



THỬ NGHIỆM SẢN XUẤT CELLULOSE VI KHUẨN (BC) TỪ BÙN GIẤY VỚI QUY MÔ PILOT VÀ ỨNG DỤNG LÀM PHỤ LIỆU TĂNG CƯỜNG CHẤT LƯỢNG GIẤY

VÕ THỊ THANH HƯƠNG¹, LÊ TẤN NHÂN TỪ^{1,2}, NGUYỄN PHẠM TÚ UYÊN^{1,2},
HUỠNH LÊ TUYẾT THU^{2,3}, NGÔ THỰC TRI NGUYÊN^{2,3}, LÊ NGUYỄN PHÚC THIÊN^{1,2},
LÊ HỮU PHƯỚC⁴, HUỠNH QUYÊN⁵, NGUYỄN ĐÌNH QUÂN^{1,2*}

¹Khoa Kỹ thuật Hóa học, Trường Đại học Bách Khoa TP. Hồ Chí Minh

²Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh

³Trung tâm Khoa học và Công nghệ sinh học, Trường Đại học Khoa học Tự Nhiên

⁴Trường Đại học Nông Lâm TP. Hồ Chí Minh

⁵Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường TP. Hồ Chí Minh

Tóm tắt:

Nghiên cứu này được thực hiện với mục tiêu thử nghiệm sản xuất cellulose vi khuẩn (BC) từ bùn giấy ở quy mô pilot và đánh giá ứng dụng của BC như một chất độn tăng cường trong sản xuất giấy. Phương pháp thực nghiệm, thu thập và phân tích số liệu, kết hợp với cân bằng vật chất và năng lượng đã được sử dụng để đánh giá hiệu quả sản xuất BC quy mô pilot. Để đánh giá chất lượng giấy, các phương pháp đo độ bục, độ nén vòng và kính hiển vi điện tử quét đã được áp dụng. Kết quả thu được ghi nhận như sau: Từ 100 kg bùn giấy ướt/mẻ (độ ẩm: 83,5%), quá trình thủy phân với acid sulfuric (H_2SO_4) và lên men với vi khuẩn *Acetobacter xylinum* đã tạo ra 132,3kg BC ướt (độ ẩm 96% khối lượng). Năng lượng cần thiết để sản xuất một mẻ là 96,65 MJ, trong đó, năng lượng cung cấp cho nồi hơi chiếm lượng lớn nhất (76,93 MJ) so với các thiết bị còn lại. Giấy sản xuất được trộn với 20% BC có độ bục là 2,00 kgf/cm² (0% BC là 1,37 kgf/cm²) và độ nén vòng đạt giá trị cao nhất là 12,89 kgf/m tại 12% BC. Như vậy, BC đã được chứng minh là một chất độn giúp tăng các đặc tính của giấy.

Từ khóa: Cellulose vi khuẩn, bùn giấy, nhà máy thí điểm, độ nén vòng, độ bục.

Ngày nhận bài: 27/7/2023. Ngày sửa bài: 19/8/2023. Ngày duyệt đăng: 25/9/2023.

Pilot-scale production of bacterial cellulose (BC) from paper sludge and its application as an enhancer for paper quality

Abstract:

This study was carried out with the objective of testing the production of bacterial cellulose (BC) from paper waste sludge on a pilot scale and evaluating the application of BC as a reinforcing filler in pulp paper production. Experimental methods, data collection and analysis, combined with material and energy balance were used to evaluate the efficiency of pilot-scale BC production. To evaluate paper quality, methods of measuring bursting, ring compression and scanning electron microscopy were applied. The results obtained were recorded as follows: From 100 kg of wet paper sludge/batch (humidity: 83.5%), hydrolysis with sulfuric acid (H_2SO_4) and fermentation with *Acetobacter xylinum* bacteria produced 132.3kg of wet BC (96% moisture by weight). The energy required to produce one batch is 96.65 MJ. In particular, the energy supplied to the boiler accounts for the largest amount (76.93 MJ) compared to the remaining devices. Paper produced mixed with 20% BC has a bursting strength of 2.00 kgf/cm² (0% BC is 1.37 kgf/cm²), and ring compression reaches the highest value of 12.89 kgf/m at 12 % BC. Thus, BC has been proven to be a filler that helps increase the properties of paper.

