

Nghiên cứu xác định chỉ số COD, TOC theo phương pháp đo quang vùng tử ngoại và ứng dụng theo dõi quá trình phân hủy potassium hydrogen phthalate bằng hệ oxy hóa $\text{H}_2\text{O}_2\text{-HCO}_3^-$

Nguyễn Thị Bích Việt^{1*}, Nguyễn Bích Ngân¹, Trần Thị Thêu¹, Vũ Thị Diệu²

¹Khoa Hóa học, Trường Đại học Sư phạm Hà Nội

²Khoa Tự nhiên, Trường Cao đẳng Sư phạm Thái Bình

Ngày nhận bài 13/9/2021; ngày chuyển phản biện 17/9/2021; ngày nhận phản biện 15/10/2021; ngày chấp nhận đăng 22/10/2021

Tóm tắt:

Trong nghiên cứu này, các chỉ số COD (nhu cầu oxy hóa học) và TOC (tổng carbon hữu cơ) trong hệ oxy hóa $\text{H}_2\text{O}_2\text{-HCO}_3^-$ chứa potassium hydrogen phthalate (KHP) được xác định bằng phương pháp phổ hấp thụ quang ở vùng tử ngoại - UV (260-310 nm) và các yếu tố ảnh hưởng tới độ hấp thụ quang như pH, nồng độ H_2O_2 được khảo sát. Các đường chuẩn xác định COD và TOC thu được lần lượt là: $\text{Abs} = (3,10 \pm 0,04) \times 10^{-3} \times \text{COD} - (0,015 \pm 0,003)$ ($R^2 = 0,9996$) với $\text{LOD} = 5,1 \text{ mg O}_2/\text{l}$ và $\text{LOQ} = 13,6 \text{ mg O}_2/\text{l}$; $\text{Abs} = (0,008 \pm 0,0001) \times \text{TOC} - (0,015 \pm 0,003)$ ($R^2 = 0,9996$) với $\text{LOD} = 1,6 \text{ mg/l}$ và $\text{LOQ} = 5,4 \text{ mg/l}$. Phương pháp này được ứng dụng để theo dõi sự phân hủy KHP bởi tác nhân oxy hóa HCO_4^- hình thành *in-situ* trong hệ $\text{H}_2\text{O}_2\text{-HCO}_3^-$. Kết quả cho thấy, hiệu suất xử lý KHP tính theo COD và TOC của hệ oxy hóa này đạt khoảng 85% sau 90 phút chiếu tia UV. Phổ hấp thụ vùng UV và sắc ký đồ HPLC cho thấy, sản phẩm của quá trình phân hủy không còn hợp chất vòng thơm.

Từ khóa: chỉ số COD, hệ oxy hóa $\text{H}_2\text{O}_2\text{-HCO}_3^-$, KHP, phương pháp phổ hấp thụ UV, TOC.

Chỉ số phân loại: 1.5

Đặt vấn đề

Với tình trạng ô nhiễm nguồn nước đang ngày càng gia tăng, việc xử lý và theo dõi chất lượng có ý nghĩa quan trọng trong quản lý và bảo vệ tài nguyên nước. COD và TOC là hai chỉ số quan trọng dùng để đánh giá mức độ ô nhiễm chất hữu cơ trong nước. Các phương pháp tiêu chuẩn dùng để xác định hai chỉ số này thường đòi hỏi thời gian phân tích dài, cần sử dụng các thuốc thử độc hại hoặc có máy móc thiết bị chuyên dụng [1-3]. Ngoài ra, nếu quá trình xử lý chất hữu cơ trong nước thải có sử dụng các chất oxy hóa (như trong các hệ oxy hóa tiên tiến Fenton, $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$, O_3 ...) thì việc theo dõi 2 chỉ số COD, TOC bằng các phương pháp tiêu chuẩn sẽ bị ảnh hưởng bởi chính các tác nhân oxy hóa khử có trong hệ. Do vậy, việc nghiên cứu và phát triển các phương pháp phân tích đơn giản, thân thiện với môi trường, ít tốn thời gian, đặc biệt là khắc phục được các yếu tố ảnh hưởng đã và đang được quan tâm nghiên cứu. Do hầu hết các hợp chất hữu cơ không mang màu đều có UV nên phương pháp đo UV có thể là một trong những giải pháp thay thế khả thi trong việc xác định COD và TOC. Ưu điểm của phương pháp này là không cần xử lý mẫu bằng hóa chất hay nhiệt độ cao và có thể định lượng liên tục [4, 5]. Tuy nhiên, ngay cả các nghiên cứu sử dụng phương pháp đo quang ở nhiều bước sóng khác nhau trong vùng UV kết hợp thuật toán hồi quy đa biến [5], các yếu tố vô cơ có trong hệ đều có thể ảnh hưởng đến UV đo được. Vì vậy, việc đánh giá tính khả thi

