

Nghiên cứu, đánh giá một số phương pháp, kỹ thuật đo thường được sử dụng để xác định hệ số dẫn nhiệt vật liệu xây dựng

Lê Tuấn Anh^{1*}, Lê Cao Chiến¹, Lê Thị Song¹

¹ Trung tâm Thiết bị, Môi trường & An toàn lao động – Viện Vật liệu xây dựng

TỪ KHÓA

Hệ số dẫn nhiệt
Tấm nóng được bảo vệ
Lưu lượng nhiệt
Đĩa nóng
Vật liệu xây dựng

TÓM TẮT

Hệ số dẫn nhiệt của vật liệu là một thông số quan trọng nhằm đánh giá khả năng cách nhiệt của vật liệu. Bài báo này trình bày một số phương pháp và thiết bị được sử dụng để xác định hệ số dẫn nhiệt của vật liệu. Kết quả nghiên cứu, so sánh về hệ số dẫn nhiệt của một số vật liệu xây dựng như xốp expanded polystyrene (EPS), tấm thạch cao, bông khoáng, tấm polyurethane (PU) và gạch bê tông nhẹ (AAC) bằng ba thiết bị bao gồm thiết bị đo hệ số dẫn nhiệt bằng tấm nóng được bảo vệ GHP 900S, thiết bị đo lưu lượng nhiệt HFM300 và thiết bị đo hệ số dẫn nhiệt Hot Disk TPS2200 cũng được thảo luận.

KEY WORDS

Thermal conductivity
Guarded hot plate
Heat flow meter
Hot disk
Building material

ABSTRACT

The thermal conductivity of material is an important parameter to evaluate the material's thermal insulation ability. This paper presents the methods and equipment used to determine the thermal conductivity of materials. In addition, specific research results on the thermal conductivity of some building materials such as expanded polystyrene (EPS) foam, gypsum board, rock wool and polyurethane (PU) board and autoclaved aerated concrete using three devices including the guarded hot plate apparatus GHP 900S, the heat flow meter HFM300 and the Hot Disk TPS2200 are also discussed.

1. Giới thiệu

Hiện nay, có hai kỹ thuật cơ bản để đo hệ số dẫn nhiệt: phương pháp trạng thái ổn định và phương pháp trạng thái không ổn định (hay còn được gọi là phương pháp trạng thái nhất thời). Mỗi phương pháp này đều phù hợp với một phạm vi vật liệu hạn chế và chúng dựa trên các định luật cơ bản về dẫn nhiệt. Các phương pháp trạng thái ổn định đã được sử dụng rộng rãi vì chúng đơn giản hơn về mặt toán học. Các phương pháp trạng thái không ổn định có khả năng xác định trực tiếp độ khuếch tán nhiệt, trong khi các phương pháp ở trạng thái ổn định được coi là chính xác hơn các phương pháp nhất thời để thử nghiệm vật liệu khô. [1]

Phương pháp trạng thái ổn định ghi lại phép đo khi trạng thái nhiệt của vật liệu được thử nghiệm đạt đến trạng thái cân bằng hoàn toàn. Trạng thái ổn định đạt được khi nhiệt độ tại mỗi điểm của mẫu không đổi và nhiệt độ không thay đổi theo thời gian. Tuy nhiên, có một nhược điểm là thường phải mất nhiều thời gian để đạt được trạng thái cân bằng cần thiết [1]. Phương pháp này sử dụng thiết bị đắt tiền vì thường cần một hệ thống lắp đặt thử nghiệm được thiết kế tốt. Tuy nhiên, đây là phương pháp đo lường cơ bản và chính xác nhất.

Phương pháp trạng thái không ổn định hoặc nhất thời ghi lại một phép đo trong quá trình gia nhiệt. Phương pháp xác định đặc tính dẫn nhiệt bằng cảm biến nhất thời. Những phép đo này có thể được thực hiện tương đối nhanh chóng, điều này mang lại lợi thế hơn các kỹ thuật ở trạng thái ổn định [1,2,3]. Các phương pháp nhất thời thường sử dụng đầu dò kim hoặc dây [1].

Hiện nay trên cơ sở của hai phương pháp trên có nhiều loại thiết bị đo hệ số dẫn nhiệt được sản xuất, tuy nhiên chưa có công bố nào tại Việt

Nam đánh giá về khả năng làm việc hiệu quả của các thiết bị này, vì vậy nghiên cứu này được thực hiện nhằm làm rõ về khả năng thử nghiệm của các thiết bị này và đưa ra điều kiện hoạt động tối ưu cho từng thiết bị.

Sự dẫn nhiệt trong các tòa nhà xảy ra qua các vật liệu xây dựng như tường, trần nhà và cửa sổ. Nhiệt truyền từ bên trong ra bên ngoài của tòa nhà vào mùa đông và từ bên ngoài tòa nhà vào bên trong vào mùa hè. Dòng nhiệt qua quá trình dẫn nhiệt bị ảnh hưởng bởi độ dày của tường và chênh lệch nhiệt độ ở cả hai mặt của tường, vật liệu của tường và hệ số dẫn nhiệt λ của loại vật liệu được sử dụng. Giá trị λ phụ thuộc vào tính chất vật lý và độ ẩm vật liệu. Vật liệu có giá trị λ lớn là vật liệu nhiệt tốt và với giá trị λ nhỏ là vật liệu cách nhiệt tốt và giảm lượng nhiệt truyền giữa bên trong và bên ngoài tòa nhà [4]. Vật liệu cách nhiệt được tạo ra dưới nhiều dạng bao gồm nhiều loại hình dạng như dạng tấm, dạng cuộn, dạng ống, dạng viên, ... có các cấu trúc khác nhau như cấu trúc xốp, cấu trúc dạng sợi, cấu trúc đặc... Nhiều nghiên cứu đã xem xét tác động của các thông số khác nhau đến hiệu suất nhiệt của vật liệu cách nhiệt. Hệ số dẫn nhiệt trong là một trong những thông số quan trọng nhất mà các kỹ sư nhiệt, cơ khí, vật liệu và dân dụng phải xác định [5].

