

국가 장기 생태 연구 장소로서 구축된 남산 소나무림의 생태적 특성

이창석^{1*}·조용찬¹·신현철¹·이충화²·이선미¹·설은실¹·오우석¹·박성애¹
¹서울여자대학교 환경·생명과학부, ²국립산림과학원 산림환경부

Ecological Characteristics of Korean Red Pine (*Pinus densiflora* S. et Z.) Forest on Mt. Nam as a Long Term Ecological Research (LTER) Site

Lee, Chang Seok^{1*}, Yong Chan Cho¹, Hyun Cheol Shin¹, Choong Hwa Lee², Seon Mi Lee¹, Eun Sil Seol¹, Woo Seok Oh¹ and Sung Ae Park¹

¹Faculty of Environment and Life Sciences, Seoul Women's University, 139-774, Korea

²Faculty of Forest Environment, Korea Forestry Research Institute, 130-712, Korea

ABSTRACT: Species composition, spatial distribution of major species, diameter and height classes distribution, and species diversity were analyzed in the Korean red pine (*Pinus densiflora*, hereafter referred as pine) forest in the permanent quadrats, which were designed for Long Term Ecological Research (LTER). Collected data were compared with those from the other areas including urban center (Mt. Inwang and Hongneung) and boundary areas (Mts. Acha, Bukhan, Bulam, Cheonggye, Daemo, and Surak), and natural areas (Mts. Seolak, Songni, and Wolak) to clarify the ecological characteristics of pine forest on Mt. Nam. Species composition of pine forest on Mt. Nam showed a similarity with those of urban center but did a little and big differences with those on urban boundary and natural areas, respectively. Such differences that pine forest on Mt. Nam showed, were usually due to *Styrax japonicus*, *Sorbus alnifolia*, *Oplismenus undulatifolius*, *Ailanthus altissima*, *Ageratina altissima* and so on, which showed higher coverage there. Predicted from diameter and height classes distribution of tree species, pine forest on Mt. Nam showed a possibility to be replaced by a *S. japonica*. Considered that this replacer species is not only a sub-tree but also shade intolerant, such successional trend could be interpreted as a sort of retrogressive succession. Those on urban boundary and natural areas showed a difference by displaying probabilities to be maintained as themselves as an edaphic climax or succeeded to oak forests. Species diversity of pine forest on Mt. Nam was lower than those in urban boundary and natural areas due to excessive dominance of several species, which led to different species composition from the other areas. Plants, which produced the differences, were species that flourishes in the polluted industrial area (*S. japonica* and *S. alnifolia*), favors the disturbed site (*O. undulatifolius*), and exotic species (*A. altissima* and *Eupatorium rugosum*). Those results reflects that pine forest of Mt. Nam was exposed on severe environmental pollution and excessive human interferences.

Key words: Korean red pine, LTER (Long Term Ecological Research), Mt. Nam, Retrogressive succession, Urban

서론

지구의 기후, 생물, 생태계는 수 억 년 전부터 지금까지 오랫동안 변화되어 왔다. 이러한 변화는 지구적 차원에서 이루어진다. 물리, 지질, 화학 및 생물학적 작용과 인간의 작용이 상호 작용하여 지구적 차원의 변화를 주도한다. 지구의 변화에 관한 연구는 전체적인 지구 시스템을 조절하는 작용과 상호 작용, 그리고 지구에 대한 이들 작용의 누적된 영향 등에 대한 이해

를 증진시키고자 하는 노력이다.

장기 생태 연구는 이러한 지구적 차원의 변화를 관찰할 수 있는 하나의 창이 될 수 있다. 하나의 전망대와 같이, 각 연구 장소는 장기적으로 기후의 변화, 그리고 단기적으로는 날씨 변화와 관련하여 식물, 동물, 미생물, 그리고 토양의 변화를 이해하고자 노력하고 있다. 장기적인 실험을 위한 장소로서, 연구 장소는 인위적인 간섭을 최소화하여 생태계의 물리, 화학, 그리고 생물학적 구성 요소들 사이의 상호 작용을 해석하고자 한다. 또한 지구의 생물 다양성을 잘 나타내는 장기 생태 연구 장소



* Corresponding author; Phone: +82-2-970-5666, Fax: +82-2-970-5822, e-mail: leecs@swu.ac.kr

들은 환경 변화에 대한 개체군, 군집, 그리고 생태계의 상대적인 반응을 분석할 수 있게 한다. 나아가, 장기 생태 연구 결과의 종합과 그것의 모델링은 지구의 변화에 대한 긍정적인 또는 부정적인 예측을 가능하게 한다.

세계적으로 장기 생태 연구 장소는 극지방의 툰드라와 같이 비교적 인간으로부터 덜 간섭된 경관에서부터 도시 지역이나 농업 지역과 같이 고밀도 간섭이 이루어지는 경관에 이르기까지 다양하다. 국내에서도 이러한 추세를 반영하여 북부, 중부 및 남부 지역을 대표하여 점봉산, 월악산 및 지리산을 장기 생태 연구 장소로 지정하여 생태적 현상을 모니터링하고 있다. 남산은 이러한 지역을 대조 지역으로 삼아 도시 지역에서 일어나는 생태적 현상을 비교하고 있다.

도시 경관의 장기생태연구지소로서 남산 지역은 서울의 중심에 위치하고 있다. 남산이 위치하고 있는 서울은 1960년대부터 시작된 도시화와 산업화로 인해 경관 구조의 변화가 매우 빠른 속도로 이루어졌다. 서울의 경관 구조 변화는 주로 도시 지역의 증가에 기인한다(Lee et al. 2006). 이로 인해 삼림 지역과 논, 밭과 같은 농업 지역이 감소하였다. 인간의 과도한 토지 이용은 대기 오염, 산성비, 열섬 현상 등과 같은 환경 스트레스에 대한 흡수와 여과 기능을 하는 녹지의 양적 감소뿐만 아니라 그것의 질적 저하, 즉 삼림쇠퇴의 결과를 낳고 있다. 서울 지역의 삼림 쇠퇴 현상은 여러 가지 요인이 복합적으로 작용한 결과이며, 이러한 요인들은 일시적이고 부분적인 연구로 밝혀지기 어렵다. 이러한 점에서 남산은 도시 경관에 대한 장기생태연구지소로서 매우 중요한 장소가 된다.

도시화의 진행에 따라 도시 지역에서 자연 환경이 차지하는 비율은 점차 감소하고 있다(Grey and Deneke 1986, Miller 1997). 반면에 인위 환경은 날로 확장되며 환경 스트레스를 가중시키고 있다. 그 결과 도시 환경에서 환경 스트레스의 완충 역할을 담당하여야 할 도시 내의 자연은 그것이 간직하고 있는 생태적 기능이 환경 스트레스의 영향으로 위축되어 가고 있다(Taoda 1979, Smith 1990, Freedman 1995, Miller 1997).

