

인간간섭하의 수도권 그린벨트 내 식물군집의 동태 — 삼림군집의 구조와 이차천이 —

김 준 호·강 윤 순·이 승 우·조 강 현
김 용 택·하 사 현·민 별 미*
서울대학교 식물학과 · *단국대학교 과학교육과

Dynamics of Plant Communities under Human Impact in the Green-Belt nearby Seoul — Structure of Forest Communities and Secondary Succession —

Kim, Joon Ho, Yoonsoon Kang, Sueng-Woo Lee, Kang-Hyun Cho,
Yongtaek Kim, Saheon Ha and Byeung Mee Min*

Dept. of Botany, Seoul Nat'l Univ. and

* Dept. of Science Education, Dankook Univ.

ABSTRACT

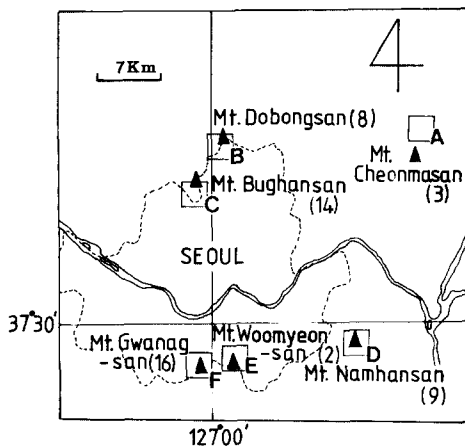
In order to elucidate the relationship among the several forest types in the green-belt nearby Seoul, the vascular plant species data collected preferentially from 52 stands were subjected to DCA (detrended correspondence analysis). Eight types of forests were arranged on the I/II plane of DCA stand ordination, *Quercus mongolica*, *Alnus hirsuta*, *Populus alba* × *glandulosa*, *Robinia pseudo-acacia*, *Pinus densiflora*, *Pinus koraiensis*, *Larix leptolepis* and *Pinus rigida* forest. Correlation analysis between the stand scores of DCA and environmental factors revealed that the axis I of DCA stand ordination implied the gradient of altitude, organic matter, total nitrogen and depth of A horizon. The axis II implied the gradient of total nitrogen and soluble phosphorus. The results of PCA (principal components analysis) by environmental data were in good agreement with that of DCA by floristic data. The recruitments of *Quercus* spp. occurred in all kinds of forest types in the green-belt and their recruitments were closely related with altitude: *Quercus dentata* in the foot, *Quercus serrata* in the midslope and *Quercus mongolica* in the uperslope of the mountain.

서 론

그린벨트는 도시 면적의 무한한 확대를 방지하고 주변 식생이나 환경의 보전을 목적으로 지정한 개발제한구역의 명칭으로 1971년 7월 서울주변지역에 최초로 공표되었다. 그 후 본 연구는 1988년도 문교부 기초과학육성연구조성비의 지원으로 이루어졌음.

Table 1. The present state of the green-belt in Korea

Name of locality	Number of districts		Area (Km ²)	Date of notification
	City	Gun		
Seoul	11	9	1,566.8	'71. 7. 30. '76. 12. 4.
Busan	2	3	597.1	'71. 12. 29.
Taegu	1	4	536.5	'72. 8. 25.
Kwangju	1	5	554.7	'73. 1. 17.
Chuncheon	1	2	294.4	'73. 6. 27.
Cheongju	1	1	180.1	'73. 6. 27.
Taejeon	1	6	441.1	'73. 6. 27.
Jeonju	1	2	225.4	'73. 6. 27.
Ulsan	1	1	283.6	'73. 6. 27.
Masan, Jinhae	3	2	314.2	'73. 5. 9.
Jinju	3	2	203.0	'73. 5. 9.
Chungmu	3	1	30.0	'73. 5. 9.
Cheju	3	1	82.6	'73. 3. 5.
Yeocheon	2	1	87.6	'77. 4. 18.
Total	28	39	5,397.1	

**Fig. 1.** A map showing surveyed sites (square) in the green-belt nearby Seoul.

다른 도시나 공단 주변지역에도 지정되어 현재 전국의 14개 지역에 5,397 km²로 국토 면적의 5.5%를 차지하고 있다(Table 1). 그린벨트는 국토의 보존면에서 뿐만 아니라 도시 환경의 정화 및 주민의 정서순화의 기능을 가지고 있다.

