

韓紙 엔드테이핑處理에 의한 眞空乾燥에서 圓板의 木工藝的 價値 增進*1

鄭希錫*2 · 李南浩*3 · 沈載鉉*2 · 呂煥明*2

Improvement of the Value for Technical Wood Arts of Disks by End-Taping with Korean Traditional Paper During Vacuum Drying*1

Hee-Suk Jung*2 · Nam-Ho Lee*3 · Jae-Hyeon Sim*2 · Hwan-Myeong Yeo*2

ABSTRACT

End-matched disks of 7.7cm thickness were part-time dried in vacuum press dryer to investigate the drying characteristics by using drying schedules and end treatments. The ginkgo disks could be dried faster with severer end checks and ring failures by C schedule than by S schedule. There were no significant differences in drying rates and amounts of end checks, ring failures and V-shaped checks occurred between ginkgo disks end-taped with Korean traditional paper (KTP) and those untreated. The drying time of walnut disks was slightly reduced by end-taping with KTP. And the length of end checks and V-shaped checks and the frequency of defected disk were decreased more effectively than those untreated. The tangential strains and tangential drying stresses near bark-sides of ginkgo and walnut disk untreated were developed in the early stage of drying and increased slightly curvi-linearly above fiber saturation point (fsp) and more curvi-linearly below fsp. The influence of end-taping with KTP on the drying rate for impermeable walnut disk was stronger than that for permeable ginkgo disk.

Keywords : Drying stress, drying rate, vacuum drying, check, V-shaped checks, Korean traditional paper

1. 緒 論

목재는 이용적 측면에서 금속이나 다른 비금속 재료보다 미관과 질감이 우수하다. 현대의 기계화 또는 도시화된 생활 공간속에서 자연 그대로의

것과의 접촉에 대한 인간의 욕구와 목재의 미적 가치에 대한 관심이 커지고 있다. 이러한 점에서 圓板은 樹木이 성장해온 기후와 토양 조건, 병충해 침해 사실과 外傷의 흔적, 가지의 발육과정, 樹齡 등 수목의 성장 역사를 단절하지 않은 채 우리들에

*1. 接受 1993年 4月 14日 Received April 14, 1993

本 研究는 1992年度 韓國科學財團 研究費 支援에 의하여 遂行되었음

*2. 서울대학교 농업생명과학대학 College of Agriculture & Life Science, Seoul National University, Suwon 441-744, Korea

*3. 이리농공전문대학 Iri National Technical College of Agriculture & Engineering, Iri 570-110, Korea

게 원형 그대로를 보고 느낄 수 있게 해준다. 그래서 圓板은 전통적으로 테이블 床板, 木器, 안내판, 조각품 및 旋削加工 등에 이용되어 왔고, 오늘날 문화 수준의 향상에 따라 장식용 공예품, 관광기념품과 아동용 오락기구 등의 수요가 증가되고 있는바, 圓板의 가공 기술을 개발하는 것은 매우 의미 있는 일이다.

그러나 圓板에는 樹木 生長중에 발생한 生長應力이 殘留하고, 특히 髓부위에 매우 높은 接線方向 引張生長應力이 존재하기 때문에 乾燥初期에 극히 미미한 引張表面應力이 형성되더라도 心材割裂이 빈감하게 발생한다. 그리고 原木에서 圓板을 채취할 때 발생하는 纖維方向 生長應力의 再分布 및 生材 加熱時에 나타나는 hygrothermal recovery 현상 등에 의하여 髓부위에 接線方向引張應力이 附加的으로 誘導되기 때문에 圓板 건조에서 心材割裂의 발생 위험성은 더욱 加重되고 있다. 圓板의 가공 이용에 있어서 건조중에 割裂이 발생되기 쉽고 긴 시간이 소요되기 때문에 가공 수율, 제품의 품질과 생산성의 저하 등이 가장 큰 애로 사항이 되고 있다. 따라서 割裂을 예방하기 위해서는 미미한 水分傾斜의 형성도 억제되어야 한다.

Kubler¹⁾는 두께 1인치인 美松 圓板의 心材部에 플라스틱 필름을 테이핑한 天然乾燥와 알루미늄 박(aluminum foil)을 감싼 오븐건조의 연구에서 橫斷面을 처리한 圓板과 무처리 圓板의 乾燥速度와 乾燥缺陷의 발생 정도를 비교하였다. Mitchell²⁾은 收縮率과 割裂 예방을 위해서 鹽과 PEG 등의 화학적 치수안정제를 가압 주입, 또는 침지법에 의거 일정기간 처리하여야 하고, Kubler¹⁾는 미국산 느릅나무의 5수종의 얇은 圓板에 PEG와 소금의 주입 처리 후 割裂과 變色 등의 乾燥缺陷의 발생 정도를 보고하였으며, Wilhelmy 등³⁾은 수간에 존재하는 큰 殘留應力이 수간이 절단될 때 再分布

와 緩和되는 정도를 측정 보고하였다. 우리나라에서는 종래 바둑판 용재에 韓紙를 붙여서 陰乾하였으며, 李 등⁴⁾은 오리나무의 2수종의 두께 50mm 圓板을 韓紙 엔드레이핑처리한 후 減壓乾燥應力 分布模型과 엔드레이핑스의 乾燥缺陷 예방 효과를 무처리 圓板과 비교한 결과 韓紙處理 효과가 우수함을 보고하였다. 그리고 바둑판 용재나 현판 용재와 같은 두꺼운 圓板의 減壓乾燥시 전통 韓紙를 이용한 엔드레이핑처리는 건조 손상없이 짧은 시간내에 건조 가능성을 보고하였다.

