



NGHIÊN CỨU ĐIỀU CHẾ VÀ ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ XỬ LÝ NƯỚC THẢI CÔNG NGHIỆP CỦA CHẤT KEO TỤ TỪ TRO BAY NHIỆT ĐIỆN THAN

Phạm Văn Toàn*, Nguyễn Phước Bảo Niệm, Lê Thị Kim Ngân, Đinh Thị Phương Anh, Lâm Yến Thi, Nguyễn Thị Hải Quyên

Khoa Môi trường và Tài nguyên Thiên nhiên, Trường Đại học Cần Thơ, Cần Thơ, Việt Nam

Tóm tắt. Nghiên cứu vật liệu mới trong xử lý môi trường và tái sử dụng phế thải đang ngày càng được quan tâm để phục vụ phát triển bền vững. Trong nghiên cứu này, tro bay nhiệt điện được sử dụng để điều chế chất keo tụ. Chất keo tụ từ tro bay được sử dụng để xử lý nước thải công nghiệp bằng phương pháp keo tụ - lắng. Nồng độ chất keo tụ từ tro bay thích hợp được xác định bởi thí nghiệm Jarrest. Sau đó, các thí nghiệm keo tụ - lắng trên mô hình quy mô phòng thí nghiệm được thực hiện với nồng độ thích hợp của chất keo tụ từ tro bay và chất keo tụ polyaluminum chloride (PAC) thương mại. Kết quả thí nghiệm Jarrest cho thấy chất keo tụ từ tro bay cho hiệu suất loại bỏ độ đục và chất rắn lơ lửng lần lượt là 85,94% và 90,49% ở nồng độ 7,0 mg/L và giá trị pH = 8,0. Kết quả thí nghiệm trên mô hình cho thấy chất keo tụ từ tro bay với nồng độ đã chọn và PAC với nồng độ 500 mg/L cho hiệu suất loại bỏ độ đục, SS và COD lần lượt là 61,8% và 39,08%; 52,67% và 51,42%; 57,79% và 23,53%. Tro bay nhiệt điện có thể được tái sử dụng để điều chế chất keo tụ trong xử lý nước, góp phần giảm thiểu tác động môi trường của tro bay nhiệt điện than.

Từ khóa: chất keo tụ, keo tụ - lắng, nước thải công nghiệp, tro bay nhiệt điện

Synthesis and evaluation of the efficiency of a fly ash-derived coagulant for industrial wastewater pre-treatment

Pham Van Toan*, Nguyen Phuoc Bao Niem, Le Thi Kim Ngan, Dinh Thi Phuong Anh, Lam Yen Thi, Nguyen Thi Hai Quyen

College of Environment and Natural resources, Can Tho University, Cantho, Vietnam

Abstract. The development of new materials for environmental treatment and the reuse of industrial waste have been receiving attention, with the aim of promoting sustainable development. In this study, fly ash from a thermal power plant was utilized to synthesize a coagulant. The synthesized coagulant was applied in the pre-treatment of centralized industrial wastewater using the coagulation-flocculation process. The optimal dosage of

* Liên hệ: pvtoan@ctu.edu.vn

coagulant was determined through Jarrests in the laboratory. Then, coagulation-flocculation experiments were conducted using a laboratory-scale model, comparing the fly ash-derived coagulant with commercially available polyaluminum chloride (PAC). Jarrest results demonstrated that the fly ash-based coagulant achieved removal efficiencies of 85.94% for turbidity and 90.49% for suspended solids (SS) at a dosage of 7.0 mg/L and pH 8.0. Model-scale experiments showed that the fly ash-based coagulant at the selected dosage, and PAC at 500 mg/L, achieved removal efficiencies of 61.8% and 39.08% for turbidity, 52.67% and 51.42% for SS, and 57.79% and 23.53% for COD, respectively. These results indicate that fly ash from thermal power plants can be effectively reused as a coagulant, offering a promising solution for wastewater pre-treatment and contributing to the reduction of environmental impacts from coal-fired power plant waste.

Keywords: coagulant, coagulation-flocculation, industrial wastewater, thermal fly ash

1 Giới thiệu

Nước thải công nghiệp tại hệ thống xử lý tập trung là hỗn hợp của nhiều chất ô nhiễm, có thành phần và tính chất phức tạp. Để xử lý loại nước thải này, phương pháp keo tụ - tạo bông thường được áp dụng trong giai đoạn xử lý sơ bộ, với việc sử dụng các chất keo tụ (CKT) nhằm loại bỏ chất rắn lơ lửng (SS) là rất cần thiết [1, 2]. Theo đó, các chất keo tụ được sử dụng với một liều lượng thích hợp [3]. Mục đích chính của công đoạn này là nâng cao hiệu quả loại bỏ chất rắn lơ lửng của các công đoạn sau nó như lắng hay lọc. Trong quá trình keo tụ và tạo bông, các chất lơ lửng có kích thước nhỏ có thể kết lại với nhau thành các bông cặn đủ lớn và nặng, rồi bị loại khỏi nước qua quá trình lắng ngay sau đó. Cùng với bông cặn, các kim loại nặng, chất hữu cơ, dưỡng chất... cũng có thể bị loại khỏi nước thải.

Có nhiều hợp chất được sử dụng làm CKT gồm muối sắt (Fe) và nhôm (Al), các polymer tổng hợp như polyaluminum chloride (PAC), polyacrylamide (PAM), polyacrylic axit (PAA)... [3, 4]. Tuy được áp dụng phổ biến nhưng chúng có nhiều hạn chế như chi phí cao, gây tác hại cho sức khỏe con người, tạo hàm lượng bùn tương đối lớn và thường ảnh hưởng đến pH của nước thải sau xử lý. Tồn dư Al trong nước cấp được cho là có khả năng gây bệnh Alzheimer và gây độc thần kinh [5]. Do vậy, nhiều nghiên cứu tạo ra các CKT nhằm làm đa dạng và có thể thay thế cho các CKT có trên thị trường đã được thực hiện [3,6]. Các loại CKT này có thể có nguồn gốc thực vật tự nhiên, cũng có thể là các CKT được điều chế từ các hợp chất hóa học. Đặc biệt là các chất được điều chế từ việc tận dụng chất thải từ hoạt động nông nghiệp và công nghiệp. Trong đó, việc tái sử dụng tro bay đang ngày càng được quan tâm và có nhiều nghiên cứu liên quan[7,8].

