

Ngày nhận bài: 06/8/2024; Ngày thẩm định: 15/4/2025; Ngày duyệt đăng: 21/4/2025.

PHÂN TÍCH KHẢ NĂNG PHÂN HỦY SINH HỌC CỦA BỌT CHỮA CHÁY

Đại úy, ThS NGUYỄN HỮU HIỆU

Khoa Khoa học cơ bản và Ngoại ngữ, Trường Đại học PCCC

Đại úy, ThS PHẠM THẾ QUANG

Khoa Chữa cháy và cứu nạn, cứu hộ, Trường Đại học PCCC

Thượng tá, TS PHAN ANH

Phó trưởng Khoa Phòng cháy, Trường Đại học PCCC

* Tác giả liên hệ: Nguyễn Hữu Hiệu (Email: hpchemc@gmail.com)

Tóm tắt: Bọt chữa cháy thường được sử dụng để dập tắt đám cháy chất lỏng dễ cháy. Nước tạo thành từ bọt phân hủy sau chữa cháy có chứa một hàm lượng nhất định chất tạo bọt. Nước sau chữa cháy này có thể phát tán gây ô nhiễm môi trường nước. Mục đích của bài viết là phân tích khả năng phân hủy sinh học của các loại bọt đang được sử dụng phổ biến hiện nay thông qua chỉ số BOD₅ và COD. Kết quả cho thấy, các chất tạo bọt có khả năng phân hủy sinh học thấp. Do vậy, chúng có nguy cơ gây suy thoái môi trường nước hoặc ô nhiễm môi trường nước nếu lượng lớn chất tạo bọt bị phát thải ra môi trường.

Từ khóa: bọt chữa cháy, tác động môi trường, chữa cháy, chất chữa cháy.

Abstract: Firefighting foam is commonly used to extinguish flammable liquid fires. The water formed from the decomposition of the foam after firefighting contains a certain amount of residual foaming agents, which may contribute to water pollution. This article aims to analyze the biodegradability of commonly used firefighting foams through BOD₅ and COD indices. The findings indicate that the foaming agents show low biodegradability, thus posing a risk of degrading water environments or causing water pollution if large amounts of foaming agents are released into the environment.

Keywords: firefighting foam, environmental impact, firefighting, fire extinguishing agents.

1. Đặt vấn đề

Chất chữa cháy là các chất hoặc vật liệu khác nhau được sử dụng để ngăn chặn hoặc làm chậm quá trình cháy thông qua các cơ chế động hoá học tác động lên phản ứng cháy bao gồm: làm giảm nhiệt độ, làm giảm nồng độ và ức chế phản ứng cháy. Các yêu cầu cơ bản đối với chất chữa cháy bao gồm [1]:

- Có tác dụng chữa cháy cao (khả năng nhanh chóng ngăn chặn sự cháy, đồng thời có tác dụng trên khu vực rộng lớn với mức tiêu thụ thấp);
- Không gây hại (hoặc ít gây hại) cho sinh vật (sống) bao gồm cả con người khi được sử dụng và bảo quản;
- Có giá thành hợp lý.

Bọt chữa cháy là chất chữa cháy quan trọng đã được sử dụng từ lâu tại Việt Nam cũng như trên thế giới vì chất chữa cháy này đáp ứng đầy đủ các yêu cầu cần có của một chất chữa cháy. Bọt chữa cháy thường được dùng để dập tắt các đám cháy chất lỏng cháy (đặc biệt là các chất lỏng không phân cực, ít tan hoặc không tan trong nước, ví dụ xăng, dầu...) Bọt chữa cháy là chất chữa cháy bao gồm nhiều bong bóng được hình thành cơ học hoặc hóa học từ chất lỏng. Bọt hóa học được hình thành do phản ứng của dung dịch kiềm với dung

dịch Acid với sự có mặt của chất ổn định bọt. Bọt cơ học được hình thành sau khi đưa không khí và/hoặc khí trơ vào dung dịch tạo bọt [2]. Bọt thuộc hệ phân tán hai pha bao gồm môi trường phân tán (lỏng) với pha phân tán - các màng ba chiều có cấu trúc cố định chứa khí kèm theo. Độ dày của màng sẽ dao động từ 0,001 đến 0,01mm [3]. Bọt chữa cháy đầu tiên được sử dụng là bọt hóa học. Hiện nay, bọt hòa không khí đã thay thế bọt hóa học để trở thành bọt chữa cháy thông dụng. Bọt hòa không khí được chế tạo tại thời điểm có sự can thiệp cơ học (chủ yếu là sự hòa trộn ở tốc độ cao) vào dung dịch hỗn hợp gồm nước và chất tạo bọt với không khí trong khí quyển trong vòi tạo bọt. Dung dịch tạo bọt phát sinh trong máy trộn bằng cách phun hút chất tạo bọt vào trong nước. Nồng độ chất tạo bọt trong nước thường dao động từ 1% đến 6%. Thành phần khí cũng có thể là Carbon Dioxide, Nitrogen hoặc khí trơ khác [3].

