

PHÂN TÍCH THÀNH PHẦN KHÍ ĐỘC HẠI HÌNH THÀNH TỪ QUÁ TRÌNH CHÁY CỦA VẢI COTTON CHỐNG CHÁY

Đến tòa soạn 07-05-2023

Nguyễn Ngọc Tùng ^{*1,2}, Trịnh Tuấn Hưng ¹, Trần Thị Thương², Hoàng Minh Tạo¹,
Nguyễn Thị Hoài Thu ¹, Bùi Quang Minh ¹, Nguyễn Quang Trung ¹

¹ Trung tâm Nghiên cứu và Chuyển giao công nghệ, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

²Học viện Khoa học và Công nghệ, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

* Email: tungnguyen.vast@gmail.com

SUMMARY

ANALYZING TOXIC EFFLUENTS GENERATED FROM THE COMBUSTION OF FIRE-RESISTANT COTTON TEXTILE

This paper reports on the analysis of toxic effluents generated from the combustion of fire-resistant cotton textile in normal atmosphere, which would reflect on the potential content of toxic fumes released from the combustion of fire-resistant cotton textile during fire accidents. In particular, this study utilized the modern method of gas chromatography coupled mass spectroscopy (GC/MS) to analyze volatile chemicals generated from the combustion of two types of cotton textile - which are untreated commercial cotton textile and cotton textile treated with commercial Pyrovatex CP fire retardant. Experimental results showed that, the combustion of both commercial cotton textile acquired in Vietnam and cotton textile treated with commercial Pyrovatex CP fire retardant released a number of various toxic volatile aromatic compounds, including both simple derivatives of benzene and other more complex polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), which could pose significant risk to the health of human and the ability of people to safely evacuate from fire accidents. Interestingly, the use of Pyrovatex CP fire retardant showed to promote the release of more-toxic aromatic effluents, while also suppressed the release of less-toxic aliphatic compounds. Such results should be considered during assessment of fire-resistant materials, so that to ensure the health and safety of people during fire accidents.

Keywords: Pyrovatex CP, GC/MS, toxic effluents, cotton fabric

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Từ xa xưa, hỏa hoạn vẫn luôn được coi là một mối đe dọa lớn nhất đối với cuộc sống con người, với khả năng tạo thành tổn thất vô cùng nghiêm trọng cả về người và tài sản [1-3]. Trong đó, vật liệu bằng vải sợi - mà đặc biệt là vật liệu bằng vải sợi cotton, mặc dù sở hữu nhiều ưu điểm nổi bật và được sử dụng trong nhiều lĩnh vực khác nhau của đời sống, tuy nhiên cũng tồn tại nhược điểm là rất dễ bắt cháy và duy trì sự cháy, tạo thành nguy cơ rất lớn đối với sự an toàn của con người khi xảy ra hỏa hoạn [4-5]. Cụ thể, vải sợi cotton thường chỉ có chỉ số oxy giới hạn (LOI) khoảng 18%, thấp

hơn nhiều so với ngưỡng nồng độ oxy giới hạn trong không khí là 21%. Ngay cả vải sợi len với chỉ số LOI lên tới 23% cũng chỉ được coi là khó bắt cháy, và không thể vượt qua được các bài kiểm tra về tính chống cháy đối với vật liệu [6].

Nhằm giải quyết vấn đề này, nhiều phương pháp tăng cường tính chất chống cháy cho vật liệu vải sợi nói chung, cũng như vải sợi cotton nói riêng, đã được phát triển, trong đó thông dụng nhất là phương pháp ngâm tẩm - biến tính bề mặt sợi và phương pháp tráng phủ bề mặt vải [7-8]. Đối với vải sợi cotton, phương pháp ngâm tẩm - biến tính bề mặt sợi được sử dụng rộng rãi hơn cả, bởi

phương pháp này cho phép duy trì được phần lớn các ưu điểm nổi bật khác của vải sợi cotton như khả năng thoáng khí, tính thẩm mỹ, v.v.

