

관악산의 식생구조 특성과 변화 연구^{1a}

장재훈² · 한봉호^{3*} · 이경재³ · 최진우⁴ · 노태환²

A Study on the Characteristics and Changes of Vegetation Structure of the Plant Community in Mt. Kwanak^{1a}

Jae-Hoon Jang², Bong-Ho Han^{3*}, Kyong-Jae Lee³, Jin-Woo Choi⁴, Tai-Hwan Noh²

요 약

본 연구는 관악산 산림의 식물군집동태를 22년간(1972~1993년) 모니터링 한 연구의 연속된 연구이다. 이에 도시환경변화에 따른 관악산 산림의 식생구조 변화실태를 분석하여 향후 도시림 관리의 기초자료를 제공하고자 하였다. 지난 39년간(1972~2010년) 평균기온은 약 1.1~1.7°C 이상 상승하였고, 토양 산성화(pH 5.40→4.50)와 K⁺(0.67→0.25), Ca⁺⁺(3.20→0.87) 함량의 감소경향이 뚜렷하였다. DCA에 의하여 분류된 군집유형의 상대우점치와 흉고직경급 별 분석결과 추정되는 천이경향은 39년간 신갈나무에서 멈춰 있었고, 향후 천이계열은 신갈나무에서 유지되거나 소나무→신갈나무, 상수리나무→졸참나무로 예측되었다. 관악산 산림에 생육하는 수목의 규격은 증가하였지만 종수 및 개체수는 39년간 감소하는 경향을 보였으며, 도시환경 변화 지표종인 때죽나무와 팔배나무의 세력은 지속적으로 증가하였다. 지난 39년간의 토양 산성화, K⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺ 감소가 도시 외곽 도시림인 관악산 식생구조의 쇠퇴에 영향을 미친 것으로 나타났다.

주요어: 모니터링, 도시환경변화, 도시림, 토양 산성화, 졸참나무, 천이

ABSTRACT

This study is a continuation of the 22 year consecutive study (1972 ~ 1993) to monitor community dynamics of forest in Mt. Kwanak. This study was intended to provide basic data for urban forest management in the future by analyzing actual changes in vegetation structure of forest in Mt. Kwanak caused by urban environmental changes. For the past 39 years (1972 ~ 2010), average temperature increased by approximate between 1.1 and 1.7°C and soil acidification (pH 5.40→4.50) and contents of K⁺ (0.67→0.25) and Ca⁺⁺ (3.20→0.87) apparently tended to decrease. According to analysis importance percentage and DBH class of community types classified based on DCA, the succession stopped at *Quercus mongolica* for 39 years. In addition, the succession was expected to be held at *Q. mongolica* or to shift from *Pinus densiflora* to *Q. mongolica* and from *Q. acutissima* to *Q. serrata*. Size of trees growing in forest of Mt. Kwanak increased but the number of species and population

1 접수 2012년 12월 7일, 수정 (1차: 2013년 5월 9일, 2차: 2013년 6월 12일), 게재확정 2013년 6월 13일

Received 7 December 2012; Revised (1st: 9 May 2013, 2nd: 12 June 2013); Accepted 13 June 2013

2 서울시립대학교 대학원 조경학과 Dept. of Landscape Architecture, Graduate School, Univ. of Seoul, Seoul (130-743), Korea (hoony9987@naver.com; tai-hwan@hanmail.net)

3 서울시립대학교 조경학과 Dept. of Landscape Architecture, College of Urban Sciences, Univ. of Seoul, Seoul (130-743), Korea

4 (재)환경생태연구재단 Environmental Ecosystem Research Foundation, Songpa-gu, Seoul (138-830), Korea (jinunechoi@gmail.com)

a 이 논문은 본 학회 학술대회 제22권 제1호 발표(Lee et al., 2012) 후 본 학회의 심사를 거쳐 발전시킨 것임.

* 교신저자 Corresponding author: hanho87@uos.ac.kr

of trees showed a downward trend for the 39 years and *Styrax japonica* and *Sorbus alnifolia*, which are indicator species, increased their dominance continuously. Decrease in contents of K^+ , Ca^{++} , and Mg^{++} and soil acidification for the past 39 years was found to affect degradation of vegetation structure in Mt. Kwanak.

KEY WORDS: MONITORING, CHANGE OF URBAN ENVIRONMENT, URBAN FOREST, SOIL ACIDIFICATION, *Quercus serrata*, SUCCESSION

서론

관악산(冠岳山)은 행정구역상 서울특별시 관악구와 경기도 안양시, 과천시 등 대도시에 걸쳐있고 지리적으로 북위 $37^{\circ} 27' \sim 37^{\circ} 24'$, 동경 $126^{\circ} 55' \sim 127^{\circ} 0'$ 에 위치하고 있다. 옛날부터 개성 송악산(松岳山), 가평 화악산(華岳山), 파주 감악산(紺岳山), 포천 운악산(雲岳山)과 더불어 경기 오악(五岳)에 속했던 산으로(City History Complotion Committee of Seoul, 1997) 서울 도시 외곽의 대규모 산림이며, 조선시대에는 서울 경복궁의 조산(朝山)이며 외사산(外四山)중 하나였다.

주봉인 연주대(629m)를 중심으로 서쪽에 삼성산(481m)이 있고 연주암, 삼막사, 염불사, 관음사, 자운암 등의 사찰과 문화재가 분포하고 있다. 1968년 1월 15일 건설부고시 제34호에 따라 도시자연공원으로 지정되었으며, 숲길들이 넓은 지역에 거미줄처럼 이어져 있고, 많은 시설들이 갖추어져 있다. 또한 도시와의 거리가 접근성이 뛰어나 이용시민이 행락철에 1일 10~15만명, 연이용자수는 582만 4천명에 이르는(City History Compilation Committee of Seoul, 1997) 수도권 도시민들의 이용이 활발한 도시림이다.

관악산 지역은 1980~1991년 동안 강우산도를 측정한 결과 pH 4.19~4.68로서 산성우의 영향을 심하게 받고 있다(Kim, 2007). 서울지역의 SO_2 배출량은 경북, 경남에 이어 3번째 이었고, CO, HC, NO_2 , TSP 배출량은 전국에서 제일 높았으며 안양 역시 오염도가 심한 것으로 나타났다(Seoul, 1990; Ministry of Environment, 1990). 2003년 환경부 발표에 따르면 서울시 미세먼지는 2001년 말 기준 m^2 당 $71\mu g$ 으로 경제개발협력기구(OECD) 30개 회원국 중 가장 높다고 밝혔고, 2000~2009년 사이 강우산도 pH 4.4~5.0로서 강우의 산성화가 심화되었다. 따라서 관악산 지역은 1980년대 이후부터 현재까지 산성우 및 대기오염물질의 피해를 지속적으로 받아왔던 것으로 판단할 수 있고 그 영향이 식물군집에도 미쳤을 것으로 생각할 수 있다.

특히 관악산이 위치한 온대 중부지방 식생천이계열에서 서어나무가 기후극상수종으로 알려져 있으나, Park *et al.*(1987)은 서울 북한산을 대상으로 환경오염과 인간간섭

에 의해 서어나무로의 천이진행은 어려울 것이라 하였고, 서어나무가 파괴된 입지에서는 이차 수종인 신갈나무가 우점한다고 보고하였다(Lee *et al.*, 1996). 최근 Kwak(2011)은 서울시 도시림을 유형화하고 식생구조 특성 및 생태적 천이 경향과 관련된 연구에서 자생식물군락은 천이가 중단된 상태였고 외래식물군락에서는 참나무류림으로의 천이 잠재성이 있었으나 도심 도시림의 경우 천이가 중단된 상태라고 보고하였다.

본 연구대상지인 관악산을 대상으로 Yi(1972)는 신갈나무와 소나무가 상층수관에서 우점하며 관목층에 철쭉이 우점하는 구조를 가지고, 좁은단풍, 물푸레나무, 까치박달 등이 산림내에서 세력을 확장하고 있으며 소나무는 점점 쇠퇴하는 추세라고 하였고, Lee *et al.*(1994)은 관악산의 천이계열은 소나무, 팔배나무에서 신갈나무로 진행되었고, 신갈나무에서 22년간 천이진행이 정체된 상태라고 하였다.

이에 본 연구는 생물지표적 측면에서 도시자연환경의 질을 파악하고자 Yi(1972)의 관악산 산림의 식물군집구조 분석자료를 바탕으로 관악산 산림의 군집동태를 22년간 모니터링 한 연구(Lee *et al.*, 1994)의 연속된 연구로 도시환경변화에 따른 관악산 산림의 식생구조 변화의 실태를 분석하여 향후 도시림 관리의 기초자료를 제공하고자 하였다.

