

지형적 특성에 따른 월악산 신갈나무의 연륜생장과 기후와의 관계*

서정욱¹⁾ · 박원규²⁾

¹⁾ 함부르크대학교 목재생물학전공 · ²⁾ 충북대학교 목재 · 종이과학과

Relationships between Climate and Tree-Ring Growths of
Mongolian Oaks with Various Topographical Characteristics
in Mt. Worak, Korea*

Seo, Jeong-Wook¹⁾ and Park, Won-Kyu²⁾

¹⁾ Division Wood Biology, Department of Wood Science, University of Hamburg,

²⁾ Department of Wood and Paper Science, Chungbuk National University.

ABSTRACT

To analyze the relationship between climatic factors (monthly mean temperature and total precipitation) and tree-ring growths of *Quercus mongolica* Fischer (Mongolian oak) with different topographic sites in Mt. Worak, more than 10 trees were selected from each of seven stands. Two cores from each tree were measured for ring width. After crossdating, each ring-width series was double standardized by fitting first a negative exponential or straight regression line and secondly a 60-year cubic spline. Seven stands were categorized in two groups using cluster analysis for tree-ring index patterns.

Cluster I (four stands) was located in higher elevation (550-812 m) with aspects of east, west and northwest, and cluster II (three stands) was located in rather lower elevation (330-628 m) with aspects of north and northwest. The aspects of two clusters were not significantly different. Response-function analysis showed a significant positive response to March precipitation for both clusters. It indicates that moisture supply during early spring season is important to radial growth because the cambial growths of ring-porous species, such as Mongolian oak, start before leaf growth. Cluster II showed

* 이 연구는 한국과학재단 핵심연구과제(981-0605-019-2)의 지원으로 수행되었음.

Corresponding author : Seo, Jeong-Wook, Department of Wood Science, University of Hamburg, Leuschnerstr. 91,
D-21031 Hamburg, Germany,
Tel : +49-40-73962-477, E-mail : j.seo@holz.uni-hamburg.de

Received : 28 January, 2010. **Revised** : 19 March, 2010. **Accepted** : 19 May, 2010.

a positive response to the precipitation of middle and late growing season, too.

Key Words : *Climate, Cluster analysis, Response function, Annual growth, Oak, Dendrochronology.*

I. 서 론

21세기에 들어서면서 측정된 대기 중 CO₂량은 490ppm(part per million)(Allen et al., 2009)으로 산업혁명 이전의 270ppm(Neftel et al., 1985)보다 약 220ppm이 증가하였다. CO₂ 증가와 커다란 상관관계를 갖고 있는 대기 중 온도(Indermuehle et al., 2000)도 산업혁명 이전 보다 약 2°C가 증가하였다(Allen et al., 2009). 임목의 생장이 생육환경에 의하여 결정됨(Schweingruber, 1988)을 고려해 볼 때, 임목생장과 기후와의 관계를 정확히 이해하는 것은 기후변화에 따른 산림자원의 미래를 예측하는데 있어서 필수일 것이다.

나이트에 저장되어 있는 다양한 정보들을 분석하는 연륜연대학(dendrochronology)에서 기후 관련 정보를 획득하기 위한 통계학적인 방법으로 반응함수(response function analysis)(Fritts, 1976)를 사용하고 있다. 본 방법은 여러 개의 독립변수를 동시에 고려하는 다변량회귀식으로 월 총강수량과 월 평균기온을 독립변수로 사용하고 있다. 반응함수를 이용하면 월 기후인자와 임목생장의 반응을 개괄적으로 파악할 수 있게 된다.

분석된 연륜생장과 기후인자와의 관계를 이용하여 과거 기후를 복원한 연구에는 Graumlich (1993b)가 캘리포니아주와 네바다주의 아고산 지역에서 자라는 침엽수 연륜으로부터 여름철 기온과 겨울철 강수를 1000년 전까지 복원한 것과 Helama 등(2002)이 핀란드 북부에 자생하고 있는 구주소나무(*Pinus sylvestris* L.) 연륜분석으로 여름 기온을 과거 7500년까지 복원한 것 등이 있다.

