

Strand法에 의한 林分材積推定에 관한 研究¹

李 興 均²

A Study on the Stand Volume Estimation by Strand Method¹

Heung Kyun Lee²

要 約

林分材積 推定法을 研究하기 위하여 京畿, 江原, 忠南北, 全北, 慶北地方의 落葉松調査地 380個所를 在來의 每木調査法인 標準地法으로 調査하고, 其中 20個所에서 덴드로메타, 스피겔 릴라스코프, 텔레리라스코프를 利用하여 Plotless Sampling의 一種인 Strand法으로 調査하여 分析한 結果 다음과 같은 結論을 얻었다.

1. 標準地法과 Strand法에 의한 林分材積 推定結果 有意성이 없었으며, 兩方法은 $Y=bx$ ($b \approx 1$)의 關係가 있었다.
2. 機械와 測定者, 密度와 機械, 傾斜와 機械間에도 有意성이 없었다.
3. 林分材積에 깊은 關係가 있는 第一 큰 因子는 斷面積 樹高이고, 다음으로 林分 形狀高, 平均樹高, ha當 斷面積의 順이었다.
4. 斷面積 樹高에 의한 林分材積式은 $\log V = -0.0375 + 0.8910 \log GH - 1.5946 1/GH$ 이었으며, 이 式에 의하여 林分材積表를 調製하였다.
5. 實測材積과 推定材積 關係도 $Y=bx$ ($b \approx 1$)의 關係가 있었고 推定誤差率은 4.5%였다.

ABSTRACT

This study was carried out to estimate the stand volume for Japanese larch (*Larix leptolepis*) by Strand sampling method.

The data collected for this study were based on the 380 sample plots from the field survey, which were distributed in the major part of Korea (Kyeonggi, Kangweon, Chungbuk, Chungnam, Chunbuk and Kyeongbuk), and the plotless sampling instrument such as dendrometer, spiegel relascope and tele-relascope were used.

The procedure for this study is summarized briefly as follows :

1. There were not only significant differences between volume estimation by Strand sampling method and that by plot survey method, and the relationship was $y=bx$, where b approached nearly 1.
Therefore, the stand volume of Japanese larch could be estimated by Strand sampling method.
2. The value measured by three different plotless sampling instruments did not show any significant differences between instruments and observers, density and instruments, and ground slope and instruments.
3. With the stand volume, basal area height showed the highest correlation and stand form height, average height, basal area per ha correlated with the volume in their orders.

¹ 接受 1991年 2月 27日 Received on February 27, 1991.

² 林業研究院 Forestry Research Institute, Seoul 130-010. Korea.

4. The best fitted equation of stand volume estimation with basal area height by relascope was as follow.
 $\log V = -0.0375 + 0.8910 \log GH - 1.5946 \frac{1}{GH}$
 Stand volume table also was obtained using the above estimated equation.
5. The relationship between estimated value and actual value was $Y = bx$, where b was nearly 1.
 The correlation coefficient was very high and the percentage of estimated error was 4.5%.

Key words : Strand method, basal area height, stand volume.

緒 論

林業經營의 合理的인 計劃을 세우는데 가장 重要한 基礎資料는 林分材積이라할 수 있다. 하지만 林地는 大部分이 奧地에 位置하고 있으며 그 面積은 尙大하고 地勢도 매우 險峻하기 때문에 林分材積을 精度높게 把握하기란 대단히 어려우며 또 많은 時間이 所要된다.

그러므로 될 수 있는 한 最小의 經費로 最大의 情報를 얻을 수 있는 能率의이고도 간편한 林分材積의 推定方法을 研究하는것은 매우 重要한 課題이다.

이 課題를 解決하기 위하여 林業 先進國에서는 迅速하고 簡便한 林分材積의 推定方法에 관해서는 오래전부터 研究를 거듭하여 마침내 Plotless Sampling이라는 새로운 方法을 開發하였다.

