Korean J. Ecol. 10(2) : 63~80, 1987

서울근교 자연생 소나무林에 대한 Ordination 방법의 적용

趙 胤 信·吳 桂 七
(西江大學校 理工大學 生物學科)

An Application of Ordination to semi-Natural Pine (*Pinus densiflora*) Stands nearby Seoul Area

Cho, Yoon Shin and Kye Chil Oh
(*Dept. of Biology, College of Science and Engineering, Sogang University*)

ABSTRACT

Detrended correspondence analysis(DCA) and two way indicator species analysis(TWINSPAN) were applied to *Pinus densiflora* stands nearby Seoul area in order to classify them into several groups based on herbaceous species and environmental relationships.

The eighteen *Pinus densiflora* stands were preferentially selected. In each stand, 30 to 60 quadrats, (20×20)cm, were randomly estabilished. In each quadrat, all stems for herbaceous plants were recorded by species and their covers were measured. In addition environmental factors such as soil depth, thickness of litter layer, soil compressibility, tree density, basal area, elevation, slope and exposure were determined for each stand. Four to twelve soil cores were collected and physical and chemical properties were determined. This survey was conducted from 15, July, 1985 to 22, September, 1985.

Analysis of the vegetation and environmental data were performed with DECORANA and TWINSPAN.

Stand ordination (DECORANA) and classification (TWINSPAN) based on herbaceous species suggest that the stands can be classified into five groups in terms of herbaceous species composition and environmental relationships.

Type I, Type II, Type III, Type IV and Type V were classified to SUBMESIC-CLOSED CANOPY (*Artemisia keiskeana, Carex nanella*), MESIC-CLOSED CANOPY (*Spodiopogon sibiricus, Miscanthus sinensis, Carex nanella, Pteridum aquilinum, Melampyrum rosium*), SUBMESIC-OPEN CANOPY (*Melampyrum rosium, Spodiopogon sibiricus, Miscanthus sinensis*), XERIC-CLOSED CANOPY (*Carex nanella, Spodiopogon sibiricus, Osmunda japonica*) and XERIC-OPEN CANOPY (*Arundinella hirta, Spodiopogon sibiricus, Carex nanella*), respectively. These results were consistent with environmental trends on stand ordination.

Application of the ordination and classification to *Pinus densiflora* stands were effective as a approach in obtaining preliminary ecological information.

서 론

우리나라에서 소나무林(*Pinus densiflora*)은 全 임야 면적의 대부분을 차지하고 있음에도 불구하고 소나무 군집간의 변이에 관한 연구는 별로 이루어져 있지 않은 실정이다.

소나무는 生育에 있어서 많은 光을 요구하여 낮은 山地의 남사면 혹은 남서 사면에 흔히 분포하며 砂土가 많이 함유되어 있는 건조하고 척박한 토양에서 주로 生育하고 있는 특성(吳, 1970)을 지니고 있기 때문에 소나무군집내의 林床植物은 다른 산림 군집내의 林床植物에 비해 다양도가 낮은 특징을 보여준다(辛과 林, 1976).

초본 식물들의 분포 양상과 풍부도는 환경의 미세한 변이에 따라서도 크게 차이를 나타낼 수 있으므로, 本 연구에서는 서울 근교에 분포된 소나무 군집下의 초본층에 대하여 ordination의 한 기법인 detrended correspondence analysis (DECORANA)와 군집 분류의 한 기법인 two way indicator species analysis (TWINSPAN)를 同時에 적용하여 소나무군집간의 변이를 조사하고 이를 몇 무리로 구분해 보고자 하였다. 또한 ordination 결과에 따라 소나무 생장에 영향을 미치는 요인들을 규명하고저 하였다(Hill *et al.*, 1975).

여러 다른 형태의 식생 분석에 ordination 및 classification등의 다변수 분석을 적용시킨 연구가 외국에서는 많이 이루어지고 있으며 식생을 몇 무리로 구분지어 일반화 시키는데 매우 효과적이었음이 보고되었다(Austin and Greig-Smith, 1968; Greig-Smith *et al.*, 1967; Kershaw, 1968; Pemadasa *et al.*, 1979; Pemadasa and Mueller-Dombois, 1979; Swain and Greig-Smith, 1980).

여러가지 ordination 기법중에서 최근에 개발된 DECORANA(Hill, 1979a)는 종래 PCA, RA등의 기법들이 보여주었던 arch effect (Gauch *et al.*, 1977; Hill, 1973)와 축의 양끝이 압축되는 왜곡 현상을 제거하여 ordination 효과를 보다 증진시킨 방법(Hill and Gauch, 1980)이며 군집 분류의 한 기법인 TWINSPAN(Hill, 1979b)은 classification 방법중 polythetic-divisive method에 의거한 것이다(Gauch and Whittaker, 1981; Hill *et al.*, 1975).

조사장소 및 방법

조사장소 연구 대상지는 서울 근교와 경기도 일원의 여러지역을 택하여 사전답사를 거쳐 설정하였다. 사전답사는 1985년 5월초부터 1985년 7월 초에 걸쳐 하였으며 사전답사를 통해 관악산, 북한산, 수락산, 운길산, 경기도 남양주군 와부읍 도곡리, 경기도 화성군 비봉면 양로리등의 6개 지역에서 총 18지점의 연구 대상지를 설정하였다. 이때 연구 대상지는 외견상 벌목이나 방화등의 인위작용을 거의 받지 않은 상태의 20년 내지 30년생 정도의 자연생 소나무林을 택하였다(Fig. 1).

총 18장소의 표본 수집지 중에서 site 1, 7, 8은 경기도 시흥군 과천면에서 관악산에 걸친 지역이며 토양내 사토 함유량이 매우 높은 지역들이다. Site 2, 4, 18은 경기도 고양군 신도읍에서 북한산에 걸친 지역이며 토양내 사토 함유량이 매우 높았고 건조했으며 site 18을 제외한 나머지 두 장소는 소나무의 수관이 개방되어 있었다. Site 3, 5는 경기도 남양주군 별내면에서 수락산 방면으로 위치한 지역이며 토양내 사토가 많이 함유되어 있었고 매우 건조한 지역이었다. 두 장소 모두 소나무의 수관이 개방되어 있었고 소나무의 밀도가 비교적 낮았다.

Site 6은 경기도 남양주군 와부읍 도곡리에 위치한 지역으로 소나무의 밀도가 높았으며 수관은 폐쇄되어 있었다. 토양내 사토 함유량은 비교적 낮았으며 다소 습한 지역이었다.

Site 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15는 경기도 남양주군 송촌리와 진중리에서 운길산 방향으로 위치한 곳들이며, site 9를 제외하고는 모두 소나무의 수관이 폐쇄되었고 토양내 사토함유량은 비교적 낮았으며 습한 지역이었다.

Site 16, 17은 경기도 화성군 비봉면 양로리에 위치하였으며 소나무의 밀도가 높고 수관이 폐쇄된 지역이었다. 토양내 사토 함유량은 비교적 적었고 濕하였다.

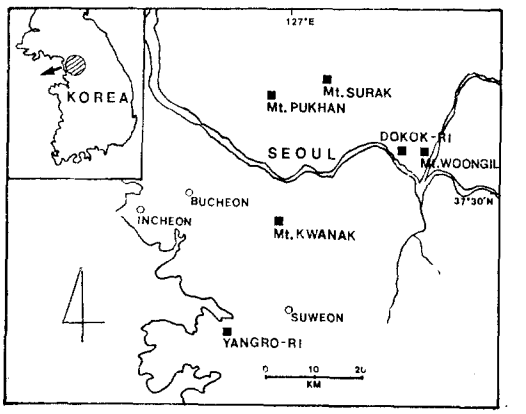

Fig. 1. Map showing the study areas. (■ study area)

표본 수집 방법 各 site에서 (10×10)m 크기의 방형틀을 1개 내지 3개 설치하여 소나무의 개체수를 측정하였고 아울러 흉고 주위를 측정하였다.

各 site에서 소나무의 연 신장 성장량에 있어서의 차이를 알아보기 위하여 20개체의 소나무를 임의로 선정한 후 가장 최근에 형성된 절간 부위에서부터 아랫쪽으로 약 12~15개의 절간 부위 길이를 측정하였다(吳, 1972).

