

지역별 잣나무 초기생장에 미치는 미기후의 영향\*  
- 연년생장과 미기후와의 관계 -

전상근<sup>1</sup>, 신만용<sup>2</sup>

<sup>1</sup>경희대학교 임학과, <sup>2</sup>국민대학교 산림자원학과  
(1999년 8월 3일 접수)

**Effects of Local Climatic Conditions on the Early Growth in Korean White Pine  
(*Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc.) Stands\***

**- Relation between Annual Increment and Local Climatic Conditions -**

Sang-Keun Chon<sup>1</sup>, Man Yong Shin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Forestry, Kyunghee University, <sup>2</sup>Department of Forest Resources, Kookmin University  
(Manuscript received 3 August 1999)

**ABSTRACT**

This study was conducted to investigate the effects of local climatic conditions on the annual increment of Korean white pine planted in Gapyung and Youngdong. For this, stand variables such as 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, annual increments for 8 years from stand age 10 to 18 were calculated for each of stand variables. A topoclimatological technique which makes use of empirical relationships between the topography and the weather in study sites was applied to produce normal estimates of monthly mean, maximum, minimum temperatures, relative humidity, precipitation, and hours of sunshine. Then, the yearly climatic variables from 1990 to 1997 for each study site were derived from the spatial interpolation procedures based on inverse-distance weighting of the observed deviation from the climatic normals at the nearest 11 standard weather stations. From these estimates, 17 weather variables such as warmth index, coldness index, index of aridity etc., which affect the tree growth, were computed on yearly base for each locality. The deviations of measured annual increments from the expected annual increments for 8 years based on yield table of Korean white pine were then correlated with and regressed on the yearly weather variables to examine effects of local climatic conditions on the growth.

Gapyung area provides better conditions for the growth of Korean white pine in the early stage than Youngdong area. This indicates that the conditions such as low temperature, high relative humidity, and large amount of precipitation provide favor environment for the early growth of Korean white pine. According to the correlation and regression analysis using local climatic conditions and annual increments, the growth pattern of Gapyung area corresponds to this tendency. However, it was found that the relationship between annual increments and local climatic conditions in Youngdong area shows different tendency from Gapyung. These results mean that the yearly growth pattern could not sufficiently be explained by climatic conditions with high variance in yearly weather variables. In addition, the poor growth in Youngdong area might not only be affected by climatic conditions, but also by other environmental factors such as site quality.

Key words : Korean white pine, annual increment, local climatic conditions, inverse-distance weighting, topoclimatological technique.

---

Corresponding Author : Man Yong Shin(yong@kmu.kookmin.ac.kr)

\*이 논문은 학술진흥재단에서 지원한 자유공모과제(과제번호 1997-001-G00092)에 의하여 수행된 연구결과의 일부이며 연구비 지원에 감사드린다.

## 서 론

잣나무는 목재생산뿐만 아니라 종자생산이라는 효용성 때문에 1960년대 이후 장기 용재수종으로 식재가 장려된 주요 경제수종의 하나이다. 하지만 그동안 대면적에 조성된 잣나무림은 인건비의 상승과 저가의 외국산 잣의 수입으로 잣 생산을 통한 수익을 기대하기가 어려운 실정이다. 잣나무림의 수익증대를 위해서는 양질의 목재생산과 고품질의 종자를 증산시킬 수 있는 부가가치가 높은 임분으로 유도가 필요한데, 잣나무는 다른 수종에 비하여 기상변동에 비교적 민감하게 반응하는 것으로 알려져 있어(한상섭과 박완근, 1988) 국지적 기상조건과 지역별 잣나무의 성장 특성을 고려한 조림적지의 판단이 필요하다. 특히 생장에 영향을 미치는 환경요인 중에서 기상인자는 인위적 조절이 불가능하기 때문에, 잣나무 생육 임분의 국지적 기상조건을 고려한 적지판단과 위도 및 지리적 조건을 고려한 조림한계의 설정 등이 보다 합리적으로 계획되어야 한다(노의래, 1983).

우리 나라 기상정보의 생산과 이용은 일반적으로 광역적 구분에 의하여 실시되는데, 특히 임업에 대한 기상인자의 적용은 산림대를 연평균기온에 의하여 구분하는 수준(정태현과 이우철, 1965)에 머물러 너무 포괄적이고 실용적이지 못하다. 또한 대부분의 연구(정영관 등, 1982; 손영모와 정영관, 1994)가 연구 대상지 주변의 정규기상관측소의 자료를 광역적 개념으로 직접 이용함으로써 수집된 기상정보가 국지기후를 대표하기에는 부적절하였던 것이 사실이다. 오늘날의 세분화된 산업사회에서는 각 분야의 전문 기상정보의 활용이 요구되고 있는데, 임업에서의 전문 기상정보라 할 수 있는 산림의 국지적인 기상상태의 경우 정규기상관측망을 통해서도 정확한 파악이 용이하지 못하다. 최근 자동기상관측망(AWS)으로부터의 자료를 이용하려는 경향이 있으나 미관측 지점을 포함하는 산림지역의 국지기후를 정확히 예측하기에는 관측밀도가 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-기후 관계식을 도출·적용함으로써 월별, 기후치별 평년값을 제공하는 것이다. 한편 이와 같이 얻어진 기후 평년값과 정규기상관측소에서 수집한 연도별 실측 월별 기상자료, 그리고 미관측 격자점과 정규기상관측소간의 거리 가중치를 고려한 공간통계기법을 이용하면 연도별 미관측 지점의 월별 기상분포의 복원이 가능하다.

