

내장산 지역 굴거리나무의 연륜생장과 기후요소와의 관계

구경아* · 박원규** · 공우석*

*경희대학교 문리과대학 지리학과

**충북대학교 농과대학 산림과학부

Growth of *Daphniphyllum macropodum* and Climatic Factors at Mt. Naejang, Korea

Kyung-Ah Koo, Won-Kyu Park* and Woo-Seok Kong

*Department of Geography, Kyunghee University, Seoul 130-701, Korea

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

요 약

굴거리나무의 연륜생장과 기후와의 관계를 조사하기 위하여 굴거리나무의 분포상 북방한계선 지역인 내장산에서 연륜분석을 실시하였다. 연륜분석을 실시하기 위하여 연자봉 지역에 분포하고 있는 18그루의 굴거리나무에서 성장편을 각 2개씩 채취하였다. 굴거리나무의 연륜을 분석한 결과 마스터 연대기의 연대 구간은 1915년부터 성장편의 채취시기인 1998년으로 작성되었으며, 생장이 매우 저조했던 시기는 1920년, 1932년, 1934년, 1937년, 1942년, 1946년, 1964년, 1969년, 1985년으로 나타났다. 반응 함수를 이용하여 연륜 지수와 기후요소와의 관계를 분석한 결과, 8월 및 9월 강수량과 음의 관계를 갖는 것으로 나타났다. 굴거리나무의 생장이 8월 및 9월 강수량과 음의 관계를 갖는 것은 이 시기에 강수량이 많아 상대적으로 일사량이 적어지고 적은 일사량은 광합성량을 감소시켜 굴거리나무의 생장에 부정적인 영향을 미쳤기 때문인 것으로 추정된다.

ABSTRACT

The growth of *Daphniphyllum macropodum* at Mt. Naejang National Park(Naejang temple area) was investigated in connection with the climatic factors by the use of tree-ring analysis. A pair of cores was extracted from each of 18 trees in the *D. macropodum* community area near Younjabong for the analysis. The period of master chronology based upon *D. macropodum* covers from 1915 to 1998. The growth rates of *D. macropodum* were very poor in the years 1920, 1932, 1934, 1937, 1942, 1946, 1964, 1969 and 1985, respectively.

Response function was employed to understand the relationship between the growth of *D. macropodum* and climatic factors. The response function of the growth rates of *D. macropodum* indicated significant negative correlation with the precipitation of August and September. Poor growth of *D. macropodum* during the August and September may be due to the frequent rain periods during the summer. The heavy rain during the summer seems to decrease the solar radiation,

which eventually caused the decrease of photosynthesis capacity. In conclusion, we hypothesize that the decrease of the photosynthesis rates during the rainy summer seasons may cause the slower growth of *D. macropodium*.

서론

한반도에서 상록활엽수에 대한 연구는 植木秀幹(1933, 1941a, 1941b)에 의해서 시작되었으며, 그후 난대성 상록활엽수의 분포 북한계선과 기후요인에 대한 연구가 지리학자에 의해서 수행된 바 있으나(공우석 외, 1984) 생태학자와 식물사회학자 등에 의해서 주로 이루어졌다(김종홍, 1988; 김철수·오장근, 1990a, 1990b, 1991, 1992; 임윤희, 1999). 이들의 연구는 식물의 생장에 물리적 환경이 매우 중요함을 인식하고 있으나 식물의 군집구조의 분석과 중간 경쟁에 대한 연구가 주를 이루고 있다. 그러나 수목의 생육조건에 대한 정확한 정보를 얻기 위해서는 수목 개체마다 생장에 영향을 미치는 환경적 인자들에 대한 연구가 필요하며, 이러한 연구가 국내에서는 아직 미진한 상태이다. 특히 굴거리나무의 경우는 임윤희(1999)의 연구를 제외하고는 거의 종자발아와 재배에 관한 연구만이 이루어진 상태로 생장에 영향을 미치는 환경인자에 대한 연구가 필요한 상황이다(이호선·곽병화, 1992; 강훈, 1992; 박노복 외, 1993).

본 연구에서는 미지형에서 굴거리나무의 분포에 영향을 미치는 환경요인을 조사하기 위하여 환경 제한 인자에 매우 민감하게 반응하는 분포 북한계지역인 내장산 지역을 연구지로 선정하고, 연륜분석을 실시하였다.

