

한국 소나무림에서의 교란체제

이 창 석

서울여자대학교 자연과학대학 생물학과

Disturbance Regime of the *Pinus densiflora* Forest in Korea

Lee, Chang-Seok

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

Abstract

Death patterns of gap-makers and changes of environmental factors in gaps formed by disturbance were studied in *Pinus densiflora* forests of Youngwol, Mt. Mansu, Mt. Songni, Uljin, and Mt. Obong in Korea. Death pattern of gap-makers showed that standing dead type was the most frequent in all the study areas. Longevity of *Pinus densiflora* was about 140 years, which was about half of that of the temperate deciduous broad-leaved trees. Size of gaps were distributed from 20 m² to 235 m², more than 80% of those were gaps created by death of two or more trees. Relative light intensity and water content of soil in gap area were higher than those in non-gap area and those in the central part of gap were the highest.

Key words: Death pattern, Disturbance, Disturbance regime, Gap, Gap-maker, *Pinus densiflora*

서 론

삼림에서 교란은 극상의 안정성을 혼란시키거나 천이의 진행을 방해하여 식물군집을 보다 미숙한 천이단계로 되돌리는 것으로 인식되었으나(Clements 1916), 교란이 삼림군집의 재생이나 유지에 미치는 역할이 밝혀짐에 따라 그것을 삼림식생의 구조와 기능을 결정하는 중요한 요인의 하나로서 인식하게 되었다(Denslow 1980, Spurr and Barnes 1980, White 1979).

군집의 교란과 재생에 대한 연구는 1970년대 후반부터 전 세계적으로 활발한 연구가 시작되어 극상이라고 하는 성숙림의 대부분이 발달단계가 다른 군반(patch)이 모여 모자이크상을 이루고 있으며, 식물군집에서 평형이 거의 이루어지지 않고 있음을 밝히고 있다. 즉, 삼림군집은 교란 연령, 교란 정도 및 종조성이 다른 군반이 모여 시·공간적 다양성을 나타내고 있다(Sousa 1984). 이와같이 다양한 군반은 교란에 의해 형성된 것으로서 교란 연령에 따라 발달과정, 즉 회복과정이 다양한데, 틈상(gap phase), 형성상(establishing phase), 성숙상(mature phase)이 이어져 재생환(regeneration cycle)을 형성한다 (Halle *et al.* 1978, Oldeman 1978, Whitmore

이 논문은 1993학년도 학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었음

1975).

교란은 군집이나 생태계의 종다양성, 영양염류 유출, 수평 및 수직구조 등이 일상적인 또는 향상적인 변동범위를 벗어나는 것(Godron and Forman 1983)이나 생태계, 군집, 개체군의 구조를 파괴하고 자원이나 물리적 환경을 변화시키는, 시간적으로 비교적 뚜렷한 사건(White and Pickett 1985)으로 정의되어 왔다. 한편, Runkle(1985)은 교란을 삼림생태계에서 임관층을 이루고 있는 성숙한 나무를 하나 또는 그 이상 죽게하는 힘이라고 정의하고, 이러한 교란이 일어났을 때 성숙한 나무들이 죽는 양식(pattern)을 교란체제(disturbance regime)라고 하였다.

삼림생태계에서는 이러한 교란의 결과 숲에 틈(gap)이 생기게 되는데, 임관을 이루고 있는 나무가 고사되면 그 틈은 수평적으로 뿐만 아니라 수직적으로도 빈 공간을 형성하여 그 공간을 임관틈(canopy gap) 또는 숲틈(forest gap)이라고 하며, 이러한 공간이 나무가 넘어져 생긴다고 하여 도목틈(treefall gap)이라고도 하나 때로는 나무가 서서 죽거나 나무의 가지가 부러져 틈이 형성되기도 한다 (Brokaw 1982, Nakashizuka 1984). 한편, Watt(1947)는 임관층을 이루고 있는 개체가 고사되어 임관층으로 새로운 개체가 활발하게 보충되고 있는 지소를 틈(gap)이라고 정의한 바 있다.

