

日本の 木材乾燥 技術動向

Trend of Wood Drying Technology in Japan

日本 林業試験場 筒 本 卓 造
木材部長 Tsusumoto, T.

1. 乾燥室의 種類 및 型式

木材의 利用形態에는 製材品, 合板, particle board, fiberboard 등이 있다. 각각의 製造工程에서 乾燥工程이 있으나, 여기에서는 製材(sawing)의 乾燥에 대하여 限定 記述하기로 한다. 木材乾燥는 現在도 天然乾燥가 널리 實施되고 있으나 家具, 床板, 集成材의 lamina 등에서는 人工乾燥가 不可決하다. 그리고 建築部材의 人工乾燥도 많아지고 있다.

乾燥裝置로서 가장 一般的인 것은 나무를 乾燥室內에 쌓아놓고 熱氣로 乾燥하는 所謂 熱氣乾燥室의 方式이고 最近 減壓乾燥, 低溫除濕乾燥 등의 特殊乾燥도 利用되고 있다.

乾燥室은 熱源의 利用方法, 室內空氣의 循環方法에 따라 다음과 같이 分類된다.

- 熱源의 利用法 : (直接加熱) 煙燻式, 完全燃燒가스式
(間接加熱) 煙道式, 蒸氣式
- 空氣의 循環法 : 自然循環式, 強制循環式 - 外部送風機型, 内部送風機型(I·F型)
- 材料의 收容式 : 前進式, 分室式

簡易한 乾燥室에는 熱源이 煙燻式, 煙道式 등이 利用되나 어느 規模 以上의 乾燥室은 거의가 蒸氣式이다. 이것은 보일러에서의 蒸氣를 加熱管에 보내서 室內空氣를 加熱하는 方式이다. 溫·濕度의 調節이 容易하고 安全性이 優秀하다. 空氣의 循環方式으로는 從來 自然循環式이(그림 1)이 利用되었으나 그림 2와 같은 棧積內의 乾燥 열폭을 防止하기 위하여 強制循環方式으로 바뀌고 특히 送風效率이 優秀한 内部送風機型(I·F)이 많아지고 있다.

送風機의 位置는 그림 3과 같이 여러 種類가 있다. 現在 一般的으로 普及되어 있는 蒸氣式 内部送風機型(I·F型) 乾燥室의 一例는 그림 4와 같다.

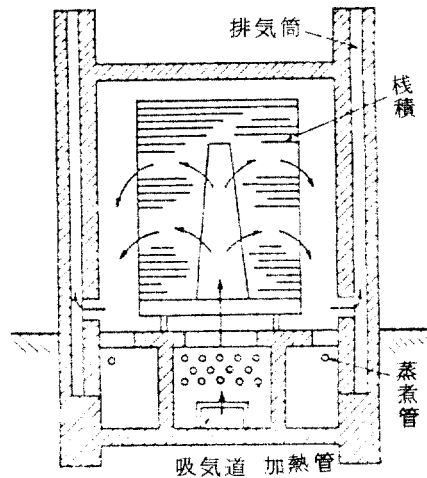


그림 1. 自然循環式乾燥室(蒸氣式).

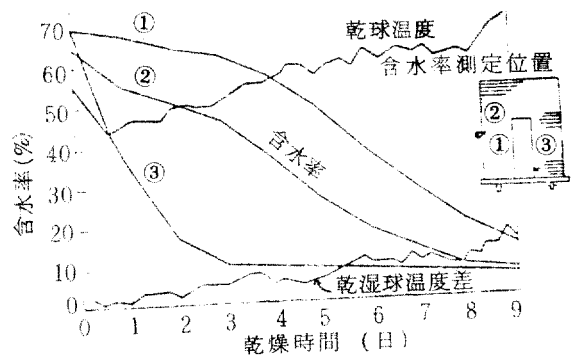


그림 2. 自然循環式乾燥室에 있어서의 棧積內 含水率經過. 너도밤나무 床板原板, double truck 14m入 木束두께 2.5cm.

