

## 경북 지역 소나무의 연륜생태학적 특성에 관한 연구

이상태<sup>1</sup> · 윤석락<sup>2</sup> · 박은희<sup>2</sup> · 김종갑<sup>2</sup> · 정영관<sup>2</sup>

<sup>1</sup>국립산림과학원 남부산림연구소, <sup>2</sup>경상대학교 산림과학부

(2005년 11월 15일 접수; 2005년 12월 2일 수락)

### The Dendrochronological Characteristic of *Pinus densiflora* in Gyeongbuk Region

Sang-Tae Lee<sup>1</sup>, Seok-Lak Yoon<sup>2</sup>, Eun-Hee Park<sup>2</sup>, Jong-Kab Kim<sup>2</sup> and Young-Gwan Chung<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Southern Forest Research Center, Korea Forest Research Institute Jinju, 660-330, Korea

<sup>2</sup>Gyeongsang National University Forest Division Science, Jinju, 660-700, Korea

(Received November 14, 2005; Accepted December 2, 2005)

#### ABSTRACT

This paper reports on the dendrochronological investigation of tree ring growth of *Pinus densiflora* in the Gyeongbuk region. Tree ring growth was analysed using basic statistical value and correlation analysis to evaluate the relative contribution of climatic factors. To extract age-related trends and nonclimatic signals, each measurement series was standardized using a negative exponential growth function. In the Gyeongbuk region, tree ring growth was positively correlated with the current year in February, March and April. January, February, and March precipitation showed a positive correlation with the current growth year. This suggests that climatic factors (monthly average temperature, precipitation) limit breaking of dormancy and promotion of growth of *Pinus densiflora* in the Gyeongbuk region.

**Key words :** Dendrochronological, *Pinus densiflora*, Tree ring, Correlation analysis

#### I. 서 론

인간이 살아가고 있는 자연 환경은 의도적 혹은 비 의도적인 행위로 인해 과거에 비해 많이 달라지고 변화하고 있다. 특히 기후 변화는 현재 인류가 직면하고 있는 가장 무서운 변동 중의 하나이며, 우리가 다루고 있는 여러 생태계 중에서도 산림생태계에 큰 영향을 미치고 있다. 이러한 산림생태계의 영향은 많은 학자들에 의해서 임목과 산림 성장간의 기후적 영향에 대한 연구를 통하여 밝혀지고 있다(Kim and Kil, 1996; Cha, 1998). 기후의 변화는 산림에 있어서 수목 생육 한계선의 변화를 가져오며, 이러한 결과로 산림의 중

다양성과 산림생태계를 변화시키는 큰 문제를 야기 시키고 있다. 현재 남부지방의 경우 해안 도서지방을 중심으로 기존의 침엽수림은 도퇴 되고 난대림이 그 자리를 매김질 하고 있다. 그 변화의 중심에는 비록 침엽수림에서 발생되는 각종 해충의 발생도 그 원인 중의 하나 일 것이나, 온대기후에서 난대기후로의 점진적 변화는 활엽수림과의 경쟁에서 밀려나는 양상을 보이고 있다. 즉, 기후 변화에 따른 산림식생이 변화되고 있는 한 과정인 것이다.

연륜연대학이란 임목의 연륜성장량 즉 연륜의 생장을 이용하여 기후 및 환경변화와 이에 따른 반응의 관계를 연구하는 학문으로서 다양한 분야에서 널리 이

용되고 있다. 임목의 성장과 관련된 여러 요인들 중 기상인자는 임목의 연년 성장에 대한 기후적 제한요인의 한 지표로서 중요한 역할을 하고 있으며, 특히 강수와 온도는 임목의 연륜생장에 관한 연구를 보고한바 있다(Fritts, 1976; Park, 1993). 또한 임목의 연륜생장과 강수 및 온도와의 관계를 구명하여 고기후 복원의 연륜기후학(Houghes *et al.*, 1982), 지구환경변화에 대한 생태적 측면에서의 연륜생태학(Edmonds *et al.*, 1993; Allison *et al.*, 1994) 등 다양한 연구가 수행되고 있다.

