

상수리나무 心材와 邊材板材의 두께와 年輪角度가 熱板乾燥에 미치는 影響*¹

李 南 浩*² · 鄭 希 錫*²

Effect of Board Thickness and Ring Angle on Press-drying for Heartwood and Sapwood of *Quercus acutissima* C. *¹

Nam Ho Lee*² · Hee Suk Jung*²

Summary

This study was designed to investigate the effect of board thickness and ring angle on the characteristics including internal check, ring failure, surface check, end check, collapse, thickness shrinkage and width shrinkage of press-drying. The experimental materials of 6mm-, 9mm- and 12mm-thick board were taken from heartwood and sapwood of oak (*Quercus acutissima* Carr.) respectively. And boards were numbered according to position in the log(No. 1 to No. 4 for heartwood and No. 6 to No. 9 for sapwood). Press-drying was at 145°C platen temperature and 3.5kg/Cm² platen pressure.

The results of this study were summarized as follows.

1. Drying rates for sapwood materials were greater than those for heartwood materials. And drying rates for thinner materials were greater than those for thicker materials.
2. The thinner boards were, the severer surface checking developed in the heartwood materials, and surface checking for heartwood materials had no tendency in board position for the same thickness. Sapwood materials were completely free from surface checking.
3. End checking for heartwood materials had no tendency in board position. The greater deviation of ring angle from perfectly edge-grained was, the severer end checking developed in the sapwood materials. But end checking did not occur in 6mm-thick sapwood materials.
4. The greater deviation of ring angle from perfectly edge-grained was, the severer end checking developed for heartwood and sapwood materials. As board thickness increased, internal checking developed more severely for heartwood and sapwood materials.
5. For heartwood materials, ring failures reduced with increasing deviation of ring angle from perfectly edge-grained except 12mm-thick material and showed no significant difference attributable to board thickness. Sapwood materials were completely free from ring failure.
6. For heartwood and sapwood materials, collapse was slight and showed no significant differences attributable to both board thickness and board position.
7. As deviation of ring angle from perfectly edge-grained increased, shrinkage of board thickness

*1. 接受 3월 26일 Received March 26, 1987.

*2. 서울대학교 農科大學 Coll. of Agriculture, Seoul National Univ. Suwon 170, Korea.

decreased for heartwood and sapwood materials.

8. Shrinkage of board width showed no significant differences attributable to both board thickness and board position for heartwood and sapwood materials

1. 緒 論

木材 乾燥는 목재의 理學的 性質과 加工의 性質을 개량하기 위하여 실시하며 일반적으로 천연건조와 열기건조가 실시되어왔고 건조방법별로 장점과 단점을 지니고 있다.

최근 임산자원의 고갈로 인해 速成短伐期 樹種의 증식과 이용이 급증하여 재목이 小徑·低質化되어가는 추세인 바, 이들 목재는 대부분 未成熟材(juvenile wood)로 구성되어 있어 收縮異方性이 크고 치수가 불안정한 성질을 지니고 있는 소경목과 또한 용이가 많고 灣曲되어 있는 임목에서 나온 목재를 열기건조할 경우 틀어지기 쉽다. 틀어진 목재를 平削加工(surfacing) 할 경우 재목의 상당한 손실이 초래된다. 그러나 熱板乾燥를 적용하면 열기건조에서 나타나는 문제점을 해결할 수 있을 뿐 아니라 건조시간의 단축효과가 있고, 또한 幅방향의 치수안정효과가 커 마루판用材, 판넬材 등의 건조에 유리한 것으로 밝혀지는 등 최근 小徑低質材에 대한 열판건조의 適合性이 높이 평가되고 있다. 하지만 열판건조는 급속한 건조로 인해 內部割裂등 건조결합이 심하게 발생하여 건조재의 품질저하를 초래하는 큰 短點을 지닌 것으로 알려져 있다. 그리하여 열판건조시에 내부할렬 발생의 抑制방안이 절실히 요청되고 있는 실정이다.

열판건조시에 내부할렬과 표면할렬등 건조결합의 발생억제에 관한 상당한 연구가 수행되어 왔으며 특히 柱目板材는 板目板材보다 내부할렬이 감소됨이 밝혀져 있으나 판재의 木理角에 따른 열판건조에 관한 연구가 미흡하다. 또한 柱目板材는 내부할렬의 발생억제에 유리하지만 熱板의 압력이 輪割을 촉진시켜 얇은 판재의 경우 윤활의 확장으로 인해 표면할렬의 발생도 촉진되리라 생각된다.

따라서 본 研究는 대표적 乾燥困難樹種인 상수리나무 心材와 邊材板材의 두께와 年輪角度가 내부할렬을 비롯한 諸般 열판건조 특성에 미치는 영향을 파악하므로써 상수리나무 板材의 熱板乾燥效果를 究明하여 건조방법을 改善코져 크게 건조시간시험과 건조결합시험을 실시하였다.

