

## KHAI THÁC PHẦN MỀM MÔ PHÒNG CHÁY FDS PHỤC VỤ KHẢO SÁT, ĐÁNH GIÁ CÔNG TRÌNH SAU HOẢ HOẠN

KS. HOÀNG MẠNH, KS. HÀ VĂN HẠNH, KS. NGUYỄN VIỆT SƠN

Viện KHCN Xây dựng

*Tóm tắt: Các phần mềm mô phỏng cháy thường được sử dụng trong việc nghiên cứu các giải pháp an toàn cháy cho công trình, ngoài ra còn có thể sử dụng để phân tích diễn biến phát triển của đám cháy phục vụ khảo sát đánh giá hiện trạng dựa trên các yếu tố thực tế của công trình như tải trọng cháy, đặc điểm hình học của khoang cháy, điều kiện thông gió,... Nội dung bài viết giới thiệu về phần mềm mô phỏng cháy FDS (Fire Dynamics Simulator) hiện đang được áp dụng rộng rãi trên thế giới và cũng đang được áp dụng tại Phòng Nghiên cứu Phòng chống cháy - Viện Chuyên ngành Kết cấu Công trình Xây dựng. Các tác giả đã trình bày kết quả phân tích có được qua việc khảo sát đánh giá một công trình cụ thể.*

*Từ khoá: FDS, khảo sát, đánh giá công trình sau hỏa hoạn, tải trọng cháy, smokeview, quan hệ nhiệt độ - thời gian, khoang cháy, mô phỏng cháy.*

### 1. Đặt vấn đề

Khảo sát đánh giá hiện trạng kết cấu công trình sau hỏa hoạn là một nhu cầu đặt ra trong thực tế hiện nay. Một vấn đề quan trọng đặt ra đối với công việc này là dự đoán được mức độ ảnh hưởng của ngọn lửa đám cháy đến các đặc trưng cơ lý của vật liệu kết cấu. Thông thường, mức nhiệt độ của đám cháy đã tác động lên các cấu kiện kết cấu công trình có thể được đánh giá dựa vào ghi nhận những biểu hiện bên ngoài của các cấu kiện hoặc bộ phận công trình, ví dụ như màu sắc, đặc điểm biến đổi về hình dạng, chiều dày của các lớp tro, than hình thành sau khi cháy,... Hiện nay, việc sử dụng các phần mềm mô phỏng cháy để phân tích diễn biến phát triển của đám cháy dựa trên các yếu tố thực tế của công trình như tải trọng cháy, đặc điểm hình học của khoang cháy, điều kiện thông gió,... đang rất phổ biến. Một số phần mềm mô phỏng cháy điển hình như: FDS, CFAST, NRC, FIRST,... Những vấn đề lý thuyết cơ bản liên quan đến một số phần mềm được tổng hợp trong [1, 2]. Bài viết này tập trung giới thiệu về phần mềm FDS đã được ứng dụng cho thực tế công việc khảo sát đánh giá mức độ hư hại của kết cấu công trình sau hỏa hoạn được thực hiện bởi Phòng Nghiên cứu Phòng chống cháy, Viện Chuyên ngành Kết cấu Công trình Xây dựng.