Trước đây, các loại phụ gia gốc halogen thường được sử dụng nhằm tăng cường tính chất chống cháy cho vải sợi cotton, bởi chúng cho hiệu quả xử lý chống cháy rất tốt, giúp hạn chế sự cháy của vật liệu thông qua cơ chế phân hủy nhiệt tạo nên các sản phẩm dạng khí khó cháy, từ đó ngăn chặn sự tiếp xúc giữa khí oxy và nhiên liệu cháy. Tuy nhiên, cho đến nay thì nhóm phụ gia chống cháy này đã gần như bị cấm sử dụng, do các sản phẩm phân hủy nhiệt của chúng tiềm ẩn nguy cơ rất lớn đối với sức khỏe con người [9-10]. Thay vào đó, các loại phụ gia hoá học giàu nguyên tố nitrogen (N) và phosphorus (P) như Pyrovatex CP, Proban CC, v.v. đang ngày càng được sử dụng rộng rãi, do chúng cũng sở hữu khả năng tăng cường tính chất chống cháy tốt và an toàn hơn với sức khỏe con người [11].

Mặc dù vậy, cho đến nay vẫn chưa có nhiều nghiên cứu liên quan đến vấn đề phân tích các thành phần dạng khí sinh ra từ quá trình đốt cháy vật liệu vải chống cháy xử lý bằng phụ gia hoá học nói chung, và vật liệu vải chống cháy xử lý bằng phụ gia Pyrovatex CP nói riêng. Một số nghiên cứu trước đó mới chỉ chủ yếu tập trung vào phân tích phát hiện thành phần các nhóm sản phẩm phân hủy nhiệt quan trọng nhằm xác định cơ chế phân hủy nhiệt của vải sợi cotton chống cháy, mà chưa đi sâu vào phân tích cụ thể thành phần sản phẩm dạng khí được sinh ra từ quá trình này [12-13]. Gần đây, một số nghiên cứu đã được thực hiện nhằm phân tích cụ thể thành phần sản phẩm dạng khí sinh ra từ quá trình đốt cháy và phân hủy nhiệt vật liệu vải sợi chống cháy, tuy nhiên chưa có nghiên cứu nào được thực hiện trên đối tượng vải sợi cotton xử lý bằng phụ gia Pyrovatex CP [14-15].

Trong báo cáo này, phương pháp phân tích Sắc ký khí ghép nối khối phổ (Gas Chromatography coupled Mass Spectroscopy - GC/MS) được sử dụng nhằm phân tích thành phần dạng khí sinh ra từ quá trình đốt cháy vải sợi cotton chưa qua xử lý, cũng như vải sợi cotton chống cháy xử lý bằng hệ phụ gia Pyrovatex CP, để từ đó thu được cái nhìn rõ nét hơn về tính an toàn của loại vật liệu này trong điều kiện sử dụng thực tế.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Nguyên liệu

Vải sợi cotton 100% xuất xứ Việt Nam đã qua tẩy trắng sơ bộ, định lượng 145 g/m². Hệ phụ gia chống cháy Pyrovatex CP bao gồm: phụ gia chống cháy Pyrovatex CP (Huntsman, Hoa Kỳ), phụ gia trợ gia công Fixapret CPN (BASF, Đức), phụ gia tăng thấm JFC (Zibilon Chemical, Trung Quốc), cùng phụ gia trợ gia công H₃PO₄ 85% và NaOH (Merck, Đức). Nước cất sử dụng trong thí nghiệm được sản xuất trực tiếp tại Trung tâm Nghiên cứu và Chuyển giao công nghệ (Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam).

2.2. Phương pháp chế tạo mẫu vải sợi cotton chống cháy

Sau khi tham khảo tài liệu liên quan [16] và khảo sát sơ bộ nhằm xác định các điều kiện phù hợp nhất, mẫu vải cotton xử lý chống cháy bằng hệ phụ gia chống cháy Pyrovatex CP được chuẩn bị theo những bước cơ bản như sau:

- Đầu tiên, dung dịch ngâm tẩm được chuẩn bị với thành phần bao gồm: phụ gia Pyrovatex CP 400 g/L, phụ gia Fixapret CPN 45 g/L, phụ gia JFC 2 g/L, và dung dịch H₃PO₄ 85% 13 g.
- Sau đó, mẫu vải sợi cotton đã qua làm sạch được nhúng vào dung dịch ngâm tẩm trong vòng 30 giây tại điều kiện nhiệt độ phòng, dưới tác dụng của lực ép nhằm thúc đẩy khả năng thấm ướt của dung dịch ngâm tẩm vào sợi vải.
- Tiếp theo, mẫu vải sợi cotton sau ngâm tẩm được ép sơ bộ, nhằm đảm bảo khối lượng thấm ướt của dung dịch bằng khoảng 75% khối lượng ban đầu của mẫu vải.
- Sau đó, mẫu vải sẽ được sấy sơ bộ tại điều kiện nhiệt độ 120°C cho đến khô hoàn toàn, rồi được sấy phản ứng tại điều kiện nhiệt độ 170°C trong vòng 3 phút.
- Cuối cùng, mẫu vải sẽ được rửa bằng dung dịch NaOH (pH = 10), rồi rửa lại bằng nước cất và sấy đến khô hoàn toàn tại điều kiện nhiệt độ 105°C, trước khi được đưa vào bảo quản tại điều kiện tiêu chuẩn (nhiệt độ = 25°C, độ ẩm tương đối = 65%).

2.3. Phương pháp phân tích

2.3.1. Phương pháp tạo mẫu khí

Hỗn hợp khí hình thành sau khi đốt cháy các mẫu vật liệu vải sợi được thu trực tiếp tại bộ phận của thoát khí phía trên thiết bị phân tích độ bền cháy Yasuda No.440 bằng một syringe thủy tinh dung tích 200 mL, với tốc độ hút khí khoảng 5 mL/giây. Với mẫu vải sợi cotton chưa qua xử lý chống cháy, thời gian hút khí được tính từ thời điểm ngọn lửa mỗi ngừng tiếp xúc với mẫu vải cho đến thời điểm mẫu cháy hoàn toàn (thời gian ngọn lửa mỗi tiếp xúc với mẫu vải = 10 giây). Với mẫu vải sợi cotton đã qua xử lý chống cháy, thời gian hút khí được tính từ thời điểm ngọn lửa mỗi tiếp xúc với mẫu vải sợi cho đến thời điểm ngọn lửa mỗi ngừng tiếp xúc với mẫu vải (thời gian ngọn lửa mỗi tiếp xúc với mẫu vải = 45 giây).

Sau đó, mẫu được chuyển từ syringe dung tích 200 mL sang một syringe dung tích 1 mL trang bị đầu tiêm bằng inox và cổ nối bằng thạch anh chịu nhiệt. Tiếp theo, mẫu khí trong syringe 1mL sẽ được chuyển trực tiếp vào hệ thiết bị sắc ký khí ghép nối khối phổ (GC/MS) 1310 Thermo Scientific (Trung tâm Nghiên cứu và Chuyển giao công nghệ, Viện hàn lâm Khoa học và công nghệ Việt Nam) nhằm xác định thành phần hỗn hợp khí hình thành sau khi đốt cháy các mẫu vật liệu vải sợi.

2.3.2. Phương pháp phân tích mẫu khí

Trên cơ sở tham khảo các kết quả nghiên cứu trước đó [14] kết hợp với khảo sát sơ bộ, điều kiện phân tích thành phần hỗn hợp khí hình thành sau khi đốt cháy các mẫu vật liệu vải sợi bằng phương pháp phân tích GC/MS được xác định như sau:

- Hệ thống thiết bị phân tích sắc ký khí Agilent Technologies 7890B GC system trang bị cột sắc ký Agilent 122-4132 DB-5ms với các thông số kích thước $30\text{m} \times 250\mu\text{m} \times 0,25\mu\text{m}$.
- Hệ thống thiết bị phân tích khối phổ Agilent Technologies 5977A MSD.
- Điều kiện cấp khí đầu vào cho hệ thống thiết bị phân tích sắc ký khí: Khí được bơm trực tiếp tại điều kiện áp suất 9,5 psi và tổng lưu lượng dòng 24 mL/phút.
- Điều kiện cấp khí cho cột sắc ký khí: Sử dụng khí mang là khí Heli với tốc độ dòng 1 mL/phút và áp suất dòng 9,0 psi.