지금까지는 林分材積을 査定하기 위해서는 每木調査를 하여 材積을 算出하게됨으로 많은 時間과 勞力이 所要되었으나, Plotless Sampling에 의한 方法을 活用하게 되면 時間과 勞力을 最小로 節約하면서 迅速하게 Plot Sampling인 境遇와 같은 精度의 林分材積을 推定할 수 있다.

따라서 本 研究는 우리나라 主要樹種의 하나인 落葉松을 對象으로 하여 推定值精度의 差를 比較檢討하고 測定者間, 機械間, 密度間, 傾斜間의 有意差 有無를 綜合的으로 檢討하여 落葉松에서 Strand法을 活用할때 생기는 問題點을 究明코자 하였다.

노르웨이 Strand²³⁾는 點이 아니라 線上을 걸어서 測定하는 方法 즉 Line sampling을 考案하여 이 方法에 의해 斷面積樹高로 材積推定이 可能하다고 發表하였다.

大友^{5,6)}는 Plotless sampling의 一般理論을 確立하고 그에의해 새로운 L_1 法, L_2 法이라는 Plotless sampling法을 考案하고 一般理論에 의

해 Bitterlich法 平田-ESSED法, Strand法, L_1 法, L_2 法에 의해 ha當 材積圓柱體積, 斷面積, 本數等の 不偏推定值, 標本誤差의 推定方法을 理論的으로 찾아낼 수 있게 하였다.

高田^{16,17)}은 斷面積樹高 推定은 Strand法이 Kaibara法보다 材積이 적게 나타났으며 ha當 本數는 Bitterlich法에 의하여 推定하였을때 큰 誤差가 없다고 하였다. Spurr^{10,22)}는 美國 5大湖 附近의 Douglas fir林分에 대하여 1變數에서는 斷面積과 斷面積樹高가 林分材積推定을 상당히 良好하게 하였다고 하였다.

Birth는 Horizontal line sampling은 小經木測定이 困難하여 過大值를 주기쉽다고 하였고 Ginglich와 Grosenbaugh⁹⁾, Husch¹²⁾의 研究結果에 의하면 Horizontal line sampling은 적은 偏差를 주고 나무를 보는 視準線은 스스로 傾斜를 補正하기 때문에 便利한 方法이라고 하였다. 大隅⁴⁾ 大友⁵⁾는 Prodan이 獨逸에서는 一般的으로 Bitterlich法の 誤差는 各 項에서 생기는 誤差合은 9-10%가 된다고 하였고 Bitterlich에 의한 林分圓柱體(GH)를 直接 推定한후 林分形數를 使用하여 林分材積을 推定한바 있다.

日本 航測研究會^{7,21)}에서는 地方別 樹種別로 斷面積樹高와 材積은 直線的 關係가 있어 이의 한 式을 提示한 바 있고 Kerrich는 實測值와 推定值와의 差를 檢定하는데는 $Y = bx$ 式에 의한 法이 適合하다고 하였다.

李^{13,14)}도 소나무等 4樹種에 대하여 林分材積式을 研究한 結果 1變數일때는 樹高와 斷面積樹高였다.

尹²⁴⁾은 新型 Spiegel relascope의 使用法에 의하여 理論과 實際應用面을 說明하고 每木調査法과 스피겔리라스코프와 덴드로메타에 의한 材積推定結果 機械間의 差異가 없었으나 덴드로메타가 過大值를 준다고 하였다.

資料 및 方法

1. 資料

資料는 江原, 京畿, 忠南北, 全北, 慶南地方의 落葉松 林分에서 380個의 plot를 測定하여 plot내에서 胸高直徑, 樹高, ha當斷面積, ha當本數, ha當幹材積等을 測定하였으며 그 중에서 別途로 20個의 plot를 傾斜度別 密度別로 選定하여 每木 實測值와 比較하기 위하여 Dendrometer, Spiegel relascope, Telerelascope를 利用하여 Strand法으로 斷面積 樹高를 測定하였다.

