

제천 의림지 소나무 연륜생장 쇠퇴도 분석을 통한  
고사 연도 및 원인규명 연구\*

서정욱<sup>1)</sup>·박원규<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> 독일 함부르크대학교 목재과학과 목재생물전공, <sup>2)</sup> 충북대학교 목재·종이과학과

Examination of Death Years and Causes by the Analysis of  
Growth Decline in Tree Rings of *Pinus densiflora* from the  
Euilimji Lake Park in Jecheon, Korea\*

Seo, Jeong-Wook<sup>1)</sup> and Park, Won-Kyu<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Division of Wood Biology, Department of Wood Science, University of Hamburg,

<sup>2)</sup> Department of Wood and Paper Science, Chungbuk National University.

ABSTRACT

Six pine trees (*Pinus densiflora* S. et Z.) at the Euilimji Lake Park in Jecheon were collected to investigate tree ages, growth decline pattern and the years of death. Tree-ring measurement was carried out using the Lintab with a resolution of 0.01mm. Tree age were 80-176 years. Cross-dating between the tree-ring series of each tree and the local chronology from Worak Mountain resulted that four and two trees died in 1998 and 1999, respectively. Three dead trees had only formed earlywood in the outermost tree ring and the others had incomplete latewood. Therefore, it was proven that the former trees died between spring and early summer, whereas the later ones died during late summer and/or autumn. The simultaneous deaths of trees suggest the insect damage and/or drought may be the crucial reason of the death, but frequent reaction woods, which were formed by leaning stem, and scars formed by physical damage may also contribute to the death.

Key Words : *Crossdating, Mortality, Disturbance, Recovery, Compression wood, Dendrochronology.*

\* 본 논문은 의림지 정밀기초조사 연구보고서(충북대학교 박물관)의 박원규·서정욱(2000) 내용을 수정 보완하여 작성된 것임.

**Corresponding author** : Park, Won-Kyu, Department of Wood and Paper Science, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea,

Tel : +82-43-261-2543, E-mail : treering@cbnu.ac.kr

**Received** : 28 January, 2010. **Revised** : 26 May, 2010. **Accepted** : 18 April, 2011.

## I. 서론

임목 생장은 생육환경 변화에 반응하는 특징을 갖고 있으며, 그 결과는 여러 가지 방법으로 임목 내에 기록된다(Schweingruber, 1990). 임목 생장을 대표하는 연륜에는 이러한 환경요소들이 잘 반영되어 있어서 연륜을 이용한 과거 임목 생육환경을 복원하려는 시도가 많은 분야에서 연구되어지고 있다(서정욱 등, 2000; 박원규·서정욱, 2000). Veblen (1994)은 콜로라도 북서쪽에 위치한 계곡에 있는 임목들을 대상으로 이 지역에서 발생한 눈사태, 산화, 가문비 딱정벌레 피해에 관한 역사를 연륜에 기록된 상처나 연륜생장의 경향 등을 분석함으로써 밝혀냈으며, Fantucci and Mccord(1995)는 이탈리아 중부에 위치한 Viterbo의 국립공원을 대상으로 산사태를 조사하였다. 이외에도 연륜을 이용하여 산불(Schweingruber, 1988), 홍수(Mitsch and Rust, 1984)의 연구가 실시되었다.

의림지는 충북 최북단에 위치하고 있는 제천시에 위치하고 있으며, 소나무 군락이 우점하고 있다. 특히 솔밭공원은 제천시민의 휴식처로 절대적인 효용가치가 있는 곳이다. 그러나 과다한 방문객으로 소나무 군락의 생육상태가 좋지 않은 상태에 있다(강상준, 2000).

본 연구는 연륜을 이용하여 의림지 소나무의 생육기록을 복원하고, 획득된 결과를 기초로 의

림지 노송 보호수림에 있는 소나무 6그루가 고사한 시점과 성장최퇴 패턴을 밝히고자 실시되었다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 시료 준비 및 측정

의림지에서 고사한 소나무의 수령 분석과 각 연륜에 절대연도를 부여하기 위하여 고사목 6본 대상으로 디스크와 코어 샘플링을 실시하였다(표 1). 정확한 연륜 관찰을 위하여 벨트 사포를 이용하여 연마 작업을 실시하였다. 이때 목재세포가 수직으로 주행하도록 고정하였다. 연마작업이 끝난 시료는 나이테 측정기(Lintab)를 이용하여 0.01mm까지 연륜폭을 측정하였다.

