

전북 진안 낙엽송 임분의 지위지수 및 간재적식 추정

전병환¹ · 이상현^{2*} · 이영진³ · 김 현² · 강학모⁴

¹국립산림과학원 산림유전자원부, ²전북대학교 산림과학부,

³공주대학교 산림자원학과, ⁴경기도 산림환경연구소

Estimation of Site Index and Stem Volume Equations for *Larix leptolepis* Stand in Jinan, Chonbuk

Byung-Hwan Jeon¹, Sang-Hyun Lee^{2*}, Young-Jin Lee³, Hyun Kim² and Hag-Mo Kang⁴

¹Korea Forest Research Institute, Suwon 441-350, Korea

²Faculty of Forest Science, Chonbuk National University, Jeonju 561-756, Korea

³Department of Forest Resources, Kongju National University, Kongju 314-701, Korea

⁴Kyunggi-do Forest Environment Research Station, Osan 447-290, Korea

요약: 본 연구는 전라북도 진안 지역의 낙엽송을 대상으로 지위지수 추정과 지위지수곡선 유도 및 간재적식 개발을 목적으로 하였다. 지위지수에 대한 식은 대수차분 방정식에 의해 개발되었다. 기초 연령 40년으로 한 다형 지위지수 패밀리 곡선은 Schumacher 수고 방정식을 기초로 표현하였다. 최적의 간재적 추정식은 $V = 0.00260 + 0.00000399D^2H$ 로 판명되었다. 이 방정식에 사용한 동시 F-검정에서 추정된 간재적량은 모델 평가에 관한 실측된 간재적량과 유의($\alpha=0.05$)하게 다르지 않음을 보여주었다. 지위지수 곡선과 재적 추정식의 결과는 지위와 수확표 조제 시 기초 자료로 제공할 수 있고, 진안지역 낙엽송 임분의 지역 산림경영에 사용될 수 있을 것이다.

Abstract: The objectives of this study were to derive site index and stem volume prediction equation based on stem analysis data for *Larix leptolepis* in Jinan region. The function for site index was developed by algebraic difference equation method. Polymorphic site index family curves with base age of 40 were presented based on the Schumacher height equation. The best stem volume prediction equation was suggested as $V=0.00260+0.00000399D^2H$. The simultaneous F-test using this equation showed that the estimated tree stem volumes were not significantly different ($\alpha=0.05$ level) from the observed stem volumes for model evaluation. Therefore, site index and volume prediction equations prepared in this study could provide an indication of site quality and basic information for making of yield table, and could be used for rational forest management of *Larix leptolepis* stands grown in Jinan region.

Key words : site index, stem volume prediction equation, base age, *Larix leptolepis*

서론

1910년대에 일본으로부터 도입된 낙엽송(*Larix leptolepis*)은 우리나라 대부분의 지방에서 지리적·기상적인 환경에 성공적으로 적응해오고 있다(임경빈, 1985). 낙엽송은 일갈나무보다 생장이 빠르며(이창복, 1995), 초기생장이 빠른 극양수로서 현재 우리나라 21개 주요 조림 귀속수종 중의 하나로써 산림녹화와 우량목재 생산을 위해 해안지방을 제외한 전국에 식재 되어온 수종으로 우리나라뿐만 아니라 북유럽, 아시아, 미국의 동부에 조림이 되고 있는

주요 용재수종이다(정덕영, 1992).

산림은 목재 생산을 위한 경제적 기능과 생태계의 유지 및 인류 문화 생활에 필요한 공익적 기능을 가지고 있다. 그러므로 산림경영은 위의 기능이 최대로 발휘될 수 있도록 경영되어야 하며 이를 위해서는 산림 성장 정보는 필수적이라 할 수 있다. 임목은 생태계 내의 생물적 시스템으로 시간의 변화에 따라 성장을 한다. 임지에서 임목 생장은 임령에 따라 임목의 변수인 직경, 수고, 단면적, 재적의 양적 변화를 의미한다. 따라서 생장의 경로를 파악하여 현재와 미래의 성장 곡선을 추정하기 위한 성장 함수의 유도는 미래의 목재 생산능력을 규명할 수 있어 합리적인 산림경영의 자료를 제공할 수 있다(이

*Corresponding author
E-mail: leesh@chonbuk.ac.kr

상현, 2001). 이러한 성장정보 중 임지의 생산력을 표현하는 지위지수와 임목의 최종 수확량을 나타낼 수 있는 재적식의 확보는 합리적 산림 경영의 필수조건이다.

지위지수는 임지의 생산력을 나타내기 위해 가장 유용하게 이용하는 지표로서 기준 연령(base age)에서의 우세목 또는 준 우세목의 평균 수고를 의미한다. 기준 연령은 현재 우리 나라에서 일반적으로 20년을 기준으로 하고 있지만 윤벌기(rotation age)에 근접해야 한다는 것이 현대적인 이론이다(Goelz and Burk, 1992).