도시주변 식생에 관하여 Numata(1973), Okutomi(1975), Yoshioka(1977) 등은 인간 간섭에 의한 식생의 변화와 도시 식생의 구성 및 특성을 연구하였고, Grabherr(1982), 서(1987) 및 오(1979)는 답압에 의한 등산로 주변 식생의 변화를 보고하였으며 Marion과 Merriam(1985)은 야영지 주변 식생의 변화를 밝혔다. 서울 근교 삼림 식생에 관하여 채와 김(1977), 이(1981), 박(1981) 및 진(1982) 등은 이차림 또는 반자연림만을 대상으로 연구하였고, 오와 이(1989)는 서울 근교자연생 소나무림을 ordination과 classification 기법으로 연구하였으나 조림지에 관한 연구는 거의 이루어지지 않고 있다.

본 연구에서는 수도권 그린벨트 내 각종 삼림 군집의 구조와 각 군집간의 유사성을 살폈고, 토양 환경의 변화를 밝혔으며, 이차 천이 과정을 추론하였다.

조사지 개황

본 연구의 조사지소는 서울 근교의 도봉산, 북한산, 관악산, 천마산, 우면산, 남한산 등에서 모두 52장소를 선정하였다(Fig. 1). 서울의 그린벨트지역은 1971년 지정된 이래 18년간 등산 및 행락객에 의한 간섭을 제외하고 인위적인 자연 훼손이 금지되고 있다.

연구 방법

표본 수집

조사지역 내의 종조성과 환경이 균일한 자연림, 반자연림 및 조림지에서 11종류의 삼림 군집이 선정되었다(Table 2). 조사지소에 (10×10)m 대방형구를 1-2회 설치하여 방형구내에 출현하는 교목, 아교목층의 모든 개체의 기저면적을 종별로 측정하여 피도를 구했고, 대방형구내에 다시 (2×2)m의 소방형구를 4회 설치하여 관목층과 초본층의 피도를 종별로 기록하였으며, 명명은 이(1985)를 따랐다. 그리고 임상에 출현하는 모든 참나무류의 유식물(seedling) 및 유목(sapling)을 종류별로 조사하였다. 그리고 조사지소의 고도, 사면방향, 경사도 및 토양의 A층 두께, 낙엽층 두께를 측정하고, 토양분석을 위하여 soil sleeve를 사용하여 2-3회씩 토양 시료를 채취하였다.

Table 2. Number of survey sites at the different forest types

	Dobongsan	Bughansan	Cheonmasan	Gwanagsan	Woomyeonsan	Namhansan	Total
<i>Quercus mongolica</i>	2	6				1	9
<i>Alnus hirsuta</i>	1	3		1			5
<i>Populus alba × glandulosa</i>				6	1		7
<i>Robinia pseudo-acacia</i>	2	2		2			6
<i>Pinus densiflora</i>		1				6	7
<i>Pinus koraiensis</i>			3		1		4
<i>Laxix leptolepis</i>				3			3
<i>Pinus rigida</i>	1	1		3		2	7
<i>Quercus acutissima</i>		1		1			2
<i>Quercus variabilis</i>	1						1
<i>Zelkova serrata</i>	1						1
Total	8	14	3	16	2	9	52

토양 분석

토양의 유기물량은 작열소실법으로 측정하였고, 가용성 인량은 Bray 1 추출액으로 추출한 후 ascorbic acid로 발색시켜 700 nm에서 비색 정량하였다. 치환성 칼륨량은 1 N ammonium acetate로 추출하여 flame photometer(Coleman 51)로 정량하였고 총 질소량은 micro-kjeldahl법으로 측정하였다.

