

지역별 잣나무 차대검정림의 초기생장에 미치는 미기후의 영향

신만용¹ · 김영채²

¹국민대학교 산림자원학과, ²경희대학교 임학과
(2001년 12월 14일 접수; 2002년 1월 30일 수락)

Effects of Local Climatic Conditions on the Early Growth in Progeny Test Stands of Korean White Pine

Man Yong Shin¹ and Young-Chai Kim²

¹Department of Forest Resources, Kookmin University, Seoul 136-702, Korea

²Department of Forestry, Kyunghee University, Yongin 449-701, Korea

(Received December 14, 2001; Accepted January 30, 2002)

ABSTRACT

This study was conducted to reveal the effects of local climatic conditions on the early growth of Korean white pine progeny test stands. For this, stand variables such as mean DBH, mean height, basal area per hectare, and volume per hectare by stand age and locality were first measured and summarized for each stand. Based on these statistics, annual increments for 10 years from stand age 10 to 20 were calculated for each of stand variables. The effects of local climatic conditions as one of environmental factors on the growth were then analyzed by both a topoclimatological method and a spatial statistical technique. From yearly climatic estimates, 30 climatic indices which affect the tree growth were computed for each of the progeny test stand. The annual increments were then correlated with and regressed on the climatic indices to examine effects of local climatic conditions on the growth. Gapyung area provided the best conditions for the early growth of Korean white pine and Kwangju area ranked second. On the other hand, the growth pattern in Youngdong ranked last overall as expected. It is also found that the local growth patterns of Korean white pine in juvenile stage were affected by typical weather conditions. The conditions such as low temperature and high relative humidity provide favor environment for the early growth of Korean white pine. Especially, it was concluded that the low temperature is a main factor influencing the early growth of Korean white pine based on the results of correlation analysis and regression equations developed for the prediction of annual increments of stand variables.

Key words : Korean white pine, annual increment, local climatic conditions, stand variables, topoclimatological method, spatial statistical technique

I. 서 론

임목의 생장은 유전적 요인과 함께 생육 환경조건에 의하여 많은 영향을 받는다. 특히 환경조건 중에서 기상환경은 인위적 조절이 불가능하기 때문에 임목이 생육하고 있는 지역의 국지기후가 임목 생장에 미치는 영향을 구명하여 생육 임분에 대한 적지판단을 통한

임분 조성이 필요하다. 따라서 양질의 목재생산을 위해서는 대상 지역의 국지기후 조건을 고려한 생장특성과 조림적지의 판단에 근거한 합리적인 경영계획의 수립이 필수적이며, 이를 위해서는 먼저 국지기후와 생장과의 관계를 규명하는 작업이 필요하다.

임업에서의 전문 기상정보라 할 수 있는 산림의 국지적인 기상정보의 경우 정규기상관측망을 통해서

정확한 파악이 힘들다. 이는 정규기상관측망의 분포가 주거지 주변에 밀집되어 있고, 최근 광범위하게 사용되는 자동기상관측망의 경우에도 미관측 지점을 포함하는 산림지역의 국지기후를 정확히 예측하기에는 관측밀도가 상대적으로 낮은 한계를 가지고 있다. 이러한 문제는 지형인자를 이용하여 미관측 지점의 국지기상을 일정한 격자단위로 추정할 수 있는 그물망 기후 추정법(Nakai, 1987; Okamura, 1987; 신만용과 윤진일, 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 거리 가중치를 고려한 공간통계기법을 이용하면 연도별 미관측 지점의 월별 기상분포의 복원이 가능하다(신만용 등, 1999; 김일현 등, 2001).

잣나무는 우리나라의 대표적인 경제수종으로 다른 수종에 비하여 기상변동에 비교적 민감하게 반응하는 것으로 알려져 있다(한상섭과 박완근, 1988). 따라서 적지판단에 근거한 우량한 잣나무림의 조성을 위해서는 국지기후가 잣나무 생장에 미치는 영향을 파악하는 작업이 선행되어야 한다.

본 연구는 지리적 조건이 다른 잣나무 차대검정림을 대상으로 지형기후학적 방법과 공간통계 기법에 의하여 연도별 미기후를 추정하고, 이를 토대로 임령별 직경, 수고, 단면적, 그리고 재적의 연년생장량에 미치는 국지기후의 영향을 구명함으로써 잣나무림의 적지판단에 필요한 기초자료를 제공할 목적으로 수행하였다.

II. 재료 및 방법

2.1. 연구 대상지

본 연구는 1974년 당시 45년생이었던 강원도 홍천에 위치한 잣나무 인공림에서 선발한 25개 차대가계를 환경 조건이 서로 다른 3개 지역, 즉 경기도 가평과 광주, 그리고 충청북도 영동에 식재하여(1983년), 1999년 현재 20년생인 3개 임분을 연구 대상지로 하였다. 지역별 차대검정림은 각각 1 ha의 면적에 4개씩의 block을 무작위로 설치하고, 각 block 내에 가계당 25본씩 25가계를 난괴법에 의하여 배치하였다. 따라서 최종적으로 1개 지역별로 ha당 2,500본, 즉 3개 지

Table 1. Topographical characteristics of three progeny test stands used in this study

Site	Latitude	Longitude	Elevation	Slope	Aspect
Gapyung	37°52'	127°34'	200 m	20~26'	S30°E
Kwangju	37°27'	127°22'	250 m	25~33'	S40°E
Youngdong	36°07'	127°55'	500 m	30~35'	S30°W

역 전체로는 총 7,500본이 식재되었으며 시간이 경과되면서 일부는 고사하여 이 중에서 건전목의 자료만을 측정 대상으로 하였다. Table 1은 차대검정림이 조성된 3개 지역의 지형특성을 요약한 것으로 지역 간에 여러 지형인자들이 뚜렷한 차이를 보이고 있음을 알 수 있다. 즉, 영동지역이 경기도 가평이나 광주 지역에 비하여 해발고도가 높고 경사가 다소 심한 것을 알 수 있다.

2.2. 지역별 생장특성

지리적 위치와 지형적 특성이 다른 3개 잣나무 차대검정림의 지역별 초기 생장 변이가 환경적인 요인 중에서 기상요인에 의해 얼마나 영향을 받는가를 파악하기 위해 20년생까지의 지역별 초기 생장 특성을 연도별로 분석하였다. 차대검정림이 조성된 이후 10년생 이전의 임분통계량을 양적으로 표현하는 것은 의미가 없기 때문에, 지역별·임령별 생장특성은 10년생부터 20년생까지 측정된 자료에 근거하여 몇가지 임분변수의 변화양상을 파악하였다.

