

국산 침엽수재 圓板의 眞空乾燥 특성 (I)^{*1}

李南浩² · 李俊昊³ · 金鍾萬⁴ · 鄭希錫³

The Characteristics of Vacuum Drying Disks of Domestic Softwoods (I)^{*1}

Nam-Ho Lee^{*2} · June-Ho Lee^{*3} · Jong-Mann Kim^{*4} · Hee-Suk Jung^{*3}

ABSTRACT

This study was carried out to investigate the vacuum drying characteristics of 50mm- and 75mm-thick tree disks of some domestic softwoods for substituting the conventional hardwoods as the materials for wood crafts.

Though the elapsed drying times from green to in-use moisture content(MC) were largely shortened by vacuum drying, the tree disks treated by EWS couldn't be dried to in-use MC, and so sapwood stains also were occurred severely. We suggest EWS treatment is undesirable for the species with very high sapwood portion or vacuum drying with hot water circulation heating system.

Heart checks were slight, but sapwood checks, which have never been trouble in drying process of tree disks, were severe. For the reasonable explanation it is suggested MC differences between sapwood and heartwood were large and most of tree disks had already no barks before drying test.

Ginkgo was vacuum-dried with very slight drying defects such as heart checks, sapwood checks, V-cracks and sapwood stains.

In Korean red pine and pitch pine V-cracks were severely occurred. And it was found the special feature that most of these defected tree disks contained several V-cracks within one tree disk. It can be considered as the causes that the region of sapwood was defected by the several checks at the early drying stage because of the steep MC gradient along the radial direction, and then at the later drying stage the drying stresses due to differential shrinkage were concentrated on these brittle spots.

Keywords : Tree disk, vacuum drying, heart checks, sapwood checks, sapwood stain, V-cracks

*1 접수 1996년 2월 22일 Received February 22, 1996

본 논문은 1994년도 농림수산부 현장애로 기술개발사업지원에 의해 수행된 과제의 일부임.

*2 국립이리농공전문대학 IRI Nat'l College of Agriculture & Technology, Iksan 570-110, Korea

*3 서울대학교 농업생명과학대학 College of Agriculture & Life Sciences, Seoul Nat'l Univ., Suwon 441-744, Korea

*4 남원목공예협동조합 Namwon Cooperative Society of Wood Crafts, Namwon 590-106, Korea

1. 서 론

예로부터 목재에서 조각용품, 장식용품, 관광기념품 및 음식용기 등과 같은 각종 선삭가공품을 제작할 때에는 판재나 각재보다는 곡선미가 아름다운 원판을 이용하여 왔다. 그러나 이들 원판은 生長應力과 橫切應力(crosscut stresses), 그리고 hygrothermal recovery 응력의 존재 때문에 髓(pith)를 중심으로한 심재부위가 저장 중이거나 건조 중에 매우 쉽게 할렬되는 경향이 있다(Kubler, 1974 · 1975 · 1977; Lee *et al.*, 1992 · 1995ab; Wilhelmy *et al.*, 1973ab). 뿐만 아니라 접선방향과 방사방향간의 수축율 차이에 의해서 형성되는 異方性수축응력이 목재의 횡인장강도를 초과할 때는 V형 크랙이라는 파괴가 발생하여 원판이 전혀 활용할 수 없게 되는 등 원판은 건조하기가 무척 까다롭다(Lee *et al.*, 1992 · 1995ab). 그래서 남원을 중심으로 한 지리산 지역의 목공예 제조업체들은 비교적 원판으로서의 건조성이 양호한 노각나무, 회화나무, 오리나무류나 물푸레나무 등만을 골라서 실내에서 陰乾하는 방식으로 목공예용 원판을 조달해 왔다. 물론 이렇게 할 경우 건조에 소요되는 시간이 너무 길고, 건조수율도 만족스러울 정도가 되지 못하는 등 건조가공상의 문제가 많은데, 최근에는 이것마저도 목재자원이 고갈되어 거의 전량을 캐나다나 중국 등으로부터 도입해 오고 있는 실정이다. 최근 지구환경보존 차원에서 이와 같은 활엽수재의 별채가 적극 규제됨에 따라 원목가격이 급등하고 있으며 공급마저도 매우 불안정한 상태일 뿐만 아니라 점점 소경재화, 저질화 되어가고 있어 가공상에도 많은 문제점들이 나타나고 있는 실정이다. 따라서 國産材중에서 임목축적량이 풍부하고 목공예 용재로서의 이용가치가 양호한 대체수종을 개발하고, 이들 대체수종의 원판 건조가공 기술을 개발하여 제공하는 것이 이들 목공예 제조업체의 가격경쟁력 제고를 위해서 매우 시급하다.

