

Khả năng sử dụng nước thải axit mỏ than Na Dương làm chất keo tụ xử lý nước ô nhiễm môi trường

Công Tiến Dũng^{1*}, Đỗ Quang Trung², Trần Thị Thiên Hương³, Phương Thảo²

¹ Bộ môn Hóa, Khoa Khoa học Cơ bản, Trường Đại học Mở - Địa chất

² PTN Hóa môi trường, Khoa Hóa học, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQGHN

³ Phòng nghiên cứu công nghệ Môi trường, Viện khoa học công nghệ mỏ Vinacomin

Đến toà soạn 01-8-2017; Chấp nhận đăng 20-10-2017

Abstract

In this study, the solution of poly-alumino-iron sulphate (PASF) coagulant for wastewater treatment was prepared from Na Duong coal mining acid drainage. 8 % aluminum and iron coagulant solution prepared can be used to treat the household wastewater with high concentration of residual suspended solid, turbidity, organic compounds, phosphates and total phosphorus. With the dose of 0.6 mM (Fe, Al), 8 % poly-alumino-iron sulphate coagulant could reduce 70 % of suspended solids; 72 % of turbidity; 65.3 % of phosphates; and 73% of total phosphorus. The highest efficiency of BOD and COD removal was 64.1 % and 76 %, respectively, at the dose of 0.5 mM (Fe + Al) of PAFS coagulant.

Keywords. Acid mine drainage, coagulant, poly-alumino-iron sulphate, wastewater.

1. MỞ ĐẦU

Tại Việt Nam, quá trình khai thác than đã diễn ra nhiều năm. Bên cạnh việc mang lại lợi ích kinh tế to lớn, quá trình khai thác than cũng để lại những ảnh hưởng, ô nhiễm và tác động mạnh đến môi trường tại các vùng khai thác. Một trong những tác nhân ô nhiễm chính là nước thải axit mỏ (Acid Mine Drainage - AMD). Việc xử lý và nghiên cứu tái sử dụng nước thải axit mỏ này nhằm góp phần bảo vệ môi trường là rất cần thiết.

Nước thải từ moong khai thác của mỏ than Na Dương là loại nước thải có tính axit cao, độ pH đo được là từ 2,1÷2,9. Hàm lượng sắt (Fe) vượt Quy chuẩn Việt Nam QCVN40:2011/BTNMT(B) hàng trăm lần. Hàm lượng mangan (Mn) vượt QCVN hàng chục lần. Bên cạnh đó, hàm lượng chất rắn lơ lửng (TSS) cũng tương đối cao và nước thường có màu đỏ nâu do chứa nhiều sắt (Fe) và lưu huỳnh (S). Việc xả thải vào môi trường làm ảnh hưởng không những chất lượng nước mà còn cả độ màu của nước sông suối trong khu vực. Hoạt động xử lý nước axit thải mỏ than tại Việt Nam chỉ mới được tiến hành khoảng 10 năm gần đây. Công nghệ xử lý nước thải chủ yếu bằng phương pháp cơ học kết hợp với trung hòa bằng vôi hoặc xút [1]. Tùy vào mục đích khác nhau mà phần nước sau khi xử lý có thể được dùng cho tưới tiêu trong nông nghiệp địa phương, công viên, các vành đai xanh, dùng làm nguồn nước cấp

nhật, nước làm mát trong công nghiệp, nước đập bụi, rửa xe, ... [2, 3]. Hiện nay, phần lớn các trạm xử lý nước thải mỏ than của Tập đoàn than khoáng sản Việt Nam với công nghệ xử lý theo nguyên tắc keo tụ - lắng và lọc cát; nước sau xử lý đáp ứng được yêu cầu xả ra nguồn nước mặt loại B theo QCVN 40:2011/BTNMT. Việc tái sử dụng nguồn nước thải axit mỏ vào mục đích xử lý môi trường chưa được quan tâm nghiên cứu nhiều.

