

한국 소나무림에서의 교란 후 재생과정

이 창 석

서울여자대학교 자연과학대학 생물학과

Regeneration Process after Disturbance of the *Pinus densiflora* Forest in Korea

Lee, Chang-Seok

Department of Biology, College of Natural Sciences, Seoul Women's University

Abstract

In order to clarify regeneration processes and mechanisms of the disturbed *Pinus densiflora* forest, responses of *Pinus densiflora* to gap formed by disturbance were analysed by growth of saplings and mature and growth equations were obtained from branch growth of mature trees and height growth of saplings, and age distribution of saplings and young trees recruited within gap was analysed in relation to gap age.

Height growth of saplings within gaps was accelerated after gap formation. Such abrupt increases of growth of saplings after the gap formation might be resulted in the difference of growth of saplings between gap and non-gap areas. In fact, height and diameter of saplings in the central part of gap were larger than those of saplings in marginal parts of gap and non-gap area. However, density of saplings was not different in both parts. In addition, growth of annual rings of mature trees bordering on gap also increased after gap formation. Branch growth of mature trees bordering on gap was 6.3 ~ 6.5 cm/year and the mean radius of gaps created by death of only one canopy tree was about 3 m. Therefore, for those gaps to be closed by branch growth it will take 46 years. Growth of saplings within gap showed exponential equation. Fifty years will be required for the saplings to enter the forest canopy by the exponential growth equation. Therefore, gap created by only one tree might be closed by branch growth of surrounding canopy trees in advance of being done by height growth of saplings. But gaps created by death of trees more than 2 will be closed by the growth of saplings. Among the regenerating saplings and young trees within gaps, individuals established in advance of gap formation were more than those established after the gap formation. From these results, it was assumed that the disturbed *Pinus densiflora* forests in these sites were regenerated by height growth of saplings recruited in advance of gap formation.

Key words: Canopy tree, Gap age, Gap formation, Growth equation, *Pinus densiflora*, Regeneration

서론

소나무(*Pinus densiflora*)는 한반도 전역의 산야에 생육하고 그 군집은 한국의 삼림에서 가장 넓은 면적을 차지하는 대표적 삼림군집이다.

한반도 소나무림의 변천에 대하여 연구한 김(1980)은 6,500년 전에 현재보다 약 2°C가 높은 기온의 상승으로 대기가 건조하였고, 그 결과 산불이 자주 일어남으로써 낙엽활엽수림이 소나무림으로 대체되었고, 더욱이 인간의 농경활동으로 서남해안에서 약 2,300년전, 동해안에서 약 1,400년전 낙엽수림이 소나무림으로 대체되었으며, 그 이후 계속된 인간간섭과 소나무 목재의 유용성 및 기후나 토양 등 자연적 특성으로 말미암아 소나무림이 유지되어 왔음을 밝히고 있다. 현재에도 소나무림이 넓게 유지되고 있는 것은 여름철에 집중된 강우에 의한 표토의 침식과 배수가 양호한 화강암 유래 토양이 넓게 분포한데서 그 원인을 찾을 수 있다. 더구나 강수량이 대부분 여름철에 집중되어 장마철 이외의 기간은 건기가 오래 지속되므로 생육기인 춘계에 낙엽활엽수의 생장이 억제되고 건조에 강한 소나무림이 넓게 형성되는 것으로 판단된다 (Jarvis and Jarvis 1963, Hellkvist *et al.* 1974). 더구나 소나무는 중요한 경제임목으로 지적되어 현재 한국 전체 임야면적의 약 50%를 차지하고 있다 (산림청 1994).

소나무림은 이와같이 한국의 토양 및 기후 조건에 적합하고 그 경제적 가치도 매우 큰 한국의 대표적 삼림식생이다. 따라서 한반도 전체 면적의 67%를 차지하는 삼림의 형성, 유지기작 및 변천과정을 밝히기 위해서는 소나무림의 생활사에 대한 연구가 필요하다.

Grime (1979)은 식물의 생활사 전략에서 생활사를 성숙상과 재생상으로 구분하고, 후자를 다시 종자의 방출, 산포, 휴면 및 유식물의 성숙으로 세분하여 각각의 존속기간과 기작을 규명하고 있다. 다년생 목본식물의 경우 생활사의 기간이 길기 때문에 이러한 각 단계를 자세히 연구하기는 매우 어렵다. 그러나 성숙림에서 교란 후에 발생하는 식생의 재생과정을 통하여 대부분의 숲이 성숙림에 이르는 과정을 설명할 수 있다 (Hubbel and Foster 1986). 교란으로 형성된 숲틈내에 새로운 개체가 유입되어 그 틈이 메워지는 과정을 재생 (regeneration)이라고 한다 (Bray 1956).

재생과정을 밝히기 위해서는 교란이 일어나는 원인과 교란된 지소의 환경조건 및 그곳에 출현하는 식물종의 유입과정과 그들의 정착과정에 대한 단계적 연구가 필요하다. 본 저자(이 1995)는 소나무림의 교란체제와 교란된 지소의 환경변화를 밝혔다. 본 연구에서는 교란으로 형성된 숲틈의 변화된 환경에 대한 소나무의 반응을 유식물의 높이생장과 성숙목의 연륜생장으로 평가하였다. 그리고 숲틈에 있는 소나무 유식물의 높이생장과 그 주변에 있는 소나무 성숙목의 가지생장을 분석하여 교란된 소나무림이 유식물의 보충에 의해 재생될 수 있는 숲틈의 크기와 재생에 필요한 기간을 밝히고, 나이가 다른 숲틈지역에 출현하는 재생개체의 연륜분포를 교란연령과 관련시켜 분석하여 교란된 소나무림의 재생기작을 밝히는 데 그 목적을 두고 있다.

연구 방법

본 연구는 이(1995)의 연구장소 중 영월과 오봉산의 소나무림을 대상으로 수행하였다.

