

中部地方 落葉松林分の 材積式 및 樹高式에 關한 研究¹

金甲德² · 鄭聖鶴³

Equations for Estimating Volume and Height of *Larix leptolepis* Growing in the Central Region of Korea¹

Kap Duk Kim² · Song Hak Choung³

要 約

中部地方 落葉松林분에 對하여 胸高直徑과 年齡에 依한 二變數材積式 및 樹高推定式을 作成하고 適合性을 檢討하였다. 京畿 및 江原道の 5個 地域에 植栽되어 있는 5~45年生 落葉松林分을 對象으로 40m×40m 調査區 19個를 設置하고, 5年 齡級別로 各 40本씩 總 320本の 標本木을 伐倒하여 區分區積하였으며 各種의 推定式을 利用하여 適合性을 分析한 結果 本 研究方法의 長點을 다음과 같이 要約할 수 있었다.

1. 森林調査時 樹高를 測定하지 않고 年齡과 胸高直徑에 依해 材積과 樹高를 效果적으로 推定할 수 있으므로 努力과 時間을 節減하는 效果가 있다.
2. 年齡은 人工林의 境遇 把握이 容易하고 測定誤差를 갖지 않으므로 關係式의 適用이 簡便하다.
3. 樹高를 推定한 다음 材積을 구하는 이른바 二重抽出에 의해 發生하는 誤差가 줄어든다.

ABSTRACT

A total of 320 *Larix leptolepis* trees growing in Kyonggi and Kangwon Province were examined to estimate tree volume and height with DBH and age. The criteria of selecting the "best" regression equation were based on coefficient of determination, R^2 , adjusted standard error, I, and the ease of application. From the results obtained in this study, the method of estimating tree volume and height with DBH and age showed the following advantages:

1. Since no measurement of tree height is needed, it saves time and labor in forest survey.
2. It has the ease of application because age is determined directly in artificial forests.
3. Volume and height can be estimated more easily and accurately with DBH and age than other methods.

Key words: Adjusted standard error; *Larix leptolepis*; stepwise regression; "best" equation.

¹接受 1987年 11月 25日 Received on November 25, 1987

²서울大學校 農科大學 College of Agriculture, Seoul Nat'l Univ., Suwon, Korea a

³忠北大學校 農科大學 College of Agriculture, Chungbuk Nat'l Univ., Chongju, Korea

緒 論

效果的인 林木의 材積 및 樹高推定式은 關係式 自體의 適合度가 높을 뿐만 아니라 適用範圍가 넓어야 하며, 關係式을 對象林分에 適用하고자 할 때 個體木의 測定因子의 測定이 簡便하고 誤差가 적어야 한다¹⁷⁾.

測定되는 因子에는 主로 胸高直徑과 樹高, 形數 등이 있으며 이중 形數는 樹種, 地位, 樹冠密度, 直徑級, 樹高級 등에 따라 相異한 값을 보이고 測定에도 어려움이 많이 따른다. 또한 樹高는 胸高直徑과는 달리 每木의 測定誤差가 크며 時間과 努力의 소모 등 비경제적인 문제를 안고 있다. 即 樹高測定에는 測定者에 依한 誤差와 器具自體의 誤差가 있으며 對象林木이 많을 境遇 적지 않은 時間과 努力이 要求되어 測定因子로는 多少 非合理的이다^{14,17)}.

이에 對해 Falconer⁵⁾는 *Pinus strobus* 林分에서 Abney Level을 利用하여 視界가 良好하며 樹幹이 곧고 바른 것만을 對象으로 樹高를 2~5回 測定한 結果, 0.61~3.05m 程度의 誤差가 있었고, 林木이 傾斜진 境遇 負의 값을 주었으며, 供試木中에서도 半 以上이 0.91m 以上 기울었다고 報告하였다. 또한 Krauch¹³⁾는 永久標本點에서 樹高를 5年 間隔으로 測定한 結果 測定資料中 一部分 正常的인 樹高成長關係를 보였으며, 大部分 急激히 增加하거나 또는 오히려 樹高가 減少하는 非合理的인 傾向을 보였다고 發表하였다. Chapman과 Meyer²⁾는 測高器를 利用하여 林木의 頂部 또는 基底部를 視準할 때에 1°의 測定誤差로도 實測值와의 誤差가 주목할만큼 크다고 하였다. 또한 Falconer⁵⁾는 林木으로부터의 水平距離가 不正確할 境遇 樹高測定誤差가 發生하고, Transit 등의 測量機械를 利用하면 樹高를 正確하게 測定할 수 있는 反面 使用이 不便하다는 理由를 들

어 實用性이 적다고 하였다.