본 연구에서는 지리산 일대에 비교적 풍부하게 조립되어 있는 소나무, 리기다소나무와 은행나무 등 3수종을 대체가능 수종으로 선정하여 이들 수종에 대한 원판들의 건조가공 기술을 개발하여 제공코저 하였다. 이를 위하여 오리나무, 호도나무, 은행나무 또는 일본삼나무 등의 원판건조에 관한 일련의 연구결과(Lee *et al.*, 1992 · 1995ab) 건조시간의 단축과 그에 따른 에너지 절감 및 변재변색 예방, 심재할렬과 V형 크랙의 예방효과, 기타 잔적작업의 편리함 등의 측면에서 긍정적 평가를 받았던 진공건조 방식을 적용 검토하되, 우선 本報에서는 두께 50mm와

75mm의 薄板圓板에 대하여 조사하였다. 아울러 全斷面엔드테이핑처리(End-taping Cross Sections of Sapwood and Heartwood: ETSH), 邊材部 엔드테이핑처리(End-taping Cross Sections of Sapwood: ETS) 및 邊材部엔드래핑처리(End-wrapping Cross Sections of Sapwood: EWS)에 의한 주요 국산침엽수종 원판들의 진공건조성 개선 효과를 구명하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시수종과 시험편 채취

주요 국산침엽수재 중 소나무(*Pinus densiflora*), 리기다소나무(*Pinus rigida*) 및 은행나무(*Ginkgo biloba*) 등 3수종을 공시수종으로 선정하여 시중 木商으로부터 數本の 원목을 구입하였다. 건조시험용 원판의 두께(섬유방향)는 50mm와 75mm 2단계로 구분하여 실시하였다. 각 두께의 건조시험용 원판은 다시 무처리, ETSH처리, ETS처리 및 EWS처리로 구분하여, 이들 처리 원판들이 서로 엔드매치되게 채취하였다(Fig. 1). 그리고 하나의

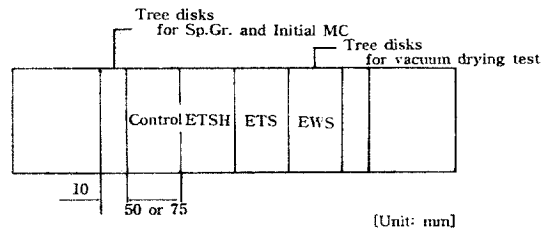


Fig. 1. Preparation of tree disks for drying test and specific gravities based on green volume(Sp.Gr.) and Initial MC from log.

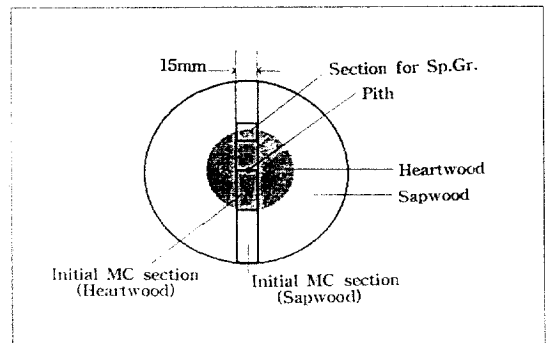


Fig. 2. Preparation of sections for specific gravities based on green volume(Sp.Gr.) and Initial MC of heartwood and sapwood from tree disks.

Table 1. Number of disks, diameter, specific gravities based on green volume (Sp.Gr.), and Initial MC(IMC) of heartwood and sapwood of tree disks for vacuum drying test.

Thick	Item	Korean red pine				Pitch pine				Ginkgo			
		Control	ETSH	ETS	EWS	Control	ETSH	ETS	EWS	Control	ETSH	ETS	EWS
50mm	No. of disks (pieces)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	Diameter(cm)	26.5	26.4	26.3	26.3	18.6	18.7	19.0	18.9	22.1	21.8	21.6	22.1
	Sp.Gr.	0.41	0.41	0.41	0.41	0.47	0.47	0.47	0.47	0.40	0.40	0.40	0.40
	IMC- Heart(%)	45.3	45.3	45.3	45.3	37.5	37.5	37.5	37.5	97.8	97.8	97.8	97.8
	- Sap(%)	104.8	104.8	104.8	104.8	70.0	70.0	70.0	70.0	146.7	146.7	146.7	146.7
	- Avg(%)	81.4	81.4	81.4	81.4	61.5	61.5	61.5	61.5	122.7	122.7	122.7	122.7
75mm	No. of disks (pieces)	10	10	10	10	10	10	10	10	7	7	7	7
	Diameter(cm)	27.7	27.6	27.7	27.4	18.2	18.6	18.3	18.5	23.1	23.6	23.4	25.1
	Sp.Gr.	0.43	0.43	0.43	0.43	0.48	0.48	0.48	0.48	0.43	0.43	0.43	0.43
	IMC- Heart(%)	36.5	36.5	36.5	36.5	41.4	41.4	41.4	41.4	34.4	34.4	34.4	34.4
	- Sap(%)	91.9	91.9	91.9	91.9	85.6	85.6	85.6	85.6	105.3	105.3	105.3	105.3
	- Avg(%)	74.9	74.9	74.9	74.9	74.7	74.7	74.7	74.7	68.2	68.2	68.2	68.2

Note : Heart., Sap. and Avg. are heartwood, sapwood and average, respectively.

