

우리나라 소나무림의 수고-흉고직경 생장에 따른 지역형 분류

박준형·정수영·이광수·김창환·박용배·유병오*

국립산림과학원 남부산림자원연구소

Classification of Regional Types for *Pinus densiflora* stands Using Height-DBH Growth in Korea

Joon Hyung Park, Su Young Jung, Kwang Soo Lee, Chang Hwan Kim,
Yong Bae Park and Byung Oh Yoo*

Southern Forest Resources Research Center, National Institute of Forest Science, Jinju 52817, Korea

요약: 본 연구에서는 소나무의 수고-흉고직경 생장의 관계를 이용하여 지역적인 차이에 따른 우리나라 소나무의 지역형을 구분하고자 하였다. Weibull 생장식을 이용하여 추정된 수고-흉고직경 생장모형을 기준으로 각 표준지의 잔차를 산출하였으며, 추출된 잔차의 공간적 분포 특성에 따라 공간 연관성 지표(Local indicators of spatial association; LISA) 중 Getis-Ord의 G_i^* 를 이용하여 군집을 분류하였다. 그 결과로부터 우리나라 소나무는 총 3개 그룹으로 분류되었으며, 분류된 그룹에 영향을 미치는 입지인자와 기후인자 중 연강수량의 영향이 가장 큰 것으로 나타났다. 본 연구의 결과는 우리나라 소나무림의 지역적인 경영관리를 위한 참고자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

Abstract: The object of this study was to classify the local types in relation to regional differences using Height-DBH growth of *Pinus densiflora* in Korea. The regional types were clustered according to Getis-Ord's G_i^* among Local indicators of spatial association (LISA) by characteristics of spatial distribution which were calculated the residual of sample plots by fitting Height-DBH growth model using Weibull growth equation. Accordingly, *Pinus densiflora* were classified 3 groups, It indicated that annual precipitation had one of the biggest impacts among the considered site and climate factors. This results can become the standard for regional management of *Pinus densiflora* forests.

Key words: DBH, Height, *Pinus densiflora*, Regional growth, Spatial statistics

서론

소나무는 지리적으로 한반도를 비롯하여 중국의 산둥반도, 압록강 연안 지역 및 일본의 북해도 이남지역에 분포하고 있으며, 우리나라의 북위 33° 20'인 제주도에서부터 함경북도 언성군 증산(북위 43° 20')까지 분포하고 있고, 동으로는 울릉도, 서쪽으로는 백령도의 섬들까지 분포하고 있다. 수직적 분포는 완도 200 m, 한라산 1,300~1,800 m, 금강산 100~180m, 백두산 300~900 m 사이에 분포하고 있다(Korea Forest Research Institute, 2012).

우리나라 산림의 면적은 6,394천ha이며, 그 중 소나무면적은 1,507천ha로 전체 산림면적의 1/4의 수준으로 단일수종으로서 그 비중은 매우 크다(Lee et al., 2009). 이러한 소나무는 지역에 따라 수형을 구분하여 남한 지역에는

안강형, 중남부평지형, 중남부고지형, 금강형으로 분류하고 있다. 이를 근거로 하여 분류되는 4가지 수형에 따라 물질생산량의 차이를 구명한 바 있다(Park and Kim, 1989; Park and Lee, 1990). 현재 우리나라의 산림경영을 위해 강원지방소나무와 중부지방소나무로 구분하여 전국 단위의 공용 수간재적표와 임분수확표를 활용하고 있으나(Korea Forest Service and Korea Forest Research Institute, 2014), 현재 각 지방적인 소나무의 경계가 명확하지 않아 지방적 수간재적표 및 임분수확표 개발에 어려움을 겪고 있다.

과거에는 소나무의 지역적인 특성 구명을 위하여 연륜생장 패턴을 이용하여 대표되는 지역을 대상으로 비교하였으며(Song et al., 1995), 식생구조에 따라 지역적인 군집을 분류하고 임분구조와 생장특성을 비교하여 지역적인 차이를 구명한 바가 있다(Lee et al., 2009; Lee et al., 2010). 또한 지위지수 분류곡선, 수고-흉고직경 생장모형

*Corresponding author
E-mail: boyoofri@korea.kr

등 지역별로 특성이 나타나는 다양한 성장식을 추정하였으나(Lee, 1996; Seo et al., 2011), 우리나라 소나무의 지역형 분류에는 여전히 어려움을 겪고 있다.

