

반자연 소나무 숲에 있어서의 Ordination 미분류 및 인근 효과(경쟁)에 대하여

오 계 철 · 이 근 섭
서강대학교 이공대학 생물학과

On Ordination, Clustering and Neighbourhood Effects in the Semi-natural Pine Stands in Central Korea

Oh, Kye Chil and Kun Seop Lee

Dept. of Biology, College of Science and Engineering, Sogang University, Seoul

ABSTRACT

To discern general tendency in relatively pure even-aged pine stands, to group the stands and to perceive neighbourhood effects a total of 39 sites of pine stand was surveyed from nearby Seoul (12 sites), Chunsung, Kangwon (13 sites) and Sosan, Chungnam (14 sites), for herb and shrub species 32, 19; 37, 19 and 41, 14 in the respective areas from September 1987 to July 1988.

In terms of detrended correspondence analysis (DECORANA), the stands were subjected to ordinate with 16 physical variables and the vegetational variables. The resource ratio (N:P, N:K, P:K) as physical variables also was tried out in the DECORANA as well as independent variable (N.P.K). The outcome did not show any meaningful difference. It is suggested that there seems to be no apparent interaction among the elements in this study.

Three vertical vegetation component, that is, tree layer, shrub layer, herb layer were subjected to DECORANA independently, pairwise and as a whole (a total of 7 combinations). Of those analysis herb layer trial alone seems to indicate relatively clearer differences among the physical variables.

In the stands nearby Seoul first axis indicated soil field capacity and exchangeable cations (K, Ca and Na) and second axis did not show any tendency. For the Chunsung stands first axis also revealed soil field capacity and amount of organic matter and second axis showed amount of exchangeable cation (K, Ca and Na). In the Seosan stands 1st axis indicated pH and exchangeable cations (K, Ca and Na).

For the 39 sites 4 clusters in terms of herb layer might be defined: *Peucedanum terebinthaceum* - *Cymbopogon tortilis* - *Polygala japonica* - *Festuca ovina* (1); *Atractylodes japonica* - *Patrina scabiosaefolia* (2); *Potentilla fragarioides* - *Atractylodes japonica* (3); and *Cymbopogon tortilis* (4).

In the neighbourhood effects study in terms of the basal area distribution, Thiessen polygon area and Gini coefficient for the *Pinus thunbergii* stands of Seosan the Thiessen polygon area approach seems to indicate earlier (30 years old) neighbourhood effect than the others (45 years).

*1987년도 문교부자유공모과제 학술연구 조성비에 의하여 연구되었음.

서 론

식물 군집 사이나 이들안의 미세한 차이를 통합적으로, 즉 여러 요인을 동시에 종합적으로 알아보고, 군집에 내재하는 경향성을 찾고 미세한 차이를 객관적으로 구분하기 위한 정량 통계학 및 수리학적 방법을 세우기 위한 노력을 오랜동안 지속하여 왔으나 식물 분포 현상의 non-linearity 때문에 그 해결에 어려움이 많았다. 근년에 DECORANA 및 TWINSpan의 고안으로 진일보하였고 그 적용효과도 공인되어 가고 있다(Gauch, 1987; Greig-Smith, 1983; Hill, 1979a, 1979b; Legendre, 1983; Hobbs, 1988).

우리나라에서는 조와 오(1987)에 의하여 이러한 기법이 우리나라 소나무 군집에 대하여 시도된 바 있으며 그 결과는 종전의 생태학이나 임학적 방법으로는 탐지할 수 없었던 일반적 경향을 통합적으로 암시해 주었다.

소나무림은 우리나라 전임야 면적의 대부분을 차지하고 있으며 생육에 있어서 많은 광을 요구하며 산지의 남사면 혹은 남서사면에 사토가 많이 함유되어 있는 건조하고 척박한 토양에 주로 자라고 있다(오, 1970).

본 연구는 서울근교, 강원도 춘성군 일대 및 충남 서산군 일대에서 자라고 있는 송백림 내의 식생 분포와 환경요인과의 관계를 통합적으로 고찰하고 이들 군집 내에 숨은 경향성을 찾기 위해 ordination의 한 기법인 DECORANA와 군집분류의 한 기법인 TWINSpan을 동시에 실시하였다.

자연상태에서의 소나무 사이의 경쟁에 대한 수리분석은 Ford(1975)가 시도하였고 오(1981)는 Ford가 언급하지 않은 leptokurtic 분포를 인지하였다. Mithen *et al.* (1984)은 종내경쟁을 탐지하는데 있어 Thiessen polygon의 유용성을 보고한 바 있다.

본 연구는 또한 서산군 일대 곰솔림 내의 종내경쟁을 탐지하기 위해 기저면적과 Thiessen polygon을 동시에 조사하였다.

조사장소

지형 및 식생

서울 근교, 경기도 일원, 강원도 춘성, 홍천군 일대 및 충청남도 서산군 일대의 비교적 잘 보존된 자연생 송백림에서 조사를 실시하였다.

서울 근교와 경기도 일대에서 1987년 9월 13일부터 10월 11일에 걸쳐 12개 site를 조사하였다. Site A1, A2, A3, A5는 의정부시에 위치하며, 많이 관찰되는 관목들은 신갈나무, 풀싸리 등이며 초본으로는 큰기름새, 그늘사초, 양지꽃 등이다. Site A4, A6, A7은 포천군에 위치하며, 토양내 사토함유량이 낮고 최대용수량이 높으며, 비교적 습한 지역이다. 관목으로 갈참나무, 개암나무가 흔히 관찰되고 초본으로는 맑은대쭉, 꽃머느리밥풀, 그늘사초 등이 많이 관찰되었다. Site A8, A9, A10은 고양군에 위치하며 사토함유량이 높고 건조했으며 관목으로 소나무, 풀싸리 등이, 초본으로는 기름새, 개솔새 등이 많이 관찰되었다. Site A11, A12는 과천시에 위치하며 사토함유량이 높고 최대용수량이 낮으며 건조했다. 관목으로 노간주나무, 졸참나무, 진달래 등이, 초본으로는 역새, 기름새, 큰기름새 등이 많이 관찰되었다. 대체로 서울근교 조사장소는 인위적 교란을 받은 지역들이며 site A3, A8, A9, A10, A12는 비교적 더 심한 인위적 교란을 받은 지역으로 보인다.

춘성, 홍천군 일대는 1988년 6월 22일부터 6월 24일까지 13 site가 조사되었다(Fig. 1).

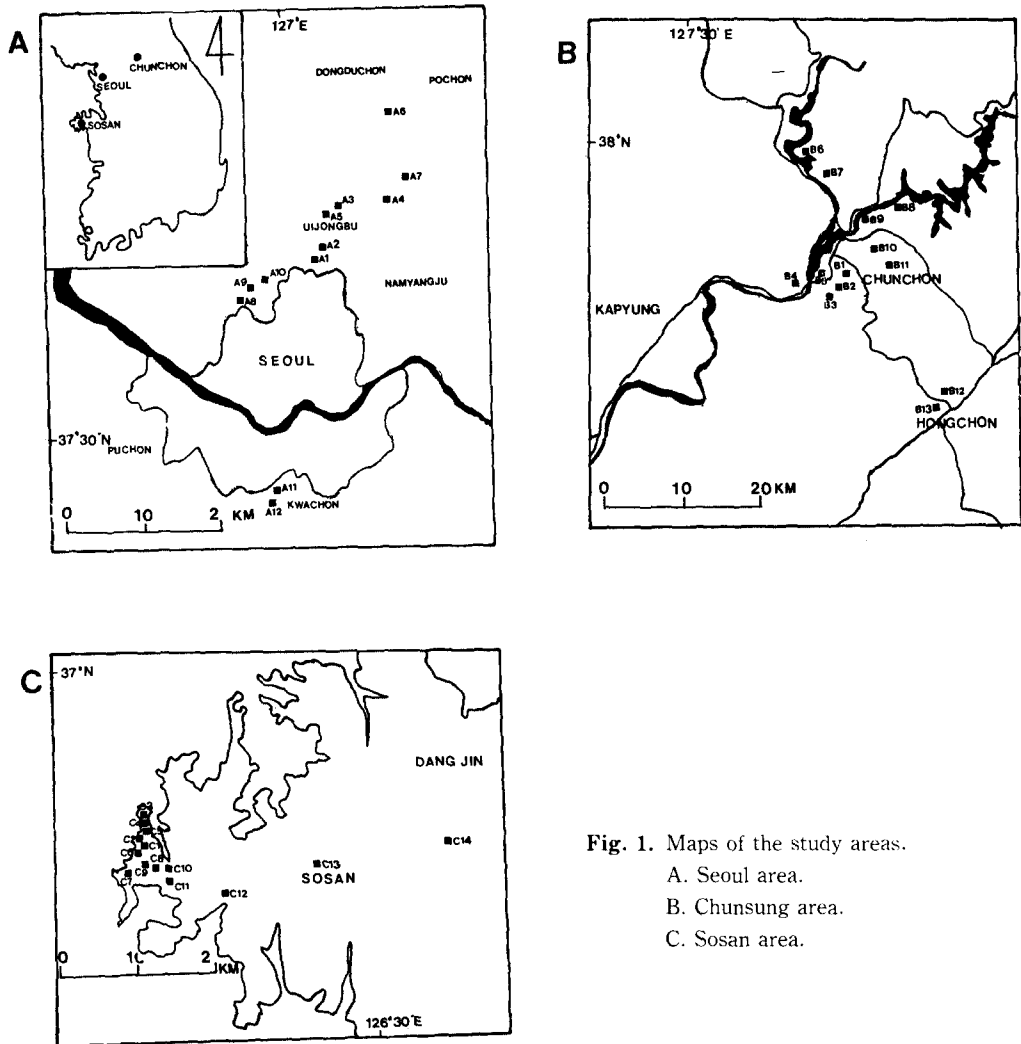


Fig. 1. Maps of the study areas.
 A. Seoul area.
 B. Chungsung area.
 C. Sosan area.

서울 근교에 비해 인위적 교란을 덜 받은 것으로 보였으며 소나무의 생장이나, 초본층의 발달이 더 나은 것 같았다. Site B1, B2, B3, B5, B9은 토양 내 사토함량이 높고 최대 용수량이 낮으며 건조한 지역이며, 관목으로 소나무, 떡갈나무, 풀싸리 등이 초본으로는 큰기름새, 개솔새 등이 많이 관찰되었다. Site B4, B6, B10, B11, B13은 토양내 사토함량이 낮고 비교적 습한 장소이며 관목으로 신갈나무, 풀싸리, 진달래 등이 초본으로는 큰기름새, 맑은대쭉, 참취, 마타리 등이 많이 관찰되었다. Site B6은 솔잎혹파리의 피해를 받고 있는 지역이었다.

서산군 일대는 1988년 7월 17일에서 7월 21일까지 14 sites를 조사하였다(Fig. 1). Site C5와 site C14는 적송림이었으며 site C12, C13은 소나무와 곰솔의 혼생림으로 추측되며 나머지는 곰솔림이었다. Site C14는 솔잎혹파리에 의해 소나무가 거의 말라 죽은 지역이었다. 서울 근교, 춘성군일대에 비해 초본이 매우 풍부하게 나타났고 모든 장소가 비교적 습윤하였다. Site C1, C2, C7, C8, C9, C11에서는 곰솔림 내의 종내경쟁을 탐지하기 위한 조사가 아울러 수행되었다.

기 후

서울 근교의 기후는 서울 측후소(37°34'N, 126°58'E), 춘성군 일대의 기후는 춘천 측후소(37°54'N, 127°44'E), 서산군 일대의 기후는 서산 측후소(36°47'N, 126°27'E)의 30년(1951-1980) 자료(중앙기상대, 1982)를 이용하였다.

서울의 연 평균 강수량은 1,365 mm이며, 최한월인 1월의 평균기온이 -3.5°C, 최난월인 8월의 평균기온이 25.3°C였다. 춘성군일대의 연평균 강수량은 1,286 mm이며 1월의 평균기온이 -4.9°C, 8월의 평균기온이 24.2°C였다.

서산 일대의 연평균 강수량은 1,190 mm이며 1월 평균기온이 -1.9°C, 8월의 평균기온이 24.8°C였다.

방 법

표본 수집 방법

각 site에서 10 m×10 m 크기의 방형틀을 설치하여 소나무의 개목수, 수령, 수고, 수관크기, 흉고 주위 및 최근 5-10년간의 신장생장을 측정하였으며 관목층 조사를 위해 각 site내에서 2 m×2 m 방형틀을 5회 설치하여 관목 출현종의 피도와 수도를 측정하였다. 또한 초본층 조사를 위해 30cm×30cm 방형틀을 30-50회 random하게 설치하여 관찰되는 모든 종의 피도와 수도를 측정하였다. 식물들의 명명은 이(1985)를 따랐다. 초본의 species density와 현존량을 알아보기 위해 50 cm×50 cm 방형틀을 4회 설치하여 방형틀 내에 출현하는 종의 수를 세었으며, 지상부를 채취하였다.

곰솔림 내의 종내경쟁을 탐지하기 위해 각 site에서 80-140개목을 선정하여 이들의 흉고 주위를 측정하고 이 모든 개목의 위치를 모눈종이위에 기록했다. 동시에 각 site 내에서 토심, 낙엽층두께, 토양가압측능을 20회 측정하였으며 고도, 사면향, 경사도 등을 측정했다.

