

## 기후인자가 상수리나무의 연륜생장에 미치는 영향

문나현<sup>1\*</sup>, 성주환<sup>2</sup>, 임종환<sup>2</sup>, 문가현<sup>1</sup>, 신만용<sup>1</sup>

<sup>1</sup>국민대학교 산림환경시스템학과, <sup>2</sup>국립산림과학원 산림생태연구과

### Effect of Climate Factors on the Tree-Ring Growth of *Quercus acutissima*

N. H. Moon<sup>1\*</sup>, J. H. Sung<sup>2</sup>, J. H. Lim<sup>2</sup>, G. H. Moon<sup>1</sup>, and M. Y. Shin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Forest, Environment & System, Kookmin University

<sup>2</sup>Division of Forest Ecology, Korea Forest Research Institute

#### I. 서 언

기후변화를 포함한 환경변화에 따른 산림생태계의 변화와 이에 따른 산림생태계의 구조적·기능적 변화를 이해하기 위해서는 산림생태계의 주요 구성요소인 수목 성장과 기후인자 간의 연관성에 대한 이해가 필요하다(국립산림과학원, 2013). 연륜연대학적 기법을 적용하여 그동안 우리나라에서 수행된 연륜생장과 기후인자와의 관계분석 연구는 주로 특정 지역에서 측정한 소규모 자료에 근거한 결과로 기후변화와 생장의 관계를 명확히 규명하는데 한계가 있었던 것이 사실이다.

지난 2006년부터 시작된 제5차 국가산림자원조사에서는 계통적추출법에 의해 전국을 4km 격자로 구분한 후 표본점을 설치하여 다양한 항목의 임목조사를 실시하여 왔는데 이 항목 중에는 연륜생장 자료가 포함되어 있다. 이 자료는 수종별 그리고 입지조건별로 전국 규모의 연륜생장 정보를 제공하기 때문에 연륜연대학적 방법을 적용하면 기후변화가 우리나라에 분포하는 주요 수종의 연륜생장에 미치는 영향을 평가하는 것이 가능할 것으로 판단된다. 본 연구는 우리나라를 대표하는 활엽수종의 하나인 상수리나무를 대상으로 연륜생장에 영향을 미치는 기후인자를 규명하고 기후-연륜생장 추정식을 개발함으로써 중장기 성장변화 예측 기반을 구축하기 위해 수행하였다.

#### II. 재료 및 방법

##### 2.1 연구자료

##### 2.1.1 기후자료

\* Correspondence to : moonna@kookmin.ac.kr

연륜생장에 영향을 미치는 기후인자인 월평균기온과 월강수량 자료는 기상청에서 제공하는 레스터 형태의 기상자료를 이용하여 월단위로 구분한 후 연도별 자료로 정리하였다. 기후자료는 지역에 따라 시군구 단위로 2010년 자료까지 정리하였다.

## 2.1.2 연륜자료

연륜생장 자료는 제5차 국가산림자원조사(2006~2010)에서 5년 동안 수집하여 측정된 전국 단위의 연륜생장 자료를 이용하였다. 이는 표본점별로 선정된 표준목에서 성장추를 이용하여 채취한 목편이며, 채취과정이나 코어마운트 작업과정에서 파손 또는 부패되고 수(Pith) 없음에 의한 부적격 샘플을 제거한 데이터를 사용하였다(산림청 2012). 이와 같이 수집된 목편 자료는 고해상도의 디지털카메라를 활용하여 이미지촬영을 실시하였으며, 정밀연륜측정기(DTRS-2000)로 측정한 후 연륜정보 DB를 구축하여 사용하였다.

## 2.2 연구 방법

### 2.2.1 기후군집 분석

상수리나무의 생장목편이 30개 이상 수집된 시군구의 기후 특성을 바탕으로 상호 유사성이 높은 몇 개의 그룹으로 분류하기 위해 군집분석(Cluster analysis)을 실시하였다. 각 군집은 각 시군구의 온도와 강수량에 대한 동질성과 이질성을 유클리디안 거리로 환산하여 분류하였다(김충련, 2011).

$$D = \sqrt{(X_1 - Y_1)^2 + (X_2 - Y_2)^2 + (X_3 - Y_3)^2 + \dots + (X_n - Y_n)^2}$$

여기서, D=유클리디안 거리,  $X_i = i$ 번째 X 시군구의 온도 또는 강수량,  $Y_i = i$ 번째 Y 시군구의 온도 또는 강수량이다.

