

점봉산 생물권 보전지역내 온대낙엽수림에서 미소환경요인과 식생요인의 공간분포와 상관 분석

이 규 송 · 조 도 순*

강릉대학교 생물학과 · 가톨릭대학교 생명과학부*

적 요: 생태계 내에서 미소환경요인과 식생 요인의 상호관련성을 밝히는 일은 생태계의 구성원리와 생태계의 관리에 많은 도움을 준다. 생물권보전지역으로 지정된 점봉산 일대의 온대낙엽수림에서 식생요인과 환경요인의 공간적 이질성을 정량화하고, 임상식생의 공간분포에 미치는 미소환경요인의 영향을 파악하였다. 대부분의 환경요인과 식생요인은 영구방형구내 미소지소간에 변이를 나타내었다. 환경요인 중에서 공간의존도가 높은 요인들은 지형적 요인(고도, 경사도), 낙엽층 두께, 토양수분 함량 및 상대광도이었고, 공간의존거리가 상대적으로 짧은 요인은 낙엽층 두께, 상대광도 및 마그네슘 함량이었다. 식생요인 중에서 아교목층의 피도, 가을 초본층의 피도 및 철쭉꽃의 피도를 제외하고는 모든 변수들의 공간의존도는 높은 편이었다. 교목층의 피도, 관목층의 피도 및 가을 초본층의 종다양성 지수의 공간의존거리는 15 m 이내이었고, 초봄 초본층의 종풍부도와 종다양성 지수 및 가을 초본층의 종풍부도의 공간의존거리는 28~48 m이었다. 초봄과 가을 임상식물의 종풍부도와 종다양성지수의 공간분포에 영향을 주는 요인으로는 낙엽층 두께, 경사도, 아교목층의 피도, 관목층의 피도, 조릿대의 피도 등이었는데, 그 중에서 가장 크게 영향을 주는 요인은 낙엽층 두께로서 낙엽층 두께가 두꺼운 곳일수록 종풍부도와 종다양성지수가 낮은 경향이였다. 본 조사지역에서 낙엽층의 공간 분포에 영향을 주는 요인들로는 바람의 방향, 미소지형 및 관목의 밀집정도로 추정되었다.

검색어: 공간변이, 공간패턴, 온대낙엽수림, 이질성, 종다양성, Geostatistics

서 론

식물 군집 내에서 빛 조건, 토양 pH, 수분함량, 유기물함량, 영양염류함량, 미소지형 등과 같은 환경 요인들은 공간적인 규모에서 매우 복잡하게 분포하고, 그러한 공간적 이질성은 식물군집 구성의 주요한 성분이다 (Robertson *et al.* 1988, Tragmar *et al.* 1987, Koch and Matzner 1993). 식물 군집이 한정된 자원의 유용성에 따라서 다르게 구성된다는 여러 가설들은 이를 뒷받침하여 준다 (Grime 1979, Huston 1980, Tilman 1982).

공간적 이질성에 대한 연구에서 가장 중요한 것은 그것의 공간 패턴과 생태적 의미를 발견하는 일이다. Harper (1977)와 Harper 등(1965)은 환경요인의 공간적 이질성이 종자의 발아와 유식물의 발아 및 정착에, Regehr와 Bazzaz (1979)과 Solbrig 등(1980)은 유식물이 정착된 이후의 사망에, Hedrick 등(1976), Spieth(1979) 및 Hartgerink와 Bazzaz (1984)는 개체군내 유전적 다양성 유지에 그리고 Whittaker와 Levin(1977)과 Menge(1979)는 군집내에서 종다양성의 유지에 공간적 이질성이 중요한 영향을 미침을 밝혔다. 군집내의 여러 가지 생물학적 요인들은 반작용을 통하여 환경요인의 공간 분포에 영향을 미치고 있는데, 산포 전략이나 휴면 전략과 같은 생물학적 특성들은 다양한 과정을 통하여 환경요인들의 공간 패턴을 증폭시키거나 변형시킬 수 있다

(Lavorel *et al.* 1994). 개개 종들의 산포 능력의 차이는 군집내에서 매토종자의 분포를 공간적으로 다르게 하고(Pickett and McDonell 1989), 다른 미소 생육지의 특성은 산포되는 종자의 축적이나 발아를 제한할 수 있기 때문에(Reader and Buck 1986) 군집내에서 종풍부도와 각 종의 우점도의 공간 패턴은 생물학적 속성과 비생물학적 특성의 상호작용에 의하여 결정된다고 할 수 있다 (Armesto *et al.* 1991).

군집내에서 공간적 이질성을 일으키는 원인에 대한 연구는 군집의 동태 연구에 있어서 대단히 중요하다 (Armesto *et al.* 1991). 초지 군집에서는 작은 포유류의 토양 교란, 방목하는 동물의 똥, 방목강도 및 토양영양염류 공급의 미소한 차이가 작은 규모의 공간 패턴을 만들고 집중반간에 종조성과 우점도를 변화시킴으로써 이질성을 증가시킨다고 알려져 있고(Seneft *et al.* 1985, Collins 1987, Collins and Barber 1985, Inoue *et al.* 1987, Gibson 1988, Tilman 1988), 성숙림내에서는 미소한 지형상의 차이, 삼림내 목본줄기의 불균등한 분포 그리고 수목의 수명과 불규칙하게 일어나는 교란에 의해 생기는 숲틈의 이질적 분포가 공간적 이질성을 야기시키는 주요한 요인이다 (Koch and Matzner 1993, Sousa 1984). 온대지역의 성숙림에서 빈번하게 관찰되는 교란에 의한 미환경의 차이(공간적 이질성)는 특히 임상 식물 군집에 많은 영향을 끼친다고 알려져 있다 (김 1996).

많은 생태학자들이 자연 생태계의 구조와 기능을 평가하는데 있어서 공간적 이질성의 중요성에 대하여 공감하고 있

지만 아직까지 공간적 이질성이 식물군집구조에 영향을 미치는 정도를 정량적으로 평가하는 방법들에 대한 연구는 대단히 부족한 실정이다 (Armesto *et al.* 1991, Muraoka *et al.* 1984). 최근에 일부 연구자들에 의하여 식물군집의 공간 패턴을 정량적으로 평가하려는 시도가 다양하게 행해지고 있는데 (Robertson *et al.* 1988, 1993, 1997, Gross *et al.* 1995, Peter *et al.* 1997), 대부분의 연구가 천이초기단계의 식물군집을 대상으로 하고 있고 성숙림에서 공간적 이질성의 패턴을 정량적으로 평가하려는 시도는 매우 부족하다.

본 연구에서는 생물권보전지역으로 지정된 점봉산 일대의 온대낙엽수림에서 식생요인과 환경요인의 공간적 이질성 패턴을 정량화하고, 생물요인과 비생물요인의 상호작용에 대한 분석을 통하여 임상식물군집의 공간적 이질성을 일으키는 주요한 원인을 파악함으로써 온대낙엽수림내에서 공간적 이질성이 갖는 생태적 의미를 밝히고자 한다.

조사지 개황

설악산권역(설악산-점봉산)은 빼어난 자연경관으로 보전 가치가 커서 1982년에 UNESCO의 인간과 생물권 계획 (Man and Biosphere Project)에 의하여 남한에서 유일하게 생물권 보전지역(Biosphere Reserve)으로 지정된 지역이다. 점봉산(해발 1,424 m)은 설악산 남쪽의 인제군 기린면 진동리, 인제군 기린면 귀둔리와 양양군 서면 오가리의 경계선 (128° 25' ~ 128° 30' E, 38° 0' ~ 38° 5' N)에 위치하고 있는데, 남쪽사면의 진동리 지역에는 온대낙엽수림이 잘 발달하고 있고 보전이 비교적 잘 되어 있는 지역이다. 인제군 기상관측 자료에 의하면 본 조사지역의 연평균기온은 10.7°C이고 연평균 강수량은 1,169.7 mm이다.

