The Korean Journal of Quaternary Research
Vol. 13, No. 1, pp. 25~33(1999)

지리산 천왕봉지역 구상나무의 연륜기후학적 해석[1]

박 원 규 · 서 정 욱
충북대학교 농과대학 산림과학부

A Dendroclimatic Analysis on *Abies koreana* in Cheonwang-bong Area of Mt. Chiri, Korea

Won-Kyu Park and Jeong-Wook Seo
School of Forest Resources, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea

요 약

지리산 천왕봉 아고산 지역 (해발 1,600~1,700m)에 자라는 구상나무의 연륜생장과 기후와의 관계를 북사면(장군봉)과 남사면(중봉)을 대상으로 조사하였다. 각 지역에서 10여 본에서 생장편을 임목당 2개씩을 채취하였다. 채취된 코어는 크로스데이팅후 연륜폭을 측정하여 얻어진 연륜시리즈(연대기)를 표준화한 후, 기후인자(월강수량과 월평균기온)와 연륜생장과의 관계를 반응함수를 이용하여 분석하였다. 반응함수로 즉 월기후인자로 연륜연대기 총변동의 45.9~53.8%를 설명할 수 있었다. 강수와 연륜생장과의 관계는 중봉과 장군지역 모두에서 3~5월, 8월에 대해 정의 관계를 보이고 2월과 7월에 대해서는 부의 관계를 나타내 유사한 결과를 보였다. 기온에 대한 관계는 남사면에 위치한 구상나무가 북사면에 위치한 구상나무에 비해 2월과 8월에서 높은 부의 관계를 나타내었으며 4월 기온과는 두 지역 모두 유의한 정의 관계를 나타내었다. 두 사면지역의 구상나무 연륜생장과 기후와의 관계는 전체적으로는 큰 차이를 보여주지 않았다. 아한대 수종의 연륜생장이 강수보다는 기온에 민감하여 월기온과 대체로 정의 관계를 갖는 반면에 지리산 구상나무의 경우는 기온과 부의 관계를 갖는 경향이 크며 강수의 영향 특히 봄기간 동안의 수분수지가 중요한 것으로 생각된다. 구상나무 연륜과 기후와의 유의한 관계를 이용하여 향후 소빙기를 포함하는 장기간의 고기후를 복원할 수 있을 것이다.

ABSTRACT

The relationships between climate(monthly precipitation and temperatures) and tree-ring growth of Korean fir (*Abies koreana*) growing at subalpine (1,600~1,700m) zone on the south slope, Joong-Bong and the north slope, Changgun-Bong in the Cheonwang-bong area in Chiri mountains in the southern Korea were analyzed. Two cores from each of 10~12 trees were extracted. The relationship between tree-ring(standardized) chronologies and climate was analyzed by the response-function method. Climate variables could explain 45.9~53.8% of total variance in the chronologies. The precipitation response function of Korean fir were similar

[1]이 연구는 농림부 농림기술개발사업(관리번호 295076-5)의 지원으로 수행되었음.

at both sites in overall; positive for March~May and August, and negative for February and July. The south-slope fir of Joong-Bong possessed higher negative temperature response function for February and August than north-slope one. The positive response function for April temperature was significant for both sites. In contrary to other subalpine species (e.g., *Pinus koraiensis* and *Taxus cuspidata*) in South Korea, whose growths are positively correlated with temperature in most seasons, the growths of Korean fir trees in Mt. Chiri appeared to be mainly limited by the moisture regime of spring prior to the cambial growth and early growing season.

Key words: Response function, Bootstrap, Chronologies, Subalpine, Stress Climate change.

