〔韓國造景學會誌, Vol. 22, No. 3 pp. 79~90, 1994年 10月〕

관악산 삼림의 22년간(1972~1993)의 식물군집구조 변화

이경재* · 송근준** · 조 우***

* 서울시립대학교 문리과대학 조경학과
** 연암축산원예전문대학 관상원예학과
*** 서울시립대학교 대학원

Changes of the Plant Community Structure during the Twenty-two Years (1972~1993) in Forest of Mt. Kwanak

Lee, Kyong-Jae* · Song, Keun-Joon** · Cho, Woo***

* Dept. of Landscape Architecture, College of Liberal and Arts, Seoul City University
** Dept. of Ornamental Horticulture, Yonam Junior College of Liverstock and Horticulture
*** Graduate School, Seoul City University

ABSTRACT

This survey was conducted to investgate changes of the plant community structure from 1972 to 1993 in forest of Mt. Kwanak and thirty-five plots that the size of each plot was 10m×10m ($100m^2$) were set up and the vegetation analysis was caried out. By the TWINSPAN analysis, the plant community of survey area were divied into *Quercus mongolica*, *Q. mongolica*—*Pinus densiflora*(1), *Q. mongolica*—*P. densiflora*(2), *Q. acutissima* community. The successional trends of the woody species were seemed to be from *P. densiflora*, *Sorbus alnifolia* to *Q. mongolica* in the canopy layer. But the successional trends in the understory and shrub layer were difficult to suppose. The forest vegetation of Mt. Kwanak from 1972 to 1993 was severely decreased in species number and individuals. The sensitive species for the environmental pollution were selected, and the tolerant plants for the acid soil were increased. In comparision with the DBH class distribution from 1972 to 1993, it shows that the ecological succession has stopped. In the analysis of soil characteristics, soil acidification has taken place over last twenty-two years(from pH=5.40 to pH=4.53). The concentration of K^+, Ca^{++} was severly decreased(from K^+=0.60 m.e./100g to K^+=0.06 m.e./100g, from Ca^{++}=3.20 m.e./100g to Ca^{++}=0.63 m.e./100g), which also could seemed to be cause of plant community decline.

본 연구는 환경처, 과학기술처에서 지원한 93년 G-7 환경공학기술개발사업의 연구비로 수행하였음.

Ⅰ. 서 론

지난 20~30여년간 우리나라는 급속한 산업발달로 인해 환경오염의 피해가 대도시와 공업단지 주변에서 발생되어 그 지역 녹지의 훼손이 심각하게 일어났고 최근 훼손된 녹지의 현황파악 및 복원을 위한 노력을 시작하고 있다(이 등, 1993). 특히, 환경오염에 의한 녹지의 훼손은 Ulrich et al.(1979)에 의해 제기되기 시작한 산성우에 의한 토양산성화가 식물-토양의 시스템을 교란시켜 삼림에 피해를 주고 있다는 설과 SO_2, O_3 등 대기오염물질이 식물체내에 축적되어 순광합성율을 감소시키고 엽록소조직을 파괴시켜 식물의 생리, 대사과정에 영향을 미치고 삼림 생태계의 구조와 기능을 병화시켜 삼림이 훼손된다는 설(Guderian and Hant, 1979; Smith, 1991)로 대별하여 녹지의 훼손원인을 파악하고 있다. 우리나라는 전국적으로 산성강우의 영향권하에 있고(이와 민, 1989), 도시지역에서는 전 강우량의 90.6%가 산성우이며 특히 10, 11월 중의 강우는 100% 산성우 였다는 보고(오 등, 1986), 서울을 중심으로 한 수도권지역에서는 산성우 및 대기오염물질이 복합적으로 삼림에 피해를 주고 있다는 연구결과(류, 1992; 이 등, 1993)와 대기오염물질의 축적에 따른 공단지역 삼림쇠퇴현상의 연구(김, 1992; 김, 1993)를 통해 볼 때 두가지 환경오염 인자의 복합작용에 의해 삼림이 훼손되고 있는 것으로 판단할 수 있다.

본 연구의 대상지인 관악산은 북위 37° 27′-27° 27′, 동경 126° 55′-127° 0에 걸쳐 있고 해발고는 629m에 달하며 조선조시대에는 외사산(外四山)중의 하나였으며 서울남쪽 외곽지역과 안양시, 과천시에 걸쳐있는 도시자연공원으로서 대기정화기능, 기후조절이능, 여가생활 공간으로서의 기능(高原, 1977)과 도시내 동·식물의 생존공간, 도시자연환경의 질을 평가하는 생물지표적기능 및 자연교육과 환경교육으로서의 기능(丸田, 1983)을 하는 도시림으로써 시민들의 이용이 활발히 일어나는 곳이다. 또한 관악산 지역은 1980~1989년사이 강우산도의 측정결과 pH 4.17~4.68로서 산성우의 영향을 심하게 받고 있으며(김, 1990), 서울지역은 SO_2 배출량은 경북, 경남에 이어 3번째 이었고, CO, HC, NO_2, TSP배출량은 전국에서 제일 높았으며 안양 역시 오염도가 심한 것으로 나타났다(서울환경연감, 1990; 한국환경연감, 1990). 따라서 관악산지역은 산성우 및 대기오염물질의 피해를 최소한 13년전 이전부터 받아왔던 것으로 판단할 수 있고 그 영향이 식물군집에도 미쳤을 것으로 생각할 수 있다.

본 연구는 생물지표적 측면에서 도시자연환경의 질을 파악하고자 Yi(1972)의 관악산 삼림의 식물군집구조 분석자료를 바탕으로 지난 22년간의 삼림군집구조의 변화상태를 밝히고자 하였다. 또한 지속적인 관악산 삼림의 군집동태를 모니터링할 수 있는 기초자료를 축적하기 위하여 수행하였다.