Để làm giảm độ đục, chất rắn lơ lửng, hàm lượng chất hữu cơ và các chất dinh dưỡng trong nước và nước thải, người ta thường sử dụng các loại phèn nhôm, sắt – đóng vai trò là những chất keo tụ – kết hợp với một số loại hóa chất khác [4]. Việc tái sử dụng nước thải mỏ than làm chất keo tụ cho xử lý nước đã được nghiên cứu với nước thải tại mỏ Santa Catarina (Brazil) [5, 6]. Từ nguồn nước thải axit mỏ với đặc trưng pH thấp, hàm lượng các kim loại Fe, Al, Mn, Zn cao vượt quy chuẩn cho phép xả thải. Các thí nghiệm khảo sát đánh giá khả năng xử lý nước của keo tụ này cho thấy keo tụ có hiệu quả xử lý cao tương đương với các loại keo tụ thông thường đã được sử dụng trong các nhà máy xử lý nước [5, 6].

Với mục tiêu nghiên cứu tận dụng nguồn nước thải axit mỏ và góp phần làm giảm thiểu ô nhiễm môi trường, trong bài này, chúng tôi nghiên cứu tái sử dụng nước thải axit mỏ than Na Dương để điều chế dung dịch chất keo tụ poly-nhôm-sắt-sunphat và

khảo sát khả năng ứng dụng dung dịch chất này để xử lý nước thải nhà hàng với hàm lượng cao chất hữu cơ, chất rắn lơ lửng và độ đục lớn.

2. THỰC NGHIỆM

2.1. Điều chế dung dịch chất keo tụ từ nguồn nước thải axit mỏ

Nước thải axit mỏ được để thoáng khí trong 24 giờ để chuyển toàn bộ Fe^{2+} thành Fe^{3+} . Sau đó, dung dịch NaOH nồng độ 4 mol/L được thêm dần vào nhằm tạo các kết tủa dạng hydroxit kim loại ở các giá trị pH khác nhau (pH = 4,0; pH = 5,0 và pH = 6,0). Tiếp theo là phân tách các hydroxit kim loại kết tủa từ nước thải bằng phương pháp ly tâm với tốc độ 3000 vòng/phút. Kết tủa rắn sau ly tâm được rửa sạch và được hòa tan trong axit sunfuric 49 % để tạo thành dung dịch poly-nhôm-sắt sunphat. Hàm lượng các ion kim loại của Fe, Al, Mn, Cu, Cd, Ca, Zn, As, Pb và ion SO_4^{2-} được phân tích theo bộ tiêu chuẩn Standard Method 2012 [7].

2.2. Đánh giá khả năng xử lý nước thải của chất keo tụ điều chế được từ nước thải axit mỏ

Nguồn nước thải trong các thí nghiệm là nước thải nhà hàng Quảng Châu ở Cẩm Phả, Quảng Ninh được lấy từ công xả nhà hàng vào lúc hoạt động cao điểm. Nước thải có thành phần hàm lượng chất hữu cơ, chất rắn lơ lửng, phốt pho cao, phù hợp với mục đích thí nghiệm. Các thí nghiệm Jartest được tiến hành theo hướng dẫn của ASTM D 2035-80 [8]. Các thí nghiệm được thực hiện với vận tốc khuấy nhanh 1 phút đồng thời cho những lượng chất keo tụ (PAFS) xác định vào, tiếp theo khuấy chậm trong 20 phút, sau đó để lắng trong 30 phút, cuối cùng lấy phần nước trong phân tích các chỉ tiêu cần theo dõi, so sánh. Các chỉ tiêu về chất lượng nước sau khi xử lý bằng keo tụ được theo dõi trong các thí nghiệm bao gồm pH, độ đục, TSS, COD, PO_4^{3-} và tổng phốt pho (TP) được phân tích bằng những phương pháp và thiết bị hướng dẫn bởi bộ tiêu chuẩn Standard methods 2012 [7].

