

DẦM BÊ TÔNG CỐT THÉP CHỊU TÁC ĐỘNG CỦA LỬA - LỰA CHỌN PHẦN TỬ CHO MÔ HÌNH NHIỆT HỌC TRONG ANSYS

ThS. HOÀNG ANH GIANG

Viện KHCN Xây dựng

Tóm tắt: Qua so sánh về các biểu đồ phân bố nhiệt độ trên tiết diện dầm bê tông cốt thép xác định được qua thử nghiệm đốt và qua phân tích bằng phương pháp phần tử hữu hạn với hai cách áp dụng tác động của nhiệt khác nhau lên mô hình dầm giống hệt như mẫu đã được thử nghiệm, bài viết muốn chứng minh cách tốt nhất để áp dụng tác động của nhiệt lên các mô hình tính toán nếu khả năng chịu lửa của mẫu được đánh giá bằng thử nghiệm theo ISO 834.

Từ khóa: ANSYS, Kết cấu bê tông cốt thép chịu tác động của lửa, Khả năng chịu lửa, Tác động của nhiệt, Phân tích về nhiệt độ, Thiết kế chịu lửa cho kết cấu.

Abstract: By a comparison of the distributions of temperature on a reinforced concrete beam cross-section which are the results of fire test data and that of finite element analyses with different methods of applying heat actions to a model that is identical to the tested sample, this paper concentrates on identifying a better tactic of application heat to the model in the case of fire resistance test conforming to ISO 834.

Keywords: ANSYS, Reinforced concrete structures subject to fire, Fire resistance, Thermal actions, Temperature analysis, Structural Fire design.

1. Đặt vấn đề

Trong thiết kế kết cấu chịu tác động của lửa đòi hỏi phải xác định được sự phân bố nhiệt độ trong cấu kiện hoặc kết cấu. Ở mức độ đơn giản nhất, có thể áp dụng các biểu đồ phân bố nhiệt độ trên tiết diện ngang tương ứng với những khoảng thời gian tác động của lửa tiêu chuẩn [1] khác nhau (những biểu đồ này thường được cho sẵn trong một số tài liệu thiết kế như [3] [4] hoặc [5]). Trong những trường hợp riêng, có thể dùng các phần mềm bằng phương pháp phần tử hữu hạn (PTHH) để phân tích về nhiệt độ, khi đó đòi hỏi phải áp dụng tác động của nhiệt từ ngọn lửa hoặc đám cháy lên mô hình.

Theo EN 1991-1-2 [6], tác động của nhiệt lên bề mặt lộ lửa của cấu kiện được biểu diễn dưới dạng thông lượng nhiệt và gồm hai thành phần là nhiệt đối lưu ($\dot{h}_{net,c}$) và nhiệt bức xạ ($\dot{h}_{net,r}$). Tuy nhiên, các mô hình đám cháy dùng cho thiết kế cũng như thử nghiệm đốt lại thường được biểu diễn dưới dạng một hàm số của nhiệt độ khoang cháy theo thời gian [7] [8] (còn gọi đường quan hệ Nhiệt độ - thời gian tiêu chuẩn). Các nghiên cứu về sự làm việc của kết cấu dưới tác động của lửa trong đó có kết hợp giữa thực nghiệm và phân tích lý thuyết, thì các kết quả kiểm soát nhiệt độ của thiết bị thử nghiệm (đường quan hệ Nhiệt độ - thời gian ghi nhận được trong thực nghiệm) sẽ được dùng làm số liệu đầu vào về tác động của nhiệt áp dụng lên mô hình phân tích bằng chương trình máy tính. Nếu việc áp dụng tác động của nhiệt vào mô hình không đúng với bản chất số liệu của phép đo thì có thể dẫn đến những sai lệch giữa kết quả đo phân bố nhiệt độ trên tiết diện hoặc cấu kiện với kết quả phân tích về nhiệt độ của các mô hình tính.

ANSYS [9] là một phần mềm khá mạnh trong việc giải bài toán phân tích về truyền nhiệt và cũng có một số nghiên cứu trong lĩnh vực kết cấu chịu tác động của lửa đã khai thác phần mềm này như một công cụ cho việc phân tích bằng mô hình phần tử hữu hạn về cả khía cạnh nhiệt độ và kết cấu, ví dụ như [10] [11] [12]. Ở mô hình phân tích về nhiệt độ đề cập trong [11] hoặc [12], bê tông và thép tương ứng được mô hình hóa bằng phần tử khối đặc và phần tử thanh, còn sự truyền nhiệt từ đám cháy vào các phần tử trong mô hình được thực hiện thông qua một loại phần tử phẳng có hiệu ứng bề mặt (gọi chung là phần tử hiệu ứng bề mặt). Do đặc điểm của loại phần tử hiệu ứng bề mặt là chỉ có thể tiếp nhận tác động của nhiệt dưới một trong hai dạng, hoặc là giá trị nhiệt độ (đơn vị là °C hoặc °K) của khối khí đối lưu ở lân cận bề mặt hoặc là giá trị thông lượng nhiệt (đơn vị là W/m²) nên theo cách này hoặc là việc phân tích bằng ANSYS chỉ có thể áp dụng được thành phần nhiệt đối lưu lên mô hình

tính hoặc phải chuyển đổi được nhiệt độ của môi trường lò thử nghiệm tại các thời điểm khác nhau sang hình thức thông lượng nhiệt thì mới đảm bảo áp dụng được toàn bộ tác động của nhiệt từ đám cháy lên mô hình. Các nhận xét trong [13] cho rằng, việc chuyển đổi nhiệt độ của môi trường lò thử nghiệm sang thông lượng nhiệt là rất phức tạp và gần như không thể thực hiện được nếu không có các biện pháp đo bổ sung số liệu trong quá trình thử nghiệm.