임목의 성장은 같은 수종이라 할지라도 입지, 환경 및 유전적 요인에 따라 각각 다르게 나타난다. 또한 임목의 성장에 관여하는 주요인자는 기상인자, 생물인자, 토양인자 등으로 크게 나누어지며, 이들의 유기적인 관계에 의하여 임목의 형체가 이루어지고 있다. 임업에 있어서 자연적 입지개념의 설명에서 기후, 토양, 지형 등의 환경영향인자들이 성장에 크게 관여한다고 하였으며, 다양한 인자들의 복합적이고, 유기적인 관계에 의하여 성장된다.

현재 소나무의 성장과 관련된 연구는 지위지수사정, 수고 및 흉고직경 성장함수 모델 추정, 토양의 이화학 적 성질에 의한 성장 해석과 병해충 등 다양하게 진행되고 있다. Kim(1963)은 강원도산 소나무림의 임분 밀도지수 분석에서 적정 수준의 임분 밀도와 본수에 대한 연구를 하였으며, Lee *et al.*(1987, 1998)은 토양인자와 소나무의 직경성장간의 관계를, Choung and Kim(1987)은 산화지역에서 시간의 경과에 따른 토양과 유출수의 화학적 성질 및 식물량간의 관계와 소나무림의 성장간의 관계를 구명하였다. Yim *et al.*(1980)은 경기도지방의 적송림 천이를 구명하기 위

하여 솔잎혹파리의 피해 조사지역별 산림군집구조와 식물상의 변화에 따른 적응의 식생변화, 환경요인과 식생상태와의 관계 등에 관해서 발표하였다. 이와 같이 소나무에 대한 토양 성질과, 임분 성장 등에 대한 많은 연구가 있었으나, 임목의 성장에 입지적 요인의 다른 환경적 요인인 온도, 강수 등 기후와 관련된 연구는 흔하지 않다. 특히 소나무는 현재 임산물 소득원인 송이버섯의 근원지로서 그 중요성이 대두되고 있으며, 소나무의 연륜생장과 송이버섯과의 관계에서 숙주인 소나무의 활력과 기후인자 등이 송이의 생성에 영향을 미치는 등 경제적 측면에서도 그 중요성이 대두되고 있다(Koo, 1998).

따라서 본 연구는 지역별 소나무의 연륜생장과 온도 및 강수량에 대한 연륜생태학적 해석을 적용, 주요 월별기후인자가 연륜생장에 미치는 영향과 지역별 생장의 특성 및 기후권역에 따른 영향을 분석하고자 실시되었다.

## II. 재료 및 방법

### 2.1. 조사지 개황

본 연구 조사지는 경북지역에 널리 분포되어 있는 우리나라를 대표하는 침엽수종인 소나무 임분을 대상으로 조사를 실시하였다. 해당 조사지역은 9개 시·군 지역을 대상으로 실시하였으며 조사지 개황은 Table 1과 같다.

Table 1에서, 조사대상지는 구미시, 문경시, 봉화군, 영덕군, 영주시 그리고 영천시, 울진군, 의성군, 포항시 등 9개 시·군을 대상으로 소나무 임분이 형성되어 있는 곳을 대상지로 선정하였다. 각 조사지역별 plot 수

**Table 1.** General descriptions of surveyed region for *Pinus densiflora* stands in Gyeongbuk Province

Region	No. of plot	No. of Tree (cores)	Height (m)	D.B.H. (cm)	Slope (°)	Age
Kumi-si	4	38(76)	9~16	30~50	10~25	38~92
Mungyeong-si	4	40(80)	8~15	27~47	10~30	54~95
Bonghwa-gun	5	51(102)	9~15	29~72	10~35	42~91
Yeongduk-gun	5	44(88)	10~14	21~58	5~30	34~90
Yeongju-si	5	43(86)	8~15	30~43	15~35	37~86
Yeongchun-si	4	31(62)	7~13	30~60	5~25	45~105
Ulsjin-gun	4	41(82)	9~15	30~55	5~30	47~97
Euiseong-gun	5	43(86)	8~14	25~51	5~25	41~96
Pohang-si	4	35(70)	9~13	29~55	5~25	50~102