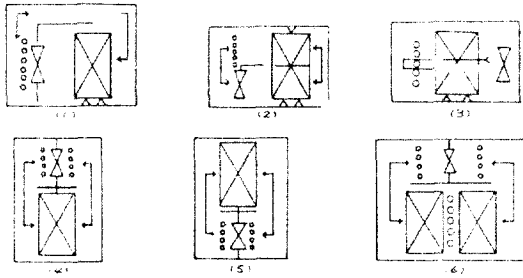
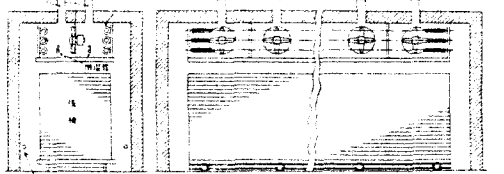


그림 3. 各種內部送風機型(I, F型) 乾燥室의 模式圖

환기용 송풍기

가열관



증자관(환단면)

(중단면)

그림 4. 蒸氣式 內部送風機型(上部 I, F型) 乾燥室

2. 乾燥室利用의 實態

日本에 있어서 乾燥室 普及의 實態調査例은 表 1, 2와 같다. 各 企業의 乾燥室의 內容은 小型簡易乾燥室에서 부터 完備된 乾燥室數 10室까지 있으나 平均 規模는 一企業當 3.1室, 容積 33 ㎡이고 規模가 큰 것은 委託協同事業과 樂器工場 등이다. 最近 溫濕度 自動制御方式의 採用이 增加하며 computer 導入도 一部에서 이루어지고 있다.

乾燥木材는 너도밤나무, 참나무 등의 日本産 闊葉樹, 라왕, 메란티類를 主로하는 南洋材가 많다. 南洋材에서는 이밖에 構造用材로서 아미통, 카를 家具 木工用材로서 마토아, 타운, 나토, 세페티르, 종콩 등이 對象이다. 針葉樹는 集成材用 미국 삼나무, 미국 솔송나무 등이 많다.

乾燥室의 運轉方法은 從來 晝夜連續運轉이 普通이 었으나 勞動事情으로 晝間만 하는 間缺運轉이 늘어나고 있다.

表 1. 業種別, 乾燥施設의 全國總計

	總計 (%)	製材	후로링	家具	建具	集成材	木工	樂器	캐비닛	委託協同事業	學校研究機關	기타
企業數	1,020	104	87	357	29	54	82	11	15	25	60	149
乾燥室數	3,194	337	389	1,008	54	146	248	217	54	169	82	401
(室/企業)	3.1	3.2	4.5	2.8	1.9	2.7	6.2	19.7	3.6	3.8	1.4	11.5
收容材積(㎡)	33,304.3	3,832.6	4,958.4	9,419.8	557.6	1,530.5	2,474.2	1,579.5	700.5	3,192.9	257.6	3,413.5
(㎡/企業)	32.7	36.9	57.0	26.4	19.2	28.3	63.5	143.6	46.7	127.7	4.3	88.0
(㎡/室)	10.4	11.4	12.7	9.3	10.3	10.5	20.2	7.3	13.0	18.9	3.1	23.0

表 2. 種類別 乾燥室數

種	類	室數	比率 (%)
空氣循環	自然循環	228	(7. 1)
	強制循環 上部 IF	1,873	(58. 7)
	下部 IF	220	(6. 9)
	側部 IF	873	(27. 3)
熱源	蒸氣	2,174	(68. 1)
	煤道	76	(2. 4)
	燃燒機	425	(13. 3)
	直爐	98	(3. 1)
	電熱	103	(3. 2)
其他	318	(9. 9)	
製作	maker	2,588	(81. 0)
	自家製	607	(19. 0)

