

林分材積 推定에 關한 研究*1

李 麗 夏*2

Study on the Estimate of Stand Volume in the Pitch Pine Forest*1

Yeo Ha Lee*2

This survey was estimated under the ratio estimate such as single class method, simple random sampling method, compound ratio sampling method, separate ratio sampling method and average tree sampling method artificial forest pitch pine volume.

The following results were realized by the ratio estimates.

Methods of ratio estimation Volume.	Stand volume (m ³)	Difference with actual stand volumes (m ³)	Percentage to actual stand volume(%)	Error percentage(%)	Remark	
1. Single class method	22.0958	-4.9388	82.26	—	actual stand volume 27.8446m ³	
2. Simple random sampling method	27.2356 ±0.20396	-0.6090	97.12	0.76	95% confidence	
3. Stratified sampling	(1) compound ratio sampling method	26.2796 ±2.3216	-1.5650	94.38	8.80	"
	(2) separate ratio sampling method	24.2305 ±0.0078	-3.6081	87.04	0.03	"
	(3) average tree sampling method	29.8492 ±2.0310	+2.20046	107.20	6.71	"

At the above table simple random sampling method and compound ratio sampling method are the only ones which is included the actual stand volume in the ratio estimated stand volume.

It is thought that the sampling was in a such good result was because of stand structural stands were simple forest.

The most simple measurement and calculation on the stand volume estimates, in order, would be (1) single class method, (2) simple random sampling method (3) average tree method (4) separate ratio sampling method and compound ratio sampling method, and at the planted evenaged forest the method has realized the best results in obtaining good accuracy and the measure stand volume with least time, expenses and labor in considerably.

本試驗은 리기다소나무 人工單純林에 있어서 林分材積推定을 單級法 單純任意抽出法 複合比推定法 分離比推定法 標準木比推定法 등의 方法으로 調査比較한 것이다.

比推定에 의하여 얻은 結果는 表 8과 같아 實際林分材積이 推定林分材積內에 包含되어 있는 것은 單純任意抽出法과 複合比推定法이다.

單純任意抽出法이 좋은 結果를 갖어온 것은 林分の 構成狀態가 單純同齡林이기 때문이라 推測된다.

*1 Received January 16, 1973

*2 建國大學校 農科大學, College of Agriculture, Konkuk University, Seoul

推定時 測定이나 計算이 간편한것은 (1) 單級法 (2) 單純任意抽出法 (3) 標準木比推定法 (4) 分離比推定法 (5) 複合比推定法の 順으로 되어 精度面이나 實際林分 材積 測定時 時間經費 勞力을 比較的 적게 들이고 測定할 수 있는 方法은 적어도 人工-齊林에서는 單純任意抽出法이 가장 좋은 結果를 가져왔다고 본다.

緒 論

森林材積測定에 대한 精度는 全體調査에 의한 方法이 가장 높다고 할 수 있으나 大面積에 대한 森林調査時는 이와 같은 全體調査는 實際에 있어서 不可能하므로 林業經營上 經濟面을 考慮하여 小面積에 精度만을 生擧하여 必要以上の 時間과 經費 및 勞力을 消費하면서 까지 測定할 必要는 없다고 본다.

大部分의 林分材積測定은 從來 標準地內 林木중 數本の 標準木을 選定하여 全林材積을 推定하여 왔고 現在에도 이와 같은 標準木法을 應用하고 있다.

그러나 標準木法은 많은 誤差를 內包하고 있으면서 誤差에 대한 檢定이 不可能하기 때문에 標準木法의 無用論을 金(1963) 木梨(1952) 등 여러 사람에 의하여 主唱되고 있음은 當然한 일이다.^(4,5) 現在까지 實施되고 있는 理由는 過去の 習慣上의 問題도 있겠으나 材積測定이 簡單한데 比하여 誤差推定을 하는 sampling 法은 Yates(1949)가 指摘한 바와 같이 複雜한 計算을 必要로 하기 때문에⁽¹⁾ 이를 回避하는 傾向도 없지 않다.

