

林分材積 測定法の 效率的 改善方案에 關한 研究¹

李鍾燾² · 尹鍾和³ · 李興均⁴ · 金樟洙⁵

Studies on the Efficient Improvement of Measurement Methods of Stand Volume¹

Jong Lak Lee², Jong Hwa Yun³, Heung Kyun Lee⁴, Chang Soo Kim⁵

要 約

角算定 測定法으로 林分材積을 推定할 수 있도록 하기 위하여 경기, 충청남북, 강원지역 등의 소나무林分에서 標準地 164個所를 選定하여 各 調査因子別로 實測하고 Plotless Sampling 方法으로 測定한 資料를 가지고 林分材積 調製方法과 Plotless Sampling 法에 필요한 各種 表를 조제하여 이를 종합적으로 分析檢討한 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 角算定 測定法에 의하여 測定이 可能的 林分平均樹高, ha 當 斷面積, 斷面積樹高의 測定値와 標準地에서 測定한 實測値 사이에는 回歸係數 b 가 거의 1인 $Y=bx$ 의 回歸關係가 成立 하였으며 이들 사이에는 有意差가 없어 소나무林에서 角算定 測定法으로 林分材積을 推定할 수 있다.

2. Dendrometer 로 測定이 가능한 因子를 利用하여 구한, 가장 適合한 林分材積式은 $\log V = -0.0208 + 0.8497 \log G \cdot H$, $\log V = -0.0028 + 0.7981 \log G + 0.9313 \log H$ 이며 本式에 의하여 조제된 林分材積表는 Table 4, 5 와 같으며 表에 의한 測定値와 實測値間의 推定誤差率은 1變數材積表가 9.16%, 2變數材積表가 8.50%이었다.

3. 角算定 測定法에 의한 林分材積 推定時 必要的 因子인 林分形狀高, 形狀斷面積, 林分形數 등을 구할 수 있는 가장 適合한 推定式은 다음과 같다.

$$FH = D / (1.5205 + 0.0994 D)$$

$$\log FH = 0.0451 + 0.2429 \log D + 0.3474 \log H$$

$$\log FG = -0.0380 + 0.7758 \log G - 0.0066 \log H$$

$$F = H / (-5.1697 + 2.6013 H)$$

$$F = FH / (-3.1256 + 2.7611 FH)$$

$$\log F = -0.0634 - 0.0848 \log GH - 0.1224 \log Di$$

4. 이와 같은 式에 의하여 조제한 林分形狀高表는 Table 7, 8 과 같으며 이의 推定誤差率은 林分平均直徑에 의한 1變數表와 林分平均直徑 및 林分平均樹高에 의한 2變數表는 各各 8.05%, 8.32%이며 斷面積과 林分平均樹高의 2變數에 의한 形狀斷面積表는 Table 9 와 같고 이의 推定誤差率은 9.76%이었다. 또한 林

* 本 研究은 1985年度 韓國科學財團의 學術研究 造成費에 의하여 遂行되었음.

¹ 接受 6月 2日 Received on June 2, 1987

² 慶熙大學校 産業大學 College of Industry, Kyunghee University, Suwon Korea

³ 江原大學校 林科大學 College of Forestry, Kwangweon University, Chunchon, Korea

⁴ 林業試驗場 Forest Research Institute, Seoul, Korea

⁵ 高麗大學校 農科大學 College of Agriculture, Korea University, Seoul, Korea

分形數表는 Table 10, 11, 과 같으며 이의 推定誤差率은 林分平均樹高, 林分形狀高에 의한 1 變數表는 各各 5.58%, 5.39%이고 斷面積 樹高와 樹幹距離에 의한 2 變數表는 4.30% 이었다.

ABSTRACT

The purpose of this study is to develop the method of stand volume estimation by the plotless sampling method. The required data were obtained from 164 sampling plots in the red pine (*Pinus densiflora*) stands which were located in Kyeong-gi, Chung-nam, Chung-buk and Kang-won areas, and related factors were measured actually. The method of stand volume estimation and several tables were derived from these data.

1. The relationship between the values of stand average height, basal area per ha, and basal area height obtained from the plotless sampling method and values measured actually could be described by the equation $Y=bx$, where b approached nearly 1.0 and there were no significant differences between them. Therefore stand volumes could be estimated by the plotless sampling method.
2. The estimated equations of the stand volumes, which were estimated using factors to be measured by dendrometer, are as follows: $\log V = -0.0208 + 0.8497 \log GH$, $\log V = -0.0028 + 0.7981 \log G + 0.9313 \log H$. Stand volume tables by these estimated equations were shown in table 4, 5 and estimation error percentages were 9.16% and 8.50% respectively.

$$FH = D / (1.5205 + 0.0994D)$$

$$\log FH = 0.0451 + 0.2429 \log D + 0.3474 \log H$$

$$\log FG = -0.0380 + 0.7758 \log G - 0.0066 \log H$$

$$F = H / (-5.1697 + 2.6013H)$$

$$F = FH / (-3.1256 + 2.7611FH)$$

$$\log F = -0.0634 - 0.0848 \log GH - 0.1224 \log Di$$

4. Stand form height tables (table 7, 8), form basal area tables (table 9), and stand form factor tables (table 10, 11) were prepared using the above estimated equations, and the estimation error percentages were less than 10%.

Key words: Improvement of measurement methods of stand volume: *Pinus densiflora*.

緒 論

林業에 關한 諸計劃을 樹立함에 있어서 重要한 基礎資料는 森林資源의 實態를 精確히 把握하는데 있다. 그런데 森林은 面積이 廣大되고 地形이 險峻하여 森林資源을 把握하기란 대단히 어려우며 많은 時間이 所要된다. 그러므로 될 수 있는한 最少의 經費로서 最大의 精度를 얻을 수 있는 能率의 이고도 簡便한 材積測定方法의 研究는 現實의 要請되어 지는 重要한 課題이다. 이와같은 課題를 해결하기 위하여 林業先進國에서는 매우 간편하고 迅速한 林分材積 推定方法에 關해서 연구를 거듭하여 角算定測定法이 考안되고 이 原理를 利用한 새로운 測樹器

가 開發되어 이를 利用하면 ha當 斷面積, 林分平均樹高, 斷面積樹高 등을 바로 測定할 수 있어서 직접 ha當 林分材積을 推定할 수 있다.

그러므로 이와 같은 因子를 測定하므로써 直接 林分材積을 推定할 수 있도록 우리나라의 主要 樹種인 소나무林에 대한 林分 材積表調製에 關하여 研究함과 아울러 이 方法을 실제로 適用普及하는데 필요한 林分形狀高表, 形狀斷面積表, 林分形數表 등의 調製研究를 함으로서 새로운 角算定測定法으로 因한 效率的 林分材積 測定方案을 提示 하였다. 따라서 本法를 活用하게 되면 林分材積推定面에 있어서 보다 더 迅速 精確하게 精度를 높일 수 있을 것으로 思料됨과 동시에 時間 및 勞力의 節減 등 그 必要性을 감안하여 本 研究를 試圖하였다.

