

## 환경인자에 따른 소나무림의 생태적 지위에 관한 연구

서동진<sup>1\*</sup> · 오창영<sup>1</sup> · 우관수<sup>2</sup> · 이재천<sup>1</sup>

<sup>1</sup>국립산림과학원 산림유전자원부, <sup>2</sup>국립산림과학원 연구기획과  
(2013년 9월 3일 접수; 2013년 9월 10일 수정; 2013년 9월 10일 수락)

### A Study on Ecological Niche of *Pinus densiflora* Forests according to the Environmental Factors

Dong-Jin Seo<sup>1\*</sup>, Chang-Young Oh<sup>1</sup>, Kwan-Soo Woo<sup>2</sup> and Jae-Cheon Lee<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Forest Genetic Resources, Korea Forest Research Institute, Suwon 441-847, Korea

<sup>2</sup>Division of Research Planning and Coordination, Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea

(Received September 3, 2013; Revised September 10, 2013; Accepted September 10, 2013)

#### ABSTRACT

This study was conducted to investigate the effect of ecological factors affecting *Pinus densiflora* forest distribution associated with climate change in the future. Ecological niche is used as a method to quantify the position occupied in biological communities, space, influence and all ecological factors. Ecological niche breadth was analyzed on meteorological and growth factors of *P. densiflora*. Nine sites (i.e., Gangneung, Jeongseon, Pyeongchang, Hamyang, Bonghwa, Yeongyang, Uljin, Uiseong and Boseong) were selected to set 20 m × 20 m quadrat from September to October 2010. The height, DBH, clearlength, crown width and basal area were measured at each quadrat and used as growth factors. In addition, the measured values from the closest weather stations of each survey area of the maximum, mean and minimum temperature, humidity and precipitation were used as meteorological factors. The ecological niche breadth of the five meteorological factors except humidity was low. It is considered that precipitation could effect on the distribution of *P. densiflora* forest. In particular, maximum temperature showed low ecological niche breadth less than 0.4 in most of the survey areas. However, the ecological niche breadth of the five growth factors was high in all survey areas.

**Key words:** Climate change, *Pinus densiflora*, Ecological niche breadth, Niche overlap index, Environmental factors

#### I. 서 론

IPCC는 20세기 지구 평균기온이 0.6°C 상승하였으며, 21세기에는 평균기온이 1.4-5.8°C 상승할 것이라 전망하고 있다(IPCC, 2007). 우리나라도 지난 100년간 평균기온은 1.5°C 정도 상승하였으며, 특히 겨울 최저기온 상승이 두드러진 것으로 나타났다(Kim *et al.*, 2000). 소나무(*Pinus densiflora* Sieb. et Zucc.)

는 우리나라 국민이 가장 좋아하는 대표적인 상록 침엽수종으로서 임업뿐만 아니라 역사적, 문화적으로도 중요한 수종이다. 소나무림은 우리나라 전체 산림의 1/4을 차지하며 참나무류와 더불어 우리나라 주요 산림경관을 구성하는 대표적인 수종이다. 그러나 현재 소나무림은 산림천이, 소나무 재선충병, 솔잎혹파리 등 병해충, 산불 등 교란 등 복합적인 영향으로 분포면적이 축소되거나 쇠퇴되고 있다. 특히 자연 천이에 의하



\* Corresponding Author : Dong-Jin Seo  
(clchangead@forest.go.kr)

여 소나무림의 하층식생 우점종인 참나무류 등 활엽수종의 밀도가 증가하여 향후 상층 소나무와 경쟁이 심해 질 것이며, 이미 대부분의 지역에서 소나무와 참나무류의 경쟁으로 인한 천이가 진행되고 있다. 소나무림의 지속적인 보전은 교란의 종류와 강도, 입지조건에 따라 달라지며, 특히 기후변화에 의하여 활엽수종의 생장이 빨라질 경우 소나무림의 쇠퇴가 불가피하고 또, 산림토양 내 비옥도가 높아질 경우 낙엽활엽수림으로 천이가 진행될 것이며 결국 소나무림은 국소적인 분포를 할 수밖에 없을 것이다(Seo, 2012).

소나무림 분포에 미치는 환경 인자를 규명하기 위한 방법은 여러가지가 있다. 그 중 생태적 지위는 생물군집과 생태계 내의 공간, 영향 및 모든 환경 요인에서 차지하는 위치를 정량화 할 수 있는 방법이다. 생태적 지위(ecological niche)는 생물이 서식지를 차지하는 공간 뿐만 아니라 군집 내에서 영위하는 고유한 기능을 일컫으며, 공간 또는 서식지 지위, 영양지위 및 다차원 지위 등으로 구분된다. 따라서 각 종은 군집 또는 생태계 내에서 독특한 생태적 지위를 갖는다. 생태적 지위는 생태적 지위폭(ecological niche breadth)과 생태적 지위 중복역(ecological niche overlap)으로 구분하여 이들을 정량화하는 방법이 연구되어 왔다(Levens, 1968; Shoner, 1970; Colwell and Futuyma, 1971; Hulbert, 1978; Abrams, 1980).

