

THU BỘT CƠ HỌC P-RC-APMP CHO ĐỘ TRẮNG CAO TỪ GỖ KEO TAI TƯỢNG

Đến Tòa soạn 15-4-2010

CAO VĂN SƠN^{1,2}, ĐÀO SỸ SÀNH¹, DOÃN THÁI HÒA²

¹Viện Công nghiệp Giấy và Xenlulo

²Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội

ABSTRACT

A study of optimized impregnation of the hard wood species (Acacia mangium) in P-RC-APMP process, using different impregnation conditions was presented. The doses of sodium hydroxide and hydrogen peroxide were 2.1% and 5.0% (vs. oven dried wood), respectively, with impregnating time of 17.5 minutes gave good P-RC-APMP pulp with brightness of $\approx 80\%$ ISO, tensile breaking length of 4730 m, tear index of 4 mN.m²/g and burst index of 2 kPa.m²/g. The pulp may be used for productions of different printing paper grades.

I - GIỚI THIỆU

Công nghệ sản xuất bột cơ học ra đời ngay từ đầu thế kỷ 18. Cùng với sự phát triển không ngừng của công nghệ và thiết bị trong sản xuất giấy, lĩnh vực bột cơ học đã có những bước tiến vượt bậc với các công nghệ tiêu biểu như công nghệ perôxít-kiềm (APMP - Alkaline Peroxide Mechanical Pulp) trong đó dăm mảnh được xử lý bằng hỗn hợp kiềm-peroxit và công nghệ P-RC-APMP (Preconditioning Refiner Chemical Alkaline Peroxide Mechanical Pulping).

Do công nghệ P-RC-APMP kết hợp tiên xử lý dăm mảnh bằng kiềm - peroxit và tẩy trắng đồng thời trong quá trình nghiền, nên tăng cường quá trình phối trộn ở nồng độ cao và nhiệt độ cao, tạo điều kiện cho phản ứng tẩy trắng xảy ra triệt để trong thời gian rất ngắn. Bột thu được có độ trắng rất cao. Tùy theo yêu cầu mà trong công nghệ có thể bổ sung thêm 1 - 2 giai đoạn tẩy trắng. Độ trắng của bột thu được theo công nghệ P-RC-APMP có thể đạt tới 89% ISO, tính chất cơ lý cao hơn hoặc tương đương với bột hóa-nhiệt-cơ-tẩy trắng (BCTMP), tiết kiệm năng lượng nghiền, tải lượng COD, BOD

trong nước thải thấp và nước thải dễ xử lý hơn[1].

Bên cạnh nguyên liệu là gỗ lá kim (gỗ thông), công nghệ P-RC-APMP còn có thể sử dụng nguyên liệu gỗ cứng như một số loài bạch đàn Nam Mỹ (*Eucalyptus grandis*; *Eucalyptus saligna*...), gỗ dương (aspen), gỗ thích (maple) và gần đây là một số loài bạch đàn và keo ở khu vực Châu á. Chất lượng bột thu được cũng rất tốt [2, 3].

Ở Việt Nam, chỉ Công ty Cổ phần Tập đoàn Tân Mai có một dây chuyền BCTMP công suất 40.000 tấn/năm đang hoạt động và 03 dự án BCTMP đang triển khai ở Lâm Đồng, Kon Tum và Quảng Ngãi. Công nghệ APMP lần đầu tiên (năm 2009) được nghiên cứu áp dụng với bạch đàn và keo tai tượng (KTT) tại Viện Công nghiệp Giấy - Xenlulo. Độ trắng của bột đạt 75 - 76% ISO, chất lượng bột đáp ứng yêu cầu cho sản xuất giấy in, giấy viết [4]. Công nghệ P-RC-APMP lần đầu tiên được triển khai tại “Dự án bột giấy Phương Nam” do Tổng công ty Giấy Việt Nam hiện là chủ đầu tư, công nghệ và thiết bị do hãng Andzít cung cấp. Nguyên liệu được sử dụng là cây đay. Nhìn chung, công nghệ

APMP và P-RC-APMP vẫn còn khá mới mẻ ở Việt Nam.

