

## 伽倻山 소나무(*Pinus densiflora*)群落의 構造 및 動態<sup>1</sup> 배관호<sup>2</sup> · 홍성천<sup>2</sup>

## Structure and Dynamics of *Pinus densiflora* Community in Mt. Kaya<sup>1</sup> Kwan Ho Bae<sup>2</sup> and Sung Cheon Hong<sup>2</sup>

### 요 약

가야산 일대의 소나무림을 통하여 우리나라 남부내륙에 분포하는 소나무림의 임업경영에 필요한 정보를 제공할 목적으로 소나무군락의 구조 및 동태를 분석한 결과 다음과 같이 요약할 수 있었다.

사면중하부에 분포하는 소나무 이차림의 교목층, 아교목층, 관목층, 초본층의 각 계층의 높이는 9~15m, 4~10m, 1~4m, 1m이하로 구분되었으며, 능선과 정상부 소나무림의 경우는 9~10m, 2~7m, 1~2m, 1m이하로 구분할 수 있었다.

직경급 분포로 볼 때 소나무 이차림의 경우 사면하부(해발 450m)는 신갈나무, 서어나무, 줄참나무, 까치박달, 물푸레나무로, 사면중부(해발 700~800m)는 신갈나무로 천이가 진행되어 현재의 소나무 이차림은 쇠퇴하여 갈 것으로 예상된다. 능선부와 정상부의 소나무림은 소나무 치묘 및 치수를 가지고 있으므로 유지될 것으로 예상된다.

조사지의 연륜심을 통하여 볼 때 사면중하부에 분포하는 소나무 이차림은 임령이 80~90년이었으며, 수령 72~80년 무렵에 standing dead형의 소나무 고사목이 나타난다고 할 수 있었다. 가야산의 소나무림 교란 체제는 standing dead, uprooting, limbfall로 구분되고 이는 각각 70.6%, 7.6%, 11.8%이었다.

능선과 정상부의 소나무 前生樹(advance growth)는 수령 100~110년의 상층수관에 이르기까지 standing dead형의 교란 기회를 2번 정도 갖는다고 할 수 있다. 장축방향의 연륜생장에 있어 사면중하부의 소나무는 2.45~2.9mm/year, 능선과 정상부는 1.75mm/year이었다.

### ABSTRACT

Structure and dynamics of *Pinus densiflora* community in Mt. Kaya were studied to provide the information needed for management of *Pinus densiflora* forest in the southern inland of Korea.

Stratification structure of *Pinus densiflora* community in the lower and middle slope consisted of tree layer(10~15m), subtree layer(4~10m), shrub layer(1~4m), and herb layer(below 1m), while in the rock zone of ridge and top area consisted of tree layer(7~10m), subtree layer(2~7m), shrub layer(1~2m), and herb layer(below 1m).

According to the diameter distribution of tree species in *Pinus densiflora* community, secondary *Pinus densiflora* forest will gradually decline. Its forest may be replaced by *Quercus mongolica*, *Quercus serrata*, *Carpinus laxiflora*, *C. cordata*, and *Fraxinus rhynchophylla* in the lower slope, and by *Quercus mongolica* in the middle slope. *Pinus densiflora* forest has its seedlings and saplings in ridge and top

<sup>1</sup> 接受 1995年 12月 1日 Received on December 1, 1995.

<sup>2</sup> 廉北大學校 林學科 Department of Forestry, Kyungpook National University, Taegu 702-701, Korea.

area, so it may be sustained.

By taking cores from *Pinus densiflora* trees in research area, it could be obtained that in the lower and middle slope, age of *Pinus densiflora* forest was about 80~90 years old. When the age of its trees was about 72~80 years old, withering trees of standing dead occurred. Disturbance regime of *Pinus densiflora* community in Mt. Kaya consisted of standing dead, uprooting and limbfall, these were 70.6%, 17.6% and 11.8% respectively.

It takes about 100~110 years for advance growth of *Pinus densiflora* in ridge and top area to reach tree layer. During the period, it has twice chances of disturbance in standing dead. Annual diameter growth of *Pinus densiflora* was 2.45~2.9mm in the lower and middle slope, while it was 1.75mm in ridge and top region, by measuring cores.

*Key words : Pinus densiflora, gap, diameter distribution, advance growth*

## 서 론

식물군락에 대한 연구는 군락의 구조적 측면에 서의 연구와 동태 측면의 연구로 나눌 수 있다. 군락구조에 대한 연구는 어떤 지역에서 어느 한 순간의 식생조성과 그것의 환경사이의 관계를 밝히는데(이창석과 조현제, 1993) 이는 종조성, 수직적·수평적인 공간분포, 수령 등으로써 기술할 수 있다. 群落動態는 교란후와 교란중인 군락의 움직임을 포함하여, 시간에 따른 군락구조에 대한 변화를 연구한다(Oliver와 Larson, 1990). 군락동태에 관한 연구는 천이적 발달에 대한 연구와 교란 및 교란된 군락의 재생에 대한 연구로 대별할 수 있다.

식물군락의 동태에 대한 대부분의 연구는 군락의 천이적 발달에 집중되어 왔지만 일찍부터 교란이 발생하여 공간적으로 群斑形態가 되며 대부분의 군락은 평형상태가 아닌 것으로 믿어 왔으며, 삼림식생의 재생이나 유지에 미치는 교란의 역할이 밝혀짐에 따라 그것을 삼림식생의 종조성이나 구조를 결정하는 중요한 요인의 하나로서 인식하게 되었다(Runkle, 1985).

교란 및 교란된 식생의 재생에 대한 연구는 특히 1970년대 후반부터 전세계적으로 활발한 연구가 이루어져 극상상태라고 하는 성숙림의 대부분이 발달단계가 다른 군반(patch)이 모여 모자이크상을 이루고 있으며 식물군락에서 평형이 거의 이루어지지 않고 있음을 밝히고 있다. 즉 삼림군락은 교란시기, 교란 정도 및 종조성이 다른 군반에 모여서 시·공간적 다양성을 나타내고 있다. 攪亂(disturbance)에 의해 형성된 다양한 군

반은 교란시기에 따라서 회복과정이 다양한데 틈상(gap phase), 형성상(establishing phase), 성숙상(mature phase)이 이어져 재생환(regeneration cycle)을 형성한다(Oliver와 Larson, 1990).