3. 乾燥에 의한 損傷

乾燥損傷에는 割裂, 찌그러짐, 收縮率의 增大, 뒤틀림, 變色 등이 있다. 割裂 中 乾燥初期에 發生하는 表面割裂(마무리割裂)은 乾燥條件이 심하여 表面으로부터의 水分蒸發이 過大할 때 일어난다. 乾燥末期에 發生하는 內部割裂도 乾燥初期의 乾燥條件이 지나치게 심한 것이 原因이 된다. 또 찌그러짐과 收縮率의 增大는 乾燥初期에 高溫, 高濕條件을 주었을 때 일어나기 쉽다.

乾燥에 의한 뒤틀림에는 나비뒤굴음, 側面뒤굴음, 굴음, 비틀림등이 있으나 이들의 發生程度는 樹種, 木材의 等級에 따라 大體로 定하여지고 乾燥條件으로서는 그다지 減少시킬 수가 없다.

乾燥에 의한 損傷의 種類와 發生하기 쉬운 樹種은 表3 과 같다.

表3. 乾燥에 의한 損傷種類와 樹種

損傷種類	損傷이 發生하기 쉬운 材種과 條件	樹 種	
		日 本 材	外 國 材
表面割裂	樹心에 가까운 板目材, 乾燥가 느린 重硬材	가시나무, 조록나무, 물참나무, 구실잣밤나무, 감나무, 일본젓나무, 소나무, 송송나무, 일본일갈나무	바라우, 방기라이, 말라스, 카폴, 라민
橫斷面割裂	樹心에 가까운 板目材, 乾燥가 느린 重硬材, 纖維가 通直한 材	조록나무, 물참나무, 가시나무, 감나무, 물푸레나무, 너도밤나무, 일본젓나무, 일본일갈나무	바라우, 방기라이, 카푸르, 아피통, 케루잉, 미국송송나무
内部割裂	板目材, 乾燥가 느린 重硬材, 厚材, 高含水率材	구실잣밤나무, 조록나무, 물참나무, 후박나무, 너도밤나무 心材	아피통, 케루잉, 펠사와
收縮率의 增大	柁目板의 두께 方向, 厚材, 高含水率材	물참나무, 너도밤나무 心材, 자작나무, 들매나무, 느티나무, 느릅나무	아피통, 케루잉, 펠사와, 카메레레, 마이야피스
찌그러짐	高含水率材, 異常材, 樹心에 가까운 柁目材, 樹脂分이 많은 材	구실잣나무, 녹나무, 너도밤나무 心材, 물참나무, 황철나무, 느릅나무, 삼나무	아피통, 케루잉, 펠사와, 카메레레, 마토아, 미국삼나무
뒤 틀 림	樹心에 가까운 木理不整한 材, 異常材, 薄板, 찌그러짐이 일어나기 쉬운 板目材	너도밤나무, 구실잣밤나무, 조록나무, 고로쇠나무, 일본일갈나무	아피통, 케루잉, 카로피럼, 아가티스
變 色	闊葉樹의 白色 邊材, 高含水率材의 高溫에 依한 人工乾燥	너도밤나무, 구실잣밤나무, 조록나무, 고로쇠나무, 소나무類	사탕단풍나무
Sticker mark	闊葉樹材의 白色邊材	너도밤나무 邊材, 오리나무, 삼나무	라민, 제루통
部分的殘留水分		느릅나무	미국송송나무, 미국삼나무

4. 乾燥 Schedule

木材는 全過程을 低溫度로 逐漸히 人工乾燥하면 割裂이나 찌그러짐 등의 損傷은 적다. 乾燥時間을 短縮하기 위하여 木材의 乾燥度(含水率)에 따라 室内溫度를 變化시켜 나가는 方法이 쓰여진다. 이 濕度를 서로 엮은 것이 乾燥 schedule 이다.

