

일본잎갈나무 林分의 生産力과 密度管理에 關한 研究*1

馬 相 圭*2

Productivity and Density Control of Stands of Japanese Larch*1

Sang Kyu Ma*2

Japanese larch(*Larix leptolepis*) is one of main timber species in Korea that could find much plantation and growing stands on all over the country. It is thought to be in meaningful that a guiding diagram for density control of Japanese larch stands is made to estimate easily the density conditions in the quantitaive, ecological and economic viewpoint.

Sample plots for this study are selected from the stands that have not been thinned in recent years, and mean height, mean diameter, dominant height, tree numbers per hectare and stem volume of mean tree are calculated from the each sample plots among total 165 plots

In this study, especially, the theory of slenderness of mean tree are applied, that have been identified through the results of the spacing trial.

Relative growth characteristics of this species are calculated from the general logistic curve and its formula is $Y=ax^b$.

Relatwion between the measured items are found out as follows:

1. Relation between the mean height and tree numbers per hectare by slender class is showing the high correlation as table 1 and fig. 2, and between mean diameter and tree numbers per hectare is also high correlation as table 1 and fig. 3.
2. The stem volume can be correctly estimated from height in case that slender class may be known, as showing in table 3 and fig. 4.
3. The stem volume can be more correctly estimated from the relation with D^2H as formula, $\text{Log}_e V=0.9569 \text{ Log}_e D^2H-9.8431$, and relation between stem volume of single tree or volume per hectare and tree numbers per hectare are as following formulas:
 $\text{Log}_e \text{ stem volume}=9.5026-1.6800 \text{ Log}_e \text{ tree numbers per hectare}$
 $\text{Log}_e \text{ stem volume per hectare}=9.4911-0.6784 \text{ Log}_e \text{ tree numbers per hectare.}$

Stem volume of mean tree, tree numbers per hectare and stem volume per hectare correspond to the mean tree height are calculated to slender class as table 5,6,7. Through the above steps, the diagram for density control of Japanese larch are produced as fig. 9. It is thought that this diagram could be applied to control the density of Japanese larch stands.

일본잎갈나무는 우리나라의 主要造林樹種으로 全國 各地에 많은 造林地와 林分이 있다. 이 樹種의 林分密度管理의 指針을 마련하여 生産力豫則, 間伐計劃과 收穫量 査定을 용이하게 하는일은 林業技術의 計量的, 生態的 및 經濟的 觀點에 大端이 的의있는 일로 생각 되

었다. 이 研究를 위해 正常的으로 管理되고 있던 非正常的으로 管理되고 있던 最近에 間伐한 흔적이 없는 林分에서 165個의 標本을 調査하여 平均樹高, 平均直徑 優劣木樹高, ha當 本數와 1平均木의 幹材積을 算出 하였다.

*1 Received for publication on May 26, 1977

*2 韓獨山林經營事業機構 Korea-German Forest Management Project

이 研究에 特히 細長度理論을 새로 導入 하였다. 이 理論에 對한 實驗的 檢討는 馬⁽⁶⁾와 Wardle⁽¹³⁾, Shantz⁽¹¹⁾, Harms & Colline⁽¹¹⁾의 密度試驗結果를 引用하여 證明한 바 있다⁽⁵⁾.

林木의 相對生長은 一般的인 logistic curve를 引用하고 公式는 모두 $Y=a \times b$ 를 代入 하였다. 各測定因子間의 關係는 아래와 같았다.

1. 細長度別 樹高와 密度와의 關係—表 1과 그림 2
2. 細長度別 直徑과 密度와의 關係—表 1과 그림 3
3. 細長度別 樹高와 單木幹材積과의 關係—表 3과 그림 4
4. D^2H 와 單木 幹材積— $\text{Log}_e V = 0.9569 \text{ Log}_e D^2H - 9.8431$
5. 密度와 幹材積— $\text{Log}_e V = 9.5026 - 1.6800 \text{ Log}_e D$
6. 密度와 H_a 當 幹材積— $\text{Log}_e V_{H_a} = 9.4911 - 0.6784 \text{ Log}_e D$

7. 細長度別 樹高階級에 對應한 幹材積—表 5
 8. 細長度別 樹高階級에 對應한 H_a 當 本數—表 6
 9. 細長度別 樹高階級에 對應한 H_a 當 幹材積—表 7
- 以上の 過程을 거치 일본잎갈나무 林分密度管理圖表를 製作하였다(그림 9). 이 管理表의 正確度를 檢정하기 위하여 實測値와 推定値와의 關係를 보니 表 8의 내용과 같이 誤差가 낮은편이었다. 이 圖表는 일본잎갈나무 林分의 密度管理의 指針이 되리라 생각 된다.

緒 言

일본잎갈나무는 우리나라의 主要造林樹種으로 各地에서 많은 幼齡林分을 觀察할 수 있다. 이 樹種은 幼時에 生長이 빠르고 適地에 대한 制限性이 비교적 적으므로 國有林이나 私有林等에 즐겨심겨 왔고 장차에도 有用한 대치 수종이 發見되지 않는한 우리나라 造林樹種에 있어서 王子의 位置를 고수할 것이다. 이와 같이 重要한 樹種의 林分을 管理하는데 있어 누구나 알기 쉽고 편리하게 利用할 수 있는 指針을 提示하는 일은 꼭 의의가 있다고 생각 되었다.

經驗이 많은 林業經營者는 所有林分의 密度, 林木의 細長度, 間伐量 및 收穫豫測量을 어느정도 推定하면서 經營에 입할 수 있겠으나 그렇지 못할 경우에는 所有林分의 密度가 어느정도인지, 間伐計測을 어느정도 세울 것인지 또는 장차 生産量과 林分管理의 유도방향을 어떠한 근거 하에 세워야 할 것인지 豫測하기 어려운 형편이었다.

