

樹幹析解 電算프로그램 開發 및 生長量 計算方法의 比較에 關한 研究^{1*}

邊雨燦² · 李祐均² · 尹光培³

A Development of Stem Analysis Program and its Comparison with other Method for Increment Calculation^{1*}

Woo Hyuk Byun², Woo Kyun Lee² and Kwang Bae Yun³

要 約

본 연구에서는 수간석해의 분석시간과 경비를 줄이고 정확도를 높이기 위하여 P.C용 수간석해 프로그램을 제작하였으며, 본 프로그램에 이용된 수간석해 방법과 기존방법을 비교하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

연륜측정기로 부터 1/100mm단위로 연륜 1개씩 측정된 data가 컴퓨터에 자동입력되도록 Turbo pascal을 이용하여 프로그램 하였다. 또한 각 단판의 직경이 단면적 평균법에 의해 계산되며, Spline function에 의해 재적 및 수고가 계산되도록 Fortran 77을 이용하여 수간석해 계산프로그램을 제작하였다.

이와같이 계산된 각종 성장량은 1년, 5년 단위로 각각 출력되며 수간석해도 및 각종 성장량도가 personal computer용 dot printer로 출력가능하여 수간 석해의 결과를 보다 쉽게 이용할 수 있게 되었다.

본 프로그램에서 이용된 수간석해 계산방법과 기존방법을 비교한 결과 단면적평균법이 편심에 의한 오차를 줄일 수 있었고, 수고 및 재적계산에서 Spline함수에 의한 간곡선 추정을 이용할 경우에는 다른 합수식에 의한 성장량 계산값보다 더욱 정확히 계산 가능하였다.

ABSTRACT

In this study the stem analysis program, which can be operated with personal computer was developed to reduce time and cost of calculation, and to increase accuracy of analysis. The stem analysis method used in this program was compared with other methods.

The results obtained were as follows: The value, 1/100mm measured from the latest annual ring measurement machine (Jahrringmeßgeraete Johan Type II) was automatically inputed to the computer and saved into given file name. Turbo Pascal program was written to do this.

The measured data was analyzed by stem analysis calculation program written by Fortran-77. Volume and height increments were approximated by spline function, and diameter of the stem disk was

¹ 接受 1989年 8月 12日 Received on August 12, 1989

² 高麗大學校 農科大學 College of Agriculture, Korea Univer., Seoul, Korea

³ 建國大學校 自然科學大學 Kon-Kuk Univer., Seoul, Korea

* 본 연구는 1988년도 한국과학재단의 연구비 지원에 의하여 수행되었음.

calculated by quadratic mean method. The increment values calculated by the programs were printed annually and in every five-year. Stem analysis diagram and several increment graphs were also easily printed.

The result compared between those analysis methods showed that quadratic mean could reduce the error caused from eccentric pith. When the stem taper curve method, approximated by spline function, was used in the calculation of tree height and volume, increments would be more exactly calculated.

Key words : stem analysis ; interval approximation ; stem taper curve ; interpolatory function ; spline function ; quadratic mean

緒 論

林木의 生長過程을 단기간 동안에 査定할 수 있는 가장 정확하고 직접적인 方法으로서 樹幹析解法(stem analysis)을 들 수 있는데, 樹幹析解라 함은 單木의 生長過程을 정밀히 査定하여 林分의 生長狀態를 파악함은 물론 미래의 生長을 推定하는 데에 널리 이용되어온 方法이다.¹⁶⁾ 현재 우리나라에서는 年輪測定 및 生長量分析에 현대적인 技法을 사용하지 못하고, 확대경을 이용하거나 5개의 年輪을 묶어서 測定한 후 이를 평균하여 각종 結果치를 計算하는 方法을 사용해 오고 있다. 이는 測定에 있어서 부정확한 結果를 초래할 뿐만 아니라 樹幹析解圖와 각종 生長量計算 및 그래프 製作過程에서도 막대한 시간과 경비를 소모해야 하며 計算過程이 복잡하여 結果 역시 부정확성을 면치 못하고 있는 실정이다.

최근 林業 선진국에서는 원판(Disk) 測定用 Camera를 이용하여 年輪幅을 1/100mm까지 測定하고 있으며, 이 기계를 Computer와 연결하여 測定된 年輪幅을 자동 입력시킬 수 있는 등 測定과 分析에서 현대적인 方法을 사용하고 있다. 일본에서는 1977년에 樹幹析解에 대한 電算프로그램이 이미 報告되었으¹²⁾ 미국에서도 Herman 등⁷⁾이 이에 대한 프로그램을 開發하였다. 독일과 오스트리아에서도 이에 대한 研究가 훨씬 앞서 生長量 計算뿐만 아니라 生長과 環境因子와의 影響관계의 分析에 이르기까지 광범위하게 이용되고 있다.¹⁰⁾

우리나라에서도 이에 대한 研究가 거의 없다가 1985년에 Basic¹⁷⁾을 이용한 樹幹析解 프로그램이 처음 開發되어 研究水準이 초기단계에 있으며, 樹幹析解에 대한 樹幹析解 製作과 각종 生長量 및 그래프를 보다 신속하고 정확하게 처리할 수 있는 발전된 樹幹析解 프로그램 開發이 요구되고 있다.

따라서 본 研究에서는 여러가지 年輪測定方法을 이용한 단면적 및 재적계산에 있어 보다 정확한 方法을 이용하여 각종 그래프製作, 生長量 計算 및 分析에 이르기까지 樹幹析解의 전 過程을 완전 자동화한 P.C用 樹幹析解 프로그램을 開發하는데 그 目的이 있다.

材料 및 方法

1. 材料

1) 프로그램構成 및 使用言語

제작된 프로그램은 측정프로그램, 계산프로그램, 그래픽프로그램으로 구성되며, 측정 및 그래픽프로그램은 Turbo pascal (version 4.0)³⁾을 이용하여 제작하였고, 계산프로그램의 제작에는 Fortrans 77¹³⁾을 이용하였다.

2) 機器

P.C用으로 개발된 본프로그램의 제작 및 운용에는

○年輪測定機(Jahringmeßgeraete Johan II 1 Set)

○16 Bit Personal Computer (AT)

○Epson LQ 2500 Printer

등이 사용되었다.

2. 方法

1) 測定 프로그램

(1) Data 轉送 및 貯藏

年輪測定機로부터 1/100mm단위로 測定된 Data가 RS 232-C Data 전송장치에 의해 Computer로 轉送되며 轉送 mode 및 data형식은 다음과 같다.

○轉送方法 : Simplex (계측기에서 Computer로의 轉送만 가능)

○轉送 Mode

Speed : 1200 bps

Start bit : 1 bit
 Stop bit : 1 bit
 Data length : 8 bit/Character
 Parity : no Parity

○轉送 Data형식(13문자)

S D D D D D P D D M M L F C R

S : Sign(+, -), -기호만 표시됨
 D : 測定된 Data
 P : Point
 MM : mm 표시
 LF : Line Feed

CR : Carrage Return

또한 연륜측정기로부터 전송된 data는 斷板別, 方向別 순서에 따라 주어진 File(Code No.)에 順次 File(sequential file)形式으로 入力되도록 하였다.

(2) 단관측정방법

단관측정은 4방향을 측정할 수 있도록 하였으며 분할하는 방법으로는 단관의 最長반경으로부터 22.5°부분⁶⁾을 기준선으로하여 4방향을 직교하게 분할하였고, 樹皮(bark)에서 髓(pith)쪽으로 연륜을 하나씩 측정하도록 하였다.