Tro bay nhiệt điện (trong nghiên cứu này gọi tắt là tro bay) là bụi mịn sinh ra từ quá trình đốt cháy nhiên liệu than đá trong các nhà máy nhiệt điện. Tro bay được thu gom từ ống xả khói bằng bộ lắng tĩnh điện hoặc túi lọc. Dưới dạng đổ đống tro bay nhìn giống như xi măng, nhưng chúng khác nhau về thành phần hóa học tùy thuộc vào nguồn gốc than đá làm nhiên liệu đốt [9]. Theo TCVN 10302:2014, tro bay được xác định là loại phụ gia khoáng hoạt tính dùng cho bê tông, vữa xây và xi măng. Tro bay được phân thành hai loại là tro bay loại F (tro axit – axit ash) và tro bay loại C (tro bay bazơ – base ash). Tùy theo nguồn gốc nhiên liệu đốt khác nhau mà tro bay có hàm lượng các oxit kim loại như Fe_2O_3 , Al_2O_3 , SiO_2 ... khác nhau. Ở Việt Nam, đến năm 2020, nhiệt

điện than chiếm 49,3% tổng nguồn điện cung cấp cho ngành điện và dẫn đến phát sinh lượng tro than lớn mỗi năm. Theo quy hoạch tổng thể điện lực, lượng tro có thể tăng lên tới 30 triệu tấn/năm, với 52 nhà máy nhiệt điện than dự kiến đi vào hoạt động đến năm 2030. Nếu lượng tro xỉ không được sử dụng thì sẽ có hơn 422 triệu tấn tro xỉ tồn đọng. Việc quản lý và tái chế tro than đã đóng một vai trò quan trọng trong phát triển kinh tế và xã hội [10]. Việc tái chế tro bay ngày càng được quan tâm và có nhiều nghiên cứu, tập trung nhiều vào tái sử dụng tro bay cho ngành xây dựng. Theo Lưu Đình Thi và Lê Thị Thanh Tâm [11], tro bay được nghiên cứu sản xuất gạch không nung. Khi tro bay được sử dụng thay thế 30%, 50% và 70% xi măng thì cường độ chịu nén của các mẫu gạch tương ứng là 30%, 50% và 70%. Tro bay có thể là nguyên liệu sản xuất CKT phức hợp có chứa polymer sulfat của Al và Fe từ tro bay. CKT được tạo ra có hiệu quả trong việc loại bỏ chất rắn lơ lửng trong nước thải lên men ethanol ở pH trung tính [12]. Tuy việc nghiên cứu sử dụng tro bay đã được ứng dụng trong nhiều lĩnh vực, nhưng chưa có nghiên cứu kiểm nghiệm sử dụng CKT từ tro bay trên mô hình phòng thí nghiệm để đánh giá khả năng áp dụng vào thực tế. Chính vì vậy, nghiên cứu này được thực hiện nhằm đánh giá hiệu quả tiền xử lý nước thải của CKT từ tro bay và so sánh với CKT PAC trên thị trường, hướng tới tiềm năng ứng dụng CKT mới vào xử lý nước thải.

2 Phương pháp nghiên cứu

2.1 Vật liệu nghiên cứu

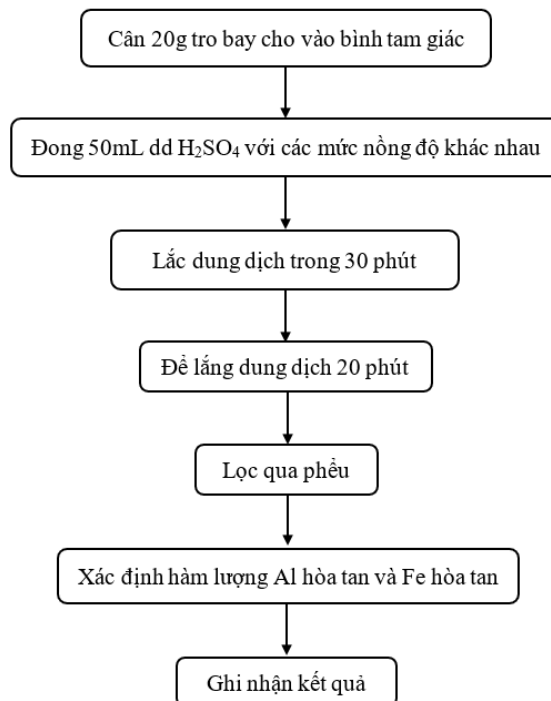
Tro bay được lấy trực tiếp ngẫu nhiên mang tính đại diện từ các silo chứa của nhà máy nhiệt điện Duyên Hải, tỉnh Trà Vinh.

Nghiên cứu đánh giá khả năng áp dụng CKT điều chế từ tro bay để xử lý nước được thực hiện với nước thải công nghiệp tại hố thu gom nước thải của hệ thống xử lý nước thải tập trung của Khu công nghiệp Trà Nóc, Thành phố Cần Thơ. Đây là Khu công nghiệp đặc trưng với đa ngành, đa lĩnh vực, tập trung vào các nhóm ngành chính gồm chế biến thủy hải sản, may mặc, phân bón, hóa chất và thức ăn gia súc. Nước thải tại hố thu gom của hệ thống xử lý được lấy, chứa trong các can nhựa 30 lít và được vận chuyển về phòng thí nghiệm phục vụ thí nghiệm. Qua kết quả khảo sát từ các mẫu đơn được lấy và phân tích 3 ngày liên tục tại hố thu gom cho thấy nước thải của Khu công nghiệp đặc trưng của loại hình nước thải công nghiệp tập trung. Nhiệt độ trung bình của nước là $29,2 \pm 0,9^\circ\text{C}$, nhiệt độ nước thấp và ít biến động. Nhiệt độ nước có ảnh hưởng đến tốc độ phản ứng hóa học, sự hòa tan oxy vào nước và hoạt động của vi sinh vật. Độ pH của nước $7,4 \pm 0,4$, cho thấy nước thải có tính chất gần trung tính, khá thuận lợi cho các quá trình xử lý sinh học. Tuy nhiên, nước thải có nồng độ COD trung bình là $801,8 \pm 95,4$ mg/L đặc trưng cho sự biến động khá lớn của các chất hữu cơ. Điều này cho thấy nước thải chứa một lượng lớn các chất hữu cơ, gây ra gánh nặng ô nhiễm cho môi trường nếu không được xử lý. Bên cạnh đó, chất rắn lơ lửng có nồng độ trung bình là $76,7 \pm 37,7$ mg/L. Nước thải có nồng độ chất rắn lơ lửng không cao nhưng có biến động, với sự hiện diện của các vật liệu không tan gây tích tụ bùn. Nhìn chung, nước thải ở đầu vào hệ thống xử lý nước thải của Khu công nghiệp có chứa vật chất hữu cơ với nồng độ khá cao và biến động lớn, có nồng độ chất rắn lơ lửng vượt ngưỡng cho phép. Do vậy, nước thải này phù hợp để sử dụng cho nghiên cứu đánh giá hiệu quả tiền xử lý của chất keo tụ tro bay nhiệt điện than.