樹種別로 林分의 平均直徑에 對應한 平均密度管理本數表가 製作되 있어 이를 適用하여 所有林分의 密度狀

態를 豫測할 수 있고 間伐材積은 標本調査를 하여 材積表와 收穫表等を 適用하여 算出할 수 있도록 이디 研究가 이루어진 것은 다행한 일이다. 이 研究는 數量的인 觀點에서 林分密度管理를 간단하고 일목요연하게 實行할 수 있는 指針을 마련하기 위하여 林木의 生長과 競爭의 生態의特性은 바탕으로 하는 方法을 提示하기로 한 것이다.

林木의 相對生長法測이 이미 알려져 있고 密度試驗等を 통해서 林分의 生態特性이 밝혀졌을 뿐아니라 電子計算組織은 이러한 研究를 보다 쉽게 처리할 수 있도록 되어 있었다.

以上과 같은 연구배경하에서 일본잎갈나무 林分에 대한 密度管理指針의 製作은 林分管理를 보다 組織的이고 科學的으로 實行할 수 있을 것으로 생각되어 結果를 발표하는 것이다.

研 究 史

樹高는 餘他的 林分因子에 비해 林分密度에 가장 적은 影響을 받고 있고^{5,6)} 試驗造林과⁶⁾ 模型密度試驗에^{7,8)} 의해서 이를 확인 하였다.

直徑은 林分密度의 增加 또는 植栽間隙이 좁을수록 작아지고 있으며,^{1,6,11,13)} 直徑과 樹高의 關係인 細長度는 密度에 影響을 比例的으로 받고 있고 同一 立地條件下에서 密度가 서로 달라도 樹高는 항상같다는 條件이 成立되므로 어떤 林分의 平均樹高와 細長度를 알 수 있다면 그 林分의 密度狀態와 直徑을 算出할 수 있음이 증명된바 있다.⁶⁾

吉良¹²⁾은 소나무 天然林에서 林分平均直徑, 平均樹高 및 立木密度와의 關係를 밝힌바 있고, Yoda 등^{2,4,14,15)}은 소나무天然林과 편백 人工林의 立木密度와 平均單木材積間의 曲線回配係數는 3/2乘 關係가 있음이 알려지고 있다.

Reineke³⁾는 林分密度와 林分平均直徑과의 關係를 밝힌 바 있다. 坂口¹²⁾와 金⁹⁾은 일본잎갈나무林分에서 이들 關係를 밝힌 바 있다. 只木^{9,10,11)}은 密度와 間伐과의 關係를 연구한바 있다. D^2H 에 의해 즉 立木의 흉고직경의 자승에 수고를 곱하면 그 立木의 幹材積을 推定할 수 있음도 밝혀지고 있다¹⁵⁾. 金⁹⁾은 일본잎갈나무 林分의 收穫表와 材積表를 製作表를 製作한바 있다.

材 料 및 方 法

標本選定の 條件은 最近에 間伐이 이루어진 事實이 없다고 인정되는 林分에 限定하였고 每標本別로 林分

의 平均直徑, 平均樹高, 優勢木樹高, H_a 當本數, 標本木의 幹材積과 H_a 當幹材積을 求한후 아래와 같은 計算過程을 거쳤다.

1. 每標本別로 細長度를 求하고 樹高와 細長度分布와의 關係를 보아 細長度를 1.095 以上, $1.095 \geq$ 細長度 ≥ 0.895 , 0.895 以下의 3階級으로 區分 하였다.

2. 全標本을 前記와 같이 細長度 階級別로 3區分한 후 樹高와 密度, 直徑과 密度, 樹高와 幹材積과의 關係를 生長曲線式인 $Y=aX^b$ 에 代入하여 求하였다.

3. D^2H 와 單木幹材稱, 密度와 單木幹材積, 密度와 H_a 當幹材積과의 關係를 同一한 生長曲線式에 代入 하였다.

4. 每標本の 平均樹高를 2m 間隔으로 區分하여 各樹高群別로 密度와 H_a 當幹材積과의 關係를 分析하고 平均樹高와 優勢木樹高와의 回歸關係를 分析 하였다.

5. 前記 2項에서 計算된 細長度別 樹高와 密度 그리고 直徑과 密度와의 關係를 分析하여 細長度別 이들 關係의 曲線을 推定 하였다.

6. 各細長度別로 樹高에 對應하는 直徑을 算出하였으며, 樹高別 直徑에 對應하는 當適定本數는 H_a 直徑과 密度와의 關係式에서 推定하였다.

7. 樹高와 直徑에 對應하는 單木材積은 D^2H 와 單木幹材積과의 關係式을 來한후에 算出 하였다. 그리고 H_a

當幹材積은 樹高와 細長度別 直徑에 對應하는 h_a 當本數를 乘하여 구하였다.

8. 林分密度管理圖表는 密度와 H_a 當幹材積과의 關係圖에 樹高와 直徑에 對應하는 H_a 當本數와 H_a 當幹材積을 代入하여 製作 하였다.

9. 上記와 같은 計算은 KIST의 電算組織을 利用하여 各數值를 一般對數로 換算하여 回歸分析을 하였다.

結 果

1. 樹高와 密度, 直徑과 密度

每標本の 平均直徑을 平均樹高로 除한 값을 細長度로 하였다. 全標本에서 樹高와 細長度와의 關係를 圖表로 만들었다.(그림 1). 그림 1에서 細長度 範圍는 1.5~0.64까지 分布하고 있으며, 總標本 165個中에서 細長度 1.095以上이 31個標本, 1.095~0.895가 93個標本, 0.895 以下에는 41個 標本이 나타나고 있어 比較의 研究目的에 適合한 分布를 하고 있었다.

