

## 局地氣候가 잣나무 次代檢定林의 年度別 毬果 結實量에 미치는 影響

申萬鏞<sup>1</sup> · 張容碩<sup>2</sup> · 韓相億<sup>2</sup> · 金英彩<sup>3</sup>

<sup>1</sup>국민대학교 산림자원학과, <sup>2</sup>임업연구원 임목육종부, <sup>3</sup>경희대학교 임학과

(2002년 6월 9일 접수; 2002년 8월 12일 수락)

## Effects of Local Climatic Conditions on the Yearly Cone Production in Progeny Test Stands of Korean White Pine

Man Yong Shin<sup>1</sup>, Yong-Seok Jang<sup>2</sup>, Sang-Urk Han<sup>2</sup> and Young-Chai Kim<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of Forest Resources, Kookmin University, Seoul 136-702, Korea

<sup>2</sup>Department of Tree Breeding, Kora Forest Research Institute, Suwon 441-350, Korea

<sup>3</sup>Department of Forestry, Kyunghee University, Yongin 449-701, Korea

(Received June 9, 2002; Accepted August 12, 2002)

### ABSTRACT

This study was conducted to reveal the effects of local climatic conditions on the yearly cone production in progeny test stand of Korean white pine. For this, yearly cone production by locality of progeny test stands was first measured and analyzed. The effects of climatic conditions on the cone production was analyzed by the estimation of yearly local climates based on both a topoclimatological method and a spatial statistical technique. From yearly climatic estimates, 19 climatic indices affecting cone production were computed for each of the progeny test stand. The yearly cone productions were then correlated with and regressed to the climatic indices to examine effects of local climatic conditions on the reproductive growth. According to correlation analysis, it was found that some typical climatic indices by locality were significantly correlated with the cone production. Also, the optimal regression equations which can estimate cone production by local climatic conditions were provided for applying to each of the progeny test stand of Korean white pine.

**Key words** : Korean white pine, cone production, local climatic conditions, spatial statistical technique, topoclimatological method

### I. 서 론

잣나무는 목재생산과 잣 종자생산이라는 이중적 가치를 가지고 있을 뿐만 아니라 내한성이 강하고 소나무류 가운데 비교적 병충해에 대한 저항력이 강하여 1960년대 이후 2차에 걸친 산림녹화 10개년 계획에 따라 장기 용재수종으로 정부가 식재를 적극 장려하여 왔다. 또한 최근 5년간 우리 나라 전체 조림물량의 31%를 차지할 정도로 주요한 경제수종 중의 하나이다 (이재선 등, 1999).

그러나 대면적에 조성된 잣나무림은 인건비의 급등과 구과 채취를 위한 등목의 위험성, 농산촌 노동 인력의 노령화 및 저가의 중국산 잣의 수입과 연간생산량의 팽흥 주기성 등으로 인하여 잣 생산을 통한 수익을 기대하기가 어려운 실정에 이르렀다. 이러한 현실에서 잣나무림의 수익증대를 위해서는 고품질의 종자를 증산시킬 수 있는 부가가치가 높은 임분 조성으로의 유도가 필수적이며, 이를 위해서는 잣나무의 생식생장(구과 및 종자) 특성을 발현하는데 근본적인 영향을 미치는 유전적 소질의 개량과 동시에 적합한 환

경 조성, 즉 적절한 입지선정과 최적의 환경을 위한 생태학적 관리가 요구된다.

한편, 잣나무는 다른 수종에 비하여 기상변동에 비교적 민감하게 반응하는 것으로 알려져 있어(한상섭과 박완근, 1988), 경제성이 높은 임분으로 조성하기 위해서는 기후영향과 관련한 국지적 기후조건이 잣나무의 생식생장에 미치는 영향을 구명하여 종자생산을 목적으로 하는 임분을 별도로 조성할 필요가 있다. 그러나 우리나라의 정규기상관측망은 밀도가 낮아 산림지역의 국지기상을 파악하여 잣나무 구과 결실에 미치는 국지기후 조건을 구명하는데는 한계가 있다.

최근 지형인자를 이용하여 미관측 지점의 국지기상을 일정한 격자단위로 추정할 수 있는 그물망 기후추정법(Nakai, 1987; Okamura, 1987; 신만용과 윤진일, 1992)이 활용되고 있다. 이 기법은 격자별 지형인자와 실측 기후치로부터 지형-기후 관계식을 추정·적용함으로써 월별·기후치별 평년값을 제공하는 것이다. 한편 이와 같이 얻어진 기후 평년값과 정규기상관측소에서 수집한 연도별·월별 실측 기상자료, 그리고 미관측 격자점과 정규기상관측소간의 거리 가중치를 고려한 공간통계기법을 이용하면 연도별 미관측 지점의 월별 기상분포의 복원이 가능하다(신만용 등, 1999).

따라서 본 연구는 잣나무 종자다산계 선발육종을 목표로 3개 지역(경기도 가평, 광주, 충청북도 영동)에 조성된 20년생 품매차대검정림에 대하여 연도별 국지기후 조건을 지형기후학적 방법과 공간통계기법에 의하여 추정함으로써 구과의 결실에 미치는 국지기후의 영향을 파악하여 우량종자의 생산을 증대하는데 필요한 기초정보를 제공하고자 하는 목적으로 수행하였다.

## II. 재료 및 방법

### 2.1. 연구 대상지

강원도 홍천군 북방면 북방리에 소재하는 잣나무 인공식재림(1974년 당시 45년생)에서 5년 동안 착과량이 우수했던 모수 25본을 선정하여 1979년 9월 초순 이들 선발모수로부터 구과를 채취, 모수별로 종자를 정선하여 경기도 광주군 퇴촌면 도수리 소재 경희대학교 연습림 묘포장에서 양묘하여, 2-1묘 2,500본(4개 block, 25개 가계, block 당 가계별 반복 25개)을 1983년 3월 하순 경기도 가평군 가평읍 개곡리, 광주군 퇴촌면 도수리, 그리고 충청북도 영동군 상촌면 유

곡리 소재 경희대학교 연습림 시험구에 난괴법(1.8 m × 1.8 m 간격)으로 식재하였다. 한편 조성된 차대검정림은 매년 정상적인 무육작업을 실시하였으며, 시비는 전혀 실시하지 않았다.