교란은 종류, 규모, 강도 및 빈도가 다르지만 생태계에서 항상 발생하고 있다 (Nakashizuka 1984). 따라서 삼림을 구성하는 나무들은 대부분 교란의 영향을 받고 있으며, 임관층을 이루는 성숙한 개체로 자라기 위해 다양한 형태의 교란을 필요로 한다 (Runkle 1982, Canham 1985, Schupp *et al.* 1989).

이와 같이 다양한 형태로 발생하는 교란은 교란된 지소의 환경 요인(광량, 광질, 토양수분, 대기습도, 온도, 영양염류 등)에 영향을 미치고 결과적으로 식물군락의 구조와 기능에 영향을 미치게 된다.

따라서 교란의 종류, 규모, 강도 및 빈도에 의해 결정되는 교란체제는 그 자연의 일부로서 그것을 밝히는 연구는 자연의 체계를 이해하는데 중요한 역할을 할 수 있을 것으로 생각된다.

본 연구는 강원도 영월, 충북 만수산과 속리산, 경북 울진, 그리고 경남 오봉산의 소나무림에서 발생한 교란요인의 특징과 교란에 의해 형성된 숲틈내 환경요인의 변화를 분석하여 한반도 소나무림에서의 교란체제를 밝히는데 목적을 두고 있다.

조사지 개황

본 연구는 강원도 영월군 영월읍 장릉 주변, 충북 제원군 만수산, 보은군 속리산, 경북 울진군 서면 소광리 일대 및 경남 합천군 오봉산의 소나무림에서 인위적 간섭이 비교적 적은 지소를 정하여 수행하였다 (Fig. 1).

선정된 지소는 대부분 산지의 능선 또는 정상부의 건조하고 척박한 노암지로서 소나무와 경쟁 관계에 있는 활엽수의 출현빈도가 낮고, 출현한 활엽수의 생육상태가 불량하였다.

각 조사지소에서 소나무는 교목층, 관목층 및 초본층에 모두 출현하여 유식물의 보충이 활발하게 이루어지고 있었다.

