

기후변화 시나리오에 의한 중부지방소나무의 적지분포 변화 예측

고성윤¹ · 문나현¹ · 성주한² · 권태성² · 천정화² · 신만용^{1*}

¹국민대학교 산림환경시스템학과, ²국립산림과학원 산림생태연구과

Predicting the Effect of Climate Change Scenario on the Distribution of Productive Areas for *Pinus densiflora* in Korea

Sung Yoon Ko¹, Na Hyun Moon¹, Joo Han Sung², Tae Sung Kwon², Jung Hwa Chun²
and Man Yong Shin^{1*}

¹*Dept. of Forestry, Environment & System, Kookmin University*

²*Division of Forest Ecology, Korea Forest Research Institute*

(Correspondence: yong@kookmin.ac.kr)

1. 서 언

본 연구는 우리나라를 대표하는 침엽수종인 중부지방소나무를 대상으로 지형, 토양, 그리고 기후인자를 포함하는 환경요인을 이용하여 생태권역별 지위지수 추정식을 개발함과 동시에 기후변화 시나리오 RCP 8.5를 적용하여 2020년부터 2100년까지의 10년 간격으로 전국 단위의 적지분포의 변화를 예측하였다. 이를 통해 기후변화에 따른 중부지방소나무의 적지분포의 변화를 판정함으로써 효율적인 관리에 필요한 의사결정 정보를 제공하기 위해 수행하였다. 특히 기후요인이 독립변수에 포함된 중부지방소나무의 생태권역별 지위지수 추정식을 개발함으로써 생태권역별로 기후변화에 대응할 수 있는 정보를 제공하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 연구대상지

본 연구는 우리나라 전국의 산림을 대상으로 임목의 생육환경과 입지조건이 고려된 좀 더 정밀한 지위지수 추정식을 개발하기 위해 산악권역, 남동산야권역, 남서산야권역, 중부산야권역, 해안도서권역의 5개의 생태권역으로 나누어 구분하였다.(Fig. 1).

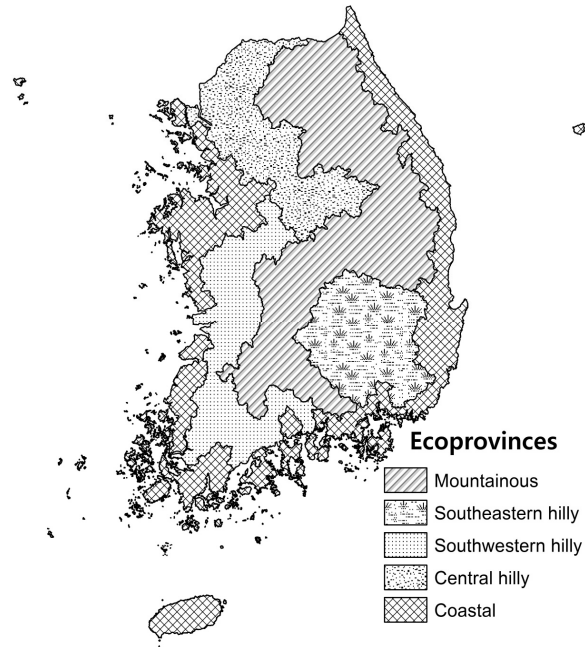


Fig. 1. Ecoprovince classification of all forest in South Korea

2.2 연구방법

환경요인에 의한 생태권역별 중부지방소나무나무의 지위지수 추정식을 개발하기 위해 수치산림입지도와 수치기후도를 중첩하여 지위에 영향을 미칠 것으로 판단되는 16개의 지형, 토양, 그리고 기후인자를 도출하였다(Table 1). 생태권역별로 정리된 자료는 7:3의 비율로 추정자료(fit data)와 검증자료(test data)로 무작위로 분류하여 정리하였다. 추정자료는 회귀기법에 의해 중부지방소나무 지위지수 추정식을 조제하기 위한 것이며, 검증자료는 추정자료에 기초하여 얻어진 지위지수 추정식의 통계적 검증에 사용되었다(Snee, 1977).

Table 1. Environmental variables and code description used in this study.

