

KHẢO SÁT SỰ THAY ĐỔI CÔNG SUẤT Lò PHẢN ỨNG THEO VỊ TRÍ THANH ĐIỀU KHIỂN SỬ DỤNG PHẦN MỀM MÔ PHỎNG E-CORSIM

Nguyễn Thị Nguyệt Hà¹

Trần Việt Nam¹

Nguyễn Thị Minh Sang¹

Phạm Thị Ngọc Hà¹

TÓM TẮT

Bài báo khảo sát sự thay đổi công suất của lò phản ứng nước áp lực (PWR) khi thay đổi vị trí của các thanh điều khiển. Thực nghiệm được tiến hành mô phỏng bằng phần mềm e-CORSIM. Kết quả mô phỏng cho thấy thời gian hoạt động lò càng dài thì vai trò của các thanh điều khiển càng quan trọng trong việc điều khiển công suất. Ngoài ra, vị trí của các thanh điều khiển trong lò phản ứng ảnh hưởng đến phân bố công suất giữa nửa trên và nửa dưới của lò.

Từ khóa: Phần mềm mô phỏng e-CORSIM, công suất, vị trí thanh điều khiển, lò phản ứng

1. Mở đầu

Nhà máy điện hạt nhân đầu tiên trên thế giới sản xuất điện thương mại được xây dựng vào năm 1954 tại Obninsk, Liên Bang Nga. Theo thống kê của Cơ quan Năng lượng Nguyên tử Quốc tế IAEA (International Atomic Energy Agency), cho đến nay có tổng cộng 449 lò phản ứng đang hoạt động tại 30 quốc gia và có 54 lò phản ứng đang trong quá trình xây dựng [1]. Năng lượng hạt nhân được đánh giá là nguồn năng lượng sạch, có hiệu suất cao, công nghệ chế tạo ngày càng được hiện đại hóa đảm bảo tính an toàn và là một trong những giải pháp giải quyết nhu cầu năng lượng điện hiện nay trên toàn cầu.

Để đáp ứng nhu cầu phát triển nguồn nhân lực, các chương trình giáo dục và đào tạo về công nghệ hạt nhân sử dụng nguyên tắc mô phỏng được

thiết lập ở nhiều nước trên thế giới, đặc biệt là các nước đang sử dụng điện hạt nhân. Những mô phỏng này hoạt động trên máy tính cá nhân và cung cấp cho người sử dụng những kỹ năng cơ bản trong vận hành nhà máy điện hạt nhân như khảo sát công suất, tính toán độ phản ứng, thay đổi vị trí các thanh nhiên liệu, thanh điều khiển...

E-CORSIM (Educational Core Simulator) là hệ mô phỏng thiết kế lõi lò được phát triển và sử dụng tại Viện nghiên cứu Năng lượng Nguyên tử Hàn Quốc (KAERI) với mục đích tính toán các thông số lò phản ứng, từ đó đưa ra những khuyến cáo phù hợp để đảm bảo an toàn khi vận hành. Hệ mô phỏng e-CORSIM được sử dụng cho lò phản ứng nước áp lực (PWR – Pressurized Water Reator) – là loại lò được sử dụng rộng rãi nhất trong các nhà máy điện hạt

¹Trường Đại học Đà Lạt
Email: hantn@dlu.edu.vn

nhân, với 300 lò hoạt động hiện nay trên thế giới [2]. Các thông số, số liệu của e-CORSIM được lấy từ số liệu vận hành (số liệu thực) của nhà máy điện hạt nhân Yonggwang 3 [3]. Năm 2017, Viện KAERI đã tài trợ phần mềm mô phỏng e-CORSIM cho trường Đại học Đà Lạt.

Trong bài báo này, sự thay đổi công suất lò phản ứng theo vị trí thanh điều khiển sử dụng hệ mô phỏng e-CORSIM sẽ được khảo sát.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Cơ sở lý thuyết

Hệ số nhân hiệu dụng là thước đo sự thay đổi số lượng neutron ở hai thế hệ kế tiếp nhau và được biểu diễn theo công thức:

$$k_{eff} = \frac{n_2}{n_1} \quad (1)$$

Trong đó: n_2 là số neutron trong một thế hệ; n_1 là số neutron trong thế hệ trước đó.