### 2.2.2 크로스데이팅

연륜의 정확한 생육연도를 알기 위해서는 ‘크로스데이팅(cross-dating)’이라는 작업을 통하여 위연륜과 실연륜을 찾아내고, 알고 있는 기준연대를 이용하여 정확한 생육연대를 각 연륜에 부여해야 한다. 본 연구에서는 각 연륜의 전체적인 성장경향을 그래프를 그려 상호 중첩시킨 후 비교하여 연대를 파악하는 그래프법(박용안과 공우석, 2011)을 사용하였다. 이에 대한 자료의 품질은 dplR 프로그램(Bunn, 2008)을 이용하여 통계적으로 평가하였다.

### 2.2.3 표준화

크로스데이팅 작업 이후 연륜생장에 나타난 수령, 경쟁, 교란 등과 같은 비기후인자의 영향을 제거하여 상수리나무의 지표연대기(index chronology)를 작성하였다. 수령에 따른 생물학적 성장 추세를 제거하는 음지수곡선과 경쟁과 교란에 의한 변동추세를 표준화 한 spline곡선을 이용하여 비기후인자의 영향을 제거하였다.

#### 2.2.4 반응함수 분석

반응함수 분석은 기후와 연륜생장의 관계를 표현하는 생물학적 모델로 과거 기후복원을 위한 통계적 반응으로 사용되어 왔다. 종속변수로 표준화된 연대기와 독립변수로 월평균기온과 월강수량을 이용하였다. 이것은 주성분분석을 이용한 다중회귀로 기후요소들이 연륜변화를 얼마나 잘 설명할 수 있는지를 나타낸다.

#### 2.2.5 기초통계 분석

연륜연대기의 정규성 검정과 내포하고 있는 기후신호의 정도(精度) 및 유효성 등을 평가하기 위하여 기초통계 분석을 실시하였다. 군집별 기초통계량은 연륜폭의 평균 및 분산, 왜도 그리고 첨도 등의 항목을 포함하고 있다. 평균민감도(Mean sensitivity)는 연륜측정치의 연속된 두 연륜 폭간 변이의 크기를 측정하여 산출한 값이고, 자기상관계수(Autocorrelation coefficient)는 한 연륜 연대기 내의 생육 당년도의 환경뿐만 아니라 전년도의 환경이 얼마나 지속적으로 수목의 성장에 영향을 주는 가를 측정하는 지표이다.

#### 2.2.5 기후-연륜생장 관계식 작성

본 연구에서는 독립변수로 기온과 강수량을 이용한 기후-연륜생장관계 모형에 의해 기후-연륜생장 관계식을 개발하였다. 독립변수는 전년도 8월~당년도 9월의 월평균기온과 월강수량, 그리고 이 기간을 성장기와 비성장기로 구분하여 분류한 각 기간의 월평균기온과 월평균강수량으로 총 34개의 기후 변수를 사용하였다(Table 1).

### 3. 결과

#### 3.1 기후군집 분석 결과

상수리나무의 목편생장 자료가 30개 이상 채취된 시군구는 전국적으로 19개이다. 본 연구에서 상수리나무의 목편이 채취된 시군구의 월평균기온과 월강수량의 유사성에 근거하여 군집분석을 실시한 후 기후권역으로 분류하였다. 군집분석은 기후 권역별 연륜생장 특성을 알아보고 권역별 직경생장과 기후요소와의 관계를 분석하기 위한 하나의 기준을 마련하기 위함이다.

Euclidean 거리지수를 이용하여 상수리나무 19개 시군구의 군집분석을 실시한 결과 4개의 기

후군집으로 구분되었다(Fig. 1). 군집 1은 부산광역시 기장군의 1개 지역, 군집 2는 광주광역시와 전라남도 보성의 2개 지역, 군집 3은 대전광역시, 충청북도 음성, 충주, 청원, 충청남도 예산, 아산, 천안, 경기도 안성, 광주, 양평, 강원도 원주의 11개 지역, 그리고 군집 4는 경상북도 경주, 김천, 성주, 상주, 예천의 5개 지역으로 분류되었다.