어떤 지역이 생태적으로 건전하게 유지되기 위해서는 자연 환경이 가진 완충 능력과 인위 환경이 발생시키는 환경 스트레스 사이의 기능적 조화가 필요하다. 도시화의 과정에서 자연 환경의 양적 감소와 인위 환경의 지속적 증가는 양자 사이의 기능적 불균형을 유발할 수 있다. 그리고 이러한 결과는 잔존하는 자연 환경의 기능마저 약화시키며 양자 사이의 기능적 불균형을 심화시켜 도시를 생태적 폐허 공간으로 전락시킬 가능성을 보이고 있다(Smith 1990, Freedman 1995, 이 등 1998).

남산은 600여 년 동안 우리나라의 수도로 유지되어온 서울의 중심에 위치한 녹지 공간으로서 문화적으로 역사성과 상징성을 간직하고 있다. 생태적으로 남산은 서울의 녹지축(Green network)을 가정할 때 단절된 녹지 공간을 이어 줄 녹지역(green station)으로서 핵심적 역할을 담당할 수 있는 지역이다(이 등 1998). 서울은 녹지 공간의 비율이 최소 녹지 확보율(green minimum)을 밑돌고, 도심에서는 녹지 공동화 현상을 보이고 있는

을 고려할 때, 서울 지역에서 남산이 차지하고 있는 생태적 가치는 매우 크다고 할 수 있다(Lee et al. 2006). 따라서 그 동안 여러 분야에서 남산에 대한 다양한 연구가 진행되어 왔지만(이 1986, 박 1987, 이 1987, 임 등 1987, 서울특별시 1992, 김 등 1996, 전 1995), 그 대부분은 일시적이고 단편적이며, 인간 중심의 입장에서 이루어진 이용 위주의 연구이었다. 그러나 과도한 토지 이용에 기인한 환경 스트레스에 만성적으로 노출되어 있는 남산 지역의 식생은 특이한 형태의 쇠퇴 징후를 보이고 있다(이 등 1998).

본 연구는 국가 장기 생태 연구를 위해 구축된 남산 소나무군락의 생태적 특성을 밝히는데 그 목표를 두고 있다. 이러한 목표를 달성하기 위해 소나무군락의 종 조성, 주요 종의 공간 분포, 직경 및 수고 계급의 빈도 분포와 종 다양성에 대한 정보를 수집하였다. 나아가 남산의 소나무군락이 가지고 있는 특성을 밝히기 위해 이러한 정보를 도시 외곽 및 자연 지역의 소나무군락에서 수집된 정보와 비교하였다.

재료 및 방법

조사지 개황

남산은 서울시의 중심부로서 위도 상으로는 북위 37° 32' ~ 33' 사이, 경도 상으로는 동경 126° 58' ~ 127° 00' 사이에 위치한다. 행정 구역 상으로는 중구와 용산구 사이에 걸쳐 분포하고, 중구의 6개 동(회현동, 남산동, 예장동, 필동, 장충동 및 신당동)과 용산구의 4개 동(후암동, 이태원동, 용산동 및 한남동)을 포함하고 있다(서울특별시 1992).

남산의 경관 조성은 이차림, 조림지 및 도시화 지역으로 대별된다. 이차림은 소나무군락, 신갈나무군락, 개벚나무군락 등으로 이루어지고, 조림지는 아까시나무군락, 소나무군락, 은사시나무군락, 리기다소나무군락 등으로 이루어진다(Fig. 1, 이 등 1998). 도시화 지역은 각종 공공 시설과 도로가 차지하고 있다. 토지의 소유별 현황은 국유지(80.7%), 사유지(13.3%) 및 공유지(6.0%)의 순서를 보였다(서울특별시 1992).

국가 장기 생태 연구를 위한 소나무군락의 영구 조사는 남산타워 남쪽의 순환도로 옆(Fig. 1의 제1 지소)과 전망대 인근(Fig. 1의 제2 지소)에 설치하였다.

연구 방법

개체의 공간 분포도는 영구 방형구의 각 소 방형구에 출현하는 목본식물(DBH 2.5 cm 이상)의 기준점으로부터의 방향과 거리를 각각 나침반(SUNNTO)과 초음파 거리 측정기(Haglöf Vertex Laser VL400)로 측정하여 작성하였다. 분포도는 GIS 프로그램(ArcGIS 9.0; ESRI 2005)을 이용하여 작성하였다. 흉고직경은 직경 테일을 이용하여 측정하였다.