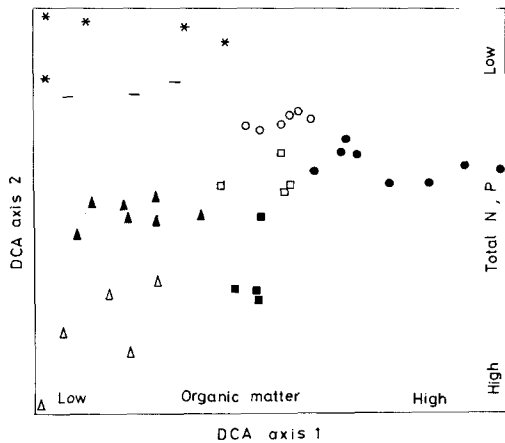
Ordination 분석

조사지역 내의 각종 삼림 식생간의 유사성을 알아보기 위하여, 각 조사 지소에서 출현한 종의 피도를 data matrix로 하여 DCA(detrended correspondence analysis)를 시행하였으며, 각 장소에서의 환경 요인을 data matrix로 하여 PCA(principal components analysis)를 시행하였다(Hill, 1979; Gittins, 1969). Ordination 분석을 위한 computer program은 Cornell Ecology Program 중에서, DCA는 DECORANA(Hill, 1979)를, PCA는 ORDIFLEX(Gauch, 1977)를 사용하였으며 전산처리는 서울대학교 전자계산소의 VAX 11 system과 서울대학교 식물학과 생태학 연구실의 IBM PC를 사용하였다.

결과 및 논의

군집 구조

52조사 지소에서 출현한 종수는 모두 225종이었으며 2회 이하 출현한 종을 제거한 후 나머지 117종의 지소별 분포를 Table 3에 나타내었다. 신갈나무는 45지소에서 출현하여 가장 많은 빈도를 보였고 17.1%의 평균피도를 나타냈다. 아까시나무, 현사시나무, 물오리나무, 소나무 및 리기다소나무의 출현빈도는 각각 22회, 9회, 27회, 16회 및 11회 이었고 평균피도는 11.6%, 10.9%, 9.4%, 9.2% 및 7.9%의 순서로 나타났다. 일본잎갈



나무와 잣나무의 경우 출현빈도는 4회와 6회에 불과하나 평균피도는 각각 3.3%와 6.7%로 높았다. 따라서 상기한 종들은 조사지소 내에서 우점종이라고 생각된다.

Data matrix의 성질을 파악하기 위하여 117종, 52지소의 data matrix로 reciprocal averaging(RA)을 시행하였다(Hill, 1973; Gauch, 1982). RA결과 나타난 outliers, sample cluster, rare species 등을 제거하는 successive refinement 과정을 거쳐 마지막으로 84종, 42지소의 축소된 data matrix를 얻은 다음 DCA를 시행하였다. DCA stand ordination

Fig. 2. DCA stand ordination for forty-two stands based on eighty-four species.

- ; *Quercus mongolica*, ○; *Pinus densiflora*
- ; *Pinus koraiensis*, □; *Alnus hirsuta*
- ▲; *Populus alba* × *glandulosa*, △; *Robinia pseudo-acacia*
- ; *Larix leptolepsis*
- *; *Pinus rigida*,

결과, 조사지의 식생은 신갈나무, 물오리나무, 현사시나무, 아까시나무, 소나무, 잣나무, 일본잎갈나무, 리기다소나무의 8종류의 삼림으로 배열하였다(Fig. 2). 여기에서 제1축 상에는 오른편에 자연림인 신갈나무림

소나무, 일본잎갈나무, 리기다소나무림 등의 침엽수 조림지가 배열하고, 아래쪽에 활엽수 조림지인 물오리나무, 현사시나무, 아까시나무림이 배열하였다. 본 조사에서 잣나무림만은 제2축의 아래쪽에 배열하여 활엽수 조림지와 섞였는데, 그 원인은 잣나무가 조림된 후 10년 정도 경과한 지소이므로 임상식물의 종조성이 조림 전의 참나무 잡목림과 비슷하기 때문으로 해석된다.