따라서 본 연구에서는 소나무의 수고-흉고직경 생장의 관계를 이용하여 지역적인 차이에 따른 우리나라 소나무의 지역형을 구분하고 입지 및 기후적인 요인과의 관계를 해석하여 지역적인 산림경영을 위한 기반 구축에 기여하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 자료의 생성 및 분석방법

본 연구에서는 수간형과 형상비, 수고, 흉고직경 생장의 지역적인 유형과 차이가 있다면, 수고-흉고직경 성장모형의 잔차 또한 지역적이고 공간적인 특성 및 경향이 나타날 것이라는 가설을 설정하고 이를 군집화 할 경우, 지역적인 유형 분류가 가능 할 것으로 판단하였다.

소나무의 수고-흉고직경 생장에 따른 지역형을 구분하기 위하여 전국 단위의 국가산림자원조사 자료(2006~2010)와 남부지역 소나무 조사자료(2014~2015)를 활용하였다. 전형적인 소나무림의 특성을 나타내기 위해서 소나무의 흉고단면적 기준 점유비율이 75%인 순림을 대상으로 추출하였다. 또한 임분밀도의 영향을 많이 받는 흉고직경 생장에 대해 그 영향을 최소화하기 위해 표준지 내 수고를 기준으로 상위 30%의 상층 우세목을 추출하여 총 1,975 개소의 분석 자료를 생성하였다(Table 1).

지역 간 성장차이를 구명을 위해 가장 우선적으로 고려되어야 할 변수는 산림자원조사에서 가장 중요한 조사 항목인 수고와 흉고직경이며, 대부분의 성장 및 수확예측모형에서도 가장 중요한 독립변수로써 측정된 흉고직경으로부터 수고를 추정하기도 한다(Curtis et al., 1981; Seo et al., 2011). 또한 수고-흉고직경 성장모형을 이용하여 지역권 분류나 공간적인 변이를 구분하는데 활용되고 있다(Calama and Montero, 2004; Zhang et al., 2004).

소나무의 수고-흉고직경 성장모형을 추정하기 위하여 설명력이 높은 것으로 알려진 바가 있는 Weibull 성장모형(식 1)을 이용하였으며(Seo et al., 2013), 추정된 성장모형을 기준으로 각 표준지의 잔차 분포 특성이 공간적으로 어떠한 경향이 나타나는지 분석하였다.

$$H = 1.2 + a(1 - \exp(-b \cdot D^c)) \quad (1)$$

where, H = Height

D = Diameter at breast height

a~c = Parameters

2. 공간분포영역 탐색

공간 군집기법 중 하나인 핫스팟 분석(Hot spot analysis)을 이용하여 각 소나무의 수고-흉고직경 성장특성에 따른 공간 분포영역을 탐색하였다. 추정된 회귀식의 잔차(Residual)를 표준화 점수(Z-Score)로 변형하여 군집분석을 하는 방법은 마케팅 전략핵심지역을 추출하거나 도심의 중심지 식별 및 재개발 대상지역을 분류하기 위해 주로 활용되고 있는 방법(McMillen, 2001; Cladera et al., 2009; Heo and Lee, 2009; Kim, 2011)으로 본 연구에서 착안하여 성장권역 분류에 활용하였다.

공간 군집을 탐지하기 위해 여러 국지적 공간 연관성 지표(Local indicators of spatial association; LISA) 중 Getis-Ord(1996)의 G_i^* 를 사용하였으며, 그 계산식은 식 2와 같다.

