

복원된 국지기후에 근거한 잣나무 성숙임분의 영양생장에 미치는 국지기후의 영향

김일현¹ · 신만용² · 김영채¹ · 전상근¹

¹경희대학교 임학과, ²국민대학교 산림자원학과

(2001년 5월 2일 접수)

Evaluation of Vegetative Growth in a Mature Stand of Korean Pine under Simulated Climatic condition

Il Hyun Kim¹, Man Yong Shin², Young-Chai Kim¹ and Sang-Keun Chon¹

¹Department of Forestry, Kyunghee University, Yongin 449-701, Korea

²Department of Forest Resources, Kookmin University, Seoul 136-702, Korea

(Manuscript received 2 May 2001)

ABSTRACT

This study was conducted to reveal the effects of local climatic conditions on the vegetative growth in a mature stand of Korean white pine based on climatic estimates. For this, the annual increments of stand variables such as DBH, height, basal area and volume were measured and estimated for seven years from 1974 to 1980. The local climatic conditions in the study site were also estimated by both a topoclimatological method and a spatial statistical technique. The local climatic conditions were then correlated with and regressed on the growth factors to reveal the relationships between the climatic estimates and the growth. It is found that relatively high temperatures had positive effects on the diameter growth. The yearly diameter growth increased when each of mean, maximum, and minimum temperature during the growing season was high. Height growth showed positively significant correlation with three climatic variables. The most important variable influencing height growth was the average of maximum temperature for 10 months from January to October. It means that the higher the average of maximum temperature for 10 months from January to October is, the more height growth of Korean white pine increases. Other climatic variables related to height growth were average of minimum temperature for 3 months in the early growing season and mean relative humidity for the growing season. Six climatic variables related to temperature had effects on basal area increment and all of them were positively correlated with basal area increment. Especially, temperatures from January to March were important factors affecting the basal area increment. In volume increment, high correlation was also recognized with most of temperature variables. This tendency was the same as the results in diameter and height increments. This means that the volume growth increases when temperatures during the growing season are relatively high.

Key words : local climatic conditions, vegetative growth, topoclimatology spatial interpolation

I. 서 론

잣나무(*Pinus koraiensis*)는 우리나라의 대표적인 경제수종으로 목재생산과 종자생산이라는 이중적 가치와 효율성 때문에 1960년대 이후 장기 용재수종으로 식

재가 장려된 주요수종의 하나이다. 하지만 그 동안 대면적에 조성된 잣나무 임분은 농촌의 노동인구 감소는 물론 인건비 상승과 저가의 외국산 잣의 수입으로 인해 수익성을 기대하기가 어려운 실정이 되었다. 따라서 잣나무림의 수익증대를 위해서는 양질의 목재생산

과 고품질의 종자를 증산시킬 수 있는 부가가치가 높은 임분으로 유도해야 할 필요성이 있다.

한편 잣나무는 다른 수종에 비하여 기상변동에 비교적 민감하게 반응하는 것으로 알려져 있어(한과 박, 1988), 인위적 조절이 불가능한 국지적 기후조건이 잣나무의 영양생장에 미치는 영향을 구명함으로써 잣나무 생육 임분에 대한 국지적 기후조건을 고려한 적지 판단과 위도 및 지리적 조건을 고려한 조림한계의 설정 등을 통해 목재생산과 종자생산을 목적으로 하는 각각의 별도목표에 따라 적지에 임분을 조성할 필요가 있다.

임목의 영양생장은 유전적 요인 외에 그 임목이 자라고 있는 환경에 의하여 많은 영향을 받게 되는데, 특히 양질의 목재생산을 위해서는 잣나무림에 있어서도 대상 지역의 국지적 기후조건을 고려한 조림적지를 판단하는 것과 그에 따른 경영계획이 수립되어야 함은 필수적이며, 이를 위해서는 먼저 국지기후와 잣나무의 영양생장과의 관계를 규명하는 작업이 필요하다.

임업에서의 전문 기상정보라 할 수 있는 산림의 국지적인 기상정보의 경우 정규기상관측망을 통해서서는 정확한 파악이 힘들다. 이는 정규기상관측망의 분포가 주거지 주변에 밀집되어 있고, 최근 광범위하게 사용되는 자동기상관측망의 경우에도 미관측지점을 포함하는 산림지역의 국지기후를 정확히 예측하기에는 관측 밀도가 상대적으로 낮은 한계를 가지고 있다. 이러한 문제는 지형인자를 이용하여 미관측 지점의 국지기후를 일정한 격자단위로 추정할 수 있는 그물망 기후추정법(Nakai, 1987; Okamura, 1987; 신과 윤, 1992)에 의하여 어느 정도 해결할 수 있다. 이 기법은 격자별 지형인자와 실측 기후치로부터 지형-기후 관계식을 도출·적용함으로써 월별, 기후치별 평년값을 제공하는 것이다. 한편 이와 같이 얻어진 기후 평년값과 정규기상관측소에서 수집한 연도별 실측 월별 기상자료 그리고 미관측 격자점과 정규기상관측소간의 거리가중치를 고려한 공간통계기법을 이용하면 연도별 미관측 지점의 월별 기상분포의 복원이 가능하다(신 등, 1999).