của phương pháp phân tích này cho từng nguồn nước riêng biệt là cần thiết. Cụ thể, trong nghiên cứu này, đối tượng chất hữu cơ được sử dụng để phát triển phương pháp xác định chỉ số COD, TOC bằng phương pháp đo quang vùng UV là KHP, một carboxylic acid thơm hai chức khá bền, đồng thời cũng là chất chuẩn trong các quy trình chuẩn xác định COD, TOC [1, 2].

Bên cạnh đó, một trong những hệ oxy hóa nâng cao thân thiện với môi trường đang được quan tâm nghiên cứu trong xử lý ô nhiễm chất hữu cơ, đặc biệt là các chất màu dệt nhuộm, là sử dụng tác nhân oxy hóa peroxymonocarbonate HCO_4^- hình thành *in-situ* trong hệ $\text{H}_2\text{O}_2\text{-HCO}_3^-$ [6]. Việc khoáng hóa các chất màu chứa hệ thơm liên hợp này thường phải đi qua quá trình phân hủy các hợp chất vòng thơm đơn giản như KHP, salicylic acid, phenol... Mục đích của nghiên cứu này là nhằm xây dựng một phương pháp đơn giản để phân tích nồng độ chất hữu cơ (đại diện là hợp chất KHP) thông qua chỉ số COD và TOC mà không cần qua giai đoạn xử lý mẫu hay đòi hỏi thiết bị chuyên dụng như trong các phương pháp tiêu chuẩn để xác định 2 chỉ số này. Vì vậy, nghiên cứu của chúng tôi tập trung vào 2 nhiệm vụ chính: (i) Khảo sát các yếu tố ảnh hưởng như pH, nồng độ của hỗn hợp $\text{H}_2\text{O}_2\text{-HCO}_3^-$ tới việc xác định nồng độ KHP, chỉ số COD, TOC bằng phương pháp đo quang vùng UV ($\lambda_{\text{max}} = 273 \text{ nm}$); (ii) Áp dụng quy trình phân tích vào việc theo dõi quá trình phân hủy KHP bằng hệ oxy hóa $\text{H}_2\text{O}_2\text{-HCO}_3^-$.

*Tác giả liên hệ: Email: vietntb@hnue.edu.vn

COD, TOC determination using UV spectrophotometry and its application to monitor the potassium hydrogen phthalate degradation by H_2O_2 - HCO_3^- oxidation system

Thi Bích Việt Nguyễn^{1*}, Bích Ngan Nguyễn¹,
Thi Thu Trần¹, Thi Diu Vũ²

¹Faculty of Chemistry, Hanoi National University of Education

²Faculty of Science, Thai Binh College of Education and Training

Received 13 September 2021; accepted 22 October 2021

Abstract:

In this study, the COD and TOC in H_2O_2 - HCO_3^- oxidation system containing potassium hydrogen phthalate were determined by UV spectrophotometry (260-310 nm). The pH and H_2O_2 concentrations were investigated as factors influencing the absorbance measurements. The obtained standard curves were $\text{Abs} = (3.10 \pm 0.04) \times 10^{-3} \times \text{COD} - (0.015 \pm 0.003)$ ($R^2 = 0.9996$) with LOD of 5.1 mg O_2/l and LOQ of 13.6 mg O_2/l , and $\text{Abs} = (0.008 \pm 0.0001) \times \text{TOC} - (0.015 \pm 0.003)$ ($R^2 = 0.9996$) with LOD of 1.6 mg/l and LOQ of 5.4 mg/l. The method was applied to monitor the degradation of potassium hydrogen phthalate by the H_2O_2 - HCO_3^- oxidation system. The results revealed that the COD and TOC removal efficiencies reached ~85% after 90 minutes of UVC irradiation. The UV spectra and HPLC chromatographs showed that no aromatic compounds were obtained in the degradation products.