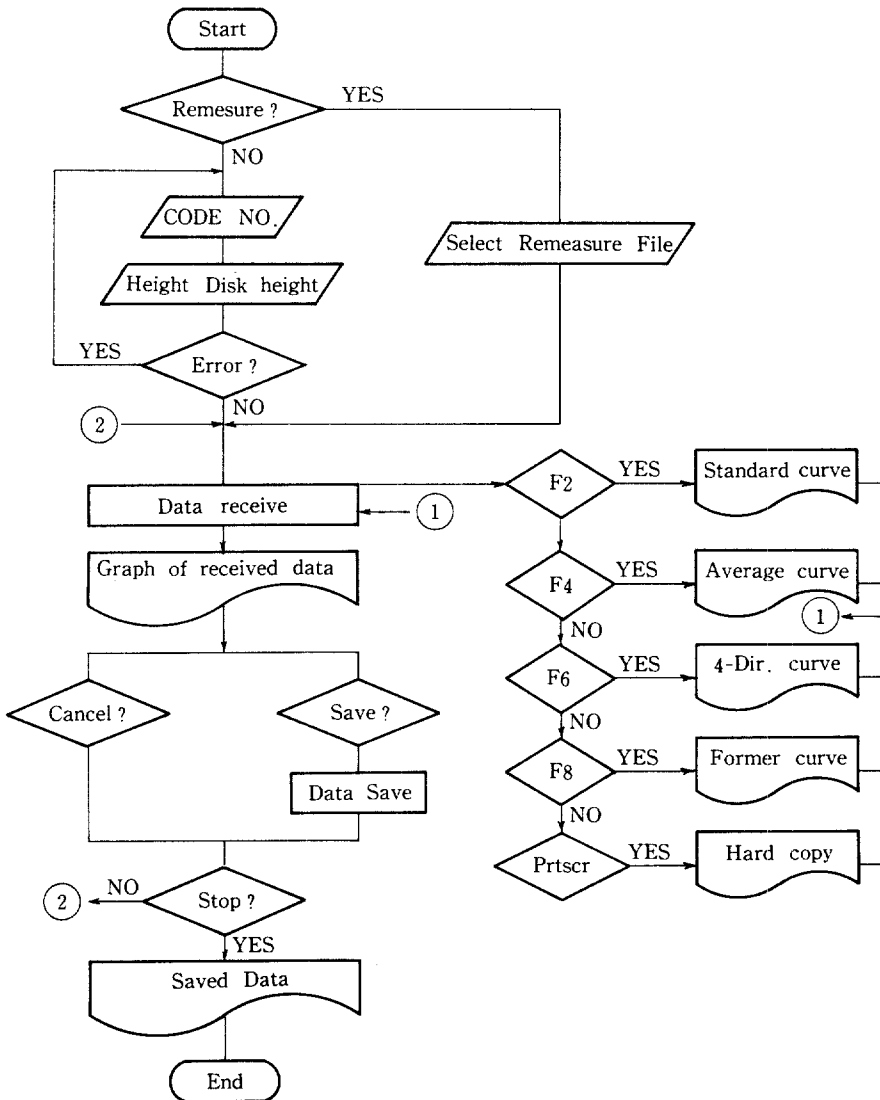


Fig. 1. Measure program flow chart

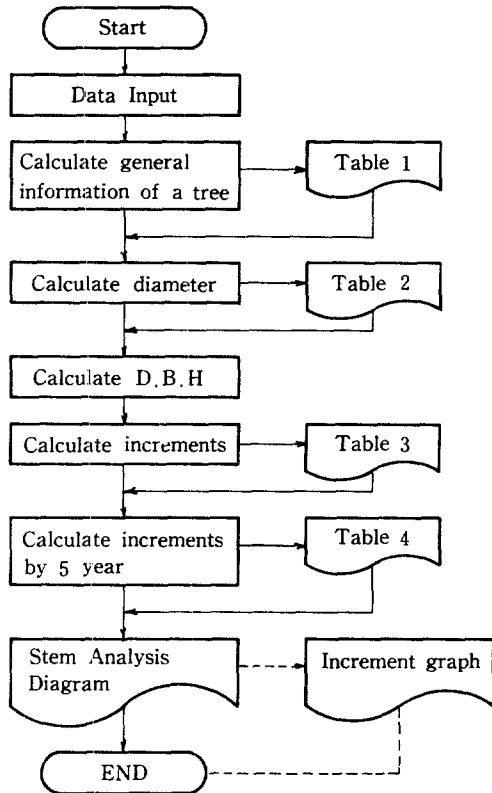


Fig. 2. Stem analysis calculation program flow chart

3. 計算 프로그램

1) 各 斷板의 直徑計算(DIAMETER INCREMENT)

단판의 평균직경을 구하는 방법으로는 算術平均法, 幾何平均法, 斷面積平均法등이 있으나,¹⁶⁾ 본 프로그램에서는 偏心에 의한 계산오차를 줄이기 위하여 斷面積法에 의한 平均값을 해당 年輪의 直徑으로 하였다.

$$D = 2 \times \sqrt{\frac{r_1^2 + r_2^2 + r_3^2 + r_4^2}{4}} \quad (r: \text{各 方向의 半徑})$$

2) 胸高直徑 및 胸高斷面積 生長量

地上 1.2m 단판의 직경 및 단면적을 胸高直徑과 胸高斷面積으로 하였다.

3) 材積生長量(VOLUME INCREMENT)

기존의 樹幹析解에서는 材積計算을 위하여 樹幹을 根株部, 缺頂幹部, 梢端部로 나누고 근주부는 Smalian식을, 결경간부는 Huber식 또는 Smalian식을, 초단부는 원추체공식을 적용해 왔으나 이는

수간을 neiloid體, 圓柱 또는 拋物線體, 圓錐體로 구성되었다는 전제하에 이루어진 것으로서 樹幹材積을 精確하게 計算한다고는 말할 수 없다. 또한 최근에는 Huber식이나 Smalian식에 의한 함수식 보다는 精確한 幹曲線推定^{5,10,15)}에 의한 材積計算方式이 널리 利用되고 있다.

본 研究에서도 材積計算에 Spline Function^{1,2,4,8,11,14)}을 利用하여 幹曲線(stem taper curve)을 유도하였으며, 이 곡선의 回轉體의 積分을 해당 年輪의 材積으로 하였다.

○Spline function에 의한 幹曲線推定

Spline function이라 함은 區間推定(interval approximation)에 있어 全體의 區間을 하나의 式으로 推定하는 대신에 小區間(subinterval)으로 나누고 推定式을 소구간별로 각각 구하는 內插函數(interpolatory function)의 일종이다.¹⁴⁾

즉 <그림 3>과 같이 樹幹의 전체 구간 [a, b]를 n-1 구간으로 나누어 $x_1 < x_2 < x_3 < \dots < x_j < x_{j+1} < x_{j+2} < \dots < x_{n-1} < x_n$ 라 하고 이의 대응값을 $f(x_j) (= a_j)$ 라

할 때 다음 조건을 만족할 경우, 각 구간에서 서로 다른 推定式(S_j)를 구할 수 있다. 즉,

- i) Spline Function S는 소구간(x_j, x_{j+1})에서 최고 3차 방정식이다.
- ii) 1차 도함수 S'(x), 2차 도함수 S''(x)는 구간 [a, b]에서 연속이다.
- iii) S(x_j) = f(x_j)
- iv) S₁₊₁(x₁₊₁) = S₁(x₁₊₁) = f(x₁₊₁)
S'_{j+1}(x_{j+1}) = S'_j(x_{j+1})
S''_{j+1}(x_{j+1}) = S''_j(x_{j+1})
- v) S''(a) = S''(b) = 0

의 조건을 만족시킬때 이를 natural cubic spline¹⁴⁾이라 하며, 임의의 x값 T에 대해 다음식으로 나타낼 수 있다.

$$S_j(T) = a(j) + C(j, 1) \cdot D + C(j, 2) \cdot D^2 + C(j, 3) \cdot D^3$$

(D = T - x_j, j = 1, 2, --- n-1)

Spline 함수식을 계산할 때는 IMSL⁸⁾ (International mathematical statistical library)의 IC-SICU, ICSSCU subroutine을 이용하였다.

