NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO VẬT LIỆU COMPOZIT Fe_2O_3/TiO_2 TỪ XỈ TITAN ỨNG DỤNG HẤP PHỤ Pb^{2+} TRONG MÔI TRƯỜNG NƯỚC

Trần Văn Chinh*, Nguyễn Thi Hoài Phương, Lã Đức Dương,
Phan Thanh Xuân, Phùng Khắc Nam Hồ

Tóm tắt: *Trong nghiên cứu này, vật liệu compozit Fe_2O_3/TiO_2 được chế tạo bằng quá trình sunphat hóa xỉ titan, nung ở 600 ^oC trong 2 giờ và nghiền bi trong 45 phút. Kết quả nghiên cứu cho thấy quá trình hấp phụ Pb^{2+} của vật liệu Fe_2O_3/TiO_2 tuân theo mô hình đẳng nhiệt Langmuir và mô hình động học biểu kiến bậc 2. Vật liệu compozit Fe_2O_3/TiO_2 tổng hợp được có dung lượng hấp phụ Pb^{2+} cực đại là 82,63 mg/g ở pH = 7, và là vật liệu có tiềm năng được ứng dụng trong hấp phụ loại bỏ Pb^{2+} từ môi trường nước.*

Từ khóa: Xỉ titan; Hấp phụ; Kim loại nặng; Compozit.

1. MỞ ĐẦU

Từ rất lâu chì được biến đến là kim loại nặng được sử dụng rộng rãi trong nhiều ngành công nghiệp quan trọng như pin, sản xuất và in ấn các chất màu, nhiên liệu, vật liệu nhiếp ảnh và sản xuất thuốc nổ. Chì là một trong ba kim loại nặng độc hại nhất, có thể là nguyên nhân gây ra nhiều vấn đề về sức khỏe, đặc biệt có thể gây ra tử vong cho con người [1, 2].

Do có độc tính cao, việc xử lý loại bỏ chì khỏi nước và nước thải là một trong những vấn đề trọng yếu nhằm đảm bảo sức khoẻ cộng đồng và bảo vệ môi trường. Có rất nhiều phương pháp đã được áp dụng để loại bỏ Pb^{2+} ra khỏi môi trường nước như kết tủa hóa học, hấp phụ và trao đổi ion, công nghệ màng,... [3]. Trong đó, hấp phụ được coi là một trong những phương pháp hiệu quả và đầy hứa hẹn để loại bỏ các ion kim loại nặng như Pb^{2+}. Hiện nay, có nhiều loại vật liệu hấp phụ khác nhau đã được nghiên cứu sử dụng nhằm loại bỏ các ion kim loại từ nước và nước thải như: ống nano cacbon, oxit kim loại, zeolit, polime, polime-oxit kim loại [4-6]. Trong đó vật liệu compozit là hỗn hợp của 2 oxit kim loại sẽ làm tăng ái lực với các ion kim loại nặng từ đó làm tăng khả năng hấp phụ.

Vật liệu compozit Fe_2O_3/TiO_2 đã được một số tác giả nghiên cứu chế tạo từ quặng ilmenite bằng quá trình sunphat hóa kết hợp với nung, sau đó nghiền bi để nhận được vật liệu cấu trúc nano ứng dụng trong xúc tác quang và hấp phụ xử lý kim nặng đạt hiệu quả cao [7, 8].

Trong nghiên cứu này, vật liệu compozit Fe_2O_3/TiO_2 được tổng hợp tử xỉ titan bằng quy trình đơn giản. Một số tính chất và khả năng hấp phụ Pb^{2+} trong môi trường nước của vật liệu compozit Fe_2O_3/TiO_2 cũng được nghiên cứu

2. THỰC NGHIỆM VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Hóa chất, thiết bị

2.1.1. Hóa chất

Xỉ titan (Công ty CP Khoáng sản Bình Định); H_2SO_4 98% - Xilong, Trung Quốc; $Pb(NO_3)_2$ 99% - Xilong, Trung Quốc; Nước cất.

2.1.2. Thiết bị

Tủ sấy Ketong 101; Lò nung nhiệt độ cao HT 16/18 Nobertherm; Cân phân tích; Máy ly tâm tốc độ cao; Máy nghiền bị rung.

