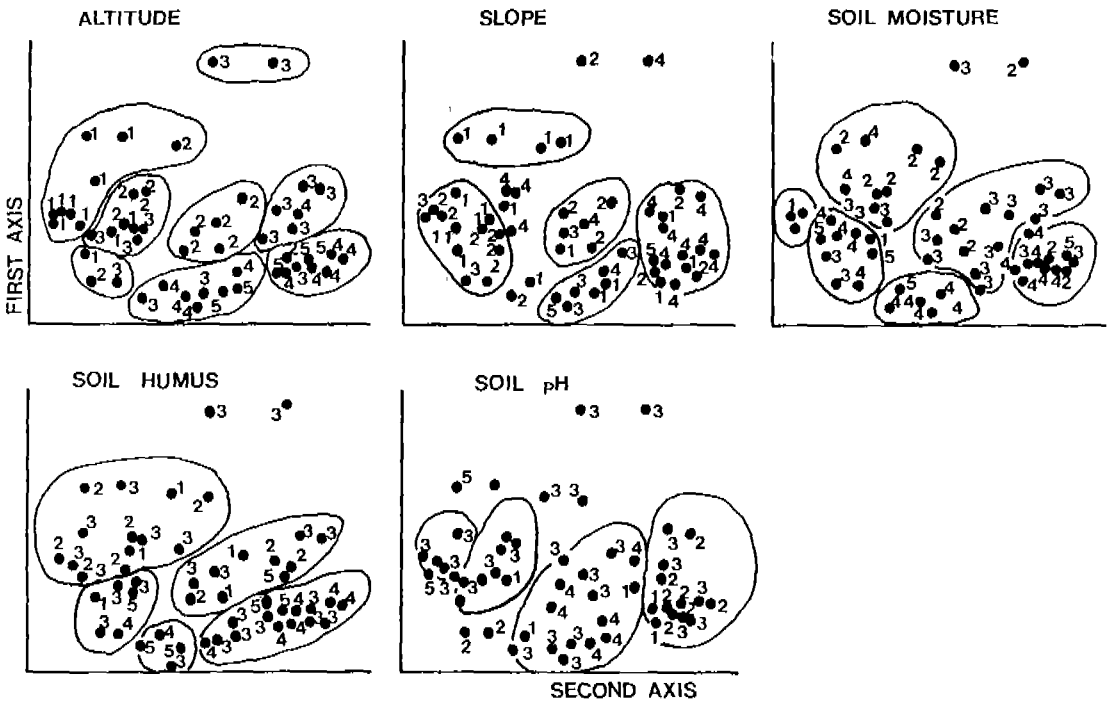


Fig. 7. Distribution of environmental variables on the first two axes of DECORANA stand ordination. The ratings for range of environmental variables should be referred to Table 3.

Table 4. Correlation between environmental variables and DCA stand scores of the first and second axes

	1st Axis	2nd Axis
Altitude	.707**	-.291*
Slope	.338**	-.001
Soil moisture	.560**	-.305*
Soil humus	.347**	-.224
Soil pH	-.254*	-.387**

1-tailed signifi: \*, 5%, \*\*: 1% level.

관련되는 환경원인을 판단하기 위하여 해발고, 경사도, 토양함수량, 토양유기물함량, 토양산도 등 5개의 환경요인들을 5 단계로 나누어 (Table 3) DCA 기법을 이용하여 제 1,

2축에 도시한 것이 Fig. 7이다. 모든 환경요인에서 소나무, 신갈나무군집에서는 낮은 계급이 서어나무, 물푸레나무군집에서는 높은 계급이 위치하였다. Ordination 분석목적은 환경구배에 의한 식생분포를 밝히는 것이므로 (Bernard *et al.*, 1983) 각 환경인자의 값과 DCA의 제 1, 2축의 score와의 상관관계를 나타낸 것이 Table 4이다. 모든 환경요인의 값과 제 1축의 score 간에 고도의 정의 상관성이, 토양산도와는 부의 상관성이 인정되었다. 강과 오 (1982)는 광릉삼림에서 침엽수림에서 활엽수림으로 갈수록 토양공극량, 치환성 양이온함량, 토양산도, 전질소량 등은 매우 유의하게 증가한다고 보고하였다. 또한 이 등 (1990)은 광릉의 소리봉지역에서 소나무림에서 까지박달나무림으로 이행할수록 토양산도, 유기물함량, 전질소함량, 치환성 칼리함량, 치환성 나트륨, 치환성 칼슘, 치환성 마그네슘



함량이 증가한다고 발표하였다. 이상과 같은 환경구배에 의해 식생군집이 분리된다는 연구결과는 Peet and Loucks (1977), Schmelz and Lindsey (1970), Parke (1988), Tayler et al. (1987), Chang and Gauch (1986), 박 등 (1987, 1988), 이 등 (1989)도 밝힌 바 있다.

## 적 요

경기도 용문산 삼림의 식물군집 구조분석을 위하여 54 개소에 조사구(1개 조사구당 10×10m 방형구 5개씩을 설치)를 설정하고 식생조사를 실시하여 얻은 자료에 대하여 TWINSpan에 의한 classification 및 ordination의 한 종류인 DCA 기법을 적용하여 분석하였다. 분석결과 용문산 식생은 남사면과 북사면이 차이가 있으며 남사면은 소나무, 갈참나무, 신갈나무, 서어나무, 때죽나무, 복사면은 신갈나무, 물푸레나무, 때죽나무가 우점종이었다. 본 연구에서는 DCA 기법이 TWINSpan 기법보다 효율성이 더 좋았다. 천이계열추정은 남사면에서만 가능하였고 그 경향은 소나무→갈참나무, 갈참나무, 신갈나무→서어나무로 추정되었다. 종다양성에 의하면 남사면은 식물군집이 성숙단계인 안정상태이었고 북사면은 발전단계인 경쟁상태이었다. DCA에 의한 환경인자의 분석에서 소나무군집, 신갈나무군집에서 서어나무군집, 물푸레나무군집으로 이행할수록 토양함수량, 토양유기물함량, 토양산도가 유의적으로 증가하였다.