엔드매치 시리즈의 양 끝에서 두께 1cm의 원판을 채취하여 Fig. 2와 같은 방법으로 건조시험용 원판의 초기함수율과 생재비중 시험편을 얻었다. 각 건조시험용 원판의 두께별, 처리별 원판의 갯수, 직경, 생재비중 및 심·변재부별 초기함수율은 Table 1과 같다.

ETSH처리 원판은 韓紙 2매를 원판의 양 횡단면 전체에 밀가루풀을 사용하여 테이핑하였고, ETS처리 원판은 원판의 횡단면 중 변재부만을 역시 한지 2매로 테이핑하여 심재부와 변재부간의 수분증발속도의 차를 줄이고자 하였다. 또한 EWS처리 원판은 한지 대신 음식물 포장용 비닐랩으로 접선단면과 횡단면의 변재부만을 감싼 다음 수개의 칼자국을 만들어 변재부의 수분증발속도를 콘트롤하였다.

2.2 진공건조시험

진공건조는 길이 530cm×폭 85cm×높이 50cm 크기의 熱水循環加熱式 진공건조기에서 실시하였다. 이 건조기는 상부덮개가 유연한 고무시트로 이루어져 있어 진공하에서 약 1기압 정도의 壓縮力이 내부에 잔적된 원판에 전달되는 타입이다.

각 공시원판들은 열판과 열판 사이에 實積(solid pile) 하되, 동일 수종, 동일 두께의 동일 처리 원판들은 같은段에 잔적하여 모두 동시에 진공건조를 실시하였다.

진공건조 중 건조기내의 절대수증기압은 약 50mmHg를 유지하였고, 건조온도는 두께 50mm와 75mm 원판

들 모두 재온을 건조초기의 경우 40℃로, 건조시간이 경과함에 따라 45℃, 50℃ 및 55℃로 점차 상승시키되 은행나무 두께 50mm 무치리 원판의 내층온도를 기준으로 콘트롤하였다. 건조 중 적당한 시간간격으로 건조기의 작동을 중지하고 건조기의 고무시트에 의한 압체력을 해제한 후 원판들의 건조 중 무게를 평량하여 건조 중 함수율을 구하였다.

건조종료 후 모든 원판들의 횡단면상에 나타난 심재할렬과 변재할렬 및 V형 크랙의 발생정도를 조사한 후, 각 수종의 무치리 원판들중에서 무작위로 4~5개의 원판을 선별하여 Fig. 3과 같은 방법으로 樹脂湧出し시험편을 준

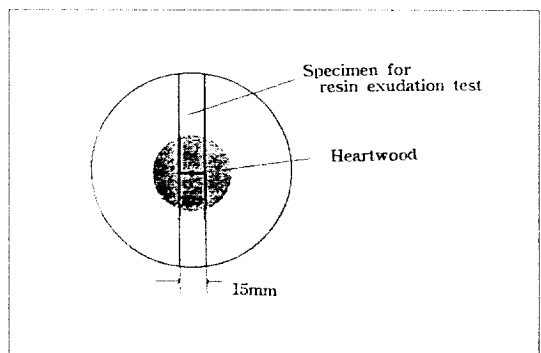


Fig. 3. Preparation of specimens for resin exudation test from vacuum dried tree disks.

Table 2. Accelerated cycle for resin exudation test of vacuum dried tree disks.

Cycle	DBT (°C)	RH (%)	EMC (%)	Duration (hours)
1	20	90	20.8	24
2	20	65	11.8	24
3	40	90	18.3	24
4	40	65	11.0	24

Note : DBT, RH and EMC are dry bulb temperature, relative humidity and equilibrium moisture content, respectively.

비하였다. 시험편을 항온항습기 내의 Table 2와 같은 폭로시험사이클에서 각각 24시간씩 방치한 후 시험편의 방사단면상에서 수지용출의 정도를 육안으로 판정하였다 (Kanagawa, 1989).

3. 결과 및 고찰

3.1 건조시간과 건조속도

각 수종 원판의 두께별 진공건조곡선을 Fig. 4~Fig. 9에 나타냈다. 소나무 원판의 경우 두께 50mm와 75mm 원판은 317시간만에 함수율 7~11%까지 건조되었으나, EWS처리 원판은 동일 건조시간에 17.0%와 21.6%까지 밖에 건조되지 않아 이용함수율수준까지 건조하는 것이 불가능하였다. 특히 EWS처리 원판의 경우 고함수율 상태가 장기간 지속되므로 말미암아 邊材變色 또한 심하게 나타나 EWS처리는 실용상 열수순환가열식 진공건조가 불가능한 것으로 평가되었다. 더구나 은행나무를 제외한 나머지 공시수종의 경우 심재율이 매우 낮아 횡단면의 거의 대부분이 비닐래핑 됨으로써 건조속도의 지연이 더욱 심화되었을 것으로 생각되는 바, EWS처리는 심재율이 지나치게 낮은 수종에는 그 적용에 신중을 기해

