

기후인자가 *Pinus densiflora*의 연륜 성장에 미치는 영향

이상태^{1*} · 박문섭¹ · 전향미¹ · 박진영¹ · 조현서²

¹국립산림과학원 남부산림연구소, ²국립진주산업대학교 산림자원학과
(2008년 11월 11일 접수; 2008년 12월 19일 수정; 2008년 12월 29일 수락)

The Effects of Climatic Factors on the Tree Ring Growth of *Pinus densiflora*

Sang-Tae Lee^{1*}, Mun-Seop Park¹, Hyang-Mi Jun¹,
Jin-Young Park¹ and Hyun-Seo Cho²

¹Southern Forest Research Center, Korea Forest Research Institute, Jinju 660-300, Korea

²Department of Forest Resources, Jinju National University, Jinju 660-758, Korea

(Received November 11, 2008; Revised December 19, 2008; Accepted December 29, 2008)

ABSTRACT

This study was carried out to analyze the relationship between major climatic factors (temperature and precipitation) and tree ring growth of *Pinus densiflora* in 28 cities and counties in Korea. To examine tree ring growth of *Pinus densiflora* and the response of the climatic factors to climate change, the regional climatic data (for how many years??) from weather stations were categorized by five groups using cluster analysis for major climatic factors. In terms of relationship between monthly average temperature and tree ring growth of *Pinus densiflora*, negative correlations were observed for the temperatures in March of the present year in Baekdudaegan region and those in February and March in Gyeongbuk and East coast region. In addition, the temperature in October of the previous year was also negatively correlated with tree ring growth. Precipitation was positively correlated with the April and June temperatures of the present year in Baekdudaegan region and Gyeongbuk, respectively. Precipitation effect on the tree ring growth with current year June in Honam and Gyeongnam inland region and June, September in East coast region.

Key words : Tree ring, Climate change, *Pinus densiflora*

I. 서 론

임목의 연륜생장에 있어서 강수와 온도 조건은 산림 생태계에 있어서 가장 중요한 제한 인자로 작용한다 (Fritts, 1976; LaMarche *et al.*, 1984). 이는 임목의 기후조건에 대한 민감도 반응과 고기후(古氣候) 복원을 위한 많은 연륜기후학자들의 연구를 통해서 입증되었다. 특히, 이러한 연구에서 기후의 변동이 임목의 수고생장과 직경생장에 많은 영향을 미치고 있으며, 향

후 임목 또는 산림의 성장을 예측할 경우 기후적 조건을 반드시 고려해야 됨을 제시하고 있다(Yeh and Wensel, 2000).

임목의 직경내부에서 매년 자라고 있는 연륜은 해당 임목의 수령뿐만 아니라 과거 생육지 주변의 입지환경 및 기후변화의 지표로서도 중요한 가치를 가지고 있다. 이와 같이 연륜생장을 이용한 연륜연대학은 기후인자에 의한 임목생장의 영향을 분석하거나, 고기후의 복원 등에 이용되고 있다(Fritts, 1976). 이러한 연구 사

* Corresponding Author : Sang-Tae Lee (s_stlee@hanmail.net)

례에는 해발고가 높은 지역에서 여름철 온도가 높아 질수록 임목의 연륜생장이 증가하거나, 건조지역에서의 높은 강수량이 연륜생장의 증가에 영향을 주고 있음을 발표하였다(Gostev *et al.*, 1996; Rigling *et al.*, 2001). 위의 결과들은 일반적으로 임목의 생장은 생육지 주변의 생태적 조건 및 주변의 입지환경도 중요하지만, 기후적인 영향도 임목의 성장 및 분포에 있어 주요한 제한 요인으로 작용한다는 것을 보여준 결과이다.

최근 대두되고 있는 지구온난화의 영향은 산림의 생태계에 있어서 가장 큰 교란요인으로 작용하고 있다. 이는 단순히 온도의 높고 낮음 혹은 강수량이 많고 적음의 문제가 아니라, 생육지 환경의 기후적 변화가 기존의 산림 식생대와 식물체의 생육환경에 많은 변화를 주어 결국에는 산림의 균형적인 생태계 천이를 저해하

는 큰 요인으로 작용한다. 이와 같이 기후적 요인이 임목의 성장에 미치는 영향에 대한 연구는 기존의 적지선정 문제가 아니라 향후 예상되는 지구의 기후변화가 산림에 미치는 여러 파급효과에 대한 연구가 필요하게 되었다. 현재 소나무에 대한 직경생장과 기후인자간의 관계에 대하여 Park(1993)과 Seo(1999)가 소나무의 연륜생장(tree ring growth)을 추적하여 고기후의 복원과 월악산 소나무에 대한 연륜생장을 분석하였다. 그러나 소나무의 지역적 분포를 고려한 기후인자와 기상권역에 따른 성장의 특성에 관한 연구는 많이 없는 실정이다.

