

主要 針葉樹 造林木의 材質變異에 관한 研究(Ⅰ)*1

- 잣나무, 落葉松, 扁栢의 解剖的 性質 -

이 찬 호*2 · 박 정 환*3 · 김 영 채*4

Variations in Properties and Qualities of Major Plantation-grown Softwoods in Korea(I)*1

- Anatomical Properties of *Pinus koraiensis*, *Larix leptolepis*,
and *Chamaecyparis obtusa* -

Chan-Ho Lee*2 · Jung-Hwan Park*3 · Yong-Chae Kim*4

ABSTRACT

In fast grown softwood, there are very large changes in material properties going outward from the pith to bark such as anatomical, physical and mechanical characteristics. Some of variations in anatomical properties with annual ring were then examined from *Pinus koraiensis*, *Larix leptolepis*, and *Chamaecyparis obtusa*, which are major softwoods of plantation in Korea. The large variations of annual ring width during young age of tree tended to stabilize after 25year through the transitional period in 17~23year. The ring density was 1.5~2.4 in 1~10year period, and 3.5~6.3 in 30~35year period, in which juvenile and mature wood were certainly assumed to be formed, respectively. Variations of tracheid length showed functional relationships with annual rings as logarithm. Demarcation between juvenile wood and mature wood could be 16~19year, which was determined from increase rate of tracheid length of 0.2%. Cell wall thickness increased with increase of annual ring even though large variations were observed as well. Variations of cell wall thickness within species were pronounced in latewood than earlywood. The increase of cell wall thickness from juvenile wood to mature wood was predominant in *Larix leptolepis* as 2.0times, and least in *Chamaecyparis obtusa* as 1.1 times. Cell diameters showed trends of increase during young age of 1~15year, and consistent afterward. The variations of cell diameter between radial and tangential direction were greater in latewood, and most pronounced in *Chamaecyparis obtusa*.

Keywords : Softwood, juvenile wood, mature wood, annual ring, tracheid

*1 접수 1997년 5월 30일 Received May 30, 1997

*2 공주대학교 산업과학대학 College of Industrial Science, KongJu National University, YeSan 340-800, Korea

*3 임업연구원 Forestry Research Institute, Seoul 130-012, Korea

*4 경희대학교 산업대학 College of Industry, KyungHee University, YongIn 449-900, Korea

1. 서론

목재는 수종간 또는 개체간에 재질의 변이가 매우 심한 재료이다. 동일한 개체 내에서도 부위별 변이가 크다. 특히 속성 조립 침엽수재의 경우 수에서 수피까지 방사방향으로의 재질변이는 크게 미성숙재와 성숙재로 구별되며, 그 변이의 정도가 매우 심한 것으로 알려지고 있다. 미성숙재는 일반적으로 성숙재에 비해 재질이 매우 불량하여 이용상에 많은 문제점을 야기시키며, 침엽수재가 활엽수재에 비해 더욱 심하다. 미성숙재의 재질 불량은 목재조직 형성과정에서의 해부학적 특성과 이로 인한 물리적, 기계적 성질 변이의 결과이다. 따라서 미성숙재와 성숙재의 방사방향별 해부학적, 물리적, 기계적 성질 변이에 대한 명확한 이해가 이러한 목재의 활용도를 높이는데 필수적이다.

미성숙재는 “정단분열조직의 영향을 받는 형성층에 의해 형성된 2차 목부조직”으로 정의된다 (Rendle, 1960). 생장이 빠른 속성 조립수에서 생산된 목재는, 상대적으로 생장이 느리고 천연림에서 생산된 목재에 비해 미성숙재의 비율이 높기 때문에 물리적 또는 기계적인 성질이 떨어지며 (Bendtsen & Senft, 1986), 침엽수재가 활엽수재에 비해 그 정도가 심하다 (Panshin & de Zeeuw, 1980). 미성숙재는 성숙재에 비해 비중이 낮고 섬유가 짧고, 세포벽이 얇으며 (Bendtsen & Senft, 1986), 건축용으로 미성숙재가 포함된 목재는 성숙재에 비해 강도가 떨어지며 (Pearson & Gilmore, 1980; Senft *et al.*, 1985), 가공공정에서 찌그러짐 등의 문제를 야기시킨다 (Quarles & Erickson, 1987).

미성숙재의 세포조직학적 특성은 Krahmer 등(1986)이 설명한 바와 같이 가도관의 특징으로 설명된다. 가도관의 길이는 미성숙재가 성숙재에 비해 짧다. 또한 가도관 세포벽의 S2층 피브릴 경사각이 미성숙재의 경우 성숙재보다 크기 때문에 섬유방향으로의 수축률이 커지는 원인이 되기도 하며 인장하중에서 급작스러운 취약파괴를 유발하기도 한다.

연륜폭과 추채울, 연륜별 밀도 등도 미성숙재와 성숙재를 특징짓는 지표로 활용된다. 연륜폭은 목재의 밀도 그리고 강도와 아주 밀접한 관계가 있기 때문에, 생장률이 높은 미성숙재의 경우 강도적인 취약점 때문에 구조재료의 이용에 제한을 받게 된다. 일반적인 구조용 침엽수재에서 허용되는 연륜폭은 1인치당 6개 정도이다 (Koch, 1972). 미성숙재에서 성숙재로 이행되는 과정에서 관찰되는 가도관 길이의 변이는 연륜에 대하여 대수 함수적인

관계 (Panshin & de Zeeuw, 1980)나 포물선적인 관계 (Taylor, 1979)를 보인다. 또한 가도관 길이 변화는 미성숙재에서 연륜폭에 대하여 역상관관계를 나타내기도 한다 (Sudo, 1969; Uemura & Saito, 1974). Shiokura(1982)는 가도관 길이 생장률의 차이가 1% 이하가 되는 점을 성숙재와 미성숙재의 경계로 구분하였다. 또한 비중 또는 가도관의 길이의 변이를 성숙재 부분과 미성숙재 구간에서 연륜과의 회귀직선으로 분석한 후 두 회귀직선이 만나는 지점을 반복법으로 구하여 미성숙재와 성숙재간의 경계로 구분하는 방법이 이용되기도 한다 (Loo *et al.*, 1985; Hon *et al.*, 1996; Abdel-Gadir *et al.*, 1993).