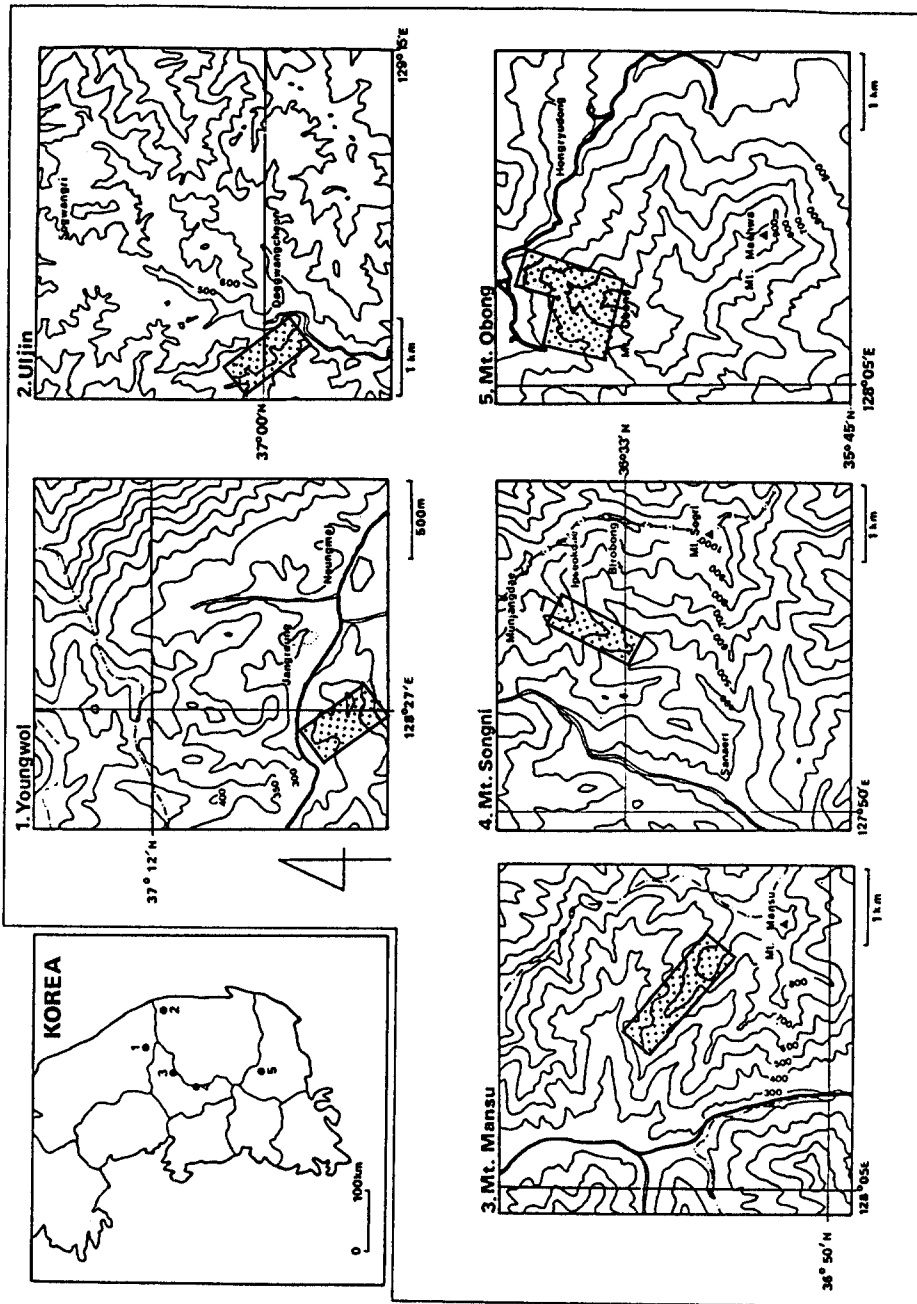


Fig. 1. Maps showing the study areas. Dotted parts indicate the study areas.

조사방법

교란체제

교란체제는 나무가 고사하는 양식을 크게 3가지, 즉 뿌리가 뽑혀 넘어지는 도목형(uprooted type), 줄기가 부러지는 간절단형(snap-off type), 서있는 상태로 고사된 입목고사형(standing dead type)으로 구분하여 각각의 비율로 구하였다(Nakashizuka 1984).

숲틈의 크기

숲틈의 모양은 다양하지만 일반적으로 타원형으로 인정되어 그 면적(A)은 타원의 장경(L)과 단경(S)을 측정하여 다음 식으로 계산하였다.

$$A = \pi / 4 \times L \times S \quad (\text{Runkle 1982})$$

숲틈의 환경요인

조도는 숲틈을 가로질러 선조사구(line transect)를 설치하고 그것을 따라 1m 간격으로 조도계를 이용하여 임상식물층 위의 조도를 측정하였다. 각 지점에서 측정된 조도와 숲틈 중앙부에서 측정된 조도 사이의 상대값을 구하여 상대조도로 삼았다.

토양수분함량은 조도를 측정할 지점에서 토심 5cm까지의 표토를 채취하여 칭량병에 담아 105℃ 건조기에서 48시간 건조시킨 후 습도양에 대한 수분량의 증량 백분률로 구하였다.

결과 및 논의

교란체제

숲틈이 형성되는 과정을 직접 관찰할 수는 없지만 숲틈형성목의 고사유형으로부터 그 원인을 추정할 수 있다.

영월지역 소나무림에서는 입목고사형(standing dead type), 도목형(uprooted type) 및 간절단형(stem broken)이 각각 53.6%, 25.8% 및 19.4%로 나타났고, 만수산에서는 각각 63.5%, 19.2% 및 17.3%로 나타났으며, 속리산에서는 입목고사형만 발견되었고, 울진에서는 입목고사형과 간절단형이 각각 75.0%와 25.0%로 나타났으며, 오봉산에서는 입목고사형, 도목형 및 간절단형이 각각 71.4%, 21.4% 및 7.2%로 나타났다 (Table 1). 즉, 본 연구를 수행한 모든 지역에서 숲틈형성목의 고사유형은 입목고사형이 50% 이상을 차지하였고, 도목형, 간절단형의 순서로 그 비율이 낮아졌다.

숲틈형성목의 고사에는 식물체의 노화와 관계된 내부요인과 태풍, 선풍, 눈, 강우 등의 외부요인이 영향을 미치는데, 일반적으로 외부 교란요인이 강하게 작용하면 도목형이나 간절단형의 출현빈도가 높은 것으로 알려져 있다 (Nakashizuka 1984). 따라서 본 연구를 수행한 지소에서 입목고사형의 비율이 높은 것은 외부 교란요인 보다는 내부 교란요인이 숲틈형성에 중요한 역할을 하고 있음을 반영한다.

