

## 加平地域 잣나무 風媒差代檢定林의 家系別 生長과 生理的 特性에 관한 研究<sup>1\*</sup>

鄭東浚<sup>2</sup> · 申萬鏞<sup>3\*</sup> · 張容錫<sup>4</sup> · 全尙根<sup>4</sup>

### A Study on Growth and Physiological Characteristic for Families in Open-pollinated Progeny Test Forest of *Pinus koraiensis* in Kapyung Site<sup>1\*</sup>

Dong-Jun Chung<sup>2</sup>, Man Yong Shin<sup>3\*</sup>, Yong-Seok Chang<sup>4</sup> and Sang-Keun Chon<sup>4</sup>

#### 요 약

본 연구는 경기도 가평지역에 조성한 잣나무 차대검정림을 대상으로 가계별 영양생장에 미치는 생리적 특성을 구명하고자 수행하였다. 연구대상지의 18년생 잣나무 차대검정림의 가계별 생장은 평균수고 5.9m, 평균흉고직경은 8.9cm, 평균흉고단면적은 12.0m<sup>2</sup>, ha당 평균재적은 46.5m<sup>3</sup>이었다. 전체 25개 가계의 생장을 상·중·하로 구분한 결과 가장 우수한 생장을 보인 가계는 20번 가계였으며, 평균적인 생장을 보인 가계는 10번 가계, 그리고 가장 저조한 생장을 보인 가계는 3번 가계로 판명되었다.

이러한 가계별 생장특성은 광도 증가에 따른 잣나무의 계절별 광합성속도의 변화와 일치하는 경향을 보였으며, 이는 4계절(겨울·봄·여름·가을) 모두 동일한 결과를 보였다. 계절별 광합성 분석결과에 의하면 겨울에서 봄을 지나 여름으로 갈수록 광합성속도가 증가함을 알 수 있었다. 또한 엽록소 함량도 계절별로 같은 경향을 보였다. 특히 생장이 가장 우수한 20번 가계가 다른 가계들보다도 높은 엽록소 함량을 나타냈으며 엽장(葉長), 침엽의 두께, 동화 기관(同化器官)의 중량 및 기공 수에서도 더 높은 값을 나타내었다. 반면에 수분이용 효율은 모든 계절에서 가장 생장이 저조한 3번 가계가 다른 가계보다 높게 나타나 광합성과는 반대의 경향을 보였으며, 계절별로는 겨울철에서 생장기간인 봄철 및 여름철을 경과하면서 증가하는 것으로 나타났다.

#### ABSTRACT

This study was conducted to reveal the relationship between physiological characteristics and growth by family for open-pollinated progeny stand of Korean white pine in Gapyung site. Average growth performance of total 25 families for 18 years old progeny stand in this study site showed 5.9m in mean height, 8.9cm in mean DBH, 12.0m<sup>2</sup> in basal area per hectare and 46.5m<sup>3</sup> in volume per hectare, respectively. By the analysis result of growth performance for all 25 families, family No. 20 showed the most excellent growth and middle in family No. 10. On the other hand, family No. 3 represented the worst growth among the 25 families.

The change of seasonal photosynthesis rate by increasing luminous intensity was the same tendency as the growth pattern of all 25 families and showed the same results in all four seasons. In the

<sup>1</sup> 接受 2000年 12月 1日 Received on December, 2000.

審査完了 2001年 1月 3日 Accepted on January 3, 2001.

<sup>2</sup> 경희대학교 생명자원과학연구원 Department of Forestry and Institute of Life Sciences and Resources, Kyung Hee University, Suwon 449-701, Korea.

<sup>3</sup> 국민대학교 산림과학대학 산림자원학과 Dept. of Forest Resources, Kookmin Univ., Seoul 136-702, Korea.

<sup>4</sup> 경희대학교 생명과학부 산림과학전공 Dept. of Forest Kyung Hee Univ., Suwon 449-701, Korea.

\* 본 논문은 1997년도 한국학술진흥재단의 자유공모과제(과제번호: 1997-001-G00092)에 의해 수행된 내용의 일부임.

\* 연락처자 E-mail : yong@kmu.kookmin.ac.kr

seasonal analysis, the photosynthesis rate was increased as the season has changed from winter to summer. Chlorophyll contents was also increased from winter to summer. Especially, family No. 20 which is the best in growth performance has more chlorophyll contents than the others. In addition, family No. 20 was also better than other families in the weight of assimilation tissue(g), length of needle(cm), width of needle(cm), and number of Stoma. However, in water utilization rate, family No. 3 which is the worst in the growth performance showed the best result that is reverse tendency compared with the photosynthesis rate. The changes of water utilization rate represented to be increased as the season has changed from winter to summer.

*Key words* : Pinus koraiensis, physiology characteristics, growth, water potential, photosynthetically active radiation, light-photosynthesis curve, pressure-volume curve

## 서 론

잣나무(*Pinus koraiensis* S. et Z)는 목재생산과 잣 종자생산이라는 이중적 가치를 가지고 있을 뿐만 아니라 내한성이 강하고 소나무類 가운데 비교적 병충해에 대한 저항력이 강하여, 1960년대 이후 2차에 걸친 산림녹화 10개년 계획에 따라 장기 용재수종으로 정부가 적극 장려·식재하여 최근까지도 인공조림이 계속되고 있는 주요 경제수종의 하나이다. 그러나 현재 대면적에 조성된 잣나무림은 인건비의 급등과 저가의 외국산 잣의 수입으로 잣 생산을 통한 수익을 기대하기가 어려운 실정이다. 이러한 현실에서 잣나무림의 수익증대를 위해서는 양질의 목재생산과 고품질의 종자를 증산시킬 수 있는 부가가치가 높은 임분 조성으로서 식재 재료의 유전적 소질을 개량함과 동시에 그러한 식재 재료에 적합한 환경조성, 즉 적절한 입지선정과 최적의 환경을 위한 생태학적 관리가 요구된다. 또한 이러한 목표를 달성하기 위해서는 잣나무 영양생장과 생식생장에 영향을 미치는 유전·생리적 특성, 그리고 환경요인을 포함한 장기적인 관찰과 분석을 통하여 우량한 형질을 가진 품종을 육성하기 위한 종합적인 연구가 필요하다.