Bài viết này trình bày một số kết quả nghiên cứu sản xuất bột P-RC-APMP cho độ trắng cao từ nguyên liệu là gỗ KTT (*Acacia mangium*) trồng ở Việt Nam. Keo tai tượng là một trong các loài cây chủ yếu được Bộ Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn đưa vào danh mục cho trồng rừng sản xuất trên 09 vùng sinh thái Lâm nghiệp của cả nước. Năng suất rừng sản xuất KTT có thể đạt từ 100 - 140 m³/ha của một chu kỳ 5 - 10 năm [5].

Mục tiêu của nghiên cứu là thiết lập chế độ công nghệ sản xuất bột giấy đạt chất lượng cho sản xuất giấy in, giấy viết với độ trắng 75 - 80% ISO; chiều dài đứt 3200 - 3500 m; chỉ số bền xé > 4,0 mN.m²/g; chỉ số bực > 2,0 kPa.m²/g tại độ nghiền 315 ml CSF.

II - VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

1. Vật liệu

Gỗ keo tai tượng 5 tuổi được lấy từ lâm trường Tam Thắng - Phú Thọ. Nguyên liệu được tạo thành dăm mảnh, phơi khô bảo quản trong túi nilon.

Hóa chất tinh khiết phân tích (PA) của Việt Nam và Trung Quốc, cùng các thiết bị thí nghiệm chuyên ngành tiêu chuẩn của EU, Đức, Mỹ và Ấn Độ được sử dụng.

2. Phương pháp nghiên cứu

a) Thu bột P-RC-APMP

Quá trình thí nghiệm được tiến hành qua các bước:

Xông hơi dăm mảnh: Mảnh được xông hơi 0,35 - 0,40 MPa trong 15 phút.

Nghiền sơ bộ: Mảnh đã xông hơi được nghiền sơ bộ trên máy nghiền bột cơ học dạng đĩa.

Thẩm thấu hóa chất: Quá trình thẩm thấu được tiến hành trong 2 giai đoạn:

Giai đoạn 1: Thẩm thấu bằng dung dịch DTPA (dietylen triamin pentaxetic axit) ở 60°C, nồng độ bột 15%, 60 phút, mức dùng 0,4% so

với nguyên liệu khô tuyệt đối (KTĐ).

Giai đoạn 2: dịch thẩm thấu bao gồm 3% Na₂SiO₃, 0,05% MgSO₄, 0,5% DTPA, và NaOH, H₂O₂ với các dùng khác nhau (60% tổng lượng dùng cho thẩm thấu và tẩy trắng). Điều kiện tiến hành: 85°C, tỷ lệ dịch 1:4 với các thời gian bảo ôn khác nhau; 2/3 lượng hóa chất dùng cho thẩm thấu, 1/3 còn lại sẽ bổ sung vào quá trình nghiền. Quá trình thẩm thấu được tiến hành trong túi nilon và bảo ôn trong bể ổn nhiệt.

Nghiền bột: Mảnh nguyên liệu sau thẩm thấu được vát tách bỏ dịch và nghiền trên máy nghiền bột cơ dạng đĩa chuyên dụng Ø300. Nồng độ bột nghiền 20 - 25%, bột ra có nhiệt độ 80 - 85°C, độ nghiền 540 ml CSF.

Bột sau nghiền được thu vào túi nilon và bảo ôn ở nhiệt độ 85°C trong 60 phút để hoàn thiện quá trình tẩy trắng.

Sàng và làm sạch: Bột sau bảo ôn được rửa sạch và xả qua lưới inox 60 mắt/inch nhằm loại bỏ hết các mảnh xơ sợi thô còn sót lại, vát khô. Độ khô được xác định trước khi đem tẩy trắng.

Tẩy trắng bột: Quá trình tẩy trắng 02 giai đoạn được tiến hành trong túi nilon, bảo ôn trong bể ổn nhiệt.

Giai đoạn 1: dịch tẩy bao gồm 1,5% NaOH; 3% Na₂SiO₃; 0,4% DTPA; 0,05% MgSO₄; nồng độ bột 15%; thời gian 180 phút; nhiệt độ tẩy 85°C; mức dùng H₂O₂ tùy theo từng quy trình (40% tổng lượng còn lại).

Giai đoạn 2: 1% đithionit (Na₂S₂O₄); nhiệt độ 60°C; nồng độ bột 10%; thời gian 20 phút.