2.2. Tổng hợp vật liệu compozit Fe_2O_3/TiO_2 từ xỉ titan

Vật liệu compozit Fe_2O_3/TiO_2 được tổng hợp từ xỉ titan theo quy trình đã được công bố trước của nhóm tác giả [8]. 20 g xỉ titan được ngâm trong 100 mL dung dịch H_2SO_4 98 % trong 30 phút, lọc rửa nhiều lần bằng nước cất để loại bỏ lượng axit dư. Vật liệu compozit Fe_2O_3/TiO_2 được chế tạo bằng cách nung xỉ titan sau ngâm bởi dung dịch H_2SO_4 trong môi trường không khí

ở 600 ^oC trong 3 giờ. Mẫu để nguội xuống nhiệt độ phòng, sau đó, được nghiền bằng thiết bị nghiền bi zircon đường kính bi từ (2 - 5) mm. Quá trình nghiền diễn ra ở nhiệt độ phòng trong 45 phút. Sản phẩm được lọc, rửa và sấy ở 100 ^oC trong 6 giờ, thu được vật liệu compozit Fe_2O_3/TiO_2.

2.3. Đánh giá đặc trưng tính chất vật liệu

Xác định thành phần pha vật liệu bằng kỹ thuật nhiễu xạ tia X (XRD) trên thiết bị X'Pert Pro sử dụng CuKα góc quét từ 5^o đến 90^o tại Viện Hóa học - Vật liệu/Viện KH-CN quân sự.

Thành phần hóa học được xác định bằng kỹ thuật tán xạ năng lượng tia X (EDX) và hình thái được khảo sát bằng kỹ thuật hiển vi điện tử quét (SEM) trên cùng thiết bị Hitachi S-4600 tại Viện Khoa học Vật liệu, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam.

2.4. Nghiên cứu khả năng hấp phụ Pb^{2+} của vật liệu

$Pb(NO_3)_2$ được hòa tan trong nước cất tạo thành dung dịch Pb^{2+} nồng độ 1000 ppm để sử dụng cho các nghiên cứu. Nồng độ Pb^{2+} được đo bằng phương pháp quang phổ hấp thụ nguyên tử AAS trên thiết bị Contraa A700 (Analytikjena - Đức) tại Viện Hóa học-Vật liệu.

Dung lượng hấp phụ Pb^{2+} của vật liệu được tính theo công thức:

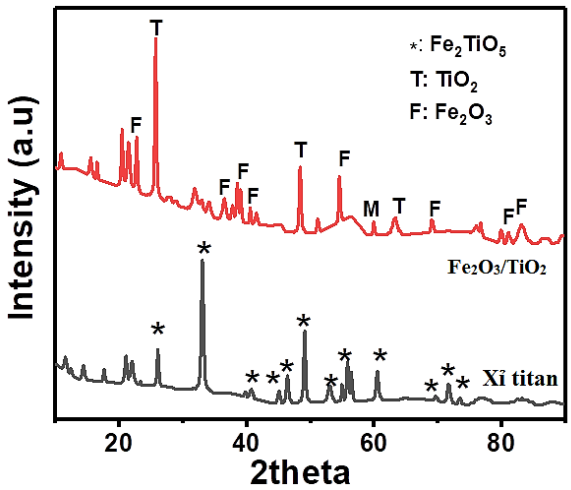
$$q_e = \frac{(C_o - C_e).V}{m} \quad (1)$$

Trong đó: q_e - Dung lượng hấp phụ Pb^{2+} (mg/g); C_e - Nồng độ Pb^{2+} trong dung dịch (mg/L); C_o - Nồng độ Pb^{2+} ban đầu (mg/L); V - Thể tích dung dịch (mL); m - Khối lượng vật liệu Fe_2O_3/TiO_2 (g).

