

研究報告第 437 號
BULLETIN No. 437

減濕式乾燥窯基準表之訂定 (一)
3cm 巴西橡膠木

翟 思 湧 李 銘 鐘

Development of A Dehumidification Drying
Schedule for 3cm Rubber Wood

Sy-Yung Jai and Ming-Chung Lee

臺 灣 省 林 業 試 驗 所

臺 灣 臺 北

中 華 民 國 七 十 四 年 元 月

TAIWAN FORESTRY RESEARCH INSTITUTE

Taipei, Taiwan, Republic of China

Jan. 1985

減濕式乾燥窯基準表之訂定 (一)

3cm 巴西橡膠木

翟 思 湧 李 銘 鐘

摘 要

本省嘉義產約30年生之巴西橡膠木，鋸為3cm厚、180cm長、任意寬度之試材後，逢機分為4組，以四種不同之減濕乾燥基準表進行試驗，結果顯示：3cm厚巴西橡膠木可減濕乾至含水量10%以下；S-4基準（表2）之效果最佳；含水率與收縮率成曲線相關，弦向收縮率約為徑向收縮率之兩倍。

前 言

減濕乾燥又稱冷凝乾燥（Refrigeration drying）⁽³⁾，是利用冷媒加壓液化並產生高溫，減壓汽化並大量吸熱使溫度降低的原理，將冷媒循環系統的高壓（加壓）側（High pressure side）作為加熱系統，低壓（減壓）側（Low pressure side）作為冷凝系統。室內空氣借風扇循環，經過加熱系統，溫度升高（一般可達45~55°C），然後通過木材，使木材中之水分蒸發，空氣變潮；此潮濕空氣隨即循環至冷凝系統，其中水汽凝結變為水滴自密底之管中排出，即所謂「抽水」（Water extraction）。經過抽水的乾冷空氣再循環至加熱系統，使溫度升高，通過木材，以蒸發木材中之水分。如是不斷循環，至木材逐漸乾燥為止^(1,2)。

由於減濕乾燥所需之設備，價格較廉，操作容易，密身構造簡單，能源消耗較少，切合一般中小型工廠需要，故深獲業界喜愛而廣被採用^(1, 2, 3)。但此種乾燥設備之性能與傳統式蒸汽乾燥窯（Conventional steam dry kiln）迥然不同。有

關乾燥基準，迄未經研究機構試驗訂定，僅有製造廠商所提供之試探性「操作程序」可資參考。一般業者多不熟諳而摸索使用，致乾燥效果不良，該種設備之優點亦未能充份發揮。為此，特擬定該計畫，試就一般商用木材之減濕乾燥進行系列研究，求出適當之乾燥基準，提供業界參考。

本研究承熊如珍小姐協助統計資料，得以順利完成，特此致謝。

材料及方法

試驗材料 (Drying Material)

本試驗所用試材乃採自嘉義中埔分所約30年生之巴西橡膠木 (*Heavea brasiliensis*, Rubber wood)。共取樣木5株。伐倒後，每隔180cm截取一段，每株選兩段，共得10段，平均直徑約35cm。隨即運回臺北本所鋸製試材。其規格為3cm(厚)×180(長)，寬度任意(15cm~30cm)。試材鋸妥後，逢機分為四組，經防黴處理後，以塑膠布嚴密包裝備用。

試驗方法 (Drying Method)

製作樣板(Preparing kiln samples)。——每組試材逢機選取 8 塊供製作樣板之用。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平行纖維方向各鋸切 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，以卡尺 (Vernier caliper) 度量其線長至 0.05mm 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-coating) 塗其兩端，並稱重量至 0.01gm (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 0.05mm 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，詳見下表一。

擬訂乾燥基準 (Designing drying schedules)——根據乾燥密與試材之特性，並參照有關資料^(4,5) 設計四種基準表 (表 2) 進行乾燥試驗。

操作方法 (Operating method)——採行全時運轉。風扇單向循環。每天至少一次將密內所有樣板取出，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板作為控制樣板 (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密內控制條件。如是每日作業，至最後含水量降達 10% 為止。

