

국지기후가 잣나무 성숙임분의 생식생장에 미치는 영향분석

김일현¹ · 신만용² · 김영채¹ · 전상근¹

¹경희대학교 임학과, ²국민대학교 산림자원학과

(2001년 10월 8일 수락)

Evaluation of Reproductive Growth in a Mature Stand of Korean Pine under Simulated Climatic Condition

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

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

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

(Manuscript accepted October 8, 2001)

ABSTRACT

This study was conducted to reveal the effects of local climatic conditions on reproductive growth in a mature stand of Korean white pine based on climatic estimates. For this, the reproductive growth such as production and characteristics of cone and seed were first measured and summarized for seven years from 1974 to 1980. The local climatic conditions in the study site were also estimated by both a topoclimatological method and a spatial statistical technique. The local climatic conditions were then correlated with and regressed on the growth factors to reveal the relationships between the climatic estimates and the reproductive growth. Average number of conelet formation per tree showed highly negative correlation with some climatic variables related to minimum temperature in the year of flower bud differentiation. Especially, the most significant negative correlation were found between average of the minimum temperature for June and July of flower bud differentiation year and the number of conelet formation. There was no significant correlation between the number of cone production and climatic variables. However, total precipitation from December of the flowering year to February of the cone production year showed the most high correlation ($r=0.6036$) with the number of cone production. It was found that significant climatic variables affecting the amount of cone drop and cone drop percentage were the sum of cloudy days from June of the flowering year to August of the cone production year. Positive correlation was significantly recognized between the average weight of empty seed per cone and total precipitation from December of the flowering year to February of the cone production year. For the percentage of empty seed, five climatic variables among 19 variables were significantly correlated at 10% level. The average weight of a cone showed negative correlation with total precipitation from June of the flowering year to August of the cone production year. It was also found that average weight of a seed had highly negative correlation with total precipitation from December of the flowering year to February of the cone production year. The average weight of cone coat was negatively correlated with two climatic variables derived from clear days, which are sum of clear days from November of the flowering year to March of the cone production year and sum of clear days from December of the flowering year to February of the cone production year. On the other hand, it showed positive correlation with mean temperature of May in the flowering year. The exactly same results were obtained in correlation analysis for the percentage of cone coat.

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

I. 서 론

잣나무(*Pinus koraiensis*)는 목재생산과 종자생산이라는 이중적 가치와 효용성 때문에 1960년대 이후 식재가 장려된 주요경제수종의 하나이다. 그러나 그 동안 대면적에 조성된 잣나무 임분은 농촌의 노동인구 감소는 물론 인건비 상승과 저가의 외국산 잣의 수입으로 인해 수익성을 기대하기가 어려운 실정이 되었다. 따라서 잣나무림의 수익증대를 위해서는 양질의 목재생산과 고품질의 종자를 증산시킬 수 있는 부가가치가 높은 임분으로 유도해야 할 필요성이 있다.

한편 잣나무는 일반적으로 다른 수종에 비하여 기상변동에 민감하게 반응하는 것으로 알려져 있다(한상섭과 박원근, 1988). 따라서 국지적 기후조건이 잣나무의 생장에 미치는 영향을 구명하여 이를 고려한 적지판단과, 위도 및 지리적 조건을 고려한 조림한계의 설정 등으로 목재생산과 종자생산을 목적으로 하는 각각의 별도목표에 따라 적지에 임분을 조성할 필요가 있다.

임목의 생식생장은 유전적 요인 외에 그 임목이 자라고 있는 환경에 의하여 많은 영향을 받는다. 특히 고품질의 종자생산을 위해서는 잣나무림에 있어서도 대상 지역의 국지적 기후조건을 고려한 조림적지 판단과 그에 따른 경영계획이 수립되어야 함은 필수적이다. 이를 위해서는 먼저 국지기후와 잣나무의 생식생장과의 관계를 규명하는 작업이 필요하다.

임업에서의 전문 기상정보라 할 수 있는 산림의 국지적인 기상정보의 경우 정규기상관측망을 통해서는 정확한 파악이 힘들다. 이는 정규기상관측망의 분포가 주저지 주변에 밀집되어 있고, 최근 광범위하게 사용되는 자동기상관측망의 경우에도 미관측지점을 포함하는 산림지역의 국지기후를 정확히 예측하기에는 관측 밀도가 상대적으로 낮은 한계를 가지고 있다. 이러한 문제는 지형인자를 이용하여 미관측 지점의 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-기후관계식을 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 연도

별 미관측 지점의 월별 기상분포의 복원이 가능하다(신만용 등, 1999).

본 연구는 인공조림된 잣나무 성숙임분을 대상으로 지형기후학적 방법과 공간통계 기법에 의하여 연도별 국지기후 조건을 추정함으로써 국지기후가 생식생장에 미치는 영향을 파악하여 우량종자의 생산을 증대하는데 그 기초정보를 제공하고자 수행하였다.

II. 재료 및 방법

2.1. 연구 대상지

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

2.2. 생식생장 조사

잣나무는 화이분화로 부터 화기형성 및 발달 그리고 개화, 수분, 수정, 종자형성의 단계를 거쳐 완숙되기까지 약 2년이 소요되며, 이 기간중 개화후 결실까지는 약 15개월이 소요된다. 따라서 잣나무 성숙목에는 하나의 생장기간에 1년생 구과(미숙구과)와 2년생 구과(성숙구과)가 함께 착생하게 된다. 본 연구에서는 6개의 조사구를 대상으로 1974년부터 1980년까지 7년간 구과와 종자의 연도별 결실량 및 형질을 조사하였다. 조사대상목은 조사당시의 피해목이나 고사목을 제외하였으며 연도별로 196본에서 206본의 범위에 있었다. 조사는 매년 9월 초순경에 조사대상 개체목별로 1년생 구과의 착과수를 측정하였으며, 개체목별로 2년생구과를 채취한 후 그 수를 세어 성숙구과의 결실량으로 하였다. 또한 전년도 1년생 구과의 착과량과 당년도 2년생 구과의 결실량과의 차이를 낙과수로 계산하고, 1년생 구과의 착과량에 대한 낙과수의 백분

을 낙과율로 하였다. 연도별로 채취된 성숙구과는 1개월간 실내에서 陰乾시킨 후 조사 개체목별로 구과의 수가 5개 이하인 입목은 구과 전부를, 5개 이상인 개체에 대하여는 5~9개의 구과를 임의로 추출하여 구과의 무게를 측정하고 구과 1개 당 평균 무게를 계산하였다. 종자무게는 각 구과별로 탈중한 종자 중에서 20개의 종자를 임의로 추출하여 측정한 후, 종자 1개의 평균 무게를 분석에 이용하였다.

한편 각 구과별로 탈중한 종자들을 각 구과별로 물(H₂O)을 넣은 500 CC의 비이커에 3일간 담가둔 후, 위에 뜨는 것을 쪽정리로 간주하여 구과당 평균 쪽정 이량으로 하였고, 쪽정이율은 전체 종자에 대한 쪽정 이의 비율로 계산하였다. 앞의 방법에 의하여 추출된 구과를 대상으로 각 구과별로 무게를 측정한 후 탈중하고 구과당 종자의 무게를 측정하였다. 각 구과피 무게는 측정된 구과 무게에서 종자의 무게를 뺀 값으로 하였으며, 이를 전체 구과에 대하여 평균하여 구과당 평균 구과피 무게로 하였다. 또한 구과피율은 구과 무게에 대한 구과피 무게의 백분율로 계산하였다.