본 연구는 인공조림된 잣나무 성숙임분을 대상으로 지형기후학적 방법과 공간통계 기법에 의하여 연도별 국지기후 조건을 추정하고, 이를 토대로 임령별 직경, 수고, 재적 등의 연년생장량에 미치는 국지기후의 영향을 구명하여 우량한 잣나무림 적지판단의 기초자료

로 제공하고자 수행하였다.

II. 재료 및 방법

2.1. 연구 대상지

연구대상지는 강원도 홍천군 북방면 북방리에 위치한(북위 37° 50' 동경 127° 50') 잣나무 인공림(1974년 조사착수당시 45년생)으로 비교적 토양이 비옥하고 토심이 깊어 잣나무의 생육에 적합한 토양조건을 가지고 있다. 이와 같은 잣나무 순림을 대상으로 모수의 생립위치, 밀도, 경사도, 경사방향 및 토양조건을 고려하여 400~600 m²의 조사구 6개(A~F)를 설치하였다. 6개 조사구의 ha 당 본수는 평균 615본이었으며, 개체목의 평균 거리는 4.08 m였고 임분의 평균 흉고직경과 평균 수고는 각각 25.3 cm와 16.5 m이었으며, 개체목과 조사구 간의 흉고직경과 수고는 상당한 변이를 보이고 있었다. 조사구의 경사방향은 남서 또는 북서쪽을 향하고 있다.

2.2. 영양생장 조사

조사 대상지의 6개 조사구별로 1974년부터 1979년까지 피해목과 고사목을 제외한 모든 임목에 대하여 흉고직경을 측정하였다. 또한 측정된 흉고직경을 이용하여 각 개체목별로 흉고단면적을 산출하였다.

연구 대상지의 수고는 조사 해당 년도에 측정된 자료가 존재하지 않는다. 따라서 본 연구에서는 연구 대상지인 강원도 북방면에서 수집한 잣나무 樹幹析解 자료를 이용하여 아래의 2가지 수고식 모형(식 1과 2)에 의해 수고를 추정하였는데 최적 모형의 선택 기준으로는 사용된 자료의 모형에 대한 설명력을 표현하는 결정계수(r^2)를 사용하였다.

$$\text{수고곡선 모형 I : } HT = aD^b \quad (1)$$

$$\text{수고곡선 모형 II : } \ln(HT) = a + b\left(\frac{1}{D}\right) \quad (2)$$

여기서, HT = 수고, D = 흉고직경, \ln = 자연대수, 그리고 a 와 b 는 추정해야 할 회귀계수이다. 한편 재적은 이와 같이 얻어진 개체목별 흉고직경과 수고자료를 산림청 임업연구원에서 개발한 잣나무 단목 재적식(산림청, 1981)에 적용하여 계산하였다.

이상의 자료를 이용하여 연도별 평균 흉고직경, 평균 수고, ha 당 흉고단면적, ha 당 재적을 산출한 후,

각 입분 변수에 대하여 1974년부터 1979년까지 5년간의 입령별 연년생장량을 추산하였다.

2.3. 연구 대상지의 국지기후 추정

우리나라의 정규기상관측망은 그밀도가 낮고 대부분이 주거지역 주변에 설치되어 있어 산림지역의 국지기후를 정규기상관측망에 의하여 파악하는 것은 어려운 것이 현실이다. 따라서 본 연구에서는 연구 대상지의 국지기후 추정을 위해 먼저 지형기후학적 방법에 의하여 월별·기후치별 평년값을 도출하고, 공간통계기법에 의하여 연도별·월별 기후치를 산출하였다.

2.3.1. 월별 평년기후값의 추정

임목의 생장에 가장 큰 영향을 미치는 기후요소는 평균기온, 최고기온, 최저기온, 상대습도, 강수량, 일조시수, 맑은 날수, 그리고 흐린 날수로 요약할 수 있다 (Sander, 1971; 정 등, 1982; 손과 정, 1994). 이상의 8개 기후요소에 대해 먼저 연구 대상지와 지리적으로 가까운 경기·강원지역 17개 정규기상관측소(강화, 서울, 인천, 수원, 양평, 이천, 춘천, 홍천, 원주, 제천, 인제, 대관령, 속초, 동해, 충주, 영월, 태백)의 1961년~1990년까지 30년간의 기후자료를 월별로 요약 정리하고 기후값이 수집된 17개 정규 기상관측망이 위치한 지점의 지형변수를 정량화하였다. 수집된 기후자료와 국지기후에 영향을 많이 미치면서 비교적 정량화가 용이한 지형인자를 이용하여 지형기후학적 방법 (Nakai, 1987; Okamura, 1987; 신과 윤, 1992; 한국수자원공사, 1992; 1993; 1994)으로 국지기후를 추정하였다.

정량화된 지형인자는 국지 기후값에 영향을 미치는 총 17종류의 157개(과학기술처, 1992; 신과 윤, 1992)로서 미국 지질청(USGS)에서 제작한 수치고도모형(digital elevation model)의 한반도 지역 30 간격의 격자별 해발고도 자료를 이용하여 연구지역 주변 17개 기상관측소의 격자점을 중심으로 사방 2' 30"(약 4.5 km) 범위까지의 격자점에 대하여 지형변수를 정량화하였다.

