

천연 활엽수림의 입지 유형별 미기후 추정과 직경생장과의 관계 - 강원도 평창 지역 국유림을 중심으로 -

신만용¹ · 정상영¹ · 이돈구²

¹국민대학교 산림자원학과, ²서울대학교 산림자원학과

(2001년 2월 28일 접수)

Estimation of Microclimate by Site Types in Natural Deciduous Forest and Relation between Periodic Annual Increment of Diameter and the Microclimatic Estimates - A Case Study on the National Forest in Pyungchung, Kangwon Province -

Man Yong Shin¹, Sang-Young Chung¹ and Don Koo Lee

¹Department of Forest Resources, Kookmin University,

²Department of Forest Resources, Seoul National University

(Manuscript received 28 February 2001)

ABSTRACT

This study was conducted to estimate microclimate of natural deciduous forest in national forest of Pyungchang, Kangwon province and to investigate the effects of the microclimatic conditions on the periodic annual increment of diameter by site types. In this study, site was first classified by nine types considering both elevation (higher than 1,000 m, 700~1,000 m, and lower than 700 m) and topographical conditions (ridge, slope and valley). For each of site types, diameter growth was measured by using increment borer and periodic annual increment of diameter was then analyzed. A topoclimatological technique, for estimating microclimatic conditions, which make use of empirical relationships between the topographical factor and the climatic normals in the study area was applied to produce monthly mean, maximum and minimum temperatures, relative humidity, precipitation and hours of sunshine. From these monthly estimates, 17 weather variables such as warmth index, coldness index, index of aridity etc. which affect the diameter growth were computed for each of site types. The periodic annual increment of diameter was then correlated with and regressed on the 17 weather variables to examine effects of microclimatic conditions on the diameter growth by site types. From the correlation analysis, it was found that the diameter growth by site types was positively correlated with all of 17 weather variables except the warmth index. Especially, the conditions such as high relative humidity and large amount of sunshine hours provide favorable environment for the growth of diameter. On the other hand, it was also found that diameter growth was negatively influenced by warmth index. According to the regression analysis, the periodic annual increment of diameter could be well predicted by index of aridity and mean relative humidity for the growing season.

Key words : natural deciduous forest, periodic annual increment, microclimate, topoclimatological technique

I. 서 론

우리나라는 과거 목재생산과 같은 경제적 기능에 중

점을 둔 산림 정책을 실행하였고, 이로 인하여 그동안 산림의 경영과 관리는 단순 동령림 위주의 침엽수 입분에 집중되어 왔다. 그러나 이러한 단순림 위주의 산

림정책은 병해충의 발생과 생태적 불안정이라는 문제점이 제기되면서 생태적으로 건전한 천연 활엽수림에 관심과 중요성이 대두되고 있다.

따라서 생태적으로 건전하면서도 부가가치가 높은 천연 활엽수림을 조성하고 관리할 수 있는 경영방안을 수립하여 실행하기 위해서는 먼저 다양한 입지유형별로 생육하고 있는 활엽수림 내의 임목 생장에 대한 정보의 활용이 필수적이다. 또한 임목의 생장은 유전적 요인과 환경적 요인, 그리고 이들의 상호작용에 의하여 영향을 받는데, 환경적 요인은 크게 기상요인, 토양요인, 그리고 생물적 요인으로 구분된다. 이 중에서 기상 요인은 인위적 조절이 불가능하기 때문에 대상 지역의 국지적 기상 조건을 고려한 경영계획의 수립이 필수적이며, 이러한 계획의 수립을 통하여 수종에 따른 임목의 적지 판단과 위도 및 지리적 조건을 고려한 수종별 조림 한계의 설정 등이 보다 합리적이라고 할 수 있다(노의래, 1983).

우리나라의 기상 정보의 생산과 이용의 최우선 목표는 주로 정확한 일기예보를 통한 기상관련의 재해의 최소화에 있기 때문에 일반적으로 광역적 구분에 의하여 실시되고 있는데, 이러한 구분을 임업에 적용하기에는 너무 포괄적이고 실용적이지 못한 것이 사실이며 실제로 임업에 대한 기상요인의 적용은 삼림대를 연평균 기온에 의하여 구분하는 수준에 머물러 있다(정태현과 이우철, 1965). 임업에서의 전문 기상정보는 무엇보다도 먼저 산림의 국지적인 기상현상의 파악이 필수적이나 정규 기상관측망을 통해서 국지 기후의 파악이 용이하지 못하기 때문에, 최근 여러 가지 국지 기후에 영향을 미치는 요인 중에서 비교적 자료의 수집이 용이하고 정량화가 가능한 지형인자를 이용한 기후추정에 관한 연구가 수행되어오고 있다(Hopkins, 1968; Nakai, 1987).

이러한 지형-기후 추정 연구는 주로 농업 분야를 중심으로 수행되어 왔는데 초기 단계에서는 수작업에 의한 지도 판독을 함으로써 지형인자를 얻기 때문에 많은 노력에도 불구하고 실용적이지 못하였다. 그러나 1970년대 중반 이후 일본 기상청이 전국토의 지형자료를 토대로 1 km² 단위로 주요 기후값을 생산, 제공함으로써 이 분야의 연구는 괄목할 만한 발전을 하였다. 이 기법은 격자별 지형인자와 실측 기후치로부터 지형-기후 관계식을 도출·적용함으로써 월별, 기후치별 평년값을 제공하는 것이다.

본 연구는 먼저 강원도 평창군에 위치한 천연 활엽수림을 대상으로 입지유형에 따른 미기후와 직경생장과의 관계를 규명하고자 하였다. 이를 위해 먼저 연구 대상지의 미기후를 지형-기후학적인 방법을 이용하여 추정하고, 연구 대상지를 해발고도와 지형에 따라 9개의 입지유형으로 구분한 후 각 입지유형의 직경생장량을 파악하였다. 본 논문은 이와 같이 추정된 미기후와 직경생장량의 상관 및 회귀분석을 통하여 천연 활엽수림의 입지유형별 직경생장에 미치는 미기후의 영향을 구명함으로써, 천연 활엽수림의 생태적 관리방안에 필요한 기초 자료를 제공하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

2.1. 연구 대상지

본 연구는 산림청 산하 동부영림서 평창관리소 관내 지역인 가리왕산 일대의 천연 국유림 연구단지 2,399 ha을 대상으로 실시하였으며, 연구 대상지는 북위37° 25'~30', 동경 128° 30'에 위치하고 있다.