야 할 것으로 판단된다. 건조 소요시간 317시간은 두께 1인치 미송원판을 실내에서 건조하는 데에 소요되는 시간인 약 35일보다는 (Kubler, 1974) 훨씬 단축된 시간이었지만 두께 75mm 호도나무 무처리 원판이나 ETSH처리 원판을 함수율 약 10%까지 고주파진공건조하는데 각각 소요된 시간인 118시간이나 174시간보다는 훨씬 긴 시간이 소요되었다 (Lee *et al.*, 1995a). 소나무의 경우 호도나무보다 내부수분의 표면으로의 이동이 더 용이할 것으로 예상되고, 또한 더 강한 건조조건이 적용되었음에도 불구하고 이처럼 건조속도가 느린 까닭은 고주파가열과 열수기열 차이에 따른 재온상승 속도 및 온도분포 모형의 차이에 의한 자유수 유동의 기동력 차이도 고려해 볼 수 있는 원인이라 생각되지만, 무엇보다도 열수순환가열식 진공건조의 경우 열판이 원판의 上下 횡단면을 차단하므로써 횡단면을 통한 수분증발이 제약을 받았기 때문인 것으로 해석된다. 따라서 횡단면을 통한 수분증발에 절대적으로 의존하는 원판을 열수순환가열식 진공건조기 내에서 건조하기 위해서는 열판과 원판 사이에 적절한 배기 카울(ventilated caul)을 끼워서 잔적하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

리기다소나무도 소나무의 경우와 유사한 경향을 보였으나, 두께 50mm와 75mm의 무처리, ETSH처리 및 ETS처리 원판들은 평균건조속도가 0.31~0.37%/hr.로서 소나무나 은행나무의 동일처리 원판들보다 상당히 빠른 편이었다. 이것은 리기다소나무의 경우 공시원목의 저목상태 불량으로 대부분 원판들이 박피된 상태에서 건조가 시작되어 접선단면을 통한 수분증발이 상대적으로 용이하였고, 이 결과 방사방향으로의 수분경사 때문에 하나의 원판에 다수의 V형 크랙이 발생되었으며, 이 크랙면이 또 다른 수분증발면으로 작용하였기 때문인 것으로 생각된다.

은행나무의 두께 50mm 원판의 경우 EWS처리 원판을 제외한 나머지 원판들은 이용함수율 수준까지 건조되

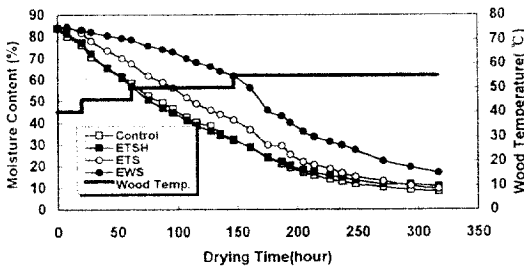


Fig. 4. Vacuum drying curves for 50mm-thick Korean red pine disks.

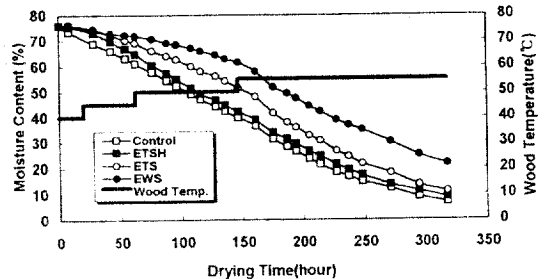


Fig. 5. Vacuum drying curves for 75mm-thick Korean red pine disks.

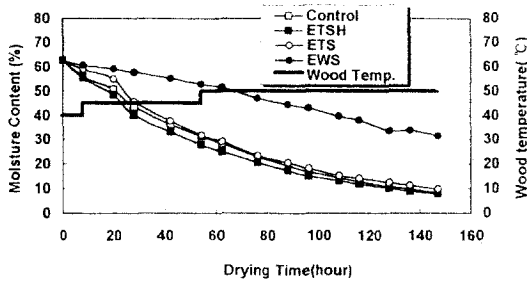


Fig. 6. Vacuum drying curves for 50mm-thick pitch pine disks.

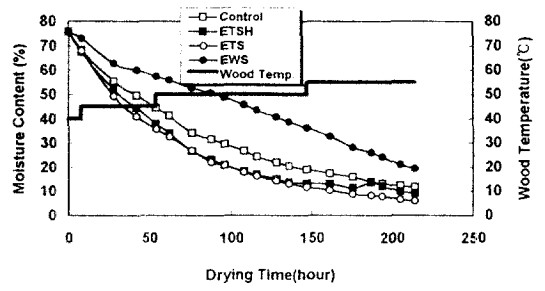


Fig. 7. Vacuum drying curves for 75mm-thick pitch pine disks.

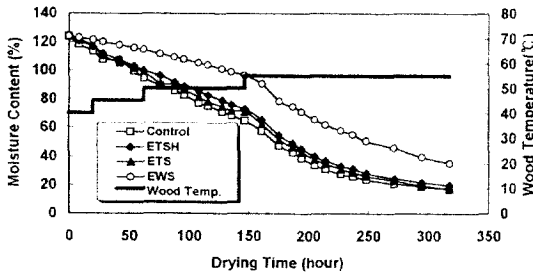


Fig. 8. Vacuum drying curves for 50mm-thick ginkgo disks.