수고생장은 이론적으로 지위에 따라 다르고 밀도와 수종 구성 상태와는 상관관계가 적다. 또한 상대적으로 간벌 강도에 안정적이고 재적 성장과 밀접한 상관관계를 가지고 있다. 이러한 이유로 수고생장은 임분발달의 한 특징을 정의하는데 사용되기도 하고 임목이 성장하는 지위의 잠재력을 평가하는데 유용하게 사용된다(Gadow and Hui, 1999). 따라서 임분 수고 정보를 기초로 한 가장 유용한 방법으로 사용되고 있다.

임목의 재적의 값을 나타내는 재적표는 지역의 입지특성에 따라 변화가 나타남으로 각 지역의 입지를 고려한 재적표나 흉고 형수를 사용한다. 이는 각 지역간의 변이를 반영하여 정도(precision)가 높은 임목재적 산출을 위한 조건이기도 하다. 그러나 현재 국내에서는 일반적으로 전국단위의 간재적표 및 형수표를 사용하고 있다. 이는 재적표나 형수표를 조제하는데 많은 노력과 경비뿐만 아니라 전문적인 지식이 필요하기 때문으로써 전국 단위 기준이 정도 면에서 합리성이 부족함에도 지역별로 사용하지 못하는 이유이기도 하다. 그동안 임목재적 추정식에 대한 많은 연구가 국내외적으로 진행되었으며 방법론으로는 형수에 의한 방법(박남창과 정영관, 1985; 서정원, 1997), 간곡선식이나 임목의 완만도표 조제에 의한 방법(김준순 등, 1994; 김영환 등, 1986)등이 있다. 최근에는 국립산림과학원(2002)에서 Kozak(1977)의 간곡선을 이용하여 잣나무, 강원지방 소나무, 중부지방 소나무 등 주요 수종의 수간재적표를 작성하였으나 간곡선의 복잡함과 이해를 위한 전문적인 지식이 요구되고 있다. 이러한 측면에서 일반적으로 수고와 흉고직경을 독립변수로 하는 1변수 및 2변수 재적식이 지역 재적표 조제 및 활용 면에서 의미가 있다고 할 수 있다.

따라서 본 연구는 전라북도 진안에 주요 조림 수종인 낙엽송을 이용하여 성장인자 중 지위에 따라 영향을 받는 수고 생장을 이용하여 정도가 높은 지위지수를 추정하고,

수고 성장과 상관관계를 가지고 있는 재적식을 추정하여 낙엽송 임분의 합리적인 경영을 위한 성장 정보를 제공하기 위하여 실시하였다.

재료 및 방법

1. 재료

본 연구는 전라북도 진안군 부귀면 신정리에 위치한 진안 임업기능인 훈련원 시험림 내에 생육하고 있는 낙엽송(*Larix leptolepis*)을 이용하여 실시하였다. 낙엽송 임분에서 20 m×20 m의 임시표본지 20 Plots를 설치하여 표준지에 대하여 매목조사를 실시한 후 각 표준지에서 표준목 1본을 선발하여 벌채하여 데이터를 수집하였다.

낙엽송 임분의 평균 수령은 32년이었고 평균 수고는 18.2 m이었으며 평균 간재적은 0.268 m³이었다. 임분의 경사는 30-35° 경사가 심하였다. 해발고는 350 m이었고 토양은 갈색산림토양(B₃)으로 판명되었다(Table 1).

2. 분석 방법

1) 성장상태 파악

선발된 표본목은 벌채한 후 원판(Disk)을 채취하여 수간석해를 통해 임령에 따른 수고 및 간재적을 측정하였다. 지위지수 추정을 위한 데이터는 임령별 수고를 모든 가능한 성장 측정 기간을 포함하는 데이터로 재배열하였다.

간재적 데이터는 수간석해의 절차에 따라 근주부, 주간부, 소두부로 나누어서 재적을 산출한 후 합계하였다. 근주부 재적은 Smalian 공식으로 계산하였고 구분부 재적은 Huber 식 그리고 소두부는 원추체 구적식으로 계산하였다.

2) 지위지수 및 간재적식 추정 방법

(1) 지위지수 추정

① 성장 모형

본 연구에 사용된 성장 예측모형은 성장 및 수확 모형 연구에서 폭넓게 이용되는 대수차분 방정식(algebraic difference equation)이다(Clutter *et al.*, 1983; Borders *et al.*, 1984; Lee, 2000, 2001).

대수차분 방정식의 기본 형태는 다음과 같다.

$$Y_2 = f(Y_1, T_1, T_2, \theta, MR)$$

여기서,

$$Y_2 = \text{후기 측정 시점의 임목 또는 임분의 변수 측정값,}$$

Table 1. Status of *Larix leptolepis* stands in study area.

Areas	Number of Plots	Ages (years)	Height (m)	Stem volume (m ³)	Slope (°)	Altitude (m)	Soil type
Jinan	20	$\frac{32}{30-34}$	$\frac{18.2}{14.2-22.2}$	0.268	30-35	350	B ₃

Table 2. General forms of projection equations applied to data for height growth and site index.