토양요인 분석을 위해 지표의 낙엽을 제거한 후 직경 7.3mm, 높이 6.8 mm의 'soil sleeve'를 사용하여 각 site마다 random하게 3개의 soil을 채취하였다.

분석 방법

토양 분석

채취한 토양은 기건 분쇄한 후 2 mm sieve로 친후에 각가지 토양분석에 사용하였다. 최대용수량은 밀면에 작은 구멍이 뚫린 원통에 흙을 완전히 채우고, 이것을 물로 포화시킨 후 무게를 재고 105°C에서 12시간 oven dry시 시킨 후에 무게를 측정하여 무게 감소비로써 계산하였으며, 토양 pH는 증류수와 토양을 2:1로 혼합한 후 pH meter로 측정하였다(Allen *et al.*, 1976). 사토함량은 mechanical analysis 방법에 의거하였다(Ball, 1976). 가용성인량은 Bray 방법(Bray, 1948)에 의거하여 spectrophotometer로 측정하였고, 치환성 양이온은 1.0 N ammonium acetate buffer(pH 7.0)로 추출한 후 flame photometer를 사용하여 측정하였다(Allen *et al.*, 1976). 유기물 작열소실량은 electric furnace에서 450°C로 4시간 태운 후 태우기 전 후의 무게 감소비로써 측정하였고, 전질소량은 micro-kjeldahl 법으로 정량하였다.

수리분석

1) Ordination과 Classification

Table 1. Vegetational data matrix: Xij values of thirty two herbaceous species from twelve Japanese pine stands nearby Seoul area

Species	Site No.											
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
<i>Festuca ovina</i>									5.6		4.1	
<i>Zoysia japonica</i>			8.7									
<i>Miscanthus sinensis</i>		17.1				7.5	2.4	8.0	4.5		32.6	4.4
<i>Spodiopogon cotulifer</i>								53.2	25.1	26.5	15.2	19.1
<i>Spodiopogon sibiricus</i>	86.2	41.6	69.4	8.9	31.6	12.5	6.2	32.2	19.0	30.0	36.4	47.9
<i>Cymbopogon tortilis</i> var. <i>goeringii</i>	5.5	14.8			11.6	1.1		5.6	1.2	0.7	6.1	12.5
<i>Themeda triandra</i>			16.5						10.2	9.0		0.4
<i>Carex lanceolata</i>	7.5	1.7		25.6	11.2	58.3	7.2		28.3	14.7		4.6
<i>Carex siderosticta</i>				1.5								
<i>Hemerocallis dumortieri</i>							4.3					1.2
<i>Allium thunbergii</i>		0.8			2.8				0.8			1.1
<i>Polygonatum odoratum</i>				2.2			2.1					
<i>Smilax nipponica</i>				0.6								
<i>Iris rossii</i>				2.8	1.7	1.0				3.4		
<i>Clematis brachyura</i>					0.5							
<i>Cocculus trilobus</i>												6.6
<i>Potentilla fragarioides</i>		6.9		2.6	11.8	1.5						
<i>Potentilla freyniana</i>					1.4							
<i>Sanguisorba officinalis</i>		2.8										
<i>Peucedanum terebinthaceum</i>				1.1		0.7	3.3	1.1				
<i>Lysimachia clethroides</i>					1.2							
<i>Cynanchum paniculatum</i>	0.8	1.4								0.4		
<i>Isodon inflexus</i>					4.4							
<i>Melanthyrum vaseum</i>				8.8		0.6	18.9			9.5		
<i>Patrinia villosa</i>		12.9		2.8		1.9						
<i>Platycodon grandiflorum</i>				2.2						0.5	1.8	0.8
<i>Eupatorium chinense</i>				0.7								
<i>Aster scaber</i>				0.7		0.6						
<i>Chrysanthemum boreale</i>											1.6	1.1
<i>Artemisia keiskeana</i>				39.2		15.3	40.9					
<i>Atractylodes japonica</i>			3.2	0.4			11.3			5.0		
<i>Ilex dentata</i>					0.7		0.7					

Table 2. Vegetational data matrix: Xij values of nineteen shrubby species from twelve Japanese red pine stands nearby Seoul area

Species	Site No.											
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
<i>Pinus densiflora</i>		35.1	46.1					15.2	14.1	13.7	1.5	27.8
<i>Juniperus serrata</i>		4.2			1.7	7.6				2.9	2.8	14.6
<i>Alnus hirsuta</i>	6.7								7.4		1.2	
<i>Corylus heterophylla</i> var. <i>thunbergii</i>						33.6	1.8					
<i>Quercus acutissima</i>		2.1	31.4	34.9				1.1			1.7	3.8
<i>Quercus variabilis</i>		6.4		6.7		36.1				13.3		
<i>Quercus dentata</i>	7.5			15.1	14.6		33.4					
<i>Quercus aliena</i>				20.6	6.1	30.4	8.7				2.0	
<i>Quercus mongolica</i>	16.0	17.8	10.0		30.9			3.6	1.3	4.7		5.2
<i>Quercus serrata</i>				4.8				2.5		4.6	12.2	11.8
<i>Prunus levilleana</i>				17.6								
<i>Sorbus alnifolia</i>									2.6			
<i>Lespedeza thunbergii</i> var. <i>intermedia</i>	50.6	17.7	6.1		9.3	18.7	17.9	60.2	32.6	20.8	2.4	9.7
<i>Robinia pseudo-acacia</i>								3.6	10.6	1.9		

Table 2. Continued

<i>Zanthoxylum schinifolium</i>	10.4	1.9											
<i>Rhododendron mucronulatum</i>								11.8		2.2	34.8	7.5	
<i>Rhododendron schlippenbachii</i>										36.0	21.7	19.5	
<i>Symplocos chinensis</i>	1.5											6.2	
<i>Weigela subsessilis</i>		13.9						2.0				4.6	

Table 3. Vegetational data matrix: Xij values of thirty seven herbaceous species from thirteen Japanese red pine stands in Chunsung area

Species	Site No.												
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13
<i>Pteridium aquilinum</i> var. <i>latrussculum</i>						3.4			5.0		1.0	3.1	
<i>Zoysia japonica</i>		1.0			6.2		5.9						
<i>Miscanthus sinensis</i>			19.4	2.9	17.1		3.7	13.1	50.0	2.6	4.5		2.3
<i>Spodiopogon cotulifer</i>				26.3									10.8
<i>Spodiopogon sibiricus</i>	32.3	44.9	34.4		19.3	17.3	9.8	29.3	25.8	46.8	36.7	34.0	26.6
<i>Cymbopogon tortilis</i> var. <i>goeringii</i>	9.1	10.9	10.1	5.7	3.8		0.7	5.4	5.6			5.1	
<i>Themeda triandra</i> var. <i>japonica</i>		1.1	1.2	0.5	3.7			1.1	1.7			0.5	
<i>Carex lanceolata</i>	22.7	6.1	15.3	11.2	44.2	28.6	15.4	20.4		14.8	13.0	30.5	12.0
<i>Carex siderosticta</i>						3.4							
<i>Hemerocallis dumortieri</i>						6.9							
<i>Allium thunbergii</i>													1.8
<i>Polygonatum odoratum</i> var. <i>plunifolium</i>				3.3		1.7		1.6			0.5	0.3	
<i>Smilax nipponica</i>						4.0							
<i>Iris rossii</i>				0.4		0.6		1.3				0.5	
<i>Clematis brachyura</i>		1.9	3.4			2.1						0.3	
<i>Potentilla fragarioides</i> var. <i>najur</i>		3.6			1.5		1.0	1.1		0.7	0.4	0.7	0.9
<i>Potentilla freyniana</i>	0.4				0.4	0.1	0.8	3.8		2.4	0.3	2.7	2.0
<i>Sanguisorba officinalis</i>						0.9						2.0	2.9
<i>Polygala japonica</i>					1.2				0.8				
<i>Viola mandshurica</i>									0.4	1.7			
<i>Peucedanum terebinthaceum</i>	0.5			2.7		0.3	1.5			1.1	0.5	0.6	2.1
<i>Gentiana scabra</i> var. <i>buergeri</i>						0.2					1.1		
<i>Cynanchum paniculatum</i>	0.8	1.6											
<i>Prunella vulgaris</i> var. <i>hilacina</i>							0.6						
<i>Isodon inflexus</i>						1.5					0.7	0.2	
<i>Melampyrum roseum</i>				8.2		2.2	1.1	0.4		0.5	5.2	0.8	
<i>Patrinia scabiosaeifolia</i>	15.0	12.8	3.9	1.8			6.7	5.0	2.5	10.0	1.5	4.3	2.5
<i>Pantrinia villosa</i>				4.8	2.7								
<i>Platycodon grandiflorum</i>			3.2	0.8				0.4		1.2			
<i>Leibnitzia ananctria</i>	0.7						0.4				1.2		
<i>Eupatorium chinense</i> var. <i>simplicifolium</i>	4.4							0.5				0.7	
<i>Solidago virga-aurea</i> var. <i>asiatica</i>						2.9				3.4	0.3		3.4
<i>Aster scaber</i>				1.0		2.7					4.2	4.6	1.5
<i>Chrysanthemum zawadskii</i> var. <i>latilobum</i>							6.9		1.6	0.5	9.6		
<i>Artemisia keiskeana</i>	14.2			16.1		16.1	27.2	5.3		10.8	18.8	4.4	13.3
<i>Atractylodes japonica</i>		0.9	6.7	0.7		4.5		10.0	5.8		0.5	4.0	1.2
<i>Saussurea seoulensis</i>						0.7	6.6	1.4		3.7			

Table 4. Vegetational data matrix: Xij values of nineteen shrubby species from thirteen Japanese red pine stands in Chunsung area

Species	Site No.												
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13
<i>Pinus densiflora</i>	31.6	8.8	3.8		10.7		3.1		21.8				
<i>Juniperus serrata</i>		2.1			9.3			12.9		13.5	2.5		
<i>Alnus hirsuta</i>	13.3	6.7			4.4					3.7			
<i>Corylus hete ophylla</i> var. <i>thunbergii</i>		8.2	14.5										
<i>Quercus acutissima</i>		12.0		17.5									
<i>Quercus variabilis</i>	2.7												
<i>Quercus dentata</i>	2.7	39.6	46.4	74.4		1.5	1.9				1.4		
<i>Quercus aliena</i>								4.5	11.8				
<i>Quercus mongolica</i>			28.4		27.5	61.5	28.3	1.7	26.0	25.2	31.6	50.3	43.5
<i>Quercus serrata</i>					10.3	6.2	24.2	11.7			12.5	29.7	
<i>Prunus leveilleana</i>												5.4	
<i>Sorus alnifolia</i>											1.2	6.3	
<i>Lespedeza thunbergii</i> var. <i>intermedia</i>	21.4	14.5	4.6	8.1	4.9		10.9		27.8	4.2	3.8	9.8	6.1
<i>Robinia pseudo-acacia</i>	8.0	5.4							3.3				
<i>Zanthoxylum schinifolium</i>						5.3				2.1		1.7	
<i>Rhus trichocarpa</i>							3.8	1.9				2.6	
<i>Rhododendron mucronulatum</i>	11.3				32.8	21.8	31.6	67.3	9.29	31.0	36.6		48.6
<i>Rhododendron schlippenbachii</i>										20.2			
<i>Symplocos chinensis</i>		2.7									1.1		1.9

Table 5. Vegetational data matrix: Xij values of forty one herbaceous species from fourteen natural pine stands in Sosan area

Species	Site No.													
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
<i>Pteridium aquilinum</i> var. <i>latiusculum</i>	3.0	15.5	0.5	5.3	5.5	13.4	6.6		1.7	18.9	7.8			16.2
<i>Festuca ovina</i>	2.0	6.0				1.8	0.8	6.5	9.4	1.7	6.8	5.4	10.1	3.2
<i>Zoysia japonica</i>												1.0	2.3	
<i>Miscanthus sinensis</i>	4.8	4.1	12.0	11.0	6.8	10.9	12.4	15.9	25.1	8.2	13.4	6.2	3.6	10.2
<i>Spodiopogon cotulifer</i>	12.7	4.7	23.8	17.8	14.6	9.1	8.6	18.7	21.1	27.7	12.9	20.4	6.8	6.7
<i>Spodiopogon sibiricus</i>	7.5	11.9	3.3	6.3	9.9	9.0	13.2	4.3	4.3	2.1	6.4	12.6	5.1	8.0
<i>Cymbopogon tortilis</i>	3.7		4.2	0.3	0.9		0.9		1.5	0.8	0.5			
<i>Themeda triandra</i>	1.3	0.8							1.1	0.4		6.7		
<i>Carex lanceolata</i>	11.7	9.0	5.0	6.3	5.7	8.8	7.3	2.0	0.3	2.3	3.5	8.6	8.7	20.6
<i>Carex siderosticta</i>		20.4												
<i>Hemerocallis dumortieri</i>			7.1	0.9	3.4			4.4		2.5	4.4	3.2		1.4
<i>Allium thunbergii</i>		1.1		0.2		0.4	1.1	0.3						0.3
<i>Polygonatum odoratum</i>		0.4	4.2		1.4									
<i>Smilax nipponica</i>		0.4									2.6		4.7	
<i>Iris rossii</i>	0.8	0.6	0.7	0.3	0.4	1.3						0.8		
<i>Platanthera mandarinorum</i>	0.3		0.4		1.7	1.2	1.0							
<i>Cocculus trilobus</i>										0.4	0.8		4.9	0.3
<i>Potentilla fragarioides</i>	1.0	0.6		1.7	0.4	1.6	1.6	1.3	0.7	1.0	0.8	2.1	0.8	1.0
<i>Potentilla freyniana</i>	3.2		0.4	3.0	1.1	1.2	4.2	0.3		2.5	4.4	0.5	0.6	0.2
<i>Sanguisorba officinalis</i>	2.4	0.7	5.4	4.2	5.4		0.5	10.1	4.1	5.3	7.5	3.5	5.8	
<i>Polygala japonica</i>	2.4		1.4	0.4	0.4	0.4	1.3		0.9	0.4				
<i>Viola mandshurica</i>	0.2						0.5	0.2	1.7	0.8				
<i>Peucedanum lerebinthaceum</i>	2.9		0.4	1.2	2.3	8.0	1.8	0.2		0.2	1.4			
<i>Lysimachia clethroides</i>		2.0			6.8			0.7	0.4	5.1				
<i>Gentiana scabra</i> var. <i>buergeri</i>	0.7		0.7	0.3			1.1			0.3	0.3		1.7	
<i>Prunella vulgaris</i> var. <i>lilacina</i>	0.3	0.5						0.6		0.7	0.2	0.4	2.4	0.2