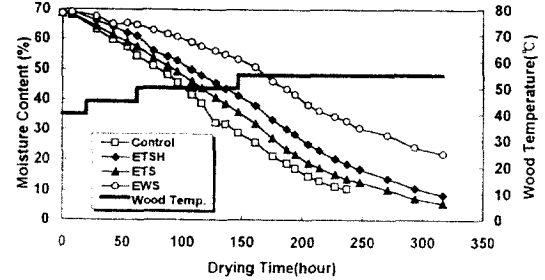


Fig. 9. Vacuum drying curves for 75mm-thick ginkgo disks.

Table 3. Average drying rates of tree disks during vacuum drying(%/hr).

Treat	Korean red pine		Pitch pine		Ginkgo	
	50mm	75mm	50mm	75mm	50mm	75mm
Control	0.238	0.217	0.370	0.306	0.312	0.244
ETSH	0.230	0.211	0.372	0.318	0.308	0.161
ETS	0.234	0.204	0.359	0.332	0.315	0.169
EWS	0.210	0.171	0.212	0.270	0.273	0.125

는데 343시간이 소요되었고, 두께 75mm 원판은 무처리 237시간, ETSH처리와 ETS처리는 모두 371시간이 소요되었다. 은행나무의 경우 다른 수종들과는 달리 원판 두께간에 건조속도의 차이가 현저하게 나타나 최소한 두께차가 25mm 이상인 원판들을 동일 로드 에 혼합잔적하여 건조하는 것은 피하는 것이 건조시간 단축과 건조결함 예방의 측면에서 바람직할 것으로 판단된다.

3.2 심재할렬과 변재할렬

진공건조 중 각 공시수종 원판의 심재할렬과 변재할렬의 발생정도를 Table 4에 나타냈다.

소나무 원판의 경우 전반적으로 심재할렬 및 변재할렬

의 발생 갯수와 크기는 경미한 편이었으나, 발생빈도에 있어서는 심재할렬이나 변재할렬 모두 최대 40%에 이르는 등 양호한 편은 아니었다. 그러나 원판의 두께나 처리에 관계없이 ETSH처리 원판에서는 심재할렬의 발생정도가 극히 경미하였는데, Lee 등(1992·1995ab)은 횡단면의 심재부위를 한지로 테이핑함으로써 섬유방향 수분경사가 완만하게 유지될 수 있었기 때문인 것으로 보고한 바 있다.

일반적으로 원판을 건조할 때 횡단면의 변재부위에서의 할렬발생은 거의 문제가 되지 않는 것으로 보고되어 왔음에도 불구하고, 본 시험에서는 변재할렬의 발생 정도가 심재할렬의 발생 정도보다 오히려 심한 경우가 많았다. 이는 본 시험에서 사용한 공시 수종의 경우 변재부의 초기 함유율이 심재부의 초기함유율보다 훨씬 높아 건조가 진행되면서 방사방향으로의 수분경사가 형성되었고, 이로 인해 건조초기에 원판 횡단면의 변재부에 접선방향 인장응력이 야기되어 변재부측에 미세할렬들이 쉽게 발생된 것으로 판단된다. 특히 공시 원판들의 수피가 剥皮된 채 건조가 개시되어 접선단면을 통한 수분증발이 가능했던 경우나, 변재율이 매우 작았던 경우, 또는 횡단면의 변재부만이 한지에 의해서 테이핑되었던 ETS처리의 경우 변

Table 4. Frequencies of tree disks with heart check or sapwood check and their numbers and lengths per each tree disk after vacuum drying.

Species	Thick (mm)	Treat	Heart Check			Sapwood Check		
			Frequencies (%)	Number (individual)	Length (cm)	Frequencies (%)	Number (individual)	Length (cm)
Korean red pine	50	Control	30	0.4	1.1	20	0.2	1.6
		ETSH	10	0.1	0.3	20	0.3	1.1
		ETS	30	0.4	1.3	20	0.3	1.9
		EWS	40	0.4	2.0	0	0	0
	75	Control	40	0.6	2.9	20	0.7	2.2
		ETSH	10	0.1	0.5	40	0.6	1.9
		ETS	10	0.1	1.0	30	0.5	1.1
		EWS	40	0.5	2.3	10	0.1	0.2
Pitch pine	50	Control	0	0	0	0	0	0
		ETSH	0	0	0	0	0	0
		ETS	0	0	0	0	0	0
		EWS	0	0	0	0	0	0
	75	Control	0	0	0	70	2.8	7.3
		ETSH	0	0	0	80	3.0	7.5
		ETS	0	0	0	60	1.8	3.9
		EWS	0	0	0	50	2.0	5.7
Ginkgo	50	Control	0	0	0	10	0.1	0.3
		ETSH	10	0.2	0.1	40	0.4	1.4
		ETS	0	0	0	10	0.1	0.7
		EWS	0	0	0	10	0.1	0.4
	75	Control	0	0	0	0	0	0
		ETSH	0	0	0	14	0.1	0.8
		ETS	28.5	0.7	1.9	14	0.4	1.2
		EWS	0	0	0	0	0	0

재할렬의 발생은 더욱 용이하였을 것으로 해석된다. 원판의 접선단면을 통한 수분증발이 상대적으로 크게 억제되었던 EWS처리의 경우 변재할렬의 발생이 매우 경미하였던 점이나, 동일 원판 내에 하나가 아닌 다수의 V형 크랙이 발생되었던 점 등도 이러한 해석을 가능케 한다.

