

ẢNH HƯỞNG CỦA NHIỆT ĐỘ VÀ THỜI GIAN XỬ LÝ ĐẾN SỰ GIẢI PHÓNG PHOT PHO TỪ Bùn THẢI

Effects of Treatment Temperature and Time on Phosphorus Release from Waste Activated Sludge

Đỗ Khắc Uẩn^{1,2*}, Rajesh banu³, Kaliappan S.³, Ick-Tae Yeom¹

¹ Department of Civil and Environmental Engineering, Sungkyunkwan University, Korea

² Viện Khoa học và Công nghệ Môi trường, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

³ Department of Civil Engineering, Anna University Tirunelveli, India

*Địa chỉ email tác giả liên hệ: dokhacuan@yahoo.com

TÓM TẮT

Nghiên cứu khả năng giải phóng photpho (P) ra khỏi bùn có ý nghĩa rất quan trọng để thu hồi và tái sử dụng P cho ngành công nghiệp phân bón. Nghiên cứu này tiến hành đánh giá ảnh hưởng của nhiệt độ và thời gian xử lý đến sự giải phóng P, nitơ (N), một số cation (Ca^{2+} , Mg^{2+}) và các chất hữu cơ (tính theo nhu cầu oxy hoá học, COD) ra khỏi bùn thải. Kết quả cho thấy ở 50°C tốc độ giải phóng của photphat ($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$) và tổng P (TP) tương đối thấp. Khi nhiệt độ tăng dần lên 80°C, tốc độ này diễn ra rất nhanh trong khoảng 2 h đầu tiên và giảm dần khi tăng thời gian xử lý. Ở cùng nhiệt độ và thời gian xử lý, hàm lượng chất rắn lơ lửng (MLSS) càng cao thì P được giải phóng càng nhiều. Tổng nitơ (TN) cũng giải phóng nhanh trong quá trình xử lý, nhưng nồng độ của amoni ($\text{NH}_4^+\text{-N}$), nitrat ($\text{NO}_3^-\text{-N}$), nitrit ($\text{NO}_2^-\text{-N}$) đều rất thấp. Sự giải phóng của Mg^{2+} tăng lên theo nhiệt độ và thời gian xử lý, trong khi đó Ca^{2+} lại suy giảm. Ở nhiệt độ càng cao, COD giải phóng càng lớn. MLSS giảm nhanh khi tăng nhiệt độ và thời gian xử lý. Kết luận chung: điều kiện thích hợp để giải phóng P và các chất vô cơ, hữu cơ ra khỏi bùn là 60°C, thời gian xử lý 2 h.

Từ khóa: Bùn thải, giải phóng nitơ, giải phóng photpho, giảm khối lượng bùn, nhiệt độ.

SUMMARY

Study on the potential of the phosphorus (P), which released from wasted sludge, plays an important role in P recovery and reuse for fertilizer industry. In the present study, the effects of temperature and time on the release of P, nitrogen (N), organic matters (Calculated as Chemical Oxygen demand COD), and some cations (Ca^{2+} , Mg^{2+}) from wasted sludge were examined. As a result, at 50°C the rate of phosphate ($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$) và total P (TP) release was relative low. When temperatures were increased up 80°C the releasing rates were much higher in the first two hour and then reduced gradually afterwards. At the same treatment temperature and time, the higher mixed liquid suspended solids (MLSS) concentration the higher P release was achieved. Total N (TN) was released quickly during sludge treatment, but ammonium ($\text{NH}_4^+\text{-N}$), nitrate ($\text{NO}_3^-\text{-N}$), nitrite ($\text{NO}_2^-\text{-N}$) concentrations were very low. Mg^{2+} release was increased with treatment temperature and time, whereas Ca^{2+} release was reduced. The more COD was released at higher temperature. MLSS concentration was reduced rapidly when treatment temperature and time were increased. In conclusion, 60°C and 2 hrs were considered as the proper conditions for the release of phosphorus, inorganic as well as organic compounds from wasted sludge.

Key words: Nitrogen release, phosphorus release, sludge reduction, temperature, wasted sludge.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Photpho (P) là nguyên tố đa lượng đóng vai trò rất quan trọng cho sự sống của tất cả các loài bao gồm các loại vi khuẩn, thực vật, động vật và cả con người (Karl, 2000). Tuy nhiên, P lại không thể tổng hợp được bằng phương pháp nhân tạo. Trong tự nhiên, P là nguồn tài nguyên không có khả năng tự phục hồi (Stanley, 2001). Các nguồn dự trữ P trên thế giới đã và đang bị khai thác với tốc độ tăng nhanh chóng. Ước tính, chỉ sau khoảng 20 năm nữa, nguồn tài nguyên này ở một số nước (ví dụ Canada, Togo, Senegal) sẽ bị cạn kiệt. Trung Quốc có trữ lượng quặng photphat lớn nhất, nhưng thời gian cạn kiệt ước tính cũng chỉ khoảng 125 năm nữa (Đỗ Khắc Uẩn và Đặng Kim Chi, 2008).