현존 식생의 지속적 유지 가능성 및 천이 경향을 예측하기 위하여 직경 및 수고의 계급별 빈도 분포도를 작성하였다. 빈

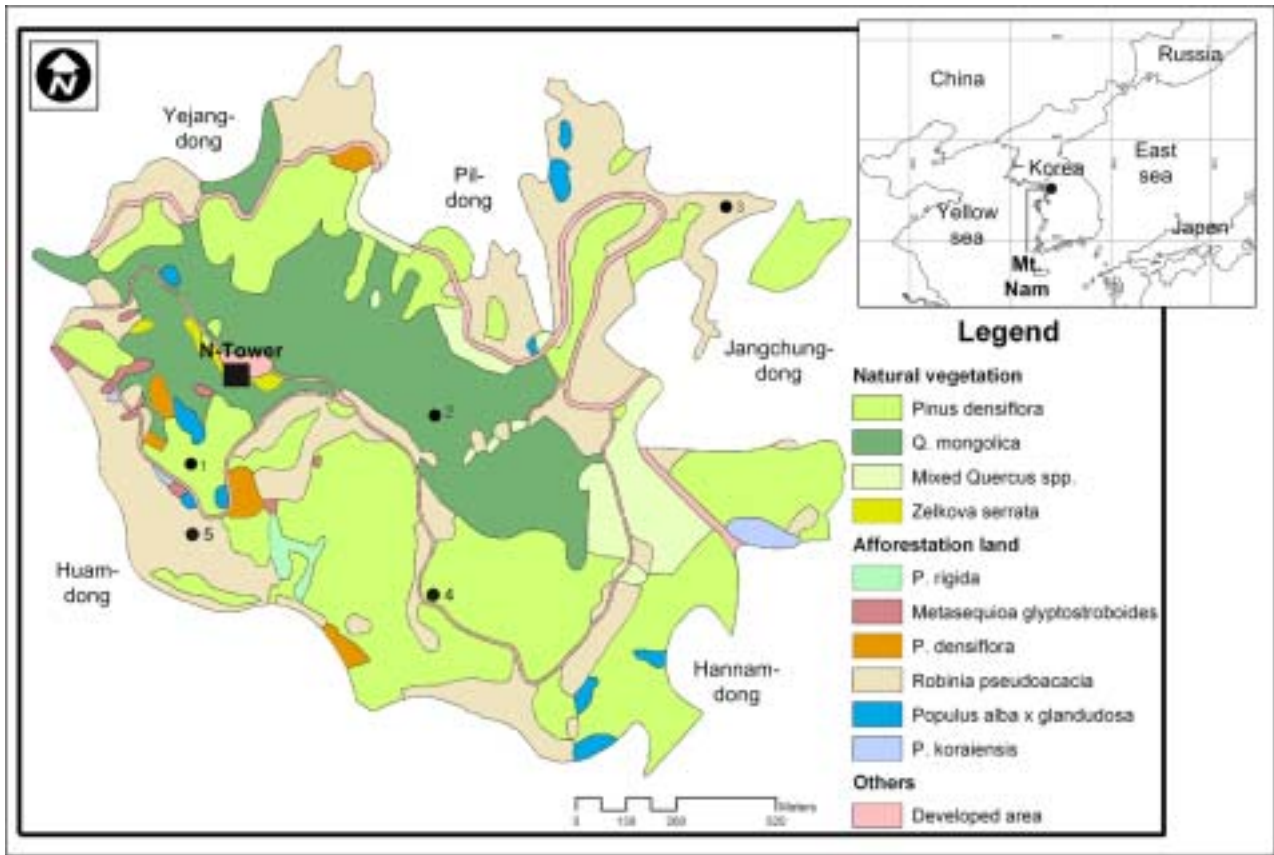


Fig. 1. A map showing vegetation and land use on Mt. Nam. Dots with numbers indicate the locations that permanent quadrats for long term ecological research were installed. 1 and 4, 2, and 3 and 5 indicate permanent quadrats for pine forest, oak forest, and black locust plantation, respectively.

도 분포도의 직경 계급은 조사 대상 식물 중 가장 작은 개체와 큰 개체 사이의 직경을 등간격의 10개 계급으로 구분하였고, 수고 계급은 5 m 간격으로 구분하였다.

식생 조사는 Braun-Blanquet(1964) 법을 적용하여 수행하였다. 조사구 크기는 식생의 높이를 반영하여 10 m × 10 m 또는 20 m × 20 m 크기의 조사구를 적용하였다. 남산의 식생 조사는 국가 장기 생태 연구가 시작된 2005년에 수행되었고, 대조 지소로 삼은 다른 지역의 조사는 다양한 시기에 이루어졌다. 속리산과 월악산은 1985년, 설악산은 2003년, 인왕산과 홍릉은 1994년, 대모산, 아차산 및 청계산은 1997년, 불암산과 수락산은 1998년, 그리고 북한산은 2000년에 조사가 이루어졌다. 식생 조성을 지소 및 지역 간에 비교하기 위하여 서열법(DCA, Hill 1979)이 적용되었다. 서열법을 적용하기 위하여 각 종에 부여된 피도 계급을 그 계급의 식피율 범위의 중간 값으로 전환한 후 그것의 상대치를 구하여 각 종의 중요치로 삼았다. 서열화는 10% 이상의 출현 빈도를 가진 종을 대상으로 수행하였다.

남산과 대조 지소 소나무군락의 종 다양성은 종 순위-우점도 곡선을 작성하여 비교하였다(Magurran 2004).

결 과

종 조성

남산 소나무림의 종 조성 특성을 밝히기 위하여 남산에 설치된 영구방형구에서 수집된 식생 자료를 도시(서울)의 중심(인왕산 및 홍릉)과 외곽(대모산, 북한산, 불암산, 수락산, 아차산 및 청계산), 그리고 설악산, 속리산 및 월악산의 자연 지역에서 수집된 자료와 비교하였다(Fig. 2). 서열화 결과, 식분들은 I 축 상에서 자연 지역, 도시 외곽지역 및 도심 지역의 순서로 배열되는 경향이였다. 도심에 위치한 지소 중 남산의 지소들은 홍릉의 지소들과 함께 오른쪽에 치우쳐 분포하여 같이 도심에 위치한 인왕산의 지소들과 차이를 보였다. 도심 지역의 지소들에서는 때죽나무, 주름조개풀, 팔배나무 등의 식피율이 높았고, 자연 지역의 지소들에서는 꼬리진달래, 산앵도나무, 각시둥굴레 등의 식피율이 높았으며, 도시 외곽 지역의 지소에서는 노간주나무, 병꽃나무, 팔배나무 등의 식피율이 높았다. II 축 상에서는 식분들이 건습도 구배에 따라 배열되는 경향이였다. 즉 II 축 상의 위쪽에는 상대적으로 습한 지소의 식분들이, 그리고 아래쪽에는 건조한 지소의 식분들이 배열되는 경향이였다. 건

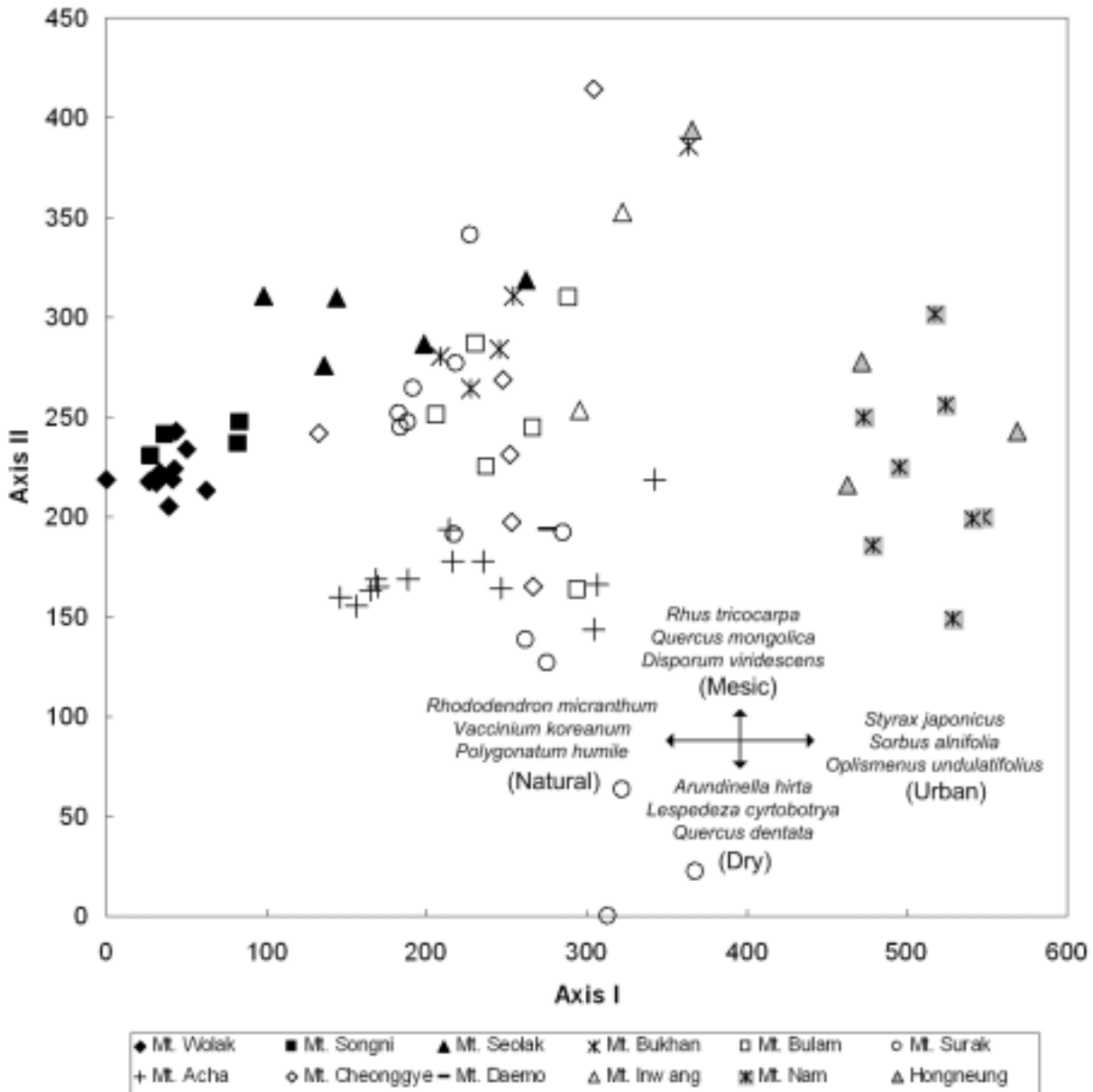


Fig. 2. Ordination of the Korean red pine stands located on several areas different in the degree of artificial disturbances.