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Điều chế dung dịch chất keo tụ poly-nhôm-sắt-sunphat từ nước thải axit mỏ

Kết quả trong bảng 1 cho thấy tại giá trị pH = 4,0 nồng độ tất cả các kim loại nặng Cu, Zn, Cd, Pb, As... trong thành phần dung dịch điều chế được là thấp nhất, rất phù hợp cho sử dụng để xử lý vì không gây độc cho nguồn nước được xử lý, tuy nhiên hàm

lượng các tác nhân keo tụ sắt và nhôm thu hồi được lại đạt thấp chỉ 5,4 % trong thành phần PAFS, thấp hơn nhiều so với khả năng thu hồi tại các giá trị pH = 5,0 đạt mức 8,0 % và pH = 6,0 ở mức 7,89 %. Kết quả điều chế dung dịch PAFS tại hai giá trị pH này thu được thành phần sắt và nhôm là tương đương nhau, nhưng ở pH = 5,0 một yếu tố cần xem xét khi lựa chọn phương án điều chế là hàm lượng một số kim loại ảnh hưởng như Cu, Zn, Cd, Mn, ... trong thành phần dung dịch PAFS thấp hơn so với kết quả thu được tại giá trị pH = 6,0, mặt khác cũng tiêu tốn lượng kiềm ít hơn. Như vậy có thể nhận thấy rằng giá trị pH thích hợp nhất để điều chế dung dịch poly-nhôm-sắt-sunphat từ nước thải axit mỏ than Na Dương là pH = 5,0.

Bảng 1: Thành phần nước thải mỏ than Na Dương và thành phần dung dịch keo tụ poly-nhôm-sắt-sunphat (PAFS) điều chế được

Thông số phân tích	Thành phần nước thải mỏ	Thành phần PAFS			
		4,0	5,0	6,0	
pH	2,2	4,0	5,0	6,0	
Fe (mg/L)	502,80	52000	76000	76030	
Al (mg/L)	15,60	2150	4570	3940	
Mn (mg/L)	13,07	41,3	46,00	48,5	
Ca (mg/L)	294,00	219,0	228,00	230,0	
Mg (mg/L)	116,00	69,0	72,50	73,0	
Cu (mg/L)	0,15	0,43	0,50	1,22	
Zn (mg/L)	0,37	0,58	0,69	0,84	
Cd (mg/L)	0,011	<0,003	<0,004	<0,01	
As (mg/L)	0,012	<0,003	<0,003	<0,003	
Pb (mg/L)	0,032	<0,003	<0,005	<0,005	
SO_4^{2-} (mg/L)	5569	74200	73000	72500	

3.2. Khả năng xử lý nước thải của dung dịch keo tụ poly-nhôm-sắt sunphat điều chế được

3.2.1. Khả năng xử lý chất rắn lơ lửng TSS, độ đục

Thử nghiệm được tiến hành với 2 mẫu lắng không có keo tụ và lắng có sử dụng keo tụ poly-nhôm-sắt-sunphat điều chế được với liều lượng sử dụng thay đổi 0,4 mM (Fe, Al); 0,5 mM (Fe, Al); 0,6 mM (Fe, Al); tương ứng lần lượt với nồng độ poly-nhôm-sắt-sunphat là 21,5 mg (Fe, Al); 27,0 mg (Fe, Al) và 32,0 mg (Fe, Al) cho 1 lít nước xử lý. Kết quả được đưa ra ở bảng 2.

