

TỔNG QUAN VỀ CÁC PHƯƠNG PHÁP THỬ NGHIỆM MỨC ĐỘ SINH KHÓI

Phạm Minh Điền¹, Đào Duy Anh², Thành Hữu Hồng Giang³, Nguyễn Tâm⁴

^{1, 2, 3, 4}Viện khoa học công nghệ xây dựng

Email: ¹midibst@gmail.com, 0948683518; ²duyanhibst@gmail.com, 0935958881;

³hgiang8493@gmail.com, 354367941; ⁴nguyentamtd@gmail.com, 0394298849

DOI: <https://doi.org/10.59382/hnkh17-ibst.2025.ses2-10>

TÓM TẮT: Khói là một trong những yếu tố nguy hiểm trong các sự cố cháy công trình, không chỉ gây suy giảm tầm nhìn mà còn ảnh hưởng nghiêm trọng đến khả năng hô hấp và an toàn sinh mạng. Đánh giá định lượng mức độ sinh khói của vật liệu xây dựng thông qua các phương pháp thử nghiệm chuẩn hóa quốc tế là cơ sở quan trọng trong kiểm định và lựa chọn vật liệu có tính an toàn cháy cao. Bài báo này trình bày phân tích và so sánh chi tiết giữa một số phương pháp thử nghiệm mức độ sinh khói phổ biến theo các hệ tiêu chuẩn ISO, ASTM và EN. Các tiêu chuẩn này được đánh giá trên cơ sở nguyên lý hoạt động, điều kiện đốt mẫu, kích thước mẫu, thông số đo lường (mật độ khói, tốc độ sinh khói...), tính đại diện cho các kịch bản cháy và khả năng tái lập kết quả. Bảng tổng hợp so sánh chi tiết giúp hình thành cái nhìn toàn diện về ưu nhược điểm của từng phương pháp và hỗ trợ lựa chọn phương pháp thử phù hợp với mục tiêu đánh giá vật liệu xây dựng.

TỪ KHÓA: Sinh khói, mật độ khói, vật liệu xây dựng, an toàn cháy, thử nghiệm chuẩn hóa.

ABSTRACT: Smoke is among the most critical hazards in building fires, severely impairing visibility and threatening life safety through toxicity and respiratory incapacitation. Quantitative assessment of smoke generation using internationally standardized test methods is essential for selecting fire-safe construction materials. This paper presents a detailed analysis and comparison of several widely used smoke emission test methods under ISO, ASTM and EN systems. These standards are evaluated based on test principles, combustion conditions, specimen size, measurement parameters (optical density, smoke production rate, etc.), real-fire representativeness, and result repeatability. A comprehensive comparative matrix is provided to offer a holistic understanding of the strengths and limitations of each method, supporting effective method selection in the evaluation of construction materials.

KEYWORDS: Smoke production, optical density, construction materials, fire safety, standardized testing.

1. GIỚI THIỆU

Trong các vụ cháy công trình, khói được xác định là nguyên nhân hàng đầu gây tử vong, chiếm tỷ lệ lên đến 60–80% tổng số nạn nhân, chủ yếu do mất khả năng hô hấp, ngộ độc khí CO, HCN và suy giảm tầm nhìn dẫn đến hoảng loạn hoặc chậm trễ trong quá trình thoát nạn [1][2]. Trong khi nhiệt độ hoặc ngọn lửa có thể được cô lập bởi cấu kiện chịu lửa, cấu kiện ngăn cháy như cửa, vách,... thì khói lại lan truyền nhanh, thâm nhập vào các không gian không cháy và ảnh hưởng trực tiếp đến con người. Theo định nghĩa nêu trong ISO 13943:2017[3], “khói” là tập hợp các hạt rắn hoặc lỏng, có thể kèm theo khí, được sinh ra từ sự cháy hoặc phân hủy nhiệt. Tính chất và mật độ của khói

phụ thuộc vào nhiều yếu tố như loại vật liệu, điều kiện cháy (nhiệt độ, thông gió) và giai đoạn cháy. Đặc tính sinh khói của vật liệu đóng vai trò quyết định trong việc hình thành môi trường nguy hiểm khi xảy ra cháy, đặc biệt là trong các không gian kín. Do đó, kiểm soát và đánh giá chính xác chỉ số sinh khói trở thành yêu cầu thiết yếu trong quy trình thiết kế an toàn cháy không chỉ đối với công trình xây dựng mà còn cho các phương tiện giao thông như tàu bay, toa xe lửa và khoang tàu biển [4][5][6].