Để làm rõ về phương pháp áp dụng tác động của nhiệt lên mô hình phân tích nhiệt độ bằng ANSYS đối với các cấu kiện bê tông cốt thép chịu tác động của lửa tiêu chuẩn theo ISO 834 [7], tác giả bài viết đã thực hiện nghiên cứu so sánh kết quả thử nghiệm với kết quả phân tích bằng mô hình theo hai phương án áp dụng tác động của nhiệt khác nhau. Tập hợp số liệu kiểm chứng cho các

phương án phân tích bằng mô hình là kết quả ghi nhận về phân bố nhiệt độ trên tiết diện của một dầm bê tông cốt thép được thử nghiệm đốt tại Phòng nghiên cứu Phòng chống cháy, Viện Chuyên ngành Kết cấu Công trình Xây dựng, Viện KHCN Xây dựng.

2. Đo nhiệt độ của mẫu khung bê tông cốt thép trong thử nghiệm đốt

2.1 Mẫu thử nghiệm

Mẫu được thử nghiệm đốt là một khung bê tông cốt thép toàn khối với cấu kiện dầm có chiều dài phân lộ lửa là 2,9 m và kích thước tiết diện (b_{xh}) 200 mm x 350 mm còn cấu kiện cột có tiết diện (b_{xh}) 200 mm x 250 mm và chiều dài lộ lửa là 2,9 m. Mẫu thử được chế tạo từ bê tông có vật liệu thành phần và cấp phối như trong Bảng 1. Cường độ chịu nén mẫu lập phương tiêu chuẩn của bê tông ở 28 ngày tuổi là 35 MPa.

Bảng 1. Thông tin về vật liệu thành phần và cấp phối bê tông chế tạo mẫu

Tên vật liệu	Chủng loại	Khối lượng (kg)
Xi măng	Chinfon PCB40	450
Cát vàng	Sông Lô	670
Đá	Cacbonat	1 050
Phụ gia siêu dẻo	Napthalene Sunfonate	4,5
Nước	Nước sinh hoạt	190

Trên cấu kiện dầm có 3 tiết diện được đặt sẵn các cụm dây đo nhiệt độ. Mỗi cụm dây đo được ghép lại từ 9 đầu đo nhiệt độ loại K đặt cách đều nhau, có 5 đầu đo nhiệt độ đặt cách nhau 20 mm,

các đầu đo còn lại đặt cách nhau 50 mm (Hình 1). Các tiết diện được ký hiệu là T3, T4 và T5. Trong đó, T4 bố trí ở giữa dầm, còn T3 và T5 bố trí đối xứng nhau qua T4 và cách nhau 1,5 m.



Hình 1. Cấu tạo và bố trí lắp đặt đầu đo nhiệt độ trên mẫu

Khoảng cách thực tế của các điểm đo đầu tiên đến bề mặt bê tông bên ngoài (bề mặt trong của cốp pha) được ghi nhận chính xác sau khi các cụm

dây đo nhiệt độ được cố định vào vị trí dự kiến trong tiết diện. Theo đó, tại tiết diện T4 điểm đo đầu tiên cách bề mặt bê tông đáy dầm 8 mm, chứ không

nằm trực tiếp trên bề mặt đáy dầm như thiết kế ban đầu. Khoảng cách từ bề mặt bê tông đáy dầm đến các điểm khác lần lượt là 28, 48, 68, 88, 138, 188, 238 và 288 mm. Kết quả đo nhiệt độ tại mỗi điểm được trình bày theo tên tiết diện và độ sâu của điểm đo, ví dụ T4-8 là điểm đo tại tiết diện T4, ở chiều sâu 8 mm.

Nhiệt độ của môi trường lò thử nghiệm gần vị trí tiết diện T4 được đo và ghi nhận bằng một đầu đo

nhiệt độ dạng tấm (ký hiệu là PT3) có cấu tạo giống với các tấm đo nhiệt độ tiêu chuẩn của lò thử nghiệm [7].

2.2 Thử nghiệm đốt

Thử nghiệm đốt được thực hiện trên hệ thống lò đốt theo phương đứng (hình 2). Trong quá trình thử nghiệm, mẫu thử chịu tác động đồng thời của lực và của lửa tiêu chuẩn theo ISO 834:1999 trong khoảng thời gian 120 phút.



Hình 2. Quá trình thử nghiệm trên lò đốt theo phương đứng và hệ gia tải kèm theo

Các thông số được ghi nhận trong quá trình thử nghiệm bao gồm:

- Nhiệt độ môi trường lò thử nghiệm;
- Nhiệt độ tại vùng không gian lò gần với một số tiết diện đặc trưng, trong đó có tiết diện T4;
- Phân bố nhiệt độ trên các tiết diện dầm và cột;
- Các biểu hiện làm việc tổng thể khác của kết cấu khung (sự xuất hiện và phát triển của các vết nứt, diễn biến độ võng của dầm, chuyển dịch của nút đầu cột,...).

Phạm vi bài viết này chỉ tập trung xem xét các số liệu đo nhiệt độ tại các tiết diện của dầm (T3, T4 và T5). Việc so sánh các kết quả thử nghiệm với kết quả phân tích bằng mô hình PTHH được trình bày trong mục 4.