이를 위해 지역별로 평균 흉고직경, 평균 수고, ha당 흉고단면적, ha당 재적에 대한 임령별 변화를 분석하였다. 이 과정에서 흉고직경은 16년생 이후에 측정되었고, 그 이전에는 근원직경(root-collar; RC)만이 개체목별로 측정되었기 때문에 16년생 이후에 측정된 흉고직경과 근원직경 자료를 이용하여 근원직경에 따른 흉고직경의 추정식을 지역별로 작성하여 15년생까지의 개체목별 흉고직경을 추정하여 사용하였다. 이상과 같이 얻어진 각 임분변수에 대하여 10년생부터 20년생까지 10년 동안의 연년생장량을 지역별로 분석하였다.

2.3. 지역별 미기후 추정

2.3.1. 차대검정림의 월별 평년기후값 추정

본 연구의 미기후 추정 목적은 환경요인으로서 기상 조건이 조사 대상지의 잣나무 생장에 미치는 영향을

파악하기 위한 것이다. 따라서 본 연구에서는 남한 전역에 분포된 70여개의 정규기상관측소 중, 지리적으로 경기도 가평 및 광주지역과 가까운 강화, 서울, 인천, 수원, 양평, 이천, 춘천, 홍천, 원주, 제천, 그리고 충청주의 11개 정규기상관측소와 충청북도 영동과 지리적으로 인접한 추풍령, 보은, 청주, 금산, 대전, 문경, 구미, 의성, 안동, 충주, 그리고 대구의 11개 정규기상관측소로부터 수집된 기후자료와 미기후에 영향을 많이 미치면서 비교적 정량화가 용이한 지형인자를 이용하여 지형기후학적 방법(Nakai, 1987; Okamura, 1987; 신만용과 윤진일, 1992; 수자원공사, 1992, 1993, 1994)을 적용하여 지역별 미기후를 추정하였다.

임목의 생장에 가장 많은 영향을 미치는 기상인자는 평균기온, 최고기온, 최저기온, 상대습도, 강수량, 그리고 일조시수로 요약할 수 있다(Sander, 1971; 정영관 등, 1982; 손영모와 정영관, 1994). 본 연구에서는 먼저 이상의 6개 기상인자를 월별·관측소별로 요약·정리하고 이를 수치화된 지리지형 변수에 회귀시켜 “그물망 기후도” 작성법에 의하여 각 지역에 적용할 수 있는 월별 평년기후값 계산식을 도출하기 위하여, 각 연구 대상지별로 기후값이 수집된 11개 정규 기상관측망이 위치한 지점의 지형변수를 정량화하였다. 정량화된 지형인자는 국지기후값에 영향을 미치는 총 17종류의 162개(과학기술처, 1992; 신만용과 윤진일, 1992)로서 각 격자점별 해발고도를 이용하여 계산하였다. 지형인자를 정량화하기 위하여 필요한 해발고도 자료는 USGS DEM(digital elevation model)으로부터 한반도 지역의 30" 간격의 격자별 해발고도 자료를 수집하였다. 이 해발고도 자료를 이용하여 연구지역 주변 11개 기상관측소의 격자점을 중심으로 사방 2'30"(약 4.5 km) 범위까지의 격자점에 대하여 지형변수를 정량화하였다.

수집된 기상관측소 격자점에 대한 기후값과 정량화된 지형자료를 이용하여 경기도 가평과 광주 그리고 충청북도 영동에 적용할 수 있는 월별 평년기후값 추정회귀식을 작성하였다. 먼저 월별·기후치별로 후보 지형인자를 선정한 후, 다중선형회귀분석 기법에 의하여 추정식을 작성하였는데, 중회귀계수의 추정은 가장 일반적으로 사용되는 최소자승법을 이용하였다. 다음 단계로 월별·기후별 최적 독립변수의 조합을 선택하기 위하여 전향선택법을 사용하여 변수선택과 회귀계수를 추정하였다.

이와 같이 차대검정립별로 각각 작성된 72개의 월별·기후치별 지형-기후 추정식을 각 차대검정립에 적용하기 위하여 각 차대검정립이 조성된 지점의 위도 및 경도 정보를 이용해 해당 격자점의 지형인자를 정량화하였는데 사방 5개의 격자(2'30")의 지형을 고려하여 모두 162개의 지형인자를 수치화하여 파일로 저장하였다. 이상과 같이 수치화된 지형인자를 위에서 얻은 월별·기후치별 평년기후값 산출 회귀식에 적용하여 각 차대검정립에 해당하는 격자점의 6개 기상인자에 대한 월별 평년기후값을 추정하였다.

2.3.2. 연도별·월별 기후값의 도출

연구 대상지의 연도별·월별 기후값의 복원을 위해 거리역산가중법(inverse distance squared weighting)(Seino, 1993; 신만용 등, 1999; 김일현 등, 2001)에 의하여 각 차대검정립과 지리적으로 인접한 6개 기상관측소의 연도별 기후 실측값, 기후 평년값, 연구 대상지의 기후 평년값, 그리고 연구 대상지와 6개 기상관측소간의 거리를 이용하여 연구 대상지에 대한 1988년부터 1999년까지의 12년 간의 월별 평균기온, 최고기온, 최저기온, 상대습도, 강수량, 일조시수를 추산하였다(식 (1)). 이를 위해 경기도 가평은 춘천, 홍천, 양평, 이천, 인제, 원주의 기후자료를 사용하였고, 경기도 광주는 양평, 이천, 서울, 수원, 홍천, 춘천, 그리고 충청북도 영동은 추풍령, 구미, 보은, 금산, 대전, 문경의 6개 기상관측소 자료를 사용하였다.

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

여기서, d_0 =연구 대상지 해당 격자점의 기후 편차값, T_j =j번째 기상관측소의 해당 연도 기후 실측값, A_j =j번째 기상관측소 해당 격자점의 기후 평년값 그리고 R_j =차대검정립의 해당 격자점에서 j번째 기상관측소까지의 거리이다. 식 (1)에 의하여 계산된 연구대상지의 1988년부터 1999년까지 12년 간의 기후치별 편차값을 앞에서 얻은 해당 격자점의 평년 기후값에 더하여 연도별·월별 기후값을 산출하였다(식 (2)).

$$T_0 = d_0 + A_0 \quad (2)$$

이 식에서 T_0 =차대검정립의 연도별, 월별 기후 추정치이며 A_0 =차대검정립의 월별 기후 평년값이다. 본 연구에서 사용된 생장 자료는 10년생 임분인 1989년에 수집된 자료이지만 연도별 기후자료의 복원은

1988년부터 이루어졌다. 그 이유는 잣나무 생장은 당해 연도의 기후조건 뿐만 아니라 이전 연도의 기후도 영향을 미치기 때문이다. 결과적으로 연구 대상지에 대한 1988년부터 1999년까지 12년 간의 월별 기후 추정치 자료가 각 차대검정림별로 생성되었다.

