

NGHIÊN CỨU MÔ HÌNH FIXED – BED SỬ DỤNG RƠM ĐỂ XỬ LÝ CRÔM TRONG NƯỚC THẢI XI MẠ

RESEARCH OF A FIXED - BED OF STRAW FOR TREATING CHROMIUM IN PLATING WASTEWATER

Phạm Ngọc Hoà¹, Nguyễn Ngọc Khôi², Võ Thị Thu Thảo²

¹Trường Đại học Công nghiệp Thực phẩm TP. HCM; pnh8110@gmail.com

²Trường Đại học Lạc Hồng; ngoackhoi2108@gmail.com

Tóm tắt - Công nghiệp phát triển kéo theo nhiều vấn đề về môi trường, nước thải xi mạ có thành phần chính là các kim loại nặng với nồng độ cao là vấn đề môi trường được quan tâm hiện nay. Công nghệ Fixed-Bed được ứng dụng rất rộng rãi trong các quá trình công nghiệp và xử lý môi trường, rơm là một loại phụ phẩm nông nghiệp rất phổ biến và rẻ tiền ở Việt Nam, có tiềm năng ứng dụng làm vật liệu hấp phụ trong xử lý nước thải. Ứng dụng xử lý nước thải xi mạ bằng công nghệ Fixed-Bed sử dụng rơm là vật liệu hấp phụ có tiềm năng lớn và mang lại hiệu quả kinh tế cao. Kết quả nghiên cứu cho thấy: ở pH = 6,5 và tốc độ dòng 0,15 (m³/m².h), mô hình 20% rơm HNO₃ (C = 2%) cho hiệu quả xử lý độ màu là 92,3%, COD - 82,2%, Cr³⁺ - 59%, Cr⁶⁺ - 89,8%; ở mô hình 20% rơm nước cho hiệu quả xử lý độ màu là 88,4%, COD - 80,2%, Cr³⁺ - 53%, Cr⁶⁺ - 86,4%. Điều này cho thấy rơm xử lý bằng nước có khả năng ứng dụng làm vật liệu hấp phụ mục đích xử lý nước thải xi mạ.

Từ khóa - Fixed-Bed; nước thải xi mạ; xử lý kim loại nặng; rơm; hấp phụ.

Abstract - Industrial development has led to numerous environmental problems. Plating wastewater whose main component is the concentration of heavy metals is an environmental issue of great concern today. Fixed-Bed technology is widely applied in industrial processes and environmental remediation. Straw, which is an agricultural by-product very common and cheap in Vietnam, has potential applications as an adsorbent material in wastewater treatment. Application of plating wastewater treatment with Fixed-Bed technology by using straw as an adsorbent material has great potential and brings high economic efficiency. The study results show that at pH = 6.5 and velocity of 0.15 (m³/m².h), 20% straw model HNO₃ (C = 2%) has fertility treatment efficiency of 92.3%, COD - 82.2%, Cr³⁺ - 59%, Cr⁶⁺ - 89.8%, while 20% straw model has water fertility treatment efficiency of 88.4%, COD - 80.2%, Cr³⁺ - 53%, Cr⁶⁺ - 86.4%. It shows that straw with water processors can be used as an adsorbent material for the purpose of treating plating wastewater.

Key words - Fixed-Bed; plating wastewater; treatment of heavy metal; straw; adsorb.

1. Đặt vấn đề

Hiện nay, ngành công nghiệp xi mạ đang phát triển mạnh mẽ, cung cấp sản phẩm ứng dụng trong nhiều lĩnh vực sản xuất khác nhau, đi đôi với sự phát triển đó là lượng nước thải đang ngày càng gia tăng, nước thải xi mạ chứa nhiều hóa chất độc hại, đặc biệt là ô nhiễm kim loại nặng ảnh hưởng lớn đến môi trường sinh thái và sức khỏe con người. Công nghệ Fixed – Bed từ lâu đã được sử dụng trong các quá trình công nghiệp như lò phản ứng hóa học xúc tác, hấp phụ,... [1] mang lại hiệu quả cao và tiết kiệm chi phí xây dựng.

