

# 人工造林 針葉樹材의 熱板乾燥 \*1

鄭希錫\*2 · 李南浩\*3 · 呂煥明\*2

## Press-drying of Plantation Softwood Lumber \*1

Hee-Suk Jung \*2 · Nam-Ho Lee \*3 · Hwan-Myeong Yeo \*2

### ABSTRACT

24mm-thick specimens from three species of plantation-grown softwood were press dried under two platen pressures of 1.75kgf/cm<sup>2</sup> and 3.50kgf/cm<sup>2</sup> to obtain drying information regarding to drying rate, thickness shrinkage and drying defects. The influence of platen pressure on drying rate in range of moisture content (30 to 10 percent) increased for pitch pine and larch, but reduced for korean white pine at higher pressure. Thickness shrinkage was increased at the higher pressure, and estimated thickness shrinkage at final MC of 10 percent became unrealistically greater for specimens containing higher final moisture content under the great influence of compressive strain. The effects of pressure on the amount of surface checks and honeycombing were different from species used. These species should have applied lower temperature than 177°C in this study to reduce surface checks and honeycombing.

*Keywords* : press drying, surface check, honeycombing, drying rate, thickness shrinkage

### 1. 緒 論

良質의 木材 資源이 차츰 枯竭되어짐에 따라 小徑低質材와 速成樹材의 합리적 이용이 당면 과제로 대두되고 있는데, 이들 목재는 대부분 未成熟材로 구성되어 있기 때문에 收縮異方性이 커서 치수가 불안정한 특성을 지니고 있다. 이러한 목재는 慣行 熱氣乾燥方法으로는 乾燥할 때 틀어지기 쉬워서 乾燥損傷이 클 수 밖에 없기 때문에 熱板乾燥

法을 적용하여 틀어짐을 막고, 또한 열전도에 의한 급속한 熱傳達로 乾燥時間을 크게 단축할 수 있는 乾燥法으로 평가되어 왔다. 종래에는 주로 활엽수의 小徑低質材의 製材와 單板에 관한 熱板乾燥가 수행되어 왔었는데, 근년에 이르러 침엽수재의 熱板乾燥에도 관심이 고조되고 있다.

활엽수 제재목의 熱板乾燥에 관한 연구로는 Heebink等<sup>3)</sup>이 低質 red oak로 마루판과 paneling을 생산하기 위해 판재를 2溫度와 壓力 100 psi 熱

\*1 接受 1993年 7月 30日 Received July 30, 1993

\*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

板乾燥條件에서 乾燥時間과 乾燥缺陷을 보고하였고, Schmidt<sup>9)</sup>은 유럽산 너도밤나무 두께 25mm 판재를 溫度 150~170℃, 壓力 170~200psi 조건에서 乾燥時間별 목재의 溫度와 含水率, 壓力別 목재의 두께 변화, 비중과 치수안정성 등을 연구 보고하였으며, Hittmeier等<sup>4)</sup>은 북미산 9수종의 활엽수재 판재를 溫度 170℃에서 乾燥하였을 때 비중과 두께가 클 수록 乾燥缺陷이 잘 나타남을 보고하였다. Turkia等<sup>15)</sup>은 가구재로 사용하기 위하여 사시나무와 paper birch를 溫度 170℃에서 乾燥한 결과 사시나무 심재는 乾燥缺陷이 나타남을 보고하였고, Wang等<sup>16)</sup>은 red oak의 판재두께, 初期含水率, 목재밀도, 溫度와 壓力 등의 인자가 乾燥速度에 미치는 영향에 대해 보고하였으며, Chen<sup>1, 2)</sup>은 검은호도나무의 두께 1인치 심재판재의 乾燥缺陷을 줄이기 위해 段階熱板乾燥를 실시하고 連續乾燥의 결과에 비해 乾燥缺陷을 줄일 수 있음을 보고하였고, 또한 너도밤나무와 백합나무의 2두께, 2溫度, 2壓力 조건에서 乾燥速度를 보고하였다. Simpson<sup>10)</sup>은 red oak두께 25mm 觸斷板材와 徑斷板材를 溫度 175℃, 4壓力에서 熱板乾燥에서 徑斷板材는 乾燥缺陷이 적게 나타남을 보고하였고, 또한 경질 단풍나무의 經斷板材의 열판건조 특성을 보고하였다. 鄭<sup>5, 6)</sup>은 상수리 나무의 변재와 심재 및 화이트 오크의 심재의 熱板乾燥에 관하여 보고하였고, 李等<sup>7)</sup>은 상수리나무 심재와 변재 판재의 두께와 연륜 각도가 熱板乾燥에 미치는 영향에 대하여 보고하였다.