초본층 조사를 위하여 각 site에서 (20×20)cm 크기의 방형틀을 30~60개 random하게 설치하여 출현종의 stem수와 피도를 측정하였다.

식물들의 명명은 鄭(1965)을 따랐다.

各 site마다 비생물적 환경 요소를 측정하기 위하여 토양심도, 토양가압축능, 낙엽층의 두께등을 10회 내지 36회 측정하였으며 고도, 사면향, 경사도등을 측정하였다. 이때 토양가압축능은 soil penetrometer (Soiltest Inc., Model CL-700)를 사용하여 측정하였다.

토양 요인 분석을 위하여 지표의 낙엽을 제거한 후 직경 7.3 cm, 높이 6.8 cm의 soil sleeve를 사용하여 각 site마다 random하게 4개 내지 12개의 soil을 채취하였다.

이상의 야외조사는 1985년 7월 15일에서부터 1985년 9월 22일에 걸쳐 실시하였다.

토양 분석 야외에서 채취한 토양을 氣乾, 분쇄한 후 2 mm sieve로 걸러서 모든 分析에 사용하였다.

실험실 토양 pH는 증류수와 토양의 비가 2 : 1로 되게한 후 1분간 흔들어 주고 20분간 세워둔 다음 위의 상등액을 pH meter (Kent EIL 7045/46 pH meter)를 사용하여 측정하였다(Allen, *et al.*, 1976). 최대 용수량은 직경 5.4 cm, 높이 2 cm의 밑면에 작은 구멍들이 뚫린 원통에 흙을 완전히 채우고, 이것을 물로 포화시킨 후 무게를 재고(W_b) 최종적으로 105°C에서 12시간 oven dry시킨 후에 무게를 측정(W_a)하여 다음의 式으로써 구하였다.

$$\text{최대 용수량} = \frac{W_b - W_a}{W_a} \times 100$$

토양조성은 pipette method를 이용한 mechanical analysis에 의거하였다(Ball, 1976). 가용성 인량은 Bray's method (Bray, 1948)에 의거하여 spectrophotometer(Helena Laboratories,

Table 1. Sampling site and topography of natural young Japanese red pine stands

Site No.	Location	Georgaphic position E	Georgaphic position N	Altitude (m)	Exposure	Slope	Soil description
1	Mt. KWANAK (KWACHEON-MYEON SIHEUNG-KUN)	126°58'58"	37°26'09"	215	SWW	35°	Loamy sand
2	Mt. PUKHAN (SINDO-EUP KOYANG-KUN)	126°57'20"	37°39'15"	150	SWW	28°	Loamy sand
3	Mt. SURAK (BYEOLNAE-MYEON NAMYANGJU-KUN)	127°05'37"	37°41'45"	270	SSE	40°	Sand
4	Mt. PUKHAN (SINDO-EUP KOYANG-KUN)	126°57'43"	37°39'14"	190	SW	28°	Sand
5	Mt. SURAK (BYEOLNAE-MYEON NAMYANGJU-KUN)	127°06'01"	37°41'55"	190	SE	29°	Sand
6	DOKOK-RI NAMYANGJU-KUN KYEONGGI-DO	127°15'17"	37°34'49"	156	S	33°	Sandy loam
7	Mt. KWANAK (KWACHEON-MYEON SIHEUNG-KUN)	126°58'46"	37°26'25"	380	SE	21°	Sand
8	Mt. KWANAK (KWACHEON-MYEON SIHEUNG-KUN)	126°59'02"	37°26'06"	231	SSW	17°	Loamy sand
9	Mt. WOONGIL (SONGCHON-RI NAMYANGJU-KUN)	127°18'38"	37°34'10"	248	SW	30°	Sandy loam
10	Mt. WOONGIL (SONGCHON-RI NAMYANGJU-KUN)	127°18'30"	37°33'59"	206	S	34°	Silt loam
11	Mt. WOONGIL (SONGCHON-RI NAMYANGJU-KUN)	127°18'38"	37°33'45"	115	SSE	29°	Silt loam
12	Mt. WOONGIL (SONGCHON-RI NAMYANGJU-KUN)	127°18'22"	37°33'45"	223	S	30°	Silt loam
13	Mt. WOONGIL (SONGCHON-RI NAMYANGJU-KUN)	127°18'30"	37°33'49"	170	SSW	44°	Silt loam
14	Mt. WOONGIL (SONGCHON-RI NAMYANGJU-KUN)	127°18'41"	37°33'49"	130	SE	29°	Silt loam
15	Mt. WOONGIL (JINJUNG-RI NAMYANGJU-KUN)	127°18'15"	37°33'36"	165	NWW	25°	Silt loam
16	YANGRO-2nd-RI HWASEONG-KUN KYEONGGI-DO	126°53'03"	37°13'27"	180	SWW	33°	Sandy loam
17	YANGRO-2nd-RI HWASEONG-KUN KYEONGGI-DO	126°53'28"	37°13'27"	215	SW	32°	Silt loam
18	Mt. PUKHAN (SINDO-EUP KOYANG-KUN)	126°57'43"	37°39'35"	215	SW	21°	Sand

Table 2. Vegetational data matrix: X_{ij} values of thirty seven herbaceous species from eighteen Japanese red pine stands nearby Seoul city

Species \ Site No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Osmunda japonica	13.07																	
Pteridium aguilinum						2.52			21.23	18.00	4.34	6.29	12.43	13.02				
Clematis brachyura								3.74							1.87			1.39
Potentilla fragarioides			0.29		2.64	0.74					0.15			0.74		2.26	1.08	0.72
Potentilla Freyniana											0.12	0.62		0.19				0.67
Pyrola japonica											7.62						3.09	
Peucedanum terebinthaceum		3.64			3.43									0.56		3.10	2.03	5.57
Lysimachis clethroides													0.48			3.92		
Amethystanthus inflexus	5.60					0.41		4.08							1.19	4.05		
Melampyrum roseum							38.13		11.17	9.77	2.58	14.18	5.79	1.64	3.38		0.24	
Melampyrum setaceum			42.833															
Patrinia villosa		7.64	2.33					0.68		0.48			4.07	1.49				2.41
Platycodon glaucum							4.98				0.42	0.55		0.43	1.46	2.71		0.34
Artemisia keiskeana						18.00					7.66	2.45	6.22	2.09	5.49	8.04	29.17	0.91
Aster scaber						10.33				1.49	2.56		2.74	4.36	2.61			
Atractylodes lyrata		2.10	2.31		7.20						2.47	1.32	7.99	0.45	1.19	14.71	7.94	5.47
Chrysanthemum indicum	3.77						2.00	4.80										
Eupatorium Fortunei	5.44	0.60								0.60	0.63				0.73			0.24
Saussurea Maximowiczii		5.81			2.31													
Solidago virgaurea				1.22		2.14								1.16	0.88			
Ixeris dentata		1.85											0.25	0.49				
Carex lanceolata									11.88	1.75	1.45			2.05	8.45	2.11		8.71
Carex nanella	24.15	12.52	1.70	18.87	4.72	6.86		5.74	1.21	1.21	24.69	27.09	18.39	3.88		25.68	34.04	7.45
Carex siderosticta															5.11			
Arundinella hirta	1.09	28.62	16.01	20.65	7.27	2.70	15.88	17.49	13.55	1.21	5.50	2.24	10.10	5.08	1.57	6.09	5.04	25.99
Calamagrostis arundinacea						4.12			1.50	10.64	3.58	1.38	0.28	1.49	4.17	6.79		0.28
Cymbopogon Goeringii		0.47		9.06	4.63	10.08		5.50					0.31			0.34		
Miscanthus sinensis			6.81	1.24	8.24	27.01	14.90		16.08	11.49	12.71	10.76	4.15	34.89	28.03	4.22	7.93	1.06
Spodiopogon sibiricus	14.28	34.07	18.05	27.47	53.28	7.44	22.93	28.86	20.34	33.79	19.56	28.18	22.43	21.14	27.43	14.45	7.32	34.82
Themeda japonica				20.80				4.11				0.36				1.48		2.72
Smilax Oldhami						2.41				7.44		2.53		0.43	3.17			
Polygonatum humile									1.30	0.69	1.69		2.30		0.18			
Hemerocallis aurantiaca					5.27	5.18			1.69									
Hemerocallis Dumorfieri			2.63	0.42			1.14	14.39			1.19	0.61		0.24				
Allium japonica								9.55										0.96
Lilium pseudotigium												0.78	0.72		0.69			
Iris Rossii											0.83	0.55	0.31					

Table 3. Environmental data matrix: Mean values for fourteen environmental variables for eigthteen Japanese red pine stands nearby Seoul city. Data are means±standard error and number of observation in parentheses.

