

江原道 中旺山 地域 소나무 天然林내
숲틈 更新 소나무의 樹冠 Architecture^{1*}

金永煥² · 李敦求³

Crown Architecture of *Pinus densiflora* in Canopy Gap of
Natural Forests at Mt. Joongwang in Kangwon-do^{1*}

Jin Yonghuan² and Don Koo Lee³

요 약

소나무의 갱신 특성을 구명하기 위하여 강원도 평창군 중왕산 지역 소나무 천연림에서 교란에 의해 형성된 숲틈을 대상으로 line-transect 조사법에 의해 소나무의 수관 architecture 특성을 조사, 분석하였다. 갱신 초기단계에 소나무는 숲틈에서 성장환경에 적응능력을 나타내었고 소개된 임분에서 자라는 소나무에 비해 architecture 특성은 다르게 나타났다. 소나무 천연림내 숲틈에서 소나무의 주 가지의 분지각의 변이폭은 작았고 주 가지의 길이 생장량은 가지 연령이 4~5년생 일 때까지 비교적 크게 나타났고 그 이후에는 점차 작아졌다. 숲틈에서 소나무의 줄기로부터는 주 가지가 평균 5개씩 발생하였고 주 가지에서는 잔가지가 평균 4개씩 발생하였다. 줄기에서 발생한 주 가지는 방위별로 균일한 분포양상을 나타내었지만 주 가지에서 발생하는 잔가지의 수는 숲틈의 크기가 100~120m²이하일 때 주로 S44° E ~ S90° W 사이의 방위에 많이 분포하였다.

ABSTRACT

This study was conducted to understand *Pinus densiflora* regeneration characteristics from canopy gaps due to disturbance in natural forests located at Mt. Joongwang in Kangwon-do. The line-transect method was adopted to analyze crown architecture of *Pinus densiflora*. The saplings of *Pinus densiflora* in the canopy gap showed high adaptation to growth environment at their early regeneration stage, and showed different characteristics in crown architecture. Variation of branching angle in the main branch of *Pinus densiflora* was small in canopy gap. Primary branch growth showed was high during 4~5 year-old period and slowly low after that period. Average 5 of primary branch were generated from stem in canopy. Average 4 of secondary branch were generated from primary branch in canopy gap. Primary branches generated from the stem were uniformly distributed at all cardinal directions. When canopy gap size is 100~120m², secondary branches generated from primary branch had mostly high numbers between S44° E and S90° W.

Key words : *Pinus densiflora*, natural forest, canopy gap, branching, crown architecture

¹ 接受 2000年 1月 3日 Received on January 3, 2000.

² 林業研究院 Korea Forest Research Institute, Seoul 130-012, Korea.

³ 서울대학교 산림자원학과 Department of Forest Resources, College of Agriculture & Life Sciences, Seoul National University, Suwon 441-744, Korea.

* 본 연구는 한국과학재단 "북방농업의 개발과 연구협력사업" 과제로 수행한 연구결과의 일부임.

서 론

1970년대 후반이후 산림의 갱신과정에 대한 연구가 깊어짐에 따라 산림에서 많은 수종은 교란에 의해 생긴 숲틈에서 갱신이 이루어진다고 밝혀졌다(Runkle, 1985; Schupp 등, 1989; Yamamoto와 Moriyama, 1995; Dai, 1996). Pickett와 White (1985)는 산림에서 여러 가지 원인에 의해 발생하는, 생태계나 생물군집 또는 개체군 구조를 파괴하고 자원의 이용 가능량과 자원의 본연의 성질 및 물리적 환경을 변화시키는 비연속적인 사건을 교란이라고 하였고 이에 의해 숲내에 형성되는 임관층이 빈 공간을 숲틈(canopy gap)이라고 하였다. 한편, 숲내의 소규모 교란은 치수의 생존과 성장에 적합한 미세 환경을 만들어 주고 교란에 의해 형성된 숲틈에서 임목의 치수는 환경의 변화에 일정한 적응능력을 나타낸다. 이러한 적응과정에서 수목은 주변목에 의한 영향을 받지 않는 소 개된 임분 또는 나지에서 자라는 치수에 비해 형태적으로 다른 특성을 보이는데 특히 숲틈에서 갱신되는 개체는 성장과 수관 architecture 면에서 여러 가지 특성을 나타낸다(竹中, 1996).

수종에 따라 가지의 신장 형태 및 공간 분포 특성은 다르고 임목은 상층목에 의해 피압을 받을 경우, 가지는 광조건이 양호한 주위의 빈 공간으로 뻗어가게 된다. Koike(1986)에 의하면 광합성이 활발히 진행되는 밝은 곳에서는 눈의 수가 증가하고 어두운 곳에는 감소한다. 잣나무 인공림에서 Xin(1989)은 눈의 발현율 등 수관의 성장변량에 의해 임분의 성장과정을 해석함으로써 수관은 생장이 더 유리한 방향으로 기운다고 하였다. 中村과 小幡(1982)은 숲틈에서 전나무(*Abies vertchii*) 치수의 수관형이 숲내에서 자라는 치수에 비해 더욱 원추형에 접근한다고 하였으며 Yamamoto와 Moriyama(1995)에 의하면 숲틈에서 화백(*Chamaecyparis pisifera*) 치수의 분지각은 숲내에 비해 더 크게 나타났고 지하고도 다르게 나타났다. 천연림에서 가시오갈피(*Aconthopanax senticosus*)의 경우, 숲내에서 가지의 분지각은 48°로 개별 후 벌채지의 41°에 비해 더 크게 나타났고 가지길이별 작은 가지수도 3배정도 많았다(祝寧과 陳力, 1994).

