

# Nghiên cứu các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình xử lý photphat trong nước bằng phèn nhôm

Trần Văn Quy<sup>1,\*</sup>, Nguyễn Thị Hà<sup>1</sup>, Nguyễn Thành Đồng<sup>2</sup>, Nguyễn Việt Hoàng<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQGHN, 334 Nguyễn Trãi, Hà Nội, Việt Nam

<sup>2</sup>Viện Công nghệ môi trường, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, 18 Hoàng Quốc Việt, Hà Nội, Việt Nam

Nhận ngày 14 tháng 9 năm 2017

Chỉnh sửa ngày 5 tháng 10 năm 2017; Chấp nhận đăng ngày 18 tháng 11 năm 2017

**Tóm tắt:** Ảnh hưởng của pH, thời gian phản ứng, tỷ lệ mol  $Al^{3+}/PO_4^{3-}$ , nồng độ photphat đầu vào và hàm lượng polyme đến quá trình xử lý photphat bằng phèn nhôm sunphat trong nước đã được thực hiện. Kết quả thu được cho thấy điều kiện tối ưu để loại bỏ photphat bằng  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$  cụ thể như sau: pH khoảng 6,0; thời gian phản ứng khoảng 30 phút; tỷ lệ mol  $Al^{3+}/PO_4^{3-}$  là 2:1; hàm lượng chất trợ keo tụ (Megaflock AA6518) 1,0 mg/L. Nồng độ photphat đầu vào ảnh hưởng không đáng kể đến hiệu suất xử lý. Điều kiện tối ưu đã được áp dụng thử nghiệm để xử lý photphat trong nước thải đô thị lấy từ sông Tô Lịch và cho kết quả phù hợp.

**Từ khóa:** Xử lý photphat; kết tủa hóa học; các yếu tố ảnh hưởng.

## 1. Đặt vấn đề

Ô nhiễm photpho là một mối đe dọa nghiêm trọng đối với hệ sinh thái thủy sinh và giảm chất lượng nguồn nước sạch [1]. Trong thực tế, nồng độ photphat không giống nhau trong các nguồn thải: khoảng 10 – 15 mg/L (nước thải sinh hoạt); 16 – 58 mg/L (chế biến thủy sản); 70 – 1750 mg/L (nông nghiệp, chăn nuôi) [2, 3]. Các công nghệ xử lý photphat trong nước thải thường áp dụng gồm sinh học, kết tủa, hấp phụ hoặc trao đổi ion [3]. Trong đó, kết tủa hóa học được ứng dụng rộng rãi nhất và cho hiệu quả xử lý tốt đối với cả các nguồn thải ô nhiễm photphat cao [4, 5]. Để kết tủa photphat, chủ yếu sử dụng các muối kim loại hóa trị hai hoặc ba, kết tủa tạo thành được loại bỏ bằng quá

trình lắng, ly tâm hoặc lọc [1]. Các chất kết tủa thường sử dụng gồm:  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ ;  $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ ;  $Fe_2(SO_4)_3$ ;  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$  hoặc  $Ca(OH)_2$  [4, 5]. Trong đó, phèn nhôm có ưu điểm giá thành thấp, ít gây ảnh hưởng tới độ màu của nước sau xử lý và thực hiện pH trung tính (6 – 8). Quá trình kết tủa photphat bằng muối kim loại chịu ảnh hưởng bởi nhiều yếu tố khác nhau như pH, thời gian phản ứng, tỷ lệ mol của chất kết tủa và nồng độ photphat trong nước thải cần xử lý, v.v... [5]. Nhiều công trình nghiên cứu trước đây đã đánh giá về ảnh hưởng của các yếu tố trên. Tuy nhiên, kết quả của các công trình công bố khá khác nhau do sự khác nhau về điều kiện phản ứng, đặc tính nước thải. Vì vậy, nghiên cứu này được thực hiện nhằm đánh giá được ảnh hưởng của các yếu tố chính tới hiệu quả xử lý photphat bằng phèn nhôm, từ đó đưa ra các định hướng ứng dụng xử lý P trong nước thải sinh hoạt và công nghiệp. Kết quả của nghiên cứu cũng là một nguồn số liệu

\* Tác giả liên hệ: ĐT: 84-4-35406473.