Bảng 2: Giá trị pH, TSS và độ đục nước thải nhà hàng Quảng Đông khi xử lý bằng dung dịch keo tụ poly-nhôm-sắt-sunphat điều chế được

Liều lượng mM (Fe, Al)	pH		TSS (mg/L)			Độ đục (NTU)		
	Đầu vào	Đầu ra	Đầu vào	Đầu ra	Hiệu suất (%)	Đầu vào	Đầu ra	Hiệu suất (%)
0,0	7,20	7,20	153	107,1	30,0	122	86,6	29,0
0,4	7,10	7,05	146	53,0	63,70	120	42,0	65,0
0,5	7,15	6,95	153	50,0	67,30	122	39,7	67,5
0,6	7,20	6,50	160	48,0	70,0	124	34,7	72,0

Nguồn nước khi bắt đầu thí nghiệm có độ đục trung bình 122,0 mg/L. Sau khi xử lý bằng PAFS, hàm lượng chất rắn lơ lửng, độ đục giảm rất nhanh ở các nghiệm thức có xử lý hóa chất. Khả năng xử lý TSS, độ đục theo liều lượng PAFS phù hợp với lý thuyết keo tụ. Khi tăng liều lượng chất keo tụ thì hiệu quả keo tụ cũng tăng theo, pH và độ đục giảm dần, tuy nhiên nếu sử dụng liều lượng cao quá thì độ đục sẽ tăng trở lại do các hạt keo trong nước thải tái ổn định [9]. Các kết quả khác biệt có ý nghĩa với mẫu thí nghiệm đối chứng khi không sử dụng chất keo tụ. Nếu để lắng tự nhiên hiệu suất loại bỏ rất thấp chỉ khoảng 30%. Kết quả này cho thấy khả năng loại bỏ hàm lượng chất rắn lơ lửng và độ đục

khi sử dụng keo tụ PAFS đạt được ở liều lượng 0,6 mM (Fe, Al) là cao nhất với hiệu suất 70-72 %. Tuy nhiên tại nồng độ này giá trị pH của dung dịch giảm mạnh ở ngưỡng pH = 6,5 sát với ngưỡng cho phép.

3.2.2. Khả năng xử lý chất hữu cơ

Ngoài khả năng xử lý các chất rắn lơ lửng cũng như loại bỏ độ đục làm trong nước của chất keo tụ poly-sắt-nhôm-sunphat, chúng tôi đã tiến hành khảo sát khả năng xử lý các chất hữu cơ hoà tan và lơ lửng trong nước thải sinh hoạt bằng keo tụ PAFS. Các kết quả được thể hiện trong bảng 3.

Bảng 3: Kết quả BOD₅, COD trong nước thải nhà hàng Quảng Đông khi xử lý bằng dung dịch keo tụ poly-nhôm-sắt-sunphat

Liều lượng mM (Fe, Al)	BOD ₅ (mg O ₂ /L)			COD (mg O ₂ /L)		
	Đầu vào	Đầu ra	Hiệu suất (%)	Đầu vào	Đầu ra	Hiệu suất (%)
0,0	136,5	124,5	8,8	285,0	268,0	6,0
0,4	132,0	52,0	60,6	281,0	89,90	68,0
0,5	136,5	49,0	64,1	285,0	68,40	76,0
0,6	141,0	51,5	63,5	289,0	73,70	74,5

Kết quả từ bảng 3 cho thấy hiệu quả xử lý của keo tụ poly-nhôm-sắt-sunphat thu được là khá cao. Các chỉ số BOD, COD giảm đến 6 4% và 76 %. Hàm lượng chất hữu cơ trong nước thải đầu vào cao biến động với tỷ lệ BOD/COD trung bình khoảng 0,48. Do hiệu suất loại bỏ COD cao hơn BOD₅ trong thí nghiệm xử lý với keo tụ sẽ cho tỷ lệ BOD/COD sau lắng tăng lên 0,57 giúp nâng cao hiệu quả xử lý sinh học.

3.2.3. Khả năng xử lý photpho hòa tan (P-PO₄³⁻) và photpho tổng (tổng P)

Keo tụ poly-nhôm-sắt-sunphat có khả năng xử lý thông số lân hòa tan và lân tổng số rất tốt trong nước

thải. Khả năng này được thực hiện chủ yếu do các cation sắt và nhôm (Al³⁺, Fe³⁺, Fe²⁺) trong PAFS phản ứng với photphat hòa tan tạo nên các muối photphat kim loại kết tủa làm giảm hàm lượng photphat hòa tan, photphat tổng số trong nước thải.