### 2.2. 조사방법

1983년에 산지(產地)에 식재한 후 경기도 가평, 광주, 그리고 충청북도 영동 지역의 잣나무 품매 차대검정림을 대상으로 매년 영양생장과 생식생장에 대한 특성 조사를 실시하였다. 수고는 생장이 완전히 정지한 후 m 단위로 측정하였고, 근원직경은 calliper를 이용하여 5~18년생까지(1997년) 측정하였으며, 흉고직경은 16년생부터(1995년) 지상에서 1.2 m 지점을 직경테이프를 사용하여 cm 단위로 측정하였다. 착과수에 대한 조사는 매년 각 임목의 정단부에 달려 있는 성숙구과의 개수를 임목별로 조사하였으며, 5~20년생까지 매년 임목의 정단부에 달려 있는 구과의 개수(착과수)와 구과가 달린 개체목의 개수(착과본수)를 조사하여 성숙구과의 결실량으로 하였으며 연도별·지역별·가계별 특성을 분석하였다. 또한, 이들 자료는 차대검정림별·연도별로 조사 대상목의 수가 다르기 때문에 개체목당 평균값으로 환산하여 국지기후와의 관계를 구명하고자 하였다.

### 2.3. 연구 대상지의 국지기후 추정

환경요인으로서 기상조건이 연구 대상지의 잣나무 구과 결실량에 미치는 영향을 파악하기 위하여 지형기후학적 방법 및 공간통계기법을 이용하여 국지기후를 추정하였다. 이를 위하여 먼저 지형기후학적 방법에 의하여 월별·기후치별 평년값을 추정하고, 공간통계기법에 의하여 연도별·월별 기후치를 산출하였다.

#### 2.3.1. 월별 평년기후값 추정

본 연구에서는 남한 전역에 분포된 70여개의 정규기상관측소 가운데 지리적으로 경기도 가평 및 광주 지역과 가까운 강화, 서울, 인천, 수원, 양평, 이천, 춘천, 홍천, 원주, 제천, 그리고 충주의 11개 정규기상관측소와 충청북도 영동지역과 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)으로 지역별 미기후를 추정하였다.

일반적으로 잣나무의 구과 결실량을 비롯한 생식생장에 가장 영향을 많이 미치는 기후변수는 수분(受粉) 후 결실까지의 15개월 동안의 일조시수, 흐린 날수, 맑은 날수, 평균기온, 그리고 강수량으로 알려져 있다(김일현, 2001). 먼저 이상의 5개 기상인자를 월별, 관측소별로 요약·정리하고 이를 수치화된 지리지형 변수에 회귀시켜 “그물망 기후도” 작성법에 의하여 각 지역에 적용할 수 있는 월별 평년기후값 계산식을 추정하기 위하여, 각 연구 대상지별로 기후값이 수집된 11개 정주기상관측망이 위치한 지점의 지형변수를 정량화 하였다. 정량화된 지형인자는 국지기후값에 영향을 미치는 총 17종류 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 수집·이용하였다. 이 해발고도 자료를 이용하여 연구 대상지 주변 11개 기상관측소의 격자점을 중심으로 사방 2' 30" (약 4.5 km) 범위까지의 격자점에 대하여 지형변수를 정량화 하였다.

수집된 기상관측소 격자점에 대한 기후값과 정량화된 지형자료를 이용하여 경기도 가평과 광주 그리고 충청북도 영동 지역에 적용할 수 있는 월별 평년기후

값 추정회귀식을 작성하였다. 우선 월별·기후치별로 후보지형인자를 선정한 후, 다중선형 회귀분석 기법에 의하여 추정식을 작성하였다. 중회귀계수의 추정은 가장 일반적으로 사용되는 최소자승법을 이용하였고, 월별·기후치별 최적 독립변수의 조합을 선택하기 위하여 전향선택법을 채택하여 변수선택과 회귀계수를 추정하였다. 이와 같이 연구 대상지별로 각각 작성된 60개의 월별·기후치별 지형-기후 추정식을 각 연구 대상지에 적용시키기 위하여, 잣나무 차대검정림이 조성된 각 지점의 위도 및 경도 정보를 이용해 해당 격자점의 지형인자를 정량화 하였다. 이것을 사방 5개의 격자(2' 30")의 지형을 고려하여 모두 162개의 지형인자를 수치화 하여 파일로 저장하였다. 이상과 같이 수치화된 지형인자를 앞에서 얻은 월별·기후치별 평년 기후값 산출 회귀식에 적용하여 각 차대검정림에 해당하는 격자점의 5개 기상인자에 대한 월별 평년기후값을 추정하였다.

2.3.2. 연도별·월별 기후값 산출

잣나무 임분의 생식생장에 미치는 국지기후 조건을 구명하기 위해서는 연도별 기후의 복원이 필수적이다. 이를 위해 거리역산가중법(inverse distance squared weighting)(Seino, 1993; 신만용 등, 1999)에 의하여 차대검정림이 위치한 가평, 광주, 그리고 영동 지역으로부터 지리적으로 인접한 6개 지점씩(Table 1)의 기상관측소를 선택하였다. 따라서 이들 지점에 대한 년

Table 1. Description of the weather stations from which the climatic and topographical data were collected

