

## 연륜해석에 의한 참나무류의 직경생장과 기상요인과의 상관관계

신 창 섭

충북대학교 농업생명환경대학 학술림

(2006년 8월 3일 접수; 2006년 8월 24일 수락)

### Interpretation of Diameter Growth Pattern and Correlation of Climatic Factors with Diameter Growth for *Quercus* Species Based on Tree-Ring Measurement

Chang-Seob Shin

Scientific Forest, College of Agriculture, Life & Environment Sciences, Chungbuk National Univ.,  
Cheongju, Chungbuk, 361-763, Korea

(Received August 3, 2006; Accepted August 24, 2006)

#### ABSTRACT

The purpose of this study was to analyze the relationship between the annual variation in diameter growth of *Quercus* spp. and climatic factors such as monthly temperature, precipitation and solar radiation in central and northern Korea. Annual diameter growth was measured by using stem cores of 262 *Quercus* trees, and the correlation between the diameter growth and the climatic factors was analyzed. Mean diameter growth of *Quercus* spp. in Jungwangsang was larger than that in Woraksan, and mean diameter growth by the species was large in order of *Q. serrata*>*Q. variabilis*>*Q. mongolica*>*Q. dentata*. The diameter growth pattern of *Quercus* spp. in Woraksan was different from that in Jungwangsang. Positive correlations between diameter growth of *Quercus* trees and temperature or the solar radiation during July were found in Jungwangsang. Significant correlations between diameter growth and solar radiation during March and precipitation during June were found in Woraksan. It is suggested that climatic factors similarly affect the diameter growth of *Quercus* spp. in a mountainous terrain, but influences of the climatic factors depend on other environmental conditions such as altitude, topography and soil depth.

**Key words** : Climate factor, Cross dating, *Quercus* spp., Growth pattern, Diameter growth

#### I. 서 론

참나무류는 우리나라 대표적인 활엽수종으로서 전국적으로 분포되어 자생하고 있으며, 낙엽성 참나무류는 크게 상수리나무(*Quercus acutissima*), 굴참나무(*Q. variabilis*), 신갈나무(*Q. mongolica*), 졸참나무(*Q. serrata*), 갈참나무(*Q. aliena*), 떡갈나무(*Q. dentata*) 등 6종으로 나누고 있다. 참나무류는 맹아력이 강한

수종으로써 대부분의 참나무림은 인공조림된 것이 아니라 자연림이다. 이러한 참나무류는 제탄, 버섯재배, 펄프용재 등으로 주로 이용되고 있다.

목재가격의 하락으로 목재생산에 의한 임업경영에 어려움을 겪고 있는 현 상황에서, 낙엽성 참나무류는 제탄재료, 버섯재배 자목으로 이용됨으로써 부가가치가 높은 수종이라고 할 수 있다. 또한 생활수준의 향상과 더불어 침엽수보다는 무늬가 아름다운 활엽수로

된 고급 용재를 선호하는 경향이 증가되었으며, 산림 정책적으로도 활엽수의 조림을 확대하고 있다. 과거 용재생산이 중요시되던 시기에는 활잡목으로 취급되었던 활엽수가 최근 환경적·경제적 재평가와 함께 그 중요성이 부각되어 관심이 증대되고 있는 실정이다 (Kim *et al.*, 1999). 이처럼 오늘날 산림의 기능은 다양한 공익적기능에 대한 평가가 구체화되고 이용도 다양화되므로써 산림경영의 형태도 변화되고 있다. 아직까지 우리나라에서 참나무류가 용재로써의 가치를 크게 인정받고 있지는 못하지만, 제탄이나 버섯재배 자목으로의 이용 등 용재 이외의 활용도가 높은 수종이라고 할 수 있다.

따라서 본 연구는 우리나라의 산림에 전반적으로 분포되어 있는 참나무류의 연년생장 변화를 추정, 비교하고 기상 요인과의 관련성을 검토하기 위하여 수행하였다.

