

## ĐỘNG HỌC HẤP PHỤ PHÓT-PHÁT TRÊN VẬT LIỆU HYDROXIT LỚP KÉP (HẠT Mg-Al LDH-POLYVINYL ANCOL/ALGINAT)

Nguyễn Thị Kim Phượng<sup>1\*</sup>, Nguyễn Thị Minh Trang<sup>1</sup>, Hồ Nguyễn Nhật Hà<sup>1</sup>, Văn Việt<sup>1</sup>,  
Nguyễn Thị Thanh Hà<sup>2</sup>, Lê Phú Đông<sup>2</sup>, Nguyễn Thị Phương Diệu<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Viện Công nghệ Hóa học, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

<sup>2</sup>Khoa Công nghệ Môi trường, Trường Đại học Lạc Hồng

<sup>3</sup>Khoa Sinh học Môi trường, Trường Đại học Yersin Đà Lạt

Đền Tòa soạn 27-11-2013

### Abstract

The Mg-Al LDH-PVA/Alginate beads was formed by entrappment of Mg - Al layered double hydroxide powdered into polyvinyl alcohol and calcium alginates for phosphate removal from aqueous solution. A Scanning Electron Microscope (SEM) and an X-Ray Diffractometer (XRD) were used to analyse the properties of Mg-Al LDH-PVA/Alginate beads. SEM images showed that the surface of Mg-Al LDH-PVA/Alginate beads was heterogenerous topography with interminglement of Mg-L LDHs powders and PVA/Alginate polymers. The optimum LDHs content in beads was 8 % (mass/volume); pH of solution did not effect to the phosphate removal. The kinetic reaction reached equilibrium around 8 hours of reaction time with 96.05 and 92.32 % phosphate removal at 10 and 25 mgP/L, respectively. The adsorption kinetic study showed that adsorption process followed pseudo-second order kinetic. This study approved that Mg-Al LDH-PVA/Alginate beads have high potential for phosphate removal as adsorption media.

**Keywords:** Mg-Al LDH-PVA/Alginate beads, phosphate, adsorption.

### 1. MỞ ĐẦU

Hydroxit lớp kép (Layered Double Hydroxide - LDH) là nhóm vật liệu khoáng sét anion cấu trúc nano, được ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực như là xúc tác, xử lý môi trường, y học, v.v. và đang được của nhiều nhà khoa học trên thế giới quan tâm nghiên cứu. LDH có công thức chung là  $[M^{2+}_{1-x}M^{3+}_x(OH)_2]^{x+}(A^{n-})_{x/n} \cdot mH_2O$ . Trong đó  $M^{2+}$  là cation có số oxi hóa 2,  $M^{3+}$  là cation có số oxi hóa 3,  $x$  là tỷ lệ mol  $M^{3+}/(M^{2+}+M^{3+})$ , và A là anion xen của hóa trị  $n$ . LDH mang điện tích dương được cân bằng bởi các anion và nước đan xen [1, 2]. Nhờ vào đặc tính diện tích bề mặt lớn và khả năng trao đổi anion cao, nên trong những năm gần đây LDH đã được nghiên cứu và ứng dụng xử lý chất độc hại oxyanion bao gồm phốt-phát [3-7], nitrat [8-12], cromat [13-16], selenat và asenat [17-20] trong nước. Cơ chế xử lý độc chất oxyanion trong nước bằng LDH chủ yếu là hấp phụ và trao đổi anion. Nhìn chung, tất cả các công trình công bố ở trên đều cho thấy hiệu quả loại bỏ hợp chất oxyanion trong nước của bột LDH, tuy nhiên, do độ thấm thấp và lượng bùn sinh ra quá lớn, nên vật liệu LDH dạng bột không phù hợp ứng dụng trong hệ thống lọc của các quy trình xử lý nước và

nước thải. Để cải thiện hạn chế trên, LDH dạng hạt được đề nghị sử dụng.

Ngâm “vật liệu chức năng (functional materials)” trong canxi alginat, ứng dụng xử lý chất ô nhiễm trong nước và nước thải đang được các nhà khoa học trên thế giới quan tâm do tính đơn giản và hiệu quả [21, 22]. Độ xốp của Ca-alginat cho phép chất ô nhiễm khuếch tán vào bên trong các hạt và tiếp xúc với các vật liệu chức năng [23]. Ngoài ra, alginat là chất không độc, phân hủy sinh học và gel không tan trong nước [24]. Tuy nhiên, do độ bền cơ học và độ ổn định hóa học của canxi alginat trong nước kém, nên nhanh chóng bị biến dạng, để cải thiện yếu điểm này canxi alginat được phối trộn với polyvinyl ancol (PVA) [25].