Site	Station No.	Station name	Latitude	Longitude	Distance(km)
Kapyung	101	춘천	37° 54'	127° 44'	18.4
	212	홍천	37° 41'	127° 53'	39.5
	202	양평	37° 29'	127° 30'	42.0
	203	이천	37° 15'	127° 29'	64.6
	211	인제	38° 03'	128° 10'	67.7
	114	원주	37° 20'	127° 57'	70.9
Gwangju	202	양평	37° 29'	127° 30'	42.0
	203	이천	37° 15'	127° 29'	64.6
	108	서울	37° 34'	126° 58'	45.0
	119	수원	37° 16'	126° 59'	45.9
	212	홍천	37° 41'	127° 53'	61.2
	101	춘천	37° 54'	127° 44'	62.7
Youngdong	135	추풍령	36° 13'	128° 0'	14.1
	279	구미	36° 14'	128° 18'	43.3
	226	보은	36° 29'	128° 44'	44.3
	238	금산	36° 6'	127° 28'	48.6
	133	대천	36° 18'	127° 24'	59.2
	273	문경	36° 37'	128° 9'	59.6

도별 기후 실측값, 기후 평년값, 연구 대상지의 기후 평년값, 그리고 연구 대상지와 이상의 각 기상관측소 간의 거리를 이용하여 차대검정림에 대한 1987년부터 2000년까지 14년간의 월별 평균기온, 강수량, 일조시수, 맑은 날수, 그리고 흐린 날수를 추산하였다(식 (1)).

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

여기서,  $d_0$  = 차대검정림 해당 격자점의 기후 편차값,  $T_j$  =  $j$  번째 기상관측소의 해당 년도 기후 실측값,  $A_j$  =  $j$  번째 기상관측소 해당 격자점의 기후 평년값,  $R_j$  = 차대검정림 해당 격자점에서  $j$  번째 기상관측소까지의 거리이다.

식 (1)에 의하여 계산된 각 차대검정림의 1987년부터 2000년까지 14년간의 기후치별 편차값을 앞에서 얻은 해당 격자점의 평년 기후값에 더하여 연도별·월별 기후값을 산출하였다(식 (2)).

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

여기서,  $T_0$  = 연구 대상지의 연도별, 월별 기후 추정치,  $A_0$  = 연구 대상지의 월별 기후 평년값이다. 차대검정림

중에서 가장 먼저 구과가 착과된 지역은 가평으로 9년생인 1988년에 최초로 착과되기 시작하였다. 하지만 본 연구에서 연도별 기후자료의 복원은 1987년부터 이루어졌다. 그 이유는 잣나무 생식생장은 당해 연도의 기후조건 뿐만 아니라 이전 연도의 기후에도 영향을 받기 때문에 연구 대상지에 대한 1987년부터 2000년까지의 월별 기후 추정치 자료가 생성되었다.

#### 2.4. 국지기후가 생식생장에 미치는 영향 분석

잣나무는 수분 이후 수정이 이루어지기까지 1년이 소요되는 것으로 알려져 있다. 5월에 수분이 되고 그 후 1년이 걸려 수정을 한 다음, 그 해 8월에 종자가 성숙되기까지는 총 15개월이 소요된다. 따라서 이 기간 동안의 기후조건이 잣나무 결실량에 크게 영향을 미치는 것으로 예상된다. 본 연구에서는 수분 시점인 결실 전년도 5월의 몇 가지 기후조건과 수분 후 결실까지의 15개월 동안의 일조시수, 흐린 날수, 맑은 날수, 평균기온, 강수량 등과 개화수분 및 수정결실 단계의 기후조건을 고려하여 총 19개의 기후지수(Table 2)를 추정하여 2년생 구과의 착과수 즉 결실량에 미치는 영향을 분석하였다. 연도별 생식생장 자료와 기후지수와의 상관분석을 실시하였으며, 각 구과 형질과 기후지수와의 관계를 추정할 수 있는 최적 회귀식을

**Table 2.** Climatic indices used for the estimation of two years old cone production

Climatic Variables	Description
X <sub>1</sub>	Total sunshine hours from June of the flowering year to August of the cone production year
X <sub>2</sub>	Total sunshine hours from November of the flowering year to March of the cone production year
X <sub>3</sub>	Total sunshine hours from December of the flowering year to February of the cone production year
X <sub>4</sub>	Sum of cloudy days from June of the flowering year to August of the cone production year
X <sub>5</sub>	Sum of cloudy days from November of the flowering year to March of the cone production year
X <sub>6</sub>	Sum of cloudy days from December of the flowering year to February of the cone production year
X <sub>7</sub>	Sum of clear days from June of the flowering year to August of the cone production year
X <sub>8</sub>	Sum of clear days from November of the flowering year to March of the cone production year
X <sub>9</sub>	Sum of clear days from December of the flowering year to February of the cone production year
X <sub>10</sub>	Average of mean temperature from June of the flowering year to August of the cone production year
X <sub>11</sub>	Average of mean temperature from November of the flowering year to March of the cone production year
X <sub>12</sub>	Average of mean temperature from December of the flowering year to February of the cone production year
X <sub>13</sub>	Total precipitation from June of the flowering year to August of the cone production year
X <sub>14</sub>	Total precipitation from November of the flowering year to March of the cone production year
X <sub>15</sub>	Total precipitation from December of the flowering year to February of the cone production year
X <sub>16</sub>	Clear days of May in the flowering year
X <sub>17</sub>	Cloudy days of May in the flowering year
X <sub>18</sub>	Precipitation of May in the flowering year
X <sub>19</sub>	Mean temperature of May in the flowering year

추정하였다. 최적 회귀식은 결정계수(R<sup>2</sup>)와 회귀계수의 P 값을 기준으로 선발하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 3.1. 지역별 · 임령별 구과 결실량의 특성

5년생부터 20년생까지 임목의 정단부에 달려 있는 2년생 구과의 개수와 구과가 달린 임목의 본수를 지역별 · 임령별로 조사한 결과는 Table 3과 같다. 구과의 착과가 이루어지기 시작한 시기는 가평 지역이 9년생인 1988년에 최초로 착과가 시작되었으며, 광주는 10년생 그리고 영동은 14년생인 1993년에 착과를 시작하여 지역별로 최초의 착과 시점이 다름을 알 수 있다. 또한 지역별 착과수에 있어서도 가평 지역은 6,399개의 구과가 1,736본에 착과되었고, 광주 지역은 3,036개의 구과가 967본에 착과된 반면에 영동 지역은 착과 시기도 늦었을 뿐만 아니라 착과되었던 구과의 개수가 1,000개(298본)에도 미치지 못 하였다.

