

地域別 잣나무의 初期生長 特性과 微氣候의 影響^{1*}

- 定期平均生長量과 微氣候와의 關係 -

全尚根² · 申萬鏞³ · 鄭東浚² · 張容碩² · 金明洙²

Characteristics of the Early Growth for Korean White Pine (*Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc.) and Effects of Local Climatic Conditions on the Growth^{1*}

- Relation between Periodic Annual Increment and Local Climatic Conditions -

Sang-Keun Chon², Man Yong Shin³, Dong-Jun Chung²,
Yong-Seok Jang² and Myung-Soo Kim²

적  요

본 연구는 경기도 가평, 광주, 그리고 충청북도 영동에 심재된 잣나무 인공조림지의 초기 생장 특성을 파악하고 환경 요인으로서 지역적 기후 조건이 잣나무 초기 생장에 미치는 영향을 구명하기 위하여 수행하였다. 먼저 각 연구 지역의 임령별 생존본수, 평균 흥고직경, 평균 수고, ha당 흥고단면적, ha당 재적 등의 임분통계량을 측정·요약하였으며, 이에 근거하여 10년생부터 18년생까지 8년간의 초기생장에 대한 임분변수별 정기평균생장량을 파악하였다. 연구 대상지의 지역별 미기후는 지형과 기후차간의 관계를 이용한 지형기후학적 방법에 의하여 평균기온, 최고기온, 최저기온, 상대습도, 강수량, 그리고 일조시수의 월별 평년값을 추정하였다. 이들을 이용하여 임목생장에 영향을 미칠 것으로 판단되는 온량지수, 한랭지수, 건조지수 등의 17개 기후변수를 지역별로 도출하고 임분변수별 정기평균생장량과의 상관분석 및 회귀분석을 실시하였다.

지역별 잣나무의 초기 생장은 경기도 가평과 광주의 순서로 우수하였으며, 충청북도 영동은 매우 저조한 성장을 보이고 있었다. 이러한 지역별 생장 특성은 각 연구 대상지의 미기후와 밀접한 관련을 가지고 있는데, 기온이 낮고 강수량이 많으며 비교적 높은 습도를 유지하는 지역이 잣나무 생장에 적합한 것으로 나타났다. 특히 직경생장, 단면적생장, 재적생장은 주로 강수량에 의하여 영향을 받으며, 수고생장은 기온이 낮으면서 강수량이 많은 지역에서 양호한 생장을 하는 것으로 파악되었다.

ABSTRACT

This study was conducted to reveal the characteristics of the early growth by locality for Korean white pine planted in Gapyung and Kwangju, Kyunggi-Do and Youngdong, Choongchungbuk-Do. The effects of local climatic conditions as one of environmental factors on the growth were also analyzed. For this, several stand variables such as number of trees survived, mean DBH, mean height, basal area per hectare, and volume per hectare by stand age were measured and summarized for each locality. Based on these statistics, periodic annual increments for 8 years from stand age 10 to 18 were calculated for each of stand variables. A topoclimatological technique, for the estimation of local

¹ 接受 1998年 10月 28日 Received on October 28, 1998.

² 경희대학교 임학과 Department of Forestry, Kyunghee University, Suwon 449-701, Korea.

³ 국민대학교 산림자원학과 Department of Forest Resources, Kookmin University, Seoul, Korea.

* 본 논문은 학술진흥재단에서 지원한 자유공모과제(과제번호 1997-001-G00092)에 의하여 수행된 연구결과의 일부임.

climatic conditions, which makes use of empirical relationships between the topography and the weather in study areas was applied to produce reasonable estimates of monthly mean, maximum, minimum temperatures, relative humidity, precipitation, and hours of sunshine over remote land area where routine observations are rare. From these monthly estimates, 17 weather variables such as warmth index, coldness index, index of aridity etc. which affect the tree growth, were computed for each locality. The periodic annual increments were then correlated with and regressed on the weather variables to examine effects of local weather conditions on the growth.

Gapyung area provided the best conditions for the growth of Korean white pine in the early stage 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, high relative humidity, and large amount of precipitation provide favorable environment for the growth of Korean white pine. Especially, the diameter growth, basal area growth, and volume growth are mainly influenced by the amount of precipitation. However, it is proved that the height growth is affected by both the precipitation and temperature.

Key words : Korean white pine, periodic annual increment, local weather conditions, topoclimatological technique.

서 론

임목의 생장은 유전적 요인 외에 그 임목이 자라고 있는 환경에 의하여 많은 영향을 받고 있다. 다양한 환경 요인 중에서도 특히 기상 인자는 인위적 조절이 불가능하기 때문에 대상 지역의 국지적 기상 조건을 고려한 계획의 수립이 필수적이며, 이러한 계획의 수립을 통하여 수종에 따른 임목의 적지 판단과 위도 및 지리적 조건을 고려한 수종별 조림 한계의 설정 등이 보다 합리적으로 결정될 수 있다(노의래, 1983). 또한 기상 조건을 고려한 이러한 계획에 의하여 식생의 구조 및 천이과정의 변화를 예측하는 것 등도 가능할 것으로 판단된다.

우리 나라 기상 정보의 생산과 이용은 일반적으로 광역적 구분에 의하여 실시되는데, 이러한 구분을 임업에 적용하기에는 너무 포괄적이고 실용적이지 못한 것이 현실이다. 실제로 임업에 대한 기상 인자의 적용은 산림대를 연평균기온에 의하여 구분하는 수준(정태현과 이우철, 1965)에 지나지 않았으며, 대부분의 연구(정영관 등, 1982; 손영모와 정영관, 1994)가 연구 대상지 주변의 정규기상관측소의 자료를 광역적 개념으로 직접 이용함으로써 수집된 기상 정보가 국지 기후를 대표하기에는 부정확하였던 것이 사실이다. 더구나 오늘날의 세분화된 산업사회에서는 각 분야의 전문 기상 정보의 활용이 요구되고 있는데, 임업

에서의 전문 기상 정보라 할 수 있는 산림의 국지적인 기상 상태의 경우 정규 기상관측망을 통해서는 정확한 파악이 용이하지 못한 실정이다. 따라서 여러 가지 국지 기후에 영향을 미치는 요인 중에서 비교적 자료의 수집이 용이하고 정량화가 가능한 지형 인자를 이용한 미관측 지점의 기후 추정에 관한 연구가 최근 수행되어져 왔다(Nakai, 1987; Okamura, 1987; 신만용과 윤진일, 1992).