연구 대상지의 기후대는 온대 중부 및 북부에 속하며(Yim, 1977), 연구 대상지에서 가장 가까운 기상관측소인 대관령 관측소 자료에 의하면 연평균 최고온도는 11.1°C이며, 연평균 최저온도는 1.7°C, 그리고 연평균 기온은 6.3°C로 매우 낮은 편이다. 또한 연평균 상대습도는 74%로 비교적 높지만, 4~5월의 상대습도가 최저 30~40%밖에 되지 않아 수분 결핍에 의한 치수의 고사율이 매우 높은 것으로 알려져 있다. 해발고도 600~1,500 m에 분포되어 있으며, 1,000 m 이상의 일부 지역에서는 한대림에 속하는 수종도 분포하고 있으며, 모암은 편마암 또는 석회암으로 되어 있고, 산림 토양은 비옥한 갈색토이다(산림청, 1992).

연구 대상지의 임상은 천연 활엽수림이 전체의 약 70%를 차지하면서 신갈나무, 음나무, 고로쇠나무, 층층나무 등의 유용 활엽수 30여종이 분포하고 있으며, 나머지 침엽수림은 인공적으로 식재된 잣나무, 낙엽송 등과 천연 소나무림으로 구성되어 있다.

2.2. 연구 방법

2.2.1. 입지유형별 미기후의 추정

우리나라는 정규기상관측망의 밀도가 낮고 대부분의 관측망이 주거지역 주변에 설치되어 있기 때문에 산림

지역의 미기후를 정규기상관측망에 의하여 파악하는 것은 어려운 것이 현실이다. 이러한 문제는 지형인자를 이용하여 미관측 지점의 국지기상을 일정한 격자단위로 추정할 수 있는 그물망 기후추정법(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.

본 연구는 남한 전역에 분포된 70여개의 정규기상관측소 중, 지리적으로 연구 대상지와 가까운 대관령, 영월, 원주, 인제, 홍천, 태백, 강릉, 동해, 인제, 제천, 그리고 춘천의 11개 정규기상관측소로부터 수집된 기후자료와 미기후에 영향을 많이 미치면서 비교적 정량화가 용이한 지형인자를 이용하여(수자원공사, 1993), 지형기후학적 방법으로 연구 대상지의 미기후를 추정하였다.

한편 다양한 기상 인자 중에서 임목의 생장에 가장 많은 영향을 미치는 인자는 평균기온, 최고기온, 최저기온, 상대습도, 강수량, 그리고 일조시수로 요약할 수 있다(Sander, 1971; 정영관 등, 1982; 손영모와 정영관, 1994). 따라서 이상의 6개 기상인자를 월별, 관측소별로 요약, 정리하고 이를 수치화된 지리지형 변수에 회귀시켜 “그물망 기후도” 작성법에 의하여 연구대상지에 적용할 수 있는 월별 평년기후값을 도출하기 위하여, 기후 값이 수집된 11개 정규 기상관측망이 위치한 지점의 지형변수를 정량화하였다. 정량화된 지형인자는 국지 기후값에 영향을 미치는 총 17종류의 162개(과학기술처, 1992; 신만용과 윤진일, 1992)로서 각 격자점별 해발고도를 이용하여 계산하였으며, 연구 대상지의 수치지도로부터 얻어지는 사방 100 m 간격의 총 2,400개의 각 격자점별 해발고도 자료를 이용하여 연구 대상지의 지형인자를 정량화한 후, 수집된 기상관측소 격자점에 대한 기후값과 정량화된 지형자료를 이용하여 연구 대상지 지역에 적용할 수 있는 월별 평년기후값의 추정회귀식을 작성하였다. 먼저 월별·기후치별로 후보지형인자를 선정한 후, 다중선형 회귀분석 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 대상지의 대해 작성된 72개의 월

별·기후치별 지형-기후 추정식을 이용하여 6개 기상인자에 대한 월별 평년기후값을 추정하였다.

2.2.2. 입지유형별 생장특성의 파악

입지유형별 입분조사는 동사면의 입분을 대상으로 해발고도를 1,000 m 이상, 700~1,000 m, 그리고 700 m 미만인 3지역으로 구분한 후, 각 해발고도별로 능선, 사면, 계곡의 3가지 입지조건으로 나누어 전체적으로는 총 9개의 입지유형으로 분류하였다(산림청, 2000). 이와 같이 분류된 각 입지유형에 대해 20×20 m (0.04 ha)의 표본지를 3반복으로, 총 27개의 표본지를 설치하여 표본점에 포함된 흉고직경 6 cm 이상의 모든 임목을 대상으로 최근 5년간의 흉고직경 정기평균 성장량을 측정하기 위해 성장추를 이용하여 목편을 채취하고, 실내에서 연륜측정기를 사용하여 최근 5년간의 성장량을 파악하였다. 이와 같이 수집된 성장량은 입지유형별로 요약·분석하였다.

2.2.3. 입지유형별 미기후 조건과 생장과의 관계

입지 유형별 기후 조건이 조사 대상지의 임목 생장에 어떠한 영향을 미치는가를 밝히기 위하여 먼저 5년 간의 흉고직경 정기평균 성장량과 앞에서 추정된 해당 지역의 평년 기후치 간의 상관을 분석하였다. 이를 위해 사용된 기후변수는 평균 온도, 최대 온도, 최저 온도, 상대 습도, 강수량, 일조시수에 의하여 도출된 기후변수로 임목생장에 영향을 미칠 것으로 판단되는 17개의 변수가 입지유형별로 도출되었다(Table 1).

이들 기후변수를 계산하는 과정에서 임목의 생장기간은 4월부터 10월까지의 7개월 간의 자료를 이용하였으며 생장기간의 초기 3개월은 4월부터 6월까지이고, 비생장기간은 11월부터 3월까지의 5개월간을 의미한다. 온량지수(X_1)와 한랭지수(X_2)는 월 평균 기온을 이용하여 계산하였고(김광식, 1975; 임경빈, 1985), 건조지수(X_3)는 강수량과 평균 기온과의 관계를 이용하여 계산하였다(Kramer, 1988). 나머지 기후 변수는 월별 상대 습도, 강수량, 그리고 일조시수로부터 임목 생장에 영향을 미칠 것으로 판단되는 기후변수로서 기존의 추정된 기후 평년치를 변환하여 구하였다. 한편 변수 X_{16} 과 X_{17} 은 각각 생장기간과 비생장기간의 월별 최고기온과 최저기온간의 차를 누적시킨 값이다.