숲틈형성에 대한 식물의 반응은 숲틈에 출현한 유식물의 높이 생장, 단위면적내에 출현한 유식물의 평균 높이, 직경, 밀도 및 숲틈 주변목의 연륜생장을 측정하여 분석하였다. 높이 생장은

마디길이를 측정하여 구하였으며, 연륜생장은 성장추(increment borer)를 이용하여 구한 연륜 시료를 실체현미경하에서 버어니어캘리퍼스로 0.05mm 단위까지 측정하여 구하였다. 단위면적 내에 출현한 유식물의 평균 높이, 직경 및 밀도는 숲틈을 가로질러 비숲틈지역에 이르기까지 1m 폭의 띠조사구(belt transect)를 설치하고 그것을 1m 간격의 소방형구로 구분하여 각 방형구에 출현한 소나무 유식물의 밀도, 높이 및 지표직경을 측정 한 후 숲틈지역으로부터 비숲틈지역으로 이행됨에 따른 차이를 분석하여 조사하였다.

숲틈의 재생과정에서 재생이 이루어지기까지의 기간을 계산할 때 숲틈의 반경은 타원의 식(Runkle 1982)으로 구한 숲틈 면적을 원의 식에 대입하여 구하였다. 숲틈이 닫히는 유형, 즉 재생유형은 숲틈 주변목의 가지생장으로 닫히는 유형과 숲틈내에 정착한 유식물의 높이생장으로

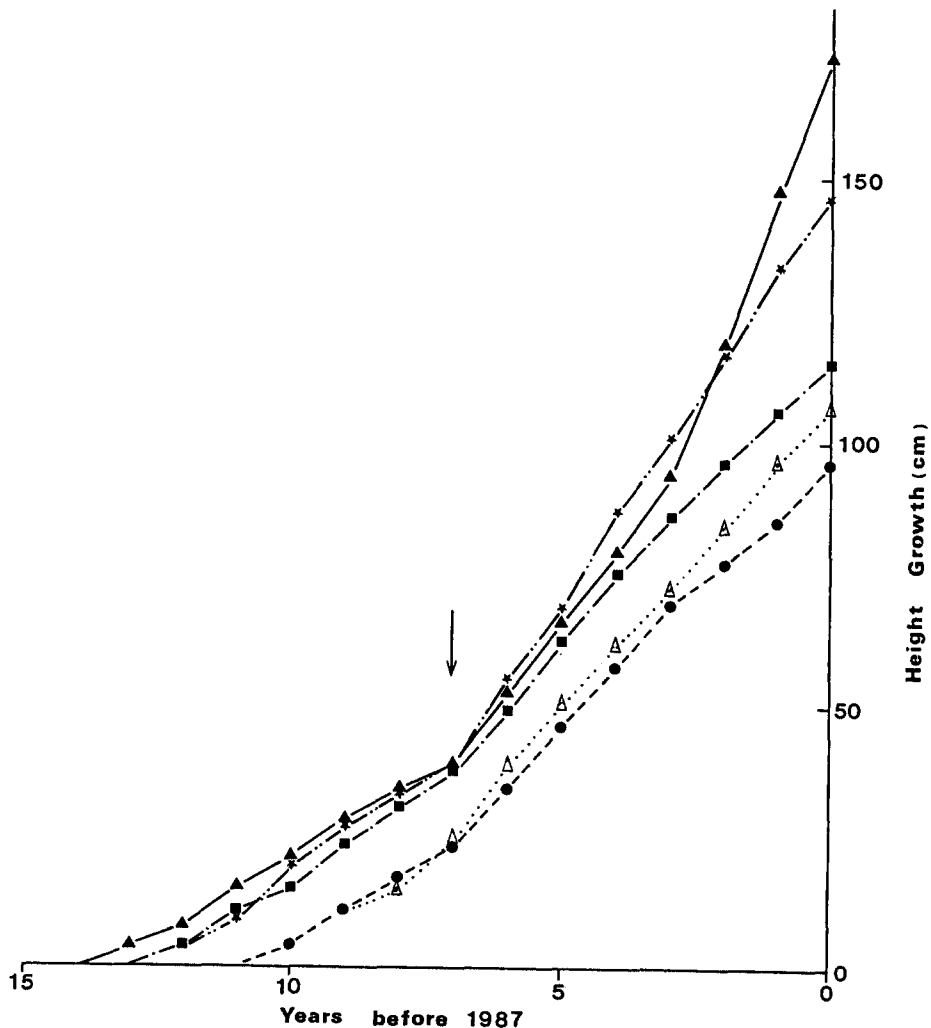


Fig. 1. Height growth curves of *Pinus densiflora* saplings occurred within gap. Arrow indicates the estimated year of gap formation.

단히는 유형의 두 가지가 있다 (Runkle 1985). 전자는 숲틈 주변에서 숲틈을 둘러싸고 있는 성숙한 나무의 가지생장을 측정하여 조사하였고, 후자는 숲틈내에 정착한 유식물의 높이생장을 측정하여 조사하였다. 가지생장과 높이생장은 숲틈지역과 비숲틈지역으로 구분하여 각 지소에서 20개씩의 시료를 채취하여 그것의 평균값으로 구하였다. 성장식은 각 성장치를 연도별로 더하여 얻은 누적 성장치와 경과년수 사이의 회귀식으로부터 구하였다.

한편, 교란이 발생한 연도가 다른 몇몇 숲틈에 그 주변의 성숙한 나무를 포함하는 방형구를 설치하고 그 안에 출현한 모든 소나무의 나이를 조사하여 연령분포도를 작성하였다. 성숙목의 나이는 성장추(increment borer)를 사용하여 지상 30cm 높이에서 채취한 연륜시료(annual ring core)의 나이테 수와 연륜시료를 채취한 높이까지 자라는데 걸리는 기간(6년)을 더하여 구하였다. 연륜시료를 채취한 높이까지 자라는데 걸리는 기간은 앞서 언급한 유식물의 높이 성장식으로부터 구하였다. 재생되고 있는 어린 나무의 나이는 그것의 마디수를 세어 구하였고, 그것이 불가능한 개체의 나이는 성숙목과 같은 방법으로 구하였다. 연령분포도는 전체분포도와 재생개체분포도로 구분하여 작성하였는데, 전자는 10년 간격으로 연령급을 구분하여 연령급별 빈도분포도로 작성하였고, 후자는 연령별 빈도분포도로 작성하였다. 숲틈의 나이와 재생개체의 연령분포 사이의 관계로부터 유식물의 보충기작을 평가하였다. 숲틈의 나이는 유식물의 높이생장 및 성숙목의 연륜생장을 분석하여 판정하였다.