## II. 재료 및 방법

### 2.1. 연구대상지

본 연구는 충청북도 동북부인 제천시 한수면에 위치한 월악산과 강원도 중부인 평창군 진부면과 대화면에 위치한 중왕산의 참나무림에서 시료를 채취하였다(Fig. 1).

월악산은 북위 36°53', 동경 128°06'에 위치하고 있으며, 해발 1097 m이다. 월악산 지역의 식생은 신갈나무 군락, 신갈나무-소나무군락, 소나무 군락, 소나무-신갈나무 군락, 굴참나무-소나무군락, 졸참나무 군락 (Kang, 1996)으로 분류되어 참나무류가 우점하고 있음을 알 수 있다. 중왕산은 북위 37°25'~37°30', 동경 128°11'~128°44'에 위치하고 있으며, 해발 1376 m이다.

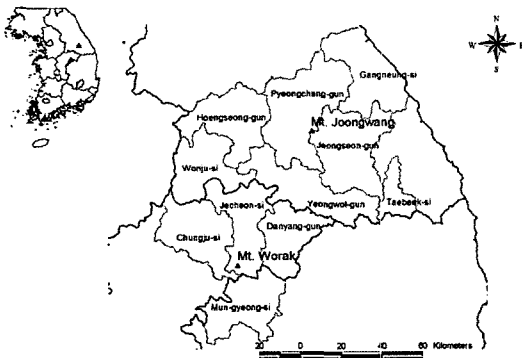


Fig. 1. Map of the study site.

식생은 천연활엽수림이 전체 산림면적의 약 71%이며 주요 수종으로는 신갈나무, 음나무, 고로쇠나무, 층층나무, 물푸레나무, 피나무 등 30여종의 유용 활엽수로 구성되어 있다(Shin *et al.*, 2005).

### 2.2. 공시재료

참나무류의 연년생장이 지역적으로 차이가 있는지, 또한 동일 조사구내에서는 어떤 차이가 있는지를 검토하기 위하여 월악산 지역 참나무림에서 15×15 m 표본구 10개소, 중왕산 지역 참나무림에서 15×15 m 표본구 9개소에 대한 매목조사를 실시하였다. 매목조사는 흉고직경 2 cm이상의 모든 수목을 조사하였으며, 흉고직경 15 cm 이상의 참나무류 전체에 대하여 장단 2방향의 생장편 524개를 지면으로부터 30 cm 높이에서 채취하였다. 채취한 생장편은 LINTAB 연륜폭측정기를 이용하여 0.01 mm까지 측정하였으며 장단 2방향의 평균값을 분석자료로 이용하였다.

### 2.3. 분석방법

측정자료의 분석은 TSAP (Time Series Analysis and Presentation) program (Rinn, 1996)을 이용하였으며, 그래프법으로 크로스데이팅(cross dating)하고 서로 같은 경향의 성장패턴을 갖는 개체들을 그룹화하여 비교하였다. 크로스데이팅은 연륜폭의 넓고 좁음을 비교하여 연대를 파악하는 방법(Stokes and Smiley, 1968)이며 그래프법은 연륜폭을 측정하여 좁은 연륜이 나타나는 연대를 비교하는 방법이다(Schweingruber, 1988). 또한 지역별로 그룹 전체가 가지는 생장특성과 기상인자와의 관계를 검토하기 위하여 ARSTAN program (Cook, 1985; Holmes, 1994)을 이용하여 월악산과 중왕산의 직경생장량을 표준화하고 연륜폭지수(index chronology)을 구하였다. 표준화는 2중표준화법(double detrending method)을 이용하였으며 60년 스프라인을 이용하여 2회 표준화하였다. 표준화는 임목 고유의 성장경향 등과 같은 내적요인파 경쟁이나 교란 등과 같은 외적요인에 의한 영향을 제거하는 방법 (Yasue, 1998)이며, 연륜폭지수화(index chronology)는 생장추세선에 의하여 예측된 연륜값과 실제 연륜 측정값의 비를 계산하여 작성하는 것이다(Fritts, 1976).