Chất tạo bọt là hóa chất làm giảm sức căng bề mặt của nước có công dụng tạo thành các bọt khí. Chất tạo bọt có nhiều loại và thường được phân thành 6 nhóm gồm: chất tạo bọt Protein (P), chất tạo bọt Fluorine-Protein (FP), chất tạo bọt tổng hợp (S), chất tạo bọt kháng cồn (AR), chất tạo bọt tạo màng nước (AFFF), chất tạo bọt Fluorine-Protein tạo thành màng nước (FFFP) [4,5]. Các chất tạo bọt này thường ít bị phân huỷ và có nguy cơ đi vào môi trường nước gây ô nhiễm môi trường nước nếu chúng bị phát thải ra môi trường. Bài viết này sẽ tập trung phân tích khả năng phân hủy sinh học của chất tạo bọt có trong bọt chữa cháy thông qua chỉ số BOD₅ và COD, từ đó đưa ra những đánh giá về sự ảnh hưởng đến môi trường của bọt chữa cháy, cụ thể là bọt hoà không khí.

2. Thực nghiệm

Danh mục các chất tạo bọt và nồng độ sử dụng trong dung dịch nước được trình bày tại bảng 1.

Bảng 1: Danh mục chất tạo bọt được sử dụng.

Chất tạo bọt	Nồng độ sử dụng	Hãng sản xuất
Sthamex AFFF 1% (Mẫu 1)	1%	Công ty Fabrik chemischer Präparate GmbH & Co.KG, Hamburg, Đức
Sthamex AFFF F-15 (Mẫu 2)	3%	Công ty Fabrik chemischer Präparate GmbH & Co.KG, Hamburg, Đức
Pyronil (Mẫu 3)	3%	Công ty Chemtura, Mỹ
Moussol APS F-15 (Mẫu 4)	6%	Công ty Fabrik chemischer Präparate GmbH & Co.KG, Hamburg, Đức

Chỉ số BOD là chỉ số xác định nhu cầu Oxygen sinh hóa hay nhu cầu Oxygen sinh học (ký hiệu: BOD, từ viết tắt trong tiếng Anh của Biochemical (hay Biological) Oxygen Demand), là lượng Oxygen cần cung cấp để Oxy hoá các chất hữu cơ trong nước bởi vi sinh vật. BOD là một chỉ số và đồng thời là một thủ tục được sử dụng để xác định xem các sinh vật sử dụng hết Oxygen trong nước nhanh hay chậm như thế nào. Nó được sử dụng trong quản lý và khảo sát chất lượng nước cũng như trong sinh thái học hay khoa học môi trường. Để Oxy hoá hết chất hữu cơ trong nước thường phải mất 20 ngày ở 20°C. Để đơn giản chỉ lấy chỉ số BOD sau khi Oxy hoá 5 ngày, ký hiệu là BOD₅. Sau 5 ngày có khoảng 80% chất hữu cơ đã bị Oxy hoá. Trong nghiên cứu này, chỉ số BOD₅ được thực hiện bằng phương pháp chai đo BOD Oxitop: đặt chai trong tủ 20°C trong 5 ngày, BOD được đo tự động khi nhiệt độ đạt đến 20 °C.

COD là từ viết tắt của Chemical Oxygen Demand – là nhu cầu Oxy hóa học. Đây là lượng Oxy cần thiết để Oxy hoá các hợp chất hoá học trong nước bao gồm cả vô cơ và hữu cơ. COD là lượng Oxy cần để Oxy hoá toàn bộ các chất hoá học trong nước, trong khi đó BOD là lượng Oxy cần thiết để Oxy hoá một phần các hợp chất hữu cơ dễ phân huỷ bởi vi sinh vật. Toàn bộ lượng Oxy sử dụng cho các phản ứng trên được lấy từ Oxy

hoà tan trong nước (DO). Trước đây, chỉ số COD được xác định bằng phương pháp sử dụng tác nhân Oxy hoá mạnh là Potassium Dicromate (KCr_2O_7) trong môi trường Acid. Tuy nhiên, phương pháp đo này thường tiềm ẩn sai số dụng cụ và sai số chủ quan do người tiến hành thí nghiệm, do vậy trong nghiên cứu này, chỉ số COD được xác định thông qua máy đo COD nhanh ACTEON 5000 (Hình 1).

