

智異山 피아골의 졸참나무와 서나무 群落의 物質生産과 分解에 關한 研究

張 楠 基·金 仁 子

(서울대학교 師範大學 生物教育科)

A Study of the Matter Production and Decomposition of *Quercus serrata* and *Carpinus laxiflora* Forests at Piagol in Mt. Jiri

Chang, Nam-Kee and In-Ja Kim

(Dept. of Biology, College of Education, Seoul National University)

ABSTRACT

The dry-matter production, the litter decomposition and the nutrient cycle were studied on *Quercus serrata* and *Carpinus laxiflora* forests at Piagol in Mt. Jiri.

With the growth curves of the annual ring, the time schedules for the maximum productivities and the maximum yields were measured. In *Q. serrata* forest, the maximum productivity was 11.36 tons ha⁻¹ yr⁻¹ at the 49th year and the maximum yield was 115.78 tons ha⁻¹ at the 73th year, and in *C. laxiflora* 7.24 tons ha⁻¹ yr⁻¹ at the 35th year and 82.5 tons ha⁻¹ at the 53th year, respectively.

The maximum productivities and the maximum yields of the leaves, stems and roots of the trees were calculated. The contents of nitrogen, phosphorus, potassium and organic carbon were measured. While inorganic materials were the most abundant in the leaves, organic materials in stems.

The maximum productivities and the maximum yields of the constituents of the trees were calculated, assuming that the constituents of the trees increase allometrically.

The decomposition rates were as follows: $k = 0.301$ for *Q. serrata* forest, and $k = 0.364$ for *C. laxiflora* forest. The litter of the former was decayed more slowly than that of the latter. The halftimes for decomposition were 3.2 and 1.9 years, respectively.

緒 論

森林生態系는 短期間에 이루어진 것이 아니고, 방대하기 때문에 그 生産이나 分解를 研究함에 있어, 樹木을 뿌리까지 파헤쳐 生産량을 내고, 生長期間이 너무 길어 2~3回的 調査結果로 生産력을 評價하는 것은 不合理하기 때문에 모델을 使用하게 된다(Rochow 1974, Adams 1982, Kanninen 1982, Jackson 1981).

Schugart *et al.*(1974)는 2~3年の 짧은 期間동안 觀察하여 生産, 消費 및 分解의 세 가지 sub-model을 提示하였다.

Chang (1974)은 森林樹木의 年輪生長을 測定하여 森

林의 現存量과 生産력을 推定하는 式을 定立하고 森林의 最高生産力期와 最高生産採伐期를 計算하는 式을 誘導하고, 이 式에 의하여 主要森林樹木의 物質生産을 研究하였다(張 등 1975, 張 1976, 1977).

分解는 生態系의 物質 순환에 重要な 만큼 이에 對해서는 많은 研究가 進行되었으며 많은 數理的 모델들이 提示되었다(Wieder 1982).

落葉의 分解에 關한 調査資料를 基礎로 하여 Olson (1963)은 落葉의 蓄積과 分解를 有機炭素量의 變化로 誘導하여 陰指數曲線 모델을 提示하였다. 落葉의 分解와 蓄積에 따른 物質 순환에 關하여는 Duvingneaud (1973), 朴 등(1970) 외에도 많은 研究가 있었다.

Minderman(1968)은 糖, 녹말 및 蛋白質과 같이 쉽

게 분해되는 것과 셀룰로오스·지방·왁스·탄닌 및 리그닌처럼 쉽게 분해되지 않는 물질이 落葉을 構成하기 때문에 그 분해曲線은 各成分의 分해曲線의 合으로 보아 回歸指數曲線의 合인 模型을 提示하였다. 그러나, 많은 學者들이 分해率을 計算하는데 Olson의 陰指數曲線 模型로 計算하고 있다(Brinson 1972, Lawrey 1977, Kim and Chang 1975).

本 研究은 智異山 피아골의 졸참나무林과 서나무林에 있어 樹木의 物質生産을 調査하고, 落葉의 分해를 調査하는 한편 森林生態系의 養分 순환에 關하여 考察하고자 한다.

材料 및 方法

調査地所의 概況

調査地인 國立公園 智異山 피아골(직전 계곡)은 全羅南道 求禮郡에 位置하고 있으며 行政的으로 保護되어 있는 곳이다(Fig. 1). 年降水量은 1,200~1,600 mm로 6~8월에 降雨가 集中되고, 年平均氣溫은 12~14°C이다(Fig. 2).

모암은 페그마타이트質 片麻岩이고, Walazone의 森林帶로는 溫帶南部, 吉良 등의 分類에 依하면 溫量指數 105~115로서 暖溫帶에 屬한다(Yim and Kira 1975).

피아골은 안개가 많고, 相對濕度가 75%로 多濕한 산악 지대이다. 智異山의 南東斜面으로 降水量이 많고, 겨울에는 北西季節風이 저지되어 추위에서 保護되며 서나무, 졸참나무, 전나무, 잣나무 등이 主要 森林을 이루고 있다(전설부 1979).

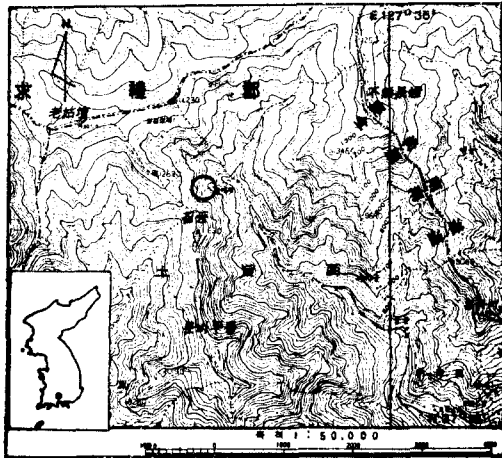


Fig. 1. Geographical map of study area.