잣나무의 조림 입지 환경은 일반적으로 건조한 남사면의 입지로부터 비교적 수분 조건이 양호한 북사면 혹은 경사면 하부까지 폭넓게 식재되고 있으나, 건조한 사면보다는 적습윤한 입지에서 생장이 양호한 것으로 알려져 있다(강신천과 한상섭, 1987). 우리나라에서 진행된 잣나무에 대한 생리적 특성에 관한 연구로는 P-V곡선법을 적용하여 잣나무 엽의 수분 특성 인자의 계절적 변화(한상섭과 심주석, 1992), 잣나무 묘목의 수분생리에 관한 연구(한상섭과 권은석, 1986)와 잣나무 엽의

광합성속도와 호흡속도에 미치는 광, 온도, 수분의 영향에 관한 보고가 있다(한상섭, 1982). 또한 몇 개 침엽 수종의 지엽에 대해 P-V 곡선법을 적용하여 수분특성인자와 기공폐쇄작용과의 관계를 고찰한 것 등 잣나무와 다른 여러 수종과 함께 비교된 연구 등이 수행되어져 왔으나(한상섭과 전두식, 1984), 잣나무에 대한 차대 검정림을 대상으로 가계별 생리적 특성을 구명함으로써 가계 선발 육종에 필요한 연구보고는 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구는 경기도 가평에 식재(1983년)하여 조성된 풍매 차대검정림을 대상으로 그 동안 축적된 자료를 바탕으로 가계별 성장특성과 생리적 특성을 조사·측정하여 영양생장에 미치는 계절별 생리적 특성을 구명하여 부가가치가 높고 경쟁력 있는 잣나무림 조성과 우량 품종 육성을 위한 기초 자료를 제공하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 조사지개황과 공시재료

#### 1) 조사지 개황

가평지역은 잣나무 주산지로 잣나무 생육에 알맞은 환경적 특성을 가진 것으로 알려져 있는데 본 연구의 조사 대상지인 가평지역의 지리적 위치는 북위 37° 52', 동경 127° 34'이며, 1ha의 면적에 조성된 잣나무 차대검정림으로 임분내의 경사는 20~26°로 비교적 완만하다. 이 지역의 해발고도는 200m이고 남동사면으로 잣나무 생육에 적합한 조건을 가지고 있다.

#### 2) 공시재료

강원도 홍천군에 소재하는 잣나무 인공식재림(1979년 당시 50년 생)에서 1979년 9월 초순 착과

량이 많았던 모수 25본을 선정, 종자를 채취하여 경기도 광주군 퇴촌면 소재 경희대학교 연습림 묘 포장에서 모수별로 양묘하여, 2-2묘 2,500본(4개 block, 25가계, Block당 가계별 반복 25)을 1983년 3월 하순 경기도 가평군 소재 경희대학교 연습림 시험구에 난괴법(1.8m×1.8m간격)으로 식재하였다.

본 연구에서 사용된 재료는 1998년 당시 18년 생에 이른 잣나무 차대검정림에 포함된 모든 임목을 대상으로 수고와 직경을 측정하여 가계별 ha당 본수, 평균 흉고직경 및 평균 수고, ha당 흉고단면적, ha당 재적을 구하였다. 이와 같이 얻어진 재료를 토대로 가계별 동화생리를 분석하기 위해 가계별 생장특성을 상, 중, 하의 3가지 조건으로 구분하여 각 조건을 대표하는 1개씩의 가계를 선정하였다. 결과적으로 가장 우수한 생장을 보인 20번 가계와 중간 정도의 생장을 나타낸 10번 가계, 그리고 가장 저조한 생장을 나타낸 3번 가계를 생리적 특성을 분석하기 위한 표준가계로 선택하였다.

## 2. 조사 및 분석 방법

### 1) 생장조사 및 통계분석

가평지역 차대검정림의 25개 가계를 대상으로 실시된 수고 및 흉고직경의 측정은 생장이 정지된 10월 이후에 실시하였으며, 수고는 측간을 이용하여 m단위로, 직경은 흉고직경을 직경테이프를 사용하여 측정하였다. 임분통계량을 파악하기 위해 ha당 본수, 흉고단면적, 재적의 추정은 측정된 수고 및 직경자료에 근거하여 임분조사 자료분석 프로그램인 SIDAS(Stand Inventory Data Analysis System)를 이용하여 분석하였다(신만용 등, 1997).