Hai phương pháp đo BOD và COD này đều đã được chứng minh là phương pháp hiệu quả để xác định BOD_5 và COD [6,7]. Các điều kiện thực nghiệm bao gồm: nhiệt độ $T = 293K$; áp suất $P \approx 1atm$ (áp suất trung bình, ổn định của khí quyển). Các mẫu được pha chế bằng cách pha các chất tạo bọt bằng nước cất hai lần để đảm bảo không tồn tại các hợp chất hữu cơ khác gây nhiễu kết quả đo. Các mẫu đều được chuẩn bị tại phòng thí nghiệm trong cùng một điều kiện nêu trên.



Hình 1: Chai đo BOD Oxitop và máy đo nhanh COD ACTEON 5000.

3. Kết quả và thảo luận

Kết quả đo chỉ số COD và BOD_5 ($mg.L^{-1}$) với 03 lần đo trên một mẫu thử được trình bày tại bảng 2. Các số liệu đều được lấy ở điều kiện nhiệt độ $20^\circ C$ ($293K$) và cùng điều kiện về áp suất khí quyển.

Bảng 2: Kết quả đo chỉ số COD và trên các mẫu thử.

Mẫu chất tạo bọt	COD ($mg.L^{-1}$)				BOD ₅ ($mg.L^{-1}$)				Tỉ số $\frac{COD}{BOD_5}$
	Lần 1	Lần 2	Lần 3	Trung bình	Lần 1	Lần 2	Lần 3	Trung bình	
Mẫu 1	76,190	76,251	76,134	76.192	22,791	22,789	22,785	22,788	3.34
Mẫu 2	73,662	73,701	73,682	73.682	21,373	21,375	21,371	21,373	3.45
Mẫu 3	79,211	79,205	79,208	79.208	33,533	33,536	33,531	33,533	2.36
Mẫu 4	83,459	83,462	83,464	83.462	17,472	17,475	17,468	17,472	4.78

Chỉ số COD thể hiện tổng hàm lượng chất hữu cơ có trong nước. Do các mẫu được chuẩn bị chỉ chứa các chất hữu cơ là các chất tạo bọt nên chỉ số COD này có ý nghĩa biểu thị cho hàm lượng chất tạo bọt có trong các mẫu dung dịch được thử nghiệm.

Bên cạnh đó, kết quả phân hủy sinh học của chất tạo bọt được biểu thị thông qua chỉ số BOD_5 . Kết quả cho thấy tất cả các chất tạo bọt có ít khả năng phân hủy sinh học do tỷ lệ các chất có thể phân hủy nhỏ. Tỷ lệ này được biểu thị thông qua tỷ số giữa nhu cầu Oxygen hóa học (COD) và nhu cầu Oxygen sinh hóa trong 5 ngày (BOD_5) viết tắt là COD/BOD_5 . Tỷ số COD/BOD_5 thấp ($< 2,0$) cho thấy khả năng phân hủy sinh học cao, có nghĩa là nó có thể được xử lý dễ dàng bằng phương pháp xử lý sinh hóa. Nếu $2,0 \leq COD/BOD_5 < 4,0$ cho thấy khả năng phân hủy sinh học trung bình, có nghĩa rằng, phương pháp xử lý sinh hóa có tác dụng phân hủy một phần các chất hữu cơ có trong dung dịch. Nếu $COD/BOD_5 \geq 4,0$ cho thấy khả năng phân hủy sinh học thấp, có nghĩa rằng, phương pháp sinh hóa không có nhiều tác dụng để phân hủy các chất hữu cơ [8].