따라서 본 연구는 우리나라에 생육하고 있는 소나무의 지역별 연륜생장의 특성 및 기후권역 분류에 의한 온도 및 강수량이 임목의 연륜생장에 미치는 영향에 대하여 연륜생태학적 측면에서의 해석을 시도하였다.

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

Region	ID	No. of plot	No. of Tree (cores)	Height (m)	D.B.H. (cm)	Slope (°)	Age
Geochang-gun	X ₁	4	45(90)	9~17	32~55	10~35	37~90
Kumi-si	X ₂	4	38(76)	9~16	30~50	10~25	38~92
Keumsan-gun	X ₃	5	39(78)	9~14	27~59	10~30	57~91
Namwon-si	X ₄	4	31(62)	9~14	31~55	20~35	46~83
Daegu-si	X ₅	4	36(72)	8~15	30~52	10~25	38~59
Kimhae-si	X ₆	3	32(64)	10~16	33~53	10~30	36~93
Mungyeong-si	X ₇	4	40(80)	8~15	27~47	10~30	54~95
Milyang-si	X ₈	5	50(100)	11~17	30~63	15~30	56~85
Boeun-gun	X ₉	5	50(100)	9~17	31~57	15~30	45~86
Bonghwa-gun	X ₁₀	5	51(102)	9~15	29~72	10~35	42~91
Sanchung-gun	X ₁₁	4	43(86)	9~20	28~70	10~30	35~63
Andong-si	X ₁₂	5	53(106)	10~15	21~72	10~35	45~105
Yeongduk-gun	X ₁₃	5	44(88)	10~14	21~58	5~30	34~90
Yeongju-si	X ₁₄	5	43(86)	8~15	30~43	15~35	37~86
Yeongchun-si	X ₁₅	4	31(62)	7~13	30~60	5~25	45~105
Yeongdong-gun	X ₁₆	4	34(68)	9~15	27~58	20~35	50~77
Yeongwol-gun	X ₁₇	4	38(76)	9~13	33~59	15~30	49~75
Ulsan-si	X ₁₈	5	41(82)	9~15	33~55	5~35	34~84
Ulgjin-gun	X ₁₉	4	41(82)	9~15	30~55	5~30	47~97
Wonju-si	X ₂₀	4	35(70)	8~15	26~48	20~35	40~56
Euiseong-gun	X ₂₁	5	43(86)	8~14	25~51	5~25	41~96
Imsil-gun	X ₂₂	4	40(80)	11~15	30~56	15~20	45~89
Jangsu-gun	X ₂₃	5	39(78)	9~13	28~54	5~15	36~93
Jechun-si	X ₂₄	4	42(84)	10~16	29~46	10~30	41~84
Jinju-si	X ₂₅	4	41(82)	9~17	25~51	10~30	40~75
Taebaek-si	X ₂₆	5	43(86)	11~16	30~54	15~30	42~57
Pohang-si	X ₂₇	4	35(70)	9~13	29~55	5~25	50~102
Habchun-gun	X ₂₈	5	48(96)	11~19	32~71	15~35	40~96

II. 재료 및 방법

2.1. 조사지 개황

본 조사대상지는 소나무 생육지역의 기후 권역별 분포를 강원도, 경상도, 충청도 그리고 전라도 등 북부, 중부, 남부로 구분하였으며, 전체 조사지 개황은 Table 1과 같다.

선정된 조사지역의 수평적 분포는 위도 35도에서부터 37도까지로 경남의 거창, 합천, 산청, 진주, 김해, 울산, 밀양 등 7개 시·군, 전북 남원, 장수, 임실 등 3개 시·군 그리고 경북의 구미, 대구, 문경, 봉화, 안동, 영덕, 영주, 영천, 울진, 의성, 포항 등 11개 시·군에 위치하고 있다. 충북지역에서는 영동, 제천, 보은 3개 시·군과 충남지역 금산, 그리고 강원도의 영월, 원주, 태백 등 3개 시·군을 선정하였다. 각 조사지역별 plot 수는 평균 3~5이며 총 조사지역은 123개 plot이다. 전체 조사지역에서 선정된 표준목은 1,146본이며, 이들 임목에서 추출된 목편 수는 2,292개이다. 각 plot에서 선정된 표준목은 우세목과 준우세목의 상층 임분에서 5~10본을 선정하여 목편을 채취하였으며(Graumlich, 1991; Rigling et al., 2001), 이는 많은 표준목을 선정하여 목편을 채취할 경우 발생하는 분산의 변동을 고려하여 현재 일반적으로 적용되는 10본 내외의 표준목을 선정하여 조사하였다(Cook et al., 1990).

