

환경요인을 이용한 남원시의 적지적수도 제작

문가현¹ · 김용석² · 임주훈² · 신만용^{1*}

¹국민대학교 산림환경시스템학과, ²국립산림과학원 산림수토보전과
(2015년 3월 31일 접수; 2015년 5월 18일 수정; 2015년 6월 17일 수락)

Mapping Species-Specific Optimal Plantation Sites Based on Environmental Variables in Namwon City, Korea

Ga Hyun Moon¹, Yong Suk Kim², Joo Hoon Lim² and Man Yong Shin^{1*}

¹Department of Forest, Environment, and System, Kookmin University, Seoul 130-702, Korea

²Division of Forest Soil and Water Conservation, Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea

(Received March 31, 2015; Revised May 18, 2015; Accepted June 17, 2015)

ABSTRACT

This study was conducted to develop a large scale map of species-specific plantation sites based on selected environmental variables such as topography, soil, and climatic factors in Namwon city. Site index equations by tree species were first regressed to 27 environmental variables that could influence the productivity of forest sites using digital forest site maps, digital climate maps, and the 5th National Forest Inventory data. Site index equations by tree species were all evaluated to estimate site productivity using 4-5 environmental variables, and the models' reliability was confirmed based on evaluation statistics. The determination coefficients of site index equations by species ranged from 0.42 to 0.76. With the site index equations, the site conditions appropriate for productive sites by species were considered to assess spatial distribution of productive areas for each species. The final map for optimal plantation in Namwon city was produced based on both site index equations and site conditions appropriate for productive sites by each species using GIS technique. Field survey was conducted to evaluate the suitability of selected species on the map of species-specific plantation sites. Results showed that the plantation map provides relatively reasonable spatial distribution of productive areas for selected species. It was revealed, however, that the sites evaluated as 'not suitable' for any tree species should be revised and complemented with additional information, especially with the site conditions appropriate for productive sites by species of interest. The outcomes of this study are expected to provide information for making customized species-specific plantation maps.

Key words: Site index, Tree growth information, Productive sites, Customized map of plantation for proper species selection

I. 서 론

산림경영에 필요한 기본정보로 중요한 역할을 하는 임지생산력은 해당 지역의 지형조건, 토양환경 조건, 그리고 기후요인에 의해 결정된다. 그동안 수종별 임

지생산력을 추정할 수 있는 다양한 방법이 개발되어 왔는데, 임지생산력을 정량적으로 추정할 수 있는 가장 보편적인 방법은 지위지수를 이용하는 것이다 (Elfving and Kiviste, 1997; Bravo and Montero, 2001; Skovsgaard and Vanclay, 2008). 지위지수는



* Corresponding Author : Man Yong Shin
(yong@kookmin.ac.kr)

임지의 지력뿐만 아니라 임목 성장량도 함께 추정할 수 있어 연구자를 비롯한 산림종사자에게 매우 유용한 정보로 사용되고 있다(Kim *et al.*, 1991; Shin *et al.*, 2007). 임령과 수고의 관계식을 이용하여 수종별 지위지수 분류곡선을 개발함으로써 지위지수를 추정하는 것이 가장 일반적인 방법이지만(Korea Forest Service, 2001), 이 방법은 생장에 영향을 미치는 다양한 입지환경 인자들을 충분히 반영하지 못하고 있다는 단점과 무림목지나 산불 피해지, 그리고 수종 갱신지와 같은 곳에서는 활용할 수 없는 한계를 가지고 있다.

지형 및 토양인자를 포함하는 입지환경인자는 임목생장에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Schweingruber, 1993; Fekedulegn *et al.*, 2003). 따라서 이들 인자들이 입지생산력에 어떻게 작용하는지 분석하는 것은 매우 중요한 의미를 갖는다(Kim *et al.*, 1991). 우리나라의 경우 입지생산력과 관련하여 산림에 대한 체계적이고 효율적 관리의 필요성이 제기됨에 따라, 2002년에 1:25,000 축척의 산림입지조사를 전국적으로 실시하여 수치산림입지도를 구축한 바 있다(Korea Forest Research Institute, 2006). 이를 통해 그동안 수치산림입지도에 포함된 입지요인 및 토양환경 속성정보를 독립변수로 하는 수종별 지위지수 추정식을 조제하여 수종별 적지 판정에 사용하여 왔다(Koo *et al.*, 2003; Song, 2003; Shin *et al.*, 2006; Lee *et al.*, 2007). 하지만 이 방법은 입지생산력에 영향을 미치는 중요한 요인 중의 하나인 기후인자를 고려하지 못한 한계를 가지고 있었다. 최근 위성영상과 GIS(Geographic Information System) 기술의 향상으로 산림기후 및 지형과 같은 각종 수치데이터가 보급됨에 따라(Kim *et al.*, 2004), 산림정보에 대한 GIS 기반의 다양한 데이터 제공을 통해 과학적이고 체계적인 의사결정시스템을 구축함으로써 전국의 기후분포를 고려한 수종별 지위지수 추정식을 개발할 수 있는 계기를 마련하게 되었다.

우리나라 산림청에서는 2009년부터 맞춤형 산림공간 정보 서비스 기능 강화를 위해 1:5,000의 대축척 산림입지도양도를 제작하여 왔는데, 이를 이용하여 중장기적으로 대축척 적지적수도인 맞춤형 조림지도의 제작을 추진하고 있다. 하지만 1:5,000 대축척의 산림입지도양도의 속성정보에는 지위지수 산정에 필요한 수종, 임령, 그리고 우세목 수고와 같은 임목생장정보가 포함되어 있지 않아 이에 대한 대책이 필요한 실정이

다. 따라서 대축척 적지적수도를 제작하기 위해서는 기존에 구축된 1:25,000 산림입지도양도 속성정보와 국가산림자원조사 자료 등과 같은 사용 가능한 산림생장정보를 취합하여 활용할 필요가 있다(Korea Forest Research Institute, 2014).