3. Phân tích trên mô hình PTHH bằng ANSYS

3.1 Giới thiệu chung

ANSYS Parametric Design Language (APDL) là một ngôn ngữ lập trình theo phương pháp kịch bản được sử dụng để thực hiện tự động các tác vụ chung hoặc xây dựng các mô hình tính dưới dạng

các tham số hoặc tham biến. Phần mềm được phát triển bởi ANSYS Corporation của Mỹ. ANSYS có nhiều mô đun phục vụ cho các ứng dụng khác nhau, tương đối đa dạng, trong đó ANSYS Mechanical APDL là một mô đun được dùng cho lĩnh vực cơ học nói chung, bao gồm các dạng bài toán động lực, kết cấu và truyền nhiệt. Trong nghiên cứu này, phiên bản dành cho nghiên cứu và đào tạo 18.1 (ANSYS® Academic Research Mechanical, Release 18.1 - dưới đây gọi tắt là APDL 18.1) được dùng để phân tích về nhiệt độ của mô hình không gian 3 chiều (mô hình 3D) của cấu kiện dầm đã được thử nghiệm chịu lửa nêu trong mục 2.

3.2 Các phương án áp dụng tác động của nhiệt và mô hình hóa

Tác động của nhiệt được lấy theo đường Nhiệt độ - thời gian thực tế, ghi nhận được trong quá trình thử nghiệm bởi đầu đo nhiệt dạng tấm PT3. Việc áp dụng tác động của nhiệt vào mô hình được thực hiện theo hai cách tiếp cận khác nhau, cụ thể gồm:

- Truyền qua bề mặt hiệu ứng nhiệt: coi đường Nhiệt độ - thời gian thực tế là sự thay đổi của nhiệt độ khối khí trong lò thử nghiệm và truyền vào các

phần tử khối đặc của mô hình thông qua phần tử hiệu ứng bề mặt nằm ở mặt ngoài của cấu kiện và tiếp xúc với môi trường của lò thử nghiệm. Đây là cách vẫn được áp dụng trong các nghiên cứu trước đây như đã đề cập trong [10] [11] [12];

- Truyền trực tiếp vào nút: coi đường Nhiệt độ - thời gian thực tế là sự thay đổi nhiệt độ của chính các điểm trên bề mặt ngoài của của cấu kiện và tiếp xúc với môi trường lò thử nghiệm. Khi phân tích bằng APDL 18.1, các giá trị nhiệt độ này được áp dụng trực tiếp vào các nút của phần tử khối đặc của mô hình và truyền nhiệt vào bên trong bằng hình thức dẫn nhiệt.

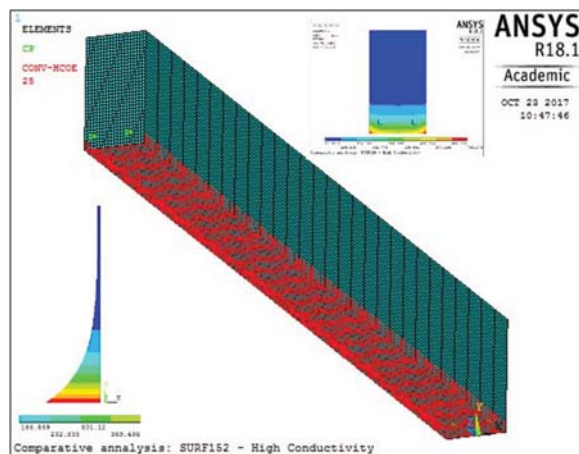
Theo [3], để đơn giản hóa, khi phân tích về nhiệt độ trên tiết diện của các cấu kiện bê tông cốt thép có thể bỏ qua sự có mặt của cốt thép. Tuy nhiên, trong nghiên cứu này vẫn xem xét sự có mặt đồng thời của cốt thép trong bê tông. Theo cả hai cách áp dụng tác động của nhiệt, cấu kiện dầm trong thực tế được mô hình hóa hoàn toàn giống nhau về kích thước hình học và cách thức chia lưới phân mảnh, chỉ riêng số loại phần tử được sử dụng là khác nhau, cụ thể như sau:

- Theo cách truyền nhiệt qua phần tử hiệu ứng bề mặt, có 3 loại phần tử được sử dụng gồm: (1) phần tử khối đặc SOLID70, dùng để mô hình hóa vật liệu bê tông; (2) phần tử thanh LINK33, dùng để mô hình hóa cốt thép; và (3) phần tử hiệu ứng bề mặt SURF152, dùng để phủ lên vùng bề mặt của mô

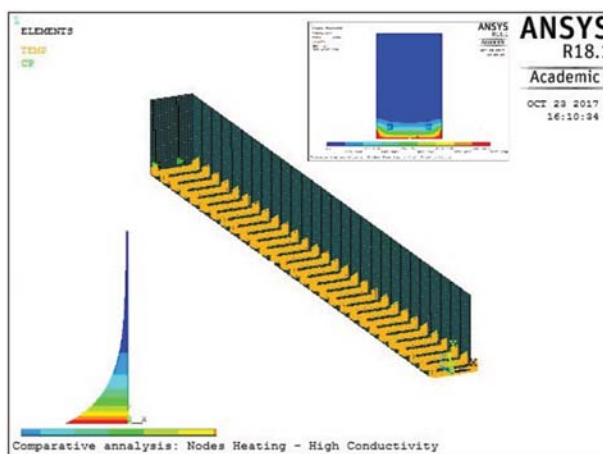
hình ứng với vùng bề mặt của mẫu thử tiếp xúc trực tiếp với môi trường lò thử nghiệm;