Keywords: COD, H_2O_2 - HCO_3^- oxidation system, KHP, TOC, UV spectrophotometry.

Classification number: 1.5

Đối tượng và phương pháp

Dung dịch nghiên cứu kali hydrophthalate được pha hàng ngày từ dung dịch gốc 2.000 ppm; hỗn hợp chất oxy hoá H_2O_2 1,0 M - HCO_3^- 0,5 M được điều chế 50 phút trước khi sử dụng [6]; các dung dịch ion kim loại Cu^{2+} , Mn^{2+} , Fe^{2+} , Ni^{2+} , Co^{2+} 50 ppm được pha ngay trước khi làm thí nghiệm từ dung dịch gốc 1.000 ppm. Các dung dịch để xác định giá trị COD đối chứng (theo phương pháp tiêu chuẩn) được chuẩn bị theo hướng dẫn trong TCVN 6491:1999 [1].

Để khảo sát ảnh hưởng của pH tới phổ hấp thụ vùng UV của KHP, pH của dung dịch trong khoảng 4-10 được điều chỉnh bằng máy đo Lab850 (điện cực BlueLine). Phổ hấp thụ được đo bằng máy UV-Vis Biochrom S60. Giá trị

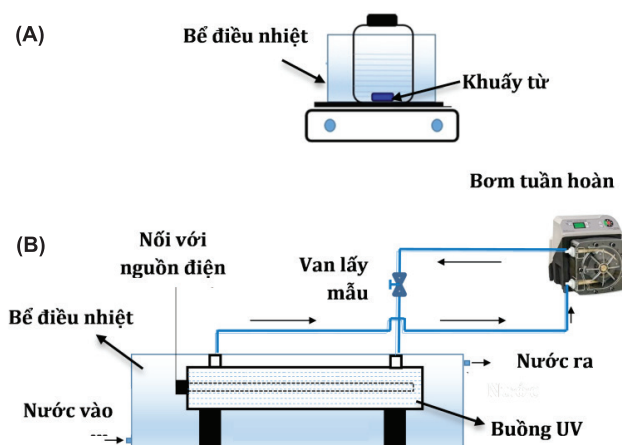
TOC đối chứng (theo phương pháp tiêu chuẩn) được đo trên máy Multi-N/C 2100 TOC analyser (Analytik Jena AG). Các điều kiện đo sắc ký HPLC-SPD M20A (Shimadzu): cột C18 (4,5×150 mm, 5 μm), pha động acetonitrile (ACN): đệm phosphate (PBS) 0,02 M (pH 4,7) là 30:70 (v/v), tốc độ dòng 1 ml/phút, nhiệt độ lò 40°C, thể tích bơm mẫu 20 μl và bước sóng 273 nm.

Đường chuẩn xác định KHP, COD, TOC bằng phương pháp đo quang UV

Khảo sát phổ hấp thụ vùng UV của dung dịch KHP 80 ppm với các thông số ảnh hưởng là pH (pH=4-10), nồng độ H_2O_2 (2-80 ppm). Đường chuẩn xác định KHP, COD, TOC được xây dựng trong khoảng nồng độ KHP từ 15 đến 100 ppm ở pH=8. Độ đúng, độ lặp và tái lặp của đường chuẩn được xác định theo AOAC [7].