는 4~5개소를 대상으로 조사하였으며, 표준목 선정은 우세목과 준우세목의 상층 임분에서 5~10본을 선정하여 목편을 채취하였다(Graumlich, 1991; Andreas et al., 2001). 동일 plot에서 많은 수의 표준목을 선정하여 목편을 채취할 경우 발생하는 분산의 변동을 고려하여 현재 일반적으로 적용되는 10본 내외의 표준목을 선정하여 조사하였다(Cook and Briffa, 1990).

## 2.2. 조사방법 자료 분석

### 2.2.1. 목편채취 및 연륜측정

목편 채취는 입축이상재에 의한 성장량의 변이를 제거하기 위하여 해당 임목의 경사와 직교 방향에서 2개를 채취하였다. 목편 추출부위는 지상 1.2m되는 흉고직경 부위에서 성장추를 이용하여, 가능한 정확한 수령 파악을 위하여 수(pith)를 관통하도록 하였다(Ronda et al., 1995).

채취된 목편은 실험실에서 잘 건조시킨 후 연륜이 잘 보이게 연마한 후 Windendro™을 이용하여 1/100 mm 단위까지 측정하였다. 먼저 측정에 앞서 정확한 생육 연도를 부여하기 위하여 크로스데이팅(cross-dating)을 실시하였다(Kennel and Schweingruber, 1995). 크로스데이팅(cross-dating)은 임목에서 추출된 목편의 정확한 생육 연도를 측정하는 것으로서, 지표연대기와 지역연대기의 성장시점간의 정확한 연륜성장량을 분석하기 위하여 골격도법(skeleton plot)과 측정된 연륜폭을 그래프상에 도시하여 비교하는 그래프방법을 병용하여 정확한 생육시기를 측정하였다(Schweingruber, 1987).

### 2.2.2. 기초통계량

연륜 폭에 의해서 계산된 연대기(chronology)의 일반적인 기초통계량 중 평균민감도(mean sensitivity)와 자기상관(autocorrelation), 연대기의 정규성 검정을 위한 평균, 첨도, 왜도 그리고 평균민감도를 구하였다(Hughes et al., 1982). 또한 동일 연대기내의 지속성을 측정하는 인자로서 당해연도의 임목생장이 전년도에 형성되어진 성장물질이 전이되는 생물학적 생장의 지속성을 측정하는 값으로서 자기상관분석을 실시하였다(Yamaguchi, 1991).

각 연대기간에는 동일 임분이나 인접한 임분 간에도 유전적, 미세기후 및 생육환경의 차이가 있으며, 그 목편의 채취 방향에 따라 목편간, 성장간에 큰 차이가 있다. 이러한 동일 임목에서 추출된 두 개의 목편에서 발

생되는 생장의 차이와 다른 임목에서 추출된 목편들간의 성장 변이를 측정하기 위하여 동일 임목내( $r_{wi}$ : within-tree correlation) · 임목간( $r_{bt}$ : between-tree correlation)의 관계를 분석하였다(Cook and Briffa, 1990).

