

잣나무 間伐통나무와 髓心材의 加熱板式 眞空乾燥 특성*1

정희석*2 · 이남호*3 · 박정환*4

The Characteristics of Vacuum Drying Heated by Hot Plates for the Thinned Logs and Pillars of Korean Pine*1

Hee-Suk Jung*2 · Nam-Ho Lee*3 · Jung-Hwan Park*4

ABSTRACT

We investigated the characteristics of air- and vacuum-drying heated by hot plates for 8~14cm-diameter logs or 6~12cm-thick pillars of *Pinus koraiensis*. And we evaluated the effects of longitudinal kerf and vacuum drying heated by hot plates.

The vacuum drying times from green to 10.9~18.6% MC were 15 days, and these times were one-fifth compared to the air-drying times.

The longitudinal kerfing had no significant effect on drying rates during both air-drying and vacuum drying. But drying defects such as surface checks and V-shaped cracks were effectively prevented during air-drying and vacuum drying by longitudinal kerfing.

The vacuum drying was more advantageous than air-drying for preventing of surface checks, end checks and V-shaped cracks, and especially, the vacuum dried pillars with longitudinal kerf were almost free from drying defects.

In accelerated weathering conditions the resin did not exude for all specimens.

Keywords : Vacuum drying heated by hot plates, air drying, log, pillar, longitudinal kerfing, drying rates, surface check, V-shaped cracks, resin exudation

1. 서론

잣나무, 낙엽송 및 리기다소나무 등은 우리나라 전역에 널리 植在되어있어 그 자원이 풍부한편이고, 이들 수종의 間伐材 생산량도 상당하기 때문에 間伐小徑材의 이용가치를 제고하는 것은 매우 의미있는 일이다.

그러나 간벌소경재는 徑級이 작고, 대부분 未成熟材로 구성되어있을 뿐 아니라, 용이가 많기때문에 일반 제재 품보다는 통나무 또는 髓心材(pillar)로 활용하는 것이 경제적으로 유리하다. 특히 최근 문화수준이 향상되어 통나무집 등 木構造物의 수요가 증가하는 추세에 비추어볼 때 통나무나 수심재의 가공기술 개발이 절실히 요청되고

*1 접수 1997년 10월 8일 Received on October 8th, 1997

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

*3 전북대학교 농과대학 College of Agriculture, Chonbuk National University, Chonju 561-756, Korea

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

있다. 특히 간벌소경목을 건조하지 않은 채 構造用材로 사용할 경우 구조물 요소의 수축에 따른 치수변화와 乾燥應力의 발생, 그리고 심재할렬, 재면할렬, V형 크랙 및 윤할 등의 건조損傷에 의한 구조물의 龜裂現象은 단순히 미관적 가치를 저하시키는데 국한되는 것이 아니라, 많은 熱에너지의 손실과 구조물의 耐久年限 감소 등 보다 근원적인 문제점을 수반하는데 유의할 필요가 있다. 따라서 소경재를 목구조물의 부재로 이용하는데 있어서 그 건조공정은 반드시 선행되어야 할 필수공정이다.

그러나 통나무 또는 髓心材에는 수목의 모든 생장응력이 잔류해있을 뿐만 아니라, 특히 Kubler (1974 · 1975 · 1977)와 Wilhelmy 등(1973a)에 의해서 보고된 髓부위의 높은 접선방향 引張生長應力, Kubler와 Chen (1975) 및 Wilhelmy 등(1973b)이 관측한 바 있는 수목의 橫切에 의해 야기되는 2차 생장응력 및 Kubler (1973, 1977)에 의해서 보고된 濕熱(Hygrothermal) 현상에 의해 유도되는 접선방향 인장응력 등으로 인하여 통나무는 저장중이거나 건조중에 심재할렬이 매우 민감하게 발생하는 경향이 있다. 심재할렬의 발생이 심할 경우 V형 크랙이나 재면할렬을 야기하기 때문에 이의 예방에 관심을 가질 필요가 있다. Barnacle(1971)과 Kubler(1974)는 이와 같은 심재할렬을 예방키 위해서는 극히 완만한 水分傾斜의 형성도 억제시켜야 한다고 주장하였다.

Kanagawa(1989)는 두께 12cm 미송 柁目材를 고주파진공건조할 경우 材内外의 壓力差에 의한 자유수 유동속도의 증진으로 인하여 관통 열기건조와는 반대로 건조 초기에 表層은 압축응력, 內層은 인장응력을 나타내게 되므로 말미암아 재면할렬 예방효과가 우수한 사실을 밝히며 있다. 뿐만 아니라 감압건조는 사용중의 수지유출 억제(Kanagawa, 1989), 實積(Solid pile)적용에 따른 棧積率 향상과 잔적작업의 용이, 물의 끓는점 저하에 따른 건조시간의 단축과 에너지절감 및 변재변색 방지 효과도 얻을 수 있어 통나무나 수심재의 건조에 유리한 잇점을 지니고 있다(Lee, Jung, 1991).

