

## 삼나무造林지의 立木 幹材積 推定에 關한 研究<sup>1\*</sup>

李榮珍<sup>2\*</sup> · 洪盛千<sup>2</sup> · 金東根<sup>3</sup> · 吳承桓<sup>2</sup> · 金元洙<sup>4</sup> · 趙政雄<sup>4</sup>

## Estimation of Individual Tree Volumes for the Japanese Red Cedar Plantations<sup>1\*</sup>

Young Jin Lee<sup>2\*</sup>, Sung Cheon Hong<sup>2</sup>, Dong Geun Kim<sup>2</sup>,  
Seung Hwan Oh<sup>2</sup>, Own Su Kim<sup>3</sup> and Jeong Ung Cho<sup>3</sup>

### 요 약

본 연구의 목적은 1920년대부터 우리나라 남부지방에 대단위로 조림된 삼나무(*Cryptomeria japonica* D. Don)조림지를 대상으로 하여 최적의 간재적추정식을 개발코자 하였다. 남부지방의 대표적인 삼나무 조림지인 6개 지역을 조사하였으며, 이들 지역에서 대표적인 31개의 표준목을 선별하여 수간석해를 실시하였다. 이 중 이용 가능한 29개 체목에 대한 수간석해 자료를 이용하여 개발한 최적의 삼나무 재적추정식은  $V = -0.002908 + 0.000125D^{1.907114}H^{0.645131}$  이 제시되었다. 이 식을 이용하여 간재적 실측치와 추정치를 사용한 동시 F-검정(절편=0와 기울기=1)을 실시한 결과, 통계적으로 유의성을 나타내지 않았다( $p=0.1936$ ). 따라서 본 연구에서 제시된 간재적 추정식은 남부지방에 조림된 삼나무의 입목 간재적표조제와 경영에 필요한 기초적 자료를 제공해 줄 것으로 판단된다.

### ABSTRACT

This study was carried out to develop volume equations for Japanese Res Cedar(*Cryptomeria japonica* D. Don) trees which were widely planted from 1920s throughout the southern regions in south Korea. The 31 trees for stem analysis were selected in 6 different sites in the southern and 29 trees data were used for developing volume equation.

The best equation in estimating Japanese Red Cedar trees's volume was suggested as  $V = -0.002908 + 0.000125D^{1.907114}H^{0.645131}$ . The simultaneous F-test for this equation revealed that the estimated individual tree volume was not significantly different ( $p=0.1936$ ) from the observed tree volume for model evaluation. Therefore, this individual tree volume prediction equation could provide basic information for the construction of yield table and forest management.

*Key words* : *Cryptomeria japonica*, simultaneous F-test, tree volume prediction model, yield table

<sup>1</sup> 接受 2001年 8月 16日 Received on August 16, 2001.

審查完了 2001年 10月 8日 Accepted on October 8, 2001.

<sup>2</sup> 慶北大學校 林學科 Department of Forestry, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea.

<sup>3</sup> 尙州大學校 山林資源學科 Department of Forest Resources, Sangju National University, Sangju 742-711, Korea.

<sup>4</sup> 西部地方山林管理廳 Western National Forest Office.

\* 본 논문은 2001년도 경북대학교 Post-Doc. 연수지원에 의하여 연구되었음.

\* 연락처자 E-mail : youngjinlee98@hanmail.net

서 론

삼나무는 원래 일본으로부터 도입된 수종으로 수간이 통직하고 재질이 우수하며 생장이 빨라 용재로서의 가치가 매우 높기 때문에 일본 및 대만 등에서 주요한 조림수종으로 알려져 있다(홍성천 등, 1998). 한국에서는 국토녹화와 국토보전을 위한 조림활동이 1900년경부터 활발하게 행하여 졌는데, 특히 1926년부터 10년간에 걸친 입업시험장의 시험지 제1기 사업시에 한반도의 남부지방의 일부와 제주도에서 조림시험이 시작되어(진현오와 전상근, 1987), 현재의 남부지방 삼나무 숲은 한국일보사 송현클럽에서 개최된 ‘아름다운 숲 전국대회’에서 22세기를 위해 보존해야 할 아름다운 숲으로 선정될 만큼 울창한 숲으로 발전되었으나, 아직까지 삼나무에 대한 기초적 연구조사가 아직 미흡한 실정이다.

