

平均比 推定量에 의한 落葉松 立木 材積式의 地域 補正¹

申萬鏞² · 尹種和³ · 車斗松³

Local Correction of Tree Volume Equation for *Larix leptolepis* by Ratio-of-Means Estimator¹

Man Yong Shin², Jong Wha Yun³ and Du Song Cha³

要 約

현재 사용하고 있는 立木 材積表는 대부분 전국 공용으로 제작되어 있기 때문에, 특정 지역에 적용할 경우 재적을 過小 또는 過大 推定하는 문제점을 가지고 있다. 본 연구는 이러한 문제점을 가지고 있는 現存 낙엽송 재적표를 補正하여 특정 地域의 立木 材積 推定에 직접 適用할 수 있는 方法을 提示하였다. 이를 위하여 먼저 홍천지역의 낙엽송 標本資料에 대하여 推定模型을 이용하여 가장 適合한 재적식을 作成하고, 그 재적식으로부터 추정된 지역 재적과 전국 共用인 材積表의 값의 관계를 地方的 材積表 작성에 의한 直徑別 材積으로 比較하였다. 地域 補正을 위한 관계식은 平均比 推定量(ratio-of-means estimator)에 의하여 推定된 홍천과 전국의 낙엽송 재적의 平均比를 利用하여 提示하였다.

홍천 지역의 낙엽송 立木 材積은 平均比 推定量에 의하여 $V_{\text{홍천}}=1.078 V_{\text{재적표}}$ 로 推定할 수 있었다. 이 보정식은 既存의 材積表를 이용하여 간단하고 精密하게 홍천지역의 낙엽송 立木 재적을 직접 推定할 수 있는 것으로 判明되었다.

ABSTRACT

Current volume tables might underestimate or overestimate the volumes of individual trees in a specific region because the tables were made using the data from broad region. This study provides a statistical method of local correction, which is the ratio-of-means estimator, when the table is applied to the data from a specific region. Data used in this study were 411 trees of *Larix leptolepis* from Hongchon region. Five statistical models for individual tree volume equation were evaluated based on 3 evaluation criteria and the best equation fitted to the data from Hongchon region was selected. The volume estimated by the selected equation was then compared with the volume estimated by the current volume table.

From the ratio-of-means estimate based on the volumes estimated by selected equation and by current volume table, the local correction was made. The correction equation was $V_{\text{Hongchon}}=1.078 V_{\text{volume table}}$. It is also proved that the correction equation can simply and precisely estimate tree volumes of *Larix leptolepis* in Hongchon region using the current volume table.

Key words : ratio-of-means estimator, local correction, volume equation, model selection, evaluation statistic

¹ 接受 1995년 8월 30일 Recieved on August 30, 1995.

² 國民大學校 森林科學大學 College of Forest Science, Kookmin University, Seoul, 136-702, Korea.

³ 江原大學校 林科學大學 College of Forestry, Kangwon National University, Chuncheon, Kangwondo, 200-701, Korea.

I. 序 論

立木 材積의 推定은 합리적인 임분의 경영과 이를 위한 조림조치의 形態와 強度를 결정하는 매우 귀중한 기본자료이다. 이는 개별 임목이 모여 林分을 構成하고 경영을 위한 임분 단위의 재적은 결국 개별 임목의 재적에 의하여 결정되기 때문이다. 따라서 가능한 한도내에서 개별 임목의 재적은 精度(precision)를 높여 推定되어야 한다.

立木의 材積은 보통 그 임목의 胸高直徑(DBH), 樹高(H), 그리고 形數(F)를 포함하는 함수에 의하여 추정되어진다. 그러나 형수의 變異가 임목 재적에 미치는 영향은 흉고직경이나 수고의 變異가 재적에 미치는 영향보다 적고, 또한 樹種에 따라서는 임목의 크기에 관계없이 形數는 상대적으로 큰 차이가 없는 것으로 알려져 있어(Clutter 등, 1983) 흉고직경과 수고의 2변수만을 利用하여 재적을 추정하는 것이 일반적인 방법이다.

立木의 흉고직경과 수고의 2변수의 조합과 相應하는 재적의 관계를 究明하여 사용자의 편의를 위하여 표로 제작한 것이 일반적 재적표이다. 초기의 材積表는 흉고직경과 수고의 값과 상응하는 材積의 관계를 수작업에 의하여 그래프로 그리는 방법에 의존하여 製作되었으나(Chapman and Meyer, 1949; Bruce and Schumacher, 1950) 근래 컴퓨터의 발전과 확산, 그리고 통계 이론의 발달은 많은 標本 資料를 이용하여 좀 더 精度가 높은 개별 임목 재적식의 개발을 위한 分析과 統計의 기법의 適用을 가능하게 하였다.

현재 우리나라에서 사용하고 있는 몇가지 수종에 대한 재적표는 이러한 통계 모형 기법과 분석을 위한 컴퓨터의 사용이 일반화 되기 이전에 調製된 것으로 소나무를 제외하고는 모두 전국에 適用시키도록 調製되었다(산림청, 1981). 이러한 사실은 결과적으로 기존의 재적표가 전국 平均値를 나타내기 때문에 특정 지역의 재적을 추정하기 위하여 적용시킬 경우, 地域에 따라 統計적으로 인정할 수 없는 過小 또는 過大 추정치를 제공할 수도 있다. 결국 이는 林分 經營者의 입장에서 볼 때 경영의 가장 기본이 되는 자료가 不實한 것으로, 합리적인 經營計劃을 수립하는데 문제가 될 수도 있을 것으로 판단된다.