2. 研究史

Koch(1964)¹³⁾는 두께 7/16인치 southern pine의 製材薄板을 大氣壓 이상의 압력과 溫度 300°F에서 스크린(screen)과 排氣카울을 이용하여 熱板乾燥를 실시한 결과 天然乾燥 및 제트건조(jet drying)보다 乾燥速度가 빠르고, 幅收縮, 길이굽음, 측면굽음이 적다고 보고하였다. Hann(1966)⁶⁾은 yellow-poplar材의 고온과 대기압 이상의 압력을 적용한 熱板乾燥의 메카니즘(mechanism)과 材質變化에 관한 연구에서 대기압 이상의 압력이 적용된 열판건조는 恒率乾燥期間이 존재하지 않으며 압력이 높을수록 熱劣化(thermal degradation)는 커진다고 보고하였고, Cutter(1986)⁴⁾ 등은 熱板乾燥가 white oak, red oak, yellow-poplar 材의 透過性에 미치는 영향에 관해 연구 보고한 바 있다. 또한 Schmidt(1967)¹⁶⁾는 두께 25mm 유럽산 너도밤나무板材의 熱板乾燥에 관한 연구에서 건조시간별 목재의 온도와 含水率, 압력별 재목의 두께변화 그리고 열판건조재의 比重과 치수안정성 등을 조사하였고, Haygreen(1968)⁷⁾ 등은 aspen과 paper-birch 변재를 가구재로 사용하기 위해 熱板乾燥를 실시할 경우의 경제성을 분석하는 한편 Daniels 등의 카울(caul)의 형태가 건조시간에 미치는 영향에 관한 未發表 연구결과를 인용하여 乾燥速度는 穿孔카울, 40메쉬 철사망(wire screen)을 사용한 穿孔카울, 無穿孔카울의 順으로 빠르다고 보고하였으며, Chen(1980)³⁾은 穿孔 카울의 천공의 數는 건조속도와 건조시간에 큰 영향을 미치지 않는다고 주장하였다. Hittmeier(1968)⁸⁾ 등은 북미산 활엽수재 8樹種과 침엽수재 1樹種의 열판건조에 관한 연구에서 건조시간은 初期含水率과 樹種의 영향을 받고 比重과 두께가 클수록 건조결합이 잘 발생함을 보고한 바 있다. 또한 Ziegler(1971)²⁴⁾ 등은 eastern hemlock의 熱板乾燥시에 압력, 온도 및 건조시간에 따른 판재의 두께변화와 관련된 회귀식을 발표하였으며 Wang(1975)²³⁾ 등은 red oak의 열판건조에 관한 연구에서 木材溫도와 水分傾斜는 매우 密接한 相互關連性이 있다

고 보고하였다.

Chen(1978, 1979)^{1,2)}은 두께 1인치 black walnut 심재판재를 段階熱板乾燥한 결과 連續熱板乾燥에 비해 건조결함을 有意性있게 감소시킬 수 있었다고 발표하였으며 black walnut 심재판재의 前冷凍處理(prefreezing)가 열판건조 특성에 미치는 영향에 관해서도 조사한 바 있다. 그리고 Simpson(1982, 1983, 1985, 1985)^{17,18,19,20)}은 red oak 板材와 soft maple 板材의 열판건조 실시 이전의 豫備乾燥效果를 조사 보고하였으며 red oak 板材의 熱板乾燥時 柾目板材가 板目板材에 비해 내부할렬의 발생을 억제하는데 매우 유리하다고 보고하였다. 또한 두께 1인치의 hard maple 柾目板材를 열판건조한 결과 심재는 내부할렬이 심하게 유발된다고 보고하였으며 red oak 판재의 열판건조시 柾目板材와의 年輪偏差角이 크지 않을 경우 내부할렬의 발생을 억제하는 效果가 있음을 보고하였다.

鄭(1977, 1979, 1983)^{9,10,11)}은 상수리나무 변재와 심재의 熱板乾燥에 관한 연구에서 판재의 內部溫度, 乾燥速度, 乾燥材의 寸數 변화 및 乾燥損傷 등을 보고하였으며 또한 이태리포플러와 상수리나무 판재에 대한 冷水, 溫水 및 蒸氣處理가 열판건조속도와 건조결함에 미치는 영향에 관해 보고한 바 있고, white oak 심재판재의 溫度段階熱板乾燥(temperature step-press drying)에 관하여 보고하였다.

3. 材料 및 方法

3.1 供試材料

3.1.1 供試原木

공시원목은 서울대학교 농과대학 수목원에서 자란 通直하고 技下高가 높은 상수리나무(*Quercus acutissima*) 1本을 선정하여 근주부위에서부터 상부로 향하여 材長 1.8m인 통나무 3개(원목 1, 원목 2, 원목 3)를 造材하고 또한 공시원목의 횡단면 건조와 횡단면할렬을 방지하기 위해 조재 즉시 은분페인트를 사용하여 엔드코팅(end coating)을 2회 실시하였다. 採取된 공시원목의 形質은 표 1과 같다.

3.1.2 供試板材

공시판재의 두께는 원목1에서 두께 12mm, 원목 2에서 두께 9mm, 원목3에서 두께 6mm가 되게 그림1과 같이 髓를 중심으로 양쪽이 대칭되게 板目

Table 1. Size of sample logs

Dimensions	Log 1	Log 2	Log 3
Butt end diameter(Cm)	38	35	29.5
Top end diameter(Cm)	35	29.5	29
Average ring width(mm)	3.8	3.6	3.4

製材하였으며 髓로부터 樹皮部를 향하면서 板材木取位置를 나타내기 위하여 각 판재의 번호를 차례로 No. 1~No. 9로 표시하였다.

No. 1은 완전한 柾目板材였고, No. 1~No. 4 또는 No. 6~No. 9일수록 정목판재와는 年輪偏差角이 커졌다.

제재된 판재중 No. 5는 邊材幅이 좁아 실험재료로 사용하지 않았으며 No. 1~No 4의 판재에서는 幅 50mm, 길이 47cm되게 心材板材만을 採取하였고, No. 6~No. 9의 판재에서는 동일한 크기의 邊材板材를 採取하였다.

