우리나라 소나무 주요유형지별 식생구조와 환경요인

윤정원¹ · 김용식² · 김기송¹ · 성정원¹ · 박기환¹ · 이창현¹ · 신현택³ · 이명훈^{1,*}
¹영남대학교 대학원 조경학과, ²영남대학교 조경학과, ³국립수목원

Community Structure and Environmental Factors of the Major Type of *Pinus densiflora* Populations in Korea

Jung Won Yoon¹, Yong Shik Kim², Gi Song Kim¹, Jung Won Sung¹, Ki Hwan Park¹, Chang Hyun Lee¹, Hyun Tak Shin³ and Myung Hoon Yi^{1,*}

¹Department of landscape Architecture, Graduate School, Yeungnam University, Gyeongsan 712-749, Republic of Korea

²Department of landscape Architecture, Yeungnam University, Gyeongsan 712-749, Republic of Korea

³Korea National Arboretum, Pocheon 487-821, Republic of Korea

Abstract

The populations of *Pinus densiflora* in South Korea were grouped into 4 types; Community of *Pinus densiflora-Quercus serrata*, Community of *Pinus densiflora-Quercus mongolica*, Community of *Pinus densiflora-Fraxinus sieboldiana* & *Rhus javanica* & *Quercus mongolica* and Community of *Pinus densiflora-Prunus sargentii* & *Rhododendron mucronulatum*. The Shannon diversity index was varied between 0.9171 and 1.5016, while the Similarity index was varied between 43.18 and 72.16. The species of *Pinus densiflora* are correlated positively significant with *Carex humilis* var. *nana*, *Quercus serrata* and *Atractylodes ovata* and negatively significant with *Aster scaber* and *Sorbus alnifolia* in order. According to the Correlation analysis, the relationship between the distribution of *Pinus densiflora* populations and the environment factors are closely related with the character of forest soil. Thus types for *Pinus densiflora* are differed. pH, Ex. K and Ex. Ca of *Pinus densiflora* populations effect No. of species and H'(shannon index). Canopy open effects No. of Individuals of *Pinus densiflora* community.

Key Words: community of *Pinus densiflora*, vegetation structure, similarity, environmental factors

서론

전 세계적으로 한국과 만주, 일본 및 중국의 일부지역에 분포하는 소나무(*Pinus densiflora*)는 우리나라에 분포하는 상록침엽수 가운데 가장 많은 식물종을 포함하며, 한반도에 25종이 생육한다. 이 가운데 5종이 자생하고

방크스소나무, 백송, 리기다소나무, 스트로브잣나무, 구주소나무 등과 같은 외래수종도 다수 식재되어 있다(Kong 2004). 우리나라에서 소나무는 생활문화와 밀접한 관련성을 맺고 있다. 하지만 국가적인 보호책에도 불구하고 솔잎혹파리 등의 각종 병해충, 환경변화, 자연감쇠 및 지구온난화에 따른 경쟁수종의 번성으로 점차 면

Received: April 5, 2013. Revised: November 14, 2013. Accepted: December 17, 2013.

Corresponding author: Myung Hoon Yi

Department of landscape Architecture, Graduate School, Yeungnam University, Gyeongsan 712-749, Republic of Korea

Tel: 82-53-810-3807, Fax: 82-53-810-4660, E-mail: sorbus@ynu.ac.kr

적이 감소하고 있다(Lee and Hong 2004). 이에 따라 소나무에 관한 연구는 병해충(Kim et al. 2012a), 식생구조(Kim et al. 2012b; Lee et al. 2012), 배양(Kim et al. 2012c) 등 많은 연구가 지속적으로 진행되고 있다. 특히 소나무 지역별 혹은 지형적 특성에 관한 연구는 주왕산국립공원(Jo et al. 1995), 변산반도국립공원(Choi et al. 2009), 속리산국립공원(Lee et al. 2009), 오대산국립공원(Lee et al. 1996) 및 설악산국립공원(Lee et al. 1998) 등 국립공원 내 소나무림을 중심으로 이루어져 왔으며, 우리나라 전역의 소나무림을 대상으로 한 연구(Lee et al. 2006; Cho and Lee 2011)는 연구범위의 한계로 인해 다소 부족하다.

이에 본 연구는 우리나라의 기후와 지형적 특성에 따라 동북형, 금강형, 중남부평지형, 안강형, 중남부고지형, 위봉형 등 6개의 형질로 구분되는(Uyeki 1928) 소나무 주요 유형지별 개체군의 서식 환경을 조사·분석하여 생태적 특성을 밝히고, 식물군집구조를 파악하고자 한다. 이를 통해 우리나라 소나무 주요 유형지별 개체군 형질에 따른 군집을 분류하고, 토양환경 뿐만 아니라 지형적 특성 및 환경조건과 소나무 개체군과의 상관관계 분석을 통해 환경에 따른 소나무 군집의 차이 및 관계를 규명하고자 한다.

재료 및 방법

공간적 범위

우리나라의 소나무 군집은 해발 500 m를 전후로 분포하며, 크게 동북형·금강형·중남부평지형·위봉형·안강형·중남부고지형 등 6개의 형질로 구분된다(Uyeki 1928). 이는 우리나라 기후와 지형적 특성에 따른 수관 형태의 지역적 차이, 개체변이, 생장속도 및 생리적 차이 등에 의한 구분이다(Korean Agricultural Information Institution 2006). 이들의 형질이 뚜렷이 나타나는 순림이 잘 보존된 군집에 가까운 식분을 형질별로 선정하되 대부분의 임상이 유령림인 위봉형(Ahn 2012)의 최소대상지인 3곳을 기준으로, 10×10 m 크기의 방형구를 총 18개 선정하였다(Fig. 1).