연륜분석은 수목마다 매해 형성되는 연륜의 폭을 측정하여 연륜폭의 변동과 기후요소의 변동을 비교하여 수목의 생장에 영향을 미치는 기후요소를 추출하는 것이다. 본 연구에서는 굴거리나무의 생장과 기후와의 관계를 알기 위하여 반응함수를 이용하였다. 반응함수는 나무가 기후에 반응하는 양태를 통계학적으로 분석하는 것으로 이것을 통하여 연륜생장과 기후와의 관계를 개괄적으로 파

악할 수 있으며, 최근에는 Guiot(1991)가 부스트랩(bootstrap)방법을 반응함수에 적용하여 반응함수의 신뢰성을 더욱 향상시켰다(박원규·서정욱, 1999).

재료 및 방법

연구지

내장산 국립공원은 북위 35° 24'~35° 41', 동경 126° 49'~126° 56'로 전라북도 정읍시, 순창군과 전라남도 장성군에 속해 있다. 내장산 국립공원에서 굴거리나무의 군락지가 발달해 있는 지역인 내장사 지역은 굴거리나무의 분포 북한계지역이다.

내장산 국립공원은 노령산맥의 일맥으로서 해발고도 600~800m의 산악지대를 형성하고 있으며, 산 높이에 비하여 사면의 경사가 매우 급하고 험준한 특징을 보인다. 내장산의 최고봉은 신선봉으로 해발고도 763.2m이며, 내장사를 중심으로 북사면에 장군봉(696.2m), 연자봉(675m), 신선봉, 까치봉(717m)과, 남사면에 연지봉(670.6m), 망해봉(650m), 불출봉(610m), 서래봉(622m), 월령봉

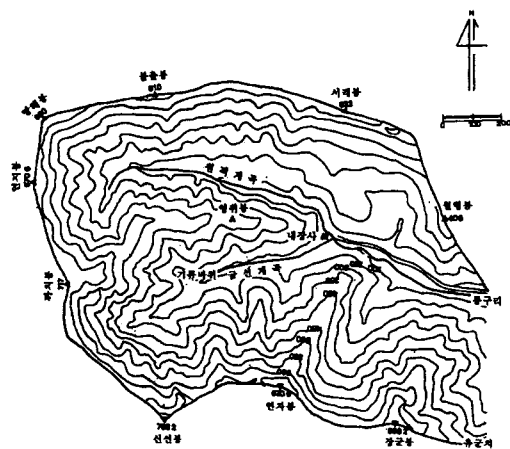


그림 1. 연구 지역

(406m)이 말발굽 모양의 분지 지형을 이루고 있다. 또한 내장사에서 북사면 쪽으로 금선계곡, 남사면 쪽으로는 원적계곡이 발달해 있으며, 이 사이에 영취봉이라는 작은 봉우리가 있다. 금선계곡과 원적계곡 지역은 모두 양쪽 사면이 경사도 30° 이상의 급경사지를 이루고 있다. 지질은 중생대 백악기 경상화산암류에 속하는 안산암으로 구성되어 있어, 안산암에 잘 발달하는 절리에 풍화작용이 일어나 산정에는 절벽, 사면에는 애추가 발달하고 있다(국립공원 관리공단, 1997).

연륜측정 및 크로스데이팅

연구지로 선정된 내장사지역의 굴거리나무 군락지에서 50년생 이상 될 것으로 기대되는 굴거리나무를 대상으로 선정하여, 모두 18그루의 굴거리나무에 대하여 흉고(1.2m)에서 2개의 성장편(core)을 채취하였다. 이중 측정이 가능한 28개의 시료만을 사용하여 연륜을 측정하고 크로스데이팅을 실시하였다.

연륜 측정 및 크로스데이팅은 그래프법을 이용하여 실시하였으며, DPL 중에서 COFECHA 프로그램을 이용하여 재확인하였다. 크로스데이팅은 각 시료의 연륜이 좁은 연도와 전체적인 성장 경향을 비교하여 정확한 연대를 파악하기 위하여 실시하는 것이다(Stokes & Smiley, 1968). 그래프법은 연륜폭을 측정하여 좁은 연륜이 나타나는 연대를 비교하는 방법이다. 연륜폭 측정은 Velmex사의 연륜폭 측정기를 이용하여 측정하였으며, 측정 정확도는 0.01mm다.