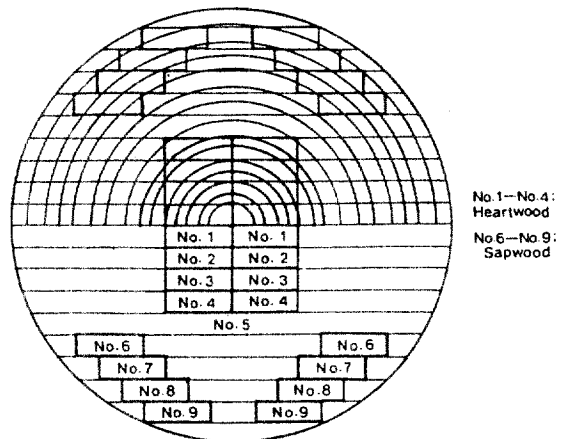


Fig. 1. Sawing pattern.

3.1.3 試驗片 採取

3.1.3.1 乾燥時間試驗片

건조시간시험편은 공시판재에서 그림2와 같은 방법으로 판재길이 40cm의 시험편을 변재판재와 심재판재의 3판재두께별로 구분하여 4木取位置에서 2개씩 모두 48개를 준비하였다.

3.1.3.2 乾燥缺陷試驗片

건조결함시험편의 길이는 40cm이고, 변재와 심재판재별, 3판재두께별, 4목취위치별로 6개씩 모두 144개를 採取하여 사용했다.

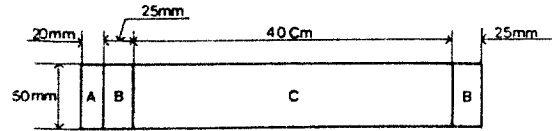
3.1.3.3 初期含水率, 年輪角度 및 比重試驗片

건조시간시험편과 건조결함시험편의 초기함수율과 연륜각도, 비중시험편은 그림2와 같은 방법으로 採取하였으며 건조시간 시험편과 건조결함시험편의 초기함수율과 생재비중은 각각 표2, 표3과 같다.

3.1.4 實驗器機

3.1.4.1 熱壓機

열압기의 熱板크기는 가로 48cm×세로 48cm로서 온도조절 感度 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 인 電氣加熱-油壓式 열압기를 사용하였다.



A: Sp. Gr. Specimen

B: Initial M.C. and ring angle specimen

C: Drying time or drying defects specimen

Fig. 2. Preparation for Sp. Gr., initial M.C., ring angle and drying time or drying defects specimen.

Table 2. Initial moisture content(%) and green volume specific gravity of drying time specimens

	Heartwood			Sapwood		
	6mm	9mm	12mm	6mm	9mm	12mm
Initial M. C.	84.2	88.7	86.4	77.6	75.5	73.2
Specipic gravity	0.62	0.62	0.57	0.60	0.63	0.62

Table 3. Initial moisture content(%) and green volume specific gravity of drying defects specimens

Kind of specimens		Initial M.C.	Specific gravity	
Heartwood	6mm	No. 1	83.0	0.63
		No. 2	92.3	0.64
		No. 3	82.9	0.57
		No. 4	83.0	0.59
	9mm	No. 1	83.4	0.60
		No. 2	82.4	0.63
		No. 3	86.7	0.61
		No. 4	82.9	0.63
	12mm	No. 1	81.1	0.56
		No. 2	86.6	0.56
		No. 3	88.5	0.56
		No. 4	91.2	0.57
Sapwood	6mm	No. 6	79.3	0.59
		No. 7	74.2	0.59
		No. 8	74.9	0.61
		No. 9	75.0	0.61
	9mm	No. 6	74.5	0.62
		No. 7	73.3	0.64
		No. 8	74.4	0.62
		No. 9	74.4	0.64
	12mm	No. 6	73.6	0.59
		No. 7	73.9	0.60
		No. 8	73.5	0.60
		No. 9	76.5	0.60

3.1.4.2 카울(caul)

熱板乾燥時에 水分排除를 용이하게 하기 위해서 그림 3과 같이 알루미늄 排氣카울을 사용하였다. 카울의 形狀은 두께 6mm, 가로 45cm, 세로 45cm 이고 熱板과 접촉하는 面에는 幅 4.5mm, 길이 1.5mm인 工字形의 홈을 24mm 간격으로 한 방향으로만 뒀으며, 각 홈의 중앙부에는 直徑 3mm인 구멍을 裏面으로 貫通하도록 뚫었고, 구멍간의 간격은 26mm로 하였다.

3.1.4.3 鐵絲網

板材와 카울사이에 80메쉬(mesh) 철사망을 끼워 건조하였다.

3.1.4.4 기타 器機

1) 乾燥器 : 含水率시험편과 비중시험편의 건조는 溫度 $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 를 유지할 수 있는 오븐(oven)을 사용하였다.

2) 直示天稱 : 含水率, 比重, 乾燥時間과 乾燥缺陷 시험편의 무게측정은 精密度 0.01g인 적시천칭을 사용하였다.

3) 버니어 캘리퍼스 : 건조결함 시험편의 두께, 幅 및 찌그러짐의 깊이를 측정하기 위해 精密度 0.05mm인 버니어 캘리퍼스를 사용하였다.

4) 恒溫器 : 乾燥前 시험편의 저장을 위해 온도 $5 \sim 10^{\circ}\text{C}$ 를 유지하는 恒溫器를 사용하였다.

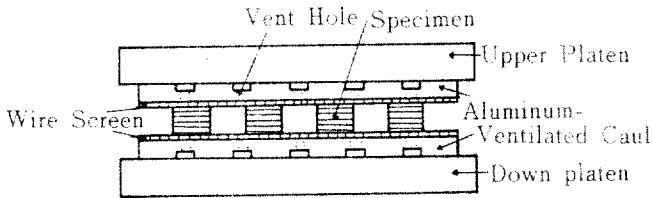


Fig. 3. Caul designs in drying presses.