임령별 착과시점 뿐만 아니라 착과를 시작한 이후 20년생까지의 임목별 평균 착과수를 지역별로 보면, 가평이 0.31개의 구과가 착과된 반면 광주와 영동은 각각 0.21개와 0.08개로 지역별 변이가 심한 것으로 나타났다(Table 4).

가계별로는 3개 지역 모두에서 영양생장 특성에서 우수한 가계로 분석된 8번 가계의 착과수가 122~591개로 가장 많았으며, 지역별로 약간의 차이는 있었으나 3, 11, 15, 21번 가계의 착과 상황이 좋지 않았다. 특히, 영동 지역 15번 가계는 20년생까지 착과가 이루어지지 않았고 다른 두 지역에서만 총 291개의 구과가 착과된 것으로 분석되었다. 또한, 가평 지역의 15년생에서는 다른 지역과 달리 착과가 이루어지지 않았는데 이것은, 청설모와 다람쥐 등과 같은 동물의 피

**Table 4.** Characteristics of yearly cone production by locality used in this study

Year	Stand age	Average number of cone per tree		
		Kapyung	Gwangju	Youngdong
1988	9	0.0175	-	-
1989	10	0.0349	0.0067	-
1990	11	0.0601	0.0322	-
1991	12	0.0197	0.0118	-
1992	13	0.0745	0.0304	-
1993	14	0.7401	0.5053	0.0351
1994	15	-	0.1222	0.0262
1995	16	0.1108	0.1230	0.0049
1996	17	0.2109	0.0401	0.0700
1997	18	0.2683	0.3125	0.0206
1998	19	0.3521	0.2283	0.0064
1999	20	1.8472	0.8628	0.4169
Mean		0.3113	0.2068	0.0829

해 및 인근 주민들의 구과 채취로 인한 결과로 판단된다.

이러한 경향은 동일한 모수로부터 채취한 종자에 의하여 조성된 차대검정림이기 때문에 유전적인 요인보다는 환경적인 요인에 의하여 더 영향을 받은 것으로 판단되며, 다양한 환경요인 중에서도 지역별 기후조건이 착과 시점과 착과수에 영향을 미친 것으로 유추할 수 있다. 또한, 본 연구에서 사용된 3개 지역의 차대검정림은 모두 14년생인 1994년과 20년생인 1999년에 다른 해에 비하여 상대적으로 많은 착과가 된 것을 확인할 수 있다.

일반적으로 잣나무는 결실량의 풍흉주기가 있는 것으로 알려져 있는데, 민경현(1974)은 잣나무 종자의 풍흉주기가 2~3년이라고 보고하여 본 연구의 결과와는 다소 다른 경향을 보이고 있다. 그러나 高樾(1950)

**Table 3.** The number of cone and individuals of cone formation by stand age and sites

Sites	Stand age												Total
	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Kapyung	31 (21)	58 (31)	108 (51)	35 (17)	132 (51)	1,307 (340)	-	193 (79)	365 (127)	462 (167)	601 (207)	3,107 (645)	6,399
Gwangju	-	10 (8)	47 (28)	17 (10)	43 (19)	710 (192)	169 (59)	166 (68)	54 (27)	416 (141)	297 (106)	1,107 (309)	3,036
Youngdong	-	-	-	-	-	51 (27)	38 (17)	7 (3)	99 (49)	29 (14)	9 (5)	582 (183)	815

( ) : The number of individuals cone formation

은 수목의 종자결실은 풍작 이듬해에는 기상조건에 관계없이 흉작을 이루어 임목의 영양상태가 결실에 관계하는 것으로 밝힌 바 있어, 본 연구 대상지와 같은 유령림의 경우에는 풍작 후 영양상태의 불균형 이외에 축적된 양분을 생식성장보다는 우선 영양생장에 많이 소비하기 때문에 구과 결실량의 풍흉주기가 다소 긴 것으로 판단된다.

### 3.2. 연구 대상지의 국지기후 추정

연구 대상지인 경기도 가평과 광주, 그리고 충청북도 영동 지역의 국지기후 추정은 기존의 연구(신만용 등, 1999; 김일현, 2001)에서 지형기후학적 추정기법에 의하여 얻어진 월별 일평균기온, 강수량, 일조시수, 흐린 날수, 그리고 맑은 날수의 5개 기후치에 대하여 월별 다중회귀식을 적용하였다.

#### 3.2.1. 기후 평년값 추정

지역별로 추정된 월별 기후 평년값은 지역별 변이를 잘 표현하고 있어 지형기후학적 방법에 의한 평년기후치의 추정은 큰 문제가 없음을 알 수 있다. 월별로 약간의 변이가 있으나 기온을 연평균으로 비교했을 경우 평균기온은 가평 지역이 가장 낮고 그 다음은 광주와 영동 지역의 순으로 높게 나타났다. 이러한 결과는 주로 세 지역의 위도 차이와 함께 해발고도가 다른 지형적 특성이 복합적으로 작용한 것으로 해석할 수 있다.

강수량의 경우에는 가평과 광주 지역이 영동 지역에 비하여 많은 것으로 나타났다. 강수량은 그 특성상 연간변이가 상당히 심한 기후변수이며 월평균보다는 연간 또는 생육기간 동안의 합계가 임목생장에 영향을 미치는 것으로 예측되는데, 가평과 광주 지역은 비슷한 강수량을 나타내고 있지만 영동의 경우에는 다른 두 지역에 비하여 연 200 mm 정도 강수량이 적은 것으로 나타났다. 강수량은 임목생육에 중요한 영향을 미치는 기상요인임을 고려하면(Carman, 1954; Jackson, 1962; Grace와 Norton, 1990) 영동의 최초 착과 시기가 다른 지역에 비하여 4~5년 늦고 착과수가 적은 것은 강수량 부족이 하나의 중요한 원인인 것으로 추측된다.