- Theo cách truyền nhiệt trực tiếp vào nút, do không sử dụng phần tử hiệu ứng bề mặt nên chỉ còn 2 loại phần tử được sử dụng gồm: (1) phần tử khối đặc SOLID70, dùng để mô hình hóa vật liệu bê tông; (2) phần tử thanh LINK33, dùng để mô hình hóa cốt thép;

- Mô hình phân tích theo hai cách áp dụng tác động của nhiệt được trình bày trên hình 3. Quá trình phân tích về nhiệt độ được thực hiện theo cách có thay đổi các tính chất vật liệu theo nhiệt độ. Trong đó, các tính chất vật lý (khối lượng riêng, hệ số dẫn nhiệt, nhiệt dung riêng) của bê tông và của thép thay đổi theo mức nhiệt độ, tương ứng được lấy theo [3] và [14]. Riêng khối lượng riêng của thép phụ thuộc vào nhiệt độ được lấy theo tài liệu [15] do trong [14] không đề cập. Hệ số dẫn nhiệt của bê tông được lấy ở mức cận trên theo [3]. Khi phân tích nhiệt độ theo cách truyền nhiệt qua phần tử hiệu ứng bề mặt, hệ số truyền nhiệt đối lưu trong không khí được lấy theo [6] là $25 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$. Các kết quả phân tích được trích xuất và trình bày dưới dạng biểu đồ phân bố nhiệt trên toàn tiết diện và trị số nhiệt độ của các thớ khác nhau theo chiều cao và tại giữa bề rộng của tiết diện (hình 3), đây là vị trí tương ứng có đặt các cụm đầu đo nhiệt độ trong cấu kiện dầm của mẫu được thử nghiệm.



a) Áp dụng tác động của nhiệt thông qua phần tử hiệu ứng bề mặt SURF152



b) Áp dụng tác động của nhiệt trực tiếp vào các nút của phần tử SOLID70 nằm trên bề mặt ngoài

Hình 2. Sơ đồ tính theo hai cách áp dụng tác động của nhiệt lên mô hình và ví dụ về kết quả phân tích nhiệt độ trên tiết diện

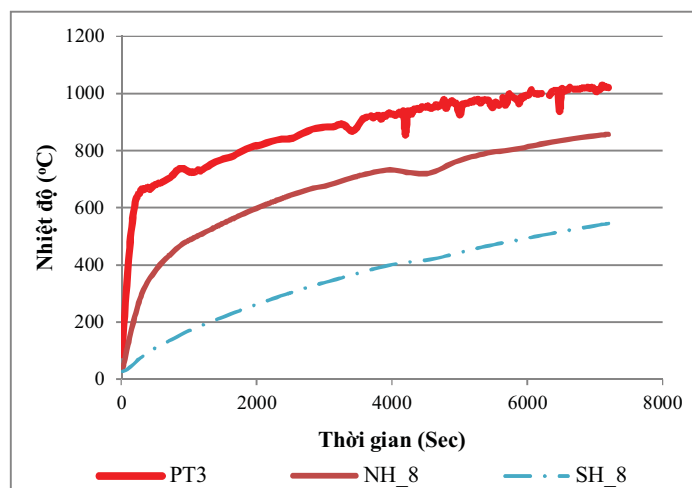
4. So sánh và nhận xét kết quả

Các biểu đồ thể hiện diễn biến thay đổi nhiệt độ theo thời gian tại các điểm đo trên 3 tiết diện của

cấu kiện dầm thuộc mẫu thử nghiệm được sử dụng để so sánh với kết quả phân tích từ mô hình theo hai cách tiếp cận khác nhau. Kết quả phân tích của

mô hình áp dụng tác động nhiệt qua hiệu ứng bề mặt được ký hiệu là SH, kết quả phân tích của mô hình áp dụng tác động nhiệt trực tiếp vào nút được ký hiệu là NH. Hình 4 trình bày kết quả phân tích về nhiệt độ ở chiều sâu 8 mm theo hai cách tiếp cận khác nhau và số liệu nhiệt độ ghi nhận bởi đầu đo nhiệt dạng tấm PT3, được sử dụng như số liệu đầu vào về tác động của nhiệt lên mô hình. Việc so sánh các số liệu khác được thực hiện theo hai hình thức chính, gồm:

- Phân bố nhiệt độ theo chiều cao tiết diện ở những thời điểm khác nhau, từ 1 200 s đến 7 200 s (hình 5);
- Diễn biến thay đổi nhiệt độ trong suốt khoảng thời gian thử nghiệm tại các điểm có chiều sâu (tính từ bề mặt ngoài của đáy dầm) tương ứng với chiều sâu đặt 06 đầu đo nhiệt độ tại các tiết diện T3, T4 và T5, cụ thể gồm: 8, 28, 48, 68, 88 và 138 mm (hình 6).