2.2 Điều chế CKT từ tro bay

Thành phần hóa học của tro bay bao gồm các oxit: SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , và CaO , với tỷ lệ khá cao lần lượt là 57,14%, 16,12%, 16,95% và 5,46% và một lượng nhỏ các oxit khác như MgO (0,43%), SO_3 (0,38%) và LOI (Loss on Ignition) đạt 2,34% được xác định trong nghiên cứu [9]. Những thành phần này cho thấy đặc điểm hóa học đặc trưng của tro bay từ nguồn nhiệt điện Duyên Hải có khả năng ứng dụng trong các lĩnh vực khác nhau như chế tạo vật liệu xây dựng, vật liệu xử lý nền móng công trình. Trong nghiên cứu này, với hàm lượng Fe_2O_3 và Al_2O_3 khá cao, tro bay được sử dụng để điều chế CKT để đánh giá hiệu quả trong xử lý nước.

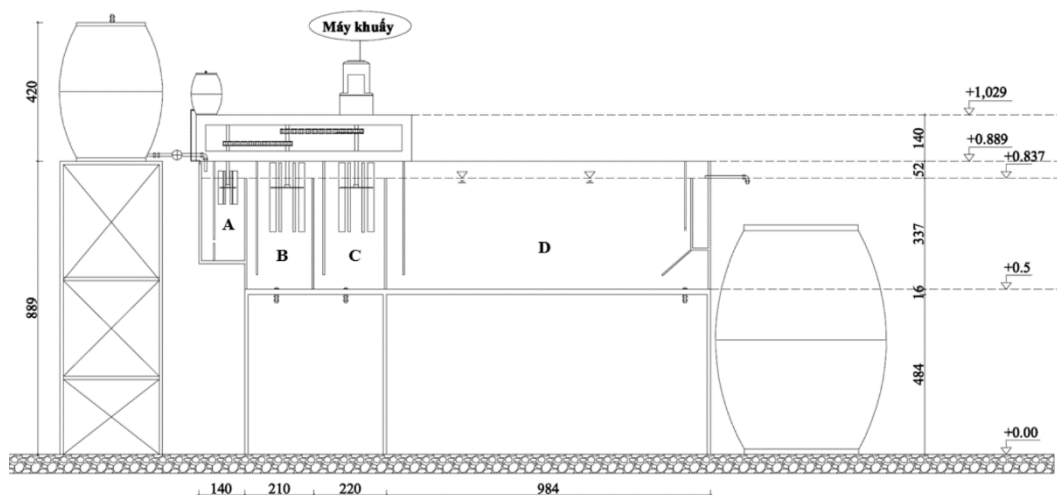
Các oxit Al_2O_3 và Fe_2O_3 trong tro bay được chiết suất bằng dung dịch H_2SO_4 nồng độ 98% ở các mức nồng độ khác nhau: 0,5; 1; 2; 3 và 5 M với quy trình minh họa như hình 1. Mỗi 20 g tro bay được cho vào lọ thủy tinh 250 mL, sau đó 50 mL dung dịch H_2SO_4 lần lượt ở các nồng độ được cho vào lọ và lắc đều với tốc độ 120 vòng/phút bằng máy lắc Labtech trong 30 phút. Sau đó, hỗn hợp được để lắng tự nhiên trong vòng 20 phút ở nhiệt độ môi trường. Dung dịch sau lắng được lọc qua giấy lọc định lượng (Whatman 1441 – 110, số 41). Dung dịch sau lọc được xem là CKT được điều chế ứng với nồng độ dung dịch khác nhau. Hàm lượng của Fe hòa tan và Al hòa tan trong dung dịch chiết suất lần lượt được xác định bằng phương pháp hấp phụ nguyên tử và so màu trên máy quang phổ [13]. Các thí nghiệm điều chế được thực hiện ở nhiệt độ phòng với ba lần lặp lại cho mỗi mức nồng độ dung dịch H_2SO_4 98%.



Hình 1. Sơ đồ quy trình chiết suất CKT từ tro bay

2.3 Mô hình và thiết bị thí nghiệm

Mô hình bể keo tụ - lắng (Hình 2) được chế tạo bằng thủy tinh với cấu tạo gồm 3 ngăn khuấy và 1 ngăn lắng, với các kích thước được tính toán trong Bảng 1.



Hình 2. Sơ đồ cấu tạo của mô hình keo tụ - lắng

A: Ngăn khuấy 1; B: Ngăn khuấy 2; C: Ngăn khuấy 3; D: Ngăn lắng

Thiết bị Jarrest JT-M6C Daihan gồm 6 vị trí gắn cánh khuấy có kích thước như nhau có thể điều chỉnh được tốc độ khuấy từ 0 – 200 vòng/phút và có thể điều chỉnh thời gian khuấy từ 1 - 999 phút.