입업 경영은 일반적으로, 장기 회임성 산업으로 일반 작물의 경영과 달리 산림의 축적을 조사하거나, 재적 성장량을 정확히 예측하여 조림지에 대한 장기적인 관리계획을 세워야 한다. 이러한 목적으로 강원도 지역과 중부지역의 소나무, 잣나무, 리기다소나무, 참나무류 등의 수종들에 대해서는 재적 성장 특성 등에 관한 연구가 많이 이루어졌으나, 우리나라의 남부지방에 대단지로 조림된 장령의 삼나무림에 대한 기초연구가 현재 부족한 실정이므로 이에 대한 연구의 필요성이 대두되고 있다.

삼나무에 대한 연구로는 삼나무의 내한성(황증과 홍성각, 1978), 엽형분류 및 성장특성(진현오와 전상근, 1987), 그리고 기상인자와 삼나무의 활착률, 직경생장과 수고생장과의 관계(정영관 등, 1982) 등에 대한 연구가 유령림에 대하여 단편적으로 실시된 바 있으며, 삼나무의 입목 간재적식 추정치에 관한 연구는 김영환(1987)에 의하여 실시된 바 있으나 유령목 및 중경목을 대상으로 분석한 관계로 직경급이 클수록 오차가 심한 것으로 나타나고 있다. 그럼에도 불구하고 현재 삼나무의 재적표는 김영환(1987)이 3개의 직경급별로 추정된 입목 재적식에 의한 재적표를 사용하고 있다.

그간 입목재적추정식에 대한 많은 연구가 국내외적으로 실시되었으며, 간단한 방법으로는 형수에 의한 방법(박남창과 정영관, 1985), 최근에는 간곡선식에 의한 방법(김준순 등, 1994)들도 있으나, 일반적으로 수고와 흉고직경을 독립변수로

하는 2변수 재적식을 유도하여 이를 기초로 재적표를 조제하고 있다(김동춘, 1964; 김영환과 이홍균, 1986; 이진규, 1972).

이러한 측면에서 본 연구에서는 전라남도 남부 지방에 대단위 면적으로 조림된 80년생 이상된 장령의 삼나무 조림지를 집중적으로 조사하여 수고와 흉고직경을 독립변수로 하는 2변수 삼나무 입목 간재적 추정식을 개발하고자 한다.

재료 및 방법

1. 연구 대상지

우리나라 남부지방에 집중적으로 조림된 삼나무 조림지를 대상으로 하여, 비교적 생장이 우수하며 수령이 오래되고 임분의 구성이 건전한 지역을 조사지로 선정을 하였다. 본 연구에서는 서부지방 산림관리청에서 관리하고 있는 국유림 내의 대표적인 삼나무 조림지역들 중 장흥, 강진, 장성, 남해, 순천지역을 대상으로 선정하였다. 이들 조사 대상지 중에서 임분의 구조 및 생육상태가 비교적 균일한 20m×20m의 표준지를 선정하여, 표준지 내의 모든 수목에 대하여 매목조사를 실시하고 각 표준지에 대해서 표준목 1본씩을 선발한 후 별채하여 수간석해를 실시하였다. 특히, 장성지역과 강진지역의 삼나무 조림지의 경우 수령이 80년생 이상된 삼나무림이 분포하는 것으로 나타났다. 조사지에 대한 기초적인 개황은 Table 1과 같다.

Table 1. Summary of observed statistics for Japanese red cedar plantations data sets.