2.3. 연구 대상지의 국지기후 추정

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

2.3.1. 월별 평년기후값의 추정

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

적 방법(Nakai, 1987; Okamura, 1987; 신만용과 윤진일, 1992; 한국수자원공사, 1992; 1993; 1994)으로 국지기후를 추정하였다.

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

연구 대상지에 적용할 수 있는 월별 평년기후값 추정회귀식의 작성을 위해 먼저 월별·기후치별로 지형인자와의 상관분석을 통해 후보지형인자를 선정한 후, 다중선형회귀분석 기법에 의하여 추정식을 작성하였다. 중회귀계수의 추정은 가장 일반적으로 사용되는 최소자승법을 이용하였고, 월별·기후치별 최적 독립변수의 조합을 선택하기 위하여 stepwise 기법의 전향선택법을 채택하여 변수선택과 회귀계수를 추정하였다.

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

2.3.2. 연도별·월별 기후값의 도출

연구대상지의 연도별 월별 기후값의 복원을 위해 거리역산가중법(Inverse Distance Squared Weighting)(Seino, 1993; 신만용 등, 1999)에 의하여 연구 대상지와 지리적으로 인접한 춘천, 인제, 홍천, 원주, 양평, 이천의 6개 지점의 연도별 기후 실측값, 기후 평년값, 연구 대상지의 기후 평년값, 그리고 연구 대상지와 이상의 6개 기상관측소간의 거리를 이용하여 연구 대상지의 1973년부터 1980년까지의 8년간의 월별 평균기온, 최고기온, 최저기온, 상대습도, 강수량, 일조시수, 맑은 날수, 흐린 날수를 추산하였다(식 1).

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

Table 1. Climatic variables used for the estimation of conelet production

Climatic Variables	Description
X ₁	Average of mean temperature from August to October in the year of flower bud differentiation
X ₂	Mean temperature of September in the year of flower bud differentiation
X ₃	Mean temperature of October in the year of flower bud differentiation
X ₄	Average of mean temperature from September to October in the year of flower bud differentiation
X ₅	Average of maximum temperature from August to October in the year of flower bud differentiation
X ₆	Average of minimum temperature from April to July in the year of flower bud differentiation
X ₇	Average of minimum temperature from April to October in the year of flower bud differentiation
X ₈	Average of minimum temperature from May to July in the year of flower bud differentiation
X ₉	Average of minimum temperature from June to July in the year of flower bud differentiation
X ₁₀	Average of minimum temperature from July to August in the year of flower bud differentiation
X ₁₁	Minimum temperature of July in the year of flower bud differentiation
X ₁₂	Minimum temperature of August in the year of flower bud differentiation
X ₁₃	Average of minimum temperature from August to October in the year of flower bud differentiation
X ₁₄	Average of difference between maximum temperature and minimum temperature from April to July in the year of flower bud differentiation
X ₁₅	Average of difference between maximum temperature and minimum temperature from April to October in the year of flower bud differentiation
X ₁₆	Average of difference between maximum temperature and minimum temperature from May to July in the year of flower bud differentiation
X ₁₇	Average of difference between maximum temperature and minimum temperature from June to July in the year of flower bud differentiation
X ₁₈	Average of difference between maximum temperature and minimum temperature from July to August in the year of flower bud differentiation
X ₁₉	Difference between maximum temperature and minimum temperature of July in the year of flower bud differentiation
X ₂₀	Difference between maximum temperature and minimum temperature of August in the year of flower bud differentiation
X ₂₁	Average of difference between maximum temperature and minimum temperature from August to October in the year of flower bud differentiation
X ₂₂	Total precipitation from April to July in the year of flower bud differentiation
X ₂₃	Total precipitation from April to October in the year of flower bud differentiation
X ₂₄	Total precipitation from May to July in the year of flower bud differentiation
X ₂₅	Total precipitation from June to July in the year of flower bud differentiation
X ₂₆	Total precipitation from July to August in the year of flower bud differentiation
X ₂₇	Precipitation of July in the year of flower bud differentiation
X ₂₈	Precipitation of August in the year of flower bud differentiation
X ₂₉	Total precipitation from August to October in the year of flower bud differentiation
X ₃₀	Total sunshine hours from April to July in the year of flower bud differentiation
X ₃₁	Total sunshine hours from April to October in the year of flower bud differentiation
X ₃₂	Total sunshine hours from May to July in the year of flower bud differentiation
X ₃₃	Total sunshine hours from June to July in the year of flower bud differentiation
X ₃₄	Total sunshine hours from July to August in the year of flower bud differentiation
X ₃₅	Sunshine hours of July in the year of flower bud differentiation
X ₃₆	Sunshine hours of August in the year of flower bud differentiation
X ₃₇	Total sunshine hours from August to October in the year of flower bud differentiation
X ₃₈	Sum of cloudy days from April to July in the year of flower bud differentiation
X ₃₉	Sum of cloudy days from April to October in the year of flower bud differentiation

Table 1. Continued

Climatic Variables	Description
X ₄₀	Sum of cloudy days from May to July in the year of flower bud differentiation
X ₄₁	Sum of cloudy days from June to July in the year of flower bud differentiation
X ₄₂	Sum of cloudy days from July to August in the year of flower bud differentiation
X ₄₃	Cloudy days of July in the year of flower bud differentiation
X ₄₄	Cloudy days of August in the year of flower bud differentiation
X ₄₅	Sum of cloudy days from August to October in the year of flower bud differentiation
X ₄₆	Average of mean temperature from November of the flower bud differentiation to April of the flowering year
X ₄₇	Total precipitation from November of the flower bud differentiation to April of the flowering year
X ₄₈	Total sunshine hours from November of the flower bud differentiation to April of the flowering year
X ₄₉	Sum of cloudy days from November of the flower bud differentiation to April of the flowering year
X ₅₀	Sum of clear days from November of the flower bud differentiation to April of the flowering year
X ₅₁	Clear days of May in the flowering year
X ₅₂	Cloudy days of May in the flowering year
X ₅₃	Precipitation of May in the flowering year
X ₅₄	Mean temperature of May in the flowering year

여기서, d_0 = 연구 대상지 해당 격자점의 기후 편차 값, T_j = j 번째 기상관측소의 해당 연도 기후 실측값, A_j = j 번째 기상관측소 해당 격자점의 기후 평년값 그리고 R_j = 연구 대상지 해당 격자점에서 j 번째 기상관측소까지의 거리이다. 식(1)에 의하여 계산된 연구대상지의 1973년 부터 1980년까지 8년간의 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 = 연구 대상지의 연도별, 월별 기후 추정치이며, A_0 = 연구 대상지의 월별 기후 평년값이다.

생장 자료는 1974년 부터 수집되었지만 연도별 기후자료의 복원은 1973년 부터 이루어졌다. 그 이유는 잣나무의 성장에는 당해 연도의 기후조건 뿐만 아니라 이전 연도의 기후도 영향을 미치기 때문이다. 결과적으로 연구 대상지에 대한 1973년 부터 1980년까지의 월별 기후 추정치 자료가 생성되었다.