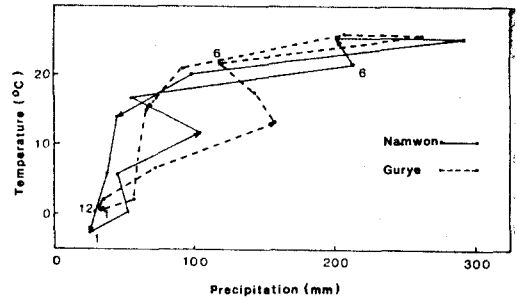


Fig. 2. Temperature-precipitation climograph at Namwon(1976~1981) and Gurye(1972~1977).

調査 方法

1982年 6月 6日에서 9日까지 4日間에 걸쳐 海拔 1000 m 内外의 平坦한 地形의 서나무(*Carpinus laxiflora*)와 졸참나무(*Quercus serrata*)가 優占種인 落葉 闊葉 수림 두 群落을 擇하여 Random pair method에 의하여 調査를 實施하였다(Table 1-A, B).

토양 酸度는 pH 5.9~6.8의 弱酸性이었고(Table 2).

Table 1-A. Importance value of trees in stands of site A at Piagol in Mt. Jiri

Species	Relative density	Relative dominance	Relative frequency	Importance value
<i>Quercus serrata</i>	73	76	68	217
<i>Carpinus laxiflora</i>	27	24	32	83
Total	100	100	100	300

Table 1-B. Importance value of trees in stands of site B at Piagol in Mt. Jiri

Species	Relative density	Relative dominance	Relative frequency	Importance value
<i>Carpinus laxiflora</i>	87	56	85	228
<i>Quercus serrata</i>	13	44	15	72
Total	100	100	100	300

Table 2. Soil properties of *Q. serrata* and *C. laxiflora* forests

Forest	Water content (%)	pH	Total nitrogen (%)	Phosphorus (%)	Organic carbon (%)
<i>Q. serrata</i>	43.3	6.2	1.07	0.13	14.79
<i>C. laxiflora</i>	33.5	6.4	0.89	0.19	8.12

토양층은 암석이 많고 척박하였다.

各 優占種은 樹齡別로 3 個體씩을 採取하여 잎, 줄기 및 뿌리를 區分하고 氣乾하여 평량한 後 mill로 잘아 管瓶에 保管하였다.

落葉層은 各 群落에서 3 地所를 擇하여 25 cm×25 cm 크기의 方形口를 設置하여 L, F, H, A₀, A₁, A₂, A₃ 層으로 나누어 採取한 후 密封하여 實驗室로 옮겨 氣乾한 後 토양은 지름 1 mm인 체로 치고 落葉은 mill로 잘아 管瓶에 保管하였다.

最近에 採伐한 나무 그루터기와 낙뢰와 사태로 넘어진 나무를 찾아 밀둥에서 10~20 cm 되는 部分을 切斷하여 面을 고르게 한 後, 사진을 찍거나 tracing paper에 年輪을 옮겨 Planimeter로 그 面積을 測定하였다. 樹高는 三角測量法으로 測定하였다. 最高樹高는 참나무 林에서 16 m 이었고, 서나무 林에서는 10.08 m 이었다.

成分 分析

樹木의 各 기관과 落葉의 成分은 다음과 같은 方法으로 分析하였다.

- a. 乾量은 試料를 105°C의 恆溫器 속에 넣어 24 時間 동안 乾燥시킨 후 測定하였다.
- b. 有機物은 試料를 電氣로에 넣어 505°C에서 5 時間 炸熱하여 그 燒失量으로 測定하였다. 炸熱 燒失量을 1.724로 나눈 값으로 有機炭素를 求하였다.
- c. 磷酸은 試料를 태워 재로 만든 後 鹽化物을 만들어 standard molybdate 法에 의하여 發色시킨 다음 spectrometer로 測定하였다.
- d. 全질소 含量은 micro-kjeldahl 法으로 定量하였다 (한국 생화학회 1979).
- e. 칼리 이온은 (c)의 鹽化物을 flame photometer로 測定하였다.
- f. pH는 試料와 증류수를 1:10으로 섞어 흔들어서 24 시간 放置後에 pH meter로 測定하였다.

土壤의 乾量, 有機物 및 磷酸은 落葉과 같은 方法으로 測定하였고 pH는 試料와 증류수를 1:2.5로 섞어 落葉과 같은 方法으로 測定하였다.

物質生産量과 分解量의 推定

(1) 物質生産의 推定. Chang(1974)에 의하여 誘導된

樹木에서의 現存量의 推定式은

$$w = ar_1^h \dots\dots\dots ①$$

또는 $w = a(r_1 H)^h \dots\dots\dots ②$

h는 相對生長係數

w는 現存量

r₁는 年輪面積

H는 樹高

a는 積分常數

①과 ②의 式을 利用하여 密度를 測定하면 森林群落의 잎, 줄기, 뿌리, 地上部 등의 現存量을 樹齡에 따라 推定할 수 있다. 樹木의 年輪에 의하여 이루어지는 面積을 r₁라고 하면 年輪의 生長은 Robertson의 生長式을 利用하여 Chang(1974)이 誘導한 式에 의해

$$r_1 = \frac{R}{1 + b \cdot \exp(-kt)} \dots\dots\dots ③$$

b는 積分常數

k는 年輪面積의 生長係數

R은 年輪面積의 生長限界值

로 表示된다. b는 t=0일 때 다음 式으로부터 計算할 수 있다.

$$b = \frac{R}{r_{10}} - 1 \dots\dots\dots ④$$

(但, t=0일 때 r₁=r₁₀이다.)