3.2 實驗方法

3.2.1 乾燥前 시험편의 저장

Table 4. Ring angle(degree) in heartwood and sapwood boards from *Quercus acutissima* (based on 144 boards)

Board thickness	Board position in heartwood				Board position in sapwood			
	No.1	No.2	No.3	No.4	No.6	No.7	No.8	No.9
6mm	78.7	72.5	66.0	54.8	60.3	56.3	48.6	47.7
9mm	77.6	59.2	34.2	33.5	51.2	45.8	32.5	25.8
12mm	70.2	63.8	43.5	33.0	43.4	37.7	31.2	11.6

무풍인 실내에 비닐로 封해 저장중인 판재에서 건조시간시험편 또는 건조결함시험편을 건조개시 24~48시간전에 採取한 다음 건조할때까지 生材상태를 유지하도록 형조에 싸고 비닐로 密封하여 恒溫器에 저장하였다.

3.2.2 年輪角度

건조결함시험편의 연륜각도는 연륜각도시험편을 제록스(XEROX) 복사한 다음 그림4와 같은 방법으로 측정하였으며 변재와 심재판재별, 두께별 및 목취위치별 연륜각도는 표4와 같다.

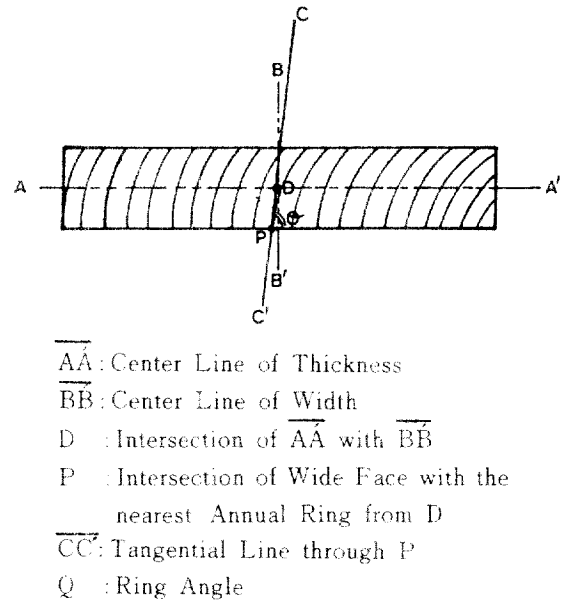


Fig. 4. Measurement of ring angle of drying defects specimen.

3.2.3 시험편의 配置

시험편의 配置는 건조시간시험편의 경우 4개씩, 건조결함시험편의 경우는 6개씩 그림5와 같은 방법으로 열압기에 배치하였다. 건조결함시험편은

熱板의 壓力과 熱이 각 시험편에 均일하게 전달될 수 있도록 같은 木取位置의 시험편들만을 同一로 드(load)에 배치하여 건조하였다.

건조 종료후 그림6과 같은 방법으로 건조결함 시험편의 중앙부에서 採取한 最終含水率 시험편의 두 횡단면상에 나타난 内部割裂과 輪割의 발생

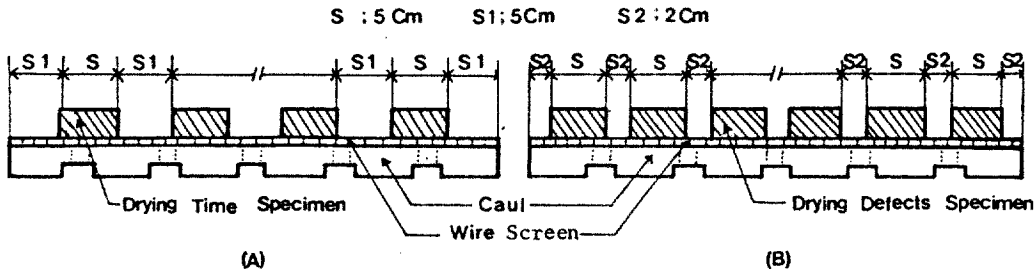


Fig. 5. Piling methods for drying time specimen(A) and drying defects specimen(B).

3.2.4 熱板乾燥條件

熱板溫度는 예비실험의 결과에 따라 145°C로 설정하였으며 熱板壓力은 Simpson(1982)¹⁷⁾이 제시한 3.5kg/cm²의 條件을 適用하였다.

3.2.5 乾燥中 含水率, 乾燥時間 및 乾燥速度

건조시간 시험편의 건조중 含水율은 건조전 무게를 측정후 열압기에 넣고 매 10시간격으로 시험편의 건조중 무게를 측정하여 含水율을 3~4%까지 측정하였으며 판재의 두께별 건조중 含水율 감소는 式(1)로 比含水率(relative moisture content)을 구하여 비교하였다.

건조시간 시험편의 含水율 6%까지의 건조시간은 건조시간별 含水율감소 경과를 片對數方眼紙에 그려 內挿法(interpolation)으로 추정하였고 이러한 心材와 邊材板材의 두께별 건조시간을 乾燥缺陷시험에 적용하였으며 乾燥速度는 최종含水율로 구한 전건무게를 적용하여 구하였다.

M_R = M_c / M_i (1)

- M_R : 比含水率
- M_i : 初期含水率(%)
- M_c : 乾燥中 含水率(%)

3.2.6 表面割裂과 橫斷面割裂

표면할렬은 건조종료후 건조결함 시험편의 양표면에 나타난 할렬의 발생갯수, 총길이 및 최대길이를 측정하였고, 橫斷面割裂은 건조종료후 건조결함 시험편의 두 橫斷面上에 나타난 할렬의 발생갯수, 총길이 및 최대길이를 측정하였다.

3.2.7 内部割裂과 輪割

수, 총길이 및 최대길이를 측정하였다.