본 연구는 대축척 산림입지도양도에 적용할 수 있는 임목생장정보를 수집하고, 이를 기반으로 전라북도 남원시에 대한 적지적수도를 제작하기 위해 수행하였다. 이를 위해 연구 대상지인 전라북도 남원시에 적용할 수 있는 수종별 지위지수 추정식을 개발하고, 각 수종의 적지 기준에 따라 남원시의 대축척 적지적수도를 구축하였다. 본 연구의 결과는 맞춤형 산림정보 활용도 증진 및 서비스 기반 강화에 필요한 정보를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

II. 재료 및 방법

2.1. 연구 자료

우리나라는 전체 산림을 지리적 특성과 생태적 연계성, 그리고 문화적 동질성을 기준으로 하여 산악권역, 남동산야권역, 중부산야권역, 남서산야권역, 해안도서권역의 5개 생태권역으로 구분하고 있는데(Shin and Kim, 1996), 본 연구의 대상지역으로 선정한 전라북도 남원시는 남서산야권역에 포함되어 있다. 본 연구에서는 남원시의 적지적수도 제작에 필요한 임목생장정보를 획득하기 위해 1:25,000 축척의 산림입지도양도 자료, 전자기후도의 기후자료, 그리고 제5차 국가산림자원조사의 표본점 자료 중에서 남서산야권역에 포함된 자료를 사용하였다. 전자기후도의 기후자료는 1981년부터 2010년까지 30년 동안의 기후측정치에 기반하여 공간 내삽과 기후요소별 보정작업을 거쳐 30m 해상도로 제작된 것이다.

2.2. 연구 방법

2.2.1. 자료의 정리

본 연구에서는 1:25,000 축척의 산림입지도 자료, 전자기후도의 기후자료, 그리고 제5차 국가산림자원조사의 표본점 자료를 이용하여 남서산야권역에 적용할 수 있는 수종별 지위지수 추정식을 조제하고, 이를 기반으로 연구대상지인 남원시의 적지적수도 제작에 활용하였다. 기존의 1:25,000 축척의 산림입지도양도에는 해당 산림의 지형과 토양 등에 관련된 28개의 입지환

Table 1. Environmental variables used in this study

Variables	Variable name	Code description
X ₁	Parent Rock	1: sedimentary rock, 2: igneous rock, 3: metamorphic rock
X ₂	Altitude	coded each 100 m range from 1 (lower than 100 m) to 20 (higher than 1,900 m)
X ₃	Slope	Real measured values in degree
X ₄	Aspect	Real measured values in radian
X ₅	Climatic Zone	1: north temperate zone, 2: middle temperate zone, 3: south temperate zone, 4: warm temperate zone
X ₆	Topography	1: mountain area, 2: gentle hill, 3: flatness
X ₇	Slope Position	1: top of mountain, 2: middle of mountain, 3: foot of mountain, 4: valley
X ₈	Slope Type	1: concave, 2: flat, 3: convex
X ₉	Soil Depth	1: less than 30 cm, 2: 30-60 cm, 3: more than 60 cm
X ₁₀	Soil Texture	1: sand, 2: loamy sand, 3: clay loam, 4: sandy clay loam, 5: sandy loam, 6: silt clay loam, 7: silt loam, 8: loam
X ₁₁	Degree of Wetness in Horizon B	1: dry, 2: slight dry, 3: moderate, 4: slight humid, 5: humid
X ₁₂	Soil Type	coded from 1(b ₄) to 29(Er-c)
X ₁₃	Annual mean temperature	Values obtained from digital climate data (°C)
X ₁₄	Annual maximum Temperature	Values obtained from digital climate data (°C)
X ₁₅	Annual minimum Temperature	Values obtained from digital climate data (°C)
X ₁₆	Warmth index	Estimated values (°C)
X ₁₇	Coldness index	Estimated values (°C)
X ₁₈	Index of aridity	Estimated values (mm/°C)
X ₁₉	Annual total precipitation	Values obtained from digital climate data (mm)
X ₂₀	Monthly mean of Precipitation	Values obtained from digital climate data (mm)
X ₂₁	Total precipitation for the growing season	Values obtained from digital climate data (mm)
X ₂₂	Total precipitation for 3 months in the early growing season	Values obtained from digital climate data (mm)
X ₂₃	Total precipitation for 5 months of non-growing season	Values obtained from digital climate data (mm)
X ₂₄	Monthly mean of relative Humidity	Values obtained from digital climate data (%)
X ₂₅	Monthly mean of relative humidity for 3 months in the early growing season	Values obtained from digital climate data (%)
X ₂₆	Monthly mean of relative humidity for the growing season	Values obtained from digital climate data (%)
X ₂₇	Monthly mean of relative humidity for 5 months of non-growing season	Values obtained from digital climate data (%)

경인자가 포함되어 있다. 이 속성정보에는 입지와 관련된 인자가 12개이고 토양과 관련된 인자는 16개이다. 이들 28개 속성정보들 중에서 1:5,000의 대축척 산림토양입지도에 포함된 12개 속성정보와 일치하는 입지자료를 정리하여 변수기호를 X₁~X₁₂까지 부여하였다(Table 1). 이들 인자는 대부분 코드화하여 사용하였는데, 조사된 질적변수의 속성 특성을 고려하여 배정된 코드 값이 각 속성의 차이를 수치의 증감에 따라 일관되게 반영할 수 있도록 양적변수화하여 사용하였다.

입지생산력을 평가하기 위해서는 해당 지역의 기후변이를 고려할 필요가 있다(Yeh and Wensel, 2000). 본 연구에서는 Kim *et al.*(2004)에 의해 제작된 해상도 30m×30m 단위의 수치 전자기후도 자료에 근거하여 연구 대상지에 적용할 기후변수를 도출하였다. 전자기후도의 각 격자별 기온, 강수량, 그리고 상대습도 등을 이용하여 수치산림입지도의 폴리곤을 기준으로 GIS 기법을 사용하여 입지의 생산력에 영향을 미칠 것으로 판단되는 15개의 기후인자를 도출하였다. Table 1의 15개 기후인자(X₁₃~X₂₇) 중에서 기온과 관

런된 인자는 연평균 기온, 연최고 기온, 연최저 기온, 온량지수, 그리고 한랭지수의 5가지이다. 연최고 기온과 연최저 기온은 각각 연중 일평균 기온의 최고치와 최저치를 사용하였다. 한편 습도와 관련된 인자는 연평균 상대습도를 비롯한 4가지, 그리고 강수량으로부터 도출한 인자는 연 총강수량을 포함한 5가지이다. 월평균 강수량은 월별 강수량을 평균하여 구하였으며, 온량지수와 한랭지수는 월평균기온이 5°C 이상과 이하의 달에 대해 월평균기온과 5°C의 차이를 1년 동안 누적하여 합산한 값이다(Yim, 2002). 한편 건조지수는 연 총강수량을 평균기온에 10을 더하여 나눈 값으로 지수화하였다(Kramer, 1988). 한편 임목의 생장기간은 4월부터 10월까지의 7개월간의 자료를 이용하였으며, 생장기간의 초기 3개월은 4월부터 6월까지의 자료를 사용하였다. 또한 비생장기간은 11월부터 3월까지의 5개월간을 의미한다(Lee *et al.*, 2012).

