

금강송림의 식생구조에 관한 정량적 분석

윤충원·홍성천
경북대학교 임학과

적 요: 금강송림의 식생단위와 환경과의 상관관계, 종조성, 종다양도, 종간결합 등 생태학적 특성들에 대하여 정량적으로 연구하였던 바 다음과 같이 요약되었다. 1) CCA 방법으로 분석한 결과 주로 지형, 해발, 유효인산, 마그네슘 등의 환경요인들이 높은 상관관계를 보여주고 있었다. 꼬리진달래군락은 해발이 높고 사면상부나 능선부쪽 지형으로 갈수록 더 많이 분포하는 경향이었고, 마그네슘과 칼슘이온의 농도는 낮은 입지에 주로 분포하였다. 산영도나무군락은 칼슘, 마그네슘의 이온농도가 높은 입지에 분포하는 경향이었고, 사면중상부와 능선부로 갈수록 많이 분포하는 경향이 있었다. 2) 중요치 분석결과 각 지역의 교목층과 아교목층에서 중요치가 높게 나타난 종은 금강송, 신갈나무, 굴참나무, 졸참나무, 물푸레나무 등이었으며, 관목층에서는 소광리 지역이 다른 지역에 비해 금강송의 중요치가 높게 나타났다. 즉, 소광리의 금강송 임분이 천연갱신이 가장 잘 되고 있음을 반영하였다. 3) 종다양도지수를 보면 울진이 0.662로 가장 낮았고, 기타지역은 대부분 0.7내외로 나타났다. 식생단위별 종다양도 지수는 당단풍군락이 높게 나타났다. 4) 소광리지역은 울진과는 군락유사도의 차이가 낮게 나타났으며, 기타지역간에는 군락유사도가 0.6이상으로 높게 나타났다. 5) 종간결합관계 분석결과 크게 두 개의 그룹으로 구분되었다. 한 그룹은 식물사회학적 분석에서의 표정종군과, 또 한 그룹은 식별종군과 거의 일치하였다.

검색어: 군락유사도, 금강송, CCA, 식생, 종간결합, 종다양도, 중요치

보의 제공을 목적으로 정량적 분석을 시도하였다.

서론

1950년대 이후 삼림식생에 대한 연구는 분류법(classification)과 서열법(ordination)이 크게 발전하여(Greig-Smith 1983) 많은 학자들에 의해 이용되고 있으며, 근래에는 두 방법이 상호보완하는 추세이다. ordination 기법은 Gauch(1977)에 의하여 computer program이 개발된 이후 식물군락과 그 성분, 환경요인과의 관계를 구명하려는 연구가 활발히 수행되고 있으며, 이 방법은 PO(polar ordination), PCA(principle components analysis), RA(reciprocal averaging), DCA(detrended correspondence analysis), DCCA(detrended canonical correspondence analysis) 등으로 발전해 가면서 식물군집내나 식물군집간 또는 주변 환경요인간의 미세한 차이를 파악하여 군집에 내재된 어떤 경향을 찾아내고 그 차이를 객관적으로 구분할 수 있는가에 대하여 연구되고 있다 (장 등 1997, 송 등 1995, 1992, 이 등 1992, Whittaker 1967).

특히 금강송에 대한 이와 같은 연구로는 조(1994)의 울진군 소광리지역 소나무의 임분구조 및 성장양상과 산불과의 관계, 송 등(1995)의 TWINSPAN과 DCCA에 의한 금강소나무 및 춘양목소나무 군집과 환경의 상관관계분석 등이 있다. 이들의 연구만으로도 금강송 군집에 관한 많은 정보의 파악이 가능할 것으로 생각된다. 그러나 본 연구에서는 금강송림의 식생단위와 환경과의 상관관계뿐만 아니라 종조성, 종다양도, 종간결합 등에 대한 좀더 폭넓고 정량적인 정

재료 및 방법

조사지 개황

조사지역은 주로 금강송(*Pinus densiflora* for. *erecta*)이 가장 많이 분포하는 경북 울진군 소광리지역을 중심으로 하여 동서남북으로 각각 울진일대, 청옥산(1,276 m), 검마산(1,017.2 m), 응봉산(1,267 m)으로 하였다. 조사지 일대의 기상은 울진, 태백, 춘양 3곳의 기상관측소에 의하면 연평균기온은 각각 12.4°C, 8.4°C, 9.9°C로 나타났고, 연평균강수량은 각각 920.3 mm, 1257.3 mm, 1124.1 mm로 나타났으며, 각각 최고기온은 37.0°C, 33.1°C, 37.4°C로, 최저기온은 -13.7°C, -20.8°C, -22.3°C로 나타났다. 본 조사지 일대의 지질은 대부분 화강암 또는 화강편마암이었다. 植木(1933)의 조선삼림식물대 구분에서 온대중부지역에 속한다.

아외조사 및 자료처리

1996년 10월부터 1998년 12월까지 약 26개월에 걸쳐 야외조사를 실시하였다. 식생조사는 식물사회학적 방법(Ellenberg 1956, Braun-Blanquet 1964)에 따라 지형, 생태적 밀도, 해발 등의 입지환경 등을 고려하여 소광리 지역에 80개소의 방형구를 설치하였으며, 그 외 청옥산에 40개소, 강원도 응봉산에 40개소, 울진 일대에 40개소, 검마산에 30개소의 방형구를 설치하여 조사하였다.

Table 1. Floristic composition of *Pinus densiflora* for. *erecta* forest in the 5 study areas