樹高(H)를 推定하는 境遇 關係式으로는 主로 胸高直徑을 利用한 函數式에 依하는데^{11,12,20,21)} Curtis³⁾, Sadig와 Smith¹⁷⁾에 依하면 胸高直徑(D)과 年齡(A)에 依한 樹高式 $H=f(D, A)$ 를 作成한 結果 胸高直徑만의 樹高式 $H=f(D)$ 보다 適合度가 높았다고 報告하였다.

또한 Sadig와 Smith¹⁷⁾는 *Pinus resinosa* 林分을 對象으로 胸高直徑과 年齡에 依한 材積式 $V=f(D, A)$ 를 作成하였던 바, 從來의 材積式보다 適合度가 높고 因子의 測定誤差가 적으며 適用이 簡便하여 效果的이라고 하였다. 即, 年齡은 人工林의 境遇 正確한 把握이 可能하므로 實際 測定因子는 胸高直徑 하나이며 따라서 胸高直徑만에 依한 材積式 $V=f(D)$ 가 適用이 簡便한 長點을 維持할 수 있고, 아울러 樹高와 胸高直徑과 年齡間에는 有意的인 相關關係가 있어³⁾ 材積式 $V=f(D, H)$ 가 適合度가 높고 適用範圍가 넓은 長點도 維持할 수 있다고 發表하였다¹⁷⁾.

本 研究에서는 胸高直徑과 年齡에 依한 材積式 및 樹高式을 作成하고 從來의 關係式과 比較分析함으로써 보다 效果的인 關係式을 提示하는 데에 重點을 두었으며, 우리나라에 널리 植栽되고 있는 樹種으로 中部地方의 落葉松林分을 對象으로 實施하였다.

資料 및 方法

1. 供試資料 및 測定方法

中部地方 落葉松林分の 收穫과 成長에 關한 研究를 目的으로 設置한 40m×40m 標準地에서 標本木을 地上 0.2m 部位에서 伐倒後 樹高測定 및 Huber式에 依한 區分區積을 實施하였다.

京畿地方의 光陵에서 125本, 江原地方의 寧越에서 30本, 旌善에서 70本, 平昌에서 45本, 洪川에서 50本 都

Table 1. Number of sample trees and mean values by age class of *Larix leptolepis*

Age class (yr)	No. of sample trees	Mean DBH (cm)	Mean height (m)	Mean volume (m ³)
5~10	40	3.5	3.9	0.0027
11~15	40	7.7	8.9	0.0213
16~20	40	10.2	11.3	0.0511
21~25	40	13.8	14.4	0.1013
26~30	40	19.6	18.0	0.2027
31~35	40	21.4	19.7	0.2908
36~40	40	22.8	21.0	0.3368
41~45	40	24.6	23.2	0.4313
Total	320			

合 320本の 標本木이 選定되었으며 이에 對한 測定資料를 5年間隔齡級으로 區分하여 齡級別로 平均胸高直徑, 平均樹高, 平均材積을 나타내면 表1과 같다. 이러한 資料를 서울大學校 農科大學 所在 電子計算機 HP3000을 利用하여 分析하였다.

2. 關係式作成 및 適合度 比較方法

一般的으로 多重回歸式에서는 獨立變數가 많을수록 適合度는 增加하나, 反面 計算이 複雜해져 適用上 非經濟性을 띠게 된다. 따라서 滿足할 만한 適合度의 範圍에서 從屬變數의 變異에 對하여 重要도가 높은 變數만을 選擇함으로써 關係式을 簡便하게 하여 適用하고 있다.^{3,4,17,23)}

이러한 最適獨立變數를 選擇하는 方法으로는 모든 可能的 回歸(all possible regression), 變數削減法(backward elimination method), 變數增加法(forward selection method), 變數增減法(stepwise regression method)의 네가지 方法이 있으며^{4,23)}, 本研究에서는 一般的으로 널리 適用이 되고 있는 變數增減法^{3,17)}을 適用하였다. 算術材積式과 對數材積式은 V와 logV 같이 從屬變數의 標本空間이 一致하지 않으므로 兩式間에 標準誤差를 直接 比較하는 것은 큰 意義가 없다.^{16,19)} 이에 對해 Meyer¹⁵⁾는 兩式의 標準誤差를, Furnival⁶⁾은 對數式의 標準誤差만을 修正해 주는 方法을 發表하였으며, 本研究에서는 Furnival의 方法을 適用하였다.