지역별 일조시수의 연간 그리고 생육기간 동안의 총시간은 가평과 광주 지역은 비슷하게 나타났으나 영동이 다른 두 지역에 비하여 100시간 가량 많아 강수량과는 반대의 경향을 나타내고 있다. 결국 가평과 광주는 주변의 춘천댐, 청평댐, 그리고 팔당댐 등과 인

공호수의 영향으로 인하여 영동보다 상대적으로 습도가 높고 강수량이 많으며, 이로 인하여 일조시수는 영동에 비하여 낮은 결과를 가져온 것으로 판단된다.

한편 흐린 날수와 맑은 날수의 경우에도 지역별로 차이를 보이고 있다. 흐린 날수와 맑은 날수를 연평균으로 비교할 경우 착과의 시기도 빠르고 착과수도 많은 가평 지역이 흐린 날수 뿐만 아니라 맑은 날수에 서도 광주나 영동 지역에 비하여 많은 것으로 분석되었다. 그러나 광주와 영동의 경우에는 지역간 차이를 찾을 수 없었으나 이들을 월별로 비교하면 상당한 차이를 보이고 있는 것으로 파악되어 흐린 날수와 맑은 날수가 어떤 형태로든 구과 결실량에 영향을 미친 것으로 판단된다.

#### 3.2.2. 풍매차대검정림의 연도별 국지기후 추정

연구 대상지의 연도별 국지기후는 각 차대검정림 주변 6개 기상관측소의 실측 기후치 이외에 거리 및 기후 평년값을 고려한 거리역산기중법(식 (1)과 (2))에 의해 1987년부터 2000년까지 14년간의 월별 평균기온, 강수량, 일조시수, 흐린 날수, 맑은 날수 등 5개의 기후요소를 추정하였다.

거리역산기중법에 의해 임의의 격자점 기후를 정밀하게 추정하기 위해서는 해당 격자점에서 30 km 이내에 존재하는 4~6개의 기상관측소 정보가 필요한 것으로 알려져 있으나(Seino, 1993), 이는 절대적인 기준치는 아니다. Table 1에 나타낸 바와 같이 본 연구에서는 각 차대검정림 격자점 주변의 6개 기상관측소 정보를 이용하였지만, 이 기상관측소들은 가평에 사용된 춘천과 영동의 추풍령을 제외하고는 모두 30 km 이상의 거리에 있음을 알 수 있다. 이는 우리나라의 정규 기상관측소의 밀도가 낮고, 이에 따라 다소 기상관측소와의 거리가 멀기 때문에 발생하는 추정 정도의 문제를 비교적 많은 6개의 기상관측소 정보를 이용함으로써 오차 발생의 문제를 보완하도록 하였다. 따라서 본 연구에서 사용한 방법에 의해 연도별 국지기후 복원에는 큰 문제가 없을 것으로 판단된다.

월별 평균기온의 경우 연도별로 상당한 변이를 보이고 있음을 알 수 있다. 특히 가평 지역은 가을과 겨울의 평균기온이 가장 낮은 것으로 분석되었으며, 여름철에는 지역별 평균기온의 변이가 적음을 알 수 있다. 잣나무가 한냉성 수종임을 감안하면 지역별 기온 조건이 구과 결실량과 관계가 있을 것으로 판단된다. 한편 월별 강수량은 연도간에 편차가 매우 심한 기후

요소이다. 연구 대상지인 경기도 가평과 광주 그리고 충청북도 영동 지역의 14년간의 월별 강수량 추정치도 연도간에 매우 심한 변이를 보이고 있음을 알 수 있다. 그러나 대체적인 경향은 여름철 강수량이 전체의 40~60% 정도를 차지하고 있으며, 나머지 계절에는 상대적으로 강수량이 적으며 특히 겨울철의 강수량이 가장 적은 것으로 나타났다. 또한, 다른 지역에 비하여 강수량이 적은 영동 지역의 경우에는 주로 여름철인 7~8월의 강수량이 다른 지역에 비하여 상대적으로 적은 경향을 보이고 있다.

월별 일조시수의 경우에도 연도별 변이가 심하며, 대체적으로 봄철의 일조량이 많고 특히 5월의 일조시수가 연중 가장 많은 것으로 나타났다. 반면에 겨울에는 강수량도 적지만 일조시수도 적은 것으로 나타나 흐린 날수가 상대적으로 많음을 알 수 있다. 또한 여름에는 강수량이 가장 많기 때문에 상대적으로 봄철보다는 일조시수가 적은 것으로 나타났지만, 특히 가평 지역의 경우에는 연도별로 편차가 매우 심한 것으로 추정되었다. 전체적으로 일조시수는 봄철의 월 합계가 250~300시간 정도이나 여름철에는 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. 흐린 날수는 연간변이가 심하지만 대체적으로 강수량이 많은 여름철이 가장 많은 것으로 나타났다. 반면에 봄철과 가을철의 흐린 날수는 상대적으로 적으며 겨울도 연간변이가 심한 편이지만 비교적 흐린 날수가 적은 것으로 추정되었다.

맑은 날수는 흐린 날수와는 다소 다른 형태의 월별 분포를 보이고 있음을 알 수 있다. 즉, 맑은 날수는 11~2월이 가장 많아 겨울철의 맑은 날수 빈도가 높음을 알 수 있다. 여름철에는 맑은 날수가 가장 적어 흐린 날수와는 상반된 결과를 보이고 있다. 하지만 맑은 날수의 경우에도 월별 분포의 경향을 유추할 수 있지만 연간변이가 심한 것으로 나타났다.

### 3.2.3. 풍매차대검정림의 연도별 기후지수 추정

본 연구에서는 이상과 같이 거리역산가중법을 적용하여 잣나무 차대검정림의 연도별 국지기후를 추정한 자료를 이용하여 잣나무 구과 결실량에 영향을 미칠

것으로 판단되는 19개 기후지수(Table 2)에 대하여 지역별·연도별로 분석하였다.