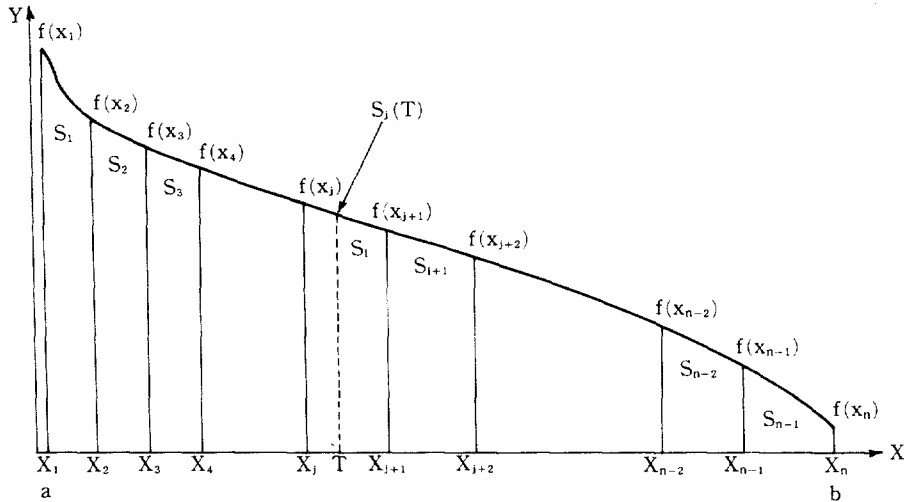


Fig. 3. Spline function interval approximation

○材積 總生産量

Spline 함수에 의해 推定된 幹曲線式 S의 회전체의 積分을 樹幹材積으로 하였으며, 生長率에는 Pressler식을 利用하였다.

$$Vm = \pi \cdot \int_{0.2}^{Hm} S^2(x) dx$$

(Hm=末口直徑 6cm 지점의 樹高)

6) 形數(FORM FACTOR)

F = V / (BA · H) (BA : 胸高 斷面積, H : 樹高)

7) 利用材積率(MERCHANTABLE VOLUME RATE)

$$MR = (Vm/V) \times 100$$

각종 年生長量(Current Annual Increment : C.A.I.) 및 平均年生長量(Mean Annual Increment : M.A.I.)는 기준방법을 따랐다.

$$C.A.I. = I(i) - I(i-1)$$

$$M.A.I. = I(i)/i \quad I : \text{Increment } i : \text{연령}$$

$$V = \pi \cdot \int_a^b S^2(x) dx$$

(a=0, b=樹高)

4) 樹高生長量(HEIGHT INCREMENT)

수간석해에서 樹高를 구하기 위해서는 樹高 曲線法, 直線 延長法, 平行線法 등이 이용되고 있으나,¹⁶⁾ 본 program에서는 Spline함수를 이용하여 樹高를 추정하였다. 즉, X축을 단면고 도달연령, Y축을 斷面高로 하고 각 연령의 Spline함수 값을 해당 연령의 樹高로 하였다.

$$H = S_j(T) = a(j) + C(j, 1) \cdot D + C(j, 2) \cdot D^2 + C(j, 3) \cdot D^3$$

1. $D = T - x_j, \quad j = 1, 2, \dots, n-1$

2. x_j : 단면고 도달연령

5) 利用材積(MERCHANTABLE VOLUME)

지상 0.2m이상과 末口直徑 6cm 이상되는 幹材積을 利用材積(Vm)으로 하였다.

4. 그래픽 프로그램

각종 生長曲線圖를 5년 단위로 나타내었다. Menu형식으로 되어 있어 원하는 그래프를 선택적으로 화면과 Printer로 출력시킬 수 있게 프로그램하였다.

結果 및 考察

1. 測定 Program 運用方法

1) File Name (Code No.) 選擇 Mode

처음 測定(New) 혹은 再測定(Re-Measure)을 선택할 수 있는데 새로운 공시목을 처음 측정할

경우에는 N(New)을 선택하고, 측정하다가 작업을 중단한 斷板을 계속해서 測定하고자 할 때에는 R(Re-measure)을 누르면 재측정이 가능하다.

- New 選擇 : <그림 4>가 Display되어 Code No.(File Name)를 入力할 수 있다. Code No.는 4문자까지 入力할 수 있으며, File Type은 Default로 “.MEA”가 된다.
- Re-measure 選擇 : File Type이 “.MEA”인 File이 화면으로 출력되어 再測定 File을 選擇할 수 있다. 원하는 번호를 入力하면 標準生長曲線圖 選擇 Mode로 화면이 바뀐다.

SET UP	
Working File Name <X000>	: L008
Total Height <O000>	: 2863
Disk Height <0000>	
1 : 0020	11 : 000
2 : 0120	12 : 000
3 : 0320	13 : 000
4 : 0720	14 : 000
5 : 1120	15 : 000
6 : 1520	16 : 000
7 : 1920	17 : 000
8 : 2320	18 : 000
9 : 2520	19 : 000
10 : 2720	20 : 000
OK ? <Y/N> : y	

Fig. 4 Total height and disk height input mode in measure program

2) 樹高(Total Height), 斷板높이(Disk Height) 入力

樹高와 斷板높이를 소수점없이 入力할 수 있으며 잘못 入力하였을 경우 수정할 수 있다.

3) 標準生長曲線圖 (Standard Curve) 選擇 Mode

地域別 標準生長曲線圖(File Type : .STC)가 入力되어 있을 경우 斷板의 채취지역에 해당하는 標準生長曲線圖를 選擇하면, 이것이 측정화면에 나타나 年輪측정시 比較 測定을 가능하게 하여 측정 오류를 줄일수 있게 하였다.

4) 測定 Mode

測定은 樹皮(Bark)에서 髓(Pith)쪽으로 年輪 하나씩 해나가며, 한 方向이 모두 測定되면 年輪

測定機 Handle을 반대로 돌린 후 Button을 눌러 한쪽 方向의 半徑 測定을 끝낼 수 있다.

測定時 화면은 <그림 5>와 같이 크게 5부분으로 나뉘어진다.

1. 斷板說明 : 測定斷板의 Code No., 단판번호(Disk :), 半徑方向(Radius :)이 표시된다.
2. 標準生長曲線圖(SC) : 選擇된 標準生長曲線圖가 Bark에서 Pith方向으로 그려진다.
3. 測定年輪曲線(RC) : 年輪測定機로 부터 1/100mm 단위로 測定된 Data가 測定되는 순서에 따라 그려진다.
4. 測定값 표시 : 測定되고 있는 Data의 값과 Data수, 年輪幅이 표시된다.
5. Menu : 測定도중 Program運用に 필요한 Menu가 표시되어 있다.

F1 : 한 方向으로 測定이 끝난 후 Error를 발견하였을 경우 F1 Key를 누르면 再測定할 수 있도록 한다.

F9 : 測定된 Data를 주어진 Code No.에 저장하고 다음 半徑을 測定할 수 있도록 한다.

F5 : 測定을 중단하거나 마치고 프로그램에서 빠져나간다.

F2 : Standard Curve가 2번 화면에 그려진다 (Default).

F4 : 前 斷板의 平均 값이 2번 화면에 그려진다.

F6 : 현재 測定中인 半徑 前의 4半徑 값이 2번과 3번 화면에 그려진다.

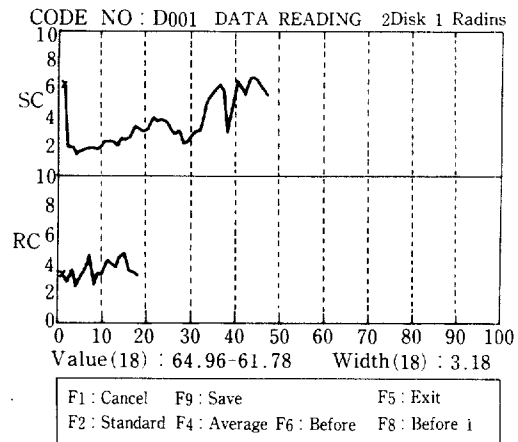


Fig. 5. Standard curve and yearring increment curve measured in measure program

F8 : 현재 測定中인 半徑 바로 前의 半徑이 2
번 화면에 그려진다.

2. 樹幹析解 計算 Program 운용방법

측정 프로그램에서 완성된 Data를 계산 프로그램으로 분석하기 전에 수간석해목에 대한 표준지 조사 내용(수종, 조사지역, 조사일, 방위, 위도 등)을 입력해야 하며, 樹幹析解 計算 Program을 실행시킬 경우 樹幹析解에 대한 각종 結果值가 Table로 출력된다.