이러한 從屬變數의 標本空間을 一元化하는 方法으로 Furnival⁶⁾은 材積(V)에 對한 從屬變數의 導函數를 求한 다음 導函數의 幾何平均(G)을 算出하고, 다시 幾何平均의 逆數를 取하여 標準誤差에 곱해 준다고 하였다. 이러한 方法에 依하여 各其 算術式과 對數式의 標準誤差에 곱해 줄 幾何平均의 逆數 卽, 補正係數를 算出하여 나타내면 表 2와 같다.

各 補正係數는 算術式은 1, 對數式은 0.16342로 算出되었으며, 따라서 標準誤差는 對數材積式에 對해서만 修正하였다. 樹高式의 境遇도 마찬가지이며, 同一한 方法으로 對數樹高式의 標準誤差에 곱해 줄 補正係數를 算出하면 다음과 같다.

$$10^{\frac{1}{N} \sum \log(H(\log e)^{-1})} = 28.820 \left(\frac{\sum \log H = 351.194}{N = 320, e = 2.71828} \right)$$

이러한 方法에 依하여 修正된 標準誤差를 I로 標記하였다.

Table 2. Computational procedure of Furnival's multipliers to compare the standard errors between arithmetic and logarithmic volume equations fitting the data of *Larix leptolepis*

Symbol	Dependent variable	
	V	log V
$\frac{d}{dV}$	1	$V^{-1} \log e$
G	$10^{\frac{1}{N} \sum \log 1} = 1$	$10^{\frac{1}{N} \sum \log (V^{-1} \log e)}$
$(G)^{-1}$	$(1)^{-1} = 1$	$\{10^{\frac{1}{N} \sum \log (V^{-1} \log e)}\}^{-1}$ $= 10^{\frac{1}{N} \sum \log (V \cdot \log e)^{-1}} = 0.16342$

$\frac{d}{dV}$: derivative of dependent variable with respect to volume

G : geometric mean

e (=2.71828) : the base of natural logarithm

N : number of trees

結果 및 考察

1. 材積을 胸高直徑과 樹高의 函數로 나타내는 關係式

크게 算術式과 對數式으로 나누어지며¹⁴⁾, 表 3에는 算術式 9個, 對數式 3個 都合 12個의 關係式을 分析한 結果를 나타냈다.

F값은 모두 高度로 有意하였으며, 決定係數 R²는 (9)式이 가장 크고, 가장 작은 (2)式이 0.94073으로 關係式 모두 獨立變數가 說明해 주는 比率이 높게 나타났다. 또한 (9)式은 修正標準誤差 I가 0.016778로 가장 작은 값은 보였다.

關係式의 各 獨立變數가 從屬變數에 미치는 影響의 有無에 對해 t-檢定한 結果 5% 水準에서 (6)~(9), (12)式의 一部變數가 有意性을 보이지 않았다. 卽, 歸無假設 H₀: β_i=0에 依해 이러한 變數의 回歸係數는 0이 되며, 따라서 이들 5個의 關係式은 再作成되어야 한다.

再作成에 앞서 먼저 9個의 算術式의 各 變數의 構成狀態를 살펴보면 一定한 形態를 이루고 있다. 卽, D와 H의 2次式의 組合에서 變數를 選擇 構成했음을 알 수 있다. 다시 말해 D와 H의 2次式의 組合에서 發生하는 變數는 D, D², DH, D²H, DH², D²H², H, H² 등 모

Table 3. F-value, coefficient of determination and standard error for the regression equations estimating the volume of *Larix leptolepis* with DBH and height

Equation	F-value	R ²	I
(Arithmetic)			
(1) $V = a + bD^2H$ (Spurr) ¹⁹⁾	15102	0.97640	0.19573
(2) $V = a + bD^2 + cH$ (Golding-Hall) ⁹⁾	2888.4	0.94073	0.034824
(3) $V = a + bD^2 + cD^2H$ (Golding-Hall) ⁹⁾	7690.2	0.97688	0.019374
(4) $V = a + bD^2H + cH$ (Golding-Hall) ⁹⁾	7911.0	0.97751	0.019067
(5) $V = a + bD^2 + cD^2H + dH$ (Stoate) ¹⁴⁾	5470.5	0.97836	0.018675
(6) $V = a + bD^2 + cD^2H + dDH^2 + eH^2$ (Näslund) ¹⁷⁾	4363.2	0.97971	0.018014
(7) $V = a + bD^2 + cD^2 + dDH + eD^2H + fH$ (Meyer) ¹⁴⁾	3441.0	0.97945	0.018181
(8) $V = a + bD^2 + cD^2 + dDH + eD^2H$ (Meyer) ¹⁷⁾	4200.8	0.97891	0.018427
(9) $V = a + bD + cD^2 + dDH + eD^2H + fDH^2 + gH + hH^2$ (Gerrard) ⁷⁾	2878.8	0.98214	0.016778
(Logarithmic)			
(10) $V = a(D^2H)^b$ (Spurr) ¹⁹⁾ $\log V = a' + b \log D^2H$	11683	0.96971	0.020161
(11) $V = aD^bH^c$ (Schumacher-Hall) ¹⁸⁾ $\log V = a' + b \log D + c \log H$	5876.6	0.96997	0.020112
(12) $\log V = a + b \log D + c \log^2 D + d \log H + e \log^2 H$ (Germany) ¹⁴⁾	3051.7	0.97119	0.019932