연구방형구를 설치한 조사지역은 점봉산 남사면 지역의 산줄기로서 해발고도 1,100~1,150 m 사이에 위치한다. 조사가 행해진 연구방형구의 미소지형은 Fig. 1에 나타난 바와 같이 남쪽으로부터 45 m까지는 남사면을 나타내고 45~70 m 지점은 능선부를 나타내고 경사가 급한 남사면부의 하단부(남쪽끝에서 0~20 m 지점, 동쪽으로부터 20~40 m 지점)에는 미소 계곡이 형성되어 있다. 본 지역은 고지대의 전형적인 신갈나무 성숙림으로서 교목층에는 흉고 직경 60~70 cm인 신갈나무와 피나무가 우점하고 있다. 본 조사지역은 연중 바람이 심하게 불고 바람의 빈도가 남쪽에서 북쪽으로의 방향이 가장 많아서 남사면의 낙엽이 날려 능선부나 북사면으로 이동이 되는 경향이 있고(이 등 1997), 겨울에 쌓인 눈이 녹는 시기도 지형별로 달라서 남사면의 눈은 대체로 3월 중순경이면 모두 녹지만 북사면의 눈은 4월 중순이 되어야 모두 녹는다. 본 조사지역에서는 목본이 쓰러질 때 생기는 구덩이와 둔덕, 쓰러진 목본줄기의 불균등한 분포, 멧돼지와 같은 포유동물이 파헤쳐 생긴 구덩이, 미소한 지형적인 굴곡에 의하여 형성된 미소규모의 골짜기, 조릿대와 같이 경쟁력이 왕성한 식물이 특정 지역을 점유함으

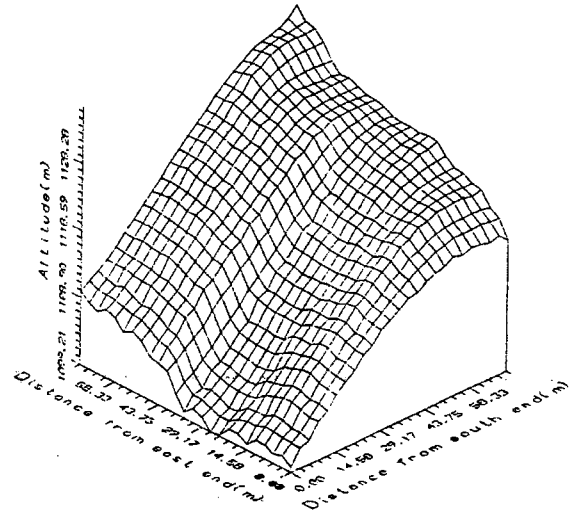


Fig. 1. Topographic relief of a permanent plot surveyed in Mt. Jumbongsan.

로써 형성되는 미환경적인 차이가 두드러진다 (이 등 1997, Oh *et al.* 1999, Lee and Cho 1999).

연구방법

연구방형구의 설치

점봉산 생물권보전지역내 온대낙엽수림에 가로 70 m × 세로 70 m의 정방형 지역을 설정하고, 그 지역을 다시 5 m × 5 m의 미소격자로 나눈 196개 지점에서 목본층과 여러 가지 환경요인의 공간 패턴을 조사하였고, 5 m × 5 m의 미소격자내에 2.5 m × 2.5 m 크기의 방형구를 설치하여 초본층의 공간패턴을 조사하였다 (Fig. 2).

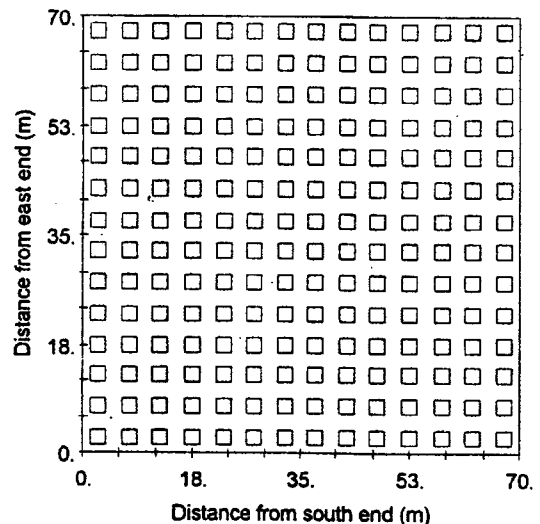


Fig. 2. Sampling points within the permanent plot (n=196 total points).

환경요인의 조사

토양 시료의 표집은 식생조사시에 5 m×5 m 크기의 미소격자내의 일정 위치에 있는 2.5 m×2.5 m 미소격자에서 무작위로 5군데를 선정하여 낙엽층과 부식층을 제거한 다음 다시 표토 1 cm를 제거하고 5 cm 깊이 이내에서 채취하였다. 채취한 토양은 실험실로 운반하여 2주간 음건시킨 후 체는 2 mm 체로 쳐서 유기물함량과 토양 pH를 측정하였다. 이것을 다시 체는 1 mm 체로 친 토양을 관병에 보관하여 화학분석 시료로 사용하였다.

미소 지형 요인은 야외 조사시 고도계, 나침반 및 경사계를 이용하여 기록하였다. 상대광도는 지상부로부터 10 cm 위의 식생 내부와 숲틈에 형성된 나지에서 동시에 광도를 측정된 값을 비교하여 계산하였다. 낙엽층 두께는 막대자를 이용하여 미소격자내에서 5회 이상 측정하여 평균치를 사용하였고, 토심은 미소격자내에서 5회 이상 길고 가는 철봉을 암반 깊이까지 찢어 넣어 들어간 깊이의 평균으로 측정하였다.

토양 수분 함량은 습도의 무게와 105°C에서 2일간 건조시킨 토양의 무게의 차이의 비로, 유기물함량은 약 10 g의 토양을 도가니에 넣어 105°C에서 건조시킨 무게와 전기로에서 4시간 동안 600°C로 태운 무게의 차인 작열손실량(loss on ignition)으로 구하였다.

토양 pH는 20 g의 음건 토양과 증류수를 1:5(w/w)로 혼합하여 30분간 진탕한 다음 여과지(Whatman No. 44)로 여과시켜 여과액을 pH meter로 측정하였다.

토양내 총 질소(total - N)함량은 micro-Kjeldahl 법으로 측정하였고, 유효성 인(available-P)함량은 pH 8.5로 조정된 0.5 M NaHCO₃ 추출용액으로 추출한 후 발색시켜 분광광도계(HITACHI U-2000 spectrometer)로 정량하였다. 치환성 양이온(K, Ca, Mg) 함량은 음건 토양 10 g을 1N CH₃COONH₄ 수용액(pH 7.0으로 조절) 50 ml과 함께 100 ml 삼각플라스크에 넣고 30분간 진탕한 다음 여과지(Whatman No. 44)로 여과한 다음 원자흡광광도계(Schimazu AA-680 atomic absorption spectrophotometer)로 정량하였다.

식생요인의 조사

목본층의 공간패턴: 70 m×70 m 영구방형구내에 출현하는 흉고직경 2.5 cm 이상의 모든 목본에 대하여 매목 조사를 실시하여 5 m×5 m의 미소격자내의 정확한 위치를 기록하였다. 흉고직경 2.5 cm 이하의 목본 유식물의 밀도는 5 m×5 m의 미소격자단위로 측정하였다. 5 m×5 m의 미소격자단위로 가장 높은 목본의 키, 교목층, 아교목층, 관목층의 피도 및 관목종별 피도를 측정하였다.

초본층의 공간패턴: 각 5 m×5 m의 미소격자내에 2.5 m×2.5 m의 방형구를 설치하여 방형구내에 출현하는 모든 식물

종의 피도를 초봄(5월 초순)과 가을(8월 하순)에 조사하였다. 각 방형구 별로 초본층의 종다양성 지수는 다음 식에 따라 구하였다.

$$\text{종다양성 지수: } H' = - \sum (n_i/N) (\ln n_i/N)$$

여기에서 N 은 한 조사지점내의 모든 종의 피도합을, n_i 는 한 조사지점 내의 어떤 종의 피도를 나타낸다.

공간패턴의 결정과 통계처리

모든 식생요인과 환경요인의 기술통계, 상관분석 및 다중회귀분석은 SYSTAT 7.0(SPSS, 1997)를 이용하였다. 공간적 이질성은 GS+(Gamma Design 1998)를 이용하여 분석하였다. Variogram model은 최소자승법으로 구하였고, variogram의 semivariance는 9 lag 등급으로 구분하였는데 lag distance는 7.35 m이었다 (Gamma Design 1998). Variogram 모델에서 특정 요인의 공간의존도는 모델 샘플의 분산(모델의 점근선: $C/(C_0+C)$)과 모델의 구조적 분산 C 의 비로 나타내는데, 이 값이 1에 가까울수록 공간의존도가 높고 0에 가까울수록 공간의존도가 낮음을 나타낸다. Range는 공간의존 거리를 나타낸다. 모델 샘플 분산(C_0+C)이 총 샘플 분산(s^2)과 유사할수록 모델에서 구한 공간의존거리(range)가 의미가 있고, 큰 차이를 나타낼수록 모델에서 구한 공간의존거리보다 실제의 공간의존거리가 커질 수도 있음을 나타낸다. 만일 주어진 요인이 균일하지 않은 빈도 분포를 나타내고 공간의존거리가 작다면 그 요인의 공간분포는 조사지내의 특정지소에 밀집분포를 나타낸다 (Robertson *et al.* 1993, 1997).