Bảng 1. Thông số kỹ thuật của bể keo tụ - lắng

Thông số	Đơn vị	Ngăn khuấy 1	Ngăn khuấy 2	Ngăn khuấy 3	Ngăn lắng
Thể tích	m ³	0,004	0,014	0,015	0,064
Thể tích làm việc	m ³	0,0021	0,0134	0,0146	0,0532
Diện tích mặt cắt ngang	m ²	0,014	0,039	0,040	0,018
Diện tích bản cánh khuấy	m ²	0,003	0,008	0,008	-
Đường kính cánh khuấy	m	0,030	0,050	0,050	-
Công suất của máy khuấy	W	0,003	0,002	0,0001	-

2.4 Bố trí thí nghiệm

Nghiên cứu được thực hiện thông qua ba thí nghiệm định hướng để xác định nồng độ CKT và mức pH thích hợp trên thiết bị jarrest. Mẫu nước trước và sau thí nghiệm được lấy và phân tích các thông số pH, độ đục, và SS để đánh giá hiệu quả xử lý.

Thí nghiệm 1: Xác định pH thích hợp khi sử dụng CKT được điều chế từ tro bay để xử lý nước thải. Thí nghiệm được thực hiện ứng với các giá trị pH lần lượt là 6; 6,5; 7; 7,5; 8 và 8,5 bằng dung dịch H_2SO_4 và xút (NaOH) [10]. Thí nghiệm được lặp lại 3 lần ở điều kiện phòng thí nghiệm.

Thí nghiệm 2: Xác định khoảng nồng độ CKT từ tro bay để xử lý nước thải. Thí nghiệm được thực hiện với các mức nồng độ khác nhau từ 10 - 60 mg/L, dựa theo nghiên cứu [10], với khoảng tăng 10 mg/L. Thí nghiệm được lặp lại 3 lần ở điều kiện phòng thí nghiệm.

Thí nghiệm 3: Xác định nồng độ CKT phù hợp dựa vào kết quả tìm được ở thí nghiệm 2. Theo đó nồng độ CKT ứng với các nghiệm thức lần lượt là X - 3 mg/L; X - 2 mg/L; X - 1 mg/L; X mg/L; X + 1 mg/L; X + 2 mg/L; Với X là nồng độ CKT được xác định từ thí nghiệm 2. Tất cả các thí nghiệm đều được thực hiện ở nhiệt độ phòng và được lặp lại 3 lần.

Thí nghiệm đánh giá hiệu suất xử lý nước thải công nghiệp trên mô hình keo tụ - lắng quy mô phòng thí nghiệm được thực hiện như sau:

Vận hành mô hình keo tụ - lắng với CKT từ tro bay: Nước thải công nghiệp trữ trong thùng marriott được cho chảy vào mô hình keo tụ - lắng (Hình 1) với lưu lượng 1,1 L/phút. Dung dịch keo tụ với nồng độ thích hợp được xác định từ thí nghiệm Jarrest 3 được châm và trộn đều với nước thải ở ngăn khuấy 1. pH nước đầu vào mô hình được điều chỉnh theo mức phù hợp đã được xác định từ thí nghiệm Jarrest 1. Nước thải tự chảy vào ngăn 1, 2 và 3 có thiết bị khuấy được vận hành với tốc độ lần lượt là 200, 80 và 30 vòng/phút. Sau khi lưu ở các ngăn khuấy 1, 2, và 3 lần lượt với thời gian lưu được chọn 0,5, 12 và 13 phút, nước thải chảy qua ngăn lắng và lưu ở đây với thời gian 50 phút. Mô hình được vận hành liên tục đến khi nước thải đầu ra ổn định. Sau 15 phút, mẫu nước đầu ra được lấy để xác định các chỉ tiêu pH, độ đục, SS và COD. Mẫu được thu tiếp tục hai lần tiếp theo, mỗi lần cách nhau 30 phút.

Vận hành mô hình keo tụ - lắng với polyaluminum chloride (PAC): Mô hình được vận hành tương tự như đối với CKT từ tro bay, nhưng ở mức nồng độ PAC là 500 mg/L với pH = 6,9 [14]. Mô hình được vận hành với tốc độ khuấy ở ba ngăn 1, 2 và 3 lần lượt là 70, 35 và 20 vòng/phút.

2.1. Phương pháp lấy mẫu và phân tích mẫu

Mẫu nước từ thí nghiệm jarrest, ở đầu vào và đầu ra mô hình keo tụ - lắng được lấy ở mỗi thí nghiệm. Các chỉ tiêu hóa lý gồm pH, độ đục, SS và COD được phân tích theo các phương pháp trình bày ở Bảng 2.

Bảng 2. Phương pháp và dụng cụ, thiết bị phân tích các chỉ tiêu chất lượng nước

Chỉ tiêu	Đơn vị	Phương pháp	Dụng cụ, thiết bị
pH	-	TCVN 6492:2011	Máy đo pH Orion Model 420A
Độ đục	NTU	Đo trực tiếp	Máy đo Độ đục Lovibond
SS	mg/L	TCVN 6625:2000	Bộ lọc chân không, giấy lọc và cân
COD	mg/L	TCVN 6491:1999	Ống nghiệm COD

2.5 Phương pháp phân tích số liệu

Số liệu thí nghiệm được lưu trữ và phân tích thông kê mô tả bằng phần mềm Microsoft Excel. Phần mềm thống kê SPSS phiên bản 20.0 được sử dụng để kiểm định và phân tích phương sai để đánh giá so sánh giữa các mức pH và mức nồng độ CKT thông qua các thông số chất lượng nước ở mức ý nghĩa 5%.