3.2.8 찌그러짐

찌그러짐은 건조 종료후 건조결함 시험편의 최대두께와 최소두께를 측정하여 그 差로써 나타내었다.

3.2.9 두께收縮率과 幅收縮率

두께수축율과 幅收縮率은 그림6과 같이 건조결함 시험편의 세 지점에 두께와 폭방향의 치수측정용 기준선을 두고 건조전과 건조 종료 직후의 치수를 측정하여 式(2)로 두께수축율 또는 폭수축율을 구한 다음 세 지점에서의 수축율의 평균값으로 산출하였다.

S = (l - l_c) / l × 100(%) (2)

- S : 두께 또는 폭 수축율(%)
- l : 건조전 시험편의 두께 또는 폭(mm)
- l_c : 건조후 시험편의 두께 또는 폭(mm)

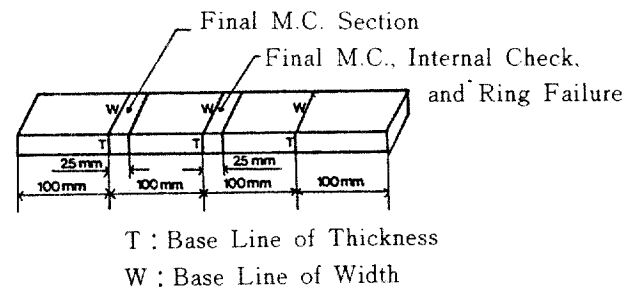


Fig. 6. Preparation for final moisture content, internal check and ring failure of drying defects specimen and locations of base lines for board width and board thickness.

4. 結果 및 考察

4.1 乾燥時間試驗

4.1.1 乾燥時間과 乾燥速度

건조시간 시험편의 변재와 심재판재의 두께별

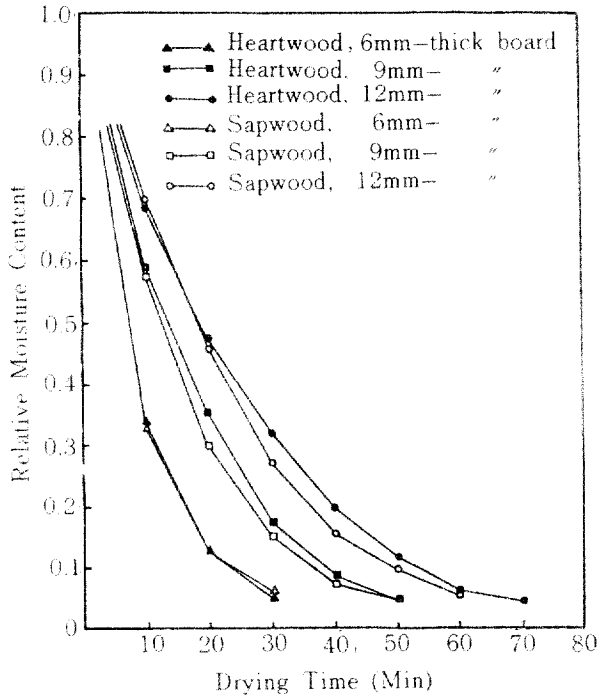


Fig 7. Drying time curves for heartwood and sapwood boards from *Quercus acutissima* (based on 48 boards).

Table 5. Drying times to 6% M.C. and drying rates in heartwood and sapwood boards from *Quercus acutissima* (based on 48 boards)

	Heartwood			Sapwood		
	6mm	9mm	12mm	6mm	9mm	12mm
Drying times to 6%(min)	27	45	61	26	40	54
Drying rates 70 to 30(%/min)	4.88	2.86	2.04	4.88	2.96	2.17
Drying rates 30 to 6(%/min)	1.38	0.90	0.66	1.39	0.95	0.69
Drying rates 70 to 6(%/min)	2.41	1.58	1.14	2.46	1.65	1.21
Final M.C.(%)	3.8	4.3	4.0	3.0	4.1	4.6

건조시간에 따른 比含水率의 감소는 그림7과 같고, 함수율 6%까지의 건조시간과 含水率段階別 건조속도는 표5와 같다.

生材에서 함수율 6%까지 소요된 건조시간은 심재판재보다는 변재판재가, 그리고 두꺼운 판재보다는 얇은 판재가 더 적었으며 두꺼운 판재일수록 심재와 변재간에 건조시간의 차이는 컸다. 변재가 심재보다 빨리 건조되는 것은 심재의 경우 抽出物과 타이로시스(tyloses)의 형성, 그리고 膜孔閉塞(pit aspiration)에 의한 透過性불량에 기인한 것으로 생각되며 또한 두꺼운 판재일수록 심재와 변재간에 차이가 큰것은 두께가 두꺼우면 木質量과 内部水分의 이동거리가 증가하여 결국 투과성이 건조시간에 미치는 영향도 커지기 때문인 것으로 생각된다.

含水率段階別 건조속도는 함수율 70%~30%, 30%~6% 및 70%~6%의 모든 단계에서 심재보다는 변재가, 두꺼운 판재보다는 얇은 판재가 더 컸다. 이는 鄭(1977)⁹⁾ 등의 상수리나무의 심·변재별 건조속도, Chen(1980)³⁾의 판재두께별 건조속도에 관한 연구내용과 유사한 경향이었다. 또한 Chen(1980)³⁾은 판재두께가 얇을수록 건조시간이 적은 것을 표면적/용적 (surface to volume ratio)이 두꺼운 판재보다 커 열전달이 용이하기 때문이라고 설명한 바 있다.

