

## 소나무의 分枝型에 관한 幾何學的 研究

朴 奉 奎 · 崔 炯 善

(梨花女子 大學校 生物學科)

### A Geometrical Study of Branching Pattern in *Pinus densiflora* Siebold & Zuccarini

Park, Bong Kyu and Hyeong Seon Choi

(Dept. of Biology, Ewha Womans University)

#### ABSTRACT

The geometrical branching pattern was studied through the time by a few parameters: the branching lengths, angles and number of branches. Ratios of moving amounts of nutrients between branches was decreased more in a terminal branch than in a proximal one. As the time increased, the more branches and leaves were also increased, while the influx of sunlight was decreased in the lower portion of inner crown which increased the mortality rate of branches.

#### 緒 論

植物의 줄기 및 가지는 光合成器管을 지탱하고 光合成 産物을 운반한다. 나무의 外形이나 樹冠形態는 種에 따라 大體로 一定하다.

Honda(1971)는 가지의 각도와 길이의 相對比率의 2가지 요인만을 가지고 나무의 形態를 分析하였으며, Leopold(1971)는 分枝類型을 水系와 比較하여 이들 사이에 明確한 類似性을 밝혔다.

Fisher등 (1979)은 Terminalia種의 가지를 幾何學的으로 分析하였고 Honda등 (1981)은 서로 인접해 있는 가지의 相互作用과 調節에 關係서 Computer simulation을 試圖하였다.

本 研究에서는 소나무 가지의 길이 生長 및 生體量의 比率에 의해 가지별 영양물질 및 生長호르몬의 移動量에 대한 가지별 比率를 추정하고 또한 수목의 生長에 따른 가지의 枯死率의 증가 및 이에 따른 수목의 가지生長의 리듬을 밝혔다.

#### 材料 및 方法

##### A. 對象木의 立地環境

調査地는 北緯 38°5'~38°12', 東經 128°18'~128°30'에 位置한 설악산(해발 1708m)으로, 1차로는 1981년 9월 26일부터 29일까지, 2차로는 同所에서 1982년 5월 14, 15일의 두 차례에 걸쳐 資料를 蒐集하였다.

調査地의 植生은 교목층으로는 싹갈나무, 소나무, 물푸레나무, 잣나무, 졸참나무, 서나무 등이었고, 관목층으로는 길쭉나무, 생강나무, 쪽동백나무, 털진달래, 조록싸리 등으로 이루어져 있었으며, 초본층으로는 데사초, 쇠나물, 개망초, 민들레, 동자꽃 등으로 이루어져 있었다.

地質은 편마암류와 이를 부정합으로 피복한 중생층과 이들에 만입한 대규모의 화강암류로 구성되어 있으며, 年平均 기온은 약 9°C, 연총강수량은 약 1300mm이다.

## B. 分枝調査

가지의 위치, 즉 年齡별로 줄기 (main trunk), 가지 (branch), 또한 잔가지 (current twig)의 길이를 각각 제어 줄기의 生長과 가지의 生長比率과 가지 (main branch)와 잔가지의 生長比率를 算出하였다.

또한 잔가지에 있어서 營養物質의 移動率을 分析하기 위해 가지 하나에 分枝된 잔가지의 數를 층별로 세고, 맨 끝 가지를 모두 세었으며, 生體量 比較를 위해 6개의 가지를 年齡별로 잘라 分析하였다.

주줄기에 대한 가지의 精確한 角度 調査를 위해서 가지의 각 年齡별 生長頂點에서 추를 늘어뜨려, 가지의 중심점에서 추와 수직으로 이어지는 거리 및 추의 길이를 재어 이것으로부터 角度를 換算하였다.

## 結果 및 考察

### A. 分枝 類型

소나무의 分枝 類型의 分析은 Fisher등 (1977)의 3차원적 空間模型을 基本 개념으로 하여 記號로 表示하였다 (Fig. 1).