Vegetation units	I		II			III			IV				V					
			A	B	C	A	B	C	D	E	A	B	C					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
Topography	M-T	M-T	L-U	L-U	M-U	L	V	V-L	V-R	V-L	V-L	V-M	M-R	M-R	L-M	L-U		
Mean altitude(m)	752	654	73	51	72	418	412	482	728	798	547	564	743	602	657	783		
Mean slope degree(°)	20	30	29	21	34	13	6	15	24	12	16	21	31	28.0	25	30		
Mean bare rock(%)	2	33	6	1	13	0	44	30	3	4	18	12	9	4.3	25	9		
Mean height of tree stratum(m)	13	18	10	13	9	16	13	14	18	24	25	19	21	17.3	12	19		
Mean diameter of the biggest tree(cm)	42	45	30	28	24	42	35	37	39	39	52	42	52	45.0	30	39		
Number of species	19	13	21	27	19	54	47	35	30	26	26	28	15	16.3	19	16		
Number of releves	32	35	18	15	6	4	5	3	6	5	9	21	26	24	13	8		
I. <i>Vaccinium koreanum</i> community																		
II. <i>Rhododendron micranthum</i> community																		
III. <i>Quercus dentata</i> community																		
III-A. <i>Festuca ovina</i> group																		
III-B. <i>Robinia pseudoacacia</i> group																		
III-C. Typical group																		
IV. <i>Acer pseudo-sieboldianum</i> community																		
IV-A. <i>Hydrangea serrata</i> for. <i>acuminata</i> group																		
IV-A-1. <i>Carex ciliato-marginata</i> subgroup																		
IV-A-2. <i>Acer ginnala</i> subgroup																		
IV-A-3. Typical subgroup																		
IV-B. <i>Disporum smilacinum</i> group																		
IV-C. <i>Magnolia sieboldii</i> group																		
IV-D. <i>Carpinus laxiflora</i> group																		
IV-E. Typical group																		
V. Typical community																		
V-A. <i>Melampyrum roseum</i> group																		
V-A-1. Typical subgroup																		
V-A-2. <i>Quercus variabilis</i> subgroup																		
V-B. Typical group																		
V-B-1. <i>Quercus variabilis</i> subgroup																		
V-B-2. Typical subgroup																		
1. <i>Pinus densiflora</i> for. <i>erecta</i>	V3-5	V3-5	V5	V4-5	V4-5	45	V4-5	34-5	V4-5	V3-5	V3-5	V-5	V3-5	V3-5	V4-5	V4-5	크강소나무	
<i>Quercus mongolica</i>	V+3	IV+4	IV+3	II+1	IV+1	41-3	III-2	31	V2-3	III-3	V+3	V-3	V1-4	V+5	V+3	V+3	가시나무	
<i>Sporopogon cotulifer</i>	V+2	Vr-3	V+2	V+2	V+1	3+1	I+	2+	III+3	II+1	III+3	III+3	Vr-3	Vr-2	V+2	V+2	가시나무	
<i>Lespedeza bicolor</i>	V+3	IV+2	V+2	IV+2	V+2	2+1	III+	III+	II-2	I	II-1	Vr-2	V+3	V+3	IV+2	V+2	가시나무	
<i>Fraxinus sieboldiana</i>	Vr-2	Vr-4	II+1	III+3	III-1	I+	12	III+1	I	IV+3	III+3	V1-3	V+3	IV+2	V+3	V+3	가시나무	
<i>Rhododendron mucronulatum</i>	V+4	V+3	III+3	IV+3	II-1	2+	I+	I+	II+1	III+3	III+3	V+3	V+3	IV+2	IV+2	IV+2	가시나무	
<i>Carex humilis</i>	III+3	IVr-3	V+2	III+2	V+2	1	21	I	IIr+	III-1	III-3	Vr-3	Vr-3	III+2	III+2	III+2	가시나무	
<i>Rhododendron schlippenbachii</i>	V+3	IV+3	IV+3	IV+2	IV1	.	I+	III+	III+	II+2	II+3	Vr-3	Vr-3	III+3	III+3	III+3	가시나무	
2. <i>Vaccinium koreanum</i>	V+4	I+1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r+	r+	r+	.	I+	산앵도나무
3. <i>Rhododendron micranthum</i>	I+	V1-4	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r+	.	.	꼬리진달래
4. <i>Quercus dentata</i>	.	.	IV+2	III+2	III+1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	떡갈나무
<i>Smilax china</i>	r+	.	IV+1	V+2	IV+	.	.	I+	.	.	.	.	.	.	.	.	청미래덩굴
5. <i>Festuca ovina</i>	r	.	V+3	I+	II+	I+	.	.	.	.	I+	.	.	.	.	.	갯의털
<i>Arundinella hirta</i>	III+1	I+1	V+2	II+1	.	.	.	I+	II+1	.	.	Ir+	Ir	Ir+	II+	II+	새	
6. <i>Robinia pseudoacacia</i>	.	.	II	V+3	아까시나무
7. <i>Acer pseudo-sieboldianum</i>	II+2	.	II+2	II+1	.	.	.	.	.	.	.	.	Ir+	Ir+	I+1	.	단풍나무
<i>Lespedeza maximowiczii</i>	II+3	.	II+2	II+1	.	.	.	41-2	IV-2	31-2	III-3	IV+1	V1-3	V+3	.	II	단풍나무	
<i>Fraxinus rhynchophylla</i>	I+	.	.	.	.	.	.	3+	III+2	21	V+3	V+4	V+4	V+3	.	I+1	단풍나무
<i>Stephanandra incisiva</i>	r+	.	I+	II+3	I	.	.	4+1	IV-2	3+1	III+1	IV+3	I	IV-1	.	II+1	단풍나무	
<i>Weigela subsessilis</i>	r+	I+	I+	.	.	.	.	I+	V+	31	II+	IV+1	II+	II+1	.	II+1	단풍나무
<i>Styrax obassia</i>	r+	I+1	.	.	.	.	.	3+1	IV+1	.	II-3	I3	V+2	III+3	Ir-1	I+	단풍나무
<i>Acer mono</i>	.	.	.	.	.	.	.	3+1	IV-2	21-2	I	II	II+2	II+1	.	I+1	단풍나무
<i>Cornus controversa</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	V1-2	.	IIr-2	III+2	Ir	I+2	.	.	중홍나무
8. <i>Hydrangea serrata</i> for. <i>acuminata</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I+	I+	I2	r+	.	.	.	산수국
<i>Viola acuminata</i>	.	.	.	.	.	.	.	2+1	IV+1	I+	3r+	.	.	.	.	.	산수국
<i>Ostercium grosserrata</i>	.	.	.	.	.	.	.	3+	III+	3+	.	.	.	.	.	.	산수국
<i>Angelica polymorpha</i>	.	.	.	.	.	.	.	2+	IV+1	3+	.	.	Ir	r+	.	.	산수국
<i>Agrimonia pilosa</i>	.	.	.	.	.	.	.	2+	II+	2+	.	.	.	I+	.	.	산수국
<i>Rubia akane</i>	.	.	.	.	.	.	.	2+	II+	I+	.	.	Ir	Ir	.	.	산수국
9. <i>Disporum smilacinum</i>	IIIr-1	Ir+	.	.	.	2+1	.	.	Vr-3	.	II+1	Ir+	Ir+	IIr+	.	IIr-1	애기나리	
10. <i>Magnolia sieboldii</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	V1-3	III+1	.	.	.	.	.	함박꽃나무
11. <i>Carpinus laxiflora</i>	r+	.	.	.	.	.	.	.	I	.	V+3	.	.	.	.	.	서어나무
12. <i>Carex ciliato-marginata</i>	II+1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	털대나무
<i>Viola dissecta</i> var. <i>cheerophylloides</i>	.	.	.	.	.	.	.	41-3	II+2	.	.	.	IIr	I+	.	I+	털대나무
<i>Corylus heterophylla</i>	.	.	.	.	.	.	.	4+2	I+	.	.	.	.	I+1	.	.	털대나무
<i>Acer triflorum</i>	.	.	.	.	.	.	.	41	.	.	.	.	.	.	.	.	털대나무
<i>Angelica decursiva</i>	.	.	.	.	.	.	.	4+	.	.	.	.	.	.	.	.	털대나무
<i>Serratula coronata</i> var. <i>insularis</i>	r+	.	.	.	.	.	.	3r+	.	.	.	.	r	r	.	.	털대나무
<i>Osmunda japonica</i>	.	.	.	I+	.	.	.	3+1	IIr+	.	.	.	.	.	.	.	털대나무
<i>Cephalanthera longibracteata</i>	.	.	Ir	.	.	.	.	3r+	.	.	IIr+	.	r	r	.	.	털대나무
<i>Clematis manshurica</i>	.	.	I+	I+	.	.	.	3+	.	.	I+	.	.	.	.	.	털대나무
13. <i>Acer ginnala</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	II+	.	.	.	.	.	.	.	시나무
<i>Deutzia glabrata</i>	.	.	.	.	.	.	.	11	V+1	.	.	.	r+	.	.	.	시나무
<i>Melios baccata</i>	.	.	.	.	.	.	.	1+	III+	.	.	.	I+	.	.	.	시나무
<i>Smilax sieboldii</i>	.	.	.	.	.	.	.	2+1	II-2	.	.	.	I+1	.	.	.	시나무
<i>Trigonotis icumae</i>	.	.	.	I+	.	.	.	1+	III+	.	.	.	r+	.	.	.	시나무	
<i>Akebia quinata</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	IV+1	.	.	.	.	.	.	.	시나무
<i>Pueraria thunbergiana</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	II+	.	.	.	.	.	.	.	시나무
14. <i>Securinega suffruticosa</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	시나무
<i>Euonymus alatus</i> for. <i>ciliato-dentatus</i>	.	.	.	.	.	.	.	4+1	IV+1	I+	.	I+	II+	.	.	.	시나무
<i>Syneilesis palmata</i>	I+	.	.	.	.	.	.	4+1	V+2	.	.	II	I+2	.	.	.	시나무
<i>Hepatica asiatica</i>	.	.	.	.	.	.	.	3+	III+	.	II+1	Ir	Ir	.	.	.	시나무
<i>Ulmus davidiana</i> var. <i>japonica</i>	.	.	.	.	.	.	.	4+1	IV+	.	.	.	II	Ir+	.	.	시나무
<i>Vicia unijuga</i>	.	.	.	.	.	.	.	3+	V1-2	.	.	.	I2	.	.	.	시나무
<i>Carpinus cordata</i>	.	.	.	.	.	.	.	3+	V+	.	.	.	IIr+	.	.	.	시나무
15. <i>Staphylea bumalda</i>	.	.	.	.	.	.	.	41	IV+2	.	.	.	I+1	.	.	.	시나무
<i>Clematis heracleifolia</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	시나무
16. <i>Melampyrum roseum</i>	IIIr-3	Vr-3	II+2	.	II+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	꽃머리바람
<i>Atractylodes japonica</i>	IIIr+	IIIr+	II+1	IVr+	IV+	4r+	I+	.	IIIr+	.	.	IIIr+	IIIr+	IIr-1	Vr-4	IV+4	I+	꽃머리바람
17. <i>Quercus variabilis</i>	II+3	I+2	IV+1	III+1	III+1	.	II+	3+1	III	III+1	II	II+3	I+	.	V+2	V+2	II+	꽃머리바람
<i>Lindera obtusiloba</i>	II+1	II+3	I+1	II+	.	2+	II+	I+	III+1	III+1	V+3	IV+1	I+	III+	V+2	V+2	II+	꽃머리바람