Ⅱ. 연구방법

1. 조사구설정

조사구는 Figure 1과 같이 Yi(1972)의 연구 대상지의 조사구(30개 조사구)와 유사한 곳에 10m ×10m 방형구를 설정하였고 추가로 5개의 조사구를 더 선정하여 총 35개로 하였으며 조사시기는 1993년 8월 이었다.

2. 환경요인조사

각 조사구의 환경요인은 일반적개황과 토양의 이·화학적성질을 조사·분석하였다. 일반적인 개황은 조사구별로 해발고, 방위, 경사도, 층위별로 수목군의 평균수고와 울폐도를 조사하였다. 토양분석은 각 조사구마다 3개소의 표층에서 채취한 토양을 혼합하여 토양 pH, 치환성양이온(K^+, Ca^{++}, Mg^{++})함량을 농업기술연구소의 방법(1988)에 의해 분석하였다.

3. 식물군집구조분석

각 조사구에 나타나는 교목상·하층의 수목은 흉고직경(DBH) 2cm이상을 대상으로 수종명 및

DBH를, 관목층 수목은 수종명 및 수관투영면적을 측정하였다. 식생조사에서 얻어진 자료로 Curtis & McIntosh(1951)방법에 따라 상대우점치(importance value: I.V.)를 계산하고 식생조사에서 얻은 자료로써 ordination과 classification 분석에 필요한 합성치를 구하였고 classifiction은 Hill(1979b)의 TWINSPAN, ordination은 Hill(1979a)의 DCA를 이용하였다. 이상의 모든 분석은 서울시립대학교 환경생태연구실의 PDAP를 이용하였다.

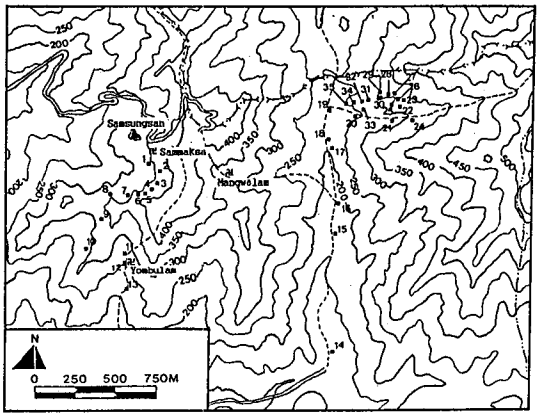

Figure 1. Location of survey plots in Mt. Kwanak.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 조사지개황

1987~1990년까지 4년간 기상청 관악산 측후소에서 측정한 기상자료에 따르면 연평균 기온 9.5~11.3℃, 연평균 최고기온 13.8~15.4℃, 연평균 기온 5.4~7.8℃, 연평균 강수량 890~2,340m, 연평균 증발산량 398~725mm로서 수평적 삼림대 구분에 의하면 온대중부림에 해당하는 지역이며 1972년의 조사대상지에서 북동쪽으로 6km떨어진 한국공군기상대의 기상자료에 의하면 연평균기온 10.7℃, 연평균강수량 1141.9mm로서(Yi, 1972) 지난 22년간의 기상조건의 변화는 거의 없었다. 관악산의 삼림식생은 한국전쟁을 거치면서 크게 파괴되었으나 1960년대 말의 훼손지 복구노력과 서울대 안양수목원이 들어서면서 삼림이 보호되어 식생회복이 많이 이루어졌다(Yi, 1972)고 보고되고 있으나 그 이후의 조사자료가 없어 삼림식생의 변화상태는 파악할 수 없으나 서울의 환경상황을 고려해 볼때 환경오염으로 인해 삼림식생의 피해가 일어나고 있는 것으로 생각할 수 있다.

조사구는 해발 119~355m에 위치하며 경사도는 3~20%이었다. 교목상층수목의 평균수고는 7~15m, 평균흉고직경은 10~25cm이었으며 평균울폐도는 40~95%이었다. 교목하층수목의 평균수고는 4~8%, 평균울폐도는 40~85%이었고 관목층수목의 평균 피복도는 40~90%이었다. 총출현종수는 48종이었고 조사구당 출연종수는 6~18종이었다.

2. 조사구의 classification 및 ordination 분석

35개 조사구에 대하여 TWINSPAN에 의한 classfifcation 분석을 실시한 것이 Figure 2이다. 제 1 division에서 조사구들은 해발고도의 높낮이에 따라 2 그룹으로 나뉘었고 제 2 division에서 다시 주요 수종의 상대우점치에 따라 4개의 그룹으로 나뉘었다. 4개의 그룹으로 분리된 내용은 군집 Ⅰ은 신갈나무군집, 군집 Ⅱ, Ⅲ은 신갈나무-소나무군집, 군집 Ⅳ는 상수리나무군집이다. Table 1은 TWINSPAN에 의해 분리된 4개 군집의 평균상대우점치를 나타낸 것이다. 군집 Ⅰ에서 7개조사구의 신갈나무의 평균 M.I.V.가 51.26%이었으며 진달래, 철쭉의 교목하층과 관목층 I.V.값이 높았다. 군집 Ⅱ는 9개의 조사구가 포함되는 신갈나무군집으로 신갈나무의 평균 M.I.V.는 33.36%, 소나무의 평균 M.I.V.는 11.55%이었고 당단풍, 철쭉의 I.V.값이 높았다. 군집 Ⅲ은 군집 Ⅱ와 같은

Figure 2. Dendrogram of TWINSPAN stand classification of thirty-five plots in Mt. Kwanak.

Table 1. Mean importance value of major woody species in each plot for classified type by TWINSPAN.