Hình 3. So sánh kết quả phân tích nhiệt độ tại điểm có độ sâu 8 mm với số liệu nhiệt độ của đường Nhiệt độ - thời gian ghi nhận tại đầu đo PT3

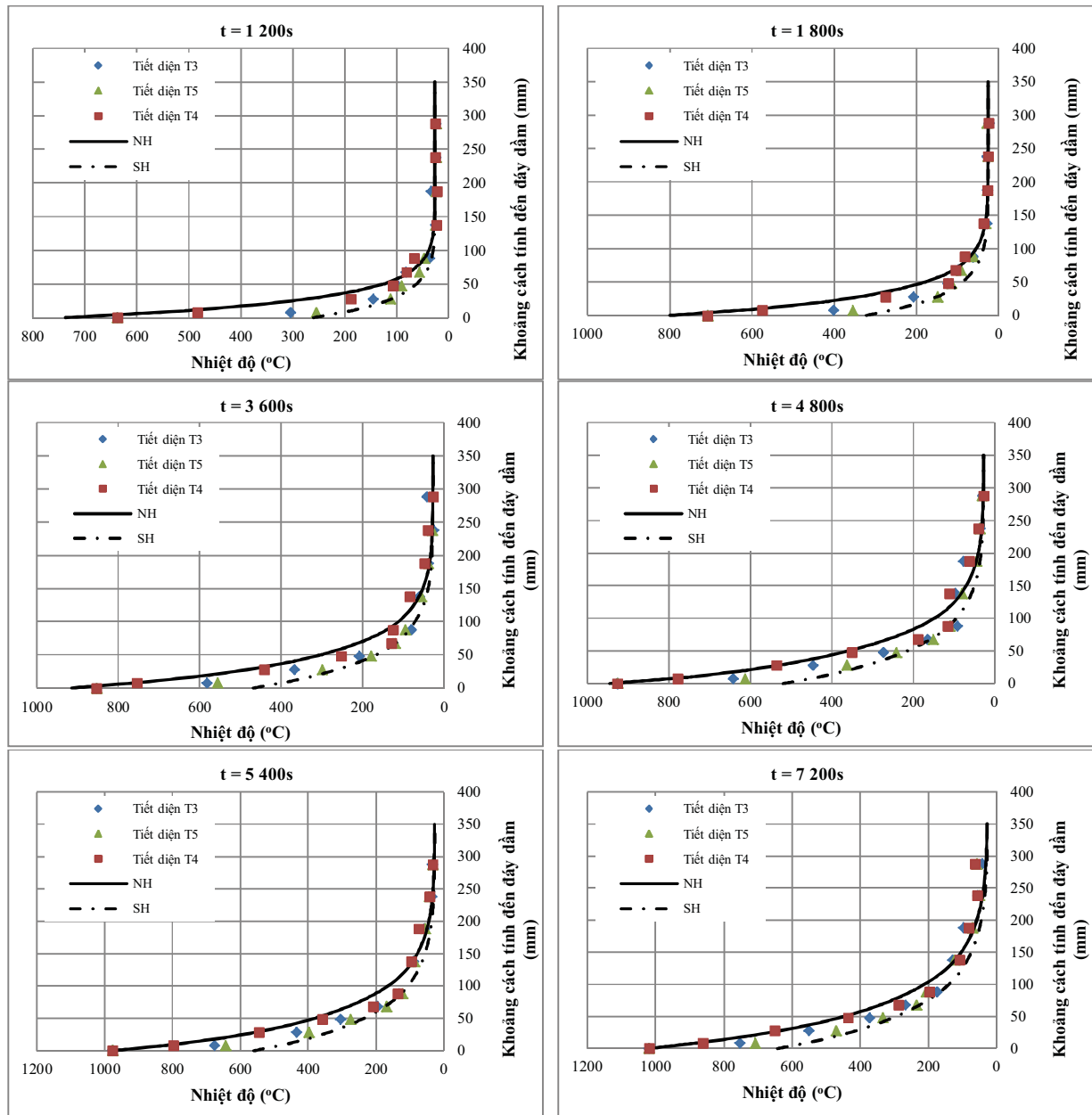
So sánh kết quả thể hiện trên các biểu đồ có thể rút ra một số nhận xét như sau:

Về tổng thể (hình 4, hình 5), cả hai mô hình phân tích bằng APDL 18.1 đều cho ra kết quả phù hợp với xu hướng thực tế về thay đổi nhiệt độ của từng điểm đo cũng như thay đổi nhiệt độ theo chiều cao tiết diện tại những thời điểm khác nhau. Tuy nhiên, chênh lệch kết quả giữa hai mô hình là rõ nét, thậm chí lên đến hơn 300 °C.

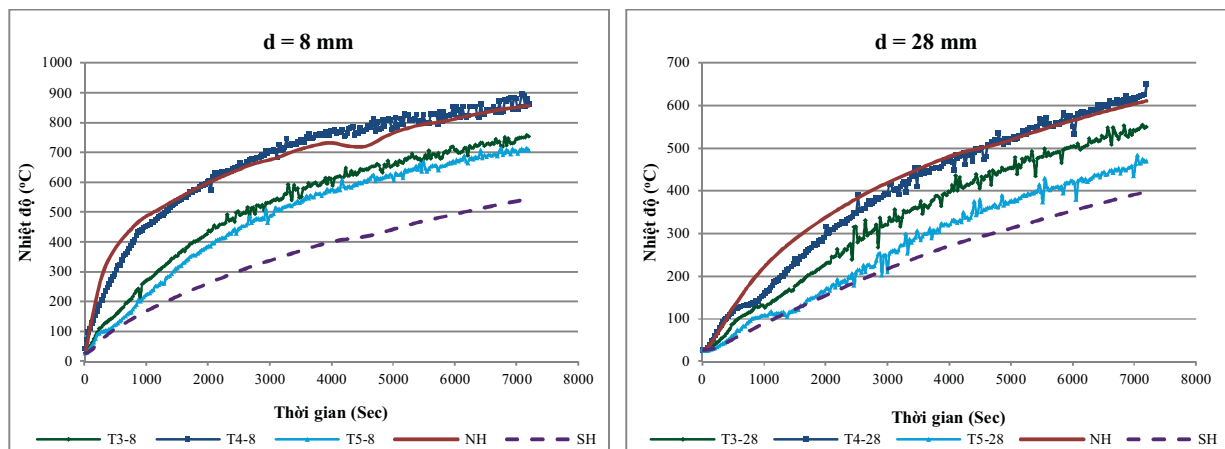
So sánh với các số liệu thử nghiệm thực tế, cho thấy các kết quả phân tích bằng mô hình áp dụng nhiệt độ trực tiếp vào nút sai khác ít hơn so với các kết quả phân tích bằng mô hình sử dụng phần tử bề mặt SURF152, bao gồm cả khía cạnh giá trị nhiệt độ tại cùng một thời điểm và diễn biến thay đổi của

