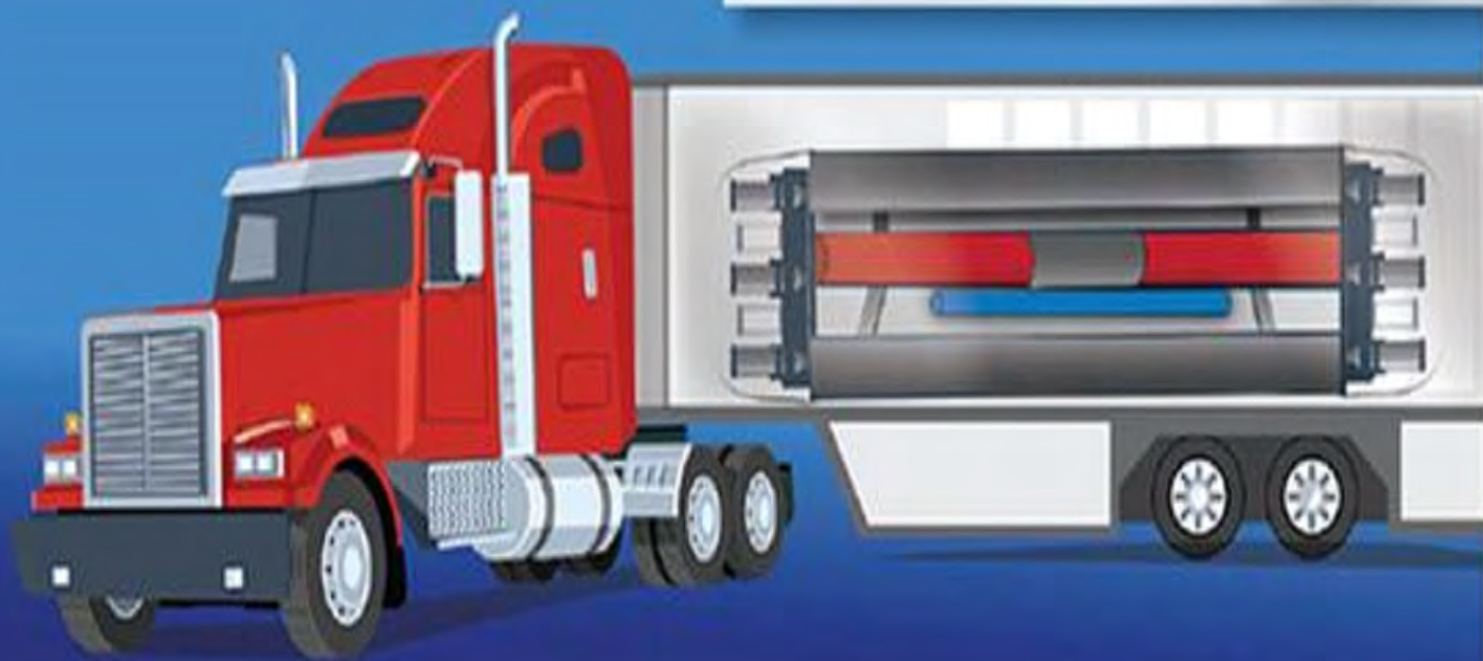


Thông tin

& Khoa học
& Công nghệ

HẠT NHÂN

VIỆN NĂNG LƯỢNG NGUYÊN TỬ VIỆT NAM



CÔNG NGHỆ HẠT NHÂN VÀ CÁC VẤN ĐỀ LIÊN QUAN



VIỆN NĂNG LƯỢNG NGUYÊN TỬ VIỆT NAM

Website: <http://www.vinatom.gov.vn>

Email: infor.vinatom@hn.vnn.vn

SỐ 68

9/2021



BAN BIÊN TẬP

TS. Trần Chí Thành - Trưởng ban
TS. Cao Đình Thanh - Phó Trưởng ban
PGS. TS Nguyễn Nhị Điền - Phó Trưởng ban
TS. Trần Ngọc Toàn - Ủy viên
TS. Trịnh Văn Giáp - Ủy viên
TS. Đặng Quang Thiệu - Ủy viên
TS. Hoàng Sỹ Thân - Ủy viên
PGS.TS. Trần Quốc Dũng - Ủy viên
ThS. Trần Khắc Ân - Ủy viên
KS. Nguyễn Hữu Quang - Ủy viên
KS. Vũ Tiến Hà - Ủy viên
ThS. Bùi Đăng Hạnh - Ủy viên

Thư ký: ThS. Nguyễn Thị Thu Hà
Biên tập và trình bày: ThS. Vũ Quang Linh



Địa chỉ liên hệ:

Viện Năng lượng nguyên tử Việt Nam
59 Lý Thường Kiệt, Hoàn Kiếm, Hà Nội
ĐT: (024) 3942 0463
Fax: (024) 3942 2625
Email: infor.vinatom@hn.vnn.vn
Giấy phép xuất bản số: 57/CP-XBBT
Cấp ngày 26/12/2003



THÔNG TIN KHOA HỌC & CÔNG NGHỆ HẠT NHÂN

NỘI DUNG

1- Xu hướng phát triển lò phản ứng mô-đun nhỏ trên thế giới

PHẠM NHƯ VIỆT HÀ, BÙI HÀ DŨNG, NGUYỄN THỊ THANH THỦY, TRẦN VIỆT PHÚ

10- Năng lượng hạt nhân: trụ cột quan trọng của tương lai không carbon

NGUYỄN THỊ THU HÀ

19- Áp dụng phương pháp ước lượng tốt nhất kết hợp phân tích độ bất định và phương pháp thận trọng để mô phỏng sự cố LB-LOCA cho lò VVER-1200/491 sử dụng RELAP5

HOÀNG TÂN HƯNG, VÕ THỊ HƯƠNG, BÙI THỊ HOA, HOÀNG MINH GIANG

29- Đánh giá nguồn phóng xạ iốt đối với tai nạn nghiêm trọng trong nhà máy điện hạt nhân

NGUYỄN THỊ THANH THỦY

34- Kết quả nghiên cứu công nghệ nhiên liệu hạt nhân tại Viện Công nghệ xạ hiếm. Phần I: Mô hình hóa quá trình điều chế bột gốm UO_2 ex-AUC

NGUYỄN TRỌNG HÙNG

40- Nghiên cứu, thiết kế chế tạo máy đo liều neutron

MAI VĂN ĐIỆN, NGUYỄN ĐỨC TUẤN, NGUYỄN NGỌC QUỲNH, VŨ TRUNG TÂN, VŨ VĂN TIẾN

46- Công nghệ khai thác và chế biến quặng urani

LÊ QUANG THÁI, NGUYỄN VĂN TÙNG

52- Tổng quan về tổng hợp hạt nano Chitosan-Poly Acrylic axit chứa Gd-DTPA ứng dụng cho ảnh cộng hưởng từ (MRI)

TRUNG TÂM CÔNG NGHỆ ĐẤT HIẾM VÀ PHÒNG ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ & PHÂN TÍCH

58- Năng lượng hạt nhân và vật liệu nano: Tiềm năng ứng dụng lớn cho các hạt có kích thước nhỏ

HOÀNG VĂN ĐỨC

63- Năm 2020 đánh dấu khả năng phục hồi của điện hạt nhân

PHẠM KHẮC TUYÊN

TIN TRONG NƯỚC VÀ QUỐC TẾ

65- Trung Quốc mở cửa cơ sở xử lý nước thải y tế bằng công nghệ chùm tia điện tử đầu tiên ở châu Á

66- Các nhà khoa học tối ưu hóa việc sử dụng nước, phân bón nhờ đồng vị bền nitơ

68- Cuba: Các giống cây trồng mới cải thiện năng suất cà chua và đậu tương

XU HƯỚNG PHÁT TRIỂN Lò PHẢN ỨNG MÔ-ĐUN NHỎ TRÊN THẾ GIỚI

Phạm Như Việt Hà, Bùi Hà Dũng, Nguyễn Thị Thanh Thủy, Trần Việt Phú
Viện Khoa học và Kỹ thuật hạt nhân

Hiện nay trên thế giới đang có sự quan tâm mạnh mẽ đến các lò phản ứng nhỏ và đơn giản hơn để tạo ra điện và nhiệt từ năng lượng hạt nhân. Mối quan tâm này đối với các lò phản ứng điện hạt nhân cỡ nhỏ được thúc đẩy bởi mong muốn giảm tác động của các chi phí vốn và cung cấp điện không dùng các hệ thống lưới điện lớn. Lò phản ứng mô-đun nhỏ (SMR) được định nghĩa là lò phản ứng hạt nhân với công suất điện từ 300 MWe trở xuống, được thiết kế và chế tạo dựa trên công nghệ mô-đun tại nhà máy, theo đuổi mô hình kinh tế sản xuất hàng loạt và thời gian xây dựng ngắn. Các công nghệ liên quan đến SMR rất nhiều và rất đa dạng với hơn 70 thiết kế tính cho đến thời điểm hiện tại.

Bài viết này trình bày tổng quan tình hình phát triển SMR trên thế giới, các đặc điểm thiết kế chính và cân nhắc đối với chu trình nhiên liệu của các thiết kế SMR, và khả năng ứng dụng cùng các lợi ích tiềm năng của các SMR trong tương lai.

1. TỔNG QUAN TÌNH HÌNH PHÁT TRIỂN Lò PHẢN ỨNG MÔ-ĐUN NHỎ

Khi sản xuất điện hạt nhân được hình thành từ những năm 1950, quy mô của các tổ máy lò phản ứng đã tăng từ 60 MWe lên đến hơn 1600 MWe. Đồng thời, đã có hàng trăm lò phản ứng công suất nhỏ hơn được xây dựng để sử dụng cho hải quân (công suất nhiệt lên đến 190 MW) và làm nguồn nơtron, mang lại kinh nghiệm và sự chuyên nghiệp to lớn trong việc chế tạo các lò phản ứng sinh điện cỡ nhỏ [1].

Theo phân loại của Cơ quan Năng lượng nguyên tử quốc tế (IAEA – International Atomic Energy Agency), lò phản ứng mô-đun nhỏ (SMR) được định nghĩa là lò phản ứng hạt nhân với công suất điện từ 300 MWe trở xuống. Đây là các lò phản ứng thuộc thế hệ mới hơn, có các thành phần và hệ thống có thể được chế tạo tại nhà máy và sau đó được vận chuyển dưới dạng mô-đun đến địa điểm để lắp đặt khi có nhu cầu [2]. Hầu hết các thiết kế SMR áp dụng các tính năng an toàn tiên

tiến hoặc thậm chí là các tính năng an toàn vốn có và có thể triển khai như một nhà máy đơn hoặc nhiều mô-đun. Thuật ngữ SMR không đề cập đến một thể hệ lò phản ứng hoặc một tập hợp con các loại công nghệ (có cả các công nghệ SMR thuộc Thế hệ thứ III và Thế hệ thứ IV), mà áp dụng cho công suất danh định của một thiết kế lò phản ứng nhất định và cách thức mà nó được xây dựng. Ngày càng có nhiều sự quan tâm đến các SMR và khả năng ứng dụng của chúng. Trong Hội nghị quốc tế về biến đổi khí hậu và vai trò của điện hạt nhân được tổ chức vào tháng 9 năm 2019, đã cho thấy rằng SMR đang được nhiều quốc gia thành viên coi là một lựa chọn hạt nhân khả thi và tiềm năng để góp phần giảm thiểu biến đổi khí hậu.

SMR đang được phát triển cho tất cả các loại lò phản ứng chính: lò phản ứng làm mát bằng nước nhẹ (LWR – Light Water Reactor), lò phản ứng làm mát bằng khí nhiệt độ cao (HTGR – High Temperature Gas-Cooled Reactor), lò phản ứng làm mát bằng kim loại lỏng, natri và khí với phổ nơtron nhanh (FNR – Fast Neutron Reactor), lò

phản ứng muối nóng chảy (MSR – Molten Salt Reactor) và mới đây nhất là lò phản ứng siêu nhỏ (Micro Reactor). Loại lò LWR có rủi ro công nghệ thấp nhất; nhưng loại lò FNR có thể nhỏ hơn, đơn giản hơn và hoạt động lâu hơn trước khi phải tiếp nhiên liệu. Động lực chính của sự phát triển SMR là đáp ứng nhu cầu phát điện linh hoạt cho nhiều người dùng và ứng dụng hơn, bao gồm thay thế các nhà máy điện hóa thạch đã cũ, cung cấp chế độ đồng phát cho các nước đang phát triển có lưới điện nhỏ, các khu vực xa và ngoài lưới điện, và cho phép các hệ thống năng lượng hạt nhân và năng lượng tái tạo kết hợp với nhau [1, 2]. Nhiều SMR được dự tính cho các thị trường điện hoặc năng lượng thích hợp, nơi các lò phản ứng lớn sẽ không khả thi. Thông qua công nghệ mô-đun hóa, SMR hướng tới tính kinh tế của sản xuất hàng loạt với thời gian xây dựng ngắn hơn. Các SMR có thể triển khai trong thời gian gần sẽ có hiệu suất an toàn tương đương hoặc tốt hơn so với các thiết kế lò phản ứng tiến hóa hiện nay.

Việc phát triển SMR đang được tiến hành ở các nước phương Tây với nhiều vốn đầu tư tư nhân, bao gồm cả các công ty nhỏ. Sự tham gia của những nhà đầu tư mới này cho thấy một sự thay đổi sâu sắc đang chuyển dịch từ nghiên cứu và phát triển (R&D) hạt nhân do chính phủ lãnh đạo và tài trợ sang khu vực tư nhân và những người có mục tiêu kinh doanh mạnh mẽ, thường gắn với mục đích xã hội. Mục đích đó thường là triển khai năng lượng sạch giá cả phải chăng, phát thải cacbon thấp. Các SMR có thể giúp giảm thiểu đáng kể rủi ro tài chính liên quan đến các nhà máy điện hạt nhân quy mô lớn, từ đó cho phép chúng cạnh tranh hiệu quả với các nguồn năng lượng khác [1]. Một cột mốc quan trọng đã đạt được trong việc triển khai công nghệ SMR: Nhà máy điện hạt nhân nổi Akademik Lomonosov ở Liên bang Nga với hai mô-đun lò phản ứng KLT-40S đã được kết nối với lưới điện và bắt đầu vận

hành thương mại vào tháng 5 năm 2020. Hiện trên thế giới có hơn bảy mươi (70) thiết kế SMR đang được phát triển cho nhiều ứng dụng khác nhau, tăng 40% so với năm 2018 [2].

Cấu trúc của bài viết này được trình bày như sau. Mục 1 giới thiệu tổng quan tình hình phát triển SMR trên thế giới. Mục 2 trình bày các đặc điểm thiết kế chính và cân nhắc đối với chu trình nhiên liệu của các thiết kế SMR dựa trên các công nghệ LWR, thế hệ thứ IV và lò phản ứng siêu nhỏ. Mục 3 thảo luận khả năng ứng dụng cùng các lợi ích tiềm năng của các SMR. Cuối cùng, phần kết luận được trình bày ở Mục 4.

2. CÁC ĐẶC ĐIỂM THIẾT KẾ CHÍNH VÀ CHU TRÌNH NHIÊN LIỆU

2.1 Các đặc điểm thiết kế chính

Các thiết kế SMR đang được phát triển sử dụng nhiều loại chất làm mát và dạng nhiên liệu với các mức độ sẵn sàng công nghệ (TRL - Technology Readiness Level) và mức độ sẵn sàng cấp phép (LRL - Licensing Readiness Level) khác nhau. Hầu hết các khái niệm SMR có thể được chia nhóm thành năm loại lớn như sau [3]:

- Loại LWR-SMR một lò phản ứng - sử dụng công nghệ và nhiên liệu LWR đã được kiểm chứng tốt để cung cấp các lò phản ứng độc lập có thể thay thế các tổ máy nhiên liệu hóa thạch nhỏ hoặc được triển khai dưới dạng phát điện phân tán.
- Loại LWR-SMR đa mô-đun - cũng sử dụng công nghệ LWR và có thể được vận hành để thay thế cho công suất tải nền cỡ trung bình hoặc trong một khuôn khổ phát điện phân tán, tùy thuộc vào công suất phát.
- Loại SMR di động/có thể vận chuyển được - hiện đang áp dụng công nghệ LWR và nhằm mục đích dễ dàng di chuyển từ vị trí này đến vị trí khác; ví dụ: lò phản ứng KLT-40S của nhà máy điện hạt

nhân nổi Akademik Lomonosov, Liên bang Nga (Hình 1).