상관분석을 통하여 직경생장에 미치는 17개 기후변수별 경향을 일차적으로 분석한 후, 입지유형별로 나타나는 지난 5년 간의 흉고직경 정기평균 성장량의 차이가 입지유형별 기후조건 중에서 어떤 기후 요인에

Table 1. 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

의해 가장 영향을 받는지를 구명하기 위하여 정기평균 생장량과 기후변수간의 회귀분석을 실시하였다.

III. 결과 및 고찰

3.1. 입지 유형별 미기후의 추정

3.1.1 연구 대상지의 월별 평년 기후값 추정

연구 대상지를 포함하는 수치지도로부터 연구 대상지를 사방 100 m 간격의 격자로 구분하여 총 2,400 개의 격자점별 해발고도 자료를 수집하였다. 이 자료에 근거하여 각 격자점별로 월 평균기온, 최고기온, 최저기온, 상대습도, 강수량, 일조시수 등의 6개 기상 인자에 대하여 지형기후학적 방법에 의하여 월별 기후-지형 추정식을 개발하였으며, 지형기후학적 추정기법에 의하여 얻어진 월별 일 평균기온, 일 최고기온, 일 최저기온, 상대습도, 강수량, 일조시수에 대한 72개의 최적 다중회귀식이 작성되었다(산림청, 2000).

이상과 같이 작성된 최적 기후 추정식에 의하여 연구 대상지 2,399 ha를 대상으로 1 ha 단위의 격자점별로 지형기후학적 방법에 의하여 추정된 월별 미기후 분포는 Table 2와 같다.

월별 평균기온은 격자점별로 편차가 그다지 크지 않은 것으로 나타났는데, 격자점의 평균으로 보면 1월이

가장 낮은 -5.3°C인 반면 8월이 가장 높은 24.7°C를 보이고 있다. 가을철인 9~11월인 상대적으로 격자점별 평균기온의 편차가 심한 것으로 나타났지만 봄철인 4, 5월과 여름철인 7, 8월은 격자점별 기온 변이가 심하지 않은 것으로 추정되었다.

격자점별 최고기온의 평균치는 8월이 30.7°C로 가장 높고 12월은 -0.7°C로 가장 낮아 평균기온과 유사한 결과를 보이고 있다. 월별 최고기온의 격자점별 분포는 일반적인 기온분포와 큰 차이가 없지만 1월부터 6월의 전반부가 표준편차가 1.0°C 이상을 나타내 7월부터 12월의 후반부에 비하여 격자점별 편차가 더 심함을 알 수 있다.

연구 대상지의 월 최저기온의 분포(Table 2)를 보면 1월이 가장 낮고 7월의 최저기온이 연중 가장 높은 것으로 나타났다. 또한 평균기온 및 최고기온과는 달리 최저기온은 월별 격자점별 편차가 비교적 심한 것으로 나타났다. 전체적으로 월별 최저기온의 표준편차는 1.2~2.4°C로 나타났는데, 특히 1, 4, 10, 11월은 표준편차가 2°C 이상인 것으로 나타났다. 또한 1월과 2월은 전체 격자점의 평균 최저기온이 -10°C 이하로 나타나 고지대의 특성을 잘 보여주고 있음을 알 수 있다.

연구 대상지의 상대습도는 여름철인 6~8월이 78%

Table 2. Monthly estimates of 6 climatic variables in the study area

MONTH	Mean Temperature (°C)				Maximum Temperature (°C)				Minimum Temperature (°C)			
	Mean	Min.	Max.	STD.	Mean	Min.	Max.	STD.	Mean	Min.	Max.	STD.
1	-5.3	-9.3	-2.0	1.3	0.5	-2.5	1.9	1.2	-10.7	-17.9	-0.5	2.4
2	-4.5	-6.0	-2.8	0.5	3.9	-3.8	5.8	2.3	-10.4	-14.5	-6.1	1.8
3	4.8	1.3	7.0	1.1	9.9	7.8	11.3	1.0	-0.7	-3.9	1.9	1.7
4	11.1	9.9	12.2	0.3	16.7	13.4	18.9	1.5	4.9	-0.2	9.3	2.3
5	16.2	13.6	16.9	0.8	21.9	18.9	23.9	1.4	4.6	1.0	9.4	1.2
6	20.6	18.5	23.8	1.1	26.7	24.0	30.3	1.1	16.0	12.0	17.9	1.4
7	21.8	20.9	24.2	0.6	28.9	26.7	32.0	0.9	19.9	14.0	23.2	1.4
8	24.7	23.4	25.2	0.5	30.7	29.2	34.5	0.9	16.0	12.0	20.7	1.3
9	19.9	16.3	22.0	1.3	25.4	24.8	26.8	0.4	15.1	11.4	17.6	1.7
10	13.4	10.1	15.4	1.5	19.6	17.3	22.0	0.8	7.9	2.9	11.2	2.3
11	4.8	0.2	8.2	1.4	11.3	10.4	12.5	0.4	1.1	-3.5	4.9	2.3
12	-0.7	-2.1	0.0	0.6	-0.7	-2.9	1.6	0.7	-0.5	-7.4	-3.7	1.4