침엽수재의 熱板乾燥에 관한 연구로는 Ziegler等<sup>17)</sup>

이 eastern hemlock 판재의 壓力, 溫度 및 乾燥時間에 따른 두께변화에 관하여 보고하였고, Simpson等<sup>12, 13)</sup>은 인공 조림한 loblolly pine의 2×4인치 각재의 熱板乾燥로 들어짐을 막고 熱板乾燥의 경제성을 분석하였으며, Tang等<sup>14)</sup>은 loblolly pine의 熱板乾燥의 휘감도에 관해 보고하였다.

본 연구는 우리나라산 人工造林한 잣나무, 리기다소나무와 낙엽송의 판재의 들어짐을 예방하고 熱板壓力別로 乾燥速度, 表面割裂과 內部割裂 등 熱板乾燥 특성을 구명하여 이들 수종의 적절한 熱板乾燥條件을 알고저 수행하였다.

## 2. 材料 및 方法

### 2.1 材料

#### 2.1.1 공시수종과 원목

공시수종은 임업연구원 중부임업시험장 수목원(경기도 광릉)에서 인공 식재된 잣나무 (*Pinus koraiensis* S. et Z), 리기다소나무 (*Pinus rigida* Miller)와 낙엽송 (*Larix leptolepis* Gordon)이고, 이들 수종에서 채취한 材長 1.8m인 공시원목을 6분씩 선정하여 사용하였으며, 수종별 원목의 평균 말구지름은 잣나무는 30.5cm이고, 리기다 소나무는 30.1cm이며, 낙엽송은 28.1cm이다.

#### 2.1.2 공시판재

판재의 폭 12cm, 두께 24mm, 材長은 1.35m가 되게 平削하여 공시하였다. 수종과 壓力別 공시판재

Table 1. Initial moisture content and proportion of heartwood of specimens used by drying conditions

Species	Thickness (mm)	Platen pressure (kgf/cm <sup>2</sup> )	Drying Time (min.)	Proportion of heart wood (%)	Initial MC (%)
Korean white pine	24	1.75	85	82.5	47.0 (22.8)* <sup>1</sup> [ 41.9 (11.6) ]* <sup>2</sup>
		3.50	85	95	35.6 ( 9.7) [ 43.1 ( 8.8) ]
Pitch pine	24	1.75	75	13.3	47.5 (12.9) [ 89.0 (14.6) ]
		3.50	75	20.8	57.1 ( 9.0) [ 85.1 (12.0) ]
Larch	24	1.75	68	85.8	29.3 ( 2.3) [ 40.3 ( 6.3) ]
		3.50	68	93.3	30.3 ( 4.5) [ 37.4 ( 3.2) ]

\*1. The values in round brackets refer to standard deviation

\*2. The values in brackets refer to the drying curve run

는 徑斷板材 2분, 半徑斷板材 2분, 觸斷板材 2분씩 조합하여 각각 6분을 기준으로 하였으나 5분이 사용된 경우도 있다. 이들 공시목의 初期含水率과 心材率은 Table 1과 같다. 단 팔호내 값은 乾燥時間을 알기 위해 20분 간격으로 측정된 건조곡선용 시험편에 대한 初期含水率이다.

## 2. 2 器械

### 2. 2. 1 熱壓機

熱壓機의 크기는 가로 136cm × 세로 75cm이고 溫度調節感度는 ±2℃인 전기가열 유압식 열압기를 사용하였다.