Nghiên cứu này được thực hiện nhằm nâng cao hiệu quả sử dụng LDH trong quá trình xử lý độc chất oxyanion trong nước. Bột LDH sẽ được ngâm trong canxi alginat pha trộn với PVA tạo thành các hạt LDH-PVA/alginat. Xác định các đặc trưng của vật liệu bằng phương pháp phân tích cấu trúc và hình thái học. Nghiên cứu xử lý  $P-PO_4^{3-}$  trong nước của vật liệu LDH-PVA/alginat. Các mô hình động học hấp phụ biểu kiến bậc 1 và bậc 2 được sử dụng để phân tích kết quả thực nghiệm.

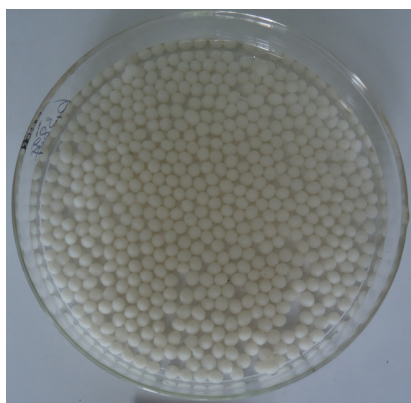
## 2. THỰC NGHIỆM

### 2.1. Điều chế bột Mg-Al LDH-PVA/Alginat

Bột Mg-Al-LDH được điều chế bằng phương pháp đồng kết tủa tại pH  $11 \pm 0,2$ . Dung dịch 1 chứa  $Mg^{2+}/Al^{3+}$  có tỷ lệ mol 3:1 được nhỏ đều xuống dung dịch 2 chứa hỗn hợp NaOH 1 M và NaCl 1 M, khuấy 400 vòng/phút và nhiệt độ  $65^\circ C$ . Duy trì pH dung dịch ( $11 \pm 0,2$ ) bằng NaOH 2 M. Kết tủa được già hóa ở nhiệt độ  $65^\circ C$  trong 18 giờ, rửa bằng nước cất đến khi trung hòa, sấy tủa ở nhiệt độ  $65^\circ C$  trong 24 giờ. Nghiền và nung kết tủa ở nhiệt độ  $200^\circ C$  trong 8 giờ bằng lò nung Vulcan (Mỹ).

### 2.2. Điều chế hạt Mg-Al LDH-PVA/alginate

Hạt Mg-Al LDH-PVA/Alginate được điều chế bằng cách ngâm bột Mg-Al-LDH trong PVA/alginate. 100 ml dung dịch natri alginate và PVA được khuấy ở nhiệt độ  $70^\circ C$  trong 5 giờ. Thêm vào dung dịch  $x$  gam Mg-Al LDH (với  $x = 0, 2, 4, 6, 8, 10$  g) khuấy liên tục. Hỗn hợp đồng nhất được nhỏ đều đặn qua ống xylanh có đường kính trong bằng 4 mm xuống bình chứa 500 ml dung dịch  $CaCl_2$  0,3 M, già hóa hạt trong 8 giờ sau đó rửa bằng nước cất để loại bỏ hoàn toàn lượng  $Ca^{2+}$  còn dư, thu được các hạt Mg-Al LDH-PVA/alginate có  $x\%$  Mg-Al LDH.



Hình 1: Hạt Mg-Al LDH-PVA/alginate

### 2.3. Xác định các đặc trưng vật liệu Mg-Al LDH-PVA/alginate

Phân tích cấu trúc và thành phần pha của vật liệu bằng phương pháp nhiễu xạ tia X (XRD) với bức xạ  $CuK_\alpha$  ( $\lambda = 1,540596 \text{ \AA}$ ) ở 40 kV và 30 mA góc quét  $2\theta$  từ  $5^\circ$  đến  $70^\circ$  trên thiết bị D8-Advance-Bruker AXS (Đức) và hình thái học SEM của vật liệu được chụp bằng thiết bị JEOL (Nhật Bản).

### 2.4. Nghiên cứu khả năng hấp phụ $P-PO_4^{3-}$ của hạt Mg-Al LDH-PVA/alginate

Các thí nghiệm hấp phụ  $P-PO_4^{3-}$  của các hạt Mg-Al LDH-PVA/alginate được thực hiện trong các bình tam giác 250 ml, có nút đậy ở nhiệt độ phòng  $28 \pm 2^\circ C$ , ở pH của dung dịch (6,8). Phân tích hàm lượng  $P-PO_4^{3-}$  bằng phương pháp thiếc clorua [26] ở bước sóng 690 nm trên thiết bị quang phổ so màu của hãng HACH (Mỹ).