이에 대한 研究動向을 살펴보면, 오스트리아의 Walter Bitterlich²⁾는 Die Winkelzählmessung 이라는 論文을 發表한 후 이 方法에 필요한 Relascope 를 1949 년에 製作하였다. 그후 美國의 Grosenbaugh³⁾가 Bitterlich 法에 의한 林分斷面積, 直徑階마다의 本數推定法을 發展시켜 發表하였으며 Burkart, Prodan¹⁹⁾이 이에 대한 研究結果를 發表한 바 있다. 測定器械도 점차 改良되어 最近에는 Spiegel relascope, Tele-relascope, Dendrometer 등 光學的 器械의 出現을 보게 되었다.¹¹⁾

한편 平田 및 ESSED⁵⁾에 의하여 Bitterlich 法을 平均樹高測定에 利用한 研究가 發表되었으며 STR AND²¹⁾는 Line Sampling 을 考案하여 斷面積樹高測定으로 林分材積 推定이 可能하다고 하였으며 北村⁹⁾는 一致高和에 의한 林分材積 簡易推定法을 開發하였다. 그후 Prodan, Fisch, Grosenbaugh, 大友, 平田, 大隅^{19, 4, 15, 17)} 등에 의하여 Bitterlich 法의 推定은 不偏이 있다는 것을 증명 하였다. 大隅¹⁴⁾는 Bitterlich 法의 理論과 W. Z. P. 를 確率論으로 理論을 전개하고 Spiegel relascope 로 望高法을 利用, 林分 形狀高 測定이 가능하다고 하였고 B-Population 과 林分形狀高 關係를 구명하고 形狀高를 測定하여 林分材積을 推定하는 것이 좋은 方法이라고 하였다. 大隅¹⁵⁾와 Grosenbaugh⁴⁾는 林木分布의 均質性에 대하여 調査하고 均質性을 χ^2 檢定法을 쓰는 것이 좋다고 하였다. 高田²²⁾는 林分材積 推定式을 變數別로 提示하였으며 斷面積 測定은 Bitterlich 法, 平均樹高 測定은 KAIBARA 法, 斷面積樹高 測定은 STAND法이 좋았고 測定誤差도 3% 이 내이며 時間도 2~3.7 倍 減少하였다고 하였다. 日本航測研究會¹⁶⁾는 斷面積樹高와 材積은 直線의 關係가 있다고 하였으며 大友¹⁸⁾는 L₁ 法, L₂ 法 이라는 Plotless sampling 法을 考案하고 fg, fh, V/d 表를 調製하였다. Spurr²⁰⁾는 林分材積推定에 1 變數는 斷面積, 斷面積樹高, 2 變數는 斷面積과 樹高, 3 變數는 斷面積, 樹高, 斷面積樹高 組合이 제일 좋다고 하였다. Birth¹⁾는 Continuous horizontal Line Sampling 은 P. P. S. Sampling 과 strip cruising 의 長點이 결합되어 있어 直徑生長量도 計算할 수 있으므로 有用하다고 하였다. 高田²²⁾는 標本點이 林線부근에 떨어질 때 偏倚가 생겨 과소치를 주기 때 문에 各種 補正法을 比較하여 새로운 補正法을 提示한 바 있다. 西川¹³⁾ 등은 本數推定에서는 円型 Plot 法, 斷面積推定은 Bitterlich 法, 斷面積樹高測

定은 L₁ 法이 우수하여 金후 林分形數 研究가 必要하다고 하였다. 大友¹⁷⁾는 林分形數를 利用하여 材積을 推定한 바 있고 藥袋¹²⁾와 航測研究會¹⁶⁾는 直徑과 樹高를 函數로 地方別, 樹種別로 林分形數表를 作成하였으며 樋渡⁶⁾는 形狀斷面積表, 形狀高表를 地方別 樹高別로 作成하였다.

Wensel²³⁾은 斷面積係數 決定은 1 acre 당 적어도 4 本 以上이 되도록 定하여야 하며 Bitterlich와 大友¹⁸⁾는 斷面積係數는 4 가 좋다고 하였다. 한편 우리 나라에서는 金⁷⁾이 Kim's relascope 를 製作하여 使用하므로써 傾斜度에 따른 補正이 필요없다고 하였고 尹²⁴⁾은 新型 Spiegel relascope 의 使用法에 대하여 理論과 실제 應用面을 소개하고 每木調査法과 差異가 없다고 하였다. 李¹⁰⁾ 등은 林分材積 推定式의 研究에서 1 變數는 樹高나 斷面積樹高, 2 變數는 斷面積과 樹高, 3 變數는 斷面積, 樹高, 林分形數 등이 關係가 제일 크다고 하고 金⁸⁾ 등은 胸高直徑別 形狀高表를 作成하고 形狀高別 林分材積表를 調製한 바 있다.

材料 및 方法

本 研究의 調査對象地域은 京畿, 忠南北, 江原道 등으로서 本地域에서 生長하고 있는 소나무 單純林 중에서 林木本數가 고루 分布된 곳을 택하여 40 m × 40 m 의 크기로 164 個所의 標準地를 選定한바 이는 또한 各 林속에 걸친 分布를 고려하였으며 다음과 같은 事項을 調査하였다.

1. 標準地 調査

1) 平均胸高直徑(D)

標準地內 全林木에 대하여 每木調査를 실시한 후 平均斷面積法에 의하여 算定하였다.

2) 林分平均樹高(H)

測高器를 使用하여 直徑級別로 樹高를 測定한 다음 樹高曲線式을 誘導한 후 平均直徑에 대한 樹高를 林分平均樹高로 하였다.

3) ha 當 斷面積(G)

每木調査 結果로서 直徑級別로 單木의 胸高斷面積에 本數를 곱한 후 이를 合計하였다.

4) 斷面積 樹高(GH)

每木調査하여 算出한 ha 當 斷面積에 樹高 曲線式에서 算出한 平均樹高를 곱하여 算出하였다.

5) ha 當 幹材積(V)

現在 通用되고 있는 中部地方 소나무 立木 幹材積 表를 利用하여 每木調査한 結果值로서 算出되었다.

6) 林分形狀高(FH)

ha 當 幹材積을 ha 當 斷面積으로 나누어 算出하였다.

7) 形狀斷面積(FG)

ha 當 幹材積을 樹高曲線式에 의하여 算出된 林分平均樹高로 나누어 算出하였다.

8) 林分形數(F)

算出된 ha 當 幹材積을 每木調査로서 算定된 斷面積에 樹高를 곱한 값으로 나누어 算出하였다.

9) ha 當 本數(N)

每木調査한 結果로서 ha 當 本數를 推定하였다.

10) 林木의 樹幹距離(Di)

$\sqrt{10,000/N}$ 으로 樹幹距離를 算出하였다.

11) 林令(A)

生長錐로 木片을 抽出하여 査定하였다.

2. Dendrometer 에 의한 調査

1) 林分平均樹高(H)

平田-ESSED 法에 의한 定角測高法으로 標準地別로 3 個所씩 林分樹高를 測定, 이를 平均하였다.