국내에서 반응함수를 이용한 체계적 연구는 최종남 등(1992)이 설악산과 소백산 고산수종(주목(*Taxus cuspidata*)과 잣나무(*Pinus koraiensis*))을 대상으로 반응함수를 구하여 4-5월, 7-8월 기

온을 A.D. 1650년대까지 복원한 때부터 시작되었다. 이후 Park과 Yadav(1998a, 1998b), Park 등 (1999), 서정욱 등(2000)이 설악산, 속리산, 지리산, 월악산에 자생하고 있는 소나무(*Pinus densiflora* S. et Z.) 연륜생장과 기후인자와의 관계를 반응함수를 이용하여 분석함으로써 어떤 기후 인자가 각 연구지의 소나무 연륜생장에 중요한 역할을 하는지를 제시하였다. 또한 분석된 반응함수 결과를 이용하여 장기간 봄/여름 강수량을 복원하기도 하였다(박원규 등, 2001; 서정욱·박원규, 2002).

신갈나무(*Quercus mongolica*)는 우리나라 냉온대 극상림으로 해발 500m-600m 이상의 산악 지대에 분포하고 있는 수종으로 소나무 다음으로 우리나라 산림 대부분을 차지하고 있다(차운정·전승훈, 1999). 한상돈(1995)에 따르면 참나무류 중에 신갈나무는 연평균기온이 낮고 공중습도가 높으며 성장일수가 상대적으로 적은 높은 지역에 위치한다. 참나무류 연륜생장과 기후인자와의 상관관계를 조사한 연구에는 신창섭(2006)이 월악산과 평창 중왕산에서 조사한 것이 있는데, 연륜채취 당시 지형적 조건이 크게 고려되지 않았다.

본 연구는 월악산국립공원내 다양한 환경조건에서 자생하고 있는 신갈나무 연륜생장을 분석하고, 임분들 간 유사성과 이질성을 조사하며, 연륜생장을 위한 기후인자의 역할을 밝히고자 실시되었다. 아울러 기후변화에 따른 월악산국립공원내 신갈나무 연륜생장 반응을 예측하는데 필요한 기초자료를 제시하고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 조사지 개황

연구대상지인 월악산국립공원은 서어나무가

우점하는 계곡림, 북사면과 고지대는 신갈나무가 우점하는 참나무림 그리고 건조한 능선부는 소나무가 우점하는 소나무림으로 구성되어 있으며, 전체 산림을 다시 신갈나무 군락, 신갈나무-소나무 군락, 소나무 군락, 소나무-신갈나무 군락, 굴참나무-소나무 군락, 신갈나무-굴참나무 군락, 졸참나무 군락으로 세분할 수 있다(강상준, 1996). 본 식생분류에 따라 신갈나무가 월악산국립공원 전역에 분포되어 있음을 알 수 있다.

우리나라 소기후구 구분에 따르면 월악산의 기후는 1월과 7월의 일교차는 크고, 1월의 상대습도는 낮은, 제천을 중심으로 한 소백산맥 산간 지역에 속한다(박현욱, 1987). 동일 기후대에 속해있는 측후소들의 45년간(1954-1998, 나이테분석 기간) 기후자료에 따르면 이 지역의 연평균기온은 11.3℃이며, 연총강수량이 1315mm이었다.

2. 시료 준비 및 크로스데이팅(crossdating)

지형특성에 따른 연륜생장과 기후와의 관계를 조사하기 위하여 월악산국립공원을 1km²단위로 구획한 후, 각 구획에서 사면방향과 고도를 고려하면서 1개의 신갈나무 임분을 선발하였다. 임분 선발은 연륜기후학적 분석에 적합한 영급 50년 이상인 신갈나무가 10본 이상일 경우만 고려되었다. 그 결과 총 7개의 신갈나무 임분이 선발되었다(그림 1).

연륜폭 측정을 위한 성장편 채취(2000년 4월, 5월)는 흉고에서 양방향으로 2개를 추출하는 방식으로 실시되었다. 성장편의 연륜폭 측정은 연륜측정기(LINTAB)를 이용하여 0.01 mm까지 측정하였다. 각 연륜에 정확한 생성 연도를 부여하기 위한 크로스데이팅(Schweingruber, 1988)을 위하여 골격도법(연륜폭의 길이를 막대그래프로 작성하여 그 일치도를 확인하는 방법)(Stokes and Smiley, 1968)과 그래프방법(연륜생장 경향을 선그래프로 작성하여 그 일치도를 확인하는 방법)(Pumijumnong, 1998)이 병행되어 사용되었다. 크로스데이팅이 잘 되었는지 통계적으로 재

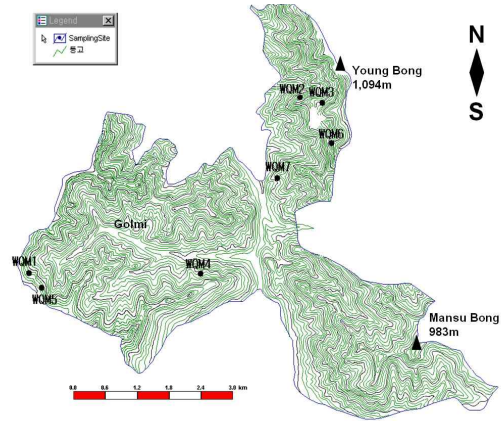


Figure 1. Study area, Mt. Worak, and 7 experimental stands of *Quercus mongolica*.