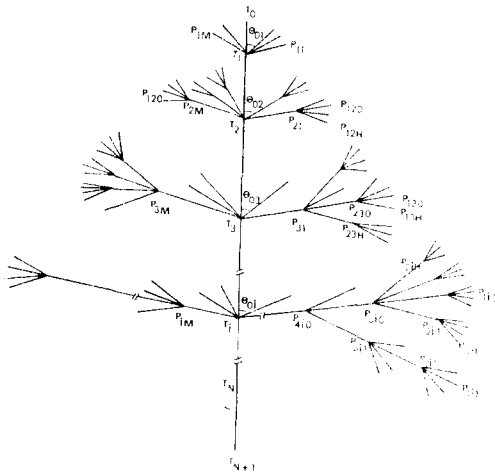


Fig. 1. Diagrams illustrating the terminology used for the mathematical model.

$T_0$ 와  $T_{n+1}$ 는 重力의 方向으로서 있다고 가정된 주줄기이며,  $T_0, T_1, \dots, T_i$ 는 頂點에서 부터의 줄기의 位置를 나타내고  $\theta_{0i}$ 는 主줄기와 가지사이의 角度를 표시하며,  $P_{11}$ 은 줄기  $T_1$ 에서부터 임의로 表示된 첫번째의 1년생 가지를 나타낸다.  $P_{1M}$ 은 줄기  $T_1$ 에서부터 임의로 表示된  $M$ 번째의 1년생 가지를 나타낸 기호이다.  $P_{2M}$ 은 줄

기  $T_2$ 에서부터 임의로 表示된  $M$ 번째의 2년생 가지를 나타낸 기호이고  $P_{120}$ 에서 1은 1년생을 의미하고 2는 頂點  $T_0$ (apex)에서부터 두번째의 가지이며  $O$ 는 계속 벌어갈 主가지를 가리킨다.  $P_{12H}$ 은 1년생이고 경점에서부터 두번째에 위치하고 임의로 表示된  $H$ 번째 가지를 나타낸다.  $P_{4i0}$ 은 4년생이고 頂點에서부터  $i$ 번째에 위치하고 있으며 계속 벌어갈 가지를 나타낸다.  $P_{1M}T_1, P_{12}P_{21}, P_{21}T_2, P_{130}P_{230}, P_{230}P_{31}, P_{31}T_3, P_{1M}T_i$ 는 主가지를 의미하고,  $P_{12H}P_{21}, P_{13H}P_{230}, P_{23H}P_{31}, P_{1iH}P_{2i0}$  등은 側가지를 의미하고 있으며  $T_0T_1, P_{11}T_1, P_{12H}P_{21}, P_{13H}P_{230}, P_{1i0}P_{2i0}, P_{1iH}P_{2i0}, P_{1iH}P_{2i1}$  등은 각각 올해에 分枝한 1년생이고  $T_1T_2, P_{21}T_2, P_{230}P_{31}, P_{2i0}P_{3i0}, P_{2iH}P_{3i0}$ 는 서로 같은 해에 分枝한 2년생을 의미한다.

Table 1.은 주줄기에서 가지가 나온 숫자와 주가지에서 잔가지가 나온 숫자를 조사하여 確率로 표시하였다 이때 주줄기에서 가지가 나올 확률을  $B_1$ , 主가지에서 잔가지가 나올 확률을  $B_2$ 로 하여 調査된 結果를 나타내고 있으며, 주줄기에서 가지가 나올 확률은 5개가 0.33, 6개가 0.25로 다른 것보다 높게 나타났고, 주가지에서 잔가지가 3개 나올 확률은 0.27, 4개 나올 확률은 0.47로 나타났으며, 매년 주줄기에서 가지가 나온 숫자의 평균값은 5.14개, 主가지에서 잔가지가 나온 평균값은 3.97개로 계산되었다.

Table 1. Observed probabilities of branch numbers from main trunk and numbers of current twigs from main branch

X	B1	B2
2	.	0.03
3	0.07	0.27
4	0.23	0.47
5	0.33	0.16
6	0.25	0.07
7	0.10	.
8	0.02	.