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{ij}x_j - \bar{x} \sum_{j=1}^n w_{ij}}{\sqrt{\frac{n \sum_{j=1}^n w_{ij}^2 x_j^2 - \left(\sum_{j=1}^n w_{ij}\right)^2}{n-1}}} \quad (2)$$

Where, x_j = Residual of each plots,

s = Standard deviation,

w_{ij} = Factor value of spatial weights matrix,

n = Number of areal unit

식 2에서 공간 단위 I와 j가 이웃으로 정의되면 $w_{ij}=1$ 이 되고 그렇지 않으면 $w_{ij}=0$ 이 된다. Getis-Ord의 G_i^* 를 이용하여 군집분석을 수행하는 가장 큰 이유는 G_i^* 통계량으로부터 직관적으로 핫스팟과 콜드스팟을 구분할 수 있기 때문이다(Kim and Park, 2012). 따라서 본 연구에서는 전국단위에서 추정된 수고-흉고직경 성장함수에 대한 각 표준지의 잔차에 대해 Getis-Ord의 G_i^* 통계량을 산출하고 이를 표준화 점수(Z-score)로 환산하였다. 또한 산출된 결과 값은 5%의 유의수준 이내에서 양의 값은 핫스팟으로 음의 값은 콜드스팟으로 분류하여 공간적인 분포영역을 군집화 하였다.

3. 지역별 성장패턴 비교

분류된 군집간의 수고-흉고직경 성장 패턴을 비교하기 위해 Weibull 모형을 이용하여 군집된 지역형별로 재 추정하였다. 재 추정된 모형식의 적합도 검정을 위해 적합도지수(FI; Fitness Index)를 산출하였으며, 편의(Bias), 표준제곱근오차(RMSE; Root Mean Square Error), 절대평균

Table 1. Description of variables used for Height-DBH growth model of *Pinus densiflora*.

Variables	Mean	Max.	Min.	No. of plots
DBH(cm)	16.9	59.9	6.0	
Height(m)	10.0	24.6	2.6	1,975
Age	35.9	126.0	16.0	

편차(MAD; Mean Absolute Deviation)를 이용하여 각 지역별 모형의 추정 정확도를 평가하고 수고-흉고직경 성장 패턴을 비교하였다.

임령에 따른 임목의 성장패턴은 임지의 생산력의 차이를 나타낼 수 있으며, 산림자원의 관리에 있어서 방법적인 차별화를 가져올 수 있다. 따라서 수고와 흉고직경만을 고려해 분류한 핫스팟과 콜드스팟의 두 공간적 군집 내에서 나타나는 임령에 따른 성장특성 차이가 존재하는지에 대한 검증을 실시하였다.

분석방법은 핫스팟과 콜드스팟 내의 각각의 공간군집을 2그룹으로 분류하여 독립표본 t 검정을 이용하였다. 이때 영급별로 자료를 분류하여 상층 우세목의 평균수고와 평균흉고직경 성장 패턴을 비교하여 동일 그룹으로 분류 가능한지 판단하였다.

4. 군집분류의 영향인자분석

분류된 군집분류에 영향을 미친 환경인자들에 대한 탐색을 위해 Pearson 상관분석을 실시하였다. 상관분석은 각 표준지의 해발고와 경사도, 연평균기온, 연강수량, 한랭지수, 온량지수, 최한월기온 등을 산출하여 군집분석의 독립변수인 표준화 점수(Z-score)와의 상관관계를 살펴보았다.

결과 및 고찰

1. 수고-흉고직경 성장모형 추정

Weibull 모형을 이용하여 추정한 수고-흉고직경 성장모

Table 2. Estimates of parameters and statistical test of Height-DBH growth model.

N	Parameters			RMSE	Bias	MAD	FI
	a	b	c				
1,975	23.948	0.050	0.802	1.719	0.039	1.326	0.691

형의 계수 추정치와 검정통계량을 산출하였다(Table 2). 검정통계량은 적합도 지수(FI; Fitness Index), 편의(Bias), 표준제곱근오차(RMSE; Root Mean Square Error), 절대평균편차(MAD; Mean Absolute Deviation) 통계량 값으로 적합성을 검토하였다. Weibull 모형에 의해 추정된 수고-흉고직경 성장모형의 적합도 지수는 약 69%였으며, 편의는 0.034로 비교적 낮은 값이 나타났다.

이와 같이 추정된 수고-흉고직경 성장모형에 대한 각 표준지의 실측치와 추정치의 차를 산출하여 도면상에 나타내었을 때 공간적인 경향을 확인할 수 있었으며, 이에 따라 공간군집기법을 이용하여 군집화 하였다.