Thí nghiệm động học hấp phụ được thực hiện bằng cách ngâm 3 gam hạt Mg-Al LDH-PVA/alginate vào 100 ml dung dịch  $P-PO_4^{3-}$  nồng độ 10 và 25 mg P/L, hỗn hợp dung dịch được lắc liên tục ở tốc độ 250 vòng/phút, mẫu được lấy trong thời gian 1/2, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 12, và 24 giờ. Dung lượng hấp phụ  $P-PO_4^{3-}$  được của hạt Mg-Al LDH-PVA/alginate được tính như sau:

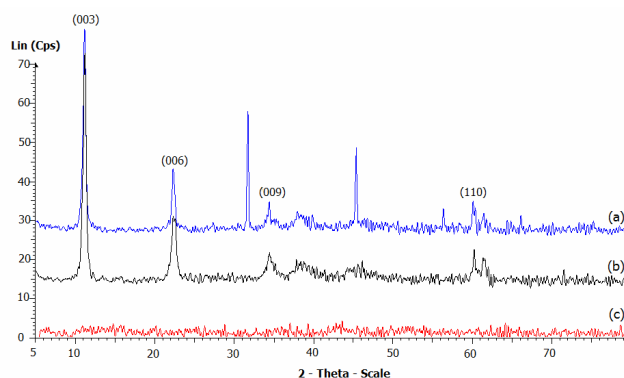
$$q_t = \frac{C_0 - C_t}{m} \times V \quad (1)$$

Trong đó,  $q_t$  ( $mg \cdot g^{-1}$ ) là dung lượng hấp phụ  $P-PO_4^{3-}$  của vật liệu tại thời điểm  $t$ ,  $C_0$  ( $mg \cdot L^{-1}$ ) là nồng độ  $P-PO_4^{3-}$  trong dung dịch ban đầu,  $C$  ( $mg \cdot L^{-1}$ ) là nồng độ  $P-PO_4^{3-}$  tại thời điểm  $t$ ,  $V$  (L) là thể tích dung dịch và  $m$  (g) là khối lượng vật liệu Mg-Al LDH-PVA/alginate.

## 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

### 3.1. Đặc trưng cấu trúc của hạt Mg-Al LDH-PVA/alginate

Kết quả phân tích phổ XRD xác định cấu trúc của mẫu vật liệu Mg-Al LDH-PVA/alginate (tỷ lệ mol Mg/Al = 3:1) được trình bày trong hình 2.

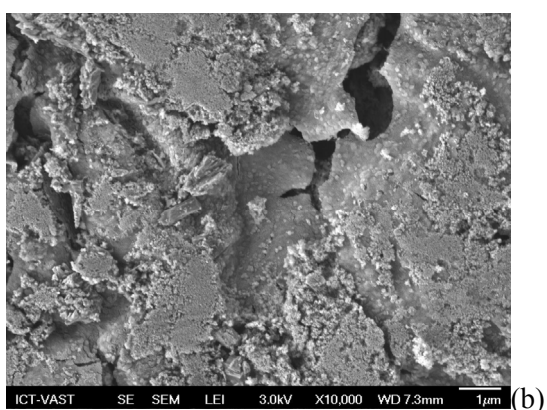
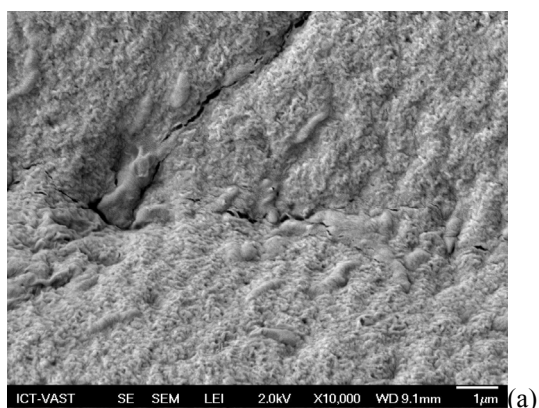


Hình 2: Phổ XRD của vật liệu hydroxit lớp kép: (a) bột LDH, (b) 8 % Mg-Al LDH-PVA/alginate và (c) 0 % Mg-Al LDH-PVA/alginate

Phổ XRD cho thấy hạt vật liệu có các pic phản

xạ đặc trưng của vật liệu hydroxit cấu trúc lớp kép tại các góc  $2\theta$ :  $11,5^\circ$  (003),  $23^\circ$  (009),  $34,7^\circ$  (009),  $60,5^\circ$  (110) phù hợp với kết quả của các công bố trước đây của các tác giả về cấu trúc tương đồng của vật liệu hydroxit cấu trúc lớp kép [2, 27-29].