Community	I							II
Plot number	24	6	33	35	21	29	34	25
Pinus densiflora	•	•	•	•	•	•	•	22.84
Quercus acutissima	•	•	•	•	•	•	•	•
Q. mongolica	54.37	58.57	35.94	51.46	45.02	56.57	56.86	28.32
Fraxinus rynchophylla	•	•	•	•	•	•	•	•
Prunus sargentii	0.51	0.87	•	1.01	2.20	3.71	0.41	4.26
Sorbus alnifolia	•	3.04	10.43	5.90	11.05	2.52	•	1.18
Acer pseudo-sieboldianum	•	5.84	10.05	0.67	•	•	•	8.88
Styrax japonica	•	•	3.92	•	•	8.67	1.40	•
Rhododendron mucronulatum	30.38	10.75	13.99	•	19.52	2.92	25.12	11.45
Rh. schlippenbachii	•	12.37	0.72	•	10.62	11.31	11.97	3.22
Rhus trichocarpa	6.19	3.69	4.95	3.84	4.42	1.35	0.94	2.90
Symplocos chinensis for. *pilosa*	•	•	1.78	•	•	•	0.88	•
Lindera obtusiloba	•	•	1.48	•	2.00	•	•	•
Lespedeza maximowizii	•	•	•	•	•	•	•	•
Weigela subsesslis	•	1.01	•	•	•	•	•	•

Table 1. (Continued)

Community	II							
Plot number	26	1	4	5	23	28	2	27
Pinus densiflora	16.46	3.23	13.32	11.76	5.00	4.77	•	15.39
Quercus acutissima	•	0.28	•	0.74	•	•	•	•
Q. mongolica	35.26	29.11	21.77	45.64	45.64	44.80	24.79	24.88
Fraxinus rynchophylla	•	7.17	8.27	•	5.44	1.99	1.17	1.89
Prunus sargentii	•	18.29	16.58	2.11	•	5.39	18.22	5.35
Sorbus alnifolia	2.72	4.33	0.83	0.92	5.26	2.36	9.01	•
Acer pseudo-sieboldianum	5.21	•	21.94	2.97	3.34	0.80	7.38	2.76
Styrax japonica	0.61	0.27	•	•	•	•	•	•
Rhododendron mucronulatum	18.74	17.28	•	13.84	14.26	22.48	5.50	8.00
Rh. schlippenbachii	18.32	3.37	•	8.47	9.36	8.99	4.80	6.36
Rhus trichocarpa	0.73	2.47	2.82	4.87	7.52	2.89	5.41	2.75
Symplocos chinensis for. *pilosa*	•	2.07	•	0.70	•	•	4.44	13.55
Lindera obtusiloba	•	2.50	1.96	•	•	2.89	0.66	1.78
Lespedeza maximowizii	•	4.04	1.50	•	•	•	2.99	0.42
Weigela subsesslis	•	1.11	3.15	2.72	•	0.48	1.43	•

Table 1. (Continued)

Community	III							
Plot number	8	9	10	12	7	11	18	30
Pinus densiflora	20.82	5.41	33.47	35.92	19.38	35.65	•	16.56
Quercus acutissima	0.43	7.00	•	3.82	3.84	•	•	•
Q. mongolica	25.97	34.64	25.67	14.88	42.48	30.70	47.89	33.44
Fraxinus rynchophylla	1.64	•	•	1.07	•	•	0.81	2.20
Prunus sargentii	2.70	8.74	11.10	9.52	0.26	10.62	2.03	3.29
Sorbus alnifolia	•	3.10	•	•	•	2.50	•	3.68
Acer pseudo-sieboldianum	0.33	1.89	•	•	•	•	•	1.15
Styrax japonica	4.79	4.10	3.25	7.16	3.24	•	7.46	5.35
Rhododendron mucronulatum	5.78	8.35	1.51	2.83	8.34	•	9.17	8.99
Rh. schlippenbachii	5.15	7.09	•	4.63	0.98	•	12.80	7.14
Rhus trichocarpa	3.87	•	•	•	•	•	0.52	1.93
Symplocos chinensis for. *pilosa*	•	0.56	4.05	2.30	0.24	•	0.81	2.79
Lindera obtusiloba	0.37	0.21	1.68	0.37	•	•	0.23	•
Lespedeza maximowizii	•	0.21	7.31	1.36	2.63	•	2.66	2.81
Weigela subsesslis	•	•	0.46	0.76	•	•	•	•

Table 1. (Continued)

Community	Ⅲ					Ⅳ		
Plot number	31	17	32	3	22	13	19	14
Pinus densiflora	20.88	•	25.40	38.79	23.19	31.75	•	•
Quercus acutissima	1.61	•	•	•	•	21.89	30.29	45.75
Q. mongolica	25.46	5.51	12.73	25.00	0.35	1.12	31.78	11.63
Fraxinus rynchophylla	•	•	2.70	•	•	1.65	•	0.92
Prunus sargentii	•	17.45	10.17	1.22	7.32	7.46	•	•
Sorbus alnifolia	1.23	•	0.62	1.51	3.85	•	1.26	•
Acer pseudo-sieboldianum	•	5.97	•	•	•	•	•	•
Styrax japonica	•	•	11.63	•	•	7.69	1.43	4.55
Rhododendron mucronulatum	2.31	0.41	7.67	8.05	8.52	0.57	•	•
Rh. schlippenbachii	21.58	•	3.23	•	2.39	0.93	•	•
Rhus trichocarpa	•	•	•	•	•	•	3.11	•
Symplocos chinensis for. *pilosa*	0.27	•	•	•	•	•	2.15	2.31
Lindera obtusiloba	•	•	1.25	•	•	•	•	•
Lespedeza maximowizii	•	1.34	2.01	•	•	0.35	0.56	•
Weigela subsesslis	•	•	0.62	•	2.31	•	2.93	•

Table 1. (Continued)