Nghiên cứu sự phân hủy KHP bằng hệ H_2O_2 - HCO_3^-

Hệ phản ứng được thiết kế như ở hình 1 và các thí nghiệm được thiết kế theo [6]. Quy trình chung để nghiên cứu sự phân hủy KHP như sau: dung dịch tác nhân oxy hóa (H_2O_2 - HCO_3^-) được chuẩn bị bằng cách trộn H_2O_2 với HCO_3^- (theo tỷ lệ mol 1:2) 40 phút trước khi bắt đầu phản ứng. Sau đó, với thí nghiệm không chiếu bức xạ UV, hỗn hợp phản ứng được chuẩn bị bằng cách trộn dung dịch KHP với dung dịch chất oxy hoá, thêm xúc tác ion kim loại, điều chỉnh pH tới 8 bằng dung dịch NaOH 0,05 M trong bình phản ứng (hình 1A). Còn với thí nghiệm có bức xạ UV, hỗn hợp phản ứng được bơm tuần hoàn qua buồng UV (hình 1B). Nồng độ KHP còn lại theo thời gian được theo dõi bằng cách định kỳ lấy ~2 ml hỗn hợp phản ứng, loại bỏ H_2O_2 dư (do H_2O_2 cũng hấp thụ quang ở vùng 260-310 nm nên có thể gây cản trở việc định lượng KHP), rồi đo quang ở vùng UV (260-310 nm). Việc loại bỏ H_2O_2 dư được thực hiện bằng cách đun ở



Hình 1. Sơ đồ hệ phản ứng không bức xạ UV (A) và hệ phản ứng có bức xạ UV (B).

90°C trong 30 phút [8]. Trong quy trình này, các yếu tố ảnh hưởng đến sự phân hủy KHP đã được khảo sát gồm: xúc tác ion kim loại M^{2+} (lần lượt là Cu^{2+} , Mn^{2+} , Fe^{2+} , Ni^{2+} , Co^{2+} và hỗn hợp $Co^{2+}-Cu^{2+}$), nồng độ các chất trong hỗn hợp phản ứng và bức xạ UV.

Điều kiện khảo sát khả năng xúc tác của các ion kim loại: $[KHP]=80$ ppm, $[HCO_3^-]=3$ mM, $[H_2O_2]=6$ mM, pH=9,5, $[M^{2+}]=0,1$ ppm (hoặc hỗn hợp Co^{2+} 0,1 ppm - Cu^{2+} 0,1 ppm).

Điều kiện khảo sát sự phân hủy KHP với nồng độ chất oxy hóa lớn: $[HCO_3^-]=100$ mM, $[H_2O_2]=200$ mM, các điều kiện khác giữ nguyên.

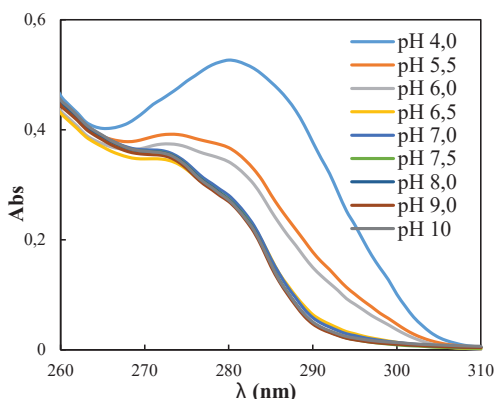
Điều kiện khảo sát ảnh hưởng của bức xạ UV: $[KHP]=80$ ppm, $[HCO_3^-]=3$ mM, $[H_2O_2]=6$ mM, $[Co^{2+}]=0,1$ ppm, pH=8, bức xạ UVC 12W ($\lambda_{max}=254$ nm, chiếu liên tục).

Giá trị COD và TOC của dung dịch KHP trong quá trình phân hủy được xác định bằng phương pháp đường chuẩn UV tại bước sóng tối ưu. Giá trị COD này được so sánh với giá trị xác định theo phương pháp tiêu chuẩn [1]. Giá trị TOC được so sánh với kết quả xác định trên máy đo chuyên dụng Multi-N/C 2100 TOC analyser. Các thí nghiệm được lặp lại 3 lần.