2.4. 국지기후가 생식생장에 미치는 영향분석

연구 대상지의 국지기후 조건이 잣나무의 생식생장에 미치는 영향을 밝히기 위해 연구 대상지에대해서 연도별 · 월별로 추정된 기후값을 이용하여 연도별로 측정된 구과와 종자의 결실량 및 형질과의 관계를 분석하였다.

잣나무 성숙목은 한 생장기간에 1년생 구과(미숙구과)와 2년생 구과(성숙구과)가 함께 착생하고, 잣나무의 개화결실은 햇수로 3년에 걸쳐 완성되기 때문에 개화결실의 발달 단계별로 영향을 미치는 기후요소를 고려하였다. 즉, 화아분화 단계, 화기형성 단계, 개화 · 수분 단계, 그리고 수정 결실 단계의 4단계로 구분하여 구과 및 종자의 결실량과 형질에 영향을 미칠 것으로 판단되는 54개의 기후지수를 도출하였다(Table 1).

일반적으로 임목이 화아분화를 일으킬 수 있는 상태는 C/N율이 높은 상태, 즉 광합성작용이 충분하여 수체내에 탄수화물의 생성이 많은 상태이다. 잣나무는 보통 8월~10월 사이에 화아분화가 일어나기 때문에 이 기간을 포함하거나 또는 그 이전의 기간 동안에 광합성작용이 충분히 일어날 수 있는 기후조건이있는지를 점검하기 위해 광합성과 관련된 기후조건인 일조시수, 흐린 날수, 기온 일교차, 일 최저기온, 강수량, 평균기온 등으로부터 45개의 기후지수가 도출되었다. 또한 화아분화 이후 개화기 전까지인 화기형성 단계는 보통 11월에서 익년 4월까지이다. 이 기간 동안의 광합성작용이 충분하면 화기의 정상적인 발달로 낙화율이 낮아지기 때문에 1년생 구과의 결실량이 많아지게 된다. 따라서 이 기간 동안의 광합성작용과 관련된 기후요소인 일조시간, 맑은 날수, 흐린 날수, 평균기온, 강수량으로 부터 5개의 기후지수가 분석에 사용되었다.

잣나무는 5월하순 부터 6월상순 사이에 개화하는데

Table 2. Climatic variables used for the estimation of cone production and seed characteristics

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

이 기간에는 개화와 동시에 수분이 일어난다. 수분이 정상적으로 일어나기 위해서는 화분이 충분히 비산할 수 있는 기후조건이 필요하기 때문에, 1년생 구과가 착과하는 당년 5월의 맑은 날수, 흐린 날수, 강수량, 평균 기온의 4개 기후요소가 영향을 미치는 것으로 판단된다.

결과적으로 잣나무 1년생 구과의 착과수에 잣나무의 생리적인 주기와 결부하여 화아분화, 화기형성, 그리고 개화수분 단계에서 도출된 총 54개의 기후지수 중에서 어떤 기후지수가 가장큰영향을 미치는지를 파악하기 위해 상관분석과 회귀분석을 실시하였다. 본 논문에서는 잣나무 화아분화량, 즉 착과수가 조사되지 않았기 때문에 1년생 구과의 착과수로 대신하여 분석에 사용하였다.

잣나무는 수분이후 수정이 되기까지는 1년이 걸리는 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 잣나무의 생식생장에 크게 영향을 미치는 것으로 예상된다. 본 논문에서는 수분 시점인 결실

전년도 5월의 몇 가지 기후조건과 수분 후 결실까지의 15개월 동안의 일조시수, 흐린 날수, 맑은 날수, 평균기온, 강수량등과 개화수분 및 수정결실 단계의 기후조건을 고려하여 총 19개의 기후지수(Table 2)를 추정하여 구과 및 종자의 결실량 과 형질에 미치는 영향을 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

3.1. 연도별 생식생장

Table 3에서 보는 바와 같이 연도별 개체목당 1년생 구과의 평균 착과수는 1977년에 16.7개로 가장 많았으며 1979년에 3.7개로 가장 적었다. 또한 개체목당 2년생 구과의 평균 착과수를 보면 1976년에 12.2개로 가장 많은 반면 1980년이 2.3개로 가장 적은 것으로 나타났다. 전(1978)은 잣나무의 성숙구과 착과수가 개체목, 모수의 위치, 그리고 결실년도에 따라 차이가 있다고 보고하여 잣나무 착과수에 미치는 여러 가지 요인 중에서 결실년도에 따른 연도별 기후변이가 중요한 요인으로 작용했을 것으로 판단된다.

Table 3. Some characteristics of cone and seed used in this study

Variables	Year							
	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	
Average number of conelet per tree (ea)	9.5	14.7	11.1	16.7	10.4	3.7	8.2	
Average number of cone per tree (ea)	6.5	5.6	12.2	6.1	5.2	8.3	2.3	
Amount of cone drop per tree (ea)	-	3.9	2.5	5.0	11.5	2.1	1.4	
Percentage of cone drop(%)	-	40.7	17.7	45.2	69.1	20.5	37.9	
Average weight of empty seed per cone (g)	-	4.8	7.9	5.9	6.9	6.3	5.7	
Percentage of empty seed (%)	-	6.2	9.1	6.3	10.1	9.0	7.6	
Average weight of one cone (g)	139.8	124.6	105.2	132.9	121.3	117.7	103.6	
Average weight of one seed (mg)	615	564	494	624	518	599	562	
Average weight of cone coat per cone (g)	53.6	47.1	18.7	39.8	53.0	47.3	28.4	
Percentage of cone coat (%)	38.3	37.6	17.8	29.9	43.7	40.2	27.4	

연도별 개체목당 평균 낙과율은 17.7~69.1%로 연도별로 비교적 변이의 폭이 상당히 컸는데, 1978년에 69.1%로 가장 높았으며 1976년에 17.7%로 가장 낮았다. 또한 개체목당 낙과량도 연도간에 변이가 심했는데, 낙과율이 가장 높았던 1978년에 11.5개로 가장 많은 낙과를 나타냈고 1980년이 1.4개로 가장 적어 낙과율과는 다소 다른 경향을 보였다. 전(1979)은 낙과율 및 낙과수는 착과수와 마찬가지로 입지, 연도, 그리고 개체목에 따라 다른 경향을 보인다고 보고하였다.

연도별 구과당 쪽정이 평균 무게는 2년생 구과가 가장 많이 달렸던 1976년이 7.9 g으로 가장 많았으며, 비교적 착과량이 적었던 1975년이 4.8 g으로 가장 적었다. 이는 구과 착과수의 풍흉과 쪽정의 양은 정의 상관관계를 갖는 것으로 판단되며, 쪽정이율의 경우에도 1978년이 10.1%로 최고를 나타냈으며 1975년이 6.2%로 가장 낮아 이러한 사실을 뒷받침하고 있다.

연도별로 채취된 구과 1개 당 평균 무게는 1974년도 139.8 g으로 가장 컸고 1980년이 103.6 g으로 작은 것으로 나타났다. 또한 종자 1개 당 연도별 무게는 다소 다른 결과를 보였는데, 1977년이 624 mg으로 가장 큰 반면 1976년이 494 mg으로 가장 작아 2년생 구과의 착과량이 가장 많았던 해에 종자 1개의 평균 무게는 최소를 보여 착과량과 종자 1개의 평균 무게는 높은 부의 상관관계를 나타낼 수 있었다.