연구 대상지에 적용할 수 있는 월별 평년기후값 추정회귀식의 작성을 위해 먼저 월별·기후치별로 지형인자와의 상관분석을 통해 후보지형인자를 선정한 후, 다중선형회귀분석 기법에 의하여 추정식을 작성하였다. 중회귀계수의 추정은 가장 일반적으로 사용되는 최소자승법을 이용하였고, 월별·기후치별 최적 독립

변수의 조합을 선택하기 위하여 stepwise 기법의 전향선택법을 채택하여 변수선택과 회귀계수를 추정하였다.

이와 같이 작성된 96개(8요소×12월)의 월별·기후치별 지형-기후 추정식을 연구 대상지에 적용시키기 위하여, 연구 대상지의 위도 및 경도 정보를 이용해 해당 격자점의 지형인자를 정량화하였는데, 사방 5개 격자(2' 30")의 지형을 고려하여 모두 157개의 지형인자를 수치화하여 위에서 얻은 월별·기후치별 평년기후값 산출 회귀식에 적용함으로써 연구 대상지에 해당하는 격자점의 8개 기상인자에 대한 월별 평년기후값을 추정하였다.

2.3.2. 연도별·월별 기후값의 도출

연구대상지의 연도별 월별 기후값의 복원을 위해 거리역산가중법(Inverse Distance Squared Weighting) (Seino, 1993; 신 등, 1999)에 의하여 연구 대상지와 지리적으로 인접한 춘천, 인제, 홍천, 원주, 양평, 이천의 6개 지점의 연도별 기후 실측값, 기후 평년값, 연구 대상지의 기후 평년값, 그리고 연구 대상지와 이상의 6개 기상관측소간의 거리를 이용하여 연구 대상지의 1973년부터 1980년까지의 8년간의 월별 평균기온, 최고기온, 최저기온, 상대습도, 강수량, 일조시수, 맑은 날수, 흐린 날수를 추산하였다(식 3).

$$d_0 = \sum_{j=1}^n [(T_j - A_j)(1/R_j^2)] / \sum_{j=1}^n (1/R_j^2) \quad (3)$$

여기서, d_0 = 연구 대상지 해당 격자점의 기후 편차값, T_j = j 번째 기상관측소의 해당 연도 기후 실측값, A_j = j 번째 기상관측소 해당 격자점의 기후 평년값 그리고 R_j = 연구 대상지 해당 격자점에서 j 번째 기상관측소까지의 거리이다. 식 (3)에 의하여 계산된 연구대상지의 1973년부터 1980년까지 8년간의 기후치별 편차값을 앞에서 얻은 해당 격자점의 평년 기후값에 더하여 연도별·월별 기후값을 산출하였다(식 4).

$$T_0 = d_0 + A_0 \quad (4)$$

이 식에서 T_0 = 연구 대상지의 연도별, 월별 기후 추정치이며 A_0 = 연구 대상지의 월별 기후 평년값이다.

생장 자료는 1974년부터 수집되었지만 연도별 기후자료의 복원은 1973년부터 이루어졌다. 그 이유는 잣나무 생장은 당해 연도의 기후조건 뿐만 아니라 이전 연도의 기후도 영향을 미치기 때문이다. 결과적으로 연구 대상지에 대한 1973년부터 1980년까지의 월별

기후 추정치 자료가 생성되었다.

2.4. 국지기후가 영양생장에 미치는 영향분석

연구 대상지의 국지기후 조건이 잣나무의 영양생장에 미치는 영향을 밝히기 위해 연구 대상지의 잣나무 성숙입분을 대상으로 평균 흉고직경, 평균 수고, ha 당 흉고단면적, 그리고 ha 당 재적에 대하여 45년생 이후 5년간의 임령별 연년생장량과 연도별 기후치를 이용하여 상관관계를 분석하였다.

상관분석을 통하여 직경, 수고, 단면적, 그리고 재적

의 연년생장에 미치는 기후지수별 경향을 1차적으로 분석한 후, 각 입분변수별로 5년간의 연도별 성장 특성이 연구 대상지의 기후조건 중에서 어떤 기후요소에 의하여 가장 영향을 받는지를 구명하기 위하여 연년생장량과 기후지수간의 중회귀분석을 실시하여 직경, 수고, 단면적, 그리고 재적의 4가지 입분변수별로 최적 회귀식을 작성하였다.

기후지수는 월별 기온(평균, 최고, 최저), 상대습도, 강수량, 일조시수에 의하여 계산된 값으로, 임목생장에 영향을 미치는 것으로 판단되는 총 30개의 지수를 연

Table 1. Climatic variables used for the estimation of vegetative growth such as DBH, height, basal area, and volume annual increment