X : a number of branches

주줄기에 대한 가지의 길이生長의 比率과 주가지에 대한 잔가지의 길이生長의 比率를 구하고, 또한 줄기에 대한 主가지의 生體量의 비율과, 주가지에 대한 잔가지의 生體量의 비율을 구하기 위해

$$1 = P_{11}T_1/T_0T_1 = T_{1M}T_1/T_0T_1 = P_{31}T_3/T_2T_3 \\ = P_{iM}T_i/T_{i-1}T_i = P_{nM}T_n/T_{n-1}T_n$$

$$\begin{aligned}
\text{I} &= P_{121}P_{21}/P_{120}P_{21} = P_{12H}P_{21}/P_{120}P_{21} \\
&= P_{23H}P_{31}/P_{230}P_{31} = P_{13H}P_{230}/P_{130}P_{230} \\
&= P_{311}P_{410}/P_{310}P_{410} = P_{211}P_{310}/P_{210}P_{310} \\
&= P_{11H}P_{210}/P_{110}P_{210}
\end{aligned}$$

라고 표시하였다. 이때 I은 주줄기에 대한 가지의 길이생장과 생체량의 비를 의미하고, II는 주가지에 대한 잔가지의 길이생장과 생체량의 비를 의미한다.

연간 주줄기의 생장에 대한 각 가지 길이 생장률은 69.8%, 全體量은 약 47.3%이며 가지에 대한 잔가지는 길이생장이 56.8%, 생체량이 33.1% 증가하고 있었다. 주줄기에서 가지의 길이생장에 대한 주가지에서 잔가지의 길이생장의 비는 81.4%, 全體量의 비는 69.9%로 나타나고 있다(Table 2). 영양물질과 호르몬의 이동량도 각 가지마다 위에 열거한 비를 가지게 된다고 생각할 수 있다.

**Table 2.** Ratio of the length and weight of branch complex

	Length	Weight
I	0.698	0.473
II	0.568	0.331
I / II	0.814	0.699

I : Ratio of the length and weight of branch to its main trunk

II : Ratio of the length and weight of twig to its main branch

**Table 3.** The number of branches and flow rate of nutrients against node number of one branch on the same node

Node no.*	No. of terminal branch	Standard deviation	Variable rate	Ratio of amounts	$\log e \frac{N-n}{n}$
1	1	0.0	.	1	5.39
2	5	0.91	4	1	3.76
3	17	2.59	4	1	2.48
4	47	7.75	2.88	0.73	1.30
5	88	14.87	1.89	0.48	0.4
6	132	16.71	1.51	0.38	-0.41
7	168	15.42	1.27	0.32	-1.17
8	192	18.40	1.14	0.29	-1.93
9	200	20.38	1.04	0.26	-2.30
10	209	18.29	1.05	0.26	-3.04

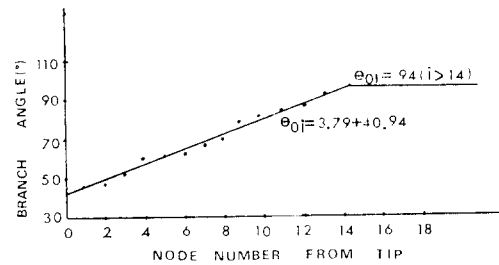
\*Node number on main branch from tip

주줄기에 대한 가지의 位置別, 時間別 角度에 대한 結果는 Table 3.에 나타나있고, 이에 대한 回歸直線의 式은  $\theta_{0i} = 3.97i + 40.94$ 로 계산되어 Fig. 2.에 표시되어 있다.  $i$ 값을 年齡값이나 頂點에서 부터의 가지의 位置값으로 넣고 代入하면 각 位置마다 가지의 角度를 豫測할 수 있으나  $i > 14$ 인 경우에는  $\theta_{0i}$ 가  $94^\circ$ 로 일정해 있었고, 그 이상이 될 경우에는 가지가 죽어가고 있었다.

### B. 각가지에서의 營養物質 移動量 比率의 推定

주줄기에서 주가지로, 主가지에서 옆가지로 감에 따라 소나무의 가지생장이 어떤 比率로 變하고 있는가를 算出하여 가지內에서 營養物質 및 生長促進 호르몬 등이 移動하는 量에 대한 가지別 比率를 豫測할 수 있다.