교란과 교란된 숲의 재생과정에 대한 연구는 자연식생의 시·공간적 구조 및 유지기작을 밝히는데 그 개념의 응용에 대한 관심이 높아지고 있다(Nakashizuka와 Numata, 1982; 강상준 1989; 조도순, 1990, 1992; 이창석과 조현제, 1993; 김성덕과 송호경, 1995).

우리나라의 어디에서나 볼 수 있는 소나무는 한국, 만주, 일본에 분포하는 구과식물로서 대표적인 경제수종이다. 6,500년전 한반도는 지금보다 평균기온이 2°C 정도 높아 기후가 비교적 건조하여 산불이 자주 일어나 낙엽활엽수림이 소나무 속으로 대치되었다. 4,500~1,400년전에는 소나무속이 감소하고 졸참나무아속이 우월한 시대였으며 1,400년전~현재는 소나무속, 초본류시대이다. 3,000년전 벼의 기원을 확인할 수 있으며 지역에 따라 다르지만 농경활동에 따른 삼림파괴로 현재의 소나무의 粗林이 전개되었다(김준민, 1980). 현재 우리나라의 소나무는 다른 수종과의 경쟁에 약하여 능선이나 정상부의 건조한 침박지에서 토지적 극상(edaphic climax)을 이루고 있으며, 濕原, 河岸 같은 과습지와 극상이 파괴된 지역에서는 이차천이의 도중상인 이차림으로 존재한다. 수직적 분포는 황폐정도에 따라 다르겠지만 북위 39° 이하에서는 해발 1,000~1,100m, 39° 이상에서는 900m가 한계이다(Uyeki, 1926).

이제까지의 소나무림에 대한 연구는 이철환(1990)의 한국산 소나무림의 식물사회학적 연구와 조현제와 홍성천(1990)의 팔공산 삼림군락의

식물사회학적연구(소나무림에 대해서) 등 군락분류에 관한 연구가 대부분이었다. 교란에 의한 소나무림 재생과정에 관한 연구는 거의 없었으나, 최근 김성덕과 송호경(1995)의 경북 불령계곡 소나무림의 재생과정에 관한 연구가 발표되었다.

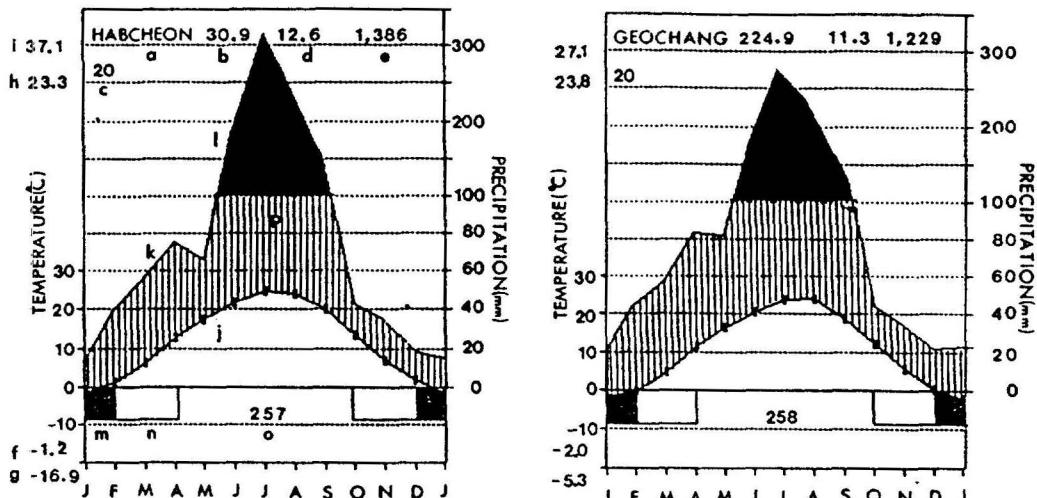
본 연구는 우리나라 남부내륙에 위치하고 있고 해인사, 청량사 등의 사찰로 인해 비교적 소나무림이 잘 보존되어 있는 가야산을 대상으로 하여 능선과 정상부에서 토지적 극상을 이루고 있는 소나무림과 가야산 일대의 해발 800m 이하에 잘 발달된 소나무 이차림에 대한 군락구조 및 동태에 관한 연구를 통하여 소나무군락의 유지와 재생과정을 밝혀 효율적 관리에 필요한 기초적인 자료를 제공하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 조사지 개황

가야산국립공원은 동경  $128^{\circ} 02' 30'' \sim 128^{\circ} 12' 30''$ , 북위  $35^{\circ} 44' 00'' \sim 35^{\circ} 52' 00''$ 에 위치하며, 행정구역상으로는 경상남도 합천군과 거창군, 경상북도 성주군에 속하고 면적은  $57.813\text{km}^2$  (경남 합천군  $45.353\text{km}^2$ , 거창군  $2.6\text{km}^2$ , 경북 성주군  $9.86\text{km}^2$ )이다.

가야산은 소백산맥 주맥의 동쪽에 위치하여 험준한 산세를 이루고 있다. 소백산맥의 대덕산(1290m)에서 수도산(1317m)-단지봉(1320m)-두리봉(1133m)-가야산(1430m)으로 연결되어 있다. 동서로는



- a = Station.
- b = Height above sea level(m).
- c = Duration(years) of observations.
- d = Mean annual temperature( $^{\circ}\text{C}$ ).
- e = Mean annual precipitation(mm).
- f = Mean daily minimum temperature of the coldest month.
- g = Lowest temperature recorded.
- h = Mean daily maximum temperature of the warmest month.
- i = Highest temperature recorded.
- j = Curve of mean monthly temperature.
- k = Curve of mean monthly precipitation.
- l = Mean monthly rain>100mm(black scale reduced by 2/5)
- m = Months with mean daily minimum temperature< $0^{\circ}\text{C}$ (black)
- n = late or early frosts occur.
- o = Mean duration(days) of frost-free period.
- p = relatively humid season.

Fig. 1. Representative climate-diagram of Habcheon and Geochang.

두리봉에서 가야산(1430m), 남북방향으로는 두리봉에서 깃대봉(1112m)-단지봉(1028m)-남산제일봉(1,010m)-매화산(954)으로 이어지는 고봉이 산재하는 협준한 산악지형을 이룬다. 가야산과 두리봉 사이에서 발원한 계류가 홍류동 계곡을 이루어 이 지역을 동서로 나누고 있으며 해인사가 위치하는 곳은 해발 630m 지점이다.

