

光陵 森林 群集에 對한 Ordination 方法의 適用

姜 倫 淳·吳 桂 七

(西江大學校 理工大學 生物學科)

An Application of Ordinations to Kwangnung Forest

Kang, Yoon Soon and Kye Chil Oh

(Department of Biology, Sogang University, Seoul)

ABSTRACT

In this study, thirty-two stands in Kwangnung forest located in the central part of Korea were preferentially selected. In each stand, all stems for trees and shrubs were recorded by species and their girths were measured down to 5cm. In addition, several environmental factors such as field soil pH, field soil moisture, soil compressibility, depth of soil, thickness of litter layer, elevation and basal area were measured. Three soil cores were sampled and various physical and chemical properties were determined.

The vegetational data were subjected to three kinds of multivariate ordination (FO, PCA, RA). The results suggested that Kwangnung forest was consisted of three forest types: coniferous, mixed and broad leaved forest communities. The relation between the stand scores of ordination and several environmental factors were investigated in terms of correlation analysis in order to examine the relationships between the vegetation and certain environmental factors. As a result of this analysis, the amount of sand content in A₁ horizon decreased from the coniferous to broad leaved forest, while maximum field capacity, pore space, exchangeable cations, loss on ignition, soil pH and the amount of total nitrogen had a tendency to increase significantly. However, easily soluble phosphorus appeared to have little to do with the forest types.

The result of species ordination of centered-standardized PCA suggested that the major successional pathway in Kwangnung forest was; *Pinus densiflora*→*Quercus mongolica*, *Q. serrata*, *Q. aliena*→*Carpinus laxiflora*→*C. erosa* in sequence. This trend is in good agreement with the past studies. In three kinds of ordination (centered PCA, centered-standardized PCA and RA) based on nineteen species and twenty-five stands, the total variances accounted for the first three axes were 77%, 46% and 63% respectively. The estimated beta diversity in Kwangnung forest assumed as a coenocline, was 1.5~1.8 HC. Increasing the effect of the sampling errors on ordination

performance, this low heterogeneity seems to cause the poor concentration of the total variance. The results from the four kinds of ordination were in good agreement with each other, especially between PO, centered-standardized PCA and RA appeared robust. It seems to be worthy of applying multivariate method for analyzing other forest communities in Korea.

緒 論

식물군집의 수평구조에 대한 연구는 지금까지 많이 이루어져 왔으며, 그 분석방법은 목적에 따라 다르다. 식물군집의 분석방법은 군집의 본질에 대한 이해에 따라 classification method와 gradient analysis의 두가지 방법으로 대별할 수 있으며, ordination은 gradient analysis의 필수적 과정으로써 '하나 또는 여러개의 gradient 상에 표본을 배열하는 방법'으로 정의된다(Goodall, 1954). 1950년대 이후 여러가지 다변수 ordination 방법들이 식물군집의 분석에 적용되어 왔으며(Goodall, 1954; Bray and Curtis, 1957; Hill, 1973), 이들 새로운 분석방법의 발달로 과거의 정성적이고 주관적인 분석에서 벗어나, 정량적이고도 객관적인 植生分析에 새 가능성을 제시하였다. Ordination 방법에 의한 식물군집의 분석은 歐美에서 집중적으로 시도되어 왔으며, 최근에는 각기 다른 경우에 있어서의, 여러 ordination 방법들의 有効性, 限界性에 대한 연구도 많이 보고 되었다(Austin and Greig-Smith, 1968; Swan, 1970; Gauch, 1973; Noy-Meir *et al.*, 1975; Gauch *et al.*, 1977; Gauch *et al.*, 1981). 본 연구는 낮 가지의 다변수 ordination 방법들을, 의문간심을 띠고 비교적 잘 보존되어온 경기도 光陵林의 植生分析에 적용하여, 이 지역의 植生구조를 계관적으로 이해하고, 이와 관련된 주요 환경요인을 정량적으로 살펴보고자 시도하였다. 光陵林에 대한 식물군집생태학적 연구는 이미 여러차례 보고된 바 있으며(吳, 1958; Oh, 1959; 金, 1976), 이와같이 비교적 植生구조가 잘 밝혀진 光陵 森林군집을 對象으로, 세가지 다변수 ordination 방법(Polar ordination, Principal component analysis, Reciprocal averging)을 同時에 적용하여, 그 결과를 상호 비교하고, 각 방법이 지니는 長·短點을 살펴으로써, 光陵林의 各種 식물군집의 분포와 群生들 사이의 관계를 통합적이고도 정량적으로 이해하고자 하였다.

調 査 場 所

경기도 光陵 임업시설팀 내에서 種組成이나 환경요소가 비교적 균질해 보이는 순수한 자연림을 對象으로, 되도록 光陵林 지역에 걸쳐서 모두 32 sites 들 임의로 선정하였다(Fig. 1).

Site 1~9, 24, 28, 29 등의 12 sites는 樹高 15~22 m의 간참나무, 순참나무, 신갈나무들과, 樹高 10~15 m의 서나무, 까치박달 등이 교목층을 구성하는 낙엽 활엽수림으로써 관목층에는 짧은단풍나무, 생강나무, 극수나무, 줄은잎참빗살나무, 북동백나무, 율배나무 등이 자라고 있고, 초본층에는 단풍취가 단연 많이 자라고, 애기나리, 대사초, 우산나물, 등글레, 주름조개풀 등으로 구성되어 있었다. 特別히 Site 5, 7, 8, 9는 학술보호림으로 지정된 전형적인 온대활엽수림이다. Site 13, 15, 16, 18, 23, 25, 30 등의 7 sites는 주로 형제봉, 철참산, 죽엽산 등의 능선에 위치한 침엽수림으로서, 樹高 10~20 m의 소나무, 잣나무, 전나무 등의 교