따라서 원판 건조 중에 변재할렬의 발생을 예방하기 위해서는 원판을 박피하지 않고서 건조하는 것이 바람직하고 변재함수율이 심재함수율보다 월등히 큰 경우, 변재율이 지나치게 큰 경우일 때에는 방사방향으로의 수분경사가 형성되지 않도록 적절한 대책을 강구해야 할 필요가 있다. 소나무나 리기다소나무 등과 재질적 특성이 유사한 것으로 사료되는 일본소나무의 두께 75mm 원판을 심재할렬이나 변재할렬은 물론 V형 크랙 없이 고주파진공 건조가 가능하였던 Lee 등(1995b)의 보고를 감안해 볼 때 우리나라산 주요 침엽수재 원판도 고주파진공 건조 방식을 적용·검토해 볼 필요가 있을 것으로 판단된다.

리기다소나무의 경우 심재할렬은 전혀 발생하지 않았

으나 두께 75mm 원판의 경우 원판들의 대부분이 박피된 채 건조가 진행됨으로써 변재할렬의 발생은 상당히 심한 편이었다.

은행나무의 경우 모두 심재할렬과 변재할렬 발생 정도가 경미하였다. 그러나 다른 수종과는 달리 輪割이 일부 발생된 경우가 있었는데, Lee 등(1992)은 은행나무의 경우 접선단면에 존재하는 葉痕(leaf trace) 때문에 연륜층간에 조직적 결합력이 약하여 건조 중 윤활의 발생이 빈번한 것으로 보고한 바 있다.

3.3 V형 크랙

진공 건조 중 각 공시수종 원판의 V형 크랙의 발생 정도를 Table 5에 나타냈다.

소나무와 리기다소나무의 경우 V형 크랙의 발생 정도가 매우 심한 편이었다. EWS처리 원판의 경우 나머지 처리 원판들에 비해서 상당히 경미한 경우가 있었으나 건조종료시 최종함수율이 17~50% 범위의 고탍수율인 문

Table 5. Frequencies of tree disks with V-cracks and their numbers and lengths per each tree disk after vacuum drying.

Species	Treat	50mm-thick			75mm-thick		
		Frequencies (%)	Number (individual)	Length (cm)	Frequencies (%)	Number (individual)	Length (cm)
Korean red pine	Control	100	1.7	13.8	100	2.6	19.0
	ETSH	100	2.4	19.5	100	3.3	22.8
	ETS	100	1.9	15.6	100	3.5	21.1
	EWS	90	1.4	94.9	70	1.7	83.5
Pitch pine	Control	100	5.6	22.5	70	2.1	7.7
	ETSH	100	5.0	22.4	90	3.4	13.8
	ETS	100	5.8	22.2	100	2.0	9.4
	EWS	10	0.1	0.3	20	0.2	1.1
Ginkgo	Control	20	0.4	2.3	0	0	0
	ETSH	30	0.3	1.8	0	0	0
	ETS	10	0.1	0.5	0	0	0
	EWS	0.1	0.1	0	0	0	0

제가 있었다. 이들 수종의 경우 V형 크랙의 발생이 심하였던 것은 대부분의 원판이 박피된 상태에서 건조가 개시됨으로써 원판의 접선단면을 통한 수분증발이 가능하였던 점, 변재부의 초기함수율이 심재의 초기함수율보다 상당히 컸던 점, 그리고 고함수율의 변재부가 횡단면상에서 점유하는 비율이 컸던 점 등의 원인으로 건조가 진행됨에 따라 방사방향으로의 수분경사가 형성되고, 이에 따라 건조초기에 변재부에 접선방향 인장응력이 발생되어 미세할릴이 다수 발생하게 되었고, 건조후기에 나타나기 시작하는 이방성 수축응력이 이 미세할릴부에 집중됨으로써 V형 크랙이 몹시 심하게 발생되었던 것으로 해석된다. 특히 원목이 박피된 채 대기 중에서 장기간 저목되었을 경우 접선단면상에 이미 상당수의 미세할릴들이 존재한다면 V형 크랙은 더욱 쉽게 발생될 수 있을 것으로 생각된다. 이러한 설명은 일반적으로 원판건조에서 거의 관찰되지 않는 변재할릴의 발생이라든가, 한 원판 내에 여러 개의 V형 크랙이 발생된 점, 그리고 접선단면을 통한 수분증발이 거의 억제된 EWS처리 원판의 경우 V형 크랙의 발생이 경미하였던 점 등에서도 뒷받침된다. 이러한 원인들 외에도 활엽수재에 비해서 강도가 약한 침엽수재의 재질 특성도 V형 크랙의 발생을 가속화시킨 한 원인으로 생각해 볼 수 있다. 따라서 침엽수재 원판들을 V형 크랙에 의한 손상없이 건조하기 위해서는 박피되지 않도록 저목하거나, 또는 선삭가공품의 가공공정을 원판 건조 후에 귀도리하는 순서로 바꾸는 것이 바람직할 것으로 생각되며, 아울러 변재부의 생재함수율이 심재부보다 훨씬 크기 때문에 변재부 횡단면을 통한 수분증발을 억제