환경 요인

그린벨트 내의 대표적인 삼림형의 환경요인의 특성을 Table 4에 나타냈다. 비교적 높은 고도에 위치하여, 교란을 적게 받은 자연림인 신갈나무림에서는 대부분의 토양요인의 기록이 가장 높은 값을 나타낸 것으로 보아 양호한 생육환경임을 알 수 있다. 그러나 용탈되기 쉬운 토양의 인함량은 고도와 밀접한 관계를 가지고 있어 활엽수 조림지에서 더 높은 값을 나타냈고, 특히 낮은 고도의 현사시나무림의 인함량은 $22.61 \mu\text{g/g}$ 으로 최고치를 보였다. 잣나무림을 제외한 침엽수조림지는 대부분의 토양요인이 활엽수조림지에 비하여 낮은 값을 나타냈고 특히 침엽수조림지의 토양의 평균 인함량은 $5.34 \mu\text{g/g}$ 으로 활엽수조림지의 $16.4 \mu\text{g/g}$ 의 1/3 수준에 지나지 않았다. 잣나무조림지는 조림된 후 10년 경과한 장소이므로 조림 전의 참나무림의 토양환경을 상당히 반영하고 있었다. 각종 조림지 식생의 토양환경을 삼림형별로 비교하기 위하여 fertility index를 구하였다(Fig. 3). Fertility index는 신갈나무림의 토양의 A층 두께, 작열소실량(유기물량) 및 총질소량을 각각 100으로 하여 합산한 값에 대한 다른 조림지 토양의 상대값이다.

Table 4. Environmental properties for eight forest types in green-belt nearby Seoul. Data are means \pm standard errors

Forest type	Relic- tion	Altitude (m)	Slope (°)	Thickness of litter layer (cm)	Depth of A-horizon (cm)	Loss on ignition (%)	Total nitrogen (mg/g)	Soil pH	Extractable phosphorus ($\mu\text{g/g}$)	Exchangeable potassium (mg/g)	α diversity (No. of sp./100m ²)
<i>Quercus mongolica</i>	9	502 ± 65	23.8 ± 2.3	5.40 ± 0.81	25.0 ± 5.9	13.17 ± 1.02	3.46 ± 0.39	4.91 ± 0.17	7.59 ± 1.17	0.118 ± 0.008	33.2 ± 3.2
<i>Abies hirsuta</i>	5	308 ± 42	15.6 ± 5.1	4.78 ± 1.27	6.6 ± 4.7	8.70 ± 1.37	2.50 ± 0.63	4.98 ± 0.37	16.18 ± 4.39	0.067 ± 0.01	29.8 ± 3.6
<i>Robinia pseudoacacia</i>	6	302 ± 57	18.2 ± 3.3	3.90 ± 0.67	7.1 ± 4.4	8.26 ± 0.74	2.11 ± 0.24	5.05 ± 0.21	19.03 ± 6.44	0.102 ± 0.017	22.3 ± 1.8
<i>Populus alba</i> \times <i>glandulosa</i>	7	142 ± 17	12.6 ± 4.7	0.9 ± 0.44	8.13 ± 0.3	1.72 ± 0.84	5.27 ± 0.65	22.61 ± 0.18	0.123 ± 10.94	28.7 ± 0.009	± 2.4
<i>Pinus koraicensis</i>	4	240 ± 19	23.8 ± 1.3	3.83 ± 0.52	13.0 ± 4.0	12.55 ± 0.82	3.47 ± 0.42	5.25 ± 0.11	5.94 ± 2.70	0.083 ± 0.009	38.7 ± 2.1
<i>Pinus densiflora</i>	7	391 ± 55	30.0 ± 2.4	3.64 ± 0.46	2.0 ± 1.3	9.27 ± 1.01	1.70 ± 0.01	5.34 ± 0.21	5.36 ± 0.48	0.108 ± 0.014	31.9 ± 0.3
<i>Larix leptolepis</i>	3	192 ± 8	15.0 ± 7.6	2.23 ± 0.46	0.8 ± 0.4	8.23 ± 1.63	1.73 ± 0.29	4.39 ± 0.15	5.77 ± 1.23	0.064 ± 0.009	25.0 ± 5.3
<i>Pinus rigida</i>	7	264 ± 59	24.3 ± 3.9	3.24 ± 0.37	1.2 ± 0.4	6.22 ± 0.39	0.75 ± 0.15	5.40 ± 0.21	4.32 ± 1.02	0.071 ± 0.010	23.1 ± 3.4