一般的으로, 森林樹木의 現存量은 ①의 式에 ③式을 代入함으로써 그 關係式을 얻을 수 있다.

$$w = \frac{aR^h}{[1 + b \cdot \exp(-kt)]^h}$$

위의 式에서 dw/dt를 求하면 다음과 같다.

$$\frac{dw}{dt} = \frac{aR^h b k \cdot \exp(-kt)}{[1 + b \cdot \exp(-kt)]^{h+1}}$$

한편, 樹高를 알 수 있을 경우에는 ③式을 ②式에 代入하여 求할 수 있다.

$$w = \frac{aR^h H^h}{[1 + b \cdot \exp(-kt)]^h}$$

$$\frac{dw}{dt} = \frac{aR^h H^h b k \cdot \exp(-kt)}{[1 + b \cdot \exp(-kt)]^{h+1}}$$

最高 生産力期 t_m은 $t_m = \frac{\log b + \log h}{k}$ 이고,

最高 生産採伐期 t_c는 $t_c = \frac{3}{2} t_m$ 이다.

(2) 落葉의 分解量 推定. Olson(1963)에 依하면 有機物은 그 量에 比例하여 分解된다고 하였다.

$$\frac{dC}{dt} = L - kC \dots\dots\dots ⑤$$

k는 分解常數

推定되는 落葉의 量이 一定하고 steady state에 도달하였으며 이 때의 落葉量을 C_{ss}라고 한다면 ⑤의 式은 0이 된다.

그러므로, L=kC_{ss}

이런 경우에 分解常數 k는 다음의 式으로 計算할 수 있다.

$$k = \frac{L}{C_{ss}}$$

L은 每年의 落葉과 落枝의 生産量이고, C_{ss}는 土壤 위의 F, H 및 A₀의 有機炭素의 總量이다. 落葉이 없는 特別한 경우를 생각하면 ①의 式은 다시

$$\frac{dC}{dt} = -kC \dots\dots\dots ⑥$$

⑥의 微分方程式을 풀면

$$C = C_0 e^{-kt}$$

이다. (但, t=0일 때 C=C₀)

C의 初期值 C₀가 半으로 分解되는데 걸리는 時間, 즉 半減期는

$$t_{0.5} = \frac{0.693}{k}$$

또, C₀의 95%와 99%가 分解되는데 걸리는 時間은

$$t_{0.95} = \frac{3}{K}$$

$$t_{0.99} = \frac{5}{k} \text{ 이다.}$$

結果 및 論議

森林樹木의 生長曲線을 誘導하기 위하여 Fig. 3과 같은 사진이나 tracing paper를 利用하여 鋸斷나무와 서나무에서 年輪面積의 增加와 그 增加速度를 調査하였다(Fig. 4와 5).

처음에는 年輪面積이 조금씩 增加하다가 時間이 지남에 따라 急激히 增加하는 것을 볼 수 있었다. 가장

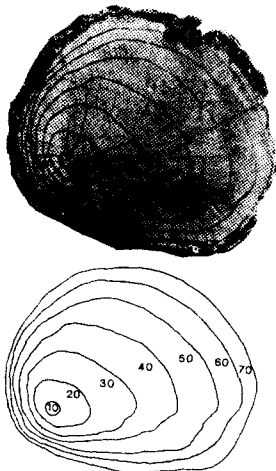


Fig. 3. The photograph and figure of annual rings of *Q. serrata*.

빨리 增加하는 때가 最高增加速度이며, 이것은 比較生長法則(Chang 1974)에 의하면 物質生産力曲線의 極大點과 一致하는 時期임을 알 수 있다. 이 때가 最高生産力期이며 그 後에는 점점 生産力이 떨어지고 있음을 알 수 있다. 樹木이 발아한 後로 最高生産力期の 두 배 이상의 期間이 지나면 生産力은 아주 적어진다.

樹木의 年輪은 그 生長이 환경에 의하여 많은 影響을 받는다. 극심한 가뭄, 洪水, 산불(山火) 등에 의하여 春材(early wood)와 秋材(late wood)의 나비(width) 뿐만 아니라 個數도 變化한다.

이 事實을 根據로 年輪은 年代 測定에 使用되기도

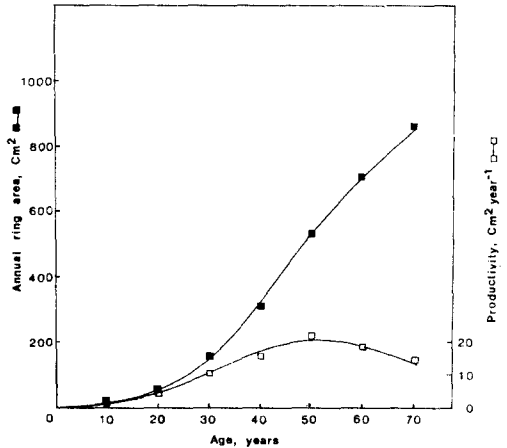


Fig. 4. Growth curve of the annual ring area of *Q. serrata*.

