

# 부산일대 곰솔림과 소나무림의 생육 밀도에 관한 연구<sup>1</sup>

이상철<sup>2</sup> · 홍석환<sup>3\*</sup> · 김동필<sup>3</sup> · 최송현<sup>3</sup> · 안미연<sup>2</sup>

## A Study for Growth Density on the *Pinus thunbergii* and *Pinus densiflora* Communities in area of Busan, Korea<sup>1</sup>

Sang-Cheol Lee<sup>2</sup>, Suk-Hwan Hong<sup>3\*</sup>, Dong-Pil Kim<sup>3</sup>, Song-Hyun Choi<sup>3</sup>, Mi-Yeon Ahn<sup>2</sup>

### 요 약

기후변화로 인한 곰솔림과 소나무림의 세력은 약해질 것으로 예상되고 있으나, 곰솔과 소나무에 대한 식재요구도는 여전히 높은 실정이다. 이에 본 연구는 한반도 난온대림지역에 속하는 부산일대, 남동부지역에 주요 조경수목인 소나무림과 곰솔림을 대상으로 자연림의 생육밀도를 파악한 후 난온대림에 적합한 생태적 식재밀도를 제시하고자 하였다. 연구는 한반도 남동부에 해당하는 부산광역시를 중심으로 소나무림 22개소, 곰솔림 60개소를 선정하여 100m<sup>2</sup> 방형구를 설치하여 조사구 내 출현하는 교목, 아교목층 수종의 흉고직경 및 개체수를 조사한 후, 회귀분석을 통해 평균흉고직경급별 적정 개체수 산정을 위한 회귀식을 도출하였다. 회귀분석 결과, 흉고직경의 생장에 따른 교목층 생육개체수 예측모형의 결정계수는 곰솔림의 경우  $Y = 31.176e^{-0.055x}$ , 소나무림의 경우  $Y = 38.351e^{-0.059x}$  (X=흉고직경, Y=개체수/100m<sup>2</sup>)였다. 남동부지역의 곰솔림과 소나무림의 생육밀도는 중부지방보다 다소 높았다.

주요어: 난온대지역 생육밀도, 흉고직경급별(DBH) 생육 밀도, 생태적 식재밀도

### ABSTRACT

The climate change is expected to weaken the habitat of *Pinus densiflora* and *P. thunbergii*, but they are still in high demand for planting. This study aims to suggest the rational community planting design based on natural forests' community structure in the southeastern region of Korea (warm temperate zone). For this study, we surveyed 22 plots of *Pinus densiflora* community and 60 plots of *P. thunbergii* community in Busan Metropolitan City which is located in the southeastern part of the Korean peninsula. We investigated the diameter of breast height (DBH) and population of each tree layer in a 100m<sup>2</sup> quadrat and used a regression analysis to derive a regression equation for estimating the mean number of planting individuals in each DBH. The coefficient between canopy layer's DBH and growth individuals per unit area (100m<sup>2</sup>) was 0.700 for *P. thunbergii* communities and 0.533 for *P. densiflora* communities, indicating very high explanatory power by single factor. The predicted regression equation of between DBH and growth density was  $Y = 31.176e^{-0.055x}$  (X=DBH, Y=growth individuals per 100m<sup>2</sup>) for *P. thunbergii* communities and  $Y = 38.351e^{-0.059x}$  for *P.*

1 접수 2017년 11월 28일, 수정 (1차: 2018년 1월 29일, 2차: 2018년 4월 11일), 게재확정 2018년 4월 11일

Received 28 November 2017; Revised (1st: 29 January 2018, 2nd: 11 April 2018); Accepted 11 April 2018

2 부산대학교 대학원 조경학과 Dept. of Landscape Architecture, Graduate School, Pusan National Univ., Miryang 50463, Korea

3 부산대학교 조경학과 Dept. of Landscape Architecture, Pusan National Univ. Miryang 50463, Korea

\* 교신저자 Corresponding author Tel: +82-055-350-5406, Fax: +82-055-350-5409, E-mail: hong@pusan.ac.kr

*densiflora* communities. Planting densities of *P. densiflora* communities and *P. thunbergii* communities in southeast region were higher than the central region.

**KEY WORDS : GROWTH DENSITY OF WARM TEMPERATE REGION, GROWTH DENSITY BY SIZE OF DBH, ECOLOGICAL PLANTING DENSITY**

## 서론

식생분포는 기온, 바람, 강수량 등 기후인자와 부단한 인위적 간섭의 정도에 따라 영향을 받는다(Gorman, 1979). 한반도 기후대는 크게는 온대기후대와 냉대기후대로 나눌 수 있으며(Köppen and Geiger, 1936), 수평적 산림대로 세분할 때, 북쪽에서부터 한대림, 온대림, 난온대림으로 구분되는데, 이 중 난온대림은 연평균기온 14℃ 이상인 지역으로 붉가시나무, 동백나무, 구실잣밤나무 등이 특정수종이다(www.forest.or.kr). 한반도의 난온대림 기후대를 조금 더 세분하면(Lee et al., 2005) 부산일대를 중심으로 하는 남동부지역은 ‘남해안경남동부 기후지역’이라는 별도의 기후지역으로 분류된다.

산림식생은 기후대 및 토양 등 여러 환경요인에 따라 우점식생이 구분된다. 일반적으로 조경식재는 미적 기능을 우선하여 진행되나, 기후의 영향이 큰 특정공간 또는 해당지역의 향토성이 중요시 되는 공간의 경우 미적 고려보다는 토착생태계의 안정성을 이끌어내고자 자연식생의 생태적 특성을 고려한 생태학적 군락식재(Oh, 1986; Miyawaki, 1999)가 더 바람직한 경우가 있다(Kim, 2011). 생태적 식재 설계원칙은 기후와 토양환경을 고려한 수종 선정, 생태적 지위 및 중간상관관계를 고려한 계획, 인간이용에 따른 영향을 고려하고 목표 단계까지의 관리계획 수립이라 볼 수 있다(Bradshaw, 1972; Oh, 1986). 이에 성공적 식재를 위해서는 계획하고자 하는 지역과 동일한 기후대의 자연식생군락 분석을 통한 기본적 정보수집이 중요하다(Jabu, 1987).