결과 및 논의

환경요인의 공간분포

영구방형구내 각 미소격자내에서 측정한 각 환경요인들의 평균, 변이계수 등을 Table 1에 나타내었다. 영구방형구내에서 고도는 1,101~1,135 m의 범위를(Fig. 1), 경사도는 0~40°의 범위를, 낙엽층 두께는 0.5~16.5 cm의 범위를, 토심은 17~60 cm의 범위를, 토양수분함량은 23.5~123.6%의 범위를, 상대광도는 1.6~93.8%의 범위를, 유기물함량은 12.1~40.9%의 범위를, 토양 pH는 4.68~6.19의 범위를, 토양 총질소 함량은 3.4~11.2 mg/g의 범위를, 가용성 인 함량은 0.04~4.04 mg/kg의 범위를, K는 101~357 mg/kg의 범위를, Ca는 197~1,641 mg/kg의 범위를 그리고 Mg는 18~158 mg/kg의 범위를 나타내어 미소지소간에 큰 차이가 있었다. 환경요인 중에서 상대광도와 낙엽층 두께가 영구방형구내 미소지소간 변이가 가장 컸고, 토양 pH와 고도가 미소지소간 변이 폭이 가장 작았다 (Table 1).

각 환경요인들의 공간패턴을 나타내는 variogram의 모델 매개변수들을 Table 2에 나타내었다. 지형적 요인(고도, 경

Table 1. Environmental factors in a temperate hardwood forest in Mt. Jumbong. All values are untransformed and calculated on the basis of *n* sample locations. CV=coefficient of variation

Property	Units	Mean	SD	CV (%)	Skewness	Kurtosis	<i>n</i>
Topographic relief	m	1118.3	8.3	7.4	-0.16	-0.78	126
Slope	°	20.8	10.7	51.6	-0.70	-0.78	196
Litter depth	cm	4.1	3.1	76.5	1.72	3.97	98
Soil depth	cm	34.4	8.3	24.1	0.30	0.07	98
Soil water content	% dry mass	55.7	15.9	28.7	1.28	3.62	98
Relative light intensity	%	12.6	12.0	95.1	3.06	13.50	196
Organic matter	% dry mass	21.3	4.4	20.5	1.01	2.05	196
Soil acidity	pH	5.55	0.25	4.5	-0.54	0.46	196
Total-nitrogen	mg/g soil	6.43	1.46	22.7	0.65	0.32	196
Available-P	mg/kg soil	1.46	0.59	40.6	0.88	2.60	196
K	mg/kg soil	184.4	47.3	25.7	0.75	0.79	196
Ca	mg/kg soil	730.6	338.6	46.3	0.56	-0.41	196
Mg	mg/kg soil	56.3	24.8	44.1	1.09	1.89	196

Table 2. Variogram model parameters for environmental factors. Co=nugget variance, C/(Co+C)=structural variance C as a proportion of model sample variance (Co+C), range=distance (m) over which structural variance expressed, s²=sample variance

Variate	Model type	Model parameters					
		Co	C/(Co+C)	Range (m)	r ²	Co+C	s ²
Topographic relief	Linear ^a	0.10	0.999	62.5	0.982	116.7	68.4
Slope	Linear	0.10	1.000	62.3	0.981	203.5	114.8
Litter depth	Exponential ^b	0.10	0.999	32.1	0.946	10.0	9.1
Soil depth	Exponential	26.8	0.696	89.4	0.957	88.1	69.6
Soil water content	Exponential	52.3	0.820	55.5	0.975	291.1	246.4
Relative light intensity	Spherical ^c	28.6	0.805	14.3	0.753	146.6	142.8
Organic matter	Linear	11.0	0.544	62.3	0.975	24.2	19.2
Soil acidity	Linear	0.04	0.607	69.0	0.899	0.09	0.06
Total-nitrogen	Linear	1.36	0.485	62.3	0.959	2.65	2.13
Available-P	Linear	0.25	0.401	62.3	0.989	0.42	0.35
K	Exponential	1141.0	0.540	49.8	0.904	2482.0	2237.4
Ca	Exponential	55900	0.695	167.4	0.996	183300	114640
Mg	Spherical	283.0	0.555	27.4	0.947	635.8	615.8

^a Linear model $\gamma(h) = Co + h \left(\frac{C}{range} \right)$; *h*=lag distance interval, C=structural variance, range=maximum lag used in the analysis, Co+C =semivariogram value at maximum lag.

^b Exponential model $\gamma(h) = Co + C [1 - \exp(-h/range)]$; range=the distance at which the semivariogram value is 95% of C+Co.

^c Spherical model $\gamma(h) = Co + C [1.5 (h/range) - 0.5 (h/range)^3]$ for $h \leq range$
 $\gamma(h) = Co + C$ for $h > range$

사), 낙엽층 두께, 토양수분함량, 상대광도는 공간의존도가 높았고, 토양총질소 함량과 가용성 인 함량은 상대적으로 공간의존도가 낮았다. 공간의존거리는 상대광도가 14.3 m로 가장 짧았고, 마그네슘 함량이 27.4 m이었으며, 낙엽층 두께와 K함량이 30~50 m의 공간의존거리를 나타내었다. 낙엽층 두께, 상대광도, K 그리고 Mg함량의 모델 샘플분산과 총 샘플 분산의 값이 90% 이상으로 유사하였다.

주요 미소 환경요인들의 등치선 지도를 Fig. 3에 나타내었다. 본 조사지소에서 낙엽층은 바람이 남쪽에서 북쪽으로 불기 때문에 대체적으로 남사면의 낙엽층이 매우 얇고 바람의 강도가 약해 이동한 낙엽이 능선부와 북사면에서 두껍게 쌓인다 (이 등 1997, Oh *et al.* 1999). 남사면에서는 미소지형적으로 계곡이 형성되어 바람의 영향을 덜 받는 지점에서 낙엽이 9 cm로 두껍게 쌓여 있고, 남사면의 서쪽부위는 조

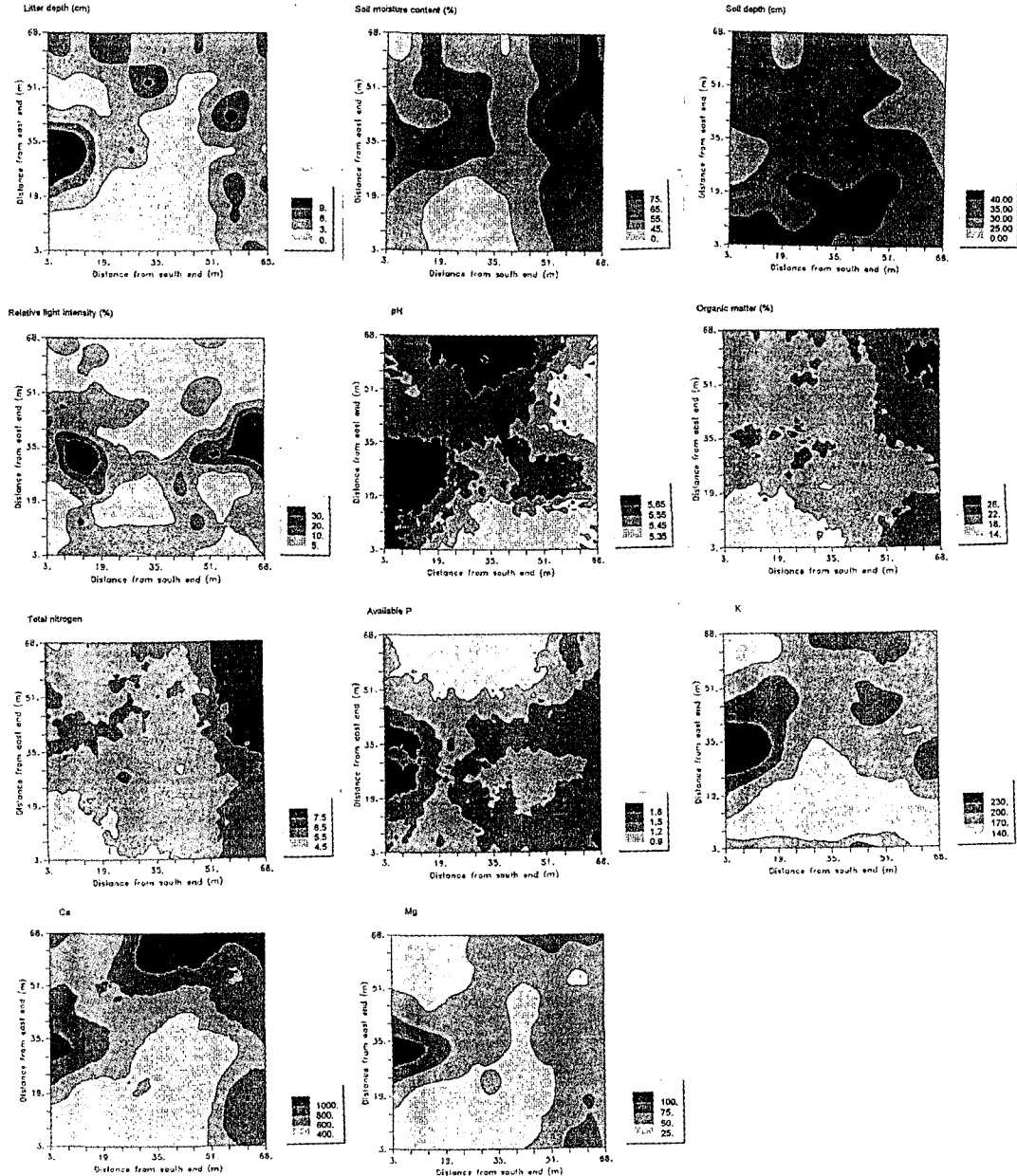


Fig. 3. Isopleths for microenvironmental factors in a 70 m×70 m plot.