확인하기 위하여 연륜폭간 상관관계를 계산하고 상호 비교하였다. 본 통계 분석을 위하여 DPL (Dendrochronological Program Library) 중에서 Cofecha 프로그램이 사용되었다.

3. 표준화(Standardization) 및 잔차연대기(residual chronology)

연륜연대학에서 표준화란 수령에 따른 임목 고유의 생물학적 성장추세와 오랜 기간에 걸친 경쟁과 교란에 따른 성장추세를 제거하는 것으로, 통계함수를 이용하여 획득된 성장추세선과 실측된 연륜폭 간 비례를 이용하여 지수연대기(index chronology)를 만드는 것이다(Fritts, 1976). 본 연구에서는 이중표준화법(double detrending method)이 사용되었는데, 1차로 지수곡선을 이용한 생물학적 성장추세를 예측하고 제거하고, 2차로 spline(50% 반응주기 60년)을 이용한 임분 경쟁과 교란에 따른 성장추세를 예측하여 재표준화하는 방법이다(서정욱, 1999). 표준화된 지수연대기에는 생육 이전 연도들에 만들어진 영양물질이 전이(carry-over)되는 자기상관(autocorrelation)이 존재하는 데, 본 연구에서는 자기상관이 제거된 잔차연대기(residual chronology)가 사용되었다. 잔차연대기는 ARSTAN 프로그램(Cook, 1985)을 이용하여 작성되었다.

4. 연륜연대기의 통계학적 분석

연륜계열에서 연속된 두 연륜폭간 변이 크기를 측정하기 위하여 평균민감도(Fritts, 1976)를 계산하였다(식 1). 또한 유전적/국소입지의 차이에 따라 발생하는 인접한 임목 개체간 연륜계열의 차이와 채취방향에 따른 동일 임목내 연륜계열의 차이를 조사하기 위하여 상호상관분석을 실시하였다. 임목내 생장편간 상관계수(r_{wi})와 임목간 상호상관계수(r_{bi})는 단순상관계수로 계산되었으며(식 2), 작성된 연대기들의 기간별 유효성을 나타내 주는 시그널강도(signal/noise ratio : SNR)(Briffa and Jones, 1990)는 임목간 상호상관계수(r_{bi})를 이용하여 계산하였다(식 3).

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

X_t = t 년도의 연륜지수

X_{t+1} = $t+1$ 년도의 연륜지수

$$r_{xy} = \frac{\sum_{t=1}^n (X_t - M_x)(Y_t - M_y)}{(n-1)S_x S_y} \quad (\text{식-2})$$

M_x, M_y : x, y 임목에서 채취한 연륜들의 지수 평균값

S_x, S_y : x, y 임목에서 채취한 연륜들의 지수들간 표준편차

X_t, Y_t : t 년도에 해당되는 연륜지수

n : 연륜 수

$$SNR = N \frac{r_{bi}}{1 - r_{bi}} \quad (\text{식-3})$$

N : 한 연륜연대기 작성에 포함된 임목의 수

한 임분에 속한 모든 연륜시리즈 상호간 유사성을 분석하기 위하여 ARSTAN 프로그램(Cook, 1985)을 이용한 주성분(principle component)이 실시되었다. 제1주성분에 의하여 설명되어지는 변동률(PC-1%)이 높다는 것은 조사지역의 연륜생장이 기후인자와 높은 연관성을 갖는 있음을 의미한다(서정욱 등, 2000).