한편 연도별 구과 당 구과피의 평균 무게는 1974년과 1978년이 각각 53.6 g과 53.0 g으로 상대적으로 컸으며 1976년이 18.7 g으로 가장 적은 무게를 나타냈다. 구과피율에 있어서는 1978년이 43.7%로 가장

높았고 1976년이 17.8%로 가장 낮았다.

3.2. 연구대상지의 연도별·월별 국지기후 추정

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

거리역산가중법에 의하여 복원된 연구 대상지의 연도별 국지기후 추정치의 분석 결과, 월별 기온(일 평균, 최고, 최저)은 연도별로 상당한 변이를 보이고 있었으며, 계절적으로는 겨울과 여름의 연도별 변이가 크고 봄과 가을은 상대적으로 연도간의 차이가 적게 나타났다. 거리역산가중법에 의해 임의의 격자점 기후를 정밀하게 추정하기 위해서는 해당 격자점에서 30 km 이내에 존재하는 4~6개의 기상관측소 정보가 필요한 것으로 알려져 있으나(Seino, 1993), 본 연구에서 이용한 연구 대상지 격자점 주변의 6개 기상관측소들은 춘천과 홍천을 제외하고는 30 km 거리를 벗어나지만 특별한 대안이 없어 그대로 사용하였다.

연도별 상대습도를 월별로 비교한 결과, 연도에 관계없이 봄철이 가장 습도가 낮고 여름이 가장 높은 일정한 경향을 보이고 있다. 월별 강수량은 연도간에 편차가 매우 심한 기후요소로 연구 대상지의 8년간의 월별 강수량 추정치도 연도간에 매우 심한 변이를 나

타졌으나 대체적인 경향은 여름철 강수량이 전체의 40~60% 정도를 차지하고 있으며, 나머지 계절에는 상대적으로 강수량이 적는데, 특히 겨울의 강수량이 가장 적은 것으로 나타났다.

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

월별 맑은 날수와 흐린 날수의 경우에도 연도간 변이가 심한 것으로 나타났다. 구름의 양을 기준으로 맑은 날은 30% 미만, 그리고 흐린 날은 70% 이상으로 기준을 잡았기 때문에 이들 기후지수에 대한 계절적 분포는 뚜렷하며 또한 서로 상반되는 경향을 보이고 있다. 맑은 날수는 11~2월이 가장 많은데, 월별로 약 10~20일의 범위로 분포되어 있으며, 7월이 가장 적은 날수를 보이고 있었다. 특히 1978년을 제외하고는 월평균 4일 이하의 적은 날수를 보였다. 반면에 흐린 날수는 연간 변이가 심하지만 맑은 날수와는 상반된 결과를 나타내고 있었다. 흐린 날수는 여름철이 가장 많은 것으로 나타났지만, 나머지 계절인 봄, 가을, 그리고 겨울에는 월별로 특징적인 차이를 나타내고 있지 않아 맑은 날수와는 다소 다른 형태의 월별 분포를 보이고 있었다.

3.3. 생식생장과 국지기후와의 관계

3.3.1. 구과 및 종자 결실량과 국지기후

3.3.1.1. 상관분석

① 1년생 구과 착과수와 국지기후

1년생 구과의 착과수와 본 연구에서 추정된 연도별 국지기후와의 관계를 구명하기 위해 Table 1에 나타난 54개 기후지수와의 상관을 분석하였다. 1년생 구과의 착과수는 화이분화 연도의 일 최저기온과 관련된 변수들($X_8 \sim X_{11}$)과 높은 부의 상관을 보이고 있다. 특히 화이분화 연도의 6월과 7월의 평균 일 최저기온(X_9)이 1년생 착과수와 상관계수 $r = -0.8540$ ($p = 0.0144$)으로 가장 높은 부의 상관을 보이고 있다.

또한 착과 전년도인 화이분화 연도의 6월과 7월의

총강수량(X_{25})도 착과량과 부의 상관을 보이고 있으며 상관계수는 $r = -0.7461$ ($p = 0.0541$)로 나타났다. 이러한 결과는 화아 형성에는 건조한 조건이 유리하게 작용하지만, 영양생장에 유리한 조건은 반대로 다습한 조건이라는 연구(Thomas, 1990)와 일치하는 것이다. 즉, 화이분화 연도의 강수량이 적어 건조한 조건을 가질 때 1년생 구과의 착과수가 많아지는 것으로 해석할 수 있다.

한편 화이분화 연도 11월 부터 개화당년 4월까지의 흐린 날수 합계(X_{49})와 1년생 구과의 착과수는 상관계수 $r = -0.8848$ 로 높은 부의 상관을 인정할 수 있었다.

이위영 등(1995)은 낙엽송의 착과에 영향을 미치는 기상요인으로 결실 전년의 온도가 높고 일조시간이 많은 것을 들고 있다. 이러한 결과는 강수량과 일조시간은 반비례하기 때문에 본 논문의 결과와 일치하는 것이며, 또한 Edwards(1986)가 잣나무와 같이 화아 형성 후 다음 해에 종자를 생산하는 수종은 화아 형성기의 일조시간과 착과량 간에 정의 상관이 있다는 보고와도 일치하는 것이다.

② 2년생 구과 결실량과 국지기후

2년생 구과의 결실량과 국지기후와의 관계를 파악하기 위해 Table 2의 19개 기후지수와의 상관관계를 분석한 결과 유의적인 상관관계를 나타낸 기후지수가 없었다. 다만 가장 상관계수가 높은 지수로는 개화수분당년의 12월 부터 익년 2월까지 3개월간의 겨울철 강수량(Z_{15})이 상관계수 $r = 0.6036$ ($p = 0.1513$)으로 정의 상관관계를 나타냈다. 이러한 결과는 이 기후지수와 2년생 구과의 결실량 간에 통계적으로 유의적인 상관관계가 인정되지는 않았으나 겨울철 강수량이 많으면 결실량이 많아지는 경향을 보여주고 있다.

하지만 본 연구에서 나타난 강수량과 2년생 구과의 착과량과의 상관은 비교적 낮은 것이다. 따라서 본 연구에서 실제 수집된 자료로서 2년생 구과의 결실량에 영향을 미치는 기후의 영향은 적은 것으로 판단된다. 실제로 있어서는 1년생 구과의 착과수와 마찬가지로 기후요소가 어떠한 형태로든 2년생 구과의 결실에 영향을 미칠 것으로 판단되지만, 1년생 구과가 착과된 후 2년생 구과가 결실되는 과정에서 상당수의 구과가 다른 요인에 의하여 낙과되기 때문에 최종적인 2년생 구과수가 기후요소와의 상관관계가 낮게 추정된 것으로 판단된다. 즉, 낙과의 요인으로는 생리적인 요인 이외에 인위적인 요인과 동물적인 요인이 있어 기후보

다는 이러한 요인에 더 영향을 받은 것으로 추측할 수 있다.

