



Tổng hợp vật liệu MOFs (Fe-BTC) bằng phương pháp nghiền cơ hóa học và ứng dụng để phân hủy thuốc nhuộm hoạt tính

Synthesis of material MOFs (Fe-BTC) by mechanic-chemical method and its application in the reactive dye degradation

Vũ Anh Tuấn¹, Vũ Thị Hòa², Nguyễn Bá Mạnh¹, Lê Hà Giang¹, Phạm Thị Thu Trang¹, Nguyễn Thị Thanh Hoa², Trương Công Doanh², Bùi Mạnh Tài²

¹Viện Hóa học- Viện Hàn lâm Khoa học và Công Nghệ Việt Nam, 18 Hoàng Quốc Việt- Cầu Giấy- Hà Nội

²Đại học Công nghiệp Hà Nội, Cầu Diễn-Bắc Từ Liêm-Hà Nội

*Email: vuanhtuan.vast@gmail.com

Hội thảo khoa học "Vật liệu tiên tiến ứng dụng trong xúc tác Hấp phụ và năng lượng" – Huế 2020

ARTICLE INFO

Received: 26/8/2020

Accepted: 15/11/2020

Keywords:

MOFs (Fe-BTC), chemical mechanism method, photocatalytic degradation

ABSTRACT

Nano Fe-BTC materials were successfully synthesized by mechanical chemical grinding method. Samples were characterized by X-ray diffraction (XRD), Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR), N₂ adsorption-desorption, Scanning electron microscopy (SEM), Energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS). SEM image of Fe-BTC-60 showed the particle size of 40–60 nm. Fe-BTC nanocomposites were tested for the photocatalytic degradation of reactive yellow 145 (RY-145) in aqueous solution. Fe-BTC composites exhibited high photocatalytic activity. Thus, at pH of 3 and high initial concentration of 100 mg RY-145/L, removal efficiency reached the value of 97.45% after 90 min of reaction.

Giới thiệu chung

Vật liệu khung hữu cơ - kim loại (MOFs) được hình thành bởi hai cấu tử chính: ion kim loại hoặc tổ hợp (cluster) ion kim loại và một phân tử hữu cơ thường được gọi là chất kết nối (linker). MOFs là vật liệu vi mao quản có diện tích bề mặt lớn (1 000-10 000 m²/g) và mao quản trung bình. Chúng có nhiều tính chất đặc trưng do diện tích bề mặt nên được ứng dụng trong nhiều lĩnh vực như lưu trữ khí, mang dẫn thuốc, xúc tác, hấp phụ, cảm biến,...[1]. Tuy nhiên, nhược điểm của vật liệu MOFs là kích thước hạt lớn (kích thước micromet), kích thước mao quản bé (< 2 nm) nên hạn chế trong quá trình khuếch tán của các chất mang gia phản ứng [2]. Gần đây, một bước tiến mới trong tổng

hợp vật liệu MOFs là đã tổng hợp thành công một số loại MOFs có kích thước hạt nano, đường kính mao quản trung bình thay thế cho MOFs truyền thống có kích thước hạt micromet khi sử dụng một số kỹ thuật như siêu âm, vi sóng, nghiền cơ hóa học... trong tổng hợp vật liệu MOFs [3-5]. Hơn nữa, phương pháp nhiệt dung môi cần phải sử dụng môi DMF, một hóa chất đắt tiền và rất độc hại [6]. Hiện nay xu hướng áp dụng công nghệ xanh đang được các nhà nghiên cứu đặc biệt quan tâm [6,7]. Pichon và cộng sự [6] đã tổng hợp thành công vật liệu MOFs chứa Cu [Cu(INA)₂], trong đó INA là axit isonicotinic bằng phương pháp nghiền cơ-hóa học không sử dụng dung môi. Zhang và cộng sự [7] tổng hợp vật liệu MOFs chứa Co cấu trúc zeolit (Co ZIF-67) bằng phương pháp nghiền tay kết hợp vi

sóng không sử dụng dung môi. Vật liệu Co-ZIF-67 có bề mặt và thể tích lỗ xốp lớn (1591 m²/g; 0,74 cm³/g). Tuan A. Vu và cộng sự [8] đã tổng hợp thành công vật liệu Fe-BTC/GO trong dung dịch NaOH 1M và thủy nhiệt vi sóng. Vật liệu Fe-BTC/GO có kích thước hạt 30-50 nm, đường kính mao quản 6.5-8.2 nm. Peng Li và cộng sự. [9] đã tổng hợp vật liệu ZIF-8 có kích thước hạt 27 nm bằng phương pháp thủy nhiệt vi sóng. Shen Hu và cộng sự [10] đã tổng hợp vật liệu NH₂-MIL-125 (chứa Ti) có kích thước hạt 70-90 nm trong môi trường axit axetic và axit thioglycolic. Trong bài báo này, chúng tôi nghiên cứu tổng hợp vật liệu MOFs không sử dụng dung môi hữu cơ, có cấu trúc nano bằng phương pháp nghiền cơ hóa học và ứng dụng làm xúc tác quang Fenton để xử lý các chất màu hữu cơ (thuốc nhuộm hoạt tính RY-145) trong môi trường nước. Các yếu tố ảnh hưởng đến khả năng phân hủy thuốc nhuộm RY-145 như pH, nồng độ H₂O₂, nồng độ thuốc nhuộm cũng được khảo sát.