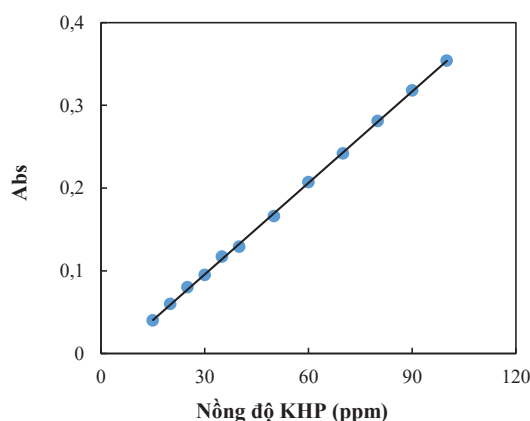
Kết quả và thảo luận

Đường chuẩn xác định nồng độ KHP, COD, TOC bằng phương pháp đo quang vùng UV ($\lambda=273$ nm)

UV của dung dịch KHP với nồng độ 80 ppm được khảo sát trong vùng UV từ 260 đến 310 nm ở các pH khác nhau (pH=4-10). Kết quả hình 2 cho thấy, bước sóng hấp thụ cực đại của KHP tại pH=4 là 280 nm, cực đại này giảm dần và dịch chuyển về phía bước sóng ngắn hơn khi tăng pH. Với các pH từ 5,5 đến 10, bước sóng hấp thụ cực đại duy trì ổn định ở 273 nm. Do vậy, UV ở bước sóng 273 nm được dùng để xây dựng đường chuẩn xác định nồng độ KHP trong môi trường pH=8, kết quả được thể hiện ở hình 3.



Hình 2. Phổ hấp thụ vùng UV của dung dịch KHP (80 ppm) ở các pH khác nhau.



Hình 3. Đường chuẩn xác định KHP.

Trong khoảng nồng độ KHP từ 15 đến 100 ppm, UV phụ thuộc tuyến tính vào KHP. Xử lý số liệu theo phương pháp bình phương tối thiểu (hàm LINEST-Excel) thu được các thông số thống kê của đường chuẩn như sau:

$$Abs = (3,68 \pm 0,05) \times 10^{-3} \times C_{KHP} - (0,015 \pm 0,003) \quad (1)$$

với $R^2=0,9996$. Giá trị LOD và LOQ xác định được tương ứng là 3,5 và 11,6 ppm.

Độ lặp, độ đúng của phương trình đường chuẩn được xác định cho kết quả CV=0,7%, độ tái lặp được xác định cho kết quả CV=2,59% (với độ tin cậy là 95%) là phù hợp với tiêu chuẩn của AOAC.

Trong các tài liệu tham khảo nghiên cứu xác định COD, TOC theo phương pháp đo quang UV sử dụng các thuật toán hồi quy đa biến [5] cho thấy, có thể sử dụng phương pháp đo phổ hấp thụ UV để xác định COD, TOC với độ chính xác và tin cậy cho phép. Tuy nhiên, trong nghiên cứu này, việc phân hủy KHP bằng hệ $H_2O_2-HCO_3^-$ với sự có mặt của H_2O_2 có thể ảnh hưởng đến giá trị UV tại vùng 260-310 nm. Dung dịch KHP 80 ppm khi có mặt H_2O_2 với nồng độ thay đổi từ 2 đến 80 ppm cho thấy, khi nồng độ H_2O_2 nhỏ hơn 20 ppm thì không ảnh hưởng đến UV của KHP ($SD < 3\%$).

Theo [1, 9], COD của dung dịch KHP 850 ppm là 1.000 mg/l, thay $C_{KHP}=850/1000 \times COD$ vào phương trình (1) thu được:

$$Abs = (3,10 \pm 0,04) \times 10^{-3} \times COD - (0,015 \pm 0,003) \quad (2)$$

với $R^2=0,9996$. Giá trị LOD và LOQ xác định được lần lượt là 5,1 và 13,6 mg O_2 /l.

Theo [3, 10], TOC của dung dịch KHP 204,22 ppm là 96 mg/l, thay $C_{KHP}=204,22/96 \times TOC$ vào phương trình (1) thu được:

$$Abs = (0,008 \pm 0,0001) \times TOC - (0,015 \pm 0,003) \quad (3)$$

với $R^2=0,9996$. Giá trị LOD và LOQ xác định được tương ứng 1,6 và 5,4 mg/l.