### 2. 크로스데이팅(crossdating)

연륜은 보통 1년에 1개가 생성되나, 생장기간 중 발생하는 이상기후나 외부로부터 받는 자연적, 인위적 피해로 인하여(Pumijumng, 1998; Stokes and Smiley, 1968) 위연륜이나 실연륜을 만들게 된다. 이러한 연륜들을 찾아내고, 실제 연륜이 생성된 정확한 연도를 부여하기 위하여 임목생장 경향을 상호 비교하는 것을 크로스데이팅(Schweingruber, 1988)이라 한다. 부정확한 생육연도가 부여된 연륜을 사용할 경우 각 지역을 대표하는 대표연대기 작성하기 위한 평균화 작업에

Table 1. Sampling information of six dead trees in the Euilimji Lake Park.

No. of sample trees	ID	Sampling		Maximum diameter (cm)	Sampling position (cm)
		Disk	core		
1	URJ001	○	○	70	base
2	URJ002	○		45	base
36	URJ036	○		33	base
125	URJ125	○		39	base
179	URJ179	○		47	base
181	URJ181	○	○	70	base & 400

서 연륜 내에 중요한 정보들이 사라지거나 경감되는 문제가 발생됨은 물론(서정숙, 1999), 연륜에 대한 정확한 해석이 불가능해 짐으로, 연륜연대학에서 크로스데이팅은 매우 중요한 작업이다. 크로스데이팅 방법에는 좁은 연륜만을 막대로 그려 서로 비교하는 골격도법(Stokes and Smiley, 1968; Park, 1998)과 각 연륜의 너비를 모두 그래프로 그린 후 상호 중첩시켜 비교하는 그래프법(Schweingruber, 1988; Pumijumnong, 1998)이 있는데, 본 연구에서는 그래프법이 적용되었다.

### 3. 현생목 대표연대기를 이용한 절대연도 부여

크로스데이팅 된 현생목의 연대기는 수피 쪽의 생육연대, 즉 나무의 채취(벌목)연도가 정확히 알려져 있어 절대 연대가 부여된 대표연대기를 작성할 수 있게 된다. 그러나 의림지 소나무 시료와 같이 나무가 고사한 연도를 정확히 모르는 경우에는 현재 작성되어 있는 소나무 대표연대기와 상호 비교함으로써 각각의 나이테가 생성된 정확한 생육연도를 부여할 수 있게 된다. 생육연도 뿐만 아니라 최외곽 나이테에 포함되어 있는 세포를 관찰함으로써 나무가 고사한 계절까지 추정할 수 있다. 즉, 식물호르몬인 옥신의 변화로 우리나라 소나무 조재(춘재)는 대개 봄부터 초여름에 이루어지며, 만재(추재)는 늦여름에서 가을에 형성된다(이경준, 1997). 결국 나이테 내에 어떠한 세포가 존재하고 있는지를 관찰함으로써 나무가 벌채된 계절이나, 고사한 나무의 경우는 고사한 계절을 결정할 수 있게 된다.

### 4. 연륜생장 쇠퇴도 조사

연륜생장이 갑자기 감소하여 3년 이상 지속될 경우를 생장 쇠퇴로 정의하였으며, 이러한 연륜생장 쇠퇴는 대부분 기후 요소가 아닌 임목이 위치한 지역에서 발생하는 이벤트(event)에 의한 것이다(Schweingruber, 1990). Schweingruber(1990)는 연륜폭이 전년도 대비하여 40% 이상 감소된 후 3년 이상 지속되는 경우를 연륜생장 쇠퇴로

정의하였으며, 쇠퇴도의 정도에 따라 미량(40% ~ 55%), 중간(56% ~ 70%), 극심(71%) 이상은 극심으로 분류하여 조사하였다. 기간은 6분의 생장기간이 모두 포함되는 1930년부터 쇠퇴도 phase diagram을 작성하여 각 고사목의 쇠퇴도를 누적하였다.

