

## Red Pine(*Pinus resinosa* Ait.) 間伐地의 Biomass와 Net Primary Production(NPP)에 관한 研究

李 壽 煜\*

Biomass and Net Primary Production in a Red Pine (*Pinus resinosa* Ait.)  
Thinned Plantation.

Soo Wook Lee

### SUMMURY

Dimension analysis was used to estimate biomass and net primary production(NPP) in a 35-year-old red pine (*Pinus resinosa* Ait.)plantation in central Wisconsin, U.S.A.. Total above ground biomass was estimated at 97.3Mg ha<sup>-1</sup>. Organic matter was distributed in the red pine stand as follows : bolewood 67.8%, live branches 15.4%, foliage 8.4%, bole bark 6.1%. Net primary production was estimated at 11.5Mg ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup> and was distributed : bolewood 30.4%, foliage 25.2%, branches 36.5%, bole bark 2.6%. There were differences in total biomass and proportion of biomass components when using the three equations.

These differences are due to : a) difference in bolewood specific gravity and b) the effect of thinning on the form factor.

### 緒 言

최근 木林資源의 부족으로 林木의 利用度가 증가함에 따라 全林木收穫(Whole tree harvest)이 보편화되어 가고 있다. 따라서 樹幹外 部分으로 부터의 收穫量이 관심의 대상이 되고 있다. 樹種에 따라 다르겠지만 全体林木

重量中 약 30~40%가 樹幹外 部分이 차지하고 있다. 물론 全林木收穫이란 森林土壤의 養料循環의 관점에서 生態系로부터의 극적인 양분유출을 뜻하는 것이지만 集約的 肥培管理로 보충된다면 木材資源供給面에서는 크게 이득을 얻게 된다.

\* 農科大學 林學科(Dept. of Forestry, Coll. of Agriculture, Chungnam Natl. Univ, Daejeon, Korea)

한편, 樹幹部는 材積으로 收穫량을 計量해 왔으나 Pulp 用材計量으로는 材積이 부적합한 單位가 되고있다. 木材比重에 따라 Pulp 收準이 달라지기 때문이다. 더우기 樹幹外 部分의 경우 容積單位를 사용하기는 매우 어려우므로 최근 樹種別로 乾重量을 기준으로하는 Biomass Table 이作成 이용되고 있다.

임업경영의 指標가 되는 林地生産力을 Biomass 와 Net Primary Production (NPP)을 조사하여 評價하고 物質生産량을 추정하는 여러 가지 方程式간의 差異를 究明하는것이 本研究의 主要目的이다.

### 材料 및 方法

#### 1. 試驗地 概況

본연구시험지는 美國 Wisconsin州 中部의 Waushara county의 Plainfield (44° 16' N, 89° 26' w)에 위치하고 있다. 氣候는 대륙성기후로서 여름은 溫緩濕潤하고, 겨울은 매우 추우며 (1月平均氣溫 - 14°C), 강수량은 800mm이다.

土壤은 酸性水河堆土(Acid Glacial Outwash)에서 發達되었으며 Plainfield loamy sand (sandy, mixed, mesic, Typic Udipsamment) 이다. 排水는 과다한 편이며 土深은 매우 깊고 전지역이 均一한 性질을 갖고 있다.

본임분은 1947년 8.4ha의 面積에 2×2m 간격으로 造林되었으며 1966년과 1977년에 機械的間伐이 시행되었다. 1980년 本林分の 胸高斷面積은 22.5m<sup>2</sup>ha<sup>-1</sup>, 本數는 630本, 地位指數는 19m(base age 50yrs)였다. Red pine의 平均樹高는 13.7m, 平均DBH는 22.1 cm 이다.

#### 2. 標本採取

1981年 10月 시험지 8.4ha 전체 林分中에서 전체 直徑範圍(12.9~30.5cm)를 대표하는 標本木 10本(2cm간격)을 中間木(Intemmediate tree), 準優勢木(Co-dominant tree), 優勢木(Dominant tree)중에서 선발하였다. 各標本목은 地上10cm部位에서 伐採한후 樹高를 측정하고 모든枝條(生枝, 死枝)를 樹幹에서 잘라내고 生重量을 측정후 枝條의 20~25%標本