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Đặc trưng tính chất vật liệu

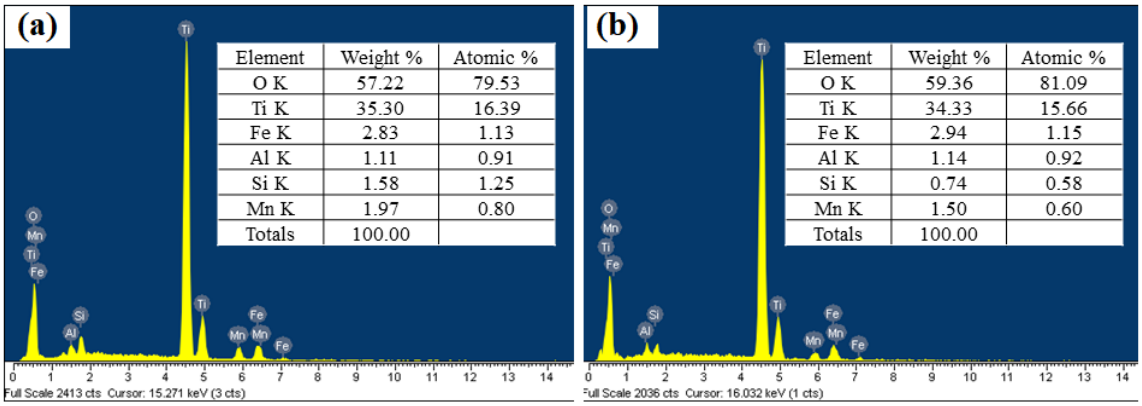
Giản đồ nhiễu xạ tia X (XRD) của xỉ titan và vật liệu compozit Fe_2O_3/TiO_2 được thể hiện ở hình 1.



Hình 1. *Giản đồ XRD của xỉ titan và vật liệu compozit Fe_2O_3/TiO_2.*

Trên giản đồ XRD của xỉ titan xuất hiện các peak đặc trưng của pha Fe_2TiO_5 (thẻ chuẩn JCPDS 01-076-1158). Sau quá trình nung ở 600 ^oC trong 2 giờ và nghiền bi, xỉ titan đã chuyển thành pha hỗn hợp Fe_2O_3/TiO_2, thể hiện rõ ràng trên phổ XRD của vật liệu compozit Fe_2O_3/TiO_2. Các peak trên phổ XRD của vật liệu Fe_2O_3/TiO_2 tương ứng với pha Fe_2O_3 (hematite, thẻ chuẩn JCPDS 01-073-0603) và pha TiO_2 (anatas, thẻ chuẩn 01-073-1764). Như vậy, phổ XRD đã chứng minh sự hình thành compozit Fe_2O_3/TiO_2.

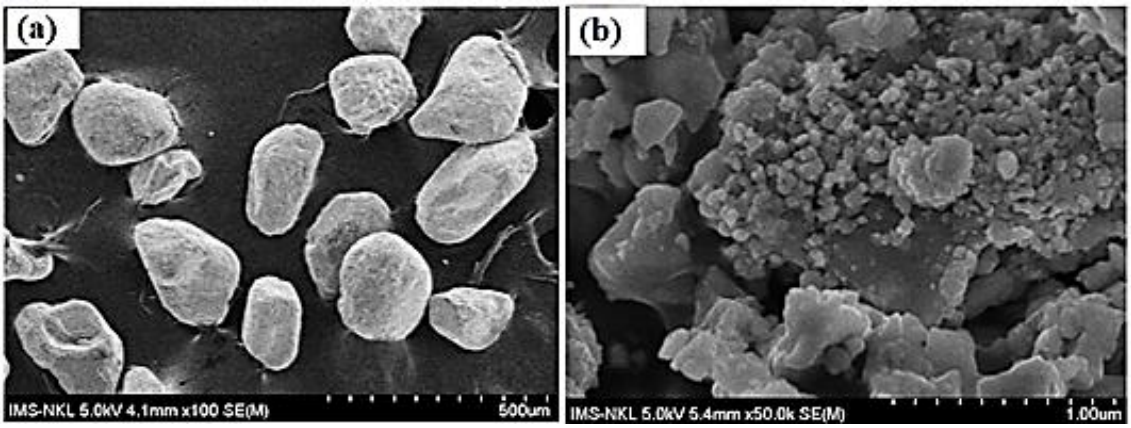
Thành phần các nguyên tố trong xỉ titan và vật liệu compozit Fe_2O_3/TiO_2 được xác định bằng phương pháp phổ tán xạ năng lượng tia X (EDX), kết quả thể hiện ở hình 2.