- SMR thế hệ thứ IV - áp dụng các công nghệ tiên tiến, không phải LWR và bao gồm nhiều khái niệm đã được Diễn đàn Quốc tế Thế hệ thứ IV (GIF - Generation IV International Forum) nghiên cứu trong nhiều năm qua.
- SMR siêu nhỏ (MMR – Micro Modular Reactor) - là các thiết kế có công suất dưới 10 MWe, thường có khả năng hoạt động bán tự trị và với khả năng vận chuyển được cải thiện so với các SMR lớn hơn. MMR thường không dựa trên LWR và áp dụng nhiều phương pháp tiếp cận công nghệ khác nhau, bao gồm cả thế hệ thứ IV. MMR chủ yếu dành cho vận hành ngoài lưới điện ở các địa điểm xa xôi, nơi chúng được dự kiến sẽ cạnh tranh với các nguồn điện phổ biến (Hình 2).



Hình 1. Nhà máy điện hạt nhân nổi Akademik Lomonosov với hai mô-đun lò phản ứng KLT-40S đã được kết nối với lưới điện và bắt đầu vận hành thương mại vào tháng 5 năm 2020

Các khái niệm SMR dựa trên LWR là các khái niệm hoàn thiện nhất với TRL và LRL cao nhất, và chúng có khả năng sớm nhất để triển khai thương mại. Một số khái niệm đang được xây dựng (như CAREM ở Argentina, ACPR50S ở Trung Quốc) hoặc đang vận hành thương mại (như KLT-40S ở Liên bang Nga). Các thiết kế khác đang đạt được tiến độ cấp phép đáng kể và có thể được xây dựng như các nguyên mẫu ban đầu vào năm 2030.

Những công nghệ này là các biến thể nhỏ và tiến hóa của các lò phản ứng thế hệ thứ II và thế hệ thứ III/III+ đang hoạt động trên toàn thế giới, và được hưởng lợi từ nhiều thập kỷ kinh nghiệm vận hành và quản lý pháp quy.



Hình 2. Các lò phản ứng siêu nhỏ và có thể vận chuyển được [4, 5], có thể cung cấp năng lượng cho các cộng đồng ở vùng sâu vùng xa, hỗ trợ các lưới điện siêu nhỏ độc lập và khôi phục điện cho các khu vực bị thiên tai với khả năng được vận chuyển, lắp đặt và khởi động trong vài ngày

Công nghệ thế hệ thứ IV sử dụng các chất làm mát (kim loại lỏng, muối nóng chảy hoặc khí) và các cấu hình hệ thống khác so với LWR. Mặc dù các thiết kế dựa trên thế hệ thứ IV không có cùng cấp độ kinh nghiệm vận hành và pháp quy như các thiết kế dựa trên LWR và vẫn cần nghiên cứu bổ sung trong một số lĩnh vực (như hiệu suất và khả năng của nhiên liệu và các vật liệu cấu trúc), nhưng các thiết kế này vẫn được hưởng lợi từ lịch sử R&D sâu rộng mà dựa vào đó các nhà phát triển và cơ quan pháp quy có thể học hỏi. Các thiết kế thế hệ thứ IV trưởng thành nhất là các hệ thống làm mát bằng kim loại lỏng hoặc khí với một số lò phản ứng hiện đang hoạt động hoặc đang được xây dựng. Các thiết kế này cũng có thể được sử dụng cho các ứng dụng phi điện nhờ có nhiệt độ đầu ra cao hơn và chu trình nhiên liệu hạt nhân tiên tiến.

Mặc dù có mất mát hiệu suất nhiệt đối với một

số thiết kế LWR-SMR, việc giảm kích thước của công nghệ SMR so với các lò phản ứng hạt nhân lớn truyền thống mang lại một số tính năng ưu việt như sau đối với hầu hết các thiết kế [3]:

- **Thiết kế tích hợp:** Vùng hoạt nhỏ hơn cho phép sử dụng các thiết kế tích hợp, kết hợp tất cả các thành phần của hệ thống cung cấp hơi hạt nhân (NSSS) vào một thùng lò duy nhất. Cấu hình này, với tổng lượng chất làm mát sơ cấp chứa bên trong thùng sơ cấp lớn hơn đáng kể so với cấu hình vòng ngoài truyền thống, làm tăng đáng kể nhiệt dung và quán tính nhiệt của hệ thống. Do đó, cấu hình như vậy sẽ dẫn đến các đặc tính an toàn vốn có được tăng cường và các hệ thống đơn giản, dễ vận hành và bảo trì hơn.
- **An toàn vốn có:** Công suất đầu ra thấp hơn và tỷ lệ bề mặt trên thể tích cao hơn do vùng hoạt nhỏ hơn sẽ làm tăng hiệu quả của các hệ thống an toàn thụ động cho cả các điều kiện hoạt động bình thường và không bình thường. Nhiều thiết kế dựa trên LWR có lượng nước dự trữ rất lớn để làm mát thụ động các hệ thống lò phản ứng ngay cả trong những điều kiện khắc nghiệt. Sự phụ thuộc nhiều hơn vào các hệ thống làm mát thụ động cho phép các thiết kế đơn giản hơn, dễ dàng vận hành và bảo trì.
- **Lượng nhiên liệu trong vùng hoạt ít hơn:** có các lợi ích tại nhà máy và ngoài nhà máy. Tại nhà máy: ít phải che chắn hơn và liều lượng phơi nhiễm bức xạ cho người lao động do đó được giảm bớt. Ngoài nhà máy: lượng nhiên liệu ít hơn hay số hạng nguồn nhỏ hơn làm giảm xác suất xảy ra tai nạn và mức độ phát tán phóng xạ tiềm năng, có thể làm giảm các yêu cầu đối với vùng lập kế hoạch khẩn cấp (EPZ - Emergency Planning Zone). Những lợi ích như vậy có nghĩa là một số SMR có thể được đặt gần nơi cần được cung cấp năng lượng hơn.
- **Cải thiện sự mô-đun hóa và khả năng chế tạo:**

Trọng lượng và kích thước trực tiếp quyết định mức độ dễ dàng cho phép các thành phần khác nhau có thể được sản xuất, vận chuyển, nâng lên và lắp đặt. Kích thước nhỏ hơn của các thiết kế SMR cho phép áp dụng các phương án mô-đun hóa đầy tham vọng cũng như áp dụng các kỹ thuật sản xuất mới.

- **Tăng cường tính linh hoạt:** SMR có thể đạt được các chế độ theo tải tăng cường nhờ vào các tính năng thiết kế vốn có, cũng như thông qua việc tối ưu hóa sự vận hành đa mô-đun. Tính linh hoạt của SMR cũng bao gồm các khả năng triển khai (như các hạn chế về địa điểm ít hơn) và tính đa dạng của sản phẩm đầu ra (sản xuất điện và nhiệt kết hợp).

2.2 Các cân nhắc đối với chu trình nhiên liệu

Các SMR đang được phát triển sẽ cần phải được tích hợp với chu trình nhiên liệu hạt nhân, có nghĩa là xây dựng trên cơ sở hạ tầng hiện có, hoặc trong một số trường hợp, dựa trên các khoản đầu tư chuyên dụng vào các năng lực công nghiệp mới. Phạm vi của các khái niệm SMR đang được xem xét, và mức độ hoàn thiện công nghệ tổng thể của chúng, đã dẫn đến việc cân nhắc một số lựa chọn chu trình nhiên liệu. Cho đến nay, rất ít nhà phát triển SMR đã phát triển hoặc cung cấp thông tin đầy đủ các chiến lược của họ trong lĩnh vực này, đặc biệt là liên quan đến phần cuối (back-end) của chu trình nhiên liệu [2, 3].

Các chiến lược chu trình nhiên liệu cho LWR-SMR

LWR-SMR được kỳ vọng sẽ phát triển chu trình nhiên liệu ở phần đầu (front-end) tương thích với các khả năng công nghiệp hiện có, đặc biệt là về mức độ làm giàu (dưới 5%) hoặc loại nhiên liệu và bó nhiên liệu. Phạm vi công nghệ nhiên liệu và độ sâu cháy nhiên liệu cũng có nghĩa là ngay tại bước tiếp cận đầu tiên, nhiên liệu từ LWR-SMR phải tương thích với các giải pháp tái chế nhiên liệu

đối với các quốc gia đã thiết lập chiến lược khép kín chu trình nhiên liệu của họ. Một ngoại lệ liên quan đến SMR nổi trên biển được phát triển ở Liên bang Nga, là quốc gia đang xem xét mức độ làm giàu gần 20%. Hầu hết các nhà phát triển đã không loại trừ khả năng SMR sử dụng nhiên liệu oxit hỗn hợp (MOX – Mixed Oxide), nhưng cho đến nay nó hiếm khi được thảo luận như một ưu tiên cho các lò phản ứng này [3]. Ngoài ra, hiệu suất nhiệt thấp hơn đối với các thiết kế LWR-SMR có nghĩa là yêu cầu lượng uranium trên mỗi đơn vị năng lượng được sản xuất ra sẽ cao hơn và điều này sẽ tác động trực tiếp đến các chi phí chu trình nhiên liệu. Hơn nữa, cũng cần chú ý rằng chu kỳ nạp tải nhiên liệu của LWR-SMR được dự kiến sẽ dài hơn so với các LWR hiện có.

Các chiến lược chu trình nhiên liệu cho SMR thế hệ thứ IV và lò phản ứng siêu nhỏ

Trong khi hầu hết các SMR thế hệ thứ IV và các lò phản ứng siêu nhỏ đang xem xét sử dụng nhiên liệu dựa trên uranium, thì việc phát triển các cơ sở chu trình nhiên liệu mới vẫn được yêu cầu. Một đặc điểm chung cơ bản của một số khái niệm lò phản ứng này là chúng sẽ cung cấp chu kỳ nạp tải nhiên liệu dài hơn nhiều. Các lò phản ứng siêu nhỏ dạng ống nhiệt là một ví dụ chính, với các lò phản ứng này có thời gian nạp tải nhiên liệu lên đến 20 năm. Các SMR thế hệ thứ IV hoạt động với nhiên liệu TRISO (tristructural-isotropic) hoặc với nhiên liệu muối nóng chảy có thể sử dụng các phương pháp nạp tải nhiên liệu trực tuyến. Ngoài ra, một số loại SMR thuộc kiểu lò phản ứng neutron nhanh thế hệ thứ IV hiện đang xem xét sử dụng nhiên liệu dựa trên plutonium.

Một số thiết kế đang xem xét việc sử dụng nhiên liệu uranium độ giàu thấp HALEU (High-Assay Low-Enriched Uranium). Nhiên liệu HALEU có mức độ làm giàu từ 5 đến 19,75%. Các ứng dụng của HALEU ngày nay chỉ giới hạn trong việc sản xuất các lò nhỏ cho các lò phản ứng nghiên cứu

và sản xuất đồng vị phóng xạ y tế. Nhiên liệu HALEU hiện nay được chế tạo bằng cách làm giảm độ giàu từ các kho dự trữ uranium làm giàu cao (HEU) của Mỹ hoặc Nga. Tuy nhiên, theo báo cáo của Bộ Năng lượng Hoa Kỳ (DOE), nguồn dự trữ HEU có thể cạn kiệt hoàn toàn vào năm 2030-2040. Do đó, nếu không có sự phát triển của các khả năng sản xuất HALEU, sự phát triển của các công nghệ SMR tiên tiến có thể bị hạn chế nghiêm trọng [3-5].

Nguồn cung cấp nhiên liệu HALEU an toàn, an ninh trong tương lai đòi hỏi phải nâng cấp cơ sở hạ tầng chu trình nhiên liệu hạt nhân hiện tại để tuân thủ các giới hạn an toàn tới hạn tiềm ẩn, đặc biệt là phát triển các cơ sở làm giàu, khử chuyển đổi và chế tạo. Hơn nữa, các giải pháp đóng gói và vận chuyển mới sẽ là cần thiết, đặc biệt là để vận chuyển các số lượng lớn HALEU cần thiết cho việc triển khai toàn cầu của các SMR tiên tiến. Việc thiết kế và chứng nhận các công-te-nơ vận tải mới là một quá trình phức tạp và tốn kém, đòi hỏi phải tuân thủ các tiêu chuẩn của Tổ chức Tiêu chuẩn hóa Quốc tế/Viện Tiêu chuẩn Quốc gia Hoa Kỳ (ISO/ANSI) và sự chấp thuận của các cơ quan vận tải có thẩm quyền. Ngoài ra, tác động của nhiên liệu HALEU đến phần cuối (back-end) của chu trình nhiên liệu có thể cần được đánh giá sâu hơn. Việc quản lý lâu dài nhiên liệu hạt nhân đã qua sử dụng và chất thải phóng xạ hoạt độ cao do nhiên liệu HALEU tạo ra có thể yêu cầu cần phải điều chỉnh các phương pháp tiếp cận hiện tại, bao gồm nâng cấp các cơ sở tái chế và các thiết kế thùng chứa mới để lưu trữ tạm thời nhiên liệu đã qua sử dụng.

3. KHẢ NĂNG ỨNG DỤNG VÀ CÁC LỢI ÍCH TIỀM NĂNG

Các SMR thích hợp cho sản xuất điện nhưng nhiều thiết kế cũng đặc biệt thích hợp để sinh

nhật, khử muối nước biển và sản xuất hydro. Các nghiên cứu điều biến theo tải chi tiết của các SMR để đồng phát hydro đã cho thấy điều này là khả thi. Các nghiên cứu khác cũng đã khảo sát sự kết hợp của SMR với các công nghệ khử muối khác nhau. Các SMR và các lò phản ứng siêu nhỏ cũng được thiết kế phù hợp cho các ứng dụng công nghiệp hơn là các lò phản ứng lớn. Nếu các thiết kế lò phản ứng này, cung cấp nhiệt và năng lượng chất lượng cao, có thể được xây dựng một cách kinh tế ở các quy mô nhỏ, chúng có thể khử cacbon cho một số cơ sở công nghiệp nhất định. Một nơi khác mà các SMR có thể tìm thấy vị trí thích hợp là ở các cộng đồng vùng sâu vùng xa hoặc các lưới điện nhỏ mà không thích hợp để sử dụng một nhà máy điện hạt nhân lớn. Các SMR là đủ nhỏ để có thể vận chuyển bằng tàu thủy, đường sắt hoặc thậm chí bằng xe tải đến địa điểm yêu cầu. Công suất nhỏ, phạm vi ứng dụng và việc bố trí địa điểm dễ dàng của các SMR giúp chúng có thể nhanh chóng mở rộng hạm đội lò phản ứng toàn cầu hiện tại, từ ít hơn 500 lò phản ứng đang hoạt động, đến hàng nghìn lò phản ứng cần thiết để cung cấp năng lượng cacbon thấp cho một loạt các hoạt động của con người trên toàn thế giới. Ngoài ra, các công nghệ hạt nhân mới như các thiết kế SMR tiên tiến sẽ phải hoạt động trong một lưới điện tương lai với mức năng lượng tái tạo cao. Do đó, một khái niệm đã đạt được sức hút đáng kể trong những năm gần đây là hệ thống năng lượng lai tích hợp, trong đó các lò phản ứng như SMR và năng lượng tái tạo kết hợp chặt chẽ với nhau theo cách tối ưu hóa sản lượng của chúng để phục vụ mục đích sản xuất điện và các ứng dụng khác [6].

Kinh tế và các động lực chi phí

Quy mô của nền kinh tế thường được sử dụng để giảm các chi phí phát điện của những nhà máy điện hạt nhân lớn thông thường. Điều này, cùng với việc triển khai các hạm đội được tiêu chuẩn

hóa và xây dựng nhiều lò phản ứng trên một địa điểm duy nhất đã cho phép các nhà máy điện hạt nhân hiện có đạt được chi phí thấp. Ở giai đoạn này, chi phí thực sự của các SMR và các lợi ích kinh tế của chúng vẫn chưa được kiểm chứng. Tuy nhiên, các SMR áp dụng một cách tiếp cận khác đối với các lò phản ứng lớn nhằm cố gắng giảm chi phí và tối đa hóa các lợi ích kinh tế. Các yếu tố quan trọng nhất là:

- Giảm chi phí vốn sử dụng cho một lò phản ứng đơn lẻ. Điều này làm cho khoản đầu tư có khả năng mở rộng và “có thể được ngân hàng chiết khấu” hơn, có nghĩa là sẽ dễ dàng hơn để tìm nguồn tài chính cần thiết - bao gồm cả nguồn tài chính tư nhân.
- Mô-đun hóa. Quá trình chuyển đổi thiết kế và xây dựng tại chỗ của một nhà máy hạt nhân điển hình sang chế tạo các mô-đun tại nhà máy để vận chuyển và lắp đặt tại hiện trường. Chế tạo tại nhà máy rẻ hơn xây dựng tại chỗ và kiểm soát chất lượng dễ dàng hơn, mặc dù những lợi ích này có thể bị hạn chế bởi sự sẵn có của phương tiện vận chuyển giá rẻ. Các SMR có lợi thế khác biệt so với các lò phản ứng lớn vì có thể có tỷ lệ các bộ phận được sản xuất tại nhà máy cao hơn.
- Nhiều lò phản ứng tại một địa điểm. Số lượng lò phản ứng được lắp đặt cùng một địa điểm càng nhiều thì tổng chi phí đầu tư cho mỗi lò phản ứng càng nhỏ. Ngoài ra, doanh thu từ (các) lò phản ứng đầu tiên có thể được sử dụng để tài trợ cho việc xây dựng các lò phản ứng tiếp theo. Điều này đúng với cả các lò phản ứng lớn và nhỏ, tuy nhiên, có thể lắp đặt thêm nhiều SMR trước khi bị hạn chế bởi các giới hạn về địa điểm khác.
- Học hỏi và các nền kinh tế sản xuất hàng loạt. Có khả năng là nhiều lò phản ứng của một thiết kế SMR nhất định sẽ được sản xuất hơn so với một thiết kế lò phản ứng lớn nhất định. Do đó có thể xảy ra quá trình đặt hàng các bộ phận với số

lượng lớn. Điều này cho phép các SMR khai thác các nền kinh tế sản xuất hàng loạt và hưởng lợi từ một quy trình mua sắm được tiêu chuẩn hóa hơn. Hoàn thành việc lắp đặt một số lượng lớn hơn các lò phản ứng cũng sẽ cải thiện các tốc độ học hỏi.