연구방법

1. 조사범위 및 시기

본 연구의 대상지는 관악산 연주대와 삼성산 사이의 넓적골과 삼막사 일대를 중심으로 조사구는 Yi(1972)의 연구와 Lee *et al.*(1994)의 연구대상지 조사구와 유사한 지역에 $10m \times 10m$ 1개소, $10m \times 20m$ 5개소, $20m \times 20m$ 16개소 등 총 방형구 22개소를 설정하여, 2010년 7월에 조사하였다(Figure 1).

2. 조사분석 방법

조사구 크기는 자연식생군락이 생태적으로 유지되는 최소면적인 $100 \sim 500m^2$ (Ellenberg, 1956; Westhoff and Maarel,

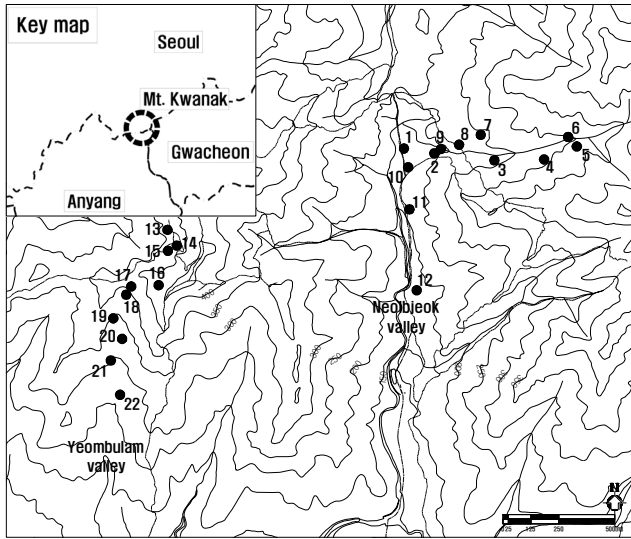


Figure 1. Location map of surveyed plots

1973)와 기존 1972년, 1993년 조사구의 크기 10m×10m (100m²) 보다 식생 발달을 고려하여 본 연구에서는 10m×10m (100m²) ~ 20m×20m(400m²) 크기의 방형구(quadrat)를 설정하였다. 또한 과거 조사구와 비교하기 위한 조사구는 표고, 경사, 향을 고려하여 유사한 지역에 13개소를 설정하였다. 식생조사는 조사구 내에서 출현하는 목본식물을 대상으로 교목층과 아교목층은 수종명, 흉고직경, 수고, 수관폭, 관목층은 수종명, 수고, 수관폭을 측정하였다.

식생조사 자료를 바탕으로 식물군집분류는 DECORANA (DCA: Hill, 1979)를 이용하였으며 프로그램은 McCune and Mefford(1999)의 'PC-ORD'를 사용하였다. 상대우점치는 층위별 출현종의 세력비교를 통하여 각 조사구의 생태적 천이경향 예측 및 층위구조 형성을 판단하기 위한 방법이다. 식생조사 자료에 의하여 Curtis and McIntosh(1951)의 중요치(importance value; I.V.)를 통합하여 백분율로 나타낸 상대우점치(Brower and Zar, 1977)를 수관층위별로 분석하였다. 상대우점치(importance percentage: I.P.)는 상대 밀도와 상대피도를 더한값을 2로 나누어 계산하였으며, 개체들의 크기를 고려하여 수관층위별로 가중치를 부여한 $\{(3 \times \text{교목층 I.P.}) + (2 \times \text{아교목층 I.P.}) + (1 \times \text{관목층 I.P.})\} / 6$ 으로 평균상대우점치(Mean importance percentage: M.I.P.)를 구하였다.

수령 및 임분 동태의 간접적인 표현으로 산림천이 양상을 추정할 수 있는 흉고직경급별 분포를 분석하였다(Harcob and Marks, 1978). 각 군집별 우점종과 온대 중부지방 생태적 천이에 관련되는 교목성상의 수종 중 교목층과 아교목층에 분포하는 흉고직경 2cm 이상의 개체목을 흉고직경급 5cm 단위로 등급화하여 분석하였다. 종다양도지수는 식생구

조를 정량적으로 평가하는 방법으로(Krebs, 1985) 녹지의 안정성을 유추할 수 있고 서로 다른 지역의 종다양성을 같은 척도로 비교할 수 있다. 종구성 상태의 다양한 정도를 나타내는 척도인 종다양도를 판단하기 위하여 총 22개 조사구 중 단위면적 400m²에 해당하는 16개 조사구를 대상으로 희귀종(rare species)을 강조한 Shannon지수(Pielou, 1975)의 수식에 따라 종다양도지수(species diversity: H'), 균재도(evenness: J'), 우점도(dominance: D), 최대종다양도(H'max)를 산출하였다.

39년간(1972~2010)의 식생구조 변화는 연구대상지의 대표적인 식생군집인 신갈나무-소나무군집과 신갈나무군집을 대상으로 평균 상대우점치를 비교하였고, 군집별 평균수고 및 평균흉고직경 생장을 분석하였다. 종수 및 개체수는 조사된 각각의 층위에서 출현한 종수와 개체수를 분석하였다.

토양 분석은 SSSA(Soil Science society of America)의 Method of Soil Analysis를 준용하여 토양산도(pH), 전기전도도(EC: Electrical Conductivity), 유기물 함량(Soil Organic Matter), 유효인산(Available Phosphorus), 전질소(T-N: Total Nitrogen), 양이온교환용량(CEC: Cation Exchange Capacity), 치환성양이온(Exchangeable Cation), 토성(Soil Texture)을 분석하였고 1972년, 1993년과 pH, K⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺의 평균값을 비교하였다.

결과 및 고찰

1. 연구대상지 및 조사지 개황

온대중부 지방에 위치한 관악산 인근의 안양시 최근 10년간(2000~2009년) 연평균기온은 12.4℃이며, 최고기온은 2008년과 2009년 13.0℃, 최저기온은 2002년 11.7℃이었다. 최근 10년간 연평균강수량은 1,260mm로 전국의 평균치 1,190mm를 상회하고 있었으며 대부분의 강수량의 약 2/3이상이 식물생육기간인 4월에서 10월까지 집중적으로 내렸다. 과거 1972년의 조사대상지에서 북동쪽으로 6km 떨어진 한국공군기상대의 기상자료에 의하면 연평균기온 10.7℃, 연평균강수량 1,141.9mm이며(Yi, 1972), 1987~1990년까지 4년간 기상청 관악산 측후소에서 측정한 기상자료에 따르면 연평균 기온 9.5~11.3℃, 연평균 강수량 890~2,340mm로서(Lee *et al.*, 1994), 지난 39년간 기상조건의 변화는 약 1.1~1.7℃ 이상 기온이 상승한 것으로 판단되었다. 관악산의 산림식생은 한국전쟁을 거치면서 크게 파괴되었으나 1960년대 말의 훼손지 복구노력과 서울대 안양수목원이 들어서면서 산림이 보호되어 식생회복이 많이 이루어졌다(Yi, 1972)고 보고되었다. 그러나 Lee *et al.*(1994)의 22년

간 식물군집구조 변화 연구에 의하면 22년간 천이진행이 정체된 상태이었으며, 출현종수와 개체수의 감소가 일어났고, 환경오염에 민감한 수종은 도태되고 산성토양에 적응성이 강한 수종의 개체수는 증가하였다고 하였다.

Table 1은 관악산에 설정한 22개 조사구에 대해 DCA분석으로 구분된 군집별 일반적 개황을 나타낸 것이다. 군집 I은 능선부, 군집 V, VI은 저지대에 분포하였고, 군집 II,

III, IV는 전 지역에 고르게 분포하였다. 22개 조사구의 경사도는 3~32°이었으며 교목층 평균수고는 10~25m, 평균흉고 직경은 13~30cm, 식피율 60~85%, 아교목층은 교목층 평균수고는 4~11m, 평균흉고직경은 3~10cm, 식피율 20~80%, 관목층은 평균수고는 1.0~3.0m, 식피율 10~60%이었다. 이 중 과거 1993년과 유사한 지역에 설치한 조사구는 13개이었다.