Mặt khác, nếu P thải vào nguồn nước tiếp nhận quá cao sẽ gây ra hiện tượng phú dưỡng, làm ảnh hưởng đến các sinh vật thủy sinh và môi trường (Đặng Kim Chi, 1999). P trong nước thải có thể được xử lý bằng phương pháp sinh học. Phương pháp này tạo ra bùn thải ra có hàm lượng P cao (Grady và cs., 1999). Khi P được giải phóng ra khỏi bùn, có thể được thu hồi bằng phương pháp (thường là dạng muối photphat) và có thể tái sử dụng cho ngành công nghiệp phân bón (de-Bashan và Bashan, 2004). Do đó, nghiên cứu và đánh giá các phương pháp hiệu quả để thực hiện quá trình giải phóng P ra khỏi bùn có ý nghĩa rất quan trọng và cần thiết. Quá trình giải phóng P ra khỏi bùn có thể được thực hiện bằng phương pháp sinh học dựa vào hoạt động của một số chủng vi khuẩn đặc trưng (ví dụ chủng vi khuẩn *Acinetobacter*) diễn ra trong điều kiện yếm khí (Tchobanoglous và cs., 2003). Phương pháp này đòi hỏi phải cung cấp đủ lượng cơ chất và hoàn toàn dựa vào các chức năng của loài vi khuẩn đặc trưng nêu trên. Để đạt hiệu quả xử lý cao, phương pháp này đòi hỏi phải duy trì chế độ vận hành ổn định. Bên cạnh đó, giải phóng P ra khỏi bùn bằng một

số phương pháp khác cũng đã được nghiên cứu, ví dụ phân giải bùn bằng nhiệt (Shanableh, 2000; Dwyer và cs., 2008), xử lý bùn bằng ozon (O_3) (Yan và cs., 2009; Campos và cs., 2009), hoặc xử lý bùn bằng hydro peroxit (H_2O_2) (Saayman và cs., 1996; Kim và cs., 2009). Trong các phương pháp nêu trên, phương pháp xử lý nhiệt có nhiều triển vọng nhất nếu nguồn năng lượng cho quá trình xử lý được tận thu từ nguồn khí sinh học sinh ra từ công đoạn phân giải yếm khí (Holm-Nielsen và cs., 2009). Do vậy, nếu kết hợp quá trình phân giải bùn yếm khí với phương pháp xử lý bùn bằng nhiệt để thu hồi P sẽ là một giải pháp có tính khả thi cao.

Mặc dù phương pháp xử lý bùn bằng nhiệt đã được một số tác giả nghiên cứu (Shanableh, 2000; Dwyer và cs., 2008). Tuy nhiên, các nghiên cứu đó chủ yếu tập trung đánh giá và ước tính hiệu quả giảm thể tích và khối lượng bùn thải, hoàn toàn không đề cập đến sự giải phóng các hợp chất có trong bùn thải xảy ra trong quá trình xử lý.

Nghiên cứu này tiến hành đánh giá ảnh hưởng của nhiệt độ và thời gian xử lý đến sự giải phóng photpho ra khỏi bùn thải trong quá trình xử lý bùn bằng phương pháp nhiệt. Bên cạnh đó, nghiên cứu cũng đánh giá sự giải phóng nitơ, các hợp chất hữu cơ, một số cation (Ca^{2+} , Mg^{2+}), và hiệu quả giảm hàm lượng chất rắn lơ lửng (MLSS) cũng như phân chất rắn bay hơi (VSS) ở các điều kiện xử lý khác nhau.

2. PHƯƠNG PHÁP THỰC HIỆN

2.1. Thí nghiệm xử lý bùn bằng phương pháp nhiệt

Các thí nghiệm xử lý bùn thải được tiến hành gián đoạn theo từng mẻ. Các mẫu bùn cần xử lý (thể tích mẫu là 100 mL, và có hàm lượng MLSS 7500 mg/L) được đưa vào các bình phản ứng tương ứng (có thể tích 150 mL). Các bình phản ứng này được đặt vào máy điều nhiệt (WiseBathWSB01018,

Daihan Scientific Co., Korea). Nhiệt độ thí nghiệm được điều chỉnh và kiểm soát các mức nhiệt độ 50, 60, 70 và 80°C nhờ bộ cảm biến nhiệt tự động. Bộ phận rung lắc đảm bảo hỗn hợp bùn trong bình phản ứng được đảo trộn đồng nhất trong thời gian thí nghiệm. Các thí nghiệm được tiến hành trong thời gian 5 h. Trong quá trình phản ứng, thành phần photpho và các hợp chất khác sẽ được giải phóng ra khỏi bùn. Định kỳ sau 30 phút, các mẫu bùn được lấy ra và tiến hành phân tích các thông số theo mục đích nghiên cứu. Để đảm bảo số liệu có độ tin cậy cao, tất cả thí nghiệm tại mỗi nhiệt độ được tiến hành lặp lại 3 lần, kết quả thu được là giá trị trung bình.