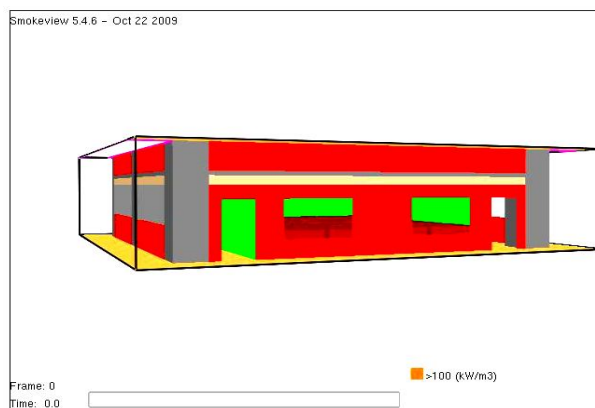
### 2. Phần mềm mô phỏng cháy FDS

#### 2.1. Giới thiệu chung

Phần mềm mô phỏng cháy là một công cụ giúp xây dựng nên mối liên hệ giữa các sự kiện có liên quan đến đám cháy. Nó có thể tích hợp nhiều sự kiện như phát cháy cục bộ, phát cháy toàn diện, quá trình thoát nạn của người sử dụng, sự sập đổ của kết cấu hoặc có thể chỉ giới hạn là sự phát triển của ngọn lửa và sự lan truyền của khói và có kể đến các yếu tố thực tế của công trình như: kích thước hình học, hình khối, các trang thiết bị an toàn cháy, tải trọng cháy,... Để làm được việc này, các phần mềm mô phỏng thường dựa trên các mô hình thực nghiệm hoặc dựa trên các mô hình toán học. Các mô hình thực nghiệm được xây dựng căn cứ vào kết quả quan sát của nghiên cứu thực nghiệm về hành vi của con người khi xảy ra cháy. Các mô hình toán học được xây dựng trên các phương trình toán học để mô tả các sự kiện liên quan đến đám cháy. Các mô hình toán học được chia thành mô hình tiên định và mô hình thống kê. Mô hình tiên định được kiểm soát bởi các định luật về vật lý, hóa học và nhiệt học còn mô hình thống kê chỉ đưa ra các dự đoán thống kê về một đám

cháy. Tài liệu [2] tổng hợp và trình bày tương đối chi tiết về 172 phần mềm mô phỏng và đang được ứng dụng thiết kế liên quan đến cháy.

FDS là tên viết tắt của Fire Dynamics Simulator. Đây là phần mềm mô phỏng cháy được phát triển bởi Viện Tiêu chuẩn và Công nghệ Quốc gia Hoa Kỳ - NIST. Phần mềm này được công bố rộng rãi và đưa vào áp dụng từ tháng 2 năm 2000. Phiên bản hiện đang được khai thác áp dụng tại Phòng Nghiên cứu Phòng chống cháy, Viện Chuyên ngành Kết cấu Công trình Xây dựng là phiên bản 5, được cung cấp tại địa chỉ: <http://fire.nist.gov/fds/downloads.html>. Trong FDS, không gian khoang cháy được phân nhỏ thành các khối lập phương (các phần tử) với kích thước xác định. Việc tính toán các tham số liên quan đến khối lượng, động lượng và nhiệt lượng theo các định luật bảo toàn được thực hiện trong từng phần tử ở từng thời điểm khác nhau với khoảng giãn cách thời gian có thể định trước. FDS chạy trong môi trường MS-DOS với yêu cầu về cấu hình của máy tính ở mức trung bình và có thể chạy song song nhiều máy để giảm bớt thời gian tính toán. Các kết quả phân tích và mô phỏng của FDS sẽ được kết xuất và hiển thị một cách trực quan bằng phần mềm đi kèm Smokeview (hình 1). Toàn bộ diễn biến của đám cháy và sự di chuyển của các sản phẩm cháy sẽ được thể hiện dưới dạng hình ảnh động.



Hình 1. Kết quả mô phỏng được hiển thị trên Smokeview

### 2.2. Các thông số đầu vào

Đầu vào của FDS sẽ do người dùng soạn thảo bằng chương trình soạn thảo văn bản nào đó dưới dạng file văn bản (text file), theo các cú pháp chuẩn. Những tham số cơ bản của số liệu đầu vào bao gồm:

- Kích thước tổng thể của khối không gian tính toán và lưới phân chia các phần tử;
- Điều kiện môi trường xung quanh;
- Kích thước và các đặc điểm hình học chi tiết của khoang cháy, ví dụ: kích thước tổng thể, vị trí và kích thước của các lỗ thông, các thiết bị thông gió, các hệ thống bảo vệ an toàn cháy,...
- Các đặc trưng về cháy của vật liệu, ví dụ: hệ số dẫn nhiệt, nhiệt dung riêng, khối lượng riêng, nhiệt độ bắt cháy, mức giải phóng nhiệt khi cháy, mức độ sinh khói, công thức hóa học cơ bản của hợp chất tạo thành,...
- Động năng của sự cháy, vị trí nguồn gây cháy, đặc điểm, thông số kỹ thuật của nguồn gây cháy;
- Các thông số đầu ra mong muốn.