곰솔(*Pinus thunbergii*)은 해송, 흑송이라고도 불리며 주로 해안 및 도서지방에 분포하고 우리나라 중부이남 해안림 상층 우점을 이루는 나자식물이다. 곰솔의 경우 해안지역에서 생육이 양호하고 해안방풍림으로써의 기능이 있어 우리나라 해안지역의 주요 조림수종 중 하나이다(Kim, 2003). 곰솔림의 식재모델에 관한 연구는 Kim(2011)이 도시지역 내 곰솔림을 대상으로 식물군집구조 분석을 통해 식생복원 모델을 제시하였지만, 조사 대상지가 일부지역에 국한되어 있고, 식재밀도 등 구체적 식재량에 대한 결과가 없어 모델로서 적용하기에는 한계가 있었다.

소나무(*Pinus densiflora*)는 육송, 적송이라고도 불리며 다양한 생태형을 가지며(Lim, 1985), 곰솔과 비교했을 때 주로 내륙에 분포하고 함경도, 평안도의 고원지대를 제외하고는 전국에 걸쳐 분포하고 있다(Kim et al., 1993). 소나무는 우리나라 문화적 특성 및 주민의 선호도를 고려하였을 때 도시지역에서 가장 빈번히 사용되는 수종으로 대개 다수의 개체군으로 구성된 군락의 형태로 발달하므로 도시녹지에 식재 할 때는 독립수 형태보다는 군락식재하는 것이 바람직하다(Ahn, 2012). 또한 소나무림 조성은 주거단지뿐만 아니라 공원녹지 지역까지 광범위하게 이뤄지고 있는 상태이므로 소나무림의 생태적 식재방법의 제시는 현재 우리나라 식재경향에서 필요하다 볼 수 있다(Hong et al., 2010).

우리나라 산림에서 가장 넓은 면적을 차지하고 있는 소나무림의 경우에는 국민의 선호도가 매우 높아 전국 대부분 지역에서 경관식재로 가장 많이 식재됨에 따라 다양한 측면에서 군락식재에 관한 연구가 진행되어왔다. Han(2000)은 일산, 분당의 녹지축의 생태모델로서 소나무림 등을 목표모델로 설정하고 개체수와 흉고직경을 제한하였고, Lee et al.(2002)은 경북 춘양지방 금강소나무림을 중심으로 대경목, 중경목, 소경목에 대한 생육밀도를 연구하였다. 소나무 군락식재모델에 관한 연구는 Hong et al.(2010)에 의해 진행된 바 있는데, 소나무의 생태형을 기반으로 온대중부지역에 폭넓게 분포하고 있는 중남부고지형과 중남부평지형에 대한 모델을 제시하였다. 그러나 앞서 설명한 바와 같이 한반도 기후대를 고려하였을 때 해당 결과들을 기후대가 다른 남부지방에 적용하기는 어려울 것으로 판단되었다.

기후변화로 인한 상록활엽수류의 확산으로 곰솔림과 소나무림은 점점 그 세력이 약해질 것으로 예상되고 있으나, 한반도 난온대림 지역에서 식재요구도가 높은 곰솔과 소나무림의 생육밀도를 조사하여, 생태적 식재밀도를 고려한 식재설계 시 활용될 수 있는 기초자료를 구축하고자 하였다. 이에 부산 일대지역을 대상으로 곰솔림과 소나무림을 조사 분석하여 곰솔림과 소나무림의 생육밀도를 분석하고 중부지역과의 상호비교를 통해 난온대림에 적합한 생태적 식재 밀도를 제시하고자 하였다.

## 연구방법

### 1. 조사대상지

본 연구는 기장군을 포함한 부산광역시 전체 산림지역을 대상으로 하였다. 한반도 남동부지역에 해당하는 부산광역시의 최근 10년간(2007~2016) 기상특성을 살펴보면(KMA, Table 1), 평균기온은 15.1°C로 온화한 편이며, 10년간 최저기온은 -12.8°C, 최고기온은 37.3°C로 최저기온과 최고기온의 평균은 각각 -8.1°C, 33.7°C로 나타났다. 일반적으로 연평균기온 14°C 이상 지역이 난온대림으로 분류되는 상태에서 부산 일대는 군락식재 연구가 주로 진행된 중부지방과는 큰 차이가 있었다. 연간강수량은 최고 1983.3mm, 최저 1131.1mm로 10년간 연평균강수량은 1510.2mm이었으며, 평균상대습도는 62.3%로 조사되었다. 반면 중부지방에 속하는 서울과 대전의 경우, 평균기온은 12.8°C와 13.1°C로 부산보다 낮았으며, 최고기온의 평균은 부산보다 높았다. 최근 10년간 최저기온은 서울 -13.8°C, 대전 -13.3°C로 부산보다 약 5°C 이상 낮았으며, 연간강수량의 평균 또한 부산보다 낮았다. 즉 중부지방은 우리나라 남동부에 해당하는 부산지역과는 확연히 다른 기후를 보인다고 볼 수 있었다. 본 연구의 대상지는 한반도 식물상에 근거한 지역구분에 의해 남해안아구에 해당되고(Lee, 1978), 수평적 산림대로 본다면 난온대림에 속한다(www.forest.go.kr).

자연상태의 군락 발달 및 종 구성상태를 확인하기 위해 대상지 내 자연산림지역을 대상으로 태풍이나 산불과 같은 자연재해 및 소나무재선충과 같은 병충해 피해가 없는 건전한 임지에 대해 곰솔림 60개소, 소나무림 22개소의 방형구를 설치하여 조사를 실시하였다(Figure 1).