잣나무(*Pinus koraiensis* S. et Z.)는 목재 생산과 잣 종자 생산이라는 이중적 가치와 함께 내한성이 강하고 비교적 병충해에 대한 저항력이 강하여, 1960년대 이후 장기 용재수종으로 식재가 장려된 주요 경제 수종의 하나이다. 그러나 현재 대면적에 조성된 잣나무림은 인건비의 급등과 저가의 외국산 잣의 수입으로 잣 생산을 통한 수익을 기대하기가 어려운 실정이다. 이러한 현실에서 잣나무림의 수익 증대를 위해서는 양질의 목재생산과 고품질의 종자를 중산시킬 수 있는 부가가치가 높은 임분으로 유도가 필요한데, 잣나무는 다른 수종에 비하여 기상 변동에 비교적 민감하게 반응하는 것으로 알려져 있어(한상섭과 박완근, 1988) 국지적 기상 조건과 지역별 잣나무의 생장 특성을 고려하여 잣나무의 조림 적지를 판단하는 것이 필요하다.

이러한 필요성에 의하여 잣나무 성숙림에서 선발된 우량 모수로부터 환경 조건이 다른 3개 지

역에 풍매 차대검정림을 조성한 후 지난 15년간 (18년생) 임령별 직경 및 수고생장 등 임분통계량을 각 차대검정림 별로 조사하여 왔다. 본 연구는 이와 같이 누적된 자료에 근거하여 환경 조건이 다른 3개 잣나무 차대검정림의 초기생장 특성을 구명하고, 지역별 미기후 조건을 지형-기후 관계식의 개발을 통한 지형기후학적 방법에 의하여 추정함으로써 지역별로 나타나는 초기 생장의 차이가 환경 요인으로서 지역별 기후 조건과 어떠한 연관이 있는지를 파악하고자 하였다. 이를 통하여 본 연구는 잣나무 우량 품종육성을 위한 기초 자료를 제공하고, 부가가치가 높고 경쟁력을 갖춘 잣나무림에 적합한 환경 조건을 구명할 수 있는 기초자료의 제공을 목적으로 하였다.

재료 및 방법

1. 연구 대상지

본 연구는 1974년 당시 45년생이었던 강원도 홍천에 위치한 잣나무 인공림을 대상으로 6년간의 생장을 조사·분석하여 선별한 25개 차대가계를 환경 조건이 서로 다른 3개 지역, 즉 경기도 가평과 광주, 그리고 충청북도 영동에 식재하여, 1997년 현재 18년생인 3개 임분을 연구 대상지로 하였다. 지역별로 1ha의 면적에 4개씩의 block을 무작위로 설치하고 각 block내에 가계당 25본씩 25가계를 난괴법에 의하여 배치하였다. 최종적으로 1개 지역별로 ha당 2,500본, 3개 지역 전체로는 총 7,500본이 식재되었으며 시간이 경과되면서 일부는 고사하여 이 중에서 전전목의 자료만을 측정 대상으로 하였다. 표 1은 3개 지역의 지형 특성을 요약한 것으로 지역간에 여러 지형 인자들이 뚜렷한 차이를 보이고 있음을 알 수 있다.

2. 지역별 생장특성의 파악

지리적 위치와 지형적 특성이 다른 3개 잣나무 임분의 초기생장 특성이 지역적으로 어떻게 구분

되는가를 밝히기 위하여 18년생까지의 임령별 생육 특성을 분석하여 지역별로 나타나는 생장 변이가 환경적인 요인 중에서 기상 요인에 의해 얼마나 영향을 받는가를 밝히기 위한 자료로 활용할 수 있도록 분석하였다. 임분이 조성된 이후 10년생 이전의 임분 통계량을 양적으로 표현하는 것은 의미가 없기 때문에 지역별·임령별로 생장 특성을 파악하기 위하여 10년생부터 18년생까지의 몇 가지 임분 변수의 변화 양상을 분석하였다.

지역별로 평균 흥고직경, 평균 수고, ha당 본수, ha당 흥고단면적, ha당 재적을 대상으로 임령별 변화를 분석하였는데 흥고직경(DBH)의 경우에는 16년생 이후에 측정되었고, 그 이전에는 근원직경(root-collar diameter; RCD)만이 개체 목별로 측정되었다. 따라서 16~18년생의 흥고직경과 근원직경 자료를 이용하여 근원직경에 따른 흥고직경의 추정식을 지역별로 작성한 후, 15년 생까지의 개체목별 흥고직경을 추정하여 요약하였다. 일반적으로 흥고직경과 근원직경은 직선적인 관계를 보이기 때문에 본 연구에서는 $DBH = \beta_0 + \beta_1 RCD$ 모형에 의해 지역별 흥고직경-근원직경 관계식을 도출하였다. 이상과 같이 얻어진 각 임분 변수에 대하여 10년생부터 18년생까지의 (8년간) 정기평균생장량(PAI)을 지역별로 파악하였다.

3. 지역별 미기후 추정

본 연구의 미기후 추정 목적은 환경 요인으로서 기상 조건이 조사 대상지의 잣나무 생장에 미치는 영향을 파악하기 위한 것이다. 우리나라에는 현재 정규 기상관측망의 밀도가 낮고 대부분의 관측망이 주거 지역 주변에 설치되어 있기 때문에 산림 지역의 미기후를 정규 기상관측망에 의하여 파악하는 것은 어려운 것이 현실이다. 본 연구는 남한 전역에 분포된 70여개의 정규 기상 관측소 중, 지리적으로 가평 및 광주 지역과 가까운 강화, 서울, 인천, 수원, 양평, 이천, 춘천, 홍천, 원주, 제천, 그리고 충주의 11개 정규 기

Table 1. Summary of topographical characteristics for three study sites.

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

상관측소와 영동 지역과 지리적으로 인접한 축령, 보은, 청주, 금산, 대전, 문경, 구미, 의성, 안동, 충주, 그리고 대구의 11개 정규 기상관측소로부터 수집된 기후자료와 미기후에 영향을 많이 미치면서 비교적 정량화가 용이한 지형 인자를 이용하여 지형기후학적 방법(Nakai, 1987; Okamura, 1987; 신만용과 윤진일, 1992; 수자원공사, 1992, 1993, 1994)으로 지역별 미기후를 추정하였다.

임목의 생장에 가장 많은 영향을 미치는 기상 인자는 평균기온, 최고기온, 최저기온, 상대습도, 강수량, 그리고 일조시수로 요약할 수 있다 (Sander, 1971; 정영관 등, 1982; 손영모와 정영관, 1994). 먼저 이상의 6개 기상 인자를 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 17 종류의 162개(과학기술처, 1992; 신만용과 윤진일, 1992)로서 각 격자점별 해발고도를 이용하여 계산하였다. 지형 인자를 정량화하기 위하여 필요한 해발고도 자료는 USGS DEM(digital elevation model)으로부터 30° 간격으로 한반도 지역의 격자별 해발고도 자료를 수집하였다. 이 해발고도 자료를 이용하여 각 연구 지역 주변 11개 기상관측소의 격자점을 중심으로 사방 2°30' (약 4.5km) 범위까지의 격자점에 대하여 지형변수를 정량화하였다.