### 2. 2. 2 카울, 시트와 철사망

熱板乾燥時에 蒸發水分의 排氣를 용이하게 하기 위하여 알루미늄판 카울(caul)을 사용하였다. 카울의 크기는 두께 6mm, 가로 136cm, 세로 75cm이고, 熱板과 접촉하는 면에는 폭 4.8mm, 깊이 1.6mm인 U자형 홈을 25.4mm간격으로 뚫고, 각 홈의 중앙부에는 지름 3.2mm인 구멍을 25.4mm 간격으로 천공하였다. 카울과 熱板 사이에는 두께 6mm인 알루미늄製 시트(sheet)를 삽입하였고, 카울과 공시목 사이에는 80 메쉬(mesh) 철사망을 끼워서 乾燥하였다.

### 2. 2. 3 其他

含水率 시험편의 全乾에는 溫度 103±2℃를 유지할 수 있는 오븐을 사용하였고, 含水率 시험편과 試驗材의 秤量에는 精밀도 0.01g인 직시천칭을 사용하였으며, 시험편의 두께와 폭, 乾燥缺陷 측정에는 精密度 0.05mm인 버니어 캘리퍼스를 사용하였다.

## 2. 3 方法

### 2. 3. 1 熱板 溫度와 壓力

熱板 溫度는 177℃이고, 熱板壓力은 1.75kgf/cm<sup>2</sup>와 3.50kgf/cm<sup>2</sup>를 적용하였다.

### 2. 3. 2 棧積과 乾燥時間

판재의 乾燥時間은 판재를 壓力別로 열압기에 6개씩 각각 棧積하였다. 각 수종의 연속 건조시에 乾燥時間을 알고저, 먼저 20분 간격으로 乾燥하여 구한 2壓力의 乾燥曲線에서 含水率 10%에 도달될 때까지 각각의 乾燥時間을 평균한 값을 적용하였다.

### 2. 3. 3 두께와 폭 收縮率

乾燥 含水率(M)에서 판재와 각재의 두께와 폭 收縮率(Sm)은 乾燥 前의 두께와 폭(Dg) 및 乾燥 後 두께와 폭(Dm)을 각각 측정된 후 식(1)과 같이 구하였다. 그리고 推定收縮率은 Loehnertz<sup>8)</sup>이

적용한 방법에 의해 收縮率이 含水率 30%에서 全乾까지 직선적이라 가정하고, 乾燥含水率에서 구한 두께와 폭 收縮率을 이용하여 含水率 10%까지의 推定收縮率(S<sub>10</sub>)을 식(2)와 같이 계산하였다.

$$S_m = \frac{D_g - D_m}{D_g} \times 100 \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$S_{10} = \frac{S_m \times (30 - 10)}{30 - M} \times 100 \quad \dots\dots\dots(2)$$

## 2. 3. 4 乾燥缺陷

試驗材의 表面割裂은 乾燥종료 후에 試驗材의 두 材面에서 割裂이 심한 재면을 대상으로 하여 할렬이 발생한 판재의 出現率을 조사하였고, 内部割裂은 乾燥終了後에 材長의 중앙부를 鋸斷하여 内部割裂이 발생한 판재의 出現율을 조사하였다.

## 3. 結果 및 考察

### 3. 1 熱板乾燥曲線과 最終含水率

장나무, 리기다소나무와 낙엽송 판재를 熱板壓力別로 20분간격으로 100분 동안 乾燥하여 측정하여 구한 熱板乾燥曲線은 Fig. 1과 2와 같은데, 壓

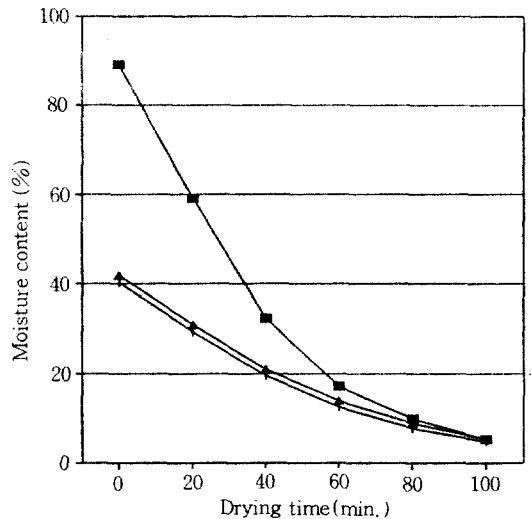


Fig. 1. The drying rate under platen pressure of 1.75 kgf/cm<sup>2</sup>.