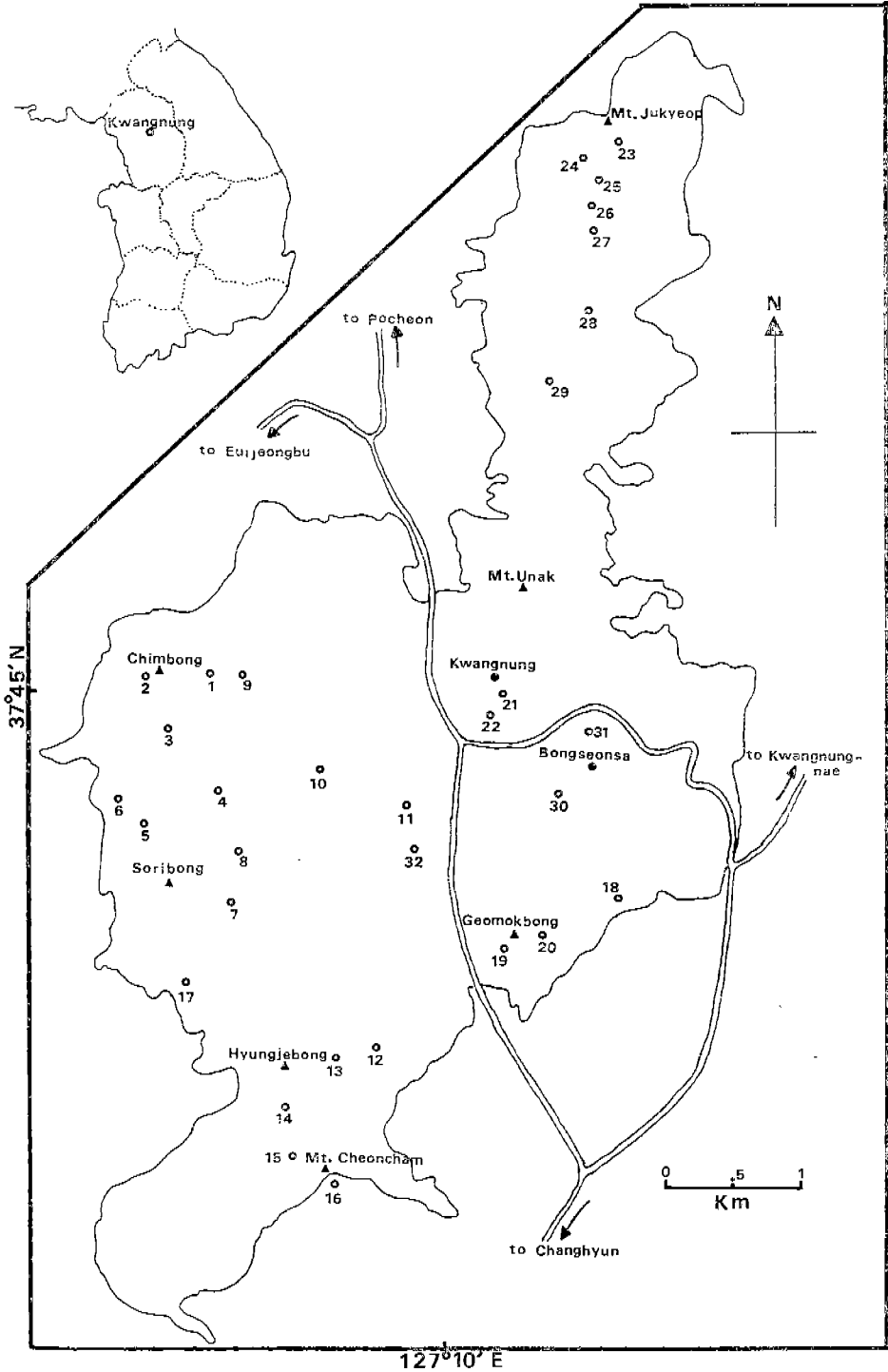


Fig. 1. The study area: Kwangnung Experimental Forest showing the position of the thirty-two sampling sites.

목이 부분적인 개방수관을 형성하고 있었고, 관목층에는 싸리나무, 신갈나무, 졸참나무, 서나무, 팔배나무, 덩굴나무 등이, 초본층에는 실새풀, 찬역새, 김의털 등의 화본과식물이 발달하였고, 그늘사초, 세일양지꽃, 애기나리, 붓꽃 등으로 구성되어 있었다. Site 10, 11, 12, 14, 17, 19, 20, 21, 22, 26, 27, 31, 32 등의 13 sites 는 前記한 활엽수림과 침엽수림의 中間인 혼합림으로서, 고목층은 졸참나무, 신갈나무, 갈참나무, 서나무, 소나무, 잣나무, 전나무 등으로 구성되어 있고, 관목층에는 갈배나무, 쥐은 단풍나무, 개웃나무, 산딸나무, 쪽동백나무 등이, 초본층에는 대사초, 선밀나무, 애기나리, 큰개별꽃, 빌깨덤굴 등으로 이루어져 있었다.

方 法

표본수집방법. 各 site 에서 10×10 m, 5×5 m 크기의 nested quadrat 을 4개씩 random 하게 설치한 後, quadrat 內의 모든 木本을 對象으로 出現種의 흉고주위를 측정하였으며, 흉고주위가 5 cm 이하인 種은 개체수만 세었다. 고목은 10×10 m quadrat 를, 관목은 5×5 m quadrat 를 各各 使用하여 조사하였고(吳, 1958; Muller-Dombois and Ellenberg, 1974), 草本은 본 조사에서 除外하였다. 命名은 鄭(1965)을 따랐다. 各 site 에서 지저면적, 경사도, 사면향, 고도 등을 측정하였고, 아울러 초본층에서의 多數種을 조사하였다. 그 밖에 토양심도, 토양 가압측능, 낙엽층의 두께, 야외 토양습도, 야외 토양 pH, 온도(지상 1 m, 지표, 지하 10 cm, 지하 20 cm) 등의 非生物的 環境요소를 各 site 마다 3회 혹은 10회씩 측정하였다. 단위면적당 지적면적은 wedge prism 을 使用하여 측정하였으니(Dilworth and Bell, 1972), 야외에서의 토양습도와 pH 측정은 soil pH and humidity tester (Takamura electric works, model DM-5)를 使用하였고, 토양 가압측능은 soil penetrometer (Soiltest Inc., model CL-700)을 使用하여 測定하였다. 그 밖의 토양요인 分析을 위하여, 地表의 낙엽을 제거한 後, soil sleeve 를 使用하여 各 site 마다 3회씩 random 하게 토양을 채취하였으며, 동시에 토양의 총밀도를 정밀하게 측정하기 위하여 volumetric core 를 使用하여 3회씩 토양을 채취하였다. 以上の 야외조사는 1980년 7월 하순부터 8월 초순에 걸쳐서 실시하였다

분석방법. Ordinations: 야외조사에서 얻은 vegetational data로부터 各 種의 合成值 X_{ij} 를 다음과 같이 구했다.

$$X_{ij} = (d_{ij} + D_{ij}) / 2$$

여기서 X_{ij} 는 j site 에서의 種 i 의 合成值이며, d_{ij} 는 상대밀도, D_{ij} 는 상대 우점도를 나타낸다. 合成值 X_{ij} 를 정량적 수치로 하여, 各 장소에 따른 種의 조성을 나타내는 primary data matrix 를 作成하였으며, 이것을 기초로 하여 3가지 ordination (Polar ordination, Principal component analysis, Reciprocal averaging)을 시행하였다. Polar ordination(PO)은 Bray and Curtis (1957)의 방법을 따랐으며, principal component analysis (PCA)의 경우에는 centered PCA 는 variance-covariance matrix 를, centered and standardized PCA 는 correlation coefficient matrix 를 사용하였고, reciprocal averaging (RA)는 Hill (1973) 방법에 의거하였다. 상기한 3가지 ordination 분석을 위한 computer program 은, Cornell Ecology Program Series 中の 하나인 ORDIFLEX (Gauch, 1977; 吳, 所藏)를 使用하였으며, 모든 계산은 KAIST (한국과학기술원) Computer Center 의 I.B.M. 3032 MVS System