2. 調査方法

(1) 標準地面積

各標準地面積은 40m×40m로 設定하였음.

(2) 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 實施한 後 平均 斷面積法에 의하여 算定하였다.

2) 林分平均樹高 (H)

Blumelieiss測高器로 直徑級別로 樹高를 測定하여 樹高曲線式을 誘導한 後 平均直徑에 該當하는 樹高를 林分 平均樹高로 하였다.

3) ha當 斷面積 (G)

每木調査를 한 後 圓面積 合計表에 의하여 ha當 斷面積을 算出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 算定한 平均樹高를 곱하여 算出하였다.

5) 林分 形狀高 (FH)

ha當 幹材積을 ha當 斷面積으로 나누어 算出하였다.

6) ha當 幹材積 (V)

現在 使用中인 立木幹材積表를 利用하여 每木 調査한 結果值로 算出하였다.

(3) Strand法에 의한 調査

標準地內에서 2個 地點을 指定하여 測定者 2人 이 3種의 機械로 林內에 一定한 線分(5π=15.71 m)을 늘이고 이線分을 따라 한쪽 方向의 나무에 直角이 되게 서서 一定한 臨界角(63° 30')으로서 視準할때 視準線보다 梢端이 위로 보이는 나무의 直徑을 測定하여 $\sum gh = d^2/10$ 으로 計算하는 Strang法으로 斷面積樹高(GH)를 測定 平均 하였다.

結果 및 考察

1. plot 測定法과 Strand法에 의한 測定者間 比較

(1) 測定者別 機械間 比較

測定者別 機械間 差를 檢定하기 위하여 20個所를 標準地法으로 調査한 後 各 標準地內 任意의 두 地點에서 Dendrometer, Spiegel relascope, Telerelascope를 使用하여 測定者 2人 즉 個人 別로 斷面積 樹高를 測定한 값間을 檢定한 結果 機械間 모두 有意性이 나타나지 않아 機械間 測定者間 測定值는 모두 差異가 없음을 알 수 있다.

(2) 傾斜度別 機械間 比較

傾斜度別 差異가 있는지 與否를 알아보기 위하여 傾斜를 15° 以下, 15-25°, 25° 以上으로 3區分하여 機械別 傾斜度別로 測定한 값을 檢定한 結果 傾斜度別로 機械間 測定值는 有意性이 없음이 立證되었다.

(3) 密度別 機械間 比較

各 plot의 林木密度 指數를 收穫表 林木密度指數曲線에서 求하여 密度級을 80% 以下, 80-100%, 100% 以上으로 3區分하여 機械別로 測定한 값間의 差를 檢定한 모두 密度別 機械間에 有意性이 나타나지 않았다.

따라서 密度別 機械間의 測定值는 모두 差異가 없음이 認定되었다.

(4) 實測置와 測定值間 比較

標準地에 대한 斷面積樹高 實測值子(GH)와 Spiegel relascope에 의하여 測定한 斷面積樹高 測定值 Y(GH)와의 關係는 原點을 지나고 直線 回歸式 Y=bx式으로 回歸를 求하고 t(b)檢定을 한 結果는 Table 1과 같다.

實測值와 測定值와의 回歸式에서 回歸係數가 모두 1에 가까웠으며 回歸係數 1에대한 t(b)檢定 結果 有意性이 없었고 또 實測值와 測定值의 T檢定 結果도 有意性이 없었다.

따라서 標準地法에 대한 實測值와 Strand法에 의한 測定值間에는 差가 없음이 立證되었다.

2. 林分材積表 調製

(1) 關係因子의 選定

林分材積을 推定함에 있어서 Strand法으로 測

Table 1. Test of goodness of fit for the measurments by Strand method.