결과 및 논의

숲틈형성에 대한 식물의 반응

유식물의 높이생장은 숲틈 형성 후 증가하는 경향이였다 (Fig. 1). 이러한 생장의 증가는 상층수관의 피압으로부터 유리된데 기인하는데 그러한 특징 때문에 유식물의 성장상태를 분석하여 숲틈형성시기를 판단하고 있다 (Nakashizuka 1984, Runkle 1992).

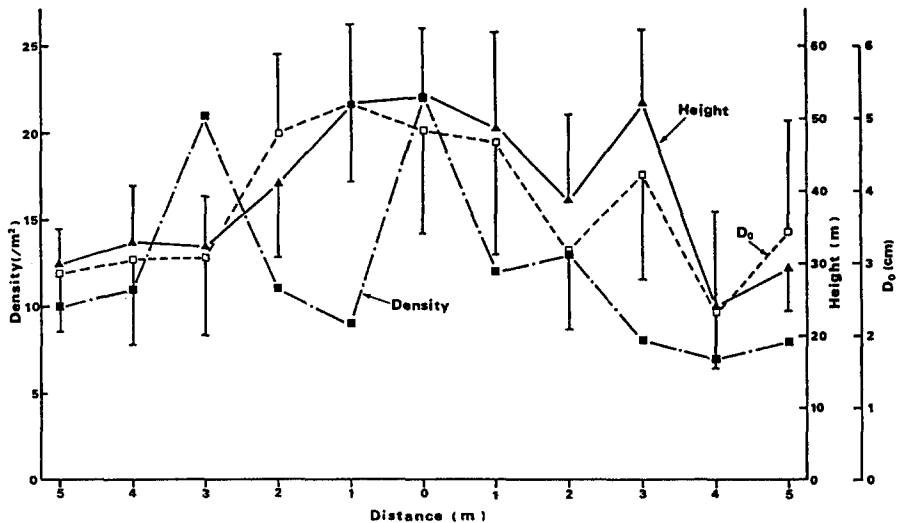


Fig. 2. Changes of height, diameter (D_0) and density of saplings of *Pinus densiflora* according to the distances from the center of gap.

Fig. 1의 결과에서와 같이 숲틈형성에 의해 식물의 생장이 증가하여 숲틈 중앙에 있는 유식물이 숲틈 가장자리나 임판이 닫힌 비숲틈지역의 것에 비해 직경과 높이가 더 컸다. 그러나 그것의 밀도는 큰 차이를 나타내지 않았다 (Fig. 2).

숲틈 주변 성숙목의 연륜생장을 Fig. 3에 나타내었다. Fig. 3에서 [1] ~ [3]번 개체는 숲틈 주변에 있는 소나무 성숙목의 연륜생장을 나타내며, [4] ~ [5]번 개체는 교란되지 않은 숲을 이루고 있는 것의 연륜생장을 나타낸다. [1]번과 [2]번개체의 연륜생장은 50 ~ 60년간 활발한 성장을 유지하다가 그 이후 생장이 둔화되어 100년 이후에는 연간 0.5mm ~ 0.7mm 정도의 매우 느린 성장을 하였다. 100년 이후 이와 같이 극심한 성장지연은 노화에 기인한 결과로 판단되는데, 소나무의 경우 40년 이후 높이생장이 둔화되고, 60년 이후 직경생장이 둔화되는 것으로 알려져 있다 (이 및 김 1989). 100년 이후 약 10여년간 이와 같이 느린 성장을 유지한 후 연륜 생장이 다시 증가하였는데, 이러한 증가는 숲틈의 형성에 기인한 결과로 해석된다 (Nakashizuka 1984). [3]번 개체는 중심부가 부패되어 그 부분의 연륜생장은 측정할 수 없었으나 [1]번과 [2]번 개체와 유사한 성장패턴을 나타내었다. [4]번과 [5]번 개체는 교란되지 않은 숲을 이루고 있는 소나무 성숙목의 연륜생장을 나타내고 있다. 이들은 숲틈 주변에 있는 나무들과 마찬가지로 초기 약 60년간은 연륜생장이 양호하고 그 이후 생장이 둔화되는 경향이었는데, 100년 이후의 생장이 극히 저조하였다. 숲틈 주변에 있는 소나무 성숙목과 교란되지 않은 숲을 이루고 있는 소나무 성숙목은 연륜의 성장 패턴이 서로 유사하였다. 그러나 숲틈 주변에 있는 나무의 경우는 저조한 성장기 이후 숲틈 형성에 의해 연륜생장이 회복되는 경향이었으나 교란되지 않은 숲을 형성하고 있는 개체의 연륜생장은 짧은 주기의 진동은 있지만 급격한 성장증가 현상은 나타나지 않았다. 따

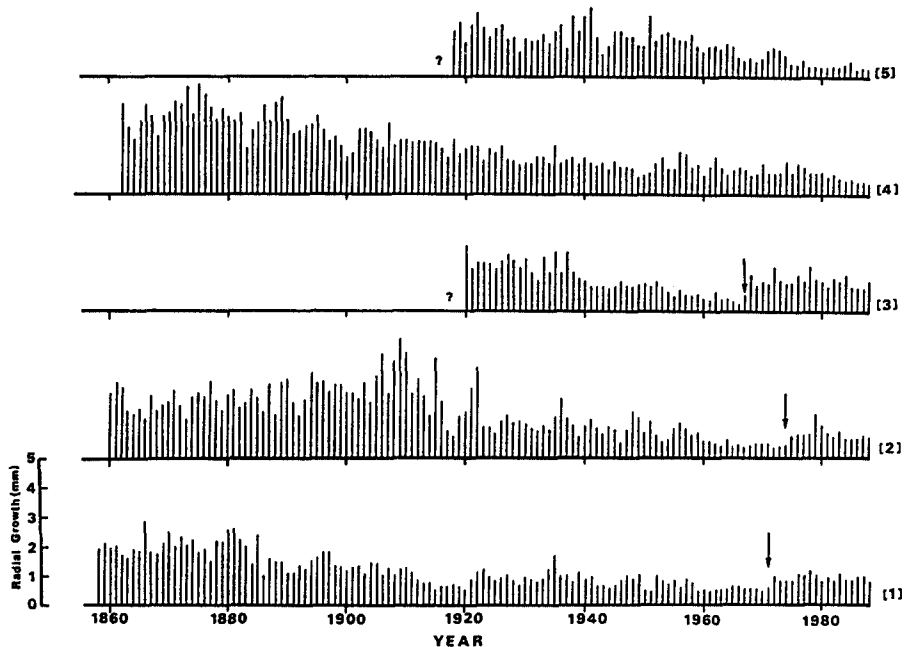


Fig. 3. Radial growth patterns of mature *Pinus densiflora* bordering on the gap (1 to 3) and consisting of closed canopy which was not disturbed (4 and 5). Arrows indicate the estimated year of gap formation.