Qua theo dõi các số liệu phân tích trong Bảng 4 cho thấy hàm lượng lân hòa tan bắt đầu giảm đáng kể ở liều lượng keo tụ 0,5 mM (Fe, Al) từ hàm lượng ban đầu là 4,82 mg/L, giảm xuống còn 1,687 mg/L hiệu suất xử lý đạt 65 % và tăng thêm ở liều lượng 0,6 mM (Fe, Al) với hiệu suất 65,3 %. Hàm lượng này được so sánh với hàm lượng PO₄³⁻ ở mẫu trắng đối chứng là mẫu không sử dụng dung dịch keo tụ PAFS cho thấy hầu như không giảm. Như vậy, keo tụ này có hiệu quả tốt, làm giảm lượng phot

Bảng 4. Hàm lượng photpho hòa tan và photpho tổng số khi xử lý bằng dung dịch keo tụ poly-nhôm-sắt-sunphat

Liều lượng mM (Fe, Al)	P-PO ₄ ³⁻ (mg/L)			Tổng P (mg/L)		
	Đầu vào	Đầu ra	Hiệu suất (%)	Đầu vào	Đầu ra	Hiệu suất (%)
0,0	4,82	4,720	2,07	8,25	8,043	2,5
0,4	4,71	2,355	50,0	8,10	3,807	53,0
0,5	4,82	1,687	65,0	8,25	2,550	69,0
0,6	4,93	1,710	65,3	8,40	2,270	73,0

phát hòa tan trong nước.

Keo tụ poly-nhôm-sắt-sunphat cũng có hiệu quả rất tốt để làm giảm hàm lượng photpho tổng số. Hàm lượng tổng photpho trung bình đầu thí nghiệm dao động khoảng 8,25 mg/L, giảm xuống còn từ 2,2÷3,8 mg/L ở tất cả các thí nghiệm xử lý nước thải có sử dụng PAFS. Còn tại các mẫu đối chứng nồng độ này hầu như không giảm. Tỷ lệ giảm hàm lượng photpho tổng vào khoảng từ 53 % đến 73 %, nồng độ xử lý càng cao thì tỷ lệ giảm lân tổng số càng lớn, hiệu suất xử lý cao nhất đạt được ở nồng độ 0,6 mM (Fe, Al) là 73 %.

3.2.3. So sánh khả năng xử lý nước thải khi sử dụng poly-nhôm-sắt-sunphat điều chế được với phen nhôm và phen sắt

Thông thường khi keo tụ chúng ta hay dùng muối clorua hoặc sunphat của Al(III) hoặc Fe(III) do tác dụng keo tụ tốt từ các nhân keo tụ hydroxit của các muối nhôm và sắt. Các loại phen này được đưa vào nước dưới dạng dung dịch hòa tan. Việc lựa chọn chất keo tụ phụ thuộc vào các tính chất hóa lý, chi phí, nồng độ tạp chất trong nước, pH và thành phần của nước thải. Người ta dùng thí nghiệm để xác định loại chất keo tụ và liều lượng tối ưu của chất keo tụ trong quá trình xử lý nước thải. Trong các thí nghiệm này chúng tôi tiến hành so sánh hiệu quả xử lý của các loại keo tụ thông dụng này với dung dịch PAFS điều chế để khẳng định hiệu quả xử lý nước của keo tụ điều chế được.

So sánh với các loại phen nhôm Al₂(SO₄)₃.18H₂O và phen sắt Fe(SO₄)₇.7H₂O được thí nghiệm theo cách thức và liều lượng tương tự như đối với keo tụ poly-nhôm-sắt-sunphat. Các kết quả thí nghiệm được trình bày trong bảng 5.