2) ha 當 斷面積(G)

Bitterlich 法에 의한 角算定測定法으로 標準地마다 3 個所씩 斷面積을 測定, 이를 平均하였다. 이때 斷面積係數(B. A. F.)를 K=4, K=2를 適用하여 測定하였다.

3) 斷面積樹高(GH)

STRAND 法으로 標準地마다 3 個所씩 斷面積樹高를 測定, 이를 平均하였다.

結果 및 考察

Plotless Sampling 은 面積이나 形狀에 대하여 考

慮할 必要가 없으므로 이는 測定이 容易하고 迅速할 뿐만 아니라 精度面에서도 Plot Sampling 과 큰 差異가 없는 것으로 究明되어 왔다. 따라서 우리나라에서도 소나무林分에 適用할 本方法을 模索하기 위하여 첫째로 Plotless Sampling 理論을 利用한 光學的器械인 Dendrometer 로 測定이 可能한 因子와 標準地에서 測定한 因子間의 精度를 比較 檢討하는 동시에 둘째로 Plotless Sampling 法으로 測定이 可能한 因子로서의 林分材積 測定法研究와 셋째로 Plotless Sampling 法 活用に 필요한 各種 表 製調方法에 대하여 究明하였던 바 그 結果는 다음과 같다.

1. Plot Sampling 法과 Plotless Sampling 法에 의한 測定值間 比較

Plot Sampling 에서 종래에 써온 方法에 의하여 측정한 測定值를 基準으로 하고 Plotless Sampling 理論을 基礎로 하여 製作된 Dendrometer 로 測定한 因子의 測定值의 精度를 檢定하였다. 標準地法에 의한 Plot Sampling 法으로 求한 實測值(X)와 Dendrometer 에 의한 Plotless Sampling 法으로 測定한 林分平均樹高, ha 當 斷面積, 斷面積樹高의 값을 Y 로 놓고 兩側의 關係를 原點을 지나는 直線回歸式 $Y=bx$ 式으로 回歸式을 算出하고 相關係數, 殘差의 標準誤差 등을 구하고 t 檢定, 推定誤差率을 求한 結果는 Table 1 과 같다.

Table 1 에서 보는 바와 같이 林分平均樹高, ha 當 斷面積, 斷面積樹高 등이 回歸式에서 回歸係數가 모두 1 에 가까운 $Y=bx$ 관계가 있음을 알 수 있고 相關係數는 0.97 이상으로 크고 殘差의 標準誤差도 적었고 T 檢定結果 有意성이 없었으며 推定誤差率도 11% 이하 이었다. 따라서 Plot Sampling 과 Plotless Sampling 에 의한 測定值間에는 差가 없음이 立證 되었다. 그러므로 後者の 경우는 測定時間이 단축되고 簡便할 뿐만 아니라 精度面에서도 상당히 높

Table 1. Test of goodness of fit for the measurements by plotless sampling method.

Factor	No. of plot	Regression	Correlation coefficient	Standard error of residuals	T-value	Percentage of estimated error
Stand average height(H)	164	$\hat{H}=0.95047H$	0.9839	1.6066	1.1018	9.74%
Basal area(G)	164	$\hat{G}=1.00794G$	0.9857	2.8998	0.2756	9.38
Basal area height(GH)	164	$\hat{GH}=0.98071GH$	0.9779	50.5763	0.0313	10.47

t 0.05(df=∞)=1.96

음을 알 수 있다.

2. 林分材積表 調製

Plotless Sampling 에 의하여 測定한 林分平均樹高, ha 當 斷面積, 斷面積樹高 등의 推定値는 標準地法에 의하여 測定한 값과 精度面에서 差異가 없음이 앞서서 밝혀졌으므로 ha 當 林分材積의 推定을 간편하게 할 수 있도록 林分材積表를 調製하였다. 여기서 Dendrometer 로는 測定을 할 수는 없지만 다른 器械로는 測定이 可能하기 때문에 林分形狀高等 4 가지 因子를 가지고 다음과 같은 過程으로 林分材積表를 調製하였다.

1) 林分材積式의 選定

Plotless Sampling 法으로 간단히 測定할 수 있는 林分平均樹高(H), ha 當 斷面積(G), 斷面積樹高(GH), 林分形狀高(FH) 중 각각 하나의 因子만으로 하는 獨立變數 하나인 경우와 G와 H, G와 FH 로 하는 獨立變數 둘인 경우에 대하여 林分材積式을 유도하였는데 여기에 適用한 式은, 獨立變數 하나를 利用할 경우는 $Y=a+bx$, $Y=ax^b$, $Y=ae^{bx}$, $Y=ae^{-\frac{b}{x}}$, $Y=ax^be^{-\frac{c}{x}}$, $Y=\frac{x}{a+bx}$, $Y=a+\frac{b}{x}$,

$Y=a+bx+cx^2$ 등의 8 가지 實驗式을 適用하고, 獨立變數 둘을 이용할 경우에는 $Y=ax_1^b x_2^c$, $Y=a+bx_1+cx_2$, $Y=a+bx_1+cx_2^2$, $Y=a+bx_1+cx_2+dx_1 x_2$, $Y=a+bx_2+cx_1^2$ 등의 5 가지 實驗式을 適用하여 林分材積式을 誘導하고, 아울러 相關係數, 殘差의 標準誤差, F 值를 구한 결과, 最適式은 Table 2 와 같다.

또한 여기서 獨立變數 3 개인 경우는 李¹⁰⁾, Spurr²⁰⁾, 高田²²⁾ 등이 究명한 結果에 의하면, 精度가

2 變數 보다 크게 向上되지 않을 뿐만 아니라 3 가지 因子를 測定하려면 時間이 많이 所要되고 그 結果를 表로 만든다고 하여도 適用이 複雜하기 때문에 本 研究에서는 式을 유도치 않았다.

Table 2 에서와 같이, 各因子別로 計算한 42 個의 材積式중 相關係數가 크고 殘差의 標準誤차가 적고 F 值가 큰 것 등을 考慮한 결과 6 個式만을 適合한 式으로 選定하였다. 그리고 殘差의 標準誤차는 對數式과 一般式을 適用한 結果에 따라 차이가 상당히 있기 때문에 對數式에서는 各 plot 마다 推定値를 眞値로 變換하여 偏差를 算出한 후 殘差의 標準誤차를 구하여 一般式의 값과 比較하였다.

2) 異常資料의 棄却

選定한 林分材積推定式 即 林分平均樹高, ha 當 斷面積, 斷面積樹高, 林分形狀高等에 의한 林分材積推定式과 Plotless Sampling 에 의한 材積推定時 필요한 3 가지 因子 即 林分形狀高, 形狀斷面積, 林分形數表를 調製키 위하여 胸高直徑, 樹高, 斷面積樹高, 林分形狀高, 林令, 樹幹距離別로 다음 3 項에서 推定式을 求한 후 適合式을 選定하였다. 各式의 精度를 더 높이기 위하여 各 因子들간의 異常資料를 기각코져 plot 別 實測値와 推定値의 殘差(偏差)를 求한 후 그 殘差가 適合式의 殘差의 標準誤差 보다 2 倍 이상 되면 2 點, 4 倍이상 되면 4 點을 주어 合計가 6 點 이상이 되고 2 가지式 이상에서 나타났을 때 異常資料로 하여 23 個所를 기각하였다.