조사 결과는 5년 단위의 쇠퇴도 원형 그래프(pie chart)로도 표시하였으며, 5년 동안 나이테 쇠퇴가 극심할 경우를 100%로 하여 표시하였다. 즉, 5년 동안 연륜생장 쇠퇴도가 미량으로 지속될 경우는 33%, 중간으로 지속될 경우는 67%, 그리고 극심으로 지속될 경우는 100%로 하여 원형 그래프에 표시하였다. 원형 그래프는 각 고사목 별로 생장기간에 따라 표시기간을 달리 하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 크로스데이팅

전체적인 연륜패턴과 모든 조사목에서 관찰되는 좁은 연륜폭(그림 1의 실선)을 이용한 크로스데이팅 결과 ELJ001, ELJ002, ELJ179, ELJ181은 ELJ036, ELJ125보다 한 해 일찍 고사한 것으로 조사되었다(그림 1). 모든 조사목이 수피를 포함하고 있어서 고사한 정확한 연도를 알 수가 있었다. 그래프를 이용하여 재차 크로스데이팅을 확인하기 위하여 각 조사목에서 획득된 연륜측정값의 평균으로 대표연대기를 작성한 후(그림 1, Master), 각 임목 연대기들과 조사한 결과에서도 높은 일치도를 보여주었다.

상관분석을 이용하여 크로스데이팅 결과를 확인한 결과 조사목들간 상관분석에서는 ELJ125와 ELJ179를 제외하고 1% 유의수준의 높은 상관관계를 나타내었다. 비록 ELJ125와 ELJ179가 다른 조사목들과 매우 낮은 상관을 나타내었으나, 그래프를 이용한 크로스데이팅 결과에서는 상당부분이 일치하는 것으로 나타났다(그림 1). 아울러, 평균값으로 작성된 대표연대기와의 비교에서는

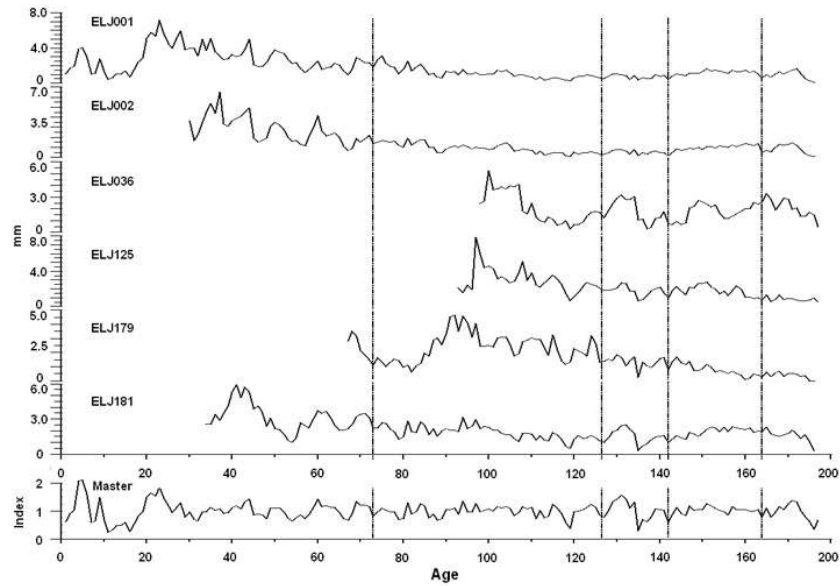


Figure 1. Ring-width patterns of the sampled trees, and crossdating between individual trees and master chronology.

5% 유의수준을 만족하는 결과를 보여주었는데, 이는 모든 조사목의 연륜에 포함되어 있는 공통된 성장정보를 본 조사목도 포함하고 있음을 의미하는 것이다. 각 조사목과 대표연대기와의 평균상관계수는 0.497이었다.

## 2. 수령분석

조사목 중 수령이 가장 오래된 것은 ELJ001로 176년이었다. ELJ181은 나무 중심이 부후되어 정확한 수령조사를 할 수가 없었으나, 이를 제외

하고는 모든 조사목의 정확한 수령 조사가 가능하였다.

ELJ181의 수령 EL001의 결과를 바탕으로 산출하였다. ELJ001에서는 채취된 두 개의 디스크(높이 5m 70cm와 밑둥)의 연륜을 조사한 결과 본 조사목이 1m 성장하는데 소요되는 시간은 4.4년으로 조사되었다. 이 결과를 ELJ181에 적용한 결과, 본 조사목의 수령이 157년으로 계산되었다. ELJ181의 수령을 추정하는데 사용된 성장편(144년)은 높이 2m에서 채취되었다. 연륜 분석

Table 2. Correlation among tree chronologies, and between individual tree and master chronology (\* :  $p < 0.01$ , + :  $p < 0.05$ ).