그리고 통나무 건조에서는 건조 후기에 형성되는 異方向收縮應力이 변형의 형태가 아닌 파괴 현상에 의해서만 해제되기 때문에 V형크랙이 유발되고, 이는 다시 材面割裂로 확대된다. Ylinen(1949)은 Scotch pine 圓板 건조시 수피부위에서 접선방향 인장응력이 가장 크게 형성되고, 髓에 근접할수록 점점 감소하여 髓부위에서는 오히려 압축응력상태로 전환되기 때문에 V형 크랙은 수피부위에서부터 발생하기 시작한다고 보고하였다. 그리고 미국임산물연구소(1956)의 보고에 의하면 V형크랙의 幅

은 접선방향과 방사방향간의 수축율 차이와 통나무의 직경에 비례한다. V형 크랙 예방책으로 Hsu 등(1974)은 밴드결체에 의한 접선방향 인장응력 억제법과 背割加工處理(Longitudinal Kerfing)에 의한 접선방향 인장응력의 전달 遮斷法을, 그리고 Harris 등(1984)은 감압건조에 의한 수축억제법 등을 각각 제안하였다.

따라서 본 연구에서는 우리나라의 대표적 조림수종인 잣나무 직경 8~14cm의 통나무와 두께 6~12cm의 수심재를 배할가공처리하여 천연 건조 및 가열판식 진공 건조를 실시하여 건조방법별 특성과 배할가공처리에 의한 건조결합 예방효과 등을 구명코저하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

우리나라의 대표적 조림수종인 직경 8~14cm 범위의 잣나무(*Pinus koraiensis*) 小徑材를 공시수종으로 선정하였다.

천연건조용 시험재는 크게 통나무와 髓를 포함하는 2面製材品(Two Face Sawn Lumber: 2FSL)으로 구분하였고, 통나무는 다시 직경에 따라 S급(8~10cm), M급(직경 10~12cm) 및 L급(직경 12~14cm)으로, 그리고 2면 제재품은 두께에 따라 6cm, 9cm 및 12cm 材로 각각 구분하여 10본씩을 준비하였으며, 이 중 5본은 무처리재로, 나머지 5본은 배할가공처리재로 각각 이용하였다. 모든 시험재의 길이는 180cm이고, 건조속도가 지연되는 것을 피하고자 박피한 후 건조시험을 실시하였다.

진공건조시험에서는 가열판식 진공건조기 熱板의 熱傳達 면적을 고려하여 통나무를 배제하고, 천연건조시험재와 동일한 크기의 2면제재품과 3면제재품(Three Face Sawn Lumber: 3FSL)만을 시험하였다. 진공건조시험에 사용된 무처리 및 배할가공처리재의 수량은 천연건조시험과 동일하다. 천연건조시험재와 진공건조시험재의 형상과 초기함수율은 각각 Table 1 및 Table 2와 같다.

2.2 배할가공처리

건조 후기에 접선방향 인장응력이 형성되는 異方向收縮應力의 분포모형(Kubler, 1975; Yulinen, 1949)을 고려하여 Fig. 1과 같이 수피부위로부터 髓를 향하여 통나무 반경의 3/4 깊이로 폭 3mm의 背割을 만들었다.

2.3 최종함수율과 樹脂湧出 시험편

건조종료 후 Fig. 2와 같이 시험재의 중앙 부위에서

Table 1. Shape and initial moisture content for air-drying specimens.

Specimens	Treatments	Shape			Initial MC(%)	
		Butt Dia.(cm)	End Dia.(cm)	Length(cm)		
Log	S	CONT	10.2~ 9.9~ 8.4	8.4~ 7.9~ 6.5	180	132.0
		LK	9.6~ 9.6~ 8.4	8.7~ 8.6~ 7.2	180	120.2
	M	CONT	11.8~11.4~10.6	10.6~10.5~ 9.5	180	112.7
		LK	11.6~11.6~10.0	10.5~10.4~ 9.2	180	91.3
	L	CONT	14.4~14.3~12.1	13.5~12.8~10.6	180	114.1
		LK	14.2~13.2~12.8	12.5~10.6~10.4	180	103.9
2FSL	6cm	CONT	12.9~10.7~ 9.5	9.8~ 9.4~ 7.2	180	101.9
		LK	11.3~10.5~ 9.2	9.9~ 9.3~ 7.8	180	85.6
	9cm	CONT	13.5~11.3~11.0	12.2~ 9.6~ 9.5	180	105.9
		LK	13.5~12.7~11.7	11.5~11.5~10.2	180	95.2
	12cm	CONT	18.6~17.9~15.2	14.2~14.1~13.2	180	95.3
		LK	22.2~15.0~14.0	16.2~13.1~12.9	180	103.2

Note; 1. Maximum~Mean~Minimum, 2. CONT : Control, LK : Longitudinal Kerfing

Table 2. Shape and initial moisture content of the specimens for vacuum drying heated by hot plates.