5. 집락분석

7개 조사 임분의 지수연대기들 상호간 유사성을 검사하기 위하여 집락분석(cluster analysis)을 실시하였다. 집락분석은 7개 임분의 지수연대기 상호간 제곱 유클리디안거리(squared Euclidean distance)(식 4)를 계산한 후, 그 결과 값이 가까운 임분연대기들부터 순차적으로 묶어주는 방법이다(김충련, 1997).

$$D^2 = (X_1 - Y_1)^2 + (X_2 - Y_2)^2 + (X_3 - Y_3)^2 + \dots + (X_n - Y_n)^2 \quad (\text{식-4})$$

D : 유클리디안거리 (squared Euclidean distance)

X_n : X 연구지에서 n 연도에 해당하는 연륜지수 값

Y_n : Y 연구지에서 n 연도에 해당하는 연륜지수 값

6. 반응함수(Response function)

기후인자와 임분대표연대기와의 연관성을 조사하고자 반응함수(response function) 분석을 실시하였다. 반응함수 분석은 독립변수들간 존재하는 다중공선성(multicollinearity)을 제거한 후에 종속변수와 독립변수간 연관성을 분석하기 때문에 종속변수와 독립변수의 관계를 보다 정확히 파악할 수 있다(Fritts, 1976). 본 논문에서는 월 평균기온과 월 총강수량이 독립변수로 사용되었으며, 연륜지수가 종속변수로 사용되었다.

반응함수 분석을 위하여 PRECON(Guiot, 1991) 프로그램이 사용되었다. PRECON 프로그램은 부스트랩(bootstrap)방법을 응용하여 만들어 졌다. 부스트랩은 반응함수에서 나오는 다중회귀계수에 대한 표준오차를 측정하여 정확한 유의성 검사를 하는 것으로(Guiot, 1990), 관측치 중에서 일부만을 이용하여 n 번의 반복으로 만들어진 회귀식들이 갖는 오차가 가장 안정적인 값에 도달하도록 하는 방법이다. 본 연구에서 획득된 반응함수 결과는 부스트랩으로 50회 검정된 것이다.

반응함수를 이용한 임목생장과 기후와의 관계를 조사하기 위해서는 연구지와 인접한 측후소에서 측정된 기후자료가 필요하다. 그런데 월악산

의 경우 측후소가 없기 때문에 월악산 주변과 동일 기후대에 속하는 6개 측후소(제천, 충주, 문경, 보은, 영주, 서울)의 자료를 이용하여 연구지가 속해 있는 중부 소백산맥 산간 지역구를 대표할 기후자료를 만들었다(서정욱, 1999). 지역평균값이 보통 연륜연대학에서 사용되는데, 이는 개별 측후소의 데이터보다 신뢰성이 높고, 측후소가 없는 지역으로까지 연구범위를 확장할 수 있는 방법이기 때문이다. 측후소자료에 대한 신뢰성을 조사하기 위하여 상관분석과 동질성검사가 실시되었다(Fritts, 1976). 반응함수에 사용된 독립변수는 전년도 8월부터当年 9월까지의 월 평균기

온과 월 강수량이었으며, 분석에 포함된 기간은 1954년부터 1997까지(44년간)이다.

III. 결과 및 고찰

1. 크로스데이팅

연륜폭 측정을 실시하기 전에 입체현미경을 이용하여 좁은 연륜이 생성된 연도, 즉 기준연도(key-year)를 조사한 결과 대부분의 조사지에서 1952년, 1955년, 1965년, 1974년, 1988년도에 신갈나무 연륜생장이 저조했음이 관찰되었다(표 1, 그림 2). 거리상으로나 지리적으로 차이를 갖는 7개

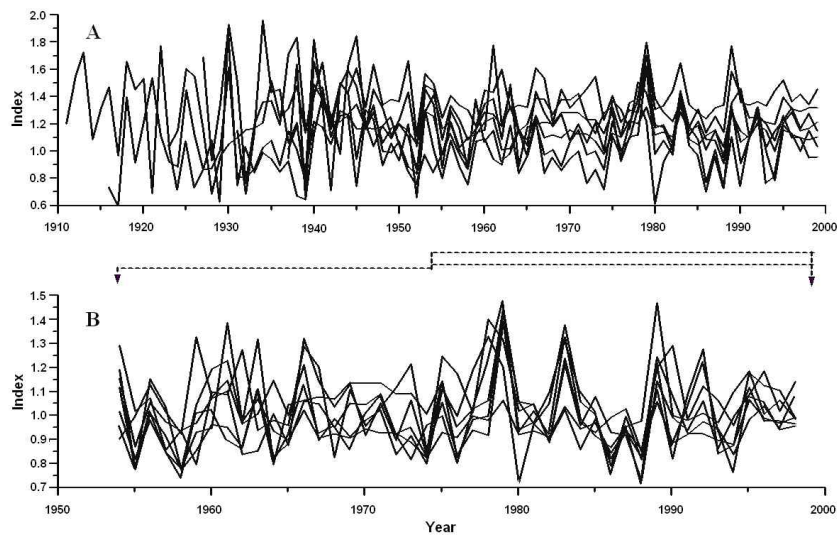


Figure 2. Tree-ring index chronologies at each stand (A) and the chronologies in experimental period for response function analysis from 1954 to 1998 (B).