서 론

연륜기후학 연구에 있어 연륜생장과 기후와의 반응관계를 이해하는 것은 매우 중요한 일이다. 연륜생장은 여러 제한요소들의 영향을 받기 때문에 원인-결과관계를 구체적으로 규명하기는 어려워 월강수량과 월평균기온의 변동과 연륜생장과의 관계를 보통 다변량회귀식인 반응함수(response function)로 나타낸다(Fritts, 1976; Cook과 Krairiukstis, 1990). 반응함수는 나무가 기후에 반응하는 양태를 통계학적으로 분석하는 것으로 이것을 통하여 연륜생장과 기후와의 관계를 개괄적으로 파악할 수 있다. 반응함수의 유효성은 세계 각지에서 1960년대 이후 적용된 수많은 연구에서 입증되었는데(Fritts, 1976; Cook과 Krairiukstis, 1990), 보통 기후인자로 연륜변동을 50~70%까지 설명할 수 있다. 물론 연륜자료는 정확히 연륜연대학적 방법으로 크로스데이팅(연대측정)되어야 하며 연륜시리즈에 포함되어 있는 비기후적 인자들의 영향 즉 수령에 따른 생장추세, 경쟁 교란 등 임분동태에 관련된 생장경향은 적절히 사전에 제거되어야 한다. 최근에는 Guiot(1991)이 부스트렙(bootstrap)방법을 반응함수에 적용하여 반응함수의 신뢰성을 더욱 향상시켰다.

반응함수를 적용한 국내의 예로 설악산 주목과 잣나무 그리고 소백산 주목(박원규, 1993), 지리산 소나무(박원규와 Yadav, 1998), 속리산 소나무(박원규 등, 1999)의 경우를 들 수 있다. 본 연구는 지리산 천왕봉 지역 구상나무를 대상으로 반응함수를 적용하여 구상나무 생장에 영향을 주는 주요 기후인자들을 파악하고자 실시하였다.

구상나무(*Abies koreana*)는 우리나라 특산종으로 그 분포가 한라산, 지리산, 덕유산, 가야산 등에 제한되어 있으며 최근에는 지리산과 한라산의 구상나무가 쇠퇴하고 있는 현상이 파악되어 많은 생태학적인 연구가 수행되었다(강상준, 1984 & 1989; 김갑태 등, 1991; 김은식, 1994; 문현식과 이강년, 1994; 이윤원과 홍성천, 1995; 정재민 등, 1996; 김갑태 등, 1997). 특히 김은식(1994)은 구상나무 쇠퇴의 한 원인으로 기후 특히 가뭄의 영향이 큰 것으로 제시하였다. 본 연구에서와 같은 반응함수의 분석으로 얻어지는 기후인자와 연륜생장과의 관계는 이러한 쇠퇴의 원인으로 기후의 영향을 분석하기 위한 기초연구가 될 수 있으며 또한 작성되어진 연륜연대기를 이용하여 관측 이전의 고기후를 추정할 수 있다.

재료 및 방법

연구지

지리산은 해발고가 1,915m로 남한에서는 2번째로 높은 산이다. 연구지로 선정된 장군지역과 중봉지역은 지리산 연하봉-천왕봉-중봉을 잇는 능선의 북사면과 남사면에 위치하는데, 장군지역이 북사면에 위치하고 중봉이 남사면에 각각 위치한다(Fig. 1). 두 지역 모두 해발 1,700~1,800m에 위치하며 바위가 많으며 토심이 얕고 구상나무(*Abies koreana*)와 잣나무(*Pinus koraiensis*)가 우점하는 임분으로 방위를 제외하고는 특별히 임분구조와 토양환경에 있어 차이는 없었다.

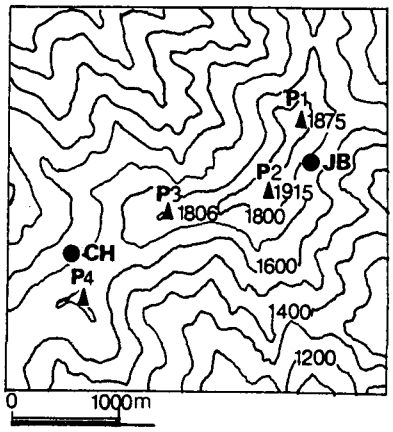

Fig. 1. Map of study sites, Changgun-bong (CH) and Joong-Bong(JB). (P1: Joong-Bong, P2: Cheonwang-Bong, P3: Jaesuk-Bong, P4: Yunha-Bong)

이 연구지에 대한 장기간 기상관측자료는 없는데, 지리산 남사면인 서울대 남부연습림 피아골 관리사무소(직전부락, 해발 500m)와 북사면인 서울대 남부연습림 심원관리사무소(해발 750m)에서 측정한 기상에 의하면 연평균기온이 각각 11.4℃, 9.43℃, 연강수량이 1,984mm, 2,036mm로 온대남부의 하계 다우지역에 속하며 지형성 강우가 빈번한 지역이다(김태욱과 이경재, 1986; 임양재와 김정언, 1992).