Hiệu suất xử lý nước thải được tính theo công thức:

$$H = \frac{C_1 - C_2}{C_1} \times 100(\%) \quad (2)$$

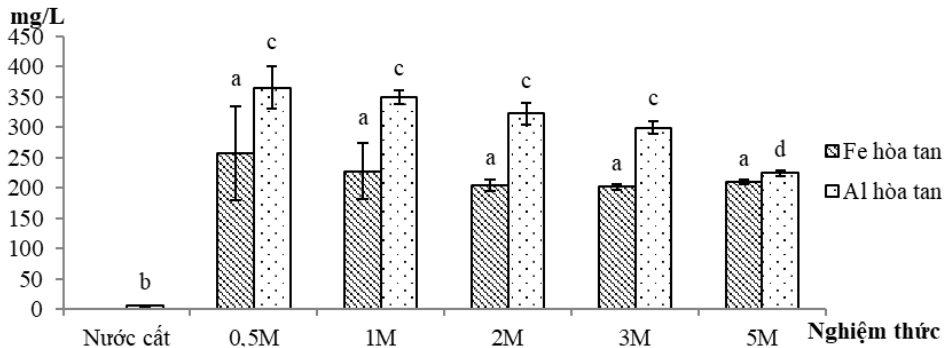
trong đó, C_1 : Nồng độ chất ô nhiễm trước khi xử lý; C_2 : Nồng độ chất ô nhiễm sau khi được xử lý.

3 Kết quả và thảo luận

3.1 Thành phần và tính chất của CKT từ tro bay

Kết quả chiết suất cho thấy hàm lượng của Al và Fe hòa tan trong dung dịch CKT giảm dần khi nồng độ dung dịch chiết tăng từ 0,5M đến 5M. Khi nồng độ dung dịch chiết tăng đến 5M thì hàm lượng Al giảm có ý nghĩa ở mức 5% so với các mức nồng độ thấp (Hình 3). Kết quả chiết suất cũng cho thấy hàm lượng Al luôn cao hơn hàm lượng Fe. Hàm lượng của Al và Fe cao nhất chiết suất được ở mức nồng độ H_2SO_4 0,5M lần lượt là $365 \pm 34,51$ mg/L và $257 \pm 78,04$ mg/L. Theo Zhou and Haynes [15] sự khác biệt về hàm lượng Al và Fe trong dung dịch chiết xuất ở các mức pH là do khi độ pH tăng có ít sự cạnh tranh hơn đối với các vị trí liên kết cation với proton. Ngoài ra, các kim loại hòa tan có thể kết tủa khi mức pH tăng [16]. Bên cạnh đó, trong điều kiện oxy hóa có tính axit, các dạng Fe (III) dưới dạng các khoáng chất có nguy cơ bị kết tủa; còn ở pH trên 5 thì Al chủ yếu hiện diện dưới dạng như $AlOH^{2+}$, $Al(OH)_3$ và $Al(OH)^+$ hoặc tạo thành các phức chất hòa tan như sunfat hoặc florua [17].

Chất keo tụ từ tro bay được chiết suất bằng dung dịch H_2SO_4 0,5M là dung dịch không màu. CKT điều chế được có độ pH là 0,44 và độ dẫn điện là 16,08 S/m chứa hai thành phần quan trọng là Al và Fe. Theo [12], tro bay rất giàu oxit Al và Fe. Kết quả thí nghiệm ghi nhận hàm lượng của Al và Fe trong dung dịch được chiết xuất từ tro bay khá cao. Kết quả cũng phù hợp với kết quả nghiên cứu của Fan [18].



Hình 3. Hàm lượng Fe và Al hòa tan ở các mức nồng độ dung dịch chiết khác nhau

3.2 Thí nghiệm Jarrest với CKT từ tro bay

Ảnh hưởng của pH nước thải

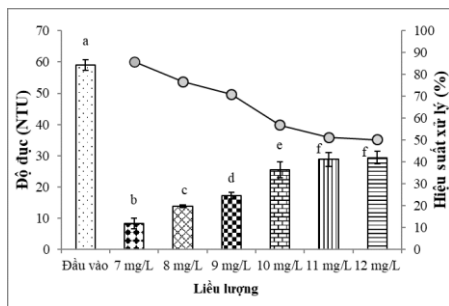
Thí nghiệm được thực hiện với mục đích xác định pH thích hợp của nước thải, là cơ sở để vận hành mô hình keo – tụ lắng. CKT được sử dụng với nồng độ 30 mg/L. Kết quả thí nghiệm cho thấy khi sử dụng CKT từ tro bay xử lý nước làm cho pH nước sau xử lý có pH thấp. Hiện tượng xuất hiện có thể do khi cho CKT vào thì quá trình keo tụ xảy ra. Các ion kim loại trong CKT tạo thành các hydroxide kết tủa làm cho hàm lượng các ion H^+ còn lại trong nước tăng [10]. Cụ thể, CKT từ tro bay có chứa các ion Fe^{3+} và Al^{3+} kết hợp với dung dịch CKT có tính axit làm cho pH nước sau khi xử lý giảm. Khi nồng độ CKT được cố định và pH nước đầu vào thay đổi từ 6 đến 8,5 thì có sự khác biệt giữa độ đục và chất rắn lơ lửng của nước đầu vào và đầu ra. Giá trị độ đục ghi nhận thấp nhất tại pH = 8 là $52,96 \pm 1,18$, thấp hơn 0,96 lần so với độ đục của nước đầu vào. Bên cạnh đó, SS trong nước thải sau xử lý đạt $67,67 \pm 2,52$ mg/L, thấp hơn 1,4 lần so với nồng độ SS đầu vào, ứng với hiệu suất xử lý 28,52%. Tuy nhiên, kết quả phân tích thống kê cho thấy không có sự khác biệt ở mức ý nghĩa 5% về độ đục và SS trong nước thải đầu ra giữa các mức pH.

Như vậy, tuy có thể xác định được pH thích hợp cho tiền xử lý nước thải khi sử dụng CKT từ tro bay nhưng kết quả thống kê cho thấy không có sự khác biệt với mức ý nghĩa 5% giữa các mức pH. Với kết quả thí nghiệm này, ở giá trị pH = 8, độ đục và chất rắn lơ lửng trong nước có hiệu suất xử lý cao nhất nên mức pH này được chọn cho các thí nghiệm sau.