조사분석

식생군집구조

식물군집구조는 방형구법(Quadrat method)을 이용하였다. 층위구분은 상층수관을 형성하는 수목을 교목층으로, 교목층 이하 수목 중 수고 2 m 이상을 아교목층으로, 0.5~2 m 사이를 관목층으로, 수고 0.5 m 미만을 초

본층으로 구분하였다. 교목층, 아교목층, 관목층은 수종명, 흉고직경(DBH), 수고, 수관폭을 조사하였으며, 초본층은 식물사회학적방법(Braun-Blanquet 1964)에 따라 피도와 개체수를 조합한 우점도와 군도를 적용하였다. 이상의 자료를 토대로 상대우점도(Importance Percentage: I.P) 및 평균상대우점도(Mean Importance Percentage: M.I.P)를 산출하였다(Curtis and McIntosh 1951). 식생조사는 2010년 6월부터 2011년 10월까지 실시하였다.

군집의 분류는 상대우점치 분석 자료를 토대로 PC-ORD 5.0 프로그램을 통해 종간의 상호의존성을 통한 Detrended Correspondence Analysis (DCA) 방법을 적용 TWINSpan 분석을 실시하여 군집을 분류하였다. 분류된 군집별 Shannon의 종다양도(Species Diversity: H'), 최대종다양도(H'_{max}), 균재도(Evenness: J') 및 우점도(Dominance: $1/J'$)를 분석하였다. 소나무와 주요 수종간의 상관관계는 평균상대우점치를 이용하여 Pearson의 방법을, 군집별 유사도 지수는 Whittaker (1956)의 방법을 적용하였다.

환경요인 분석

소나무 개체군 내 빛 환경을 평가하기 위해 디지털카메라(Nikon D80s, Nikon Inc.)와 화각(시야각)이 180°인 어안렌즈(4.5 mm F2.8 EX DC, SIGMA Inc.)를 이용하여 임상 2 m 높이에서 수직방향으로 천공사진을 5회 반복하여 촬영하였다. 촬영한 화상을 Gap Light Analyzer Version 2.0을 이용하여 수관개방율(Canopy openness)을 산출한 후 평균값을 도출하였다.

소나무 개체군의 토양 화학적 특성을 조사하기 위해 각 조사지에서 임의로 3곳을 선정하여 낙엽과 부식층을 제거한 뒤 토양 시료를 채취하였다. 음건 후 H₂SO₄, 유기물(O.M), 토양산도(pH), 인산(P), 치환성양이온(Ex. K, Ex. Ca, Ex. Mg), 전기전도도(CEC) 및 전질소(T-N)를 분석하였다. 토양의 화학적 특성 외에 조사대상지의 해발고도, 사면방향, 경사도, 노암율 및 토성(모래, 미사, 점토의 구성비율)을 함께 분석하였다. 이를 토대로 군집의 종다양도와 빛 환경을 비롯한 환경요인과의 상관관계를 Pearson의 방법에 따라 분석하였다.

결과 및 고찰

식생군집구조 분석

군집분류는 식생에 대하여 식생자료를 바탕으로 식별종(Differential species)에 의해 구분하는 것으로, 연구

Fig. 1. Studies sites.

대상지 18개소에서 출현한 교목층, 아교목층의 수종을 대상으로 평균상대우점치를 분석하였다. 이후 Classification 분석 중 TWINSpan 기법을 적용하여 군집을 분류하였다. TWINSpan의 제 1, 2, 3 Division에 의해 4개의 군집으로 분리되었다. 이들의 군집유형은 모두 소나무 우점으로 소나무 이외에 교목층과 아교목층에서 높은 상대우점치를 보이는 수종의 차이에 따라 분리되었다(Fig. 1).

분류된 4개의 군집 특성을 분석하기 위해 조사구별 평균상대우점치를 분석한 결과 18개 조사구 모두 소나무가 우점하였다. 군집 I (조사구 4, 5, 6)은 소나무가 우점하는 가운데 졸참나무가 높은 평균상대우점치를 보이는 소나무-졸참나무 군집으로 분류하였다. 군집 II (조사구 16, 17, 18)는 소나무가 우점하는 가운데 신갈나무가 높은 평균상대우점치를 보이는 소나무-신갈나무 군집으로 분류하였다. 군집 III (조사구 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13)은 소나무가 우점하는 가운데 쇠물푸레, 붉나무, 신갈나무 등의 낙엽활엽수가 경쟁하는 소나무-낙엽활엽수혼효림으로 분류하였다. 마지막으로 군집 IV (조사구 1, 2, 3)은 소나무가 우점하는 가운데 아교목층에서 산벚나무와 관목층의 진달래가 높은 평균상대우점치를 보이는 소나무-산벚나무-진달래 군집으로 분류하였다(Table 1).

DCA 분석 결과 DCA 제 1축과 제 2축의 eigenvalue가 각각 43.5%, 26.1%로서 total variance에 대한 집중률이 높아 본 기법의 이용이 타당하였다. 제 1축의 왼쪽에는 졸참나무와 신갈나무의 우점치가 높은 조사구(군집 I, II), 오른쪽에는 낙엽활엽수의 우점치가 높은 조사구(군집 III, IV)들이 배열되었다(Fig. 2). 따라서 DCA 제 1축에서 종조성이 이질적으로 출현하는 것으로 보아 천이 진행 상태는 서로 다른 것으로 나타났다. DCA 분석과 TWINSpan 분석 결과 유사한 군집으로 분류됨에 따라 4개의 군집으로 분류함이 바람직하다.