소나무는 양수로서 숲내에서 종자의 발아가 가능하고 어느 정도 크기까지는 생존이 가능하지만 치수의 성장과정에서 광 요구도가 증가하기 때문에 임관 밑에서는 생존하지 못하게 된다(Koyama, 1943).

소나무림에서 2개체 이상의 나무가 고사하여 형성된 숲틈은 전체 숲틈면적의 80% 이상을 차지하고 교란으로 인해 형성된 이러한 숲틈은 소나무림의 지속적인 유지에 필수적이다(이창석, 1995a, 1995b). 임목의 수관형 및 수관내 가지와 잎의 분포패턴은 광에너지에 대한 이용능력과도 밀접한 상관이 있다(Fisher & Honda, 1979). 수관 architecture에 대한 분석은 수관을 구성하는 가지나 잎의 공간분포특성 뿐 아니라 광합성을 진행하는 잎의 광에너지에 대한 공간 이용방식을 밝힐 수 있다(Fisher, 1986). 따라서 소나무림에서 숲틈단계에 수관 architecture 특성에 대한 분석을 통해 주변 성장환경에 대한 소나무의 적응과정 및 갱신 기작을 밝힐 수 있으며 이는 소나무림의 무육과정에 있어서도 매우 중요하다.

현재 국외에서는 임목의 수관과 뿌리의 architecture 등에 관한 연구가 활발히 진행되고 있지만(Remphey & Powell, 1988; Remphey & Davidson, 1992; Takenaka, 1994; Takahashi & Kohyama, 1997; Drexhage & Gruber, 1997) 지금까지 한국에서는 이 분야에 관한 연구가 미비하고 소나무의 분지형(박봉규와 최용선, 1982), 잣나무의 수관형(Xin, 1989), 잣나무의 수형(이재선 등, 1999) 및 독일가문비나무의 뿌리 형태(이도형 등, 1999) 등에 관한 일부 연구만 이루어진 실정이다. 이에 본 연구는 숲틈 갱신이 이루어지는 소나무를 대상으로 갱신 초기 단계에 있어서 분지각의 수직 변화, 가지의 길이생장, 분지 패턴, 가지의 수평 분포 등 수관 architecture 특성을 구명하고자 실시되었다.

재료 및 방법

1. 조사대상지

이 연구는 강원도 평창군에 위치한 평창 국유림 관리소 관내 중왕산 지역(북위 37° 27', 동경 128° 30') 163, 164임반 소나무 천연림에서 수행되었다. 이 지역은 온대북부에 속하며 평창과 대관령(1980-1989)의 기상자료에 의하면 평창의 연평균 기온은 10.3℃, 연평균 강수량은 1,082mm이고 대관령의 연평균 기온은 6.2℃, 연평균 강수량은 1,639mm이다(산림청, 1990). 이 지역에서 소나무 천연림은 해발 700-950m사이의 일부 지역에서 순림의 형태로 분포되어 있고 소나무림의 가장자리에는 신갈나무 등 활엽수종이 혼효되어 있

다. 소나무 천연림의 임분 평균수고는 12~15m 정도로 숲내에는 참개암나무, 찔레꽃, 참싸리, 생강나무 등 관목수종이 나타나고 음나무, 물푸레나무 등 수종의 치수도 나타난다.

2. 조사방법

여러 개의 line transect와 만나는 숲틈만 조사하는 Runkle(1982)의 방법에 의해 소나무 천연림 조사지내 사면 하단에서 각각 50~70m씩 떨어진 곳에서 나침반을 이용하여 정상쪽으로 동일한 방향을 따라 걸으면서 여러 가지 원인에 의해 형성된, 임관층이 없는 빈 공간을 숲틈으로 간주하였다. 숲틈은 타원형으로 간주하여 면적을 계산하였고(Runkle, 1985), 조사된 숲틈은 총 13개로 그 크기는 30~200m²이었다.

각 숲틈 조사구에는 크기가 다양한 소나무 치수가 자라고 있었지만 치수의 연령이 클수록 본수는 적게 나타났다. 따라서 숲틈내 중앙부위에 위치한 치수중 생장이 양호하고 우세하여 충분히 임관층까지 자랄 수 있는, 수고가 3.5~5m인 소나무를 각각 1본씩 선정하여 연구대상으로 하였다. 근원경 부위에서 시작하여 줄기의 윤생 마디에 의해 연령을 식별하였고 줄기에서 발생한 전체 주 가지에 대해 윤생 층위별로 가지의 수, 분지각, 신장 방향의 방위, 가지의 연년 성장량을 조사하였으며 방위별로 주 가지에서 발생한 전체 잔가지의 수도 조사하였다. 또한 같은 지역의 소나무 천연림 지역에서 주변 성숙목의 영향이 없이 소개된 임분에서 자라는, 3개 지역에서 숲틈내의 소나무 치수와 수고가 비슷한 소나무를 각각 1본씩 3본 선정하고 위와 동일한 방법으로 조사하였다.