토양시료는 5개 지역 총 230개 조사구에 대하여 각각의 조사구내에서 5개 지점에서 유기물층을 제거한 후 0~20 cm의 깊이에서 토양시료를 채취하여 혼합시료 약 1 kg을 만들어 실험실로 옮겨 먼저 풍건시킨 후 2 mm와 0.02 mm의 체를 통과시켜 분석용 시료로 사용하였다. 토성은 비중계법으로 측정하였으며, 토양산도는 풍건세토 10 g과 순수중류수 50 ml로 혼濁液(1: 5)을 만든 후 1시간 방치 후 pH-meter (Philips pw 9418)를 사용하여 측정하였다. 유효인산은 Lancaster법을 사용하여 分光分析機(Shimadzu UV-120-02)를 사용하여 측정하였다. 탄소와 전질소는 풍건 토양을 이용하여 자동성분분석기(NCS 2500, Fisons Instruments S.P.A, Italy)로 분석하였다. 양이온 치환용량(CEC)은 Brown's Method로 측정하였고, 치환성 양이온 중 Ca^{2+} , Mg^{2+} 은 E.D.T.A 적정법으로 측정하였다.

Ordination 기법을 적용하여 식물사회학적 분석방법으로 분류된 표 1의 16개의 식생단위에 대해 좀 더 구체적으로 식생유형과 환경요인과의 상관관계를 검토하기 위하여 PC-ORD 프로그램상의 CCA(canonical correspondence analysis) 방법을 이용하였는데, CCA 분석용 데이터는 군락의 종조성을 main matrix로 하였고, 환경요인을 second matrix로 입력하여 분석하였다.

각 조사지역별, 층위별 종의 점유정도를 파악하기 위하여 식생조사에서 얻은 자료를 토대로 Curtis와 McIntosh (1951)의 방법을 응용하여 중요치(I.V.: Importance Value)를 산출하였다. 즉, Curtis와 McIntosh(1951)는 전체종에 대한 각 종의 상대밀도, 상대빈도 및 상대피도를 합한 중요치를 산출하여 구성종의 생태적 중요도를 표현하는 객관적인 방법을 고안하였지만, 중요치를 산출하는 측도가 반드시 세 가지일 필요는 없고 두 가지의 상대측도를 합하여 표시할 경우도 있으므로(Bray and Curtis 1957), 식물사회학적 방법으로 조사된 우점도계급을 우점도범위의 중앙치로 환산하여 상대우점도를 계산하였고(田川 등 1979, Dierssen 1990), 또한 상대빈도를 계산하여 층위별 구성종의 점유정도에 대한 정량적 분석을 실시하였다.