일반적 개황

우리나라 소나무 개체군을 대상으로 TWINSpan 분석에 의한 4개 군집의 일반적 개황을 알아보았다(Table 2). 군집 I은 해발고 354~365 m에 위치하며 경사향은 남서사면에 위치한다. 경사도는 25~30°로 다소 급경사이며 암반율은 25~30% 내외이다. 조사구는 모두 산복사면에 위치하며 종수는 27~50종이다. 식피율은 교목층이 70%, 아교목층이 20~25%이며 교목층 평균수고는 13.7~14 m이다. 군집 II는 해발고 347~356 m에 위치하며 경사향은 모두 북서사면에 위치한다. 경사도는

Table 1. Mean Importance Percentage of major species by stratum in four communities

Community type	I			II			III						IV					
	4	5	6	16	17	18	7	8	9	10	11	12	13	14	15	1	2	3
Scientific name																		
<i>Pinus densiflora</i>	26.43	37.28	27.61	40.45	41.74	40.86	40.00	40.00	40.00	40.03	40.06	40.49	50.47	40.31	51.06	49.43	44.28	41.37
<i>Quercus mongolica</i>	8.42	23.38	0.79	28.45	25.50	33.30	1.13	1.44	0.86	0.74	0.59	0.30	5.07	7.75	2.74	0.09	-	1.45
<i>Carex humilis</i> var. <i>nana</i>	-	0.46	0.72	4.24	4.17	2.12	-	0.09	0.68	4.28	4.39	4.77	10.43	1.91	5.88	0.53	0.85	-
<i>Quercus serrata</i>	20.54	16.51	35.88	-	-	-	0.28	0.41	1.58	3.88	4.41	1.28	1.08	1.49	2.92	3.65	0.29	1.76
<i>Spodiopogon cotulifer</i>	-	0.16	0.28	1.63	0.45	0.81	-	0.25	0.45	-	-	-	2.82	0.33	0.47	0.40	0.21	0.58
<i>Prunus sargentii</i>	18.31	4.48	13.76	-	-	0.08	1.22	1.02	3.30	0.18	14.14	0.62	-	-	-	11.13	8.42	0.96
<i>Quercus acutissima</i>	0.48	-	0.72	-	-	-	0.51	0.51	0.25	9.25	3.46	32.48	0.42	1.45	0.01	0.06	-	0.15
<i>Rhus tricoarpa</i>	2.18	0.58	0.53	1.50	7.79	3.83	0.24	1.79	0.22	-	-	-	0.34	5.87	6.62	-	-	-
<i>Symplocos chinensis</i> f. <i>pilosa</i>	3.80	0.13	0.36	0.27	0.38	0.24	-	0.15	-	-	0.08	0.01	0.41	0.30	2.05	-	-	-
<i>Atractylodes ovata</i>	-	0.15	0.11	0.03	0.04	0.05	-	0.09	-	-	-	-	0.14	0.06	0.02	0.15	0.09	0.11
Others	19.84	16.87	19.25	23.44	19.93	18.71	56.63	54.24	52.66	41.65	32.88	20.05	28.83	40.54	28.24	34.56	45.85	53.62

Fig. 2. Dendrogram eighteen sites classified by TWINSpan Classification.

10~35°로 다양하며 암반율은 20~30% 내외이다. 조사구는 모두 산복사면에 위치하며 종수는 25~31종이다. 식피율은 교목층이 65~70%, 아교목층이 10~15%이며 교목층 평균수고는 12.4~16.7 m이다. 군집 III은 해발고 122~585m에 위치하며 경사향은 남서 및 남동사면에 위치한다. 경사도는 5~15°이며 암반율은 1~5% 내외이다. 조사구는 모두 산복사면에 위치하며 종수는 28~66종이다. 식피율은 교목층이 60~75%, 아교목층이 15~35%이며 교목층 평균수고는 8.8~18 m이다 (Table 2). 군집 IV는 해발고 46~49 m에 위치하며 경사향은 남서 및 남사면에 위치한다. 경사도는 5°이며 암반율은 5~10% 내외이다. 조사구는 모두 산복사면에 위치하며 종수는 32~48종이다. 식피율은 교목층이 65~70%, 아교목층이 30~35%이며 교목층 평균수고는 9.1~11.9 m이다 (Table 2). 우리나라 소나무 개체군은 우리나라 소나무 개체군의 일반적 개황을 살펴본 결과, 해발고 200~300 m를 중심으로 집중 분포하며 (Lim 2001), 모든 방위에서 분포하는 (Ahn 2012) 기존 연구결과와 유사한 분포를 보인다.

식물군집구조

군집별 상대우점치 및 평균상대우점치

4개의 군집으로 분류된 각 군집의 상대우점치와 평균상대우점치를 분석하였다 (Table 3). 군집 I (조사구 4, 5, 6)은 교목층에서 소나무(I.P: 76.3%)가 아교목층에서는 졸참나무(I.P: 46.5%)가 관목층에서는 졸참나무(I.P: 23.7%)의 세력이 우세하였으며, 지피층에서는 맑은대쭉(I.P: 31.0%)가 우세하였다 (Table 3).