Email: tranvanquy@hus.edu.vn

<https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.4212>

tham khảo cho quá trình thiết kế và vận hành các công trình xử lý phốt phát bằng kết tủa hóa học.

## 2. Vật liệu và phương pháp

### 2.1. Nước thải

Nước thải nhân tạo được pha bằng muối  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  với các nồng độ tương ứng: 10, 20, 50 và 100 mg P/L; Nước thải thực tế được lấy từ sông Tô Lịch (dưới Cầu Cổng Mộc, tọa độ  $21^\circ 00' 30.5''\text{N}$ ,  $105^\circ 48' 50.9''\text{E}$ ) có: nồng độ  $\text{PO}_4^{3-} = 2$  mgP/L; pH = 7,71; COD = 148 mgO<sub>2</sub>/L; TSS = 24 mg/L;  $\text{NH}_4^+ = 38,3$  mgN/L; độ màu = 95,3 Pt-Co và độ đục = 40 FNU.

### 2.2. Hóa chất

Các hóa chất chính được sử dụng trong nghiên cứu, được nhập từ Trung Quốc gồm:  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ; polyme (Megaflock AA6518) và  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ .

### 2.3. Phương pháp nghiên cứu

2.3.1. Nghiên cứu các yếu tố ảnh hưởng tới quá trình xử lý

Một số các yếu tố ảnh hưởng chính tới hiệu quả của quá trình kết tủa phốtphat bằng phen nhôm và điều kiện thí nghiệm cụ thể được thể hiện trong Bảng 1.

Thí nghiệm được tiến hành trên thiết bị Jar-test (Jar tester, SJ-10, Yhona, Hàn Quốc) tại Viện Công nghệ môi trường. pH được điều chỉnh bằng  $\text{H}_2\text{SO}_4$  10M và NaOH 10 M; bổ sung phen nhôm và khuấy nhanh (120 vòng/phút) trong 5 phút; sau đó khuấy chậm

(50 vòng/phút) trong thời gian phản ứng 60 phút; bổ sung polyme và duy trì phản ứng trong 15 phút; để lắng mẫu trong 30 phút; lấy phần nước trong để phân tích độ đục và nồng độ  $\text{PO}_4^{3-}$  còn lại. Điều kiện phản ứng tối ưu (pH, thời gian, tỷ lệ mol  $\text{Al}^{3+}/\text{PO}_4^{3-}$  và hàm lượng polyme) được xác định để tiến hành cho các nghiên cứu tiếp theo.

2.3.2. Thử nghiệm khả năng xử lý P trong mẫu nước thực tế

Thí nghiệm xử lý  $\text{PO}_4^{3-}$  trong nước thải lấy từ sông Tô Lịch được thực hiện trên máy Jar-test theo quy trình như đã mô tả ở mục 2.3.1, với các điều kiện tối ưu đã được xác định ở trên.

### 2.3.3. Phương pháp phân tích

Nồng độ phốtphat được phân tích theo phương pháp Ascobic (EPA 365.2). Mẫu được lọc qua màng  $0,45\mu$  trước khi đo. Độ đục được đo trực tiếp trên máy đo độ đục của Hana (Model: HI 93703C) với dung dịch chuẩn là Fomazin. Độ đục được đo trên mẫu sau Jar-test và để lắng 30 phút.