릿대가 밀집되어 분포하는 지점에서 낙엽의 이동이 저지되는 곳에서 상대적으로 두꺼웠다. 토양수분함량의 공간분포는 대체적으로 낙엽층이 두꺼운 곳에서 많은 경향이었고, 토심은 남경사면이 능선부보다 깊은 경향이였다. 상대광도는 공간의존거리가 14.3 m로 짧았고, 이질적인 빈도 분포를 나타내므로 특정지역에서 매우 높았는데 이것은 그 지점에 형성된 숲틈에 기인하였다. 토양 pH는 대체적으로 영구방형구의 남서쪽 지역이 북동쪽지역보다 높았다. 유기물함량은 남사면부보다 능선부에서 높았다. 총질소 함량도 낙엽층이나 유기물함량의 분포와 마찬가지로 능선부에서 현저히

높은 값을 나타내었다. 가용성 인의 함량은 미소지형적인 계곡부위에서 현저히 높았고, 조릿대가 밀집되어 분포한 남서쪽 부위에서 현저히 낮았다. K, Ca 및 Mg 함량도 낙엽층의 분포와 대체적으로 일치하였다 (Fig. 3). 환경요인간의 상관분석을 한 결과는 대체로 이와 같은 환경요인들의 공간분포를 잘 설명하여 준다 (Table 3). 낙엽층두께, 토양수분함량, 유기물함량, 총질소 함량, 칼슘 및 마그네슘함량은 고도와 정의 상관을 나타냄으로써 이들 요인들은 능선부에서 높음을 나타내었다. 토심은 고도와 부의 상관을 나타내어 사면부의 토심이 깊었다. 토양수분함량, 유기물함량 및 토양

Table 3. Pearson correlation matrix for the environmental factors (in descending order - topographic relief, slope, litter depth, soil depth, soil water content, relative light intensity, organic matter, soil acidity, total nitrogen, available phosphorus, potassium, calcium, magnesium)

	Alt	Slope	Litde	Soilde	SWC	RLI	OM	pH	TN	A-P	K	Ca	Mg
Alt	1.00												
Slope	-0.66**	1.00											
Litde	0.45**	-0.14	1.00										
Soilde	-0.39**	0.31**	-0.48**	1.00									
SWC	0.31**	-0.45**	0.47**	-0.43**	1.00								
RLI	-0.00	-0.09	0.14	-0.17	0.04	1.00							
OM	0.42**	-0.43**	0.24*	-0.37**	0.52**	0.08	1.00						
pH	-0.14	0.37**	0.09	0.02	-0.13	0.04	-0.28**	1.00					
TN	0.36**	-0.47**	0.25*	-0.35**	0.41**	0.06	0.57**	-0.26**	1.00				
A-P	-0.07	-0.18*	0.36**	-0.20*	0.28**	0.11	0.23**	-0.19*	0.20**	1.00			
K	-0.09	0.07	0.10	-0.23*	0.04	0.13	0.16*	0.25*	0.03	0.11	1.00		
Ca	0.34**	-0.22**	0.51**	-0.39**	0.40**	0.01	0.51**	0.13	0.44**	0.15*	0.33**	1.00	
Mg	0.19*	-0.23**	0.54**	-0.33**	0.44**	0.20**	0.49**	0.03	0.37**	0.38**	0.41**	0.73**	1.00

**, * indicate significance at 1, 5% level

Table 4. Characteristics of tree, subtree and shrub layers in a temperate hardwood forest in Mt. Jumbong. All values are untransformed and calculated on the basis of *n* sample locations. CV=coefficient of variation

Property	Units	Mean	SD	CV (%)	Skewness	Kurtosis	<i>n</i>
Tree height	m	11.00	3.90	35.7	-0.18	-0.18	196
Basal area	cm ² /25 m ²	879.90	1060.80	120.5	2.51	9.09	196
Coverage of tree layer	%	54.30	32.70	60.3	-0.21	-1.33	196
Coverage of subtree layer	%	66.50	24.10	36.2	-0.51	-0.56	196
Coverage of shrub layer	%	40.10	25.70	64.2	0.35	-0.70	196
Species richness of shrub layer	No./25 m ²	2.63	1.41	53.5	0.32	-0.36	196
Density of tree seedling	No./25 m ²	7.30	8.50	116.4	2.12	6.12	196
Coverage of herb layer in spring	%	61.00	17.50	28.8	-0.29	-0.55	196
Species richness of herb layer in spring	No./6.25 m ²	16.00	3.60	22.2	-0.42	0.34	196
Species diversity (H') of herb layer in spring		1.77	0.38	21.4	-0.36	-0.48	196
Coverage of herb layer in autumn	%	57.30	17.90	31.2	-0.27	-0.68	196
Species richness of herb layer in autumn	No./6.25 m ²	14.90	3.50	23.1	-0.34	-0.21	196
Species diversity (H') of herb layer in autumn		1.97	0.31	15.7	-0.46	-0.23	196
Coverage of <i>Rhododendron schlippenbachii</i>	%	7.86	17.45	222.1	2.65	7.19	196
Coverage of <i>Sasa borealis</i>	%	4.10	10.10	244.4	2.69	6.95	196

질소함량은 경사도와 부의 상관을 그리고 토양 pH는 정의 상관을 나타내었다. 낙엽층 두께는 토양수분함량, 가용성 인, Ca 및 Mg과 정의 상관을, 토양수분함량은 유기물함량, 토양 질소함량, Ca 및 Mg와 정의 상관을 나타내었다. 유기물함량은 토양 pH와 부의 상관을 그리고 대부분의 이온함량과 정의 상관을 나타내었다. 염기성 양이온인 K, Ca 및 Mg간에는 강한 정의 상관이 있었다 (Table 3).

식생요인의 공간분포

영구방형구내 각 미소격자내에서 측정한 식생요인들의 평균값과 변이계수를 Table 4에 나타내었다. 영구방형구내에서 목본의 수고는 2~17 m의 범위를 나타내었고, 평균수고는 11 m이었으며, 36%의 변이를 나타내었다. 기저면적은 0~7618 cm²/25 m²의 범위를 나타내었고, 평균 기저면적은 880 cm²/25 m²을 나타내었다. 목본 치수의 밀도는 0~49 개/25 m²의 범위와 평균 7.3 개/25 m²를 나타내었다. 교목층의 피도는 0~100%의 범위와 54%의 평균을 나타내었고, 아교목층은 0~100%의 범위와 평균 67%를 나타내었으며, 관목

층은 약 40%의 평균 피도를 나타내었다. 교목층, 아교목층 및 관목층의 피도는 40~60%의 변이를 나타내었다 (Table 4). 초봄에 측정된 초본층의 피도는 20~95%의 범위를, 종풍부도는 3~25 종/6.25 m²의 범위를 그리고 종다양성지수는 0.59~2.52의 범위를 나타내었다. 이들 3요인의 변이계수는 21~29%이었다. 가을에 측정된 초본층의 피도는 2~95%의 범위를, 종풍부도는 4~22 종의 범위를 그리고 종다양성지수는 1.10~2.55의 범위를 나타내었다. 초본층의 피도, 종수 및 종다양성지수의 변이계수는 31.2, 23.1 및 15.7%로 종다양성지수의 그것이 가장 작았다. 가을에 측정된 초본층의 평균피도는 57%로 초봄의 그것보다 다소 작았고, 종풍부도도 초봄의 그것보다 작았다 (Table 4).