가야산국립공원은 영남육괴에 속하며 지질은 소백산편마암체에 속하는 선캠브리아기의 반상면 정편마암과 흑운모편마암, 시대미상인 회장암 및 이들을 관입한 쥬라기의 해인사화강암으로 이루어져 있다(원종관과 이재만, 1990).

가야산의 기상자료는 합천측후소와 거창측후소의 20년간 자료(1974-1993)를 이용하였다. 합천지역의 연평균온도는 12.6°C, 연평균강수량은 1,306mm, 연평균증발량은 1,243mm, 연평균상대습도는 71.4%였으며, 거창지역은 연평균온도 11.3°C, 연평균강수량 1,229mm, 연평균증발량 1,017mm이었다. Fig. 1은 합천과 거창의 climate-diagram이다.

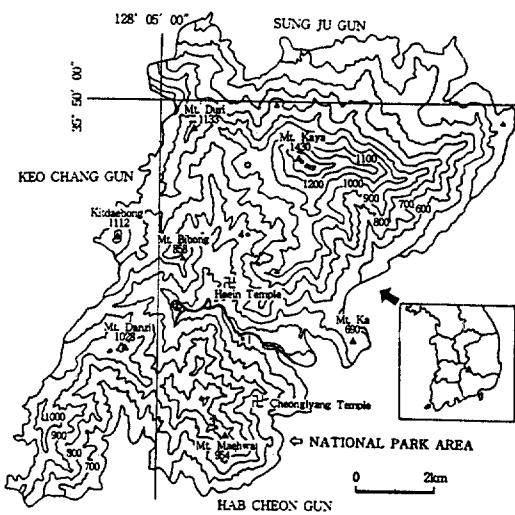
가야산의 입상을 살펴보면 정상부에는 우리나라 특산식물인 구상나무가 분포하고 정상부 아래와 깃대봉에서 두리봉에 이르는 일대는 신갈나무가 우점하며, 정상에서 가야산에 이르는 지역과 남산제일봉일대의 능선암반부에는 잣나무가 분포한다. 신갈나무군락과 접하여 매화산과 홍류동계곡부, 홍제암 서편, 해인사주변의 사면중하부에는 소나무 이차림이 발달하여 있다. 계곡부와 해인사 주변에는 졸참나무, 느티나무, 까치박달, 서어나무, 물푸레나무 등의 활엽수가 분포하고 있다.

## 2. 야외조사 및 자료처리방법

야외조사는 1993년 5월에서 10월에 실시하였으며 조사지점을 네 곳 선정하는데 사면하부와 사면중하부의 소나무 이차림에 세 곳, 토지적 극성이 발달한 능선과 정상부에 한 곳을 정하였다 (Fig. 2). 조사지의 크기, 지형, 해발, 경사 등의 환경적 여건은 Table 1에 나타내었다.

**Table 1.** Topography, altitude, aspect, slope and size of study sites.

Plot Number	Topography	Altitude(m)	Aspect	Slope(°)	Size(m × m)
1	Lower slope	450	N10E	20	30 × 40
2	Middle slope	850	S40E	30	40 × 40
3	Ridge	970	N30E	30	40 × 40
4	Middle slope	800	N80W	25	40 × 40



**Fig. 2.** Map showing the study sites in Mt. Kaya. Numerals indicate plot numbers.

조사지내 군락조성종 파악을 위하여 Braun-Blanquet(1964)법에 따라 식생을 조사하였으며, 교목층, 아교목층, 관목층, 초본층으로 계층을 나누어 각 계층의 피도를 측정하였다. 각 조사지점에서 교목성 수종에 대하여 매목조사를 하고 조사지내에서 퍼主旨 않는 교목층 소나무 줄기의 장축방향 연륜심과 gap주위 교목성 수종의 장축방향 연륜심을 지상부 30cm에서 채취하였다. 매목조사는 흉고직경 2cm 이상되는 개체를 대상으로 하였으며 상층을 덮고 있는 수목에 의한 상층 수관투영도(임관투영도)를 작성하면서 소나무에 의한 gap을 도시하였다. 군락의 동태는 매목조사에 의하여 각 조사지별 직경급분포도를 작성하여 개체군의 지속성 여부를 분석하고, 위에서 취한 교목층 소나무의 연륜심을 통하여 군락의 성립시기를 추정하였다. 교목층의 상층 수관투영도에서 나타나는 gap의 주위에 분포하는 개체의 연륜심을 통하여 교란체제, gap 발생시기, 성숙목에 이르기까지의 교란 횟수를 분석하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 군락구조

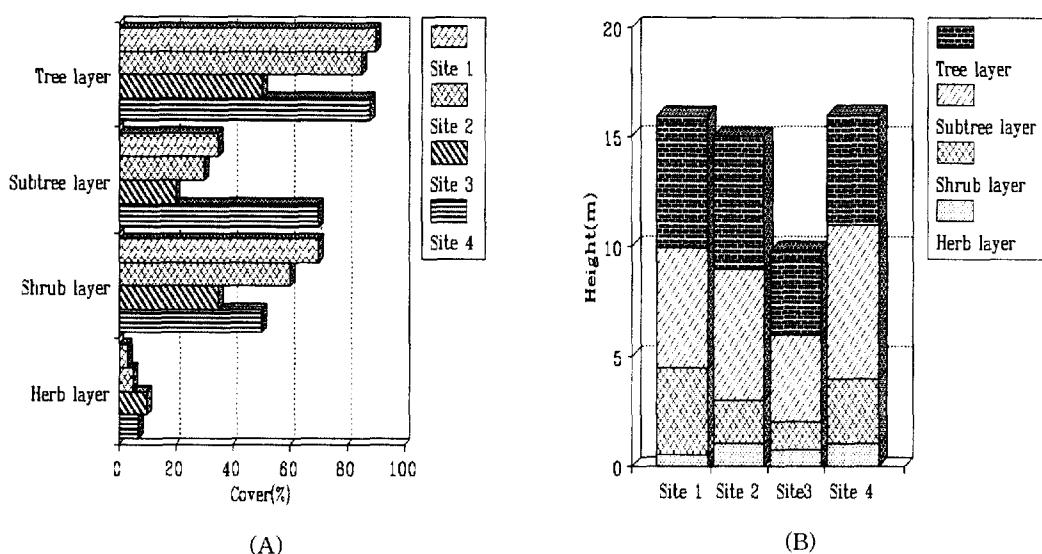
조사지 1의 교목층 소나무 수고는 16m, 최대 폭 흥고직경은 52cm이었으며 교목층의 소나무 아래에 신갈나무, 층층나무, 서어나무, 줄참나무, 카치박달 등의 낙엽활엽수가 아교목층을 형성하고 있었다. 관목층에는 국수나무, 병꽃나무, 당단풍, 생강나무, 철쭉꽃, 진달래, 개옻나무 등이 분포하고 있었으며 초본층은 실새풀과 맑은대쑥이 있었으나 관목층의 피도가 높아 아주 적게 분포하였다. 관목층으로 미루어 이 조사지의 환경여건은 다소 습한 지역임을 알 수 있었다.