우리 나라에서는 임업연구원 (Jo *et al.*, 1975; So *et al.*, 1979; Shim *et al.*, 1981)에서 소나무속, 개량 소나무속, 도입수종재 등에 관한 해부, 물리, 기계적 성질을 포함한 종합이용시험을 하였다. Lee와 Kim(1982)은 잣나무 39년생의 연륜별 연륜폭, 추채울, 가도관 길이 및 두께, 피브릴 경사각 등을 조사하여 미성숙재가 형성되는 경계를 15년으로 보고한 바 있다. Kang(1993)은 잣나무 조립목의 가도관의 길이, 세포벽의 두께, 피브릴 경사각 등을 측정하여 추정된 미성숙재와 성숙재의 연륜 경계를 가도관의 길이에서 13~19년, 세포벽의 두께에서 13~18년, 피브릴 경사각에서 15~18년으로 밝힌 바 있다.

본 연구에서는 윤벌기에 도달하여 대량 생산이 예상되는 침엽수 조립수종 중 소재자원으로서의 활용도가 높을 것으로 기대되는 잣나무, 낙엽송, 편백에 대하여, 재질변이의 기초 지표로 이용될 수 있는 해부학적 특징과 물리적 성질을 방사방향으로의 연륜변이에 따라 조사하였으며, 소재자원으로 이용할 때 구조적 안전성과 관련된 기초자료인 기계적 성질의 연륜밀도와와의 관계를 구명하고자 하였다. 그 첫번째로 해부적 성질의 변이에 대해 연구하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시수종

충남 보령시 성주면 성주리 산 39번지 소재 인공조림지에서 수간이 통직하고 수령이 30~40년생인 잣나무 (*Pinus koraiensis*), 낙엽송 (*Larix leptolepis*), 편백 (*Chamaecyparis obtusa*)을 각 2분씩 선정한 후 지상 30cm 부위로부터 1.8m 길이로 지하고까지 절단한 원목을 본 연구의 재료로 공시하였다. 공시수종의 내역은 Table 1과 같다.

Table 1. Descriptions of sample trees.

Species		D.B.H. (cm)	Height (m)	Clear-length (m)	Age (yr)
<i>Pinus koraiensis</i>	1	26	12.5	4.7	36
	2	30	13.4	6.2	38
<i>Larix leptolepis</i>	1	30	18.3	8.2	38
	2	27	17.7	6.2	38
<i>Chamaecyparis obtusa</i>	1	26	14.5	3.1	43
	2	24	13.1	3.7	35

2.2 해부적 특성의 조사

공시원목 중 지체부쪽 원구에서 두께 5cm의 원판을 채취하여 연륜폭, 섬유장, 가도관 직경 및 세포벽 두께를 측정하기 위한 시험편으로 공시하였다.

연륜폭은 채취한 원판을 조습실(20℃, 65%RH)에서 15일간 조습한 후 수를 중심으로 한 십자방향에서 연륜폭을 춘재와 추재별로 4회 측정하였다. 섬유장의 측정을 위하여 두께와 폭이 0.5mm 정도 되는 성냥촉목 형태의 시험편을 각 연륜에서 10개씩採取하여 Schultze 용액으로 해색한 후 연륜별로 5개의 슬라이드 글라스에 나누어 다음, 각 슬라이드 글라스에서 10개씩 한 연륜에서 모두 50개 섬유의 길이를 투영기(Profile projector: Model 6C)를 사용하여 측정하였다. 세포직경 및 세포벽 두께는 수에서 樹皮까지 연륜이 연속되게 절단한 블록으로부터 채취하여 만든 영구 프레파라트에서 횡단면상의 가도관의 크기를 연륜과 춘재 및 추재별로 점선방향과 방사방향에서 20개씩 측정하였으며, 가도관의 벽 두께는 방사방향에서 연륜 및 춘추재별로 20개씩 측정하였다. 측정된 해부적 특성들은 연륜에 대한 변수로 회귀분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 연륜폭의 변이

홍고직경에서 4 방향별로 측정한 공시수종의 연륜 및 수에서 방사방향 거리 별 연륜폭의 변이는 Fig. 1과 같다. 연륜 별 연륜폭 변이의 일반적인 경향은 성장초기에 연륜폭의 큰 변이를 보이다가 20년을 전후한 시기에 일정하게 감소하는 것으로 나타났다.

잣나무의 경우 5~10년 사이에 연륜폭의 변이가 매우 크게 나타났다. 동일 연륜에서 연륜폭의 변이가 심한 것은 Ohta(1979)의 보고와 같이 압축이상재의 형성에 의한 편심생장에서 기인하는 것으로 사료된다. 연륜폭의 변이는 17~24년 기간에서의 전이기를 거쳐 25년 이후부터