조한 지소의 식분들에서는 새, 참싸리, 떡갈나무 등의 식피율이 높았고, 습한 지소의 식분들에서는 개울나무, 신갈나무, 애기나리 등의 식피율이 높았다.

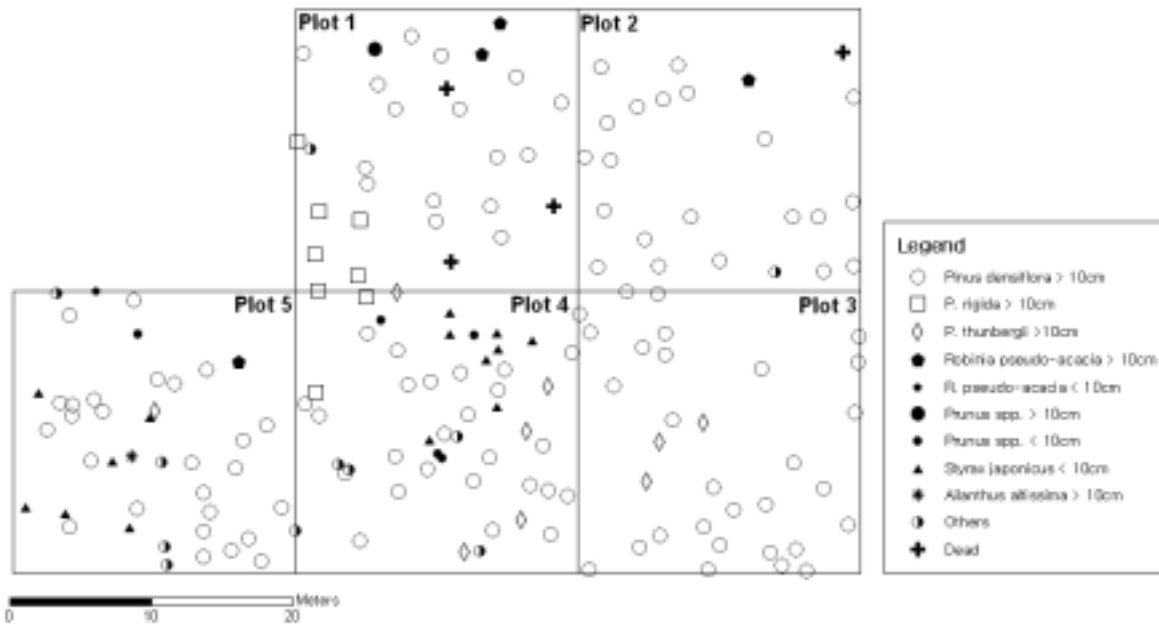
목본 식물의 공간 분포

제1지소에는 5개의 소방형구(Plots 1~5), 그리고 제2지소에는 4개의 소방형구(Plots 6~9)가 설치되었다(Fig. 3). 제1 방형구에는 소나무, 리기다소나무, 개벚나무, 아까시나무 및 가중나무가 출현하고 있다(Fig. 3a). 그리고 소나무와 리기다소나무 고사목이 출현하였다. 제2 방형구에는 소나무, 가중나무, 아까시나무, 그리고 소나무 고사목이 출현하고 있다. 제1 및 제2 방형

구에서 주목할 사항은 가중나무가 출현하는 것인데, 이 나무는 과거에 인위적으로 도입된 것으로 판단된다(Lee and Lee 2006). 제3 방형구에는 소나무와 리기다소나무가 출현하고 있다. 제4 방형구에는 소나무, 리기다소나무, 벚나무류, 때죽나무 등이 출현하였다. 제5 방형구는 소나무, 아까시나무, 벚나무류, 때죽나무, 리기다소나무, 가중나무 등이 출현하였다. Fig. 3a에서 제2, 3번 방형구를 제외한 나머지 방형구에는 최근 숲가꾸기 작업이 이루어졌다.

제6 방형구에는 소나무와 벚나무류가 출현하였다. 제7 방형구에는 소나무, 참나무류(신갈나무), 벚나무류 등이 출현하였고, 많은 수(12개체)의 고사목이 발생하였다. 고사목은 소나무

a)



b)