ID	ERJ001	ERJ002	ERJ036	ERJ125	ERJ179	ERJ181	Master
ERJ001	1.000						
ERJ002	.912*	1.000					
ERJ036	.447*	.483*	1.000				
ERJ125	.099	.088	.378*	1.000			
ERJ179	-.130	-.124	.161	.723*	1.000		
ERJ181	.684*	.660*	.498*	.306*	.025	1.000	
Master	.655*	.584*	.431*	.307*	.249 <sup>+</sup>	.756*	1.000

**Table 3.** Age, year of death and the mode of last-formed tracheids in the outermost tree ring.

Tree No.	ID	Age (year)	Year of death	Tracheids in the outermost tree ring	
				Earlywood	Latewood
1	ELJ001	176	1998	complete	almost complete
2	ELJ002	147	1998	on-going	
36	ELJ036	80	1999	on-going	
125	ELJ125	85	1999	complete	just beginning
179	ELJ179	110	1998	on-going	
181	ELJ181	≒157	1998	complete	on-going

결과 본 생장편의 연륜이 나무 중심에 가장 근접한 것으로 관찰되었기 때문이다. 정확한 수령 분석을 위하여 투명한 종이 위에 나이테의 생장 추세를 그린 후, 그 추세를 이용하여 나무 중심까지 추가되는 나이테를 추정하였다. 그 결과 4개의 나이테를 추가할 수가 있었다. 결국, ELJ181의 수령은 높이 2m에서 채취한 생장편 수령(144년)에 나무 중심까지 추정되는 나이테 수(+4년), 그리고 나무가 2m 성장하는데 소요되는 시간(8.8년)을 더함으로써 157년이라는 수령을 얻을 수 있었다.

3. 의림지 소나무 절대연도 부여 및 고사시기 추정  
 조사목의 각 연륜에 절대연도를 부여하기 위하여 월악산, 속리산, 설악산, 지리산 지역에서 작성된 대표연대기와 크로스데이팅을 실시하였다. 그 결과 의림지 소나무 시료에서 만들어진 개

별연대기들과 대표연대기는 월악산 소나무 현생목으로부터 획득된 대표연대기와 높은 일치도를 나타내었다. 의림지 소나무 대표연대기가 설악산을 제외한 다른 모든 지역의 대표연대기들과 유의성 있는 결과가 나온 것(표 4)은 의림지 소나무가 월악산, 속리산, 지리산 지역이 포함된 중부내륙 기후의 영향을 받으며 생장했기 때문이다.

나무가 고사한 시기는 최외곽에 생성된 연륜내 목재세포를 관찰함으로써 추정하였다. ELJ002, ELJ036, ELJ179는 조재만이 관찰되었으며, 조재(춘재) 세포형성이 상당히 진행되어 있어서 고사한 시기가 늦봄에서 여름인 것으로 조사되었다. 반면, ELJ001은 만재(추재) 세포형성이 거의 끝나고 있어서 가을에 고사한 것으로 조사되었으며, ELJ125는 만재세포가 막 형성되려고 하는 것으로 관찰되어 고사한 시기가 늦여름으로 조사되었다. ELJ181은 만재세포 형성이 활발히 진행되

**Table 4.** Correlation coefficients among local tree-ring index chronologies from Worak, Songri, Seorak, Chiri and Euilimji (\* : p<0.01, + : p<0.05).

Local chronology	Worak	Songni	Seorak	Chiri	Euilimji
Worak	1.000				
Songni	.436*	1.000			
Seorak	.229*	.350*	1.000		
Chiri	.336*	.474*	.146 <sup>+</sup>	1.000	
Euilimji	.257*	.275*	.108	.299*	1.000

고 있는 것으로 관찰되어 고사한 시기가 늦여름에서 초가을 사이임을 추정할 수 있었다. 고사한 연도는 ELJ001, ELJ002, ELJ179, ELJ181이 1998년으로 분석되었으며, ELJ036과 ELJ125는 1999년으로 분석되었다.