2.3. Phương pháp phân tích

Các mẫu thu được sau thời gian phản ứng được tiến hành ly tâm ở 5000 vòng/phút trong 5 phút (dùng máy ly tâm WiseSpinCF-10, Daihan Scientific Co., Korea). Một phần nước thu được dùng để phân tích các thông số nhu cầu oxi hóa học (COD), tổng photpho (TP), photphat ($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$), tổng nitơ (TN), nitrat ($\text{NO}_3\text{-N}$), nitrit ($\text{NO}_2\text{-N}$) và amoni ($\text{NH}_4^+\text{-N}$). Trong đó, COD, TP, $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$, TN, $\text{NO}_3\text{-N}$ và $\text{NO}_2\text{-N}$ được xác định bằng phương pháp so màu (trình tự thực hiện theo phương pháp chuẩn của APHA (2005) và đo bằng thiết bị Hach (Model DR/2500, Hach Corp., USA). $\text{NH}_4^+\text{-N}$ được xác định bằng phương pháp điện cực chọn lọc ion (Thermo Orion, Model 95-12, USA). Một phần mẫu sau phản ứng được lọc qua giấy lọc sợi thủy tinh, kích thước lỗ 0,45 μm (loại giấy lọc GD/X PVDF, Whatman, UK). Phần nước thu được dùng để phân tích nồng độ của các cation canxi (Ca^{2+}) và Magie (Mg^{2+}) bằng phương pháp sắc ký ion (sử dụng thiết bị Dionex DX-80 Ion Analyzer, Dionex Corp., USA). Phần mẫu bùn còn lại được dùng để xác định hàm lượng chất rắn lơ lửng (MLSS) và phần chất rắn bay hơi (VSS) theo phương pháp chuẩn của APHA (2005). Độ pH của các

mẫu được đo bằng thiết bị Horiba Navi[®]pH meter (Model F-54, Japan).

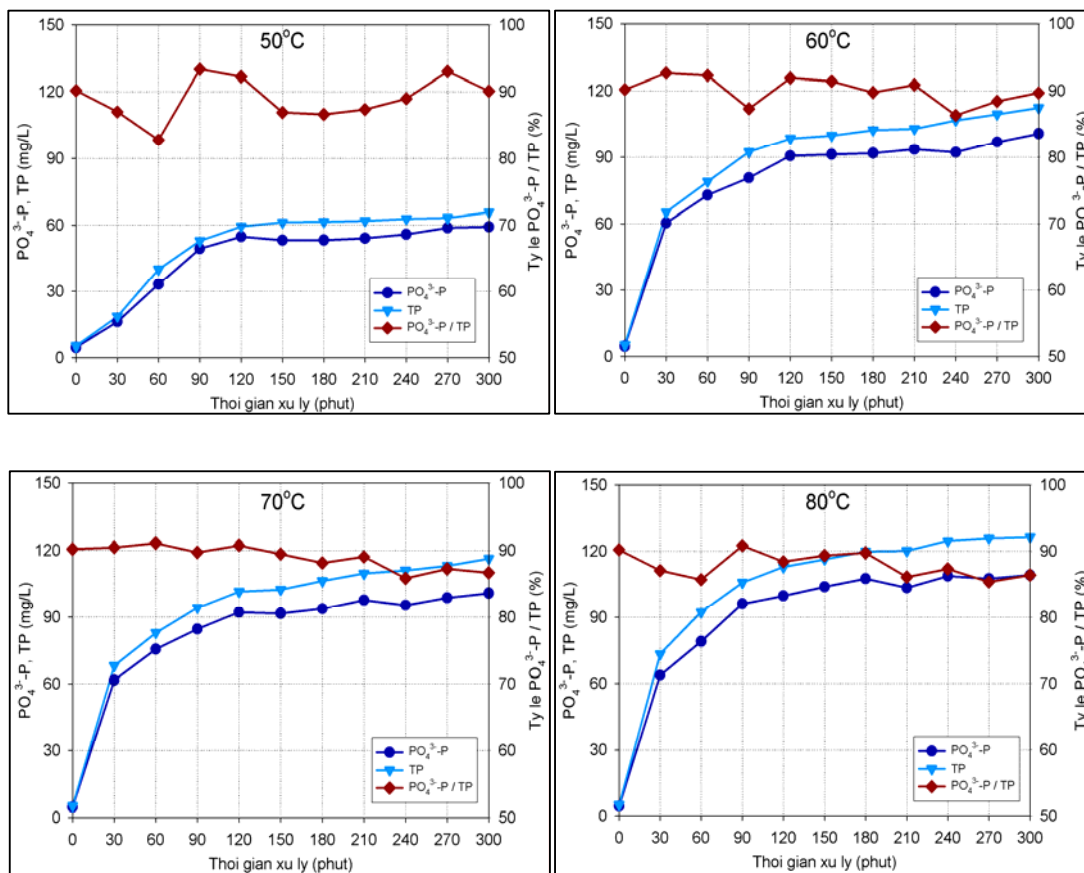
3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Ảnh hưởng của nhiệt độ và thời gian xử lý đến sự giải phóng photpho