Bột sau tẩy trắng được rửa sạch, vát khô và đem xác định độ trắng. Bột trắng được nghiền tới 315 ml CSF trong máy nghiền tiêu chuẩn PFI và xeo thành mẫu để xác định tính chất cơ lý.

b) Các tiêu chuẩn dùng trong phân tích

Xác định khối lượng riêng của gỗ: TAPPI T258 os-76; hàm lượng xenluloza: Kiurschner-Hoffe; hàm lượng lignin: TAPPI T-13; hàm lượng pentozan: TAPPI T-19; hàm lượng các chất tan trong axeton, dung dịch NaOH 1%, nước nóng, nước lạnh: TAPPI T-280 pm-99; TAPPI T-212; TAPPI T-207. Xác định Độ trắng của bột: TCVN 1865:2000; độ bền kéo: TCVN

1862-1:2000; độ bền xé: TCVN 3229:2000; độ chịu bực: TCVN 3228:2000.

III - KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

1. Xác định tính chất hóa - lý của gỗ keo tai tượng

Các kết quả phân tích về khối lượng riêng, kích thước xơ sợi, thành phần hóa học của gỗ KTT được đưa ra trong bảng 1.

Các kết quả ở bảng 1 cho thấy nguyên liệu gỗ KTT có khối lượng riêng và thành phần hóa học như hàm lượng xenluloza, hàm lượng lignin và các thành phần khác mang đặc trưng của gỗ cứng [6]. Từ các tính chất vật lý và thành phần hóa học có thể kết luận gỗ KTT là nguyên liệu tiềm năng trong công nghiệp sản xuất bột giấy.

Bảng 1: Tính chất vật lý của gỗ KTT

Tính chất vật lý	Giá trị
Khối lượng riêng, kg/m ³	480
Chiều dài xơ sợi, mm	1,19
Chiều rộng xơ sợi, μm	20,8
Tỷ lệ dài/rộng	57,2
Thành phần hóa học	Tỷ lệ, %
Xenluloza	49,6
Lignin	23,8
Pentozan	21,3
Các chất tan trong dung môi:	
Axeton	2,95
Dung dịch NaOH 1%	14,7
Nước lạnh	3,7
Nước nóng	2,1

2. Nghiên cứu tối ưu hóa các điều kiện công nghệ của giai đoạn thẩm thấu 2

Chất lượng bột cơ học nói chung được quyết định bởi hai yếu tố chính là độ trắng và độ bền cơ lý của bột. Điều này có nghĩa là bên cạnh chế độ nghiền, thì mức dùng các loại hóa chất và điều kiện tiến hành quyết định tới chất lượng của bột.

Hai loại hóa chất chủ yếu và quan trọng ảnh hưởng tới chất lượng của bột là NaOH và H₂O₂. Hydro perôxít là tác nhân tẩy trắng, còn NaOH dùng để tách loại một số hợp chất trích ly, làm trương nở và “mềm hóa” mảnh nguyên liệu tạo thuận lợi cho quá trình nghiền, đồng thời còn tạo môi trường cho phản ứng tẩy trắng.

Để tối ưu hóa các điều kiện công nghệ trong giai đoạn thẩm thấu dăm mảnh, một loạt các thí nghiệm thăm dò về ảnh hưởng của mức dùng NaOH, H₂O₂ và thời gian thẩm thấu đã được tiến hành. Các kết quả nghiên cứu cho thấy để đạt được độ trắng và các chỉ tiêu cơ lý của bột như yêu cầu đặt ra thì mức dùng tổng H₂O₂ (thẩm thấu và tẩy trắng) sẽ dao động trong khoảng 5 ÷ 10% (khối lượng so với bột KTD); mức dùng NaOH trong thẩm thấu trong khoảng 1 ÷ 3,5%; thời gian thẩm thấu tại nhiệt độ 85°C trong khoảng 10 ÷ 25 phút.

Quy hoạch thực nghiệm theo phương pháp Box-Wilson đã được sử dụng [7]. Trong thí nghiệm này các điều kiện của giai đoạn xông hơi, nghiền sơ bộ, xử lý dăm mảnh bằng DTPA, giai đoạn tẩy trắng được giữ nguyên (trừ lượng H₂O₂ thay đổi và bằng 40% tổng lượng sử dụng). Chỉ tiến hành thay đổi một số điều kiện trong giai đoạn thẩm thấu 2.

