

PHÂN TÍCH ĐÁNH GIÁ SỐ HẠNG NGUỒN CHO Lò PHẢN ỨNG PWR900 KHI XẢY RA SỰ CỐ LOCA VÀ SBO

BUI THI HOA^{1*}, ĐOÀN MẠNH LONG², LÊ ĐẠI DIỄN², PHẠM NGỌC ĐỒNG²

¹*Trung tâm Năng lượng hạt nhân – Viện Khoa học và Kỹ thuật hạt nhân,
179 Hoàng Quốc Việt, Cầu Giấy, Hà Nội*

**Email: hoa.hnk52@gmail.com*

²*Trung tâm Đào tạo hạt nhân - NTC, 140 Nguyễn Tuân-Thanh Xuân – Hà Nội*

Tóm tắt: Khi đánh giá về an toàn cho nhà máy điện hạt nhân, vấn đề được quan tâm nhất trong trường hợp xảy ra sự cố nghiêm trọng chính là mức độ và hàm lượng phóng xạ, thường được gọi với cái tên là số hạng nguồn, phát thải từ nhà máy ra môi trường bên ngoài. Việc nghiên cứu và phân tích bài toán số hạng nguồn có ý nghĩa quan trọng trong công tác phòng chống và ứng phó sự cố hạt nhân. Báo cáo sẽ bước đầu tìm hiểu phương pháp đánh giá số hạng nguồn và các con đường dẫn tới rò rỉ số hạng nguồn ra ngoài môi trường. Bên cạnh đó, báo cáo sẽ trình bày kết quả sơ bộ về phân tích đánh giá số hạng nguồn cho lò phản ứng thuộc thế hệ II+ PWR900 của Pháp – đã được cải thiện về mặt thiết kế để nâng công suất lên 1000MWe với tên gọi là CPR1000 và được xây dựng tại nhà máy điện hạt nhân Cảnh Phòng Thành của Trung Quốc, khi xảy ra đồng thời sự cố Mất chất tải nhiệt (Loss of Coolant Accident – LOCA) và Mất hoàn toàn nguồn điện (Station BlackOut – SBO) bằng chương trình MELCOR. Kết quả nghiên cứu cho thấy, sau 24 giờ kể từ khi sự cố xảy ra, đáy thùng lò vẫn chưa bị hỏng, tổng lượng Hydrogen được tạo ra khoảng 400 kg, tổng lượng sản phẩm phân hạch phóng xạ dạng khí là 15 kg, trong đó có khoảng 12.8 kg là nhóm khí hiếm (Xe) phân bố chủ yếu trong nhà lò.

Từ khóa: số hạng nguồn, sự cố nghiêm trọng, MELCOR, CPR1000.

SOURCE TERM ANALYSIS AND EVALUATION FOR PWR900 DURING LOCA ALONG WITH SBO

BUI THI HOA¹, LE DAI DIEN², PHAM NGOC DONG², DOAN MANH LONG²

1. *Nuclear Power Centre – Institute for Nuclear Science and Technology,
179 Hoang Quoc Viet, Ha Noi*

Email: hoa.hnk52@gmail.com

2. *Nuclear Training Centre, 140 Nguyen Tuan, Thanh Xuan, Ha Noi*

Abstract: The most concerned during severe accident in a nuclear power plant is intensity and concentration of radioactive materials, known as source term, released to environment. The study and analysis on source term have an important role in severe accident management procedures. The paper study on source term issue with two key contents: 1) Source term evaluation method; and 2) the impossible ways release radioactive material to environment. Additionally, the paper present the primarily results on source term analysis and evaluation for French PWR900 - which was imported to China and improved to have a net power output of 1000 MWe, known as CPR1000 built in Fangchenggang Nuclear Power Plant during Loss of Coolant Accident along with Station Blackout by using MELCOR code.

Key words: Source term, severe accident, MELCOR, CPR1000.

1. Tổng quan về đánh giá số hạng nguồn

Số hạng nguồn có thể được định nghĩa là mức độ, hình thức, cách thức phát thải và các dạng hợp chất hóa học và vật chất phát thải từ các nguồn phóng xạ bên trong và bên ngoài vỏ thùng lò phản ứng. Lượng số hạng nguồn được tạo ra phụ thuộc vào nồng độ chất phân hạch, thời gian hoạt động và chu kỳ, công suất hoạt động và diễn biến sự cố ... [1]. Số hạng nguồn có thể được giải phóng từ nhiên liệu hạt nhân trong quá trình gia nhiệt, các nguyên vật liệu trong vùng hoạt hoặc từ các phản ứng của

các chất nóng chảy vùng hoạt với các thành phần vật liệu bê tông khoang nhà lò (Cavity) trong các trường hợp sự cố.

Trong vài thập kỷ qua, trên thế giới đã có nhiều nghiên cứu về đánh giá số hạng nguồn cho cả nhà máy điện hạt nhân cũng như các lò phản ứng nghiên cứu trong trường hợp xảy ra sự cố dẫn đến nóng chảy vùng hoạt, với các chương trình thí nghiệm như Phebus FP [2], STEP [3], ISTP [4] ...; cùng với đó là các chương trình tính toán số cũng được phát triển để thực hiện các bài toán đánh giá và vận chuyển số hạng nguồn như chương trình MELCOR [5] được sử dụng để đánh giá số hạng nguồn cho các nhà máy điện hạt nhân ở Hoa Kỳ sử dụng nhiên liệu có độ làm giàu cao và nhiên liệu MOX với nhiều kịch bản sự cố trong đó tập trung xoay quanh hai kịch bản sự cố Mất nguồn điện (SBO) và sự cố Mất chất tải nhiệt (LOCA), chương trình ORIGEN2 (Mirza *et al.* 2010) được sử dụng để đánh giá số hạng nguồn cho lò phản ứng nghiên cứu số 1 của Pakistan, hay chương trình MAAP (Lee and Yu-Chih, 2008) được sử dụng để nghiên cứu số hạng nguồn cho nhà máy điện hạt nhân Washington. Đối với nhà máy điện hạt nhân Trung Quốc, bài toán đánh giá số hạng nguồn phát thải ở bên trong thùng lò phản ứng cho nhà máy điện hạt nhân sử dụng lò phản ứng nước áp lực 600 MWt được thực hiện bởi Huang (Huang *et al.* 2010) với các kịch bản sự cố Mất nguồn điện (SBO), Mất nguồn nước cấp khẩn cấp (LOFW) và Mất chất tải nhiệt do vỡ lớn (LBLOCA). Đối với lò phản ứng áp lực nước nặng ở Ấn Độ (PHWR), số hạng nguồn được đánh giá bởi Chatterjee (Chatterjee *et al.* 2010), bằng cách kết hợp nhiều chương trình tính toán: chương trình ORIGEN2 để xác định số hạng nguồn dự trữ, chương trình SCDAP/RELAP5 để phân tích thủy nhiệt, ASTAC cho bài toán vận chuyển, CONTAIN đánh giá số hạng nguồn bên trong tòa nhà lò và COSYMA để đánh giá liều chiếu.