Hình 2. *Phổ EDX của (a) xỉ titan và (b) Fe_2O_3/TiO_2.*

Xỉ titan có hàm lượng Ti tương đối cao (35,30%), sau đó là Fe (2,83%) và một lượng nhỏ Al, Si và Mn (hình 2a). Theo hình 2b, sau quá trình tổng hợp vật liệu gần như không làm thay đổi thành phần các nguyên tố trong vật liệu compozit Fe_2O_3/TiO_2.

Hình thái của xỉ titan và vật liệu compozit Fe_2O_3/TiO_2 được nghiên cứu bởi kính hiển vi điện tử quét (SEM), thể hiện ở hình 3.



Hình 3. *Ảnh SEM của (a) xỉ titan và (b) Fe_2O_3/TiO_2.*

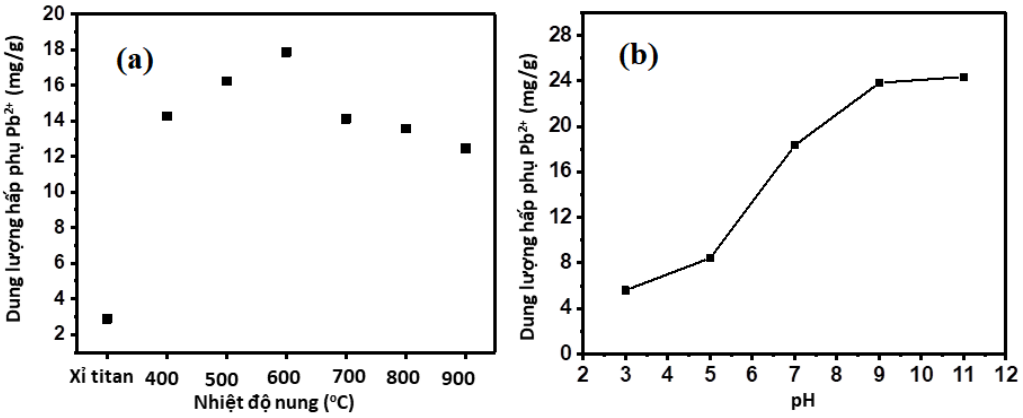
Theo hình 3a, xỉ titan có kích thước micromet, đường kính hạt nằm trong khoảng (100 - 300) µm. Sau khi nung ở 600 ^oC và nghiền bi trong 45 phút, kích thước hạt giảm xuống còn khoảng (50 - 400) nm (hình 3b).

3.2. Khả năng hấp phụ Pb^{2+} của vật liệu Fe_2O_3/TiO_2

3.2.1. Sự ảnh hưởng của nhiệt độ nung và pH đến dung lượng hấp phụ Pb^{2+}

Khảo sát sự ảnh hưởng của nhiệt độ nung vật liệu đến dung lượng hấp phụ Pb^{2+} được tiến hành như sau: Cho 0,1 g từng mẫu vật liệu nung ở nhiệt độ từ (400 - 900) ^oC trong 2 giờ và xỉ titan vào các bình tam giác chứa 50 mL dung dịch Pb^{2+} nồng độ 80 ppm (pH = 7). Đặt các bình tam giác trên máy lắc với tốc độ 100 vòng/phút trong 5 giờ để quá trình hấp phụ diễn ra, sau đó lọc ly tâm tách vật liệu ra khỏi dung dịch. Kết quả sự ảnh hưởng của nhiệt độ nung đến dung lượng hấp phụ Pb^{2+} của vật liệu được thể hiện ở hình 4a cho thấy, khi nhiệt độ nung tăng từ 400 ^oC đến 600 ^oC thì dung lượng hấp phụ Pb^{2+} của vật liệu tăng dần và giảm dần khi nhiệt độ nung tiếp tục tăng từ 700 ^oC đến 900 ^oC. Ở nhiệt độ nung 600 ^oC, vật liệu Fe_2O_3/TiO_2 có dung lượng

hấp phụ Pb^{2+} là cao nhất 17,9 mg/g, xỉ titan có dung lượng hấp phụ Pb^{2+} là không đáng kể 2,9 mg/g. Kết quả này chứng minh rằng, khi vật liệu compozit Fe_2O_3/TiO_2 nung ở 600 ^oC có dung lượng hấp phụ Pb^{2+} là cao nhất so với xỉ titan và vật liệu nung ở các nhiệt độ 400 ^oC, 500 ^oC, 700 ^oC, 800 ^oC và 900 ^oC