따라서 本調査는 從來부터 實施하여 오고있는 標準木法과 몇가지 推定法과 比較하고자 하는것이며 이러한 研究는 西澤(1958) 등에 의하여 實行되고 있다.⁽⁶⁾

標準木法은 林分材積을 測定할 경우 標本의 斷面積과 材積의 比를 利用하여 既調査된 一定한 標準地內의 林木에 대한 斷面積合計를 利用하여 比推定의 方法으로 材積을 推定하고있으나 이는 標本을 選定할 때에 平均斷面積에 近似한 林木을 選定하여 材積을 查定하므로 任意로 標本을 抽出하여 推定하는 標準木法과는 差異가 있는것이다.

따라서 本조사에서는 有意的인 選定을 전제로하는 標準木法인 單級法과 林分構成與否를 無視하고 抽出하는

任意抽出法 및 林分の 構成을 調査하여 層化한 3가지 層化抽出法으로 既發表된 資料를 利用 그 材積을 調査하고 그의 精度面을 調査하였다.^(2,3,8,9)

推定은 比較的 林分調査가 容易한 Ulrich II 法을 適用 比較하였는데 이를 다시 複合比推定과 分離比推定 및 標準木推定法으로 나누어 林分材積을 推定한 것이다.

材料 및 方法

1. 材 料

供試木은 建國大學校 長安洞 校有林에 設置된 固定標準地 0.33ha內의 339本으로 18年生인 리기다松 全林木을 對象으로 調査한 것이다.

本校有林은 壤土 乃至 精質의 土壤으로서 土深이 깊고 傾斜가 緩하고 東南向 方位인 林分이다.

本標準地는 樹冠의 競爭이 甚하여 間伐을 要하는 곳이다.

2. 調査方法

固定標準地 0.33ha內의 全林木 339本을 對象으로 ① 標準木法인 單級法(平均木 1本選定) ② 單純任意抽出法(標準木 62本) ③ 層化推定法으로 調査된 林分材積을 比較하는데 層化推定法은 이를 다시 i) 複合比推定法(4 classes, sample tree 20本) ii) 分離比推定法(4 classes, sample tree 20本) iii) 標準木推定法(4 classes, sample tree 20本) 등과 같은 方法으로 推定한 結果值과 上記 林分에서 既調査發表된⁽⁶⁾ 林木材積式 $\log V = \log 0.000058 + 1.8 \log D + 1.1 \log H$ 에 의하여 計算된 材積과에 대한 精度를 比較하였다.

每木調査에서 얻은 結果로서 材積式에 依한 材積을 求하여 보면 表 1과 같다.

Table 1. Table of tree number, basal area and volume in pitch pine forest

D.B.H. (cm)	Number of tree	Basal area (m ²)	Sum of basal area (m ²)	Volume of single tree (m ³)	Sum of volume (m ³)	Remarks
4	6	0.001256	0.007536	0.0024	0.0144	Stand area : 0.33ha
6	10	0.00283	0.02830	0.0074	0.0740	
8	17	0.00503	0.08551	0.0156	0.2652	
10	30	0.00788	0.2364	0.0277	0.8310	
12	45	0.01131	0.50895	0.0445	2.0025	

14	67	0.01539	1.03113	0.0651	4.3617
16	59	0.02011	1.18649	0.0887	5.2333
18	45	0.02545	1.14525	0.1163	5.2335
20	35	0.03142	1.09970	0.1463	5.1205
22	20	0.03801	0.76020	0.1822	3.6440
24	5	0.04524	0.22620	0.2129	1.0645
total	339		6.00147		27.8446

結果 및 考察

1. 單級法

表 1의 全林胸高斷面積合計에 의하여 平均胸高直徑 15cm의 林木 1本을 選定하여 區分求積한 單木材積은

$$0.06761\text{m}^3 \text{로 全林材積} = \frac{y_i}{x_i} \cdot X = \frac{0.06761}{0.017703} \times 6.00147$$

$$= 22.9058\text{m}^3$$

따라서 全林材積 22.9058m³은 表 1의 全林材積 27.846m³에 比할때 4.9388m³가 적으며 이는 實地材積

의 82.26%에 지나지 않으므로 큰 差異가 있다.