### 2.3. Kết quả đầu ra

Tùy theo nhu cầu cụ thể của bài toán được xem xét, người sử dụng có thể đặt lệnh để tính toán nhiều thông số khác nhau trong từng phần tử hoặc trên các bề mặt của vật thể rắn hoặc thông số

tổng thể của cả đám cháy. Trong trường hợp cần đưa ra các kết quả nào đó của một điểm xác định thì người dùng cũng có thể chỉ định rõ tọa độ của điểm đó, các thời điểm cần xuất số liệu và các thông số cần đưa ra. Các kết quả phân tích có thể xuất ra cho ba nhóm đối tượng chính như sau :

- Đối với khối khí bên trong khoang cháy:

- + Nhiệt độ;
- + Vận tốc của đám cháy theo 3 phương;
- + Hàm lượng các chất trong khối khí (hơi nước, CO<sub>2</sub>, CO, N<sub>2</sub>);
- + Độ đậm đặc của khói và các chỉ số về tầm nhìn xa;
- + Áp suất;
- + Tốc độ giải phóng nhiệt trên một đơn vị thể tích;
- + Tỷ lệ hỗn hợp cháy;
- + Mật độ của khối khí;
- + Khối lượng hạt nước trên đơn vị thể tích (dùng cho phân tích sự hoạt động của hệ thống Sprinkler).

- Đối với các bề mặt của vật thể rắn, FDS có thể cung cấp thêm các số liệu về:

- + Nhiệt độ bề mặt và bên trong của vật thể;
- + Thông lượng nhiệt bức xạ và đối lưu;
- + Tốc độ cháy.

- Đối với đám cháy, FDS có thể ghi nhận lại các thông số:

- + Tốc độ giải phóng nhiệt tổng thể (RHR);
- + Các thời điểm kích hoạt của đầu báo khói và đầu phun Sprinkler;
- + Sự trao đổi, biến động về khối lượng và năng lượng qua các lỗ thông hoặc các vật thể rắn.

### **2.4. Những ứng dụng của FDS**

Trên thế giới, FDS được khai thác chủ yếu để giải quyết các bài toán thực tế về cháy trong công tác đảm bảo an toàn cháy. Bên cạnh đó, FDS cũng được khai thác như một công cụ phục vụ cho nghiên cứu cơ bản về sự cháy và mô phỏng động lực đám cháy. Đối với việc ứng dụng cho các bài toán thực tế, có hai khía cạnh cơ bản:

- Thiết kế các hệ thống kiểm soát khói và xem xét sự kích hoạt của các đầu báo (nhiệt, khói) và đầu phun Sprinkler;

- Xem xét sự phát triển và lan truyền của đám cháy trong các công trình dân dụng và công nghiệp khi điều tra sự cố.

Để xem xét tính phù hợp của phần mềm này và kiểm chứng nó, NIST đã tiến hành nhiều chương trình nghiên cứu trên lý thuyết và thực nghiệm cũng như so sánh các kết quả của FDS với bài toán tương đương được giải quyết bằng các phần mềm đã được kiểm chứng khác. Tài liệu [3,4] trình bày chi tiết về những vấn đề này.

## **3. Ứng dụng FDS trong khảo sát thực tế**

### **3.1. Giới thiệu về sự cố**

## THI CÔNG XÂY LẬP – KIỂM ĐỊNH CHẤT LƯỢNG

Trong quá trình triển khai công tác khảo sát và đánh giá hiện trạng hư hỏng kết cấu của một công trình nhà dân dụng sau hỏa hoạn, FDS đã được áp dụng để xem xét diễn biến của đám cháy với những điều kiện riêng của công trình và vật chất cháy. Từ đó xác định về mức nhiệt độ cao nhất của đám cháy có thể đã tác động đến vật liệu kết cấu.

Sự cố cháy xảy ra tại khu vực kho tạm chứa phụ kiện và vật liệu của hệ thống điều hòa không khí đặt trong tầng 4 của một tòa nhà 11 tầng (hình 2). Công trình có kết cấu bê tông cốt thép toàn khối. Khu kho chỉ chiếm một phần diện tích khoảng hơn 120 m<sup>2</sup> (dài 12,1 m x rộng 10,0 m) của tầng 4 và được quây kín xung quanh bằng tôn múi. Xung quanh khu kho có lối đi lại rộng khoảng 2 m và đều tiếp xúc trực tiếp với môi trường không khí bên ngoài thông các lỗ cửa (chưa lắp cửa).



**Hình 2.** Tổng thể khu vực xảy ra cháy

Theo ghi nhận trong biên bản làm việc giữa các bên liên quan, đám cháy bùng phát và kéo dài tự do khoảng 25 phút trước khi có sự can thiệp của lực lượng Cảnh sát Phòng cháy Chữa cháy. Đám cháy được dập tắt hoàn toàn sau khoảng thời gian không quá 180 phút kể từ khi bắt đầu, trong đó thời gian cháy mạnh nhất có thể đã kéo dài khoảng từ 30 phút đến 60 phút kể từ khi được phát hiện.