1) 乾燥 schedule 의 成立

乾燥 schedule 에는 大略의 規則이 있고 乾燥初期의 高含水率 때에는 溫度를 낮게 乾濕球 溫度差를 작게(濕도를 높게)하고 損傷危險이 적어진 乾燥中期에서부터 조금씩 溫度를 높여 乾濕球 溫度差를 크게한다.

厚材나 乾燥가 느린 割裂容易한 低質材는 相對的으로 낮은 溫度와 높은 溫度로 操作한다. 針葉樹와 闊葉樹 板材의 標準의 schedule 은 그림5 와 같다.

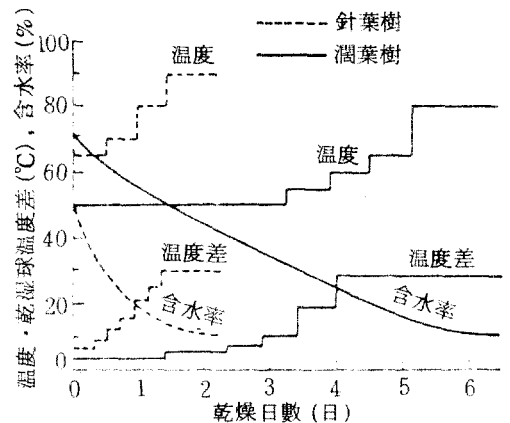


그림5. 針葉樹와 闊葉樹의 乾燥 Schedule 의 模式圖 두께 2.2cm 程度의 板材.

樹種에 따라 損傷이 일어나기 어려운 木材나 用

途에 따라 若干의 損傷이 許容되는 境遇에는 乾燥 時間의 短縮을 期하기 위하여 다시 高溫度 領域에서 乾燥하는 경우도 있다.

2) 乾燥 schedule 의 例

主要樹種의 乾燥 schedule 例는 表4~7과 같다. 이들은 어느 것이나 含水率 schedule 의 例이지만 同一 樹種材의 境遇, 時間 schedule 로 바꾸어 나가는 일도 많다. 針葉樹에서는 時間短縮을 위하여 100°C 以上の 高溫度 乾燥를 試圖한 例도 있다.(表 8)

表 4. 너도밤나무, 물참나무 床板材의 乾燥 schedule

含水率 (%)	너도밤나무		물참나무	
	乾球溫度 (°C)	乾濕球溫度差 (°C)	乾球溫度 (°C)	乾濕球溫度差 (°C)
~ 50	45	3	50	3
50 ~ 40	45	4	50	4
40 ~ 35	47	6	55	5
35 ~ 30	48	10	60	8
30 ~ 25	50	17	65	10
25 ~ 20	55	25	65	13
20 ~ 15	66	25	70	20
15 ~	70 ~ 80	30	70	25

日數 : 5 ~ 6 日, 日數 : 7 ~ 8 日,
 두께 : 2.2 cm 爲心材 두께 : 2.2 cm

試驗材는 乾燥가 多少 낮은 것으로 한다.

表 5. 라왕·메란티類의 乾燥 schedule(板두께 2.7cm)

含水率 (%)	라이트레드 메란티 (1)		라이트레드 메란티 (2)		레드 라왕	
	乾球溫度 (°C)	乾濕球溫度差 (°C)	乾球溫度 (°C)	乾濕球溫度差 (°C)	乾球溫度 (°C)	乾濕球溫度差 (°C)
~ 50	50	3	55	4	60	5
50 ~ 45	50	5	55	6	60	5
45 ~ 40	50	5	55	6	60	7
40 ~ 35	50	5	55	6	60	10
35 ~ 30	53	8	60	9	65	10
30 ~ 25	57	12	65	15	70	13
25 ~ 20	63	18	70	20	75	18
20 ~ 15	70	25	75	25	80	25
15 ~	80	30	85	30	85	30