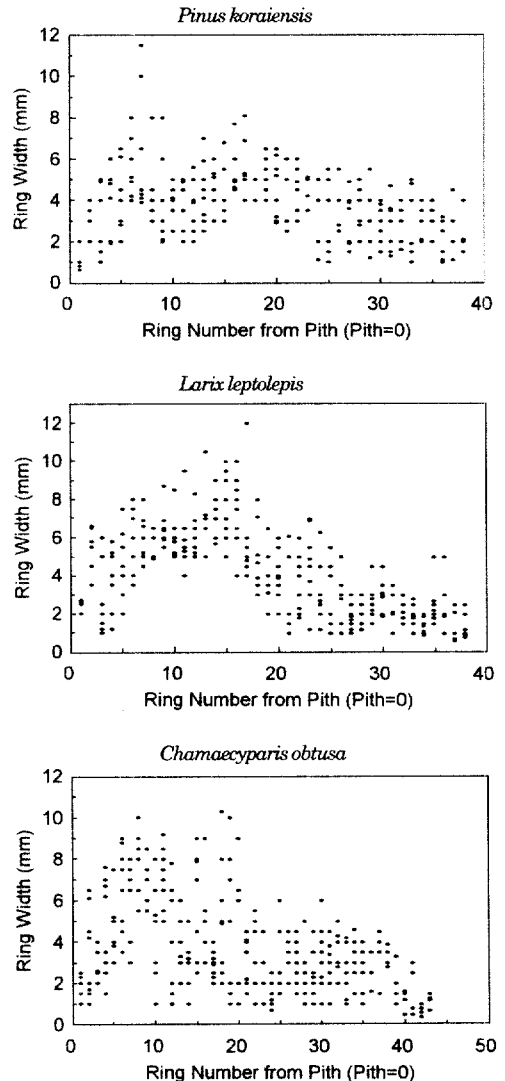


Fig. 1. Variation of ring width with ring number from pith in *Pinus koraiensis*, *Larix leptolepis*, *Chamaecyparis obtusa*.

어느 정도 일정한 수준을 유지하는 것으로 나타났다. 연륜폭의 변이에서 그 변이가 감소하는 추세를 보이는 17년을 전후하여 미성숙재와 성숙재의 경계를 구분할 수 있는 것으로 추정된다. 5~10년과 30~35년의 연륜에서 측정된 잣나무의 평균 연륜폭은 각각 4.8mm, 2.9mm였다.

낙엽송의 연륜에 따른 연륜폭의 변이는 잣나무와 매우 상이한 경향을 보였다. 연륜 16년까지 연륜폭의 지속적인 증가를 보이다 21년까지 감소하여 26년 이후부터 안정화되는 포물선적인 분포를 나타내었다. 성장초기에 잣나무의 경우처럼 편심생장에 의한 동일 연륜 내에서의 심한 변이는 관찰되지 않았다. 수목생장율이 가장 왕성했을 것으로 판단되는 최대 연륜폭은 연륜 15년에서 관찰되었다. 5~10년과 30~35년의 연륜에서 측정된 낙엽송의 평균 연륜폭은 각각 5.8mm, 2.1mm였다.

편백의 연륜별 연륜폭의 변이는 성장초기에 심한 변이를 보이다 22년을 전후하여 안정화되는 경향을 보였다. 편백의 성장초기에 나타나는 연륜폭의 심한 변이는 앞에서 언급한 압축이상재의 형성에 의한 편심성장 때문인 것으로 사료되며, 편심생장의 정도와 기간이 잣나무 보다 컸다. 5~10년과 30~35년의 연륜에서 측정된 편백의 평균 연륜폭은 각각 6.0mm, 3.0mm였다.

연륜폭은 수목의 개체간 또는 횡단면에서의 방향별 변이가 매우 심하여 미성숙재와 성숙재를 구분할 수 있는 지표로 이용하기 곤란한 것으로 나타났다. 그러나 공시 3수종의 연륜폭 변이의 경향을 분석하면, 비교적 낮은 영급에서 그 변이의 폭이 크고, 이 후 변이의 정도와 연륜폭이 감소하여 안정화되는 것으로 구분할 수 있다. 본 연구에서 연륜폭의 변이가 불안정한 기간과 안정화되는 기간의 경계는 잣나무 17~23년, 낙엽송 16~22년, 편백의 19~23년으로 추정되었으며, 수에서부터의 평균거리

는 10cm 정도였다.

1cm당 평균 연륜 개수를 나타내는 연륜밀도의 연륜별 변이는 Fig. 2와 같다. 연륜밀도는 공시 3수종 모두에서 10년까지는 평균 1.5~2.5개였으며, 15년이 지난 이후에 완만한 증가추세를 보였다. 미성숙재 기간인 0~10년에 형성된 연륜밀도는 공시 수종간에 차이가 없었으며, 성숙재가 형성된 것으로 추정되는 30~35년 기간의 연륜밀도는 잣나무와 편백이 3.5개와 3.4개로 차이가 없었으며 낙엽송이 5.3개로 다른 두 수종에 비해 많았다. 이는 낙엽송이 잣나무와 편백에 비해 성숙재 형성기간의 생장율이 낮음을 의미한다. 본 연구에서는 미성숙재와 성숙재의 연륜밀도의 범위를 미성숙재의 경우 1.5~2.5개, 성숙재의 경우 3.5개로 추정할 수 있었다.

3.2 가도관 길이의 변이

가도관의 연륜별 길이와 생장율의 변화를 Fig. 3에 각 공시수종별로 나타내었다. 연륜별 가도관 길이 변이의 일반적인 특징은 성장초기에 급격히 길이가 증가하다가 그 증가 추세가 완만해지는 대수함수적인 분포를 보여 기존에 보고된 연구결과(Sudo, 1970; Wellwood & Jusasz, 1968; Voorhies & Jameson, 1969; Saucier & Taras, 1966; Bendtsen & Senft, 1986; Ohta, 1972)와 유사한 경향을 보였다.

일반적으로 가도관 길이의 연륜별 변이는 성숙재에서 일정해지는 경우, 성숙재에서도 지속적으로 증가하는 경우, 성숙재에서 감소하는 경우 등 3형태로 구분할 수 있다(Panshin & de Zeeuw, 1980). 이 경우 잣나무와 낙엽송은 지속적으로 증가하는 형태로, 편백은 감소하는 형태로 분류되는 것으로 알려져 있다.