군집 II (조사구 16, 17, 18)는 교목층에서 소나무(I.P: 100%)가 아교목층에서는 신갈나무(I.P: 77.3%)가 우점하였다. 관목층에서는 신갈나무(I.P: 26.7%)가 우세하며, 지피층에서는 맑은대쭉(I.P: 39.0%)가 우세하였다 (Table 3).

군집 III (조사구 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15)은 교목층에서 소나무(I.P: 100%)가 아교목층에서는 쇠물푸레(I.P: 14.6%), 붉나무(I.P: 12.0%)와 신갈나무(I.P: 13.2%)가 우점하였다. 관목층에서는 조록싸리(I.P: 18.6%)와 쇠물푸레(I.P: 15.1%)가 우점하며, 지피층에서는 가는잎그늘사초(I.P: 31.5%)가 우세하였다 (Table 3).

Table 2. General description of the physical and vegetation of the studied site

Community	I					II					III					IV				
	4	5	6	16	17	18	7	8	9	10	11	12	13	14	15	1	2	3		
Plot number	365	359	354	347	354	356	444	499	479	122	128	135	583	585	582	47	46	49		
Altitude (m)	S45W	S50W	S40W	N60W	N65W	N60W	S20W	S25W	S25W	S15W	S25W	S25W	S15E	S20E	S15E	S	S5W	S		
Aspect	25	30	30	35	20	10	10	10	5	15	10	10	13	10	5	5	5	5		
Slope (°)	25	35	25	30	25	20	5	5	5	5	5	5	1	1	3	10	5	10		
Rock (%)	Side	Side	Side	Side	Side	Side	Side	Side	Side	Side	Side	Side	Side	Side	Side	Side	Side	Side		
Topography	slope	slope	slope	slope	slope	slope	slope	slope	slope	slope	slope	slope	slope	slope	slope	slope	slope	slope		
No. of species	27	41	50	30	25	31	65	66	62	51	45	32	39	28	46	48	40	32		
Tree																				
Height (m)	13.7	13.8	14	12.4	13.5	16.7	16.8	15.8	15	9.3	8.8	8.8	15	18	17	9.1	11.9	10.6		
Mean DBH (cm)	22.5	25.4	25.8	20.9	23.4	22.6	22.5	24.6	22.8	19.4	18.3	14.4	40	45.8	41.6	15.5	19.8	19.9		
Cover (%)	70	70	70	65	70	65	75	75	70	65	60	65	75	75	70	70	70	65		
Subtree																				
Height (m)	2.8	2.5	3	3.2	4.3	3.3	2.9	3.5	3.5	3.8	3.8	2	3	4	4	2.9	2.8	2.8		
Mean DBH (cm)	2.6	2.5	2	3.5	5.5	4.6	3.7	2.9	4.4	4.5	4.7	4	1.8	3.3	3.3	4.4	4.7	3.3		
Cover (%)	20	25	20	15	15	10	35	35	35	15	20	10	10	15	10	30	35	30		
Shrub																				
Height (m)	1.0	0.8	1.1	1.6	1.7	1.6	1.3	1.2	1.2	0.9	1.0	1.1	1.4	1.3	0.9	0.9	0.9	1.1		
Cover (%)	15	20	15	35	25	20	55	50	40	25	20	25	75	70	70	35	40	35		
Ground																				
Height (m)	0.4	0.3	0.4	0.3	0.35	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.4	0.5	0.4	0.5	0.3	0.3	0.4		
Cover (%)	15	10	10	15	10	15	30	30	35	20	20	25	35	30	40	25	25	30		

