

## 한라산 구상나무(*Abies koreana* W.)의 연륜연대학적 연구 - 기후변화에 따른 생장변동 분석 -

구경아 · 박원규<sup>†</sup> · 공우석\*

충북대학교 산림과학부, 경희대학교 지리학과\*

**적 요:** 한라산 구상나무의 연륜생장에 영향을 미치는 환경요인 및 지구온난화에 따른 생장변화를 밝히고, 생장쇠퇴 현상을 조사하기 위하여 구상나무의 연륜분석을 실시하였다. 구상나무의 연륜을 분석한 결과 마스터 연대기의 연대 구간은 1912년부터 1999년으로 조사되었으며, 각 시료들마다 공통적으로 생장이 가장 저조한 해는 1982년, 1988년, 1996년이였다. 연륜연대기(연륜폭 곡선) 지수와 기후요소와의 상관관계를 살펴본 결과 구상나무의 생장은 4월 및 전년 11월의 기온과 양의 상관관계를 나타냈으며, 전년 12월 및 1월 강수량과 유의한 양의 상관관계를 나타내었다. 구상나무의 생장과 강수량은 전반적으로 양의 상관관계를 나타내어 구상나무가 수분스트레스에 민감한 수종임을 보여주었다. 구상나무의 생장과 엘리뇨-남방진동과 상관관계를 분석한 결과 구상나무의 생장은 전년도 1월, 2월, 3월 및 11월 남방진동지수(SOI)와 양의 상관관계를 가졌다. 구상나무의 연륜 시료에서는 동해(frost damage)로 추정되는 상흔이 많이 관찰되었으며, 다수의 시료에서 공통적으로 상흔이 나타나는 연도는 1964년, 1965년, 1966년이였다. 이 시기에 시료를 채취한 한라산 정상부근에 기상관측 자료가 없어 확인이 불가능하지만 극지적인 저온 현상이 나타났던 것으로 추정된다. 기온의 온난화에 따른 생장변화를 조사한 결과 계절별로는 겨울 기온이 상승하였을 경우 생장이 감소하는 것으로 나타났으며, 반면에 가을철 기온이 상승하였을 경우에는 생장이 증가하는 것으로 나타났다. 연간 기온상승에 따른 임목 생장의 변화는 적은 양이지만 증가하는 것으로 나타났는데, 이것은 연간 기온상승이 균등하게 증가할 경우 가을의 생장 증가량이 겨울의 생장 감소량보다 크기 때문이다. 그러므로 앞으로 온난화가 진행될 경우 구상나무의 생장변화는 계절에 따른 기온변화의 차이에 따라 다르게 나타날 것으로 예측된다. 채취한 한라산 구상나무 시료 중 생장쇠퇴현상이 나타난 시료는 54개의 시료 중 51개의 시료로 거의 모든 구상나무 임목에서 생장쇠퇴 현상이 나타났다. 51개의 시료 중 44개의 시료에서 최근까지 지속적으로 생장쇠퇴현상이 나타났으며, 이들 44개의 시료 중 31개의 시료에서 평년대비 70% 이상의 극심한 생장쇠퇴현상이 나타났다. 이러한 생장쇠퇴의 원인은 지속적인 기온상승으로 추정되며, 특히 겨울기온의 상승이 영향을 미친 것으로 추정된다. 겨울기온이 상승하는 경우 상록수는 광합성을 할 수 있는 조건이 충족되나 광합성에 필요한 수분공급이 부족하여 수분수지의 불균형이 발생하게 되며, 이것은 생장에 악영향을 미치게 되는 것으로 판단된다.

**검색어:** 구상나무, 기후변화, 동해 상흔, 생장쇠퇴, 연륜연대

### 서 론

구상나무(*Abies koreana* Wilson)는 한국 고유종이며 희귀식물로서 그 생육지가 아고산대에 한정되어(엄 1962, 오 1968, 차 1969, 임 1989, 최 1982, 강 1984, 이와 조 1993), 형질교환이 가능한 개체군의 크기가 매우 작기 때문에 진화가 불가능하고 그 결과 멸종될 가능성이 매우 높은 식물이다 (이와 조 1993). 특히, 최근 연구결과들에 의하면 구상나무는 다른 고산수종에 비하여 고사하는 개체가 많으며, 상층에 비하여 중·하층에서 우

점도가 현저히 줄어들어 점차 구상나무가 줄어들고 있는 것으로 보고되었다 (이 1992, 문과 이 1994, 김 등 1991, 1997). 이 중 특히 한라산과 지리산의 구상나무에서 광범위하게 생장쇠퇴현상이 나타나고 있으며, 태풍과 봄 가뭄이 주요 쇠퇴 원인인 것으로 제시되었다 (강 1984, 김 1994).

구상나무의 연륜생장과 기후와의 관계에 대한 연구는 매우 적다. 박과 서(1999)의 연구에 따르면 지리산 구상나무의 생장은 기온과 부의 관계를 갖는 경향이 있으며, 강수의 영향은 봄 기간의 수분수지가 중요한 것으로 나타났다. 이것은 김(1994)이 봄 가뭄이 구상나무의 생장에 영향을 미친다는 연구결과와 유

「이 연구는 한국과학재단 국제공동 연구과제(995-0400-009-2) 연구비와 구경아에 지원된 한국과학재단의 인턴연구원 지원프로그램에 의하여 수행되었음」

<sup>†</sup> Author for correspondence; Phone: 82-43-68-7741, e-mail: treering@cbucc.chungbuk.ac.kr

사하다. 한편 이와 조(1993)는 가야산 구상나무 군락의 구조와 동태의 연구에서 가야산의 구상나무는 기온이나 강수 등 대기 후요인에 의해 영향을 받는다고 하였다. 이들 연구에서 연구지역에 따라 구상나무의 생장에 영향을 미치는 기후요인은 다소 다르게 나타났다.