Keywords: Bacterial cellulose, paper sludge, pilot plant, ring compaction, bursting.

JEL Classifications: Q51, Q53, Q55.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Bùn giấy là chất thải phát sinh trong quy trình sản xuất giấy. Bùn giấy chứa một lượng lớn các hợp chất phức tạp và không thể tái sử dụng trực tiếp trong quy trình sản xuất. Vì vậy, bùn giấy được coi là chất thải của ngành công nghiệp giấy. Loại chất thải công nghiệp này có trữ lượng lớn và cần

phải được xử lý. Việc xử lý bùn giấy thải tiêu tốn một lượng chi phí đáng kể, nên đây là gánh nặng của các nhà máy sản xuất giấy tại Việt Nam.

Trong các phương pháp xử lý, sử dụng bùn giấy để sản xuất cellulose vi khuẩn (BC) là phương pháp mới, có hiệu quả cao [1]. Phương pháp này không những xử lý được

lượng bùn giấy thải, mà còn sử dụng BC như một chất độn giúp tăng cường đặc tính giấy [1]. BC vốn có thể được tạo ra từ các nguồn nguyên liệu khác nhau như bã cà phê, trái cây, hoặc cellulose từ cây trồng. Tuy nhiên, có rất ít nghiên cứu sử dụng bùn giấy thải từ quy trình sản xuất giấy để sản xuất BC. Việc nghiên cứu và phát triển một quy trình hiệu quả để chuyển hóa bùn giấy thành BC có thể mang lại lợi ích kinh tế, cũng như môi trường. Mặc dù, tiềm năng của quá trình chuyển hóa bùn giấy thành BC là rất lớn, song việc tiến hành nghiên cứu và mở rộng quy trình sản xuất là không đơn giản. Một số thách thức là: Việc xử lý bùn giấy gặp khó khăn do bùn giấy chứa nhiều tạp chất, hiệu quả chuyển hóa chỉ mới được chứng minh ở quy mô Phòng thí nghiệm; Việc phối trộn BC vào giấy chỉ được chứng minh theo cơ sở lý thuyết và chưa được kiểm nghiệm.

Mục tiêu chính của nghiên cứu này là tiến hành thử nghiệm quy trình sản xuất BC từ bùn giấy ở quy mô pilot và đánh giá ứng dụng của BC này như một chất độn tăng cường trong sản xuất giấy. Nghiên cứu đặt mục tiêu sẽ đóng góp vào việc phát triển quy trình sản xuất BC từ bùn giấy hiệu quả và bền vững, đồng thời khai thác tiềm năng ứng dụng của BC trong ngành công nghiệp giấy.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP

2.1. Vật liệu và hóa chất

Bùn giấy được thu gom tại Nhà máy giấy Khôi Nguyên, huyện Chơn Thành, tỉnh Bình Phước. Một số hóa chất khác được sử dụng cho nghiên cứu gồm sodium hydroxide, potassium hydroxide, glucose, peptone, yeast extract (cao nấm men), acid sulfuric, acid clohydric và acid acetic (được mua từ Trung Quốc).

Ngoài ra, bột giấy sử dụng trong sản xuất giấy chứa BC, được cung cấp bởi Nhà máy giấy Khôi Nguyên.

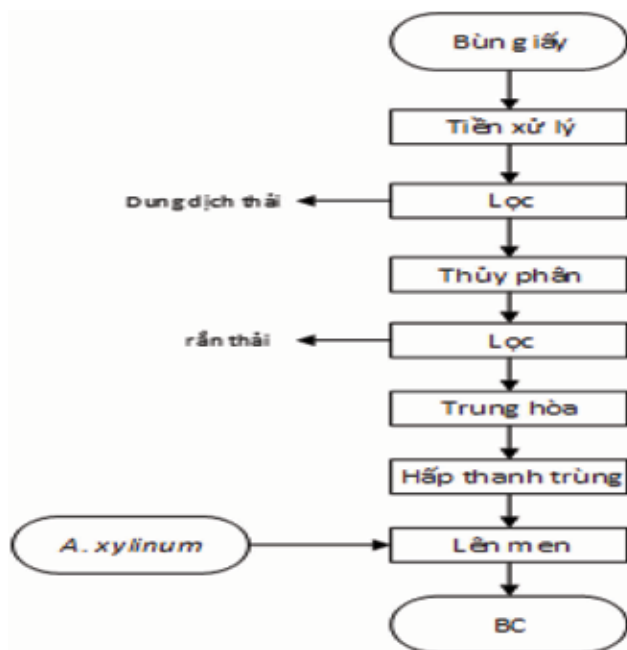
Chủng *Acetobacter xylinum* được nuôi cấy và phân lập tại Trung tâm Khoa học và Công nghệ sinh học - Trường Đại học Khoa học Tự Nhiên - Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh (HCM).