3) 林分材積式의 再計算

23 個를 기각한 후 나머지 141 個를 가지고 各因子別 林分材積推定式을 再計算한 結果 Table 3 과 같다.

各 推定式에 대한 推定値와 實測値와의 推定誤差

Table 2. Adaptable stand volume equation.

Relation of factor	Estimated equation	Correlation coefficient	Standard error of residuals	F-value
Stand average height(H) : Volume(V)	$\log V = 0.0275 + 0.8666 \log H$	0.8982	41.7606	676.13
Basal area(G) : Volume(V)	$\log V = 0.3203 + 1.3250 \log G$	0.9324	40.3758	1078.05
Basal area height(GH) : Volume(V)	$\log V = -0.0265 + 0.8702 \log GH$	0.9758	24.4000	3224.79
Stand form height(FH) : Volume(V)	$\log V = 2.9399 - 4.6018 / FH$	-0.8387	50.7101	384.33
Basal area(G), Stand average height(H) : Volume(V)	$\log V = -0.0712 + 0.8406 \log G + 0.9472 \log H$	0.9802	22.5165	1977.00
Basal area(G), Stand form height(FH) : Volume(V)	$\log V = 0.0669 + 0.9963 \log G + 0.9410 \log FH$	0.9674	26.5627	1175.09

Table 3. Superior stand volume equation.

Relation of factor	Estimated equation	Correlation coefficient	Standard error of residuals	F-value	Percentage of estimated error on stand volume equation
Stand average height(H) : Volume(V)	$\log V = 0.2109 + 1.6969 \log H$	0.8845	35.6188	499.59	20.13%
Basal area(G) : Volume(V)	$\log V = 0.3954 + 1.2655 \log G$	0.9120	36.5970	686.91	18.52
Basal area height(GH) : Volume(V)	$\log V = 0.0208 + 0.8497 \log GH$	0.9817	19.6299	3700.16	9.19
Stand form height(FH) : Volume(V)	$\log V = 2.9430 + 4.5951 \log \frac{1}{FH}$	0.7984	47.7956	244.45	19.03
Basal area(G), Stand average height(H) : Volume(V)	$\log V = -0.0028 + 0.7981 \log G + 0.9313 \log H$	0.9767	19.8874	1427.94	9.19
Basal area(G), Stand form height(FH) : Volume(V)	$\log V = 0.0846 + 0.9665 \log G + 0.9717 \log FH$	0.9548	26.7393	711.99	13.98

률을 구한 결과, 1變數式에서는 斷面積樹高에 의한 林分材積推定式이 9.19%로 가장 적고 林分平均樹高, ha當 斷面積, 林分形狀高는 모두 18% 이상이었다. 2變數式에서는 ha當 斷面積과 林分平均樹高에 의한 林分材積推定式이 9.19%로 가장 적고 斷面積과 林分形狀高에 의한 式은 推定誤差率이 13% 이상이었다.

따라서 1變數式에서는 斷面積에 의한 式, 2變數式에서는 ha當 斷面積과 林分平均樹高에 의한 式을 最適式으로 決定하였다.

4) 林分材積表 作成

$$\log V = -0.0208 + 0.8497 \log GH$$

$\log V = -0.0028 + 0.7981 \log G + 0.9313 \log H$ 에 의하여 1變數와 2變數의 林分材積表를 調製한 結果는 Table 4.5와 같다.

5) 林分材積表의 適合度

1變數, 2變數 林分材積表를 실제로 使用할시 推定誤差率을 구한 結果, 斷面積樹高에 의한 1變數 林分材積表의 推定誤差率은 9.16%, ha當 斷面積과 林分平均樹高에 의한 2變數 林分材積表의 推定誤差率은 8.50%로서 높은 精度로 林分材積을 推定할 수 있음이 立證되었다.

3. Plotless Sampling에 필요한 各種表 調製

Plotless Sampling에서 林分材積은 $V = G \cdot H \cdot F$ 로서 推定할 수 있는데 Bitterlich法을 적용할 경우는 ha當 斷面積(G)이 測定되므로 林分形狀高(FH)가 필요하고 平田-ESSED法을 적용할 경우는 林分平均樹高(H)가 測定되므로 形狀斷面積(FG)이 필요하며, STRAND法을 적용할 경우는 斷面積樹高(GH)가 측정되므로 林分形數가 필요하다. 따라서 Plotless Sampling의 諸法을 普及하여 林分材積을 推定하기 위하여는 FH表, FG表, F表가 필요하게 되므로 各各의 表를 調製하였다.

1) 各 推定式의 選定

林分形狀高(FH)는 林分平均樹高에 크게 關여 되고 있고 또 形狀斷面積(FG)은 直徑에 크게 關여 되고 있으며¹⁸⁾ 林分形狀高나 形狀斷面積은 $Y = ax^b$ 이나 $Y = ax^b x_2^c$ 型식이 適合하다고 하였다.⁶⁾ 따라서 本 研究에서는 林分形狀高는 林分平均直徑, 林分平均樹高 등에 의하여, 形狀斷面積은 林分平均直徑, 林分平均樹高, 斷面積樹高 등에 의하여, 林分形數는 林分平均直徑, 林分平均樹高, 斷面積樹高, 林分形狀高, 林令, 樹幹距離 등에 의하여 推定式을 유도하였다.

Table 4. Stand volume table by basal area height.

Basal area height (GH)	Stand volume (V)	Basal area height (GH)	Stand volume (V)
20m ²	13.37m ³	520m ²	213.10m ³
40	24.10	540	220.05
60	34.02	560	226.95
80	43.44	580	233.82
100	52.50	600	240.66
120	61.30	620	247.45
140	69.88	640	254.22
160	78.28	660	260.96
180	86.52	680	267.66
200	94.62	700	274.33
220	102.60	720	280.98
240	110.48	740	287.60
260	118.25	760	294.19
280	125.94	780	300.75
300	133.54	800	307.30
320	141.07	820	313.81
340	148.52	840	320.30
360	155.92	860	326.77
380	163.25	880	333.22
400	170.52	900	339.64
420	177.74	920	346.04
440	184.90	940	352.43
460	192.02	960	358.79
480	199.09	980	365.13
500	206.12	1000	371.45

獨立變數 1 個을 이용할 경우는 林分材積式의 選定 때와 같이 8 가지 實驗式을, 獨立變數 2 個을 이용할 경우는 5 가지 實驗式을 適用하여 推定式을 유도 하고 相關係數, 殘差의 標準誤差, F 值를 구하여 相關係數가 크고 殘差의 標準誤差가 적고 F 值가 큰 것을 適合式으로 하여 選定한 바 다음과 같다.

(1) 林分形狀高 推定式

林分形狀高는 1 變數에서 林分平均直徑은 $Y = x / (a + bx)$ 型인 $FH = D / (1.5070 + 0.0981 D)$, 林分平均樹高에 의한 推定式은 $Y = ax^b$ 型인 $\log FH = 0.0116 + 0.6601 \log H$, 2 變數式으로는 林分平均直徑과 林分平均樹高에 의한 推定式은 $Y = ax_1^b x_2^c$ 型인 $\log FH = 0.0176 + 0.2208 \log D + 0.4352 \log H$ 등의 3 가지 式을 適合式으로 選定하였다.