본 연구에서는 한국 고유수종인 구상나무의 보존을 위한 기초자료를 제공하기 위하여 첫째, 한라산 구상나무의 생장에 영향을 미치는 기후요인, 엘니뇨-남방진동(ENSO) 및 온난화에 따른 성장량 변화를 밝히고, 둘째, 연륜 생장이 급격하게 저하되는 시기를 찾아내어 성장쇠퇴의 현상 및 성장쇠퇴의 원인을 밝히고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 연구지역

본 연구의 연구지역은 한라산 국립공원으로 한라산은 제주도 중심에 위치하며 정상부의 위치는 북위 33° 22' 29", 동경 126° 31' 53"이며 총면적은 149 km<sup>2</sup>이다. 구상나무는 해발고도 1,300 m 이상지역에서 1,940 m까지 한라산 정상을 중심으로 사면부위에 대상 또는 군상으로 분포하고 있으며, 우리나라에서 가장 넓게 분포할 뿐만 아니라 순림을 이루고 있다 (이 1995). 본 연구를 위해 구상나무의 시료를 채취한 지역은 해발고도 1,900m의 북사면 지역으로 고도에 따른 아한대 경계선에 위치하기 때문에 생육 환경변화에 민감하게 반응하는 생태적 접미지대이다 (공 1999).

### 연륜측정 및 크로스데이팅

연구지로 선정된 한라산지역의 구상나무 군락지에서 50년생 이상 될 것으로 기대되는 구상나무를 대상목으로 선정하고, 21 그루에 대하여 지면으로부터 30 cm 높이에서 4개의 성장편(core)을 채취하였다. 이중 측정이 가능한 54개의 시료만을 사용하여 연륜을 측정하고 크로스데이팅(cross dating)을 실시하였다. 연륜측정 및 크로스데이팅은 그래프법을 이용하였으며, 연륜폭이 매우 좁은 연도를 비교하는 pointer year 방법과 DPL(Dendrochronology Programs Library) 중에서 COFECHA 프로그램을 이용하여 재확인하였다. 크로스데이팅은 각 시료의 연륜이 좁은 연도와 전체적인 성장 경향을 비교하여 정확한 연대를 파악하기 위하여 실시하였다 (Stokes & Smiley 1968). 그래프법은 연륜폭을 측정하여 좁은 연륜이 나타나는 연대를 비교하는 방법이다 (Schweingruber 1988). 연륜폭 측정은 Velmex사의 연륜폭 측정기를 이용하여 0.01mm 정확도로 측정하였다.

### 표준화 및 연대기의 통계학적 성질

측정된 연륜들은 임목의 수령에 따른 임목 고유의 생물학적 생육 추세와 오랜 기간에 걸친 경쟁과 교란에 따른 결과로 발생하는 추세를 포함하고 있으므로, 이것을 제거하기 위하여 표

준화하였다 (Fritts, 1978). 이 연구에서는 1차로 음지수곡선(negative exponential curve)으로 생육 곡선을 추정한 다음, 2차로 spline(50% 반응주기: 60년)을 이용하여 재표준화하는 이중표준화법을 사용하였다 (Fritts 1978, 서 1999). 표준화된 지수 연대기는 ARSTAN 프로그램의 자기회귀모형을 이용하여 자기상관을 제거하여 residual (prewhitened) 연대기를 구하였다.

일반적인 통계학적 자료로 평균, 분산, 상관관계, 평균민감도, 자기상관계수를 구하였다. 평균민감도는 연대계열에서 연속된 두 연륜폭 간의 변이 크기를 측정하는 것이며(Fritts, 1978), 자기상관(autocorrelation)은 한 연륜연대기 내의 생육 당년도의 환경뿐만 아니라 전년도의 환경이 얼마나 지속적으로 수목의 생장에 영향을 주는 가를 측정하는 것이다 (Fritts, 1978).

임목내 상관관계와 임목간 상관관계를 구하였으며, 작성된 연대기들의 기간별 유효성을 나타내 주는 시그널강도(signal/noise ratio: SNR)는 임목간 상호 상관 계수를 이용하여 계산하였다 (박 1993, 서 1999). 자세한 연륜연대학 용어 설명은 박 (2001)에 기술하였다.

### 기후 및 남방진동계수와 연륜연대기와의 상관분석

한라산 구상나무의 생장에 영향을 미치는 기후요인을 조사하기 위하여 연륜연대기 (지수 자료)와 월 평균기온 및 월별 강수량 자료의 단순상관관계를 분석하였다. 연륜지수자료는 residual 자료를 사용하였으며, 기후자료는 제주 관측소의 자료를 사용하였다. 한국의 기온자료와 강수량 및 기상예보를 기초로 구(2000)에 의해서 만들어진 월별 기온자료와 월 강수량 자료를 사용하였다. NOAA에서 개발된 예측모델에 의하면 우리나라를 포함한 동아시아는 엘니뇨가 발생할 경우 겨울 기온이 상승하는 것으로 나타났으며, 이러한 예측 결과들을 바탕으로 본 연구에서는 구상나무의 성장과 ENSO-index와 상관관계를 구하였다. 구상나무 연륜연대기와 월별 남방진동계수 (SOI)와의 상관관계를 PRECON 프로그램(Fritts박사 제공)을 이용하여 구하였다. SOI는 Mike Salmon의 자료를 사용하였다.