MONTH	Relative Humidity (%)				Precipitation (mm)				Sunshine Hours (hour)			
	Mean	Min.	Max.	STD.	Mean	Min.	Max.	STD.	Mean	Max.	Min.	STD.
1	67.1	57.5	78.5	4.4	18.0	7.9	24.7	3.2	177.1	147.6	204.7	15.6
2	63.6	58.1	69.1	2.7	39.1	24.1	56.3	5.2	185.4	150.8	217.5	10.9
3	62.0	53.4	68.6	1.9	41.3	26.3	52.8	4.5	217.5	92.5	347.6	43.3
4	47.6	44.1	52.7	1.5	66.7	46.7	90.0	8.4	281.6	178.4	448.3	36.2
5	62.8	56.0	70.3	2.3	90.7	35.3	129.9	18.2	202.0	140.7	261.1	19.6
6	78.2	71.3	95.6	8.8	229.2	194.9	249.4	7.5	271.7	78.0	429.9	90.8
7	84.1	78.0	98.3	4.3	385.6	258.1	566.6	37.1	233.2	153.4	321.3	31.3
8	82.8	79.8	95.1	4.0	291.2	244.2	367.5	27.6	190.5	115.3	248.3	33.2
9	75.2	69.9	83.9	3.6	145.4	62.2	247.7	28.4	241.5	214.4	262.6	8.0
10	71.6	63.1	79.1	3.9	36.8	6.8	59.9	7.1	337.1	194.0	489.5	48.3
11	71.1	58.0	82.2	4.9	49.2	28.0	64.5	5.4	171.5	138.9	201.8	11.5
12	70.7	59.4	82.0	5.3	52.0	21.2	88.3	11.5	141.5	122.5	156.3	8.8

이상으로 가장 높는데, 특히 7월과 8월은 80% 이상의 매우 높은 상대습도를 보이고 있다. 또한 9월부터 12월까지도 70% 이상의 비교적 높은 습도를 보이고 있지만 1월에서 5월까지는 70% 미만인 것으로 추정되었다. 특히 4월의 경우에는 가장 건조하여 평균 47.6%로 추정되었다. 전체 격자점에 대한 월별 상대습도의 분포는 봄철을 제외하고는 상대적으로 변이가 심한 것으로 나타났지만 비교적 건조한 봄철에는 지역별 상대습도의 변이가 적은 것을 알 수 있다.

연구 대상지의 월별 강수량 분포는 1월이 가장 적고 8월이 가장 많은 것으로 추정되었다. 월별 격자점별 강수량의 변이는 7~9월이 가장 심한 반면 다른 달은 비교적 그 변이가 적은 것으로 나타났다. 월별 강수량의 추정식에 의하면 연구 대상지의 강수량은 여

름철 3개월 동안 900 mm 이상을 기록하여 총 강수량의 60% 이상이 여름철에 집중되는 것으로 추정되었다. 반면에 10월부터 2월까지의 강수량은 1월을 제외하고 월별 강수량에서 큰 차이를 보이고 있지 않다. 이는 다른 지역에서의와는 다소 다른 결과로 이 지역이 고산지대로 겨울철에 눈이 많이 오기 때문에 상대적으로 겨울철 강수량이 많은 것으로 추정된 것은 현실적으로 적합한 결과로 판단된다.

Fig. 1은 연구 대상지의 지리적 기후분포를 6개의 기후변수에 대하여 대표적인 1개 달씩을 나타낸 것이다. 전체 격자점의 2월달 평균기온의 변이는 최저 -6.0°C에서 최고 -2.8°C까지의 분포를 보이지만 지형적인 조건에 따라 온도의 변화를 잘 보여주고 있다. 해발고도가 낮은 120m반과 129m반의 일부지역이 가장 온

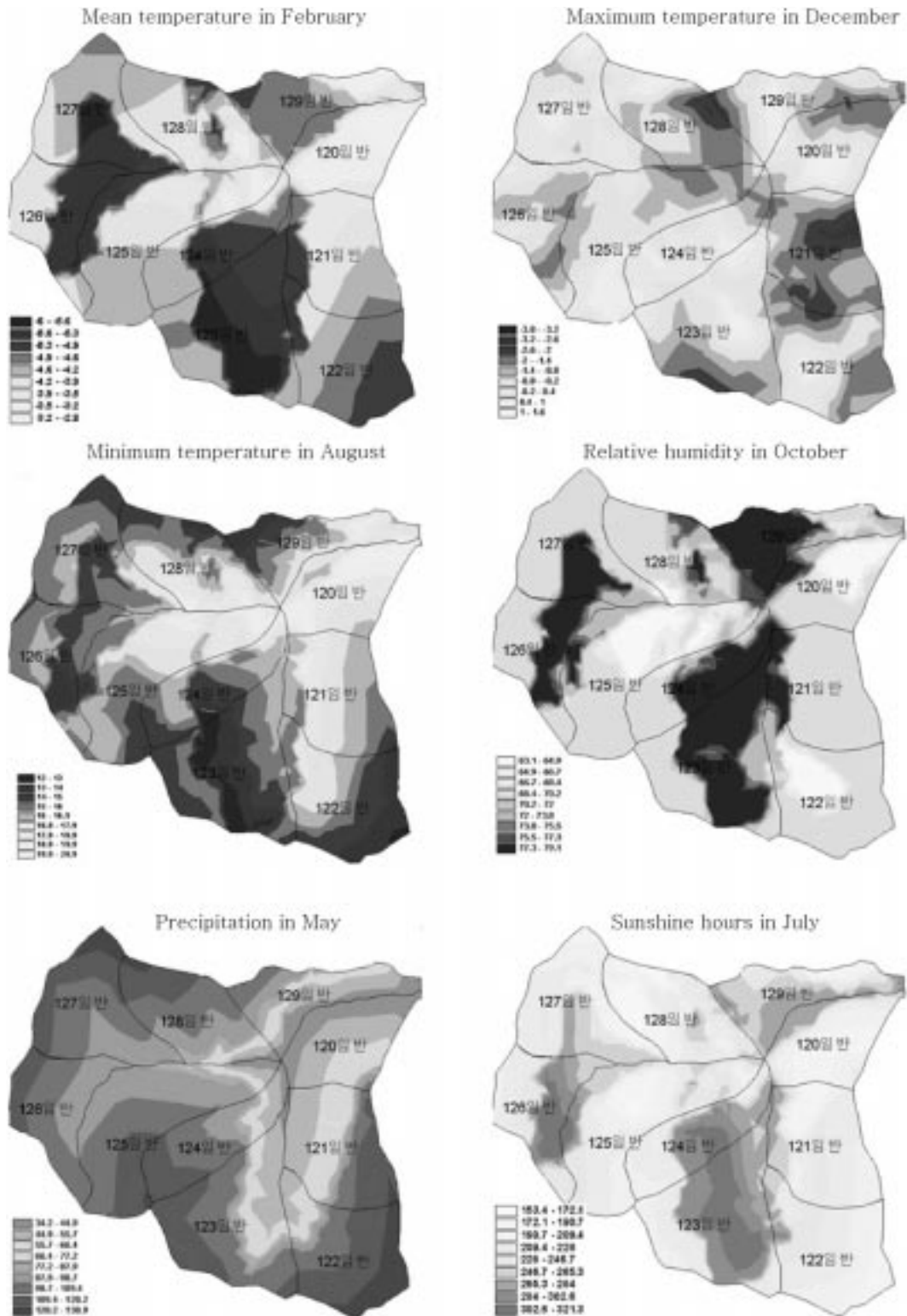


Fig. 1. Monthly distribution of six climatic estimates in the study area.