4. 연륜생장 쇠퇴도 조사

다른 조사목에 비하여 ELJ002와 ELJ179의 연륜생장 쇠퇴도가 두드러진 것으로 관찰되었다(그림 2). 특히, ELJ002는 1931년부터 1965년까지(35년) 회복기세 없이 성장쇠퇴 경향만 보여주었으며, ELJ179번은 1969년 이후부터 고사할 때까지 연륜생장이 쇠퇴하는 것으로 관찰되었다. 1876년부터 1880년까지 기간에는 ELJ001, ELJ002, ELJ181이 연륜생장이 쇠퇴하는 것으로 조사되었으며, 1936년부터 1945년까지는 ELJ001, ELJ002, ELJ036, ELJ179가, 1956년부터 1960년까지는 ELJ002, ELJ036, ELJ125, ELJ179가, 그리고 고사가 이루어진 최근 1996년부터 1999년 사이에는 ELJ001, ELJ002, ELJ125, ELJ179의 연륜생장이 쇠퇴하는 것으로 관찰되었다.

의림지의 연륜생장 쇠퇴도를 조사하기 위하여 모든 고사목이 연륜을 생성하기 시작한 1930년대부터 쇠퇴 강도(그림 3, 상단)와 그 누적(그림

3, 하단)을 작성하였다. 그 결과, 1941년과 1957년에 두드러진 연륜생장 쇠퇴가 있었으며, 1995년부터 증가한 쇠퇴도는 1998년과 1999년도에 이르러 임목들을 고사하게 하였다. 그러나 쇠퇴도의 경시적인 경향으로 보았을 때 고사 직전을 제외하고는 모두 일치하는 기간은 없었다.

각 나무별 연륜생장 특징을 살펴보면 다음과 같다.

URJ001의 경우는 성장초기인 1833년~1836년에 성장쇠퇴 현상을 보인 후 1851년~1960년, 1967년~1969년, 1978년~1980년, 1940년~1942년 그리고 1996년~1998년에 걸쳐 성장쇠퇴 경향이 관찰되었다(그림 1, 그림 4). 특히, 고사한 최근 3년 동안은 해가 지날수록 그 정도가 심해지는 것으로 보아 1996년 이후로 생장이 감소해서 1998년 가을에 고사한 것으로 보인다. 성장기 동안 외부로부터 피해를 받은 흔적이 부분적으로 발견되었는데, 특히 1955년과 1972년에는 큰 상처가 관찰되었다. 1955년에 생긴 상처는 나무의 회복능력으로 14년 후에 나이테가 상처 부위를 완전하게 덮었으나, 1972년에 발생한 상처가 고사한 1998년 당시까지도 완전한 치유가 이루어지지 않았다(그림 4). 1972년에 발생한 상처는 상처치유를 위하여 나무수술을 했음에도 불

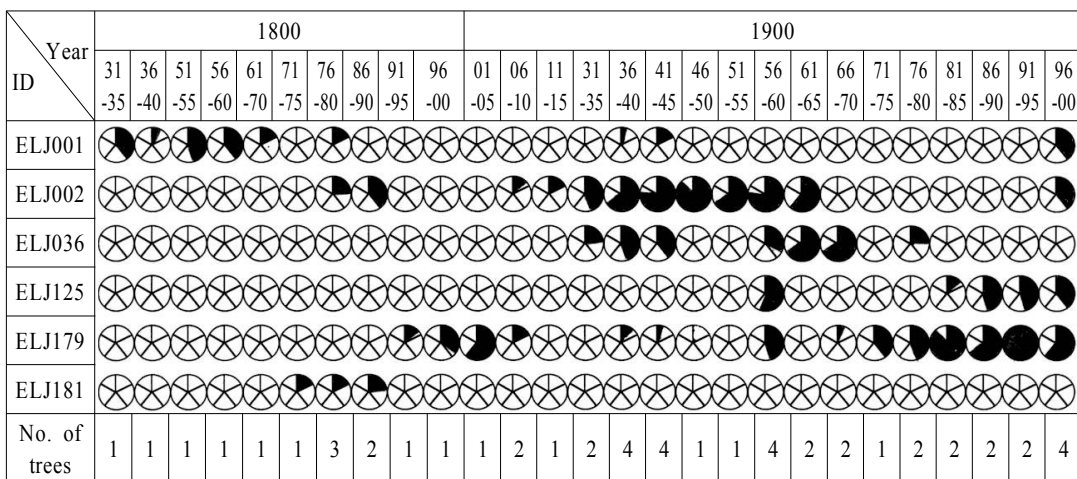


Figure 2. Pie chart for the growth decline of the six trees in 5-year period for the total growing season; black sector = degree of growth decline. See the text for the method to make pie charts.