③ 낙과량과 국지기후

낙과는 기후조건 이외에도 일반적으로 생리적 요인과 충해에 의해 크게 영향을 받는 것으로 알려져 있으며, 탁우식 등(1990)은 수종별 낙과량과 낙과 원인의 구멍에서 소나무 및 리기다 소나무에 비하여 잣나무의 낙과량이 더 많은 것으로 보고하고 있어, 기후요인 외에도 다양한 요인이 복합적으로 작용하여 잣나무 낙과에 영향을 미치는 것으로 판단된다. 따라서 이러한 여러 요인 중에서 기후요인이 잣나무 낙과에 미치는 영향을 명확히 밝히기 위해서는 장기간의 누적된 자료가 필요할 것이다.

본 논문에서는 비록 짧은 기간 동안 수집된 자료에 근거하였지만 낙과량과 기후요인과의 관계를 상관분석을 통하여 결과를 도출하였다. 우선 낙과량에 영향을 미친 기후요소는 개화수분당년 6월부터 익년(수정결실년) 8월까지 15개월 간의 흐린 날수 합계(Z_4)와 개화수분당년 11월부터 익년 3월까지 동계 5개월 간의 강수량(Z_{14})의 두 가지가 상관이 높은 것으로 나타났다. 낙과량과 Z_4 는 부의 상관으로 $r = -0.8061$ ($p = 0.0528$) 이었고, Z_{14} 와는 $r = 0.7336$ ($p = 0.0970$)으로 정의 상관관계를 보였다. 이는 낙과량이 구과 성숙기까지의 15개월 간의 흐린 날수가 적을수록 낙과의 양이 많았음을 의미하며, 또한 구과 성숙 이전의 동계 5개월 간의 강수량이 많을수록 낙과량이 증가한 것으로 나타났다.

④ 낙과율과 국지기후

낙과율에 있어서도 개화수분당년 6월 부터 익년(수정결실년) 8월까지 15개월 간의 흐린 날수 합계(Z_4)가 가장 많은 영향을 미치는 기후지수로 판명되었다. 낙과율과 Z_4 는 부의 상관으로 $r = -0.7584$ ($p = 0.0805$)를 나타내, 구과 성숙기까지의 15개월 간의 흐린 날수가 적을수록 낙과율이 증가하는 것으로 나타났다.

이러한 결과는 기존의 연구결과(한병호, 1987)와 일치하는 것으로, 이전 연구에서는 다양한 기후요소가 낙과율에 영향을 미치는 것으로 보고하고 있지만 본 연구에서는 결실 전 15개월의 흐린 날수가 낙과율에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 앞에서 언급한 바와 같이 잣나무는 다른 수종에 비하여 낙과율이 높은 편이며(탁우식 등, 1990), 또한 낙과에 다양한 요인이 작용하고 있음을 감안하면 다양한 기후요인 중에서 흐린 날수가 낙과율에 영향을 미치는 한 요인이라고 말

할 수 있다.

⑤ 쪽정이량과 국지기후

채취된 구과의 쪽정이량은 구과 성숙 이전의 동계 3개월(12월~2월)간의 강수량(Z_{15})과 가장 높은 상관을 보이고 있었다. 쪽정이량은 이 기후지수와 높은 정의 상관관계를 보이고 있는데, 상관계수 $r = 0.9106$ ($p = 0.0116$)으로 겨울철의 강수량이 많으면 쪽정이량이 증가하는 것으로 파악되었다. 이는 일반적으로 강수량이 많으면 광합성량이 감소하여 임목의 영양상태가 불건전하게 됨으로써 수정에 방해가 되고 종국적으로는 불량한 종자의 양이 많은 결과를 초래하는 것으로 해석할 수 있다.

⑥ 쪽정이율과 국지기후

쪽정이율의 경우에는 본 연구에서 사용된 19개 기후지수 중에서 상대적으로 많은 5개 지수가 10% 이내의 높은 상관관계를 인정할 수 있었다. 결실전의 동계기간 동안의 일조시수의 합계(Z_3)는 부의 상관관계를 보이고 있으며, 평균기온과 관련된 기후지수인 Z_{10} 과 Z_{11} 은 높은 정의 상관을 보이고 있다. 특히 평균기온이 높을수록 쪽정이율이 높은 것은 고온에 의해 수체의 호흡량이 많아지는 영향으로 유추할 수 있다. 이러한 결과는 결실 전년과 결실 당년의 다양한 평균기온이 쪽정이율과 정의 상관을 갖는다는 이전의 연구(한병호, 1987)와 일치하는 것이다.

또한 쪽정이량과 마찬가지로 강수량과 관련된 지수인 Z_{14} 와 Z_{15} 는 높은 정의 상관관계를 보이고 있는데, 앞에서 언급한 바와 같이 강수량이 많으면 광합성량이 감소하여 임목의 영양상태가 불건전하게 됨으로써 수정에 방해가 되고 종국적으로는 불량한 종자의 비율이 높아지는 결과를 가져온 것으로 보인다.

3.3.1.2. 회귀분석

Table 4는 잣나무 구과 및 종자 결실량과 관련된 6개 변수를 대상으로 다양한 국지기후 변수와의 회귀분석을 통하여 기후-결실량 최적예측식을 작성한 것이다. 1년생 구과 착과수의 경우에는 총 54개의 기후지수(Table 1)를 대상으로 하였으며, 나머지는 Table 2의 19개 기후지수 중에서 어떤지수의 조합에 의하여 구과 및 종자의 결실량을 잘 설명하는지를 구명하고자 하였다.

1년생 구과의 착과수는 총 54개의 기후지수 중에서 3개의 기후지수에 의하여 추정할 수 있었다. 화이분화 연도 7월의 일조시수(X_{35}), 화이분화 연도 11월 부터

Table 4. Regression coefficients of climatic parameters to cone and seed production

Dependent variables	Regression equations	R ²
Average number of conelet per tree	$Y = 21.80 + 0.0573 * X_{35} - 0.0013 * X_{47} - 0.4870 * X_{49}$	0.99
Average number of cone per tree	$Y = 189.56 - 0.0510 * Z_1 - 0.5067 * Z_6$	0.80
Amount of cone drop per tree	$Y = -40.94 + 0.0157 * Z_1 - 0.0921 * Z_4 + 0.0487 * Z_{14}$	0.98
Percentage of cone drop (%)	$Y = -150.75 + 0.0854 * Z_1 - 0.6187 * Z_4$	0.68
Average weight of empty seed per cone (g)	$Y = 4.83 + 0.0254 * Z_{15} - 0.0045 * Z_{18}$	0.91
Percentage of empty seed (%)	$Y = 7.54 + 0.0399 * Z_{15} - 0.2621 * Z_{17}$	0.93

개화수분당년 4월까지의 총강수량(X_{47})과 흐린 날수 합계(X_{49})가 채택되었는데, 회귀계수를 보면 개화수분 전년도 7월의 일조시수가 높으면 착과량이 많은 반면 개화수분 이전의 6개월 간의 총 강수량과 흐린 날수가 증가하면 착과수가 적어지는 것으로 나타났다. 이는 강수량이 많고 흐린 날의 빈도가 높다는 것은 그만큼 광합성에 방해가 되기 때문에 1년생 구과 착과에 장애 요인이 되는 것으로 해석할 수 있다.