기후인자와 연륜생장과의 관계를 분석하기 위하여 기상청의 기상자료를 이용하였다. 월평균 기온, 강수량, 일조량과 표준화된 지역별 연륜별 지수값과의 단순상

관분석을 하였으며 동일한 자료를 이용하여 반응합수 프로그램(PRECON)(Guiot, 1991)으로 분석한 결과를 비교 검토하였다.

연년생장량은 기상요인인 다양한 독립변수에 영향을 받고 이들 독립변수간에는 다중공선성이 있을 수 있기 때문에 기후인자와 연륜생장과의 관계를 분석하기 위해 독립변수들을 직교 변환하여 독립적인 주성분(principal component)형태로 변환하는 반응합수기 Fritts(1976)에 의하여 개발되었으며, 이 반응합수를 이용하여 기후인자와 연륜생장과의 관계를 분석하는 프로그램이 PRECON program이다.

### III. 결 과

월악산 지역의 조사지는 중왕산 지역의 조사지에 비하여 전체적으로 해발고가 낮은 반면에 지형이나 경사도의 변화가 심하다. 흉고직경 2 cm 이상의 임목 개체수의 밀도는 월악산지역(평균 0.288주/m<sup>2</sup>)이 중왕산 지역(평균 0.111주/m<sup>2</sup>)에 비하여 2배 이상 월등히 높

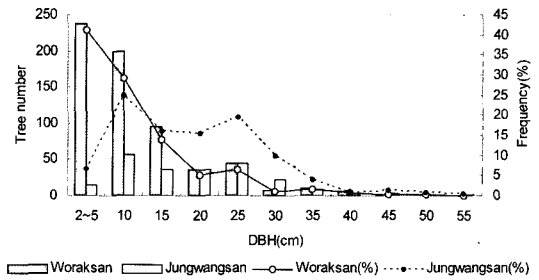


Fig. 2. Distributions and occurrence frequency by DBH of Quercus spp.

은 반면에 흉고단면적은 월악산지역(32.53m<sup>2</sup>/ha)과 중왕산지역(32.21m<sup>2</sup>/ha)이 차이가 없는 것으로 조사되었다(Fig. 2).

참나무류의 평균연년생장량은 월악산지역(1.57 mm/년)에 비하여 중왕산지역(1.69 mm/년)이 다소 높은 것으로 나타났으며, 월악산지역은 동일 plot 내에서도 개체 간에 연년생장량의 변이 폭이 큰 것으로 나타났다(Table 1).