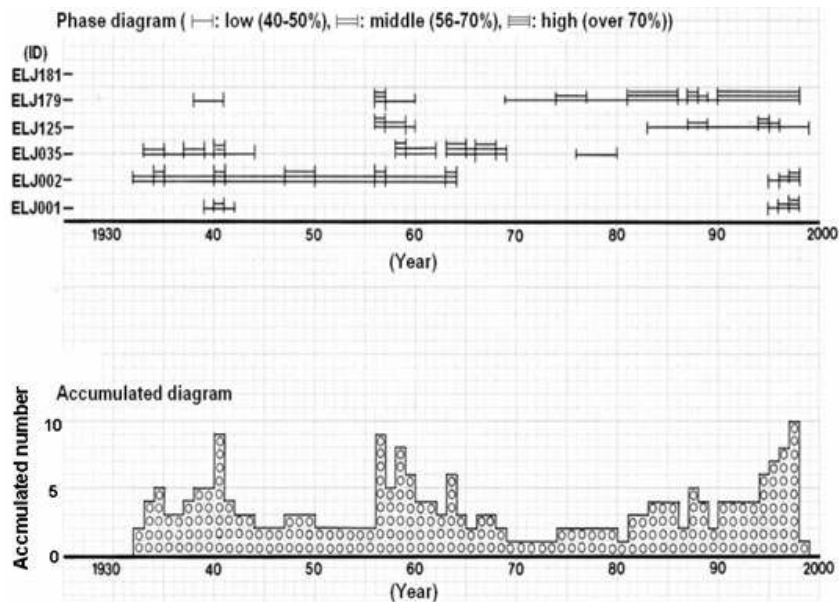


Figure 3. Phase diagram according to the strength of growth decline and the accumulated diagram based on the strength since 1930 when all experimental trees have tree rings. Growth decline is defined when ring widths are reduced in three consecutive years.

구하고 완전한 치유가 이루어지지 않았다는 사실을 비추어, 나무 관리를 위하여 실시하는 나무 수술이 때로는 나무의 자연치유 능력을 방해하고 있음을 알 수 있다.

URJ002에서는 압축이상재가 관찰되는 것으로 보아 수간이 기울어져 자란 임목이었음을 알 수 있었다(그림 5). 수간이 기울어진 원인으로 여러 가지가 있을 수 있으나 답압이 한 원인 일 수 있다. 의림지공원과 같이 수목이 위치한 곳에 방문객이 자유스럽게 출입하며 소풍을 즐기는 곳에서는 답압 피해로 생육저하와 토양침식으로 수간이 기울어졌을 가능성이 있다(김영남 등, 1977) 연륜 생장 특징으로는 1933년~1964년까지 32년 동안 연륜 생장쇠퇴가 이루어진 것으로 관찰되었다(그림 1, 그림 2). 고사가 이루어진 1998년을 기준으로 최근 3년 동안은 생장쇠퇴 현상이 두드러지게 나타났으며 (그림 5), 결국 회복하지 못하여 고사한 것으로 나타났다.

URJ036은 1934년~1944년까지 11년간과 1959년~1962년간에서는 매우 저조한 생장을 나타내

다가 1963년 1년간 정상적인 생장이 이루어진 후, 바로 다음해인 1964년~1969년까지 다시 저조한 생장을 나타내었다(그림 1, 그림 6). 이후 1977년~1980년까지 생장쇠퇴를 나타낸 것 이외에는 뚜렷한 생장쇠퇴 현상을 보이지 않았다. 특히, 고사한 1999년부터 최근 10간의 생장 경향을 살펴보면, 뚜렷한 생장쇠퇴 현상이 나타나지 않았으며, 고사한 때인 1999년 연륜에 조재 일부만이 형성되어 있어 고사한 시기가 1999년 늦봄에서 초여름 사이인 것으로 나타났다.