Table 3. Importance Percentage of major species by stratum in four communities

Scientific name	Community type																			
	I					II					III					IV				
	T	ST	S	H	M	T	ST	S	H	M	T	ST	S	H	M	T	ST	S	H	M
<i>Pinus densiflora</i>	76.3	0.0	0.3	1.0	30.7	100	0.0	4.1	0.0	40.8	100	0.0	0.8	0.6	40.2	100	23.2	5.0	1.0	48.1
<i>Fraxinus stibaldiana</i>	0.0	7.0	0.0	0.0	2.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.6	15.1	2.2	7.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Prunus sargentii</i>	23.7	5.2	5.3	5.9	12.7	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	2.6	1.6	0.0	1.1	0.0	32.5	1.7	0.7	10.2
<i>Rhododendron mucronulatum</i>	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	1.0	1.4	1.2	0.7	0.0	0.0	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	63.0	58.4	18.4
<i>Quercus serrata</i>	0.0	46.5	23.7	3.6	19.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	0.0	1	0.6	0.0	7.5	2.3	2.1	2.9
<i>Quercus acutissima</i>	0.0	0.0	1.6	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.6	3.6	0.2	2.1	0.0	0.0	0.3	0.1	0.1
<i>Rhus javanica</i>	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.0	2.8	0.1	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Lespedeza maximowiczii</i>	0.0	0.0	5.3	0.1	1.1	0.0	0.0	12.6	0.0	2.5	0.0	0.0	18.6	1.6	3.9	0.0	0.0	0.0	0.8	0.1
<i>Zanthoxylum piperitum</i>	0.0	0.0	0.7	0.4	0.2	0.0	0.0	0.7	0.0	0.1	0.0	3.2	3.3	0.2	1.6	0.0	0.0	0.3	0.0	0.1
<i>Carex humilis</i> var. <i>nana</i>	0.0	0.0	0.0	5.2	0.5	0.0	0.0	0.0	34.5	3.5	0.0	0.0	0.0	31.5	3.2	0.0	0.0	0.0	6.3	0.6
<i>Quercus dentata</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.8	0.4	0.6	14.6	12.2	3.0	7.1
<i>Quercus mongolica</i>	0.0	25.0	19.1	0.8	11.4	0.0	77.3	26.7	0.7	28.6	0.0	13.2	8.5	0.6	5.7	0.0	0.0	2.0	0.0	0.4
<i>Rhus triocarpa</i>	0.0	0.0	3.0	0.0	0.6	0.0	4.4	12.0	0.5	3.8	0.0	9.7	6.0	0.2	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Artemisia keiskeana</i>	0.0	0.0	0.0	31.0	3.1	0.0	0.0	0.0	39.0	3.9	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.2
<i>Rhamnus davurica</i>	0.0	0.0	0.6	0.4	0.1	0.0	0.0	3.1	0.0	0.6	0.0	0.0	0.4	0.1	0.1	0.0	3.0	4.2	0.3	1.8
<i>Juniperus rigida</i>	0.0	10.5	0.3	0.0	3.2	0.0	3.3	2.0	0.0	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.1
<i>Rosa multiflora</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.1	0.0	0.0	1.0	0.3	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0
<i>Syrax japonicus</i>	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7	0.2	0.0	0.0	0.0	1.5	0.2
<i>Aster scaber</i>	0.0	0.0	0.0	0.6	0.1	0.0	0.0	0.0	1.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.8	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0
<i>Aralia elata</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Others	<i>Lonicera maackii</i> , <i>Symplocos chinensis</i> etc					<i>Fraxinus rhynchophylla</i> etc					<i>Aralia elata</i> , <i>Lindera obtusiloba</i> etc					<i>Rhamnus davurica</i> , <i>Diospyros lotus</i> etc				
	total 63 species.					total 41 species.					total 141 species.					total 64 species.				

T: importance percentage in tree layer; ST: importance percentage in subtree layer; S: importance percentage in shrub layer; H: importance percentage in herb layer; M: mean importance percentage.

군집 IV (조사구 1, 2, 3)은 교목층에서 소나무(I.P: 100%)가 아교목층에서는 산벚나무(I.P: 32.5%)가 우점하였다. 관목층에서는 진달래(I.P: 63.0%)가 우점하며, 지피층 또한 진달래(I.P: 58.4%)가 우세하였다(Table 3).

군집 I, II, III, IV 모두 소나무가 우점하며 아교목층에서 졸참나무, 신갈나무, 쇠물푸레, 졸참나무, 붉나무, 산벚나무 등이 출현하나, 이들의 세력이 크지 않아 당분간 소나무군집으로 유지될 것으로 판단된다(Table 3).

종수 및 개체수 분석

연구대상지에서 출현한 모든 수종을 대상으로 종수 및 개체수를 전수 조사한 결과 평균출현 종수와 개체수는 42.11 ± 13.1 종, 1181.9 ± 544.3 개체로 나타났다. 층위별로 살펴보면 교목층은 1.11 ± 0.3 종 11.22 ± 5.05 개체, 아교목층은 4.13 ± 2.6 종 14.59 ± 19.4 개체, 관목층은 15.83 ± 5.7 종 184.6 ± 111.5 개체, 지피층은 38.39 ± 19.2 종 972.3 ± 500.5 개체로 나타났다(Table 4). 교목층에서 지피층으로 갈수록 대상지별로 차이가 크게 나타났으며

이는 대상지별 서로 다른 식생환경에서 기인한 것으로 판단된다. 또한 기존 연구의 출현 종수 및 개체수와 비교해 볼 때(Choi and Kim 2003) 관목층과 지피층의 개체수에서 큰 차이를 보이는데 이는 전수 조사와 단위면적당 환산값에 의한 차이로 판단되며, 실제 전수 조사를 수행할 경우 단위면적당 환산값에 비해 개체수가 증가함을 알 수 있다.

군집별 종다양도

소나무 군집의 종다양도(Shannon) 분석 결과, 4개 군집의 종다양도지수는 $0.9171 \sim 1.5016$ 범위로 4군집 모두 다르게 나타났다(Table 5). 군집 III는 전체 군집 중 종다양도지수가 높았으며, 군집 II의 종다양도는 0.9171 로 가장 낮았다. 이는 각 군집별 종수 및 개체수의 차이로 인한 결과이다. 본 연구대상지의 종다양도는 기존 연구와 비교해볼 때 군집 I (충북 보은)은 인근 지역인 속리산 국립공원 $0.7805 \sim 1.2292$ (Lee et al. 1990)보다 다소 높으며, 군집 II (강원도 인제)는 인근 지역인 설악산

Table 4. Descriptive analysis of the number of species and individuals of studied sites