본 연구는 이러한 취지에서 환경조건이 다른 2개의 잣나무 차대검정림을 대상으로 임령별 직경 및 수고 성장 등 지역별 초기성장 특성을 파악하고, 지역별·임령별 미기후 조건을 지형기후학적 방법과 공간통계기법에 의하여 추정함으로써 잣나무 유령임분의 연년성장량과 미기후의 관계를 통하여 지역별 잣나무 초기생장에 미치는 미기후의 영향을 구명하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 지역별 잣나무 초기성장 특성 파악

본 연구는 잣나무 모수선발을 통하여 조성된 2개의 차대검정림을 대상으로 하였다. 환경 조건이 서로 다른(표 1) 경기도 가평과 충청북도 영동에 조성된 차대검정림은 1997년 현재 18년생으로, 각각 1ha의 면적에 2,500본씩 식재된 후 매년 생육본수, 직경, 그리고 수고를 측정하였다.

임분이 조성된 후 10년생 이전의 임분통계량은 양적으로 의미가 없기 때문에, 지역별 그리고 임령별 성장특성은 10년생 이후로 제한하여 몇 가지 임분변수를 분석하였다. 지역별로 평균 흉고직경, 평균 수고, ha당 본수, ha당 흉고단면적, ha당 재적에 대하여 임령별 변화를 분석하였으며, 각 임분변수에 대하여 10년생부터 18년생까지 8년간의 임령별연년성장량을 지역별로 추산하였다.

이를 통하여 지리적 위치와 지형적 특성이 다른 2개 잣나무 임분의 초기성장 특성을 파악하고, 18년생까지의 임령별 성장변이가 지역적 기상요인에 의해 어떻게 영향받았는지를 분석하였다.

Table 1. Summary of topographical characteristics for study sites.

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

## 2. 지역별 미기후 추정

### 1) 월별 평년기후값의 추정

임목의 생장에 가장 많은 영향을 미치는 기상인자는 평균기온, 최고기온, 최저기온, 상대습도, 강수량, 그리고 일조시수로 요약할 수 있다(Sander, 1971; 정영관 등, 1982; 손영모와 정영관, 1994). 본 연구는 지역별 미기후 조건이 잣나무 생장에 미치는 영향을 파악하기 위해 지형기후학적 방법을 이용하여 지역별·월별 기후 평년값을 추정하였다(Nakai, 1987; Okamura, 1987; 신만용과 윤진일, 1992; 수자원공사, 1992, 1993, 1994). 먼저 남한 전역에 분포된 70여개의 정규기상관측소 중에서 지리적으로 가평지역과 가까운 강화, 서울, 인천, 수원, 양평, 이천, 춘천, 홍천, 원주, 제천, 그리고 충주의 11개 정규기상관측소와 영동지역과 지리적으로 인접한 추풍령, 보은, 청주, 굽산, 대전, 문경, 구미, 의성, 안동, 충주, 그리고 대구의 11개 정규기상관측소를 대상으로 지난 30 여년 간의 자료를 이용하여 6개 기상인자를 월별·관측소별로 요약·정리하였다.

이 자료를 수치화된 지리지형 변수에 회귀시켜 각 지역에 적용할 수 있는 월별 평년기후값 계산식을 도출하기 위해 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 지점의 해발고도를 이용하여 계산하였다. 해발고도 자료는 USGS DEM(digital elevation measurement)으로부터 한반도 지역의 30" 간격으로 수집된 격자별 해발고도 자료를 이용하였고, 연구지역 주변 11개 기상관측소의 격자점을 중심으로 사방 2'30"(약 4.5km) 범위까지의 격자점에 대하여 지형변수를 정량화하였다.

기상관측소 격자점에 대한 기후값과 정량화된 지형 자료를 이용하여 경기도 가평과 충청북도 영동지역의 월별 평년 기후값 추정이 가능한 최적 회귀식을 작성하였다. 이와 같이 연구 대상지별로 각각 작성된 72개의 월별·기후치별 지형-기후 추정식을 각 연구 대상지에 적용시키기 위하여, 잣나무 차대검정림이 조성된 각 지점의 위도 및 경도 정보를 이용해 해당 격자점의 지형인자를 정량화하고 사방 5개의 격자(2'30")의 지형을 고려하여 모두 162개의 지형인자를 수치화하여 파일로 저장하였다. 이상과 같이 수치화된 지형인자를 위에서 얻은 월별·기후치별 평년기후값 산출 회귀식에 적용하여 가평과 영동의 차대검정림에 해당하는 격자점의 6개 기상인자에 대한 월별 평년기

후값을 추정하였다.

### 2) 연도별·월별 기후값의 도출

잣나무 유령임분의 초기생장, 특히 연년생장에 미치는 지역별 미기후 조건을 구명하기 위해서는 연도별 기후의 복원이 필수적이다. 이를 위해 거리역산가중법(Inverse Distance Weighting)(清野, 1993; 신만용 등, 1999)에 의하여 가평과 영동지역의 1990년부터 1997년까지의 8년간의 월별 평균기온, 최고기온, 최저기온, 상대습도, 강수량, 일조시수를 추산하였다(식 1).