수종별 지위지수 추정식을 개발하기 위해서는 임령과 우세목 수고와 같은 임목생장정보가 필요하다. 본 연구에서는 전국 단위의 고정표본점 자료가 누적되어 있는 제5차 국가산림자원조사 자료를 1:25,000 축척의 산림입지토양도 자료와 통합하여 지위지수 추정식 개발에 사용하였다. 연구 대상지의 수종별 지위지수 추정식을 개발하기 위해 정리된 자료는 종속변수인 기준 임령 30년의 지위지수와 독립변수인 27개의 환경인자이다(Table 1). 이 자료는 7:3의 비율로 추정자료(fit data)와 검증자료(test data)로 무작위로 분류하였다. 추정자료는 회귀기법에 의해 남서산야권역의 수종별 지위지수 추정식을 개발하기 위한 자료이며, 검증자료는 추정자료에 기초하여 얻어진 수종별 지위지수 추정식의 통계적 검증에 사용되는 자료이다. 본 연구에서는 검증에 필요한 독립자료를 확보하는 대신 사용 가능한 전체 자료를 추정자료와 검증자료로 무작위로 분류한 후, 검증자료를 독립적으로 수집한 자료로 간주하여 통계검증 절차에 사용하였다(Snee, 1977).

2.2.2. 남서산야권역의 수종별 지위지수 추정식 개발

남원시가 포함된 남서산야권역에 분포하는 수종별 지위지수 추정식을 개발하기 위해 추정자료를 이용하여 기준임령 30년에서의 지위지수와 27개의 지형인자, 토양인자, 그리고 기후인자 간의 상관분석을 실시하였다. 종속변수인 기준 임령 30년에서의 지위지수와 유사 계열의 환경인자 중에서 상관이 상대적으로 높은

인자를 선택한 후, 중회귀분석의 단계별 회귀기법(stepwise regression)에 의해 지위지수 추정에 필요한 최적의 변수조합을 도출하였다. 이 과정에서 독립변수간의 내부상관이 있는지를 검증하였으며(Belsley *et al.*, 1980; Myers, 1986; Judge *et al.*, 1988), 내부상관의 문제를 제거하면서 상대적으로 결정계수가 높은 지위지수 추정식을 작성하였다. 이상의 방법으로 조제된 수종별 지위지수 추정식은 검증자료에 근거하여 3가지 평가통계량을 산출함으로써 적합성을 검증하였다. 본 연구에서 사용한 평가통계량은 모형의 추정편의(estimation bias of model), 모형의 정도(precision of model), 그리고 이 두 가지를 고려한 측정치에 대한 오차의 평균평방화(mean square error type of measure)인 모형의 표준오차이다(Shin, 1990; Arbatzis and Burkhart, 1992; Shin *et al.*, 1996).

본 연구에서는 최종적으로 추정자료와 검증자료를 합친 통합자료(pooled data)에 근거하여 최종 지위지수 추정식을 개발하였다. 즉, 추정자료만을 이용하여 작성된 수종별 지위지수 추정식이 일종의 독립자료로 간주되는 검증자료에 의해 통계적 검증에서 문제가 없는 것으로 판정된 경우, 최종 지위지수 추정식은 추정자료와 검증자료를 통합한 자료를 사용하여 개발하였다.

2.2.3. 지위지수 추정식에 의한 수종별 적지 판정

수종별 적지는 지위지수 추정식에 근거한 임지생산력에 의해 설정하였다. 적지판정의 기준은 국립산림과 학원에서 개발한 기준임령을 30년으로 하는 수종별 지위지수 분류곡선식(Son *et al.*, 2003)에 근거하여 지위지수 ‘중’ 이상으로 설정하였다. 이는 동일 임령의 임목 수고분포가 평균치 이상이 됨을 의미하는 것으로, 이 기준 이상에서 상대적으로 높은 임지생산력을 예상할 수 있다. 연구 대상지인 남원시에 분포하는 수종 중에서 일본잎갈나무의 적지는 지위지수 20 이상으로 가장 높은 기준을 가지며, 삼나무, 편백, 상수리나무는 지위지수 16 이상을 적지로 구분하였다. 또한 나머지 수종인 중부지방소나무, 리기다소나무, 신갈나무, 굴참나무는 지위지수가 14 이상일 경우를 적지로 분류하였다.

수종별 지위지수 추정식은 최적의 환경인자 조합에 의해 임지생산력을 평가할 수 있는 통계적 모형에 근거하여 작성된 것이다. 통계모형은 어떤 특정 현상을 수학적 관계식에 의해 설명할 수 있는 장점을 가진 반면, 복잡한 요인이 상호작용하는 생물학적 현상을

Table 2. Summary of site conditions appropriate for productive sites by species

Species	Elevation	Climate Zone	Topographical Position	Aspect	Soil Depth	Soil Moisture
<i>Pinus densiflora</i>	100~1,250 m	-	-	-	-	-
<i>Larix Leptolepis</i>	200~1,200 m	North, Middle, and South Temperate	Foot of Mountain	-	-	-
<i>Pinus rigida</i>	100~1,250 m	-	-	-	-	-
<i>Chamaecyparis obtusa</i>	lower than 500 m	South and Warm Temperate	Up to Foot of Mountain	Except for West, North, Northwest, and Northeast	Deeper than 60 cm	Moderate, Slight Humid
<i>Cryptomeria japonica</i>	lower than 500 m	South and Warm Temperate	Up to Foot of Mountain	Except for West, North, Northwest, and Northeast	Deeper than 60 cm	Moderate, Slight Humid
<i>Quercus acutissima</i>	lower than 300 m	-	Up to Foot of Mountain	-	-	-
<i>Quercus mongolica</i>	100~1,800 m	North and Middle temperate	Higher than Middle of Mountain	-	-	Slight Dry, Moderate, Slight Humid
<i>Quercus variabilis</i>	100~500 m	-	Higher than Middle of Mountain	Except for West, North, Northwest, and Northeast	-	Dry, Slight Dry, Moderate

