

백목련의 가지 성장 유형

최 형 선

이화여자대학교 자연과학대학 생물학과

Branch Growth Patterns in *Magnolia denudata*

Choi, Hyeong Seon

Department of Biological Sciences, Ewha Womans University

ABSTRACT

Branching growth pattern of *Magnolia denudata* is likely to be originated from two growth strategies: environment overcoming strategy and life maintenance strategy, which coexist in a tree.

Growth rate of branches was strongly correlated with relative light intensity ($P < 0.001$) and physical contact ($P < 0.01$), however there is no significant correlation between growth rate and direction of branch. When relative light intensity is less than 1%, the growth was restricted by physical contact with the surrounding branches. In contrast, the growth was rarely restricted by physical contact when relative light intensity was 10% or more. The branching rate was significantly affected by the presence or absence of physical contact ($P < 0.05$), but it was not significantly affected by relative light intensity nor by the direction of branch.

In the beginning stage of the growth, the ratio of the material allocation from main branch to subbranch was large and varied with the influence of surrounding environment. These various growth rates, which implicate a variety of material allocation ratios (0.16~0.98), affect branch growth pattern through the optimum growth strategies. The growth and arrangement of branches of *Magnolia denudata* display the solar collectors to maximize the total amount of energy absorbed and to overcome the restriction of the environment.

Key words: Branch growth pattern, *Magnolia denudata*, Light intensity

서 론

식물은 생명 현상을 유지하고 성장을 위해 뿌리를 토양에 뻗어 물과 염류를 획득하고 공기중에 있을 내어 햇빛과 이산화탄소를 얻는다. 뿌리와 잎 사이를 연결하고 물과 양분의 신속한 수송을 위한 관속계의 필요성과 생산 기능을 담당하고 있는 잎의 지지 기능을 위해 가지는 중요한 의미를 갖는다.

수목의 분지유형은 겉으로 표현되는 조각들의 가지망으로 표현할 수 있으며, 외형상의 차이는 가장 효율적으로 건설되는 가지계의 전략으로 말할 수 있다(Leopold 1971). 수목은 또한 비광합성 조직의 단위 두께의 파이프 그리고 잎들의 단위량의 집합으로 이루어진 단위 파이프 시스템의 총체로 간주할 수 있으며 이러한 파이프 시스템은 가지 성장 유형의 다양성으로 표현된다(Oohata and Shinozaki 1979).

모든 수목의 가지 끝에서 일어나는 분지 빈도와 분지율은 결코 일정하게 일어나지 않는다. 그러나 가지 끝의 정단 분열 조직에서 일어나는 분지율은 종 특이성(species specificity)을 가지며 이는 각 종마다의 고유의 수관을 형성하게 만든다(Fisher and Honda 1979a,b, Honda *et al.* 1981). 총 에너지 흡수량을 최대화시키기 위한 태양 에너지 수집자로서의 가지 성장 전략과 서로 다른 수관 유형을 갖는가를 이해하기 위해서는 각 나무에서 정단 분지의 서로 다른 빈도를 알아내는 일이 필요하며(Park and Choi 1984), 분지유형은 엽면적을 가장 효율적으로 최대화시키는 방향으로 이루어진다(Honda and Fisher 1978).

수목 전체로 볼 때 가지의 생장율이나 정단 분지율은 최대 생장시기를 지난 후 시간이 흐름에 따라 증가율이 둔화된다(Park and Choi 1982). 증가율 감소는 두 가지 이론적인 제한으로 설명될 수 있다. 그 중 하나는 가지들 간에 일어나는 경쟁과 상호작용의 결과로 빚어지는 외적이고 환경적인 요인이다. 잎이나 싹이 기계적 접촉으로 입게 되는 물리적인 피해나 그늘 효과의 결과로 인해 일어나는 현상으로 설명된다. 다른 하나는 유전적인 내적 요인으로서 특히 다른 나무와 인접해 있지 않은 경우에 나타나는 종 특유의 수관형을 들 수 있다(Honda *et al.* 1981).

옷나무(*Toxicodendron diversilobum*)는 지지대가 있을 경우 덩굴 형태로 자라게 되지만 지지대가 없을 경우 관목 형태로 자라게 되며 생물량과 생장 속도에 차이를 보인다(Gartner 1991). 이처럼 식물의 생장은 유전적인 요인뿐 아니라 물리적, 화학적, 생물학적 요인에 의한 복합적인 환경에 지배된다. 그중에서도 각 수목에서 종마다의 특징적인 성장 유형은 근본적으로 유전적 청사진의 형태학적 표현이다(Halle' and Oldeman 1970).

가지계(branch system)를 분석하는 방법은 Horton(1945)이 개발한 이후 Strahler(1957)에 의해 수정되었으며, 그들은 각 가지들의 순서를 매기는 방법으로 분지율(branching ratio) 또는 분기율(bifurcating ratio)을 계산해 내었고, 이것을 분지도(degree of branching)의 지표로 삼았다. 이 방법들은 처음에는 유계(stream system)에 적용되었으나, 최근에는 식물에서 가지망(branch networks)에 사용되어 오고 있다(Leopold 1971, Oohata and Shidei 1971, Barker *et al.* 1973, McMahan and Kronauer 1976, Whitney 1976, Thornley 1977).