본 연구는 주로 木工藝用 樹種으로 널리 이용되고 있는 은행나무와 가래나무의 두께 7.7cm 圓板의 양 횡단면을 전통 韓紙로 엔드레이핑처리한 것과 무처리 원판을 대상으로 間歇減壓乾燥를 실시하면서 乾燥速度와 乾燥缺陷의 발생 정도를 비교하고, 또한 무처리 圓板의 외주부에서 變形率과 乾燥應力의 생성과 변화과정 등을 조사하였으며, 이러한 자료를 바탕으로 적절한 圓板 減壓乾燥스케줄을 개발함으로써 圓板의 공예용재로서 이용 가치를 提高코자 수행하였다.

2. 材料 및 方法

2.1 材料

2.1.1 樹種과 圓板

供試樹種은 길이 1.8m 되는 은행나무(*Ginkgo biloba*)와 가래나무(*Juglans mandshurica*)의 原木에서 무처리 및 韓紙 엔드레이핑처리 圓板을 엔드매치되게 造材하되, 乾燥中含水率과 乾燥缺陷 測定用 圓板은 원구에서 말구로 향해 순서대로 造材한 圓板에서 무처리 圓板을 홀수 번호, 그리고 韓紙 엔드레이핑처리 圓板은 짝수 번호로 구분하여 사용하였다. 길이 2.0cm인 初期含水率과 乾燥應力 測定用 圓板은 供試原木의 중앙부위에서 채취하였

Table 1. Number, size, initial moisture content and basic specific gravity of tree disks used.

Species	Drying schedule	End treatment	No. (pcs)	Disk size(mm)			Initial MC(%)	Basic Sp. Gr.
				Long dia.	Short dia.	Thickness		
Ginkgo	C	Untreated	11	297 ± 35	263 ± 28	78 ± 3	100.7 ± 14.5	0.40 ± 0.02
		KTP ^a taped	11	299 ± 34	260 ± 27	78 ± 2	105.7 ± 4.7	0.40 ± 0.04
	S	Untreated	6	244 ± 35	219 ± 16	77 ± 2	111.1 ± 5.8	0.36 ± 0.02
		KTP taped	6	244 ± 43	213 ± 43	77 ± 4	102.2 ± 19.8	0.38 ± 0.02
Walnut	S	Untreated	7	326 ± 6	294 ± 10	76 ± 4	86.9 ± 5.3	0.45 ± 0.02
		KTP taped	7	325 ± 6	295 ± 12	76 ± 2	88.3 ± 2.7	0.46 ± 0.02

^a KTP = Korean traditional paper

다. 供試圓板의 수량, 크기, 初期含水率과 生材比重은 Table 1과 같다.

2. 1. 2 韓紙 엔드테이핑처리

40cm × 40cm 정사각형 모양의 전통 韓紙 1매를 供試圓板의 양 橫斷面에 전분풀로 견고하게 접착하였다.

2. 2 器機

2. 2. 1 眞空乾燥機

상부 덮개가 유연한 고무 시트로 이루어져 건조기 작동시 내부에 棧積된 圓板에 압력이 전달되는 길이 530cm × 폭 85cm × 높이 50cm, 온도조절 ± 1℃, 眞空度조절 ± 10mmHg인 熱水循環加熱式 眞空乾燥機를 사용하였다.

2. 2. 2 乾燥應力測定裝置

1) U형 알루미늄크립 센서

眞空乾燥중에 발생하는 圓板의 接線方向 變形率을 측정코저 Lee⁵⁾가 적용했던 알루미늄 2024(Al 93.4%, Cu 4.5%, Mg 1.5%, Mn 0.6%)를 이용한 U형의 크립을 제작하였고, U형 크립의 曲面 外側 中央部位에 크기 2.0 × 2.0mm, 저항 350Ω, 게이지 팩터 2.10인 스트레인지게이지로 quarter bridge를 구성하여 乾燥應力探知用 센서로 사용하였다.

2) Extension meter

정밀도 ± 5/10,000mm로 검측할 수 있는 extension meter를 이용하여 임의의 壓縮變形을 U형 알루미늄크립의 先端에 50반복씩 가하면서, 이에 반응하는 U형 알루미늄크립 센서의 變形率(ϵ_c)과 데이터集積裝置(data logging system)로 수집한 變形率(ϵ_t)의 관계를 구한 아래의 센서의 보정 회귀식을 이용하였다.

$$\epsilon_c = -850.396 - 7.74298\epsilon_t (R^2 = 0.96) \dots (1)$$

3) 乾燥應力探知棒

圓板의 髓에서 放射方向으로 일정 거리별 接線方向 變形率을 측정코저 Lee⁵⁾가 적용했던 구리봉에 변장 4.5mm의 구멍 5개를 40mm 간격으로 뚫고, 각각의 구멍에 U형 알루미늄크립 센서를 정착시킨 應力探知棒 1개를 제작하여 무처리 圓板의 減壓 乾燥應力 分布模型을 탐지하였다.