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

여기서,  $d_0$  = 가평(또는 영동) 지역 해당 격자점의 기후 편차값,  $T_j$  = j 번째 기상관측소의 해당 연도 기후 실측값,  $A_j$  = j 번째 기상관측소 해당 격자점의 기후 평년값,  $R_j$  = 가평(또는 영동)지역 해당 격자점에서 j 번째 기상관측소까지의 거리이다. 식 (1)에 의하여 계산된 가평 또는 영동지역의 1990년부터 1997년까지 8년간의 기후치별 편차값을 앞에서 얻은 해당 격자점의 평년 기후값에 더하여 연도별·월별 기후값을 산출하였다(식 2).

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

여기서,  $T_0$  = 가평 또는 영동지역의 연도별, 월별 기후 추정치,  $A_0$  = 가평 또는 영동지역 해당 격자점의 월별 기후 평년값이다. 결과적으로 가평과 영동의 2개 지역에 대하여 1990년부터 1997년까지 월별 기후 추정치 파일이 만들어졌다.

### 3. 지역별 미기후 조건과 연년생장과의 관계

지역별 기후조건이 조사 대상지의 임목 생장에 미치는 영향을 밝히기 위해 평균 흉고직경, 평균 수고, 흉고단면적, 그리고 재적에 대하여 10년생 이후 8년간의 임령별 연년생장량과 해당 지역의 연도별 기후치를 이용하여 상관관계를 분석하였다. 연년생장량은 임령과 지위에 따라 그 성장능력이 다르기 때문에 이를 연도별 기후치와 합리적으로 비교할 수 있는 기준이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 두 지역의 지위와 해당 임령을 고려하여 생장의 기준이 되는 잣나무

Table 2. Weather variables estimated by 6 climatic normals.

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

임분 수확표의 10~18년생까지의 임분변수별 성장량과 실측 연년성장량과의 편차를 이용하였다. 즉, 해당 지역의 지위를 고려한 임령별 성장능력과 실제 연년성장과의 차이가 해당 지역의 어떤 기상요인에 의하여 영향을 받는지를 구명하고자 하였다.

또한 기후변수는 월별 기온(평균, 최고, 최저), 상대 습도, 강수량, 일조지수에 의하여 계산된 값으로, 임목 성장에 영향을 미칠 것으로 판단되는 17개의 변수를 지역별·연도별로 도출하였다(표 2). 이들 기후변수에서 성장기간은 4월부터 10월까지의 7개월간의 자료를 이용하였으며 성장기간의 초기 3개월은 4월부터 6월까지이고, 비성장기간은 전년도 11월부터 다음 해 3월까지의 5개월간을 의미한다. 온량지수(X<sub>1</sub>)와 한랭지수(X<sub>2</sub>)는 월 평균기온을 이용하여 계산하였고(김황식, 1975; 임경빈, 1985) 건조지수(X<sub>3</sub>)는 강수량과 평균기온과의 관계를 이용하여 얻었다(Kramer, 1988). 나머지 기후변수는 월별 상대습도, 강수량, 그리고 밀사량으로부터 변환된 것이며, X<sub>16</sub>과 X<sub>17</sub>은 각각 성장기간과 비성장기간의 월별 최고기온과 최저기온간의 차를 누적시킨 값이다.

상관분석을 통하여 직경, 수고, 단면적, 그리고 재적의 연년생장에 미치는 기후변수별 경향을 1차적으로 분석한 후, 각 임분변수별로 지난 8년간의 연도별 성장 경향이 지역간 기후조건 중에서 어떤 기상요인에 의하여 가장 영향을 받는지를 구명하기 위하여 연년

성장량과 기후변수간의 회귀분석을 실시하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 지역별·임령별 성장특성

#### 1) 임분변수별 성장특성

전체적으로 가평이 영동에 비하여 모든 임분변수에 있어서 임령별로 월등히 우수한 성장을 보이고 있다. 각 지역의 임령별 평균 흉고직경의 경우에 가평이 영동에 비하여 훨씬 큰 것을 알 수 있다(표 3). 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. 특히 가평의 임분 밀도가 영동에 비하여 높다는 점과 밀도는 직경생장에 영향을 미친다는 사실을 감안하면 가평의 직경생장이 영동에 비하여 월등히 우수함을 알 수 있다. 일반적으로 밀도에 크게 영향을 받지 않는 것으로 알려진 수고생장의 경우에도(Clutter 등, 1992) 임령별로 가평지역의 평균 수고가 영동에 비하여 우수한 것으로 나타났는데, 가평은 10년생의 평균 수고가 1.9m이고 18년생이 6.3m인 반면 영동은 1.0m와 4.4m를 보이고 있다. 흉고직경과 마찬가지로 가평의 수고생장은 영동과 큰 차이를 보이고 있는데, 이들 지역의 수고생장은 시간이 경과하면서 1.9배에서 1.4배로 점차

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

Age	Site*	N	DBH (cm)	H $\bar{T}$ (m)	BA/ha(m <sup>2</sup> )	V/ha(m <sup>3</sup> )
10	Gp	1804	3.7± 1.3	1.9± 0.6	2.2	3.1
	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
	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
	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
	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
	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
	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
	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
	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
	Yd	1409	5.5± 2.1	4.4± 1.2	3.9	11.0

\* Gp : Gapyung, Yd : Youngdong.

감소하고 있지만 실제 수고는 14년생 이후 약 2m 내외의 차이를 보이고 있다.