Vật chất cháy được xác định bao gồm (hình 3):

- Các dàn lạnh có vỏ kim loại và mặt nạ bằng nhựa;
- Máy điều hòa không khí loại treo tường 2 cục, có vỏ kim loại và vỏ nhựa;
- Các ống dẫn nước ngưng bằng PVC và vật liệu bảo ôn bằng hợp chất hữu cơ;
- Các bộ chia gas bằng kim loại.

Dưới tác động của đám cháy, kết cấu bê tông dầm sàn tầng 5 xuất hiện nhiều biểu hiện hư hại như: bong bê tông bảo vệ, cốt thép bị cong, oằn và bề mặt bị ám khói muội (hình 4).



Hình 3. Phần còn lại của các vật chất cháy



Hình 4. Không gian tổng thể kho bị cháy

### 3.2. Phương pháp tiếp cận

Trong các báo cáo sự cố cũng như biên bản làm việc được ghi nhận bởi nhân viên điều tra đều chỉ có những mô tả một cách định tính về mức độ của đám cháy và chiều hướng phát triển của đám cháy. Để có thể đưa ra được phán đoán về mức nhiệt độ của đám cháy và mức nhiệt độ mà các cấu kiện bê tông cốt thép cũng như các vật liệu thành phần (bê tông và thép) đã đạt được, nhóm khảo sát đã dựa vào những yếu tố sau:

- Thời gian kéo dài của đám cháy;
- Loại vật chất cháy;
- Biểu hiện màu sắc và bề mặt của vật liệu trên công trình.

Chi tiết về các số liệu khảo sát đánh giá được trong báo cáo kết quả [5] có thể trình bày một cách tổng quát như sau:

- Với dạng vật chất cháy như trong thực tế công trình, mức nhiệt độ của đám cháy được phán đoán dựa vào giả thiết là trước khi có sự can thiệp của các hoạt động chữa cháy, môi trường nhiệt độ của khoang cháy phát triển theo quan hệ nhiệt độ - thời gian tiêu chuẩn;

- Nhiệt độ mà các vật liệu thành phần (bê tông và thép) đã phải trải qua được phán đoán dựa vào biểu hiện về màu sắc và bề mặt được đúc kết trong các tài liệu kỹ thuật chuyên ngành.

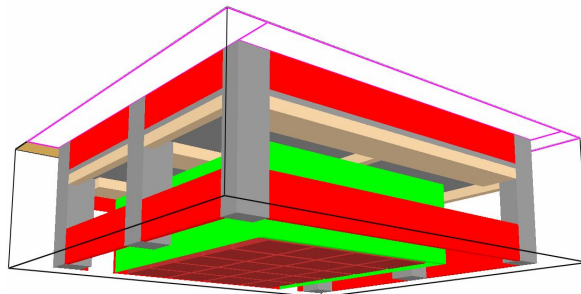
Trong thực tế, dưới tác động của các điều kiện thông thoáng cụ thể của công trình, sự phát triển của nhiệt độ môi trường khoang cháy có thể không giống như giả thiết trên (có thể cao hơn hoặc thấp hơn). Để có thêm số liệu phục vụ xem xét đánh giá mức độ tác động của đám cháy lên công trình, nhóm khảo sát đã ứng dụng FDS tái dựng lại diễn biến phát triển của đám cháy với các yếu tố cơ bản sau:

- Kích thước và đặc điểm về hình học, vật chất thực tế của công trình;
- Tải trọng cháy được lấy theo giá trị tiêu chuẩn của khu vực cất giữ đồ nhựa nêu trong [6];
- Vì điều kiện năng lực của hệ thống máy tính và tiến độ yêu cầu của công tác làm báo cáo, khoảng thời gian phân tích là 70 phút, kéo dài hơn 10 phút so với khoảng thời gian được coi là cháy tự do của đám cháy thực tế (60 phút).

### 3.3. Các thông số đầu vào

### 3.3.1 Kích thước

Để có thể quan sát được sự phát triển và lan tỏa của khói từ khu vực bị cháy ra môi trường xung quanh, phạm vi xem xét của bài toán được mở rộng hơn so với kích thước thực tế của đối tượng công trình. Tất cả các đối tượng là bề mặt vật rắn và các lỗ thông của công trình (cột, mặt sàn, mặt trần, dầm, vách tôn,...) đều được mô phỏng đúng với kích thước thực (hình 5).