Equation name		Equation Forms*
Anamorphic	Schumacher	$Y_2 = Y_1 \exp(-\beta(1/T_2^\gamma - 1/T_1^\gamma))$
	Hossfeld	$Y_2 = 1/((1/Y_1) - \beta(1/T_2^\gamma - 1/T_1^\gamma))$
	Chapman-Richards	$Y_2 = Y_1((1 - \exp(-\beta T_1))/(1 - \exp(-\beta T_2)))^\gamma$
	Gompertz	$Y_2 = Y_1 \exp(-\beta(\exp(\gamma T_2) - \exp(\gamma T_1)))$
Polymorphic	Schumacher	$Y_2 = \exp(\ln(Y_1)(T_1/T_2)^\beta + \alpha(1 - (T_1/T_2)^\beta))$
	Hossfeld	$Y_2 = 1/((1/Y_1)(T_1/T_2)^\gamma + (1/\alpha)(1 - (T_1/T_2)^\gamma))$
	Chapman-Richards	$Y_2 = (a/\gamma)^{1/(1-\beta)}(1 - (1 - (\gamma/a)Y_1^{(1-\beta)}))(T_2 - T_1)^{-\gamma(1-\beta)}(1/T_1^\beta)$
	Gompertz	$Y_2 = \exp(\ln(Y_1)\exp(-\beta(T_2 - T_1) + \gamma(T_2^2 - T_1^2)) + \alpha(1 - \exp(-\beta(T_2 - T_1) + \gamma(T_2^2 - T_1^2))))$

* Y_1 = height of trees at age T_1 , Y_2 = height of trees at age T_2 , exp = exponential function, ln = natural logarithm, and α , β , γ are coefficients to be estimated.

Y_1 = 초기 측정 T_1 시점의 임목 또는 임분의 변수 측정값,
 T_1 = 초기 측정 T_1 시점의 임목 또는 임분의 연령,
 T_2 = 후기 측정 시점의 임목 또는 임분의 연령,
 θ = 방정식의 모수(母數), 그리고
 MR = 경영관리 형태이다.

이 방법에서 후기 측정시기 T_2 때 측정된 종속변수 (dependent variables) Y_2 는 초기 측정값 Y_1 과 측정시점 때의 임령 T_1 , T_2 의 함수관계로 표현된다. 변수 Y_1 , Y_2 는 흉고직경(diameters of breast height: DBH), 수고(height), 흉고단면적(basal area) 그리고 ha당 임목 분수(stem per hectare) 등 어떠한 임분의 변수라도 사용 가능하다.

② 생장모형 전개

임목의 생장 형태를 정확하게 추정하기 위하여 Table 2에서 보는 바와 같이 Schumacher(Schumacher, 1939; Woollons, 1988; Clutter and Jones, 1980), Hossfeld (Woollons *et al.*, 1990), Chapman-Richards(Pienaar and Turnbull, 1973; Goulding, 1979) 그리고 Gompertz(Whyte and Woollons, 1990) 등의 동형(anamorphic)과 다형(polymorphic)의 다양한 비선형식을 이용하여 생장모형을 전개하였다.

2) 간재적식 추정

간재적 추정은 임목의 성장인자 중 재적과 상관성이 높은 흉고직경(DBH)을 이용한 1변수식과 흉고직경(DBH) 및 수고(Height)를 이용한 2변수식으로 모형을 추정하였다. 이들 모형의 기본 형태는 $V=f(D)$ 와 $V=f(D, H)$ 로써 Table 3과 같은 모형으로 변화될 수 있다.

3) 최적 생장식 도출 방법 및 통계적 적합성 검증

최적 함수 도출을 위한 통계는 통계 프로그램인 SAS 6.12 버전(SAS Inc., 1990)을 사용하였으며 주된 표준 통계 방법은 선형 회귀분석방법인 REG 프로시저와 비선형 방법인 PROC NLIN 프로시저에서 최소자승 회귀(least

Table 3. General forms of equation for predicting volume.

Model*
Model I : $V = a+bD^2$
Model II : $V = a+bD+cD^2$
Model III : $V = aD+bD^2$
Model IV : $V = a+bD^2H$
Model V : $V = aD^2H$
Model VI : $V = a+bD^cH^d$
Model VII : $V = aD^bH^c$ ($\ln V = \ln a + b \ln D + c \ln H$)
Model VIII : $V = D^2/(a+b/H)$

* V = volume, D = diameter at breast height, H = height, and a , b , c , d are coefficients to be estimated.

squares regression)를 이용하였다. 그리고 회귀모형을 테이터에 적합(fitting)시킬 때 종속변수와 독립변수 관계가 생물학적 및 수학적으로 현실적이고, 생장관계를 나타내는 후보 생장 함수식의 적절한 표현형이 유지되도록 하면서 회귀계수 추정에 편의(bias)가 없는 적합이 이루어지도록 하였다.