Các giá trị được nhà sản xuất công bố về đặc tính nhiệt một số vật liệu nhất định đang không đầy đủ và thiếu thông tin quan trọng như khối lượng riêng và nhiệt độ của vật liệu được thử nghiệm. Nói chung, hệ số dẫn nhiệt của vật liệu phụ thuộc vào thành phần, cấu trúc, mật độ và nhiệt độ của vật liệu thử nghiệm. Bài báo này thực hiện các thử nghiệm xác định hệ số dẫn nhiệt bằng các phương pháp khác nhau trên cùng loại vật liệu và trong cùng một điều kiện nhiệt độ.

*Liên hệ tác giả: letuananh20011996@gmail.com

Nhận ngày 22/05/2024, sửa xong ngày 24/09/2024, chấp nhận đăng ngày 03/10/2024

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.06.2024.718>

Bảng 1. Bảng so sánh các phương pháp đo hệ số dẫn nhiệt [3,6,7]

Phương pháp		Phạm vi nhiệt độ	Độ chính xác	Loại vật liệu thử nghiệm	Ưu điểm	Nhược điểm
Phương pháp trạng thái ổn định	Tấm nóng được bảo vệ	- 80–800 K - -180–1000°C - 80–1500 K [	- 2% và 0,0001–2 W/(m.K) - 2–5% và 0,0001–1 W/(m.K)	Vật liệu cách nhiệt và chất rắn cách nhiệt	Độ chính xác cao	Đo thời gian dài, kích thước mẫu lớn, vật liệu có độ dẫn nhiệt thấp
	Máy đo lưu lượng nhiệt	-100–200°C đối với thông thường - 90–1300 K đối với dòng nhiệt trực. - 298–2600 K đối với dòng nhiệt xuyên tâm	- 3–10% và 0,007–1,0 W/(m.K) - 0,5–2% và 10–500 W/(m.K) - 3 - 15% và 0,01–200 W/(m.K)	Vật liệu cách nhiệt, nhựa, thủy tinh, gốm sứ. Một số kim loại, đá, polyme. Kim loại và chất rắn.	Cấu tạo và vận hành đơn giản	Đo lường tương đối
	Sưởi ấm trực tiếp	400–3000 K	2–10% 2–5% và 10–200 W/(m.K)	Kim loại, dây, thanh, ống dẫn nhiệt	Đo lường đơn giản và nhanh chóng , xác định đồng thời độ dẫn nhiệt	Chỉ những vật liệu dẫn nhiệt
	Phương pháp ống	20–2500°C và 50–800°C	3–20% và 0,02–2 W/(m.K)	Chất rắn canxi silicat, sợi khoáng và sợi chịu lửa	Phạm vi nhiệt độ rộng	Chuẩn bị mẫu, thời gian đo dài
Phương pháp trạng thái không ổn định (Phương pháp nhất thời)	Dây nóng, dải nóng	+ 20–2000°C, + - 40–1600°C đối với dây nóng + -50–500°C đối với dải nóng + 298–1800 K đối với dây nóng	+ 1–10 % 0,001–20 W/(m.K) cho dây nóng và 0,1–5 W/(m.K) cho dải nóng + 5–15% và 0,02–2 W/(m.K) cho dây nóng.	Chất lỏng, thủy tinh, chất rắn $\lambda_{\text{thấp}}$ vật liệu chịu lửa và nhựa, hạt, bột cho dây nóng và thủy tinh, thực phẩm, gốm sứ cho dải nóng	Phạm vi nhiệt độ, nhanh chóng, chính xác	Giới hạn ở vật liệu có độ dẫn nhiệt thấp
	Đĩa nóng (kỹ thuật TPS)	30–1200 K		Chất lỏng, bột nhão, chất rắn và bột	Độ chính xác thấp, thời gian rất ngắn , tính chất nhiệt khác nhau đồng thời	Phạm vi 0,005 và 500 W/(m K)
	Đèn flash laze	-100–3000°C và 100–3300 K	3–5% [7] 1,5–5 % [10] và 0,1–1500 W/(m.K)	Chất rắn, chất lỏng và bột và kim loại lỏng, polyme, gốm sứ	Phạm vi nhiệt độ, mẫu nhỏ nhất, nhanh, chính xác ở nhiệt độ cao	Đắt tiền, không dành cho vật liệu cách nhiệt
	Quang nhiệt (PT), Quang âm	30–1500 K -50–500°C và 200–800 K đối với PT	1–10 % 0,1–200 W/(m.K) đối với PT	Chất rắn, chất lỏng, chất khí, màng mỏng, các phần nhỏ của hầu hết chất rắn	Có thể sử dụng cho màng mỏng, chất lỏng và khí	Độ chính xác thấp

2. Vật liệu và phương pháp thử nghiệm

2.1 Vật liệu

Các loại vật liệu sử dụng trong nghiên cứu này bao gồm: mẫu expanded polystyrene (EPS) chuẩn, tấm thạch cao, bông khoáng, tấm

polyurethane (PU) và gạch bê tông nhẹ (AAC). Thông tin cụ thể như trong Bảng 2.

Mẫu thử được gia công, theo yêu cầu của từng thiết bị như Bảng 3.