Đặc trưng hình thái của các hạt LDH-PVA/alginate được xác định bằng phương pháp hiển vi điện tử quét (SEM) và được trình bày trong hình 3, kết quả cho thấy bề mặt của các hạt 8 % Mg-Al LDH-PVA/alginate không đồng nhất nếu so sánh với bề mặt của các hạt 0 % Mg-Al LDH-PVA/alginate điều này chứng tỏ bột Mg-Al LDH đã trộn lẫn vào PVA/alginate.

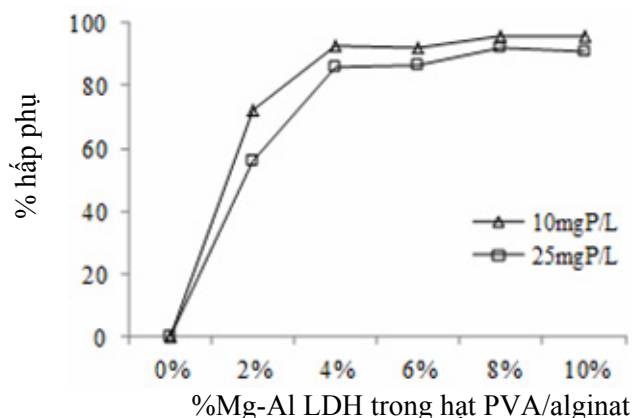


Hình 3: Ảnh SEM (a) của các hạt 0 % Mg-Al LDH-PVA/alginate bar 1  $\mu\text{m}$ ; (b) của các hạt 8 % Mg-Al LDH-PVA/alginate bar 1  $\mu\text{m}$

### 3.2. Ảnh hưởng của lượng Mg-Al LDH, pH dung dịch và thời gian đến quá trình hấp phụ $\text{P-PO}_4^{3-}$

Ảnh hưởng của lượng Mg-Al LDH đến quá trình hấp phụ  $\text{P-PO}_4^{3-}$  trên hạt Mg-Al LDH-PVA/alginate được trình bày trên hình 4. Kết quả trên hình 4 cho thấy, không xảy ra quá trình hấp phụ  $\text{P-PO}_4^{3-}$  đối với hạt 0 % Mg-Al LDH-PVA/alginate, trong khi đó, quá trình hấp phụ  $\text{P-PO}_4^{3-}$  trên hạt 2 % Mg-Al LDH-PVA/alginate đạt 72,16 và 55,95 % tương ứng với nồng độ  $\text{P-PO}_4^{3-}$  ban đầu là 10 mgP/L và 25 mgP/L,

điều này cho thấy tiềm năng xử lý  $\text{P-PO}_4^{3-}$  của Mg-Al LDH. Khi tăng lượng Mg-Al LDH trong hạt PVA/alginate thì tăng hấp phụ  $\text{P-PO}_4^{3-}$ , tuy nhiên, quá trình hấp phụ  $\text{P-PO}_4^{3-}$  của các hạt Mg-Al LDH-PVA/alginate không tăng tuyến tính và phụ thuộc vào khối lượng Mg-Al LDH chứa trong hạt. Hạt 8 % Mg-Al LDH-PVA/alginate hấp phụ  $\text{P-PO}_4^{3-}$  đạt 96,00 % và 92,34 % tương ứng với nồng độ  $\text{P-PO}_4^{3-}$  ban đầu là 10mgP/L và 25 mgP/L. Vì vậy, hạt 8 % Mg-Al LDH-PVA/alginate sẽ được sử dụng cho các nghiên cứu tiếp theo.