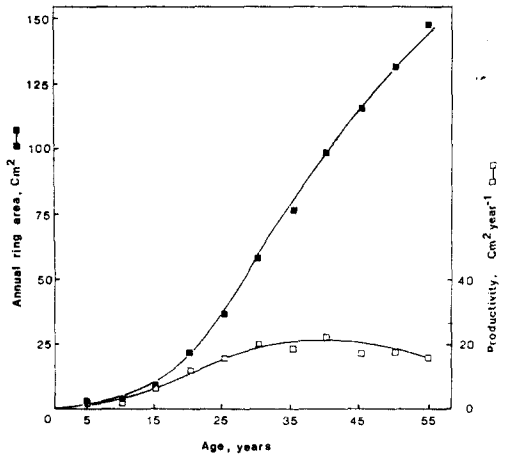


Fig. 5. Growth curve of the annual ring area of *C. laxiflora*.

한다(dendrochronology). 특히, 나무에서 水分 不足은 形成層 生長에 많은 影響을 준다. 年輪의 나비, 生長 期間, 秋材形成時期와 期間이 水分의 量과 有效 程度에 따라 좌우된다(Kozlowski 1979).

그러나, 本 研究의 調査地域은 生長期(growing season)에 降雨가 集中되고, 골짜기이기 때문에 濕度는 平均 75%로 높아 樹木 生長에 水分 不足으로 인한 影響이 적었을 것으로 思料된다.

또, 5~10年을 單位로 年輪面積을 測定하였으므로 若干의 氣候 變動에 따른 變化는 無視할 수 있다.

그러므로, 各 나무들은 正常으로 生長하였다고 生覺할 수 있고 實際로 年輪의 生長도 S字形으로 增加하였음을 보였다. 그 結果, 졸참나무의 最高生産力期는 49年이고, 서나무는 35年이라는 것을 推定할 수 있다.

樹高와 樹木의 生産力 등도 環境의 影響을 받는다. 이것들은 高度, 風速, 養分, 水分에 따라 어느 限界以上은 자랄 수 없다. 따라서, 같은 樹種이라도 地域에 따라 森林의 限界樹高는 달라진다. 또, 같은 地域에서도 環境이 달라지게 되면 生長이 다시 增加할 수도 있다.

間伐로 가끔 부피자람의 期間이 延長된다. 간혹, 甚한 間伐로 잡초가 침투해 들어온 結果, 나무에 有效한 水分이 줄어들어 남아 있는 나무의 生長이 줄어들기는

하지만(Haberland and Wilde 1961), Arkansas에서 密集되지 않은 地域의 나무는 늦가을까지 자란 反面, 密集한 地域의 나무는 한 여름에 그 生長이 멈추었고 이때 有效土壤水가 고갈되었다(Zahner and Whitmore 1960).

피아골의 왕후박나무林에서 얻은 年輪增加曲線이 dual pattern으로 觀察되었는데 이는 間伐에 의하여 부피자람이 加速된 것으로 推定된다(Fig. 6). 그러나, 왕후박나무林은 人工植栽하였기 때문에 本 研究에서는 除外하였다.

위의 年輪生長曲線에 의하여 生長式(Chang 1974)의 係數를 求한 結果 졸참나무의 b 값은 6.78×10^9 이고, 서나무는 5.74×10^9 이었다. k는 各各 0.462와 0.642 이었다(Table 3).

이 값들을 生長式에 代入하여 졸참나무林과 서나무林의 物質生産力과 生産量의 式을 求하였다. 年齡別로 採集한 나무의 乾量, 樹高 및 기저면적을 利用하여 a와 h의 값을 求하였다(Table 4).

이 式에 依하여 求한 最高生産力은 졸참나무林에서는 49年에 11.36 tons/ha/yr 이고, 서나무林에서는 35年에 7.14 tons/ha/yr 이었다.

立地條件에 따라 差異가 심하지만 張 등 (1976, 1977)

Table 3. The equations of productivity and yields of *Q. serrata* and *C. laxiflora* forests

	Forest	
	<i>Q. serrata</i>	<i>C. laxiflora</i>
R(Cm ²)	1050	152
k	0.462	0.642
b	6.78×10^9	5.74×10^9
$\frac{dW}{dt} = \frac{aR^b H^b b k e^{-kt}}{(1 + b e^{-kt})^{b+1}}$	$\frac{a(1080H)^b + 24162.4e^{-0.462t}}{(1 + 6.78 \times 10^9 e^{-0.462t})^{b+1}}$	$\frac{a(152H)^b \times 24395.7e^{-0.642t}}{(1 + 5.74 \times 10^9 e^{-0.642t})^{b+1}}$
$W = \frac{aR^b H^b}{(1 + b e^{-kt})^b}$	$\frac{a(1080H)^b}{(1 + 6.78 \times 10^9 e^{-0.462t})^b}$	$\frac{a(152H)^b}{(1 + 5.74 \times 10^9 e^{-0.642t})^b}$

Table 4. Dry weight, height and basal area of young trees of *Q. serrata* and *C. laxiflora* forests

Species	Age (year)	Dry weight(g)				Height (Cm)	Basal area (Cm ²)
		Leaves	Stems	Roots	Total		
<i>Q. serrata</i>	4	3.36	8.09	7.36	18.81	32	0.17
	5	4.82	28.75	1y.27	49.84	77	0.3
	7	24.67	59.39	48.23	132.29	152	0.52
<i>C. laxiflora</i>	4	0.42	3.96	1.84	6.22	48	0.09
	9	3.58	20.92	8.67	33.17	130	0.28
	14	8.92	79.04	19.57	107.83	190	0.93

이 全國에 있는 主要山에서 調査한 結果와 比較해 보면, 졸참나무는 설악산에서 最高生産力期 38년에 最高生産力 11.29 tons/ha/yr, 속리산에서 40년에 7.91 tons/ha/yr, 한라산에서 30년에 11.92 tons/ha/yr 와 24년에 12.98 tons/ha/yr, 제룡산에서 25년에 10.34 tons/ha/yr, 팔공산에서 33년에 19.82 tons/ha/yr, 덕유산에서 31년에 20.12 tons/ha/yr 및 洪川에서 65년에 9.87 tons/ha/yr 으로 지리산 피아골에서의 生長이 느린 편이었다.