입목고사형과 간절단형의 고사원인은 다음과 같이 생각할 수 있다. 즉, 나무는 나이가 증가함에 따라 여러 가지 원인으로 인하여 줄기의 속이 부패되어 그곳의 재질이 약해지거나 빈 공간으

Table 1. Death patterns of gap-makers in *Pinus densiflora* forests

Sites	Death patterns of gap-makers		
	Standing dead	Uprooted	Stem broken
Youngwol	37(53.6%)	19(27.5%)	13(18.8%)
Mt. Mansu	33(63.5%)	10(19.2%)	9(17.3%)
Mt. Songni	5(100.0%)	-	-
Uljin	3(75.0%)	-	1(25.0%)
Mt. Obong	10(71.4%)	3(21.4%)	1(7.2%)

로 남는다 (Harper 1977, Oliver and Larson 1990). 이러한 상태의 나무에 바람과 같은 외부 교란요인이 가해지면 수관을 지탱하고 있던 줄기가 부러져 간절단형 고사체가 발생하기도 하고, 뒤틀리면서 줄기가 갈라져 나무의 물질 수송기능이 파괴되어 입목고사형 숲틈 형성목이 생기기도 한다. 이때 후자의 경우는 시간이 경과하면 줄기가 부러져 쓰러지게 될 것이다. 따라서 이러한 사실을 감안하면 입목고사형의 비율은 더 증가될 것으로 생각된다.

한편, 도목형의 발생원인은 본 연구를 수행한 지소가 산지의 능선부나 정상부의 노암지로서 얇은 토심에 기인한 근계의 발달 부진으로 생각할 수 있다 (Nakashizuka 1984). 그리고 석회암 지대인 영월지역은 석회암토양의 주요 구성성분인 CaCO_3 와 MgCO_3 가 토양수층의 CO_2 및 H_2O 와 결합하여 형성된 HCO_3^- 에 의한 뿌리생장 억제효과도 생각할 수 있다 (Larcher 1980, Anderson 1982).

소나무의 수명

자연적으로 형성되는 숲틈은 식물의 노화와 외부 교란요인이 함께 작용하여 형성된다 (White 1979, Nakashizuka 1984, Runkle 1985). 따라서 자연적 교란에 의해 숲틈을 형성한 개체를 생태적 수명이 다하여 고사된 것으로 간주하여 그들의 연령분포를 분석하여 소나무의 수명을 판정하였다 (Fig. 2).

숲틈형성목의 연령은 116~165년 사이에 분포하였고, 그들의 평균연령은 약 140년이였다. 즉, 본 연구를 수행한 장소와 같이 소나무림의 자연적 재생이 이루어지는 전형적인 소나무림 형성지에서 그것의 생태적 수명은 140년 정도로 평가되었다. 세계 대부분 지역의 삼림식생에서 우점종의 수명은 100~1,000년이고(Budowski 1965, Fowells 1965, Ashton 1969, Harper and White 1974), 온대 낙엽활엽수림을 이루는 나무의 평균수명은 약 300년으로 알려지고 있다 (Jones 1945).

본 연구에서는 얻어진 소나무의 수명은 온대 낙엽활엽수의 50% 수준이었는데, 이러한 차이는 소나무가 천이 초기종이기 때문인 것으로 판단된다 (Egler 1954, Pianka 1970). 그리고 이러한 생활사 특성 외에 소나무가 토지극상림으로 존재하는 지소의 열악한 환경조건도 그들의 생태적 수명에 영향을 미칠 것으로 판단된다.

숲틈의 크기

숲틈의 크기분포도는 그 크기계급을 25m^2 간격으로 구분하여 각 크기계급의 빈도분포로 작성하였다 (Fig. 3).

