국내산 밤나무 수간 내 목섬유 및 도관요소 길이의 방사방향 변이성^{*1}

이 선 화^{*2} · 권 성 민^{*2} · 이 성 재^{*3} · Fauzi Febrianto^{*4} · 김 남 훈^{*2†}

Radial Variations in the Lengths of Wood Fibers and Vessel Elements in the Stem of Chestnut (*Castanea crenata*) Grown in Korea^{*1}

Seon-Hwa Lee^{*2} · Sung-Min Kwon^{*2} · Sung-Jae Lee^{*3} ·
Fauzi Febrianto^{*4} · Nam-Hun Kim^{*2†}

요 약

국내산 밤나무 목재의 효율적 이용을 위한 기초 자료를 얻기 위하여 밤나무 7품종(단택, 이취, 이평, 만성, 은기, 유마, 측파)의 목섬유 및 도관요소 길이를 대상으로 방사방향 변이성을 조사하였다. 목섬유 및 도관요소 길이는 조재와 만재 부위를 구별하여 3연륜 간격으로 광학현미경과 화상분석기를 사용하여 측정하였다. 밤나무 수간에 있어 만재 목섬유의 길이가 조재의 것보다 다소 더 길었으며, 조재 및 만재 모두에 있어 연륜 증가에 따라 목섬유 길이가 증가하는 경향이 나타났다. 이와 유사하게, 만재 도관요소의 길이 역시 조재의 것보다 다소 더 길었으며, 조재 및 만재 모두에 있어 연륜 증가에 따라 도관요소의 길이가 완만하게 증가하는 경향을 보였다. 결론적으로 밤나무 수간에 있어서의 목섬유 및 도관요소의 길이는 성숙재와 미성숙재를 판단하는 재질 지표로 이용될 수 있을 것으로 생각된다.

^{*1} 접수 2010년 4월 16일, 채택 2010년 7월 16일

^{*2} 강원대학교 산림환경과학대학. College of Forest and Environmental Sciences, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

^{*3} 강원도산림개발연구원. Forest Research Institute of Kangwon Province, Chuncheon 200-140, Korea

^{*4} Department of Forest Products, Faculty of Forestry, Bogor Agricultural University, PO Box 168, Bogor 16001, Indonesia

† 교신저자(corresponding author) : 김남훈(e-mail: kimnh@kangwon.ac.kr)

ABSTRACT

Radial variations in the lengths of wood fibers and vessel elements in the stem of chestnut (*Castanea crenata*) grown in Korea were investigated to get some fundamental information for efficient use of wood. Seven chestnut cultivars (Tanzawa, Ibuki, Arima, Ginyose, Tsukuba, Riheiguri, and Mansung) were examined in this study. The lengths of wood fibers and vessel elements were measured and analyzed by an optical microscope and an imaging analysis system. In all chestnut cultivars, the wood fiber length of latewood was longer than that of earlywood, and increased with the increase of growth ring number. Similarly, vessel element length of latewood was longer than that of earlywood, and showed increasing tendency with the increase of growth ring number. Consequently, it was considered that the lengths of wood fibers and vessel elements could be used for separating juvenile wood from adult wood in the chestnut stem.

Keywords: *Castanea crenata*, chestnut, radial variation, vessel element, wood fiber

1. 서 론

목재를 구성하는 세포는 수종 고유의 유전 인자뿐만 아니라 온도, 수분, 토양 등과 같은 환경 인자에 따라서도 그 크기, 형태, 배열 등에 차이가 나타나게 되는데, 수종 간은 물론 개체 간, 수간 내 및 연륜 내에서도 부위에 따라 달라진다. 이러한 변이성이 나타나는 이유는 측생분열조직인 유관속 형성층이 형성층시원세포 내부로 목부, 외부로는 사부가 병층분열을 통하여 세포수의 증가가 이루어진다. 그리고 형성층시원세포의 방추형시원세포에서는 측방향요소(가도관, 도관, 목섬유, 측방향유세포)의 생성이 이루어지고, 방사조직 시원세포는 방사방향요소(목부방사조직, 사부방사조직)의 생성이 이루어져 세포가 분열, 확대, 성숙, 목화과정을 거치면서 세포형성 과정의 차이에 기인하기 때문인 것으로 생각되고 있다(Tsoumis, 1991).