각 식생요인들의 공간패턴을 나타내는 모델 매개변수를 Table 5에 나타내었다. 아교목층의 피도, 가을 초본층의 피도 및 철쭉꽃 피도의 분포를 제외하고는 거의 모든 변수들의 공간적 의존도는 높은 편이었다. 목본의 수고, 목본의 기저면적, 교목층의 피도, 관목층의 피도, 관목층의 종풍부도, 목본 유식물의 밀도 및 가을에 측정된 초본층의 종다양성지수의 공간의존거리는 15 m 이내로 짧았고, 초봄에 측정된 종풍부도와 종다양성지수 및 가을에 측정된 종풍부도의 공간의존거리는 28~48 m이었으며, 아교목층의 피도, 초봄과 가을에 측정된 초본층의 피도, 철쭉꽃과 조릿대 피도의 공

간의존거리는 62 m 이상으로 길었다. 또한 공간의존거리가 62 m 이상으로 긴 아교목층의 피도, 초봄과 가을에 측정된 초본층의 피도, 철쭉꽃과 조릿대 피도는 모델 샘플 분산과 총 샘플 분산의 비가 상대적으로 낮았다. 따라서 공간의존거리가 긴 식생요인들은 모델에서 구한 공간의존거리보다 실제의 공간의존거리는 더 멀어질 수 있다. 공간의존거리가 48 m 이하를 나타내는 식생요인들의 모델 샘플 분산과 총 샘플 분산은 거의 정확하게 일치함으로써 모델에서 구한 공간의존거리가 의미가 있었다 (Table 5).

주요 식생구조요인의 등치선지도는 Fig. 4에 나타내었다. 교목층 피도의 공간 분포는 10 m 내외의 공간의존거리를 두고 모자이크상을 이루고 있는데, 이것은 본 영구방형구내에 분포하는 숲틈의 양상을 잘 보여 준다. 본 방형구내에서 가장 뚜렷한 숲틈은 남쪽끝점에서 50~60 m, 동쪽끝점에서 35~45 m 지점으로 이 숲틈의 수고는 2~4 m로서 비교적 최근에 형성된 숲틈이라 할 수 있다. 사면부위에 형성된 숲틈은 대체로 형성된지 오래된 것들로서 이 곳에는 7~8 m의 까치박달과 당단풍 등이 많이 분포하고 있었다. 아교목층의 공간분포는 남사면부를 가로질러 높은 피도를 나타내고 있는데, 능선부의 중앙지점은 최근에 숲틈이 형성되어 그리고 남사면의 아래중앙지점은 미소지형적 요인 때문에 주변에서 쓰러진 목본들이 집중됨으로써 물리적으로 아교목층이

Table 5. Variogram model parameters for characteristics of tree, subtree and shrub layers and some selected tree species across each site. Co=nugget variance, C/(Co+C)=structural variance C as a proportion of model sample variance (Co+C), range=distance (m) over which structural variance expressed, s²=sample variance

Variate	Model type	Model parameters					
		Co	C/(Co+C)	Range (m)	r ²	Co+C	s ²
Tree height	Spherical ^a	3.11	0.799	8.9	0.141	15.4	15.4
Basal area	Spherical	268000	0.762	5.9	0.000	1124000	1125199
Coverage of tree layer	Spherical	237.0	0.779	11.2	0.618	1074.0	1070.8
Coverage of subtree layer	Linear ^b	406.0	0.419	62.3	0.419	698.4	578.8
Coverage of shrub layer	Spherical	162.0	0.755	8.7	0.601	662.0	660.5
Species richness of shrub layer	Spherical	0.48	0.760	7.8	0.127	2.00	1.99
Density of tree seedling	Exponential ^c	21.9	0.702	14.7	0.727	73.4	72.4
Coverage of herb layer in spring	Spherical	126.8	0.714	85.0	0.988	442.9	307.3
Species richness of herb layer in spring	Spherical	4.8	0.645	28.4	0.933	13.4	12.6
Species diversity of herb layer in spring	Exponential	0.03	0.779	31.2	0.937	0.15	0.14
Coverage of herb layer in autumn	Linear	222.0	0.433	62.3	0.934	391.7	321.8
Species richness of herb layer in autumn	Exponential	5.5	0.587	48.0	0.938	13.3	12.0
Species diversity of herb layer in autumn	Spherical	0.03	0.742	12.8	0.935	0.097	0.096
Coverage of <i>Rhododendron schilippenbachii</i>	Linear	220.5	0.391	62.3	0.826	362.0	304.5
Coverage of <i>Sasa borealis</i>	Exponential	18.7	0.898	134.4	0.992	177.1	102.8

^a Spherical model $\gamma(h) = Co + C [1.5 (h/range) - 0.5 (h/range)^3]$ for $h \leq range$
 $\gamma(h) = Co + C$ for $h > range$

^b Linear model $\gamma(h) = Co + h [(C/range)]$; h =lag distance interval, C =structural variance, $range$ =maximum lag used in the analysis, $Co+C$ =semivariogram value at maximum lag.

^c Exponential model $\gamma(h) = Co + C [1 - \exp(-h/range)]$; $range$ =the distance at which the semivariogram value is 95% of $C+Co$.

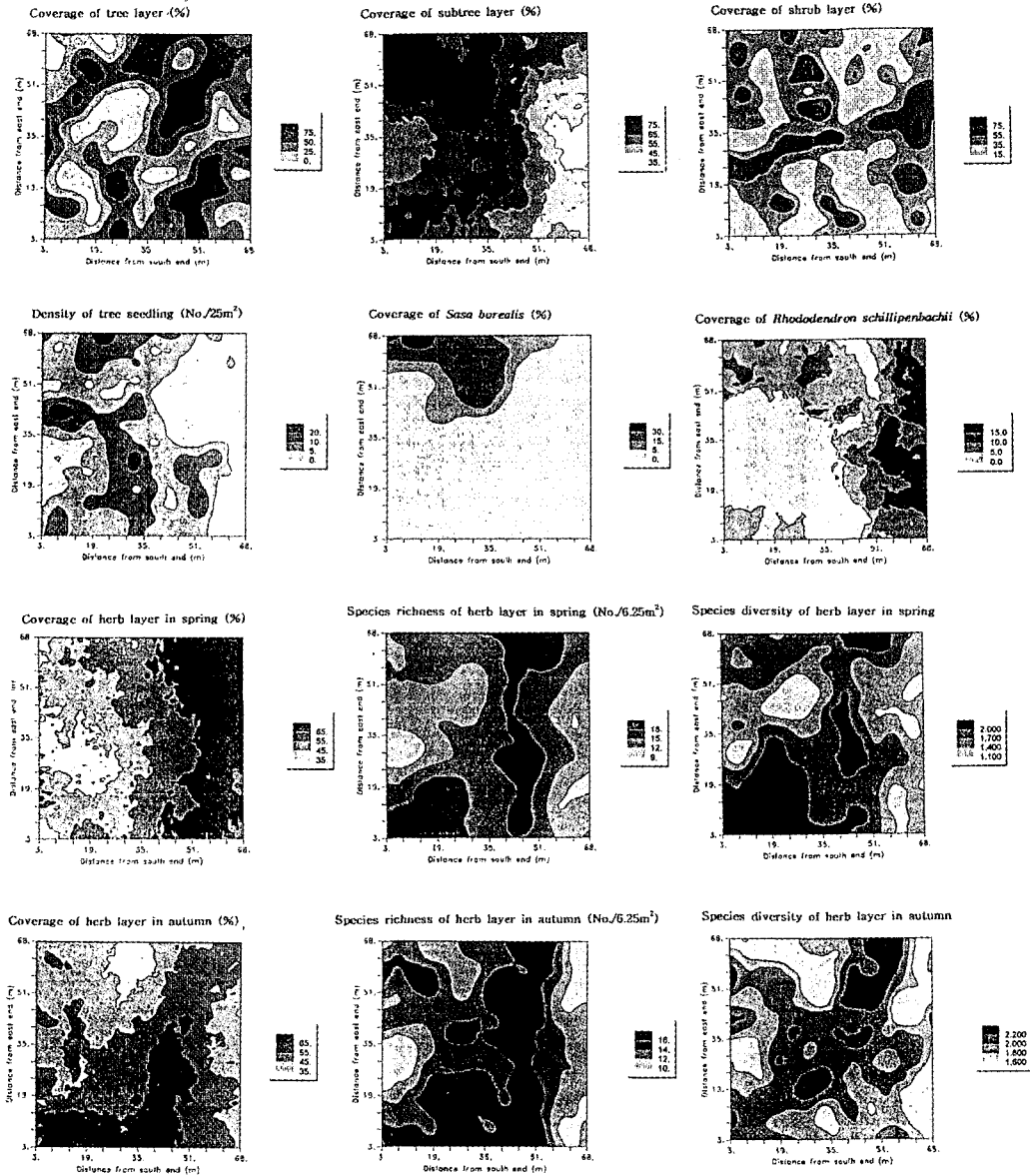


Fig. 4. Isopleths for coverage of tree layer, subtree layer, shrub layer, herb layer (spring and autumn), *Sasa borealis* and *Rhododendron schillipenbachii*, tree seedling density, species richness and diversity index (H') of herb layer (spring and autumn) in a 70 m × 70 m plot.