Table 5. Continued

Species	Site No.													
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
<i>Isodon inflexus</i>		1.2	1.5	1.7	1.3	1.1	3.5	2.2	.4		0.5	2.3	0.9	
<i>Melampyrum roseum</i>	0.4	0.6		0.5	1.9	0.5		1.4		0.4				9.9
<i>Patrinia scabiosaefolia</i>	6.6	0.9	3.4	1.3	1.8	4.2	5.6	1.2	3.1	3.0		0.4	1.8	2.8
<i>Patrinia villosa</i>	2.6			1.0	2.6	2.3	0.4			0.2				0.3
<i>Platycodon grandiflorum</i>	2.5	0.5	3.4	1.9	1.8	1.6	0.6	2.8		1.0				3.1
<i>Leibnitzia anandria</i>	1.5	0.2	2.4	4.0	3.1		3.0	0.3		0.4	0.5			1.3
<i>Eupatorium chinense</i> var. <i>simplicifolium</i>						0.8	0.3					0.3	0.4	
<i>Solidago virga-aurea</i> var. <i>asiatica</i>	0.6	0.2		0.3	0.7	11.7	1.1	1.6		0.2	1.6	1.4	4.0	1.5
<i>Aster scaber</i>	8.0	0.8	0.7	5.4	3.3	5.1	3.0	6.3		2.2	5.3	11.1	1.0	
<i>Chrysanthemum indicum</i>	2.8		0.4				3.0	0.3						
<i>Artemisia keiskeana</i>	11.7	9.1	9.1	9.4	8.4	19.7	10.8		5.0	0.5	17.8	11.8		14.1
<i>Atractylodes japonica</i>		1.8	1.0	7.7	5.6	4.9	1.1		0.6	14.3	0.6	0.5		
<i>Cirsium japonicum</i> var. <i>ussuriense</i>		1.4	1.1							2.0			0.9	
<i>Saussurea seoulensis</i>		3.7	1.4											
<i>Ixeris dentata</i>		0.3		1.1					0.8	0.5	0.3		1.0	0.6

Table 6. Vegetational data matrix: Xij values of fourteen shrubby species from fourteen natural pine stands in Sosan area

Species	Site No.													
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
<i>Pinus densiflora</i>	9.3		57.3	33.5		19.7	15.3	61.9	66.4	24.7		16.8		
<i>Juniperus serrata</i>			17.6			2.6								
<i>Alnus hirsuta</i>													42.3	
<i>Corylus heterophylla</i> var. <i>thunbergii</i>		5.3										4.4		
<i>Quercus acutissima</i>		5.1						21.5					29.1	11.0
<i>Quercus variabilis</i>												3.1		
<i>Quercus dentata</i>	41.6	70.8	2.1	15.9	28.0	15.0	45.9	8.5	33.7	13.1	43.8	5.4	13.8	
<i>Quercus mongolica</i>	5.5		2.7	14.4				8.0		14.8	10.9	1.9		1.7
<i>Quercus serrata</i>		8.5	11.9	27.8	15.8					15.3	10.9	14.1		21.4
<i>Prunus leucocarpa</i>			2.1											
<i>Lespedeza thunbergii</i> var. <i>intermedia</i>	12.0	1.7	4.0	8.4	2.1	2.3	14.3				11.3	33.5		8.4
<i>Rhododendrom mucronatum</i>	30.3				47.1	54.2	22.9			32.2	23.1	20.9		17.8
<i>Symplocos chinensis</i>					2.1								10.2	
<i>Fraxinus sieboldiana</i>	1.4		2.1		2.7	6.2	1.6							

야외 조사에서 얻은 식생 data로 각종의 중요치 Xij 값을 다음과 같이 결정하였다(강과 오, 1982; 조와 오, 1987).

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

Xij : j site에서의 i종의 상대중요치

dij : j site에서의 i종의 상대밀도

Dij : j site에서의 i종의 상대우점도

각종의 중요치 Xij를 바탕으로 각 장소의 vegetational data matrix를 작성하였다(Table 1, 2, 3, 4, 5 및 6). 또한 야외조사와 실험실 측정결과 얻어낸 각가지 환경요인들을 이용하여 environmental data matrix를 작성하였다(Table 7, 8 및 9). Vegetational data

Table 7. Environmental data matrix: Mean values for sixteen environmental variables for twelve Japanese red pine stands nearby Seoul area. Data are means \pm standard error

Site No.	Depth of soil (cm)	Soil compressibility (kg/cm ²)	Thickness of litter layer (cm)	Loss on ignition (%)	Soil pH	Maximum field capacity (%)	sand content (%)	Easily soluble phosphorus (ppm)	Total nitrogen (%)	Environmental Property				Species density of herbs/0.25m ²	
										Exchangeable potassium (ppm)	Exchangeable calcium (ppm)	Exchangeable sodium (ppm)	Phosphorus /nitrogen ratio		Potassium /nitrogen ratio
1	16.9 \pm 1.95	0.64 \pm 0.059	2.54 \pm 0.335	7.003 \pm 0.736	4.48 \pm 0.05	42.28 \pm 5.01	81.19 \pm 3.09	5.62 \pm 0.56	0.0532 \pm 0.0049	40.20 \pm 6.85	64.00 \pm 23.18	10.87 \pm 1.41	0.0106 \pm 0.0056	0.0756 \pm 0.1398	1.0 \pm 0.0
2	19.3 \pm 1.74	0.60 \pm 1.738	2.33 \pm 0.151	6.185 \pm 0.822	4.93 \pm 0.05	39.35 \pm 2.51	84.23 \pm 1.42	9.83 \pm 3.48	0.0518 \pm 0.0285	72.27 \pm 12.74	282.67 \pm 33.79	13.83 \pm 1.88	0.01898 \pm 0.0439	0.1395 \pm 0.3286	1.75 \pm 0.48
3	9.3 \pm 1.37	0.40 \pm 0.117	1.68 \pm 0.146	3.46 \pm 0.101	4.93 \pm 0.00	25.24 \pm 0.30	90.45 \pm 0.95	9.31 \pm 2.30	0.0212 \pm 0.0031	28.33 \pm 2.96	49.00 \pm 14.00	11.30 \pm 0.91	0.0439 \pm 0.0289	0.1336 \pm 0.1424	1.00 \pm 0.00
4	36.7 \pm 2.51	0.14 \pm 0.040	4.83 \pm 1.285	8.787 \pm 0.228	4.93 \pm 0.03	68.42 \pm 2.63	62.09 \pm 0.97	26.48 \pm 2.92	0.0917 \pm 0.0091	186.00 \pm 5.77	126.67 \pm 4.06	16.53 \pm 2.66	0.0289 \pm 0.0187	0.2028 \pm 0.2170	4.25 \pm 0.63
5	31.3 \pm 2.51	0.73 \pm 0.063	1.85 \pm 0.198	6.308 \pm 0.663	4.74 \pm 0.15	48.16 \pm 4.06	54.20 \pm 1.35	12.21 \pm 3.76	0.0653 \pm 0.0121	56.27 \pm 2.18	108.00 \pm 25.06	17.40 \pm 1.30	0.0187 \pm 0.0210	0.0862 \pm 0.1768	1.50 \pm 0.29
6	40.7 \pm 2.40	0.68 \pm 0.068	2.64 \pm 0.295	6.758 \pm 0.471	5.16 \pm 0.05	35.52 \pm 0.95	88.17 \pm 1.66	14.85 \pm 1.84	0.0707 \pm 0.0050	84.00 \pm 7.85	69.50 \pm 15.18	11.73 \pm 1.35	0.0210 \pm 0.0033	0.1188 \pm 0.0431	4.00 \pm 0.58
7	14.2 \pm 1.26	0.68 \pm 0.088	2.18 \pm 0.247	13.671 \pm 1.829	4.68 \pm 0.06	57.11 \pm 9.31	58.85 \pm 0.97	5.54 \pm 1.97	0.1701 \pm 0.0341	128.40 \pm 12.90	377.00 \pm 72.38	15.40 \pm 2.02	0.0033 \pm 0.0783	0.0755 \pm 0.2289	3.75 \pm 0.63
8	27.3 \pm 2.66	0.41 \pm 0.044	1.85 \pm 0.208	4.330 \pm 1.085	4.89 \pm 0.06	30.85 \pm 1.00	83.12 \pm 1.97	14.65 \pm 1.56	0.0187 \pm 0.0034	64.00 \pm 10.19	79.33 \pm 13.62	13.30 \pm 1.80	0.0783 \pm 0.0189	0.3422 \pm 0.1860	1.00 \pm 0.00
9	18.6 \pm 1.34	1.40 \pm 0.141	2.07 \pm 0.161	4.711 \pm 0.352	4.80 \pm 0.14	28.78 \pm 1.35	86.84 \pm 0.93	7.16 \pm 0.69	0.0378 \pm 0.0021	38.50 \pm 1.04	76.67 \pm 26.59	11.77 \pm 1.07	0.0189 \pm 0.2706	0.1019 \pm 0.4533	1.25 \pm 0.25
10	12.9 \pm 1.05	1.44 \pm 0.136	0.98 \pm 0.144	6.258 \pm 0.736	5.09 \pm 0.07	30.91 \pm 2.23	83.66 \pm 0.94	24.66 \pm 10.84	0.0201 \pm 0.0046	54.40 \pm 4.80	273.67 \pm 109.41	12.43 \pm 1.27	0.1227 \pm 0.0441	0.2706 \pm 0.4533	1.25 \pm 0.25
11	20.0 \pm 1.02	0.71 \pm 0.065	2.83 \pm 0.549	5.869 \pm 0.731	4.76 \pm 0.02	31.42 \pm 2.58	84.86 \pm 3.95	18.93 \pm 11.59	0.0429 \pm 0.0080	82.87 \pm 20.84	66.33 \pm 14.50	11.73 \pm 0.88	0.0441 \pm 0.0350	0.1932 \pm 0.1894	1.75 \pm 0.48
12	11.8 \pm 1.53	1.20 \pm 0.175	2.43 \pm 0.195	3.596 \pm 0.070	4.72 \pm 0.02	28.19 \pm 1.04	73.79 \pm 1.38	8.41 \pm 2.81	0.0240 \pm 0.0038	44.40 \pm 8.40	37.50 \pm 0.50	8.98 \pm 0.19	0.0350 \pm 0.1894	0.1850 \pm 0.25	1.75 \pm 0.25

Table 8. Environmental data matrix: Mean values for thirteen Japanese red pine stands in Chungung area. Data are means \pm standard error