한(1984)은 연륜에 따른 자작나무속의 4수종에 대한 목섬유의 길이 및 폭, 도관의 길이 및 직경을 측정하였으며, 이 등(1997)은 침엽수(잣나무, 낙엽송, 편백)재의 연륜에 따른 연륜폭, 가도관의 길이 및 방사방향 세포벽 두께, 세포직경의 변이를 조사하여 미성숙재와 성숙재의 범위를 추정하였다. 또한 오(1997)

는 소나무의 해부학적 특성에 따른 종압축강도와의 관계를 조사하여 가도관의 길이 및 방사방향 벽후가 커짐에 따라 종압축강도는 증가함을 보고하였다. 또한, 침엽수재의 가도관 및 방사조직, 활엽수재의 도관요소, 목섬유, 방사조직 등은 수종 간 및 수간 내 재질의 변동성을 나타내는 지표로써 간주되고 있다(박 등, 1987).

따라서 목재를 보다 효율적으로 이용하기 위해서는 수간 내의 재질 변이성을 평가하는 기준 항목의 마련이 중요하다.

밤나무는 과실을 주목적으로 식재되어 왔는데 현재 우리나라에 분포하고 있는 밤나무는 주로 일본밤나무로써 현재까지 많은 변종이 보고되고 있으나(김 등, 2006) 그 목재 활용에 필요한 재질 특성에 관한 연구는 많지 않다.

저자 등은 전보(이 등, 2008; 2009)에서 밤나무 목재의 효율적 이용을 위한 기초 자료를 얻기 위하여 국내산 7품종 밤나무 목재의 해부 및 물리적 특성과 해부학적 특성의 방사방향 변이성을 조사하여 연륜 증가에 따라 도관요소의 직경과 방사조직의 개수는 증가하고 방사조직의 높이는 낮아지는 경향이 나타나는 것을 보고하였다. 본 연구에서는 전보에 이어 국내산 밤나무 7품종의 해부학적 특성 가운데 수간

내의 목섬유 및 도관요소 길이를 대상으로 방사방향 변이성을 조사하여 비교 및 검토하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

본 실험에서는 전보(이 등, 2008; 2009)와 같이 우리나라 중부와 남부지방에서 채취한 밤나무 7품종의 목재를 공시재료로 이용하였다.

2.2. 실험방법

2.2.1. 목섬유 및 도관요소의 길이 측정

각 품종별로 원판에서 조재와 만재를 구분하여 3 연륜 단위로 시료(silver)를 제작한 후 Schultze 용액에 담갔다. 해리된 세포들을 수세, 중화시킨 다음 50% 알코올 용액에 보관하였다. 현미경 관찰 시 1% safranin 용액으로 염색한 다음 영구 슬라이드를 제작하였다. 제작된 슬라이드를 광학현미경(Nikon ECLIPSE, E600)과 화상분석기(IMT, I-solution Lite)를 사용하여 각 연륜의 조재와 만재별로 목섬유는 100개 이상, 도관요소는 50개 이상을 측정하였다.

2.2.2. 통계분석

품종 간 조재 및 만재 목섬유와 도관요소의 길이 차이를 검토하기 위해 SPSS를 이용하여 유의성 검증을 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 목섬유의 길이

Table 1은 밤나무 7품종의 수간에 있어 조재와 만재 목섬유의 길이를 수(pith)로부터 수피를 향해 3연륜 간격으로 측정하여 나타낸 결과이다. 조재 목섬유의 경우 수간 중심부에서는 유마가 약 853 μm 로 가장 길었고 은기가 약 709 μm 로 가장 짧았으며, 수간 외주부에서는 유마가 약 1,045 μm 로 가장 길었고 만성

이 약 828 μm 로 가장 짧았다. 만재 목섬유의 경우 수간 중심부에서는 유마가 약 877 μm 로 가장 길었고 이평이 731 μm 로 가장 짧았으며, 수간 외주부에서는 측파가 약 1,159 μm 로 가장 길었고 만성이 약 834 μm 로 가장 짧았다.