Thực nghiệm và phương pháp nghiên cứu

Tổng hợp vật liệu MOFs Fe-BTC: Cho hỗn hợp gồm 2,26 g FeCl₂.4H₂O; 1,68g H₃BTC; 0,95g NaOH vào cối sứ, thêm từ từ 3 mL nước cất, trộn đều hỗn hợp rồi đưa vào máy nghiền cơ nano trong 60 phút, tốc độ 500 vòng/phút, thu được vật liệu Fe-BTC-60. Sản phẩm được lọc rửa 3 lần với nước cất và 1 lần với ethanol (C₂H₅OH) sau đó sấy ở 80 °C trong 12h. Lặp lại thí nghiệm trên ở các thời gian 20, 40, 80 phút

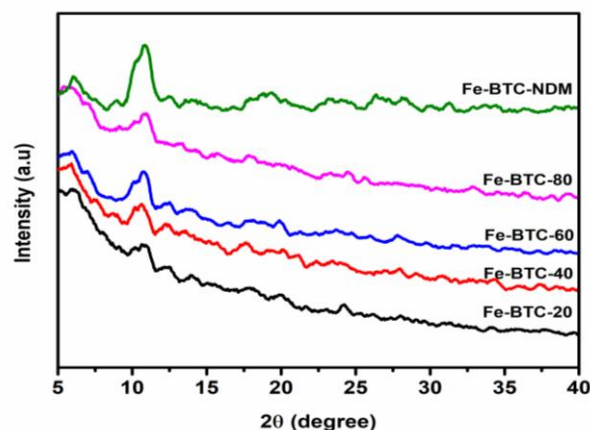
Phương pháp nghiên cứu vật liệu: các mẫu vật liệu được đặc trưng bằng phương pháp nhiễu xạ tia X ở 2 θ 1-10 ° và 10-80 o (D8 ADVANCE, Bruker, Đức) sử dụng Cu K α 1 bức xạ đồng (λ = 0,154 nm), tốc độ quét 3 °min⁻¹. Diện tích bề mặt của các mẫu vật liệu được đánh giá bằng phương pháp hấp phụ N₂ ở nhiệt độ 77 K. Hình thái của nanocomposite được quan sát bằng kính hiển vi SEM S-4800 (Hitachi, Nhật Bản), hoạt động ở điện áp gia tốc 200 kV. Phân tích quang phổ tia X phân tán năng lượng (EDX) được đo trên JED-2300 với lớp phủ vàng.

Đánh giá hoạt tính xúc tác bằng phản ứng phân hủy RY-145: Các thí nghiệm phân hủy quang được thực hiện trong lò phản ứng thủy tinh pyrex chứa 100 ml dung dịch RR-195 (100 mg/L), 40 mg Fe-BTC. Hỗn hợp được chiếu sáng bằng cách sử dụng hệ bóng đèn mô phỏng ánh sáng giả mặt trời công suất 30W. Khoảng cách giữa đèn và dung dịch là 15 cm, nhiệt độ của dung dịch và nhiệt độ phòng (25 °C). Trong phản ứng Photo-Fenton, dung dịch RY-145 được lấy ở mỗi thời

điểm 15 phút phản ứng. Nồng độ của RY-145 được xác định và hiệu chuẩn bằng sự thay đổi cường độ của cực đại hấp thụ ở bước sóng 421 nm bằng máy đo quang phổ Vis Lambda 35 UV [11]. Độ chuyển của RY-145 (%) được tính theo công thức: $\chi = ((C_o - C_t) / C_o) \times 100$

Trong đó C_o và C_t (mg/L) lần lượt là nồng độ ban đầu và nồng độ thuốc nhuộm RY-145 tại thời điểm t. Độ ổn định của chất xúc tác cũng được nghiên cứu, chất xúc tác đã qua sử dụng được rửa sạch bằng nước nhiều lần và tách ra bằng cách ly tâm ở 8000 vòng/phút, sau đó sấy khô ở 80 °C qua đêm.