2. 공간분포영역 탐지

Getis-Ord(1996)의 G_i^* 통계량을 이용하여 수고-흉고직경 성장특성에 따른 공간 분포영역 탐지 결과를 도식화하였다(Figure 1). 수고-흉고직경 성장모형을 기준으로 산출한 표준지의 잔차가 핫스팟으로 분류된 곳은 강원지역과 경남, 전북, 전남지역을 중심으로 형성되어 있는 것으로 나타났다. 또한 콜드스팟으로 분류된 곳은 경기, 충청, 경북, 전라 서부해안지역으로 분류되었다. 그리고 유의수준

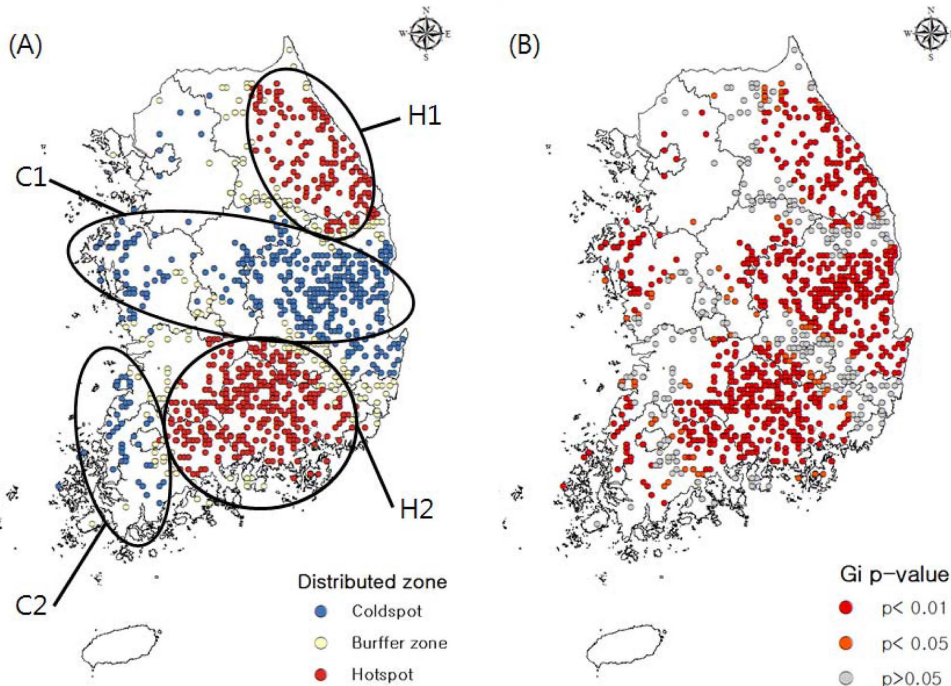


Figure 1. Spatial distribution of Grouped zones and p-value by G_i Statistic.

5% 이내에 포함되지 못한 지역은 전체 평균값을 지닌 완충 지역으로 분류되었다.

분류된 핫스팟의 그룹을 공간적으로 인접한 지역별로 군집화하면 강원지역과 경북 북부지역이 포함되는 H1 그룹, 전남 동부지역을 포함하는 H2 그룹으로 분류하였다. 콜드스팟은 경기와 충청, 경북지역을 포함하는 C1그룹, 전라 서부해안지역은 C2그룹으로 분류하였다. 이와 같이 핫스팟과 콜드스팟에서 그룹 내 각각의 공간군집 간 수고와 흉고직경의 영급에 따른 성장패턴의 차이를 비교하여 별도의 그룹으로 분류가능한지에 대해 검토하였다.

2. 소나무 지역형별 성장패턴의 비교

분류된 그룹 간 성장패턴의 차이를 확인하기 위해 각 그룹별로 수고-흉고직경 성장모형을 재 추정하였다(Table 3). 추정된 모형의 적합도 지수는 92~94%로 나타나 모든 그룹에서 전국단위의 성장모형보다 향상된 추정 정확도를 보였다.

Weibull 모형식의 계수 a는 곡선의 점근점을 의미하고, b는 범위, c는 모양을 표현한다(Son et al., 2013). 각 그룹별 점근점 중 H1이 31.510으로 가장 높은 값이 나타났

며, C2는 16.561로 가장 낮은 값이 나타났다. 범위를 의미하는 계수 b는 0.044~0.063으로 나타났으며, 모양 계수 c는 0.684~0.999의 범위에서 추정되었다.