Variables	Variable Name	Code Description
X1	Climatic Zone	1: the north temperate zone 2: the middle temperate zone 3: the south temperate zone 4: warm temperate zone
X2	Relief	1: concave 2: flat 3: convex
X3	Available Soil Depth	real measured values in centimeters
X4	Wind Exposure	1: exposure 2: medium 3: protected
X5	Soil Depth in Horizon B	real measured values in centimeters
X6	Soil Moisture in Horizon A	1: moderate 2: slight dry 3: slight humid 4: humid 5: dry
X7	Soil Moisture in Horizon B	1: moderate 2: slight dry 3: slight humid 4: humid 5: dry
X8	Soil Consistency in Horizon B	1: very crumbly 2: crumbly 3: soft 4: hard 5: very hard
X9	Annual mean temperature	real measured values(°c)
X10	Annual maximum temperature	real measured values(°c)
X11	Warmth index	estimated values(°c)
X12	Annual total precipitation	real measured values (mm)
X13	Total precipitation for the growing season	real measured values (mm)
X14	Total precipitation for 5 months of non-growing season	real measured values (mm)
X15	Monthly mean of relative humidity	estimated values(%)
X16	Monthly mean of relative humidity for 3 months in the early growing season	estimated values(%)

환경요인에 의한 중부지방소나무의 최적 지위지수 추정식을 도출하기 위해 본 연구에서 사용한 환경인자 중에서 지위지수와 상관성이 비교적 높은 변수를 선택한 후, 지위추정에 필요한 최적 변수 조합을 선택하기 위해 중회귀분석의 단계별 회귀기법 (stepwise regression)을 사용하였다. 이 과정에서 내부상관의 여부를 검증한 후(Belsley *et al*, 1980; Myers, 1986), 최적의 변수 조합에 의한 생태권역별 지위지수 추정식을 작성하였다. 이상과 같은 방법으로 도출된 중부지방소나무 지위지수 추정식의 적합성 검증은 모형의 추정편의, 모형의 정도, 그리고 이 두 가지를 고려한 측정치에 대한 오차의 평균평방화인 모형의 표준오차의 3가지 검증통계량을 이용하여 실시하였다(Arbatzis and Burkhardt, 1992). 한편 본 연구에서는 통계검증에 이상이 없을 경우 최종적으로 추정자

료와 검증자료를 합친 통합자료에 근거하여 최종 지위지수 추정식을 개발하였다.

수종별 적지 판정의 기준은 기준임령을 30년으로 하는 수종별 지위지수 분류곡선식 (손영모 등, 2003)에 근거하여 지위지수 ‘중’ 이상을 적지로 판정하였다. 그에 따라 중부지방 소나무의 적지 기준은 14 이상이면 적지로 판정되었다. 한편 기후변화 시나리오인 RCP 8.5를 사용하였으며, 지위지수 추정식에 포함된 기후인자에 RCP 8.5의 연도별 기후값을 대입하여 기후변화에 의한 지위지수의 변화와 그로 인한 적지분포의 변화를 예측하였다.

3. 결과 및 고찰

Table 2는 생태권역별로 개발한 중부지방소나무의 지위지수 추정식을 나타낸 것이다. 중부지방소나무의 생태권역별 지위지수 추정식의 결정계수는 0.32~0.46의 범위에 있는 것으로 분석되었으며, 생태권역별로 5~7개의 입지환경 요인에 의하여 지위지수를 추정하는 것으로 평가되었다. 한편 본 연구에서 개발한 지위지수 추정식에는 기온, 강수량, 상대습도와 관련된 기후인자가 2~3개씩 포함되어 있다.

Table 2. The final regression equations developed for the site index estimation by *Pinus densiflora* in all ecoprovince.

ecoprovince.	n	Estimated equation of forest productivity	R ²
Mountainous	13,252	SI=20.0361+0.8900*X ₂ +0.1180*X ₃ -0.5592*X ₇ -0.1872*X ₁₆ +0.1185*(X ₅ /log(X ₁₃))	0.41
Southeastern hilly	11,958	SI=7.8562+0.1167*X ₃ -0.4797*X ₇ +0.5505*(X ₅ /X ₁₀) +0.0092*(X ₅ *ln(X ₁₄))	0.44
Southwestern hilly	13,690	SI=43.292+0.5664*X ₄ -0.6955*X ₆ -0.1634*X ₁₀ -0.3774*X ₁₄ +0.0019*(X ₅ *ln(X ₁₃))	0.46
Central hilly	4,878	SI=3.4003-0.4911*X ₆ -0.8768*X ₈ +0.0678*X ₁₁ +0.0256*X ₁₄ +0.0067*(X ₅ *ln(X ₁₂))	0.41
Coastal	14,766	SI=31.4746-0.7020*X ₁ +0.0949*X ₃ -0.4890*X ₆ -0.5333*X ₈ -0.1088*X ₁₁ -1.0870*(X ₁₄ /X ₉)	0.32

중부지방소나무의 적지기준에 따라 기후변화 시나리오 RCP 8.5를 적용한 전국 단위의 적지 면적을 연도별로 산출한 결과는 Table 3과 같다. 이 결과는 생태권역별 적지면적을 통합하여 전국 단위로 변환한 결과이다. 기후변화 시나리오 8.5를 적용할 경우 중부지방소나무의 적지면적은 시간이 경과할수록 감소하는 것으로 예측되었다. 현재의 적지면적은 전체 산림면적의 24%인 약 131만ha이지만, 2030년에는 약 80만ha (14.8%), 2050년에는 약 34만ha (6.1%), 그리고 2090년에는 약 7만ha (1.3%)로 급격하게 감소하는 것으로 예측되었다.