생태적 지위폭은 생물의 최저와 최고 내성 한계 사이의 폭, 즉 내성의 범위를 말하는데, 생태적 지위폭이 좁은 종은 특수한 서식지가 필요하므로 종의 분포역이 한정되고, 개체수가 적는데 비하여, 생태적 지위폭이 넓은 종은 환경 변화에 잘 적응할 수 있어 분포역이 넓게 나타난다(Pianka, 1983). 생태적 지위 중복역은 환경 요인 또는 환경 자원의 이용이 같거나 서로 비슷할 때 나타나는데 차이의 정도는 생태적 지위 중복역의 크기에 따른다(Shoener, 1970; Hulbert, 1978). 이렇듯 같은 장소에 공존하거나 동시에 출현하는 유연관계가 높은 종의 상호간 비교 생태학적 연구는 Harper *et al.*(1961) 이래 주로 초본 식물을 대상으로 행해져 왔다. 우리나라에는 섬시호의 생태학적 반응 연구(Jeong, 2012), 다년생 초본을 대상으로 한 연구(Park, 2003), 섬자리공과 미국자리공의 생태학적 반응에 관한 연구(Kim, 2010) 등 초본에 관한 연구와, 목본식물은 상수리나무와 굴참나무의 생태적 반응에 대한 연구(Kim *et al.*, 2008; Jeong *et al.*, 2010)와

하천변에 분포하는 버드나무에 대한 연구(Lee *et al.*, 2001; Lee, 2002)가 수행되었으며, 우리나라의 대표적인 수종인 소나무를 대상으로 한 연구는 전무한 실정이다.

본 연구는 전국의 소나무림을 대상으로 토양환경, 기상인자, 생육인자를 조사하여 각 지역별 소나무림의 분포 특성을 알기 위하여 생태적 지위폭을 분석하였고, 각 소나무림의 분포 특성의 차이의 정도를 이해하기 위해서 생태적 지위 중복역을 분석하여, 기후변화에 따른 소나무림의 분포 변화를 예측하고자 하였다.

## II. 재료 및 방법

### 2.1. 조사지 개황

2010년 9월부터 10월까지 온대 남부, 중부, 북부지역의 소나무림을 대상으로 강릉, 정선, 평창, 함양, 봉황, 영양, 울진, 의성 보성 9개 지점을 선정하였으며, 20×20m의 방형구를 설치하였으며, 조사지역의 위치, 해발고도, 기상 개황은 Table 1과 같다.

### 2.2. 조사지역의 환경요인 분석

각 조사지역에서 토양 시료를 채취하여 pH, EC,

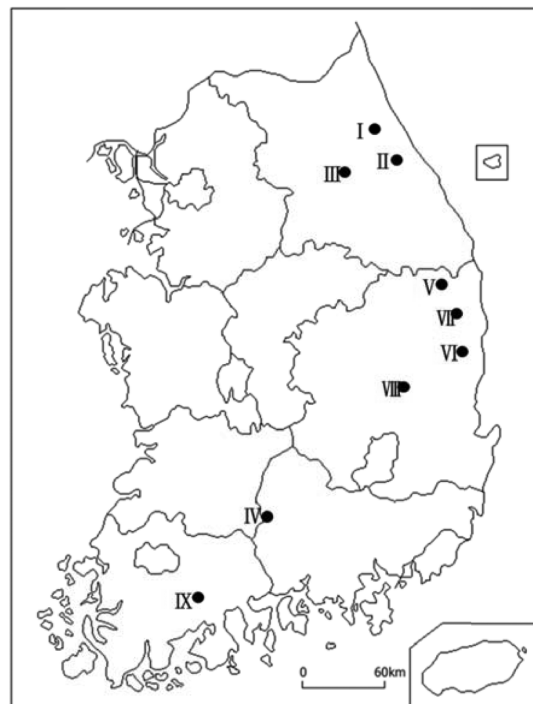


Fig. 1. Location map of each study sites.

**Table 1.** Location and meteorological factors of each study site

Site	GPS		Altitude (m)	Precipitation (mm)	Humidity (%)	Temperature (°C)		
	Lat	Lon				Mean	Max.	Min.
I	37°42'10.5"	128°46'59.9"	489	1,288.7	73.4	6.5	1.5	11.6
II	37°32'14.3"	128°55'20.9"	647	965.1	65.9	9.9	5.0	15.9
III	37°27'26.8"	128°29'33.9"	667	965.1	65.9	9.9	5.0	15.9
IV	35°27'16.4"	127°38'27.4"	607	1,576.8	73.0	12.2	6.9	18.4
V	37°03'35.8"	129°07'57.4"	613	1,220.2	70.7	9.1	3.1	15.8
VI	36°45'38.0"	129°15'28.7"	446	1,101.3	68.4	11.9	7.8	16.4
VII	36°56'26.4"	129°14'00.8"	504	1,101.3	68.4	11.9	7.8	16.4
VIII	36°26'39.8"	128°49'22.0"	270	1,007.9	67.1	11.3	4.8	18.6
IX	34°55'23.3"	127°05'58.9"	231	1,779.9	70.7	13.6	9.1	18.4