平均比 推定量(ratio-of-means estimator)은 回歸 推定量의 일종으로 標本調查에서 많이 사용되는 統計的 技法인데 이미 알고 있는 母集團(population)의 情報과 推定하고자하는 標本集團의 관계를 回歸에 의하여 究明하여 그 關係에 의하여 標本集團의 값을 推定하는 方法이다(Freese, 1962; Cochran, 1977). 따라서 平均比 推定量은 특정 지역의 材積을 기존의 材積表에 의하여 직접 推定하도록 補正式을 作成할 수 있는 統計的 方法이다. 현재 使用되고 있는 全國 共用的 材積表는 母集團의 情報로 利用되고, 이 材積表와 표본조사에 의하여 얻어지는 특정 지역의 立木 材積式과의 관계를 平均比 推定量에 의하여 究明하면 結局 既存의 材積表를 活用하여 직접 특정 지역의 材積을 推定할 수 있는 것이다.

本 研究는 既存의 材積表를 특정 지역에 대한 立木 材積의 추정에 직접 利用하기 위하여는 地域 補正이 필요한 現實에서, 기존의 材積表에 지역적 補正係數를 適用하여 기왕에 存在하는 재적표를 活用하여 地域적으로 精度가 높은 임목 재적을 추정할 수 있는 方案을 提示하기 위하여 實行되었다. 이를 위하여 강원도 홍천 지역의 낙엽송 標本資料를 利用하여 먼저 地域的 最適 材積式을 작성하고, 그 재적식으로부터 推定된 홍천 지역의 낙엽송 재적과 全國 適用인 낙엽송 立木 材積表와의 관계를 平均比 推定量에 의하여 推定함으로써 既存의 材積表를 補正하여 홍천 지역의 낙엽송 立木 材積을 精度 높게 추정할 수 있는 關係式을 提示하였다.

II. 材料 및 方法

1. 研究資料

本 研究의 목적을 달성하기 위하여 낙엽송 立木 材積表와 함께 낙엽송 標本資料가 利用되었다. 특정 지역의 最適 材積式을 작성하기 위한 표본자료의 수집은 강원도 홍천 지역에 植栽된 낙엽송 林分을 대상으로 하였다. 전체 411본의 낙엽송을 대상으로 地上 0.2m 부위에서 伐採한 후, 벌채된 지상 0.2m와 흉고부위인 1.2m, 그리고 지상 樹高 2m 부위부터는 1m 단위로 마지막 部分의 길이가 1m 이하가 될 때까지 直徑을 0.1 cm까지 測定하여 기록하였다. 한편 해당 임목의 樹高를 줄자로 0.1 m 단위까지 측정하였으

Table 1. Data summary for 411 trees of *Larix leptolepis* used in this study

Variable ¹	Minimum	Mean	Maximum	Standard Deviation
DBH (cm)	6.5	26.0	58.0	11.2
H (m)	7.0	21.2	34.0	5.8
V (m ³)	0.0142	0.7472	3.2730	0.6237

¹ DBH = Diameter at breast height,

H = Total height, V = Total volume.

며, 林木의 材積은 Smalian 식에 의한 구분구적 법에 의하여 計算하였다. 표 1은 본 研究에서 사용된 낙엽송 411본에 대한 胸高直徑, 樹高, 그리고 材積의 統計量이다. 표에서 보는 바와 같이 胸고직경은 6.5~58cm의 範圍로, 그리고 樹高는 7~34m의 상당히 多様な 入목이 자료로 선택되어 결국 재적의 變異도 入목의 크기에 따라 다양하게 包含되도록 資料가 선택되었다.

2. 地域 立木 材積式의 開發

1) 候補 模型

立木의 材積을 추정하는 방법중에서 가장 일반적으로 사용되는 것은 回歸分析을 이용하는 것이다. 즉, 從屬變數인 入목 재적을 추정하기 위하여 재적에 影響을 미칠 것으로 판단되는 다양한 入목의 변수들 중에서 最適의 조합을 선택하는 것이다. 그러나 일반적으로 재적에 영향을 미치는 많은 獨立變數들 중에서 그 入목의 직경과 수고의 추정에 의하여 材積 變異의 가장 많은 부분을 설명할 수 있기 때문에 胸高直徑과 樹高의 2 변수를 함수로 하는 回歸模型이 다양한 樹種과 地域에 따라 여러가지 형태로 사용되어 왔다. 표 2는 일반적으로 사용되는 재적식 회귀모형 중에서 본 연구에 사용된 5가지 模型의 形態를 나타낸 것이다.

模型 1은 原點을 통과하는 식으로 작은 立木에 대한 全木 材積을 추정하는 식으로 적합한 모형이다. 그러나 이 모형은 利用材積을 추정할 경우에는 이론적으로 y-절편이 原點을 통과하는 것이

아니라 陰數가 되어야 하기 때문에 사용하기에는 무리가 있는 식으로 볼 수 있다. Edminster 등(1980)은 이 模型을 이용하여 ponderosa 소나무의 全木 材積式을 작성한 바 있다. 모형 2는 모형 1에 비하여 다소 適用의 범위가 多様な 모형으로서 全木 및 利用材積을 추정하는 식으로 많이 사용되어져 왔다. 많은 연구자들은(Benette 등, 1959; Smally and Bower, 1968; Burkhart 등, 1972) 이 模型이 가장 적합하게 개별 入목의 材積을 추정하였다고 報告한 바 있다. 모형 3은 모형 2에 獨立변수를 더 포함시켜 재적을 推定한 식으로 일종의 stepwise 回歸分析에 의하여 가능한 胸고직경과 수고의 조합을 재적식의 獨立변수에 포함시키는 방법이다. Shin(1989, 1993)은 候補 模型에 이러한 기법을 적용한 바 있으며 Romancier(1961)는 테다 소나무의 재적을 추정하기 위하여 이 모형을 선택한 바 있다.