### 2) 생리적 특성 분석

#### (1) 계절별 광합성 분석

가계 및 계절별(겨울; 1월, 봄; 4월, 여름; 7월, 가을; 11월)로 잣나무 葉의 동화생리 특성을 알아보기 위하여 18년생 25가계를 그동안의 생장 상태에 의해 표현된 ha당 재적을 기준으로 상(20번 가계: 87.0m<sup>3</sup>/ha), 중(10번 가계: 58.8m<sup>3</sup>/ha), 그리고 하(3번 가계: 33.3m<sup>3</sup>/ha)로 구분한 후 선정된 가계 내에서 각각 표준목을 선정하였다. 이와 같이 선정된 표준목은 충분한 광을 받고 있는 가지를 약 60cm 정도의 길이로 절취, 이것을 10

시간 이상 포수(飽水)시킨 후, 다시 약 3~5cm 정도의 길이로 물 속에서 재 절단하여 광합성 측정의 시료로 사용하였다. 시료는 잣나무 가지의 동화 기관을 절단(切斷)하여, 암소(暗所)에서 12시간 동안 급수(給水)하였으며, 이때 절단 부위에서 유출(流出)된 수지(樹脂)가 급수를 방해하지 않도록 수회 절단하여 주었다. 포화 수분상태에 있는 잎을 시료로 하여, 휴대용 광합성 측정장치(Li-Cor Inc, Li-6400)에 광도(Photosynthetically Active Radiation)를 임의로 조절할 수 있는 LED(Light Emitting Diode)와 Light Source(Li Cor Inc., Li-6400-02)를 첨부하여 측정하였다. 이 장치는 광합성속도 뿐만 아니라, 증산속도를 동시에 측정할 수 있는 장치이며, 광합성속도와 증산속도의 측정시에 얻어진 자료를 이용하여 기공 Conductance를 산출할 수 있다.

광합성 측정시에는 Chamber 내의 온도를 25℃로 설정하여 외기(外氣)의 온도변화로 인한 영향이 없도록 하였다. 또한 Portable Photosynthesis System에 유입되는 공기의 CO<sub>2</sub>농도가 급격하게 변화하지 않도록 18 l의 증류수통을 Buffer로 사용하였다. 그 결과 측정시 CO<sub>2</sub>농도의 변화가 ±2ppm 이내로 안정된 공기가 공급되도록 하였다. 측정 시에는 Water Stress로 인한 광합성·증산속도의 저하가 없도록 前日에 충분한 물을 공급하였고, 측정을 수행하는 시간대를 오전 8~11시로 하여 강광(強光)에 의한 영향이 없도록 주의를 기울여 측정을 수행하였다.

#### (2) 동화 기관의 형태적 특성

엽장(葉長), 침엽의 두께 및 동화 기관(同化器官)의 중량 측정은 매 계절 10 반복으로 엽장(葉長)과 침엽의 두께를 캘리퍼(Calliper)와 후측기(厚測器: Thickness dial gauge)를 사용하여 측정하였고, 측정된 엽의 중앙에서 폭 3cm 길이의 시료를 조제하여 이를 대상으로 동화기관(同化器官)의 중량을 측정하였다. 또한 기공 수의 측정은 CLSM(Confocal Laser Scanning Microscopy)을 이용하였다.

#### (3) 엽록소 함량

잣나무의(생중 0.4~3.0g) 잎을 가계 및 계절별로 채취하여 일반적인 Arnon의 분석법에 의하여 측정하였으며, 엽록소의 함량은 다음과 같은 Amon(1949)의 식을 이용하여 분석하였다.

$$\begin{aligned} \text{클로로필 전 함량} &= 20.2A_{645} + 8.02A_{663} \\ \text{클로로필 } a &= 12.7A_{645} + 2.69A_{663} \\ \text{클로로필 } b &= 22.9A_{645} - 4.68A_{663} \end{aligned}$$

(4) 수분이용 효율

휴대용 광합성 측정장치(Li-6400)를 이용, 광합성 및 증산속도를 동시 측정하여 광합성 속도 ( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$ )에 대한 증산속도( $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$ )의 비율인 수분이용 효율을 산출하였다.

(5) 수분생리 특성

잣나무 엽의 수분특성을 조사하기 위하여 수분 결차에 따른 생새포군의 팽압, 삼투압, 원형질분리점의 삼투압과 상대습수율 등의 수분특성을 Tyree and Hammel의 P-V곡선법에 의해 측정하였다. 실험 방법은 Cheung 등(1975)과 한상섭과 심주석(1992)의 방법에 따라 실시하였다.

수분생리 특성을 가계별로 파악하기 위해 사용된 재료는 광합성 측정시 사용된 가계별 표본시료를 사용하였다. 사용된 시료는 임목에서 절취 후 24시간 이상의 것을 사용하여 Pressure chamber의 각 압력 단계에 따라 엽으로부터 침출되는 침출수량을 측정하기 위하여 흡습지를 Vinyl Tube (내경 15mm, 길이 5cm)속에 넣고 이것을 시료의 절단면에 접촉시켜 흡수시킨 후, 그 무게의 증감을 침출이 종료될 때까지 매 10분 간격으로 측정하였다. Pressure chamber내의 압력은 O<sub>2</sub> 가스를 사용하였으며, 침출량의 측정은 최초 2bar에서 시작하여 3bar씩 증압하면서 38bar까지 각각의 압력 단계별로 측정하였다. 이와 같이 수분이 침출된 엽은 80°C에서 48시간 건조시킨 후 건중량 측정에 사용되었다.

결과 및 고찰

1. 가계별 성장특성

연구 대상지의 전체 25개 가계에 대한 가계별 본수는 평균 70±10개였으며, 최저 49개(17번 가계)에서 최고 87개(23번 가계)의 범위로 나타났다. 이는 식재후 가계별 활착율의 차이로 인한 감소와 무용작업 중 피해로 인하여 고사하거나 정상적인 성장을 하지 못한 결과라고 판단된다.