Ba yếu tố ảnh hưởng lớn nhất đến chất lượng bột là mức dùng NaOH (x₁, %), mức dùng H₂O₂ (x₂, %) và thời gian thẩm thấu (x₃, phút). X₁ thay đổi trong khoảng 1- 3,5%; x₂ thay đổi trong khoảng 3- 6% (chiếm 60% tổng lượng H₂O₂ cho cả thẩm thấu và tẩy trắng); x₃ được thay đổi trong khoảng 10 - 25 phút.

Hàm mục tiêu y đánh giá hiệu quả của quá trình sản xuất thông qua độ trắng %ISO và chỉ tiêu cơ lý. Ở đây ta sẽ dùng độ trắng để làm hàm mục tiêu, đồng thời sẽ xác định các chỉ tiêu cơ lý làm điều kiện. Hàm mục tiêu đầy đủ có dạng:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3 \quad (1)$$

Quy hoạch thực nghiệm với ma trận đầy đủ, số thí nghiệm N = 2³ = 8.

Kết quả thực nghiệm trên mô hình được đưa trong bảng 2 và 3. Sau khi tính toán các hệ số thu được phương trình dạng:

$$y = 75,4 - 2,975x_1 + 4,325x_2 - 0,275x_3 + 1,6x_1x_2 + 0,05x_1x_3 + 0,9x_2x_3 + 0,175x_1x_2x_3 \quad (2)$$

***Kiểm tra sự có nghĩa của các hệ số trong phương trình (2)**

Dựa trên chuẩn số Student t (tra bảng $S_t = (f, N)$), theo điều kiện $|b_i| \geq |S_b \cdot t|$

+ Tính các phương sai:

Phương sai phân bố cho mỗi thí nghiệm, tính theo: $S_y^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N S_i^2$ với $S_i^2 = \frac{1}{k-1} \sum_{l=1}^k (y_{i,l} - y_i^{TB})^2$

ta có $S_y^2 = 0,1825$.

Bảng 2: Kết quả các mẫu thực nghiệm

Thí nghiệm	Tính chất cơ lý của bột				
	Chiều dài đứt, m	Chỉ số xé, mN.m ² /g	Chỉ số bục, kPa.m ² /g	Độ trắng, % ISO	Hiệu suất, %
1	3260	2,85	1,15	76,7	96,3
2	5150	5,42	2,70	67,8	94,5
3	3170	2,79	1,16	80,7	96,6
4	4850	5,25	2,65	77,5	94,6
5	3550	3,45	2,14	74,6	95,2
6	5410	5,65	2,80	65,2	93,8
7	3280	2,95	2,12	81,5	95,7
8	5450	5,68	2,77	79,2	93,4
9	4760	3,85	2,05	77,8	93,8

Các điều kiện mã hóa của 3 biến x_1, x_2, x_3 của từng thí nghiệm xem bảng 3; thí nghiệm thứ 9 là ở mức trung tâm.

Bảng 3: Các số liệu thực nghiệm trên mô hình

Thí nghiệm	Biến			Hàm mục tiêu, % ISO			
	x_1	x_2	x_3	y_1	y_2	y_3	y^{TB}
1	-	-	-	76,3	76,9	76,9	76,7
2	+	-	-	67,6	68,1	67,7	67,8
3	-	+	-	81,2	80,9	80,0	80,7
4	+	+	-	77,9	77,3	77,3	77,5
5	-	-	+	74,5	74,8	75,5	74,6
6	+	-	+	64,9	65,6	65,1	65,2
7	-	+	+	81,8	81,3	81,4	81,5
8	+	+	+	79,6	78,9	79,1	79,2
9	0	0	0	77,5	77,9	78,0	77,8

Phương sai phân bố cho mỗi lần đo, tính theo:

$$S_{y^{TB}}^2 = \frac{S_y^2}{k} \quad (k \text{ là số lần đo}) \quad S_{y^{TB}}^2 = 0,060833$$