조재와 만재 목섬유 모두에 있어 유마와 측파의 것이 대체로 길었고 이취와 만성의 것이 짧았다. 그리고 모든 품종에서 만재의 목섬유가 조재의 것보다 길이가 다소 길었고 통계적으로도 그 유의성이 인정되었다($P < 0.05$).

이(1994)는 밤나무의 목섬유 길이를 910~1,250 μm 로 보고하였고 日本木材加工技術協會(1984)는 목섬유 길이를 600~1,500 μm 로 보고한 바 있는데 이는 본 연구 결과와 유사하였다. 한편, paulownia (Olson and Carpenter, 1985) 0.96~1.19 mm, black alder (Robinson and Mize, 1987) 0.68~1.01 mm, black locust (Stringer and Olson, 1987) 0.75~1.06 mm, eucalyptus (Bhat *et al.*, 1990) 0.81~1.15 mm, hybrid poplar (Koubaa *et al.*, 1998) 0.7~1.1 mm, red alder (Gartner *et al.*, 1997) 0.82~1.2 mm, poplar (Debell *et al.*, 2002) 0.57~1.0 mm로 보고하고 있어 본 연구에서의 밤나무 목섬유 길이와 큰 차이는 없었다.

IAWA (Wheeler *et al.*, 1989)는 목섬유의 길이에 따라 4등급으로 분류하였는데, 본 연구에서의 밤나무 목섬유 길이는 1~2등급에 해당되어 비교적 목섬유의 길이가 짧은 수종으로 밝혀졌다.

Fig. 1은 밤나무 7품종 목섬유 길이의 방사방향 변이성을 나타낸 것이다. 조재와 만재에 있어 품종에 따른 차이는 있었으나 수간 중심부의 경우 700~880 μm 였으며 연륜이 증가함에 따라 길이가 증가하여 수간 외주부에서는 900~1,160 μm 에 이르렀다. 목섬유의 길이 변이에 따라 미성숙재와 성숙재를 구분한다면 약 10~15연륜 부근이 될 것으로 생각된다.

밤나무 7품종의 조재 목섬유의 길이는 12연륜을 기준으로 미성숙재 769~893 μm , 성숙재 936~1,015 μm 의 범위로 각각 836, 936 μm 의 평균값을 보여주었으며, 만재 목섬유의 길이는 미성숙재 794~928 μm , 성숙재 954~1,071 μm 의 범위로 각각 869, 1,024 μm 의 평균값을 나타내었다.

Table 1. Length of wood fiber with growth ring number (unit : μm)