Sự giải phóng của TP và $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ ra khỏi bùn trong quá trình xử lý bùn thải ở các nhiệt độ khác nhau (thay đổi từ 50 đến 80°C) (Hình 1) cho thấy, ở 50°C tốc độ giải phóng của cả $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ và TP đều tương đối thấp. Khi nhiệt độ xử lý tăng lên 60, 70 và 80°C, tốc độ giải phóng $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ và TP diễn ra rất nhanh trong khoảng 2 giờ đầu tiên và tốc độ này giảm dần khi tăng thời gian xử lý. Kết quả biểu diễn tỷ lệ giữa $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ và TP cho thấy rõ sự giải phóng $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ chiếm chủ yếu. Tuy nhiên, khi nhiệt độ tăng từ 50°C đến 80°C, tỷ lệ của $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ và TP lại có xu hướng suy giảm.

Từ các kết quả thu được (Hình 1) cho thấy, chỉ cần xử lý bùn thải ở 60°C là đảm bảo quá trình giải phóng $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ đạt hiệu quả. Cụ thể, sau 2 giờ xử lý bùn ở 60°C, lượng $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ giải phóng thu được là 90,5 mg/L, chiếm khoảng 91,8% tổng lượng TP đã giải phóng. Đối với việc thu hồi photpho, $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ đóng vai trò quan trọng hơn là TP (Song và cs., 2002). Kết quả của nghiên cứu này cho thấy, điều kiện thích hợp cho quá trình giải phóng photpho bằng phương pháp xử lý nhiệt là 60°C và thời gian xử lý là 2 giờ.

Một vấn đề nhỏ được đặt ra, hàm lượng MLSS có ảnh hưởng đến quá trình giải phóng P như thế nào? Một điều hiển nhiên là trong cùng một thể tích bùn cho trước, MLSS càng cao thì càng chứa nhiều P. Khi MLSS cao, tức là tỷ lệ nước trong đó giảm. Khi tỷ lệ nước giảm, thì năng lượng tiêu tốn cho quá trình đun nóng sẽ giảm. Điều này dễ hiểu bởi vì hầu như năng lượng cần cho quá trình xử lý bùn phụ thuộc chủ yếu vào lượng nước có trong thể tích bùn cần đun nóng.



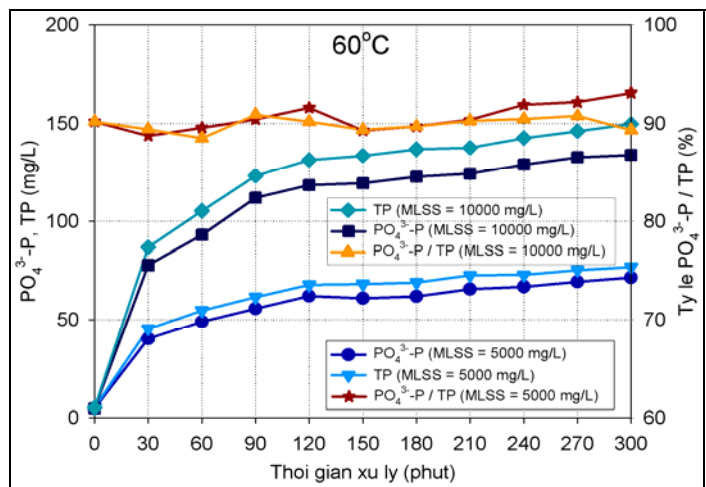
Hình 1. Ảnh hưởng của nhiệt độ và thời gian xử lý đến sự giải phóng photpho

Để xác định rõ hơn ảnh hưởng của MLSS đến sự giải phóng của photpho, nghiên cứu tiến hành hai thí nghiệm bổ sung với MLSS trong hai thí nghiệm này lần lượt 5000 và 10000 mg/L (bằng cách pha loãng mẫu bùn bằng nước cất hoặc gạn bỏ bớt phần nước trong sau khi lắng). Thí nghiệm bổ sung được tiến hành ở 60°C. Kết quả thu được (Hình 2) cho thấy rõ ảnh hưởng của MLSS đến sự giải phóng photpho. Khi MLSS được tăng lên gấp đôi, lượng P được giải phóng cũng tăng tương ứng khoảng 2 lần. Như vậy, MLSS là yếu tố quan trọng đối với quá trình xử lý bùn bằng phương pháp nhiệt. Ở cùng nhiệt độ xử lý, MLSS càng cao thì