Community	Ⅳ		
Plot number	15	16	20
Pinus densiflora			
Quercus acutissima	41.26	62.63	56.62
Q. mongolica	0.75	5.28	
Fraxinus rynchophylla			
Prunus sargentii		0.34	1.51
Sorbus alnifolia	0.88	0.29	
Acer pseudo-sieboldianum			
Styrax japonica	32.96	24.07	1.22
Rhododendron mucronulatum		0.83	1.50
Rh. schlippenbachii			
Rhus trichocarpa			
Symplocos chinensis for. *pilosa*			4.36
Lindera obtusiloba		0.68	
Lespedeza maximowizii	1.42		1.31
Weigela subsesslis			

신갈나무-소나무군집으로 가장 많은 13개의 조사구가 포함되었으며 군집 Ⅱ와의 차이점은 신갈나무의 평균 M.I.V.가 25.74%, 소나무의 평균 M.I.V.가 25.04%로서 군집 Ⅱ보다 소나무의 우점치 값이 더 높게 나타난 것이다. 군집 Ⅳ는 6개의 조사구가 포함되는 상수리나무군집으로 해발고가 낮은 곳에 위치하며 상수리나무의 평균 M.I.V.는 43.07%이었다. 다른 조사구들과의 차이점은 교목하층과 관목층에서 진달래와 철쭉의 우점치 값이 상대적으로 낮은 것이었다.

전 조사구에 대한 DCA ordination 분석을 실시한 것이 Figure 3이다. 조사구들은 DCA 제1축의 왼쪽에서 오른쪽으로 크게 4개의 군집으로 나뉘었는데 그 내용은 신갈나무군집, 신갈나무-소나무군집, 갈참나무군집, 상수리나무군집으로 분리되어 TWINSPIN에 의한 군집분리와 유사하였다.

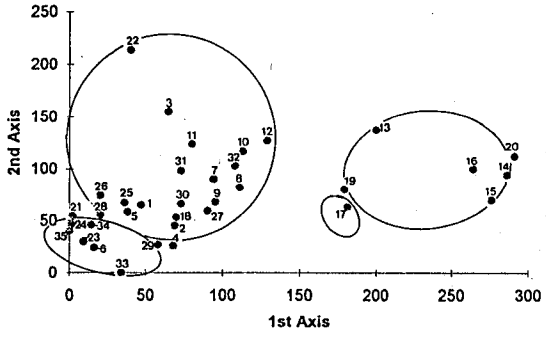

Figure 3. DCA ordination of the survey plot in Mt. Kwanak.

3. 수종의 classifcation및 ordination 분석

Figure 4, 5는 조사구에서 5회이상 출현 빈도를 보이는 24종에 대한 classification에 의한 TWINSPAN과 DCA ordination 분석을 실시한 것이다. Classification 분석에서 교목상층군은 상수리나무, 졸참나무, 갈참나무의 그룹과 신갈나무, 소나무,

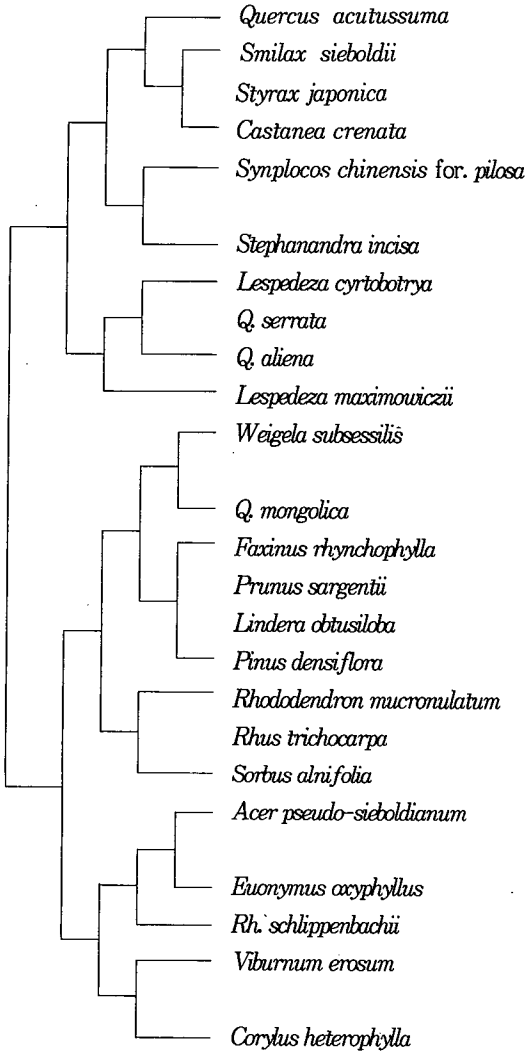

Figure 4. Dendrogram of TWINSPAN species classification of twenty-four species in Mt. Kwanak.