Note) I: Kangreung, II: Jeongseon, III: Pyeongchang, IV: Hamyang, V: Bonghwa, VI: Yeongyang, VII: Uljin, VIII: Uiseong, IX: Boseong

**Table 2.** Growth factors of each study sites used for measurement of niche breadth

Site	Height (m)	DBH (cm)	Clear length (m)	Crown width (m)	Basal area (m <sup>2</sup> )
I	20.7±2.0	47.2±9.6	14.4±1.7	4.8±1.1	2.907±0.07
II	15.1±0.6	35.9±4.1	11.0±1.1	3.7±0.6	1.534±0.02
III	18.2±0.9	55.5±8.3	10.3±1.6	5.0±0.7	2.965±0.07
IV	17.6±0.6	33.4±5.1	11.2±1.2	4.0±0.9	1.434±0.03
V	15.7±0.7	31.5±4.9	7.8±1.1	4.5±0.8	0.957±0.02
VI	14.5±1.0	36.8±4.4	9.9±0.8	4.0±0.5	1.939±0.03
VII	12.6±1.0	26.5±5.0	4.6±0.8	4.5±0.7	1.309±0.02
VIII	14.9±1.5	22.3±4.1	9.5±2.2	3.8±1.0	1.375±0.02
IX	17.0±0.8	31.1±3.9	10.5±2.1	5.2±0.7	1.467±0.02

유기물함량, 총질소 함량, 유효인산, 치환성양이온(K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>) 등 토양 화학적 성질을 분석하였다 (농업과학기술원, 2000). 또한 조사대상 수종의 분포 상태를 밝히기 위하여 각 조사지점별 수고, 흉고직경, 지하고, 수관폭, 흉고단면적, 상대우점도를 조사하여 생육인자로 이용하였으며(Table 2), 상대우점도는 흉고단면적을 토대로 산출하였다. 기상인자는 평균기온, 최고기온, 최저기온, 습도, 강수량을 각 조사지역에서 가장 가까운 관측소의 최근 30년간 관측 자료(www.kma.go.kr)를 기상인자로 이용하였다.

**2.3. 생태적 지위폭 및 생태적 지위 중복역**

생태적 지위폭(ecological niche breadth)은 서식지 환경요인에 대한 생물의 최저내성한계와 최고내성한계 사이의 범위이다(여천생태연구회, 2005). 생태적 지위 폭은 종 또는 환경요인에 따라 다르게 나타나며, 어떤 환경요인에 대하여 한 생물의 생태적 지위폭이 넓으면

그 환경요인에 대한 내성이 크며, 환경변화에 잘 적응할 수 있어서 분포역이 넓어지고 개체수도 증가한다. 하지만 생태적 지위폭이 좁으면 내성이 작으며, 특수한 서식지가 필요하므로 분포역이 한정되고 개체수는 감소한다. 이러한 생태적 지위 변화양상을 파악하기 위해 Levins(1968)의 식을 이용하여 다음과 같이 계산하였다.

$$B = 1/\sum(P_i^2)S$$

B : niche breadth (Levins' B)

P<sub>i</sub> : relative response of a given species to the whole gradients that is realized in gradient *i*

S : total number of gradients

생태적 지위 중복역(ecological niche overlap)은 환경요인 또는 환경자원의 이용이 서로 같거나 서로 비슷할 때 나타난다. 생태적 지위 중복역은 두 종의 비례유사도(proportional similarity)로 표시한다. 비례유

사도는 동일 환경 구배에서 나타나는 종 사이의 상대 반응비의 차의 절대치의 합을 이용하여 계산하였다. 생태적 지위가 동일하면 생태적 지위가 완전히 중복되어 비례유사도는 1이고, 생태적 지위가 전혀 다르면 0이다. 생태적 중복역은 같은 군집이나 생태계에서 동일한 환경자원을 두 종 이상의 생물이 공동적으로 이용할 때 일어나는 경쟁의 정도를 판단하기 위한 방법이지만 본 연구에서는 각각 다른 환경조건에서 환경요인수준에 대한 소나무림의 분포 특성의 환경 요인별, 형질별 차이를 밝히기 위하여 Shoener(1970)의 비례 유사도를 이용하여 생태적 지위 중복역을 계산하였다. 또한 각 지역의 상대적인 차이를 밝히기 위하여 생태적 지위 중복역을 토대로 cluster 분석을 실시하였다.

$$PS = 1 - 1/2 \sum |P_{ij} - P_{ih}|$$

PS : Proportional similarity (niche overlap)