## 3. Kết quả và thảo luận

### 3.1. Ảnh hưởng của pH

Kết quả khảo sát ảnh hưởng của pH tới hiệu quả xử lý phốtphat bằng phen nhôm được thể hiện trên Hình 1 cho thấy, ở pH 5 - 9, hiệu quả xử lý đạt tới 95,4 - 98,5%, nồng độ  $\text{PO}_4^{3-}$  còn lại 0,29 - 0,93 mg P/L. Khi tăng pH, hiệu quả xử lý giảm. Ở pH 6, hiệu quả xử lý đạt cao nhất (98,5%), nồng độ  $\text{PO}_4^{3-}$  còn lại thấp nhất (0,29 mg P/L).

Bảng 1. Các yếu tố ảnh hưởng và điều kiện thí nghiệm

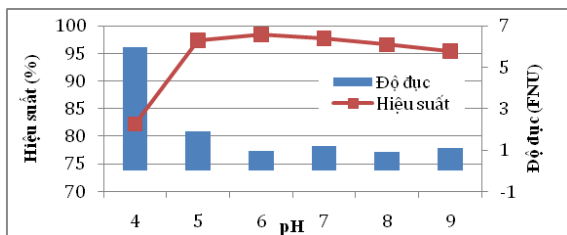
Yếu tố	Điều kiện thí nghiệm
pH	4 - 9 ( $\text{PO}_4^{3-}=20$ mg P/L; tỷ lệ mol $\text{Al}^{3+}/\text{PO}_4^{3-}=3$ ; polyme = 1mg/L)
Thời gian phản ứng	15-150 phút (tỷ lệ mol $\text{Al}^{3+}/\text{PO}_4^{3-}=1$ )
Tỷ lệ mol $\text{Al}^{3+}/\text{PO}_4^{3-}$	0,5 - 4,0; Nồng độ $\text{PO}_4^{3-} \sim 20$ mg P/L
Nồng độ $\text{PO}_4^{3-}$	Thay đổi từ 10, 20, 50, 100 mg P/L
Chất trợ keo tụ (polyme)	Thay đổi từ 0,0; 0,5; 1,0; 1,5 và 2,0 mg/L

Ở pH 4, hiệu quả xử lý chỉ 82,2%. Điều này có thể do ở pH thấp, độ tan của muối nhôm photphat tăng, nên hiệu quả xử lý giảm [6]. Ở môi trường kiềm, khi nồng độ OH<sup>-</sup> tăng, một phần nhôm bị kết tủa ở dạng hydroxit, dẫn đến lượng nhôm tham gia vào phản ứng kết tủa photphat ít đi, làm giảm hiệu quả xử lý.

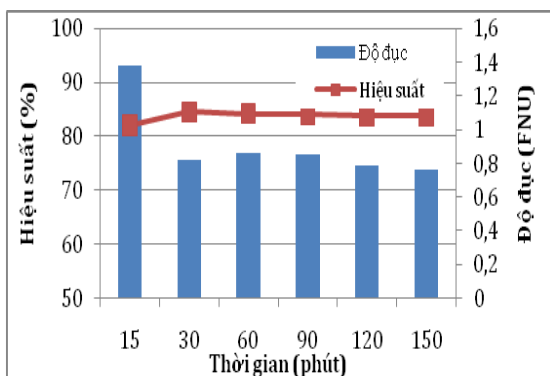
Việc xử lý photphat đồng thời xuất hiện các cặn kết tủa. Khi phân kết tủa này không lắng hết sẽ làm tăng độ đục của nước sau xử lý. Ở pH 5 - 9, độ đục chỉ 1 - 2 FNU, nhưng ở pH 4, độ đục cao hơn (5,97 FNU), có thể do tạo bông kém. Ngoài ra, hiệu suất kết tủa thấp, lượng bông bùn tạo thành ít hơn, kích thước nhỏ hơn. Như vậy, kết tủa photphat bằng nhôm cần thực hiện ở môi trường trung tính hoặc kiềm, với giá trị pH tối ưu khoảng 6. Kết quả này cũng gần với của Sawsan, 5,7 - 6,0 [4]; Đỗ Khắc Uẩn, 5,7 - 5,9 [5]; Georgantas, 5,0 - 7,0 [7] và Huang, 5,0 [8].

