

파이토그램을 이용한 월악산 기후요소, 토양환경 및 수목생장 장기간 모니터링

박 원 규 · 서 정 욱

충북대학교 산림과학부

Long-Term Monitoring of Climatic and Soil Factors, and Tree Growths in Worak Mountain Using Phytogram System

Won-Kyu Park and Jeong-Wook Seo

School of Forest Resources, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea

요 약

Phytogram을 이용하여 월악산에 자라는 침엽수류의 비대생장과 형성층의 전기화학적 활성을 기온, 토양수분, 토양온도, 광량 등과 함께 1996년 5월부터 1998년 10월초까지 28개월간 1시간 간격으로 연중 모니터링 함으로써, 이들 수목의 생장에 관여하는 기후인자를 추출하여 연륜을 이용한 고기후 복원과 기후변화(온난화와 강수량 변화)에 따른 수목생장 예측자료로 활용하고자 하였다.

Phytogram은 미세전극을 식물체의 사부와 목부 사이에 삽입하여 형성층에서의 산소, 수소이온, 수분을 측정하는 전기화학적 시스템으로 운용되는 기기로서 토양수분, 토양온도, 기온, 광량 등 환경조건과 수목의 비대생장을 기록할 수 있었다.

직경생장개시 시기는 낙엽송, 소나무, 리기다소나무 순이었다. 3 수종 모두 성장초기 성장속도가 빠르며 이때의 환경조건이 이들 수종의 성장량에 가장 큰 영향을 주었다. 즉 장마철 이전(5월과 6월)의 수분조건이 성장량을 가장 크게 좌우하였다.

Dendrometer(직경생장)와 proton(수소이온)은 증산작용에 의해 아침부터 오후까지 감소하여 16시에 최저가 되고, hydration(수분)은 아침부터 증가하기 시작하여 16시에 최대가 되었다.

ABSTRACT

Using the phytogram system, this study monitored hourly environmental factors(climate and soil), and radial growths and cambium activities of conifers in Worak mountain for 28 months from May 1996 to October 1998 to examine the influences of climatic factors on tree growths/cambium activities of conifers in Worak Mountain, Korea. The phytogram system first puts a fine electrode into cambial zone. This device can automatically record environmental factors and cambium electrochemistry(hydration and proton levels). Dendrometers are attached to the phytogram for

*본 연구는 농림부 농림기술개발사업 (과제번호: 295076-5)의 지원과 충북대 연구교수 과제로 수행되었음.

monitoring seasonal dynamics of cambial growth.

We compared the results of radial growth by species and by diameter class. The growth decreased in order of *Larix leptolepis*, *Pinus densiflora* and *Pinus rigida*. Pre-monsoon growths were fast and May-June moisture regime was the most critical for all species. In the middle of September, radial growths were finished.

The proton level and stem diameter reached the minimum at 4 p.m. On the other hand, the hydration level reached the maximum at 4 p.m. This diurnal change resulted from transpiration and the release of water from phloem storage to sapwood through xylem stream.

서론

본 연구에서는 컴퓨터로 제어되는 자동측정장치인 phytogram (Gensler, 1999)을 이용하여 월악산에 자라는 침엽수류의 비대생장과 형성층의 전기화학적 활성을 기온, 토양수분, 토양온도, 광량 등과 함께 연중 모니터링함으로써, 이들 수목의 생장에 관여하는 기후인자를 추출하여 연륜을 이용한 고기후 복원과 기후변화(온난화와 강수량 변화)에 따른 수목생장 예측자료로 활용하고자 하였다.

Phytogram(Fig. 1)은 직경이 $150\mu\text{m}$ 인 전극을 식물체의 사부와 목부 사이에 삽입하여 형성층에서의 산소, 수소이온, 수분을 측정하는 전기화학적 시스템으로 운용되는 기기로서 토양수분, 토양

온도, 기온, 광량 등 환경조건까지도 자동 측정할 수 있다. 또한 덴드로미터까지 부착할 수 있어 수목의 비대생장도 기록할 수 있다 (Fig. 1). 임지에서는 광전지로 작동되는 장치로 연중 측정치를 메모리칩에 저장하게 된다.