천이 단계에서 각 식물종의 분지형에는 분명한 차이가 있는데 천이 초기의 식물은 잎의 분포가 여러 층으로 이루어져 있지만 수관 전체로서는 훨씬 얇아져 있고, 한 개의 母枝에서 많은 가지가 분지하는 높은 분지율을 보이지만, 천이 후기의 종이나 임상의 저층에서 생장에서 생장하는 종은 잎의 분포가 단층으로 되어 밀집되는 경향을 보이며, 한 개 또는 매우 낮은 분지율을 보이게 된다. 분지율은 종마다 고유하고 외적인 영향에 대해서는 비교적 독립적이다(Honda and Fisher 1978, Whitney 1976).

'나무'는 어떤 두개의 점이든 오직 한 개의 가능한 통로로 연결되어 있는 시스템으로 정의할 수 있는데(Halle' *et al.* 1978), 이러한 수학적 나무의 개념은 분석과 예측의 목적으로 사용될 수 있으며, 컴퓨터 프로그램을 사용하여 실제의 나무를 가장해 낼 수 있다(Ashton 1978, Cohen 1967, Legay 1971, Fisher and Honda 1977, 1979 a,b, Fisher and Hibbs 1982).

나무는 수 많은 가지에 의해 지표면에 부착되어 있는 잎의 총체이며 가지들은 잎을 지지하고

토양에서부터 수분 통로를 제공하는 기능을 가진 것으로 간주할 수 있고(Paltridge 1973), 나무는 또한 반복된 분지(branching or bifurcation)과정에 의해 발달된 축으로 이루어진 시스템으로 간주할 수 있다(Honda *et al.* 1981).

본 연구에서는 백목련이 갖는 특징적인 수관 형태를 묘사하기 위해 각 가지 마다의 길이와 생물량, 유기물 함량을 근거로 물질 분배비의 차이를 조사하고 이러한 차이가 정단 분지에 미치는 결과를 연구하여 가지 성장 유형을 분석하였다. 또한 백목련의 분지된 가지는 물리적인 접촉이나 빛에 대한 경쟁과 같은 불리한 환경을 극복하기 위해 어떠한 성장 전략을 택하는가를 연구하기 위해, 수목의 성장과 더불어 빛어지는 가지간의 조도차와 물리적인 접촉의 유무에 따라 각 가지마다 어떻게 효율적으로 물질의 분배와 분지율에 차이를 갖는가를 연구하였다.

본 연구는 야외에서나 실험실에서 응용될 수 있는데, 말단 가지의 생물량을 측정된 후 수목 전체의 생물량을 합리적으로 산출할 수 있다. 생물량 산출은 식물의 줄기를 단위 파이프 시스템의 총체(Oohata and Shinozaki 1979)로 간주하여 말단 가지의 생물량을 불연속 단위의 시간만큼 합산해 주면 된다. 또한 말단 가지에 부착한 엽면적을 표본 추출한 후 수목 전체의 가지 수로 계산된 값에 곱해주면 수목 전체의 엽면적을 쉽게 산출해 내는데도 응용될 수 있을 것이다.

재료 및 방법

이화여대 구내에서 성장하고 있는 백목련(*Magnolia denudata*) 가운데 특히 다른 나무와 경쟁 상태가 심하지 않은 30그루의 나무를 대상으로 되도록 인위적인 간섭을 받지 않은 자연 그대로 보존된 가지만을 골라 1992~1993년의 성장기에 걸쳐 분지형을 조사하였다.

가지 성장 유형은 불연속 시간을 단위시간으로 잡아 주가지와 부가지에 대한 성장을 조사하였다. 불연속 시간은 각 가지의 분지 기간을 나타내며, 가지끝에서부터 거꾸로 거슬러 올라가면서 측정 가능한 가지까지 재었다.

백목련은 분지 과정을 거치면서 mother branch에서 daughter branch를 생산해 내는데 mother branch는 분지전, daughter branch는 분지 후에, 가지가 분지되는 불연속적인 시간마다 측정하였다. Terminal branch는 시기 별로 가지수와 길이를 측정하였고, 직경은 calliper를 사용하여 재었으며, 가지 사이의 각도는 각도기로 측정하였다.

방위별로 조도와 길이 성장율, 그리고 Park과 Choi(1984)의 방법에 의해 분지율을 조사하다. 조도는 각 가지별 상대 조도로 조사하였는데, 개방된 공간에서 측정된 직후 원하는 가지의 조도를 측정하여 개방된 공간에 대한 측정 가지의 상대비의 백분율(%)로 나타내었다. 분지율의 산출은 잎을 달고 있는 말단 가지에 한하여 계산하였다. 가지 간의 물리적 접촉에 의한 성장 유형의 차를 알아보기 위해 말단 가지의 5cm 내에 다른 가지와 접할 경우와 그렇지 않은 경우를 나누어 조사하였다.

다양한 길이 성장을 보이고 있는 가지에서 성장의 기준은 상대 조도 5%에 해당하는 가지 중 5cm이내에 다른 가지들과 접하고 있는 가지의 평균 길이 성장값을 1로 기준으로 잡고 그에 대한 각 가지의 성장비로서 불연속 시간당 성장율을 나타내었다. 가지별 물질의 분배를 비교하기 위해서는 불연속 시간별로 가지를 잘라 105℃에서 48시간 건조시킨 후 무게를 재어 가지별 생체량을 조사하였다. 또한 유기물 함량을 비교하기 위해 700℃의 전기로에서 4시간 작열시킨 후 작열 손실량에 의해 각 가지별 유기물량의 차이를 조사하였다.