Specimens	Treatments	Shape			Initial MC(%)	
		Butt Dia.(cm)	End Dia.(cm)	Length(cm)		
2FSL	6cm	CONT	11.0~10.7~10.5	10.1~ 9.3~ 8.9	180	88.2
		LK	11.6~11.1~10.9	9.5~ 9.3~ 9.2	180	80.2
	9cm	CONT	14.8~13.3~12.5	11.0~10.8~10.7	180	73.0
		LK	13.0~12.7~12.2	11.0~10.8~10.6	180	90.4
	12cm	CONT	17.5~16.8~16.0	13.9~13.5~13.0	180	63.5
		LK	17.0~15.7~14.0	13.0~12.8~12.5	180	64.7
3FSL	6cm	CONT	11.5~10.4~ 9.7	9.4~ 9.0~ 8.7	180	77.1
		LK	11.0~ 9.7~ 7.5	10.4~ 8.8~ 6.5	180	76.1
	9cm	CONT	14.0~13.0~12.0	12.0~11.5~11.0	180	66.7
		LK	13.2~11.2~10.1	11.0~10.1~ 9.0	180	73.5
	12cm	CONT	15.6~14.2~12.8	14.1~13.0~11.9	180	73.6
		LK	16.0~15.0~13.9	13.5~12.8~12.0	180	67.2

Notes; 1. Maximum~Mean~Minimum, 2. CONT : Control, LK : Longitudinal Kerfing.

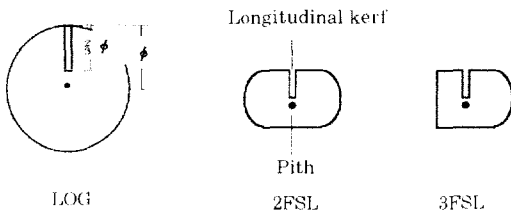


Fig. 1. Longitudinal kerf in log, 2FSL and 3FSL [ϕ :log radius].

폭 2.5cm 크기의 최종함수율시험편을 채취하였다. 그리고 수지용출시험편은 각 처리별 건조시험재중 건조손상의 정도가 경미한 시험재 1분씩을 선정하여 그 횡단면으로부터 40cm떨어진 지점에서 길이 50cm크기의 시험편을 채취한 다음 한 材面을 平削加工하였다.

2.4 가열판식 진공건조기

진공건조기는 온도조절 $\pm 1^{\circ}\text{C}$, 眞空度조절 $\pm 10\text{mmHg}$ 로서 길이 530cm×폭 85cm×높이 50cm 크기의 캐비네트형으로서 熱水의 순환에 의하여 가열되는 加熱板式

Table 3. Atmospheric conditions in Seoul during air-drying.

Air-drying Period	Temperature (°C)			RH (%)		Air Velocity (m/sec)	
	Avg. High	Mean	Avg. Low	Mean	Avg. Low	Mean	Avg. High
May 8 to July 16 in 1991	26.40 ± 3.50	21.53 ± 2.98	17.30 ± 3.29	69.19 ± 13.23	49.56 ± 15.63	2.41 ± 0.83	5.88 ± 1.60
May 8 to August 20 in 1991	27.35 ± 3.51	22.83 ± 3.21	18.95 ± 3.67	73.01 ± 13.13	54.49 ± 16.44	2.32 ± 0.92	5.75 ± 1.83

Note: ± : Standard deviation.

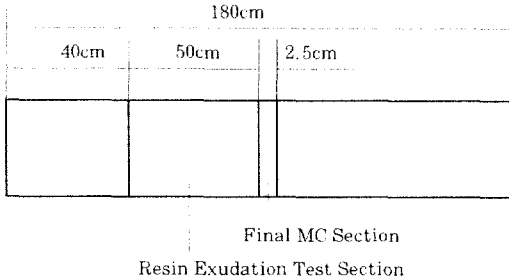


Fig. 2. Preparations of specimens for final moisture content and resin exudation.

이다. 건조기의 상부덮개가 유연한 고무시트로 이루어져 건조 중 약 10.000kgf/m² 크기의 압체력이 내부에 잔적된 재목에 전달되도록 구성되어 있다.