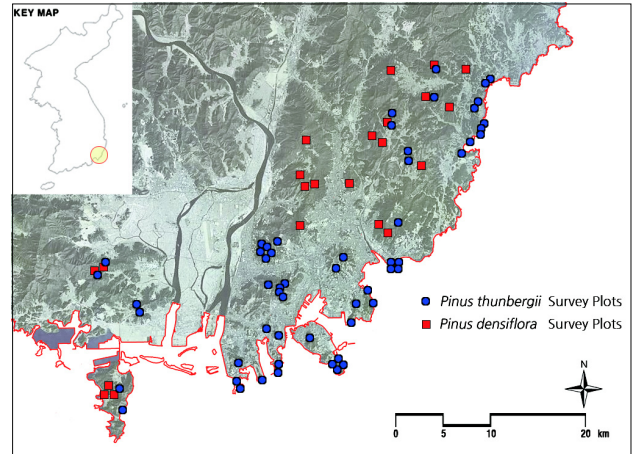


Fig 1. The location of study sites in Southeast zone of Korean Peninsula

### 2. 생육 밀도 분석

곰솔림과 소나무림의 흉고직경급별 생육 밀도 특성을 위해 우선 산림청 임상도와 항공사진을 바탕으로 소나무림과 곰솔림을 추출한 후 이들 식생이 상대적으로 안정적인 분포를 이루는 지역으로 현장조사를 위한 조사대상지를 개략적으로 설정하였으며, 현장에서 움직이면서 우점수목의 규격을 고려하여 규격이 고르게 포함되도록 조사구를 설치하여 조사하였다.

조사구는 곰솔림과 소나무림이 우점하는 군락을 대상으로 층위구조 발달 여부와 입지환경을 고려하여 설정하였다. 자연식생군락의 생태적 유지를 위한 최소면적은 100~500m<sup>2</sup>인 기존 연구(Ellenberg, 1956; Westhoff and Maarel, 1973)를 고려하여 조사구의 크기는 10×10m(100m<sup>2</sup>)를 기본으로 조사하였다. 조사는 각 조사구에 출현한 수목의 성장정도를 확인하고, 단위면적당 흉고직경급별 생육주수, 흉고단면적 총량 등을 알아보고자 조사구 내 출현하는 목본수종을 대상으로

Table 1. Climate characteristics of survey site(Busan Metropolitan City) and comparison site in recent 10 years (2007~2016)

	Busan	Seoul	Daejeon
Mean of annual temperature(°C)	15.1	12.8	13.1
Highest temperature(°C)	37.3	36.7	37.6
Mean of highest temperature (°C)	33.7	35.0	34.6
Lowest temperature(°C)	-12.8	-18.0	-17.0
Mean of lowest temperature(°C)	-8.1	-13.8	-13.3
Annual precipitation(mm)	Mean	1,510.2	1,385.8
	Maximum	1,983.3	2,043.5
	Minimum	1,131.1	792.1
Mean of relative humidity(%)	62.3	60.3	67.8

교목층과 아교목층, 관목층으로 층위를 구분하여 조사하였다. 교목층과 아교목층을 형성하는 수목은 전체 개체수와 개별 수목의 흉고직경을 조사하였으며, 관목층을 형성하는 수목은 전체 개체수와 함께 개별 수목의 수관폭(장변×단변)을 조사하였다.

숲의 발달은 중간-중내 경쟁으로 인해 생육개체수가 줄어드는 반면 남아있는 수목이 성장하여 흉고단면적은 큰 변화를 보이지 않는데, 이러한 숲의 발달과 시간과의 관계를 파악하는 것이 생태적 배식을 위한 군락식재에서 가장 중요한 요소가 된다(Hong *et al.*, 2010). 따라서 가급적 다양한 규격의 군락을 조사하는 것이 필요하나, 최근 산림지역의 적극적 보전으로 인해 새롭게 형성되는 식생군락이 흔하지 않아 유명림지역의 조사는 현실적으로 한계가 있었다. 본 연구에서는 곰솔림 조사구 60개소, 소나무림 조사구 22개소에 출현하는 교목층의 개체수와 평균흉고직경과의 회귀분석을 통하여 흉고직경에 따른 단위면적(100m<sup>2</sup>)당 교목층의 개체수를 산정하였다(Hong *et al.*, 2010). 산정된 회귀식은 이 일대의 소나무림과 곰솔림의 일반적 생육밀도를 보여줄 것으로 판단되었다. 자료의 통계적 처리와 분석은 SPSS Windows 19.0 프로그램을 사용하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 조사구 일반적 개황

곰솔림과 소나무림의 조사구별 일반적 개황을 살펴보면(Table 2), 곰솔림의 해발고도 분포는 최저 14m에서 최고 436m이었으며, 소나무림의 해발고도 분포는 최저 59m에서 최고 591m이었다. 소나무림이 곰솔림보다 비교적 높은 해발고도에서 출현하였는데, 이는 곰솔림이 해안과 인접한 지역에 집중적으로 분포하는 생육특성(Kim *et al.*, 1981)에 의한 결과라 할 수 있다. 경사도는 곰솔림이 2~48°, 소나무림이 5~30° 사이에 분포하였으며, 평균 경사도는 곰솔림 17.3°, 소나무림 17.5°로 유사하였다.

교목층 수고는 곰솔림 8.0~23.0m, 소나무림 9.0~22.0m 사이에 있었으며, 두 집단 모두 평균수고는 약 16m이었다. 교목층 식피율은 두 집단 모두 최고식피율 95.0%였지만, 곰솔림 교목층의 평균식피율(70.4%)이 소나무림(83.4%)보다 낮았다. 아교목층 수고는 곰솔림 4.0~10.0m, 소나무림 5.0~11.0m이었고 곰솔림 평균이 소나무림보다 다소 낮았다. 식피율은 곰솔림이 소나무림의 평균보다 다소 높았다. 관목층 평균수고는 곰솔림(1.6m)과 소나무림(1.6m)이 동일하였으며, 관목층의 평균식피율은 두 집단 모두 조사구별 편차가 크게 나타나고 있었다.