Regions	No. of stems	Age (years)	DBH (cm)	Height (m)
Jangheung	5	36	37.1	19.6
		33-39	32.6-41.5	17.5-21.5
Jangseong	7	53	29.2	18.9
		33-84	22.7-33.9	15.5-21.7
Gangjin	7	71	29.9	16.0
		24-85	21.7-34.5	13.4-17.7
Namhae	5	37	25.8	15.7
		36-38	18.7-30.9	13.4-16.9
Suncheon	5	34	27.7	16.5
		31-39	22.9-33.4	15.2-18.2
Total	29	49	29.7	17.3
		24-85	18.7-41.5	13.4-21.7

2. 분석방법

입목의 간재적추정은 현장에서 측정하기 편리하고 상관의 정도가 높은 입목의 성장인자 중 흉고

직경과 수고의 2변수식을 이용하여 모형을 추정하였다. 모형들은 통합된 변수 함수식(combined-variable function)과 로그 모형식(logarithmic function), 그리고 Honer식을 기본 모형으로 하여, 절편이 있는 것과 없는 것으로 분류하여 추정하였으며, 이들 모형들은 단목의 간재적 및 Biomass를 추정하는데 널리 사용되어 왔고, 지금도 많이 적용되고 있다(Avery와 Burkhart, 1994; 이여하, 1995; 김갑덕, 1998; 이광수와 정영관, 2000). 이상과 같이 입목의 간재적 추정 모형에서는 다음의  $V=f(D, H)$ 을 기본 함수식으로 하여, 아래의 기본모형들을 적용하여 통계적 적합성을 검정하였다.

- (1)  $V = a + bD^2H$ ,
- (2)  $V = aD^bH^c$ ,
- (3)  $V = D^2/(a + b/H)$ .

Where :  $V$ =tree volume ( $m^3$ ),  $D$ =tree dbh (cm),  $H$ =tree height (m),  $a, b, c$ =coefficients to be estimated from sample data.

모형 (1)식은 간재적 추정식에서 잘 알려진 통합된 변수 함수식(combined-variable function)이며, 모형 (2)은 로그 모형식(logarithmic function)이라고 할 수가 있다. 모형 (3)식은 Honer식이다.

### 3. 추정모형들의 통계적 적합성 검정

추정모형들의 통계적인 적합성 검정에서는, 오차제곱근(root mean square error), 평균잔차(residual mean difference), 절대평균잔차(absolute residual mean difference)를 사용하였다. 그리고 이들 각각의 기준치에 대해 순위(rank)를 부여하여 최종적인 적합성 순위를 결정 하였다(Cao, 1993). 첫째, 결정계수는 사용된 모형이 평균적으로 얼마나 관측된 자료를 적합하게 설명되는 지를 나타내는 척도이지만, 사용된 모형의 특성과 독립변수의 수에 따라 달라지며, 또한 비선형모형에 있어서의 결정계수라는 개념은 선형식에서와 설명력을 보여주는 것이 아니므로 아래와 같은 다른 적합성 검정 과정을 거치는 것이 타당할 것이다. 둘째, 오차제곱근은 간재적의 평균 편의를 중심으로 편이가 어느 정도의 산포도를 갖는가를 판정하는 통계량을 말한다. 셋째, 모형의 평균잔차는 모형의 편

의정도를 나타내는 평균차(mean difference)이다. 이 통계량은 간재적의 관측치와 모형에 의하여 추정된 추정치간의 차이를 평균한 것으로 모형에 따른 추정능력을 평가하는 통계량 즉, 추정량이 평균적으로 모수의 참값에 대해 과소치 혹은 과대치를 주느냐를 평가하는 것이다. 넷째, 절대평균잔차는 실제 실측된 재적과 추정치 간의 평균 얼마만큼의 과대 또는 과소의 편의를 나타내는 통계량으로, 간재적의 실측치와 추정치의 차에 대한 절대값을 취하여 그편의가 0에 가까울수록 높은 정도(precision)를 나타내는 척도의 하나이다. 다섯째, 최적 모형의 실측치와 추정치를 사용한 동시 F-검정(절편=0와 기울기=1)을 실시하여 통계적 유의성을 검정하였다(Neter 등, 1985). 이외에도 잔차분석과 정규성 검정을 실시하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 간재적식의 모수추정