Phương sai phân bố cho từng hệ số hồi quy, tính theo:

$$S_b^2 = \frac{S_{y^{TB}}^2}{B}$$

$$S_b^2 = 0,007604 \text{ hay } S_b = 0,087201.$$

Tra bảng $S_t (f, N)$ [7]. Với $f = m - 1 = 3 - 1 = 2$, m là số lần lặp lại thí nghiệm. $S_t (2,8)$ với $p = 0,05$ (sai số của phép xác định) được $t = 4,3$ và $S_b \cdot t = 0,375$. So sánh với các hệ số của phương trình hồi quy (2) ta thấy:

$$|b_3|, |b_{123}| \text{ và } |b_{13}| < S_b \cdot t$$

Vậy ta loại hệ số này và phương trình hồi quy sẽ có dạng:

$$y = 75,4 - 2,975x_1 + 4,325x_2 + 1,6x_1x_2 + 0,9x_2x_3 \quad (3)$$

Số hệ số của mô hình $B' = 5$.

*** Kiểm tra sự tương thích của mô hình:**

Dựa vào chuẩn số Fisher, điều kiện để mô hình thích ứng là $F_{TT} < F_{bảng}$.

$$+ F_{bảng} = g(f_1, f_2), f_1 = N \cdot (k-1), f_2 = N - B'$$

Vậy $F_{bảng} = g(2,3) = 19,2$ [7].

+ F_{TT} được tính theo:

Phương sai dư tương ứng S^2_{tu} của mỗi thí nghiệm được tính theo công thức:

$$F_{TT} = \frac{\max(S_{tu}^2, S_y^2)}{\min(S_y^2, S_{tu}^2)}$$

$$S_{tu}^2 = \frac{1}{N - B'} \sum_{i=1}^N S_{iTT}^2$$

với

$$S_{iTT}^2 = (y_i^{TT} - y_i^{TB})^2$$

Trong đó, y_i^{TT} là giá trị của hàm mục tiêu tương ứng của từng thí nghiệm theo phương trình hồi quy tìm được (3), B' là số các hệ số có nghĩa của phương trình. Các số liệu tính toán trên mô hình được đưa ra trong bảng 4.

Bảng 4: Các số liệu tính toán trên mô hình

Thí nghiệm	x_1	x_2	x_3	y_i^{TB} %ISO	S_i^2	y_i^{TT} %ISO	S_{iTT}^2
1	-	-	-	76,7	0,12	76,55	0,0225
2	+	-	-	67,8	0,07	67,40	0,1600
3	-	+	-	80,7	0,39	80,20	0,2500
4	+	+	-	77,5	0,12	77,45	0,0025
5	-	-	+	74,6	0,43	74,75	0,0225
6	+	-	+	65,2	0,13	65,60	0,1600
7	-	+	+	81,5	0,07	82,00	0,2500
8	+	+	+	79,2	0,13	78,25	0,9025
Tổng					1,46		1,7700

Từ các số liệu trên ta tính được: $S_{tu}^2 = 0,59$; $S_y^2 = 0,1825$ ta có $F_{TT} = 3,23$; nhận thấy $F_{TT} < F_{bảng} = 19,2$. Vậy mô hình tìm được là tương thích.

***Thực hiện bước tiến lên**

Mô hình tìm được là đáng điều chỉnh mức của không gian biến đổi của độ trắng và các tính chất cơ lý của bột. Từ mật độ mức này ta phải chỉ ra một chiến thuật mà các biến số cần di động để độ trắng của bột sau tẩy và tính chất cơ lý đạt tới vùng cực trị (tối ưu). Phân tích tối ưu bắt đầu được tiến hành ở thí nghiệm với các yếu tố ở mức không (0), còn tọa độ của các biến số sẽ được tính theo công thức:

$$x_i^k = x_i^{k-1} \pm \Delta_i$$

Để chọn biến cơ sở ta tính giá trị của tích $|b_i \lambda_i|$, trong đó b_i là hệ số tương ứng với biến x_i , λ_i là khoảng biến thiên của biến.

Chọn các thông số:

$$+ \lambda_1 = 1,25(\%) \rightarrow |b_1 \lambda_1| = |-2,975 \cdot 1,25| = 3,718$$

$$+ \lambda_2 = 2,5(\%) \rightarrow |b_2 \lambda_2| = |4,325 \cdot 2,5| = 10,81$$

Do khoảng chọn thời gian thẩm thấu đã sát với thực tế nên hệ số b_3 không tồn tại, hay trong khoảng thời gian 10 phút đến 25 phút, đại lượng này ít ảnh hưởng tới chất lượng bột.