Tóm lại, có thể tóm tắt quy trình xác định COD và TOC

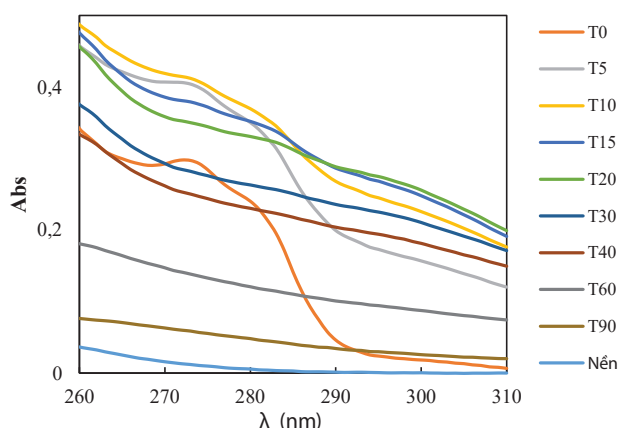
của mẫu phân tích như sau: i) Pha ít nhất 7 dung dịch chuẩn KHP có nồng độ trong khoảng 15-100 ppm bằng nước khử ion; ii) Đo UV (Abs) của các dung dịch này ở bước sóng 273 nm; iii) Thiết lập đường chuẩn sự phụ thuộc Abs = $a \times C_{KHP} + b$; iv) Quy đổi sang phương trình tính COD: Abs = $a \times (850/1000) \times COD + b$; v) Quy đổi sang phương trình tính TOC: Abs = $a \times (204,22/96) \times TOC + b$; vi) Đo UV Abs của dung dịch phân tích ở bước sóng 273 nm, thay giá trị Abs này vào phương trình ở bước iv và v thu được giá trị COD, TOC tương ứng.

Nghiên cứu sự phân huỷ KHP bằng hệ $H_2O_2-HCO_3^-$

Ảnh hưởng của xúc tác: theo [5], các ion kim loại có vai trò xúc tác trong quá trình phân huỷ các hợp chất hữu cơ bằng hệ $H_2O_2-HCO_3^-$. Các khảo sát phân huỷ KHP khi có mặt lần lượt các ion kim loại sau 120 phút cho thấy hầu như không có sự giảm nồng độ KHP ($CV < 0,5\%$). Tuy nhiên, các nghiên cứu khác của chúng tôi về khả năng phân huỷ chất màu của hệ $H_2O_2-HCO_3^-$ cho thấy vai trò đáng kể của ion Co^{2+} [6]. Do vậy, các nghiên cứu phân huỷ KHP vẫn được thực hiện khi có mặt Co^{2+} 0,1 ppm.

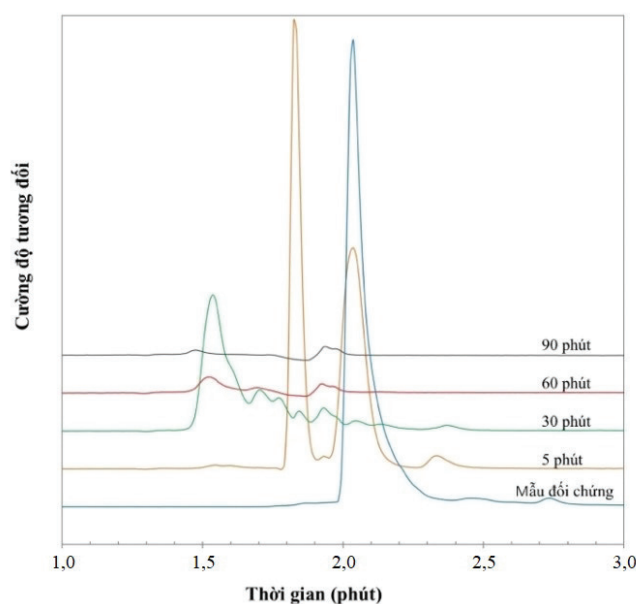
Ảnh hưởng của nồng độ chất oxy hóa: ở một điều kiện phản ứng tương đương với điều kiện phân huỷ chất màu Reactive Blue 19 [6], kết quả cho thấy, sự phân huỷ KHP bằng dung dịch chất oxy hóa ở nồng độ cao (HCO_3^- 100 mM, H_2O_2 200 mM) sau 120 phút là hầu như không đáng kể khi không chiếu bức xạ UV ($CV=3,1\%$).