Table 1. Summary of key years in each stand.

ID	Key years (common narrow rings) in 1900												
WQM1			88	84		76				55	52	42	39
WQM2	94		88						65	55	52	42	39
WQM3	94	90	88				74					52	
WQM4							74		65	55	52		
WQM5			88				74	72	65		52		
WQM6	94		88				74		65	55	52		
WQM7			88		82					55	52		

Table 2. Number of cross-dated cores and series period of each stand.

ID	No. of crossdated trees (cores)	Period (years)
WQM1	10 (20)	1909-1999 (91)
WQM2	17 (32)	1915-1999 (85)
WQM3	13 (26)	1922-1999 (78)
WQM4	10 (16)	1925-1999 (75)
WQM5	11 (20)	1930-1999 (70)
WQM6	6 (12)	1936-1999 (64)
WQM7	10 (18)	1936-1999 (64)

임분에서 작성된 대표연대기들이 동일한 성장경향을 보이는 것은 모든 조사목의 연륜생장 결과가 각 임분이 갖는 미시환경(micro environment)보다는 모든 임분이 공통으로 갖고 있는 거시환경(macro environment)(예, 온도, 강수)에서 기인하였음을 알 수 있다.

표 2는 크로스데이팅이 잘 이루어져 연구에 사용된 시료를 임분별로 나타낸 것으로, 임분 WQM6을 제외하고는 모두 10본 이상이 포함되었다. 임분 대표연대기들 중에서 가장 짧은 것은 64년으로 WQM6과 WQM7이었으며, 가장 긴 것은 91년으로 WQM1이었다.

2. 연륜시리즈(연대기)의 통계학적 성질

동일임목내 상관계수는 0.495(WQM4)~0.783(WQM6)으로 평균 상관계수가 0.619이었으며, 임

목간 상관계수는 0.286(WQM4)~0.557(WQM6)로 평균 상관계수가 0.397이었다(표 3). 동일 지역에서 자생하고 있는 소나무 분석결과(서정욱, 1999)와 비교해 볼 때 임목내 상관계수는 신갈나무가 높고, 임목간 상관계수는 소나무가 높았다. 같은 임목의 다른 두 방향에서 채취된 성장편간 상관계수가 신갈나무가 높은 것은 소나무 연륜생장에 비하여 방향에 따른 변이가 상대적으로 적기 때문이며, 임목간 상관계수가 낮은 것은 각 임목이 갖는 성장 패턴이 소나무에 비하여 상대적으로 강하기 때문이다.

작성된 연대기들의 신호강도(signal strength)가 가장 높게 나타난 임분은 WQM2로 9.431이었다(표 3). WQM6의 경우 임목간상관계수가 WQM2보다 높음에도 불구하고 상대적으로 낮은 신호강도를 나타낸 이유는 WQM2지역의 임목 수가

Table 3. Summary statistics of residual chronologies made from 7 sites.

Site ID	Correlation Coefficient		Signal to Noise Ratio	Variance explained by first eigenvector (%)
	Within-Tree	Between-Tree		
WQM1	.598	.472	8.935	52.4
WQM2	.560	.371	9.431	41.1
WQM3	.595	.390	7.030	45.4
WQM4	.495	.286	3.204	36.6
WQM5	.600	.350	5.916	40.3
WQM6	.783	.557	5.027	66.7
WQM7	.703	.356	3.314	46.2

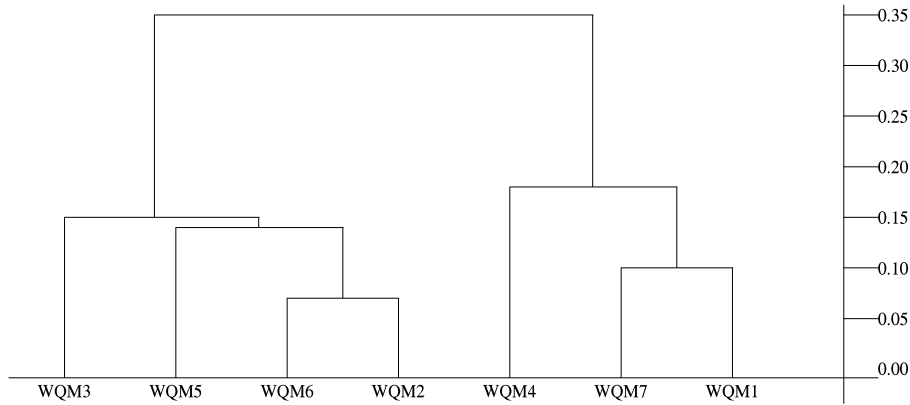


Figure 3. Cluster analysis by calculating the distance between each site.