Kết quả và thảo luận

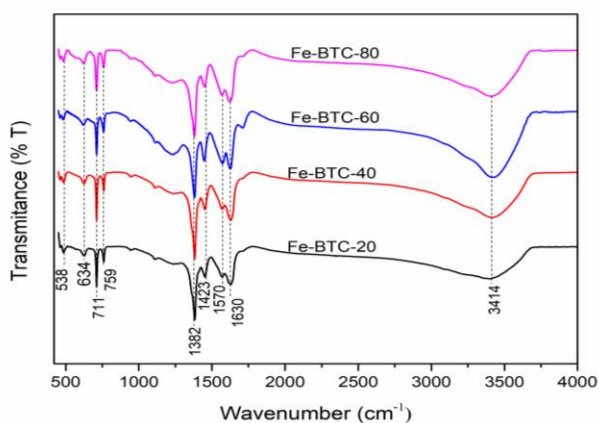


Hình 1: Giảm đồ XRD vật liệu Fe-BTC

Giảm đồ XRD của vật liệu Fe-BTC tổng hợp bằng phương pháp nghiền cơ hóa học và Fe-BTC tổng hợp bằng phương pháp nhiệt dung môi (hình 1) xuất hiện các peak ở 2 θ ~ 5,8°; 12°; 13,7°; 17,6° và 22,1° đặc trưng cho cấu trúc Fe-BTC [10]. Tuy nhiên, cường độ peak 2 θ ~ 12° của mẫu Fe-BTC tổng hợp bằng phương pháp nghiền cơ hóa học thấp hơn, kém sắc nhọn hơn mẫu nhiệt dung môi (Fe-BTC-NDM). Điều này cho thấy độ tinh thể của vật liệu Fe-BTC tổng hợp bằng phương pháp nghiền cơ hóa học thấp hơn, có thể do sự tồn tại của pha vô định hình. Các mẫu vật liệu tổng hợp bằng phương pháp nghiền cơ hóa học, vật liệu Fe-BTC-20 xuất hiện peak ở 2 θ ~ 12° với cường độ thấp, thiếu cân đối do vật liệu MOFs bắt đầu hình thành và phát triển tinh thể. Mẫu vật liệu Fe-BTC-40 có peak 2 θ ~ 12° cường độ lớn hơn hơn mẫu Fe-BTC-20, do các tinh thể Fe-BTC-40 Mẫu vật liệu Fe-BTC-40 có peak 2 θ ~ 12° cường độ lớn hơn hơn mẫu Fe-BTC-20, do các tinh thể Fe-BTC-40 được phát triển, dẫn đến tăng độ tinh thể. Mẫu Fe-BTC-60 có cấu trúc tinh thể hoàn thiện nhất (cường độ peak ở 2 θ ~ 12° lớn và cân đối nhất). Tuy nhiên, khi tăng thời gian nghiền cơ lên 80 phút thì độ

ting thể của vật liệu Fe-BTC-80 có xu hướng giảm so với mẫu Fe-BTC-60. Điều này được giải thích bởi khi thời gian nghiền cơ hóa học tăng, các hạt nano Fe-BTC có xu hướng co cụm, tạo đa tinh thể [10].

Hình 2 trình bày phổ hồng ngoại của vật liệu Fe-BTC nghiền cơ hóa học ở các thời gian khác nhau. Trong phổ FTIR của mẫu Fe-BTC xuất hiện các dao động 1700-1730 cm^{-1} đặc trưng của nhóm cacbonyl $-\text{C}=\text{O}$. Các dao động ở 3414 cm^{-1} đặc trưng của liên kết O-H từ nước hấp phụ trên bề mặt. Các dao động khoảng 1200-1250 cm^{-1} đặc trưng cho sự tồn tại của liên kết C-O. Dao động trong khoảng 1500-1600 cm^{-1} đặc trưng cho sự tồn tại của liên kết C=C trong các hợp chất thơm. Dao động 1452 cm^{-1} , 1382 cm^{-1} tương ứng với liên kết Fe-BTC và đối xứng của nhóm cacboxylat trong BTC [11]. Dao động ở đỉnh 759 – 711 cm^{-1} đặc trưng cho dao động của các ligand BTC, 750 cm^{-1} là dao động biến dạng C-H của benzen và 524 cm^{-1} đặc trưng cho liên kết Fe – O [12].

