Jour. Korean For. Soc. Vol. 98, No. 6, pp. 733~739 (2009)

한국임학회지

JOURNAL OF KOREAN FOREST SOCIETY

지역별 잣나무의 연륜생장과 기후인자와의 관계 연구

이상태[1] · 배상원[1*] · 장석창[1] · 황재홍[2] · 정준모[1] · 김현섭[1]

[1]국립산림과학원 산림생산기술연구소, [2]국립산림과학원 산림자원육성부

A Study on the Relationship Between Radial Growth and Climate Factors by Regions in Korean Pine (*Pinus koraiensis*)

Sangtae Lee[1], Sang-Won Bae[1*], Seok Chang Jang[1], Jaehong Hwang[2], Junmo Chung[1] and Hyun-Seop Kim[1]

[1]Forest Practice Research Center, Korea Forest Research Institute Pocheon-si, 487-821, Korea
[2]Department of Forest Resources Development Center, Korea Forest Research Institute Suwon-si, 441-360, Korea

요 약: 본 연구는 설악산 지역 인제군과 지리산 지역 산청군 그리고 남원시 잣나무 연륜생장과 주요 기후인자인 월별 온도와 강수량간의 관계를 알아보기 위하여 수행되었다. 측정된 연륜생장량은 크로스데이팅과 기후인자간의 상관관계를 분석하였으며, 주요 기후인자는 전년도 8월부터 당해연도 9월까지의 월별 평균온도와 강수량을 이용하였다. 설악산 지역인 인제군의 경우 당해연도 4월, 5월 그리고 6월, 8월의 온도와 부의 상관을, 강수량의 경우 전년도 생장기 8월과 10월 그리고 생장기인 당해연도 4월과 8월의 강수가 정의 상관을 보이고 있는 것으로 조사되었다. 산청군에서는 온도의 경우 전년도 9월과 당해연도 8월의 온도가 부의 상관을, 당해연도 1월의 온도는 정의 상관으로 나타났으며, 강수량의 경우 전년도 9월과 당해연도 8월이 정의 상관을 미치고 있는 것으로 나타났다. 남원시의 경우 온도와의 관계에서는 전년도 생장기 8월과 10월 그리고 당해연도 6월이 부의 상관을 보이고 있으며, 당해연도 2월의 경우 잣나무의 연륜생장에 정의 상관을 보이고 있는 것으로 나타났다. 강수량의 경우 전년도 생장기 8월과 당해연도 5월과 8월이 정의 상관을 보여주고 있다. 조사지역 모두 강수에 대하여 정의 상관을 보이고 있는데 이러한 결과는 고온에 따른 토양수분의 감소와 이로 인한 수분스트레스가 임목의 생육에 영향을 미치는 것으로 사료된다. 또한 조사지역의 임분구조와 입지환경 그리고 미세기후에 의한 차이가 지역간 기후반응이 다르게 나타나는 것으로 판단된다.

Abstract: This study was carried out to analyze the relationship between major climatic factors (monthly temperature, precipitation) and radial growth of Korean Pine (*Pinus koraiensis*) in Inje-gun(Mt. Seorak), Sanchung-gun and Namwon-si(Mt. Jiri). Radial growth measurements were crossdated and correlated with climate variables. The climatic factors used were monthly mean temperature and monthly precipitation from August of previous year to September of the current year. In Inje-gun, radial growth was negatively correlated with monthly mean temperature in April, May, June, and August of the current year and was positively correlated with precipitation in August, October of the previous year and in April, August of the current year. Sanchung-gun showed a negative correlation with monthly mean temperature in September of the previous year and August of the current year but positive correlation in January of the current year. In contrast, precipitation in September of the previous year and August of the current year showed a positive influence. The results suggest that high temperature together with low precipitation may thus cause water stress and thereby limit radial growth in this region. In Namwon-si, the climate-growth relationships show that radial growth was negatively correlated with monthly mean temperature in August, October of the previous year and June of the current year. But August of the previous year and May, August of the current year in precipitation was positively correlated with radial growth. In the study areas, precipitation plays an important role for the radial growth of Kroean Pine (*Pinus koraiensis*). The results suggest that precipitation is important in the radial growth because water deficit in trees would take place in response to high temperature in the study area. Also there was some differences with study areas in the effects of both climatic variables probably as a result of different stand structure and geographical conditions and micro-climate.