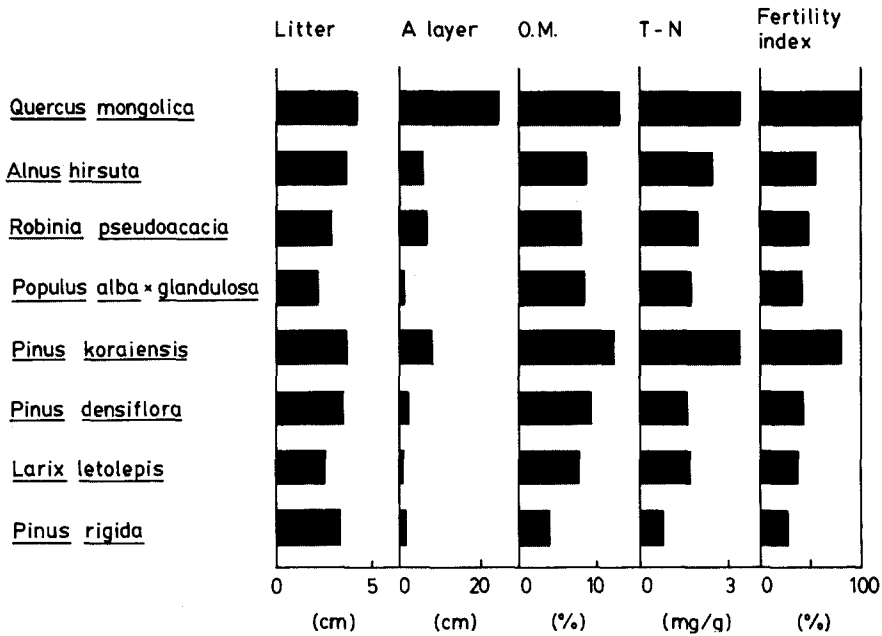


Fig. 3. Depth of litter and A layer, content of organic matter (O.M.) and total nitrogen (T-N), and fertility index for the different forests in the green-belt.

Table 5. Correlation coefficients between environmental factors and the stand scores of DCA

Environmental factors	Stand scores of the first axis	Stand scores of the second axis
Altitude	0.749***	0.043
Slope	0.359*	0.102
Thickness of litter layer	0.396***	-0.045
Depth of A horizon	0.601***	-0.216
Loss on ignition	0.608***	-0.242
Total nitrogen	0.584***	-0.389*
Fluoride extractable phosphorus	-0.106	-0.304*
Exchangeable potassium	0.244	-0.230
Diversity	0.489**	-0.146

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

특히 고도, 토양의 A층 두께, 작열소실량 및 총 질소량이 0.1% 수준에서, 낙엽층 두께, 종 다양성 지수가 1% 수준에서, 경사도가 5% 수준에서 유의한 정상관을 보였다. 제 2축에서는 총 질소량과 가용성 인량이 5% 수준에서 유의한 부의 상관관을 나타냈다. 이러한 상관 분석 결과는, Fig. 2의 제1축 상에 나타난 것과 같이 조림지 식생으로부터 자연림인 신갈나무림으로 갈수록 고도가 높고, A층 두께, 작열소실량 및 총 질소량이 증가하는 경향과 일치하였다(Table 4). 조림지 식생에서 토양요인의 측정값은 침엽수 조림

Fertility index는 활엽수조림지에서 물오리 나무, 아까시나무, 현사시나무의 순으로, 침엽수조림지에서 잣나무, 소나무, 일본일갈나무, 리기다소나무림의 순으로 감소하였다.

DCA에 의한 식분 Ordination과 환경요인과의 관계

식생 data로 시행한 DCA 식분 ordination 결과에서 각 축과 특정 환경요인과의 관계를 정량적으로 알아보기 위하여, 야외 및 실험실에서 분석한 9가지 환경요인과 제1및 2축 상에서의 각 조사 지소의 stand score를 상관 분석한 결과를 Table 5에 나타냈다.