- Các cân nhắc danh mục đầu tư. Quy mô càng nhỏ thì càng dễ dàng đa dạng hóa danh mục đầu tư được tạo ra. Kích thước nhỏ và các tính năng an toàn thụ động của các SMR cũng phù hợp với các quốc gia có lưới điện nhỏ hơn và ít kinh nghiệm hơn về điện hạt nhân.
- Nhiều thiết kế SMR được cho là sẽ đơn giản hơn các thiết kế lò phản ứng lớn ngày nay. Bằng cách dựa trên các nguyên tắc vật lý tự nhiên để duy trì an toàn, giảm nhu cầu về nhiều hệ thống an toàn chủ động, chúng sẽ giảm độ phức tạp và các chi phí liên quan.

Ngoài ra, việc xây dựng các SMR dự kiến sẽ ngắn hơn so với các lò phản ứng lớn. Điều này rất quan trọng vì tiến độ xây dựng có ảnh hưởng lớn đến kinh tế xây dựng điện hạt nhân theo hai cách. Thứ nhất, nó sẽ giảm các chi phí cố định hàng ngày. Trên một công trường xây dựng hạt nhân, nơi có hàng nghìn người làm việc và các trang thiết bị đắt tiền (ví dụ: các cần cẩu) đang được sử dụng, các chi phí cố định hàng ngày là đáng kể. Thứ hai, nó sẽ mang lại doanh thu cho dự án. Thời gian xây dựng SMR ngắn hơn có nghĩa là điện/nhiệt - và doanh thu - được tạo ra sớm hơn so với một dự án lớn hơn.

Kinh nghiệm xây dựng các nhà máy hạt nhân lớn cho thấy ba yếu tố đặc biệt quan trọng để giảm tiến độ và chi phí xây dựng, đó là: (i) các hoạt động xây dựng liên tục trong thời gian dài để duy trì lực lượng lao động có trình độ và kinh nghiệm; (ii) xây dựng hàng loạt của cùng một thiết kế; và (iii) nhiều lò phản ứng tại cùng một địa điểm. Rõ ràng là các SMR cũng có thể được hưởng lợi từ tất cả những khía cạnh này vì cần phải xây dựng

nhiều lò phản ứng hơn và điều này có thể sẽ được lan truyền trong một thời gian dài hơn. Tương tự các lò phản ứng lớn, SMR sẽ có vai trò cung cấp năng lượng cacbon thấp trong một hỗn hợp năng lượng bền vững trong tương lai, đáp ứng nhu cầu rộng rãi của người sử dụng và những ứng dụng năng lượng khác nhau.

Tầm quan trọng của việc cấp phép lò phản ứng

Cấp phép là một trong những yếu tố quan trọng nhất ảnh hưởng đến việc thẩm định đầu tư và khả năng tồn tại của các dự án nhà máy điện hạt nhân. Các quy trình cấp phép hiện tại đã được điều chỉnh theo thời gian để phù hợp với thiết kế và phê duyệt địa điểm của các thiết kế lò phản ứng lớn. Những thay đổi đối với quy trình cấp phép có thể giúp nhận ra nhiều lợi thế kinh tế - kỹ thuật của các SMR. Ví dụ, việc giảm quy mô của khu vực EPZ theo yêu cầu pháp quy sẽ tạo điều kiện thuận lợi cho việc bố trí SMR với các hoạt động công nghiệp khác. Việc cấp phép có khả năng là một thách thức đối với các SMR, vì chi phí cấp giấy phép thiết kế, xây dựng và vận hành không nhất thiết phải ít hơn đối với các lò phản ứng lớn [1, 6]. Một thách thức liên quan đến cấp phép khác là sự khác biệt giữa các chế độ cấp phép công nghệ lò phản ứng ở cấp quốc gia của các quốc gia khác nhau [6]. Giấy phép thiết kế có được ở một quốc gia chỉ có giá trị đối với quốc gia đó. Một quá trình cấp phép có thể mất nhiều năm và tiêu tốn hàng trăm triệu đô la với tất cả các chi phí phát sinh thậm chí trước khi có khả năng một dự án sẽ được tiến hành. Do đó, quá trình cấp phép là một cam kết rủi ro đối với các bên liên quan phải trả tiền cho nó, và thậm chí nhiều hơn nữa khi các khoản đầu tư được thực hiện nhỏ hơn, như trường hợp của các SMR.

4. KẾT LUẬN

Các lò phản ứng mô-đun nhỏ (SMR) đang đạt

được những tiến bộ để trở thành một sản phẩm hạt nhân khả thi về mặt thương mại vào đầu những năm 2030. Các tính năng kinh tế - kỹ thuật của chúng, mà một số trong đó đã được chứng minh trong các ngành công nghiệp khác, không chỉ có thể giúp vượt qua những thách thức giao hàng thường gặp phải trong các dự án hạt nhân lớn gần đây mà còn mở rộng các giá trị của công nghệ hạt nhân để cung cấp điện và nhiệt cacbon thấp một cách linh hoạt và có thể điều biến được trên một số lĩnh vực.

Khi đánh giá tính hợp lý về mặt kinh tế của SMR, câu hỏi về thị trường vẫn là trọng tâm. Một mặt, nếu SMR được chế tạo theo kiểu sản xuất hàng loạt, tương tự như máy bay thương mại, thì lợi ích kinh tế có thể rất đáng kể. Tuy nhiên, điều này đòi hỏi thị trường cho một thiết kế đơn lẻ phải tương đối lớn, tức là nhấn mạnh sự cần thiết của một thị trường toàn cầu, đồng thời gợi ý rằng chỉ một tập hợp con nhỏ trong số nhiều thiết kế đang được phát triển cuối cùng sẽ có thể thiết lập một thị trường toàn cầu như vậy. Để đạt được thị trường toàn cầu trong mọi trường hợp sẽ đòi hỏi các mức độ hài hòa hóa pháp quy và hợp nhất thị trường cao hơn. Mặt khác, hầu hết các thiết kế SMR chưa đạt đến giai đoạn hoàn thiện nâng cao và các thuộc tính của chúng vẫn cần được thử nghiệm và chứng minh. Các SMR dựa trên LWR gắn với khả năng thương mại hơn so với các hệ thống thế hệ thứ IV, do đó cần có những nỗ lực nghiên cứu và phát triển bổ sung. Bởi vậy, một mức độ không chắc chắn nhất định tồn tại, ảnh hưởng trực tiếp đến nhận thức rủi ro và do đó góp phần hạn chế quy mô tiềm năng của thị trường. Khi các SMR có sự trưởng thành nhờ những thiết kế trình diễn đầu tiên dự kiến được đưa vào vận hành thử vào cuối những năm 2020, một số rủi ro này sẽ giảm dần theo thời gian, làm tăng sự quan tâm từ các khách hàng tiềm năng. Sự quan tâm gia tăng này sẽ hỗ trợ việc thiết lập một chuỗi cung ứng mạnh

mẽ và bí quyết xây dựng bền vững, dẫn đến các chi phí vốn có tính cạnh tranh hơn. Do đó, thị trường SMR tiềm năng sẽ không bị giới hạn bởi các cân nhắc kinh tế và sẽ đòi hỏi nỗ lực phối hợp giữa các chính phủ, cơ quan pháp quy, nhà cung cấp và chủ sở hữu tương lai để đồng thời giải quyết những thách thức của hiện tại và trong tương lai.

Các SMR và lò phản ứng siêu nhỏ sẽ mở rộng các cơ hội triển khai công nghệ hạt nhân. Do có kích thước nhỏ hơn, các tính năng an toàn thụ động tăng cường và các khu vực lập kế hoạch khẩn cấp nhỏ hơn, chúng có thể đơn giản đến những nơi mà các lò phản ứng quy mô lớn không thể. Chúng cung cấp các lựa chọn cho khách hàng một nguồn năng lượng sạch ổn định và đáng tin cậy mà không cần các yêu cầu về bất động sản và các chi phí vốn của một dự án xây dựng lớn. Các cường quốc hạt nhân trên thế giới, đặc biệt là Hoa Kỳ, hiện đang hỗ trợ phát triển các lò phản ứng tiên tiến như SMR và lò phản ứng siêu nhỏ có thể dùng cho các quá trình sử dụng nhiều năng lượng hiện đang dựa vào nhiên liệu hóa thạch, bao gồm sản xuất hydro, khử muối nước biển, sưởi ấm, lọc dầu và sản xuất phân bón. Điều này mở ra cơ hội thị trường quan trọng cho các nhà phát triển hạt nhân và cơ hội làm giảm đáng kể lượng khí thải cacbon trong các quá trình công nghiệp trên quy mô toàn cầu. Gần đây, IAEA cũng đã nghiên cứu và công bố lộ trình công nghệ của việc triển khai các SMR với mục đích hỗ trợ các quốc gia thành viên trong lĩnh vực này cũng như để thúc đẩy việc tăng cường hợp tác, chia sẻ kiến thức và giúp đảm bảo những nỗ lực của các nhà phát triển công nghệ, ngành công nghiệp, người sử dụng và cơ quan quản lý tập trung vào một mục tiêu chung [7].

Xu hướng phát triển SMR trên thế giới hiện nay và triển vọng khả thi về mặt thương mại của một số thiết kế SMR tiên tiến vào đầu những năm

2030 mở ra các cơ hội thuận lợi cho các quốc gia mới về hạt nhân như Việt Nam để học hỏi, hợp tác và trao đổi kinh nghiệm với các quốc gia đang quan tâm, nghiên cứu và triển khai các công nghệ SMR. Điều này có thể thực sự quan trọng, giúp các quốc gia như Việt Nam vừa có thể theo kịp tình hình nghiên cứu, triển khai các công nghệ SMR trên thế giới và trong khu vực vừa có thể dần dần xây dựng, nâng cao các năng lực về kỹ thuật, pháp lý và chính sách liên quan đến các công nghệ SMR.

Pathways, United Nations Economic Commission for Europe, Geneva, 2021. https://unece.org/sites/default/files/2021-03/UNECE%20Use%20of%20nuclear%20fuel%20resources%20for%20sustainable%20development_%20Final_0.pdf

[7] IAEA, Technology Roadmap for Small Modular Reactor Deployment, IAEA Nuclear Energy Series No. NR-T-1.18, Vienna, 2021. https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/PUB1944_web.pdf

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] WNA, Small Modular Reactors, Updated September 2021. <https://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-power-reactors/small-nuclear-power-reactors.aspx>.

[2] IAEA, Advances in Small Modular Reactor Technology Developments: A Supplement to: IAEA Advanced Reactors Information System (ARIS), 2020 Edition. https://aris.iaea.org/Publications/SMR_Book_2020.pdf

[3] OECD, Small Modular Reactors: Challenges and Opportunities, NEA No. 7560, 2021. https://www.oecd-neo.org/upload/docs/application/pdf/2021-03/7560_smr_report.pdf

[4] DOE, DOE-NE Strategic Vision, Office of Nuclear Energy, 08 January 2021. <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2021/01/f82/DOE-NE%20Strategic%20Vision%20-Web%20-%2001.08.2021.pdf>

[5] Nuclear Innovation Alliance, Partnership for Global Security, U.S. Advanced Nuclear Energy Strategy for Domestic Prosperity, Climate Protection, National Security, and Global Leadership, February 2021. <https://nuclearinnovationalliance.org/us-advanced-nuclear-energy-strategy>

[6] UNECE, Application of the United Nations Framework Classification for Resources and the United Nations Resource Management System: Use of Nuclear Fuel Resources for Sustainable Development - Entry

NĂNG LƯỢNG HẠT NHÂN: TRỤ CỘT QUAN TRỌNG CỦA TƯƠNG LAI KHÔNG CARBON

Nguyễn Thị Thu Hà
Ban Kế hoạch và Quản lý khoa học

Trong khi thế giới tiếp tục tìm các giải pháp khử carbon trong lĩnh vực năng lượng và cố gắng đạt được mục tiêu không phát thải khí nhà kính để đối phó với mối đe dọa Trái Đất đang nóng lên, thì sản xuất điện sạch hơn đáng tin cậy là một ưu tiên toàn cầu. Là nguồn sản xuất điện không phát thải carbon đáng tin cậy nhất, cung cấp điện liên tục không bị gián đoạn, năng lượng hạt nhân là một phần quan trọng trong sản xuất điện và là trụ cột quan trọng trong quá trình chuyển đổi sang một tương lai không phát thải carbon.

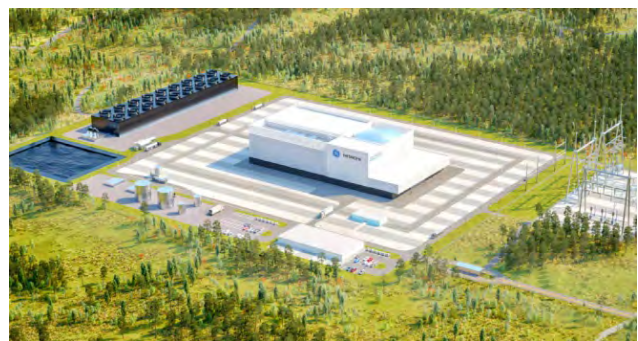
1. VAI TRÒ CỦA ĐIỆN HẠT NHÂN TRONG THỬ THÁCH KHÍ HẬU TOÀN CẦU

Thế giới đang phải đối mặt với thách thức nghiêm trọng về thay đổi khí hậu, nhất là việc gia tăng CO₂ trong khí quyển và tác động của nó làm cho nhiệt độ trung bình toàn cầu tiếp tục tăng. Mặc dù khí nhà kính khác như CH₄, N₂O, O₃, và CFCs cũng góp phần làm tăng nhiệt độ toàn cầu, nhưng CO₂ là nguyên nhân chủ yếu, CO₂ này bắt nguồn từ giao thông và sản xuất nhiệt điện. Để đạt được năng lượng không phát thải carbon trong tương lai đòi hỏi tất cả các nguồn năng lượng sẵn có phải sạch hơn, bao gồm cả năng lượng hạt nhân, phải có sự hỗ trợ và hành động khẩn cấp từ các chính phủ, các công ty, tổ chức phi chính phủ và các bên liên quan khác.

Điều quan trọng là phải xem xét toàn bộ hệ thống năng lượng. Khi các chính phủ lên kế hoạch để đạt được các mục tiêu giảm carbon và xác định cơ cấu năng lượng trong tương lai, họ sẽ cần phải xem xét các rủi ro và sự phụ thuộc lẫn nhau của các hệ thống năng lượng của chính quốc gia họ. Tương lai của hệ thống năng lượng toàn cầu nên được kết nối và tích hợp với nhau hơn để chia sẻ lợi ích và hiệu quả giữa các nền kinh tế.

Các nhà hoạch định chính sách và các nhà lãnh đạo ngành phải xem xét toàn bộ hệ thống năng lượng, cung cấp dịch vụ, cơ sở hạ tầng và lĩnh vực tiêu thụ khi đưa ra quyết định.

Một hệ thống năng lượng không phát thải nhà kính cũng yêu cầu sản xuất điện bằng những công nghệ sạch hơn, bao gồm hạt nhân, năng lượng tái tạo, lưu trữ năng lượng, turbin khí chu trình hỗn hợp, thu giữ carbon và hydro. Sản xuất điện carbon thấp, kết hợp với cân bằng hệ thống như các bộ kết nối, đáp ứng từ phía nhu cầu, lưu trữ, pin và hydro, sẽ tạo ra cơ hội để khử carbon trong ngành điện. Toàn bộ hệ thống năng lượng phải được giải quyết để giảm đáng kể lượng khí thải carbon, đặc biệt là sử dụng nhiều năng lượng như sưởi ấm, giao thông vận tải và sản xuất công nghiệp.