서나무는 洪川에서 56년에 5.48로 피아골에서 빠른 편이다. 智異山의 다른 樹種과 比較해 보면, 고채목의 40년에 3.35 tons/ha/yr 와 구상나무 88년에 3.38보다는 빠르지만 편백의 25년에 28.81보다는 매우 적은 값이었다.

本地所는 行政的으로 保護받고 있지만 高度가 높고 土壤에 岩石이 많으며, 土壤層이 얇은 關係로 林木의 生産力과 生産量이 적으리라고 生覺된다.

독일의 Brunswick의 北西部에 있는 산단풍의 生産力은 13년생이 1.78 tons/ha/yr 이었고, 발삼전나무는 20~25년생이 5~6 tons/ha/yr 였으며, 現存量은 各各 40.45 tons/ha 와 58.55 tons/ha 였으나 最高生産力期에 해당되는지에 대해서는 언급이 없었다(Post 1970).

Jordan(1971)은 熱帶의 成熟林에서 生産力은 486 g/m²/yr(4.86 t/ha/yr)와 現存量은 22,853 g/m²(228.53t/ha)의 結果를 얻었다.

참나무림에서는 Johnson과 Paul(1974)이 年間 純生産量을 14,900 kg/ha(14.9 t/ha)을 얻었으며 Wisconsin 北部의 사시나무림에서 얻은 Crow(1978)의 結果는 地

上部의 現存量이 100~200 t/ha 이었고, 生産力은 7.1~10.4 t/ha/yr 이었다. *P. muricata*는 地上部의 現存量이 16.7~69.2 g/m²(0.167~0.692 t/ha)이었고, 生産力은 273~1609 g/m²/yr(2.73~16.09 t/ha/yr)이었으나 最高生産力期의 結果인지 알 수 없으므로 本 研究와 直接 比較할 수는 없다.

계속하여 採伐을 할 경우, 가장 많은 生産量을 낼 수 있는 最高生産採伐期는 最高生産力期의 1.5배로 計算해서 졸참나무는 73년이었고, 서나무는 53년으로 1回 採伐生産量은 各各 115.38과 82.50 t/ha 이었다(Table 5).

最高生産採伐期는 場所에 따라 다르지만 1回 採伐量만을 主要山의 것과 比較해 보면 졸참나무는 洪川의 98년에 145.0 t/ha 을 除外하고는 속리산의 60년에 115.2

Table 5. The maximum productivities(dW/dt) and maximum yields(W) of *Q. serrata* and *C. laxiflora* forests

Organ		<i>Q. serrata</i>	<i>C. laxiflora</i>
	density(trees ha ⁻¹)	687.296	596.503
Leaf	dW/dt(ton ha ⁻¹ yr ⁻¹)	2.42	0.6
	W (ton ha ⁻¹)	25.17	6.9
Stem	dW/dt	5.84	4.74
	W	60.64	54.0
Roots	dW/dt	3.32	1.90
	W	32.65	21.6
Total	dW/dt	11.36	7.14
	W	115.38	82.5
	tm(year)	49	35
	tc(year)	73	53

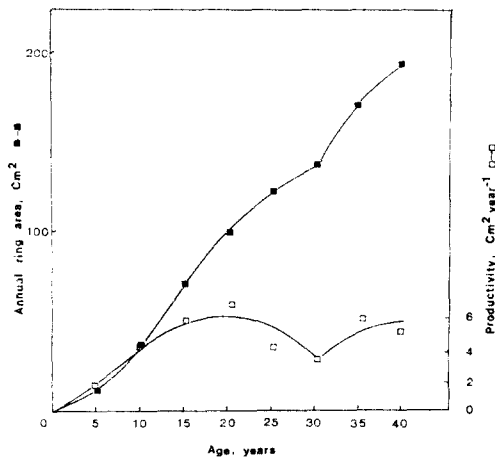


Fig. 6. Growth curve of the annual ring of *Machilus rimosa* var. *thunbergii*.

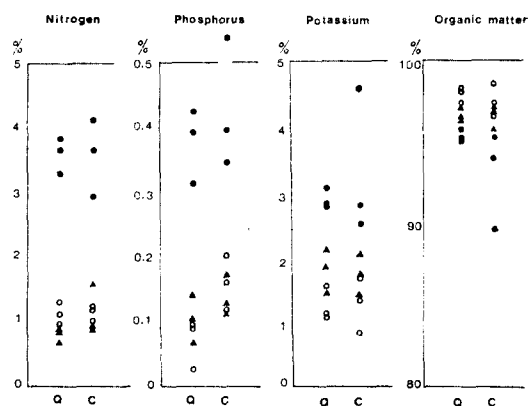


Fig. 7. The nutrient concentration of leaves(●), stems(○) and roots(▲) of *Q. serrata*(Q) and *C. laxiflora*(C).

t/ha 과 비슷하고, 他地域의 71.9~93.7 t/ha 보다 큰 값이었고, 서나무는 洪川の 84년에 84.0 t/ha 로 거의 비슷한 값을 보였다.