라서 본 연구에서는 연륜생장을 분석한 결과도 유식물의 높이 성장과 함께 숲틈의 나이를 평가하는데 활용하였다.

재생과정

숲틈이 닫히는 과정, 즉 재생은 교란의 특징에 따라 다르다. 교란의 규모가 작고 그 영향이 심하지 않을 경우 재생은 주로 숲틈 주변에 있는 나무의 가지생장에 의해 이루어진다. 그러나 교란의 규모가 크고 그 영향이 심할 경우 숲틈은 유식물의 높이생장에 의해 메워지거나 다른 종류의 숲으로 바뀐다 (Runkle 1985).

본 연구에서는 숲틈 주변에 있는 나무의 가지생장과 교란되지 않은 비숲틈지역에 있는 나무의 가지생장을 측정하여 각각의 성장식을 구하였고(Fig. 4), 숲틈내에 정착한 유식물과 교란되지 않은 곳의 입상에 존재하는 유식물의 높이생장을 측정하여 각각의 성장식을 구하였다(Fig. 5).

숲틈이 형성되기 전과 후의 성장 차이를 밝히기 위하여 숲틈지역 뿐만 아니라 비숲틈지역에

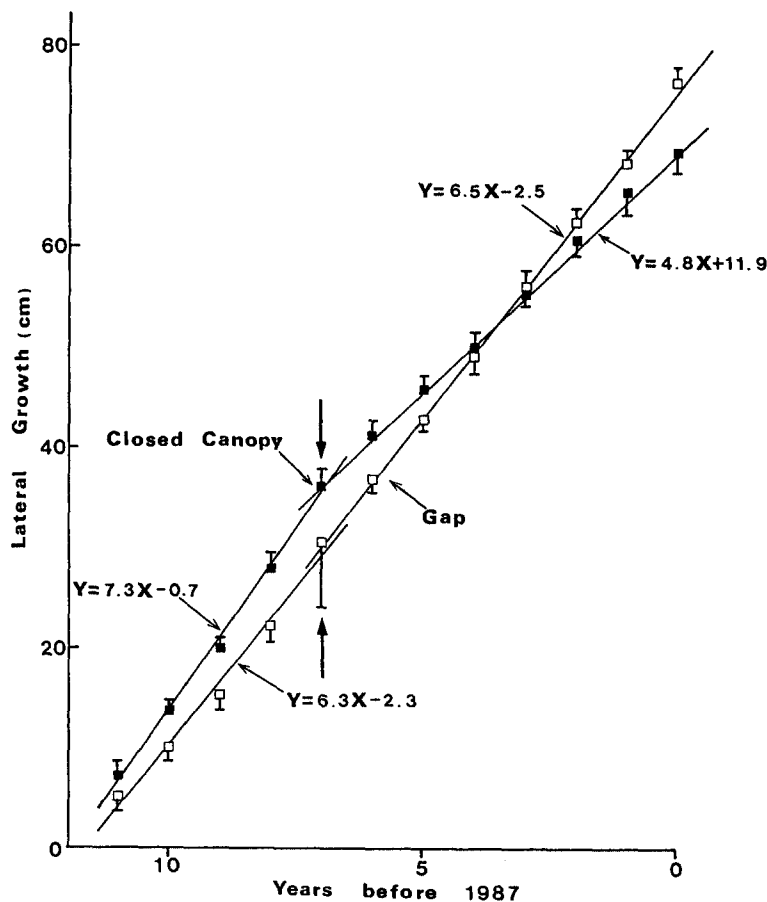


Fig. 4. Branch growth of mature trees of *Pinus densiflora* bordering on gap and those in *Pinus densiflora* forest of the closed canopy. Vertical arrows indicate the estimated year of gap formation.

있는 나무들도 숲틈지역에서 숲틈이 형성된 년도를 기준으로 그 전과 후로 구분하여 생장을 비교하였다.

Fig. 4의 성장식에서 교란이 발생하기 전 숲틈 주변에 있는 성숙한 소나무의 연평균 가지생장은 6.3cm이고, 교란 후의 생장은 6.5cm로서 교란 전과 후의 성장차이가 뚜렷하지 않았다. 인근의 교란되지 않은 곳에 존재하는 소나무에서 전기와 후기에 가지생장은 각각 7.3cm와 4.8cm로 후기에 그 성장속도가 낮아져 시간이 지남에 따라 그 생장이 둔화되는 경향을 보였는데, 본 조사 지역의 소나무림이 쇠퇴단계에 있는 성숙림임을 고려하면 이러한 결과는 나무의 노화에 따른 결과로 해석된다.