### 3.2. Ảnh hưởng của thời gian phản ứng

Kết quả khảo sát được thể hiện trên Hình 2.



Hình 1. Ảnh hưởng của pH đến độ đục và hiệu suất xử lý photphat



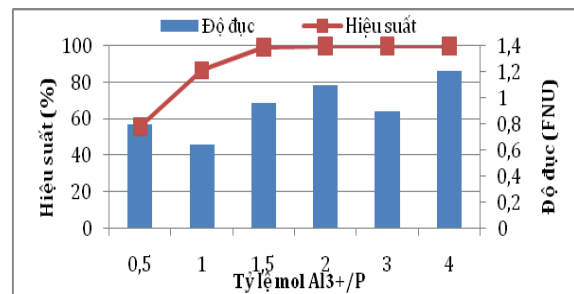
Hình 2. Ảnh hưởng của thời gian phản ứng đến độ đục và hiệu suất xử lý photphat

Từ kết quả thể hiện trên Hình 2 thấy rằng, sau khoảng 15 phút, hiệu suất xử lý photphat đạt 82% tương ứng với nồng độ PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> còn lại là 3,6 mg P/L. Sau 30 phút, hiệu suất xử lý đạt ổn định (84%) và hầu như không thay đổi khi tiếp tục tăng thời gian phản ứng lên 150 phút. Xu hướng thay đổi của độ đục theo thời gian phản ứng cũng tương tự như hiệu quả xử lý photphat. Sau 15 phút, độ đục vẫn cao (1,38 FNU), nhưng sau 30 - 150 phút, thay đổi ít (~0,8 FNU).

Như vậy, có thể chọn thời gian khuấy chậm là 30 phút để tiến hành nghiên cứu tiếp theo. Nghiên cứu của Huang và các cộng sự (2016) cũng cho kết quả tối ưu tương tự [8].

### 3.3. Ảnh hưởng của tỷ lệ mol Al<sup>3+</sup>/PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>

Kết quả khảo sát ảnh hưởng của tỷ lệ mol Al<sup>3+</sup>/PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> tới hiệu quả xử lý photphat và độ đục được thể hiện trên Hình 3 cho thấy, khi tỷ lệ mol Al<sup>3+</sup>/PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> tăng từ 0,5 - 2,0, hiệu suất xử lý tăng nhanh từ 55,5 - 99,3% và khi Al<sup>3+</sup>/PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> tăng từ 2 - 4, hiệu suất thay đổi không đáng kể. Tỷ lệ mol Al<sup>3+</sup>/PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> ít ảnh hưởng tới độ đục của nước thải sau xử lý (dao động khoảng 0,6 - 1,0 FNU). Về lý thuyết, 1 mol Al<sup>3+</sup> phản ứng với 1 mol PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> tạo thành 1 mol AlPO<sub>4</sub>. Tuy nhiên, hiệu suất kết tủa thực tế còn phụ thuộc vào độ tan và hiệu suất chuyển hóa của phản ứng. Vì vậy, để đảm bảo hiệu suất xử lý cao, lượng nhôm bổ sung cần tăng, nhằm đẩy dịch cân bằng phản ứng về sản phẩm kết tủa. Các kết quả thực nghiệm trên cho thấy để đạt được hiệu suất cao, cần duy trì tỷ lệ mol Al<sup>3+</sup>/PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> > 2. Kết quả này cũng phù hợp với kết quả nghiên cứu tối ưu (Al<sup>3+</sup>/PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> = 2,3) của Đỗ Khắc Uẩn [5].