연륜채취

연구지로 선정된 장군지역과 중봉지역에서 50년생 이상될 것으로 기대되는 흉고직경 20cm 이상의 구상나무를 대상목으로 장군지역에서 12본, 중봉지역에서 10본을 선정하였다. 각 대상목에 대하여 흉고(1.2m)에서 2개의 생장편(core)을 채취하였다. 평균 수령은 장군지역이 80~100년으로 중봉지역의 70~80년보다 다소 수령이 컸다. 일부 임목의 수령은 130년~235년에 이르는 노령목이었다.

연륜 측정과 크로스데이팅

대상목에서 채취한 생장편들은 채취 직후 음료수용 종이빨대에 삽입하여 수 일간 기건한 후 U자형 홈이 파여진 나무막대에 접착하여 고정시켰다. 이때, 목재세포(가도관)가 15°정도 기울게 고정하는 것이 연륜경계 식별에 유리하였다. 생장편이 나무막대와 접착 경화되면 사포로 연마하여 나이테 경계가 잘 관찰되도록 하였다.

연륜에 발생하는 이상연륜(위연륜, 실연륜)을 진단하여 정확한 연대를 부여하기 위한 크로스데이팅법으로 골격도법(Stokes와 Smily, 1969; 박원규, 1997)을 사용하였다. 골격도란 인접한 연륜에 비교하여 상대적으로 좁은 연륜만을 그래프용지에 연도별 막대로 표시하여 임목상호간 비교하는 방법으로 연륜연대학의 창시자인 A.E. Douglas에 의해 1910년대 개발된 방법으로 아직까지 전통적으로 쓰이는 방법이다. 골격도로 데이팅된 연륜시리즈는 컴퓨터에 연결된 연륜폭측정기(Velmex사)로 각 연륜을 0.01mm까지 측정하였다. 측정된 각 생장편 시리즈(연대기)는 각 연대기들간의 상관관계를 일정 기간 간격으로 나타내는 Cofecha프로그램(Homes, 1983)으로 크로스데이팅을 재확인하였다.

표준화(Standardization)

연륜 상호분석을 통해 얻은 모든 연륜들은 임목의 수령에 따른 임목 고유의 생물학적 생육 추세와 오랜 기간에 걸친 경쟁과 교란에 따른 결과로 발생되는 추세를 제거하기 위하여 표준화하였다. 즉 연륜생장 인자중 기후인자의 영향만을 극대화하는 연대기를 표준화 과정을 통하여 얻고자 하였다. 표준화는 추세선으로부터 예측되는 연륜 값과 실제 연륜측정을 통해 얻어진 값의 비례인 지수(index)로 계산하여 각 연륜계열별로 지수연대기를 얻는 것을 말한다. 본 연구에서는 비기후적 생장추세를 제거하기 위하여 유연한 스플라인(spline; 50% 반응주기: 60년)곡선으로 표준화하였다. 표준화된 지수연대기는 ARSTAN 프로그램을 이용하여 생물학적인 지속성 때문에 생기는 연대기내의 자기상관을 자기회귀모형(auto-

regressive model)으로 제거하여 최종적으로 잔차연대기(residual chronology)가 반응함수에 사용되었다.

자기상관은 시계열, 즉 한 연륜연대기 내의 지속성(persistence)을 측정하는 통계인자로 한 해의 임목생장이 생육당년의 환경뿐만 아니고 생육전년도들에 만들어진 영양물질, 호르몬, 잎 등의 영양, 즉 전이(carry-over)를 말한다(Fritts, 1976; Cook과 Krairiukstis, 1990).

