

CÁC CÔNG NGHỆ Lò PHẢN ỨNG VÀ YÊU CẦU AN TOÀN ĐỐI VỚI NHÀ MÁY ĐIỆN NGUYÊN TỬ

PGS. TS. NGUYỄN VĨ THÔNG

KS. HOÀNG MẠNH

Viện KHCN Xây dựng

Tóm tắt: Báo cáo này trình bày những đặc điểm cơ bản của một số công nghệ lò phản ứng thường dùng trong nhà máy điện nguyên tử và những yêu cầu an toàn về chịu lực và phóng xạ ứng với các công nghệ đó nhằm giúp các kỹ sư xây dựng có những định hướng ban đầu trong việc lựa chọn các giải pháp kết cấu và vật liệu để phục vụ dự án xây dựng công trình nhà máy điện nguyên tử ở Việt Nam.

1. Đặt vấn đề

Dự án xây dựng nhà máy điện nguyên tử (NMDNT) đầu tiên ở nước ta đang được triển khai. Nhiều kiến thức liên quan đến việc xây dựng nhà máy như công nghệ, phương pháp tính toán, thiết kế, tải trọng và tác động, giải pháp kết cấu, vật liệu, yêu cầu về mức độ an toàn cho các kết cấu xây dựng... còn mới lạ đối với các kỹ sư xây dựng vì vậy cần được nghiên cứu và chuẩn bị kỹ nhằm trang bị những kiến thức cơ bản để có thể tiếp cận và tham gia dự án. Với ý nghĩa đó, chúng tôi sẽ lần lượt giới thiệu một số vấn đề liên quan nhằm giúp bạn đọc có thêm một số thông tin, kiến thức liên quan đến lĩnh vực xây dựng NMDNT. Báo cáo này trình bày những đặc điểm cơ bản của một số công nghệ lò phản ứng thường dùng trong NMDNT và những yêu cầu về mức độ an toàn về chịu lực và phóng xạ ứng với các công nghệ đó nhằm giúp các kỹ sư xây dựng có những định hướng ban đầu trong việc lựa chọn các giải pháp kết cấu và vật liệu để phục vụ dự án xây dựng công trình NMDNT ở Việt Nam.

2. Các công nghệ lò phổ biến hiện nay và yêu cầu về mức độ an toàn

Hiện nay, trên thế giới có nhiều loại lò đang được sử dụng. Rất khó có thể đánh giá ưu thế tuyệt đối của loại lò này so với loại lò khác. Việc mỗi quốc gia sử dụng và phát triển loại lò nào phụ thuộc vào nhiều yếu tố, trước hết là ý đồ chiến lược của mỗi quốc gia, sau đó là trình độ khoa học - công nghệ và khả năng tham gia của công nghiệp nội địa. Tùy vào việc sử dụng các chất tải nhiệt, chất làm chậm và cấu trúc của lò, người ta phân ra các loại lò như nêu trong bảng 1.

Bảng 1. Phân loại lò phản ứng trong nhà máy điện nguyên tử

STT	Loại lò	Tên gọi	Nhiên liệu	Chất làm chậm	Chất tải nhiệt
1	PWR	Lò nước áp lực	Urani làm giàu nhẹ 2-4%	H ₂ O	H ₂ O
2	BWR	Lò nước sôi	Urani làm giàu nhẹ 2-4%	H ₂ O	H ₂ O
3	WWER	Lò nước áp lực (Liên Xô cũ)	Urani làm giàu nhẹ 2-4%	H ₂ O	H ₂ O
4	PHWR - ANDU	Lò nước nặng kênh áp lực	Urani tự nhiên 0,7%	D ₂ O	D ₂ O H ₂ O
5	GCR	Lò khí grafit	Urani tự nhiên 0,7%	Grafit	Khí He
6	LWGR	Lò nước grafit kênh áp lực	Urani giàu nhẹ 1,8%	Grafit	H ₂ O
7	AGR	Lò khí grafit cải tiến	Urani tự nhiên 0,7%	Grafit	Khí He
8	FBR	Lò nhanh tái sinh	Urani làm giàu hoặc Plutoni	Không	Na