Hiện nay, có nhiều phương pháp thử nghiệm mức độ sinh khói đã được tiêu chuẩn hóa trên thế giới, thuộc hệ thống ISO (ISO 5659-2:2017, ISO 5660-1:2015, ISO 9239-1:2025, ISO 9705-1:2016),

ASTM (ASTM E662-21ae1, ASTM E1354-25, ASTM E84-24), và EN (EN 13823:2020+A1 2022). Tuy nhiên, mỗi phương pháp thử nghiệm được phát triển cho một mục tiêu riêng, có nguyên lý đo lường, cấu hình thiết bị và điều kiện đốt mẫu khác nhau. Điều này dẫn đến sự khác biệt lớn về kết quả thử nghiệm giữa các tiêu chuẩn, làm phát sinh thách thức trong việc so sánh dữ liệu, lựa chọn vật liệu hoặc xây dựng quy chuẩn áp dụng thống nhất cho nhiều vùng lãnh thổ.

Bài báo này nhằm phân tích và so sánh đặc điểm của một số phương pháp thử nghiệm điển hình theo các hệ tiêu chuẩn ISO, ASTM và EN để xác định mức độ sinh khói, trên cơ sở đánh giá các yếu tố: điều kiện thử, cơ chế đốt cháy, tham số đo lường, khả năng mô phỏng thực tế và độ lặp lại của kết quả. Bài viết không tập trung vào ứng dụng mô hình hóa hay thiết kế hệ thống kỹ thuật, mà nhấn mạnh vào góc nhìn so sánh lý thuyết giữa các tiêu chuẩn thử nghiệm.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT VỀ SINH KHÓI

Sinh khói là quá trình hình thành các hạt rắn hoặc lỏng lơ lửng trong không khí, được tạo ra trong quá trình cháy không hoàn toàn hoặc phân hủy nhiệt của vật liệu hữu cơ. Đặc tính sinh khói của một vật liệu phụ thuộc vào nhiều yếu tố như: thành phần hóa học, cấu trúc hình học, tốc độ gia nhiệt, mức độ cung cấp oxy và điều kiện đốt (cháy âm i, cháy có ngọn lửa, cháy theo bề mặt hay toàn phần) [7]. Do đó, việc đánh giá mức độ sinh khói cần được thực hiện dưới điều kiện tiêu chuẩn hóa nhằm bảo đảm tính lặp lại và so sánh được giữa các vật liệu khác nhau.

Các đại lượng được sử dụng phổ biến để định lượng mức độ sinh khói gồm:

+ **Mật độ quang học đặc trưng - Specific Optical Density (D_s)**: Đo mức suy giảm ánh sáng do khói gây ra trong buồng thử, theo đơn vị không có thứ nguyên, được tính từ phần trăm truyền sáng theo công thức logarit [8].

+ **Tốc độ sinh khói - Smoke Production Rate (SPR)**: lưu lượng khói sinh ra theo thời gian, đo bằng diện tích suy giảm ánh sáng do khói trong ống dẫn khí thải, đơn vị là m^2/s .

+ **Tổng lượng khói sinh ra - Total Smoke Release (TSR)**: Tổng tích lũy lượng khói phát ra trong suốt thời gian thử nghiệm, đơn vị là m^2/m^2 .

+ **Tốc độ sinh khói - Rate of smoke release (RSR)**: Tốc độ phát thải khói theo diện tích mẫu thử, đơn vị là $(m^2/s)/m^2$.

Trong các phép thử đánh giá đặc tính sinh khói của vật liệu, nguyên lý đo quang học được áp dụng nhằm xác định mức độ suy giảm ánh sáng do khói gây ra. Hệ thống đo sử dụng chùm sáng đơn sắc truyền qua buồng thử, và lượng ánh sáng bị hấp thụ hoặc tán xạ bởi khói được ghi nhận bằng cảm biến quang học. Trong các phép thử **ISO 5659-2** và **ASTM E662** chùm sáng được chiếu theo phương thẳng đứng từ đỉnh buồng xuống đáy, xuyên qua cột khói tích tụ trong buồng kín, để đo **mật độ khói quang học (D_s)** theo thời gian. Trong khi đó, **ISO 5660-1** sử dụng mô-đun đo khói tích hợp trong thiết bị **Cone Calorimeter**, trong đó chùm laser truyền qua dòng khí thải trong ống dẫn nằm ngang và được đo bằng cảm biến đặt đối diện, theo nguyên lý tương tự nhưng trong cấu hình dòng khí động học [9].

Một vấn đề quan trọng trong đo mức độ sinh khói là mối liên hệ giữa điều kiện thử nghiệm và kịch bản cháy thực tế. Các tiêu chuẩn thử nghiệm khác nhau đưa ra điều kiện đốt mẫu không đồng nhất: ISO 5659-2 và ASTM E662 thực hiện trong buồng kín, với thông gió cưỡng bức rất thấp nhằm tái hiện điều kiện cháy âm i hoặc cháy thiếu oxy; ISO 5660-1 và ASTM E1354 (với module đo khói) cho phép kiểm soát lưu lượng không khí và mô phỏng thông gió tự nhiên hoặc cưỡng bức có kiểm soát; ISO 9239-1 đánh giá quá trình cháy lan theo bề mặt sàn dưới dòng nhiệt bức xạ và có dòng khí ngang; trong khi EN 13823 và ISO 9705 mô phỏng điều kiện cháy thực ở quy mô trung bình và lớn, có dòng khí đối lưu và thoát khói như trong thực tế công trình [10][11][12]. Các yếu tố như thông gió, cấu hình đốt và quy mô mẫu đều ảnh hưởng đáng kể đến quá trình phân hủy nhiệt, sự hình thành hạt khói và tốc độ phát tán của chúng.