2년생 구과의 착과수를 추정하기 위한 최적 회귀식에는 개화수분당년 6월 부터 결실년도 8월까지 15개월의 일조시수 합계(Z_1)와 개화수분당년 12월 부터 결실년 2월까지 3개월 간의 흐린 날수 합계(Z_6)의 기후 지수가 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이들 기후 지수의 회귀계수는 모두 음수로서 특히 일조시수의 합계가 많을수록 2년생 구과의 착과수는 적은 것으로 추정되는데 이는 광합성량이 많으면 영양생장에 소모하는 양이 많기 때문에 상대적으로 착과에는 부정적인 영향을 미치는 것으로 해석할 수 있다. 하지만 2년생 구과의 착과는 1년생 구과가 열린 후 상당수의 구과가 낙과하기 때문에 이에 대한 원인을 구명하는 작업이 먼저 수행되어야만 정확한 2년생 구과의 착과수에 미치는 기후요소의 영향을 밝힐 수 있을 것으로 보인다. 낙과량의 많은 부분이 기후요인 외에 인위적인 피해 또는 동물에 의한 피해가 보고되기 때문이다.

이러한 낙과량에 영향을 미치는 요인 중에서 기후요인과의 관계를 구명하기 위해 회귀식을 작성한 결과 개화수분당년 6월 부터 결실년도 8월까지 15개월의 일조시수 합계(Z_1)와 흐린 날수의 합계(Z_4)가 영향을 미치는 변수로 채택되었으며, 개화수분당년 11월 부터 결실년도 3월까지 5개월의 강수량 합계(Z_{14})가 회귀식에 포함되었다. 특히 Z_1 변수의 경우에 2년생 구과의 착과수를 추정하기 위한 회귀식에도 포함되었으나 낙과량 추정 회귀식에서 부호가 반대인 양수로 나와 착

과량과 낙과량은 일조시수가 서로 반대로 작용하고 있음을 알 수 있다.

또한 낙과량 추정 회귀식에 포함된 결실 이전 15개월 간의 흐린 날수 합계인 Z_4 의 회귀계수가 음수로 흐린 날수가 적을수록 낙과량은 그 만큼 많아지는 것으로 판명되었다. 이는 앞에서 언급한 바와 같이 광합성에 유리하게 작용하는 일조시수나 맑은 기상조건은 착과에 영향을 미치기 보다는 영양생장에 더욱 큰 영향을 미치는 것으로 판단되며, 오히려 흐린 날수가 많아 광합성에 불리한 조건을 가질 때 낙과량이 적은 것으로 추측된다. 이는 강수량과 관련된 변수인 Z_{14} 의 회귀계수가 양수인 것에서도 확인된다.

낙과율 추정 회귀식은 낙과량에서와 마찬가지로의 경향을 보이고 있다. 다만 낙과량 추정 회귀식에서 채택되어진 강수량 변수인 Z_{14} 를 제외한 개화수분 당년 6월 부터 결실년도 8월까지 15개월의 일조시수 합계(Z_1)와 흐린 날수의 합계(Z_4)가 영향을 미치는 변수로 채택되었다. 특히 이들 변수의 회귀계수는 낙과량 추정 회귀식과 동일한 부호를 나타내 낙과량과 낙과율은 거의 유사한 경향으로 추정되고 있음을 알 수 있다. 다만 회귀식의 설명력을 나타내는 결정계수가 낙과율 추정식의 경우 0.68로 상대적으로 낮아 다른 구과 및 종자 결실량 변수보다 기후요소에 의한 추정이 쉽지 않은 것으로 판단된다.

구과 1개당 평균 쪽정이량의 경우에는 결실 전 겨울철 3개월 간의 강수량 합계(Z_{15})와 개화수분당년의 5월 강수량(Z_{18}) 등과 같이 강수량이 영향을 미치는 것으로 나타났다. 특히 강수량이 많은 경우 광합성량이 감소하여 수정에 방해가 되고 종국적으로는 불량한 종자의 비율이 높아지는 결과를 초래하기 때문에 강수량 관련 지수가 쪽정수량 추정 회귀식에 독립변수로 채택된 것으로 해석할 수 있다. 결실 이전 동계 3개월 간의 강수량이 많으면 쪽정수량이 증가하는 것은

앞에서 설명한 이유로 쉽게 유추할 수 있지만, 개화수 분당년 5월 강수량은 쪽정이량과 반대의 경향을 보이고 있는 것으로 나타났다. 회귀식에 채택된 독립변수들은 단독으로 종속변수에 영향을 미치는 것이 아니라 서로 복합적으로 영향을 미치는 것이기 때문에 독립변수 하나 하나의 계수를 따로 해석하는 것은 무리가 있다.

이러한 결과는 쪽정이율의 추정식에서도 비슷한 경향을 보이고 있다. 쪽정이량과 마찬가지로 결실 전 겨울철 3개월 간의 강수량 합계(Z_{15})가 독립변수로 채택되었으며, 개화수분당년 5월의 흐린 날수(Z_{17})도 영향을 미치는 것으로 파악되었다. 다만 쪽정이량과 다른 점은 개화수분당년 5월의 강수량 대신에 흐린 날수가 채택되었으나 거의 유사한 추정식을 제공하고 있으며 결정계수도 모두 0.90 이상으로 비교적 높은 설명력을 나타냈다.

3.3.2. 구과 및 종자 형질과 국지기후

3.3.2.1. 상관분석

① 구과 무게와 국지기후

구과 1개의 평균무게와 19개 기후지수와의 상관분석 결과 10% 범위에서 유의적 상관관계가 인정된 지수는 개화수분당년 6월 부터 익년, 즉 결실년도 8월까지 15개월간의 강수량(Z_{13})이 상관계수 $r = -0.6799$ ($p = 0.0929$)로 부의 상관을 보였다. 이는 수분 이후 결실 과정까지 강수량이 많으면 광합성에 장애를 주어 구과 1개의 무게가 상대적으로 적어지는 것을 의미한다.

구과 형질은 경사변이(Daubenmire, 1968)이나 해발고도(강영제 등, 1990) 등과 같은 입지조건에 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 이는 해발고도가 증가함에 따라 온도가 낮아지기 때문에 구과 무게도 온도와 관련된 지수와 관계가 있을 것으로 판단되지만, 본 논문에서는 온도와 관련된 지수는 구과 무게와 상관이 없는 것으로 판명되어 다소 다른 결과를 보이고 있다.

② 종자 무게와 국지기후

종자 1개의 평균무게는 결실 전 동계 기간 동안의

강수량(Z_{15})과 높은 부의 상관을 보이고 있다. 상관계수 $r = -0.8266$ ($p = 0.0219$)로 비교적 높은 상관관계를 보이고 있는데, 겨울철 강수량이 많으면 광합성율이 저하되고 이는 다시 종자 1개의 무게가 적게 되는 결과를 보인 것으로 판단된다. 하지만 기존의 연구와는 달리 다른 기후지수와 종자 무게와는 상관관계가 인정되지 않았다.

