

木材減濕乾燥基準表之訂定

3 cm 杉木

翟思湧 李銘鐘

摘要

本省中部產35年生杉木，鋸為3cm厚，180cm長，任意寬度之試材，並依鋸割順序使相鄰四片試材分屬不同四組，然後以四種減濕乾燥基準進行試驗，結果顯示：3cm杉木可減濕乾燥至含水量10%以下；S-4（表2）之效果較佳，其乾燥速率為0.38%MC/hr.，乾燥時間為10天；含水量與收縮率呈曲線相關，弦向收縮率約為徑向之2倍。

關鍵詞：減濕乾燥，杉木，乾燥基準。

前言

減濕式乾燥窯已被業界普遍採用，但一般木材之減濕乾燥基準迄未製訂；故乾燥效果不良，乾燥設備之優點亦未能充分發揮。本所鑑於此，特於70年度先就國產減濕式乾燥窯之性能進行探討⁽¹⁾，嗣後並對一般商用木材（尤其省產造林木）之減濕乾燥展開系列研究。已完成3cm厚橡膠木、柳杉與臺灣杉之乾燥基準試驗^(2,3,4)。

一般減濕乾燥設備之最高溫度僅達60°C左右，乾燥速率較傳統的蒸汽式乾燥窯緩慢甚多；乾燥時間約為傳統窯的兩倍。但以減濕乾燥設備之價格低廉，操作較易，乾燥效果亦頗良好，切合一般中小型木工廠需要^(5,6)，故廣被採用。

本研究旨在製訂3cm杉木製品之減濕乾燥基準，期能降低此種木材之乾燥成本，對造林木之推廣利用有所助益。

材料及方法

試驗材料

本試驗所用試材乃採自埔里約35年生之杉木（*Cunninghamia lanceolata*）造林木。共取樣木18株，伐倒後每隔180cm截取一段，挑選末徑約為17cm以上者為試材，共得72段。平均直徑為22.60cm（最大39cm，最小17cm）。隨即運回臺北本所鋸製試材。其規格為3cm（厚）×180cm（長），寬度任意。鋸切試材時每相鄰四片，分別依序編號為：1A；1B；1C；1D，2A；2B；2C；2D，餘類推，使其分屬不同之A，B，C，四組。分組完畢後，以塑膠布嚴密包裝備用。

試驗方法

製作樣板——先在A組之試材中，逢機選取10塊，作為樣板。例如，在A組中若逢機選取3A，5A，10A……等為樣板材；在B組中則必選取3B，5B，10B，……等為樣板材。C組、D組亦同。在試材中央部位截取60cm長之一段為樣板，同時在緊連樣板兩端各鋸切2.5cm長之一段為含水量試片（Moisture sections），每一含水量試片鋸妥後，立即拂去木屑及鬆脫之木絲等，以電動天平稱其重量至0.01gm並記錄之，供測含水量之用。

。之後，於此試片之橫斷面上劃定徑、弦向收縮率測定線，以直讀式卡尺 (Digital caliper) 度量其線長至 0.01mm 並記錄之，供測爐 (全) 乾收縮率之用。最後再以排水法測定試片之生材體積至 0.01cm³ 並記錄之，供測比重之用。

每一樣板鋸妥後，立即以防裂漆 (End-coation) 塗其兩端，並稱重量至 0.1gm (所用天平之最大能量為 6kgs)，供計算樣板爐乾重 (Calculated oven-dry weight) 之用。然後在樣板中央劃一收縮率測定線，以卡尺在此線上度量板之寬與厚至

0.01mm 並記錄之；此測定線乃用以測定木材在乾燥過程中，其不同含水量之徑、弦向收縮率。設樣板為象鋸板 (Quartersawn board)，則其厚為弦向，寬為徑向；設為平鋸板 (Plainsawn board)，則其厚為徑向，寬為弦向。

上述處理完成後，將所有含水量試片置於自動調溫之電烘箱中，以 103±2°C 之溫度烘至爐 (絕) 乾後，分別求出試材之：(1) 生材含水量，(2) 比重，(3) 厚度，(4) 爐乾收縮率，以及 (5) 樣板之推算爐乾重等。有關試材特性，詳見下表 1。