Environmental property / Site No.	Depth of soil (cm)	Soil compressibility (kg/cm^2)	Thickness of litter layer (cm)	Loss on ignition (%)	Soil pH (Lab.)	Maximum field capacity (%)	Sand(coarse and fine) content (%)	Easily soluble phosphorus (ppm)	Total nitrogen (%)	Exchangeable potassium (ppm)	Exchangeable calcium (ppm)	Exchangeable sodium (ppm)	Tree Basal area ($cm^2/100m^2$)	Tree density (No.of tree/ $100m^2$)
1	27.2 ±2.24(5)	0.51 ±0.065(10)	5.50 ±0.707(5)	4.312 ±0.458(4)	4.54 ±0.03(4)	34.542 ±0.924(4)	82.765 (1)	4.54 ±0.21(4)	0.0613 ±0.0144(2)	53.2 ±4.6(4)	110.5 ±6.51(4)	13.8 ±1.5(4)	1063.170 (1)	45 (1)
2	22.1 ±1.26(30)	0.81 ±0.093(30)	1.97 ±0.223(30)	4.357 ±0.328(12)	4.54 ±0.06(12)	33.945 ±1.362(12)	84.565 (1)	4.50 ±0.42(11)	0.0397 ±0.0038(3)	64.4 ±8.8(2)	125.4 ±20.6(12)	19.6 ±1.7(12)	1309.864 ±139.852(3)	47.67 ±6.173(3)
3	13.8 ±3.19(10)	0.62 ±0.077(10)	1.16 ±0.359(10)	5.519 ±0.393(6)	4.39 ±0.05(8)	31.122 ±1.660(6)	85.090 (1)	7.72 ±0.68(5)	0.0667 ±0.0090(3)	49.7 ±9.0(8)	76.0 ±20.9(8)	18.1 ±2.0(8)	600.116 (1)	23 (1)
4	11.7 ±1.27(24)	1.07 ±0.130(24)	2.00 ±0.180(24)	3.880 ±0.294(8)	4.68 ±0.03(8)	28.206 ±0.521(8)	88.405 (1)	6.36 ±0.51(8)	0.0504 ±0.0035(2)	48.1 ±7.0(8)	76.8 ±5.5(8)	20.0 ±3.9(8)	975.224 (1)	26 (1)
5	12.1 ±1.59(12)	0.78 ±0.094(12)	1.71 ±0.248(12)	3.641 ±0.684(4)	4.63 ±0.09(4)	29.569 ±1.797(4)	89.400 (1)	4.20 ±0.74(4)	0.0396 ±0.0200(2)	38.6 ±2.2(4)	119.5 ±20.0(4)	14.4 ±1.2(4)	778.603 (1)	34 (1)
6	29.0 ±2.69(24)	0.66 ±0.100(24)	3.59 ±0.290(24)	7.579 ±0.294(8)	4.62 ±0.07(8)	52.262 ±1.759(8)	64.225 (1)	6.27 ±0.44(8)	0.0895 ±0.0007(2)	113.2 ±8.0(8)	161.1 ±27.3(8)	24.1 ±2.8(8)	1150.780 ±55.178(2)	46 ±12.000(2)
7	11.2 ±0.72(12)	0.64 ±0.096(12)	1.96 ±0.242(12)	5.154 ±0.113(4)	4.88 ±0.09(4)	32.687 ±1.801(4)	87.010 (1)	4.46 ±0.54(4)	0.0669 ±0.0053(2)	46.8 ±5.7(4)	131.3 ±24.9(4)	13.9 ±1.1(4)	666.478 (1)	29 (1)
8	29.4 ±3.79(12)	0.94 ±0.126(12)	1.92 ±0.240(12)	4.703 ±0.600(4)	4.81 ±0.10(4)	35.332 ±3.485(4)	85.610 (1)	4.09 ±0.43(4)	0.0648 ±0.0074(2)	66.2 ±10.2(4)	141.3 ±15.8(4)	19.1 ±3.0(4)	986.976 (1)	53 (1)
9	17.1 ±3.13(12)	1.34 ±0.189(12)	1.88 ±0.223(12)	10.014 ±0.929(4)	4.63 ±0.03(4)	60.742 ±3.672(4)	44.835 (1)	8.96 ±0.33(4)	0.1691 ±0.0158(2)	90.6 ±6.1(4)	121.8 ±47.0(4)	15.7 ±2.4(4)	648.556 (1)	22 (1)
10	19.2 ±2.82(12)	0.98 ±0.153(12)	1.52 ±0.146(12)	16.232 ±0.650(4)	4.62 ±0.05(4)	78.616 ±3.897(4)	35.315 (1)	8.24 ±0.34(4)	0.3395 ±0.0189(2)	113.6 ±13.8(4)	310.7 ±50.1(3)	20.8 ±2.1(4)	1091.865 ±23.191(2)	27 ±0.949(2)
11	17.2 ±1.18(12)	0.66 ±0.089(12)	3.17 ±0.333(12)	7.498 ±0.276(4)	4.79 ±0.02(4)	58.336 ±1.067(4)	29.250 (1)	4.44 ±0.27(4)	0.1288 ±0.0042(2)	73.4 ±5.0(4)	118.5 ±16.6(4)	18.0 ±1.4(4)	1151.973 ±86.079(2)	54.5 ±2.500(2)
12	31.5 ±6.30(4)	0.62 ±0.081(12)	5.29 ±0.523(12)	9.334 ±0.760(5)	4.68 ±0.04(5)	55.992 ±3.734(5)	42.790 (1)	5.67 ±0.67(5)	0.1580 ±0.0111(3)	84.2 ±1.8(5)	90.0 ±16.3(5)	20.3 ±1.7(5)	1251.276 (1)	34 (1)
13	28.5 ±2.87(12)	0.66 ±0.094(12)	3.29 ±0.520(12)	9.006 ±0.333(4)	4.79 ±0.07(4)	56.357 ±2.535(4)	42.490 (1)	4.18 ±0.56(4)	0.1208 ±0.0039(2)	89.2 ±8.4(4)	107.3 ±24.1(4)	20.5 ±2.6(4)	1546.076 (1)	50 (1)
14	29.6 ±2.98(16)	0.63 ±0.064(12)	2.53 ±0.304(12)	7.006 ±0.340(5)	4.65 ±0.04(5)	59.991 ±1.993(5)	27.72 (1)	4.82 ±0.29(5)	0.1132 ±0.0089(3)	58.9 ±3.1(5)	45.4 ±10.3(5)	17.0 ±0.8(5)	846.240 ±58.817(2)	38.5 ±1.500(2)
15	22.1 ±3.64(12)	0.35 ±0.035(12)	2.68 ±0.481(12)	9.256 ±0.247(4)	4.81 ±0.09(4)	61.863 ±1.747(4)	25.62 (1)	7.16 ±0.55(4)	0.1789 ±0.0060(2)	78.9 ±11.2(4)	224.0 ±57.8(4)	19.4 ±3.6(4)	1086.730 (1)	34 (1)
16	24.5 ±2.64(12)	0.37 ±0.072(12)	2.52 ±0.285(12)	5.861 ±0.682(4)	4.99 ±0.06(4)	42.500 ±2.908(4)	54.43 (1)	3.74 ±0.37(4)	0.0658 ±0.0140(2)	84.8 ±9.3(4)	213.8 ±26.3(4)	19.6 ±2.6(4)	693.842 (1)	45 (1)
17	31.1 ±2.53(12)	0.23 ±0.049(12)	4.50 ±0.485(12)	12.430 ±0.406(4)	4.69 ±0.06(4)	66.787 ±1.591(4)	40.49 (1)	6.35 ±0.23(4)	0.1960 ±0.0028(2)	94.4 ±14.8(4)	189.3 ±26.6(3)	21.7 ±1.3(3)	1521.519 (1)	67 (1)
18	21.5 ±3.01(12)	0.45 ±0.048(12)	1.80 ±0.165(12)	3.757 ±0.166(4)	4.92 ±0.05(4)	33.698 ±1.714(4)	88.95 (1)	3.35 ±0.26(4)	0.0364 ±0.0126(2)	45.8 ±5.4(4)	198.3 ±37.4(4)	13.7 ±1.8(4)	932.997 (1)	48 (1)

Digispec X)를 사용하여 측정하였다. 치환성 양이온(Ca^{2+}, Na^{+}, K^{+})은 pH 7.0, 1.0N ammonium acetate로 추출한 후 flame photometer (Corning, Model 400)를 사용하여 측정하였다(Allen *et al.*, 1976).