단위 면적당 흉고단면적과 재적의 경우에도 지역간에는 비슷한 경향을 보이고 있다. 특히 흉고단면적과 재적은 임령별 생육본수에 의하여 크게 영향을 받는 것이 사실이지만, 영동지역의 단면적과 재적은 우리나라 잣나무 임분 수확표(산림청, 1981)의 최저 지위인 지위 6에도 못 미치는 임분구조를 보이고 있다. 가평지역의 경우에는 18년생 현재 ha당 흉고단면적이 14.4m<sup>2</sup>이고 재적은 51.7m<sup>3</sup>인데, 일반적으로 알려진 바와 같이 가평은 우리 나라 잣나무 주산지로 잣나무 생육에 최적의 기후와 지형적인 조건을 갖춘 반면, 충청북도 영동은 위도상으로 잣나무 생육 한계점에 가깝다는 점과 상대적으로 해발고도가 높고 경사가 심한 지형조건이 잣나무 초기생육에 영향을 미쳐 이러한 결과를 나타낸 것으로 판단된다.

## 2) 임령별 성장량

위에서 분석된 임분변수 중에서 생육본수를 제외한 평균 흉고직경, 평균수고, 흉고단면적, 그리고 재적에 대하여 임령별 연년성장량과 가평과 영동의 지위에 해당하는 10과 6을 각각 적용하여 해당 임령에서 기대되는 임분변수별 연년성장량을 잣나무 임분 수확표에서 요약한 결과는 표 4와 같다. 가평지역의 평균직경은 등락의 폭은 있으나 임령이 증가하면서 연년성장량이 증가하여 18년생은 0.9cm로 성장의 활력을 유지하고 있다. 이는 수확표 상의 임령별 성장량 0.80

~0.86cm와 비교하여 임령별로 심한 편차를 보이는 것이다. 평균수고는 임령에 따라 대체적으로 약 0.4m에서 0.7m의 범위로 매년 성장하고 있는데, 이는 수확표의 값과 비슷한 경향을 보이는 것으로 18년생까지 여전히 높은 성장상태를 보이고 있다. 한편 흉고단면적은 임령이 증가하면서 큰 폭의 성장을 유지하고 있고, 임령이 커지면서 점차 수확표의 값을 상회하고 있다. 재적의 경우에도 비슷한 경향을 보이는데 15년생 이후 연간 10m<sup>3</sup> 내외의 성장을 나타내 임령 증가에 따른 높은 성장률을 유지하고 있다. 우리나라 침엽수림 재적의 연간 평균성장률이 일반적으로 6% 정도인 것을 감안하면, 현 단계의 가평지역의 생장은 매우 양호하며 앞으로의 잠재적인 성장 가능성이 매우 높은 임분으로 판단된다.

영동지역의 평균 흉고직경과 수고의 성장량은 가평지역보다는 다소 적으나 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 수확표와의 비교도 가평지역과 비슷한 경향을 보이고 있다. 표 3에서와 같이 영동지역의 임령별 흉고직경과 수고의 절대치가 가평에 비해 훨씬 작지만 높은 성장률을 유지하고 있어 시간이 경과하면서 가평과 영동간의 흉고직경 및 수고의 차이는 점점 좁혀질 것으로 보인다. 흉고단면적과 재적의 임령별 성장량도 가평 지역에 비하여 훨씬 낮게 나타났는데, 이는 가평보다 ha당 본수가 300본 정도 적다는 점과 지형 및 기후 등의 환경적인 차이에 기인한 것으로 판단된다. 특히 지위 6을 고려한 수확표의 임령별 성장량과 비교하여도 전반적으로 적은 성장을 유지하고 있다.

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

Age	Year	Site	Mean Diameter Increment (cm)		Mean Height Increment (m)		Basal Area Increment (m <sup>2</sup> /ha)		Volume Increment (m <sup>3</sup> /ha)	
			Real	Table	Real	Table	Real	Table	Real	Table
10~11	1990	Gp	0.4	0.80	0.6	0.47	0.4	0.96	1.6	2.12
		Yd	0.4	0.55	0.3	0.35	0.2	0.35	0.3	0.84
11~12	1991	Gp	0.6	0.81	0.4	0.48	0.8	1.09	2	3.05
		Yd	0.5	0.56	0.4	0.36	0.2	0.50	0.4	1.22
12~13	1992	Gp	0.7	0.82	0.7	0.49	1.0	1.22	3.5	3.96
		Yd	0.3	0.57	0.3	0.37	0.3	0.65	0.5	1.60
13~14	1993	Gp	0.5	0.83	0.6	0.50	0.8	1.40	3.3	5.33
		Yd	0.7	0.58	0.3	0.38	0.6	0.72	1.0	2.18
14~15	1994	Gp	0.8	0.84	0.6	0.51	1.6	1.60	5.8	6.72
		Yd	0.6	0.59	0.4	0.38	0.3	0.79	1.2	2.76
15~16	1995	Gp	1.5	0.85	0.5	0.52	3.1	1.80	11.4	8.11
		Yd	0.4	0.60	0.6	0.39	0.4	0.86	1.4	3.34
16~17	1996	Gp	0.8	0.85	0.6	0.53	2.0	2.00	9.8	9.51
		Yd	0.8	0.61	0.6	0.39	0.8	0.93	2.8	3.92
17~18	1997	Gp	0.9	0.86	0.4	0.54	2.4	2.20	11.2	10.89
		Yd	0.7	0.62	0.5	0.40	1.0	1.00	3.3	4.50

\*The expected annual increment obtained based on yield table of Korean white pine at the specific stand age..

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 Hours(hour)
1	Gp	-5.7	1.1	-11.9	69.0	18.0	168.6
	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
	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
	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
	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
	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
	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
	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
	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
	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
	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
	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
	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
	Yd	10.7	17.5	6.0	64.2	99.0	205.1

하지만 현재의 생장률이 흉고직경이나 수고보다도 훨씬 높게 나타나 시간이 경과하면서 지역간의 ha당 흉고단면적과 재적도 그 차이가 점점 줄어들 것으로 보인다.