全乾比重 : 0.50 全乾比重 : 0.45 全乾比重 : 0.48
 日 數 : 10 日 日 數 : 6 日 日數 : 6 ~ 7 日
 初期蒸煮 : 有効

表 6. 라민·마토아의 乾燥 schedule(板두께 2.7cm)

含水率 (%)	라민		마 토 아	
	乾球溫度 (°C)	乾濕球溫度差 (°C)	乾球溫度 (°C)	乾濕球溫度差 (°C)
~ 50	55	4	50 ~ 55	4
50 ~ 45	55	4	55	4
45 ~ 40	55	4	55	6
40 ~ 35	60	5	60	10
35 ~ 30	60	8	65	17
30 ~ 25	65	12	70	25
25 ~ 20	70	17	75	25
20 ~ 15	80	25	80	30
15 ~	80	30	80	30

氣乾比重 : 0.62 ~ 0.67 氣乾比重 : 0.66 ~ 0.80
 日 數 : 5 ~ 6 日 日 數 : 6 ~ 7 日

表 7. 미국솔송나무의 乾燥 schedule(板두께 3cm)

含水率 (%)	溫度 (°C)	溫度差 (°C)
45 ~ 40	60	3
40 ~ 35	60	4.5
35 ~ 30	60	5.5
30 ~ 25	65	8
25 ~ 20	70	12
20 ~ 15	75	17
15 以下	80	24

乾燥日數 2.5 ~ 3 日(나무리含水率 13%).

表 8. 高溫度 乾燥 schedule(미국솔송나무角材)

含水率 (%)	乾球溫度 (°C)	乾濕球溫度差 (°C)
~ 60	105	6
60 ~ 30	105	10
30 ~ 20	105	15
20 ~ 15	110	15
15 ~	110	20

10.5 cm 角, 心材, 日數 : 2.5 ~ 2.7 日(含水率 60% → 20%).

3) 乾燥 schedule 推定의 簡便法

乾燥程度를 알지 못하는 새로운 材料인 境遇 그 材料의 schedule 를 推定하는 일은 現場에서 자주 直面하는 問題이다.

比較的 短時間에 簡便하게 두께 2.5~3.0cm의 木材에 對한 schedule의 大略을 推定하는 方法은 다음과 같다.

두께 2cm 幅 10cm 길이 20cm의 生材의 板目試驗材(無缺點材)를 100~105℃로 調整된 恒溫器에서 乾燥하고 그때의 割裂, 斷面의 變形, 内部割裂의 3가지에서 schedule를 推定하는 것이다.

측 (1) 乾燥初期에 나타나는 橫斷面 및 表面割裂의 程度를 1~5段階로 區分한다. (그림 6)

(2) 乾燥終了(全乾)後에 木材의 中央部를 切斷하여 内部割裂을 1~5段階로 區分한다. (그림 7)

(3) 同時에 斷面의 뒤틀림(그림 8)을 調査하여 表 8과 같이 1~5段階로 區分한다.

(4) 이들의 測定結果를 表 9에 適用 schedule의 乾燥初期의 乾燥溫度, 乾濕球溫度差, 末期의 乾球溫度를 決定한다.

乾燥中期의 濕度의 變化는 그림 9에 準한다.

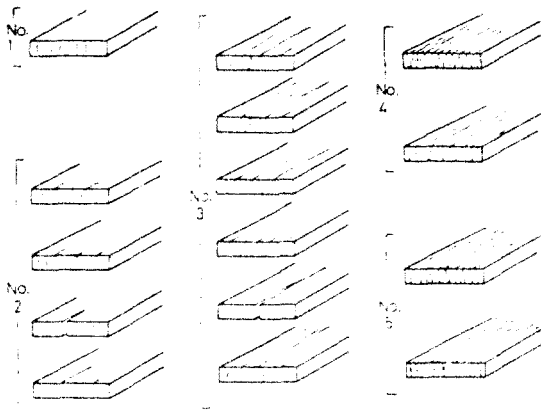


그림 6. 初期割裂의 段階.