Table 1. General description of the physical features and vegetation of the surveyed plots

Community	I		II						III		
Plot number	20	22	4	5	6	15	17	18	21	3	7
Plot area(m ²)	400	200	400	400	400	100	200	400	200	400	400
Aspect	S10E	S80W	N15E	N15W	S80W	S80W	S40W	S60W	S60E	N10E	S60W
Slope(°)	10	25	28	32	6	15	27	25	20	28	10
Topography	Valley	Slope	Ridge	Slope	Valley	Ridge	Slope	Slope	Slope	Slope	Valley
Height(m)	15	15	16	16	15	10	10	18	13	16	14
Canopy	Mean	30	25	25	26	13	15	30	28	20	20
	DBH(cm)	30	25	25	26	13	15	30	28	20	20
	Cover(%)	85	70	60	85	85	85	70	85	70	80
Understory	Height(m)	4	7	11	6	5	5	4	10	4	6
	Mean	5	8	5	5	6	6	4	8	3	8
	DBH(cm)	5	8	5	5	6	6	4	8	3	8
Shrub	Cover(%)	60	40	60	40	20	40	50	60	20	40
	Height(m)	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Plot no. in 1993 (Area unit)	Cover(%)	40	40	30	40	50	40	40	10	30	60
	11	-	-	23, 24 (200m ²)	25, 26 (200m ²)	3 (100m ²)	7 (100m ²)	8 (100m ²)	-	21 (100m ²)	-

(Table 1. Continued)

Community	III				IV			V			VI
Plot number	9	14	16	19	8	11	13	1	2	12	10
Plot area(m ²)	400	200	400	200	400	400	400	400	400	400	400
Aspect	N20E	N20W	N10W	S60E	S60W	S80W	S60W	S75W	S55W	N75W	S50W
Slope(°)	28	22	27	23	30	18	22	3	10	12	6
Topography	Slope	Valley	Slope	Slope	Slope	Slope	Slope	Slope	Slope	Slope	Valley
Height(m)	18	18	11	13	15	19	10	19	18	25	17
Canopy	Mean	28	22	14	15	20	28	18	26	26	30
	DBH(cm)	28	22	14	15	20	28	18	26	26	30
	Cover(%)	85	75	85	80	80	80	85	80	85	85
Understory	Height(m)	8	8	5	4	8	6	7	8	8	6
	Mean	5	7	4	5	5	6	10	8	9	6
	DBH(cm)	5	7	4	5	5	6	10	8	9	6
Shrub	Cover(%)	80	30	60	60	60	40	20	70	70	65
	Height(m)	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	3.0	2.0	2.0
Plot no. in 1993 (Area unit)	Cover(%)	40	10	40	50	50	25	30	30	30	30
	-	2 (100m ²)	5, 6 (200m ²)	9 (100m ²)	-	-	1 (100m ²)	19 (100m ²)	20 (100m ²)	-	-

2. 식물군집구조

1) 식물군집 분류

식물군집 분류는 조사구별 평균상대우점치를 이용하여 22개 조사구에 대해 DCA 분석을 실시하였다(Figure 2). DCA 분석결과 제1축과 제2축의 eigenvalue가 각각 0.497, 0.186으로 집중률이 높았다. 각 조사구의 배치를 좌측부터 살펴보면, 왼쪽에서부터 소나무군집(I), 신갈나무-소나무군집(II), 신갈나무군집(III), 졸참나무-신갈나무군집(IV), 상수리나무-졸참나무군집(V), 갈참나무군집(VI) 등 6개 군집으로 분류되었다.

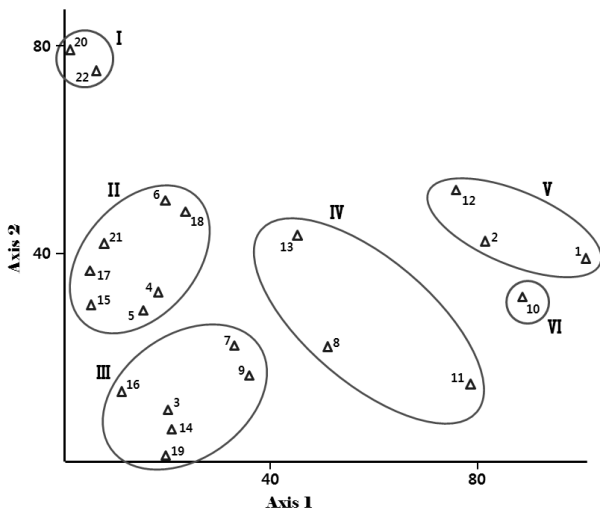


Figure 2. DCA ordination of 22 plots in Mt. Kwanak (I: *Pinus densiflora* comm., II: *Quercus mongolica*-*P. densiflora* comm., III: *Q. mongolica* comm., IV: *Q. serrata*-*Q. mongolica* comm., V: *Q. acutissima*-*Q. serrata* comm., VI: *Q. aliena* comm.)

2) 군집별 상대우점치 및 흉고직경급별 분포

군집 I은 소나무군집(조사구 20, 22)으로 분포위치는 염불암 인근이었다. 교목층에서 소나무(I.P.: 100.0%)가 우점하였고 아교목층에서는 때죽나무(I.P.: 40.1%)와 소나무(I.P.: 39.9%)가 우점종이었다. 관목층에서는 때죽나무(I.P.: 31.0%), 신갈나무(I.P.: 12.1%), 산벚나무(I.P.: 6.0%)가 주요 출현종이었고, 세력이 미미하나 도시환경 변화 지표종인 일본목련(I.P.: 0.1%)이 출현하였다. 주요 수종의 흉고직경급별 분포 분석결과 소나무는 DBH 22cm에서 52cm구간에 23주가 고르게 분포하고 있고, 때죽나무가 DBH 2cm에서 17cm구간에 16주가 생육하였다. 본 군집은 교목층과 아교

목층에서 소나무가 우점하였고 아교목층과 관목층에 참나무류가 다소 출현하고 있으나 소나무의 세력이 강하였다. 따라서 향후 소나무군집은 장기간 현재의 식생구조를 유지할 것으로 예측되었다.

군집 II는 총 7개 조사구(조사구 4, 5, 6, 15, 17, 18, 21)가 포함되는 신갈나무-소나무군집이다. 층위별 상대우점치 분석결과 교목층에 신갈나무(I.P.: 48.8%)가 우점하였고, 소나무(I.P.: 36.9%)가 함께 출현하여 경쟁하였으며, 산벚나무, 졸참나무, 팔배나무 등이 다소 출현하였다. 아교목층에서는 때죽나무(I.P.: 23.2%)의 우점도가 높았고 팔배나무(I.P.: 21.6%)가 함께 출현하였으며 1972년에는 출현하였지만 1993년에는 출현하지 않았던 고로쇠나무(I.P.: 0.2%)가 재확인되었다. 고로쇠나무의 출현은 환경요인의 개선보다는 조사구 선정의 오차에서 발생한 것으로 판단되었다. 관목층 주요 출현종은 철쭉, 때죽나무, 진달래, 조록싸리 등이었다. 주요 수종의 흉고직경급별 분포 분석결과와 주로 흉고직경 32cm미만에 수목이 주로 분포하였으며 특히 흉고직경 12~22cm 신갈나무가 상대적으로 많았고 소나무는 대경목이 주로 분포하였으나 개체수가 적어 향후 신갈나무군집으로의 전이가 예측되었다.

군집 III은 신갈나무군집으로 총 6개 조사구(조사구 3, 7, 9, 14, 16, 19)가 포함되었다. 교목층에서 신갈나무(I.P.: 79.1%)가 우점하였고 졸참나무(I.P.: 7.3%), 소나무(I.P.: 7.0%)가 함께 출현하였다. 아교목층에서도 신갈나무(I.P.: 33.3%)의 상대우점치가 높았으며 팔배나무, 때죽나무, 당단풍나무, 졸참나무 등과 함께 출현하였고 1972년에는 출현하였지만 1993년에는 출현하지 않았던 고로쇠나무(I.P.: 0.1%)가 재확인되었다. 관목층에서는 철쭉, 진달래, 팔배나무, 신갈나무 등이 주요 출현종이었다. 흉고직경급별 분포 분석결과 대체로 흉고직경 7~37cm의 수목이 분포하였으며 신갈나무가 대부분이었고 관목층에 물푸레나무가 분포하였으나 개체수가 적어 신갈나무군집이 유지될 것으로 판단되었다.

군집 IV는 총 3개 조사구(조사구 8, 11, 13)가 포함되는 졸참나무-신갈나무군집이다. 교목층에서 신갈나무(I.P.: 34.5%)와 졸참나무(I.P.: 31.7%)가 우점하였고, 소나무, 갈참나무, 산벚나무 등이 다소 출현하였다. 아교목층에서는 졸참나무(I.P.: 38.2%)가 우점하였고, 때죽나무(I.P.: 18.4%)가 함께 출현하였다. 관목층 주요 출현종은 철쭉, 때죽나무, 진달래, 비목나무이었다. 주요 수종의 흉고직경급별 분포 분석결과와 주로 흉고직경 27cm미만에 수목이 주로 분포하였으며 특히 흉고직경 7~17cm인 졸참나무가 상대적으로 많았고 신갈나무는 흉고직경 12~27cm구간에 주로 생육하고 있었다. 따라서 본 군집은 졸참나무군집으로 전이가 예측되었다.