지역별, 지형별 각 군락에 대한 다양성, 우점도, 경쟁 등을 분석하기 위하여 종다양도지수(Shannon 1949), 최대종다양도, 균재도, 우점도, 종간경쟁지수와 종내경쟁지수(Herlbert 1971)를 분석하였다 (Brower and Zar 1977).

Sørensen의 유사계수(CC)를 이용하여 조사지역간의 군락유사도를 분석하였으며(Brower and Zar 1977), 또한 개체군에 있어서 환경요인과 관계없이 종 상호간에 친소관계, 즉 양성결합(positive association), 음성결합(negative association), 기회결합(random association)의 관계를 가질 수 있으므로, 중요치가 높게 나타난 종과 식물사회학적 분류에서 표징종 및 식별종을 중심으로 24종을 선정하여, 2×2 분할표에 의한 Chi-square(χ^2) test로 각 수종 상호간의 상관관계 값을 계산하여 Chi-square(χ^2) 행렬표를 작성하고, 양의관계가 있는 종을 연결시킨 성과표를 1% 수준과 5% 수준으로

구분하여 중간결합(interspecific association)을 분석하였다 (김 등 1997, Agnew 1961, Ludwing and Reynolds 1988).

결과 및 고찰

CCA(canonical correspondence analysis) ordination

Greig-Smith(1983)와 Ter Braak(1986, 1987)는 ordination의 목적이 군집의 구조를 밝히고 군집에서 식생과 환경과의 상호작용에 대한 가정을 유출해 내는 것이라고 하였으며, 삼림식생은 환경요인에 따라 그 구조가 달라지며, 따라서 ordination은 식생들을 한 개 또는 그 이상의 생태학적 구배에 배열하는 과정으로 다변량 data set에서 유형을 찾는 분석방법이라고 말할 수 있다 (송 1992, Goodall 1963). CCA는 종과 환경과의 상관관계를 밝히고 환경변이에 따른 종의 반응에 대한 특별한 문제들을 조사하기 위하여 사용되어 왔다 (송 1992, 1995, Allen 1988).

Fig. 1과 Table 2는 CCA 방법으로 16개의 植生單位와 15개의 環境因子(해발, 지형, 경사, 노암, 모래, 미사, 점토, pH, 유효인산, 탄소, 질소, C/N율, 치환성 양이온량, 칼슘, 마그네슘)간의 相關關係를 比較分析하기 위하여, 식물사회학적 방법에서 분류된 16개의 식생단위별로 구분하여 186개 plots의 種組成을 main matrix, 15개의 環境要因을 second matrix로 하였고, Biplot cutoff R^2 는 0.12, Vector scaling을 200%로 하여 분석한 결과이다. 그 결과 주로 1축상에서는 지형, 점토, 유효인산, 칼슘, 마그네슘, 2축상에서는 해발, 탄소, C/N율, 3축상에서는 지형, 마그네슘 등의 환경요인들이 높은 상관관계를 보여주고 있었다. 주요 식생단위와 환경요인들과의 관계를 보면 꼬리진달래군락(식생단위 2)은 해발이 높고 지형이 사면 상부나 능선부쪽으로 갈수록 많이 분포하는 경향이었으며, 마그네슘과 칼슘이온의 농도도 낮게 나타나는 입지에 분포하는 경향이였다.

산앵도나무군락(식생단위 1)은 꼬리진달래군락에 비해 칼슘, 마그네슘의 이온농도가 높은 입지에 분포하는 경향이었고, 사면 중상부와 능선부로 갈수록 많이 분포하는 경향이였다.

꼬리진달래군락은 대부분 소광리 지역과 일부 청옥산 및 울진 일대의 조사지였으므로 소광리 지역 금강소나무 임분의 주된 특징이라고 할 수 있다. 또한 1축, 2축, 3축에 지형과 해발 등이 식생의 분포에 영향을 미치는 중요한 환경요인이었는데 이러한 결과는 송 등(1992)의 결과와 일치하였다.

중요치

조사지역(소광리, 응봉산, 청옥산, 울진, 검마산)의 층위별 종조성의 정량적 파악을 위하여 식생조사에서 얻은 자료를 토대로 Curtis와 McIntosh(1951)에 의한 중요치(I.V.: Importance Value) 산출방법을 응용하여 구하였다 (Table 3).