Hình 5. Kích thước đầu vào của kho

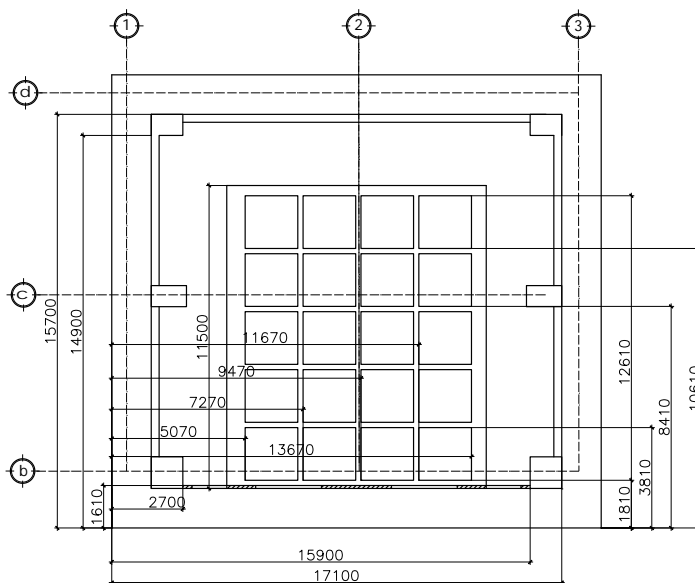
### 3.2.2. Vật liệu cháy

Từ những thông tin trên, có thể dự đoán những nhiên liệu chính tham gia vào đám cháy gồm:

- Vỏ hộp giấy cùng đệm xốp Polystyrene của các phụ kiện điều hòa;
- Ống nhựa PVC có lớp bảo ôn;
- Một số vật tư phụ khác.

Tuy nhiên các vật liệu này chưa được cung cấp các thông số về cháy như: độ dẫn nhiệt, nhiệt dung riêng, tỷ lệ phát nhiệt,... Vì vậy, chúng tôi đã lấy tải trọng cháy tiêu chuẩn tương đương với kho có các vật liệu như trên. Vật chất cháy được coi là các khối gỗ với kích thước quy đổi từ mức nhiệt lượng tỏa ra cần thiết để tạo nên mức tải trọng cháy theo tiêu chuẩn.

Các khối vật chất cháy được phân bố rải đều trên toàn bộ diện tích của kho (hình 6).



Hình 6. Kích thước đầu vào của vật liệu cháy

**3.3.3. Nguồn cháy**

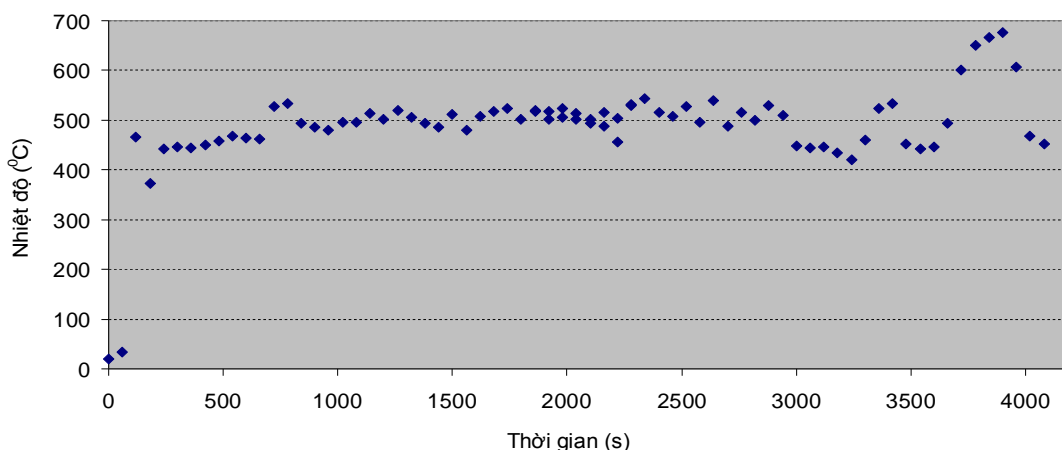
Báo cáo điều tra cháy không xác định rõ được vị trí của nguồn cháy do vậy trong bài toán mô phỏng, nguồn cháy được mô phỏng đặt ở khu vực giữa của kho.