결과적으로 가평지역은 18년생 현재 어느 정도 안정된 임분구조를 유지하고 있는 것으로 판단되어 앞으로 지속적인 생장을 유지하기 위하여는 간벌 등 적합한 무육이 필요한 시점에 도달한 것으로 추측된다. 반면에, 영동지역은 아직 축적을 포함한 임분변수의 절대량이 적어 본격적으로 큰 폭의 생장을 이루기 위해서는 당분간 현재의 임분구조를 유지하면서 현존량을 늘려야 하는 문제를 가지고 있다. 따라서 이러한 점을 고려한 지역적 시업의 시기와 강도를 조절할 필요가 있다.

## 2. 지역별 미기후의 추정

표 5는 지역별로 추정된 6개 월별 평년기후치의 요약이다. 추정된 월별 기후치는 지역별 변이를 잘 표현하고 있으며, 연평균으로 비교했을 경우 평균기온과 최저기온은 가평이 영동보다 낮게 나타났다. 그러나 최고기온의 경우에는 오히려 가평이 영동보다 높게 추정되었다. 월별로 기온을 비교했을 경우 지역적으로 약간의 변이를 볼 수 있는데, 이러한 결과는 주로 지역간의 위도 차이와 해발고도가 다른 지형적 특성이 복합적으로 작용한 것으로 해석할 수 있다.

상대습도는 가평이 영동에 비하여 크게 높는데 이는 가평지역 주변의 청평댐, 춘천댐, 의암댐 등의 영향으로 판단된다. 이러한 결과는 지역별 강수량과도 관련이 있는데, 강수량은 그 특성상 연간변이가 상당히 심한 기후변수이다. 또한 월평균보다는 연간 또는 생육기간 동안의 합계가 임목생장에 영향을 미치는 것으로 예측되는데, 영동의 경우 가평에 비하여 년 200mm 정도 강수량이 적은 것으로 나타났다. 강수량은 임목생육에 중요한 영향을 미치는 기상요인임을 감안하면(Carmean, 1954; Jackson, 1962; Grace 와 Norton, 1990) 영동의 잣나무 초기생장이 저조한 이유 중에서 강수량 부족이 하나의 중요한 원인임을 알 수 있다.

지역별 일조시수의 연간 그리고 생육기간동안의 총시간은 가평과 비교하여 영동이 약 100시간 정도 많아 강수량과는 반대의 경향을 나타내고 있다. 결국 상대적으로 성장상태가 우수한 가평은 평균기온이 낮고 강수량이 많으며 상대습도가 영동지역보다 높은 특징을 보이고 있다. 특히 잣나무가 한랭한 기후조건에서 잘 자란다는 특성을 고려하면(노의래, 1983) 가평지역이 수분조건과 함께 영동에 비하여 온도가 낮

은 기온조건에 의하여 상대적으로 양호한 생장을 보이는 것으로 판단할 수 있다. 생장이 저조한 영동은 지리적 특성으로 인하여 기온이 상대적으로 높고 강수량은 적은 특징을 보여 이러한 지역별 기후특성이 잣나무 초기생장에 영향을 미친 것으로 보인다.

이상의 지역별·월별 6개 기후치로부터 계산된 17개 기후변수의 지역별·연도별 요약은 표 6과 같다.

본 연구에서 사용된 17개 기후변수는 모두 지역에 관계없이 연간 변이를 보이고 있다. 기온과 상대습도와 관련된 기후변수는 상대적으로 연간변이가 심하지 않은 편이나, 강수량과 일조시수와 관련된 변수는 심한 연간 변이를 나타내고 있다. 온량지수( $X_1$ )와 한랭지수( $X_2$ )는 가평지역이 영동에 비하여 연도별로 약 1~5°C 정도 높게 나타났다. 그러나 건조지수( $X_3$ )도 대체적으로 가평이 다소 높으나 연도별로는 뚜렷한 경향을 찾을 수 없었다.

지역간에 확실한 차이를 보이는 기후변수는 상대습도로부터 유도된 기후변수( $X_4 \sim X_6$ ), 강수량 관련 기후변수( $X_7 \sim X_{11}$ ), 그리고 일조시수 관련 기후변수( $X_{12} \sim X_{15}$ )이다. 가평지역 주변에는 여러 개의 다목적 댐이 있어 영동에 비하여 상대적으로 습도가 높고, 또한 영동지역의 강수량이 가평에 비하여 현저히 적어 이러한 특징이 연도별 기후변수에 반영되어 나타난 것으로 판단된다. 일조시수는 강수량과는 상반된 경향을 보이기 때문에 일조시수 관련 기후변수는 영동지역이 가평에 비하여 연도에 관계없이 큰 것으로 추정되었다. 기후변수 중에서 한가지 특징적인 것은 생장기간 동안의 최고기온과 최저기온의 차의 합을 나타내는  $X_{16}$ 의 경우에는 가평지역이 영동에 비하여 약간 크게 나타났지만, 비생장기간의 기온차의 합( $X_{17}$ )은 반대의 경향을 보여 영동이 가평에 비하여 크게 추정되었고 그 차이가  $X_{16}$ 에 비하여 훨씬 크다. 이러한 사실은 가평은 4월에서 10월까지의 생장기간 동안에 영동에 비하여 월별 최고와 최저기온의 차이가 더 크지만 영동과의 차이는 그다지 크지 않음을 의미한다. 그러나 영동지역은 비생장기간인 전년도 11월부터 다음해 3월까지의 최고와 최저기온의 차가 가평에 비하여 훨씬 심하고, 이러한 특성이 잣나무 생육에 어떠한 형태로든 영향을 미친 것으로 보인다.