### 기온 상승에 따른 성장비의 변화 예측

기온 상승에 따른 구상나무 생장의 변화를 예측하기 위하여 stepwise regression과 response function을 이용하여 구상나무와 기후와의 관계를 구하고 기후변화에 따른 연륜생장의 변화를 예측하였다. 기후변화에 따른 연륜생장의 변화는 Fritts박사의 Precon 프로그램에 포함되어 있는 기후변화에 따른 성장 변화 예측모델을 이용하였다. 구상나무의 연륜성장 변화는 기온이 2°C와 4°C 상승하였을 경우를 조사하였으며, 이 기온 값은 HadCM2 모델에 의해서 예측된 값이다.

### 상흔조사

구상나무 연륜에는 많은 상흔이 나타났다. 상흔은 상해수지가 접선상으로 배열하여 관찰되었는데 주로 만재와 조재사이 에 존재하였다. 시료별로 상흔이 나타난 시기(연도)를 조사하

결과 및 고찰

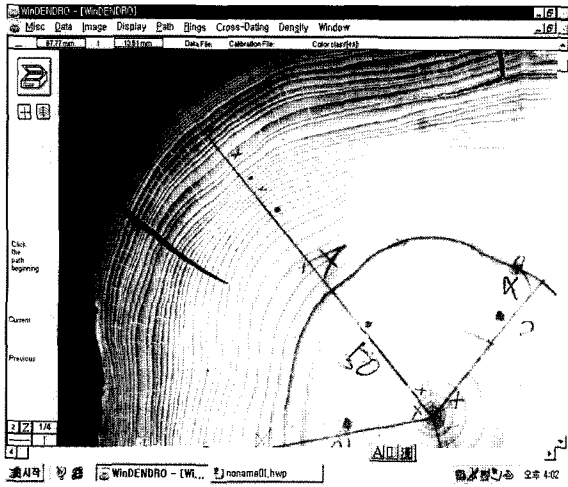


Fig. 1. Scars in Korean fir.

었다. 또한 상흔의 위치에 따라 조재와 만재로 나누어 그래프 종이에 기록하고 시대별 상흔의 분포 패턴을 조사하였다

나이테의 성장쇠퇴도 조사

한라산 구상나무의 나이테 성장쇠퇴도를 시료별로 조사하였다. 쇠퇴도 조사는 나이테폭이 전년도에 대비하여 40% 이상 감소된 후 3년 이상 지속되는 경우를 성장쇠퇴(abrupt growth change)로 정의하였다 (Schweingruber 1988). 보다 자세히 조사하기 위하여 나이테폭이 전년도에 대비하여 40~55% 감소하였을 경우 '미량', 56~70% 감소하였을 경우는 '중간', 70%이상 감소하였을 경우는 '극심'으로 분류하여 조사하였다 (Schweingruber, 1988). 쇠퇴정도가 미량인 경우 막대를 1개, 중간인 경우 막대를 2개, 극심인 경우 막대를 3개로 표시하여 누적분포도를 작성하였으며, 연도별로 성장쇠퇴를 보이는 시료 수를 그래프로 작성하였다 (Fig. 2).

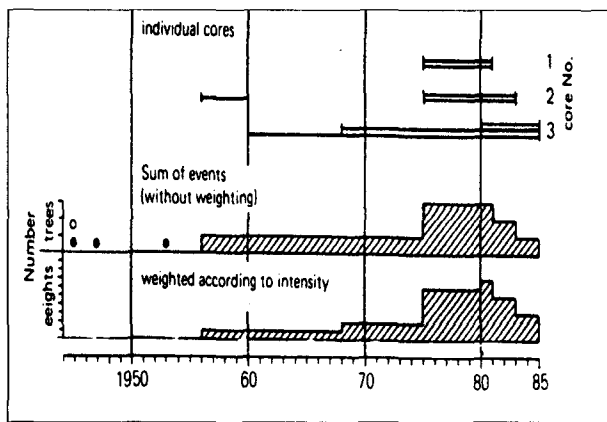


Fig. 2. Example of making the diagram to present growth declines (Schweingruber, 1988).

연륜연대기의 일반적 성질

구상나무는 시료의 채취 방향에 따라 연륜폭의 변이가 매우 크기 때문에 임목내 또는 임목간 크로스데이팅이 매우 어려웠다. 그래서 본 연구에서는 54개의 구상나무 시료를 측정하여 COFECHA로 확인한 후, pointer year을 사용하여 한번 더 크로스데이팅을 실시하였다. COFECHA로 확인한 결과 구상나무 시료들은 유의한 상관관계를 나타냈으며, 각 시료의 pointer year를 조사한 결과 대부분의 시료가 1996년, 1988년, 1982년에 공통적으로 생장이 매우 저조했던 것으로 나타났다 (Table 1).

표준화한 후 전체 시료의 연대기를 연도별로 평균내어 마스터 연대기를 만들었다. 마스터 연대기의 연대 구간은 1912년부터 1999년으로 1978년, 1982년, 1988년, 1996년에 생장이 매우 저조했던 것으로 나타났으며, 이 결과는 대체적으로 크로스데이팅 결과 생장이 저조했던 연도들과 일치하는 것으로 나타났다.