模型 4는 Schumacher 등(1939)에 의하여 提案된 재적식의 형태로 과거에 널리 사용되어진 모형이다. 이 모형은 $V = b_0 D^{b_1} H^{b_2}$ 의 형태로 表現할 수 있는 曲線 回歸式으로 모형 1과 같이 原點을 통과하는 식이기 때문에 利用재적의 추정보다는 全木 材積의 추정에 적합한 식으로 알려져 있다. 이 模型은 線形回歸로 分析하기 위하여 自然對數를 취할 경우, 자료 變形에 따른 偏倚(bias)를 갖는다는 문제를 가지고 있다. 이는 자료를 變形시켜 회귀분석을 할 때 회귀분석에 필요한 자료가 算術平均으로 계산되는 것이 아니라 幾何平均으로 계산되고 幾何平均은 算術平均보다 항

Table 2. Model forms adopted in this study for the estimation of individual tree volume

Model Number	Model Name	Functional Model Form
1	Constant Form factor	$V = b_1 D^2 H$
2	Combined Variable	$V = b_0 + b_1 D^2 H$
3	Generalized Combined Variable	$V = b_0 + b_1 D^2 + b_2 H + b_3 D^2 H$
4	Logarithmic	$\ln(V) = b_0 + b_1 \ln(D) + b_2 \ln(H)$
5	Honor Transformed Variable	$V = D^2 / (b_0 + b_1 H^{-1})$

상 작은 값을 갖기 때문에 나타나는 문제점이다. 그러나 이러한 자료의 變形을 통한 재적의 추정 은 그 偏倚 자체의 양이 크지 않기 때문에 큰 문제가 되지 않고, 또한 算術平均을 이용한 다른 모형에 의한 추정치와 類似한 결과를 얻어 偏倚는 이론적으로는 문제가 되나 실제로는 문제가 없는 것으로 알려져 있다(Brackett, 1973). 우리나라 주요 樹種에 대한 임목 재적식도 이 模型 4를 적용하여 재적식을 작성하였다(산림청, 1981). 모형 5도 모형 1 및 4와 마찬가지로 주로 全木의 材積式에 적합한 모형으로 Honer(1965)가 캐나다 소나무의 材積을 추정하기 위하여 적용한 模型의 형태이다.

2) 模型 評價 統計量

위에서 言及한 5개의 候補 模型중에서 강원도 홍천지역의 낙엽송 立木 材積式에 가장 적합한 模型이 무엇인지를 判定하기 위하여 模型의 推定 偏倚(model's estimation bias), 模型의 精度(model's precision), 그리고 이 두가지를 考慮한 추정치에 대한 誤差의 平均平方和(mean square error type of measure)에 의한 모형의 標準誤差 등의 3가지 評價 統計量을 사용하였다(Arabatzis and Burkhart, 1992). 이 3가지 평가 통계량의 계산 방법은 아래와 같다.

① 模型의 平均 偏倚(MD; Mean Difference) : 이 통계량은 각각의 候補 模型에 의하여 추정된 임목재적과 실제 재적과의 差異에 대한 平均으로서 각 후보 모형에 의하여 推定된 材積이 平均의 으로 얼마만큼의 偏倚(bias)를 갖는가를 나타내는 統計量으로 다음과 같이 계산된다.

$$MD = \frac{\sum_{i=1}^n e_i}{n} \quad (1)$$

여기에서, MD = 模型의 推定 偏倚,

$$e_i = V_i - \hat{V}_i, \text{ 즉 실제 材積과 모형에 의한 推定 材積과의 差,}$$

n = 개별 立木 材積 推定에 사용된 本數.

② 模型의 精度(SDD; Standard Deviation of Difference) : 模型이 얼마만큼의 精度를 가지고 있는지에 대한 評價는 후보 모형에 의하여 추정된 재적과 실제 재적과의 차이인 偏倚에 대한 標準偏差에 의하여 계산된다. 즉, 사용된 개별 임목의 平均 偏倚를 중심으로 偏倚가 어느 程度의

散布度를 갖는가의 判定에 의하여 모형의 精度를 계산하며 그 계산식은 아래와 같다.

$$SDD = (V_e)^{0.5} \quad (2)$$

여기에서, $V_e = \{\sum e_i^2 - (\sum e_i)^2/n\} / (n-1)$, 즉 偏倚의 分散.

③ 模型의 標準誤差(SED; Standard Error of Difference) : 재적의 측정치와 추정치간의 誤差에 대한 平均平方和(MSE)는 사용된 자료에 적용한 模型의 推定 偏倚와 精度의 두 통계량을 함께 考慮하여 계산하는데 偏倚의 分散인 V_e 와 모형의 推定 偏倚를 나타내는 MD의 제곱과의 乘으로 나타내며(Neter 등, 1985; Myers, 1986) 이 平均平方和에 제곱근을 취한 값이 模型의 標準誤差이다. 이 통계량은 일반적으로 모형의 適合性을 나타내는 指標로 이용되며(Avery and Burkhart, 1983) 그 계산식은 아래와 같다.

$$SED = (V_e + MD^2)^{0.5} \quad (3)$$

이상의 3가지 評價 統計量은 각 후보모형의 형태에 관계없이 직접 比較할 수 있도록 해당 재적 값에 根據하여 평가되었다. 결과적으로 5개의 最終 材積式은 각 평가 통계량에 대하여 상대적인 크기가 비교되었고, 가장 작은 값을 갖는 순서대로 평가 통계량별로 順位가 주어졌다. 최종적인 순위는 3개의 평가 통계량에 대한 順位의 乘에 의하여 決定하였으며, 홍천지역의 낙엽송에 가장 적합한 立木 材積式은 가장 작은 순위의 總計를 갖는 후보 모형으로 결정하였다.