잣나무의 경우 10년까지 가도관 길이가 급격히 증가하고 그 이후에는 증가추세가 완만해지는 특징을 보였다. 연륜내의 가도관 길이의 변이는 길이가 급격히 증가하는 기간에서의 변이가 그 증가추세가 완만해지는 기간에 비해 적었다. 전 연륜 범위에서 가도관 길이의 변화는 대수함수로 표현할 수 있었고 고도의 유의성이 인정되었다 ($R^2 = 0.95$). 연륜별 가도관 길이의 변화를 나타내는 회귀식은 가도관의 길이방향 성장함수를 의미한다. 따라서 회귀식의 각 연륜에서의 기울기로부터 해당 연륜에서의 생장율을 알 수 있다. 이 생장율 곡선에서 매년 10% 이상 가도관 길이가 증가하는 기간이 7년까지 임을 추정할 수 있었다.

Shiokura(1982)는 가도관 길이의 생장율이 1% 이하가 되는 지점을 미성숙재와 성숙재의 경계로 구분한 바 있다. 그러나 본 연구에서 잣나무의 가도관 길이 변화의

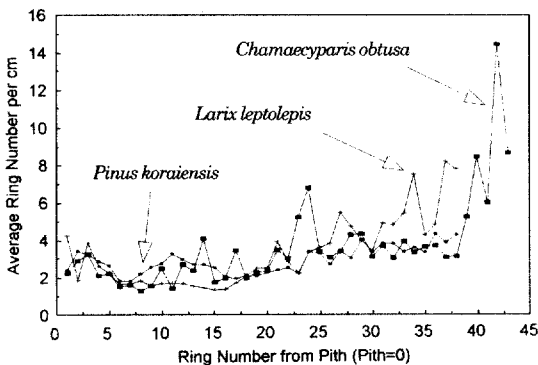


Fig. 2. Variation of tracheid length and increasing rate with ring number from pith in *Pinus koraiensis*, *Larix leptolepis*, *Chamaecyparis obtusa*.

회귀식 $Y = 0.78 + 0.68 \ln X$ 에서 전년도와의 생장을 차이가 1%에 해당되는 연륜은 8-9년으로 추정되어 기존에 발표된 잣나무의 미성숙재의 境界인 15~20년보다 훨씬 유령기에 해당되었다(Lee & Kim, 1982; Kang, 1993). 잣나무는 가도관의 길이가 지속적으로 증가하는 경향을 나타내므로, 생장에 의한 미성숙재의 경계 구분이 매우 타당한 방법으로 사료되나, 위에서 언급한 바와 같은 결과로 인해 생장을 1%의 적용이 곤란해진다. 연륜별 가도관 길이의 분포와 생장률 차이를 0.5%와 0.2%를 기준으로 판단하면 잣나무의 미성숙재 경계는 각각 13년, 19년의 범위일 것으로 추정된다. 연륜폭의 변이에서 추정된 미성숙재의 경계인 17년과 비교하면 생장률 차이 0.2%에서 추정한 결과와 유사하였다. 잣나무의 연륜 5~10년, 30~35년에서 측정된 가도관의 평균 길이는 각각 1.86mm, 3.45mm였다. 미성숙재와 성숙재간의 가도관 길이 증가율은 85%였다. 성숙재에서 측정된 가도관의 길이는 Kang(1993)이 보고한 2.86~3.44mm와 근사한 반면, Jo 등(1975)이 보고한 잣나무의 평균 가도관 길이 2.8mm에 비해서는 큰 것으로 나타났다.

낙엽송은 잣나무의 경우와 같이 가도관의 길이가 연륜에 따라 지속적으로 증가하는 수종으로 분류된다. 연륜내 가도관 길이의 변이는 잣나무에 비해 컸으며, 전 연륜 범위에서 변이의 폭이 고르게 나타났다. 연륜간의 변이는 1~10년 기간에 급격히 증가하는 기간, 11~17년 기간에 증가 추세가 둔화하는 기간을 거쳐 20년 이후에는 완만하게 증가하는 경향을 보였다. 연륜에 따른 길이 증가의 형태는 $Y = 0.88 + 0.76 \ln X$ ($R^2 = 0.92$)의 대수함수로 표현할 수 있었다. 생장률 차이에 따른 변이를 살펴보면 생장률 차이 1%에 해당되는 연륜이 9년, 0.5% 차이가 13년, 0.2% 차이가 21년으로 나타났다. 연륜폭의 변이에서 추정한 미성숙재의 경계가 16년임을 고려할 때 가도관의 길이 변이에서 미성숙재의 경계는 13~21년의 범위에 있을 것으로 사료된다. 공시 낙엽송의 연륜 범위 5~10년, 30~35년에서 측정된 가도관의 평균 길이는 각각 1.77mm, 3.64mm였다. 미성숙재와 성숙재간의 가도관 길이 증가율은 106%였다. 본 연구에서 측정된 성숙재의 가도관 길이는 Shim 등(1981)이 보고한 3.4mm와 매우 근사하였다.

편백은 연륜에 따른 가도관의 변이는 포물선적인 분포를 보여 노령기에 섬유장이 짧아지는 경향을 나타내는 수종으로 분류되나, 본 연구에서는 대수함수적인 관계로 표현되었다. 연륜내의 가도관 길이 변이는 잣나무나 낙엽송에 비해 적었다. 연륜간의 변이는 생장 초기인 10년까지 급격한 증가를 보이다가 그 이후 완만하게 증가하는