Table 1. Pointer years of *Abies koreana* in each sampled tree

Tree No.	Pointer years(abrupt growth decline)			
HLNAK01	82	76	70	34
HLNAK02	96 88	82	76 71	
HLNAK03	88	82 78		64
HLNAK04	96 88	78		64
HLNAK05	96 88	82	71	
HLNAK06	90	82		
HLNAK07	87			
HLNAK08	88 87	82	76	67 60
HLNAK09		82		70 59
HLNAK10	96	78		
HLNAK11	88	82 78		67 65
HLNAK12				
HLNAK13	96	87	82	76 65
HLNAK14	96 90	82 78		
HLNAK15	96		77	
HLNAK16			74	
HLNAK17	88	82		
HLNAK18	96 88			
HLNAK19	96			
HLNAK20	88	82 78		
HLNAK21	88	82		

\*The numbers indicate the years in 1900's.

**연륜 연대기의 통계학적 성질**

이 연구에서는 연륜의 통계학적 성질들을 계산하기 위하여 1912년부터 1999년까지의 88년간의 표준화된 연륜지수가 사용되었다. 두 연륜폭 간의 변이를 나타내는 평균민감도는 0.192로 한라산 구상나무의 연륜변동이 고주파 변동을 포함하고 있어 연륜연대학적 분석이 가능한 연대기임을 나타내었다. 임목내 상관계수는 0.446, 임목간 상관계수는 0.269로 박과 서(1999)의 연구 결과와 비교해 볼 때, 유사한 값을 나타냈다. 연륜연대기 내의 공통시그널의 크기를 나타내 주는 신호 강도는 6.255, 제1 요인에 의해서 설명되는 변동율은 30.96%로 나타났다.

**구상나무의 성장과 기후와의 관계**

구상나무의 연륜지수와 기후요소와의 상관관계를 살펴본 결과 구상나무의 생장은 4월과 전년 11월의 기온 및 전년 12월, 당해 1월의 강수량과 유의한 수준의 양의 상관관계를 나타냈다 (Fig. 3). 4월은 구상나무가 성장을 시작하는 시기로 기온이 낮을 경우 성장 개시기가 늦어지거나 새로운 세포들에 동해에 의한 수분스트레스가 발생하여 생장이 나빠지는 것으로 추정된다. 구상나무의 성장과 강수조건과의 관계는 전년 12월 및 당해 1월의 강수량과 유의한 수준의 상관관계 외에도 전체적으로 양의 상관관계를 나타냈는데, 이것은 구상나무가 수분스트레스에 민감한 수종임을 나타내는 것이다. 특히 전년 12월 및 1월 강수량과 유의한 양의 상관관계를 갖는 것은 겨울철에 많은 눈이 내릴 경우 봄에 눈이 녹으면서 구상나무의 성장에 필요한 충분한 수분을 공급하여 수분스트레스를 완화시켜주기 때문인 것으로 추정된다. 또한 겨울에 많은 적설이 구상나무를 추위와 건조로부터 보호하고 일사 여건이 충족될 경우 광합성을 가능하게 하기 때문으로 추정된다. 이것은 박과 서(1999) 및 김(1994)이 봄 강수량이 구상나무의 성장에 영향을 미친다는 연구결과와 같은 결과이다.

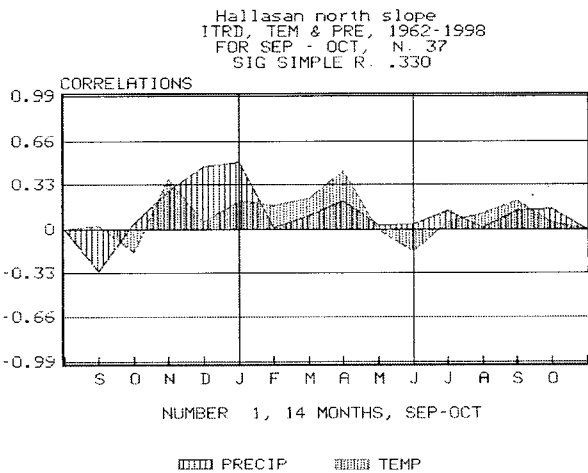


Fig. 3. Relationships between the growths of *A. koreana* and climatic factors.

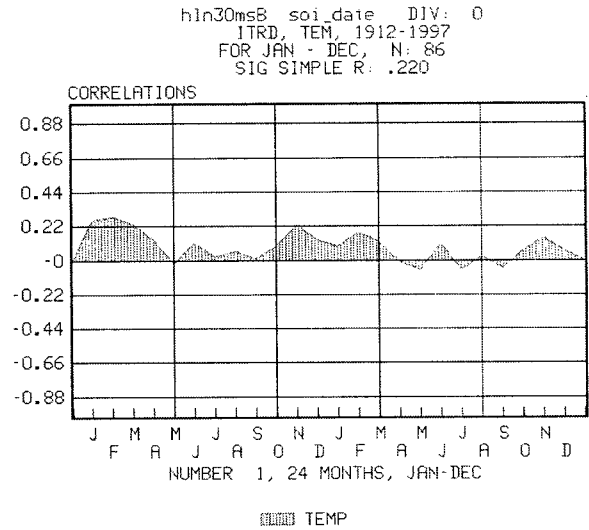


Fig. 4. Correlations between Korean fir chronology and SOI.