③ 구과피 무게와 국지기후

구과피 무게와 국지기후와의 관계는 맑은 날수와 평균기온이 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 결실 전년의 11월 부터 익년 3월까지 5개월간의 맑은 날수(Z_8)와 겨울철인 12월 부터 2월까지 3개월간의 맑은 날수(Z_9)는 구과피 무게와 부의 상관을 보였다. 반면에 결실 전년도 5월의 평균기온(Z_{19})이 높을수록 구과피 무게가 많은 것으로 추정되어 구과피 무게와 결실 전년 5월의 평균기온은 정의 상관관계를 보였다. 이는 5월하순~6월상순 사이 개화하기 직전의 평균기온이 높으면 종자로 공급되어야 할 광합성 물질이 호흡에 의해 사용된 결과로 추측할 수 있다.

④ 구과피율과 국지기후

구과피율의 경우에도 구과피 무게와 마찬가지로 동일한 경향을 보였는데, 결실 전년의 11월 부터 익년 3월까지 5개월 간의 맑은 날수(Z_8)와 겨울철인 12월 부터 2월까지 3개월 간의 맑은 날수(Z_9)는 구과피 무게와 부의 상관을 보였다. 이러한 결과는 광합성에 영향을 미치는 맑은 날수가 많을수록 구과피율이 낮은 것으로, 광합성에 의해 결실된 구과의 종자생산이 구과피 보다 더 높게 나타난 것으로 해석할 수 있다. 반면에 구과피 무게에서와 마찬가지로 결실 전년도 5월의 평균기온(Z_{19})이 높을수록 구과피의 비율이 높은 정의 상관관계를 보였다.

3.3.2.2. 회귀분석

Table 5는 잣나무 구과와 종자 형질에 관련된 4개 변수와 19개 국지기후 지수와의 관계를 구명하기 위해 회귀분석을 통한 최적 추정식을 작성한 결과이다. 모

Table 5. Regression coefficients of climatic parameters to cone and seed characteristics

Dependent variables	Regression equations	R ²
Average weight of one cone (g)	$Y = 1125.71 - 0.2116*Z_1 - 0.1281*Z_{13} - 4.9662*Z_{17}$	0.96
Average weight of one seed (mg)	$Y = 884.81 - 1.3753*Z_7 - 1.4723*Z_{15} - 0.4760*Z_{18}$	0.97
Average weight of cone coat per cone (g)	$Y = -269.10 + 0.1349*Z_1 - 2.1848*Z_8 - 0.1010*Z_{18}$	0.99
Percentage of cone coat (%)	$Y = 106.10 - 1.9837*Z_9 - 4.2309*Z_{11}$	0.97

든 구과 및 종자 형질을 추정하기 위한 회귀식의 결정계수는 0.96~0.99로 상당히 높은 설명력을 보이고 있다. 이는 국지기후 지수의 조합에 의해 잣나무의 구과 및 종자 형질을 비교적 정도(精度)가 높게 추정할 수 있음을 의미하는 것이다.

먼저 구과 1개당 무게에 영향을 미치는 국지기후 지수는 결실 이전의 15개월 간의 일조시수 합계(Z_1)와 강수량 합계(Z_{13}), 그리고 결실 전년 5월의 흐린 날수로 나타났다. 이들 3개 국지기후 지수의 조합에 의하여 구과의 평균 무게를 추정할 수 있는데, 일반적으로 구과의 무게는 광합성량이 많은 대신 소모가 적은 경우에 대부분의 양분이 구과 형성에 집중되어 상대적으로 무거운 것으로 추정된다. 하지만 광합성에 의하여 만들어지는 물질은 생식생장 외에 영양생장과도 관련이 있는 것이기 때문에 반드시 광합성에 유리한 조건이 구과 무게와 비례하는 것은 아닐 것으로 유추된다.

결과적으로 본 연구에서 작성된 구과 무게 추정 회귀식의 기후지수는 모두 그 부호가 음수로 나타났다. 이는 강수량과 흐린 날수와 관련된 지수는 광합성과 반비례하기 때문에 어느 정도 해석이 가능하지만 일조시수의 경우에는 광합성량과 반대의 결과를 보인 것이다. 따라서 이는 영양생장과 관련이 있는 것으로 볼 수 있다.

이러한 결과는 종자 1개당 평균 무게를 추정하는 회귀식에 채택된 지수들에서도 확인된다. 잣나무 종자 1개의 평균 무게는 결실 전 15개월 간의 맑은 날수 합계(Z_7), 결실 전 겨울철 3개월 간의 강수량 합계(Z_{15}), 그리고 결실 전년 5월의 강수량(Z_{18})의 3개 지수에 의하여 추정할 수 있는 것으로 나타났다. 하지만 이들 지수의 회귀계수는 모두 음수로 나타나 일률적인 해석이 어렵다. 즉, 강수량과 관련된 변수는 광합성에 부정적인 영향을 미치기 때문에 강수량이 많을수록 광합성을 저해하여 종자 무게가 적어 일반적인 경향과 일치하는 결과이다. 그러나 맑은 날수가 많으면 광합성을 증가시키지만 본 연구로부터 얻어진 추정식에서는 반대의 결과를 보이고 있다. 이러한 결과는 구과 무게 추정식의 일조시수에서 설명되었듯이 맑은 날수의 증가에 의한 광합성량의 증가가 생식생장에 반드시 긍정적인 영향을 끼치는 것은 아닌 것으로 해석할 수 있으며, 다른 기후지수와 복합적으로 종자 형질에 작용하는 것으로 판단된다.

구과 1개당 평균 구과피 무게는 결실 전 15개월

동안의 일조시수 합계(Z_1), 결실 전년의 11월 부터 익년 3월까지 5개월 간의 맑은 날수(Z_8), 그리고 결실 전년 5월의 강수량(Z_{18})이 영향을 미치는 기후지수로 채택되었다. 채택된 독립변수의 회귀계수 부호를 보면 일조시수는 구과피의 무게와 정비례의 관계에 있는데, 이는 구과 1개의 무게를 추정하는 회귀식에서도 보았듯이 결실 전에 과도한 일조시수가 구과 형질의 형성에 부정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다.

그러나 결실 전년의 11월 부터 익년 3월까지 5개월 간의 맑은 날수가 많을수록 구과피 무게가 적어 일반적인 경향과 일치하는 결과를 나타냈다. 또한 결실 전년 5월의 강수량은 구과피 무게와 반비례하고 있는데, 이는 개화하기 직전의 강수량이 많으면 광합성 물질이 줄어들어 결과적으로 구과피 형성에도 영향을 미친 결과로 해석할 수 있다. 특히 구과피 무게 추정식은 결정계수가 0.99로 매우 높은 설명력을 유지하고 있음을 알 수 있다.

구과피울의 추정식에서는 결실 전 겨울철 3개월 간의 맑은 날수 합계(Z_9), 그리고 결실 전년의 11월 부터 익년 3월까지 5개월 간의 평균기온(Z_{11})의 지수가 최적 회귀식에 채택되었다.

결실 전 겨울철인 12월 부터 2월까지 3개월 간의 맑은 날수는 구과피울의 감소와 관련이 있는 것으로 나타났는데, 겨울철의 맑은 날수가 많을수록 구과피울이 낮아지는 것으로 해석할 수 있다. 또한 결실 전년 11월 부터 익년 3월까지 5개월 간의 평균기온도 상대적으로 높을수록 구과피울을 낮추어 종자생산에 긍정적으로 작용하는 것으로 판단된다.