Key words **:** Pinus koraiensis, *radial growth, response function, climatic factors*

*Corresponding author
E-mail: bae1144@forest.go.kr

서 론

잣나무는 우리나라를 대표하는 주요 조림수종 중의 하나로서 일본, 중국 그리고 시베리아에 분포하고 있으며, 해발고가 높고, 추운곳에서 잘 자라는 한대성 수종으로 알려져 있다(이천용, 2006). 우리나라의 잣나무 분포 면적은 약 2,695천ha이며, 이는 전체 침엽수림 면적의 약 8.6%에 해당한다(산림청, 2007). 잣나무의 용도는 목재로서의 가치뿐만 아니라, 구과인 잣은 식용으로도 널리 알려져 있다. 그러나 최근 경기도 광릉지역과 강원도 일부 지역에서 영급 이상의 벌기령에 도달한 잣나무의 생장 감소와 고사현상이 발견되고 있으며 이와 관련된 생리·생태 그리고 시업적 관리방안 등과 관련된 연구가 진행 중에 있다(국립산림과학원, 2009). 또한 지구온난화로 인하여 아열대 기후가 북상하면서 잣나무 조림지 및 자생지의 생육환경이 크게 변하고 있으며, 이로 인한 잣나무의 산림병해 발생빈도 증가와 발생형태 및 발생률도 달라질 것으로 예상하고 있다(국립산림과학원, 2009).

연륜연대학은 임목의 연륜 생장을 이용하여 기후 및 환경변화에 따른 영향을 분석하는 학문으로서 연류기후학, 연륜생태학 등 다양한 분야에서 널리 이용되고 있다(Houghes *et al*., 1982; Edmonds *et al*., 1993; Allison *et al*., 1994). 임목의 연륜생장과 관련된 여러 요인들 중 기상인자는 기후적 제한요인의 한 지표로써 중요한 역할을 하고 있으며, 특히 강수와 온도는 임목의 연륜생장에 깊이 관여하는 것으로 알려져 있다(박원규, 1993). 연륜과 기상인자와의 관계는 현재의 환경과 식물생장의 변동을 일으키는 물리생물학적 과정이 과거와 동일하다는 동일과정론(uniformitarianism), 생물학적 요인은 생장의 내적외적 인자 모두가 중요하지 않고 가장 공급이 적은 한계요소에 주로 영향을 받는다는 제한요인(limiting factor)이 주된 배경이다. 즉, 다른 외적 요인을 제외한 연륜의 생장에 영향을 미치는 강수량과 온도가 주된 요인으로 작용한다는 이론이다(Fritts, 1978; Cook *et al*., 1990).

국내에서의 연륜연대학을 이용한 연구는 최종남 등(1992)이 아한대 침엽수류의 연륜을 이용한 중부산간지역 고기후 복원과, 박원규(1993)의 대기중 이산화탄소 농도 증가에 따른 침엽수류의 생장 동향을 분석한 연구가 있다. 또한 Kim(1997)의 한라산 구상나무와 가문과의 관계를 분석한 연륜생태학적 접근 방법과 서정욱(1999)이 월악산 소나무의 연륜을 이용한 시·공간적 접근의 연구 등이 수행된바 있다. 이와 같이 기후복원 및 연륜생태학적 분석 등 다양한 분야에서 연륜을 이용한 연구가 수행되었지만, 우리나라 자생수종인 잣나무에 대한 연륜기후학적 분야의 연구는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구는 목재생산 기능 및 경제적 가치가 높은 우리나라 자생 침엽수종인 잣나무의 연륜생장과 기후인자간의 분석을 통하여 기후변화에 따른 지역별 잣나무의 생육반응을 구명하고자 실시되었다.

재료 및 방법

1. 조사지 개황

본 연구 조사지는 설악산과 지리산 일대의 잣나무 임분을 대상으로 조사를 실시하였다. 설악산 지역의 경우 영시암과 봉정암(38° 08' N, 128° 25' E)지역이며, 지리산은 남원지역(35° 21' N, 127° 30' E)과 산청지역(35° 20' N, 128° 46' E)이다. 조사대상지의 사면 방위는 인제군은 동향, 남향, 남서향 그리고 북서향이며, 산청군은 북향, 남향, 남서향, 서향이며, 남원시 지역은 북향, 남향, 남동향 그리고 서향이다(Table 1). 표고는 인제군이 570~1,040 m, 산청군이 777~882 m 그리고 남원시가 910~980 m이며, 사면 경사는 인제군이 7~38°, 산청군 19~26° 그리고 남원시의 경사는 16~3°이다. 토성은 산청군과 남원시가 미사질양토이며, 인제군은 사질양토인 것으로 조사되었다.