본 연구에서는 1996년 5월부터 1998년 10월초까지 28개월간 1시간 간격으로 기온, 토양수분, 광량 등의 환경요소가 형성층 활성에 미치는 영향에 대해서 관측을 하였으며, 수종간의 성장 차이와 우세목과 피압목의 성장 차이, 형성층에서의 하루 동안 직경생장변화와 hydration(수분) 그리고 proton(수소이온)의 변화를 비교하였다.

재료 및 방법

충북 월악산 충북대 연습림 (절골지구 조림지,

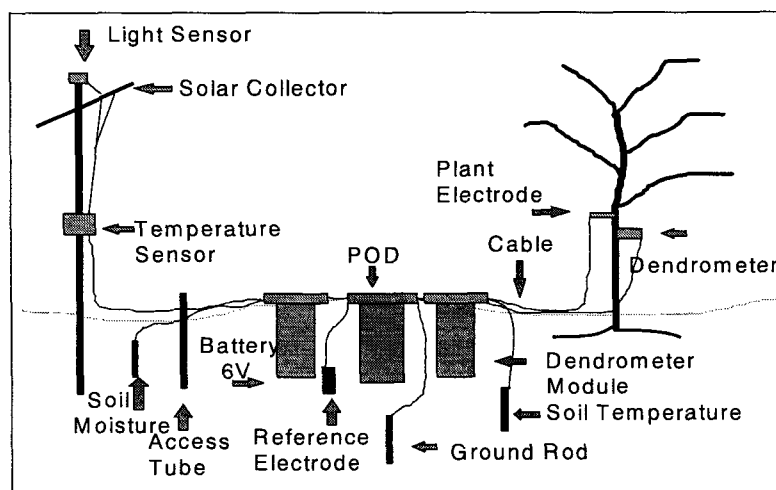


Fig. 1. Diagram of phytogram system.

128.20'E 36.45'N: 해발 550m, 남향, 경사 10~20도, 토층 20~30cm)에 자라고 있는 낙엽송, 리기다소나무, 소나무를 연구대상으로 1996년 5월부터 1998년 10월까지 약 28개월간의 기온, 토양수분, 광량, 토양기온 등의 환경요소와 형성층대에서의 수소이온 농도, 수분 그리고 비대생장을 포인트형 덴드로미터가 부착된 Phytogram II 시스템(미국 Agricultural Electronics 사)을 이용하여 15분 간격으로 측정하였다(Fig. 3). 150 μm 정도 두께의 미세한 Phytogram 전극센서는 수피를 약 1cm \times 1cm 부분 제거후 형성층대에 삽입한 후 타르로 봉합하였다. Phytogram 전체 시스템 구성은 다음과 같다 (Fig. 1).

- POD (컴퓨터 내장 데이터 수집장치) 1대
- 태양전지팩 1대, 12V 축전지 1대
- Phytogram sensor (낙엽송 9본, 리기다소나무 8본, 소나무 5본)
- Dendrometer (직경생장기록장치) 모듈 1대
- 환경인자 센서(대기기온 1개, 토양기온 3개, 토양수분 2개, 광량 1개)

Phytogram system의 핵심부분인 POD는 전극 전위, 전극용량, 현재 전위값을 측정하는 전기화학 적 시스템이다. POD는 48개의 다른 입력장치로부터 18개월 동안 데이터를 축적할 수 있다. POD의 48개핀 중 45개는 $-2,047\text{mV} \sim +2,047\text{mV}$ 범위 사이의 voltage data를 받아들인다. POD는 매 15분 간격으로 측정한 데이터 4개씩의 평균을 내어 1시간마다 저장하였다.