WQM6지역에 비하여 많기 때문이다.

제1주성분에 의해 설명되어 질 수 있는 변동률은 36.6%에서 66.7%로 평균 47.0%이었다. 이 결과는 동일 지역의 소나무보다는 다소 낮으나(서정욱, 1999), 연륜기후학적 연구에 이용될 수 있음을 제시해 주었다. 모든 임분 중에서 제1주성분에 의하여 설명되어 질 수 있는 변동률이 가장 높은 임분은 WQM6으로 66.7% 이었다(표 3).

3. 집락분석(cluster analysis) 및 임분연대기간 상관분석

임분 대표연대기들을 이용한 집락분석 결과 그림 3과 같이 크게 두 집락으로 분류할 수 있었다. 각 연결고리들은 동질성이 높은 순서대로 묶여진 것이다. 동일한 집락으로 분류된 임분들의

상호간 상관분석 결과는 표 4에 정리하였다. 표 5는 집락분석 결과를 토대로 고도 및 사면 방향과 서로 비교한 것이다.

집락 I(WQM2, WQM3, WQM5, WQM6)은 고도가 550m-812m인 고지대에 위치하면서, 사면 방향이 서쪽부터 동쪽까지 분포하였다. 반면, 집락 II(WQM1, WQM4, WQM7)는 고도가 약 600m 이하인 낮은 고도에 위치하면서, 사면 방향이 주로 북향 또는 북서 향이었다. 두 집락은 고도면에서 550-600m까지의 중첩 범위를 제외하고는 고지대(집락 I)와 저지대(집락 II)로 구분되었으며(표 5), 각 집락에 속해 있는 임분들간 상관은 다른 집락보다 높게 계산되었다(표 4). 신갈나무는 참나무류 중에서도 비교적 고도가 높은 곳에 분포하는 특징을 고려해 볼 때, 사면방향보

Table 4. Correlations among stand chronologies.

	WQM2	WQM3	WQM5	WQM6	WQM1	WQM4	WQM7
WQM2	1.000	Cluster 1			→ Correlation coefficients		
WQM3	0.748**	1.000					
WQM5	0.658**	0.607**	1.000				
WQM6	0.798**	0.689**	0.469**	1.000			
WQM1	0.683**	0.317	0.505**	0.614**	1.000	Cluster 2	
WQM4	0.447**	0.333*	0.358*	0.467**	0.488**	1.000	
WQM7	0.585**	0.148	0.267	0.449**	0.760**	0.459**	1.000

* : P<0.05, ** : P< 0.01

Table 5. Comparison of the elevation and aspect between two clusters.

Cluster No.	Site ID	Elevation (m)	The range of elevation (m)	Aspect (°)
1	WQM2	550	550-812	290 (W)
	WQM3	812		320 (NW)
	WQM5	650		74 (E)
	WQM6	725		320 (NW)
2	WQM1	628	330-628	10 (N)
	WQM4	410		310 (NW)
	WQM7	330		305 (NW)

다는 고도 차이에서 발생하는 기후환경의 변화가 신갈나무 성장에 영향을 주는 것으로 판단된다.

4. 반응함수(Response function)

2개의 집락으로 분류된 임분들의 연륜지수연대기들을 평균하여 집락연륜지수연대기를 작성한 후, 각 연대기와 월별 기후인자들과의 반응함수를 분석하였다(그림 4).

두 집락에서 공통적으로 관찰되는 현상은 임목생장이 시작할 무렵인 3월의 강수량이 다른 기간보다 높은 정의관계를 나타낸 것인데, 이는 신갈나무와 같은 환공재류들은 형성층 활동이 앞서 피기 전에 시작하여 대도관(물관)을 미리 형성한다는 수목생리학적 특징에 따른 결과라 판단된다. 즉 개엽시기인 4월 이전의 기후조건이 형성층 활동을 제한하며, 특히 개엽 이전에 형성되는 조재(춘재)부의 대도관 크기를 좌우한다(Pumijunnong and Park, 1999). 신갈나무 생장은 장마기간인 7-8월 강수량과는 유의한 관계가 발견되지 않았다. 두 집락간의 가장 큰 차이는 저지대에 속하는 집락 II의 경우, 6월 강수량과도 유의한 정의관계를 나타낸 것이다. 이는 강수량이 적은 저지대의 경우, 장마전의 강수량이 연륜 성장에 중요한 역할을 함을 제시해준다. 기온에 대해서는 두 집락 상호간 큰 차이가 없었다. 형성층 활동 이전인 겨울 기온과 개시 직전의 3-4월 기온이 신갈나무의 연륜생장과 정의상관을