表 1. 試材特性⁽¹⁾
Table 1. Characteristics of material used in experiment

| 樹種 (Species) 普通名 Common name | 學名 Scientific name | 產地 Origin | 品等 Grade | 紋理 ⁽²⁾ Grain | 平均厚度 Ave. Thickness (cm) | 平均生材含水量 Ave. Green M.C. (%) | 平均比重 ⁽³⁾ Ave. SP/GR (Wo/Vg) | 平均收縮率 (生材至全乾) Ave. Shrinkage (Green to 0%) | |
|------------------------------------|-------------------------|----------------|------------------------|----------------------------|-----------------------------------|---|---|--|----------------|
| | | | | | | | | 弦向 Tangential | 徑向 Radial |
| 杉木 China-fir | Cunninghamia lanceolata | 台灣埔里 Taiwan | 三等以上 No. 3 & better | 混合 Mixed | 3.15 (0.06) ⁽⁴⁾ | 96.68 (3.27) | 0.375 (0.005) | 5.37 (0.14) | 2.46 (0.11) |

1. 試體數為 40. Number of specimen: 40.
2. 指平鋸板與象鋸板而言。 Plainsawn or quartersawn lumber.
3. 比重以爐乾重量與生材體積求出。 Based on O.D. Wt. and green volume.
4. 括號內數值為標準誤。 Values in parenthesis are standard error.

擬訂乾燥基準——根據乾燥窯與試材之特性，並參照有關資料⁽⁷⁾設計四種基準表 (表 2) 進行乾燥試驗。

操作方法——採行全時運轉、風扇單向循環，每天至少一次將窯內所有樣板取出，分別計算其含水量，並檢查乾燥缺點，列入記錄。以二分之一含水量最高之樣作為控制樣板 (Controlling samples)；根據控制樣板含水量之變化情形，照基準表內所設定之溫濕度標準調整窯內控制條件，如是每日作業，至最後含水量降達 10% 為止。

測定收縮率——當平均含水量降至約 50% 時，開始就各樣板劃定之收縮率測定線，逐日量取其寬度與厚度，並以生材時所度量之寬度為基準，計算

其不同含水量之徑、弦向收縮率。

最後含水量與應力試驗——各窯乾燥完畢稍加冷卻後，將所有樣板取出，先將一端切除 15cm，再繼續切 2.5cm 厚之試片 3 塊，從事下列三項測定：

- (1) 第一塊測定平均含水量；
 - (2) 第二塊測定表層 (Shell) 與心層 (Core) 之含水量差異情形；
 - (3) 第三塊作叉形試驗 (Prong test) 以評估表面僵化 (Casehardening) 之程度。
- 計分為：

A. 無僵化 (Not casehardened)，即所鋸之叉齒伸直平行。

表 2. 3cm 杉木所試用之四種基準表
Table 2. Drying schedules used for 3cm China Fir

| S-1 | | | S-2 | | | S-3 | | | S-4 | | |
|-------------|----------------|-------------|-------------|----------------|-------------|-------------|----------------|-------------|-------------|----------------|-------------|
| M.C. (%) | D.B.T. (°C) | R.H. (%) | M.C. (%) | D.B.T. (°C) | R.H. (%) | M.C. (%) | D.B.T. (°C) | R.H. (%) | M.C. (%) | D.B.T. (°C) | R.H. (%) |
| 60以上 | 50 | 38 | 60以上 | 55 | 34 | 70以上 | 60 | 30 | 70以上 | 60 | 22 |
| 60 | 50 | 36 | 60 | 55 | 32 | 70 | 60 | 26 | 70 | 60 | 18 |
| 55 | 50 | 34 | 55 | 55 | 30 | 65 | 60 | 22 | 65 | 65 | 14 |
| 50 | 55 | 30 | 50 | 55 | 26 | 60 | 65 | 18 | 60以下 | 65 | 10 |
| 45 | 55 | 26 | 45 | 60 | 22 | 55 | 65 | 14 | | | |
| 40 | 55 | 22 | 40 | 60 | 18 | 50以下 | 65 | 10 | | | |
| 35 | 60 | 18 | 35 | 60 | 14 | | | | | | |
| 30 | 60 | 14 | 30以下 | 60 | 10 | | | | | | |
| 25以下 | 60 | 10 | | | | | | | | | |
| E.T. | 60 | 43 | E.T. | 60 | 43 | E.T. | 60 | 43 | E.T. | 60 | 43 |
| C.T. | 60 | 84 | C.T. | 60 | 84 | C.T. | 60 | 84 | C.T. | 60 | 84 |