전체적으로 볼 때 가계별 생장은 큰 차이를 나타내고 있는데, 수고는 가계별로 최저 1.4m에서 최고 8.9m의 범위로 그 변이 폭이 매우 컸으며,

전체 평균은 5.9±1.4m를 나타냈다. 전체 가계의 평균 직경은 8.9±1.0cm였으며, 가계별로는 최소 2cm에서 최대 18cm로 가계간에 9배의 차이를 보이고 있다. 또한 흉고단면적과 재적도 각각 평균 12.0±3.2m<sup>2</sup>와 46.8±14.2m<sup>3</sup>을 보이고 있으나, 가계별 범위는 각각 7.1~18.1m<sup>2</sup>와 27.0~78.8m<sup>3</sup>까지의 비교적 넓은 분포를 나타냈다. 동일한 임령과 임분조건 하에서 나타난 이러한 가계간의 성장특성은 가계별로 다른 생리적 특성에 의한 결과로 유추할 수 있다.

생장이 가장 우수한 가계는 20번 가계로 평균 수고, 직경, 흉고단면적 및 재적이 각각 6.8m, 11.3cm, 18.5m<sup>2</sup>와 78.8m<sup>3</sup>으로 전체 평균치에 대해 15.2%, 27.0%, 54.2% 및 68.4%씩 큰 것으로 파악되었다. 또한 다음으로 우수한 성장을 보인 가계는 8번 가계였으며 가장 저조한 성장을 보인 가계는 수고에서는 3번과 5번 가계, 직경에서는 3번 가계로 가계 평균수고 및 직경이 각각 5.2m와 7.5cm로 전체 평균치와 비교하여 11.9% 및 15.9%가 작았다. 한편 흉고단면적 및 재적에 있어 가장 저조한 성장을 보이고 있는 가계는 5번 가계로 평균 흉고단면적 및 재적이 각각 7.1m<sup>2</sup>와 27.0m<sup>3</sup>로, 전체 가계의 평균보다 40.8% 및 42.3%가 낮음을 알 수 있었다.

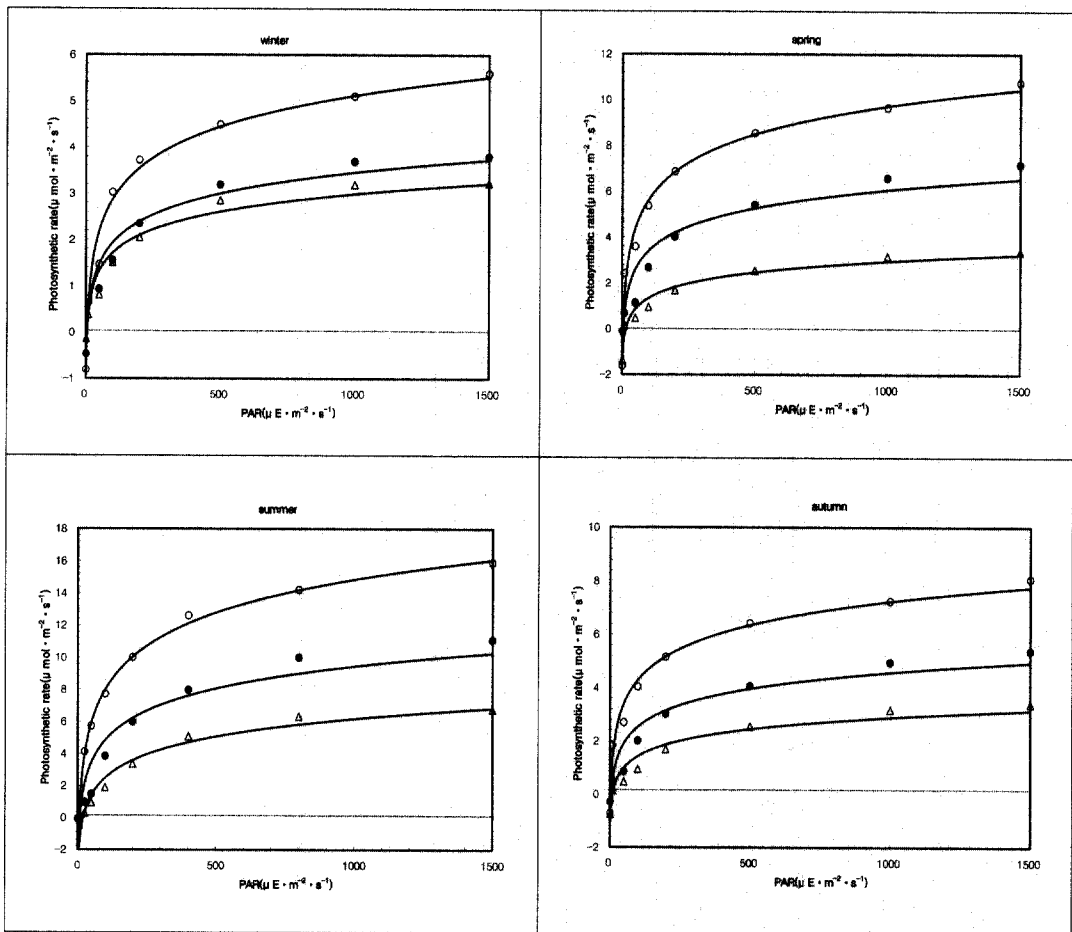
2. 평균재적에 따른 가계의 Group화

이상과 같은 가계별 성장 현황에 근거하여 성장에 미치는 생리적 특성을 구명하기 위해 표준 가계를 선정하였다. 이를 위해 먼저 가계별 ha당 재적에 근거하여 3개의 group으로 나눈 후, 각 group에서 대표 가계를 선정하였는데 그 기준은 전체 가계의 평균 재적과 비교하여 각 가계의 재적이 평균에 비하여 20% 이상 상회하는 가계는 상급(group I)으로, 평균 재적과 비교하여 해당 가계의 재적이 20% 미만 상회하거나 또는 -20%의 범위에 포함되는 가계는 중급(group II), 그리고 평균 재적에 비하여 20% 이상 적은 가계는 하급(Group III)의 3단계로 나누었다.