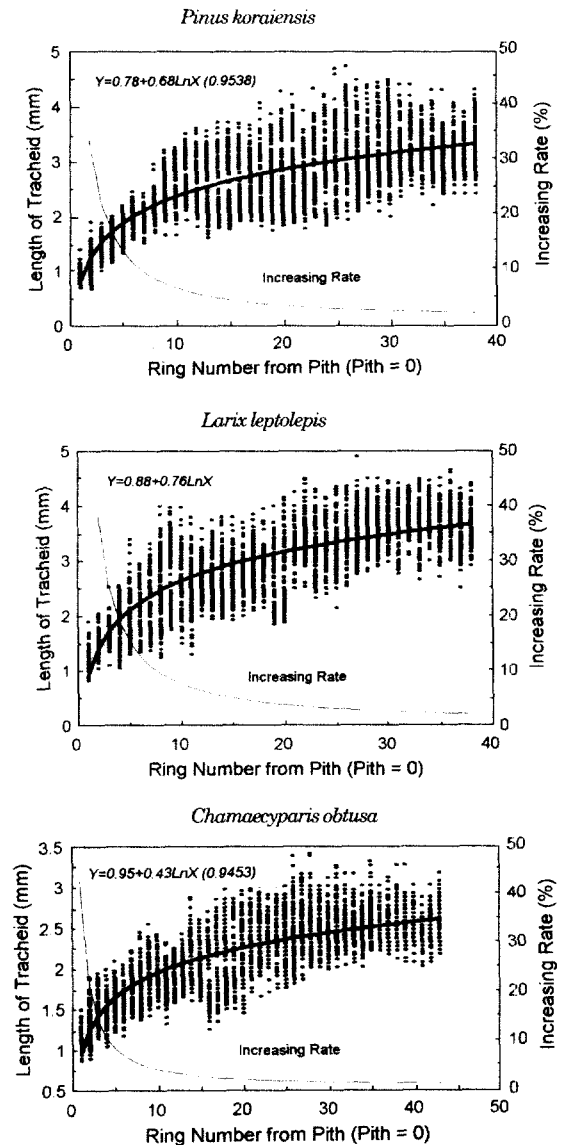


Fig. 3. Ring density with ring number from pith.

경향을 보였다. 이러한 연륜간의 변이는 Ohta(1972)가 보고한 30년생 편백의 경우와 거의 일치하였다. 생장률 차이에 의해 미성숙재의 경계를 구분하면 1%에서 8년, 0.5%에서 10년, 0.2%에서 16년이었다. Ohta(1972)는 편백의 미성숙재의 연륜 경계를 생육조건에 따라 10~16년으로 보고한 바 있다. 따라서 생장률 차이를 0.5~0.2% 범위로 설정하는 것이 타당할 것으로 사료된다.

편백의 연륜 범위 5~10년, 30~35년에서 측정된 가도관의 평균 길이는 각각 1.72mm, 2.57mm였다. 미성숙재와 성숙재간의 가도관 길이 증가율은 49%였다. 본 연구에서 측정된 성숙재의 가도관 길이는 Shim 등(1981)이 보고한 2.4~2.6mm와 매우 근사한 결과였다.

미성숙재 부위에서 측정된 가도관의 길이는 공시 3수 종간에 차이가 없었다. 성숙재 부위에서 측정된 값은 잣나무와 낙엽송이 차이가 없는 반면에 편백은 두 수종에 비해 짧았다. 특히 미성숙재와 성숙재의 가도관 길이의 증가율은 잣나무, 낙엽송, 편백 순으로 85%, 106%, 49%였으며, 낙엽송의 가도관 길이 증가가 가장 큰 반면에 편백은 매우 적었다.

3.3 세포벽 두께의 변이

방사방향에서 측정된 가도관의 춘추재별 세포벽 두께의 연륜별 변이는 Fig. 4와 같다. 잣나무에서 측정된 추재의 세포벽 두께는, 3년까지는 춘재와 비슷하나 이후에는 전 연륜 범위에서 춘재보다 두꺼웠다. 연륜별 변이는 1~10년의 기간에 비교적 완만하게 증가하고 그 이후에는 거의 일정하게 유지되는 것으로 나타났다. 이러한 경향은 Kang(1993)이 잣나무 20년에 대해 조사하여 보고한 결과에 비교해서, 춘재 가도관 두께의 연륜별 변이 형태는 유사한 반면, 10년까지 급격히 상승하는 추재의 변이 형태와는 상이한 결과를 나타내었다. 5~10년과 30~35년에서 측정된 가도관의 춘추재별 세포벽 두께는 춘재에서 5.1 μ m, 4.9 μ m, 추재에서 6.8 μ m, 7.6 μ m였다.

낙엽송 가도관의 세포벽 두께는, 추재에서 25년까지 지속적인 증가추세를 나타냈으며 이후에는 두께가 얇아져 일정해지는 것으로 나타나, Kang(1993), Lee와 Kim 등(1982)이 잣나무에 대해 보고한 결과와 유사한 경향을 보였다. 춘재의 두께 변이는 증가와 감소를 반복하는 경향을 보였다. 5~10년과 30~35년에서 측정된 낙엽송 가도관의 춘추재별 세포벽 두께는 춘재에서 4.3 μ m, 4.2 μ m, 추재에서 8.6 μ m, 10.6 μ m였다. 이는 Shim 등(1981)이 보고한 춘재의 3.1 μ m, 추재의 6.7 μ m에 비해 두꺼운 결과였다. 그 원인은 이들의 연구결과가 연륜의 구분없이 전 연륜에서 측정된 값의 평균치이기 때문인 것으로 사료된다.

편백의 가도관 세포벽 두께의 연륜별 변이는 춘재와 추재 모두에서 뚜렷한 경향이 없었다. 이러한 경향은 Ohta(1972)의 편백에 대한 연구 결과와 유사하였다. 춘재와 추재간의 두께 차이도 잣나무나 낙엽송에 비해 적었다. 5~10년과 30~35년에서 측정된 편백 가도관의 춘추재별 세포벽 두께는 춘재에서 5.1 μ m, 4.8 μ m, 추재에서

5.7 μ m, 6.6 μ m였다. Shim 등(1981)이 편백에 대해 조사한 값은 춘재에서 3.1 μ m, 추재에서 6.7 μ m이며, 본 연구의 결과와 상이한 것은 앞에서 언급된 바와 같다.