숲틈의 크기는 교란 후 재생의 형태 및 재생되는 종을 결정하는 중요한 요인이 된다. 숲틈의 최소 크기에 대하여 Nakashizuka와 Numata(1982)는 0m^2 에 가깝다고 하였는데, 이러한 견해는

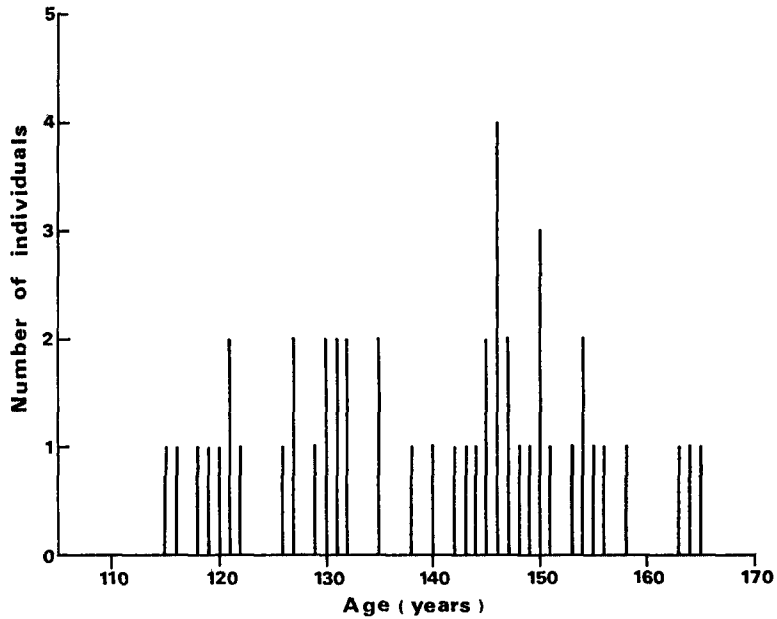


Fig. 2. Age distribution of gap makers.

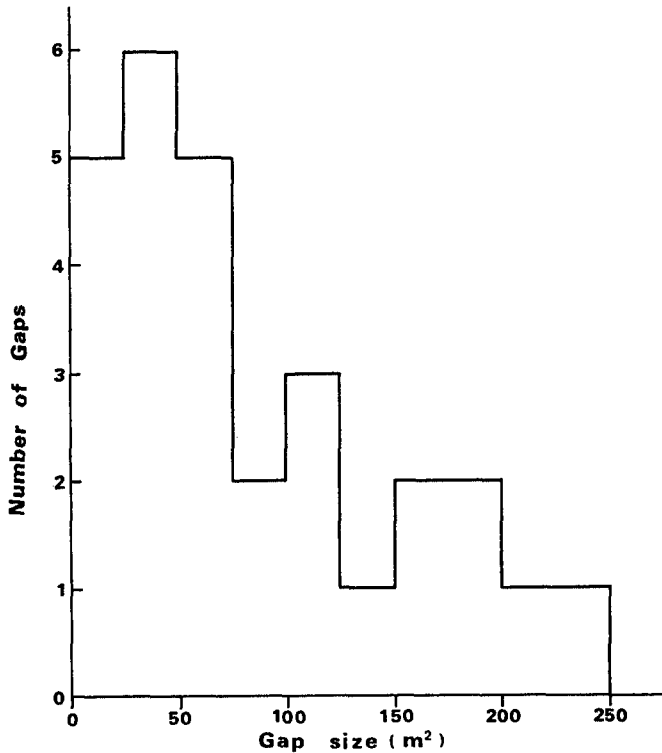


Fig 3. Size distribution diagram of gaps formed in *Pinus densiflora* forest.

숲틈을 “임관 형성 개체가 고사되어 형성된 공간 내로 새로운 개체들이 유입되고 있는 지소”라고 정의한 Watt(1947)의 견해와 다소 다르다. 본 연구에서 숲틈의 최소 크기는 나무 1개체가 고사되어 만들어진 크기로 정하였다. 숲틈의 크기분포는 20m²에서 235m²까지 분포하였는데, 숲틈의 크기를 조사한 28개의 숲틈 중 1개체 이하의 나무가 고사되어 형성된 25m²이하의 숲틈이 5개로서 전체의 18%를 차지하였다. 25~50, 50~75, 75~100, 100~125, 125~150, 150~175, 175~200, 200~225 및 225

~250m²인 숲틈은 각각 6개(21%), 5개(18%), 2개(7%), 3개(11%), 1개(4%), 2개(7%), 2개(7%), 1개(4%) 및 1개(4%)로서 2개체 이상의 나무가 고사하여 형성된 25m² 이상의 숲틈이 전체의 80% 이상을 차지하였다.