Climatic variables	Description
X ₁	Average of mean temperature for the growing season
X ₂	Average of mean temperature for 3 months in the early growing season
X ₃	Average of mean temperature for 10 months from January to October
X ₄	Average of mean temperature for 5 months of non-growing season
X ₅	Average of maximum temperature for the growing season
X ₆	Average of maximum temperature for 3 months in the early growing season
X ₇	Average of maximum temperature for 10 months from January to October
X ₈	Average of maximum temperature for 5 months of non-growing season
X ₉	Average of minimum temperature for the growing season
X ₁₀	Average of minimum temperature for 3 months in the early growing season
X ₁₁	Average of minimum temperature for 10 months from January to October
X ₁₂	Average of minimum temperature for 5 months of non-growing season
X ₁₃	Mean relative humidity for the growing season
X ₁₄	Mean relative humidity for 3 months in the early growing season
X ₁₅	Mean relative humidity 10 months from January to October
X ₁₆	Mean relative humidity for 5 months of non-growing season
X ₁₇	Total precipitation for the growing season
X ₁₈	Total precipitation for 3 months in the early growing season
X ₁₉	Total precipitation for 10 months from January to October
X ₂₀	Total precipitation for 5 months of non-growing season
X ₂₁	Total hours of sunshine for the growing season
X ₂₂	Total hours of sunshine for 3 months in the early growing season
X ₂₃	Total hours of sunshine for 10 months from January to October
X ₂₄	Total hours of sunshine for 5 months of non-growing season
X ₂₅	Sum of differences between monthly maximum and minimum temperatures for the growing season
X ₂₆	Sum of differences between monthly maximum and minimum temperatures for 3 months of the early growing season
X ₂₇	Sum of differences between monthly maximum and minimum temperatures for 10 months from January to October
X ₂₈	Sum of differences between monthly maximum and minimum temperatures for 5 months of non-growing season
X ₂₉	Coldness index
X ₃₀	Index of aridity

도별로 도출하였다(Table 1). 이들 기후지수에서 성장 기간은 4월부터 10월까지의 7개월 간의 자료를 이용하였으며 성장기간의 초기 3개월은 4월부터 6월까지이고, 비성장기간은 전년도 11월부터 다음 해 3월까지의 5개월 간을 의미한다.

또한 성장 당년도의 1월부터 성장기간이 끝나는 10월까지의 10개월 간의 기후조건을 고려한 기후지수도 분석에 이용하였는데, 이는 겨울의 비성장기간과 당년 생육기간의 기후조건이 복합적으로 임목 성장에 영향을 미쳤을 것이라는 판단에 의한 것이다. 한편 기온교차는 월별 최고기온과 최저기온간의 차이를 이용하여 추정하였다. 그리고 한랭지수(X_{29})는 월 평균기온을 이용하여 계산하였고(김, 1975; 임, 1985), 건조지수(X_{30})는 강수량과 평균기온과의 관계를 이용하여 얻었다(Kramer, 1988). 나머지 기후지수는 월별 상대습도, 강수량, 그리고 일사량으로부터 변환된 것이다.

III. 결과 및 고찰

3.1. 연도별 영양생장

연구 대상지의 잣나무 임분을 대상으로 45년생부터 50년생까지 6년간 측정된 개체목별 직경과 수고 추정치를 이용하여 직경, 수고, 단면적, 재적에 대한 연년 성장량을 연도별로 분석한 결과는 Table 2와 같다.

수고성장량은 연구 대상지인 강원도 북방면에서 수집한 351본의 잣나무 수간석해 자료를 이용하여 수고 곡선식 모형 (1)과 (2)에 적용하여 회귀계수를 추정한 결과 다음과 같은 후보 곡선식을 얻었다.

$$\text{모형 I: } HT = 0.7022 D^{0.9452} \quad (r^2 = 0.83) \quad (5)$$

$$\text{모형 II: } \ln(HT) = 3.16 - 13.07 \left(\frac{1}{D}\right) \quad (r^2 = 0.78) \quad (6)$$

위의 두가지 수고 곡선식 중에서 모형 I의 설명력을 나타내는 r^2 에 근거하여 모형 I이 본 연구에서 사용한

최적식으로 결정되었으며, 이 식에 의하여 개체목의 수고를 추정하였다.

Table 2에서 보는 바와 같이 1976년도가 가장 생장이 저조하였는데, 이는 광합성에 의하여 만들어진 물질이 영양생장보다는 생식생장에 상당한 비율로 사용된 결과로 판단된다. 직경생장의 경우에 1976년도에는 불과 2.9 mm의 성장을 보였으며, 나머지 해에는 5.5 ~ 8.0 mm의 성장을 나타내었다. 수고생장의 경우에는 1979년이 47 cm로 가장 우수하였고 1976년에는 16 cm로 직경생장과 마찬가지로 매우 저조하였다. 직경생장과 밀접한 관계를 가지고 있는 단면적 생장의 경우에는 연도별 성장 특성이 직경생장과 유사한 형태를 보였으며, 재적생장의 경우에는 1977년의 생장이 가장 우수하고 1976년이 가장 저조한 것은 마찬가지였으나 나머지 해에는 재적생장의 우열을 가릴 수 없을 정도로 거의 차이가 없었다.

3.2. 연구대상지의 연도별 · 월별 국지기후 추정

지형기후학적 추정기법에 의해 먼저 월별 일 평균기온, 일 최고기온, 일 최저기온, 상대습도, 강수량, 일조시수, 맑은 날 수, 흐린 날 수에 대한 96개의 최적 다중회귀식을 작성함으로써 연구대상지에 적용할 수 있는 평년기후값 추정식이 작성되었으며, 이 추정치와 연구 대상지 주변 기상관측소의 연도별 · 월별 기후 관측치를 이용하여 공간통계기법 중의 하나인 거리역산가중법에 의하여 미관측 지점인 연구 대상지의 연도별 기후치를 복원할 수 있었다.