Descriptive analysis	No. of Species					No. of Individual				
	Tree	Subtree	Shrub	Herb	Total	Tree	Subtree	Shrub	Herb	Total
Com.I										
4	2	6	14	19	27	13	12	68	131	224
5	2	2	12	35	41	11	4	126	777	918
6	1	1	15	47	50	6	1	97	471	575
Com.II										
16	1	3	16	14	30	15	17	153	836	1,021
17	1	5	11	16	25	11	24	57	641	733
18	1	6	11	23	31	21	30	99	880	1,030
Com.III										
7	1	2	27	63	65	7	5	160	1,123	1,295
8	1	3	28	57	66	8	12	165	893	1,078
9	1	6	25	57	62	9	17	175	836	1,037
10	1	4	16	43	51	19	5	119	1,421	1,564
11	1	3	17	42	45	18	3	146	1,583	1,750
12	1	1	8	30	32	18	1	62	1,504	1,585
13	1	-	20	22	39	7		392	1,366	1,765
14	1	11	13	24	28	5	80	330	334	749
15	1	-	13	87	46	5	-	369	2,009	2,383
Com.IV										
1	1	7	16	47	48	11	28	381	1,218	1,638
2	1	4	11	39	40	10	7	245	1,195	1,457
3	1	2	12	26	32	8	2	179	284	473
Mean	1.11 ± 0.3	4.13 ± 2.6	15.83 ± 5.7	38.39 ± 19.2	42.11 ± 13.1	11.22 ± 5.05	14.59 ± 19.4	184.6 ± 111.5	972.3 ± 500.5	1,181.9 ± 544.3

Table 5. Species diversity indices of four communities

Community	H' (shannon)	H'max	J' (evenness)	D (dominance)	Average no. of species
I	1.3910	1.8062	0.5537	0.4463	39.33 (27 ~ 50)
II	0.9171	1.6435	0.6085	0.3915	28.67 (25 ~ 31)
III	1.5016	2.1523	0.6977	0.3023	48.22 (28 ~ 66)
IV	0.9702	1.8062	0.5372	0.4628	40.00 (32 ~ 48)

Table 6. Similarity indices among four communities

Community	Community I	Community II	Community III
Community II	72.16	-	-
Community III	52.84	51.14	-
Community IV	65.34	64.77	43.18

1.2978 ~ 1.4247 (Lee et al. 1998) 다소 낮게 나타났다. 군집 III (전북 완주, 경북 영천, 경북 울진)은 인근 지역인 주왕산 0.8842 ~ 1.2231 (Jo et al. 1995)보다 다소 높으며, 군집 IV (안면도)는 인근 지역인 변산반도 국립공원 0.8365 ~ 1.3879 (Choi et al. 2009)과 유사하게 나타났다.

군집별 유사도

소나무 개체군의 군집별 유사도를 분석한 결과 (Whittaker 1956), 군집 I과 군집 II간의 유사도지수는 72.16%, 군집 I과 군집 III간의 유사도지수는 52.84%, 군집 I과 군집 IV간의 유사도지수는 65.345, 군집 II와 군집 III간의 유사도지수는 51.14%, 군집 II와 군집 IV간의 유사도지수는 64.77%, 군집 III와 군집 IV간의 유사도지수는 43.18%로 나타났다(Table 6). 군집간의 유사도지수가 20% 미만일 때는 이질적이며 80% 이상일 때는 동질적인 집단으로 분류하고(Whittaker 1956), 종 분포가 유사할수록 유사도지수는 높게 나타난다. 전체적으로 43.18 ~ 72.16%로 나타나 군집간의 이질성은 크지 않은 것으로 판단된다(Table 6). 군집 I과 군집 II간의 유사도지수가 72.16%로 가장 높은 이유는 교목층에서 소나무가 우점하는 가운데 아교목층에서 군집 I은 졸참나무와 신갈나무가, 군집 II에서는 신갈나무가 우점하고 있어 아교목층에서 신갈나무의 분포에 따른 결과로 판단된다.

소나무와 주요 수종 분포간의 상관성

각 조사구별 평균상대우점치 자료를 토대로 Pearson 상관계수(Correlation coefficient)를 적용하여 소나무와 주요 수종들간의 관계를 파악하였다. 식물군집 내 수종

Table 7. Correlation between *Pinus densiflora* and other major species

	<i>C. humilis</i> <i>var. nana</i>	<i>Q. serrata</i>	<i>A. ovata</i>	<i>A. scaber</i>	<i>S. alnifolia</i>
<i>P. densiflora</i>	.518*	.505**	.074**	-.676**	-.570*

*Correlation is signification at the 0.05 level. **Correlation is signification at the 0.01 level.

간 상관관계는 수종이 서로 같은 생육지를 선택하거나 같은 유기·무기환경을 요구할 경우 생기게 된다 (Ludwig and Reynolds 1988). 소나무는 가는잎그늘사초, 졸참나무, 삼주와는 정의 상관관계를 참취와 팔배나무와는 부의 상관관계를 보였다(Table 7). 가는잎그늘사초, 졸참나무, 참취 및 팔배나무는 상관관계가 0.5 이상으로 유의적인 관계를 보이고 있어 소나무 군집의 보전을 위해 특히 유의해야 할 수종으로 판단된다.

종다양도 지수와 환경요인과의 상관관계

소나무 군집과 환경요인과의 관계를 알아보기 위해 조사구별 종다양도지수(H'), 종수(No. of Species), 개체수(No. of Individuals), 토양산도(pH), 유기물함량(OM), 유효인산(P₂O₅), 치환성양이온(Ex. K Ca, Mg, Na), 전질소(T-N), 전기전도도(CEC), 수관개방율(Light open), 해발고도(Altitude), 방위(Aspect), 경사도(Slope) 및 토성의 비율(Sand, Silt, Clay) 자료를 토대로 Pearson 상관계수(Correlation coefficient)를 적용하여 분석하였다.