4) 데이터集積裝置

U형 알루미늄 크립 센서에 전달되는 변형율을 수집하기 위해 1 line cycle scanning 시간 1/60~1/50초, 20채널의 Measurement Group社 system 4000을 사용하였다.

2. 2. 3 其他 器機

1) 自動溫度記錄計

減壓乾燥中 건조조건을 制御하기 위해 정밀도 ± 1℃인 12채널의 자동온도기록계에 K type의 constantan-copper 열전쌍을 설치하여 圓板의 材溫을 측정하였다.

2) 체인톱, 오븐과 직시천칭

供試圓板을 채취하기 위해 체인톱을 사용하였고, 初期含水率과 最終含水率은 정밀도 ± 1℃인 오븐을 사용하여 측정하였으며, 初期含水率, 最終含水率 및 比重 試驗片의 무게 평량에는 ± 0.01g인 직시천칭을, 그리고 乾燥中 含水率 측정을 위한 무게 평량에는 ± 1g인 직시천칭을 각각 사용하였다.

2. 3 方法

2. 3. 1 棧積과 乾燥스케줄

棧木를 사용하지 않고 實積하되 材溫과 乾燥應力 探知用 圓板은 熱水가 流入되는 알루미늄 熱板에 간직하였고, 乾燥速度와 乾燥缺陷 測定用 무처리 圓板과 韓紙 엔드테이핑처리 圓板은 사이드 매치되게 배치하였으며, Lee⁵⁾가 적용한 스케줄을 조정된 Table 2의 眞空乾燥스케줄을 적용하여 1일 8시간 정도로 間歇乾燥하였다.

2. 3. 2 乾燥曲線과 乾燥速度

은행나무와 가래나무의 무처리 및 韓紙 엔드테이핑처리 圓板의 무게를 건조시간 3일 간격으로 평량하여 건조시간 경과별 乾燥缺陷의 발생과 乾燥速度를 조사하였다. 건조가 끝난후 실내에서 콘디셔닝 처리한 이후 각 原木의 양 橫斷面 부위에서 채취한 2개의 圓板은 평균지름 부위에서 썰기형 含水率 試驗片을 채취하여 最終含水率을 구하였고, 原木 내부쪽에서 채취된 圓板의 最終含水率은 初期含水率을 이용하여 계산하였다.

2. 3. 3 乾燥應力探知

1) 應力探知棒 삽입

Table 2. Vacuum drying schedule for tree disks

Species	Drying schedule	MC (%)	Wood core temperature(℃)	Vacuum (mmHg)
Ginkgo	C	Green ~Final	44	40~50
	S	Above 100 100~85 85~Final	40 47 49	40~50
Walnut	S	Above 80 80~70 70~Final	40 47 49	40~50

供試原木의 중양부위에서 채취한 乾燥應力 探知用 圓板의 외주부에서 Lee⁵⁾가 적용한 방법과 같이 圓板 두께의 중앙에 직경 17.0mm, 길이 21cm의 구멍을 髓를 향해 뚫고, 髓에서 18cm 떨어진 부위에 U형 알루미늄크립 센서를 삽입하였다. 단 U형 알루미늄크립의 양 先端部가 접선방향과 일치하도록하여 무처리 圓板에 應力探知棒 1개를 삽입한 후 실리콘으로 密封하였다.

2) 接線方向 彈性係數

Lee 등⁵⁾이 기건함수율 M₁에서 측정된 은행나무와 가래나무의 접선방향 탄성계수를 적용하되 含水率別 彈性係數는 식 (2)로 구하였는데, 적용한 접선방향 탄성계수는 은행나무의 함수율 9.3 %에서 355kgf/cm² 이고, 가래나무의 함수율 9.6 %에서 1702kgf/cm² 이다.

$$E_2 = E_1 [1 - 0.02(M_2 - M_1)] \dots\dots\dots(2)$$

E₁: 含水率 M₁에서의 接線方向 彈性係數 (kgf/cm²)

E₂: 임의의 含水率 M₂에서의 彈性係數 (kgf/cm²)

M₁: E₁ 測定時 試驗片의 含水率 (%)

M₂: 임의의 含水率 (%)

3) 乾燥應力 探知

眞空乾燥中 각 U형 알루미늄크립 센서에 감지되는 圓板의 변형율을 건조 중의 구멍의 크기변화에 따라 알루미늄크립의 변동을 스트레인 게이지로 감지한 것을 30분 간격으로 데이터집적장치로 수집하고, 이 값을 식 (3)에 대입하여 乾燥應力을 계산하였다.

$$\sigma = E \cdot \epsilon \dots\dots\dots(3)$$

σ: 임의의 乾燥中 含水率에서의 接線方向 乾燥應力 (kgf/cm²)

E: 임의의 含水率에서 彈性係數 (kgf/cm²)

ε: U형 알루미늄크립 센서로 감지한 圓板의 變形率

2. 3. 4 V형 크랙 발생 臨界含水率

진공건조중 乾燥應力 探知用 圓板에 형성되는 含水率別 接線方向 引張應力曲線을 작성하고, 이 곡선과 Lee 등⁵⁾이 제시한 은행나무와 가래나무의 接線方向 引張強度曲線의 교차여부를 조사하였다.