Do đó, việc so sánh các phương pháp thử nghiệm sinh khói cần được thực hiện dựa trên hiểu biết rõ ràng về cơ chế cháy - sinh khói, hệ đo lường quang học và mức độ đại diện của điều kiện thử so với thực tế. Đây là cơ sở để đánh giá sự phù hợp của từng phương pháp với mục tiêu sử dụng và yêu cầu kỹ thuật cụ thể trong kiểm định vật liệu hoặc xây dựng quy chuẩn.

3. CÁC PHƯƠNG PHÁP THỬ NGHIỆM

Các phương pháp thử nghiệm mức độ sinh khói (sau đây gọi là “phương pháp”) được sử dụng hiện nay rất đa dạng, phản ánh đặc thù của từng lĩnh vực ứng dụng và mục tiêu đánh giá. Phần này sẽ trình bày nội dung các phương pháp thử theo nhóm tiêu chuẩn quốc tế chính trong các lĩnh vực

xây dựng dân dụng, giao thông đường sắt, hàng không và hàng hải.

3.1. Phương pháp ISO 5659-2

Tiêu chuẩn ISO 5659-2 quy định phương pháp thử nghiệm nhằm đánh giá mức độ sinh khói của vật liệu khi bị nung nóng trong môi trường kín. Mẫu thử có kích thước 75×75 mm, chiều dày không vượt quá 25 mm, được đặt nằm ngang bên dưới bộ phận gia nhiệt hình nón cụt, có thể kết hợp với ngọn lửa mỗi sử dụng khí propane [8]. Phép thử được thực hiện với hai mức bức xạ nhiệt: 25 kW/m^2 và 50 kW/m^2 , dưới hai điều kiện: có ngọn lửa mỗi (flaming mode) và không có ngọn lửa mỗi (non-flaming mode), nhằm mô phỏng các mức độ cháy khác nhau của vật liệu. Khói sinh ra được tích tụ trong buồng kín (Smoke Density Chamber) và được đo bằng hệ thống quang học theo nguyên lý suy giảm ánh sáng truyền thẳng đứng từ đỉnh xuống đáy buồng, thông qua nguồn sáng đơn sắc và cảm biến thu sáng, để xác định mật độ khói quang học (D_s) theo thời gian.

Đại lượng chính thu được là Mật độ quang học đặc trưng (Specific Optical Density - D_s) và Tổng mật độ quang học (D_m). Vì buồng thử không có thông gió, kết quả phản ánh đặc tính sinh khói trong điều kiện cháy kín và thiếu oxy.

Phép thử theo ISO 5659-2 giúp định lượng mức độ sinh khói của vật liệu, phục vụ cho:

- + Lựa chọn vật liệu trong xây dựng, giao thông, hàng không, đường sắt.
- + Tuân thủ các quy định về an toàn cháy, như tiêu chuẩn EN 45545-2 cho ngành đường sắt.
- + So sánh đặc tính sinh khói của các vật liệu trong điều kiện cháy có ngọn lửa và không có ngọn lửa.
- + Áp dụng chủ yếu cho các vật liệu, sản phẩm, vật liệu tổng hợp (composite) hoặc các cụm vật liệu lắp ráp có chiều dày không quá 25 mm.
- + Sử dụng trong hoạt động nghiên cứu, chứng nhận sản phẩm và xét duyệt tiêu chuẩn ở những lĩnh vực mà khói có thể ảnh hưởng đến sinh mạng con người.

3.2 Phương pháp ASTM E662

Tiêu chuẩn ASTM E662 quy định phương pháp thử nghiệm nhằm xác định mật độ khói quang học của vật liệu rắn khi bị nung nóng hoặc đốt cháy trong môi trường kín. Phép thử được thực hiện trong buồng khói kín (Smoke Density Chamber) [13], tương tự như cấu hình của tiêu chuẩn ISO 5659-2, nhưng sử dụng hệ thống đo

quang học với chùm sáng truyền theo phương thẳng đứng từ đáy lên đỉnh buồng thử. Mẫu vật liệu có kích thước tiêu chuẩn được đặt theo phương đứng và chịu tác động của nguồn nhiệt từ bộ gia nhiệt điện trở hoặc ngọn lửa khí propane, nhằm mô phỏng hai trạng thái cháy: cháy âm ỉ (non-flaming) và cháy ngọn lửa (flaming).