하는 처리는 바람직스럽지 않은 것으로 판단된다. 또한 본 시험에서 사용한 진공건조기의 경우 유연한 고무 시트로 이루어진 상부뚜껑에 의해 건조기 내부에 잔적된 원판에 약 1kgf/cm²의 기계적 압체력이 가해짐으로써 건조 중 원판의 횡단방향 수축이 상당량 억제될 수 있어 V형 크랙 예방에 유리할 것으로 기대되어지므로, 건조 중에 진공상태를 해제하여 원판의 건조중 무게를 평량하는 것도 또한 바람직스럽지 않다. 따라서 건조종료시까지 연속적인 진공하에서 건조를 마무리하는 것이 이미 형성되어 있는 이방성수축응력의 기동을 억제하는데 유리할 것으로 생각된다.

한편 은행나무의 경우 다른 수종들과는 달리 두께 75mm 원판에서는 V형 크랙이 전혀 발생하지 않았고, 두께 50mm 원판에서도 그 발생 정도는 매우 경미하였다. Lee 등(1991)은 은행나무의 경우 접선방향과 방사방향간의 수축율의 차이가 적은 재질적 특성 때문에 V형 크랙에 의한 손상 위험성이 적은 것으로 보고한 바 있다. 이상의 결과로 미루어 볼 때 은행나무를 목공예용 원판으로 대체하는데 있어서 건조가공상의 문제는 진공건조 방식을 적용하므로써 해결가능한 것으로 평가된다.

3.4 樹脂湧出

진공건조 종료 후 각 공시수종의 무처리 원판을 대상으로 축진폭로시험을 실시한 결과 수종과 두께에 상관없이 수지용출은 전혀 관찰되지 않았다(Table 6).

Kanagawa(1989)는 고주파진공건조한 美松 각재의 경우 축진폭로조건에서 전혀 수지가 용출되지 않았지만

Table 6. Resin exudation of vacuum dried tree disks for control.

Thick (mm)	Korean red pine	Pitch pine	Ginkgo
50	None	None	None
75	None	None	None

관행열기 건조재와 비교해 볼 때 수지 殘存量의 차이는 없다고 보고한 바 있다. 따라서 진공건조하에서 건조된 재목의 수지용출이 억제되는 메카니즘에 대한 보다 분명한 구명이 필요할 것으로 사료된다. 아무튼 주요 국산 침엽수종을 목공예용 원판으로 대체하는데 있어서 문제점으로 여쭙히었던 수지용출의 문제는 진공건조에 의해서 효과적으로 해결될 수 있는 것으로 평가되었다.

4. 결 론

무처리나 ETSH처리 및 ETS처리 원판들의 生材에서 이용합수율까지 진공건조하는데 소요된 시간은 종래의 室內 陰乾 방식보다는 크게 단축되었지만 열수 순환가열식 진공건조의 경우 열판에 의해 원판의 상하 횡단면이 차단됨으로써 횡단면을 통한 수분증발이 제약을 받아 건조시간이 상당히 지연되는 편이었다. 따라서 횡단면을 통한 수분증발에 절대적으로 의존하는 원판을 열수 순환가열식 진공건조기를 활용하여 건조하기 위해서는 열판과 원판사이에 적절한 배기카울을 끼워서 잔적하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

EWS처리 원판들의 경우 이용합수율 수준까지의 건조가 불가능하였을 뿐 아니라, 고합수율 상태가 장기간 지속되므로 말미암아 변재변색 또한 심하게 나타나 EWS 처리는 심재율이 지나치게 낮은 수종이나 열수 순환가열식 진공건조기에는 그 적용에 신중을 기해야 할 것으로 판단된다.

은행나무의 경우 두께간에 건조속도의 차이가 현저하게 나타나 최소한 두께차가 25mm 이상인 원판들을 동일 로드 에 혼합 잔적하는 것은 피하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

심재할렬은 그 발생 정도가 수종에 관계없이 경미한 편이었으나, 일반적으로 원판건조시에 크게 문제가 되지 않는 변재할렬이 심재할렬보다 심하게 발생된 경우가 많았다. 이는 본 시험에 사용된 공시수종의 경우 변재부의 초기합수율이 심재부보다 훨씬 높았을 뿐만 아니라, 고합수율인 변재부가 점유하는 비율이 상당히 높았고 공시 원판들의 상당수가 박피된 상태에서 건조가 개시되어 건

조초기에 방사방향으로의 수분경사가 크게 형성되었기 때문인 것으로 생각된다.

