

권역별 입지 · 토양 환경 요인에 의한 임지생산력 추정

원형규¹ · 정진현² · 구교상¹ · 송명희³ · 신만용³

¹국립산림과학원 임지보전과, ²국립산림과학원 기획과, ³국민대학 산림자원학과
(2004년 12월 29일 접수; 2005년 2월 24일 수락)

Estimation of Forest Site Productivity by Regional Environment and Forest Soil Factors

Hyong-kyu Won¹, Jin-Hyun Jeong², Kyo-Sang Koo¹,
Myung Hee Song³ and Man Yong Shin³

¹Division Forest Soil, KFRI, Seoul, 130-012, Korea

²Division Planning and Cooperation, KFRI, Seoul, 130-012, Korea

³Department of Forest Resources, Kookmin University, Seoul, 136-702, Korea

(Received December 29, 2004; Accepted February 24, 2005)

ABSTRACT

This study was conducted to develop regional site index equations for main tree species in Gangwon, Gyunggi-Chungcheong, Gyungsang, and Jeolla area of Korea, using environmental and soil factors obtained from a digital forest site map. Using the large data set obtained from the digital forest map, a total of 28 environmental and soil factors were regressed on site index by tree species for developing the best site index equations for each of the regions. The selected main tree species were *Larix leptolepis*, *Pinus koraiensis*, *Pinus densiflora*, *Pinus thunbergii*, and *Quercus acutissima*. Finally, four to five environmental and soil factors by species were chosen as independent variables in defining the best regional site index equations with the highest coefficients of determination (R^2). For those site index equations, three evaluation statistics such as mean difference, standard deviation of difference and standard error of difference were applied to the data sets independently collected from fields within the region. According to the evaluation statistics, it was found that the regional site index equations by species developed in this study conformed well to the independent data set, having relatively low bias and variation. It was concluded that the regional site index equations by species had sufficient capability for the estimation of site productivity.

Key words : Digital forest site map, Environment and soil factors, Evaluation statistics, Forest site productivity, Site index

I. 서 론

산림생산력을 추정하고 생산력에 따라 적당한 수종을 선정하여 갱신과 조림을 하는 것이 적지적수이다. 과거에는 임목의 수확량으로부터 지위지수를 추정하고 이에 근거하여 조림수종을 선택하였다. 그러나 이러한

방식은 수확표가 존재되어 있지 않으면 산림생산력을 추정하기 어려운 점이 있다. 국립산림과학원은 1995년부터 전국 산림에 대한 입지조사를 실시한바 있으며, 조사된 모든 입지자료를 수치화하여 데이터베이스로 구축하였다. 구축된 데이터베이스에는 입지환경 뿐만 아니라 토양환경정보와 수종별 임목 생장에 관한 속성

정보가 함께 있어 보다 과학적인 적지 분석과 적수를 선정할 수 있게 되었다. 이와 함께 산림이 지속적으로 유지·공급될 수 있도록 하기 위한 지속가능한 산림 경영을 위한 토대가 마련되었다.

우리나라 산림의 지형은 매우 복잡하여 지역과 해발고에 따라 산림 생산력이 서로 다르다. 또한 복잡한 기후는 하층식생 뿐만 아니라 임목의 생육에 다양한 영향을 주고 있다. 동일한 산림대와 인접한 지역이라 하더라도 입지적 조건과 토양조건은 임목의 생육에 관여한다. 그러므로 산림생태계는 주변 입지환경에 적응하여 최적의 수종으로 천이되어 간다(Kang *et al.*, 1996, 1997). 입업에서 입지생산력은 대부분 자연적인 입지조건과 토양환경 조건에 따라 결정된다. 그러므로 산림내의 환경을 파악하여 최적의 수종을 선택하고 조림을 하는 것이 유리하다.

한편 임목의 수확량 예측은 입지생산력을 추정함으로써 예측 가능하여, 특히 주요 조림 권장수종에 대한 입지생산력 추정은 매우 의미가 있다. 그 동안 임지의 생산력 추정 방법은 다양한 형태로 수행되어 왔다(Yun, 1972; Kim *et al.*, 1988; Kim *et al.*, 1991). 임지의 생산력을 추정하는 가장 보편적이면서도 오차를 줄일 수 있는 방법은 지위지수를 이용하는 것이다. 지위지수는 임지의 지력뿐만 아니라 수종별 임목 생장량도 함께 추정할 수 있어 연구자를 비롯한 산림 종사자에게 매우 유용한 정보이다(Kim and Lee, 1967; Kim, 1973; Kim *et al.*, 1991). 현재 우리나라에서 사용되고 있는 지위지수 추정방법은 국립산림과학원에서 조제한 추정식을 이용하고 있으며 이를 통해 수종별 지위지수 분류곡선을 적용하고 있다(Korea Forest Service, 2001).

임목의 생장에 영향을 미치는 여러 가지 요인들 중에서 지형 및 토양인자를 포함하는 입지환경인자는 임목생장에 결정적으로 영향을 주는 것으로 알려져 있어(Kim *et al.* 1991), 이들 인자들이 상호간에 어떻게 작용하는지 분석하는 것은 매우 중요하다. 또한, 수령과 수고의 관계로 구명된 기존의 지위지수는 다양한 입지환경 인자들을 충분히 반영하지 못하고 있을 뿐 아니라 생육하고 있는 임목에 수고와 수령을 측정해야만 그 지위지수를 알 수 있기 때문에 무림목지나 산불피해지, 수종갱신지와 같은 곳에서는 활용할 수 없는 단점을 가지고 있다. 따라서 이를 보완하기 위하여 입지환경에 의한 지위지수 추정이 기존의 방법을 대체

할 수 있는 합리적인 방법으로 판단된다. 이와 더불어 다양한 입지환경 인자를 계량화한 지위지수 추정식에 대하여는 이미 개발하여 국유림에서 시범운영중인 산림지리정보시스템을 이용한 적지적수도 작성프로그램(Korea Forest Service, 2001)의 알고리즘에 반영할 경우 원활한 작업과 함께 보다 정확한 결과를 도출할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구는 현지조사를 최소화 할 수 있도록 전국의 산림을 대상으로 구축된 수치 산림입지도를 토대로 지역별로 주요 조림수종에 대한 지위지수 추정식을 개발하고자 하였다. 본 연구를 통해 얻어지는 결과는 지역별 주요 조림수종의 적지적수 판정에 필요한 기초 자료를 제공함과 동시에 보다 정확한 임지의 잠재생산력을 평가함으로써 우리나라 산림경영의 효율화에 필요한 기초 자료를 제공할 것으로 기대된다.