발달하지 못하고 있다. 관목층의 피도는 숲틈의 주변부에서 높게 나타나고 있다. 목본 유식물은 아교목층이 발달한 남사면 부위에 많이 분포하였는데, 본 조사지에서 목본 유식물은 주로 아교목층을 이루는 당단풍과 까치박달의 맹아기 때문이다. 조릿대는 본 영구방형구에서 남서쪽 부위에서 집중적으로 분포하였고, 철쭉꽃은 능선부와 남사면의 서쪽 부위에 주로 분포하였다 (Fig. 4).

Variogram 모델에 근거하여 초봄과 가을에 측정된 초본층의 피도, 종풍부도 및 종다양성지수의 영구방형구내 등치선지도를 Fig. 4에 나타내었다. 초봄에 측정된 초본층의 피도는 남쪽끝점으로부터 45 m지점 위인 능선부에서 높았고,

사면을 따라 사면하부로 내려갈수록 낮아지는 경향이 있었다. 초본층의 피도가 가장 낮은 값을 나타내는 지점은 남사면 하단부의 미소계곡부위였는데, 그 이유는 주위에서 쓰러진 수목의 줄기들이 미소계곡부위에 집중되어 있고 낙엽층이 지나치게 두꺼워 초본이 정착하는데 물리적인 장애가 되기 때문이었다. 초봄의 종풍부도는 낙엽의 두께가 적고 토심이 두꺼운 남동쪽끝점으로부터 북서쪽의 대각선 방향으로 연결된 지점에서 높았고, 능선부로 갈수록 그리고 미소계곡방향으로 갈수록 낮아지는 경향이 있었다. 초봄에 측정된 초본층의 종다양성지수의 공간분포는 종풍부도의 그것과 유사하였다. 가을 초본층의 피도는 남사면부의 동쪽지

점에서 높았고, 초봄 초본층의 피도가 높았던 능선부, 조릿대가 분포하는 사면부의 서쪽지점과 미소계곡부위에서 상대적으로 낮았다. 가을의 초본층에서 종풍부도가 높은 지역은 초봄의 종풍부도가 높았던 지역과 대체적으로 일치하였고, 종다양성지수의 공간분포는 종풍부도의 그것과 대체로 일치하였다 (Fig. 4).

식생요인의 공간분포에 미치는 미소환경요인의 영향

점봉산의 은대낙엽수림에서 식생의 공간분포에 미치는 환경요인과 생물요인을 파악하기 위하여 각 요인별 상관분석을 실시하였다 (Table 6). 교목층의 키, 기저면적, 교목층의 피도의 공간분포는 환경요인과 특별한 상관관계를 나타내지 않았다 (Table 6). 이것은 교목층의 구성인자가 본 조사지역내 환경요인의 분포에 의해 영향을 받지 않고 있으며 또한 환경요인에 대한 반작용의 역할도 작다는 것을 의미한다. 아교목층의 피도는 경사면과 정의 상관을 그리고 상대광도와 부의 상관을 나타내었다 (Table 6). 이것은 아교목층이 경사진 남사면에서 주로 분포하고, 아교목층의 반작용으로 인하여 임상에 도달하는 빛조건이 감소함을 의미한다. 아교목층의 피도가 남사면의 경사부에서 주로 높은 이유는 아교목층을 구성하는 수종들이 경사진 곳을 좋아해서라기보다 과거에 형성된 숲틈에서 재생되었기 때문으로 생각된다. 목본 유식물의 밀도는 경사도와 정의 상관을 나타내어 경사진 남사면부에 목본 유식물의 밀도가 높음을 나타내는데 (Table 6), 이것 역시 목본유식물이 경사가 급한 곳에서 잘 자라기보다는 식생분포적인 요인과 관련이 있다. 즉, 본 조사지역에 분포하는 목본 유식물은 종자에 의한 것보다 주

로 맹아에 의하여 분포하기 때문에 아교목층을 구성하고 맹아발생률이 높은 당단풍의 분포와 관련이 있다 (목본유식물의 밀도와 아교목층의 당단풍의 기저면적과의 상관은 0.47로서 매우 강한 정의 상관관계를 나타냄). 철쭉꽃은 능선부에 주로 분포하였다 (Table 6). 조릿대는 토양내 가용성 인 함량과 부의 상관을 나타내었는데, 이는 지하경으로 연결되어 매우 높은 밀도로 자라는 조릿대의 특성상 조릿대가 분포하는 지역의 인 자원을 효과적으로 흡수하여 그 지역의 인의 함량이 적어졌다고 생각된다 (Table 6). 초봄(5월)에 측정된 초본층의 피도는 경사도와 강한 부의 상관을 나타내었는데, 이것은 능선부에서 초봄식물의 피도가 높다는 것을 의미한다. 가을(8월 하순)에 측정된 초본층의 피도는 칼슘 함량과 강한 부의 상관을 나타내었다. 초봄과 가을의 초본층의 종풍부도와 종다양성지수는 모두 낙엽층 두께와 강한 부의 상관을 나타내었다 (Table 6).

Table 7은 주요 식생요인간의 상관분석 결과이다. 교목층의 피도는 아교목층의 피도와 부의 상관을 나타내므로, 아교목층은 과거의 교란으로 숲틈이 형성된 곳에서 잘 발달된다는 것을 의미한다. 관목층의 피도는 초봄에 측정된 초본층의 종수와 종다양성 그리고 가을에 측정된 초본층의 피도 및 종수와 강한 부의 상관을 나타내었다 (Table 7). 본 참나무 성숙림에서 관목이 초봄에 대하여 영향을 미칠 수 있는 요인으로 두가지를 생각할 수 있다. 하나는 관목층이 빛을 차단함으로써 초본층의 생육에 영향을 미치는 것이고, 다른 하나는 맹아발생으로 지표면에 다수의 줄기를 갖는 관목이 외부로부터 바람으로 날아온 낙엽과 원래 지표면에 있던 낙엽의 이동을 방해하여 낙엽을 두텁게 쌓이게 함으로써 초본

Table 6. Pearson correlation between environmental factors and characteristics of community structure

	Slope	Litter depth	Soil depth	Soil water content	Relative light intensity	Organic matter	pH	TN	A-P	K	Ca	Mg
Tree height	-0.04	-0.04	-0.07	0.07	-0.16*	-0.05	0.01	-0.08	-0.04	0.20**	0.04	-0.01
Basal area	-0.02	-0.10	-0.02	0.09	-0.11	0.05	-0.10	-0.03	0.08	0.14	-0.02	-0.02
Coverage of tree layer	-0.20**	-0.08	-0.04	0.13	-0.11	0.04	-0.04	0.04	0.01	0.21**	0.10	0.05
Coverage of subtree layer	0.41**	-0.30**	0.22*	-0.28**	-0.32**	-0.17*	0.07	-0.10	-0.22**	-0.17*	-0.14	-0.27**
Coverage of shrub layer	-0.07	0.03	-0.04	0.04	0.05	0.14	0.04	0.06	0.01	-0.09	0.10	0.01
Species richness of shrub layer	0.02	-0.01	-0.06	-0.08	-0.02	0.09	-0.02	0.09	-0.05	-0.10	-0.03	-0.09
Density of tree seedling	0.30**	-0.24*	0.31**	-0.30**	-0.20**	-0.15*	0.05	-0.19**	-0.07	-0.03	-0.19**	-0.21**
Coverage of herb layer in spring	-0.62**	-0.02	-0.16	0.29**	0.10	0.20**	-0.17*	0.22**	-0.04	-0.06	0.09	0.09
Species richness of herb layer in spring	0.17*	-0.64**	0.32**	-0.32**	-0.23**	-0.24**	0.01	-0.27**	-0.25**	-0.14	-0.34**	-0.32**
Species diversity (H') of herb layer in spring	0.32**	-0.44**	0.28**	-0.36**	-0.15*	-0.28**	0.06	-0.26**	-0.16*	-0.10	-0.34**	-0.28**
Coverage of herb layer in autumn	0.05	-0.33**	0.34**	-0.10	0.05	-0.21**	-0.09	-0.16*	-0.07	-0.06	-0.33**	-0.08
Species richness of herb layer in autumn	0.23**	-0.56**	0.42**	-0.39**	-0.11	-0.18*	0.01	-0.23**	-0.16*	-0.07	-0.29**	-0.26**
Species diversity (H') of herb layer in autumn	0.20**	-0.52**	0.23*	-0.16	-0.10	-0.07	0.08	-0.17*	-0.11	0.05	-0.21**	-0.14
Coverage of <i>Rhododendron schillippenbachii</i>	-0.30**	0.21*	-0.10	0.05	0.03	0.17*	-0.09	0.21**	-0.02	-0.17*	0.16*	0.14
Coverage of <i>Sasa borealis</i>	0.24**	0.25*	-0.07	-0.16	-0.12	0.00	0.19**	0.03	-0.28**	-0.05	0.19**	-0.08