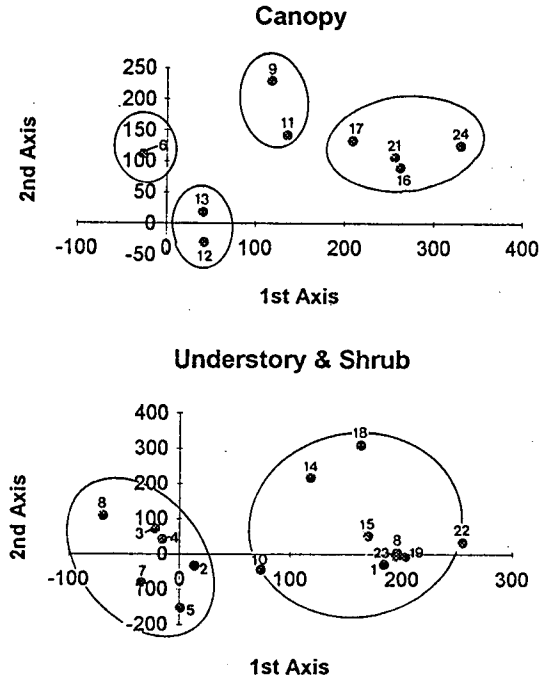

Figure 5. Species ordination on the first two axes, using DCA.
(1. *Quercus acutissima*, 2. *Smilax siebolii*, 3. *Styrax japonica*, 4. *Castanea crenata*, 5. *Symplocos chinensis* for. *pilosa*, 6. *Stephanandra incisa*, 7. *Lespedeza cyrtobotrya*, 8. *Q. serrata*, 9. *Q. aliena*, 10. *Lespedeza maximowiczii*, 11. *Weigela subsessilis*, 12. *Q. mongolica*, 13. *Fraxinus rhynchophylla*, 14. *Prunus sargentii*, 15. *Lindera obtusiloba*, 16. *Pinus densiflora*, 17. *Rhododendron mucronulatum*, 18. *Rhus trichocarpa*, 19. *Sorbus alnifolia*, 20. *Acer pseudo-sieboldianum*, 21. *Euonymus oxyphyllus*, 22. *Rh. schlippenbachii*, 23. *Viburnum erosum*, 24. *Corylus heterophylla*)

팥배나무, 물푸레나무 그룹으로 나뉘었고 교목하층과 관목층군은 참싸리, 조록싸리, 노린재나무, 국수나무, 때죽나무의 그룹으로 나뉘었다. Ordination 분석결과는 교목상층군은 팥배나무, 소나무-산벚나무, 신갈나무-물푸레나무, 상수리나무-졸참나무-갈참나무-밤나무의 그룹으로 나뉘었고 교목하층군 및 관목층군은 진달래, 철쭉, 참회나무, 개옻나무, 당단풍, 덜꿩나무, 생강나무의 그룹과 참싸리, 병꽃나무, 조록싸리, 노린재나무, 국수나무, 때죽나무, 청가시덩굴, 난티잎개암나무의 그룹으로 나뉘어 TWINSPAN에 의한 분리경향과 유사하였다.

따라서 조사구와 주요 수종의 classification, ordination 및 상대우점치 분석결과를 종합해 볼때 관악산 삼림군집은 교목상층군에서 소나무, 팥배나무→신갈나무군집으로의 천이가 진행되었거나 진행되고 있는 것으로 판단할 수 있으며 교목하층군 및 관목층군은 출현수종들이 천이 초기단계에 출현하는 수종으로 천이방향을 예측하기는 곤란하였다.

4. 관악산 삼림군집의 22년간의 변화

Yi(1972)에 의해 보고된 관악산 삼림식물군집의 식물사회학적 연구를 수행한 조사구(30개, 1조사구당 100m²)와 1993년 군집구조조사를 실시한 자료를 통해 22년간의 식물군집의 변화를 살펴보면 다음과 같다.

Table 2는 신갈나무-소나무군집(조사구 10개, 1,000m²)에 대한 출현종, 출현빈도, 개체수를 1972년과 1993년 조사자료로 비교한 것이다.

출현종수를 살펴보면 72년에 25종이었으나 93년에는 29종이 출현하여 종수에 있어 3종이 증가하였으며, 72년과 93년에 공통종으로 출현하는 수종수는 16종으로 나타났다. 이것은 조사구 선정의 오차에서 발생한 것으로 생각되므로 72년과 93년의 출현수종은 유사한 것으로 판단된다. 출현빈도를 살펴보면 72년에 출현빈도가 적었던 때죽나무(20%), 팥배나무(30%), 조록싸리(10%)의 출현빈도가 93년에는 각각 50%, 60%, 60%로 크게 증가되었다. 가장 큰 변화를 보인 것은 출현개체수인데 소나무는 886개체에서 53개체로, 신갈나무는 530개체에서 175개체로, 졸참나무는 132개체에서 55개체로 줄어들어 주요 우점수종의 개체수 감소현상이 현저하였다. 반면에 때죽나무(24→47개체), 철쭉(47→132개체), 진달래(27→137개체), 국수나무(10→156개체), 조록싸리(2→92개체), 청가시덩굴(2→44개체)의 개체수가 큰 폭으로 증가되었다.

Table 3은 신갈나무군집(조사구 10개, 1,000m²)에 대한 출현종, 출현빈도, 개체수를 1972년과 1993년 조사자료로 비교한 것이다. 출현종수는 1972년에 42종인 것이 1993년에는 32종으로 10종이 줄어들었고 공통종은 23종으로 신갈나무-소나무군집과 달리 종의 감소현상이 뚜렷히 나타났다. 출현빈도에서는 1972년에 출현빈도가 높았던 물푸레나무(70%), 당단풍(90%)의 출현빈도가 각각 30%, 50%로 크게 감소하였고 반면에 1972년에 낮은 출현빈도를 보였던 팥배나무(20%), 때죽나무(10%), 진달래(40%), 철쭉(30%)의 출현빈도가 1993년에는 각각 70%, 40%, 90%, 80%로 크게 증가하여 이들 수종이 환경변화에 대한 적응성이 양호함을 알 수 있으며 서울 중심부의 환경오염이 심한 남산, 창덕궁후원에서의 시간에 따른 참나무류 군집의 변화 경향과 같은 결과를 보였다(이 등, 1993). 출현개체수는 감소와 증가폭이 매우 컸는데 우점종인 신갈나무는 444개체→242개체로, 당단풍은 533→22개체로, 물푸레나무는 154개체에서 31개체로 큰 폭으로 감소하였고 반대로 때죽나무는 10개체→85개체, 진달래는 10개체→321개체, 철쭉은 16개체→168개체로 국수나무는 11개체→80개체, 개옻나무는 9개체→44개체로 큰 폭으로 증가하였다. 총개체수는 1972년의 1,666개체에서 1993년에는 1,531개체로 줄어들었고 특히 1972년의 조사에서 관목층의 조사면적을 4m×4m내의 출현개체수를 조사한 것과 1993년에 10m×10m내의 출현개체수를 조사한 것과 비교해 볼때 개체수 감소폭은 더 크다고 볼 수 있겠다. 또한 극성상 수종인 말채나무, 까치박달, 고로쇠나무가 1972년에는 출현하였으나 1993년에는 출현하지 않아 환경오염에 의해 극성상 수종이 도태된 것으로 보인다. 따라서 주요 우점수종의 개체수 감소와 산성화된 토양에서 내성이 강한 진달래, 때죽나무, 철쭉, 팥배나무의 개체수 증가현상으로 미루어 볼때 관악산은 환경악화에 따른 영향을 22년동안 받아 온 것으로 생각할 수 있다.