F_{0.01(1,120)} = 6.85

n.s. ; not significant in the t-test at 5% level

() ; designer(s)

V ; total stem volume(m³)

D ; diameter at breast height(cm)

H ; total height(m)

a', a, b, ……., h ; regression coefficients

두 8個가 있으며, 이 中 (9)式은 D²H²을 除外한 나머지 7個의 變數로 構成했음을 보이고 있다.

다음에는 上記 9個의 算術式과 比較하여 本 研究의 境遇 어떠한 獨立變數들이 選擇되는지를 알아보기 爲하여 變數增減法^{4,23)}에 依해 段階別로 最適式을 選定하였으며 表 4에 結果를 나타냈다.

1段階에서 最適의 數値를 나타내는 것은 (13)式으로 表3의 (1)式과 形態가 同一하며, 2 및 3段階의 境遇 各 各 (14) 및 (15)式이 選定되어 表3의 式들과는 多少 다른 形態를 보였다. 4段階에서는 各式 모두 一部 偏回 歸係數가 有意하지 않은 것으로 나타나 段階別 誘導節 次는 4段階에서 마무리되었다.

(13)~(15)式은 表3의 3個의 對數式보다 適合度가 높 았으며, (13)~(15) 세式間에는 適合度面에서 큰 差異 를 보이지 않는다. 따라서 세式中 胸高直徑과 樹高에 依 한 最適材積式으로는 適用이 簡便하고 一般의으로 널리 適用되고 있는 (13)式이 選定되었다.

2. 樹高를 胸高直徑과 年齡의 函數로 나타내는 關係式

Curtis⁹⁾, Sadig과 Smith¹⁷⁾가 發表한 (16)~(20)의 5 個와 本 研究를 爲하여 作成한 (21), (22)의 2個等 모 두 7個의 關係式에 對하여 適合度를 分析하였으며, 結

果를 要約하면 表5와 같다.

變數의 數가 많거나 또는 一部 偏回歸係數가 有意性 을 보이지 않는 式에 대해서는 變數增減法에 依해 最適 式을 選定하여 各各 判호속에 나타냈다.

分析結果 決定係數는 (18)式이, 修正標準誤差는 (19) 式이 各其 適合한 數値를 나타내 適合度面에서 一定하 지 않은 結果를 보였다. (19)式은 (18)式에 比해 計算 上 簡便하며, 決定係數로 (18)式 다음으로 높은 數値를 나타내 胸高直徑과 年齡에 依한 樹高式으로는 (19)式이 最適으로 選定되었다.

다음에는 胸高直徑과 年齡에 依한 材積式을 誘導하고 자 (13)式의 H項에 (19)式을 代入하였으며, 展開한 結果 다음과 같은 式을 얻었다.

$$\begin{aligned}
 (23) \quad V &= a + bD^2H \\
 &= a + bD^2(a + bD + cD^2 + dA + eA^2) \\
 &= a + b'D^2 + c'D^3 + d'D^4 + e'D^2A + f'D^2A^2
 \end{aligned}$$

t-檢定結果 D³, D³, D⁴項의 回歸係數는 有意性을 보 이지 않았으며, 變數增減法에 依하여 式을 再作成한 結果 다시 다음과 같이 되었다.