** , * indicate significance at 1, 5% level

Table 7. Pearson correlation between structural properties

	Height	BA	Co (1)	Co (2)	Co (SH)	SR (SH)	TSD	Co (SP)	SR (SP)	H' (SP)	Co (AU)	SR (AU)	H' (AU)	RS	SB
Height	1.00														
BA	0.41**	1.00													
Co (T1)	0.80**	0.46**	1.00												
Co (T2)	-0.23**	-0.19**	-0.33**	1.00											
Co (SH)	-0.19**	-0.11	-0.19**	-0.04	1.00										
SR (SH)	-0.09	0.14*	-0.13	0.00	0.33**	1.00									
TSD	0.06	0.23**	-0.06	0.19**	0.07	-0.00	1.00								
Co (SR)	-0.06	-0.08	0.09	-0.17*	0.05	-0.14	-0.18*	1.00							
SR (SP)	0.11	0.11	0.16*	0.24**	-0.35**	-0.07	0.14	0.06	1.00						
H' (SP)	0.14	0.11	0.13	0.19**	-0.29**	-0.01	0.13	-0.30**	0.72**	1.00					
Co (AU)	0.10	0.08	0.07	-0.03	-0.46**	-0.23**	0.01	0.06	0.42**	0.45**	1.00				
SR (AU)	0.10	0.17*	0.13	0.20**	-0.34**	-0.00	0.15*	-0.05	0.56**	0.43**	0.42**	1.00			
H' (AU)	0.18**	0.15*	0.19**	0.14	-0.19**	0.06	0.10	-0.05	0.46**	0.36**	0.19**	0.66**	1.00		
RS	-0.03	-0.12	0.01	-0.18*	0.36**	0.16*	-0.14	0.17	-0.19**	-0.23**	-0.30**	-0.17*	-0.19**	1.00	
SB	-0.01	-0.05	-0.09	0.15*	0.02	0.07	0.12	-0.06	-0.08	-0.15*	-0.18*	-0.07	-0.34**	0.10	1.00

** , * indicate significance at 1, 5% level

In descending order - height of tree layer, basal area, coverage of tree, subtree and shrub layer, species richness of shrub layer, tree seedling density, coverage, species richness and species diversity index of herb layer in early spring, coverage, species richness and species diversity index of herb layer in autumn, coverage of *Rhododendron schlippenbachii* and *Sasa borealis* in autumn

식물의 정착을 물리적으로 방해하는 것이다. 초봄에는 관목의 잎이 나기 전이므로 관목층이 발달된 곳에서 초봄에 종다양성이 낮은 것은 후자 때문으로 생각되고, 가을에는 두 가지 요인이 같이 작용하여 초본층의 피도와 종수를 낮추는 것으로 생각된다. 특히 본 참나무성숙림 내에서 우점하는 철쭉꽃은 가을의 초본층의 피도와 강한 부의 상관관계를 나타내어 초본층의 발달에 영향을 미치고 있다. 가을의 초본층의 종다양성지수와 조릿대간에는 강한 부의 상관관계를 나타냈다. 초봄의 피도와 초봄의 종다양성지수간에는 강한 부의 상관관계가 인정되었는데, 이는 초봄에 우점하는 애기얇은부채가 낙엽층이 두꺼운 곳에서 거의 독립적으로 우점하고 다른 종들은 두꺼운 낙엽층에 의하여 물리적인 방해받고 있기 때문이라고 생각된다. 초봄과 가을에 측정된 초본층의 종풍부도간에는 강한 정적 상관관계를 나타내고 있다 (Table 7). 이것은 가을에 우점하는 초본들도 초봄식물과 마찬가지로 낙엽층이 두꺼운 미소서식지에서 효과적으로 정착을 하지 못하기 때문으로 생각된다 (Lee and Cho 1999).

점봉산의 온대낙엽수림에서 초봄과 가을의 초본층의 종풍부도와 종다양성지수의 공간적인 분포에 영향을 미치는 주요 요인들을 선정하기 위하여 12가지 환경요인과 8가지 식생요인 등 총 20개의 요인을 독립변수로 하여 단계적 다중회귀분석을 통하여 15% 유의 수준에서 초본층의 종풍부도와 종다양성지수의 공간분포에 미치는 요인들을 선정하였다 (Table 8). 초봄의 초본층에서 종풍부도의 공간 분포는 낙엽층 두께, 아교목층의 피도, 관목층의 피도, 교목층의 피도 및 철쭉꽃의 피도의 5가지 요인에 의하여 53.5%가 설명

되었고, 종다양성지수의 공간분포는 낙엽층 두께, 경사도, 관목층, 조릿대의 피도, 칼륨 및 총질소함량의 6가지 요인에 의하여 37.5%가 설명되었다. 가을의 초본층에서 종풍부도의 공간분포는 낙엽층 두께, 관목층의 피도, 경사도, 토양 pH, 총 기저면적 및 철쭉꽃의 피도의 6가지 요인에 의하여 43.5%가 설명되었고, 종다양성지수의 공간분포는 낙엽층 두께, 조릿대의 피도, 경사도, 목본층의 피도, 유기물함량 및 가용성 인함량의 6가지 요인에 의하여 43.7%가 설명되었다 (Table 8). 점봉산 참나무성숙림내 초본층에서 종풍부도와 종다양성지수의 공간분포에 가장 크게 기여하는 환경요인은 낙엽층 두께이었다 (Table 8). 본 조사지역에서 낙엽층의 불균등 분포에 영향을 주는 주요한 요인은 바람으로서 미소계곡, 목본의 뿌리제 뿔힘과 멧돼지와 같은 동물의 교란으로 형성된 구덩이, 조릿대와 철쭉꽃과 같이 바람에 의한 낙엽층의 이동을 저지할 수 있는 특정 미소서식지를 제외하고는 남사면의 낙엽이 바람에 의하여 능선부와 북사면으로 이동함으로써 형성되는 낙엽층의 공간적 불균등 분포가 초본식생의 구조에 크게 영향을 미친다고 할 수 있다 (이 등 1997, Oh et al. 1999, Lee and Cho 1999).

감사의 글

“이 논문은 1997년 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 수행되었음”. 야외조사를 도와준 가톨릭대학교의 백명수, 김시연, 배용진, 이지연, 강릉대학교의 홍수희, 우병선씨에게 감사드립니다.

Table 8. Results of stepwise multiple regression analysis for species richness and species diversity of herb layer at old-growth oak forest in Mt. Jumbong

Variables	Regression coefficients	Partial R ²	Cumulative R ²	Significant level (p)
Species richness in spring				
Constant	15.064			0.000
Litter depth	-0.481	0.404	0.404	0.000
Subtree layer	0.042	0.062	0.466	0.000
Shrub layer	-0.013	0.044	0.500	0.139
Tree layer	0.016	0.020	0.520	0.033
<i>Rhododendron schillipenbachii</i>	-0.022	0.015	0.535	0.090
Species diversity in spring				
Constant	1.740			0.000
Litter depth	-0.043	0.195	0.195	0.000
Slope	0.016	0.088	0.283	0.000
Shrub layer	-0.003	0.032	0.315	0.021
<i>Sasa borealis</i>	-0.009	0.028	0.343	0.017
Potassium (K)	-0.001	0.016	0.359	0.106
Total nitrogen	0.040	0.016	0.375	0.130
Species richness in autumn				
Constant	30.851			0.000
Litter depth	-0.559	0.312	0.312	0.000
Shrub layer	-0.028	0.032	0.344	0.010
Slope	0.093	0.031	0.375	0.001
pH	-2.662	0.031	0.406	0.063
Basal area	0.000	0.014	0.420	0.082
<i>Rhododendron schillipenbachii</i>	0.026	0.015	0.435	0.121
Species diversity in autumn				
Constant	1.601			0.000
Litter depth	-0.038	0.265	0.265	0.000
<i>Sasa borealis</i>	-0.012	0.042	0.307	0.001
Slope	0.010	0.034	0.341	0.000
Tree layer	0.002	0.042	0.383	0.005
Organic matter	0.017	0.037	0.420	0.006
Available-P	-0.077	0.017	0.437	0.110