생장추정에 가장 적합한 모형을 도출하기 위한 주된 통계 방법은 결정계수(R^2), 모형의 추정편의(estimation bias of model), 정도(precision), 실측치에 대한 추정치 잔차 평균 제곱(mean square error), 모형의 타당성 검증을 위한 도식화를 통한 잔차 패턴 분석 그리고 평균편차 등이다. 더불어 PROC UNIVARIATE 프로시저를 통하여 잔차통계량도 참조하였다.

결과 및 고찰

1. 낙엽송의 임령에 따른 수고 및 간재적 생장

낙엽송의 5년 간격의 임령에 따른 평균 수고와 간재적 생장 상태는 Figure 1과 같다. 수고 생장의 경우 5-10년 사이의 생장량이 4.46 m으로 가장 많았으며 전체적으로 완만한 생장을 보였다. 간재적은 25-30년 사이에 0.066 m^3 으로 가장 많은 양을 보였으며 20-25년 사이에는 0.058 m^3

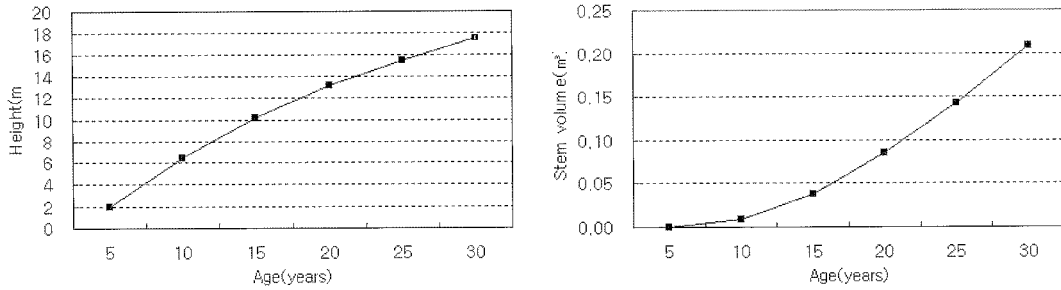


Figure 1. Height and volume growth pattern of *Larix leptolepis*.

Table 4. Mean height and stem volume of *Larix leptolepis*.

Age(years)	5	10	15	20	25	30
Height(m)	1.947	6.407	10.2	13.153	15.447	17.473
Stem volume(m ³)	0.001	0.009	0.037	0.084	0.142	0.208

으로 나타나 임령이 증가함에 따라 재적도 증가하는 것을 알 수 있었다(Table 4).

2. 수고 성장모형 추정

성장추정에 널리 쓰이는 대수차분 방정식은 Schumacher, Hossfeld, Chapman-Richards 그리고 Gompertz 동형(anamorphic) 방정식과 다형(polymorphic) 방정식으로 구분되는데(Lee, 2000) 이를 이용하여 낙엽송의 수고 성장모형 및 지위지수 추정모형을 개발하였다. 성장모형의 개발에 사용된 데이터는 수간석해를 통해 얻은 초기 데이터를 극대화 한 모든 측정간격이 포함된 데이터(overlapping data)를 이용하여 수행하였다.

1) 수고 성장모형

수고 성장모형의 전개는 성장추정에 쓰이는 동형(anamorphic)과 다형(polymorphic) 방정식을 모든 가능한 성장 측정기간을 포함하는 데이터(overlapping data)에 적합(fitting)한 결과 동형 방정식에서는 예측된 추정값들에 대한 잔차분포 패턴은 편의(bias)를 보였다. 적합된 동형 방정식 중 Schumacher 방정식이 다른 성장식들보다 낮은 MSE값(6.014)과 상대적으로 우수한 산포 형태와 잔차에 대한 통계를 나타내었다. 하지만 동형 방정식들은 전체적으로 모형의 정확성을 보이지 않기 때문에 수고 성장 예측에 부적합한 것으로 판명되었다. 동형 방정식에 대한 잔

Table 5. Statistic of residuals with the anamorphic equations fitted to data.

Equation name	MSE	Mean of residuals	Skewness	Kurtosis
Schumacher	6.014	0.42	0.23	4.68
Chapman-Richards	6.138	0.43	0.30	4.22
Hossfeld	1951.630	-3.05	0.91	13.86
Gompertz	33.794	2.97	0.17	-0.58

Table 6. Coefficients for polymorphic equation fitted to data.

Model name	Coefficient			MSE
	α	β	γ	
Schumacher	3.580	0.784	-	1.611
Gompertz	3.235	0.134	0.0017	1.807
Hossfeld	21.926	-	2.045	2.083

차의 통계는 Table 5와 같다.