숲틈의 재생에서 1개체 이하의 나무가 고사하여 형성된 25m² 이하의 숲틈은 유식물의 보충에 의해 메워지기 전에 숲틈 주변목의 가지 생장에 의해 메워질 것으로 평가되었는데(이 1995), 그것이 차지하는 비율은 20% 이하로 낮았다. 따라서 본 연구를 수행한 지소에서 대부분의 숲틈은 유식물의 보충에 의해 재생될 것으로 판단되었다. 그러나 본 연구를 수행한 지역은 이미 교란체제를 분석한 결과에서 언급한 바와 같이 외부 교란요인의 영향을 크게 받지 않는 것으로 평가되었다(이 1995). 따라서 큰 숲틈의 형성원인을 다른 요인에서 찾아야 할 것으로 판단된다. 대부분의 숲틈은 중복된 교란의 영향으로 중복틈(multiple gap)으로 발전하는 것으로 알려져 있다(Komiyama *et al.* 1981, Runkle 1985). 즉, 자연적으로 형성되는 숲틈이 처음에는 1개체의 고사 또는 도목에 의해 발생하는 소규모 숲틈이다. 이러한 숲틈이 발생하기 전의 삼림은 상층의 임관이 서로 연결된 상태로서 숲내부로 유입되는 바람이 효과적으로 차단된다. 그러나 교란으로 인하여 임관이 열리면 그 안으로 바람이 비교적 용이하게 유입되고 그밖의 다른 교란요인도 작용하여 숲틈 주변에 있는 나무가 더 쉽게 교란의 영향을 받게 된다(Runkle 1985). 그리고 소나무는 동령림을 형성하기 때문에 어느 한 나무가 성숙하여 교란에 예민한 상태가 되면 그 주변의 나무도 유사한 상태에 있기 때문에 이것 또한 중복틈 발생의 요인이 된다(Peet and Christensen 1980). 본 연구를 수행하는 과정에서 발견된 숲틈 중 최근에 형성된 것으로서 고사된 숲틈형성목의 수를 알 수 있는 숲틈은 대부분 1~2개체의 숲틈형성목의 고사로 발생한 숲틈이었다. 따라서 본 조사지소에서 발견된 큰 숲틈 중 많은 것이 중복된 교란으로부터 발생한 중복틈으로 추정되며, 이러한 중복틈은 양수인 소나무림의 재생에 크게 기여할 것으로 판단되었다.

숲틈내의 환경요인

숲틈을 가로질러 1m 간격으로 측정한 조도 및 토양수분함량을 숲틈 중앙의 값에 대한 상대값으로 계산하여 Fig. 4에 나타내었다. Fig. 4에서 보면 상대조도와 토양수분함량이 모두 숲틈의 중심부에서 높고 그곳에서 멀어질수록 낮아졌다.

숲틈이 형성되면 그 내부는 조도, 온도, 수분, 바람 등 여러 가지 환경요인이 변하는데, 숲틈내에서는 교란되지 않은 숲에서 보다 조도가 높고, 햇빛을 받는 시간이 길며, 유입되는 광의 질도 다르다(Denslow 1980, Brokaw 1985). 그리고 토양수분함량도 더 높는데, 그 원인은 숲틈을 형성하는 나무의 고사로 그러한 나무의 뿌리에 의한 흡수 및 증산량이 감소되기 때문이다(Lee 1978).

소나무는 태양방사량이 많은 환경에서 잘 자란다(Koyama 1943, Shirley 1945, Jackson 1959). 한편, 소나무는 토양수분에 대한 건조저항이 크지만 종자의 발아 및 초기 정착과정에는 토양수분이 중요하게 작용하고, 유식물의 연령이 증가함에 따라 광강도가 중요하게 작용한다(Koyama 1943). 따라서 이와 같이 숲틈안, 특히 숲틈의 중심부에서 상대조도와 수분함량이 높은 것은 숲틈에서 소나무 유식물의 정착 및 재생에 중요한 요인으로 작용할 것으로 판단된다.