수집된 기상관측소 격자점에 대한 기후값과 정량화된 지형자료를 이용하여 경기도 가평과 광주 그리고 충청북도 영동 지역에 적용할 수 있는 월별 평년기후값 추정회귀식을 작성하였다. 먼저 월별·기후차별로 후보지형인자를 선정한 후, 다중선형회귀분석 기법에 의하여 추정식을 작성하였다. 중회귀계수의 추정은 가장 일반적으로 사용되는 최소자승법을 이용하였고, 월별·기후별 최적 독립변수의 조합을 선택하기 위하여 전향선택법을 채택하여 변수 선택과 회귀계수를 추정하였다. 이와 같이 연구 대상지별로 각각 작성된 72개의 월별·기후차별 지형-기후 추정식을 각 연구 대상지에 적용시키기 위하여, 잣나무 차대검정림이 조성된 각 지점의 위도 및 경도 정보를

이용해 해당 격자점의 지형인자를 정량화하였는데 사방 5개 격자(2°30')의 지형을 고려하여 모두 162개의 지형 인자를 수치화하여 파일로 저장하였다. 이상과 같이 수치화된 지형 인자를 위해서 얻은 월별·기후차별 평년기후값 산출 회귀식에 적용하여 각 차대검정림에 해당하는 격자점의 6개 기상 인자에 대한 월별 평년기후값을 추정하였다.

4. 지역별 기후 조건과 생장 특성과의 관계

지역별 기후 조건이 조사 대상지의 임목 생장에 어떠한 영향을 미치는지를 밝히기 위하여 먼저 평균 흥고직경, 평균 수고, 흥고단면적, 그리고 재적의 10년생 이후 8년간의 정기평균생장량과 해당 지역의 평년 기후치를 이용하여 계산된 기후변수간의 상관을 분석하였다. 여기서 이용된 기후변수는 월별 기온(평균, 최고, 최저), 상대습도, 강수량, 일조시수에 의하여 계산된 값으로, 임목생장에 영향을 미칠 것으로 판단되는 17개의 변수가 지역별로 도출되었다(표 2). 이들 기후변수를 계산하는 과정에서 생장 기간은 4월부터 10월까지의 7개월간의 자료를 이용하였으며 생장 기간의 초기 3개월은 4월부터 6월까지이고, 비생장기간은 전년도 11월부터 다음 해 3월까지의 5개월간을 의미한다. 온량지수(X_1)와 한랭지수(X_2)는 월 평균기온을 이용하여 계산하였고(김광식, 1975; 임경빈, 1985) 건조지수(X_3)는 강수량과 평균기온과의 관계를 이용하여 얻어졌다(Kramer, 1988). 나머지 기후 변수는 월별 상대습도, 강수량, 그리고 일사량으로부터 임목 생장에 영향을 미칠 것으로 판단되는 자료로 변환하여 만들었다. 한편 변수 X_{16} 과 X_{17} 은 각각 생장기간과 비생장기간의 월별 최고기온과 최저기온 간의 차를 누적시킨 값이다.

상관분석을 통하여 직경생장, 수고생장, 단면적생장, 그리고 재적생장에 미치는 기후변수별 경향을 1차적으로 분석한 후, 각 임분변수별로 지난 8년간의 정기평균생장량의 차이가 지역간 기후조건 중에서 어떤 기후 요인의 차이에 의하여 가장 영향을 받는지를 구명하기 위하여 정기평균생장량과 기후변수간의 회귀분석을 실시하였다.

Table 2. Climatic variables estimated by 6 climatic normals.

Climatic variables	Descriptions
X ₁ (°C)	Warmth index
X ₂ (°C)	Coldness index
X ₃ (mm/°C)	Index of aridity
X ₄ (%)	Monthly mean of relative humidity
X ₅ (%)	Mean relative humidity for the growing season
X ₆ (%)	Mean relative humidity for 3 months in the early growing season
X ₇ (mm)	Annual total precipitation
X ₈ (mm)	Monthly mean of precipitation
X ₉ (mm)	Total precipitation for the growing season
X ₁₀ (mm)	Total precipitation for 3 months in the early growing season
X ₁₁ (mm)	Total precipitation for 5 months of non-growing season
X ₁₂ (hours)	Monthly mean of sunshine duration
X ₁₃ (hours)	Annual sunshine duration
X ₁₄ (hours)	Total sunshine duration for the growing season
X ₁₅ (hours)	Total sunshine duration for 3 months in the early growing season
X ₁₆ (°C)	Sum of differences between monthly maximum and minimum temperatures for the growing season
X ₁₇ (°C)	Sum of differences between monthly maximum and minimum temperatures for the non-growing season

결과 및 고찰

1. 지역별 잣나무 초기 생장 특성

1) 임령별 생존본수

지역별 임령의 변화에 따른 생존 본수는 각 지역의 임령별 임분 밀도를 나타내는 것으로, 앞으로의 사업과 경영 계획을 수립하기 위하여 필요한 정보이다. 그럼 1은 각 지역에 식재된 ha당 2,500본의 잣나무가 식재 초기의 활착율과 시간의 경과에 따른 주변 임목과의 경쟁에 근거하여 생존한 본수를 임령별로 나타낸 것이다. 1983년 도에 2-2묘를 지역별로 식재한 후 5년생이 된 1984년에 처음으로 조사한 결과 가평은 2,002본이고 광주는 1,882본으로 각각 80%와 75%의 생존율을 보였으나 영동은 1,648본으로 66%의 생존율을 나타내 식재 초기부터 지역간의 생존 본수에 있어 큰 차이를 나타냈다. 지역별로 식재된 묘목은 같은 모수에서 채취된 종자를 이용하여 발아시킨 후, 25개의 동일한 가계를 100본씩 식재한 것으로, 임분 전체로 볼 때는 유전적인 차이보다는 지역간의 경사면, 해발고도 등 생육 환