樹高와 密度와의 關係를 細長度別로 分析한 結果는 表 1의 內容과 같다. 表 1에서 各細長度別 樹高와 密度와의 關係는 共히 相關性이 0.75以上으로 有意性이 높고 標準偏差와 變異係數가 대단히 낮으며 回歸式의 分散分析의 結果의 有意性이 대단히 높으므로 樹高와 密

Table 1. Summary table of regression relation between mean height and density, mean diameter and density to the slender class.

Slender class	Regression	Case	R*1	S.E*3	C.V*4	F*5
$S \geq 1.95$	0. Height(H) and density(D) $\text{Log}_e D = 10.1567 - 1.2784 \text{Log}_e H (-1.6357, -0.9210)^{*1}$	31	0.80	0.40	5.85	53.37
$1.095 \geq S \geq 0.895$	$\text{Log}_e D = 9.6988 - 0.9581 \text{Log}_e H (-1.1365, -0.7798)^{*1}$	93	0.75	0.39	5.33	113.84
$S \leq 0.895$	$\text{Log}_e D = 10.1471 - 1.0291 \text{Log}_e H (-1.2936, -0.7646)^{*1}$	41	0.79	0.30	3.84	62.02
$S \geq 1.095$	0. Diameter(Di) and density(D) $\text{Log}_e D = 10.4026 - 1.2885 \text{Log}_e D_i (-1.5857, -0.9912)^{*1}$	31	0.85	0.36	5.14	78.37
$1.095 \geq S \geq 0.895$	$(\text{Log}_e D = 9.7173 - 0.9692 \text{Log}_e D_i (-1.1390, 0.7994)^{*1}$	93	0.77	0.38	5.14	128.60
$S \geq 0.895$	$\text{Log}_e D = 9.9172 - 1.0265 \text{Log}_e D_i (-1.2516, -0.8013)^{*1}$	41	0.83	0.27	3.46	85.19

*1 95 percent confidence interval of independant variable

*2 multiple correlation

*3 standard deviation

*4 coefficient to variability

*5 over all F test

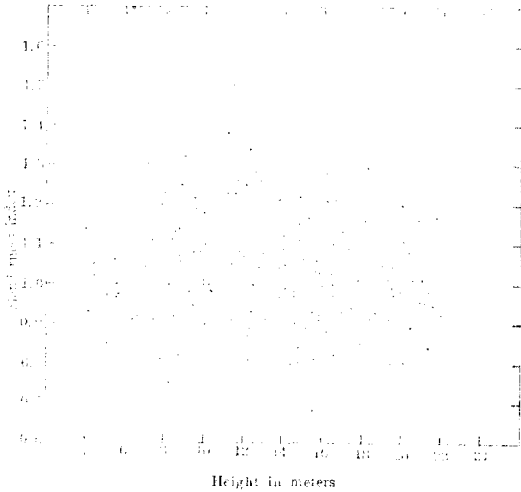


Fig. 1. Relation between the average height and slenderness

度와의 關係는 대단히 複雜한 것으로 보아야 한다. 또한 細長度別回歸係數의 曲線勾配는 95% 신뢰한계내에 모두 포함되 있으므로 기술기는 모두 함께 表示하여도 될 것이다. 이들 關係를 圖示한 것이 그림 2이다. 그림 2에서 點線은 細長度の 實測値를 代入한 推定式에서 求한 것이다.

細長도가 1.095~0.895內에 있는 標本群에서 樹高 10m에 對應하는 適定本數는 거의 1800本에 接近하고 있었다. 그림 1에서 實線은, 樹高 10m에 對應하는 H_a 當 適定立木本數를 1800本으로 하고 이때 細長度 1.0이라

하여도 타당하므로, 이를 기준으로 400本 單位로 중값 식함에 따른 細長度 1.2, 1.1, 1.0, 0.9, 0.8에 해당하는 線이다. 再言하면 樹高 10m일시 平均密度를 1800本으로 하였을시 細長度는 1.0이 된다는 뜻이고 2200이 生立하고 있을 때는 細長도가 1.1이 된다는 뜻이다. 이 方法의 타당성을 再考察한다면 細長度別 回歸係數間에 有意差가 없고 95% 신뢰한계내에서 서로 맞다고 있으므로 實線과 같이 推定을 하여도 된다는 뜻이다.

細長度別 直徑과 當密度와의 關係(그림 3)도 樹高의

Table 2. Comparing of the tree numbers hectare between diameter class and height class estimated at case of slenderness 1.0

Height		Diameter		Standard
Class	Density*1	Density	Class	Density*2
6m	2,716	2,724	6cm	2,635
8	2,222	2,213	8	2,139
10	1,794	1,786	10	1,732
12	1,507	1,493	12	1,437
14	1,300	1,286	14	1,260
16	1,145	1,138	16	1,090
18	1,022	1,008	18	966
20	924	910	20	879
22	343	830	22	791
24	776	763	24	746