1) 樹幹析解木의 一般情報

樹幹析解木에 대한 一般情報 (수종, 조사지역, 조사일, Code No., 단판수, 0.2m 단판의 연륜수, 위도, 방위)와 斷板높이, 각 斷板의 年輪數, 단면고 도달연령 등이 차례로 출력된다.(표 1)

2) 斷板別, 年度別 直徑

단면적 평균법에 의해 계산된 斷板別 年度別 直徑이 Cm단위로 소수점 2자리까지 출력된다.(표 2)

3) 年度別 각종 生長量

胸高直徑 生長量, 樹高 生長量, 胸高 斷面積 生長量, 材積 生長量, 材積 生長率, 形數, 利用材積, 利用率이 年齡別로 출력된다. 각 生長량에서

는 총 生長량 (GRI : Gross increment), 연년 生長량 (CAI : Current annual increment), 총 평균 生長량 (MAI : Mean annual increment) 순으로 출력되고, 재적의 경우 Pressler식에 의한 生長률(GP : Growth percent)를 표시하였으며 총 재적에 대한 樹皮의 比率를 Table끝에 출력시켰다.(표 3)

4) 5년별 각종 生長量

胸高直徑 生長量, 樹高 生長量, 材積 生長량이 5년 단위로 출력되는데, 각 生長량에서는 총 평균 生長량 (GRI : Gross increment), 정기 평균 生長량 (PAI : Period annual increment), 총 평균 生長량 (MAI : Mean annual increment), 순으로 나타내었다.(표 4)

3. 그래픽 프로그램

1) 樹幹析解圖

半徑을 X축, 樹高를 Y축으로 한 樹幹析解圖가 1년 단위로 출력된다.(그림 6)

2) 胸高直徑 生長曲線圖

胸高直徑 總生長曲線圖가 Cm단위로 출력되며, 胸高直徑 連年生長 및 總平均 生長曲線圖가 1/100 Cm 단위로 출력된다.(그림 7)

Table 1. General information output by stem analysis program

SPECIES	: LARIX LEPTOLEPIS (LARCH)
ADDRESS (CUT AREA)	: KYOUNG-BUK BONGHWA-GUN SOCHUN-MYUN
CUT DATE	: 1987.12.18 /BUNCHUN-RI 165-7
CODE NO.	: L008
NUMBER OF DISK	: 10
MAX.NO.OF YEAR-RING	: 48
TOTAL TREE HEIGHT(M)	: 28.63
LATITUDE	: 36.50
ASPECT OF PLOT-AREA	: 000

NO.	DISK-HEIGHT	YEARRING	YEAR	REMARK
1	.20	48	1940	
2	1.20	46	1942	
3	3.20	44	1944	
4	7.20	39	1949	
5	11.20	35	1953	
6	15.20	29	1959	
7	19.20	21	1967	
8	23.20	14	1974	
9	25.20	10	1978	
10	27.20	5	1983	
11	28.63	0	1987	

Table 2. Diameter table by a year and disk-height

TABLE 2 : DIAMETER BY YEAR																		
DISK- HEIGHT	DIAMETER BY YEAR (CM)																	
	1940	1941	1942	1943	1944	1945	1946	1947	1948	1949	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957
.20	.58	1.02	1.36	2.40	3.63	4.97	6.62	7.81	8.76	9.94	11.54	12.85	14.27	16.02	17.79	19.52	21.27	22.83
1.20	.00	.00	.32	1.27	2.31	3.46	4.92	6.19	7.24	8.40	9.75	10.85	12.09	13.53	15.08	16.48	17.87	19.13
3.20	.00	.00	.00	.24	.94	2.32	3.78	5.05	6.52	8.02	9.21	10.53	12.10	13.69	15.06	16.45	17.73	
7.20	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.40	1.57	2.88	4.40	6.09	7.77	9.13	10.58	11.91	
11.20	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.19	1.44	3.11	4.78	6.35	
15.20	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.60	
19.20	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
23.20	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
25.20	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
27.20	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
DISK- HEIGHT	DIAMETER BY YEAR (CM)																	
	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975
.20	23.65	24.44	25.17	25.67	26.24	26.89	27.61	28.44	29.50	30.46	31.23	32.13	32.87	33.57	34.30	34.99	35.62	36.13
1.20	19.78	20.49	21.08	21.50	21.94	22.65	23.23	23.82	24.61	25.39	26.20	27.07	27.84	28.54	29.26	30.01	30.65	31.20
3.20	18.42	19.15	19.78	20.27	20.69	21.40	22.08	22.65	23.41	24.21	24.98	25.78	26.52	27.18	27.85	28.53	29.07	29.61
7.20	12.57	13.36	14.03	14.64	15.12	15.92	16.65	17.32	18.08	18.83	19.63	20.54	21.37	22.01	22.74	23.46	24.15	24.81
11.20	7.20	8.35	9.25	9.95	10.57	11.56	12.36	13.17	13.93	14.72	15.49	16.53	17.47	18.29	19.11	19.95	20.75	21.41
15.20	.00	.00	1.24	1.93	2.51	3.37	4.34	5.26	6.05	6.92	8.00	9.29	10.53	11.63	12.60	13.55	14.63	15.29
19.20	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.31	.75	1.50	2.47	3.62	4.57	5.61	6.55	7.43
23.20	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.21	.59
25.20	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
27.20	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
DISK- HEIGHT	DIAMETER BY YEAR (CM)																	
	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987						
.20	36.79	37.28	37.79	38.29	38.81	39.16	39.55	39.94	40.28	40.59	40.89	41.27	43.34					
1.20	31.90	32.44	33.03	33.62	34.26	34.76	35.23	35.70	36.16	36.64	37.05	37.58	39.20					
3.20	30.21	30.71	31.28	31.81	32.40	32.79	33.17	33.60	34.06	34.50	34.89	35.27	36.36					
7.20	25.39	25.95	26.49	26.98	27.62	28.07	28.45	28.87	29.31	29.74	30.14	30.69	31.48					
11.20	22.04	22.59	23.14	23.77	24.50	24.97	25.38	25.84	26.32	26.80	27.27	27.79	29.08					
15.20	15.98	16.60	17.24	18.04	18.88	19.37	19.87	20.43	20.94	21.49	21.99	22.52	23.52					
19.20	8.38	9.17	9.95	10.93	12.05	12.79	13.52	14.18	14.82	15.41	15.93	16.53	17.38					
23.20	1.25	1.96	2.79	3.85	5.03	5.88	6.68	7.39	8.13	8.84	9.62	10.35	11.09					
25.20	.00	.00	.24	.75	1.45	2.21	2.88	3.61	4.28	4.96	5.69	6.28	6.94					
27.20	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.42	.79	1.34	2.00	2.60	3.03						

3) 樹高 生長曲線圖

樹高 總生長曲線圖는 m단위로, 樹高 連年生長 및 總平均 生長曲線圖는 Cm단위로 출력된다.(그림 8)

4) 材積 生長曲線圖

材積 總生產曲線圖가 1/100m³단위로 출력되고, 材積 連年生長 및 總平均 生長曲線圖는 1/10000 m³단위로 출력된다.(그림 9)

4. 樹幹析解 諸方法間의 比較

1) 測定方向 및 半徑計算法

임목의 단면적(basal area)은 통상 樹幹의 橫斷面이 圓이라는 가정하에 계산되지만, 실제로 수간의 橫斷面은 圓에 가까울 뿐이지 정확한 圓은 아니다. 단편의 형태는 불규칙할 뿐만 아니라 그 모양도 매우 다양하게 나타난다. 그리고 나무에 따라 偏心현상이 크게 나타나는 경우가 있어 어느 한 방향의 測定만으로는 정확한 生長量 計算을 할 수가 없다. 가능하다면 여러방향을 측정하는 것이 정확도를 높힐 수 있으나 이에 많은 노력이 들게되어 수간석해에서는 보통 4방향의 반경을 측정