$$(23) \quad V = a + bD^2A + cD^2A^2$$

決定係數는 0.95040, 標準誤差는 0.031344로 (13)式 에 比해 適合度가 떨어진다. 이는 (13)式에서는 H項에

Table 4. Coefficient of determination and standard error for the equations induced by stepwise regression procedure to estimate the volume of *Larix leptolepis* with DBH and height

p	Equation	R ²	Sy · x
1	V = f(D)	0.84850	0.054194
	V = f(D ²)	0.93788	0.033626
	V = f(DH)	0.93869	0.033385
	V = f(D ² H) (13)	0.97640	0.019573
	V = f(DH ²)	0.95993	0.026413
	V = f(D ² H ²)	0.96242	0.025484
	V = f(H)	0.71572	0.075346
	V = f(H ²)	0.81178	0.060749
2	V = f(D ² H, D ^{n.s.})	0.97642	0.019573
	V = f(D ² H, D ²)	0.97688	0.019375
	V = f(D ² H, DH)	0.97751	0.019072
	V = f(D ² H, DH ²) (14)	0.97927	0.018183
	V = f(D ² H, D ² H ²)	0.97680	0.019414
	V = f(D ² H, H)	0.97751	0.019067
	V = f(D ² H, H ²)	0.97830	0.018681
3	V = f(D ² H, DH ² , D ^{n.s.})	0.97929	0.018207
	V = f(D ² H, DH ² , D ^{2n.s.})	0.97931	0.018198
	V = f(D ² H, DH ² , DH ^{n.s.})	0.97933	0.018188
	V = f(D ² H, DH ² , D ² H ^{2n.s.})	0.97937	0.018162
	V = f(D ² H, DH ² , H ^{n.s.})	0.97943	0.018135
	V = f(D ² H, DH ² , H ²) (15)	0.97953	0.018083
4	V = f(D ² H, DH ² , H ² , D ^{n.s.})	0.97970	0.018023
	V = f(D ² H, DH ² , H ² , D ^{2n.s.})	0.97971	0.018014
	V = f(D ² H, DH ² , H ² , DH ^{n.s.})	0.97972	0.018007
	V = f(D ² H, DH ² , H ^{2n.s.} , D ² H ^{2n.s.})	0.97959	0.018084
	V = f(D ² H, DH ² , H ² , H ^{n.s.})	0.97972	0.018014

p ; number of independent variables

n.s. : not significant in the t-test at 5% level

本資料測定時 伐倒後 樹高를 實測한 값을 適用하여 分析한 것이고, (23)式은 樹高推定式인 (19)式을 代入하였을 뿐만 아니라 從屬變數에 對한 說明比率이 낮은 變數를 除去하여 式이 簡素化되었기 때문이다. 따라서 두 式間에 適合度를 直接 比較하는 것은 큰 意義가 없다고 하겠다. 이에 對해 Sadig과 Smith¹⁷⁾는 (23)式과 같은 二重推定の 境遇에는 樹高推定에 따르는 誤差가 累積된다고 하였다.

3. 樹高를 胸高直徑과의 函數로 나타내는 關係式

7個의 關係式에 對하여 資料를 分析整理한 結果를 나타내면 表6과 같다.

關係式 모두 表5의 二變數式에 비해 適合度가 낮은 것으로 나타났으며, 決定係數 및 修正標準誤差는 各各 (30) 및 (26)式이 適合한 값을 보여 適合度가 一定하지

않았다. (26)式은 比較的 決定係數가 높고 (30)式보다 適用이 簡便하며, 一般의 으로도 널리 쓰이고 있어 胸高直徑에 依한 最適材積式으로는 (26)式이 選定되었다.

다음에는 (23)式과 適合度를 比較하고자 (13)式의 H項에 (26)式을 代入하였으며 이를 展開하여 다음의 式을 얻었다.

$$\begin{aligned}
 (31) \quad V &= a + bD^2H \\
 &= a + bD^2(a + bD + cD^2) \\
 &= a + b'D^2 + c'D^3 + d'D^4
 \end{aligned}$$

t-檢定結果 偏回歸係數는 모두 有意하였으며, 決定係數는 0.94412, 標準誤差는 0.034827로 算出되었다. 適合度는 (23)式보다 떨어지는 것으로 나타났고, 胸高直徑만의 境遇보다는 胸高直徑과 年齡의 函數로 나타내는 것이 보다 適合하다는 結果를 보였다.

(23) 및 (31)式은 (13)式에서 H項에 樹高式을 代入하여 作成한 것이며, 二重推定에 依한 誤差의 累積¹⁷⁾으로

Table 5. Coefficient of determination and adjusted standard error for the regression equations estimating the height of *Larix leptolepis* with DBH and age