3. 平均比 推定量에 의한 地域的 補正

1) 地方的 材積表의 作成

이상의 方法에 의하여 선정된 홍천지역의 낙엽송에 대한 最適 材積式을 기존의 낙엽송 재적표와 比較하여 地域的 補正을 實施하기 위하여 먼저 胸高直徑 1번수에 의하여 材積을 추정할 수 있는 홍천지역의 地方的 材積表를 作成하였다. 이는 現存하는 재적표와 본 연구에서 얻어진 立木 材積式을 직접 比較하기 위한 것으로, 일반적 재적식에서 樹高 變數를 除去함으로써 直徑의 變化에 따른 材積을 比較하기 위한 것이다.

이를 위하여 본 연구의 대상 地域인 강원도 홍천지역의 낙엽송 資料에 대한 樹高曲線式을 작성하였다. 수고곡선식은 일반적으로 알려져 있는 2개의 候補 直徑-樹高 관계식을 이용하여 위에서 재적식 모형을 選擇하기 위하여 使用하였던 평가 통계량에 근거하여 적합한 수고곡선식을 作成하였는데 수고곡선식의 候補 模型은 다음과 같다.

$$\text{模型 1: } H = a D^b \quad (4)$$

$$\text{模型 2: } \ln(H) = a + b(1/D) \quad (5)$$

위의 두 수고곡선식의 差異는 수고의 자료 수집이 樹高成長의 정체를 이루는 老齡 임목까지를 포함하느냐에 의하여 달라진다. 模型 1은 아직 旺盛한 수고 성장을 하여 直徑에 따른 수고성장의 정체를 보이고 있지 않는 資料에 적합한 식으로 알려져 있으며, 반면에 模型 2는 수고성장의 정체를 보이는, 직경이 큰 임목을 포함하는 資料에 적합한 식이다(Arabtzis and Burkhardt, 1992). 본 研究에서 使用된 자료(표 1)는 비교적 나이가 많은 임목도 포함하고 있어 모형 2에 더 適合할 것으로 判斷되나, 合理的 모형의 선택을 위하여 재적식에 적용한 평가 통계량에 의하여 樹高曲線式을 선택하였다.

이와 같이 선택된 수고곡선식을 推定된 임목 재적식의 樹高에 代入함으로써 재적이 胸高直徑의 1변수만을 이용하여 추정될 수 있는 지방적 재적표를 작성하였다. 이는 강원도 홍천지역의 자료에 대하여 본 연구에서 작성된 回歸式과 기존의 전국 공용 재적식을 직접 비교하여 그 관계를 究明하기 위한 것으로, 지방적 재적표에 根據하여 胸高直徑에 따른 재적의 변화를 서로 비교하여 현재의 材積表에 平均比 推定量에 의하여 얻어지는 補正係數를 適用함으로써 地域 立木 材積의 추정능력을 提高시키기 위함이다.

2) 平均比 推定量

平均比 推定量은 원래 회귀 추정량의 일종으로 특별한 條件을 갖춘 境遇에만 이용되는 통계적 推定方法이다. 회귀 추정량은 이미 알고 있는 情報과 추정하고자 하는 통계량의 關係를 回歸에 의하여 究明하고, 그 회귀식에 의하여 추정하고자 하는 값을 알아내는 방법이다. 그러나 이 회귀 추정량 技法을 利用하기 위하여는 사용되는 자료가 몇가지 前提條件을 만족하여야 한다. 우

선 이미 알고 있는 變量에 대한 정보는 母集團 平均으로 간주되어야 한다는 것이다. 다른 조건은 두 변량간에는 直線的 관계가 成立되어야 하며, 마지막 條件은 두 변량의 變異가 統計的으로 差異가 없어야 한다는 점이다(freese, 1962). 이와 같은 일반적인 조건을 만족시키면서 회귀 추정량의 일종인 平均比 推定量을 利用하기 위하여는 두 변량이 原點을 통과하는 直線的 關係를 維持하여야 한다.

본 연구에서 使用된 資料가 위의 조건을 만족하는지를 통계적 방법으로 點檢한 후, 平均比 推定量에 의하여 地域 補正을 施行하였다. 평균비 추정량에 의한 지역 재적 추정식은 다음과 같다.

$$V_{\text{홍천}} = R V_{\text{재적표}} \quad (6)$$

여기에서, $R = \text{平均比}, \sum y_i / \sum x_i$

위에서 y 와 x 는 각각 地方的 材積表에 의하여 推定되어 직경 6cm부터 60cm까지 2cm 括約의 직경별로 얻어진 홍천 지역의 낙엽송 材積과 母集團인 전국 대상의 낙엽송 材積이며, $V_{\text{홍천}}$ 은 본 연구에서 目標하고 있는 平均比 推定量 R 에 의하여 終局的으로 추정하고자 하는 홍천지역의 立木 材積을 나타내는 것이고 $V_{\text{재적표}}$ 는 母集團으로서 현재의 材積表의 값을 말한다. 결국 표본 자료에 의하여 平均比 R 이 추정되면 현존 재적표에 일종의 補正係數를 적용하여 직접 홍천 지역의 낙엽송 材積을 추정할 수 있는 補正式이 된다.