Table 1. *X values of nineteen tree species in Kwangnung forest

Species	Stand																			Average																						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19		20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32									
<i>Pinus densiflora</i>	0.5	0.6	0.7			1.3					2.5	33.2	30.7	25.5	67.6	60.7	19.0	10.4	43.0	19.2	1.1	57.0	4.8	32.2	35.7	41.0				60.3	32.0	20.85										
<i>Pinus koraiensis</i>	1.4	1.4								41.4	33.3	1.2	5.0	23.0	3.8	1.6	0.3			2.1	21.5	11.8									9.5	31.4	5.90									
<i>Benzoin obtusitobum</i>	3.8	3.8	3.2	0.6	0.9	1.7	3.0	3.7	9.3	0.1	0.6	0.4	1.0	1.2			1.7		0.6	1.2	0.6	0.9	1.7	3.2	2.2	8.0	1.8	0.1	9.6	0.5		2.21										
<i>Carpinus glabra</i>			1.3	2.9	13.0	0.7	18.3	23.8	15.5	1.9	3.0	2.0					1.7	0.3	0.3		9.4	36.8										10.4	12	11.8	7.4	5.13						
<i>Carpinus laxiflora</i>	3.4	30.0	29.0	7.9	5.0	23.0	31.3	10.3	3.0	1.9	15.4	15.5	8.7	5.7	0.3	3.2	8.5	14.0	27.4	46.5	26.4	5.2	7.8	14.7	3.1	1.3	2.4	3.6	19.0	5.7	5.5	11.2	12.15									
<i>Castanea crenata</i>	26.9									1.3	2.7	0.4	1.6		2.4	21.7			0.4		0.4	0.5	2.0	2.4	4.6	1.3							9.3	2.42								
<i>Quercus aliena</i>	1.5	12.6	3.7	14.1	33.5	10.4	6.6	14.3	9.7	4.9	1.7		2.1				1.3		0.4		1.7													12.1	4.7	1.2	7.8	5.3	4.71			
<i>Q. mongolica</i>	26.9	18.8	10.1	4.0	1.9	27.7	3.7	1.4				4.8	5.1	5.3	0.6	1.2	22.6	4.7	0.3	1.9			3.3	27.9	6.9	15.3	11.1	12.5	2.6	1.5	0.3			6.96								
<i>Q. serrata</i>	9.3	13.3	29.6	17.0	10.9	4.6			21.0	8.7	15.8	5.8	2.7	0.4	2.0	5.2	2.6	9.6	0.9	7.8	10.1	23.5	5.3	12.0	2.6	1.7	56.9	28.2	8.6	4.1	2.9	10.31										
<i>Stephanandrus incisa</i>		0.9	12.5		9.1	3.3	8.1	4.1	15.8	5.7	3.3	0.4	0.7	5.1						0.8	7.7													0.1	0.9	20.1	8.5	3.03				
<i>Sorbus alnifolia</i> var. <i>lyptea</i>	4.3	0.8	0.9	0.6		3.0		0.7	2.1	2.0	2.2	2.2	5.4	1.6			0.9	1.8	3.6	3.2	0.3	0.4	2.0	0.3	1.1	1.0	0.3	0.1	0.5	4.0	0.3	1.6	1.47									
<i>Rhus trichocarpa</i>	2.4	2.7	1.3			3.6		0.1			2.1	1.0	0.4	0.3	0.5			0.3	1.4	1.6	1.7		1.2		6.2	1.4	0.6	4.6	1.2	0.3							1.10					
<i>Acer pseudo-Sieboldianum</i> var. <i>koreanum</i>	1.6	1.9	3.6	2.5	6.8	4.5	2.7	13.7	3.2		0.3	4.7	1.7	6.3			2.2	0.9	4.5	1.9	4.3	3.7	2.5	3.8	1.1	2.3	1.9	0.1	3.9	1.7	1.8	1.6	3.14									
<i>Phonimus Maschii</i>	3.0	2.6	3.8	10.1	4.6	0.7	14.1	12.0	2.8		8.5	1.7	0.7	3.9			5.4	3.1		2.4	3.3	4.6	25.5	7.3	12.8	20.2	0.2	11.8							1.9	5.41						
<i>Kalopanax pictum</i> var. <i>lyticum</i>	0.4		1.5	0.6			0.7		0.4		0.1	1.0	1.6					0.6	0.4	2.1																2.5	0.9	0.60				
<i>Dendrobenthamia japonica</i> for. <i>lyptea</i>		0.6	1.3	2.2	0.9		0.6	0.7		0.4	0.3	1.7	0.7	1.2		1.0		0.3	1.3	1.9			3.0	0.7	1.9	2.2	0.8	0.3	0.9	0.3	1.3						0.40					
<i>Styrax Obassia</i>	1.2	3.1	0.7	1.8	1.4	1.0	1.9	0.7	1.4		0.7	3.9	1.0	1.7		1.0	1.7	1.4	0.8	0.6	1.0	2.2	3.4	7.8	6.3	5.8	0.1	2.3	1.0	0.8	1.1	1.81										
<i>Fraxinus rhynchophylla</i>	1.2					1.7	0.6		1.0	2.9	0.8						1.5			1.1	0.7																0.5	0.5	2.6	7.3	1.02	
<i>Viburnum grossum</i> var. <i>punctatum</i>	1.2	0.3	1.9		1.8	2.0					1.1	1.3	1.2					0.9	5.9	7.0	1.3																	0.5	0.8	0.8	0.3	0.90

*X = (relative density + relative dominance) / 2

을 이용하였다.

토양분석: 채취된 토양을 실온에서 氣乾시켜 분쇄한 後, 2 mm 체로 친 다음 各가지 分析에 使用하였다. pH는 토양과 증류수의 무게比를 1:2로 하여 잘 저어준 後 glass electrode pH meter(Corning, model 10)로 측정하였다. 치환성 양이온(K^+ , Ca^{++} , Na^+)은 pH 7.0, 1.0 N ammonium acetate로 추출한 後 flame photometer (Corning, model 400)로 측정하였다. 가용성 인량은 Bray's method (Bray, 1948)에 의거 spectrophotometer(Pye Unicam, model SP 8-100)로 측정하였으며, 토양組成은 pipette method를 利用한 mechanical analysis에 의거하였다(Ball, 1976). 氣乾된 토양을 0.5 mm 체로 친 後, 105°C에서 4시간 동안 oven dry시킨 다음, 작열 소실량과 쏘 질소량 측정에 사용하였다. 작열소실량은 450°C furnace에서 4시간 동안 태운 後, 태우기 前, 後의 무게 감소의 비율로써 측정하였으며(吳, 1980), 쏘 질소량은 micro-kjeldahl法으로 정량하였다.

結果 및 論議

32 stands (sites)에서 수집된 木本은 총 72種이며, 이중 주요 樹種의 stand別 分布는 Table 1과 같다.

서나무는 모든 stand에 分布되어 있으며, 소나무는 22 stands에 出現하고 있으나, 이 두 種의 평균 X값은 各々 12.2%, 20.9%로서, 서나무는 숲지소에 걸쳐 흔하나 작은 개체가 많은데 비하여, 소나무의 개체수는 서나무보다 적으나 큰 것이 많음을 나타내고 있다. 또한 소나무가 많이 出現하고 있는 stand에서는 까치박달, 갈참나무 등이 눈에 띄게 적게 자라고 있다.

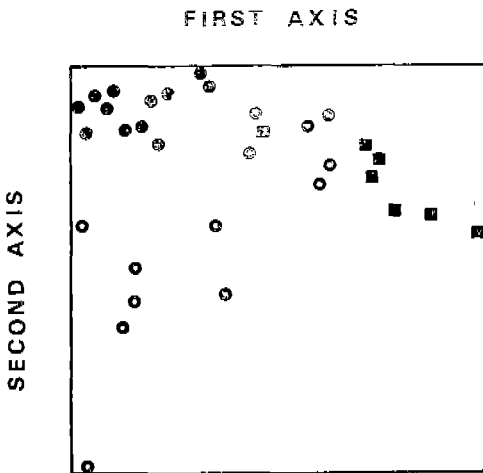


Fig. 2. RA ordination of thirty-two stands based on forty-six tree species in Kwangnung forest. ●, stand in broad leaved forest; ○, stand in mixed forest; ■, stand in coniferous forest.