Năng lượng hạt nhân là một trụ cột quan trọng của một tương lai không carbon.

Theo Cơ quan Năng lượng Quốc tế (IEA-International Energy Agency), ngày nay, điện hạt nhân tạo ra khoảng 10% điện năng trên thế giới với công suất lắp đặt toàn cầu trên 400 GW. Mỹ, Pháp, Trung Quốc, Nga và Hàn Quốc tạo ra nhiều điện nhất từ các nguồn phát điện hạt nhân. Điện hạt nhân đóng một vai trò quan trọng trong an ninh năng lượng của một quốc gia, cung cấp chi phí điện ổn định và hợp lý, phần lớn không phụ thuộc vào biến động giá thị trường nhiên liệu với tính khả dụng lâu dài. Một số quốc gia có kế hoạch loại bỏ dần các nhà máy điện hạt nhân, thì những quốc gia khác đang xây dựng hoặc mở rộng sản xuất điện hạt nhân. GE dự báo khoảng 10 GW mỗi năm nhu cầu đối với các nhà máy điện hạt nhân mới trong thập kỷ tới và việc gia tăng các cam kết toàn cầu về khử carbon sẽ đẩy nhanh xu hướng này. Thật vậy, Cơ quan Không Phát thải nhà kính (NZE) của IEA dự báo công suất điện hạt nhân được lắp đặt sẽ tăng gấp đôi so với hiện nay, đạt 812 GW vào năm 2050.

Dựa trên những lợi ích của điện hạt nhân, IEA đã kêu gọi sự đóng góp lớn hơn của năng lượng hạt nhân trong cơ cấu năng lượng toàn cầu để đạt được một kịch bản trong đó mức tăng nhiệt độ toàn cầu dài hạn được giới hạn ở 2°C (Kịch bản Phát triển Bền vững). Theo IEA, bằng cách sử dụng năng lượng hạt nhân làm nguồn phát điện, thế giới đã tránh được hơn 60 giga tấn CO₂ phát thải trong vòng 50 năm qua. IEA chỉ ra rằng năng lượng hạt nhân là nguồn điện carbon thấp hàng đầu và khó mà đạt được một tương lai năng lượng bền vững mà không có điện hạt nhân.

Năng lượng hạt nhân cung cấp năng lượng liên tục không bị gián đoạn, với hệ số công suất cao nhất trong cơ cấu năng lượng. Với tối đa hai năm nhiên liệu được tích nạp tại chỗ, các nhà máy điện hạt nhân đáng tin cậy hơn so với các nguồn

nhiên liệu khác cần phải được cung cấp nhiên liệu thường xuyên đến tận nơi. Điện hạt nhân là nguồn điện có thể chuyển đổi không chứa carbon, cung cấp khả năng công suất chạy nền 24 giờ trong 7 ngày mỗi tuần, giúp ổn định lưới điện và ngăn ngừa mất điện khi các nguồn phụ thuộc vào thời tiết, chẳng hạn như gió và mặt trời. SMR thậm chí còn linh hoạt hơn và được lắp đặt theo vị trí. Ngoài ra, các nhà máy hạt nhân cũng có thể sản xuất một lượng lớn điện năng trên diện tích đất ít hơn so với các nguồn năng lượng sạch hơn khác.

Trong khi điện hạt nhân không thải ra carbon trong quá trình vận hành so với tất cả các công nghệ sản xuất điện, trong suốt vòng đời của nó.

Theo UN IPCC, lượng phát thải trong vòng đời hạt nhân là khoảng 12 gCO₂eq/kWh, so với khoảng 41-48 gCO₂eq/kWh đối với điện mặt trời và khoảng 11-12 gCO₂eq/kWh đối với điện gió.

Năng lượng hạt nhân là một khoản đầu tư cho tương lai - giá cả phải chăng, tăng trưởng kinh tế và việc làm “xanh”. Đầu tư vào năng lượng hạt nhân là đầu tư dài hạn, sẽ mang lại lợi ích cho các thế hệ sau và cần có sự hỗ trợ lớn của chính phủ.

Mặc dù đầu tư ban đầu để xây dựng một nhà máy điện hạt nhân là đáng kể, nhưng vòng đời của nó có thể lên đến 80 năm. Trong toàn bộ vòng đời của mình, nó có thể tạo ra một lượng điện năng khổng lồ không bị gián đoạn trong thời gian dài với chi phí điện ổn định và phải chăng, phần lớn không phụ thuộc vào biến động giá cả thị trường nhiên liệu với tính khả dụng lâu dài.

Khi các quốc gia coi “phục hồi xanh” từ tác động kinh tế của đại dịch COVID-19, có cơ hội để xây dựng lại nền kinh tế bằng cách áp dụng các công nghệ làm giảm tác động carbon. Ngành công nghiệp hạt nhân nên được coi là một phần của kế hoạch phục hồi này nhằm tạo ra việc làm và đóng góp vào tổng sản phẩm quốc nội (GDP). Ngành

công nghiệp hạt nhân mang lại nhiều công việc và mang lại cơ hội cho một quốc gia đầu tư vào lực lượng lao động trong tương lai, cho các hoạt động nhà máy xây dựng sau này với các công việc kỹ thuật có tay nghề cao.

Theo Cơ quan Năng lượng Hạt nhân Mỹ, các nhà máy điện hạt nhân hỗ trợ gần 500.000 công việc kỹ thuật của Mỹ và đóng góp khoảng 60 tỷ USD vào GDP của Mỹ mỗi năm. Một nhà máy hạt nhân của Mỹ có thể sử dụng tới 700 công nhân với mức lương cao hơn 30% so với mức trung bình của địa phương.

Theo Foratom, tại Liên minh châu Âu (EU), lĩnh vực hạt nhân cung cấp nhiều việc làm hơn trên mỗi GW được lắp đặt và có tác động đến GDP lớn hơn so với điện gió và thủy điện. Nó đóng góp 507,4 tỷ Euro vào GDP và tạo ra doanh thu công gần 124 tỷ Euro mỗi năm. Mỗi Euro đóng góp trực tiếp của ngành công nghiệp hạt nhân vào GDP của EU tạo ra đóng góp gián tiếp là 4 Euro, tổng cộng là 5 Euro. Lĩnh vực hạt nhân cũng hỗ trợ hơn 1,1 triệu việc làm ở hơn 27 quốc gia thành viên, gần một nửa trong số này là các công việc có kỹ năng cao. Mỗi công việc được tạo ra trong lĩnh vực hạt nhân duy trì thêm 2,2 việc làm, tổng cộng là 3,2 việc làm trên thị trường lao động.

Khoảng 70% việc làm trực tiếp được duy trì trong ngành công nghiệp điện hạt nhân để vận hành các nhà máy trong thời gian dài.

Đồng thời, cần phải làm nhiều hơn nữa để tăng cường sự ủng hộ của cộng đồng đối với năng lượng hạt nhân. An toàn và quản lý thích hợp nhiên liệu hạt nhân đã qua sử dụng là những vấn đề quan trọng mà ngành công nghiệp này tiếp tục cần tập trung và cải thiện. IEA công nhận năng lượng hạt nhân là nguồn năng lượng an toàn nhất trên thế giới, nhưng cần phải làm nhiều hơn nữa để giáo huấn công chúng về các giao thức và quy định để đảm bảo an toàn hạt nhân và quản lý

thích hợp nhiên liệu hạt nhân đã qua sử dụng. Khi nói đến độ an toàn, các lò phản ứng được thiết kế theo tiêu chuẩn cao nhất của ngành với các quy trình nghiêm ngặt nhất trong số các loại nhiên liệu sản xuất điện. Tương tự, nhiên liệu hạt nhân đã qua sử dụng phải được quản lý cẩn thận và chịu sự điều chỉnh rộng rãi của các cơ quan chính phủ.

2. TỐI ĐA HÓA CÔNG SUẤT TRỌN ĐỜI CỦA CÁC LÒ PHẢN ỨNG ĐÃ LẮP ĐẶT HIỆN TẠI

Phải duy trì sản xuất điện hạt nhân hiện có như một phần của cơ cấu năng lượng sạch hơn. Với khoảng 450 lò phản ứng hạt nhân trên thế giới tạo ra hơn 400 GW điện hiện nay, việc tối đa hóa tuổi thọ của các cơ sở đã lắp đặt hiện tại là rất quan trọng.

Theo Hiệp hội Hạt nhân Thế giới (WNA), Mỹ là nhà sản xuất điện hạt nhân lớn nhất thế giới, chiếm hơn 30% sản lượng điện hạt nhân toàn cầu. Do sử dụng năng lượng hạt nhân làm nguồn phát điện, Mỹ đã tránh được hơn 23 giga tấn CO₂ phát thải trong hơn 50 năm qua.

Pháp là nhà sản xuất điện hạt nhân lớn thứ hai, EDF đang vận hành và bảo trì 56 lò phản ứng, và Canada đang đầu tư đáng kể vào dàn lò phản ứng hiện tại. Theo WNA, một trong những dự án năng lượng sạch hơn lớn nhất ở Bắc Mỹ đang được tiến hành ở Ontario, Canada với việc tân trang và kéo dài tuổi thọ tại nhà máy ở Bruce và các nhà máy phát điện hạt nhân Darlington.

Đồng thời, các công ty điện hạt nhân đang phải đối mặt với áp lực ngày càng tăng trong việc giảm chi phí vận hành và bảo trì (O&M) để cạnh tranh tốt hơn với chi phí khí đốt tự nhiên thấp và trợ cấp năng lượng tái tạo. Giảm chi phí O&M với các giải pháp kỹ thuật số, gia hạn giấy phép vận hành nhà máy trọn đời, tăng đầu tư công nghệ và đổi mới nhiên liệu hiệu quả và đáng tin cậy hơn

sẽ được yêu cầu để duy trì các lò phản ứng hạt nhân hiện có, giúp các quốc gia đạt được mục tiêu khử carbon.

Giảm chi phí O&M với các giải pháp kỹ thuật số: Các công ty điện hạt nhân đang phải tìm biện pháp giảm chi phí O&M của dàn lò phản ứng hiện có của họ để duy trì tính cạnh tranh. Kích hoạt hiệu suất ngắt điện tốt nhất trong phân khúc bằng các giải pháp kỹ thuật số là một cách để các nhà máy điện giảm chi phí. Ngoài ra, các nhà lãnh đạo đang phát triển công nghệ thực tế ảo để đào tạo các đội xử lý nhiên liệu trước khi xuất xưởng nhằm cải thiện hiệu suất tại chỗ và hiệu suất cúp điện tổng thể.

Các giải pháp phần mềm để dự đoán tình trạng hoạt động và bảo trì của nhà máy, chẳng hạn như giải pháp Quản lý Hiệu suất Tài sản (APM) của GE, có thể giúp các nhà vận hành nhà máy điện hạt nhân phát hiện các vấn đề tiềm ẩn và nhu cầu bảo trì sớm hơn, cho phép lập kế hoạch ngừng hoạt động tốt hơn. Phần mềm này có thể giúp giảm thời gian chết và tăng hiệu suất sử dụng tài sản, dẫn đến giảm chi phí vận hành và bảo dưỡng tới 3%. Một số nhà điều hành nhà máy hạt nhân lớn đang triển khai phân tích dự đoán và tự động hóa quy trình O&M như một chiến lược duy nhất trong các đơn vị của họ.

Phần mềm phân tích và lập kế hoạch ngừng hoạt động (OPA), do GEH và GE Digital phát triển, tối đa hóa kết quả của toàn bộ quá trình ngừng tiếp nhiên liệu hạt nhân, bao gồm lập kế hoạch, lập lịch trình và thực hiện. Sử dụng công cụ và phân tích dữ liệu toàn diện, nó cho phép các nhóm chức năng chéo xây dựng và thực hiện các chương trình giảm thiểu chi phí ngừng hoạt động, thời gian và tổn thất doanh thu. Phần mềm OPA được phát triển để giải quyết mong muốn của khách hàng trong việc tích hợp tất cả dữ liệu liên quan đến sự cố để cung cấp một biểu mẫu duy nhất theo dõi tiến trình ngừng hoạt động, cảnh báo rủi

ro, tránh các sai lệch so với kế hoạch và giúp giảm tổng thời gian chu kỳ ngừng hoạt động.

Ngoài việc giảm chi phí vận hành của các nhà máy hiện có, GE đã được trao hợp đồng với DOE của Mỹ trong khuôn khổ chương trình Sản xuất điện (ARPA-E) của Cơ quan Năng lượng (ARPA-E) do Cơ quan Quản lý Tài sản Hạt nhân Thông minh (GEMINA) để phát triển các bản sao kỹ thuật số lò phản ứng, chẳng hạn như Humble AI, cho BWRX-300 SMR của GEH, làm tài liệu tham khảo thiết kế, để giảm đáng kể chi phí O&M của thể hệ lò phản ứng tiếp theo. Dự án này là sự hợp tác giữa GE, Phòng thí nghiệm Quốc gia Oak Ridge, Đại học Tennessee ở Knoxville và Exelon. Viện Công nghệ Massachusetts (MIT) cũng đã được trao hợp đồng với US DOE để lắp ráp, xác nhận và thực hiện các bản sao kỹ thuật số lò phản ứng có độ trung thực cao của các hệ thống BWRX-300.

Để tối ưu hóa Gia hạn giấy phép nhà máy trọn đời: Hơn 90% nhà máy điện hạt nhân hiện có ở Mỹ được xây dựng vào những năm 1970 và 1980 với thời hạn giấy phép hoạt động 40 năm.

Hầu như tất cả các lò phản ứng hạt nhân ở Mỹ đã nhận được sự chấp thuận của cơ quan pháp quy để gia hạn giấy phép hoạt động từ 40 năm lên 60 năm. Ngành công nghiệp này đang bắt đầu làn sóng gia hạn giấy phép thứ hai cho thời hạn hoạt động là 80 năm. Việc ủng hộ cho các chính sách mở rộng này ở Mỹ cũng như trên toàn cầu cần phải là một ưu tiên, như là hỗ trợ thông qua các khoản tín dụng không phát thải carbon.

Tăng cường đầu tư công nghệ: Tăng cường đầu tư vào các giải pháp công nghệ mới cho dàn lò hiện có sẽ hỗ trợ đạt được các mục tiêu năng lượng không carbon. Tăng công suất mở rộng (EPU) liên quan đến việc nâng cấp lò phản ứng thường xuyên với việc trang bị thêm turbin hơi nước, dẫn đến tăng lưu lượng hơi và do đó tăng

sản lượng điện. GE ước tính việc tăng lượng nhiệt và trang bị thêm turbin hơi nước điển hình và máy phát điện có thể đạt được tổng sản lượng điện bổ sung lên đến 20% hoặc hơn.

Kể từ đầu những năm 1990 đến nay, chiến dịch tăng cường công suất nhiệt cho các lò phản ứng nước sôi của GE đã dẫn đến việc phát điện thêm tương đương với 3 nhà máy điện hạt nhân 1500 MWe mới.

Việc gia hạn giấy phép hoạt động lên 60 năm và 80 năm sẽ làm tăng đáng kể khả năng hoàn vốn đầu tư vào các nhà máy điện hạt nhân cho các dự án tăng công suất nhiệt này.

GE ước tính thậm chí chỉ cần trang bị thêm một dây chuyền trục turbin hơi nước điển hình mà không cần thay đổi lưu lượng lò phản ứng có thể đạt được thêm 2,5 đến 4% tổng sản lượng điện và kéo dài thời gian giữa các lần ngắt điện thường từ 6-8 năm lên 12 năm. Nếu nâng cấp công nghệ như vậy được áp dụng cho những nhà máy đã hoạt động lâu với tuổi thọ còn lại dài, điều này có thể tăng khả năng sản xuất điện không carbon lên hơn 4000 MW với chi phí đầu tư 1,5-2,5 triệu Euro mỗi MW, thấp hơn đáng kể so với công suất phát điện mới.

Cải tiến nhiên liệu hiệu quả và đáng tin cậy hơn: Cải thiện tính kinh tế của chu trình nhiên liệu và tăng cường an toàn là yếu tố sống còn để tối đa hóa dàn lò hạt nhân hiện có. Global Nuclear Fuel (GNF), một liên doanh do GE đứng đầu với Hitachi, tiếp tục đổi mới các sản phẩm nhiên liệu của mình để có hiệu suất, độ an toàn và tính kinh tế tốt hơn. GNF đóng một vai trò quan trọng trong chương trình Nhiên liệu có khả năng khắc phục hư hỏng (ATF) của DOE Mỹ, một sáng kiến nhằm tạo ra các giải pháp nhiên liệu tiên tiến nhằm cải thiện hiệu suất hoạt động của nhà máy đồng thời nâng cao hơn nữa biên độ an toàn. GNF là công ty đầu tiên thử nghiệm công nghệ

mới IronClad và ARMOR tại một nhà máy hạt nhân đang hoạt động. GNF cũng đang theo đuổi việc làm giàu uranium cao hơn để giảm yêu cầu tải nhiên liệu, giảm khối lượng nhiên liệu đã sử dụng và kéo dài khoảng thời gian tiếp nhiên liệu lên 30-36 tháng.