Table 1. Climatic variables used to in this study.

| Var. | Description                      | Var. | Description                   |
|------|----------------------------------|------|-------------------------------|
| X1   | Mean temperature of Prior Aug.   | X18  | Precipitation of Prior Aug.   |
| X2   | Mean temperature of Prior Sep.   | X19  | Precipitation of Prior Sep.   |
| X3   | Mean temperature of Prior Oct.   | X20  | Precipitation of Prior Oct.   |
| X4   | Mean temperature of Prior Nov.   | X21  | Precipitation of Prior Nov.   |
| X5   | Mean temperature of Prior Dec.   | X22  | Precipitation of Prior Dec.   |
| X6   | Mean temperature of Current Jan. | X23  | Precipitation of Current Jan. |
| X7   | Mean temperature of Current Feb. | X24  | Precipitation of Current Feb. |
| X8   | Mean temperature of Current Mar. | X25  | Precipitation of Current Mar. |
| X9   | Mean temperature of Current Apr. | X26  | Precipitation of Current Apr. |
| X10  | Mean temperature of Current May. | X27  | Precipitation of Current May. |
| X11  | Mean temperature of Current Jun. | X29  | Precipitation of Current Jun. |
| X12  | Mean temperature of Current Jul. | X29  | Precipitation of Current Jul. |
| X13  | Mean temperature of Current Aug. | X30  | Precipitation of Current Aug. |
| X14  | Mean temperature of Current Sep. | X31  | Precipitation of Current Sep. |
| X15  | $(X1+X2+X3)/3$                   | X32  | $(X18+X19+X20)/3$             |
| X16  | $(X4+X5+X6+X7+X8)/5$             | X33  | $(X21+X22+X23+X24+X25)/5$     |
| X17  | $(X9+X10+X11+X12+X13+X14)/6$     | X34  | $(X26+X27+X28+X29+X30+X31)/6$ |

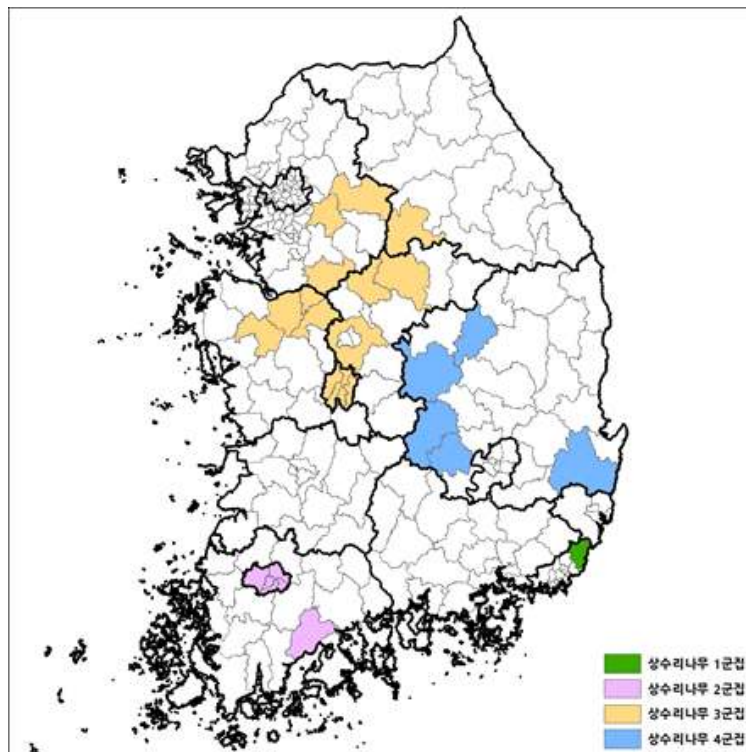


Fig. 1. Distribution map of surveyed region by cluster analysis of *Quercus acutissima*