Bảng 2. Thông tin các sản phẩm thử nghiệm

STT	Tên Mẫu	Nguồn gốc	Thông số kỹ thuật	Kí hiệu
1	Gạch AAC	Gạch Viglacera	Chiều dày: 10-100 mm Tỷ trọng: 600 kg/m ³	M1
2	Tấm thạch cao	Tấm thạch cao tiêu chuẩn Knauf	Chiều dày: 12,7 mm Tỷ trọng: 685 kg/m ³	M2
3	Bông khoáng	Bông khoáng Remak	Chiều dày: 10-50 mm Tỷ trọng: 50 kg/m ³	M3
4	Tấm PU	Công ty Tân Phú Minh	Chiều dày: 10-50mm Tỷ trọng: 40 kg/m ³	M4
5	Mẫu EPS chuẩn	Mẫu chuẩn của thiết bị GHP900S	Chiều dày: 15-40 mm Tỷ trọng: 25 kg/m ³	M5

Bảng 3. Kích thước mẫu thử nghiệm.

STT	Mẫu thử	Thiết bị GHP900S	Thiết bị HFM300	Thiết bị Hot Disk TPS2200
		Kích thước (dài x rộng x dày) (mm)	Kích thước (dài x rộng x dày) (mm)	Kích thước (dài x rộng x dày) (mm)
1	Gạch AAC	500x500x100	300x300x98,8	40x40x15
2	Tấm thạch cao	900x900x12,7	300x300x12,2	40x40x12,7
3	Bông khoáng	900x900x50	300x300x55,7	90x90x30
4	Tấm PU	900x900x50	300x300x38,9	90x90x30
5	Mẫu chuẩn EPS	500x500x39,7	300x300x39,7	90x90x15

2.2 Phương pháp đo

2.2.1 Phương pháp tấm nóng được vệ

Phương pháp tấm nóng được bảo vệ hay còn được gọi là phương pháp GHP là phương pháp được sử dụng phổ biến và hiệu quả nhất để đo hệ số dẫn nhiệt của vật liệu cách nhiệt. GHP hoạt động dựa trên sự chênh lệch nhiệt độ ổn định trên toàn bộ chiều dày đã đo được của mẫu và kiểm soát dòng nhiệt đi qua vật liệu. Các phép đo tấm nóng được bảo vệ được phân tích dựa trên cơ sở truyền nhiệt trong hình học tấm vô hạn. Vì kích thước mẫu là hữu hạn nên có thể đạt được dòng nhiệt một chiều thông qua việc sử dụng bộ gia nhiệt có bảo vệ. Nhiệt độ của tấm bảo vệ nhiệt được duy trì ở cùng nhiệt độ với bề mặt liền kề của nó (được coi là bộ gia nhiệt/tản nhiệt phụ), để tránh thất thoát nhiệt từ mẫu thử và nguồn nhiệt/tản nhiệt, do đó đạt được dòng nhiệt một chiều [8]. Sau khi đạt trạng thái ổn định, các tấm gia nhiệt và làm mát có nhiệt độ ổn định, hệ số dẫn nhiệt có thể được xác định dựa trên nhiệt đầu vào, chênh lệch nhiệt độ qua mẫu, độ dày của mẫu và kích thước của vùng truyền nhiệt được đo. Các điều kiện ở trạng thái ổn định có thể thay đổi tùy theo loại mẫu, kích thước mẫu và nhiệt độ trung bình mẫu thử [9].

2.2.2 Phương pháp đo lưu lượng nhiệt

Phương pháp đo lưu lượng nhiệt nguyên lý đo giống với phương pháp đo tấm nóng được bảo vệ một mẫu. Nguyên lý đo của phương pháp này là nội suy dòng nhiệt dựa trên phép đo sự giảm nhiệt độ trên

toàn bộ diện trở nhiệt. Lưu lượng nhiệt được thực hiện bằng cách sử dụng mẫu tham chiếu đã được chứng nhận hoặc cảm biến thông lượng nhiệt. Mẫu được đặt giữa hai tấm được giữ ở nhiệt độ khác nhau, một tấm được làm nóng và tấm kia được làm mát. Thay vì sử dụng bộ gia nhiệt chính như trong phương pháp tấm nóng có bảo vệ, bộ chuyển đổi thông lượng nhiệt được sử dụng để đo dòng nhiệt đi qua mẫu. Thông lượng nhiệt được xác định bằng dòng điện bằng phép đo độ sụt áp qua điện trở. Cảm biến cung cấp tín hiệu đầu ra điện. Tín hiệu đo được và sự thay đổi nhiệt điện tỷ lệ thuận với sự giảm nhiệt độ xảy ra trên toàn bộ tấm. Cảm biến thông lượng nhiệt thường bao gồm một loạt các kết nối của cặp nhiệt điện trải qua một điện trở nhiệt, ví dụ, một tấm gốm hoặc nhựa mỏng [6]. Dòng nhiệt thứ hai đôi khi được đưa vào tấm lạnh để đo tổn thất nhiệt xuyên tâm và cũng để giảm thời gian cần thiết cho phép đo. Việc giảm thời gian này mang lại lợi thế cho phương pháp này khi đo vật liệu cách nhiệt. Nhiệt độ của các tấm được đo và điều chỉnh đến điểm đặt mong muốn khi đạt giá trị không đổi. Điều kiện trạng thái ổn định xảy ra khi lượng dòng nhiệt bằng nhau tại mỗi điểm của hệ thống phân lớp. Sau khi thiết lập trạng thái cân bằng nhiệt, thử nghiệm được xác định trong các điều kiện. Để tính toán độ dẫn nhiệt, nhiệt độ ở trạng thái ổn định, độ dày của mẫu, diện tích đo của mẫu và thông lượng nhiệt đầu vào tấm nóng được sử dụng. Thông lượng nhiệt đầu ra thường được hiệu chuẩn bằng các tiêu chuẩn tham chiếu khác nhau, và thường là trong thiết bị tấm nóng được bảo vệ. [10]