IV. 적 요

본 연구는 잣나무 성숙입분을 대상으로 임령별 국지기후 조건을 지형기후학적 방법과 공간통계 기법에 의하여 추정하여 잣나무 입분의 연도별 생식생장에 미치는 국지기후의 영향을 구명하고자 하였다. 이를 위해 지형-기후 관계식을 이용하여 연구 대상지의 평균기온, 최고기온, 최저기온, 상대습도, 강수량, 일조시수, 맑은 날수, 흐린 날수에 대하여 월별·기후치별 평년 값을 도출하고, 공간통계기법에 의하여 연도별·월별 기후치를 산출하였다. 또한 연구 대상지의 잣나무 입분에 대한 연도별 구과 및 종자 결실량, 낙과량, 형질 등 생식생장의 특성을 파악하였다. 이상의 자료에 근

거하여 잣나무 성숙임분의 생식생장에 미치는 국지기후의 영향을 상관분석 및 회귀분석을 통하여 구명한 결과는 다음과 같다.

1년생 구과의 착과수는, 화이분화 연도의 6월과 7월의 평균 일 최저기온, 화이분화 연도의 6월과 7월의 총 강수량, 화이분화 연도 11월 부터 개화수분당년도 4월까지의 흐린 날수 합계와 높은 부의 상관성이 인정되어, 화이분화 연도의 강수량이 적고 일조시간이 많으면 착과수도 많아지는 것으로 파악되었다.

2년생 구과의 결실량과 유의적인 상관관계를 나타낸 기후지수가 없었다. 다만 가장 상관계수가 높은 지수로는 결실전년(개화수분당년) 12월 부터 결실년도 2월까지 3개월간의 겨울철 강수량이 정의 상관관계를 나타냈다.

낙과량에 영향을 미친 기후요소는 개화수분당년 6월 부터 익년 8월까지 15개월 간의 흐린 날수 합계와 개화수분당년 11월 부터 익년 3월까지 동계 5개월 간의 강수량이 상관성이 높은 것으로 나타났고, 낙과율에 있어서는 개화수분당년 6월 부터 익년 8월까지 15개월간의 흐린날수 합계가 가장 영향을 많이 미치는 기후지수로 판명되었다.

구과의 축적량은 구과 성숙 이전의 동계 3개월간의 강수량과 가장 높은 상관을 보이고 있었으며, 축적 비율의 경우에는 상대적으로 많은 5개의 기후 지수와 10% 이내의 높은 상관관계를 인정할 수 있었는데, 특히 구과 성숙 이전의 동계 3~5개월간의 강수량과 높은 정의 상관관계를 보여 동계기간동안 강수량이 많으면 광합성량이 감소하여 임목의 영양상태가 불건전하게 됨으로써 수정에 방해가 되고 중국적으로는 불량한 종자의 비율이 높아지는 결과를 초래하는 것으로 보인다.

구과무게는 개화수분당년 6월 부터 익년(결실년도) 8월까지 15개월간의 강수량과 부의 상관을 보여, 수분 이후 결실과정까지 강수량이 많으면 광합성에 장애를 주어 구과 1개의 무게가 상대적으로 적어지는 것으로 나타났다. 한편 종자 1개의 평균무게는 결실전 동계기간 동안의 강수량 높은부의 상관을 보여 겨울철 강수량이 많으면 광합성율이 저하되고 이는 다시 종자 1개의 무게가 적어지는 결과를 보이는 것으로 판단된다.

구과피무게는 결실 전년 11월 부터 익년 3월까지 5개월간의 맑은 날수와 겨울철인 12월 부터 2월까지 3개월간의 맑은 날수와 부의 상관을 보인 반면에, 결실 전년도 5월의 평균기온과는 정의 상관관계를 보였

다. 구과피울의 경우에도 구과피 무게와 동일한 경향을 보여, 결실전 동계기간동안의 맑은 날수는 종자생산에 긍정적인 영향을 주는 반면, 결실 전년도 5월의 평균기온이 높으면 부정적인 영향을 주는 것으로 파악되었다.

인용문헌

- 강영제, 김선창, 김원우, 김찬수, 박용배, 1990: 해발고에 따른 한라산 구상나무의 구과 및 침엽특성의 변이. 임목육종 연구소 연보. **26**, 119-123.
- 과학기술처, 1992: 전국 그물망 기후값 추정 및 기후도 작성 연구(3). 중앙기상대 기상연구소 주관 특정연구과제. 379 pp.
- 김광식, 1975: 농업기상학. 향문사. 331 pp.
- 산림청, 1981: 임업기술. 1362 pp.
- 손영모, 정영관, 1994: 지형, 토양 및 기상인자가 해송의 수고생장에 미치는 영향. 한국임학회지. **83(3)**, 380-390.
- 신만용, 윤진일, 1992: 지형-기후 관계식에 의한 제주도의 월별 기온분포의 추정. 한국임학회지. **81(1)**, 40-52.
- 신만용, 윤진일, 서애숙, 1999: 공간통계기법을 이용한 전국 일최고/최저기온 공간변이의 추정. 대한원격탐사학회지. **15(1)**, 9-20.
- 이위영, 정덕영, 장석옥, 박문한, 1995: 낙엽송 채종립의 다량착과 현상과 그 원인 구명. 임목육종연구소 연보. **31**, 61-67.
- 전상근, 1978: 잣나무 성숙목의 구과 및 종자결실량. 경희대 산업과학기술연구소논문집. **6**, 81-90.
- 전상근, 1979: 잣나무에 있어서 결실량이 낙과량에 미치는 영향. 경희대논문집. **9**, 649-659.
- 정영관, 이부권, 박남창, 1982: 기상인자가 삼나무 및 편백의 활착률, 직경생장 및 수고생장과 관계 - 진해지방을 중심으로 -. 경상대 논문집. **21**, 117-120.
- 탁우식, 권현민, 김규식, 박예현, 유세걸, 김원우, 1990: 채종원산 소나무, 잣나무, 리기다소나무의 구과생존률과 구과분석에 의한 종자생산 효율분석. 임목육종 연구소 연보. **26**, 35-40.
- 한국수자원공사, 1992: 기상환경 변화 조사(1차). 244 pp.
- 한국수자원공사, 1993: 임하및주암 다목적댐 건설에 따른 기상환경 변화 조사(2차). 306 pp.
- 한국수자원공사, 1994: 임하및주암 다목적댐 건설에 따른 기상환경 변화 조사(3차). 264 pp.
- 한병호, 1987: 몇 개 기상환경 요인이 잣나무의 낙과율 및 축적이 량에 미치는 영향. 경희대 대학원 석사학위 논문. 32 pp.
- 한상섭, 박완근, 1988: 잣나무와 소나무의 직경생장과 Key-Year. 한국임학회지. **77(2)**, 216-221.
- Daubenmire, R., 1968: Some geographic variation in *Picea sitchensis* and their ecologic interpretation. *Canadian Journal of Botany*. **46**, 787-798.
- Edwards, D.G.W., 1986: Cone prediction, collection and processing. In proceedings conifer tree seed to the inland

- mountain west symposium. USDA General Technical Report INT-203. p.70-102.
- 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.
- Thomas, M., P.J. Julian, and O.P. Christer, 1990: Quatitation of gibberellins A₁, A₃, A₄, A₉ and a putative A₉-conjugate in grafts or sitka during the period of shoot elongation. *Plant Physiology*. **93**, 1476-1481.