결과 및 고찰

백목련의 mother branch는 분지 과정에 의해 두 개의 가지(daughter branches)를 생산해 내지만 분지형은 언제나 동일하게 이루어지는 것이 아니라 처해진 환경에 따라 조금씩 차이가 난다(Fig. 1a,b). Fig. 1에서 a는 높은 분지율을 보인 반면, b는 낮은 분지율을 보이고 있다. 전자는 빛에 대한 경쟁이 심하지 않은 천이 초기의 식물에서 볼 수 있는 유형이며, 후자는 천이 후기의 식물에서 흔히 볼 수 있는 가지 성장 유형이다(Whitney 1976). Fig. 1a의 경우는 선천적인 자신의 분지율을 발휘했지만 길이 성장보다는 분지에 성장 에너지를 집중시킨 경우이고, b의 경우는 주변의 나무 때문에 생긴 빛의 경쟁이나 물리적인 접촉에 의해 좀 더 유리한 성장 유형을 택하고 있음을 보여주고 있다. 수목의 성장 유형은 내적이거나 외적인 환경 요인에 의해 강하게 영향을 받아 다양한 표현형으로 나타나게 된다(Borchert and Slade 1981). 생장의 변화는 환경 오염에 의해서도 나타나게 되는데, 오염은 일차적으로 수목 자체내에 큰 교란을 일으켰다가 점차 생리적 활성과 함께 방어능력을 희생하면서 생장의 변화로 나타나게 한다(김과 이 1992).

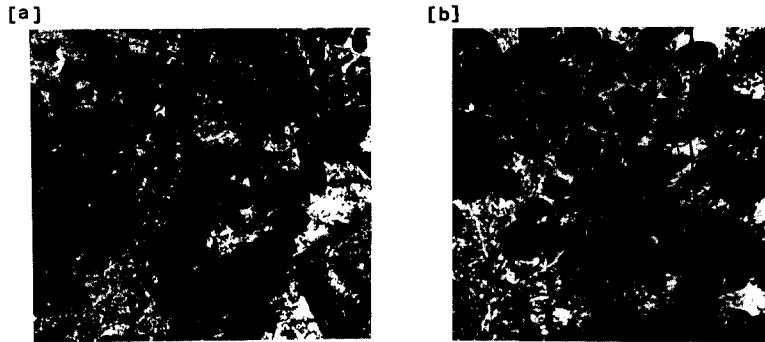


Fig. 1. Two different types of branch patterns showing different branching rates in *Magnolia denudata*. (a) shows high branching rates, (b) shows low branching rates.

Fig. 2은 각 수목안에서 상대 조도에 따른 길이 생장의 차이를 보여주고 있다. 한 수관안에서 내부나 외곽에 처한 가지의 위치에 따라 조도는 다양한 차이를 나타내고 있었으며 가지의 생장율은 이에 밀접히 관련되고 있음($P < 0.001$)을 보여 주고 있다. 이는 수목의 기하학적 가지 성장 유형이 빛의 포착을 위한 적절한 전략과 관련되고 있음을 뒷받침해준다(Honda and Fisher 1978). 가지의 길이 생장율은 방위에 따라 유의한 차가 없었으며 이는 수목의 균형(Niklas and O'Rourke 1982)으로 해석할 수 있다. 상대조도 1~10%에서는 높은 표준 편차를 보이고 있었는데 이러한 조도하에서의 가지 생장은 물리적인 접촉의 유무와 깊은 관련($P < 0.01$)이 있었다. 상대 조도 1% 미만의 경우는 주변 가지들과 물리적인 접촉으로 대부분 생장이 제한되고 있었고 10% 초과인 경우는 접촉에 의해 생장 제한이 일어나는 경우가 드물었다.

가지간의 물리적인 접촉이 성장 유형에 미치는 양상을 알아내기 위해 가지 생장의 편차가 심한 상대조도 1~10%에서 5cm 반경내에 다른 가지와 접하게 되는 경우와 그렇지 않은 경우로 나누어 조사한 결과는 Fig. 3과 같다. 5cm 반경내에 다른 가지와 접하게 되는 경우에는 다른 가지

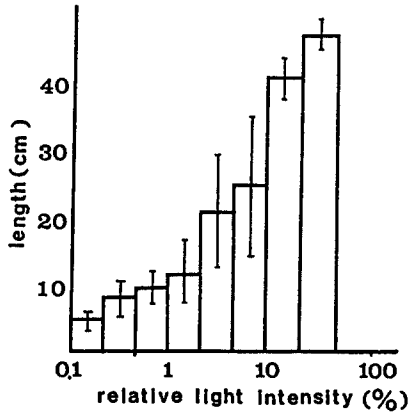


Fig. 2. Growth of branch length during a discrete time against different relative light intensities. Each vertical thin line represents a standard deviation.

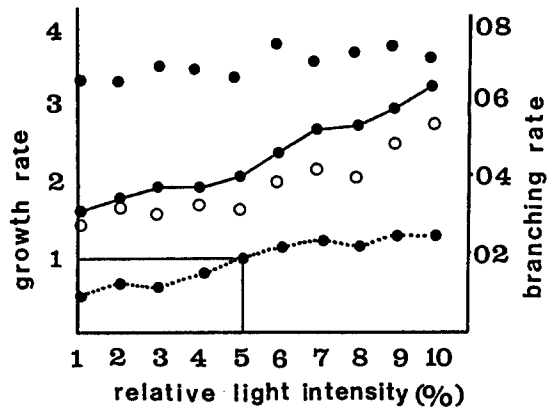


Fig. 3. Effects of light intensity on growth rate and branching rate. A solid line(absence of physical contact) and a dotted line(presence of physical contact) represent the change in growth rates against relative light intensities. Closed circles(absence of physical contact) and open circles(presence of physical contact) represent branching rates against relative light intensities.