Rơm là loại vật liệu phổ biến và rẻ tiền. Rơm chứa khoảng 40% cellulose, chúng là những polymer sinh học tự nhiên có tính chất trao đổi ion. Điều này giúp rơm trở thành đối tượng tốt làm chất hấp phụ sinh học trong việc xử lý nước thải chứa kim loại [2].

Để giải quyết những vấn đề trên, nhóm thực hiện nghiên cứu này để đánh giá hiệu quả xử lý kim loại nặng của nước thải xi mạ sử dụng công nghệ Fixed – Bed dùng rơm là vật liệu hấp phụ để xác định tốc độ dòng thích hợp cho mô hình hấp phụ.

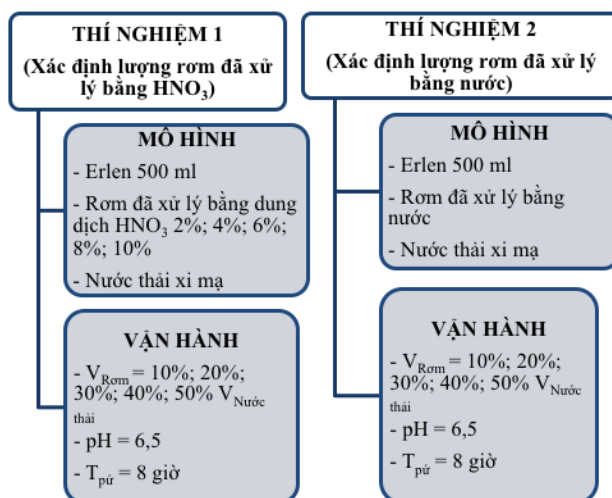
2. Nội dung và phương pháp nghiên cứu

2.1. Nội dung nghiên cứu

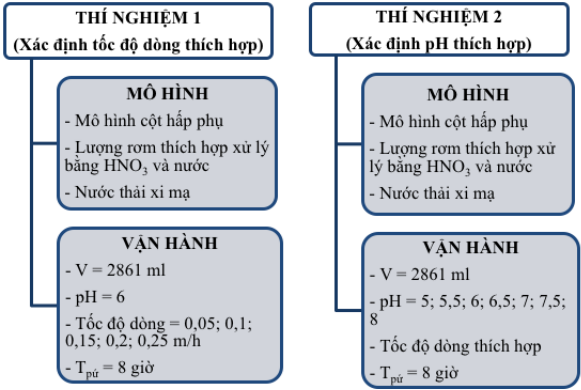
Nghiên cứu này gồm 2 nội dung chính thực hiện 4 thí

nghiệm (Hình 1 và Hình 2) khác nhau để xác định phương pháp xử lý rơm và xác định lượng rơm thích hợp, từ đó sử dụng công nghệ Fixed – Bed sử dụng rơm làm vật liệu hấp phụ để xác định tốc độ dòng thích hợp cho quá trình xử lý nước thải.

Nội dung nghiên cứu được thể hiện trong Hình 1 và 2.



Hình 1. Nội dung thí nghiệm xác định lượng rơm thích hợp



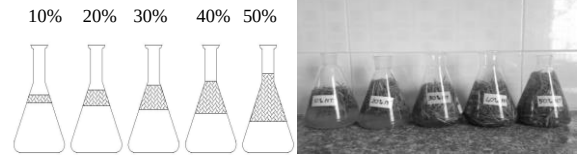
Hình 2. Nội dung thí nghiệm xác định các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình hấp phụ

*Ghi chú:

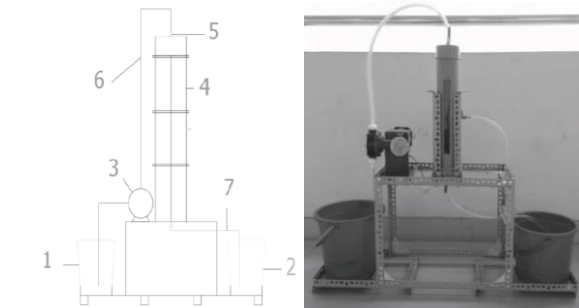
Sự loại bỏ kim loại tăng khi nhiệt độ dung dịch tăng từ 30 – 35°C, tuy nhiên sự gia tăng trở nên không ý nghĩa nếu nhiệt độ gia tăng từ 25 – 30°C [2], vì vậy trong nghiên cứu này nhóm tác giả không khảo sát ảnh hưởng của nhiệt độ thay đổi từ 25 – 30°C.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Mô hình nghiên cứu:



Hình 3. Mô hình Erlen 500 ml xác định lượng rom thích hợp



Chú thích:

1. Thùng chứa nước thải
2. Thùng chứa nước sau xử lý
3. Bơm định lượng
4. Cột hấp phụ
5. Van xả nước
6. Đường ống dẫn nước thải vào
7. Đường ống dẫn nước ra

Hình 4. Mô hình Fixed – Bed

✓ Vật liệu nghiên cứu:

Nước thải: Nước thải được lấy sau khi qua hệ thống xử lý hóa lý của cơ sở xi mạ tại KCN Long Bình, Đồng Nai.

Bảng 1. Thành phần tính chất nước thải xi mạ

Thông số	Đơn vị	Nồng độ	QCVN 40:2011/BTNMT Cột B [3]
pH	-	2,5	5,5 – 9
COD	mg/l	360	150
Cr ³⁺	mg/l	0,5	1
Cr ⁶⁺	mg/l	0,44	0,1

(Nguồn: Phòng Thí nghiệm Phân tích Môi trường, 2016)

Rom: Rom được đánh giá như phương tiện lọc chất bẩn từ dung dịch nước và được ví như than hoạt tính trong việc loại bỏ các kim loại nặng. Bên cạnh khả năng tách kim loại nặng, rom còn thể hiện khả năng hấp phụ tốt với dầu.

Xử lý rom làm vật liệu hấp phụ: Rom được cắt nhỏ 1,5 - 2,5 cm theo chiều dài. Sau đó được mang đi sấy khô sao cho độ ẩm rom còn 25 - 30%.

Tiếp đó rom được xử lý bằng 2 cách: Xử lý rom bằng dung dịch HNO₃ 2%, 4%, 6%, 8%, 10% và xử lý bằng nước.

Xử lý bằng dung dịch HNO₃: Ngâm rom trong dung dịch HNO₃ với nồng độ tương ứng 2%, 4%, 6%, 8%, 10% trong 30 phút và rửa lại bằng nước để loại bỏ độ màu của rom.

Xử lý bằng nước: Ngâm trong nước 30 phút, rửa lại bằng nước để loại bỏ độ màu của rom.

Nội dung nghiên cứu:

Nghiên cứu này thực hiện 4 thí nghiệm (Hình 3 và Hình 4) khác nhau để xác định phương pháp xử lý rom và xác định lượng rom thích hợp và sử dụng công nghệ Fixed – Bed sử dụng rom làm vật liệu hấp phụ để xác định các chỉ tiêu độ màu, COD, Cr³⁺, Cr⁶⁺ sau xử lý.

2.3. Phương pháp phân tích các chỉ tiêu

Việc phân tích mẫu được thực hiện theo các phương pháp phân tích trong tài liệu [4].

Bảng 2. Các phương pháp phân tích mẫu

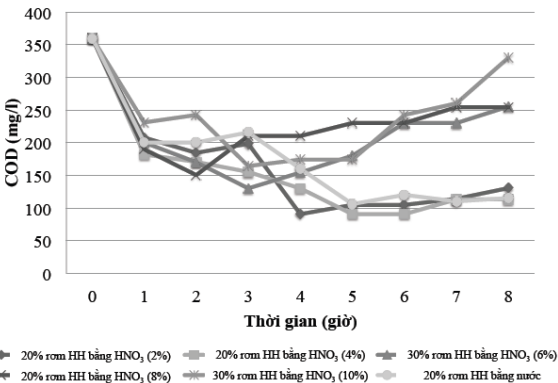
STT	Chỉ tiêu	Phương pháp	Đơn vị	Thiết bị
1	pH	4500 – H+ B. Electrometric Method	-	pH 211 pH Meter
2	COD	5220 C. Closed Reflux, Titrimetric Method	mg/l	Tủ nung
3	Cr ³⁺	SMEWW 3120 B:2012	mg/l	AAS
4	Cr ⁶⁺	SMEWW 3500-Cr B:2012	mg/l	AAS