Để mô tả sự thay đổi trạng thái của lõi lò phản ứng, thay vì dùng hệ số nhân hiệu dụng, một thuật ngữ được gọi là độ phản ứng được sử dụng. Độ phản ứng ρ được xác định theo hệ số nhân hiệu dụng k_{eff} trong phương trình sau:

$$\rho = \frac{k_{eff} - 1}{k_{eff}} \quad (2)$$

Độ phản ứng được sử dụng như một phép đo độ lệch của lò phản ứng so với

trạng thái tới hạn. Trong quá trình vận hành lò phản ứng hạt nhân, hệ số nhân hiệu dụng cần được duy trì bằng 1, còn độ phản ứng bằng 0, tức là ở trạng thái tới hạn. Ngoài việc sử dụng boron để điều chỉnh và điều hòa độ phản ứng, người ta còn thực hiện điều khiển bằng cơ học, tức là sử dụng các thanh điều khiển trong việc thay đổi độ phản ứng để giảm hoặc nâng công suất, đưa lò phản ứng về giai đoạn hoạt động ổn định. Một thanh điều khiển có thể được rút ra khỏi hoặc chèn vào vùng hoạt của lò phản ứng để kiểm soát thông lượng neutron trong lò.

Trong lò phản ứng hạt nhân, các thanh điều khiển được kết nối lại theo từng nhóm. Một lò phản ứng phát điện điển hình có thể có 50 hoặc 60 nhóm thanh điều khiển, mỗi nhóm chứa khoảng 20 thanh [4]. Các thanh điều khiển được chế tạo bởi một chất hấp thụ neutron mạnh, thông thường các hợp kim của cadmium, indium, bạc, hafnium hoặc thép có chứa boron được sử dụng.

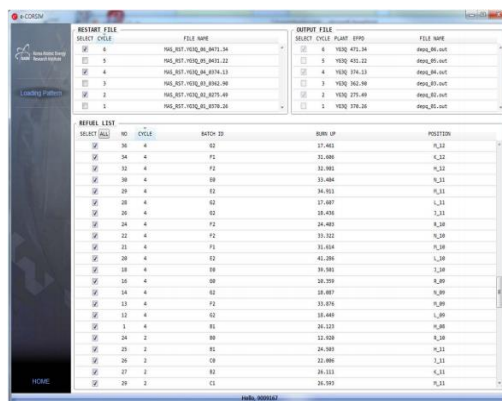
2.2. Phần mềm mô phỏng e-CORSIM

Trong bài báo này, quá trình khảo sát được tiến hành trên phần mềm mô phỏng e-CORSIM [3]. Hình 1 mô tả giao diện ban đầu của phần mềm. Giao diện chọn lựa các bó thanh nhiên liệu được minh họa ở hình 2.



Hình 1: Giao diện ban đầu của phần mềm e-CORSIM

Phần mềm e-CORSIM được sử dụng cho lò nước áp lực, có tổng cộng 177 bó thanh nhiên liệu trong lõi lò được chia theo các loại có độ giàu cho bởi bảng 1 [3]. Hình 3 biểu diễn ví dụ