**3.4. Kết quả mô phỏng và nhận xét**

Tại một số vị trí trên bề mặt của ô sàn, dầm chính và dầm phụ có thiết lập yêu cầu kết xuất số liệu về diễn biến gia tăng nhiệt độ, số liệu này được thể hiện trong bảng 1.

Các số liệu về nhiệt lượng tỏa ra và tốc độ cháy của vật chất cháy theo thời gian được cho trong bảng 2.

Diễn biến gia tăng nhiệt độ tại nút giao dầm chính và dầm phụ được cho ở hình 7.



**Hình 7.** Diễn biến gia tăng nhiệt độ tại nút giao dầm chính và dầm phụ

**Bảng 1.** Nhiệt độ tại bề mặt của một số cấu kiện kết cấu trong khoang cháy

Thời gian (s)	Ô bản 1 (°C)	Ô bản 2 (°C)	Dầm chính 11 (°C)	Dầm chính 21 (°C)	Dầm phụ 1 (°C)	Giao của dầm phụ và dầm chính (°C)
	20	20	20	20	20	20
60	20	20	28	43	53	34
120	20	20	342	543	531	466
180	20	20	482	377	426	372
240	20	20	315	408	372	443
300	20	20	311	405	388	446
...	...	...	...	...	...	...
900	20	20	461	574	461	486
960	20	20	457	570	465	479
1020	20	20	469	579	466	496
1080	20	20	466	595	473	496
...	...	...	...	...	...	...
3900	20	20	531	608	657	677
...	...	...	...	...	...	...

**Bảng 2.** Các nhiệt lượng tỏa ra từ đám cháy

Thời gian (s)	Tổng nhiệt lượng tỏa ra (kW (×10 <sup>6</sup> ))	Nhiệt lượng tỏa ra do bức xạ nhiệt (kW (×10 <sup>6</sup> ))	Nhiệt lượng do đối lưu (kW (×10 <sup>6</sup> ))	Nhiệt lượng tỏa ra do sự dẫn nhiệt (kW (×10 <sup>6</sup> ))	Tốc độ cháy của vật chất cháy (kW (×10 <sup>6</sup> ))
0	0	0	0	0	0

## THI CÔNG XÂY LẬP – KIỂM ĐỊNH CHẤT LƯỢNG

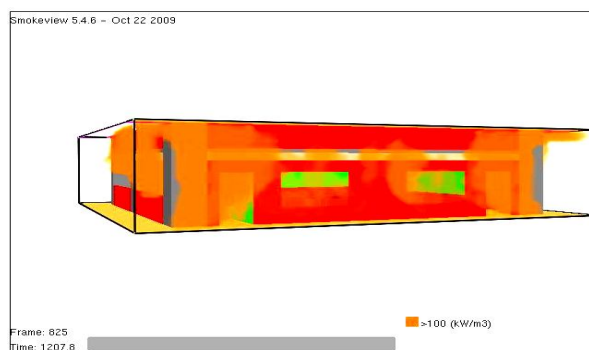
60	1.860	654	971	840	0,04
120	321.000	155.000	137.000	149.000	13,6
180	643.000	267.000	347.000	210.000	60
240	641.000	246.000	377.000	169.000	62
...	...	...	...	...	...
900	815.000	277.000	525.000	137.000	144
960	797.000	272.000	515.000	132.000	144
1020	809.000	276.000	523.000	134.000	144
1080	817.000	279.000	529.000	134.000	144
...	...	...	...	...	...
3900	1.020.000	351.000	671.000	149.000	144
...	...	...	...	...	...

Từ các kết quả mô phỏng thu được về diễn biến quá trình cháy cho thấy (hình 8):

- Quá trình cháy xuất phát từ khu vực giữa của gian kho, lan truyền và phát triển mạnh theo hướng từ trong kho ra ngoài, từ phía trục D về phía trục B (từ hướng Tây sang hướng Đông) và từ phía trục 3 về phía trục 1 (từ hướng Bắc sang hướng Nam). Điều này cũng phù hợp với những ghi nhận và mô tả hiện trường của cơ quan điều tra;

- Sau khoảng 15 phút cháy đầu tiên, nhiệt độ bề mặt các cấu kiện dầm đạt từ hơn 370°C đến gần 600°C, với mức nhiệt độ như vậy hoàn toàn có thể xảy ra hiện tượng bong bê tông và gây lộ cốt thép. Điều này đã được ghi nhận qua quan sát ở các thử nghiệm đốt trên mẫu thử bằng bê tông và thực tế trên công trình bị cháy cũng đã xảy ra;

- Mức nhiệt độ lớn nhất của không khí ghi nhận được trên bề mặt dưới của điểm giao nhau giữa dầm chính và dầm phụ là 677°C tại thời điểm 3900s sau khi phát cháy, sau đó nhiệt độ bắt đầu giảm dần.