## 3. 지역별 기후조건과 생장의 관계

지역별로 차이를 보이고 있는 연도별 17개 기후변수(표 6)가 임분변수별 연년생장량(표 4)에 어떠한 영향을 미치는지를 밝히기 위하여 유의수준 10%까지의 상관관계를 분석한 결과는 표 7과 같다.

직경생장의 경우 가평은 생장초기 3달간의 상대습도

Table 6. Yearly estimates of 17 weather variables for study sites.

Weather Variables	Gapyung								Youngdong							
	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
X <sub>1</sub>	89.4	87.1	84.2	82.0	96.2	84.2	86.2	89.2	87.9	82.9	81.1	77.8	91.8	79.4	81.5	83.6
X <sub>2</sub>	26.0	30.2	26.4	27.8	27.4	33.2	38.0	27.4	22.2	25.7	22.4	24.3	25.0	29.4	33.5	24.3
X <sub>3</sub>	94.1	56.5	53.4	54.0	44.1	69.6	50.8	54.4	71.0	49.3	45.0	53.6	36.2	55.1	50.4	56.7
X <sub>4</sub>	75.5	70.5	72.7	72.8	70.4	70.9	71.3	68.6	70.7	67.1	67.3	67.6	64.8	63.2	67.1	64.9
X <sub>5</sub>	76.0	70.5	72.6	72.2	70.6	70.5	71.5	68.9	73.9	69.6	69.3	69.5	67.0	65.0	69.8	67.0
X <sub>6</sub>	71.9	62.7	64.6	66.9	61.1	59.6	65.8	64.1	69.6	62.5	62.8	64.1	60.3	55.9	64.9	63.2
X <sub>7</sub>	2278	1386	1246	1283	1073	1655	1208	1329	1738	1233	1069	1312	891	1312	1214	1406
X <sub>8</sub>	191	117	105	109	90.9	140	94.9	112	145	103	89.1	109	74.2	109	93.6	117
X <sub>9</sub>	2050	1267	1130	1181	1036	1589	1094	1176	1454	1061	925	1148	810	1205	1030	1167
X <sub>10</sub>	655	303	286	439	296	168	345	454	557	308	279	469	317	212	461	501
X <sub>11</sub>	245	137	134	121	54.5	84.4	131	171	284	172	144	165	80.9	107	184	239
X <sub>12</sub>	156	194	175	170	183	173	165	188	169	195	185	182	205	198	191	207
X <sub>13</sub>	1873	2333	2099	2043	2195	2079	2149	2254	2030	2338	2213	2184	2458	2369	2470	2486
X <sub>14</sub>	1229	1555	1381	1350	1387	1245	1280	1429	1342	1612	1468	1419	1550	1438	1450	1575
X <sub>15</sub>	482	750	666	572	634	646	571	590	559	810	736	657	696	752	650	696
X <sub>16</sub>	96.5	108	100	104	107	104	106	107	91.7	99.0	96.4	98.3	104	101	101	102
X <sub>17</sub>	56.3	61.5	58.1	57.4	63.6	69.2	74.7	68.4	94.8	98.4	97.9	97.2	104	107	115	98.8

Table 7. Correlation between annual increment of 4 stand variables and 17 weather variables in study sites.

Weather Variables	Annual Increment in Gapyung				Annual Increment in Youngdong			
	DBH	Height	Basal Area	Volume	DBH	Height	Basal Area	Volume
X <sub>2</sub>					-0.7816**	-0.8705***		
X <sub>4</sub>		-0.7157**						-0.9090***
X <sub>5</sub>		-0.7165**						-0.9177***
X <sub>6</sub>	0.7541**		0.7198**				-0.6781*	-0.9079***
X <sub>10</sub>	0.7142**		0.6613*				-0.8709***	-0.6313*
X <sub>11</sub>							-0.8170**	-0.7773**
X <sub>12</sub>		0.6419*						0.6295*
X <sub>13</sub>		0.6438*			-0.7798**	-0.7144**		
X <sub>16</sub>		0.6961*			-0.6641*			0.7344**
X <sub>17</sub>	-0.6292*		-0.6443*	-0.6091*	-0.7476**	-0.8311***		

\*\*\* Significant at 1% level. \*\* Significant at 5% level, \* Significant at 10% level.

와 강수량과 양의 상관관계를 보이고 있으며 비생장기간의 최고기온과 최저기온의 차이의 합계와는 음의 상관관계가 인정되었다. 반면에 영동지역은 한랭지수, 연간 일조시수, 그리고 생장기간 또는 비생장기간의 최고기온과 최저기온의 차이의 합계와 모두 음의 상관관계를 보이고 있다. 이는 지역간에 선택된 기후변수의 차이는 있으나 강수량과 일조시수는 반비례의

관계가 인정되기 때문에 이들 기후변수간에 서로 상반된 결과가 보인 것이며, 연년 직경생장량에 미치는 기후변수는 지역별로 차이가 없음을 알 수 있다. 이러한 결과는 기존의 연구(한상섭과 박원근, 1988)에서 잣나무의 직경생장은 온도보다는 안개, 일사량, 상대습도 등에 더 영향을 받는다는 보고와 일치하는 것이다.