경의 차이로 해석된다. 10년생에서는 지역별로 각각 1,805본(72.2%), 1,460본(58.4%)와 1,450본(58%)으로 5년간 각각 8%, 17%, 그리고 8%씩의 임목이 고사한 것으로 나타나 초기의 생존율과 비교하여 광주 지역의 감소가 두드러졌다. 특히 5년이 더 경과한 15년생에서는 가평은 1% 감소한 1,772본이고 영동은 불과 6본이 고사한 1,450본으로 생존율에서는 더 이상의 감소가 없었지만, 광주 지역은 약 3%가 감소하여 10년생 이후의 생존 본수는 다른 지역에 비하여 상대적으로 감소의 폭이 큰 것을 알 수 있다. 그리고 18년생 현재에는 가평이 1,772본(69%)이고 광주는 1,331본으로 53%이고, 영동은 56%인 1,409본으로 가평과 영동은 처음 5년생에서 나타난 차이가 18년생까지 지속적으로 유지되어 두 지역의 생존 본수는 임령에 관계없이 약 300~350본 내외의 차이를 보이면서 지수 감소형태를 나타내고 있지만, 광주 지역은 임령이 커지면서 상대적인 감소의 폭이 커 다소 다른 분포를 보이고 있다. 전반적으로 가평의 지위가 다른 지역에 비하여 높은 것으로 판단되는데, 지역간의 임령별 생존

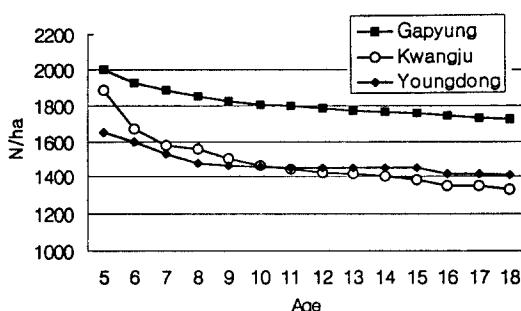


Fig. 1. Change of number of survived trees by stand age and locality

본수의 차이가 400본 정도 나는 것은 지위의 차이보다는 식재 초기의 여러 가지 조건에 영향을 받은 것으로 판단된다. 이는 지위가 수목의 고사율에 큰 영향을 미치지 않는다는 연구의 결과에서도 확인된다(Clutter 등, 1992).

2) 지역별·임령별 생장 특성

(1) 임분 변수별 생장 특성

표 3은 지역별·임령별 잣나무 생장 특성을 나타낸 것으로 흥고직경과 수고는 개별목의 평균과 표준편차로 표시되어 있다. 전체적으로 가평 지역이 다른 지역에 비하여 모든 임분 변수에 있어서 임령별로 월등히 우수한 생장을 보이고 있으며, 광주가 다음으로 우수한 생장을 보이고 있고 영동은 가장 불량한 생장 상태를 나타내고 있다. 각 지역의 임령별 평균 흥고직경의 경우에 가평이 영동에 비하여 훨씬 큰 것을 알 수 있다. 10년생의 평균 직경은 각각 3.7cm와 1.1cm로 3배 이상의 차이가 났고 18년생에 이르러서도 각각 9.9cm와 5.5cm로 2배 가까운 4cm의 차이를 보이고 있다. 광주의 직경생장은 가평과 영동의 중간 정도를 유지하는데, 임령이 커지면서 가평과의 차이는 점점 커져 18년생에서는 0.9cm의 차

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

Age	Site*	N/ha	DBH(cm)	Height(m)	Basal Area/ha (m ²)	Volume/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

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

이를 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 수고 생장의 경우에도(Clutter 등, 1992) 임령별로 가평 지역의 평균 수고가 다른 지역에 비하여 큰 것을 알 수 있다(표 3). 가평은 10년생의 평균 수고가 1.9m³이고 18년생이 6.3m³인 반면 광주는 10년생과 18년생이 각각 1.7m³와 5.9m³, 그리고 영동은 1.0m³와 4.4m³를 보이고 있다. 흥고직경과 마찬가지로 가평의 수고생장이 가장 우수하고 다음으로 광주가 좋은 성장을 보이고 있으나 두 지역에 비하여 영동은 저조한 생장상태를 유지하여 큰 차이를 나타내고 있다. 가평과 영동의 생장을 보면 시간이 경과하면서 1.9배에서 1.4배로 점차 감소하고 있지만 실제 수고는 14년생 이후 약 2m 내외의 차이를 보이고 있다.

단위 면적당 흥고단면적과 재적의 경우에도 지역간에는 비슷한 경향을 보이고 있다. 특히 흥고단면적과 재적은 임령별 생육 본수에 의하여 크게 영향을 받는 것이 사실이지만, 영동 지역의 단면적과 재적은 본수가 적은 광주 지역보다도 훨씬 적게 나타나, 우리나라 잣나무 임분수확표(산림청, 1981)의 최저 지위인 지위 6에도 못미치는 임분 구조를 보이고 있다. 가평 지역의 경우에는 18년생 현재 ha당 흥고단면적이 14.4m²이고 재적은 51.7m³인 반면, 영동지역은 각각 3.9m²와 11.0m³로 두 지역간에 현저한 차이를 보이고 있다. 이러한 차이는 일반적으로 가평은 우리나라 잣나무 주산지로 잣나무 생육에 최적의 기후와 지형적인 조건을 갖춘 반면, 충청북도 영동은 위도상으로 잣나무 생육의 남방 한계점에 가깝다는 점과 상대적으로 해발고도가 높고 경사가 심한 지형조건이 잣나무 초기 생육에 영향을 미쳐 이러한 결과를 나타낸 것으로 판단된다. 한편 지리적으로 가평과 인접한 광주 지역은 다른 임분 변수와 마찬가지로 ha당 흥고단면적과 재적