조사지 전체 19개 plot에 출현한 흉고직경 2 cm

Table 1. Comparison of annual growth by site types

Plot <sup>1)</sup>	Altitude (m)	Topog.	Aspect	Slop (°)	Soil		Tree of DBH≥2 cm in plot		Tree-ring width of Quercus spp.		Tree age	
					Depth	Type <sup>2)</sup>	Tree no. <sup>3)</sup> (Q. spp.)	BA <sup>4)</sup> (m <sup>2</sup> /ha)	Mean (mm)	CV <sup>5)</sup> (%)	Mean	Range
WL 3	450	hillside	SE	40	medium	SiL	59(44)	36.3	1.85	52.7	35	22~43
WL 7	479	bottom	SE	30	shallow	SiL	58(26)	32.0	1.80	31.8	40	27~59
WL10	685	top	E	24	shallow	SiCL	18(16)	35.0	1.17	22.8	6	20~85
WL11	563	hillside	NW	34	shallow	SiL	41(28)	25.6	0.97	38.6	61	28~86
WL12	735	top	NE	32	shallow	SiL	44(27)	39.0	1.65	36.0	59	28~75
WL13	693	top	NE	20	shallow	SiC	27(17)	39.3	1.55	26.7	57	31~77
WL20	748	bottom	SE	27	deep	SaCL	91(68)	31.6	1.48	30.8	47	23~69
WL21	887	top	SW	21	shallow	SiC	137(107)	24.6	1.07	16.9	40	24~46
WL23	513	bottom	E	17	deep	L	86(85)	37.0	1.31	20.9	51	33~75
WL25	295	bottom	SE	18	shallow	Si	87(47)	24.8	2.87	40.8	31	14~72
JW 1	1076	hillside	NE	33	deep	SiL	15(8)	25.0	2.22	35.0	55	45~66
JW 2	1026	hillside	W	33	deep	SiL	25(24)	38.8	1.26	20.3	69	38~76
JW 3	1134	hillside	E	23	deep	SiL	26(8)	40.6	1.41	37.1	63	37~82
JW 4	1174	hillside	SE	26	deep	L	27(19)	32.3	1.59	22.6	59	24~70
JW 5	1276	top	SE	22	deep	SiL	26(19)	43.1	1.18	23.7	75	48~84
JW 6	957	hillside	NE	28	deep	L	5(4)	24.3	2.57	23.3	55	36~73
JW 7	950	hillside	NE	25	deep	L	62(22)	24.2	1.57	25.2	45	29~52
JW 8	1014	hillside	NE	25	middle	SiL	20(18)	37.9	1.39	26.6	60	39~67
JW 9	986	hillside	SW	28	deep	SiL	19(16)	23.7	1.97	32.4	39	24~81

<sup>1)</sup>WL: plots in Mt. Worak, JW: plots in Mt. Jungwang, <sup>2)</sup>Si: silt, L: loam, C: clay, Sa: sand <sup>3)</sup>Individual number of tree, <sup>4)</sup>Basal area, <sup>5)</sup>Coefficient of variation

**Table 2.** Annual growth by Species

Species	Tree-ring width		
	Mean (1/100 mm)	Sstandard deviation (1/100 mm)	coefficient of variation (%)
<i>Quercus serrata</i>	249	249	100
<i>Quercus variabilis</i>	159	109	69
<i>Quercus mongolica</i>	142	96	68
<i>Quercus dentata</i>	117	76	65

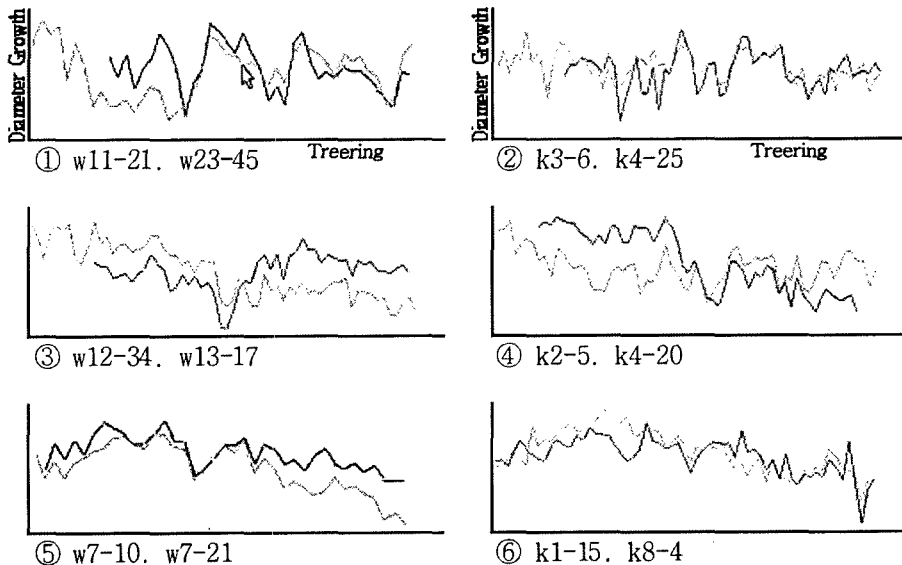
이상의 참나무류(874주/4275m<sup>2</sup>)는 신갈나무가 48.9%, 굴참나무 14.9%, 졸참나무 5.5%, 떡갈나무 0.6%의 순으로 나타났으며 연년생장량은 Table 2와 같이 졸참나무, 굴참나무, 신갈나무, 떡갈나무의 순으로 나타났다.