지역간에 층위별 종조성 결과 소광리 지역은 다른 지역

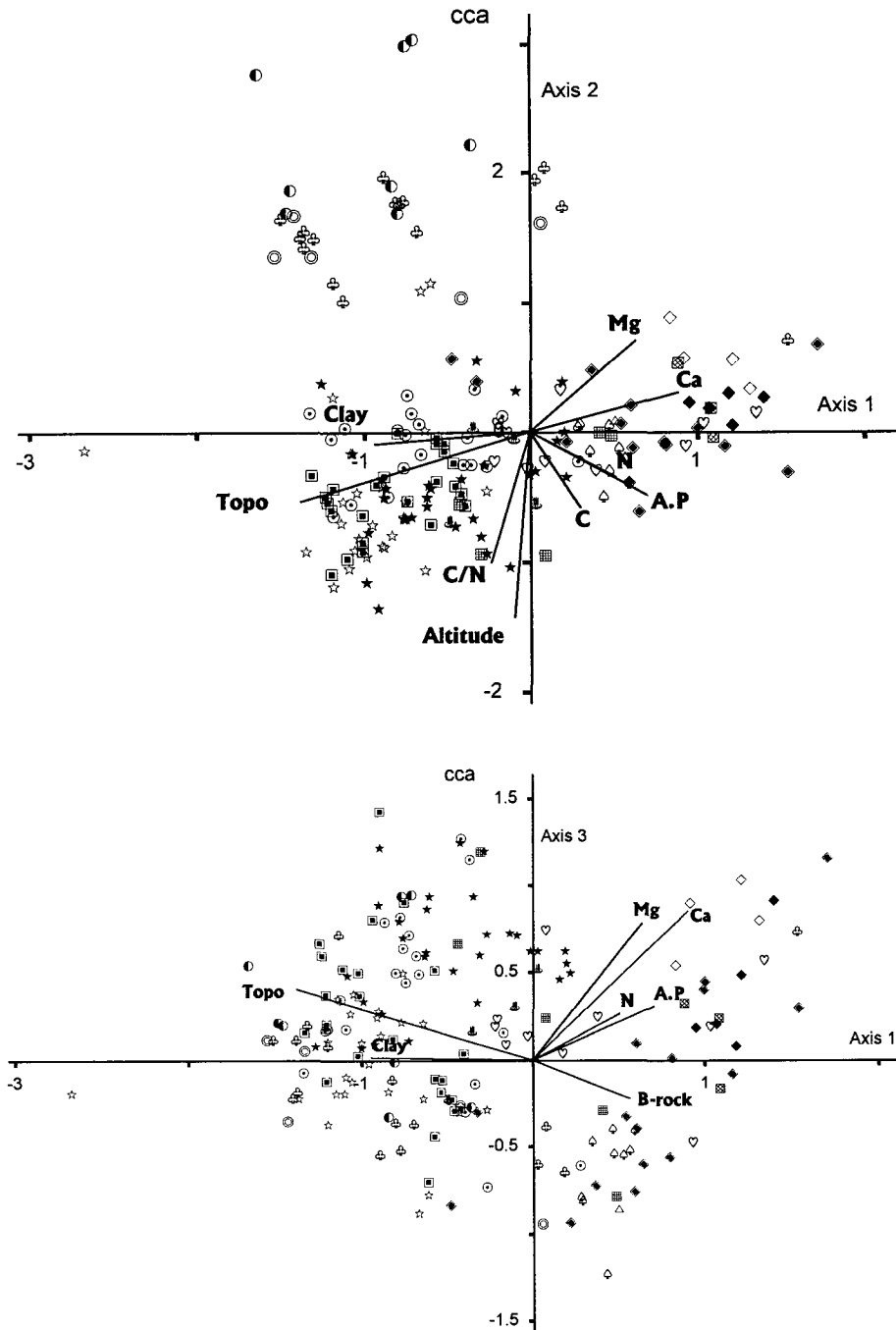


Fig. 1. Canonical correspondence analysis (CCA) ordination diagram showing vegetation units and major environmental variables (arrows) against the axis 1 and axis 2 (above) and against the axis 1 and axis 3 (below) (Cutoff R^2 value: 0.12; Vector scaling: 200%; Vegetation unit 1: ★; 2: ☆; 3: ☼; 4: ●; 5: ◎; 6: ◇; 7: ◆; 8: ■; 9: ▣; 10: △; 11: ◊; 12: ◆; 13: ▣; 14: ◎; 15: ♥; 16: ☼).

과는 달리 관목2층에서 금강송의 중요치가 높게 나타났는데, 이러한 점은 소광리지역이 다른 조사지역에 비해 금강송의 치묘와 치수의 공급이 계속되고 있음을 반영함과 동시에 5개 조사지역 중에서는 가장 안정된 금강송임분을 유지

하고 있음을 반영한다고 할 수 있다.

종다양도

Table 4와 Table 5는 각각 조사지역과 식물사회학적 분류

Table 2. Correlation with second matrix (environmental variables) by Pearson and Kendall correlations with ordination axes

Variables	Axis	1			2			3		
		r	r-sq	tau	r	r-sq	tau	r	r-sq	tau
Topography		-.816	.666	-.682	-.318	.101	-.365	.400	.160	.321
Altitude		.005	.000	-.099	-.902	.814	-.671	.248	.061	.157
Slope		-.313	.098	-.193	-.012	.000	-.025	-.141	.020	-.194
Bare-rock		.182	.033	.206	-.135	.018	-.119	-.363	.132	-.296
Sand		.188	.035	.106	.010	.000	.041	-.141	.020	-.105
Silt		-.043	.002	-.018	.026	.001	.004	.125	.016	.107
Clay		-.363	.132	-.237	-.061	.004	-.104	.133	.018	.071
pH		.210	.044	.048	.091	.008	.039	.236	.056	.179
A. P ₂ O ₅		.455	.207	.356	-.302	.091	-.175	.219	.048	.151
Carbon		.324	.105	.188	-.416	.173	-.279	.161	.026	.130
Nitrogen		.391	.153	.235	-.289	.083	-.205	.243	.059	.179
C/N		.046	.002	.036	-.650	.422	-.423	-.006	.000	-.022
CEC		.134	.018	.082	.116	.014	.092	.071	.005	.051
Calcium		.559	.313	.353	.113	.013	.115	.616	.379	.434
Magnesium		.393	.154	.309	.332	.110	.184	.557	.311	.405

Table 3. Importance value of major species in the study areas

Site	Species		Layer				Total
	Scientific name	Common name	Tree	Subtree	Shrub1	Shrub2	
Sokwang-Ri	<i>Pinus densiflora</i> for. <i>erecta</i>	금강송	95.20	31.03	6.13	15.42	147.77
	<i>Quercus mongolica</i>	신갈나무	2.18	37.01	6.55	8.04	53.79
	<i>Quercus serrata</i>	졸참나무	0.63	6.66	1.33	2.28	10.90
	<i>Quercus variabilis</i>	굴참나무	-	5.16	1.22	4.09	10.47
	<i>Fraxinus rhynchophylla</i>	물푸레나무	-	1.02	1.16	3.96	6.14
	<i>Carpinus laxiflora</i>	서어나무	-	3.32	1.29	1.07	5.68
	<i>Acer mono</i>	고로쇠나무	-	1.10	0.21	0.40	1.72
	<i>Rhododendron micranthum</i>	꼬리진달래	-	-	6.62	6.95	13.57
	<i>Vaccinium koreanum</i>	산앵도나무	-	-	1.26	0.40	1.66
		Others		1.99	14.70	74.23	57.39	148.31
	Total		100.00	100.00	100.00	100.00	400.00
Mt. Eungbong	<i>Pinus densiflora</i> for. <i>erecta</i>	금강송	92.76	47.04	4.86	6.82	151.48
	<i>Quercus mongolica</i>	신갈나무	1.18	24.09	11.79	8.88	45.94
	<i>Quercus variabilis</i>	굴참나무	2.35	9.62	3.96	3.54	19.47
	<i>Acer mono</i>	고로쇠나무	-	2.50	1.08	0.97	4.55
	<i>Fraxinus rhynchophylla</i>	물푸레나무	-	2.06	1.11	0.62	3.79
	<i>Quercus serrata</i>	졸참나무	-	1.37	1.27	-	2.65
	<i>Betula costata</i>	거제수나무	-	0.49	0.11	0.33	0.94
	<i>Vaccinium koreanum</i>	산앵도나무	-	-	4.04	4.08	8.12
	<i>Carpinus cordata</i>	까치박달	-	-	0.21	-	0.21
		Others		3.71	12.83	71.57	74.76	162.85
	Total		100.00	100.00	100.00	100.00	400.00