$P_{ij}$  : Relative response of species  $j$  in the  $i$  gradient

$P_{ih}$  : Relative response of species  $h$  in the  $i$  gradient

### III. 결과 및 고찰

조사지역의 토양 화학적 성질을 분석한 결과 pH 5.07~5.63으로 나타나 강릉, 정선, 함양, 봉화, 영양, 보성 지역이 우리나라 산림토양의 표토층 평균 pH 보다 다소 낮았으나(Jeong *et al.*, 2003), 침엽수의 생육에 지장을 초래하는 pH는 4.5 이하라는 Hotta(1990)의 연구와 비교했을 때 조사지역의 소나무림은 토양 pH에 의한 생장에 큰 지장은 없을 것으로 판단된다. 토양 내 보수력, 토양구조 등 토양의 이화학적 성질에 큰 영향을 미치는 유기물 함량은 5.23~16.63%로 산

림토양의 적정 유기물 함량 3.44%(Jeong *et al.*, 2003)에 비해 높은 것으로 나타났으며, 산림면적이 적고 구릉성산지가 많은 지역에 비해 산악지역에서 유기물 함량이 높게 나타난다는 결과(Jeong *et al.*, 2002)와 유사한 경향을 보였다. 토양유기물과 밀접한 상관관계를 보이는 것으로 알려져 있는 전질소의 경우(Kim *et al.*, 1991) 지역별로 정선, 봉화지역이 0.45%, 0.43%로 높게 나타났으며, 울진, 의성지역에서 각각 0.15%와 0.13%로 낮게 나타났다. 이러한 결과는 우리나라 산림토양의 전질소 함량이 0.43%~0.09%라는 결과(Jeong *et al.*, 2002)와 비슷한 경향으로 나타났다. 토양 내 유효인산의 함량은 토양 pH나 유기물함량간에 밀접한 관계가 있으며 pH가 낮을 경우 인산의 난용성화에 기인하여 유효인산의 함량이 낮게 나타나는 것으로 알려져 있다(진 등, 1994). 그러나 본 연구 결과에서는 pH와 유기물함량과 뚜렷한 관계가 나타나지 않았으며, 오히려 상반되는 결과를 나타내고 있어 산림지역에서 유효인산의 변이가 매우 큰 것으로 나타났다(Lee, 1981; Jeong *et al.*, 2003). EC와 유기물을 제외한 대부분 항목에서 함유량이 낮게 나타났는데, 이러한 조사 결과는 소나무 임분에서 토양 화학적 성질이 다른 임분에 비해 함량이 비교적 낮게 나타났다는 연구결과(Kim *et al.*, 1998)와 유사하게 나타났다.

생육인자에 대한 생태적 지위폭 중 수고는 전 지역에서 높은 값을 보였으며, 상대우점도 0.881~0.951, 수고 0.990~0.999, 흉고직경 0.963~0.988, 지하고 0.950~0.993, 수관폭 0.932~0.988, 흉고단면적 0.874~0.951으로 모든 생육인자에서 0.8 이상으로 높은 생태적 지위폭을 나타내고 현재까지는 환경변화에 적응하여 안정적으로

Table 3. Soil chemical properties of each study site

Site	pH (H <sub>2</sub> O)	EC (ds/m)	O.M. (%)	T-N (%)	Avail. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/kg)	C.E.C. (cmol+/kg)	Exch. cations (me/100 g)			
							Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>
I	5.43	0.19	11.20	0.29	9.33	20.31	3.17	0.71	0.43	0.09
II	5.13	0.18	12.20	0.26	16.00	24.42	0.15	0.19	0.23	0.12
III	5.13	0.15	16.63	0.43	17.33	24.71	1.14	0.28	0.21	0.10
IV	5.10	0.18	10.20	0.25	23.00	18.70	1.77	0.46	0.20	0.09
V	5.53	0.13	6.17	0.15	8.33	14.52	2.09	0.79	0.16	0.08
VI	5.63	0.17	5.23	0.13	5.00	13.20	3.00	1.42	0.28	0.08
VII	5.07	0.21	13.73	0.45	15.67	35.39	1.41	0.28	0.31	0.09
VIII	5.53	0.16	8.37	0.23	13.33	18.26	2.42	0.49	0.21	0.07
IX	5.10	0.17	12.37	0.38	16.67	23.39	0.70	0.22	0.23	0.10