도가 높은 것으로 나타났으며, 전체적으로 지형적인 분포와 해발고도의 차이에 따른 온도분포를 분명하게 보여주고 있는 것을 알 수 있다. 이는 다른 달보다는 다소 적은 평균표고와 서사면 개방도의 2개의 지형변수에 의하여 2월 평균기온이 설명되고 있어, 해발고도로부터 계산되는 평균표고의 영향이 강하게 나타난 결과라고 볼 수 있다.

연구 대상지의 12월 최고기온 분포를 보면 전체 2,396개의 격자점 간에는 12월의 최고기온은 $-2.6 \sim 1.9^{\circ}\text{C}$ 의 분포를 보이고 있는데, 12월 최고기온 추정식에 선택된 지형인자를 보면 격자점별 평균표고, 남사면 개방도, 그리고 평균경사 등의 지형인자가 복합적으로 작용한 것을 알 수 있다. 일반적으로 알려져 있는 것과 같이 해발고도가 높아짐에 따라 일정하게 온도가 낮아지는 일률적인 경향은 찾을 수 없으나 지역적인 기온분포의 경향은 뚜렷하게 나타나고 있는 것을 볼 수 있다.

한편 연구 대상지의 8월 최저기온 분포를 보면 해발고도에 따른 기온분포가 뚜렷한 차이를 보이는 것으로 나타났다. 8월 최저기온의 추정식에는 북사면 개방도와 서사면 개방도를 포함하여 해발고도(ELEV)가 독립변수로 포함되어 있어 해발고도에 따른 지역적 최저기온의 분포가 확연하게 차이가 나는 것을 알 수 있다.

또한 연구 대상지의 10월 상대습도 분포는 일부 해발고도가 낮고 계곡 부위인 121임반과 124임반의 경계 및 129임반 지역이 상대적으로 습도가 높은 것으로 나타났지만 지역적인 일정한 경향은 찾아 볼 수 없다. 10월 상대습도의 추정에는 서사면 개방도와 북사면 개방도가 포함되어 다른 지형변수의 영향보다는 주변 지역의 개방 정도가 가장 영향을 많이 미치기 때문에 이러한 분포를 보이고 있음을 알 수 있다.

연구 대상지의 5월 강수량 분포는 평균경사와 서사면 개방도에 의하여 가장 잘 추정되고 있는데, 강수량 분포를 보면(Fig. 1) 해발고도에 따라 강수량의 분포가 확연히 다르게 나타나고 있음을 알 수 있다. 이는 평균경사(AVG) 지형변수가 주변 격자점과의 해발고도 차이에 의한 평균경사를 표현한 것이기 때문에 해석되며, 특히 계곡과 능선에 따른 분포가 확연히 드러나고 이러한 지형적인 특성의 차이에 따라 평균 경사의 값이 달라지기 때문에 판단된다.

마지막으로 연구 대상지에 대한 7월 일조시수의 분

포는 해발고도가 그다지 높지 않은 123임반과 124임반의 일부 지역이 일조시수가 가장 높게 분포되어 있으며, 해발고도가 가장 낮은 120임반과 129임반의 경계 지역이 상대적으로 높게 나타났다. 또한 1000 m 이상의 높은 지역에서는 126임반에서 비교적 높은 일조시수 분포를 보이고 있어 지형적으로 어떤 특징적인 분포를 찾을 수는 없다. 7월의 일조시수를 결정하는 지형변수로는 북사면 및 서사면 개방도와 함께 주변 격자점과의 표고차(ELDI) 등이 복합적으로 작용한 결과로 추측된다.

3.1.2. 연구 대상지의 입지유형별 미기후 추정

이상과 같이 얻어진 6개 기후치에 대한 월별 기후 평년값으로부터 도출된 연구 대상지의 입지유형별 17개 기후 변수는 Table 3과 같다. 온량지수(X_1)의 경우 1,000 m 이상의 지역이 다른 지역보다 전체적으로 높은 값을 나타내고 있으며, 지형별로 비교하였을 때에는 1,000 m 이상인 지역과 700 m 미만인 지역에서는 능선이 가장 높은 값을 나타냈으나, 700~1,000 m 지역은 사면이 가장 높은 것으로 파악되었다. 700 m~1,000 m인 지역과 700 m 미만인 지역에서 입지유형간의 온량지수의 편차는 약 $2 \sim 3^{\circ}\text{C}$ 로 나타났으나, 1,000 m 이상인 지역에서 입지유형간의 차이는 약 5°C 로 비교적 큰 차이를 보이고 있다.

한랭지수(X_2)에 대한 해발고도간의 비교에서는 700 m 미만인 지역이 가장 크게 나타났으며, 다음으로는 700~1,000 m인 지역과 1,000 m 지역의 순으로 나타났다. 각 고도별로 지형간의 비교에서는 1,000 m 이상인 지역과 700~1,000 m인 지역에서는 사면의 한랭지수의 값이 가장 큰 수치를 보였으며, 700 m 미만인 지역에서는 능선, 계곡, 사면의 순으로 큰 값을 나타냈다. 입지유형간의 편차도 3°C 로 그다지 차이가 크지 않음을 알 수 있다.