유기물 작열 소실량과 全질소량은 氣乾土를 0.5 mm sieve로 친 후 약 4시간 동안 105°C에서 oven dry시킨 soil을 사용하여 분석하였다. 유기물 작열소실량은 흙을 Cress Electric Furnace (J.J. Cress Co. Model C-100-6)에서 450°C로 4시간동안 태운 후 태우기 전후의 무게감소 비율로써 측정하였다(吳, 1980). 全질소량은 micro-kjeldahl 法으로 정량하였다(Allen *et al.*, 1976).

이상의 토양 분석은 1986년 1월 1일부터 1986년 4월 30일에 걸쳐 수행하였다.

수리분석 야외에서 수집된 초본 식물 data를 이용하여 다음과 같이 중요치 X_{ij} 값을 결정하였다(姜, 1981).

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

X_{ij} : j site에서의 i種의 중요치
d_{ij} : j site에서의 i種의 상대밀도
D_{ij} : j site에서의 i種의 상대우점도

총 18개 조사지에서 출현한 초본종은 모두 53種이었고 이중 출현빈도가 1회 이하이고 중요치 X_{ij} 값이 5%이하인 種을 제거하여 37種 18장소의 vegetational data matrix를 作成하였다(Table 2). 또한 야외 조사와 실험실 측정 결과 얻어낸 각가지 환경요인들을 이용하여 environmental data matrix를 作成하였다(Table 3).

Vegetational data matrix와 environmental data matrix를 사용하여 각각 DECORANA를 수행하였으며 vegetational data matrix는 그대로 이용하고 environmental data matrix는 14개 환경요인에 대하여 최대치 100, 최소치 1로 transformation하여 분석하였다. 또한 vegetational data matrix를 사용하여 TWINSPAN을 수행하였다.

다변수 분석을 위한 program은 Cornell Ecology Program 中에서, ordination 기법은 DECORANA를, classification 기법은 TWINSPAN을 각기 사용하였으며 모든 전산 처리는 서강대학교 전자계산소의 CYBER 170—825 system을 이용하였다(NOS 2.4, Fortrans 5 Program).

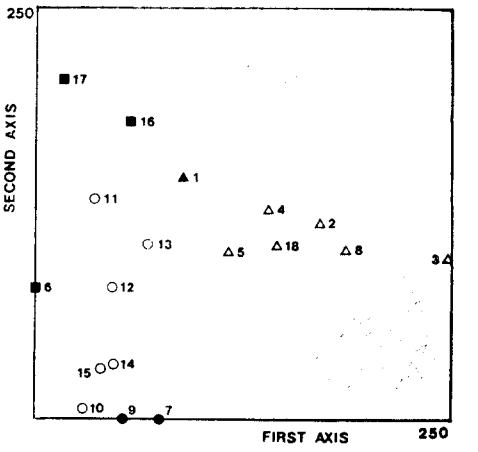

Fig. 2. DECORANA ordination of eighteen stands based on thirty seven herbaceous species.
Each arabic number indicates site number.
■, stands of Type I;
○, stands of Type II;
●, stands of Type III;
▲, stands of Type IV;
△, stands of Type V.

결과 및 논의

Stand ordinations and classification

Fig. 2는 식생 data를 사용한 DECORANA stand ordination 결과를 나타낸 것이다.

최대용수량이 높고 사토함유량이 낮은

site 17, site 10등이 제 1축상의 왼쪽에 최대용수량이 낮고 사토함유량이 높은 site 2, 3, 8등이 제 1축상의 오른쪽에 치우쳐 분포하므로 제 1축이 수분에 대한 경향성을 나타낸 것으로 추측되며, 제 2축에서는 뚜렷한 경향성을 찾아 낼 수 없었으나 교목층의 밀도가 높아 폐쇄수관을 이루고 있는 site 11, 16, 17등이 대개 제 2축상의 윗쪽에, 밀도가 낮아 개방수관을 형성하는 site 7, 9등이 제 2축상의 아랫쪽에 위치하는 것으로 보아, 제 2축은 교목층의 밀도에 대한 경향성을 나타내 주는 것이라 추측된다.

Fig. 3은 식생 data를 사용한 TWINSPAN stand classification 결과를 나타낸 것이다.

18개 site들은 Level 1에서 꽃며느리밥풀(*Melampyrum roseum*)과 참억새(*Miscanthus sinensis*)의 출현 정도에 따라 구분되었고, Level 2에서는 고비(*Osmunda japonica*)의 출현 정도에 따라 site 1과 site 2, 3, 4, 5, 8, 16, 18로 구분되었으며, 맑은 대쑥(*Artemisia keiskeana*)에 의해 site 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15와 site 6, 17로 구분되었다. Level 3에서 site 2, 3, 4, 5, 8, 16, 18의 무리는 기름나물(*Peucedanum terebinthaceum*), 각시원추리(*Hemerocallis Dumortieri*), 도라지(*Platycodon glaucum*), 등골나물(*Eupatorium Fortunei*), 맑은대쑥(*Artemisia keiskeana*)의 출현정도에 의해 site 3, 4, 5, 8과 site 2, 16, 18로 구분되었고, site 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15의 무리는 참취(*Aster scaber*)와 맑은대쑥에 의

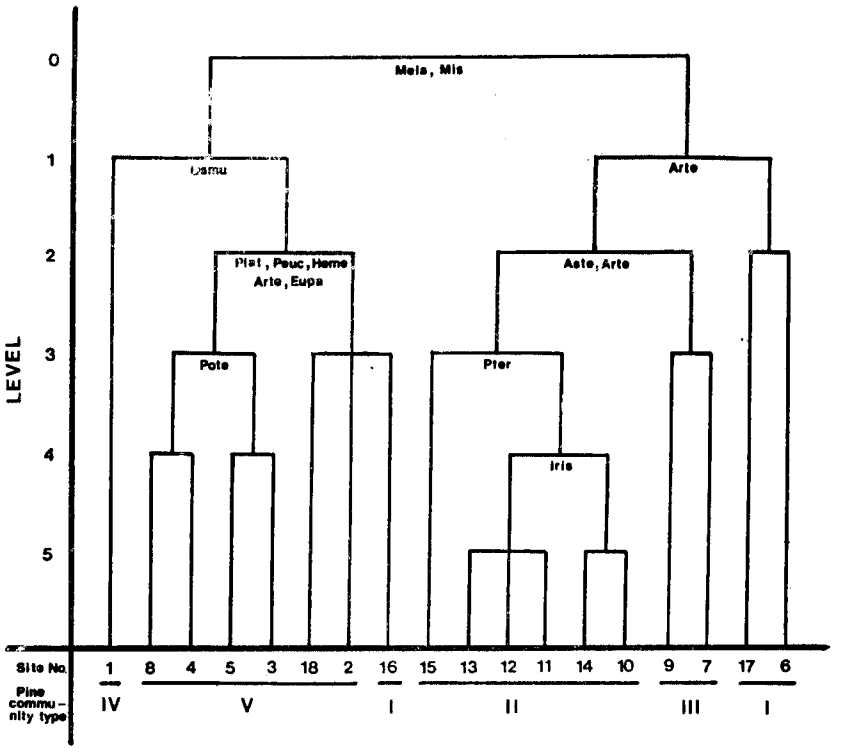

Fig. 3. Dendrogram of TWINSPAN stand classification of eighteen stands based on thirty-seven species in the Japanese red pine stands.