Ở Việt Nam, các nghiên cứu đánh giá số hạng nguồn đã được thực hiện trong những năm gần đây, nhưng chỉ là đánh giá sự phát tán phóng xạ trong không khí từ các sự cố nhà máy điện hạt nhân cho dự án Ninh Thuận cũng như các nhà máy điện hạt nhân Trung Quốc xây dựng gần biên giới với giả thiết về ban đầu hàm lượng chất phóng xạ phát thải từ lò phản ứng ra, chứ chưa tập trung vào đánh giá số hạng nguồn cho kịch bản sự cố cụ thể dẫn tới nóng chảy vùng hoạt và có thể hỏng vỏ thùng lò phản ứng dẫn tới phát tán phóng xạ ra môi trường bên ngoài.

Vì vậy bài báo sẽ tiến hành nghiên cứu và dự báo số hạng nguồn phát thải vào không gian bên trong thùng lò phản ứng và ra bên ngoài thùng lò phản ứng cho công nghệ lò CPR1000 của Trung Quốc tham chiếu từ kết quả nghiên cứu cho lò PWR900 của Pháp [8] với kịch bản sự cố Mất chất tải nhiệt do vỡ lớn (LBLOCA) xảy ra đồng thời với sự cố mất hoàn toàn nguồn điện (SBO) bằng chương trình MELCOR.

2. MELCOR với bài toán số hạng nguồn

MELCOR được phát triển ở phòng thí nghiệm quốc gia Sandia cho cơ quan pháp quy Hoa Kỳ như một công cụ đánh giá rủi ro cho nhà máy điện hạt nhân, do vậy MELCOR có tính tới bài toán sự phát thải các sản phẩm phân hạch và sự di chuyển của chúng ra ngoài môi trường như một bài toán về “số hạng nguồn” [6]. Có thể nói số hạng nguồn là một trong những sản phẩm chính trong toàn bộ các tính toán sự cố của MELCOR và nó được sử dụng để tính toán hậu quả sự cố và là đầu vào quan trọng trong đánh giá rủi ro xác suất. Các tính toán về quá trình thủy nhiệt và thoái hóa vùng hoạt trong MELCOR để hỗ trợ cho tính toán về số hạng nguồn.

Gói RadioNuclide (RN) trong MELCOR tính tới sự giải phóng và quá trình vận chuyển của các sản phẩm phân hạch trong quá trình sự cố, những nhân tố đặc biệt quan trọng trong việc xác định hậu quả rủi ro. Trong khối các sản phẩm phân hạch từ lò phản ứng thì có cả các sản phẩm phân hạch phóng xạ và các mảnh phân hạch không có tính phóng xạ. Tuy nhiên để tính toán và mô hình hóa được khối lượng và sự vận chuyển của các sản phẩm phóng xạ quan trọng thì cần phải mô hình hóa được quá trình chuyển khối của cả các thành phần sản phẩm phân hạch không có tính phóng xạ nhưng có ảnh hưởng tới khối lượng nhân phóng xạ. Do đó, MELCOR xử lý dạng phân tử cho tất cả các sản phẩm phân hạch cũng như mô hình sự vận chuyển của tất cả khối lượng vật chất khác bao gồm cả nước, vật liệu làm bê-tông, các thành phần vật liệu trong vùng hoạt mà có thể có tương tác với nhân phóng xạ. Và thay vì theo dõi tất cả các đồng vị phóng xạ, khối lượng của tất cả các đồng vị của một phân tử được mô hình như một khối, các phân tử có các tính chất hóa học tương tự nhau được nhóm vào cùng một nhóm để xử lý.

Ngoài ra MELCOR còn tích hợp rất nhiều chương trình tính toán để xử lý bài toán phát thải và vận chuyển số hạng nguồn có thể kể đến như chương trình ORIGEN để tính sự dự trữ nhân phóng xạ