2.5 棧積

천연건조의 경우 건조 초기의 과도한 건조로 심재할렬이 발생하는 것을 예방코저 材長과 主風方向을 일치시켰으며, 통나무와 2면제제품이 交互의 棧積層을 이루고, 동시에 무처리재와 배합가공처리재가 사이드매치(side-match)되게 잔적하였다.

진공건조의 경우는 實積하되 2면제제품과 3면제제품이 엔드매치(end-match)되게, 그리고 무처리재와 배합가공처리재가 사이드매치되게 잔적하였다.

2.6 천연건조시기

Jung 등(1986)이 30년간(1955~1984)의 서울지방 기상자료를 분석·조사하여 유효천연건조일수가 25일 이상인 것으로 보고한 5~9월을 천연건조기간으로 설정하였다. 통나무 S급, M급 및 두께 6cm와 9cm 2면제제품을 천연건조하였던 1991년 5월 8일부터 1991년 7월 16일까지, 그리고 통나무 L급과 두께 12cm 2면제제품을 천연건조하였던 1991년 5월 8일부터 1991년 8월 20일까지의 서울지방 기상조건은 Table 3과 같다.

Table 4. Accelerated aging test cycle for resin exudation.

Cycle	DBT (°C)	WBT (°C)	RH (%)	EMC (%)
1st	20	19.0	90	20.8
2nd	20	16.0	65	11.8
3rd	40	38.5	90	18.3
4th	40	34.0	65	11.0

2.7 가열판식 진공건조조건

Kanagawa(1989)가 두께 12cm 미송 각재의 진공건조 조건으로 제시한 材溫 40°C보다 약간 높은 42.5°C를 적용하였고, 眞空度는 50~60mmHg로 하였다.

2.8 건조곡선

천연건조의 경우 건조 초기에는 매 1주일마다, 그리고 건조 말기에는 건조속도가 느려 약 3주 간격으로 건조시험편의 건조중무게를 측정하였으며, 가열판식 진공건조의 경우도 적절한 시간간격으로 건조시험편의 건조중무게를 측정하였다. 건조중 함수율은 건조중무게와 건조중료후 최종함수율 시험편으로부터 구한 전건무게를 이용하여 계산하였다.

2.9 건조결합과 수지용출 조사

건조종료 후 모든 材面에 나타난 재면할렬, 양 횡단면에 나타난 횡단면 할렬 및 V형 크랙의 발생개수와 총 길이를 각각 조사하였으며, 건조재의 수지용출은 건조종료 후 채취한 수지용출 시험편을 Table 4의 促進暴露試驗 사이클에서 수지용출상태를 조사하여 그 정도를 4단계로 구분하여 판정하였다(Kanagawa, 1989).

3. 결과 및 고찰

3.1 건조시간

생재에서부터 이용함수율 수준까지 건조되는데 소요된 재종별 천연건조와 가열판식 진공건조시간, 최종함수율

및 蒸發比含水率은 Table 5와 같고, 통나무와 2면제제품의 천연건조곡선은 Fig. 3과 Fig. 4에, 그리고 2면제제품과 3면제제품의 가열판식 진공건조곡선은 Fig. 5와 Fig. 6에 각각 나타내었다.

통나무 L급의 무처리재와 배합가공처리재는 각각 초기함수율 114.1%와 103.9%에서 16.1%와 15.9%까지 천연건조되는데 104일이 소요되었고, 통나무 S급과 M급의 무처리재와 배합가공처리재는 각각 초기함수율 132%와 120.2% 및 112.7%와 91.3%에서 통나무 L급과 유사한 수준의 최종함수율까지 건조되는데 69일이 소요되었다. 통나무의 직경이 작을수록 건조시간이 적게 소요

되었으며, 배합가공처리재는 건조속도에 크게 영향을 미치지 않았다. 2면제제품에 대한 천연건조의 경우도 동일한 경향을 나타내었다.

한편 2면제제품을 진공건조할 경우 12.4%~16.8%까지 건조되는데 소요된 시간은 15일로서 천연건조시간의 1/5~1/7에 불과하였다. 이는 본 시험에 적용하였던 진공도 50~60mmHg에서는 물이 38.2~41.4℃에서 끓을 뿐아니라 材内外에 형성된 압력경사에 의해 자유수 유동속도가 증진되었기 때문인것으로 생각된다(Kanagawa, 1989; Lee & Jung, 1991).

그리고 동일 두께의 2면제제품과 3면제제품간에 진공

Table 5. Final moisture content, evaporating relative moisture content(ERMC) and drying times of control and specimens with longitudinal kerf.