測定收縮率 (Determining percent shrinkage)——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厚為基準，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 (Final M. C. and drying stress test)——各密乾燥完畢稍加冷卻後，將所有樣板取出，先將一端切除 15cm，再繼續橫切 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重；
(2) 第二塊測定表層 (Shell) 與心層 (Core) 之含水量差異情形；

表 1. 試材特性¹

Table 1 Characteristics of material used in experiment

樹種 (Species)	產地	品等	紋理 ²	平均厚度	平均生材含水量	平均比重 ³	平均收縮率 (生材至全乾) Ave. Shrinkage (Green to 0%)		
							弦向 Tangential	徑向 Radial	
普通名 Common name	學名 Scientific name	Origin	Grade	Grain	Ave. Thickness (cm)	Ave. Green M.C. (%)	Ave. SP/GR (Wo/Vg)		
橡膠木 Rubber wood	Hevea brasiliensis	臺灣嘉義 Chai-Yi Taiwan	三等以上 No. 3 & better	混合 Mixed	3.10 (0.02) ⁴	83.69 (1.36)	0.531 (0.005)	6.10 (0.20)	2.61 (0.10)

1. 試體數為 32。 Number of specimen: 32。
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。 Value in parenthesis represents standard error.

表2 3cm橡膠木所試用之四種基準表*
Table 2 Drying schedules used for 3cm Rubber wood

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. (%)
50以上	40	50	50以上	43	46	60以上	46	43	60以上	50	40
50	40	46	50	43	42	60	46	40	60	50	38
45	43	44	45	46	38	55	46	38	55	50	36
40	43	40	40	46	34	50	46	36	50	50	34
35	45	38	35	50	30	45	50	33	45	55	32
30	45	32	30	50	24	40	50	28	40	55	30
25	50	24	20	55	20	35	50	25	35	55	26
20	50	20	20	55	14	30	55	22	30	60	22
15以下	55	10	15以下	55	10	25	55	20	25	60	20
						20	60	14	20	60	14
						15以下	60	10	15以下	60	10
E.T.	55	50	E.T.	55	50	E.T.	60	53	E.T.	60	53
C.T.	55	83	C.T.	55	83	C.T.	60	84	C.T.	60	84

* S = 乾燥基準 (Drying Schedules)
 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)

- (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。
 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 (Calculating drying de-
 fects). —— 一般乾燥缺點之計算，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
發生乾裂之總長計算之。
- (3)翹曲 (Warp) 以樣板翹曲部份最大撓度 (Max-
imum deflection) 與凹面弦長之比表示之。

試驗設備 (Drying Apparatus)

本試驗所用之設備乃委請山富機械公司設計製
造。計分乾燥機 (Lumber dryer) 本體與窗身
構造兩部份。

乾燥機本體為96cm(寬)×45cm(深)×130cm

(高)。使用壓縮機為3HP，送風機 1/2HP。另有 1/2HP，葉片直徑 40cm 之風扇兩台，以加強室內之氣流循環。此外，並在機體內特別裝設一套電氣加熱之增（調）濕器（Humidifier），作為均勻處理與調節處理之用。室身構造之尺寸為160cm（寬）×200cm（深）×190cm（高）。壁厚 5 cm，中間為絕緣保溫之玻璃棉。乾燥機置於室內。濕溫度由電子儀完全自動控制之。溫度最高可達 60°C，平均材間風速為 1.02m/sec。此外，另行裝設一套 FOXBORO 乾濕球溫度自動記錄儀，將全部乾燥情況予以繪記。

結果與討論

乾燥效果 (Drying Effects)