적 요

강원도 영월, 충북 만수산과 속리산, 경북 울진 및 경남 오봉산의 소나무림에서 숲틈 형성목의

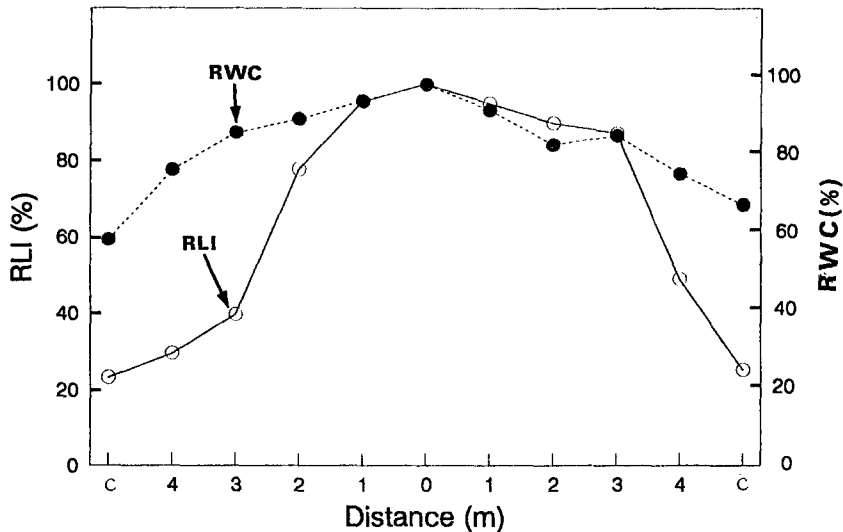


Fig. 4. Changes of the relative light intensity(RLI) and water content in soil(RWC) according to the distance from the center of gap. 0, numbers from 1 to 4 and C indicate the center of gap, distances from the center of gap and closed canopy.

고사유형 및 숲틈형성에 의한 환경요인의 변화를 조사하였다.

입목고사형, 도목형 및 간절단형의 3가지로 구분하여 숲틈 형성목의 고사유형을 조사하였는데, 전 조사지역에서 입목고사형의 출현빈도가 50% 이상으로 가장 높았고, 도목형, 간절단형의 순서로 그 빈도가 낮아졌다. 본 연구를 수행한 지소에서 소나무의 생태적 수명은 약 140년으로 평가되었다. 숲틈의 크기는 20m²에서 235m²까지 분포하였고, 80% 이상의 숲틈이 2개체 이상의 나무의 고사로 형성된 숲틈이었다. 숲틈지역은 임관이 닫힌 비숲틈지역과 비교하여 조도와 토양수분함량이 높았으며, 그 값은 숲틈의 중앙부에서 더 높았다.

참고문헌

- 이창석. 1995. 한국 소나무림에서의 교란 후 재생과정. 한생태지 18:189-201.
- 이창석, 김홍은. 1989. 소나무림의 천연하종갱신을 위한 생태학적 연구. 충북대학교 농업과학연구 7:100-109.
- Anderson, C.A. 1982. The effect of calcium on the germination, growth and mineral nutrition of acidic and calcareous population of *Eucalyptus obliqua* L'Herit. Plant and Soil 69:213-223.
- Ashton, P.S. 1969. Speciation among tropical forest trees: some deductions in the light of recent evidence. Biol. J. Linn. Soc. 1:155-196.
- Brokaw, N.V.L. 1982. Tree falls: Frequency, timing and consequences. In E.G. Leigh Jr., A.S. Rand and D.M. Windsor (eds.). The ecology of a tropical forest: Seasonal rhythms and long-term changes. Smithsonian Inst. Press, Washington, D.C. pp.101-108.