Equation	R ²	I
(16) $H = a + b \log D + c \log D \log A + d \log A$ (= $a + b \log D \log A + c \log A$) *	0.86956	1.7204
(17) $\log H = a + b D^{-\frac{1}{2}} + c D^{-1} + d D^{-\frac{1}{2}} A^{-\frac{1}{2}} + e D^{-1} A^{-\frac{1}{2}} + f D^{-\frac{1}{2}} A^{-1} +$ $g D^{-1} A^{-1} + h A^{\frac{1}{2}} + i A^{-1}$ (= $a + b D^{-\frac{1}{2}} + c D^{-\frac{1}{2}} A^{\frac{1}{2}} + d A^{-1}$) *	0.89374	1.6774
(18) $\log H = a + b \log D + c \log^2 D + d \log D \log A + e \log^2 D \log A +$ $f \log D \log^2 A + g \log^2 D \log^2 A + h \log A + i \log^2 A$ (= $a + b \log^2 D +$ $c \log D \log A + d \log^2 D \log A + e \log^2 D \log^2 A$) *	0.89565	1.6637
(19) $H = a + b D + c D^2 + d D A + e D^2 A + f D A^2 + g D^2 A^2 + h A + i A^2$ (= $a + b D + c D^2 + d A + e A^2$) *	0.89491	1.6588
(20) $\log H = a + b D^{-1} + c D^{-1} A^{-1} + d A^{-1}$	0.87928	1.7945
(21) $\log H = a + b \log D + c \log A$	0.88751	1.7253
(22) $\log H = a + b \log D + c \log^2 D + d \log A + e \log^2 A$ (= $a + b \log D + c \log A + d \log^2 A$) *	0.89321	1.6817

() * : the "best" equation selected by stepwise regression

Table 6. Coefficient of determination and adjusted standard error for the regression equations estimating the height of *Larix leptolepis* with DBH

Equation	R ²	I
(24) $\log H = a + b \log D$ (Stoffels) ⁽¹¹⁾	0.84986	2.2070
(25) $H = a + b \log D$ (Henricksen) ⁽¹¹⁾	0.81440	2.1685
(26) $H = a + b D + c D^2$ (Staebler) ⁽¹¹⁾	0.84829	1.9983
(27) $H = a + b D^{-1} + c D^{-2}$	0.76199	2.4591
(28) $\log H = a + b D^{-1}$	0.73652	2.7912
(29) $H = a + b D^{-\frac{1}{2}} + c D^{-1} + d D^{-2} + e D^{\frac{1}{2}} + f D + g D^2$ (= $a + b D^{\frac{1}{2}}$) *	0.83906	2.1021
(30) $\log H = a + b D^{-\frac{1}{2}} + c D^{-1} + d D^{-2} + e D^{\frac{1}{2}} + f D + g D^2$ (= $a + b D^{-\frac{1}{2}} + c D^{-1}$) *	0.85097	2.0194

() : designer

() * : the "best" equation selected by stepwise regression procedure

因하여 (13) 式의 境遇보다 適合度가 낮은 것으로 나타났다.

다음에는 이러한 二重推定으로 因한 誤差의 累積과 計算의 번거로움을 줄이고자 直接 胸高直徑 또는 胸高直徑과 年齡에 依하여 材積을 推定하는 關係式을 作成 하였다.

4. 材積을 胸高直徑과의 函數로 나타내는 關係式

關係式으로는 Loetsch 等⁽²⁴⁾이 作成한 材積式一覽表에서 4個를 選定하였고, 이와 함께 本 研究를 爲하여 作成한 5個 等 總 9個의 式을 分析한 結果는 表7에 나타냈다.

(40) 式이 決定係數 및 修正標準誤差 모두 最適의 數值를 나타냈으나 反面 計算上 多少 複雜한 形態를 보인

다.

比較의 適合度가 높은 것中 適用이 簡便한 것을 考慮하여 (36) 式이 胸高直徑에 依한 最適材積式으로 選定되었다. (36) 式은 (23) 및 (31)의 二重推定式과 比較할 때 推定誤差도 적게 算出되었다.

5. 材積을 胸高直徑과 年齡의 函數로 나타내는 關係式

6個의 關係式을 作成하였으며, 分析結果를 要約하면 表8과 같다.

決定係數 및 修正標準誤差 모두 (46) 式이 最適으로 나타났으나 反面 (46) 式은 計算이 複雜하여 實用性이 낮다. 따라서 胸高直徑과 年齡에 依한 材積式으로는 比較의 適合度가 높고 適用이 簡便한 (45) 式이 最適으로

Table 7. Coefficient of determination and adjusted standard error for the regression equations estimating the volume of *Larix leptolepis* with DBH