의 간섭이 없는 경우에 비해 그들의 영향과 기계적인 성장 제한이 따르게 된다. 같은 조도하에서도 접촉의 유무에 따라 길이 성장에 차이를 보이고 있어($P < 0.01$), 물리적인 접촉의 여부는 가지 성장 전략을 지배한다고 볼 수 있다.

Fig. 3에 표시된 분지율은 Park과 Choi(1984)가 가지간의 물질 분배비로 추정된 방법에 따른 것이며, 분지율의 계산을 위해 포함된 가지는 잎을 달고 있는 말단 가지에 한하였고 5번의 불연속 시간을 기준으로 산출되었다. 분지율은 조도에 무관하고($P > 0.05$) 가지간의 물리적인 접촉의 유무는 분지율에 영향을 미치고 있었으나($P < 0.05$) 방위별 분지율에는 유의한 차가 없었다.

Fig. 4에서 볼 수 있는 바와 같이 분지된 가지의 성장율의 차이는 처해진 상황에 따라 분지된 곳에서 조금씩 다르게 나타나고 있다. a는 6번의 불연속 시간(Park and Choi 1984)이 경과되었음에도 총 가지의 생체량이 19.61g에 불과한데 비해, b는 단지 2번의 불연속 시간동안 가지의 총 생체량이 14.85 g에 이른다. a는 b에 비해 성장 속도에 열세인 반면 높은 분지율을 보이고 있고, b는 a보다 주축이 되는 가지의 길이 성장에 성장 에너지를 집중시키고 있다.

a는 성장 속도가 느리며 마디간이 짧다. 성장율이 낮은 것으로 보아 환경 조건이 양호하지 않다(김 1992, Weier *et al.* 1982)는 것을 알 수 있으나 불리한 환경을 이겨내기 보다는 주어진 환경에 적응하는 유형을 취하고 있다. 여러 종이 함께 자라고 있어서 가지의 길이 성장에 주력해도 결국은 그늘 속에 묻히는 경우나 오염이 심한 대도시 주변에서는 a가 취하는 성장 유형보다도 더 극단적인 성장 저하와 왜소한 잔가지들을 발견할 수 있다. 이 경우는 줄기의 정단 분열 조직에서 생성되는 옥신과 같은 성장 호르몬이 적게 생성되면서 줄기의 결눈 성장을 억제하는 정단우성현상(apical dominance)이 잘 일어나지 못하는 때문으로도 설명할 수 있다(Devlin 1975, Weier *et al.* 1982).

Table 1은 Fig. 5에서 보여주고 있는 가지를 각각 합하여 가지 a,c,e의 성장유형을 분석하기

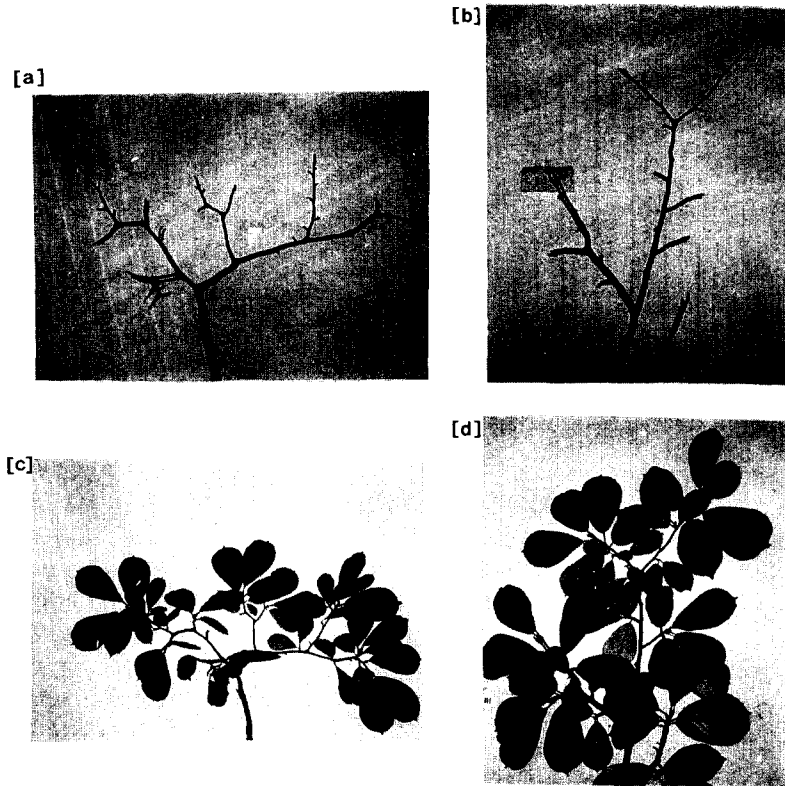


Fig. 4. Branches with different branching rates. Branch a and c, b and d are the same.

위한 자료이다. 백목련의 분지는 물질이 다르게 분배되면서 Fig. 5와 같이 가지 성장 유형에 차이를 나타내게 됨을 알 수 있다. 결정적인 한계(critical threshold)까지 양분이 축적되었을 때에 비로소 분지된다고 볼 때, Park과 Choi(1984)의 모델에 의해 a와 e의 경우 주가지에서는 분지되고 남은 양분이 약 $1/(1+0.95)$ 로, 부가지에서는 $0.95/(1+0.95)$ 로 양분 분배가 이루어진다고 할 수 있고, c의 경우는 주가지에서는 약 $1/(1+0.2)$, 부가지에서는 $0.2/(1+0.2)$ 로 양분분배가 이루어진다고 볼 수 있다.