3. ĐỔI MỚI THỂ HỆ TIẾP THEO CỦA CÔNG NGHỆ ĐIỆN HẠT NHÂN

Đổi mới trong các Lò phản ứng mô-đun nhỏ (Small modular reactor - SMR), lò phản ứng tiên tiến và turbin hơi nước được thiết kế để giảm chi phí và độ phức tạp là rất quan trọng khi các nhà máy mới bước vào giai đoạn lập kế hoạch để đảm bảo một tương lai không carbon với năng lượng hạt nhân.

Các nhà máy điện và chính phủ ở Canada và Mỹ ủng hộ việc thúc đẩy công nghệ nhà máy điện hạt nhân thương mại. Canada đang đầu tư nhiều vào các lò phản ứng hạt nhân hiện có của mình và tăng tốc kế hoạch triển khai SMR ở nhà máy Darlington của OPG, dự kiến đây sẽ là nhà máy đầu tiên của nước này. Tại Mỹ, Chương trình Khí hậu mới của Chính quyền Biden bao gồm các hành động tiếp tục tận dụng việc sản xuất điện carbon thấp và không carbon được cung cấp bởi các nguồn hiện có như hạt nhân, cũng như đầu tư vào các công nghệ quan trọng như lò phản ứng hạt nhân tiên tiến và nhiên liệu hạt nhân tiên tiến.

Giảm chi phí và tiến độ xây dựng, tận dụng các giấy phép công nghệ hiện có, giảm chi phí vận hành, đổi mới nhiên liệu hiệu quả và đáng tin cậy hơn, và tập trung vào quan hệ đối tác chiến lược là chìa khóa để phát triển thế hệ công nghệ hạt nhân tiếp theo.

Giảm chi phí và tiến độ xây dựng: Bằng cách tiếp cận từ thiết kế đến chi phí sẽ thúc đẩy các kỹ thuật xây dựng sáng tạo hoặc các giải pháp công nghệ lò phản ứng tiên tiến, chẳng hạn như SMR,

có thể giảm chi phí mà không ảnh hưởng đến an toàn. Các thiết kế turbin hơi và SMR có thể được chế tạo và lắp ráp trong nhà máy, vận chuyển đến công trường dưới dạng một module, dẫn đến giảm chi phí đầu tư trên mỗi MW.

Thiết kế BWRX-300 SMR của GEH đã làm giảm khoảng 90% khối lượng công việc so với thiết kế lò phản ứng nước sôi, cũng như giảm khoảng 50% vật liệu xây dựng trên mỗi MW so với thiết kế lò phản ứng lớn, giảm đáng kể thời gian và chi phí xây dựng. Các cơ hội khác về chi phí xây dựng và tối ưu hóa tiến độ bao gồm các kỹ thuật xây dựng từ ngành công nghiệp đào hầm và sử dụng các modules hỗn hợp bê tông composite thể hệ thứ hai.

GE cũng có một loạt các thiết kế turbin hơi hạt nhân từ 50-400 MW có thể được chế tạo theo module và xây dựng nhà máy để giảm chi phí và công việc tại chỗ. Ví dụ: turbin hơi nước loại 70+ MW của GE có thể được vận chuyển đến địa điểm lắp ráp hoàn chỉnh dưới dạng một module.

Tận dụng các giấy phép công nghệ hiện có: Tận dụng các giấy phép công nghệ hiện có có thể tiết kiệm đáng kể chi phí và tiến độ, bằng cách loại bỏ nhu cầu kiểm tra lại các thiết kế, vật liệu, thành phần và nhiên liệu đã được phê duyệt. Bằng cách tận dụng chứng chỉ thiết kế ESBWR hiện có, sử dụng thiết kế nhiên liệu GNF2 đã được cấp phép và kiểm chứng, đồng thời kết hợp các thành phần đã được kiểm chứng và chuyên môn về chuỗi cung ứng, GEH's BWRX-300 được xác định để trở thành SMR có rủi ro thấp nhất, cạnh tranh nhất và nhanh nhất trên thị trường. Khoảng 90% các thành phần của nó dựa trên thiết kế GE BWR đã được vận hành.

Ngoài ra, các turbin hơi nước tiêu chuẩn hóa của GE cho SMR dựa trên danh mục công nghiệp và tiện ích hiện có của nó, đã chứng tỏ độ tin cậy và tính linh hoạt cao.

Cải tiến nhiên liệu hiệu quả và đáng tin cậy hơn:

Cung cấp nhiên liệu tái tạo để cải thiện hoạt động của các lò phản ứng module thông thường và nhỏ bằng cách nâng cao nhiên liệu có thể khắc phục hư hỏng và các khái niệm nhiên liệu tiên tiến khác là điều tối quan trọng. Công nghệ GNF đã và đang cải thiện tính kinh tế của chu trình nhiên liệu trên cơ sở được lắp đặt và GNF đang tìm cách tận dụng những cải tiến về nhiên liệu như vậy để nâng cao hơn nữa hiệu suất và độ an toàn mong đợi của thiết kế GEH's BWRX-300 SMR.

Giảm chi phí vận hành: BWRX-300 được thiết kế để giảm chi phí vận hành. Chi phí vận hành và bảo dưỡng tổng thể dự kiến sẽ thấp hơn 40% trên mỗi MW so với các lò phản ứng lớn hiện có. Việc ngừng tiếp nhiên liệu được tối ưu hóa bằng sự đơn giản hóa trong thiết kế, kết hợp các phương pháp tốt nhất và đổi mới, chẳng hạn như thực tế ảo, bản sao kỹ thuật số lò phản ứng và trí tuệ nhân tạo, đồng thời kết hợp với một dàn tiếp cận dịch vụ tập trung để tối ưu hóa hơn nữa hoạt động và bảo trì nhà máy.

Tập trung vào quan hệ đối tác chiến lược: Sự đổi mới được thúc đẩy thông qua các quan hệ đối tác chiến lược trong toàn ngành sẽ giúp đẩy nhanh việc phát triển và triển khai các công nghệ điện hạt nhân thế hệ tiếp theo. Như GEH đang hợp tác với Synthos Green Energy để tìm kiếm cơ hội cho các SMR ở Ba Lan. GEH cũng đã ký một thỏa thuận hợp tác với Fermi Energia OÜ để khám phá khả năng triển khai BWRX-300 ở Estonia. GEH cũng tiếp tục hợp tác với một số công ty điện lực của Mỹ, bao gồm Tennessee Valley Authority (TVA), Dominion Energy và Exelon, để theo đuổi khả năng triển khai BWRX-300.

GE rất quan tâm đến các lò phản ứng tiên tiến thế hệ IV, nhận ra rằng cần phải làm thêm về nhiên liệu, phát triển chuỗi cung ứng và cấp phép theo quy định. Chương trình Trình diễn Lò phản ứng tiên tiến của DOE Mỹ (ARDP) đang giải quyết

một số thách thức này với TerraPower, GEH và Bechtel trình diễn công nghệ thế hệ IV với hệ thống năng lượng và lò phản ứng Natrium™. Lò phản ứng nhanh natri, công nghệ Natrium™ cung cấp nguồn phát điện sạch hơn, đáng tin cậy và khả năng lưu trữ điện linh hoạt để hoạt động song song với các nguồn phát điện khác, chẳng hạn như gió và năng lượng mặt trời.

4. TĂNG TỐC CÁC DỰ ÁN NHÀ MÁY ĐIỆN HẠT NHÂN QUY MÔ LỚN MỚI

Nhiều quốc gia đang tìm cách mở rộng thêm các dự án nhà máy điện hạt nhân quy mô lớn mới để đạt được mục tiêu phát thải carbon của họ. GE dự báo nhu cầu các nhà máy điện hạt nhân mới khoảng 10 GW một năm trong thập kỷ tới.

Các quốc gia đã có các lò phản ứng hạt nhân, như Anh, Pháp và Trung Quốc, tiếp tục đầu tư vào các dự án nhà máy điện hạt nhân quy mô lớn mới. Theo WNA, khoảng 20% điện năng của Anh là từ năng lượng hạt nhân, tuy nhiên, tất cả các nhà máy hạt nhân hiện đang vận hành của Anh, ngoại trừ Sizewell B, sẽ ngừng hoạt động vào năm 2030, khiến nguồn điện thay thế ngày càng trở nên cấp thiết. Việc khởi công xây dựng đã bắt đầu trên cơ sở một thế hệ nhà máy hạt nhân mới tại Hinkley Point C, sau khi hoàn thành và khởi động hai tổ máy, dự kiến sẽ sản xuất 3,2 GW điện năng, phát điện lên lưới điện trong 60 năm tới. Các kế hoạch cho Sizewell C đang được phát triển và các giải pháp tài chính đang được xác định.

Tại Pháp, EDF đang thăm dò thay thế các lò phản ứng cũ với công nghệ thế hệ đầu tiên bằng ba cặp lò phản ứng EPR2 hiện đại, mạnh hơn, tùy thuộc vào quyết định cuối cùng của Chính phủ Pháp.

Trong tương lai, các quốc gia mới, như Ba Lan và Ả Rập Xê-út, đang phát triển kế hoạch bổ sung năng lượng hạt nhân để đa dạng hóa cơ cấu năng lượng của họ với các nguồn phát điện sạch hơn.

Theo WNA, Ba Lan có kế hoạch thoát khỏi sự phụ thuộc nặng nề vào than đá và bổ sung năng lượng hạt nhân để đa dạng hóa năng lượng của mình, bắt đầu từ khoảng năm 2033. Ả Rập Xê-út có kế hoạch xây dựng hai lò phản ứng điện hạt nhân lớn, dự kiến công suất điện hạt nhân mới lên đến 17 GW vào năm 2040. Nước này cũng đang xem xét sử dụng các lò phản ứng nhỏ để khử muối trong nước biển.

Cần tiếp tục đổi mới và hợp tác trong toàn ngành để giảm chi phí phát triển, giảm thiểu sự chậm trễ và tăng cường đầu tư công nghệ để đẩy nhanh các dự án nhà máy điện hạt nhân quy mô lớn mới.

Giảm chi phí phát triển: Triển khai các kỹ thuật xây dựng đã được kiểm chứng sẽ giảm chi phí đáng kể. Nên thiết lập và sử dụng nhất quán các tiêu chuẩn toàn cầu, các thiết kế trùng khớp. Khách hàng nên xem xét phương pháp tiếp cận các lò phản ứng bằng cách xây dựng nhiều tổ máy giống hệt nhau, ở đâu và khi nào có thể. Akkuyu, nhà máy điện hạt nhân đầu tiên của Thổ Nhĩ Kỳ gồm có 4 tổ máy giống hệt nhau trang bị với turbine hơi Arabelle của GE. NPCIL của Ấn Độ có kế hoạch phát triển một cụm lò gồm ít nhất 12 lò hạt nhân với lò phản ứng PHWR-700 của nước này. Cách tiếp cận này có thể giúp giảm chi phí và thời gian phát triển ở cả hai quốc gia.

Giảm thiểu sự chậm trễ: Cần có sự hỗ trợ của chính phủ để tháo gỡ các nút thắt trong quá trình phê duyệt thiết kế và pháp quy, cũng như hỗ trợ các khuôn khổ tài chính tạo điều kiện thuận lợi cho việc tiếp cận tài chính để giảm thời gian phát triển và rủi ro.

Các quy trình và phê duyệt phải được sắp xếp hợp lý để giảm thiểu sự chậm trễ.

Một cơ hội quan trọng khác là khuyến khích hợp tác quốc tế giữa các cơ quan pháp quy hạt nhân quốc gia và quốc tế đa dạng để tạo ra các thiết kế đã được phê duyệt cho nhiều quốc gia hoặc vùng

lãnh thổ, loại bỏ sự trùng lặp công sức và chi phí không cần thiết ở mức độ khả thi.

Tăng hiệu suất và độ tin cậy: Đầu tư vào công nghệ hiện đại nhất, chẳng hạn như lò phản ứng GEH và turbin hơi nước GE, để làm cho các nhà máy hoạt động tin cậy và hiệu quả hơn là rất quan trọng. Với một dàn các lò có công suất 53 GW trên toàn cầu được trang bị turbin hơi nước Arabelle của GE, tương thích với tất cả các lò phản ứng cỡ lớn và có thể tạo ra sản lượng điện nhiều hơn 2% so với các cấu hình turbin trước đây trong khi đem lại 99,96% độ tin cậy. Ngày nay, turbin hơi nước mạnh nhất thế giới đang hoạt động tại nhà máy điện hạt nhân Taishan của Trung Quốc, tạo ra sản lượng điện 1750 MW trên mỗi tổ máy. Hai tổ máy Taishan có thể tạo ra 3,5 GW điện, như vậy 21 triệu tấn CO₂ không phát thải mỗi năm. Nhà máy Hinkley Point C của Anh dự kiến sẽ phá vỡ kỷ lục này; turbin hơi nước cho các tổ máy được trang bị những cánh turbin 75 inch ở giai đoạn cuối, tạo thêm 20 MW trên mỗi tổ máy.

5. KHUYẾN NGHỊ CÁC CHÍNH SÁCH ĐỂ ĐẠT ĐƯỢC GIẢM CO₂

Một loạt các công nghệ là rất cần thiết để đáp ứng các mục tiêu của Thỏa thuận Paris và đạt được các cam kết giảm thiểu CO₂ cho từng quốc gia.

Mỗi quốc gia có những hoàn cảnh và ràng buộc riêng có thể là về lịch sử, địa lý hoặc chính trị. GE tin rằng các nhà hoạch định chính sách phải xử lý các hệ thống phát điện đang có phát thải cao bằng yêu cầu khẩn cấp áp dụng các công nghệ mới ngay từ bây giờ. Các quốc gia phải xem xét cả các công nghệ carbon thấp và không phát thải hiện có và các công nghệ mới sáng tạo, các giải pháp để đảm bảo quá trình chuyển đổi năng lượng sạch hơn trên toàn thế giới.

Các chính phủ phải coi điện hạt nhân là một lựa chọn sản xuất không phát thải đáng tin cậy, đồng

thời lập kế hoạch cho quá trình chuyển đổi và các hệ thống năng lượng trong tương lai của họ. Để duy trì phương án phát điện hạt nhân, GE hỗ trợ các chính sách:

- Đánh giá các nguồn năng lượng carbon thấp và không có khí thải, chẳng hạn như sản xuất điện hạt nhân, để giảm phát thải khí nhà kính.
- Nắm bắt vai trò quan trọng của các nhà máy điện hạt nhân hiện tại và trong tương lai trong cơ cấu năng lượng để cung cấp công suất điện chạy nền đáng tin cậy.
- Tài trợ cho các dự án nghiên cứu, phát triển và trình diễn để khuyến khích sớm áp dụng các công nghệ sạch hơn, chẳng hạn như các lò phản ứng tiên tiến và SMR.
- Tạo khuôn khổ tài chính để tạo điều kiện tiếp cận vốn cho các nhà máy hạt nhân mới và hiện tại với chi phí phù hợp với hồ sơ rủi ro và thời gian thực hiện của các dự án hạt nhân.
- Giáo huấn công chúng về điện hạt nhân như một công nghệ đáng tin cậy và an toàn không phát thải.
- Bảo vệ và phát triển lực lượng lao động được đào tạo tốt để duy trì và xây dựng thế hệ tiếp theo của các nhà máy điện hạt nhân tương lai.
- Đảm bảo quy trình cấp phép cho phép hoạt động an toàn và không gây ra sự tăng hoặc chậm trễ không cần thiết về chi phí.
- Thúc đẩy việc áp dụng thương mại các công nghệ điện hạt nhân ngoài sản xuất điện, bao gồm nhiệt công nghiệp, sưởi ấm khu vực, khử muối trong nước, và điện phân để tạo ra hydro sạch hơn.
- Đầu tư khẩn cấp vào sự kết hợp của hạt nhân, năng lượng tái tạo, lưu trữ năng lượng, turbin khí chu trình hỗn hợp thu giữ carbon và hydro.
- Vận động cho các chính sách phù hợp với Thỏa

thuận Paris và các mục tiêu của Thỏa thuận này nhằm giảm lượng khí thải CO₂ đồng thời đảm bảo các nguồn điện an toàn, giá cả phải chăng và đáng tin cậy.