그 결과 상급에 속하는 가계는 총 6개 가계로 20번, 8번, 23번, 24번, 7번, 그리고 9번 가계가 여기에 속하며 전체 평균 재적과 비교하여 21.8%~68.4%의 범위로 재적이 많은 것으로 나타났다. 이 중에서 20번 가계가 가장 재적 생장이 우수한 것으로 파악되었다. 한편 재적 생장에 있어서 중급(II)에 속하는 가계는 25번(14.7%), 2번(14.7%),

**Table 1.** Analysis results of data by volume classes(I, II, III).

Stand Statistics	Volume Class of Families		
	I	II	III
Number of Trees	460	861	411
Basal Area/ha (m <sup>2</sup> )	16.4±1.5	12.1±1.1	8.1±0.8
Quadratic mean DBH (cm)	10.4	9.3	8.4
Quadratic mean Height (m)	6.5	6.0	5.7
Volume/ha (m <sup>3</sup> ) <sup>1</sup>	66.5±7.9	46.3±4.8	30.6±3.2
Volume/ha (m <sup>3</sup> ) <sup>2</sup>	58.7	39.9	25.6
Mean DBH (cm)	10.2±0.9	8.9±0.5	7.9±0.3
Maximum DBH (cm)	16	18	16
Minimum DBH (cm)	2	2	2
Mean Height (m)	6.4±0.4	5.8±0.3	5.5±0.2
Maximum Height (m)	8.9	8.2	7.7
Minimum Height (m)	2.8	1.4	1.5



○-Family No. 20

●-Family No. 10

△-Family No. 3

**Figure 1.** Light-photosynthesis curves of *Pinus koraiensis* on season and family.

10번(14.1%), 18번(11.1%), 12번(6.8%), 1번(0.4%), 16번(-2.1%), 19번(-8.1%), 4번(-9.2%), 22번(-9.4%), 14번(-10.3%), 그리고 6번(-11.8%)의 12개 가계이며, 생장이 저조한 하급(III)에는 13번, 21번, 11번, 15번, 3번, 17번 및 5번의 7개 가계로 판명되었다.

이와 같이 분석된 가계별 생장특성에 근거하여 동화생리 특성의 분석은 상, 중, 하(I, II, III)의 3가지 생장 등급을 대표하는 1개씩의 가계를 선정하였다. 따라서 가장 우수한 생장을 보인 20번 가계와 중간 정도의 생장을 나타낸 10번 가계, 그리고 불량한 생장을 보인 3번 가계를 표준 가계로 선택하였다.

Table 1은 SIDAS를 이용하여 상, 중, 하 세 가지 등급(I, II, III)으로 구분된 가계들의 임분통계량을 추정한 결과이다. 각 등급별 평균수고는 최대 0.9m(I과 III등급)로 근소한 차이를 나타냈으며, 평균직경은 I과 II등급 그리고 II와 III등급 간에 각각 약 1cm 및 2.3cm(I과 III등급)로 어느 정도 등급별 차이가 인정됨을 알 수 있다. 하지만 각 등급별 평균재적에 있어서는 I등급이 66.5m<sup>3</sup>으로 III등급의 30.6m<sup>3</sup> 보다 2배 이상의 큰 값을 나타내 생장상태에 의하여 표현되는 재적에서는

큰 차이를 보이고 있었다.

2. 가계 및 계질별 생리적 특성

1) 동화생리 특성

광-광합성 곡선은 수종의 내용성의 정도를 판단하는 자료가 될 뿐만 아니라, 그 수종의 생태적 생존 전략을 파악할 수 있는 기초 자료가 되기도 한다. 잣나무 차대점정림에 대한 광합성 특성을 구명하기 위하여 광도 증가에 따른 가계 및 계질별 광합성속도의 변화를 구명한 결과는 Figure 1과 같다.

그림에서 보듯이 4계절 모두 상·중·하의 가계별 생장이 우수한 순서인 20번 가계, 10번 가계 그리고 3번 가계의 순위로 광합성속도의 변화를 나타내고 있으며, 겨울철에서 수목의 본격적인 생육기간인 봄철·여름철로 갈수록 이들 3개 가계들의 광합성속도가 증가함을 알 수 있다. 따라서 가계별로 나타난 현저한 재적 생장의 차이는 가계간의 상이한 광합성 속도, 즉 광합성 능력의 차이에 기인하는 것으로 해석할 수 있다.

잣나무 가계별 동화 기관의 형태적 특성인 엽장(葉長), 침엽의 두께, 동화기관(同化器官)의 중

Table 2. Summary of weight of assimilation tissue(g), length of needle(cm), width of needle(cm) and number of Stoma by mean and standard deviation on family.