이들 지역의 기상은 설악산 지역의 경우 연평균 강수량은 1,156 mm로 남원과 산청의 1,350 mm와 1,500 mm에 비해서 상당히 낮은 분포를 보이고 있으며, 강수량의 대부분은 세 지역 모두 여름철인 6~8월에 집중되어 있다. 연평균 온도 또한 설악산의 경우 10°C인데 반해 남원과 산청 지역은 각각 12.3°C, 13°C로 그 차이가 다소 심한 것으로 조사되었다(Figure 1).

2. 연륜측정 및 분석방법

잣나무의 목편 채취는 압축이상재에 의한 생장량의 변이를 제거하기 위하여 해당 임목의 사면경사와 교차되는 방향에서 2개씩을 채취하였으며, 조사대상목은 산불 및 병충해 흔적이 없는 건전한 임목을 선정하였다. 목편 채취부위는 지상 1.2 m되는 흉고직경 부위에서 생장추를 이용하여 시료를 추출하였다. 정확한 수령 파악을 위해서 채취된 시료는 수(pith)를 관통하도록 하였다(Ronda *et al*., 1995). 채취된 목편은 실험실로 옮긴 다음 목편 마운트에 고정시켜 건조 후 연륜이 잘 보이게 연마하였다. 잣나무 목편시료는 WindendroTM을 이용하여 1/100 mm 단위까지 측정하였으며, 먼저 측정에 앞서 각 개체목의

Table 1. General descriptions of surveyed areas for *Pinus koraiensis*.

Parameter	Inje-gun	Sanchung-gun	Namwon-si
Aspect	E, S, SW, NW	N, S, SW, W	N, S, SE, W
Altitude(m)	570-1040	777-882	910-980
Slope (°)	7-38	19-26	16-35
Soil type	Sand loam	Silt loam	Silt loam

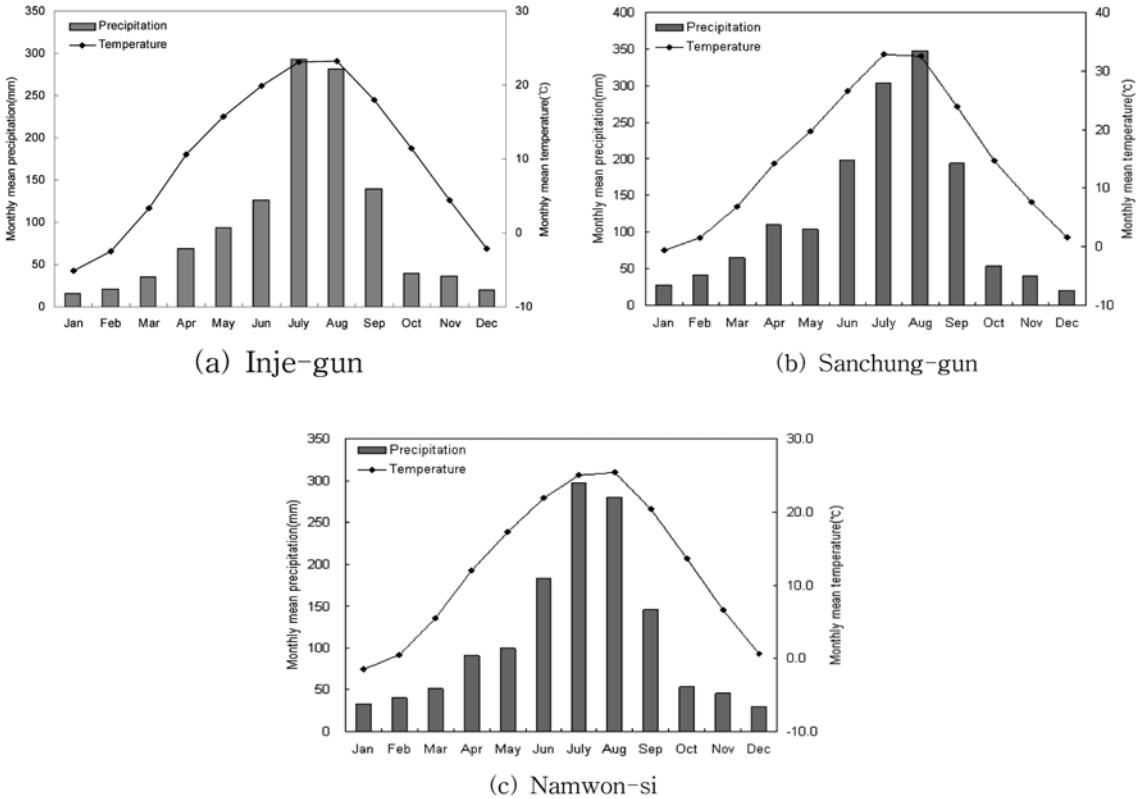

Figure 1. Monthly mean temperature and monthly mean precipitation in the study area. The climate data was collected from the meteorological station of nearby surveyed areas (1973-2008).