V형 크랙 발생 臨界含水率 결정에 필요한 接線方向 引張強度는 Lee 등⁵⁾이 氣乾含水率 M₁에서 측정된 인장강도를 적용하여 함수율별 接線方向 引張強度를 식(4)으로 구하였다. 적용한 기건재의

접선방향 인장강도는 은행나무의 함수율 8.3%에서 11 kgf/cm² 이고, 가래나무의 함수율 8.6%에서 47kgf/cm² 이다.

$$\sigma_2 = \sigma_1 [1 - 0.015(M_2 - M_1)] \dots\dots\dots(4)$$

σ₁: 含水率 M₁에서 接線方向 引張強度 (kgf/cm²)

σ₂: 임의의 含水率 M₃에서 接線方向 引張強度 (kgf/cm²)

M₁: σ₁ 측정시의 氣乾含水率(%)

M₂: 임의의 含水率(%)

3. 結果 및 考察

3. 1 乾燥曲線과 最終 含水率

은행나무의 무처리와 韓紙 엔드레이핑처리 圓板에 C와 S 건조스케줄을 적용한 減壓乾燥曲線은 Fig. 1~2와 같고, 가래나무의 무처리와 韓紙 엔드레이핑처리 圓板에 S 건조스케줄을 적용한 減壓乾燥曲線은 Fig. 3과 같으며, 또한 이들 수종, 처리와 건조스케줄별 最終含水率과 실내 콘디셔닝한 후의 含水率은 Table 3과 같다.

은행나무 圓板의 C 스케줄 적용한 53.8시간 減壓乾燥에서 무처리 圓板은 初期含水率 100.7%에서 22.2%까지 건조되었으며, 韓紙 엔드레이핑처리 圓板은 初期含水率 105.7%에서 18.8%까지 건조되었다. 27일간 실내 콘디셔닝처리후 무처리 圓板

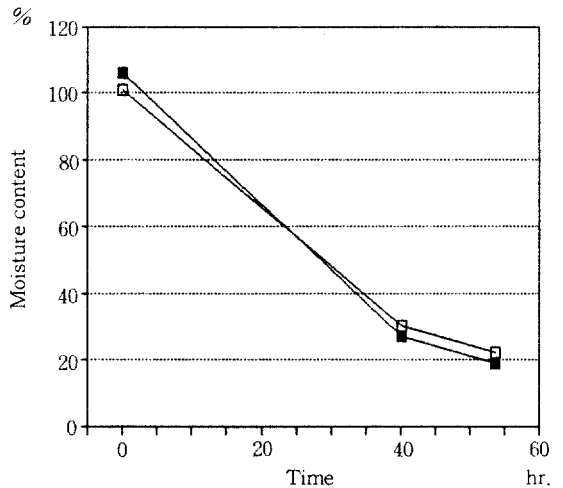


Fig. 1. Vacuum drying curve of ginkgo disk using C drying schedule.

—□— : Untreated disk
—■— : Untreated disk

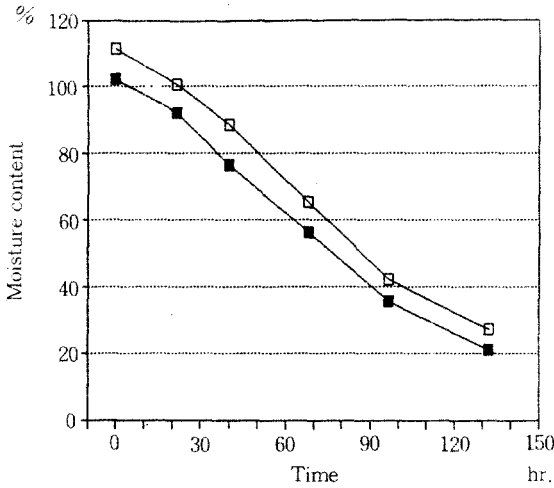


Fig. 2. Vacuum drying curve of ginkgo disk using S drying schedule.

-□- : Untreated disk
-■- : KTP end-taped disk

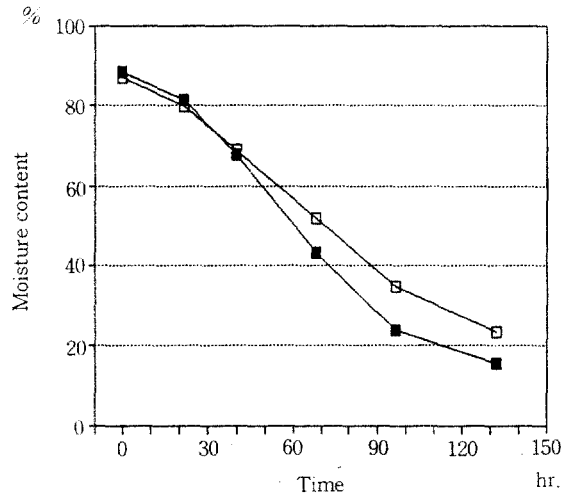


Fig. 3. Vacuum drying curve of walnut disk using S drying schedule.