그룹별로 재 추정된 수고-흉고직경 성장 모형을 도식화하여 각 지역별 성장패턴의 차이를 비교하였다(Figure 2). 강원지방소나무가 군집된 H1 그룹의 흉고직경 성장에 따른 수고생장이 이 전반적으로 가장 우수한 것으로 나타났으며, 지리산-덕유산권역 주변을 중심으로 군집된 H2 그룹이 H1 그룹과 가장 근접한 성장패턴이 나타났다. 전라 서부해안지역이 군집된 C2 그룹은 흉고직경 20 cm 이상의 구간에서 C1과 유사하였으며, 초기의 성장패턴에서 차이를 보이는 것으로 나타났다.

H1 그룹과 H2 그룹 간 영급별 수고와 흉고직경 성장 비교 결과(Figure 3), 수고생장의 경우 모든 영급에서 유의적인 차이가 없는 것으로 나타났다($p>0.05$). 그러나 흉고 직경의 경우 2영급부터 6영급까지 강원지역 소나무인 H1

Table 3. Re-estimated parameters and statistical test of Height-DBH growth model by distributed groups for *Pinus densiflora*.

Groups	Parameters			RMSE	Bias	MAD	FI
	a	b	c				
H1	31.510	0.055	0.684	2.005	0.049	1.571	0.922
H2	26.526	0.053	0.750	1.473	0.200	1.165	0.938
C1	22.056	0.063	0.711	1.310	-0.005	1.066	0.922
C2	16.561	0.044	0.960	1.300	-0.022	1.099	0.938

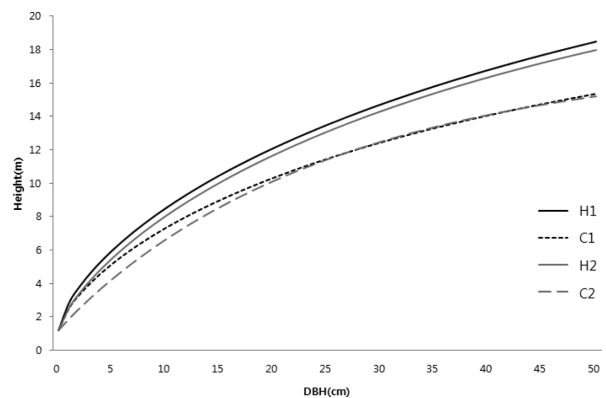


Figure 2. Comparison of Height-DBH growth pattern by each groups.