III. 結果 및 考察

1) 홍천 지역의 最適 立木 材積式의 選定

홍천지역의 낙엽송 411본을 利用하여 최적의 임목 재적식을 선정하기 위하여 일반적으로 사용되는 5개의 立木 材積 推定模型(표 2)에 대하여 最小自乘法을 적용한 結果 표 3과 같은 재적식을 얻었다. 일반적으로 最適 模型의 선택에 많이 사용되는 통계량은 決定係數이다. 결정계수는 사용된 模型이 얼마나 잘 資料를 설명하는지를 나타내는 尺度이지만 본 研究에서는 使用된 후보 모형의 特性, 즉 從屬變數의 형태 및 獨立變數의 數를 고려하여 이미 言及한 模型 評價 統計量을

Table 3. Parameter estimates of five individual tree volume models for *Larix leptolepis*

Model Number	Estimated Regression Coefficients				R ²
	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	
1		0.0000348			0.9901
2	0.0348	0.0000337			0.9775
3	-0.1068	-0.00021	0.0108	0.000038	0.9822
4	-10.1209	1.8007	1.1807		0.9955
5	152.9370	24151			0.9298

이용하여 최적 모형을 선택하였다. 이는 종속변수의 형태가 다른 경우에는 決定係數의 계산에 關與하는 數値의 크기가 달라지기 때문에 이 상태에서 각각 計算된 결정계수의 직접 比較가 어렵고, 또한 같은 從屬變數의 형태를 갖는다 하더라도 模型에 따라 獨立變數의 수가 增加하면 決定係數는 점점 커지기 때문이다.

표 3에서 보는 바와 같이 決定係數 R²의 경우, 模型 4(Logarithmic)가 가장 큰 값을 가졌으나 본 연구에서 사용된 5가지 모형은 獨立變數의 수가 일정치 않고, 또한 모형 4의 경우에는 다른 모형과는 달리 從屬變數가 自然對數를 취한 材積이기 때문에, 決定係數의 개념을 포함하면서 直接 最適 模型을 선택할 수 있도록 考案된 3가지 評價 統計量을 적용하였다.

따라서 3가지 評價 統計量에 근거하여 주어진 자료에 대하여 각 후보 모형이 얼마나 잘 재적을 추정하고 있는지를 評價한 結果는 표 4에 있다. 모형에 의하여 推定된 재적의 평균 偏倚(MD)를 보면 모형 2(Combined Variable)가 가장 좋은 결과를 보이고 있으며 그 다음은 模型 5, 3, 4, 그리고 模型 1의 순으로 나타났다. 그러나 모형의 精度(SDD)와 모형의 標準誤差에서는 모형 4, 3, 2, 1, 그리고 模型 5의 순으로 나타나 평가 통계량 MD와는 다른 結果를 보이고 있다.

결국, 종합적인 結果에서는 모형 4(Logarithmic)가 홍천 지역의 낙엽송 임목 재적식에 가장 적합한 模型으로 선택되었다. 이는 모형 4가 평가 통계량인 平均 偏倚에서는 다른 모형에 비하여 다소 뒤떨어지나, 모형의 精度와 標準誤差의 통계량에서는 가장 優秀한 능력을 보인 것에 起因한다. 이 모형은 현재 사용되는 材積表를 製作하기 위하여 적용한 모형과도 一致하는 것으로(산림청, 1981) 地域 補正을 위하여 좀 더 精密한 結果를 얻을 수 있을 것으로 판단된다. 현재 우리나라에서 사용하고 있는 낙엽송 임목 재적표는 徑級에 따라 3개의 Logarithmic(모형 4) 회귀식을 작성하여 이 식들에 근거하여 표를 作成하였으나 본 연구에서 사용한 資料는 徑級에 따라 區分하여 회귀식을 작성하여야 하는 어떤 統計的인 差異를 발견하지 못하였다. 따라서 既存의 재적표와는 달리 전체 徑級에 대하여 1개의 立木 材積式만을 작성하여 材積을 推定하였다.

2) 地方的 材積表의 作成

먼저 홍천 지역의 낙엽송 411분에 대한 樹高-胸高直徑 자료를 이용하여 수고 곡선식 模型 (4)와 (5)에 적용하여 最小自乘法에 의하여 回歸係數를 추정한 결과, 아래와 같은 후보 수고 곡선식을 얻었다.

Table 4. Results of evaluation statistics for five candidate models

Model Number	Evaluation Statistics		
	MD	SDD	SED
1	0.0165 (5) ^a	0.0955 (4)	0.0969 (4)
2	0.0002 (1)	0.0936 (3)	0.0936 (3)
3	0.0046 (3)	0.0832 (2)	0.0833 (2)
4	0.0056 (4)	0.0822 (1)	0.0824 (1)
5	-0.0033 (2)	0.1002 (5)	0.1002 (5)

^a Number in parentheses indicates model ranking by evaluation criterion.

Table 5. Results of evaluation statistics for two height candidate models

Model Number	Evaluation Statistics		
	MD	SDD	SED
1	0.1178 (1) ^a	2.6130 (2)	2.6156 (2)
2	0.1768 (2)	2.3782 (1)	2.3847 (1)

^a Number in parentheses indicates model ranking by evaluation criterion.

$$\text{模型 1 : } H=2.9823 D^{0.6041} \quad (R^2=0.83) \quad (7)$$

$$\text{模型 2 : } \ln(H)=3.5406-11.1480/D \quad (R^2=0.84) \quad (8)$$

위의 수고 곡선식 중에서 어떤 식이 적합한지를 판정하기 위하여 立木 材積式을 선정하기 위하여 사용하였던 評價 節次를 이용하여 표 5와 같은 결과를 얻었다. 표 5에서 보면 豫想하였던 바와 같이 모형 2의 수고 곡선식이 종합적인 評價에서 더 적합한 것으로 나타났다.

수고곡선 候補 模型 2는 平均 偏倚에 있어서는 모형 1보다 다소 推定 能力이 떨어지나 모형의 精度와 標準誤차를 나타내는 평가 통계량에서는 모형 1보다 우수하여, 홍천 지역의 수고 곡선식으로 더 적합한 것으로 判明되었다. 이러한 결과는 표 1에서 보는 바와 같이 본 연구에서 사용된 자료가 最大 胸高直徑은 58cm, 最大 樹高는 34m로서 어느 정도 수고성장의 정체를 보이는 자료까지 분석에 包含된 결과로 해석되어진다.