군집 V는 상수리나무-졸참나무군집(조사구 1, 2, 12)으

Table 2. Mean importance percentage of major woody plant species of classified types by DCA in survey sites

Scientific name	Community I				Community II				Community III			
	C ¹	U ²	S ³	M ⁴	C ¹	U ²	S ³	M ⁴	C ¹	U ²	S ³	M ⁴
<i>Pinus densiflora</i>	100.0	39.9	-	63.3	36.9	19.4	-	24.9	7.0	-	-	3.5
<i>Betula davurica</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Quercus acutissima</i>	-	2.7	1.5	1.2	-	-	0.8	0.1	-	-	-	-
<i>Q. aliena</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Q. mongolica</i>	-	6.9	12.1	4.3	48.8	14.1	5.1	29.9	79.1	33.3	7.0	51.8
<i>Q. serrata</i>	-	2.1	0.7	0.8	3.6	2.0	0.4	2.5	7.3	6.8	0.4	6.0
<i>Magnolia obovata</i>	-	-	0.5	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Lindera obtusiloba</i>	-	-	2.0	0.3	-	1.0	6.1	1.4	-	-	3.6	0.6
<i>L. erythrocarpa</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Prunus sargentii</i>	-	4.6	6.0	2.5	5.9	4.6	4.0	5.2	3.6	5.6	2.6	4.1
<i>Sorbus alnifolia</i>	-	-	-	-	1.7	21.6	4.1	8.7	0.6	22.9	9.2	9.5
<i>Lespedeza maximowiczii</i>	-	-	2.3	0.4	-	-	6.8	1.1	-	-	2.2	0.4
<i>Pueraria thunbergiana</i>	-	-	2.3	0.4	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Buxus microphylla</i> var. <i>koreana</i>	-	-	-	-	-	-	4.5	0.8	-	-	1.3	0.2
<i>Rhus trichocarpa</i>	-	-	-	-	-	1.0	1.7	0.6	-	0.9	0.7	0.4
<i>Acer mono</i>	-	-	-	-	-	0.7	-	0.2	-	-	0.4	0.1
<i>A. pseudo-sieboldianum</i>	-	-	-	-	-	4.9	4.2	2.3	-	9.1	1.1	3.2
<i>Cornus controversa</i>	-	-	-	-	-	0.6	-	0.2	-	-	-	-
<i>Rhododendron mucronulatum</i>	-	-	3.1	0.5	-	-	7.2	1.2	-	-	14.9	2.5
<i>R. schlippenbachii</i>	-	-	-	-	-	0.4	19.2	3.3	-	1.5	37.3	6.7
<i>Symplocos chinensis</i> for. <i>Pilosa</i>	-	-	0.6	0.1	-	1.2	3.2	0.9	-	-	0.5	0.1
<i>Styrax japonica</i>	-	40.1	31.0	18.6	-	23.2	14.6	10.2	-	16.7	7.5	6.8
<i>Fraxinus rhynchophylla</i>	-	-	5.3	0.9	0.5	1.5	0.9	0.9	-	-	1.6	0.3
<i>F. sieboldiana</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Weigela subsessilis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.5	0.1

*1: Canopy layer, 2: Understory layer, 3: Shrub layer, 4: Mean importance percentage

(Table 2. Continued)

Scientific name	Community IV				Community V				Community VI			
	C ¹	U ²	S ³	M ⁴	C ¹	U ²	S ³	M ⁴	C ¹	U ²	S ³	M ⁴
<i>Pinus densiflora</i>	9.6	2.0	0.0	5.5	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Betula davurica</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.9	-	2.0
<i>Quercus acutissima</i>	1.9	-	-	1.0	58.6	5.3	1.0	31.2	-	-	-	-
<i>Q. aliena</i>	5.2	2.0	-	3.2	2.0	-	-	1.0	62.9	21.9	4.1	39.4
<i>Q. mongolica</i>	34.5	9.5	0.7	20.5	5.6	2.5	0.3	3.7	12.7	-	1.1	6.5
<i>Q. serrata</i>	31.7	38.2	2.3	29.0	24.6	52.2	6.2	30.7	12.6	23.9	3.1	14.8
<i>Magnolia obovata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Lindera obtusiloba</i>	-	-	4.4	0.7	-	-	6.4	1.1	-	-	2.1	0.4
<i>L. erythrocarpa</i>	-	8.2	11.3	4.6	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Prunus sargentii</i>	4.6	6.1	0.6	4.4	-	1.8	3.4	1.2	11.8	10.4	-	9.4
<i>Sorbus alnifolia</i>	-	8.0	3.1	3.2	-	4.4	7.3	2.7	-	-	1.1	0.2
<i>Lespedeza maximowiczii</i>	-	-	3.9	0.6	-	-	1.2	0.2	-	-	17.8	3.0
<i>Pueraria thunbergiana</i>	-	-	1.8	0.3	-	-	0.3	0.1	-	-	-	-
<i>Buxus microphylla</i> var. <i>koreana</i>	-	-	2.1	0.4	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Rhus trichocarpa</i>	-	0.9	1.1	0.5	-	0.6	-	0.2	-	-	4.0	0.7
<i>Acer mono</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>A. pseudo-sieboldianum</i>	-	0.9	3.0	0.8	-	1.2	1.1	0.6	-	-	-	-
<i>Cornus controversa</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Rhododendron mucronulatum</i>	-	-	12.9	2.2	-	-	20.8	3.5	-	-	-	-
<i>R. schlippenbachii</i>	-	1.8	19.4	3.8	-	0.9	13.6	2.6	-	-	-	-
<i>Symplocos chinensis</i> for. <i>Pilosa</i>	-	-	0.3	0.1	-	-	3.8	0.6	-	1.3	4.6	1.2
<i>Styrax japonica</i>	0.8	18.4	13.6	8.8	-	21.0	16.9	9.8	-	32.7	9.4	12.5
<i>Fraxinus rhynchophylla</i>	1.2	0.8	3.6	1.5	-	-	2.5	0.4	-	-	16.5	2.8
<i>F. sieboldiana</i>	-	-	0.8	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Weigela subsessilis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.3	0.2

*1: Canopy layer, 2: Understory layer, 3: Shrub layer, 4: Mean importance percentage

Table 3. Average DBH class distribution of major woody species of 6 communities by DCA

Community	Scientific name	Shrub	D ₂	D ₃	D ₄	D ₅	D ₆	D ₇	D ₈	D ₉	D ₁₀	D ₁₁	D ₁₂
I (<i>Pinus densiflora</i> community)	<i>Pinus densiflora</i>	-	-	-	1	-	3	2	10	2	4	2	-
	<i>Quercus acutissima</i>	4	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Q. mongolica</i>	32	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Q. serrata</i>	4	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Prunus sargentii</i>	20	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Styrax japonica</i>	68	9	6	1	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Fraxinus rhynchophylla</i>	24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
II (<i>Quercus mongolica</i> - <i>Pinus densiflora</i> community)	<i>P. densiflora</i>	-	4	7	6	15	6	15	5	2	1	-	-
	<i>Q. acutissima</i>	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Q. mongolica</i>	64	-	14	19	19	13	9	4	2	1	1	-
	<i>Q. serrata</i>	8	1	3	1	3	1	-	-	-	-	-	-
	<i>Sorbus alnifolia</i>	40	35	11	2	1	1	-	-	-	-	-	-
	<i>Pr. sargentii</i>	40	6	2	6	3	1	1	-	-	-	-	-
	<i>St. japonica</i>	116	23	19	2	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>F. rhynchophylla</i>	12	1	2	1	-	-	-	-	-	-	-	-	
III (<i>Quercus mongolica</i> community)	<i>P. densiflora</i>	-	-	-	-	1	-	2	-	1	1	-	-
	<i>Q. mongolica</i>	108	8	31	36	31	15	5	4	3	1	-	1
	<i>Q. serrata</i>	8	4	6	3	2	-	3	1	-	-	-	-
	<i>S. alnifolia</i>	100	28	20	3	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Pr. sargentii</i>	40	4	2	3	2	-	-	1	-	-	-	-
	<i>St. japonica</i>	68	10	15	3	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>F. rhynchophylla</i>	24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
IV (<i>Quercus serrata</i> - <i>Quercus mongolica</i> community)	<i>P. densiflora</i>	-	1	1	1	1	1	1	1	-	-	-	-
	<i>Q. acutissima</i>	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
	<i>Q. mongolica</i>	8	1	5	9	7	4	2	1	-	-	-	-
	<i>Q. serrata</i>	16	9	14	14	6	5	1	1	-	-	-	-
	<i>S. alnifolia</i>	28	7	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Pr. sargentii</i>	4	-	2	1	2	1	-	-	-	-	-	-
	<i>St. japonica</i>	60	5	9	2	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>F. rhynchophylla</i>	20	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	
V (<i>Quercus acutissima</i> - <i>Quercus serrata</i> community)	<i>Q. acutissima</i>	12	-	2	3	5	4	8	2	3	1	1	-
	<i>Q. mongolica</i>	4	-	-	3	-	2	-	-	-	-	-	-
	<i>Q. serrata</i>	48	30	34	10	4	2	2	-	2	-	-	-
	<i>S. alnifolia</i>	52	1	1	2	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Pr. sargentii</i>	28	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>St. japonica</i>	80	12	9	5	1	-	-	-	-	-	-	-
	<i>F. rhynchophylla</i>	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
VI (<i>Quercus aliena</i> community)	<i>Q. aliena</i>	12	-	8	5	4	2	1	-	1	-	-	-
	<i>Q. mongolica</i>	4	-	1	1	-	-	1	-	-	-	-	-
	<i>Q. serrata</i>	8	3	5	5	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>S. alnifolia</i>	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Pr. sargentii</i>	-	1	3	2	-	1	-	-	-	-	-	-
	<i>St. japonica</i>	8	5	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>F. rhynchophylla</i>	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