Site No.	Environmental Property													Species density of herbs/0.25m ²		
	Depth of soil (cm)	Soil compressibility (kg/cm ²)	Thickness of litter layer (cm)	Loss on ignition (%)	Soil pH	Maximum field capacity (%)	sand content (%)	Easily soluble phosphorus (ppm)	Total nitrogen (%)	Exchangeable potassium (ppm)	Exchangeable calcium (ppm)	Exchangeable sodium (ppm)	Phosphorus/nitrogen ratio		Potassium/nitrogen ratio	Phosphorus/potassium ratio
1	29.13 ± 1.69	0.79 ± 0.16	2.92 ± 0.21	4.603 ± 0.420	4.68 ± 0.09	37.26 ± 0.88	85.89 ± 0.55	10.72 ± 1.98	0.0474 ± 0.0007	48.53 ± 6.68	51.17 ± 7.21	3.33 ± 1.54	0.0226 ± 0.0088	0.1024 ± 0.1340	0.2209 ± 0.2898	2.75 ± 0.64
2	36.52 ± 2.55	0.18 ± 0.08	5.08 ± 0.36	4.909 ± 0.295	5.13 ± 0.09	37.86 ± 1.44	82.37 ± 4.01	16.23 ± 4.50	0.0418 ± 0.0084	56.00 ± 7.21	176.67 ± 17.68	4.00 ± 3.50	0.0388 ± 0.0200	0.1340 ± 0.1132	0.2898 ± 0.1765	2.75 ± 0.25
3	22.79 ± 1.73	0.33 ± 0.07	2.62 ± 0.19	5.972 ± 0.634	5.15 ± 0.04	38.26 ± 4.40	74.65 ± 2.61	8.99 ± 0.68	0.0450 ± 0.0032	50.93 ± 3.08	271.33 ± 65.98	4.23 ± 4.43	0.0200 ± 0.0133	0.1132 ± 0.1416	0.1765 ± 0.0937	3.00 ± 0.00
4	37.71 ± 2.50	0.81 ± 0.12	2.89 ± 0.23	8.999 ± 0.019	4.86 ± 0.07	55.04 ± 1.11	22.42 ± 1.21	10.90 ± 0.97	0.0821 ± 0.0151	116.27 ± 7.47	204.33 ± 60.03	6.80 ± 2.11	0.0133 ± 0.0073	0.1416 ± 0.0883	0.0937 ± 0.1072	3.50 ± 0.65
5	42.73 ± 3.46	0.69 ± 0.10	1.39 ± 0.15	4.451 ± 0.060	5.26 ± 0.06	31.13 ± 1.04	84.85 ± 1.62	5.09 ± 0.82	0.0695 ± 0.0473	47.47 ± 1.87	198.00 ± 28.35	5.17 ± 0.48	0.0073 ± 0.0370	0.0683 ± 0.1671	0.1072 ± 0.2212	2.75 ± 0.48
6	+50	0.76 ± 0.11	4.19 ± 0.43	8.257 ± 0.611	5.27 ± 0.10	52.93 ± 0.32	63.01 ± 2.54	25.54 ± 5.02	0.0691 ± 0.0357	115.47 ± 21.41	292.67 ± 24.39	10.40 ± 6.40	0.0370 ± 0.0372	0.1671 ± 0.1368	0.2212 ± 0.2717	5.50 ± 0.65
7	+50	1.40 ± 0.17	2.35 ± 0.32	8.023 ± 0.793	5.02 ± 0.17	45.51 ± 3.23	55.97 ± 6.23	22.82 ± 4.33	0.0614 ± 0.0224	84.00 ± 6.99	158.00 ± 28.38	5.37 ± 1.21	0.0372 ± 0.0546	0.1368 ± 0.1236	0.2717 ± 0.1282	4.25 ± 0.48
8	+30	0.71 ± 0.10	1.68 ± 0.19	5.889 ± 0.693	5.04 ± 0.16	40.71 ± 1.39	73.07 ± 5.80	14.79 ± 11.00	0.0271 ± 0.0007	115.33 ± 29.34	210.33 ± 36.79	5.63 ± 2.68	0.0546 ± 0.1607	0.1236 ± 0.1459	0.1282 ± 2.25	5.00 ± 0.91
9	21.45 ± 1.39	0.55 ± 0.08	2.52 ± 0.35	5.428 ± 0.284	5.19 ± 0.07	32.39 ± 1.00	81.93 ± 2.36	9.09 ± 3.27	62.67 ± 0.0028	192.67 ± 7.52	3.13 ± 48.36	0.0233 ± 1.08	0.1607 ± 0.0489	0.1459 ± 0.1267	2.25 ± 0.3639	± 0.25
10	+50	0.93 ± 0.10	3.41 ± 0.26	7.570 ± 0.573	4.69 ± 0.09	52.86 ± 4.21	59.12 ± 4.25	31.20 ± 1.12	0.0625 ± 0.0263	79.20 ± 14.14	104.67 ± 37.67	4.87 ± 0.97	0.0489 ± 0.0266	0.1267 ± 0.0661	0.3639 ± 0.4426	2.75 ± 0.25
11	+30	0.67 ± 0.08	2.29 ± 0.18	9.583 ± 0.319	4.16 ± 0.02	54.18 ± 2.82	56.93 ± 4.11	31.04 ± 1.92	0.1167 ± 0.0070	79.13 ± 1.16	67.67 ± 7.84	3.53 ± 1.62	0.0266 ± 0.1022	0.0661 ± 0.3514	0.4426 ± 0.2910	1.00 ± 0.41
12	36.15 ± 3.70	0.89 ± 0.15	2.45 ± 0.32	8.468 ± 1.286	5.17 ± 0.09	40.78 ± 3.81	63.45 ± 2.54	35.58 ± 3.65	0.0348 ± 0.0042	122.27 ± 24.02	346.33 ± 82.01	4.87 ± 2.03	0.1022 ± 0.0257	0.3514 ± 0.0914	0.2910 ± 0.2817	4.25 ± 0.63
13	+50	2.16 ± 0.28	0.92 ± 0.15	7.918 ± 0.280	4.58 ± 0.02	52.00 ± 1.25	33.22 ± 0.75	18.33 ± 5.92	0.0712 ± 0.0042	65.07 ± 3.64	56.00 ± 7.51	5.40 ± 0.82	0.0257 ± 0.0042	0.0914 ± 0.0914	0.2817 ± 0.75	4.25 ± 0.75

Table 9. Environmental data matrix: Mean values for fourteen natural pine stands in Sosan area. Data are mean \pm standard error

Site No	Environmental Property														Species density of herbs/0.25m ²	
	Depth of soil (cm)	Soil compressibility (kg/cm ²)	Thickness of litter layer (cm)	Loss on ignition (%)	Soil pH	Maximum field capacity (%)	sand content (%)	Easily soluble phosphorus (ppm)	Total nitrogen (%)	Exchangeable potassium (ppm)	Exchangeable calcium (ppm)	Exchangeable sodium (ppm)	Phosphorus /nitrogen ratio	Potassium /nitrogen ratio		Phosphorus /potassium ratio
1	31.03 ± 3.82	0.75 ± 0.05	1.33 ± 0.16	3.979 ± 0.380	5.25 ± 0.08	44.99 ± 1.79	61.07 ± 0.22	5.64 ± 0.04	0.0264 ± 0.0014	110.00 ± 18.15	239.67 ± 88.94	22.30 ± 4.68	0.0214 ± 0.0014	0.4167 ± 0.167	0.0513 ± 0.013	9.50 ± 1.04
2	40.69 ± 3.74	0.69 ± 0.05	1.77 ± 0.20	7.415 ± 0.424	4.54 ± 0.10	53.66 ± 2.26	41.05 ± 0.38	19.99 ± 2.63	0.0656 ± 0.0112	87.73 ± 17.12	54.7 ± 9.61	39.20 ± 2.86	0.0305 ± 0.0091	0.1337 ± 0.056	0.2279 ± 0.0872	7.00 ± 0.91
3	25.36 ± 4.15	0.75 ± 0.06	2.53 ± 0.19	5.551 ± 0.118	5.72 ± 0.10	45.79 ± 0.71	66.37 ± 0.28	16.07 ± 2.90	0.0327 ± 0.0021	165.33 ± 9.26	332.33 ± 22.56	17.33 ± 1.93	0.0491 ± 0.0340	0.5056 ± 0.1533	0.0872 ± 0.2214	9.50 ± 1.55
4	4.50 ± 0.08	1.61 ± 0.08	2.45 ± 0.09	8.673 ± 1.109	4.77 ± 0.05	66.94 ± 1.96	57.07 ± 1.19	29.88 ± 3.60	0.0880 ± 0.0231	134.93 ± 31.93	154.00 ± 34.70	51.17 ± 22.06	0.0340 ± 0.0226	0.1533 ± 0.3329	0.2214 ± 0.0679	10.50 ± 2.40
5	28.49 ± 3.39	0.80 ± 0.07	3.03 ± 0.25	5.485 ± 0.574	3.13 ± 0.07	45.21 ± 10.17	57.08 ± 0.42	9.60 ± 0.18	0.0425 ± 0.0182	141.47 ± 37.06	275.67 ± 52.99	25.47 ± 1.81	0.0226 ± 0.0073	0.3329 ± 0.1491	0.0679 ± 0.0492	7.50 ± 0.65
6	23.90 ± 3.73	0.99 ± 0.06	2.66 ± 0.20	6.255 ± 1.421	4.54 ± 0.16	50.42 ± 7.23	66.63 ± 3.47	3.53 ± 1.12	0.0481 ± 0.0336	71.73 ± 15.47	211.33 ± 106.98	13.40 ± 5.33	0.0073 ± 0.0223	0.1491 ± 0.2193	0.0492 ± 0.1016	6.00 ± 0.71
7	26.95 ± 2.20	0.79 ± 0.06	1.64 ± 0.19	4.281 ± 0.235	1.98 ± 0.08	43.12 ± 3.53	53.47 ± 0.83	9.16 ± 2.45	0.0411 ± 0.0070	90.13 ± 11.91	156.33 ± 44.29	26.27 ± 6.06	0.0223 ± 0.0141	0.2193 ± 0.1344	0.1016 ± 0.0833	10.00 ± 1.08
8	25.48 ± 2.53	1.17 ± 0.08	0.71 ± 0.05	6.400 ± 0.842	4.79 ± 0.22	49.18 ± 5.01	32.37 ± 1.06	9.30 ± 2.29	0.0646 ± 0.0144	99.73 ± 8.58	168.00 ± 67.21	19.33 ± 2.96	0.0141 ± 0.0366	0.1344 ± 0.2140	0.0833 ± 0.1769	10.00 ± 1.08
9	27.18 ± 2.93	1.31 ± 0.11	0.92 ± 0.08	5.683 ± 0.608	4.96 ± 0.16	52.42 ± 4.01	46.72 ± 1.97	22.20 ± 5.55	0.0607 ± 0.0140	129.87 ± 28.87	244.67 ± 31.88	29.00 ± 3.44	0.0366 ± 0.0173	0.2140 ± 0.1866	0.1769 ± 0.0827	6.75 ± 1.11
10	32.09 ± 3.90	1.36 ± 0.08	0.79 ± 0.07	5.021 ± 0.535	4.91 ± 0.22	50.25 ± 0.89	53.82 ± 3.47	10.74 ± 5.18	0.0621 ± 0.0098	115.87 ± 39.08	79.00 ± 18.82	21.87 ± 4.15	0.0173 ± 0.0254	0.1866 ± 0.1493	0.0827 ± 0.1696	9.50 ± 1.50
11	4.50 ± 0.10	0.82 ± 0.10	0.60 ± 0.05	5.868 ± 0.496	4.73 ± 0.07	32.96 ± 0.43	40.13 ± 1.40	14.61 ± 5.80	0.0576 ± 0.0081	86.13 ± 2.93	49.67 ± 4.33	26.00 ± 3.75	0.0254 ± 0.0304	0.1493 ± 0.2518	0.1696 ± 0.1209	7.50 ± 0.87
12	29.79 ± 2.77	0.67 ± 0.07	0.91 ± 0.07	4.899 ± 0.256	5.17 ± 0.07	42.58 ± 2.71	57.12 ± 1.45	11.99 ± 0.004	0.0394 ± 0.0081	99.20 ± 24.58	167.33 ± 2.82	8.43 ± 0.87	0.0304 ± 0.0211	0.2518 ± 0.0828	0.1209 ± 0.2594	6.25 ± 0.85
13	40.15 ± 3.67	0.53 ± 0.07	0.82 ± 0.06	10.465 ± 0.455	4.65 ± 0.07	70.85 ± 2.35	45.55 ± 1.59	28.02 ± 3.93	0.1164 ± 0.0004	108.00 ± 14.41	93.33 ± 8.67	15.20 ± 2.30	0.0211 ± 0.0112	0.0828 ± 0.0412	0.2594 ± 0.3458	8.75 ± 0.63
14	41.45 ± 3.27	0.48 ± 0.06	1.25 ± 0.08	13.794 ± 0.557	4.55 ± 0.09	69.54 ± 0.90	31.45 ± 3.25	23.79 ± 1.80	0.1671 ± 0.0021	68.80 ± 12.70	41.83 ± 25.38	10.80 ± 1.60	0.0112 ± 0.0021	0.0412 ± 0.0021	0.3458 ± 0.25	3.75 ± 0.25

matrix를 사용하여 ordination과 classification의 다변수 분석을 시행하였다. 다변수 분석을 위한 program은 Cornell Ecology Program 중에서 ordination 기법은 DECORANA(Hill, 1979a)를, classification 기법은 TWINSpan(Hill, 1979b)을 각기 사용하였으며, 전산처리는 DECORANA는 personal computer를, TWINSpan은 서강대학교 전자계산소의 CYBER 170-825 System을 이용하였다.

기저면적 및 Thiessen polygon 면적빈도 분포

기저면적 빈도분포는 흉고주위를 기저면적으로 환산한 후 빈도 분포도를 그렸으며 Thiessen polygon 면적 빈도 분포는 각 개목의 위치를 표시한 자료로부터 각각의 개목과 이들과 인접한 개목들 사이의 수직 이등분선에 의해 형성되는 다각형의 면적을 구해 빈도 분포도를 그렸다(Mithen *et al.*, 1984; Kenkel *et al.*, 1989).

빈도분포로 skewness (g1)와 kurtosis (g2)를 구하고 *t*-검정을 하였다(Sokal and Rohlf, 1969). 또한 조사 장소 내 개체간의 불균등성 정도를 알아보기 위해 Gini 계수를 계산하였다(Weiner and Solbrig, 1984).