3. 분석방법

숲틈의 크기에 따라 전체 숲틈을 30~50m²(5개 조사구), 51~120m²(4개 조사구), 121~200m²(4개 조사구) 3 등급으로 나누었다. 전체 13개 숲틈 조사구에서 선정한 소나무 13본을 대상으로 줄기에서 발생한 전체 주 가지의 윤생고도의 증가에 따른 분지각의 수직 변화 양상을 분석하기 위하여 각각 윤생 층위별로 평균 분지각을 계산하고 소개된 임분(3개 조사구)에서 자라는 소나무와 비교하였다.

전체 숲틈 조사구와 대조구(소개된 임분)에서 선정한 조사목에 대해 모두 각각의 동일 윤생층에서 발생한 가장 긴 가지를 3본씩 선정하였다. 개

체목별로 3본의 가지 길이 성장량 자료를 이용하여 가지 연령에 따른 가지 길이의 총성장량 평균값을 구하였다. 또한 소개된 임분과 각 숲틈 등급별로 가지의 길이 총성장량과 가지 연령사이의 상관관계를 통해 가지연령에 따른 가지 총성장량의 변화 양상을 비교, 분석하였다.

각 숲틈별로 소나무의 줄기로부터 같은 연도에 발생한 윤생 가지 수에 대한 조사자료를 이용하여 다음 식에 의해 각각 분지 확률과 소나무 줄기의 평균 가지 발생 수를 구하였다. 주 가지에서 발생하는 잔가지의 경우, 줄기에서 발생한 전체 주 가지에서 조사한 잔가지 발생 수 자료를 이용하여 위와 동일한 방법으로 계산하였다.

$$P_i = \frac{\text{가지가 } i\text{개씩 발생하는 분지회수}}{\text{전체 분지회수}}$$

$$E(x) = \sum_{i=1}^{\infty} (i \cdot P_i)$$

P_i 는 줄기에서 가지가 i 개씩 발생하는 분지확률
 $E(x)$ 는 줄기의 평균 가지 발생수

줄기에서 발생하는 주 가지의 NE, SE, SW, NW 등 4방위별 분포 양상은 숲틈을 30~50m², 51~120m², 121~200m² 크기별로 나누어 χ^2 검정법에 의해 분석하였다(符와 陳, 1988). 또한 숲틈 형성 이후 소나무의 줄기에서 발생하는 잔가지의 수는 N1°~45° E, N46°~90° E, S0°~44° E, S45°~89° E, S1°~45° W, S46°~90° W, N1°~45° W, N46°~90° W 등 8방위별로 나누어 χ^2 검정법에 의해 방위별 분포 양상을 분석하였다.

결과 및 고찰

1. 분지각의 수직 변화

숲틈에서 자라는 소나무의 줄기에서 동일 윤생층내 주 가지의 분지각은 차이가 매우 작았고 윤생고도의 증가에 따른 가지의 평균 분지각도 표준편차가 10° 미만으로서 작았다. 그리고 전체 숲틈에서 갱신 소나무의 주 가지의 분지각은 개체에 따라서는 변화범위가 다소 다르게 나타났지만 윤생고도의 증가에 따라 모두 일정한 감소폭을 유지하며 최대 80°에서 최소 50°~60°로 감소하였다. 숲틈 크기별로 보았을 때 윤생고도의 증가에 따라 주 가지의 분지각은 서서히 감소하였고 분지각의 이러한 수직 변화 양상은 숲틈 크기별로 차이가