Table 2. General situation of survey plots

		<i>P. thunbergii</i> Com.	<i>P. densiflora</i> Com.
Altitude(m)	Max.	436	591
	Min.	14	59
	Mean	156.4±119.0	252.5±157.1
Slop(°)	Max.	48	30
	Min.	2	5
	Mean	17.3±9.0	17.5±7.8
Canopy Height(m)	Max.	23.0	22.0
	Min.	8.0	9.0
	Mean	16.1±3.7	16.0±3.0
Canopy Coverage(%)	Max.	95.0	95.0
	Min.	30.0	65.0
	Mean	70.4±12.8	83.4±8.4
Understory Height(m)	Max.	10.0	11.0
	Min.	4.0	5.0
	Mean	6.3±1.9	7.7±2.1
Understory Height(m)	Max.	100.0	60.0
	Min.	5.0	5.0
	Mean	44.3±27.4	25.8±14.2
Shrub Height(m)	Max.	2.0	2.0
	Min.	0.2	0.6
	Mean	1.6±0.5	1.6±0.4
Shrub Height(m)	Max.	100.0	95.0
	Min.	5.0	10.0
	Mean	46.0±26.1	49.1±25.0

곰솔림의 60개 조사구별 현황을 살펴보면(Table 3), 평균 흉고직경 범위는 최소 16.2cm에서 최대 57.0로 중경목 이상의 수림대였고, 전체 평균흉고직경은 26.6(±8.9)cm이었다. 이는 우리나라 남부권역 곰솔림의 특성을 연구한 기존의 결과(Park *et al.*, 2013)와 유사한데, 태종대 및 동백섬에 대규모로 분포하는 대경목의 영향으로 다소 높게 나타났다. 교목층을 형성하는 종은 조사목적상 곰솔 순림을 대상으로 조사를 실시하여 곰솔 1종만이 출현하였으며, 조사구별 개체수는 흉고직경이 커질수록 작아지는 일반적 경향이었다. 아교목층을 형성하는 개체는 조사구별로 최소 1개체에서 최대 63개체로 편차가 크게 나타났다. 관목층의 평균 개체수는 145개체, 단위면적당 전체 층위의 평균 개체수는 166개체로 조사되었으며, 전체 출현종수는 평균 약 12종이었다.

소나무림의 각 조사구별 현황은 Table 4와 같다. 22개 조사구의 평균흉고직경은 최소 14.9cm에서 최대 38.0cm의 범위로 분포하였고 전체 조사구의 평균흉고직경은 24.6(±5.7)cm이었다. 교목층을 형성하는 수종은 조사의 목적상 소나무 순림을 대상으로 조사를 진행하여 소나무 1종만이 출현하였다. 아교목층을 형성하는 수목의 개체수는 최소 2

Table 3. Environmental characteristics of each survey plot of *Pinus thunbergii* communities(100m<sup>2</sup>)

Site No.	Mean of DBH (cm)	No. of Individual				Total Species	Site No.	Mean of DBH (cm)	No. of Individual				Total Species
		Canopy	Understory	Shrub	Total				Canopy	Understory	Shrub	Total	
1	17.63	16	6	312	334	12	31	21.78	9	22	236	267	16
2	23.59	11	3	148	162	12	32	20.02	11	23	72	106	14
3	26.73	8	3	216	227	11	33	36.20	7	17	48	72	5
4	19.67	12	-	68	80	11	34	44.53	5	17	48	70	6
5	20.33	15	2	84	101	14	35	30.13	6	18	72	96	8
6	32.71	7	20	28	55	10	36	34.75	4	18	112	134	8
7	20.73	11	24	76	111	12	37	30.00	6	15	152	173	10
8	21.80	10	12	136	158	21	38	57.00	1	22	164	187	13
9	30.40	5	17	120	142	15	39	22.68	11	9	132	146	10
10	25.86	7	23	144	174	13	40	18.72	9	2	56	67	12
11	21.89	9	8	48	65	8	41	20.03	9	-	136	145	7
12	38.13	4	35	76	115	12	42	19.21	12	4	200	216	9
13	33.25	2	63	72	137	11	43	25.75	8	8	136	152	9
14	25.14	7	36	72	115	15	44	22.00	7	4	80	91	12
15	24.45	10	4	120	134	12	45	42.25	4	15	212	231	16
16	21.37	15	9	116	140	8	46	46.33	3	5	64	72	9
17	24.58	12	11	76	99	12	47	24.25	8	10	112	130	22
18	20.09	16	7	36	59	7	48	27.00	6	12	128	146	13
19	18.54	13	4	64	81	10	49	19.78	9	10	176	195	17
20	25.00	9	11	92	112	12	50	18.24	7	7	148	162	12
21	18.44	9	7	32	48	7	51	26.00	5	13	136	154	11
22	17.92	13	4	272	289	9	52	24.22	9	12	84	105	7
23	23.56	9	9	1060	1078	18	53	27.14	7	12	164	183	16
24	18.27	11	4	460	475	11	54	23.50	4	18	96	118	12
25	26.20	5	6	108	119	12	55	25.58	6	1	156	163	11
26	27.00	6	-	360	366	12	56	21.90	5	22	212	239	12
27	26.33	12	2	96	110	9	57	34.67	3	23	92	118	9
28	18.73	11	25	320	356	16	58	16.23	11	9	108	128	14
29	50.00	1	8	100	109	15	59	18.47	15	-	84	99	10
30	47.25	4	8	20	32	7	60	31.90	5	19	200	224	15
Mean								26.6	8	13	146	166	12

개체에서 최대 24개체가었으며, 관목층에서 관찰된 평균 개체수는 126개체이었다. 단위면적당 출현한 전체 개체수는 평균 143개체로 조사되었고, 평균 출현 종수는 12종이었다.