정확한 생장 연도를 부여하기 위하여 크로스데이팅(crossdating)을 실시하였다(Kennel and Schweingruber, 1995). 이는 잣나무 개체목에서 측정된 연륜시료에 대하여 정확한 생육연도를 측정하기 위한 것으로서, 연류생장 폭이 좁거나 생장 경향이 일치하는지를 이용하여 연륜이 형성된 정확한 연도를 부여하는 것이다. 본 분석에서는 연륜이 좁은 연도를 기준으로 하여 연도를 비교하는 골격도법(skeleton plot)과 연륜생장량을 그래프상에 도시하여 비교하는 그래프방법을 병용하여 측정하였다(Schweingruber, 1987).

표준화는 임목의 수령 차이로 인해 발생되는 임목 고유의 생물학적 추세와 오랜 기간에 걸친 경쟁 및 교란에 따른 추세를 제거하는 것이다(Fritts, 1978; Murphy *et al*., 1992). 일반적으로 임목의 직경생장은 유령기에 생장이 높고, 수령이 증가할수록 생장량이 감소한다. 이러한 현상은 줄기의 직경생장에 필요한 광합성 물질이 상대적으로 일정한 수관에 비해 충분하지 못하기 때문이다(Graumlich, 1991). 이와 같이 비기후적 요인과 추세 및 임목간 수령 차이에 따른 생장량의 편차를 제거하기 위한 표준화는 연륜생장량에 대한 생물학적 생육추세선에서 도출하여 예측한 값으로 실측된 값을 나누어서 구하였다(식 1).

$$It = Rt/Yt \quad (1)$$

It = Standardization of index value for each year
Rt = Measured value of radial growth for each year
Yt = Predicted value of radial growth for each year
t = Each year

이렇게 만들어진 표준화된 지표연대기(index chronology)는 각 지역을 대표하는 지표연대기를 만드는데 이용되며, 본 분석에서는 실측된 각 지역별 잣나무의 연륜생장량에 대한 생육추세는 음지수생장곡선(negative exponential growth curve)을 이용하여 표준화를 실시하였다. 자기상관분석은 동일 연대기내의 지속성을 측정하는 인자로서 당해연도의 임목생장이 전년도에 형성되어진 생장물질이 전이되는 생물학적 생장의 지속성을 측정하는 값으로서 자기상관분석을 통하여 구하였다(Yamaguchi, 1991).

또한 작성된 연대기의 신호강도를 나타내는 신호대잡음비(signal to noise ratio)는 임목간연대기의 상관계수 값을 이용하는 식 (2)를 원용하여 계산하였다(박원규, 1993).

$$SNR = n \times rbt/(1-rbt) \quad (2)$$

rbt: between tree correlation
n : number of tree

각 지역별 연대기의 비교는 연륜연대학의 창시자인 A. E. Douglass에 의해 고안된 평균민감도를 이용하였다. 평균민감도는 연속되는 두 연륜 폭간의 변이 크기 즉, 고주파변동(high frequency fluctuation)을 측정하는 것이다. 측정값 범위는 0~2 사이이며, 0의 값은 연대기간의 차이가 없음을 나타내는 것으로서 식 (3)을 원용하여 계산되었다(Fritts, 1978; Houghes *et al*., 1982; Villalba *et al*., 1997).

$$MS_X = \frac{1}{N-1}\sum_{t=1}^{N-1}\left|\frac{2(X_{t+1}-X_t)}{X_{t+1}+X_t}\right| \quad (3)$$

X_t : Index chronology width of t year

X_{t+1}: Index chronology width of t+1

3. 연륜생장과 기후인자 분석

온도는 식물의 광합성, 줄기의 생장, 눈의 휴면과 휴면타파, 개화, 낙엽시기 그리고 증산작용 등 생리적 작용에 영향을 미치는 중요한 기후인자 중의 하나이다. 또한 토양온도, 강우, 바람 등 환경적 요인에도 관여해 임목의 생장에 영향을 미치고 있다(이경준, 1993). 수분은 원형질의 구성성분이며, 광합성을 통한 양분의 흡수와 이동, 용매 역할 등에 관여하고 있다. 연륜의 형성과 관련된 형성층의 활동은 수분의 영향이 크며, 수분 부족 시에는 춘재의 생장을 둔화시키고, 추재 생장의 시기를 앞당기는 역할을 하고 있다. 이와 같이 연륜생장에 영향을 주는 온도와 강수와의 분석에서 독립변수인 기후인자와 종속변수인 연륜생장을 다중회귀식으로 나타낼 경우 독립변수인 기후인자간에 다중공선성이 발생되는 문제점이 있다(서정욱, 1999). 따라서 본 분석에서는 이러한 다중공선성의 문제점 해결을 위하여 반응함수 프로그램인 DendroClim 2002를 이용하여 기후인자와 연륜생장간의 관계를 분석하였다(Biondi and Waikul, 2004). 또한 분석에 이용된 기후인자 변수들은 전년도 8월부터 당해연도 9월까지의 월별 평균온도와 월별 강수량을 이용하였다(서정욱, 1999).