다형(polymorphic) 방정식을 데이터(overlapping data)에 적합한 결과 Chapman-Richards 방정식은 $\alpha=0.05$ 수준에서 방정식의 계수 β, γ 값이 0을 포함하고 있어 유의성을 보이지 않았다. 따라서 Chapman-Richards 방정식은 수고 성장모형에 이용할 수 없는 것으로 나타났다. 나머지 후보 모형은 명백한 편의가 없는 등분산성(homoscedasticity)을 보였다. 모형의 적절성을 평가하는 첫 번째 조건인 MSE값은 Schumacher 방정식이 낮은 값을 나타냈고, Gompertz > Hossfeld 방정식의 순으로 작은 값을 나타냈다(Table 6). 따라서 잔차분포 형태와 MSE를 비교해 볼 때 Schumacher 다형 방정식(식 1)이 다른 다형 방정식들보다 적합성이 우수한 것으로 나타나 식 (1)을 수고 성장 추정을 위한 최적의 방정식으로 선정하였다.

$$H_2 = \exp(\ln(H_1)(T_1/T_2)^\beta + \alpha(1 - (T_1/T_2))) \quad (1)$$

식 (1)에 의한 잔차의 평균은 0.03m으로써 고도의 정확

Table 7. Summary of statistics of residual values for height Schumacher polymorphic equation.

Statistics name	Value	Normal distribution
Mean	0.0311	
Skewness	-0.32	0
Kurtosis	1.29	0
W:Normal	0.97	1

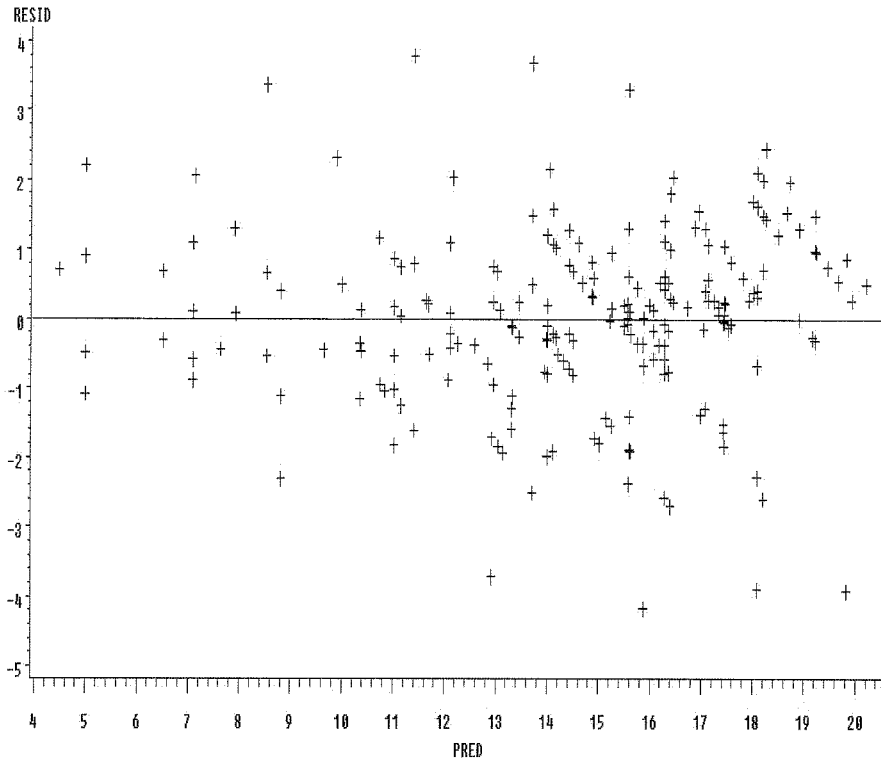


Figure 2. Plot of residual against predicted for height Schumacher polymorphic equation.

도(accuracy)를 보였다. Table 7에서 보이고 있는 잔차의 왜도(skewness)는 -0.32이고 첨도(kurtosis)는 1.29를 나타냈다. 모형의 잔차, 왜도와 첨도 값은 정규분포인 '0'에 아주 근사한 값을 보여 모형의 정확성을 검증해 주었다. 또한 정규분포에 관한 값을 나타내는 Shapiro-Wilk 값도 '1' 근사한 값을 보였으며, 수고에 대한 잔차와 예상치 그래프를 통하여 모형의 정확성을 확인할 수 있었다(Figure 2). 따라서 Schumacher (식1)식에 의한 수고 추정은 수고를 0.003m정도 약간 과소추정을 하고 있으며 추정의 90% 이상이 1.5m 이내에서 이루어지고 있어 모형의 정도가 높은 것으로 나타났다.

2) 지위지수 추정 모형

지위지수(site index: SI) 추정식은 수고함수식 (1)을 이용, 사유림에서 낙엽송의 기준별기령인 40년(산림청, 2005)을 기준으로 하여 $T_2=40$ (기초연령)일 때 $H_2=SI$ 로 치환하여 아래의 함수식으로 추정하였다.

$$SI = \exp(\ln(H_1)(T_1/40)^\beta + \alpha(1 - (T_1/40)^\beta)) \quad (2)$$

여기서 $\alpha = 3.4731$

$\beta = 0.7205$ 이다.

지위지수곡선(site index curves)은 함수식 (2)를 아래의 식 (3)과 같이 재배열하여 H_1 이 종속변수가 되게 함으로써 얻었다.