5. 人工乾燥의 所要日數

所要日數는 樹種, 板材의 두께, 그밖에 乾燥室의 型式, 1日의 稼動時間, 乾燥 schedule 등에 따라 크게 다르다. I·F型 乾燥室에서 連續運轉하고 두께 30mm 程度의 板材를 乾燥할 때의 概略的인 日數는 表 11과 같다. 板材두께가 2倍가 된 이들 所要日數는 2.5~3倍가 된다.

6. 마무리含水率과 調濕處理

人工乾燥에서 마무리하는 含水率(目標含水率)은

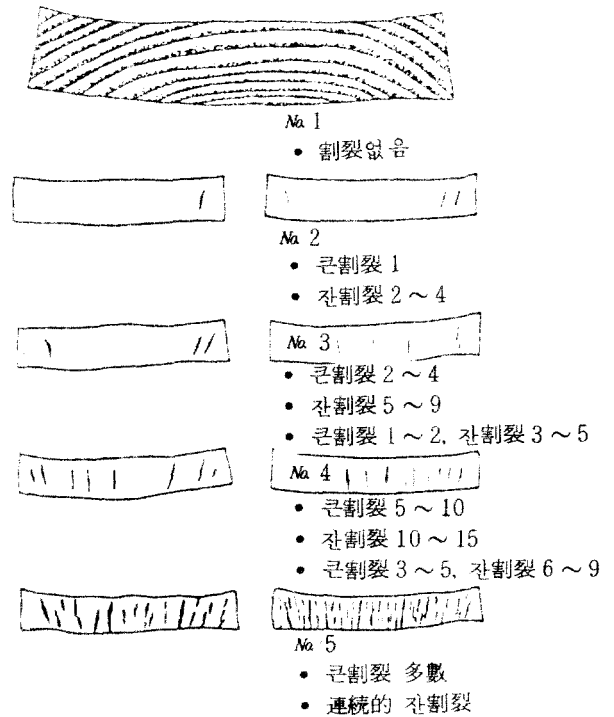


그림 7. 内部割裂의 段階.

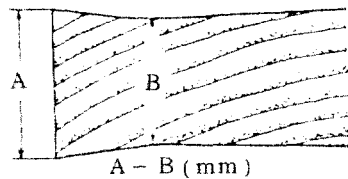


그림 8. 싹포모양 斷面變形의 測定法.

木製品의 種類나 使用場所 등에 따라 다르다. 室内에서 使用되는 것에 있어서는 8~10%가 一般的이다. 乾燥가 終了된 木材는 棧積全體의 平均含水率이 가령 10%라고 하더라도 木材마다 분다면 6~15% 程度의 變動幅이 있다. 含水率의 不均衡을 적게하는 操作을 equalizing 이라고 한다.

또, 木材의 内部에는 乾燥應力이 殘留하고 있기 때문에 木材를 湯으로 쪄거나, 自動레패 加工을 하는 過程에서 側面뒤굽음, 굽음, 나비뒤굽음(cup) 등이 생긴다. 殘留應力을 除去하는 操作을 conditioning 이라고 말한다. equalizing, conditioning 의 兩쪽을 一括하여 調濕處理라고도 말한다.

equalizing과 conditioning에서는 주는 空氣條件이 다르나 어느 것이고 室内空氣의 濕度를 높이는 操作을 한다. 주의깊게 하는 乾燥에서는 乾燥終了後에 上記 2가지 工程으로 나누어 調濕處理를 하

表 9. 실패모양의 斷面變形과 그 段階

變形의 段階	Na 1	Na 2	Na 3	Na 4	Na 5
A - B (mm)	0 ~ 0.4	0.5 ~ 0.9	1.0 ~ 1.9	2.0 ~ 3.4	3.5 ~

表 10. 損傷의 種類, 段階와 乾燥條件의 關係

(°C)