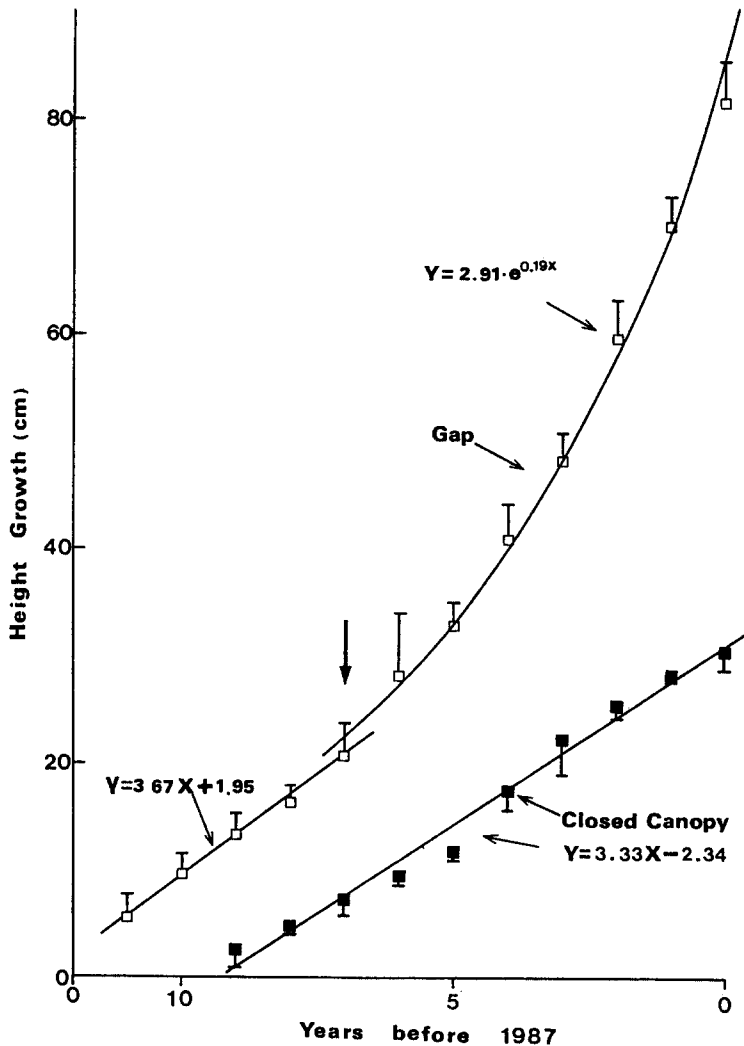


Fig. 5. Height growth of saplings of *Pinus densiflora* within gap and under the closed canopy. Vertical arrows indicate the estimated year of gap formation.

숲틈 주변에 있는 나무와 교란되지 않은 곳에 있는 나무 사이의 가지생장을 비교하면, 교란되기 전의 기간에는 교란되지 않은 곳에 존재하는 나무의 생장이 다소 높았지만(7.3cm : 6.3cm) 교란 후의 기간에는 그 생장이 각각 4.8cm와 6.5cm로서 교란되지 않은 지소에 존재하는 나무의 생장이 오히려 더 낮아졌다. 이러한 비교분석 결과를 통하여 볼 때 숲틈 주변목의 가지생장은 교란 전과 후에 큰 차이를 보이지 않았지만 교란 후 그 생장이 증가한 것으로 생각할 수 있겠다. 성숙한 소나무의 이러한 가지 성장속도는 툼나무 (*Liriodendron tulipifera*, 4.4cm/yr) 및 몇몇 낙엽활엽수 (4cm/yr)보다는 빠르고 (Trimble and Try-

on 1966, Runkle 1982), 루브르 참나무 (*Quercus rubra*, 8.2cm/yr) 보다는 느렸다 (Trimble and Tryon 1966).

숲틈내에 존재하는 유식물의 높이생장은 교란이 발생하기 전에 정착한 개체(advance regeneration)를 중심으로 분석하였다. 유식물의 생장은 교란이 발생하기 전 연평균 3.7cm 정도의 직선적 성장을 하였으나 교란 후 그 생장이 크게 증가하여 지수함수적 성장을 보였다 (Fig. 5). 그러나 교란되지 않은 곳에 존재하는 유식물의 높이생장은 기준년의 전·후에 관계없이 연평균 3.3cm 정도의 직선적 성장을 유지하였다. 유식물의 높이생장이 교란 후 지수함수적으로 증가한 것은 교란 후 광량과 수분함량 뿐만 아니라 토양의 영양염류 등이 증가하고 광질이 변하는 환경의 변화에 기인한 결과로 해석된다 (Runkle 1985, 이 1995).

숲틈의 크기와 재생기작

본 연구에서 나무 1개체의 고사로 형성된 숲틈의 평균 크기는 28.3m²로서 이러한 면적의 숲틈의 반경은 약 3m가 된다 (이 1995). 숲틈 주변에 있는 소나무 성숙목의 연평균 가지생장은 6.5cm로서 반경 3m인 숲틈이 가지생장에 의해 메워지기까지는 46년이 걸린다.

한편, 본 연구를 수행한 지소에서 저자가 관찰한 가장 큰 나무의 높이는 약 20m이었고, 년간 최대 높이생장은 60cm이었다. 그리고 숲틈내에 존재하는 유식물의 높이는 지수함수식($Y = 2.91 \cdot e^{0.19x}$)으로 성장하였다. 따라서 유식물의 생장은 최대성장치인 60cm/년에 이르기까지는 지수함수적으로 성장하고, 그 이후에는 지속적으로 최대생장을 유지하는 것으로 가정하여 유식물이 20m에 이르기까지의 시간을 계산하였다. 유식물의 성장치가 지속적으로 상승하여 최대성장치인 60cm에 이르기까지는 22년 정도가 걸리고 이 때 유식물의 높이는 2m 정도가 된다. 그 후 유식물이 최대 높이에 도달하기 위해서는 약 30년의 기간이 더 필요하다. 결과적으로 소나무는 연령이 50년 이상이 되어야 성숙한 소나무 임분의 임관층을 이루는 성숙목이 될 수 있는데, 이러한 결과는 실제로 임분연령이 다른 소나무 임분을 대상으로 분석한 결과(이 및 김, 1989)와 유사하였다. 그러나 본 연구에서 소나무 유식물의 초기 성장속도는 이와 김(1989)의 결과와 비교하여 매우 낮았다. 이와 같이 느린 생장은 이들이 사전정착 재생개체로서 교란이 발생하기 전에 피음된 상태에 있었기 때문인 것으로 생각된다. 음수를 포함하여 대부분의 나무의 사전정착 재생개체는 그 생장이 매우 느린 것으로 알려져 있다 (Oliver and Larson 1990).

숲틈이 그 주변에 있는 나무의 가지생장에 의해 메워지는 시간과 유식물의 높이생장에 의해 메워지는 시간 사이의 관계를 모식도로 작성하였다 (Fig. 6).

