

木材窯乾時風扇轉速對乾燥速率、 乾燥品質與電力消耗之影響

翟思湧^{1,2)} 熊如珍¹⁾

摘 要

為探討風扇轉速對乾燥速率，乾燥品質與電力消耗之影響，特以3 cm厚肯氏南洋杉為試材，就1段(RPM = 1200)與2段(RPM = 1200~600)轉速進行試驗。結果顯示：2段轉速對乾燥速率與品質無減低之影響；木材含水率降至FSP時，將風扇馬達之轉速減低1/2，可節省電力12%以上。

關鍵詞：乾燥速率、風扇轉速、電力消耗、肯氏南洋杉。

翟思湧、熊如珍 1996 木材窯乾時風扇轉速對乾燥速率、乾燥品質與電力消耗之影響。台灣林業科學 11(2)：209-214。

Effects of Fan Speed on Drying Rate, Drying Quality and Power Consumption during Kiln Drying of Wood

Sy-yung Jai^{1,2)} and Ju-chen Hsiung¹⁾

[Summary]

The objective of this research was to evaluate the effects of fan speed on drying rate, drying quality and electricity consumption during kiln drying of wood. One-speed(RPM = 1200) and two-speed(above FSP, RPM = 1200; below FSP, RPM = 600) fan motors were used for this study. The test material was 3 cm × 12 cm × 160 cm Cunningham araucaria.

The results of this study indicate that:

1. The drying rate and drying quality are not reduced or degraded by using a two-speed fan motor system.
2. Electrical power consumption can be reduced by more than 12% by lowering the fan motor speed from 1200 RPM to 600 RPM as the FSP of the wood is approached.

Key words: drying - rate, fan speed, power - consumption, Cunningham araucaria.

Jai, S. Y., ung and J. C. Hsiung. 1996. Effects of fan speed on drying rate, drying quality and power consumption during kiln drying of wood. Taiwan J. For. Sci. 11(2):209-214.

¹⁾ 臺灣省林業試驗所森林利用系,台北市南海路53號 Division of Forest Utilization, Taiwan Forestry Research Institute. 53, Nan-Hai Rd., Taipei, Taiwan, ROC.

²⁾ 通訊作者 Corresponding author

1995年12月送審 1996年1月通過 Received December 1995, Accepted January 1996.

一、緒言

減少能源消耗，增加乾燥速率，是降低木材乾燥成本的主要手段；其方法不外修訂窯乾基準，改善乾燥設備，更新乾燥方法，和改良疊材技術等。但，除此之外，循環系統之風扇轉速，對能源消耗與乾燥速率亦具有相當影響。

Bramhall (1976) 稱，乾燥初期採用高風速，有助於乾燥速率之提高，但當木材表層之含水率降至纖維飽和點 (FSP) 以下時，高風速對乾燥速率之影響顯著減少；此時應降低風速以節省能源。Cech (1980) 等則更深入指出，木材窯乾時，其表層所蒸發之水分直接進入兩層木板間循環之主氣流。但在此主氣流 (air stream) 與木材表面之間又有一層移動極慢，幾近飽和的空氣薄膜，稱為境界層 (boundary layer)。此“境界層”對木材水分之蒸散具有嚴重影響；若欲加速水分之蒸散，亦即提高乾燥速率，可借提高風速降低境界層之影響以達成。但當木材含水率低於 FSP 時，水分移動主要靠擴散作用，風

速之影響不大。此時應減風速以節省能源；因為能源消耗與風速之立方成正比。Garrahan (1993) 等人之研究結果亦指出，依材堆兩側之溫差變化，採行由高變低之多段風速，可節省能源50%以上。

唯，目前一般業界所使用之乾燥窯多採用固定風速，而且偏向高速，浪費能源而不自知，殊為可惜。本研究旨在探討不同風扇轉速對乾燥效果所產生之影響，提供業界參考。

二、材料與方法

(一)試驗材料

所用試材乃採自本所蓮華池分所約30年生之肯氏南洋杉 (*Araucaria Cunninghamii*)。共選樣木2株，每180 cm 截取一段，至末端直徑 22 cm 為止，共得17段。然後鋸製為 3 cm (厚) x 12 cm (寬) x 160 cm (長) 之試材，並逢機分為兩組，包裝冷藏備用。有關試材特性詳見 Table 1。