*1 calculated from formula in table 1

*2 cited from the yield table⁽³⁾

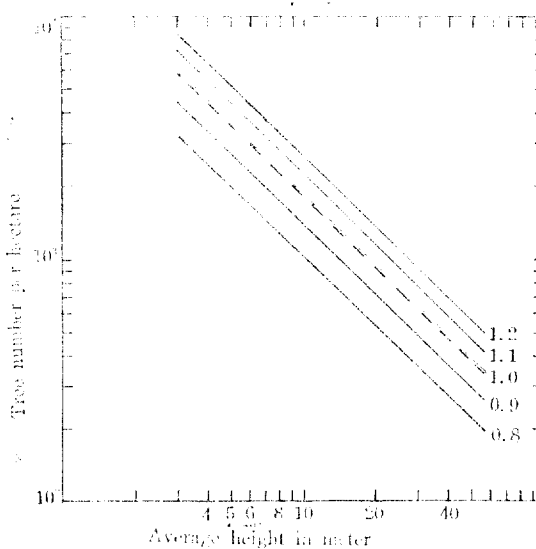


Fig. 2. Showing the relationship between height and density by the slender class

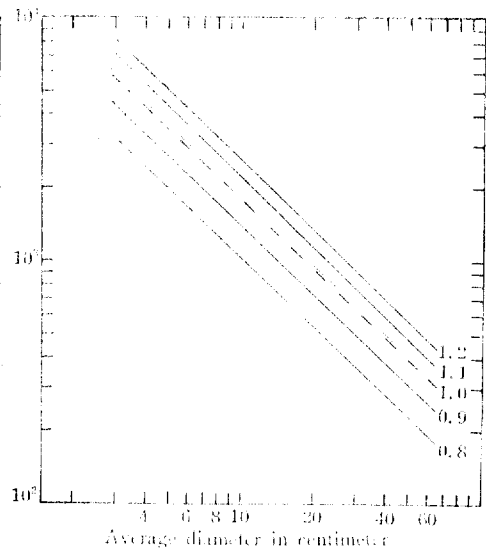


Fig. 3. Showing the relationship between diameter and density by the slender class

Table 3. Stem volume can be estimated from height by slender class.

Slender class	Regression	Case	R	S.D	C.V	F
$S \geq 1.095$	$\text{Log}_e V = 2.9577 \text{Log}_e H - 9.7706 (2.8130, 3.1023)$	31	0.9915	0.1641	0.167	1743.59
$0.895 \leq S \leq 1.095$	$\text{Log}_e V = 2.8647 \text{Log}_e H - 9.8158 (2.7825, 2.9468)$	93	0.9907	0.1797	6.57	4800.88
$S \leq 0.895$	$\text{Log}_e V = 2.9432 \text{Log}_e H - 10.4522$	41	0.9811	0.2130	6.07	974.86

경우와 같은 解析이 되고 그 關係式은 表 1과 같다.

細長渡 階級 $0.895 \leq S \leq 1.095$ 에서 樹高와 直徑에 의한 H_a 當 生立本數와의 關係를 實例로 比較하여 보았다. 表 2는 比較의 例를 보이는 것으로 直徑에 의해 H_a 當 生立本數를 推定하는 것이나 樹高에 의해 推定하는 것은 事實上 同一한 結果를 얻을 수 있다는 것을 證明하여 주는 셈이다. 이는 適定生立本數로 林分이 管理된다면 直徑과 樹高 및 H_a 當 生立本數와 密接한 關係가 있는 것은 當然한 일이다. 따라서 樹高와 細長渡를 알게 되면 그 林分の 疎密狀態를 용이하게 豫測할 수 있고 現在의 生立本數를 알 수 있으므로 林分管理의 指標로 利用할 수 있다고 보는 것이다. 直徑의 경우도 同一한 說明이 可能하다. 이와 같은 정보는 林分管理圖表作成의 基礎로 利用할 수 있을 것이다.

2. 樹高와 單木幹材積 및 D^2H 와 單木幹材積과의 關係

細長渡階級로 樹高에 의한 單木幹材積推定の 精度를 分析 하였다. 이는 密한 林分, 平均林分과 疎한 林分으로 區分된다면 樹高에 對應하는 直徑는 一定範圍內에 있을 것이므로 樹高만으로 單木幹材積의 推定이 可能할 것이라는 생각때문에 分析한 것이다. 實際 分析 結果(表 3)를 보면 推定精度는 大端히 높았다. 細長渡階級로 보면 供히 相關性이 0.68 以上이고 標準편차, 變異係數와 分散分析의 結果를 보면 타당성이 인정될 것이다. 그림 4에서 實測值를 보면 確認할 수 있을 것이다. 이 結果는 樹高가 林分 密度管理에 있어 H_a 當 密度와 材積推定에 있어 大端히 重要한 因子라는 점이 알려진 셈이다.

어떤 林分の 細長渡를 알게 되면 樹高에 의한 幹材積推定이 可能하지만 보다 精密한 材積推定의 方法을 모색하기 위하여 樹高와 直徑에 의한 材積推定方法을 導入하였다. D^2H 와 幹材積과의 關係는 그림 5와 같이 推定精度가 그림 4의 方法보다 높으며 이들의 回歸關係는:

$$\text{Log} V = 0.9569 \text{Log}_e D^2H - 9.8431 \dots \dots (1)$$

$$R, 0.9569 (n=165)$$

$$S.D, 0.1229$$

$$F, 18388.20$$

$$C.V, 4.33$$

$$X \text{의 신뢰한계 (95\%), } 0.9429 \sim 0.9708$$

以上과 같이 林木의 樹高 또는 樹高와 直徑에 의해서

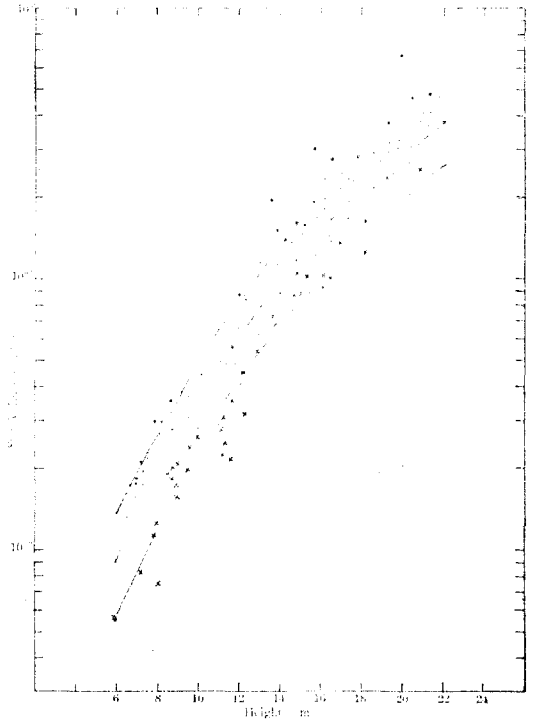


Fig. 4. Estimation of tree volume from height by slender class

精度가 높은 材積推定을 할 수 있다는 事實은 어떤 林分の 平均樹高와 平均直徑 및 H_a 當 生立本數로 그 林分の 材積推定이 可能하다는 뜻이 된다.

3. 林分密度와 單木幹材積 및 H_a 當幹材積과의 關係

어떤 林分이 理論上 適正林分密度로 維持된다면 林分密度와 單木幹材積과의 關係는 대단히 밀접할 것이나 實地는 그렇지 못하고 다양한 樹高나 直徑 및 密度로 구성되 있을 것이다. 우리나라에서 適林된 일본잎갈나무 林分の 密度와 幹材積과의 關係는 그림 6과 같았다. 그림에서 A線은 平均管理曲線이다. 이들의 回歸關係를 보면:

$$\text{Log}_e V = 9.5026 - 1.6800 \text{Log}_e D$$

但,

$$R, 0.8077$$

$$S.D, 0.7729$$

$$F, 305.97$$

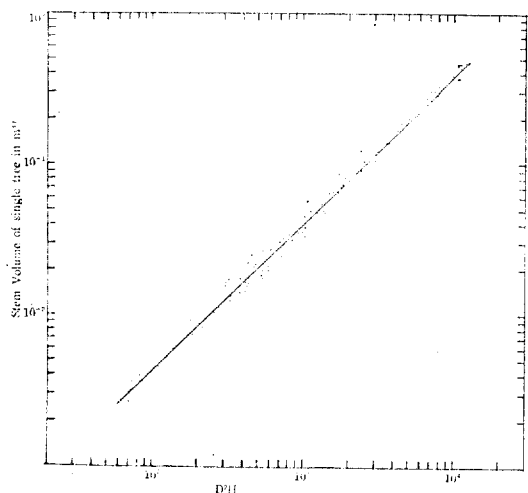


Fig. 5. Relation between D^2H and stem volume of single tree

C. V, 27.25%

回歸係數를 보면 3/2乘法則이 適用되고 있음을 알 수 있다.

그림 6에서 일본잎갈나무를 Ha當 1000本을 管理할시 平均管理林分の 平均木의 幹材積은 $0.13m^3$ 이고 最多密度로 管理된 林分の 平均木幹材積은 $0.48m^3$ 까지 成長할 수 있다. 林分이 폐쇄되지 않을 때는 平均木幹材積은 密度에 影響을 받지 않고 폐쇄가 始作되면서부터

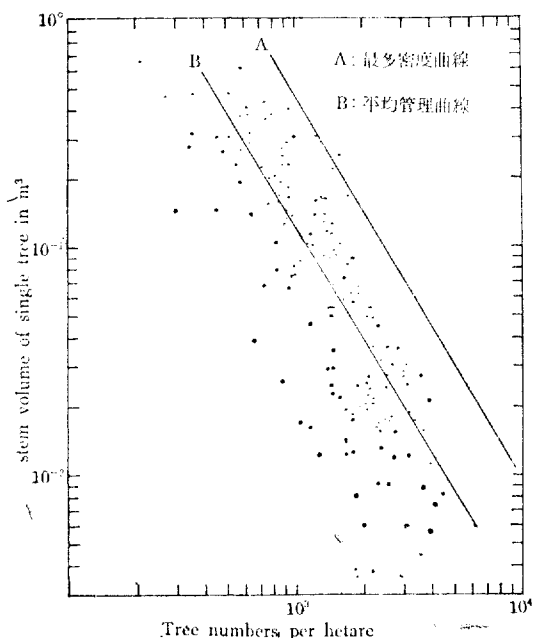


Fig. 6. Relation between density and stem volume of mean tree showing management curve of *Larix leptolepis* forest.

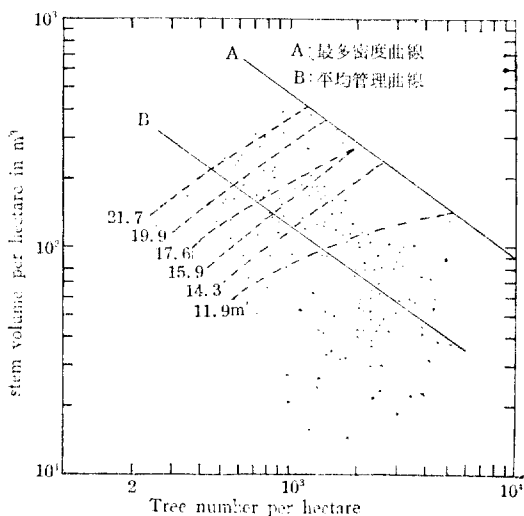


Fig. 7. Relation between stem volume and tree numbers per hectare

即 密度가 增加함에 따라 同一樹高에 있어 材積은 감소되며 어떤限界 中 最多密度曲線에 達하면 그 以下로 감소되지 않게된다.