분포하는 경향을 보이고 있는 것으로 판단된다. 각 지역별 생육인자에 대한 생태적 지위폭은 모든 지역에서 0.9 이상의 안정된 분포역을 나타내었으며, 그 중 영양, 정선, 보성 지역이 0.970 이상의 높은 생태적 지위폭을 보여 조사지역 가운데 환경변화에 잘 적응하여 분포역이 넓은 것으로 판단된다. 이러한 결과로 미루어 볼 때 생육인자에 대한 생태적 지위폭은 오랜기간에 걸쳐 현재 환경에 적응한 것으로 판단되며, 현지 적응에 따라 현재 소나무림의 내성 범위가 넓은 상태이지만 지속적인 기후변화는 곧 생육인자에 영향을 미칠 것이며 그에 따른 소나무림의 내성 변화로 인해 분포 감소로 이어질 것으로 예상된다. 또한 산림천이는 소나무림 분포에 영향을 주는 큰 요소로 들 수 있으며, 천이 초기종은 형태 및 생리적 가소성이 커서 환경변화에 적응력이 강하며, 토양함수량, 광도, 토양 비옥도, 온도 등의 변화에 비교적 빨리 순응하며 유연하게 대처한다(Kim *et al.*, 2008). 또한 천이 초기종이 천이 후기종 보다 생태적 지위폭이 넓다(Lee and Bazzaz, 1985). 기존 상수리나무와 굴참나무의 생태적 지위폭을 연구한 결과(Kim *et al.*, 2008)와 비교하였을 때 소나무가 참나무류에 비해 생태적 지위폭이 높은 것으로 나타났다. 이것은 소나무가 참나무류에 비해 천이 초기종으로 판단되며, 소나무림이 참나무림으로 천이 될 것이라는 많은 연구결과와 일치하는 것으로 향후 천이에 의한 소나무림 분포 감소의 가능성을 보여준다.

기상인자에 대한 생태적 지위폭은 강수량 0.379~0.556, 습도 0.959~0.991, 평균기온 0.281~0.682, 최고기온 0.018~0.466, 최저기온 0.563~0.812으로 최고기온이 가장 낮게 나타났으며, 습도의 생태적 지위폭

이 가장 높게 나타났다. 소나무의 성장 및 계절현상 등 생태적인 반응에 가장 큰 영향을 미치는 기상인자는 기온이라는 연구(Seo, 2012)와 최고기온 차이가 소나무의 성장개시기와 개엽시기를 결정하는 주요 인자라는 연구(Kim *et al.*, 2012)와 일치하는 결과로서 강수량과 기온 특히 최고기온에 대한 소나무림 분포 내성 범위가 좁은 것으로 강수량과 기온의 변화가 앞으로 소나무림 분포 변화에 중요한 요소로 작용할 수 있음을 시사한다. 지역적으로는 보성의 생태적 지위폭이 가장 넓은 것으로 나타났으며, 강릉의 생태적 지위폭이 가장 좁은 경향을 보였다. 이러한 생태적 지위폭은 환경요인에 따라 다르게 나타나며, 보성지역 소나무림이 환경요인에 대한 내성이 크며, 환경변화에 잘 적응할 수 있어서 분포역이 넓고 개체수도 많아 질 가능성이 있으나, 반대로 강릉의 소나무림은 환경요인에 대한 내성이 상대적으로 작은 것으로 판단되어 분포역이 한정되고, 개체수가 감소하는 경향이 나타날 수 있다. 또한 지역간 차이는 기온의 영향을 받은 것으로 판단되며 평균기온이 낮은 지역으로 갈수록 생태적 지위폭이 좁아지는 경향을 보여 기온이 생태적 지위폭 변화에 큰 영향을 미치는 것으로 사료된다. 평균기온이 높은 지역에서는 소나무의 성장개시기와 개엽시기가 평균기온이 낮은 지역보다 상대적으로 빠른 경향이 있으며(Kim *et al.*, 2012; Seo, 2012), 평균기온이 낮은 지역에서 기후변화나 이상기후로 인한 이른 봄 성장시기가 빨라진다면, 만상으로 인한 수고와 직경생장이 감소하는 결과를 초래할 수 있다(Chmura and Rozkowski, 2002). 따라서 평균기온이 높은 지역보다 평균기온이 낮은 지역에서 기후변화에 따른 기온의 변화가 소나무의 성장 및 생리반응에 영향을 미

**Table 4.** Niche breadth of each study sites along growth factors

Site	Relative basal area	Height	DBH	Clear length	Crown width	Basal area	Mean±S.D.
I	0.877 <sup>cd</sup>	0.991 <sup>f</sup>	0.963 <sup>e</sup>	0.9864 <sup>f</sup>	0.949 <sup>cd</sup>	0.877 <sup>c</sup>	0.941±0.051 <sup>d</sup>
II	0.950 <sup>d</sup>	0.999 <sup>bc</sup>	0.988 <sup>d</sup>	0.990 <sup>de</sup>	0.972 <sup>a</sup>	0.950 <sup>cd</sup>	0.975±0.021 <sup>c</sup>
III	0.925 <sup>c</sup>	0.998 <sup>e</sup>	0.980 <sup>f</sup>	0.978 <sup>cde</sup>	0.981 <sup>cd</sup>	0.925 <sup>f</sup>	0.965±0.031 <sup>d</sup>
IV	0.923 <sup>cd</sup>	0.999 <sup>de</sup>	0.979 <sup>cd</sup>	0.989 <sup>e</sup>	0.957 <sup>ab</sup>	0.923 <sup>cd</sup>	0.962±0.033 <sup>c</sup>
V	0.919 <sup>e</sup>	0.998 <sup>c</sup>	0.978 <sup>c</sup>	0.983 <sup>b</sup>	0.970 <sup>bc</sup>	0.919 <sup>bc</sup>	0.961±0.034 <sup>b</sup>
VI	0.950 <sup>bcd</sup>	0.996 <sup>b</sup>	0.987 <sup>d</sup>	0.993 <sup>cd</sup>	0.988 <sup>ab</sup>	0.951 <sup>d</sup>	0.977±0.021 <sup>c</sup>
VII	0.873 <sup>b</sup>	0.993 <sup>a</sup>	0.967 <sup>b</sup>	0.971 <sup>a</sup>	0.980 <sup>bc</sup>	0.873 <sup>ab</sup>	0.943±0.055 <sup>a</sup>
VIII	0.881 <sup>a</sup>	0.990 <sup>bc</sup>	0.967 <sup>a</sup>	0.950 <sup>c</sup>	0.932 <sup>a</sup>	0.881 <sup>a</sup>	0.934±0.045 <sup>a</sup>
IX	0.945 <sup>bc</sup>	0.998 <sup>d</sup>	0.986 <sup>c</sup>	0.963 <sup>cde</sup>	0.984 <sup>d</sup>	0.945 <sup>bc</sup>	0.970±0.022 <sup>bc</sup>