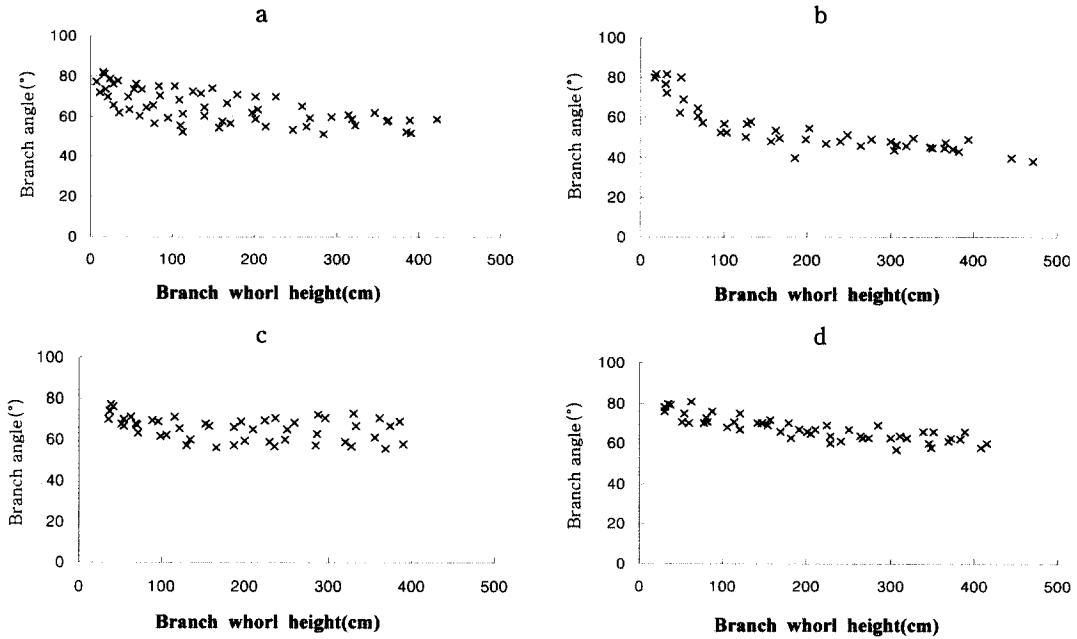


Fig. 1. Branch angles of primary branch at each whorl of *Pinus densiflora* saplings in canopy gaps. a : Gap size 30~50m² b : Gaps size 51~120m² c : Gaps size 121~200m² d : Open area

없었다(Fig. 1의 a, b, c). 그러나 소개된 임분에서 자라는 소나무의 경우, 주 가지의 분지각은 최대 80° 에서 최소 50° 미만으로 감소할 때까지 감소폭이 균일하지 않았고 그 변이가 비교적 크게 나타났으며 특히 줄기의 지면과 가까운 부위에서 주 가지의 분지각은 윤생고도의 증가에 따라 급속히 감소하다가 지면위 1m정도부터는 분지각이 서서히 감소하는 경향을 보여주었는데 이는 숲틈내 소나무 주 가지의 분지각의 수직 변화 양상과는 다르게 나타났다(Fig. 1의 d). 이는 소개된 임분에 비해 주변 환경에 의한 영향을 많이 받는 숲틈에서 소나무 치수가 상대적으로 적은 광자원에 대한 이용효율을 제고하기 위한 대응전략으로 볼 수 있다. 전나무(*Abies sachalinensis*)의 경우, 윤생층별 주 가지의 평균 분지각은 윤생고도의 증가에 따라 줄기의 윗부분에 가까울수록 작게 나타났다(猪瀬, 1982).

2. 줄기에서 발생한 주 가지의 길이 생장 양상

숲틈의 크기를 30~50m², 51~120m², 121~200m² 3등급으로 나누어 소나무의 가지연령에 따른 주 가지의 길이 총생장량의 변화양상을 Fig. 2에 나타내었다. 숲틈과 소개된 임분에서 소나무는 갱

신단계에 모두 가지 연령이 4년생일 때까지 가지 길이 총생장량의 증가양상이 유사하였지만 그 이후에는 가지연령이 증가함에 따라 소개된 임분에서 자라는 소나무의 가지길이 총생장량이 압도적으로 증가하는 양상을 나타내었다. 숲틈에서 자라는 소나무의 경우, 숲틈 크기에 상관없이 가지연령의 증가에 따른 주 가지의 길이 총생장량의 변화양상이 유사하게 나타났다. 숲틈의 경우, 가지의 연령이 4년생이후 가지의 연년생장량은 10cm미만으로

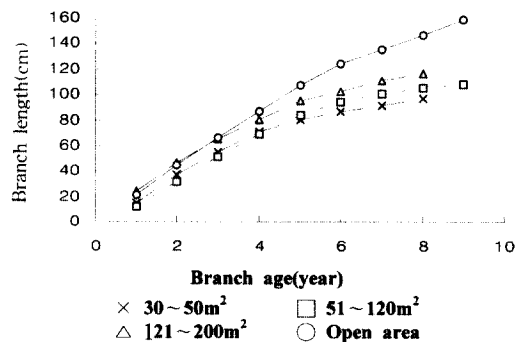


Fig. 2. Changes in branch length in relation to branch age of *Pinus densiflora* saplings in canopy gaps.

매우 작게 나타난 반면, 소개된 임분에서는 15~20cm를 유지하고 있었다(Fig. 2). 이는 소개된 임분에서 자라는 소나무의 경우, 가지의 신장이 인접목의 영향을 받지 않았기 때문이고(孫과 陳, 1999), 숲틈에서는 제한된 성장환경에서 숲틈 연령의 증가에 따라 소나무의 가지의 성장공간이 점차 좁아져 주변목의 수관부 성장에 의해 광조건이 변화하였기 때문이라고 판단된다(猪瀬, 1981).