**Hình 8. Hình ảnh đám cháy vào khoảng thời gian 1208s**

Kết hợp giữa kết quả khảo sát ghi nhận các biểu hiện bề mặt và màu sắc của các cấu kiện cũng như những biểu hiện bề ngoài khác với kết quả phân tích bằng FDS, có thể đưa ra những nhận xét như sau:

- Với mức tải trọng cháy không lớn hơn giá trị tiêu chuẩn đã áp dụng và điều kiện thông gió như thực tế thì sự phát triển tự do của đám cháy không vượt quá 65 phút. Như vậy dự đoán về thời gian phát triển tự do của đám cháy dựa trên thông tin do các nhân chứng cung cấp là phù hợp (từ 30 phút đến 60 phút);

- Quan hệ nhiệt độ – thời gian của đám cháy theo kết quả mô phỏng xem xét tại các điểm có kết xuất số liệu nhiệt độ, tương tự với quan hệ tiêu chuẩn song với mức nhiệt độ lớn nhất chỉ khoảng 700 °C. Tức là thấp hơn so với giá trị nhiệt độ của quan hệ tiêu chuẩn ở thời điểm tương ứng (khoảng



935 °C). Do vậy việc áp dụng quan hệ tiêu chuẩn để đánh giá mức nhiệt độ đã tác động lên kết cấu sẽ giúp đưa ra kết luận thiên về an toàn.

#### 4. Kết luận và kiến nghị

Việc ứng dụng FDS để tái tạo lại diễn biến đám cháy phục vụ cho khảo sát, đánh giá công trình sau hỏa hoạn là hoàn toàn hiện thực và đã được nhóm tác giả thực hiện thành công trong công việc thực tế.

Phần mềm mô phỏng FDS đóng một vai trò quan trọng trong việc đánh giá công trình sau hỏa hoạn cũng như thiết kế an toàn cháy cho công trình xây dựng. Hiện tại phần mềm mô phỏng cháy FDS mới chỉ được chúng tôi ứng dụng trong việc khảo sát, đánh giá công trình sau hỏa hoạn. Quá trình khai thác sử dụng tiếp theo của phần mềm này cần có những nghiên cứu và tìm hiểu sâu hơn nữa để có thể mở rộng cho các ứng dụng trong việc thiết kế an toàn cháy cho công trình.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. A. BOUNAGUI, N. BENICHO. Literature review on the Modelling of Fire growth and Smoke movement. *National Research Council Canada, Institute for research in Construction. IRC-RR-139, Aug. 2003.*
2. J. J. MATINEZ DE ARAGON, F. REY and J. A. CHICA. Part 4: DIFISEK-Software for fire design. *Tài từ địa chỉ: [www.labein.es/difisek/UK/Syllabus/WP4-UK-Syllabus.pdf](http://www.labein.es/difisek/UK/Syllabus/WP4-UK-Syllabus.pdf).*
3. RANDALL MCDERMOTT, KEVIN MCGRATTAN, SIMO HOSTIKKA, JASON FLOYD. Fire Dynamics Simulator (Version 5) Technical Reference Guide. *Volume 2: Verification. NIST Special Publication 1018-5. NIST 2010.*
4. KEVIN MCGRATTAN, SIMO HOSTIKKA, JASON FLOYD, RANDALL MCDERMOTT. Fire Dynamics Simulator (Version 5) Technical Reference Guide. *Volume 3: Validation. NIST Special Publication 1018-5. NIST 2010.*
5. HOÀNG ANH GIANG và ctv. Báo cáo kết quả khảo sát, đánh giá hiện trạng kết cấu công trình sau hỏa hoạn (No: 012.09.KS.NCPCC).
6. ANDREW H.BUCHANAN. Structural Design for Fire Safety, University of Canterbury, *New Zealand, 2001.*