노트북 컴퓨터의 RS-232 통신포트를 이용하여 POD와의 통신을 한다. 노트북 컴퓨터의 Pplus 프로그램을 실행시켜 데이터를 받고, 전송받은 데이터는 Foxpro program을 이용하여 변환시켰다. 변환 후에는 다음과 같은 5개의 파일이 출력되는데 pod-pot.wk1은 원본 데이터의 모든 potential reading을 포함한다. Pod-cap.wk1은 hydration data를 나타내고, 나머지 pod-ecr.wk1, pod-scp.wk1, pod-cor.wk1 세 파일은 전류측정의 결과를 포함하고 있는 데이터이다. 변환한 후에 출력된 파일은 spreadsheet형태로 출력되기 때문에 데이터

의 분석에는 Excel을 이용하여 분석하였다.

수종간 및 우세목과 피압목의 성장패턴의 차이, 형성층에서의 계절별 및 하룻동안 직경성장변화와 hydration (수분), proton (수소이온 농도)의 변화를 비교하였다.

1996. 7. 15~8. 14, 1997. 6. 1~6. 26, 1997. 8. 5~9. 5, 10. 5~10. 31일의 자료는 낙뢰에 의한 기계고장으로 결측되었다.

결 과

Dendrometer 관찰

수종별로 dendrometer를 비교한 결과, 우세목끼리 비교했을 때 (Fig. 2) 낙엽송이 8,500 μm 까지 제일 많이 자랐고, 그 다음이 소나무로 5,700 μm 까지 자랐고, 리기다소나무는 4,200 μm 까지 성장하였다. 준우세목으로 소나무와 리기다소나무를 비교했을 때, 소나무가 리기다소나무보다 2,000 μm 정도 더 자랐다. 피압목은 낙엽송과 리기다소나무를 비교하였는데 낙엽송이 600 μm 정도 많이 자란 것을 알 수 있었다. 그리고 리기다소나무는 준우세목이 가장 잘 자랐으며 피압목과는 1,200~2,500 μm 정도의 차이를 보였다. 덴드로미터에서 해석된 비대생장 개시는 낙엽송이 4월 중순, 소나무가 4월 말, 리기다소나무가 5월 초로 약 1주일 씩 차이가 있었으나 생장정지 시기는 비슷하였다.

동일 수종간의 dendrometer의 비교에서는 낙엽송의 경우 우세목이 잘 자라는 것으로 나타났는데 낙엽송의 경우는 우세목이 피압목보다 7,000 μm ~8,000 μm 정도 차이가 났다. 소나무는 우세목과 준우세목을 비교했는데 약 300 μm 정도의 차이가 났다. 그리고 리기다소나무는 준우세목이 가장 잘 자랐으며 피압목과는 2,000~3,000 μm 정도의 차이를 보였다.

기상 및 환경인자 측정

POD가 측정한 토양수분을 Fig. 3에 나타내었는데 강수량의 변화에 따라 민감한 반응을 보임을 알 수 있었다. Fig. 4는 POD가 측정한 1시간 간격

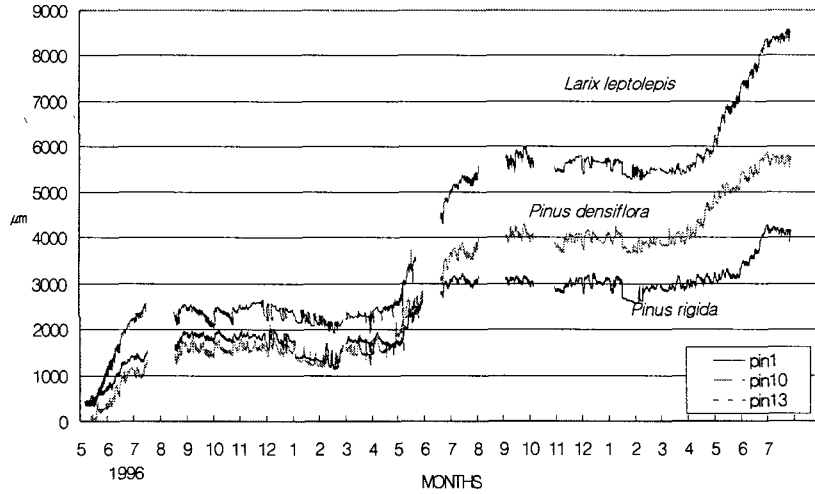


Fig. 2. Comparisons of three species radial growth changes observed by dendrometers: (dominant trees): *Larix leptolepis* (pin 1), *Pinus densiflora* (pin 10), *Pinus rigida* (pin 13).