결과 및 논의

반 자연 소나무숲

서울근교 조사장소에서 소나무의 기저면적은 site A4, A6, A9가 큰 값을 가지며, site A1, A2, A3, A12 등은 아주 작은 값을 가진다(Table 10). Site A1, A2의 경우 밀도에 비해 아주 작은 값을 가지는데 이는 이들 장소가 어리고 작은 나무로 구성되어 있기 때문이다.

소나무의 수령은 site A1, A2, A3, A5, A7, A12가 15년 내외이며, site A4, A6, A8, A10이 20년 내외, site A9, A11이 30년 정도였다. 소나무의 밀도는 대체로 수령과 반비례했다. 소나무 수고는 비교적 습한 site A4, A6에서 높았으며, 소나무 연신장 성장도 비교적 습한 site A4, A6, A7에서 빨랐다. 수관은 site A3, A5, A8, A10, A11, A12에서 개방되었고, site A1, A2, A9는 반개방, 그리고 비교적 습한 지역인 site A4, A6, A7은 폐쇄수관은 이루고 있었다(Table 10).

춘성일대 조사장소에서 소나무의 기저면적은 서울근교에 비해 월등히 큰 값을 나타내었다. 이는 이 일대의 소나무림이 잘 보존되어 있었기 때문이다. 메마른 지역인 site B2,

Table 10. Characteristics of natural pine stands nearby Seoul area

Property	Site No.											
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
Basal area (cm ² /100m ²)	677	425	227	1,875	792	2,965	1,467	1,071	1,788	733	1,483	361
Tree density (No. of tree/100m ²)	66	44	24	27	19	25	37	35	31	27	18	33
Age (Year)	10~15	10~15	10~15	20~25	15~23	18~23	15~20	15~22	25~35	20~25	30~35	15~20
Mean height (cm)	300	300	260	925	430	600	450	430	500	400	600	300
Hight growth/year (cm)	19.1	22.7	20.5	22.3	28.8	53.8	45.4	31.4	24.5	21.4	24.0	19.3
Canopy opening	half-closed	half-closed	open	closed	open	closed	closed	open	half-closed	open	open	open

Table 11. Characteristics of natural pine stands in Chunsung area

Property	Site No.												
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13
Basal area (cm ² /100m ²)	3,049	1,380	1,281	1,991	2,994	2,360	1,649	2,557	1,444	2,130	1,574	2,609	2,160
Tree density (No. of tree/100m ²)	28	27	32	21	22	25	33	26	32	32	31	33	20
Age (Year)	30	20~25	17~20	25	30~35	25	20	35	18	30	20~25	25~30	30~40
Mean height (cm)	850	500	450	500	680	680	460	600	400	750	680	500	700
Hight growth/year (cm)	35.0	32.0	26.9	29.0	37.8	52.0	36.5	27.0	25.5	37.6	44.9	30.8	36.9
Canopy opening	half-closed	half-closed	open	open	half-closed	open	half-closed	open	open	half-closed	closed	closed	closed

B3, B9에서는 작은 기저 면적값을 나타내었으며, site B1, B5, B8, B12에서 비교적 큰 값을 나타내었다. 소나무 수령은 B2, B3, B4, B6, B7, B9, B11은 20년 내외였고 site B1, B5, B10, B12는 30년, site B8, B13은 35년 정도였다. 연 신장생장은 site B6에서 가장 큰 값을 나타내었고, 메마른 지역인 site B9에서 가장 작은 값을 나타내었다. Site B3, B4, B6, B8, B9는 개방수관을, site B11, B12, B13은 폐쇄수관을 이루고 있었다(Table 11).

서산 일대 조사장소에서 소나무 기저면적은 site C2, C4, C10, C11, C12가 비교적 큰 값을 가지며 site C3, C5, C7, C14는 비교적 작은 값을 가진다. 수령은 site C6, C10, C11, C12가 40년 내외이며, 그외 site는 30년 내외였다. 연 신장생장은 site C8에서 가장 큰 값을, site C3에서 가장 작은 값을 나타내었다. Site C3, C7, C14은 개방 수관을 이루고 있었으며, site C2, C4, C6, C8, C9, C13은 폐쇄 수관은 이루고 있었다(Table 12).

Table 12. Characteristics of natural pine stands in Sosan area

Property	Site No.													
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
Basal area (cm ² /100m ²)	2,639	2,786	1,151	2,969	1,441	1,739	1,596	2,681	2,052	2,756	2,844	1,792	3,239	1,592
Tree density (No. of tree/100m ²)	28	26	32	29	25	21	27	35	57	23	14	26	34	22
Age (Year)	30~35	25	20~30	35	25~30	40	20~30	35~40	20	50	40~45	40	30	30
Mean height (cm)	650	800	500	900	530	600	800	1000	620	1100	1400	800	800	620
Hight growth/year (cm)	30.1	48.0	22.6	—	29.0	32.8	34.4	52.0	40.0	27.0	42.0	39.4	41.8	34.8
Canopy opening	half-closed	closed	open	closed	half-closed	closed	open	closed	closed	half-closed	half-closed	half-closed	closed	open

임지 정좌위 및 수리 분류(Ordination과 Classification)

서울 근교

Fig. 2는 서울근교 조사장소의 식생 data를 대상으로 한 DECORANA stand ordination의 결과이다. Fig. 2A는 초본 data만 사용한 결과이며, Fig. 2B는 초본과 관목 data를 함께 사용한 결과이다. Fig. 2A에서 폐쇄수관을 이루고, 사도함량이 낮고, 최대용수량이 높으며, 맑은대쭉, 꽃머느리밥풀, 갈참나무 등이 많이 발견되는 site A4, A6, A7

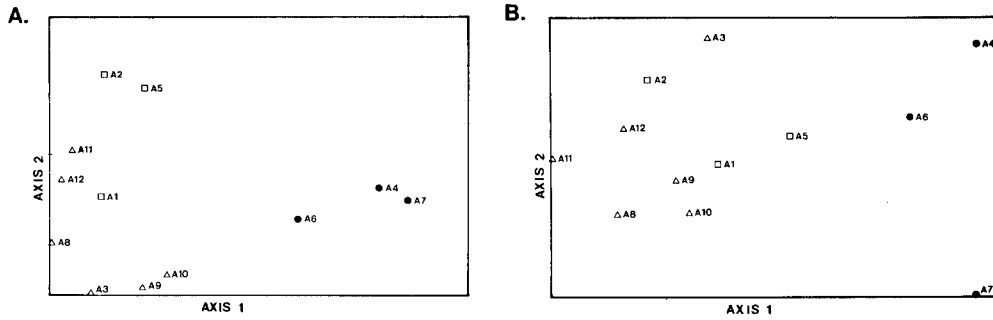


Fig. 2. DECORANA stand ordination of twelve stands nearby Seoul area.

- A. Based on the ordination herbs only.
- B. Based on the ordination herbs and shrubs.

등이 제1축상의 오른쪽에, 개방수관을 이루고 사토함량이 높고, 최대용수량이 낮으며, 억새, 기름새, 개솔새, 노간주나무, 소나무, 굴참나무 등이 많이 발견되는 site A8, A11, A12 등은 제1축상의 왼쪽에 치우쳐 분포하였다.

제2축상의 위쪽에 site A2, A5가, 아래쪽에는 site A3, A9, A10이 치우쳐 분포한다. 각 축과 환경요인과의 관계를 정량적으로 알아보기 위하여 환경요인들과 제1축, 2축상의 값들 사이의 상관분석을 하였다(Table 13).

분석결과 제1축은 유기물작열소실량, 최대용수량, 전질소량, 치환성칼륨량, 치환성칼슘량, 치환성나트륨량, 초본의 종밀도와 유의한 정상관을 나타냈으며, 사토함량과는 유의한 부상관을 나타내었다. 따라서 제1축은 수분과 치환성양이온의 경향성을 나타내 주고 있다고 추측할 수 있는데 이는 조와 오(1987)의 결과와 일치한다. 제2축은 어느 환경요인과의 유의한 상관관계를 나타내지 않았다.

제1축상에서 왼쪽에는 개방수관을 이루고 기름새, 솔새, 노간주나무가 많이 나타나는 site A3, A8, A9, A10, A11, A12가 위치하며 중간부근에는 양지꽃, 산부추, 신갈나무가 많이 발견되는 site A1, A2, A5가, 오른쪽에는 폐쇄수관을 이루며 맑은대쭉, 꽃머느리밥풀 갈참나무가 많이 발견되는 site A4, A6, A7이 위치한다. 따라서 제1축에 따라 소나무림 하의 식생의 종조성이 달라진다는 것을 알 수 있다. 이러한 차이는 수분과 광의 차이로 나타나는 것으로 추측된다. 초본과 관목을 함께 사용한 Fig. 2B의 경우도 Fig. 2A와 유사한 경향을 나타내었다.

다소의 차이는 인위적인 교란이 관목에서 더 심하게 작용하기 때문인 것으로 추측된다. Fig. 3은 서울근교 조사장소의 초본식생 data를 사용한 TWINSpan stand classification 결과이다. 12개 site들은 level 1에서 맑은대쭉에 의해 크게 2무리로 나뉘어졌고, level 2에서 기름새와 솔새에 의해 site A1, A2, A5와 site A3, A8, A9, A10, A11, A12의 2무리로 각시원무리에 의해 site A7과 site A4, A6의 2무리로 각각 나뉘어졌다. 이러한 결과는 Fig. 2의 stand ordination의 제1축상에 위치한 site들의 배열과 일치한다.

DECORANA와 TWINSpan 분석결과를 바탕으로 서울근교 조사장소를 stand ordination 제1축상의 왼쪽에 위치하는 기름새, 솔새 group, 중간부근에 위치하는 양지꽃, 산부추 group, 오른쪽에 위치하는 맑은대쭉, 꽃머느리밥풀 group으로 크게 나누어 볼 수 있다. 기름새, 솔새 group에는 site A3, A8, A9, A10, A11, A12가 속하며 개방수관

Table 13. Correlation coefficients between seventeen environmental variables and the stand scores of the first and second axes by DECORANA stand ordination in Seoul area;
*p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001

Environmental variables	Stan Score			
	Based on herbs only		Based on herbs and shrubs	
	Axis 1	Axis 2	Axis 1	Axis 2
Depth of soil	0.4099	0.2765	0.47779	0.2433
Soil compressibility	-0.2461	-0.2554	-0.3682	-0.4146
Thickness of litter	0.4510	0.2804	0.4232	0.4335
Loss on ignition	0.8333***	0.2100	0.7490**	-0.4608
Soil pH	0.2011	-0.2607	0.1472	0.2859
Maximum field capacity	0.7713**	0.3945	0.7850***	0.0054
Sand content	-0.5140*	-0.4719	-0.5672*	0.1793
Easily soluble phosphorus	0.2232	-0.0467	0.1145	0.2091
Total nitrogen	0.8486***	0.2582	0.8009***	-0.3391
Exchangeable potassium	0.8010***	0.2335	0.6960**	0.0393
Exchangeable calcium	0.5407*	0.1220	0.3946	-0.5173*
Exchangeable sodium	0.5362*	0.4256	0.5668*	-0.0397
Phosphorus/nitrogen ratio	-0.3357	0.2388	-0.4257	0.1636
Potassium/nitrogen ratio	-0.2823	-0.2502	-0.3826	-0.0788
Phosphorus/potassium ratio	-0.4244	-0.4523	-0.4303	0.5061
Species density of herbs	0.7523**	0.4346	0.8016***	0.0753
Tree density	-0.1101	0.0622	-0.0486	-0.1779

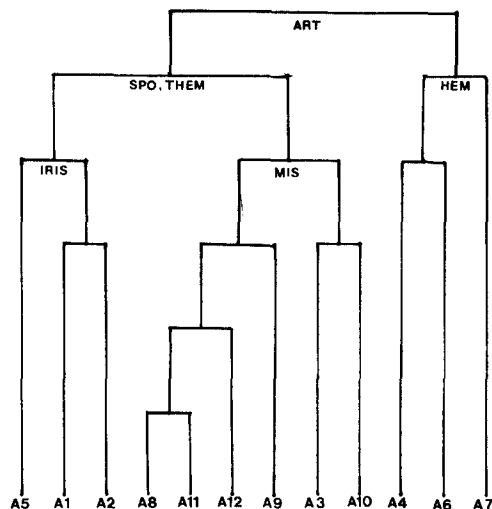


Fig. 3. Dendrogram of TWINSpan stand classification of twelve stands nearby Seoul area.
ART, *Artemisia keiskeana*; SPO, *Spodiopogon cotulifer*; THEM, *Themeda triandra*; IRIS, *Iris rossii*; MIS, *Miscanthus sinensis*; HEM, *Hemerocallis dumortieri*.

을 이루고 사토함량이 높아 건조하며, 초본의 종밀도가 낮으며 건조에 강한 화분과 식물들이 많이 발견된다. 맑은대쭉, 꽃머느리밥풀 group에는 site A4, A6, A7이 속하며 폐쇄수관을 이루고, 사토함량이 낮고, 최대용수량이 높아 비교적 습한 장소로 초본의 종밀도가 높으며 내음성을 가진 초본들이 많이 자라고 있다.