四種處理之原始含水量與最後含水量，其均勻程度經 F 一值測驗結果，差異在0.05水準均不顯著（表 3）；此足顯示，四組試材之含水量不論乾燥前或乾燥後都很均勻。同時，四種處理邊、心層含水量之差距在0.05水準亦不顯著，而且差距甚小；此亦足顯示四種乾燥基準均獲得相同品質的結果。但，乾燥速率之差異在0.05水準却呈顯著。再經鄧肯氏試驗，以 S-4 最快，S-1 最慢，餘者居中；此足顯示，本研究所試用之 4 種基準表（表 2），以 S-4 之效果最佳。

表3 3cm巴西橡膠木之最後含水率與乾燥速率¹

Table 3 Final moisture content and drying rate of 3.0cm Rubber wood

乾燥基準 Drying schedule	原始含水量 ² Initial M.C. (%)	最後含水量 Final moisture content (%)				乾燥時間 ³ Drying time (hrs.)	乾燥速率 ⁴ Drying rate (%M.C./hr)
		平均 ² Average	邊 層 Shell	心 層 Core	差 距 ⁵ Distance		
S-1	80.17 (3.00) ⁶	10.33 (0.39)	10.72 (0.32)	10.08 (0.45)	1.17 (0.37)	286.0	0.2442 A (0.0100)
S-2	85.61 (2.34)	8.94 (0.50)	8.44 (0.37)	9.05 (0.72)	0.83 (0.30)	199.5	0.3843 B (0.0100)
S-3	80.17 (2.30)	9.06 (0.44)	9.14 (0.38)	9.18 (0.46)	0.78 (0.35)	195.3	0.3684 B (0.0100)
S-4	87.88 (2.72)	9.02 (0.44)	9.02 (0.41)	9.44 (0.50)	0.60 (0.14)	178.0	0.4430 C (0.0141)

1. 樣板數為 8。 No. of specimen: 8 pieces.
2. F 值測驗結果，各試材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 charges, not significant at 0.05 level.
3. 包含均勻處理與調節處理時間。
Including equalizing and conditioning treatment.
4. 平均值後註有相同字母者，表鄧肯氏新多變域法測定結果在0.05水準不顯著。
Comparable means followed by the same letter are not significantly different at 0.05 level according to Duncan's new multiple range test.
5. 變方分析結果差異在0.05水準不顯著。
Differences not significant at 0.05 level.
6. 括號內數值係指標準誤。
Value in parenthesis represents standard error.

表4 巴西橡膠木之乾燥缺點

Table 4 Drying defects of Rubber wood

乾燥基準 Drying schedule	面裂總長度 ² Total length of surface checks (cm)	端裂總長度 ² Total length of end checks (cm)	平均翹曲 ² Average warp (%)	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 casehardened	輕微僵化 Slight casehardened	僵化 Casehardened	逆僵化 Reverse casehardened
S-1	6.50	12.00	1.271	3.0	4	2	1	1
S-2	111.40	2.00	0.965	3.0	1	4	3	0
S-3	84.15	0.00	0.875	3.0	1	3	3	1
S-4	18.20	8.50	1.463	3.0	1	2	4	1

1. 樣板數為8。 No. of specimen: 8 pieces.

2. 變方分析結果差異在0.05水準均不顯著。 Differences not significant at 0.05 level.

乾燥缺點 (Drying Defects)

四種處理之面裂總長度，端裂總長度，以及平均翹曲等缺點，其差異在0.05水準均不顯著（表4）。此足顯示四種處理之乾燥品質相同。至於表面僵化情形，以S-1最佳（8塊樣板中4塊無僵化，2塊輕微僵化，1塊僵化，1塊逆僵化），S-4情況較差（1塊無僵化，2塊輕微僵化，4塊僵化，1塊逆僵化），餘者居中（表4）。此乃因調節處理（Conditioning treatment）之時間均為3小時，但S-4之乾燥速率最快，亦即其乾燥條件最為急烈，在乾燥初期木材表面層所形成之「永久定形」（Permanent set, Permanent surface stretch, Tension set）較溫和的乾燥條件（如S-1）為嚴重，故施以同等時間的調節處理，無法使其乾燥應力（Drying stress）亦即表面僵化完全解除。若將S-4之調節處理再延長1~2小時，表面僵化當可完全解除。將S-4增加調節處理2小時之後，其乾燥（在密）時間亦僅為S-1的62.9%（180hrs.）。故綜觀乾燥速率（表3）與乾燥缺點，3cm橡膠木之生材進行減濕乾燥時，仍以S-4基準之效果最佳。關於S-4之乾燥情況，詳見圖1。