- Điều kiện vận hành sắc ký khí: Giữ tại 35 °C trong vòng 5 phút, sau đó gia nhiệt đến 300 °C với tốc độ 6 °C/phút, rồi giữ tại 300 °C trong vòng 2 phút.

- Điều kiện vận hành và phân tích khối phổ: Chế độ quét FULL SCAN trong khoảng 33-700 m/z , kết quả được đối chiếu với thư viện phổ NIST 11 (Viện Tiêu chuẩn và Công nghệ Quốc gia Hoa Kỳ).

Nhằm đảm bảo tính chính xác và tin cậy của các kết quả thu được, mỗi thí nghiệm sẽ được lặp lại 05 lần. Những sản phẩm dạng khí hình thành từ quá trình đốt cháy mẫu vải chỉ được liệt kê trong Bảng 1 nếu đáp ứng được toàn bộ 03 tiêu chí sau:

- Tính lặp lại: Sản phẩm khí được định tính thành công ít nhất 03 lần trên phổ MS của các mẫu khí phân tích.

- Tính tin cậy: Phổ MS của sản phẩm dạng khí cần có mức độ khớp tối thiểu 60% khi so sánh với phổ MS mẫu từ thư viện NIST 11.

- Tính ý nghĩa: Tín hiệu GC của sản phẩm dạng khí cần chiếm tỷ lệ diện tích peak tối thiểu 0,1% tổng diện tích phổ GC của toàn bộ mẫu khí.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kết quả phân tích đối với mẫu vải sợi cotton chưa qua xử lý chống cháy

Các kết quả phân tích thành phần khí độc hại sinh ra từ quá trình đốt cháy của mẫu vải sợi cotton chưa qua xử lý chống cháy được trình bày trong Bảng 1.

Kết quả phân tích cho thấy, bên cạnh những sản phẩm đơn giản với khối lượng phân tử thấp như khí CO_x hay khí NO_x , thì sản phẩm dạng khí chủ yếu hình thành từ quá trình đốt cháy trong không khí của vải sợi cotton chưa qua xử lý chống cháy chính là các hợp chất thơm dẫn xuất của benzene, bao gồm toluene, styrene, phenylethyne, phenol, v.v. Điều này có thể được giải thích là do, tại điều kiện nhiệt độ cao, cấu trúc cellulose của sợi cotton đã bị khử nước và phân mảnh hình thành nên các hợp chất nhóm furan, bao gồm furfural và 3-methyl-2,5-furandione. Sau đó, các hợp chất nhóm furan tiếp tục bị phân hủy nhiệt và thơm hoá, hình nên các dẫn xuất benzene [17]. Nhìn chung,

đây đều là những hợp chất độc hại, tiềm ẩn nhiều nguy cơ đối với sức khoẻ của con người [18].

Bên cạnh đó, quá trình đốt cháy của vải sợi cotton chưa qua xử lý chống cháy cũng hình thành một lượng đáng kể các hợp chất thơm đa vòng (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons – PAHs), bao gồm naphthalene, pyrene, và 9-methylene-9H-fluorene. Đây đều là những hợp chất độc hại, có khả năng tạo thành tổn thương cho nhiều cơ quan nội tạng trong cơ thể và thậm chí là gây bệnh ung thư [18]. Đáng chú ý, việc phơi nhiễm với lượng lớn naphthalene qua đường hô hấp có thể dẫn tới sự tổn hại và phá huỷ tế bào hồng cầu, cấu thành yếu tố nguy cơ cao hơn đối với nạn nhân hoả hoạn [19]. Sự hình thành của các hợp chất thơm đa vòng có thể được giải thích thông qua cơ chế than hoá trong quá trình phân huỷ nhiệt của cellulose [17].