3.4 세포직경의 변이

공시 침엽수재의 방사 및 접선방향에서 춘재와 추재별로 측정된 연륜별 가도관의 직경 변이는 Fig. 5, Fig. 6, Fig. 7과 같다. 연륜에 따른 직경변이의 일반적인 경

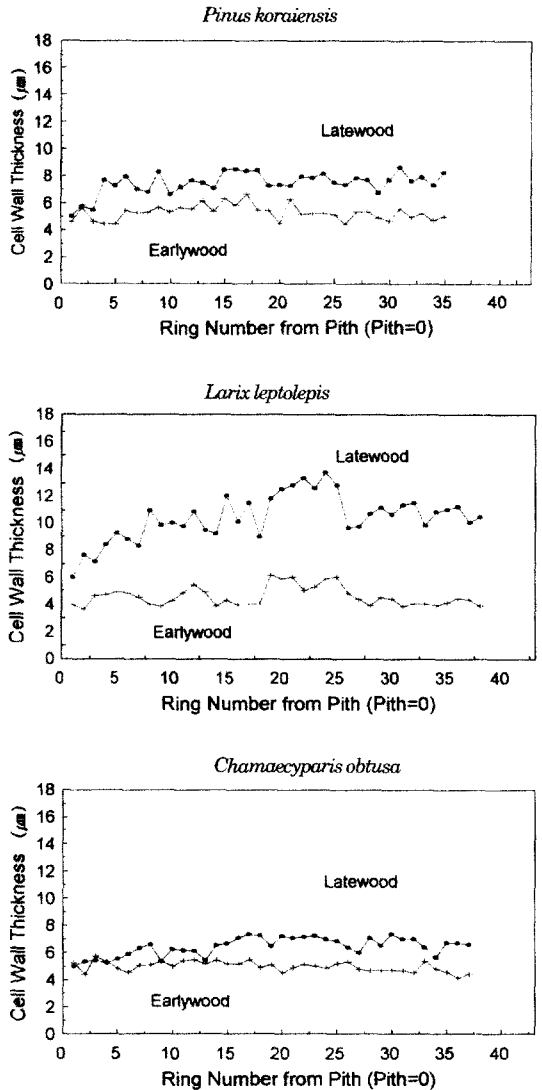


Fig. 4. Variation of earlywood and latewood cell wall thickness of tracheid in radial direction in *Pinus koraiensis*, *Larix leptolepis*, *Chamaecyparis obtusa*.

향은 연륜 증가에 따라 점진적인 증가를 나타내어, 기존에 보고된 연구결과(Ohta, 1972; Cown, 1975; Wheeler *et al.*, 1966; Bendtsen & Senft, 1986)와 부합하였다.

춘재에서의 방향별 세포직경은 방사방향에 접선방향보다 컸으며 그 차이는 낙엽송의 경우가 가장 심했다. 반면

에 추재에서의 방향별 차이는 접선방향이 방사방향에 비해 큰 것으로 나타났으며 편백에서 그 차이가 가장 심했다. 연륜별 세포직경의 변이는 춘재의 경우 방사방향과 접선방향에서 모두 점진적으로 증가하는 반면에, 추재에서는 접선방향으로는 점진적인 증가 경향을 보이지만 방사방향에서는 거의 일정하게 유지되는 것으로 나타났다.

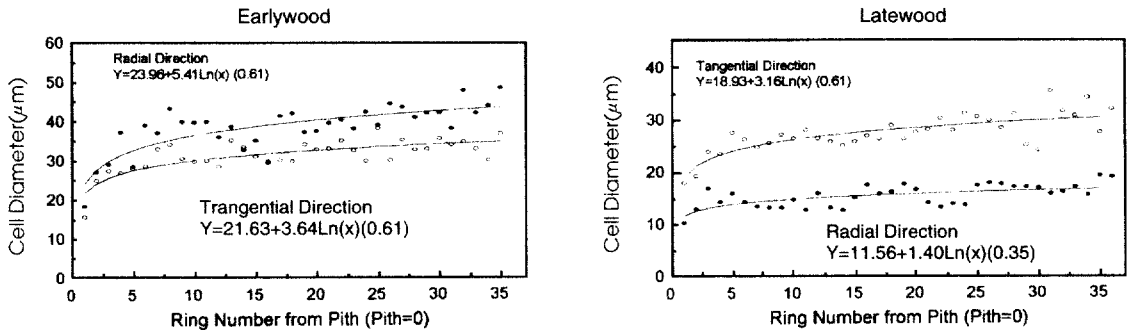


Fig. 5. Variation of earlywood and latewood cell diameters of tracheid with ring number from pith in *Pinus koraiensis*.

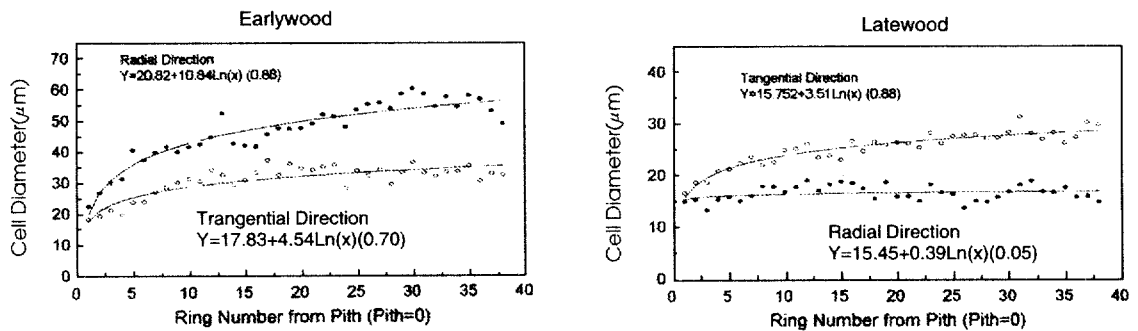


Fig. 6. Variation of earlywood and latewood cell diameters of tracheid with ring number from pith in *Larix leptolepis*.