온전히 설명하기에는 한계가 있는 것이 사실이다. 이와 마찬가지로 각 수종은 입지조건 특성에 의해 생육범위와 적지가 결정되지만, 본 연구에서 사용한 통계모형에 포함된 환경인자만으로 이러한 모든 특성을 반영하여 설명하는 것은 불가능하다. 따라서 본 연구에서는 각 수종의 적지에 적합한 수종별 입지조건을 설정하여 본 연구에서 개발한 수종별 지위지수 추정식의 한계를 보완하여 적지를 판정하였다. Table 2는 본 연구에서 설정한 수종별 적지에 적합한 입지조건을 요약한 것이다(Korea Forest Research Institute, 2008). 수종별로 적지와 관련된 입지조건은 표고, 기후대, 지형, 방위, 토심, 그리고 건습도의 6개 항목으로 구분하여 설정하였다.

2.2.4. 적지적수도 제작 및 적합성 평가

앞에서 제시한 기준에 따라 판정한 남원시의 수종별 적지는 수치상으로 확인된 면적이다. 본 연구에서는 수종별 적지를 GIS 기법에 의해 공간적으로 중첩시킴으로써 수종별 적지분포와 상세한 위치정보를 공간적으로 확인할 수 있도록 적지적수도를 제작하였다. 이와 같은 방법으로 제작된 적지적수도는 현지조사를 통해 적합성을 평가하였다. 이를 위해 남원시의 적지적수도 중에서 다양한 수종의 적지 조합을 나타내는 도엽과 적지분포가 비교적 단순하게 나타난 도엽 1개씩, 즉 2개 도엽(남원049, 운봉051)을 선정하여 각 도엽

별로 적지적수도에 나타난 적지판정 결과를 현지에서 확인하여 문제점을 도출한 후 수정 및 보완에 필요한 정보로 사용하였다.

III. 결과 및 고찰

3.1. 수종별 지위지수 추정식의 개발

연구 대상지인 전라북도 남원시에 적용할 수 있는 남서산야권역 8개 수종의 지위지수 추정식을 추정자료에 근거하여 작성한 후, 검증자료를 사용하여 수종별 평균통계량을 산출한 결과 수종별로 지위지수를 추정하는데 문제가 없는 것으로 확인되었다. 따라서 본 연구에서는 추정자료와 검증자료를 합친 통합자료에 의해 남원시에 적용할 수 있는 최종 수종별 지위지수 추정식을 개발하였다.

연구 대상지인 전라북도 남원시가 포함되어 있는 남서산야권역의 8개 주요 수종의 지위지수 추정에는 각각 4-5개의 환경요인이 관여하는 것으로 나타났다(Table 3). 수종별 추정식의 결정계수를 보면 0.42~0.76의 범위에 있는데, 분포 면적이 작은 삼나무나 편백의 경우 표본의 개수가 적기 때문에 상대적으로 높은 결정계수를 보이고 있다. 또한 8개 수종의 지위지수 추정식에는 8개의 지형인자 중에서 5개가 사용되었으며, 토양인자는 4개 중에서 2개, 그리고 기후인자는 15개 중에서 8개만 독립변수에 포함되어, 총 27개 인자 중에서 15

Table 3. The final estimated equation of site index by species

Species	n	Site index equation	R ²
<i>Pinus densiflora</i>	14,044	SI=48.2187+0.4663*X ₇ +1.4493*X ₁₁ -0.0418*X ₁₆ -0.4792*X ₂₄	0.49
<i>Larix leptolepis</i>	1,515	SI=43.0279+0.6629*X ₈ +0.7953*X ₁₁ -0.0694*X ₁₆ -0.2994*X ₂₅	0.48
<i>Pinus rigida</i>	7,294	SI=39.9539+0.0040*X ₂ +0.4322*X ₇ +0.9063*X ₁₁ +0.0817*X ₁₅ -0.4316*X ₂₄	0.42
<i>Chamaecyparis obtusa</i>	70	SI=5.0384+0.0135*X ₇ +1.2904*X ₁₁ -0.0766*X ₁₆ +0.2233*X ₂₅	0.53
<i>Cryptomeria japonica</i>	53	SI=13.9791-1.2805*X ₉ +2.5802*X ₁₁ +0.0246*X ₁₇ -0.0084*X ₂₂ +0.0135*X ₂₃	0.76
<i>Quercus acutissima</i>	4,425	SI=34.7916+0.3279*X ₁ +0.6998*X ₇ +0.8288*X ₁₁ -0.0174*X ₂₃ -0.2704*X ₂₄	0.42
<i>Quercus mongolica</i>	411	SI=12.3944+0.7960*X ₇ -0.5013*X ₈ +1.1673*X ₁₁ +0.1531*X ₁₅ -0.0041*X ₂₂	0.44
<i>Quercus variabilis</i>	270	SI=20.9086-1.0951*X ₆ +0.2197*X ₈ -0.1814*X ₉ +0.0446*X ₁₈ -0.1146*X ₂₅	0.49

개의 환경인자 조합에 의해 수종별 산림생산력을 추정하는 것으로 나타났다.

지형인자 중에서는 사면위치(X₇)와 경사형태(X₈)가 비교적 많은 수종의 지위지수 추정에 관여하는 것으로 나타났으며, 토양인자 중에서는 B층 건습도(X₁₁)가 굴참나무를 제외한 모든 수종의 지위지수 추정식의 독립변수로 사용되어 지위추정에 가장 중요한 인자임을 알 수 있다. Romanya and Vallejo(2004)는 스페인 소나무 인공림을 대상으로 기후 및 토양인자를 이용하여 산림생산력을 추정하였는데, 낙엽낙지 및 토심이 지위지수와 높은 상관성이 있는 것으로 보고하였다. 또한 Farrelly *et al.*(2011)은 아일랜드의 싯카 가문비나무를 대상으로 지위지수의 변화를 추정하여 습한 기후대에서의 지위와 토양비옥도가 성장에 중요한 요인이 되고, 풍속의 증가와 빈약한 토양영양소는 수종의 성장을 제한하는 요인임을 보고하여 본 연구에서 얻은 결과와 유사하였다.