損傷의 種類	乾燥의 條件	損 傷 的 段 階				
		Na 1	Na 2	Na 3	Na 4	Na 5
初期 割 裂	乾燥 初期 溫度	70	60	55	50	45
	乾燥 初期 乾 濕 球 溫度 差	7.0	5.0	3.0	2.0	2.0
斷 面 變 形	乾燥 末期 溫度	95	90	90	80	80
	乾燥 初期 溫度	70	60	55	50	45
	乾燥 初期 乾 濕 球 溫度 差	7.0	5.0	4.0	3.0	2.0
	乾燥 末期 溫度	95	80	80	75	70
內 部 割 裂	乾燥 初期 溫度	70	55	50	50	45
	乾燥 初期 乾 濕 球 溫度 差	7.0	5.0	4.0	3.0	2.0
	乾燥 末期 溫度	95	80	75	70	70

表 11. 樹種別 乾燥所要日數

樹	種	日 數 (日)
삼나무, 가문비나무, 소나무 피 나무	미국솔송나무 미 송	2 ~ 4 3 ~ 5
	가벼운 레드라왕, 알몬	6 ~ 8
자작나무, 들매나무	普通 또는 多少 무거운 레드라왕	8 ~ 12
참나무, 너도밤나무	카푸르, 아피통	12 ~ 16
가시 나무 -	방기라이, 말라스	20 ~ 30

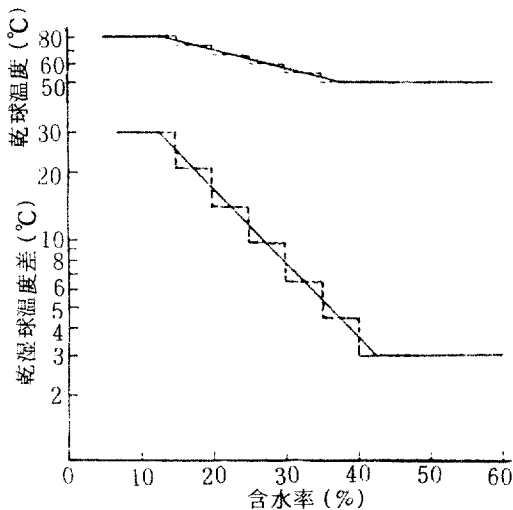


그림 9. 含水率과 溫度, 溫度差와의 關係.

나 一般的으로는 1 工程으로 양쪽을 兼하는 수가 많다. 調濕處理의 簡略的인 操作法은 表 12와 같다.

表 12. 調濕處理의 簡略한 操作法

操作條件	乾燥 末期의 乾球溫度를 維持하면서 目標 含水率보다 2% 높은 平衡含水率이 되는 濕度로 한다.
開始時期	平均的인 含水率이 目標含水率보다 1~2% 낮아졌을 때.
終了時期	乾燥應力이 除去되었을 때. 두께 25~30 mm의 調濕樹材로 12~24時間, 針葉樹材에서는 6~12時間이 大體的인 目標이다.

7. 特殊乾燥法

1) 減壓乾燥(眞空乾燥)

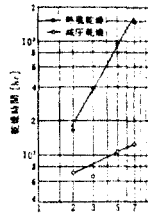
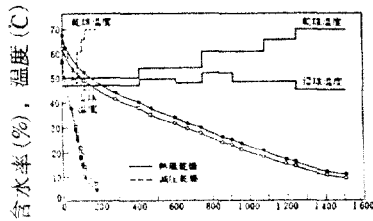
木材를 鐵製 cylinder 內에 密閉하고 減壓下에서 急速乾燥하고자 하는 方式이다. 加熱方法으로서 熱氣에 의한 것, 熱板에 의한 接觸加熱, 高周波加熱이 있고 熱氣의 境遇는 加熱, 減壓의 反復, 熱板高周波의 境遇는 加熱하면서 減壓한다.