收縮率 (Percent shrinkage)

經過試驗，含水量與收縮率之關係呈曲線相關（圖2）。弦向收縮率約為徑向收縮率之兩倍。

結 論

1. 減濕乾燥3cm巴西橡膠木，可採用S-4基準（表2）。效果良好。
2. 橡膠木含水量與收縮率之關係成曲線相關；弦向收縮約為徑向收縮之兩倍。
3. 減濕式乾燥密，可將3cm橡膠木自生材乾燥至最後含水量10%以下。

參考文獻

1. 翟思湧，1981 減濕式乾燥密效能之研究。林試所試驗報告第354號 12pp.
2. Huber, H. A. 1977. Dehumidification drying of wood. Woodworking and Furnit. Dig. May, 1977. 2pp.
3. Huber, H. A. 1981. New Generation Drying Equipment. Woodworking and Furnit. Dig. Jan. 1981. 5pp.
4. Merkara Inc. of Toronto Canada, 1978. Western Lumber Drying System. 62pp.
5. Rasmussen, E. F. 1961. Dry Kiln Operator's Manual. USDA Handbook No. 188. p.79-110.

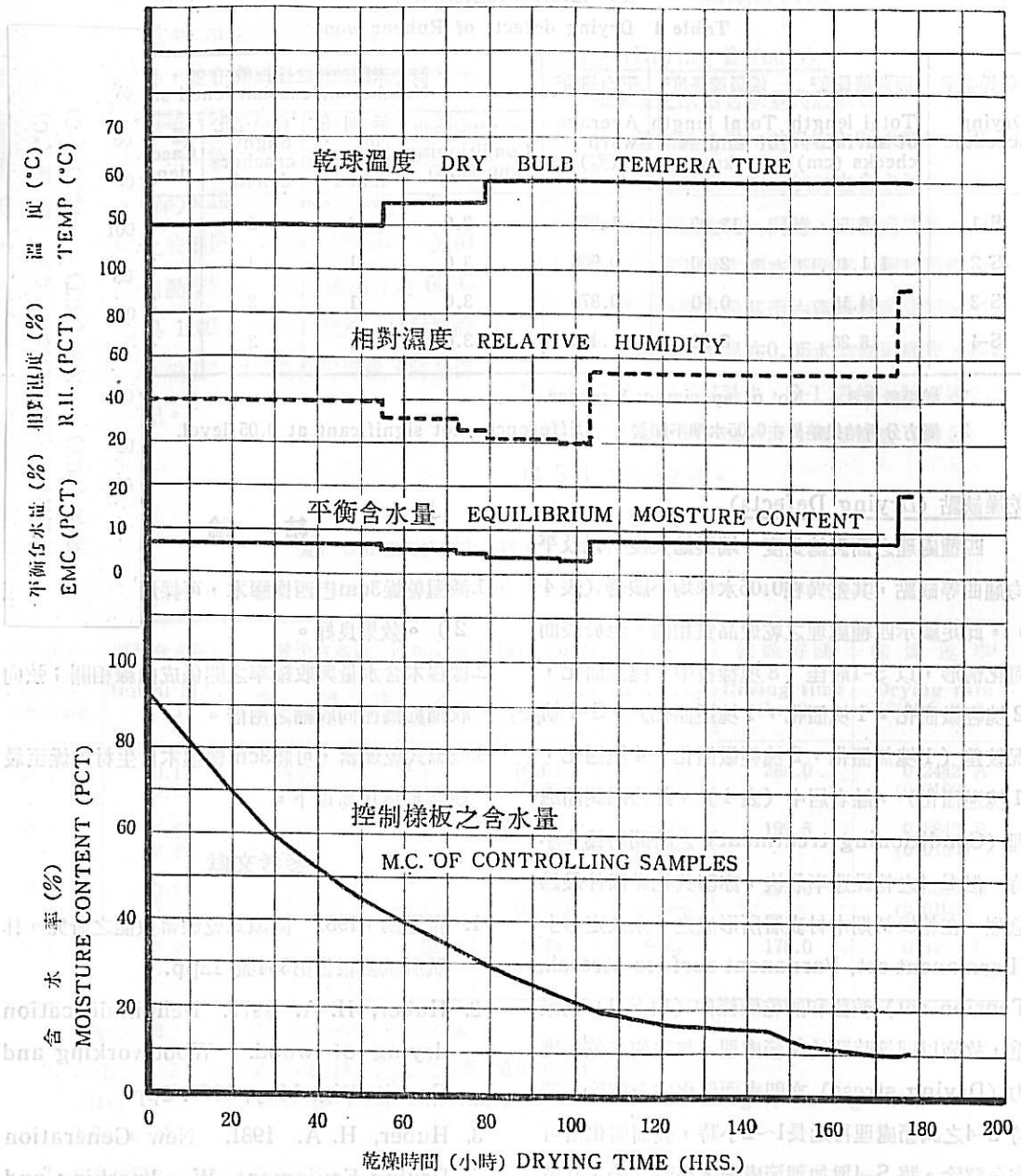


圖 1 以 S-4 基準乾燥 3cm 巴西橡膠木之窑內情況與含水量降低情形

Fig 1 Kiln conditions and drying curve for 3cm Rubber wood dried with schedule S-4.

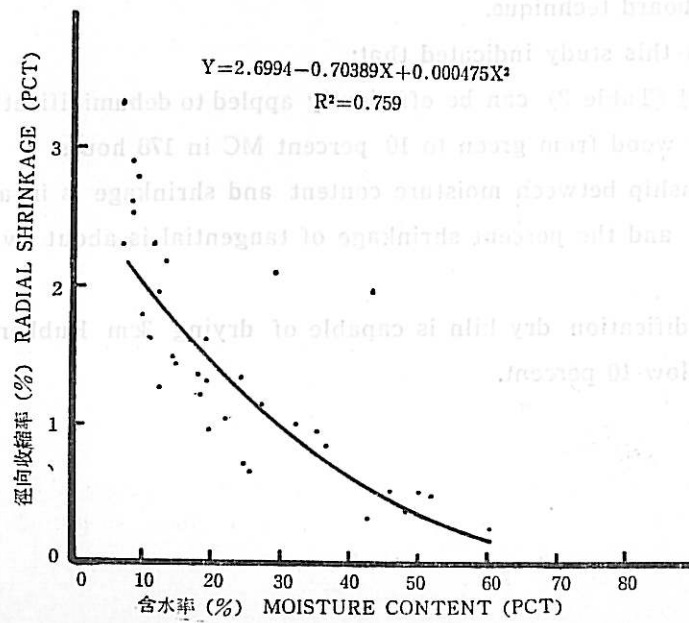
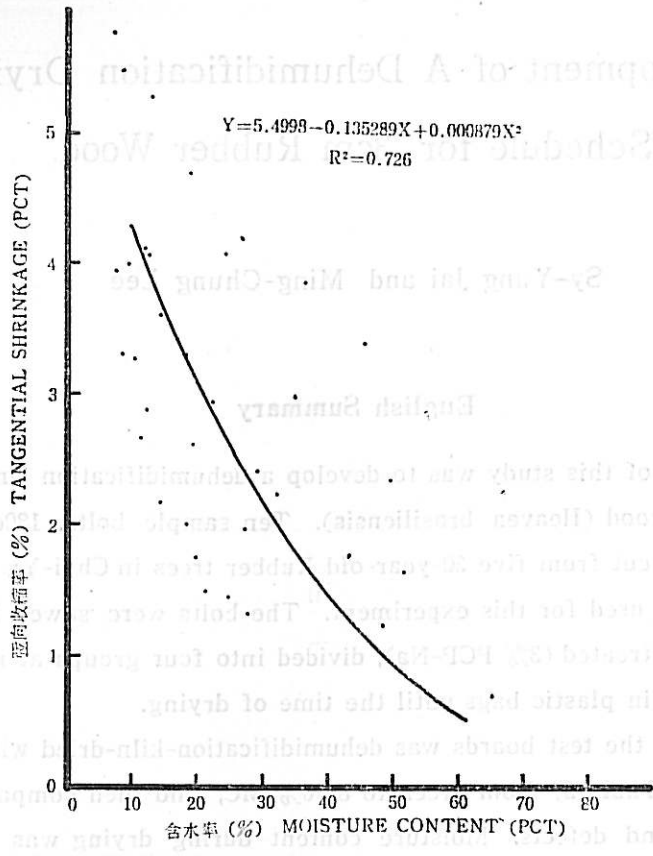