II. 재료 및 방법

2.1. 연구대상지

본 연구는 우리나라 전국의 산림을 대상으로 1995년부터 조사한 입지환경 인자에 대한 산림입지 조사 결과를 중심으로 분석하였다. 또한 지역적으로 정밀하게 활용할 수 있는 지위지수 추정식을 개발하기 위해 연구대상 지역을 산림기후대 및 행정구역에 근거하여 선정하였다.

먼저 산림입지도를 산림기후대와 행정구역을 고려하

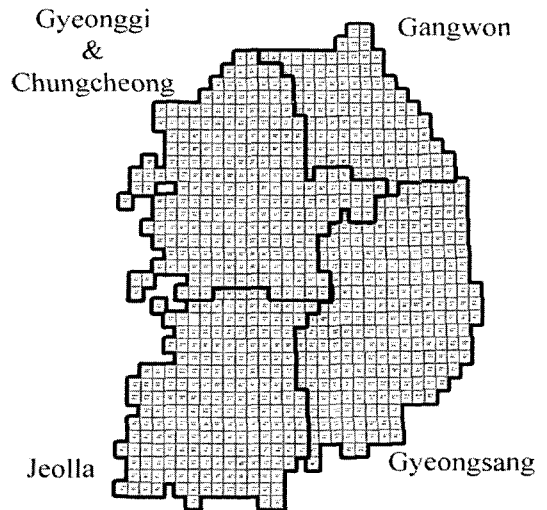


Fig. 1. Classification of study area used in this study.

여 4개 권역으로 구분하였다. 즉, 산림기후대를 기초로 입지조건 차이가 그다지 크지 않을 것으로 판단되면서 동시에 현실적으로 산림이 행정구역별로 관리가 이루어지는 점을 고려하여 강원지역, 경기·충청지역, 전라지역, 경상지역의 4개 권역으로 연구대상지를 구분하였다(Fig. 1).

2.2. 지역별 · 수종별 지위지수 추정식의 개발 방법

2.2.1. 분석 자료

먼저 연구대상 수종에 대한 임령 및 수고와 그 지역의 입지환경 인자에 대한 현지조사 자료를 얻기 위해 산림청에서 실시한(Korea Forest Service, 2001)

산림입지조사 자료를 컴퓨터에서 중첩 및 분석이 가능하도록 지리정보 도면으로 제작한 수치산림입지도(1/25,000)를 연구 재료로 활용하였다. 산림입지조사는 항공사진(축척 1/15,000) 판독을 통하여 최소면적 3ha 이상으로 입지구획(Polygon)을 실시하고, 구획된 동일 입지를 대표하는 지역에 대한 표준지(20m×20m)를 선정하여 우세목 5본에 대한 임상조사와 가로 1m와 깊이 1m의 토양단면 특성과 토양형, 토심 등 주요한 토양환경 인자를 조사하여 총 28개의 입지환경 인자에 대한 현지조사를 완료하였다(Table 1).

조사항목과 조사방법은 국립산림과학원 예규(산림입지조사요령)를 따라 각 시·도(시·군·구), 지방산림

Table 1. Environmental variables and its code description used in this study to estimate site index by species

Variables	Variable Name	Code Description
X ₁	Topography	1: flatness 2: gentle hill 3: foot of mountain 4: middle of mountain 5: top of mountain
X ₂	Climatic Zone	1: the north temperate zone 2: the middle temperate zone 3: the south temperate zone 4: warm temperate zone
X ₃	Parent Rock	1: igneous rock 2: sedimentary rock 3: metamorphic rock
X ₄	Soil Drainage	1: poor 2: common 3: good 4: very good
X ₅	Slope	1: less than 15° 2: 15~20° 3: 20~25° 4: 25~30° 5: more than 30°
X ₆	Altitude	1: lower than 100m 2: 100~200m 3: 200~300m 4: 300~400m 5: 400~500m 6: 500~600m 7: higher than 600m
X ₇	Sedimentary Type	1: residual deposit 2: creeping 3: colluvial
X ₈	Erosion State	1: not exist 2: exist 3: severe
X ₉	Relief	1: concave 2: flat 3: convex
X ₁₀	Aspect	1: east 2: west 3: south 4: north 5: northeast 6: northwest 7: southeast 8: southwest
X ₁₁	Available Soil Depth	real measured values
X ₁₂	Rock Exposure	1: less than 10% 2: 10~30% 3: 30~50% 4: 50~70%
X ₁₃	Ratio of Valley to Hill	real measured values
X ₁₄	Wind Exposure	1: exposure 2: medium 3: protected
X ₁₅	Weathering Degree	1: high 2: medium 3: low
X ₁₆	Soil Type	coded from 1(B ₁) to 29(Va-4)
X ₁₇	Soil Depth in Horizon A	1: less than 50cm 2: 50~70cm 3: 70~90cm 4: more than 90cm
X ₁₈	Soil Depth in Horizon B	1: less than 50cm 2: 50~70cm 3: 70~90cm 4: more than 90cm
X ₁₉	Soil Color in Horizon A	coded with 98 different numbers from 101 to 421
X ₂₀	Soil Color in Horizon B	coded with 98 different numbers from 101 to 421
X ₂₁	Organic Matters in Horizon A	1: 0~2% 2: 2~4% 3: 4~6% 4: more than 6%
X ₂₂	Organic Matters in Horizon B	1: 0~2% 2: 2~4% 3: 4~6% 4: more than 6%
X ₂₃	Soil Texture in Horizon A	1: sandy loam 2: loam 3: silt loam 4: silt clay loam 5: sandy clay loam 6: silt clay 7: clay loam 8: clay 9: loamy sand 10: sand
X ₂₄	Soil Texture in Horizon B	1: sandy loam 2: loam 3: silt loam 4: silt clay loam 5: sandy clay loam 6: silt clay 7: clay loam 8: clay 9: loamy sand 10: sand
X ₂₅	Soil Moisture in Horizon A	1: moderate 2: slight dry 3: slight humid 3: humid 5: dry
X ₂₆	Soil Moisture in Horizon B	1: moderate 2: slight dry 3: slight humid 3: humid 5: dry
X ₂₇	Soil Consistency in Horizon A	1: very crumbly 2: crumbly 3: soft 4: hard 5: very hard
X ₂₈	Soil Consistency in Horizon B	1: very crumbly 2: crumbly 3: soft 4: hard 5: very hard