2.4. 지역별 기후조건과 성장특성과의 관계

지역별 기후조건이 각 차대검정림의 임목 성장에 어떠한 영향을 미치는가를 밝히기 위하여 먼저 평균 흉고직경, 평균 수고, 흉고단면적, 그리고 재적의 10년생부터 20년생까지의 10년 동안의 연년생장량과 추정된

해당 지역의 미기후를 이용하여 계산된 기후지수간의 상관관을 분석하였다. 여기서 사용된 기후지수는 월별 기온(평균, 최고, 최저), 상대습도, 강수량, 일조시수에 의하여 계산된 값으로, 임목생장에 영향을 미칠 것으로 판단되는 30개의 지수가 각 지역별로 도출되었다 (Table 2).

이들 기후지수를 계산하는 과정에서 성장기간은 4월부터 10월까지의 7개월 간의 자료를 이용하였으며 성장기간의 초기 3개월은 4월부터 6월까지이며, 비성장기간은 전년도 11월부터 다음 해 3월까지의 5개월 간을 의미한다. 또한 한랭지수(X_{29})는 월 평균기온을 이

Table 2. 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

용하여 계산하였고(김광식, 1975; 임경빈, 1985), 건조지수(X_{30})는 강수량과 평균기온과의 관계를 이용하여 얻어졌다(Kramer, 1988). 한편 변수 $X_{25} \sim X_{28}$ 은 각각 생장기간과 비생장기간의 월별 최고기온과 최저기온간의 차를 누적시킨 값이다.

상관분석을 통하여 직경생장, 수고생장, 단면적생장, 그리고 재적생장에 미치는 기후지수별 경향을 1차적으로 분석한 후, 각 임분변수별로 임령별 연년생장량의 차이가 지역간 기후조건 중에서 어떤 기후요인의 차이에 의하여 영향을 받는지를 구명하기 위하여 연년생장량과 기후지수간의 회귀분석을 실시하였다.

III. 결과 및 고찰

3.1. 지역별 · 임령별 생장특성

3.1.1. 임분변수별 생장특성

Table 3은 지역별 · 임령별 ha당 본수, 평균 흉고직경, 평균 수고, ha당 단면적, ha당 재적의 변화를 요약한 자료이다. 전체적으로 가평이 다른 지역에 비하여 모든 임분변수에서 임령별로 월등히 우수한 생장을 보이고 있으며, 광주가 다음으로 우수한 생장을 보이고 있고 영동은 가장 불량한 생장상태를 나타내고 있다. 각 지역의 임령별 평균 흉고직경의 경우에 가평이 영동에 비하여 훨씬 큰 것을 알 수 있는데, 10년생의 평균 직경은 각각 3.7 cm와 1.1 cm로 3배 이상의 차이가 났고 20년생에 이르러서도 각각 11.3 cm와 7.45 cm로 약 1.5배에 가까운 4 cm의 차이를 보이고 있다. 한편 광주의 직경생장은 가평과 영동의 중간 정도를 유지하는데, 임령이 커지면서 가평과의 차이는 점점 커지면서 20년생에서는 0.9 cm의 차이를 보이고 있다. 그러나 가평의 임분 밀도가 다른 지역에 비하여 높다는 점과 밀도는 직경생장에 영향을 미친다는 사실을 감안하면 가평의 직경생장이 타 지역에 비하여 월등히 우수함을 알 수 있다.

일반적으로 밀도에 크게 영향을 받지 않는 것으로 알려진 수고생장의 경우에도(Clutter 등, 1992) 임령별로 가평지역의 평균 수고가 다른 지역에 비하여 큰 것을 알 수 있다(Table 3). 가평은 10년생의 평균 수고가 1.9 m이고 20년생이 7.4 m인 반면 광주는 10년생과 20년생이 각각 1.7 m와 7.0 m, 그리고 영동은 1.0 m와 5.5 m를 보이고 있다. 흉고직경과 마찬가지로 가평의 수고생장이 가장 우수하고 다음으로 광주가 좋

Table 3. Summary of stand variables by stand age and locality

Age	Site*	N	DBH (cm)	HT (m)	BA/ha (m ²)	V/ha (m ³)
10	Gp	1804	3.7 ± 1.3	1.9 ± 0.6	2.2	3.1
	Kj	1460	2.9 ± 1.1	1.7 ± 0.6	1.1	1.5
	Yd	1456	1.1 ± 0.6	1.0 ± 0.4	0.2	0.2
11	Gp	1797	4.1 ± 1.4	2.5 ± 0.7	2.6	4.7
	Kj	1440	3.5 ± 1.3	2.2 ± 0.6	1.5	2.5
	Yd	1451	1.5 ± 0.8	1.3 ± 0.5	0.4	0.4
12	Gp	1781	4.7 ± 1.5	2.9 ± 0.7	3.4	6.7
	Kj	1423	4.1 ± 1.6	2.7 ± 0.7	2.2	4.0
	Yd	1451	2.0 ± 1.0	1.7 ± 0.6	0.6	0.8
13	Gp	1771	5.4 ± 1.7	3.6 ± 0.8	4.4	10.2
	Kj	1416	4.6 ± 1.7	3.2 ± 0.9	2.7	5.9
	Yd	1451	2.3 ± 1.1	2.0 ± 0.7	0.8	1.3
14	Gp	1766	5.9 ± 1.7	4.2 ± 0.9	5.2	13.5
	Kj	1405	5.4 ± 1.9	3.8 ± 1.0	3.7	9.0
	Yd	1451	3.0 ± 1.8	2.3 ± 0.8	1.4	2.3
15	Gp	1760	6.7 ± 1.9	4.8 ± 1.0	6.8	19.3
	Kj	1383	6.3 ± 2.2	4.3 ± 1.0	4.8	12.8
	Yd	1450	3.6 ± 1.5	2.7 ± 0.9	1.7	3.5
16	Gp	1742	8.2 ± 2.5	5.3 ± 0.9	9.9	30.7
	Kj	1350	7.4 ± 2.5	4.9 ± 1.0	6.5	19.0
	Yd	1416	4.0 ± 1.7	3.3 ± 1.0	2.1	4.9
17	Gp	1731	9.0 ± 2.7	5.9 ± 1.0	11.9	40.5
	Kj	1348	8.1 ± 3.0	5.3 ± 1.2	7.9	25.2
	Yd	1414	4.8 ± 1.9	3.9 ± 1.1	2.9	7.7
18	Gp	1722	9.9 ± 2.9	6.3 ± 1.1	14.3	51.7
	Kj	1331	9.0 ± 3.0	5.9 ± 1.3	9.3	32.4
	Yd	1409	5.5 ± 2.1	4.4 ± 1.2	3.9	11.0
19	Gp	1709	10.7 ± 3.0	6.9 ± 1.1	16.5	64.8
	Kj	1301	9.8 ± 3.1	6.5 ± 1.3	10.8	40.8
	Yd	1398	6.4 ± 2.3	4.9 ± 1.2	5.1	15.6
20	Gp	1682	11.3 ± 3.1	7.4 ± 1.2	18.1	75.6
	Kj	1283	10.4 ± 3.2	7.0 ± 1.4	12.0	48.6
	Yd	1396	7.4 ± 2.4	5.5 ± 1.3	6.6	22.1