곰솔림과 소나무림을 비교해보면 전반적으로 곰솔림의 규격이 다소 큼에도 불구하고 단위면적당 생육밀도가 더 높게 나타나고 있었으며 출현종수는 유사한 것으로 확인되었다.

## 2. 군락별 종수 및 개체수

곰솔림 60개 조사구와 소나무림 22개 조사구에 대해 단위면적 100m<sup>2</sup>당 출현한 종수와 개체수를 분석한 결과는 표 5와 같다. 순림을 대상으로 조사를 실시하였기 때문에 교목층의 종수는 1종으로 제한적이었으며, 종수는 곰솔림보다 소나무림이 미미하게나마 다소 높았으며, 평균적으로 100m<sup>2</sup>당 곰솔림에 생육하는 수목이 소나무림에 비해 20개체정도 많았다.

대부분 식물은 자신의 생존을 위해 타감(allelopathy)작

Table 4. Environmental characteristics of each survey plot of *Pinus densiflora* communities(100m<sup>2</sup>)

Site No.	Mean of DBH (cm)	No. of Individual				Total Species	Site No.	Mean of DBH (cm)	No. of Individual				Total Species
		Canopy	Understory	Shrub	Total				Canopy	Understory	Shrub	Total	
1	24.05	11	3	140	154	11	12	23.53	5	2	48	55	11
2	22.50	12	-	152	164	12	13	14.95	16	3	36	55	10
3	31.00	5	17	72	94	15	14	21.08	14	5	140	159	17
4	26.29	15	24	112	151	17	15	38.00	3	2	8	13	4
5	27.07	7	2	136	145	16	16	26.54	13	9	104	126	12
6	37.90	5	13	188	206	10	17	23.11	9	4	156	169	9
7	18.21	14	-	68	82	9	18	22.40	10	-	200	210	14
8	28.84	9	13	68	90	11	19	20.10	10	10	160	180	18
9	21.49	16	4	52	72	10	20	19.10	10	16	416	442	11
10	20.23	13	12	88	113	11	21	27.83	6	8	220	234	18
11	26.17	6	10	48	64	7	22	21.67	6	5	152	163	17
Mean							24.6	10	9	126	143	12	

Table 5. Descriptive analysis of the number of species and individuals in two communities (Unit: 100m<sup>2</sup>)

Com.*	No. of Species				No. of Individual			
	Tree	Understory	Shrub	Total	Tree	Understory	Shrub	Total
I	1.0±0.0	3.4±2.1	9.0±3.0	11.7±3.5	8.2±3.7	13.1±10.7	145.8±146.6	166.2±146.1
II	1.0±0.0	3.6±3.0	9.8±3.3	12.3±3.8	9.8±4.0	8.5±6.1	125.6±86.6	142.8±88.2

\* I: *Pinus thunbergii* com., II: *Pinus densiflora* com.,

용을 일으키는데(Rizvi and Rizvi, 1992) 일반적으로 구과목(Coniferales) 식물은 타 식물들에 비하여 두드러진 타감효과를 발휘하며(Lee and Monsi, 1963; Brown, 1967; Kil and Yim, 1983; Kil et al., 1998) 곰솔은 상대적으로 소나무보다 많은 타감물질을 방출하는 것으로 보고된 바 있다(Kang and Kim, 1997). 본 연구결과에서도 미미하지만 아교목층과 관목층에 출현하는 종이 곰솔림에서 다소 적음을 확인하였는데, 이는 곰솔의 높은 타감효과에 기인한 것으로 판단할 수 있었다. 반면 개체수의 경우, 소나무림보다 곰솔림이 월등히 높았는데, 이는 곰솔의 생육지 특성상 해안에 주로 분포함으로 동백나무, 사스레피나무 등 고밀도 상록활엽수가 출현하는 조사구가 다수 포함되어 나타나는 현상이었다. 이들 고밀도의 상록활엽수 출현지역을 제외하면 출현 개체수 차이 또한 현저히 줄어들게 된다.

### 3. 흉고직경급별 생육밀도

교목 우점종의 규격을 대표하는 평균흉고직경의 증가로 인한 경쟁은 단위면적당(100m<sup>2</sup>) 생육 개체수를 줄인다. 이러한 변화의 상호관계 분석을 위해 수종별로 회귀분석을

실시하였다.

100m<sup>2</sup>를 단위면적으로 한 곰솔림 교목층 흉고직경의 생장에 따른 생육개체수 예측모형의 결정계수(coefficient of determination; R<sup>2</sup>)는 0.700으로 단일 요인에 의한 설명력으로는 매우 높았다. 예측된 회귀모형은 신뢰도 99%수준에서 통계적으로 유의하였으며, 각 변수의 표준화된 회귀계수 값도 유의하였다. 예측 회귀모형은 식 1과 같다.

$$Y = 31.176e^{-0.055x} \quad (\text{식1})$$

(x=흉고직경, Y=단위면적당(100m<sup>2</sup>) 교목층 곰솔 개체수)

Table 6. Analysis of variance for regression equation of *Pinus thunbergii* communities

	SS	DF	MS	F	Sig. T
Regression model	14.182	1	14.182	135.511	0.000
Residual	6.070	58	0.105	-	-
Total	20.252	59	-	-	-

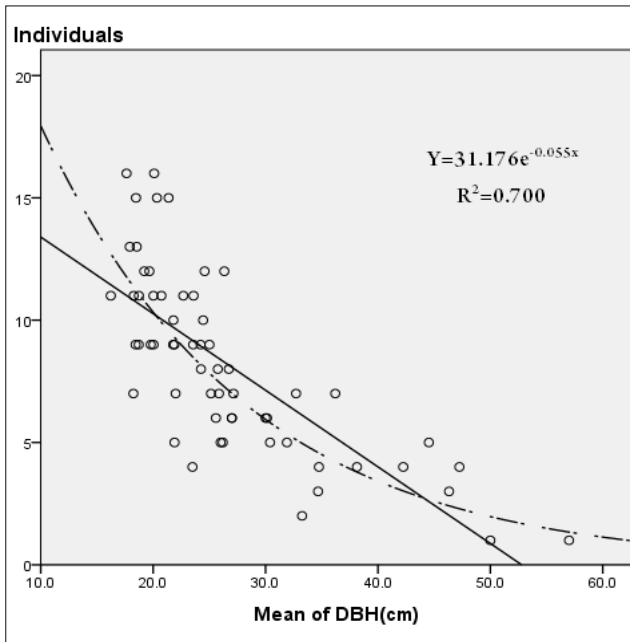


Fig 4. Scatter plot and regression line between mean of DBH and individuals of canopy layer on *Pinus thunbergii* communities.