Original data matrix에서 頻度數가 2以下인 種을 제거하니, 46種, 32 stand의 data matrix를 작성하였으며, data matrix의 性質을 파악하기 위하여 우선 RA分析을 시행하였다(Gauch, 1977). Fig. 2는 RA stand ordination 결과를 1, 2축에 의한 I/II평면 위에 나타내고 있다. Fig. 2에서 各 stand는 1축과 2축 위에서 뚜렷히 분리되고 있지 않으나, I/II평면의 대각선상에 各 stand를 투사하였을 때 나타나는 배열은, 오른쪽부터 왼쪽으로 활엽수림, 혼합림, 침엽수림 stand의 순서임을 알 수 있다. RA 결과 제 1축은 total variance의 24%를, 제 3축까지는 49%만을 나타내는데 그치고 있다. Presence/absence와 octave scale로 변형된 transformed data matrix로 RA를 시행한 결과(Gauch, 1977), 1, 2축에 의한 total variance의 집중률은 35%,

36%만을 각속 나타내었다.

Total variance의 집중률이 높을수록 ordination 결과의 分析이 용이함을 생각할 때 (Austin and Greig-Smith, 1968), 본 연구에서는 presence/absence, octave scale 등의 transformed data 보다, original data를 使用하는 것이 더 효과적일 것으로 사료된다. 따라서 以後의 PO를 除外한 모든 ordination은 untransformed data로 시행하였다. Successive refinement의 과정을 거쳐 (Gauch, 1977; Gauch *et al.*, 1977), original data 속의 sample clusters, outliers, rare species 등을 제거한 後, 최종적으로 19種, 25 stands의 축소된 data

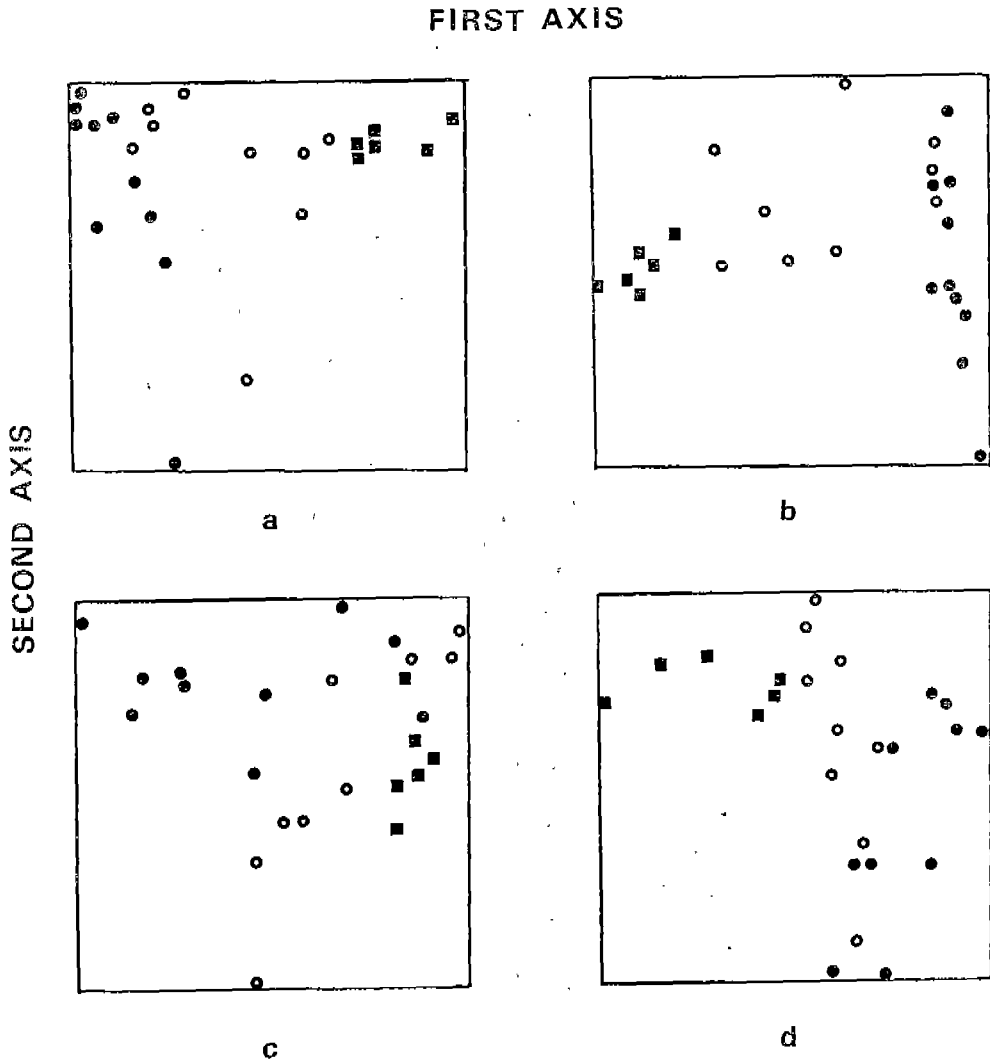


Fig. 3. Ordinations of twenty-five stands based on nineteen tree species in Kwangnung forest by four techniques: (a), RA; (b), centered PCA; (c), centered-standardized PCA; (d), PO. ●, stand in broad leaved forest; ○, stand in mixed forest; ■, stand in coniferous forest.

matrix를 얻었으며, 이것으로 PO, PCA, RA 등의 3가지 ordination을 시행하였다.

Stand ordinations. Fig. 3은 RA(a), centered PCA(b), centered-standardized PCA(c), PO(d)등의 4가지 종류의 stand ordination 결과를 보여주고 있다. a, b, c, d 모두 각 stand는 제 1축 위에서 활엽수림, 혼합림, 침엽수림의 順序로 배열되는 경향이며, 제 2축에서의 배열은 stand間的 별다른 차이를 나타내고 있지 않다. PO(Fig. 3 d)의 결과는 혼합림의 stand들이 제 1축의 中央에 몰려있고 제 2축상에는 넓게 퍼져있음을 보여준다. Centered PCA (Fig. 3 b)에서는 활엽수림의 stand들이 제 1축의 오른쪽에 압축되어 있는 특징을 나타내며, centered-standardized PCA (Fig. 3 c)에서는 Fig. 2와 비슷하게 각 stand들이 I/II 평면의 대각선상에 활엽수림, 혼합림, 침엽수림의 순서대로 배열됨을 볼 수 있다. 대