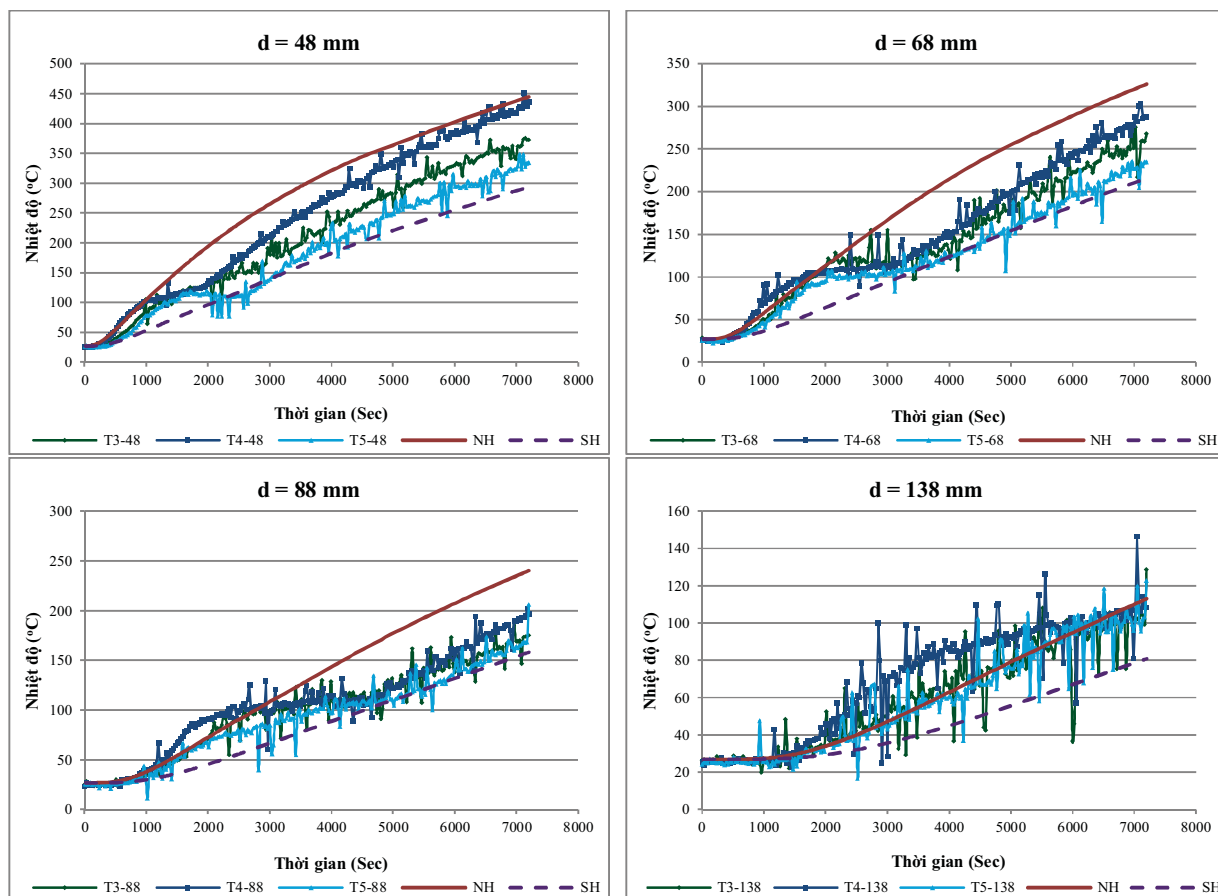
nhiệt độ theo thời gian (các thời điểm so sánh khác nhau).

Với cùng một tác động theo đường Nhiệt độ - thời gian thực tế, mô hình áp dụng cách tác động nhiệt qua phần tử hiệu ứng bề mặt SURF152 cho ra kết quả thấp hơn so với mô hình áp dụng nhiệt độ trực tiếp vào các nút. Tại cùng một điểm khảo sát hoặc trên cùng một tiết diện, sự khác nhau này càng lớn khi mức nhiệt độ tác động càng tăng. Ngoài sự chênh lệch về giá trị nhiệt độ, Hình 4 còn cho thấy mô hình áp dụng nhiệt độ trực tiếp lên nút có khả năng phản ánh tác động của nhiệt sát hơn so với mô hình sử dụng phần tử hiệu ứng bề mặt SURF152, đặc biệt là trong giai đoạn khoảng 10 phút đầu tiên của quá trình tăng nhiệt.