을 채취하였다. 樹幹部는 1m간격으로 작동하고 生重量측정후 各 통나무(1m)에서 3~5 cm 두께의 圓板을 채취, 生重量측정한후 Vinyl bag 에 넣어 실험실로 운반하였다. 모든 標本들은 Oven에서 75°C로 乾重量이 平衡에 이를때까지 건조시킨후 乾重量을 측정하였다. 樹皮(Bole bark)는 各원판에서 분리시켜 乾重量을 측정하였고 樹幹木部生産量(Bolewood production)을 측정하기 위하여 圓板上의 半徑을 4方向으로 측정하면서 最近 5년간의 年輪幅을 측정하였다. 小枝(Current twig), 1年生葉(Current needle), 및 2-4年生葉(Old needle)을 가지에서 각각 분리하여 重量을 측정하였고, 各枝條의 末口에서 枝令을 측정하였다.

#### 3. Biomass 및 Net Primary Production 推定.

林木의 各部Biomass 推定을 위해 사용된 公式는 다음과 같다.

$$W = aD^b H^c \dots\dots\dots [1]$$

W : Dry weight in kg

D : DBH in cm

H : Tree height in m.

ha当 林分Biomass는 ha当 直徑級別 本數에 各直徑級の Oven dry weight를 곱하여 산출하였으며 樹幹木部生産量은 各원판을 이용하여 통나무별로 smalian 公式를 사용하여 材積을 求한후 乾重量으로 환산하였다. 樹皮生産量은 木部生産量의 比率를 사용하였고 枝條生産量은 다음과 같은 Whittaker 公式를 사용 추정하였다.

$$\Delta y = by / x \dots\dots\dots [2]$$

$\Delta y$  : 枝條生産量 (kg)

y : 枝條乾重量 (kg)

x : 枝令 (年)

b : 常數(枝令에 대한 枝條乾重量의 對數 回歸式의 回歸係數)

일과 小枝生産量은 Biomass에서 직접 계산 되었다.

### 結果 및 考察

林木의 各部分別 Biomass와 NPP를 算고

직경과 수고로서 추정하는 方程式( $Y=aD^bH^c$ )을 사용하여 求한 結果는 表 1과 같다. 表 1

Table 1. Biomass and NPP by tree component.

Tree component	Biomass	NPP
	(Mg / ha)	(Mg/ha/yr)
Foliage	8.2	2.9
Live Branch	15.0	4.2
Bole Bark	5.9	0.3
Bole Wood	66.0	3.5
Total Above Ground	97.3	11.5

에 의하면 본시험지의 ha당 地上部 Biomass는 97.3ton에 이르며 35年生 現在 NPP는 11.5ton이 된다. 현재까지 Red pine에 대하여 非間伐林에 대한 Biomass는 Ker, Alban *et al.* 및 Young 등이 발표한바 있으나 間伐林에 대한 Biomass와 NPP는 발표된바 없다. 일반적으로 間伐林은 ha당 本數에 있어서나 單木의 Biomass에 있어서나 非間伐林과는 다른것으로 사료되는바 Ker와 Alban *et al.*의 Biomass公式를 사용하여 본시험지의 Biomass를 推定하여 본 結果는 表 2와 같았다. 表 2

Table 2. Comparison of biomass by different equations.

Tree component	Ker	Alban <i>et al.</i>	Lee <i>et al.</i>
	Mg/ha		
Foliage	5.6	7.2	8.2
Live Branch	10.8	10.5	15.0
Dead Branch	-	4.4	2.4
Bole Bark	6.1	5.6	5.9
Bole Wood	55.4	50.9	66.0
Total Above Ground	79.1	77.2	97.3

에 의하면 Ker와 Alban의 公式는 저자가 유도한것 보다 地上部 Biomass에 있어서 過小值를 주고 있다. 이것은 同一한 模型의 公式를 사용했지만 公式中 Parameter들의 差異로 인한것으로 생각되는데 이러한 Parameter의 차이를 가져오는 이유를 究明코자 하는 것이다. Alban *et al.*은 이러한 Parameter의 차이를

가져오는 것은 木材의 比重의 差異때문이라고 하였다. 立地가 다르면 木材比重의 차이가 생긴다는 것이다. 그러나 間伐地와 非間伐地를 비교할때 間伐地林木을 대상으로 유도된 公式이 過大值를 주는 이유가 과연 間伐地林木의 比重이 非間伐地林木의 比重보다 크기 때문이 없는지는 의심스럽다. 間伐地林木의 生長輪의 幅이 間伐效果로 인하여 넓다면 比重은 오히려 감소할 가능성이 있기때문이다. 우선 地上部 Biomass의 차이를 가져오는데 가장 많이 기여한 部分이 어느것인지 살펴보면 樹幹部와 枝條部인데 量的인 측면에서는 주로 樹幹部(Bolewood) Biomass인 것이다.