소나무 군집의 종다양도지수(H')는 종수와 .622 ($p < 0.05$), pH와 .545 ($p < 0.05$), 치환성양이온 K와 .644 ($p < 0.05$), 치환성양이온 Ca와 .761 ($p < 0.05$), 전질소와 .469 ($p < 0.05$), 전기전도도와 .569 ($p < 0.05$), 모래와 .518 ($p < 0.05$)와 정의 상관관계를 보이며, 미사와는 -.515 ($p < 0.051$)로 부의 상관관계를 보인다(Table 8). 소나무 군집의 종수는 pH와 .611 ($p < 0.05$), 치환성양이온 K와 .640 ($p < 0.05$), 치환성양이온 Ca와 .594 ($p < 0.05$)

Table 8. Correlation between species diversity index and other environmental characters

	H'	No. of Species	No. of Individuals	pH	OM	P ₂ O ₅	Ex. K	Ex. Ca	Ex. Mg	Ex. Na	T-N	CEC	Canopy open	Altitude	Aspect	Slope	Rock	Sand	Silt
No. of species	.622**																		
No. of individuals	-.336	.306																	
pH	.545*	.611**	.053																
OM	.449	.080	-.316	-.146															
P ₂ O ₅	.130	-.227	-.380	-.512*	.680**														
Ex. K	.664**	.640**	-.249	.524*	.306	.037													
Ex. Ca	.761**	.594**	-.291	.630**	.340	-.132	.799**												
Ex. Mg	-.157	-.050	.128	.042	-.094	-.330	.010	.181											
Ex. Na	.140	-.012	-.283	.038	.238	-.148	.186	.424	.515*										
T-N	.469*	.057	-.391	-.185	.916**	.806**	.297	.242	-.160	.073									
CEC	.569*	.359	-.249	-.012	.770**	.710**	.493*	.360	-.314	-.223	.831**								
Canopy open	-.365	.099	.488*	.015	-.328	-.090	-.292	-.382	-.038	-.144	-.353	-.285							
Altitude	.395	.147	-.020	.222	.448	.330	.047	.011	-.545*	-.534*	.489*	.498*	-.079						
Aspect	-.193	-.271	-.430	-.231	-.213	.149	.039	-.048	-.092	-.172	-.022	-.024	-.430	-.192					
Slope	.026	-.285	-.463	-.441	.421	.762**	.141	.000	-.251	-.244	.496*	.552*	-.192	.146	.509*				
Rock	-.044	-.385	-.572*	-.410	.227	.677**	.075	-.065	-.193	-.073	.370	.289	-.286	-.034	.722**	.840**			
Sand	.518*	.235	-.198	-.040	.439	.478*	.309	.278	-.038	.105	.401	.540*	.035	.069	-.434	.250	.116		
Silt	-.515*	-.299	.122	-.024	-.399	-.362	-.319	-.311	-.024	-.180	-.326	-.469*	-.089	-.013	.537*	-.119	.019	-.987**	
Clay	.420	.445	.134	.219	.207	-.059	.298	.362	.213	.383	.036	.169	.238	-.161	-.766**	-.308	-.435	.781**	-.870**

*Correlation is significant at the 0.05 level. **Correlation is significant at the 0.01 level.

로 정의 상관관계를 보인다. 개체수의 경우 수관개방율과 .488 ($p < 0.05$)로 정의 상관관계를 보이며 암반율과는 -.572 ($p < 0.05$) 부의 상관관계를 보인다. 일반적으로 수관개방율(Canopy Open)과 광합성광량자속밀도(rPPFD)는 정의 상관관계(Machado & Reich 1999)로 수관개방율이 높아짐에 따라 군집 내 빛의 투과로 인해 rPPFD의 값도 높아지며(Park et al. 2012), 이는 종다양도지수에 영향을 미치기도 한다(Kim et al. 2011). 종다양도지수는 종구성 상태의 다양한 정도를 나타내는 척도(Ahn 2012)로 출현 종수와 개체수에 의해 산출된다. 따라서 수관개방율과 개체수간에는 정의 관계를 보이고 있다. 소나무 군집에 있어 치환성양이온 K와 Ca, 토성 중 모래의 함량은 식물 종수에 영향을 미치며, 이는 종다양도지수에 영향을 미친다. 하지만, 종다양도지수는 개체수와는 유의하지 않다. 오히려 개체수는 숲틈 내 빛의 투과율과 관련이 있으며 서식처의 암반의 많고 적음에 따라 개체수의 분포가 달라진다.

우리나라 소나무 개체군의 군집 분류 결과, 해발고도가 높은 군집 II, 내륙 지방의 군집 I과 III 해안가 연안의 저지대인 군집 IV로 차이를 보임에 따라 해발고도에 영향을 미치는 것으로 판단된다. 이는 경상북도 북부와 강원도 일부에 나타나는 갈색산림토양군은 군집 II, 서해안에 나타나는 적·황색산림토양군은 군집 IV, 기타 내륙의 군집 I과 III으로 분류되어 해발고도 뿐만 아니라 지역에 따른 산림토양의 이화학적 특성에 따른 차이가 소나무의 형태적 차이에 일정 영향을 미친다는 연구(Park and Lee 1990)와 일치한다.

감사의 글

논문은 2012년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것입니다(2010-0010215).