Cultivars		Growth ring number										t-test
		3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	
Tanzawa	E	774.3 ± 108.2	847.5 ± 97.2	902.4 ± 148.9	921.1 ± 116.4	969.0 ± 150.8	982.4 ± 134.8					-5.60*
	L	792.4 ± 79.8	877.5 ± 92.7	936.9 ± 97.8	959.4 ± 107.7	976.4 ± 108.2	1013.7 ± 95.8					
Ibuki	E	757.4 ± 99.3	785.3 ± 94.9	754.1 ± 105.4	861.5 ± 101.8	880.8 ± 111.6						-1.55*
	L	768.0 ± 95.9	835.7 ± 102.6	734.1 ± 97.5	873.6 ± 91.5	933.3 ± 88.5						
Arima	E	853.3 ± 112.2	866.5 ± 96.2	927.4 ± 116.3	955.5 ± 83.5	976.7 ± 87.2	1010.7 ± 117.2	1044.7 ± 107.9				5.28*
	L	877.3 ± 107.1	903.9 ± 120.7	984.9 ± 99.6	1031.3 ± 118.0	999.7 ± 121.4	1049.7 ± 87.2	1068.3 ± 105.8				
Riheiguri	E	758.0 ± 89.9	839.9 ± 96.3	949.9 ± 104.4	978.8 ± 113.7	1018.0 ± 113.1	1026.8 ± 91.1	1036.8 ± 126.6				-1.10*
	L	730.6 ± 81.0	841.6 ± 98.6	964.5 ± 109.8	997.3 ± 118.5	1058.7 ± 95.8	1032.3 ± 93.0	1042.7 ± 89.4				
Tsukuba	E	778.6 ± 102.4	856.0 ± 90.0	854.3 ± 92.2	879.4 ± 115.0	948.9 ± 116.3	877.1 ± 105.1	848.0 ± 89.4	981.8 ± 124.0	1009.4 ± 70.9	1014.9 ± 130.5	-4.07*
	L	856.6 ± 129.7	902.1 ± 113.8	904.7 ± 108.2	906.2 ± 108.4	953.3 ± 127.9	908.1 ± 130.6	915.8 ± 134.1	991.3 ± 109.5	1070.6 ± 158.7	1158.7 ± 115.0	
Ginyose	E	709.1 ± 118.9	779.0 ± 99.6	829.0 ± 128.0	884.6 ± 104.0	933.7 ± 94.0	901.3 ± 88.0	898.3 ± 99.9	970.2 ± 101.1			-3.49*
	L	759.0 ± 131.4	826.6 ± 123.9	900.8 ± 122.2	910.9 ± 94.3	924.4 ± 113.5	934.1 ± 135.6	921.6 ± 140.0	978.6 ± 97.0			
Mansung	E	754.2 ± 119.0	778.5 ± 96.1	816.3 ± 82.6	767.0 ± 118.0	828.0 ± 102.2						-3.32*
	L	776.2 ± 119.4	828.3 ± 110.5	834.9 ± 88.5	815.1 ± 100.9	833.6 ± 96.6						

E : Earlywood, L : Latewood

* $P < 0.05$

(A)

(B)

Fig. 1. Radial variation of fiber length in earlywood (A) and latewood (B).

Table 2. Length of vessel element with growth ring number (unit : μm)

Cultivars	Growth ring number										<i>t-test</i>
	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	
Tanzawa	E 235.0 ± 53.8	237.2 ± 69.1	242.2 ± 58.5	244.6 ± 51.2	248.0 ± 68.7	259.1 ± 61.4					5.49*
	L 364.4 ± 88.0	365.7 ± 55.3	370.3 ± 66.1	378.8 ± 49.8	380.6 ± 66.7	383.5 ± 38.8					
Ibuki	E 230.5 ± 53.4	232.8 ± 87.4	233.1 ± 44.3	235.7 ± 36.6	234.5 ± 37.6						7.98*
	L 336.1 ± 34.6	341.9 ± 52.0	360.6 ± 64.9	376.8 ± 56.4	377.8 ± 89.3						
Arima	E 201.9 ± 41.9	203.6 ± 40.8	208.1 ± 28.3	216.9 ± 36.8	219.7 ± 45.8	223.4 ± 40.0	222.5 ± 22.4				8.16*
	L 298.8 ± 54.6	300.8 ± 52.9	305.1 ± 50.3	310.7 ± 66.7	310.6 ± 51.7	311.0 ± 47.4	314.1 ± 43.2				
Riheiguri	E 207.0 ± 43.2	210.3 ± 34.0	214.0 ± 42.6	215.8 ± 52.6	219.9 ± 48.1	222.5 ± 43.1	227.0 ± 50.2				6.01*
	L 281.5 ± 73.5	314.9 ± 56.9	325.4 ± 55.5	330.7 ± 73.7	336.5 ± 90.0	351.0 ± 62.6	362.8 ± 83.7				
Tsukuba	E 214.6 ± 29.1	218.3 ± 41.9	221.1 ± 39.5	224.4 ± 32.6	226.3 ± 31.7	230.6 ± 53.8	231.6 ± 49.6	231.9 ± 31.7	238.2 ± 41.7	240.4 ± 38.2	9.74*
	L 347.3 ± 47.2	348.3 ± 30.8	354.6 ± 60.5	356.5 ± 68.0	357.1 ± 19.8	366.0 ± 71.8	367.2 ± 54.7	373.3 ± 50.8	377.6 ± 73.6	378.3 ± 27.8	
Ginyose	E 194.0 ± 29.6	195.3 ± 29.3	200.6 ± 27.2	203.6 ± 30.2	208.1 ± 32.7	210.1 ± 44.9	212.2 ± 44.1	215.8 ± 40.2			9.85*
	L 348.7 ± 76.1	354.7 ± 78.0	360.2 ± 43.7	364.4 ± 62.5	370.2 ± 42.2	374.8 ± 62.8	376.8 ± 67.9	382.5 ± 29.4			
Mansung	E 267.3 ± 103.3	268.6 ± 85.9	271.4 ± 82.7	278.5 ± 70.2	277.6 ± 39.0						7.23*
	L 407.9 ± 111.0	413.0 ± 49.0	419.3 ± 34.9	421.4 ± 84.7	419.7 ± 44.9						