Needle Characteristics	Family No. 3	Family No. 10	Family No. 20
Weight of Assimilation tissue(g)	0.07±0.01	0.07±0.01	0.08±0.01
Length of needle(cm)	10.12±1.50	10.49±0.69	10.50±0.59
Width of needle(cm)	1.02±0.14	1.03±0.17	1.05±0.17
Number of Stoma	13±1	15±5	17±7

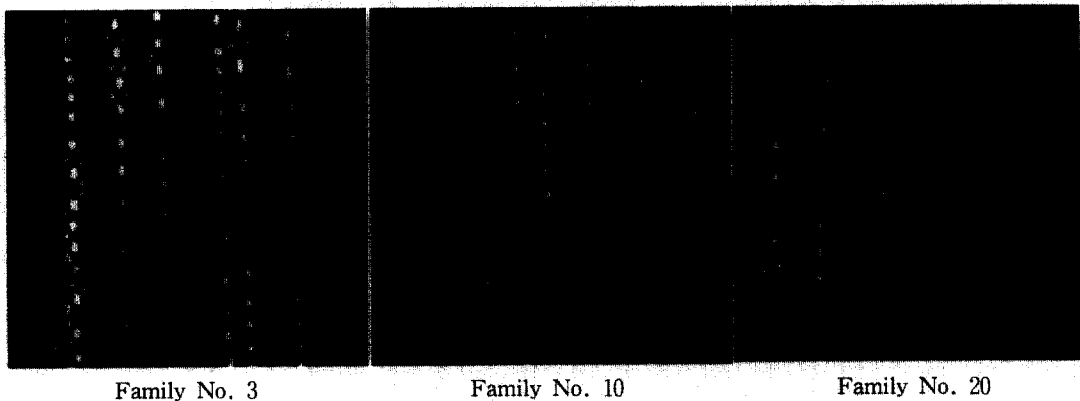


Figure 2. Photographs of *Pinus koraiensis* stoma on family by CLSM(Confocal Laser Scanning Microscopy).

량 및 기공수를 생장특성에 따라 선정된 3개 가계 별로 분석한 결과는 Table 2와 같다. 생장이 가장 좋은 20번 가계가 동화기관의 중량, 엽장, 엽 폭 및 기공수 등 모두에서 다른 가계에 비하여 상대적으로 큰 값을 나타냈으나 큰 차이는 보이고 있지 않다. Figure 2는 CLSM을 이용하여 촬영한 3개 가계의 기공 사진으로 이 사진을 통해서도 이러한 결과를 확인할 수 있다.

휴대용 광합성 측정장치(Li-6400)를 이용하여 광합성 및 증산속도를 동시 측정하여 광합성 속도( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$ )에 대한 증산속도( $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$ )의 비율을 산출한 결과는 Table 3과 같다.

모든 계절에서 동일하게 3번 가계가 수분이용 효율이 가장 높게 나타났는데, 이러한 결과는 3번 가계가 가지고 있는 낮은 광합성속도, 적은 기공 개수 및 낮은 원형질분리점의 삼투압( $\pi_p$ )에 의한 것으로 판단된다. 계절적인 변이를 보면 3개 가계 모두에 있어서 수분이용 효율은 겨울철에서 생장 기간인 봄철 및 여름철로 경과하면서 증가하는 경향을 나타내고 있다.

## 2) 엽록소 함량

엽록소는 식물의 가장 기본적인 대사작용의 하

나인 광합성의 과정에서 빛에너지를 흡수하는 역할을 하고 있으며, 엽록소의 분자수를 광합성 단위(Photosynthesis Unit)라고도 한다. 따라서 그 함량의 차이가 수목의 물질 생산능력, 즉 생장에 큰 영향을 미친다고 할 수 있다. Table 4는 잣나무 가계 및 계절별 엽록소 함량의 변화를 분석한 결과이다. 계절별로 살펴보면, 겨울로부터 여름으로 갈수록 모든 가계에서 엽록소의 함량이 증가하는 추세를 보이고 있으며 또한, 생장이 우수한 20번 가계가 다른 가계들보다도 높은 함량을 나타냈다. 이는 가계별 광-광합성 속도 곡선에서 나타난 경향과 일치하는 것이다.

## 3) 수분생리 특성

엽의 수분특성인자를 측정할 수 있는 방법은 최초로 Scholander 등(1964, 1965)이 Pressure chamber를 고안 사용하면서부터 시작되었고, 그 후 Tyree and Hammel(1972)이 이론적 검토를 추가하여 P-V 곡선법(Pressure-volume curve)을 발전시켰으며, 이것은 엽에 대한 여러 가지 함수율의 변화에 따른 수분포텐셜, 삼투포텐셜, 압포텐셜, 세포막의 강성계수 등을 용이하게 예측할 수 있는 매우 유용한 방법이다. 특히 P-V 곡

Table 3. Summary of family and seasonal water utilization rate by mean and standard deviation on *Pinus koraiensis*.

Season	Family No. 3	Family No. 10	Family No. 20
Winter	5.84±0.76	4.15±0.25	4.11±0.16
Spring	8.11±3.20	6.36±3.12	5.40±1.82
Summer	10.37±5.03	8.57±2.30	6.70±1.25
Autumn	6.23±1.20	5.02±2.25	4.85±2.05

Table 4. Summary of family and seasonal changes of chlorophyll contents(mg/g dry wt.) by mean and standard deviation.