LINTAB 연륜폭 측정기를 이용하여 측정한 참나무류 262 개체의 자료를 TSAP program을 이용하여 크로스데이팅한 결과, 83개의 시료가 Fig. 3과 같이 일정한 패턴으로 변화되고 있는 것으로 나타났다. Fig. 3의 ①과 ②에서는 두 개체의 성장평균이 대체로 평형상태를 이루고 있고, ③과 ④에서는 한 개체의 연륜생장폭은 평균적으로 평형상태를 유지하지만 다른 개체는 연차적으로 감소하는 경향을 나타내고 있다. ⑤에서는 w7-10개체의 생장이 w7-21보다 더 급격히 감소하는 추세를 나타내고 있으며, ⑥에서는 두개체의 생장이 모두 감소하는 경향을 보이고 있다. 이처럼 연륜

폭 연년생장은 다양한 양상으로 나타나지만, 그 진폭의 변화패턴은 연도에 따라서 여러 개체 간에 유관하게 변화되고 있음을 알 수 있다. 그러나 월악산 지역의 참나무류 개체와 중왕산지역의 개체간에는 유관한 변화를 보이는 쌍이 나타나지 않음으로서 지역에 따라 성장 패턴이 매우 다른 것으로 나타났다.

크로스데이팅 결과 월악산의 경우 150개의 시료 중 36개의 시료가 서로 유관하게 변화되고 있었으며 36개의 시료들은 4개의 군으로 나뉘어졌다. 반면에 중왕산의 경우는 103개의 시료중 47개의 시료 모두가 유사한 성장패턴으로 변화되고 있었다. 월악산의 경우 4개의 군으로 나누어진 수목개체들은 3, 7, 23 조사구(해발고 450~513m)의 개체들과 11, 23 조사구(513~563m)의 개체들, 12, 13 조사구(693~735m)의 개체들, 20, 21 조사구(748~887m)의 개체들이 하나의 군으로 구성되어 있었다. 반면에 중왕산의 경우에는 47개의 개체 모두 하나의 군으로 분류되었으나 연도별 성장 패턴의 특성을 비교하기 위하여 2개군으로 나누어 누적그래프로 나타내었다(Fig. 4).

Fig. 4에 나타난 특징적인 사항은 월악산지역의 경우 1975년부터 1980년 사이와 1982년도에 생장이 부진하였던 반면에 중왕산지역의 경우 1974년도부터 1980년 사이는 점차 생장이 증가하였으며 1982년도에는 생장이 증가되었다. 그러나 1988년도와 2001년도에는 월악산지역과 중왕산지역 모두 생장이 감소하였다.



**Fig. 3.** Fluctuation patten of tree-ring between individuals by cross-dating.

기존의 연구에서 한라산 구상나무의 생장은 4월과 전년 11월의 기온 및 전년 12월, 당해 1월의 강수량과 유의한 상관관계가 있다(Koo *et al.*, 2001)고 하였으며, Stahle(1991)은 *Quercus stellata*의 연륜지수가 일조시간과 큰 상관관계가 있다고 하였다. 본 연구에서도 두 지역간의 성장패턴 차이는 기상요인과 관계가 있을 것으로 추정되었다. 따라서 지역별로 표준화한 연륜지수와 기상요인과의 단순상관관계를 분석한 결과 중왕산의 경우 7월의 강수량과 유의한 음의 상관관계가 있었으며 7월의 기온, 일조량과는 유의한 양의 상관관계가 있었고, 월악산의 경우는 6월의 강수량과 양의 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 또한 다양한 기상요인에 의한 독립변수간 다중공선성을 고려한 기후인자와 연륜생장과의 관계 분석프로그램인

PRECON program을 이용한 분석에서는 중왕산 지역에서는 7월의 기온과 일조시간이 연륜생장과 유의한 상관관계가 있었으며 월악산지역에서는 3월의 일조시간과 6월의 강수량이 연륜생장과 유의한 상관관계가 있는 것으로 분석되었다(Fig. 5).