Regression equation	NO.of plot	R ²	Standard error of residuals	t(b)	T-value
Y=1.00336X	20	0.984	15.7731	0.0218	0.2426

Y=Strand法으로 測定한 GH X=標準地에서 實測한 GH

定한 斷面積樹高 또 各 機械別로 測定이 可能한 林分平均樹高, ha當 斷面積, 林分形狀高가 林分材積과의 關聯性을 判斷하기 위하여 標準地法으로 測定한 380個의 資料를 使用하여 偏相係數를 求한 結果 Table 2와 같다.

Table 2에서 林分材積에 대한 偏相關係數는 斷面積樹高가 가장 關聯性이 높고 다음 林分形狀高, 林分 平均樹高, ha當 斷面積의 順으로 모두 關聯性이 相當히 높았다.

따라서 林分材積 推定式은 Strand法으로 測定할 수 있는 斷面積樹高만 가지고 林分材積表를 調製하기 위하여 推定式을 誘導하였다.

(2) 林分材積式 選定

斷面積樹高 즉 獨立變數 하나를 使用할 境遇에 8가지 實驗式을 適用하여 林分材積式을 誘導하고 決定係數, 殘差의 標準誤差, F值를 求한 結果는 Table 3과 같다.

Table 2. Relationship between stand volume and each factor.

Relation	Partial correlation coefficient
Stand average height : Stand volume	0.6720
Basal area : Stand volume	0.5857
Basal area height : Stand volume	0.9199
Stand from height : Stand volume	0.7861

Table 3에서 5番式 $\log V = 0.007 + 0.8753 \log GH - 2.6735 1/GH$ 이 決定係數가 0.9872로 가장 크고 殘差의 標準誤差는 10.693으로 가장 적어 適合한 式으로 選定하였다.

(3) 異常資料의 棄却

式의 精度를 더 높이기 위하여 異常資料를 棄却코자 plot別 實測值와 推定值의 殘差(誤差)를 求한 後 그 殘差가 適合式 殘差의 標準誤差보다 2倍 以上인 資料를 異常資料로하여 33plot를 棄却하였다.

(4) 林分材積推定式 再計算

33個를 棄却한 後 나머지 347個를 가지고 再計算한 結果 $\log v = -0.0375 - 0.8910 \log GH - 1.5946 1/GH$ 이었으며 決定係數가 0.9922로 좀 커졌고 殘差標準誤差는 7.483으로 相當히 적어졌다.

이 推定式에 대한 推定值와 實測值와의 推定誤差率을 求한 結果 3.92%로 相當히 적었다.

(5) 林分材積調製

위 式에 의하여 斷面積樹高를 10間隔으로 10-1200까지 調製한 結果 Table 4와 같다.

(6) 林分材積表의 適合度 檢定

林分材積表를 實際로 使用할時 推定誤差率을 求한 結果 4.47%였다.

또한 實測值와 林分材積值間의 關係를 Kerrich가 實測值와 推定值의 適合性을 比較, 檢討한데

Table 3. Estimated equation of stand volume by basal area height.

Observation equation	Estimated equation	R ²	Standard error of residuals	F value
Y = a + bX	V = 18.3831 + 0.4193 GH	0.9848	11.693	24,449.2
Y = ax ^b	$\log V = -0.0737 + 0.9037 \log GH$	0.9870	10.929	28,750.7
Y = ae ^{bx}	$\log V = 1.7604 + 0.0011 GH$	0.8520	61.187	2,146.0
Y = ae ^{-x}	$\log V = 2.4583 - 71.6185 1/GH$	0.8352	48.811	1,916.1
Y = aX ^b e ^{-x}	$\log V = 0.0077 + 0.8753 \log GH - 2.6735 1/GH$	0.9872	10.693	14,554.4
Y = X/(a + bx)	V = GH/(1.7495 + 0.0008 GH)	0.3006	12.827	162.5
Y = a + b/X	V = 257.8438 - 21154.9350 1/GH	0.5704	62.108	502.0
Y = a + bX + cX ²	V = 7.5570 + 0.8451 GH - 0.0001 GH ²	0.9860	10.849	14,230.2

Table 4. Stand volume table by basal area height.