2.2. 자료 분석 방법

2.2.1. 표준지의 선정 및 목편추정

표준지는 소나무 임분의 상태가 양호하고, 외관상 피압이나, 병해충, 산불 등 물리적 피해 흔적이 없는 지역을 대상으로 하였다. 표준목의 선정요령은 흉고단면적법을 이용하여 우세목과 준우세목(Rigling et al., 2001)으로 구분하였으며, 해당 표준목에서 압축이상재에 의한 성장량의 변이를 제거하기 위하여 해당 임목의 경사와 직교 방향에서 2개를 채취하였다(LaMarche et al., 1984; Cook and Briffa, 1990). 채취된 목편은 실험실에서 건조시킨 후 연륜이 잘 보이게 연마한 후 Windendro™를 이용하여 1/100mm 단위까지 측정하였다. 측정시에는 임목에서 추출된 목편의 정확한 생육연도를 측정하기 위하여 교차 연대추정(cross-dating)을 실시하였다(Fritts, 1976; Kennel and Schweingruber, 1995; Perkins and Sweetnam, 1996; Stokes and Smiley, 1996).

2.2.2. 연대기(chronology)의 기초통계량 및 표준화

소나무에서 측정된 연륜성장량의 기초 통계량 분석 및 각 개체목간 수령의 차이 및 생물학적 추세와 경쟁 그리고 교란과 성장 추세에 의해 발생하는 비기후적 요인과 생육간의 편의를 제거하기 위하여 표준화를 실시하였으며(Murphy and Palmer, 1992), 연대기의 표준화는 실측된 연륜성장량에 대한 생물학적 생육추세선에서 구해진 값을 실측된 값으로 나누어서 구하였다. 본 분석에서는 음지수성장곡선을 이용하여 표준화를 실시하였으며, 표준화된 지표연대기는 ARIMA모형에 의하여 생물학적인 지속성을 제거하였다(Kim, 1993).

2.2.3. 군집분석

전체 조사지역에 대하여 연륜생장과 기후간의 반응을 알아보기 위하여 28개 조사지역에 대한 기후의 유사성 분석을 실시하였다. 기후권역별 분류는 각 지역들이 지니고 있는 기후적 특징을 군집분석을 실시하여 동질적인 군집으로 구분하였으며 군집분류는 SAS 통계 프로그램에 의한 유클리드(Euclidean) 거리 지수를 이용하였다.

2.2.4. 연륜성장량과 기후인자간의 관계

임목의 생장에 있어서 온도는 식물에 필요한 광합성 반응을 수행하는 효소에 활성을 부여하고 있으며, 줄기의 성장과 굵기, 눈의 휴면과 휴면타파, 개화, 낙엽 시기, 증산작용 등 생리적 작용에 관련된 중요한 기후인자 중의 하나이다(Lee, 1993). 연륜의 형성에 있어서 형성층의 활동은 수분의 영향이 크며, 수분 부족 시에는 춘재의 성장을 둔화시키고, 추재생장의 시기를 앞당기는 역할을 하고 있으며, 임목의 연륜생장에도 중요한 기능을 갖는다. 따라서 연륜생장에 영향을 미치는 기후인자와 각 지역별 소나무의 연륜성장간의 상관성을 알아보기 위하여 각 조사대상지역 기상관측소의 자료를 이용, 전년도 8월에서 당해년도 9월까지의 월별 평균온도와, 월별 강수량을 이용하였다(Cook and Briffa, 1990).

III. 결과 및 고찰

3.1. 연대기의 기초 통계량

각 지역별로 실측된 소나무의 연륜성장량을 표준화

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

Region	ID	M.S	Skewness	Kurtosis	Mean diameter growth (mm)	1st autocorrelation
Geochang-gun	X ₁	0.17	2.072	10.015	0.99	0.068
Kumi-si	X ₂	0.22	0.919	2.524	0.98	0.002
Keumsan-gun	X ₃	0.26	1.816	2.738	1.01	0.039
Namwon-si	X ₄	0.16	4.076	2.834	1.00	0.120
Daegu-si	X ₅	0.18	0.792	0.577	0.99	-0.025
Kimhae-si	X ₆	0.20	4.779	2.363	1.41	0.022
Mungyeong-si	X ₇	0.17	0.964	0.902	1.00	0.040
Milyang-si	X ₈	0.19	2.508	12.409	1.03	-0.003
Boeun-gun	X ₉	0.20	-0.126	0.124	1.08	0.083
Bonghwa-gun	X ₁₀	0.17	2.799	11.346	1.04	-0.035
Sanchung-gun	X ₁₁	0.23	0.045	0.833	1.07	0.669
Andong-si	X ₁₂	0.20	0.535	0.519	1.19	0.042
Yeongduk-gun	X ₁₃	0.20	1.634	4.548	0.98	-0.065
Yeongju-si	X ₁₄	0.21	0.587	0.270	1.04	-0.026
Yeongchun-si	X ₁₅	0.19	0.364	-0.254	0.99	0.009
Yeongdong-gun	X ₁₆	0.21	2.020	5.288	1.03	-0.221
Yeongwol-gun	X ₁₇	0.18	1.312	1.608	1.02	-0.078
Ulsan-si	X ₁₈	0.24	0.615	0.392	1.26	-0.039
Uljin-gun	X ₁₉	0.18	-0.323	0.357	1.01	-0.037
Wonju-si	X ₂₀	0.23	0.158	-0.781	1.05	0.091
Euiseong-gun	X ₂₁	0.20	2.177	5.401	0.99	-0.174
Imsil-gun	X ₂₂	0.17	1.006	1.263	0.98	-0.074
Jangsu-gun	X ₂₃	0.19	0.107	-0.300	1.03	-0.007
Jechun-si	X ₂₄	0.19	0.643	0.157	0.99	-0.136
Jinju-si	X ₂₅	0.21	1.866	7.821	1.21	-0.062
Taebaek-si	X ₂₆	0.20	-0.005	0.600	1.00	-0.137
Pohang-si	X ₂₇	0.19	0.314	1.788	1.04	-0.292
Habchun-gun	X ₂₈	0.21	0.717	0.664	1.05	-0.034
Mean		0.19	1.227	2.710	1.05	-0.009