*2 ≤ D₂ < 7, 7 ≤ D₃ < 12, 12 ≤ D₄ < 17, 17 ≤ D₅ < 22, 22 ≤ D₆ < 27, 27 ≤ D₇ < 32, 32 ≤ D₈ < 37, 37 ≤ D₉ < 42, 42 ≤ D₁₀ < 47, 47 ≤ D₁₁ < 52, D₁₂ ≥ 52

로 교목층에서 상수리나무(I.P.: 58.6%)와 졸참나무(I.P.: 24.6%)가 우점하였고 신갈나무, 갈참나무가 출현하였다. 아교목층

에서는 졸참나무(I.P.: 52.2%)의 우점도가 높았고 때죽나무(I.P.: 21.0%), 상수리나무(I.P.: 5.3%), 팔배나무(I.P.: 4.4%)

가 함께 출현하였다. 관목층에서는 진달래(I.P.: 20.8%), 때죽나무(I.P.: 16.9%), 철쭉(I.P.: 13.6%) 등이 주요 출현종이었다. 흉고직경급별 분포 분석결과 상수리나무는 DBH 7cm에서 52cm구간에 29주가 고르게 분포하고 있고, 졸참나무는 총 84주 중 DBH 2cm에서 17cm구간에 74주가 생육하였다. 따라서 본 군집은 졸참나무군집으로 천이가 예측되었다.

군집 VI은 갈참나무군집(조사구 10)으로 분포위치는 넓적골 계곡 저지대의 환경사시대이다. 교목층에서 갈참나무(I.P.: 62.9%)가 우점하였고, 아교목층에서는 때죽나무(I.P.: 32.7%), 졸참나무(I.P.: 23.9%)의 상대우점치가 높았다. 관목층에서는 조록싸리(I.P.: 17.8%), 물푸레나무(I.P.: 16.5%) 등이 주요 출현종이었다. 흉고직경급별 분포 분석결과 대체로 흉고직경 32cm미만에 수목이 분포하였으며 갈참나무와 졸참나무가 대부분이었고 관목층에 물푸레나무가 분포하였다. 따라서 본 군집은 졸참나무군집으로 천이가 예측되었다.

관악산의 군집별 상대우점치 및 흉고직경급별 분포 분석결과 군집 I(소나무군집)과 군집 III(신갈나무군집)은 당분간 현재의 군집이 유지될 것으로 판단되었고, 군집 II(신갈나무-소나무군집)는 향후 신갈나무군집으로 천이가 예측되었다. 군집 IV(졸참나무-신갈나무군집), 군집 V(상수리나무-졸참나무군집), 군집 VI(갈참나무군집)은 향후 졸참나무군집으로 천이가 예측되었다.

3) 종다양도

Table 4는 DCA로 분리된 22개 군집의 종다양도를 면적 400m² 기준으로 비교한 것이다. Shannon의 종다양도는 0.8735~1.2297이었고, 각 군집의 조사구별로 살펴보면 군집 I(소나무군집) 1.1393, 군집 II(신갈나무-소나무군집) 0.8932~1.1683, 군집 III(신갈나무군집) 0.8735~1.0897, 군집 IV(졸참나무-신갈나무군집) 0.9895~1.2297, 군집 V(상수리나무-졸참나무군집) 0.8930~1.1782, 군집 VI(갈참나무군집) 1.1913이었다. 최대종다양도(H'max)는 군집 I(소나무군집) 1.3010, 군집 II(신갈나무-소나무군집) 1.0792~1.3010, 군집 III(신갈나무군집) 1.0414~1.2788, 군집 IV(졸참나무-신갈나무군집) 1.2553~1.3424, 군집 V(상수리나무-졸참나무군집) 1.1461~1.3222, 군집 VI(갈참나무군집) 1.3424이었다. Shannon의 종다양도와 최대종다양도(H'max) 모두 군집 IV(졸참나무-신갈나무군집)의 조사구 13이 가장 높았으며, 군집 III(신갈나무군집)의 조사구 9가 가장 낮았다. 종다양도가 낮은 조사구 1, 5, 9, 16을 살펴보면 도시화에 적응성이 강한 때죽나무, 팔배나무 등(Kwak, 2011)의 출현빈도가 높아 종다양도가 다른 조사구에 비해 낮은 것으로 판단되었다. 특히 팔배나무와 때죽나무는 토양

의 pH가 낮고 유기물의 함량이 낮은 지역에서도 생육이 양호하고, 환경오염에 대해서도 내성이 강한 수종으로(Lee *et al.*, 1998; Woo *et al.*, 2000) 향후 지속적으로 세력을 유지할 것으로 판단되었다.

Table 4. Various species diversity of 6 communities classified by DCA (Unit: 400 m²)

Comm.	Plot no.	H' (Shannon)	J' (evenness)	D (dominance)	H'max
I	20	1.1393	0.8757	0.1243	1.3010
	4	1.1683	0.9136	0.0864	1.2788
II	5	0.8932	0.8277	0.1723	1.0792
	6	1.0435	0.8020	0.1980	1.3010
	18	1.1021	0.8780	0.1220	1.2553
III	3	1.0060	0.9031	0.0969	1.1139
	7	1.0897	0.8521	0.1479	1.2788
	9	0.8735	0.8388	0.1612	1.0414
	16	0.8872	0.7368	0.2632	1.2041
IV	8	1.1235	0.8369	0.1631	1.3424
	11	0.9895	0.7883	0.2117	1.2553
V	13	1.2297	0.9160	0.0840	1.3424
	1	0.8930	0.7792	0.2208	1.1461
VI	2	1.1095	0.9017	0.9830	1.2304
	12	1.1782	0.8911	0.1089	1.3222
VI	10	1.1913	0.8874	0.1126	1.3424

3. 39년간(1972~2010년) 식생구조 변화

1) 평균 상대우점치 비교

Table 5는 군집 II(신갈나무-소나무군집)와 군집 III(신갈나무군집)의 1993년과 2010년 층위별 상대우점치를 비교한 것이다. 군집 II(신갈나무-소나무군집)의 신갈나무는 교목층 32.0%에서 48.8%로 세력이 증가하였고 아교목층 21.0%에서 14.1%로 세력이 감소하여 평균상대우점치 23.9%에서 29.9%로 그 세력이 점차 확대되고 있는 상황이었다. 소나무는 교목층 42.9%에서 36.9%로 세력이 감소하였고 아교목층 5.0%에서 19.4%로 세력이 증가하여 평균상대우점치 23.5%에서 24.9%로 비슷한 상황이었다. 본 군집은 신갈나무가 교목층의 우점종으로 세력이 확대되었고 신갈나무의 수고 증가에 따라 과거 교목층이었던 소나무가 아교목층으로 조사되어 분석된 결과로 확인되었다. 아교목층상인 때죽나무와 팔배나무는 각각 8.3%에서 10.2%, 1.1%에서 8.7%로 증가한 상태이었다. 이외에 진달래와 철쭉은 각각 5.6%에서 1.2%, 6.1%에서 3.3%로 감소하였다.