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

Age	Site	Mean Diameter		Mean Height		Basal Area/ha		Volume/ha	
		Increment (cm)	Growth Rate(%)	Increment (m)	Growth Rate(%)	Increment (m ²)	Growth Rate(%)	Increment (m ³)	Growth Rate(%)
10~11	Gp	0.4	10.8	0.6	3.2	0.4	18.2	1.6	51.6
	Tc	0.6	20.7	0.5	29.4	0.4	40.0	1.0	66.7
	Yd	0.4	36.4	0.3	30.0	0.2	94.4	0.3	131.6
11~12	Gp	0.6	14.6	0.4	16.0	0.8	30.8	2	42.6
	Tc	0.6	17.1	0.5	22.7	0.7	46.7	1.5	60.0
	Yd	0.5	33.3	0.4	30.8	0.2	57.1	0.4	86.4
12~13	Gp	0.7	14.9	0.7	24.0	1.0	29.4	3.5	52.2
	Tc	0.5	12.2	0.5	18.5	0.5	22.7	1.9	47.5
	Yd	0.3	15.0	0.3	17.7	0.3	45.5	0.5	58.5
13~14	Gp	0.5	9.3	0.6	16.7	0.8	18.2	3.3	32.4
	Tc	0.8	17.4	0.6	18.8	0.6	18.8	3.1	52.5
	Yd	0.7	30.4	0.3	15.0	0.6	75.0	1.0	76.9
14~15	Gp	0.8	13.6	0.6	14.3	1.6	30.8	5.8	43.0
	Tc	0.9	16.7	0.5	13.2	0.5	13.2	3.8	42.2
	Yd	0.6	20.0	0.4	17.4	0.3	21.4	1.2	52.2
15~16	Gp	1.5	22.4	0.5	10.4	3.1	45.6	11.4	59.1
	Tc	1.1	17.5	0.6	14.0	0.6	14.0	6.2	48.4
	Yd	0.4	11.1	0.6	22.2	0.4	23.5	1.4	40.0
16~17	Gp	0.8	9.8	0.6	11.3	2.0	20.2	9.8	31.9
	Tc	0.7	9.5	0.4	8.2	0.4	8.2	6.2	32.6
	Yd	0.8	20.0	0.6	18.2	0.8	38.1	2.8	57.1
17~18	Gp	0.9	9.1	0.4	6.8	2.4	20.2	11.2	27.7
	Tc	0.9	11.1	0.6	11.3	0.6	11.3	6.8	27.0
	Yd	0.7	14.6	0.5	12.8	1.0	34.5	3.3	42.9

에 있어서도 두 지역의 중간 정도의 성장을 보이고 있다.

(2) 임분변수별 생장량과 생장율

위에서 분석된 임분 변수 중에서 생육 본수를 제외한 평균 흥고직경, 평균 수고, 흥고단면적, 그리고 재적에 대하여 임령별 생장량과 생장율을 분석한 결과는 표 4와 같다. 가평 지역의 평균직경은 등락의 폭은 있으나 임령이 증가하면서 연년 생장량이 증가하는 경향을 보여 18년생은 0.9cm이고 생장율은 9.1%를 나타내 아직 생장의 활력을 유지하고 있음을 알 수 있다. 평균수고는 임령에 따라 대체적으로 약 0.4m에서 0.7m의 범위로 매년 생장하고 있는데 생장율은 10% 이상을 유지한다. 18년생에서 6.8%를 보이고 있으나 여전히 높은 생장율임을 알 수 있다. 한편 흥고 단면적의 경우에도 생장율 20% 이상을 유지하며 큰 폭의 생장을 유지하고 있고, 재적은 15년생 이후 연간 $10m^3$ 내외의 생장을 보이며 생장율은 매우 높은 25% 이상을 유지하고 있다. 우리나라 침엽수림 축적의 연간 평균생장율이 일반적으로 6% 정도인 것을 감안하면, 현 단계의 생장은 매우 양호하여 앞으로의 잠재적인 성장 가능성이 매우 높은 임분으로 판단된다.

광주지역의 직경생장은 가평 지역과 거의 차이가 없으며 18년생의 경우 0.9cm 생장에 11%의 생장율을 보이고 있다. 그러나 가평보다 본수가 400본 정도 적고 직경생장은 임분 밀도에 영향을 받는다는 사실을 고려하면 가평에 비하여 직경생장이 저조함을 알 수 있다. 수고생장도 가평 지역과 유사하여 지난 8년간 매년 0.4~0.6m의 범위에서 자라고 있는데 생장율 자체는 시간이 경과하면서 감소하는 경향을 보이고 있다. 한편 흥고단면적은 0.4~0.7m²의 범위에서 연간 변이가 크지 않았고, 연도별로 등락을 거듭하고 있으나 가평에 비하여는 생장율이 현저히 낮다. 재적생장의 경우 연도별로 지속적인 생장을 계속하여 18년생에서는 6.8m³의 많은 생장을 보이고 있으며 생장율도 27%를 기록하여 유령림으로서 왕성한 성장 단계에 있음을 확인할 수 있다. 전반적으로 가평에 비하여 생장량 자체는 적지만 여전히 성장의 활력을 유지하고 있는 것으로 판단된다.

영동 지역의 평균 흥고직경과 수고의 생장량은 가평 및 광주지역보다는 약간 낮으나 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 생장율에 있어서는 오히

려 두 지역보다 높게 나타났는데, 표 4에서와 같이 임령별 흥고직경과 수고의 절대치가 훨씬 작지만 높은 생장율로 볼 때, 시간이 경과하면서 다른 지역과의 흥고직경 및 수고의 차이는 점점 줄혀질 것으로 보인다. 반면에 흥고단면적과 재적의 임령별 생장량은 다른 지역에 비하여 훨씬 낮게 나타났는데, 이는 가평과는 ha당 본수의 차이가 300본 정도나 되기 때문으로 판단되고, 광주 지역보다는 본수가 많으나 이러한 결과를 보인 것은 지형 및 기후 등의 환경적인 차이에 기인한 것으로 판단된다. 하지만 생장율은 흥고직경이나 수고보다도 훨씬 높게 나타나 시간이 경과하면서 지역간의 ha당 흥고단면적과 재적도 그 차이가 점점 줄어들 것으로 보인다.

결론적으로 가평 지역은 18년생에 도달한 현 단계에서 어느 정도 생장을 촉진시킬 임분 구조를 유지하고 있는 것으로 판단되고 좀 더 생장을 촉진하기 위하여는 간벌이 필요한 시점에 도달한 것으로 추측된다. 반면에, 광주와 영동 지역은 아직 축적을 포함한 임분 변수의 절대량이 적어 본격적으로 큰 폭의 생장을 이루기 위해서는 당분간 현재의 임분 구조를 유지하면서 혼존량을 늘려야 하는 문제를 가지고 있다. 따라서 지역별로 일률적인 간벌의 시기와 강도를 적용하는 것은 문제가 있을 것으로 보인다.

2. 지역별 미기후의 추정

표 5는 지역별로 추정된 월별 평년기후치를 요약한 것이다. 추정된 월별 기후치는 지역별로 연간 변이를 잘 표현하고 있어 지형기후학적 방법에 의한 평년기후치의 추정은 큰 문제가 없음을 알 수 있다. 월별로 약간의 변이가 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 주로 세 지역의 위도 차이와 함께 해발고도가 다른 지형적 특성이 복합적으로 작용한 것으로 해석할 수 있다.