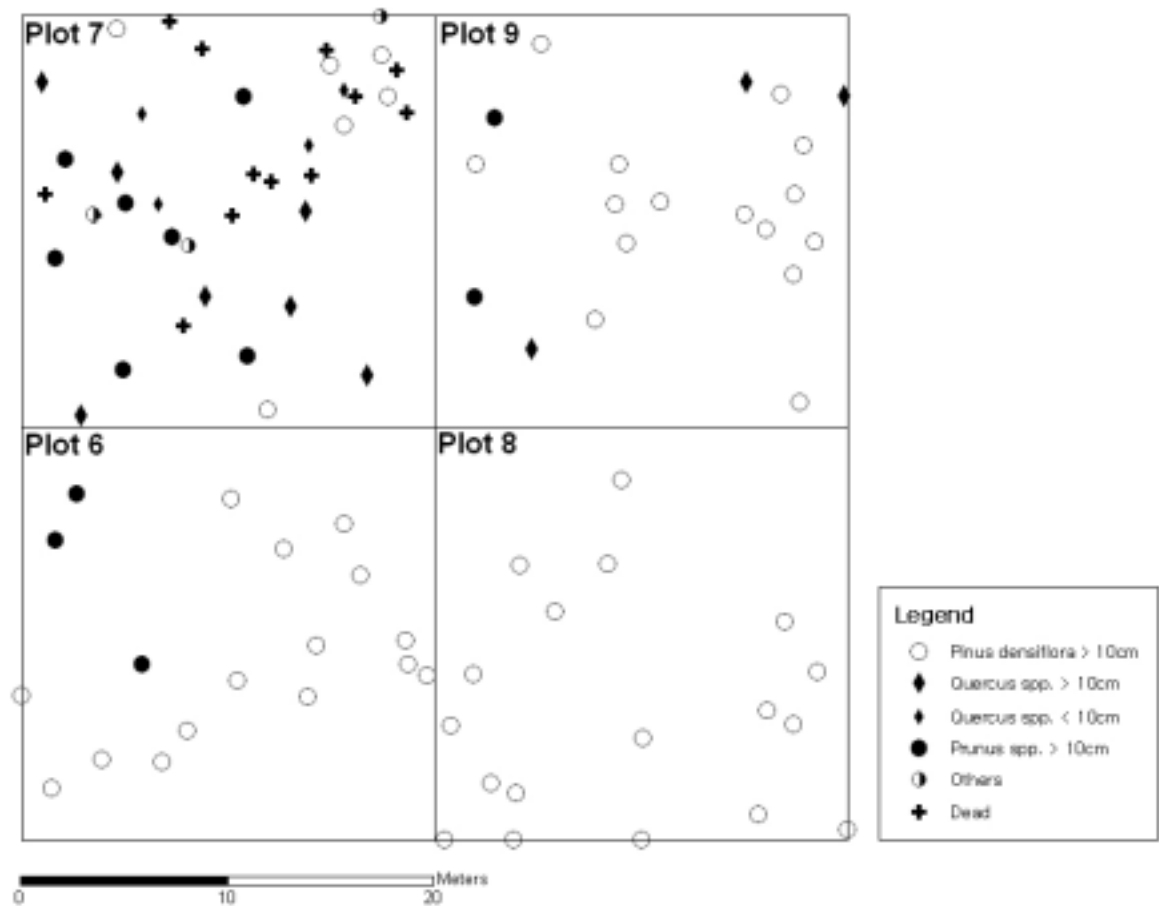


Fig. 3. Spatial distribution of major tree species in the pine forest permanent plots(a) the first site, b) the second site) installed in Mt. Nam.

와 뱃나무류로 구성되었다. 제8 방형구에는 소나무 1종만이 출현하였다. 제9 방형구에는 소나무, 참나무류(신갈나무), 뱃나무류 등이 출현하였다.

제7 방형구를 제외한 제6, 8 및 9 방형구의 주요 목본식물 분포는 최근의 숲가꾸기 작업으로 인해 단순한 모습을 보였다. 제7 방형구는 소나무림과 활엽수림의 경계 부분에 위치하고 있으나 성립하고 있는 목본식물의 흉고직경 분포와 수고 분포 등을 고려하여 소나무림으로 판정하였다.

이러한 영구 조사구의 자료는 현 단계에서 그 자료에 대한 해석보다는 현재 성립되어 있는 주요 식물의 생장에서 성숙 단계를 거쳐 노화에 이르는 과정, 새로운 종과 개체의 보충과 이입, 그리고 그러한 과정을 통한 그 숲의 대치 과정을 변화하는 환경 요인과 연관시켜 모니터링하는데 목적을 두고 있다.

직경 계급 빈도 분포

남산 소나무군락을 이루는 주요 종의 직경급 별 빈도 분포에서 소나무는 직경급 11.4 cm 이상에서 정규 분포형을 나타내었고, 그 이하의 계급에는 출현하지 않았다(Fig. 4). 소나무 외의 수종들은 직경급 39.9 cm 이하에서 역 J자형 분포를 보였는데, 때죽나무가 그 대부분을 차지하였다. 도시 외곽 지역인 수락산의 소나무군락에서 소나무는 직경 3.5 cm 이하의 계급에서부터 직경 35.0 cm의 계급에 이르기까지 출현 빈도 5~14% 이하의 낮은 빈도이지만 비교적 고르게 분포하였다. 참나무류는 역 J자형 분포를 보여 유식물이 계속 보충되고 있음을 확인할 수 있었다. 팔배나무는 직경 3.5 cm 이하에서 출현 빈도가 높았지만 참나무류와 비교하여 그 빈도가 매우 낮아 천이에 영향을 미칠 수 있는 수준은 아닌 것으로 판단되었다. 역시 도시 외곽에 분포하는 불암산의 직경 계급 분포도는 수락산의 것과 유사한 모습을 보였다.

자연지역인 속리산과 월악산에 분포하는 소나무군락에서 소나무는 성숙목 집단과 유령목 집단으로 대별되는 경향이였다. 참나무류와 기타 수종은 소나무와 비교하여 그 크기가 작은 계급에 분포하였지만 빈도가 낮아 천이의 진행에 영향을 미칠 수 있는 수준은 아닌 것으로 판단되었다. 설악산 소나무군락에서 소나무는 전체 직경 계급에서 낮은 빈도(3~10%)로 고르게 분포하였는데, 작은 직경급(10 cm 이하)에서 참나무류의 빈도가 높게(37.9%) 나타나 이들이 소나무군락의 천이를 가져올 것으로 판단되었다.

수고 계급 빈도 분포

남산 소나무군락을 이루는 주요 수종의 수고 계급 별 빈도 분포를 Fig. 5에 나타내었다. 남산 소나무의 수고는 5~25 m 범위를 나타내었고 10~15m 수고 계급에서 가장 높은 빈도(34.2%)를 나타내었다. 소나무군락에서 5 m 이하의 계급은 대부분 때죽나무(21.1%)가 차지하였고, 신갈나무와 외래종인 가중나무도 다수 출현하였다. 어린 식물(수고 5 m 이하)의 수고계급에서 소나무 개체는 보충되고 있지 않고 있었다.

종 다양성

12개 조사지역 소나무군락의 종 다양성을 종 순위-우점도 곡선을 작성하여 비교하였다(Fig. 6). 분석 결과, 소나무군락의 종 다양성은 종 풍부도가 극히 낮은 대모산과 속리산을 제외하면, 도시 외곽 지역(청계산, 북한산, 아차산, 수락산, 불암산), 자연 지역(설악산, 월악산) 및 도심 지역(홍릉, 남산)의 순서로 높은 경향이였다.

논 의

소나무림의 분포

소나무는 한반도 전역, 중국의 산둥반도 및 만주, 그리고 일본 열도에 분포한다(Critchfield와 Little 1966). 한반도 소나무림은 지역의 기후 조건에 맞는 낙엽활엽수림이 인간 활동에 의해 파괴된 후 성립되었다(Choi 1998). 화분 분석 결과, 온대 낙엽활엽수림으로 덮여 있던 한반도는 약 10,000 내지 6,000년 전부터 참나무림에서 소나무림으로 바뀌기 시작하였고, 더욱이 2,000년 전부터는 활발한 농경 활동의 영향으로 소나무림이 우세해지기 시작하였다(Choi 1998). 이에 더하여 신라시대(BC 57~AD 935)에는 소나무림을 철저히 보존해 왔고, 고려(AD 918~1392)와 조선왕조 시대(1392~1910)에는 이 법이 더욱 강화되었다(전 2004). 이러한 역사적 배경은 한반도 소나무림의 유지에 큰 영향을 미쳤다고 할 수 있다.

우리나라의 대표적 경관 요소의 하나로서 자리 잡고 있는 소나무림은 주거지와 가까운 곳에서 목재, 연료, 유기질 비료, 가축의 먹이 등의 지속 가능한 생산에 중요한 기여를 하였다(Hong and Nakagoshi 1996). 따라서 낙엽활엽수림은 인간이 접근하기 곤란한 장소에 한정되고 나머지 지역은 소나무림이 우점하였다(Lee and Hong 1998).