한편 기후인자의 경우 연최저 기온(X₁₅)와 온량지수(X₁₆)와 같은 온도 관련 인자와 비성장기간 5개월 동안의 총강수량(X₂₃)의 강수량 관련 인자, 그리고 상대습도와 관련된 인자 중에서는 월평균 상대습도(X₂₄)와 성장기간 초기 3개월 동안의 월평균 상대습도(X₂₅)가 비교적 많이 포함되는 것으로 판명되었다. 수종별 지위지수 추정식에는 강수 및 상대습도와 관련된 인자가 다수 포함되어 있는데 이는 온도뿐만 아니라 강수량 및 습도와 관련된 수분조건이 임지의 생산력에 큰 영향을 미치는 것을 의미하는 것이다. Albert and Schmidt(2010)는 노르웨이 가문비나무와 너도밤나무를 대상으로 토양과 기후 변화모델을 사용하여 지위지수의 변화를 분석하여 온도 증가는 성장에 긍정적인 영향을 주고, 성장기간의 강우량 감소는 성장에 부정적

인 영향을 주는 것으로 예측하였다. Robertson *et al.*(1990)은 환경인자를 이용한 다중 회귀분석을 통하여 캐나다 해안에 서식하는 미송의 생산량을 추정하여, 연 총강수량이 추재의 폭에 영향을 미치고 봄 강수량에 따라 추재의 비율이 증가하는 것으로 보고하였다. 또한 Bergès *et al.*(2005)은 프랑스 북부 동령 임분에서 시실리 참나무를 대상으로 환경요인이 지위에 미치는 영향을 단계별 다중 회귀기법을 통하여 분석하였다. 연구 결과 임목생장에 이온 함량비, 부식질형태, 지형조건 등이 기후요인과 상호작용하여 지역마다 생장을 달리하는데, 특히 강수조건에 의한 토양의 최대용수량이 지위지수의 높은 부분을 설명하는 것으로 보고하여 본 연구와 비슷한 경향을 나타냈다.

3.2. 수종별 적지면적

전라북도 남원시의 경우 전체 산림면적은 44,591ha이고 산림입지도양도에 나타난 polygon의 개수는 7,384개이다. 앞에서 개발된 수종별 지위지수 추정식과 수종별 적지에 해당되는 입지조건(Table 2)을 고려하여 남원시에 분포하는 8개 주요 수종의 적지면적과 적지비율을 추정한 결과는 Table 4와 같다. 남원시의 경우 우리나라를 대표하는 수종인 중부지방소나무의 적지면적이 15,387ha로 가장 넓었으며 적지비율은 34.5%로 분석되었다. 다음으로 높은 적지비율을 보인 수종은 리기다소나무로 중부지방소나무와 함께 적지에 대한 제약조건이 거의 없는 공통점을 가지고 있다. 리기다소나무의 적지비율은 27.3%로 12,181ha가 적지인 것으로 추정되었다. 반면에 산록 이하에서 생육이 양호한 일본잎갈나무의 적지는 9,310ha로 20.9%의 적지비율을 보였다.

남원시에 분포하는 난대수종인 편백의 경우 적지면

Table 4. Estimation results of productive areas by species in Namwon city

Species	Productive Sites		
	No. of polygon	Area (ha)	Ratio (%)
<i>Pinus densiflora</i>	2,906	15,387	34.5
<i>Larix leptolepis</i>	1,570	9,310	20.9
<i>Pinus rigida</i>	1,432	12,181	27.3
<i>Chamaecyparis obtusa</i>	1,898	8,417	18.9
<i>Cryptomeria japonica</i>	2,345	9,454	21.2
<i>Quercus acutissima</i>	2,644	9,332	20.9
<i>Quercus mongolica</i>	2,810	12,414	27.8
<i>Quercus variabilis</i>	1,037	8,020	18.0
All Forests in Namwon City	7,384	44,591	100.0

적이 전체 산림의 18.9%인 8,417ha로 비교적 넓은 면적이 편백의 생육에 적합한 것으로 평가되었다. 이 결과는 남원시의 지리적 위치가 난대수종인 편백의 생육조건에 영향을 미친 것으로 판단된다. 동일한 난대수종이지만 삼나무는 편백에 비해 더 넓은 적지면적을

갖는 것으로 분석되었다. 삼나무의 적지면적은 편백에 비해 넓은 9,454ha로 추정되었으며 적지비율은 21.2%인 것으로 평가되어 일본잎갈나무와 비슷한 수준의 적지비율을 보였다. 한편 우리나라를 대표하는 활엽수종인 상수리나무는 남원시에 분포하고 있는 산림 중에서 20.9%가 적지로 판정되어 편백의 적지비율과 비슷한 수준을 유지하는 것으로 추정되었다. 반면에 신갈나무는 상수리나무보다 훨씬 넓은 12,414ha가 적지인 것으로 추정되었는데 적지비율은 27.8%로 분석되었다. 남원시의 경우 동남쪽은 백두대간의 지리산과 인접한 지역으로 상대적으로 해발고도가 높아 이러한 입지조건이 신갈나무의 적지에 영향을 미친 것으로 판단된다. 굴참나무의 적지면적은 8,020ha이고 적지비율은 18.0%로 적지비율이 상대적으로 낮은 것으로 분석되었다.