(2) 形狀斷面積 推定式

形狀斷面積 推定式은, 먼저 斷面積樹高에 의한 1

變數式은 $Y = ax^b$ 型인 $\log FG = 0.1777 + 0.4817 \log GH$ 式이, 다음에 ha 當 斷面積과 林分平均樹高의 2 變數式은 $Y = ax_1^b x_2^c$ 型인 $\log FG = -0.0882 + 0.8128 \log G - 0.0001 \log H$ 式 등의 2 가지 式을 適合式으로 選定하였다.

(3) 林分形數 推定式

林分平均直徑, 林分平均樹高, 斷面積樹高, 林分形狀高, 林令, 樹幹距離에 의한 1 變數推定式은 $Y = x / (a + bx)$ 型인

$$F = D / (-7.9808 + 2.6318 D)$$

$$F = H / (-4.6576 + 2.5427 H)$$

$$F = GH / (-43.7052 + 2.3605 GH)$$

$$F = FH / (-2.2000 + 2.5633 FH)$$

$$F = A / (-10.9880 + 2.5310 A)$$

$$F = Di / (-1.5926 + 2.6241 Di)$$

2 變數推定式은 林分平均直徑과 林分平均樹高, 林分平均直徑과 林分形狀高, 斷面積樹高와 樹幹距離에 의한 推定式은

$$Y = ax_1^b x_2^c$$

$$\log F = -0.0792 - 0.1594 \log D - 0.0470 \log H$$

$$\log F = -0.0975 - 0.2080 \log D + 0.0381 \log FH$$

$$\log F = -0.0790 - 0.0767 \log FH - 0.1232 \log Di$$

式 등 모두 9 가지 式을 適合式으로 選定하였다.

2) 異常資料의 棄却

앞의 林分材積表 調製에서 說明한 바와 같이 同一한 方法으로 林分材積表 調製에 合해서 記하였다.

3) 各 推定式의 再計算

23 個를 棄却한 후 나머지 141 個를 가지고 各因 子別 推定式을 再計算한 結果는 Table 6 과 같다.

林分形狀高, 林分形狀 斷面積은 1 變數나 2 變數 모두 精度面에서 서로 비슷하였으나 林分形數는 1 變數가 2 變數보다 相關係數, F 値는 높으나 殘差의 標準誤差와 推定誤差率은 적은 경향을 보이고 있다. 即 林分形狀高의 推定誤差率은 1 變數式은 7.86%~10.28%, 2 變數式은 8.46%, 形狀斷面積의 推定誤差率은 1 變數式은 12.64%, 2 變數式은 9.34%이 있으며 林分形數의 推定誤差率은 1 變數式은 5.48%~8.14%, 2 變數式은 4.34%~6.82%이었다. 따라서 最終決定式은 推定誤差率이 10%未滿인 式을 다음과 같이 林分形狀高에 2 가지 式, 形狀斷面積에 1 가지 式, 特히 林分形數는 各式 모두 推定誤差率이 10% 以下로 精度가 높지만 使用上의 便宜와 複雜性을 피하기 위하여 3 가지 式만을 最適式으로 決定하였다.

Table 5. Stand volume table by basal area and stand average height.

(Unit : m³)

Stand average height (H)	Basal area (G)															
	10 m ²	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
5m	27.94	32.32	36.55	40.66	44.67	48.59	52.42	56.19	59.90	63.55	67.15	70.70	74.20	77.67	81.09	84.48
6	33.11	38.30	43.31	48.18	52.93	57.58	62.13	66.59	70.99	75.31	79.58	83.78	87.94	92.04	96.10	100.11
7	38.22	44.21	50.00	55.62	61.10	66.46	71.72	76.88	81.95	86.94	91.86	96.72	101.51	106.25	110.93	115.57
8	43.29	50.07	56.62	62.99	69.20	75.27	81.21	87.06	92.80	98.45	104.03	109.52	114.95	120.32	125.62	130.87
9	48.30	55.87	63.18	70.29	77.22	83.99	90.63	97.15	103.56	109.87	116.09	122.22	128.28	134.27	140.19	146.05
10	53.28	61.63	69.70	77.54	85.18	92.65	99.97	107.16	114.23	121.19	128.05	134.82	141.51	148.11	154.64	161.10
11	58.23	67.35	76.17	84.73	93.09	101.25	109.25	117.11	124.84	132.44	139.94	147.34	154.64	161.86	169.00	176.06
12	63.15	73.04	82.60	91.89	100.94	109.80	118.48	127.00	135.37	143.62	151.75	159.77	167.69	175.52	183.25	190.92
13	68.03	78.69	88.99	99.00	108.75	118.30	127.64	136.82	145.85	154.74	163.50	172.14	180.67	189.10	197.44	205.69
14	72.89	84.31	95.35	106.07	116.53	126.75	136.77	146.60	156.27	165.79	175.18	184.44	193.58	202.62	211.55	220.39
15	77.73	89.91	101.68	113.11	124.26	135.16	145.84	156.33	166.64	176.80	186.80	196.68	206.43	216.06	225.59	235.02
16	82.55	95.48	107.97	120.12	131.96	143.53	154.88	166.01	176.96	187.75	198.38	208.86	219.21	229.45	239.56	249.57
17	87.34	101.02	114.25	127.09	139.62	151.87	163.87	175.66	187.24	198.65	209.90	220.99	231.95	242.77	253.48	264.07
18	92.12	106.54	120.49	134.04	147.25	160.17	172.83	185.26	197.48	209.51	221.37	233.07	244.63	256.05	267.34	278.51
19	96.87	112.05	126.71	140.97	154.86	168.44	181.76	194.83	207.68	220.33	232.81	245.11	257.26	269.27	281.14	292.89
20	101.61	117.53	132.92	147.86	162.41	176.69	190.65	204.36	217.84	231.11	244.20	257.10	269.85	282.45	294.90	307.22
21	106.34	122.99	139.09	154.74	169.99	184.90	199.51	213.86	227.97	241.86	255.55	269.06	282.39	295.58	308.61	321.50
22	111.04	128.44	145.25	161.59	177.51	193.09	208.35	223.33	238.06	252.57	266.86	280.97	294.90	308.66	322.27	335.74
23	115.74	133.87	151.39	168.42	185.02	201.25	217.15	232.77	248.12	263.24	278.14	292.84	307.36	321.71	335.89	349.93
24	120.42	139.28	157.51	175.23	192.50	209.38	225.93	242.18	258.16	273.88	289.39	304.68	319.79	334.72	349.47	364.08
25	125.08	144.68	163.62	182.02	199.96	217.50	234.69	251.58	268.16	284.50	300.60	316.49	332.18	347.69	363.02	378.19

Table 6. Superior estimated equation on stand form height(FH), form basal area(FG), and stand form factor (F)