**구상나무의 성장과 엘니뇨-남방진동과의 관계**

구상나무의 성장과 남방진동과의 상관관계를 분석한 결과 구상나무의 생장은 전년도 1월, 2월, 3월 및 11월 엘니뇨 지수와 양의 상관관계를 갖는 것으로 나타났다 (Fig. 4). 이것은 엘니뇨지수가 음의 값이 커질 때 엘니뇨 현상이 강하게 나타나는 것을 고려할 때, 엘니뇨가 발생하여 겨울기온이 상승하면 구상나무의 생장이 감소하는 것을 보여준다. 이러한 결과는 본 연구 결과 겨울 기온이 상승할 경우 구상나무의 성장비가 감소하는 것과 일치하는 것이다.

**상흔과 저온과의 관계**

구상나무의 연륜 시료에서는 많은 상흔들이 관찰되었는데, 시료 임목들이 공통적으로 자란 1961~1999년 사이의 기간에서 1968, 1970, 1971, 1972, 1977, 1981, 1982, 1983, 1985년을 제외한 모든 연도에서 상흔이 나타났다. 이 중 다수의 시료에서 공통적으로 상흔이 나타나는 연도는 1964년, 1965년, 1966년이었으며 (Fig. 5), 상흔이 나타나는 위치는 주로 연륜의 경계지점에 가까운 조재 부분이었다. 구상나무의 분포지역이 교목한계선이고 상흔의 위치가 연륜의 경계지점과 가까운 조재 부분인 것을 고려할 때 이른 서리 등의 저온조건에 의해서 발생한 동해의 상흔(frost damage)으로 추정되어, 한라산에서의 기온체감을  $-0.62^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$  (공, 1999)을 적용하여 해발고도 1,900m에서의 일별 최저기온을 구하고 이것을 상흔이 나타나는 시기와 대비시켜 보았다. 대비 결과 저지대와는 달리 4월과 5월에 영하의 기온이 많이 나타났으며, 특히 4월에는 일 최저기온이  $-10^{\circ}\text{C}$  이하로 떨어지는 시기들도 나타나 동해에 의한 상흔일 가능성이 큼을 알 수 있었다. 그러나 다수의 시료에서 공통적으로 상흔이 나타나는 1964년, 1965년, 1966년에는 다른 해와 비교해 이상적인 저온현상은 발견할 수 없었다. 이러한 결과가 나타난 것은 제주 기상관측소가 낮은 고도의 도시 주변에 위치하고 있

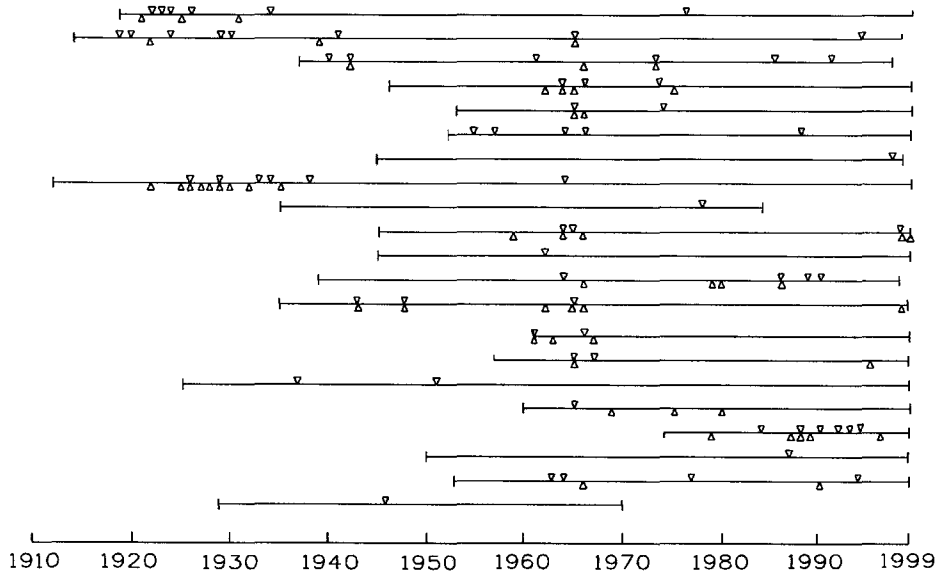


Fig. 5. Occurrence of scars in each tree (two triangles indicate that both of two cores of one tree possess scars).

어 고도가 높은 산지의 국지적인 기상조건을 잘 반영하지 못하기 때문인 것으로 판단된다. 그러므로 상흔이 집중적으로 나타나는 1964년, 1965년, 1966년에 한라산 정상부근은 기상관측소의 자료에는 나타나지 않으나, 바람이나 지형성 강우 등에 따른 일사량 감소에 의해 이상적인 저온 현상이 나타났던 것으로 추정된다.

**기온상승에 따른 구상나무의 성장 예측**

구상나무의 연륜생장과 기후와의 관계를 구하기 위하여 stepwise regression과 response function을 사용하여 식을 구하고 각각의 식을 이용하여 기온이 2°C 상승하였을 때와 4°C 상승하였을 때 구상나무의 연륜생장이 어떠한 영향을 받는지 분석하였다 (Table 2). 분석결과 계절별로 기온상승에 대하여 영향을 받는 정도가 달랐으며, 분석방법에 따라서도 변화량의 차이를 보였다. 분석방법에 따라 변화량에 차이를 보이는 것은 식에 사용된 변수들의 차이 때문으로, stepwise regression의 경우 전년 11월 평균기온, 전년 12월 평균기온, 전년 12월 강수량, 1월 강수량 등 4개의 변수만이 분석에 사용되었으며, response function의 경우 29개의 변수가 사용되었다.