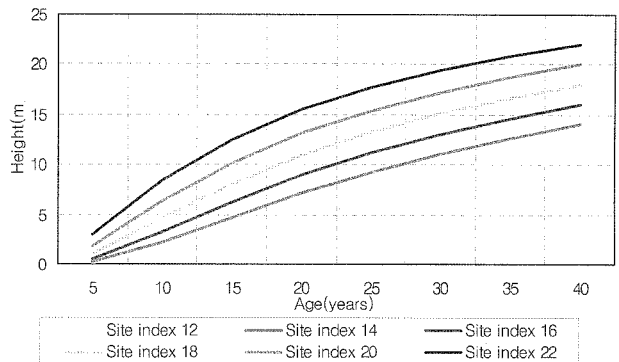


Figure 3. Plot of site index curves for *Larix leptolepis* stand derived from a height equation.

$$H_1 = \left(\frac{SI}{\exp(\alpha - (1 - (T_1/40)^\beta))} \right)^{1/(T_1/40)^\beta} \quad (3)$$

Figure 3은 지위급에 따라 지위지수곡선 모양이 변화하는 다형곡선의 형태를 보이고 있으며 기준 연령 40년을 기초로 하여 지위지수 12부터 22까지의 지위에 따른 수고를 표현하여 임지의 생산력 정보를 제공할 수 있다.

3. 간재적식

1) 재적식의 모수 추정

간재적 모형(I)부터 모형(VIII)까지의 모수추정을 위하여 SAS에서 선형 회귀 분석 방법인 PROC REG와 NLIN을 사용하였다. Table 8은 8개 모형의 모수 추정값을 나타

Table 8. Estimated parameters for stem volume prediction models.

Models	Estimated parameters				R ²
	a	b	c	d	
Model I : V=a+bD ²	-0.00006351	0.00007864			0.9996
Model II : V=a+bD+cD ²	-0.00002865	-0.00000739	0.00007894		0.9996
Model III : V=aD+bD ²	-0.00001207	0.00007911			0.9998
Model IV : V=a+bD ² H	0.00260	0.00000399			0.9703
Model V : V=aD ² H	v0.00000450				0.9715
Model VI : V=a+bD ² H ^d	-0.00003	0.000076	1.9915	0.0210	0.9997
Model VII : V=aD ^b H ^c (lnV=lna+blnD+clnH)	0.000075	1.9944	0.0229		0.9916
Model VIII : V=D ² /(a+b/H)	12536.2	3573.8			0.9997

내고 있다. 흉고직경만을 독립변수로 하는 1변수식인 모형(I)부터 (III)까지는 결정계수값이 99%정도의 높은 설명력을 나타내고 있으나 절편과 기울기계수인 a, b가 α=0.05 수준에서 통계적 유의성을 나타내지 않았다. 모형(I)과 (III)은 a, 모형(II)는 a와 b 모두 유의성이 없었다. 따라서 모형 (I), (II), (III)은 비록 결정계수 R²값이 높았지만 최적 모형 후보로써 적합성이 없는 것으로 판명되었다.

수고와 직경을 설명변수로 하는 2변수식에서는 모델(IV)부터 (VIII)까지 결정계수(R² 또는 FI)값이 98% 이상의 높은 설명력을 나타내었다. 그러나 모형 (VI)부터 (VIII)까지의 모형은 a, b의 계수값이 95% 신뢰수준에서 0을 포함하고 있었다. 따라서 최종적으로 모수 추정을 통한 재적식 후보 모형 (IV)와 (V)가 적합한 것으로 판명되었다.

2) 추정 모형의 적합성 검증

추정 모형의 적합성 검증 방법으로 오차제곱근(RMSE), 평균편차(MD) 및 절대평균잔차(AMD)를 사용하였다. 오차제곱근(RMSE)은 간재적의 평균 편의를 중심으로 편이가 어느 정도의 산포도를 갖는가를 판정하는 통계량으로써 모형(I)부터 (VIII)까지의 모든 모형이 0.000194부터 0.00265까지 값을 보여 모형의 적절성을 나타내었다.

모형의 편이 정도를 나타내는 평균차이인 모형의 평균 잔차(MD)는 추정치가 평균에서 떨어져 있는 정도를 나타내는 값으로 데이터에 적합된 모형에 의하여 계산된 추정치와 실제 측정된 실측치에 대한 평균으로써 모형에 의하여 추정된 생장이 평균적으로 어느 정도의 편의(bias)를 보이는지를 파악하기 위한 통계량이다. 즉 추정량이 평균적으로 모수의 참값에 대해 과소치 혹은 과대치를 주는지 평가하는 것이다. 따라서 Table 9에서 나타난 바와 같이 모형(I)부터 (VIII)까지의 모든 모형이 0.000부터 0.020까지의 경미한 과소추정을 보이고 있다. 한편 절대 평균편차(AMD)는 실제 실측된 재적과 추정치간의 평균 얼마만큼의 아래 또는 과소의 편의를 나타내는 통계량으로 실측치와 추정치 차에 대하여 절대값을 취하여 그 값이 ‘0’에 가까울수록 높은 정도(precision)를 나타낸다. 모형(I)부터

Table 9. Fit statistics for performance evaluation of the stem volume prediction models.