2.2. Quy trình thí nghiệm

Quy trình sản xuất BC từ bùn giấy khô với quy mô lớn được tiến hành tại Phòng thí nghiệm nhiên liệu sinh học và Biomass, Trường Đại học Bách Khoa, Đại học Quốc gia TP. HCM. Quy trình sản xuất bao gồm các giai đoạn: Tiền xử lý với HCl; Thủy phân bằng acid sulfuric (H_2SO_4); Trung hòa và lên men với vi khuẩn *Acetobacter xylinum* (*A. xylinum*). Các bước tiến hành được mô tả trong Hình 1.

Quy mô sản xuất BC của pilot được ước tính là 1.000kg bùn giấy ướt/ngày (10 mẻ/ngày). Các thiết bị bao gồm: 1 thiết bị phản ứng gia nhiệt vỏ áo thực hiện chức năng tiền xử lý, thủy phân, trung hòa và hấp thanh trùng. Ngoài ra, còn có các thiết bị phụ trợ khác như: Nồi hơi; tháp giải nhiệt; thiết bị gia nhiệt; bơm; máy ép thủy lực (Hình 4).

Bùn giấy được thu gom tại Nhà máy giấy Khôi Nguyên, huyện Chơn Thành, tỉnh Bình Phước. Quá trình tiền xử lý được tiến hành bằng cách ngâm bùn giấy vào dung dịch NaOH 1M ở 30°C, trong 24 giờ. Sau đó, bùn giấy được ép ở áp suất lên tới 11 - 13 kgf/cm² (Hình 2). Sau khi ép, phần rắn được nạp vào thiết bị phản ứng (Hình 3), rồi tiến hành giai đoạn thủy phân.



▲ Hình 1. Quy trình sản xuất BC tại Phòng thí nghiệm

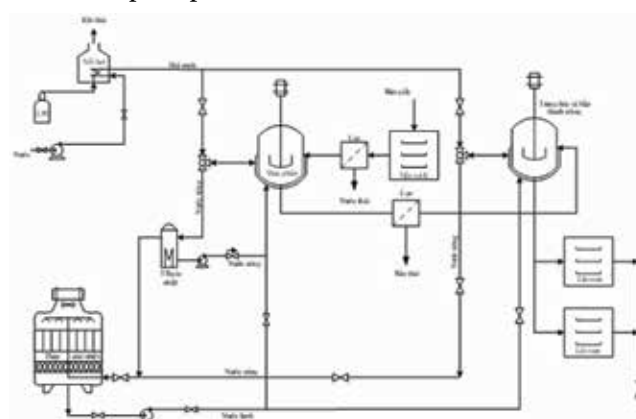


▲ Hình 2. Hình ảnh máy ép thủy lực



▲ Hình 3. Thiết bị phản ứng dung tích 800l

Quá trình thủy phân được thực hiện với acid sulfuric (H_2SO_4) 8% khối lượng, tỉ lệ khối lượng của lượng rắn (tính theo khối lượng khô) và lượng dung dịch là 1/40, thiết bị được gia nhiệt bằng hơi nước lên đến 120°C và duy trì nhiệt độ này trong 1 giờ. Dung dịch sau thủy phân được trung hòa bằng NaOH và $Ba(OH)_2$ với tỉ lệ mol là 6:4, đến khi hỗn hợp đạt pH từ 5 - 5,5.