기온 상승에 따른 구상나무 성장 변화의 예측 결과, 겨울기온 상승이 연륜생장을 감소시키는 것으로 나타났다. 겨울기온이 2°C 상승하였을 경우에는 분석방법(stepwise regression과 response function)에 따라 각각 연륜생장이 19.3%, 9.9% 감소하는 것으로 예측되었으며, 4°C 상승하였을 경우에는 9.6%, 4.9% 감소하는 것으로 나타났다. 가을기온이 2°C 상승할 경우에는 생장이 27.4%, 26.8% 증가하는 것으로 나타났으며, 4°C 상승할 경우에는 13.7%, 13.7% 증가하는 것으로 나타났다. 봄과 여름의 기온상승은 response function의 경우 구상나무의 성장에 약

Table 2. Expected growth changes according to warming scenario

Season	2°C rise (↑)		4°C rise (↑)	
	Method Stepwise Regression (R <sup>2</sup> : 0.54)	Response Function (R <sup>2</sup> : 0.71)	Method Stepwise Regression (R <sup>2</sup> : 0.54)	Response Function (R <sup>2</sup> : 0.71)
Winter	-19.3%	-9.9%	-9.6%	-4.9%
Spring	0%	+9.0%	0%	+4.5%
Summer	0%	-2.1%	0%	-1.1%
Autumn	+27.4%	+26.8%	+13.7%	+13.7%
Annual	+8.1%	+23.8%	+4.1%	+11.9%

간의 변화가 나타나는 것으로 나타났으나, stepwise regression의 경우에는 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 또한 연간 기온의 상승에 따른 구상나무 연륜생장의 변화를 살펴본 결과 기온이 2°C 상승하였을 때는 8.1%, 23.8% 증가하였으며, 4°C 상승하였을 때는 4.1%, 11.9% 증가하는 것으로 나타났는데, 이것은 계절별로 차이가 없이 균등하게 기온이 상승하였을 때 가을의 성장 증가량이 겨울의 성장 감소량보다 크기 때문이다. 그러므로 앞으로 온난화가 진행되어 기온이 상승할 경우, 구상나무의 생장은 계절별로 나타나는 기온상승의 차이에 따라 생장의 증감이 다르게 나타날 것으로 예측된다.

**구상나무의 성장쇠퇴도 및 성장쇠퇴 원인**

채취한 한라산 구상나무 시료 중 성장쇠퇴현상이 나타난 시료는 HLNAK05A, HLNAK10B, HLNAK21B를 제외한 51개의 시료로 거의 모든 시료에서 성장쇠퇴현상이 나타나며, 성장쇠퇴가 시작되는 공통적인 시기는 1978년, 1982년, 1988년으로 나

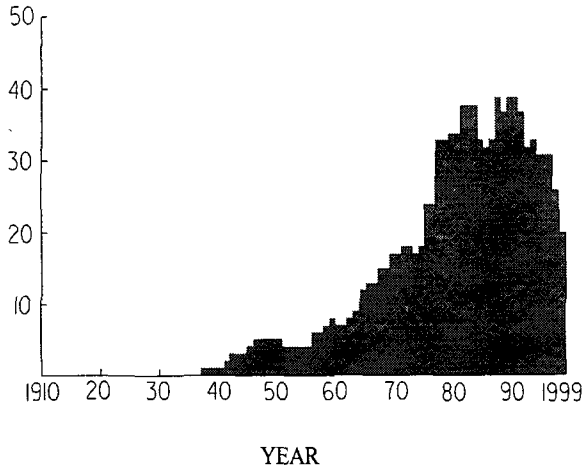


Fig. 6. Number of cores showing growth decline among 54 cores of *A. koreana* in each year, using without-weighting method; see Figure 1 for details.

타났다 (Fig. 6). 생장쇠퇴를 보이는 51개의 시료 중 HLNAK04B, HLNAK06C, HLNAK08B, HLNAK10C, HLNAK14B, HLNAK14C, HLNAK14D 등 7개의 시료를 제외한 44개의 시료에서 1978년 이후 최근까지 지속적으로 생장쇠퇴현상이 나타났다. 이 44개의 시료 중 HLNAK03C, HLNAK04A, HLNAK04C, HLNAK05C, HLNAK11A, HLNAK11B, HLNAK11C, HLNAK14A, HLNAK15A, HLNAK18A, HLNAK18B, HLNAK20A, HLNAK20 등을 제외한 31개의 시료에서 70%이상의 극심한 생장쇠퇴현상이 나타났다 (Fig. 7). 이러한 결과는 다른 연구결과(김, 1994)에서도 공통적으로 나타나고 있어 한라산 구상나무의 생장쇠퇴현상이 매우 심각한 수준임을 알 수 있었다.