Relation of factor	Estimated equation	Correlation coefficient	Standard error of residuals	F-value	Percentage of estimated error on each equation
D.B.H. : Stand form height	$FH = \frac{D}{1.5205 + 0.0994D}$	0.8929	0.6799	546.43	7.86%
Stand average height : Stand form height	$\log FH = 0.0797 + 0.5928 \log H$	0.8447	0.6970	346.04	10.28
D.B.H., Stand average height : Stand form height	$\log FH = 0.0451 + 0.2429 \log D + 0.3474 \log H$	0.8848	0.6034	248.88	8.46
Basal area height : Stand form basal area	$\log FG = -0.1233 + 0.4575 \log GH$	0.8823	1.7512	488.25	12.64
Basal area, Stand average height : Stand form basal area	$\log FG = -0.0380 + 0.7758 \log G + 0.0066 \log H$	0.9293	1.5464	436.74	9.34
D.B.H. : Stand form factor	$F = \frac{D}{8.3538 + 2.6652D}$	0.9876	0.0396	5479.71	5.80
Stand average height : Stand form factor	$F = \frac{H}{-5.1697 + 2.6013H}$	0.9735	0.0343	2515.71	5.57
Basal area height : Stand form factor	$F = \frac{GH}{-49.5442 + 2.3971GH}$	0.9896	0.0849	6581.31	8.14
Age : Stand form factor	$F = \frac{A}{-10.7022 + 2.5411A}$	0.9801	0.0376	3392.01	6.06
Stand form height : Stand form factor	$F = \frac{FH}{-3.1256 + 2.7611FH}$	0.9565	0.0355	1494.40	5.48
Stem distance : Stand form factor	$F = \frac{Di}{-1.6061 - 2.6424Di}$	0.9766	0.0375	2360.26	6.82
D.B.H., Stand average height : Stand form factor	$\log F = -0.0669 - 0.1511 \log D - 0.0712 \log H$	0.7962	0.0281	119.46	4.40
D.B.H., Stand form height : Stand form factor	$\log F = 0.0870 - 0.1916 \log D - 0.0095 \log FH$	0.7846	0.0290	110.52	4.58
Basal area height, Stem distance : Stand form factor	$\log F = -0.0634 - 0.0848 \log GH - 0.1224 \log Di$	0.8004	0.0279	122.99	4.34

$$FH = D / (1.5205 + 0.0994 D)$$

$$\log FH = 0.0451 + 0.2429 \log D + 0.3474 \log H$$

$$\log FG = -0.0380 + 0.7758 \log G + 0.0066 \log H$$

$$F = H / (-5.1697 + 2.6013 H)$$

$$F = FH / (-3.1256 + 2.7611 FH)$$

$$\log F = -0.0634 - 0.0848 \log GH - 0.1224 \log Di$$

Table 7. Stand form height(FH)table(I)

D. B. H.	Form height (FH)
2 cm	1.163m
4	2.085
6	2.834
8	3.455
10	3.977
12	4.423
14	4.808
16	5.143
18	5.439
20	5.700
22	5.934
24	6.144
26	6.334
28	6.506
30	6.663
32	6.807
34	6.939
36	7.060
38	7.173
40	7.277
42	7.375
44	7.465
46	7.550
48	7.629
50	7.704

4) 各種表의 作成

앞에서 算出된 式에 의하여 林分形狀高表, 林分形狀斷面積表, 林分形數表 등을 作成한 結果는 Table 7, 8, 9, 10, 11 과 같다.

5) 各種表의 適合度

各種表의 推定誤差率은 다음과 같다. 林分形狀高表는 1變數表가 8.05%, 2變數表가 8.32%, 林分形狀斷面積表는 2變數表가 9.76%, 林分形數表는 1變數表가 5.39%, 5.58%, 2變數表가 4.30% 보 精度가 상당히 높음이 立證되었다. 여기서 實測值을 推定式에 適用하여 구한 誤差率보다 表를 사용하여 구한 값이 오차율이 커진 이유는 適用因子의 括約에 의한 적용 때문에 나타난 것으로 思料된다.

結 論

角算定 測定法으로 各種 測定因子에 의한 林分材積推定法을 研究檢討하는 同時에 이에 필요한 各種 表 調製에 관하여 究명한 結果는 다음과 같다.

1. 角算定 測定法에 의한 測定値와 標準地에서 調査한 實測值 사이에는 $Y=bx (b \approx 1)$ 의 回歸關係가 成立하였으며 이들 사이에는 有意差가 없었으므로 소나무 林에서 角算定 測定法에 의하여 林分材積을

Table 8. Stand form height(FH)table(II)

(Unit: m)

D. B. H.	Stand average height(H)															
	5 m	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
6cm	2.97	3.16	3.34	3.50	3.64	3.78	3.91	4.03	4.14	4.25	4.35	4.45	4.54	4.64	4.72	4.81
8	3.19	3.39	3.58	3.75	3.91	4.05	4.19	4.32	4.44	4.56	4.67	4.77	4.87	4.97	5.07	5.16
10	3.36	3.58	3.78	3.96	4.12	4.28	4.42	4.56	4.69	4.81	4.93	5.04	5.14	5.25	5.35	5.44
12	3.52	3.75	3.95	4.14	4.31	4.47	4.62	4.76	4.90	5.03	5.15	5.27	5.38	5.49	5.59	5.69
14	3.65	3.89	4.10	4.30	4.48	4.64	4.80	4.95	5.09	5.22	5.35	5.47	5.58	5.69	5.80	5.91
16	3.77	4.02	4.24	4.44	4.62	4.80	4.96	5.11	5.25	5.39	5.52	5.65	5.77	5.88	5.99	6.10
18	3.88	4.13	4.36	4.57	4.76	4.94	5.10	5.26	5.41	5.55	5.68	5.81	5.93	6.05	6.17	6.28
20	3.98	4.24	4.47	4.69	4.88	5.06	5.23	5.39	5.55	5.69	5.83	5.96	6.09	6.21	6.33	6.44
22	4.07	4.34	4.58	4.80	5.00	5.18	5.36	5.52	5.68	5.82	5.97	6.10	6.23	6.36	6.48	6.59
24	4.16	4.43	4.68	4.90	5.10	5.29	5.47	5.64	5.80	5.95	6.09	6.23	6.36	6.49	6.61	6.73
26	4.24	4.52	4.77	4.99	5.30	5.40	5.58	5.75	5.91	6.07	6.21	6.35	6.49	6.62	6.74	6.87
28	4.32	4.60	4.85	5.08	5.30	5.49	5.68	5.85	6.02	6.18	6.33	6.47	6.61	6.74	6.87	6.99
30	4.39	4.68	4.94	5.17	5.39	5.59	5.78	5.95	6.12	6.28	6.43	6.58	6.72	6.85	6.98	7.11
32	4.46	4.75	5.01	5.25	5.47	5.68	5.87	6.05	6.22	6.38	6.53	6.68	6.82	6.96	7.09	7.22
34	4.53	4.82	5.09	5.33	5.55	5.76	5.95	6.14	6.31	6.47	6.63	6.78	6.93	7.06	7.20	7.33
36	4.59	4.89	5.16	5.40	5.63	5.84	6.04	6.22	6.40	6.56	6.72	6.88	7.02	7.16	7.30	7.43
38	4.65	4.96	5.23	5.48	5.70	5.92	6.12	6.30	6.48	6.65	6.81	6.97	7.12	7.26	7.40	7.53
40	4.71	5.02	5.29	5.54	5.78	5.99	6.19	6.38	6.56	6.73	6.90	7.05	7.20	7.35	7.49	7.62

Table 9. Form basal area(FG)table.