—▲— : Korean white pine  
 —■— : Pitch pine  
 —+— : Larch

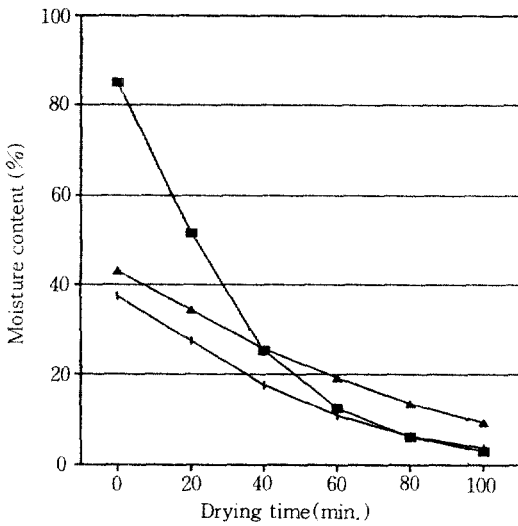


Fig 2. The drying rate under platen pressure of 3.50kgf/cm<sup>2</sup>.

—▲— : Korean White pine  
 —■— : Pitch pine  
 —+— : Larch

力 1.75kgf/cm<sup>2</sup> 과 3.50kgf/cm<sup>2</sup> 을 적용한 경우 각각의 最終含水率은 잣나무 판재는 5.2%와 9.3%이고, 리기다 소나무 판재는 5.3%와 3.0%이며, 낙엽송 판재는 각각 4.7%와 3.6% 까지 乾燥되었다. 初期含水率은 수종에 따라 상당한 차이가 있었을뿐만 아니라, 동일 수종에서도 壓力別에 따라 약간의 차이로 인하여 수종과 壓力간의 全 乾燥期間 중 乾燥速度的의 비교가 어려우므로, 동일한 含水率 조건인 含水率 30%로 부터 10%범위까지

1.75kgf/cm<sup>2</sup>과 3.50kgf/cm<sup>2</sup> 적용에서 구한 각각의 乾燥速度는 잣나무는 22.2%/hr와 17.6%/hr로서 평균 19.9%/hr이고, 리기다 소나무는 31.6%/hr와 37.5%/hr로서 평균 34.6%/hr이며, 낙엽송은 22.2%/hr와 25.0%/hr로서 평균 23.6%/hr이었다.

잣나무 등 3수종의 판재의 壓力別로 連續熱板乾燥한 最終含水率은 Table 2의 내용과 같이. 잣나무, 리기다소나무와 낙엽송 판재의 1.75kgf/cm<sup>2</sup> 壓力의 경우 最終含水率은 각각 13.6%, 11.0%와 12.2%이고, 3.50kgf/cm<sup>2</sup> 壓力의 경우 最終含水率은 각각 14.7%, 21.3%와 14.0%이었다. 이들 판재의 2 壓力 적용에서 最終含水率은 目標含水率인 10%보다 더 높았다.

열판압력별 건조속도는 압력이 높을수록 리기다 소나무와 낙엽송의 건조속도는 증가하였으나, 잣나무의 건조속도는 감소하였다. 잣나무와 낙엽송의 乾燥速度는 서로 비슷하였으나, 리기다소나무의 乾燥速度는 다른 수종의 것보다 컸었는데, 이는 心材率이 다른 수종보다 적은데 기인된 것으로 생각되고, 最終含水率은 初期含水率이 높을수록 높았다. 熱板 壓力別에 따른 판재의 最終含水率은 3.50kgf/cm<sup>2</sup> 壓力의 경우가 1.75kgf/cm<sup>2</sup> 壓力의 경우보다 약간 높았다.

본 연구의 리기다소나무와 낙엽송의 건조속도는 Ziegler 等<sup>17)</sup>의 eastern hemlock 판재에 대한 壓力 3.5~14.1kgf/cm<sup>2</sup> 범위에서의 연구와 Simpson<sup>10)</sup>의 red oak 판재에 대한 3.5~ 21.1 kgf/cm<sup>2</sup> 범위의 연구에서 壓力이 클수록 熱傳達 促進으로 乾燥速度가 증가된다는 보고 내용과 일치하였으나, 잣나무의 것은 일치하지 않았다.