본 연구에서는 연대기에서 지속성을 최대한대로 제거하여 가능한 단기간의 기후 영향만을 조사하고자 하였다.

연대기의 통계학적 평가

작성된 연대기의 연륜연대학적 신뢰성을 평가하기 위하여 우선 평균, 분산, 왜도와 첨도, 평균민감도와 자기상관계수를 ARSTAN프로그램을 이용하여 구하였다. 평균민감도(mean sensitivity)는 연대계열에서 연속된 두 연륜폭간의 변이 크기, 즉 고주파 변동을 측정하기 위해 연륜연대학의 창시자인 A.E. Douglass에 의해 고안된 통계인자로 식 (1)과 같이 표시된다(Fritts, 1976). 고주파 변동이란 연륜이 갖는 연도간 변이를 말하며, 평균민감도가 커야만 연륜기후학적으로 응용할 수 있다.

$$MS = \frac{1}{n-1} \sum_{t=1}^{n-1} \left| \frac{2(X_{t+1}-X_t)}{X_{t+1}+X_t} \right| \qquad (1)$$

X_t = t년도의 연륜폭 지수

X_{t+1} = $t+1$년도의 연륜폭 지수

n = 한 연륜시리즈내의 총 연도 수 또는 연륜수

인접한 장소에서 생육하는 임목 생장간에도 유전적 및 국소입지적 차이에 기인하여 개체간 연륜시리즈가 어느 정도 차이가 있으며, 동일 임목내에서도 채취방향에 따라서도 차이가 있다. 이러한 차이를 계산하기 위해, 임목내 생장편간 상관계수 r_{wi}와 임목간 상호상관계수 r_{bi}를 단순상관계수로 구하였다(박원규, 1997). 작성된 연대기들의 기간별 유효성을 나타내 주는 시그널강도(SNR)(Briffa와 Johnes, 1990)는 임목간 상호상관계수(r_{bi})를 이용하여 식 (2)로 계산하였다.

$$SNR = N \frac{r_{bi}}{1-r_{bi}} \qquad (2)$$

N: 한 연륜연대기 작성에 포함된 임목의 수

한 지역의 모든 대상임목의 연대기로부터 주성분을 계산하고 제1주성분에 의해 설명되어지는 변동률(PC-1%)을 계산하였다. PC-1%가 높다는 것은 일정지역에 생육하는 임목의 연륜생장의 유사성이 크다는 것을 의미하는데 보통 기후인자의 영향을 크게 받을 경우 높은 유사성을 갖는다. 이상의 통계적 평가는 ARSTAN 프로그램(Cook, 1985)을 이용하여 분석하였다.

반응함수(Response function)

반응함수는 기후인자와 연륜생장과의 관계를 계산하기 위해 H.C. Fritts 교수에 의해 개발되었다(Fritts, 1974). 이는 기후인자들(독립변수)과 연륜지수(종속변수)간 관계를 일반적인 다중회귀식으로 나타낼 경우, 기후인자간 다중공선성(multicollinearity)이 나타나는 단점이 있기 때문이다. 독립변수간 상관이 존재할 경우, 하나의 독립변수로 인해 다른 독립변수의 중요도가 변하게 되어 종속변수인 연륜과 독립변수인 기후인자간 관계를 정확히 파악할 수 없게 된다. 반응함수는 이러한 단점을 보완하기 위하여 독립변수를 직교변환하기 위하여 상호 독립적인 형태인 고유벡터(eigen vector) 혹은 주성분(principal component)으로 변환하여 독립변수간 존재하는 상관을 제거하게 된다(Fritts, 1976). 반응함수의 신뢰성을 부가하기 위하여 부스트렙(bootstrap)방법이 적용된 반응함수프로그램인 PRECON을 사용하였다(Guiot, 1991; Fritts 등, 1990).