Ảnh hưởng của bức xạ UV: ở điều kiện có chiếu UVC với sự có mặt của xúc tác Co^{2+} , phổ hấp thụ của hỗn hợp phản ứng phân huỷ KHP theo thời gian chiếu bức xạ được thể hiện ở hình 4. Kết quả cho thấy, sau 5 phút đã có sự phân huỷ KHP thành các hợp chất trung gian, làm cho phổ hấp thụ tại khoảng 260-310 nm tăng lên, nhưng vẫn còn quan sát thấy đỉnh hấp thụ của KHP tại 273 nm (và vai hấp thụ tại 280 nm) cho đến khi thời gian chiếu là 20 phút. Sau đó, các sản phẩm trung gian tiếp tục phân huỷ và phổ hấp thụ giảm dần về giá trị nền.



Hình 4. Phổ hấp thụ vùng UV (260-310 nm) của hệ KHP, $H_2O_2-HCO_3^-$, Co^{2+} ở các thời gian chiếu UV khác nhau (0-90 phút).

Kết quả tương tự cũng được quan sát thấy trong sắc ký đồ HPLC được thể hiện ở hình 5. Hơn nữa, sắc ký đồ của hỗn hợp phản ứng sau 90 phút chiếu UV cho thấy không còn các hợp chất trung gian hấp thụ tại 273 nm, bao gồm cả các hợp chất có vòng thơm.



Hình 5. Sắc ký đồ của hệ KHP, $H_2O_2-HCO_3^-$, Co^{2+} ở thời gian chiếu UV khác nhau.

Từ các kết quả trên cho thấy, việc phân huỷ KHP bởi hệ $H_2O_2-HCO_3^-$ có vai trò đặc biệt của bức xạ UV và cần được nghiên cứu tiếp về ảnh hưởng của cấu trúc, đặc biệt là nhóm chức và vị trí của nhóm chức trên vòng thơm.

Xác định COD và TOC: hỗn hợp phản ứng KHP 80 ppm, H_2O_2 3 mM- HCO_3^- 6 mM, Co^{2+} 0,1 ppm (giá trị lý thuyết: COD=94,1 mg O_2/l , TOC=37,6 mg/l) khi được chiếu bức xạ UV cho thấy, ở giai đoạn trung gian của quá trình phân huỷ, các sản phẩm trung gian cũng hấp thụ trong vùng bước sóng khảo sát. Do vậy, chỉ số COD, TOC được xác định theo đường chuẩn 2 và 3 và theo phương pháp đối chứng chỉ được áp dụng với mẫu KHP sau thời gian chiếu UV 90 phút. Các giá trị này được so sánh với các giá trị COD, TOC tính theo lý thuyết của dung dịch đối chứng khi chưa chiếu UV (bảng 1).

Bảng 1. Giá trị COD, TOC của hỗn hợp phản ứng.

	Hỗn hợp ban đầu	Hỗn hợp phản ứng
COD lý thuyết	94,1	-
COD (theo công thức 2)	-	13,2±0,5
COD đối chứng	-	14,4±0,5
TOC lý thuyết	37,6	-
TOC (theo công thức 3)	-	5,2±0,3
TOC đối chứng	-	7,8±0,4

Từ các kết quả này cho thấy, sự phù hợp của phương pháp xác định COD, TOC theo phương pháp đo quang vùng UV với đối chứng. Lưu ý, chỉ số COD xác định theo [1] với mẫu đã được loại bỏ lượng H_2O_2 dư, nên giá trị xác định COD theo 2 phương pháp là khá phù hợp. Giá trị TOC đối chứng được xác định theo phương pháp oxy hoá nhiệt và được tính bằng hiệu của giá trị TC (tổng carbon) và IC (carbon vô cơ) có giá trị cao hơn so với phương pháp xác định theo đường chuẩn 3. Điều này có thể do lượng dư HCO_3^- còn lại trong hỗn hợp phản ứng. Sự loại bỏ COD, TOC của dung dịch KHP ở điều kiện này đạt ~85%. Tuy nhiên, khi xác định COD, TOC theo phương pháp đo quang vùng UV (đường chuẩn 2 và 3), giới hạn LOQ tương ứng là 13,6 mg O_2/l và 5,4 mg/l, nên giá trị COD, TOC (bảng 1) bị giới hạn bởi các LOQ này và hiệu suất loại COD, TOC chỉ xác định được tối đa là ~85%. Trên thực tế, hiệu suất phân huỷ KHP có thể còn đạt được cao hơn như kết quả HPLC đã chỉ ra.