인용문헌

- 김시연. 1996. 점봉산에서 숲틈과 비숲틈사이의 환경요인과 초본식물반응에 대한 비교. 가톨릭대학교 이학석사학위 논문. 88 p.
- 이도원, 조도순, 이준호, 박종화. 1997. 생물다양성 보전을 위한 점봉산 자연보전지구의 생태적구조와 기능분석. 한국과학재단, 313 p.
- Armesto, J.A., S.T.A. Pickett and M.J. McDonnell. 1991. Spatial heterogeneity during succession: A cyclic model of invasion and exclusion. In Kolasa and S.T.A. Pickett (eds.). Ecological Heterogeneity. Springer-Verlag, New York. pp. 256-269.
- Collins, S.L. 1987. Interactions of disturbances in tallgrass prairie: A field experiment. Ecology 68: 1243-1250.
- Collins, S.L. and S.C. Barber. 1985. Effects of disturbance on diversity in mixed-grass prairie. Vegetatio 64: 87-94.
- Gamma design. 1998. Geostatistics for the environmental science (GS+). 152 p.
- Gibson, D.J. 1988. The maintenance of plant and soil heterogeneity in dune grassland. J. Ecol. 76: 497-508.
- Grime, J.P. 1979. Plant strategies and vegetation processes. John Wiley and Sons, Chichester. England.

- Gross, K.L., K.S. Pregitzer and A.J. Burton. 1995. Spatial variation in nitrogen availability in three successional plant communities. *J. Ecol.* 83: 357-367.
- Harper, J.L., J.T. Williams and G.R. Sagar. 1965. The heterogeneity of soil surfaces and its role in determining establishment of plants from seed. *Journal of Ecology* 53: 273-286.
- Harper, J.L. 1977. Population biology of plants. academic Press, London. England.
- Hartgerink, A.P. and F.A. Bazzaz. 1984. Seedling-scale environmental heterogeneity influences individual fitness and population structure. *Ecology* 65: 198-206.
- Hedrick, P.W., M.E. Ginevan and E.P. Ewing. 1976. Genetic polymorphism in heterogeneous environments. *Annual Review of Ecology and Systematics* 7: 1-32.
- Huston, M. 1980. Soil nutrients and tree species richness in Costa Rican forests. *Journal of Biogeography* 7: 147-157.
- Inoue, R.S., N.J. huntly, D. Tilman and J.R. Tester. 1987. Pocket gophers (*Geomys bursarius*), vegetation, and soil nitrogen along a successional sere in east central Minesota. *Oecologia* 72: 178-184.
- Koch, A.S. and E. Matzner. 1993. Heterogeneity of soil and soil solution chemistry under Norway spruce (*Picea abies* Karst.) and European beech (*Fagus sylvatica* L.) as influenced by distance from the stem basis. *Plant and Soil* 151: 227-237.
- Lavorel, S., R.V. O'Neill and R.H. Gardner. 1994. Spatio-temporal dispersal strategies and annual plant species coexistence in a structured landscape. *OIKOS* 71: 75-88.
- Lee, K.S. and D.S. Cho. 1999. Spatial distribution of herbal vegetation along microtopographic gradients formed by disturbance in a temperate deciduous hardwood forest. *Korean J. Ecol.* 22: 211-217.
- Menge, B.A. 1979. Coexistence between the seastars *Asterias vulgaris* and *A. forbesi* in a heterogeneous environment: a non-equilibrium explanation. *Oecologia* 41: 245-272.
- Muraoka, J.T., J.J. Armesto and S.T.A. Pickett. 1984. Comparisons of spatial heterogeneity in fields of different successional ages. *Bull. Ecol. Soc. Amer.* 65: 66.
- Oh, S., G. You, J.H. Shim, S. Kang and D. Lee. 1999. Spatial heterogeneity of soil K, Ca, Mg, Fe and Al generated by leaf litter redistribution in a temperate hardwood forest. *Korean J. Ecol.* 22: 205-210.
- Peter, H., F.I. Pugnaire, S.C. Clark and L.D. Incoll. 1997. Spatial pattern in *Anthyllis cytisoides* shrubland on a abandoned land in southeastern Spain. *Journal of vegetation science* 8: 627-634.
- Pickett, S.T.A. and M.J. McDonnell. 1989. Seed bank dynamics in temperate deciduous forest. In M.A. Leck, V.T. Parker and R.L. Simpson (eds.) *Ecology of Soil Seed Banks*. Springer-Verlag, New York. pp. 123-147.
- Reader, R.J. and J. Buck. 1986. Topographic variation in the abundance of *Hieracium floribundum*: relative importance of differential seed dispersal, seedling establishment, plant survival and reproduction. *J. Ecol.* 74: 815-822.
- Regehr, D.L. and F.A. Bazzaz. 1979. On the population dynamics of *Erigeron canadensis*, a successional winter annual. *Journal of Ecology* 67: 923-934.
- Robertson, G.P., M.A. Huston, F.C. Evans and J.M. Tiedje. 1988. Spatial variability in a successional plant community: Patterns of nitrogen availability. *Ecology* 69: 1517-1524.
- Robertson, G.P., J.R. Crum and B.G. Ellis. 1993. The spatial variability of soil resources following long-term disturbance. *Oecologia* 96: 451-456.
- Robertson, G.P., K.M. Klingensmith, M.J. Klug, E.A. Pall, J.R. Crum and B.G. Ellis. 1997. Soil resource, microbial activity and primary production across an agricultural ecosystem. *Ecological Applications* 7: 158-170.
- Senft, R.L., L.R. Rittenhouse and R.G. Woodmansee. 1985. Factors influencing patterns of cattle grazing behavior on shortgrass steppe. *J. Range Managem.* 38: 82-87.
- Solbrig, O.T., S.J. Newell and D.T. Kincaid. 1980. The population biology of the genus *Viola*. I. The demography of *Viola sororia*. *Journal of Ecology* 68: 521-546.
- Sousa, W.P. 1984. The role of disturbance in natural communities. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 15: 353-391.
- Spith, P.T. 1979. Environmental heterogeneity: a problem of contradictory selection pressures, gene flow and local polymorphism. *American Naturalist* 113: 247-260.
- SPSS. 1997. Systat 7.0.
- Tilman, D. 1982. Resource competition and community structure, Princeton University Press, Princeton. New Jersey, USA.
- Tilman, D. 1988. Plant strategies and the dynamics and structure of plant communities. Princeton Univ. Press, Princeton. NJ.
- Trangmar, B.B., R.S. Yost, M.K. Wade, G. Uehara and M. Sudjadi. 1987. Spatial variation of soil properties and rice yield on recently cleared land. *Soil Science Society of American Journal* 51: 668-674.
- Whittaker, R.H. and S.A. Levin. 1977. The role of mosaic phenomena in natural communities. *Theoretical Population Biology* 12: 117-139.

(1999년 11월 24일 접수)

Relationships Between the Spatial Distribution of Vegetation and Microenvironment in a Temperate Hardwood Forest in Mt. Jumbong Biosphere Reserve Area, Korea

Lee, Kyu-Song and Do-Soon Cho*

*Department of Biology, Kangnung National University
School of Life Science, The Catholic University of Korea**

ABSTRACT: The degree to which microenvironmental factors are linked to spatial patterns of vegetational factors within ecosystems has important consequences for our understanding of how ecosystems are structured and for conservation of rare species in ecosystems. We studied this relationships between the spatial patterns of microenvironmental factors and vegetational factors in temperate hardwood forest in Mt. Jumbong Biological Reserve Area, Korea. To do this, environmental and vegetational factors from 196 micropoints in a 0.49 ha plot were investigated. Most of all environmental factors and vegetational factors showed the variations among micropoints. Microtopographic factors, litter depth, soil moisture content and relative light intensity at this site were spatially dependent at a scale of 14~62 m. Coverage of tree and shrub layer and species diversity of herb layer in autumn were spatially dependent at a scale of < 15 m. Species richness and species diversity of herb layer in spring and species richness of herb layer in autumn were spatially dependent at a scale of 28~48 m. Multiple regression analysis showed that spatial patterns of species richness and species diversity of herb layer in spring and autumn were affected by litter depth, slope, subtree layer, shrub, *Sasa borealis* etc. The best predictor for the spatial patterns of species richness and species diversity of herb layer at this site was the spatial pattern of litter depth. Species richness and species diversity of herb layer showed strongly negative correlation with litter depth. We estimate that the spatial pattern of litter depth at this site were affected by direction of wind, microtopography and spatial pattern of shrub layer.

Key words: Geostatistics, Heterogeneity, Spatial pattern, Spatial variability, Species diversity, Temperate hardwood forest