2. 單純任意抽出法

全林本數 339本の 林木을 各各 一連番號를 부여 이 중 62本을 random sampling하여 얻은 結果는 表2와 같다.

이 表에 의하여,

$$Y_R = \frac{\sum y_i}{\sum x_i} \cdot X = \frac{3.44806}{0.92793} \times 7.3084 = 27.2356\text{m}^3$$

信賴限界를 定하기 爲하여 Y_R의 分散 S_{Y_R}²을 計算하면 다음과 같다.

$$\sum y_i^2 = 1.3544214842$$

Table 2. Volume table of sample tree

No.	D.B.H. (cm)	Number of tree	Height (m)	Basal area (m ²) x _i	Volume (m ³) y _i	Remarks
1	6.0	1	4.8	0.00283	0.00819	62 among 339
2	6.5	3	5.0	0.00996	0.02970	
3	9.0	3	5.7	0.01908	0.06159	
4	9.5	4	5.8	0.02836	0.09228	
5	11.5	6	6.3	0.06234	0.21384	
6	13.0	8	6.7	0.10616	0.38400	
7	13.5	8	6.8	0.11448	0.41376	
8	14.5	9	7.2	0.14859	0.56376	
9	15.5	7	7.4	0.13209	0.50960	
10	16.0	6	7.6	0.12066	0.47622	
11	17.0	3	7.8	0.06810	0.27330	
12	18.5	3	8.0	0.08064	0.27732	
13	21.0	1	8.4	0.03464	0.14450	
	total	62		0.92793	3.44806	

$$\sum x_i^2 = 0.96023719$$

$$\sum y_i x_i = 0.3600978205$$

$$\hat{R}^2 = 13.8076898569$$

$$2R = 7.43174$$

$$\text{따라서 } \sum y_i^2 + \hat{R}^2 \sum x_i^2 - 2\hat{R} \sum y_i x_i = 0.004319$$

$$\text{또한 補正係數 } \frac{N(N-n)}{n(n-1)} = 24.833100$$

따라서 \hat{Y}_R 의 分散 $S^2_{Y_R} = 24.833100 \times 0.004139 = 0.109842409$ 5%의 risk로서 自由度 (62-1)=61의

t-value=2.00 이므로 全林材積은 95% 信賴限界로서 27.2356±0.20396 또한 誤差率 0.76%로 거의 無視해도 無關하다.

3. 層化推定法

Urlich II法에 의한 層化로 標本木法과 標準木法을 비교했는데 標本木法은 우선 Table 3과 같이 같은 本數를 갖는 直徑級으로 層化하여 複合比推定과 分離比推定으로 分離推定하기로 하여 Table 3을 作成했다.

Table 3. Stratification of Urich II Method

Diameter gradation	Diameter class	Number of tree	Sum of basal area	Diameter gradation	Diameter class	Number of tree	Sum of basal area
1	4	6	0.00754	3	14	5	0.07695
	6	10	0.02920		16	59	1.18649
	8	17	0.08551		18	21	0.54645
	10	30	0.23640		sum	85	1.80989 = X_3
	12	22	0.24882		18	24	0.61080
	sum	85	0.60747 = X_1	20	35	1.09970	
2	12	23	0.26013	4	22	20	0.76020
	14	62	0.95418		24	5	0.22620
	sum	85	1.21431 = X_2		sum	84	2.69690 = X_4
					Total	339	6.32857 = X

1) 複合比推定法

은 統計量은 Table 4 및 Table 5와 같다.