부스트렙은 반응함수에서 나오는 다중회귀계수에 대한 표준오차를 측정하여 정확한 유의성 검사를 하는 것으로, 회귀에 관측치들을 모두 이용하지 않고 일부 관측치들은 제외시킨 나머지 관측치로 무작위로 추출한 다음 회귀계수값을 계산하는 과정을 무수히 반복하여(보통 50회) 회귀계수값들이 일정한 값에 수렴하였을 때 가장 안정적인 추정치를 갖게 된다는 원리를 이용한 것이다. 이렇게 선택된 값이 올바른지를 검증하기 위해 무작위 선택시 남아있는 자료들이 사용된다. 이 방법을 사용할 경우, 독립변수와 종속변수의 관계를 확인하는데 가장 이상적 방법인 보정과 검증을 하는 것과 같은 효과를 얻을 수 있어, 회귀식을 이용하여 만들어진 반응함수들이 과예측되는 것을 방지할 수 있다.

반응함수를 얻기 위해서는 최소 40년간의 기후자료를 확보해야 하기 때문에 70년대 이후 관측을 시작한 지리산 근접 측후소 3개(남원, 임실, 구례)와 광주, 목포, 전주의 월강수량과 월기온으로부터 한국 남서부지방의 연도별 기후인자를 1954~1995년(42년)까지 구하여 반응함수에 이용하였다. 월별기상인자와 연륜지수간 단순상관계수도 구하여 반응함수 결과와 비교하였다.

결과 및 고찰

연륜 연대기의 통계적 성질

장군지역에서 137년의 연륜연대기(CHA), 중봉지역에서 235년의 연륜연대기(JBA)를 작성하였다(Table 1, Fig. 2). 두 지역연대기간 상관계수는 5% 수준에서 유의성이 인정되었다. 연속된 연륜폭간 변이의 크기를 나타내 주는 평균민감도

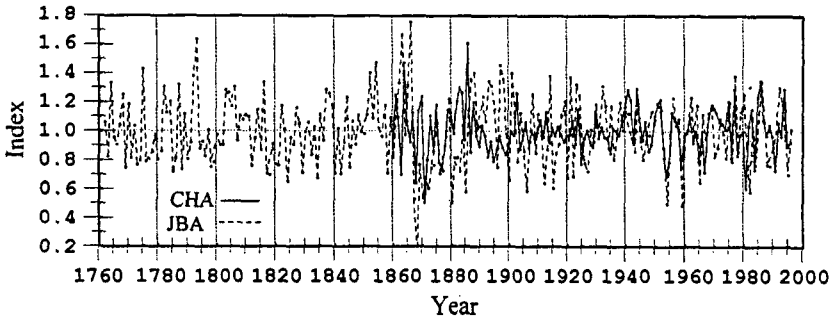

Fig. 2. Index chronologies of *Abies koreana* located in Changgun(CHA) and Joong-Bong(JBA) in the Cheonwnag-bong area of Mt. Chiri.

Table 1. Summary statistical quality of two chronologies

	CHA	JBA
Number of Trees(Cores)	12(24)	10(19)
Period(Years)	137(1860~1996)	235(1762~1996)
Mean Sensitivity	0.192	0.275
Correlation Coefficients		
Within-Tree	0.673	0.618
Between-Tree	0.386	0.345
Signal-to Noise Ratio(SNR)	6.9	4.2
Variance in first eigenvector	44.7%	44.8%

는 0.192(CHA), 0.275(JBA)로 대체로 높은 민감도에 해당되는데 이것은 지리산 구상나무의 연륜변동이 고주파의 변동을 포함하고 있어 연륜연대학적으로 분석이 가능한 연대기임을 나타내준다. 임분내 임목간 상관계수가 0.673(CHA), 0.618(JBA)로 차이가 없었으며, 연륜연대기내의 공통시그널의 크기를 나타내 주는 SNR은 CHA가 다소 컸으나 PC-1%는 44.7%(CHA), 44.8%(JBA)로 차이가 없었다. 이상의 통계적 특성을 보면 장군봉과 중봉 두 지역의 연대기간에는 전체적으로 통계적 성질에 큰 차이가 없는 것으로 생각된다.