표준화 및 연대기의 통계학적 성질

측정된 연륜들은 임목의 수령에 따른 임목 고유의 생물학적 생육 추세와 오랜 기간에 걸친 경쟁과 교란에 따른 결과로 발생하는 추세를 포함하고 있으므로, 이것을 제거하기 위하여 표준화하였다(Fritts, 1978).

본 연구에서는 이중표준화법을 사용하였다. 이중표준화법은 1차로 음지수곡선(negative exponential curve)으로 생육 곡선을 추정한 다음, 2

차로 spline(50% 반응주기 : 60년)을 이용하여 재표준화 하는 것이다(Fritts, 1978; 서정욱, 1999). 표준화된 지수연대기는 ARSTAN 프로그램의 자기 회귀 모형을 이용하여 생물학적 지속성을 제거하였다.

일반적인 통계학적 자료는 평균, 분산, 상관 관계, 평균민감도, 자기상관계수를 구하였다. 평균민감도(mean sensitivity, 식 1)는 연대 계열에서 연속된 두 연륜폭 간의 변이 크기를 측정하는 것이다(Fritts, 1978).

$$MS = \frac{1}{N-1} \sum_{t=1}^{N-1} \left| \frac{2(X_{t+1} - X_t)}{X_{t+1} + X_t} \right| \quad (\text{식 1})$$

X_t : t 년도의 연륜폭 지수

X_{t+1} : $t+1$ 년도의 연륜폭 지수

자기상관(autocorrelation)은 한 연륜 연대기 내의 생육 당년도의 환경뿐만 아니라 전년도의 환경이 얼마나 지속적으로 수목의 성장에 영향을 주는가를 측정하는 것이다(Fritts, 1978).

임목내 상관 관계와 임목간 상관 관계를 구하였으며, 작성된 연대기들의 기간별 유효성을 나타내주는 시그널 강도(signal/noise ratio : SNR)는 임목간 상호 상관 계수를 이용하여 계산하였다(박원규, 1993; 서정욱, 1999).

$$SNR = N \frac{R_{bi}}{1 - R_{bi}} \quad (\text{식 2})$$

N : 한 연륜연대기 작성에 포함된 임목의 수

R_{bi} : 임목 간 상호상관계수

반응함수

표준화와 기본적인 통계 처리가 끝난 다음에는 개개 임목내의 상관 관계와 임목간 상관 관계를 분석하고, 기후요소와 연륜 성장과의 관계를 분석하기 위하여 반응함수를 구하였다. 일반적인 다중 회귀분석에서는 다중 공선성이 나타나는데, 이것은 각각의 독립변수들 내에 상관 관계가 존재하여

하나의 독립변수가 변할 경우 다른 독립변수의 변화를 초래하는 성질이다(Fritts, 1978). 그러므로 다중 공선성을 제거하지 않을 경우 각각의 독립변수들이 종속변수에 미치는 영향을 정확하게 예측하기 어렵게 된다. 본 연구에서는 기후요소와 연륜생장과와의 관계를 계산하는데 있어서 이러한 단점을 보완한 반응함수를 이용하였다.

반응함수에서는 기후요소들 간의 다중 공선성을 제거하기 위하여 독립변수들을 고유 벡터(eigen vector)로 직교 변환한다(Fritts, 1978). 이렇게 하여 얻어진 고유 벡터는 중요도의 차이를 갖게 되고 중요도가 적은 고유 벡터 값들을 제거하여 새로운 고유 벡터를 얻게 된다. 이 새로운 고유 벡터가 연륜과의 관계를 분석하는데 사용되며, 분석 방법은 단계별 회귀분석이 사용된다.

단계별 회귀분석을 통해 얻어진 기후 변수와 연륜지수와의 반응함수에서 회귀계수의 과평가를 방지하기 위하여 부스트랩 방법을 사용하였다. 이 방법은 반응함수에서 나오는 다중 회귀 계수에 대한 표준 오차를 측정하여 정확한 유의성 검사를 하는 것이다(서정욱, 1999).