Hình 4: Ảnh hưởng của % Mg-Al LDHs đến quá trình hấp phụ  $\text{P-PO}_4^{3-}$

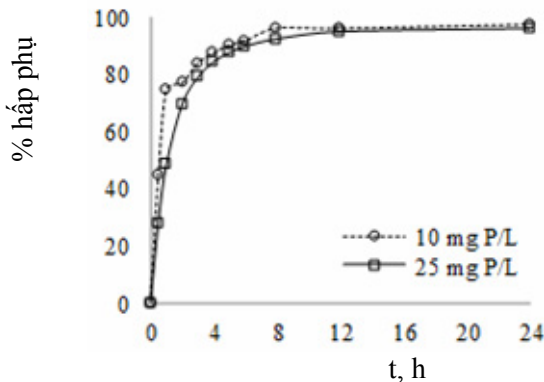
Từ những kết quả trình bày trong bảng 1 cho thấy, pH của dung dịch ảnh hưởng không đáng kể đến quá trình hấp phụ  $\text{P-PO}_4^{3-}$  của vật liệu. Đại lượng hấp phụ cao trong khoảng pH từ 5 đến 9. Kết quả này cũng phù hợp nghiên cứu của Han và nnk (2011) [30] hấp phụ  $\text{P-PO}_4^{3-}$  trên hạt 8 % Mg-Al LDH-PVA/alginate không bị ảnh hưởng bởi pH dung dịch. Do vậy, các thí nghiệm tiếp theo sẽ được thực hiện ở môi trường (pH = 5,6).

Bảng 1: Đại lượng hấp phụ  $\text{P-PO}_4^{3-}$  ở các pH khác nhau

pH	Đại lượng hấp phụ $q_e$ , $\text{mg.g}^{-1}$	
	10 mgP/L	25 mgP/L
5	0,3270	0,7848
5,6	0,3266	0,7807
6	0,3247	0,7777
7	0,3224	0,7776
8	0,3172	0,7770
9	0,3169	0,7769

Với điều kiện pH dung dịch 5,6 và sử dụng vật liệu hấp phụ là hạt 8 % Mg-Al LDH-PVA/alginate,

động học hấp phụ được thực hiện. Kết quả nghiên cứu trình bày trên hình 5 cho thấy, trong vòng 8 giờ thí nghiệm, hấp phụ P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> đạt khoảng 96,05 và 92,32 % tương ứng với nồng độ ban đầu là 10 mgP/L và 25 mgP/L, sau 8 giờ, lượng P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> hấp phụ trên hạt 8 % Mg-Al LDH-PVA/Alginat tăng nhưng không đáng kể. Vì vậy, chọn thời gian để hấp phụ P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> trên vật liệu 8 % Mg-Al LDH-PVA/alginate đạt cân bằng là 8 giờ.



Hình 5: Đường cong hấp phụ P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> trên vật liệu 8% Mg-Al LDH-PVA/alginate

**3.3. Động học hấp phụ**

Nghiên cứu động học hấp phụ nhằm đưa ra những thông tin về cơ chế hấp phụ. Đó là những thông tin quan trọng để nâng cao hiệu suất quá trình. Để giải thích cơ chế hấp phụ P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> của vật liệu 8 % Mg-Al LDH-PVA/alginate, mô hình động học biểu kiến bậc 1 (pseudo-first-order của Lagergren (1898)) và mô hình động học biểu kiến bậc 2 (pseudo-second-order của Ho and Mckay (1999)) được sử dụng để phân tích kết quả thực nghiệm.

Phương trình động học biểu kiến bậc 1 (2) và động học biểu kiến bậc 2 (3) dạng tuyến tính được mô tả như sau [31, 32]:

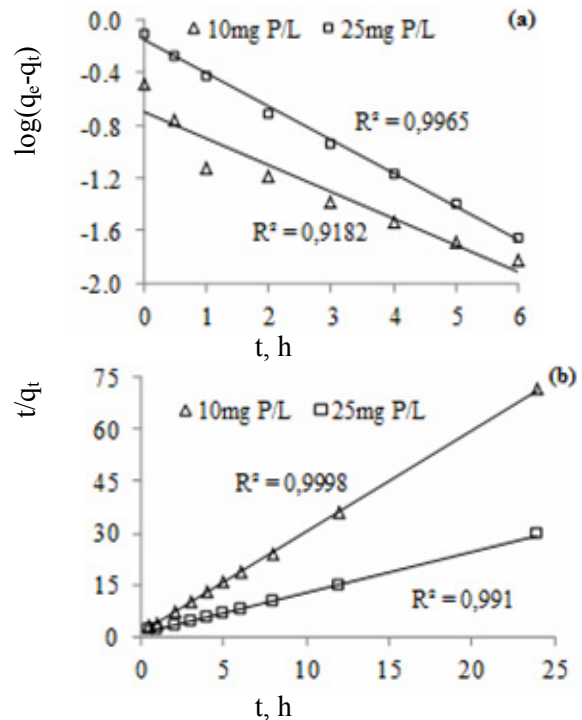
$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \frac{k_1}{2.303} t \quad (2)$$

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (3)$$

Trong đó:  $q_e$  là dung lượng hấp phụ tại trạng thái cân bằng (mg. g<sup>-1</sup>),  $q_t$  là dung lượng hấp phụ tại thời điểm  $t$  (mg. g<sup>-1</sup>),  $k_1$  là hằng số tốc độ của mô hình động học biểu kiến bậc 1 và  $k_2$  là hằng số tốc độ của mô hình động học biểu kiến bậc 2.