Phương pháp ASTM E662 yêu cầu thời gian thử nghiệm kéo dài 20 phút trong buồng khói kín, dài hơn so với ISO 5659-2 (10 phút). Tuy nhiên, giá trị đo trọng yếu trong ASTM E662 được lấy tại các mốc sớm như 1,5 phút và 4 phút, phản ánh khả năng sinh khói trong giai đoạn đầu cháy. Đặc biệt, mốc VOF4 - tức tổng mật độ khói thu được trong vòng 4 phút đầu - là một chỉ số kỹ thuật quan trọng, phản ánh rủi ro mất tầm nhìn và ảnh hưởng hô hấp trong giai đoạn sơ tán ban đầu. Điều này giúp đánh giá nhanh tính an toàn của vật liệu khi bắt đầu cháy, đặc biệt thiết yếu đối với thiết kế cabin máy bay, tàu điện ngầm và các phương tiện giao thông kín, nơi phản ứng trong vài phút đầu là quyết định sống còn.

Mặc dù phương pháp này có giá trị thực tiễn trong việc đánh giá nhanh đặc tính sinh khói của vật liệu, nhưng do môi trường thử nghiệm không có thông gió cưỡng bức, nên không phản ánh đầy đủ các điều kiện cháy thực tế, đặc biệt là về động học khói và phân tán khí độc trong không gian mở.

3.3. Phương pháp ISO 5660-1

Tiêu chuẩn ISO 5660-1:2015 quy định phương pháp thử nghiệm đánh giá tốc độ giải phóng nhiệt (HRR - *Heat Release Rate*), mức độ sinh khói động học (SPR - *Smoke Production Rate*), tốc độ phát thải khói (RSR - *Rate of Smoke release*), tổng lượng khói sinh ra (TSR - *Total Smoke release*) và tỷ lệ mất khối lượng của vật liệu khi tiếp xúc với nguồn nhiệt bức xạ trong điều kiện kiểm soát. Phép thử được thực hiện bằng thiết bị Cone Calorimeter [15], trong đó mẫu thử được đặt nằm ngang và chịu tác động bởi nguồn nhiệt bức xạ từ 10 đến 75 kW/m^2 (tùy loại vật liệu), phổ biến là cấp 50 kW/m^2 , kèm theo ngọn lửa bổ sung. Các thông số đo được bao gồm:

- + Thời gian bắt cháy (Time to Ignition);
- + Tốc độ giải phóng nhiệt tức thời và trung bình (HRR, ARHE, MARHE);
- + Tốc độ sinh khói (SPR) và Tổng lượng khói (TSR);
- + Tỷ lệ mất khối lượng (Mass Loss Rate);
- + Độ che khuất ánh sáng (Smoke Obscuration).

Mục đích chính của phương pháp ISO 5660-1 là đánh giá sự làm việc khi cháy của vật liệu trong điều kiện thông gió có kiểm soát và phục vụ phân loại vật liệu theo yêu cầu an toàn cháy trong các lĩnh vực như:

- + Giao thông vận tải (tàu điện ngầm, tàu hỏa, máy bay, ô tô)
- + Xây dựng công trình công cộng;
- + Thiết kế nội thất và vật liệu phủ;
- + Cung cấp dữ liệu đầu vào cho mô phỏng cháy kỹ thuật số và nghiên cứu học thuật.
- + Hỗ trợ đánh giá tuân thủ các quy định quốc tế, ví dụ như EN 45545-2 trong ngành đường sắt châu Âu.

3.4. Phương pháp ASTM E1354 - Cone Calorimeter with Integrated Smoke Measurement

Tiêu chuẩn ASTM E1354 [14] quy định phương pháp thử nghiệm theo tiêu chuẩn của Hoa Kỳ, sử dụng thiết bị Cone Calorimeter tương đương với ISO 5660-1 để đánh giá đặc tính phản ứng cháy của vật liệu dưới tác động của nguồn nhiệt bức xạ có kiểm soát và trong điều kiện thông gió có kiểm soát.

Phương pháp ASTM E1354 được phát triển nhằm phục vụ các mục đích:

- + Đánh giá hiệu suất cháy của vật liệu trong nghiên cứu và phát triển sản phẩm.
- + Cung cấp dữ liệu đầu vào cho mô phỏng cháy (fire modelling) và phân tích nguy cơ cháy lan.
- + So sánh và xếp hạng vật liệu theo khả năng sinh nhiệt và sinh khói.
- + Chứng nhận tuân thủ quy định kỹ thuật trong các hệ thống tiêu chuẩn như NFPA, FAA hoặc tiêu chuẩn nội bộ của nhà sản xuất.

3.5 Phương pháp ASTM E84 - Surface Burning Characteristics in Tunnel Test

Tiêu chuẩn ASTM E84, còn gọi là Steiner Tunnel Test [15] quy định phương pháp thử tiêu chuẩn nhằm đánh giá đặc tính cháy bề mặt của vật liệu xây dựng, đặc biệt là các vật liệu hoàn thiện nội thất như vách ngăn, trần, tường và vật liệu trang trí.