3. 소나무의 분지 특성

숲틈에서 자라는 소나무의 줄기에서 발생한 전체 주 가지의 수, 전체 주 가지에서 발생한 잔가지의 수에 의해 계산한 주 가지의 평균 발생확률 및 평균 가지 발생수를 숲틈 크기별로 Table 1에 나타내었다. 소나무의 줄기로부터 발생하는 주 가지의 발생확률과 가지 발생수, 주 가지에서 발생하는 잔가지의 발생확률과 잔가지 발생수는 숲틈 크기 등급별로 차이가 없었고 가지 발생확률의 분포패턴은 유사하게 나타났다. 숲틈에서 소나무의 줄기로부터는 주 가지가 4, 5, 6개씩 발생할 확률이 각각 0.246~0.267, 0.270~0.283, 0.237~0.251로서 이는 전체 가지 발생확률의 76~79%를 차지하였고 3개 또는 6개 이상씩 발생하는 확률은 각각 0.158~0.185, 0.039~0.061로서 매우 작았다(Table 1). 소개된 임분에서 자라는 소나무의 경우, 줄기로부터 주 가지가 4, 5, 6개씩 발생할 확률은 각각 0.180, 0.379, 0.287로서 전체 가지 발생 확률의 84%정도를 차지하였으며 주 가지가 3개 또는 6개 이상씩 발생할 확률은 각각 0.067,

0.087로 매우 작았다(Table 1). 그리고 숲틈내 소나무의 줄기로부터 발생하는 주 가지의 수는 평균 4.7~4.8개로 소개된 임분에서 자라는 소나무의 주 가지의 평균 발생 수에 비해 7~9% 적게 나타났다. 이는 설악산에서 자라는 소나무의 줄기에서 발생하는 주 가지의 평균수와도 비슷하였다(박봉규와 최웅선, 1982).

소개된 임분에서 자라는 소나무에 비해 숲틈에서 자라는 소나무는 주 가지에서 주로 잔가지가 3, 4개씩 발생하였고 잔가지의 발생 평균 확률은 각각 0.308~0.345, 0.319~0.342로서 전체 잔가지 발생 확률의 64~69%를 차지하였다. 소개된 임분에서 자라는 소나무의 줄기로부터는 주로 잔가지가 3, 4, 5개씩 발생하였고 잔가지 발생 평균 확률은 각각 0.296, 0.253, 0.237로서 이는 전체 잔가지 발생 확률의 79%를 차지하였다. 주 가지에서 발생하는 잔가지의 수는 평균 3.8~3.9개로 소개된 임분에서 자라는 소나무에 비해 6~9% 적은 것으로 나타났다.

갱신 초기 단계에 소개된 임분에서 자라는 소나무에 비해 숲틈에서 자라는 소나무의 줄기와 주 가지로부터 발생하는 평균 분지수가 모두 적고 주 가지와 잔가지 발생확률의 분포패턴도 각각 서로 다르게 나타난 것은 소개된 임분에 비해 숲틈에는 직사광이외에도 산란광, 반사광이 많이 유입되고 광질도 다르기 때문으로서(Veblen, 1992) 소개된 임분에서는 광에 대한 개체간의 경쟁이 매우 약하지만 숲틈에서는 광에 대한 개체간의 경쟁이 소개된 임분보다 더 심하기 때문이라고 생각한다.

Table 1. Probability of branch numbers and mean branches number generated stem and primary branch of *Pinus densiflora* saplings in canopy gaps.

Branch number	Gap area(m ²)						Open area(m ²)	
	Stem			Branch			Stem	Branch
	30~50	51~120	121~200	30~50	51~120	121~200		
2	0	0	0	0.129	0.067	0.054	0	0.059
3	0.185	0.173	0.158	0.308	0.331	0.345	0.067	0.296
4	0.255	0.246	0.267	0.334	0.319	0.342	0.180	0.253
5	0.270	0.283	0.279	0.116	0.193	0.181	0.379	0.237
6	0.251	0.237	0.244	0.068	0.079	0.060	0.287	0.113
7	0.029	0.031	0.036	0.045	0.011	0.018	0.063	0.042
8	0.010	0.020	0.016	0	0	0	0.024	0
9	0	0.010	0	0	0	0	0	0
Mean branch number	4.714	4.809	4.781	3.821	3.919	3.902	5.171	4.175

4. 가지 수의 수평 분포

소나무 천연림에서 숲틈내 소나무의 NE, SE, SW, NW 4방위별 주 가지의 수는 Table 2와 같다. 줄기에서 발생한 주 가지의 수는 방위별로 모두 균일한 분포 양상을 나타내었고 방위별로 주 가지수의 차이는 없었다. 이는 소개된 임분에서 자라는 소나무의 주 가지수의 방위별 균일한 분포 양상과도 유사한 경향을 보여주었다.

Table 2. Distribution of primary branch numbers of *Pinus densiflora* saplings according to cardinal directions in canopy gaps.