Table 3. continued

Site	Species		Layer				Total
	Scientific name	Common name	Tree	Subtree	Shrub1	Shrub2	
Mt. Chungok	<i>Pinus densiflora</i> for. <i>erecta</i>	금강송	92.40	41.01	2.33	0.79	136.52
	<i>Quercus mongolica</i>	신갈나무	2.53	31.88	10.93	3.72	49.06
	<i>Fraxinus rhynchophylla</i>	물푸레나무	-	4.60	1.23	0.95	6.78
	<i>Betula costata</i>	거제수나무	-	1.40	0.82	0.34	2.57
	<i>Acer mono</i>	고로쇠나무	-	1.80	0.24	0.34	2.38
	<i>Rhododendron micranthum</i>	꼬리진달래	-	-	7.22	12.57	19.80
	<i>Vaccinium koreanum</i>	산앵도나무	-	-	2.77	0.61	3.38
	<i>Quercus variabilis</i>	굴참나무	-	-	1.74	0.52	2.26
	<i>Acer ukurunduense</i>	부계꽃나무	-	-	0.48	0.69	1.16
	<i>Kalopanax pictus</i>	읍나무	-	-	0.43	0.34	0.77
		Others		5.07	19.31	71.81	79.13	175.32
	Total		100.00	100.00	100.00	100.00	400.00
Uljin	<i>Pinus densiflora</i> for. <i>erecta</i>	금강송	96.27	63.79	5.92	2.55	168.53
	<i>Quercus variabilis</i>	굴참나무	1.24	3.89	3.77	2.58	11.48
	<i>Pinus thunbergii</i>	해송	2.49	-	-	-	2.49
	<i>Robinia pseudo-acacia</i>	아까시나무	-	11.89	7.54	1.48	20.91
	<i>Quercus dentata</i>	떡갈나무	-	2.60	4.52	9.90	17.01
	<i>Alnus hirsuta</i>	물오리나무	-	13.93	1.24	-	15.18
	<i>Quercus mongolica</i>	신갈나무	-	1.30	4.37	1.89	7.56
	<i>Quercus acutissima</i>	상수리나무	-	1.30	0.67	0.38	2.35
	<i>Quercus serrata</i>	졸참나무	-	-	5.67	9.35	15.03
	<i>Rhododendron micranthum</i>	꼬리진달래	-	-	0.93	-	0.93
	<i>Alnus firma</i>	사방오리	-	-	0.13	-	0.13
	Others		-	1.30	65.24	71.87	138.41
	Total		100.00	100.00	100.00	100.00	400.00
Mt. Kumma	<i>Pinus densiflora</i> for. <i>erecta</i>	금강송	96.66	11.09	0.92	1.28	109.95
	<i>Quercus variabilis</i>	굴참나무	1.67	5.20	2.30	2.57	11.73
	<i>Quercus mongolica</i>	신갈나무	-	30.98	11.39	7.93	50.30
	<i>Fraxinus rhynchophylla</i>	물푸레나무	-	4.38	1.07	0.72	6.16
	<i>Carpinus cordata</i>	까치박달	-	5.66	0.15	-	5.81
	<i>Quercus serrata</i>	졸참나무	-	2.98	1.38	1.11	5.47
	<i>Acer mono</i>	고로쇠나무	-	3.74	0.93	0.55	5.22
	<i>Acer triflorum</i>	복자기	-	2.57	0.61	0.55	3.74
	<i>Tilia mandshurica</i>	찰피나무	-	1.29	-	-	1.29
	<i>Vaccinium koreanum</i>	산앵도나무	-	-	5.41	7.45	12.86
		Others		1.99	14.70	74.23	57.39	148.31
	Total		100.00	100.00	100.00	100.00	400.00

에 의해 구분된 식생단위에 있어서 군락의 성숙도와 안정도 등의 간접적인 군락의 속성을 파악하기 위하여, 각각의 조사지소에서 Shannon's diversity(H'), 최대종다양도(H'max.), 균재도(J'), 우점도(1-J'), 종간경쟁(Δ1), 종내경쟁(1-Δ1)을 분

석하여 평균치를 구한 결과이다. 종다양성과 성숙도는 정비례하는 경향으로 생각되어 왔고(Loucks 1970), 생육환경이 이질적이고 복잡하거나 국소적 교란이 발생하게 되면 종다양도는 높아지게 된다 (Krebs 1985, Barbour 등 1987). 종다

Table 4. Values of species diversity indices in study sites

Site	H'	H'max.	J'	1-J'	Δ_1	1- Δ_1
Mt. Kumma	0.7853	1.3607	0.4205	0.5795	0.2724	0.7276
Sokwang-Ri	0.7014	1.1968	0.4110	0.5890	0.2669	0.7331
Uljin	0.6622	1.3602	0.5175	0.4825	0.3698	0.6302
Mt. Eungbong	0.7357	1.3265	0.4442	0.5558	0.3094	0.6906
Mt. Chungok	0.6840	1.2279	0.4419	0.5581	0.3000	0.7000

Table 5. Values of species diversity indices in each vegetation unit

Unit	H'	H'max.	J'	1-J'	Δ_1	1- Δ_1
1	0.7396	1.2553	0.4142	0.5858	0.2765	0.7300
2	0.6776	1.1015	0.3842	0.6158	0.2904	0.7096
3	0.6727	1.2314	0.4507	0.5493	0.3386	0.6614
4	0.6864	1.3606	0.4978	0.5022	0.3486	0.6514
5	0.6633	1.3562	0.5148	0.4852	0.3682	0.6318
6	0.6906	1.4166	0.5182	0.4818	0.3595	0.6405
7	0.7298	1.4595	0.5084	0.4916	0.3385	0.6615
8	0.7532	1.4811	0.5006	0.4994	0.3274	0.6726
9	0.7868	1.4967	0.4829	0.5171	0.3056	0.6944
10	0.8312	1.5069	0.4531	0.5469	0.2686	0.7314
11	0.8826	1.4842	0.4053	0.5947	0.2111	0.7889
12	0.8317	1.4229	0.4143	0.5857	0.2332	0.7668
13	0.7047	1.2120	0.4125	0.5875	0.2644	0.7356
14	0.6621	1.2057	0.4518	0.5482	0.3116	0.6884
15	0.6931	1.2390	0.4405	0.5595	0.3135	0.6865
16	0.6874	1.2405	0.4461	0.5539	0.3177	0.6823