Table 3. Increments table by a year

CODE NO	YEAR	AGE	TABLE 3 : INCREMENT DATA BY A YEAR															
			D. B. H (cm)		HEIGHT (m)		BASAL AREA (M ²)		VOLUME (M ³)		FORM FACTOR		MERCHANTABLE INCREMENT					
			GRI	CAI	MAI	GRI	CAI	MAI	GRI	CAI	MAI	G. P. (%)	GRI	CAI	VOLUME FORM	HEIGHT RATE (%)		
L008	1940	3	.00	.00	.00	.03	.01	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.00	.00
L008	1941	4	.00	.00	.00	.59	.56	.15	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.00	.00
L008	1942	5	.32	.32	.06	1.50	.92	.30	.0000	.0000	.0000	.0001	.0000	.0000	.0000	.0000	.00	.00
L008	1943	6	1.27	.95	.21	2.50	1.00	.42	.0001	.0001	.0000	.0004	.0003	.0001	126.6	.0000	.00	.00
L008	1944	7	2.31	1.04	.33	3.46	.96	.49	.0004	.0003	.0001	.0012	.0008	.0002	96.2	.0000	.00	.00
L008	1945	8	3.46	1.15	.43	4.31	.85	.54	.0009	.0005	.0001	.0026	.0014	.0003	73.5	.0000	.00	.00
L008	1946	9	4.92	1.47	.55	5.08	.77	.56	.0019	.0010	.0002	.0057	.0031	.0006	73.3	.0000	.00	.00
L008	1947	10	6.19	1.27	.62	5.82	.74	.58	.0030	.0011	.0003	.0098	.0041	.0010	52.8	.0022	1229	.70
L008	1948	11	7.24	1.05	.66	6.59	.77	.60	.0041	.0011	.0004	.0147	.0049	.0013	39.9	.0060	2224	1.45
L008	1949	12	8.40	1.16	.70	7.43	.84	.62	.0055	.0014	.0005	.0223	.0076	.0019	41.0	.0135	3275	2.70
L008	1950	13	9.75	1.35	.75	8.36	.94	.64	.0075	.0019	.0006	.0323	.0100	.0025	36.8	.0249	3995	4.07
L008	1951	14	10.85	1.10	.77	9.37	1.00	.67	.0092	.0018	.0007	.0432	.0109	.0031	29.8	.0352	4061	4.82
L008	1952	15	12.09	1.25	.81	10.38	1.01	.69	.0115	.0022	.0008	.0580	.0149	.0039	29.4	.0493	4135	5.70
L008	1953	16	13.53	1.44	.85	11.34	.96	.71	.0144	.0029	.0009	.0791	.0211	.0049	30.8	.0696	4266	6.70
L008	1954	17	15.08	1.55	.89	12.21	.87	.72	.0179	.0035	.0011	.1052	.0260	.0062	28.3	.0945	4334	7.64
L008	1955	18	16.48	1.41	.92	13.00	.78	.72	.0213	.0035	.0012	.1323	.0272	.0074	22.9	.1201	4332	8.57
L008	1956	19	17.87	1.39	.94	13.70	.70	.72	.0251	.0037	.0013	.1647	.0324	.0087	21.8	.1516	4411	9.70
L008	1957	20	19.13	1.26	.96	14.34	.64	.72	.0287	.0037	.0014	.1986	.0339	.0099	18.7	.1853	4495	10.82
L008	1958	21	19.78	.65	.94	14.93	.59	.71	.0307	.0020	.0015	.2148	.0197	.0104	9.5	.2042	4452	11.32
L008	1959	22	20.49	.71	.93	15.48	.55	.70	.0330	.0022	.0015	.2429	.0243	.0110	10.6	.2282	4474	12.00
L008	1960	23	21.08	.59	.92	15.99	.52	.70	.0349	.0019	.0015	.2652	.0223	.0115	8.8	.2503	4486	12.62
L008	1961	24	21.50	.43	.90	16.49	.50	.69	.0363	.0014	.0015	.2827	.0175	.0118	6.4	.2675	4466	12.70
L008	1962	25	21.94	.44	.88	16.97	.48	.68	.0378	.0015	.0015	.2997	.0171	.0120	5.9	.2841	4427	13.01
L008	1963	26	22.65	.70	.87	17.45	.48	.67	.0403	.0025	.0015	.3285	.0288	.0126	9.2	.3123	4443	13.45
L008	1964	27	23.23	.58	.86	17.92	.47	.66	.0424	.0021	.0016	.3567	.0282	.0132	8.2	.3399	4475	13.95
L008	1965	28	23.82	.60	.85	18.40	.48	.66	.0446	.0022	.0016	.3848	.0282	.0137	7.6	.3669	4472	14.32
L008	1966	29	24.61	.78	.85	18.89	.49	.65	.0476	.0030	.0016	.4184	.0335	.0144	8.4	.3992	4444	14.70
L008	1967	30	25.39	.78	.85	19.41	.51	.65	.0506	.0031	.0017	.4546	.0362	.0152	8.3	.4346	4424	15.20
L008	1968	31	26.20	.81	.85	19.94	.53	.64	.0539	.0033	.0017	.4934	.0388	.0159	8.2	.4724	4394	15.72
L008	1969	32	27.07	.87	.85	20.50	.55	.64	.0575	.0036	.0018	.5403	.0469	.0169	9.1	.5191	4401	16.26
L008	1970	33	27.84	.78	.84	21.06	.57	.64	.0609	.0033	.0018	.5869	.0466	.0178	8.3	.5647	4403	16.83
L008	1971	34	28.54	.70	.84	21.64	.57	.64	.0640	.0031	.0019	.6300	.0431	.0185	7.0	.6518	4364	17.45
L008	1972	35	29.26	.72	.84	22.21	.58	.63	.0672	.0032	.0019	.6757	.0457	.0193	7.0	.7452	4367	18.09
L008	1973	36	30.01	.75	.83	22.78	.57	.65	.0707	.0035	.0020	.7243	.0486	.0201	6.9	.8493	4341	18.45
L008	1974	37	30.65	.65	.83	23.34	.56	.63	.0738	.0031	.0020	.7726	.0483	.0209	6.5	.9449	4336	19.01
L008	1975	38	31.20	.55	.82	23.88	.54	.63	.0764	.0027	.0020	.8150	.0425	.0214	5.3	.1046	4320	19.49
L008	1976	39	31.90	.71	.82	24.41	.52	.63	.0799	.0035	.0020	.8601	.0451	.0221	5.4	.1141	4315	19.89
L008	1977	40	32.44	.54	.81	24.91	.51	.62	.0827	.0027	.0021	.9016	.0415	.0225	4.7	.1243	4215	20.33
L008	1978	41	33.03	.59	.81	25.40	.49	.62	.0857	.0030	.0021	.9457	.0440	.0231	4.8	.1343	4215	20.70
L008	1979	42	33.62	.59	.80	25.87	.47	.62	.0888	.0031	.0021	.9950	.0493	.0237	5.1	.1443	4207	21.33
L008	1980	43	34.26	.65	.80	26.31	.45	.61	.0922	.0035	.0021	1.0543	.0593	.0245	5.8	.1543	4204	22.08
L008	1981	44	34.76	.50	.79	26.73	.42	.61	.0949	.0027	.0022	1.0951	.0408	.0249	3.8	.1654	4200	22.58
L008	1982	45	35.23	.47	.78	27.12	.39	.60	.0975	.0026	.0022	1.1349	.0398	.0252	3.6	.1749	4179	23.01
L008	1983	46	35.70	.47	.78	27.48	.36	.60	.1001	.0026	.0022	1.1783	.0434	.0256	3.7	.1848	4172	23.45
L008	1984	47	36.18	.45	.77	27.80	.32	.59	.1027	.0025	.0022	1.2230	.0448	.0260	3.7	.1923	4177	23.83
L008	1985	48	36.64	.48	.76	28.09	.29	.59	.1054	.0028	.0022	1.2687	.0456	.0264	3.7	.2018	4179	24.20
L008	1986	49	37.05	.41	.76	28.37	.27	.58	.1078	.0024	.0022	1.3124	.0437	.0268	3.4	.2110	4188	24.58
L008	1987	50	37.58	.52	.75	28.63	.26	.57	.1109	.0031	.0022	1.3628	.0505	.0273	3.8	.2209	4192	24.83
BARK	1987	50	39.20	1.63	.77	28.63	.00	.56	.1207	.0098	.0024	1.4713	.1085	.0288	7.7	.4266	4158	25.20

BARK RATE : 7.37%. GRI : Gross Increment CAI : Current annual increment MAI : Mean annual increment GP : Growth increment

Table 4. Increments table by 5 year

TABLE 4 : INCREMENT DATA BY 5 YEAR

AGE	D. B. H (cm)				HEIGHT (m)				VOLUME (cu. m)			
	GROSS	P. A. I	T. M. I	GP (%)	GROSS	P. A. I	T. M. I	GP (%)	GROSS	P. A. I	T. M. I	GP (%)
5	.32	.0641	.0641	.00	1.50	.3006	.3006	.00	.0001	.0000	.0000	.00
10	6.19	1.1731	.6186	36.06	5.82	.8643	.5824	23.59	.0098	.0019	.0010	39.22
15	12.09	1.1816	.8063	12.93	10.38	.9106	.6918	11.24	.0580	.0096	.0039	28.44
20	19.13	1.4069	.9564	9.01	14.34	.7928	.7171	6.41	.1986	.0281	.0099	21.91
25	21.94	.5628	.8777	2.74	16.97	.5263	.6789	3.36	.2997	.0202	.0120	8.11
30	25.39	.6891	.8463	2.91	19.41	.4865	.6469	2.67	.4546	.0310	.0152	8.21
35	29.26	.7741	.8360	2.83	22.21	.5614	.6347	2.70	.6757	.0442	.0193	7.83
40	32.44	.6365	.8110	2.06	24.91	.5397	.6228	2.29	.9016	.0452	.0252	5.73
45	35.23	.5583	.7829	1.65	27.12	.4421	.6027	1.70	1.1349	.0466	.0252	4.58
50	37.58	.4686	.7515	1.29	28.63	.3016	.5726	1.08	1.3628	.0456	.0273	3.65
BARK	39.20	.0000	.7840	.00	28.63	.0000	.5726	.00	1.4713	.0000	.0294	.00