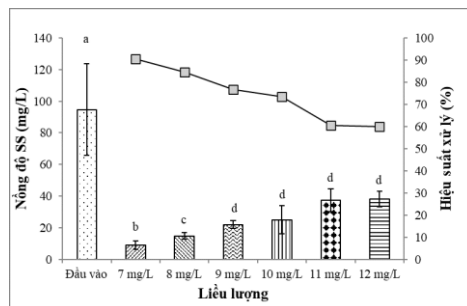
Xác định nồng độ CKT thích hợp

Trong nghiên cứu này khoảng nồng độ CKT từ 10 đến 60 mg/L được đánh giá. Sau đó, mức nồng độ 10 mg/L đã được chọn cho thí nghiệm xác định mức nồng độ thích hợp. Kết quả thí nghiệm thể hiện ở Hình 4 và 5 cho thấy thấy độ đục và SS thay đổi cùng xu hướng khi thay đổi nồng độ CKT. Cụ thể, khi nồng độ CKT tăng thì độ đục và SS thay đổi theo chiều hướng tăng. Mức nồng độ CKT thấp nhất được chọn có thể chưa phải là mức phù hợp nhất cho quá trình keo tụ - lắng. Theo Lê Hoàng Việt và cộng sự [19] khi tăng nồng độ CKT thì độ đục của nước giảm nhưng khi tăng quá mức nồng độ thích hợp của CKT thì độ đục tăng trở lại. Ở mức nồng độ 7 mg/L hiệu suất xử

lý độ đục đạt 85,94% tương ứng với độ đục của nước thải sau xử lý là $8,29 \pm 1,75$ NTU. Đối với SS, nồng độ sau xử lý là $9 \pm 2,65$ mg/L thấp hơn 2,49 lần so với nước thải đầu vào ($84,67 \pm 28,95$ mg/L) đạt hiệu suất xử lý 90,49%. Kết quả phân tích thống kê cho thấy có sự khác biệt về trị trung bình của độ đục và SS giữa các mức nồng độ CKT với mức ý nghĩa 5% ($p = 0,00$).



Hình 4. Sự biến động của độ đục theo nồng độ CKT



Hình 5. Sự biến động của SS theo nồng độ CKT

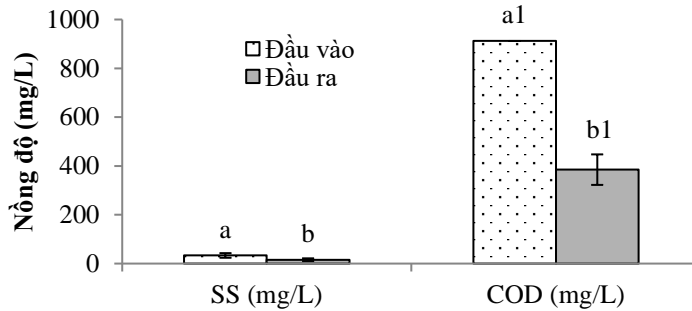
Vận hành mô hình keo tụ - lắng với CKT tro bay

Độ đục là một trong những thông số quan trọng phản ánh khả năng xử lý chất ô nhiễm của CKT bằng phương pháp keo tụ - lắng. Độ đục được tạo nên do chất lơ lửng, chất hữu cơ, bùn sét có trong nước. Kết quả vận hành mô hình keo tụ-lắng với CKT tro bay cho thấy độ đục của nước thải đầu ra $10,02 \pm 1,34$ NTU thấp hơn 3,26 lần so với đầu vào ($33,33 \pm 2,76$ NTU).

Sự thay đổi nồng độ SS và COD của nước thải trước và sau khi keo tụ - lắng với CKT tro bay bằng mô hình keo tụ - lắng được thể hiện ở hình 6. Chất rắn lơ lửng là chỉ tiêu quan trọng cần được kiểm soát chặt trong quá trình keo tụ - lắng. Mục đích chính của quá trình keo tụ - lắng là loại bỏ chất rắn lơ lửng trong nước để chuyển sang công đoạn xử lý tiếp theo. Kết quả vận hành mô hình cho thấy có sự chênh lệch nồng độ SS giữa đầu vào và đầu ra mô hình. Cụ thể, nồng độ SS của nước đầu ra thấp hơn 2,11 lần so với đầu vào ($33,33 \pm 9,45$ mg/L). Kết quả phân tích thống kê cho thấy có sự khác biệt về SS giữa nước thải đầu vào và sau xử lý ở mức ý nghĩa 5% ($p = 0,002$). Qua kết quả thí nghiệm có thể thấy nồng độ SS và độ đục nước biến đổi cùng xu hướng khi được xử lý bằng CKT tro bay. Độ đục có thể là yếu tố dự báo cho SS, chẳng hạn, Packman [20] đã tìm thấy có mối quan hệ tuyến tính giữa độ đục và SS trong nước chảy tràn đô thị. Tchobanoglous [21] đã nhấn mạnh tầm quan trọng của việc đo độ đục phải đồng hành với SS trong theo dõi quá trình xử lý sơ cấp và thứ cấp của nước thải.

Nồng độ COD phản ánh hàm lượng chất hữu cơ hòa tan và không hòa tan trong nước thải. Quá trình keo tụ - lắng có thể loại bỏ một phần chất hữu cơ nên làm giảm nồng độ COD trước khi vào công đoạn xử lý kế tiếp trong hệ thống xử lý nước thải. Qua kết quả vận hành mô hình có thể thấy nồng độ COD đầu vào và đầu ra có sự chênh lệch. Điều này cho thấy khi sử dụng CKT tro bay để keo tụ nước thải có thể làm giảm COD. Nồng độ COD đầu ra đạt $384,89 \pm 62,54$ mg/L, thấp hơn 2,37 lần so với nồng độ COD của nước thải đầu vào ($912,00 \pm 0,00$ mg/L). Kết quả phân tích thống kê cho thấy có sự khác biệt về nồng độ COD giữa nước thải đầu vào và sau xử lý ở mức ý nghĩa 5% ($p = 0,000$). Một vấn đề cần lưu ý ở đây là nồng độ COD trong nước thải sau

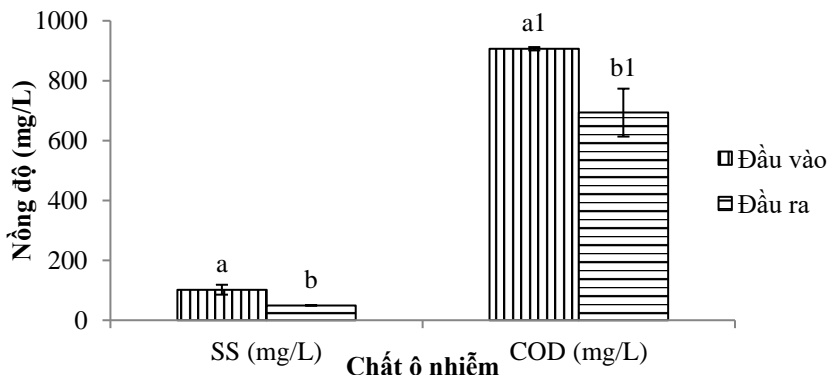
quá trình keo tụ - lắng bằng CKT tro bay còn rất cao, trong khi pH của nước lại mang tính axit như đã trình bày ở trên. Do đó, pH nước cần phải được điều chỉnh nếu nước thải được tiếp tục xử lý bằng phương pháp sinh học sau keo tụ-lắng.