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

Dependent Variables	Study Sites	Regression Equations	R <sup>2</sup>
DBH Increment	Gp	$Y = -7.52 + 0.0811 X_6 + 0.0017 X_{14}$	0.86
	Yd	$Y = 1.92 - 0.0181 X_2 - 0.0005 X_{10} - 0.0005 X_{13}$	0.95
Height Increment	Gp	$Y = 4.54 - 0.0686 X_4 + 0.0002 X_7$	0.86
	Yd	$Y = -0.53 - 0.0230 X_2 + 0.0162 X_4$	0.84
Basal Area Increment	Gp	$Y = -13.86 + 0.1462 X_6 + 0.0033 X_{14}$	0.82
	Yd	$Y = -0.46 + 0.0146 X_1 - 0.0013 X_{10}$	0.90
Volume Increment	Gp	$Y = 11.58 - 0.0036 X_9 + 0.0065 X_{10} - 0.1428 X_{17}$	0.87
	Yd	$Y = 16.17 - 0.1779 X_5 - 0.0018 X_{14}$	0.96

수고생장의 경우에 가평은 상대습도가 낮고 일조시수가 많은 경우에 생장이 좋은 것으로 나타나 직경생장과는 다소 다른 결과를 보이고 있다. 하지만 영동의 경우에는 한랭지수, 일조시수, 그리고 비생장기간 봉안의 온도차와 모두 음의 상관관계가 인정되었다. 이러한 결과는 전상근 등(1999)이 정기평균 성장량에 미치는 미기후의 영향분석에서 수고생장은 생육지역의 수분조건뿐만 아니라 한랭한 기후조건일 때 생장에 도움이 되며, 특히 생육기간 동안의 강수량과 기온조건이 절대적인 영향을 미친다고 보고한 결과와 다소 차이가 있다. 또한 해송의 수고생장은 상대습도, 총강수량, 건조지수에 가장 영향을 많이 받는다는 연구결과(손영모와 정영관, 1994)와 시베리아 느릅나무의 수고생장에 강수량이 관계하고 있다는 보고(Sander, 1971)와도 어떤 일정한 경향을 찾을 수 없다. 결국 본 연구에서 짧은 기간 동안에 수집된 기후자료를 이용하여 지역적 환경조건이 다른 두 지역에서 나타나는 수고생장의 연간변이를 설명하기에는 한계가 있는 것으로 판단된다.

흉고단면적 생장은 직경생장과 밀접한 관계로 인하여 가평의 경우에는 직경생장과 동일한 결과를 나타냈다. 그러나 영동은 오히려 상대습도와 강수량과 관련된 기후변수와 음의 상관관계가 인정되어 지역간에 다른 결과를 보이고 있다. 이러한 현상은 영동의 생장이 낮은 지위로 인하여 임령에 비하여 생장이 저조하기 때문에 일반적인 현상과 다른 결과를 보인 것으로 추측할 수 있다. 한편 재적생장은 가평의 경우 비생장기간의 최고기온과 최저기온의 차이의 합계( $X_{17}$ )와 유일하게 음의 상관관계가 인정되어 수고생장보다는 단면적생장에 더 영향을 받는 것으로 나타났다. 영동은 비교적 많은 7개의 기후변수와 상관관계가 인정되었는데, 상대습도와 강수량과는 음의 상관관계가 인정되었고 일조시수 및 생장기간 동안의 기온차의 합

계와는 양의 상관관계가 인정되었다.

일반적으로 잣나무의 생장은 어느 정도의 습도를 유지되어야 생장에 좋은 것으로 알려져 있는데(한상섭과 이재선, 1985), 연년성장량의 경우 일정한 경향을 보이지 않고 오히려 가평의 수고생장과 영동의 재적생장은 음의 상관관계가 인정되었다. 그러나 상대습도는 강수량과 밀접한 관계를 가지고 있어 호수 주변 지역인 가평의 잣나무 생장이 영동에 비하여 우수한 결과를 보인 것으로 판단되며, 실제로 가평의 직경생장과 단면적생장은 성장초기의 상대습도가 생장에 영향을 미친 것으로 나타났다. 또한 가평은 강수량이 생장에 긍정적으로 영향을 미친 반면에 영동은 지나치게 적은 강수량 때문에 반대의 경향을 보였다. 이러한 결과는 지역적으로 가까운 강원도 홍천의 잣나무 생장에 관여하는 기후인자가 일조시수, 강수량, 상대습도, 온량지수 등이었다는 보고(한상섭과 박완근, 1988)와 일치한다. 표 8은 임령별 흉고직경, 수고, 흉고단면적, 재적의 연년성장량과 해당 연도별 17개 기후변수를 이용하여 작성된 기후-연년성장량 추정회귀식이다. 지역별로 모든 임분변수의 연년성장량은 2~3개의 기후변수에 의하여 추정되는데, 가평지역의 임분변수별 연년성장량은 주로 상대습도, 강수량, 일조시수가 가장 영향을 많이 미치는 변수로 채택되었다. 반면에 영동지역은 온량지수, 한랭지수, 상대습도, 강수량, 그리고 일조시수 등 다양한 기후변수가 임분변수별 연년성장량의 추정에 채택되어 지역간 임분변수별로 어떤 일정한 경향을 보이지 않았다. 이는 잣나무 생장에 영향을 미치는 기후변수가 수분조건과 함께 한랭한 기온조건이라는 일반적인 사실에도 불구하고 환경조건이 다른 두 지역의 잣나무 유령임분에서 연년생장을 설명하는 기후변수는 어떤 특징적인 경향을 도출하기에는 연간변이가 심한 것으로 판단된다. 그러나 본 연구에서 사용된 자료로부터 모든 임분변

수의 연년생장량을 추정하는 회귀식의 결정계수는 가평지역은 0.82~0.87, 그리고 영동지역은 0.84~0.96으로 나타나 두 지역 모두 상당히 높은 설명력을 보이고 있다.