- S = 乾燥基準 (Drying Schedule)
- M.C. = 含水量 (Moisture Content)
- D.B.T. = 乾燥溫度 (Dry-bulb Temperature)
- R.H. = 相對濕度 (Relative Humidity)
- E.T. = 均勻處理 (Equalizing Treatment)
- C.T. = 調節處理 (Conditioning Treatment)

- B. 輕微僵化 (Slightly casehardened), 兩側之叉齒向內彎曲, 但齒端並未接觸。
- C. 僵化 (Casehardened), 兩側之叉齒向內彎曲, 齒端緊緊相接。
- D. 逆僵化 (Reverse casehardened), 兩端叉齒向外彎曲。

計算乾燥缺點——乾燥缺點之計算, 按下列方式進行之:

- (1) 表面乾裂 (Surface checks) 以樣板平面積內所發生乾裂之總長計算之。
- (2) 端裂 (End checks) 以樣板兩端橫斷面積內所發生之乾裂之總長計算之。
- (3) 翹曲 (Warp) 以樣板翹曲部份最大撓度 (Maximum deflection) 表示之。

結果與討論

乾燥速率

四種處理原始與最後含水量之均勻程度經 F 值測驗結果, 差異在 0.05 水準均不顯著 (表 3); 此足說明四組試材之含水量不論在乾燥前或乾燥後都很均勻。其最後平均含水量以及表、心層含水量之差距經變方分析結果, 差異 0.05 水準亦不顯著; 此足顯示四種處理之乾燥品質均達同一標準。在此情況下, 四種處理之最佳選擇當為乾燥時間最短, 亦即乾燥速率最快者。但經變方分析結果, S-4 雖顯示較高之乾燥速率, 各處理間之差異在 0.05 水準亦不顯著。此一結果與筆者前就柳杉進行試驗之結果類同⁽³⁾。其原因或亦為杉木乾燥較易, 而四種處理

表 3. 3cm 杉木之最後含水量與乾燥速率⁽¹⁾
Table 3. Final moisture content and drying rate of 3cm China Fir

| 乾燥基準 Drying schedule | 原始含水量 ⁽²⁾ Initial M.C. (%) | 最後含水量 平均 ^{(2) (4)} Average | Final moisture content (%) | | | 乾燥時間 ⁽³⁾ Drying time (hrs.) | 乾燥速率 ⁽⁴⁾ Drying rate (% M.C./hr) |
|----------------------------|---|---|----------------------------|-----------------|--------------------------------|--|---|
| | | | 表 層 Shell | 心 層 Core | 差 距 ⁽⁴⁾ Distance | | |
| S-1 | 94.45 (5.49) ⁽⁵⁾ | 10.21 (0.84) | 8.56 (0.40) | 11.94 (1.05) | 3.37 (0.74) | 264.5 | 0.3185 (0.0184) |
| S-2 | 99.91 (5.72) | 10.60 (0.67) | 9.26 (0.44) | 12.68 (1.09) | 3.43 (0.72) | 269.0 | 0.3320 (0.0198) |
| S-3 | 96.32 (8.82) | 9.38 (0.52) | 8.03 (0.39) | 10.84 (0.76) | 2.81 (0.46) | 231.5 | 0.3756 (0.0386) |
| S-4 | 98.05 (6.58) | 10.10 (0.73) | 9.23 (0.44) | 11.53 (1.24) | 2.30 (0.84) | 225.2 | 0.3817 (0.0295) |

1. 樣板數為10。 No. of specimen: 10 pieces.
2. F 值測驗結果，各處理間含水量均勻程度之差異在0.05水準不顯著。
After F-test, differences of the uniformity of M.C between treatments are not significant a.t 0.05 level.
3. 包括均勻處理與調節處理時間。 Including equalizing and conditioning treatment.
4. 變方分析結果差異在 0.05 水準不顯著。
After variance analysis, differences between treatments are not significant at 0.05 level.
5. 括號內數字為標準誤。 Value in parenthesis represents standard error.