▲ Hình 4. Sơ đồ thiết bị quy mô pilot để sản xuất BC từ bùn giấy

Trước khi tiến hành lên men, chủng giống *A. xylinum* được đem đi nuôi cấy. Môi trường nuôi cấy vi khuẩn bao gồm các thành phần: glucose 40g/l; peptone 5g/l; yeast extract 5 g/l; $(\text{NH}_4)_2 \text{HPO}_4$ 2,7 g/l và nước dừa 1.000ml. Sau đó, môi trường nuôi cấy được hấp thanh trùng ở 121°C trong 5 phút và để nguội còn 30°C trước khi 10% con giống được nạp vào [2]. Con giống được nuôi duy trì trong 7 ngày ở 35°C, trước khi tiến hành lên men bùn giấy.



▲ Hình 5. Nhân giống *A. xylinum*

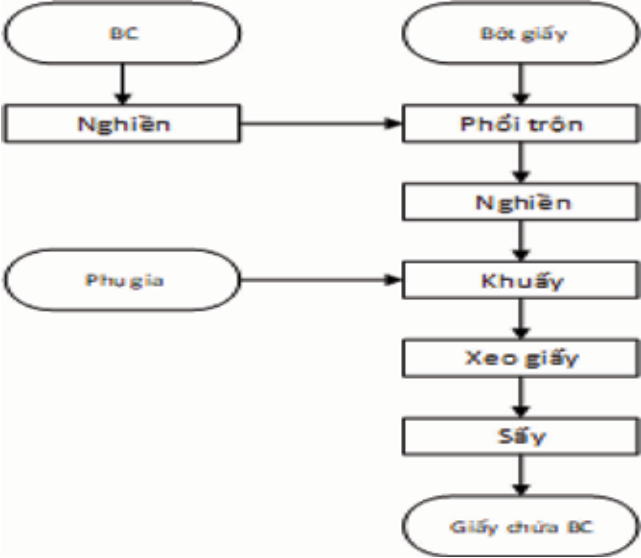
Dịch đường sau trung hòa được cho nạp vào thiết bị phản ứng 800l. Yeast extract, peptone và $(\text{NH}_4)_2 \text{HPO}_4$ được bổ sung vào dịch đường làm nguồn dinh dưỡng cho vi sinh vật. Hỗn hợp này được thanh trùng ở nhiệt độ 100°C bằng hơi nước trong 10 phút. Sau khi tiến hành bước thanh trùng hỗn hợp, dung dịch được chia đều ra các khay có kích thước 34,5 x 27 x 8cm (Hình 6). Dung dịch trong các khay được làm nguội xuống 35°C trước khi *A. xylinum* được nạp vào các khay với tỉ lệ 10%. Giấy báo được sử dụng để đậy kín các khay. Duy trì nhiệt độ ổn định 35°C trong quá trình lên men trong 14 ngày.



▲ Hình 6. Lên men dịch đường sau thủy phân

Kết thúc quá trình lên men, BC nổi trên mặt dung dịch được thu hoạch và cho vào bể chứa dung dịch xút để tẩy trắng thành phẩm, chuẩn bị cho công đoạn tuần hoàn tái sử dụng làm nguyên liệu cho quá trình sản xuất giấy tiếp theo.

2.3. Nghiên cứu ứng dụng BC trong sản xuất giấy



▲ Hình 7. Quy trình xeo giấy chứa BC

BC sau khi thu hoạch và làm trắng được nghiền nhỏ và trộn với bột giấy theo quy trình trong Hình 7. Tỉ lệ BC trong hỗn hợp là 0%, 4%, 8%, 12%, 16% và 20%.

Độ nén vòng và độ bực được đo để đánh giá chất lượng của giấy thu được. Độ nén vòng được đo theo Tiêu chuẩn Việt Nam (TCVN) 6896:2015 về Giấy và các tông - Xác định độ bền nén - Phương pháp nén vòng [3] và độ bực được đo theo TCVN 3228-2:2000 về Các tông - Xác định độ chịu bực [4].



▲ Hình 8. Giấy chứa BC trước khi sấy

2.4. Phương pháp đo độ nén vòng

Phương pháp đo độ bền nén vòng giấy và các tông xác định độ bền nén cạnh (độ bền nén vòng) của giấy và các tông, đặc biệt, đối với các tông dùng trong sản xuất các loại bao bì vận chuyển.