조사지 2는 교목층 소나무의 수고는 15m, 최대 폭 흥고직경은 51cm이었다. 교목층인 소나무 아래에 신갈나무, 서어나무, 잣나무, 노작나무가 아교목층에 출현하였으며 관목층은 신갈나무, 조릿대, 철쭉꽃, 쪽동백나무, 당단풍, 쇠물푸레, 진달래, 생강나무, 노린재나무 등이 분포하고 있었다. 초본으로는 맑은대쑥, 단풍취, 삽주, 그늘사초, 실새풀, 애기나리, 밀나물 등이 분포하고 있었다.

조사지 3은 지형적으로 산정부와 능선임반부에 해당하며 피도는 낮지만 신갈나무와 혼효하고 있

었다. 교목층 소나무 수고는 9~10m, 최대폭의 흥고직경은 32cm였다. 이 조사지의 경우 교목층, 아교목층, 관목층의 모든 층에 소나무가 출현하고 있었다. 아교목층에는 신갈나무, 대팻집나무가 나타났으며, 관목층에는 철쭉꽃, 산앵도나무, 참싸리가 나타났고, 초본층에는 김의털, 실새풀, 억새, 구절초 등이 분포하였다. 사면상부에 나타나는 구절초, 산앵도나무, 대팻집나무 등으로 볼 때 능선부와 정상부의 암석지임을 알 수 있었다.

조사지 4는 사면중부에 위치하는 소나무림으로 교목층수고는 16m, 최대 폭 흥고직경은 47cm이었다. 소나무가 아교목층에는 나타나지만 관목층에는 나타나지 않고 있었다. 신갈나무와 물푸레나무가 아교목층에 출현하지만 신갈나무가 우점하고 있었으며 신갈나무는 관목층에도 출현하였다. 쪽동백나무, 당단풍, 줄참나무, 비목나무, 물푸레나무, 팔배나무가 아교목층, 관목층에 출현하고 있었다. 관목층에는 철쭉꽃, 조릿대, 쇠물푸레, 진달래, 생강나무, 조록싸리, 참회나무, 국수나무, 병꽃나무가 나타났으며 초본층에는 삽주, 그늘사초, 실새풀, 둥굴레, 대사초 등이 있었다. 아교목층 및 관목층의 쪽동백나무, 당단풍, 비목나무, 물푸레나무, 참회나무 등의 출현으로 미루어 이 지역이 적습한 곳임을 알 수 있었다.



**Fig. 3.** Canopy profiles of site 1, 2, 3 and 4 in *Pinus densiflora* community. The length of each bar of (A) and (B) represents cover percent and ranges of each stratification at site 1, 2, 3 and 4 respectively.

Fig. 3은 각 조사지의 교목층, 아교목층, 관목층, 초본층의 퍼도율과 각 계층의 수고를 나타낸 것이다. 조사지 3의 경우는 각 층의 퍼도율과 교목층의 수고가 다른 조사지에 비해 낮게 나타나는데 이는 이들 입지환경이 열악한 데 기인한 것으로 생각된다.

## 2. 군락동태

### 1) 개체군구조

직경급분포도에서 직경은 연령과 비례하므로 직경급분포는 연령분포와 유사한 것으로 간주할 수 있어 직경급분포도 모양은 그 개체군의 지속적 유지 가능성여부를 판단하는데 중요한 정보를 제공한다. 직경급분포도의 모양에서 역 J자형은 동령림인 경우 경쟁이 일어나고 있음을 의미하며 (Ford, 1975; Mohler 등, 1978) 이령림인 경우 침입집단 또는 극상림집단의 특징으로서 지속적으로 유지될 수 있는 집단을 의미한다. 그리고 역J자형 집단과 정규분포형 집단이 공존하고 전자가 후자보다 적은 개체로 구성된 군락의 경우 후자는 전자에 의해 교대되어 천이가 진행되는 것으로 알려져 있다(Barbour 등, 1980). Red spruce (*Picea rubens*)의 수령분포는 선구수종의 활엽수림내에서와 천이도중상에서 정규분포형이 되며 극상단계에서는 역 J형을 나타낸다(Kimmins, 1987). 본 조사지의 소나무군락의 동태는 직경급분포도를 통하여 조사지 소나무군락의 지속성 여부를 분석을 하였다.

조사지의 직경급분포도는 Fig. 4~7에서 보는 바와 같이 소나무는 조사지 3을 제외하고는 직경급 5cm 이하가 없어 치수공급이 되지 않는 것으로 나타났다. 조사지 1의 경우(Fig. 4) 소나무는 직경 15cm이하는 전혀 없었으며 층층나무, 신갈나무, 서어나무, 물푸레나무, 졸참나무, 까치바달, 노각나무 등의 교목성 수종이 침입하여 있었다. 이 소나무림은 稚樹가 供給되지 않는 정규분포형을 하고 있고 앞에서 언급한 낙엽활엽수종은 역J자형에 가까운 형태를 나타내고 있어 이들로의 천이가 진행될 것으로 생각된다.

조사지 2(Fig. 5)의 소나무림도 치수공급이 전혀 이루어지지 않는 정규분포형을 나타내고 있지만 신갈나무는 역 J자형으로서 치수를 공급하고 있어 신갈나무림으로 천이될 것으로 생각된다.

조사지 3(Fig. 6)은 능선부의 암석지에 분포하

는 소나무림으로서 암벽주위의 소나무가 고사한 경우 주변에 발생하는 치수가 있고 직경급분포도는 역 J자형에 근접하고 있어 이들 치수에 의해 생식이 가능한 것으로 생각된다. 고사목은 20cm에서 40cm로 직경분포 범위가 큰데 이는 Fig. 8에서 보는 바와 같이 생육이 보다 어려운 암벽에 위치한 개체가 보다 빨리 고사하기 때문이다. 직경급분포도에서 보면 신갈나무도 치수가 공급되고 있어 이 지역에서 소나무와 혼효림을 유지하면서 산재할 것으로 생각된다.