양지꽃, 산부추 group에는 site A1, A2, A5가 속하며 위 두 group의 중간적인 성격을

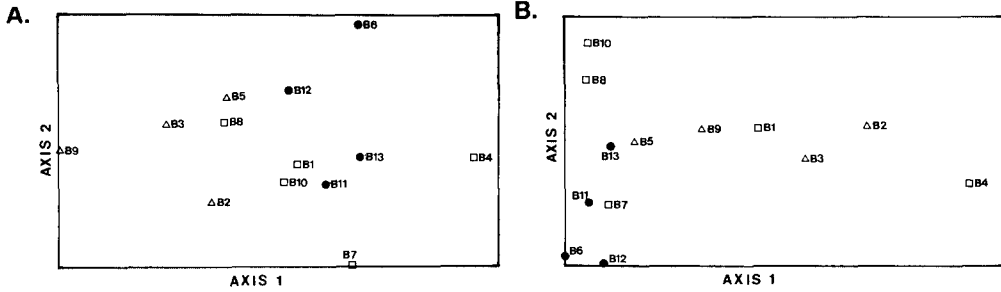


Fig. 4. DECORANA stand ordination of thirteen stands in Chunsung area.

- A. Based on the ordination herbs only.
- B. Based on the ordination herbs and shrubs.
- △, *Miscanthus sinensis*, *Themeda triandra* group
- , *Artemisia keiskeana*, *Patrinia scabiosaeifolia* group
- , *Aster scaber*, *Artemisia keiskeana* group

된다. 이로 미루어 인위적인 교란을 받지 않을 경우 소나무림은 기름새, 솔새 group에서 맑은대쑥, 꽃머리바람풀 group 방향으로 발전되어 나갈 것으로 추측된다.

춘성, 홍천

Fig. 4은 춘성군 일대 조사장소의 식생 data를 사용한 DECORANA stand ordination 결과이다.

Fig. 4A는 초본 data만 사용한 결과이며, Fig. 4B는 초본과 관목 data를 함께 사용한 결과이다.

Fig. 4A에서 개방수관을 이루고 사토함량이 높은 site B2, B3, B5, B9는 제1축상의 왼쪽에, 폐쇄수관을 이루고 사토함량이 낮은 site B4, B6, B11, B12, B13 등은 제1축상의 오른쪽에 위치했다.

환경요인들과 제1축, 2축상의 값들 사이의 상관분석결과(Table 14) 제1축은 토양심도, 토양가압축능, 작열소실량, 최대용수량, 전질소량, 초본의 종밀도와 유의한 정상관을 나타냈으며, 사토함량과는 유의한 부상관을 나타내었다. 따라서 제1축은 수분과 유기물 함량의 경향성을 나타내주고 있다고 추측할 수 있으며 이 결과는 서울근교 결과와 유사하다. 제2축은 치환성 칼슘량과 유의한 정상관을 나타냈다.

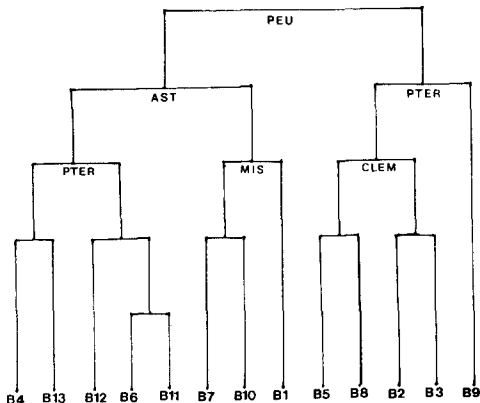


Fig. 5. Dendrogram of TWINSpan stand classification of thirteen stands in Chunsung area. PEU, *Peucedanum terebinthaceum*; AST, *Aster scaber*; PTER, *Pteridium aquilinum*; MIS, *Miscanthus sinensis*; CLEM, *Clematis brachyura*.

Table 14. Correlation coefficients between seventeen environmental variables and the stand scores of the first and second axes by DECORANA stand ordination in Chunsung area;* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

Environmental variables	Stand Score			
	Based on herbs only		Based on herbs and shrubs	
	Axis 1	Axis 2	Axis 1	Axis 2
Depth of soil	0.5884*	-0.0289	-0.6467**	-0.0618
Soil compressibility	0.4978*	-0.2578	-0.3509	-0.0550
Thickness of litter	-0.0129	-0.0147	0.3697	-0.0747
Loss on ignition	0.6873**	-0.0346	-0.2292	-0.5406*
Soil pH	-0.4051	0.4403	0.1101	-0.1572
Maximum field capacity	0.7844***	-0.0864	-0.1324	-0.2212
Sand content	-0.7814***	0.1582	-0.0857	0.2185
Easily soluble phosphorus	0.3440	-0.0246	-0.5511*	-0.3644
Total nitrogen	0.5640*	-0.1394	-0.0838	-0.2683
Exchangeable potassium	0.4701	0.3413	-0.1822	-0.4164
Exchangeable calcium	-0.1745	0.6129*	0.0402	-0.4981*
Exchangeable sodium	0.0936	-0.0902	-0.2482	0.4698
Phosphorus/nitrogen ratio	-0.0023	0.1601	-0.3981	-0.2384
Potassium/nitrogen ratio	-0.1254	0.3115	-0.2314	-0.0371
Phosphorus/potassium ratio	0.1791	-0.3663	-0.4038	-0.0620
Species density of herbs	0.5025*	0.3467	-0.5018*	-0.5111*
Tree density	-0.4269	-0.2888	-0.2250	-0.0666

초본과 관목을 함께 사용한 Fig. 4B의 경우는 제1축은 토양심도, 가용성인량, 초본의 종밀도와 유의한 부상관을 나타냈고, 제2축은 작열소실량, 치환성칼슘량, 초본의 종밀도와 유의한 부상관을 나타내었다. 따라서 Fig. 4A와는 다른 경향성을 보여준다.

Fig. 5는 초본식생 data를 사용한 TWINSpan stand classification의 결과이다. 13개 site들은 level 1에서 기름나물에 의해 크게 2무리로 나뉘어졌다. Level 2에서 참취에 의해 site A4, A6, A11, A12, A13와 site B1, B7, B10 2무리로, 고사리에 의해 site B2, B3, B5, B8과 site B9의 2무리로 각각 나뉘어졌다. 이러한 결과는 Fig. 4A의 제1축상에 위치한 site들의 배열, Fig. 4B의 제2축상에 위치한 site들의 배열과 대체로 일치한다.

DECORANA와 TWINSpan 분석결과를 바탕으로 춘성일대 조사장소를 Fig. 4A의 제1축의 왼쪽에, Fig. 4B의 제2축의 중간에 위치한 억새, 솔새 group, Fig. 4A의 제1축의 중간에 Fig. 4B의 제2축의 윗쪽에 위치한 맑은대쭉, 마타리 group, Fig. 4A의 제1축의 오른쪽에, Fig. 4B의 제2축의 아랫쪽에 위치한 참취, 맑은대쭉 group으로 크게 나누어 볼 수 있다. 억새, 솔새 group에는 site B2, B3, B5, B9가 속하며 대체로 개방수관을 이루고 사토함량이 높아 건조하며 유기물함량이 낮고, 초본의 종밀도가 낮으며, 화본과 식물들이 많이 나타난다. 참취, 맑은대쭉 group에는 site B6, B11, B13이 속하며 대체로 폐쇄수관을 이루고 사토함량이 낮아, 비교적 습한 장소로 초본 종밀도가 높으며 내음성을 지닌 초본들이 많이 발견된다. 맑은대쭉, 마타리 group에는 site B1, B4, B7, B8, B10이 속하며 위 두 group의 중간적인 성격을 띤다.

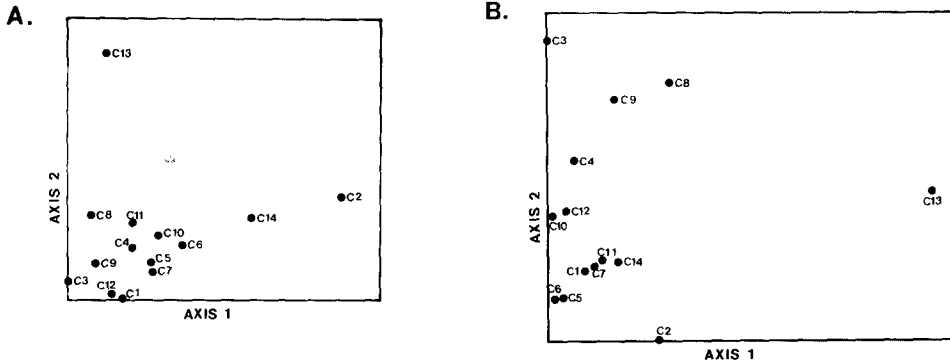


Fig. 6. DECORANA stand ordination of fourteen stands in Sosan area.

A. Based on the ordination herbs only.

B. Based on the ordination herbs and shrubs.

서 산

Fig. 6은 서산군일대 조사장소의 식생 data를 사용한 DECORANA stand ordination 결과이다. Fig. 6A는 초본 data만 사용한 결과이며 Fig. 6B는 초본과 관목 data를 함께 사용한 결과이다.

환경요인들과 제1축, 2축상의 값들 사이의 상관분석 결과가 Table 15에 나타나있다. Fig. 6A의 경우 제1축은 pH, 치환성칼륨, 치환성칼슘, 치환성칼슘과 전질소량의 비, 초본의 종밀도와 부상관을 나타내며, 제2축은 작열소실량, 최대용수량, 가용성인량, 전질소량, 가용성인량과 치환성칼슘량의 비와 유의한 정상관을 나타내고 pH, 사토함량, 치환성칼슘량, 치환성칼륨과 전질소량의 비와 유의한 부상관을 나타낸다.

Fig. 6B의 경우는 제1축은 작열소실량, 최대용수량, 가용성인량, 전질소량, 가용성인량과 치환성칼슘량의 비와 유의한 정상관을 이루며 제2축은 pH, 치환성칼륨, 가용성인량과 전질소량의 비와 유의한 정상관을 나타내었다. 이러한 결과는 서울근교와 춘성군일대의 소나무림과는 다른 경향성을 보여주는 것이다.

서울근교와 춘성군일대 조사결과와 조와 오(1987)의 결과는 소나무림 내의 수분과 유기물함량의 구배를 보여주었는데, 서산일대의 곰솔림내에서는 pH와 치환성양이온의 구배를 찾아볼 수 있다.

본 조사장소들이 상기 장소들과 다른 구배를 보여주는 이유는 본장소가 곰솔림이며, 해변에 인접해 있고, 모든 조사장소는 대체로 습한 장소이기 때문인 것으로 추측된다. 따라서 서산일대 곰솔림내의 초본조성은 수분이 아닌 pH 및 치환성 양이온에 의해 차이를 나타낼 것으로 보인다.

Fig. 7은 초본식생 data를 사용한 TWINSPLAN stand classification 결과이다. 13개 site들은 level 1에서 기름나물, 개솔새, 애기풀, 김의털에 의해 크게 2무리로 나뉘어졌다. Level 2에서 맑은대쭉, 기름새, 오이풀에 의해 site C1, C6, C7, C14와 site C3, C4, C5, C8, C9, C10, C11 2무리로, 고사리에 의해 site C12, C13과 site C2의 2무리로 나누어졌다.

Table 15. Correlation coefficients between seventeen environmental variables and the stand scores of the first and second axes by DECORANA stand ordination in Sosan area;
*p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001

Environmental variables	Stand Score			
	Based on herbs only		Based on herbs and shrubs	
	Axis 1	Axis 2	Axis 1	Axis 2
Depth of soil	0.3218	0.4050	0.2604	-0.2434
Soil compressibility	-0.2975	-0.2584	-0.3363	0.3909
Thickness of litter	0.1470	-0.3000	-0.3990	-0.1547
Loss on ignition	0.3888	0.6062*	0.4868*	-0.537
Soil pH	-0.6029*	-0.5821*	-0.3992	0.4754*
Maximum field capacity	0.2415	0.7102**	0.5847*	0.0136
Sand content	-0.4465	-0.4796*	-0.4179	0.2141
Easily soluble phosphorus	0.1165	0.5220*	0.4873*	0.2589
Total nitrogen	0.3599	0.6079*	0.4869*	-0.0470
Exchangeable potassium	-0.5564*	-0.2302	-0.1597	0.6092**
Exchangeable calcium	-0.5694*	-0.5459*	-0.3703	0.4330
Exchangeable sodium	-0.4203	-0.2002	-0.2158	0.2929
Phosphorus/nitrogen ratio	-0.2747	-0.1906	-0.0816	0.5119*
Potassium/nitrogen ratio	-0.4786*	-0.6111**	-0.4428	0.2957
Phosphorus/potassium ratio	0.4338	0.5633*	0.4910*	-0.0553
Species density of herbs	-0.4947*	0.0227	0.0558	0.3972
Tree density	-0.3868	0.0209	0.2406	0.6230**

이러한 결과는 Fig. 6A의 제1축상에 위치한 site들의 배열과 Fig. 6B의 제2축상에 위치한 site들의 배열과 대체로 일치한다.

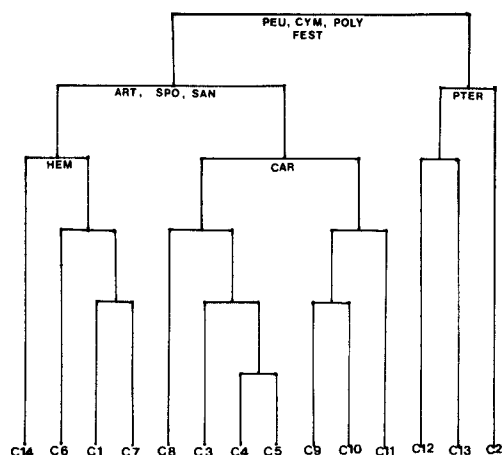


Fig. 7. Dendrogram of TWINSpan stand classification of fourteen stands in Sosan area.