Tuy nhiên, cũng cần lưu ý rằng, 31 sản phẩm hình thành khi cháy được thành công định tính chỉ chiếm khoảng 88% tổng diện tích peak tín hiệu phổ GC của mẫu khí. Nói cách khác, có tới khoảng 60 sản phẩm cháy dạng khí khác không thể được định tính một cách chính xác, tương ứng với khoảng trên 11% tổng diện tích peak tín hiệu phổ GC của mẫu khí. Hiện tượng này có thể được giải thích là do quá trình phân huỷ nhiệt của sợi cotton nói chung, và cellulose nói riêng, tương đối phức tạp, trải qua nhiều giai đoạn và các hợp chất trung gian khác nhau [17], trong đó bao gồm cả những hợp chất trung gian chưa có phổ mẫu trong thư viện của NIST.

Bảng 1 Kết quả phân tích GC/MS của mẫu vải sợi cotton chưa qua xử lý chống cháy, và mẫu vải sợi cotton đã qua xử lý chống cháy bằng hệ phụ gia Pyrovatex CP (mẫu đại diện)

Tên chất, nhóm chất	Tỷ lệ diện tích peak (%)	
	Mẫu vải chưa qua xử lý	Mẫu vải chống cháy
Hợp chất thơm dẫn xuất của benzene	78,32	85,68
- Toluene	32,25	5,67
- Styrene	14,72	
- Phenylethyne	14,57	2,77

Tên chất, nhóm chất	Tỷ lệ diện tích peak (%)	
	Mẫu vải chưa qua xử lý	Mẫu vải chống cháy
- Phenol	4,30	
- 3-methylphenyl acetylene	3,41	
- Benzaldehyde	2,59	0,12
- Ethylbenzene	2,56	0,47
- Acetophenone	1,38	
- Metaraminol	0,98	
- 4-isopropylphenyl isocyanate	0,65	
- 3-hydroxy-4-methoxybenzaldehyde acetate	0,32	
- Benzoic acid, m-[[[(dimethylamino) methylene]amino]-, methyl ester	0,32	
- p-xylene	0,27	
- Benzene		75,74
- Indene		0,55
- Benzonitrile		0,20
- Benzofuran		0,16
Hợp chất thơm đa vòng (PAHs)	4,02	7,46
- Naphthalene	3,18	0,50
- Pyrene	0,46	0,89
- 9-methylene-9H-fluorene	0,38	
- Fluoranthene		0,92
- Phenanthrene		0,87
- Benzo[ghi]fluoranthene		0,86
- Cyclopenta[cd]pyrene		0,68
- Benzo[e]pyrene		0,46
- 1-methyl-pyrene		0,36
- 4H-cyclopenta[def]phenanthrene		0,29
- 11H-benzo[b]fluorene		0,27
- 2-phenyl-naphthalene		0,26
- 9H-cyclopenta[a]pyrene		0,23
- 9-phenyl-anthracene		0,17

Tên chất, nhóm chất	Tỷ lệ diện tích peak (%)	
	Mẫu vải chưa qua xử lý	Mẫu vải chống cháy
- 11H-benzo[a]fluorene		0,16
- Indeno[1,2,3-cd]pyrene		0,16
- 1-phenyl-naphthalene		0,14
- 2-methyl-phenanthrene		0,12
- Biphenylene		0,12
Hợp chất thơm khác	0,87	0,11
- Biphenyl	0,50	
- Pyridine-3-carboxamide, oxime, N-(2-trifluoromethyl phenyl)	0,21	
- 1-methyl- 2-phenyl-1H-indole	0,16	
- 6-(3-nitro benzylidenamino)-quinoxaline		0,11
Hợp chất nhóm furan	0,29	0,47
- Furfural	0,16	0,47
- 3-methyl-2,5-furandione	0,13	
Hợp chất khác	4,52	2,98
- 3,3-dimethyl-4-methylamino-butane-2-one	1,01	
- Nonanal	0,87	
- Octanal	0,67	
- 1-hexene	0,60	
- Tetradecanal	0,56	
- Octadecanal	0,32	
- Sulfurous acid, cyclohexylmethyl hexyl ester	0,15	
- 1-bromo-pentane	0,13	
- Oxime cyclopropyl-1-ethanone	0,11	
- 2-methyl-2-pentenoic acid	0,10	
- 1,3,5,7-cyclooctatetraene		2,51

Ngoài ra, điều kiện vận hành GC có thể vẫn chưa hoàn toàn tối ưu, dẫn tới việc nhiều chất khí đồng thời được đưa vào hệ thống MS gây nhiễu tín hiệu, tạo thành khó khăn trong công tác phân tích định tính.