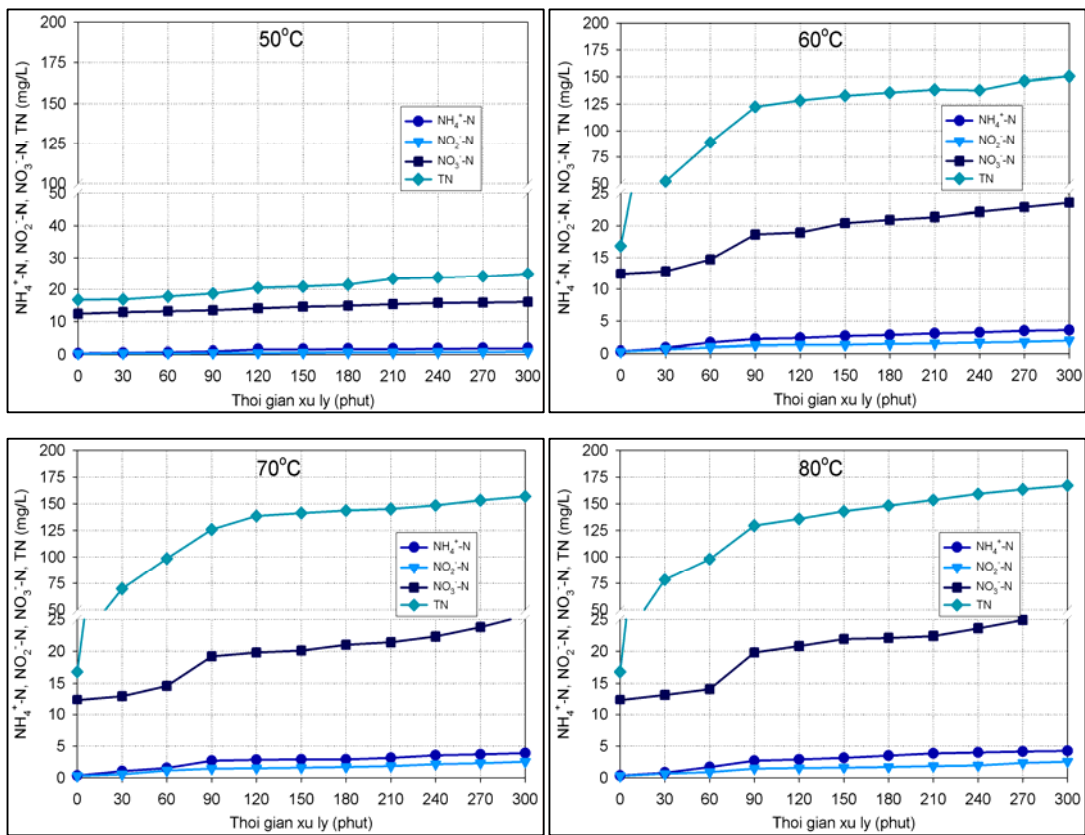
photpho được giải phóng càng nhiều. MLSS cao có thể tiết kiệm năng lượng, giảm chi phí vận hành đối với việc giải phóng P trong quá trình xử lý bùn bằng phương pháp nhiệt.

3.2. Ảnh hưởng của nhiệt độ và thời gian xử lý đến sự giải phóng nitơ

Hình 3 biểu diễn kết quả các hợp chất nitơ được giải phóng ra khỏi bùn trong quá trình xử lý nhiệt. Kết quả thu được cho thấy, TN cũng được giải phóng nhanh trong quá trình đun nóng, nhưng nồng độ của NH_4^+-N , $NO_3^- -N$, $NO_2^- -N$ đều rất thấp. Như vậy, lượng TN giải phóng trong quá trình xử lý chủ yếu chứa thành phần nitơ hữu cơ.

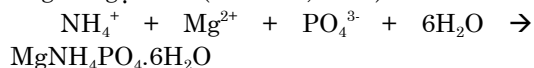


Hình 2. Ảnh hưởng của hàm lượng MLSS đến sự giải phóng photpho



Hình 3. Ảnh hưởng của nhiệt độ và thời gian xử lý đến sự giải phóng nitơ

Nitơ ở dạng $\text{NH}_4^+\text{-N}$ có thể được sử dụng trong một số quá trình thu hồi photpho, chẳng hạn quá trình kết tủa tạo thành magie amoni photphat hydrat (còn được gọi là tinh thể struvit) theo phương trình phản ứng rút gọn sau (Yi và cs., 2005).



Phương pháp thu hồi photpho ở dạng struvite có ưu điểm xử lý đồng thời cả photpho và nitơ ra khỏi nước thải. Nhưng trong nghiên cứu này, kết quả phân tích (Hình 3) cho thấy, nồng độ của $\text{NH}_4^+\text{-N}$ giải phóng quá thấp (chỉ dao động khoảng 1-4 mg/L). Do đó, kết tủa struvit sẽ rất khó hình thành trong điều kiện nghiên cứu này.