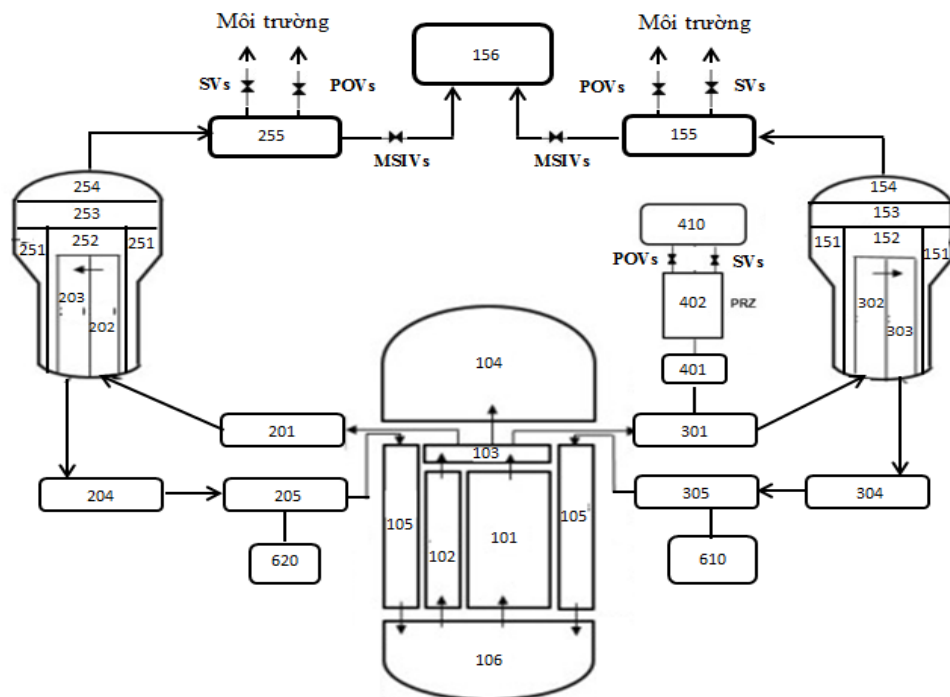
ban đầu cho mỗi lớp trong toàn bộ vùng hoạt và sự phân bố của chúng trong vùng hoạt, ở giữa nhiên liệu và vỏ thanh nhiên liệu, trong khoang lò, trong nước, trong không khí...vv; CORSOR để tính sự giải phóng nhân phóng xạ từ các vật liệu trong vùng hoạt; VANESA tính sự giải phóng nhân phóng xạ trong khoang lò từ tương tác chất nóng chảy vùng hoạt với bê tông; MARREROS tính toán quá trình động học của son khí, sự ngưng tụ và bay hơi của các sản phẩm phân hạch dạng khí; TRAP-MELT2 đánh giá tốc độ của các quá trình.

3. Mô tả mô hình lò PWR900 trong tệp dữ liệu đầu vào chương trình MELCOR

Công nghệ lò phản ứng CPR1000 của Trung Quốc thuộc thể lò phản ứng nước áp lực II+, được phát triển từ công nghệ lò PWR900 của Pháp, để tăng công suất điện đầu ra lên 1000MWe. Do thiếu thông tin về công nghệ lò CPR1000 vì vậy nghiên cứu này sử dụng công nghệ lò PWR900 của Pháp để nghiên cứu và tham chiếu cho lò CPR1000.

Lò phản ứng PWR900 của Pháp là công nghệ lò phản ứng nước áp lực 3 vòng, mỗi vòng bao gồm một đoạn ống nóng (hot leg), một bình sinh hơi thẳng đứng, chân lạnh (cold leg), bơm tuần hoàn chính (RCP), chân nóng. Bình điều áp (PRZ) được kết nối với một vòng số 1 thông qua đoạn ống dâng áp (surge line). Vùng hoạt lò phản ứng bao gồm 157 bó nhiên liệu và 48 bó thanh điều khiển với vật liệu hấp thụ là Ag-In-Cd. Công suất nhiệt của lò phản ứng khoảng 2700 MW, áp lực của hệ thống sơ cấp khoảng 15,5 MPa, bề mặt truyền nhiệt SG khoảng 5000 m² và dung tích PRZ khoảng 40 m³ (Bảng 1). Van xả an toàn (SRV) và van PORV được lắp đặt trong PRZ và được kết nối với bể giảm áp (PRT). Các van SRV cũng còn được lắp đặt trên các đường hơi nối với các bình sinh hơi.

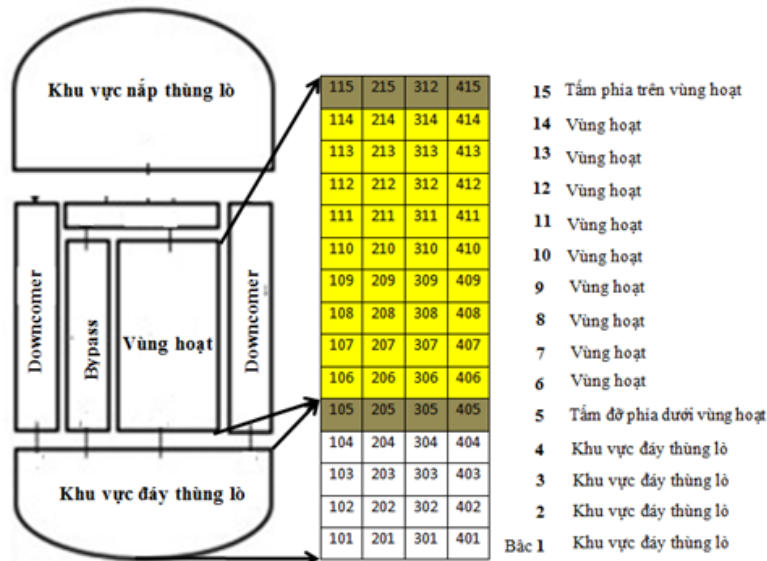
Hệ thống làm mát vùng hoạt khẩn cấp (ECCS) bao gồm: các hệ thống cấp nước cao áp (HPIS), hạ áp (LPIS) cùng với 03 bình tích nước trung áp (ACC).



Hình 1: Sơ đồ node hóa lò PWR900

Không gian thể tích vòng sơ cấp của lò PWR900 được chia thành các khu vực tương ứng: thể tích bên trong thùng lò phản ứng, thể tích của vòng tuần hoàn số 1 và số 3 được gộp vào làm một và được gọi là vòng 1; và thể tích vòng tuần hoàn số 2. Thể tích không gian bên trong thùng lò phản ứng được chia thành 6 thể tích hữu hạn được đặt tên số tương ứng với các khu vực (Hình 1): lưu thông dưới đáy thùng lò (106), khu vực downcomer (105), khu vực bypass (102), khu vực vùng hoạt (101), khu vực lưu thông phía trên vùng hoạt (103) và khu vực nắp lò phản ứng (104). Các thể tích hữu hạn được kết nối với nhau bởi các đường dòng (FL) được minh họa bằng các đường thẳng kết nối các thể tích với nhau. Cấu trúc vùng hoạt và khu vực đáy lò phản ứng được chia thành 4 vòng đồng tâm theo phương bán kính lò được đánh số từ trong ra ngoài và 15 bậc theo phương trục lò được đánh số từ dưới lên (Hình 2).