URJ125는 연륜 생장이 1957년~1960년까지와 1984년~1999년까지에서 매우 쇠퇴한 것으로 나타났다(그림 1, 그림 7). URJ002와 마찬가지로 압축이상재가 관찰되는 것으로 보아 수간이 기울어졌던 임목임을 알 수 있었다. 특이한 것은 솔잎혹파리 수간 주사를 실시한 흔적이 4 곳(그림 7)에서 관찰되었는데, 수간 주사 상처는 완전히 유합되는 데는 약 6년이 소요되었다. 임목이 고사하기 시작한 것은 1984년부터이며, 결국 회복하지 못함으로써 1999년 여름에 고사한 것으

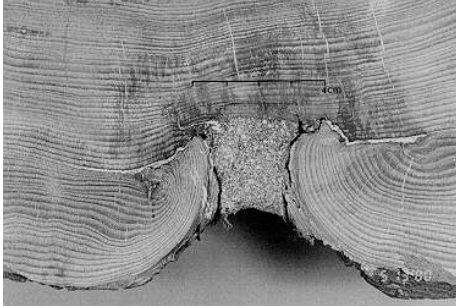


Figure 4. Tree-ring patterns of URJ001 sample.



Figure 8. Tree-ring patterns of URJ179 sample.



Figure 5. Tree-ring patterns of URJ002 sample.



Figure 9. Tree-ring patterns of URJ181 sample.

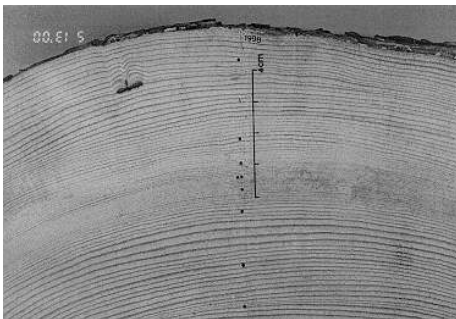


Figure 6. Tree-ring patterns of URJ036 sample.

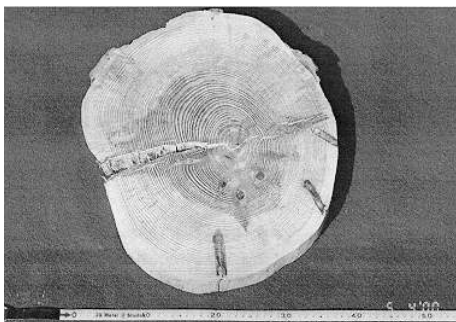


Figure 7. Tree-ring patterns of URJ125 sample.

로 나타났다.

URJ179 역시 URJ002와 URJ125와 마찬가지로 수간이 기울어져 나무 중심이 한쪽으로 치우쳐 위치하고 있었다(그림 8). 나이테의 성장 특징은 성장초기(1894년~1908년)부터 생장이 쇠퇴하는 경향을 보여주었으며, 최근에는 1970년 이후부터 나이테가 쇠퇴하기 시작하여 고사할 때인 1998년까지 회복하지 못하는 것으로 나타났다(그림 1, 그림 8). 1893년과 1985년에는 외부로부터 상처를 받은 흔적이 나타나 있는데, 1893년에 발생된 상처는 7년간의 기간을 두고 자연치유 되었으며, 1985년에 발생된 상처를 치유하는 데는 6년의 시간이 소요되는 것으로 나타났다.

마지막으로 URJ181은 밀둥과 나무높이 4m 지점(2개)에서 디스크를 채취하여 조사하였는데, 밀둥의 디스크는 매우 불규칙한 모양을 하고 있었다(그림 9). 1918(2회), 1913년, 1911년에 걸쳐 4번의 큰 상처를 받은 흔적이 발견되었는데(그림



9), 회복하는 데는 약 7년~8년이 소요되는 것으로 나타났다. 나이테 성장쇠퇴 현상은 1800년대에 1874년~1877년과 1887년~1890년에서만 두드러지게 나타났다(그림 1, 그림 2). 이 임목에서는 특이하게도 밀둥의 최외곽 연도(1997년)와 4m 지점에서 채취한 디스크의 최외곽 연도(1998년)가 1년 차이가 있는데, 이는 고사가 이루어진 1998년 당시 나무의 앞에서 만들어진 광합성 물질이 밀둥까지 내려올 만큼 충분하지 못하여 나타난 현상이라고 볼 수 있다.

#### IV. 결 론

제천 의림지 공원에서 고사한 소나무 6 그룹에 대한 연륜분석을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 수령은 80년-176년이였다. 가장 오래된 임목은 ELJ001로 176년이였다. 다음으로는 ELJ181(157년), ELJ002(147년), ELJ179(110년), ELJ125(85년), ELJ036(80년)이였다.