- Tăng tài trợ cho nghiên cứu, phát triển và triển khai để đổi mới và áp dụng các công nghệ năng lượng sạch hơn.
- Thúc đẩy hợp tác quốc tế và lưu chuyển tự do hàng hóa và dịch vụ phù hợp với Tổ chức Thương mại Thế giới.
- Khuyến khích hợp tác liên ngành để giảm phát thải CO₂, bao gồm cung cấp hydro được sản xuất từ năng lượng không phát thải.

ÁP DỤNG PHƯƠNG PHÁP ƯỚC LƯỢNG TỐT NHẤT KẾT HỢP PHÂN TÍCH ĐỘ BẤT ĐỊNH VÀ PHƯƠNG PHÁP THẬN TRỌNG ĐỂ MÔ PHỎNG SỰ CỐ LB-LOCA CHO Lò VVER-1200/491 SỬ DỤNG RELAP5

Hoàng Tân Hưng, Võ Thị Hương, Bùi Thị Hoa, Hoàng Minh Giang
Viện khoa học và kỹ thuật hạt nhân

Phương pháp ước lượng tốt nhất và thận trọng là hai phương pháp thường được dùng trong phân tích an toàn tất định cho nhà máy điện hạt nhân. Thông thường, các kết quả từ phương pháp ước lượng tốt nhất thường phải được bao bởi đường kết quả có được từ phương pháp thận trọng (IAEA Specific Safety Guide - No SSG-2). Trong báo cáo phân tích an toàn (SAR) của Liên Bang Nga đã trình bày kết quả phân tích sự cố vỡ lớn (LB-LOCA) cho lò VVER-1200/V491 sử dụng chương trình tính toán DINAMIKA-97 với các giả thiết thận trọng về sự sẵn sàng của các hệ thống cũng như các điều kiện đầu.

Nghiên cứu này thực hiện phân tích an toàn thủy nhiệt độc lập cho bài toán LB-LOCA trên lò phản ứng VVER-1200/V491 và đánh giá sự phù hợp của các kết quả của phương pháp thận trọng với khuyến cáo của IAEA, cả hai phương pháp ước lượng tốt nhất và thận trọng sử dụng chương trình RELAP5/MOD 3.3 đều được áp dụng. Nhiệt độ đỉnh của vỏ thanh nhiên liệu (PCT) được xác định như là hình ảnh đặc trưng để phân tích (FOM). Đánh giá độ nhạy và độ bất định cũng được thực hiện để xác định thông số ảnh hưởng nhất tới PCT. Các kết quả tính toán sử dụng RELAP5 cho thấy sự phù hợp với các kết quả được trình bày trong báo cáo SAR. Bên cạnh đó, kết quả tính toán cũng chỉ ra rằng đường bao trên của độ bất định tính toán dựa trên phương pháp ước lượng tốt nhất không hoàn toàn được bao bởi kết quả tính được theo phương pháp thận trọng khi sử dụng RELAP5 và DINAMIKA-97.

Các kết quả phân tích độ nhạy chỉ ra rằng các thông số như công suất sau khi dừng lò, hệ số đỉnh công suất, nhiệt độ ban đầu của chất tải nhiệt từ các bình tích áp và kích thước của khe giữa nhiên liệu và lớp vỏ là các thông số tác động nhiều nhất lên PCT.

1. TỔNG QUAN

Cho đến nay, việc thực hiện phân tích an toàn tất định cho nhà máy điện hạt nhân chủ yếu được phân ra làm hai cách tiếp cận chính là ước lượng tốt nhất và thận trọng. Việc phân loại dựa trên cách tiếp cận này dựa trên lựa chọn của các yếu tố

là (a), chương trình tính toán, (b) sự sẵn sàng của các hệ thống và (c) là các điều kiện đầu và điều kiện biên như được trình bày trong bảng 1 [1]. Cách tiếp cận thận trọng có thể đạt được khi sử dụng phương án 1 và 2 [1]. Phương án 3 được áp dụng bằng cách sử dụng ước lượng tốt nhất cộng với độ bất định tính toán (BEPU). Cách tiếp cận

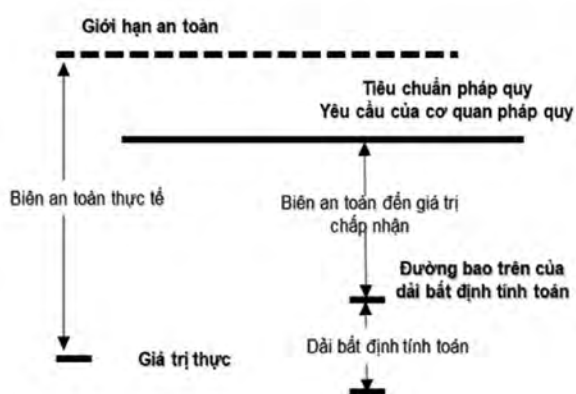
thận trọng sẽ bao hàm các độ bất định, và do đó, các kết quả tính toán từ phương pháp này có thể dẫn đến các kết quả không phù hợp với các tiêu chí chấp nhận. Chương trình tính toán và dữ liệu ước lượng tốt nhất cần được sử dụng để phù hợp với mục tiêu của phân tích an toàn xác suất với việc cung cấp các kết quả thực. Theo hướng dẫn an toàn của IAEA (No-SSG-2), các kết quả đưa ra bởi cách tiếp cận ước lượng tốt nhất thường được bao bởi các kết quả của cách tiếp cận thận trọng như được mô tả trong hình 1. Do đó, để dự đoán chính xác hơn về các kết quả tính toán, trong bộ luật của Hoa Kỳ (CFR) 50.46 [2] cho phép sử dụng phương án 3 hoặc 1 được quy định trong phụ lục K của CFR, mục 10, phần 50.

Báo cáo phân tích an toàn (SAR) của cho lò phản ứng VVER – 1200/V491 sử dụng gói chương trình tính toán TRAP – KC [4] cho phân tích an toàn và sử dụng chương trình DINAMIKA-97 cho thiết kế và phân tích thủy nhiệt trong của lò phản ứng trong trường hợp sự cố. Trong báo cáo

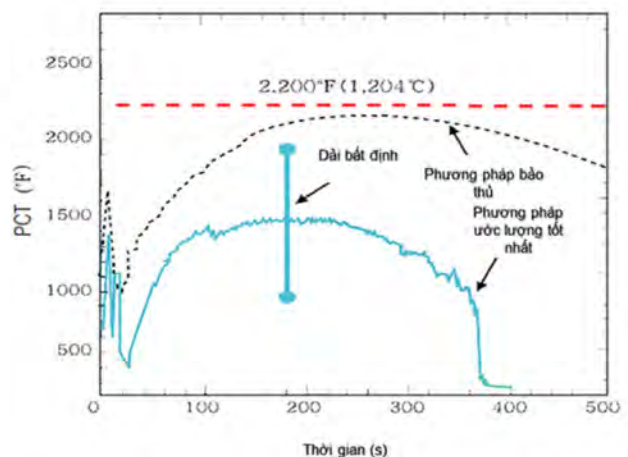
này sử dụng các giả thiết về sự sẵn sàng của các hệ thống, các điều kiện đầu và điều kiện biên thận trọng. Vì vậy, nghiên cứu này sẽ thực hiện phân tích an toàn thủy nhiệt độc lập cho sự cố vỡ lớn (LB_LOCA) cho lò phản ứng VVER – 1200/V491 để khảo sát so sánh với kết quả của báo cáo SAR với hai phương án được gọi theo hướng dẫn của IAEA, với chương trình tính toán RELAP5 là: (a) các giả thiết thận trọng với sự sẵn sàng của các hệ thống, các điều kiện đầu và điều kiện biên, (b) giả thiết thận trọng với sự sẵn sàng của các hệ thống và các điều kiện đầu, điều kiện biên thực cộng với độ bất định của các thông số đó. Phương án đầu tiên được gọi là phương án cơ bản, giống với cách phân tích trong báo cáo SAR và thay chương trình tính toán là RELAP5. Kết quả từ phương án này sẽ được so sánh với kết quả tính toán trong báo cáo SAR nhằm khảo sát sự đúng đắn của mô hình và kết quả tính toán. Phương án số hai sử dụng cách tiếp cận ước lượng tốt nhất cộng với độ bất định sẽ đưa ra kết quả tính toán ước lượng tốt

Bảng 1. Các lựa chọn chính cho phân tích an toàn tất định

Phương án	Loại chương trình tính toán	Sự sẵn sàng của các hệ thống	Các điều kiện đầu và điều kiện biên
1	Thận trọng	Giả thiết thận trọng	Dữ liệu đầu vào thận trọng
2	Ước lượng tốt nhất	Giả thiết thận trọng	Dữ liệu đầu vào thận trọng
3	Ước lượng tốt nhất	Giả thiết thận trọng	Dữ liệu đầu vào thực cộng với độ bất định



(a) Minh họa biên an toàn



(b) Kết quả so sánh giữa ước lượng tốt nhất và thận trọng

Hình 1. So sánh giữa cách tiếp cận ước lượng tốt nhất và thận trọng [3]

nhất cùng với dải bất định. Cả hai kết quả này có thể dùng để so sánh với nhau để xác định và định lượng rằng các yếu tố bất định có được bao bởi các điều kiện thận trọng hay không. Để nghiên cứu bằng phương án BEPU, diễn biến thay đổi của nhiệt độ thanh nhiên liệu được lựa chọn làm thông số đánh giá. Phân tích độ bất định dựa trên điều kiện đầu vào thực cộng với đánh giá độ bất định sử dụng phương pháp được phát triển bởi GRS và đánh giá độ nhạy cũng đồng thời được thực hiện để xác định các thông số ảnh hưởng nhất tới nhiệt độ vỏ bọc thanh nhiên liệu. Đường bao trên của phân tích bất định nhiệt độ vỏ bọc thanh nhiên liệu tính toán bởi RELAP5 sẽ được so sánh với kết quả trong báo cáo SAR để xác nhận sự phù hợp kết quả cũn như các yêu cầu về an toàn của IAEA.

2. CÁC GIẢ THIẾT VÀ MÔ HÌNH MÔ PHÒNG

RELAP5 là chương trình tính toán thủy nhiệt ước lượng tốt nhất được phát triển bởi phòng thí nghiệm quốc gia Idaho dùng để phân tích chuyển tiếp và tai nạn đối với lò phản ứng hạt

nhân. Trong nghiên cứu này, mô hình ước lượng tốt nhất của lò phản ứng VVER – 1200 được xây dựng bằng chương tính toán RELAP. Bằng việc sử dụng các dữ liệu tham khảo từ báo cáo phân tích khả thi [4].

Mô phỏng trạng thái ổn định của lò phản ứng VVER -1200/V491 được thực hiện để xác minh tính đúng đắn của mô hình bằng cách so sánh với các thông số thiết kế chính ở trạng thái ổn định trong báo cáo SAR trước khi thực hiện tính toán chuyển tiếp. Kết quả so sánh giữa giá trị thiết kế và giá trị mô phỏng được trình bày trong bảng 2. Có thể thấy rằng độ lệch giữa hai kết quả thu được phần lớn nhỏ hơn 5% và chỉ có mức nước trong bình sinh hơi có độ lệch cao hơn (6.67%). Do đó, độ chính xác của mô phỏng lò phản ứng VVER -1200 là nhỏ và có thể chấp nhận được.

Sau khi xác minh được độ chính xác của mô hình mô phỏng lò phản ứng VVER – 1200 sử dụng chương trình RELAP5 là chấp nhận được, nhóm nghiên cứu thực hiện tính toán với tai nạn LB - LOCA với cả hai hai phương án đã được lựa chọn. Các giả thiết về hai phương án tính toán được trình bày phía dưới.

Bảng 2. So sánh các thông số chính ở trạng thái ổn định

Thông số	Giá trị thiết kế [4,9,6]	Giá trị tính toán	Độ lệch (%)
Công suất lò phản ứng, MW	3200	3200	0.00%
Áp suất lõi ra vùng hoạt, MPa	16.2	16.22	0.12%
Nhiệt độ lõi vào vùng hoạt, °K	571	571.06	0.01%
Nhiệt độ lõi ra vùng hoạt, °K	601	602.3	0.22%
Chênh lệch áp suất khí qua vùng hoạt, MPa	0.147	0.152	3.40%
Tốc độ dòng chảy trung bình qua vùng hoạt, m/s	5.70	5.71	0.18%
Lưu lượng qua lò phản ứng, m ³ /h	88000	86168	2.08%
Mức nước trong bình sinh hơi, m	2.7 ± 0.05	2.52	6.67%
Mức nước bình điều áp, m	8.17	8.25	0.98%
Áp suất lõi ra bình sinh hơi, MPa	7.0	7.1	1.43%

2.1 Các giả thiết cho trường hợp cơ bản

Trong nghiên cứu, một kịch bản cho sự cố LB –

LOCA của lò phản ứng VVER – 1200/V491 được trình bày. Sự kiện khởi phát của tai nạn là ống

dẫn chính với đường kính 850 mm bị vỡ phía lối vào vùng hoạt kết hợp cùng với mất điện.

Trong trường hợp cơ bản, các điều kiện đầu của lò phản ứng và kịch bản tai nạn được lựa chọn với các giải thiết bảo thủ về hệ thống làm mát vùng hoạt khẩn cấp. Ví dụ, công suất nhiệt lò phản ứng

sẽ được giả định là 104 %, vì vậy công suất khi đưa vào phân tích là 3328 MW thay cho 3200 MW là giá trị công suất danh định (thực) của nhà máy. Theo tài liệu tham khảo số [5], các thông số đầu vào thận trọng và giá trị thực được liệt kê trong bảng 3.

Bảng 3. Các thông số đầu vào chính cho giả thiết thận trọng và điều kiện thực

Thông số	Giả thiết thận trọng	Thông số thiết kế
Công suất lò, MW	3328	3200
Lưu lượng chất tải nhiệt, m ³ /h	85000	88000
Áp suất lối ra vùng hoạt, MPa	16.5	16.2
Nhiệt độ lối vào vùng hoạt, °C	300.2	298.2
Áp suất bộ gom hơi, MPa	7.22	7.0

Tính hiệu đập lò đầu tiên được sinh ra do các điều kiện “có nhiều hơn hai bơm tuần hoàn bị ngắt do mất điện trong khi công suất lò phản ứng lớn hơn 75% công suất danh định”. Tín hiệu đập lò thúc hai sinh ra bởi điều kiện “áp suất trong vùng hoạt nhỏ hơn 15.2 MPa khi công suất lò phản ứng lớn hơn 75% công suất danh định”. Tuy nhiên, hệ thống các thanh điều khiển sẽ bắt đầu di chuyển bị chậm hơn 1.5 giây sau tín hiệu đập lò thứ hai (1.0 giây để sinh ra tín hiệu và 0.5 giây để truyền tín hiệu qua mạch).

Trong đây cũng giả thiết rằng một máy phát diesel (DG) đang sửa chữa, và một máy phát DG khác bị lỗi sai hỏng đơn. Vì vậy, chỉ có hai kênh của hệ thống làm mát vùng hoạt khẩn cấp (ECCS) hoạt động được. Thêm nữa, do hai DG không hoạt động, vì vậy nên một bể chứa ECCS cũng không hoạt động dẫn đến không thể cung cấp chất tải nhiệt đến bể ngưng và bể giảm áp của lò phản ứng. Việc khởi động máy phát DG được giả thiết là mất 40s trước khi có thể cung cấp dung dịch axit boric đến các bơm ECCS vào vòng sơ cấp.

2.2. Các giải thiết cho trường hợp BEPU

Các giá trị thiết kế cũng như điều kiện đầu và

điều kiện biên cho trường hợp này được đưa ra trong bảng 4. Trình tự chuỗi sự kiện của kịch bản sự cố LB – LOCA được giả thiết cũng giống như trường hợp cơ bản đã trình bày ở trên.

Để nghiên cứu với trường hợp BEPU, nhiệt độ của vỏ thanh nhiên liệu được lựa chọn để đánh giá. Phân tích độ bất định dựa trên các dữ liệu đầu vào thực và cộng với đánh giá độ bất định dựa trên phương pháp của GRS [7] và đánh giá độ nhạy cũng được thực hiện để xác định các thông số ảnh hưởng nhất đến nhiệt độ vỏ bọc thanh nhiên liệu.

Các thông số quan trọng tiềm năng được lấy từ dự án BEMUSE cho lò phản ứng Zion [6] vốn là một lò phản ứng áp lực điển hình. Danh sách 18 thông số với độ bất định cùng với dạng phân bố của mỗi thông số dựa trên kết quả dự án BEMUSE được trình bày trong bảng 4.

Khi áp dụng phương pháp GRS [7], số lần tính toán được thực hiện bằng cách thay đổi đồng thời tất cả các tham số đầu bất định đầu vào dựa theo phân bố của các tham số này. Vì vậy, trong nghiên cứu đã thực hiện 100 lần tính toán để đảm bảo giới hạn dung sai hai bên (95%/95%).