Vẽ đồ thị biểu diễn  $\log(q_e - q_t)$  theo  $t$ , thu được phương trình động học hấp phụ biểu kiến bậc 1 dạng tuyến tính như sau:  $\log(q_e - q_t) = -0,2017 t - 0,7043$  với  $R^2 = 0,9182$  và  $\log(q_e - q_t) = -0,2529 t - 0,1562$  với  $R^2 = 0,9965$  tương ứng với nồng độ P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> ban

đầu là 10 mgP/L và 25 mgP/L. Từ phương trình (3), biểu diễn  $t/q_t$  theo  $t$ , thu được đồ thị mô tả động học biểu kiến bậc 2 dạng tuyến tính như sau:  $t/q_t = 1,4724 + 2,9080 t$  ( $R^2 = 0,9998$ ) tại nồng độ 10 mgP/L và  $t/q_t = 1,0423 + 1,1796 t$  ( $R^2 = 0,9991$ ) tại nồng độ 25 mgP/L. Đồ thị tuyến tính và các tham số động học hấp phụ P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> trên vật liệu 8 % Mg-Al LDH-PVA/alginate xác định theo dạng tuyến tính được trình bày trên hình 6 và trong bảng 2.



Hình 6: Đồ thị tuyến tính động học hấp phụ P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> trên hạt 8% Mg-Al LDH-PVA/alginate: (a) động học hấp phụ bậc 1 và (b) động học hấp phụ bậc 2

Bảng 2: Các tham số động học hấp phụ P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> trên vật liệu 8 % Mg-Al LDH-PVA/alginate

	Tham số	10 mgP/L	25 mgP/L
		$q_{e, tn}$ (mg.g <sup>-1</sup> )	0,3311
Phương trình biểu kiến bậc 1	$q_{e, tính}$ (mg.g <sup>-1</sup> )	0,1976	0,6979
	$k_1$ (h <sup>-1</sup> )	0,4645	0,5824
	$R^2$	0,9182	0,9965
Phương trình biểu kiến bậc 2	$q_{e, tính}$ (mg.g <sup>-1</sup> )	0,3439	0,8478
	$k_2$ (g.mg <sup>-1</sup> .h <sup>-1</sup> )	5,7433	1,3338
	$R^2$	0,9998	0,9991

$q_{e, tn}$  là dung lượng hấp phụ cân bằng đo từ thực nghiệm;  $q_{e, tính}$  là dung lượng hấp phụ cân bằng tính toán theo kết quả hồi quy tuyến tính của các phương trình động học).

Trong phương trình động học hấp phụ biểu kiến bậc 1, giá trị  $k_1$  là  $0,4645 \text{ h}^{-1}$  và  $0,5824 \text{ h}^{-1}$  tương ứng với nồng độ  $\text{P-PO}_4^{3-}$  ban đầu là  $10 \text{ mgP/L}$  và  $25 \text{ mgP/L}$ , điều này cho thấy tốc độ hấp phụ  $\text{P-PO}_4^{3-}$  ở nồng độ  $25 \text{ mgP/L}$  nhanh hơn so với tốc độ hấp phụ ở nồng độ  $10 \text{ mgP/L}$ .

Trong phương trình động học hấp phụ biểu kiến bậc 2, giá trị  $k_2$  là  $5,7433$  và  $1,3338 \text{ g.mg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ , tương ứng với nồng độ  $\text{P-PO}_4^{3-}$  ban đầu là  $10 \text{ mgP/L}$  và  $25 \text{ mgP/L}$ , cho thấy tốc độ hấp phụ  $\text{P-PO}_4^{3-}$  ở nồng độ  $10 \text{ mgP/L}$  cao gấp 2,1 lần so với tốc độ hấp phụ ở nồng độ  $25 \text{ mgP/L}$ . Giá trị  $R^2$  của phương trình động học biểu kiến bậc 2 là  $0,9998$  và  $0,9991$  tương ứng với nồng độ  $\text{P-PO}_4^{3-}$  ban đầu là  $10 \text{ mgP/L}$  và  $25 \text{ mgP/L}$ , điều này cho thấy mô hình động học biểu kiến bậc 2 rất hợp phù để mô phỏng động học hấp phụ  $\text{P-PO}_4^{3-}$  trên hạt  $8 \%$   $\text{Mg-Al LDH-PVA/Alginat}$ .