Biomass를 函數로 하는 胸高直徑과 樹高를 하나의 變數로 나타내기 위하여 圓柱體材積(Cylindrical Stem Volume: 胸高斷面積入樹高)을 사용하였다. 圓柱體材積의 函數로 Biomass를 나타낼때 Ker, Alban *et al.* 및 저자에 의한 地上部 Biomass는 그림 1과 같다. 그림 1에

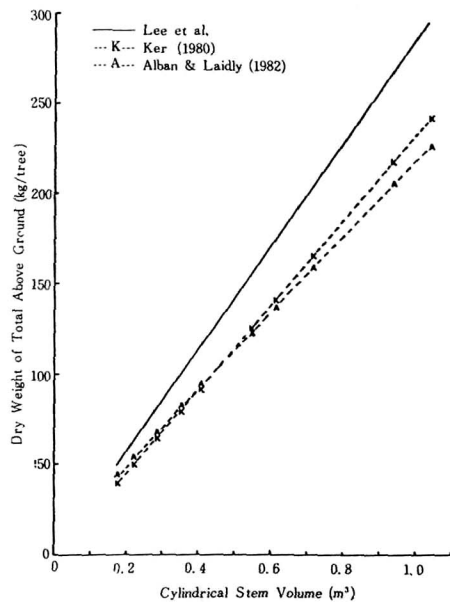


Fig. 1. Comparison of total above ground biomass by authers.

서 흉고직경과 수고가 증가함에 따라 公式間의 地上部 Biomass 差異는 점차 증가하고있다. Ker 와 Alben *et al.* 간에는 有意的인 差異가 없으나 저자의 것과는 有意的인 차이가 있다. 이러한 차이를 가져오는 것은 주로 樹幹木部 Biomass의 차이 때문인것이 그림 2에서 보여진다.

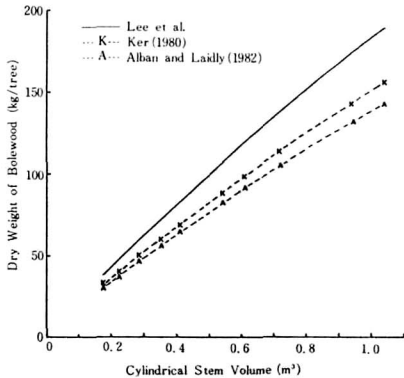


Fig. 2. Comparison of bolewood biomass by authors.

그림 2에서 이러한 樹幹木部 Biomass의 차이를 가져오는 것이 Alben *et al.*의 주장대로 比重(Specific Gravity)의 차이로 인한 것인지를 알아보기 위하여 본시험재료의 比重을 측정 한 결과 0.380이었다. Ker의 것은 0.383이었고 Alban *et al.*의 것은 0.420 이었다. Biomass가 증가함에 따라 比重은 오히려 감소하고 있었다. 間伐林 林木의 比重이 非間伐林의 것보다 적음을 나타낸다. 그렇다면 Biomass의 차이를 가져오는 要因은 比重外에 다른 要因이 있으며 그것은 樹幹木部와 밀접한 관계가 있는 것으로 판단된다. 그렇다면 胸高形數(Breast Height form factor)를 要因으로 생각할 수 있는데 저자는 胸高形數와 Biomass, 比重 및 圓柱體材積間의 關係를 다음과 같이 유도하였다.

$$F = W / Vc \times G \dots\dots\dots [3]$$

F : Breast height form factor of stem

W : Dry weight of bolewood (Mg)

Vc : Cylindrical stem volume (m<sup>3</sup>)

G : Basic specific gravity (g/cc)