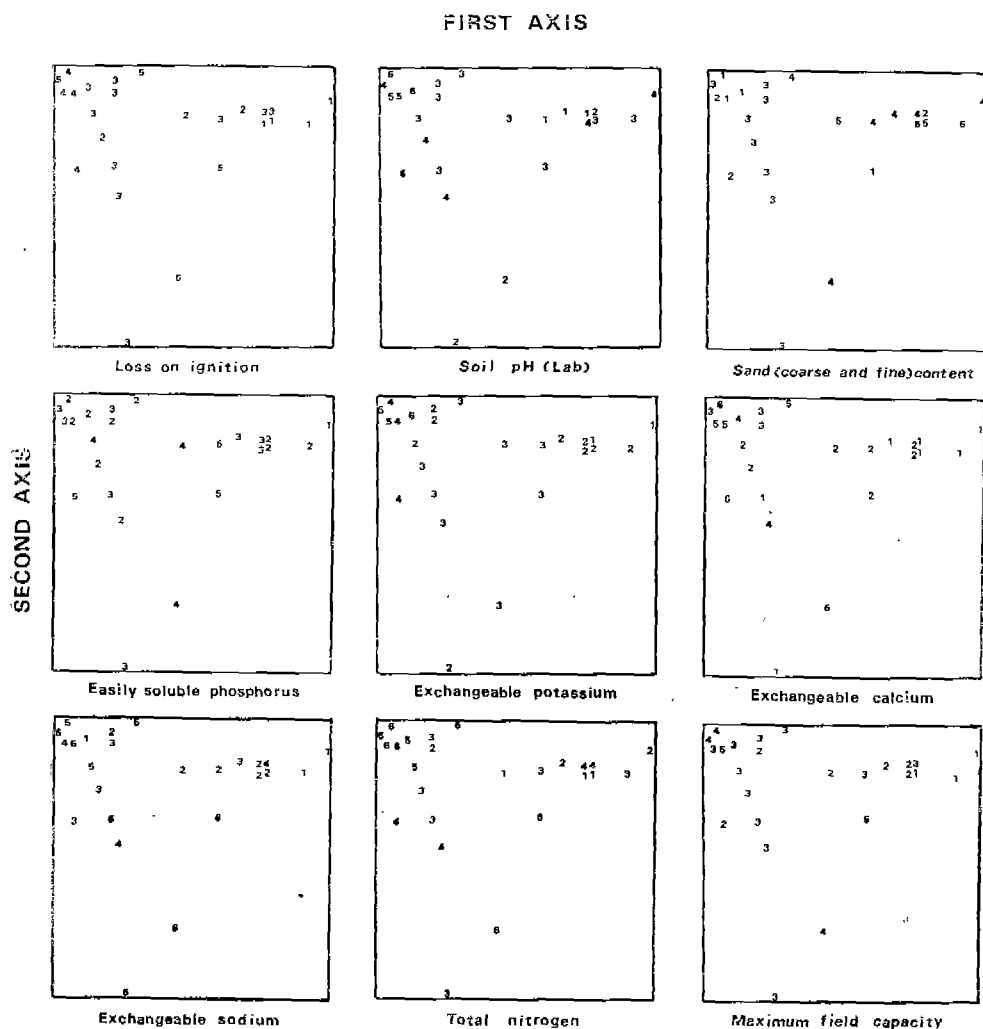


Fig. 4. Distribution of nine environmental variables on the I/II plane (first and second axes) of RA stand ordination of Kwangnung forest.

Table 2. Spearman's rank correlation coefficient between four kinds of stand ordination: PO, centered PCA, centered-standardized PCA and RA

	Centered PCA	Centered-standardized PCA	RA
PO	.918	.831	.694
centered PCA		.732	.972
centered-standardized PCA			.798

제 4 가지의 stand ordination 결과는 비교적 잘 일치하고 있으며, 이들 간의 Spearman's rank correlation coefficient를 Table 2에 나타냈다(Peet and Loucks, 1977).

RA와 centered PCA에 있어서 최초 3축은 total variance의 63%, 77%를 각각 나타내고 있으나, centered-standardized PCA의 경우는 단지 46%에 불과하다. 이것은 主要樹種들이 standardization된 결과에 기인한다고 추측된다.

Environmental Trends on Stand Ordinations. 각 stand에 따른 種組成의 변화에 관련되는 主要 환경요인을 살펴보기 위하여, 야외조사 및 실내分析에서 얻어진 18가지의 환경요인 중 主要한 9가지의 환경요인들을 RA stand ordination 결과의 최초 2축에 의한 I/II 평면상에 표시하였다(Fig. 4). 각 환경요인들은 6 등급으로 나뉘어 표시되었으며, 등급별 각 환경요인의 범위는 Table 3과 같다. 또한 각 site 別로 측정된 모든 환경요인들을 RA stand ordination 결과의 제 1축, 2축의 stand score에 대하여 상관 분석을 하므로써, 둘 사이의 관계를 정량적으로 살펴보았다. 상관분석 결과는 Table 4에 나타나 있다. 分析 결과, 모두 18가지의 환경요인 중 11가지의 환경요인이 제 1축의 stand score와 유의한 상관을 보였다. 특히 제 1축의 stand score와 치환성 칼륨량, 砂土함유량과의 상관계수는 각각 -.686, -.649로써, 1%수준 이상의 매우 有意한 상관 관계를 나타내고 있다. 즉 활엽수림에서 침엽수림으로 갈수록 토양표층에서의 砂土함유량은 증가하는 반면, 최대용수량, 공극량, 토양 pH, 작열소실량, 치환성 양이온, 조질소량 등은 점점 감소하는 경향이며, 이러한 경향은 Fig. 4에서도 분명히 나타나 있다. 이것은 甴(1958), Peet and Loucks(1977) 등의 결과와 일치하며, 토양의 砂土함유량이 증가할수록, 保水能이 낮아지고, 이에 수반된 용탈에 의한 무기양소의 감소의 결과라고 추측된다. 前記한 여러 무기양소와는 달리, 가용성 인량은 제 1축의 stand score와 전혀 상관이 없는 것으로 나타났으며, 이 점에 대해서는 차후의 연구時 다시 살펴 볼 필요가 있다고 생각한다. 총 밀도 및 토양가압축능도 활엽수림에서 침엽수림 stand로 갈수록 증가하는 경향을 보였다. 제 2축의 stand score와의 상관분석에서는 치환성 나트륨량과 高度 등의 두 환경요소만이 5% 수준의 有意한 부 상관 관계를 나타내고 있을 뿐, 植生과 연관이 있어 설명할 수는 없었다. 한편 PO, centered PCA, centered-standardized PCA의 3가지 stand ordination 결과와 前記한 환경요소 사이의 상관 분석을 시도하였으며, 그 결과는 Table 4와 같다. 3가지의 상관분석 결과는 RA의 결과와 대체적으로 일치하였으며, 특히 PO의 경우에는, 대부분의 환경요소에 대하여 RA보다 더 有意한 수준의 상관 관계를 나타내고 있다.