### 2.2.3. 연대기의 표준화

임목의 직경생장은 유풀기에 생장율이 높으며, 장령기에 도달할수록 생장율은 감소한다. 이는 줄기의 직경생장에 필요로 하는 광합성 물질이 상대적으로 일정한 수관에 비해 그 생산량이 충분하지 못하기 때문이다(Graumlich, 1991). 따라서 이러한 여러 요인들에 의해 발생하는 비기후적 요인과 추세 및 생육간의 편차를 제거하기 위하여 표준화(Murphy et al., 1992)를 실시하였다. 표준화는 실측된 직경성장량에 대한 생물학적 생육추세선에서 도출된 예측된 값으로 실측된 값을 나누어 연대기의 표준화된 지표연대기가 완성된다. 지역연대기는 표준화를 실시하여 만들어진 개체목의 지표연대기를 각 연도에 일치된 시점의 평균값을 이용하여 작성하였다. 본 분석에서는 실측된 각 지역별 소나무의 연륜성장량에 대한 생육추세 값은 음지수 성장곡선(negative exponential growth curve)을 이용하여 표준화를 실시하였다.

### 2.2.4. 연륜생장과 기상인자 분석

본 분석에 이용된 기상인자는 소나무의 연륜생장에 관여하리라 예상되는 월별 평균온도와 월별 강수량을 이용하였다. 각 지역별 기상자료는 각 조사지역의 기상 자료를 이용하였다. 일반적으로 소나무의 생장은 당년에 자랄 원기(primordia)가 전년도에 형성된 뒤에 이른 봄에 생장을 시작하는 고정생장을 한다(이경준, 1993). 이러한 소나무의 생리적 특성을 고려하여, 연륜생장과 기후인자와의 관계를 분석하기 위한 기상자료는 소나무의 직경생장에 관여되는 전년도 8월에서 당해연도 9월까지의 월별 평균온도와, 월별 강수량을 이용하였다(Cook and Briffa, 1990). 이들 자료는 표준화를 통하여 완성된 지역별 연대기와 기후인자간의 상관분석을 통하여 소나무와 연륜성장간의 관계를 분석하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 3.1. 연대기의 기초 통계량

각 개체목의 실측된 연대기는 지역별 연대기의 작성

**Table 2.** Summary statistics of the index chronology for each region

Region	Item	M.S.	Skewness	Kurtosis	Mean tree ring growth(mm)	1st-autocorrelation
	Kumi-si	0.22	0.919	2.524	0.98	0.002
	Mungyeong-si	0.17	0.964	0.902	1.00	0.040
	Bonghwa-gun	0.17	2.799	11.346	1.04	-0.035
	Yeongduk-gun	0.20	1.634	4.548	0.98	-0.065
	Yeongju-si	0.21	0.587	0.270	1.04	-0.026
	Yeongchun-si	0.19	0.364	-0.254	0.99	0.009
	Ulsan-gun	0.18	-0.323	0.357	1.01	-0.037
	Euisong-gun	0.20	2.177	5.401	0.99	-0.174
	Pohang-si	0.19	0.314	1.788	1.04	-0.292

Note) M.S. : mean sensitivity

과 지역 간의 성장 및 기후반응분석 등에 적용되며, 전체 지역별 지표연대기에 대한 기초통계량은 Table 2와 같다.

Table 2에 있어서 연속된 두 연륜 폭간의 변이를 나타내는 평균민감도는 0.17~0.22로 나타났으며, 지표연대기의 정규성 검정에 대한 기초통계량은 첨도 -0.323~2.799, 왜도 -0.254~11.346이며, 평균 연륜생장량은 0.98~1.04 mm를 보이고 있다. 생물학적 지속성을 나타내는 자기상관분석 결과 전체 범위는 -0.292~0.040으로서 생물학적 지속성이 대부분 제거되었다(Box *et al.*, 1994).

동일 임목에서 추출된 목편 및 각각의 임목에서 추출된 목편이 연륜 폭간에서 발생할 수 있는 변이를 측정하기 위하여, 동일 임목내상관( $r_{wi}$ : within-tree correlation) · 임목간상관( $r_{bi}$ : between-tree correlation) 관계를 분석한 결과는 Table 3과 같다.