반응함수

기후인자(월강수량과 월평균기온)와 연륜생장과의 관계를 나타낸 반응함수(response function)를 〈Fig. 3〉에 나타내었다. 반응함수로 즉 월기후인자로 연륜연대기 총변동의 45.9%(CHA), 53.8%(JBA)를 설명할 수 있었는데 남사면이 북사면보다 다소 높은 것을 알 수 있다. 두 연륜연대기에 대한 반응함수에서 공통적으로 유의하게 나타난 기후인자는 2월 기온(+), 4월 기온(+), 2월 강수(−), 5월 강수(+), 8월 강수(+)이었다. 2월의 기온과 강수 모두 연륜 생장에 부

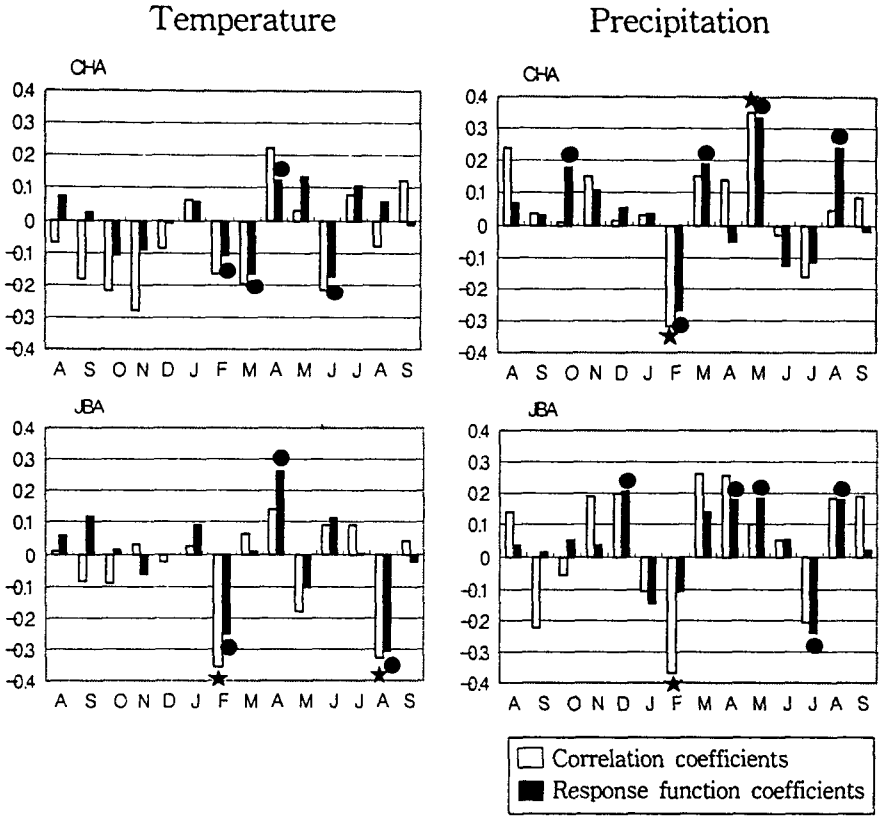

Fig. 3. Response functions and correlation coefficients between monthly climate variables and chronologies. X-axis: months from previous August to current September, Y-axis: response functions (regression coefficients) or simple correlation coefficients. (★, ●: significant at the 0.05 level)

의 영향을 주는 것으로 나타나 2월의 적설과 고온이 당해년도의 생장을 저해하는 것으로 생각된다. 생장개시 직전인 4월의 기온이 연륜생장과 정의 관계를 갖는 점은 형성층 분열 직전의 기온이 높을수록 분열개시가 빨리 와서 생장기간이 길어지기 때문으로, 5월 강수의 영향이 정(+)인 것은 생장초기의 강수가 많을수록 수분스트레스의 감소로 생장이 촉진되는 것으로 유추된다. 지역에 따라 유의성은 차이가 있지만 3월과 4월에 나타난 강수와 연륜생장간 정의 관계는 봄기간 동안 강수에 의한 토양수분 보지효과가 생장초기에 까지 지속되는 것으로 생각된다.