方程式 3의 관계를 검정하기 위해서 본시험지의 표본들에서 유도된 公式들을 사용해 보면 樹幹木部 Biomass (W)는 胸高直徑(D)와 樹高(H)의 함수로 되어있고, 圓柱體材積(Vc =  $\frac{\pi}{4} \cdot 10^{-4} D^2 H$ )도 흉고직경과 수고의 함수로 되어있다. 그렇다면 胸高形數와 比重의 積(product)도 胸高直徑과 樹高의 函數가 된다는 論理가 된다. 동시에 胸高形數와 比重이 각각 胸高直徑과 樹高의 函數가 될 가능성도 있다. 따라서 본 시험지 標本木들의 胸高形數를 측정하고 이들을 胸高直徑과 樹高의 函數로 나타내본 결과 다음과같은 胸高形數方程式을 얻었다. 胸高形數方程式 :

$$\text{Log } F = -0.6182 - 0.2115 \text{Log } D + 0.5374$$

$$\text{Log } H (R^2 = 0.72^*) \dots\dots\dots [4]$$

Biomass 方程式 :

$$\text{Log } W = -2.1752 + 1.6971 \text{Log } F + 1.6696$$

$$\text{Log } H \dots\dots\dots [5]$$

과 圓柱體方程式을 公式[3]에 代入하면 比重方程式을 理論的으로 다음과 같이 얻을 수 있다. 比重方程式 :

$$\text{Log } G = -0.4519 - 0.0914 \text{Log } D + 0.1322$$

$$\text{Log } H \dots\dots\dots [6]$$

실제로 본시험지 표본목에서 측정 한 比重들을 胸高直徑과 樹高의 函數로 하여 얻어진 方程式은 :

$$\text{Log } G' = -0.4531 - 0.0912 \text{Log } D + 0.1328$$

$$\text{Log } H (R^2 = 0.32) \dots\dots\dots [7]$$

이었다. 決定係數(R<sup>2</sup>)는 有意性이 없었으나 Parameter들은 理論方程式[6]과 매우 類似함을 볼 수 있었다.

이러한 점정으로 公式[3]은 실제로 매우 합리적인 관계가 성립함을 알 수 있었으므로 본 공식을 이용하여 Alben *et al.*이 자료로 사용한 표본목들의 흉고형수를 추정하여 그림 3에 나타내었다.

그림 3은 흉고직경에 대한 수고곡선으로서 점선은 비중 0.42를 갖는 Alban *et al.*의 표본

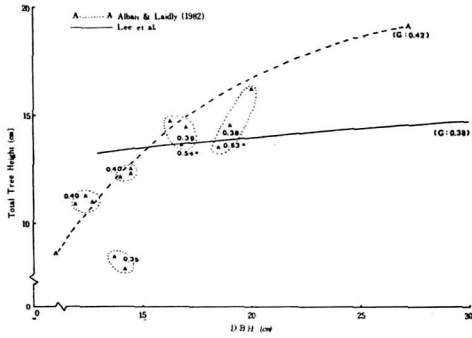


Fig. 3. Comparison of breast height from factor between Alban's and Lee's equation on tree height curve.

목들의 수고이며 실선은 비중 0.38을 갖는 표본목들의 수고이다. Alban et al. 자료의 24개 林相中 5개 林相의 林令이 本間伐林地의 林令과 동일한 35年이었다. 이들 5개 林分이 그림 3에서와 같이 분포하고 있지만 그중 上部에 위치한 2개 林分만이 胸高直徑과 樹高가 본시험 林分과 同一한 것으로 胸高形數 比較에 적합한 林分이 된다. 左側 林分과 같은 DBH와 수고를 가질때 公式 [3]에 Alban et al. 의 W, G 및 Vc를 代入하여 F를 求하니 0.39였으며 Lee의 W, G 및 Vc를 代入 F를 求하니

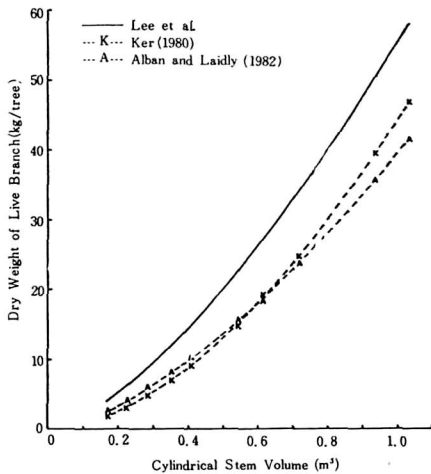


Fig. 4. Comparison of live branch biomass by authors.