모형(I)에서부터 모형(V)는 SAS의 REG procedure와 NLIN procedure를 이용하여 모수를 추정하였다(Table 2). 추정된 각 모형들의 모수는 통계적으로 매우 유의적으로 나타났다( $p < 0.001$ ). Table 2에서는 5개 모형들의 모수를 추정한 결과를 나타낸 것이며, 결정계수의 값이 모두 98% 이상 높은 설명력을 나타내고 있다.

Table 2. Estimated Parameters for the stem volume prediction models.

Models	Estimated parameters				R <sup>2</sup>
	a	b	c	d	
I : $V = a + bD^2H$	0.017321	0.000032			0.9802
II : $V = aD^2H$	0.000033				0.9868
III : $V = a + bD^cH^d$	-0.002908	0.000125	1.907114	0.645131	0.9879
IV : $V = aD^bH^c$	0.000114	1.925444	0.652806		0.9878
V : $V = D^2/(a + b/H)$	784.88203	16683.84522			0.9876

Where :  $R^2 = 1 - \frac{\sum (y - \hat{y}_i)^2}{\sum (y - \bar{y})^2}$ , other variables are defined as before.

### 2. 추정식 모형들의 적합성 검정

본 연구에서 추정식 모형들의 적합성 검정의 방법으로, 오차제곱근(RMSE), 평균잔차(MD), 절대평균잔차(AMD)를 검정하였다. 아래의 Table 3는 추정식모형들의 통계적인 적합성 검정을 나

타낸 것이다. 각각의 적합성 검정의 기준치에 대해 순위(rank)를 부여하여 최종적인 적합성 순위를 정하였다(Cao, 1993).

**Table 3.** Fit statistics for model evaluation of the stem volume prediction.

Models	Fit Statistics			Total Rank
	RMSE	MD	AMD	
I : $V = a + bD^2H$	0.02845	0.00000	0.02056	4
II : $V = aD^2H$	0.03138	0.01024	0.02033	5
III : $V = a + bD^cH^d$	0.02231	-0.00000	0.01276	1
IV : $V = aD^bH^c$	0.02233	-0.00000	0.23431	2
V : $V = D^2/(a + b/H)$	0.02250	0.00027	0.01220	3

Where :  $RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n (y - \hat{y})^2 / n}$ ,  $MD = \sum_{i=1}^n \frac{e_i}{n}$ ,

$$AMD = \sum_{i=1}^n \frac{|e_i|}{n}$$

적합성의 순위가 가장 높은 모형 III식을 이용하여 재적의 실측치와 추정치를 비교하기 위하여 단순직선회귀분석을 하였다 (Zar, 1996). 실측치와 추정치의 값들은 다음과 같은 Predicted Volume =  $b_0 + b_1 \cdot \text{Observed Volume}$  직선 선형모형의 관계를 가진다. 만약 간재적추정식이 정확하게 추정되었다면, 절편( $b_0$ )는 0으로부터 통계적으로 다르지 않는 동시에 기울기( $b_1$ )는 1과 통계적으로 다르지 않다. 즉,  $H_0: (\beta_0, \beta_1) = (0, 1)$ ,  $H_a: (\beta_0, \beta_1) \neq (0, 1)$ 의 가설을 평가하기 위해서 동시 F-검정(simultaneous F-test)을 사용하였다(Neter 등, 1985). 그 결과, 추정된 간재적량은 실측치의 재적량으로부터 5%의 유의수준에서 ( $p=0.1936$ , F-statistics

=1.6518) 통계적으로 유의하지가 않으므로 이 모델은 매우 적합한 것으로 판단된다(Figure 1).