E : Earlywood, L : Latewood

* $P < 0.05$

목섬유 길이의 방사방향 변이에 관한 연구에서 박 등(1987)은 활엽수재의 경우 연륜 증가에 따라 증가한다고 보고하였고, 박(1981)은 환공재인 느릅나무, 다릅나무, 음나무 역시 증가한다고 보고하였다. 또한 이전의 연구에서 red oak (Taylor, 1976), paulownia (Olson and Carpenter, 1985), black alder (Robinson and Mize, 1987), black locust (Stringer and Olson, 1987), eucalyptus (Bhat *et al.*, 1990), hybrid poplar (Koubaa *et al.*, 1998), red alder (Gartner *et al.*, 1997), poplar (Debell *et al.*, 2002)의 목섬유 길이 역시 본 연구 결과와 유사하게 연륜 증가에 따라 증가

한다고 보고되어 있다.

3.2. 도관요소의 길이

Table 2는 밤나무 7품종의 수간에 있어 조재와 만재 도관요소의 길이를 수(pith)로부터 수피를 향해 3 연륜 간격으로 측정하여 나타낸 결과이다.

조재 도관요소의 길이는 약 195~363 μm 그리고 만재 도관요소의 길이는 약 281~419 μm 였다. 조재 도관요소의 경우 수간 중심부에서는 만성이 약 267 μm 로 가장 길었고 은기가 약 709 μm 로 가장 짧았으

국내산 밤나무 수간 내 목섬유 및 도관요소 길이의 방사방향 변이성

Fig. 2. Radial variation of vessel element length in earlywood (A) and latewood (B).

며, 수간 외주부에서는 단택이 약 $259 \mu\text{m}$ 로 가장 길었고 은기가 약 $216 \mu\text{m}$ 로 가장 짧았다. 만재 도관요소의 경우 수간 중심부에서는 만성이 약 $407 \mu\text{m}$ 로 가장 길었고 이평이 $282 \mu\text{m}$ 로 가장 짧았으며, 수간 외주부에서는 만성이 약 $420 \mu\text{m}$ 로 가장 길었고 유마가 약 $314 \mu\text{m}$ 로 가장 짧았다.

조재와 만재 도관요소 모두에 있어 단택과 만성의 것이 대체로 길었고 은기와 이평의 것이 짧았다. 그리고 조재와 만재의 도관요소 길이 사이에는 큰 차이가 나타나지 않았으나 조재의 것에 비해 만재의 도관요소 길이가 다소 긴 편이었고 모든 품종에 있어 통계적으로도 그 유의성이 인정되었다($P < 0.05$).

이(1994)는 밤나무 도관요소의 길이를 $240 \sim 620 \mu\text{m}$ 로 그리고 日本木材加工技術協會(1984)는 일반적인 목재의 조재 도관요소 길이를 $200 \sim 400 \mu\text{m}$, 만재 도관요소 길이를 $300 \sim 500 \mu\text{m}$ 로 보고한 바 있는데 이는 본 연구 결과와 유사하였다. Helińska-Raczkowska와 Fabisiak (1999)은 sessile oak의 도관요소 길이가 $400 \sim 500 \mu\text{m}$ 그리고 Sharma 등(2005)은 eucalyptus의 도관요소 길이가 $302 \sim 385 \mu\text{m}$ 라고 보고하였다.