Thể tích của các vòng tuần hoàn được mô hình giống nhau, được chia thành các thể tích hữu hạn tương ứng với các thể tích của đoạn ống nóng (HL), thể tích các bố ống trao đổi nhiệt được chia thành hai thể tích hữu hạn ứng với lối vào và lối ra của bố ống, thể tích trung gian chứa bơm tuần hoàn nối đầu ra từ bình sinh hơi với đoạn ống lạnh và thể tích của đoạn ống lạnh.



Hình 2: Sơ đồ node hóa cấu trúc vùng hoạt và khu vực đáy thùng lò

Hệ thống bình điều áp bao gồm đoạn ống dâng, bình điều áp và bể xả áp được mô hình bằng các thể tích kiểm soát CV và được đặt tên tương ứng lần lượt là 401, 402 và 410 như trong Hình 1. Bình điều áp được kết nối với bể xả áp bằng 02 đường dòng cùng với hệ thống van giảm áp (PORVs) và hệ thống van an toàn của bình điều áp cũng được mô hình trong tệp dữ liệu đầu vào (Hình 1).

Thể tích thuộc vòng thứ cấp của bình sinh hơi được chia thành các CV tương ứng với các khu vực downcomer, khu vực boiler, khu vực tách ẩm (separator) và khu vực đỉnh của bình sinh hơi (SG dome) tương ứng đối với vòng 1 là các thể tích kiểm soát 151, 152, 153 và 154; đối với vòng 2 là 251, 252, 253 và 254 như được minh họa trên Hình 1.

Đường hơi chính ứng vòng 1 và vòng 2 được mô hình thành các thể tích kiểm soát 155 và 255, tuabin được mô hình bằng thể tích kiểm soát 156. Các hệ thống van cách ly và van an toàn cho đường hơi chính cũng được mô hình trong tệp dữ liệu đầu vào.

Hệ thống cấp nước an toàn thụ động bao gồm 3 bình chứa nước được nén ở áp suất 4.48 MPa được mô hình bằng các thể tích kiểm soát trong đó bình 1 và 3 được gộp thành CV610. Nhánh có kết nối với bình điều áp là CV620, các đường dòng cùng với các van kiểm tra kết nối các bình tích nước trung áp với các đường chân lạnh cũng được mô hình trong tệp dữ liệu đầu vào.

4. Điều kiện ban đầu và định nghĩa kịch bản

✚ Điều kiện ban đầu

Các thông số đầu vào để tiến hành xây dựng được mô hình mô tả hoạt động của nhà máy bằng chương trình MELCOR. Điều kiện ban đầu để có thể giả định các kịch bản tiếp theo có thể xảy ra đó là các tham số chính có giá trị ổn định và được so sánh với giá trị thiết kế.

Bảng 1: So sánh các tham số chính

Các tham số	Giá trị từ chương trình MELCOR	Giá trị thiết kế [8]
Công suất nhiệt của lò phản ứng (MW)	2900	2775
Áp suất mạch sơ cấp (MPa)	15.4	15.51
Nhiệt độ lớn nhất của nước tại chân lạnh (°K)	560	564.7
Nhiệt độ trung bình của nước tại chân nóng(°K)	592	601.6
Lưu lượng khối của nước qua vùng hoạt (kg/s)	15500	13734

Áp suất trong bình sinh hơi (MPa)	6.04	6.6
Lưu lượng khối của hơi tại lối ra bình sinh hơi (kg/s)	520	516.6

✚ **Định nghĩa kịch bản**

Kịch bản được lựa chọn để nghiên cứu trong bài báo này là sự cố mất chất tải nhiệt do vỡ lớn (LBLOCA) xảy ra đồng thời với sự cố mất hoàn toàn nguồn điện (SBO). Giả thiết chính cho kịch bản này được đưa ra dưới đây:

- Sự cố mất chất tải nhiệt là do xảy ra vỡ đứt đôi đoạn ống lạnh ở vòng tuần hoàn chứa bình điều áp với đường kính vết vỡ là 698.5 mm;
- Sự cố mất hoàn toàn nguồn điện dẫn tới toàn bộ hệ thống an toàn chủ động không hoạt động, hệ thống máy phát điện, các hệ thống pin dự phòng không hoạt động ngoại trừ các pin cho hệ thống van an toàn của bình điều áp và các van an toàn của bình sinh hơi;
- Hệ thống cấp nước khẩn cấp cho bình sinh hơi không hoạt động;
- Không tính tới sự mất nước do rò rỉ ở vị trí chèn của bơm tuần hoàn vòng sơ cấp;
- Áp suất trong bình sinh hơi được điều khiển bởi hệ thống van an toàn để duy trì áp suất dưới 6.7 MPa;
- Do xảy ra vỡ lớn, áp suất của mạch sơ cấp giảm nhanh chóng vì vậy bỏ qua vai trò của các van an toàn ở bình điều áp trong kịch bản này.
- Hệ 3 bình tích nước trung áp (ACC) hoạt động khi áp suất vòng sơ cấp rơi xuống dưới ngưỡng đặt khởi động của hệ là 4.48 MPa.
- Thời gian mô phỏng sự cố là 24 giờ

5. **Kết quả và thảo luận**

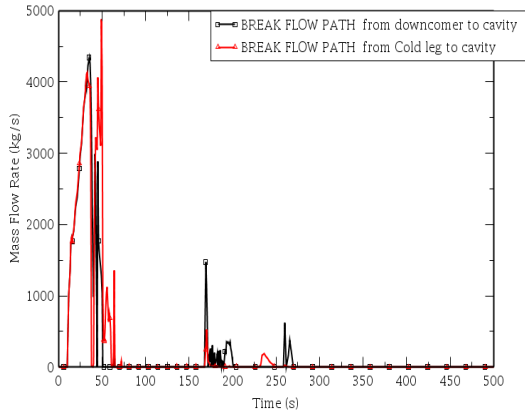
✚ **Phân tích diễn biến sự cố**

Như đã đề cập ở trên, bài báo nghiên cứu kịch bản sự cố LBLOCA và SBO trong 24 giờ, diễn biến kịch bản sự cố được đưa ra trong Bảng 2 dưới đây.