Drying Method	Specimen (cm)	Final MC (%)		ERMC*		Drying Times (day)		
		CONT	LK	CONT	LK	CONT	LK	
Air-Drying	Log S	S	17.0	0.87	0.86	69	69	
		M	18.8	19.1	0.83	0.79	69	69
		L	16.1	15.9	0.86	0.85	104	104
	2FSL (6)	(6)	18.7	16.0	0.82	0.81	69	69
		(9)	18.7	19.2	0.82	0.80	69	69
		(12)	17.8	14.6	0.81	0.86	104	104
Vacuum Drying	2FSL (6)	(6)	13.1	12.4	0.85	0.85	15	15
		(9)	16.4	15.6	0.78	0.83	15	15
		(12)	16.8	16.1	0.74	0.75	15	15
	3FSL (6)	(6)	12.5	10.9	0.84	0.86	15	15
		(9)	15.4	16.0	0.77	0.78	15	15
		(12)	18.6	18.6	0.75	0.72	15	15

Notes: * : (Initial MC- Final MC) / Initial MC, CONT : Control, LK : Longitudinal Kerfing.

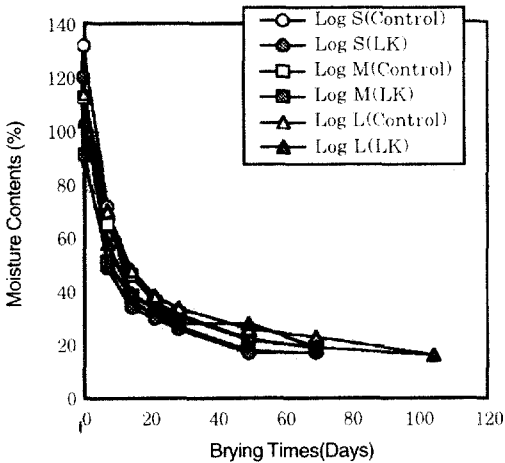


Fig. 3. Air-drying curve for control logs and logs with longitudinal kerf[LK].

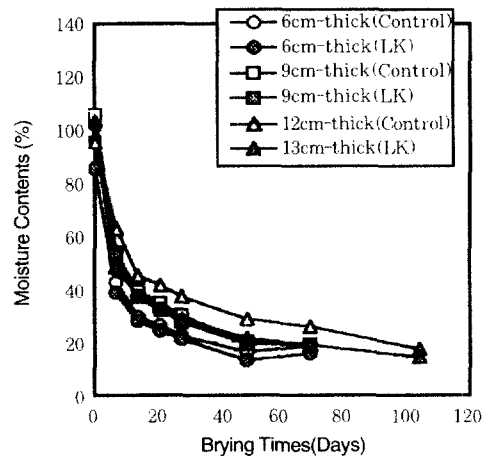


Fig. 4. Air-drying curve for control 2FSL and 2FSL with longitudinal kerf[LK].

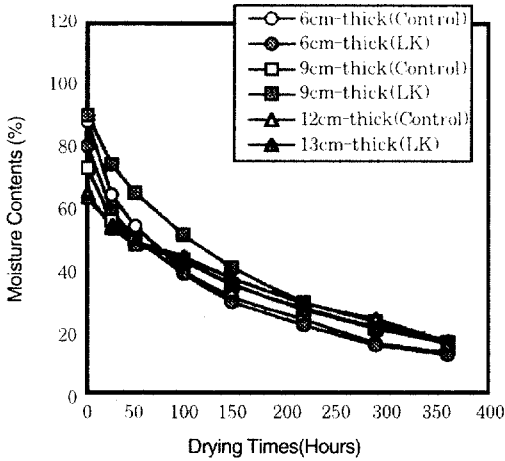


Fig. 5. The curve of vacuum drying heated by hot plates for control 2FSL and 2FSL with longitudinal kerf[LK].

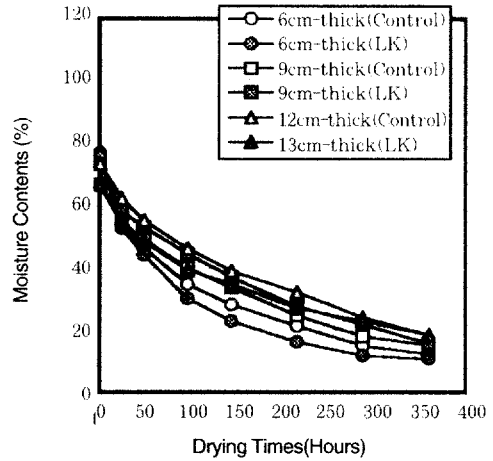


Fig. 6. The curve of vacuum drying heated by hot plates for control 3FSL and 3FSL with longitudinal kerf[LK].