한편 건조지수의 경우 한랭지수와 유사한 경향을 나타내고 있는데, 700 m 미만인 지역의 한랭지수 값이 가장 크게 나타났으나, 지형별 비교에서는 1,000 m 이상인 지역과 700 m 미만인 지역에서는 사면의 건조지수가 높게 나타났음을 알 수 있다. 상대습도를 이용하여 얻은 3가지 기후변수인 X_4 , X_5 , X_6 는 700 m 미만인 지역의 값이 높게 나타났으며, 지형 조건에 따라서는 사면의 값이 가장 높고, 계곡, 능선의 순으로 값이 크게 나타났다. 강수량에 관련된 기후변수 값들은 700~1,000 m 지역에서 다른 해발고도에 비해 높은

Table 3. Estimates of 17 weather variables for nine site types in the study area

Weather Variables	Study Sites								
	Higher than 1,000 m			7001,000 m			lower than 700 m		
	Ridge	Slope	Valley	Ridge	Slope	Valley	Ridge	Slope	Valley
X ₁	96.5	91.5	94.5	88.2	90.7	91.2	87.5	85.5	86.8
X ₂	26.1	29.9	26.0	27.7	30.8	28.1	35.4	31.5	33.0
X ₃	138.9	147.5	143.3	158.8	156.3	155.5	161.9	165.2	158.6
X ₄	68.0	70.3	69.2	71.0	70.7	68.9	79.6	113.1	109.4
X ₅	71.5	70.4	70.2	70.5	71.3	69.6	83.1	110.3	121.3
X ₆	27.2	25.8	26.0	25.6	26.0	25.4	26.1	39.2	62.2
X ₇	1400.5	1389.2	1410.0	1461.5	1460.1	1510.0	1419.3	1473.6	1417.2
X ₈	116.7	115.8	117.5	121.8	121.7	125.8	118.3	122.8	118.1
X ₉	1260.2	1191.7	1211.8	1229.9	1282.8	1316.3	1195.8	1244.3	1202.5
X ₁₀	379.2	398.1	393.3	397.9	386.1	401.8	401.0	397.5	402.0
X ₁₁	140.3	197.6	198.2	231.6	177.3	193.7	223.5	229.2	214.7
X ₁₂	187.6	204.7	210.8	233.2	209.3	214.3	238.1	242.3	234.7
X ₁₃	2251.3	2456.2	2529.5	2798.1	2511.5	2572.0	2857.2	2907.2	2816.3
X ₁₄	1399.4	1627.0	1730.6	1845.1	1653.9	1809.2	1913.4	1937.1	1880.8
X ₁₅	533.7	672.6	754.2	662.9	651.9	796.0	757.3	737.9	768.9
X ₁₆	69.4	103.6	98.3	100.6	90.5	87.9	118.9	112.9	113.5
X ₁₇	35.5	61.0	54.0	60.3	56.5	57.0	70.1	65.6	69.3

값을 나타냈으며, 일조시수와 관련된 기후변수들은 700 m 미만의 상대적으로 저지대에서 높은 값을 나타냈다. 생육기간과 비생육기간 동안의 월별 최고기온과 최저기온의 차이의 합을 나타내는 X₁₆과 X₁₇은 해발고도에 따른 입지유형별로는 일정한 경향을 보이고 있다. 해발고도가 1,000 m 이상인 고지대에서는 사면이 가장 높은 값을 나타낸 반면, 1,000 m 이하에서는 능선에서 가장 높은 값을 보여 해발고도에 따른 차이를 보이고 있음을 알 수 있다.

3.2. 입지 유형별 임분 현황과 성장 특성

Table 4는 9개 입지유형별로 조사되어 분석된 임분 현황과 직경성장량을 요약한 것이다. 해발고도에 따라 임분 현황은 차이를 보였는데, 해발고도 700 m 이상의 입지 조건에서는 상대적으로 양호한 임상을 유지하고 있었으나, 700 m 미만에서는 비교적 불량한 것으로 파악되었다. 이러한 결과는 연구 대상지에서 그 동안의 시업이 주로 임도가 잘 조성되고 관리되어 온 해발고도 700 m 이상의 지역에 집중되어 온 것에 기

Table 4. Summary of stand statistics and periodic annual increment of diameter at breast height by site types

Site Type	Variable	N/ha	BA/ha (m ²)	V/ha (m ³)	barDBH (cm)	barHT (m)	P.A.I.
Higher than 1,000 m	Ridge	821	24.5	116.4	17.4	10.8	0.24
	Slope	792	20.9	106.2	16.3	10.7	0.25
	Valley	759	16.0	75.7	14.8	10.1	0.24
700~1,000 m	Ridge	740	20.3	137.2	17.3	15.0	0.28
	Slope	999	16.4	99.2	13.0	12.7	0.30
	Valley	1014	14.5	95.5	12.4	13.7	0.27
Lower than 700 m	Ridge	1018	12.5	67.2	11.4	11.5	0.31
	Slope	761	10.0	56.3	12.0	11.5	0.36
	Valley	762	11.7	75.1	12.6	13.3	0.37

인하는 것으로 판단된다.

임분밀도를 나타내는 ha당 본수의 경우에는 입지유형별로 어떤 특징적인 차이를 찾을 수 없었다. 다만 해발고도 1,000 m 이상의 지역에서는 입지조건이 능선, 사면, 또는 계곡에 관계없이 759~821본의 비교적 고른 분포를 보이고 있었다. 그러나 해발고도 700~1,000 m의 지역과 700 m 미만에서는 입지조건별로 약 250본 정도의 차이를 보이면서 740~1,018본의 범위에 있었다. 한가지 특징적인 것은 해발고도 700~1,000 m의 지역에서는 계곡, 사면, 능선의 순서로 본수가 많았지만 700 m 이하에서는 능선에서의 본수와 가장 많았고 계곡과 사면은 거의 차이가 없는 것으로 나타났다.

천연림의 임분밀도 추정에 더 합리적인 ha당 흉고단면적을 보면 본수분포와는 다소 다른 경향을 보이고 있다. 해발고도 700 m 이상에서는 능선의 경우에 본수가 다른 입지조건과 유사하거나 또는 적음에도 불구하고 평균 흉고직경이 커서 사면이나 계곡보다 ha당 흉고단면적이 훨씬 큰 것으로 추정되었다. 반면에 해발고도 700 m 미만의 지역에서는 능선의 평균 흉고직경이 사면이나 계곡보다 오히려 작지만 본수가 많은 관계로 흉고단면적은 높게 추정되었으나 그 차이는 크지 않은 것으로 확인되었다. 해발고도에 따른 평균 흉고직경은 고도가 높을수록 크지만 평균 수고의 경우에는 해발고도 700~1,000 m의 범위가 가장 우수하였지만, 해발고도 1,000 m 이상에서는 입지조건에 관계없이 평균 수고가 10.1~10.8 m로 나타났는데, 이것은 기후조건에 의한 수고생장의 제한이 있는 것으로 판단되기 때문이다.