동일 임목의 연륜폭간 상관분석결과 문경시 0.6238

**Table 3.** Summary characteristics of correlation analysis of *Pinus densiflora* for each region

Region	Item	Correlation coefficients	
		Within tree	Between tree
	Kumi-si	0.4871	0.4743
	Mungyeong-si	0.6238	0.4562
	Bonghwa-gun	0.4188	0.3844
	Yeongduk-gun	0.5536	0.4894
	Yeongju-si	0.3523	0.3429
	Yeongchun-si	0.4365	0.3921
	Ulsan-gun	0.4895	0.4561
	Euisong-gun	0.4391	0.3827
	Pohang-si	0.4365	0.3999

로 가장 높은 개체목내 상관을, 영덕군 지표연대기에서 0.5536 순으로 나타났으며 영주시가 가장 낮은 0.3523의 상관을 보이고 있다(Table 3). 개체목간의 상관에서는 영덕군이 0.4894, 구미시 0.4743 순으로 나타났으며, 영주시는 0.3429로 다른 지역에 비해 낮은 개체목간 상관을 보이고 있다. 이들 지역에서 나타난 연대기간의 상관은 Park(1993)의 지리산 구상나무에 대한 동일 임목내 상관 보다 높게 나타났으며, 임목간 상관과는 유사한 경향으로 나타났다. 이로 미루어 볼 때 본 조사지역에서 나타난 결과는 동일 임목내와 임목간의 변이는 큰 차이를 보이지 않음을 알 수 있다.

### 3.2. 연륜생장과 기후인자간의 관계

#### 3.2.1. 월별 평균온도

경북지역 소나무의 연륜생장과 월별 평균온도와의 관계를 분석한 결과는 Table 4와 같은 결과를 보였다.

Table 4와 같이 구미지역 소나무의 연륜생장과 월별 평균온도간에 있어서, 당해연도 1월과 8월 그리고 전년도 12월의 월별평균온도가 연륜생장에 정의 상관을, 문경에서 당해연도인 1월, 2월 그리고 5~7월의 월별 평균온도가 정의 상관으로 기여하며, 봉화지역에서 당해연도 3월이 정의 상관을, 전년도 10월의 온도가 부의 상관으로 나타나고 있다. 영덕에서 생장기 2~4월과 전년도 10월의 온도가 연륜생장에 대하여 정의 상관으로 나타났다. 영주의 경우 당해연도 1~3월에 정의 상관을 보이고 있으며, 영천지역에서 당해연도 2월과 5월, 6월의 월별평균온도가 정의 상관으로 나타나고 있다. 울진지역에서 생장기 2월, 4월 그리고 7월의 온도가 정의 상관을 보이고 있으며, 의성지역에서 당해연

**Table 4.** Summary table for showing the statistical significant relation between tree ring growth of *Pinus densiflora* and average monthly temperature in Gyeongbuk region

Region	Month	Previous year					Current year								
		8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Kumi-si						+	+								+
Mungyeong-si							+	+			+	+	+		
Bonghwa-gun				-					+						
Yeongduk-gun				+				+	+	+					
Yeongju-si							+	+	+						
Yeongchun-si								+			+	+			
Uljin-gun								+		+				+	
Euiseong-gun									+					+	
Pohang-si			+	-				+	+						+

+, - refer to significance at 5% level respectively

**Table 5.** Summary table for showing the statistical significant relation between tree ring growth of *Pinus densiflora* and monthly precipitation in Gyeongbuk region

Region	Month	Previous year					Current year								
		8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Kumi-si		+	+												+
Mungyeong-si							+		+		+				
Bonghwa-gun		+					+	+							
Yeongduk-gun					+						+				+
Yeongju-si							+		+			+			
Yeongchun-si		+	+			+		+							
Uljin-gun					+							+			
Euiseong-gun		+			+					+	+			+	
Pohang-si			+					+							+

+, - refer to significance at 5% level respectively

도 4월과 7월의 월별평균온도가 직경생장에 정의 상관으로 기여하고 있다. 포항지역의 경우 소나무 연륜생장량과 월별평균온도간에 있어서 2월과 3월 9월과 전년도 9월이 양의 상관을 그리고 전년도 10월의 온도가 상반되는 부의 상관으로 나타났다.