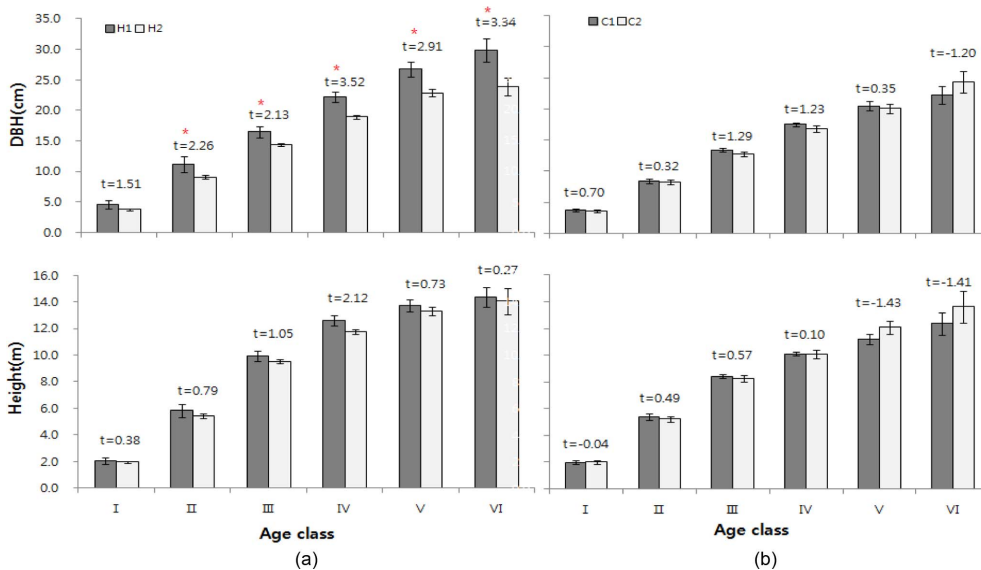


Figure 3. The comparison of DBH and Height growth between H1 group and H2 group by age class(A). The comparison of DBH and Height growth between C1 group and C2 group by age class(B). Vertical bars show standard error of mean. Each asterisk shows significant differences between treatments ($p<0.05$).

그룹의 생장이 우수한 것으로 나타났다($p < 0.05$). H1 그룹의 경우 4영급에 이미 흉고직경급 20 cm에 도달하고 있는 것에 비해 H2 그룹은 5영급에 도달하는 것으로 나타나 시기적인 차이가 존재하였다. 따라서 핫스팟 그룹에 분포하는 두 공간적 군집인 H1와 H2 그룹의 경우 독립적인 지역형으로 분류 가능할 것으로 사료된다.

콜드스팟 그룹 내 분류되고 있는 공간적 군집인 C1 그룹과 C2 그룹에 대한 t-test 분석 결과(Figure 3), 영급별 흉고직경과 수고의 생장의 차이는 존재하지 않는 것으로 나타나($p > 0.05$), 하나의 지역형으로 분류하는 것이 타당할 것으로 판단된다. 흉고직경급과 수고의 관계가 유사할 뿐만 아니라, 임령이 증가함에 따른 흉고직경 성장속도와 수고 성장속도도 유사하여 동일한 그룹으로 분류하는 것이 가능할 것으로 판단된다.

우리나라 중부지방에 해당하는 강원도, 경기도, 충청도 및 경북 북부지역의 소나무는 동에서 서쪽으로 이동할수록 수간형상이 원뿔형에서 원통형으로 변화하는 경향이 나타난다(Lee et al., 2006). 백두대간에 위치한 소나무림도 남부지역과 중부지역의 성장차이가 존재한다(Park et al., 2010). 본 연구의 결과에서도 강원지역은 경기, 충청 지역에 비해 우량한 임분이 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 또한 우리나라 백두대간의 최북단인 강원지역과 경북 일대의 성장차이가 확인되었으며, 남부지역인 지리산과 덕유산 일대에서도 중부지역과 성장차이가 검증되었다.

전체적으로 종합해 볼 때, 핫스팟의 경우 강원지역인 H1 그룹과 경남, 전남지역 등 남부지역인 H2 그룹 두 가지로 분류하였으며, 콜드스팟에서는 C1과 C2가 하나의 그룹으로 분류되어 우리나라 소나무는 전체적으로 총 3가지 지역형으로 분류할 수 있을 것으로 판단된다.

3. 소나무 지역적인 군집화에 대한 영향인자 분석

각 그룹의 군집화에 영향을 미친 인자를 살펴보기 위해 상관분석 결과, Z-score에 가장 큰 영향을 미치는 인자는 연강수량($r = 0.621$, $p < 0.01$)인 것으로 나타났다(Table 4). 반면, 한랭지수의 경우 영향이 없는 것으로 나타났으며

($p > 0.05$), 온량지수와 평균기온은 1% 유의수준에서 약한 부의상관이 나타났다. 또한 입지인자로 분류되는 해발고도와 사면경사는 Z-score에 대해 약한 정의 상관관계가 존재하는 것으로 나타났다($p < 0.01$).

소나무의 수고-흉고직경 성장모형의 각 표준지 잔차에 대해 연강수량의 영향이 크게 나타난 결과는 소나무의 수간 완만도에는 성장기의 강수량과 늦은 성장기의 바람이 큰 영향을 발휘한다는 보고와 유사한 결과로 판단된다(Lee et al., 2006). 또한 일반적으로 소나무의 연륜 성장량이나 분포에 있어서 기후인자의 영향이 존재하며(Lee et al., 2005; Park et al., 2010), 아주 복합적인 관계에 의해 영향을 미치므로 본 연구의 결과에서 1%의 유의수준에서 상관관계가 존재하는 것으로 나타난 연강수량, 평균기온, 온량지수, 해발고, 사면경사는 Z-score에 대해 서로 연계된 복합적인 영향을 미치는 것으로 판단된다.