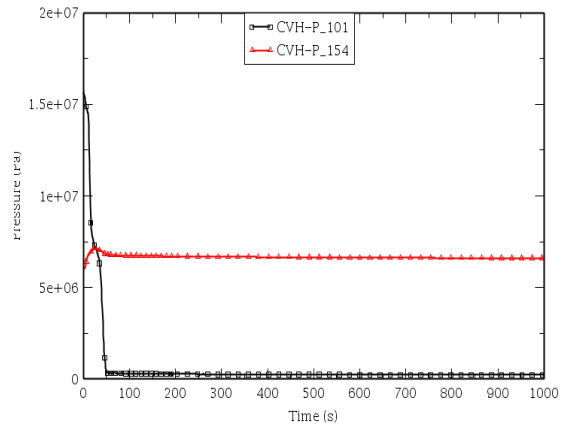
Bảng 2 : Tiến trình diễn biến sự cố

Các sự kiện	Thời điểm
Sự cố bắt đầu	10.0s
Dừng lò	10.1s
Dừng bơm RCP	10.0s
ACC được kích hoạt	39.0s
Thời điểm ACC hết nước	65.0 s
Bắt đầu oxy hóa vỏ bọc thanh nhiên liệu	2.3 giờ
Vùng hoạt hết nước	6.9 giờ
Bắt đầu giải phóng sản phẩm phân hạch ra ngoài viên nhiên liệu	2.4 giờ
Vật liệu bắt đầu nóng chảy và di chuyển xuống đáy thùng lò	19.4 giờ
Tổng lượng H2 tạo ra	397 kg

Khi sự cố xảy ra, lò phản ứng được dừng hoạt động do đó mà công suất lò giảm nhanh về mức công suất nhiệt sinh bởi quá trình phân rã. Do vết vỡ lớn, áp suất bên trong lò phản ứng giảm nhanh tới giá trị bằng áp suất bên trong hầm lò (Hình 4), cùng với đó là một lượng nước lớn thoát ra khỏi vòng sơ cấp thông qua vị trí vỡ (Hình 3).

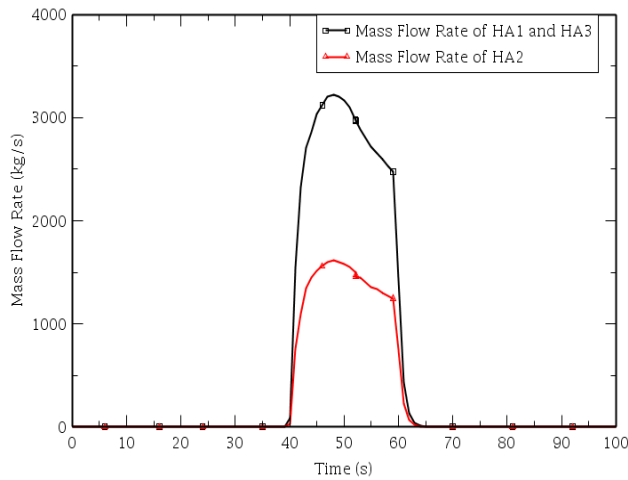


Hình 3: Tốc độ dòng chất tải nhiệt xả ra nhà lò qua vết vỡ

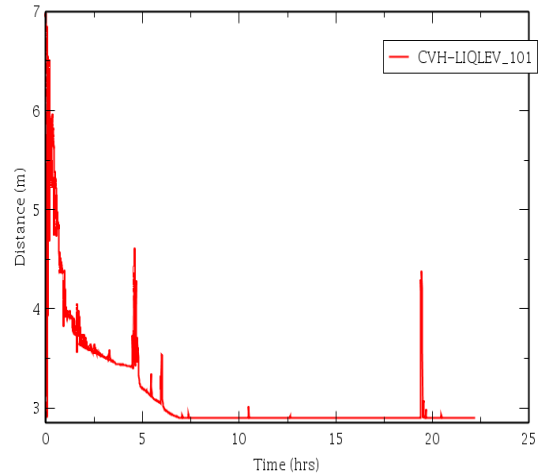


Hình 4: Áp suất vòng sơ cấp (màu đen) và thứ cấp (màu đỏ)

Việc mất hoàn toàn nguồn điện, dẫn tới các hệ thống an toàn chủ động bị vô hiệu hóa, do vậy chỉ còn hệ thống an toàn thụ động đóng vai trò làm mát khẩn cấp cho vùng hoạt. Do áp suất trong thùng lò phản ứng giảm nhanh, vì vậy thời điểm các bình ACC được kích hoạt diễn ra sớm - sau 40 giây sau khi sự cố xảy ra (Hình 5), thời gian cấp nước của các bình ACC kéo dài trong khoảng 20 giây đã tái làm ngập vùng hoạt, nhưng tuy nhiên quá trình tái làm ngập không kéo dài được lâu khi mà các bình ACC hết nước, lượng nước bên trong vùng hoạt giảm dần và sau khoảng 5 giờ thì vùng hoạt hoàn toàn hết nước (Hình 6).