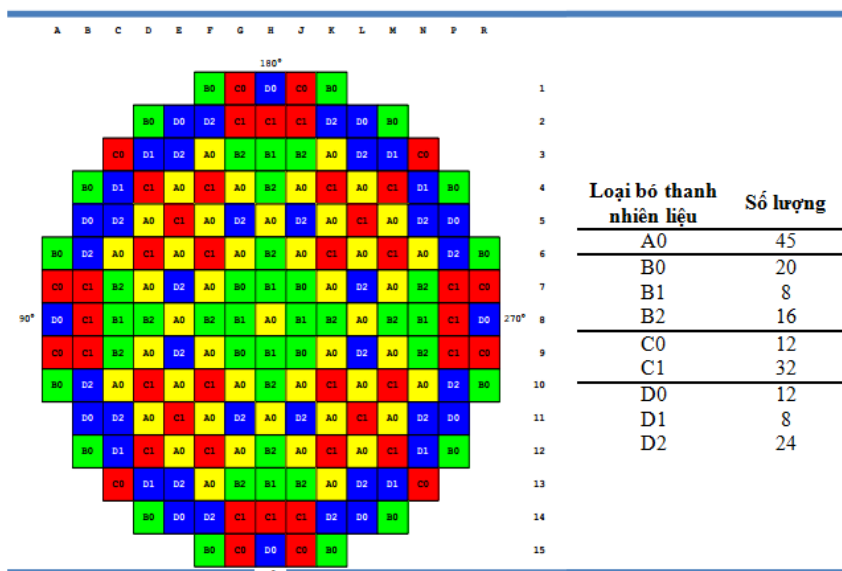


Hình 2: Giao diện chọn lựa các bó thanh nhiên liệu

cách bố trí các bó thanh nhiên liệu trong một chu trình. Các bó thanh nhiên liệu cùng loại được phân bố một cách đối xứng qua tâm của lõi lò phản ứng.

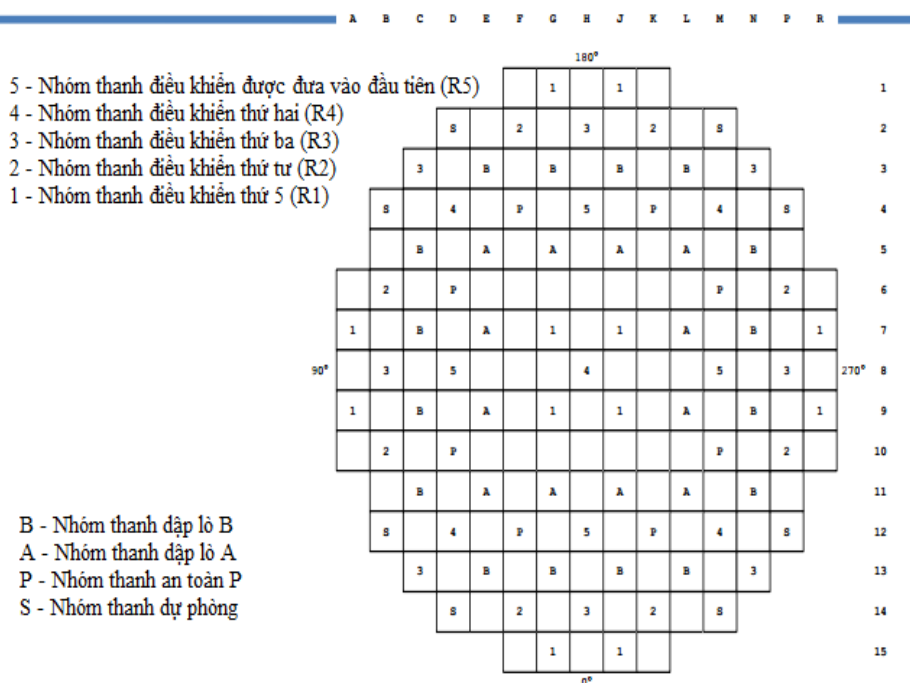
Bảng 1: Tổng hợp các loại bó thanh nhiên liệu

Loại bó thanh nhiên liệu	Độ giàu U-235, %		Loại bó thanh nhiên liệu	Độ giàu U-235, %	
	Bình thường	Vùng giàu thấp		Bình thường	Vùng giàu thấp
A0	1,30		G0	4,10	3,62
B0	2,37		G1	4,11	3,62
B1	2,36	1,30	G2	4,12	3,61
B2	2,37		H0	4,52	4,00
C0	2,87	2,35	H1	4,50	4,00
C1	2,87	2,36	H2	4,50	4,00
D0	3,35	2,87	J0	4,48	4,00
D1	3,36	2,85	J1	4,48	4,00
D2	3,35	2,87	J2	4,48	4,00
E0	4,08	3,61	K0	4,49	4,00
E1	4,08	3,61	K1	4,48	4,01
E2	3,60	3,11	K2	4,48	4,01
DS	3,35	2,85	K4	4,48	4,00
F0	4,11	3,59	K5	4,48	4,00
F1	4,11	3,59	K6	4,48	4,00
F2	4,11	3,59			



Hình 3: Cách bố trí các bộ thanh nhiên liệu trong một chu trình

Cách phân bố các nhóm thanh điều khiển và các nhóm thanh an toàn được mô tả ở hình 4.