산대습도의 경우에는 가평과 광주 지역이 영동에 비하여 크게 높은 것으로 나타났다. 이는 가평은 청평댐, 춘천댐, 의암댐 등의 영향으로 광주에 비하여 연평균 약 2%정도 습도가 높으며,

광주지역도 팔당댐의 영향을 받아 영동에 비하여 는 훨씬 높은 상대습도를 보이고 있다. 이는 지역적으로 나타나는 강수량과도 관련이 있는데, 강수량은 그 특성상 연간 변이가 상당히 심한 기후 변수이다. 또한 월평균보다는 연간 또는 생육

기간 동안의 합계가 임목생장에 영향을 미치는 것으로 예측되는데, 가평과 광주는 비슷한 강수량을 나타내고 있지만 영동의 경우에는 다른 두 지역에 비하여 년 200mm 정도 적은 것으로 나타났다. 강수량은 임목 생육에 중요한 영향을 미

Table 5. Estimates of monthly normals for 6 climatic variables by locality.

Month	Site	Climatic Variables					
		Mean Temp.(°C)	Max. Temp.(°C)	Min. Temp.(°C)	Relative Humidity(%)	Precipitation (mm)	Sunshine Duration(hour)
1	Gp	-5.7	1.1	-11.9	69.0	18.0	168.6
	Kj	-5.5	1.3	-11.2	67.5	23.7	171.1
	Yd	-4.7	0.7	-10.0	49.6	24.0	171.9
2	Gp	-2.3	4.5	-8.9	64.8	23.2	173.9
	Kj	-1.9	4.2	-8.2	64.0	32.2	176.2
	Yd	-0.1	5.4	-6.2	48.4	32.6	175.7
3	Gp	2.8	10.9	-2.8	64.3	42.1	206.3
	Kj	3.8	10.3	-2.4	60.9	59.5	215.8
	Yd	4.2	11.5	-2.5	59.2	54.8	208.5
4	Gp	9.9	19.2	3.2	59.5	78.6	225.4
	Kj	10.9	17.8	2.3	54.0	83.0	227.2
	Yd	12.2	19.0	3.1	58.9	69.2	268.9
5	Gp	15.2	25.3	7.6	63.5	110.8	257.2
	Kj	16.3	23.3	9.5	60.1	98.6	240.2
	Yd	15.1	23.7	9.9	54.4	91.6	255.3
6	Gp	21.5	28.9	13.9	73.0	143.8	215.1
	Kj	21.2	27.0	15.3	73.0	149.7	217.7
	Yd	21.1	27.1	16.6	71.8	166.9	231.0
7	Gp	22.8	30.7	19.1	80.9	392.7	209.4
	Kj	23.6	29.1	19.6	81.4	360.4	185.9
	Yd	23.2	28.5	20.4	83.4	282.0	193.9
8	Gp	23.1	30.6	19.7	84.2	317.7	212.9
	Kj	24.3	30.7	19.7	84.3	283.0	194.0
	Yd	23.7	30.7	20.5	78.9	235.8	211.7
9	Gp	18.2	26.4	13.3	76.0	130.4	191.1
	Kj	18.3	25.3	13.1	75.8	141.8	211.9
	Yd	18.7	26.0	13.0	74.1	114.1	196.3
10	Gp	11.6	22.7	5.3	69.3	48.2	197.5
	Kj	11.4	21.5	5.0	67.8	51.1	224.0
	Yd	12.5	21.4	9.6	56.4	48.7	224.2
11	Gp	4.5	10.9	-1.2	70.7	47.0	151.7
	Kj	4.1	11.5	-1.5	70.4	50.3	165.0
	Yd	4.9	11.5	0.2	69.2	44.3	161.1
12	Gp	-2.5	3.9	-7.3	75.8	22.9	161.3
	Kj	-2.5	4.2	-8.0	68.4	28.5	152.0
	Yd	-2.2	5.0	-5.7	66.7	24.5	162.4
Mean	Gp	9.9	17.9	4.2	70.9	114.6	197.5
	Kj	10.3	17.2	4.4	69.0	113.5	198.4
	Yd	10.7	17.5	6.0	64.2	99.0	205.1

치는 기상 요인임을 감안하면(Carmean, 1954; Jackson, 1962; Grace와 Norton, 1990) 영동의 잣나무 초기 생장이 저조한 이유 중에서 강수량 부족이 하나의 중요한 원인임을 알 수 있다.

지역별 일조시수의 연간 그리고 생육 기간동안의 총 시간은 가평과 광주는 비슷하나 영동이 다른 두 지역에 비하여 100시간 가량 많아 강수량과는 반대의 경향을 나타내고 있다. 결국 생장상태가 가장 우수한 가평은 평균기온이 낮고 강수량이 많으며 상대습도가 다른 지역보다 높은 특징을 보이고 있다. 특히 잣나무가 한랭한 기후 조건에서 잘 자란다는 특성을 고려하면(노의래, 1983) 가평 지역이 수분 조건과 함께 다른 지역에 비하여 온도가 낮은 기후 조건에 의하여 상대적으로 양호한 생장을 보이는 것으로 판단할 수 있다. 생장이 가장 저조한 영동은 지리적 특성으로 인하여 기온이 상대적으로 높고 강수량은 적은 특징을 보이고 있다. 한편 광주 지역은 가평과 지리적으로 인접해 있으나 가평과 비교해서 온도는 약간 높고 습도가 낮아 이러한 지역별 기후 특성이 작용하여 잣나무 초기 생장에 영향을 미친 것으로 보인다.

이상의 지역별·월별 6개 기후치로부터 계산된 17개 기후 변수는 표 6과 같다. 온량지수(X_1)의 경우에는 가평이 가장 낮지만 광주와 영동은 불

Table 6. Estimates of 17 weather variables for 3 study sites.

Weather Variables	Study Sites		
	Gapyung	Kwangju	Youngdong
X_1	87.3	90.9	91.4
X_2	28.2	27.0	23.0
X_3	69.0	67.0	57.4
X_4	70.9	69.0	64.2
X_5	72.3	70.9	68.3
X_6	65.3	62.4	61.7
X_7	1375.3	1361.8	1188.4
X_8	114.6	113.5	99.0
X_9	1222.1	1167.6	1008.3
X_{10}	333.1	331.3	327.6
X_{11}	153.2	194.2	180.2
X_{12}	197.5	198.4	205.1
X_{13}	2370.4	2380.9	2460.9
X_{14}	1508.6	1500.8	1581.3
X_{15}	697.7	685.0	755.2
X_{16}	101.5	90.2	80.2
X_{17}	50.8	54.0	49.4

과 0.5°C의 차이밖에 없고, 가평 지역과도 약 4°C의 편차를 나타내고 있어 지역간 생장의 차이를 설명하기에는 그 차이가 그다지 크지 않음을 알 수 있다. 반면에 한랭지수(X_2)와 건조지수(X_3)의 경우에는 가평과 광주는 그 차이가 미미하나 두 지역과 영동과는 비교적 큰 차이를 나타내고 있다. 이러한 경향은 지역간 정도의 차이와 기후 변수별 순서의 차이는 생장이 시작되기 이전인 전년도 11월부터 3월까지 5개월간의 강수량 합계(X_{11})와 최고기온과 최저기온간의 차이의 합계(X_{17}), 생장 기간 동안의 일조시수 합계(X_{14}), 그리고 4월부터 6월까지의 3개월간의 일조시수 합계(X_{15})를 제외하고는 일률적인 경향을 보이고 있다(표 6).