Table 6. Community coefficient of similarity in the study areas

	Mt. Kumma	Sokwang-Ri	Uljin	Mt. Eungbong	Mt. Chungok
Mt. Kumma					
Sokwang-Ri	0.6308				
Uljin	0.4609	0.4629			
Mt. Eungbong	0.6245	0.6510	0.4790		
Mt. Chungok	0.5843	0.6324	0.3898	0.5344	

양도지수는 우점도와 반비례의 관계를 가지며 우점도가 높은 소수의 종들보다 우점도가 낮은 다수의 종들에 의하여 결정되며(Ellenberg 1956), Whittaker(1965)는 우점도가 0.9이상일때 1종, 0.3~0.7일 때 2~3종, 0.3이하일 때 다수의 종이 우점종을 이룬다고 하였다. 본 조사지역별 종다양도지수를 보면 울진이 0.6622로 가장 낮았고, 기타지역은 대부분 0.7내외로 나타났으며, 식생단위별 종다양도 지수도 대체로 0.7 내외로 나타났으나, 당단풍군락의 함박꽃나무군(식생단위 10)과 서어나무군(식생단위 11), 전형군(식생단위 12)에서는 종다양도지수가 0.8이상으로 높게 나타났는데, 이는 계곡부 조사지소의 안정적인 군락특성을 가지고 있기 때문

인 것으로 생각되었다. 우점도는 0.5내외로 2~3종이 우점하고 있었다. 조사지역과 식생단위에 있어서 각각의 종간경쟁은 0.3내외로 나타났는데, 이러한 결과는 이(1995)의 구상나무림에 대한 종간경쟁지수가 0.7이상으로 나타난 것에 비해 상당히 낮은 값이었다.

따라서 구상나무림과는 달리 본 조사지역과 식생단위에 있어서는 종간경쟁보다는 종내경쟁이 치열한 것으로 사료되었다.

군락유사도

Table 6에서는 조사지역의 금강소나무림에서 출현하는

이 되며, Cox(1972)에 의하면 20% 이하일 때는 이질적인 군락이고 80% 이상이면 동일군락이라 하였으며, 1이면 두 군락이 완전히 같음을 의미하고, 0이면 완전히 다를음을 의미하며, 보통 0.5 이상이면 통계적으로 차이가 없는 군락으로 보았다. 소광리 지역은 울진과는 군락유사도의 차이가 낮게 나타났으며, 검마산, 응봉산 및 청옥산과는 군락유사도가 0.6 이상으로 높게 나타나 큰 차이가 없는 군락으로 판단되었다.

종간결합(interspecies association)

개체군에 있어서 각 종들은 환경요인과 관계없이 종 상호간에 친소관계 즉, 친숙하여 서로 가까이 존재하는 양성결합(positive association), 다른 개체군을 배척하여 멀리 존재하는 음성결합(negative association), 그리고 다른 개체군과 아무 관계가 없이 존재하는 기회결합(random association)의 3가지 유형의 결합관계를 가질 수 있는데 이러한 결합을 종간결합 또는 종간 상관관계라고 한다(Pielou 1977, Greig-Smith 1983, Schluter 1984, Ludwig and Reynolds 1988). ++와 +는 양성결합을, --와 -는 음성결합을 나타낸 것이며 ++와 --는 99%의 확률수준에서, +와 -는 95%의 확률수준에서 두 수종간의 유의한 상관관계가 있음을 표시한 것이다(Agnew 1961). 두 수종간의 양의 상관관계가 인정된다는 사실은 우연성을 초월하여 서식처를 공유하며 어울려 생육할 수 있는 가능성을 내포한 것이다. 그러나 이러한 현상은 한 수종의 존재 여부가 상대수종의 출현 여부의 원인이 된다는 것을 의미하지는 않으며, 두 수종이 미세환경 요소들의 복합적인 양상에 비슷한 분포반응을 보인다고 해석할 수 있다. 수종구성상태가 대단히 복잡한 집단에서는 이러한 양의 상관관계를 근거로 하여 수종의 집단과 미세환경과의 관계를 분석함으로써 그 수종 자체가 하나의 독립된 군중(association)으로 취급될 수 있고, 각 집단의 수종구성상태를 파악함으로써 국부적인 산림지의 생태적 천이단계를 추정할 수도 있다(김 등 1993).

본 조사지에 있어서 식물사회학적 방법에 의해 분류된 표징종과 식별종 그리고 중요치가 높게 나온 종들 중 대표적인 24개의 종을 대상으로 이들 종상호간의 관계를 파악하기 위해 종간결합(interspecific association)을 분석하였다.

Fig. 2와 Fig. 3에서 종 상호간 결합관계에 대한 Chi-square matrix와 성과표를 각각 나타낸 결과 크게 두 개의 그룹으로 나뉘어 졌는데, 즉 신갈나무, 기름새, 싸리, 쇠물푸레, 진달래, 산거울 등 우측 그룹에 속하는 종들은 대부분 식물사회학적 분석에서의 표징종군과 일치하였고, 국수나무, 병꽃나무, 쪽동백나무, 고로쇠나무, 층층나무, 당단풍, 서어나무, 함박꽃나무, 물푸레나무 등 좌측 그룹에 속하는 종들은 대부분 식물사회학적 분석의 식별종과 일치하였으며, 또한 우측 그룹에 속하는 철쭉꽃은 좌측그룹에 속하는 산앵도나무 및 꼬리진달래와 1% 수준에서 양성결합의 관계가 있는 것으로 나타났고, 꽃머느리밭풀은 꼬리진달래와 1%수준에서

양성결합의 관계가 있는 것으로 나타났다.