이와 같이 작성된 수고 곡선식을 앞에서 선택된 임목 재적식(모형 4)의 獨立變數인 樹高에 代入하여 재적이 胸高直徑만에 의하여 추정되는 1변수 材積式을 작성하였다. 이를 위하여 먼저 선정된 임목 재적식과 수고 곡선식을 直線化시킨 식이 아닌 원래의 곡선식으로 表現하면 식 (9)와 (10)과 같다. 따라서 식 (10)의 오른쪽항을 식 (9)의 H 대신에 代入한 후, 식 (11)과 같이 胸高直徑 1변수에 의하여 材積을 추정할 수 있는 식에 의하여 地方的 材積表를 作成하였다.

$$V=0.00004023 D^{1.8007} H^{1.1807} \quad (9)$$

$$H=34.49 e^{-11.15/D} \quad (10)$$

$$V=0.00004023 D^{1.8007} (34.49 e^{-11.15/D})^{1.1807} \quad (11)$$

식 (11)은 홍천 지역 낙엽송의 樹高-直徑의

관계를 2변수 材積式에 代入하여 胸高直徑 1변수만으로 재적을 推定할 수 있도록 만들어진 식으로, 樹高生長의 패턴을 考慮하지 않고 단순히 수집된 資料를 직경 1변수에 의하여 추정하는 식보다 推定能力이 優秀함을 알 수 있었다. 즉, 홍천지역의 낙엽송 임목 재적식을 단순히 직경 1변수에 의하여 추정한 식은 決定係數가 0.91이고 推定誤差率은 4.6%인 반면에 地方的 材積表에 의한 추정식은 決定係數와 推定誤差率이 각각 0.97과 4.2%로 精度를 높이는 효과를 얻을 수 있었다.

3) 地域 補正

현존 낙엽송 立木 材積表를 홍천 지역의 자료에 사용하기 위하여 위에서 얻은 材積式에 의한 재적 추정과 재적표의 값 간에 어떠한 差異가 있는지를 알기 위하여 徑級에 따라 3가지로 구분되어 작성되어 있는 현존 재적식에 홍천지역의 수고곡선식 (10)을 代入하여 직경에 따른 재적값을 推定한 후, 홍천 지역의 地方的 材積表의 값과 比較하였다(표 6). 표에서 보면 胸高直徑 10cm 이상에서는 현존 재적표를 홍천 지역에 적용할 경우, 過小 推定하는 것으로 나타났다. 소경급에서는 材積表와 추정식간에 큰 차이가 없으나 直徑이 커짐에 따라 그 차이가 점점 커짐을 알 수 있다(그림 1). 실제로 개별 임목의 推定値는 과소 추정의 程度가 그다지 크지 않으나 ha 단위로 볼 때는 문제가 될 것으로 判斷된다. 예를 들어 伐期에 이른 임분의 평균 胸高直徑이 30cm 이고 본수가 ha 당 500본이라고 假定한다면, 材積表에 의하여 재적을 推定할 경우 ha 당 약 20m³ 정도가 過小 推定되어 합리적인 경영을 위한 기본자료가 不實한 결과를 가져온다.

이는 현존 材積表를 製作할 때, 全國의 多様な 자료를 이용하여 전국 平均의인 임목 材積式을 작성하여 그 식에 근거하여 제작되었으나 홍천지역의 경우 전국 평균보다 直徑이 커짐에 따라 材積生長이 더 좋은 것으로 보이며, 특히 樹高生長이 다른 地域에 비하여 優秀한 것에 기인한 것으로 判斷된다. 본 연구에서 사용된 자료에 의하여 작성된 수고 곡선식 (10)에서 보면 대경급 이상에서 樹高가 30m 이상으로 추정되어 다른 지역에 비하여 수고성장이 優秀함을 알 수 있다.

이러한 推定 材積式과 現存 材積表간의 관계를 구명하여 현존 재적표를 홍천지역에 사용할 때, 過小 推定에 의한 誤差를 줄이고 지역 재적을 잘

Table 6. Comparison of tree volume estimated by selected volume equation with current volume table

DBH	V1 ^a	V2 ^b	DIFF ^c	DBH	V1	V2	DIFF
6	0.0074	0.0079	0.0005	34	1.0225	0.9611	-0.0614
8	0.0215	0.0215	0.0000	36	1.1580	1.0848	-0.0732
10	0.0446	0.0429	-0.0017	38	1.3013	1.2153	-0.0860
12	0.0771	0.0750	-0.0021	40	1.4521	1.3525	-0.0996
14	0.1190	0.1164	-0.0026	42	1.6105	1.4963	-0.1142
16	0.1702	0.1671	-0.0031	44	1.7764	1.6467	-0.1297
18	0.2306	0.2271	-0.0035	46	1.9496	1.8036	-0.1460
20	0.2999	0.2963	-0.0036	48	2.1301	1.9670	-0.1631
22	0.3780	0.3671	-0.0109	50	2.3179	2.1366	-0.1813
24	0.4648	0.4479	-0.0169	52	2.5128	2.3126	-0.2002
26	0.5599	0.5361	-0.0238	54	2.7149	2.4949	-0.2200
28	0.6635	0.6317	-0.0318	56	2.9240	2.6833	-0.2407
30	0.7751	0.7344	-0.0407	58	3.1400	2.8779	-0.2621
32	0.8948	0.8443	-0.0506	60	3.3630	3.0785	-0.2845

^a V1=Volume estimated by selected volume equation,

^b V2=Volume estimated by current volume table, and

^c DIFF=V2 - V1.