거리역산가중법에 의하여 복원된 연구 대상지의 연도별 국지기후 추정치의 분석 결과, 월별 기온(일 평균, 최고, 최저)은 연도별로 상당한 변이를 보이고 있었으며, 계절적으로는 겨울과 여름의 연도별 변이가 크고 봄과 가을은 상대적으로 연도간의 차이가 적게 나타났다. 거리역산가중법에 의해 임의의 격자점 기후를 정밀하게 추정하기 위해서는 해당 격자점에서

Table 2. Annual increment for stand variables by stand age

Age	Year	Diameter increment (mm)	Height increment (cm)	Basal area increment (m ²)	Volume increment (m ³)
45~46	1975	7.1	39	0.0029	0.0034
46~47	1976	2.9	16	0.0012	0.0014
47~48	1977	8.0	45	0.0034	0.0041
48~49	1978	6.1	34	0.0027	0.0033
49~50	1979	5.5	47	0.0025	0.0032

30 km 이내에 존재하는 4~6개의 기상관측소 정보가 필요한 것으로 알려져 있으나(Seino, 1993), 본 연구에서 이용한 연구 대상지 격자점 주변의 6개 기상관측소들은 춘천과 홍천을 제외하고는 30 km 거리를 벗어나지만 특별한 대안이 없어 그대로 사용하였다.

연도별 상대습도를 월별로 비교한 결과 연도에 관계 없이 봄철이 가장 습도가 낮고 여름이 가장 높은 일정한 경향을 보이고 있다. 월별 강수량은 연도간에 편차가 매우 심한 기후요소로 연구 대상지의 8년 간의 월별 강수량 추정치도 연도간에 매우 심한 변이를 나타냈으나 대체적인 경향은 여름철 강수량이 전체의 40~60% 정도를 차지하고 있으며, 나머지 계절에는 상대적으로 강수량이 적는데 특히 겨울의 강수량이 가장 적은 것으로 나타났다.

월별 일조시수의 경우에도 연도별 변이가 심한데, 대체적으로 봄철의 일조량이 많고 특히 5월의 일조시수가 연중 가장 많은 것으로 나타났다. 반면에 겨울에는 강수량도 적지만 일조시수도 적은 것으로 나타나 흐린 날수가 상대적으로 많은 것으로 판단된다. 또한 여름에는 강수량이 가장 많기 때문에 상대적으로 봄철보다는 일조시수가 적은 것으로 나타났다. 봄철은 월합계가 250~300시간 정도이나 여름에는 이보다 약 50시간 내외가 적은 것으로 추정되었다.

월별 맑은 날수와 흐린 날수의 경우에도 연도간 변이가 심한 것으로 나타났다. 구름의 양을 기준으로 맑은 날은 30% 미만, 그리고 흐린 날은 70% 이상으로 기준을 잡았기 때문에 이들 기후지수에 대한 계절적 분포는 뚜렷하며 또한 서로 상반되는 경향을 보이고 있다. 맑은 날수는 11~2월이 가장 많은데 월별로 약 10~20일의 범위로 분포되어 있으며, 7월이 가장 적은 날수를 보이고 있음을 알 수 있다. 특히 1978년을 제외하고는 월 평균 4일 이하의 적은 날수를 보였다.

반면에 흐린 날수는 연간 변이가 심하지만 맑은 날수와는 상반된 결과를 나타내고 있다. 흐린 날수는 여름철이 가장 많은 것으로 나타났지만, 나머지 계절인 봄, 가을, 그리고 겨울에는 월별로 특징적인 차이를 나타내고 있지 않아 맑은 날수와는 다소 다른 형태의 월별 분포를 보이고 있음을 알 수 있다.

3.3. 영양생장과 국지기후와의 관계

3.3.1. 상관분석

잣나무의 영양생장에 영향을 미칠 것으로 추정되는 Table 1의 30개 기후지수가 일본변수별 연년생장량에 어떤 영향을 미치는지를 밝히기 위해 유의수준 10%까지의 상관관계를 분석한 결과 Table 3과 같다.

① 직경생장과 국지기후

직경생장의 경우 6개의 기후지수와 정의 상관관계가 인정되었는데 6개 모두 기온관련지수로, 가장 높은 상관은 생육기간 동안의 평균 최고기온으로 상관계수 $r=0.9069(p=0.0336)$ 를 보이고 있으며, 나머지 기온과 관련된 지수도 모두 상관계수가 0.85 이상으로 비교적 높은 상관관계를 유지하고 있어 기온이 높을수록 직경생장이 증가하는 것으로 파악되었다.

직경생장의 경우 기온과 관련된 지수를 제외한 나머지 기후지수와의 유의수준 10%에서 상관관계가 인정된 것이 하나도 없는데, 잣나무의 직경생장은 온도보다는 안개, 일사량, 상대습도 등에 더 영향을 받는다는 보고(한과 박, 1988)와 다른 결과를 보인 것이다. 하지만 직경생장은 지구광선 및 온도에 의해 크게 영향을 받으며, 강수량과 직경생장 사이에는 아무런 관계가 없다(Kramer, 1982)고 보고한 결과와는 일치하는 것이다.