그러나 그들이 자연 상태로 성립될 때 그들의 분포 지역은 이와 차이를 보인다. 가령 서울에서 소나무림의 분포를 보면(서울시 2000), 그 분포지가 저지대와 고지대로 양분된다. 전자의 지소는 앞서 설명한 바와 같이 인위적 간섭에서 비롯된 분포지이다. 후자의 지소는 소나무림의 전형적인 분포지로서 그들이 토지 극상으로 성립한 지소이다(이 1995a, b, Lee et al. 2004). 이러한 지소는 매우 척박하고 특히 건조한 지소로서 여기에서 자라고 있는 소나무가 봄철의 가뭄기에 겪는 수분 스트레스는 사막에서 자라는 측백나무류와 유사한 수준이다(Lee et al. 2004). 따라서 특히 이러한 수분 스트레스 때문에 소나무와 경쟁 관계에 있는 참나무류의 생육이 어렵고, 대신 소나무가 우점하고 있는 것으로 판단된다(이와 이 2003).

남산에 성립되어 있는 소나무림 역시 인위적 간섭에 의해 성립, 유지되어 왔다.

소나무림의 천이

앞서 언급한 바와 같이 한반도에서 소나무림의 유지는 인간 간섭과 밀접하게 관계된다. 이와 같이 인간 간섭의 영향 하에

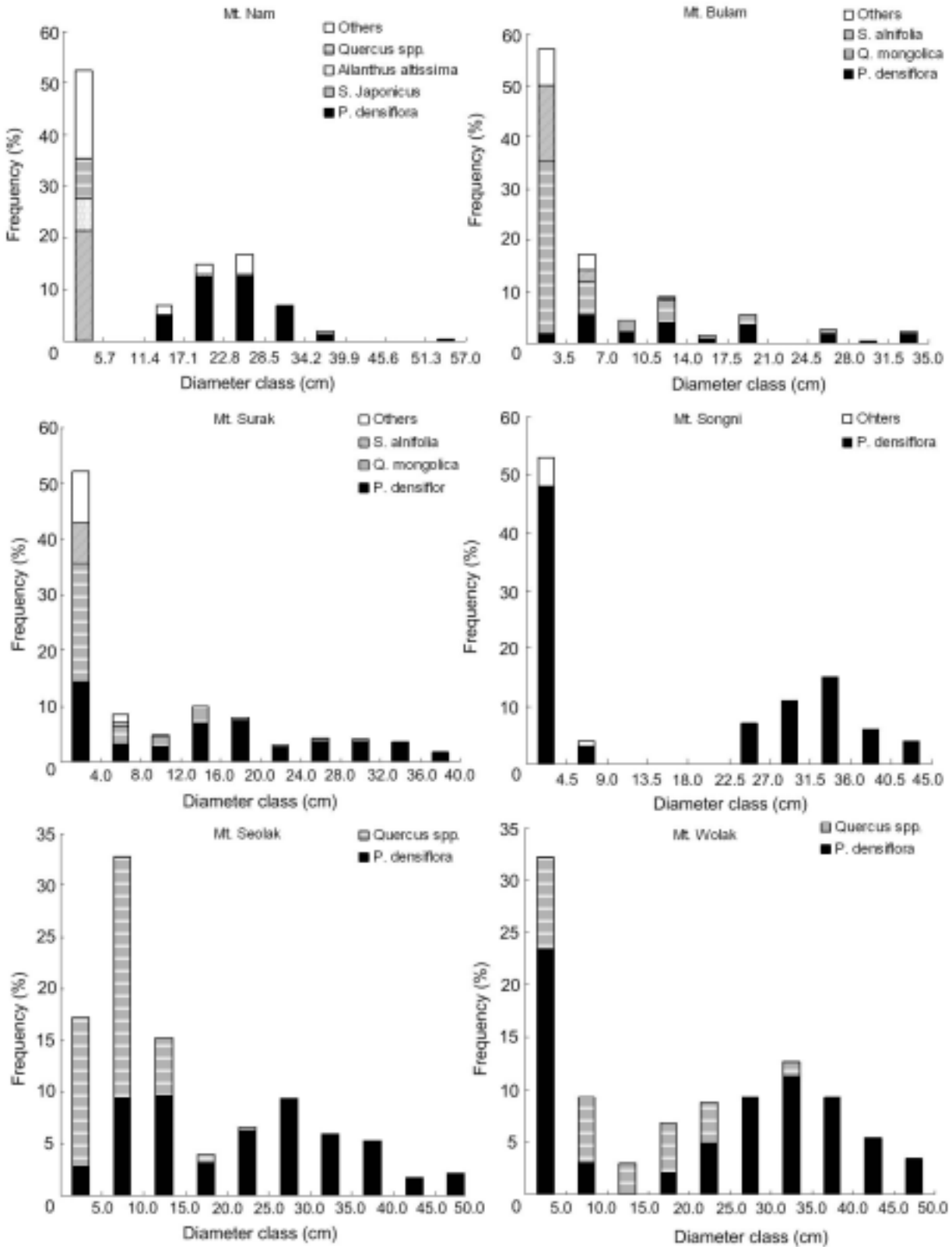


Fig. 4. Frequency distribution of diameter classes of major tree species of pine forests in Mts. Nam, Bulam, Surak, Songni, Wolak, and Seolak.

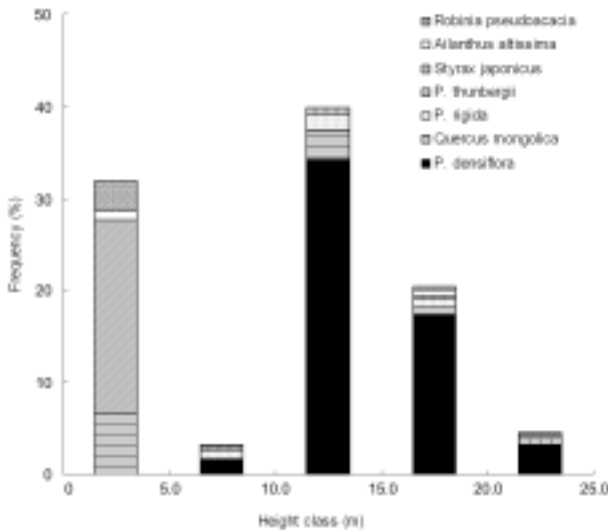


Fig. 5. Frequency distribution of height classes of major tree species of pine forest in Mt. Nam.