NHỮNG VẤN ĐỀ CHUNG

Cho đến nay thực chất chỉ mới có ba loại được công nhận là những công nghệ đã được kiểm chứng và được phát triển nhiều nhất, đó là các loại công nghệ: lò phản ứng nước áp lực chiếm 60% (Pressurized Water Reactor - PWR), lò phản ứng nước sôi chiếm 21% (Boiling Water Reactor - BWR), lò nước nặng kiểu CANDU chiếm 8% (Pressurized Heavy Water Reactor - PHWR), còn lại là các loại lò khác [1]. Dưới đây, chúng tôi trình bày nội dung liên quan đến ba loại công nghệ lò phổ biến đã nêu ở trên.

Các kết cấu của NMDNT phải đáp ứng các yêu cầu nghiêm ngặt về an toàn chịu lực và an toàn phóng xạ. Tùy theo loại công nghệ và chức năng của các hạng mục công trình trong NMDNT mà yêu cầu về mức độ an toàn về mặt chịu lực và an toàn về mặt phóng xạ của các kết cấu bao che là có giới hạn khác nhau và được quy định cụ thể trong các tiêu chuẩn chuyên ngành. An toàn chịu lực là phải thỏa mãn các yêu cầu về ứng suất, biến dạng và độ kín khít ứng với trạng thái giới hạn thứ nhất và thứ hai của kết cấu dưới tác động của tất cả các tải trọng có thể xảy ra trong mọi tình huống, bao gồm: vận hành bình thường; vận hành với các sự cố đã dự đoán trước và trường hợp xảy ra sự cố nghiêm trọng. An toàn phóng xạ hay còn gọi là an toàn sinh học là đảm bảo an toàn cho con người và môi trường (trong và ngoài nhà máy) trong suốt quá trình hoạt động, ngừng hoạt động và tháo dỡ nhà máy. Yêu cầu đối với trạng thái giới hạn thứ nhất và thứ hai của các kết cấu gồm các mức [2]:

- Mức 1 - kết cấu làm việc trong giai đoạn đàn hồi, không có biến dạng thường xuyên hoặc phá hoại dưới tác dụng của tất cả các loại tải trọng và tổ hợp của các tải trọng đó, có thể xảy ra trong suốt quá trình khai thác, sử dụng và kết thúc hoạt động của NMDNT. Độ bền kết cấu được đảm bảo với khoảng an toàn lớn;

- Mức 2 - các biến dạng thường xuyên là nhỏ. Có thể xuất hiện các biến dạng và một vài hư hỏng nhỏ cục bộ. Độ bền của kết cấu được bảo đảm nhưng với khoảng an toàn nhỏ hơn so với mức 1;

- Mức 3 - biến dạng thường xuyên lớn. Có một số hư hỏng cục bộ. Mức này không cho phép đối với vỏ lò phản ứng.

Yêu cầu về độ kín khít gồm các mức:

- Mức 1 - kết cấu kín. Các rò rỉ từ vỏ bảo vệ là dưới yêu cầu thiết kế;

- Mức 2 - độ rò rỉ có thể vượt giá trị thiết kế, nhưng trong giới hạn cho phép;

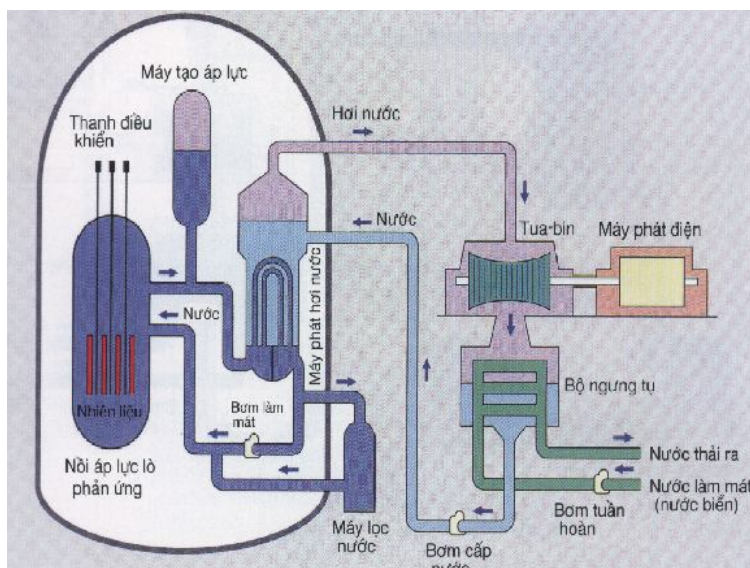
- Mức 3 - độ rò rỉ lớn và rất lớn mặc dù độ bền của kết cấu vỏ lò vẫn được đảm bảo. Mức này không cho phép đối với vỏ lò phản ứng.