-□- : Untreated disk
-■- : KTP end-taped disk

의含水率은 15.1%까지, 그리고 韓紙 엔드레이핑 처리 圓板의含水率은 14.1%까지 감소되었다.

은행나무 圓板의 S 스케줄 적용한 132.4시간 減壓乾燥에서 무처리 圓板은 初期含水率 111.1%에서 27.3%까지 건조되었으며, 韓紙 엔드레이핑처리 圓板은 初期含水率 102.2%에서 21.1%까지 건조되었다. 이들 圓板을 7일간 실내 콘디셔닝처리후 무처리 圓板의含水率은 23.7%까지, 그리고 韓紙 엔드레이핑처리 圓板의含水率은 18.8%까지 감소되었다.

가래나무 圓板의 S 스케줄 적용한 132.4시간 減壓乾燥에서 무처리 圓板은 初期含水率 86.9%에서 23.4%까지 건조되었으며, 韓紙 엔드레이핑처리 圓板은 初期含水率 88.3%에서 15.5%까지 건조되었

다. 또한 이들 원판을 7일간 실내 콘디셔닝처리후 무처리 圓板의含水率은 21.4%, 韓紙 엔드레이핑처리 圓板은 14.4%로 감소되었다.

은행나무 圓板의 C 스케줄 적용시 韓紙 엔드레이핑처리 圓板의乾燥速度는 무처리 圓板의 것보다 初期含水率부터含水率 30% 범위까지는 약간 컸었으나 그 이후 부터는 비슷하였고, S 건조스케줄의 경우에는乾燥初期부터 末期까지 韓紙 엔드레이핑처리와 무처리 圓板간의乾燥速度는 거의 비슷하였다.

가래나무 圓板의乾燥速度는 初期含水率부터含水率 70% 범위까지는 韓紙 엔드레이핑처리와 무처리 圓板간에 거의 같았으나, 그 이후 부터는 韓紙 엔드레이핑처리가 무처리 圓板보다 약간 컸었

Table 3. Final MC and MC after room conditioning treatment

Species	Drying schedule	End treatment	Vacuum drying		Room conditioning	
			Final MC (%)	Net drying time (hr)	MC (%)	Time (day)
Ginkgo	C	Untreated	22.2 ± 8.8	53.8	15.1 ± 3.8	27
		KTP taped	18.8 ± 5.3	53.8	14.1 ± 2.6	27
	S	Untreated	27.3 ± 8.2	132.4	23.7 ± 5.8	7
		KTP taped	21.1 ± 4.3	132.4	18.8 ± 3.2	7
Walnut	S	Untreated	23.4 ± 6.8	132.4	21.4 ± 5.4	7
		KTP taped	15.5 ± 3.1	132.4	14.4 ± 2.6	7

다.

본 연구의 은행나무와 가래나무의 韓紙 엔드레이핑처리 圓板의 乾燥速度에 미치는 영향은 Lee 등⁵⁾이 은행나무 등 3수종의 두께 5cm인 圓板을 연속 건조한 韓紙처리 圓板의 乾燥速度는 무처리 圓板보다 적었다는 보고 내용과 차이가 있는데, 이는 圓板의 두께와 乾燥方法의 차이에 기인된 것으로 사료된다. 즉, 圓板의 두께 증가에 따라 韓紙 엔드레이핑은 表面 水分 蒸發에 미치는 영향이 감소되고, 또한 間歇乾燥에서 韓紙 엔드레이핑은 건조기 작동 중단중에도 保溫效果로 인하여 圓板의 內部 水分移動 촉진에 기여한 것으로 여겨진다.

3. 2 乾燥應力과 乾燥缺陷

3. 2. 1 變形率

은행나무의 무처리 원판에는 C 스케줄, 가래나무의 무처리 원판에는 S 스케줄을 적용한 間歇 減壓乾燥中の 변형율은 Fig. 4-5와 같다. 乾燥初期에 은행나무 원판은 引張變形率을 나타내었는데, 減壓乾燥中에는 약간 증가하였고, 건조기의 休止中에는 감소하는 경향을 나타내었다. 가래나무의 變形率은 乾燥初期에 高含水率 영역에서 引張變形率을 나타낸 후 가끔 壓縮變形率로 전환되는 경우도 있으나, 주로 引張變形率을 나타내고 있었다. 引張變形率은 纖維飽和點 이상에서는 큰 차이가 없었으나 纖維飽和點 이하로 건조됨에 따라 引張變形率이 차츰 증가하였다. 間歇 減壓乾燥中 引張變形率의 변동이 나타나고 있었는데 건조중에는 커지고 休止期間에서는 감소하는 주기를 나타내고 있었다. 은행나무와 가래나무의 變形率의 주기는 減壓乾燥중 수축에 의해 변형율이 커졌으나, 休止期間중에는 목재내부 수분의 再分布와 常壓으로 회복됨에 따라 應力緩和 현상이 나타났는데 기인된 것으로 여겨진다. 또한 가래나무의 乾燥初期에 나타난 壓縮變形率은 減壓과 常壓의 교번에 따른 자유수 압력의 영향 또는 건조중에 크랙이 발생됨에 따라 목재조직의 弛緩에 기인된 것으로 여겨진다.