Nhận thấy giá trị $|b_2 \lambda_2| = 10,81$ là giá trị max. Chọn $\Delta_2 = 0,5$ (%) làm bước nhảy cơ sở. Các Δ_i tính theo công thức:

$$\Delta_i = \frac{|b_i \cdot \lambda_i|}{|b_{cs} \cdot \lambda_{cs}|} \cdot \Delta_{cs}$$

$$\Delta_1 = 0,17 \quad \text{chọn } \Delta_1 = 0,15$$

Ma trận thực nghiệm theo phương pháp tiến lên được đưa ra ở bảng 5.

Bảng 5: Ma trận thực nghiệm tối ưu theo phương pháp tiến lên

TN	x ₁ %	x ₂ %	x ₃ phút	Chỉ số dài đứt, m	Chỉ số xé, mN.m ² /g	Chỉ số bục kPa.m ² /g	Độ trắng, % ISO	Hiệu suất, %
1	2,25	4,5	17,5	4760	3,95	2,05	77,8	93,6
2	2,10	5,0	17,5	4730	4,06	2,03	79,5	93,6
3	1,95	5,5	17,5	4690	4,02	2,04	81,5	94,2

Từ kết quả thực nghiệm trên cho thấy ngay ở thí nghiệm đầu tiên sau thí nghiệm trung tâm đã cho kết quả chất lượng bột nhìn chung đáp ứng được yêu cầu của đề tài đặt ra. Tuy nhiên, để thu được bột có độ trắng trên 80% ISO và tính chất cơ lý cao thì cần phải tăng mức dùng H₂O₂.

IV - KẾT LUẬN

Qua những nghiên cứu trên cho thấy, gỗ keo tai tượng trồng ở Việt Nam hoàn toàn có thể dùng làm nguyên liệu để sản xuất bột giấy cơ học chất lượng cao.

Bên cạnh chế độ nghiền thì yếu tố công nghệ ảnh hưởng lớn tới chất lượng bột là mức dùng NaOH, H₂O₂ và thời gian thẩm thấu bột. Bằng phương pháp tối ưu hóa, đã tìm được điều kiện tối ưu để sản xuất bột P-RC-APMP có độ trắng ≈80% ISO, chiều dài đứt > 4730 m, chỉ số xé > 4 mN.m²/g, chỉ số bục >2,0 kPa.m²/g thì mức dùng NaOH và H₂O₂ trong giai đoạn thẩm thấu sẽ lần lượt là 2,1% và 5,0% (tổng mức dùng H₂O₂ cho thẩm thấu và tẩy trắng là 8,3%) với thời gian thẩm thấu là 17,5 phút. Bột giấy thu được đáp ứng yêu cầu cho sản xuất giấy in các loại.

Liên hệ: **Doãn Thái Hòa**

Khoa Công nghệ Hóa học
Trường Đại học Bách khoa Hà Nội
Số 1, Đại Cồ Việt, Hà Nội.
Email: hoadoanthai-fct@mail.hut.edu.vn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Lê Chí Ái. Bột giấy cơ học peroxit kiềm, www.vppa.com.vn (2007).
2. Eric. C Xu and Marc J. Sabourin. TAPPI Journal, Vol. 82(12), 75 - 82 (1999).
3. Eric. C Xu and Yajun Zhou, Synergistic Effects between Chemical Mechanical Pulps and Chemical Pulp from Hard Woods, TAPPI Journal, November 2007.
4. Vũ Quốc Bảo và các cộng sự. Nghiên cứu công nghệ và dây chuyền thiết bị sản xuất bột giấy hiệu suất cao từ nguồn nguyên liệu trong nước đạt tiêu chuẩn xuất khẩu, đề tài cấp nhà nước KC.06.08/06-10 (2009).
5. Lưu Đức Thống. Một số suy nghĩ về trồng rừng keo tai tượng và keo lai hiện nay, Công nghiệp Giấy, 157- 1/2006, trang 24 - 28.
6. Papermaking Science and Technology, Book 6A: Chemical Pulping, A23&A27, Finland (2000).
7. Nguyễn Minh Tuyền, Phạm Văn Thiêm. Kỹ thuật hệ thống công nghệ hóa học, trang 194-235, tập 1, Nxb. Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội (2005).