3.2. Kết quả phân tích đối với mẫu vải sợi cotton đã qua xử lý chống cháy bằng hệ phụ gia chống cháy Pyrovatex CP

Các kết quả phân tích thành phần khí độc hại sinh ra từ quá trình đốt cháy của mẫu vải sợi cotton đã qua xử lý chống cháy bằng hệ phụ gia chống cháy Pyrovatex CP được trình bày trong Bảng 1.

So sánh với kết quả phân tích đối với mẫu vải sợi cotton chưa qua xử lý chống cháy, trước tiên có thể thấy được sự chuyển dịch tương đối rõ ràng về mặt sản phẩm hình thành khi đốt cháy: tỷ lệ diện tích peak của các sản phẩm dạng hợp chất thơm đều tăng lên đáng kể, trong khi tỷ lệ diện tích peak của các hợp chất khác được định tính chỉ chiếm 3,45%. Đồng thời, cũng chỉ có hai hợp chất không chứa vòng benzene được định tính với độ tin cậy cao, bao gồm furfural và 1,3,5,7-cyclooctatetraene. Hiện tượng trên có thể được giải thích là do, sau khi được xử lý chống cháy bằng hệ phụ gia chống cháy Pyrovatex CP, vải sợi cotton chống cháy có xu hướng phân huỷ nhiệt theo cơ chế thúc đẩy sự hình thành lớp muội than với cấu trúc thơm đa vòng, kéo theo đó là sự hình thành của các sản phẩm dễ bay hơi với cấu trúc hoá học thơm và thơm đa vòng [12-13]. Bên cạnh đó, quá trình phân huỷ nhiệt có định hướng này cũng giúp thúc đẩy sự hình thành của các sản phẩm dạng khí thông dụng và dễ định tính hơn, với 29 hợp chất được thành công định tính chiếm tới khoảng 96% tổng diện tích peak tín hiệu phổ GC của mẫu khí.

Đáng chú ý, trong nhóm các sản phẩm hợp chất thơm dẫn xuất của benzene hình thành từ quá trình cháy của vải sợi cotton chống cháy, thì benzene chiếm tỷ lệ diện tích peak rất lớn (lên tới trên 75%), thay thế cho một số sản phẩm thuộc nhóm dẫn xuất benzene chiếm tỷ trọng lớn trong thành phần khí sinh ra khi cháy của vải sợi cotton nguyên bản là toluene, styrene, và phenylethyne. Tuy nhiên, benzene lại được xác định là một hợp chất hữu cơ với độc tính cao, cao hơn rất nhiều so với toluene, styrene, hay phenylethyne [18].

Ngoài ra, quá trình đốt cháy vải sợi cotton chống cháy cũng hình thành khoảng 18 hợp chất thơm đa vòng (PAHs) có thể định tính, cao hơn rất nhiều so với chỉ 3 hợp chất thơm đa vòng khi đốt cháy vải sợi cotton nguyên bản, đồng thời tỷ lệ diện tích peak của các hợp chất thơm đa vòng cũng tăng từ khoảng 4% lên đến khoảng trên 7% tổng diện tích peak tín hiệu phổ GC của mẫu khí tương ứng. Nhìn chung, đây đều là những hợp chất mang tính nguy hại đối với sức khỏe con người, khi phơi nhiễm có thể dẫn tới nhiều vấn đề sức khỏe nghiêm trọng như bệnh tim mạch, ung thư, dị dạng thai nhi, v.v. [18,20].