피아골의 졸참나무林과 서나무林의 生産量은 最高生産採伐期가 다르기 때문에 1回 採伐量만으로 比較할 수는 없고, 졸참나무林을 2번 採伐할 동안 서나무林은 3번 採伐할 수 있으므로 그 採伐量을 累積해서 計算해 보면 230.76 t/ha 와 247.50 t/ha 으로 비슷하거나 서나무林이 더 많은 生産量을 보여 준다.

잎, 줄기 및 뿌리의 기관도 年輪과 相對生長하므로 生長式에 의해서 最高生産力期の 最高生産力과 最高生産採伐期の 生産量을 求하였다(Table 5). 줄기가 全體重量의 50% 이상을 차지하였고, 잎도 相當한 部分을 이루었다.

나무를 各 器官別로 成分을 分析한 結果는 Fig. 7 과 같다. 양분 함유비는 器官別로 다를 뿐 아니라 同個體의 同一器官이라 하더라도 반드시 均一한 것은 아니다. 잎은 수관의 上部와 下部, 그리고 年齡에 따라 다르며, 줄기에 있어서도 上部와 下部 또는 심재와 변재의 양분 함유량이 다르다(Kramer and Kozlowski 1960).

또, 林地에 있어서는 林齡이나 立地 條件에 따라 同一한 樹種이라도 양분 함량에 個體差가 생긴다(Goodman 1968).

잎의 질소 함량은 졸참나무가 3.2~3.8%이고, 서나무가 2.9~4.0%로 가장 많았다. 줄기는 각각 1.0~1.3%, 1.0~1.2%, 뿌리는 0.7~0.9%, 1.0~1.6%로 두 樹種간에 有意한 差異를 나타내지 않았다.

인의 경우도 졸참나무의 잎이 0.31~0.42%, 줄기가 0.024~0.1%, 뿌리는 0.07~0.14%이었고, 서나무는 각각 0.34~0.53%, 0.12~0.20%, 0.12~0.18%이었다. 칼리도 질소와 비슷한 경향을 보였다.

질소, 인, 칼리가 잎이 줄기와 뿌리보다 현저하게 많았고, 줄기보다는 뿌리에 그 含量이 많은 경향을 보였다. 이는 朴 등(1970)의 結果와도 一致하는 것이다. 잎이 他器官보다 무기물이 많은 理由는 光合成과 같은 代謝活動이 活發하고, 뿌리는 生長과 物質吸收가 主要 기능이기 때문에, 水分과 養分の 通路이며, 물질 저장의 役割을 하는 줄기보다 무기물이 많은 것으로 생각된다.

따라서, 줄기는 lignin, hemicellulose 및 cellulose 등의 다당류가 主成分이므로 有機炭素가 많으리라고 생각되는데 有機物이 줄기, 뿌리, 잎의 순서로 그 含量이 줄어 들었다.

Table 6. The maximum productivities (MP) and maximum yields(MY) of nutrients of forest trees

Organ Nutrient	Forests			
		<i>Q. serrata</i>	<i>C. laxiflora</i>	
Leaves	N	MP(Kg ha ⁻¹ yr ⁻¹)	53.66	24.20
		MY(Kg ha ⁻¹)	425.61	277.72
	P	MP	22.38	2.20
		MY	270.13	25.25
	K	MP	28.22	20.54
		MY	295.30	235.64
C	MP	1039.90	323.32	
	MY	13654.76	3710.01	
Stems	N	MP	41.22	55.74
		MY	405.39	639.61
	P	MP	1.28	8.06
		MY	10.38	92.57
	K	MP	5.62	24.94
		MY	23.55	286.14
C	MP	3319.26	2658.9	
	MY	34471.11	30509.98	
Roots	N	MP	70.84	23.46
		MY	793.98	269.31
	P	MP	23.58	2.94
		MY	307.29	33.66
	K	MP	51.36	13.20
		MY	566.75	151.49
C	MP	1798.96	432.24	
	MY	17549.91	12161.09	
Total	N	MP	165.72	103.40
		MY	1624.98	1186.64
	P	MP	47.24	13.20
		MY	587.80	151.48
	K	MP	85.42	58.68
		MY	885.60	673.27
C	MP	6158.12	3414.46	
	MY	65675.78	46381.08	

樹木의 年齡에 따라서는 有意한 差異를 볼 수 없었는데 Ewel(1976)의 結果와 一致하는 것이다.

樹木의 構成 成分도 相對的으로 增加하므로 各 器官別로 構成 成分의 最高生産力과 最高生産量을 Chang (1974)의 式에 의하여 계산하였다(Table 6). 가장 生産力이 높을 때 졸참나무林이 吸收하는 질소는 165.72 kg/ha/yr, 인은 47.24 kg/ha/yr, 칼리는 85.42 kg/ha/yr 이었고, 서나무는 各各 103.40, 13.20 및 58.68 kg/ha/yr

Table 7. Amount of dry weight, organic matter, and organic carbon in the litter samples of the forests at Piagol

Forest		Dry weight g · m ⁻²	Organic matter		Organic carbon g · m ⁻²
			%	g · m ⁻²	
<i>Q. serrata</i>	L	338.3	98.3	332.6	192.9
	F	447.0	91.0	406.7	235.9
	H	804.4	25.5	205.1	119.0
	A ₀	1482.6	31.0	459.6	266.6
<i>C. laxiflora</i>	L	298.2	97.7	291.2	168.9
	F	260.9	92.4	241.0	139.8
	H	480.0	49.7	238.7	138.4
	A ₀	896.5	35.7	320.4	185.8

Table 8. Decomposition models, decomposition rates and times for decomposition of organic matter of the forests at Piagol

Forest	Decomposition model	k	Half time 0.693/k	95% time 3/k	99% time 5/k
<i>Q. serrata</i>	$C = 621.5e^{-0.310t}$	0.310	2.2(years)	9.7	16.1
<i>C. laxiflora</i>	$C = 464.0e^{-0.364t}$	0.364	1.9	8.2	13.7

이었다. 각 無機物을 잎이 吸收하는 양은 他器官과 比較할 때 重量에 比하여 相當히 많은 양을 차지했다.