#### 4. KẾT LUẬN

Đã tổng hợp được hạt  $\text{Mg-Al LDH-PVA/alginate}$  để xử lý  $\text{P-PO}_4^{3-}$  trong nước, xác định các đặc trưng của vật liệu và tính chất hấp phụ của vật liệu. Kết quả cho thấy, hạt  $\text{Mg-Al LDH-PVA/alginate}$  có khả năng hấp phụ  $\text{P-PO}_4^{3-}$  trong nước rất cao và không bị ảnh hưởng bởi pH của dung dịch. Quá trình hấp phụ tuân theo mô hình động học biểu kiến bậc 2. Hạt vật liệu  $\text{Mg-Al LDH-PVA/alginate}$  có độ bền cao và dễ dàng tách khỏi dung dịch sau hấp phụ, có thể nói đây là vật liệu lọc hấp phụ rất thích hợp ứng dụng xử lý  $\text{P-PO}_4^{3-}$  trong nước và nước thải.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. K. H. Goh, T. T. Lim and Z. Dong. *Application of layered double hydroxides for removal of oxyanions: A review*, Water Res., **42**, 1343-1368 (2008).
2. F. Cavani, F. Trifirò and A. Vaccari. *Hydrotalcite-type anionic clays: preparation, properties and applications*, Catal. Today, **11**, 173-301 (1991).
3. M. Badreddine, A. Legroui, A. Barroug, A. De Roy and J. P. Besse. *Ion exchange of different phosphate ions into the zincaluminum- chloride layered double hydroxide*, Mater. Lett., **38**, 391-395 (1999).
4. Y. Seida and Y. Nakano. *Removal of phosphate by layered double hydroxides containing iron*, Water Res., **36**, 1306-1312 (2002).
5. R. Chitrakar, S. Tezuka, A. Sonoda, K. Sakane, K. Ooi and T. Hirotsu. *Adsorption of phosphate from seawater on calcined MgMn-layered double hydroxides*, J. Colloid Interf. Sci., **290**, 45-51 (2005).
6. J. Das, B. S. Patra, N. Baliarsingh and K. M. Parida. *Adsorption of phosphate by layered double hydroxides in aqueous solutions*, Appl. Clay Sci., **32**, 252-260 (2006).
7. P. Koilraj and S. Kannan. *Phosphate uptake behavior of ZnAlZr ternary layered double hydroxides through surface precipitation*, J. Colloid Interf. Sci., **341**, 289-297 (2009).
8. Socías-Viciano, M. María, Ureña-Amate, D. María, González-Pradas, Emilio; García-Cortés, J. María, López-Teruel, Cristina. *Nitrate removal by calcined hydrotalcite-type compounds*, Clays and Clay Minerals, **56** (1), 2-9 (2008).
9. A. Halajnia, S. Oustan, N. Najafí, A. R. Khataee, and A. Lakzian. *The adsorption characteristics of nitrate on Mg-Fe and Mg-Al layered double hydroxides in a simulated soil solution*, Appl. Clay Sci., **70**, 28-36 (2012).
10. Sasai R, Norimatsu W, Matsumoto Y. *Nitrate-ion-selective exchange ability of layered double hydroxide consisting of Mg<sup>II</sup> and Fe<sup>III</sup>*, J. Hazard. Mater., **215-216**, 311-314 (2012).
11. M. Islam and R. Patel. *Nitrate sorption by thermally activated Mg/Al chloride hydrotalcite-like compound*, J. Hazard. Mater., **169**, 524-531 (2009).
12. Vulić Tatjana J., Bošković Goran C. *Mg-Cu-Al layered double hydroxides based catalysts for the reduction of nitrates in aqueous solutions*, Acta Periodica Technologica, **41**, 131-139 (2010).
13. R. L. Goswamee, P. Sengupta, K. G. Bhattacharyya, D. K. Dutta. *Adsorption of Cr(VI) in layered double hydroxides*, Appl. Clay Sci., **13**, 21-34 (1998).
14. N. K. Lazaridis, T. A. Pandi and K. A. Matis. *Chromium (VI) removal from aqueous solutions by Mg-Al-CO<sub>3</sub> hydrotalcites: Sorption-desorption kinetic and equilibrium studies*, Ind. Eng. Chem. Res., **43**, 2209-2215 (2004).
15. N. K. Lazaridis, D. D. Asouhidou. *Kinetics of sorptive removal of chromium (VI) from aqueous solutions by calcined Mg-Al-CO<sub>3</sub> hydrotalcite*, Water Res., **37**, 2875-2882 (2003).
16. S. L. Wang, R. J. Hseu, R. R. Chang, P. N. Chiang, J. H. Chen and Y. M. Tzou. *Adsorption and thermal desorption of Cr(VI) on Li/Al layered double hydroxide*, Colloid Surf. A., **277**, 8-14 (2006).
17. Y. You, G. F. Vance and H. Zhao. *Selenium adsorption on Mg-Al and Zn-Al layered double hydroxides*, Appl. Clay Sci., **20**, 13-25 (2001).
18. R. Liu, R.L. Frost and W.N. Martens. *Absorption of the selenite anion from aqueous solutions by thermally activated layered double hydroxide*, Water Res., **43**, 1323-1329 (2009).
19. S. L. Wang, C. H. Liu, M. K. Wang, Y. H. Chuang and P. N. Chiang. *Arsenate adsorption by Mg/Al-NO<sub>3</sub> layered double hydroxides with varying the Mg/Al ratio*, Appl. Clay Sci., **43**, 79-85 (2009).
20. G. P. Gillman. *A simple technology for arsenic removal from drinking water using hydrotalcite*, Sci. Total Environ., **336**, 926-931 (2006).
21. AN. Bezbaruah, S. Krajangpan, BJ. Chisholm, E. Khan, JJ. Bermudez. *Entrapment iron nanoparticles in calcium alginate beads for ground water remediation application*. J. Hazard. Mater., **166**, 1339-1343 (2009).