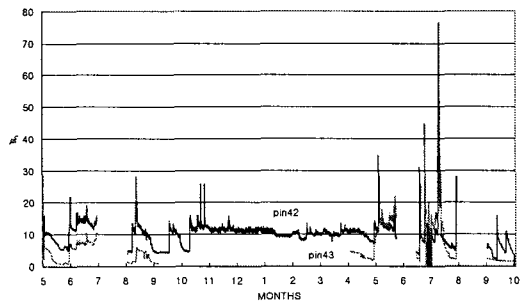


Fig. 3. Intraseasonal changes of moisture content in soil layer (1996~1997).

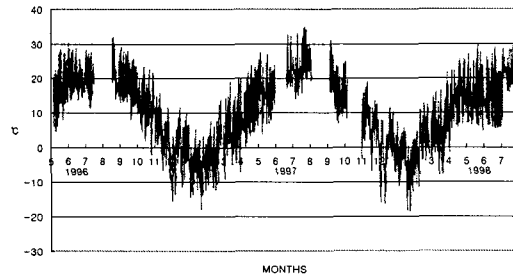


Fig. 4. Air temperature changes during 1996 ~1998 year (pin 46).

으로 측정된 대기기온이다. Fig. 5는 POD가 측정된 월악산 조림지역의 광량을 나타낸 것이다. Fig. 6은 POD가 측정된 토양기온을 측정된 것인데 대기기온에 비해 급격한 변동은 보이지 않았다.

형성층의 생리활성

형성층의 proton level을 Fig. 7에 나타내었는데, 4~5월에 가장 높게 나타났고, 그 다음에는 감소하는 것으로 나타났다. Fig. 8은 형성층의 hydration (수분)을 나타낸 것인데 겨울에는 최저

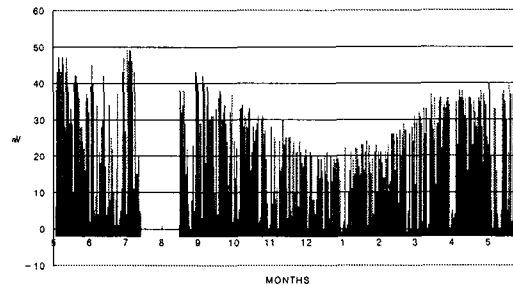


Fig. 5. Intraseasonal changes of light content during 1996~1997 year (pin 47).

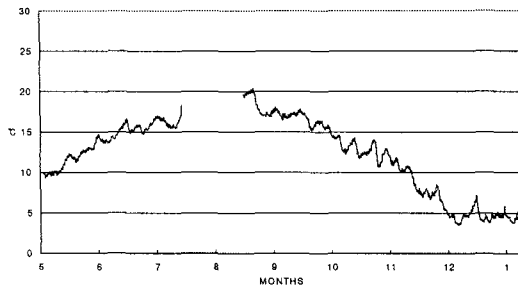


Fig. 6. Intraseasonal changes of soil temperature during 1996~1997 year.

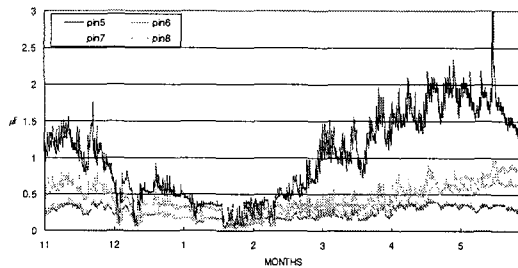


Fig. 7. Intraseasonal changes of proton level in cambium (1997~1998) : *Larix leptolepis*.