관리청(국유림관리소)의 담당공무원이 국립산림과학원에서 전문교육을 이수한 후 현지조사를 실시하고, 조사된 자료는 정확성을 기하기 위하여 반드시 국립산림과학원 및 전문기관의 검토 및 확인을 거쳐 확정하였다. 수치산림입지도의 경우에는 산림입지조사요령에 따라 현지 조사한 자료를 국립산림과학원의 검토를 거쳐 종이 지형도(1/25,000) 위에 그려진 산림입지도면을 국립지리원에서 제작된 수치지형도 등 국가전문기관에서 제작된 수치지도들과 중첩하여 컴퓨터에서 다양하고 목적에 맞도록 분석하여 활용할 수 있도록 전산화한 자료이며, 국립지리원의 수치지도 작성 규칙에 따라 종이지도와 동일한 축척으로 산림청에서 2000년부터 제작하기 시작하여 2003년까지 완료하였다.

이와 같이 조사된 전국 산림입지 조사 결과로부터 총 65,717개의 표준지 데이터를 추출하여 활용하였으며, 각 표준지마다 산림에 대한 지형, 토양 등 28개의 입지환경인자가 들어있다. 이 인자에서 입지와 관련된 인자는 해발고, 경사도 및 경사형태, 퇴적양식, 토양형 등 16개이며, 토양과 관련된 인자는 토심, 토성, 층계 및 층위, 토색, 견밀도, 토양구조 등 12개로 총 28개이다(Table 1). 입지환경과 관련된 속성정보는 유효토심(X_{11})과 능선 대 계곡비(X_{13})처럼 실측치로 조사된 변수를 제외하고는 모두 코드화하여 정리하였다.

지위지수 추정식 개발을 위한 지역별 대상수종은 수확표 조제시 필요한 최소 표준지의 수가 200개 이상(Meyer, 1947)의 표본점 자료를 보유하고 있는 것으로 하였다. 결과적으로 강원도의 경우에는 낙엽송, 잣나무, 강원도소나무, 상수리나무의 4개 수종이며, 경기·충청지역은 낙엽송, 잣나무, 중부지방소나무, 상수리나무, 해송의 5개 수종, 그리고 경상지역과 전라지역은 각각 낙엽송, 중부지방소나무, 상수리나무, 그리고 해송의 4개 수종을 대상으로 지위지수를 추정하였다. 지위지수는 국립산림과학원의 입지조사 요령에 따라 산림입지조사에서 각 표준지의 조사구별로 우세목 5본을 선정하여 수고, 흉고직경, 그리고 수령을 각각 실측한 자료를 활용하여 추정하였다. 연구 대상지의 지역별·수종별 개체수와 평균수령은 Table 2와 같다.

2.2.2. 분석 방법

입지환경요인에 의한 수종별 최적 지위지수 추정식을 도출하기 위해 먼저 Table 1의 28개 입지환경요인에 대한 상관분석을 실시하였다. 수종별 지위지수와

Table 2. Number of plots and mean age by tree species used for the development of regional site index equations

Area	Tree Species	Number of Plots	Mean Age
Gangwon	<i>Larix leptolepis</i>	1,784	26
	<i>Pinus koraiensis</i>	732	21
	<i>Pinus densiflora</i>	8,190	33
	<i>Quercus acutissima</i>	2,728	32
Gyeonggi-Chungcheong	<i>Larix leptolepis</i>	2,980	29
	<i>Pinus koraiensis</i>	547	20
	<i>Pinus densiflora</i>	7,659	29
	<i>Quercus acutissima</i>	5,680	27
	<i>Pinus thunbergii</i>	1,585	32
Gyeongsang	<i>Larix leptolepis</i>	1,466	25
	<i>Pinus densiflora</i>	9,766	27
	<i>Quercus acutissima</i>	3,267	26
	<i>Pinus thunbergii</i>	3,990	28
Jeolla	<i>Larix leptolepis</i>	859	27
	<i>Pinus densiflora</i>	7,900	33
	<i>Quercus acutissima</i>	2,104	25
	<i>Pinus thunbergii</i>	4,480	32

상관이 비교적 높은 입지환경 인자를 먼저 선택한 후, 이들 변수 중에서 중회귀분석의 단계별 회귀기법(stepwise regression)의 no intercept option에 의하여 지위지수 추정에 필요한 최적 변수의 조합을 선택하였다(Kim, 2003). 이 과정에서 선택된 변수간의 내부상관이 있는지를 다양한 방법에 의하여 검증함으로써(Belsley et al., 1980; Myers, 1986; Judge et al., 1988), 내부상관의 문제를 제거하면서 최적 변수의 조합에 의하여 결정계수가 높은 권역별·수종별 지위지수 추정식이 조제되도록 하였다(Shin, 1990).