Fig. 6에서 X축은 시간이 되고 Y축은 숲틈의 면적으로부터 계산된 숲틈의 반경을 나타낸다. 그리고 그림내의 사선은 가지생장으로부터 유도된 회귀직선(Fig. 4)으로서 그것이 X축과 만날 때의 X값이 가지생장에 의해 숲틈이 메워지는 시간이 된다. 나무 1개체가 고사되어 생긴 숲틈의 반경은 약 3m인데, Fig. 6에서 반경 3m로부터 시작되는 사선은 유식물이 높이생장에 의해 임관층에 도달하기까지 소요되는 50년이 경과하기 전에 X축과 만난다. 따라서 나무 1개체의 고사로 형성된 숲틈은 교란이 중복되어 발생되지 않을 경우 유식물의 생장에 의해 메워지기 전에 숲틈 주변목의 가지생장에 의해 메워질 것이다. 나무 2개체가 고사되어 발생한 숲틈의 반경을 나무 1개체의 고사로 생긴 숲틈면적의 2배인 원으로 가정하여 반경을 계산하였을 때 그 반경은 4.2m가 된다. Fig. 6에서 반경 4.2m로부터 시작되는 사선은 50년 이전에 X축과 만나지 못한다. 이러한 크기의 숲틈이 주변목의 가지생장에 의해 메워지기까지의 시간은 Fig. 4의 숲틈주변목의 가지생장식으로부터 계산하면 65년 정도가 소요된다. 따라서 이 경우에는 숲틈이 주변목의 가지

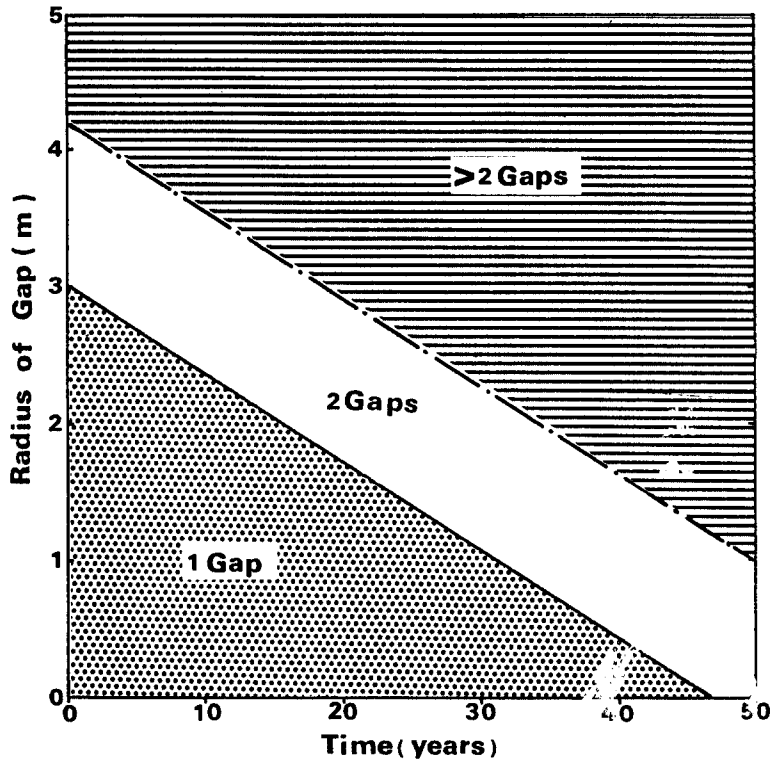


Fig. 6. Decreasing curves of gap area. 50 years on X-axis indicate the year required for the saplings to enter the forest canopy. Straight lines inclined to the right indicate the case in which gap area is decreased by the branch growth. When these lines meet X-axis, it means that gap is closed and X-value at the moment indicates the year required for the gap to be closed. 1 gap, 2 gaps and >2 gaps indicate gaps formed by the death of 1, 2 and more than 2 trees.

생장에 의해 메워지기 전에 유식물의 높이가 임관층에 도달하여 그들에 의해 숲틈이 메워질 것이다 (Fig. 6 참조). 더구나 숲틈의 크기가 증가하면 유식물의 생장이 더 증가되므로 (Minckler *et al.* 1973, Hibbs 1982) 유식물에 의해 숲틈이 메워지는 기간은 더 단축될 수도 있다.

본 저자가 이(1995)에서 언급한 숲틈의 크기분포와 관련시켜 볼 때 본 연구를 수행한 지소에서 발견된 숲틈의 대부분은 그 크기가 소나무 유식물의 높이생장에 의해 재생이 가능한 수준의 크기이었다. 따라서 본 연구를 수행한 지소의 소나무군집은 이러한 교란과 재생의 반복으로 그 군집이 지속적으로 유지되는 토지극상군집으로 판단된다.

한편, 이러한 결과를 바탕으로 숲틈이 유식물의 높이생장에 의해 메워지기 전에 숲틈 주변목의 가지생장에 의해 메워질 수 있는 크기의 숲틈, 즉 나무 1개체 이하의 고사로 형성된 숲틈을 소규모 숲틈, 그 이상의 나무의 고사로 형성된 숲틈을 대규모 숲틈으로 구분하였다.