Equation	R ²	I
(32) $V=a+bD+cD^2$ (Hohenadl-Krenn) ¹⁴⁾	0.94420	0.034785
(33) $V=a+bD^{-1}+cD^{-2}$	0.53839	0.099972
(34) $V=a+bD^2$ (Kopezky-Gehrhardt) ¹⁴⁾	0.93788	0.035626
(35) $V=a+b\log D$	0.63511	0.88761
(36) $\log V=a+b\log D$ (Husch) ¹⁰⁾	0.94963	0.026854
(37) $\log V=a+bD^{-1}$	0.80058	0.045046
(38) $\log V=a+b\log D+cD^{-1}$ (Brenac) ¹⁴⁾	0.95424	0.022611
(39) $\log V=a+b\log D+c\log^2 D$	0.95361	0.024755
(40) $\log V=a+bD^{-\frac{1}{2}}+cD^{-1}+dD^{-2}+eD^{-\frac{3}{2}}+fD+gD^2$ ($=a+bD+cD^{\frac{1}{2}}$)*	0.95512	0.021400

() : designer(s)

() * : the "best" equation selected by stepwise regression procedure

Table 8. Coefficient of determination and adjusted standard error for the regression equations estimating the volume of *Larix leptolepis* with DBH and age

Equation	R ²	I
(41) $V=a+bD+cD^2+dDA+eD^2A+fDA^2+gD^2A^2+hA+iA^2$ ($=a+bDA+cD^2A+dD^2A^2$)	0.95404	0.025933
(42) $V=a+b\log D+c\log D\log A+d\log A$	0.84161	0.059376
(43) $\log V=a+bD^{-1}+cD^{-1}A^{-1}+dA^{-1}$	0.93409	0.036744
(44) $\log V=a+bD^{\frac{1}{2}}+cD^{-1}+dD^{\frac{1}{2}}A^{-\frac{1}{2}}+eD^{-\frac{1}{2}}A^{-1}+fD^{-1}A^{\frac{1}{2}}+gD^{-1}A^{-1}+hA^{\frac{1}{2}}+iA^{-1}$ ($=a+bD^{\frac{1}{2}}+cD^{-1}+dA^{-\frac{1}{2}}$)	0.96493	0.020250
(45) $\log V=a+b\log D+c\log A$	0.96366	0.020537
(46) $\log V=a+b\log D+c\log^2 D+d\log D\log A+e\log^2 D\log A+f\log D\log^2 A+g\log^2 D\log^2 A+h\log A+i\log^2 A$ ($=a+b\log D+c\log D\log A+d\log D\log^2 A$)	0.96513	0.020199

() : the "best" equation selected by stepwise regression procedure

選定되었다. 또한 (45)식은 二重推定の (23), (31)식과 胸高直徑만의 (36)식보다도 適合度가 높게 나타났다.

以上の結果를 綜合하면, 林木의 材積 및 樹高는 胸高直徑만의 境遇보다는 胸高直徑과 年齡에 依하여 推定하는 것이 보다 適合하며, 또한 材積은 樹高를 推定한 다음 다시 材積을 求하는 二重推定の 境遇보다, 測定誤差가 적은 因子에 依하여 直接 推定하는 것이 보다 適合한 것으로 나타났다.

6. 關係式의 適用

關係式의 測定因子 中 胸高直徑과 年齡은 樹高와는 달리 測定誤差가 적으며¹⁷⁾, 年齡은 人工林의 境遇 植栽年度만 알면 正確한 把握이 可能하므로 實際 測定因子는 胸高直徑 하나이다. 따라서 本 關係式은 適用이 簡

便하고 適合度가 높으나 反面 植栽年度를 모르는 林分에 對해서는 適用이 困難하다. 卽, 天然林에서 成長錐를 利用하여 年齡을 把握할 境遇 大體로 年輪의 識別이 容易하지 않으며, 잘못 僞年輪을 包含시킬 수도 있어 正確한 把握이 어렵다. 아울러 많은 林木을 對象으로 木片을 抽出할 境遇에는 적지않은 時間과 努力이 要求되어 非經濟性을 띠게 된다.

그러나 오늘날의 林業經營에서는 大部分 天然林을 人工林으로 更新하여 經營하는 趨勢에 있으며¹⁷⁾, 本 研究方法은 比較的 適用範圍가 넓다고 생각된다.

結 論

材積을 胸高直徑과 樹高에 依하여 推定하는 式은 關

係式 自體의 適合度가 높고, 每木의 樹高測定誤差가 크며, 樹高測定에 따르는 時間과 努力의 消耗 等 非經濟的인 問題를 內包하고 있다. 卽, 地形이 險하고, 林冠이 密한 境遇 一定한 樹高測定距離의 維持가 어렵고, 林木 項部 또는 基底부의 視準이 容易하지 않으며, 또한 同一林分에 對한 數高測定값이 過去의 測定값과 比較하여 急激히 增加하거나 또는 오히려 減少하는 非合理的인 事例가 있다.