조사지 4(Fig. 7)는 사면중부에 위치한 소나무림으로서 전형적인 이차림이었으며 직경급 35~50cm 사이의 고사목이 나타난다. 이 소나무림 역시 직경 0~20cm 사이의 개체가 하나도 없어 치묘와 치수의 공급은 전혀 이루어지지 않음을 알 수 있다. 교목층 수관에는 신갈나무의 침입이

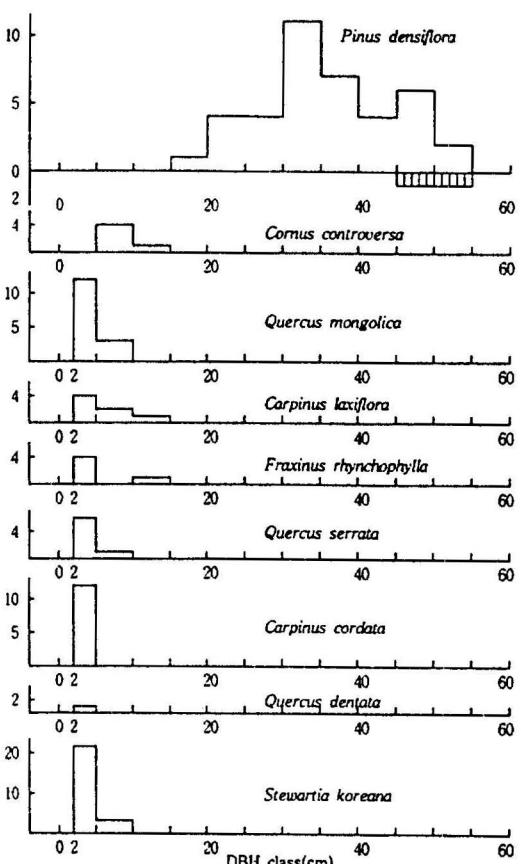


Fig. 4. DBH distribution of tree species at site 1 in *Pinus densiflora* community. Solid columns show the dead trees.

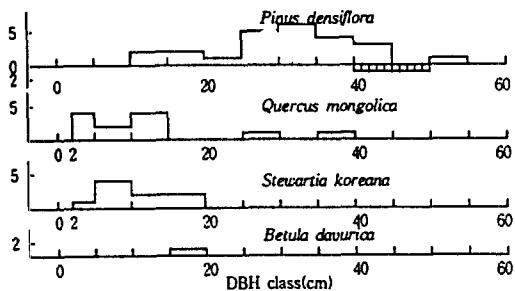


Fig. 5. DBH distribution of tree species at site 2 in *Pinus densiflora* community. Solid columns show the dead trees.

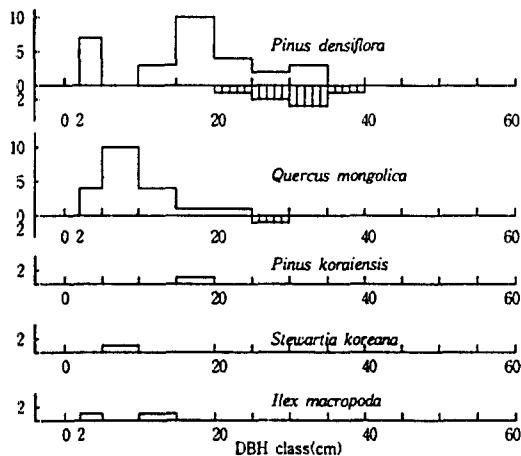


Fig. 6. DBH distribution of tree species at site 3 in *Pinus densiflora* community. Solid columns show the dead trees.

일시에 생성된 이차림으로서 치수발생이 없었고 교목층 소나무 아래에 침입하여 생육하던 활엽수들이 소나무가 고사하거나 넘어져 생긴 gap을 이용하여 빠른 생장을 할 것으로 생각된다. 이 gap이 상층의 소나무에 의해 폐쇄되면 다소 생장이 둔화될 것이지만 치수 발생이 없는 이 소나무림은 물푸레나무, 층층나무, 신갈나무, 졸참나무, 까치박달, 서어나무 등의 활엽수로 천이 되어갈 것으로 추정된다.

Fig. 8의 조사지 2에서 ■은 넘어진 소나무를 나타내고 짙은색 부위는 노출된 대형암반을 의미한다. 넘어진 소나무는 암반 주위에 위치하여 직근이 발달할 수 없어 수간의 지탱이 어려웠던 것이 넘어진 주원인으로 생각된다. 조사시 넘어진

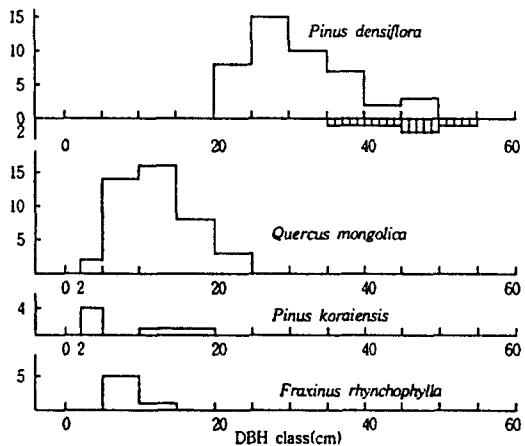


Fig. 7. DBH distribution of tree species at site 4 in *Pinus densiflora* community. Solid columns show the dead trees.

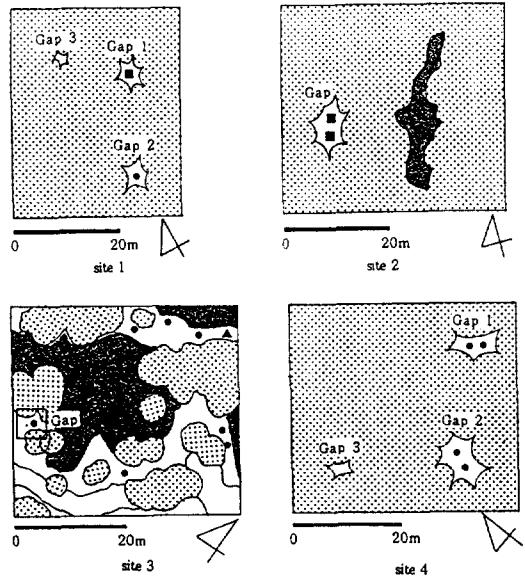


Fig. 8. Distribution of crowns and gaps at site 1, 2, 3 and 4 of *Pinus densiflora* community in Mt. Kaya. Site 1, 2, and 4: The crowns of trees above 15m in Height are shaded. Site 3 : The crowns of trees above 15m in Height are shaded.