Season	Family	Chlorophyll a	Chlorophyll b	Total chlorophyll contents
Winter	3	6.61±1.55	4.00±0.52	10.57±1.39
	10	8.48±2.10	3.08±0.95	11.68±2.76
	20	11.31±2.11	4.59±2.14	15.85±3.81
Spring	3	9.61±3.08	3.90±2.20	15.41±5.78
	10	9.05±2.70	5.28±1.52	18.72±5.61
	20	9.81±1.36	5.95±0.73	20.22±2.89
Summer	3	8.66±3.21	5.10±1.92	17.89±6.62
	10	12.14±2.37	5.12±2.75	20.06±6.96
	20	13.42±3.38	6.69±4.57	22.58±9.93
Autumn	3	9.54±0.57	5.66±0.30	19.70±1.19
	10	9.40±5.75	5.75±0.97	19.34±3.41
	20	9.70±0.09	5.85±0.11	20.01±2.91

선법에 의해 측정된 엽의 수분특성인자 중 최대포수시의 삼투포텐셜, 초기원형질분리점의 삼투포텐셜과 상대함수율, 세포막의 최대강성계수 등은 수중간 혹은 품종간의 내건성 판단에 널리 이용되고 있다.

Figure 3은 연구 대상지의 수분 특성을 구명하기 위하여 가계별 P-V 곡선의 변화를 나타낸 것이다. 이는 Pressure chamber의 평형압 P의 역수인  $\frac{1}{P}$  과 각각의 평형압 단계에서 침출된 침출수량  $V_e$ 의 관계를 나타낸 그림으로, 이들 관계를 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\frac{1}{P} = \frac{V}{RTNs-F(v)}$$

여기에서  $V_p = V_o - V_e$ ,  $V_o =$  최대포수시의 전세포군내의 침투수량,  $V_e =$  Pressure chamber로 일정 압력을 가했을 때의 팽압에 의해 엽세포로부터 침출된 수분의 양,  $Ns =$  Osmole 수,  $= V_i$  총수분함량,  $V_a = 100 - V_p / V_o$ ,  $F(v)/v =$  세포의 팽압,  $R =$  가스 정수(0.08207),  $T =$  절대온도이다.

잣나무 엽의 가계별 초기원형질분리점의 삼투압  $\pi_0$ 와 원형질분리점에서의 삼투압  $\pi_p$ 들은 그림에서 보는 바와 같이 3번가계 < 10번가계 < 20번가계의 순서로 낮다. 한편,  $V_t$ ,  $V_o$ ,  $V_p$ ,  $V_a$ 의 값은 공시재료의 크기에 따라 다르기 때문에 상대적으로 나타내어야만 수중간 내건성 크기를 비교할 수 있으며,  $V_p/V_o$  값은 세포내의 삼투압에 관계하는 것으로 세포막을 자유로이 통과할 수 있는 총 침투수의 양에 대한 초기원형질분리점에 있어서의 침출수의 비율을 나타내는 것으로 높은 값일수록 엽의 수분 조절기능이 뛰어난 종이라 할 수 있다.

Cheung 등(1975)은  $V_p / V_o$  값이 80% 이상일 때는 세포내의 수분 보전기능이 뛰어난 종이라 할 수 있다고 보고하였다. 따라서 잣나무 10번과 20번 가계는  $V_p / V_o$  값이 각각 70% 이상으로 수분 조절기능이 어느 정도 뛰어난 가계라 할 수 있다.  $V_o / V_t$  값은 전 세포내의 수분총량에 대한 세포막을 통과할 수 없는 Apoplastic Water의 비

율을 나타낸다. 이 값은 엽의 내건성과는 직접적인 관계가 없다고 할 수 있으나,  $V_t$  값이 클수록 삼투포텐셜에 관계하는 수분의 양이 많아 수분통도 기능을 좋게 하기 때문에 엽이 수결차로 부터의 회복되는 속도가 빠르다고 할 수 있다.

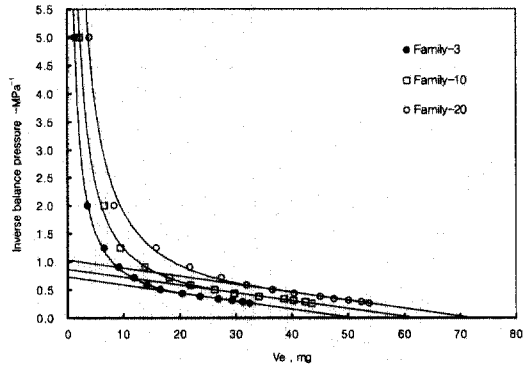


Figure 3. Pressure-Volume curves on *Pinus koraiensis* S. et Z. needles of Kapyung.

초기 원형질 분리점에서의 상대함수율(RWC<sup>tdp</sup> : Relatively Water Content)로 직접 내건성을 진단하기는 어렵다고 할 수 있는데, Table 5에서 나타난 것 같이 RWC<sup>tdp</sup> 값도 10번 및 20번 가계가 비교적 높은 값을 나타내는 반면에 상대적으로 3번 가계가 낮은 값을 나타내고 있다.

일반적으로 잣나무는 비교적 내건에 약한 종으로 알려져 있지만 이상의 결과를 종합하여 내건성에 관계되는  $\pi_0$ ,  $\pi_p$ ,  $V_p / V_o$ ,  $V_o / V_t$ , RWC<sup>tdp</sup> 등의 값을 각 가계별로 고찰할 때 생장이 불량한 것으로 분석된 3번 가계가 비교적 건조에 대한 저항력이 강한 것으로 나타났다.