### 3.2 군집별 기초통계량 분석결과

Table 2는 본 연구에서 사용된 상수리나무의 연륜생장 자료에 대한 군집별 기초통계를 분석한 결과이다. 각 군집의 연륜생장 특성을 나타내는 통계량으로 군집별 평균 연륜생장량은 2.41~2.91mm의 범위에 있었다. 연속된 두 연륜 폭간의 변이를 나타내는 평균민감도는 지역별로 0.214~0.311의 범위에 있는데, 이러한 결과는 서정욱(1999)이 월악산 소나무를 대상으로 실시한 연구의 평균민감도인 0.159~0.278과 서정욱 등(2002)의 설악산 서부지역 소나무 연구에서 얻은 0.230에 비해 높은 결과이다. 또한 생물학적 지속성을 나타내는 자기상관은 -0.023~0.036의 범위에 있는데 이는 자기상관이 대부분 제거되었음을 나타내는 결과이다(Box *et al.*, 1994). 모연륜 연대기의 변동을 나타내는 신호강도인 EPS의 경우 군집별로 0.52~0.59를 나타내고 있는데, 사용된 연륜자료가 많아 다소 작은 값을 보이고 있다.

Table 2. Summary statistics of the standardized chronologies by cluster for *Quercus acutissima*.

| Cluster | Mean diameter growth (mm/yr) | SD   | Skewness | Kurtosis | Mean sensitivity | auto correlation | between tree correlation coefficient | SNR  | EPS  |
|---------|------------------------------|------|----------|----------|------------------|------------------|--------------------------------------|------|------|
| 1       | 2.41                         | 1.27 | 1.043    | 2.611    | 0.311            | 0.036            | 0.401                                | 3.02 | 0.52 |
| 2       | 2.97                         | 1.37 | 0.768    | 1.667    | 0.288            | -0.040           | 0.112                                | 1.37 | 0.57 |
| 3       | 2.60                         | 1.23 | 0.943    | 1.659    | 0.310            | -0.023           | 0.112                                | 1.41 | 0.59 |
| 4       | 2.66                         | 1.28 | 0.981    | 2.684    | 0.214            | -0.027           | 0.114                                | 1.54 | 0.55 |
| Mean    | 2.66                         | 1.29 | 0.934    | 2.155    | 0.281            | -0.014           | 0.185                                | 1.84 | 0.56 |

### 3.3 반응함수 분석 결과

군집별 목편자료를 대상으로 크로스데이팅과 표준화를 실시한 후, 반응함수 분석을 실시한 결과는 Fig. 2와 같다. 이를 통해 상수리나무의 군집별로 연륜생장과 유의적 상관관계가 있는 기후인자를 도출하였다. 군집 1의 경우 전년도 8월과 11월의 평균기온 그리고 당년도 5월의 평균기온과 정의 상관관계가 인정되었다. 또한 강수량의 경우에는 당년도 2월, 3월, 그리고 4월의 강수량이 연륜생장과 음의 상관관계를 보이는 것으로 분석되었다. 군집 2의 경우에는 전년도 10월의 평균기온이 음의 상관을 나타냈으며, 당년도 8월의 강수량은 반대로 양의 상관관계가 인정되어 군집 1과는 다른 경향을 보였다. 군집 3은 당년도 5월의 평균기온은 연륜생장과 음의 상관관계가 인정되었으며, 강수량의 경우에는 당년도 6월과 7월이 유의적인 상관관계를 보였지만, 7월의 강수량은 양의 상관을 그리고 8월의 강수량은 음의 상관을 나타내 월별로 다른 경향을 보였다. 군집 4는 전년도 평균기온과 강수량이 각각 연륜생장과 음의 상관관계에 있는 것으로 분석되었다.