圖 2 3cm 巴西橡膠木含水量與收縮率之關係

Fig 2 Relationship between moisture content and shrinkage of 3cm Rubber wood

Development of A Dehumidification Drying Schedule for 3cm Rubber Wood

Sy-Yung Jai and Ming-Chung Lee

English Summary

The objective of this study was to develop a dehumidification drying schedule for 3cm Rubber wood (*Heavea brasiliensis*). Ten sample bolts, 180cm in length, 35cm in diameter, cut from five 30-year-old Rubber trees in Chai-Yi, southern part of Taiwan, were used for this experiment. The bolts were sawed into 3cm test boards, anti-stain treated (3% PCP-Na), divided into four groups at reandom, end-coated and sealed in plastic bags until the time of drying.

Each group of the test boards was dehumidification-kiln-dried with a different drying schedule (Table 2) from green to 8-10% MC, and then compared primarily for drying rate and defects. Moisture content during drying was monitored by standard sample board technique.

The results of this study indicated that:

1. Schedule S-4 (Table 2) can be efficiently applied to dehumidification-kiln-dry 3cm Rubber wood from green to 10 percent MC in 178 hours.
2. The relationship between moisture content and shrinkage is in a curvilinear correlation, and the percent shrinkage of tangential is about twice as much as radial.
3. The dehumidification dry kiln is capable of drying 3cm Rubber wood to a final MC below 10 percent.

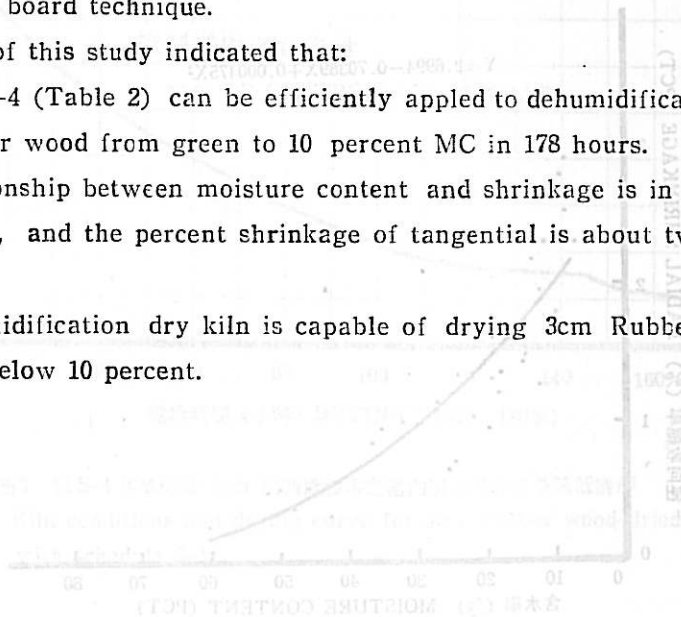


Fig. 2 Relationship between moisture content and shrinkage of 3cm Rubber wood