Bên cạnh đó, trong thành phần sản phẩm đốt cháy của vải sợi cotton chống cháy cũng xuất hiện nhiều hợp chất giàu nguyên tố nitrogen (N), mà đáng chú ý nhất là 6-(3-nitrobenzylidenamino)-quinoxalin. Điều này có thể giải thích là do, hệ phụ gia chống cháy Pyrovatex CP hoạt động dựa trên cơ chế kết hợp hai thành phần hoá học nguyên tố với khả năng chống cháy cao là phosphorus (P) và nitrogen (N), trong đó nguyên tố phosphorus (P) chủ yếu đem lại hiệu quả trong pha ngưng tụ (thúc đẩy sự hình thành cấu trúc muội than), còn nguyên tố nitrogen (N) chủ yếu đem lại hiệu quả trong pha khí (hạn chế nhiên liệu cháy) [12-13]. Bởi vậy, rất dễ hiểu khi thành phần sản phẩm đốt cháy của vải sợi cotton chống cháy xuất hiện các hợp chất giàu nguyên tố nitrogen (N).

Nhìn chung, có thể thấy được rằng việc xử lý vải sợi cotton bằng hệ phụ gia chống cháy Pyrovatex CP mặc dù giúp cải thiện đáng kể tính chất chống cháy của loại vật liệu này, tuy nhiên quá trình cháy của vải sợi cotton chống cháy thu được lại có xu hướng sinh ra nhiều thành phần sản phẩm dạng khí độc hại hơn so với khi đốt cháy vải sợi cotton thông thường.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã thành công áp dụng phương pháp phân tích sắc ký khí kết hợp khối phổ (GC/MS) trong việc phân tích định tính các sản phẩm dạng khí thu được từ quá trình đốt cháy của vải sợi cotton thường và vải sợi cotton chống cháy xử lý bằng hệ phụ gia Pyrovatex CP, và xác định được 53 sản phẩm dạng khí với độ tin cậy cao – bao gồm 17 hợp chất thơm dẫn xuất của benzene, 19

hợp chất thơm đa vòng (PAHs), và 02 hợp chất thuộc nhóm furan. Đây đều là những hợp chất có độc tính, có nguy cơ ảnh hưởng lớn đối với sức khỏe con người.

Bên cạnh đó, kết quả phân tích cũng đã giúp phần nào kiểm chứng được cơ chế chống cháy của hệ phụ gia Pyrovatex CP. Cụ thể, mẫu vải sợi cotton chống cháy xử lý bằng hệ phụ gia Pyrovatex có xu hướng hình thành nhiều hơn các hợp chất thơm dẫn xuất của benzene và các hợp chất thơm đa vòng, chứng minh cho xu hướng phân huỷ nhiệt hình thành cấu trúc muội than chứa nhân thơm của vải sợi cotton chống cháy. Đồng thời, trong thành phần phân khí sinh ra khi cháy của vải sợi cotton chống cháy cũng chứa một số hợp chất giàu nguyên tố nitrogen (N), chứng minh cho sự kết hợp của hệ phụ gia Pyrovatex CP vào cấu trúc sợi vải cotton.

Đáng chú ý, quá trình đốt cháy vải sợi cotton chống cháy xử lý bằng hệ phụ gia Pyrovatex CP có xu hướng hình thành nhiều sản phẩm độc hại hơn so với vải cotton thông thường, mà đáng chú ý nhất là benzene và các hợp chất thơm đa vòng (PAHs). Điều này đặt ra yêu cầu cần thiết phải có những nghiên cứu sâu hơn mang tính định lượng, nhằm xác định chính xác nguy cơ tiềm ẩn của việc sử dụng vải sợi cotton chống cháy xử lý bằng hệ phụ gia Pyrovatex CP tại Việt Nam.

Lời cảm ơn

Các tác giả xin trân trọng cảm ơn sự tài trợ của Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam để thực hiện nghiên cứu này thông qua đề tài mã số: TĐPCCC.02/21-23.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Lambert A.D., (1992). *Repairing the Damage: Fires & Floods*, Bilbao: Evans Brothers.
- [2] Bard S., (2002). *Voices from the Past: Hong Kong 1842-1918*, Hong Kong: Hong Kong University Press.
- [3] Miller D., (1996). *City of the Century: The Epic of Chicago and the Making of America*, New York: Simon & Schuster.
- [4] Gao W.W., Zhang G.X., Zhang F.X., (2015). Enhancement of flame retardancy of cotton fabrics by grafting a novel organic phosphorous-based flame retardant. *Cellulose*, **22**(4), 2787.