Hình 3. Ảnh hưởng của tỷ lệ mol Al<sup>3+</sup>/PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> đến độ đục và hiệu suất xử lý photphat

### 3.4. Ảnh hưởng của nồng độ $PO_4^{3-}$

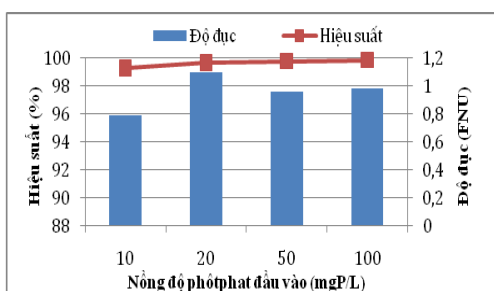
Kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của nồng độ  $PO_4^{3-}$  đầu vào đến hiệu quả xử lý photphat được thể hiện trên Hình 4 cho thấy, khi nồng độ  $PO_4^{3-}$  thay đổi từ 10, 20, 50 và 100 mg P/L, hiệu suất xử lý photphat vẫn luôn đạt cao (99,3 - 99,9%). Tương tự, độ đục của nước sau xử lý cũng không thay đổi nhiều giữa các mẫu (chỉ khoảng 0,79 - 1 FNU).

Như vậy, nồng độ  $PO_4^{3-}$  không ảnh hưởng nhiều đến hiệu suất xử lý, khi tỷ lệ mol  $Al^{3+}/PO_4^{3-}$  vẫn duy trì đủ. Điều này có thể do khi tỷ lệ mol  $Al^{3+}/PO_4^{3-}$  đủ lớn, cho dù nồng độ photphat thay đổi thì lượng phèn nhôm bổ sung vẫn đủ để kết tủa hết lượng photphat có trong nước.

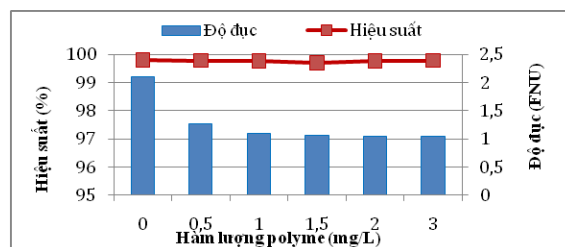
### 3.5. Ảnh hưởng của chất trợ keo tụ

Việc sử dụng polyme với vai trò là chất trợ keo tụ không làm thay đổi hiệu suất xử lý photphat, chỉ làm tăng hiệu quả xử lý độ đục. Kết quả thực nghiệm thể hiện trên Hình 5 cho thấy, khi không sử dụng polyme và có sử dụng polyme, độ đục của nước sau xử lý có sự khác biệt rõ ràng (tương ứng 2,1 FNU và xấp xỉ 1 FNU).

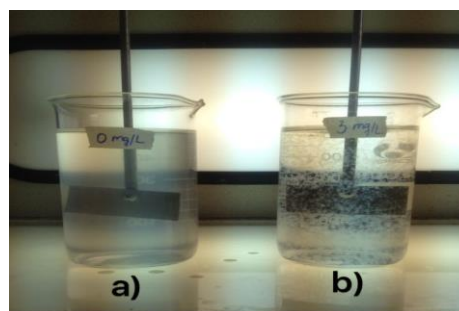
Quan sát quá trình lắng thực tế thấy rõ sự khác biệt về tốc độ lắng và kích thước bông bùn khi thay đổi hàm lượng polyme (Hình 6). Khi không bổ sung polyme, các bông bùn hình thành có kích thước nhỏ, khó quan sát. Khi bổ sung polyme (0,5 - 3 mg/L), các bông bùn hình thành lớn và dễ nhận thấy bằng mắt thường. Do vậy, nên bổ sung polyme (1 mg/L), nhằm tăng kích thước và tốc độ lắng của bông bùn, đảm bảo tăng độ trong của nước thải sau xử lý.