2.2.3 Phương pháp đĩa nóng

Phương pháp đĩa nóng sử dụng một cảm biến có dạng xoắn ốc kẹp bằng vật liệu phủ niken. Cảm biến TPS bao gồm một số vòng tròn đồng tâm được tạo thành hình xoắn ốc kép để dòng điện sẽ truyền từ đầu này sang đầu kia. Một vật liệu phủ polymer mỏng được sử dụng làm vật liệu cách điện và bảo vệ cảm biến trên đường xoắn ốc. Các vật liệu phủ phổ biến nhất là Kapton để đo nhiệt độ trong khoảng từ 30 đến 450 K, Mica cho nhiệt độ cao hơn lên tới 1200 K [11] và Teflon. Cảm biến hoạt động như một nguồn nhiệt và nhiệt kế. Nguồn và nhiệt kế được sử dụng để xác định sự thay đổi nhiệt độ của mẫu và độ tăng nhiệt độ theo thời gian. Cảm biến được kẹp giữa hai mảnh mẫu vật, trong quá trình thử nghiệm, một dòng điện chạy qua xoắn ốc niken và

làm tăng nhiệt độ. Nhiệt sinh ra sẽ tiêu tan khắp mẫu ở hai bên. Bằng cách so sánh nhiệt độ với phản ứng thời gian trong cảm biến, độ dẫn nhiệt hoặc độ khuếch tán có thể được tính toán chính xác [12,13].

2.2.4. Thiết bị đo

Nghiên cứu này sử dụng 3 phương pháp đo trên 3 thiết bị khác nhau bao gồm: phương pháp đo hệ dẫn nhiệt của vật liệu bằng tấm nóng được bảo vệ sử dụng thiết bị GHP 900S, phương pháp đo hệ số dẫn nhiệt bằng thiết bị đo lưu lượng nhiệt HFM300 và phương pháp đo hệ số dẫn nhiệt bằng đĩa nóng sử dụng thiết bị Hot Disk TPS2200.



a) Thiết bị Hot Disk TPS2200



b) Thiết bị đo lưu lượng nhiệt HFM300



c) Thiết bị GHP900S

Hình 1. Thiết bị Hot Disk TPS2200 và HFM300.

2.2.4.1 Thiết bị GHP900S

Thiết bị GHP900S cho phép hệ đo có thể bao gồm một "tấm nóng" được bảo vệ bằng hệ thống sưởi và một "tấm lạnh" được bảo vệ làm mát kẹp mẫu thử hoặc hệ đo hai mẫu gồm hai "tấm lạnh" và một "tấm nóng".

Thiết bị thường được sử dụng để thử nghiệm vật liệu cách nhiệt có độ dẫn nhiệt thấp, tuy nhiên cũng có thể được sử dụng để vật liệu không cách nhiệt như nhựa, polyme, gỗ, bê tông, đá tự nhiên, đất nền, thủy tinh và gốm sứ. Kích thước của mẫu thử thông thường là 500x500mm với độ dày từ 10 mm đến 380mm. Thiết bị có thể đo độ dẫn nhiệt của vật liệu khác nhau từ 0,005 W/(m.K) đến 2 W/(m.K) ở nhiệt độ từ -10°C đến 70°C. Thiết bị được thiết kế phù hợp với tiêu chuẩn ISO 8302, ASTM C177, EN 1946-2, EN 12664, EN 12667, EN 12939 và EN 674 [14].

2.2.4.2 Thiết bị Hot Disk TPS2200

Thiết bị Hot Disk TPS2200 được thiết kế để phân tích chính xác các đặc tính truyền nhiệt - bao gồm hệ số dẫn nhiệt, độ khuếch tán nhiệt và nhiệt dung riêng. TPS 2200 cho phép đo một phạm vi đáng kể các vật liệu có hình dạng và kích thước khác nhau, bao gồm cả chất rắn, bột nhão và chất lỏng. TPS 2200 có thể đo các khối nhỏ bằng polyme ép đùn, vật liệu xây dựng và cách nhiệt, kim loại tấm, mẫu nhiều lớp, v.v. Thiết bị TPS 2200 được trang bị một số modun chuyên biệt cho các thử nghiệm khác nhau, từ thử nghiệm chính xác vật liệu đẳng hướng (mô-đun đẳng hướng) đến đo mẫu tấm (mô-đun tấm) và các vật

liệu cực nhẹ và dẫn nhiệt thấp (Mô-đun mật độ thấp/cách nhiệt cao). Hiện tại thiết bị đang được trang bị 4 cảm biến cho phép đo hệ số dẫn nhiệt trong khoảng từ 0,01-500W/(m.K) ở nhiệt độ phòng thử nghiệm với độ chính xác từ 5-10%. Mẫu thử có kích thước tối thiểu dày 2 mm x rộng 8 mm hình tròn hoặc hình vuông và tối đa là dày 30mm x rộng 90 mm. Thiết bị được thiết kế dựa trên tiêu chuẩn ISO 22007-2 "Xác định hệ số dẫn nhiệt và độ khuếch tán nhiệt Phần 2: Phương pháp nguồn nhiệt mặt phẳng thoáng qua (đĩa nóng)". Việc ghi dữ liệu và kiểm soát thiết bị được xử lý bởi thiết bị máy tính để bàn bên ngoài cùng với máy tính xách tay có hệ điều hành Windows và phần mềm Hot Disk Analysis [15].