4.2 乾燥缺陷試驗

4.2.1 表面割裂과 橫斷面割裂

Table 6. Average number, total length and maximum length of surface checks and end checks in sapwood boards from *Quercus acutissima* (based on 144 boards)

Board thickness	Board position	With surface checks and end checks per board					
		Average number		Total length (Cm)		Maximum length(Cm)	
		Surface check	End check	Surface check	End check	Surface check	End check
6mm	No. 6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	No. 7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	No. 8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	No. 9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9mm	No. 6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	No. 7	0.00	0.33	0.00	0.12	0.00	0.07
	No. 8	0.00	0.67	0.00	0.45	0.00	0.13
	No. 9	0.00	3.17	0.00	2.13	0.00	0.50
12mm	No. 6	0.00	0.33	0.00	0.30	0.00	0.15
	No. 7	0.00	1.83	0.00	0.85	0.00	0.25
	No. 8	0.00	4.83	0.00	2.40	0.00	0.57
	No. 9	0.00	8.50	0.00	5.05	0.00	0.85

Table 7. Average number, total length and maximum length of surface checks and end checks in heartwood boards from *Quercus acutissima* (based on 144 boards)

Board thickness	Board position	With surface checks and end checks per board					
		Average number		Total length (Cm)		Maximum length(Cm)	
		Surface check	End check	Surface check	End check	Surface check	End check
6mm	No. 1	7.67	2.67	42.67	1.22	11.35	0.50
	No. 2	4.33	1.67	24.50	0.80	9.05	0.40
	No. 3	5.00	2.00	30.27	1.02	9.72	0.52
	No. 4	4.67	2.50	24.77	1.10	10.48	0.45
9mm	No. 1	3.50	1.33	27.45	1.02	13.93	0.65
	No. 2	2.17	1.17	11.12	0.75	6.40	0.53
	No. 3	1.50	0.67	11.43	0.48	6.52	0.48
	No. 4	2.00	2.17	4.45	0.95	2.87	0.40
12mm	No. 1	2.33	1.83	16.42	1.60	8.50	0.80
	No. 2	2.83	2.33	18.80	1.77	9.13	0.73
	No. 3	2.83	2.33	21.02	2.17	11.37	1.10
	No. 4	0.67	5.00	4.22	2.32	3.05	0.65

변재판재의 두께별, 木取位置별 표면할렬과 횡단면 할렬의 발생갯수, 총길이 및 최대길이는 표6과 같고, 심재판재의 경우는 표7과 같다.

변재판재에서는 표면할렬이 발생하지 않았으며 심재판재의 표면할렬은 두께 6mm판재는 심한 편이었으나 두께 9mm와 12mm판재는 경미하였는데 이는 얇은 판재의 경우 輪割이 확장되어 표면할렬로 유도되었고 심재판재의 목취위치간에는 일반적 경향이 없었다.

두께 6mm 변재판재의 횡단면할렬은 발생하지 않았으며 두께 9mm와 12mm변재판재는 정목판재와의 연륜편차각이 클수록 발생갯수, 총길이 및 최대길이 증가하였고, 판재가 두꺼울수록 또한 횡단면할렬은 증가하는 경향을 보였는데 변재판재의 두께간, 목취위치간에 1% 수준에서 각각 유의성이 인정되었다. 이는 판재두께와 목취위치에 따른 내부할렬의 발생경향과 유사하였으며 내부할렬의 확장으로 횡단할렬이 유도되었기 때문인 것으로 생각된다.

심재판재의 횡단면할렬은 판재의 두께간 그리고 목취위치간에 뚜렷한 경향이 없었다.

4.2.2 內部割裂과 輪割

변재판재의 두께별, 목취위치별 내부할렬과 윤할의 평균발생갯수, 총길이 및 최대길이는 표8과 같고, 심재판재의 경우는 표9와 같다. 변재판재의 내부할렬 평균발생갯수는 두께 6mm 판재에서는 발생하지 않았고, 두께 9mm판재는 목취위치간에 뚜렷한 경향이 없었으나 두께 12mm판재의 경우 연륜편차각이 클수록 증가하는 경향을 나타내었다. 판재가 두꺼울수록 또한 변재판재의 내부할렬의 평균발생갯수는 증가하였는데 1% 수준에서 변재판재의 두께간 그리고 목취위치간에 각각 통계적 차이가 인정되었고 내부할렬의 총길이와 최대길이도 평균발생갯수와 똑같은 경향을 보였다.

심재판재의 내부할렬 평균발생갯수는 3판재두께 모두 연륜편차각이 클수록 증가하였고, 판재가 두꺼울수록 또한 증가하였는데 판재두께간 그리고 목취위치간에 1% 수준에서 각각 통계적 차이가 인정되었다. 심재판재의 내부할렬의 총길이와 최대길이도 평균발생갯수와 비슷한 경향을 보였다.

이처럼 椚目板材와의 年輪偏差角이 증가함에 따라 내부할렬이 심하게 발생하는 것은 완전한 정목판재의 경우 髓線組織에 대해 수직 방향으로 작용하는 臨界內部引張應力(critical internal tension)

이 熱板의 압력에 의해 滅殺 또는 相殺되어 내부할렬의 발생이 抑制되지만 椚目板材의 경우는 열판의 압력에 의해 임계내부인장응력이 오히려 확장되기 때문인 것으로 생각된다. 또한 판재두께간 차이는 판재가 두꺼울수록 표층과 내층사이에 水分傾斜가 커지고 그에 상응하여 내부인장응력도 커지기 때문인 것으로 사료되고 본 시험의 결과는 Simpson(1982, 1985)^{17,19)}의 연구내용과 유사하였다.