Arte, *Artemisia keiskeana;* Aste, *Aster scaber;* Eupa, *Eupatorium Fortunei;* Heme, *Hemerocallis Dumortieri;* Iris. *Iris Rossii;* Mela, *Melampyrum rosium;* Mis, *Miscanthus sinensis;* Osmu, *Osmunda japonica;* Peuc, *Peucedanum terebinthaceum;* Plat, *Platycodon glaucum;* Pote, *Potentilla fragarioides;* Pter, *Pteridium aquilinum.*

해 site 10, 11, 12, 13, 14, 15와 site 7, 9로 구분되었다. 이러한 결과 Level 3에서 각 site들은 크게 7무리로 구분되었고 Fig. 2의 stand ordination의 제 1축과 제 2축 평면상에 위치한 site들의 배열과 비교적 일치된 결과를 보여 주었다.

Fig. 2에 나타나는 바와 같이 ordination 분석 결과 site 6은 site 16, 17이 속한 무리보다는 site 10, 11, 12, 13, 14, 15들이 속한 무리쪽에 더 가깝게 나타났으나 classification 결과는 site 17과 같은 무리에 속하는 것으로 나타났다. 또한 site 6의 환경 요인중 제 1축의 수분구배 경향성과 관련된 최대용수량과 사토함유량을 고려해 볼때도(Table 3) site 6을 site 16, 17과 같이 묶는 것이 타당하다고 생각된다. Site 1의 경우도 stand ordination(Fig. 2)에서는 site 10, 11, 12, 13, 14, 15들이 속한 무리, 또는 site 2, 3, 4, 5, 8, 18들이 속한 무리로 같이 묶을 수 있었으나 stand classification(Fig. 3)결과에서는 독립된 무리로 분류되었다. Site 1의 최대 용수량과 사토함유량은 site 10, 11, 12, 13, 14, 15의 그것들과 뚜렷이 구분되었고 교목층 밀도와 야외에서 관찰된 교목층 수관의 폐쇄성은 site 2, 3, 4, 5, 8, 18들과 구분되었다(Table 3). 이러한 사실들로 미루어 site 1은 독립된 무리로 분류하였다. Site 7과 9도 ordination(Fig. 2) 결과에서는 site 10, 11, 12, 13, 14, 15들의 무리와 가깝게 나타났으나 classification(Fig. 3)의 결과는 독립된 무리로 나타났다. 또한 site 7과 9의 낮은 교목층 밀도와 야외에서 관찰된 수관의 개방성은 교목층 밀도가 높고 대부분 수관이 폐쇄되어 있는 site 10, 11, 12, 13, 14, 15들과 뚜렷이 구분된다.

上記한 바와 같이 DECORANA와 TWINSPAN분석 결과를 바탕으로 조사지의 18 site들을 크게 5 Type으로 구분할 수 있었으며, 각 Type들의 주요특성을 Table 4에 나타내었다.

Type I에 속하는 site들은 비교적 습하고, 교목층의 높은 밀도로 수관이 폐쇄된 지역이

Table 4. Average properties of the five Japanese red pine community types

Type	Name	Number of Stands	Number of species (herb species No./100m^2)	Soil maximum field capacity(%)	Sand content (%)	Tree density (tree No./100m^2)	Abundant herbaceous species
I	SUBMESIC - CLOSED CANOPY	3	13	53.85	53.05	53	Artemisia Keiskeana Carex nanella
II	MESIC - CLOSED CANOPY	6	17	61.86	33.86	40	Spodiopogon sibiricus Miscanthus sinensis Carex nanella Pteridium aguilinum Melampyrum roseum
III	SUBMESIC : - OPEN CANOPY	2	9	46.71	65.92	26	Melampyrum roseum spodiopogon sibiricus Miscanthus sinensis
IV	XERIC - CLOSED CANOPY	1	7	34.54	82.77	45	Carex nanella Spodiopogon sibricus Osmunda japonica
V	XERIC - OPEN CANOPY	6	11	31.98	87.00	39	Arundinella hirta Spodiopogon sibiricus Carex nanella Atractylodes lyrata

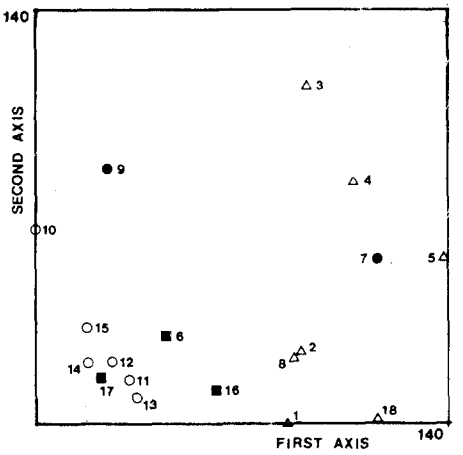

Fig. 4. DECORANA ordination of eighteen stands based on fourteen environmental factors.
Each arabic number indicates site number.
■, stands of Type I;
○, stands of Type II;
●, stands of Type III;
▲, stands of Type IV;
△, stands of Type V.

다. 여기에서는 맑은대쑥(*Artemisia keiskeana*)과 산거울(*Carex nanella*)이 많이 출현하였다.

Type Ⅱ에 속하는 site들은 前者보다 더 습하고, 폐쇄수관이 형성된 지역이며 비교적 습한 장소에서 흔히 관찰되는 고사리(*Pteridium aquilinum*)와 꽃며느리밥풀(*Melampyrum roseum*)이 많이 출현하였다. 또한 높은 종 다양도로 특징지워진다.

Type Ⅲ에 속하는 site들은 비교적 습하지만 교목층의 밀도가 매우 낮고, 수관이 개방된 장소들이며 꽃며느리밥풀(*Melampyrum roseum*)과 참억새(*Miscanthus sinensis*), 큰기름새(*Spodiopogon sibiricus*) 등의 화본과 식물들이 많이 출현하였다.

Type Ⅳ에 속하는 site는 건조하나 폐쇄수관을 이루고 있는 장소이다. 다른 Type의 site들에 비해 고비(*Osmunda japonica*)가 많이 출현하였다.

Type Ⅴ에 속하는 site들은, 건조하고 수관이 비교적 개방된 특징을 보이며, 토양내 사토함유량이 매우 높게 나타났다. 이 Type에서는 산거울, 큰기름새, 새(*Arundinella hirta*), 삽주(*Atractylodes lyrata*) 등이 많이 출현하였다.

Fig. 4는 각 site에서의 환경 요인들에 대해 stand ordination한 결과를 나타낸 것이다.

Stand ordination의 제 1 축상에서 최대용수량이 높고 사토함유량이 낮은 site 10, 14, 15, 17등이 왼쪽에, 최대용수량이 낮고 사토함유량이 높은 site 2, 3, 5, 7, 8등이 오른쪽에 분포하였다. 이로써 제 1 축은 식생에 의한 stand ordination 결과와 마찬가지로 수분에 대한 경향성을 띠었다. 그러나 제 2 축에서는 뚜렷한 경향성을 찾아 낼 수 없었다.

Table 5에서는 식생의 stand ordination과 환경의 stand ordination 수행 결과 제 1 축부터 제 4 축까지 얻어진 eigenvalue를 나타내었다.

각축에 대한 eigen value를 통해 환경의 stand ordination경우 제 1 축이 total variance의 66.67%를 나타냈으며 제 2 축까지가 86.48%, 제 3 축까지가 96.50%를 나타냈음을 알 수 있다. 식생 ordination의 경우 제 1 축이 total variance의 55.35%를 나타냈으며 제 2 축까지가 85.00%, 제 3 축까지가 95.00%를 나타내었다.