상관 분석결과 제1축에서는 가용성 인량을 제외한 모든 환경요인이 정상관을 나타냈고,

지에서 소나무, 일본잎갈나무, 리기다소나무림의 순으로, 활엽수림조림지에서 물오리나무, 현사시나무, 아까시나무림의 순으로 점차 감소하였는데, 이러한 경향은 fertility index의 결과와 일치하였다. 더욱 이러한 경향은 아까시나무림과 잣나무림을 제외하고, DCA 식분 ordination 제1축 상의 각 조림지 식생의 배열 순서와 일치하였다. 다만 아까시나무림은 다른 활엽수림보다 임상식생이 빈약하고, 잣나무림은 본래 참나무 잡목림을 벌채한 어린 조림지이기 때문에 Fig. 2의 제1축의 배열에서 이탈되었다.

DCA 식분 ordination 결과(Fig. 2)와 환경요인(Table 4)과의 관계를 종합하면, 제1축은 토양유기물량과 이에 관련된 A층의 두께, 총 질소량 등의 구배를 나타내고, 제2축은 총 질소량과 인량의 구배를 나타내고 있다. DCA 결과 제1축, 2축 및 3축의 eigen value는 각각 0.650, 0.531 및 0.313이었다.

환경 요인에 의한 PCA 식분 Ordination

각 삼림형에 따른 환경 요인의 변화를 총괄적으로 이해하기 위하여, 8가지 환경요인과 42지소에 대하여 PCA를 시행한 결과를 Fig. 4에 표시하였다(Gauch, 1982). Fig. 4에는 제1축의 왼편에 신갈나무림이, 오른편으로 감에 따라 활엽수 조림지인 물오리나무, 아까시나무, 현사시나무림의 순으로, 침엽수 조림지인 잣나무, 소나무, 일본잎갈나무, 리기다소나무림의 순으로 배열하고 있다. 제2축에서는 활엽수 조림지가 윗쪽에, 침엽수 조림지가 아래쪽에 배열하고 있다. 이와같이 환경 요인으로 시행한 PCA 식분 ordination 결과(Fig. 4)는 식생 data로 시행한 DCA stand ordination(Fig. 2)과 거의 일치하고 있다.

8종류의 환경 요인에 대한 PCA 결과(Fig. 5)에서 제1축에서는 총 질소량, A층 두께, 작열소실량, 그리고 인량이 큰 loading 값을 나타내었고, 제2축에서는 인, 칼륨량과 경사도가 큰 loading 값을 보이고 있다. 특히 제2축에서는 토양의 인과 칼륨의 양이 감소하는 경향이 잘 나타났다(Peet and Loucks, 1977). 토양의 인과 칼륨의 용탈률은 지형의 경사도와 깊은 관계가 있다. 한편, Fig. 4에서 제2축의 윗쪽에 활엽수림이, 아래쪽에 침

엽수림이 배열하고 있는데, 실제로 토양의 인 함량은 활엽수림이 침엽수림보다 3배 이상

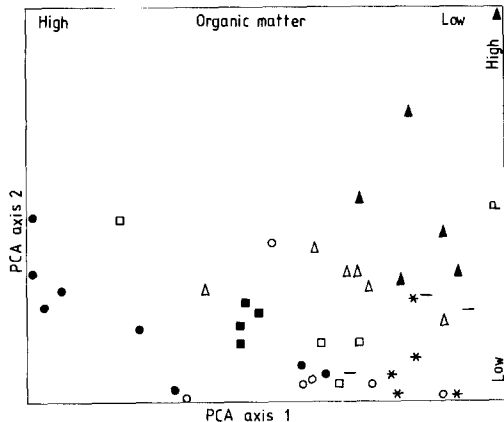


Fig. 4. PCA stand ordination for forty-two stands based on eight environmental factors.