(Unit : m²)

Stand height (H)	Basal area (G)															
	10m ²	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
5m	5.41	6.23	7.02	7.79	8.54	9.26	9.97	10.67	11.35	12.03	12.69	13.34	13.98	14.61	15.24	15.86
6	5.40	6.22	7.02	7.78	8.53	9.25	9.96	10.66	11.34	12.01	12.67	13.32	13.96	14.60	15.22	15.84
7	5.40	6.22	7.01	7.77	8.52	9.24	9.95	10.65	11.33	12.00	12.66	13.31	13.95	14.58	15.21	15.82
8	5.39	6.21	7.00	7.77	8.51	9.23	9.94	10.64	11.32	11.99	12.65	13.30	13.94	14.57	15.19	15.81
9	5.39	6.21	7.00	7.76	8.50	9.23	9.93	10.63	11.31	11.98	12.64	13.29	13.93	14.56	15.18	15.80
10	5.39	6.20	6.99	7.75	8.50	9.22	9.93	10.62	11.30	11.97	12.63	13.28	13.92	14.55	15.17	15.79
11	5.38	6.20	6.99	7.75	8.49	9.21	9.92	10.61	11.29	11.96	12.62	13.27	13.91	14.54	15.16	15.78
12	5.38	6.20	6.98	7.75	8.49	9.21	9.92	10.61	11.29	11.96	12.61	13.26	13.90	14.53	15.15	15.77
13	5.38	6.19	6.98	7.74	8.48	9.20	9.91	10.60	11.28	11.95	12.61	13.25	13.89	14.52	15.14	15.76
14	5.37	6.19	6.98	7.74	8.48	9.20	9.91	10.60	11.28	11.94	12.60	13.25	13.89	14.51	15.14	15.75
15	5.37	6.19	6.97	7.73	8.47	9.20	9.90	10.59	11.27	11.94	12.59	13.24	13.88	14.51	15.13	15.74
16	5.37	6.18	6.97	7.73	8.47	9.19	9.90	10.59	11.27	11.93	12.59	13.24	13.87	14.50	15.12	15.74
17	5.37	6.18	6.97	7.73	8.47	9.19	9.89	10.58	11.26	11.93	12.58	13.23	13.87	14.50	15.12	15.73
18	5.36	6.18	6.96	7.72	8.46	9.18	9.89	10.58	11.26	11.92	12.58	13.23	13.86	14.49	15.11	15.73
19	5.36	6.18	6.96	7.72	8.46	9.18	9.89	10.58	11.25	11.92	12.58	13.22	13.86	14.49	15.11	15.72
20	5.36	6.18	6.96	7.72	8.46	9.18	9.88	10.57	11.25	11.92	12.57	13.22	13.85	14.48	15.10	15.71
21	5.36	6.17	6.96	7.72	8.46	9.18	9.88	10.57	11.25	11.91	12.57	13.21	13.85	14.48	15.10	15.71
22	5.36	6.17	6.96	7.71	8.45	9.17	9.88	10.57	11.24	11.91	12.56	13.21	13.84	14.47	15.09	15.70
23	5.36	6.17	6.95	7.71	8.45	9.17	9.87	10.56	11.24	11.90	12.56	13.20	13.84	14.47	15.09	15.70
24	5.35	6.17	6.95	7.71	8.45	9.17	9.87	10.56	11.24	11.90	12.56	13.20	13.84	14.46	15.08	15.70
25	5.35	6.17	6.95	7.71	8.45	9.16	9.87	10.56	11.23	11.90	12.55	13.20	13.83	14.46	15.08	15.69

Table 10. Stand form factor(F)table(I).

Stand average height(H)	Form factor (F)	Stand form height(FH)	Form factor (F)	Stand average height(H)	Form factor (F)	Stand form height(FH)	Form factor (F)
4 m	0.764	2.2m	0.746	28	0.414	7.0	0.432
5	0.638	2.4	0.686	29	0.413	7.2	0.430
6	0.575	2.6	0.641	30	0.412	7.4	0.428
7	0.537	2.8	0.608			7.6	0.426
8	0.511	3.0	0.582			7.8	0.424
9	0.493	3.2	0.560			8.0	0.422
10	0.480	3.4	0.543				
11	0.469	3.6	0.528				
12	0.461	3.8	0.516				
13	0.454	4.0	0.505				
14	0.448	4.2	0.496				
15	0.443	4.4	0.488				
16	0.439	4.6	0.480				
17	0.435	4.8	0.474				
18	0.432	5.0	0.468				
19	0.429	5.2	0.463				
20	0.427	5.4	0.458				
21	0.425	5.6	0.454				
22	0.423	5.8	0.450				
23	0.421	6.0	0.446				
24	0.419	6.2	0.443				
25	0.418	6.4	0.440				
26	0.416	6.6	0.437				
27	0.415	6.8	0.435				

推定할 수 있다.

2. Dendrometer 로 測定이 可能한 因子을 利用한 結果, 가장 適合한 實驗式으로 1 變數式은 $Y = ax^b$ 型, 2 變數式은 $Y = ax_1^b x_2^c$ 型이며 林分材積式은 다음과 같다.

$$\log V = -0.0208 + 0.8497 \log GH$$

$$\log V = -0.0028 + 0.7981 \log G + 0.9313 \log H$$

3. 林分材積式에 의하여 作成된 林分材積表는 Table 4, 5 와 같으며 表에 의한 測定値와 實測值間의 推定誤差率은 1 變數林分材積表는 9.16%, 2 變數林分材積表는 8.50%로서 큰 差가 없었다.

4. 角算定測定法에 의한 林分材積 推定時 필요한 因子인 林分形狀高, 形狀斷面積, 林分形數 등을 求

Table 11. Stand form factor(F) table(II)