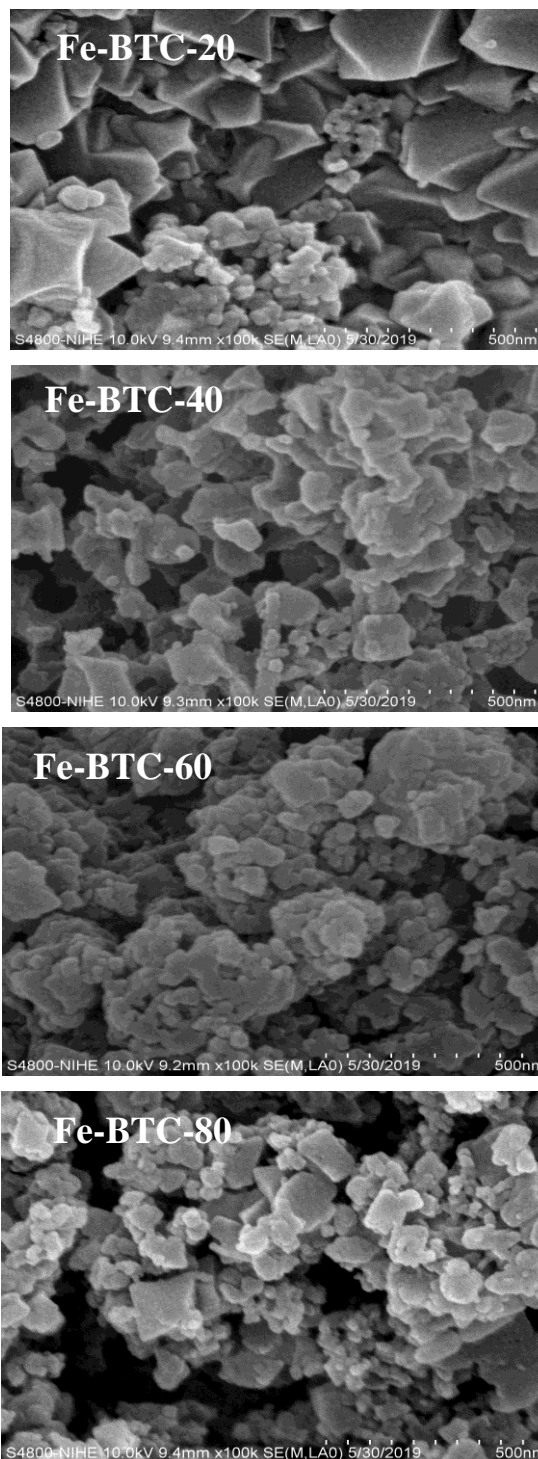


Hình 2: Phổ hồng ngoại FTIR vật liệu Fe-BTC

Hình 3 thể hiện ảnh SEM vật liệu Fe-BTC nghiền cơ hóa học ở các thời gian khác nhau. Mẫu Fe-BTC-20 có kích thước hạt lớn 20-120 nm, kích thước hạt không đồng đều. Vật liệu Fe-BTC-40 có kích thước hạt 20-100 nm, kích thước hạt không đồng đều. Dựa vào kết quả phân tích XRD và SEM có thể thấy thời gian nghiền cơ hóa học 20 phút các tinh thể Fe-BTC đang phát triển, chưa hoàn thiện về mặt cấu trúc vật liệu, đang ở giai đoạn hình thành vật liệu MOFs

Khi tăng thời gian nghiền cơ lên 60 phút cấu trúc tinh thể dần hoàn thiện hơn. Ảnh SEM của vật liệu Fe-BTC-60 cho thấy các hạt tinh thể Fe-BTC khoảng 30- 60 nm, phân bố kích thước hạt đồng đều. Khi tăng thời gian nghiền cơ hóa học lên 80 phút, vật liệu Fe-BTC-80 có xu hướng co cụm thành các hạt có kích thước lớn hơn, khoảng 30- 100 nm, phân bố kích thước hạt kém đồng đều. Như vậy, vật liệu Fe-BTC được tổng

hợp bằng phương pháp nghiền cơ hóa học với thời gian nghiền cơ 60 phút có kích thước nhỏ (30- 60nm), phân bố đồng đều hơn so với các mẫu khác.

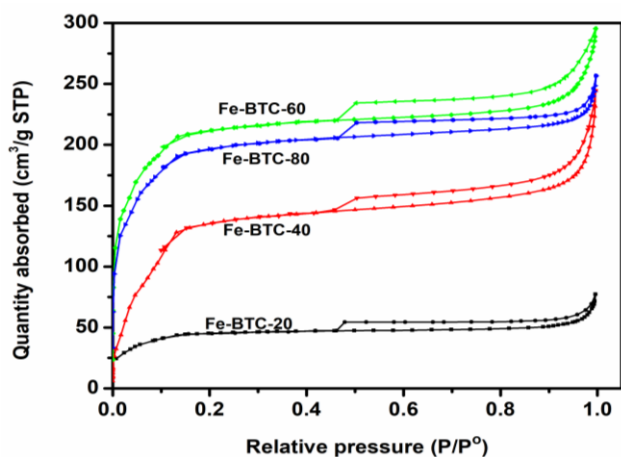


Hình 3. Ảnh SEM vật liệu Fe-BTC

Từ bảng 1 cho thấy Fe-BTC tổng hợp bằng phương pháp nghiền cơ hóa học có diện tích bề mặt riêng lớn 363 - 754 m^2/g , thể tích mao quản lớn 0,11-0,45 cm^3/g và độ rộng mao quản trung bình 2,7 –3,5 nm. Khi tăng thời gian nghiền cơ từ 20 phút lên 60 phút diện tích bề mặt và thể tích mao quản tăng lần lượt từ 463 lên 754

<https://doi.org/10.51316/jca.2021.004>

m²/g và 0,11 lên 0,45 cm³/g. Điều này được giải thích bởi khi tăng thời gian nghiền cơ (60 phút) các tinh thể Fe-BTC dần hoàn thiện, cấu trúc ổn định hơn và các hạt có kích thước đồng đều hơn so với các mẫu nghiền cơ 20 phút và 40 phút.