2.1. NMDNT sử dụng lò nước áp lực PWR

Hiện nay lò PWR thường sử dụng nước nhẹ vừa làm chất tải nhiệt vừa là chất làm chậm neutron nên có tên là lò nước nhẹ áp lực (Pressurized light-Water-moderated Reactor). NMDNT dùng lò PWR là loại công nghệ 2 vòng tuần hoàn. Sơ đồ nguyên lý hoạt động của NMDNT dùng lò PWR nêu trên hình 1.

Vòng tuần hoàn thứ nhất (vòng 1) có 4 thành phần chính là lò phản ứng, thiết bị sinh hơi, bình điều áp và máy bơm tuần hoàn chính.

Vòng tuần hoàn thứ hai (vòng 2) bao gồm các thành phần chính là tuốc bin - máy phát, bình ngưng tụ hơi nước sau khi đi qua tuốc bin, hệ thống lọc nước, các bơm tuần hoàn,... Vòng tuần hoàn này về cơ bản cũng giống như vòng tuần hoàn của NMDNT với lò nước sôi BWR.



Hình 1. Sơ đồ nguyên lý hoạt động của NMDNT dùng lò PWR

Tại vòng một, nước dưới áp suất cao được bơm tuần hoàn bơm vào lò, đi qua vùng hoạt, nhận nhiệt sinh ra do quá trình phân rã hạt nhân trong tâm lò và nhiệt độ của nước tăng lên. Trong điều kiện áp suất cao, nước sẽ không sôi. Nước này được đẩy đến thiết bị sinh hơi, tại đây nước sẽ truyền nhiệt cho nước ở vòng hai bằng cách trao đổi nhiệt qua các dàn ống, nhiệt độ hạ xuống và lại tiếp tục được bơm quay lại lò phản ứng.

Tại vòng hai, nước cấp được bơm vào thiết bị sinh hơi, nhận nhiệt của nước vòng một qua hệ thống ống trao đổi nhiệt của thiết bị sinh hơi, hóa hơi tại đây và hơi nước sẽ được đưa vào quay tuốc bin. Hơi nước dùng trong nhà máy điện nguyên tử thường là hơi bão hòa.