Hình 6. Nồng độ SS và COD của nước ở đầu vào và ra quá trình keo tụ - lắng bằng CKT tro bay

Vận hành mô hình keo tụ - lắng với PAC

Với nồng độ PAC được sử dụng là 500 mg/L và nước đầu vào mô hình keo tụ-lắng có pH là 6,9 thì các chất ô nhiễm trong nước thải đã được loại bỏ ở mức độ nhất định. Cụ thể, độ đục của nước thải sau quá trình keo tụ - lắng là $36,29 \pm 0,78$ NTU, thấp hơn 1,64 lần so với độ đục nước thải đầu vào ($59,57 \pm 1,86$ NTU). Nồng độ trung bình SS và COD của nước thải trước và sau khi keo tụ-lắng bằng PAC khác biệt rất có ý nghĩa ở mức 5%. Cụ thể, nồng độ SS của nước thải trước keo tụ - lắng là $102,00 \pm 16,52$ mg/L và sau keo tụ - lắng đạt $49,56 \pm 5,57$ mg/L ($p = 0,028$); nồng độ COD trước keo tụ - lắng là $906,67 \pm 0,0$ mg/L, sau keo tụ - lắng giảm còn $639,34 \pm 80$ mg/L ($p = 0,000$). Điều này chứng minh rằng khi mô hình được vận hành với nồng độ PAC phù hợp có thể loại bỏ được độ đục, SS và COD trong nước thải. Tuy nhiên, hiệu suất xử lý của mô hình khi vận hành với mức nồng độ PAC là 500 mg/L và không sử dụng chất trợ keo tụ thì không cao so với các hệ thống xử lý thực tế.

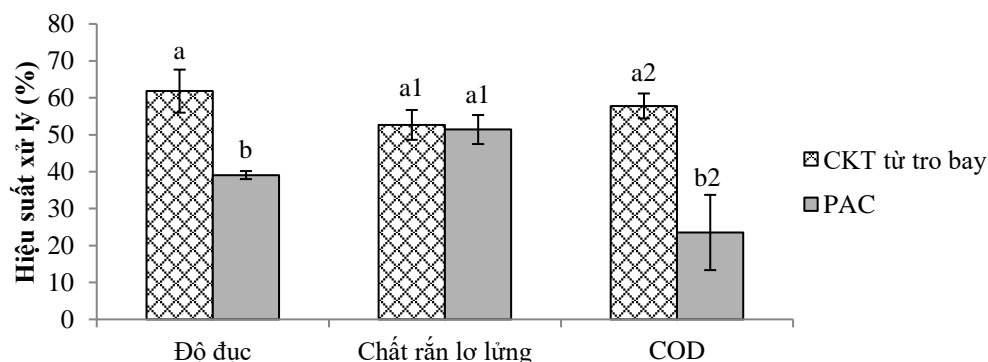


Hình 7. Nồng độ SS và COD của nước ở đầu vào và ra quá trình keo tụ - lắng bằng PAC

Hiệu quả xử lý của hai loại CKT

i. Về khía cạnh kỹ thuật

Hiệu suất xử lý nước thải của CKT từ tro bay và PAC khi vận hành mô hình keo tụ - lắng được biểu thị ở hình 8. Hiệu suất xử lý các chất ô nhiễm khi sử dụng CKT từ tro bay cao hơn PAC thương mại với nồng độ được chọn. Điều này có thể là do trong CKT từ tro bay có cả hai thành phần chính của chất keo tụ là Al và Fe, trong khi PAC có các thành phần chính gồm Al^{3+} , Cl⁻ và OH⁻. Bên cạnh đó, nồng độ CKT cũng là yếu tố ảnh hưởng đến hiệu suất xử lý. Kết quả phân tích thống kê cho thấy hiệu suất xử lý độ đục và COD có sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ở mức 5%, nhưng không có sự khác biệt đối với thông số SS. Hiệu suất xử lý độ đục, SS và COD của CKT từ tro bay và của PAC lần lượt là 61,81% và 39,08%; 52,67% và 51,42%; 57,8% và 23,53%.



Hình 8. Hiệu suất xử lý độ đục, SS và COD của CKT từ tro bay và PAC

ii. Về khía cạnh môi trường

Qua nghiên cứu có thể thấy hai loại CKT có khả năng loại bỏ các chất ô nhiễm ở giai đoạn keo tụ - lắng, là giai đoạn tiền xử lý, góp phần nâng cao hiệu suất xử lý của hệ thống xử lý nước thải. Khả năng ứng dụng của CKT từ tro bay trong xử lý nước cho thấy tro bay có thể được tái sử dụng, góp phần giảm thiểu lượng tro bay tồn dư tại các bãi thải của nhà máy nhiệt điện, nhấn mạnh tầm quan trọng của kinh tế tuần hoàn trong hoạt động của nhiệt điện than.