전나무속(*Abies*)에 해당하는 수종들은 전세계적으로 그 분포

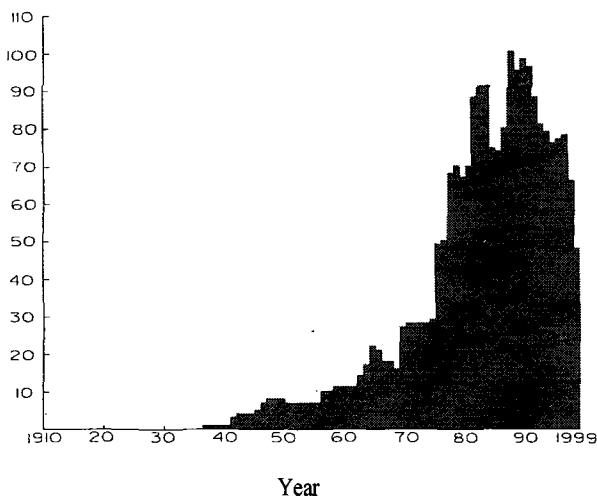


Fig. 7. Accumulated intensity of the growth decline of *A. koreana* in each year, using weighted decline intensity; see Figure 2 for details.

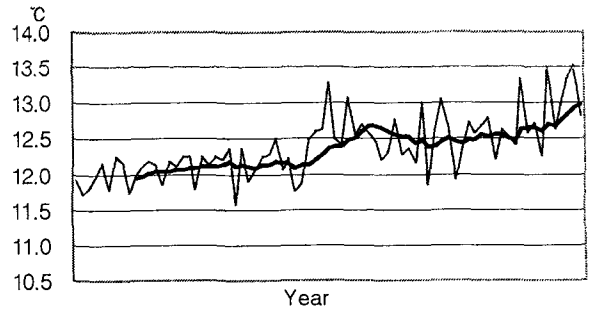


Fig. 8. 10-year moving average of annual mean temperature in Cheju station.

지가 축소되고 있는 것으로 보고되고 있으며 (Crawford, 1989), 이러한 분포지의 축소는 한랭한 기후조건을 선호하는 전나무속 수종들이 지구온난화에 따라 발생하는 기온상승에 적응하지 못하기 때문인 것으로 추정되고 있다.

이러한 추정에 따라 이 연구에서도 구상나무 생장쇠퇴의 원인을 조사하기 위하여 앞에서 기후변화시 구상나무의 생장에 영향을 미치는 주요 인자로 분석된 11월 평균기온과 12월 평균기온 및 연평균기온의 변화추이를 조사하였다. 연평균기온의 10년 이동평균을 구해본 결과 1970년대 중반이후 지속적인 기온상승의 추이를 발견할 수 있었으며 (Fig. 8), 11월 평균기온 (Fig. 9)과 12월 평균기온 (Fig. 10)의 10년 이동평균의 결과도 기온상승 추이를 나타내었다. 특히 12월 평균기온과 11월 평균기온은 1.5°C 이상의 높은 상승추이를 나타내고 있으며, 12월 평균기온의 경우 1970년대 중반이후 거의 2°C 정도의 매우 높은 상승정도를 보여주어 연평균기온의 상승추이는 겨울기온의 상승추이에 많은 영향을 받는 것으로 나타났다. 그러므로 기온상승 (온난화)에 따른 구상나무의 생장 변화 예측결과 (Table 2)와 1924년에서 1998년간의 기온변화의 추이를 고려할 때, 기온상승이 구상나무의 생장쇠퇴에 한 원인으로 작용한 것으로 추정되며 특히 겨울 기온의 상승이 많은 영향을 미친 것으로 판단된다. 다만 제주 측후소에서 관측된 겨울 기온상승이 주변의 도시화에 의한 것인지 아니면 제주 전 지역에 발생한 온난화에

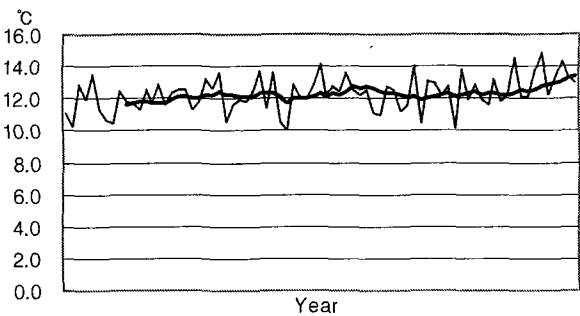


Fig. 9. 10-year moving average of November mean temperature in Cheju station.

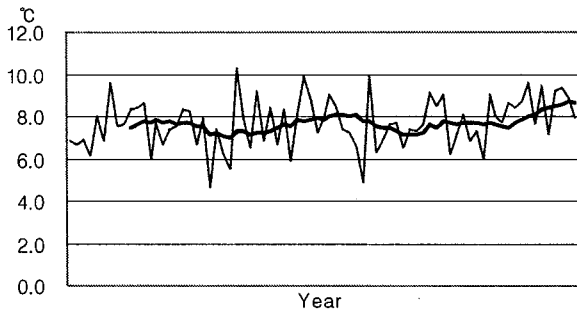


Fig. 10. 10-year moving average of December mean temperature in Cheju station.

의한 것인 지 여부는 추후 기후학적인 연구에 의해 규명되어야 할 것이다.

사 사

한라산 조사에 도움을 주신 한라산국립공원관리사무소와 제주대 김태호 교수님께 감사드리며, 연륜분석에 많은 도움을 주신 독일 함브르크대 목재생물연구소의 서정욱씨에게 감사드립니다.