하여 작성된 지표연대기의 기초통계량을 분석한 결과는 Table 2와 같다.

지표연대기의 기초통계량 분석 결과 연속된 두 연륜 폭간의 변이의 크기를 나타내는 평균민감도는 0.16~0.24(평균 0.19), 지표연대기의 정규성 검정에 대한 기초통계량은 첨도 -0.323~4.779(평균 1.227), 왜도 0.357~12.409(평균 2.710), 평균성장량은 0.98~1.41(평균 1.05)로서 각 지역의 지표연대기는 정규 분포를 하고 있음을 알 수 있다.

생물학적 지속성을 나타내는 자기상관분석 결과, 전체 범위는 -0.221~0.669(지역 전체평균 -0.009)로서 생물학적 지속성이 대부분 제거되었다(Box *et al.*, 1994). 그러나 산청지역의 자기상관계수가 0.669로서 다른 지역에

비해 상당히 높게 나타났는데, 이러한 결과는 고기후 북원과 월악산 지역 소나무의 연륜 분석에서 자기상관은 임목의 지속적인 성장을 측정하는 인자로서 임목 성장의 경우 당해 연도의 생육환경 및 조건뿐만 아니라 전년도의 양분 및 생육인자의 영향이 전이되는 것을 나타내며, 자기상관계수가 높은 것은 생육의 지속성이 강하게 나타나기 때문인 것으로 사료된다(Graumlich, 1993; Seo, 1999). 따라서 본 조사지역인 산청지역 역시 소나무의 생물학적 지속성이 다른 지역에 비해서 더 강하다는 것을 입증하는 것으로 판단된다.