Unit : m³/ha

Basal area height (GH)	Stand volume (V)	Basal area height (GH)	Stand volume (V)	Basal area height (GH)	Stand Volume (V)	Basal area height (GH)	Stand Volume (V)
10	4.94	310	150.37	610	276.45	910	395.60
20	11.02	320	154.74	620	280.51	920	399.49
30	16.81	330	159.10	630	284.57	930	403.37
40	22.39	340	163.44	640	288.61	940	407.25
50	27.82	350	167.77	650	292.65	950	411.13
60	33.13	360	172.08	660	296.69	960	414.99
70	38.34	370	176.38	670	300.71	970	418.86
80	43.47	380	180.67	680	304.73	980	422.72
90	48.53	390	184.95	690	308.75	990	426.58
100	53.52	400	189.21	700	312.76	1000	430.43
110	58.46	410	193.46	710	316.76	1010	434.28
120	63.35	420	197.71	720	320.75	1020	438.13
130	68.20	430	201.94	730	324.74	1030	441.97
140	73.00	440	206.15	740	328.72	1040	445.80
150	77.76	450	210.36	750	332.70	1050	449.64
160	82.49	460	214.56	760	336.67	1060	453.47
170	87.19	470	218.75	770	340.64	1070	457.29
180	91.85	480	222.93	780	344.60	1080	461.11
190	96.49	490	227.10	790	348.55	1090	464.93
200	101.10	500	231.26	800	352.50	1100	468.74
210	105.68	510	235.41	810	356.44	1110	472.55
220	110.24	520	239.55	820	360.38	1120	476.35
230	114.78	530	243.68	830	364.32	1130	480.16
240	119.30	540	247.81	840	368.24	1140	483.95
250	123.79	550	251.92	850	372.17	1150	487.75
260	128.26	560	256.03	860	376.08	1160	491.54
270	132.72	570	260.13	870	380.00	1170	495.33
280	137.16	580	264.22	880	383.90	1180	499.11
290	141.58	590	268.30	890	387.81	1190	502.89
300	145.98	600	272.38	900	391.70	1200	506.67

Table 5. Test of goodness of fit for stand volume table value.

Regression equation	R ²	Standard error of residuals	t(b)	T-value
$\hat{V} = 0.9887 V$	0.9799	17.557	1.8347	0.9227

t 0.05 (df=346) = 1.96

使用한 原點을 지나는 直線回歸式 $Y=bx$ 式을 使用하여 回歸係數를 求하고 t(b)檢定을 한 結果 Table 5와 같다.

實測值와 材積表值와의 回歸式에서 回歸係數가 1에 가까웠으며 回歸係數 1에대한 檢定結果 有意性이 없었으며 實測值와 材積表值의 T檢定 結果도 有意性이 없었다.

따라서 正確하게 林分材積을 林分材積表를 使用하여 推定할수 있음이 立證되었다.

結 論

京畿, 江原, 忠南北, 全北, 慶北 6개 地域의 落葉松林을 對象으로 Plotless sampling의 一種인 Strand法에 의한 林分材積推定法에 關하여 研究한 結果는 다음과 같다.

1. Strand法에 의한 推定值와 標準地法에 의한 實測值 사이는 $Y=bx$ ($b=1$)의 回歸關係가 成立하였으며 이들 사이는 有意差가 없었으므로 落葉

松林中에서 Strand法으로 林分材積을 推定할 수 있다.

2. Strand法에 의하여 斷面積 樹高를 測定할 때 機械와 測定者間, 密度와 機械間, 傾斜와 機械間에는 有意性이 없었으므로 누구든지 아무곳이나 어떠한 機械를 使用하여도 實測値와 推定値 사이에는 有意的인 差가 없음을 알 수 있다.