설정된 모델과 실제의 가지 성장 유형을 비교 검토하기 위해 가지 성장 유형에서 뚜렷한 차이를 보이고 있는 a,e와 c를 물질 분배비의 모델(Fig. 6과 7)과 비교해 보면, a,e는 Fig. 6과 c는 Fig. 7과 거의 일치되고 있다. 주가지에 대한 부가지의 길이, 부피, 생체량의 비가 유사하며 성장 패턴이 일치하고 있는 a와 e는 주가지와 부가지의 양분분배가 거의 비슷하게 일어나 전체적으로는 비슷한 성장을 보이는 것으로 설명할 수 있다. 가지 a와 e에서 근본적인 분지 유형은 같지만 a의 경우는 높은 성장율을 보이고 있어 외적인 환경 제한없이 충분히 자신의 내적 성장율을 발휘한 경우라고 설명할 수 있고, e의 경우는 생장물질이 a와 같은 비로 분배되고 있었으나 새로운 마디가 분지하는 불연속 기간이 불규칙하고 성장율도 상대적으로 낮고 불규칙하게 나타나 환경요인의 제약을 받고 있음을 시사한다(Borchert and Slade 1981).

주가지는 중심축에 가깝게 위치하면서 유관속을 통해 성장 호르몬이나 영양 물질의 분배를 집중적으로 받는다(Honda *et al.* 1981). 뚜렷한 길이 성장을 보이고 있는 주가지일수록 중심축에

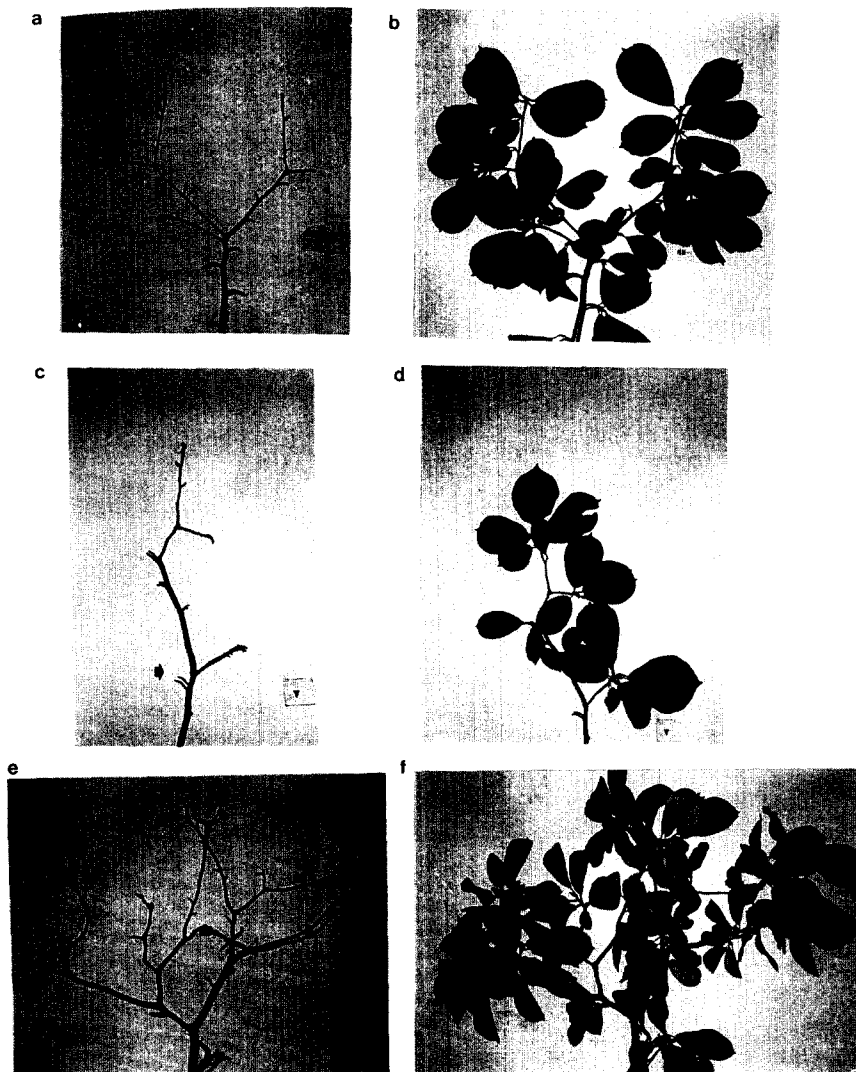


Fig. 5. Branch growth patterns of *M. denudata* with three different branching rates, branch a(=branch b), branch c(=branch d) and branch e(=branch f) of real trees.

Table 1. Analysis of branch growth ratios represented in Fig. 5a,c,e.

(sub-branch /main branch)	(branch a)	(branch c)	(branch e)
length(cm /cm)	0.95	0.18	0.95
volume(cm ³ /cm ³)	0.94	0.19	0.94
biomass(g /g)	0.94	0.18	0.95
% organic matter	1	0.99	1

가까운 작은 각도를 보이고 있었다.