Table 5. The eigen values of vegetational stand ordination and environmental stand ordination

	1st Axis	2nd Axis	3rd Axis	4th Axis
Vegetational stand ordination	0.476	0.255	0.086	0.043
Environmental stand ordination	0.152	0.052	0.016	0.008

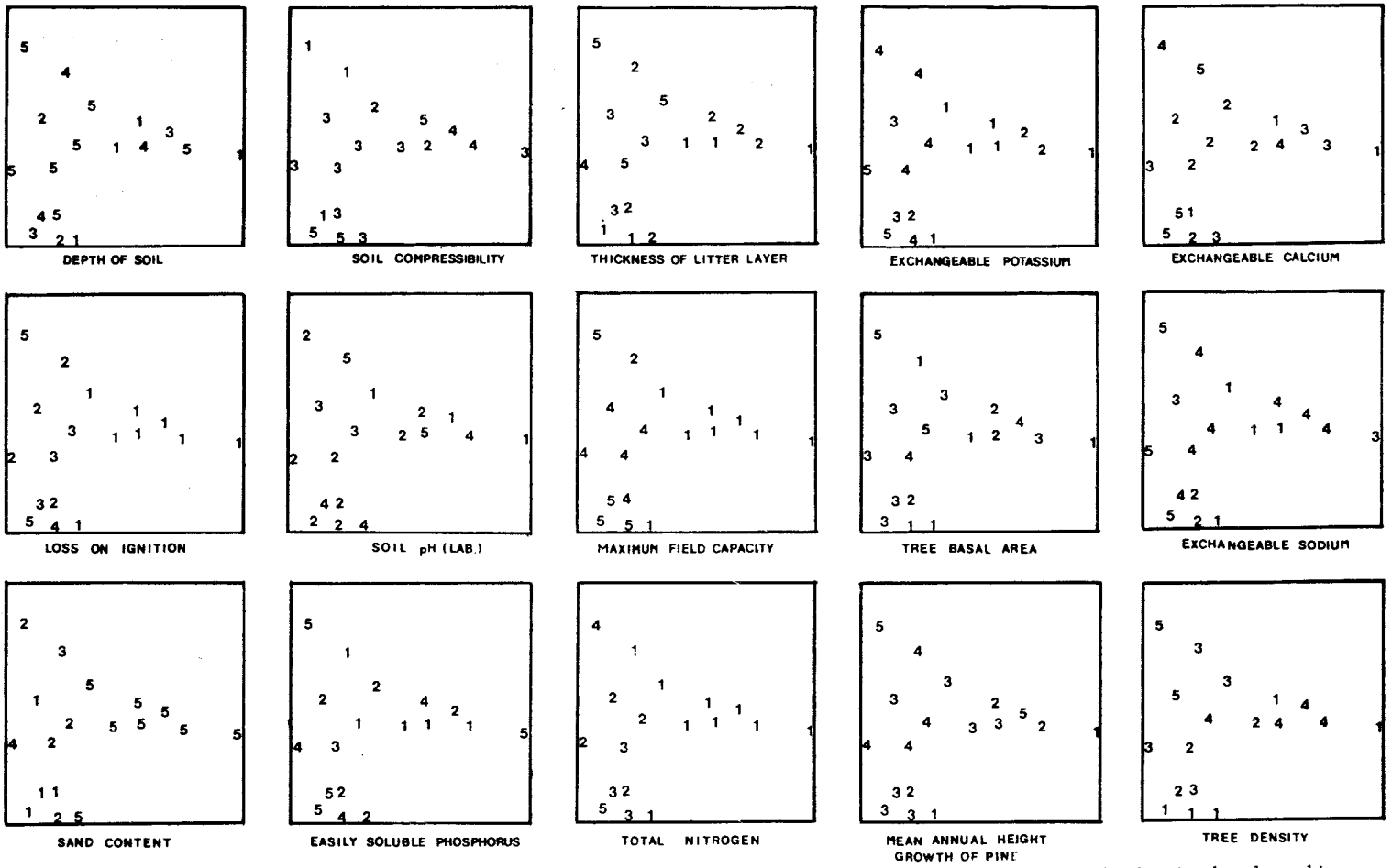

Fig. 5. Distribution of fourteen environmental variables on the I/II plane (first and second axes) of DECORANA stand ordination based on thirty seven herbaceous species from eighteen Japanese red pine stands. The ratings for range of environmental variables should be referred to Table 6.

Table 6. The ratings for range of environmental variables on the I/II plane (first and second axes) of the DECORANA stand ordination (Fig. 4)

	Depth of soil (cm)	Soil compressibility (kg/cm^2)	Thickness of litter layer (cm)	Loss on ignition (%)	Soil pH (Lab.)
1	< 14.6	< 0.42	< 1.9	< 5.7	< 4.59
2	14.6 – 18.0	0.42 – 0.60	1.9 – 2.6	5.7 – 7.8	4.59 – 4.69
3	18.0 – 21.4	0.60 – 0.78	2.6 – 3.3	7.8 – 9.9	4.69 – 4.79
4	21.4 – 24.8	0.78 – 0.96	3.3 – 4.0	9.9 – 12.0	4.79 – 4.89
5	24.8 <	0.96 <	4.0 <	12.0 <	4.89 <

	Maximum field capacity (%)	Sand (coarse & fine) content (%)	Easily soluble phosphorus (ppm)	Total nitrogen (ppm)	Exchangeable potassium (ppm)
1	< 36	< 36	< 4.2	< 0.087	< 53.6
2	36 – 44	36 – 47	4.2 – 5.0	0.087 – 0.138	53.6 – 68.6
3	44 – 52	47 – 58	5.0 – 5.8	0.138 – 0.189	68.6 – 83.6
4	52 – 60	58 – 69	5.8 – 6.6	0.189 – 0.240	83.6 – 98.6
5	60 <	69 <	6.6 <	0.240 <	98.6 <

	Exchangeable calcium (ppm)	Exchangeable sodium (ppm)	Tree basal area (cm^2/100m^2)	Tree density (No.of tree/100m^2)	Mean annual height growth of pine (cm)
1	< 84.5	< 15.4	< 789	< 30	< 22
2	84.5 – 123.6	15.4 – 17.1	789 – 978	30 – 38	22 – 26
3	123.6 – 162.7	17.1 – 18.8	978 – 1167	38 – 46	26 – 30
4	162.7 – 201.8	18.8 – 20.5	1167 – 1356	46 – 54	30 – 34
5	201.8 <	20.5 <	1356 <	54 <	34 <

Environmental trends on stand ordination Fig. 5는 소나무군집밑의 초본층을 바탕으로 한 stand ordination 결과와 이에 따른 14가지 환경 요인들의 분포 경향을 나타낸 것이다. 각 환경 요인들은 5등급으로 나누어 표시하였으며 등급별 환경 요인의 범위는 Table 6과 같다.

각 축상에서의 환경 요인들의 경향을 보다 정량적으로 알아보기 위하여 제 1축상의 값들과 환경 요인들 사이의 상관과, 또한 제 2축상의 값들과 환경 요인들 사이의 상관을 분석하였다. 이들 두가지 상관분석 결과는 Table 7에 나타냈다.

제 1축에서는 최대용수량, 유기물 작열 소실량, 낙엽층 두께, 全질소량, 치환성 칼륨이 유의한 부상관을 나타냈으며 사토 함유량은 유의한 정상관을 나타냈다. 제 2축에서는 토양가압축능이 유의한 부상관을 교목층 밀도는 유의한 정상관을 보여 주었다.