IAWA (IAWA Committee, 1989)는 도관요소를 그 길이에 따라 4등급으로 분류하였는데 본 연구에서의 밤나무 도관요소 길이는 조재의 것이 1등급 그리고 만재의 것이 1~2등급에 해당되어 비교적 도관요소의 길이가 짧은 수종으로 밝혀졌다.

Fig. 2는 밤나무 7품종 도관요소 길이의 방사방향 변이성을 나타낸 것이다. 조재 및 만재 도관요소는

모두 수간 중심부에서 그 길이가 짧고 연륜이 증가함에 따라 완만하게 길이가 증가하는 경향을 보였는데 만재의 것이 조재의 것에 비해 다소 더 뚜렷한 그 경향을 나타냈다. 도관요소 길이의 방사방향 변이는 목섬유에 비해 다소 명확하지 않았으나 약 10~15연륜 정도가 미성숙재에서 성숙재로 구분되는 영역으로 생각된다.

밤나무 7품종의 조재 도관의 길이는 12연륜을 기준으로 미성숙재 $221 \sim 231 \mu\text{m}$, 성숙재 $223 \sim 240 \mu\text{m}$ 로 각각 226 , $231 \mu\text{m}$ 의 평균값을 보여주었으며, 만재 도관의 길이는 미성숙재 $341 \sim 363 \mu\text{m}$, 성숙재 $355 \sim 378 \mu\text{m}$ 로 각각 352 , $368 \mu\text{m}$ 의 평균값을 나타내었다.

도관요소 길이의 방사방향 변이에 관한 연구에서 박(1981)은 환공재인 느릅나무, 다릅나무, 옴나무를 조사한 결과 연륜이 증가함에 따라 그 길이가 증가한다고 보고하였다. 박과 박(1987)은 고로쇠나무 등의 활엽수재 도관요소 길이를 측정하여 연륜증가에 따른 변화는 완만하다고 보고하였으나, 한(1987)은 자작나무 등의 산공재 10수종 도관요소 길이를 조사하여 일정 연륜까지 증가하다가 그 후 안정화되는 경향이 있다고 보고하였다. 또한 sessile oak (Helińska-Raczkowska and Fabisiak, 1999)와 eucalyptus (Sharma *et al.*, 2005)의 도관요소의 길이 역시 본 연구 결과와 유사하게 연륜이 증가함에 따라 증가한다고 보고된 바 있다.

4. 결 론

국내산 밤나무 7품종의 수간 내 목섬유와 도관요소 길이를 측정 한 결과는 다음과 같다.

목섬유 길이는 조재의 것보다 만재의 것이 더 길었으며 조재와 만재 모두에 있어 유마와 측파의 것이 대체로 길었고 이취와 만성의 것이 짧았다. 조재 및 만재 목섬유 모두 연륜 증가에 따라 점차 그 길이가 증가하는 경향이 나타나 방사방향 변이성이 확인되었다.

도관요소의 길이는 조재의 것보다 만재의 것이 다소 더 길었으며 조재와 만재 모두에 있어 단택과 만성의 것이 대체로 길었고 은기와 이평의 것이 짧았다. 조재 및 만재 도관요소 모두 수간 중심부에서 그 길이가 짧고 연륜이 증가함에 따라 완만하게 길이가 증가하는 경향을 보였는데 만재의 것이 조재의 것에 비해 다소 더 뚜렷한 그 경향을 나타냈다.