Hình 4. Phân bố nhiệt độ theo chiều cao tiết diện ở những thời điểm khác nhau - so sánh kết quả phân tích với thực nghiệm





Hình 5. Diễn biến tăng nhiệt độ tại các chiều sâu khác nhau trên tiết diện - so sánh kết quả phân tích với thực nghiệm

- Diễn biến tăng nhiệt tại các chiều sâu khác nhau của tiết diện thể hiện trên hình 6 cho thấy, ở mức nhiệt độ dưới 100 °C, các giá trị nhiệt độ đo thực tế trên mẫu thử có tốc độ tăng nhanh hơn so với kết quả phân tích bằng APDL 18.1 đối với mô hình truyền nhiệt trực tiếp, sau mức nhiệt độ này, kết quả phân tích bằng mô hình có xu hướng tăng nhanh hơn so với số liệu đo thực tế;
- Qua số liệu thử nghiệm trên hình 6, có thể thấy trong khoảng nhiệt độ từ 100 °C đến dưới 120 °C tốc độ tăng nhiệt độ thực tế bị chững lại, hình dạng biểu đồ tăng nhiệt độ theo thời gian ở mức nhiệt độ này gần giống như một thềm nằm ngang và chiều dài của thềm này tăng theo chiều sâu của điểm được khảo sát. Nguyên nhân của hiện tượng này có thể là do ảnh hưởng của việc nước tự do trong bê tông bị hóa hơi ở mức nhiệt độ trên 100 °C [16] [17] làm cho nhiệt độ của bê tông ở chiều sâu đang diễn ra sự hóa hơi trở nên ổn định hoặc tăng chậm cho đến khi lượng nước tự do hóa hơi hết và vùng bê tông đó khô hẳn thì nhiệt độ lại gia tăng đều. Bên cạnh đó, tương quan giữa chiều dài của thềm nằm ngang với chiều sâu của điểm khảo sát về thực chất

có thể là sự tương quan với lượng nước tự do bị hóa hơi ở điểm đó, vì ở một độ ẩm xác định thì lượng nước này tỉ lệ thuận với thể tích bê tông nằm giữa điểm khảo sát với bề mặt lộ lửa. Giai đoạn thềm nằm ngang này cũng chính là giai đoạn gây ra sự sai khác rõ nét nhất giữa số liệu đo thực tế với kết quả phân tích bằng mô hình. Nguyên nhân có thể là do việc áp dụng một số tính chất nhiệt học của bê tông theo khuyến cáo trong [3] (ví dụ, hệ số dẫn nhiệt) vào mô hình PTHH đã chưa bao quát được hết những ảnh hưởng của sự tồn tại một lượng ẩm lớn bên trong những vùng bê tông có nhiệt độ từ 100 °C đến khoảng 120 °C;

- Như vậy có thể thấy trong trường hợp của bài toán được trình bày trên đây, khi phân tích bằng APDL 18.1 thì phương án áp dụng tác động của nhiệt trực tiếp lên các nút trên bề mặt lộ lửa của mô hình sẽ cho kết quả gần với số liệu đo của thử nghiệm thực tế hơn so với phương án áp dụng tác động của nhiệt thông qua phân tử bề mặt SURF152. Tuy nhiên, điều này cũng nảy sinh vấn đề là trong trường hợp nào thì có thể sử dụng phần tử SURF152 để áp dụng các tác động nhiệt vào mô

hình PTHH? Để có câu trả lời chính xác, cần có những nghiên cứu kỹ hơn, tuy nhiên điểm mấu chốt cho việc lựa chọn phương pháp áp dụng tác động của nhiệt lên mô hình ở đây chính là phải cân nhắc đến phương pháp kiểm soát đường Nhiệt độ - thời gian trong quá trình thử nghiệm. Có hai cơ sở ban đầu giải thích cho điều này như sau:

+ Việc kiểm soát nhiệt độ của thử nghiệm theo các tiêu chuẩn quốc tế hoặc châu Âu [7] [18] hoặc được biên soạn dựa trên những tiêu chuẩn này [2] đòi hỏi phải thực hiện bằng các đầu đo nhiệt độ dạng tấm, do vậy về hình thức đó là kiểm soát nhiệt độ của khối không khí trong lò, song về thực chất đó chính là mức nhiệt độ mà khối khí nóng trong lò đã tác động lên bề mặt của các mẫu thử vì đầu đo nhiệt dạng tấm đã cho phép tính đến thành phần nhiệt tác động theo cả phương thức đối lưu và bức xạ [19]. Điều này cho thấy việc áp dụng tác động của nhiệt lên mô hình thông qua phần tử hiệu ứng bề mặt SURF152 sẽ không phù hợp do chưa bao gồm được thành phần nhiệt bức xạ;

+ Quy định về cấu tạo đầu đo nhiệt độ để kiểm soát đường Nhiệt độ - thời gian theo các tiêu chuẩn của Mỹ [8] [20] chỉ đòi hỏi phần tiếp xúc để cảm nhận nhiệt độ của môi trường lò thử nghiệm có đường kính khoảng 3 mm. Với diện tích nhỏ như vậy thì nhiệt độ mà nó cảm nhận được có thể chủ yếu là thành phần nhiệt đối lưu, do đó trong trường hợp này việc áp dụng mô hình truyền tác động nhiệt qua các phần tử hiệu ứng bề mặt SURF152 có thể là chấp nhận được.