Models	Fit Statistics		
	RMSE	MD	AMD
Model I : V=a+bD ²	0.00020	0.00000	0.00009
Model II : V=a+bD+cD ²	0.00020	0.00000	0.00010
Model III : V=aD+bD ²	0.00020	0.00446	0.00009
Model IV : V=a+bD ² H	0.00180	0.00000	0.00143
Model V : V=aD ² H	0.00265	0.00145	0.00152
Model VI : V=a+bD ² H ^d	0.000194	0.00000	0.00010
Model VII : V=aD ^b H ^c (lnV=lna+blnD+clnH)	0.000194	0.00001	0.00009
Model VIII : V=D ² /(a+b/H)	0.000189	0.00001	0.00010

VIII)까지 모든 후보 모형의 AMD 값은 모두 ‘0’에 가까운 0.0009부터 0.00152 값을 보이고 있어 정도가 아주 높은 것으로 판명되었다(Table 9).

따라서 결정계수, 오차제곱근(RMSE), 평균편차(MD), 절대평균편차(AMD) 등의 통계량을 바탕으로 낙엽송의 간재적 추정을 위한 최적의 모형은 모형(IV)로 판명되었다.

3) 최적 모형의 검증

최적의 간재적 추정모형으로 선발된 모형(IV)식을 이용하여 각각 재적의 실측치와 추정치를 비교하기 위하여 이영진(2001)이 이용한 Zar(1996)의 단순직선 회귀분석을 하였다. 이론적으로 실측 재적값과 추정 재적값들은 직선 선형 모형의 관계를 형성한다. 즉 Predicted Volume = b₀ + b₁ × observed volume으로 표현할 수 있다. 위에서 추정된 재적 추정모형(IV) 식이 정확하게 추정되었다면 절편(b₀)은 0과 통계적으로 다르지 않고 또한 기울기(b₁)는 1과 통계적으로 다르지 않다. 즉 다음의 귀무 및 대립가설이 정립된다(이영진 등, 2001).

H₀ : (β₀, β₁) = (0, 1)

H_a : (β₀, β₁) ≠ (0, 1)

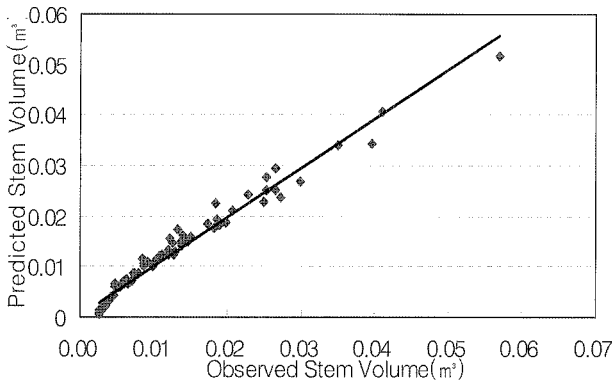


Figure 4. Comparison between observed and predicted stem volumes using model IV.

Table 10. Summary of statistics of residual values for model IV.

Statistics name	Value	Normal distribution
Mean	0.0001	
Skewness	-0.021	0
Kurtosis	-0.162	0
W:Normal	0.98	1

이 가설을 검정하기 위하여 동시 F-검정(Simultaneous F-test)을 실시하였다(Neter 등, 1985). 모형(IV)식에 대하여 동시 F-검정을 실시한 결과 Figure 4에서 나타낸 바와 같이 추정된 간재적량은 실측치의 재적량으로부터 $\alpha=0.05$ 수준에서(F-statistics=0.0144) 통계적으로 유의하지가 않았다. 따라서 간재적 모형(IV)는 낙엽송 재적을 추정하기 위한 최적의 모형으로 판명되었다.

모형(IV)의 잔차의 평균은 0.0001m³을 나타내었고 잔차의 왜도(skewness) -0.021과 첨도(kurtosis) -0.162를 보여 정규분포를 나타내었다(Table 10). 관측치의 95% 이상이 0.003m³의 범위에서 재적을 추정하고 최대값은 0.004m³, 최소값은 -0.004m³으로써 높은 정도를 보여 낙엽송 간재적을 추정하는데 합리적인 것으로 판명되었다.

결 론

본 연구는 전라북도 진안 지역의 주요 조림수종인 낙엽송(*Larix leptolepis*)을 대상으로 합리적인 경영에 필요한 성장정보를 제공하기 위하여 지위지수와 간재적식을 추정하였다. 임지의 생산능력을 평가하는 지표인 지위지수 추정에는 아래의 Schumacher 다형 방정식이 가장 우수한 모형으로 판명되었고 이 식은 평균 1.5m 내외에서 수고생장을 추정하는 능력을 유지하고 있다.

$$H_2 = \exp(\ln(H_1)(T_1/T_2)^\beta + \alpha(1 - (T_1/T_2)^\beta))$$

따라서 Schumacher 다형식으로부터 40년을 기준 연령으로 한 지위지수 곡선을 유도할 수 있었다.