Hình 4. Ảnh hưởng của nồng độ photphat đầu vào đến độ đục và hiệu suất xử lý photphat



Hình 5. Ảnh hưởng của hàm lượng polyme đến độ đục và hiệu suất xử lý photphat



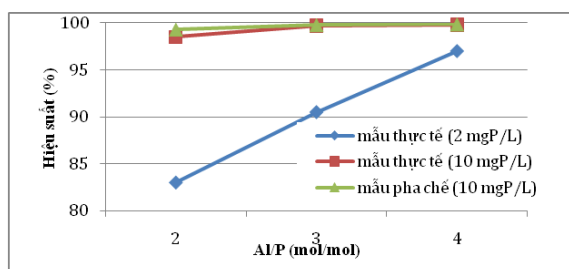
Hình 6. Hình ảnh quan sát kích thước bông (a) Không polyme (b) Bổ sung polyme

### 3.6. Thử nghiệm xử lý photphat trong nước thải thực tế

Trong nước thải thực tế, ngoài photphat, còn có chất rắn lơ lửng (SS), chất hữu cơ (COD, BOD), v.v... Vì vậy, nghiên cứu xử lý photphat trên mẫu nước thải thực tế (lấy từ sông Tô Lịch), nhằm đánh giá sự phù hợp của kết quả tối ưu đã thu được, khi áp dụng vào đối tượng thực tế. Thí nghiệm được tiến hành với mẫu có nồng độ photphat 2 mg P/L (nước thải gốc) và 10 mg P/L (có bổ sung photphat vào nước thải gốc) ở pH khoảng 6,0; thời gian phản ứng 30 phút; tỷ lệ mol  $Al^{3+}/PO_4^{3-} = 2$  và hàm lượng polyme = 1 mg/L.

Các kết quả thí nghiệm được thể hiện trên Hình 7 cho thấy, với mẫu nước thải gốc (2 mgP/L), khi tỷ lệ mol  $Al^{3+}/PO_4^{3-}$  tăng từ 2 - 4, hiệu suất xử lý tăng từ 83 - 97% tương ứng với nồng độ  $PO_4^{3-}$  còn lại giảm từ 0,34 - 0,06 mgP/L.

Kết quả này có sự chênh lệch với kết quả nghiên cứu về ảnh hưởng của tỷ lệ mol  $Al^{3+}/PO_4^{3-}$ , với mẫu pha chế (mục 3.3).



Hình 7. Hiệu suất xử lý photphat trong mẫu nước thực tế

Nguyên nhân có thể do ngoài việc tham gia vào kết tủa photphat, phen nhôm còn có chức năng trung hòa điện tích và keo tụ các chất rắn và chất hữu cơ trong nước thải, nên lượng phen nhôm tham gia vào phản ứng kết tủa photphat bị thiếu hụt và làm giảm hiệu suất xử lý photphat. Khi bổ sung photphat vào nước thải, tới nồng độ 10 mg P/L cho thấy, không có sự chênh lệch nhiều về hiệu suất xử lý với mẫu nước pha chế có cùng nồng độ photphat. Hiệu suất xử lý cũng ít có sự thay đổi với các tỷ lệ mol  $\text{Al}^{3+}/\text{PO}_4^{3-}$  từ 2 – 4.

Như vậy, các điều kiện tối ưu xác định được trong nghiên cứu này có tính phù hợp khi áp dụng vào thực tế. Tuy nhiên, khi hàm lượng photphat cần xử lý nhỏ, lượng hóa chất bổ sung cần dựa vào cả phần photphat phải xử lý và phần chất rắn lơ lửng có trong nước.

#### 4. Kết luận

Các yếu tố ảnh hưởng tới quá trình kết tủa photphat bằng phen nhôm đã được khảo sát. Kết quả cho thấy, hiệu suất xử lý photphat đạt tối ưu khi duy trì pH ~ 6; thời gian phản ứng 30 phút; tỷ lệ mol  $\text{Al}^{3+}/\text{PO}_4^{3-}$  ~ 2. Nồng độ photphat trong nước thải đầu vào ít gây ảnh hưởng tới hiệu suất xử lý. Bổ sung polyme giúp cải thiện đáng kể kích thước bông bùn, tốc độ lắng và độ trong của nước thải sau xử lý. Kết quả thử nghiệm trên nước thải thực tế cũng cho thấy, khi nồng độ photphat thấp, tỷ lệ  $\text{Al}^{3+}/\text{PO}_4^{3-}$