Fig. 5에서 제 1축과 제 2축상의 값들과 유의한 상관을 보여주는 8가지 환경요인들의 분포 경향은 최대 용수량의 경우 Type Ⅱ, Ⅰ, Ⅲ, Ⅳ, Ⅴ순으로 감소하며 사토 함유량은 이와 반대의 순서로 감소한다. 이러한 경향은 제 1축이 수분 구배를 나타내 준다는 사실과 잘 일치한다. 또한 토양가압축능은 Type Ⅰ, Ⅳ, Ⅱ, Ⅴ, Ⅲ 순으로 증가하며 낙엽층 두께는 Type Ⅳ, Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ, Ⅴ 순으로, 유기물 작열소실량은 Type Ⅱ, Ⅰ, Ⅲ, Ⅳ, Ⅴ, 순으로, 全질소량은 Type Ⅱ, Ⅲ, Ⅰ, Ⅳ, Ⅴ 순으로, 치환성 칼륨은 Type Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ, Ⅳ, Ⅴ 순으로 교목층 밀도는 Type Ⅰ, Ⅳ, Ⅱ, Ⅴ, Ⅲ 순으로 감소하는 경향성을 보여주고 있다. 이러한 환경요인

Table 7. Correlations between fourteen environmental variables and the stand scores of the first and second axes by DECORANA stand ordination based on thirty seven herbaceous species from eighteen Japanese red pine stands; *p<.05, **p<.01, ***p<.001

Environmental variables	Stand scores of the first axis	Stand scores of the second axis
Depth of soil	-0.361	0.289
Soil compressibility	0.197	-0.472*
Thickness of litter layer	-0.500**	0.392
Loss on ignition	-0.629**	-0.265
Soil pH (Lab.)	-0.284	0.078
Maximum field capacity	-0.754***	-0.268
Sand content	0.738***	0.188
Easily soluble phosphorus	-0.186	-0.148
Total nitrogen	-0.584*	-0.356
Exchangeable potassium	-0.668**	-0.088
Exchangeable calcium	-0.341	0.026
Exchangeable sodium	-0.305	0.211
Basal area	-0.339	0.376
Tree density	-0.190	0.688**

Table 8. Mean annual height growth of the trees in five Japanse red pine community types

Type	I	II	III	IV	V
Stands	17, 16 6	11, 12, 13, 14, 15, 10	7, 9	1	4, 5, 2, 3 8, 18
Mean annual height growth of pine tree (cm)	35.2	29.1	23.1	29.8	26.5

Table 9. The scales representing the abundance of herbaceous species on the I/II plane (first and second axes) of DECORANA stand ordination

Class	Range of X_{ij} value (%)
5	40<
4	20~40
3	5~20
2	1~ 5
1	0~ 1
0	—

들의 경향성을 종합해 볼때 Type I, II는 토양내 사토 함유량이 적어 수분의 유지가 비교적 잘되고, 적은 용탈로 인하여 치환성 칼륨의 양의 감소가 비교적 적게 일어났으리라 생각되며, 높은 교목층 밀도에 의해 형성된 두터운 낙엽층은 토양내 유기물 함량과 全질소량의 증가를 야기시켰으리라 추측된다. Type IV와 V는 이와 반대된다고 생각되며, Type III는 어느정도 이 둘의 중간적 위치에 놓였다.

Fig. 5에서 각 site들의 분포에 따른 소나무 연 신장 성장량에 대한 경향성은, 제 1축상에서 연 신장 성장량이 큰 site들이 왼쪽에, 작은 site들이 오른쪽에 대개 분포하는 것으로 나타났다. 제 1축이 수분 구배 경향성을 나타낸 점으로 볼 때 소나무 신장 성장에 영향을 미치는 주요 요인은 비생물적 환경 요인인 수분일 것이라고 추측된다. 각 site에 따른 소나무 연 신장 성장량과 stand ordination의 제 1축상의 값들과의 상관 분석 결과, 상관 계수가 −0.524로 5% 유의 수준에서 유의한 부상관을 나타낸 점도 上記한 사실을 뒷받침해 준다. Table 8에서는 Type I, IV, II, V, III의 순으로 신장 성장량의 감소를 나타내고 있다.

여러 토양 요인들이 소나무 신장 성장에 미치는 정도를 알아 보기 위해서는, 여러 토양 요인들과 장소별 소나무 연 신장량에 대해서 multiple standard partial regression 분석을 하는 것이 필요하며, 이를 吳(1972)가 한국 중부지방의 자연생 소나무군집에 적용한 바 있고 여러 환경 요인들 중 가용성 인량과 유기물 함량이 소나무 연 신장 성장에 영향을 미친다고 보고하였다.

Species pattersns on stand ordination 각 site마다 일반적으로 많이 출현하는 9種의 초본들을 선별하여 이들의 분포 경향을 알아 보았다. Fig. 6에서 각종의 중요치를 6등급으로 나누어 stand ordination에 나타냈으며 등급별 중요치의 범위는 Table 9와 같다.

꽃며느리밥풀과 고사리는 비교적 습한 지역인 Type II와 Type III site에 주로 분포하고 있으며 맑은 대쑥은 Type I, II에서 주로 나타난다. 산거울은 Type I과 IV에서 많이 나타나며 새, 참억새, 큰기름새등의 화본과 식물들은 全 site에 걸쳐 비교적 많이 분포하고 있다. 양지꽃과 삽주의 분포 경향성은 뚜렷이 나타나지 않았다.

식생 분석에 있어서 ordination 방법이 복잡한 자료를 종합 분석하여 일반화시키는데 매우 유용하다. 그러나 本 연구에서 함께 사용한 classification과 아울러 direct gradient analysis를 적용시켜보는 것이 군집에 내재하는 경향성을 파악하는데 더욱 효과적일 것이라 생각한다(Gauch, 1982; Greig-Smith, 1983).

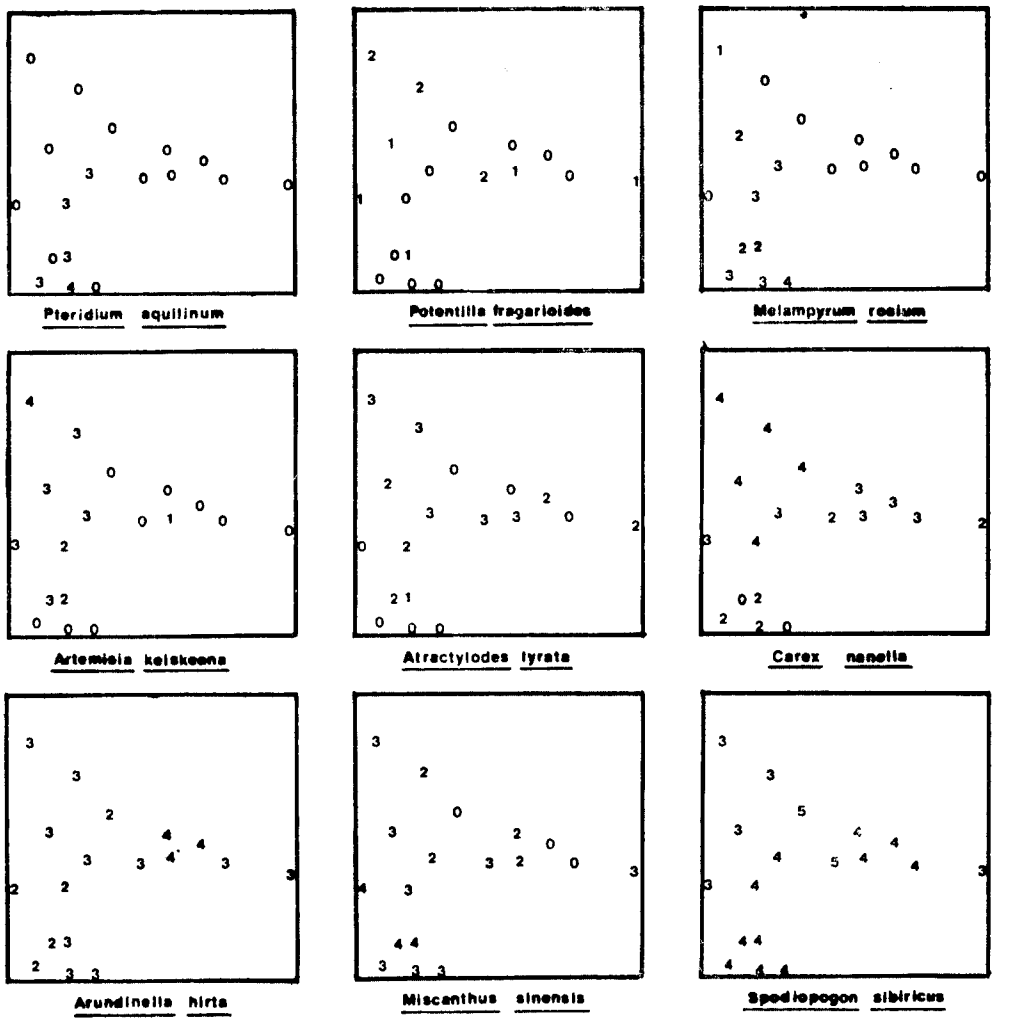

Fig. 6. Distribution of nine major herbaceous species on the I/II plane (first and second axes) of DECORANA stand ordination based on thirty seven herbaceous species from eighteen Japanese red pine stands. The scales representing the abundance of herbaceous species are shown in Table 9.