3. Kết quả và bàn luận

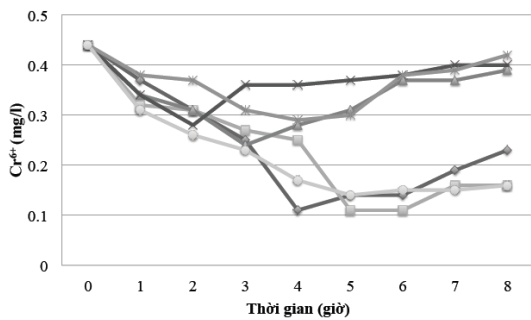
3.1. Xác định lượng rom thích hợp (thí nghiệm 1, 2)

Qua các thí nghiệm cho thấy, rom được sử dụng sau khi hoạt hoá bằng axit HNO₃ với nồng độ khác nhau cho hiệu quả xử lý tốt nhất ứng với các thể tích rom khác nhau, cụ thể:

Với nồng độ axit hoạt hoá 2%, 4%, 6%, 8%, 10% và hoạt hoá bằng nước cho hiệu quả xử lý tốt đối với các % thể tích rom sử dụng tương ứng là 20%, 20%, 30%, 20%, 30%, 20%.



Hình 5. Biểu đồ so sánh độ biến thiên COD của mô hình tĩnh sử dụng rom sau khi hoạt hoá bằng axit và nước



Hình 6. Biểu đồ so sánh độ biến thiên Cr^{6+} của mô hình tỉnh sử dụng rom hoạt hoá bằng axit và nước



Hình 7. Rom sau khi được xử lý bằng nước và HNO₃

Sau quá trình hoạt hóa rom bằng HNO₃ và nước đã nâng cao hiệu quả hấp phụ của rom đối với các thông số ô nhiễm, tuy nhiên ở HNO₃ nồng độ từ 6 – 10%, rom có hiện tượng bị phá hủy cấu trúc làm cho hiệu quả xử lý thấp hơn so với ở nồng độ 2 – 4%. Qua thí nghiệm cho thấy khả năng hoạt hóa rom được xử lý bằng HNO₃ tốt nhất là ở HNO₃ nồng độ 2%; đối với rom được xử lý bằng nước, hiệu quả xử lý các thông số ô nhiễm có thấp hơn mô hình rom HNO₃ nồng độ 2%, nhưng độ chênh lệch không lớn, từ 4 – 10%.

Rom sau khi hoạt hóa bằng nước để loại màu tự nhiên của rom (Hình 7), hiệu quả xử lý tăng dần từ thời điểm 0 – 5 giờ, tại thời điểm 5 giờ, mô hình đạt hiệu quả cao nhất ở tỷ lệ rom 20%, sau đó hiệu quả xử lý ít thay đổi và tăng nhẹ đến thời điểm kết thúc thí nghiệm.

Rom sau quá trình hoạt hóa bằng HNO₃ nồng độ 2%, 4% không có hiện tượng ra màu mạnh, rom vẫn giữ được kết cấu xốp và chắc. Ở thời điểm 4 giờ, kết quả thí nghiệm cho thấy chỉ có ở mô hình 20% rom HNO₃ nồng độ 2% là đạt hiệu quả tốt nhất. Sau khoảng thời gian 4 giờ thí nghiệm, hiệu quả xử lý có xu hướng giảm.

Hiệu quả xử lý tốt nhất của mô hình 20% rom HNO₃ nồng độ 2% tại thời điểm 4 giờ:

- Hiệu quả xử lý đạt 76%.
- COD giảm từ 360 xuống 90,7 mg/l, hiệu quả xử lý đạt 74,8%.
- Cr^{3+} giảm từ 0,5 xuống 0,17 mg/l, hiệu quả xử lý đạt 66%; Cr^{6+} giảm từ 0,44 xuống 0,11 mg/l, hiệu quả xử lý đạt 75%.