인용문헌

강상준. 1984. 지리산 아고산대 침엽수림의 갱신. 한국생태학회지 7(4): 185-193.  
 공우석. 1999. 한라산의 수직적 기온 분포와 고산식물의 온도적 범위. 대한지리학회지 34(4): 385-393.  
 구경아. 2000. 한반도 상록활엽수의 지리적 분포와 기후요소와의 관계 -내장산 굴거리나무를 중심으로-. 경희대학교 석사학위논문. pp. 178.  
 김갑태, 추갑철, 엄태원. 1997. 지리산 천왕봉-덕평봉 지역의 삼림군집구조에 관한 연구-구상나무림-. 한국임학회지 86(2): 146-157.  
 김갑태, 김준선, 추갑철. 1991. 반야봉지역 삼림군집구조에 관한 연구-구상나무림-. 응용생태연구 5(1): 25-31.  
 김은식. 1994. 환경변화와 고산지대 수목생장 쇠퇴현상과 상관성 해석. 한국과학재단 연구보고서 KOSEF 921-1500-018-2, pp. 89.

문현식, 이강령. 1994. 덕유산 구상나무 임분의 식생구조에 관한 연구. 경상대학교 부속연습림 연구보고 4: 13-28.  
 박원규, 서정욱. 1999. 지리산 천왕봉지역 구상나무의 연륜기후학적 해석, 제4기학회지 13(1): 52-33.  
 박원규. 1993. 대기중 이산화탄소 증가와 한국산 아고산 침엽수류의 성장동향 -연륜연대학적 분석-. 한국임학회지 82(1): 17-25.  
 박원규. 2001. 나무나이테를 이용한 고기후와 고환경 복원. 박용안 공우석 외 (저) "한국의 제4기 환경"에서, 서울대출판부, 서울 pp. 403-442.  
 서정욱. 1999. 월악산 소나무(*Pinus densiflora*) 연륜 변동에 관한 시-공간적 분석. 충북대학교 대학원 석사학위논문. pp. 59.  
 엄규백. 1962. 송백류의 분포를 중심으로 하는 한라산의 수직분포대. 한국식물학회지 5(2): 17-20.  
 오계철. 1968. 기후와 삼림군집. 한라산 및 홍도. 문화공보부. pp. 60-80.  
 이창석, 조현제. 1993. 가야산 구상나무 군락의 구조 및 동태. 한국생태학회지 16(1): 75-91.  
 이강령. 1992. 지리산 구상나무 임분의 직경분포와 군락구조. 경상대학교 부속연습림 연구보고 2: 1-15.  
 이윤원. 1995. 구상나무림의 군락분류와 임분구조에 관한 연구. 경북대학교 박사학위논문. pp. 137.  
 임경빈. 1989. 조림학원론. 향문사. 서울. pp. 491.  
 차종환. 1969. 한라산 식물의 수직분포. 한국식물학회지. 12(4): 19-29.  
 최두문. 1982. 한라산 백록담 주변의 식생연구. 공주사범대학 논문집. 20: 81-94.  
 Crawford, R.M.M. 1989. Studies in Plant Survival : Ecological case stories of plant adaptation to adversity, Blackwell Scientific Publications, Oxford. pp. 253-254.  
 Fritts, H. C. 1978. Tree Rings and Climate, Academic Press Inc. (London) Ltd. pp. 567.  
 Schweingruber, F. H. 1988. Tree Rings: Basics and Application of Dendrochronology. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht. Netherlands. pp. 276.  
 Stokes, M. A. and T. L. Smiley. 1968. An Introduction to Tree-Ring Dating. University of Chicago Press. Chicago. pp. 72.  
 (2001년 6월 8일 접수 ; 2001년 10월 8일 채택)

---

## Dendrochronological Analysis of *Abies koreana* W. at Mt. Halla, Korea: Effects of Climate Change on the Growths

Koo, Kyung-Ah, Won-Kyu Park and Woo-Seok Kong\*

*School of Forest Resources, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea*

*Department of Geography, Kyunghee University, Seoul 130-701, Korea\**

**ABSTRACT** : The relationships between the growths of *Abies koreana* W. and climatic factors were analyzed by the use of tree-ring analysis at the subalpine belt of Mt. Halla National Park. The four cores were extracted from each 21 trees at north-facing slope (1,900m a.s.l.). The site chronology was established on the periods from 1912 to 1999. The growth of *A. koreana* was very poor, in particular in the years of 1982, 1988 and 1996. Simple correlation was employed to analyze the relationship between the growth of *A. koreana* and climatic factors. The result of simple correlation indicates that the growth of *A. koreana* represent positive correlations both with the mean temperatures of April and previous November, and the precipitation of previous December and January. The presence of large number of frost-damaged scars in the individual trees of *A. koreana* implies that local freezing temperature conditions at Mt. Halla have occurred in 1964, 1965 and 1966. The correlations between the fir chronology SOI(Southern Oscillation Index) of previous January, February and November were significantly positive. The growth ratio of *A. koreana* demonstrates that this species is sensitive to seasonal variations. As the winter temperature rises, the growth ratio of *A. koreana* decreases, on the other hand, the increase of autumn temperature accelerates the growth ratio of *A. koreana*. The growth decline of *A. koreana* was observed from 51 cores out of the 54 cores, and the overall growth declines have initiated at 1978, 1982 and 1988. Distinct growth decline of *A. koreana* in the range of 70% is noticed at 31 cores out of the 51 cores. The decline of *A. koreana* growth appears to be related to the winter temperature which has increased since mid-1970s.

**Key words** : Korean fir, *Abies koreana*, Climatic change, Dendrochronology, Frost damage, Growth decline

---