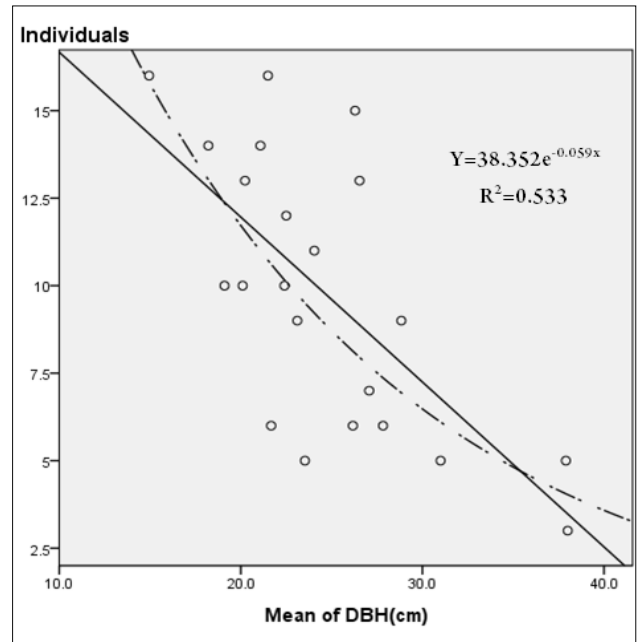


Fig 5. Scatter plot and regression line between mean of DBH and individuals of canopy layer on *Pinus densiflora* communities.

100m<sup>2</sup>를 단위면적으로 한 교목층 소나무의 흉고직경 생장에 따른 생육개체수 예측모형의 결정계수(R<sup>2</sup>)는 0.533로 단일 요인에 의한 설명력으로는 높은 편이었으나 곰솔림보다는 다소 낮게 나타났다. 이는 곰솔림에 비해 상대적으로 해발고 변화가 다양한 것과, 바닷가에 집중된 곰솔림과는 달리 해안가와 내륙에 고르게 분포하는 특성이 작용된 것으로 판단할 수 있었다. 예측된 회귀모형은 신뢰도 99%수준에서 통계적으로 유의하였으며, 각 변수의 표준화된 회귀계수 값도 유의하였다.

$$Y = 38.351e^{-0.059x} \quad (식2)$$

(X=흉고직경, Y=단위면적당(100m<sup>2</sup>) 교목층 곰솔 개체수)

Table 7. Analysis of variance for regression equation of *Pinus densiflora* communities

	SS	DF	MS	F	Sig. T
Regression model	2.418	1	2.418	22.823	0.000
Residual	2.119	20	0.106	-	-
Total	4.537	21	-	-	-

분석된 회귀식을 기준으로 판단하였을 때 곰솔림 및 소나무림의 평균 흉고직경급별 생육주수의 추정이 가능하였는데, 곰솔림의 경우, 흉고직경 5cm 정도의 치수는 100m<sup>2</sup>당 약 24주가 생육함을 추정할 수 있었다. 동일 수식에 의해 흉고직경 12cm 규격은 16주, 18cm는 12주, 25cm는 8주가 생육 기대개체수였다. 소나무림의 경우 흉고직경 5cm 정도의 치수로 형성될 경우 100m<sup>2</sup> 당 약 29주의 생육이 예측되었으며, 12cm 규격은 19주, 18cm는 13주, 25cm는 9주의 수목이 생육할 것으로 기대되었다. 이상과 같이 단위면적당 적정 생육 기대개체수는 동일규격일 경우 곰솔림보다는 소나무림이 다소 높게 나타났다.

기후대가 다른 온대중부지역 소나무림(Hong *et al.*, 2010)의 연구결과와 비교해보면, 흉고직경 5cm 치수 군락에서는 식재량이 많은 차이를 보였으나, 각 지역의 평균흉고직경에 해당하는 20cm 전후 구간에서는 유사한 경향을 보였다. 이 경향에 대한 추정은 두 가지로 판단할 수 있는데 첫째, 회귀식 도출과정에서 선택한 함수의 차이에 기인한다고 볼 수 있다. 본 연구는 설명력이 높은 지수함수를 선택하였고, Hong *et al.*(2010)은 거듭제곱함수를 선택하였다. 둘째는 이러한 함수의 도출 차체가 기후대의 영향을 받은 것으로 판단할 수 있는데, 난온대림지역의 기후조건이 상대적으로 온대중부지역보다 양호하여 어린 나무들이 종내경쟁을 통해 고사하는 시기가 보다 늦게 나타나는 것으로도 추

정할 수 있었다. 이에 대한 연구는 천이초기 소나무류 군락의 모니터링을 통해 밝혀야 할 부분으로 판단된다.