Kết quả thí nghiệm cho thấy cả 3 loại keo tụ đều có tác dụng làm giảm hàm lượng rắn lơ lửng, photpho hòa tan, photpho tổng số và chất hữu cơ trong nước thải. Trong đó hiệu suất loại bỏ chất rắn lơ lửng, độ đục chất hữu cơ hoà tan của poly-nhôm-sắt-sunphat tái thu hồi từ nguồn nước thải mỏ đạt hiệu quả cao hơn phen sắt Fe(SO₄)₇.7H₂O ở tất cả các thí

thí nghiệm khảo sát. Cụ thể tỷ lệ giảm độ đục khi xử lý phen sắt thay đổi không đáng kể ở các nồng độ, mức độ giảm cao nhất chỉ đạt 37 %, thấp hơn nhiều so với khi xử lý với phen nhôm là 75 % ở liều lượng 0,5 mM và poly-nhôm-sắt-sunphat là 72 % ở liều lượng 0,6 mM. Tỷ lệ giảm photpho hoà tan trong nước thải thí nghiệm giữa phen nhôm Al₂(SO₄)₃.18H₂O và keo tụ poly-nhôm-sắt-sunphat điều chế được là tương đương ở tất cả các nồng độ khảo sát và đạt được hiệu suất loại bỏ cao nhất (~65,5 %. Hiệu suất loại bỏ tổng photpho khi sử dụng poly-nhôm-sắt-sunphat cao hơn khi sử dụng phen nhôm Al₂(SO₄)₃.18H₂O ở hầu hết các nồng độ khảo sát. Hiệu suất cao nhất của PAFS ở nồng độ 0,6 mM (Fe, Al) đạt được là 73 %. Khảo sát tương tự liên quan đến keo tụ hoá học điều chế từ nước thải axit mỏ và khả năng ứng dụng trong xử lý nước đã được tiến hành trong nghiên cứu của Menezes [5] cũng cho thấy keo tụ poly-nhôm-sắt-sunphat đạt được hiệu quả xử lý cao, cho hiệu suất loại bỏ một số chỉ tiêu như chất rắn lơ lửng, độ đục, Fe, Pb, ... trong nước nguồn.

4. KẾT LUẬN

Nước thải axit mỏ đã được tái sử dụng làm nguồn điều chế dung dịch chất keo tụ poly-nhôm-sắt-sunphat (PAFS) để xử lý nước thải sinh hoạt. Giá trị pH thích hợp để thu hồi hỗn hợp hydroxit nhôm và sắt làm nguồn điều chế dung dịch chất keo tụ từ nước thải axit mỏ là pH = 5. Kết quả nghiên cứu sử dụng dung dịch PAFS điều chế được làm chất keo tụ hóa học để xử lý nước thải sinh hoạt cho thấy dung dịch PAFS này có khả năng xử lý tốt các thông số như độ đục, chất rắn lơ lửng, chất hữu cơ, photpho hòa tan và photpho tổng số trong nước thải sinh hoạt. Khả năng xử lý nước thải của PAFS tương đương với các loại chất keo tụ thông thường như phen nhôm, phen sắt. Nước thải đầu ra – sau khi được xử lý bằng dung dịch chất keo tụ poly-nhôm-sắt-sunphat điều chế được – thích hợp để tiếp tục quá trình xử lý sâu hơn bằng các phương pháp sinh học, các phương pháp cho nguồn nước sau xử lý đáp ứng yêu cầu chất lượng cao hơn.

Bảng 5: So sánh hiệu quả xử lý nước thải của PAFS điều chế được với phèn nhôm và phèn sắt