3. 2. 2 乾燥應力

은행나무 무처리 圓板의 C 건조스케줄과 가래나무 무처리 원판의 S 건조스케줄을 각각 적용한 間歇 減壓乾燥 결과 외주부에서 발생한 乾燥應力은 Fig. 6과 7에 나타난 바와 같이 은행나무 원판은 건조초기부터 미미한 接線方向 引張應力이 발생하였으며 건조가 진행됨에 따라 차츰 증가하였으나 接線方向 引張強度에는 미치지 못하였다. 纖維飽和點 이하에서 接線方向 乾燥應力은 Lee 등⁵⁾이 보

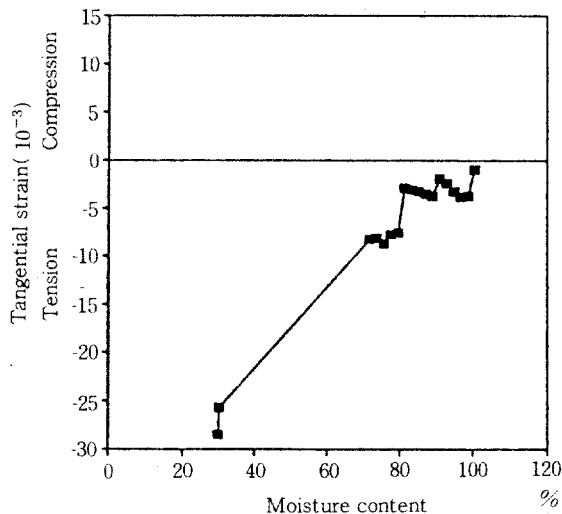


Fig. 4. Tangential strain developed near bark-side of untreated ginkgo disk during vacuum part-time drying using C drying schedule.

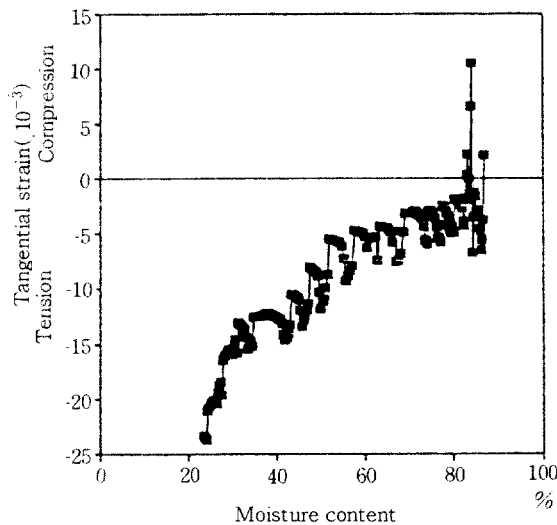


Fig. 5. Tangential strain developed near bark-side of untreated walnut disk during vacuum part-time drying using S drying schedule.

고한 두께 5cm 무처리 圓板의 乾燥應力보다 적었는데, 이는 본 연구의 건조온도가 보다 저온이었고, 두꺼운 圓板일수록 코어 부위에 미치는 외층의

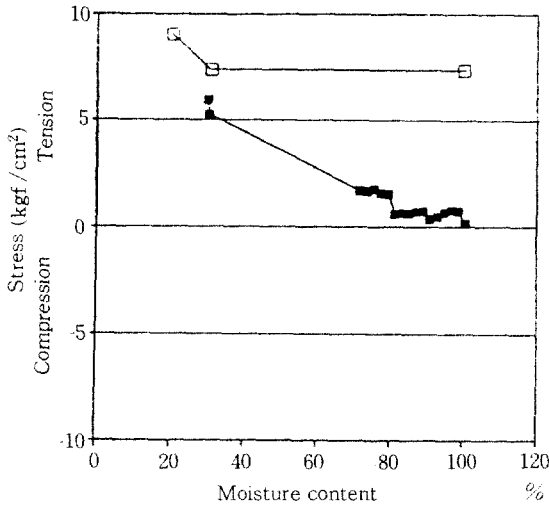


Fig. 6. Tangential stress near bark-side of untreated ginkgo disk during vacuum part-time drying using C drying schedule.
 -□- : Tangential drying stress
 -■- : Tangential tensile strength