조경적 측면에서의 식재수량을 규정하고 있는 현행 조경기준(MOLIT, 2015)과 비교해 보았을 때, 용도지역별 차이를 보이기는 하지만, 대체적으로 본 논문에서 제시하는 식재수량은 조경기준을 상회하였다. 특히 조경기준에서 식재수량의 가중치가 부여되는 흉고직경의 범위에서는 격차가 더 심해졌다. 조경기준은 건축법에서 파생되어 건축행위 이후 생활환경을 개선하고자 하는 최소한의 식재수량을 정하고 있다. 따라서 생태적 특성을 고려하는 특정 지역의 경우보다 높은 식재밀도를 제시하는 방향을 고려해야 할 것으로 판단된다. 즉, 생태적 식재가 요구되는 도심의 완충녹지 및 연결녹지 조성, 생물이동통로 및 산림복원지역 등의 식재기준은 자연지역의 수림대와 유사하게 조성될 수 있도록 새로운 기준을 제시할 필요성이 있었다. 이는 기존 식재밀도 제안이 타지역 녹지의 식재밀도를 기준으로 제안하기 보다는 (Kim, 1999; Han *et al.*, 2010) 목적에 따라 달리 적용해야 함을 의미한다.

아교목층과 관목층은 각 조사구별 편차가 심하게 나타나고 있었는데, 소나무림 아교목층에 출현하는 주요 출현종의 조사구별 출현율이 30%가 넘는 수종이 5종에 불과하였으며, 곰솔림은 1종도 없었다. 각 군락별 전체 조사구에서 상대우점

치가 높고, 출현빈도가 높은 주요 수종은 다음과 같다(Table 9). 곰솔림의 경우 아교목층에서는 때죽나무, 비목나무, 사스레피나무, 개웃나무, 곰솔이 주요 출현종이었고, 관목층에서는 싸리류, 비목나무, 사스레피나무, 개웃나무, 진달래, 쥐똥나무, 개머루, 산철쭉 등이었다. 이는 우리나라 남부권역 곰솔림의 특성을 연구한 기존의 결과(Park *et al.*, 2013; Kim, 2011; Kim and Choi, 2007)와 유사한 경향이였다.

소나무림은 아교목층에서는 비목나무, 때죽나무, 떡갈나무, 개웃나무 등의 출현율이 상대적으로 높았으며, 관목층에서는 비목나무, 때죽나무, 졸참나무, 생강나무, 개웃나무 등이 출현하였다. Kim and Sim(2010)에 따르면, 중부지방 소나무군락에서 아교목층에 수반하는 종은 당단풍나무, 때죽나무, 쪽동백나무, 노간주나무였고, 관목층에서는 국수나무, 덜꿩나무, 노린재나무, 붉은병꽃나무, 생강나무, 작살나무, 산초나무, 진달래, 철쭉 등이었다. 남부지방은 중부지방과 달리 소나무림 하층에 비목나무와 낙엽성 참나무류인 떡갈나무, 졸참나무 그리고 개웃나무가 출현하여 종 구성이 확연히 다른 것이 특징적이였다. 아교목층과 관목층의 경우, 개체 크기 및 교목층의 흉고직경과 개체수의 상관관계는 본 연구에서는 통계적인 관계성은 나타나지 않았다. 이는 중부지방에서의 소나무림 연구결과(Hong *et al.*, 2010)와 유사한 결과이다.

Table 8. Comparison of the suitable number of individuals followed by diameter of breast height size of canopy layer (Unit area: 100m<sup>2</sup>)

Division	5cm	12cm	18cm	25cm
<i>Pinus thunbergii</i>	23.7	16.1	11.6	7.9
<i>Pinus densiflora</i>	28.6	18.9	13.3	8.8
<i>Pinus densiflora</i> in the Central Cool Temperate*	59.5	19.0	11.2	7.3
Commercial Zone	10.0	5.0	2.5	1.3
Standard of Landscape** Industrial Zone	30.0	15.0	7.5	3.8
Residential and Green Zone	20.0	10.0	5.0	2.5

\* Hong *et al.*(2010), \*\* MOLIT(2015)

Table 9. Proper species of planting model of *Pinus thunbergii* and *Pinus densiflora*

Classification	<i>Pinus thunbergii</i> Forest	<i>Pinus densiflora</i> Forest
Canopy layer	<i>Pinus thunbergii</i>	<i>Pinus densiflora</i>
Understory layer (Appearance rate)	<i>Styrax japonicus</i> (25%), <i>Lindera erythrocarpa</i> (25%), <i>Eurya japonica</i> (25%), <i>Rhus trichocarpa</i> (21%), <i>Pinus thunbergii</i> (16%)	<i>Lindera erythrocarpa</i> (45%), <i>Styrax japonicus</i> (36%), <i>Quercus dentata</i> (36%), <i>Rhus trichocarpa</i> (27%)
Shrub layer (Appearance rate)	<i>Lespedeza</i> spp.(45%), <i>Lindera erythrocarpa</i> (35%), <i>Eurya japonica</i> (33%), <i>Rhus trichocarpa</i> (31%), <i>Rhododendron mucronulatum</i> (30%), <i>Ligustrum obtusifolium</i> (28%), <i>Ampelopsis brevipedunculata</i> (23%), <i>Rhododendron yedoense</i> f. <i>poukhanense</i> (21%)	<i>Lindera erythrocarpa</i> (77%), <i>Styrax japonicus</i> (59%), <i>Quercus serrata</i> (59%), <i>Lindera obtusiloba</i> (50%), <i>Rhus trichocarpa</i> (45%)



부산일대 한반도 남동부지역의 곰솔림과 소나무림의 분석을 바탕으로 생태적 공간을 구성할 경우에는 어린 나무를 식재할 경우 중부지방과 비교하여 보다 높은 밀도의 식재가 필요한 것으로 확인되었으며, 아교목층 및 관목층의 경우 토양과 지형에 따른 미세한 영향이 보다 크게 나타나는 바, 인접한 자연산림을 대상으로 한 우점종의 선정이 필요한 것으로 판단되었다. 이러한 문제는 객관적으로 검증된 생태적 식재를 어렵게 만드는 요인으로 작용할 수 있는데, 중부지방을 대상으로 한 Hong *et al.*(2010)의 연구에서도 동일한 경향성을 보인다. 향후 교목 하층식생 연구에 대한 보완과 함께 생태적 식재에 있어 자연적 고사에 대한 사회적 인식증진 등과 관련하여 지속적 연구가 보완되어야 할 것으로 판단된다.