Một dải hẹp mẫu thử giấy, hoặc các tông được uốn cong thành vòng tròn và chịu tác động của lực nén cạnh tăng dần cho đến khi mẫu thử bắt đầu bị xẹp xuống.

Thiết bị thử độ bền nén Drk113 (Nhật Bản - Trung Quốc) được sử dụng để xác định độ nén vòng. Thiết bị đo được đặt tại Trường Đại học Nông Lâm TP. HCM. Thông số kỹ thuật: Thang kiểm tra là 5 - 5000N, độ phân giải 0,1N, độ chính xác ±1%.

2.5. Phương pháp đo độ bực

Độ bực là áp lực lớn nhất tác dụng vuông góc lên bề mặt mà mẫu thử chịu được trước khi bực, trong điều kiện thử tiêu chuẩn [4].

Mẫu thử được đặt lên tấm màng ngăn làm bằng vật liệu có tính đàn hồi và được kẹp lại. Chất lỏng thủy lực được bơm với tốc độ không đổi làm phồng màng ngăn cho tới khi mẫu thử bục. Độ bục của các tông là giá trị áp lực thủy lớn nhất đã tác dụng.

Máy đo độ bục của giấy các tông mã model QC-116 (Đài Loan), được sử dụng để xác định độ bục. Thiết bị đo được đặt tại Trường Đại học Nông Lâm TP. HCM. Thông số kỹ thuật: Khả năng kiểm tra: 0 - 75kg/cm²; Tốc độ nén 170 ±15ml/min (Áp lực cao).

2.6. Phân tích hình thái bề mặt (SEM)

Hình thái bề mặt của sợi cellulose được kiểm tra bằng kính hiển vi điện tử quét (Scanning Electron Microscopy - SEM). Hình ảnh cho thấy, hình thái bề mặt của cellulose và các tinh thể nano được chụp tại nhiều độ phóng đại khác nhau. Hình ảnh được đo bằng thiết bị JSM-IT200 tại Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường.

3. KẾT QUẢ

3.1. Phân tích dòng vật chất và năng lượng cho sản xuất BC từ bùn giấy với quy mô lớn

Quy trình sản xuất BC từ bùn giấy bao gồm các bước chính, đó là tiền xử lý, thủy phân và lên men. Quy trình này được thể hiện trong Hình 4.

Quá trình thủy phân và lên men được thực hiện theo từng mẻ, khối lượng mỗi mẻ là 100kg bùn giấy nhập liệu. Nguyên liệu được phân tích thành phần xơ sợi. Kết quả phân tích được trình bày trong Bảng 1. Để phân tích quy trình sản xuất, 3 mẻ thử nghiệm đã được tiến hành, khối lượng dòng vào và ra được ghi lại tại Bảng 2.

Bảng 1. Phân tích thành phần bùn giấy trước và sau tiền xử lý

Thành phần (%)	Không TXL	Tiền xử lý HCl			
		lần 1	lần 2	lần 3	TB
Cellulose	63,7	54,6	55,7	53,5	54,6
AIL	4,4	4,4	4,3	4,3	4,3
ASL	5,2	3,2	3,1	3,1	3,1
tro	7,0	3,3	3,1	4,2	3,5
khác	16,2	34,6	33,8	35,0	34,4
lượng còn lại	-	0,87	0,79	0,81	0,82
độ ẩm (%)	83,5	44,3	43,0	47,5	44,9

Bảng 2. Cân bằng vật chất cho quá trình sản xuất BC (đơn vị: kg)