PEU, *Peucedanum terebinthaceum*; CYM, *Cymbopogon tortilis*; POLY, *Polygala japonica*; FEST, *Festuca ovina*; ART, *Artemisia keiskeana*; SPO, *Spodiopogon cotulifer*; SAN, *Sanguisorba officinalis*; PTER, *Pteridium aquilinum*; HEM, *Hemerocallis dumortieri*; CAR, *Carex lanceolata*.

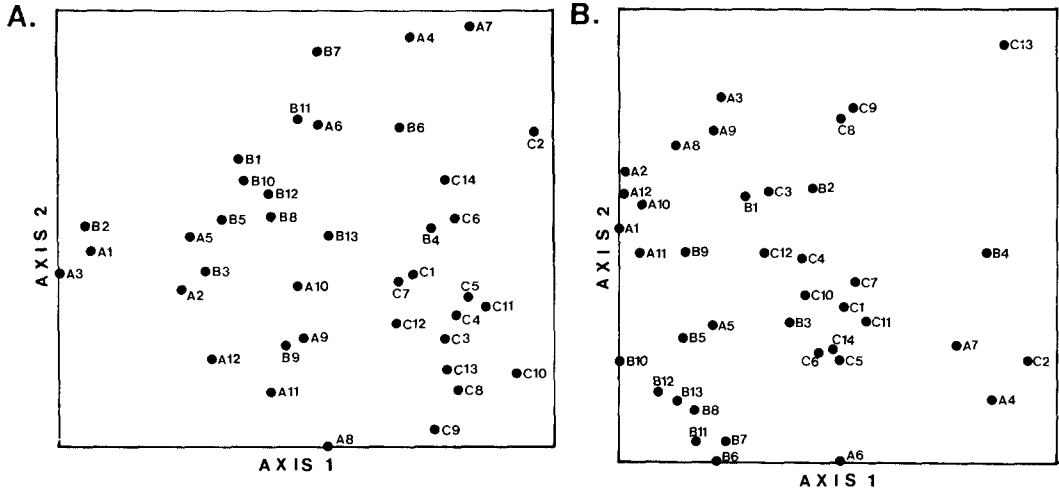


Fig. 8. DECORANA stand ordination of thirty nine stands of total study area.

A. Based on the ordination herbs only.

B. Based on the ordination herbs and shrubs.

전 조사지역

Fig. 8은 전체 조사장소의 식생 data를 이용한 DECORANA stand ordination의 결과이다. Fig. 8A는 초본 data만 사용한 결과이며, Fig. 8B는 초본과 관목 data를 함께 사용한 결과이다.

Fig. 8A에서 서울근교와 춘성군 일대 조사장소들은 제1축상의 왼쪽에, 서산일대 조사장소들은 제1축상의 오른쪽에 주로 위치했다.

환경요인들과 제1축, 2축상의 값들 사이의 상관 분석 결과(Table 16), 제1축은 토양심도, 낙엽층 두께, 작열소실량, 최대용수량, 가용성 인량, 전질소량과 유의한 정상관을, 사토함량, 치환성 칼륨과 전질소량의 비와 유의한 부상관을 나타내었다. 따라서 제1축은 수분과 유기물 함량의 경향성을 나타내주고 있다고 추측할 수 있다. 제2축은 작열소실량과 유의한 정상관을, 치환성칼륨과 전질소량의 비와 유의한 부상관을 나타내었다. 질소, 인, 칼륨량 사이의 비는 개개의 요인이 유의한 상관을 보일 경우에만, 유의한 상관을 나타내므로(Table 16) 질소, 인, 칼륨 사이의 비는 ordination 결과에 크게 영향을 주지 않을 것으로 추측된다. 따라서 질소, 인, 칼륨 사이의 상호작용이 소나무림 내의 초본 종조성에 크게 영향을 미치지 않을 것으로 사료된다.

서산 일대 조사장소들은 제1축상의 오른쪽에 치우쳐 분포하였으며, 서울 근교와 춘성군 일대 조사장소들은 제1축, 2축상에서 서로 섞여 위치했다.

사토함유량이 높고, 최대용수량이 낮으며, 개방수관을 이루는 서울 근교의 기름새, 솔새 group인 site A3, A8, A9, A10, A11, A12와 춘성군 일대의 억새 솔새 group인 site B2, B3, B5, B9가 제1축의 왼쪽, 제2축의 아래쪽에 서로 몰려 위치하였으며, 사토함유량이 낮고, 최대용수량이 높으며, 폐쇄수관을 이루고 있는 서울 근교의 맑은대쭉, 꽃머느리밭풀 group인 site A4, A6, A7과 춘성군 일대의 참취, 맑은대쭉 group인 site B6, B11, B12, B13이 제1축의 오른쪽, 제2축의 위쪽에 서로 몰려 위치하였으며, 서울 근교의 양지

Table 16. Correlation coefficients between seventeen environmental variables and the stand scores of the first and second axes by DECORANA stand ordination of total study area;

*p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001

Environmental variables	Stand Score			
	Based on herbs only		Based on herbs and shrubs	
	Axis 1	Axis 2	Axis 1	Axis 2
Depth of soil	0.4450**	0.1579	-0.1899	-0.2045
Soil compressibility	0.0424	-0.2502	-0.3679*	-0.0809
Thickness of litter	0.3673*	0.1705	0.2837*	0.0387
Loss on ignition	0.5802***	0.2837*	0.3452*	-0.3039*
Soil pH	-0.1957	-0.1219	-0.0855	0.1742
Maximum field capacity	0.3598*	0.1579	0.1775	-0.1087
Sand content	-0.3109*	0.0076	0.0329	0.2605
Easily soluble phosphorus	0.2825*	0.1569	-0.0993	-0.0328
Total nitrogen	0.5097***	0.2426	0.3897**	-0.2054
Exchangeable potassium	0.2031	-0.0223	0.0578	0.0650
Exchangeable calcium	0.0819	0.0365	-0.0019	-0.1872
Exchangeable sodium	-0.2436	-0.2185	-0.1940	0.2684*
Phosphorus/nitrogen ratio	-0.1526	0.2128	-0.1759	0.1617
Potassium/nitrogen ratio	-0.3172*	-0.2769*	-0.3654*	0.0920
Phosphorus/potassium ratio	0.1522	0.0139	-0.0839	-0.0201
Species density of herbs	-0.1722	-0.1767	-0.2398	-0.0291
Tree density	-0.2154	0.0098	0.0773	0.2178

꽃, 산부추 group인 site A1, A2, A5와 춘성군 일대의 맑은대쭉, 마타리 group인 site B1, B4, B7, B8, B10이 제1축의 중간, 제2축의 중간에 서로 몰려 위치하였다.

서산 일대 모든 조사장소들은 제1축의 오른쪽에 치우쳐 위치하는데 이는 서산일대의 모든 조사장소들이 서울 근교와 춘성군 일대 조사장소들에 비해 습한 장소들로 구성되었기 때문인 것으로 추측된다. 즉 서산군 일대 모든 조사장소들은 서울 근교의 맑은대쭉, 꽃머느리밥풀 group, 춘성군 일대의 참취, 맑은대쭉 group과 비슷할 것으로 보인다. 실제로 Fig. 8A에서 서울 근교의 맑은대쭉, 꽃머느리밥풀 group과 춘성군 일대의 참취, 맑은대쭉 group은 제1축상에서 서산 일대 조사장소와 가깝게 위치했다.

위의 결과로 한국 중부지방 소나무림 내에서 수분과 유기물함량의 경향성을 찾아볼 수 있으며, 이러한 경향성에 따라 소나무림 하의 초본층의 조성이 달라진다는 것을 알 수 있다.

Fig. 8B에서 서울 근교와 춘성군 일대 조사장소들은 제1축상의 왼쪽에, 서산일대 조사장소들은 제1축상의 중간에 주로 위치했다.

환경 요인과 제1축, 2축상의 값들 사이의 상관분석 결과(Table 16) 제1축은 낙엽층 두께, 작열소실량, 전질소량과 유의한 정상관을, 가압축능, 치환성카블과 전질소량의 비와 유의한 부상관을 나타내었다. 따라서 제1축은 유기물 함량의 경향성을 나타내주고 있다고 추측할 수 있다. 제2축은 치환성나트륨량과 유의한 정상관을, 작열소실량과 유의한 부상관을 나타내었다.

서울 근교 조사장소들은 주로 제1축상의 왼쪽, 제2축상의 위쪽에 주로 위치하였고, 춘성군 일대 조사장소들은 제1축상의 왼쪽, 제2축상의 아래쪽에 주로 위치했다. 그리고 서산 일대 조사장소들은 제1축상의 중간, 제2축상의 중간에 주로 위치했다. Fig. 8B가 Fig. 8A와는 다소의 차이를 보이는데 이러한 차이는 소나무림내 관목층의 조성종이 풍부하지 못하며, 관목층은 인위적인 교란에 심하게 영향을 받기 때문인 것으로 추측된다. 따라서 소나무림 ordination을 실행함에 있어, 초본식생 data만을 사용하는 것이 더 효과적일 것으로 사료된다

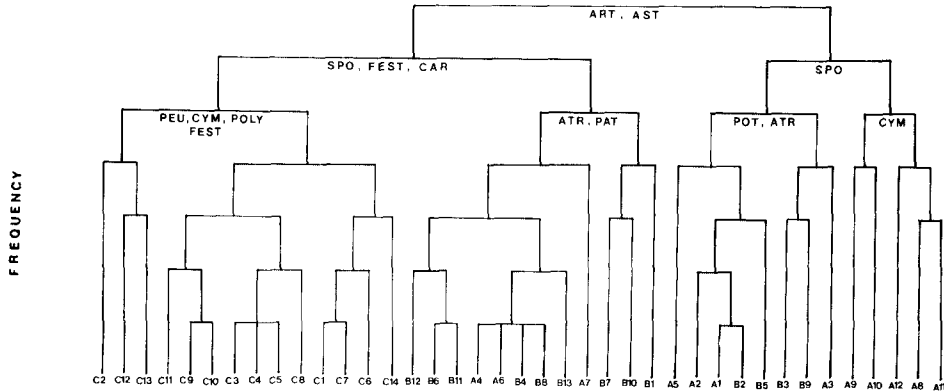


Fig. 9. Dendrogram of TWINSpan stand classification of thirty nine stands of total study area. ART, *Artemisia keiskeana*; AST, *Aster scaber*; SPO, *Spodiopogon cotulifer*; FEST, *Festuca ovina*; CAR, *Carex lanceolata*; PEU, *Peucedanum terebinthaceum*; CYM, *Cymbopogon tortilis*; POLY, *Polygala japonica*; ATR, *Atractylodes japonica*; PAT, *Patrinia scabiosaeifolia*; POT, *Potentilla fragarioides*.

Fig. 9는 전체 조사장소의 초본 식생 data를 사용한 TWINSpan stand classification의 결과이다. 총 39개 sites가 Level 1에서 맑은대쭉, 참취에 의해 크게 2무리로 나뉘어졌고, Level 2에서 기름새, 김의털, 그늘사초에 의해 site C1-C14와 site A4, A6, A7, B1, B4, B6, B7, B8, B10, B11, B12, B13의 2무리로, 기름새에 의해 site A1, A2, A3, A5, B2, B3, B5, B9와 site A8, A9, A10, A11, A12의 두 무리로 각각 나뉘어졌다.

서산 일대 조사장소들은 하나로 묶여졌으며, 서울 근교의 맑은대쭉, 꽃머느리밥풀 group과 춘성군 일대의 참취, 맑은대쭉 group, 서울 근교의 양지꽃, 산부추 group과 춘성군 일대의 맑은대쭉, 마타리 group, 서울 근교의 기름새, 솔새 group과 춘성군 일대의 억새, 솔새 group이 대체로 서로 묶여졌다. 이러한 결과는 Fig. 8의 stand ordination 결과와 대체로 일치한다.

곰솔개체 사이의 경쟁

서산군 일대의 곰솔림을 대상으로 하여 이들의 기저면적과 Thiessen polygon 면적의 빈도분포를 계산하여 곰솔의 종내경쟁을 살펴 보았다.

기저면적 빈도분포의 skewness(g1)와 kurtosis(g2)를 Table 17에 나타냈다.

6개 조사장소 모두에서 +g1이 매우 유의한 수치를 나타내었다. 이는 대다수의 개체가 소경목에 속함을 의미하며 조사장소의 곰솔림들이 심한 종내경쟁하에 있음을 나타낸다.

Table 17. Skewness (g_1) and kurtosis (g_2) of frequency distribution of the basal area for black pine (*Pinus thunbergii*) stands in Sosan area; N is the number of observation in each site;
* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

Site No.	N	Number of class	g_1	g_2	Age (year)
C1	73	7	1.2196***	2.1636***	10-15
C2	89	8	2.1199***	5.9677***	10-15
C7	116	8	1.4381***	2.0531***	15-20
C8	102	8	0.7320**	0.3648	15-22
C9	133	9	1.9848***	4.0177***	25-35
C11	82	8	0.8804***	0.9926	30-35

g_2 는 모든 조사장소에서 leptokurtic 분포를 하고 있으며 4개 조사장소에서 매우 유의한 수치를 나타냈다. (Fig. 10).