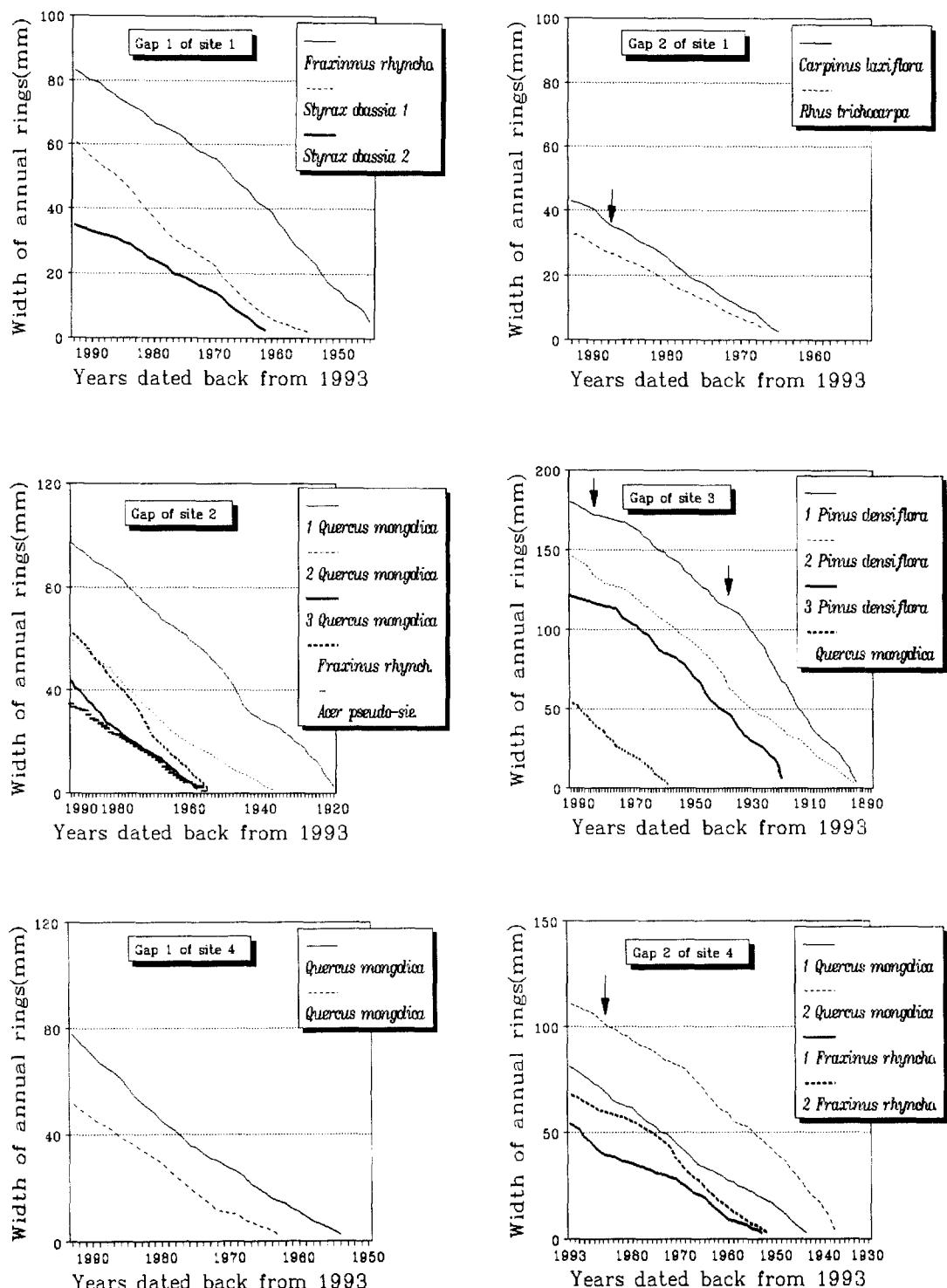


Fig. 9. Growth curves of trees in gaps at site 1, 2, 3 and 4. Arrows indicate the estimated time of standing dead of *Pinus densiflora* at tree layer.

소나무의 상황을 볼 때 근년에 넘어진 소나무이었다. 이로 인하여 생긴 gap 주변목들의 연륜에서는 근년의 생장량변화를 찾아볼 수 없었다.

Fig. 8 조사지 3의 ● 표시는 standing dead의 소나무를 의미하며 ▲는 신갈나무 고사목이다. 이 소나무림은 수고가 대략 9~10m로서 사면중 하부의 소나무가 15~16m인 것과 비교하여 상당히 낮은 편이며 흥고직경도 작은 편이었다. 이는 이 지역이 능선부로서 상층 수관투영도에서와 같이 대형암반이 지표를 덮고 있는 등 열악한 환경 조건에 기인하여 생장이 나쁜 것으로 생각된다.

조사지 3의 2~5cm 직경급분포는 Fig. 8로 볼 때 암반주위에서 자라던 교목층의 소나무가 고사함으로써 수관이 소개되어 주변에 소나무 치수가 들어선 결과로 생각된다.

상층의 수관투영도에서와 같이 대형암반 주위에 고사한 소나무가 많은데 이는 열악한 환경 조건하에서 수명이 다하여 고사한 것으로 보이며 □ 표시의 고사목 주변목의 생장추를 분석한 것이 Fig. 9의 site 3이다. 이 고사목 주위에는 소나무 3개체와 신갈나무 1개체가 있었는데 이들 주변목 중 신갈나무는 상층의 소나무에 덮혀 있어서인지 생장량의 변화가 명확하지 않았으며, 소나무 ①, ②는 1985년을 전후하여 생장량이 변화를 나타내는 것으로 미루어 소나무의 고사시기가 이 구별로 생각된다. 이들 두 개체는 수령이 약 97년으로서 경쟁중이던 소나무의 고사로 생장이 약간 늘어나다가 다시 둔화되는 것을 볼 수 있다. 나머지 소나무 하나는 수령이 70년 정도로서 상층의 소나무가 고사할 경우 이를 대치할 것으로 여겨지는 개체이다.