반응함수를 구하는데 사용된 기후요소는 월평균 강수량과 기온으로 정읍의 관측 자료가 단기간으로 분석이 불가능하여 전주, 광주, 정읍의 기후 자료를 평균하여 사용하였다. 전주와 광주의 기후 자료를 선택한 것은 두 지역은 모두 정읍에 가까운 다른 측후소와는 달리 내륙에 위치하고 있으며, 정읍이 이 두 지역의 중간에 위치하고 있어 위도상의 왜곡을 줄일 수 있을 것으로 판단하였기 때문이다. 전주와 광주, 정읍 측후소의 자료는 모두 각각 DPL 프로그램을 이용하여 동질성 검사를 실시하였으며, 그 결과 0.95 이상의 상관 관계가 있는 것으로 나타나 연륜지수와 기후와의 관계를 설명하는데 세 지역의 평균 자료가 유용한 것으로 나타났다.

결과 및 고찰

연륜연대기의 일반적 성질

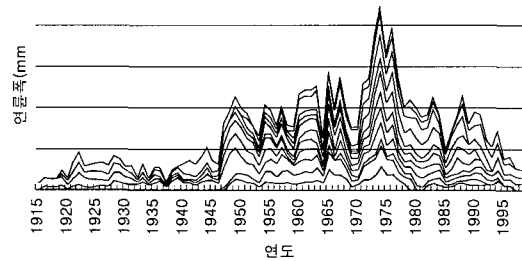


그림 2. 굴거리나무의 연륜측정 자료

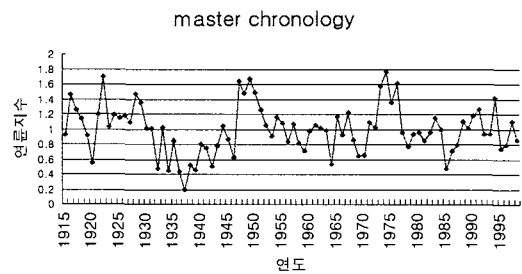


그림 3. 굴거리나무의 마스터 연대기

굴거리나무는 상록활엽수로 산공재라는 특성을 갖고 있어 나이테의 구분이 어려우며, 생장이 매우 느려 미세연륜 및 실연륜이 많은 것으로 나타났다. 그래서 본 연구에서는 18그룹 28개의 시료 중 비교적 실연륜이 적게 나타나 상호 비교가 가능한 8그룹 13개의 시료만을 사용하여 분석을 실시하였다.

13개의 시료는 측정 후 COFECHA로 확인한 결과 매우 높은 상관 관계를 나타냈다. 13개의 시료는 모두 1920년, 1932년, 1934년, 1937년, 1942년, 1946년, 1953년, 1956년, 1959년, 1964년, 1966년, 1969년, 1975년, 1981년, 1985년, 1993년, 1995년에 생장이 저조한 것으로 나타났으며, 특히 1932년, 1934년, 1937년, 1942년, 1946년, 1964년, 1969년, 1985년에 생장이 매우 저조한 것으로 나타났다(그림 3 참조).

표준화를 실시한 결과 만들어진 마스터 연대기는 그림 4와 같다. 표준화 결과 마스터 연대기의 연대 구간은 1915년부터 1998년으로 1920년, 1932년, 1934년, 1937년, 1942년, 1946년, 1964년, 1969년, 1985년에 생장이 매우 저조했던 것으로 나타