Species Patterns on Stand Ordination. Fig. 5는 9種의 主要樹種의 分布를 RA stand ordination 결과의 최초 1, 2축에 의한 I/II 평면상에 나타낸 그림이다. Fig. 5에 표시된 各種의 數度는 7 등급으로 나뉘어 표시되었으며, 등급별 X값의 범위는 Table 5와 같다. 까치박달과 갈참나무는 1축의 왼편 stand에 집중적으로 出現하며, 소나무는 그 反對임을 볼

Table 3. The ratings representing ranges of the different environmental variables on the I/II plane (first and second axes) of the RA stand ordination (Fig. 4)

Class	Loss on ignition(%)	Soil pH(Lab.)	Sand(coarse & fine) content(%)	Easily soluble phosphorus(ppm)	Exchangeable potassium(ppm)	Exchangeable calcium(ppm)
1	< 8.0	< 4.50	< 35	< 4	< 85	< 150
2	8.0 - 10.5	4.50 - 4.65	35 - 45	4 - 8	85 - 125	150 - 250
3	10.5 - 13.0	4.65 - 4.80	45 - 55	8 - 12	125 - 165	250 - 350
4	13.0 - 15.5	4.80 - 4.95	55 - 65	12 - 16	165 - 205	350 - 450
5	15.5 - 18.0	4.95 - 5.10	65 - 75	16 - 20	205 - 245	450 - 550
6	18.0 <	5.10 <	75 <	20 <	245 <	550 <

Exchangeable sodium(ppm)	Total nitrogen(%)	Maximum field capacity(%)	Pore space(%)	Depth of soil(cm)	Soil compressibility(kg/cm ²)
1	< 6.5	< 60	< 60	< 17.5	< 0.10
2	6.5 - 7.5	60 - 70	69 - 70	17.5 - 22.5	0.10 - 0.25
3	7.5 - 8.5	70 - 80	70 - 80	22.5 - 27.5	0.25 - 0.40
4	8.5 - 9.5	80 - 90	80 - 90	27.5 - 32.5	0.40 - 0.55
5	9.5 - 10.5	90 - 100	90 - 100	32.5 - 37.5	0.55 - 0.70
6	10.5 <	100 <	100 <	37.5 <	0.70 <

Thickness of litter layer(cm)	Field soil pH	Field soil moisture(%)	Bulk density(gr/cm ³)	Basal area(m ² /are)	Elevation (sea level,m)
1	< 2.0	< 6.3	< 2.0	< 1500	< 180
2	2.0 - 2.5	6.3 - 6.4	2.0 - 2.8	1500 - 2000	180 - 260
3	2.5 - 3.2	6.4 - 6.5	2.8 - 3.6	2000 - 2500	260 - 340
4	3.2 - 3.8	6.5 - 6.6	3.6 - 4.4	2500 - 3000	340 - 420
5	3.8 - 4.4	6.6 - 6.7	4.4 - 5.2	3000 - 3500	420 - 500
6	4.4 <	6.7 <	5.2 <	3500 <	500 <

Table 4. Correlation coefficients between eighteen environmental variables and the stand scores of the first and the second axis by four ordination technique; * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

Environmental variable	Stand scores of the first axis				Stand scores of the second axis			
	RA	PO	Centered PCA	Centered - standard - ized PCA	RA	PO	Centered PCA	Centered - standard - ized PCA
Loss on ignition	-.549**	.662**	.462*	-.569**	-.131	-.379	-.262	.055
Soil pH(Lab.)	-.516**	.440*	.460*	-.688**	.281	-.228	-.287	.091
Sand content	.649**	-.701**	-.573**	.670**	-.040	.355	.172	-.222
Easily soluble phosphorus	.017	.104	-.040	.087	-.179	-.234	-.173	-.003
Exchangeable potassium	-.685**	.731**	.631**	-.688**	.111	.224	-.117	.463*
Exchangeable calcium	-.614**	.669**	.546**	-.692**	.052	-.350	-.319	.000
Exchangeable sodium	-.479*	.513**	.446*	-.289	-.469*	-.508**	-.130	.165
Total nitrogen	-.584**	.600**	.470*	-.750**	.018	-.366	-.436*	.092
Maximum field capacity	-.541**	.710**	.406*	-.508**	-.147	-.292	-.111	.298
Pore space	-.535**	.643**	.452*	-.615**	-.013	-.324	-.233	.444*
Depth of soil	.267	-.294	-.207	.491*	-.065	.206	.218	-.080
Soil compressibility	.422*	-.560**	-.405*	.341	.176	.335	.225	-.604**
Thickness of litter layer	-.351	.375	.323	-.195	-.389	-.536**	-.429*	.107
Field soil pH	.364	-.372	-.336	.349	.079	.110	.026	.258
Field soil moisture	-.213	.240	.155	-.492*	.203	.059	-.276	-.089
Bulk density	.381	-.371	-.361	.256	-.028	.364	.307	-.024
Basal area	.543**	-.450*	-.530**	.470*	-.132	.057	-.112	.155
Elevation	.064	.025	-.030	.057	-.442*	-.366	-.270	.427*

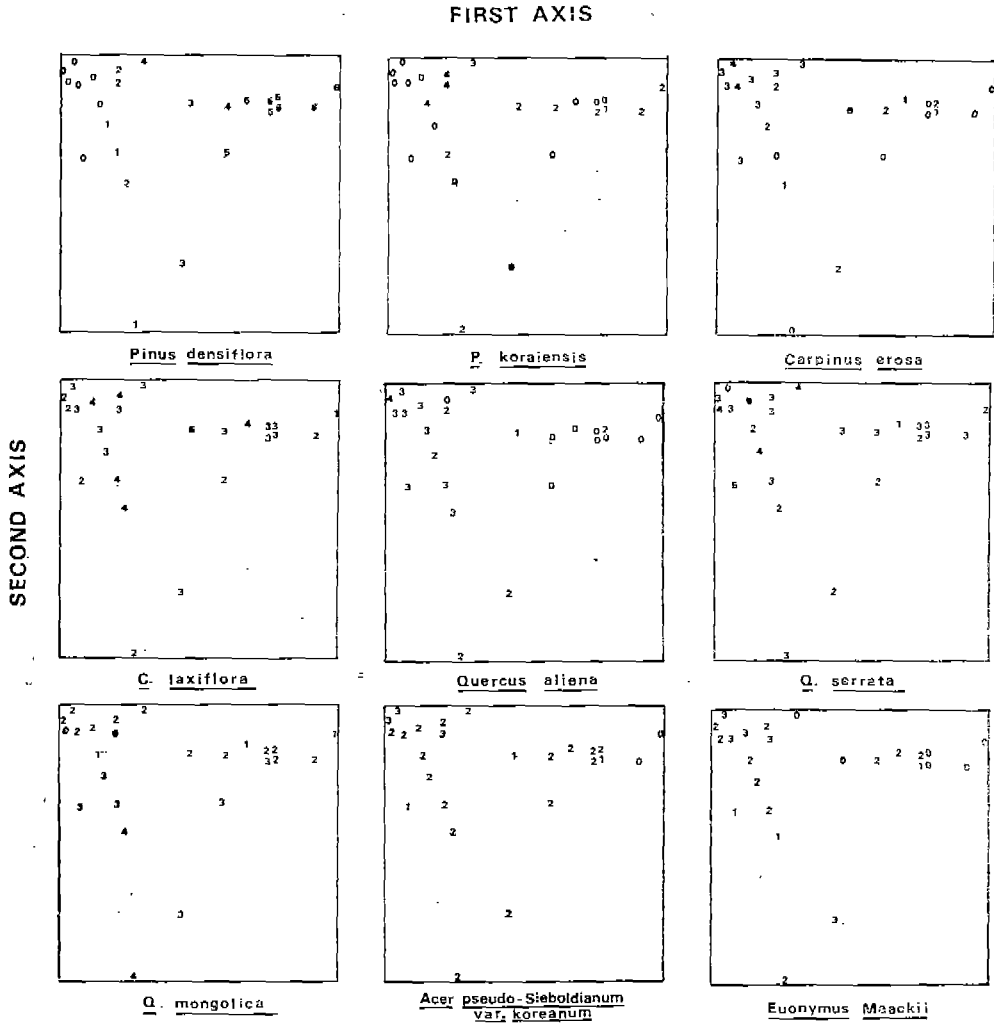


Fig. 5. Distribution of nine tree species on the I/II plane (first and second axes) of the RA stand ordination based on nineteen tree species in Kwangnung forest.