결과 및 고찰

1. 조사지 임분 특성

각 지역별 조사대상지 임분의 평균흉고직경은 인제군이 51.8 cm, 산청군과 남원시의 경우 각각 41.8 cm, 27.4 cm로 조사되었다(Table 2). 평균수고의 경우 인제군과 산청군이 각각 23.4 m, 22.1 m이며, 남원시는 17.2 m로 다른 지역에 비해 수고생장이 낮았다. 평균연륜생장량은 산청군이 3.22 mm로 가장 높았으며, 남원시 3.07 mm, 인제군 1.66 mm 순으로 조사되었다. 수령분포는 인제군의 설악산 지역이 77~95년생으로 가장 높았으며, 산청군 62~71년생 그리고 남원시 41~52년생 순으로 수령분포를 보이고 있었다.

Table 2. The characteristics for *Pinus koraiensis* stands.

Parameter	Inje-gun	Sanchung-gun	Namwon-si
Mean DBH (cm)	51.8	41.8	27.4
Mean Height (m)	23.4	22.1	17.2
Mean radial growth (mm)	1.66	3.22	3.07
Age range (year)	77-95	62-71	41-52
No. of trees	45	47	55

본 연구에서 각 지역별 채취된 임목의 본수는 인제군 45본, 산청군 47본 그리고 남원시에서 55본이며, 임분구조는 인제군 설악산 지역의 경우 잣나무가 상층을 우점하고 있으며, 중・하층 식생으로 전나무와 신갈나무, 당단풍나무 등이 우점하고 있는 것으로 조사되었다. 산청군 지리산지역에서도 상층은 잣나무가 우점하고 있으며, 중・차층 식생은 쪽동백, 산벚나무 등이 분포하고 있는 것으로 조사되었다. 인제군과 산청군의 경우 침엽수와 활엽수가 혼효하고 있는 것으로 조사되었으나, 남원시의 경우는 잣나무 단순림으로 구성되어 있는 것으로 조사되었다.

2. 연륜 기초통계량

각 지역별 잣나무의 연륜생장 분석에 이용된 최종 임목본수는 인제군 설악산 지역에서 43본, 지리산 지역인 산청군 42본, 남원시 50본의 임목에서 추출된 연륜생장량을 이용하였다. 최초의 연륜 자료 수집에서 채취된 임목 본수와 차이가 있는 것은 연륜분석과정에서 연륜판별이 어렵거나 연마과정에서 파손된 개체수를 제외한 나머지 임목에서 추출된 연륜자료를 이용하였으며 분석결과는 Table 3과 같다.

Table 3에서 지표연대기의 연륜생장은 지리산 지역인 남원시와 산청군의 잣나무 연륜생장량이 각각 1.36~1.26

Table 3. Statistical summaries of radial growth in surveyed areas.

Region	No of chronologies (trees)	Mean indices (mm)	Mean sensitivity	1st autocorrelation coefficient	SNR
Inje-gun	43	1.05	0.20	0.201	1.110
Sanchung-gun	42	1.26	0.26	-0.071	1.598
Namwon-si	50	1.36	0.25	0.029	6.765

Note : SNR(signal to noise)