Hình 4. *Ảnh hưởng của (a) nhiệt độ nung và (b) pH đến dung lượng hấp phụ Pb^{2+}.*

Trong quá trình hấp phụ, pH dung dịch là yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến dung lượng hấp phụ của chất hấp phụ. pH tương tác với các ion kim loại trong dung dịch và làm thay đổi điện tích bề mặt chất hấp phụ [9]. Hình 4b mô tả sự ảnh hưởng của pH đến dung lượng hấp phụ Pb^{2+} của vật liệu compozit Fe_2O_3/TiO_2 nung ở 600 ^oC. Ở pH < 5, dung lượng hấp phụ Pb^{2+} là tương đối thấp có thể do sự cạnh tranh của ion H^+ trong dung dịch, khi pH tăng từ 6 đến 8 thì dung lượng hấp phụ Pb^{2+} tăng và pH > 9 thì dung lượng hấp phụ là cực đại, loại bỏ gần như hoàn toàn lượng Pb^{2+} trong dung dịch. Điều này là do sự tạo thành kết tủa $Pb(OH)_2$ trong dung dịch khi pH > 7 [10]. Để loại bỏ ảnh hưởng của sự tạo thành kết tủa trong dung dịch, pH = 7 được chọn để tiến hành các nghiên cứu tiếp theo.

3.2.2. Đẳng nhiệt hấp phụ

Để xác định dung lượng hấp phụ Pb^{2+} cực đại của vật liệu compozit Fe_2O_3/TiO_2, đẳng nhiệt hấp phụ theo hai mô hình Langmuir và Freundlich sẽ được nghiên cứu và so sánh. Nghiên cứu quá trình hấp phụ đẳng nhiệt được tiến hành như sau: Cho 0,1 g vật liệu Fe_2O_3/TiO_2 vào các bình tam giác chưa 50 mL dung dịch Pb^{2+} có nồng độ thay đổi từ 10 đến 95 mg/L ở pH = 7. Các bình tam giác được đặt trên máy lắc với tốc độ 100 vòng/phút trong 5 giờ để quá trình hấp phụ diễn ra. Dạng tuyến tính của mô hình Langmuir và Freundlich lần lượt theo phương trình 2 và 3 như sau:

$$\frac{C}{q} = \frac{1}{K_L.q_m} + \frac{C}{q_m} \quad (2)$$

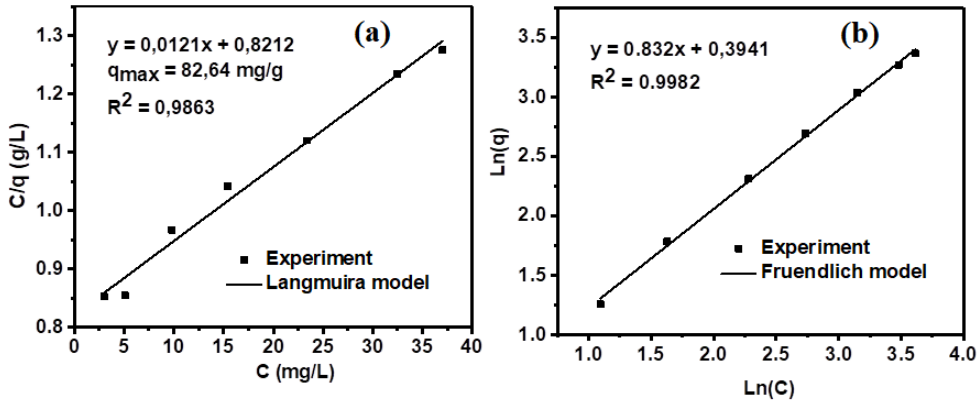
$$lnq = \frac{1}{n} lnC + lnK_F \quad (3)$$

Trong đó: q - Dung lượng hấp phụ tại thời điểm cân bằng (mg/g); q_m - Dung lượng hấp phụ cực đại (mg/g); C - Nồng độ chất bị hấp phụ tại thời điểm cân bằng (mg/L); K_L - Hằng số Langmuir; K_F - Hằng số Freundlich; n - Hệ số không đồng nhất.