22. C. Escudero, N. Fiol, I. Villlaescusa, J.C. Bollinger. *Arsenic removal by waste metal (hydr)oxide entrapped into calcium alginate beads*, J. Hazard. Mater., **164**, 533-541 (2009).
23. G. -L. Huang, S. Zhihui. *Immobilization of Spirulina subsalsa for removal of triphenyltin from water*, Artif. Cell. Blood. Sub., **30**, 293-305 (2002).
24. N. M. Velings, M. M. Mestdagh. *Physicochemical properties of alginate gel beads*, Polym. Gels Netw., **3**, 311-330 (1995).
25. Yong-Un Han, Chang-Gu Lee, Jeong-Ann Park, Jin-Kyu Kang, In Lee, Song-Bae Kim. *Immobilization of layered double hydroxide into polyvinyl alcohol/alginate hydrogel beads for phosphate removal*, Envi. Eng. Res., **17(3)**, 133-138 (2012).
26. *Standard methods for the Examination of Water and Wastewater*, Washington DC, 21<sup>st</sup> Edition (2005).
27. K. Chibwe and W. Jones. *Intercalation of organic and inorganic anions into layered double hydroxides*, J. the Chem. Soc., Chemical Communications, **14**, 926-927 (1989).
28. M. Bellotto, B. Rebours, O. Clause, J. Lynch, D. Bazin, and E. Elkaïm. *A reexamination of hydrotalcite crystal chemistry*, J. Phys. Chem., **100(20)**, 8527-8534 (1996).
29. Y. Yasin, A. H. Abdul Malek, S. M. Sumari. *The Application of Response Surface Methodology for Lead Ion Removal from Aqueous Solution Using Intercalated Tartrate-Mg-Al Layered Double Hydroxides*, Oriental J. Chem., **26(4)**, 1293-1298 (2010).
30. Yong-Un Han, Won-Suk Lee, Chang-Gu Lee, Seong-Jik Park, Ki-Woo Kim, Song-Bae Kim. *Entrapment of Mg-Al layered double hydroxide in calcium alginate beads for phosphate removal from aqueous solution*, Desal. & Water Treat., **36**, 178-186 (2011).
31. Lagergren, S. *About the theory of so-called adsorption of soluble substances*, Kungliga Svenska Vetenskapsakademiens. Handlingar, **24(4)**, 1-39 (1989).
32. Y. S. Ho, G. McKay. *Pseudo-second order model for sorption processes*, Process Biochemistry, **34(5)**, 451-465 (1999).

Liên hệ: **Nguyễn Thị Kim Phượng**

Viện Công nghệ Hóa học

Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

Số 1, Mạc Đĩnh Chi, Quận 1, Thành phố Hồ Chí Minh

Email: nguyenthikimp@yahoo.ca.