Table 5. The scales representing the abundance of tree species on the I/II plane (first and second axes) of RA stand ordination

Class	Range of X value(%)
6	60~100
5	40~60
4	20~40
3	5~20
2	1~5
1	0~1
0	—

수 있다. 서나무, 졸참나무, 신갈나무 등은 제 1 축상에 균등히 나타나고 있으며, 관목 층의 좁은잎참빗살나무, 좁은단풍나무 등은 활엽수림과 혼합림 stand에 주로 分布하고 있다.

Species Ordinations. Fig. 6은 19種에 對한 PO, centered PCA, centered-standardized PCA, RA 등의 4가지 species ordination 결과를 최초 1, 2 축에 의한 I/II 평면상에

표시한 그림이다.

Fig. 6에서는 소나무가 species ordination 결과에 미치는 영향이 잘 나타나 있다. Centered-standardized PCA (Fig. 6 c)를 除外한 나머지 3가지의 species ordination 결과를 볼 때 (Fig. 6 a, b, d), 대부분의 種들은 제 1축상의 한쪽 끝으로 압축되어 있으며, 이것은 abundant species인 소나무의 영향 때문이라는 것을 쉽게 알 수 있다. 特別 centered PCA (Fig. 6 b)의 결과를 볼 때, 조사지역內에서의 소나무는 dominant outlier (Whittaker and Gauch, 1978)라고 생각된다. 그러나 centered-standardized PCA (Fig. 6 c)의 경우는 各種이 unit variance로 standardization 되었기 때문에 上記한 경향을 보이지 않고, 모든 種들이 1, 2축상에 균등히 分布하고 있으며, 제 1축상에서의 各種의 배열 순서로써 光陵林에서의 遷移과정을 추정할 수 있었다. 과거의 연구(吳, 1958; 金, 1976)와 species ordination 결과로써 光陵林에서의 主要 木本들의 遷移과정을 아래와 같이 추정하였다(Table 6).

Table 6. Successional trends of the major tree species in Kwangnung forest

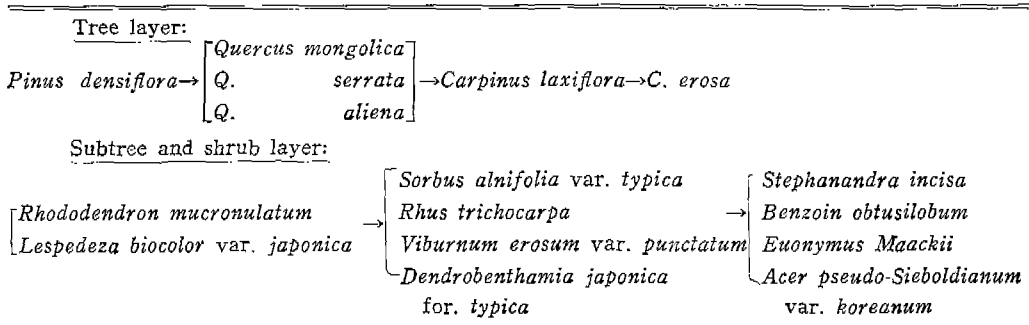


Fig. 6 c에서, 제 1축상에서의 서나무의 위치가 中央에서 약간 오른쪽으로 치우친 것은, 서나무가 모든 stand에서 다 出現하는 common species이기 때문이며 (Gauch, 1977), 실제 遷移과정의 순서를 나타낸 것이 아니라고 추측된다. 金(1976)은 光陵林內의 主要 樹種에 對한 直徑階 分布의 연구에서, 갈참나무가 졸참나무보다 遷移과정에서 먼저 나타난다고 보고했으나, 본 연구의 species ordination 결과로 볼 때에는 신갈나무 → 졸참나무 → 갈참나무의 순서로 遷移가 進行되고 있는 것 같다. 光陵林에 對한 과거의 기록(농사원임업시험장, 1959)과 본 연구에서 조사한 각 stand에서의 種組成 및 소나무, 잣나무, 까치박달 등의 種間상관을 살펴볼 때, 잣나무는 소나무의 후계목으로 소나무를 대체시키는 것이 아니라, 소나무와는 다른 별개의 pathway로 참나무類 또는 서나무로 대체되어 간다고 생각된다. 다만 잣나무는 소나무보다 더 습윤한 지역에서 生育한다는 사실과, 極相種이라고 추측되는 까치박달과 흔히 같이 出現하는 점으로 보아, 잣나무 → 참나무類 혹은 잣나무 → 서나무로의 遷移속도가 소나무 → 참나무類의 경우보다 빠른 것으로 추측되며, 잣나무, 서나무, 까치박달 등이 서로 共存할 가능성도 배제될 수 없다고 생각한다.

Gauch(1977)는 ordination performance에 영향을 미치는 여러 요인中에서 beta diversity, sampling errors, outliers, disjunction 등을 主要요인으로 들고 있다. 일반적으로 data set의 beta diversity가 증가할수록 ordination performance는 감소하지만, 그 정도는 ordination 방법에 따라 큰 차이가 있음이 밝혀졌다(Gauch et al., 1977). 즉 PCA는 beta diversity에 가장 민감하며, PO, RA의 順으로 beta diversity의 영향을 덜 받는다. 光陵林의 植物

相은 매우 다양하기 때문에, 이곳의 beta diversity는 비교적 클 것으로 예상하였으나, coenocline을 가정한 primary data matrix에서 추정된(Pielou, 1975) 光陵林의 beta diversity는 1.5~1.8 HC에 불과하였다. 이것은 光陵林 전체면적이 4×8 km에 불과하고, 또 표집 對象을 木本에만 국한시켰기 때문이라 생각된다. 光陵林의 낮은 beta diversity로 미루어 볼 때, heterogeneity가 ordination performance에 미치는 영향은, 본 연구에서는 거의 무시하여도 될 것이다. Sampling error가 클수록 ordination performance가 저하된다는 것은 당연한 理致이나, sampling error는 beta diversity와 복합적으로 作用하여 ordination performance에 큰 영향을 미친다는 것이 보고되었다(Gauch *et al.*, 1977), 즉 beta diversity가 낮아질수록, ordination performance에 미치는 sampling error의 영향은 점점 커진다. 본 연구에서의 sampling error는 25% 정도로 추정되었으며(Pielou, 1975; Gauch *et al.*, 1977), coenocline을 가정한 光陵林의 beta diversity를 3HC로 가정했을 때, sampling error에 의한 sequence reversal은 ordination 방법에 따라 25~35%에 미치고 있다(Gauch *et al.*, 1977). 본 연구에서 시행한 여러 ordination 결과에서 total variance의 집중율이 비교적 낮았던 그 重要한 이유는, 낮은 beta diversity에 수반되어 ordination performance에 미치는 sampling error의 영향이 증가되었기 때문이라고 추측된다. 전반적으로 centered PCA를 除外한 PO, centered-standardized PCA, RA 등의 세가지 ordination 방법들은 光陵群集의 分析에 효과적인 결과를 나타냈다고 여겨지며, 이 중 어느 한 방법의 결과보다 여러 방법의 결과를 종합적으로 分析하므로써, 光陵林의 植生 構造 및 非生物요인과의 관계를 보다 分明히 이해할 수 있다고 생각한다. 본 조사에서 시행한 preferential sampling 以外에 grid를 利用한 random sampling 또는 systematic sampling을 시행하므로써 보다 더 객관적인 결과를 기대할 수 있을 것이다. 본 조사에서 표집한 木本과 함께, 草本 및 토양미생물(Pemadasa and Muller-Dombois, 1979)등을 포함하여 연구하므로써, 또한 cluster analysis와 같은 方法을 ordination 방법과 同時에 適用하므로써, 조사지에서의 식물 군집의 分布 및 非生物요인 사이의 관계를 좀 더 통합적으로 이해할 수 있을 것이다. 대부분의 생태학적 연구과정에 있어서는, 여러 종류의 生物的 또는 非生物的 요인을 同時에 다루게 되므로, 군집의 記述이나 가설 檢驗을 위한 方法으로써, 다변수 分析은 가장 有用하게 使用될 수 있으며(Green, 1980), 이러한 方法은 한국 중, 남부 지역의 다른 森林 群集의 分析에도 효과적일 것으로 생각된다.