이와 같이 경북지역 소나무의 연륜생장과 월별 평균온도와의 관계에서 2월과 3월 그리고 4월의 월별평균온도가 크게 기여하고 있으며, 온도 변화가 직경생장에 큰 영향을 미치고 있는 것으로 판단된다. 일반적으로 침엽수의 경우 성장 초기의 따뜻한 온도는 춘재도관의 크기생장에 영향을 주어 직경생장을 왕성하게 한다 (Zimmerman and Brown, 1971; Ginter-Whitehouse et al., 1983; Graumlich, 1993). 또한 10월의 온도가 부의 상관으로 나타나는 것은 Jonsson and Bhattacharyya (1992)이 겨울철 높은 온도는 토양의 수분 손실을 야기하여 토양 속의 수분 저장능력 감소로 인하여 다음

해의 임목생장에 저해된다는 연구결과와 유사한 것으로서, 이 시기의 수분 스트레스가 직경생장에 영향을 미치는 것으로 판단된다. 경북지역 소나무의 연륜생장과 온도간의 관계에서 2월부터 3월 임목의 휴면기가 끝나고 생장이 시작되는 시점의 온도 상승이 소나무의 연륜생장에 영향을 미치는 것으로 사료된다.

### 3.2.2. 월별강수량

각 지역별 소나무의 연륜생장과 월별강수량간의 상관관계를 분석한 결과는 Table 5와 같이 나타났다.

Table 5에서 소나무의 연륜생장과 월별강수량간의 관계를 분석한 결과 구미지역은 당해연도 8월과 전년도 8월과 9월의 월별강수량이 소나무의 연륜생장과 정의 상관을, 문경지역에서 월별강수량간에 당해연도 1월, 3월, 5월이 정의 상관을, 봉화지역에서 당해연도인 1월과 2월, 전년도 8월의 월별강수량이 연륜생장과 정

의 상관관을 보이고 있으며, 영덕지역에서 당해연도 5월과 8월, 전년도 10월의 월별강수량이 연륜생장에 정의 상관관으로 나타났다. 영주지역에서 당해연도 1월, 3월, 6월의 월별강수량이 정의 상관관으로 직경생장에 영향을 미치고 있다. 영천지역에서 당해연도 2월과, 전년도 8월과 9월 그리고 12월의 월별강수량이 정의 상관관을 보이고 있다. 울진지역에서 당해연도 6월과 전년도 10월의 월별강수량이 정의 상관관으로 기여하고 있다. 의성지역에서 당해연도 4월과 5월, 7월 그리고 전년도 8월과 10월의 월별강수량이 직경생장에 정의 상관관으로 나타났다. 포항지역은 당년 2월과 9월 그리고 전년도 9월이 정의 상관관으로 강수량과의 관계를 보여주고 있다.

대부분의 지역에서 월별강수량과 연륜생장간에는 당해연도 1~3월의 강수가 직경생장에 정의 상관관으로 기여하고 있는데, 이러한 결과는 늦겨울에 내리는 강수는 임목생장의 촉진과 휴면기 종식에 영향을 미치고 있는 것으로 사료된다. 또한 이들 시기는 소나무의 생장이 시작되는 시기와 휴면이 끝나는 시기로서, 임목의 생장기에 필요한 수분의 공급이 직경생장에 영향을 미치는 것으로 판단된다(Kienast *et al.*, 1987). 이러한 결과는 Jacques *et al.*(2001)과 Larsen and Macdonald (1995)가 남서부 퀘벡과 Alberta의 노령목을 대상으로 한 연륜기후학적 분석결과에서 생장기의 강수량이 임목의 직경생장에 정의 상관관을 보인다는 연구결과와 유사한 것으로 나타났으며, 전년도 8~10월에 내리는 강수는 추제 형성시기에 적절한 수분 공급을 통하여 임목의 생장에 관여하는 것으로 판단된다. 전년도에 내린 강수의 영향은 Barnes(1963)는 일반적으로 온대기후에서는 토양의 수분부족은 생장에 있어서 당해연도의 생장 및 다음해의 생장에도 영향을 미친다고 하였으며, 이 시기의 온도 상승에 따른 토양수분의 손실은 당해연도뿐만 아니라 다음해의 생장에도 저해요인으로 작용하는 것으로 판단된다.