Đối với khả năng hấp phụ của rom được xử lý bằng HNO₃ nồng độ 6%, 8%, 10% thì khả năng xử lý màu, COD, Cr^{3+} , Cr^{6+} tương đối thấp.

Rom sau hoạt hóa ra màu nhiều (Hình 7), xốp và dễ bị gãy vụn. Tại thời điểm hiệu quả xử lý tốt nhất ở mô hình 30% thể tích rom được xử lý bằng HNO₃ nồng độ 10%, thì khả năng hấp phụ của rom chỉ đạt 54% đối với COD, 30% đối với Cr^{3+} và 34% đối với Cr^{6+} . Sau 4 giờ rom mất dần khả năng hấp phụ, dẫn đến các thông số ô nhiễm đo đạc không mang lại hiệu quả xử lý mong muốn.

Bảng 3. So sánh hiệu quả xử lý của mô hình rom được xử lý bằng HNO₃ 2% và nước

Thông số ô nhiễm	Hiệu quả xử lý	
	20% thể tích rom được xử lý bằng HNO ₃ nồng độ 2%	20% thể tích rom được xử lý bằng nước
Độ màu	76%	63,2%
COD (mg/l)	74,8%	70,5%
Cr^{3+} (mg/l)	66%	60%
Cr^{6+} (mg/l)	75%	68,2%

Lượng rom thích hợp được lựa chọn tương ứng là tỷ lệ 20% thể tích rom xử lý bằng HNO₃ nồng độ 2% và 20% thể tích rom xử lý bằng nước.

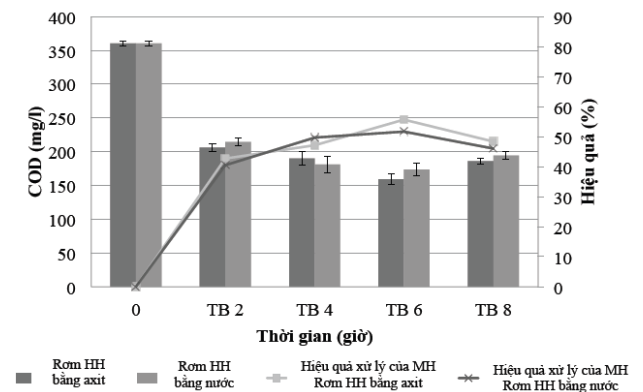
3.2. Các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình hấp phụ

Tốc độ dòng:

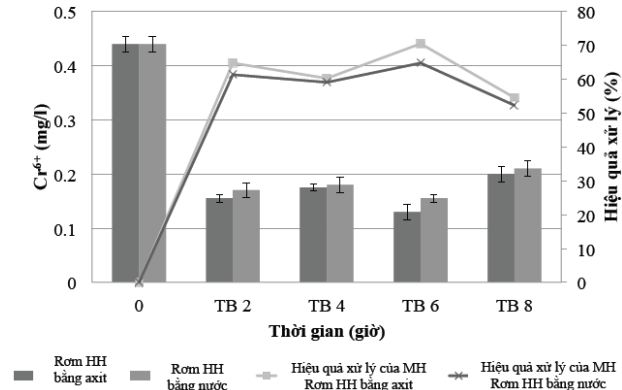
Tốc độ dòng là thông số vô cùng quan trọng đối với sự hấp phụ sinh học trong Fixed – Bed, bởi vì quá trình trao đổi luôn luôn bị kiểm soát bởi quá trình truyền khối. Do đó, để nghiên cứu ảnh hưởng của tốc độ dòng lên sự hấp phụ kim loại trong Fixed-Bed thì lưu lượng dòng được thay đổi từ 0,05 đến 0,2 (m³/m².h) theo thời gian.

Kết quả cho thấy rõ sự giảm mạnh của nồng độ ion kim loại trong giờ đầu tiên ở tốc độ dòng khác nhau. Tuy nhiên khả năng loại bỏ Crôm không nhiều lắm ở lưu lượng dòng cao hơn.

Hiệu quả xử lý các thông số ô nhiễm ở các tốc độ dòng 0,05; 0,1; 0,15 (m³/m².h) ở mô hình rom axit và rom nước đều đảm bảo QCVN 40:2010/BTNMT Cột B.