2.3. 지위지수 추정식의 검증 방법

이와 같은 방법으로 얻어진 지역별·수종별 지위지수 추정식의 적합성을 검증하기 위하여 연구대상지인 4개 권역별로 독립된 검증자료(Test Data)를 수집하였다.

2.3.1. 검증자료의 수집

입지환경 인자에 의한 중회귀기법으로 조제된 지역별·수종별 지위지수 추정식의 적합성을 검증하기 위하여 각 지역에서 수종별로 표준지를 선정하고 현지 조사를 실시하여 지위지수 추정식에 사용된 자료와는 별도로 독립된 자료를 수집하였다. 검증자료 수집을 위한 표준지의 선정은 수치산림입지도를 사용하였는데,

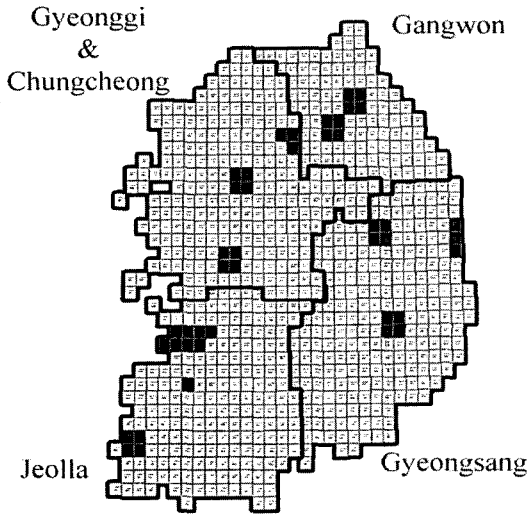


Fig. 2. Map of test data distribution surveyed in this study.

강원, 경기·충청, 전라, 경상지역 내에 구축되어 있는 1/25,000의 총 790도엽 중에서 수종분포를 고려하여 43개 도엽에서 자료를 수집하였다(Fig. 2). 검증자료 수집을 위한 표준지는 모두 비슷한 분포가 되도록 표준지를 배정하였다. 한편 경기·충청지역의 해송은 자료를 수집하지 못하여 검증에서 제외하였다.

현지에서 검증을 위해 각 표준지별로 조사된 항목은 다음과 같다. 우선 지역별·수종별 지위지수를 추정하기 위해 조제된 지위지수식의 독립변수에 해당하는 입지환경 인자를 측정하였다. 이와 같이 측정된 입지환경인자는 해당 지역의 수종별 지위지수식에 대입함으로써 해당 표준지의 지위지수를 추정하게 된다. 이와 함께 해당 표준지의 실측 지위지수를 판정하기 위해 수령과 수고를 측정하였다. 이 자료를 국립산림과학원에서 제작한 수종별 지위지수곡선에 대입하여 최종적으로 해당 표준지의 지위지수를 사정하였다. 이와 같이 얻어진 지역별·수종별 각 표준지의 지위지수 추정치와 실측치를 사용하여 본 연구로부터 얻어진 지위지수 추정식의 적합성을 검증하였다.

2.3.2. 검증 통계량

최종적으로 얻어진 수종별 지위지수 추정식의 적합성을 검증하기 위해 본 논문에서 사용한 검증 통계량은 모형의 추정편의(Model's Estimation Bias), 모형의 정도(Model's Precision), 그리고 이 두 가지를 고려한 측정치에 대한 오차의 평균평방화(Mean

Square Error Type of Measure)에 의한 모형의 표준오차 등의 3가지 검증 통계량을 사용하였다(Shin, 1990; Arabatzis and Burkhardt, 1992; Shin *et al.*, 1996).

먼저 모형의 평균편의(MD; Mean Difference)는 최적 지위지수식에 의하여 계산된 지위지수 추정치와 실측한 지위지수간의 차이에 대한 평균으로, 각 모형에 의하여 추정된 추정치가 평균적으로 얼마만큼의 편의(Bias)를 갖는가를 나타내는 통계량으로 다음과 같이 계산된다.

$$MD = \sum_{i=1}^n \frac{e_i}{n} \quad (1)$$

여기서 MD는 모형의 추정 편의, e_i 는 실측치와 모형에 의한 추정치와의 차, 그리고 n 은 조사된 임목의 본수이다.

모형의 정도(SDD; Standard Deviation of Difference)는 최종적으로 얻어진 최적 지위지수 추정식이 얼마만큼의 정도(精度)를 가지고 있는지에 대하여 평가할 수 있는 통계량으로 실측치와 추정치와의 차이인 편의에 대한 표준편차에 의해서 계산된다. 즉, 사용된 지위지수의 평균편의를 중심으로 편의가 어느 정도의 산포도를 갖는가의 판정에 의하여 모형의 정도를 계산하며, 그 식은 다음과 같다.

$$SDD = \sqrt{V_e} \quad (2)$$

여기에서, $V_e = \frac{(\sum e_i^2 - \frac{\sum e_i^2}{n})}{n-1}$ 에 의해 계산되는데, V 는 모형의 분산을 말한다.