密度와 Ha當 幹材積과의 關係를 보면 그림 7과 같으며 이들의 回歸關係는 :

$$\text{Log}_e V = 9.4911 - 0.6784 \text{ Log}_e D$$

但

$$R, 0.4845$$

$$S. D, 0.7721$$

$$F, 49.99$$

$$C. V, 17.12\%$$

그림 7에서 點線은 樹高에 對應하는 Ha當 密度와 幹材積과의 關係를 보인 것이다. 標本에서 平均木의 樹高를 2m 階級으로 區分하여 密度와 Ha當 材積과의 回歸關係를 分析하였다(表 4). 表 4에서 樹高級 22m時의 式은 $\text{Log}_e V = 1.5939 + 0.6261 \text{ Log}_e D$ 가 된다. 樹高級 12以上부터는 密度에 의한 Ha當 材積의 推定精度는 높아지고 있다.

4. 林分密度管理表의 製作

以上の 結果를 종합해보면 일본잎갈나무 林分の 相對生長은 一定한 法則下에 있으므로 同管理表의 製作은 可能하게 된다. 製作過程은 먼저 平均樹高別 細長渡에 따른 平均直徑의 推定에 있다. 어떤 林分の 平均樹高 6m일시 細長渡가 0.8, 0.9, 1.0, 1.1, 1.2일 경우 이에 대응하는 直徑은 樹高에 細長渡를 乘하여 구한 값에 單位를 부치면 4.8, 5.4, 6.0, 6.6, 7.2cm가 된다. 이 方法의 妥當性은 考察에서 說明된다. 樹高와 直徑이 알려지면 立木의 材積은 Fig. 5에서 구해

Table 4. Estimation of volume per hectare from regression between volume and tree numbers per hectare.

Class	Height	Case	Average				X *1	C *2	R	F
			Height	Diameter	Volume/ha	Density/ha				
6	15	15	5.4	5.4	19.0	2,724	0.7759	-3.1894	0.420	2.8
8	33	33	7.5	7.3	40.1	2,594	0.0654	3.1778	0.064	0.1
10	17	17	9.9	9.3	72.2	2,280	-0.0690	4.8129	0.040	0.0
12	22	22	11.9	10.8	85.9	1,732	0.3008	2.4066	0.433	4.6
14	18	18	14.3	14.1	157.7	1,522	0.7326	-0.3095	0.783	25.4
16	22	22	15.9	16.7	163.6	1,035	0.3250	-0.6300	0.825	42.5
18	16	16	17.6	17.3	189.0	1,009	0.5523	1.4216	0.708	14.1
20	14	14	19.9	20.3	220.3	718	0.7092	0.7305	0.834	27.4
22	8	8	21.7	24.0	262.7	573	0.6261	1.5939	0.901	26.0

*1 coefficient of general logarithm of independent variable

*2 constant.

Table 5. Stem volume estimated from D²H relation by slender class.

Slender class	Height				
	1.2	1.1	1.0	0.9	0.8
6	0.0129	0.0109	0.0091	0.0074	0.0059
8	0.0295	0.0249	0.0280	0.0170	0.0091
10	0.0560	0.0473	0.0394	0.0322	0.0257
12	0.0944	0.0799	0.0666	0.0544	0.0434
14	0.1468	0.1242	0.1035	0.0847	0.0676
16	0.2155	0.1824	0.1520	0.1243	0.0992
18	0.3022	0.2558	0.2132	0.1743	0.1391
20	0.4096	0.3462	0.2883	0.2357	0.1882
24	0.6901	0.5843	0.4896	0.3979	0.3175

Table 6. Tree numbers per hectare estimated from fig 3 to slender class.

Slender class	Height				
	1.2	1.1	1.0	0.9	0.8
6	1,380	2,300	2,900	3,900	5,300
8	1,050	1,570	2,200	3,000	4,000
10	850	1,300	1,800	2,450	3,250
12	720	1,080	1,500	2,020	2,700
14	620	930	1,300	1,750	2,300
16	550	830	1,140	1,550	2,050
18	500	740	1,020	1,380	1,810
20	450	660	930	1,250	1,650
22	410	610	840	1,150	1,500
24	380	570	780	1,070	1,380

진 $V=KD^2H$ 에 代入하여 單木幹材積이 推定된다(表 5)
다음은 樹高別 細長渡에 따른 ha當 適定本數는 Fig.

Table 7. Volume per hectare calculated from multiple the coefficient of table 5 by table 6 to slender class.

Slender class	Height				
	1.2	1.1	1.0	0.9	0.8
6	17.80	24.02	26.41	29.01	31.47
8	30.94	39.16	45.72	51.00	36.42
10	47.56	61.53	71.02	78.99	83.62
12	67.94	86.29	99.87	109.99	117.62
14	91.02	115.51	134.55	148.23	155.48
16	118.53	151.39	173.28	129.67	203.36
18	151.10	189.29	217.46	240.53	251.77
20	814.05	228.49	268.12	294.63	310.53
22	220.38	277.61	318.53	356.50	370.10
24	262.24	333.05	379.78	425.75	438.15

3에서 算出 한다. 即 樹高 6m에 對應하는 細長渡別 直徑은 前記의 例와 같이 算出됐으므로 Fig. 3에서 直徑 4.8cm에 대응하는 ha當 本數는 細長渡 0.8의 線에서 推定을 한다. 이와같은 과정을 거쳐 얻어진 結果는 表 5와 같다.

Ha當 幹材積는 表 5와 表 6을 乘하여 구하였다(表 7).