2.4.2.3 Thiết bị HFM300

Thiết bị đo lưu lượng nhiệt HFM300 được thiết kế dựa trên các tiêu chuẩn ASTM C518, JIS A1412, ISO 8301, DIN EN 12664 và DIN 12667. [16] Hệ số truyền nhiệt có thể được tính từ lưu lượng nhiệt đo được qua mẫu chia cho diện tích mặt cắt ngang và chênh lệch nhiệt độ áp dụng. Đối với vật liệu đồng nhất, độ dẫn nhiệt Lambda là tích của hệ số truyền nhiệt (giá trị U) và độ dày mẫu. Định luật dẫn nhiệt Fourier là cơ sở để tính độ dẫn nhiệt và nhiệt trở. Thiết bị có khả năng đo mẫu có kích thước 300x300mm và độ dày nhỏ hơn 100mm. Phạm vi đo hệ số dẫn nhiệt của thiết bị này là từ 0,001 đến 0,5 W/(m.K).

3. Kết quả và thảo luận

3.1 Kết quả đo hệ số dẫn nhiệt của một số vật liệu

Các vật liệu trong bảng 2 đã được tiến hành đo hệ số dẫn nhiệt sử dụng ba thiết bị GHP900S, thiết bị HFM300 và thiết bị Hot Disk TPS2200. Mẫu thử được đo ở cùng điều kiện nhiệt độ mẫu thử 23°C. Kết quả cụ thể được trình bày trong Bảng 4.

Bảng 4. Kết quả thử nghiệm hệ số dẫn nhiệt trên 3 thiết bị.

Mẫu thử	Thiết bị GHP900S	Thiết bị HFM300	Thiết bị Hot disk TPS2200
	Hệ số dẫn nhiệt (W/(m.K))	Hệ số dẫn nhiệt (W/(m.K))	Hệ số dẫn nhiệt (W/(m.K))
Gạch AAC	0,1778	0,17892	0,1770
Tấm thạch cao	0,1780	0,17710	0,1772
Bông khoáng	0,03464	0,03457	0,03424
Tấm PU	0,03458	0,03457	0,03371
Mẫu chuẩn EPS	0,03446	0,03444	0,03427

Bảng 5. Đánh giá kết quả đo mẫu bông khoáng trên thiết bị GHP900S.

Lần đo	Hệ số dẫn nhiệt (W/m.K)			
Nhiệt độ đo (°C)	10	20	23	30
1	0,03305	0,03428	0,03464	0,03560
2	0,03298	0,03424	0,03458	0,03551
3	0,03300	0,03427	0,03461	0,03554
Mean	0,03301	0,03426	0,03461	0,03555
Độ lệch chuẩn S	0,00004	0,00002	0,00003	0,00005
Độ lệch chuẩn tương đối (%)	0,11	0,06	0,09	0,13
Độ không đảm bảo phép đo	0,00002	0,00001	0,00002	0,00003

Bảng 6. Đánh giá kết quả đo mẫu gạch AAC trên thiết bị GHP900S.

Lần đo	Hệ số dẫn nhiệt (W/(m.K))			
Nhiệt độ đo (°C)	10	20	23	30
1	0,1748	0,1771	0,1778	0,1797
2	0,1749	0,1772	0,1779	0,1797
3	0,1748	0,1772	0,1778	0,1797
Mean	0,1748	0,1772	0,1778	0,1797
Độ lệch chuẩn S	0,0001	0,0001	0,00004	0,0000
Độ lệch chuẩn tương đối (%)	0,03	0,03	0,02	0,00
Độ không đảm bảo phép đo	0,00003	0,00003	0,00002	0,00000

Nhận xét:

Bảng 6 cho thấy kết quả đo hệ số dẫn nhiệt bằng thiết bị GHP900S của vật liệu gạch AAC tại các điểm nhiệt độ khác nhau đều rất ổn định, độ lệch chuẩn tương đối lớn nhất của kết quả đo $RSD_{max} = 0,03\% < 1\%$ theo yêu cầu về độ chính xác và độ tái lập phép đo theo yêu cầu trong tiêu chuẩn ISO 8302:1991 “Cách nhiệt – Xác định nhiệt trở ở

3.2 Đánh giá độ tái lập của các thiết bị

3.2.1 Thiết bị GHP900S

Bảng 5 trình bày kết quả đo mẫu bông khoáng được đo 3 lần trong cùng điều kiện nhiệt độ bằng thiết bị GHP900S sau đó tính toán độ lệch chuẩn.

Bảng 5 cho thấy kết quả đo hệ số dẫn nhiệt bằng thiết bị GHP900S của vật liệu bông khoáng tại các điểm nhiệt độ khác nhau đều rất ổn định, độ lệch chuẩn tương đối của kết quả đo $RSD_{max} = 0,13\% < 1\%$ theo yêu cầu về độ chính xác và độ tái lập phép đo theo yêu cầu trong tiêu chuẩn ISO 8302:1991 “Cách nhiệt – Xác định nhiệt trở ở trạng thái ổn định và các đặc tính liên quan – Thiết bị tấm nóng được bảo vệ”.

Bảng 6 trình bày kết quả đo mẫu gạch AAC được đo 3 lần trong cùng điều kiện nhiệt độ bằng thiết bị GHP900S.

trạng thái ổn định và các đặc tính liên quan – Thiết bị tấm nóng được bảo vệ”.

Bảng 7 trình bày kết quả đo mẫu PU được đo 3 lần trong cùng điều kiện nhiệt độ bằng thiết bị GHP900S sau đó tính toán độ lệch chuẩn.

Bảng 7. Đánh giá kết quả đo mẫu PU trên thiết bị GHP900S.