	Site no.	NE	SE	SW	NW	Total	χ^2
30~50	K ₀₂	5	10	10	8	33	2.030
	K ₀₆	14	17	16	22	67	1.119
	K ₃₄	11	13	17	13	54	1.407
	K ₄₃	9	18	21	15	63	5.000
	K ₄₄	10	20	19	14	63	4.111
Gap area (m ²) 51~120	K ₀₄	9	10	10	8	37	0.297
	K ₄₀	11	12	16	11	50	1.360
	K ₄₁	16	16	17	14	63	0.302
	K ₄₅	13	16	16	16	61	0.433
121~200	K ₀₁	11	16	14	19	60	2.267
	K ₄₂	19	24	12	16	71	4.324
	K ₄₈	17	25	24	25	91	1.967
	K ₄₉	15	27	22	21	85	3.424
Open area (m ²)	K ₀₃	19	12	19	14	64	2.375
	K ₁₁	18	22	24	15	81	2.468
	K ₁₃	16	19	14	21	70	1.657

$\chi^2_{0.05}(3) = 7.815$

숲틈 형성이후 소나무의 주 가지에서 발생한 전체 잔가지의 방위별 발생비율을 Table 3에 나타내었다. 소나무 천연림내 숲틈에서 소나무의 주 가지에서 발생한 잔가지 수의 방위별 분포는 숲틈의 크기가 121~200m²일 때 소개된 임분에서 자라는 소나무와 유사한 균일분포 양상을 나타내었다. 그러나 숲틈 크기가 100~120m²이하일 때 소나무의 주 가지에서 발생한 전체 잔가지의 수는 방위별로 균일한 분포 양상을 나타내지 않았으며 8방위로 나누었을 때 주로 S0~44° E, S1~45° W, S46~90° W 3개 방위에 잔가지가 많이 분포하는 것으로 나타났다(Table 3). 이는 광조건이 양호하여 광합성이 잘 진행되는 수관부위에 눈의 발생수가 증가한다는 Koike(1986)의 보고와도 일치하였

다. 숲틈에서는 북쪽 방향에 비해 남동쪽, 남쪽과 남서쪽에 유입되는 직사광이 많고 일조 시간도 상대적으로 길기 때문에 침엽의 광합성이 활발히 진행되어 잔가지의 발생비율이 증가한 것이라고 생각한다(Jones와 Harper, 1987).

수목의 형태적 변화는 가지의 생장에 의해 나타나고 가지의 신장생장과 분지특성 등 수관 architecture는 수관의 구조를 결정할 뿐 아니라 잎의 기능에도 영향을 미친다. 수관 구조는 수종에 따라 다르며 임목의 분지 특성은 유전적 영향도 받지만 동일 수종의 경우, 수관의 architecture 특성은 성장 환경 및 성장 단계에 따라서도 변한다(Kuppers, 1989). 특히 천이 초기에 나타나는 내음성이 약한 수종은 천이 후기에 나타나는 내음성이 강한 수종에 비해 광 환경에 대한 대응 전략이 다르고 내음성이 약한 수종의 치수는 광 조건이 양호할 때 수고 생장이 촉진되지만 숲내에서는 수고 생장이 억제된다(Shukla & Ramakrishnan, 1986). 소개된 임분에서 자라는 임목은 성장 공간이 비교적 충분하고 개체간에 경쟁이 매우 약하기 때문에 지하고가 낮고 수관폭은 크게 된다. 이는 성장환경의 변화에 따라 적응능력을 나타내며 생존하여가는 수종의 일종의 생존전략이기도 하다.

수관 architecture는 수목이 성장 환경과 상호작용한 결과이다. 동일한 수종일지라도 성장환경이 다른 조건하에서 수관 architecture 특성은 다르게 나타날 수 있다. 수관 architecture의 이러한 형질 可塑性은 이미 많은 연구에서도 진화에 유리하다고 증명되었다(Schlichting, 1986). 식물체는 상대적으로 정지된 상태이지만 주변 자원의 풍부도 및 성장환경의 이질성은 분포상황도 균일하지 않을 뿐 아니라 시간에 따라서도 변화한다. 따라서 식물체는 오직 형질의 가소성에 의해 이러한 이질적인 자원을 충분히 활용하며 성장할 수 있다. 본 연구에서 갱신 초기단계에 소나무는 서로 다른 성장환경에서 분지각의 수직 변화, 분지특성, 주 가지의 길이 생장양상, 가지 수의 수평분포 등이 모두 다르게 나타났는데 이러한 형질의 변화는 기타 외부 형질 또는 내부 형질에 대한 변화도 유발할 수 있다. 이는 소나무가 비록 양수이지만 치수 단계에 광합성특성 및 침엽의 엽록소a, 엽록소b 함량의 비율 등 생리적 특성면에서 내음성을 나타내었다는 결과로부터도 알 수 있다(김영환, 1999). 또한 숲틈에서 소나무가 4~5년생이후부터는 주 가지의 길이 생장량이 작은 대가로 주 가지수를 상대적으로

Table 3. Distribution rate(%) of secondary branch generated from primary branch of *Pinus densiflora* saplings according to cardinal directions in canopy gaps.