개화수분 당년부터 익년의 일조시수 합계와 관련된 연도별 기후지수( $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$ )의 경우에는 대체적으로 가평 지역이 가장 높았지만 영동 지역도 비교적 높게 추정된 반면, 광주 지역이 상대적으로 낮은 것으로 나타났다. 개화수분 당년부터 결실년도의 흐린 날수의 합계( $X_4$ ~ $X_6$ )와 맑은 날수의 합계( $X_7$ ~ $X_9$ )는 연도별 그리고 지역별로 변이가 심하여 어떤 특징적인 경향을 찾을 수 없었다. 하지만 평균기온과 관련된 기후지수( $X_{10}$ ~ $X_{12}$ )는 지역별로 뚜렷한 차이를 보이고 있다. 결실까지 15개월간 평균기온의 평균치를 보면 가평 지역이 가장 낮고 광주와 영동 지역은 비슷한 것으로 파악되었다. 잣나무의 생장은 한랭한 기후조건에서 양호한 것으로 알려져 있어(신만용 등, 1999) 영양생장 뿐만 아니라 생식생장도 낮은 기온이 영향을 미치는 것으로 판단된다. 또한 개화수분 11월부터 익년 3월까지 5개월간의 평균기온과 12월부터 2월까지 겨울철 3개월의 평균기온도 가평, 광주, 그리고 영동 지역의 순서로 낮게 추정되었다. 이러한 결과는 주로 세 지역의 위도 차이와 함께 해발고도가 다른 지형적 특성이 복합적으로 작용한 것으로 해석할 수 있다.

구과 결실 이전의 강수량 합계와 관련된 기후지수( $X_{13}$ ~ $X_{15}$ )의 경우에도 지역적으로 뚜렷한 차이를 보이는 것으로 파악되었다. 구과 결실 이전 15개월 동안의 강수량 합계를 살펴 보면, 가평과 광주 지역은 연도별로 비슷한 경향을 보이고 있지만 영동 지역은 연도별로 항상 다른 지역에 비하여 강수량이 적은 것으로 추정되었다. 그러나, 개화수분 11월부터 익년 3월까지 5개월간의 강수량 합계와 12월부터 2월까지 겨울철 3개월의 강수량 합계는 지역별로 큰 차이를 보이고 있지 않다. 또한 연도별로는 영동 지역이 오히려 더 많은 것으로 분석되어 영동이 다른 지역에 비하여 연강수량이 적은 것은 주로 여름철 강수량이 절대적으로 적은 것에 기인하는 것으로 판단된다.

개화수분 당년 5월의 맑은 날수( $X_{16}$ )는 연도별로 변이가 심하지만 대체적으로 영동 지역의 맑은 날수가 가장 많고 가평과 광주 지역은 비슷한 것으로 추정되었다. 하지만 결실 전년도 5월의 흐린 날수( $X_{17}$ )는 지역별 및 연도별로 어떤 특징적인 경향을 찾을 수 없었다. 또한 결실 전년도 5월 강수량( $X_{18}$ )의 경우에도 연도별 변이가 심하지만 대체적으로 가평 지역의 강수

량이 다른 지역에 비하여 많은 것으로 분석되었으며, 평균기온( $X_{19}$ )의 경우에는 대체적으로 광주 지역이 가장 높고 영동 지역이 가장 낮은 것으로 파악되어 연간 평균기온의 지역적 변이와는 다른 경향을 보이고 있다.

### 3.3. 구과 결실량과 국지기후와의 관계

#### 3.3.1. 상관분석

잣나무 차대검정림의 연도별 구과 결실량과 지형기후학적 방법에 의하여 복원된 연도별 19개 기후지수(Table 2)와의 상관관계를 분석한 결과는 Table 5와 같다. 전체적으로 구과 결실량과 기후지수와의 상관관계는 비교적 낮은 것으로 파악되었는데, 이는 잣나무 성숙림의 2년생 구과 결실량과 기후지수와의 관계를 분석한 연구(김일현, 2001)와 동일한 결과이다. 실제로는 어떠한 형태로든 구과의 결실에 영향을 미칠 것으로 판단되지만, 1년생 구과가 착과된 후 2년생 구과가 결실되는 과정에서 상당수의 구과가 다른 요인에 의하여 낙과되기 때문에 최종적인 구과 결실량과 기후요소와의 상관관계가 낮게 추정된 것으로 판단된다. 낙과의 요인으로는 생리적인 요인 이외에 인위적인 요인과 동물에 의한 피해가 있어 기후보다는 이러한 요인에 더 영향을 받은 것으로 추측할 수 있다.

지역별 구과 결실량과 기후지수와의 상관분석 결과를 보면(Table 5), 우선 가평 지역의 경우에는 개화수분 당년의 11월부터 익년 3월까지 5개월간의 호린 날수 합계( $X_5$ )가 상관계수  $r=-0.5781(P=0.0934)$ 로 음의 상관관계를 나타냈다. 이러한 결과는 기후지수와 구과의 결실량 사이에 통계적으로 5% 범위에서 유의적인 상관관계가 인정되지는 않았으나 겨울철 호린 날수가 많으면 결실량이 적어지는 경향을 보여주고 있다. 광

주 지역의 경우에는 동일한 기후지수인  $X_5$  이외에 개화수분 당년 6월부터 결실년도 8월까지 15개월 동안의 일조시수 합계를 나타내는 기후지수인  $X_1$ 과 상관계수  $r=-0.5154$ 로 10% 유의수준에서 음의 상관관계가 있는 것으로 분석되었다. 이는 결실전 15개월 동안의 일조시수 합계가 많으면 결실량이 적어지는 것으로 광합성량이 많으면 영양생장에 소모하는 양이 많기 때문에 상대적으로 구과 결실에는 부정적인 영향을 미치는 것으로 해석할 수 있다.