Stem distance (Di) Basal area height(GH)	1.5m	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0
	40m ³	0.601	0.581	0.565	0.553	0.542	0.533	0.526	0.519	0.513	0.508	0.503	0.498	0.494
80	0.567	0.547	0.533	0.521	0.511	0.503	0.496	0.489	0.484	0.479	0.474	0.470	0.466	0.462
120	0.548	0.529	0.515	0.503	0.494	0.486	0.479	0.473	0.467	0.462	0.458	0.454	0.450	0.446
160	0.535	0.516	0.502	0.491	0.482	0.474	0.467	0.461	0.456	0.451	0.447	0.443	0.439	0.436
200	0.525	0.507	0.493	0.482	0.473	0.465	0.459	0.453	0.448	0.443	0.439	0.435	0.431	0.427
240	0.517	0.499	0.485	0.475	0.466	0.458	0.452	0.446	0.441	0.436	0.432	0.428	0.424	0.421
280	0.510	0.492	0.479	0.468	0.460	0.452	0.446	0.440	0.435	0.430	0.426	0.422	0.419	0.415
320	0.504	0.487	0.474	0.463	0.455	0.447	0.441	0.435	0.430	0.426	0.421	0.417	0.414	0.411
360	0.499	0.482	0.469	0.459	0.450	0.443	0.436	0.431	0.426	0.421	0.417	0.413	0.410	0.407
400	0.495	0.478	0.465	0.455	0.446	0.439	0.433	0.427	0.422	0.418	0.413	0.410	0.406	0.403
440	0.491	0.474	0.461	0.451	0.442	0.435	0.429	0.424	0.419	0.414	0.410	0.406	0.403	0.400
480	0.487	0.470	0.458	0.448	0.439	0.432	0.426	0.420	0.416	0.411	0.407	0.403	0.400	0.397
520	0.484	0.467	0.455	0.445	0.436	0.429	0.423	0.418	0.413	0.408	0.404	0.401	0.397	0.394
560	0.481	0.464	0.452	0.442	0.433	0.426	0.420	0.415	0.410	0.406	0.402	0.398	0.395	0.392
600	0.478	0.461	0.449	0.439	0.431	0.424	0.418	0.413	0.408	0.403	0.399	0.396	0.393	0.389
640	0.475	0.459	0.447	0.437	0.429	0.422	0.416	0.410	0.406	0.401	0.397	0.394	0.390	0.387
680	0.473	0.457	0.444	0.435	0.426	0.419	0.413	0.408	0.403	0.399	0.395	0.392	0.388	0.385
720	0.471	0.454	0.442	0.432	0.424	0.417	0.411	0.406	0.401	0.397	0.393	0.390	0.387	0.383
760	0.469	0.452	0.440	0.430	0.422	0.416	0.410	0.404	0.400	0.395	0.392	0.388	0.385	0.382
800	0.467	0.450	0.438	0.429	0.421	0.414	0.408	0.403	0.398	0.394	0.390	0.386	0.383	0.380
840	0.465	0.449	0.436	0.427	0.419	0.412	0.406	0.401	0.396	0.392	0.388	0.385	0.382	0.379
880	0.463	0.447	0.435	0.425	0.417	0.410	0.405	0.399	0.395	0.391	0.387	0.383	0.380	0.377
920	0.461	0.445	0.433	0.424	0.416	0.409	0.403	0.398	0.393	0.389	0.385	0.382	0.379	0.376
960	0.459	0.443	0.432	0.422	0.414	0.407	0.402	0.396	0.392	0.388	0.384	0.380	0.377	0.374
1000	0.458	0.442	0.430	0.421	0.413	0.406	0.400	0.395	0.390	0.386	0.383	0.379	0.376	0.373

할 수 있는 가장 適合한 推定式은 다음과 같다.

$$FH = D / (1.5205 + 0.0994 D)$$

$$\log FH = 0.0451 + 0.2429 \log D + 0.3474 \log H$$

$$\log FG = -0.0380 + 0.7758 \log G - 0.0066 \log H$$

$$F = H / (-5.1697 + 2.6013 H)$$

$$F = FH / (-3.1256 + 2.7611 FH)$$

$$\log F = -0.0634 - 0.0848 \log GH - 0.1224 \log Di$$

5. 林分形狀高表를 作成한 結果는 Table 7, 8과 같으며 推定誤差率은 林分平均直徑에 의한 1變數表가 8.05%, 林分平均直徑과 林分平均樹高에 의한 2變數表는 8.32%이었다. 그리고 斷面積과 林分平均樹高의 2變數에 의한 形狀斷面積表를 作成한 結果는 Table 9와 같으며 推定誤差率은 9.76%이었다.

또한 林分形數表를 作成한 結果는 Table 10, 11과 같으며 推定誤差率은 林分平均樹高, 林分形狀高에 의한 1變數表가 각각 5.58%, 5.39%, 斷面積樹高와 樹幹距離에 의한 2變數表는 4.30%이었다.

引用文獻

1. Birth, E.E.1977, Horizontal line sampling in upland hard woods. Jour.For. 75 : 590-591.
2. Bitterlich, W.1947, Die Winkelzählmessung. Allg.Forst-U Holzwirth 58 : 94-96.
3. Grosenbaugh, L.R.1952. Plotless timber estimates.....new, fast, easy. Jour. For.50 : 32-37.
4. Grosenbaugh, L.R.and W.S.Stöver 1957, Point-Sampling compared with plot-sampling in Southeast Texas. For.Sci. 3 : 2-14.
5. 平田種男 1955, Bitterlich法による樹高推定. 日林誌37(11) : 479-480.
6. 樋渡ミヨ子, 1971. fh表と fg表の 作成に關する研究. 日林誌研報 242 : 21-89.
7. 金甲德, 1963, 빗타리히씨 법에 대하여 Seoul

- Nat. Univ. Jour. Biol. and Agr. Series (5)13: 37-52.
8. 金錫權, 李興均, 李麗夏. 1983, 林分形狀高에 의한 林分材積推定에 關한 研究. 韓林誌 31: 15-19.
 9. 北村昌美. 1968, 一致高和による 林分材積の簡易推定法. 日林誌 50(11): 301-335.
 10. 李興均, 俞鎮禹, 金思日. 1980. 林分 材積表調製에 關한研究(其二). 林試研報 27: 53-90.
 11. Masuyama, M. 1953. A rapid method of estimating basal area in timber survey. Sankhya 12: 291-302.
 12. 藥袋次郎. 1982, 林分形數表の作成方法について. 日林試研報 318: 129-144.
 13. 西川匡英等 4人. 1971, プロットサンプリングとプロットレスサンプリングの精度比較. 日林試研報 242: 103-114.
 14. 大隅眞一. 1964, Bitterlich法による 林分材積の推定に關する研究. 京都府立大學報(農學) 16: 42-87.
 15. _____. 1962. W.Z.P.による 林木分布の均質性の判定について. 日林講演集 72: 75-77.
 16. _____等6人. 1971, 森林計測學. 東京, 養賢堂 415pp.
 17. 大友榮松. 1968. 林縁効果のかたよりの補正と円柱體積推定について. 日林誌 50(4): 109-110.
 18. _____. 1971, 森林調査におけるプロットレスサンプリングの理論的研究. 日林試研報 241: 31-164.
 19. Prodan, M. 1953, Genauigkeit der winkelszählprobe nach Bitterlich. Allg. Forstztg 64: 96-100.
 20. Spurr, S.H. 1962. A Measure of point density. For. Sci. 8: 85-96.
 21. Strand, L. 1957, "Relaskopisk" hoyde-og Kubikk-masse bestmmelse. Norsk Skogbruk 3: 535-538.
 22. 高田和彦. 1962, 定角測高法による 材積推定の研究. 新潟大學演報 1: 1-50.
 23. Wensel, L.C., J. Levitan and K. Barber. 1980, Selection of basal factor in point sampling. Jour. For. 78: 83-84.
 24. 尹鍾和. 1982, 林分材積推定에 關한 研究. 江原大森林資源研報 2: 1-81.