#### IV. 적 요

본 논문은 경북지역 소나무의 연륜생장에 대하여 연륜생태학적 해석을 통하여 월별 기후인자(월별평균온도, 월별강수량)간의 관계를 기초통계량 및 상관분석을 실시하였다. 실측된 연륜생장곡선은 수령 및 비기후적인 요소를 제거하기 위하여 음지수생장곡선을 이용하여 표준화를 실시하였다. 경북지역 소나무 연륜생장과

기후인자간의 관계에서 당해연도 2~4월 까지의 월별평균온도가 정의 상관관으로 영향을 미치고 있으며, 월별강수의 경우 당해연도 1~3월의 강수가 연륜생장에 정의 상관관으로 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이러한 결과로 미루어 경북지역 소나무의 연륜생장에 있어서 휴면기가 끝나고 생장이 시작되는 시점에서의 기후인자가 생장을 촉진시키는 요인인 것으로 판단된다.

#### 인용문헌

- 이경준, 1993: *수목생리학*. 서울대학교 출판부. 514pp.
- Allison, M. F., D. L. Proe and K. B. Matthews, 1994: Transition and gap models of forest dynamics. *Ecological applications* **5**(4), 1040-1055.
- Andreas R. Philip O. Waldner, Theodor F., Otto U. Braker and Antti Pouttu, 2001: Ecological interpretation of tree-ring width and intraannual density fluctuations in *Pinus sylvestris* on dry sites in the central Alps and Siberia. *Canadian Journal of Forest Research* **31**, 18-31.
- Barnes, R. L., 1963: Organic nitrogen compounds in tree xylem sap. *Forest Science* **9**, 286-102.
- Box, G. E. P., G. M. Jenkins and G. C. Reinsel, 1994: *Time series analysis-forecasting and control*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J. 297pp.
- Cha, G. S., 1998: Estimation of changes in potential forest area under climate change. *Journal of Korean Forest Society* **87**(3), 358-365.
- Choung, Y. S. and J. H. Kim, 1987: Effects of fire on chemical properties of soil and runoff, and phytomass in *Pinus densiflora* forest. *Korean Journal of Ecology* **10**(3), 129-138.
- Cook, E. R. and K. R. Briffa, 1990: *In methods of dendrochronology: applications in the environmental science*. Edited by E. R. Cook and L. A. Kairiukstis. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands pp. 240-247.
- Edmonds, R. L., T. B. Thomas and K. P. Maybury, 1993: Tree population dynamics growth and mortality in old-growth forests in the western Olympic Mountain, Washington. *Canadian Journal of Forest Research* **23**, 512-519.
- Fritts, H. C., 1976: *Tree rings and Climate*. Academic Press Inc. (London) Ltd. 567pp.
- Ginter-Whitehouse, D. L., T. M. Hinckley and S. G. Pallardy, 1983: Spatial and temporal aspects of water relations of three tree species with different vascular anatomy. *Forest Science* **29**, 317-329.
- Graumlich, L. J., 1991: Subalpine tree growth, climatic, and increasing CO<sub>2</sub>: an assessment of recent growth trends. *Ecology* **72**, 1-11.
- Graumlich, L. J., 1993: Response of tree growth to climatic variation in the mixed conifer and deciduous forests of