3. 지역별 기후 조건과 생장의 관계

지역별로 뚜렷한 차이를 보이고 있는 17개 기후변수(표 6)가 임분 변수별 정기평균생장량에 어떠한 영향을 미치는지를 밝히기 위하여 상관분석을 실시한 결과는 표 7과 같다. 직경생장은 연평균 강수량과 양의 상관관계를 가지고 있는 것으로 나타났으며, 연중 일조시수의 합계와 비생장기간의 최고기온과 최저기온의 차이의 합계와는 음의 상관관계가 인정되었다. 강수량과 일조시수는 반비례의 관계가 인정되기 때문에 이들 기후 변수간에 서로 상반된 결과가 나온 것으로 판단되며, 잣나무는 한랭한 기후에 적합한 수종이기 때문에 비생장기간의 온도차가 클수록 흡고 직경 생장에 도움이 되는 결과를 보인 것이다. 이는 기존의 연구(한상섭과 박원근, 1988)에서 잣나무의 직경생장은 온도보다는 안개, 일사량, 상대습도 등에 더 영향을 받는다는 보고와 일치하는 결과이다.

수고생장은 한랭지수, 건조지수, 그리고 생장 기간 동안의 총 강수량 등 3개의 기후 변수와 모두 양의 상관관계가 인정되었다. 이러한 결과는 수고생장이 생육 지역의 수분 조건뿐만 아니라 한랭한 기후 조건일 때 생장에 도움이 되는 것을 의미하며, 특히 생육 기간 동안의 강수량과 기온 조건이 절대적인 영향을 미치는 것으로 판단된다. 이는 해송의 수고 생장이 상대습도, 총강수량, 건조지수에 가장 영향을 많이 받는다는 연구 결과(손영모와 정영관, 1994)와 시베리아 느릅나무의 수고생장에 강수량이 관계하고 있다는 보고(Sander, 1971)와도 유사한 결과이다.

Table 7. Analysis of correlation between periodic annual increment of 4 stand variables and 17 weather variables.

Weather Variables	Periodic Annual Increment			
	DBH	Height	Basal Area	Volume
X ₂		0.99949*	0.99915*	0.99973*
X ₃		0.99960*	0.99934*	
X ₄			0.99945*	
X ₇				0.99991**
X ₈	0.99991**			
X ₉		0.99834*	0.99776*	
X ₁₂			-0.99739*	
X ₁₃	-0.99839*			
X ₁₇	-0.99986*			

* Significant at 5% level.

** Significant at 1% level.

홍고단면적 생장은 직경생장과 밀접한 관계를 가지고 있다. 그러나 상관관계가 인정된 기후변수는 오히려 수고생장과 관련이 있는 한랭지수, 건조지수, 생장 기간의 총 강수량과 모두 양의 상관을 보이고 있고, 이러한 변수 이외에 연평균 일조시수와는 음의 상관을 나타내고 있다. 또한 재적생장의 경우에는 한랭지수, 연평균 상대습도, 그리고 생장 기간 동안의 총 강수량이 양의 상관을 보이고 있어 다른 임분변수의 생장량과 큰 차이를 보이고 있지 않다.

모든 임분변수의 생장과 관련이 있는 기후변수는 강수량과 기온으로 판단된다. 즉 잣나무의 초기 생장에 긍정적으로 영향을 미치는 기후요소는 충분한 강수량을 가지고 비교적 기온이 낮은 지역이 생장에 적합하다. 강수량이 적은 영동의 경우에는 어떠한 형태로든 지나치게 적은 강수량이 생장에 제한적인 요인으로 작용하였을 것으로 판단되며, 위도상의 문제로 온도가 높아 이

러한 기후 조건이 복합적으로 작용한 것이다. 상대습도의 경우에는 재적생장에서만 양의 상관을 보여 상대습도가 높을수록 생장에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 일반적으로 잣나무의 생장은 어느 정도 이상의 습도를 유지해야 생장에 좋은 것으로 알려져 있는데(한상섭과 이재선, 1985), 직경생장과 수고생장에서는 상관관계가 인정되지 않고 이들이 복합적으로 표현되는 재적생장에서 상관관계가 인정되었다. 그러나 상대습도는 강수량과 밀접한 관계를 가지고 있어 호수 주변 지역인 가평과 광주지역의 잣나무 생장이 영동에 비하여 우수한 결과를 보인 것으로 추측된다. 이러한 결과는 강원도 홍천의 잣나무 생장에 관여하는 기후인자가 일조시수, 강수량, 상대습도, 온량지수 등이었다는 보고(한상섭과 박완근, 1988)와 유사하다.

표 8은 흥고직경, 수고, 흥고단면적, 재적의 지역별 정기평균생장량의 차이가 17개 기후변수 중에서 어느 변수에 의하여 가장 잘 설명되는가를 밝히기 위해 회귀분석을 실시하여 기후-정기평균생장량 최적식을 작성한 것이다. 직경생장량은 월평균 강수량에 의하여 추정할 수 있었는데, 월평균 강수량이 10mm 많으면 약 0.15cm의 직경생장이 더 증가함을 알 수 있다. 결국 가평과 광주의 경우에는 영동에 비하여 약 15mm 정도의 월평균 강수량이 많아 연간 0.225cm 만큼씩의 직경생장이 더 좋은 것으로 해석할 수 있다. 수고생장과 단면적생장은 모두 건조지수가 가장 영향을 많이 미치는 기후변수로 채택되었다. 건조지수는 연강수량 합계와 연평균 기온과의 관계에 의하여 구하는데, 결국 수고생장과 단면적생장은 강수량이 많고 평균온도가 낮은 지역이 더 생장이 좋은 것으로 나타났다. 두 생장량간의 회귀계수는 수고생장량과 단면적생장량의 단위가 다르기 때문에 큰 의미는 없다. 다만 홍고단면적 생장은 직경생장과 밀접한 연관을 가지고 있고,

Table 8. Regression coefficients of climatic parameters to periodic annual increment of stand variables by locality.