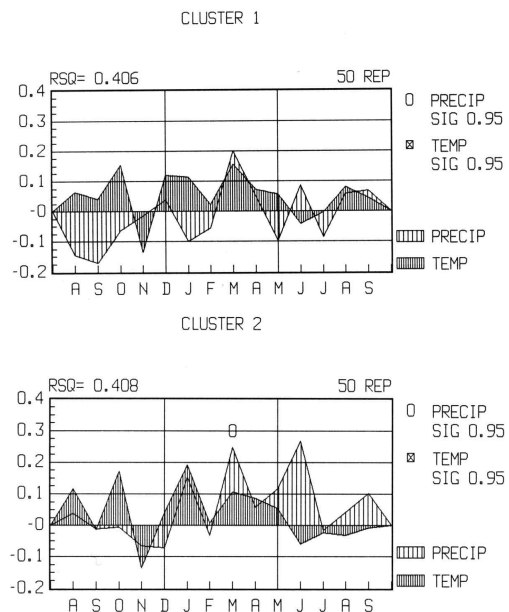


Figure 4. Response functions between tree ring and climate factors (monthly temperature and precipitation; from previous August to current September).

나타내었으나, 통계적으로 모두 유의하지 못하였다(그림 4).

IV. 결 론

다양한 지형적 특성을 갖는 월악산국립공원내 7개 신갈나무 임분의 연륜생장을 조사한 결과, 2개의 집락으로 분류할 수 있었다. 집락 I은 고지

대에, 집락 II는 저지대에 속하는 것으로 조사되었다. 그 결과를 바탕으로, 두 집락의 차이는 주로 생육고도 차이에서 기인하는 것으로 판단된다. 두 집락의 사면 방향을 살펴보면 대부분 서향 내지 북향이었으며, 동향의 경우는 집락 I에 속하였다.

두 집락에서 관찰된 공통점은 신갈나무 생장이 시작할 무렵인 3월 강수량과 연륜생장이 다른 기간에 비하여 높은 정의관계를 나타낸 것이다. 이는 신갈나무와 같은 환공재는 형성층 활동이 앞서 피기 전에 시작된다는 생리적 특징에 따른 것으로 판단된다. 장마기간의 강수량과 신갈나무 연륜생장과는 유의한 관계가 발견되지 않았다. 두 집락의 가장 큰 차이는 저지대에 속하는 집락 II의 경우, 6월 강수량과도 유의한 정의관계를 가진 것이다. 이는 강수량이 적은 저지대에서는 장마전의 강수량이 연륜생장에 중요한 영향을 미친다는 것을 제시한다.

본 연구에서 밝혀진 월악산국립공원내 신갈나무 연륜생장과 기후인자(온도, 강수)와의 관계는 기후변화에 따른 신갈나무 연륜생장의 반응을 예측하는데 중요한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