Hình 4: Phân bố nhóm thanh điều khiển và nhóm thanh an toàn

2.3. Mô phỏng thực nghiệm

Trong nghiên cứu này chu trình nhiên liệu được bố trí như hình 5. Ở đây phần mềm mô phỏng e-CORSIM

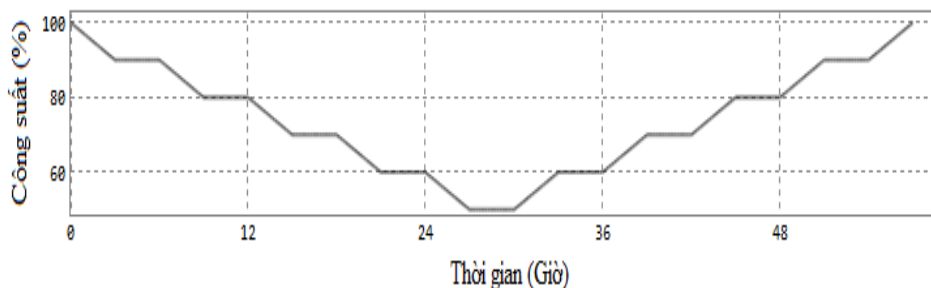
cho thấy cách sắp xếp các bộ thanh nhiên liệu ở góc một phần tư của lõi lò phản ứng.



Hình 5: Cách sắp xếp bó thanh nhiên liệu được sử dụng để mô phỏng

Tiến hành khảo sát ba trường hợp điều chỉnh công suất khác nhau của lò phản ứng: bằng cách thay đổi vị trí thanh điều khiển ở đầu và ở giữa chu trình nhiên liệu (trường hợp 1 và 2 tương ứng) và bằng cách sử dụng cả thanh điều khiển và boron ở đầu chu trình nhiên liệu (trường hợp 3). Thời gian khảo sát cho mỗi trường hợp là 57 giờ.

Trong mỗi trường hợp, công suất được thay đổi theo những khoảng thời gian giống nhau (3 giờ), hơn nữa sau khi tăng hoặc giảm, công suất sẽ được duy trì ổn định tại đó trước khi chuyển sang mức công suất kế tiếp. Tiến hành thay đổi công suất từ 100 % xuống 50 %, sau đó trở về 100 % như hình 6.



Hình 6: Biểu đồ sự thay đổi công suất

3. Kết quả và thảo luận

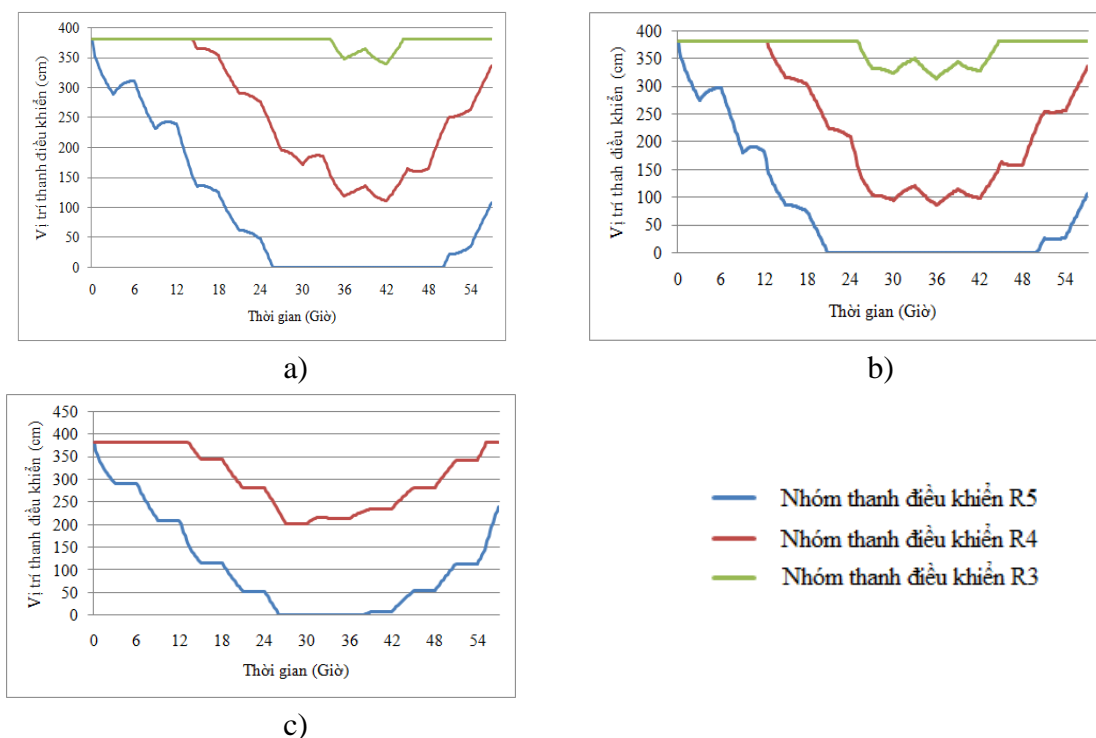
Kết quả mô phỏng vị trí thanh điều khiển theo thời gian ứng với sự thay đổi công suất như hình 6 được thể hiện qua