군집 III(신갈나무군집)의 신갈나무는 평균상대우점치

Table 5. Importance percentage of major woody plants by the stratum in *Quercus mongolica*-*Pinus densiflora* community and *Quercus mongolica* community from 1993 to 2010 in Mt. Kwanak

Community	II (<i>Quercus mongolica</i> - <i>Pinus densiflora</i> comm.)								III (<i>Quercus mongolica</i> comm.)							
	C ¹		U ²		S ³		M ⁴		C ¹		U ²		S ³		M ⁴	
	1993	2010	1993	2010	1993	2010	1993	2010	1993	2010	1993	2010	1993	2010	1993	2010
<i>Pinus densiflora</i>	42.9	36.9	5.0	19.4	2.0	-	23.5	24.9	-	7.0	-	-	-	-	-	3.5
<i>Quercus acutissima</i>	2.7	-	-	-	0.4	0.8	1.4	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Q. aliena</i>	3.7	-	1.6	-	1.0	-	2.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Q. mongolica</i>	32.0	48.8	21.0	14.1	5.2	5.1	23.9	29.9	92.1	79.1	15.8	33.3	6.2	7.0	52.4	51.8
<i>Q. serrata</i>	2.6	3.6	4.1	2.0	5.4	0.4	3.6	2.5	-	7.3	-	6.8	-	0.4	-	6.0
<i>Lindera obtusiloba</i>	-	-	0.4	1.0	1.1	6.1	0.3	1.4	-	-	0.7	-	1.8	3.6	0.5	0.6
<i>Prunus sargentii</i>	7.0	5.9	7.3	4.6	0.6	4.0	6.1	5.2	0.8	3.6	1.4	5.6	0.8	2.6	1.0	4.1
<i>Sorbus alnifolia</i>	-	1.7	3.1	21.6	0.2	4.1	1.1	8.7	2.8	0.6	9.1	22.9	4.1	9.2	5.1	9.5
<i>Lespedeza maximowiczii</i>	-	-	-	-	9.3	6.8	1.6	1.1	-	-	-	-	0.5	2.2	0.1	0.4
<i>Buxus microphylla</i> var. <i>koreana</i>	-	-	0.5	-	2.4	4.5	0.6	0.8	-	-	-	-	7.5	1.3	1.3	0.2
<i>Rhus trichocarpa</i>	-	-	0.4	1.0	0.3	1.7	0.2	0.6	-	-	5.1	0.9	6.7	0.7	2.8	0.4
<i>Acer mono</i>	-	-	-	0.7	-	-	-	0.2	-	-	-	-	-	0.4	-	0.1
<i>A. pseudo-sieboldianum</i>	-	-	2.2	4.9	0.3	4.2	0.8	2.3	-	-	8.2	9.1	0.8	1.1	2.9	3.2
<i>Cornus controversa</i>	-	-	-	0.6	-	-	-	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Rhododendron mucronulatum</i>	-	-	8.7	-	16.4	7.2	5.6	1.2	-	-	38.8	-	24.1	14.9	16.9	2.5
<i>R. schlippenbachii</i>	-	-	14.0	0.4	8.7	19.2	6.1	3.3	-	-	14.4	1.5	25.9	37.3	9.1	6.7
<i>Symplocos chinensis</i> for. <i>Pilosa</i>	-	-	0.7	1.2	3.8	3.2	0.9	0.9	-	-	0.6	-	1.2	0.5	0.4	0.1
<i>Styrax japonica</i>	-	-	20.8	23.2	8.2	14.6	8.3	10.2	-	-	5.2	16.7	1.8	7.5	2.0	6.8
<i>Fraxinus rhynchophylla</i>	-	0.5	0.7	1.5	1.9	0.9	0.5	0.9	-	-	-	-	-	1.6	-	0.3
<i>Weigela subsessilis</i>	-	-	0.3	-	2.7	-	0.5	-	-	-	-	-	0.7	0.5	0.1	0.1

*1: Canopy layer, 2: Understory layer, 3: Shrub layer, 4: Mean importance percentage

52.4%에서 51.8%로 비슷한 상황이었다. 졸참나무는 1993년에는 출현하지 않았으나 2010년 평균상대우점치 6.0%로 세력이 증가하였는데 이는 과거 조사구 공간의 편차에서 발생한 것으로 판단되었다. 본 군집 또한 군집 II(신갈나무-소나무군집)와 유사하게 아교목성상인 때죽나무와 팔배나무는 각각 2.0%에서 6.8%, 5.1%에서 9.5%로 증가한 상태이었고, 진달래와 철쭉은 각각 16.9%에서 2.5%, 9.1%에서 6.7%로 감소하였다.

군집 II(신갈나무-소나무군집)와 군집 III(신갈나무군집)의 17년간 변화를 살펴보면 군집 II의 신갈나무는 세력이 증가하고 있었으며, 군집 III의 신갈나무는 세력이 지속적으로 유지하고 있었다. 따라서 신갈나무로 22년간 천이가 정

체된 상태이었던 연구결과(Lee *et al.*, 1994)에 이어 그 이후 17년간에도 천이가 중단된 것으로 판단되었다. 또한 두 군집 모두 아교목성상인 때죽나무와 팔배나무의 세력이 증가하였는데, 이는 서울시 남산을 대상으로 한 11년간의 식생구조 변화 연구 결과와 유사하였다(Lee *et al.*, 2006). 진달래와 철쭉의 평균상대우점치가 감소한 원인은 아교목층에서 생육하였던 개체들의 감소인 것으로 추정되었다.

2) 평균수고 및 평균흉고직경 성장 비교

1993년과 2010년의 조사구별 교목층 평균수고 및 평균흉고직경 성장을 비교하였다(Table 6). 1993년에서 2010년 평균수고는 1~8m 증가하였고, 평균흉고직경은 3~11cm 증

Table 6. Average height and average DBH growth in canopy layer from 1993 to 2010 in Mt. Kwanak

Community	I		II								III			
	1993	2010	1993	2010	1993	2010	1993	2010	1993	2010	1993	2010		
Year	1993	2010	1993	2010	1993	2010	1993	2010	1993	2010	1993	2010		
Plot no.	11	20	23, 24	5	25, 26	6	3	15	7	17	8	18	21	3
Mean	12	15	10	16	10	15	5	10	9	11	12	18	8	16
Height(m)	(12~14)	(14~16)	(10~12)	(15~17)	(10~12)	(14~17)	(3~6)	(8~12)	(8~12)	(8~12)	(8~18)	(14~20)	(7~9)	(15~16)
Mean	20	30	15	25	15	26	5	13	13	18	25	30	15	20
DBH(cm)	(15~30)	(18~35)	(10~20)	(20~35)	(10~20)	(20~32)	(3~6)	(10~23)	(10~25)	(15~22)	(20~35)	(15~35)	(10~20)	(15~24)

(Table 6. Continued)

Community	III								IV		V			
	1993	2010	1993	2010	1993	2010	1993	2010	1993	2010	1993	2010	1993	2010
Year	1993	2010	1993	2010	1993	2010	1993	2010	1993	2010	1993	2010	1993	2010
Plot no.	2	14	5	16	6	16	9	19	1	13	19	1	20	2
Mean	10	18	7	11	10	11	10	13	9	10	14	19	14	18
Height(m)	(8~12)	(16~20)	(5~8)	(10~12)	(8~12)	(10~12)	(10~14)	(12~14)	(8~10)	(8~12)	(8~15)	(18~20)	(14~18)	(18~20)
Mean	15	22	14	17	14	17	13	16	15	18	20	26	20	26
DBH(cm)	(10~25)	(13~33)	(8~20)	(10~30)	(8~20)	(10~30)	(10~20)	(13~24)	(10~20)	(13~28)	(15~25)	(25~50)	(15~25)	(20~40)

가하였다. 평균수고 증가폭이 8m로 가장 큰 조사구는 군집 III(신갈나무군집)의 조사구 14이었고, 평균흉고직경 증가폭이 11cm로 가장 큰 조사구는 군집 II(신갈나무-소나무군집)의 조사구 6이었다. 평균흉고직경의 변화를 세부적으로 살펴보면 교목성상의 신갈나무, 졸참나무의 성장량이 아교목성상의 당단풍나무, 때죽나무, 팔배나무에 비해 다소 높았다(Table 7).

Table 7. Average DBH growth of important species from 1993 to 2010 in Mt. Kwanak

Scientific name	1993(cm)	2010(cm)	Growth(cm)
<i>Pinus densiflora</i>	2.0~42.0	4.0~47.5	2.0~5.5
<i>Quercus mongolica</i>	2.0~34.6	3.0~49.3	1.0~14.7
<i>Quercus serrata</i>	2.0~26.9	3.0~39.0	1.0~12.1
<i>Acer pseudo-sieboldianum</i>	2.0~14.8	2.0~17.5	0.0~2.7
<i>Styrax japonica</i>	2.0~12.2	2.0~18.8	0.0~6.6
<i>Sorbus alnifolia</i>	2.0~16.3	2.0~22.6	0.0~6.3

3) 종수 및 개체수 비교

Table 8은 군집 II(신갈나무-소나무군집)와 군집 III(신갈나무군집)의 1993년과 2010년 종수 및 개체수를 100m² 기준으로 비교한 것이다. 군집 II(신갈나무-소나무군집)의

층위별 개체수를 살펴보면 교목층 5~17개체에서 1~12개체, 아교목층 13~48개체에서 5~20개체, 관목층 56~140개체에서 24~108개체, 전체 94~177개체에서 36~126개체로 감소하였다. 종수에서도 6~16종에서 4~16종으로 다소 감소하는 경향이 있었다.