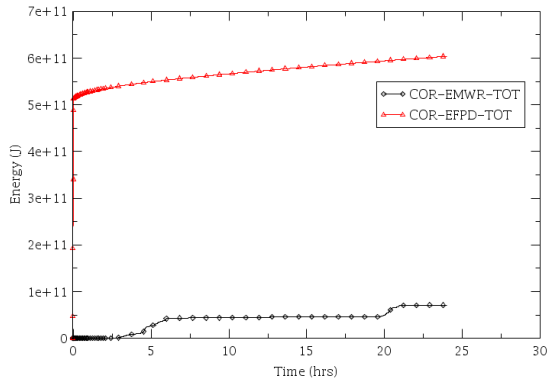


Hình 5: Tốc độ dòng phun của hệ tích nước cao áp

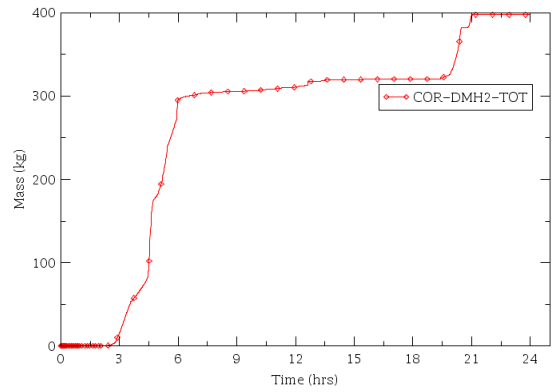


Hình 6: Mức nước trong vùng hoạt

Do chỉ có nước cấp từ các bình HAs, do vậy mà lượng nước cấp bổ sung không thể duy trì việc làm ngập vùng hoạt, mực nước trong vùng hoạt giảm dần, các cấu trúc vùng hoạt bị hở và nhiệt độ bắt đầu tăng. Dưới điều kiện nhiệt độ cao và tiếp xúc trực tiếp với hơi nước, các quá trình ôxi hóa bắt đầu xảy ra ở thời điểm khoảng 2,3 giờ (Hình 7), và tổng cộng khối lượng H₂ được sinh ra sau 24 giờ vào khoảng 400 kg (Hình 8).

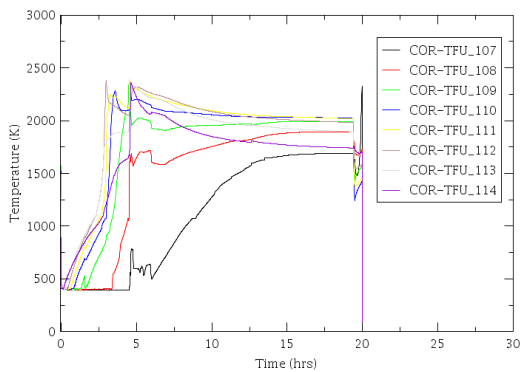


Hình 7: a) Tổng lượng nhiệt từ quá trình phân hạch và phân rã (màu đỏ); b) Tổng lượng nhiệt sinh ra từ quá trình oxi hóa

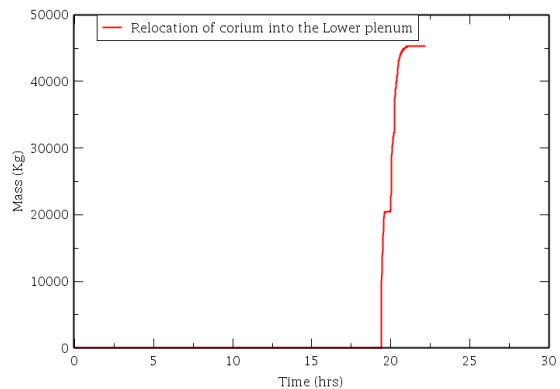


Hình 8: Tổng lượng Hydrogen được tạo ra từ quá trình oxi hóa trong vùng hoạt

Các phản ứng oxi hóa đều là các phản ứng tỏa nhiệt, đã góp phần làm gia tăng quá trình đốt nóng và phá hủy cấu trúc vùng hoạt. Sau 19.4 giờ hỗn hợp vật liệu vùng hoạt bắt đầu di chuyển xuống khu vực đáy thùng lò. Sau 24 giờ khối lượng nhiên vật liệu ở khu vực đáy thùng lò gần 45 tấn (Hình 10). Kết quả mô phỏng cho thấy sau 24 giờ chưa xảy ra hiện tượng hỏng vỏ đáy thùng lò.



Hình 9: Nhiệt độ thanh nhiên liệu ở vòng tâm thùng lò



Hình 10: Khối lượng vật liệu nóng chảy vùng hoạt di chuyển xuống đáy thùng lò

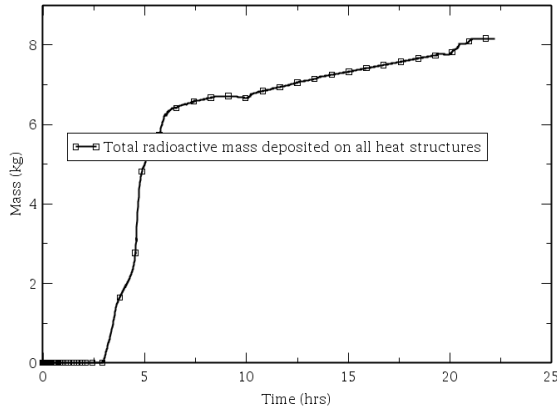
Đánh giá số hạng nguồn thoát ra khỏi thùng lò phản ứng

Ở giai đoạn đầu của diễn biến sự cố, vùng hoạt bắt đầu bị mất nước, nhiệt độ viên nhiên liệu tăng lên dẫn tới hiện tượng phồng vỏ thanh nhiên liệu làm đứt gãy vỏ thanh liệu tạo điều kiện cho các sản phẩm phân hạch ở dạng khí thoát vào trong không gian bên trong thùng lò phản ứng và sau đó là đi vào không gian bên trong tòa nhà lò thông qua vết vỡ. Kết quả mô phỏng cho thấy, các chất phóng xạ dạng khí bắt đầu đi vào không gian bên trong thùng lò ở thời điểm gần 3 giờ sau sự cố. Sau 24 giờ mô phỏng, các kết quả tính toán dự đoán khối lượng của các sản phẩm phóng xạ phát thải vào không gian bên trong thùng lò phản ứng và ra tòa nhà lò được đưa ra trong các hình vẽ dưới đây.