결론

본 연구에서는 소나무의 수고-흉고직경 생장의 관계를 이용하여 지역적인 차이에 따른 우리나라 소나무의 지역형을 구분하고자 하였다. 전형적인 소나무림의 특성을 나타내기 위해서 흉고단면적 기준 소나무의 점유비율이 75%인 순림을 추출하였으며, 임분밀도의 영향을 많이 받는 흉고직경 성장에 대해 그 영향을 최소화하기 위해 표준지내 수고를 기준으로 상위 30%의 상층 우세목을 추출하여 분석하였다. Weibull 성장모형을 이용하여 추정된 수고-흉고직경 성장모형을 기준으로 각 표준지의 잔차를 산출하였으며, 추출된 잔차의 공간적 분포 특성에 따라 공간 연관성 지표(Local indicators of spatial association; LISA) 중 Getis-Ord의 G_i^* 를 이용하여 군집을 분류하였다.

분류된 그룹 간 수고-흉고직경 성장패턴을 비교하였을 때, 강원지역의 소나무가 포함된 H1 지역의 흉고직경에 대한 수고생장이 가장 우수하였으며, H2 그룹이 타 그룹에 비해 수고생장이 저조한 것으로 분석되었다. 핫스팟의 경우 강원지역인 H1과 지리산-덕유산 권역을 중심으로 분

Table 4. The result of correlation analysis between climate factors, location factors, and Z-score.

Variable	Z-score	Elevation	Slope	Warmth index	Coldness index	Annual precipitation	Mean temperature
Z-score	1	0.269**	0.097**	-0.152**	-0.040	0.647**	-0.111**
Elevation	0.269**	1	0.254**	-0.719**	-0.597**	0.019	-0.694**
Slope	0.097**	0.254**	1	-0.216**	-0.173**	-0.075**	-0.206**
Warmth index	-0.152**	-0.719**	-0.216**	1	0.861**	0.014	0.978**
Coldness index	-0.040	-0.597**	-0.173**	0.861**	1	0.104**	0.948**
Annual precipitation	0.647**	0.019	-0.075**	0.014	0.104**	1	0.052*
Mean temperature	-0.111**	-0.694**	-0.206**	0.978**	0.948**	0.052*	1

Note) * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

포한 H2 지역이 독립적인 그룹으로 분류 가능하였다. 콜드스팟은 각 공간 그룹 간 영급별 성장패턴의 차이는 나타나지 않았다.

분류된 그룹에 영향을 미치는 입지인자와 기후인자 중 연강수량의 영향이 가장 큰 것으로 나타났다. 그 외 유의 수준 5%에서 약한 상관을 보이는 해발고와 사면경사, 평균기온, 온량지수 등은 연강수량과 함께 아주 복잡한 영향을 미치는 것으로 판단된다.

본 연구에서 분류한 우리나라 소나무의 지역형은 수고-흉고직경 성장모형의 잔차를 이용하여 지역적인 경향을 분석하였으므로 임목의 수령이나 목재의 성질, 지위 등을 해석하기에는 어려움이 있다. 또한 소나무의 지역적 특성에는 다양한 입지 및 기후인자가 영향을 미치지만 그에 대한 상세한 영향을 밝히지는 못하였다. 그러나 우리나라 소나무림의 관리를 위해 필요한 지역적 수간재적표나 임분수확표의 적용 권역을 분류하는데 참고할 수 있을 만한 자료이며, 향후 보다 보완된 연구가 지속적으로 수행될 필요성이 있을 것으로 사료된다.