### 결론

본 연구는 잣나무 성숙림의 우량 모수를 선별하여 조성된 품매 차대검정림을 대상으로 가계별 성장특성을 조사하여, 성장특성에 따라 전체 25개 가계 중에서 선정된 3번 가계(하), 10번 가계(중), 20번 가계(상)를 표준가계로 하여 이들 가계

Table 5. Summary of family characteristics of water relations parameter of *Pinus koraiensis*.

Site	Family	$\pi_0$ -Mpa	$\pi_p$ -Mpa	$V_p/V_o$ %	$V_o/V_t$ %	$V_a/V_t$ %	RWC <sup>tdp</sup> %	FWC <sup>tdp</sup> %
Kapyung	3	-1.50	-2.14	68.26	37.67	20.47	83.10	68.26
	10	-1.44	-1.93	75.64	39.79	16.12	82.10	75.64
	20	-1.33	-1.74	73.25	58.65	15.83	84.82	73.25



의 영양생장에 미치는 동화 생리적 특성의 영향을 구명하고자 수행하였으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 18년생의 가계별 생장은 평균 수고  $5.9 \pm 0.4\text{m}$ 이며, 평균 흉고직경은  $8.9 \pm 1.0\text{cm}$ , 평균 흉고단면적은  $12.0 \pm 3.2\text{m}^2$ , ha당 평균재적은  $46.5 \pm 14.2\text{m}^3$ 이었다. 가장 우수한 생장을 보인 가계는 20번 가계로 가계 평균 흉고직경, 수고, 흉고단면적, 재적이 각각  $11.3\text{cm}$ ,  $6.8\text{m}$ ,  $18.5\text{m}^2$ ,  $78.8\text{m}^3$ 로 전체 평균치에 비해 각각 27%, 15%, 54%, 68% 이상이 우수한 생장을 보였다. 반면에 가장 저조한 생장을 보인 3번 가계는 흉고직경, 수고, 흉고단면적, 재적이 각각  $7.5\text{cm}$ ,  $5.5\text{m}$ ,  $7.9\text{m}^2$ ,  $29.0\text{m}^3$ 로 전체 가계의 평균에 비하여 16%, 12%, 34%, 38%가 낮은 생장을 보였다.

2. 잣나무의 광도 증가에 따른 계절별 광합성 속도의 변화는 4계절(겨울·봄·여름·가을) 모두 상·중·하의 가계별 생장에 따라 20번, 10번, 3번 가계의 순위로 광합성속도의 변화를 나타내고 있었으며, 겨울철에서 여름철로 갈수록 3개 가계의 광합성속도가 증가함을 알 수 있었다.

3. 엽록소 함량은 겨울부터 여름으로 갈수록 증가하였고, 특히 생장이 우수했던 20번 가계가 다른 가계들보다도 높은 함량을 나타냈다.

4. 엽장(葉長), 칩엽의 두께, 동화 기관(同化器官)의 중량 및 기공수는 생장이 좋은 20번 가계가 상대적으로 큰 값을 나타냈으나 가계간에 큰 차이는 보이지 않았다.

5. 수분이용 효율은 모든 계절에서 3번 가계가 20번, 10번 가계보다 높게 나타났으며, 겨울철에서 생장기간인 봄철 및 여름철로 경과하면서 증가하는 경향을 보였다.

### 인용문헌

- 강신천·한상섭. 1987. 잣나무와 현사시 조림지의 사면이 직경생장과 수고생장에 미치는 영향. 강원대 연습림연구보고, 7: 55-64.
- 신만용·천정화·오정수. 1997. 임분조사 자료분석을 위한 컴퓨터 프로그램(SIDAS)의 개발. 산림경제연구. 5(1): 33-48.
- 한상섭·권은석. 1986. 잣나무와 묘목의 Critical Water Potential에 관한 연구. 강원대학교 임과대학 연습림연구보고, 6: 55-64.
- 한상섭·심주석. 1992. P-V 곡선법에 의한 잣나무엽의 수분 특성에 관한 연구. 한국생태학회지. 15(1): 47-58.
- 한상섭·전두식. 1984. 수목의 수분특성에 관한 생리·생태학적 분석(IV). -몇 종의 칩엽수에 있어서 Leaf Conductance와 Water Potential, 상대습수율, 팽압과의 관계 -한국임학회지. 63: 28-34.
- Arnon, D.I. 1945. Copper of enzymes in isolated chloroplast. Polyphenoloxidase in *Beta Vulgaris*. *Plant Physiology* 24: 1-15.
- Cheung, Y.N.S., M. T. Tyree and J. Dainty. 1975. Water relations parameters on single leaves obtained in a pressure bomb and some ecological interpretations. *Canadian Journal of Botany* 53: 1342-1346.
- Han, S. S. 1982. Studies on the productivity of Korean White Pine Forest I. Effects of temperature, light and water stress on photosynthesis and dark respiration rates of leaves. *Journal of Korean Forestry Society* 55: 55-58.
- Scholander, P. F., H. T. Hammel, E. A. Hemmingsen, E. A. and E. D. Bradstreet. 1964. Hydrostatic pressure and osmotic potential in leaves of mangroves and some other plants. *Proc. National Academic Science* 51: 119-125.
- Scholander, P. F., H. T. Hammel, E. A. Hemmingsen, E. A. and E. D. Bradstreet. 1965. Sap pressure in vascular plants. Negative hydrostatic pressure can be measured in plants. *Science* 148: 339-346.
- Tyree, M. T. and H. T. Hammel. 1972. The measurement of the turgor pressure and the water relations of plants by the pressure-bomb technique. *Journal of Experimental Botany* 23: 267-282.