Table 4, 5은 72년의 전 조사구(30개)와 93년의 조사구(30개)에 대하여 교목상층과 교목하층성상의 수종에 대한 흉고직경급별 빈도분포와 치수(seedlings)의 개체수를 나타낸 것이다.

교목상·하층성상 수종의 전체 개체수는 72년의 5,173개체에서 93년에는 2,675개체로 크게 줄어들었고 종수는 23종에서 20종으로 줄어들었으며 72년의 흉고직경급별 분포에서 우점종인 소나무는 신갈나무로 대체되어 가는 경향을 보였는데 22년이 지난 지금 그 대체현상은 확연히 들어나고 있었다. 72년보다 93년 신갈나무의 분포는 흉고직경이 큰 개체들이 더 많이 출현하였으나 치수 및 흉고직경 5cm까지, 5cm~10cm까지는 개체수가 크게 감소하였고 소나무에서도 같은 경향이었다. 그러나 때죽나무는 72년에 흉고직경 5cm이하에서만 87개체가 나타나던 것이 93년에는 치

Table 2. Comparion of plants individual number and frequency in *Pinus densiflora*—*Quercus mongolica* community(10 plots, each size is 100m²) from 1972 to 1993, Mt. Kwanak.

Species	1972		1993	
	Frequency (%)	No. of Ind.	Frequency (%)	No. of Ind.
Pinus densiflora	100	886	100	53
Quercus mongolica	90	530	100	175
Q. serrata	50	132	30	55
Q. aliena	10	30	–	–
Q. variables	40	79	20	2
Q. acutissima	10	12	30	38
Styrax japonica	20	24	50	47
Sorbus alnifolia	30	54	60	24
Alnus hirsuta	10	54	–	–
Juniperus rigida	60	180	20	5
Castanea crenata	–	–	40	13
Fraxinus mandshurica	–	–	20	2
F. rhynchophylla	–	–	50	24
Acer pseudo-sieboldianum	–	–	60	40
S. obassia	–	–	20	95
Prunus sargentii	–	–	80	47
Crataegus pinnatifida	–	–	10	9
Rhododendron schlippenbachii	70	47	80	132
Rh. mucronulatum	60	27	80	137
Lespedeza crytobtraya	100	55	–	–
Smilax china	30	8	–	–
Buxus microphylla var. *koreana*	40	8	–	–
Stepahanandra incisa	40	10	60	156
Corulus sieboldiana	–	–	20	52
C. hetetophylla	20	5	30	21
Weigela subsessilis	–	–	20	17
L. maximowiczii	10	2	60	92
Securinoga suffurticosa	10	1	–	–
Rhus japonica	10	1	–	–
R. trichocarpa	–	–	60	12
Cocculas tribbus	10	2	–	–
Viburnum erosum	10	2	10	1
Indigofera kirilowi	10	5	–	–
Similax sieboldii	10	2	20	44
Callicarpa japonica	10	3	10	4
Euonymus oxyphyllus	–	–	20	23
Symplocos chinensis for. *pilosa*	–	–	50	61
Lindera obtusiloba	–	–	40	26
Total Individuals		2,159		1,407

Table 3. Comparison of plants individual number and frequenay in *Quercus mongolica* community(10 plots, each size 100m²) from 1972 to 1993, Mt. Kwanak.

Species	1972		1993	
	Frequency (%)	No. of Ind.	Frequency (%)	No. of Ind.
Quercus mongolica	100	444	100	242
Acer pseudo-sieboldianum	90	533	50	22
Prunus serrata	70	24	80	31
Fraxinus rhynchophylla	70	154	30	31
Euonymus sieboldianus	30	29	10	48
Q. serrata	40	16	20	35
Cornus walteri	20	7	—	—
Cephalotaxus koreana	20	45	—	—
Carpinus cordata	20	43	—	—
Acer mono	20	53	—	—
Q. acutissima	20	24	30	11
Magnolia sieblodii	20	6	—	—
Sorbus alnifolia	20	5	70	41
Philadelphus sechrenckii	10	34	—	—
Styrax japonica	10	18	40	85
Pinus densiflora	10	1	50	8
P. rigida	—	—	10	2
Castarea crenata	10	1	10	3
Q. variabilis	—	—	10	5
Q. aliena	—	—	20	16
Euonymus alatus	40	4	20	4
Rhododendion schlippenbachii	30	16	80	168
Lespedeza maximowiczii	80	38	30	68
Symplocos chinensis for. *pilosa*	20	9	40	28
Lindera obtusiloba	30	46	40	29
Rhododendron mucronulatum	40	10	90	321
Rh. yedoense var. *poukhanense*	—	—	10	20
Zanthoxylum schinifolium	20	6	20	5
Corylus sieboldianus	30	8	20	29
C. heterophylla	—	—	10	4
Stephanandra incisa	40	11	60	80
Rhus trichocarpha	40	9	70	44
Callicarpa japonica	40	10	20	16
Tripterygium regelii	10	8	—	—
Partyenocissus tricuspidata	40	4	—	—
Actinidia arguta	30	3	—	—
Lespedeza cyrtobotrya	30	9	10	12
Weigela florida	30	13	—	—
W. subssilis	10	2	30	45
Indigofera kirilow	20	2	—	—
Lonicera praeflorense	10	5	—	—
Vitis amurensis	10	2	—	—
Deutzia paruiflora	10	1	—	—
Buxus microphylla var. *koreana*	10	1	10	36
Clenxatis heracleifolia	10	1	—	—
Smilax sieboldii	—	—	20	10
Juniperus rigida	10	1	—	—
Populus davidiana	10	1	—	—
Viburnum erosum	—	—	60	32
Total Individuals		1,657		1,531