추정하기 위하여 平均比 推定量에 의하여 補正을 實施하였다. 우선 平均比 추정량 사용의 當爲性을 점검하기 위하여 필요한 조건들을 點檢하였다. 우선 現存하는 재적표는 낙엽송이 分布하는 母集團을 대상으로 만들어진 것이기 때문에 이 재적표에서 얻어지는 材積은 모집단의 平均으로 해석할 수 있다. 또한 直徑의 변화에 따른 材積表의 값과 홍천지역의 재적이 直線的인 관계를 認定할 수 있는지는 相關分析에 의하여 點檢하였는데 상관계수 $r=0.99$ 로 두 변량간에 높은 直線的 관계가 있음을 확인하였다. 또한 두 變量의 變異가 통계적으로 差異가 있는지 아니면 차이를 認定해야 하는지는 χ^2 分布에 의한 假說檢定으로 밝혔다. 가설검정의 결과 두 변량의 변이는 統計的으로 差異가 없다는 귀무가설을 有意水準 5%에서 受諾할 수 있었다. 한편 平均比 推定量의

조건인 관계식이 原點 통과해야 하는 問題는 두 재적간의 관계를 直線으로 표현할 때 補正係數를 나타내는 기울기가 문제이지 y-절편은 당연히 0이 되어 原點을 지나기 때문에 이 條件을 만족시킨다. 결국 平均比 推定量에 의하여 아래와 같은 補正 關係式을 얻을 수 있었다.

$$V_{\text{홍천}} = 1.078 V_{\text{재적표}} \quad (12)$$

材積表에 의한 홍천 지역 立木 재적의 추정은 直徑이 커질수록 실제 재적표보다 過小 推定되는 데(표 6) 이러한 관계는 보정식에서의 平均比가 1보다 큰 값으로 表現되고 있음을 알 수 있다. 즉, 補正式의 계수 1.078로 1보다 큰 것은 재적이 작은 입목에 적용되었을 때보다는 재적이 큰 立木에 적용될 때 그 보정되어지는 절대량이 커지기 때문이다. 그림 2는 직徑의 變化에 따라 計算되는 홍천지역의 낙엽송 추정식에 의한 材積과 材積表에서 얻어지는 재적의 關係를 表現한 것으로 강한 직선적인 관계를 보이고 있다.

이 補正式에 의한 材積이 실제로 材積表보다 홍천 지역의 낙엽송 재적을 더 精密하게 推定하는 지를 알아 보기 위하여, 본 연구에서 使用된 411본의 낙엽송 자료중에서 無作爲로 20본을 선정하여 그 推定能力을 檢定하였다(표 7). 표 7에서 보면 전체 20본의 標本 중에서 17본은 材積表에 의한 값보다 補正式에 의하여 실측 재적치에

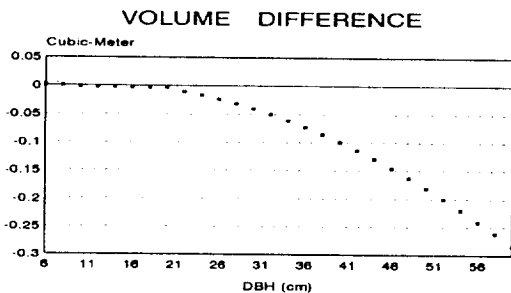


Fig. 1. Difference between volume estimated by selected volume equation and volume from current volume table by DBH.

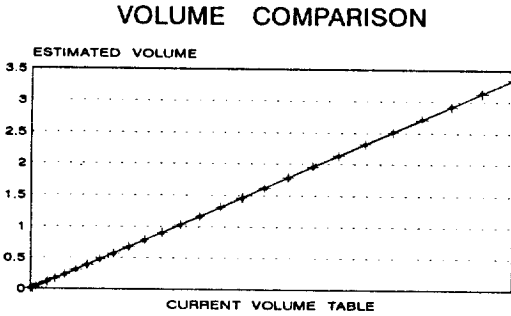


Fig. 2. Comparison of volume estimated by selected volume equation with volume from current volume table.

近接한 推定을 할 수 있었다. 나머지 3본은 材積表에 의한 추정值이 實測值에 근접한 推定을 하고 있어, 보정식에 의하여 多少 過大 推定을 하고 있으나 그 추정값이 실측치와 큰 差異를 보이고 있지 않음을 알 수 있었다. 결과적으로 無作爲로 選定한 표본 立木의 實測 材積과 비교에 의하면, 홍천 지역의 낙엽송 立木 材積을 推定함에 있어서 본 研究에서 얻어진 地域 補正 推定식이 既存의 材積表를 이용하는 것보다 精度가 더 높게 나타났다.

이러한 結果는 模型의 寄與度를 나타내는 決定係數 R^2 와 殘差의 100分率 誤差를 나타내는 推定 誤差率의 分析에서도 명확히 確認된다. 기존의 재적표를 사용할 경우 推定 誤差率은 4.0%이나 본 研究에서 얻어진 補正式을 이용하여 立木 材積을 추정할 境遇, 推定 誤差率은 3.6%로 약 0.4% 誤差率의 감소를 期待할 수 있고 補正式의 決定係數는 0.99로서 거의 완벽한 推定을 함을 알 수 있다.

IV. 結 論

본 研究은 현재 사용되고 있는 立木 材積表를 특정 지역에 適用할 경우, 과대 또는 과소 추정하는 問題點을 해결하기 위하여 지역 補正의 방법을 提案하였다. 이를 위하여 홍천지역의 낙엽송 자료를 이용하여 먼저 最適의 立木 材積式을 개발한 후, 이 재적식에 의한 재적 추정치와 재적표의 재적값과의 관계를 구명하여 平均比 推定量에 의하여 補正式을 誘導함으로써 地域 補正이 可能하도록 하였다.