條件之差距對此類針葉樹言，不够劇烈所使然。事實上 S-4 之條件已達一般減濕乾燥設備之功能極限。故差異雖不顯著，仍以選用 S-4 較為有利，有關乾燥效果之詳細資料見表 3。

乾燥缺點

有關乾燥缺點以及表面僵化之解除情形詳如表

4. 四種處理均未發生端裂，在面裂方面，雖然 S-2 最低為 0，S-4 最高為 17.6cm，S-1 與 S-3

表 4. 杉木之乾燥缺點⁽¹⁾
Table 4. Drying defects of 3cm China Fir

| 乾燥基準 Drying schedule | 面裂總長度 ⁽²⁾ Total length of surface checks (cm) | 端裂總長度 Total length of end checks (cm) | 平均翹曲 ⁽²⁾ Average warp (mm) | 發生表面僵化之樣板數 Number of Casehardened samples | | | | |
|----------------------------|---|--|--|--|---------------------------------|-------------------------------------|-------------------------|-------------------------------------|
| | | | | 調節處理時間 Conditioning time (hrs) | 無僵化 Not casehar- dened | 輕微僵化 Slight casehar- dened | 僵化 Casehar- dened | 逆僵化 Reverse casehar- dened |
| S-1 | 113.0 | 0 | 4.2 | 3.0 | 4 | 4 | 2 | 0 |
| S-2 | 0 | 0 | 4.8 | 2.0 | 1 | 8 | 1 | 0 |
| S-3 | 97.2 | 0 | 5.2 | 3.0 | 2 | 4 | 4 | 0 |
| S-4 | 175.6 | 0 | 4.0 | 3.5 | 9 | 0 | 0 | 1 |

1. 樣板數為10。 No. of specimen: 10 pieces.
2. 變方分析結果差異在 0.05 水準不顯著。
Differences between treatments are not significant at 0.05 level by variance analysis.