군집 III(신갈나무군집)의 층위별 개체수를 살펴보면 교목층 5~17개체에서 2~11개체, 아교목층 16~43개체에서 1~14개체, 관목층 72~192개체에서 36~84개체, 전체 120~244개체에서 33~104개체로 감소하였다. 종수에서도 10~18종에서 6~12종으로 감소하는 경향이 있었다.

관악산의 군집 II(신갈나무-소나무군집)와 군집 III(신갈나무군집)의 1993년과 2010년 종수 및 개체수 분석결과 두 군집 모두 개체수와 종수가 감소하는 경향이 있었다. 교목층의 개체수 감소는 17년간 수목의 규격이 증가하여 상호 경쟁에 의한 단위면적당 분포 개체수가 감소한 것으로 판단되나 아교목층과 관목층의 개체수 감소, 종수의 감소는 다른 원인이 있을 것으로 사료되었다. 이러한 종수 및 개체수의 감소는 과거 Lee *et al.*(1994)의 연구 결과와도 동일하며 도시 환경 변화 지표종인 팔배나무, 때죽나무 등의 상대우점치가 증가한 것과 1993년과 비교해 계속적으로 감소하고 있다는 것은 관악산이 지속적인 환경악화의 영향을 받아 온 것으로 판단되었다.

Table 8. Comparison of plants individual number and species number in *Quercus mongolica*-*Pinus densiflora* community and *Quercus mongolica* community from 1993 to 2010 in Mt. Kwanak (Unit: 100 m²)

Community	Plot number		No. of individual								No. of species	
			C ¹		U ²		S ³		Total			
	1993	2010	1993	2010	1993	2010	1993	2010	1993	2010	1993	2010
II (<i>Quercus mongolica</i> - <i>Pinus densiflora</i> community)	23~24	5	7~10	4~12	13~31	8~20	56~80	24~44	94~103	47~71	6~10	6~9
	25~26	6	5~14	1~12	42~44	5~10	56~116	44~108	103~174	56~126	10~11	4~13
	3	15	13	9	48	5	84	44	145	58	13	11
	7	17	15	4~6	22	7~12	140	52~76	177	63~94	15	10
III (<i>Quercus mongolica</i> community)	8	18	17	4~6	32	4~11	104	24~60	153	36~70	16	6~16
	21	3	14	3~6	17	6~12	100	36~80	131	33~96	10	7~11
	2	14	5	2~4	16	4~6	120	36~44	141	46~50	17	11~12
	5~6	16	5~9	3~11	43	8~14	72~192	44~84	120~244	56~104	10~13	7~12
	9	19	17	6~9	36	1~7	172	52~80	225	59~96	18	6~8

*1: Canopy layer, 2: Understory layer, 3: Shrub layer

4) 토양의 화학적 특성 변화

관악산 토양의 토성은 바람이 잘 통하고 배수가 잘 되는 사양토가 대표적이었고, 토양 산도는 pH 4.33~4.64 범위 내에 분포하여 미경작 산지토양 평균 pH 4.80(Kim *et al.*, 1995)보다 낮았고 서울시 도심 잔존산림인 남산의 평균 pH 4.42(Kwak, 2011)와 비슷한 수준이었다. 토양의 pH가 5.5 이하에서는 활엽수의 생육이 부진한 것(Lee, 2000)에 의하면 관악산의 수목생육에 영향을 주었을 것으로 판단되었다. 유기물 함량은 2.38~11.34% 범위로 나타났고 산림에서 토양의 물리성과 화학성을 적절하게 조성하는 기준치인 미경작 산지토양의 평균값 6.40% 보다 낮아 유기물 함량이 전반적으로 부족한 상태이었다. 식물체에 흡수되어 식물의 발근, 착근, 신진대사 등을 촉진하는 역할을 하는 유효인산은 0.81~7.75mg/kg으로 전체평균 3.50mg/kg으로 대부분의 조사구들이 미경작 산지토양 평균인 5.60mg/kg에 못 미치는 상황이었다.

Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, K⁺, Na⁺ 등 치환성양이온의 경우 Ca⁺⁺은 0.26~3.19cmol/kg이었으며 소나무군집인 조사구 22에서 3.19cmol/kg을 제외하고 Ca⁺⁺가 부족한 것으로 분석되었다. Mg⁺⁺은 0.08~0.54cmol/kg으로 산림토양의 기준수치인 0.70cmol/kg에 못미치는 결과이었고 K⁺은 0.16~0.45cmol/kg, 평균 0.25cmol/kg로 산림토양의 기준수치 0.25cmol/kg와 비슷한 수치를 보였다. Na⁺은 신갈나무군집인 조사구 16이 0.06cmol/kg으로 가장 낮았으며 소나무-신갈나무군

집인 조사구 17이 0.33cmol/kg으로 가장 높았다.

이상 관악산 일대 토양환경을 종합해보면 토양 pH는 4.50(4.02~4.64)로 토양 산성도가 높게 나타났다. 유기물 함량은 2.38~11.34%로 대부분의 조사구가 산림토양의 기준치와 서울시 남산 토양에 미치지 못하는 것으로 분석되었다. 유효인산함유량 또한 대부분의 조사구가 산림토양 평균 기준에 미달하는 상태이었다. Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, K⁺, Na⁺ 등 치환성양이온도 심하게 용탈되어 부족한 상황이었으며 그에 따라 식물의 발근 및 신진대사에 불안정한 영향을 미치고 있는 것으로 판단되었다.

Table 10은 1972년, 1993년, 2010년 토양분석자료 중 pH, K⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺의 평균값을 비교한 것이다. 토양상태는 모두 1972년보다 크게 악화되어 있는 상태로 토양의 산성화(pH 5.40→4.50), K⁺(0.67→0.25), Ca⁺⁺(3.20→0.87) 함량의 감소경향이 뚜렷하였다. 이는 산성우의 영향을 받은 결과로 볼 수 있는데 특히 산성도가 강한 빗물일수록 식물체에서 K⁺보다 Ca⁺⁺를 더 많이 세탈시켜 K⁺:Ca⁺⁺의 균형을

Table 10. Comparison of soil characteristics from 1972 to 2010 in Mt. Kwanak

Year	pH (1:5)	Exchangeable cation (cmol/kg)		
		K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺
1972	5.40	0.67	3.20	1.10
1993	4.53	0.06	0.63	0.14
2010	4.50	0.25	0.87	0.17

Table 9. Soil physicochemical properties in Mt. Kwanak

Community type	Gathering site	pH (1:5)	EC _{1:5} dS/m	O.M. %	Avail-L-P mg/kg	Exchangeable cation (cmol/kg)				Soil Texture
						Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	
Community I	plot 20	4.33	0.06	7.26	6.05	1.61	0.21	0.25	0.14	Sandy loam
	plot 22	4.64	0.05	11.34	7.75	3.19	0.54	0.45	0.19	Sandy loam
Community II	plot 4	4.38	0.03	5.78	0.81	0.29	0.09	0.16	0.13	Loam
	plot 5	4.51	0.04	4.42	2.28	0.35	0.08	0.22	0.10	Sandy loam
	plot 17	4.49	0.03	6.12	1.64	0.26	0.08	0.16	0.33	Sandy loam
	plot 21	4.52	0.03	10.43	4.27	0.83	0.21	0.30	0.13	Sandy loam
Community III	plot 3	4.43	0.03	2.38	4.18	0.37	0.09	0.20	0.08	Clay loam
	plot 7	4.61	0.05	3.63	3.51	0.51	0.18	0.33	0.11	Loam
	plot 16	4.48	0.04	2.84	3.18	0.93	0.15	0.27	0.06	Sandy loam
Community VI	plot 19	4.61	0.03	5.10	2.84	0.58	0.12	0.18	0.15	Sandy loam
	plot 10	4.53	0.04	6.01	1.94	0.61	0.13	0.26	0.08	Sandy loam
Total		4.50	0.04	5.94	3.50	0.87	0.17	0.25	0.14	-
Namsan ¹		4.42	0.06	6.78	10.85	1.82	0.18	0.30	0.12	-
Non-agricultural soil ²		4.80	-	6.40	5.60	2.27	0.70	0.25	-	-

¹Kwak, J.I.(2011) A Study on Vegetation Structure Characteristics and Ecological Succession Trends of Seoul Urban Forest, Korea. Dissertation for the Degree of Doctor Philosophy, Department of Landscape Architecture, the Graduate School University of Seoul, 314pp.

²Kim, K.H., J. Y. Yun and S.H. Yoo(1995) Distribution of Cs-137 and K-40 in Korean Soils. J. KOREAN SOC. SOIL SCI. FERT. 28(1): 33-40.

깨뜨려 생리작용에 치명적인 피해를 가져오는 것(Rhyu, 1990)으로 보고하였다. 본 연구에서 Lee *et al.*(1994)에 밝혀진 관악산에서 지난 22년간 토양상태 악화에 따른 천이중단 등 식물군집에 미치는 영향이 17년이 지난 지금까지 적용되고 있는 것으로 사료되었다.