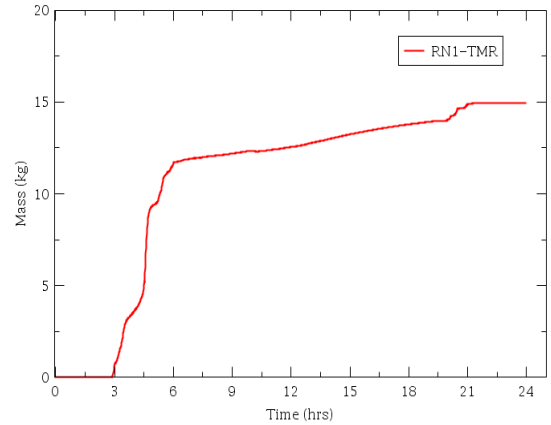
Hình 11 và Hình 12 chỉ ra tổng lượng sản phẩm phóng xạ có trong môi trường nước và không khí của nhà lò chỉ khoảng 2.2 kg trên tổng khoảng 15 kg tổng các sản phẩm phóng xạ và sản phẩm phân hạch dạng khí có tính phóng xạ. Tuy nhiên khối lượng này chưa tính tới lượng sản phẩm khí và khí phóng xạ bám trên các bề mặt cấu trúc nhiệt như vỏ các cấu trúc hệ thống, tường nhà lò.

Hình 13 đến hình 18 biểu diễn tổng lượng các sản phẩm phóng xạ được giải phóng có trong thùng lò và trong nhà lò. Có thể thấy rằng, hầu như tất cả các sản phẩm phân hạch dạng khí được thoát ra từ nhiên liệu vùng hoạt ở nhiệt độ cao. Trong điều kiện môi trường oxi hóa và sự gia nhiệt nhiên liệu trong vùng hoạt thúc đẩy quá trình giải phóng Cs, I và các hợp chất dễ bay hơi như CsI, CsOH,

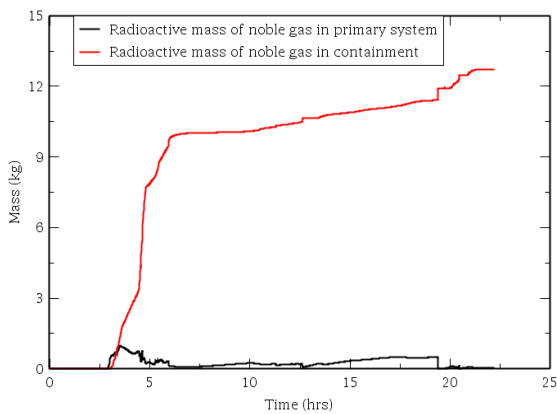
do vậy lượng CsOH và CsI được tạo ra sau 24 giờ vào khoảng 6.5 Kg và 1.2 Kg, phân bố chủ yếu trong vòng sơ cấp và lượng I được tạo ra chỉ khoảng 2.6 e-4 Kg, tuy nhiên vì hầu hết các đồng vị phóng xạ của Cs và I đều được giải phóng trong quá trình sự cố nặng, nên việc phân tích và đánh giá các nhân phóng xạ này là vô cùng quan trọng trong bài toán liên quan tới số hạng nguồn. Lượng các nhân phóng xạ Mo và Te giải phóng chủ yếu thông qua quá trình oxi hóa vỏ thanh nhiên liệu vào khoảng 2.3 kg và 1 kg.



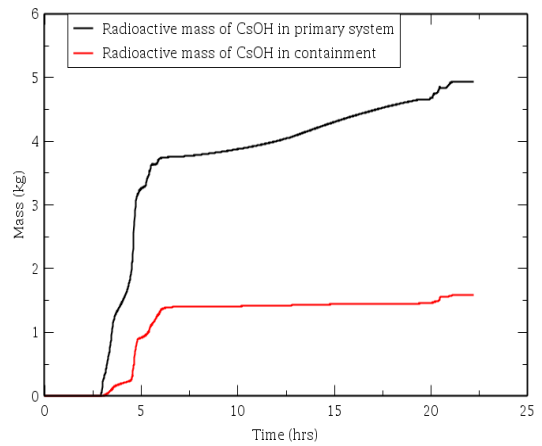
Hình 11: Tổng lượng phóng xạ bám trên bề mặt cấu trúc nhiệt



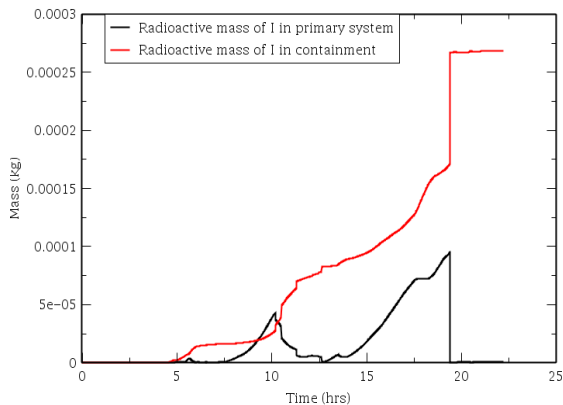
Hình 12: Tổng các sản phẩm phóng xạ và sản phẩm phân hạch phóng xạ dạng khí có trong môi trường nước và không khí



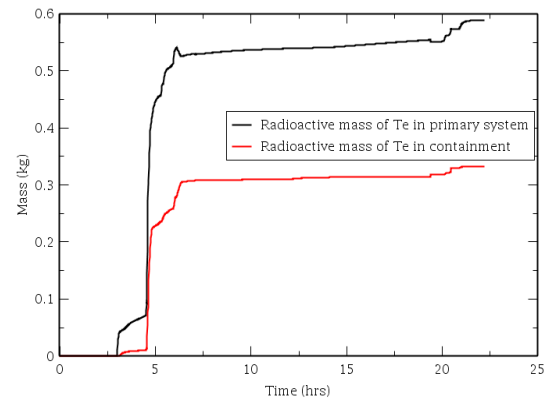
Hình 13: Tổng lượng Xe có trong vòng sơ cấp và nhà lò