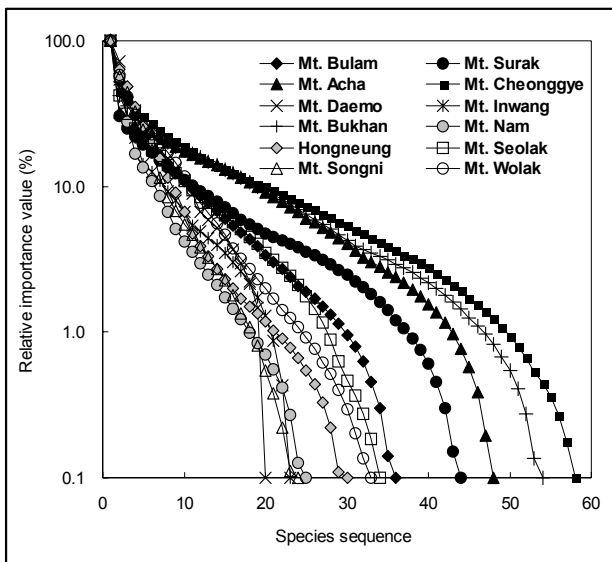


Fig. 6. Species rank-abundance curves of pine forest in urban center (Mts. Inwang and Nam, and Hongneung) and boundary (Mts. Acha, Bukhan, Bulam, Cheonggye, Daemo, and Surak), and natural areas (Mts. Seolak, Songni, and Wolak).

있는 대부분의 소나무림은 임상에 사람들이 베어낸 참나무류 등치로부터 발생한 맹아를 보유하고 있다. 이들은 인간의 간섭이 없으면 소나무림을 대치하여 천이를 진행시킬 수 있지만, 인간의 계속된 간섭이 그러한 진행을 지연시켜 왔다(이와 홍 1998). 그러나 1980년대 이후 산업의 발전과 경제 성장으로 인하여 식물 소재 대신 화석 연료, 화학 비료와 같은 석유 화학 제품이 널리 사용되게 되었다. 그러한 결과는 주민들에게 전통적인 삼림 관리 방식을 포기하게 하여 점차 소나무림이 낙엽활

엽수림으로 대치되어 왔다. 대치 수종으로서 낙엽활엽수는 대부분 참나무류로 이루어지는데, 대치 수종은 일반적으로 지형 요인에 의해 결정되었다(이 1989). 남산의 소나무군락은 대치 수종이 때죽나무로서 이러한 천이 과정에서 예외적인 모습을 보였다(Figs. 4 and 5).

남산지역 소나무림의 특징

남산의 소나무 임분들이 보여 준 다른 지역과 식생 조성의 차이는 주로 때죽나무, 팔배나무, 주름조개풀, 가중나무, 서양 등골나물 등에 기인하였다. 그 중 때죽나무와 팔배나무는 공업 단지와 같은 극심한 오염 지역에 번성하는 종(Lee et al. 2002, 2004)이고, 가중나무, 서양등골나물 및 주름조개풀은 교란된 지소에서 번성하는 종이다(Lee et al. 2003, Lee and Lee 2006). 교란된 지소에서 번성하는 종 중 앞의 두 식물은 외래종이다.

이처럼 남산 소나무림의 식생 조성의 차이를 주도하는 종은 오염 지역 내성종과 교란된 지소에 번성하는 종으로 밝혀졌다(Lee et al. 2002, Lee et al. 2004, Lee와 Lee 2006). 이러한 결과는 남산이 극심한 환경 오염과 인간 간섭에 노출되고 있음을 반영한다.

식생의 동태 측면에서도 남산의 소나무군락은 다른 지역과 차이를 보였다. 즉, 대부분 인위적으로 성립된 도시 외곽의 소나무림은 참나무림으로의 천이 가능성을 보였다(Fig. 4), 토지 극상림의 형태로 존재하고 있는 자연 지역의 소나무림은 지속적 유지 가능성을 보였다(Fig. 4). 남산의 소나무림은 다른 식생으로 천이될 가능성의 측면에서는 전자와 유사한 경향을 보였으나 대치 수종에서 차이를 보였다. 즉, 도시 외곽의 소나무림이 소나무와 비교하여 상대적으로 더 큰 내음성과 경쟁력을 갖는 참나무림으로 진행 천이가 이루어지는 반면에 남산의 소나무림은 아교목성 수종인 때죽나무로 천이될 가능성을 보여 퇴행천이 경향을 나타내었다(Barbour et al. 1999). 더욱이 때죽나무는 공업단지와 같이 오염이 심하고 인간 간섭이 빈번한 장소에서 군락을 이루는 식물로서 주목된다(Lee et al. 2002, 2004). 남산에서 이들이 번성하는 것도 유사한 배경에 기인하는 것으로 평가되고 있어 향후 이들의 성립 배경을 비롯하여 그들의 동태, 그리고 그들과 소나무 사이의 경쟁 관계 등에 대한 집중적인 연구가 요구된다.

주요 종의 높이 분포에서 5 m 이하의 개체 중 가장 많이 출현하는 때죽나무 외에 가중나무가 다수 출현한 것도 특이한 현상 중의 하나이다. 가중나무는 세계적으로 널리 알려진 외래종이다(Miller 1997). Lee and Lee(2006)는 가중나무의 주요 분포 지는 도로 변, 숲 가장자리, 등산로 변 등 인위적 간섭이 빈번한 장소로서, 인간의 도입과 같은 직접적 간섭이 이 식물의 침입을 도왔고, 그 후에는 교란된 지소를 중심으로 이들이 번성하여 인위적 교란이 그들의 번성에 크게 간여하고 있음을 밝히고 있다. 본 조사 지역에서 그들이 번성하는 것 또한 이러한 인위적 간섭에 기인한다. 이들의 초기 침입과 정착은 종자에 기원하지만 정착 후 그들은 종자 번식과 영양 번식 둘

다에 의해 번식하며 그들의 세력을 확장하여 다른 식물의 정착을 방해하여 지소의 종 다양성을 낮추고 안정성을 위협한다 (Swearingen 2006). 이런 점에서 외래종 침입의 위험성을 찾을 수 있다.

남산 소나무군락의 종 다양성을 다른 조사 지소와 비교한 결과, 도시 외곽 지역의 것보다는 크게 낮았고, 자연 지역의 것보다도 낮았다(Fig. 6). 이와 같이 낮은 종 다양성은 종 조성에 대한 분석 결과에서도 나타났듯이, 환경 오염과 과도한 인간 간섭에 기인한 것으로 판단된다. 특히, 소나무군락을 인위적으로 유지시키고 미관을 향상시킨다는 목적으로 시행되는 숲 가꾸기 작업은 종 다양성의 저하를 가져오는 숲 구조의 단순화, 특이한 종 조성 및 외래종 침입 등을 발생시키는 주요 원인으로 생각된다. 이런 점에서 남산 소나무군락에 대한 숲 가꾸기 차원의 작업에 대한 면밀한 생태학적 재검토가 요구된다. 특히 가중나무, 서양등골나물과 같은 외래종의 침입과 번성은 종 다양성을 감소시키고 나아가 생태적 안정성을 위협하는 요인으로서 이러한 유형의 숲 관리에 대해 신중한 고찰이 요구된다 (Lee and Lee 2006).