Mục đích chính của phép thử là xác định khả năng lan truyền ngọn lửa và mức độ sinh khói của vật liệu khi bị cháy trong điều kiện thông gió cưỡng bức, mô phỏng môi trường hành lang kín.

Trong quá trình thử nghiệm, mẫu vật liệu có kích thước khoảng 508 mm × 7,3 m được gắn trên trần của một ống dẫn dài (Steiner Tunnel). Ngọn

lửa từ hai đầu đốt được duy trì trong 10 phút, trong khi hệ thống đo quang học ghi nhận:

- + Chỉ số lan truyền lửa (FSI - Flame Spread Index): phản ánh tốc độ và khoảng cách ngọn lửa lan trên bề mặt vật liệu
- + Chỉ số sinh khói (SDI - Smoke Developed Index): đo lượng khói phát sinh thông qua mức độ suy giảm ánh sáng, với thang đo từ 0 đến 450

Ứng dụng chính của phương pháp ASTM E84 gồm:

- + Phân loại vật liệu theo khả năng chống cháy: Class A (FSI 0 – 25), Class B (FSI 26 – 75), Class C (FSI 76 – 200)
- + Đáp ứng yêu cầu của các bộ quy chuẩn xây dựng như NFPA 101, IBC, UL 723.
- + Hỗ trợ thiết kế an toàn cháy trong các công trình công cộng, hành lang thoát hiểm, bệnh viện, trường học.
- + Phục vụ nghiên cứu và phát triển vật liệu mới có tính năng chống cháy cao.
- + Cung cấp dữ liệu kỹ thuật để chứng nhận sản phẩm hoặc kiểm tra chất lượng nội thất.

3.6. Phương pháp EN 13823 - Single Burning Item (SBI) Test

Tiêu chuẩn EN 13823, còn gọi là Single Burning Item (SBI) test [11], quy định phương pháp thử nghiệm bắt buộc trong hệ thống phân loại phản ứng cháy của vật liệu xây dựng theo tiêu chuẩn châu Âu EN 13501-1 [16].

Mục tiêu chính của phép thử là đánh giá hành vi cháy của vật liệu khi bị tác động bởi một nguồn cháy đơn, mô phỏng tình huống thực tế như một vật dễ cháy (ví dụ: bỏ giấy rác) bắt lửa ở góc tường.

Trong thử nghiệm, mẫu vật liệu có kích thước lớn khoảng 1500 × 1000 mm được dựng đứng theo cấu hình góc tường. Một ngọn lửa có công suất 30 kW được đặt tại góc giao giữa hai mặt mẫu, duy trì trong 20 phút. Hệ thống đo lường sẽ ghi nhận các thông số:

- + Tổng lượng khói sinh ra (TSP - Total Smoke Production).
- + Tốc độ phát triển khói (SMOGRA - Smoke Growth Rate).
- + Tổng lượng nhiệt giải phóng (THR - Total Heat Release).
- + Tốc độ phát triển cháy (FIGRA - Fire Growth Rate).
- + Hiện tượng giọt cháy và lan truyền ngọn lửa ngang (Droplets and lateral spread).

Kết quả thử nghiệm được sử dụng để phân loại vật liệu theo các cấp độ nguy hiểm cháy:

+ B, C, D...: phản ánh mức độ cháy từ thấp đến cao.

+ s1, s2, s3: biểu thị mức độ sinh khói từ thấp đến cao.

+ d0, d1, d2: biểu thị sự xuất hiện của giọt cháy hoặc hạt cháy.

Phương pháp EN 13823 đóng vai trò trung tâm trong hệ thống Euroclass, giúp các nhà sản xuất chứng nhận sản phẩm, đáp ứng yêu cầu CE-marking, và hỗ trợ thiết kế an toàn cháy trong các công trình xây dựng hiện đại. CE-marking (Conformité Européenne) là một dấu hiệu chứng nhận cho thấy sản phẩm đáp ứng đầy đủ các yêu cầu về an toàn, sức khỏe và bảo vệ môi trường theo quy định của Liên minh châu Âu (EU). Đây là điều kiện bắt buộc để sản phẩm được phép lưu hành trong Khu vực Kinh tế châu Âu (EEA).

3.7. Phương pháp ISO 9239-1 – Radiant Panel Test for Floorings

Tiêu chuẩn ISO 9239-1, còn gọi là Flooring Radiant Panel Test, quy định phương pháp thử nghiệm đánh giá khả năng lan truyền lửa và sinh khói của vật liệu lát sàn khi chịu tác động của nguồn nhiệt bức xạ [10].

Mục tiêu chính của phép thử nhằm xác định:

+ Chỉ số dòng nhiệt tới hạn (CRF – Critical Radiant Flux): phản ánh khả năng duy trì cháy lan của vật liệu.