## 참 고 문 헌

- Allen, R.B. and T.R. Partridge. 1988. Effects of spring and autumn fires on the composition of *Chionochole rigida* tussock, New Zealand. *Vegetatio* 76: 37-44.
- Bernard, J.M., F.K. Seischab and H.G. Gauch. 1983. Gradient analysis of the vegetation of the Byron-Bergen swamp, a rich fen in Western New York. *Vegetatio* 53: 85-91.
- Chang, D.H.S. and H.G. Gauch, Jr. 1986. Multivariate analysis of plant communities and environmental factors in Ngari, Tibet. *Ecology* 67(5): 1568-1575.
- Collins, S.L., J.A. Bradford and P.L. Sims. 1987. Succession and fluctuations in *Artemisia* dominated grassland. *Vegetatio* 73: 89-99.
- Curtis, J.T. and R.R. McIntosh. 1951. An upland forest continuum in the prairie-forest border region of Wisconsin. *Ecology* 32: 476-496.
- Gauch, H.G., Jr. and R.H. Whittaker. 1972. Comparison of ordination techniques. *Ecology* 53: 868-875.
- Gauch, H.G. 1982. Multivariate analysis in community ecology. Cambridge University Press, England. p. 298.
- Hill, M.O. 1973. Reciprocal averaging: An eigenvector method of ordination. *J. Ecol.* 61: 237-249.
- Hill, M.O. 1979a. DECORANA-a FORTRAN program for trended correspondence analysis and reciprocal averaging. Ecology and Systematics, Cornell University, Ithaca, New York, p. 52.
- Hill, M.O. 1979b. TWINSpan-a FORTRAN program for arranging multivariate data in an ordered two way table by classification of the individuals and attributes. Ecology and Systematics, Cornell University, Ithaca, New York, p. 99.
- Huang, C. and R. Moral. 1988. Plant-environment relationships on the Montlake Wildlife area, Seattle, Washington, U.S.A. *Vegetatio* 75: 103-113.
- Hukushima, T. and K.A. Kershaw. 1988. The ecology of a beech forest on Mt. Sanpoiwadake, Hukusan National Park, Japan. I. Braun-Blanquet, TWINSpan and DCA analysis. *Ecological Research* 3: 89-100.
- Kent, M. and J. Ballard. 1988. Trends and problems in the application of classification and ordination methods in plant ecology. *Vegetatio* 78: 109-124.
- Lee, I.K. 1964. An investigation of flora of the Mt. Yong Moon, Kyong Hee Univ. *Theses Coll.* 3: 245-265.
- O'Connor, I.K. and L.W. Aarssen. 1987. Species association patterns in abandoned sand quarries. *Vegetatio* 73: 101-109.
- Parke, K.C. 1988. Environmental relationships and vegetation associates of columnar cacti in the northern Sonoran Desert. *Vegetatio* 78: 125-140.
- Peet, P.K. and O.L. Loucks. 1977. A gradient analysis of southern Wisconsin forests. *Ecology* 58: 485-499.
- Pielous, E.C. 1977. Mathematical ecology. John Wiley & Sons, New York, p. 385.
- Schmelz, D.V. and A.A. Lindsey. 1970. Relationships among the forest types of Indiana. *Ecology* 51: 620-629.
- Taylor, S.J., T.J. Carleton and P. Adams. 1987. Understorey vegetation changes in a *Picea mariana* chronosequence. *Vegetatio* 73: 63-72.
- Whittaker, R.H. 1956. Vegetation of the Great Smoky Mountains. *Ecol. Monogra.* 26: 1-80.
- 강운순, 오계철. 1982. 광릉삼림군집에 대한 ordination 방법의 적용. *한국식물학회지* 25(2): 83-99.
- 김 현. 1984. 용문산권역 식물에 대한 구계적 연구. 서울대학교 대학원 석사학위논문, 211pp.
- 박인협. 1985. 백운산지역 천이림생태계의 삼림구조 및 식물생장에 관한 연구. 서울대학교 대학원 박사학위논문 48pp.
- 박인협, 이경재, 조재창. 1987. 북한산지역의 삼림군집구조에 관한 연구. *응용생태연구* 1(1): 1-23.
- 박인협, 이경재, 조재창. 1988. 치악산국립공원의 삼림군집구조-구룡사-비로봉지역을 중심으로-. *응용생태연구* 2(1): 1-9.
- 이경재, 오구균, 조재창. 1987. 내장산국립공원의 식물군

- 집 및 이용형태에 관한 연구(II)—Ordination 방법에 의한 식물구조분석—. 한국임학회지 77(2) : 166-177.
- 이경재, 조재창, 우종서. 1989. Ordination 및 Classification 방법에 의한 가야산지구의 식물군집 구조분석. 응용생태연구 3(1) : 28-41.
- 이경재, 조재창, 이봉수, 이도석. 1990. 평릉삼림의 식물군집구조(I)—Classification 및 Ordination 방법에 의한 소리봉지역의 삼림군집 구조분석—. 한국임학회지 79(1) (인쇄중).
- 임경빈. 1985. 신고조림학원론. 향문사, 서울. pp. 213-216.
- (1990. 5. 16 接受)