Koyama and Kira(1956), Ford(1975), Mohler *et al.*(1978)은 빈도분포가 경쟁이 있을 때 positively skew하고 bimodal(platykurtic) 분포를 나타낸다고 하였으나, 오(1981)는 유의한 $+g_2$ (leptokurtic)를 나타내는 집단이 심한 경쟁 하에 있었다고 했다. 본 조사 장소에서는 모두 유의한 $+g_1$ 값을 가지며 또한 모두 leptokurtic 분포를 나타냈다. 즉 $+g_1$ 이 유의한 경우 대부분 $+g_2$ 가 유의하다. 따라서 오(1981)의 결론과 일치함을 알

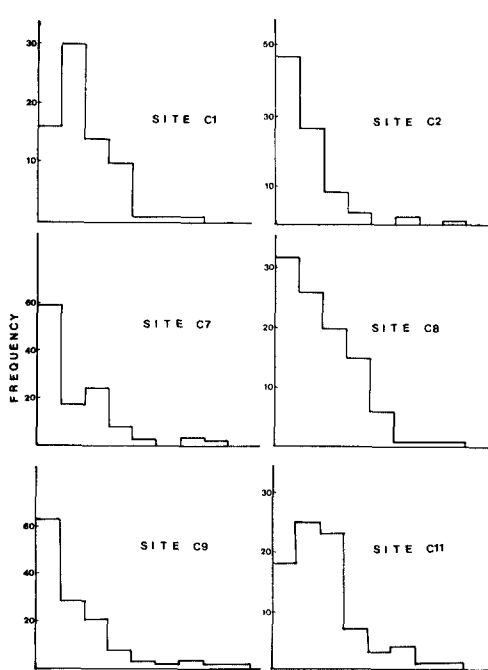


Fig. 10. The frequency distribution of the basal area for black pine (*Pinus thunbergii*) stands in Sosan area.

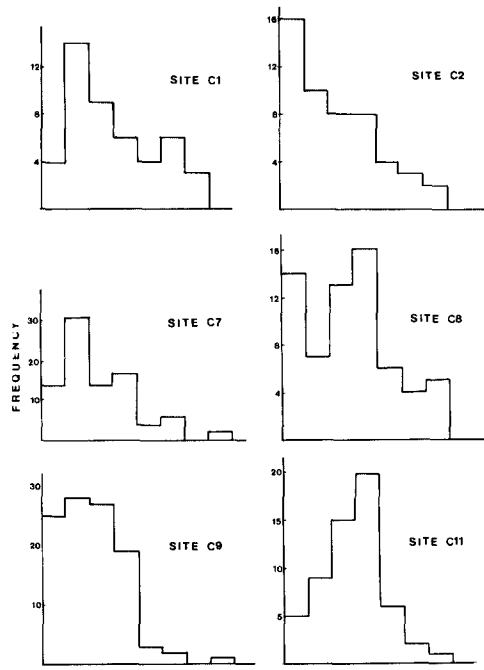


Fig. 11. The frequency distribution of the Thiessen polygon area for black pine (*Pinus thunbergii*) stands in Sosan area.

수 있다. 기저면적 빈도분포에 의한 결과로 볼 때 조사장소 내 곰솔의 수령이 20-45년생이었으므로 종내경쟁이 45년에 이를 때까지 지속되는 것으로 나타났다.

Gini 계수는 site C1이 0.312, site C2가 0.358, site C7이 0.480, site C8이 0.399, site C9가 0.477, site C11이 0.295였다. 따라서 site C7에서 개체간의 불균등 정도가 가장 심하며 site C11에서 가장 덜 했다. 대체로 Gini 계수는 수령에 반비례하게 나타났으며 skewness와 대체로 일치하였다.

Thiessen polygon 면적 빈도분포의 skewness(g_1)와 kurtosis(g_2)는 Table 18에 나타나 있다. 기저면적 빈도분포에서와는 달리 site C2, C7, C9에서만 $+g_1$ 이 유의한 수치를 나타내었으며 유의한 g_2 값을 나타내는 장소는 없었다 (Fig. 11).

Table 18. Skewness (g_1) and kurtosis (g_2) of frequency distribution of the Thiessen polygon area for black pine (*Pinus thunbergii*) stands in Sosan area; N is the number of observation in each site; * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

Site No.	N	Number of class	g_1	g_2	Age (year)
C1	46	7	0.5513	-0.8523	10-15
C2	51	7	0.7353*	-0.3865	10-15
C7	88	8	0.7200**	0.4076	15-20
C8	65	7	0.3479	-0.6395	15-22
C9	105	8	0.5132*	0.3044	25-35
C11	58	7	0.1368	0.1561	30-35

이처럼 기저면적 빈도분포에 비해 유의한 g_1 , g_2 값을 적게 나타내는 이유는, 첫째로 Thiessen polygon 면적을 측정할 때 주변부에 위치한 개체들은 완전한 polygon 면적을 이루지 못해 제거됨으로 polygon 면적 표본의 수가 기저면적 표본의 수에 비해 적었으며, 따라서 기저면적 빈도분포에 비해 유의한 g_1 , g_2 값을 적게 나타내었다고 볼 수 있으며, 둘째로 Mithen *et al.* (1984)은 self-thinning을 거친 후 polygon 면적이 정상분포를 하며, 또한 polygon size의 불균등성 정도가 감소된 후에도 식물체 무게의 불균등성 정도는 self-thinning 이전과 비슷했다고 했다. 따라서 thinning 등을 거쳐 종내 경쟁이 어느 정도 감소된 후에도 기저면적 빈도분포는 유의한 g_1 , g_2 값을 가질 수 있을 것으로 추측된다. 그러므로 조사장소 내에 모든 개체를 도면 위에 옮겨야 하는 어려움 및 polygon 면적을 구하는 어려움이 보완될 때 Thiessen polygon 면적 빈도분포에 의한 종내경쟁의 탐지는 기저면적 빈도분포에 의한 방법보다 더 명확한 결론을 줄 수 있을 것이라고 생각된다. Thiessen polygon 면적 빈도 분포에 의한 결과로 볼 때 site C2, C7, C9에서 유의한 $+g_1$ 값을 나타냈는데 site C2, C7, C9는 20-30년생이다. 따라서 곰솔은 30년이 지나면 종내경쟁이 어느 정도 감소되는 것으로 보인다.

요 약

서울 근교, 춘성군 일대 및 서산군 일대에서 자라고 있는 소나무림 내의 식생미분포와

이들의 환경요인과의 관계를 통합적으로 살피기 위하여 ordination(DECORANA)과 classification(TWINSAPN)의 다변수 기법을 동시에 적용하였다. 또한 서산군 일대 곰솔림 내의 종내경쟁을 탐지하기 위해 기저면적 및 Thiessen polygon을 분석하였으며, Gini 계수를 계산하였다.

서울근교 12 소나무림(*Pinus densiflora*)은 DECORANA stand ordination과 TWINSAPN stand classification 결과 개방수관을 이루고, 사토함량이 높아 건조하며, 초본의 종밀도가 낮고 건조에 강한 화본과식물 등이 많이 자라는 기름새, 솔새 group, 폐쇄수관을 이루고 사토함량이 낮고 최대용수량이 높아 비교적 습하며 초본의 종밀도가 높고 내음성을 가진 초본들이 많이 관찰되는 맑은대쭉, 꽃머느리밥풀 group과 위 두 group의 중간적인 성격을 띠는 양지꽃, 산부추 group으로 대별되었다.

식생과 환경요인과의 관계를 알아보기 위해 환경요인과 DECORANA stand ordination의 각 축상의 값들 사이의 상관분석을 한 결과 제1축은 수분과 치환성 양이온의 경향성을 나타내었으며, 제2축은 어느 환경요인과의 유의한 상관관계를 나타내지 않았다.

춘성군 일대 13 소나무림은 DECORANA와 TWINSAPN 처리결과, 개방수관을 이루고 사토함량이 높고 유기물 함량이 낮고 초본의 종밀도가 낮은 억새, 솔새 group, 폐쇄수관을 이루고 사토함유량이 낮으며, 초본의 종밀도가 높은 내음성을 지닌 초본들이 많이 발견되는 참취, 맑은대쭉 group과 위 두 group의 중간적인 성격을 띠는 맑은대쭉, 마타리 group으로 대별되었다. 환경요인과 DECORANA stand ordination의 각 축상의 값들 사이의 상관분석을 한 결과 제1축은 수분과 유기물 함량의 경향성을 나타내었고, 제2축은 치환성 칼슘량과 유의한 상관을 나타냈다.

서산군 일대의 곰솔림(*Pinus thunbergii*) 내에서는 서울근교와 춘성군일대 소나무림 내에서와는 달리 pH와 치환성 양이온의 구배를 찾아 볼 수 있었다. 따라서 서산일대 곰솔림 내의 초본조성은 수분이 아닌 pH 및 치환성 양이온에 의해 차이를 나타낼 것으로 추측된다.

서산일대 곰솔림을 기저면적과 Thiessen polygon 면적의 빈도분포를 계산하여 종내경쟁을 살펴본 결과 종내경쟁이 45년에 이를 때까지 지속되나 30년 이후부터는 경쟁이 어느 정도 감소되는 것으로 보이며 Thiessen polygon 면적 빈도분포에 의한 종내경쟁의 탐지는 기저면적 빈도분포에 의한 방법보다 더 명확한 결론을 주는 것으로 사료된다.

引用 文 獻

- 강윤순·오계철, 1982. 광릉 삼림군집에 대한 ordination 방법의 적용. 식회지 25 : 83-99.
- 오계철, 1970. 소나무 군집안의 주요 구성종의 미분포와 중간상관. 식회지 13 : 33-46.
- 오계철, 1981. 침엽수 동령 인공림내 개목들의 기저면적 빈도분포에 의거한 종내 경쟁에 대한 고찰. 식회지 24 : 47-57.
- 이창복, 1985. 대한 식물 도감, 향문사, 서울 990 pp.
- 조운신·오계철, 1987. 서울근교 자연생 소나무림에 대한 ordination 방법의 적용. 한생태지 10 : 63-80.
- Allen, S.E., H.M. Grimshaw, J.A. Parkinson, C. Quarmby and J.D. Roberts. 1976. Chemical analysis. In, Methods in Plant Ecology, S.B. Chapman (ed.). Blackwell Sci., Oxford. pp. 297-367.
- Ball, D.F. 1976. Sites and soil. In, Methods in Plant Ecology, S.B. Chapman (ed.). Blackwell Sci., Oxford.

- pp. 297-367.
- Bray, R.H. 1948. Correlation of soil tests with crop responses to added fertilizer requirement: Diagnostic technique for soils and crops. The American Potash Institute, Washington D.C. pp. 53-86.
- Ford, E.D. 1975. Competition and stand structure in some even-aged plant monoculture. *J. Ecol.* 63:311-333.
- Gauch, H.G. 1982. *Multivariate analysis in community ecology.* Cambridge University press, Cambridge.
- Greig-Smith, P. 1983. *Quantitative plant ecology.* 3rd Ed., University of California Press, Berkeley, California.
- Hill, M.O. 1979a. Decorana-a Fortran program for detrended correspondence analysis and reciprocal averaging. *Ecology and Systematics, Cornell University, Ithaca, N.Y.*
- Hill, M.O. 1979b. Twinspan-a Fortran program for arranging multivariate data in an ordered two way table by classification of individuals and attributes. *Ecology and Systematics, Cornell University, Ithaca, N.Y.*
- Hobbs, E.R. 1988. Using ordination to analyze the composition and structure of urban forest islands. *Forest Ecology and Management* 23:139-158.
- Kenkel, N.C., J.A. Hoskins and W.D. Hoskins. 1989. Edge effects in the use of area polygons to study competition. *Ecology* 70: 272-274.
- Koyama, H. and Y. Kira. 1956. Intraspecific competition among higher plants. VIII. Frequency distribution of individual plant weight as affected by the interaction between plants. *J. Inst. Polytech. Osaka City Univ. Ser. D7: 73-94.*
- Legendre, R. and P. Legendre. 1983. *Numerical ecology.* Elsevier Scientific Publishing Company, Oxford.
- Mithen, R., J. L. Harper and H. Weiner. 1984. Growth and mortality of individual plants as a function of available area. *Oecologia (Berlin)* 62:57-60.
- Mohler, C.L., P.L. Marks and D.G. Sprugel. 1978. Stand structure and allometry of trees during self-thinning of pure stands. *J. Ecol.* 66:509-614.
- Sokal, R.R. and F.J. Rohlf. 1969. *Biometry.* W.H. Freeman and Company, San Francisco.
- Weiner, J. and O.T. Solbrig. 1984. The meaning and measurement of size hierarchies in plant populations. *Oecologia* 61:334-336.

감사의 글

무더운 날씨에 야외조사를 도와준 서강대학교 이정섭, 정진석, 강영수, 김관중, 임재석군과 한림대학교 박상렬, 김성수, 민유홍, 정명호군에게 깊이 감사한다.

또한 자료정리를 도와준 고미연, 손원영, 김현희에게 감사하며, 야외조사시 많은 도움을 주신 천리포 수목원의 민경갈, 송진수씨께도 감사한다.

(1989年 4月 24日 接受)