+ Mức độ sinh khói: đo thông qua cường độ ánh sáng xuyên qua khói trong ống thoát khí.

Trong thử nghiệm, mẫu vật liệu có kích thước khoảng 1050×230 mm, được đặt nằm ngang dưới một tấm bức xạ nghiêng 30° , tạo ra gradient nhiệt từ 1,1 đến $10,9 \text{ kW/m}^2$. Một ngọn lửa nhỏ được đặt ở đầu mẫu để kích hoạt quá trình cháy. Hệ thống đo sẽ ghi nhận:

+ Khoảng cách lan truyền ngọn lửa theo thời gian

+ Cường độ ánh sáng suy giảm do khói để tính toán mức độ sinh khói

Kết quả thử nghiệm được sử dụng để phân loại vật liệu lát sàn theo hệ thống Euroclass EN 13501-1, gồm:

+ A2fl, Bfl, Cfl, Dfl...: phản ánh khả năng chống cháy.

+ s1, s2, s3: biểu thị mức độ sinh khói từ thấp đến cao.

Phương pháp ISO 9239-1 được áp dụng rộng rãi cho mọi loại vật liệu lát sàn như gỗ, cao su, nhựa, thảm dệt, và vật liệu phủ composite. Đây là tiêu chuẩn bắt buộc để sản phẩm được CE-marking và lưu hành tại thị trường châu Âu.

3.8 Phương pháp ISO 9705 – Full-Scale Room Corner Fire Test

Tiêu chuẩn ISO 9705, còn gọi là Full-scale Room Corner Test, là phương pháp thử nghiệm quy mô đầy đủ nhằm đánh giá toàn diện quá trình cháy và sinh khói của vật liệu hoàn thiện tường và trần [12] trong điều kiện giả lập thực tế.

Mục tiêu chính của phép thử là mô phỏng tình huống cháy khởi phát từ một nguồn nhiệt tại góc phòng, nhằm kiểm tra khả năng lan truyền ngọn lửa, sinh nhiệt và phát sinh khói của vật liệu trong môi trường kín có thông gió.

Trong thử nghiệm, vật liệu được lắp đặt phủ kín ba mặt tường và trần của một phòng thử tiêu chuẩn có kích thước khoảng $2,4 \times 3,6 \times 2,4$ m. Nguồn cháy được đặt tại góc giao giữa hai mặt tường, với công suất tăng dần từ 100 kW đến 300 kW trong vòng 20 phút.

Hệ thống đo lường ghi nhận các thông số quan trọng:

+ HRR (Heat Release Rate) - tốc độ giải phóng nhiệt.

+ SPR (Smoke Production Rate) - tốc độ sinh khói.

+ TSR (Total Smoke Release) - tổng lượng khói sinh ra.

+ Thời gian mất tầm nhìn (obscuration time) - phản ánh mức độ nguy hiểm do khói.

Ứng dụng của phương pháp ISO 9705 gồm:

+ Nghiên cứu chuyên sâu về ứng xử cháy của vật liệu hoàn thiện nội thất.

+ Hiệu chỉnh và xác thực mô hình cháy CFD (Computational Fluid Dynamics).

+ Đánh giá nguy cơ cháy lan và ảnh hưởng đến tầm nhìn trong các không gian kín.

+ Phân tích dữ liệu thực nghiệm để hỗ trợ thiết kế an toàn cháy và kiểm định sản phẩm.

4. PHÂN TÍCH VÀ SO SÁNH CÁC PHÉP THỬ

4.1. Phân tích và so sánh các phép thử (xem Bảng 1)

Mỗi phương pháp thử nghiệm sinh khói đều có phạm vi áp dụng, cấu hình thiết bị, điều kiện đốt và

chỉ tiêu đánh giá khác nhau. Việc phân tích và so sánh giữa các phép thử cần được đặt trong bối cảnh mục tiêu ứng dụng (thiết kế mô phỏng, đánh giá nguy hiểm cháy, phân loại vật liệu...) và điều kiện cháy đặc trưng mà phép thử mô phỏng...

4.2. Độ đại diện và khả năng ứng dụng mô hình

+ **ISO 5659-2** và **ASTM E662** là phép thử xác định mức độ sinh khói của vật liệu nhưng không đại diện tốt cho các tình huống cháy lan ngoài trời – không gian mở hoặc trong hành lang thông gió. Tuy nhiên, đây là lựa chọn hiệu quả để đánh giá khả năng che khuất tầm nhìn trong các khoang kín [8][13].

+ **ISO 5660-1** và **ASTM E1354** có độ linh hoạt cao trong điều chỉnh thông gió và cho ra dữ liệu HRR, CO/CO₂, SPR, TSR đồng thời, hỗ trợ mô phỏng CFD và các phần mềm tính toán thoát nạn (ví dụ Pathfinder, FDS) [9][14].