유식물의 보충시기와 재생기작

숲틈내에 출현한 재생개체의 연령분포도 (Fig. 7)와 숲틈의 나이를 비교하여 숲틈의 재생에 기

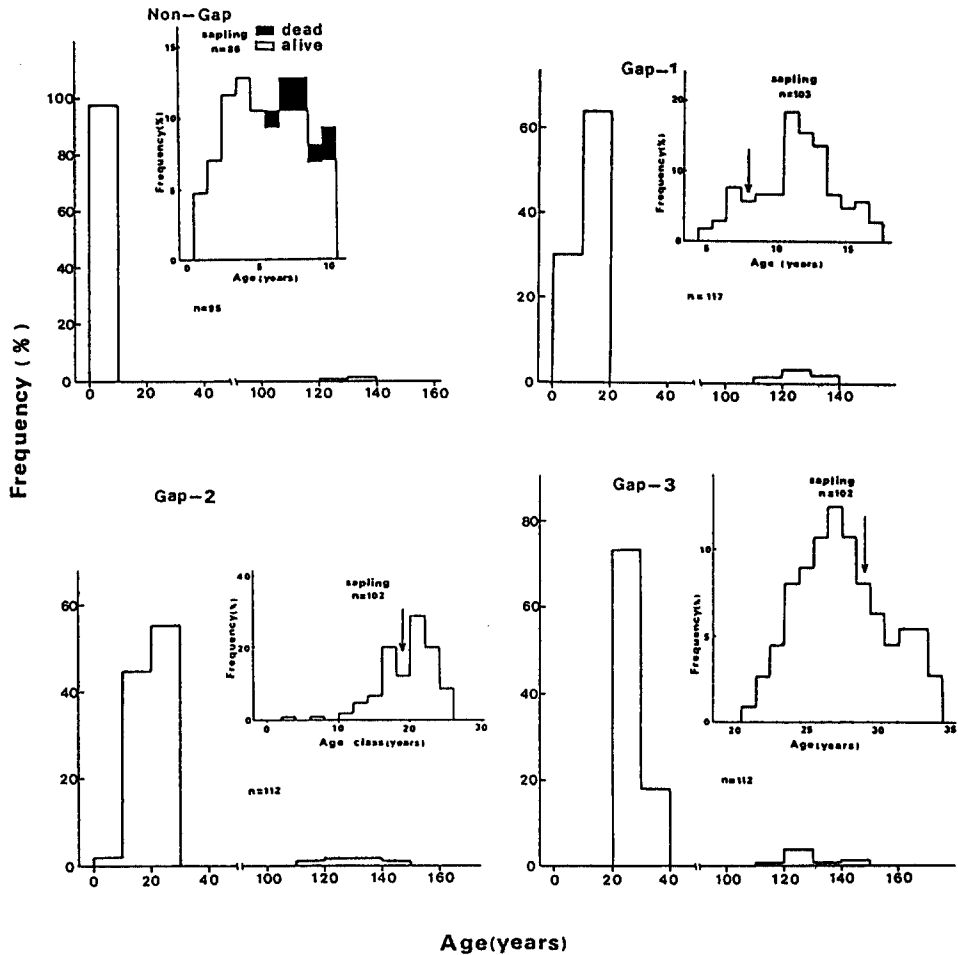


Fig. 7. Age distribution diagrams of *Pinus densiflora* forest around the gap and of the closed canopy. In each diagram, lower diagram indicates age distribution all the individuals including mature trees and regenerating trees and upper diagram indicates that of the only regenerating individuals. Vertical arrows indicate the estimated year of gap formation.

여하는 유식물이 보충된 년도를 파악하였다. 각 연령분포도에서 아래의 것은 숲틈을 둘러싸고 있는 성숙목과 숲틈내의 재생개체를 모두 포함하여 작성한 분포도이고, 그 안의 작은 분포도는 재생개체만으로 작성된 것이다.

비숲틈 지소, 숲틈 1, 2 및 3에서 각각 성숙목의 나이는 120~140, 110~140, 110~150 및 110~150년 사이에 분포하였고, 재생개체는 각각 1~10, 5~17, 2~26 및 21~34년 사이에 분포하였다. 즉, 연령분포도는 성숙목 집단과 재생개체 집단으로 이루어진 쌍봉형으로 나타나 유식물의 보충이 주기적으로 진행됨을 알 수 있었다. 연령의 분포범위는 재생개체 집단에서 9~24년이었고, 성숙목 집단에서는 20~40년이였다. 소나무는 일반적으로 연령의 분포범위가 20년 이내인 동령림의 임분을 이루는 것으로 알려져 있는데 (Peet and Christensen 1980), 재생개체 집단의 분포범위는 이와 유사하였지만 성숙목 집단의 경우는 그 범위가 더 넓었다.

재생개체의 연령분포도에서 교란이 발생하기 전에 보충된 재생개체와 후에 보충된 것의 비율을 보면, 숲틈 1, 2 및 3에서 각각 81.6 : 18.4, 54.6 : 45.4 및 26.7 : 73.3%로서 숲틈 3을 제외하면 교란이 발생하기 전에 보충된 개체, 즉 사전정착 재생개체(advance regeneration)의 비율이 높았다. 그리고 교란되지 않아 임관이 닫힌 비숲틈지역에도 유식물이 출현하여 교란이 발생하기 전에 재생이 진행되고 있음을 반영하였다. 이와 같이 사전정착 재생개체의 비율이 높은 것은 본 연구를 수행한 지소에서 발생한 교란의 강도가 약함을 입증하는데(Oliver and Larson 1990), 이러한 결과는 숲틈형성목의 고사유형에 대한 연구 결과(이 1995)와 일치한다.

한편, 비숲틈지역에 출현한 유식물은 그 연령이 10년 이내이고, 6년생 이상의 유식물에서는 고사개체도 출현하였다. 비숲틈지역에 출현한 고사개체는 피음에서 비롯된 것으로 해석된다. 즉, 소나무는 양수이지만 교란되지 않은 임관 밑에서 종자의 발아가 가능하고 어느 정도의 크기까지는 유식물의 생존이 가능하다. 그러나 유식물의 크기가 더 커짐에 따라 광 요구도가 증가하면 유입되는 광량이 부족하여 그것은 비숲틈지역의 임관 밑에서 생존하지 못하게 된다(Koyama 1943). 이러한 결과로 비숲틈지역에서는 10년생 이상의 유식물이 발견되지 않는 것으로 판단된다. 따라서 이러한 지소에서 교란으로 인한 숲틈의 형성은 소나무림의 유지에 필수적인 요인임을 알 수 있는데, 소나무와 같은 양수 뿐만 아니라 음수도 그 숲을 유지하기 위해 교란에 의한 숲틈의 형성을 필요로 한다(조 1990, 1992, Canham 1985, Schupp *et al.* 1989).