Đồ thị hấp phụ đẳng nhiệt Langmuir và Freundlich dạng tuyến tính hấp phụ Pb^{2+} của vật liệu Fe_2O_3/TiO_2 mô tả ở hình 5. Từ các số liệu thực nghiệm, tính toán các tham số trong mô hình hấp phụ đẳng nhiệt Langmuira và Freundlich của vật liệu Fe_2O_3/TiO_2 đối với Pb^{2+} được trình bày ở bảng 1.

Từ các kết quả ở bảng 1, nhận thấy rằng hệ số tương quan R^2 đối với cả hai mô hình hấp phụ đẳng nhiệt là khá cao (R^2 > 0,85); các giá trị hệ số n và tham số R_L ($R_L = 1/(1+K_L.C_o)$) đều nằm

trong khoảng thuận lợi cho quá trình hấp phụ ($1 < n < 10$; $0 < K_L < 1$) [11]. Do đó, mô hình hấp phụ đẳng nhiệt Langmuir và Freundlich đều là mô hình thuận lợi để mô tả quá trình hấp phụ Pb^{2+} của vật liệu compozit Fe_2O_3/TiO_2 chế tạo được. Tuy nhiên, hằng số tương quan đối với mô hình Freundlich ($R^2 = 0,9981$) cao hơn hằng số tương quan của mô hình Langmuir ($R^2 = 0,9863$) cho nên mô hình Freundlich phù hợp hơn mô hình Langmuir.



Hình 5. *Đồ thị đẳng nhiệt hấp phụ (a) Langmuir và (b) Freundlich đối với Pb^{2+} của vật liệu Fe_2O_3/TiO_2.*

Bảng 1. *Các tham số trong mô hình hấp phụ đẳng nhiệt Langmuir và Freundlich của vật liệu Fe_2O_3/TiO_2 đối với Pb^{2+}.*

Mô hình Langmuir			**Mô hình Freundlich**		
q_m (mg/g)	K_L (L/mg)	R^2	K_F (mg/g)	n	R^2
82,64	0,015	0,9863	1,483	1,202	0,9982

Quá trình hấp phụ Pb^{2+} của Fe_2O_3/TiO_2 là không đồng nhất trên bề mặt vật liệu compozit, có sự tham gia đồng thời của Fe_2O_3 và TiO_2 trong quá trình hấp phụ Pb^{2+}. Dung lượng hấp phụ Pb^{2+} cực đại của vật liệu Fe_2O_3/TiO_2 tính theo mô hình Langmuir là 82,64 mg/g.

3.2.3. Động học hấp phụ

Động học quá trình hấp phụ Pb^{2+} của vật liệu Fe_2O_3/TiO_2 được đánh giá thông qua 2 mô hình động học biểu kiến bậc 1:

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - K_1.t \quad (4)$$

và bậc 2:

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{K_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (5)$$

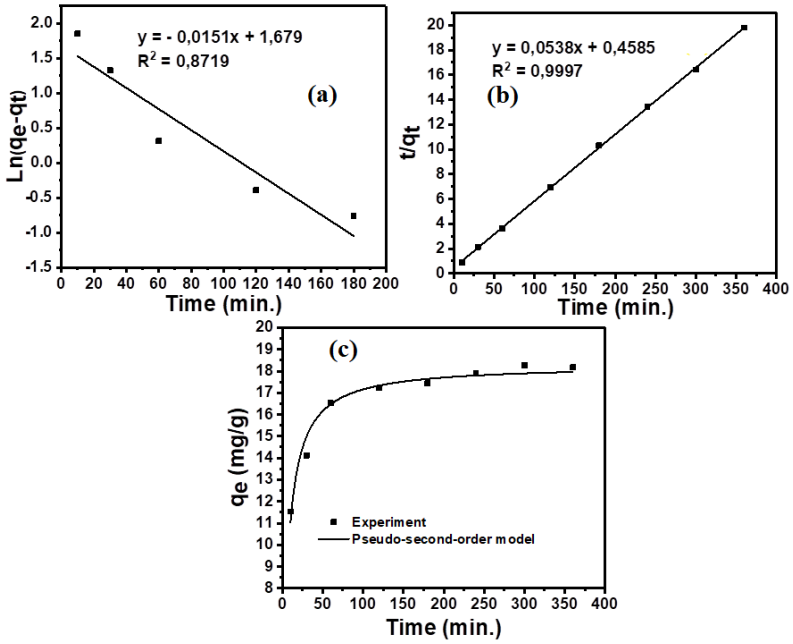
Trong đó: q_e - Dung lượng hấp phụ tại thời điểm cân bằng (mg/g); q_t - Dung lượng hấp phụ tại thời điểm t (mg/g); K_1 - Hằng số tốc độ hấp phụ biểu kiến bậc 1 (L/phút); K_2 - Hằng số tốc độ hấp phụ biểu kiến bậc 2 (mg/g.phút).