Dòng		Lần 1	lần 2	lần 3	TB
Quá trình tiền xử lý					
Vào	Bùn giấy	100,0	100,0	100,0	100,0
	HCl 1M	165,0	165,0	165,0	165,0
Ra	Dịch thải	139,3	142,1	139,5	140,3
Quá trình thủy phân và trung hòa					
Vào	H ₂ SO ₄ 8%	574,2	521,4	534,6	543,4
	NaOH	58,4	53,1	54,2	55,2
	Ba(OH) ₂	720,5	655,1	668,8	681,5
Ra	Bùn thải	8,3	6,8	9,4	8,1
	BaSO ₄	45,3	41,2	42,1	42,9
Quá trình lên men					
Vào	Peptone	6,7	6,1	6,2	6,4
	Yeast extract	6,7	6,1	6,2	6,4
	(NH ₄) ₂ HPO ₄	3,6	3,3	3,4	3,4
	Acid acetic	6,7	6,1	6,2	6,4
	A xilvian	201,8	183,5	187,3	190,8
Ra	BC ướt (~96% ẩm)	113,2	120,0	163,8	132,3
	Dịch sau lên men	1440,4	1292,7	1278,4	1337,2
Khác					
Ra	Bùn thất thoát	5,2	3,8	3,4	4,1
	đá thất thoát	91,9	93,1	95,4	93,5

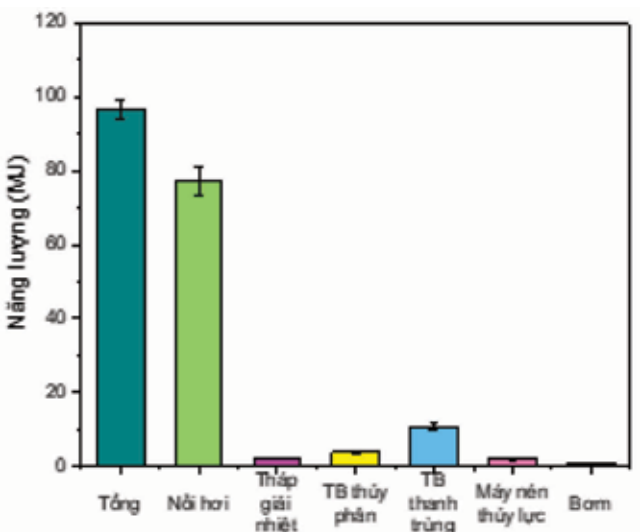
Qua nghiên cứu cho thấy, có sự thay đổi thành phần cellulose qua giai đoạn tiền xử lý, hàm lượng cellulose giảm, tuy nhiên, không đáng kể, hàm lượng vẫn cao hơn 50% tổng khối lượng. Khối lượng rắn thất thoát khoảng 18%.

Tổng khối lượng của dòng vào là 1758,5 kg. Khối lượng BC ướt (độ ẩm khoảng 96%) thu được là 132,3kg. Quá trình chuyển hóa này tạo ra một số chất thải bao gồm: Dung dịch tiền xử lý (140,3kg); dịch sau lên men (1337,2kg); chất thải rắn gồm bùn thải sau thủy phân (8,1kg) và kết tủa BaSO₄ (42,9kg).

Năng lượng để vận hành hệ thống cũng được tổng hợp và ghi lại, kết quả được trình bày trong Bảng 3. Năng lượng cho quy trình bao gồm: Lò hơi được sử dụng để cung cấp nhiệt cho quá trình thủy phân, thanh trùng và điện năng cần thiết cho hoạt động của tháp giải nhiệt, thiết bị phản ứng, bơm, máy nén thủy lực.

Bảng 3. Năng lượng cung cấp cho các thiết bị trong quy trình sản xuất BC (đơn vị: MJ)

Thiết bị	lần 1	lần 2	lần 3	TB
Nồi hơi	81,33	73,92	75,55	76,93
Tháp giải nhiệt	2,10	2,10	2,10	2,10
TB thủy phân	3,60	4,20	4,20	4,00
TB thanh trùng	9,74	11,38	11,33	10,82
Máy nén thủy lực	1,80	1,90	2,40	2,03
Bơm	0,80	0,80	0,70	0,77
Tổng	99,37	94,30	96,28	96,65



▲ Hình 9. Mức năng lượng trung bình cho 1 mẻ sản xuất BC

Từ Bảng 3 cho thấy, tổng năng lượng được sử dụng cho toàn bộ quá trình là 96,65 MJ. Trong đó, phần lớn năng lượng là cung cấp cho nồi hơi (Hình 9), với giá trị trung bình là 76,93 MJ cho 1 mẻ. Năng lượng cung cấp cho các thiết bị khác là không đáng kể, đa phần các thiết bị khác chỉ sử dụng năng lượng trung bình dưới 10 MJ.