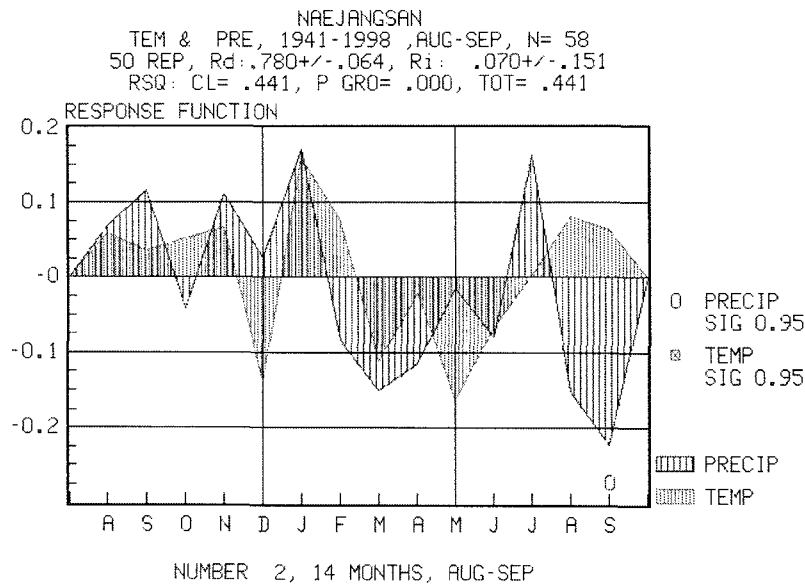


그림 4. 굴거리나무의 연륜 지수와 기후와의 관계

났으며, 이 결과는 대체적으로 크로스데이팅(cross dating) 결과 생장이 저조했던 연도들과 일치하는 것으로 나타났다.

연륜 연대기의 통계학적 성질

본 연구에서는 연륜의 통계학적 성질들을 계산하기 위하여 1915년부터 1998년까지의 84년간의 연륜지수가 사용되었다. 두 연륜폭 간의 변이를 나타내는 평균민감도는 0.3076으로 민감도가 높은 것으로 나타났으며, 자기상관은 -0.0366 으로 자기회귀모형에 의한 filtering에 의해 대부분 제거된 것으로 나타났다. 첨도(kurtosis)와 왜도(skewness)는 각각 1.4976, 0.5843으로 연륜들이 정규 분포함을 알 수 있다.

내장산 굴거리나무의 임목내 상관 관계와 임목간 상관 관계는 8그룹의 시료 중 7그룹의 시료를 사용하여 계산되었으며, 계산에 사용된 연륜지수는 1961년부터 1988년까지의 28년 간의 지수들이다. 계산 결과, 임목내 상관계수는 0.830, 임목간 상관계수는 0.326, 신호 강도는 3.379, 제1요인에 의해서 설명되는 변동율은 45.20%로 나타났다. 동

일 수준은 아니지만, 임목내 상관계수와 임목간 상관계수를 Park & Yadav(1998), 박원규(1998), 서정욱(1999)의 연구 결과와 비교해 볼 때, 임목내의 상관계수는 내장산 굴거리나무의 상관계수가 매우 높은 것으로 나타났으며, 임목간 상관계수도 유의한 것으로 나타났다.

반응함수

반응함수를 이용하여 연륜지수와 기후요소와의 관계를 분석한 결과(그림 4), 내장산 굴거리나무의 생장에 가장 크게 영향을 주는 요인은 9월 강수량으로 음의 관계를 나타냈으며, 유의한 수준은 아니지만 8월 강수량과도 음의 한계를 나타냈다. 그 다음으로 굴거리나무 생장에 영향을 미치는 요인은 1월 평균기온, 1월 강수량, 7월 강수량으로 모두 양의 관계를 보였으나 통계적으로 유의한 수준은 아니었다. 8월 및 9월 강수량과 비교적 높은 음의 관계를 보이는 것은 굴거리나무의 생장이 매우 저조한 시기와 8월 및 9월 강수량이 많은 시기가 잘 일치하기 때문으로, 많은 강수량은 일사량을 감소시켜고, 일사량의 감소는 광합성량을 감소시켜

굴거리나무의 생장에 부정적인 영향을 미친 것으로 판단된다.

통계적으로 유의한 수준의 결과는 아니지만, 굴거리나무의 생장이 1월 평균기온과 양의 관계를 나타내는 것은 굴거리나무가 온난한 기후 조건을 선호하는 난대성 상록활엽수로, 한반도 전체에서 분포 북방한계선과 밀접한 관계가 있는 환경요인이 1월 평균기온 및 1월 평균 최저기온이며, 내장산에서의 수직적인 분포 한계선과 밀접한 관련이 있는 환경요인이 1월 평균 최저기온인 것을 고려할 때 의미 있는 결과라고 할 수 있을 것이다(구경아, 2000). 또한 굴거리나무는 여름에 잎갈이를 하는 수종으로(계몽사, 1996), 7월 강수량과 양의 관계를 갖는 것은 새잎이 날 때, 영양분을 공급하기 위하여 충분한 수분이 필요하기 때문인 것으로 보인다. 1월 강수량과도 양의 관계를 보이는데 이것은 1월 평균기온에 의해 나타난 영향이 강수량과의 관계에 반영된 것으로 판단된다.