4 Kết luận

Tro bay nhiệt điện than là nguyên liệu tiềm năng để điều chế CKT trong xử lý nước thải. CKT chiết suất từ tro bay bằng dung dịch H_2SO_4 0,5M có màu trong suốt và có hàm lượng Fe và Al hòa tan cao ($365 \pm 34,51$ mg/L và $257 \pm 78,04$ mg/L), thích hợp trong việc loại bỏ độ đục, chất rắn lơ lửng và COD với hiệu suất lần lượt là 61,8%, và 39,08%, 52,67% ở pH nước thải là 6,9 trong công đoạn keo tụ - lắng. Qua đó nó nâng cao hiệu quả xử lý của các công đoạn sau trong hệ thống xử lý nước. CKT này đã mở rộng tiềm năng tái sử dụng tro bay nhiệt điện, giảm thiểu ô nhiễm

môi trường, tăng lợi ích kinh tế trong hoạt động nhiệt điện than Tuy nhiên trong phạm vi nghiên cứu của đề tài chỉ đánh giá hiệu quả xử lý đối với nước thải công nghiệp trên một số thông số cơ bản vì thế cần có thêm những nghiên cứu đối với những loại nước thải khác và đánh giá hiệu quả trên nhiều thông số hơn, hoặc có thể kết hợp thêm các phương pháp khác như điện phân, tuyển nổi,... để gia tăng hiệu quả xử lý.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu được hỗ trợ từ nguồn kinh phí dành cho hoạt động nghiên cứu khoa học của Trường Đại học Cần Thơ. Nhóm tác giả xin cảm ơn quý đồng nghiệp công tác tại các Phòng thí nghiệm Khoa Môi trường & Tài nguyên Thiên nhiên – Trường Đại học Cần Thơ đã hỗ trợ.

Tài liệu tham khảo

1. Kato, S., and K.Y. (2024). Comprehensive review of industrial wastewater treatment techniques. *Environmental Science and Pollution Research*, 31 (39), 51064–51097.
2. Lê Hoàng Việt và Nguyễn Võ Châu Ngân (2018). Giáo trình Kỹ thuật xử lý nước thải. *Nhà xuất bản Đại học Cần Thơ*.
3. Lee, C. S., Robinson, J., Chong, M. F. (2014). A review on application of flocculants in wastewater treatment. *Process safety and environmental protection*, 92(6), 489-508.
4. Oanh L.T.H, Hoàng P.V, Vân D.T. và Huấn N.H., (2022). Bước đầu sử dụng chất nhầy tách chiết từ vỏ quả thanh long trong quá trình keo tụ - tạo bông xử lý độ đục của nước. *Tạp chí Khoa học Đại học Quốc gia Hà Nội: Khoa học Trái đất và Môi trường*, 38(2), 13-20.
5. Meshitsuka, S., Aremu, D. A., Nose, T. (2002). A risk of Alzheimer's disease and aluminum in drinking water. *Psychogeriatrics*, 2(4), 263-268.
6. Buenaño, B., Vera, E., Aldás, M. B. (2019). Study of coagulating/flocculating characteristics of organic polymers extracted from biowaste for water treatment. *Ingeniería e Investigación*, 39(1), 24-35.
7. Mushtaq, F., Zahid, M., Bhatti, I. A., Nasir, S., Hussain, T. (2019). Possible applications of coal fly ash in wastewater treatment. *Journal of environmental management*, 240, 27-46.
8. Sun, T., Sun, C. H., Zhu, G. L., Miao, X. J., Wu, C. C., Lv, S. B., Li, W. J. (2011). Preparation and coagulation performance of poly-ferric-aluminum-silicate-sulfate from fly ash. *Desalination*, 268(1-3), 270-275.
9. Ho, N.T., Le, T.H.M., and Huynh, T.P. (2023) Characterization of Cement Pastes Incorporating Various Fly Ash Contents. *In The International Conference on Sustainable Civil Engineering and Architecture*, (Singapore: Springer Nature Singapore.), 720–730.
10. Viet, C. T., Ken, K., Ton, K. T., Hoang, G. N. (2022). Review on current situation of generation and management of coal ash in Vietnam. *GEOMATE Journal*, 22(91), 62-69.
11. Lưu Đình Thi và Lê Thị Thanh Tâm, (2021). Nghiên cứu thực nghiệm sản xuất gạch không nung từ tro đáy và tro bay của nhà máy nhiệt điện Nghi Sơn. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Hồng Đức*, 56, 95-102.

12. Li, L., Fan, M., Brown, R. C., Koziel, J. A., van Leeuwen, J. H. (2009). Production of a new wastewater treatment coagulant from fly ash with concomitant flue gas scrubbing. *Journal of hazardous Materials*, 162(2-3), 1430-1437.
13. Clotilde Apua, M., and Simate, G.S. (2018) Characterization of coal fly ash for the production of coagulant for usage in wastewater treatment. *Proceedings of the Materials Science and Technology, Canada*, 1512–1521.
14. Sahu, O.P., and Chaudhari, P.K. (2013) Review on chemical treatment of industrial waste water. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 17 (2), 241–257.
15. Zhou, Y. F., Haynes, R. J. (2010). Sorption of heavy metals by inorganic and organic components of solid wastes: significance to use of wastes as low-cost adsorbents and immobilizing agents. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 40(11), 909-977.
16. Bigham, J. M., Nordstrom, D. K. (2000). Iron and aluminum hydroxysulfates from acid sulfate waters. *Reviews in mineralogy and geochemistry*, 40(1), 351-403.
17. Dang, T., Marschner, P., Fitzpatrick, R., Mosley, L. (2018). Assessment of the binding of protons. Al and Fe to biochar at different pH values and soluble metal concentrations. *Water*, 10(1), 55.
18. Fan, M., Brown, R. C., Wheelock, T. D., Cooper, A. T., Nomura, M., Zhuang, Y. (2005). Production of a complex coagulant from fly ash. *Chemical Engineering Journal*, 106(3), 269-277.
19. Lê Hoàng Việt, Nguyễn Võ Châu Ngân, Nguyễn Văn Ngâm và Trịnh Dương Sơn Tùng, (2015). Xử lý sơ cấp nước thải chế biến cá tra bằng phương pháp keo tụ. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ. Phần A: Khoa học Tự nhiên, Công nghệ và Môi trường*, 40, 101-109.
20. Packman, J. J., Comings, K. J., Booth, D. B. (1999). Using turbidity to determine total suspended solids in urbanizing streams in the Puget Lowlands. *Water Environment Research*, 71(1), 49–57.
21. Tchobanoglous, G., Burton, F. L., Stensel, H. D. (2003). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*, 4th Ed. McGraw-Hill.