Site no.	NE		SE		SW		NW		Total	χ^2	
	1-45	46-90	0-44	45-89	1-45	46-90	0-44	45-89			
30~50	K ₀₂	4.5	4.5	24.1	15.2	22.3	11.6	6.3	11.6	100	36.57*
	K ₀₆	9.0	11.2	21.9	13.0	11.5	20.5	5.4	7.6	100	54.14*
	K ₃₄	5.1	7.9	20.9	12.3	16.1	13.3	12.7	11.7	100	40.76*
	K ₄₃	10.3	6.6	16.2	17.7	21.0	12.6	11.4	4.1	100	48.85*
	K ₄₄	14.3	9.6	16.4	11.2	12.9	14.7	9.6	12.2	100	15.89*
Gap area (m ²) 51~120	K ₀₄	7.6	9.5	16.2	13.6	12.0	15.9	15.0	10.2	100	24.77*
	K ₄₀	10.4	11.6	15.3	16.3	14.1	12.3	8.8	11.3	100	20.82*
	K ₄₁	8.8	10.3	11.9	17.0	16.9	13.2	8.9	13.1	100	42.97*
	K ₄₅	10.7	10.2	18.9	15.9	10.7	13.9	7.8	11.9	100	28.89*
121~200	K ₀₁	11.3	12.6	16.0	10.5	15.1	11.3	10.7	12.6	100	11.12
	K ₄₂	10.4	9.6	13.2	16.2	14.4	14.7	10.4	11.4	100	13.36
	K ₄₈	11.7	10.8	14.9	13.7	12.5	14.1	13.2	9.2	100	13.16
	K ₄₉	13.3	11.5	15.6	14.1	12.5	11.5	11.1	10.5	100	11.60
Open area (m ²)	K ₀₃	11.6	12.9	13.5	11.8	11.8	13.1	16.5	8.7	100	12.80
	K ₁₁	11.4	11.0	15.2	13.2	12.5	14.6	10.6	11.5	100	13.08
	K ₁₃	13.3	14.6	13.5	12.0	12.4	11.7	10.5	12.1	100	9.703

$\chi^2_{0.05(7)} = 14.067$; * significant at 5% level.

로 더 많이 발생함으로써 변화한 성장 환경에 적응하는 양상을 나타내었는데 이는 다양한 성장환경에서 나타나는 식물체의 다양한 진화현상이다.

결론

본 연구에서는 강원도 중왕산 소나무 천연림지역 숲틈 갱신 소나무를 대상으로 분지각의 수직변화패턴, 가지의 길이생장과 분지패턴 및 가지의 수평분포 등 수관 architecture 특성에 대한 분석을 실시하였으며 그 결과는 다음과 같다.

1. 소나무 천연림내 숲틈에서 윤생고도의 증가에 따라 소나무의 주 가지의 분지각은 서서히 감소하였고 소개된 임분에서 자라는 소나무에 비해 분지각의 변이폭이 작았다.
2. 숲틈에서 소나무의 가지 연령이 4~5년생 일때까지 주 가지의 연 평균 성장량은 20cm이었고 가지 연령이 증가함에 따라 주 가지의 길이 성장량의 감소폭은 비교적 크게 나타났다.
3. 숲틈에서 소나무의 줄기로부터는 주 가지가 4, 5, 6개씩 발생하는 확률이 전체 가지 발생확률의 76~79%를 차지하였고 주 가지에서는 주로 잔 가지가 3, 4개씩 발생하였는데 이는 전체 가지 발

생 확률의 64~69%를 차지하였다. 줄기로부터 발생하는 주 가지의 수는 평균 4.7~4.8개, 주 가지에서 발생하는 잔가지의 수는 평균 3.8~3.9개로 소개된 임분에서 자라는 소나무에 비해 가지 발생수는 각각 7~9%, 6~9%씩 적었다.

4. 숲틈 크기가 100~120m²이하일 때 소나무의 주 가지에서 발생한 전체 잔가지의 수는 8방위로 나누었을 때 주로 S0°~44° E, S1°~45° W, S46°~90° W 3개 방위에 많이 분포하였다.

감사의 글

본 논문을 심사하는 과정에서 좋은 의견을 주신 두 분 익명의 심사위원님께 감사의 인사를 드립니다.

인용 문헌

1. 김영환. 1999. 숲틈에서 갱신 초기단계 소나무의 성장특성과 수관형태. 서울대 박사학위논문. 100pp.
2. 박봉규·최웅선. 1982. 소나무의 분지형에 관한 기하학적 연구. 한국생태학회지 5(2-3) :