조사된 백목련 전체에서 주가지에 대한 부가지의 물질 분배비는 평균 0.63으로 나타났고 불연속 시간이 오래 경과된 예전의 가지일수록 분배비가 크게 나타났으나 나무가 자라면서 환경의

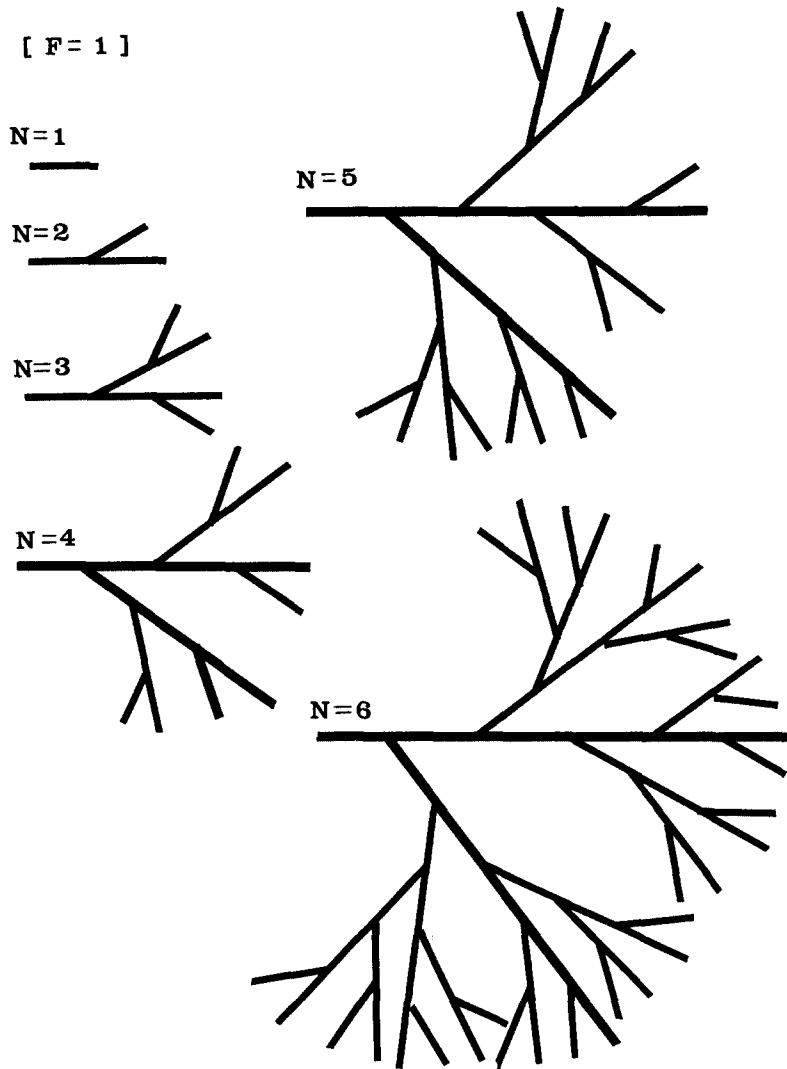


Fig. 6. Diagrams of the branch growth model with allocation ratio $F=1$ in *M. denudata* according to Park and Choi(1984)'s method. During every discrete times, the amount of 1.0 of material required for branching accumulates at the end point of terminal main branch and subbranch, respectively, and then bifurcates.

제한을 받게 됨에 따라 분배비는 다양하고 때로는 아주 작은 값을 보이기도 하였다. 이러한 다양한 성장율, 즉 물질의 분배비의 다양성(0.16~0.98)은 주어진 환경하에서 백목련이 택하는 최적의 성장 전략인 것으로 생각된다.

Fig. 8은 조도와 물리적인 접촉이 분지율이나 성장율에 미치는 결과를 요약해 놓은 것이다. 조도가 높지만 물리적인 접촉이 있는 경우는 낮은 분지율을 보이며 주가지에 에너지를 집중 투입하면서 빠른 성장으로 다른 가지들과의 빛에 대한 경쟁을 이기기 위한 환경 극복 전략을 가지는

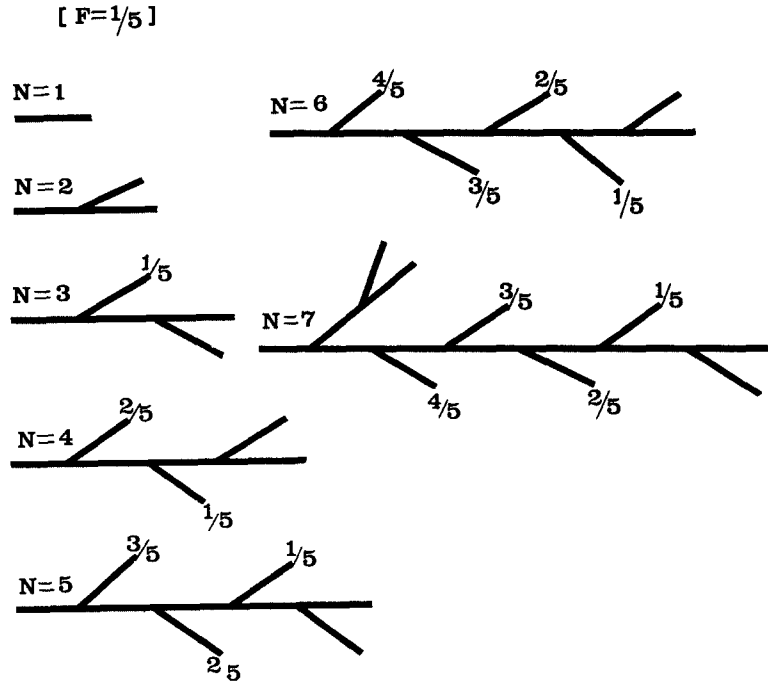


Fig. 7. Diagrams of the branching growth model with allocation ratio $F=1/5$ in *M. denudata*. During the discrete time $N=1$, the amount of 1.0 and $1/5$ of material required for branching accumulates at the end point of terminal main branch and subbranch, respectively.