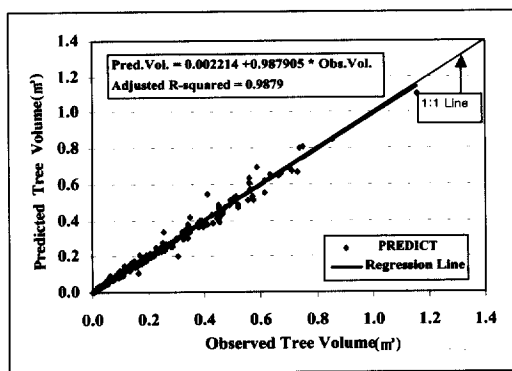
따라서, 본 연구에서 제시된 간재적 추정식은 앞으로 남부지방에 조림된 삼나무의 입목 간재적표 작성에 사용 할 수 있으며, 또한 삼나무림 경영에 필요한 기초적 정보를 제공해 줄 것이다.

### 감사의 글

이 연구를 수행하는데 많은 도움을 주신 서부지방 산림관리청장님, 경영과장님 및 자원조성계 관계자 님들께 지면을 통하여 진심으로 감사 드립니다.

### 인용 문헌

1. 김갑덕. 1998. 삼림측정학. 향문사. 281pp.
2. 김준순·이우균·변우혁. 1994. 강원도 지방 소나무의 지역 간곡선 및 재적식 모델. 한국임학회지 83(1) : 521-530.
3. 김동춘. 1964. 강원도산 소나무 입목 간재적표. 농사시험연구보고 7(2) : 1-18.
4. 김영환·이홍균. 1986. 곰솔 입목 간재적표 조제에 관한 연구. 임업시험연보 33 : 35-46.
5. 김영환. 1987. 삼나무 입목 간재적표 조제에 관한 연구. 임업시험연보 34 : 22-31.
6. 박남창·정영관. 1985. 곰솔 및 삼나무의 흉고형수 결정에 관한 연구. 한국임학회지 70 : 28-37.
7. 이광수·정영관. 2000. 화백임분의 물질생산에 관한 연구. 한국산림측정학회지 3(2) : 45-54.
8. 이여하. 1995. 측수학. 기전연구사 367pp.
9. 이진규. 1972. 강원도산 일본잎갈나무의 입목 간재적표. 임업시험연보 19 : 29-42.
10. 정영관·이부권·박남창. 1982. 기상인자와 삼나무 및 편백의 활착률, 직경생장 및 수고생장과의 관계. 경상대학교 논문집 21 : 117-120.
11. 진현오·전상근. 1987. 삼나무의 엽형분류 및 성장특성에 관한 연구. 한국임학회지 76(4) : 410-417.
12. 황 증·홍성각. 1978. 삼나무의 내한성. 한국임학회지 39 : 47-56.
13. 홍성천·변수현·김삼식. 1998. 원색한국수목



**Figur 1.** Comparison between observed and predicted individual tree volumes.

- 도감. 계명사. 310pp.
14. Avery, T.E. and H.E. Burkhart. 1994. Forest Measurements. Ed. 4th. McGraw-Hill, Inc., New York. 408pp.
15. Cao, Q.V. 1993. Estimating coefficients of base-age-invariant site index equations. Canadian Journal of Forest Research 23 : 2343-2347.
16. Neter, J., W. Wasserman and M.H. Kutner. 1985. Applied Linear Statistical Models. Ed. 2nd. R.D. Irwin, Inc. Homewood, Illinois. 1127pp.
17. Zar, J.H. 1996. Biostatistical Analysis. Ed. 3rd. Prentice-Hall, Inc., New Jersey. 662pp.