林分の 平均木樹高와 優勢木樹高와의 關係를 分析 하였다(Fig. 8). 이들의 回歸關係는 :

$$\text{Log. Dominant height} = 0.2502 + 0.9435 \text{ Log. Average height}$$

R : 0.9886

S. D : 0.0615

F : 7044.44

以上の 結果中 Fig. 7에 表 6과 7의 內容을 代入하여

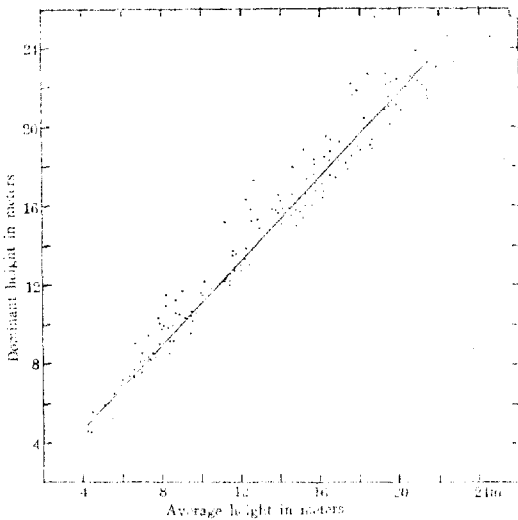


Fig. 8. Relation between dominant height and average height of certain stands.

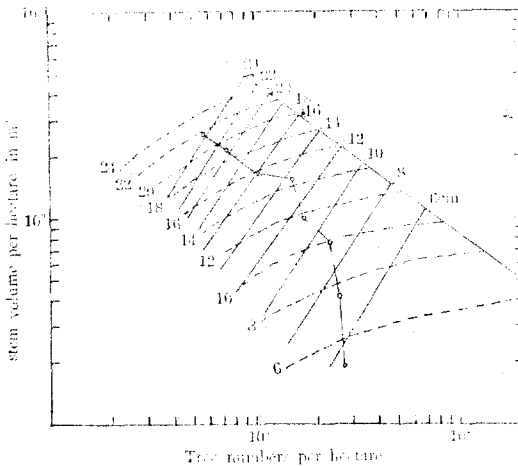


Fig. 9. Diagram showing the guideline for the density management of stands of Japanese larch (-o-o-o- means the average line of Japanese stands in Korea)

일본일갈나무 林分의 管理圖表를 製作 하었다(그림 9). 이 圖表는 우리 나라에서 管理되고 있는 일본일갈나무 林分의 密度管理의 指針이 될것이고 圖表에서 實線의 曲線은 現實로 나타나고 있는 平均密度管理線이었다.

考 察

同一한 立地條件에서 同令林일 경우 樹高 特히 優勢木樹高는 林分密度에 거의 影響을 받지 않는다는 事實이 인정되어 왔다. 地位指數란 樹高의 이러한 特性을

應用하였다. 林分의 平均木樹高도 同一한 結果를 나타낼 것이란 점은 그림 8의 分析으로 類推할 수 있었다. 實除 植栽密度 또는 植栽間隙試驗에서 이 事實들이 確認되고 있다. 馬는 林分密度의 模型實驗¹¹⁾과 密度效果試驗¹²⁾에서 證明된 바 있고 기타 研究者의 結論에서도 確認할 수 있었다. ^{1,11,13)}

反面에 直徑은 密度에 直接影響을 받고 있으므로^{1,7,11,13)} 樹高와 直徑과의 關係에서 어떤 林分의 密疎狀態를 알 수 있을 것이라는 가정하에 우선 樹高를 直徑으로 除한 값을 細長渡라 하고 이 가정을 알아보기로 하였다.

馬와 先人의 研究結果를 引用하여^{1,7,11,13)} 林分密度와 細長渡와의 關係를 보니 이들 間에는 直線關係가 있었고 이 理論을 適用하여 松나무林의 平均管理林分의 ha 當材積을 算出한바도 있었다⁹⁾. 그리고 金의 收穫表³⁾에서 適定林分管理時 直徑과 樹高와의 關係는 地位에 影響을 받지 않고 一定한 關係가 있음을 알았다. 따라서 어떤 林分의 平均樹高와 細長渡만 알게되면 그 林分密度의 높고 낮음을 類推할 수 있음은 물론 이 理論을 바탕으로 林分의 密度까지 類推가 可能한 것이라는 確認을 얻을 수 있었다.

한편 林分의 平均直徑과 密度와의 關係는 Reincke²⁾와 金³⁾의 結果와도 一致되고 吉良¹²⁾에 의하면 樹高와 密度와의 關係 역시 直徑과 密度와의 關係와 一致되고 있을뿐 아니라 Fig. 2와 3에서도 同一한 傾向을 確認할 수 있었다. 特히 Fig. 2와 3은 標本의 細長渡級別로 計算된 것으로서 實際 이들의 回歸關係는 表 1의 結果와 같이 推定精度가 높으므로 어떤 林分의 平均樹高와 直徑 및 細長渡를 알게되면 그 林分의 理論的인 密度의 推定은 可能하고 實際 그 精度가 높다는 것을 알 수 있다.

全體標本을 細長渡級別로 分類하여 樹高에 의한 幹材積의 推定精度를 보아 Fig. 4의 分析例와 같이 大端히 높게 나타나고 있었다. 이 結果는 細長渡는 林分密度에 影響을 받고 單木幹材積의 推定에 直遠이 큰 要因이 되고 있음을 證明하고 있는 셈이다. 따라서 D^2H 에 의한 單木材積의 推定은 林木의 相對生長法則에 부응하고 있는 方法으로 보아야 할 것이고 이 方法의 타당성은 이미 證明되고 있다.¹⁰⁾ 따라서 어떤 林分의 平均樹高와 細長渡를 알게되면 直徑의 推定은 前記의 細長渡理論에 依하면 可能하고 單木幹材積은 前記 D^2H 方法에 의해 推定이 可能하게 된다.