*Gp : Gapyung, Kj : Kwangju, Yd : Youngdong

은 성장을 보이고 있으나 두 지역에 비하여 영동은 저조한 생장상태를 유지하여 큰 차이를 나타내고 있다. 가평과 영동의 생장을 보면 시간이 경과하면서 1.9배에서 1.3배로 점차 감소하고 있지만 실제 수고는 14년생 이후 약 2m의 차이를 보이고 있다.

단위 면적 당 흉고단면적과 재적의 경우에도 지역 간에는 비슷한 경향을 보이고 있다. 특히 흉고단면적과 재적은 임령별 생육본수에 의하여 크게 영향을 받

는 것이 사실이지만, 영동지역의 단면적과 재적은 본수가 적은 광주지역보다도 훨씬 적게 나타나, 우리나라 잣나무 임분 수확표(산림청, 1981)의 최저 지위인 지위 6에도 못 미치는 임분구조를 보이고 있다. 가평의 경우에는 20년생 현재 ha당 흉고단면적이 18.1 m² 이고 재적은 75.6 m³인 반면, 영동지역은 각각 6.6 m² 와 22.1 m³로 두 지역 간에 현저한 차이를 보이고 있다. 이러한 차이는 가평은 우리나라 잣나무 주산지로서 잣나무 생육에 최적의 기후와 지형적인 조건(Table 1)을 갖춘 반면, 충청북도 영동은 위도 상으로 잣나무 생육 한계점에 가깝다는 점과 상대적으로 해발고도가 높고 경사가 심한 지형조건이 잣나무 초기생육에 영향을 미쳐 이러한 결과를 나타낸 것으로 판단된다. 한편 지리적으로 가평과 인접한 광주지역은 다른 임분변수와 마찬가지로 ha당 흉고단면적과 재적에 있어서도 두 지역의 중간 정도의 성장을 보이고 있다.

3.1.2. 임분변수별 연년생장량

위에서 분석된 임분변수 중에서 생육본수를 제외한 평균 흉고직경, 평균 수고, 흉고단면적, 그리고 재적에 대하여 임령별 연년생장량을 분석한 결과는 Table 4와 같다. 가평지역의 직경생장은 임령별로 등락의 폭이 심한 변이를 보이고 있는데, 16년생에서 최대인 1.5 cm의 생장을 보이고 있으며, 그 이후 점차 감소하는 추세를 보이고 있지만 여전히 0.6~0.9 cm의 연년생장량을 유지하고 있다. 평균수고는 임령에 따라 대체적으로 약 0.4 m에서 0.7 m의 범위로 매년 성장하고 있는데 20년생에서 0.5 m의 생장을 보여 여전히 양호한 생장을 나타내고 있다. 한편 흉고단면적의 경우에도 15년생 이후 연간 1.5 m² 이상의 성장, 재적의 경우 15년생 이후 연간 10 m³ 내외의 성장을 보이며 20년생에서의 성장률은 약 17%를 유지하고 있다. 따라서 현 단계의 생장은 우리나라 침엽수림 축적의 연간 평균 성장률이 일반적으로 6% 정도인 것을 감안하면 매우 양호하며 앞으로의 잠재적인 성장 가능성이 매우 높은 임분으로 판단된다.

광주지역의 직경생장은 가평과 거의 차이가 없으며 20년생의 경우 0.6 cm의 연년생장량을 보이고 있다. 그러나 광주지역은 가평보다 본수가 400본 정도 적고 직경생장은 임분밀도에 영향을 받는다는 사실을 감안하면, 가평에 비하여 직경생장이 저조함을 알 수 있다. 수고성장도 가평지역과 유사하여 10년생 이후 매년 0.4~0.6 m의 범위에서 자라고 있는 것으로 파악되었다.

Table 4. Annual increment and growth rate for stand variables by stand age and locality

Age	Site	Annual Increment			
		Diameter (cm)	Height (m)	Basal Area (m ²)	Volume (m ³)
10~11	Gp	0.4	0.6	0.4	1.6
	Tc	0.6	0.5	0.4	1.0
	Yd	0.4	0.3	0.2	0.3
11~12	Gp	0.6	0.4	0.8	2.0
	Tc	0.6	0.5	0.7	1.5
	Yd	0.5	0.4	0.2	0.4
12~13	Gp	0.7	0.7	1.0	3.5
	Tc	0.5	0.5	0.5	1.9
	Yd	0.3	0.3	0.3	0.5
13~14	Gp	0.5	0.6	0.8	3.3
	Tc	0.8	0.6	0.6	3.1
	Yd	0.7	0.3	0.6	1.0
14~15	Gp	0.8	0.6	1.6	5.8
	Tc	0.9	0.5	0.5	3.8
	Yd	0.6	0.4	0.3	1.2
15~16	Gp	1.5	0.5	3.1	11.4
	Tc	1.1	0.6	0.6	6.2
	Yd	0.4	0.6	0.4	1.4
16~17	Gp	0.8	0.6	2.0	9.8
	Tc	0.7	0.4	0.4	6.2
	Yd	0.8	0.6	0.8	2.8
17~18	Gp	0.9	0.4	2.4	11.2
	Tc	0.9	0.6	0.6	6.8
	Yd	0.7	0.5	1.0	3.3
18~19	Gp	0.8	0.6	2.2	13.1
	Tc	0.8	0.6	1.5	8.4
	Yd	0.9	0.5	1.2	4.6
19~20	Gp	0.6	0.5	1.6	10.8
	Tc	0.6	0.5	1.2	7.8
	Yd	1.0	0.6	1.5	6.5

한편 흉고단면적은 0.4~1.5 m²의 범위에서 연도별로 등락을 거듭하고 있으나 임령이 높아지면서 성장량이 증가하는 경향을 보이고 있다. 하지만 가평에 비하여 흉고단면적 성장량은 현저히 적은 것으로 확인되었다. 재적생장의 경우 연도별로 지속적인 성장을 계속하여 20년생에서는 7.8 m³의 많은 성장을 보이고 있으며 성장률도 높아 유령림으로서 왕성한 성장단계에 있음을 확인할 수 있다. 전반적으로 광주지역은 가평에 비하여 성장량 자체는 적지만 여전히 성장의 활력을 유지하고 있는 것으로 판단된다.