Hình 4: Đường đẳng nhiệt hấp phụ-giải hấp phụ N₂ của vật liệu Fe-BTC

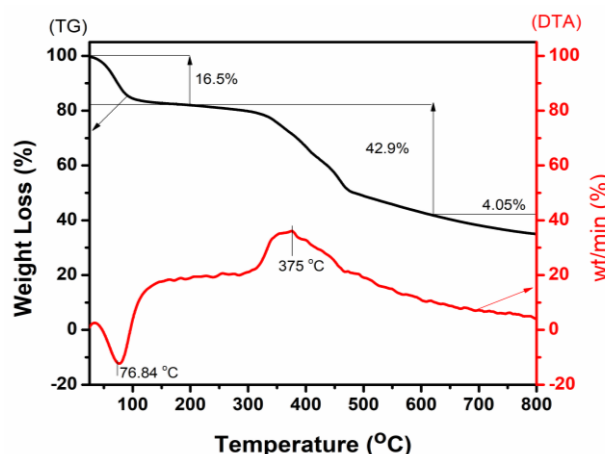
Bảng 1: Các thông số đặc trưng của vật liệu Fe-BTC

Vật liệu	Diện tích bề mặt (BET-m ² /g)	Tổng thể tích mao quản (cm ³ /g)	Độ rộng mao quản trung bình (nm)
Fe-BTC-20	363	0,11	2,9
Fe-BTC-40	529	0,34	3,2
Fe-BTC-60	754	0,45	3,5
Fe-BTC-80	649	0,38	2,7

Tuy nhiên, khi tăng thời gian nghiền hóa học từ 60 phút lên 80 phút, diện tích bề mặt và thể tích mao quản vật liệu Fe-BTC giảm từ 754 xuống 649 m²/g và 0,45 xuống 0,38 cm³/g. Điều này được giải thích bởi khi tăng thời gian nghiền cơ hóa học lên 80 phút, vật liệu Fe-BTC có xu hướng co cụm thành các hạt có kích thước lớn, kích thước không đồng đều dẫn kết diện tích bề mặt và thể tích mao quản giảm. Mẫu Fe-BTC nghiền cơ 60 phút có diện tích bề mặt lớn nhất (754 m²/g) cùng với độ rộng mao quản lớn, thuận lợi cho sự khuếch tán nhanh các chất bị hấp phụ tới các tâm hấp phụ trong vật liệu hấp phụ, qua đó làm tăng dung lượng hấp phụ.

Phân tích nhiệt trọng lượng (TGA) là một phương pháp phổ biến để đánh giá độ bền nhiệt của những vật liệu và xác định nhiệt độ phân hủy. Giản đồ TGA và DTA của mẫu Fe-BTC-30 được trình bày trong Hình 5. Như đã

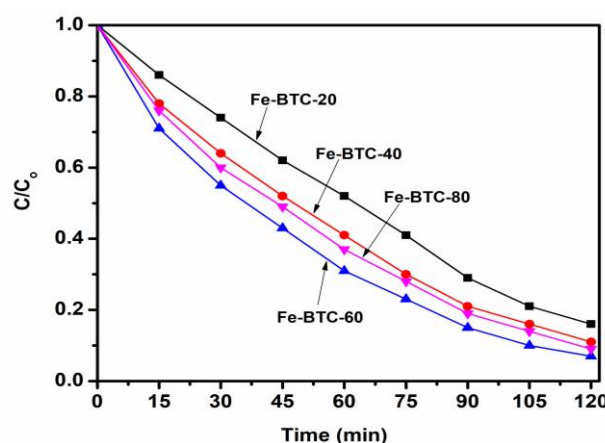
thấy trong Hình 5, có ba giai đoạn chính trên đường cong TGA.



Hình 5: Giản đồ TGA và DTA của vật liệu Fe-BTC-30

Trong giai đoạn đầu (50 -150°C), khối lượng mất đi (~16,5%) được cho là sự mất mát của các phân tử nước liên kết chặt chẽ với các khung hữu cơ của Fe-BTC. Quá trình này thu nhiệt được chứng minh bằng cực đại âm trong biểu đồ DTA. Sự mất trọng lượng lớn (~42,%) trong giai đoạn thứ hai (300-600 °C) có thể liên quan đến sự phân hủy các phối tử hữu cơ (ligand hữu cơ BTC). Sự phân hủy các ligand hữu cơ BTC trong giai đoạn này là một quá trình tỏa nhiệt có thể thấy rõ qua một đỉnh dương trong biểu đồ DTA. Giai đoạn thứ 3 (600-800 °C), sự mất khối lượng nhỏ (4,05%) do phối tử BTC bị đốt cháy hoàn toàn [15].