#### IV. 고 찰

월악산 지역의 개체밀도는 중왕산지역에 비하여 2.6 배 정도로 월등히 높았음에도 불구하고 중왕산지역과 흉고단면적(월악산 32.53 m<sup>2</sup>/ha, 중왕산 32.21 m<sup>2</sup>/ha)이 근사하게 나타났다는 것은 결국 중왕산 지역의 임목이 월악산 지역에 비하여 매우 크다는 것을 의미한다. 실제로 연륜 폭 측정시에 나타난 결과도 참나무류

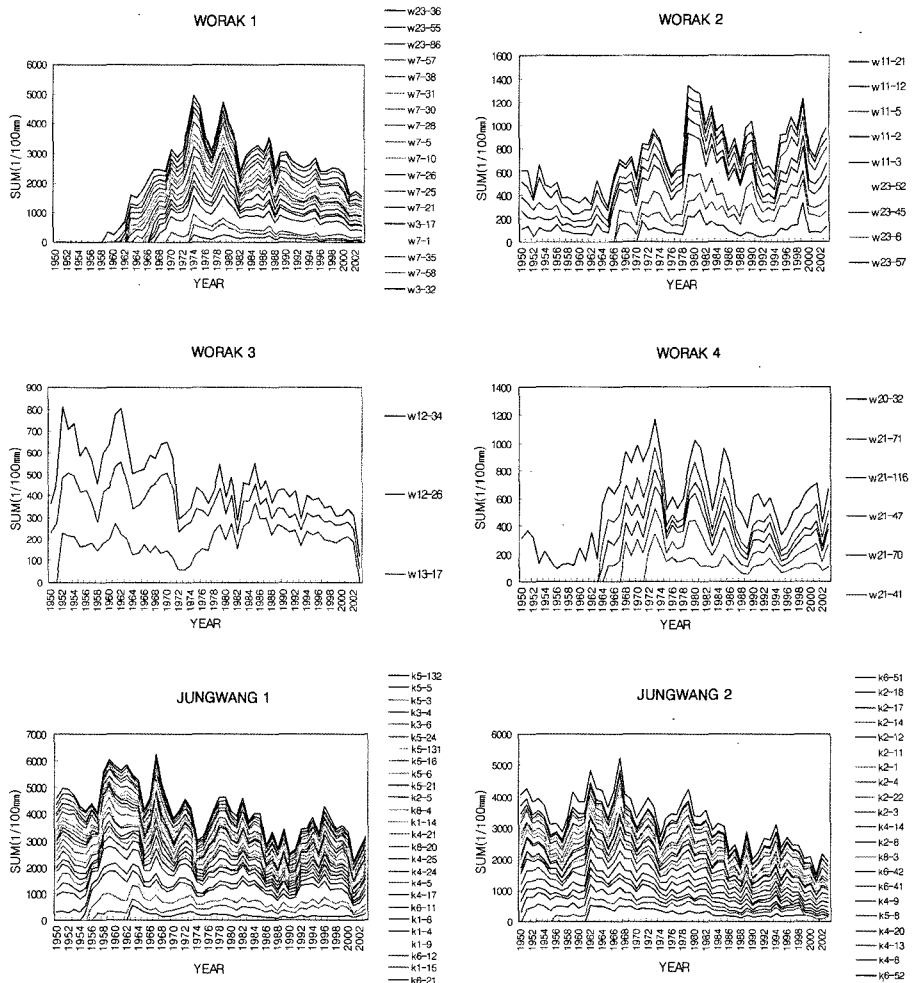


Fig. 4. Individual groups divided by fluctuation patterns of tree-ring width.