- 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.
- Budowski, G. 1965. Distribution of tropical American rain forest species in the light of successional processes. *Turrialba* 15:40-42.
- Canham, C.D. 1985. Suppression and release during canopy recruitment in *Acer saccharum*. *Bull. Torrey Bot. Club* 112:134-145.
- Clements, F.E. 1916. Plant succession: An analysis of the development of vegetation. Carnegie Inst. Press, Washington D.C. 512p.
- Denslow, J.S. 1980. Patterns of plant species diversity during succession under different disturbance regimes. *Oecologia* 46:18-21.
- Egler, F.E. 1954. Vegetation science concepts. I. Initial floristic composition, a factor in old-field vegetation development. *Vegetatio* 4:412-417.
- Fowells, H.A. 1965. Silvics of forest trees of the United States. USDA Forest Service Agriculture Handbook No. 271, 762p.
- Godron, M. and R.T.T. Forman. 1983. Landscape modification and changing ecological characteristics. *In* H.A. Mooney and M. Godron (eds.). Disturbance and ecosystems. Springer-Verlag, Berlin. pp.12-28.
- Halle, F.R., A.A. Oldeman and P.B. Tomlinson. 1978. Tropical trees and forests: an architectural analysis. Springer-Verlag, Berlin. (Cited by Runkle, J.R. 1985).
- Harper, J.L. 1977. Population biology of plants. Academic Press. New York. 892p.
- Harper, J.L. and J. White. 1974. The demography of plants. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 5:419-463.
- Jackson, L.W.R. 1959. Relation of pine forest overstory opening diameter to growth of pine reproduction. *Ecology* 40:478-480.
- Jones, E.W. 1945. The structure and reproduction of the virgin forest of the north temperate zone. *New Phytol.* 44:130-148.
- Komiyama, A., T. Ande and A. Ono. 1981. Studies on the dynamics of the subalpine coniferous forest in Mt. Ontake. II. The analysis of tree falling. *Res. Bull. Fac. Agr., Gifu Univ.* 45:307-321. (Cited by Nakashizuka, T. 1984).
- Koyama, N. 1943. Licht und Bodenwasser in ihrer Wirkung als Groundfaktor auf Die Kiefernaturverjüngung. Forestry Experiment Station of the Government-General of Korea. 65p.
- Larcher, W. 1980. Physiological plant ecology. (2nd ed.). Springer-Verlag, Berlin. 303p.
- Lee, R. 1978. Forest microclimatology. Columbia Univ. Press, New York. (Cited by Runkle, J.R. 1985).
- Nakashizuka, T. 1984. Regeneration process of climax beech (*Fagus crenata* Blume) forests. IV. Gap formation. *Jap. J. Ecol.* 34:75-85.
- Nakashizuka, T., and M. Numata. 1982. Regeneration process of climax beech forest. I.

- Structure of a beech forest with the undergrowth of *Sasa*. *Jap. J. Ecol.* 32:57-67.
- Oldeman, R.A.A. 1978. Architecture and energy exchange of dicotyledonous trees in the forest. *In* P.B. Tomlinson and M.H. Zimmerman (eds.). *Tropical trees as living systems*. Cambridge Univ. Press, London, pp.535-560.
- Oliver, C.D. and B.C. Larson. 1990. *Forest stand dynamics*. McGraw-Hill Inc., New York, 467p.
- Peet, R.K. and N.L. Christensen. 1980. Succession: a population process. *Vegetatio* 43:131-140.
- Pianka, E.R. 1970. On r- and K-selection. *American Naturalist* 104:592-597.
- Runkle, J.R. 1982. Patterns of disturbance in some old-growth mesic forest of eastern North America. *Ecology* 63:1533-1546.
- 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, New York. pp.17-34.
- Runkle, J.R. 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.
- Shirley, H.L. 1945. Reproduction of upland conifers in the lake status as affected by root competition and light. *Amer. Midl. Nat.* 33:537-612.
- Sousa, W.P. 1984. The role of disturbance in natural communities. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 15:353-391.
- Spurr, S.H. and B.V. Barnes. 1980. *Forest Ecology* (3rd ed.). Wiley, New York. 687p.
- Watt, A.S. 1947. Pattern and process in the plant community. *J. Ecol.* 35:1-22
- White, P.S. 1979. Pattern, process and natural disturbance in vegetation. *Botanical Review* 45:229-299.
- White, P.S. and S.T.A. Pickett. 1985. Natural disturbance and patch dynamics: an introduction. *In* S.T.A. Pickett and P.S. White (eds.). *Disturbance and patch dynamics*. Academic Press, New York. pp.3-13.
- Whitmore, T.C. 1975. *Tropical rain forests of the Far East*. Clarendon, N. Y.

(1995년 2월 10일 접수)