덕유산 아고산 지역에서 구상나무의 비대생장과 형성층 활성을 기상인자와 토양수분과 함께 연중 관찰한 연구(박원규, 1999)에서 구상나무의 형성층 분열은 5월초에 시작되어 8월말까지 분화가 지속됨을 알 수 있었으며 생육직전과 생육초기 수분이 전체 연륜(비대)생장에 큰 영향을 주는 것으로 확인할 수 있었다. 본 연구자에 의해 조사된 두 지역 (지리산과 덕유산) 구상나무 연구지의 입지환경과 고도가 유사하기 때문에, 지리산 구상나무의 형성층 활동기간과 기후인자와의 관련성이 덕유산 구상나무의 것과 큰 차이가 없을 것으로 생각된다.

장마 기간의 중심인 7월의 강수는 생장에 오히려 부의 영향을 주었는데, 이는 과잉의 강수는 오히려 일조량의 감소를 동반하게 되어 광합성의 감소를 가져오는 것으로 유추된다.

반면에 장마 후기에 해당되는 8월의 강수가 정의 영향을 주는 것은 이 기간의 강수가 연륜생장 말기의 생장에 중요한 것으로 생각된다. 남사면인 중봉에서만 8월 기온과 높은 부의 관계를 나타내 주었다. 이는 북사면의 경우보다 남사면이 고온기간인 생장말기에 증산에 의한 수분스트레스가 증가되는 것으로 추정된다.

반응함수 분석의 목적이 연륜생장과 기후인자간 관계의 개략적인 경향만을 나타내 주는 것이라는 점에서 반응함수 결과를 유의성을 고려하지 않고 계절간의 지속적인 관계를 살펴보면, 강수와 연륜생장과의 관계는 중봉과 장군지역 모두에서 봄기간(3월~5월)과 장마 후기(8월)에 대해 정의 관계를 보이고 동계 후기(2월)와 장마 최성기(7월)에 대해서는 부의 관계를 나타내 유사한 결과를 보였다. 기온에 대한 관계는 남사면에 위치한 구상나무가 북사면에 위치한 구상나무에 비해 2월과 8월에서 다소 높은 부의 관계를 나타내었으며 4월 기온과는 두 지역 모두 유의한 정의 관계를 나타내었다. 전체적으로 보면 두 사면지역의 구상나무 생장과 기후와의 관계는 큰 차이를 보여주지 않았다.

아한대 수종의 연륜생장이 강수보다는 기온에 민감하여 월기온과 대체로 정의 관계를 갖는다. 이러한 관계는 우리 나라에서는 설악산 잣나무와 주목 그리고 소백산 주목의 연륜생장에서 보고된 바 있다(박원규, 1993). 반면에 본 연구 결과에 의하면 지리산 천왕봉지역 구상나무의 경우는 기온과는 오히려 부의 관계를 갖는 경향이 크며 강수의 영향 특히 봄기간 동안의 수분수지가 연륜생장에 중요한 것으로 생각된다. 이러한 결과는 김은식(1994)이 한라산 구상나무 생장에 가뭄의 영향이 크다고 한 것과 일치하는 것이다. 본 연구에 사용된 지리산 구상나무를 대상으로 수목생리에 근거한 시뮬레이션 모델을 적용한 결과에서도 봄기간과 생장초기인 이른 여름 동안의 수분수지가 구상나무 연륜생장에 가장 큰 영향을 주는 것으로 밝혀졌다 (Park 등, 1998).

기후변화에 따른 아고산 침엽수의 생장반응과 쇠퇴도 예측은 지구온난화에 따른 생태계 보존을 위해 중요하다(공우석, personal communication). 본 연구에 의하면 온난화에 의한 기온상승은 구상나무의 생장을 감소시킬 것으로 예측되는데 특히 봄 가뭄 기간동안의 증발산 증가에 따른 수분스트레스 상승이 주요한 요인으로 작용될 것으로 생각된다. 반응함수에 의한 이러한 해석은 향후 광역에 걸친 장기간의 생리 생태적 모니터링을 통하여 검정되어야 할 것이다.

본 연구의 결과로 지리산 천왕봉 지역에서 137년과 235년 연륜연대기를 작성할 수 있었다. 향

후 이 지역을 포함한 구상나무 생육지에 대한 전반적인 조사가 이루어지면 이보다 연장된 장기간의 연대기를 다수 작성할 수 있을 것으로 기대되며 본 연구에서 조사된 구상나무 연륜과 기후와의 유의한 관계를 이용하여 소빙기를 포함하는 장기간의 고기후를 복원할 수 있을 것이다.