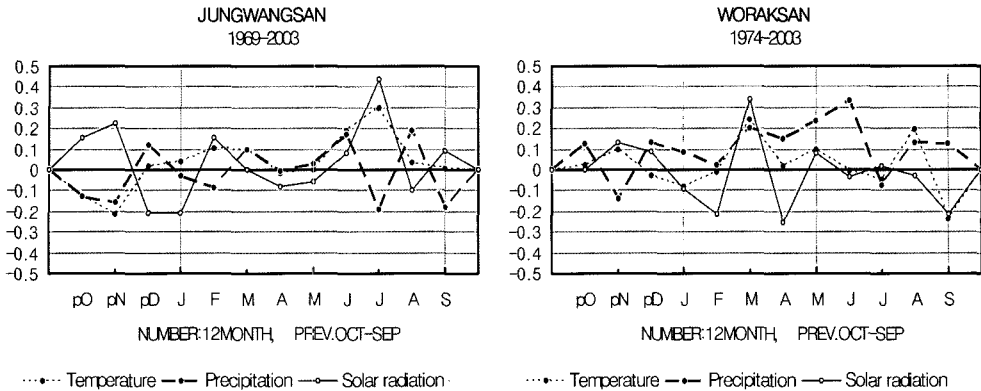


Fig. 5. Correlations between tree-ring width and climate factors.

의 경우 중왕산 지역 임목의 임령은 60년 이상이 많았으나 월악산의 경우는 대부분 임령이 50년 미만인 것으로 나타났다(Fig. 2). 또한 임목은 생장이 왕성한 초기생장기가 지나고 임령이 높아질수록 연년직경 성장량은 적어진다. 그럼에도 불구하고 임령이 높은 중왕산의 참나무류 연년 연륜성장 폭(평균 1.69 mm/년)이 월악산 (1.57 mm/년)에 비하여 높게 나타난 것은 월악산지역에 암석지가 많고 지형의 변화가 심하며 토양조건 등 생육환경이 중왕산에 비하여 열악하기 때문인 것으로 판단된다.

두 지역에서 조사된 참나무류의 구성비는 신갈나무(48.9%), 굴참나무(14.9%), 졸참나무(5.5%) 등의 순으로 나타났으나 연년성장 연륜폭은 졸참나무가 굴참나무나 신갈나무에 비하여 월등히 높은 것으로 나타났다(Table 2).

흉고직경 15 cm 이상인 참나무류의 연륜을 크로스 데이팅(cross dating)한 결과에 따라 월악산과 중왕산 지역의 성장패턴은 서로 다른 것으로 나타났다. 지역별로 구분된 시료들 간에도 서로 관련한 변화를 하고 있는 쌍들을 집단화 한 결과 중왕산 지역의 개체들은 모두 한 개의 집단으로 분류되었으나 월악산의 경우는 해발고에 따라 4개의 집단으로 분류되었다. 이와 같이 나타난 것은 중왕산의 경우는 조사구별로 생육환경의 변화가 심하지 않은 반면에 월악산의 경우는 해발고, 지형, 토심 등 조사구별 변화가 심하기 때문인 것으로 판단되며, 특히 같은 지역 내에서도 해발고에 따른 차이는 큰 것으로 나타났다.

지역별 연륜폭성장 특성의 원인과 기상요인과의 관계를 검토한 결과 중왕산의 경우 단순상관에서는 7월

의 강수량과 음의 상관성이 있으며 7월의 기온, 일조시간과는 유의한 양의 상관성이 있는 것으로 나타났고, 기상인자간 다중공선성을 고려한 분석에서는 7월의 기온, 일조시간과 유의한 양의 상관성이 있는 것으로 나타났다. 이는 중왕산 조사지(평균해발고: 1066m)의 경우는 월악산(평균해발고: 605 m)에 비하여 평균적으로 해발고가 461 m 높기 때문에 비가 많이 오는 시기인 7월은 강수량보다 기온이나 일조량이 연년성장량에 보다 큰 영향을 미치는 것으로 생각된다. 또한 월악산의 경우는 3월의 일조시간과 6월의 강수량이 연륜생장과 유의한 양의 상관성이 있는 것으로 나타났다. 이는 월악산의 경우 대체로 경사가 급하고 토심이 얇아 보수력이 약하기 때문에 생장기인 6월의 수분부족은 생장에 크게 영향을 미치는 것으로 판단된다.