Kết nối công đoạn tiền xử lý bùn với hệ thống xử lý nước thải, cần lưu ý rằng, hỗn hợp bùn sau xử lý thường được tuần hoàn trở lại hệ thống (Shanableh, 2000). Khi đó, nếu nếu lượng nitơ giải phóng ra khỏi bùn quá lớn có thể làm cho tải lượng nitơ đầu vào hệ thống xử lý nước thải dư thừa, vượt quá khả năng xử lý nitơ của hệ thống. Do vậy, bắt buộc phải tính đến vấn đề hạn chế sự giải phóng của nitơ khi xử lý bùn bằng phương pháp nhiệt. Hay nói cách khác, cần hạn chế quá trình xử lý bùn ở dải nhiệt độ cao. Cân

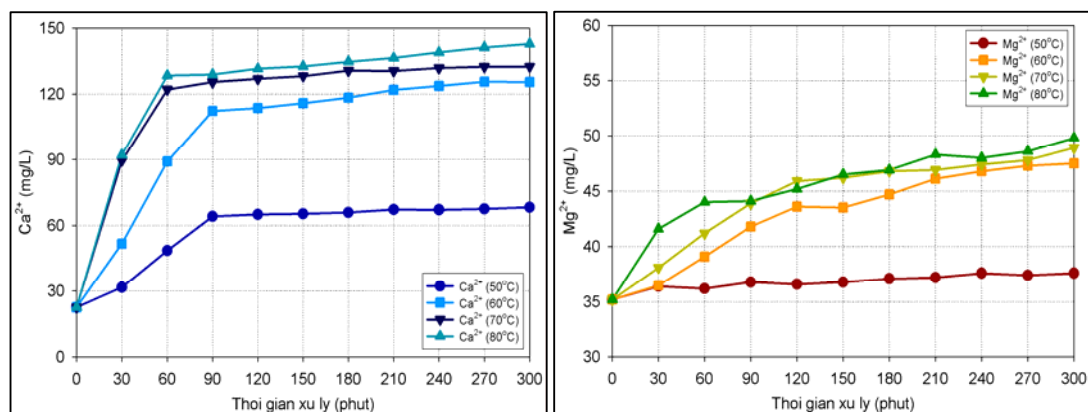
nhắc đến khía cạnh này, có thể lựa chọn nhiệt độ thích hợp cho quá trình giải phóng nitơ là 60°C (tương tự khoảng nhiệt độ thích hợp đối với quá trình giải phóng P).

3.3. Ảnh hưởng của nhiệt độ và thời gian xử lý đến sự giải phóng một số cation

Nghiên cứu này cũng tiến hành phân tích kiểm tra mức độ giải phóng của một số cation (Ca^{2+} , Mg^{2+}) trong dung dịch tách ra sau quá trình xử lý bùn. Kết quả thu được trên hình 4 cho thấy, sự giải phóng của Mg^{2+} tăng lên theo nhiệt độ và thời gian phản ứng, trong khi đó Ca^{2+} lại suy giảm rất rõ ràng khi nhiệt độ và thời gian phản ứng tăng lên.

Sự suy giảm của Ca^{2+} phản ánh quá trình kết tủa đã diễn ra. Điều này giải thích cho kết quả phân tích ở hình 1: $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ thu được càng thấp ở nhiệt độ càng cao. Nói cách khác đã có sự kết hợp giữa Ca^{2+} và $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ để tạo thành kết tủa canxi photphat trong quá trình xử lý bùn.

Như vậy, để hạn chế sự giải phóng của Ca^{2+} , là tác nhân tạo kết tủa làm giảm lượng $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ đã giải phóng, nên chọn khoảng nhiệt độ thấp cho quá trình xử lý bùn bằng phương pháp nhiệt.



Hình 4. Ảnh hưởng của nhiệt độ và thời gian xử lý đến sự giải phóng Ca^{2+} và Mg^{2+}

3.4. Ảnh hưởng của nhiệt độ và thời gian xử lý đến sự giải phóng các chất hữu cơ

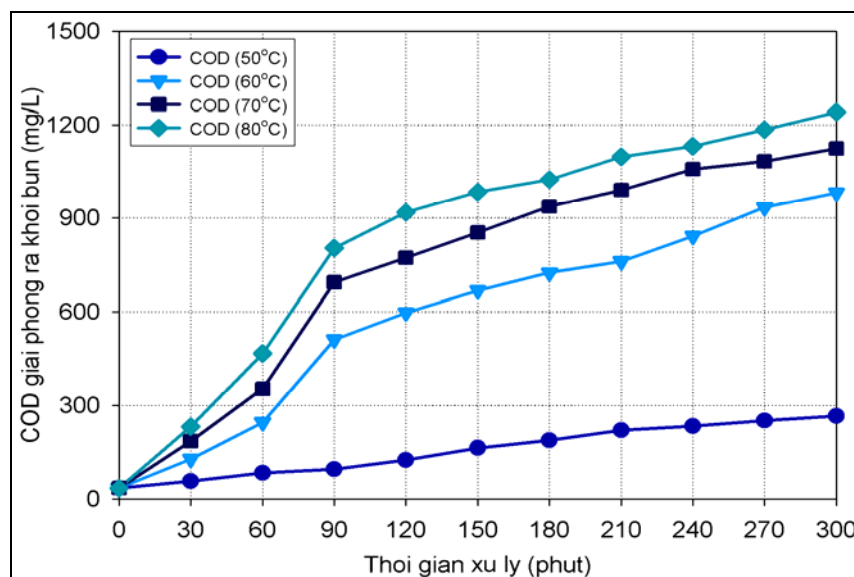
Trong nghiên cứu này, sự giải phóng của các chất hữu cơ được đánh giá thông qua phân tích nồng độ COD của dung dịch thu được sau quá trình xử lý nhiệt. Hình 5 biểu diễn kết quả phân tích nồng độ COD đã giải phóng. Kết quả thu được cho thấy, COD tăng lên đáng kể khi tăng nhiệt độ và thời gian xử lý. Ở nhiệt độ càng cao, COD giải phóng càng lớn. Như vậy, xử lý bùn bằng phương pháp nhiệt có ưu điểm là khả năng tạo ra một lượng đáng kể các chất hữu cơ hòa tan. Lượng COD giải phóng ra có thể dùng làm nguồn cung cấp chất hữu cơ bổ sung cho quá trình khử nitrat trong hệ thống xử lý nước thải.