Kết luận

Trong nghiên cứu này, đường chuẩn xác định COD, TOC theo phương pháp đo quang vùng UV ($\lambda_{max}=273$ nm) được xây dựng và đánh giá, các đường chuẩn thu được lần lượt là $Abs = (3,10 \pm 0,04) \times 10^{-3} \times COD - (0,015 \pm 0,003)$ và $Abs = (0,008 \pm 0,0001) \times TOC - (0,015 \pm 0,003)$. Phương pháp này được áp dụng để theo dõi và đánh giá quá trình phân huỷ KHP bằng hệ $H_2O_2-HCO_3^-$. Kết quả cho thấy, ở điều kiện có xúc tác ion kim loại (0,1 ppm) và pH=8, sự phân huỷ KHP là gần như không đáng kể khi không chiếu bức xạ UV, kể cả với nồng độ chất oxy hoá cao. Tuy nhiên, khi chiếu bức xạ UV, hiệu suất phân huỷ có thể đạt ~85% sau thời gian 90 phút. Kết quả phân tích sắc ký HPLC cho thấy, sản phẩm của quá trình phân huỷ không còn hợp chất vòng thơm. KHP là một dẫn xuất thơm đơn giản, tuy nhiên với cấu trúc chứa 2 nhóm chức carboxylate ở vị trí *ortho*- có thể là một trong những hợp chất trung gian trong quá trình phân huỷ các chất màu chứa vòng thơm và cần được nghiên cứu thêm.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Bộ Khoa học, Công nghệ và Môi trường (1999a), *TCVN 6491:1999 Chất lượng nước - Xác định nhu cầu oxy hoá học (COD)*.
- [2] Bộ Khoa học, Công nghệ và Môi trường (1993), *TCVN 6186:1996 Chất lượng nước - Xác định chỉ số pemanganat*.
- [3] Bộ Khoa học, Công nghệ và Môi trường (1999b), *TCVN 6634:2000 Chất lượng nước - Xác định carbon hữu cơ tổng số (TOC) và carbon hữu cơ hòa tan (DOC)*.
- [4] C. Kim, T. Ji, J.B. Eom (2018), "Determination of organic compounds in water using ultraviolet LED", *Measurement Science and Technology*, **29**(4), DOI: 10.1088/1361-6501/aaa364.
- [5] Nguyễn Thị Ngọc Anh, Tạ Thị Thảo, Trần Mạnh Đạt (2016), "Xác định đồng thời COD và Nitrat trong nước thải sinh hoạt bằng phương pháp trắc quang kết hợp với thuật toán hồi quy đa biến", *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Việt Nam*, **58**(9), tr.10-14.
- [6] T.B.V. Nguyen, N.N. Bich, N.D. Vu, H.H. Phuong, H.N. Thi (2021), "Degradation of reactive blue 19 (RB19) by a green process based on peroxy moncarbonate oxidation system", *Journal of Analytical Methods in Chemistry*, **2021**, DOI: 10.1155/2021/6696600.
- [7] AOAC (2016), *Guidelines for Standard Method Performance Requirements, Official Methods of Analysis Appendix F*.
- [8] C.C. Lin, F.R. Smith, N. Ichikawa, T. Baba, M. Itow (1991), "Decomposition of hydrogen peroxide in aqueous solutions at elevated temperatures", *International Journal of Chemical Kinetics*, **3**(11), pp.971-987.
- [9] US Environmental Protection Agency (1993), *Method 410.4: the Determination of Chemical Oxygen Demand by Semi - Automated Colorimetry*.
- [10] US Environmental Protection Agency (2009), *Method 415.3: Determination of Total Organic Carbon and Specific UV Absorbance at 254 nm in Source Water and Drinking Water*.