적 요

우리나라 중북부의 산림에서 참나무류의 연년 직경 성장 변화와 온도, 강수량, 일조량 등 기상요인과의 관계를 분석하였다. 연년직경생장은 262개의 참나무에서 채취한 성장편을 이용하여 측정하였다. 참나무류의 연년직경생장은 월악산보다 중왕산에서 더 좋았으며, 종별로는 졸참나무>굴참나무>신갈나무>떡갈나무 순으로 크게 나타났다. 월악산과 중왕산 두 지역간의 참나무류 성장패턴은 서로 달랐으며, 중왕산에서는 참나무류의 직경생장이 7월의 기온이나 일조량과 양의 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 그러나 월악산에서는 3월의 일조량과 6월의 강수량이 연륜생장과 유의한 양의 상관성이 있는 것으로 나타났다. 같은 지역의 산림

내에서 참나무류의 직경생장에 영향을 미치는 기상조건이 같아도 해발고, 지형, 토심과 같은 식생환경에 따라 기상인자의 영향정도가 다른 것으로 추정된다.

### 감사의 글

본 연구는 충북대학교 목재연료 소재은행의 소재 및 기기를 활용하였으며, 분석에 도움을 준 소재은행의 김요정 연구원과 독일 함부르크대학 목재생물연구소의 서정욱 연구원에게 감사드립니다.

### REFERENCES

- Cook, E. R., 1985: A time series analysis approach to tree ring standardization. Ph.D. dissertation, University of Arizona, Tucson.
- Fritts, H. C., 1976: *Tree rings and climate*. Academic Press Inc., 579pp.
- Guiot, J., 1991: The bootstrapped response function. *Tree-ring Bulletin* **51**, 39-42.
- Holmes, R. L., 1994: *The dendrochronology program library version 1994*. Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona, Tucson.
- Kang, S. J., 1996: *Woraksan national park natural resource investigation*. Korea National Park Authority, 218pp.
- Kim, J. H., H. M. Yang, and G. T. Kim, 1999: The pattern of natural regeneration by tree different silvicultural systems in a natural deciduous forest. *Journal of Korean Forest Society* **88**(2), 169-178.
- Koo, K. A., W. K. Park, and W. S. Kong, 2001: Dendrochronological analysis of *Abies koreana* W. at Mt. Halla, Korea: Effects of climate change on the growths. *Journal of Korean Ecology* **24**(5), 281-288.
- Rinn, F., 1996: *TSAP time series analysis and presentation, version 3.0 reference manual*. Heidelberg.
- Schweingruber, F. H., 1988: *Tree-rings: Basics and application of dendrochronology*. Kluwer Academic, Dordrecht, Netherlands., 276pp.
- Shin, M. Y., S. M. Lee, and D. K. Lee, 2005: Forest management using growth and ecological characteristics by site types in the natural deciduous forest. *Journal of Korean Forest Society* **94**(1), 26-33.
- Stahle, D. W., 1991: Tree-ring reconstructed sunshine duration over central USA. *International Journal of Climatology* **11**, 285-295.
- Stokes, M. A. and T. L. Smiley, 1968: *An introduction to tree-ring dating*. University of Chicago Press, Chicago, 72pp.
- Yasue, K., 1998: Methods of standardization and autoregressive modeling for dendroclimatological study. Park, W. K., 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, Korea, 58-67.