2. 임목이 고사한 해는 ELJ125와 ELJ036을 제외(1999년)하고는 1998년이였다. 이 중에서 ELJ002, ELJ036, ELJ179는 최외곽 연륜에서 조재(춘재) 세포만이 관찰됨에 따라 고사한 계절이 늦봄에서 여름인 것으로 분석되였다. 반면 ELJ001, ELJ125, ELJ181의 최외곽 연륜에서는 만재(추재) 세포가 부분적으로 관찰되어, 고사한 계절이 늦여름에서 가을인 것으로 분석되였다. 연륜생장 쇠퇴도의 경시적인 경향으로 보았을 때 모두 일치하는 기간은 없었다. 연륜생장이 급격히 감소하기 시작된 것은 ELJ036과 ELJ181을 제외하고는 고사한 해로부터 3년 이상 전부터였다.

3. 6 그룹 모두 1-2년 사이에 동시에 고사한 것으로 보아 솔잎혹파리와 같은 해충의 피해 그리고 가뭄 같은 기상재해로 죽었을 가능성이 크다. 수간주사에 의한 상처로 의림지 수목에 대한 솔잎혹파리 방제 작업이 있었음을 알 수 있었으나 솔잎혹파리 피해에 대한 조사결과는 찾을 수 없

었다. 한편, 다수의 임목에서 수간이 기울어졌을 때 나타나는 압축이상재와 물리적인 상처 흔적이 관찰되어 유원지의 탐방객에 의한 답압과 훼손도 고사에 다소 영향을 주었을 것으로 생각된다. 연륜생장만을 가지고 고사한 원인을 단정할 수는 없었지만 성장쇠퇴에 대한 경시적인 경향과 고사 시기는 추후 고사원인을 밝히는 단서를 제공할 수 있을 것으로 생각된다.

#### 인 용 문 헌

- 강상준. 2000. 의림지 식생분야 기초조사. 의림지 : 정밀기초조사, 충북대학교 박물관 제천시 69 : 243-253.
- 김영남·홍성각·조태환. 1977. 토양 건밀도가 수목생장에 미치는 영향. 한국임학회지 36 : 47-55.
- 박원규·서정욱. 2000. 의림지 나무 수령 및 나이테 분석. 의림지 : 정밀기초조사, 충북대학교 박물관. 제천시 69 : 255-284.
- 서정욱. 1999. 월악산 소나무(*Pinus densiflora*) 연륜 변동에 관한 시-공간적 분석. 충북대학교 석사논문. 청주, 59pp.
- 서정욱·김재수·박원규. 2000. GIS 기법을 이용한 지형적 특성에 따른 월악산 소나무 연륜생장의 이질성 규명. 한국생태학회지 23(1) : 25-32.
- 이경준. 1997. 수목생리학. 서울대학교출판부. 서울, 35-94.
- Fantucci, R., and A. Mccord. 1995. Reconstruction of landslide dynamic with dendrochronological methods. *Dendrochronologia* 13 : 43-58.
- Mitsch, W. J., and W. G. Rust. 1984. Tree growth responses to flooding in a bottomland forest in Northeastern Illinois. *For. Sci.* 30(2) : 449-510.
- Park, W. K. 1998. Skeleton-plot method of tree-ring crossdating. in W.K. Park and J.S. Kim

- (eds.), Proceedings of the Second East Asia Workshop on Tree-Ring Analysis. Agricultural Science & Technology Institute of Chungbuk National University, Cheongju. pp.75-87.
- Pumijumong, N. 1998. Graphic method of crossdating with emphasis on subtropical tree. *in* W.K. Park and J.S. Kim (eds.), Proceedings of the Second East Asia Workshop on Tree-Ring Analysis. Agricultural Science & Technology Institute of Chungbuk National University, Cheongju. pp.75-87.
- Schweingruber, F. H. 1988. Tree rings : Basics and applications of dendrochronology. D. Reidel Pub. Co., Dordrecht, Holland. 276pp.
- Schweingruber, F. H. 1990. Dendroecological information in pointer years and abrupt growth changes. *in* E.R. Cook and L.A. Kairiukstis (eds.), Methods of Dendrochronology : Applications in the Environmental Sciences. Kluwer Acad. Pub., Dordrecht, The Netherlands. pp.277-283.
- Stokes, M. A., and T. L. Smiley. 1968. An Introduction to Tree-Ring Dating. Univ. of Chicago Press, Chicago. 73pp.
- Veblen, T. T. 1994. Disturbance regime and disturbance interactions in a Rocky Mountain subalpine forest. *J. of Ecol.* 82 : 125-135.