한편 영동 지역의 경우에는 다른 지역과는 달리 주로 평균기온과 관련된 기후변수가 구과 결실량과 상관이 있는 것으로 파악되었다. 우선 개화수분 당년의 11월부터 익년 3월까지 5개월간 평균기온의 평균치( $X_{11}$ )가 상관계수  $r=-0.9048$ 로 5% 유의 수준에서 상관관계가 인정되었으며, 개화수분 당년의 5월 평균기온( $X_{19}$ )도 10% 수준에서 음의 상관관계가 인정되었다. 즉 5월 하순부터 6월 상순 사이 개화하기 직전의 평균기온이 높으면 종자로 공급하여야 할 광합성 물질이 호흡에 의하여 소모되어 구과 결실량이 적어지는 결과를 초래하는 것으로 추측할 수 있다.

이상의 3개 지역 자료를 통합하여 19개 기후지수와 상관관계를 분석한 결과를 보면 개화수분 당년 6월부터 결실년도 8월까지 15개월 동안의 일조시수 합계인  $X_1$ 과 10% 수준에서 음의 상관관계가 인정되었고, 지역별 분석에서는 관여하지 않았던 기후지수인 개화수분 당년의 11월부터 익년 3월까지 5개월간의 맑은 날수 합계( $X_8$ )가 상관계수  $r=0.3239$ 로 양의 상관관계를 보이는 것으로 분석되었다.

이상과 같이 분석된 차대검정림에서의 구과 결실량과 미기후와의 관계는 모수인 잣나무 성숙임분을 대상으로 한 연구결과(김일현, 2001)와는 다른 것이다. 성숙임분의 경우에는 겨울철 강수량이 구과 결실량에 가장 영향을 많이 미치는 것으로 분석되어 구과 결실에 미치는 미기후는 임령에 따라서 다소 다른 기후지수가 관여하는 것으로 판단된다.

#### 3.3.2. 회귀분석

Table 6은 잣나무 구과 결실량과 낙과량을 대상으로 다양한 국지기후 변수와의 회귀분석을 통하여 기후-결실량 최적 예측식을 작성한 것이다.

경기도 가평 지역의 구과 결실량을 추정하기 위한 최적 회귀식에는 개화수분 당년 11월부터 결실년도 3월까지 5개월의 호린 날수 합계( $X_5$ ), 평균기온의 평균

**Table 5.** Analysis of correlation between cone production and 19 weather variables

Weather Variables	Average number of cone per tree			
	Kapyung	Gwangju	Youngdong	Combined sites
$X_1$		-0.5154*		-0.3847*
$X_5$	-0.5781*	-0.5147*		
$X_8$				0.3239*
$X_{11}$			-0.9048**	
$X_{19}$			-0.7058*	

\*: Significant at 10% level, \*\*: Significant at 5% level

**Table 6.** Regression equations of climatic parameters to average number of cone production per tree

Sites	Regression equations	R <sup>2</sup>
Kapyung	$Y=0.91-0.0236 \times X_5$ $+0.0868 \times X_{11}+0.0012 \times X_{14}$	0.89
Gwangju	$Y=2.30-0.0054 \times X_2-0.0085 \times X_5$ $+0.0003 \times X_{13}+0.1975 \times X_{19}$	0.89
Youngdong	$Y=-0.02-0.0315 \times X_{11}$ $+0.0002 \times X_{14}+0.0034 \times X_{16}$	0.98
Combined sites	$Y=2.78-0.0043 \times X_3-0.0259 \times X_5$ $+0.0002 \times X_{13}-0.0029 \times X_{15}$	0.74

치( $X_{11}$ ), 그리고 총 강수량( $X_{14}$ )의 3가지 기후지수가 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이들 기후지수의 회귀계수는 호린 날수의 합계는 음의 값이고 나머지 평균기온과 총 강수량은 양의 값으로, 호린 날수가 많으면 광합성량이 적어지기 때문에 상대적으로 착과에는 부정적인 영향을 미치는 것으로 해석할 수 있다. 그러나, 결실전 동계 5개월간의 평균기온이 높고 강수량이 많은 경우에는 결실량이 증가하는 것으로 추정되었는데, 광합성에 의하여 만들어지는 물질은 생식생장이 외에도 영양생장과 관련이 있는 것이기 때문에 본 연구의 결과로 볼 때 광합성에 유리한 조건이 반드시 구과 결실량과 비례하는 것은 아닐 것으로 추측된다. 한편 가평 지역의 구과 결실량 추정식의 결정계수는 0.89로 비교적 높은 추정능력을 보이는 것으로 나타났다.

광주 지역의 구과 결실량 최적 추정식은 4개의 기후지수가 채택되었으며 채택된 회귀식의 결정계수는 0.89인 것으로 파악되었다. 광주 지역의 구과 결실량 추정에 채택된 기후지수는 개화수분 당년 11월부터 결실년도 3월까지 5개월의 일조시수 합계( $X_2$ ), 호린 날수 합계( $X_5$ ), 결실전 15개월 동안의 총 강수량 합계( $X_{13}$ ), 그리고 개화수분 당년 5월의 평균기온( $X_{19}$ )인 것으로 나타났다. 이들 중에서 서로 상반된 기후지수인 일조시수( $X_2$ )와 호린 날수( $X_5$ )는 같은 부호인 음수이지만 총 강수량과 평균기온은 양수인 것으로 분석되어 다양한 기후변수가 복합적으로 작용하여 구과 결실량에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

한편 영동 지역의 경우에는 결실전 동계 5개월간의 평균기온의 평균치( $X_{11}$ ), 총 강수량( $X_{14}$ ), 그리고 개화수분 당년 5월의 맑은 날수( $X_{16}$ )가 구과 결실량에 영향을 미치는 기후지수인 것으로 파악되었으며, 회귀식

의 결정계수는 0.98로 매우 높은 추정능력을 보이고 있다. 이 회귀식에 채택된 각 기후지수의 부호를 보면 영동 지역의 구과 결실량은 결실전 동계 5개월 동안의 평균기온이 높을수록 적은 반면, 같은 기간의 총 강수량이 많으면 착과량도 증가하는 것으로 나타나 광합성에 유리한 조건일 경우 영양생장에 소모하는 양이 많기 때문에 착과에는 부정적인 영향을 미치는 것으로 해석할 수 있다. 그러나 개화수분 직전인 5월의 맑은 날수가 많을수록 결실량에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 파악되었다.