Table 3에 의하여 各階級別로 標本木을 抽出하여 얻

Table 4. Volume table of sample trees by Urich II method

Diameter gradation (h)	D.B.H. (cm)	Height (m)	Basal area (x_{hi})	Volume (y_{hi})	Diameter gradation (h)	D.B.H. (cm)	Height (m)	Basal area (x_{hi})	Volume (y_{hi})
1	6.5	5.0	0.0032	0.00990	3	14.5	7.2	0.01651	0.06264
	9.0	5.7	0.00636	0.02053		15.5	7.4	0.01887	0.07280
	9.5	5.8	0.00709	0.02307		16.0	7.6	0.02011	0.07937
	11.5	6.3	0.01039	0.03564		17.0	7.8	0.02270	0.09110
	11.5	6.3	0.01039	0.03564		17.5	7.8	0.02405	0.09147
	sum		0.03755	0.12478	sum		0.10224	0.39738	
2	12.0	6.5	0.01131	0.03924	4	18.0	7.8	0.02545	0.09204
	12.5	6.6	0.01227	0.04428		18.5	7.8	0.02688	0.09244
	13.0	6.7	0.01327	0.04800		20.0	8.2	0.03142	0.14023
	13.5	6.8	0.01431	0.05172		21.0	8.4	0.03464	0.14450
	13.5	6.8	0.01431	0.05172		21.0	8.4	0.03464	0.14472
	sum		0.06547	0.23496	sum		0.15303	0.61393	

表의 統計量에 의하여 林分材積 \hat{Y}_c 는

$$\hat{Y}_c = \frac{\sum N_k \bar{y}_k}{\sum N_k \bar{x}_k} X = 26.27964 \text{m}^3$$

risk 5% 自由度(20-4)=16의 t-value=2.12

$S\hat{y}_c = 1.0951$ 으로 95% 信賴度로서 全林材積에 대한 信賴限界는,

26.27964 ± 2.3216, 誤差率 8.8%이며 實際林分材積에 대한 比는 94.38%로서 높다.

Table 5. Statistics table of sample tree by Urich II method

h	Nh	nh	$\sum x_{hi}$	$\sum y_{hi}$	$\sum x^2_{hi}$	$\sum y^2_{hi}$	$\sum yx_{hi}$
1	85	5	0.03755	0.12478	0.0014100025	0.0155700484	0.0046854890
2	85	5	0.06547	0.23496	0.0042863209	0.0552062016	0.0153828321
3	85	5	0.10224	0.39738	0.0104530176	0.1579108644	0.0406281312
4	84	5	0.15303	0.61393	0.0234181809	0.3769100449	0.0939497079
Total	339	20					

	$\bar{x}_h = \Sigma x_h / nh$	$\bar{y}_h = \Sigma y_{hi} / nh$	$N_h \bar{x}_h$	$N_h \bar{y}_h$	$\frac{Nh - nh}{nh(nh - 1)}$	$\frac{\Sigma y_{hi}^2 + \hat{R}^2 \Sigma x_{hi}^2}{-2\hat{R} \Sigma y_{hi} x_{hi}}$	$S^2 \hat{y}_{hc}$
	0.00751	0.02496	0.63835	2.12160	4.00	0.0009701003	0.3298647
	0.01309	0.04699	1.11265	3.99415	4.00	0.0013660935	0.4644718
	0.02045	0.07948	1.73825	6.75580	4.00	0.0007385182	0.2510962
	0.03060	0.12278	2.5704	10.31352	3.95	0.0004636785	0.1539413
			6.06475	25.18422			1.1993740

2) 分離比推定

分離比推定은 複合比推定の 計算材料을 使用하여 層의 斷面積合計와 層마다의 比가 必要하므로 이에 대한 統計量 計算表는 Table 6과 같다.