Table 3.은 주가지 하나에서 年齡別에 따른 맨 마지막 가지의 수를 조사한 후, 표준편차는  $S_x = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$



**Fig. 2.** Relationship between branch angles ( $\theta_{0i}$ ) and whorl positions ( $i$ ).

으로 계산하고, 해마다의 가지의 변이율은 해마다의 맨 끝의 가지의 수의 변화를 前年度에 대한 比率로 계산하였다. 이때 가지數의 변화는 主가지로 넘어가고 있는 가지하나를 제외시킨 것이다.

또한 추정할 수 있는 양분의 이동량에 대한 가지별 比率(ratio of moving amounts of nutrients)의 계산은 Table 1.에서 주가지에서 잔가지가 나올 숫자가 3.97로 산출된 것을 토대로 해마다 하나의 側枝에서 다음 側枝로 갈때 가지가 나올 예상 숫자가 3.97일때의 영양분의 移動量을 1이라보고 가지의 예상 숫자 3.97에 대한 각 年수별 側枝의 숫자의 比率를 계산하여 이를 양분의 이동량에 대한 가지별 比率로 계산해 내었다.

### C. 年分에 대한 가지 수의 변화

年수별로 調査된 가지의 숫자를 根據로한 理論值를 算出하기 위해 logistic equation:  $n = \frac{N}{1 + e^{a-kt}}$  을 사용하였다.

$$\left. \begin{array}{l} n: \text{현 가지의 숫자} \quad a: \text{적분 상수} \\ N: \text{가지 숫자의 극한치} \\ k: \text{비례상수} \quad t: \text{시간} \end{array} \right\}$$

이때 단 하나의 主가지내에서의 가지의 숫자를 대상

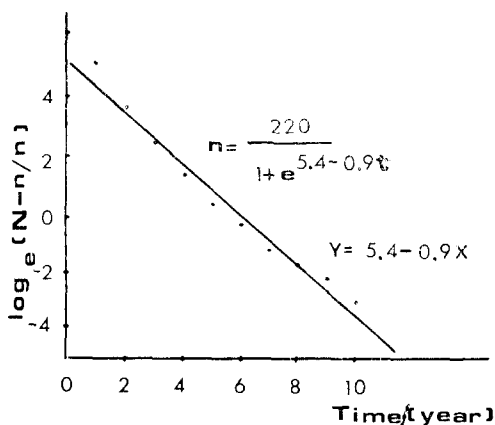


Fig. 3. Data plotted in the linear form of the logistic:  $\log_e(N-n/n) = a-kt$ .

으로 logistic equation을 풀어보면  $n = \frac{N}{1 + e^{a-kt}} \rightarrow \frac{N}{n} = 1 + e^{a-kt} \rightarrow \frac{N}{n} - 1 = e^{a-kt} \rightarrow \log_e(N-n/n) = a-kt$ 의 식이 유도되므로 時間에 대한  $\log_e\left(\frac{N-n}{n}\right)$ 의 값은 Table 3.과 Fig. 3과 같이 나타났다. 여기에서 얻은 회귀 직선의 방정식은  $y = 5.4 - 0.9x$ 이었고, 회귀직선의 y

값은  $\log_e\left(\frac{N-n}{n}\right)$ , x값은 t가 치환된 것이고, N값을 220으로 놓은 것은 樹齡이 증가함에 따라 樹冠안의 가지는 太陽光線의 流入이 적어짐으로써 枯死率이 증가되고 主가지 하나에서의 가지숫자는 220이상을 넘지 못하고 있는 것으로 調査되었기 때문이다. 따라서 계산된 logistic equation은  $n = \frac{220}{1 + e^{5.4 - 0.9t}}$ 이었다(Fig. 4).