Table 1. Characteristics of the material used in the experiment.¹⁾

Species		Lumber									
Common name	Scientific name	Origin	Diameter (cm)	Grain	Grain ²⁾	Average ³⁾ green moisture content	Average ^{3) 4)} specific gravity (Wo/Vg)	Average oven-dry ³⁾ shrinkage (%)		T/R ³⁾	
						Average ³⁾ thickness (cm)	(%)	(Wo/Vg)	Tangential (T)		Radial (R)
Cunningham araucaria	<i>Araucaria Cunninghamii</i>	Lien-Hua - Chih	Avg. 29.8 Max. 38.3 Min. 23.5	No. 3 and better	Mixed	3.021 (0.003)	104.14 (2.58)	0.459 (0.006)	6.79 (0.23)	4.36 (0.11)	1.57 (0.06)

- 1) Number of specimens is 8.
- 2) Plainsawn and quartersawn lumber.
- 3) Values in parentheses represent standard error.
- 4) Based on oven-dry weight and green volume.

(二)試驗方法

1. 樣板製備

在每組試材中逢機選取4塊，於其中央部位鋸切60 cm 長之一段作為樣板，供在乾燥過程中測計含水率變化之用。鋸切樣板之同時，也一併製作比重、含水率、和收縮率之測定試體，進行試驗。

2. 使用儀器

乾燥窯為電氣加溫，蒸汽調濕，內置風扇、橫向循環、正逆風向、可變風速、最高溫度可達

150℃之全自動控制記錄小型試驗窯。此外，另以日本 ZEKONIC 具多功能測計之電子式18點溫度記錄儀一台，測記窯內左右兩側之溫度，用供參考比對，其感溫體為 PT100 Ω。

3. 乾燥方法

兩組試材所用之窯乾基準，在乾、濕球溫度之調整階段與變化方面完全相同。但在循環風速方面則分為兩種：

(1) A = 1 段 (固定) 風扇轉速。RPM = 1200，即自乾燥開始至結束，其風扇

轉速均為1200 RPM。

(2) B = 2 段 (變化) 風扇轉速。自生材至含水率降至纖維飽和點 (FSP) 約30% 時, 其風扇轉速之設定值為 RPM = 1200; 自纖維飽和點至乾燥結束, 風扇轉速調降為 RPM = 600。

詳見 Table 2。

Table 2. Kiln schedule for 3 - cm Cunningham araucaria.

Average moisture content (%)	D.B.T. (°C)	W.B.T. (°C)	Fan Speed(RPM) ¹⁾	
			A	B
above 50	60	54	1200	1200
50	60	52	1200	1200
40	60	49	1200	1200
35	60	46	1200	1200
30	66	49	1200	600
25	71	52	1200	600
20	77	60	1200	600
below 15	82	54	1200	600
C. T. Control	82	74	1200	
(°C) Treatment	82	72		600

¹⁾ A = One speed; B = Two speed.

4. 實施程序

啓動乾燥後, 原則上每日於固定時間測計含水率變化與電力消耗一次。唯視含水率之變化情形, 估計於適當時間增加測記一次, 俾供調整窯乾條件之參據。

三、結果與討論

(一) 乾燥速率

在乾燥時間方面, A 處理 (1段風扇轉速) 為112 h, B 處理 (2段風扇轉速) 為123 h; 後者較前者多11小時 (Table 3), 此或因 B 處理試材之原始含水率較 A 處理高約 7% 所使然。在乾燥速率方面, A 處理為0.834 (M. C. %/h), B 處理為0.803 (M. C. %/h), 且兩者之差異在0.05水準不顯著。故可推論採行2 段風扇轉速 (B 處理), 對乾燥速率無減弱之影響。