3. Strand法으로 測定할 수 있는 斷面積樹高를 使用하여 林分材積을 求할 수 있는 林分材積式은 다음과 같다.

$$\log V = -0.0375 + 0.8910 \log GH - 1.5946 \frac{1}{GH}$$

4. 林分材積表에 의하여 調製된 林分材積表 Table 4와 같으며 推定値와 實測値間에는 $Y = bx$ ($b \approx 1$ $R^2 = 0.980$)의 回歸關係가 成立하였으며 推定誤差率은 4.47%이었다.

參 考 文 獻

1. Birth, E.E. 1977. Horizontal Line Sampling in Upland Hardwood, Jour. For. 75 : 590-591.
2. Bitterlich, W. 1947. Die Winkelzählmessung, Allg. Forst-U. Holzwirtschaft 58 : 94-96.
3. Bitterlich, W. 1949. Das Relaskop, Allg. Forst-U. Holzwirtschaft 60 : 41-42.
4. 大隅眞一. 1961. Bitterlich法による 林分材積의 推定에 關する 研究, 123pp.
5. 大友榮松. 1962. 피ittel리쯔히法について(1) 日林誌研報 122 : 145-150.
6. 大友榮松. 1971. 森林調査における 프로트레스 샘플링의 理論的 研究, 日林誌研報 241 : 31-164.
7. 佐藤義明. 1982. やさしい 測樹의 實務, 東京農業圖書(株) : 208pp.
8. Grosenbaugh, L.R. 1952. Plotless timber estimates-new, fast, easy, Jour. For. 50 : 30-37.
9. Grosenbaugh, L.R. 1955. Comments on 'Results of an investigation of the variable plot method of cruising'. Jour. For. 53 : 73-74.
10. Grosenbaugh, L.R. 1958. Point-sampling and line-sampling probability theory geometric implication, Synthesis U.S.D.A. For. Ser. South For. Exp. Stv. Occas. Pap. 160 : 1-34.
11. 航測研究會. 1965. 測定し易い新しい測高器 Dendromater 林業技術 281 : 26-30.
12. Husch, B. 1955. Results of an investigation of the variable plot method of cruising, Jour. For. 53 : 570-574.
13. 李興均·俞鎮禹·金思日. 1980. 林分材積表 調製에 關한 研究(其2), 林試年報 27 : 53-90.
14. 李興均·俞鎮禹. 1979. 林分材積表 調製에 關한 研究(其1), 林試研報 26 : 43-70.
15. Kerrich, J.E. 1966. Fitting the line $Y = ax$ When errors of observation are present in both variables, Amer. Stat. 20(1) : 2.
16. 高田和彦. 1960. 定角測定法における 標準抽出 について, 日林講演集 70 : 70-72.
17. 高田和彦. 1962. 定角測定法による 材積推定의 研究, 新潟大 演習林報告 1 : 1-50.
18. 平田種男. 1955. Bitterlich法による 樹高測定, 日本誌 37(11) : 479
19. 平田種男. 1959. 光學的 ユノメタ, 日林誌 41(5) : 178-179.
20. Prodan, M. 1953. Genauigkeit der Winkelzahl nach Bitterlich, Allg. Forst 64 : 96-100.
21. 山田茂夫·村松保男. 1973. 例解測樹의 實務. 東京地球出版(株) : 250pp.
22. Spurr, S.H. 1962. A measure of point density, For. Sci. 8 : 85-96.
23. Strand, L. 1957. 'Relakopisk' hoyde-og Kubikk-masse bestmmelse Norsk Skogbruk, 3 : 535-538.
24. 尹鍾和. 1982. 林分材積推定에 關한 研究-新型 Spiegel Relacope를 中心으로-江原大 林大 山林資源研究所, 森資研報 2 : 1-81.