Lần đo	Hệ số dẫn nhiệt (W/(m.K))			
Nhiệt độ đo (°C)	10	20	23	30
1	0,03271	0,03416	0,03458	0,03558
2	0,03274	0,03419	0,03461	0,03562
3	0,03275	0,03420	0,03462	0,03563
Mean	0,03273	0,03418	0,03460	0,03561
Độ lệch chuẩn S	0,00002	0,00002	0,000021	0,00003
Độ lệch chuẩn tương đối (%)	0,06	0,06	0,06	0,07
Độ không đảm bảo phép đo	0,00001	0,00001	0,00001	0,00002

Nhận xét:

Tương tự kết quả đo hệ số dẫn nhiệt của tấm PU trong bảng 18 cũng có độ lệch chuẩn tương đối lớn nhất tại các điểm nhiệt độ đo đều rất nhỏ $RSD_{max} = 0,07\% < 1\%$ theo yêu cầu về độ chính xác và độ tái lập phép đo theo yêu cầu trong tiêu chuẩn ISO 8302:1991 “Cách nhiệt

– Xác định nhiệt trở ở trạng thái ổn định và các đặc tính liên quan – Thiết bị tấm nóng được bảo vệ”.

Bảng 8 trình bày kết quả đo mẫu tấm thạch cao được đo 3 lần trong cùng điều kiện nhiệt độ bằng thiết bị GHP900S sau đó tính toán độ lệch chuẩn.

Bảng 8. Đánh giá kết quả đo mẫu tấm thạch cao trên thiết bị GHP900S.

Lần đo	Hệ số dẫn nhiệt (W/(m.K))			
Nhiệt độ đo (°C)	10	20	23	30
1	0,17860	0,17800	0,17789	0,17690
2	0,17850	0,17800	0,17786	0,17690
3	0,17880	0,17820	0,17810	0,17710
Mean	0,17863	0,17807	0,17795	0,17697
Độ lệch chuẩn S	0,00015	0,00012	0,00013	0,00012
Độ lệch chuẩn tương đối (%)	0,09	0,06	0,07	0,07
Độ không đảm bảo phép đo	0,00009	0,00007	0,00008	0,00007

Nhận xét:

Kết quả đo hệ số dẫn nhiệt của mẫu tấm thạch cao cho thấy độ lệch chuẩn tương đối lớn nhất của phép đo tại các điểm nhiệt độ có giá trị $RSD_{max} = 0,09\% < 1\%$ theo yêu cầu về độ chính xác và độ tái lập phép đo theo yêu cầu trong tiêu chuẩn ISO 8302:1991 “Cách nhiệt – Xác định nhiệt trở ở trạng thái ổn định và các đặc tính liên quan – Thiết bị tấm nóng được bảo vệ”.

3.2.2 Thiết bị HFM300

Bảng 9 trình bày kết quả đo 1 mẫu của 5 loại vật liệu ở cùng điều kiện nhiệt độ bằng thiết bị HFM300.

Bảng 9. Đánh giá kết quả đo 1 mẫu trên thiết bị HFM300.

Lần đo	Hệ số dẫn nhiệt (W/(m.K))				
	Gạch AAC	Tấm thạch cao	Bông khoáng	Tấm PU	Xốp EPS
1	0,1789	0,1771	0,03457	0,03457	0,03444
2	0,17845	0,17752	0,03434	0,03439	0,03412
3	0,1781	0,17694	0,03468	0,03427	0,03435
Mean	0,1785	0,1772	0,0345	0,0344	0,0343
Độ lệch chuẩn S	0,00026	0,00019	0,00011	0,00010	0,00010
Độ lệch chuẩn tương đối (%)	0,15	0,11	0,32	0,28	0,30
Độ không đảm bảo phép đo	0,00015	0,00011	0,00006	0,00006	0,00006

Nhận xét:

Kết quả đo hệ số dẫn nhiệt của các mẫu vật liệu bằng thiết bị HFM300 cho thấy độ lệch chuẩn tương đối lớn nhất của phép đo có giá trị $RSD_{\max} = 0,32\% < 1\%$ theo yêu cầu về độ chính xác và độ tái lập theo tiêu chuẩn ISO 8301:1991 “Cách nhiệt - Xác định nhiệt trở ở trạng thái ổn định và các đặc tính liên quan - Thiết bị đo dòng nhiệt”.

3.2.3 Thiết bị Hot Disk TPS2200

Bảng 10 trình bày kết quả đo hệ số dẫn nhiệt đo lặp lại 6 lần của một mẫu thử của 5 loại vật liệu gạch AAC, thạch cao, bông khoáng và tấm PU, mẫu chuẩn EPS bằng thiết bị đo hệ số dẫn nhiệt Hot Disk TPS2200.

Bảng 10. Đánh giá kết quả đo trên thiết bị Hot Disk TPS2200.