References

- Ahn IS. 2012. Analysis of Vegetation Structure and Development of the Community Planting Models Based on the Ecotype of the *Pinus densiflora* S. et Z. in Korea. Ph. D. diss., University of Seoul.
- Braun-Blanquet J. 1964. Pflanzensoziologie; Grundzüge der Vegetationskunde. Springer-Verlag, New York, pp 865.
- Choi JW, Kwak JI, Lee KJ, Choi WK. 2009. A Study for Plant Community Structure and Management Plan of *Pinus densiflora* Forest in Byeonsanbando National Park. Korean Journal Environment Ecology 23: 447-459.
- Choi SH, Kim JH. 2004. The Analysis of Forest Ecosystem in Wangpicheon Area, Uljin-gun, Gyeongsangbuk-do, Korea. Korean Society Environment Ecology 17: 153-168.
- Curtis JT, McIntosh RP. 1951. An Upland Forest Continuum in the Prairie-Forest Border Region of Wisconsin. Ecology 32: 476-496.
- Cho HJ, Lee CB. 2011. Vegetation Types and Diversity Patterns of *Pinus densiflora* Forests in South Korea. Journal Korean Forestry Society 100: 118-123.
- Jo JC, Cho W, Han BH. 1995. The Plant Community Structure of *Pinus densiflora* in Forest in Chuwangsan National Park. Korean Society Environment Ecology 8: 121-134.
- Kim JG, Kim BK, Lee SK, Kim JC, Han SS, Cha BJ. 2012a. Research Article: Distribution of *Bursaphelenchus xylophilus* in Naturally Infected *Pinus densiflora* and *P. koraiensis* and Migration of *B. xylophilus* in Artificially Inoculated *P. densiflora* Seedlings. Korean Society Plant Pathology 18: 101-108.
- Kim JH, Choi SH, Cho W, Sung CY. 2012b. Vegetation Structure of *Pinus densiflora* Community for Conservation and Restoration of *Tricholoma matsutake*. Korean Society Environment Ecology 26: 730-740.
- Kim YM, Hong YP, Ahn JY, Park JI. 2012c. Mating System of Japanese Red Pines in Seed Orchard Using DNA Markers. Korean Journal of Plant Resources 25: 63-71.
- Kim YS, Shin HT, Kang SK, Yoon JW, Kim GS, Sung JW, Park KH, Kim EJ, Yi MH. 2011. Community Structure and Ecological Character of *Berchemia berchemiaefolia* Populations in Gyeongsangbuk-do, Korea. The Journal of Korean Institute of Forest Recreation 15: 1-10.
- Kong WS. 2004. Species Composition and Distribution of Native Korean Conifers. Journal of the Korean Geographical Society 39: 528-543.
- Korean Agricultural Information Institution. 2006. Management of *Pinus densiflora*. Seoul, Korea. pp 366.
- Lee CS, Lee WK, Yoon JH, Song CC. 2006. Distribution Pattern of *Pinus densiflora* and *Quercus* Spp. Stand in Korea Using Spatial Statistics and GIS. Journal of Korean Forestry Society 95: 663-671.
- Lee JH, Hong SC. 2004. Community Types and Population Structures of *Pinus densiflora* Forest around the Bulyeongsa Valley in Uljin-gun Southeastern Korea. Journal of Korean Forestry Society 93: 59-66.
- Lim KB. 2001. *Pinus densiflora*. Daewonsa. Seoul, Korea. pp 144.
- Lee KJ, Yim KB, Jo JC, Ryu CH. 1990. Studies on the Structure of the Forest Community in Mt. Sokri(I) - The Conservation Planning of *Pinus densiflora* Community -. Korean Society of Environment and Ecology 4: 23-32.
- Lee KJ, Han BH, Lee OH. 1998. Vegetation Structure Analysis and Ecological Distance of *Pinus densiflora* Community in Chayang-chon Area, Soraksan National Park. Korean Society of Environment and Ecology 11: 493-505.
- Lee KJ, Han BH, Lee HG, Noh TH. 2012. Management

- Planning and Change for Nineteen Years 1993-2011) of Plant Community of the *Pinus densiflora* Set Z. Forest in Namhan Mountain Fortress, Korea. Korean Society of Environment and Ecology 26: 559-575.
- Lee KJ, Ki KS, Choi JW. 2009. Vegetation Succession and Vegetation Management of the *Pinus densiflora* S. et Z. Forest in the Beopjusa Area, Songnisan National Park. Korean Society of Environment and Ecology 23: 208-219.
- Lee KJ, Cho W, Han BH. 1996. Plant Community Structure of *Pinus densiflora* Forests in Odaesan National Park. Korean Society of Environment and Ecology 9: 115-125.
- Ludwig JA, Reynolds JF. 1998. Statistical ecology: a primer on methods and computing. John Wiley & Sons Publication, New York, pp 337.
- Reich PB, Machado JL. 1999. Evaluation of several measures of canopy openness as predictors of photosynthetic photon flux density in deeply shaded conifer-dominated forest understory. Canadian Journal of Forest Research 29: 1438-1444.
- Park IH, Lee SM. 1990. Biomass and net production of *Pinus densiflora* natural forests of four local forms in Korea. Journal of Korean Forestry Society 79: 196-204.
- Park SG, Yi MH, Yoon JW, Si HT. 2012. Environmental Factors and Growth Properties of *Sasa borealis* (Hack.) Makino Community and Effect its Distribution on the Development of Lower Vegetation in Jirisan National Park. Korean Journal of Environment and Ecology 26: 82-90.
- Uyeki H. 1928. On the physiognomy of *Pinus densiflora* growing in Korea and silvicultural treatment for its improvement. Bulletin of the Agricultural and Forestry College Suigen (Suwon). Korea 3: 263.
- Whittaker RH. 1956. Vegetation of the Great Smoky Mountain. Ecological Monographs. 26: 1-80.