3.2. 연대기의 표준화

실측된 각 임목의 연륜성장량은 미기후, 수령, 유전

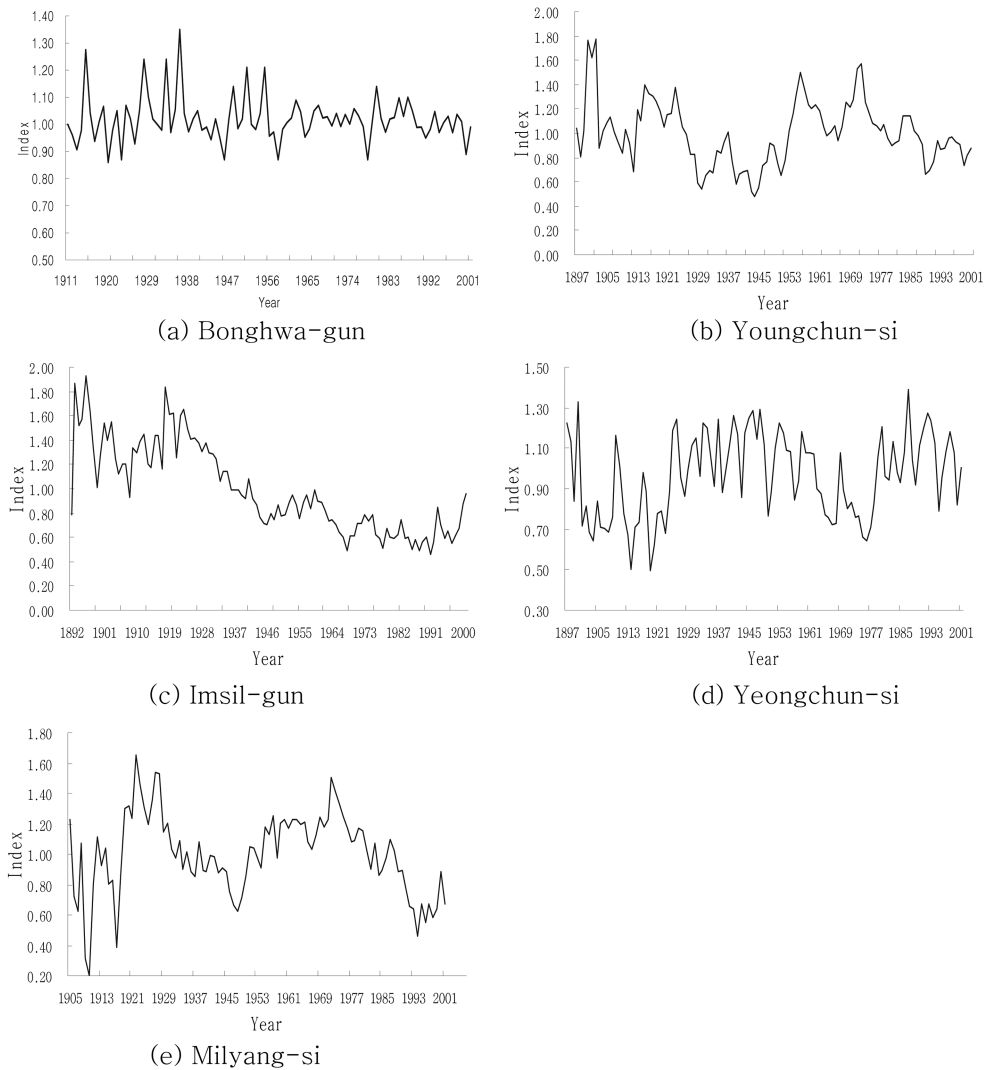


Fig. 1. Representative index chronology of each cluster in *Pinus densiflora* stands.

적 차이에 따른 장기간의 성장 추세가 발생하게 된다 (Graumlich, 1993). 이러한 성장 및 성장추세는 실측된 연륜성장량의 연대기를 표준화하여 임목의 생물학적 성장추세, 미기후 그리고 유전적 차이 등에 따른 성장간에 발생하는 편의를 제거하였으며, 표준화를 실시한 일례의 결과는 Fig. 1과 같다.

Fig. 1은 전체 28개 시군의 조사대상지에서 추출된 목편의 실측된 연대기를 표준화하여 작성된 각 군집별 샘플 개체목의 지표연대기이다. 표준화하여 작성된 지표연대기는 실측된 연대기에서 발생하는 생물학적 추세, 미세기후, 유전적 차이와 수령 등에 따른 성장요인들을 제거하여 안정된 추세의 연대기를 가지게 된다.

이런 과정에서 얻어진 각 개체목의 지표연대기는 지역별 연대기를 작성한 후 각 지역의 기후인자와 소나무의 연륜성장간의 상관성을 분석하는데 이용하였다.

3.3. 기후 권역별 군집분석

전체 조사지역 28개 시군의 기후 특성을 알아보기 위하여 월별 평균온도와 월별강수량을 이용하여 각 지역의 기후 권역별 군집분석을 실시한 결과 유클리드 (Euclidean) 거리지수 0.88에 의하여 5개의 군집으로 구분하였다(Fig. 2).

1군집은 거창, 보은, 봉화, 영주, 영동 지역과 영월, 원주, 제천, 태백 등이 백두대간지방으로 분류되었으며,

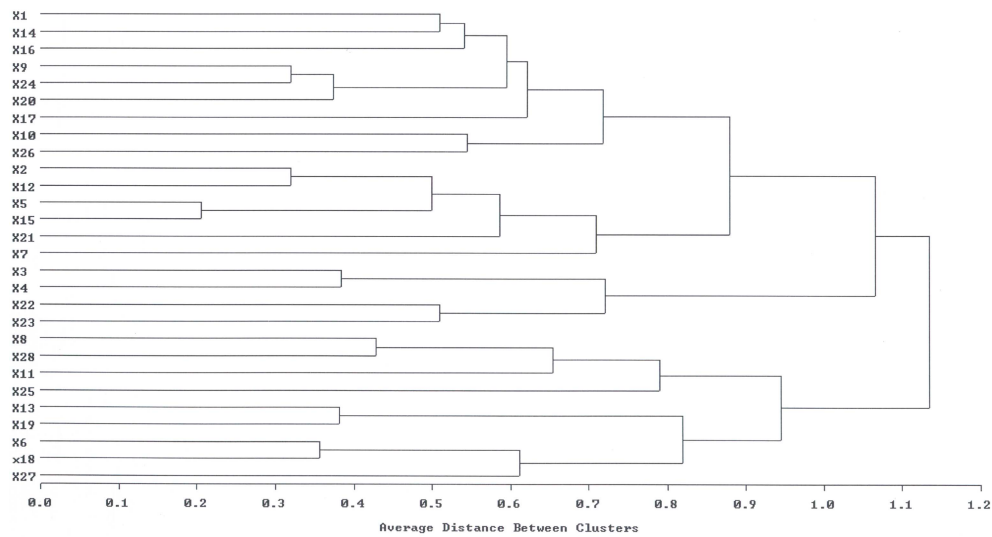


Fig. 2. Dendrogram of each region by cluster analysis.