모형의 표준오차(SED; Standard Error of Difference)는 일반적으로 모형의 적합성을 나타내는 지표로 사용되며(Avery and Burkhardt, 1983), 각각의 지위지수 측정치와 추정치 간의 오차에 대한 평균평방화(MSE)는 사용된 자료에 적용한 지위지수 추정식의 편의와 정도의 두 통계량을 함께 고려하여 계산한다. 즉, 편의의 분산인 V_e 와 모형의 추정편의를 나타내는 MD의 제곱과의 합을 나타내며(Neter *et al.*, 1985; Myers, 1986), 이 평균평방화(MSE)에 제곱근을 취한 값이 모형의 표준오차(SED)로 계산식은 다음과 같다.

$$SED = \sqrt{V_e + MD^2} \quad (3)$$

III. 결과 및 고찰

3.1. 권역별 주요 수종의 지위지수 추정식의 조제

본 연구에서 전국을 4개 권역으로 구분한 후 각 지역에 분포하는 주요 수종을 대상으로 입지환경 인자에 의한 최적 지위지수 추정식을 개발한 결과는 Table 3과 같다. 강원도 지역의 수종별 최적 지위지수 추정식은 낙엽송, 잣나무, 강원도소나무, 상수리나무의 4가지 수종 모두 동일한 입지환경 인자에 의하여 지위지수가 비교적 잘 추정되는 것으로 나타났다. 즉, 지형과 경사형태의 2가지 입지환경인자와 풍노출도와 B층 토심의 2가지 토양환경인자가 지위에 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 또한 수종별 지위지수식은 모두 결정계수가 0.97 이상으로 매우 높아, 강원도 지역의 수종별 지위지수는 비교적 적은 인자만으로도 추정이 가능한 것으로 나타났다(Kim *et al.*, 1991). 이러한 결과는 앞으로 수종별 산림의 생산력 판단과 적지적수의 관정을 위한 지위의 사정은 몇 가지 입지환경 인자의 측정만으로도 결과의 도출이 가능하다는 것을 시사하는 것으로, 기존의 지위판정보다 비용과 시간, 그리고 노력을 훨씬 경감할 수 있을 것으로 기대된다.

경기와 충청도 지역의 산림생산력을 추정할 수 있는 수종별 최적 지위지수 추정식은 수종별로 약간 차이는 있지만 전체적으로 4~5개의 입지환경 인자에 의하여

지위지수가 비교적 잘 추정되는 것으로 나타났다. 특히 수종별 지위지수식의 결정계수가 모두 0.91 이상으로 높은 설명력을 보이고 있는데, 경기·충청지역의 수종별 지위지수도 강원도 지역과 마찬가지로 비교적 적은 몇 가지 입지환경 인자만으로도 정도(精度)가 높게 추정이 가능한 것으로 나타났다.

수종별로 보면 낙엽송, 잣나무, 중부지방소나무, 상수리나무는 4가지 그리고 해송은 5가지 입지환경 인자에 의하여 지위지수가 잘 추정되는 것으로 나타났다. 낙엽송과 잣나무는 경사형태, B층 토심, B층 견밀도, B층 건습도의 순으로 지위에 영향을 미치고, 중부지방 소나무는 풍노출도, B층 토심, 지형, A층 건습도의 순서로 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 한편 상수리나무는 경사형태, B층 토심, 지형, 그리고 A층 건습도가 영향을 미치며, 해송은 퇴적양식, B층 토심, B층 토성, A층 견밀도의 순으로 지위지수에 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 특히 중부지방 소나무의 경우에 풍노출도가 지위에 가장 영향이 큰 것으로 나타났다는데, 이는 Park *et al.*(2001)의 구실밤잣나무의 연구결과와는 다소 다른 결과를 보이고 있다.

경상도 지역의 수종별 최적 지위지수 추정식은 모두 4개씩의 입지환경 인자에 의하여 지위를 추정할 수 있는 것으로 분석되었다. 특히 조제된 수종별 지위지수식의 설명력을 나타내는 결정계수가 모두 0.97 이상으

Table 3. Regression coefficients of site parameters to environment and soil factors by species grown in four regions

Region	Tree Species	Regression Equations	R ²
Gangwon	<i>Larix leptolepis</i>	SI=1.65*X ₁₄ +1.48*X ₁ +1.38*X ₉ +1.12*X ₁₈	0.98
	<i>Pinus koraiensis</i>	SI=2.10*X ₉ +1.50*X ₁ +1.25*X ₁₄ +0.51*X ₁₈	0.99
	<i>Pinus densiflora</i>	SI=2.03*X ₉ +0.83*X ₁₄ +0.73*X ₁ +0.67*X ₁₈	0.98
	<i>Quercus acutissima</i>	SI=1.82*X ₉ +1.65*X ₁₈ +1.64*X ₁ +1.18*X ₁₄	0.97
Gyeonggi and Chungcheong	<i>Larix leptolepis</i>	SI=2.37*X ₉ +2.08*X ₁₈ +1.03*X ₂₈ +0.81*X ₂₆	0.97
	<i>Pinus koraiensis</i>	SI=3.26*X ₉ +1.77*X ₁₈ +0.72*X ₂₆ +0.53*X ₂₆	0.97
	<i>Pinus densiflora</i>	SI=2.57*X ₁₄ +1.49*X ₁₈ +0.36*X ₁ +0.19*X ₂₆	0.92
	<i>Quercus acutissima</i>	SI=3.67*X ₉ +1.79*X ₁₈ +1.00*X ₁ +0.35*X ₂₆	0.91
	<i>Pinus thunbergii</i>	SI=1.99*X ₃ +1.63*X ₇ +0.81*X ₁₈ +0.64*X ₂₄ +0.14*X ₂₇	0.93
Gyeongsang	<i>Larix leptolepis</i>	SI=2.18*X ₉ +1.77*X ₁₈ +1.44*X ₁ +0.37*X ₂₆	0.98
	<i>Pinus densiflora</i>	SI=2.01*X ₇ +1.13*X ₁₄ +0.95*X ₁₈ +0.64*X ₁	0.97
	<i>Quercus acutissima</i>	SI=2.71*X ₉ +2.23*X ₁₈ +1.73*X ₁₄ +1.17*X ₂₆	0.97
	<i>Pinus thunbergii</i>	SI=2.16*X ₉ +2.12*X ₁₈ +0.90*X ₁₅ +0.42*X ₂₅	0.98
Jeolla	<i>Larix leptolepis</i>	SI=2.30*X ₇ +1.02*X ₂₇ +0.74*X ₉ +0.59*X ₆	0.90
	<i>Pinus densiflora</i>	SI=2.25*X ₇ +1.06*X ₁₄ +0.67*X ₁₈ +0.60*X ₁	0.95
	<i>Quercus acutissima</i>	SI=2.23*X ₂ +1.56*X ₁₄ +0.93*X ₆ +0.76*X ₈	0.90
	<i>Pinus thunbergii</i>	SI=3.99*X ₁₄ +1.60*X ₁₈ +0.56*X ₂₅ +0.15*X ₁₆	0.95