**Table 5.** Niche breadth of each study sites along meteorological factors

Site	Precipitation	Humidity	Temperature (°C)			Mean±S.D.
			Mean	Max.	Min.	
I	0.556 <sup>cd</sup>	0.985 <sup>a</sup>	0.281 <sup>a</sup>	0.018 <sup>a</sup>	0.563 <sup>a</sup>	0.481±0.361 <sup>bc</sup>
II	0.379 <sup>ab</sup>	0.984 <sup>b</sup>	0.468 <sup>bc</sup>	0.177 <sup>b</sup>	0.688 <sup>c</sup>	0.539±0.309 <sup>ab</sup>
III	0.379 <sup>bcd</sup>	0.984 <sup>b</sup>	0.468 <sup>cd</sup>	0.177 <sup>c</sup>	0.688 <sup>c</sup>	0.539±0.309 <sup>bc</sup>
IV	0.438 <sup>bcd</sup>	0.986 <sup>b</sup>	0.618 <sup>f</sup>	0.323 <sup>d</sup>	0.784 <sup>d</sup>	0.630±0.265 <sup>bc</sup>
V	0.468 <sup>bcd</sup>	0.983 <sup>b</sup>	0.437 <sup>b</sup>	0.0716 <sup>bc</sup>	0.716 <sup>b</sup>	0.535±0.340 <sup>bc</sup>
VI	0.516 <sup>a</sup>	0.959 <sup>b</sup>	0.670 <sup>b</sup>	0.435 <sup>bc</sup>	0.812 <sup>b</sup>	0.678±0.214 <sup>a</sup>
VII	0.516 <sup>abcd</sup>	0.959 <sup>b</sup>	0.670 <sup>c</sup>	0.435 <sup>c</sup>	0.812 <sup>f</sup>	0.678±0.214 <sup>bc</sup>
VIII	0.524 <sup>abc</sup>	0.987 <sup>b</sup>	0.519 <sup>d</sup>	0.147 <sup>d</sup>	0.762 <sup>c</sup>	0.588±0.313 <sup>ab</sup>
IX	0.506 <sup>d</sup>	0.991 <sup>c</sup>	0.682 <sup>f</sup>	0.466 <sup>d</sup>	0.806 <sup>c</sup>	0.690±0.217 <sup>c</sup>

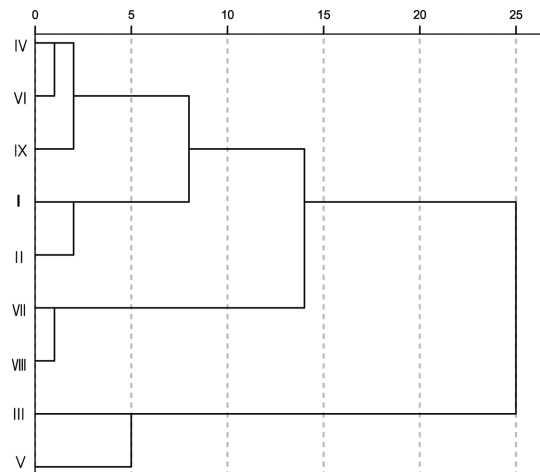
**Table 6.** Niche overlap of nine sites estimated by the niche overlap index in *Pinus densiflora* forest

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
I	-								
II	0.888	-							
III	0.782	0.856	-						
IV	0.799	0.874	0.815	-					
V	0.804	0.808	0.857	0.807	-				
VI	0.845	0.886	0.807	0.919	0.826	-			
VII	0.829	0.815	0.737	0.826	0.717	0.853	-		
VIII	0.810	0.796	0.691	0.795	0.691	0.840	0.912	-	
IX	0.873	0.896	0.808	0.883	0.830	0.920	0.837	0.843	-

쳐 나이가 소나무림 분포에 변화를 가져 올 것으로 예상된다.