下記表에 의하여

$$\hat{Y}_s = \Sigma_h \frac{\Sigma y_{hi}}{\Sigma x_{hi}} X_h = \Sigma \hat{R}_h X_h = 24.230526 \text{ m}^3$$

推定分散은

$$S_{\hat{Y}_s}^2 = 0.000001352$$

$$\therefore S \hat{Y}_{As} = 0.00367$$

Table 6. Statistic table by compound ratio sampling method

h	X_h	$\hat{R}_h = \Sigma y_{hi} / \Sigma x_{hi}$	$\hat{R}_h X_h$	$\frac{\Sigma y_{hi}^2 + \hat{R}_h^2 \Sigma x_{hi}^2}{-2\hat{R}_h \Sigma y_{hi} x_{hi}}$	$S^2 \hat{y}_{hs}$
1	0.60747	3.323036	2.018644	0.0000000001	0.0000000340
2	1.21431	3.588801	4.357916	0.0000000001	0.0000000340
3	1.80989	3.886731	7.034566	0.0000000001	0.0000000340
4	2.69690	4.011821	10.819400	0.0000000001	0.0000000342
Total	6.32857		24.230526		0.0000001352

따라서 複合比推定法과 같이 95%信賴度로 全林材積에 對한 信賴限界는,

$$24.230526 \pm 0.0077804$$

이때의 誤差率은 0.032%로 낮으며 實際材積에 對한 百分率은 87.4%이다.

3) 標準木推定法

表3을 基礎로 하여 各直徑階別 平均胸高斷面積을 計算하고 이에 의하여 各直徑階別 平均直徑을 다시 換算하여 이 數值에 近似한 標準木을 各直徑階別로 4本씩 選定하여 計 16本에 對한 材積을 調査하여 얻은 結果는

Table 7. Volume estimation table by average tree sampling method

Diameter gradation	Mean basal area	Average tree				Remark
		D.B.H. (cm)	Height (m)	Basal area (m ²) (x)	Volume (m ³) (y)	
1	B.A. = $\frac{0.60747}{85}$ = 0.007146 D.B.H. = 9.5~9.6	9.0	5.7	0.00636	0.02053	
		9.5	5.8	0.00709	0.02307	
		9.5	5.8	0.00709	0.02307	
		10.0	6.0	0.00788	0.02627	
		Total			0.02842	0.09294
2		13.0	6.7	0.01327	0.04800	
		13.5	6.8	0.0431	0.05172	
		13.5	6.8	0.01431	0.05172	
		14.0	7.0	0.01539	0.05701	
		Total			0.05728	0.20845

3		15.5	7.4	0.01887	0.07280
		16.0	7.6	0.02011	0.07937
		16.5	7.7	0.02138	0.07513
	Total	17.0	7.8	0.02270	0.09100
				0.08306	0.32840
4		19.5	8.2	0.02986	0.12320
		20.0	8.3	0.03142	0.13070
		20.1	8.3	0.03173	0.13190
		20.1	8.3	0.03173	0.13190
Total				0.09474	0.51770
Sum total				0.24350	1.14749

表 7과 같다.

上記表에 의하여,

$$\hat{Y} = \frac{\sum y}{\sum x} X = 29.8492066906m^3$$

95%의 信賴度로서 調査된 信賴限度는 29.8492±2.030 誤差率 6.71%, 實際材積에 對한 百分率 97.20%로 여러 方法중 가장 높다.

結 論

1. 林分材積測定은 全林을 直接 測定하는 것보다 標
2. 同一地域의 같은 林分에 대하여 既調査된 材積式

本에 의하여 全體를 推定하는 方法이 많이 採擇되고 있는 理由는 必要의 勞力을 節減하기 爲하여 實施되고 있으나 從來의 標準本法은 林分材積을 推定할 境遇 標本의 胸高斷面積과 材積의 比를 利用하여 全林에 對한 斷面積의 知識을 應用한 比推定의 方法을 採擇하고 있으나 標本選定時 平均直徑에 近似한 林木을 選定한 材積을 査定할 뿐이어서 標本木法과는 差異가 있어서 分散을 적게 할 標準木을 有意的으로 選定하기는 困難하므로 標本抽出誤差는 評價되지 못하고있다.