입지유형별 ha당 재적을 보면 해발고도 700~1,000 m에서 가장 양호한 분포를 나타내고 있으며, 해발고도 1,000 m 이상에서도 능선과 사면은 100 m³ 이상의 양호한 축적을 보유하고 있으나 계곡지역은 상대적으로 낮은 축적을 가지고 있는 것으로 나타났다. 하지만 해발고도 700 m 미만의 지역은 전체적으로 가장 낮은 축적을 보유하고 있는 것으로 파악되었다.

해발고도 700 m 이상에서는 직경 및 수고생장이 우수하여 양호한 임상과 생육조건을 나타내고 있으며, 입지조건에 따라 능선, 사면, 계곡의 순서로 좋은 임상을 보유하고 있다. 하지만 700 m 미만의 지역에서는 임분조건이 계곡, 능선, 사면의 순서로 양호하여 다른 지역과는 다소 다른 경향을 보이고 있다. 특히

해발고도 700~1,000 m 지역에서 능선의 직경 및 수고분포가 가장 양호한 성장상태를 보이고 있는 것으로 나타났다.

해발고도에 따른 최근 5년 간의 흉고직경 성장량을 보면 해발고도가 가장 낮은 700 m 미만의 지역에서 생장이 가장 양호하고 해발고도가 높아짐에 따라 생장이 저조한 경향을 보이고 있다. 이는 일반적으로 알려져 있는 바와 같이 해발고도에 따른 기후변화가 성장에 영향을 미치는 것을 의미하며, 결과적으로 해발고도에 따른 무육과 경영계획의 수립이 차별적으로 이루어져야 하는 점을 시사하는 것이다.

동일한 해발고도의 범위 내에서 입지유형에 따른 생장의 차이는 해발고도 1,000 m 이상과 700 m 미만에서는 거의 그 차이를 인정할 수 없었지만, 해발고도 700~1,000 m 사이의 지역에서는 사면의 생장이 능선이나 계곡에 비하여 우수함을 알 수 있다. 또한 등급별 생장은 등급이 클수록 성장량이 증가하고 있는데, 이는 이령림의 일반적인 성장패턴과 일치하는 것이다. 일반적으로 천연 활엽수림에서는 동령림과는 달리 시간이 경과하면서, 즉 직경이 커질수록 주변 임목과의 경쟁에서 유리한 위치를 차지하기 때문에 성장량이 증가하는 것으로 알려져 있다(Kramer, 1988).

3. 입지 유형별 미기후 조건과 성장과의 관계

입지유형별로 차이를 보이고 있는 17개 기후변수가 흉고직경 정기평균 성장량에 어떠한 영향을 미치는지를 밝히기 위하여 상관분석을 실시한 결과는 Table 5와 같다. 입지유형별 직경생장에 영향을 미치는 기후변수 중에서 건조지수, 월 평균 상대습도, 그리고 성장기간 동안의 상대습도 평균값은 양의 상관관계를 나타냈으며, 온량지수와는 음의 상관관계가 인정되었다. 잣나무 임분을 대상으로 한 기존의 연구(전상근 등, 1999)에서는 연평균 강수량이 직경생장과 양의 상관관계를 보이고 있으며, 연중 일조시수의 합계와 비생장기간의 최고기온과 최저기온 차이의 합계는 음의 상관관계를 가지고 있는 것으로 보고되었는데, 이는 본 연구의 결과와는 다소 다른 경향을 보였다. 그러나 천연 활엽수림의 생장은 침엽수인 잣나무와는 다르고 연구 대상지의 입지조건이 현저히 다르기 때문에 상이한 결과를 보인 것으로 판단된다. 한편 Weihe(1979)는 직경생장은 5월과 7월의 강수에 의해 촉진되고, 7, 8월의 높은 기온에 의해 둔화되었다고 보고하였는데, 본

Table 5. Analysis of correlation between periodic annual increment of diameter at breast height and 17 weather variables

Weather Variables	Periodic Annual Increment
	DBH
X ₁	-0.57554**
X ₂	0.40931*
X ₃	0.60685**
X ₄	0.75067**
X ₅	0.64965**
X ₆	0.63814**
X ₇	0.28517
X ₈	0.28532
X ₉	0.02007
X ₁₀	0.25225
X ₁₁	0.44658*
X ₁₂	0.56125**
X ₁₃	0.56125**
X ₁₄	0.43538*
X ₁₅	0.16964
X ₁₆	0.40775*
X ₁₇	0.39597*

* Significant at 5% level.

** Significant at 1% level.

Table 6. Regression coefficients of climatic parameters to periodic annual increment of diameter at breast height

Dependant Variable	Regression Equation	R ²
DBH Increment	$Y = -0.1515 + 0.0018X_3 + 0.0020X_4$	0.62

연구에서는 평균기온을 나타내는 온량지수가 성장과 음의 상관관계를 가지는 것으로 분석되어 유사한 결과로 해석할 수 있다.

Table 6은 9개 입지유형별로 나타나는 흉고직경의 정기평균 성장량의 차이가 17개 기후변수 중에서 어느 변수에 의하여 가장 잘 설명되는가를 밝히기 위하여 회귀분석을 실시하여 기후-정기평균 성장량 최적식을 작성한 것이다. 천연 활엽수림의 입지유형에 따른 직경 성장량은 건조지수와 성장기간 동안의 월 평균 상대습도에 의하여 추정할 수 있는 것으로 밝혀졌다. 본 연구에서 얻어진 최적 회귀식의 결정계수는 0.62로서 비교적 낮은 것으로 나타났는데, 이는 조사된 자료가 상대적으로 적은 것에 기인하는 것으로 판단된다.