Tỉ lệ COD/BOD₅ của cả 04 chất tạo bọt được trình bày trong bảng 2. Kết quả cho thấy, Sthamex AFFF 1%, Sthamex AFFF F-15, Pyronil là các chất tạo bọt có khả năng phân hủy sinh học trung bình, Moussol APS F-15 là chất tạo bọt có khả năng phân hủy sinh học thấp. Điều này cho thấy, sau 05 ngày, các chất tạo bọt vẫn còn tồn tại trong môi trường nước. Vậy nên, các chất tạo bọt là tác nhân gây suy giảm chất lượng môi trường nước gây ra nguy cơ ô nhiễm môi trường nước cao nếu chúng được sử dụng với một lượng lớn. Mặt khác, theo nghiên cứu về độc tính sinh thái với đối tượng thử nghiệm là các loài thực vật bậc cao (chủ yếu là cây *Sinapis Alba* – một loại cải trắng) của các chất tạo bọt trên, được thực hiện bởi Ivana Tureková và các cộng sự cho thấy, chất tạo bọt có nồng độ thấp cũng có độc tính sinh thái đáng kể [1]. Các chất này có khả năng ức chế sự phát triển của rễ cây cả về chiều dài và độ lớn, đồng thời, chúng cũng ức chế khả năng nảy mầm của hạt. Điều này chứng tỏ, các chất tạo bọt là các chất gây suy thoái môi trường hoặc gây ô nhiễm môi trường nếu lượng tồn dư đủ lớn.

4. Kết luận và khuyến nghị

Bọt chữa cháy hiện nay có thể được coi là có đặc tính vật lý rất tốt với khả năng dập tắt đám cháy chất lỏng cháy hiệu quả. Nhưng trong những năm gần đây, khi Ủy ban Châu Âu (EC) đưa ra quy định an toàn của Cộng đồng Châu Âu (còn gọi là Luật REACH- Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals) đã thu hút sự chú ý đến các đặc tính độc tính sinh thái của chúng. Nếu sử dụng bọt chữa cháy để dập tắt đám cháy lớn thì sản phẩm của chúng (như nước phân hủy từ bọt tạo thành) rất có khả năng phát tán vào môi trường đất và môi trường nước, gây ô nhiễm môi trường. Các thử nghiệm độc tính sinh thái cũng cho thấy ngay cả chất tạo bọt có nồng độ thấp cũng có độc tính đáng kể [1]. Do vậy, cần thúc đẩy nhiều hơn việc nghiên cứu và đưa ra ứng dụng các chất tạo bọt có nguồn gốc thiên nhiên (chất tạo bọt xanh) với hiệu quả chữa cháy không suy giảm so với các chất tạo bọt hiện nay và an toàn hơn với môi trường. Đồng thời, trong quá trình

chữa cháy và sau chữa cháy, cần có các biện pháp thu dọn hiện trường nhằm giảm thiểu sự phát thải của nước sau chữa cháy (đặc biệt là nước tạo thành từ sự phân hủy của bọt) nhằm giảm thiểu tác động môi trường của các chất tạo bọt.■

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Tureková, Ivana; Balog, Karol (2010), *The Environmental Impacts of Fire-Fighting Foams. Research Papers Faculty of Materials Science and Technology Slovak University of Technology*, 18(29). <http://doi.org/10.2478/v10186-010-0033-z>.
2. Balog, K. Hasiace látky a jejich technologie. Ostrava: Edice SPBI Spektrum (2004), ISBN 80-86634-49-3.
3. CONEVA, I. Pena - hasiaca látka, *In Fire Engineering Proceedings 1st International Conference. Zvolen: Technická univerzita* (2002), ISBN 80-89051-05-7
4. STN-EN 1568: 2002, Hasiace látky. Penidlá. Časť 1-4: Technické podmienky penidiel pre stredné, ľahké a ťažké peny na povrchové použitie na kvapaliny miešateľné a nemiešateľné vodou.
5. Jirkovská, V. Posúdenie kvality penidiel, *In Zborník prác požiarotechnickej stanice*, 1988, s. 54–56.
6. Roppola, Katri & Kuokkanen, Toivo & Rämö, Jaakko & Prokkola, Hanna & Heiska, Eeva (2007), *Comparison Study of Different BOD Tests in the Determination of BOD₇ Evaluated in a Model Domestic Sewage. Journal of automated methods & management in chemistry*. 2007. 39761. <http://doi.org/10.1155/2007/39761>.
7. Muhaimin, Muhaimin & Prayoga, Renaldy & Eniati, Endah (2022), *Determination of Chemical Oxygen Demand (COD) Concentration in Domestic Wastewater Using UV-Vis Spectrophotometry Method Based On The Effect Of Reflux Time And Preservation Time. Stannum : Jurnal Sains dan Terapan Kimia*. 4. 13-18. <http://doi.org/10.33019/jstk.v4i1.2866>.
8. Morel, A. Diener, S. (2006), *Greywater Management in Low and Middle-Income Countries, Review of Different Treatment Systems for Households or Neighbourhoods*. (= SANDEC Report No. 14/06). Duebendorf: Swiss Federal Institute of Aquatic Science (EAWAG), Department of Water and Sanitation in Developing Countries (SANDEC).