로 매우 높아 소수의 입지환경 인자만으로 지위 추정
에 문제가 없는 것으로 파악되었다.

경상도 지역의 수종별 지위에 영향을 미치는 입지환
경인자 중에서 가장 영향을 많이 미치는 것은 경사형
태인 것으로 판단된다. 경사형태는 중부지방 소나무를
제외하고 낙엽송, 상수리, 해송에서 영향이 높은 편인
데, 특히 상수리나무의 경우에 경사형태가 이 지역에
서 지위 결정에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타
났다. 또한 B층 토심의 경우에는 4개 수종의 지위에
모두 영향을 주는 인자로 특히 상수리나무와 해송의
지위 판정에 높은 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

전라도 지역의 입지환경 인자에 의한 수종별 최적
지위지수 추정식은 수종별로 4개의 입지환경 인자가
독립변수로 채택되었다(Table 3). 수종별 지위지수 추
정식의 결정계수를 보면 다른 지역에 비하여 다소 낮
지만 여전히 수종별로 모두 0.90 이상으로 높은 설명
력을 보이고 있다. 이러한 결과는 전반적으로 지역이
나 수종에 관계없이 일부 입지환경 인자만으로도 지위
를 잘 추정할 수 있다는 것을 의미하며, 이는 현재
사용하고 있는 우세목과 준우세목의 수고에 의하여 지
위를 판정하는 방법을 대신할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구를 통해 조제한 전라도 지역의 수종별 지위
지수 추정식을 보면 수종별로 지위에 가장 영향을 미
치는 인자는 낙엽송과 중부지방 소나무의 경우 퇴적양
식, 상수리나무는 기후대, 그리고 해송은 풍노출도인
것으로 파악되었다. 따라서 이 지역에서의 수종별 지
위에 영향을 미치는 입지환경 인자는 서로 상이한 것
으로 나타났으며, 이러한 결과는 다른 지역과는 다른
경향을 보이고 있는 것이다. 전체적으로 보면 전라도
지역에서는 풍노출도가 낙엽송을 제외한 나머지 3개의
수종에서 비교적 높은 영향을 주고 있는 것으로 분석
되었다. 산림입지환경 인자를 이용한 주요 수종의 생
장에 미치는 영향을 분석한 다른 연구에서도(Kim *et*
al., 1991; Jeong *et al.*, 1994) 풍노출도가 매우 중
요한 인자로 보고되어 본 연구 결과와 유사하며, 결과
적으로 수종별 산림생산력을 유지하기 위해서는 풍노
출도를 고려한 적지적수가 필요한 것으로 판단된다.

3.2. 권역별 주요 수종의 지위지수 추정식의 검증

Table 4는 권역별로 주요 수종의 지위지수 추정식의
현지 실용성을 검증하기 위하여 현지에서 수집한 검증
자료를 기초로 평가 통계량인 모형의 평균편의(MD),

Table 4. Evaluation results of the estimation ability for site
index equations by species developed in four regions

Region	Tree species	n	MD	SDD	SED
Gangwon	<i>Larix leptolepis</i>	103	-0.01	1.86	1.86
	<i>Pinus koraiensis</i>	60	0.64	0.98	1.17
	<i>Pinus densiflora</i>	117	0.21	2.11	2.12
	<i>Quercus acutissima</i>	41	-0.86	1.35	1.60
Gyeonggi and Chungcheong	<i>Larix leptolepis</i>	197	1.82	2.48	3.08
	<i>Pinus koraiensis</i>	130	-0.41	2.51	2.55
	<i>Pinus densiflora</i>	115	-1.09	3.03	3.23
	<i>Quercus acutissima</i>	178	0.22	2.70	2.71
Gyengsang	<i>Larix leptolepis</i>	95	0.07	2.11	2.11
	<i>Pinus densiflora</i>	75	-0.42	1.76	1.81
	<i>Quercus acutissima</i>	69	-0.79	3.43	3.52
	<i>Pinus thunbergii</i>	75	-0.54	1.51	1.60
Jeolla	<i>Larix leptolepis</i>	49	0.50	1.15	1.26
	<i>Pinus densiflora</i>	169	-0.07	0.95	0.96
	<i>Quercus acutissima</i>	86	0.80	1.49	1.69
	<i>Pinus thunbergii</i>	69	-0.70	1.35	1.52

모형의 정도(SDD), 그리고 모형의 표준오차(SED)에
근거하여 분석한 검증결과이다. 이는 본 연구에서 얻
어진 각 권역의 수종별 최적 지위지수 추정식을 무작
위의 해당 지역의 표준지에 적용하였을 경우 얻어지는
지위지수 추정치와 실측치를 비교하여 본 연구에서 개
발된 지위지수 추정식의 적합성을 검증한 결과이다.