건조 중의 蒸發比含水率에는 큰 차이가 없는 것으로 나타났고, 배합가공처리 역시 건조속도에는 영향하지 않았다.

3.2 재면할렬

천연건조재와 가열판식 진공건조재의 모든 材面에 발생한 할렬의 평균갯수와 평균 총길이는 Table 6과 같다.

무처리 통나무 S급, M급 및 L급의 천연건조재에 발생한 재면할렬의 평균 개수와 평균 총길이는 각각 18개와 371.9cm, 11개와 326.3cm 및 22개와 570.6cm이었고, 배합가공처리한 同一 等級의 통나무는 각각 0.4개와 11.1cm, 7개와 130.6cm 및 10.8개와 205.1cm로서 배합가공처리에 의해 재면할렬을 효과적으로 예방할 수 있었고, 2면제제품의 경우도 유사한 경향을 보였다. 이는 背割이 異方性收縮應力의 전달을 차단하는 역할을 수행하기 때문인 것으로 사료된다.

한편 무처리 2면제제품을 진공건조한 경우 발생한 재면할렬의 평균갯수는 3~5.3개, 평균 총길이는 49.6~207.5cm로서 동일 材種의 천연건조재보다 그 발생 정도가 훨씬 경미하였고, 특히 배합가공처리한 진공건조재의 경우는 오로지 두께 6cm의 2면제제품에서 1本當 평균 길이 1.3cm크기의 할렬 0.7개만이 발생하였고, 그 이외의 材種에서는 전혀 발생하지 않았다. 이는 감압조건하에서의 자유수 유동속도증진(Kanagawa, 1989; Lee & Jung, 1991)과 수축속감소효과(Harris & Taras, 1984) 및 배합가공처리 효과 등에 기인한 것으로 판단된다.

3.3 횡단면할렬

천연건조재와 가열판식 진공건조재의 양 횡단면에 발생한 할렬의 평균갯수와 평균 총길이는 Table 7과 같다.

무처리 통나무 S급, M급 및 L급 천연건조재에 발생한 횡단면할렬의 평균갯수와 평균총길이는 각각 0.8개와 2.0cm, 2개와 4.7cm 및 2.2개와 6.5cm이었다. 그리고 배합가공처리한 통나무 M급과 L급에서는 각각 1.6개와 2.6cm 및 3.8개와 9.8cm가 발생하였으며 통나무 S급에서는 전혀 발생하지 않아 통나무 M급 및 L급의 경우 배합가공처리에 의한 횡단면할렬 억제효과가 미미하였다. 천연건조한 2면제제품의 경우도 이와 유사한 경향을 보였으며, 특히 두께 6cm 2면제제품에서는 배합가공처리에 관계없이 횡단면할렬이 전혀 발생하지않았는데, Kubler(1974·1975·1977)와 Wilhelmy 등(1973a)이 심재할렬 발생의 주된 원인으로 지적한 바 있는 髓부위의 집선방향 인장생장응력이 소경재일수록 적게 형성되기 때문인 것으로 생각된다. 또한 이와 같은 결과를 주목해 볼때 직경 10cm이하의 통나무는 비록 천연건조를 실시할지라도 횡단면할렬의 발생 위험이 극히 적을 것으로 판단된다.

가열판식 진공건조재의 경우 재종이나 두께 또는 배합가공처리에 관계없이 횡단면할렬이 전혀 발생하지 않았거나 매우 경미하였다. 이는 섬유방향의 경우 수분유동이 더욱 용이하여 감압하에서의 내층으로부터 표층으로의 수분유동속도 증진효과가 보다 뚜렷하게 발휘될 수 있었기 때문인 것으로 생각된다.

Table 6. Average number and average total length of surface checks occurred in specimens after air-drying and vacuum drying heated by hot plates.

Drying Method	Specimen (cm)		Average Number* ¹		Average Total Length* ²	
			CONT	LK	CONT	LK
Air-Drying	Log	S	18.0	0.4	371.9	11.1
		M	11.0	7.0	326.3	130.6
		L	22.0	10.8	570.6	205.1
	2FSL	(6)	7.8	0.4	172.3	9.1
		(9)	13.0	2.8	334.0	52.3
		(12)	14.0	6.8	412.0	153.7
Vacuum Drying	2FSL	(6)	3.0	0.7	49.6	1.3
		(9)	5.3	None	190.2	0.0
		(12)	5.0	None	207.5	0.0
	3FSL	(6)	2.7	None	36.1	0.0
		(9)	3.3	None	109.2	0.0
		(12)	5.5	None	195.6	0.0

Notes; *¹ Total number of surface checks/Number of specimens, *² Total length of surface checks/Number of specimens, CONT : Control, LK : Longitudinal Kerfing.