2군집은 구미, 대구, 문경, 안동, 영천, 의성 등이 경북내륙지방으로, 3군집은 금산, 남원, 임실, 장수 등이 호남내륙지방으로 분류되었다. 4군집은 밀양, 산청, 진주, 합천 경남내륙지방과, 5군집은 김해, 영덕, 울산, 울진 그리고 포항 등이 동해해안지역으로 각각 분류되었다.

3.4. 소나무의 연륜생장량과 기후인자와의 상관관계

3.4.1. 월별평균 온도

소나무의 연륜 생장에 영향을 미칠 것으로 예상되는 각 지역별 월별평균온도와 연륜생장간의 상관관계를 분석한 결과는 Table 3과 같다.

기후 권역으로 분류된 5개 군집에서 나타난 월별평균온도와 연륜생장간의 분석 결과 2월과 3월의 온도가 연륜 생장에 정의 상관관을 보이는 것으로 나타났다. 일반적으로 침엽수의 경우 휴면이 끝나고 생장이 시작되는 시점의 따뜻한 온도는 춘재도관의 크기생장에 영향을 주어 임목의 연륜생장을 촉진시키며, 따라서 그 시점의 온도가 정의 영향을 미치는 것으로 사료된다 (Zimmerman and Brown, 1971; Ginter-Whitehouse *et al.*, 1983; Graumlich, 1993). 특히, 1군집 지역의 경우 성장기가 시작되는 3월 전까지의 온도가 다른 군집 지역이 영상인데 비하여 영하의 온도를 보이고 있어 따뜻한 온도가 이들 지역 소나무의 연륜생장에 좋은 요건으로 작용하고 있는 것으로 판단된다. 전체 조사지역에서 나타난 바와 같이 월별평균온도와 우리나라

라 소나무의 연륜생장간에는 휴면이 끝나는 2월부터 초여름에 이르기까지 정의 상관으로, 온도 상승이 생장에 양호한 영향을 주는 것으로 사료된다. 또한 조사 대상지역 중 다수 지역에서 전년도 10월에 대한 월별 평균온도가 부의 상관으로 나타났는데, 이러한 결과는 Mäkinen *et al.*(2000)이 겨울철 높은 온도는 토양의 수분 손실을 야기하여 토양 속의 수분 저장능력을 감소시키며, 이로 인해 다음해 임목의 연륜생장에 저해가 된다는 연구결과가 보고되었으며, 이로 미루어 볼 때 이들 지역의 경우에도 온도가 높아짐에 따라 토양 수분 손실이 임목의 생장에 저해 요인으로 작용하기 때문인 것으로 판단된다. 또한 우리나라의 경우 가을철 가뭄의 발생 빈도가 높으며, 부족한 토양 중의 수분이 온도상승으로 감소하며, 이는 임목의 생장에 수분 스트레스요인으로 작용하기 때문인 것으로 사료된다. 특히 온대기후에서는 토양의 수분부족 현상은 임목의 당해연도 성장 및 다음해의 성장에도 영향을 미치는 것으로 보고된 바 있으며(Jones *et al.*, 1993; Yeh and Wensel, 2000), 본 조사대상 지역에서도 유사한 경향을 보이고 있는 것으로 나타났다. 그러나 전년도 10월의 기후분석에서 나타난 바와 같이 김해와 포항의 경우 정의 상관관을 보였는데, 이와 같이 동일 수종에 대하여 임목간의 기후반응이 다르게 나타나는 것은 환경 및 입지적 요인도 작용한 것으로 사료된다 (Larsen and Macdonald, 1995; Hofgaard *et al.*, 1999). 이러한 고찰은 김해와 포항은 해안지역과 인접해

Table 3. Summary table for showing the statistically significant relation between radial growth of *Pinus densiflora* and average monthly temperature in total clusters

Cluster	Region ID	Average monthly temperature													
		Previous year					Current year								
		A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S
1	X ₁				+		+								+
	X ₉					+		+		++	+				
	X ₁₀			-				+							
	X ₁₄						++	+	+						
	X ₁₆							+			++				
	X ₁₇							++	+						
	X ₂₀			-				+	+			+			
	X ₂₄								+			+			
	X ₂₆								+						+
2	X ₂					+	+								+
	X ₅			--	-				++	++		+			
	X ₇			+			+	+			+	++	+		
	X ₁₂							++	+					+	
	X ₁₅							+			+	+			
	X ₂₁									+				+	
3	X ₃			--				+					+		+
	X ₄			-				+	+		++				
	X ₂₂			-			+			+	+				
	X ₂₃					+	+			+					
4	X ₈							++	+						
	X ₁₁									+		+		+	
	X ₂₅					+							+		
	X ₂₈		+	-		+									+
5	X ₆								+		+				
	X ₁₃					+		+	+	+					
	X ₁₈					+		++		+	+				
	X ₁₉							+		++			+		
	X ₂₇		+	+				+	+						+