영동지역의 평균 흉고직경과 수고 성장량은 가평 및 광주지역보다는 약간 낮으나 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 성장률에 있어서는 오히려 두 지역보다 높기 때문에 시간이 경과하면서 다른 지역과의 흉고직경 및 수고의 차이는 점점 좁혀질 것으로 보인다. 반면에 영동지역의 흉고단면적과 재적의 임령별 성장량은 다른 지역에 비하여 훨씬 낮게 나타났는데, 이는 ha당 본수의 차이가 가평과는 300본 정도나 되기 때문이며, 광주지역보다는 본수가 많으나 지형 및 기후 등의 환경적인 차이에 기인한 것으로 판단된다. 하지만 성장률은 흉고직경이나 수고보다도 훨씬 높게 나타나 시간이 경과하면서 지역간의 ha당 흉고단면적과 재적도 그 차이가 점점 줄어들 것으로 보인다.

3.2. 지역별 미기후의 추정

3.2.1. 지역별 평년기후값의 추정

차대검정법에 대한 지역별 미기후를 추정하기 위해 먼저 각 지역의 월별 평년기후치를 지형기후학적 방법에 의하여 도출하였다(전상근 등, 1999). 월별로 약간의 편이가 있으나 기온을 연평균으로 비교했을 경우 평균기온과 최저기온은 가평이 가장 낮고 그 다음은 광주와 영동의 순으로 높게 나타났다. 한편 최고기온은 오히려 가평이 가장 높고 영동과 광주의 순으로 나타났다. 그러나 월별 기온의 경우에는 지역적으로 다른 경향도 나타났는데, 이러한 결과는 세 지역의 위도 차이와 함께 해발고도가 다른 지형적 특성이 복합적으로 작용한 것으로 해석할 수 있다.

상대습도는 가평과 광주지역이 영동에 비하여 크게 높은 것으로 나타났다. 이는 가평이 청평댐, 춘천댐, 의암댐 등의 영향으로 광주에 비하여 연평균 약 2% 정도 습도가 높으며, 광주지역도 팔당댐의 영향을 받아 영동에 비하여는 훨씬 높은 상대습도를 보이고 있다. 이는 지역적으로 나타나는 강수량과도 관련이 있으며, 특히 강수량은 그 특성상 연간변이가 상당히 심한 기후변수이다. 또한 월평균보다는 연간 또는 생육기간 동안의 합계가 임목생장에 영향을 미치는 것으로 예측되는데, 가평과 광주는 비슷한 강수량을 나타내고 있지만 영동의 경우에는 다른 두 지역에 비하여 년 200 mm 정도 강수량이 적은 것으로 나타났다. 강수량은 임목생육에 중요한 영향을 미치는 기상요인임을 감안하면(Carman, 1954; Jackson, 1962; Grace와 Norton, 1990), 영동의 잣나무 초기생장이 저조한 이유 중에서

강수량 부족이 하나의 중요한 원인임을 알 수 있다.

지역별 일조시수의 연간 그리고 생육기간동안의 총 시간은 가평과 광주는 비슷하나 영동이 다른 두 지역에 비하여 100시간 가량 많아 강수량과는 반대의 경향을 나타내고 있다. 결국 성장상태가 가장 우수한 가평은 평균기온이 낮고 강수량이 많으며 상대습도가 다른 지역보다 높은 특징을 보이고 있다. 특히 잣나무가 한랭한 기후조건에서 잘 자란다는 특성을 고려하면(노의래, 1983) 가평지역이 수분조건과 함께 다른 지역에 비하여 온도가 낮은 기후조건에 의하여 상대적으로 양호한 성장을 보이는 것으로 판단할 수 있다. 생장이 가장 저조한 영동은 지리적 특성으로 인하여 기온이 상대적으로 높고 강수량은 적은 특징을 보이고 있다. 한편 광주지역은 가평과 지리적으로 인접해 있으나 가평과 비교해서 온도는 약간 높고 습도가 낮아 이러한 지역별 기후특성이 작용하여 잣나무 초기생장에 영향을 미친 것으로 보인다.

3.2.2. 지역별 · 연도별 지후지수의 추정

이상과 같이 추정된 지역별 · 월별 6개 기후치를 이용하여 공간통계기법에 의해 1990년부터 1999년까지 10년간의 연도별 30개의 기후지수가 산출되었다. Fig. 1은 이와 같이 얻어진 30개의 기후지수 중에서 생육기간 동안의 평균기온, 최고기온, 최저기온, 상대습도, 강수량, 그리고 일조시수에 대한 지역별 · 연도별 편이를 나타낸 것이다.

월 평균기온의 경우 생육기간 초반 3개월을 제외하고는 모두 가평이 가장 낮고 광주와 영동은 비슷하였으며, 생육기간 초반 3개월의 평균기온은 3지역이 모두 비슷한 것으로 파악되었다. 특히 생육기간 동안의 평균기온을 보면 가평은 다른 지역에 비하여 1°C 내외로 낮은 것으로 분석되었는데(Fig. 1), 이러한 한랭한 조건이 잣나무 생육에 유리한 환경을 제공하는 것으로 판단된다. 월 최고기온의 경우에는 가평이 가장 높고 위도가 상대적으로 낮은 영동이 그 다음으로 높으며, 광주가 가장 낮은 것으로 나타났다. 하지만 월 최저기온은 반대로 가평이 가장 낮고 그 다음으로 광주와 영동의 순서로 낮은 것으로 분석되었으며, 지역적으로 뚜렷한 차이를 보이고 있다. 이러한 결과는 월 최고기온과 최저기온의 차이를 누적시켜서 도출한 기후지수인 $X_{25} \sim X_{28}$ 에서도 뚜렷하게 나타나는데, 앞에서 언급한 바와 같이 가평의 최고기온은 높고 최저기온은 낮아 두 기온의 편차가 가장 심한 것으로 분석되었다.