居中；但經變方分析結果，差異在0.05水準均不顯著，各處理之平均翹曲亦甚輕微，且差異亦不顯著，至於表面僵化之解除，施以 3.5小時之調節處理即可。

就乾燥速率與缺點綜合觀之，減濕乾乾3cm杉木以採用 S-4基準較佳，有關 S-4基準之窯乾情況

與含水量降低情形如圖 1。

收縮率

含水量與收縮率之關係呈曲線相關（圖 2），弦向收縮約為經向收縮之兩倍。由此可推想，杉木樹齡在30年左右之製品進行乾乾時，較易發生瓦翹（Cup）。

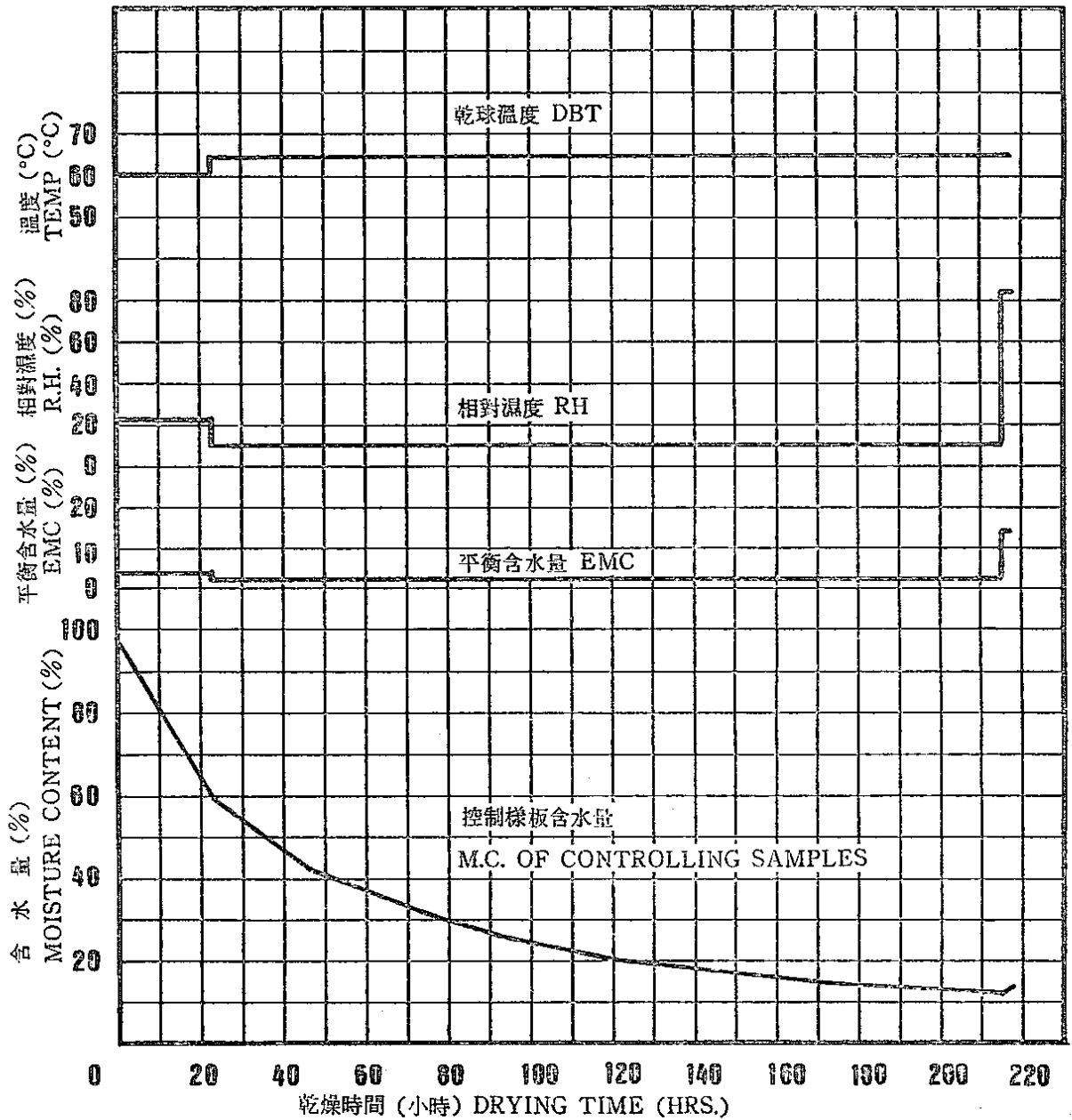


圖 1. 以 S-4 基準，乾燥 3cm 杉木之窯內情況與含水量降低情形
Fig 1. Kiln conditions and drying curve for 3cm China Fir dried by schedule S-4

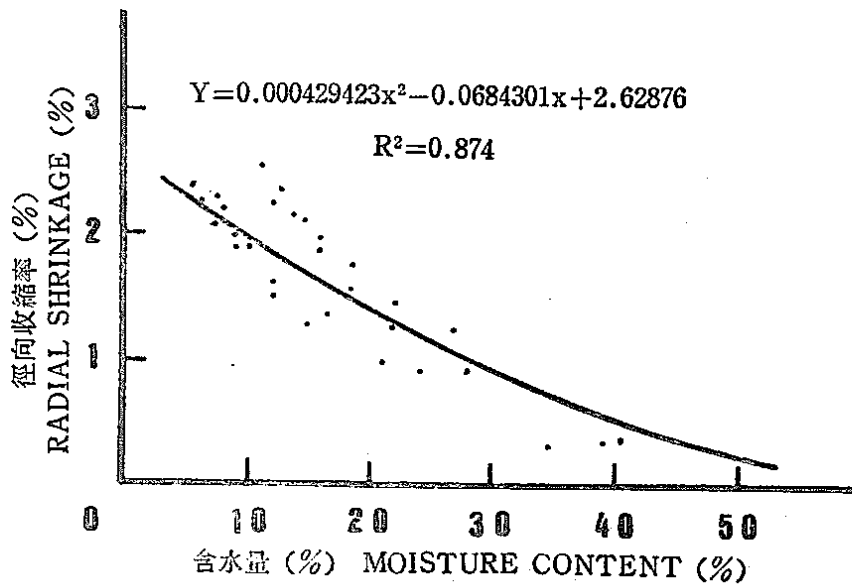
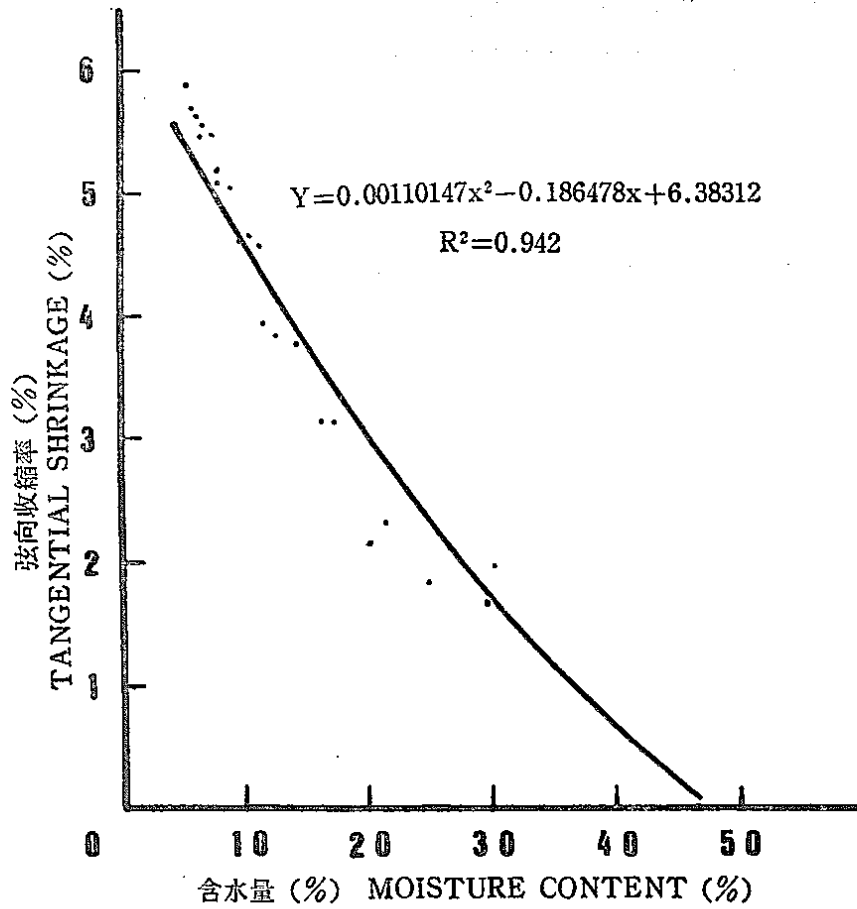