Đánh giá hoạt tính xúc tác Fe-BTC

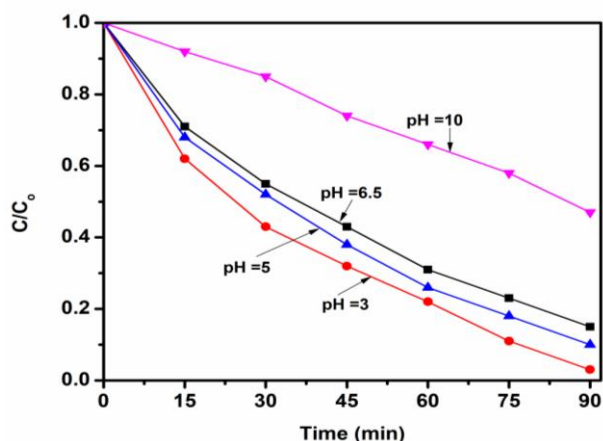


Hình 6: Hoạt tính xúc tác Fe-BTC

Qua hình 6 cho thấy các mẫu Fe-BTC tổng hợp bằng phương pháp nghiền cơ có hoạt tính xúc tác cao trong phản ứng phân hủy RY-145. Độ chuyển hóa RY-145 của vật liệu Fe-BTC nghiền cơ hóa học 20, 40 phút sau 60 phút có hiệu suất phân hủy RY-145 tương ứng là 84,89% và 88,34%. Sau khi tăng thời gian nghiền cơ lên 60 phút (Fe-BTC-60) hiệu suất phản ứng tăng lên

93,98%. Tuy nhiên, khi tăng thời gian nghiền cơ từ 60 phút lên 80 phút hiệu suất phản ứng giảm xuống 91,63%. Điều này được giải thích là do khi kéo dài thời gian nghiền cơ hóa học, các tinh thể Fe-BTC hình thành bị co cụm vào với nhau tạo thành các hạt có kích thước lớn làm giảm hoạt tính xúc tác.

Hình 7 cho thấy giá trị pH đóng vai trò quan trọng đối với sự phân hủy của RY-145 do ảnh hưởng đáng kể đến điện tích bề mặt của vật liệu Fe-BTC. Ở pH = 3 trong thời gian 90 phút, hiệu suất chuyển hóa RY-145 đạt 97,45%. Ở pH = 5 trong thời gian 90 phút thì hiệu suất chuyển hóa đạt 90,0% và ở pH = 6,5 thì hiệu suất là 85,12% sau 90 phút. Ở môi trường pH thấp có sự gia tăng số lượng các gốc $\bullet\text{OH}$ và sự tương tác tĩnh điện giữa RY-145 với bề mặt dương của vật liệu [13] làm hiệu suất quá trình phân hủy thuốc nhuộm tăng. Hơn nữa, trong môi trường pH thấp tạo điều kiện thuận lợi cho quá trình oxy hóa $\text{Fe}^{3+} \rightarrow \text{Fe}^{2+}$ diễn ra và quá trình hình thành các gốc $\bullet\text{OH}$ [12]. Phương trình phản ứng thể hiện mối quan hệ giữa Fe^{3+} , Fe^{2+} , $\bullet\text{OH}$ như sau:

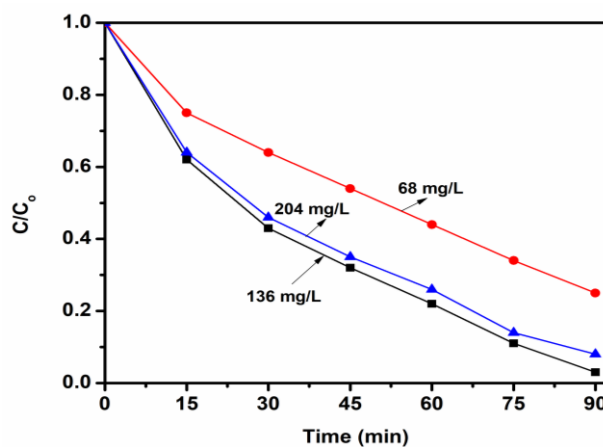


Hình 7. Ảnh hưởng của pH đến khả năng phân hủy RY-145 trên xúc tác Fe-BTC-60

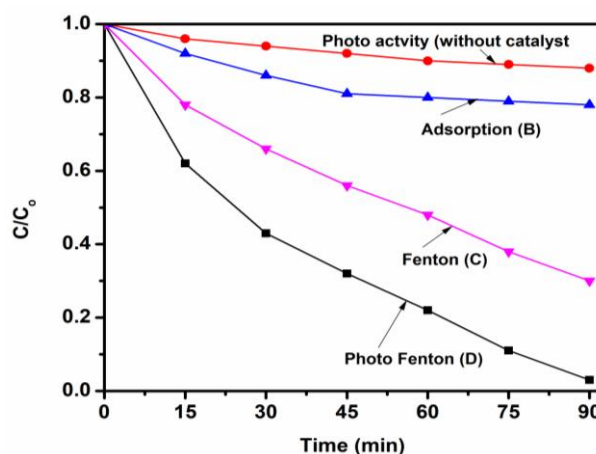
Ở pH = 9, thời gian phản ứng ở 90 phút thì hiệu suất đạt 52,27%. Trong môi trường base, phản ứng tạo phức diễn $\text{Fe}^{3+} \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3$ diễn ra dễ dàng, cản trở sự hình thành pha hoạt động để sinh ra gốc $\bullet\text{OH}$ [12].