hình 7. Để giảm công suất các thanh điều khiển có xu hướng được chèn vào lò phản ứng, ngược lại muốn công suất tăng thì các thanh điều khiển cần phải

được rút ra khỏi lò. Từ hình 7a và 7b cho thấy so với thời điểm đầu chu trình thì ở giữa chu trình nhiên liệu các thanh điều khiển đóng góp vai trò lớn hơn và được chèn vào sâu hơn, đặc biệt nhóm thanh R3 tham gia sớm hơn vào việc điều khiển công suất (sau 25 giờ thực nghiệm ở giữa chu trình so với 34 giờ tại đầu chu trình), do các thành phần

kiểm soát lò phản ứng giảm khi lò chạy được nửa chu trình.

Khi có sự tham gia của boron các thanh điều khiển ít chèn sâu hơn hai trường hợp còn lại (hình 7c). Đồng thời, trong quá trình điều khiển không cần đến sự có mặt của nhóm thanh R3. Điều này đảm bảo an toàn hơn trong trường hợp khẩn cấp.



Hình 7: Vị trí thanh điều khiển ở trường hợp 1 (a); trường hợp 2 (b) và trường hợp 3 (c)

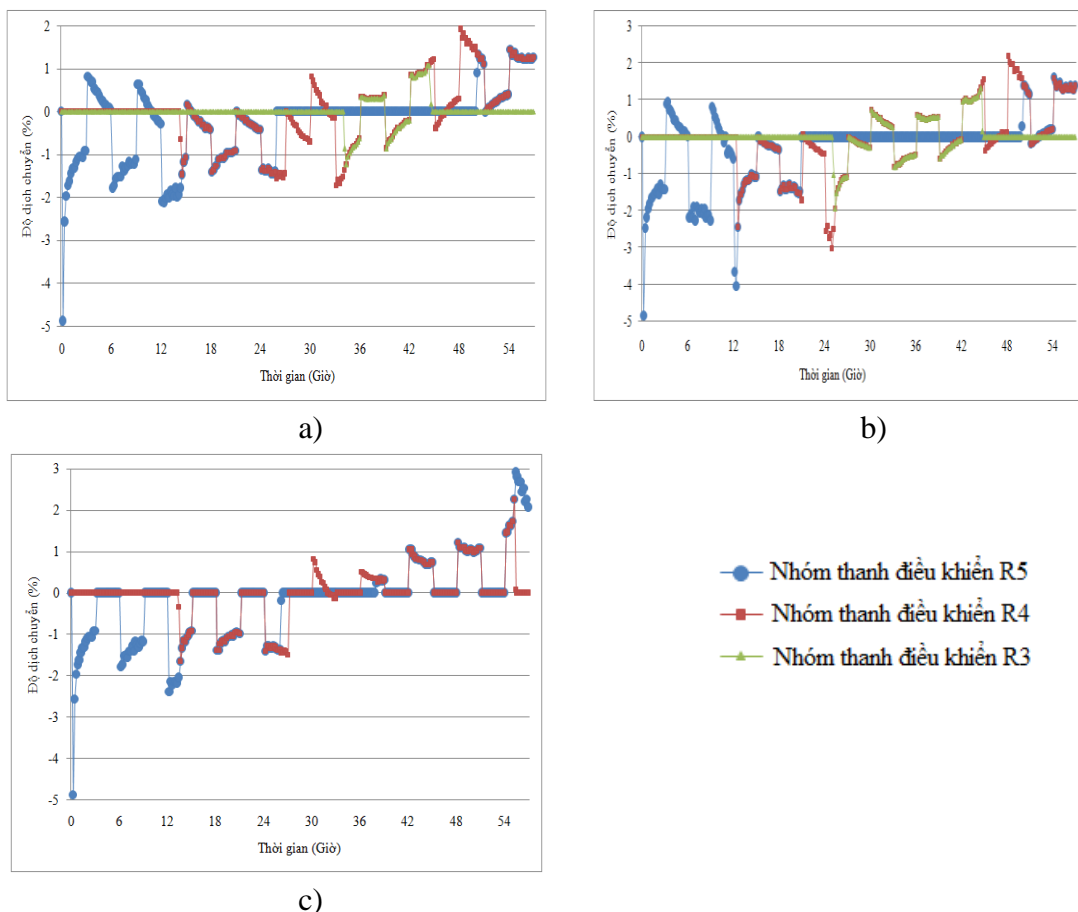