GROSS : Gross increment
 P. A. I : Period annual increment
 M. A. I : Mean annual increment
 CODE NO. : L008

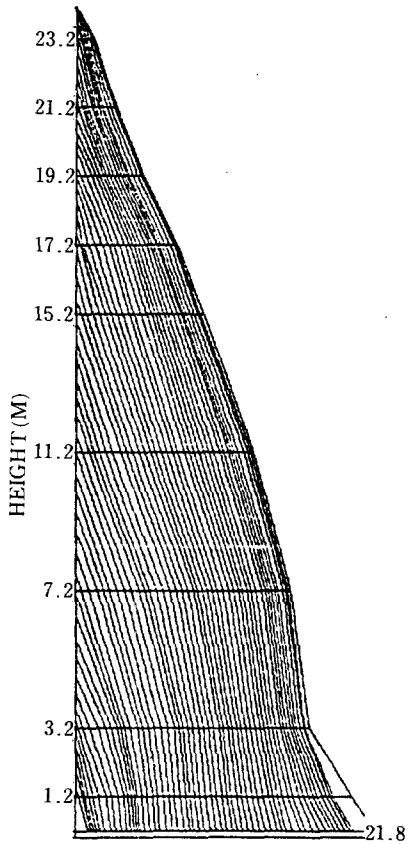


Fig. 6. Stem analysis diagram output by 24 pin dot printer

하는 방법을 사용하고 있다. 이러한 측정방향수를 비롯하여 방향분할방법, 평균계산방법에 따라 반

경 및 단면적계산이 달라질 수 있으므로, 오차를 줄이고 정확한 계산을 위한 방법이 요구되고 있다. 본 연구에서는 단판의 모양이 원형, 타원형, 달걀형일 때를 가산하여 분할방법과 평균계산방법 간의 정확도를 비교해 보았다.

(1) 方向分割方法

수학적 계산에 의하면 Pith를 중심으로 최장반경으로부터 22.5° 떨어진 부분을 기준선으로 하여 4방향을 직교하게 분할하는 것이 정확도를 높일 수 있는 것으로 보고되어 있어, 본 연구에서는 원형, 타원형, 달걀형의 세형태에서 정확도를 비교 분석하였다.

만약 단판이 정확한 원이라면 <표 5>에서 보는 바와 같이 pith를 중심으로 어느선을 기준으로 하여 방향을 분할하더라도 斷面的 平均法을 쓰면 반경이 정확히 계산되는 반면 算術平均計算法에서는 다소 차이가 난다. 따라서 단판이 정확한 원일 경우에 단면적 평균법을 사용한다면 어느방향으로 4방향을 분할하더라도 같은 값으로 된다.

원형의 경우와는 달리 타원 및 달걀형의 경우에는 pith로부터 최장반경과 이에 직교한 4방향(16, 8, 12, 4번 반경)으로 반경을 계산하면 과대치로 계산된다. 이의 오차를 줄이기 위해 최장반경을 중심으로 각도를 이동하여 기준선을 잡아 계산해 보면 斷面的 平均法에서 22.5°와 67.5°의 경우가 가장 정확히 계산되었다. 이상을 고려해 볼 때 반경 방향은 장반경을 중심으로 하여 22.5° 떨어진 부분을 기준선으로 하는 것이 가장 정확하다고 할

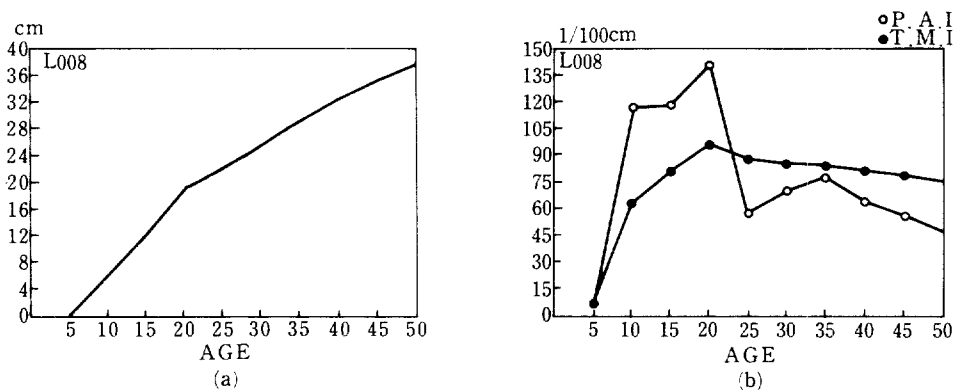


Fig. 7. (a) D.B.H. gross increment curve
(b) D.B.H. period annual and total mean increment curve

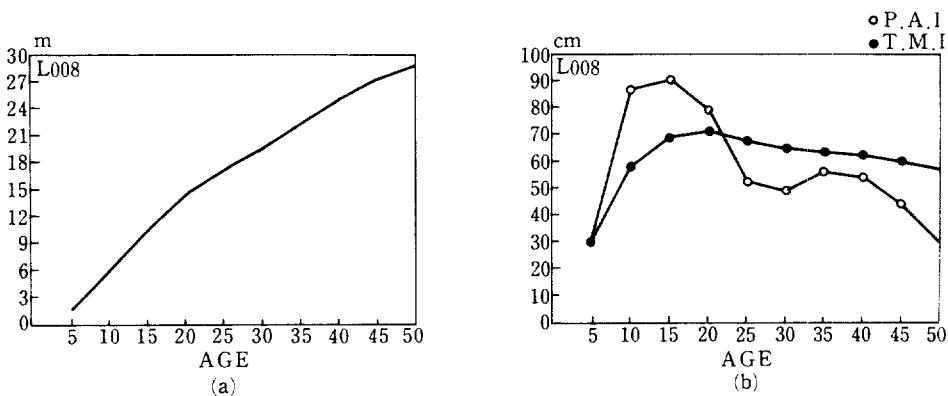


Fig. 8. (a) Height gross increment curve
(b) Height period annual and total mean increment curve

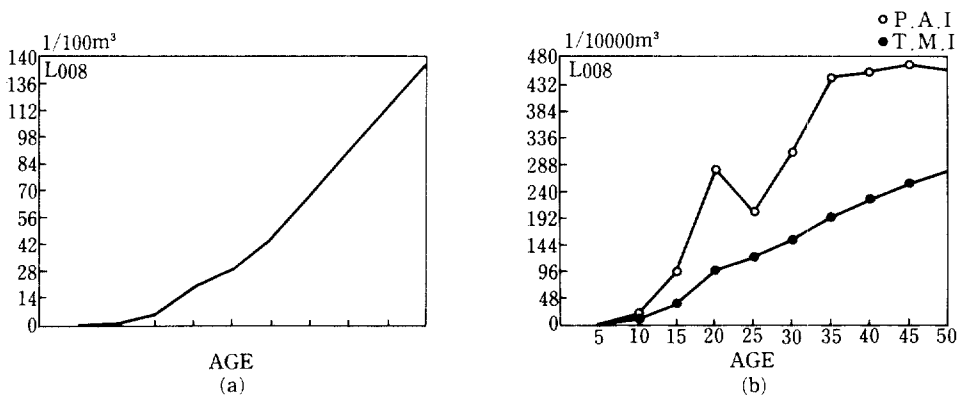


Fig. 9. (a) Volume gross increment curve
(b) Volume period annual and total mean increment curve