Ảnh hưởng của nồng độ H_2O_2 cũng đóng vai trò quan trọng trong quá trình phân hủy của RY-145 vì nó ảnh hưởng đến quá trình sinh ra gốc tự do $\bullet\text{OH}$. Khi nồng độ H_2O_2 thấp (68 mg/L) quá trình phân hủy RY-145 diễn ra chậm, hiệu suất quá trình đạt 81,5% sau 90 phút. Khi tăng nồng độ H_2O_2 lên 136 mg/L sau 90 phút tốc độ và hiệu suất quá trình tăng mạnh và đạt 97%. Điều này là do các gốc $\bullet\text{OH}$ từ H_2O_2 được tạo ra nhiều làm thúc đẩy quá trình phản ứng dẫn đến tốc độ cũng như hiệu suất phân hủy tăng. Tuy vậy, khi tiếp tục tăng

lượng H_2O_2 trong dung dịch (204 mg/L), hiệu suất phân hủy RY-145 giảm xuống 68,48% do lúc này H_2O_2 dư sẽ tác dụng với gốc $\bullet\text{OH}$ tạo thành gốc $\text{HOO}\bullet$ làm giảm hiệu suất quá trình phân hủy [8].



Hình 8. Ảnh hưởng của nồng độ H_2O_2 đến khả năng phân hủy RY-145 trên xúc tác Fe-BTC-30

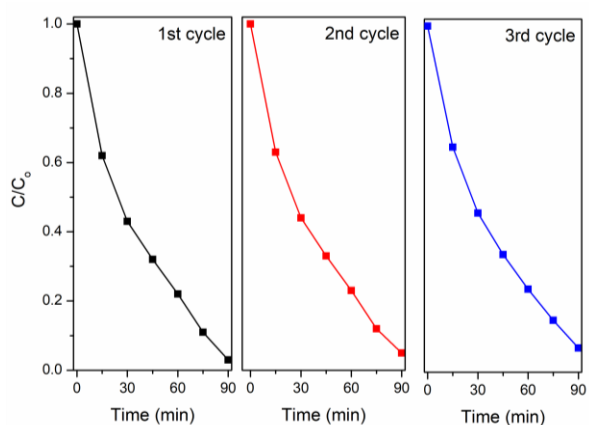


Hình 9. Quá trình phân hủy RY-145 trên xúc tác Fe-BTC-60 ở các điều kiện khác nhau

Trong đó: (A): Không xúc tác (RY-145, H_2O_2): nồng độ RY-145 100 mg/L; nồng độ H_2O_2 136 mg/L; pH: 3; nhiệt độ 25 °C và chiếu đèn trong 60 phút. (B): Hấp phụ trong tối (RY-145, xúc tác Fe-BTC, không có H_2O_2): nồng độ RY-145 100 mg/L; lượng xúc tác 0,3g/L; pH: 3; nhiệt độ 25°C và phản ứng thực hiện trong bóng tối. (C): Xúc tác Fenton (RY-145, xúc tác Fe-BTC, H_2O_2): nồng độ RY-145 100 mg/L; nồng độ H_2O_2 136 mg/L; lượng xúc tác 0,3g/L; pH: 3; nhiệt độ 25 °C và phản ứng thực hiện trong bóng tối. (D): Xúc tác Photo Fenton (RY-145, xúc tác Fe-BTC, H_2O_2): nồng độ RY-145 100 mg/L; nồng độ H_2O_2 136 mg/L; lượng xúc tác 0,3g/L; pH: 3; nhiệt độ 25°C và chiếu đèn trong 90 phút.

Từ hình 9A ta thấy ở điều kiện phản ứng oxy hóa dưới tác dụng của ánh sáng mặt trời và không có chất xúc

tác thì độ chuyển hóa RY-145 là thấp. Quá trình hấp phụ RY-145 diễn ra nhanh và đạt cân bằng sau 60 phút. Hiệu suất hấp phụ RY-145 trên xúc tác là 20%. Trong quá trình phản ứng Fenton (với sự có mặt của chất xúc tác, H_2O_2), sau 90 phút phản ứng, hiệu suất đạt 78,34% (đường 9C). Tuy nhiên, trong quá trình Photo Fenton (với sự có mặt của chất xúc tác, H_2O_2 và chiếu sáng) hiệu suất đạt 97,45% (đường 9D). Từ những kết quả này, ta nhận thấy vật liệu Fe-BTC tổng hợp bằng phương pháp nghiền cơ hóa học có hiệu quả cao trong quá trình Photo Fenton phân hủy RY-145.