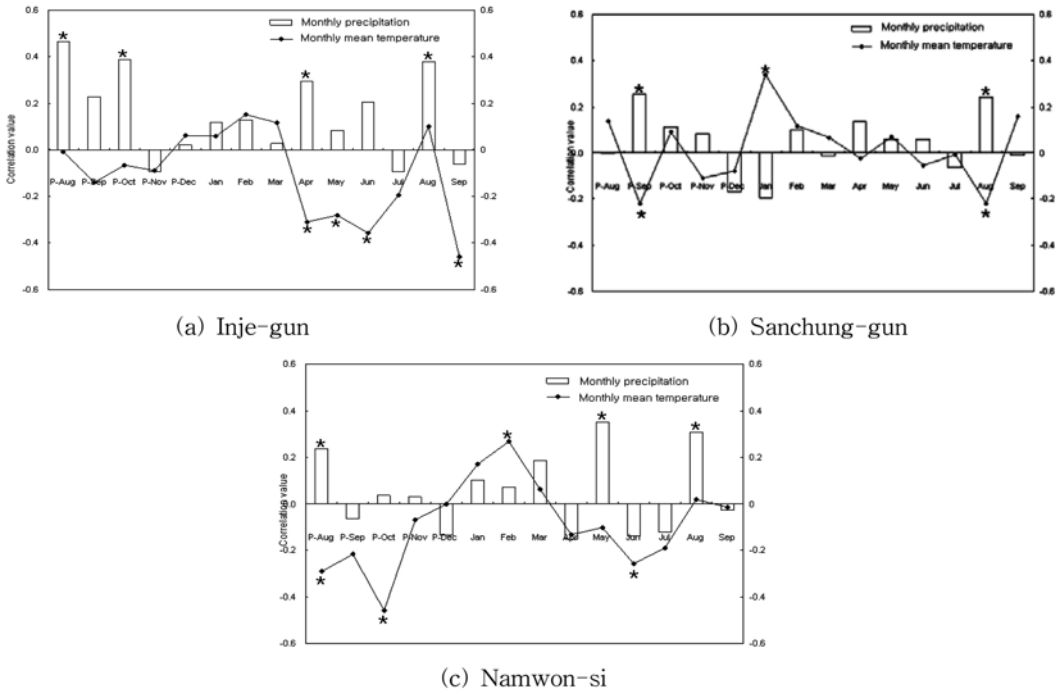

Figure 2. Response function between monthly climate factors (monthly mean temperature and monthly precipitation) and radial growth for the years 1973 to 2008. * indicated significant (p<0.05) derived from the program DendroClim 2002.

mm로 설악산 지역인 인제군의 1.05 mm 보다 다소 높은 생장량을 보이고 있다. 연속된 두 연륜생장간의 변이를 나타내는 평균민감도의 분포는 0.20~0.26의 값을 보이고 있는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 수종의 차이는 있으나 서정욱(1999)이 월악산 지역의 소나무를 대상으로 분석한 평균민감도와 유사하며, 또한 본 연구지역 잣나무의 연륜생장간에 연도별 변이를 포함하고 있어 연륜연대학적 분석이 가능한 연대기인 것으로 나타났다. 지역별 1차 자기상관은 -0.071에서 0.201, 그리고 SNR은 1.110~6.765로 조사되었다.

3. 잣나무 연륜생장과 기후인자

표준화된 연륜생장량과 월별 기후인자들간의 관계를 DendroClim 2002 프로그램을 이용하여 분석한 결과는 Figure 2와 같다. 설악산 지역인 인제군의 경우 당해연도 4월, 5월 그리고 6월, 8월의 온도가 부의 상관을 보이고 있으며, 강수량의 경우 전년도 생장기 8월과 10월 그리고 생장기인 당해연도 4월과 8월의 강수가 정의 상관을 영향을 보이고 있는 것으로 조사되었다. 지리산 지역인 산청군의 잣나무 연륜생장과 기후인자와의 관계에서는 온도의 경우 전년도 9월과 당해연도 8월의 온도가 부의 상관을, 당해연도 1월의 온도는 정의 상관으로 나타났다. 강수량의 경우 전년도 9월과 당해연도 8월이 정의 상관을 미치고 있는 것으로 분석되었다. 남원시의 경우 온도와의 관계에서는 전년도 생장기 8월과 10월 그리고 당해연도 6월이 부의 상관을 보이고 있으며, 당해연도 2월의 경우 잣나무의 연륜생장에 정의 상관을 보이고 있는 것으로 나타났다. 강수량의 경우 전년도 생장기 8월과 당해연도 5월과 8월이 정의 상관을 보여주고 있다.

Figure 2의 결과에서 인제군 지역의 경우 당해연도 생장기 전반에 걸쳐서 온도간에는 부의 상관을 보이고 있다. 이러한 결과는 Barnes *et al*.(1997)이 임목의 생장시기에 고온으로 인한 토양수분의 손실과 이로 인한 수분 스트레스가 발생한다고 하였으며, 본 분석의 결과에서도 고온에 의한 토양수분 손실과 이에 따른 스트레스가 잣나무의 연륜생장에 부의 영향을 미치는 것으로 사료된다. 또한 임목의 경우 고온과 가뭄에 의한 스트레스는 광합성 능력을 감소시켜서 연륜생장에 저해된다고 보고된바 있다(Takashi *et al*, 2003). 특히 다른 지역과 달리 설악산 지역 잣나무의 경우 당해연도 생장기 전반에 걸쳐서 온도에 대하여 상당히 민감한 반응을 보이고 있는데, 이는 지리산 지역인 산청군과 남원시의 경우 비교적 수분 조건이 양호한 미사질양토인 반면, 설악산 지역의 경우 사양토로서 토양의 수분 함수능력이 다른 지역에 비해 떨어지는 것도 한 원인인 것으로 사료된다. 또한 인제 지역의 전년도 8월과 10월에 걸쳐 강수와 연륜생장간에 정의 상관을 보이고 있다. 이러한 결과는 잣나무의 경우에 전년도에 형성된 동아(winter bud)가 이듬해 봄에 개엽하는 고정생장을 하며, 이러한 생리적 기작으로 인해 전년도의 강수량이 잣나무의 생육에 정의 영향을 미치는 것으