강원도 지역의 경우 본 연구로부터 얻어진 수종별
지위지수 추정식의 편의를 나타내는 MD를 보면 전반
적으로 -0.86m에서 0.64m의 범위에 있어 비교적 높
은 추정능력을 보이고 있다. 낙엽송과 상수리나무는
다소 과다한 지위지수 추정치를 보여 추정식의 편의가
음수의 결과를 나타냈다. 수종별 지위지수 추정식의
편의는 대체적으로 낮아 본 연구로부터 개발된 강원도
지역의 수종별 지위지수 추정식은 그 효용성이 입증되
었지만 상대적으로 상수리나무의 편의가 -0.86m로 가
장 높았다. 이러한 결과는 상수리나무에 대한 지위지
수 추정식의 문제라기보다 다른 수종에 비하여 검증
자료가 다소 적은 것에 기인하는 것으로 판단된다. 한
편 사용된 추정식의 정도 및 적합성을 나타내는 SDD
와 SED의 경우에는 추정편의가 상대적으로 높은 잣
나무와 상수리나무가 낮고 반대로 낙엽송과 강원도지
방 소나무가 큰 것으로 분석되었다. 특히 강원도지방
소나무가 가장 높았으나 전반적으로 본 연구에서 개발
된 추정식의 정도(精度) 및 적합성에는 문제가 없는

것으로 평가되며, 따라서 본 연구에서의 몇 가지 환경 인자를 이용해 도출한 수종별 지위지수 추정식은 활용 가치가 높은 것으로 판단된다(Shin *et al.*, 2002).

검증 결과를 보면 경기·충청도 지역의 주요 수종에 대한 지위지수 추정식도 사용하는데 큰 문제가 없는 것으로 평가되었다. 낙엽송의 경우 실측 지위지수와 추정식에 의하여 산출된 지위지수의 차이에 대한 평균을 나타내는 모형의 평균편의가 1.82m로 다소 높고, 중부지방 소나무는 약 1m 정도의 편의를 보이고 있지만 잣나무와 상수리나무는 0.5m 미만으로 매우 정도가 높은 것으로 분석되었다. 다른 평가 통계량인 모형의 정도와 표준오차의 경우에는 수종 간에 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 추정치와 실측치의 편차인 평균편의가 가장 큰 낙엽송의 경우에는 추정식의 조제에 사용된 자료와 검증을 위해 사용된 자료 간에 차이가 영향을 미친 것으로 보이며, 이와 함께 검증에 사용된 표본자료의 부족으로 인한 결과로 판단된다(Koo *et al.*, 2003). 따라서 앞으로 이에 대한 추가적인 조사와 연구가 요구된다.

경상도 지역의 수종별 지위지수 추정식의 적합성을 검증한 결과를 보면 전반적으로 검증자료가 충분하지 않음에도 불구하고 이 지역에서 조사된 수종별 지위지수 실측치와의 추정치 간에는 큰 차이가 없는 것으로 평가되었다. 경상도 지역의 수종별 지위지수 추정식은 낙엽송은 미미하게 과소 추정하며, 그 밖은 수종은 모두 1m 미만으로 과대 추정하는 것으로 나타나 전반적으로 추정편의가 낮은 것으로 평가되었다. 한편 추정식의 정도 및 적합성을 나타내는 SDD와 SED의 경우에는 상수리나무가 상대적으로 높지만 전반적으로 낮은 것으로 분석되어 수종 간에 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 따라서 경상도 지역의 수종별 지위지수 추정식의 검증 결과도 실용 적합성의 관점에서 큰 문제가 없는 것으로 평가되었다.

평가통계량을 분석한 결과를 살펴보면 전라도 지역의 지위지수 추정식의 경우 또한 실용성이 높은 것으로 판명되었다(Table 4). 전라도 지역의 낙엽송, 상수리나무, 해송의 지위지수 추정식의 편의를 나타내는 평균편의는 0.5~0.8m의 범위에 있었지만, 소나무 지위지수 추정식의 평균편의는 -0.07m로 매우 추정능력이 높은 것으로 분석되었다. 또한 전라도 지역의 수종별 지위지수 추정식은 모형의 정도와 표준오차인 SDD와 SED도 상대적으로 낮고 수종간에도 큰 차이가 없어

적합성을 인정할 수 있었다. 즉, 상수리나무의 SDD와 SED가 다른 수종에 비하여 상대적으로 다소 높았지만 전반적으로 다른 지역보다 낮은 것으로 분석되어 추정식의 활용가치가 매우 높은 것으로 분석되었다.

결과적으로 본 연구에서 개발된 권역별 주요 수종의 지위지수 추정식은 이비지 생산력의 추정에 적합한 것으로 판명되었다. 따라서 실무에서 이 지위지수 추정식을 이용하면 현지에서 간단하게 몇 가지 입지환경 인자의 측정으로 해당 임분의 지위를 사정할 수 있고, 그 결과는 합리적인 경영에 필요한 자료로 활용될 수 있을 것이다.

IV. 적 요

본 연구에서는 기존의 지위지수 추정식의 문제점을 보완하기 위해 수치 산림입지도에서 추출한 28개 입지환경 인자 중에서 몇 가지 인자만으로 구성된 최적의 조합에 의해 지역별 주요수종에 대한 지위지수 추정식을 개발하고자 하였다.

본 연구결과에서 도출된 지위지수 추정식에서 채택된 수종별 입지환경 인자는 4~5개로 소수이지만 추정식의 설명력을 나타내는 결정계수가 0.90 이상으로 높은 추정능력을 보였다. 이와 같이 개발된 지역별·수종별 지위지수 추정식에 대하여 권역별로 수집한 수종별 독립자료를 사용하여 모형의 평균 편의, 정도, 표준오차 등의 3가지 평가통계량에 근거한 검증결과 본 연구에서 도출된 지위지수 추정식의 실용성을 입증할 수 있었다. 지위지수 추정식의 검증결과를 보면 전반적으로 본 연구에서 개발된 수종별 지위지수 추정식의 평가통계량은 낮은 것으로 판명되어 실제 적용하는 데는 문제가 없는 것으로 평가되었다.