은행나무의 경우 심재할렬, 변재할렬 및 V형 크랙 모두 그 발생 정도가 경미하여 목공예용 원판으로서의 대체 가능성이 높은 것으로 평가되었으나 약간의 윤활이 발생하는 문제가 있었다.

소나무와 리기다소나무의 원판들은 V형 크랙의 발생 정도가 심하였고, 특히 하나의 원판에 여러 개의 V형 크랙이 발생하는 특징을 보였는데, 이는 앞서 언급한 바와 같이 건조초기에 변재할렬이 발생되었고, 건조 후기에 발현되기 시작한 이방성 수축응력이 이 변재할렬부에 집중되었기 때문인 것으로 해석된다. 따라서 침엽수재 원판들을 V형 크랙에 의한 손상없이 건조하기 위해서는 박피가 되지 않도록 저목하거나, 선삭가공품의 가공공정을 원판건조 후에 귀도리하는 순서로 전환하는 것이 바람직할 것으로 생각된다. 또한 내부에 잔적된 원판에 기계적 압체력을 가할 수 있는 진공건조기를 활용할 경우 건조 중에 기계적 압체력을 해제하는 것은 V형 크랙 예방에 바람직하지 않은 것으로 판단된다.

공시수종에 관계없이 진공건조된 원판들에서는 촉진폭로조건에서의 수지용출은 전혀 없는 것으로 조사되어 이들 공시수종들을 목공예용재로 활용하는데 있어서 사용 중의 수지용출문제는 진공건조에 의해서 해결 가능한 것으로 나타났다.

사 사

본 연구를 수행할 수 있도록 열수순환가열식 진공건조기를 寄贈하여 주신 한양유니버설(주) 김동진 사장님께 깊이 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. Dwinell, L.D., S. Avramidis, and J.E. Clark. 1994. Evaluation of a radio-frequency/vacuum dryer for eradicating the pinewood. *Forest Prod. J.* 44(4) : 19~24
2. Harris, R.A. and M.A. Taras. 1984. Comparison of moisture content distribution, stress distribution, and shrinkage of red oak lumber dried by a radio-frequency/vacuum drying process and a conventional kiln. *Forest Prod. J.* 34(1) : 44~54

3. Hayashi, K. and S. Terazawa. 1977. Studies on cell-collapse of water saturated balsa wood(V). *Mokuzai Gakkaishi* 23(1) : 30~34
4. Kanagawa, Y. 1989. Resin distribution in lumber dried by vacuum drying combined with radio-frequency. Proceedings of IUFRO Wood Drying 1989 : 158~164
5. Kubler, H. 1973. Role of moisture in hygrothermal recovery of wood. *Forest Prod. J.* 23(3) : 198~204
6. Kubler, H. 1973. Hygrothermal recovery under stress and release of strain inelastic strain. *Forest Prod. J.* 23(1) : 78~85
7. Kubler, H. 1974. Drying tree disks simply without defects. *Forest Prod. J.* 24(1) : 33~35
8. Kubler, H. 1975. Study on drying of tree cross sections. *Wood Sci.* 7(3) : 173~181
9. Kubler, H. 1977. Formation of checks in tree stems during heating. *Forest Prod. J.* 27(1) : 41~46
10. Lee, N. H., and H. S. Jung. 1991. Model of drying stress distribution in disks end-wrapped in Korean traditional paper and effects of end-wrappings on prevention of drying defects for vacuum drying of disks. *Mokchae Konghak* 19(1) : 31~63
11. Lee, N.H. and H.S. Jung. 1992. Effects of end-taping with Korean traditional paper on the distribution of vacuum drying stresses in wood disks. Proceedings of 3rd IUFRO Drying Conference : 227~234
12. Lee, N.H., K. Hayashi and H. S. Jung. 1995a. Possibility of drying of walnut disk for wooden arts in radio-frequency/vacuum dryer with mechanical pressure system. Proceedings of Vacuum Drying of Wood '95 : 270~279
13. Lee, N.H. and K. Hayashi. 1995b. RF/V drying characteristics of 75mm-thick Japanese Cedar disks. Unpublished
14. Liu, F., S. Avramidis, and R.L. Zwick. 1994. Drying thick western hemlock in a laboratory radio-frequency/vacuum dryer with constant and variable electrode voltage. *Forest Prod. J.* 44(6) : 71~75
15. Terazawa, S and K. Hayashi. 1972. Collapse in wood drying process. *Wood Industry* 27(11) : 2~7
16. Wilhelmy, V. and H. Kubler. 1973. Probe for measurement of strains inside solid bodies. *Experimental Mechanics* 13(3) : 142~144
17. Wilhelmy, V. and H. Kubler. 1973. Stresses and checks in log ends from relieved growth stresses. *Wood Sci.* 6(2) : 136~142