Thông số	Liều lượng (mM)	Poly-nhôm-sắt-sunphat			Phèn nhôm			Phèn sắt		
		Đầu vào	Đầu ra	Hiệu suất (%)	Đầu vào	Đầu ra	Hiệu suất (%)	Đầu vào	Đầu ra	Hiệu suất (%)
TSS (mg/L)	0,4	146,0	53,0	63,7	146,0	45,3	69,0	146,0	97,80	33,0
	0,5	153,0	50,0	67,3	153,0	44,37	71,0	153,0	97,15	36,5
	0,6	160,0	48,0	70,0	160,0	40,80	74,5	160,0	101,0	36,5
Độ đục (NTU)	0,4	120,0	42,0	65,0	120,0	36,0	70,0	120,0	80,4	33,0
	0,5	122,0	39,7	67,5	122,0	31,72	74,0	122,0	76,9	37,0
	0,6	124,0	34,7	72,0	124,0	31,0	75,0	124,0	79,36	36,0
BOD (mg O ₂ /L)	0,4	132,0	52,0	60,6	132,0	51,5	61,0	132,0	54,78	58,5
	0,5	136,5	49,0	64,1	136,5	48,5	64,5	136,5	53,24	61,0
	0,6	141,0	51,5	63,5	141,0	52,0	63,0	141,0	53,58	62,0
COD (mg O ₂ /L)	0,4	281,0	89,9	68,0	281,0	84,3	70,0	281,0	112,4	60,0
	0,5	285,0	68,4	76,0	285,0	71,25	75,0	285,0	109,72	61,5
	0,6	289,0	73,70	74,5	289,0	69,36	76,0	289,0	112,71	61,0
PO ₄ ³⁻ (mg/L)	0,4	4,71	2,355	50,0	4,71	2,12	55,0	4,71	2,04	56,7
	0,5	4,82	1,687	65,0	4,82	1,66	65,5	4,82	1,63	66,0
	0,6	4,93	1,71	65,3	4,93	1,73	65,0	4,93	1,77	64,0
Tổng phốt pho (mg/L)	0,4	8,10	3,807	53,0	8,10	3,85	52,5	8,10	3,80	53,0
	0,5	8,25	2,55	69,0	8,25	2,72	67,0	8,25	2,81	66,0
	0,6	8,40	2,77	73,0	8,40	2,35	72,0	8,40	2,18	74,0

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Văn Hữu Tập. *Nghiên cứu xử lý nâng cao nước thải hầm lò mỏ than để tái sử dụng cho mục đích cấp nước sinh hoạt*, Hội nghị môi trường toàn quốc lần thứ IV, Bộ tài nguyên và Môi trường, Hà Nội (2015).
- L. Haibin, L. Zhenhing. *Recycling utilization patterns of coal mining waste in China* Resources, Conservation and Recycling, **54(12)**, 1331-1340 (2010).
- R. N. Singh, H. B. Dharmappa, M. Sivakumar. *Wastewater quality management in coal mines in the Illawarra region*, International Conference on Mining and the Environment, Bandung, Indonesia, 9.1-9.16 (1996).
- US Army Corps of Engineers. *Engineering and design: Precipitation/Coagulation/ Flocculation*, EM 1110-1-4, 8.2-8.3 (2001).
- J. C. S. S. Menezes, R. A Silva, I. S. Arce. *Production of a poly-alumino-iron sulphate coagulant by chemical precipitation of a coal mining acid drainage*, Minerals Engineering, **23**, 249-251 (2010).
- S. R. Rao, R. Gehr, M. Rindeau, D. Lu, J. A. Finch. *Acid mine drainage as a coagulant*, Minerals Engineering, **5(9)**, 1011-1020 (1992).
- A. D. Eaton. *Standard methods for the Examination of Water and Waste Water*, 22nd, published by American Public Health Association, Washington (2012).
- ASTM - American Society for Testing and Materials, *Standard practice for coagulation-flocculation jar test of water*, Annual book of ASTM D 19.03, **11(02)** (1995).
- Metcalf & Eddy, Inc., Revised by G. Tchobanoglous, F. L. Burton, H. D. Stensel. *Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse*, McGraw-Hill series in water resources and environmental engineering, New York (1991).

Liên hệ: Công Tiên Dũng

Bộ môn Hóa, Trường đại học Mỏ - Địa chất
18 Phố Viên, phường Đức Thắng, Bắc Từ Liêm, Hà Nội
E-mail: congdung.mdc@gmail.com; Điện thoại: 0926988868.