본 연구 대상지인 3개 지역의 품매차대검정림 자료를 통합하여 구과 결실량을 추정할 수 있는 최적 회귀식을 작성한 결과 지역별 회귀식과는 다소 다른 결과를 보였다. 전체 지역에 적용할 수 있는 회귀식에는 총 4개의 기후지수가 관여하고 있는데, 결실전 동계 3개월간의 일조시수 합계( $X_3$ ), 개화수분 당년의 11월부터 결실년도 3월까지 5개월 동안의 호린 날수 합계( $X_5$ ), 결실전 15개월 동안의 총 강수량( $X_{13}$ ), 그리고 결실전 동계 3개월간의 총 강수량( $X_{15}$ )가 채택되었다. 이 추정식에 채택된 회귀계수의 부호를 보면 일조시수( $X_3$ )와 강수량( $X_{13}$ )은 각각 음의 값과 양의 값으로서 광합성에 부정적인 영향을 미치는 조건이 오히려 구과 결실량에는 긍정적인 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 하지만 나머지 기후지수, 호린 날수( $X_5$ )와 결실전 동계 3개월 동안의 총 강수량의 부호는 앞의 결과와 반대의 경향을 보이고 있다. 따라서 앞에서 언급한 바와 같이 다양한 기후변수가 복합적으로 작용하여 구과 결실량에 영향을 미치는 것으로 판단된다. 한편 이 회귀식은 결정계수가 0.74로 지역별 회귀식보다는 추정능력이 다소 떨어지는 것으로 나타났다.

#### IV. 적 요

본 연구는 경기도 가평과 관주 그리고 충청북도 영동에 조성된 잣나무 차대검정림을 대상으로 20년생까지의 연도별 구과 결실량에 미치는 미기후의 영향을 구명하기 위하여 수행되었다. 이를 위해 지역별·연도별 구과 결실량을 측정하여 분석하였으며, 지형기후학적 방법과 공간통계기법을 사용하여 차대검정림의 연도별 미기후 조건을 추정하여 구과 결실량에 미치는 영향을 분석하였다.

착과수 및 착과 본수를 조사한 결과 가평 지역은 9

년생부터, 광주 지역은 10년생부터 그리고 영동 지역은 이보다 훨씬 늦은 14년생부터 착과가 이루어지기 시작하여 지역별 편차가 있음을 알 수 있었다. 또한 지역별 총 착과수와 가계별 착과수에서도 큰 변이를 나타내고 있는 것으로 파악되었다.

구과 결실량과 지역별 미기후간의 상관분석 결과를 보면 가평 지역의 경우 개화수분 당년의 11월부터 익년 3월까지 5개월간의 흐린 날수 합계가 높은 부의 상관을 나타내었으며, 광주 지역의 경우 개화수분 당년 6월부터 결실년도 8월까지 15개월 동안의 일조시수 합계가 유의성이 높은 부의 상관을 나타내었다. 한편, 영동 지역의 경우는 개화수분 당년의 11월부터 익년 3월까지의 평균기온 평균치와 개화수분 당년의 5월 평균기온 등에서 부의 상관관계를 인정할 수 있었다. 한편 구과 결실량을 기후지수에 의해 추정하기 위한 최적 회귀식은 지역별로 다양한 기후변수가 채택되었으나 비교적 설명력이 높아 여러 가지 환경 요인 중에서 미기후 조건이 구과 결실량에 영향을 미치는 것으로 판명되었다. 본 연구로부터 얻어진 결과는 잣나무 우량 종자생산에 적합한 입지선정에 필요한 정보로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

### 인용문헌

- 과학기술처, 1992: 전국 그물망 기후값 추정 및 기후도 작성 연구(3). 중앙기상대 기상연구소 주관 특정연구과제 pp. 379.
- 김일현, 2001: 잣나무 성숙 임분의 생식생장과 영양생장에 미치는 국지기후의 영향분석. 경희대학교 대학원 박사학위논문 pp. 94.
- 수자원공사, 1992: 기상환경 변화 조사(1차) pp. 244.
- 수자원공사, 1993: 임하 및 주암 다목적댐 건설에 따른 기상환경 변화 조사(2차) pp. 306.
- 수자원공사, 1994: 임하 및 주암 다목적댐 건설에 따른 기상환경 변화 조사(3차) pp. 264.
- 신만용, 윤진일, 1992: 지형-기후 관계식에 의한 제주도의 월별 기온분포의 추정. 한국임학회지, **81**(1), 40-52.
- 신만용, 윤진일, 서애숙, 1999: 공간통계 기법을 이용한 전국 일최고/최저기온 공간변이의 추정. 대한원격탐사학회지, **15**(1), 9-20.
- 이재선, 송정호, 박문한, 한상익, 1999: 잣나무의 수형 조절(III) - III 영급 이하에서 잣과 목재 생산을 위한 수형. 한국임학회지, **88**(2), 195-204.
- 한상섭, 박완근, 1988: 잣나무와 소나무의 직경생장과 Key-Year. 한국임학회지, **77**(2), 216-221.
- 高木通勇, 1950: トドマツ結實の豊凶と氣象との關係について. 日本林學會誌, **32**, 393-396.
- Carmean, W.H., 1954: Site quality for Douglas-fir in southwestern Washington and its relation to precipitation, elevation, and physical soil properties. *Soil Science Society of America*, **18**, 330-334.
- 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. *Journal of Ecology*, **78**, 601-610.
- Jackson, D.S., 1962: Parameters of site for certain growth components of slash pine. Duke Univ. School of Forestry, Bulletin 16, pp. 118.
- 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.
- Seino, H., 1993: An estimation of distribution of meteorological elements using GIS and AMeDAS data. *J. of Japanese Agricultural Meteorology*, **48**(4), 379-383.