Note) +, - : $p < 0.05$, ++, -- : $p < 0.01$

있으며 겨울철 수분에 대한 스트레스가 내륙 지역에 비해 약한 것으로 판단된다. 이는 Choung and Kim (1987)이 댐 건설에 따른 주위의 환경변화가 임목의 직경성장 변화에 영향을 준다는 연구결과와 비추어 볼 때 기후인자의 연관성뿐만 아니라 주변 입지적 조건도 임목의 연륜생장에 영향을 미치는 것으로 사료된다.

3.4.2. 월별강수량

기후 권역별로 분류된 5개 군집에 대한 지역별 소나무의 연륜 성장과 월별강수량간의 상관관계를 분석한 결과는 Table 4와 같다.

전체 28개 지역 소나무의 연륜생장과 월별강수량간의 상관성을 분석한 결과, 전년도 9월부터 당해연도 성장기인 5월에 걸쳐 유의적 상관을 보이고 있는 1, 2 군집과, 당해연도 6~8월의 강수량의 영향을 받는 3, 4, 5 군집 유형을 보였다.

1, 2 군집지역과 같이 2~4월에 내리는 강수는 생장이 시작되는 시기와 휴면이 끝나는 시기로서, 임목의 성장기에 필요한 수분 공급이 이들 지역 소나무의 연륜생장에 도움을 주는 것으로 판단된다(Kienast *et al.*, 1987). 이는 Tardif *et al.*(2001)와 Larsen and Macdonald(1995)가 북부캘리포니아와 흑림의 침엽수

Table 4. Summary table for showing the statistically significant relation between radial growth of *Pinus densiflora* and monthly precipitation in total clusters

Cluster	Region ID	Monthly precipitation															
		Previous year					Current year										
		A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S		
1	X ₁						-						+				+
	X ₉		+					+									
	X ₁₀	+					+	+									
	X ₁₄						+		+			+					
	X ₁₆								+		+						
	X ₁₇		+									+	+				
	X ₂₀		++									+					+
	X ₂₄									+	++			+			
X ₂₆				++							+						
2	X ₂	+	++														+
	X ₅		+	+						+							
	X ₇						+		+		+						
	X ₁₂						++	+	+								
	X ₁₅	+	+					+									+
X ₂₁	+		+							+	+			++			
3	X ₃					+							++				
	X ₄		+				+						++	+			
	X ₂₂					+				+							
	X ₂₃			+						+		+					+
4	X ₈		+				++						++	+			
	X ₁₁							+					+			+	
	X ₂₅								+				+				
	X ₂₈	+														+	
5	X ₆						+	++				+					+
	X ₁₃				+							+				+	
	X ₁₈										+	+			+	+	
	X ₁₉				+							+					
	X ₂₇		+						+								++

Note) +, - : $p < 0.05$, ++, -- : $p < 0.01$

림을 대상으로 한 연륜기후학적 분석결과에서도 생장기의 강수량이 임목의 연륜생장에 정의 상관관을 보이는 것으로 보고되었다. 이러한 결과로 미루어 볼 때 우리나라의 봄철은 비교적 건조하여 이들 시기에 형성된 강수는 임목의 생장을 촉진시킬 수 있음을 보여주며, 전년도 생장기 8~10월에 내리는 강수는 추재 형성시기에 적절한 수분 공급을 통하여 임목의 생장에 관여하는 것으로 판단된다(Larsen and Macdonald, 1995). 그러나 1, 2군집 지역과 달리 3, 4, 5군집 지역의 경우는 휴면이 타파되고 생장이 시작되는 시점 보다 추재 생장이 시작되는 시기의 강수량이 연륜 생장에 영

향을 미치는 것으로 나타났다. 이들 군집 지역의 월별 강수량과 연륜생장량간의 관계를 분석한 결과 초여름철인 6월의 강수량이 소나무의 연륜생장에 정의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이는 Szeicz and Macdonald(1994)가 임목의 수령에 따른 월별강수량과 연륜생장량간의 관계를 분석한 결과에서 6월과 8월의 강수가 임목의 생장을 왕성하게 해주는 것으로 나타났으며, 초여름에 내리는 강수는 온도상승에 따른 토양수분의 저장능력과 관련성이 높으며, 이 시기의 강수량이 임목의 생장에 유효한 영향을 주는 것으로 사료된다.