3.3. 적지적수도 제작 및 적합성 판정

3.3.1. 수종별 적지분포

남원시의 적지적수도(Fig. 1)는 통계모형에 근거한

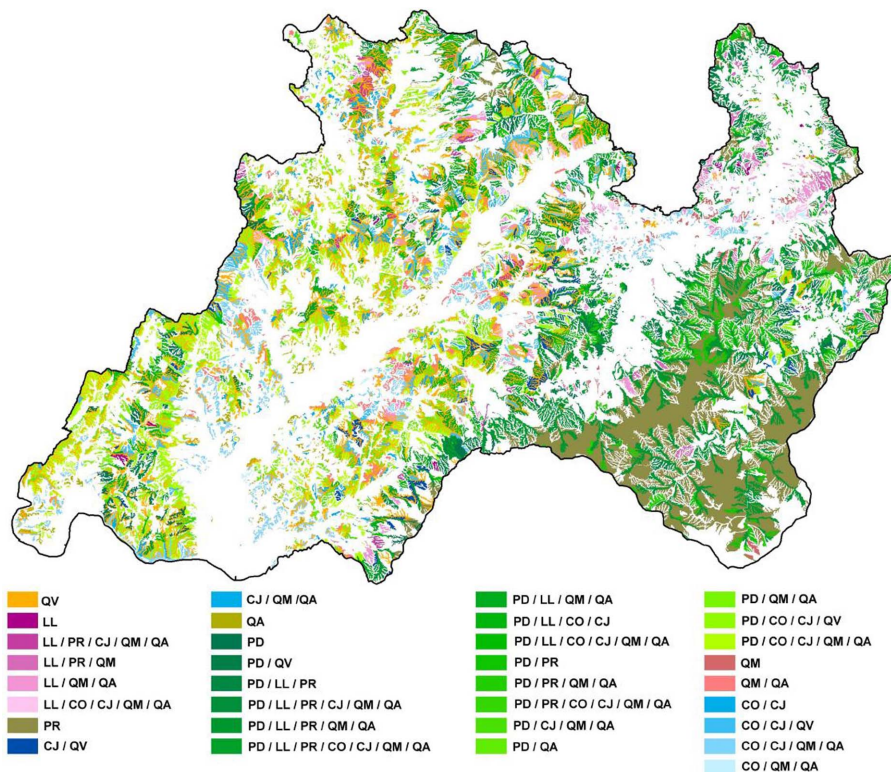


Fig. 1. Customized map of plantation for proper species selection in Namwon city. (PD=*Pinus densiflora*; LL=*Larix leptolepis*; PR=*Pinus rigida*; CO=*Chamaecyparis obtusa*; CJ=*Cryptomeria japonica*; QA=*Quercus acutissima*; QM=*Quercus mongolica*; QV=*Quercus variabilis*)

수종별 지위지수 추정식과 각 수종의 적지에 적합한 입지조건을 반영한 생육 범위를 고려하여 제작한 것이다. 전체적으로 다양한 수종의 조합으로 적지가 분포되어 있으며, 총 33개의 범례를 사용하여 적지분포를 표현하였다.

중부지방소나무는 남원시의 총 산림면적인 44,591ha 중에서 34.5%가 적지로 남원시 전체에 골고루 분포하는 것으로 나타났다. 중부지방소나무는 표고 100~1,250m의 범위가 생육적으로 알려져 있는데(Korea Forest Research Institute, 2008), 우리나라 산림지역은 수직적으로 대부분 이 범위에 포함되기 때문에 생육제한 인자로서 표고는 큰 문제가 되지 않는다. 또한 중부지방소나무의 경우 리기다소나무와 함께 기후대, 지형, 방위, 토심, 그리고 건습도 등의 인자와 관련하여 생육제한을 받지 않는 수종이다. 남원시의 경우 이러한 이유로 인해 중부지방소나무의 적지가 전체 산림지역에 골고루 분포하는 것으로 판단된다. 일본잎갈나무의 적지는 주로 남원시의 동쪽지역에 분포하는 것으로 나타났는데, 서쪽 지역의 경우에도 산록 이하의 지형조건을 갖는 산림에서 생산성이 높은 것으로 나타났다.

한편 리기다소나무는 표고가 높고 사면 위치가 산복 이하의 조건에서 생산성이 높은 것으로 분석되어, 이러한 조건을 가지고 있는 지리산 일대의 남동지역에 적지가 집중된 것을 확인할 수 있다. 난대수종인 편백의 경우 주로 남원시의 서쪽 지역에 적지가 분포하는 것으로 나타났다. 이는 서쪽 지역의 표고가 낮으면서 토심이 깊은 입지조건을 갖는 지역이 적지로 선정된 결과로 해석할 수 있다. 또한 삼나무의 경우에도 공간적으로 편백과 거의 같은 적지분포를 나타냈는데, 이는 이들 두 개의 수종이 동일한 입지조건에 적합하기 때문이다.

남원시의 상수리나무 적지는 서쪽 지역에 집중되어 있어 일본잎갈나무와 리기다소나무의 적지분포와는 상반된 분포를 보이고 있다(Fig. 1). 상수리나무의 적지는 표고가 300m 이하로 낮으면서 산록 이하의 지형조건인 것으로 알려져 있다(Korea Forest Research Institute, 2008). 남원시의 경우 이러한 조건을 만족하는 산림은 서쪽 지역에 집중되어 있음을 알 수 있다. 상수리나무의 적지는 일본잎갈나무의 적지와는 거의 중복되는 지역이 없는 반면, 삼나무의 적지와는 상당한 정도로 중복되어 분포하고 있다. 특히 리기다소나무와는 전혀 다른 적지분포를 보이고 있는데, 리기다

소나무는 표고가 높은 지리산 일대에 적지가 집중적으로 분포하고 있지만, 상수리나무는 표고의 제한으로 인해 지리산 일대의 남동지역은 적지에서 제외되었기 때문에 해석된다. 한편 신갈나무의 적지추정에 관여하는 환경인자는 사면위치, 경사형태, B층 건습도, 연최저기온, 그리고 성장기간 초기 3개월 동안의 총강수량과 같은 지형, 토양, 기후인자를 모두 포괄하고 있으며, 그 결과 남원시 전역에 골고루 분포하는 것으로 나타났다. 굴참나무의 경우 남원시의 서쪽지역을 중심으로 적지가 분포하는 것으로 평가되었다. 굴참나무와 상수리나무는 표고가 낮은 서쪽 지역을 중심으로 적지가 분포되어 있지만, 적지의 지형조건이 각각 산복 이상 또는 산록 이하로 구분되어 국지적으로 적지가 중복되지 않는 것으로 분석되었다.

본 연구에서는 적지로 판정된 수종의 경제성 분석을 실시하지 않은 한계가 있다. 본 연구의 결과에 의하면 복수의 수종이 남원시의 많은 지역에서 적지로 판정되었다. 이 결과를 활용하여 조림정책을 수립하거나 산주가 수종 선택에 필요한 의사결정을 할 경우 적수로 판정된 복수의 수종에 대한 경제성 분석이 선행되어야 할 것이다.