Table 7. Average number and average total length of end checks occurred in specimens after air-drying and vacuum drying heated by hot plates.

Drying Method	Specimen (cm)		Average Number* ¹		Average Total Length* ²	
			CONT	LK	CONT	LK
Air Drying	Log	S	0.8	None	2.0	0.0
		M	2.0	1.6	4.7	2.6
		L	2.2	3.8	6.5	9.8
	2FSL	(6)	None	None	0.0	0.0
		(9)	4.2	1.4	9.1	2.3
		(12)	10.6	11.4	36.0	31.4
Vacuum Drying	2FSL	(6)	None	None	0.0	0.0
		(9)	None	None	0.0	0.0
		(12)	None	0.3	0.0	1.0
	3FSL	(6)	1.0	None	1.6	0.0
		(9)	None	None	0.0	0.0
		(12)	None	None	0.0	0.0

Notes; *¹ Total number of end checks/Number of specimens, *² Total length of end checks/Number of specimens, CONT : Control, LK : Longitudinal Kerfing.

3. 4 V형 크랙

천연건조재와 가열판식 진공건조재의 양 횡단면에 발생한 V형 크랙의 평균 개수와 평균 총길이는 Table 8과 같다.

부처리 통나무 S급, M급 및 L급 천연건조재에 발생한 V형 크랙의 평균개수와 평균 총길이는 각각 2.2개와 6.2cm, 2.2개와 6.9cm 및 3.2개와 10.2cm이었다. 그

리고 배할가공처리한 통나무 M급과 L급에서는 각각 1.2개와 2.1cm 및 1.8개와 5.6cm가 발생하였으며, 통나무 S급에서는 전혀 발생하지 않아 배할가공처리에 의해 V형 크랙의 발생이 억제되었음을 알 수 있었다. 천연건조한 2면체제품의 경우도 이와 유사한 경향을 보였으며, 특히 배할가공처리한 두께 6cm 2면체제품에서는 V형 크랙이 전혀 발생하지 않았는데, 이는 횡단면할렬의 발생

Table 8. Average number and average total length of V-shaped cracks occurred in specimens after air-drying and vacuum drying heated by hot plates.

Drying Method	Specimen (cm)		Average Number* ¹		Average Total Length* ²	
			CONT	LK	CONT	LK
Air -Drying	Log	S	2.2	None	6.2	0.0
		M	2.2	1.2	6.9	2.1
		L	3.2	1.8	10.2	5.6
	2FSL	(6)	1.0	None	3.0	0.0
		(9)	2.8	0.6	6.3	0.1
		(12)	3.0	1.2	11.3	0.3
Vacuum Drying	2FSL	(6)	0.7	None	1.5	0.0
		(9)	1.3	None	4.1	0.0
		(12)	1.0	None	5.2	0.0
	3FSL	(6)	None	None	0.0	0.0
		(9)	0.7	None	1.5	0.0
		(12)	0.5	0.3	2.3	0.5

Notes : *¹ Total number of V-shaped cracks / Number of specimens, *² Total length of V-shaped cracks / Number of specimens, CONT : Control, LK : Longitudinal Kerfing.

Table 9. Resin exudation of surface in accelerated aging test conditions.

Drying Method	Specimen (cm)			Accelerated Aging Test Cycle			
				20 °C, RH90%	20 °C, RH65%	40 °C, RH90%	40 °C, RH65%
Air-drying	Log	S	CONT	-	-	-	-
			LK	-	-	-	-
		M	CONT	-	-	-	-
			LK	-	-	-	-
		L	CONT	-	-	-	-
			LK	-	-	-	-
	2FSL	(6)	CONT	-	-	-	-
			LK	-	-	-	-
		(9)	CONT	-	-	-	-
			LK	-	-	-	-
		(12)	CONT	-	-	-	-
			LK	-	-	-	-
Vacuum Drying	2FSL	(6)	CONT	-	-	-	-
			LK	-	-	-	-
		(9)	CONT	-	-	-	-
			LK	-	-	-	-
		(12)	CONT	-	-	-	-
			LK	-	-	-	-
	3FSL	(6)	CONT	-	-	-	-
			LK	-	-	-	-
		(9)	CONT	-	-	-	-
			LK	-	-	-	-
		(12)	CONT	-	-	-	-
			LK	-	-	-	-

Note: - : No resin exudation.

이 경미하였을 뿐 아니라 경급이 작을수록 접선방향과 방사방향간의 수축율의 절대적인 差異가 작기 때문인 것으로 사료된다.