$$SI = \exp(\ln(H_1)(T_1/40)^\beta + \alpha(1 - (T_1/40)^\beta))$$

또한, 낙엽송 임분의 수확량을 결정하는데 필요한 간재적표 조제에 기초가 되는 간재적식은 흉고직경과 수고의 2변수를 독립변수로 포함하는 아래의 간재적식이 적합한 것으로 판명되었다.

$$V = a + bD^2H$$

따라서 본 연구에서 개발된 지위지수곡선 및 식은 정확한 임지의 생산력을 제공할 수 있고 추정된 간재적 추정식은 전라북도 진안군 낙엽송림 임목 간재적표 조제와 합리적인 경영에 필요한 정보를 제공 할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

이 연구를 수행하는데 있어 데이터 수집에 도움을 주신 진안 임업기능인훈련원 원장님, 차장님 및 직원분들께 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 김영환, 이흥균. 1986. 곰솔 임목 간재적표 조제에 관한 연구. 임업시험연보 33:35-46.
2. 김준순, 이우균, 변우혁. 1994. 강원도 지방 소나무의 지역 간곡선 및 재적식 모델. 한국임학회지 83(1): 521-530.
3. 박남창, 정영관. 1985. 곰솔 및 삼나무의 흉고형수 결정에 관한 연구. 한국임학회지 70:28-37.
4. 산림청 국립산림과학원. 2005. 지속가능한 산림자원관리 표준매뉴얼. 국립산림과학원 219.
5. 서정원. 1997. 강원도 지방 소나무림의 임분형수추정에 관한 연구. 건국대학교 대학원 박사학위논문, 106.
6. 이영진, 홍성천, 김동근, 오성환, 김원수, 조정용. 2001. 삼나무조림지의 임목 간재적 추정에 관한 연구. 한국임학회지 90(6): 742-746.
7. 이창복. 1995. 신고 수목학. 향문사. 88.
8. 임경빈. 1985. 조림학원론. 향문사. 491.
9. 정덕영. 1992. 삼수의 클론, 모수령, 채취부위 및 발근촉진제가 낙엽송의 삼수발근에 미치는 영향. 서울대학교 대학원 석사학위논문 5.
10. Borders, B. E., Bailey, R. L. and Ware, K. D. 1984. Slash pine index from a polymorphic model joining(splining) non-polynomial segment with an algebraic difference method. For. Sci. 30(2): 411-423.
11. Clutter, J. L. and Jones, E.P. 1980. Prediction of growth after thinning in old-field slash pine plantations. USDA, For. Serv. Res. Pap. SE-217.
12. Clutter, J. L., Fortson, J. C., Pienaar, L. V., Brister, G. G. and Bailey, R. L. 1983. Timber management: a quantitative approach. John Wiley and Sons, New York. 428.

13. Gadow, K. V. and Hui, G. 1999. Modeling Forest Development. Kluwer Academic Publishers.
14. Goelz, J. C. and Burk, T. E. 1992. Development of a well-behaved site index equation: jack pine in north central Ontario. *Can. J. For. Res.* 22: 776-784.
15. Goulding, C. J. 1979. Validation of growth models for *Pinus radiata* in New Zealand N.Z. *J. For.* 24(1): 108-124.
16. Lee, S. H. 2000. Prediction of height growth and derivation site index equation. *Korean Journal of Forest Measurements* 3(1): 29-34.
17. Lee, S. H. 2001. Estimating diameter and height growth for *Pinus densiflora* S. et Z. using non-linear algebraic difference equations. *Journal of Korean Forestry Society* 90(2): 210-216.
18. Neter, J., Wasserman, W. and Kutner, H. M. 1985. *Applied Linear Statistical Models*. Ed. 2nd. R.D. Irwin, Inc. Homewood, Illinois. 1127.
19. Pienaar, L. V. and Turnbull, K.J. 1973. The Chapman-Richards generalization of von Bertalanffy's model for basal area growth and yield in even-aged stands. *For. Sci.* 19: 2-22.
20. SAS Institute Inc. 1990. *SAS/STAT procedures guide*, Version 6, NC.
21. Schumacher, F. X. 1939. A new growth curve and its application to timber-yield studies. *J. For.* 37: 819-820.
22. Whyte, A. G. D. and Woollons, R. C. 1990. Modelling stand growth of radiata pine thinned to varying densities. *Can. J. For. Res.* 20: 1069-1076.
23. Woolons, R. C., Whyte, A. G. D. and Liu Xu. 1990. The Hossfeld function: and alternative model for depiction stand growth. *Japanese Journal of Forestry* 15: 25-35.
24. Woolons, R. C. 1988. Analysis and interpretation of forest fertilizer experiments. Ph.D. Thesis. School of Forestry, University of Canterbury, New Zealand. 256.
25. Zar, J. H. 1996. *Biostatistical Analysis*. Ed. 3rd. Prentice-Hall, Inc., New Jersey. 662.

(2006년 10월 20일 접수; 2006년 12월 8일 채택)