Table 4. Individual number of major trees by DBH class and seedlings in Mt. Kwanak(1972). (per 3,000m²)

Species	DBH Class and Seedlings								
	Seedlings	up to 5	5~10	11~15	16~20	21~25	26~30	31~35	36~40
Quercus mongolica	812	1,036	207	26	5	–	–	1	–
Pinus densiflora	414	511	132	15	2	10	9	3	–
Acer pseudo-siebolianum	349	255	19	–	–	–	–	–	–
Fraxinus rhynchophylla	107	58	4	1	–	–	–	–	–
Carpinus cordata	42	–	1	–	–	–	–	–	–
Acer mono	35	24	2	–	–	–	–	–	–
Cephalotaxus koreana	45	–	–	–	–	–	–	–	–
Magnolia sieboldiana	6	–	–	–	–	–	–	–	–
Q. serrata	–	198	3	1	–	–	–	–	–
Q. variabilis	–	106	27	–	–	–	–	–	–
Prunus serrulata var. *pubescens*	6	54	8	2	–	–	–	–	–
Q. acutissima	–	54	–	–	–	–	–	–	–
Q. aliana	6	24	–	–	–	–	–	–	–
Juniperus rigida	25	144	32	–	–	–	–	–	–
Sorbus alnifolia	30	83	–	–	–	–	–	–	–
Styrax japonica	–	87	–	–	–	–	–	–	–
Alnus hirsuta	–	54	–	–	–	–	–	–	–
Kalopanax pictus	–	42	–	–	–	–	–	–	–
Enonymus sieboldianus	–	29	3	–	–	–	–	–	–
Castanea crenata	–	16	3	–	–	–	–	–	–
Cornus walteri	–	6	1	–	–	–	–	–	–
Populus davidiana	–	1	–	–	–	–	–	–	–
Total	1,877	2,782	439	45	7	10	9	4	–

Table 5. Individual number of major trees by DBH class and seedlings in Mt. Kwanak(1993). (per 3,000m²)

Species	DBH Class and Seedlings								
	Sseedlings	up to 5	5~10	11~15	16~20	21~25	26~30	31~35	36~40
Quercus mongolica	227	102	80	60	32	20	7	6	1
Pinus rigida	12	20	8	1	–	–	–	–	–
P. densiflora	16	25	14	15	19	15	9	5	5
Juniperus rigida	20	5	–	–	–	–	–	–	–
Alnus hirsuta	8	2	1	2	1	3	2	–	–
Castanea crenata	8	3	8	4	4	1	1	1	–
Q. acutisima	44	–	4	9	5	4	2	–	–
Q. variabilis	8	1	1	1	–	–	–	–	–
Q. aliena	20	3	5	2	2	1	–	–	–
Q. serrata	88	16	8	7	–	–	–	–	–
Sorbus alnifolia	33	40	14	2	1	–	–	–	–
Prunus sargentii	48	29	21	9	6	3	2	1	–
Robinia pseudoacasia	16	1	1	–	–	–	–	–	–
Euonymus oxyphyllus	76	8	–	–	–	–	–	–	–
Acer pseudo-sieboldianum	20	24	23	2	1	–	–	–	–
Cornus kousa	323	4	–	–	–	–	–	–	–
Styrax japonica	160	28	18	9	–	–	–	–	–
Fraxinus mandshurica	–	2	–	–	–	–	–	–	–
F. rhynchophylla	60	10	5	–	1	–	–	–	–
S. obassia	620	96	–	–	–	–	–	–	–
Rhus trichocarpa	–	–	1	1	–	–	–	–	–
Total	1,807	419	212	124	72	47	23	13	6

수, 흉고직경 5cm까지, 5cm~10cm, 11cm~15cm 까지 각각 160, 28, 18, 9개체로 출현하여 때죽나무는 환경변화에 대한 적응력이 좋은 수종임을 알 수 있었다.

72년의 연구결과에서는 극상수종인 까치박달, 고로쇠나무도 출현하여 천이의 양상이 소나무→신갈나무→까치박달, 고로쇠나무, 물푸레나무 등으로 될 잠재성을 보이고 있다고 추측하였고, 인위적 간섭에 의해 살아졌던 것으로 보이는 양호한 삼림군집에서 나타나는 개비자나무와 산목련이 물리적인 서식처조건이 개선됨에 따라 다시 출현하고 있다고 보고하였는데(Yi, 1972), 93년에는 까치박달, 고로쇠나무, 개비자나무, 산목련은 전혀 출현하고 있지 않고 물푸레나무도 그 개체수가 감소하고 있어 천이는 22년동안 신갈나무에서 멈추어 있는 상태에 있었다.

Table 6은 72년의 토양분석자료와 93년의 분석자료의 평균값을 비교한 것이다.

토양상태는 모두 1972년보다 1993년은 크게 악화되었는데 특히 토양의 산성화, K^+, Ca^{++} 함량의 감소경향이 뚜렷하였다. 이는 산성우의 영향을 받은 결과로 볼 수 있는데 특히 산성도가 강한빗물일수록 식물체에서 K^+보다 Ca^{++}를 더 많이 세탈시켜 K^+:Ca^{++}의 균형을 깨뜨려 생리작용에 치명적인 저해를 가져오는 것(류, 1989)으로 보고하고 있어, 지난 22년간의 관악산 삼림 식물군집의 변화는 토양상태의 악화에 의한 영향이 크게 작용하였던 것으로 보인다.

Table 6. Comparison of soil characteristics for 1972 to 1993.