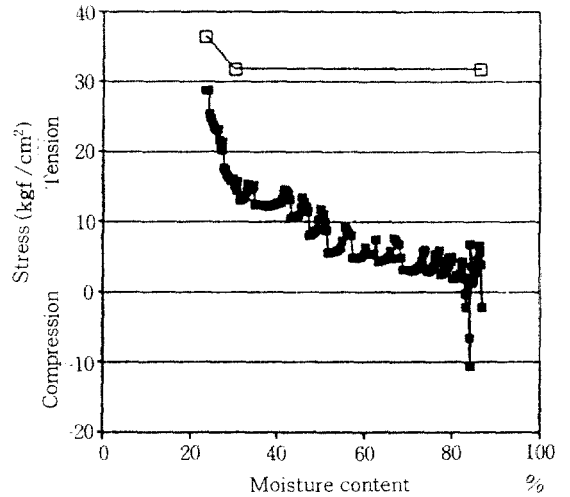


Fig. 7. Tangential stress near bark-side of untreated walnut disk during vacuum part-time drying using S drying schedule.
 -□- : Tangential drying stress
 -■- : Tangential tensile strength

인장세트의 영향이 적어짐으로 인하여 乾燥應力이 감소한 것으로 추정된다.

가래나무 원판은 건조초기부터 약간의 接線方向 引張應力이 발생한 이후 건조가 진행됨에 따라 纖維飽和點까지는 완만한 곡선으로 증가하다가 纖維飽和點 이후부터는 급한 곡선으로 증가하였으나 接線方向 引張強度에는 미치지 못하였다. 乾燥應力의 증가과정에서도 纖維飽和點 이하에서는 乾燥應力이 증가와 감소의 주기를 거듭하면서 증가하였으며, 특히 함수율 약 80% 이상에서는 引張應力과 壓縮應力이 交互로 발생하였고, 그 이후부터 乾

燥應力은 인장영역에서 증감현상이 반복되면서 증가하였는데, 이러한 현상은 間歇 減壓乾燥에서 목재내부의 배기와 흡기가 반복되는 과정에서 자유수 압력이 變形率 증감에 영향을 준 것으로 여겨진다.

3. 2. 3 乾燥缺陷

1) 割裂

은행나무와 가래나무의 무처리 및 韓紙 엔드테이핑처리 圓板의 橫斷面割裂 발생 정도는 Table 4와 같으며, 은행나무 圓板의 C 스케줄 적용에서 무처리와 韓紙 엔드테이핑처리의 모든 圓板에서 橫斷面割裂이 발생하였는데, 무처리 圓板당 橫斷面

Table 4. Frequency of disk defected by end checks and ring failures and average number and length of end checks and ring failures per disk.

Species	Drying schedule	End treatment	End check			Ring failure		
			Frequency (%)	No. (pcs)	Length (cm)	Frequency (%)	No. (pcs)	Length (cm)
Ginkgo	C	Untreated	100	14.1 ± 12.1	2.5 ± 0.5	90.9	1.4 ± 0.7	10.1 ± 3.5
		KTP taped	100	11.8 ± 10.9	2.8 ± 1.1	90.9	2.9 ± 1.9	7.8 ± 4.3
	S	Untreated	0	-	-	-	-	-
		KTP taped	0	-	-	-	-	-
Walnut	S	Untreated	100	11.1 ± 6.9	3.1 ± 1.0	14.3	1.0 ± 0.0	3.4 ± 0.0
		KTP taped	86	9.2 ± 4.1	2.9 ± 0.7	14.3	1.0 ± 0.0	4.5 ± 0.0

割裂의 평균 갯수와 길이는 각각 14.1개와 2.5cm 이고, 韓紙 엔드레이핑처리 圓板당 평균 갯수와 길이는 각각 11.8개와 2.8cm로서 무처리 圓板보다 橫斷面割裂의 갯수는 적었으나, 길이는 약간 컸다. 그러나 S 스케줄 적용의 무처리와 韓紙 엔드레이핑처리 圓板은 橫斷面割裂이 전연 발생치 않았다. 본 연구의 은행나무 圓板의 割裂 출현율은 Lee 등이 보고한 두께 5cm 원판의 경우보다 C 스케줄 적용에서는 많았고 S 스케줄 적용에서는 적었다.

가래나무 韓紙 엔드레이핑처리 圓板은 무처리의 것보다 橫斷面割裂 발생 원판의 출현율, 圓板당 橫斷面 割裂의 갯수와 길이가 적었는데, 韓紙 엔드레이핑처리가 橫斷面割裂 예방 효과를 나타내었다. 본 연구의 가래나무 원판의 割裂 발생 圓板의 출현율은 Lee 등⁵⁾의 두께 5cm 원판의 경우보다 많았다.

2) V형 割裂

수증과 처리별 減壓乾燥 종료후 V형 割裂의 발생 정도를 조사한 결과 은행나무 圓板은 橫斷面 처리와 건조스케줄에 관계없이 V형 割裂이 발생치 않았는데, 이는 은행나무 원판은 섬유방향 수분이동이 용이하여 완만한 수분경사가 형성되고 건조응력이 인장강도보다 적은데 기인된 것으로 생각된다. 가래나무 圓板의 처리별 V형 割裂의 발생 정도는 Table 5와 같다.

韓紙 엔드레이핑 圓板의 V형 割裂이 생긴 圓板의 출현율은 42.9%로서 무처리 圓板의 절반이며, V형 割裂의 길이와 폭도 무처리 圓板의 것보다 현저하게 작았다. 본 연구의 V형 크랙 발생 圓板의 출현율은 Lee 등⁵⁾이 보고한 두께 5cm 원판의 경우보다 많았다.