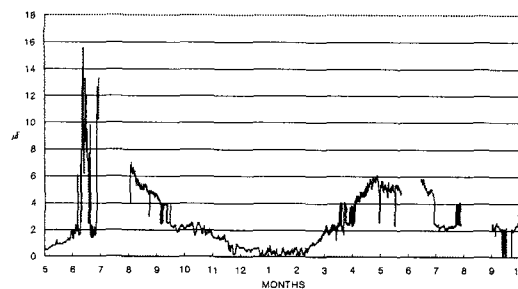


Fig. 8. Intraseasonal changes of hydration level in cambium (1996~1997): *Pinus rigida* (pin 31).

치를 기록하다가 봄부터 증가하기 시작하여 장마철인 6~7월에 최대가 되었다. 형성층대의 수분의 변화를 5일 간격으로 평균을 낸 것인데 겨울에는

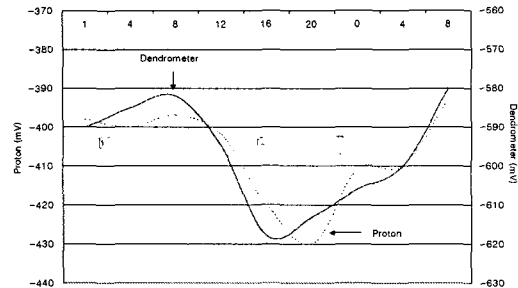


Fig. 9. Diurnal changes of radial expansion(dendrometer) and proton level (Phytogram): *Pinus densiflora* dominant tree.

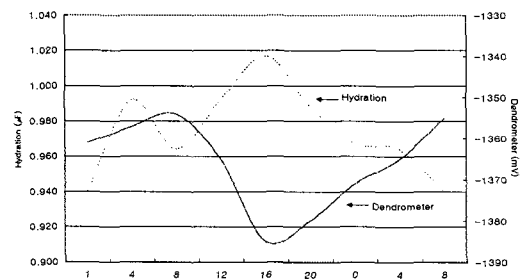


Fig. 10. Diurnal changes of radial expansion(dendrometer) and hydration level (Phytogram): *Larix leptolepis* small; suppressed dendrometer (pin 1), hydration (pin 36).

최저치를 기록하다가 3월부터 증가하기 시작하고 직경생장이 시작되는 4월말~5월초에 급격히 높아짐을 알 수 있고, 장마철에 최고가 되었다. 수분의 양은 리기다소나무가 가장 높았고, 그 다음이 소나무, 낙엽송의 순이었다.

Fig. 9는 48시간 동안의 dendrometer(직경생장)와 proton을 비교한 것으로 둘은 거의 같은 패턴으로 변화하였고, 아침부터 줄어들기 시작하여 16시경에 최저치를 기록하였다가 그 다음에는 다시 증가하였다. Dendrometer(직경생장)와 hydration(수분)을 비교하였을 때(Fig. 10)는 아침부터 증가하기 시작하여 16시경에 최대치를 이루고 그

후에는 감소하기 시작하였다.

소나무의 준우세목과 우세목의 dendrometer의 48시간 변화를 비교한 바, 우세목은 변화의 폭이 40mV 정도였고, 준우세목은 15mV 정도로 우세목이 변화가 컸다. Proton은 준우세목의 변화폭은 130mV~140mV 정도이고, 우세목은 30mV 정도로 준우세목의 변화폭이 더 컸다. Hydration 수준은 우세목은 거의 변화가 없었고, 준우세목은 0.2mV 정도의 변화폭을 보였다.

리기다소나무의 준우세목과 피압목의 dendrometer 비교에서는 준우세목의 변화폭이 20~25mV 정도이고 피압목은 10~17mV 정도로 준우세목의 변화가 컸다. 리기다소나무의 proton은 준우세목의 변화폭이 20~60mV이고, 피압목은 20mV 정도로 준우세목이 컸다. 리기다소나무의 hydration을 비교한 것인데 준우세목이 0.4mV이고, 피압목은 0.1mV로 준우세목의 변화폭이 더 컸다.