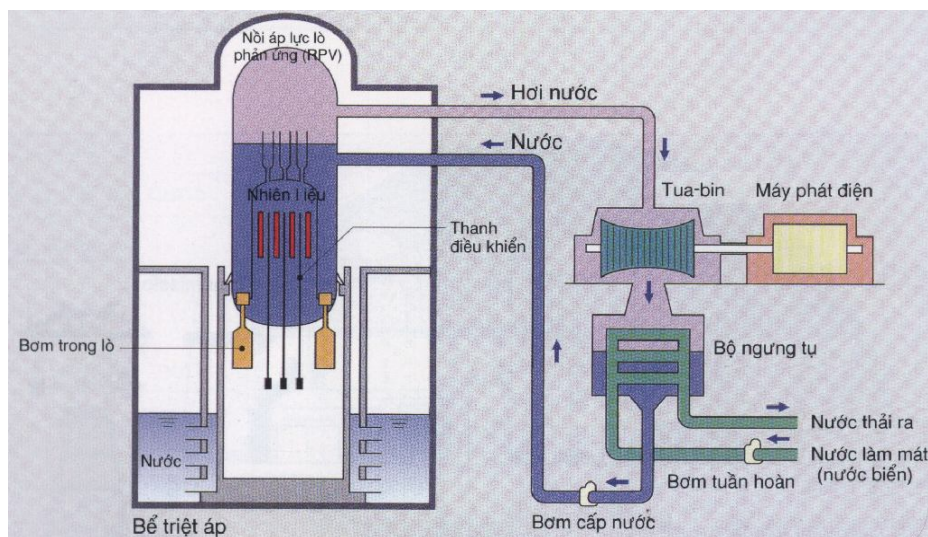
Từ các đặc điểm công nghệ như đã nêu ở trên cho thấy NMDNT với lò PWR có sơ đồ công nghệ hai vòng tuần hoàn. Các thiết bị vòng thứ nhất làm việc trong điều kiện áp suất và nhiệt độ cao lại chịu tác động mạnh của phóng xạ. Thông thường khu vực này chịu áp suất lớn hơn 150 lần áp suất khí quyển và nhiệt độ khoảng 325°C [3]. Do đó kết cấu vỏ bảo vệ các bộ phận của vòng một (gian lò phản ứng) phải được tính toán, thiết kế với độ an toàn cao về khả năng chịu lực và an toàn về phóng xạ. Yêu cầu trạng thái ứng suất, biến dạng và độ kín khít của kết cấu vỏ gian lò phản ứng phải ở mức 1. Thông thường giải pháp kết cấu cho gian lò của NMDNT có công nghệ lò PWR là sử dụng kết cấu vỏ bê tông cốt thép ứng lực trước (ULT) dày hơn một mét kết hợp với lớp vỏ thép. Hình dạng hợp lý của vỏ là thân có dạng trụ tròn, nắp có dạng chòm cầu và đáy có dạng e líp. Giải pháp thi công có thể là toàn khối hoặc lắp ghép, cũng có thể kết hợp cả hai công nghệ này nhằm đảm bảo chất lượng và tiến độ thi công. Tại đây có nhiều đường ống công nghệ nối vòng hai với vòng một, vì vậy giải pháp cấu tạo tại các vùng có đường ống công nghệ đi qua cần phải đảm bảo độ kín, tránh bị dò rỉ phóng xạ. Ngoài ra, tại vòng thứ nhất, bộ phận máy sinh hơi đảm nhận cách ly sự lan truyền chất phóng xạ từ vòng một sang vòng hai, vì vậy đây là một khâu yếu trong NMDNT khi sử dụng công nghệ lò PWR. Việc lắp đặt phải được đặc biệt quan tâm về độ kín khít và chế độ kiểm tra, bảo trì trong quá trình sử dụng.

Các thiết bị ở vòng hai làm việc trong điều kiện thuận lợi về áp suất, nhiệt độ và không bị nhiễm xạ. Vì vậy các giải pháp kết cấu và vật liệu cấu tạo vỏ bảo vệ các bộ phận của vòng hai sẽ không yêu cầu khắt khe như ở vòng một.

2.2. NMDNT sử dụng lò nước sôi BWR

NHỮNG VẤN ĐỀ CHUNG

NMĐNT sử dụng lò BWR là loại công nghệ 1 vòng tuần hoàn. Sơ đồ nguyên lý hoạt động của NMĐNT dùng lò PWR nêu trên hình 2. Chất tải nhiệt là nước nhẹ, đồng thời là chất làm chậm, và là chất sinh công trong tuốc bin. Nước được bơm tuần hoàn bơm vào lò phản ứng hạt nhân, nhận nhiệt nóng lên và sôi, hóa hơi tại vùng hoạt. Hơi nước bão hòa ra khỏi vùng hoạt được tách ẩm tại thiết bị bố trí trên vùng hoạt, sấy khô và đi vào tuốc bin cao áp. Sau khi ra khỏi tuốc bin cao áp, hơi nước có chứa nhiều ẩm lại được tách ẩm và sấy tiếp tại thiết bị riêng, thiết bị này sử dụng hơi trích từ tuốc bin cao áp ra để sấy luồng hơi nước của chu trình trước khi hơi này đi vào tuốc bin hạ áp. Sau tuốc bin hạ áp, hơi nước được ngưng tụ tại bình ngưng hơi, nước được xử lý tách các loại muối (khoáng) và được bơm vào thiết bị khử khí, sau đó bơm tuần hoàn bơm quay lại lò phản ứng hạt nhân.