참고문헌

- 강 훈. 1992. 굴거리나무의 종자발아에 관한 연구, 제주대 논문집(자연과학), 35: 33-46.
- 공우석, 정상림. 1984. 서해 도서의 기후와 식생환경, 지리학총 12: 51-65.
- 구경아. 2000. 한반도 상록활엽수의 지리적 분포와 기후요소와의 관계, 경희대학교 석사학위논문, pp.178.
- 국립공원 관리공단 내장산 남·북 관리사무소. 1997. 내장산 국립공원 자연 생태계 보전 계획서.
- 김중흥. 1988. 한반도 상록활엽수에 대한 식물사회학적 연구, 건국대학교 박사학위논문, pp.115.
- 김철수, 오장근. 1990a. 다도해 해상국립공원내의 상록활엽수림에 대한 식물사회학적 연구(Ⅰ) -조도군도의 식생을 중심으로-, 한국생태학회지, 13(3): 181-190.
- 김철수, 오장근. 1990b. 다도해 해상국립공원내의 상록활엽수림에 대한 식물사회학적 연구(Ⅱ) -금오열도의 식생을 중심으로-, 한국생태학회지, 13(4): 343-359.
- 김철수, 오장근. 1991. 다도해 해상국립공원내의 상록활엽수림에 대한 식물사회학적 연구(Ⅳ) -외나로도의 식생을 중심으로-, 한국생태학회지, 47: 49-62.
- 김철수, 오장근. 1992. 다도해 해상국립공원내의 상록활엽수림에 대한 식물사회학적 연구(Ⅴ) -소안도와 청산도 식생을 중심으로-, 목포대 연안환경연구, 9: 1-29.
- 계몽사. 1996. 한국의 식물, pp.215.
- 박노복, 진성계, 박진호, 최봉주. 1993. 굴거리나무의 종자번식 및 분화재배에 관한 기초연구, 농업과학논집, pp.460-463.
- 박원규. 1993. 대기중 이산화탄소 증가와 한국산 아고산 침엽수류의 성장동향 -연륜연대학적 한국임학회지 82(1): 17-25.
- 박원규. 1998. 연륜연대 기법을 이용한 장기간의 한발과 홍수에 관한 분석과 예측, 한국과학재단 핵심과제 최종보고서.
- 박원규, 서정욱. 1999. 지리산 천왕봉지역 구상나무의 연륜기후학적 해석, 제4기학회지 13(1): 52-33
- 서정욱. 1999. 월악산 소나무(*Pinus densiflora*) 연륜 변동에 관한 시-공간적 분석, 충북대학교 대학원 석사학위논문, pp.59.
- 이호선, 광병화. 1992. 굴거리나무와 자금우의 분생장에 미치는 Uniconazole의 효과, 고려대학교 자연자원논집, pp.89-94.
- 임윤희. 1999. 내장산국립공원 굴거리나무군락의 생태학적 특성에 관한 연구, 호남대학교 석사학위논문 pp.66.
- 조무연. 1996. 원색 한국수목도감, 아카데미서적.
- 植木秀幹, 1933. 朝鮮山林植物帶, 植物分類及地 2(2): 73-85.
- 植木秀幹. 1941a. 朝鮮常綠闊葉樹林帶の北限, 植物分類, 地理, 10: 89-93.62.
- 植木秀幹. 1941b. 朝鮮常綠闊葉樹の北限帶について, 植物分類及植物地理, 8: 80-93.15.
- Fritts, H. C. 1978. *Tree Rings and Climate*,

- Academic Press Inc. (London) pp.567.
- Guiot, J. 1991. *The bootstrapped response function*, Tree-Ring Bulletin 51: 39-41.
- Park, W. K. and Yadav, R. R. 1998. A dendro-climatic analysis of *Pinus densiflora* from Mt. Chiri in Southern Korea. *Ann. Sci. For.* 55: 451-459.
- Stokes, M. A. and Smiley, T. L. 1968. *An Introduction to Tree-Ring Dating*, University of Chicago Press, Chicago, 72pp.
- (Accepted : June 15, 2000)