상층 수관투영도에 나타난 바와 같이 조사지 4는 standing dead로 수관이 소개된 gap지역이 3 군데 있었다. Gap 3은 가지절단에 의하여 형성된 것으로 상층부 소나무의 수관화장에 의해 메워질 것이다. 신갈나무는 가지절단 등의 수관소개와 같은 작은 gap에서는 맹아생신이 이루어지며 큰 gap에서는 實生으로 보충된 개체로 이루어진다는 것을 감안하면(신재하, 1990), 조사지 4의 경우 교목층에 신갈나무 일부가 침입하여 있고 아교목층을 우점한 상태로 보아 소나무림은 신갈나무림으로 대치될 것으로 생각된다.

Fig. 9에서 조사지 4의 gap 1, gap 2는 gap 주변의 개체생장을 각각 나타낸 것이다. 소나무

림 교목층은 수고 16m인데 이 층에 있었던 소나무가 고사하자 그 아래층의 수고 10~12m에 있었던 신갈나무가 급격히 생장하면서 gap을 메워가고 있었으며 고사목 주위의 소나무들도 상층의 gap을 메우고 있었다. 조사지 4의 gap 1의 신갈나무는 뚜렷한 변화를 찾아볼 수 없었으며, gap 2의 신갈나무 ②와 물푸레나무 ①, ②가 1987년을 전후하여 약간의 변화를 나타내고 있어 이 무렵에 소나무가 고사한 것으로 생각된다.

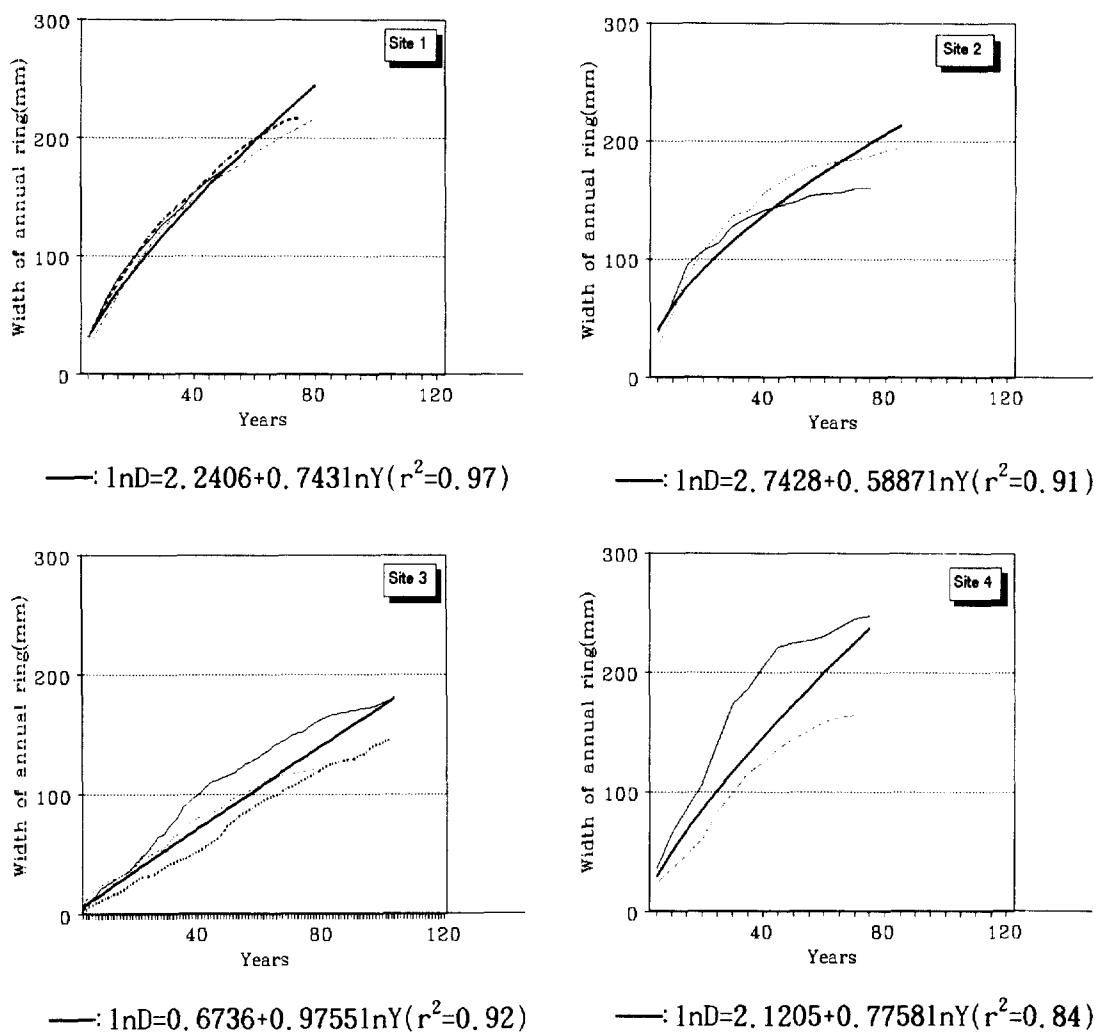
조도순(1992)은 숲틈 형성자가 죽는 양식을 6 가지 종류로 나누었다. 줄기가 부러지는 경우(snap-off), 뿌리채 넘어지는 경우(uprooting), 부러지거나 넘어지지 않고 생리적인 이유로 죽어서 서 있는 경우(standing dead), 죽은 후 나중에 줄기가 부러지는 경우(snap-off after death), 죽은 후 나중에 뿌리채 넘어지는 경우(uprooting after death), 그리고 큰 가지가 부러지는 경우(limbfall). 가야산 소나무림의 경우 Fig. 8의 상층 투영도에 나타난 바와 같이 숲틈 형성자는 3가지였다 (Table 2). 그 중 standing dead가 12개체로서 가장 많아 전체의 70.6%를 차지하였다. 그 다음이 uprooting으로 17.6%, limbfall은 11.8%로 가장 낮았다.