Để so sánh sự thay đổi độ sâu của thanh điều khiển ở mỗi thời điểm vận hành trong lò phản ứng, độ dịch chuyển thanh điều khiển so với tổng độ dài thanh được tính theo công thức sau:

$$\Delta x(\%) = \frac{X_i - X_{i-1}}{L} \cdot 100 \quad (3)$$

Trong đó: Δx là độ dịch chuyển (%); X_i là vị trí thanh điều khiển trong

lò phản ứng tại thời điểm hiện tại (cm); X_{i-1} là vị trí thanh điều khiển trong lò phản ứng tại thời điểm liền kề trước đó (cm) so với đáy lò; L là độ dài của thanh điều khiển ($L = 381 \text{ cm}$).

Hình 8 biểu diễn kết quả thực nghiệm của độ dịch chuyển thanh điều khiển trong lò phản ứng.



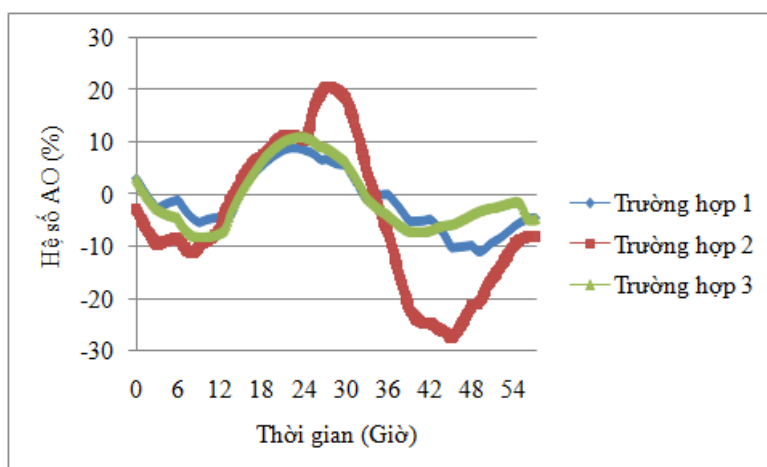
Hình 8: Độ dịch chuyển thanh điều khiển trong lò phản ứng ở trường hợp 1 (a); trường hợp 2 (b) và trường hợp 3 (c)

Độ dịch chuyển có giá trị dương khi thanh điều khiển được rút ra và có giá trị âm khi thanh được chèn thêm vào lò phản ứng so với vị trí của nó ở thời điểm liền kề trước đó. Độ dịch chuyển bằng không khi vị trí thanh điều khiển không đổi.