상대우점도에 따른 지역간 소나무림의 분포특성을 나타내는 생태적 지위 중복역은 조사지역에서 중복되는 경우는 없었으며, 영양과 보성, 영양과 함양에서 0.920와 0.919로 높게 나타났으며, 의성과 평창, 의성과 보성이 각각 0.691로 가장 낮게 나타났다. 이러한 지역간 차이는 조건이 다른 지역에서도 소나무림이 갖는 특징을 나타내주는 지표로서 지역간 차이의 정도는 생태적 지위 중복역의 크기에 비례하는 관계가 있으므로 소나무림의 생태적 중복역을 측정하는 것은 소나무림 분포특성의 지역간 차이의 정도를 판단할 수 있다. 따라서 상대우점도에 대한 생태적 지위 중복역이 넓은 지역은 각 지역간 소나무림 분포 특징이 유사한 것이고, 좁으면 각 지역의 특징이 상이하다는 것을 나타낸다.

지역간 차이를 규명하기 위하여 생태적 지위 중복역을 이용하여 cluster분석을 실시한 결과 상대 우점도에 따른 조사지역 간 소나무림의 생태적 지위가 크게 두

**Fig. 2.** Dendrogram for the nine sites obtained by the average linkage cluster analysis based on the niche overlap index.

그룹으로 분류되었다(Fig. 2). 가장 가까운 함양, 영양, 보성이 생태적 지위 중복역이 가장 넓은 것으로 나타났다는데, 이는 생태적 지위가 비슷하여 지역간 소나무

림 분포 특징이 비슷한 것으로 나타났다. 또한 평창과 봉화는 생태적 지위 중복역이 가장 좁은 지역으로 다른 지역들과 소나무림 분포특징의 차이가 있음을 알 수 있으며, 이러한 지역간 차이는 동일한 소나무림이라 할지라도 지역적, 환경적인 영향에 따라 그 분포양상이 달라지며, 이러한 차이의 정도는 생태적 지위 중복역의 너비와 관계가 있으므로 생태적 지위 중복역으로 소나무림의 분포 특징을 측정하는 것은 각 지역의 소나무림의 현재 상태와 변화를 예측하기 위해 필요할 것으로 사료된다.

### 적 요

본 연구는 온대 남부, 중부, 북부지역의 소나무림을 대상으로 기상인자, 생육인자에 대해 생태적 지위폭 (ecological niche breadth)을 분석하였으며, 향후 기후 변화에 따른 소나무림 분포에 미치는 환경 인자를 규명하기 위해 수행하였다. 2010년 9월부터 10월까지 강릉, 정선, 평창, 함양, 봉황, 영양, 울진, 의성 보성 9개 지역에 20×20m의 방형구를 설치하여 수고, 흉고 직경, 지하고, 수관폭, 흉고단면적을 생육인자로 이용하였으며, 기상인자는 최저기온, 평균기온, 최고기온, 습도, 강수량을 조사지역에서 가장 가까운 관측소의 측정값을 이용하였다. 5가지 기상인자에 대한 생태적 지위폭은 습도를 제외한 기상인자에서 생태적 지위폭이 낮게 나타났으며, 기상변화에 따른 소나무의 분포역이 한정될 가능성이 높아지는 것으로 해석할 수 있다. 또한 강수량과 기온변화가 소나무림의 분포에 더 큰 영향을 주는 것으로 판단되며, 특히 최고기온의 경우 대부분의 조사지역에서 0.4이하의 낮은 생태적 지위폭을 보였다. 하지만 5가지 생육인자에 대한 생태적 지위폭은 모든 조사지역에서 높게 나타났으며, 이는 소나무가 환경변화에 적응하여 분포역이 넓다는 것을 의미하는 것으로 기상인자와는 상반되는 결과를 보였다. 이러한 결과의 원인은 생육인자의 경우 과거 안정된 환경에 적응하여 지속적으로 성장하였기 때문에 생육 내성의 범위가 커 소나무의 생태적 지위폭이 넓게 나타났으며, 반대로 기상인자의 경우 지속적인 지구온난화의 결과로서 소나무가 생육하기 어려운 조건으로 변하기 때문으로 판단되며, 향후 기온상승으로 인한 소나무림의 분포지역의 감소가 지속적으로 이루어질 것으로 전망된다.