인 용 문 헌

- 강상준. 1996. 월악산 국립공원자연자원조사. 국립공원관리공단, 서울. 35-101.
- 김충련. 1997. SAS라는 통계상자 -통계분석 및 시장조사기법을 중심으로-. 데이터플러스, 서울. 592pp.
- 박원규 · 서정욱 · Liu Yu · 김요정 · 한수원. 2001. 나무나이테를 이용한 설악산 지역의 4월~8월 총강수량 복원. 한국제4기학회지 15(1) : 47-52.
- 박현욱. 1987. 기후요소의 주성분분석에 의한 한국의 기후구분. 지리학 36 : 13-25.
- 서정욱. 1999. 월악산 소나무(*Pinus densiflora*) 연륜 변동에 관한 시-공간적 분석. 충북대 석사논문, 청주. 59pp.
- 서정욱 · 김재수 · 박원규. 2000. GIS 기법을 이용한 지형적 특성에 따른 월악산 소나무 연륜생장의 이질성 규명. 한국생태학회지 23(1) : 25-32.
- 서정욱 · 박원규. 2002. 설악산 서부 소나무의 연륜을 이용한 317년(A.D. 1682~1998)간의 5월 강수량 복원. 한국제4기학회 16(1) : 29-36.
- 신창섭. 2006. 연륜해석에 의한 참나무류의 직경생장과 기상요인과의 상관관계. 한국농림기상학회 8(3) : 145-151.
- 차윤정 · 전승훈. 1999. 신갈나무 투쟁기. 지성사, 서울. 256pp.
- 최종남 · 류근배 · 박원규. 1992. 아한대침엽수류 연륜연대기를 이용한 중부산간지역의 고기후 복원. 한국제4기학회지 6(1) : 21-32.
- 한상돈. 1995. 다중회귀 및 경로분석에 의한 참나무류 입지요인 평가. 충북대학교 박사논문, 청주. 173pp.
- Allen, M. R., D. J. Frame, C. Huntingford, C. D. Jones, J.A. Lowe, M. Meinshausen and N. Meinshausen. 2009. Warming caused by cumulative carbon emissions towards the trillionth tonne. Nature, 458 : 1163-1166.
- Briffa, K. R., and P. D. Jones. 1990. Basic chronology statistics and assessment. In E.R. Cook and L.A. Kairiukstis, Methods of Dendrochronology : Applications in the Environmental Sciences. Kluwer Acad. Pub., Dordrecht, The Netherlands. 137-152.
- Cook, E. R. 1985. A Time Series Analysis Approach to Tree Ring Standardization. Ph.D. Dissertation, University of Arizona, Tucson, Arizona. 175pp.
- Fritts, H. C. 1976. Tree Rings and Climate. Academic Press Inc., London. 567pp.

- Graumlich, L. J. 1993a. A 1000-year record of temperature and precipitation in the Sierra Nevada. *Quaternary Res.* 39 : 249-255.
- Graumlich, L. J. 1993b. Response of tree growth to climatic variation in the mixed conifer and deciduous forests of the upper Great Lakes region. *Can. J. For. Res.* 23 : 133-143.
- Guiot, J. 1990. Methods of calibration. *In* E.R. Cook and L.A. Kairiukstis (eds.), *Methods of Dendrochronology : Applications in the Environmental Sciences*. Kluwer Acad. Pub., Dordrecht, The Netherlands. 165-178.
- Guiot, J. 1991. The bootstrapped response function. *Tree-Ring Bulletin*, 51 : 39-41.
- Helama, S., M. Lindholm, M. Timonen, J. Meriläinen and M. Eronen. 2002. The supra-long Scots pine tree-ring record for Finnish Lapland : part 2, interannual to centennial variability in summer temperature for 7500 years. *Holocene*, 12 : 681-687.
- Indermuehle, A., E. Monnin, B. Stauffer and T.F. Stocker. 2000. Atmospheric CO₂ concentration from 60 to 20 kyr BP from the Taylor Dome ice core, Antarctica. *Geophysical Res. Letters*, 27 : 735-738.
- Neftel, A., E. Moor, H. Oeschger and B. Stauffer. 1985. Evidence from polar ice cores for the increase in atmospheric CO₂ in the past two centuries. *Nature*, 315 : 45-47.
- Park, W. K., and R. R. Yadav. 1998a. Reconstruction of May precipitation (A.D. 1731-1995) in west-central Korea from tree rings of Korean red pine. *J. of Korean Meteor. Soc.* 34(3) : 459-465.
- Park, W. K., and R. R. Yadav. 1998b. A dendroclimatic analysis of *Pinus densiflora* from Mt. Chiri in southern Korea. *Ann. Sci. For.* 55 : 451-459.
- Park, W. K., R. R. Yadav and D. Ovtchinnikov. 1999. Influence of climatic factors on the radial growth of *Pinus densiflora* from Songni mountains in central Korea. *In* R. Wimmer and R.E. Vetter (eds.), *Tree-Ring Analysis*. CAB International, Wallingford. 287-297.
- Pumijumnong, N. 1998. Graphic method of cross-dating with emphasis on subtropical trees. *In* W.K. Park and J.S. Kim (eds.), *Proceedings of the Second East Asia Workshop on Tree-Ring Analysis*. Agricultural Science & Technology Institute of Chungbuk National University, Cheongju. 75-87.
- Pumijumnong, N., and W. K. Park. 1999. Vessel chronologies from teak in northern Thailand and their climatic signal. *IAWA J.* 20(3) : 285-294.
- Schweingruber, F. H. 1988. *Tree rings -basics and applications of dendrochronology-*. D. Reidel Publishing Company. Bostam. 276pp.
- Stokes, M. A., and T. L. Smiley. 1968. *An Introduction to Tree-Ring Dating*. Univ. of Chicago Press, Chicago. 73pp.