Bảng 4. Danh sách 18 tham số với dải bất định và hàm phân bố được lựa chọn cho phân tích

STT	Thông số	Dải bất định	Dạng phân bố
1	Áp suất nhà lò (P)	(0.85; 1.15)	Phân bố đều
2	Công suất vùng hoạt ban đầu	(0.98; 1.02)	Phân bố chuẩn
3	Hệ số đỉnh (Công suất của thanh nhiên liệu nóng nhất)	(0.95; 1.05)	Phân bố chuẩn
4	Kích thước khe giữa nhiên liệu và vỏ bọc (toàn lò trừ thanh nhiên liệu nóng nhất)	(0.8; 1.2)	Phân bố chuẩn
5	Kích thước khe giữa nhiên liệu và vỏ bọc (Thanh nhiên liệu nóng nhất)	(0.8; 1.2)	Phân bố chuẩn
6	Công suất sau đập lò	(0.92; 1.080)	Phân bố chuẩn
7	Độ dẫn nhiệt của UO ₂	(0.9, 1.1) nếu $T_{\text{nhiên liệu}} < 2000 \text{ K}$ (0.8, 1.2) nếu $T_{\text{nhiên liệu}} > 2000 \text{ K}$	Phân bố chuẩn
8	Nhiệt dung riêng UO ₂	(0.98, 1.02) nếu $T_{\text{nhiên liệu}} < 1800 \text{ K}$ (0.87, 1.13) nếu $T_{\text{nhiên liệu}} > 1800 \text{ K}$	Phân bố chuẩn
9	Tốc độ quay của bơm tuần hoàn sau khi tai nạn của các nhánh không bị vỡ	(0.98; 1.02)	Phân bố chuẩn
10	Tốc độ quay của bơm tuần hoàn sau khi tai nạn của nhánh bị vỡ	(0.9; 1.1)	Phân bố chuẩn
11	Áp suất ban đầu của bình tích áp	(-0.2; +0.2) MPa	Phân bố chuẩn
12	Hệ số cản của đường nối bình tích áp	(0.5; 2)	Phân bố Log-normal
13	Nhiệt độ ban đầu của bình tích áp	(-10; +10) °C	Phân bố chuẩn
14	Lưu lượng của hệ thống bơm nước thấp áp (LPIS)	(0.95; 1.05)	Phân bố chuẩn
15	Mức nước ban đầu của bình điều áp	(-10; +10) cm	Phân bố chuẩn
16	Áp suất ban đầu của bình điều áp	(-0.1; +0.1) MPa	Phân bố chuẩn
17	Hệ số cản của đường dâng bình điều áp	(0.5; 2)	Phân bố Log-normal
18	Lưu lượng ban đầu của các nhánh không bị vỡ (vòng sơ cấp)	(0.96; 1.04)	Phân bố chuẩn

3. CÁC KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Diễn tiến tai nạn LB – LOCA trong trường hợp cơ bản

Khi tai nạn LB – LOCA xảy ra, một lượng lớn

chất tải nhiệt trong vòng sơ cấp sẽ bị thoát ra nhà lò thông qua vết vỡ, vùng hoạt lò phản ứng sẽ bị khô cạn một cách nhanh chóng và áp suất vòng sơ cấp giảm mạnh đột ngột. Tín hiệu đập lò đầu tiên được ghi nhận sau 0.036 s nhưng được giả định

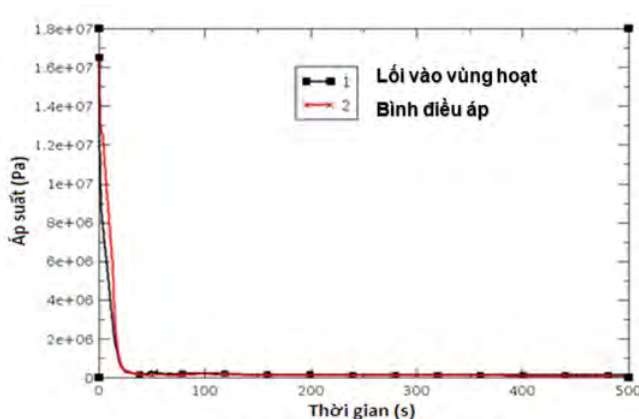
bị bỏ qua, hệ thống ECCS nhận tín hiệu kích hoạt tại thời điểm 0.04 s nhưng trì hoãn đến 40s từ khi nhà máy bị mất điện, van hơi chính bị ngắt. Tại thời điểm 1.54 s, tín hiệu đập lò thứ hai được kích hoạt và các thanh điều khiển bắt đầu rơi xuống vùng hoạt sau 1.9 s. Hệ thống ECCS thụ động bắt đầu đưa nước hòa tan axit boric vào thùng lò khi áp suất nhỏ hơn 5.9 MPa tại thời điểm 6.6 s hệ thống này hết nước tại 64.8 s. Toàn bộ quá trình tính toán được thực hiện là 500 s.

Trình tự chuỗi các sự kiện xảy ra sau tai nạn của trường hợp cơ bản tương tự với kết quả đưa ra trong báo cáo SAR[4] được trình bày trong bảng

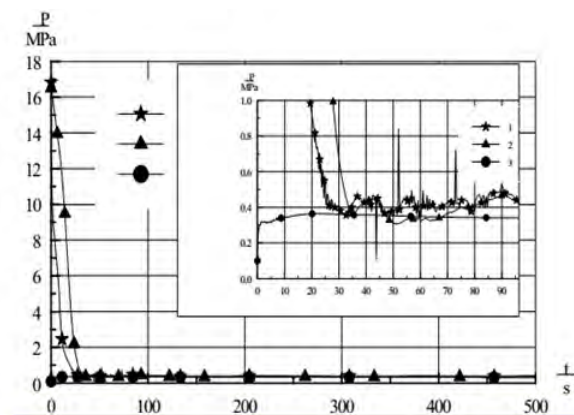
5. So sánh giữa kết quả tính toán và kết quả được trình bày trong SAR được trình bày trong hình 3 – 6. Kết quả chỉ ra trong hình 3 cho thấy áp suất của hệ sơ cấp giảm mạnh. Hình 4 so sánh sự thay đổi nhiệt độ của vỏ thanh nhiên liệu cho thấy có sự khác biệt nhỏ giữa tính toán của nhóm nghiên cứu và báo cáo SAR do những sự khác biệt về thời gian bắt đầu kích hoạt cũng như tốc độ bơm nước làm mát của hệ thống ECCS như được cung cấp trong hình 5 và hình 6. Tuy nhiên, sự khác biệt này có thể chấp nhận được do toàn bộ quá trình diễn tiến tai nạn gần như không bị ảnh hưởng.

Bảng 5. So sánh trình tự chuỗi sự kiện trong trường hợp cơ bản và báo cáo SAR

Sự kiện (tính theo giây)	Base case	SAR [2]
Bắt đầu LOCA	0.000	0.000
Tín hiệu đập lò đầu tiên	0.040	0.036
Điểm đặt kích hoạt bơm ECCS	0.040	0.040
Van cấp hơi chính đóng	0.700	0.600
Tín hiệu đập lò thứ hai	1.605	1.536
Các thanh điều khiển bắt đầu rơi xuống (tín hiệu thứ hai)	2.000	1.900
Bể chứa ECCS bắt đầu đưa nước chứa axit boric	7.200	6.600
Bơm ECCS bắt đầu bơm nước chứa axit boric	40.201	40.000
Kết thúc bơm nước chứa axit boric	65.600	64.800
Kết thúc tính toán	500.000	500.000

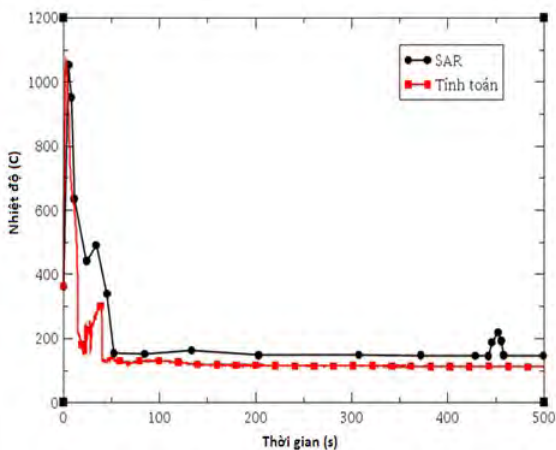


a) Áp suất tính toán

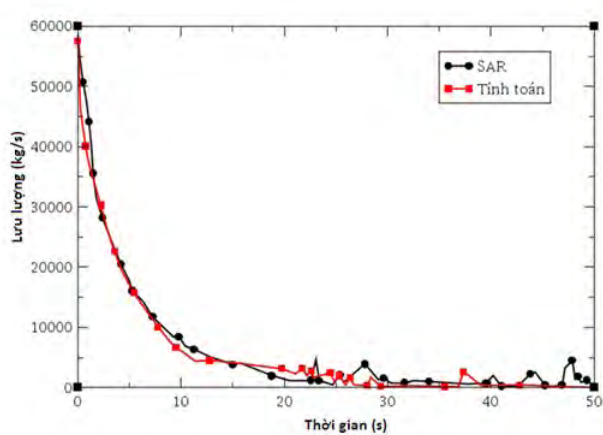


b) Áp suất trong SAR

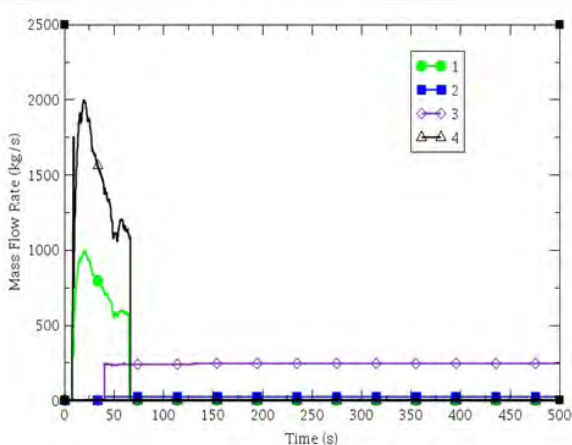
Hình 3. Áp suất hệ sơ cấp



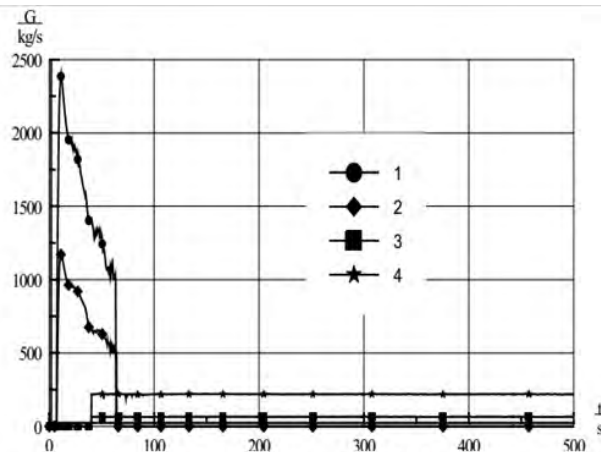
Hình 4. Nhiệt độ vỏ bọc thanh nhiên liệu



Hình 5. Lưu lượng chất tải nhiệt qua vết vỡ



(a) Kết quả tính toán



(b) Kết quả trong SAR ([4])

Hình 6. Lưu lượng chất tải nhiệt từ hệ thống ECCS đến lò phản ứng

1-Từ ACC vào khe biên; 2- Từ HPP đến nhánh số 3;

3-Từ LPP tới nhánh số 3; 4 – Từ ACC qua DVI

3.2. Phân tích nhiệt độ vỏ thanh nhiên liệu trong trường hợp BEPU

3.2.1. Phân tích độ bất định

Để đánh giá độ bất định, một trường hợp tham chiếu của nhiệt độ thanh nhiên liệu thu được bằng cách sử dụng giả định thận trọng về sự sẵn sàng của hệ thống và dữ liệu thực của điều kiện đầu, điều kiện biên. Sau đó, tính toán độ bất định được thực hiện trên 100 lần chạy tính toán để đạt được giới hạn dung sai hai bên (95%/95%) từ trường hợp tham chiếu.

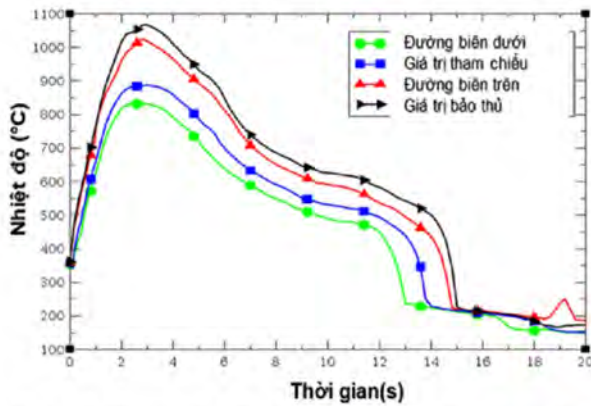
Hình 7 và hình 8 cho thấy một số tính toán thay đổi nhiệt độ vỏ bọc thanh nhiên liệu trong 20s

và 200 s kể từ sự kiện khởi phát. Các kết quả tính toán của trường hợp tham chiếu, đường bao trên và đường bao dưới đối với tính toán sự bất định và tính toán với các giả thiết bảo thủ cho sự sẵn sàng của hệ thống, cũng như điều kiện đầu và điều kiện biên. Có thể thấy rằng, trong 14 s đầu tiên từ sự kiện khởi phát, đường tính toán bảo thủ đối với nhiệt độ vỏ thanh nhiên liệu bao được toàn bộ các kết quả của các trường hợp khác với giá trị nhiệt độ đỉnh của vỏ bọc thanh nhiên liệu không vượt quá tiêu chí chấp nhận là 1200°C (hình 7). Tuy nhiên, có thể thấy rằng sau 50s, đường kết quả tính toán bảo thủ không còn bao được đường bao trên như mong đợi.

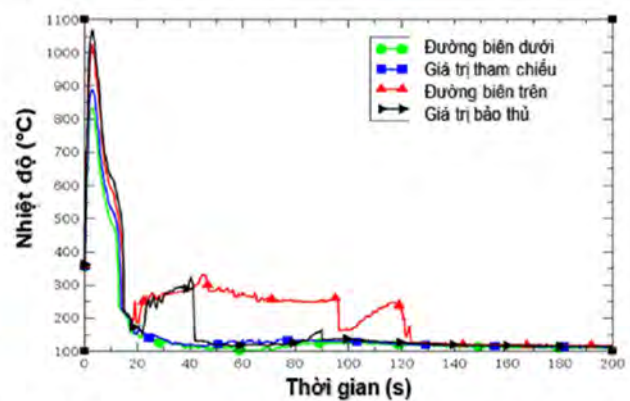
So sánh giữa kết quả tính toán và kết quả từ báo cáo SAR cho cùng một kịch bản LB – LOCA được đưa ra trong hình 9. Có thể thấy rằng, các kết quả cho thấy sự phù hợp giữa kết quả tính toán và kết quả đưa ra trong báo cáo SAR, sai lệch giá trị nhiệt độ xảy ra trong vài giây đầu khi nhiệt độ đỉnh của thanh nhiên liệu tính toán và trong báo

cáo SAR lần lượt là 1067 và 1050 °C.

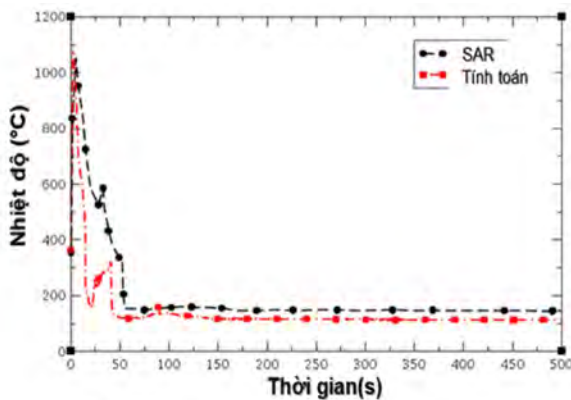
Hơn thế nữa, so sánh giữa đường biên trên của tính toán độ bất định nhiệt độ vỏ bọc thanh nhiên liệu với kết quả tính toán trong báo cáo SAR cũng cho thấy kết quả tính toán thận trọng đã không bao được hoàn toàn đường biên trên trong toàn bộ thời gian tính toán là 500 s.