Table 2. The final MC and thickness shrinkage of drying specimen and the frequency of checked lumber

Species	Thickness (mm)	Platen pressure (kgf/cm <sup>2</sup> )	Final MC (%)	Actual thickness shrinkage (%)	Estimated thickness shrinkage at 10% MC (%)	Percent of lumbers with check (%)	
						Surface check	Internal check
Korean white pine	24	1.75	13.6(5.5)*1	3.77	5.25	33	83
		3.50	14.7(6.4)	5.77	9.95	60	60
Pitch pine	24	1.75	11.0(5.9)	7.22	7.42	0	50
		3.50	21.3(1.1)	6.62	15.25	0	0
Larch	24	1.75	12.2(1.6)	5.02	5.66	67	50
		3.50	14.0(1.9)	5.64	7.12	0	50

\*1. The values in round brackets refer to standard deviation

또한 Wang 等<sup>16)</sup>이 熱板乾燥의 最終含水率은 두께, 乾燥時間과 溫度가 가장 중요한 인자이고, 初期含水率, 密度와 壓力등 인자도 영향하나 유의적 영향을 미치지 않는다는 보고와 부합하는 경향을 나타냈다. 본 연구에 적용한 2壓力間 絕對壓力 차이가 불과 1.75kgf/cm<sup>2</sup>로서 적은 편이었고, 건조속도와 최종함수율은 試驗材의 心材率 차이에 따른 透過性, 할렬발생 시기와 정도에 따른 수분의 이동과 初期含水率의 차이 등의 영향을 받는 것으로 생각된다.

### 3. 2 두께와 폭 收縮率

잣나무 등 3수종의 판재의 乾燥含水率까지의 실제 두께 收縮率은 Table 2내용과 같이 수종과 압력변에 따라 最終含水率의 차이가 있었지만, 리기다소나무가 가장 크게 나타났다. 이들 수종의 수축률은 정상수축률보다 컸으며 熱板壓力이 높을수록 컸었다. 또한 實際收縮率로부터 구한 含水率 10%까지의 推定收縮率은 리기다소나무판재의 壓力 50kgf/cm<sup>2</sup> 적용에서 매우 크게 나타났는데, 이는 初期含水率과 最終含水率이 다른 경우보다 높은 것도 한 요인으로 작용한 것 같다. 熱板乾燥 수축률은 결합수 제거에 따른 수축과 가압에 의한 壓縮變形收縮이 수반됨으로 두께收縮率은 壓力이 높을수록 증가되고, 리기다소나무와 같이 初期含水率과 最終含水率이 높은 경우 推定收縮率은 생재시에 주로 많이 나타나는 壓縮變形收縮이 상대적으로 크게 반영된 것으로 생각된다. 본 연구의 결과는 Ziegler等<sup>17)</sup>에 의한 壓力과 最終含水率이 낮을수록 증가한다는 보고와 Simpson<sup>10)</sup>에 의한 red oak 판재의 乾燥에서 熱板壓力이 높을수록 평균 두께 收縮率이 크다는 보고 내용과 부합되고 있다.

### 3. 3 乾燥缺陷

잣나무 등 3수종의 판재의 壓力別 熱板乾燥材의 表面割裂과 内部割裂이 발생한 목재의 출현율은 Table 2에 표시된 바와 같다. 壓力 1.75kgf/cm<sup>2</sup>와 3.50kgf/cm<sup>2</sup>의 적용에서 잣나무 판재의 表面割裂이 발생한 판재 出現率은 각각 33%와 60%이고, 리기다소나무의 판재는 발생치 않았으며, 낙엽송 판재는 67%와 0%이었는데, 잣나무의 판재는 심하게 나타났다. 内部割裂은 心材率이 적은 리기다소나무 판재의 3.50kgf/cm<sup>2</sup> 壓力 적용을 제외한 모든 수종의 판재와 壓力조건에서 심하게 발생하였다. 壓力이 높을수록 잣나무의 表面割裂은 심하였고 内部割裂은 적었으며, 리기다소나무의 表

面割裂은 차이가 없었고 内部割裂은 적었으며, 낙엽송의 表面割裂은 적었고 内部割裂은 차이가 없었다.