- 100-104.
3. 산림청. 1990. 국유림 경영 현대화 산학협동 실연 연구보고서(I). pp.6-10.
 4. 이도형·황재우, F. Gruber. 1999. 토양산성화 정도에 따른 독일가문비나무 뿌리의 형태에 관한 연구. 한국임학회 하계총회 및 학술연구발표회 94-196.
 5. 이재선·송정호·박문한·한상억. 1999. 잣나무의 수형조절(III) -III영급이하 인공림에서 잣과 목재생산을 위한 수형- 한국임학회지 88(2) : 195-204.
 6. 이창석. 1995a. 한국 소나무림에서의 교란후 재생과정. 한국생태학회지 18(1) : 179-188.
 7. 이창석. 1995b. 한국 소나무림에서의 교란채재. 한국생태학회지 18(1) : 189-210.
 8. 符伍儒·陳華豪. 1980. 數理統計. 中國林業出版社.
 9. 孫書存·陳靈芝. 1999. 不同生境中遼東櫟 (*Quercus liaotungensis*)의構型差異. 生態學報 19(3) : 12-19.
 10. 祝寧·陳力. 1994. 刺五加構築型研究. 全國第四次植物種群生態學研討會論文集. 黑龍江科學技術出版社. 69-73.
 11. 猪瀬光雄. 1981. トドマツの單木生長モデル(I) 枝の生長と樹冠の發達. 日本林學會誌 63(11) : 410-415.
 12. 猪瀬光雄. 1982. 樹冠の發達と材積成長量. 林試研報 318 : 103-127.
 13. 中村俊顔·小幡和男. 1982. シラベ、コマツガの生態的特性に関する研究. I. 富士山亞高山帯林のギャップにみられる樺樹の動態. 東大農演報 72 : 121-138.
 14. 竹中明夫. 1996. 陰ひなたのある枝の成長と樹冠の形成. 日本生態學會誌 46 : 83-86.
 15. Dai, X.B. 1996. Influence of light conditions in canopy gaps on forest regeneration : a new gap light index and its application in a boreal forest in east-central Sweden. For. Ecol. Manag. 84 : 187-197.
 16. Drexhage, M. and F. Gruber. 1997. Architecture of the skeletal root system of 40-year-old *Picea abies* on strongly acidified soils in the Harz Mountains(Germany). Can. J. For. Res. Vol. 28 : 13-22.
 17. Fisher, J.B. and H. Honda. 1979. Branch geometry and effective leaf area : a study of terminalia-branching pattern. I. Theoretical trees. Amer. J. Bot. 66(6) : 633-644.
 18. Fisher, J.B. 1986. Branching pattern and angles in trees. Pages 493-518 in Givnish J.T. ed. On the economy of plant form and function. London : Cambridge University Press.
 19. Jones, M. and J.L. Harper. 1987. The influence of neighbours on the growth of trees. II. The fate of buds in long and short shoots in *Betula pendula*. Proceedings of Royal Society London. B232 : 19-33.
 20. Koike, F. 1986. Canopy dynamics estimated from shoot morphology in an evergreen broad-leaved forest. Oecologia 70 : 348-350.
 21. Koyama, N. 1943. Licht und Bodenwasser in ihrer Wirkung als Groundfaktor auf die Kiefernaturverjugung. Forestry Experiment Station of the Government. General of Korea. pp.65.
 22. Koppers, M. 1989. Ecological significance of above-ground architectural patterns in woody plants : a question of cost-benefit relationships. Trends in Ecology and Evolution 4 : 375-379.
 23. Pickett, S.T.A. and P.S. White. 1985. The Ecology of Natural Disturbance and Patch Dynamics. Academic Press, New York. pp.3-13.
 24. Remphrey, W.R. and G.R. Powell. 1988. Crown architecture of *Larix laricina* saplings : production and disposition of foliage and their simulation. Can. J. Bot. 66 : 2234-2246.
 25. Remphrey, W.R. and C.G. Davidson. 1992. Branch architecture and its relation to shoot-tip abortion in mature *Fraxinus pennsylvanica*. Can. J. Bot. 70 : 1147-1153.
 26. Runkle, J.R. 1982. Patterns of disturbance of some old-growth mesic forests of eastern North America. Ecol. 61 : 1041-1051.
 27. Runkle, J.R. 1985. Disturbance regimes in temperate forests. Pages 17-34 in Pickett S.T.A. and P.S. White(ed.) The Ecology of Natural Disturbance and Patch Dynamics. Academic Press, New York.
 28. Schlichting, C.D. 1986. The evolution of

- phenotypic plasticity in plants. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 17 : 667-693.
29. Schupp, E.W., H.F. Howe, C.K. Audspurger and D.J. Levey. 1989. Arrival and survival in tropical treefall gaps. *Ecol.* 70 : 562-564.
30. Shukla, R.P. and P.S. Ramakrishnan. 1986. Architecture and growth strategies of tropical trees in relation to successional status. *J. Ecol.* 74 : 33-46.
31. Takahashi, K. and T. Kohyama. 1997. Crown architecture of two understory palm species of the genus *Licuala* in a tropical rain forest. *Plant Species Biology* 12 : 35-41.
32. Takenaka, A. 1994. A simulation model of tree architecture development based on growth response to local light environment. *J. Plant Res.* 107 : 321-330.
33. Veblen, T.T. 1992. Regeneration Dynamics. Pages 152-177 in Glenn-lewin, D.C. et al. (ed.) *Plant Succession : Theory and Prediction*. Chapman & Hall.
34. Xin, J.H. 1989. Crown architecture and differentiation in tree classes, their growth strategies and growth model in *Pinus koraiensis* S. et Z. plantations. Ph.D. Dissertation. Seoul National University. pp138.
35. Yamamoto, S. and Y. Moriyama. 1995. Comparative analysis of architecture of *Chamaecyparis obtusa* and *C. pisifera* under closed canopies and in canopy gaps. *J. Jap. For. Soc.* 77(3) : 275-278.