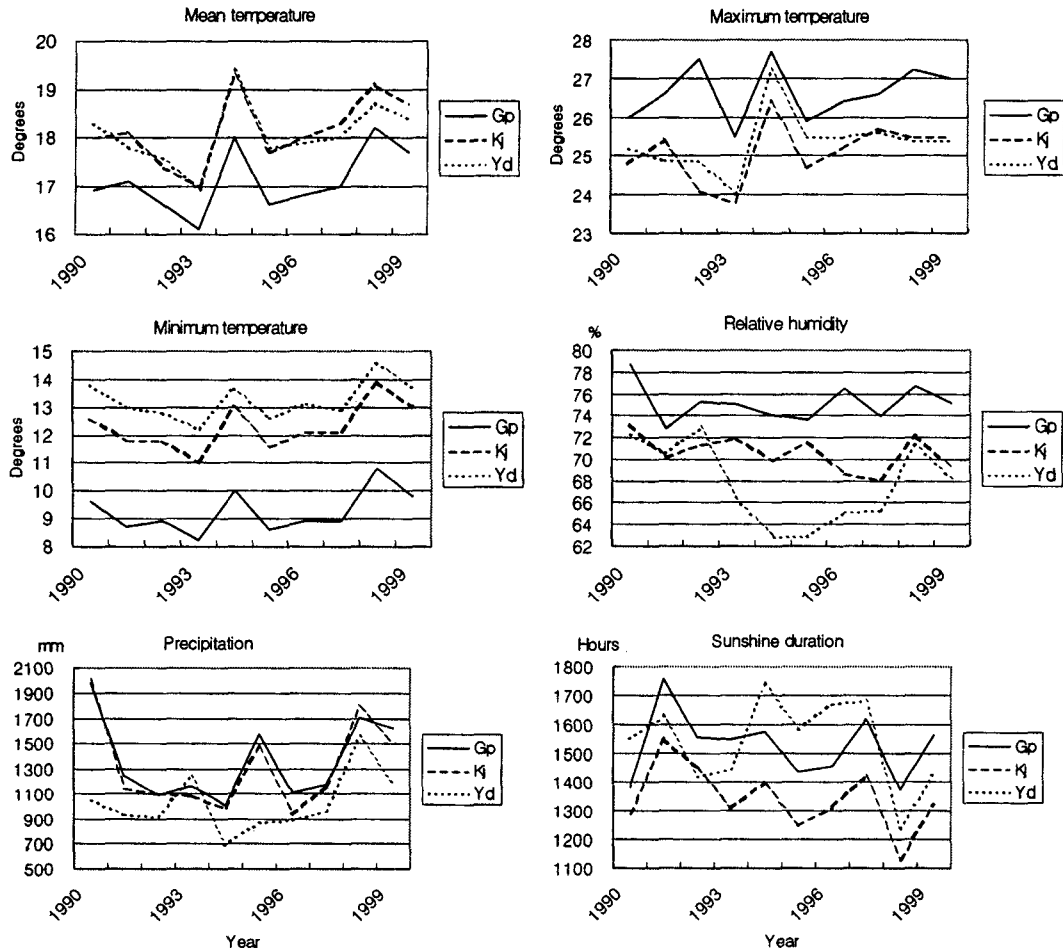


Fig. 1. Comparison of yearly variation for six climatic indices.

한편 상대습도의 경우에는 가평, 광주, 그리고 영동의 순서로 높은 것으로 추정되었다. 이러한 결과는 가평의 경우 소양댐, 의암호, 청평댐 등 주변의 인공호수들과 광주는 팔당댐의 영향을 받고 있지만 영동은 주변에 대구모의 인공호수가 없기 때문에 다른 지역에 비하여 상대적으로 건조한 조건을 갖는 것으로 판단된다. 강수량과 관련된 기후지수를 보면 연도별로 변이가 있지만 전체적으로 가평과 광주는 비슷하며 영동은 이들 두 지역에 비하여 적은 것으로 분석되었다. 그러나 연도별 일조지수는 영동이 상대적으로 높고 광주가 가장 낮았다. 또한 월 평균기온과 관련이 있는 한랭지수(X_{29})와 강수량과 평균기온에 의하여 산출되는 건조지수(X_{30})는 모두 연도에 관계없이 가평, 광주, 영동의 순서로 높게 나타나 가평은 한랭한 기온조건과 함께

강수량도 상대적으로 많은 것으로 추정되었다.

결과적으로 본 연구에서 추정된 지역별·연도별 기후지수를 보면 대체적으로 기후지수별로 특징적인 경향을 보이고 있지만 한편으로는 연도별 변이도 심한 것으로 나타났다. 이러한 지역별 미기후 조건이 잦아 무 생장에 어떠한 형태로든 영향을 미칠 것으로 생각된다.

3.3. 지역별 기후조건과 생장의 관계

지역별로 뚜렷한 차이를 보이고 있는 30개 기후지수가 임분변수별 연년생장량(Table 4)에 어떠한 영향을 미치는지를 규명하기 위해 상관분석을 실시한 결과는 Table 5와 같다. Table 5를 보면 직경생장과 수고생장은 각각 3개 및 4개의 기후지수와 상관이 인정된

Table 5. Analysis results of correlation between annual increment of 4 stand variables and 30 climatic indices

Climatic Indices	Annual Increment			
	DBH	Height	Basal Area	Volume
X ₂				0.4333*
X ₃			-0.3499*	
X ₄			-0.4885**	-0.4398*
X ₅			0.4734**	0.4716**
X ₆			0.5490**	0.4915**
X ₇			0.5599**	0.5550**
X ₉		-0.3656*	-0.4614*	
X ₁₀			-0.4859**	
X ₁₁			-0.5315**	-0.4343*
X ₁₂		-0.3809*	-0.6252**	-0.5838**
X ₁₅				0.3617*
X ₁₆		0.3955*	0.3834*	0.3649*
X ₁₇				0.3668*
X ₂₀	-0.3997*		-0.4065*	-0.3830*
X ₂₄			0.6106**	0.5834**
X ₂₅			0.5535**	0.4707**
X ₂₆			0.6004**	0.4836**
X ₂₇			0.6273**	0.5455**
X ₂₈	0.4255*	0.4319*	0.7503**	0.7041**
X ₂₉	0.3922*		0.5573**	0.4644**

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

흉고단면적 성장과 재적생장은 각각 17개씩의 많은 기후지수와 상관관계가 있는 것으로 분석되어 임분변수간에 큰 차이를 보이고 있다.