Dependant Variables	Regression Equations	R ²
DBH Increment	Y = -0.8876 + 0.0145 X ₈	0.98
Height Increment	Y = -0.1874 + 0.0107 X ₃	0.99
Basal Area Increment	Y = -0.0024 + 0.000048 X ₃	0.97
Volume Increment	Y = -0.0121 + 0.000013 X ₇	0.99

직경생장은 수고생장과는 다른 형태의 특성을 갖는다는 점을 고려하면 일단 단면적 생장에 가장 영향을 미치는 변수가 수고생장에서와 동일한 전조지수가 채택되었다는 점이 특이하다. 그러나 앞의 상관분석에서도 살펴보았듯이 다른 기후변수도 높은 상관을 유지하지만 지역을 3곳에 한정하였기 때문에 같은 기후변수가 수고 및 단면적 생장에 관여된 것으로 볼 수 있다. 재적생장의 경우에는 생장기간 동안의 총 강수량이 채택되어 잣나무의 생장에는 수분조건이 가장 중요함을 알 수 있다. 모든 임분변수의 생장량을 추정하는 회귀식의 결정계수는 0.97 이상으로 높은 설명력을 유지하고 있어 3개 지역의 기후 조건과 생장의 차이가 확연하게 구분됨을 알 수 있다.

결 론

본 연구는 환경 조건이 다른 3개 지역에 식재된 잣나무 인공림의 초기생장 특성을 구명하고, 지역별 미기후 조건을 지형-기후 관계식의 개발을 통한 지형기후학적 방법에 의하여 추정함으로써 환경요인으로서 지역별 기후 조건이 조사 대상지의 임목 생장에 미치는 영향을 파악하고자 하였다. 지역별 생장 특성은 위도가 높은 경기도 가평과 광주, 그리고 충청북도 영동의 순서로 생장이 좋은 것으로 나타났다. 이들 지역의 기후 특성은 영동이 다른 지역에 비하여 해발고도가 250~300m 정도가 높음에도 불구하고 위도의 차이로 온도는 높았으며, 특히 강수량의 경우에는 연간 200mm 내외가 적어 수분조건이 불량한 것으로 나타났다. 가평 및 광주지역은 주변의 인공 호수의 영향으로 습도가 상대적으로 높고 강수량도 많았다. 결과적으로 환경요인으로서 미기후가 생장에 미치는 영향은 일반적으로 알려져 있는 바와 같이 잣나무는 한랭한 기후에서 잘 성장하는 수종으로 수분조건이 양호한 입지를 선호하는 것으로 판명되었다.

하지만 임목의 생장에 미치는 환경요인은 기후 조건 이외에도 지형 및 토양특성 등 많은 다른 요인이 복합적으로 작용한다. 본 연구에서는 이러한 모든 조건을 다 고려할 수 없었다는 한계를 가지고 있다. 앞으로의 연구에서는 지형, 토양, 그리고 미기후 조건을 함께 고려한 환경요인에 의한 생장 특성을 파악하는 연구가 필요하다. 또한 미기후의 경우에도 본 연구의 대상지와 같이

매년 매목조사를 실시하여 연년생장량이 파악된 임분조건에 대하여는 공간통계 기법을 이용한 연도별 미기후를 추정하여 연도별 기후변이와 연년 생장량간의 관계를 구명하여 좀 더 명확한 미기후의 영향을 파악하는 것이 앞으로의 과제로 판단된다.

인 용 문 헌

1. 과학기술처. 1992. 전국 그물망 기후값 추정 및 기후도 작성 연구(III). 379 p.
2. 김광식. 1975. 농업기상학. 향문사. 331 p.
3. 노의래. 1983. 기상인자에 의한 우리나라 삼림수종의 생육범위 및 적지적수에 관한 연구. 한국임학회지. 62 : 1-18.
4. 산림청. 1981. 임업기술. 1362 p.
5. 손영모·정영관. 1994. 지형, 토양 및 기상인자가 해송의 수고생장에 미치는 영향. 한국임학회지. 83(3) : 380-390.
6. 수자원공사. 1992. 기상환경 변화 조사(1차). 244 p.
7. 수자원공사. 1993. 임하 및 주암 다목적댐 건설에 따른 기상환경 변화 조사(2차). 306 p.
8. 수자원공사. 1994. 임하 및 주암 다목적댐 건설에 따른 기상환경 변화 조사(3차). 264 p.
9. 신만용·윤진일. 1992. 지형-기후 관계식에 의한 제주도의 월별 기온분포의 추정. 한국임학회지. 81(1) : 40-52.
10. 임경빈. 1985. 조림학원론. 향문사. 491 p.
11. 정영관·이부원·박남창. 1982. 기상인자가 삼나무 및 편백의 활착률, 직경생장 및 수고생장과의 관계 -진해지방을 중심으로-. 경상대 논문집. 21 : 117-120.
12. 정태현·이우철. 1965. 한국삼림식물대 및 적지적수론. 성대논문집. 10 : 329-435.
13. 한상섭·박완근. 1988. 잣나무와 소나무의 직경생장과 Key-Year. 한국임학회지. 77(2) : 216-221.
14. Carmean, W.H. 1954. Site quality for Douglas-fir in south-western Washington and its relation to precipitation, elevation, and physical soil properties. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 18 : 330-334.
15. Clutter, J.L. and E.P. Jones. 1980. Prediction of growth after thinning in old-field slash

- pine plantations. USDA For. Serv. Res. Paper SE-217.
16. 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.
17. Feduccia, D.P., T.R. Dell, W.F. Mann, T.E. Campbell, and B.H. Polmer. 1979. Yields of unthinned loblolly pine plantations on cutover sites in the west gulf region. USDA For. Serv. paper SO-148.
18. Golden, M.S., R. Meldahl, S.A. Knowe, and D.B. Boyer. 1981. Predicting site index for old-field loblolly pine plantations. South. J. Appl. For. 59(3) : 109-114.
19. 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.
20. Hamilton, D.A. 1974. Event probabilities estimated by regression. USDA For. Serv. Res. Paper INT-152.
21. Jackson, D.S. 1962. Parameters of site for certain growth components of slash pine. Duke Univ. School of For. Bul. 16. 118 p.
22. Kramer, H. 1988. Waldwachstumslehre. Paul Parey. 374 p.
23. 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. Shin-field Park. U.K., 13-18 July 1987.
24. Okamura, T. 1987. Mesh climatic data-present and prospect of production and application. Tenki 34(3) : 25-42.
25. Sander D.H. 1971. Soil properties and siberian elm tree growth in Nebraska wind-breaks. Soil Sci. 112(5) : 357-363.
26. Smalley, G.W. and R.L. Bailey. 1974. Yield tables and stand structures for shortleaf pine plantations in Tennessee, Alabama, and Georgia highlands. USDA For. Serv. Res. Paper SO-97.