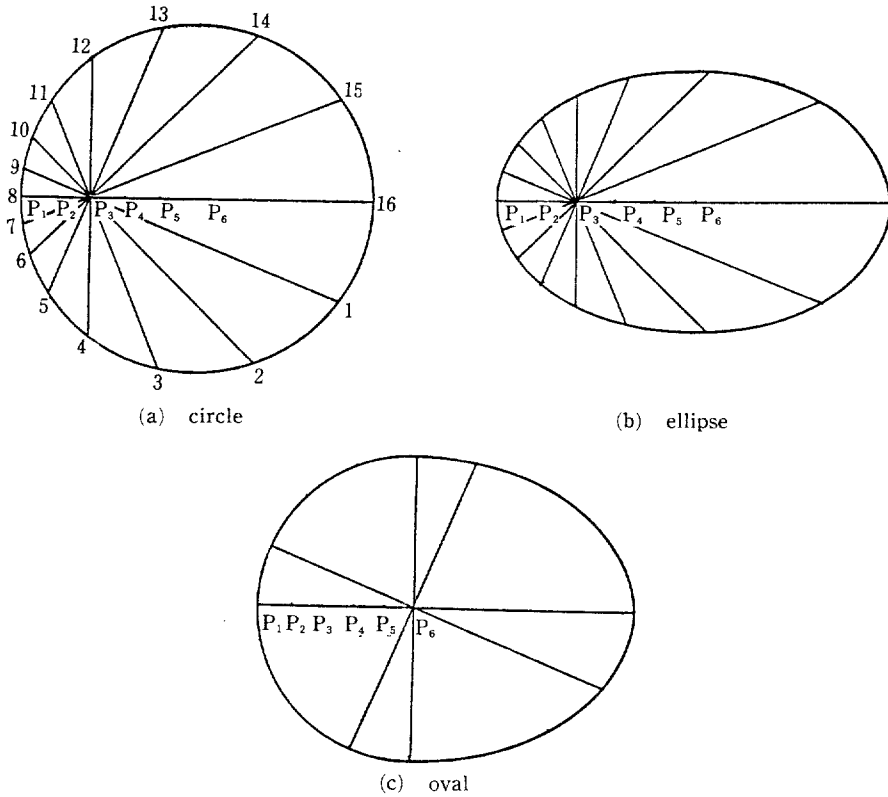


Fig. 10. 4 direction division by disk form

Table 5. Radius value according to angle and mean method

FORM	ANGLE	R(1)	R1	R2	R3	R4	A.M(2)	Q.M(3)	1-2	1-3
circle	22.50	20.00	30.55	8.38	21.24	12.05	18.06	20.00	1.94	.00
	45.00	20.00	26.60	9.63	26.60	9.63	18.11	20.00	1.89	.00
	67.50	20.00	21.24	12.05	30.55	8.38	18.06	20.00	1.94	.00
	90.00	20.00	16.00	16.00	32.00	8.00	18.00	20.00	2.00	.00
ellipse	22.50	14.14	21.25	10.98	10.61	8.89	12.94	13.82	1.21	.32
	45.00	14.14	14.07	9.55	14.07	9.55	11.81	12.03	2.33	2.12
	67.50	14.14	10.61	8.89	21.25	10.98	12.94	13.82	1.21	.32
	90.00	14.14	9.17	9.17	28.00	12.00	14.58	16.55	-.44	-2.41
oval	22.50	12.25	17.93	8.12	10.76	9.06	11.47	12.09	.78	.15
	45.00	12.25	13.16	8.49	13.16	8.49	10.82	11.07	.42	1.17
	67.50	12.25	10.76	9.06	17.92	8.12	11.47	12.09	.78	.15
	90.00	12.25	9.95	9.80	22.00	8.00	12.44	13.63	-.19	-1.38

A.M : Arithmetic mean

Q.M : Quadratic mean

수 있겠다.

(2) 半徑平均方法

4방향을 평균하는 방법으로는 그간 보통 사용해 온 算術平均法(arithmetic mean)이 있는데 이는 편심이 일어난 경우에 오차가 크거나 결함이 있다. 따라서 최근에는 이러한 편심에 의한 오차를

줄이기 위해 斷面的平均法(quadratic mean)을 많이 사용하고 있다.

$$\text{산술평균법 : } Am = \frac{r_1 + r_2 + r_3 + r_4}{4}$$

$$\text{단면적평균법 : } Qm = \frac{r_1^2 + r_2^2 + r_3^2 + r_4^2}{4}$$

Table 6. Radius value according to pith

DISK-FORM		P1	P2	P3	P4	P5	P6
circle	R(1)	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
	A.M(2)	13.07	16.26	18.06	19.17	19.80	20.00
	Q.M(3)	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
	1-2	6.93	3.74	1.94	.83	.20	.00
	1-3	.00	.00	.00	.00	.00	.00
ellipse	R(1)	14.14	14.14	14.14	14.14	14.14	14.14
	A.M(2)	7.49	10.46	11.99	12.94	13.46	13.63
	Q.M(3)	13.02	13.37	13.63	13.82	13.93	13.97
	1-2	6.65	3.68	2.15	1.21	.68	.51
	1-3	1.13	.78	.51	.32	.21	.17
oval	R(1)	12.25	12.25	12.25	12.25	12.25	12.25
	A.M(2)	8.13	9.42	10.30	10.97	11.47	11.82
	Q.M(3)	12.25	12.07	12.03	12.05	12.09	12.15
	1-2	4.11	2.83	1.95	1.28	.78	.43
	1-3	.00	.18	.22	.20	.15	.10

A.M : Arithmetic mean
 Q.M : Quadratic mean
 P1~P6 : Pith

본 연구에서는 단판이 원형, 타원형, 달걀모양 일 때를 가정하여 편심이 되었을 경우의 이의 평균법간의 정확도를 비교하였다. <표 6>은 단판의 중심을 원주선상에서부터 중심까지 이동해 가면서 계산된 산술평균값과 단면적 평균값을 나타낸다. 이를 살펴보면 산술평균의 경우에는 단판의 형태에 관계없이 편심에 따른 오차가 큰 반면 단면적 평균은 오차가 훨씬 적었다.

2) 樹高 生長量

Spline 함수에 의한 樹高 推定값과 기존 방식인 樹高曲線法에 의한 추정값을 비교하였다. 수고곡선법은 斷面高 倒達年齡을 X축으로 하고 斷面高를 Y축으로 하여 座標사이를 直線으로 연결한 다음, 해당연령의 樹高를 그래프상에서 직접 구하는 방법이다. 이 방법은 樹高曲線이 線型이라는 가정하에 각 구간을 직선으로 추정하는 방법으로써 이를 이용하여 樹高를 추정할 경우 각 단판 도달연령에서는 단판높이가 해당 연령의 수고로 계산되는 한계가 있다. 즉 수고곡선법에 의한 수고 성장량은 斷板의 채취높이인 7.20m, 11.20m, 15.20 m ... 등이 그대로 樹高로 계산되는데 이는 區間의 직선 추정인 수고 곡선법에서는 斷面高 倒達年齡의 樹高에서 단판높이 보다 상부로 자란 부분이 계산되지 않기 때문이며, 구간의 曲線推定인 Spline함수를 이용하여 樹高를 계산할 경우 이러한 한계를 극복할 수 있다.

3) 材積 生長量

재적계산에 이용된 Spline함수식을 기존의 Huber식, Smalian식과 비교한 결과, Spline 함수식이 Smalian식과 Huber식의 중간값으로 계산되었다. <그림 11>은 spline식에 대한 두 방법의 오차율을 연령별로 나타낸 것인데, 여기에서 보면 낮은 연령에서는 Error율이 비교적 컸으나 연령이 증가할수록 점차 감소하여 기존 Huber식, Smalian식의 값이 Spline함수식에 근접해 감을 볼 수 있다.