직경생장은 비성장 기간 5개월 간의 강수량 합계(X₂₀)와 부의 상관관계에 있으며, 비성장 기간의 최고기온과 최저기온의 차이의 합계(X₂₈)와 한랭지수(X₂₉)와는 양의 상관관계가 인정되었다. 잣나무는 한랭한 기후에 적합한 수종이기 때문에 한랭지수가 높고 비성장 기간의 온도차가 클수록 흉고직경 성장에 도움이 되는 결과를 보인 것이다(전상근 등, 1999). 또한 이러한 결과는 강원도 홍천의 잣나무 성장에 관여하는 기후인자가 일조시수, 강수량, 상대습도, 온량지수 등이었다는 보고(한상섭과 박원근, 1988)와 유사하다.

수고생장의 경우에도 성장기간 동안의 최저기온(X₉)와 비성장기간 동안의 최저기온(X₁₂) 모두 부의 상관이 인정되어 생육기간이나 비성장기간에 관계없이 한랭한 기후조건이 잣나무 성장에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 또한 수고생장과 상관이 높은 기후지수는 비성장기간 동안의 상대습도(X₁₆)와 비성장기간의 최고기온과 최저기온의 차이의 합계(X₂₈)로 모

두 양의 상관관계가 인정되었다. 이러한 결과는 수고생장이 비교적 높은 습도조건과 한랭한 기후조건에서 생장이 왕성한 것을 의미하며, 특히 생육기간 이전 5개월 동안의 한랭한 기온조건이 절대적인 영향을 미치는 것으로 판단된다. 이는 해송의 수고생장이 상대습도, 총 강수량, 건조지수에 가장 영향을 많이 받는다는 연구결과(손영모와 정영관, 1994)와 유사한 결과이지만 시베리아 느릅나무의 수고생장에 강수량이 관계하고 있다는 보고(Sander, 1971)와는 다소 다른 경향을 보이고 있다.

흉고단면적 성장과 재적생장은 각각 총 17개씩의 많은 기후지수와 상관이 인정되었으며, 대부분 유사한 기후지수가 채택되었을 뿐만 아니라 동일한 부호의 상관계수를 보여 이 두 가지 임분변수는 매우 유사한 형태로 미기후에 영향을 받는 것으로 파악되었다. 전체적으로 단면적 성장과 재적생장은 평균기온과 최저기온이 낮으며 또한 최고기온이 높을 때 양호한 성장을 하는 것으로 나타났다. 이와 관련하여 최고기온과 최저기온의 차가 클수록 성장에 도움이 되는 것으로 분석되었다. 이러한 결과는 직경생장이나 수고생장에 관여하는 기후지수와 마찬가지로 한랭한 기온이 잣나무 성장에 긍정적으로 작용한다는 사실을 입증하고 있다. 상대습도의 경우에는 양의 상관관계를 보여 상대습도가 높을수록 단면적 및 재적생장이 양호한데, 가평과 평주는 주변에 인공호수가 있기 때문에 영동에 비하여 상대습도가 높은 조건이 잣나무 성장에 영향을 미친 것으로 판단된다. 한편 강수량의 경우에는 생육기간 동안의 강수량(X₁₇)은 양의 상관이 인정된 반면 비성장기간 동안의 강수량(X₂₀)은 부의 상관관계를 보여 상반된 경향을 보이고 있다. 강수량과는 반대로 비성장기간 동안의 일조시수(X₂₄)는 1% 수준의 높은 양의 상관관계를 보여 전년도의 비성장기간 동안에 일조시수가 많은 경우에는 광합성에 의해 축적된 양분이 다음해의 성장에 긍정적으로 작용한 결과로 해석할 수 있다.

Table 6은 흉고직경, 수고, 흉고단면적, 재적의 지역별 연년생장량과 6개 기후변수를 사용하여 얻은 30개 기후지수와의 최적 관계식을 직선회귀분석에 의해 작성한 것이다. 모든 임분변수의 생장량을 추정하는 회귀식의 결정계수는 직경 및 수고생장은 0.80에 가깝고 흉고단면적 성장과 재적생장은 각각 0.84와 0.92의 높은 설명력을 유지하고 있어 3개 지역의 미기후 조건

Table 6. Regression coefficients of climatic parameters to annual increment of stand variables

Dependant Variables	Regression Equations	R ²
DBH Increment	$Y=2.92 - 0.0325 X_{14} - 0.0008 X_{21} + 0.0142 X_{28}$	0.78
Height Increment	$Y=0.55 - 0.0002 X_{21} + 0.037 X_{28}$	0.79
Basal Area Increment	$Y=0.96 - 0.0030 X_{24} - 0.3004 X_{25} + 0.2137 X_{27} + 0.0753 X_{29}$	0.84
Volume Increment	$Y=-46.36 + 5.1554 X_1 - 3.1690 X_5 - 0.2524 X_{26} + 0.7007 X_{29}$	0.92

과 생장의 차이가 확연하게 구분됨을 알 수 있다.

직경생장량은 생장기간 초반 3개월 동안의 상대습도 (X_{14}), 생장기간 동안의 일조시수(X_{21}), 그리고 비생장기간 동안의 최고기온과 최저기온 차이의 합계(X_{28})의 3개의 기후지수에 의하여 추정할 수 있었는데, 다양한 변수가 복합적으로 작용하여 직경생장량을 추정하지만 채택된 회귀식의 계수를 보면 상대습도나 일조시수가 높으면 생장이 저조한 반면 비생장기간의 기온차가 클수록 직경생장에 도움이 되는 것으로 나타나 낮은 기온이 직경생장에는 유리하게 작용하지만 생장기간 동안의 높은 상대습도나 많은 일조시수는 오히려 직경생장에 부정적인 영향을 미치는 것으로 분석되어 기존의 연구와 다소 다른 결과를 보이고 있다. 수고생장량의 추정식도 직경생장량과 유사한 것으로 나타났는데, 생장기간 동안의 일조시수(X_{21})와 비생장기간 동안의 최고기온과 최저기온 차이의 합계(X_{28})에 의하여 수고생장을 추정할 수 있으며 회귀계수의 부호도 직경생장과 동일하여 직경생장과 수고생장은 비슷한 기후조건에 의하여 영향을 받음을 알 수 있다.