### REFERENCES

- Abrams, P., 1980: Some comments on measuring niche overlap. *Ecology* **61**(1), 44-49.
- Chmura, D. J., and R. Rozkowski, 2002: Variability of beech provenances in spring and autumn phenology. *Silvae Genetica* **51**, 123-127.
- Colwell, R. K., and D. J. Futuyma, 1971: On the measurement of niche breadth and overlap. *Ecology* **52**(4), 517-576.
- Harper, J. L., J. N. Clatworthy, I. H. McNaughton, and G. R. Sagar, 1961: The evolution and ecology of closely related species living in the same area. *Evolution* **15**(2), 209-227.
- Hotta, M., 1990: *Forestry technical handbook*. Forestry Science and Technology Institute 445-474pp.
- Hulbert, S. H., 1978: The measurement of niche overlap and some relatives. *Ecology* **59**(1), 67-77.
- IPCC, 2007: *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA., 851pp.
- Jeong, J. H., K. S. Koo, C. H. Lee, and C. S. Kim, 2002: Physico-chemical properties of Korean forest soil by regions. *Journal of Korean Forest Society* **91**(6), 694-700. (in Korean with English abstract)
- Jeong, J. H., C. S. Kim, K. S. Goo, C. H. Lee, H. G. Won, and J. G. Byun, 2003: Physico-chemical properties of Korean forest soils by parent rocks. *Journal of Korean Forest Society* **92**(3), 254-262. (in Korean with English abstract)
- Jeong, J. K., H. R. Kim, Y. H. You, 2010: Effects of elevated CO<sub>2</sub> concentration and temperature on growth response of *Quercus acutissima* and *Quercus variabilis*. *Korean Journal of Environment and Ecology* **24**(6), 648-656. (in Korean with English abstract)
- Jeong, J. K., 2012: Ecological response of *Bupleurum latissimum* (Apiaceae, endangered species) to the environmental gradient treatments. Master's thesis, Kongju National University. 50pp (in Korean with English abstract)
- Kim, H. R., H. M. Jeong, H. J. Kim, and Y. H. You, 2008: Ecological niche of *Quercus acutissima* and *Quercus variabilis*. *Journal of Environmental Biology* **26**(4), 385-391. (in Korean with English abstract)
- Kim, H. R., 2010: Effects of elevated CO<sub>2</sub> concentration and temperature on ecological responses of *Phytolacca insularis* and *Phytolacca americana*. Master's thesis, Kongju National University. 67pp (in Korean with English abstract)
- Kim, I. S., K. O. Ryu, and J. W. Lee, 2012: Climatic factors affecting bud flush timing of *Pinus densiflora* provenances. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **14**(4), 229-235. (in Korean with English abstract) doi: 10.5532/KJAFM.2012.14.4.229

- Kim, T. H., J. H. Chung, C. H. Lee, K. S. Koo, W. K. Lee, I. A. Kang, and S. I. Kim, 1991: Studies on the Growth of Major Tree Species by Forest Soil Types. *Research Reports of the Forestry Research Institute (Seoul)* **42**, 91-106. (in Korean with English abstract)
- Kim, T. H., J. H. Chuneg, K. S. Koo, K. H. Kim, S. H. Cha, J. S. Kim, C. H. Lee, and C. D. Koo, 1998: Studies on Forest Soil Classification of Korea. Res. Rep. For. res. Inst. 37, 19-34. (in Korean with English summary).
- Kim, K. H., B. J. Kim, J. H. Oh, W. T. Kwon, H. J. Baek, 2000: Detection of urbanization effect in the air temperature change of Korea. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences* **36**(5), 519-526. (in Korean with English abstract)
- Lee, H. S., and F. A. Bazzaz, 1985: Within and between species ecological variation in *Polygonum pensylvanicum* and *Polygonum virginianum*. *Journal of Cheongju National University of Education* **15**, 273-290.
- Lee, I. S., P. H. Lee, S. G. Son, C. S. Kim, and K. H. Oh, 2001: Distribution and community structure of *Salix* species along the environmental gradients in the Nam-river watershed. *Korean Journal of Ecology* **24**(5), 289-296. (in Korean with English abstract)
- Lee, P. H., 2002: Growth characteristics and community dynamics of riparian *Salix* in South Korea. Doctoral dissertation, GyeongSang National University. 107pp (in Korean with English abstract)
- Lee, S. W., 1981: Studies on forest soils in Korea (II). *Journal of Korean Forest Society* **54**, 25-35. (in Korean with English abstract)
- Levins, R., 1968: Evolution in changing environments. Princeton Univ. Press, Princeton. 120 pp.
- Park, B. H., 2003: Studies on the niche of four herbal species along the environmental gradient. Master's degree. Thesis, Seowon University. 64pp (in Korean with English abstract)
- Pianka, E. R., 1983: *Evolutionary ecology* (3rd ed.). Harper & Row, NY. 253pp.
- Shoener, T. W., 1970: Non-synchronous spatial overlap of lizards in patchy habitats. *Ecology* **51**, 408-418.
- Seo, D. J., 2012. A Study on Phenology and Growth of *Pinus densiflora* Forest in the Baekdudaegan Area. Doctoral dissertation, GyeongSang National University. 218pp (in Korean with English abstract)
- <http://www.kma.go.kr> (2012)
- 농업과학기술원, 2000: 토양 및 식물체 분석법. 농촌진흥청 202pp.
- 여천생태연구회, 2005: 현대생태학실험서. 교문사.
- 진현오, 이종명, 신영오, 김정제, 전상근, 1994: 산림토양학. 향문사 325pp.