- ; *Quercus mongolica*, ○; *Pinus densiflora*
- ; *Pinus koraiensis*, □; *Alnus hirsuta*
- ▼; *Populus alba* × *glandulosa*, △; *Robinia pseudo-acacia*
- ; *Larix leptolepsis*
- *; *Pinus rigida*,

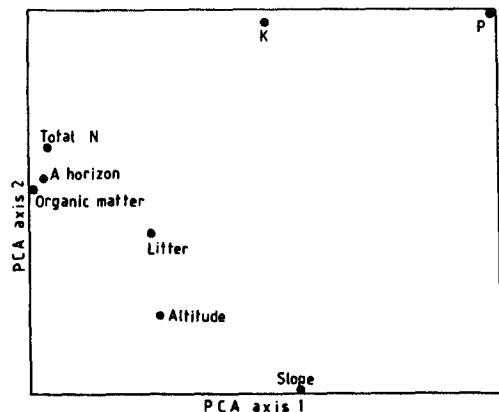


Fig. 5. PCA species (environmental factors) ordination based on forty-two stands.

더 많이 함유하였다(Table 4 참조). PCA 결과 total variance의 집중률은 제1축이 42%, 2축이 17%, 3축이 11%로서, 3축까지 70%의 높은 집중률을 나타내었다.

이차 천이

거의 모든 조사지소의 임상에 각 종 참나무류의 유식물 및 유목이 보충되고 있었다. Fig. 6은 임상에서 보충되고 있는 모든 참나무류의 유식물 및 유목의 총 개체수에 대한 신갈나무, 졸참나무 및 떡갈나무의 개체수의 비율을 고도에 따라 나타낸 결과이다. 신갈나무 유식물 및 유목의 상대밀도는 고도가 높아짐에 따라 증가하였으며(Fig. 6a), 졸참나무는 중고도에서 증가할 뿐 낮거나 높은 고도에서 오히려 감소하였고(Fig. 6b), 떡갈나무는 낮은 고도에서 높게 나타났다(Fig. 6c). 위와 같은 임상의 참나무류의 보충으로 볼 때, 서울 근교 그린벨트 내의 각 종 삼림 식생은 참나무림으로 이차 천이가 진행되고 있는데, 생육지의 고도에 따라, 대체적으로 높은 고도(약 400 m 이상)에서 신갈나무림으로, 중고도(200-400 m)에서 졸참나무림으로, 그리고 낮은 고도(200 m 이하)에서 떡갈나무림으로 이차 천이가 진행될 것으로 예측된다. 참나무류에 의한 2차 천이는 솔잎혹파리의 피해를 받은 소나무림에서도 진행되고 있다(이, 1989).

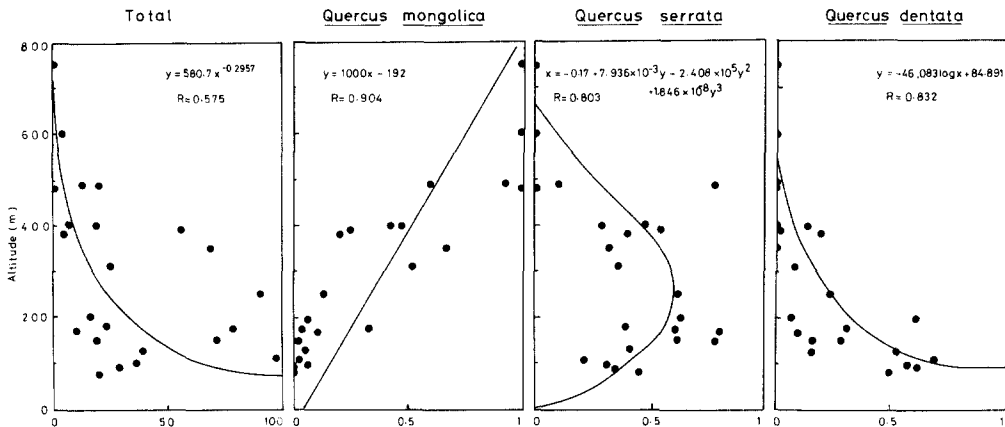


Fig. 6. Relationships between occurrence ratio of each oak species to total oak species recruited and altitude.