로 사료된다(이경준, 1993). 산청군 지역 잣나무의 연륜생장에 대한 전년도 9월과 당해연도 생장기 8월의 부의 영향 역시 대기중의 고온으로 인한 토양수분 감소에 따른 영향이 있는 것으로 판단된다. 이러한 결과는 지리산 동일 권역인 남원 지역의 전년도 8월과 10월 그리고 당해연도 6월의 월별평균온도와 잣나무의 연륜생장간 부의 영향과도 유사한 것으로 사료된다. 그러나 남원 지역의 당해연도 2월 온도의 경우 잣나무 연륜생장과 정의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 일반적으로 침엽수의 경우 휴면기에서 생장기로 접어드는 시기의 따뜻한 온도는 춘재도관의 크기생장에 영향을 주어 연륜생장을 촉진시켜주는 것으로 보고된바 있다(Zimmerman and Brown, 1971; Ginter-Whitehouse *et al*., 1983; Graumlich, 1993). 따라서 남원 지역에서도 위의 결과와 같이 휴면기에서 생장기로 전환되는 시점의 온도상승이 잣나무의 연륜생장에 정의 영향을 미치는 것으로 판단된다.

조사지역의 연륜생장과 기후인자간의 관계에서 강수량의 경우 세 지역 모두 정의 영향을 받는 것으로 조사되었다. 그러나 온도의 경우는 대부분 부의 영향을 나타내는 것으로 나타났는데, 일반적으로 온도상승에 의한 토양수분 스트레스는 임목의 생장에 있어서 중요한 제한요인으로 작용하고 있다(Sheng *et al*., 2007). 이는 우리나라와 같이 여름철 6~8월에 대부분의 강수가 집중되고, 또한 봄철 가뭄이 발생하는 지역에서는 무엇보다 토양의 수분함수 능력이 임목의 생육에 중요한 역할을 하고 있는 것으로 사료된다. 특히 설악산 인제 지역의 경우 산청군과 남원시에 비해서 평균온도가 2.3~2.5°C 낮지만 강수량의 경우는 194~344 mm 적게 내리고 있어 수분에 대한 감수성이 있는 것으로 사료된다. 또한 토양의 경우도 사양토로서 토양의 함수능력이 상대적으로 낮아 강수량에 따른 임목의 생육 특성이 반영되는 것으로 판단된다.

결 론

본 연구는 우리나라 자생수종 중의 하나인 잣나무의 연륜생장과 기후인자간의 관계를 분석하기 위하여 수행되었다. 이를 위해 설악산 권역인 강원도 인제군과 지리산 권역인 남원시와 산청군의 잣나무에 대한 연륜 시료를 채취하여 기후인자와의 관계를 분석하였다. 조사지역 잣나무의 연륜생장과 기후인자간의 분석에서 월별평균온도는 부의 상관을 그리고 월별강수는 정의 상관을 보이고 있는 것으로 조사되었다. 이와 같이 온도와 연륜생장간의 부의 영향은 대기 중의 온도상승으로 인한 토양수분 스트레스가 잣나무의 생육에 영향을 주는 것으로 판단된다. 또한 월별강수량과 연륜생장간의 정의 영향으로 나타난 것은 잣나무의 연륜생장에 있어 수분 환경이 생육에 중요한 제한요인으로 작용하고 있는 것으로 판단된다. 그러나 연륜생장의 경우 미기후나 입지적 조건 등에 따라서 임목의 생장에 많은 영향을 미치고 있기 때문에 향후 연구수행에서는 이러한 부분을 고려한다면 잣나무의 생장과 기후인자간의 해석에 많은 도움이 될 것으로 판단된다.