변재판재에서 윤할은 어떤 경우에도 발생하지 않았으며 심재판재의 윤할의 평균발생갯수는 두께 6mm와 9mm판재의 경우 연륜편차각이 클수록 감소하였고, 두께 12mm판재는 판재의 목취위치에 따른 뚜렷한 경향이 없었다. 심재판재의 두께간의 통계적차이는 인정되지 않았지만 목취위치간에는 1%수준에서 통계적 차이가 있었다. 심재판재의 윤할의 총길이와 최대길이도 평균발생갯수와 유사한 경향을 보였다. 이처럼 椚目板材와의 연륜편차각이 증가함에 따라 輪割의 발생정도가 감소하는 것은 熱板의 압력이 椚目板材에서 内部割裂의 발생을 억제하는 것과 같은 메카니즘(mechanism)에 의해 椚目板材에서는 윤할의 발생이 억제되기 때문인 것으로 생각된다.

4.2.3 찌그러짐

변재와 심재판재의 두께별, 목취위치별 찌그러짐의 길이는 표10과 같으며 모든 경우에 있어서 경미한 편이었다. 통계분석 결과 변재와 심재 모두 판재의 두께간 그리고 목취위치간에 유의성이 인정되지 않았다. 鄭(1979)¹⁰⁾은 두께 15mm인 상수리나무 판재의 열판건조시에 찌그러짐은 변재와 심재판재 모두 0.2mm라고 보고한 바 있다.

4.2.4 두께收縮率과 幅收縮率

熱板乾燥材의 두께수축율과 폭수축율은 표11과 같다. 변재와 심재판재의 두께수축율은 일반적으로 연륜편차각이 클수록 감소하였는데 판재의 목취위치간에 통계적 유의성은 변재판재는 5%, 심재판재는 1% 수준에서 각각 인정되었다.

폭수축율은 변재판재의 경우 두께 9mm판재만이 연륜편차각이 클수록 증가하였고, 두께 6mm와 12mm판재에서는 판재의 목취위치간에 뚜렷한 경향이 없었다. 심재판재의 폭수축율은 두께 6mm와 9mm판재의 경우 연륜편차각이 클수록 증가하였으나 두께 12mm 판재에서는 뚜렷한 경향이 없었다. 변재와 심재판재 모두 판재의 목취위치간에 폭수

Table 8. Average number, total length and maximum length of internal checks and ring failures in sapwood boards from *Quercus acutissima* (based on 144 boards)

Board thickness	Board position	With internal checks and ring failures per cross section					
		Average number		Total length (Cm)		Maximum length(Cm)	
		Internal check	Ring failure	Internal check	Ring failure	Internal check	Ring failure
6mm	No. 6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	No. 7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	No. 8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	No. 9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9mm	No. 6	1.67	0.00	0.05	0.05	0.33	0.00
	No. 7	0.33	0.00	0.13	0.00	0.13	0.00
	No. 8	3.83	0.00	1.93	0.00	0.60	0.00
	No. 9	3.50	0.00	1.87	0.00	0.50	0.00
12mm	No. 6	2.33	0.00	1.40	0.00	0.00	0.00
	No. 7	4.83	0.00	2.97	0.00	0.80	0.00
	No. 8	8.67	0.00	5.82	0.00	1.07	0.00
	No. 9	13.17	0.00	7.08	0.00	0.75	0.00

Table 9. Average number, total length and maximum length of internal checks and ring failures in heartwood boards from *Quercus acutissima* (based on 144 boards)

Board thickness	Board position	With internal checks and ring failures per cross section					
		Average number		Total length (Cm)		Maximum length(Cm)	
		Internal check	Ring failure	Internal check	Ring failure	Internal check	Ring failure
6mm	No. 1	0.00	4.17	0.00	2.05	0.00	0.50
	No. 2	0.00	2.00	0.00	1.00	0.00	0.50
	No. 3	0.83	1.83	0.25	0.88	0.12	0.33
	No. 4	1.50	0.83	0.67	0.43	0.32	0.25
9mm	No. 1	0.33	4.67	0.08	2.97	0.05	0.77
	No. 2	2.83	1.33	1.20	0.93	0.32	0.35
	No. 3	3.33	0.33	1.65	0.27	0.63	0.13
	No. 4	4.33	0.00	1.73	0.00	0.60	0.00
12mm	No. 1	1.83	2.17	1.00	1.72	0.55	0.65
	No. 2	1.83	2.83	0.87	2.32	0.58	0.67
	No. 3	5.00	2.33	1.97	2.52	0.57	1.17
	No. 4	6.33	2.00	2.30	1.85	0.53	0.72

Table 10. Depth of collapse in heartwood and sapwood boards from *Quercus acutissima*(mm) (based on 144 boards)

Board thickness	Board position in heartwood				Board position in sapwood			
	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 6	No. 7	No. 8	No. 9
6mm	0.17	0.19	0.35	0.27	0.24	0.24	0.28	0.26
9mm	0.21	0.23	0.33	0.36	0.42	0.43	0.35	0.24
12mm	0.31	0.35	0.18	0.23	0.32	0.31	0.23	0.21

Table 11. Shrinkage of board thickness and width in heartwood and sapwood of boards from *Quercus acutissima* (based on 144 boards)

Wood type	Board thickness	Board shrinkage (%)	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4
Heartwood	6mm	Thickness	16.28	13.63	13.49	13.78
		Width	1.68	2.07	2.16	2.28
	9mm	Thickness	18.81	17.38	14.48	14.40
		Width	1.79	2.31	2.54	3.50
	12mm	Thickness	17.66	16.80	15.18	12.79
		Width	2.43	2.05	2.59	2.37
Sapwood	6mm	Thickness	21.90	20.32	20.91	20.26
		Width	3.12	3.83	3.43	3.51
	9mm	Thickness	20.71	21.48	18.98	17.15
		Width	3.00	3.12	3.47	4.36
	12mm	Thickness	18.71	15.97	14.76	12.46
		Width	2.98	3.13	4.36	3.97

축율의 통계적차이는 인정되지 않았다.