졸참나무 群落과 서나무 群落의 임상에서 落葉의 年 生産量과 이미 蓄積된 落葉의 總量과의 比에 의하여 落葉의 分解常數를 計算한 結果는 Table 7, 8 과 같다.

分解常數는 졸참나무林에서 $k=0.310$ 으로, 서나무林에서의 $k=0.364$ 보다 작아서 서나무林이 졸참나무林 보다 分解가 빠른 것으로 나타났다.

Kim and Chang(1967)은 광릉의 참나무 落葉이 $k=0.28$ 로 報告했고,朴과 金(1970)은 광릉에서 *Quercus dentata* 落葉이 $k=0.281$, *Carpinus laxiflora* 落葉이 $k=0.367$ 로 報告하고 있어 졸참나무는 他地域보다 피아골에서 分解가 빠른 경향을 보이고 서나무는 結果가 비슷하다. 같은 樹木의 경우라도 高度(Shanks and Olson 1961), 降水量, 温度(李 1981) 및 方位(張과 吳 1982)에 따라 落葉의 分解率에 差異가 생긴다고 報告된 바 있다. 本地所는 智異山의 南東斜面으로 張과 吳에 依하면 다른 斜面보다 가장 빨리 分解가 進行되는 곳이다. 따라서, 졸참나무의 分解率이 커졌으리라고 意料된다.

落葉의 分解에 의하여 有機炭素뿐만 아니라 다른 養分도 風化, 降雨에 의한 침식과 動物의 分解에 의하여

生態系에 還元된다. 分解된 養分들은 다시 植物에 吸收되어 生産에 使用된다.

앞에서 計算한 結果를 利用하여 1년에 피아골의 졸참나무와 서나무에서 吸收되고 分解되는 養分을 모식도로 그려 보면 Fig. 8 과 같다.

本 研究에서 除外되었지만 빗물은 微量의 養分을 포함하고 있으며, 이 빗물이 수관을 거쳐 임상에 떨어질 때 林木의 잎, 가지, 줄기의 表面에서 養分을 용해하

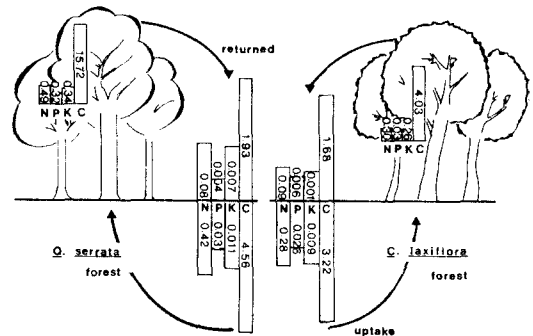


Fig. 8. Annual material cycling of nitrogen(N), phosphorus(P), potassium(K) and organic carbon(C) of *Q. serrata* forest and *C. laxiflora* forest at Piagol. All quantities are given in units ton ha⁻¹yr⁻¹.

여 토壤으로 되돌려 보낸다. Duvigneaud(1973)는 K가 빗물에 의하여 가장 많이 용해되어 나오고 Ca와 Mg은 中間이며, N와 P은 比較的 양이 적다고 하였다. 활엽수림의 임상에서 K의 용해량은 22 kg/ha와 128.96 Lb/acre로 상당히 많지만 본 研究에서는 實驗期間이 짧은 理由로 除外하였으나 양분 순환의 data를 補完하기 위해서는 降雨의 영향도 考慮해야 할 것이다.

要 約

智異山 피아골의 졸참나무림과 서나무림에서 樹木物質生産과 落葉의 分解를 調査하였고 物質 순환을 調査한 結果는 다음과 같다.

年輪面積 增加曲線을 利用하여 졸참나무림에서 最高生産力期는 49년에 最高生産力은 11.36 t/ha/yr 이었고, 서나무림에서는 35년에 7.24 t/ha/yr 이었다. 또, 여러 번 採伐할 경우, 가장 많은 生産量을 얻을 수 있는 採伐期는 졸참나무림에서 73년이었고, 1회 採伐量은 115.38 t/ha 이었다. 서나무림에서는 53년에 82.5 t/ha로 1회 採伐量은 졸참나무림이 많았다.

樹木의 잎, 줄기 및 뿌리의 器官別로 질소·인산·칼리 및 有機物의 含量을 求한 結果는 잎에 無機物이 가장 많았고 뿌리, 줄기의 순서로 적어지는 경향이 나타난 반면 有機物은 줄기에 가장 많았다.

樹木의 養分도 相對生長한다고 보아 질소·인산·칼리 및 有機炭素의 最高生産力과 生産量을 計算하였다. 各 群落의 林床에서 落葉의 分解率을 求한 結果는 졸참나무림에서 $k=0.301$ 이었고, 서나무림은 $k=0.364$ 로 서나무림에서 졸참나무림보다 빠른 分解率을 나타냈다.

半減期는 各各 2.2年과 1.9年이었다.

졸참나무림과 서나무림이 極上에 到達한 것으로 推定하고 物質生産과 分解의 結果를 利用하여 1年을 單位로 동적인 物質 순환의 모식도를 그렸다.