Kramer(1982)는 직경생장이 지구광선 및 온도에 크

게 영향을 받는다고 하여 본 연구의 결과와 다소 다른 경향을 보이고 있으나, 신만용 등(1999)의 연구에서는 직경생장은 월평균 강수량에 의하여 추정이 가능하다고 보고하였는데, 이는 본 연구와 동일한 것으로 밝혀졌다. 또한 수고생장과 단면적 성장도 건조지수가 가장 많은 영향을 미치는 결과를 보고하여 결국 임목의 성장에는 수분 조건이 크게 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. 따라서 본 연구의 결과와 건조지수가 연 강수량에 대하여 정의 관계를 나타내는 것임을 고려하면, 입지유형별 천연 활엽수림의 흉고직경 성장에 영향을 미치는 인자는 수분 조건과 관련된 기후변수로 생각할 수 있다.

IV. 적 요

본 연구는 천연 활엽수로 이루어진 가리왕산 지역에 대하여 활엽수림의 성장 특성을 구명하고, 지역별 미기후 조건을 지형-기후 관계식의 개발을 통한 지형기후학적 방법에 의하여 추정함으로써 환경요인으로서 지역별 기후 조건이 조사 대상지의 임목 성장에 미치는 영향을 파악하고자 한다. 입지 유형별 임분 현황을 보면 해발고도 700 m 이상의 입지 조건에서는 상대적으로 양호한 임상을 유지하고 있으나, 700 m 미만에서는 비교적 불량한 것으로 파악되었다. 임분밀도를 나타내는 ha 당 본수의 경우에는 입지유형별로 특징적인 차이를 찾을 수 없었으며, ha당 흉고단면적을 보면 본수분포와는 다소 다른 경향을 보이고 있다. 해발고도에 따른 평균 흉고직경은 고도가 높을수록 크지만 평균 수고의 경우에는 해발고도 700~1,000 m의 범위가 가장 우수한 것으로 나타났다. 입지유형별 ha당 재적으로 보면 해발고도 700~1,000 m에서 가장 양호한 분포를 나타내고 있었다.

입지 유형별 천연 활엽수림의 흉고직경의 정기평균 성장량을 해발고도별로 비교해 보면 해발고도 700 m 미만인 지역이 생장이 양호한 것으로 나타났으며, 고도가 높아짐에 따라 생장이 저조한 경향을 보이고 있다.

5년 간의 흉고직경 정기평균 성장량은 건조지수와 월 평균 상대습도, 그리고 성장기간(4~10월) 동안의 상대습도 평균값과 양의 상관관계를 가지고 있는 것으로 나타났으며, 온량지수와는 음의 상관관계가 인정되었다. 흉고직경의 정기평균 성장량의 차이가 어떤 기후변수에 의하여 영향을 받는지를 알아보기 위하여 회귀

분석을 실시한 결과는 건조지수와 생장기간동안의 월 평균 상대습도에 의하여 입지유형별 직경성장량을 추정할 수 있는 것으로 파악되었다.

하지만 생장에 영향을 미치는 환경요인은 기후인자 외에 지형 및 토양특성 등 많은 다른 요인이 복합적으로 작용한다. 또한 다양한 수종이 동일한 공간에 존재하는 천연 활엽수림은 임목의 크기와 임령이 다양하기 때문에 이에 따른 임목간의 경쟁이 생장에 영향을 미치는 것이 사실이다. 따라서 앞으로의 연구에서는 지형, 토양, 미기후 조건, 그리고 임목 간의 경쟁관계가 종합적으로 고려된 환경요인에 의한 성장특성을 파악하는 연구가 필요하다. 아울러 본 연구에서와 같이 지형기후학적 방법에 의하여 추정된 미기후를 통하여 보다 정확한 결과를 얻기 위해서는 무인자동기상관측망의 설치를 통하여 이를 검증하는 작업이 필요하다.

감사의 글

본 연구는 산림청에서 지원한 “환경친화적 조림기술과 지속가능한 산림관리 기술 개발 연구(I)”에 의하여 수행된 연구 결과의 일부입니다. 연구비 지원에 감사드리며, 본 논문을 세심하게 심사하여 논문의 질을 높여 주신 심사위원들께도 감사드립니다.

인용문헌

- 과학기술처, 1992: 전국 그물망 기후값 추정 및 기후도 작성연구(III), 379p.
- 김광식, 1975: 농업기상학, 향문사, 331p.
- 노의래, 1983: 기상인자에 의한우리나라 삼림수종의 생육 범위 및 적지적수에 관한 연구, 한국임학회지, **62**, 1-18.
- 산림청, 1992: 국유림 경영 현대화 산학 협동 실연 연구(III)
- 산림청, 2000: 환경친화적 조림기술과 지속가능한 산림관리 기술 개발 연구(1), 73-128.
- 손영모, 정영관, 1994: 지형, 토양 및 기상인자가 해송의 수고생장에 미치는 영향, 한국임학회지, **83(3)**, 380-390.
- 수자원공사, 1993: 임하 및 주암 다목적댐 건설에 따른 기상환경 변화 조사(2차), 306p.
- 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
- 임경빈, 1985: 조림학원론. 조림학원론, 491p.
- 전상근, 신만용, 정동준, 장용석, 김명수, 1999: 지역별 잣나무 초기성장 특성과 미기후의 영향. - 정기평균성장량과 미기후와 관계. 한국임학회지, **88(1)**, 73-85.
- 정영관, 이부권, 박남창, 1982: 기상인자가 삼나무 및 편백의 활착률, 직경성장 및 수고생 장과의 관계 -진해지방을 중심으로-, 경상대 논문집, 21, 117-120.
- 정태현, 이우철, 1965: 한국삼림식물대 및 적지적수론. 성대논문집, **10**, 329-435.
- Hopkins, J. W., 1968: Correlation of air temperature normals for the Canadian Great Plains with latitude, long, and altitude. *Weather and Climate Jour. of Earth Science*, **5**, 199-210
- Kramer, H, 1982: Kurzfristige Zuwachsreaktionen bei Buche in Abfängigkeit von Witterung und verschiedenen Baummerkmalen. *AFJZ* **153**, 57-67.
- Kramer, H, 1988: Waldwachstumslehre. Paul Parey, 374p.
- 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.
- 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-break. *Soil Sci*, **112(5)**, 357-363.
- Weihe, J., 1979: Ertragskundliche zur Fichtendurchforstung. *FoHo*, **34**, 7-12.
- Yim, Y. J., 1977: Distribution of vegetation and climate in the Korean peninsula. *Jap. J. Ecol.*, **27**, 177-189.