Hình 2. Sơ đồ nguyên lý hoạt động của NMĐNT dùng lò BWR

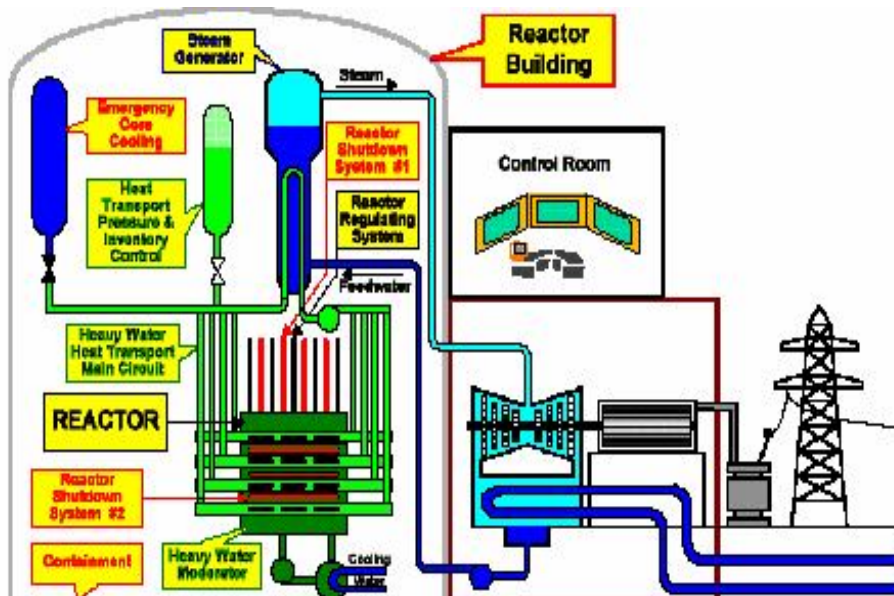
Đặc thù riêng của tổ máy kiểu này là hơi nước đi qua lò phản ứng sẽ thành hơi nhiễm xạ, do đó các thiết bị trong vòng tuần hoàn đều phải làm việc dưới điều kiện phóng xạ. Việc này làm phức tạp quá trình thiết kế cũng như vận hành, bảo dưỡng thiết bị và khối lượng chất thải phóng xạ cũng nhiều hơn. Công nghệ lò này tuy giảm được một số thiết bị nhưng lại phải tăng cường thêm cho hệ thống lọc nước sau khi ngưng tụ, trước khi đưa trở lại vào lò.

Khác với lò PWR, công nghệ lò nước sôi BWR chỉ có một vòng tuần hoàn. Phần khác nhau chủ yếu là lò phản ứng, còn phần tuốc bin-máy phát cũng đủ thành phần như công nghệ với lò nước áp lực PWR. Lò nước sôi BWR dùng chu trình trực tiếp. Nước trong lò phản ứng được đun sôi trên bề mặt của các thanh nhiên liệu, sinh ra hơi nước trực tiếp chạy tuốc bin máy phát nên không cần thiết bị trung gian là máy sinh hơi, kích thước không gian vỏ lò sẽ nhỏ hơn. So với lò PWR, lò nước sôi BWR làm việc trong điều kiện áp lực và nhiệt độ trong lò nhỏ hơn (áp suất lớn hơn 75 lần áp suất khí quyển, nhiệt độ khoảng 285°C) [3]. Vì vậy xét về mặt chịu lực, kết cấu vỏ gian lò phản ứng sẽ đơn giản hơn. Tuy nhiên vùng bị nhiễm xạ của loại lò này rộng hơn so với lò PWR, chế độ kiểm tra phóng xạ ngặt nghèo hơn. Từ các đặc điểm về công nghệ như vậy mà kết cấu gian lò phản ứng của NMĐNT sử dụng công nghệ lò BWR thường sử dụng vỏ thép kết hợp với bê tông cốt thép. Vỏ thép có tác dụng đảm bảo độ kín khít và cản xạ. Lớp vỏ bê tông cốt thép có tác dụng đảm bảo an toàn về mặt chịu lực và góp phần đảm bảo an toàn phóng xạ. Gian lò và nắp lò cũng có dạng hình trụ tròn và chòm cầu như vỏ của lò PWR. Yêu cầu trạng thái ứng suất, biến dạng và độ kín khít của kết cấu vỏ gian lò phản ứng sử dụng công nghệ BWR cũng phải ở mức 1.