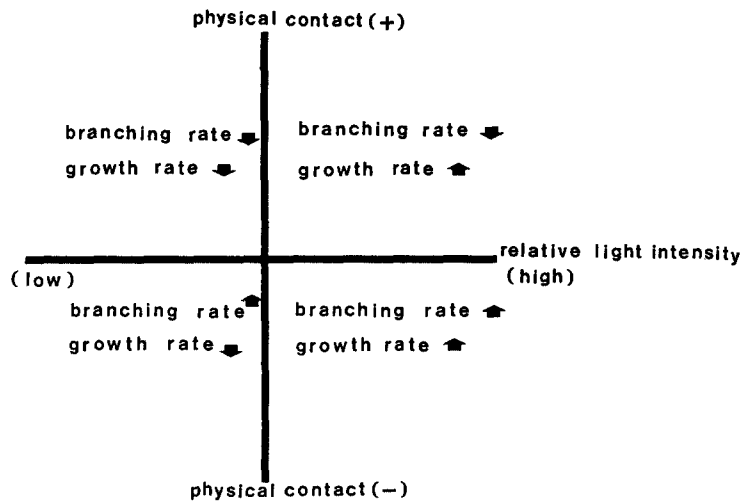


Fig. 8. Branch growth strategies by surrounding environment.

것으로 보이며, 조도도 높고 물리적인 접촉도 없는 경우에는 자신이 가진 최대한의 분지율을 발휘하면서 부가지에도 충분한 에너지가 분배되어 높은 분지율과 높은 성장율을 함께 보이고 있었다. 조도가 낮고 물리적인 접촉이 있는 경우는 낮은 분지율을 보이면서 낮은 성장율을 보였고 분

지되었던 가지는 잎의 지지 기능을 잃은 채 더 이상의 가지로서의 기능을 발휘하지 못하는 경우가 많았다. 조도가 낮지만 물리적인 접촉에 영향을 받지 않는 경우는 드물게 나타났지만, 분지율은 높았고 낮은 생장율을 보였는데 이 경우에는 어쩔 수 없이 그늘에 묻히게 되는 경우에 속하였고, 가지는 이러한 빛에 대한 제약에서 분지율을 높히는 생명 유지 전략을 펴고 있었다. 이로써 숲에서 자라는 어린 나무의 경우는 분지율이 매우 낮고, 개방된 곳에서 자라는 어린 나무는 높은 분지율을 보인다는 Steingraeber 등(1979)의 주장을 물리적인 제약의 효과로 해석해 볼 수 있다.

백목련은 처음에 분지된 두 개의 가지가 결국에는 물질의 분배와 분지율에 차이를 보이면서 물리적인 접촉이거나 빛에 대한 경쟁, 불리해진 환경 등에 자신에게 적합한 생장 유형을 택하고 있음(Niklas and O'Rourke 1982)을 알 수 있다. 때로는 주가지에 에너지를 집중 투여하면서 보다 유리한 상황에 처하기 위해 적극적인 환경 극복 전략을 펴기도 하고, 주변에 인접한 가지들과의 경쟁에서 어쩔 수 없이 적응(Weier *et al.* 1982) 해야 하는 경우에는 가지의 길이 생장을 자제 하면서 잘게 분지하는 유형을 보이면서 생명 유지 전략을 펴고 있다. 이처럼 유전적 생장 계획(genetic growth plan)은 생물물리적인 요인에 의해 조절되며 표현된다(Green and Poethig 1982).

본 연구 결과의 응용방법으로는 Park and Choi(1984)의 방법을 사용하여 야외 조사에서 말단 가지 수를 세어 큰 가지나 수목 전체에서 이루어지고 있는 물질 분배비를 추정할 수 있고 앞으로의 가지 수의 변화나 분지형을 예측할 수 있는 장점이 있다.

적 요

백목련의 가지 생장 유형은 두 가지의 생장 전략에 의해 이루어지는 것으로 보인다. 하나는 환경 극복 전략이고 다른 하나는 생명 유지 전략으로 구분할 수 있는 데, 이러한 전략은 한 그루의 나무 안에서도 같이 일어나고 있었다.

가지의 생장율은 조도에 밀접한 관련이 있었고($P < 0.001$) 물리적인 접촉의 유무와도 상당히 관련($P < 0.01$)되어 있는 반면에 방위별로는 유의차가 없었다. 상대 조도 1%미만의 경우는 주변 가지들과 물리적인 접촉으로 대부분 생장이 제한되고 있었고, 10% 초과인 경우는 접촉에 의해 생장 제한이 거의 일어나지 않았다. 가지간의 물리적인 접촉의 유무는 분지율에 영향을 미치고 있었으나($P < 0.05$), 분지율은 조도에 무관하고, 방위별로도 유의차가 없었다.

생장 초기에는 주가지에서 부가지로의 물질 분배비가 크게 나타났으나 나무가 자라면서 환경의 제한을 받게 됨에 따라 분배비는 다양하고 때로는 아주 적은 값을 보이기도 하였다. 이러한 다양한 생장율, 즉 물질의 분배비의 다양성(0.16~0.98)은 생장과 더불어 빛어지는 제약을 극복하여 태양 에너지를 최대한 효율적으로 흡수하기 위한 가지의 배치로 해석되며, 주어진 환경에서 백목련이 택하는 최적의 생장 전략인 것으로 생각된다.