적 요

숲틈 형성에 대한 소나무의 반응을 유식물의 높이생장과 성숙목의 연륜생장으로 분석하였으며, 숲틈 주변에 있는 성숙한 소나무의 가지생장과 숲틈내에 있는 유식물의 높이생장을 측정하여 성장식을 유도하고, 숲틈내 재생개체의 연령분포를 숲틈의 나이와 관련시켜 분석하여 교란된 소나무림의 재생과정과 그 기작을 밝혔다. 숲틈에 출현한 유식물의 높이생장은 숲틈 형성 후 증가하였는데, 숲틈 중앙에 위치한 개체가 숲틈의 가장자리나 비숲틈지역의 것보다 높이와 직경이 더 컸다. 그러나 밀도는 큰 차이가 없었다. 한편, 숲틈 주변에 있는 소나무 성숙목도 숲틈형성 후 연륜생장이 증가하였다. 숲틈 주변에 있는 성숙한 소나무의 가지생장 속도는 6.3~6.5cm/년이었고, 나무 1개체의 고사로 형성된 숲틈의 반경은 3m로서 가지생장에 의해 이 숲틈이 메워지려면 46년이 걸릴 것으로 계산되었다. 유식물의 높이 생장은 지수함수식으로 나타났는데, 이 식에 의해 유식물이 임관층에 도달하려면 50년이 걸리는 것으로 계산되었다. 그러나 2개체 이상의 나무가 고사되어 형성된 숲틈에서는 가지생장에 의해 숲틈이 메워지는 기간보다 유식물이 임관층까지 자라는 기간이 더 짧았다. 숲틈내의 재생개체 중 숲틈이 형성되기 전에 보충된 사전정착 재생개체가 숲틈 형성 후에 보충된 것보다 많았다. 이러한 결과로부터 본 연구를 수행한 지소에서 소나무림의 재생은 사전정착 재생개체의 높이생장에 의해 이루어질 것으로 판단되었다.

참고문헌

- 김준민. 1980. 한국의 환경변천과 농경의 기원. 한생태지 3:40-51.
 산림청. 1994. 임업통계요람. 제 24호.
 이창석. 1995. 한국 소나무림에서의 교란체제. 한생태지 18:179-188.
 이창석, 김홍은. 1989. 소나무림의 천연하종갱신을 위한 생태학적 연구. 충북 대학교 농업과학원

구 7:100-109.

- 조도순. 1990. 삼림생태계에서의 교란과 그 역할. *한식지* 33:19-29.
- 조도순. 1992. 광릉자연림에서의 교란체제와 수목의 재생. *한생태지* 15:395-410.
- Bray, J.R. 1956. Gap phase replacement in a maple-basswood forest. *Ecology* 37:598-600.
- Brokaw, N.V.L. 1985. Treefalls, regrowth and community structure in tropical forests. *In* S.T.A. Pickett and P.S. White (eds.). *Disturbance and patch dynamics*. Academic Press, New York, pp.53-69.
- Canham, C.D. and P.L. Marks. 1985. The response of woody plants to disturbance: patterns of establishment and growth. *In* S.T.A. Pickett and P.S. White (eds.). *Disturbance and patch dynamics*. Academic Press, N.Y. pp.197-216.
- Denslow, J.S. 1987. Tropical rainforest gaps and tree species diversity. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 18:431-451.
- Grime, J.P. 1979. *Plant strategies and vegetation processes*. John Wiley and Sons, N.Y. 222p.
- Hellkvist, J., G.P. Richards and P.G. Jarvis. 1974. Vertical gradients of water potential and tissue water relations in Sitka spruce trees measured with the pressure chamber. *J. Appl. Ecol.* 11:637-668.
- Hibbs, D.E. 1982. Gap dynamics in a hemlock-hardwood forest. *Can. J. For. Res.* 12:522-527.
- Hubbell, S.P. and R.B. Foster. 1986. Canopy gaps and dynamics of a Neotropical forest. *In* M.J. Crawley (ed.). *Plant ecology*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, pp. 77-96.
- Jarvis, P.G. and M.S. Jarvis. 1963. The water relations of tree seedlings. III. Transpiration in relation to osmotic potential of the root medium. *Physiol. Plant* 16:269-275.
- Koyama, N. 1943. Licht und Bodenwasser in ihrer Wirkung als Groundfaktor auf Die Kiefernaturverjngung. Forestry Experiment Station of the Government - General of Korea. 65p.
- Leak, W.B., and S.M. Filip. 1977. Thirty-eight years of group selection in New England northern hardwoods. *J. For.* 75:641-643.
- Minckler, L.S., J.D. Woerheide and R.C. Schlesinger. 1973. Light, soil moisture and tree reproduction in hardwood forest openings. USDA For. Serv., N. C. For. Exp. Stn. Res. Pap. NC-89.
- Nakashizuka, T. 1984. Regeneration process of climax beech (*Fagus crenata* Blume). IV. Gap formation. *Jap. J. Ecol.* 34:75-85.
- Oliver, C.D. and B.C. Larson. 1990. *Forest stand dynamics*. McGraw-Hill Inc., N.Y. 467p.
- Peet, R.K. and N.L. Christensen. 1980. Succession: a population process. *Vegetatio* 43:131-140.
- Runkle, J.R. 1982. Patterns of disturbance in some old-growth mesic forest of eastern North America. *Ecology* 63:1533-1546.
- Runkle, J.R. 1984. Development of woody vegetation in treefall gaps in a beech-sugar

- maple forest. *Holarctic Ecol.* 7:157-164.
- Runkle, J.R. 1985. Disturbance regimes in temperate forests. In S.T.A. Pickett and P.S. White (eds.). *Disturbance and patch dynamics*. Academic Press, N.Y. pp.17-34.
- Runkle, J.A. 1992. Guidelines and sample protocol for sampling forest gaps. USDA Forest Service PNW-GTR-283. 44p.
- Schupp, E.W., H.F. Howe, C.K. Augspurger and D.J. Levey. 1989. Arrival and survival in tropical treefall gaps. *Ecology* 70:562-564.
- Trimble, G.R. 1965. Species composition changes under individual tree selection cutting in cove hardwoods. USDA For. Serv. Northeast. Forest Experiment Station Research Note NE NE-30.
- Tryon, E.H. and G.R. Trimble. 1969. Effect of distance from stand border on height of hardwood reproduction in openings. *Proc. W. Va. Acad. Sci.* 41:125-133.
- Whitmore, T.C. 1989. Canopy gaps and the two major groups of forest trees. *Ecology* 70:536-538.

(1995년 2월 10일 접수)