5. Kết luận, kiến nghị

5.1 Kết luận

- Các kết quả nghiên cứu so sánh trình bày trong bài viết cho thấy, có thể áp dụng APDL 18.1 trong bài toán phân tích dầm bê tông cốt thép chịu tác động của lửa theo mô hình 3D có xét đến sự làm việc đồng thời của cả bê tông và cốt thép. Khả năng này cho phép áp dụng APDL 18.1 để phân tích các bài toán đòi hỏi phải xem xét sự làm việc chịu lực và chịu lửa trong không gian 3 chiều của các cấu kiện kết cấu;

- Một vấn đề khá quan trọng quyết định đến độ chính xác của các kết quả phân tích về nhiệt độ bằng APDL 18.1 đối với bài toán kết cấu bê tông cốt thép chịu tác động của lửa là lựa chọn đúng phương pháp áp dụng tải tác động của nhiệt lên mô

hình. Các kết quả nghiên cứu trình bày trong bài báo này cho thấy, đối với bài toán phân tích nhiệt độ bằng APDL 18.1 mà tải trọng nhiệt là đường Nhiệt độ - thời gian được kiểm soát theo [2] [7] [18] hoặc căn cứ vào các đầu đo nhiệt độ dạng tấm thì phương án áp dụng trực tiếp các giá trị nhiệt độ của đường Nhiệt độ - thời gian vào các nút nằm trên các bề mặt lộ lửa của mô hình PTHH sẽ cho kết quả sát nhất với kết quả đo được trên các mẫu tương ứng được thử nghiệm đốt trong thực tế.

5.2 Kiến nghị

- Cần có những nghiên cứu kỹ hơn về việc áp dụng tác động của nhiệt vào mô hình PTHH thông qua phần tử hiệu ứng bề mặt SURF152 khi phân tích nhiệt độ bằng APDL 18.1;

- Để mô hình phân tích về nhiệt bằng APDL 18.1 cho kết quả sát hơn nữa với các số liệu đo trên mẫu thử thực tế thì cần có thêm các số liệu về tính chất nhiệt học của bê tông trong điều kiện nhiệt độ từ 100 °C đến 120 °C, bổ sung cho các giá trị khuyến cáo trong [3].

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Hoàng Anh Giang (2000), "Về vấn đề xác định tải trọng cháy trong tính toán khả năng chịu lửa của công trình xây dựng", *Tạp chí KHCN Xây dựng*, Số 4, 2000(113), Tr. 13-22.
- [2] TCVN 9311-1 (2012), *Thử nghiệm chịu lửa. Các bộ phận công trình xây dựng. Phần 1 – Yêu cầu chung*.
- [3] CEN - EN 1992-1-2 (2004/AC:2008), *Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-2: General rules - Structural fire design*.
- [4] ACI 216R (1989), *Guide for Determining the Fire Endurance of Concrete Elements Reported by ACI Committee 216 (Reapproved 1994)*.
- [5] ASCE/SEI/SFPE 29 (2005), *Standard Calculation Methods for Structural Fire Protection*.
- [6] CEN - EN 1991-1-2 (2002/AC:2013), *Eurocode 1: Actions on structures. Part 1-2: General actions - Actions on structures exposed to fire*.
- [7] ISO 834-1 (1999 (E)), ISO 834-1 (1999/Amd.1:2012 (E)), *Fire-resistance tests - Elements of building construction - Part 1: General requirements*.
- [8] ASTM E 119 (2011), *Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials*.

- [9] <http://www.ansys.com/products/structures> truy cập ngày 29/11/2017.
- [10] Hawileh R. A. (2011), "Heat Transfer Analysis of Reinforced Concrete Beams Reinforced with GFRP Bars, Convection and Conduction Heat Transfer", *Dr. Amimul Ahsan (Ed.), ISBN: 978-953-307-582-2, InTech*, Tr. 299-314.
- [11] Shakya A.M., Kodur V.K.R. (2015), "Response of precast prestressed concrete hollowcore slabs under fire conditions", *Engineering Structures* 87 (2015), Tr. 126–138.
- [12] Nair R. G., Gomez S. M. (2014), "Numerical Analysis on Fire Resistance of Prestressed Concrete T-beam", *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, e-ISSN: 2278-1684, p-ISSN: 2320-334X. *International Conference on Innovations in Civil Engineering. SCMS School of Engineering and Technology*. Vol. 1, 2014. www.iosrjournals.org, Tr. 66-73.
- [13] Wickström U. (1994), "The Plate Thermometer - A Simple Instrument for Reaching Harmonized Fire Resistance Tests", *Fire Technology*, Second Quarter 1994, Tr. 196-208.
- [14] CEN – EN 1993-1-2 (2005), *Design of steel structures - Part 1-2: General rules - Structural fire design*.
- [15] Wade C. A. (1993), "Summary report on a finite element program for modelling the thermal response of building component exposed to fire", *Branz Study report No 51*, The Resource Centre for Building Excellence, Branz, New Zealand.
- [16] Harmathy T. Z. (1966), "Experimental study on moisture and fire endurance", *Fire Technology*, February 1966, Volume 2, Issue 1, Tr. 52–59.
- [17] Jansso R., Boström L. (2009), "The Influence of Pressure in the Pore System on Fire Spalling of Concrete", *Fire Technology*, 46, Tr. 217–230, 2010.
- [18] BSI - BS EN 1363-1 (1999), *Fire resistance tests – Part 1 General Requirements*.
- [19] Wickström, U., Duthinh, D., McGrattan, K. (2007), "Adiabatic Surface Temperature for Calculating Heat Transfer to Fires Exposed Structures", *Interflam 2007. (Interflam '07). International Interflam Conference, 11th Proceedings*. Volume 2. September 3-5, 2007, London, England, Tr. 943-953.
- [20] NFPA 252 (2006), *Standard Methods of Tests of Fire Resistance of Building Construction and Materials*.
- Ngày nhận bài:** 06/12/2017.
- Ngày nhận bài sửa lần cuối:** 07/02/2018.