3.3.2. 적지분포의 검증

본 연구에서 도출한 남원시의 적지적수도(Fig. 1)를 보면 지리산 주변을 제외하고는 모두 다양한 수종의 조합으로 적지가 판정되어 있다. 지리산 주변은 적지 판정 수종이 단순하게 나타나고 있는데, 이는 기후대 및 표고의 영향을 받아 나타난 결과라고 판단된다. 본 연구에서 제작한 적지적수도의 적합성 판정을 위해 현지 확인 조사를 실시한 결과 전체적으로 큰 문제는 없는 것으로 평가되었다. 하지만 과거에 제작되었던 1:25,000 축척의 맞춤형 조림지도에 비해 부적지의 판정이 높게 나타난 것을 확인할 수 있었다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 수종의 특성을 고려하여 능선부의 부적지는 중부지방소나무와 굴참나무의 적지로 판정할 필요가 있다.

남원049 도엽은 다양한 수종의 조합으로 적지가 판정되어 있는 지역으로 능선부의 중부지방소나무와 신갈나무의 적지 판정 지역은 현재의 임분과 비교하면 적합한 것으로 평가되었다. 하지만 능선부의 부적지는 소나무와 굴참나무의 적지로 판정하는 것이 필요하다. 산복부와 능선부 중에서 상수리나무와 신갈나무가 동

시에 적지로 판정된 지역은 지형인자가 계곡인 것으로 판단된다. 또한 부적지로 판정된 지역 중에서 경사가 급한 지역과 도로 하단부는 조림 불가지역으로 적합하게 판정된 것을 확인하였다.

도엽 운봉051은 표고가 높은 지리산 지역으로 적지로 판정된 수종이 비교적 단순한 지역이다. 현재 이 지역은 대부분 중부지방소나무가 분포하고 있으며, 하단부에는 리기다소나무가 생육하고 있고 계곡부에는 일본잎갈나무가 분포하고 있다. 대상 도엽에서 표고가 상대적으로 높은 지역에는 잣나무와 자작나무가 생육하고 있다. 계곡부의 경우 소나무, 일본잎갈나무, 그리고 상수리나무로 적지를 판정한 지역은 현재의 임상을 고려할 때 지위 중 이상으로 적지 판정이 양호한 것으로 평가할 수 있다. 능선부에는 현재 잣나무가 생육하고 있으며 산복 계곡부에는 자작나무가 생육하고 있어 지위가 중 이상으로 평가된다. 이러한 점을 고려하면 이 도엽에서 리기다소나무의 적지로 판정한 풀리곤은 잣나무와 자작나무가 적지에 추가되어야 할 것이다. 또한 산록부는 생장이 상대적으로 양호한 들메나무, 물들메나무, 그리고 고로쇠나무의 적지 판정도 고려되어야 하는 것으로 평가하였다. 하지만 본 연구에서 개발한 수종별 지위지수 추정식에 자작나무, 들메나무, 그리고 고로쇠나무와 같은 활엽수종은 분석에 필요한 자료가 없어 적지 판정 대상 수종에서 제외하였다. 따라서 이러한 평가결과를 논리적으로 뒷받침할 수 있는 근거가 부족한 상태이다. 앞으로 이들 수종에 대한 자료가 확보되면 지위지수 추정식의 개발을 통해 보완할 필요가 있다.

본 연구는 남원시를 대상으로 환경요인을 고려한 적지적수도를 제작하기 위해 수행하였다. 본 연구에서는 현재 분포하고 있는 산림의 임종에 대한 구분이 없이 산림입지토양도의 속성정보를 사용하여 수종별 지위지수 추정식을 개발하여 적지를 평가한 한계를 가지고 있다. 본 연구의 결과를 조림정책에 반영하려면 현재 분포하는 천연림의 성장보다 우수한 지역을 선정하여 새로운 추정식의 개발과 도면작성 작업과 관련된 연구가 추가적으로 수행될 필요가 있다. 이와 함께 계곡부 위 등과 같은 세부적인 지형조건을 고려한 적지 판정도 앞으로 고려하여야 할 점으로 판단된다.

적 요

본 연구는 전라북도 남원시의 맞춤형 조림지도인 적

지적수도를 제작하기 위해 수행하였다. 이를 위해 남원시에 분포하는 주요 수종별 지위지수 추정식을 개발하고, 수종별로 적지에 적합한 입지조건을 반영한 생육범위를 고려하여 각 수종의 적지분포를 공간적으로 평가하였다. 남원시에 분포하는 주요 8개 수종별 지위지수 추정식은 각각 4-5개의 환경인자 조합이 관여하는 것으로 분석되었으며, 전체 27개의 환경인자 중에서 15개가 수종별 지위지수 추정에 사용되었다. 특히 사면위치(X_7)와 경사형태(X_8), B층 건습도(X_{11}), 연최저 기온(X_{15}), 온량지수(X_{16}) 비생장기간 5개월 동안의 총강수량(X_{23}), 월평균 상대습도(X_{24}), 그리고 생장기간 초기 3개월 동안의 월평균 상대습도(X_{25})가 수종별 지위지수 추정식에 많이 포함되는 것으로 판명되었다. 이상과 같은 방법으로 남원시의 적지적수도를 제작한 후, 적합성 검증을 위해 현지 확인 조사를 수행하였다. 현지 확인 결과 본 연구에서 제작한 적지적수도는 사용 가능한 자료의 한계에도 불구하고 수종별 적지분포를 비교적 무난하게 표현하고 있는 것으로 평가되었다. 하지만 부적지로 평가된 일부 지역의 경우 수정 및 보완이 필요한 것으로 나타났다.

감사의 글

본 논문은 2014년 국립산림과학원 산림수토보전과 위탁연구과제 ‘지위지수 산정을 위한 임목성장정보 수집 및 DB화’ 연구 결과의 일부입니다. 연구비 지원에 감사드립니다.