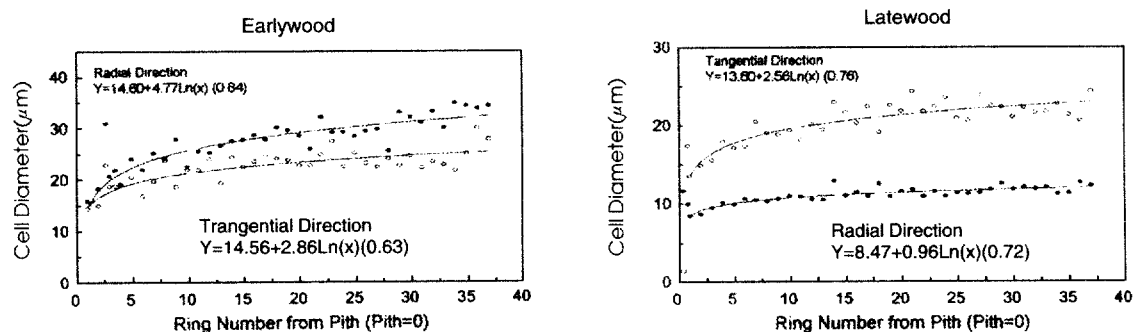


Fig. 7. Variation of earlywood and latewood cell diameters of tracheid with ring number from pith in *Chamaecyparis obtusa*.

Table 2. Characteristics of tracheids in *Pinus koraiensis*, *Larix leptolepis*, *Chamaecyparis obtusa*.

Characteristic			<i>Pinus koraiensis</i>		<i>Larix leptolepis</i>		<i>Chamaecyparis obtusa</i>	
			Juvenile	Mature	Juvenile	Mature	Juvenile	Mature
Diameter (μm)	EW	Rad.	36.24	40.36	35.03	56.16	21.87	30.93
		Tan.	17.09	15.53	15.81	16.37	9.94	11.64
	LW	Rad.	27.58	34.47	24.14	32.73	18.74	22.81
		Tan.	29.89	33.72	21.08	27.85	17.37	22.70
Thickness (μm)	EW		5.1	6.8	4.3	8.6	5.1	4.8
	LW		4.9	7.6	4.2	10.6	5.7	6.6
Length (mm)			1.86	3.45	1.77	3.64	1.72	2.57

Notes: LW : Latewood, EW : Earlywood, Rad : Radial direction, Tan. : Tangential direction.

이러한 추재에서의 방향별 세포직경 변이 형태는 접선방향으로는 일정하지만 방사방향으로는 접선방향에 비해 그 변이가 상대적으로 크다는 Krahmer(1986)의 연구결과와 정반대되는 결과였다. 이러한 결과는 수목의 생장이 왕성한 춘재 형성 시기에는 직경 및 원주방향으로의 생장이 동시에 이루어지지만 생장이 둔화되는 추재의 형성 시기에는 직경방향으로의 생장이 거의 이루어지지 않는 원인으로 추정된다.

가도관 직경의 연륜 별 변이는 그 증가 추세가 완만하거나 거의 일정하게 유지되는 경향이기에 때문에 미성숙재와 성숙재를 구분할 수 있는 경계의 구분이 곤란하였다. 앞에서 밝혀진 섬유장이나 연륜 기준으로 미성숙재가 형성되는 5~10년과 성숙재의 범위에 해당되는 30~35년 기간에서 관찰된 가도관 직경의 방향 및 춘추재별 평균값, 세포벽의 두께, 섬유장을 Table 2와 같다.

춘재에서 관찰된 미성숙재와 성숙재의 가도관 직경의 증가율은 방사방향이 접선방향보다 컸다. 특히 성숙재의 방사방향과 접선방향의 세포직경의 비가 미성숙재보다 크게 나타났다. 추재에서는 방사방향과 접선방향 간에 증가율이 춘재에 비해 적었으며, 방사방향에서의 미성숙재와 성숙재간의 증가율이 춘재와 비교해서 큰 차이가 없었다. 추재의 접선방향에서의 미성숙재와 성숙재간의 증가율은 춘재의 경우보다 크게 나타났다.

4. 결 론

우리나라에서 조림되고 있는 대표적 침엽수재인 잣나무와 낙엽송, 편백의 연륜에 따른 재질변이와 미성숙재와 성숙재 간의 재질 차이 및 경계를 구분할 수 있는 재질 지표물을 구명하기 위해 해부적 성질에 대해 조

사하였다. 본 연구를 통해 얻어진 결론은 다음과 같다.

방사방향에서 관찰된 연륜별 연륜폭의 변이는 성장초기에 편심생장으로 인한 압축이상재의 형성으로 큰 변이를 보이다가 17~23년 기간의 전이기를 거쳐 25년 이후에 안정되는 경향이였다. 단위 cm당 연륜수를 나타내는 연륜밀도는 성장초기에 해당하는 1~10년에서 1.5~2.4, 성숙재 형성 기간으로 추정되는 30~35년 기간에 3.5~5.3개였다. 연륜에 따른 방사방향에서의 가도관의 길이 변이는 대수함수적인 관계가 있었다. 가도관의 생장률 차이가 0.2% 되는 기간에서 추정된 미성숙재와 성숙재의 연운 경계는 16~19년 범위였다. 가도관의 방사방향에서의 세포벽 두께는 연륜에 따라 증가하는 경향을 보였으나 연륜간의 변이가 심하였으며, 秋材에서의 변이가 춘재보다 컸다. 성숙재의 세포벽 두께는 미성숙재에 비해 최대 20% 증가하였다. 세포직경의 변이는 연륜에 대해 15년까지 증가하다가 그 이후 감소하는 완만한 증가추세를 보였으며 대수함수로 표현할 수 있었다. 접선방향과 방사방향간의 세포직경 차이는 춘재보다 추재에서 컸으며 수종별로는 편백, 잣나무, 낙엽송의 순이었다.