사면하부에서 사면중부에 걸쳐 분포하는 소나무 이차림은 조사지의 최대목 소나무의 연륜심을 통하여 볼 때 임령이 80~90년이었다. 따라서 가야산 지역의 소나무 이차림은 임령 72~80년 무렵에 standing dead가 나타난다고 할 수 있다. 임내 하층에 생육하는 幼樹群은 다음 세대 상층 임관을 형성할 가능성을 갖고 있어 前生樹(advance growth)라고 한다(堤利夫, 1989). 조사지 1, 2, 4에 있어서는 졸참나무, 서어나무, 물푸레나무, 까치박달, 신갈나무, 노각나무, 잣나무 등이 전생수에 해당한다고 할 수 있다.

Fig. 9 조사지 3의 gap 2를 보면, 소나무 ①, ②의 생장곡선이 1937년과 1985년을 전후하여 생

Table 2. Patterns of motality of gap-makers in *Pinus densiflora*.

Mode of death	Number	Percentage
Standing dead	12	70.6
Uprooting	3	17.6
Limbfall	2	11.8
Total	17	100.0



**Fig. 10.** Cumulative growth curves obtained from the width of annual rings of *Pinus densiflora* at site 1, 2, 3 and 4.

장의 변화를 나타나는데 이는 상층수관의 소개에 의한 교란으로 생각된다. 따라서 능선과 정상부의 소나무림은 소나무 ①, ②개체(수령 100~110년)로 미루어 볼 때 상층 임관에 이르기까지 standing dead의 교란기회를 2번 정도 갖게 되는 소나무 치묘 및 치수에 의하여 재생될 수 있을 것으로 생각된다.

### 3) 연률생장량

각 조사지에서 피압되지 않는 교목층 소나무 줄기의 장축 연률심을 통하여 조사지의 임령을 추정하여 보면 조사지 1은 80년, 조사지 2는 90년, 조사지 3은 110년, 조사지 4는 80년으로 나

타났다.

Fig. 10은 각 조사지의 교목층 소나무의 연률 누적 생장곡선으로 조사지 1, 2, 3 및 4의 소나무 연평균 연률생장량은 각각 2.9mm/year, 2.45mm/year, 1.75mm/year, 2.54mm/year이었다. 입지조건이 좋은 사면중하부의 소나무 이차림과 입지조건이 열악한 능선과 정상부에서 토지적 극상을 이루고 있는 소나무림과의 연간생장량은 약 1.6배 정도까지 차이가 나는 것으로 나타났다.

Fig. 10에서 보면 조사지 3의 경우는 사면중하부의 소나무 이차림에 비하여 생장이 활발하여 직경이 20cm를 넘지 못하고 있고, 초기생장

은 상당히 느린 것으로 나타난다. 토지적 국상 소나무림에 있어 김성덕과 송호경(1995)에 의하면 경북 불영계곡 소나무도 초기 생장이 느린 것으로 보고된 바 있다. 가야산의 능선과 정상부 소나무의 초기생장이 느린 것은 상층수관에 의한 gap이 형성될 때까지의 상층 피압에 의한 것으로 보이며, 치묘 및 치수시 gap의 기회를 갖지 못하는 개체는 고사할 것으로 생각된다.

### 인용 문헌

1. 강상준. 1989. 한라산 구상나무숲의 재생에 대하여. 국제학술대회(제17회) 논문집
2. 김성덕·송호경. 1995. 경북 불영계곡 소나무(*Pinus densiflora*)林의 재생 과정에 관한 연구. 한국임학회지 84(2): 258-265.
3. 김준민. 1980. 한국의 환경변천과 농경의 기원. 한국생태학회지 3: 40-51.
4. 신재하. 1990. 신갈나무(*Quercus mongolica*) 림의 구조와 재생과정에 관한 생태학적 연구. 충북대학교 교육대학원. 석사학위논문.
5. 원종관·이재만. 1990. 가야산국립공원의 지질. 한국자연보존협회 조사보고서 28: 27-34.
6. 이창석·조현제. 1993. 가야산 구상나무군락의 구조 및 동태. 한국생태학회지 16(1): 75-91.
7. 이철환. 1990. 한국산 소나무림의 식물 사회학적 연구. 강원대학교 생물학과 석사학위논문.
8. 堀 利夫. 1989. 森林生態學. 朝創書店. 東京. pp. 35-36.
9. 조도순. 1990. 삼림생태계에서의 교란과 그 역할. 한국식물학회지 12(4): 19-29.
10. 조도순. 1992. 광릉 자연림에서의 교란체제와 수목의 재생. 한국생태학회지 15(4): 395-410.
11. 조현제·홍성천. 1990. 팔공산 삼림군락의 식물사회학적연구(I) -소나무림에 대해서-. 한국임학회지 79(2): 144-161.
12. 중앙기상대. 1994. 기상연보(1974-1993).
13. Barbour, M.G., J.H. Burk and W.D. Pitts. 1980. Terrestrial plant ecology. The Benjamin/Cummings Publishing Co.. Menlo Park California. pp. 62-68.
14. Braun-Blanquet, J. 1964. Pflanzensoziologie, Grundzüge der Vegetationskunde. 3rd ed. Springer. New York. p. 865.
15. Ford, E.D. 1975. Competition and stand structure in some even-aged plant monocultures. J. Ecol. 63: 311-333.
16. Kimmings, J.P. 1987. Forest Ecology. Macmillan Publishing Company. New York. pp. 334-336.
17. Mohler, C.L., P.L. Marks and D.G. Sprugel. 1978. Stand structure and allometry of trees during self-thinning of pure stands. J. Ecol., 66: 599-614.
18. Nakashizuka T. and M. Numata. 1982. Regeneration process of climax beech forests I (Structure of a beech forest with the undergrowth of Sasa). Jap. J. Ecol. 32: 57-67
19. Nakashizuka T. and M. Numata. 1982. Regeneration process of climax beech forests II (Structure of a beech forest with the undergrowth of Sasa). Jap. J. Ecol. 32: 57-67
20. Oliver, C.D. and B.C. Larson. 1990. Forest stand dynamics. McGraw-Hill. New York. pp. 1-135.
21. Runkle, J.R. 1985. Disturbance regimes in temperate forests. In Disturbance and patch dynamics. S.T.A. Pickett and P.S. White (eds.). Academic Press. New York. pp. 17-34.
22. Uyeki H. 1926. 朝鮮ノ植物. 第一編 公孫樹及ヒ松柏類. 林業試驗場報告 第四號 pp. 55-56.