② 수고생장과 국지기후

수고생장은 3개의 기후지수와 정의 상관관계가 인정

Table 3. Analysis of correlation between annual increment of 4 stand variables and 30 climatic variables

Weather variables	Correlation coefficients			
	DBH increment	Height increment	Basal Area increment	Volume increment
X ₁	0.8934**		0.8665*	0.8232*
X ₂	0.8408*		0.8161*	
X ₅	0.9069**		0.9049**	0.8780**
X ₇	0.8666*	0.9574***	0.9166**	0.9477**
X ₉	0.8560*		0.8266*	0.8688*
X ₁₀	0.8939**	0.8676*	0.8791**	
X ₁₃		0.8520*		

*Significant at 10% level, **Significant at 5% level, ***Significant at 1% level.

되었으며 가장 큰 영향을 미치는 지수는 해당 연도의 1월부터 10월까지의 월별 최고기온(X_7)의 평균치로 상관계수 $r = 0.9574(p = 0.0105)$ 를 보여 최고기온이 높을수록 수고생장에 긍정적으로 작용하고 있음을 알 수 있다. 또한 생육기간 초기 3개월 간의 최저기온(X_{10})과 생육기간 동안의 상대습도(X_{13})도 모두 정의 상관을 나타냈다.

이러한 결과는 전 등(1999)이 잣나무 임분의 수고생장은 임분 내의 수분조건과 한랭한 기온조건이 영향을 미친다는 보고와 어느 정도 일치하는 것이며, 또한 해송의 수고생장에 상대습도, 건조지수 등이 가장 큰 영향을 미친다는 연구결과(손과 정, 1994)와도 상대습도의 측면에서는 일치하는 결과이다. 하지만 이상의 연구와 함께 시베리아 느릅나무의 수고생장에는 강수량이 관계하고 있다는 보고(Sander, 1971)에서도 알 수 있듯이 수고생장에서는 강수량과 같은 수분조건이 절대적인 영향을 미치는 것으로 판단되지만, 본 연구에서는 이러한 결과와는 다소 다른 경향을 보이고 있다. 결국 본 연구에서 짧은 기간 동안에 수집된 기후 자료를 이용하여 수고생장의 연차변이를 구명하기에는 한계가 있는 것으로 판단된다.

③ 단면적 성장과 국지기후

단면적 성장은 직경생장과 밀접한 관계가 있기 때문에 직경생장에 미치는 기후지수와 동일한 6개의 지수가 모두 정의 상관관계를 보이고 있는 것으로 분석되었다. 온도와 관련된 지수 중에서 월별 최고기온과 최저기온은 생육기간 이외에도 1월에서 3월까지의 기온(X_7 과 X_{10})이 단면적 성장에 영향을 미치는 것으로 파악되었는데, Holmsgaard(1955)에 의하면 덴마크에서는 겨울이나 이른 봄에 기온이 낮을 경우 다음 생육기간 동안에 오리나무, 소나무, 미송 등의 생장이 둔화된다고 보고하여 비생육기간 동안의 지나치게 낮은 온도는 성장에 장애요인이 됨을 알 수 있다. 또한 Weck(1955)도 독일 북부지역에서 아주 추운 겨울 다음 해에 미송과 전나무의 생장이 둔화되었다고 보고하여 본

연구와 유사한 결과를 보였다.

④ 재적생장과 국지기후

재적생장은 직경생장에 의하여 표현되는 단면적 성장과 수고생장이 복합적으로 작용하여 나타난다. 따라서 재적생장에 미치는 국지기후는 직경생장 및 수고생장과 마찬가지로 주로 기온변수에 의하여 높은 상관이 인정되었다. 특히 평균기온, 최고기온, 최저기온에 관계없이 모두 생육기간 동안의 온도가 높으면 재적생장이 양호한 것으로 나타났는데, 이는 일반적으로 잣나무 생장은 어느 정도의 습도가 유지되어야 생장에 유리하다는 점과 비교적 한랭한 지역에 적합한 수종이라는 사실(한과 이, 1985)과는 다소 다른 결과이다. 이는 본 연구의 잣나무 임분은 V영급으로 왕성한 성장 단계를 지나 비교적 생장이 완만한 상태이기 때문에 일반적인 현상과 다른 결과를 보인 것으로 추측할 수 있다.

하지만 본 연구에서 얻어진 결과는 재적생장을 이루는 목질형성은 광합성 작용이 광선과 온도에 의해 똑같이 영향을 받지만 주로 온도에 의해 영향을 받는다는 사실(Erteld and Hengst, 1966)에 의해 설명할 수 있다.

3.3.2. 회귀분석

Table 4는 잣나무 임분의 흉고직경, 수고, 흉고단면적, 재적의 연도별 변이가 30개 국지기후 지수 중에서 어느 지수에 의하여 가장 잘 설명되는가를 밝히기 위해 회귀분석을 실시하여 기후-연년생장량 최적 추정식을 작성한 것으로 최적 회귀식의 결정계수는 임분변수에 관계없이 0.97~0.99로 매우 높은 설명력을 나타내고 있어 국지기후에 의한 영양생장량의 추정은 문제가 없는 것으로 파악되었다.