- [5] Li P., Wang B., Xu Y.J., Jiang Z., Dong C., Liu Y., Zhu P., (2019). Ecofriendly flame-retardant cotton fabrics: Preparation, flame retardancy, thermal degradation properties, and mechanism. *ACS Sustain. Chem. Eng.*, **7(23)**, 19246.
- [6] Kilinc F.S., (2013). Handbook of Fire Resistant Textiles, Cambridge: Woodhead Publishing.
- [7] Chang S., Slopek R.P., (2014). Condon B., Grunlan J.C., Surface coating for flame-retardant behavior of cotton fabric using a continuous layer-by-layer process. *Ind. Eng. Chem. Res.*, **53(10)**, 3805.
- [8] Liu Z., Xu M., Wang Q., Li B., (2017). A novel durable flame retardant cotton fabric produced by surface chemical grafting of phosphorus- and nitrogen-containing compounds. *Cellulose*, **24(3)**, 4069.
- [9] Das O., Kim N.K., Hedenqvist M.S., Bhattacharyya D., Johansson E., Xu Q., Holder S., (2020). Naturally-occurring bromophenol to develop fire retardant gluten biopolymers. *J. Clean. Prod.*, **243(46)**, 118552.
- [10] Rakotomalala M., Wagner S., Döring M., (2010). Recent developments in halogen free flame retardants for epoxy resins for electrical and electronic applications. *Materials (Basel)*, **3(8)**, 4300
- [11] Wang Q., Liu J., Zhang L., Ci M., Zhang X., Jiang Z., Zhu P., (2020). Preparation and characterization of polyvinyl alcohol/sodium alginate/Pyrovatex CP composite fibers. *Ferroelectrics*, **562(1)**, 125.
- [12] Price D., Horrocks A.R., Akalin M., Farooq A.A., (1997). Influence of flame retardants on the mechanism of pyrolysis of cotton (cellulose) fabrics in air. *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, **40-41**, 511.
- [13] Farooq A.A., Price D., Milnes G.J., Horrocks A.R., (1991). Use of gas chromatographic analysis of volatile products to investigate the mechanisms underlying the influence of flame retardants on the pyrolysis of cellulose in air. *Polym. Degrad. Stab.*, **33(2)**, 155.
- [14] Nguyen N.T., Trinh T.H., Sam H.L., Nguyen Q.T., Le T.G., (2020a). Halogen-free flame-retardant flexible polyurethane for textile coating: Preparation and characterisation. *Fire Mater.*, **44(2)**, 269.
- [15] Nguyen N.T., Nguyen Q.T., Bui Q.M., (2020b). Phân tích đặc trưng vật liệu và thành phần khí phân hủy nhiệt của vải chống cháy tráng phủ polyuretan. *Vietnam J. Chem.*, **58(6E12)**, 102.
- [16] Vu T.H.K., Nguyen T.H., Nguyen P.D.L., (2021). Optimizing content of Pyrovatex CP New and Knittex FFRC in flame retardant treatment for cotton fabric. *Ind. Text.*, **72(3)**, 315.
- [17] Sevilla M., Fuertes A.B., (2009). The production of carbon materials by hydrothermal carbonization of cellulose. *Carbon*, **47(9)**, 2281.
- [18] Vitale C.M., Gutovitz S., (2023). Aromatic Toxicity, Treasure Island (FL): StatPearls Publishing.
- [19] Santucci K., Shah B., (2020). Association of naphthalene with acute hemolytic anemia. *Acad. Emerg. Med.*, **7(1)**, 42.
- [20] Bostrom C.E., Gerde P., Hanberg A., Jernström B., Johansson C., Kyrklund T., Rannug A., Törnqvist M., Victorin K., Westerholm R., (2002). Cancer risk assessment, indicators, and guidelines for polycyclic aromatic hydrocarbons in the ambient air. *Environ. Health Perspect.*, **110(3)**, 451.