cần được duy trì ở mức lớn hơn để bù cho phần hóa chất tiêu hao cho quá trình keo tụ chất rắn lơ lửng và chất hữu cơ có trong nước thải. Ở nồng độ  $\text{PO}_4^{3-}$  ~ 10 mg P/L, các điều kiện tối ưu xác định được trên nước thải nhân tạo có thể được áp dụng với tính khả thi cao.

#### Tài liệu tham khảo

- [1] Ravindra Kumar Gautam, Sushmita Banerjee, Pavan Kumar Gautam and M.C. Chattopadhyaya, Remediation Technologies for Phosphate Removal from Wastewater: An Overview, *Advances in Environmental Research*, 36 (2014), Chapter 7.
- [2] Lê Văn Cát, Xử lý nước thải giàu hợp chất nitơ và photpho, NXB Khoa học tự nhiên và Công nghệ Hà Nội, 2007.
- [3] Vũ Đức Lợi, Nghiên cứu xử lý ion photphat trong nước bằng bùn đỏ biến tính, *Tạp chí phân tích Hóa, Lý và Sinh học*, 20(3) (2015) 173.
- [4] Sawsan A. M. Mohammed and Haider Abbas Shanshool, Phosphorus Removal from Water and Waste Water by Chemical Precipitation Using Alum and Calcium Chloride, *Iraqi Journal of Chemical and Petroleum Engineering*, 10(2) (2009) 35.
- [5] Đỗ Khắc Uẩn, Các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình kết tủa photphat trong nước thải có độ kiềm thấp, *Tạp chí Khoa học và công nghệ, Đại học Đà Nẵng*, 30(1) (2009) 90.
- [6] Asmaa Shalaby, Phosphate Removal from Wastewater by Electrocoagulation Using Aluminium Electrodes, *American Journal of Environmental Engineering and Science*, 1(5) (2014) 90.
- [7] Georgantas, H.P. Grigoropoulou Phosphorus and organic matter removal from synthetic wastewater using alum and aluminum hydroxide, *Global NEST Journal*, 8(2) (2006) 121.
- [8] Haiming Huang, Dingding Zhang, Zhenjing Zhao, Peng Zhang and Faming Gao, Comparison investigation on phosphate recovery from sludge anaerobic supernatant using the electrocoagulation process and chemical precipitation, *Journal of Cleaner Production* 141 (2016) 429.h

## Study on the Factors Affecting on Phosphate Removal by Alum

Tran Van Quy<sup>1</sup>, Nguyen Thi Ha<sup>1</sup>, Nguyen Thanh Dong<sup>2</sup>, Nguyen Viet Hoang<sup>2</sup>

<sup>1</sup>VNU University of Sciences, 334 Nguyen Trai, Hanoi, Vietnam

<sup>2</sup>Institute of Environmental Technology, Viet Nam Academy of Science and Technology,  
18 Hoang Quoc Viet, Hanoi, Vietnam

**Abstract:** The impact of pH, reaction time,  $\text{Al}^{3+}/\text{PO}_4^{3-}$  molar ratio, phosphate concentration and polymer concentration on the phosphate removal by alum sunfate was carried out. The obtained results showed that optimal condition for phosphate removal by  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$  was as follow: pH of 6,0; reaction time about 30 minutes,  $\text{Al}^{3+}/\text{PO}_4^{3-}$  mole ratio of 2:1; coagulant aid (Megaflock AA6518) concentration of 1,0 mg/L. Initial phosphate concentration did not affect significantly on the removal efficiency. Test with real municipal wastewater (taken from To Lich river) proved that this abover condition was applicable.

**Keywords:** Phosphate removal, chemical precipitate, influence factors.