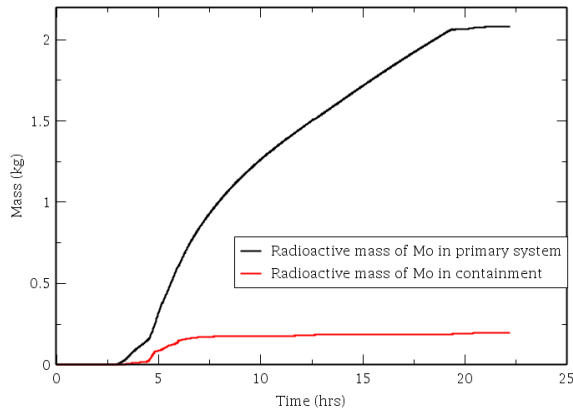
Hình 14: Tổng lượng của CsOH trong vòng sơ cấp và nhà lò



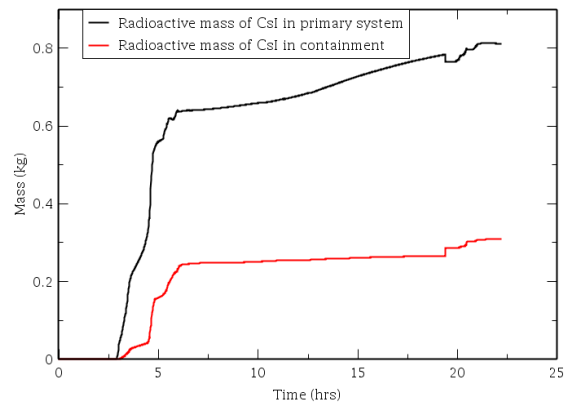
Hình 15: Tổng lượng I trong vòng sơ cấp và nhà lò



Hình 16: Tổng lượng Te trong vòng sơ cấp và nhà lò



Hình 17: Tổng lượng Mo có trong vòng sơ cấp và nhà lò



Hình 18: Tổng lượng CsI trong vòng sơ cấp và nhà lò

6. Kết luận

Phân tích diễn biến sự cố và đánh giá số hạng nguồn là một trong những bước đầu tiên trong quá trình nghiên cứu về sự giải phóng số hạng nguồn trong toà nhà lò của nhà máy điện hạt nhân nhằm hỗ trợ đánh giá sự phát tán nguồn phóng xạ ra ngoài môi trường trong các điều kiện sự cố, có những dự báo về an toàn bức xạ cho người dân và môi trường lân cận nhà máy.

Báo cáo đã đưa ra được các thông số chính quan trọng liên quan tới quá trình thoái hóa vùng hoạt và phát thải phóng xạ trong trường hợp sự cố mất chất tải nhiệt xảy ra đồng thời với kịch bản mất toàn bộ các nguồn điện cấp cho lò tham chiếu PWR900 như thời điểm vùng hoạt bắt đầu bị thoái hóa ở thời điểm khoảng 2.3 giờ, các phản ứng oxi hóa thanh nhiên liệu bắt đầu xảy ra, sản phẩm phân hạch bắt đầu phát thải ra ngoài nhà lò. Tổng lượng sản phẩm phân hạch phóng xạ dạng hơi thoát ra trong vòng 24 giờ sau sự cố cỡ khoảng 15 kg trong đó khoảng 12 kg là nhóm khí hiếm, còn lại là nhóm sản phẩm phân hạch dễ bay hơi như I, Te, Mo và hợp chất CsOH, CsI.

Tuy nhiên, các kết quả được đưa ra trong báo cáo này chỉ mới dẫn chứng được khả năng mô phỏng của MELCOR cho bài toán phân tích số hạng nguồn trong các điều kiện sự cố chứ chưa thể đưa ra được các kết quả dự đoán chính xác quá trình và hành vi của số hạng nguồn trong điều kiện kịch bản được giả định vì trên thực tế, độ tin cậy kết quả tính được phụ thuộc lớn vào dữ liệu đầu vào của các thông số thiết kế chi tiết của một nhà máy điện hạt nhân. Đây là những nguồn dữ liệu mà hầu như các nhà nghiên cứu về an toàn hạt nhân của Việt Nam không có và còn thiếu rất nhiều thông tin.

Với kết quả ban đầu đạt được như đã trình bày ở trên, nhóm tác giả rất mong muốn có một bộ số liệu đầu vào đầy đủ và đã được kiểm chứng không chỉ cho lò PWR 900 mà hướng tới là lò CPR1000 để hỗ trợ đánh giá phát tán nhà máy điện hạt nhân nằm gần biên giới phía bắc Việt Nam.

Tài liệu tham khảo

1. Khurram Mehboob et al., “US NRC progress in source term evaluation,” DOI: 10.1109/APPEEC.2012.6401509, January 2012.
2. <https://www.irsn.fr/EN/Research/Research-organisation/Research-programmes/PHEBUS-PF/Pages/Severe-accident-research-programme-PHEBUS-FP-3455.aspx>.
3. https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:19092516.
4. <https://www.irsn.fr/EN/Research/Research-organisation/Research-programmes/SOURCE-TERM/Pages/SOURCE-TERM-programme-2991.aspx>.
5. R.O. Gauntt. MELCOR Computer Code Manuals, Vol. 1: Primer and Users’ Guide Sandia National Laboratories Albuquerque, NM 87185-0739, NUREG/CR-6119. 2005.
6. L.L. Humphries. MELCOR Computer Code Manuals, Vol. 2: Reference Manual Version 2.2.9541 2017 Sandia National Laboratories Albuquerque, SAND2017-0876.
7. NUREG-1465. Accident Source Terms for Light-Water Nuclear Power Plants. US NRC 1995
8. F. Mascari, F. Giannetti, P. Balestra, A. Zoino, G. Caruso “Integral study of accident sequences with reference to NPPs next to the Italian borders”.