고찰

Dendrometer(직경생장)는 기온이 증가하는 4월말~5월초부터 급격히 증가(형성층 활성 개시)하다가 6월 중순~말경에 약간 감소하는데 이 시기에 강수량이 많았던 것으로 보아 기온과 광량의 영향인 것으로 판단되고, 7월 중순~말에 일시적으로 감소하는 것은 이때 기온은 일정했지만 강수량이 매우 작았던 걸로 미루어 강수량이 원인인 것으로 생각된다.

직경생장은 4월부터 5월 중순까지는 50%의 성장을 보이고, 6월말까지는 80% 그리고 그후 9월 초·중순까지 나머지의 생장이 이루어짐을 알 수 있다. 성장 둔화 시에 기후조건을 보면 강수량은 약간 감소하고 평균기온은 19.7°C 정도인 것을 알 수 있었고, 광량은 9월초부터 현저하게 저하되는 것을 알 수 있었다. 연구대상인 3수종 모두 성장초기 성장속도가 가장 빠르며 이때의 환경조건이 이들 수종의 성장량에 가장 큰 영향을 준다. 즉 장마철 이전의 기후조건 변화가 성장량을 가장 크게

좌우하는 것으로 유추된다. 기후인자와 연륜과의 상관 분석 결과에서도 우리나라 소나무의 비대생장은 5월~6월 강수량과 가장 유의한 정의 상관을 갖는 것으로 나타났다 (Park 등, 1999).

우세목과 피압목의 비대생장 비교에서는 피압목이 우세목에 비해 월등히 잘 자라지 않는 것으로 나타났는데 이것은 예상되었던 결과이나 생장 속도뿐만 아니라 생장기간의 차이도 발견되었다. 피압목의 경우는 우세목보다 훨씬 빠른 8월경에 생장이 둔화되는 것을 알 수 있다. 이것을 볼 때 피압목의 생장정지는 기온이나 강수량보다 광량에 의한 영향이 큰 것으로 보인다.

하루치의 dendrometer와 hydration, proton level을 관찰한 결과 dendrometer와 proton은 아침부터 오후에 걸쳐 감소하여 16시에 최저가 되고, hydration은 아침부터 증가하기 시작하여 16시에 최대가 된다. 이것은 증산작용에 의해 직경생장은 감소하다가 증산작용이 최대에 달하는 16시에 최저가 되며, hydration이 증가하는 것은 증산작용이 일어나면서 수피에 저장되었던 물이 변재부분의 xylem stream으로 방출되기 때문이다 (Downes 등, 1999; Gensler, 1999). 줄기에서는 아침~이른 오후에 물을 방출하고 늦은 오후와 밤에 물을 재충전한다 (Kozlowski 등, 1997; Nobel, 1991).

본 연구에서 관측된 기상인자와 형성층의 활성 및 비대생장과의 관계는 향후 연륜을 이용한 고기후 복원과 기후변화(온난화와 강수량 변화)에 따른 수목생장 예측자료로 활용할 수 있을 것이다.

참고문헌

- Downes, G. M., Beadle, C., Gensler, W., Mummery, D. and Worledge, D. 1999. Diurnal variation and radial growth of stems in young plantation eucalypts. In *Tree-Ring Analysis* (eds. R. Wimmer and R. E. Veitter), CAB International Pub., Oxon, U. K., pp.83-10.

- Gensler, W. 1999. Measuring and interpreting diurnal activity in the main stem of trees. In *Tree-Ring Analysis* (eds. R. Wimmer and R.E. Vetter), CAB International Pub., Oxon, U.K., pp.55-82.
- Park, W.-K., Yadav, R. R. and Ovtchinnikov, D. 1999. Influence of climatic factors on the radial growth of *Pinus densiflora* from Sogni Mountains in central Korea. In *Tree-Ring Analysis* (eds. R. Wimmer and R.E. Vetter), CAB International Pub., Oxon, U.K., pp.287-297.
- Kozłowski, T. T., Kramer, P. J. and Pallardy, S. G. 1997. *The Physiological of Woody Plants*, Academic Press, San Diego.
- Nobel, P. S. 1991. *Physicochemical and Environmental Plant Physiology*, Academic Press, San Diego, U.S.A.

(Accepted: October 10, 2000)