Nồi hơi là thiết bị quan trọng để cung cấp năng lượng lớn cho quy trình sản xuất BC tại mô hình thí điểm. Cho quy mô công nghiệp, lượng nhiệt này có thể được cung cấp

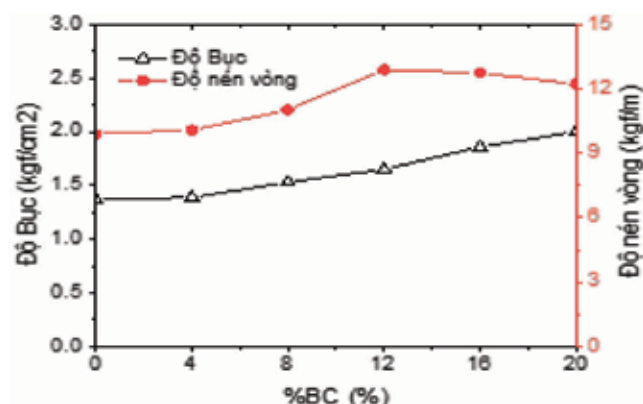


bằng lượng nhiệt dư tại các nhà máy sản xuất giấy. Nhiệt dư chủ yếu hình thành từ quá trình xeo giấy và sấy giấy [5]. Vì vậy, đề xuất được đưa ra là tích hợp quy trình sản xuất BC từ bùn giấy và hệ thống xử lý nước thải tại nhà máy giấy. Đề xuất này mang lại nhiều giá trị kinh tế. Thứ nhất, lượng nhiệt dư trong nhà máy được áp dụng làm nguồn nhiệt cung cấp năng lượng thay thế năng lượng của nồi hơi trong quy trình sản xuất BC. Thứ hai, bùn giấy không cần vận chuyển đến nơi khác, mà có thể trực tiếp dẫn vào quy trình sản xuất BC. Cuối cùng, BC sinh ra từ quy trình được sử dụng làm chất độn để tăng cường chất lượng giấy. Lợi ích thứ ba này là nội dung đã được nghiên cứu và kiểm nghiệm trong mục 3.2.

3.2. Đặc tính của giấy được tăng cường sau khi phối trộn thêm BC

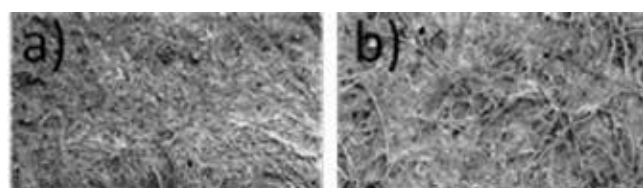
Bột giấy được trộn với BC với các tỉ lệ khác nhau, độ bục và độ nén vòng của giấy được tiến hành đo. Các kết quả đo được thể hiện trong Hình 10.

Độ bục của giấy tăng tuyến tính khi giấy được trộn với BC với lượng tăng dần. Giấy không chứa BC có độ bục đo được là 1,37 kgf/cm², trong khi đó, giấy chứa 20% BC độ bục là 2,00 kgf/cm². Độ nén vòng tăng khi tăng lượng BC được phối trộn từ 0% đến 12% (Hình 10), đạt giá trị cao nhất là 12,89 kgf/m tại 12% BC. Khi hàm lượng BC tăng lên 16 và 20% thì độ nén vòng giảm còn 12,75 và 12,23 kgf/m.



▲ Hình 10. Độ bục và độ nén vòng của giấy chứa BC với các tỉ lệ khác nhau

Kết quả chụp hiển vi điện tử quét (SEM) cho thấy, giữa các sợi của giấy (Hình 11a) tồn tại các khoảng trống. Khi BC được thêm vào bột giấy, BC sẽ được phân bố trong các khoảng trống giữa các sợi, hoặc trên bề mặt sợi và kết hợp chặt chẽ với các sợi bột giấy (Hình 11b). BC giúp tăng cường độ bám dính của các sợi, lấp đầy khoảng trống trên giấy và đạt được hiệu quả cải thiện độ bền giấy [6], [7]. Điều này giải thích cho sự tăng độ bục của giấy khi thành phần BC tăng lên.