3) 輪割

은행나무와 가래나무의 무처리 및 韓紙 엔드레이

핑처리 圓板의 輪割 발생 정도는 Table 4와 같으며, 은행나무 圓板의 C 스케줄 적용시 무처리와 韓紙 엔드레이핑처리 圓板의 輪割 발생 圓板의 출현율은 모두 90.9%이고, 韓紙 엔드레이핑처리는 무처리 圓板보다 圓板당 輪割의 발생 갯수는 많았으나 輪割의 길이는 짧았다.

가래나무 무처리와 韓紙 엔드레이핑처리 圓板의 輪割 발생 원판의 출현율은 14.3%이고, 짧은 輪割이 한개 발생하였는데 韓紙 엔드레이핑처리가 輪割 발생 억제 효과에는 기여치 못하였다. 본 연구의 은행나무와 가래나무 원판의 輪割 발생 원판 출현율은 Lee 등⁵⁾이 보고한 두께 5cm 원판의 경우보다 많았다.

4) 변재 변색

은행나무는 건조스케줄과 처리에 관계없이 變色치 않았으나, 가래나무 무처리 圓板은 건조과정중 含水率 80% 정도에서 일부 圓板의 변재 부위에서 푸른곰팡이가 발생하였는데, 이는 圓板의 코아온도가 불과 40℃ 정도로 낮았고, 야간에 건조중단에 따른 건조저연과 건조실내의 高濕에 기인된 것으로 여겨진다.

4. 結 論

횡단면을 짚지운 두께 7.7cm 의 무처리와 韓紙 엔드레이핑처리 圓板의 건조 특성을 알고자 間歇 減壓乾燥하였는데, C 건조스케줄을 적용한 은행나무 圓板의 건조속도는 S 건조스케줄 적용의 것보다 컸었고, 橫斷面割裂과 輪割이 심하였다. 그리고 무처리와 韓紙 엔드레이핑처리 圓板間의 乾燥速度, 橫斷面割裂, 輪割과 V형 크랙 발생의 크기는 별 차이가 없었다. 가래나무의 韓紙 엔드레이핑처리 圓板은 무처리 圓板보다 乾燥時間이 약간 단축되었고 橫斷面割裂과 V형 크랙의 크기와 이들 결합 원판의 출현율도 적었다. 은행나무와 가래나무 무처리 圓板의 外周部의 접선방향 변형률과 乾燥應力은 乾燥初期부터 발생하여 섬유포화점 이상에서는 곡선적으로 서서히 증가하다가 纖維飽和點 이하에서 급속하게 증가하였다. 韓紙 엔드레이핑처리에 의한 건조속도는 투과성이 큰 은행나무 圓板보다 투과성이 적은 가래나무 圓板에서 더 컸었다.

Table 5. Frequency of disk defected by V-shaped check, and average length and width of V-shaped checks at the end of vacuum drying for walnut.

Species	Drying schedule	End treatment	Freqency(%)	Length (cm)	Width (mm)
Ginkgo	C	Untreated	0	-	-
		KTP taped	0	-	-
	S	Untreated	0	-	-
		KTP taped	0	-	-
Walnut	S	Untreated	85.7	9.0±3.3	6.4±2.7
		KTP taped	42.9	6.1±0.7	2.0±0.8

參考文獻

1. Kubler, H. 1973. Role of moisture in hygrothermal recovery of wood. *Wood Sci.* 5(3) : 198-204.
2. Mitchell, H. L. 1972. How PEG helps the hobbyist who works with wood. USDA Forest Service, Forest Products Lab., U.S. Govt. Printing office.
3. Wilhelmy, V. and H. Kubler. 1973a. Probe for measurement of strains inside solid bodies. *Experimental Mechanics* 13(3) : 142-144.
4. _____, 1973b. Stresses and checks in log ends from relieved growth stresses. *Wood Sci.* 6(2) : 136-142.
5. Lee, N. H. and H. S. Jung. 1991. Model of drying Stress distribution in disks end-wrapped in Korean paper and effects of end-wrappings on prevention of drying defect for vacuum drying of disks. *Mokchae Konghak* 19(1) : 31-63.

◆ 목재공학 서적 안내 ◆

木材糖化學

(閔斗植 · 趙南奭 共著) : 先進文化社

木材切削學

(鄭希錫 著) : 서울大學校 出版部

木材化學

(閔斗植 · 李鍾潤 · 尹炳虎 共著) : 先進文化社

木材化學

(Sjöstrom 著, 李丙根 譯) : 大光文化社

木材解剖學

(吳正壽 著) : 圓光大學校 出版局

木材組織과 識別

(朴相珍 · 李元用 · 李華珩 共著) : 鄉文社

펄프·製紙工學

(G. A. Smook 著, 趙炳默 譯) : 大韓教科書 株式會社

木材物理 및 力學

(李華珩 · 魏 翕 · 李元用 · 洪秉和 外 共著) : 鄉文社

木材組織의 圖解

(李元用 · 朴相珍 · 李弼宇 共著) : 圖書出版 正民社