결론적으로 밤나무 수간에 있어서의 목섬유 및 도관요소의 길이는 대체적으로 10~15연륜을 기점으로 완만한 증가폭을 보여주거나 다소 일정해지는 경향이 나타나는 것을 고려할 때, 미성숙재와 성숙재를 판단하는 재질 지표로 이용될 수 있을 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

1. 김만조, 김선창, 이욱. 2006. 한국의 밤나무품종. 국립산림과학원.
2. 박상진. 1981. 환공재 주요 구성요소의 방사방향 변동. 목재공학 9(3): 1~6.
3. 박상진, 박병대. 1987. 한국산 주요 산공재의 도관요소 형태변이. 목재공학 15(3): 1~13.
4. 박상진, 이원용, 이화형. 1987. 목재조직과 식별. 향문사.
5. 오승원. 1997. 소나무의 해부학적 특성과 증압축강도와 의 관계. 목재공학 25(2): 27~32.
6. 이선화, 권성민, 박병호, 이성재, 이욱, 김만조, 김남훈. 2008. 국산목재의 고급가구 및 목공예 용재 개발을 위한 기초연구 -국내산 밤나무 7품종의 해부 및 물리적 특성-. 목재공학 36(6): 23~32.
7. 이선화, 권성민, 이성재, 이욱, 김만조, 김남훈. 2009. 국내산 밤나무 목재의 해부학적 특성의 방사방향 변이성 -도관요소 및 방사조직-. 목재공학 37(1): 19~28.
8. 이찬호, 박정환, 김영채. 1997. 주요 침엽수 조임목의 재질변이에 관한 연구(I) -잣나무, 낙엽송, 편백의 해부학적 성질. 목재공학 25(2): 117~126.
9. 이필우. 1994. 한국산 목재의 구조. 정민사.
10. 한철수. 1984. 주요 산공재의 조직학적 연구 II -자작나무속의 목섬유 및 도관의 변이-. 목재공학 12(6): 3~6.
11. 한철수. 1987. 주요 산공재 구성요소의 방사방향변동에 관한 연구. 목재공학 15(2): 26-52.
12. 日本木材加工技術協會. 1984. 日本の木材.
13. Bhat, K. M., K. V. Bhat, and T. K. Dhamodaran. 1990. Wood density and fiber length of *Eucalyptus grandis* grown in Kerala, India. Wood and Fiber Science 22(1): 54~61.
14. DeBell, D. S., R. Singleton, C. A. Harrinton, and B. L. Gartner. 2002. Wood density and fiber length in young *Populus* stems: Relation to clone, age, growth rate, and pruning. Wood and Fiber Science 34(4): 529~539.
15. Gartner, B. L., H. Lei, and M. R. Milota. 1997. Variation of anatomy and specific gravity of wood within and between trees of red alder (*Alnus rubra* Bong.). Wood and Fiber Science 29(1): 10~20.
16. Helińska-Rackowska, L. and E. Fabisiak. 1999. Radial variation of earlywood vessel lumen diameter as an indicator of the juvenile growth period in ash. Holz als Roh- und Werkstoff 57: 283~286.
17. IAWA Committee. 1989. IAWA list of microscopic features for hardwood identification. Wheeler E. A., P. Baas & P. E. Gasson (eds.). IAWA Bull. n. s. 10: 219~332.
18. Koubaa, A., R. E. Hernández, M. Beaudoin, and J. Poliquin. 1998. Interclonal, intraclonal, and within-tree variation in fiber length of poplar hybrid clones. Wood and Fiber Science 30(1): 40~47.
19. Olson, J. R. and S. B. Carpenter. 1985. Specific gravity, fiber length, and extractive content of young paulownia. Wood and Fiber Science 17(4): 428~438.
20. Robinson, T. L. and C. W. Mize. 1987. Specific gravity and fiber length variation in a European black alder provenance study. Wood and Fiber Science 19(3): 225~232.
21. Sharma, S. K., R. V. Rao, S. R. Shukla, P. Kumar, R. Sudheendra, M. Sujatha, and Y. M. Dubey. 2005. Wood quality of coppiced *Eucalyptus tereticornis*

- for value addition. IAWA Journal 26(1): 137~147.
22. Stringer, J. W. and J. R. Olson. 1987. Radial and vertical variation in stem properties of juvenile black locust (*Robinia pseudoacacia*). Wood and Fiber Science 19(1): 59~67.
23. Taylor, F. W. 1976. Fiber length variation within growth rings of certain angiosperms. Wood and Fiber Science 8(2): 116~119.
24. Tsoumis, G. 1991. Science and technology of wood: Structure, properties, utilization. Van Nostrand Reinhold.