Table 8. Stand volume by methods of ratio estimation volume

Method of ratio estimation volume	Stand volume (m³)	Difference with actual stand volume (m³)	Percentage to actual stand volume(%)	Error percentage(%)	Remark	
1. single class method	22.9058	-4.9388	82.26	—	Actual stand volume = 27.8446m³	
2. simple random sampling method	27.2356±0.20396	-0.6090	97.12	0.76	95%confidence	
3 stratified sampling	① compound ratio sampling method	26.2796±2.3216	-1.5650	94.38	8.80	95%confidence
	② Separate ratio sampling method	24.2305±0.6078	-3.0081	87.04	0.03	95%confidence
	③ Average tree sampling method	29.8492±2.030	+2.20046	107.20	6.71	95%confidence

$V=0.00058D^{1.8}H^{1.1}$ 에 의하여 林分材積 27.8446m³와 여러 比推定에 의하여 求한 材積 및 誤差는 위 表 8과 같다.

上記 表에서 보는 바와 같이 單級法은 그의 誤差計算이 不可能하나 여러가지 推定方法中 材積이 가장 적은 22.9058m³로서 實際材積 27.8446m³의 82.26%에 지나지 않는 缺點은 있으나 材積推定에 있어서 測定이 다른 方法보다 簡便한 것이 特徵이라 하겠다.

其他의 推定法들은 95%의 信賴度로서 調査된 것으

로 實際材積과의 差異에 있어서는 單純任意抽出法 複合比推定法 標準木推定法 分離比推定法의 順序로 낮으며 標準木推定法은 過大值를 주는 反面 다른 方法들은 過少值를 나타내고 있다.

誤差率은 反對로 分離比推定法과 單純任意抽出法에 서는 1%以下이고 標準木推定法이 6.7% 複合比推定이 8.8%의 誤差率을 나타내고있다.

3. 西澤氏 外 2인이 日本삼나무에 대하여 發表한 것 을 보면 95%의 信賴度로 實際材積 120,658m³에 대하

여 標準木推定法에 의한 材積이 128,532m³로서 過大值를 나타내고 다른 方法들은 모두 過少值를 나타내고 있음은 本調査에서 밝힌바와 一致하나 誤差率에 있어서는 單級法이 1.3%(實際로는 信賴할수 없는)分離比推定法이 2% 複合比推定法이 3% 單純任意抽出法이 3.9% 標準木推定法이 4%의 順으로 되어있어 本調査에서 誤差率과 多少의 差異를 갖는 것은 삼나무林은 天然林을 對象으로 하고 本調査林은 人工林으로서 林分構造의 差異에 基因한 것으로 본다.

引用 文獻

1. Avery. 1967. Forest Measurements 125-138
2. Chapman, H.H. and Meyer, W.H. 1949. "Forest Mensuration", 466-500 McGraw-Hill Book Co. New York
3. 北海道有林課. 1953. 每木調査による偶然誤差についての實證的考察. 62回 日林講: 82-6.
4. 金甲德. 1963. 測樹學. 88-100. 郷文社
5. 木梨謙吉. 1952. 吉標準木法(標準木法の回歸の利用) 九大演報20號: 75-8.
6. 李麗夏. 1970. 리기다松 直徑連年成長量推定에 대한 考察. 建大學術誌 11誌: 739-48
7. 嶺一三. 1953. 林木團の階層における標本配布の基準について, 東大演報 4號: 46-9
8. 西澤正久. 1958. "森林測定法" 213-232
9. 西澤正久 外3人. 1957. ひのき固定標準地設定報告, 長野林友 7號: 17-9
10. 高田和彦. 1959. 最近の測樹學における林分材積調査法の傾向. 會報 62號: 15-8
11. Yates, F. 1949. "Sampling methods, for censuses and survey", Charles Griffin and Co. London: 37-42