적 요

서울 근교 그린벨트 내 삼림 군집의 구조를 밝히기 위하여 북한산, 도봉산, 관악산, 우면산, 천마산, 남한산에서 각 종 조림지와 자연림을 대상으로 DCA 기법을 적용하였다. 분석 결과 조사지에서 삼림 식생은 신갈나무, 물오리나무, 현사시나무, 아까시나무, 소나무, 잣나무, 일본잎갈나무, 리기다소나무의 8 군집으로 배열되었다. DCA 식분 ordination에 의하여 식생과 여러 환경요인과의 상관관계를 밝힌 결과, 제1축은 고도, 토양의 유기물량, A층의 두께, 총 질소량이 유의하였는데 이 결과는 토양의 fertility index와 일치하였다. 그리고 제2축은 총 질소량, 가용성 인량이 유의한 상관관계를 나타내었다.

모든 조사 지소의 임상에는 참나무류의 유식물과 유목이 보충되고 있는데 저고도에는 떡갈나무가, 중고도에는 졸참나무가 그리고 높은 고도에는 신갈나무가 보충되고 있었다.

인 용 문 헌

- 박봉규. 1981. 서울근교 도봉산(716 m) 일대의 식물 군집의 구조적 특징과 환경보호에 관하여. 자연보호연구보고서 3 : 111-130.
- 서민환. 1987. Effects of soil compaction upon the vegetation environment around the trails in Pukhansan National Park. M.S. thesis. Seoul Nat'l. Univ. 46 pp.
- 오계철. 1979. 서울근교 주요 등산로 주변식생에 대한 인간 보행의 영향에 대하여. 자연보호연구보고서 1 : 117-130.
- 오계철·이근섭. 1989. 반자연 소나무숲에 있어서의 ordination 미분류 및 인근효과(경쟁)에 대하여. 한생태지 12 : 83-108.
- 이영노. 1981. 도봉산 일대의 식물자원에 관한 연구. 자연보호연구보고서 3 : 5-24.
- 이창복. 1985. 대한식물도감. 향문사, 서울. 990 pp.
- 이창석. 1989. 솔잎혹파리 피해 소나무림의 천이에 관한 연구. 서울대학교 대학원 박사논문, 103 pp.
- 진희성. 1982. 북한산 삼림 군락의 식물사회학적 연구. 경희대 산업대학, 130 pp.
- 채명인·김준호. 1977. 물오리나무와 상수리나무 숲의 생산력 비교. 한생태지 1 : 57-65.
- Gauch, H.G. Jr. 1977. ORDIFLEX: a flexible computer program for four ordination techniques-weighted averages, polar ordination, principal components analysis and reciprocal averaging. Release B. Cornell Univ. Press, Ithaca. N.Y. 185 pp.
- Gauch, H.G. Jr. 1982. Multivariate analysis in plant ecology. 1st ed. Cambridge Univ. Press, Cambridge. pp. 109-172.
- Gittins, R. 1969. The application of ordination techniques. In, Ecological Aspects of the Mineral Nutrition of Plant, I.H. Robinson(ed.). Blackwell, Oxford. pp.37-66.
- Grabherr, G. 1982. The impact of trampling by tourists on a high altitudinal grassland in the Tyrolean Alps, Austria. Vegetatio 48:209-217.
- Hill, M.O. 1973. Reciprocal averaging: an eigenvector method of ordination. J. Ecol. 61: 237-249.
- Hill, M.O. 1979. DECORANA-a FORTRAN program for detrended correspondence analysis and reciprocal averaging. Ecology and Systematics. Cornell Univ, Ithaca. N.Y. 52 pp.
- Marion, J.L. and L.C. Merriam. 1985. Predictability of recreational impact on soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 49:751-753.
- Numata, M. 1973. Fundamental studies on characteristics of urban ecosystems(in Japanese). Environment and Human Survival 1:59-69.
- Okutomi, K., M. Ageish and S. Asunish. 1975. Structural characteristics of urban vegetation(in Japanese). Environment and Human Survival 3:287-296.
- Peet, R.K. and O.L. Loucks. 1977. A gradient analysis of southern Wisconsin forest. Ecology 58: 485-499.
- Yoshioka, K. 1977. Changes of forest vegetation by human impact(In Japanese). Environment and Human Survival 2:46-55.

(1989年 11月 4日 接受)