Year	pH	K^+	Ca^{++}	Mg^{++}
		(m.e. / 100g)		
1972	5.40	0.67	3.20	1.10
1993	4.53	0.06	0.63	0.14

이상의 결과로 살펴보면 서울도심 외곽의 관악산은 22년동안 식물군집의 천이가 정체되었으며 우점수종들이 환경악화에 따라 피해를 받고 있었다. 또한 산성화된 토양에 내성이 강한 수종들의 세력 확대는 서부유럽에서 수십년동안 모니터링된 삼림군집의 변화과정의 연구(Wittig et al., 1985; Seidling, 1990)와 같은 결과 이었다.

Ⅳ. 결 론

본 연구는 생물지표적 측면에서 도시자연환경의 질을 파악하고자 1972년 연구보고된 관악산 삼림의 식물군집구조 분석자료를 바탕으로 1972~1993년까지 22년간의 삼림군집구조의 변화상태을 밝히고 지속적인 관악산 삼림의 군집동태를 모니터링할 수 있는 기초자료를 축적하기 위하여 수행하였다. 그 결과 삼림식생은 신갈나무군집, 신갈나무→소나무군집(1), 신갈나무→소나무군집(2), 상수리나무군집으로 분리되었고 천이계열분석 결과 소나무, 팔배나무에서 신갈나무로 진행되어 22년간 천이진행이 정체된 상태이였으며, 출현종수와 개체수의 감소가 일어났고, 환경오염에 민감한 수종은 도태되고 산성토양에 적용성이 강한 수종의 개체수는 증가하였다. 또한, 토양의 산성화가 심화(pH:5.40→4.53)되고 Ca^{++}(3.20→0.63m.e./100g), K^+(0.60→0.06m.e./100g)의 함량이 크게 감소하여 이것이 식물군집구조의 쇠퇴에 영향을 끼친 것으로 나타났다.

인 용 문 헌

1. 김선희(1993) 「울산공단지역의 식물군집구조분석과 환경림조성기법에 관한 연구」, 서울시립대학교 대학원 석사학위논문, 74pp.
2. 김준선(1992) 「대기오염물질이 여천공단주변 해송의 양료동태와 군집구조에 미치는 영향」, 서울대학교 대학원 박사학위논문, 101pp.
3. 김준호(1990) "산성비-식물에 미치는 영향", *In* 「'90 한국생태학회 및 한국식물학회 심포지움자료집. -식물과 환경오염-」, 국립환경연구원, 3-33.
4. 농업기술연구소(1988) 「토양화학 분석법-토양·식물체·토양미생물-」, 농촌진흥청, 450pp.
5. 류창희(1992) 「수도권지역 환경오염에 의한 수목 및 식물군집구조 피해 판단에 관한 연구」, 서울시립대학교 대학원 석사학위논문, 84pp.
6. 류태철(1989) 「인공산성빗물의 산도에 따른 토양과 식물로 부터의 이온 세탈량의 변화」, 서울대학교 대

학원 석사학위논문, 65pp.

7. 서울시(1990) 「서울환경연감」, 서울시, 27－90.
8. 오종환, 김영걸, 채지석(1986) "산림지역 대기오염도의 경시적변화", *In* 이창근(ed.), 「대기오염과 산성우가 산림생태계에 미치는 영향」, 과학기술처.
9. 이경재, 송근준 등(1993) 「도시 및 공업단지 주변의 Green복원 기술개발」, 환경처, 과학기술처, 292pp.
10. 이경재, 김갑태, 이용범(1993) 「산성우 및 대기오염물질이 삼림에 미치는 피해의 조기판단에 관한 연구」, 한국과학재단, 205pp.
11. 이수욱, 민일식. 1989 "대기오염 및 산성우가 삼림생태계의 토양산도 및 양료분포에 미치는 영향", 「한국임학회지」, 78(1):11－25.
13. 환경처(1990) 「한국환경연감」, 환경처, 17－344.
14. 高原榮重(1977) 「環境綠地－都市計劃」, 鹿鳥出版會, 181pp.
15. 丸田賴一(1983) 「都市綠地計劃論」, 丸善株式會社, 344pp.
16. Curtis, J. T. and R. P. McIntosh(1951) "An upland forest continum in the prairie－forest border region of Wisconsin", *Ecology*, 32:476－496.
17. Guerian, R. H. van Hant.(1970) "Detection of SO_2－effects upon plants", Staub, Reinhalt. *Luft*, 30:17－26.
18. Hill, M. O.(1979a) *DECORANA－a FORTRAN program for detrended correspondence analysis and reciprocal averaging*, Ecology and Systematics, Cornell Univ., Ithaca, New York, 52pp.
19. Hill, M. O.(1979b) *TWINSPAN－a FORTRAN program for arranging multivariate data in and ordered two－way table by classification of the individuals and attributes*, Ecolgy and Systematics, Cornel Univ., Ithaca, New York, 99pp.
20. Seidling, W.(1990) "Recent changes in forest vegetation in an area on the outskirts of Berlin", In Sukopp, H and Hejny, S editors, pages 223－232, *Urban ecology*, APB Academic.
21. Smith, W. H.(1990) *Air pollution and forests; Interactions between air contamunants and forest ecosystems*, Springer－Verlag, New York, 609pp.
22. Ulrich, B., R. Mayer, P. K. Khanna(1979) "Deposition von Luftverunreinigungen und ihre Auswirkungen in Waldokosystemen im solling", *Schriffen der Forstlichen Fakultät der Universität Gottingen 58*.
23. Yi, B. G.(1972) "A phytosocilogical stydy of the forest communities on Mt. Kwanak, Seoul", *The Korean J. of Botany* 15(1):1－12.
24. Wittig, R., H. J. Ballach, C. J. Brandt(1985) "Increase of number of acid indicators in the herb layer of the millet grass－beech－forest of the Westphalien Bight, *Botanik* 59:219－232.