生態學의 一般法則에 限界性이 있듯이 林分密度 역시 無限히 增加한 것은 아닐 것이다. Yoda¹⁴⁾는 초기에 密度가 높으면 相互競爭에 의해 급격히 密度가 감소되

고 生長이 진행됨에 따라 一定한 密度로 收斂한다고 하였다. Fig 6와 7은 Yoda의 理論에 一致되고 있었다. 그리고 單木材積과 林分密度와의 關係를 나타내는 曲線의 勾配는 係數가 필히 1.5의 關係 即 3/2乘 關係가 成立된다고 하는 事實에도 一致되고 있다. 그 이후의 研究結果¹⁵⁾에 따르면 3/2乘法則이 모든 樹種에 適用되고 있다. Fig 6과 7의 例와 같이 單木材積 또는 Ha當材積이 增加되면 密度는 감소되어 어떤 特定한 線에 接近하고 있다. 이를 最大密度曲線이라 하고 只木과 四手井等에 의해 經驗的으로 이들 關係를 數式으로 表示할 바 있으나 實際 이들 關係가 事實임을 알 수 있다.¹²⁾ 이러한 理論과 事實의 確認을 바탕으로 自然的인 間伐이 이루어지기전에 人工間伐에 의한 目的에 適合한 木材의 生産 또는 最大密度 및 最大蓄積을 얻을 수 있는 林分密度管理의 指針을 얻고자 일본잎갈나무 林分の 密度管理表을 製作한 것이다.

製作한 圖表의 正確度を 결정하기 위하여 現實林의 樹高와 直徑 및 林分密度에 對應한 Ha當材積과 圖表에 代入하여 얻은 材積間에는 有意差를 발견할 수 없으므로(表 8) 製作한 林分管理圖表는 現實的으로 適用할 수 있다고 생각된다. 특히 現實林分에서 測定이 용이한 優勢木樹高에서 그 林分の 平均木樹高를 推定할 수 있도록 이들 關係를 分析해 두었다(Fig. 8).

Table 8. Comparing the exactness of the diagram for density control of Japanese larch stand.

From the field data(average)				From the diagram	
Height	Diameter	Density	Volume/ha	Volume/ha m ²	Error m ³
5.4m	5.4cm	2,774	19.0	19	0
7.5	7.3	2,594	40.1	41	0.9
9.9	9.3	2,280	72.2	75	3.2
11.9	10.8	2,280	72.2	75	3.2
14.3	14.1	1,522	157.7	152	-5.5
15.9	11.7	1,035	163.6	162	-2.0
17.6	17.3	1,009	189.0	912	3.0
19.9	20.3	718	220.3	230	10.0
21.7	24.0	573	262.7	260	-2.0

結 論

以上の 結果와 考察의 過程을 거쳐 일본잎갈나무 林分の 密度管理圖表를 製作하였다. 이 圖表는 同林分の 生産豫測, 間伐 및 收穫豫測等 合理的인 密度管理의 指針이 될 것이다.

引用 文 獻

- Harms, W.R. and A.B. Collins. 1965. Spacing and twelve year growth of slash pine. J. For. 63 (12) : 909-912.
- Ikusima, I.K. Shinozaki and T. Kira, 1955. Growth of duckweed, with a theoretical consideration on the C-D effect(Intraspecific competition among higher plants Ⅱ). J. Inst. Polytech., Osaka City Univ. D6, 107-119.
- 김동춘 1967. 일본잎갈나무 임분의 수확과 성장에 관한 연구. 임업시험장 연구보고 13호
- Kira, T. H. Ogawa, H. Koyama and K. Yoda. 1956, Supplementary notes on the C-D effects (In traspecific competition among higher plants V). J. Inst. Poly tech., Osaka City Univ. D7, 1-14.
- 馬相圭. 1974. 環境因子の 數量化에 의한 잣나무 林收穫量推定과 林木生長에 關한 研究, 林業試驗場報告 21號.
- 馬相圭. 1974. 리기다소나무 幼令林分의 密度效果 林試研報. 21號.
- 馬相圭, 1974. 잣나무 2-1묘와 방크스소나무 1-1묘의 生長에 미치는 密度效果, 韓林誌 32 : 1-8
- 四手井綱英, 只木良也. 菅誠. 1961. 施肥密度試驗 (第2報). 스기を用いた模型林分における施肥密度效果. 71回 日林講 : 212-213.
- 只木良也. 1963. 競争密度効効試を基にした幹材積 收穫豫想. 日本 林試報, 154 : 1-19.
- 只木良也, 四手井綱英. 1963. 數量的 間伐に關する 生態學的研究京. 大觀演報, 34 : 1-31.
- 只木良也. 1964. 競争密度效果を用いて檢付した間伐と幹材積收穫との關係. アカマツの場合. 日本. 林試報, 166 : 1-22.
- Shantz, H.T. 1956. Twenty five years summary of red pine thinning plots. J. For. 54(8) : 512-514.
- 依田恭二. 1971. 森林の生態學. 築地書館
- Wardle, P.A. 1967. Spacing in plantations For. XL(1) : 47-69
- Yoda, K. T, Kira, H. Ogawa and K. Hozumi, 1963. Self-thinning in overcrowded pure stands under cultivated and natural condition(Intraspec-

- ific competition among higher plants II). J. Biol. Osaka City Univ. D 8, 161—178.
15. 四大學合同調査班, 1964. 森林の生産力に関する研究. 第2報. 信州産カラマツ林について. 林業技術協會.