인용문헌

1. 국립산림과학원. 2009. 잣나무 쇠퇴에 따른 합리적 관리방안 현장 워크숍 세미나. pp. 48.
2. 박원규. 1993. 대기중 이산화탄소 증가와 한국산 아고산 침엽수종의 생장동향. 한국임학회지 82(1): 17-25.
3. 산림청. 2007. 임업통계연보. http://www.forest.go.kr(2009. 09. 15).
4. 서정욱. 1999. 월악산 소나무 연륜변동에 관한 시-공간적분석. 충북대 석사학위논문. pp. 59.
5. 이경준. 1993. 수목생리학. 서울대학교 출판부. pp. 514.
6. 이천용. 2006. 잣나무의 생태와 문화. 숲과 문화. pp. 192.
7. 최종남, 류근배, 박원규. 1992. 아한대침엽수류 연륜연대기를 이용한 중부산간지역의 고기후 복원. 한국 제4기학회지 6(1): 21-32.
8. Allison, M.F., Proe, D.L. and Matthews, K.B. 1994. Transition and gap models of forest dynamics. Ecological Applications 5(4): 1040-1055.
9. Barnes, B.V., Zak, D.R., Denton S.R. and Spurr, S.H. 1997. Forest Ecology, fourth ed. Wiley. New York. pp. 774.
10. Biondi, F. and Waikul, F. 2004. A C++ program for statistical calibration of climate signals in tree-ring chronologies. Computers & Geoscience 30: 303-311.
11. Cook, E.R., Shiyatov, S. and Mazepa, V. 1990. Estimation of the Mean Chronology in Methods of Dendrochronology. Applications in the Environmental Science(Cook, E.R, *et al*(ed), Kluwer Academic Publishers) 123-132.
12. Edmonds, R.L., Thomas, T.B. and Maybury, K.P. 1993. Tree population dynamics growth and mortality in old-growth forests in the western Olympic Mountain, Washington. Can. J. For. Res 23: 512-519.
13. Fritts, H.C. 1978. Tree Rings and Climate. Academic Press Inc. London. pp. 567.
14. Ginter-Whitehouse, D.L., Hinckley T.M. and Pallardy, S.G. 1983. Spatial and temporal aspects of water relations of three tree species with different vascular anatomy. For. Sci. 29: 317-329.
15. Graumlich, L.J. 1991. Subalpine tree growth, climatic, and increasing CO_2: an assessment of recent growth trends. Ecology 72: 1-11.
16. Graumlich. L.J. 1993. 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.

17. Houghes, M.K.M., Kelly, P., Pilcher, M. and Lamarche, J.R. 1982. Climate from Tree Rings. Cambridge University Press. pp. 223.
18. Kennel, M. and Schweingruber, F.H. 1995. Multilingual Glossary of Dendrochronology: Terms and Definitions in English, German, French, Spanish, Italian, Portgues and Russian. Haupt. pp. 467.
19. Kim, E.S. 1997. Radial growth patterns of Korean fir trees (*Abies koreana Wilson*) and related environmental factors on Mt. Hallasan in Korea. Proceedings of the East Asia Workshop on Tree-Ring Analysis. Agricultural Science & Technology Institute of Chungbuk National University and Korean Forest Society Division 5. pp. 47-58.
20. Murphy, J.O. and Palmer, J.G. 1992. A Comparison of two tree ring index standardization technique. Can. J. For. Res. 22: 1922-1928.
21. Ronda, L.L., Peterson, D.L., Silsbee, D.G., Shainsky, L.J. and Dedner, L.F. 1995. Radial growth patterns and the effects of climate on second-growth Douglass fir (*Pseudotsuga menziesii*) in the Siskiyou Mountians, Oregon. Can. J. For. Res. 25: 724-735.
22. Schweingruber, F.H. 1987. Tree Rings. Library of Congress Cataloging in Publication Data. pp. 276.
23. Sheng, D., Yamanaka, N., Yamamoto, F., Otsuki, K., Shengqi, W., Qingchun, H. 2007. The effect of climate on radial growth of *Quercus liaotungensis* forest trees in Loess Plateau, China. Dendrochronologia 25: 29-36.
24. Takashi, K., Azuma, H. and Yasue, K. 2003. Effects of climate on the radial growth of tree species in the upper and lower distribution limits of an altitudinal ecotone on Mount Norikura, central Japan. Ecological Research 18: 549-558.
25. Villalba, R., Boninsegna, J.A., Veblen, T.T., Schmelter, A. and Rubulis, S. 1997. Recent trends in tree-ring records from high elevation sites in the Andes of Northern Patagonia. Clim. Change. 36: 425-454.
26. Yamaguchi, D.K. 1991. A simple method for cross-dating increasement cores from living trees. Can. J. For. Res. 21: 414-416.
27. Zimmerman, M.H. and Brown, C.L. 1971. Trees : Structure and function. Springer-Verlag, New York. pp. 336.

(2009년 10월 12일 접수; 2009년 12월 3일 채택)