Hình 8. Biểu đồ thể hiện sự ảnh hưởng tốc độ dòng 0,15m/h đến hiệu quả xử lý COD



Hình 9. Biểu đồ thể hiện sự ảnh hưởng của tốc độ dòng 0,15m/h đến hiệu quả xử lý Cr^{6+}

Ở tốc độ dòng 0,2; 0,25 ($m^3/m^2.h$) hiệu quả xử lý của mô hình giảm rõ rệt vì tốc độ dòng lớn hơn khả năng hấp phụ của rom, các giá trị ô nhiễm có thời điểm vượt giá trị cho phép tại Cột B – QCVN 40:2011/BTNMT.

Tính trên phương diện hiệu quả kinh tế, vì chênh lệch của hiệu quả xử lý ở 3 tốc độ dòng 0,05; 0,1; 0,15 ($m^3/m^2.h$) là không quá lớn, các thông số đều thấp hơn quy chuẩn, nên chọn tốc độ dòng 0,15 ($m^3/m^2.h$) để tiến hành các thí nghiệm tiếp theo.

Bảng 4. So sánh hiệu quả xử lý của mô hình rom được xử lý bằng HNO_3 2% và nước với tốc độ dòng 0,15 m/h

Thông số ô nhiễm	Hiệu quả xử lý	
	20% rom được xử lý bằng HNO_3 nồng độ 2%	20% rom được xử lý bằng nước
Độ màu	88,5%	82,8%
COD (mg/l)	76,8%	74,4%
Cr^{3+} (mg/l)	56%	53%
Cr^{6+} (mg/l)	87,5%	82,9%

pH:

Sự ảnh hưởng của pH lên năng lực hấp phụ sinh học được quy cho trạng thái hóa học của kim loại nặng trong dung dịch tại một pH đặc biệt. Sự gia tăng của pH có thể làm tăng hay làm giảm năng lực hấp phụ sinh học, kết quả khác nhau của các giá trị pH tối ưu phụ thuộc loại của vật liệu hấp phụ sinh học, điều này được đã được trình bày trong những nghiên cứu trước đây [5, 6, 7].

Theo kết quả thí nghiệm, ta thấy hiệu quả xử lý độ màu, COD, Cr^{3+} , Cr^{6+} từ quá trình hấp phụ của rom bị ảnh hưởng bởi pH của nước thải. Ở khoảng pH từ 5 – 6,5, hiệu quả xử lý tăng dần, chứng tỏ khi tăng pH đến 6,5 quá trình hấp phụ diễn ra tốt nhất, ở pH = 6,5 các thông số xử lý đều thấp hơn QCVN 40:2011/BTNMT Cột B.

Ở giá trị pH thấp hơn, nồng độ của H^+ trong dung dịch cao hơn, do đó có sự cạnh tranh nhiều hơn tại vị trí hoạt động trên rom giữa ion kim loại và H^+ hiện diện trong dung dịch, kết quả là sự loại bỏ kim loại thấp.

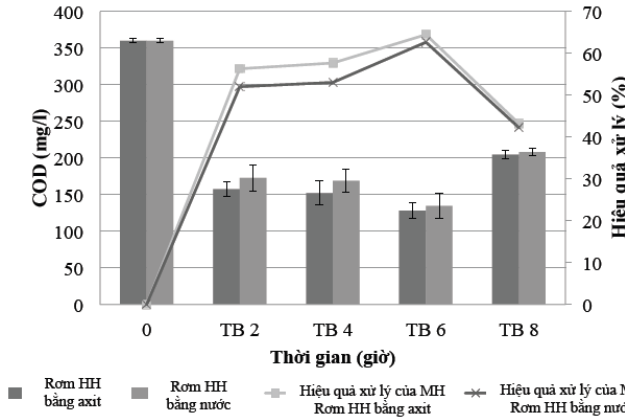
Khi pH tiếp tục tăng đến pH > 7 hiệu quả lại bắt đầu giảm và vượt quá giá trị cho phép, khả năng tạo kết tủa Ni^{2+} làm giảm hiệu quả hấp phụ trên rom.