0.54였다. 그리고 右側 林分에서는 Alban et al. 의 F가 0.38, Lee의 F가 0.53이었다. 이러한 흉고형수의 차이는 Biomass에 약 28%의 차이를 유발시켰다. 반면 비중 0.42와 0.38의 차이는 Biomass에 약 10%의 차이를 유발시켰다. 따라서 本間伐林地에서 非間伐林地에서 보다 큰 Biomass 推定值를 나타낸것은 比重과 胸高形數가 모두 영향을 주었지만 비중을 10% 負의 영향을 준반면 흉고형수는 28% 正의 영향을 주었다.

그림 4를 보면 間伐로 인하여 枝條의 量이 非間伐地보다 많았음을 보여주고 있다.

### 摘 要

美國 Wisconsin州 Plainfield에 있는 35年生 Red pine (*Pinus resinosa* Ait.) 間伐造林地에서 Biomass와 Net Primary Production(NPP)을 推定하였다. 地上部 Biomass는 ha 당 97.3ton이었고 이중 樹幹木部 Biomass가 67.8%, 枝條部가 15.4%, 葉이 8.4%, 樹皮가 6.1%를 구성하고 있었다. NPP는 11.5Mg ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>로 추정되었고 그중 樹幹木部는 30.4%, 葉은 25.2%, 枝條는 36.5%, 樹皮가 2.6%이었다.

Red pine의 다른 추정공식을 사용하였을때 Biomass에 차이가 있었다. 그차이는 주로 樹幹木部の 比重과 胸高形數의 차이로 인한 것이었다.

### 引 用 文 獻

1. Alban, D.H., D.A. Perala, and B.E. Schlaegel. 1978. Biomass and nutrient distribution in aspen, pine, and spruce stands on the same soil type in Minnesota. Can. J. For. Res. 8 : 290 - 299.
2. Alban, D.H., and P.R. Laidly. 1980. Biomass of jack and red pine trees and stands in the Lake States. Can. J. For. Res. (Submitted).

3. Avery, T.E. 1975. Natural resources measurements. McGraw-Hill, N.Y.
4. Brown, J.K. 1965. Estimating crown fuel weights of red pine and jack pine. USDA For. Serv. Res. paper LS-20. 12p.
5. Fornes, R.H., I. V. Berglund, and A.L. Leaf. 1970. A comparison of the growth and nutrient of *Picea abies* (L.) Karst. and *Pinus resinosa* Ait. on a K-deficient site subjected to K fertilization. *Plant soil* 33 : 345 - 360.
6. Jurgensen, M.F., and A.L. Leaf, 1965. Soil moisture-fertility interactions related to growth and nutrient uptake of red pine. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 29 : 294 - 299.
7. Ker, M.F. 1980. Tree biomass equations for ten major species in Cumberland County, Nova Scotia. 26p. *Maritimes For. Res. Ctr. Fredericton, New Brunswick M-X-108*.
8. Leaf, A.L., R.E. Leonard, and J. V. Berglund. 1971. Root distribution of a plantation-grown red pine in an outwash soil. *Ecol.* 52 : 153 - 158.
9. Madgwick, H. A. I. 1962. Studies in the growth and nutrient of *Pinus resinosa* Ait. Ph.D. thesis. Syracuse Univ., Syracuse, N. Y.
10. Madgwick, H. A. I., E. H. White, G. K. Xydias, and A. L. Leaf. 1970. Biomass of *Pinus resinosa* in relation to potassium nutrient. *For. Sci.* 16 : 154 - 159.
11. Schlaegel, B. E. 1975. Yields of four 40-year-old conifers and aspen in adjacent stands. *Can. J. For. Res.* 5 : 278 - 280.
12. Whittaker, R.H., G.H. Likens, F. H. Bormann, J. S. Eaton, and T. Siccamo. 1979. The Hubbard Brook ecosystem study : forest nutrient cycling and element behavior. *Ecol.* 60 : 203 - 220.
13. Woodwell, G.M., and R.H. Whittaker. 1967. Primary production and the cation budget of the Brookhaven forest. In *Symposium on primary productivity and mineral cycling in natural ecosystems*. Edited by H.E. Young. Univ. of Maine Press, Orono.
14. Xydias, G.K. 1964. Dry matter and nutrient element relations in *Pinus resinosa* Ait. plantations. M.S. Thesis, State Univ. Coll. Forestry, Syracuse, New York.
15. Young, H. E., J. H. Ribe, and K. Wainwright. 1980. Weight tables for tree and shrub species in Maine. 84p. *Univ. of Maine Life Sci. & Agric. Exp. Stn., Misc. Rep. 230*, Orono, Maine.