圖 2. 3cm 杉木含水量與收縮率之關係

Fig 2. Relationship between moisture content and shrinkage of 3cm China Fir

結 論

1. 減濕乾燥3cm杉木，可採用 S-4 基準 (表 2)；其乾燥速率約為 0.38%MC/hr。
2. 35年生杉木之含水量與收縮率關係呈曲線相關；弦向收縮約為徑向收縮之兩倍。
3. 減濕式乾燥窯，可將3cm厚之杉木板材自生材乾燥至最後含水量10%以下，乾燥時間約為10天。

參 考 文 獻

1. 翟思湧。(1981)。減濕式乾燥窯效能之研究。林試所研究報告第354。12pp.
2. 翟思湧、李銘鐘，(1985)。減濕式乾燥窯基準表之訂定(→)3cm巴西橡膠木。林試所研究報告第437號。8pp.
3. 翟思湧、李銘鐘，(1986)。減濕式乾燥窯基準表之訂定(→)3cm柳杉。林試所研究報告第461號。8pp.
4. 翟思湧、李銘鐘，(1986)。減濕式乾燥窯基準表之訂定(→)3cm台灣杉。林試所研究報告第一卷第2期，p55~62.
5. Huber, H. A. (1977). Dehumidification drying of wood. Wood-working and Furniture Dig. May. 1977. 2pp.
6. Huber, H. A. (1981). New Generation Drying Equipment. Wood-working and Furniture Dig. Jan. 1981 5pp.
7. Rasmussen, E. F. (1961). Dry Kiln Operator's Manual. USDA Handbook NO. 188. p79-110.

Development of A Dehumidification Drying Schedule For 3 cm China Fir

Sy-Yung Jai and Ming-Chung Lee

Summary

The objective of this study was to develop a dehumidification drying schedule for 3cm China Fir. Seventy-two 180cm-long bolts, ranging from 17 to 29cm in diameter, cut from eighteen 35-year-old trees in middle Taiwan, were used for this study. The bolts were then sawed into 3cm test boards. During cutting, each four consecutive boards were divided into four groups and sealed in plastic bags until the time of drying.

Each group of the test boards was dehumidification-kiln-dried by a different drying schedule (Table 2.) from green to a final moisture content of about 10%, and then compared primarily for drying rate and defects. Moisture content during drying was monitored by standard sample board technique.

Results of this research are shown as follows:

1. Schedule S-4 (Table 2.) can be efficiently applied to dry 3cm China Fir, and the drying rate is about 0.38% MC/hr..
2. The dehumidification dry kiln is capable of drying 3cm China Fir from green to a final moisture content below 10 percent within 10 days.
3. The relationship between moisture content and shrinkage is in a curvilinear correlation. The percent tangential shrinkage is about twice as much as radial does.

Key words: Dehumidification Kiln drying, China Fir, Drying schedule.