Ở pH = 6,5, hiệu quả xử lý các thông số độ màu, COD, Cr^{3+} , Cr^{6+} đều đạt hiệu quả cao (Hình 10, Hình 11), quá trình hấp phụ được duy trì từ thời điểm từ 2 – 6 giờ và đạt giá trị cao nhất ở thời điểm 6 giờ, sau đó hiệu quả giảm mạnh ở 8 giờ.

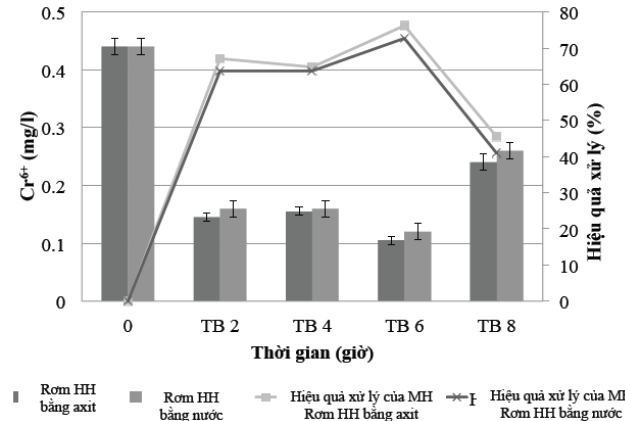
Sự chênh lệch hiệu quả xử lý của 2 mô hình từ 2 - 6% được thể hiện ở Bảng 5.

Bảng 5. So sánh hiệu quả xử lý của mô hình rom được xử lý bằng HNO_3 nồng độ 2% và nước ở pH = 6,5

Thông số ô nhiễm	Hiệu quả xử lý	
	20% thể tích rom được xử lý bằng HNO_3 nồng độ 2%	20% thể tích rom được xử lý bằng rom nước
Độ màu	92,3%	88,4%
COD (mg/l)	82,2%	80,2%
Cr^{3+} (mg/l)	59%	53%
Cr^{6+} (mg/l)	89,8%	86,4%



Hình 10. Biểu đồ thể hiện sự ảnh hưởng của pH = 6,5 đến hiệu quả xử lý COD



Hình 11. Biểu đồ thể hiện sự ảnh hưởng của pH = 6,5 đến hiệu quả xử lý Cr^{6+}

Qua thí nghiệm này ta lựa chọn pH = 6,5 là pH thích hợp cho mô hình thí nghiệm.

Theo Ming Da Liu, Lei Guo, Jun Yang, Yao Jing Wang (2013), đối với vật liệu hấp phụ là rom, khoảng giá trị pH tối ưu từ 5 – 6,6 là phù hợp với kết quả nghiên cứu [8].

4. Kết luận

Trong suốt quá trình thực hiện nghiên cứu này, bằng các phương pháp phân tích chỉ tiêu và xử lý số liệu, nhóm nghiên cứu đã nhận thấy rằng khả năng xử lý và hiệu suất xử lý các chỉ tiêu COD, Cr^{3+} , Cr^{6+} trong nước thải xi mạ của công nghệ Fixed – Bed sử dụng rơm là vật liệu hấp phụ đều không vượt quá ngưỡng cho phép của QCVN 40:2011/BTNMT Cột B.

Nước thải đầu vào của mô hình với các thông số: COD = 360 mg/l, Cr^{3+} = 0,5 mg/l, Cr^{6+} = 0,44 mg/l.

Đối với mô hình xác định lượng rơm thích hợp: Ở mô hình 20% thể tích rơm được xử lý bằng HNO_3 nồng độ 2% thì cho hiệu quả xử lý cao, cụ thể: độ màu đạt 76%, COD đạt 74,8%, Cr^{3+} đạt 66%, Cr^{6+} đạt 75%. Còn đối với mô hình 20% thể tích rơm được xử lý bằng nước thì cho hiệu quả xử lý độ màu là 63,2%, COD là 70,5%, Cr^{3+} 60%, Cr^{6+} 68,2%.