인용문헌

- 김준호 등. 1997. 현대생태학실험서. 교문사. 여천생태연구회. 286 p.
- 김지홍 등. 1993. 참나무 천연림의 임분구조에 대한 해석. 한국임학회지 82: 235-245.
- 송호경, 권기원, 이돈구, 장규관, 우인식. 1992. TWINSpan과 DCCA에 의한 중왕산의 삼림군집과 환경의 상관관계 분석. 한국임학회지 81: 247-254.
- 송호경, 김성덕, 장규관. 1995. TWINSpan과 DCCA에 의한 금강소나무 및 춘양목소나무 군집과 환경의 상관관계 분석. 한국임학회지 84: 266-274.
- 이병천, 이경재, 이창석, 신준환. 1992. 점봉산 천연림지역의 식생 군락분류 및 임분구조. 임업연구보고 44: 1-14.
- 이윤원. 1995. 구상나무림의 군락분류와 임분구조에 관한 연구. 경북대학교 대학원 박사학위논문. 137 p.
- 장규관, 송호경, 김성덕. 1997. 식물사회학적 방법과 TWINSpan에 의한 강원도 신갈나무림의 분류에 관한 연구. 한국임학회지 86: 214-222.
- 조재창. 1994. 울진군 소광리지역 소나무의 임분구조 및 생장양상과 산불과의 관계. 서울대학교 대학원 박사학위논문. 101 p.
- 田川日出夫 沖野外輝夫. 1979. 生態遷移研究法. 共立出版株式會社. 177 p.
- Agnew, A.D.Q. 1961. The ecology of *Juncus effusus* L. in North Wales, J. Ecol. 49: 83-102.
- Allen, R. 1988. Latitudinal variation in southern Rocky Mountain forests. Ph. D thesis. The Uni. of north Carolina.
- Barbour, M.G., J.H. Burk and W.D. Pitts. 1987. Terrestrial plant ecology. 2nd ed.. The Benjamin/Cummings Publishing Co., Menlo Park. pp. 155-229.
- Braun-Blanquet, J. 1964. Pflanzensoziologie Grundzuge der Vegetation der Vegetation 3. Auf. Springer-Verlag. Wien. N. Y. 865 p.
- Bray, J. R. and J. T. Curtis. 1957. An ordination of the upland forest community of southern Wisconsin. Ecology Monger. 27: 325-349.
- Brower, J.E. and J.H. Zar. 1977. Field and laboratory method for general ecology. Wm. C. Brown Co. Publ., Zowa. 184 p.
- Buell, M.F., A.N. Langford, D.W. Davidson and L.F. Ohmann. 1966. The upland forest continuum in northern New Jersey. Ecol. 47: 416-432.
- Cox, G.W. 1972. Laboratory manual of general ecology. Wm. C. Brown Co. Publ. Iowa. 232 p.
- Curtis and McIntosh R.P. 1951. An upland forest continuum in the prairie-forest border region of Wisconsin. Ecology 32:

- 476-496.
- Dierssen, K. 1990. Einführung Pflanzensoziologie. Akademie-Verlag Berlin. 241 p.
- Ellenberg, H. 1956. Grundlagen der vegetationsgliederung. I. Aufgaben und Methoden der Vegetationskunde. In H. Walter (Hrsg.), Einführung in die Phytologie IV Stuttgart, 136 p.
- Gauch, H.G. 1977. ORDIFLEX-a flexible computer program for four ordination tec.: Weighted averages. polar ordination. principal components analysis and reciprocal averaging. Release B. Cornell Uni. N.Y. 185 p.
- Goodall, D.W. 1963. The continuum and the individualistic association. *Vegetatio* 11: 297-316.
- Greig-Smith, P. 1983. Quantitative plant ecology. 3rd ed.. Blackwell, Oxford. 256 p.
- Herlbert, S.H. 1971. The nonconcept of species diversity: a critique and alternative parameters. *Ecology* 52: 577-586.
- Krebs, C.J. 1985. Ecology. 3rd edition. Haber & Row. Publishers. Inc., pp. 3-14.
- Loucks, O.C. 1970. Evolution of diversity efficiency and community stability. *American Zoologist* 10: 17-25.
- Ludwig, J.A. and J.F. Reynolds. 1988. *Statistical Ecology*. John Wiley, New York. 337 p.
- Schluter, D. 1984. A variance test for detecting species associations. with some example applications. *Ecology* 65: 998-1005.
- Shannon, C.E. and W. Weaver. 1949. *The mathematical theory of communication*. Univ. of Illinois Press, Urbana.
- Ter Braak, C.J.F. 1986. Canonical correspondence analysis : a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecol.* 67: 1167-1179.
- Ter Braak, C.J.F. 1987. CANOCO-a FORTRAN program for canonical community ordination by (partial) (detrended) (canonical) correspondence analysis. principal components TNO Institute of Applied Computer Science. Statistics Department. Wageningen. The Netherlands.
- Whittaker, R.H. 1967. Gradient analysis of vegetation. *Biol. Rev.* 49: 207-264.

(1999년 12월 28일 접수)

Quantitative Analysis of Vegetation Types in *Pinus densiflora* for. *erecta* Forest

Yun, Chung-Weon and Sung-Cheon Hong

Department of Forestry, Kyungpook National University Taegu 702-701, Korea

ABSTRACT: The objectives of this study were to classify quantitatively vegetational types of *P. densiflora* for. *erecta* forest. The results were summarized as follows. 1) According to the canonical correspondence analysis(CCA), variables such as topography, altitude, available P_2O_5 and Mg^{2+} were highly correlated on three axes. Based on the correlations between vegetation units and environmental factors, *Rhododendron micranthum* community tended to be more distributed in the such situations of high altitude, upper topography, high C/N ratio, low level of Mg^{2+} and Ca^{2+} . *Vaccinium koreanum* community tended to be more distributed in the such conditions of high altitude, upper topography, high level of Ca^{2+} and Ma^{2+} . 2) According to the results of importance value analysis, Tree layer and Subtree layer in study areas showed high IV along with *P. densiflora* for. *erecta*, *Quercus mongonlica*, *Q. variabilis*, *Q. serrata*, *Fraxinus rhychophylla* and shrub layer indicated that IV of *P. densiflora* for. *erecta* in Sokwang-ri area was higher than those of the other areas. Therefore, it was considered that *P. densiflora* for. *erecta* forest of Sokwang-ri area could be naturally regenerated. 3) According to results of species diversity, the species diversity of Uljin region showed the least low value as 0.6622, other regions appeared about 0.7. In the diversity by vegetation types, *Acer pseudosieboldianum* community showed high value. 4) According to the analysis of community similarity, Sokwang-Ri region was lowly correlated with Uljin region, while the index among the other areas appeared above 0.6. 5) According to the analysis of interspecific association, it was divided into 2 groups. The species of first group were mainly involved in character species, and the species of second group were involved in differential species groups.

key words: CCA, Community similarity, Importance value, Interspecific association, *Pinus densiflora* for. *erecta*, Species diversity, Vegetation