4. 종합고찰

본 연구는 관악산을 대상으로 도시환경변화에 따른 식생구조 변화실태를 분석하여 향후 도시림 관리의 기초자료 제공을 목적으로 하였다. 그 결과 관악산의 천이계열은 신갈나무로 22년간 천이가 정체된 상태이었던 연구결과(Lee *et al.*, 1994)에 이어 그 이후 17년간에도 천이가 중단된 것으로 판단되었다. 1972년 연구결과에서는 극상수종인 까치박달, 고로쇠나무도 출현하여 천이의 양상이 소나무→신갈나무→까치박달, 고로쇠나무, 물푸레나무 등으로 될 잠재성을 보이고 있다고 추측하였고, 인위적 간섭에 의해 사라졌던 것으로 보이는 양호한 산림군집에서 나타나는 개비자나무와 함박꽃나무가 물리적인 서식처 조건이 개선됨에 따라 다시 출현하고 있다고 보고하였는데(Yi, 1972), 그 이후 1993년과 2010년 조사 결과 까치박달, 고로쇠나무, 개비자나무, 함박꽃나무는 전혀 출현하지 않았으며 물푸레나무 개체수도 감소하여 천이가 중단된 것으로 판단되었다.

단, 2010년 군집별 상대우점치 및 흉고직경급 분포 분석 결과 관악산 산림의 천이계열은 신갈나무에서 유지되거나 소나무→신갈나무, 상수리나무→졸참나무로 예측되었다. 또한 1972년 극상수종인 까치박달, 고로쇠나무, 물푸레나무가 출현하였지만 1993년에는 물푸레나무만이 적은 개체수로 출현하였고, 2010년에는 고로쇠나무, 물푸레나무가 출현하였지만 그 출현빈도가 낮았다. 도시환경 변화 지표종인 매죽나무와 팔배나무의 세력이 증가한 결과는 서울의 남산을 대상으로 한 연구 결과와 유사하였고(Lee *et al.*, 2006), 외래종인 일본목련이 새롭게 출현하였다.

관악산의 산림에 생육하는 수목의 규격은 증가하여 양적인 증가를 하였지만 종수 및 개체수 비교 결과 모두 39년간(1972~2010) 감소하는 경향을 보여 질적인 측면은 감소하였다. 그 원인은 지난 39년간의 토양의 산성화, K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} 감소가 관악산 식생구조의 쇠퇴에 영향을 미친 것으로 판단되었다.

본 연구는 선행 연구(1972년, 1993년)에서 조사한 조사구와 정확히 일치하는 고정조사구가 아닌 표고, 경사, 향이 유사한 지역에 설치한 일반조사구라는 점에서 한계를 가지고 있다. 또한 본 연구 논문의 조사시기 다음 해인 2011년 수도권 일대 도시림에 참나무시들음병이 대규모로 발병함에 따라 도시림의 훼손이 발생하였다. 참나무시들음병의 발

생 원인으로서는 기온상승, 지하수위 하강, 대기오염의 증가 등으로 인해 신갈나무 단순림 형성, 종다양성 감소, 천이중단, 수목 생육 불량 등의 생태적 변화를 초래하여 신갈나무 등 참나무류의 내성을 약화시켰을 것으로 추정하고 있다(Choi *et al.*, 2012). 따라서 관악산의 자연림 우점종인 참나무류의 피해 발생에 따라 향후 관악산을 대상으로 한 지속적인 모니터링을 통해 도시림 변화양상을 밝히고 관리방안을 모색해야 할 것이다.

LITERATURE CITED

- Brower, J.E. and J.H. Zar(1977) Field and laboratory methods for general ecology. Wm, C. Brown Company Publ. Dubuque, Iowa, 194pp.
- Choi, J.W., B.H. Han, J.H. Yeum and H.E. Jeong(2012) Spatial Analysis and Mapping of the damaged Forest by oak wilt disease in Bukhansan National Park. Pro. Kor. Soc. Env. Eco. Con. 22(1): 73-77. (in Korean)
- City History Compilation Committee of Seoul(1997) Mountain of Seoul. Seoul, 478pp. (in Korean)
- Curtis, J.T. and R.P. McIntosh(1951) An upland Forest continuum in the Prairie-forest border region of Wisconsin. Ecology 32: 476-496.
- Ellenberg, H.(1956) Grundlagen der vegetationsgliederung, I. Aufgaben und Method der Vegetationskunde, Walter, H. (Hrsg) Einfuhrung in die phytologie IV, Stuttgart, 136pp.
- Harcomb, P.A. and R.H. Marks(1978) Tree Diameter Distribution and Replacement Processes in Southeast Texas Forests. For. Sci. 24(2): 153-166.
- Hill, M.O.(1979) DECORANA - a FORTRAN program for detrended correspondence analysis and reciprocal averaging -. Ecology and Systematics, Cornell Univ., Ithaca, New York, 52pp.
- Kim, J.H.(2007) Acid Rain. Seoul National University Press, 355pp. (in Korean)
- Kim, K.H., J.Y. Yun and S.H. Yoo(1995) Distribution of Cs-137 and K-40 in Korean Soils. J. KOREAN SOC. SOIL SCI. FERT. 28(1): 33-40.
- Krebs, C.J.(1985) Ecology. N. Y., Harper Low, 800pp.
- Kwak, J.I.(2011) A Study on Vegetation Structure Characteristics and Ecological Succession Trends of Seoul Urban Forest, Korea. Dissertation for the Degree of Doctor Philosophy, Department of Landscape Architecture, the Graduate School University of Seoul, 314pp. (in Korean with English summary)
- Lee, C.Y.(2000) Forest and Environmental Soil Science. BOSUNGMUNHWASA, 350pp. (in Korean)
- Lee, J.B., K.K. Shim, E.R. Noh and Y.M. Ha(1998) A Study of

- Ecological and Growth Characteristics of Korean Mountain Ash(*Sorbus alnifolia*) for Landscape Woody Plants. Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture 26(2): 229-239. (in Korean with English abstract)
- Lee, K.J., J.H. Kim, K.S. Ki and B.H. Han(2006) Change for Eleven Years(1994~2005) of Plant Community Structure of Major Community in Namsan, Seoul. Kor. J. Env. Eco. 20(4): 448-463. (in Korean with English abstract)
- Lee, K.J., J.W. Choi and T.H. Noh(2012) Change of the Plant Community Structure during the Thirty-nine Years(1972~2010) in Forest of Mt. Kwanak. Pro. Kor. Soc. Env. Eco. Con. 22(1): 68-72. (in Korean)
- Lee, K.J., K.J. Song and W. Cho(1994) Changes of the Plant Community Structure during the Twenty-two Years(1972~1993) in Forest of Mt. Kwanak. Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture 22(3): 79-90. (in Korean with English abstract)
- Lee, K.J., W. Cho and B.H. Han(1996) Restoration and Status of Urban Ecosystem in Seoul - Plant Community Structure in Forest Area -. Kor. J. Env. Eco. 10(1): 113-127. (in Korean with English abstract)
- McCune B. and M.J. Mefford(1999) PC-ORD. Multivariate analysis of ecological data, version 4. MJM Software Design, Gleneden Beach, Oregon, USA., 221pp.
- Ministry of Environment(1990) Environmental Statistics Yearbook of Korea. Ministry of Environment, pp. 17-344. (in Korean)
- Park, I.H., K.J. Lee and J.C. Jo(1987) Forest Community Structure of Mt. Bukhan Area. Kor. J. Env. Eco. 1(1): 1-23. (in Korean with English abstract)
- Pielou, E.C.(1975) Ecological diversity. John Wiley and Sons Inc, New York, 165pp.
- Rhyu, T.C.(1990) Changes of Amounts of Ions Leached from Soils and Plants by Simulated Acid Rain with Different Acidity. Thesis for the Degree of Master, the Graduate School of the Seoul National University, 65pp. (in Korean with English abstract)
- Seoul(1990) Environmental Statistics Yearbook of Seoul. Seoul, pp. 27-90. (in Korean)
- Westhoff, V. and van der Maarel(1973) The Braun-Blanquet approach. Handbook of vegetation science, Whittaker, R. H.(ed.) Ordination and classification of vegetation, Dr. Junk, The Hague, pp. 617-726.
- Woo, S.Y., D.G. Kim and D.S. Lee(2000) Effects of Air Pollution on Physiological Characteristics of *Styrax japonica* in Yeochon Industrial Complex. J. KOSAE 16(2): 121-128. (in Korean with English abstract)
- Yi, B.G.(1972) A Phytosociological Study of the Forest Communities on Mt. Kwanak, Seoul. The Korean J. of Botany 15(1): 1-12.