이러한 林木의 材積 및 樹高를 보다 效果의으로 推定하기 爲하여 胸高直徑과 年齡에 依한 材積式 및 樹高式을 作成하였으며, 以上の 研究結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 胸高直徑과 樹高에 依한 材積式의 境遇 算術式이 對數式보다 適合度가 높았으며, $V=a+bD^2H$ 가 最適式으로 選定되었다.

2. 胸高直徑과 年齡에 依한 樹高式의 境遇 $H=a+bD+cD^2+dA+eA^2$ 이 最適式으로 選定되었다.

3. 胸高直徑에 依한 樹高式의 境遇 $H=a+bD+cD^2$ 이 最適式으로 選定되었으며, 위 2의 式에 比해 適合度가 낮게 나타났다.

4. 樹高를 推定한 다음 材積을 求하는 二重推定의 境遇 胸高直徑과 年齡에 依하는 것이 胸高直徑만의 境遇보다 適合度가 增加하는 것으로 나타났다.

5. 胸高直徑에 依한 材積式의 境遇 $\log V=a+b\log D$ 가 最適式으로 選定되었으며, 위 4의 二重推定의 境遇보다 推定誤差가 적게 算出되었다.

6. 胸高直徑과 年齡에 依한 材積式의 境遇 $\log V=a+b\log D+c\log A$ 가 最適式으로 選定되었으며, 위의 二重推定 및 胸高直徑만의 境遇보다 適合度가 增加하는 것으로 나타났다.

引 用 文 獻

1. Bauer, H.A. 1924. Studying tree growth with an increment borer. J. Forestry 22 : 298-301.
2. Chapman, H.H. and W.H. Meyer. 1949. Forest Mensuration. McGraw-Hill Book Co., Inc., New York. 522pp.
3. Curtis, R.O. 1967. Height-diameter and height-diameter-age equations for second-growth Douglas-fir. For. Sci. 13(4) : 365-375.
4. Draper, N.R. and H. Smith. 1981. Applied Regression Analysis. John Wiley & Sons, New York. 709pp.
5. Falconer, J.G. 1931. A method of accurate height measurement for forest trees. J. Forestry 29 : 742-746.
6. Furnival, G.M. 1961. An index for comparing equations used in constructing volume tables. For. Sci. 7(4) : 337-341.
7. Gerrard, D.J. 1966. The construction of standard tree volume tables by weighted multiple regression. Common. For. Rev. 45 : 372-373.
8. Ghent, A.W. 1955. A guide for the re-alignment of off-center increment borings. For. Chron. 31 : 353-355.
9. Golding, D.L. and O.F. Hall. 1961. Tests of precision of cubic-foot tree-volume equations on aspen, jackpine, and white spruce. For. Chron. 37 : 123-132.
10. Husch, B. 1963. Forest Mensuration and Statistics. Ronald Press Co., New York. 474pp.
11. Ker, J.W. and J.H.G. Smith. 1955. Advantages of the parabolic expression of height-diameter relationships. For. Chron. 31 : 236-246.
12. Kinashi, K. 1953. Forest inventory by sampling methods. Bull. Kyūshū Univ. Forests 23 : 1-153.
13. Krauch, H. 1918. Some new aspects regarding the use of the Forest Service Standard (Gradimeter) Hypsometer. J. Forestry 16 : 772-776.
14. Loetsch, F., F. Zöhner, and K.E. Haller. 1973. Forest Inventory. Vol. 2. BLV Verlagsgesellschaft, München. 469pp.
15. Meyer, H.A. 1938. The standard error of estimate of tree volume from the logarithmic volume equation. J. Forestry 36 : 340-342.
16. Newnham, R.M. 1967. A modification to the combined variable formula for computing tree volumes. J. Forestry 65 : 719-720.
17. Sadiq, R.A. and V.G. Smith. 1983. Estimation of individual tree volumes with age and diameter. Can. J. For. Res. 13 : 32-39.
18. Schumacher, F.X. and F.D.S. Hall. 1933. Logarithmic expression of timber-tree volume.

- Jour. Agric. Res. 47(9) : 719-734.
19. Spurr, S.H. 1952. Forest Inventory. Ronald Press Co., New York. 476pp.
 20. Trorey, L.G. 1932. A mathematical method for the construction of diameter height curves based on site. For. Chron. 18(2) : 3-14.
 21. 金甲德. 1985. 森林測定學. 鄉文社, 서울. 275pp.
 22. 盧義來. 1981. 현 사시 生長量의 簡易 推定方法. 林育研報. 17 : 64-69.
 23. 朴聖炫. 1985. 回歸分析. 大英社, 서울. 654pp.