摘 要

경기도 光陵林 內 32 장소에서 표집된 木本을 對象으로, 3 가지 다변수 ordination methods (Polar ordination, Principal component analysis, Reciprocal averaging)를 適用한 결과, 光陵森林群集은 침엽수림, 혼합림, 활엽수림의 3 가지 森林型으로 구분되었다. 각 장소에서 測定한 여러 환경요소들과, stand ordination 결과 얻어진 stand scores와 상관분석을 시도해 본 결과, 침엽수림에서 활엽수림으로 갈수록 토양 표층에서의 砂土함유량은 감소하는 반면, 최대용수량, 공극량, 치환성 양이온, 작열소실량, 토양 pH, 준질소량 등은 매우 유의하게 증가하는 경향을 보였다. centered-standardized PCA의 speciles ordination 결과에서 추정된 光陵林 內의 교목층의 主要 遷移과정은 소나무→신갈나무, 졸참나무, 갈참나무→서나무→까치박달 등의 順이었으며, 이는 과거의 연구 결과와 거의 일치한다. 19種, 25

장소의 data 로 시행된 3 가지 ordination(RA, centered PCA, centered-standardized PCA)에서, 최초 3 축에 의한 total variance 의 집중률은 각각 63%, 77%, 46%이었다. Coenocline 을 가정한 primary data matrix 에서 추정된 光陵林의 beta diversity 는 1.5~1.8 HC 이었으며, 이같이 낮은 heterogeneity 는 ordination performance 에 미치는 sampling error 의 영향을 증가시킨 결과 total variance 의 집중률이 낮아진 것 같다. 본 연구에서 시행한 PO, centered PCA, centered-standardized PCA, RA 등의 4 가지 ordination method 는 비교적 일치된 결과론 나타냈으며, 특히 PO, RA, centered-standardized PCA 등의 다변수 분석은 한국 中, 南部 지역의 다른 森林群集의 分析에도 효과적인 것으로 생각한다.

參 考 文 獻

- 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. *Journal of Ecology* 56 : 827~844.
- Ball, D. F. 1976. Sites and soils. In *Methods in plant ecology*, S. B. Chapman (ed.), pp. 297~367. Blackwell Sci., Oxford.
- Bray, R. H. 1948. Correlation of soil tests with crop response to added fertilizer requirement. In *Diagnostic technique for soils and crops*. pp. 53~86. The American Potash Institute, Washington, D. C.
- Bray, J. R. and J. T. Curtis. 1957. An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecol. Monogr.* 27 : 325~349.
- 鄭台鉉. 1965. 한국 동식물도감, 식물편(목, 초본류). 삼화출판사, 서울, 한국. p. 1824.
- Dilworth, J. R. and J. F. Bell. 1972. Variable probability sampling: variable plot and three-P. Oregon State Univ. Book store, Inc., Corvallis, Oregon. p. 129.
- Gauch, H. G. Jr. 1973. The quantitative evaluation of the Bray-Curtis ordination. *Ecology* 54 : 618~622.
- _____. 1977. ORDIFLEX: A flexible computer program for four ordination techniques-weighted averages, polar ordination, principal component analysis and reciprocal averaging-release. B. Cornell Univ. Press, Ithaca, New York, p. 185.
- _____, R. H. Whittaker and T. R. Wentworth. 1977. A comparative study of reciprocal averaging and other ordination techniques. *Journal of Ecology* 65 : 157~174.
- _____, _____ and S. B. Singer. 1981. A comparative study of nonmetric ordinations. *Journal of Ecology* 62 : 135~152.
- Goodall, D. W. 1954. Vegetational classification and vegetational continua(Germ. Summ.). *Angew. Pflanzensoziol.*, Wein, Festschr. Aichinger 1 : 168~182. (Quoted in Whittaker, 1967).
- Green, R. H. 1980. Multivariate approaches in ecology: The assessment of ecologic similarity. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 11 : 1~14.
- Hill, M. O. 1973. Reciprocal averaging: An eigenvector method of ordination. *Journal of Ecology* 61 : 237~249.
- 金允東. 1976. 광릉 삼림군집내 주요수종의 직경계분포에 관한 연구. 석사학위논문, 서강대학교, 서울, 한국. p. 30.
- Muller-Dombois, D. and H. Ellenberg. 1974. Aims and methods of vegetation ecology. pp. 45~66. Wiley, New York.

- 농사원 임업시험장. 1959. 광릉임업시험요람. 임업시험장, 서울, 한국. p.118.
- Noy-Meir, I., D. Walker and W.T. Williams. 1975. Data transformations in ecological ordination. II. On the meaning of data standardization. *Journal of Ecology* 63 : 779~800.
- 吳桂七. 1958. 광릉삼림의 식물군락학적 연구(1). 중앙대학교 논문집, 3 : 285~310.
- Oh, K. C. 1959. Synecological studies on some of the forest communities in Kwangnung(Part II). *Theses collection Chungang Univ.* 4 : 497~519.
- 吳明善. 1980. 청계산지의 수종 화분과 식물의 미분포에 대하여. 석사학위논문, 서강대학교, 서울, 한국. p.44.
- Peet, R. K. and O. L. Loucks. 1977. A gradient analysis of southern Wisconsin forests. *Ecology* 58 : 485~499.
- Pemadasa, M. A. and D. Muller-Dombois. 1979. An ordination study of montane grassland of Sri Lanka. *Journal of Ecology* 67 : 1009~1023.
- Pielou, E. C. 1975. Ecological diversity. pp.99~104. Wiley, New York.
- Swan, J. M. A. 1970. An examination of some ordination problems by use simulated vegetational data. *Ecology* 51 : 89~102.
- Whittaker, R. H. 1967. Gradient analysis of vegetation. *Biol. Rev.* 49 : 207~264.
- _____ and H. G. Gauch, Jr. 1978. Evaluation of ordination techniques. In *Ordination of plant communities*, R. H. Whittaker (ed.), pp.279~336. Junk, The Hague.

(1982. 4. 20. 接受)