▲ Hình 11. Hình SEM (a) của giấy có độ phóng đại 80 lần và (b) giấy chứa 12% BC có độ phóng đại 160 lần

Mặt khác, vì sợi BC có kích thước micro và nano về độ dài ngắn [8], nên giấy chứa hàm lượng BC lớn hơn 12% sẽ có các liên kết ngang yếu hơn, dẫn đến độ nén vòng giảm.

Từ kết quả của các thí nghiệm trên đã chứng minh rằng, BC được thêm vào giấy đã góp phần làm tăng cường đặc tính của giấy, thể hiện qua sự tăng độ bục và độ nén vòng.

4. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, quá trình sản xuất BC từ bùn giấy với năng suất 100kg/mẻ bùn giấy ướt đã được tiến hành thành công. Một mẻ sản xuất quy mô pilot sẽ thu được khối lượng BC ướt (độ ẩm ~ 96%) là 132,3kg. Năng lượng cần thiết cho sản xuất một mẻ BC là 96,65 MJ. Xem xét các kết quả và tích hợp quy trình sản xuất BC từ bùn giấy trong hệ thống xử lý nước thải tại nhà máy giấy (dự kiến là Nhà máy giấy Khôi Nguyên, huyện Chơr Thành, tỉnh Bình Phước) khá hiệu quả về mặt xử lý lượng lớn bùn giấy, thu hồi lượng bột giấy mất mát thành BC. BC được thu hồi này đã được kiểm nghiệm có thể sử dụng như một chất độn, làm tăng cường chất lượng giấy■

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Bộ TN&MT, mã số Đề tài TNMT.2022.05.03.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Thuc Tri Nguyen Ngo, Thuy Han Phan, Tuan Minh Thong Le, Tan Nhan Tu Le, Quyen Huynh, Thi Phuong Trang Phan, Manh Hoang, Tan Phat Vo, Dinh Quan Nguyen, "Producing bacterial cellulose from industrial recycling paper waste sludge," *Heliyon*, vol. 9, p. e17663, 2023.
2. Nguyễn Văn Thành., Nguyễn Phú Thành, và Nguyễn Ngọc Thanh, "Phân lập và tuyển chọn vi khuẩn *Acetobacter* sp. lên men tạo màng cellulose từ nước mía," *Tạp chí Khoa học Đại học Cần Thơ*, vol. 55, pp. 193 - 202, 2019.
3. "Tiêu chuẩn quốc gia TCVN 6896:2015 về Giấy và các tông - Xác định độ bền nén - Phương pháp nén vòng", 2015.
4. "Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 3228-2:2000 về cáctông - xác định độ chịu bục", 2000.
5. R. Freist, "Sản xuất giấy bằng hơi nước tạo ra từ nguồn năng lượng dư thừa" [Online]. Available: <https://www.technologymag.net/san-xuat-giay-bang-hoi-nuoc-tao-ra-tu-nguon-nang-luong-du-thua/>. [Accessed: 29/7/2023].
6. S. Boufi, I. González, M. Delgado-Aguilar, Q. Tarrès, M. À. Pèlach, and P. Mutjé, "Nanofibrillated cellulose as an additive in papermaking process: A review," *Carbohydr. Polym.*, vol. 154, pp. 151 - 166, 2016.
7. A. K. Bharimalla, S. P. Deshmukh, P. G. Patil, and N. Vigneshwaran, "Micro/nano-fibrillated cellulose from cotton linters as strength additive in unbleached kraft paper: Experimental, semi-empirical, and mechanistic studies," *BioResources*, vol. 12, no. 3, pp. 5682 - 5696, 2017.
8. Ao Li, Dezhong Xu, Lu Luo, Yalan Zhou, Wen Yan, Xin Leng, Dasong Dai, Yonghui Zhou, Hassan Ahmad, Jiuping Rao and Mizi Fan, "Overview of nanocellulose as additives in paper processing and paper products," *Nanotechnol. Rev.*, vol. 10, no. 1, pp. 264 - 281, 2021.