인용문헌

- 김명희, 이수옥. 1992. 조경 수목의 대기오염물질에 대한 방어기능(I). SOD활성을 중심으로. 한국임학회지 81:164-176.
- 김종갑. 1992. 온산 공단 주변의 임상 식생에 관한 조사. 한국생태학회지 15:231-246.

- Ashton, P. S. 1978. Crown characteristics of tropical trees. In P. B. Tomlinson and M. H. Zimmermann(eds.), Tropical trees as living systems. Cambridge University Press, Cambridge. pp. 591-615.
- Barker, S. G., G. Cumming, and K. Horsfield. 1973. Quantitative morphometry of the branching structure of tree. J. Theor. Biol. 40:33-43.
- Borchert, R. and N. A. Slade. 1981. Bifurcation ratios and the adaptive geometry of trees. Bot. Gaz. 142:394-401.
- Cohen, D. 1967. Computer simulation of biological pattern generation process. Nature 216:246-249.
- Devlin, R. M. 1975. Plant Physiology. D. Van Nostrand, New York. pp. 418-431.
- Fisher, J. B. and H. Honda. 1977. Computer simulation of branching pattern and geometry in *Terminalia*, a tropical tree. Bot. Gaz. 138:377-384.
- Fisher, J. B. and H. Honda. 1979a. Branch geometry and effective leaf area: a study of *Terminalia* branching pattern. 1. Theoretical tree. Amer. J. Bot. 66:633-644.
- Fisher, J. B. and H. Honda. 1979b. Branch geometry and effective leaf area: a study of *Terminalia* branching pattern. 2. Survey of real trees. Amer. J. Bot. 66:645-655.
- Fisher, J. B. and B. E. Hibbs. 1982. Plasticity of tree architecture: specific and ecological variations found in Aubrevill's model. Amer. J. Bot. 69:690-702.
- Gartner, B. L. 1991. Relative growth rates of vines and shrubs of western poison oak, *Toxicodendron diversilobum*, Amer. J. Bot. 78:1345-1353.
- Green, P. B. and R. S. Poethig. 1982. Biophysics of the extension and initiation of plant organs. In S. Subtelny and P. B. Green (eds.), Developmental order: its origin and regulation. A. R. Liss, New York. pp. 485-509.
- Halle', F., and R. A. A. Oldeman. 1970. Essai sur l'architecture et la dynamique de croissance des arbres tropicaux. Masson et Cie, Paris.
- Halle', F., R. A. A. Oldeman and P. B. Tomlinson. 1978. Tropical trees and forests: an architectural analysis. Springer-Verlag. Berlin. pp. 441.
- Honda, H. and J. B. Fisher. 1978. Tree branching angle: maximizing effective leaf area. Science, N. Y. 199:888-890.
- Honda, H., P. F. Tomlinson and J. B. Fisher. 1981. Computer simulation of branch interaction and regulation by unequal flow rates in botanical trees. Amer. J. Bot. 68:569-585.
- Horton, R. E. 1945. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. Bull. Geol. Soc. Am. 56:275-370.
- Legay, J. M. 1971. Contribution a l'etude de la forme des plantes: discussion d'un modele de ramification. Bull. Math. Biophys. 33:387-401.
- Leopold, L. B. 1971 Trees and streams: the efficiency of branching process. J. Theor. Biol. 31:339-354.
- McMahon, T. A. and R. E. Kronauer. 1976. Tree structure: Deducing principle of mechan-

- ical design. J. Theor. Biol. 59:443-466.
- Niklas, K. J. and T. D. O'Rourke. 1982. Growth patterns of plants that maximize vertical growth and minimize internal stresses. Amer. J. Bot. 69:1367-1374.
- Oohata, S. and T. Shidei. 1971. Studies of the branching structure of trees. 1. Bifurcation ratio of trees in Horton's law. Jap. J. Ecol. 21:7-14.
- Oohata, S. and Shinozaki. 1979. A statistical model of plant form. Further analysis of the pipe model theory. Jap. J. Ecol. 20:323-335.
- Paltridge, G. W. 1973. On the shape of trees. J. Theor. Biol. 38:111-137
- Park, B. K. and H. S. Choi. 1982. A geometrical study of branching pattern in *Pinus densiflora*. Kor. J. Ecol. 5:100-104.
- Park, B. K. and H. S. Choi. 1984. Computer simulation of branching pattern in *Magnolia denudata*. Kor. J. Ecol. 7:1-9.
- Steingraeber, L., J. Kascht and D. H. Frank. 1979. Variation of shoot morphology and bifurcation ratio in sugar maple saplings. Amer. J. Bot. 66:441-445.
- Strahler, A. N. 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. Trans. Amer. Geophys. Un. 38:913-920
- Thornley, J. H. M. 1977. A model of apical bifurcation applicable to trees and other organisms. J. Theor. Biol. 64:165-176.
- Weier, T. E., C. R. Stocking, M. G. Barbour and T. L. Rost. 1982. Botany: an introduction to plant biology. John Wiley & Sons, U. S. A. pp. 371-399.
- Whitney, G. G. 1976. The bifurcation ratio as an indicator of adaptive strategy in woody plant species. Bull. Torrey Bot. Club 103:67-72.

(1993년 9월 6일 접수)