한 data set를 구성하는 각 stand간의 species turnover rate(beta diversity)는 HC(half change)와 SD(average standard deviation of species turnover)의 두 unit로 표현될 수 있다 (Gauch and Whittaker, 1972; Hill, 1979a). 총 18장소의 소나무 군집에서 추정된 species turnover는 2.482 SD였고, 1 HC는 약 1.19 SD이므로 이를 half change로 바꾸어 표현하면 약 2.1 HC가 된다(Hill, 1979a). 이 값을 姜(1981)이 광릉林(1.5~1.8 HC)에서, 吳와 姜 (1982)이 피아골(1.8 HC)에서 각각 木本에 대해 ordination을 적용시켜 산출한 값들과 비교하면, 本 연구가 서울 근교의 여러 지역에 걸친 조사이며 초본에 대한 분석임을 고려해 볼때 큰 값이라고 볼 수 없다. 이는 소나무군집의 건조하고 척박한 토양 환경에 의해 초본들의 분포가 제한을 받기 때문이라고 생각된다.

초본들의 분포 양상과 풍부도는 일정 지역內의 微地形, 토양심도, 수관의 밀폐정도 등과

같은 미환경에 따라서도 크게 차이를 보여줄 수 있으므로(Hicks, 1980) 일정 소나무군집 內에서의 초본층에 대한 odination 방법의 적용도 매우 유용한 정보를 나타낼 것이라고 생각된다.

本 연구는 20년 내지 30년생의 소나무 군집에 대해서만 이루어졌으며, 기타 다른 연령층에 해당하는 소나무 군집에서의 ordination 결과는 本 연구 결과와 달리 나타날 수도 있을 것이다.

적 요

서울 근교에 분포하고 있는 소나무(*Pinus densiflora*) 군집을 초본층 구성과 환경 요인들과의 관계에 따라 크게 몇 무리로 구분해 보고자, 최신 ordination 기법의 일종인 detrended correspondence analysis(DECORANA)와 classification의 한 기법인 two way indicator species analysis(TWINSPAN)를 시도하였다.

서울 근교 6개 지역에서 총 18장소를 연구 대상지로 설정하여 기초 자료를 수집하였다. 각 stand마다(20×20) cm 크기의 방형틀을 random하게 30개 내지 60개 설치하여 각 초본층의 stem 수와 피도를 측정하였다. 아울러 토양심도, 낙엽층 두께, 토양가압축능, 교목밀도, 기저면적, 고도, 경사도, 사면향등의 환경 요인도 측정하였다. 각 stand마다 soil sleeve로 4개 내지 12개 토양을 채취한 뒤 토양의 물리 화학적 특성을 결정하였다.

식생 data를 이용하여 stand ordintion과 stand classification 한 결과 각 stand들을 초본층 구성과 환경 요인들과의 관계에 따라 크게 5유형으로 나눌 수 있었다. 이들 5유형들은 Type Ⅰ이 SUBMESIC-CLOSED CANOPY(맑은대쑥, 산거울)로 Type Ⅱ가 MESIC-CLOSED CANOPY(큰기름새, 참억새, 산거울, 고사리, 꽃며느리밥풀)로 Type Ⅲ가 SUBMESIC-OPEN CANOPY(꽃며느리밥풀, 큰기름새, 참억새)로, Type Ⅳ가 XERIC-CLOSED CANOPY(산거울, 큰기름새, 고비)로, Type Ⅴ가 XERIC-OPEN CANOPY(새, 큰기름새, 산거울)로 각각 특징지워졌다. 이러한 결과는 stand ordination상에서 환경 요인들의 경향성과 잘 일치하였다.

자연생 소나무 군집에 ordination(DECORANA)과 classification(TWINSPAN)을 同時에 적용시킨 결과는 예비적인 생태학적 정보를 얻기 위한 연구로써 매우 효과적이었다.

引 用 文 獻

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. 411~466.

Austin, M.P. and P. Greig-Smith. (1968). The application of quantitative methods to vegetation survey. J. Ecol., **56** : 827~844.

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 response to added fertillizer requirement: Dignostic technique for soils and crops. (The American Potash Institute, Washinton D.C. 1948) pp. 53~86.

Gauch, H.G.Jr. (1982). Multivariate analysis in plant ecology. Ist ed. Cambridge University Press,

Cambridge. pp. 109~172.

Gauch, H.G. Jr. and R.H. Whittaker. (1972). Comparison of ordination techniques. Ecology, **53** : 868~875.

Gauch, H.G. Jr. and R.H. Whittaker. (1981). Hierarchical classification of community data. J. Ecol., **69** : 537~557.

Gauch, H.G. Jr., R.H. Whittaker and T.R. Wentworth. (1977). A comparative study of reciprocal averaging and other ordination techinique. J. Ecol., **65** : 157~174.

Greig-Smith, P. (1983). Quantitative plant ecology. 3rd ed. Blackwell Scientific Publication, Oxford. p. 171~289.

Greig-Smith, P., M.P. Austin and T.C. Whitmore. (1967). The application of quantitative methods to vegetation survey. J. Ecol., **55** : 483~503.

Hicks, D.J. (1980). Intrastand distribution patterns of southern Appalachian cove forest herbaceous species. The American Midland Naturalist, **104** : 209~223.

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 detrended correspondence analysis and reciprocal averaging. Ecology and Systematics, Cornell University, Ithaca, N.Y. pp. 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, N.Y. p. 99.

Hill, M.O., R.G.H. Bunce and M.W. Shaw. (1975). Indicator species analysis, a divisive polythetic method of classification, and its application to a survey of native pinewoods in Scotland. J. Ecol., **63** : 597~613.

Hill, M.O. and G.H. Gauch. (1980). Detrended correspondence analysis: An improved ordination technique. Vegetatio, **42** : 47~58.

鄭台鉉. (1965). 한국 동식물도감, 식물편(목, 초본류). 삼화출판사, 서울, 한국. p. 1824.

강윤순. (1981). 광릉 삼림군집에 대한 ordination 방법의 적용. 석사학위 논문, 서강 대학교, 서울, p. 39.

Kershaw, K.A. (1968). Classification and ordination of Nigerian savanna vegetation. J. Ecol., **56** : 467~482.

Kershaw, K.A. (1973). Quantitative and dynamic plant ecology. 2nd ed. American Elsevier Publishing Company, Ind., London. pp. 191~230.

吳桂七. (1970). 소나무 군집안의 주요 구성종의 미분포와 종간상관. 식물학회지, **13** : 33~46.

吳桂七. (1972). 중부 한국의 자연생 소나무의 연 신장 성장률에 영향을 미치는 토양요인들에 대한 다요인 분석. 식물학회지, **15** : 1~12.

吳桂七·강윤순. (1982) 피아골 제 1차림의 군집 생태학적 연구, 한국자연보존협회 조사보고서 제 21호, pp. 39~52.

吳明善. (1980). 청계산지의 數種 화본과 식물의 미분포에 대하여. 석사학위 논문, 서강대학교, 서울, p. 44.

Pemadasa, M.A., S. Balasubramaniam, H.G. Wijewansa and L. Amarasinghe. (1979). The ecology of a saltmarsh in Sri Lanka. J. Ecol., **67** : 41~63.

Pemadasa, M.A. and Mueller-Dombois. (1979). An ordination study of montane grasslands of Sri Lanka. J. Ecol., **67** : 1009~1023.

辛昌男·林暎得. (1976). 林床植物의 現存量에 관한 연구. 인천 교대 과학 연구소 논문집, **3** : 25~31.

Swaine, M.D. and P. Greig-Smith. (1980). An application of principal components analysis to vegetation change in permanent plots. J. Ecol., 68 : 33~41.

(1987年 1月 10日 接受)