이처럼 연륜편차각이 클수록 일반적으로 두께수축율은 감소하고 폭수축율이 증가하는 것은 완전한 柁目板材는 판재의 두께가 接線方向이지만 정목판재와의 연륜편차각이 커짐에 따라 半徑方向化되어가기 때문인 것으로 생각된다.

본 시험의 목취위치 No. 1 판재의 두께수축율과 폭수축율은 鄭(1986)¹²⁾ 등이 보고한 국산참나무재의 정상수축율과 비교해 볼때 두께수축은 정상수축율보다 훨씬 크고 폭수축율은 작는데 이는 열판 건조시에 판재의 두께수축은 수분제거에 의한 수축과 더불어 加壓에 의한 기계적 수축이 작용한데

반하여 폭수축은 오히려 수분제거에 의한 수축이 加壓에 의해 억제됐기 때문인 것으로 생각된다.

5. 結 論

상수리나무(*Quercus acutissima*) 변재와 심재판재의 두께와 年輪角度가 건조시간과 건조온상등에 미치는 영향을 알기위해 열판건조한 결과는 다음과 같다.

1. 함수율 70%~30%와 30%~6% 범위의 변재 판재의 건조속도는 심재판재의 것보다 컸고, 얇은

판재의 건조속도는 두꺼운 판재의 것보다 더 컸다.

2. 두께 6mm 심재판재의 표면할렬은 심한 편이었으나 두께 9mm 판재와 12mm 판재는 경미하였고 심재판재의 표면할렬은 목취위치간에는 일반적 경향이 없었다. 그리고 변재판재의 표면할렬은 어떤 경우에도 발생하지 않았다.

3. 두께 6mm 변재판재의 횡단면할렬은 발생하지 않았으나 두께 9mm와 12mm 변재판재는 연륜편차각이 클수록 많이 발생하였다. 심재판재의 횡단면할렬은 판재의 두께와 목취위치간에 뚜렷한 경향이 없었다.

4. 변재와 심재판재의 내부할렬은 일반적으로 연륜편차각이 클수록 더 심하게 발생하였고 판재가 두꺼울수록 내부할렬의 발생정도는 더 심했다.

5. 변재판재의 운할은 어떤 경우에도 발생하지 않았다. 두께 12mm 판재를 제외한 두께 6mm와 9mm 심재판재의 운할은 연륜편차각이 클수록 감소하는 경향을 나타냈으며 심재판재의 두께간에 운할의 차이는 없었다.

6. 변재와 심재판재의 짜그리짐은 모두 경미하였으며 변재와 심재판재의 두께간 그리고 목취위치간에 차이가 없었다.

7. 변재와 심재판재의 두께수축율은 일반적으로 연륜편차각이 클수록 감소하는 경향을 보였다.

8. 변재판재의 폭수축율은 두께 9mm 판재만이 연륜편차각이 클수록 증가하였고, 두께 6mm와 12mm 판재는 판재의 목취위치간에 일반적 경향이 없었다. 심재판재의 폭수축율은 연륜편차각이 클수록 증가하는 경향을 보였으나 변재와 심재판재 모두 판재의 목취위치간에 통계적 유의성은 인정되지 않았다.

參 考 文 獻

1. Chen, P.Y.S., 1978, For. Prod. J. 28(1):23-25.
2. _____, and F.E., Biltonen, 1979, For. Prod.

J. 29(2):48-51.
3. _____, 1980, For. Prod. J. 30(7):43-47.
4. Cutter, B.E., and J.E., Phelps, 1986, For. Prod. J. 36(6):19-20.
5. Gunderson, D.E., 1983, Temperature and restraint variables in continuous and intermittent press drying. Proceedings of 1983 International Paper Physics Conference:145-154.
6. Hann, R.A., 1966, For. Prod. J. 16(4):25-32.
7. Haygreen, J.G., and K., Turkia, 1968, For. Prod. J. 18(8):43-50.
8. Hittmier, M.E., G.I., Comstock, and R.A., Hann, 1968, For. Prod. J. 18(9):91-96.
9. Jung, H.S., and P.W., Lee, 1977, Journal of Korean Forestry Society No. 36:27-36.
10. _____, 1979, Seoul Natl. Univ. Coll. of Agr. Bull. 4(1):67-96.
11. _____, and C.J., Kozlik, 1983, Wood Sci. & Tech. 11(5):42-47.
12. _____, P.W., Lee, and N.H., Lee, 1986, Wood Sci. & Tech. 14(2):36-42.
13. Koch, P., 1964, For. Prod. J. 14(9):382-386.
14. Lutz, J.F., H., Habermann, and H.R., Panzer, 1974, For. Prod. J. 24(5):29-34.
15. Olson, J.R., 1986, For. Prod. J. 36(3):23-24.
16. Schmidt, J., 1967, For. Prod. J. 17(9):107-113.
17. Simpson, W.T., 1982, For. Prod. J. 32(11/22):77-80.
18. _____, 1983, International Drying Symposium Vol. 2:202-211.
19. _____, 1985, For. Prod. J. 35(1):51-57.
20. _____, 1985, For. Prod. J. 35(4):31-32.
21. Tschernitz, J.L., 1985, For. Prod. Lab. EPL453.
22. Turkia, K., and J.C., Haygreen, 1968, For. Prod. J. 18(6):43-48.
23. Wang, J.H., and F.C., Beall, 1975, Wood Sci. 8(2).
24. Ziegler, G.A., W.K., Kurphey, and F.C., 1971, For. Prod. J. 21(10):32-34.