Lần đo	Hệ số dẫn nhiệt (W/(m.K))				
	Gạch AAC	Tấm thạch cao	Bông khoáng	Tấm PU	Mẫu chuẩn EPS
1	0,1770	0,1786	0,03412	0,03423	0,03362
2	0,1745	0,1768	0,03419	0,03438	0,03375
3	0,1759	0,1748	0,03418	0,03424	0,03391
4	0,1793	0,1782	0,03435	0,03419	0,03392
5	0,1790	0,1761	0,03430	0,03416	0,03372
6	0,1763	0,1787	0,03428	0,03439	0,03333
Mean	0,1770	0,1772	0,03424	0,03427	0,03371
Độ lệch chuẩn S	0,00186	0,00157	0,00009	0,00010	0,00022
Độ lệch chuẩn tương đối (%)	1,05	0,89	0,25	0,28	0,65
Độ không đảm bảo phép đo	0,00076	0,00064	0,00004	0,00004	0,00009

Nhận xét:

Kết quả cho thấy thiết bị có khả năng đo khá ổn định, độ phân tán kết quả thấp do độ lệch chuẩn của kết quả nhỏ. Độ lệch chuẩn tương đối của tất cả các loại vật liệu đã thử nghiệm từ 0,25 - 1,05% < 2% theo yêu cầu về độ chính xác và độ tái lập theo yêu cầu của tiêu chuẩn ISO 22007-2 “Xác định hệ số dẫn nhiệt và độ khuếch tán nhiệt Phần 2: Phương pháp nguồn nhiệt mặt phẳng thoáng qua (đĩa nóng)”

3.3 So sánh kết quả đo giữa các thiết bị

Kết quả đo hệ số dẫn nhiệt của các mẫu thử đo trên thiết bị HFM300 và Hot Disk TPS2200 được so sánh với kết quả đo được của thiết bị GHP900S.

Bảng 2. So sánh kết quả đo hệ số dẫn nhiệt vật liệu bông khoáng.

Thiết bị GHP900S	Thiết bị HFM300			Thiết bị TPS2200		
Hệ số dẫn nhiệt, W/(m.K)	Hệ số dẫn nhiệt, W/(m.K)	Chênh lệch tương đối (%)	Chênh lệch tuyệt đối, W/(m.K)	Hệ số dẫn nhiệt, W/(m.K)	Chênh lệch tương đối (%)	Chênh lệch tuyệt đối, W/(m.K)
0,03464	0,03457	0,19	0,00007	0,03412	1,49	0,000517
0,03458	0,03457	0,02	0,00001	0,03419	1,12	0,000387
0,03461	0,03457	0,11	0,00004	0,03418	1,23	0,000427

Bảng 3. So sánh kết quả đo hệ số dẫn nhiệt vật liệu PU.

Thiết bị GHP900S	Thiết bị HFM300			Thiết bị TPS2200		
Hệ số dẫn nhiệt, W/(m.K)	Hệ số dẫn nhiệt, W/(m.K)	Chênh lệch tương đối (%)	Chênh lệch tuyệt đối, W/(m.K)	Hệ số dẫn nhiệt, W/(m.K)	Chênh lệch tương đối (%)	Chênh lệch tuyệt đối, W/(m.K)
0,03458	0,03457	0,03	1.10^{-05}	0,03423	1,01	0,0004
0,03461	0,03457	0,12	4.10^{-05}	0,03438	0,66	0,0002
0,03462	0,03457	0,14	5.10^{-05}	0,03424	1,10	0,0004

Bảng 4. So sánh kết quả đo hệ số dẫn nhiệt vật liệu gạch AAC.

Thiết bị GHP900S	Thiết bị HFM300			Thiết bị TPS2200		
Hệ số dẫn nhiệt, W/(m.K)	Hệ số dẫn nhiệt, W/(m.K)	Chênh lệch tương đối (%)	Chênh lệch tuyệt đối, W/(m.K)	Hệ số dẫn nhiệt, W/(m.K)	Chênh lệch tương đối (%)	Chênh lệch tuyệt đối, W/(m.K)
0,1778	0,17892	0,63	0,001116	0,1770	1,49	0,000804
0,1779	0,17892	0,59	0,001046	0,1745	1,12	0,003374
0,1778	0,17892	0,61	0,001086	0,1759	1,23	0,001934

Bảng 5. So sánh kết quả đo hệ số dẫn nhiệt mẫu vật liệu tấm thạch cao.

Thiết bị GHP900S	Thiết bị HFM300			Thiết bị TPS2200		
Hệ số dẫn nhiệt, W/(m.K)	Hệ số dẫn nhiệt, W/(m.K)	Chênh lệch tương đối (%)	Chênh lệch tuyệt đối, W/(m.K)	Hệ số dẫn nhiệt, W/(m.K)	Chênh lệch tương đối (%)	Chênh lệch tuyệt đối, W/(m.K)
0,17789	0,1771	0,45	0,00079	0,1786	0,40	0,000708
0,17786	0,1771	0,43	0,00076	0,1768	0,60	0,001062
0,17810	0,1771	0,56	0,00100	0,1748	1,85	0,003302

Qua bảng 11, 12, 13, 14 ta có thể thấy được chênh lệch kết quả giữa thiết bị đo hệ số dẫn nhiệt bằng đĩa tấm được bảo vệ GHP900S và thiết bị đo lưu lượng nhiệt HFM300 thấp hơn khá nhiều so với kết quả đo được cùng loại vật liệu đó khi thực hiện bằng thiết bị Hot Disk TPS2200.

Nguyên nhân của sự chênh lệch này là do 2 thiết bị đo bằng phương pháp tấm nóng được bảo vệ GHP900S và thiết bị đo lưu lượng nhiệt HFM300 là phương pháp đo ở trạng thái ổn định, kết quả đo được tính toán dựa trên số liệu đo được trên mẫu thử đã được cân bằng nhiệt hoàn toàn, nhiệt độ tại mỗi điểm của mẫu không đổi và nhiệt độ không thay đổi theo thời gian còn thiết bị Hot Disk TPS2200 được thiết kế đo bằng phương pháp trạng thái không ổn định thực hiện phép đo trong quá trình gia nhiệt để xác định đặc tính dẫn nhiệt bằng cảm biến nhất thời.