적 요

본 연구는 우리나라에 생육하고 있는 소나무의 지역별 연륜생장의 특성 및 기후권역 분류에 의한 온도 및 강수량이 임목의 연륜생장에 미치는 영향에 대하여 연륜생태학적 측면에서의 해석을 시도하였다. 전국 28개 시군 지역을 대상으로 기후 권역별 군집분석에 의하여 구분된 5개 기후권역은 거창, 보은, 봉화, 영주, 영동, 영월, 원주, 제천, 태백 등의 백두대간지방과 구미, 대구, 문경, 안동, 영천, 의성 등의 경북내륙지방, 금산, 남원, 임실, 장수 등의 호남내륙지방, 밀양, 산청, 진주, 합천 등의 경남내륙지방과 그리고 김해, 영덕, 울산, 울진, 포항 등의 동부해안지방으로 분류되었다. 이에 따른 각 지역별 소나무의 연륜생장과 월별평균 온도, 월별강수량간의 관계를 분석한 결과, 백두대간지방은 당해연도 3월, 경북내륙지방과 동부해안지방은 당해연도의 2~3월 그리고 호남내륙지방은 생장기 전년도 10월에서 부의 상관으로 나타났다. 백두대간지방은 당해연도 4월, 경북내륙지방은 전년도 8월과 9월 그리고 당해연도 3월에서 정의 상관을, 호남내륙과 경남내륙지방에서는 생장기 당해연도 6월, 동부해안지역에서 6월과 9월의 강수가 정의 상관으로 나타났다.

REFERENCES

- 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.
- 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.
- 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.
- Gostev, M., G. Wiles, R. D'Arrigo, G. Jacoby, and P. Khomentovsky, 1996: Early summer temperature since 1670 A. D. for Central Kamchatka reconstructed based on a Siberian larch tree-ring width chronology. *Canadian Journal of Forest Research* **26**, 2048-2052.
- Graumlich, L. J., 1991: Subalpine tree growth, climatic, and increasing CO₂ : 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.
- Hofgaard, A., J. Tardif, and Y. Bergeron, 1999: Dendroclimatic response of *Picea mariana* and *Pinus banksiana* along a latitudinal gradient in the eastern Canadian boreal forest. *Canadian Journal of Forest Research* **29**, 1333-1346.
- Jones, E. A., D. D. Reed, G. D. Mroz, H. O. Liechty, and P. J. Cateelino, 1993: Climate stress as a precursor to forest decline : paper birch in northern Michigan, 1985-1990. *Canadian Journal of Forest Research* **23**, 229-233.
- 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. Bräker, and E. Schär, 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, W. G., 1993. *Time series analysis*. Gyeongmun publisher. 280pp.
- LaMarche, V. C., D. A. Jr. Graybill., H. C. Fritts, and M. R. Rose, 1984: Increasing atmospheric carbon dioxide. Tree ring evidence for growth enhancement in natural vegetation. *Science* **225**, 1019-1021.
- 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, K. J., 1993: *Tree Physiology*. Seoul University published. 514pp.
- Mäkinen, H., P. Nöjd, and K. Mielikäinen, 1999: Climate signal in annual growth variation of Norway spruce (*Picea abies*) along a transect of from central Finland to the Arctic timberline. *Canadian Journal of Forest Research* **30**, 769-777.
- 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.
- Perkins, D. L., and T. W. Sweetnam, 1996: A dendroecological assessment of white bark pine in the Sawtooth - Salmon River region, Idaho. *Canadian Journal of Forest Research* **26**, 1914-1921.

- Rigling, A., P. O. Waldner, T. Foster, O. U. Bräker, and A. Pouttu, 2001: Ecological interpretation of tree-ring width and intraannual density fluctuation in *Pinus sylvestris* on dry sites in the central Alps and Siberian. *Canadian Journal of Forest Research* **31**, 18-31.
- Seo, J. W., 1999: *Spatiotemporal Analysis of Tree-Ring Variations in Pinus densiflora from Mt. Worak, Central Korea*. Choongbuk National University Master's dissertation. 59pp.
- Stokes, M. A., and T. L. Smiley, 1996: *An introduction to tree-ring dating*. University of Arizona Press, Tucson. 73pp.
- Szeicz, J. M., and G. M. Macdonald, 1994: Age-dependent growth response of subarctic spruce to climate. *Canadian Journal of Forest Research*. **24**, 120-132.
- Tardif, J., J. Brisson, and Y. Bergeron, 2001: Dendroclimatic analysis of *Acer saccharum*, *Fagus grandifolia*, and *Tsuga canadensis* from an old-growth forest, southwestern, Quebec. *Canadian Journal of Forest Research*. **31**, 1491-1501.
- Yeh, H.-Y., and Lee C. Wensel, 2000: The relationship between tree diameter growth and climate for coniferous species in northern California. *Canadian Journal of Forest Research*. **30**, 1463-1471.
- Zimmerman, M. H., and C. L. Brown, 1971: *Trees : Structure and function*. Springer-Verlag, New York. 336pp.