Từ kết quả nghiên cứu sự ảnh hưởng dung lượng hấp phụ Pb^{2+} theo thời gian của vật liệu compozit Fe_2O_3/TiO_2, đồ thị và các tham số trong các mô hình động học hấp phụ dạng tuyến tính được trình bày ở bảng 2 và hình 6.

Bảng 2. *Các tham số trong mô hình động học hấp phụ của vật liệu Fe_2O_3/TiO_2 đối với Pb^{2+}.*

Mô hình động học biểu kiến bậc 1			**Mô hình động học biểu kiến bậc 2**			
q_e (mg/g)	K_1 (L/phút)	R^2	$q_{thực\ nghiệm}$ (mg/g)	q_e (mg/g)	K_2 (mg/g.phút)	R^2
5,360	0,0151	0,8719	17,9	18,59	0,0063	0,9997

Theo kết quả bảng 2 thấy rằng, hằng số tương quan theo mô hình động học hấp phụ biểu kiến bậc 2 lớn hơn nhiều so với theo mô hình động học biểu kiến bậc 1 và gần với đơn vị. Ngoài ra, giá trị dung lượng hấp phụ cân bằng tính theo thực nghiệm và giá trị tính theo mô hình động học biểu kiến bậc 2 là tương đương nhau, trong khi đó giá trị này tính theo mô hình động học biểu kiến bậc 1 là khác nhau rất lớn. Như vậy, mô hình động học biểu kiến bậc 2 mô tả quá trình hấp phụ Pb^{2+} của vật liệu compozit Fe_2O_3/TiO_2 phù hợp hơn mô hình động học biểu kiến bậc 1.



Hình 6. *Đồ thị động học hấp phụ Pb^{2+} dạng tuyến tính (a) bậc 1, (b) bậc 2 và (c) sự phụ thuộc dung lượng hấp phụ theo thời gian và của vật liệu Fe_2O_3/TiO_2.*

5. KẾT LUẬN

Đã chế tạo thành công vật liệu compozit Fe_2O_3/TiO_2 từ xỉ titan bằng quá trình sunphat hóa, kết hợp với nung trong 2 giờ và nghiền bi. Vật liệu Fe_2O_3/TiO_2 sau khi nghiền có kích thước khoảng (50 - 400) nm. Dung lượng hấp phụ cực đại tính theo mô hình Langmuir là 82,64 mg/g. Đã khảo sát một số yếu tố ảnh hưởng đến dung lượng hấp phụ Pb^{2+} của vật liệu như nhiệt độ nung, pH. Ở nhiệt độ nung 600 ^oC vật liệu có dung lượng hấp phụ cao nhất, hiệu quả hấp phụ Pb^{2+} trong khoảng rộng pH. Với chi phí thấp và phương pháp chế tạo đơn giản cũng như khả năng hấp phụ nhanh và cao vật liệu compozit Fe_2O_3/TiO_2 là một vật liệu đầy hứa hẹn để loại bỏ ion Pb^{2+} ra khỏi môi trường nước.

Lời cảm ơn: *Nhóm tác giả gửi lời cảm ơn tới Chương trình Khoa học và Công nghệ trọng điểm cấp quốc gia phục vụ đổi mới, hiện đại hóa công nghệ khai thác và chế biến khoáng sản đến năm 2025 thực hiện Đề án Đổi mới và hiện đại hoá công nghệ trong ngành công nghiệp khai khoáng đến năm 2025 bởi đề tài mã số ĐT.CNKK.QG.002/21 đã tài trợ cho nghiên cứu này.*

REFERENCES

[1]. Fu, F. and Q. Wang, *"Removal of heavy metal ions from wastewaters: a review"*. Journal of environmental management, 2011. **92**(3): p. 407-418.