직경생장량은 생육기간 동안의 최고기온의 평균치(X_5), 생육기간 초반 3개월의 최저기온의 평균치(X_{10}), 그리고 1월부터 10월까지 최고기온과 최저기온의 차이의 합(X_{27})이 클수록 직경생장이 증가하는 것으로 추정되었다. 일반적으로 잣나무는 한랭한 기후에서 잘

Table 4. Regression coefficients of climatic parameters to annual increment of stand variables

Dependent variables	Regression equations	R ²
DBH increment	$Y = -4.4697 + 0.0907 * P_5 + 0.1821 * P_{10} + 0.0081 * P_{27}$	0.98
Height increment	$Y = -5.7317 + 0.2853 * P_7 + 0.0109 * P_{14}$	0.97
Basal area increment	$Y = -0.0352 - 0.0003 * P_4 + 0.0020 * P_7$	0.99
Volume increment	$Y = -0.5985 + 0.0462 * P_7 - 0.0034 * P_{13}$	0.99

성장하는 수종으로 알려져 있는데, 이러한 사실과 본 연구에서 직경성장 추정식에 채택된 변수들을 종합적으로 고려하면 생육기간 초반 3개월을 제외한 나머지 달의 월 최저기온이 낮아 최고기온과의 차이가 클수록 직경생장에 유리한 조건을 제공하는 것으로 판단된다.

수고성장 추정식에 의하면 1월부터 10월까지 월 최고기온의 평균치(X_7)가 높고 생육기간 초반 3개월의 상대습도가 높을 경우에 잣나무의 수고생장이 좋은 것으로 파악되었다. 이러한 결과는 잣나무 임분의 생장은 수분조건이 양호한 입지를 선호한다는 연구 결과(한과 이, 1985; 전 등, 1999)와 일치하는 것이다. 그러나 최고기온의 평균치가 높아야 수고생장이 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 잣나무 유령림의 수고생장은 생육 지역의 수분 조건뿐만 아니라 한랭한 기후 조건일 때 유리한 조건을 갖는다는 보고(전 등, 1999)와 다른 결과를 보이는 것이다. 하지만 본 연구의 대상지는 V영급의 성숙 임분으로 유령림의 수고성장 패턴과는 다소 다른 경향을 보인 것으로 판단된다.

흉고단면적 추정식에는 비생장기간 5개월 간의 평균기온(X_4)과 1월부터 10월까지 월별 최고기온의 평균값(X_7)이 관여하고 있는 것으로 파악되었다. 특히 겨울철을 포함하는 비생장기간의 평균기온이 낮을수록 단면적 생장이 좋은 것으로 추정되었고, 수고 성장과 마찬가지로 최고기온은 상대적으로 높을수록 성장에 도움이 되는 것으로 나타났다. 잣나무는 한랭한 기온에 적합한 수종으로 비생장기간 동안의 온도차가 클수록 흉고직경 성장에 도움이 되고(한과 박, 1988), 단면적 생장은 직경생장과 밀접한 관계를 가지고 있다는 점을 고려하면, 잣나무의 단면적 생장은 겨울철을 포함하는 비생장기간 동안의 기온조건이 중요한 역할을 하는 것으로 이해할 수 있다.

재적생장은 수고생장과 단면적 생장이 복합적으로 작용하여 표현되는 것이다. 따라서 수고생장과 단면적 성장 추정식에 모두 포함되었던 1월부터 10월까지 월 최고기온의 평균치(P_7)가 재적성장 추정식에도 포함되었는데, 최고기온이 높을 경우에 잣나무의 재적생장이 증가하는 것으로 나타났다. 하지만 재적성장 추정식에 포함된 다른 변수는 생육기간 동안의 평균 상대습도(X_{13})인데, 상대습도가 높을수록 재적생장이 저조한 것으로 추정되어 일반적인 경향과 일치하지 않는 결과를 보이고 있다. 재적성장 추정식은 단면적

성장식과 마찬가지로 0.99의 매우 높은 결정계수를 나타내고 있다.

IV. 적 요

본 연구는 잣나무 성숙임분을 대상으로 임령별 국지 기후 조건을 지형기후학적 방법과 공간통계 기법에 의하여 추정하여 잣나무 임분의 영양생장에 미치는 국지 기후의 영향을 구명하고자 하였다. 이를 위해 지형-기후 관계식을 이용하여 연구 대상지의 평균기온, 최고기온, 최저기온, 상대습도, 강수량, 일조시수, 맑은 날수, 흐린 날수에 대하여 월별·기후치별 평년값을 도출하고, 공간통계기법에 의하여 연도별·월별 기후치를 산출하였다. 또한 연구 대상지의 잣나무 임분에 대한 임령별 직경, 수고, 단면적, 그리고 재적생장의 특성을 파악하였다. 이상의 자료에 근거하여 잣나무 성숙임분의 연년성장량에 미치는 국지기후의 영향을 상관분석 및 회귀분석을 통하여 구명한 결과는 다음과 같다.