Một số nghiên cứu cho thấy, thành phần các chất hữu cơ giải phóng trong quá trình xử lý bùn rất phức tạp, bao gồm nhiều hợp chất hữu cơ khác nhau, chẳng hạn các axit hữu cơ (như axit axetic, propionic, butyric, iso-butyric, valeric, và iso-valeric)

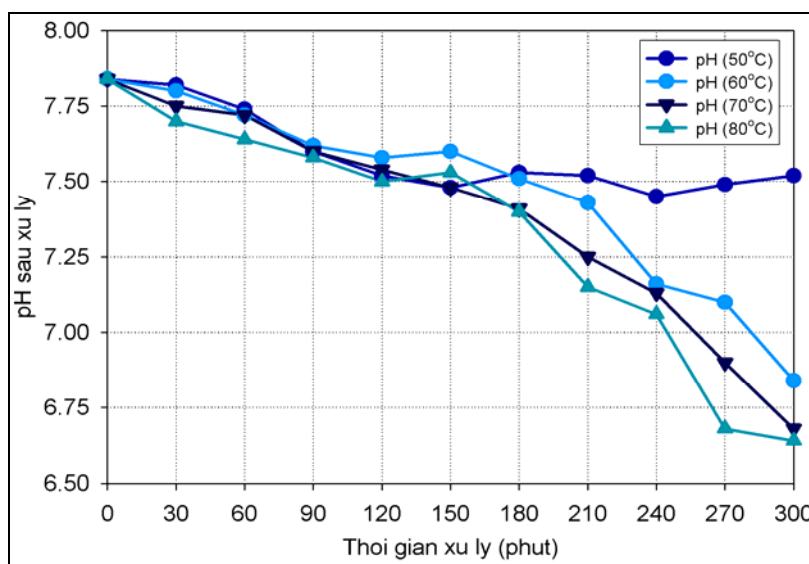
(Borowski và Szopa, 2007). Do điều kiện hạn chế về thiết bị phân tích trong thời gian tiến hành thực nghiệm, nên nghiên cứu này chưa có điều kiện để phân tích riêng biệt thành phần của các axit hữu cơ. Tuy nhiên, kết quả đo pH của các mẫu thí nghiệm (Hình 6) cho thấy, pH suy giảm nhanh sau quá trình xử lý, phần nào chứng tỏ đã có sự giải phóng các axit hữu cơ ra khỏi bùn trong quá trình xử lý.

3.5. Ảnh hưởng của nhiệt độ và thời gian xử lý đến khả năng giảm khối lượng bùn thải

Sự suy giảm về MLSS và VSS thu được trong quá trình xử lý nhiệt được thể hiện trên hình 7. Ở 50°C, tốc độ suy giảm MLSS và VSS rất chậm. Khi nhiệt độ đạt 60°C, tốc độ giảm MLSS và VSS tăng nhanh chóng, và khối lượng bùn giảm càng nhiều ở nhiệt độ càng cao. Kết quả thu được phù hợp với sự biến thiên giải phóng của P, N, COD và các cation Ca^{2+} , Mg^{2+} .



Hình 5. Ảnh hưởng của nhiệt độ và thời gian đến sự giải phóng COD



Hình 6. Sự biến thiên pH của các hỗn hợp bùn sau quá trình xử lý

4. KẾT LUẬN

Trong quá trình xử lý bùn thải bằng phương pháp nhiệt, không chỉ photpho mà cả nitơ, một số cation (Ca^{2+} , Mg^{2+}) và các chất hữu cơ cũng được giải phóng ra khỏi bùn.

Kết quả cụ thể:

- Ở 50°C tốc độ giải phóng của cả $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ và TP đều tương đối thấp. Khi nhiệt độ xử lý tăng đến 80°C, tốc độ giải phóng $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ và TP diễn ra rất nhanh trong khoảng 2 giờ đầu tiên và sau đó giảm dần.

- Hàm lượng MLSS có ảnh hưởng lớn đến sự giải phóng photpho. ở cùng nhiệt độ xử lý, khi MLSS được tăng lên gấp đôi, lượng P được giải phóng cũng tăng tương ứng khoảng 2 lần.