參 考 文 獻

Adams, P. W., 1982. Estimating biomass in northern lower Michigan forest stands. *For. Ecol. Manage.*, **4**: 275~286.
 Brinson, M., 1977. Decomposition and nutrient exchange of litter in an alluvial swamp forest. *Ecol.*, **58**: 601~609.
 Chang, Nam Kee, 1974. Models for standing crop and productivity of the forest tree predicted by growth of the annual ring. *Seoul Univ. J.(B)*, **24**: 96~110.

張楠基, 1976. 韓國에 있어서 森林植物의 分布와 物質生産力에 關한 研究. *J. of KSBE*, **8~9**: 35~48.
 張楠基·金遵敏, 1977. 韓國에 있어서 林産物의 最高生産을 위한 優良樹種의 立地選定과 營林方法의 改善에 關한 研究. 1977年度 學術研究 造成 政策 課題 研究結果 報告.
 張楠基·陸昌洙·金遵敏, 1975. 松의 最大生産數量을 위한 採伐數의 決定方法에 關한 研究. 金遵敏 博士 回甲記念 論文集, 165~172.
 張楠基·吳仁惠, 1982. 光陵의 참나무림에 있어서 方位에 따른 落葉의 分解와 蓄積. *科學教育研究論叢*, **7**: 69~78.
 Crow, T. R., 1978. Biomass and production in three contiguous forests in northern Wisconsin. *Ecol.*, **59**: 265~273.
 Duvigneaud, P. and S. Denayer-de Smet, 1973. Biological cycling of minerals in temperate deciduous forests. *Temperate Forest Ecosystems*, David E. Reichle ed. New York. pp. 199~225.
 Ewel, John J., 1976. Litter fall and leaf decomposition in a tropical forest succession in eastern Guatemala. *J. Ecol.*, **64**: 293~308.
 Goodman, P. J., 1968. Intraspecific variation in mineral nutrition of plants from different habitats. *Ecological Aspects of the Mineral Nutrition of Plants*, pp. 237~253.
 建設部, 1979. 智異山 國立公園植物資源調査.
 Haberland, F. P. and S. A. Wilde, 1961. Influence of thinning of red pine plantation on soil. *Ecol.*, **42**: 584~586.
 韓國生化學會, 1979. 實驗生化學. pp. 83~84. 探求堂. 서울
 Jackson, P. S. et al., 1981. Estimation of dry matter in *Pinus radiata* root systems. 1. Individual Trees. *N. Z. J. For. Sci.*, **11**: 164~182.
 Johnson, Forrest L. and Paul G. Risser, 1974. Biomass, annual net primary production and dynamics of six mineral elements in a post oak-blackjack oak forest. *Ecol.*, **55**: 1246~1258.
 Jordan, Carl F., 1971. Productivity of a tropical forest and its relation to a world pattern of energy storage. *J. Ecol.*, **59**: 127~142.
 Kanninen, M., 1982. A dynamic model for above-ground growth and dry matter production in a forest community. *J. Appl. Ecol.*, **19**: 465~476.
 Kim, C. M. and N. K. Chang, 1975. The decomposition rate of pine and oak litters affection the amount of mineral nutrients of forest soil in Korea. The collection of themes and assays in commemoration of the sixty anniversary of Dr. Kim's Birth. pp. 104~111.
 Kozlowski, T. T., 1979. Tree growth and environmental stresses. pp. 87~92, Seattle and London: Univ. Washington Press.
 Kramer, P. J. and T. T. Kozlowski, 1960. Physiology of trees. pp. 250~251. New York.
 Lawrey, J. D., 1977. The relative decomposition potential

- of habitats variously affected by surface coal mining. *C. J. Bot.*, **55**: 1544~1552.
- 李仁淑, 1981. 南韓의 森林生態系에 있어서의 落葉의 分解 Model. 梨花女子大學校 大學院 生物學科 博士學位 論文
- Minderman, G., 1968. Addition, decomposition and accumulation of organic matter in forests. *J. Ecol.*, **2**: 355~362.
- Olson, Jerry S., 1963. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. *Ecol.*, **44**: 322~331.
- 朴奉奎·金遵敏·張楠基, 1970. 光陵 및 五台山의 主要森林 植物의 energy 및 養分循環에 대하여. *J. K. R. I. B. L.*, **4**: 49~61.
- J. Korean Reearch Institute for Better Living, **4**: 49~61.
- Post, L. J., 1970. Dry-matter production of mountain maple and balsam fir in Northwestern New Brunswick. *Ecol.*, **51**: 548~550.
- Rochow, J. J., 1974. Estimates of above-ground biomass and primary productivity in a Missouri forest. *J. Ecol.*, **62**: 567~577.
- Shanks, R. E. and J. S. Olson, 1961. First year breakdown of leaf-litter in southern Appalachian forest. *Science*, **134**: 194~195.
- Shugart, H. H., R. A. Goldstein, R. V. O'neill and J. B. Mankin, 1974. TEEM. *Ecol. Plant*, **9**: 231~264.
- Wieder, R. Kelman and Gerald E. Lang, 1982. A critique of the analytical methods used in examining decomposition data obtained from litter bags. *Ecol.*, **63**: 1636~1642.
- Yim, Y. J. and T. Kira, 1975. Distribution of forest vegetation and climate in the Korean Peninsula. 1. Distribution of some indices of thermal climate. *Japanese J. Ecol.*, **25**: 77~88.
- Zahner, R. and F. W. Whitmore, 1960. Early growth of radially thinned loblolly pine. *J. Forestry*, **58**: 628~634.

(1983年 8月 19日 接受)