직경생장은 6개의 기온관련 지수와 정의 상관관계가 인정되었다. 특히 생육기간 동안의 평균기온, 최고기온, 최저기온이 모두 정의 상관을 보여 기온이 높을수록 직경생장이 증가하는 것으로 파악되었다. 수고생장은 3개의 기후지수와 정의 상관관계가 인정되었다. 수고 성장에 가장 영향을 미치는 지수는 해당 연도의 1월부터 10월까지의 월별 최고기온의 평균치로, 최고기온이 높을수록 수고생장에 긍정적으로 작용하고 있음을 알 수 있다. 수고생장에 대한 회귀분석 결과 1월부터 10월까지 월 최고기온의 평균치가 높고 생육기간 초반 3개월의 상대습도가 높을 경우에 잣나무의 수고생장이 좋은 것으로 파악되었다.

단면적 생장은 6개의 기온과 관련된 지수가 단면적 성장에 영향을 미치고 있는데, 온도와 관련된 지수 중에서 월별 최고기온과 최저기온은 생육기간 이외에도 1월에서 3월까지의 기온이 단면적 성장에 영향을 미치는 것으로 파악되었다. 또한 단면적 생장은 비생장기간 5개월 간의 평균기온과 1월부터 10월까지 월별 최고기온의 평균값이 관여하고 있는 것으로 분석되었다. 재적생장의 경우에는 평균기온, 최고기온, 최저기온에 관계없이 모두 생육기간 동안의 온도가 높으면 재적생장이 양호한 것으로 나타났다. 재적생장의 추정식에는 1월부터 10월까지 월 최고기온의 평균치와 생육기간 동안의 평균 상대습도가 재적성장 추정에 관여하고 있다.

인용문헌

- 과학기술처, 1992: 전국 그물망 기후값 추정 및 기후도 작성 연구(3). 중앙기상대 기상연구소 주관 특정연구과제. 379pp.
- 김광식, 1975: 농업기상학. 향문사. 331 p.
- 산림청, 1981: 입엽기술. 1362 p.
- 손영모, 정영관, 1994: 지형, 토양 및 기상인자가 해송의 수고생장에 미치는 영향. 한국임학회지. **83**(3), 380-390.
- 신만용, 윤진일, 1992: 지형-기후 관계식에 의한 제주도의 월별 기온분포의 추정. 한국임학회지. **81**(1), 40-52.
- 신만용, 윤진일, 서애숙, 1999: 공간통계기법을 이용한 전국 일최고/최저기온 공간변이의 추정. 대한원격탐사학회지. **15**(1), 9-20.
- 윤경빈, 1985: 조립학원론. 향문사. 491 pp.
- 전상근, 신만용, 정동준, 장용석, 김명수, 1999: 지역별 잣나무 초기생장 특성과 국지기후의 영향. - 정기평균생장량과 국지기후와의 관계. 한국임학회지. **88**(1), 73-85.
- 정영관, 이부권, 박남창, 1982: 기상인자가 삼나무 및 편백의 활착률, 직경생장 및 수고생장과와의 관계 - 진해지방을 중심으로 -. 경상대 논문집. **21**, 117-120.
- 한국수자원공사, 1992: 기상환경 변화 조사(1차). 244 pp.
- 한국수자원공사, 1993: 임하빛주암 다목적댐 건설에 따른 기상환경 변화 조사(2차). 306 pp.
- 한국수자원공사, 1994: 임하빛주암 다목적댐 건설에 따른 기상환경 변화 조사(3차). 264 pp.
- 한상섭, 박완근, 1988: 잣나무와 소나무의 직경생장과 Key-Year. 한국임학회지. **77**(2), 216-221.
- 한상섭, 이재선, 1985: 수분결핍이 잣나무 엽의 광합성, 호흡, 증산속도에 미치는 영향, 강원대학교 논문집. **22**, 118-131.
- Erteld, W., and E. Hengst, 1966: Waldtragslehre. Radebeul.
- Holmsgaard, E., 1955: Arringsanalyser of danske skovtræer. Fors. Forsögsv. Danm, **22**, 1-246.
- Kramer. 1982: Kurzfristige Zuwachsreaktionen bei Buche in Abhängigkeit von Witterung und verschiedenen Baummerkmalen. *AFJZ*. **153**, 57-67.
- Kramer, H., 1988: Waldwachstumslehre. Paul Parey. 374 pp.
- Nakai, K., 1987: Japanese system of the meteorological information service to user communities including the education and training. Preprint from the WMO symposium on education and training in meteorology with emphasis on the optimal use of meteorological information and products by all potential users. Shinfield Park. U.K., 13-18 July 1987.
- Okamura, T., 1987: Mesh climatic data-Present and prospect of production and application. *Tenki*, **34**(3), 25-42.
- Sander, D. H., 1971: Soil properties and siberian elm tree growth in Nebraska wind-breaks. *Soil Science*, **112**(5), 357-363.
- Seino, H., 1993: An estimation of distribution of meteorological elements using GIS and AMEDAS data. *Journal of Japanese Agricultural Meteorology*, **48**(4), 379-383.
- Weck, J., 1955: Forstliche Zuwachs und Ertragskunde. 2. Aufl., Radebeul.