- TN cũng được giải phóng nhanh trong quá trình xử lý, nhưng nồng độ của $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_3^-\text{-N}$, $\text{NO}_2^-\text{-N}$ đều rất thấp.

- Sự giải phóng của Mg^{2+} tăng lên theo nhiệt độ và thời gian xử lý, trong khi đó Ca^{2+} lại suy giảm, phản ánh có quá trình kết tủa canxi photphat trong quá trình xử lý.

- COD tăng lên đáng kể khi tăng nhiệt độ và thời gian xử lý.

- Tốc độ và khối lượng MLSS, VSS giảm nhanh khi tăng nhiệt độ và thời gian xử lý, phù hợp với sự biến thiên giải phóng của P, N, COD và các cation Ca^{2+} , Mg^{2+} .

Kết luận chung: hàm lượng MLSS là yếu tố quan trọng đối với quá trình xử lý bùn bằng phương pháp nhiệt. Điều kiện thích hợp cho quá trình giải phóng photpho và các hợp chất vô cơ, hữu cơ ra khỏi bùn xử lý bằng phương pháp nhiệt là 60°C và thời gian xử lý 2 h.

Lời cảm ơn

Các tác giả chân thành cảm ơn Chương trình BK21 - Bộ Giáo dục, Khoa học và Hàn Quốc, và Đại học Sungkyunkwan đã tài trợ kinh phí và cơ sở vật chất cho nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

APHA (2005). Standard methods for the examination of water and wastewater. 21st edition, American Water Works Association, Water Pollution and Control Federation, Washington, DC. USA.

- Borowski, S. and J. S. Szopa (2007). Experiences with the dual digestion of municipal sewage sludge. *Bioresource Technology*, 98: 1199-1207.
- Campos, J. L., L. Otero, A. Franco, A. Mosquera-Corral and E. Roca (2009). Ozonation strategies to reduce sludge production of a seafood industry WWTP. *Bioresource Technology*, 100: 1069-1073.
- Đặng Kim Chi (1999). Hóa học môi trường. NXB. Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, tr. 93-94.
- De-Bashan, L. E. and Y. Bashan (2004). Recent advances in removing phosphorus from wastewater and its future use as fertilizer. *Water Research*, 38: 4222-4246.
- Đỗ Khắc Uẩn và Đặng Kim Chi (2008). Tình trạng khan hiếm photpho và sự cần thiết của việc tái sử dụng nguồn thải chứa photpho. *Tạp chí Khoa học và Phát triển*, Trường Đại học Nông nghiệp Hà Nội, VI(6): 570-577.
- Dwyer, J., D. Starrenburg, S. Tait, K. Barr, D. J. Batstone and P. Lant (2008). Decreasing activated sludge thermal hydrolysis temperature reduces product colour, without decreasing degradability. *Water Research*, 42: 4699-4709.
- Grady, C. P. L., G. T. Daigger and H. C. Lim (1999). Biological wastewater treatment. New York: Marcel Dekker, USA, p. 134 -136.
- Holm-Nielsen, J. B., T. Al Seadi and P. Oleskowicz-Popiel (2009). The future of anaerobic digestion and biogas utilization. *Bioresource Technology*, 100: 5478-5484.
- Karl, D. M. (2000). Aquatic ecology: Phosphorus, the staff of life. *Nature*, 406: 31 - 33.
- Kim, T.-H., S.-R. Lee, Y.-K. Nam, J. Yang, C. Park and M. Lee (2009). Disintegration of excess activated sludge by hydrogen peroxide oxidation. *Desalination*, 246: 275-284.
- Saayman, G. B., C. F. Schutte and J. van Leeuwen (1996). The effect of chemical bulking control on biological nutrient removal in a full scale activated sludge plant. *Water Science and Technology*, 34: 275-282.
- Shanableh, A. (2000). Production of useful organic matter from sludge using hydrothermal treatment. *Water Research*, 34: 945-951.
- Song, Y., H. H. Hahn and E. Hoffmann (2002). Effects of solution conditions on the precipitation of phosphate for recovery: A thermodynamic evaluation. *Chemosphere*, 48: 1029-1034.
- Stanley, E. M. (2001). Fundamentals of environmental chemistry. 2nd ed., Lewis Publishers London, UK, p. 656-658.
- Tchobanoglous, G., F. L. Burton and H. D. Stensel (2003). Wastewater engineering: Treatment, disposal and reuse. 4th edn. McGraw-Hill, New York, p. 799-801.
- Yan, S.-T., L.-B. Chu, X.-H. Xing, A.-F. Yu, X.-L. Sun and B. Jurcik (2009). Analysis of the mechanism of sludge ozonation by a combination of biological and chemical approaches. *Water Research*, 43: 195-203.
- Yi, W., K. V. Lo, D. S. Mavinic, P. H. Liao and F. Koch (2005). The effects of magnesium and ammonium additions on phosphate recovery from greenhouse wastewater. *Journal of Environmental Science and Health*, Part B, 40: 363 - 374.