## 적 요

본 연구는 경기도 가평과 충청북도 영동에 식재된 잣나무 임분의 임령별 연년생장을 파악하고 지역적 기후조건이 잣나무 초기생장에 미치는 영향을 구명하기 위하여 수행하였다. 먼저 각 지역의 임령별 평균 흉고직경, 평균 수고, ha당 흉고단면적, ha당 재적 등의 임분통계량을 측정· 요약하였으며, 이에 근거하여 10년생부터 18년생까지 8년간의 초기생장에 대한 임분변수별 연년생장량을 파악하였다. 연구 대상지의 지역별 미기후는 지형과 기후치간의 관계를 이용한 지형기후학적 방법에 의해 평균기온, 최고기온, 최저기온, 상대습도, 강수량, 그리고 일조시수의 월별 평년값을 추정한 후, 공간통계기법을 적용하여 지역별· 연도별 월별 기후치를 추정하였다. 이들 자료를 이용하여 임목생장에 영향을 미칠 것으로 판단되는 온량지수, 한랭지수, 건조지수 등의 17개 기후변수를 지역별· 연도별로 산출하고 임분변수별 연년생장량과의 상관분석 및 회귀분석을 실시하였다.

잣나무의 초기생장은 경기도 가평이 충청북도 영동에 비하여 훨씬 우수한 성장을 보이고 있었다. 일반적으로 잣나무 임분의 생장은 기온이 낮고 강수량이 많아 높은 습도를 유지하는 지역이 적합한 것으로 알려져 있다. 지역별로 추정된 연도별 미기후와 연년생장과의 상관관계와 회귀분석 결과에 의하면, 가평 지역 잣나무 유령임분의 연년생장은 이러한 일반적인 생장-기후 관계와 일치하는 것으로 나타났다. 하지만 영동지역의 임분변수별 연년생장과 미기후와의 관계는 가평지역과는 다소 다른 경향을 보이고 있다. 이러한 결과는 연간 변이가 심한 기후조건에도 불구하고 비교적 짧은 기간 동안의 자료만으로는 연년생장에 미치는 영향을 구명하는데 한계가 있다는 사실에 기인한다. 또한 영동지역의 저조한 생장의 원인이 미기후 조건 이외에도 지위와 같은 다른 환경요인이 복합적으로 작용하기 때문으로 판단된다.

## 인용문헌

- 과학기술처, 1992: 전국 그물망 기후값 추정 및 기후도 작성 연구(III), 379p.
- 김광식, 1975: 농업기상학, 향문사, 331p.
- 노의래, 1983: 기상인자에 의한 우리나라 삼림수종의 생육범위 및 적지적수에 관한 연구, *한국임학회지*, 62:1-18.
- 산림청, 1981: 임업기술, 1362p.
- 손영모, 정영관, 1994: 지형, 토양 및 기상인자가 해송의 수고생장에 미치는 영향, *한국임학회지*, 83(3):380-390.
- 수자원공사, 1992: 기상환경 변화 조사(1차), 244p.
- 수자원공사, 1993: 임하 및 주암 다목적댐 건설에 따른 기상환경 변화 조사(2차), 306p.
- 수자원공사, 1994: 임하 및 주암 다목적댐 건설에 따른 기상환경 변화 조사(3차), 264p.
- 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*, 향문사, 491p.
- 정영관, 이부권, 박남창, 1982: 기상인자가 삼나무 및 편백의 활착률, 직경생장 및 수고생장과 관계 -진해지방을 중심으로-, *경상대 논문집*, 21:117-120.
- 전상근, 신만용, 정동준, 장용석, 김명수, 1999: 지역별 잣나무 초기생장 특성과 미기후의 영향. -정기평균생장량과 미기후와의 관계, *한국임학회지*, 88(1):73-85.
- 정태현, 이우철, 1965: 한국삼림식물대 및 적지적수론, *성대논문집*, 10:329-435.
- 한상섭, 박완근, 1988: 잣나무와 소나무의 직경생장과 Key-Year, *한국임학회지*, 77(2):216-221.
- 한상섭, 이재선, 1985: 수분결핍이 잣나무 엽의 광합성, 호흡, 증산속도에 미치는 영향, *강원대학교 논문집*, 22:118-131.
- 清野 豁, 1993: AMeDAS 資料の Mesh化, *農業氣象*, 48(4):379-383.
- 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. Amwe. Proc.*, 18:330-334.
- Clutter, J. L., J. C. Fortson, L. V. Pienaar, G. H. Brister, and R. L. Bailey, 1992: *Timber management: A quantitative approach*, Krieger Pub. Co., 333p.

- Grace, J. and D. A. Norton, 1990: Climate and growth of *pinus sylvestris* at its upper altitudinal limit in Scotland: Evidence from tree growth-rings, *J. of Ecol.*, 78:601-610.
- Jackson, D. S., 1962: Parameters of site for certain growth components of slash pine, Duke Univ. School of For. Bul. 16, 118p.
- 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-breaks, *Soil Sci.*, 112(5):357-363.