참 고 문 헌

1. Abdel-Gadir, A. Y., R. L. Krahmer and M. D. Mckimmy. 1993. Relationships between intra-ring variables in mature Douglas-fir trees from provenance plantations. *Wood & Fiber Sci.* 25(2) : 189~191
2. Bendtsen, B. A. and J. Senft. 1986. Mechanical and anatomical properties in individual growth rings of plantation-grown

- eastern cottonwood and loblolly pine. *Wood & Fiber Sci.* 18(1) : 23~38
3. Cown, D. J. 1975. Variations in tracheid dimensions in the stem of a 26 year old radiata pine tree. *Appita* 28(4) : 237~245. referred to by Panshin and de Zeeuw (1980).
 4. Hon, D. N. S. and A. P. Bangi. 1996. Chemical modification of juvenile wood. Part1. Juvenility and response of southern pine OSB flakes to acetylation. *Forest Prod. J.* 46(7/8) : 73~78
 5. Jo, J. M., S. K. Kang, J. M. Ahn, C. H. Lee and N. S. Jo. 1975. Study on the wood properties of genus *Pinus* grown in Korea. Research Reports No. 22. The Forest Research Institute, Seoul, Korea : 71~84
 6. Kang, S. K. 1993. Changes in cellular characteristics and qualities of matured and juvenile wood from tree of *Pinus koraiensis*. *Mokchae Konghak* 21(2) : 73~80
 7. Koch, P. 1972. Three Rings per-inch, Dense Southern Pine - Should it be developed?. *J. Forestry* : 332~336
 8. Kraemer, R.L. 1986. Fundamental anatomy of juvenile and mature wood. Proceedings of the Workshop: Juvenile wood- what does it mean to forest management and forest products? The forest products Research Society Pacific Northwest Section and The Society of American Foresters Portland and North Puget Sound Chapter. Oct. 17, 1985. Portland, Oregon : 12~16
 9. Lee, W. Y. and S. C. Kim. 1982. study on wood quality of *Pinus koraiensis* (6)- Characteristics of woody quality of juvenile and adult wood. *Mokchae Konghak* 10(1) : 38~46
 10. Loo, J. A., C. G. Tauer, and R. W. McNew. 1985. Genetic variation in the time of transition from juvenile to mature wood in loblolly pine (*Pinus Taeda* L.). *Silva Genetica* 34(1) : 14~19. referred to by Clark III and Saucier.
 11. Ohta, S. 1972. Studies on mechanical properties of juvenile wood especially of Suguwon and Hinoki-wood. Bulletin of the Kyushu University Forests 45 : 1~80
 12. Ohta, S. 1979. The observation of tree ring structure by soft X-ray densiometry (II). The effects of wind direction on growth and some properties of *Pinus pinaster*. (summary in English). *Mokuzai Gakkaishi* 25(9) : 561~566
 13. Panshin, A. J. and C. de Zeeuw. 1980. Textbook of wood technology, 4th ed. McGraw Hill Book Co., New York, NY : 240~285
 14. Pearson, R. G. and R. C. Gilmore. 1980. Effect of fast growth rate on the mechanical properties of loblolly pine. *Forest Prod. J.* 30(5) : 47~54
 15. Quales, S. L., and R. W. Erickson. 1987. Mechanism of ceiling-floor partition separation. *Forest Prod. J.* 37(9) : 33~39
 16. Rendle, B. J. 1960. Views of technologists, anatomical criteria for industrial use (b) the juvenile period. *J. Society of Forestry, Great Britain* : 27~30. referred to by Zobel (1984)
 17. Saucier J. R., and M. A. Taras. 1966. Specific gravity and fiber length variation within annual height increments of red maple. *Forest Prod. J.* 16(2) : 33~36
 18. Senft, J. F., B. A. Bendtsen and W. L. Galligan. 1985. Weak wood, fast grown trees make problem lumber. *J. Forestry* 83 : 477~484
 19. Shim, K., K. Y. Lee, W. T. So, K. M. Ahn, S. K. Kang and J. M. Jo. 1981. On wood properties of imported species grown in Korea. Research Report No. 28 of the Forest Research Institute. Forest Research Institute, Seoul, Korea : 7~32
 20. Shirokura, T. 1982. Extent and differentiation of the juvenile wood zone in coniferous tree trunks. *Mokuzai Gakkaishi* 28(2) : 85~90
 21. So, W. T., S. J. Park, J. K. Kim, J. I. Hyun, S. G. Kang and J. M. Jo. 1979. Studies on the wood properties of hybrid

- pinus grown in Korea. The Research Report No. of the Forest Research Institute, Forest Research Institute, Seoul, Korea : 5~28
22. Sudo, S. 1969. Variation in tracheid length in AKAMATSU (*Pinus densiflora*) from a stand in Tohoku district. VI. Relation between tracheid length and growth. *Mokuzai Gakkashi* 15(6) : 241~246
 23. Sudo, S. 1970. Variation in tracheid length in AKAMATSU (*Pinus densiflora*) from a stand in Tohoku district. VII. Variation in tracheid length in AKAMATSU from a stand in the Kansai District. *Mokuzai Gakkashi* 16(4) : 163~167
 24. Taylor, F.W. 1979. Property variation within stems of selected hardwoods growing in the Mid-South. *Wood Sci.* 11 : 193~199
 25. Uemura, T. and H. Saito. 1974. interrelations among fiber length, ring width and rate of growth in an old tree of hinoki (*Chamaecyparis obtus*). *Bull. of the Govern. Forest Experimental Station* 263 : 43~63
 26. Voorhies, G. and D. A. Jameson. 1969. Fiber length in southwestern young-growth Ponderosa Pine. *Forest Prod. J.* 18(5) : 52~55
 27. Wellwood, R. W. and P. E. Jurazs. 1968. Variation in sapwood thickness, specific gravity, and tracheid length in Western Red Cedar. *Forest Prod. J.* 18(12) : 37~46
 28. Wheeler, E. Y. B. J. Zobel, and D. L. Weeks. 1966. Tracheid length and diameter variation in the bole of loblolly pine. *Tappi* 49(11) : 484~490