한편 흉고단면적 생장은 직경생장과 밀접한 연관을 가지고 있지만 채택된 최적 회귀식의 기후지수는 전혀 다른 변수들이다. 흉고단면적 생장량의 추정식에는 비생장기간 동안의 일조시수 합계(X_{24}), 생장기간과 1월부터 10월까지의 최고기온과 최저기온 차이의 합계(X_{25} 와 X_{27}), 그리고 한랭지수(X_{29})가 채택되어 기온과 일조시수가 흉고단면적 생장에 가장 중요한 역할을 함을 알 수 있다. 또한 재적생장량의 경우에는 4개의 기후지수가 최적 추정식으로 채택되었는데(Table 6), 생장기간 동안의 평균기온(X_1)과 최고기온(X_5), 생장기간 초반 3개월 동안의 최고기온과 최저기온 차이의 합계(X_{26}), 그리고 한랭지수 등 모두 기온과 관련된 변수임을 알 수 있다. 이전의 연구(전상근 등, 1999)에서 잣나무 재적의 정기 평균 성장량에 영향을 미치는 요인은 수분조건이었던 것과는 달리 연년생장량의 경우에는 기온조건 중에서 상대적으로 낮은 기온이 잣

나무 재적생장에 유리하게 작용하는 것으로 분석되어 다소 다른 결과를 보이고 있다.

본 연구에서 얻어진 결과는 20년생 미만의 잣나무 유령림을 대상으로 10년 동안의 연년 성장량에 근거하여 결과를 도출하였기 때문에 잣나무 생장에 관여하는 미기후 조건을 명확히 밝히는 데는 한계가 있는 것이 사실이다. 이는 부족한 성장자료 뿐만 아니라 밀도가 낮은 기상관측소로부터 얻어진 자료의 부실도 원인으로 지적할 수 있다. 따라서 앞으로의 연구에서는 잣나무 성장자료의 지속적인 수집과 함께 무인자동기상관측망의 활용을 통한 정밀한 기상자료의 사용을 통하여 이러한 한계를 극복할 수 있을 것으로 기대된다.

IV. 적 요

본 연구는 경기도 가평, 광주, 그리고 충청북도 영동에 식재된 잣나무 차대검정림을 대상으로 미기후가 잣나무 초기생장에 미치는 영향을 구명하기 위하여 수행하였다. 이를 위해 먼저 지역별·임령별로 평균 흉고직경, 평균 수고, ha당 흉고단면적, ha당 재적 등의 임분통계량을 측정·요약하였으며, 이에 근거하여 10년생부터 20년생까지 10년간의 초기생장에 대한 임분변수별 연년생장량을 파악하였다. 환경요인으로서 차대검정림의 지역별 미기후 조건이 생장에 미치는 영향을 분석하기 위해 지형기후학적 방법과 공간통계 기법을 사용하였다. 이상과 같이 얻어진 연도별 기후 추정치에 근거하여 임목생장에 영향을 미치는 30개의 기후지수를 각 차대검정림별로 추정하였다. 최종적으로 이들 30개의 기후지수와 각 임분변수별 연년생장량 간의 상관분석 및 회귀분석을 통하여 국지기후가 잣나무 생장에 미치는 영향을 파악하였다.

지역별 잣나무의 초기생장은 경기도 가평과 광주의 순서로 우수하였으며, 충청북도 영동은 매우 저조한 것으로 나타났다. 이러한 지역별 성장특성은 각 연구 대상지의 미기후와 밀접한 관련을 가지고 있는데, 기

온이 낮고 높은 습도를 유지하는 지역이 잣나무 생장에 적합한 것으로 분석되었다. 특히 상관분석과 임분 변수별 생장을 추정하기 위해 도출된 최적 회귀식에 채택된 기후지수를 보면 잣나무의 초기 생장에 결정적인 영향을 미치는 미기후 조건은 낮은 기온인 것으로 판명되었다.

인용문헌

- 과학기술처, 1992: 전국 그물망 기후값 추정 및 기후도 작성 연구(III). 379 p.
- 김광식, 1975: 농업기상학. 향문사. 331 p.
- 김일현, 신만용, 김영채, 전상근, 2001: 복원된 국지기후에 근거한 잣나무 성숙임분의 영양생장에 미치는 국지기후의 영향. 한국농림기상학회지, **3**(2), 105-113.
- 노의래, 1983: 기상인자에 의한 우리나라 삼림수종의 생육 범위 및 적지적수에 관한 연구. 한국임학회지, **62**, 1-18.
- 산림청, 1981: 임업기술. 1362 p.
- 손영모, 정영관, 1994: 지형, 토양 및 기상인자가 해송의 수고생장에 미치는 영향. 한국임학회지, **83**(3), 380-390.
- 수자원공사, 1992: 기상환경 변화 조사(1차). 244 p.
- 수자원공사, 1993: 임하 및 주암 다목적댐 건설에 따른 기상환경 변화 조사(2차). 306 p.
- 수자원공사, 1994: 임하 및 주암 다목적댐 건설에 따른 기상환경 변화 조사(3차). 264 p.
- 신만용, 윤진일, 1992: 지형-기후 관계식에 의한 제주도의 월별 기온분포의 추정. 한국임학회지, **81**(1), 40-52.
- 신만용, 윤진일, 서애숙, 1999: 공간통계기법을 이용한 전국 일 최고/최저기온 공간변이의 추정. 대한원격탐사학회지, **15**(1), 9-20.
- 전상근, 신만용, 정동준, 장용석, 김명수, 1999: 지역별 잣나무의 초기생장 특성과 미기후의 영향. - 정기평균생장량과 미기후와의 관계. 한국임학회지, **88**(1), 73-85.
- 임경빈, 1985: 조림학원론. 향문사. 491 p.
- 정영관, 이부권, 박남창, 1982: 기상인자가 삼나무 및 편백의 활착률, 직경생장 및 수고생장과와의 관계 - 진해지방을 중심으로 -. 경상대 논문집. **21**, 117-120.
- 한상섭, 박완근, 1988: 잣나무와 소나무의 직경생장과 Key-Year. 한국임학회지. **77**(2), 216-221.
- Carmean, W.H., 1954: Site quality for Douglas-fir in southwestern Washington and its relation to precipitation, elevation, and physical soil properties. *Soil Sci. Soc. Amwe. Proc.* **18**, 330-334.
- Clutter, J.L., J.C. Fortson, L.V. Pienaar, G.H. Brister, and R.L. Bailey, 1992: Timber management: A quantitative approach. Krieger Pub. Co. 333 p.
- Grace, J. and D.A. Norton, 1990: Climate and growth of *pinus sylvestris* at its upper altitudinal limit in Scotland: Evidence from tree growth-rings. *J. of Ecol.*, **78**, 601-610.
- Jackson, D.S., 1962: Parameters of site for certain growth components of slash pine. Duke Univ. School of For. Bul. **16**. 118 p.
- Kramer, H., 1988: Waldwachstumslehre. Paul Parey. 374 p.
- 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. *J. of Japanese Agricultural Meteorology.* **48**(4), 379-383.