Table 3. Estimates of productive areas for *Pinus densiflora* based on the site index equations and climate change scenario.

year	Productive site		
	polygon(n)	area(ha)	Rate(%)
current	69,102	1,313,154	24%
2020	46,687	938,010	17.1%
2030	40,302	808,327	14.8%
2040	27,741	495,298	9.1%
2050	15,832	338,753	6.1%
2060	10,641	237,919	4.3%
2070	7,403	173,536	3.2%
2080	3,855	91,679	1.7%
2090	3,114	72,051	1.3%
2100	1,899	45,916	0.8%

한편 Fig. 2는 이상의 결과에 근거하여 전국 단위 중부지방소나무의 현재, 2030년, 2050년, 그리고 2090년의 적지분포를 비교한 것이다. 시간이 경과하면서 적지분포가 감소하는 것을 확인할 수 있는데, 2090년이 되면 강원도를 포함한 일부 해발고도가 높은 지역만이 적지로 예측되었다.

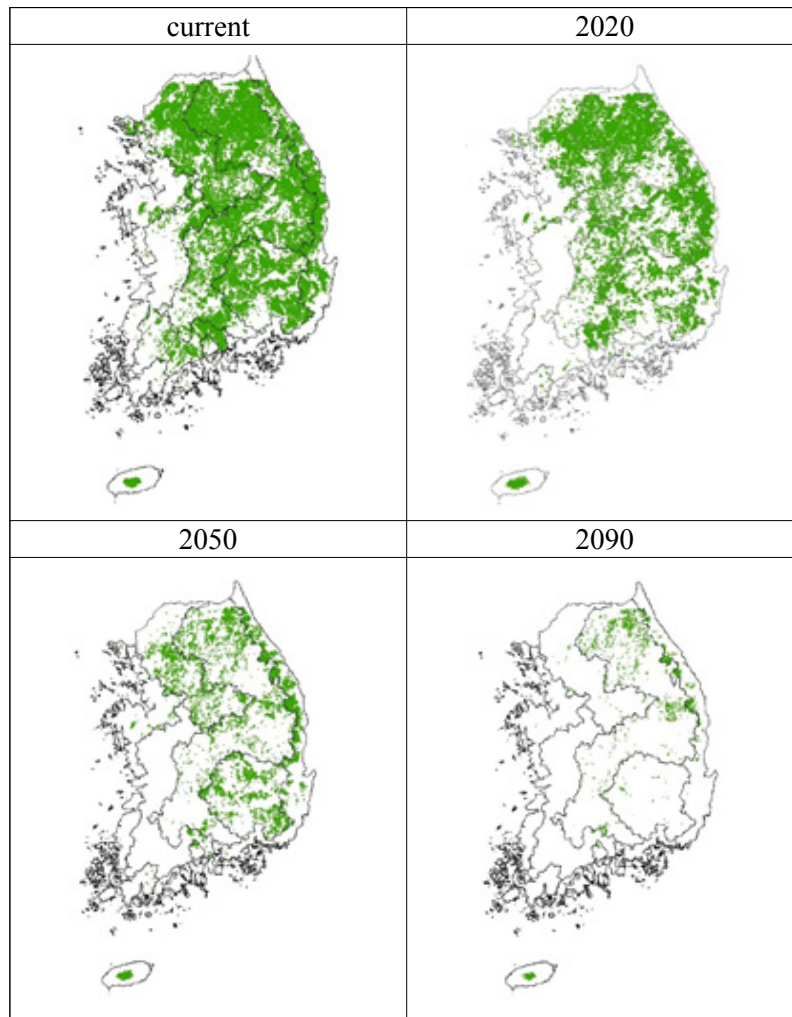


Fig. 2. Comparison of yearly distribution for the productive areas of *Pinus densiflora*

인용문헌

- 국립산림과학원, 2011: 기후요인을 고려한 주요 수종의 지위지수 추정 및 적지 판정. p. 71.
- 손영모, 이경학, 권순덕, 이우균, 2003: 주요수종의 임목자원 평가 및 예측시스템. 임업 연구보고 **04-01**, 49-52.
- Arbatzis, A. A. and Burkhart, H. E. 1992: An evaluation of sampling methods and model forms for estimating height-diameter relationships in loblolly pine plantation. *Forest Science* **38(1)**, 192-198.
- Belsley, D. A., Kuh, E. and Welsch, R. E., 1980: *Regression diagnostics*. John Wiley & Sons. New York. p. 292.
- Myers, R. H., 1986: *Classical and modern regression with applications*. Duxbury Press. p. 395..
- Snee, R. D., 1977: Validation of regression models : Methods and example. *Technometrics* **19**, 415-428.