3.3 Nghiên cứu, đối chứng với phòng thí nghiệm Viện Vật lý công trình Fraunhofer IBP

Để đánh giá năng lực thử nghiệm của phòng thí nghiệm tại Viện Vật liệu xây dựng, nghiên cứu thử nghiệm đối chứng mẫu chuẩn EPS đã được thực hiện tại Viện Vật lý công trình Fraunhofer IBP trên cùng thiết bị GHP900S. Mẫu thử được chuẩn bị có cùng kích thước và cùng loại vật liệu. Kết quả thử nghiệm đối chứng được trình bày trong Bảng 15.

Bảng 6. So sánh kết quả đo liên Viện.

Mẫu thử	So sánh kết quả đo mẫu chuẩn EPS				
	Nhiệt độ (°C)	λ , VIBM (W/m.K)	λ , Fraunhofer IBP (W/m.K)	Sai số tuyệt đối	Sai số tương đối, %
EPS 500x50x39,7	10	0,03290	0,03296	0,00006	0,18
EPS 500x50x39,7	20	0,03411	0,03408	0,00003	0,09
EPS 500x50x39,7	23	0,03446	0,03446	0,000002	0,01
EPS 500x50x39,7	30	0,03535	0,03528	0,00007	0,20

Kết quả cho thấy sai lệch kết quả đo mẫu chuẩn tại Fraunhofer IBP và VIBM không quá 0,2 %.

4. Kết luận

Nghiên cứu đã thực hiện đo hệ số dẫn nhiệt của một số loại vật liệu cách nhiệt phổ biến như EPS, tấm thạch cao, gạch AAC, bông

khoáng, tấm PU trên 3 thiết bị đo khác nhau với 3 phương pháp đo khác nhau. Đồng thời nghiên cứu cũng đã thực hiện so sánh kết quả thử nghiệm của ba phương pháp này và có đưa ra một số đề xuất như sau.

Đối với các loại vật liệu cách nhiệt có hệ số dẫn nhiệt < 2 W/(m.K) và có kích thước lớn và có cấu trúc dạng sợi như bông khoáng,

vải,... thì phương pháp đo hệ số dẫn nhiệt đối với vật liệu cách nhiệt tốt nhất hiện nay là phương pháp tấm nóng được bảo vệ (GHP).

Phương pháp đo hệ số dẫn nhiệt bằng đo lưu lượng nhiệt phù hợp với vật liệu có hệ số dẫn nhiệt $< 2,5\text{W}/(\text{m.K})$ không bị thay đổi chiều dày nhiều khi tác dụng lực nén lên vật liệu.

Phương pháp đo hệ số dẫn nhiệt bằng phương pháp đĩa nóng theo tiêu chuẩn ISO 22007-2 “Xác định độ dẫn nhiệt và độ khuếch tán nhiệt Phần 2: Phương pháp nguồn nhiệt mặt phẳng thoáng qua (đĩa nóng)” cho kết quả tương đối chính xác và nhanh chóng nhưng chỉ thích hợp với các loại vật liệu không quá dày và có kích thước nhỏ bao gồm vật liệu có hệ số dẫn nhiệt thấp thì cần có cấu trúc đặc và vật liệu có hệ số dẫn nhiệt $\lambda > 2\text{ W}/(\text{m.K})$.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Saylor Academy. Thermal conductivity (2016).
- [2]. K123 of the department of materials engineering and chemistry. Chapter 16- Determination of Thermal Conductivity (2016).
- [3]. Czichos H, Saito T, Smith L E, editors, Springer Handbook of Materials Measurement Method. 1st ed. New York, Springer Science & Business Media; Page 1208 (2006). DOI: 10.1007/978-3-540-30300-8.
- [4]. Firas Sharaf, The impact of thermal mass on building energy consumption: A case study in Al Mafraq city in Jordan, *Cogent Engineering*, Volume 7 (2020). DOI: 10.1080/23311916.2020.1804092.
- [5]. Yüksel N. The investigation of structure and operating parameters effect on the heat transfer coefficient in porous structures [thesis]. Bursa: Uludag University (2010).
- [6]. Evitherm Measurement methods (2016).
- [7]. Tong X C, Characterization methodologies of thermal management materials. In: Tong X C, editor. *Advanced Materials for Thermal Management of Electronic Packaging*. 1st ed. New York, *Springer Series in Advanced Microelectronics*, Pages 59–129 (2011). DOI: 10.1007/978-1-4419-7759-5.
- [8]. Yüksel N, Avci A, Kilic M, The temperature dependence of effective thermal conductivity of the samples of glass wool reinforced with aluminium foil, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, Pages 675–680 (2010). DOI: 10.1016/j.icheatmasstransfer.2010.01.016.
- [9]. ISO 8302:1991 Thermal insulation - Determination of steady-state thermal resistance and related properties - Guarded hot plate apparatus.
- [10]. ISO 8301:1991 Thermal insulation - Determination of steady-state thermal resistance and related properties - Heat flow meter apparatus.
- [11]. Gustavsson M, Gustavsson J, Gustafsson S, Hålldahl L, Recent developments and applications of the hot disk thermal constants analyser for measuring thermal transport properties of solids, *High Temperatures-High Pressures*, Pages 47–51 (2000). DOI: 10.1068/htwu259.
- [12]. Hot Disk. Hot Disk/Technology/In-depth (2016).
- [13]. Uher C, Morelli D, editors, Thermal Conductivity 25/Thermal Expansion 13. 1st ed. New York: CRC Press, Page 391(2000). ISBN-13: 978-1566768061.
- [14]. <https://analyzing-testing.netzsch.com/en/products/thermal-conductivity/ghp-900-s>.
- [15]. <https://www.hotdiskinstruments.com/products/instruments/tps-2200/>
- [16]. <https://www.linseis.com/en/products/thermal-conductivity-instruments/hfm-heat-flow-meter/>