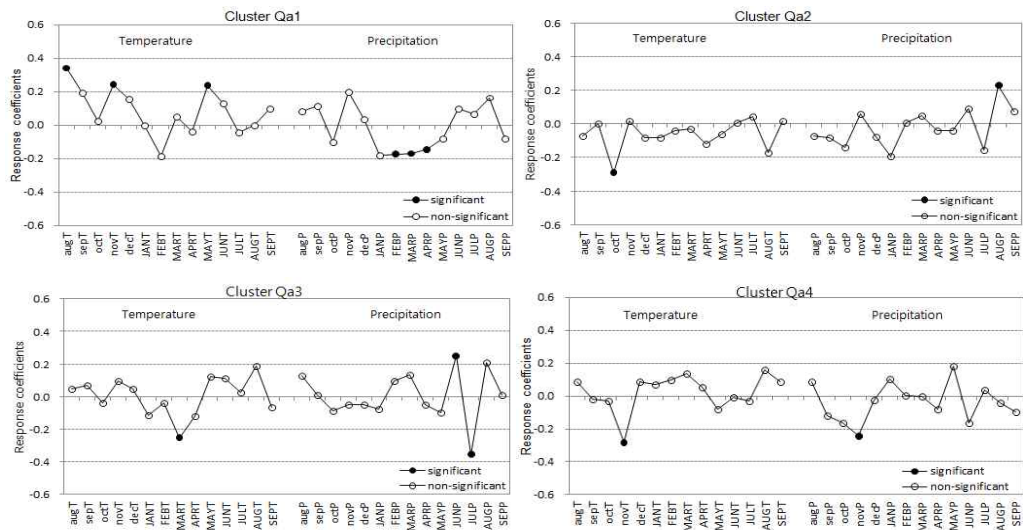


Fig. 2. Results of response function analysis by cluster for *Quercus acutissima*.

### 3.5 군집별 기후-연륜성장 관계식 개발

단계적 회귀분석을 이용해 Table 1에 제시한 기온과 강수량 관련 34개 독립변수인 기후변수들 중에서 상수리나무의 군집별 지표연대기에 의해 도출한 성장지수의 예측에 적합한 독립변수의 조합을 통해 성장지수 추정식을 개발한 결과는 Table 3과 같다.

상수리나무 4개 군집의 성장지수 예측식은 각각 6개씩의 기후인자가 성장지수 예측에 관여하고 있는데, 군집별로 대부분 다른 기후인자가 독립변수로 채택되어 군집별 상수리나무의 성장 특성이 다른 것을 알 수 있다.

Table 3. Regression prediction equations of growth index.

| Cluster | Regression Equations  | $R^2$ |
|---------|---|-------|
| 1       | $GI=0.9144+0.0330*x_{10}-0.0218*x_{15}-0.0002*x_{27}-0.0001*x_{28}+0.0003*x_{30}-0.0002*x_{31}$ | 0.50  |
| 2       | $GI=1.5537+0.0107*x_3-0.0067*x_{13}-0.0276*x_{17}-0.0005*x_{23}-0.0003*x_{27}+0.0001*x_{29}$    | 0.52  |
| 3       | $GI=1.1423+0.0040*x_1+0.0030*x_6-0.0084*x_{10}-0.0052*x_{12}+0.0001*x_{27}+0.0001*x_{28}$       | 0.47  |
| 4       | $GI=0.9853+0.0097*x_4-0.0169*x_{10}+0.0155*x_{14}-0.0004*x_{21}-0.0004*x_{25}-0.0001*x_{28}$    | 0.48  |

## 감사의 글

본 논문은 국립산림과학원 위탁연구과제인 ‘주요 산림수종의 연륜생장과 기후인자와의 관계 분석’ 연구결과의 일부입니다. 연구비 지원에 감사드립니다.

## 인용문헌

- 국립산림과학원, 2013: 기후요인을 고려한 생태권역별 주요 수종의 지위지수 추정식 개발(3). pp. 135.
- 김충련, 2011: SAS 데이터분석. 21세기사. 서울. pp 663.
- 박용안, 공우석, 2001: 한국의 제4기 환경. 서울대학교출판부. pp. 564
- 산림청, 2012: 임업통계연보 제42호. 산림청. 대전. pp. 488.
- 서정욱, 1999: 월악산 소나무 연륜변동에 관한 시-공간적 분석. 충북대학교 석사학위논문. pp. 59.
- 서정욱, 김재수, 박원규, 2000: GIS 기법을 이용한 지형적 특성에 따른 월악산 소나무 연륜생장의 이질성 규명. 한국생태학회지 23(1): 25-32.
- Box, G. E. P., G. M. Jenkins and G. C. Reinsel, 1994: *Time series analysis - forecasting and control*. Prentice Hall, Englewood Cliffs. N.J. pp. 297.
- Bunn, A. G., 2008. A dendrochronology program library in R(dplR). *Dendrochronologia* 26 115-124.