(二) 乾燥品質

窯乾後, 除 B 處理試材邊、心層含水率之差異性稍遜於 A 處理外 (Table 3), 均未發生乾裂與翹曲, 品質頗佳 (Fig. 1)。此亦

可顯示, B 處理 (2段風扇轉速) 對乾燥品質無影響。

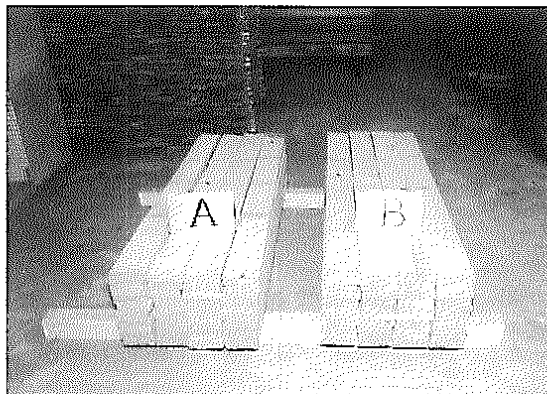


Fig. 1. 3 - cm Cunningham araucaria, kiln dried by different fan speeds. A = One - speed fans; B = Two - speed fans.

(三) 電力消耗

A, B 兩個處理在全部乾燥過程中, 每一測計階段之含水率變化和能源消耗狀況, 分別詳列於 Table 4 及 Table 5。唯以本研究所用之試驗窯係採用電氣加熱, 故各該表內所列之電力消耗為加熱系統與風扇馬達之合計; 而且加熱系統之耗電量遠遠超過風扇馬達。在此情況下, 處理 B (2段風扇轉速) 耗電310.4 KWH, 比處理 A (1段風扇轉速) 耗電304.7 KWH 多出 5.7 KWH。此乃因前者之原始含水率較後者為高, 乾燥時間稍長所致。

A 處理自生材乾至 FSP 僅耗用63小時, 而 B 處理卻耗用76小時 (Tables 4 與 5)。自 FSP 至最後含水率, A 及 B 處理分別耗用49 及47小時, 可謂相等 (實際上 B 反較 A 減少2 小時)。換言之, 使用同一窯乾基準, 當含水率降至 FSP 時將風扇轉速減半, 並不影響 (減緩) 乾燥速率。若僅就 A、B 兩處理在 FSP 以後包含加熱系統之耗電量比較, A 處理 (1 段風扇轉速) 為149KWH, B 處理 (2段風扇轉速) 為 123.2 KWH, 後者較前者節省 17.2% 電力。

唯一般商用傳統式乾燥窯, 幾乎全為蒸汽加熱, 其電力消耗只有循環系統之風扇馬達。故應單就該系統之電力消耗進行比較評估方具意義; 此亦為本研究之主旨所在。本研究所用試驗窯之風扇馬達為直流式, 可變速, 共3 台, 每台1/2 HP。經實測結果, RPM = 1200時

3台馬達每小時之耗電量為0.75 KWH，RPM = 600 時為0.35 KWH。依此標準並參照 Tables 4 及 5之乾燥時間與 RPM 調整時段，算得風扇馬達之總耗電量如 Table 6。全部乾燥過程，A 處理共耗電84.00 KWH，B 處理

為73.35 KWH；後者較前者節省電力12.2%。換言之，使用同一基準窯乾木材，當平均含水率降至 FSP 時，將風扇馬達之 RPM 減少一半，可節省電力12%以上。此對乾燥成本之降低具有相當幫助。

Table 3. Drying data of Cunningham araucaria by treatment.

Species	Treatment ¹⁾	Initial ^{2,3,4)} moisture content (%)	Final moisture content (%) ^{2,3)}				Drying time (kiln residence time) (h)	Total power consump- tion (KWH)	Drying ⁴⁾ rate (M.C. % /h)
			Avg. ⁴⁾	Shell ⁴⁾	Core ⁴⁾	Difference ⁵⁾ (core - shell)			
Cunningham araucaria	A	98.33 (3.20)	4.95 (0.44)	5.01 (0.29)	4.98 (0.71)	-0.03 (0.44)	112	304.7	0.834 (0.031)
	B	105.03 (3.65)	6.25 (0.40)	5.92 (0.36)	7.30 (0.64)	1.38 (0.29)	123	310.4	0.803 (0.031)

¹⁾ Number of specimens is 4.