참고문헌

강상준. 1984. 지리산 아고산 침엽수림의 갱신. 한국생태학회지, 7(4): 185-193.

강상준. 1989. 한라산 구상나무숲의 재생에 대하여. 제17회 국제학술대회 논문 11: 21-50.

김갑태, 김준선, 추갑철. 1991. 반야봉지역 삼림군집구조에 관한 연구-구상나무림. 응용생태연구 5(1): 25-31.

김갑태, 추갑철, 엄태원. 1997. 지리산 천왕봉-덕평봉 지역의 삼림군집구조에 관한 연구. 한국임학회지, 86(2): 146-157.

김은식. 1994. 환경변화와 고산지대 수목생장 쇠퇴현상과의 상관성해석. 한국과학재단 연구보고서 (KOSEF 921-1500-018-2).

김태욱, 이경재. 1986. 지리산 심원계곡의 해발고에 따른 식생구조의 변화. 서울대 연습림보고 22 : 10-24.

문현식, 이강년. 1994. 덕유산 구상나무 임분의 식생구조에 관한 연구. 경상대학교 부속연습림 연구보고 4 : 13-28.

박원규. 1993. 대기중 이산화탄소 증가와 한국산 아고산 침엽수류의 생장동향 -연륜연대학적 분석-. 한국임학회지, 82(1) : 17-25.

박원규. 1999. 지구온난화와 대기오염에 따른 수목활성,생장 모니터링 및 산림쇠퇴도 예측모델링. 농림기술개발사업 보고서(4차년도), 81pp.

이윤원, 홍성천. 1995. 구상나무림의 군락생태학적 연구. 한국임학회지, 84(2) : 247-257.

정재민, 이수원, 이강령, 1996. 지리산 구상나무 임분의 식생구조와 치수발생 및 생육동태. 한국임학회지, 85(1) : 34-43.

Briffa, K. and Jones, P. D. 1990. Basic chronology statics and assessment. Pages 137-152 in E. R. Cook and L. A. Kairiudstis, ed. *Methods of Dendrochronology: Applications in the Environmental Sciences.* Kluwer Acad. Pub., Dordrecht, The Netherlands.

Cook, E. R. 1985. *A Time Series Analysis Approach to Tree Ring Standardization.* Ph. D. Dissertation, University of Arizona, Tucson, Arizona. 157pp.

Cook, E. R. and Kairiudstis, L. A. 1990. *Methods of Dendrochronology: Applications in the Environmental Sciences.* Kluwer Acad. Pub., Dordrecht, The Netherlands. 394pp.

Fritts, H. C. 1976. *Tree Rings and Climate.* Academic Press Inc., London. 567pp.

Guiot, J. 1991. The bootstrapped response function. *Tree-Ring Bulletin* 51: 39-41.

Holmes, R. L. 1983. A computer-assisted quality control program. *Tree-Ring Bulletin* 43: 69-78.

Park, W. K. and Yadav, R. R. 1998. A dendroclimtic analysis of *Pinus densiflora* from Mt. Chiri in southern Korea. *Ann. Sci. For.* 55 : 451-459.

Park, W. K., Yadav, R. R. and Ovtchinnikov, D. 1999. Influence of climatic factors on the radial growth of *Pinus densiflora* from Songni mountains in central Korea. Pages 287-297 in R. Wimmer and R.E. Vetter, ed. Tree-Ring Analysis, *CAB International,* Wallingford.

Park, W. K., Vaganov, E. A., Shashkin, A. V. and Pusingha, P. 1998. Influence of global warming on radial growth in Korean conifers: simulation models using

intra-annual variations of tracheid dimensions. *IAWA J.* 19(4): 474.

Stokes, M. A. and Smiley, T. L. 1968. *An Introduction to Tree-Ring Dating.* University of Chicago Press, Chicago. 72pp.

(Accepted : December 3, 1999)