+ **ASTM E84** và **EN 13823** mang tính phân loại vật liệu theo tiêu chí lan khói và cháy trong hành lang, phòng. Tuy nhiên, kết quả khó nội suy về các điều kiện khác nếu không có thử nghiệm bổ sung [11][15].

+ **ISO 9239-1** được sử dụng để thử nghiệm vật liệu sàn trong các ngành như **xây dựng, hàng không, đường sắt và hàng hải**, nhằm đảm bảo tuân thủ các quy định an toàn cháy quốc tế.

+ **ISO 9705** là phép thử có tính thực nghiệm đầy đủ, thường dùng để xác thực hoặc điều chỉnh sai số từ các phép thử nhỏ hơn, đóng vai trò như phép thử thực địa mô phỏng cháy thật [8].

Lưu ý:

+ **ASTM E662** và **ISO 5659-2** rất phù hợp với thử nghiệm vật liệu nội thất rời vì dùng mẫu nhỏ và điều kiện thử khép kín giúp phát hiện vật liệu sinh khói nhiều dù không cháy mạnh.

+ **ASTM E 1354** phù hợp với thử nghiệm vật liệu của hạng mục nội thất như bàn, ghế sofa...

+ **ASTM E84, EN 13823** và **ISO 9239-1** là các tiêu chuẩn phân loại vật liệu hoàn thiện cố định trong tường, trần, sàn.

+ **ISO 9705** có tính ứng dụng cao trong thử nghiệm phối hợp nhiều vật liệu và kết cấu hoàn chỉnh, gần với thực tế công trình.

5. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày và phân tích các phương pháp thử nghiệm mức độ sinh khói đang được sử dụng phổ biến hiện nay, bao gồm: ISO 5659-2, ISO 5660-1, ASTM E 662, ASTM E 1354, ASTM

E 84, ISO 9239-1, EN 13823, và ISO 9705. Đây là những phép thử có vai trò quan trọng trong việc đánh giá ứng xử cháy, đặc biệt là khả năng sinh khói – một trong những yếu tố gây tử vong hàng đầu trong các sự cố cháy của vật liệu không chỉ trong lĩnh vực xây dựng mà còn trong lĩnh vực hàng hải, hàng không và đường sắt [1][4][6].

Mỗi phương pháp thử nghiệm có những nguyên lý đo lường, quy mô, chỉ tiêu đánh giá và phạm vi ứng dụng riêng biệt. Trong đó:

+ **ISO 5659-2** và **ASTM E 662** chuyên đánh giá mật độ khói (optical density), phù hợp cho việc xếp loại vật liệu nội thất trong điều kiện thử nghiệm buồng kín [8][13].

+ **ISO 5660-1** và **ASTM E 1354** mở rộng khả năng đo lường thêm các chỉ tiêu như HRR, SEA và TSP, hỗ trợ phân tích hành vi cháy tổng thể [9][14].

+ **EN 13823** là phương pháp trung gian có thể đo SMOGRA – tốc độ phát triển khói, và được sử dụng để phân loại vật liệu theo hệ thống Euroclass [11].

+ Các phép thử quy mô lớn như **ASTM E 84, ISO 9705** có thể mô phỏng tình huống cháy thực, nhưng chi phí thực hiện khá tốn kém [12][15].

Việc lựa chọn phương pháp thử nghiệm phù hợp cần dựa trên mục tiêu ứng dụng, loại vật liệu, và quy định cụ thể của từng ngành hoặc khu vực địa lý (ví dụ: EN 45545-2 cho đường sắt châu Âu [4][18], IMO FTP Code 010[6] cho hàng hải [12], FAR 25.853 cho hàng không [17]).

Đáng chú ý, không một phương pháp thử nghiệm đơn lẻ nào đủ để mô tả toàn diện diễn biến sinh khói của vật liệu. Các dữ liệu đo từ các phép thử khác nhau cần được đối chiếu và kết hợp để phục vụ các mục tiêu như: thiết kế thoát nạn, hiệu chỉnh mô hình mô phỏng cháy, hoặc so sánh mức độ an toàn giữa các giải pháp vật liệu.

Hiện tại, Phòng thí nghiệm chống cháy (LAS XD 24.093 / VLAT 1.1060) có thể thực hiện các phép thử nghiệm mức độ sinh khói theo tiêu chuẩn ISO 5659-2, ASTM E 662, ISO 5660-1 và ASTM E 1354. Đây là những phép thử nghiệm cốt lõi trong các phương pháp thử nghiệm mức độ sinh khói, đáp ứng được các yêu cầu đánh giá mức độ sinh khói của các loại vật liệu xây dựng, vật liệu hoàn thiện nội thất trên khoang tàu biển, nội thất tàu bay cũng như nội thất toa tàu hỏa. Với năng lực này, Phòng thí nghiệm chống cháy có thể đóng góp đáng kể trong các đánh giá chuyên sâu về mức độ sinh khói góp phần hoàn thiện các quy chuẩn nghiệm thu các đối với các hạng mục nêu trên.