A = One - speed fans(RPM = 1200); B = Two - speed fans(above FSP, RPM = 1200; below FSP, RPM = 600).

²⁾ Value in parentheses represents standard errors.

³⁾ After F - test, differences of the uniformity of M. C. between treatments are not significant at the 0.05 level.

⁴⁾ After analysis of variance, differences between treatments are not significant at the 0.05 level.

⁵⁾ After analysis of variance, differences between treatments are significant at the 0.05 level.

Table 4. Drying conditions, changes in moisture content of samples and power consumption of 3 - cm Cunningham araucaria by one - speed fans.

Drying time (h)	Kiln conditions			Average moisture content of samples (%)	Total power consumption (KWH)
	Dry bulb temp. (°C)	Wet bulb temp. (°C)	Fan speed (RPM)		
0	60	54	1200	98.33	0
24	60	54	1200	65.74	67.3
37	60	54	1200	53.77	93.7
48	60	52	1200	42.37	118.7
61	60	46	1200	31.41	149.7
63	66	49	1200	29.82	155.7
72	71	52	1200	22.68	178.9
79	77	60	1200	17.71	200.9
96	82	54	1200	7.68	258.7
103	82	54	1200	6.23	280.4
112	82	74	1200	6.30	304.7

Table 5. Drying conditions, changes in moisture content of samples and power consumption of 3 - cm Cunningham araucaria by two - speed fans.

Drying time (h)	Kiln conditions			Average moisture content of samples (%)	Total power consumption (KWH)
	Dry bulb temp. (°C)	Wet bulb temp. (°C)	Fan speed (RPM)		
0	60	54	1200	105.03	0
24	60	54	1200	70.27	69.0
37	60	54	1200	59.44	96.3
48	60	52	1200	51.57	119.2
60	60	52	1200	42.23	146.3
72	60	46	1200	33.43	176.4
76	66	49	600	30.46	187.2
83	71	52	600	25.26	204.4
96	82	54	600	17.02	235.3
120	82	72	600	4.76	307.1
123	82	72	600	5.53	310.4

Table 6. Power consumption of fan motors by treatment.

Average moisture content (%)	Fan speed (RPM) ¹⁾		Drying time (h) ¹⁾		Power consumption (KWH) ¹⁾	
	A	B	A	B	A	B
Green to FSP (30%)	1200	1200	63	76	47.25	57.00
FSP to final (5~7%)	1200	600	49	47	36.75	16.75
Total			112	123	84.00	73.75

¹⁾ A = One - speed fans (RPM = 1200); B = Two - speed fans (RPM = 1200 or 600).

四、結論與建議

- (一)木材窯乾時，循環系統之風扇馬達採用2段轉速，對乾燥速率與品質無減低之影響。
- (二)窯乾木材，當平均含水率降至纖維飽和點(FSP)時，將風扇馬達之轉速減少1/2，可節省電力12%以上。
- (三)宜就多段風扇馬達轉速對乾燥速率與電力消耗之影響進行探討。

誌謝

本研究承行政院農業委員會補助經費〔計畫編號：84科技-2.11-林-17(2-2)〕謹此致謝。

引用文獻

Bramhall, G., and R. W. Wellwood. 1976. Kiln drying of Western Canadian lumber. Canada Forestry Service, Western FPL. p.19-22.

Cech, M. Y., and F. Pfaff. 1980. Kiln

operator' s manual for eastern Canada.
Forintek Canada Corp. p.35 - 37.
Garrahan, P. , G. Fleury, A. Chow, and M.

Sanio. 1993. Taking the air out of
drying cost. Canadian Wood Products,
October 1993. 2 pp.