적 요

국가 장기 생태 연구를 위해 구축된 서울 남산의 영구 방형구에서 소나무림의 종 조성, 주요 종의 공간 분포, 직경 및 수고 계급 빈도 분포, 그리고 종 다양성이 분석되었다. 수집된 자료는 도심의 다른 지역(인왕산 및 홍릉), 도시 외곽 지역(아차산, 북한산, 불암산, 청계산, 대모산 및 수락산) 및 자연 지역(설악산, 속리산 및 월악산)의 자료와 비교하여 남산 소나무림의 특징을 밝혔다. 남산 소나무림은 도심의 다른 지역의 소나무림과 유사한 종 조성을 나타내었다. 그러나 도시 외곽의 것과는 약간의 차이를 보였고, 자연 지역의 것과는 큰 차이를 보였다. 남산 소나무림이 보여준 그러한 차이는 대체로 그곳에서 높은 식피율을 나타낸 때죽나무, 팔배나무, 주름조개풀, 가중나무, 서양등골나물 등에 기인하였다. 주요 수종의 직경 및 수고 계급 분포를 분석하여 예측한 결과, 남산의 소나무림은 때죽나무 숲으로 천이될 가능성을 보였다. 이러한 대체 수종은 아교목일 뿐만 아니라 비내음성 종으로서 그러한 천이 경향은 퇴행 천이로 해석될 수 있었다. 도시 외곽 및 자연 지역의 소나무림들은 각각 토지 극상으로서 그 자체가 유지되거나 참나무 숲으로 천이될 가능성을 보여 남산 지역과 차이를 나타내었다. 남산 소나무림의 종 다양성은 도시 외곽 및 자연 지역의 것보다 낮았다. 이처럼 낮은 종 다양성의 원인은 이 지역의 종 조성을 다른 지역의 것과 다르게 하는데 기여한 몇몇 종의 과도한 번성에 기인한 것으로 판단되었다. 그러한 차이를 가져온 식물들은 오염된 공업단지에 번성하는 종(때죽나무와 팔배나무), 교란된 지소를 선호하는 종(주름조개풀) 및 외래종(가중나무와 서양등골나물)이었다. 그러한 결과는 남산이 심한 환경 오염과 과도한 인간 간섭에 노출되어 있음을 반영한다.

감사의 글

본 연구는 환경부의 “국가장기생태연구사업”으로 지원받은 과제임. 대조지소에 대한 자료 수집은 서울여자대학교의 지원으로 이루어졌음.

인용문헌

- 김지홍, 이병천, 이유미. 1996. 남산 및 광릉 산림생태계의 식물 종 다양성의 비교 평가. 한국임학회지 85: 605-618.
- 박봉규. 1987. 남산공원 (서울)의 식생과 토양요인에 관하여. 자연보존 60: 13-18.
- 서울특별시. 1992. 남산 제 모습 가꾸기 기본계획. 서울특별시, 서울. 238p.
- 서울시. 2000. 서울시 비오톱 현황조사 및 생태도시 조성 지침. 서울특별시, 서울.
- 이경재. 1986. 남산공원의 자연환경실태 및 보전대책. 서울특별시, 서울. 78p.
- 이은복. 1987. 남산의 식물상. 자연보존 59: 36-48.
- 이창석, 이안나. 2003. 한국에서 수분수지의 생태적 중요성과 대기오염 및 토양 산성화로 인한 식물의 수분스트레스 증대 효과. 한국생태학회지 26: 143-150.
- 이창석, 조현제, 문정숙, 김재은, 이남주. 1998. 복원 및 경관생태학적 원리에 근거한 남산의 생태공원화 계획. 한국생태학회지 21: 723-733.
- 이창석. 1995a. 한국 소나무림의 교란체제. 한국생태학회지 18: 179-188.
- 이창석. 1995b. 한국 소나무림의 교란 후 재생. 한국생태학회지 18: 189-201.
- 이창석. 1989. 솔잎혹파리 피해 소나무림의 천이에 관한 연구. 서울대학교 박사학위논문, 서울.
- 이창석. 1992. 대기오염으로 파괴된 식생의 복원에 관한 연구 (박사후 과정 연구보고서). 한국과학재단, 서울.
- 임양재, 박재홍, 한창섭. 1987. 서울 남산의 식생. 중앙대학교 자연과학연구소 논문집 제1편, 서울.
- 전병익. 1995. 남산의 식생과 자연보존대책. 광복 50주년 기념 남산 제모습 찾기 학술발표회. 산림청, 서울, pp 1-18.
- 전영우. 2004. 우리가 정말 알아야 할 우리 소나무. 현암사, 서울.
- 최기룡. 1998. 한반도 후빙기의 저지대 식생사. 한국생태학회지 21: 169-174.
- Barbour MG, Burk JH, Pitts WD, Gilliam FS, Schwartz MW. 1999. Terrestrial Plant Ecology, 3 Ed. Addison Wesley Longman, New York.
- Braun-Blanquet J. 1964. Pflanzensoziologie: Grundzude der Vegetationskunde, 3rd ed. Springer-Verlag, New York.
- Critchfield, WB, Little, EL. 1966. Geographic distribution of the pines of the world. USDA Forest Service Miscellaneous Publication 991.
- Environmental System Research Institute (ESRI). 2005. ArcView GIS. Environmental System Research Institute, Inc., New York.
- Freedman B. 1995. Environmental ecology : The impacts of pollution and other stress on ecosystems structure and function. Bill

- Freedman, Canada.
- Grey GW, Deneke FJ. 1986. Urban forestry, 2nd ed. John Wiley and Sons, New York.
- Hill MO. 1979. DECORANA -A FORTRAN program for detrended correspondence analysis and reciprocal averaging-. Cornell University Ithaca, New York.
- Hong SK, Nakagoshi N. 1996. Biomass changes of a human-influenced pine forest and forest management in agricultural landscape system. Korea J Ecol 19: 305-32.
- Lee CS, Hong SK. 1998. Changes of landscape pattern and vegetation structure in rural area disturbed by fire. Korean J Ecol 21: 389-399.
- Lee, CS, Kim JH, Yi H, You YH. 2004. Seedling establishment and regeneration of Korean red pine (*Pinus densiflora* S. et Z.) forests in Korea. Forest Ecology and Management 199: 423-432.
- Lee CS, Moon JS, Hwangbo JK, You YH. 2002. Selection of pollution-tolerant plants and restoration planning to recover the forest ecosystem degraded by air pollution in the industrial complex. Korean J Biol Sci 6: 59-64.
- Lee HW, Lee CS. 2006. Environmental factors affecting establishment and expansion of the invasive alien species of tree of heaven (*Ailanthus altissima*) in Seoripool Park, Seoul. Integrative Biol Sci 10: 27-40.
- Magurran AE. 2004. Measuring biological diversity. Blackwell, New York.
- Miller RW. 1997. Urban forestry. Planning and managing urban greenspaces. 2nd ed. Prentice-Hall Inc., Landon.
- Smith WH. 1990. Air pollution and forests. 2nd ed. Springer-Verlag, New York.
- Swearingen JM. 2006. Tree-of-Heaven. *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle. Quassia family (Simaroubaceae). Available from www.nps.gov/plants/alien/fact/aial1.htm.
- Taoda H. 1979. Effect of urbanization on the green broad-leaved forest in Tokyo, Japan. In: Vegetation and Landschaft Japans (Miyawaki A, Okuda S eds). The Yokohama phytosociological Society, Yokohama. pp 161-165.
- (2006년 12월 7일 접수, 2006년 12월 21일 채택)

K C I