- the upper Great Lakes region. *Canadian Journal of Forest Research* **23**, 133-143.
- Houghes, M. K. M., Kelly, P. M., Pilcher and J. R. Lamarche, 1982: *Climate from tree rings*. Cambridge University Press. 223pp.
- Jacques, T., B. Jacques and B. Yves, 2001: Dendroclimatic analysis of *Acer saccharum*, *Fagus grandifolia*, and *Tsuga canadensis* from and old-growth forests, southwestern, Quebec. *Canadian Journal of Forest Research* **31**, 1491-1501.
- Jonsson, R. A. and G. K. Bhattacharyya, 1992, *Stastics-Principle and Method*. Wiley and Sons, Inc. 686pp.
- Kennel, M. and F. H. Schweingruber, 1995: *Multilingual Glossary of Dendrochronology : Terms and Definitions in English, German, French, Spanish, Italian, Portugues and Russian*. Haupt. 467pp.
- Kienast, F., F. H. Schweingruber, O. U. Braker and E. Schar, 1987: Tree-ring studies on conifers along ecological gradients and the potential of single-year analysis. *Canadian Journal of Forest Research* **17**, 683-696.
- Kim, D. C., 1963: Stand density and optimum growing stock of Korean red pine forest in Kwanwon district. *Journal of Korean Forest Society* **3**, 47-49.
- Kim, J. U. and B. S. Kil, 1996: Estimation for Change of Net Primary Productivity and Potential Natural Vegetation in the Korean Peninsula by the Global Warming. *Korean Journal of Ecology* **19**(1), 1-7.
- Koo, C. D., 1998: Effects of climate on Pine-mushroom (*Tricholoma matsutake*) Production and Annual Tree-Ring Growth in Korea. *Proceedings of the east asia workshop on Tree-Ring analysis*. 112-146.
- Larsen, C. P. S. and G. M. Macdonald, 1995: Relations between tree-ring width, climate, and annual area burned in the boreal forests of Alberta. *Canadian Journal of Forest Research* **25**, 1746-1755.
- Lee, C. S. and J. H. Kim, 1987: Relationships between soil factors and growth of annual ring in *Pinus densiflora* on stony mountain. *Korean Journal of Ecology* **10**, 151-159.
- Lee, C. S., J. H. Kil and Y. H. You, 1998: Effects of Simulated Acid Rain on Histology, Water Status and Growth of *Pinus densiflora*. *Korean Journal of Ecology* **21**, 117-124.
- Murphy, J. O. and J. G. Palmer, 1992: A Comparison of two tree ring index standardization technique. *Canadian Journal of Forest Research* **22**, 1922-1928.
- Park, W. K., 1993: Increasing Atmospheric Carbon Dioxide and Growth Trends of Korean Subalpine Conifers-Dendrochronological Analysis-. *Journal of Korean Forest Society* **82**(1), 17-25.
- Ronda, L. Little, David, L. Peterson, David G. Silsbee, Lauri J. Shainsky and Larry, F. Dedner, 1995: Radial growth patterns and the effects of climate on second-growth Douglass-fir (*Pseudotsuga menziesii*) in the Siskiyou Mountains, Oregon. *Canadian Journal of Forest Research* **25**, 724-735.
- Schweingruber, F. H., 1987: *Tree Rings*. Library of Congress Cataloging in Publication Data. 81-93pp., 132-139pp.
- Yamaguchi, D. K., 1991: A simple method for cross-dating increasement cores from living trees. *Canadian Journal of Forest Research* **21**, 414-416.
- Yim, K. B., I. H. Park and K. J. Lee, 1980: Phytosociological Changes of *Pinus densiflora* Forest Induced by Insect Damage in Kyonggi-do Area. *Journal of Korean Forest Society* **50**, 56-71
- Zimmerman, M. H. and C. L. Brown, 1971: *Trees : Structure and function*. Springer-Verlag, New York. 336pp.