Bảng 1. Phân tích và so sánh các phép thử nghiệm mức độ sinh khói

Tiêu chuẩn phương pháp thử	Điều kiện đốt & Thông gió	Chỉ số đo sinh khói chính	Loại vật liệu áp dụng	Mô phỏng cháy thực tế	Tính khả thi	Mục tiêu đánh giá chính
ISO 5659-2: 2017	Buồng kín, không thông gió	Ds	Nội thất rời, nhựa, ốp trang trí	Thấp	Phổ biến, chi phí thấp	Mật độ khói quang học
ASTM E 662-21ae1	Buồng kín, không thông gió	Ds, D _{Smax} , VOF4	Vật liệu nội thất tàu bay, phương tiện giao thông	Thấp	Dễ triển khai	Mật độ khói quang học
ISO 5660-1: 2015 / ASTM E 1354-25	Thông gió có kiểm soát	HRR, SPR, TSR, RSR	Gỗ, composite, vật liệu cách nhiệt	Trung bình – Cao	Trung bình – yêu cầu thiết bị đặc thù	Phân tích năng lượng cháy & sinh khói
ASTM E 84-24	Mô hình đường hầm, thông gió cưỡng bức	Smoke Developed Index (SDI)	Vật liệu ốp tường, trần cố định	Trung bình	Thiết bị lớn, cồng kềnh	Tốc độ cháy lan & sinh khói
EN 13823: 2020 +A1 2022	Mô phỏng cháy góc phòng, thông gió có kiểm soát	FIGRA, SMOGRA, TSP	Hoàn thiện tường & trần nội thất	Cao	Yêu cầu lò thử chuyên dụng	Phân loại phản ứng với lửa (Euroclass)
ISO 9239-1: 2025	Thông gió có kiểm soát	Độ dài cháy lan và chỉ số khói	Vật liệu sàn như thảm, vinyl, laminate	Trung bình	Tương đối phổ biến	Đánh giá cháy lan sàn & sinh khói
ISO 9705-1:2016	Phòng thực, đốt hoàn chỉnh, thông gió có kiểm soát	TSR, HRR	Tổ hợp vật liệu đã hoàn thiện thực tế	Rất cao	Chi phí và quy mô lớn	Mô phỏng thực nghiệm tổng thể

Ghi chú:

+ TSR: Total Smoke Released (tổng lượng khói sinh ra).

+ SPR: Smoke Production Rate (tốc độ sinh khói)

+ D_s / D_m: Specific Optical Density / Maximum Smoke Density (mật độ quang học riêng / mật độ khói lớn nhất).

+ HRR: Heat Release Rate (tốc độ giải phóng nhiệt).

+ SDI: Smoke Developed Index (chỉ số phát sinh khói).

+ FIGRA / SMOGRA: Fire Growth Rate / Smoke Growth Rate Index (chỉ số tốc độ phát triển cháy/ phát triển khói).

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Drägg White Paper (2023), Understanding the Toxic Twin: CO and HCN.
- [2] <https://www.schuylercounty.us/DocumentCenter/View/5139/Hydrogen-Cyanide-in-Fire-Investigations-2>.
- [3] ISO 13943:2023 Fire Safety – Vocabulary.

- [4] EN 45545-2:2020+A1:2023, Railway applications - Fire protection on railway vehicles - Part 2: Requirements for fire behaviour of materials and components.
- [5] ICAO Doc 9943, Manual on Testing of Aircraft Interior Materials and Components.
- [6] IMO FTP Code 2010, International Code for Application of Fire Test Procedures.
- [7] SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, Springer, 2016.
- [8] ISO 5659-2:2017, Plastics - Smoke generation - Part 2: Determination of optical density by a single-chamber test.
- [9] ISO 5660-1:2015, Reaction-to-fire tests - Heat release, smoke production and mass loss rate.
- [10] ISO 9239-1:2025, Reaction to fire tests for floorings - Part 1: Determination of the burning behaviour.
- [11] EN 13823:2020, Reaction to fire tests for building products - SBI test.
- [12] ISO 9705-1:2016, Reaction to fire tests - Room corner test for wall and ceiling linings.

- [13] ASTM E662-21ae1, Standard Test Method for Specific Optical Density of Smoke Generated by Solid Materials.
- [14] ASTM E 1354-25, Standard Test Method for Heat and Visible Smoke Release Rates.
- [15] ASTM E84-24, Standard Test Method for Surface Burning Characteristics of Building Materials.
- [16] EN 13501-1:2019, Fire classification of construction products and building elements - Part 1.
- [17] FAA FAR 25.853, Compartment interiors - Flammability requirements.
- [18] EN 17804:2023, Railway applications - Fire protection on railway vehicles - Testing of components.