通氣性이 좋은 樹種과, 短尺材 等에 있어서는 乾燥時間이 顯著하게 短縮되어 效果的이다. (그림 8~10)

그러나 一般材에 있어서는 裝置의 價格과 操作 等의 點으로 머루어 볼 때 반드시 有利하지 않은 않다.

2) 低溫除濕乾燥

氣密性이 높은 乾燥室內에 大型除濕機를 設置하고, 乾燥進行과 함께 차차 室內濕度를 낮추어가는 乾燥法으로, 冷凍機로부터의 發熱로 室溫은 30~35℃ 程度로 維持된다. 에너지는 모두 電力으로 充當되고 操作은 比較的 容易하나 乾燥時間은 低濕이기 때문에 길어진다. (그림 11)



空氣加熱, 減壓: 各 1hr 의 反復, 減壓度: 50~60mmHg
熱風乾燥: 熱風式 schedule 乾燥, 加熱·減壓: 各 1hr 의 反復, 乾燥時間: 含水率 50 → 10%
樹種: 아피통(桤目), 熱風乾燥: 熱風式 schedule 乾燥, 加熱·減壓: 各 1hr 의 反復, 乾燥時間: 含水率 50 → 10%
그림 8. 아피통(두께: 7cm, 桤目材)의 乾燥經過例
그림 9. 두께별 乾燥時間

3) 高温乾燥

주로 針葉樹材를 100℃ 以上の 溫度下에서 乾燥하는 方法이다. 乾燥時間을 大幅的으로 短縮할 수 있으나 若干의 操作錯誤가 커다란 木材의 損傷에 이

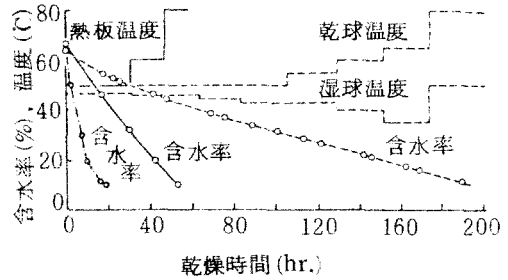
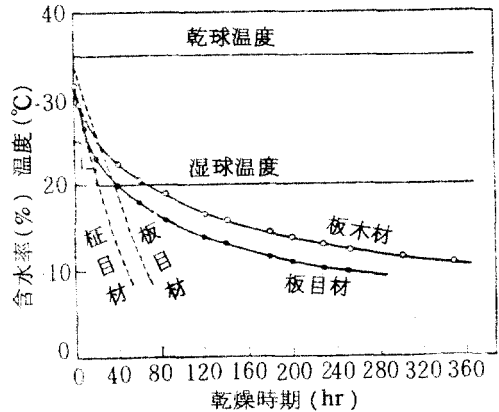


그림 10. 화이트라왕材의 乾燥經過
板目材, 두께: 3cm, 全乾比重: 0.45
End coating: 있음
實 線: 熱板減壓乾燥
破 線: 熱氣乾燥
一點破線: 高周波減壓乾燥



試驗材: 沿岸産, 3.5cm 厚 × 9.5cm 幅 × 50cm 長,
— 是 基準 Schedule 의 境遇 (初期乾球溫度: 65℃, 乾濕球溫度: 5℃, 末期乾球溫度: 85℃)

그림 11. 미송의 低溫除濕乾燥經過例

여지가 쉽고, 또 乾燥室의 耐久性이 낮아지는 것이 難點이 있다.

4) 高周波乾燥, micro 波乾燥

誘電加熱에 의한 乾燥로 周波數를 各各 13.6MHz, 2,450MHz 로 하는것이 가장 많이 利用된다. 急速 脫水가 可能하나 損傷이 일어나기 쉽고, 原價가 比較的 높아지므로 特殊材의 乾燥 以外에도 利用되지 아니한다. ■