2.3. NMĐNT sử dụng lò nước nặng CANDU

NHỮNG VẤN ĐỀ CHUNG

Sơ đồ hoạt động của NĐNT dùng lò CANDU gồm 2 vòng tuần hoàn, tương tự như đối với NĐNT dùng lò PWR. Vòng tuần hoàn thứ nhất của lò CANDU gồm 2 nhánh, mỗi nhánh phục vụ một nửa số kênh nhiên liệu. Mỗi nhánh tuần hoàn có 2 bơm, 2 máy sinh hơi, 2 ống góp vào và 2 ống góp ra bố trí theo “hình số 8”, nước nặng tải nhiệt đi vào các kênh theo hai hướng ngược nhau, nhờ vậy trường nhiệt độ được dàn đều hơn. Vòng tuần hoàn thứ hai hoạt động tương tự như đối với NĐNT dùng lò PWR. Sơ đồ nguyên lý hoạt động của NĐNT dùng lò BWR nêu trên hình 3.



Hình 3. Sơ đồ nguyên lý hoạt động của NĐNT dùng lò PHWR

NĐNT dùng lò PHWR giống như NĐNT dùng lò PWR nhưng có thêm vòng tuần hoàn phụ làm mát chất làm chậm, do đó vỏ lò cần tạo được không gian lớn hơn, kết cấu chịu lực và cản xạ của gian lò phản ứng sẽ phức tạp hơn. Giải pháp kết cấu cho gian lò thường sử dụng kết cấu bê tông cốt thép U'LT kết hợp với vỏ thép. Yêu cầu mức độ an toàn là trạng thái ứng suất, biến dạng và độ kín khí cũng như giải pháp kết cấu, vật liệu của kết cấu vỏ gian lò phản ứng bảo vệ vòng một và vòng hai cũng tương tự như đối với lò PWR.

3. Kết luận

- Trên thế giới hiện có nhiều loại lò đang được sử dụng và nghiên cứu, nhưng cho đến nay thực chất chỉ mới có ba loại được công nhận là những công nghệ đã được kiểm chứng và được sử dụng nhiều nhất, đó là lò PWR; lò BWR và lò nước nặng kiểu CANDU;

- Tùy theo loại công nghệ và chức năng của các hạng mục công trình trong NĐNT mà yêu cầu về mức độ an toàn về mặt chịu lực và an toàn về mặt phóng xạ của các kết cấu xây dựng là có giới hạn khác nhau. Tuy nhiên mức độ an toàn về chịu lực và độ kín khí gian lò phản ứng của các loại lò luôn phải ở mức cao nhất là mức 1;

- Gian lò phản ứng của NĐNT sử dụng công nghệ lò PWR và lò nước nặng kiểu CANDU thường phải làm việc trong điều kiện áp lực và nhiệt độ cao nên vỏ bảo vệ thường rất dày, giải pháp kết cấu thường là bê tông cốt thép hoặc bê tông cốt thép U'LT kết hợp với vỏ thép;

- Gian lò phản ứng của NĐNT sử dụng công nghệ lò nước sôi BWR làm việc trong điều kiện áp lực trong lò nhỏ hơn. Vì vậy xét về mặt chịu lực, kết cấu vỏ gian lò phản ứng sẽ đỡ dày hơn. Tuy nhiên vùng bị nhiễm xạ của loại lò này rộng hơn so với lò PWR, chế độ kiểm tra phóng xạ ngặt nghèo hơn. Giải pháp kết cấu thường là vỏ thép kết hợp với bê tông cốt thép hoặc bê tông cốt thép U'LT.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Báo cáo tổng kết đề tài. Nghiên cứu các giải pháp vật liệu, kết cấu và công nghệ xây dựng nhà máy điện nguyên tử ở Việt Nam. Viện KHCN Xây dựng, 12/2005.
2. IAEA. Design of Reactor Containment System for Nuclear Power Plants. Safety Standards Series No. NS-G-1.10. Printed by the IAEA in Austria, September 2004.
3. Nuclear Engineering International Handbook. 2010.