## ACKNOWLEDGEMENTS

이 논문은 산림청 산림과학기술개발사업 중 훼손지 복원 연구(S211216L020410)의 지원에 의해 수행되었음.

## REFERENCES

- Ahn, I.S.(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. thesis, Univ. of Seoul, 196pp. (in Korean with English abstract)
- Bradshaw, A.D.(1972) Some evolutionary consequences of being a plant. *Evol. Biol.* 5: 25-47. (in English)
- Brown, R.T.(1967) Influence of naturally occurring compounds on germination and growth of jack pine. *Ecology* 48: 542-546. (in English)
- Ellenberg, H.(1956) *Grundlagen der vegetationsgliederung, I. Aufgaben und Method der Vegetationskunde.* Walter, H. (Hrsg) Einführung in die phytologie IV. Stuttgart: 136pp. (in English)
- Gorma M.L.(1979) *Island Ecology.* Chapman and Hall Ltd. London, 79pp. (in English)
- Han, B.H.(2000) Ecological Assessment and Planting Models of Green Linkage for Eco-city Realization. Ph.D. thesis, University of Seoul, 271pp. (in Korean with English abstract)
- Hong, S.H., B.H. Han and J.I. Kwak(2010) Development of the *Pinus densiflora* Community Planting Model in the Central Coll Temperate Zone of Korea. *Jour. KILA* 38(3): 107-114. (in Korean with English abstract)
- Jabu, S.(1987) Restoration of a kaolin clay strip mine for wildlife habitat using biotechnical and revegetation methods. MS thesis; Univ. of Georgia, Athens. 226pp. (in English)
- Kang, H.N. and J.H. Kim(1997) The Monoterpenoids in *Pinus thunbergii*, *Pinus rigida* and *Pinus densiflora*. *Korean J. Ecol.* 20(5): 323-328. (in Korean with English abstract)
- Kil, B.S. and Y.J. Yim(1983) Allelopathic effect of *Pinus densiflora* on undergrowth of red pine forest. *Journal of Chemical Ecology* 9: 1135-1151. (in Korean with English abstract)
- Kil, B.S., S.H. Oh and Y.S. Kim(1989) Effects of Growth Inhibitors from *Pinus thunbergii*. *Korean J. Ecol.* 12(1): 21-35. (in Korean with English abstract)
- Kim J.Y.(1999) Planting Models of Buffer Green Space based upon the Natural Vegetation Structure. Master's Thesis, University of Seoul, Korea, 98pp. (in Korean with English abstract)
- Kim, D.G.(2011) The Development of Ecological Planting Model for the Make Up of Coastal Windbreak Forest on Suncheon Bay in Suncheon-si, Korea. *J. Korean Env. Res. Tech.* 14(1): 89-104. (in Korean with English abstract)
- Kim, S.H. and S.H. Choi(2007) The Structure and Ecological Characteristics of Coastal Forest in Busan Metropolitan City. *Kor. J. Env. Eco.* 21(1): 67-73. (in Korean with English abstract)
- Kim, S.H.(2003) Ecological characteristics of Japanes black pine(*Pinus thunbergii*) forests of east coastal sand dunes in Korea. Ph.D thesis, Seoul Nat. Univ., 121pp. (in Korean with English abstract)
- Kim, S.K.(2011) Vegetation Restoration Model of *Pinus thunbergii* in Urban Areas. *J. Environ. Impact Assess.* 20(2): 151-162. (in Korean with English abstract)
- Kim, Y.S., S.C. Ko and B.H. Choi(1981) Distribution Atlas of Plants of Korea(IV)-Atlas of Pinaceae in Korea-. *Jour. Kor. Pl. Tax.* 11(1,2): 53-75. (in Korean with English abstract)
- Kim, Z.S., S.W. Lee, J.W. Hwang and K.W. Kwon(1993) *Pinus densiflora* for. *erecta*-Can It Be Treated Genetically as a Distinct Group?-Reconsideration Based on Allozyme Data-. *Jour. Korean For. Soc.* 82(2): 166-175. (in Korean with English abstract)
- Köppen, W. and R. Geiger(1936) *Handbuch der Klimatologie.* Verlag von Gebrüder Vortraeger. Berlin, 44pp. (in Deutsch)
- Lee S.H., I.H. Heo, K.M. Lee and W.T. Kwon(2005) Classification of Local Climatic Regions in Korea. *Korean Meteorological Society* 41(6): 983-995. (in Korean with English abstract)
- Lee W.T.(1978) Studies on the distribution of Vascular plants in the Korean Peninsula. Ph.D. thesis, Dongguk Univ. 33pp. (in Korean with English abstract)
- Lee, I.K. and M. Monsi(1963) Ecological studies on *Pinus densiflora* forest. 1. Effects of plant substances on the floristic composition of the undergrowth. *Botanical Magazine* 76: 400-413. (in Korean with English abstract)

- 
- Lim, K.B.(1985) Fundamental of Silviculture. Hayngmoon Press. 327pp. (in Korean)
- Miyawaki, A.(1999) Creative ecology restoration of native forestry native trees. Plant Biotechnology 16: 15-25. (in English)
- MOLIT(2015) Standards of Landscape Architecture. Ministry of Land, Infrastructure and Transport. (in Korean)
- Oh, K.K.(1986) A Study on the Planting Design Criteria Considering Ecological Characteristics of Natural Vegetation. Master thesis, Seoul Nat. Univ., 159pp. (in Korean with English abstract)
- Rizvi A.J.M. and V. Rizvi(1992) Allelopathy. Chapman&Hall. London. UK. 480pp. (in English)
- Westhoff, V., 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, 617-726pp. (in English)
- [www.forest.go.kr](http://www.forest.go.kr)(Korea Forest Service)