Trong một số giai đoạn có hai nhóm thanh điều khiển di chuyển đồng thời với độ dịch chuyển như nhau, có thể quan sát được qua sự trùng nhau của hai đường ở các giai đoạn đó qua hình 8. Khi chỉ có một nhóm thanh đóng vai

trò điều khiển công suất thì độ dịch chuyển của nhóm thanh này ở những giai đoạn đó lớn hơn so với các giai đoạn có sự tham gia của hai nhóm.

Quá trình dịch chuyển thanh điều khiển lên xuống dọc theo chiều cao của lõi lò phản ứng gây ra sự chênh lệch công suất giữa nửa trên và nửa dưới của lõi lò. Đại lượng đặc trưng cho sự chênh lệch này gọi là offset dọc trục (hệ số AO – Axial Offset). Kết quả mô phỏng cho biết hệ số AO trong cả ba trường hợp như hình 9.



Hình 9: Sự thay đổi hệ số AO theo thời gian

Từ hình 9 thấy rằng sự phân bố công suất xảy ra không đồng đều trong trường hợp 2 so với hai trường hợp còn lại do có sự chèn sâu hơn của thanh điều khiển ở trong lò phản ứng. Sau khi tiến hành thực nghiệm 24 – 30 giờ hệ số AO ở trường hợp 2 đạt 20 %, gấp đôi và hệ số này gấp ba lần (sau 45 giờ) so với hai trường hợp còn lại.

4. Kết luận

Sự thay đổi công suất lò phản ứng theo vị trí thanh điều khiển được tiến hành khảo sát trên phần mềm mô phỏng e-CORSIM. Kết quả mô phỏng cho thấy thời gian hoạt động lò càng dài thì vai trò của các thanh điều khiển càng quan trọng thông qua sự xuất hiện của

nhiều nhóm thanh hơn trong việc điều khiển công suất. Trong thực tế, kèm theo phương pháp sử dụng thanh điều khiển, người ta kết hợp điều chỉnh nồng độ boron trong vận hành lò phản ứng. Ngoài ra, vị trí của các thanh điều khiển trong lò phản ứng ảnh hưởng đến phân bố công suất giữa nửa trên và nửa dưới của lò.

Phần mềm mô phỏng e-CORSIM là công cụ hữu ích cho công tác nghiên cứu và đào tạo, với mục đích cung cấp cho người sử dụng những kiến thức, kỹ năng thiết kế và vận hành lõi lò phản ứng hạt nhân, góp phần đáp ứng việc đào tạo nguồn nhân lực về hạt nhân trong tương lai.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. “PRIS – Reactor status reports – Operational & Long-Term Shutdown Reactors – By Country”, Pris.iaea.org, 2019. [Online]. Available: <https://pris.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/OperationalReactorsByCountry.aspx>. [Accessed: 25th September 2019]
2. “PRIS – Reactor status reports – Operational & Long-Term Shutdown Reactors – By Type”, Pris.iaea.org, 2019. [Online]. Available: <https://pris.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/OperationalReactorsByType.aspx>. [Accessed: 25th September 2019]

3. Chang, Jonghwa (2015). Development of PC Based Core Simulator for Education and Training Utilizing KAERI's Core Analysis Code. KAERI/CM-2268
4. Lamarsh, J.R. (1966). Introduction to Nuclear reactor theory. Third Edition, Addison Wesley Publishing, New Jersey

**SURVEY ON THE CHANGE OF POWER REACTOR
BY THE CONTROL ROD POSITION USING
THE E-CORSIM SIMULATOR**

ABSTRACT

The paper surveys the power change of the Pressurized Water Reactor (PWR) by changing the position of control rods. The experiment was simulated by e-CORSIM software. The results showed that the longer operating time, the more important the role of the control rods in controlling power. In addition, the position of the control rods in the reactor affects the power distribution between the upper and lower halves of the reactor.

Keywords: *e-CORSIM simulator, power, control rod position, reactor*

(Received: 21/11/2019, Revised: 28/11/2019, Accepted for publication: 30/11/2020)