무처리 진공건조재의 경우 재종에 관계없이 1本當 평균 1.3개 미만의 V형 크랙만이 발생하였고, 특히 배할 가공처리재에서는 두께 12cm 3면제제품에서만 평균 0.3개의 V형 크랙이 발생하였을뿐 여타의 材種에서는 전혀 발생하지 않았다. 이는 감압조건하에서의 수축율 감소효과 및 배할에 의한 異方向性收縮應力의 전달 차단효과에 기인하는 것으로 판단된다. 다만 이와 같은 異方向性收縮應力이 배할가공후를 확장시켜 미관적 가치가 다소 저하되는 문제가 수반되는데, 본 시험에서 사용한 가열판식 진공건조기의 상부덮개의 압체력을 배할가공후에 대하여 수직으로 작용할 수 있도록 간접하였을때 배할가공후의 확장이 억제되는지 등에 관한 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

3.5 수지용출

천연건조 및 가열판식 진공건조재의 促進暴露條件에서의 수지용출 정도를 Table 9에 나타내었다.

건조방법과 재종 및 暴露試驗사이클에 관계없이 재면에 전혀 수지가 용출되지않아 잣나무재의 경우 최소한 함유율 10~19%까지 건조하여 사용한다면 사용 중에 수지가 용출되는 문제는 없을 것으로 여겨진다. Kanagawa(1989)는 고주파진공건조재의 경우 열기건조재와 비교하여 수지의 殘存量에는 차이가 없음에도 불구하고, 사용중에 거의 수지가 용출되지 않음을 보고하면서 고주파진공건조중에 수지가 固着化되었을 것으로 추정한다.

4. 결 론

우리나라의 대표적 조림수종인 잣나무 직경 8~14cm의 통나무와 두께 6~12cm의 수심재를 배할가공처리하여 천연건조 및 가열판식 진공건조를 실시하여 배할가공처리와 진공건조에 의한 건조시간의 단축과 건조결함 예방에 미치는 효과를 구명코지하였다. 얻어진 결론은 다음과 같다.

1. 생재에서 함유율 14.6~19.2%까지의 천연건조시간은 直徑 8~12cm 통나무와 두께 6cm 및 9cm의 2면제제품의 경우 69일이, 직경 12~14cm 통나무와 두께 12cm의 2면제제품은 104일이 각각 소요 되었다.
2. 생재에서 함유율 10.9~18.6%까지의 가열판식 진

공건조시간은 材種에 관계없이 15일이 소요되어 2면제제품의 경우 천연건조시간의 약 1/5에 불과하였다.

3. 배할가공처리는 천연건조와 가열판식 진공건조에서 재면할랄과 V형 크랙 예방에 특히 효과적이었으나, 건조속도에는 영향을 미치지 않았다.
4. 가열판식 진공건조는 천연건조보다 재면할랄, 횡단면할랄 및 V형 크랙 예방에 유리하였고, 특히 배할 가공처리재에서는 건조결함이 거의 발생하지 않았다.
5. 수지는 促進暴露條件에서 건조방법과 재종에 관계없이 전혀 湧出되지 않았다.

참 고 문 헌

1. Barnacle, J. E. 1971. Rapid effect of drying on development of heart checks. *Australian Forestry* 35 : 251 ~ 257
2. Forest Product Laboratory. 1956. Drying and protection of wood items in original round form. USDA. No. 1187
3. 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
4. Hsu, N. N., and R. C. Tang. 1974. Internal stresses in wood logs due to anisotropic shrinkage. *Wood Sci.* 7(1) : 43 ~ 51
5. Jung, H. S., and M. J. Park. 1986. Air-drying calendars of 24 districts in Korea. *Mokchae Konghak* 14(3) : 16 ~ 22
6. Kanagawa, Y. 1989. Resin distribution in lumber dried by vacuum drying combined with radio-frequency. *Proceedings of IUFRO 1989 Wood Drying Symposium* : 158 ~ 163
7. Kubler, H. 1974. Drying tree disks simply and without defects. *Forest Prod. J.* 24(7) : 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. Kubler, H., and T. H. Chen. 1975. Prevention of crosscut and heating heart checks in log ends. *Wood Sci. & Tech.* 9 : 15 ~ 24

11. Lee, N. H., and H. S. Jung. 1991. Model for drying stress distribution in disks end-wrapped in Korean paper and effects of end-wrappings on prevention of drying defects for vacuum drying of disks. *Mokchae Konghak* 19(1) : 31~63
12. Wilhelmy, V., and H. Kubler. 1973a. Probe for measurement of strains inside solid bodies. *Experimental Mechanics* 13(3) : 142~144
13. Wilhelmy, V., and H. Kubler. 1973b. Stresses and checks in log ends from relieved growth stresses. *Wood Sci.* 6(2) : 136~142
14. Ylinen, A. 1949. Drying stresses in a cylindrical stock of wood. Finland Institute of Technology, No.1