[2]. Mehta, D., S. Mazumdar, and S. Singh, *"Magnetic adsorbents for the treatment of water/wastewater-a review"*. Journal of Water Process Engineering, 2015. **7**: p. 244-265.

[3]. Mahapatra, A., B. Mishra, and G. Hota, *"Electrospun Fe_2O_3-Al_2O_3 nanocomposite fibers as efficient adsorbent for removal of heavy metal ions from aqueous solution"*. Journal of hazardous Materials, 2013. **258**: p. 116-123.

[4]. Poursani, A.S., et al., *"A novel method for synthesis of nano-γ-Al_2O_3: study of adsorption behavior of chromium, nickel, cadmium and lead ions"*. International Journal of Environmental Science Technology, 2015. **12**(6): p. 2003-2014.
[5]. Tang, W., et al., *"Ultrafine α-Fe_2O_3 nanoparticles grown in confinement of in situ self-formed "cage" and their superior adsorption performance on arsenic (III)"*. Journal of Nanoparticle Research, 2011. **13**(6): p. 2641-2651.
[6]. Xu, Z., et al., *"As (III) removal by hydrous titanium dioxide prepared from one-step hydrolysis of aqueous $TiCl_4$ solution.* Water research, 2010. **44**(19): p. 5713-5721.
[7]. Smith, Y.R., et al., *Sulfated Fe_2O_3-TiO_2 synthesized from ilmenite ore: a visible light active photocatalyst.* Colloids Surfaces A: Physicochemical Engineering Aspects 2010. **367**(1-3): p. 140-147.
[8]. Van Tran, C., et al., *Low-cost fabrication of Fe_2O_3/rutile nanocomposite from Ilmenite ore: a highly effective adsorbent for removal of arsenic in aqueous media.* Advances in Natural Sciences: Nanoscience Nanotechnology, 2019. **10**(1): p. 015014.
[9]. Tran, C.V., et al., *Effective Removal of Pb (II) from Aqueous Media by a New Design of Cu-Mg Binary Ferrite.* ACS omega, 2020. **5**(13): p. 7298-7306.
[10]. Duan, S., et al., *Effective removal of Pb (II) using magnetic $Co_{0.6}Fe_{2.4}O_4$ micro-particles as the adsorbent: synthesis and study on the kinetic and thermodynamic behaviors for its adsorption.* Colloids Surfaces A: Physicochemical Engineering Aspects, 2015. **469**: p. 211-223.
[11]. Ho, Y.-S. and C.-C. Wang, *Pseudo-isotherms for the sorption of cadmium ion onto tree fern.* Process Biochemistry, 2004. **39**(6): p. 761-765.

ABSTRACT

STUDY ON FABRICATION OF Fe_2O_3/TiO_2 COMPOSITE FROM TITANIUM SLAG AND ITS APPLICATION FOR Pb^{2+} REMOVAL IN AQUEOUS MEDIA

In this study, the Fe_2O_3/TiO_2 composite was fabricated by sulphation of titanium slag followed by calcination at 600 ^oC for 2 hours. The adsorption behaviour of the Fe_2O_3/TiO_2 composite as adsorbent toward Pb^{2+} was investigated by carrying out batch adsorption. The adsorption isotherm process of Pb^{2+} adsorption was closely related to Freundlich model and the adsorption kinetics of adsorbent toward Pb^{2+} adsorption was found to be pseudo-second order. The adsorption of Fe_2O_3/TiO_2 composite toward Pb^{2+} is highly effective with a maximum capacity of 82,64 mg/g at pH 7, and relatively fast. Therefore, this as-prepared Fe_2O_3/TiO_2 composite could be promising and cost-effective adsorbent for effective removal of lead contaminant from aqueous environment.

Từ khóa: Titanium slag; Fe_2O_3/TiO_2; Composite; Heavy metals; Adsorption.

Nhận bài ngày 14 tháng 9 năm 2021
Hoàn thiện ngày 20 tháng 10 năm 2021
Chấp nhận đăng ngày 28 tháng 10 năm 2021

Địa chỉ: Viện Hóa học - Vật liệu, Viện Khoa học và Công nghệ quân sự.
*Email: chinhpkkq@gmail.com.