References

- Calama, R. and Montero, G. 2004. Interregional nonlinear height-diameter model with random coefficients for stone pine in Spain. *Canadian Journal of Forest Research* 34: 150-163.
- Cladera, J.R.M. and Moix, M. 2009. Urban structure and polycentrism: Towards a redefinition of the sub-centre concept. *Urban Studies* 46(13): 2841-2868.
- Curtis, R.O., Clendenen, G.W., and Demars, D.J. 1981. A new stand simulator for coast Douglas fir DFSIM user's guide. Forest Service General Technical Report. PNW128.
- Getis, A. and Ord, J. 1996. Local spatial statistics: An overview, in Longley, P. and Batty M.(eds.), *Spatial analysis: Modelling in a GIS Environment*, GeoInformation International, Cambridge, pp. 261-277.
- Heo, Y.K. and Lee, J.Y. 2009. The transformation of spatial structure: Employment, population, and land value in Ulsan. *Korea Planning Association* 44(2): 111-121.
- Kim, K.Y. 2011. Identification of centers using GWR and spatial clustering methods: A case study on Daegu metropolitan city. *The Korean Urban Geographic Society* 14(3): 73-86.
- Kim, K.Y. and Park, J.H. 2012. Detecting potential urban regeneration districts using gis and spatial clustering analysis. *The Korean Urban Geographic Society* 15(2): 67-80.
- Korea Forest Service and Korea Forest Research Institute. 2012. Tree volume-biomass and stand yield table. pp. 261.
- Korea Forest Research Institute. 2012. Economic tree, *Pinus densiflora*. pp 250.
- Lee, K.S., Kim, S.K., Bae, S.W., Lee, J.H., Shin, H.C., Jung, M.H., Moon, H.S., and Bae, E.G. 2009. Vegetation type and stand structure of *Pinus densiflora* forests in Kangwon naorthern region in Korea. *Journal of Agriculture & Life Science* 43(6): 7-17.
- Lee, K.S., Kim, S.K., Bae, S.W., Lee, J.H., and Jung, M.H. 2010. Vegetation type and stand structure of *Pinus densiflora* forests in Samcheok and Taebaek of Kangwon southern region. *Journal of Korean Forest Society* 99(6): 855-862.
- Lee, S.T., Yoon, S.L., Park, E.H., Kim, J.K., and Chung, Y.G. 2005. The dendro chronological characteristic of *Pinus densiflora* in Gyeongbuk region. *Korea Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 7(4): 289-295.
- Lee, W.K. 1996. Stand and general height-DBH curve models for *Pinus densiflora* in Kangwon province. *Korean Forest Economics Society* 4(2): 66-78.
- Lee, W.K., Biging, G.S., Son, Y.H., Byun, W.H., Lee, K.H., Son, Y.M., and Seo, J.H. 2006. Geostatistical analysis of regional differences in stem taper form of *Pinus densiflora* in central Korea. *Ecological Research* 21(4): 513-525.
- McMillen, D.P. 2001. Non-parametric employment suvcenter identification. *Journal of Urban Economics* 50(3): 448-473.
- Park, I.H. and Kim, J.S. 1989. Biomass regressions of *Pinus densiflora* natural forests of four local forms in Korea. *Journal of Korean Forest Society* 78(3): 323-330.
- Park, I.H., and Lee, S.M. 1990. Biomass and Net production of *Pinus densiflora* Natural forests of four local forms in Korea. *Journal of Korean Forest Society* 79(2): 196-204.
- Park, S.G., Joo, S.H., Lee, K.H., and Park, W.K. 2010. Relationships between climate and tree-ring of *Pinus densiflora* in the ridges of the Baekdudaegan, Korea. *Journal of Agriculture & Life Science* 44(5): 35-43.
- Seo, Y.O., Lee, Y.J., Rho, D.K., Kim, S.H., Choi, J.K., and Lee, W.K. 2011. Height-DBH growth models of major tree species in Chungcheong province. *Journal of Korea Forest Society* 100(1): 62-69.
- Song, C.C., Byun, W.H., and Lee, W.K. 1995. Districting the growth zone by diameter growth pattern for *Pinus densiflora* in Kangwon Province. *Journal of Korean Forest Society* 84(1): 71-76.
- Son, Y.M., Lee, K.S., Yoo, B.O., and Pyo, J.K. 2013. Estimation of site index for *Pinus thunbergii* in southern region of Korea. *Journal of Agriculture* 46(6): 119-126.
- Zhang, L., Bi, H., Cheng, P., and Davis, C.J. 2004. Modeling spatial variation in tree diameter-height relationships. *Forest Ecology and Management* 189: 317-329.