Hình 10. Độ bền xúc tác Fe-BTC-60 sau các lần tái sinh xúc tác

Từ hình 10 ta có thể thấy hoạt tính xúc tác phân hủy thuốc nhuộm hoạt tính RY-145 sau 3 lần sử dụng giảm không đáng kể (5-7% so với ban đầu), chứng tỏ xúc tác Fe-BTC-60 có độ bền cao thậm chí ở pH rất thấp.

Kết luận

Đã tổng hợp thành công vật liệu nano Fe-BTC bằng phương pháp nghiền cơ hóa học ở các thời gian khác nhau 20, 40, 60, 80 phút. Phương pháp này không sử dụng dung môi hữu nên thân thiện với môi trường. Vật liệu Fe-BTC tổng hợp được đã được đặc trưng cấu trúc hình thái học bằng các phương pháp phân tích hóa lý hiện đại như SEM, BET, XRD, TGA. Kết quả đặc trưng XRD cho thấy Fe-BTC (tổng hợp ở 60 phút) có cấu trúc pha ổn định, có kích thước 20-30 nm, phân bố đồng đều, diện tích bề mặt cao ($745 \text{ m}^2/\text{g}$), độ bền nhiệt cao (bền nhiệt đến 30°C). Vật liệu Fe-BTC tổng hợp ở thời gian 60 phút có hiệu suất xử lý thuốc nhuộm cao nhất đạt hiệu suất 97% ở điều kiện: nồng độ RY-145 ban đầu là 100 mg/L ; lượng xúc tác là $0,3 \text{ g/L}$; nồng độ H_2O_2 là 136 mg/L ; pH: 3; nhiệt độ 25°C .

Kết quả này mở ra khả năng ứng dụng phân hủy quang xúc tác trong xử lý chất hữu cơ độc hại.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam (mã số: NCVCC06.04/20-20)

Tài liệu tham khảo

- Liyu Chen, Hao-Fan Wang, Caixia Li and Qiang Xu (2020) Chem. Sci, 11, 5369. <https://doi.org/10.1039/D0SC01432J>.
- Dan W (2018) Inorg. Chem. Front., 2018,5, 1760-1779. <https://doi.org/10.1039/C8QI00149A>
- Lan X, Huang N, Wang J, Wang T (2018). Chem Commun 54 584–587. <https://doi.org/10.1039/C7CC08244D>
- Diring S, Furukawa S, Takashima Y et al (2010). Chem Mater 22 4531–4538. <https://doi.org/10.1021/cm101778g>
- [5]. Majewski MB, Noh H, Islamoglu T, Farha OK (2018) J Mater Chem A 6 7338–7350, <https://doi.org/10.1039/C8TA02132E>
- Anne Pichon, Ana Lazuen-Garay and Stuart L. James (2006) CrystEngComm, 8, 211–214 | 211. <https://doi.org/10.1039/b513750k>
- Heng Zhang, Jing Zhong, Guoxiang Zhou, Junliang Wu, Zhenyu Yang and Xianming Shi (2016) Journal of Nanomaterials Volume 2016 <https://doi.org/10.1155/2016/9648386>
- Hoa T. Vu, Manh B. Nguyen, Tan M. Vu, Giang H. Le, Trang T. T. Pham, Trinh Duy Nguyen & Tuan A. Vu (2020) Topics in Catalysis. <https://doi.org/10.1007/s11244-020-01289-w>
- Li P, Klet RC, Moon SY et al (2015) Chem Commun 51:10925–10928. <https://doi.org/10.1039/C5CC03398E>
- Hu S, Liu M, Guo X et al (2017) Cryst Growth Des 17 6586–6595. <https://doi.org/10.1021/acs.cgd.7b01250>
- Torres-Luna JA, Giraldo-Gómez GI, Sanabria-González NR, Carriazo JG (2019). Bull Mater Sci 42 137. <https://doi.org/10.1007/s12034-019-1817-1>.
- [12]. Majano G, Ingold O, Yulikov M et al (2013). CrystEngComm 15 9885–9892. <https://doi.org/10.1039/C3CE41366G>
- Vuong GT, Pham MH, Do TO (2013). CrystEngComm 15 9694–9703. <https://doi.org/10.1039/C3CE41453A>

14. Nguyen TT, Le GH, Le CH et al (2018). Mater Res Express 5 115005. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/aadce1>
15. Wang B, Liu W, Zhang W, Liu J (2017). Nano Res 10 3826–3835.
16. Pham XN, Pham DT, Ngo HS et al (2020). Chem Eng Commun. <https://doi.org/10.1080/00986445.2020.1712375>.