따라서 본 연구에서 개발한 지역별 주요 수종의 지위지수 추정식은 몇 가지의 입지환경 인자만으로도 지역별 특성을 고려한 수종별 지위지수를 추정할 수 있는 것으로 판명되어 앞으로 활용가치가 높을 것으로 평가된다. 특히 본 연구에서 얻어진 결과는 수종별 적지판정과 이를 통한 산림의 경영 및 관리에 유용한 정보로 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 또한 본 연구에서 개발된 지위지수 추정식과 산림입지도면의 데이터를 이용하면 지위지수 추정의 전산화가 가능할 것으로 판단되며, GIS 기법을 이용한 적지적수 선정 프로그램의 알고리즘에 수종별 적지분석을 위해 본 연구

에서 조제한 지위지수 추정식을 적용하면 보다 정확한 의사결정이 가능할 것으로 기대된다. 하지만 본 연구에서는 일부 수종에 대한 지위지수 추정식을 개발하였기 때문에 실제 적용에는 한계를 가지고 있다. 이를 해결하기 위해서는 앞으로 충분한 입지환경 인자에 대한 자료를 확보하여 다양한 수종에 지위지수 추정식을 개발하는 작업이 이루어져야 하며, 이를 통해 입지조건에 따른 적지적수 선정 문제를 해결하기 위한 노력을 지속해야 할 것이라고 생각된다.

인용문헌

- Arbatzis, A. A., and H. E. Burkhart, 1992: An evaluation of sampling methods and model forms for estimating height-diameter relationships in loblolly pine plantation. *Forest Science* **38**(1), 192-198.
- Avery, T. E., and H. E. Burkhart, 1983: Forest measurements. McGraw-Hill Book Co. 331pp.
- Belsley, D. A., E. Kuh, and R. E. Welsch, 1980: Regression diagnostics. John Wiley & Sons, New York, 292pp.
- Jeong, J. H., K. S. Koo, and C. H. Lee, 1994: Characteristics and tree growth of gray forest soil type by forest soil classification in Korea. *Journal of Japanese Soil and Fertilization* **5**, 483-492.
- Judge, G. G., R. C. Hill, W. E. Griffiths, H. Lutdepohl, and T. Lee, 1988: Introduction to the theory and practice of econometrics. John Wiley & sons. New York, 1024pp.
- Kang, Y. H., J. H. Chung, Y. K. Kim, and Y. K. Lee, 1996: Mapping of the right tree on right site by use of terrain analysis at Northern temperate forest in Korea. Forestry Research Institute, *Journal of Korean Forest Society* **54**, 94-103.
- Kang, Y. H., J. H. Jeong, Y. K. Kim, and J. W. Park, 1997: Mapping of the righteous tree selection for a given site using digital terrain analysis on a central temperate forest. *Journal of Korean Forest Society* **86**(2), 241-250.
- Kim, D. C., and H. K. Lee, 1967: A study on preparation of yield table for main species. *The Research Reports of the Forestry Research Institute* **14**, 36-54.
- Kim, D. C., 1973: Preparation of stand volume tables by using multiple regression analysis method. *The Research Reports of the Forestry Research Institute* **20**, 248-255.
- Kim, I. H., 2003: Estimation of site index by species in Gyongi-Chungcheong Province using digital forest map. Master thesis of Graduate School, Chungnam National University. 60pp.
- Kim, K. H., J. S. Lee, T. H. Kim, B. H. Ahn, H. S. Lee, C. S. Kim, Y. H. Kang, D. S. Lee, C. K. Chung, E. Y. Yun, Y. H. Yim, C. H. Kang, H. K. Won, J. H. Kim, J. H. Yoo, J. H. Lee, B. S. Kang, K. H. Jang, and J. H. Lim, 1988: Studies on the estimation of site index by the environmental factors. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **36**, 22-43.
- Kim, T. H., J. H. Chung, C. H. Lee, K. S. Koo, W. K. Lee, I. A. Kang, and S. I. Kim, 1991: *The Research Reports of the Forestry Research Institute* **42**, 91-106.
- 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 provinces using a digital forest site map. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **5**(4), 247-254.
- Korea Forest Service, 2001: Development of a computer program on the righteous tree selection for a given site by using GIS technique. 7-24.
- Meyer, H. A., 1947: The structure and growth of virgin beech-birch maple hemlock forest in Northern Pennsylvania. *Journal of Agricultural Research*. 12pp.
- Myers, R. H., 1986: Classical and modern regression with applications. Duxbury Press. 395pp.
- Neter, J., W. Wassermann, and M.H. Kutner, 1985: Applied linear statistical models. IRWIN. 1127pp.
- Park, N. C., C. K. Chung, J. C. Choi, H. C. Shin, Y. H. Kwon, B. H. Cho, J. T. Kang, Y. K. Chung, and C. S. Kim, 2001: Method of forest site survey. Korea Forestry Research Institute, 91pp.
- Shin, M. Y., 1990: The use of ridge regression for yield prediction models with multicollinearity. *J. of Korean Forest Society* **79**(3), 260-268.
- 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.
- Shin, M. Y., H. K. Won, K. S. Koo, J. H. Jeong, C. Y. Lee, and I. H. Kim, 2002: Estimation of site index by species in Gangwon province using environmental factors. 4th Conference on *Agricultural and Forest Meteorology* 93-96.
- Yun, J. W., 1972: Studies on tree growth by multiple regression analysis. Kangweon national University. *Research Bull. of The Experimental Forests* **1**, 3-55.