材積表를 이용하여 홍천지역의 낙엽송 立木 材積을 추정할 경우 실제 재적보다 전반적으로 過

Table 7. Estimation performance of local correction equation for 20 randomly selected sample trees

Tree No.	DBH (cm)	Height (m)	Real Volume (m ³)	Volume from Volume Table (m ³)	Volume from local correction equation (m ³)
1	9.9	14.2	0.0571	0.0529	0.0570
2	14.8	16.4	0.1435	0.1371	0.1478
3	34.7	26.1	1.1508	1.0474	1.1291
4	23.3	21.6	0.4533	0.4232	0.4562
5	11.9	11.9	0.0698	0.0629	0.0678
6	36.6	24.9	1.2285	1.0997	1.1855
7	20.1	15.7	0.2550	0.2356	0.2540
8	24.8	23.9	0.5837	0.5240	0.5649
9	27.7	26.7	0.7733	0.7142	0.7702
10	44.6	26.9	1.8487	1.6956	1.8279
11	22.1	16.2	0.2981	0.2884	0.3109
12	43.6	28.4	1.9358	1.7188	1.8529
13	28.7	24.5	0.7736	0.6986	0.7531
14	40.3	22.2	1.3221	1.1655	1.2564
15	6.8	7.5	0.0142	0.0139	0.0149
16	10.7	9.3	0.0399	0.0387	0.0417
17	15.2	13.6	0.1237	0.1152	0.1241
18	33.1	27.0	1.1549	0.9954	1.0730
19	23.7	18.7	0.4222	0.3777	0.4072
20	10.4	10.4	0.0490	0.0419	0.0452

小 推定되고 있었으며 직경이 커짐에 따라 그 偏差가 점점 더 커짐을 알 수 있었다. 이러한 關係에 근거하여 材積表의 값을 獨立變數로 하는 추정식을 誘導하였는데 直線 回歸式에 의하여 總計 지역의 材積을 잘 推定할 수 있었다.

본 研究의 目的에서도 밝혔듯이 현재 使用하고 있는 材積表는 全國의 標本資料를 利用하여 만들어져 大部分의 境遇에 있어서 全國 平均的인 값을 提供하고 있어 특정 지역에 適用할 경우 精度가 낮은 推定이 不可避한 실정이다. 이러한 문제점은 基本 資料의 不實로서 합리적인 經營이나 造林措置를 취함에 있어서 障害 要因이 될 수 있다. 따라서 既存의 材積表를 利用하여 地域에 적합한 材積을 推定하기 위한 補正式이 地域別, 樹種別로 제작되어 材積表 利用자가 쉽게 보정하여 使用할 수 있도록 하여야 할 것이다. 이를 위하여 본 研究에서 밝힌 平均比 推定量에 의한 地域 補正은 하나의 좋은 例와 方法이 될 것이다.

V. 引用 文 獻

1. 산림청. 1981. 임업기술. 1362 p.
2. Arabatzis, A.A. and H.E. Burkhardt. 1992. An evaluation of sampling methods and model forms for estimating height-diameter relationships in loblolly pine plantations. *For. Sci.* 38(1):192-198.
3. Avery, T.U. and H.E. Burkhardt. 1983. *Forest measurements*. 3rd ed. McGraw-Hill, New York. 331 p.
4. Bennett, F.A., C.E. McGee, and J.L. Clutter. 1959. Yield of old-field slash pine plantations. *USDA For. Serv. S.E. For. Exp. Stn. Paper No. 107*.
5. Brackett, M. 1973. Notes of tariff tree volume computation. State of Washington, Dept. of Nat. Res., Resource Mgt. Rpt. No. 24.
6. Bruce, D. and F.X. Schumacher. 1950. *Forest mensuration*. 3rd ed. McGraw-Hill, New York.
7. Burkhardt, H.E., R.C. Parker, M.R. Strub, and R.G. oderward. 1972. Yield of old-field loblolly pine planatations. *Va. Poly. Inst. and State Univ. Pub. FWS-3-72*. 51 p.
8. Chapman, H.H. and W.H. Meyer. 1949. *Forest mensuration*. McGraw-Hill, New York.
9. Clutter, J.R., J.C. Fortson, L.V. Pienaar, G.H. Brister, and R.L. Bailey. 1983. *Timber management: A quantitative approach*. John Wiley & Sons, Inc. 333 p.
10. Cochran, W.G. 1977. *Sampling techniques*. John Wiley & Sons. 428 p.
11. Edminsters, C.B., R.T. Beeson, and G.E. Metcalf. 1980. Volume tables and point-sampling factors for ponderosa pine in the Front Range of Colorado. *USDA For. Serv. Rocky Mt. Forest and range Expt. Sta. res. Paper RM-218*. 14 p.
12. Freese, F. 1962. *Elementary forest sampling*. *USDA For. Serv. Agri. handbook No. 232*. 91 p.
13. Honer, T.G. 1965. A new total cubic foot volumè function. *For. Chron.* 41:476-493.
14. Myers, R.H. 1986. *Classical and modern regression with applications*. Duxbury Press. 359 p.
15. Neter, J., W. Wasserman, and M.H. Kutner. 1985. *Applied linear statistical models*. IRWIN 1127 p.
16. Romancier, R.M. 1961. Weight and volume of plantation-grown loblolly pine. *USDA For. Serv. S.E. For. Exp. Stn. Res. Note No. 161*.
17. Schmacher, F.X. 1939. A new growth curve and its application to timber yield studies. *J. For.* 37:819-820.
18. Shin, M.Y. 1989. Methods of estimating the volume of individual trees. *Res. Coll. Institute of Food Development, Kyung-Hee Univ. Vol. 10:67-74*.
19. Shin, M.Y. 1993. A study on the development of individual tree volume equations by locality for Korean White Pine. *Forest and Humanity, Kookmin Univ.* 6:69-80.
20. Smalley, G.W. and D.R. Eower. 1968. Volume tables and point factors for loblolly pines in planatations on abandoned fields in Tennessee, Alabama, and Georgia highlands. *USDA For. Serv. South For. Exp. Stn. Res. Paper SO-32*. 13 p.