또한 Table 3.의  $\log_e\left(\frac{N-n}{n}\right)$ 값을 보면 5년째와 6년째, 즉 頂點에서 부터의 가지의 位置가 5번째와 6번째 사이에서 0값을 나타내고 그 이후는 감소해감으로써 5년과 6년사이에서 logistic curve의 변곡점이 나타나고 이때 가지 숫자의 증가율이 최대임을 알 수 있다. 그러나 5년 이후에 나타나는 가지숫자의 증가율의 감소는 Leopold (1971)가 전나무와 소나무류에서 시간의 변화에 따라 가지의 숫자가 지수적인 증가를 하고 있었다는 報告와는 相反되며, 이렇게 5년이후 樹木이 점점 生長해 가면서 가지숫자가 지수적인 증가를 하지 않고 증가율이 감소되고 있는 것은 光線의 流入이 부

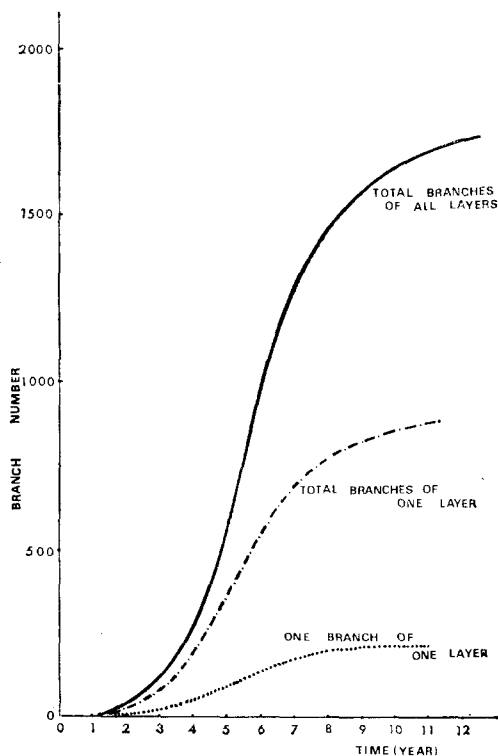


Fig. 4. The number of terminal branches against discrete time in *Pinus densiflora*

죽되고 있는 樹冠안쪽에서 가지의 枯死率이 증가하고 있기 때문이라고 볼 수 있다.

### 摘 要

소나무의 분지유형을 시간에 따라 조사한 결과 주줄기에서 가지로 갈때 길이는 69.8%, 생체량은 47.3%, 주가지에서 잔가지로 갈때는 길이는 56.8%, 생체량은 33.1%로 감소되고 있었고 또한 하나의 측지에서 다음 측지로 갈때의 양분이동량은 1에서 0.26까지 감소되고 있어 점차 측지로 갈수록 양분의 이동량은 상당히 감소됨을 알 수 있었다.

또한 가지의 숫자도 5~6년경에는 급격히 증가하다가 점차 시간이 증가함에 따라 많은 가지와 잎이 증가하여 광선의 유입량이 수관안의 아래쪽으로 갈수록 감소하게 된다. 이로 인해 잎은 광합성에 적당한 광선을 취하지 못하게 되어 가지의 고사율이 증가되고 이로써 가지의 숫자는 점차 최대값으로 접근되어가는 것으로 볼 수 있다.

### 參 考 文 獻

- Fisher, J. B. and H. Honda, 1977. Computer simulation of branching pattern and geometry in Terminalia (Combrretaceae). A tropical tree. Bot. Gaz., 138(4) : 377~384
- Fisher, J. B. and H. Honda, 1979, Branch geometry and effective leaf area: A study of terminalia-branching pattern. 1. Theoretical trees. Amer. J. Bot., 66(6) : 633~644.
- Fisher, J. B. and H. Honda, 1979. Branch geometry and effective leaf area: A study of terminalia-branching pattern. 2. Survey of real trees. Amer. J. Bot., 66(6) : 645~655.
- Honda, Hisao, 1971. J. Theor. Biol. 31 : 331~338.
- Honda, Hisao, P.B. Tomlinson and J.B. Fisher, 1981. Computer simulation of branch interaction and regulation by unequal flow rates in botanical trees. Amer. J. Bot., 68(4) : 569~585.
- Leopold, Luna B., 1971. Trees and streams: The efficiency of branching pattern. J. theor. Biol., 31 : 339~354.
- Smith, Stephen and K. Scoular, 1975. A data structure analogue for modelling tree crowns. Can. J. Forst Res., 5 : 574~579.

(1982年 9月 16日 接受)