Về nội dung đánh giá các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình hấp phụ cho thấy: Ở giá trị pH = 6,5 và tốc độ dòng 0,15 m/h, mô hình 20% thể tích rơm được hoạt hóa bằng HNO_3 nồng độ 2% cho hiệu quả xử lý độ màu là 92,3%, COD là 82,2%, Cr^{3+} 59%, Cr^{6+} 89,8%. Còn đối với mô hình 20% thể tích rơm được xử lý bằng nước thì cho hiệu quả xử lý độ màu là 88,4%, COD là 80,2%, Cr^{3+} 53%, Cr^{6+} 86,4%.

Qua đó, ta thấy hiệu quả xử lý của rơm sau khi hoạt hóa bằng HNO_3 2% cao hơn rơm hoạt hóa bằng nước từ 2 – 6%, tuy nhiên với mô hình sử dụng rơm hoạt hóa bằng nước, các thông số ô nhiễm nằm trong giá trị cho phép của QCVN 40:2011/BTNMT Cột B, nên xét về chi phí kinh tế, nhóm nghiên cứu lựa chọn rơm hoạt hóa bằng nước sử dụng cho mô hình Fixed – Bed để xử lý.

Vật liệu rơm sau khi hết khả năng hoạt hóa ta thu gom và xử lý định kỳ bằng phương pháp nhiệt (sử dụng lò đốt 2 cấp xử lý chất thải). Do rơm có nhiệt trị lớn nên việc đốt rơm có thể giảm nhiên liệu bổ sung cho quá trình đốt trong

lò đốt 2 cấp, qua đó tiết kiệm được chi phí trong quá trình đốt. Ngoài ra, lượng rơm này có thể sử dụng làm nguyên liệu cho quá trình đốt công nghiệp. Tuy nhiên, phương án này cần nghiên cứu ảnh hưởng của lượng khí phát sinh trong quá trình đốt đến môi trường và đánh giá về lợi ích kinh tế - môi trường để có giải pháp thích hợp cho việc sử dụng lượng rơm này.

Nghiên cứu này cho thấy, nước thải sau khi xử lý ở các thông số thích hợp của quá trình hấp phụ đạt hiệu quả tương đối cao, đáp ứng yêu cầu đầu ra của nước thải công nghiệp. Việc ứng dụng mô hình Fixed – Bed sử dụng rơm là vật liệu hấp phụ rất thích hợp để ứng dụng xử lý nước thải xi mạ và góp phần bảo vệ môi trường.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Margarida J Quina, *Fixed-Bed Reactor Modeling and Simulation with e-Learning Tools*, Chemical Engineering Department, University of Coimbra, 01/2007.
- [2] Đặng Vũ Bích Hạnh, Eli – YoungHi và cộng sự, “Nghiên cứu quá trình hấp phụ sinh học trên rơm đối với ion kim loại Zn^{2+} , Ni^{2+} bằng công nghệ Fixed – Bed”, *Tạp chí Khoa học Công nghệ ĐH Quốc gia TP. HCM*, 2007.
- [3] *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, APHA, Eaton DA, QWWA (Joint eds), 2005.
- [4] *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, APHA-AWWA-WEF, 1998.
- [5] Aderhold D., Williams C. J., Edyvean R. G. J., “The removal of heavy-metal ions by seaweeds and their derivatives”, *Bioresource Technol*, 58(1): 1- 6, 1996.
- [6] Antunes, W. A., Luna, A. S., Henriques, C. A., da Costa, A. C., “An evaluation of copper biosorption by brown seaweed under optimized conditions”, *Electronic Journal of Biotechnology*, 6(3): 174-184, 2003.
- [7] Nigro, S. A., Stirk, W. A., Van Staden, J., “Optimising heavy metal adsorbance by dried seaweeds”, *South African Journal of Botany*, 68(2): 333-341, 2002.
- [8] Ming Da Liu, Lei Guo, Jun Yang, Yao Jing Wang, “Characteristics of Cu^{2+} Adsorption by Modified Rice Straw”, *Advanced Materials Research*, Vols. 726-731, 2013, pp. 2622-2628.

(BBT nhận bài: 16/03/2017, hoàn tất thủ tục phản biện: 31/03/2017)