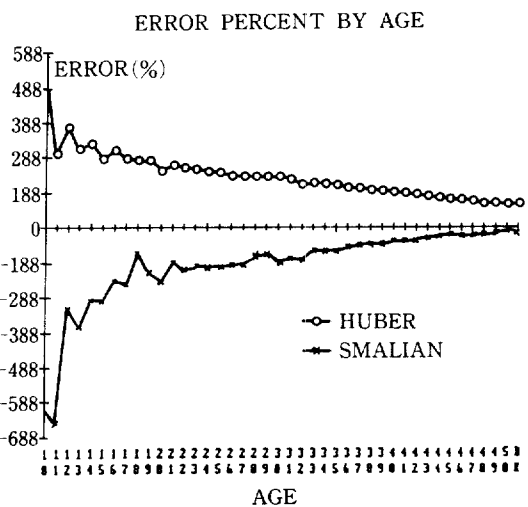
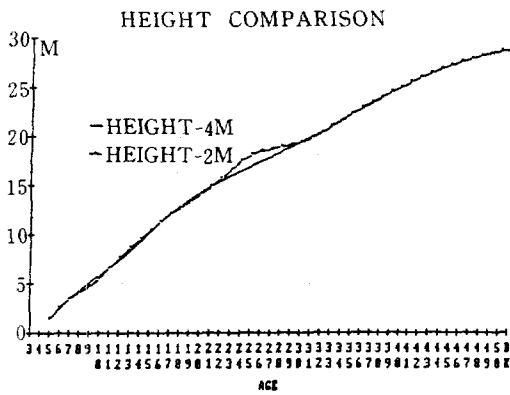


Fig. 11. Volume increment error percent by age between spline function and huber's, smalian's formula.

이는 幹曲線 推定式에 비해 Smalian식이 과대치로, Huber식은 과소치로 계산된다는 기존 사실¹⁶⁾과 일치되는 것이며, 이로써 spline function이 비교적 정확하게 재적을 계산한다고 말할 수 있겠다. 따라서 Spline 函數에 의한 幹曲線 推定法은 材積計算에서 정확한 계산치를 유도할 뿐만 아니라 기존 Huber식이나 Smalian식에서는 불가능한 임의의 樹幹部位에 대한 直徑推定이 가능하여 수간부위에 따른 材積을 구할 수 있으므로 利用材積表 製作등에 有用하게 이용될 수 있다.

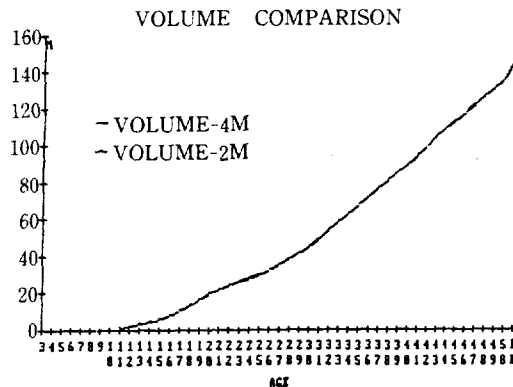
4) 斷板間隔과 生長量

Spline함수에 의한 樹高 및 材積계산에서 斷板



HEIGHT2 : 斷板間隔 2m (0.2, 1.2, 3.2,29.2m)
 HEIGHT4 : 斷板間隔 4m (0.2, 1.2, 5.2, 9.2,25.2, 27.2, 29.2)

Fig. 12 Height increment by different disk interval



VOLUME-2M : 斷板間隔 2m
 VOLUME-4M : 斷板間隔 4m

Fig. 13. Volume increment by different disk interval

의 採取間隔을 2m단위로 한 경우와 4m단위로 한 경우의 生長量차이를 분석하였는데, <그림 12, 13>에서 보듯이 수고 및 재적 生長량에서 큰 차이가 없이 거의 같은 값으로 추정되었다.

일반적으로 斷板의 採取間隔을 좁게 할 수록 幹曲線 推定의 정확도가 높아 生長量 계산에 理想的이라 할 수 있으나, 이에는 時間과 努力이 많이 소요될 뿐만 아니라 단판 채취로 인한 木材의 損失이 많아 非經濟的이다.

우리나라의 伐採木 調製는 直徑級과 通直度에 따라 6자 (180cm), 9자(270cm), 12자(360cm) 單位로 행해지기 때문에 長材의 경우에는 굵이 2m를 고집할 것이 아니라 12尺 단위로 단판을 채취하더라도 무리가 없다고 판단된다. 따라서 특별히 正確性을 要하는 수간석해의 경우를 제외하고는 4m정도의 간격으로 단판을 채취하는 것이 바람직하다 하겠다. 기존의 Huber식이나 Smalian식에서는 斷板間隔을 2m 혹은 3m로 固定해야 하는 불편함이 있으나 간곡선 추정방법인 Spline함수를 이용하여 生長량을 계산할 경우, 樹幹 部位別로 木材의 用途에 따라 단판을 임의의 간격으로 채취할 수 있어 작업이 용이할 뿐만 아니라 단판 채취로 인한 木材의 損失을 막을 수 있다.

結 論

본 연구에서는 수간석해의 분석시간과 경비를 줄이고 정확도를 높이기 위하여 P.C용 수간석해 프로그램을 제작하였으며, 본 프로그램에 이용된 수간석해 방법과 기존방법을 비교하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 연륜측정기로 부터 1/100mm단위로 연륜 1개씩 측정된 Data가 컴퓨터에 자동입력되도록 Turbo pascal을 이용하여 프로그램하였다. 또한 각 단판의 직경이 단면적평균법에 의해 계산되며, Spline function에 의해 재적 및 수고가 계산되도록 Fortran 77을 이용하여 수간석해 계산프로그램을 제작하였다.

2) 이와같이 계산된 각종 生長량은 1년, 5년 단위로 각각 출력되며 수간석해도 및 각종 生長량도가 personal computer용 dot printer로 출력가능하여 수간 석해의 결과를 보다 쉽게 이용할 수 있

게 되었다.

3) 측정을 위해 4방향을 분할하는 방법으로는 최장경을 중심으로 22.5° 떨어진 곳을 기준선으로 하는 것이 가장 정확하였다.

4) 반경계산에 있어 산술평균보다는 단면적평균법이 편심에 의한 오차를 줄일 수 있었다.

5) Spline함수에 의한 수고계산값과 기존의 수고곡선법에 의한 추정값이 비슷하였으나, Spline함수를 이용할 경우 단판도달연령에서의 수고를 보다 정확히 추정할 수 있었다.

6) 재적계산에서는 계산값이 Smalian식, Spline함수식, Huber식 순으로 계산되었다.

引用 文 獻

1. Loboda, B.S. and Saborowski, J. 1981. Stand taper form as a stochastic process with an example of application. Proceedings XVII IUFRO-world Congress. Kyoto : 137-150.
2. Tietze, B. 1979. Die Konstruktion von Schaftformkurvenfunktionen mittels lokalangepaßter Spline-Funktionen. Beitr. f. d. Forstwirtschaft Heft1 : 31-33.
3. Borland Inc. 1987. Turbo Pascal 4.0
4. Liu, C.J. 1980. Log volume estimation with spline approximation Forest Sci., Vol. 26. No. 3 : 361-369.
5. Reed, D.D. and Green, E.J. 1984. Compatible stem taper and volume ratio equations. Forest Sci., Vol. 30, No. 4 : 977-990.
6. Siostrozonek, E. 1958. Radialzuwachs und Flachenzuwachs. Forstwirtschaft Centralblatt : 237-254.
7. Herman, F.R. et al. 1975. Field and computer techniques for stem analysis of coniferous forest trees. USDA Forest Service Research Paper PNW-194. 5pp.
8. IMSL, Inc. 1982. Interpolation : Approximation : Smoothing IMSL Vol(2) : I-1.
9. Hradetzky, J. 1981. Spline-Funktionen und ihre Anwendung in der forstlichen Forschung. Forstw. cbl. 100 : 45-59.
10. Nagel, J. and Athari, S. 1982. Stammanalyse und ihre Durchführung Allg. Forst-u. J-Ztg. 153. Jg 9/10 : 179-182.
11. Saborowski, J. and Sloboda, B. and Junge, A. 1981. Darstellung von Schaftformen durch Kubische Spline-Interpolation und Reduktion der Stützstellenanzahl Forstarchiv 4 : 127-130.
12. Kawabata, K. and Toshiaki, 1977. Report on computer programming(7) -Stem analysis-Bull. Gov. for. Exp. Sta. No. 297 : 61. 85.
13. Microsoft Co. 1987. Microsoft FORTRAN Optimizing Compiler -Language Reference-. Microsoft cooperation.
14. Burden, R.L. and Faires, J.D. Cubic Spline Interpolation Numerical analysis third ed. : 117-129.
15. Max, T.A. and Burkhart, H.E. 1976. Segmentend polynomial regression applied taper equations. Forest Sci., Vol. 22, No. 3 : 283-289.
16. 金甲德 1986. 山林測定學, 鄉文社 : 97-105
17. 趙應赫 1985. 樹幹析解의 電算化 프로그램 開發. 韓國林學會誌 69 : 6-12.