일반적으로 판재의 表面割裂이 발생치 않거나 경미하면, 内部割裂은 상대적으로 많이 발생하는 경향을 나타냈다. 잣나무의 壓力別 할렬 발생 결과는 Simpson<sup>10)</sup>이 壓力이 높으면 표면 크랙이 용이하고 内部割裂의 발생을 억제한다는 보고 내용과 부합되고 있으나, 낙엽송 판재의 경우는 부합치 않았다. 熱板의 큰 壓縮力은 내부 引張力을 중화시킴에 의해 内部割裂을 감소시킬 수 있으므로 적정 壓力의 적용이 중요하다. 또한 이들 수종의 할렬을 방지하기 위해서는 보다 낮은 熱板溫度를 적용되어야 할 것이다.

## 4. 結 論

잣나무 등 3수종의 두께 24mm 판재의 熱板壓力別 乾燥速度, 두께 수축률과 할렬 등을 조사한 결과, 열판압력별 판재의 含水率 30%에서 부터 10%까지의 乾燥速度는 압력이 높을수록 리기다소나무와 낙엽송은 증가하였으나 잣나무는 감소하였다. 두께 수축률은 壓力이 높을수록 증가하였고, 널 마른 판재의 함수율 10%까지 추정 두께수축률은 압축변형의 영향이 반영되어 매우 크게 나타났다. 압력이 표면할렬과 내부할렬 발생에 미치는 영향은 수종에 따라 상이하였다. 이들 수종의 할렬 감소를 위해서는 본 연구에서 적용한 177℃보다 낮은 溫度를 적용하여야 할 것이다.

## 參 考 文 獻

1. Chen, P. Y. S. 1978. Press-drying black walnut wood: Continuous drying vs. step-drying. *Forest Prod. J.* 28(1).
2. Chen, P. Y. S. 1980. Press conditions affect drying rate and shrinkage of hardwood boards. *Forest Prod. J.* 30(7) : 43~47
3. Heebink, B. G., and K. C. Compton. 1966. Paneling and flooring from low grade hardwood logs. U. S. Forest Serv. Res. Note. FPL 0 122 : 24.
4. Hittmeier, M. E., G. L. Comstock, and R. A. Hann. 1968. Press drying nine species of wood. *Forest Prod. J.* 18(9) : 91~96
5. Jung, H. S., and P. W. Lee. 1977. Study on press-drying of sapwood and heartwood of

- oak, *J. of Korean For. Soc.* No. 36.
6. Jung, H. S., and C. J., Kozlik. 1983. Study on temperature step-press drying of Oregon white oak heartwood, *Wood Sci. and Tech.* 11(5) : 42~47
  7. Lee, N. H., and H. S. Jung. 1987. Effects of board thickness and ring angle on press-drying for heartwood and sapwood of *Quercus acutissima* C.
  8. Loehnertz, S. P. 1987. A modular veneer press dryer for hardwood veneer. Hardwood Reserch Council.
  9. Schmidt, J. 1967. Press drying of beechwood, *Forest Prod. J.* 17(9) : 107~113
  10. Simpson, W. T. 1980. Maintaining lumber quality in press drying by manipulating sawing patterns. *Wood and Fiber Science.* 16(3) : 411~426
  11. \_\_\_\_\_, 1985. Pressdrying quartersawn hard maple lumber. *Forest Prod. J.* 35(4)
  12. \_\_\_\_\_, 1992. Press-drying plantation loblolly pine lumber to reduce warp loss: economic sensitivity analysis. *Forest Prod. J.* 42(5) : 23~26
  13. \_\_\_\_\_, R. G. Pearson, and Y. Tang. 1992. Press-drying plantation loblolly pine lumber to reduce warp: follow up studies. *Forest Prod. J.* 42(5) : 65~69
  14. Tang, Y., and W. T. Simpson. 1989. Bending strength of press-dried plantation loblolly pine. *Forest Prod. J.* 39(11/12) : 57~61
  15. Turkia and Haygreen, 1968. Platen drying of aspen sapwood. *Forest Prod. J.* 18(6) : 43~48
  16. Wang, J. H. and F. C. Beall. 1975. Laboratory press-drying of red oak. *Wood Sci.* 8(2).
  17. Ziegler, G. A., W. K. Murphey and F. C. Beall. 1971. Operational variables in press-drying eastern hemlock. *Forest Prod. J.* 11(10) : 32~34.