REFERENCES

- Albert, M., and M. Schmidt, 2010: Climate-sensitive modelling of site-productivity relationships for Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) and common beech (*Fagus sylvatica* L.). *Forest Ecology and Management* **259**, 739-749.
- Arbatzis, A. A., and H. E. Burkhart, 1992: An evaluation of sampling methods and model forms for estimating height-diameter relationships in loblolly pine plantations. *Forest Science* **38**(1), 192-198.
- Belsley, D. A., E. Kuh, and R. E. Welsch, 1980: *Regression diagnostics*. John Wiley & Sons. New York. 292pp.
- Bergès, L., R. Chevalier, Y. Dumas, A. Franc, and J. M. Gilbert, 2005: Sessile oak (*Quercus petraea* Liebl.) site index variations in relation to climate, topography and soil in even-aged high-forest stands in northern France. *Annals of Forest Science* **62**, 91-102.
- Bravo, F., and G. Montero, 2001: Site index estimation in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands in the High Ebro

- Basin (northern Spain) using soil attributes. *Forestry* **74**(4), 395-406.
- Elfving, B., and A. Kiviste, 1997: Construction of site index equations for *Pinus sylvestris* L. using permanent plot data in Sweden. *Forest Ecology and Management* **98**(2), 125-134.
- Farrelly, N., A. N. Dhubbáin, and M. Nieuwenhuis, 2011: Sitka spruce site index in response to varying soil moisture and nutrients in three different climate regions in Ireland. *Forest Ecology and Management* **262**, 2199-2206.
- Fekedulegn, D., R. R. Hicks Jr, and J. J. Colbert, 2003: Influence of topographic aspect, precipitation and drought on radial growth of four major tree species in an Appalachian watershed. *Forest Ecology and Management* **177**(1), 409-425.
- Judge, G. G., R. C. Hill, W. E. Griffiths, H. Lutkepohl, and T. C. Lee, 1988: *Introduction to the theory and practice of econometrics*. John Wiley & sons. New York. 1024pp.
- Kim, S. K., J. S. Park, Y. S. Lee, H. C. Seo, K. S. Kim, and J. I. Yun, 2004: Development and use of digital climate models in Northern Gyunggi Province-II. Site-specific performance evaluation of Soybean cultivars by DCM-based growth simulation. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **6**(1), 61-69. (in Korean with English abstract)
- Kim, T. H., C. H. Lee, K. S. Koo, and J. H. Jeong, 1991: Growth of major tree species by soil types. *Report of Forest Research* **42**, 91-106. (in Korean)
- Koo, K. S., I. H. Kim, J. H. Jeong, H. K. Won, and M. Y. Shin, 2003: Estimation of site index by species in Gyungi and Chungcheong province using a digital forest site map. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **5**(4), 247-254. (in Korean with English abstract)
- Korea Forest Research Institute, 2006: A study on the assessment of productive areas for main tree species using forest site map. 55pp. (in Korean)
- Korea Forest Research Institute, 2008: A study on history of proper tree species on proper sites and its application. Research Report 09-01, 128pp. (in Korean)
- Korea Forest Research Institute, 2014: Developing database and collecting tree growth information for the estimation of site index. 126pp. (in Korean)
- Korea Forest Service, 2001: *Guide for forest site inventory*. 91pp. (in Korean)
- Kramer, H., 1988: *Waldwachstumslehre*. Paul Parey. 374pp.
- Lee, S. W., H. G. Won, M. Y. Shin, Y. M. Son, and Y. Y. Lee, 2007: Estimation of forest productive area of *Quercus acutissima* and *Quercus mongolica* using site environmental variables. *Korean Journal of Soil and Fertilization* **40**(5), 429-434.
- Lee, Y. S., J. H. Sung, J. H. Chun, and M. Y. Shin, 2012: Development of site equations and assessment of productive areas based on environmental factors for major coniferous tree species. *Journal of Korean Forest Society* **101**(3), 395-404. (in Korean with English abstract)
- Myers, R. H., 1986: *Classical and modern regression with applications*. Duxbury Press. 395pp.
- Robertson, E. O., L. A. Jozsa, and D. L. Spittlehouse, 1990: Estimating Douglas-fir wood production from soil and climate data. *Canadian Journal of Forest Research* **20**, 357-364.
- Romanya, J., and V. R. Vallejo, 2004: Productivity of *Pinus radiata* plantations in Spain in response to climate and soil. *Forest Ecology and Management* **195**, 177-189.
- Schweingruber, F. H., 1993: *Trees and wood in dendrochronology: morphological, anatomical, and tree-ring analytical characteristics of trees frequently used in dendrochronology*. Springer-Verlag. 402pp.
- Shin, J. W., and C. M. Kim, 1996: The ecosystem classification in Korea(I): Ecoprovince classification. *Journal of Forest Science* **54**, 188-189. (in Korean with English abstract)
- Shin, M. Y., 1990: The use of ridge regression for yield prediction models with multicollinearity. *Journal of Korean Forest Society* **79**(3), 260-268.
- Shin, M. Y., I. B. Jung, K. S. Koo, and H. G. Won, 2006: Development of site index equation for *Pinus koraiensis* based on environmental factors and estimation of productive areas for reforestation. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **8**(2), 97-106. (in Korean with English abstract)
- Shin, M. Y., H. G. Won, S. E. Lee, and Y. Y. Lee, 2007: Development of site index equations and estimation of productive areas for main pine species by climatic zones using environmental factors. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **9**(3), 179-187. (in Korean with English abstract)
- Shin, M. Y., J. W. Yun, and D. S. Cha, 1996: Local correction of tree volume equation for *Larix leptolepis* by ratio-of-means estimator. *Journal of Korean Forest Society* **85**(1), 56-65. (in Korean with English abstract)
- Skovsgaard, J. P., and J. K. Vanclay, 2008: Forest site productivity: a review of the evolution of dendrometric concepts for even-aged stands. *Forestry* **81**(1), 13-31.
- Snee, R. D., 1977: Validation of regression models : Methods and example. *Technometrics* **19**, 415-428.
- Son, Y. M., K. H. Lee, S. D. Kwon, and W. K. Lee, 2003: Evaluation and Prediction system of tree resources. *Report of Forest Research* **04-01**, 49-52. (in Korean)
- Song, M. H., 2003: Development of regional site index equations for main tree species based on environmental factors. Master's thesis, Graduate School, Kookmin University, 53pp. (in Korean with English abstract)
- Yeh, H. Y., and L. C. Wensel, 2000: The relationship between tree diameter growth and climate for coniferous species in northern California. *Canadian Journal of Forest Research* **30**, 1463-1471.
- Yim, G. B. 2002. *Principle of Silviculture*. Hyangmun Book Co. 491pp.