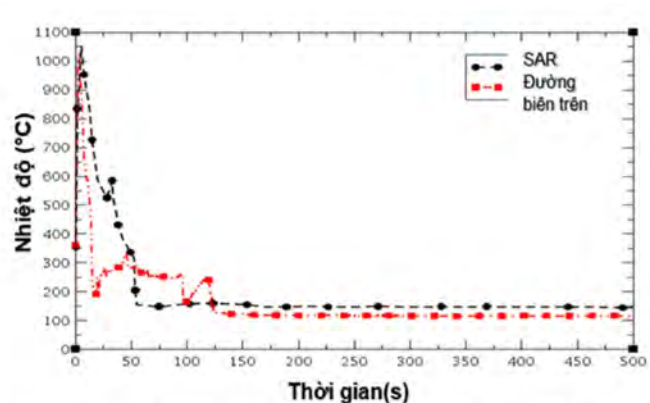
Hình 7. So sánh nhiệt độ vỏ bọc thanh nhiên liệu trong 20 s



Hình 8. So sánh nhiệt độ vỏ bọc thanh nhiên liệu trong 20 s



Hình 9. So sánh giá trị tính toán bảo thủ với kết quả trong SAR



Hình 10. So sánh kết quả tính toán đường bao trên và kết quả trong SAR

3.2.2. Phân tích độ nhạy

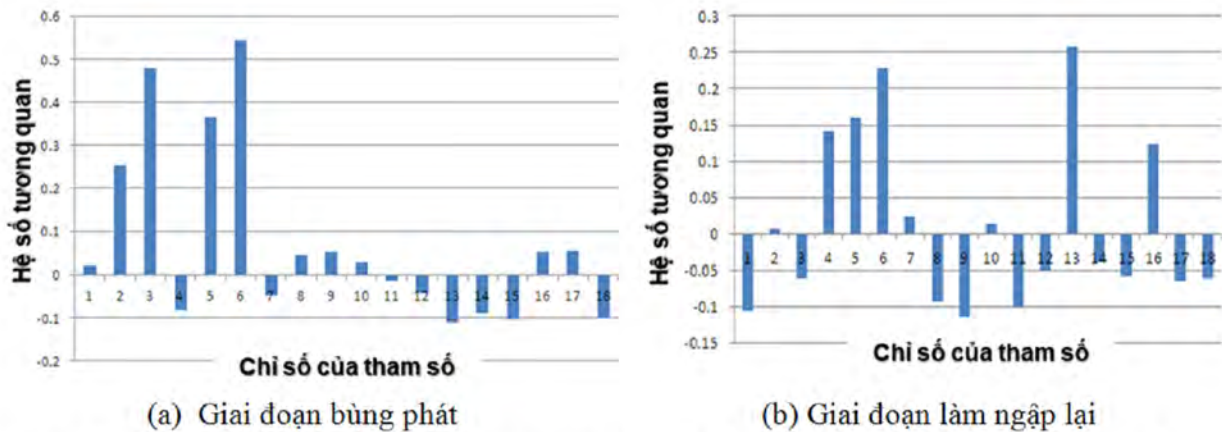
Nghiên cứu phân tích độ nhạy được thực hiện để tìm ra những thông số bất định nào có ảnh hưởng lớn nhất tới kết quả nhiệt độ vỏ bọc thanh nhiên liệu. Trong nghiên cứu này sử dụng hệ số tương quan Spearman [10] với dải giá trị từ -1 đến +1 để đánh giá độ nhạy của 18 thông số đầu vào. Giá trị của hệ số tương quan Spearman xung quanh 0 có nghĩa là thông số đó ít ảnh hưởng tới nhiệt độ vỏ bọc thanh nhiên liệu, giá trị của hệ số xung

quanh ± 1 có nghĩa là chúng có ảnh hưởng mạnh đến với +1 là tỷ lệ thuận và -1 là tỷ lệ nghịch.

Nghiên cứu độ nhạy được thực hiện với nhiệt độ đỉnh của vỏ bọc thanh nhiên liệu trong hai giai đoạn của sự cố LB – LOCA bao gồm: giai đoạn bùng phát và giai đoạn làm ngập lại. Kết quả phân tích độ nhạy cho 18 thông số đầu vào với hai giai đoạn được trình bày trong hình 7 với số thứ tự của các thông số như bảng 3. Có thể thấy rằng, trong giai đoạn bùng phát các thông số có ảnh

hưởng nhất bao gồm: công suất khi đập lò, hệ số công suất đỉnh và kích thước khe giữa nhiên liệu và vỏ bọc. Đối với giai đoạn làm nguội lại, các

thông số có ảnh hưởng nhất bao gồm: nhiệt độ ban đầu trong bình tích áp, công suất sau khi đập lò và kích thước khe giữa nhiên liệu và vỏ bọc.



Hình 11. Nghiên cứu độ nhạy cho tính toán nhiệt độ vỏ bọc thanh nhiên liệu trong sự cố LB – LOCA của lò phản ứng VVER-1200/V491

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu trình bày việc sử dụng các tiếp cận bảo thủ và ước lượng tốt nhất áp dụng phương pháp GRS và trình tính toán RELAP5 để mô phỏng tiến trình tai nạn và sự thay đổi nhiệt độ vỏ bọc thanh nhiên liệu trong sự cố LB – LOCA trên lò phản ứng VVER – 1200/V491.

Các kết quả tính toán của nghiên cứu cho thấy sự phù hợp với các kết quả được trình bày trong báo cáo SAR ở cả hai cách tiếp cận thận trọng và ước lượng tốt nhất. Tuy nhiên, kết quả tính toán thận trọng gần với kết quả tính toán trong SAR hơn do các điều kiện và giả định là tương đồng. Mặc dù có chút khác biệt về thời gian đóng van hơi, thời gian tín hiệu đập lò sinh ra và thời gian vận hành hệ ECCS dẫn đến có sự khác biệt nhỏ về kết quả, tuy nhiên, toàn bộ tiến trình tai nạn là tương tự nhau nên kết quả có thể chấp nhận được.

Nghiên cứu cũng chỉ ra rằng đường bao trên của tính toán độ bất định đối với nhiệt độ vỏ bọc thanh nhiên liệu khi sử dụng chương trình tính toán RELAP5 không được bao hoàn toàn bởi các tính toán bảo thủ trên cả RELAP5 và DINAMIKA-97. Vấn đề này dẫn đến cần phải thảo luận thêm về các giả định thận trọng do SAR đưa ra

có tuân thủ các hướng dẫn an toàn của IAEA hay không.

Kết quả nghiên cứu độ nhạy chỉ ra rằng các thông số công suất lò phản ứng sau khi đập lò, hệ số công suất đỉnh, nhiệt độ ban đầu trong bình tích áp, kích thước khe giữa nhiên liệu và vỏ bọc có ảnh hưởng lớn nhất đến giá trị nhiệt độ vỏ bọc thanh nhiên liệu sau tai nạn. Vì vậy, các giả định thận trọng cần xem xét đến các thông số này khi thực hiện phân tích an toàn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Safety Standards Series No.SSG-2 “Deterministic Safety Analysis for Nuclear Power Plants”, International Atomic Energy Agency, VIENNA, p. 10-11, 2009.
- [2]. 10 CFR 50.46, “Acceptance criteria for emergency core cooling systems for light water nuclear power reactors,” Appendix K, “ECCS Evaluation Models”, to 10 CFR Part 50, Code of Federal Regulations, 1996.
- [3]. Horst Glaeser, Evaluation and review guide on Loss of Coolant Accidents (LOCA), Asian Nuclear Safety Network (ANSN), Regional Workshop on Best Estimate plus Uncertainty Calculations and Accept-

ance Criteria of Emergency Core Cooling System. Korea Institute of Nuclear Safety (KINS) Daejeon, Republic of Korea 21 to 25 March 2016.

[4]. Ninh Thuan Nuclear Power Project Management Board, Ninh Thuan 1 Nuclear Power Plant Project, Feasibility Study, PART 1, Feasibility Study Description, Volume 3, Specialized reports, Report 1, Feasibility Study Safety Analysis, Chapter 7 Safety analysis Section 7.5 Deterministic analysis. Subsections 7.5.1, 7.5.2, 7.5.3, 7.5.4, 7.5.5. p. 55-61, 2015.

[5]. Ninh Thuan Nuclear Power Project Management Board, Ninh Thuan 1 Nuclear Power Plant Project, Feasibility Study, Part 1, Feasibility Study Description, Volume 3, Specialized reports, Report 1, Feasibility Study Safety Analysis, Chapter 7 Safety analysis, Section 7.5 Deterministic analysis. Subsection 7.5.6 Anticipated operational occurrences and design basis accidents. NT1.0-3.101-FS-01.03.01.07.05.06.00, p. 117-120, 183-184, 2015.

[6]. Nuclear Energy Agency, Committee On The Safety Of Nuclear Installations, “BEMUSE Phase V Report: Uncertainty and Sensitivity Analysis of a LB-LOCA in ZION Nuclear Power Plant”, NEA/CSNI/R (2009)13, p. 19-20, 2009.

[7]. Horst Glaeser, “GRS Method for Uncertainty and Sensitivity Evaluation of Code Results and Applications”, Hindawi Publishing Corporation, Science and Technology of Nuclear Installations, Volume 2008, Article ID 798901, 2008.

[8]. S. S. Wilks, “Determination of sample sizes for setting tolerance limits,” Annals of Mathematical Statistics, Vol. 12, No. 1, p. 91– 96, 1941.

[9]. Ninh Thuan Nuclear Power Project Management Board, Ninh Thuan 1 Nuclear Power Plant Project, Feasibility Study, Part 1, Feasibility Study Description, Volume 3, Specialized reports, Report 1, Feasibility Study Safety Analysis, Chapter 6 Description and conformance to the design of plant systems. Section 6.2 Reactor. NT1.0-3.101-FS-01.03.01.06.02-rev02. PP 123, 22, 2015.

[10]. Maurice G. Kendall, Rank Correlation Methods, fourth edition, p. 8, 1970.

CÁC HẠT NANO MỜI MANG LẠI HỨA HẸN VỀ HIỆU QUẢ CỦA THUỐC PHÒNG XẠ (RADIOPHARMACEUTICALS)

Nguyễn Thị Thanh Thủy

Viện Khoa học và Kỹ thuật hạt nhân

Các nghiên cứu đánh giá tác động của các sản phẩm phân hạch phát ra từ nhà máy điện hạt nhân (NMĐHN) khi xảy ra sự cố trở nên rất được quan tâm sau vụ tai nạn TMI (Three Mile Island). Các chất phóng xạ có thể được phát tán ra môi trường thông qua sự rò rỉ của nhà lò phản ứng do có sự hỏng hóc hoặc bỏ qua sự ngăn chặn trong nhà lò phản ứng. Trong môi trường nhà lò phản ứng, chúng trải qua các quá trình vật lý và hóa học chi phối hành vi và nồng độ của chúng, điều này đóng vai trò quan trọng trong việc xác định nồng độ phóng xạ phát thải ra ngoài môi trường. Chính vì vậy, chương trình IRIS (Iodine Retention In Solution) đã được chúng tôi xây dựng và phát triển dựa trên chương trình tính toán SPARC và BUSCA hiện có, nhằm cải thiện và giảm thiểu sự bất định về các hiện tượng cụ thể liên quan đến hóa lý của iốt phóng xạ đối với một tai nạn nghiêm trọng trong NMĐHN.

Ảnh hưởng của độ pH trong dung dịch đối với các quá trình biến đổi của iốt dễ bay hơi được đánh giá trong phạm vi bài báo. Kết quả tính toán cho thấy, với dung dịch có tính kiềm cao thì khả năng bắt giữ iốt trong dung dịch tăng từ 10 đến 100 lần trong môi trường không chiếu xạ và khả năng bắt giữ giảm khoảng từ 10 lần trước và sau khi bị tác động của bức xạ gamma. Để đạt được hiệu quả tốt nhất cho việc bắt giữ nguồn phóng xạ iốt trong dung dịch, thì việc duy trì dung dịch có độ kiềm cao trong điều kiện tai nạn nghiêm trọng là yếu tố quyết định kiên quyết. Tuy nhiên, độ pH lại phụ thuộc rất nhiều vào sự hình thành các chất axit trong dung dịch bởi sự tương tác giữa các cấu trúc vật liệu được giải phóng từ nhiên liệu cũng như trên bề mặt của thành lò phản ứng.

1. MỞ ĐẦU

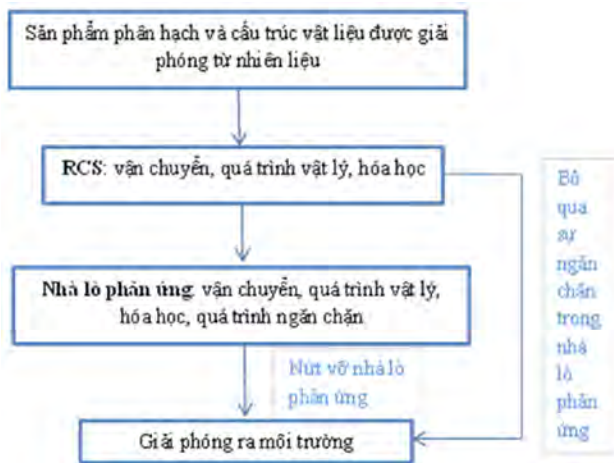
Các nghiên cứu đánh giá tác động của các sản phẩm phân hạch phát ra từ nhà máy điện hạt nhân (NMĐHN) khi xảy ra sự cố trở nên rất được quan tâm sau vụ tai nạn TMI (Three Mile Island). Các sản phẩm phân hạch có thể được phát ra môi trường thông qua sự rò rỉ của nhà lò phản ứng do có sự hỏng hóc hoặc vượt qua sự ngăn chặn trong nhà lò phản ứng, thông qua ba giai đoạn: quá trình giải phóng sản phẩm phân hạch ra khỏi nhiên liệu bị đứt gãy, quá trình vận chuyển ở hệ thống làm mát lò phản ứng (RCS) và hành vi của chúng khi

ra ngoài hệ thống làm mát và tồn tại trong nhà lò phản ứng (Hình 1) [1]. Hơn nữa, chúng trải qua các quá trình lý hóa nhằm chi phối hành vi và nồng độ của chúng trong không gian nhà lò, điều này đóng vai trò quan trọng trong việc xác định nồng độ phát tán của chúng ra ngoài môi trường [2].

Hình 2 cho thấy hành vi chung của các sản phẩm phân hạch trong nhà lò phản ứng do tai nạn nghiêm trọng trong nhà máy điện hạt nhân. Một lượng lớn các sản phẩm phân hạch được giải phóng từ RCS ở dạng hạt sol khí (aerosol) được

giải phóng vào nhà lò, ngoại trừ khí hiếm, iốt và ruthenium có thể một phần vẫn ở dạng khí trong một số trường hợp nhất định.

Các sản phẩm phân hạch có thể được thu giữ đáng kể trong nhà lò phản ứng theo nhiều cơ chế khác nhau, bao gồm các quá trình loại bỏ tự nhiên hoặc các đặc tính thiết kế an toàn của nhà máy. Cơ chế loại bỏ tự nhiên chính là sự lắng đọng, hấp thụ hơi trên bề mặt cấu trúc và sự lọc rửa bằng nước (scrubbing). Các tính năng an toàn chính được thiết kế để loại bỏ sản phẩm phân hạch bao gồm hệ thống phun nước trong nhà lò phản ứng hay các hệ thống lọc khí được lắp đặt bên trong và bên ngoài nhà lò phản ứng.

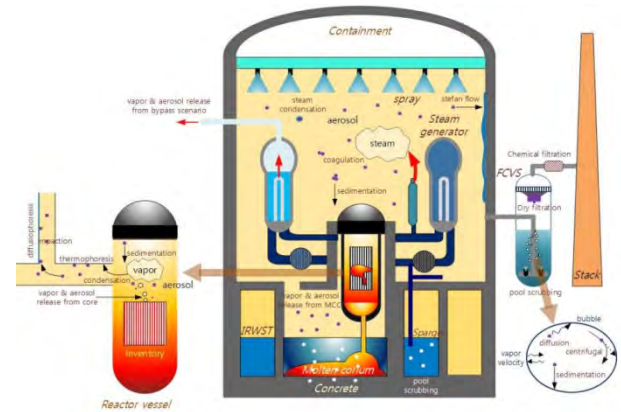


Hình 1. Quá trình từ số hạng nguồn phóng xạ đến môi trường bên ngoài

Iốt phóng xạ là một trong những sản phẩm phân hạch nguy hiểm nhất được thải ra từ nhiên liệu của lò phản ứng hạt nhân trong một vụ tai nạn nghiêm trọng. Iốt giải phóng từ nhiên liệu tồn tại dưới nhiều dạng hóa học khác nhau như: phân tử I_2 (Iodine) ở dạng dễ bay hơi, CsI (Cesium Iodide) ở trạng thái hạt sol khí hay iốt hữu cơ (CH_3I) v.v... Nhưng theo tính toán động học trong các thí nghiệm ở điều kiện tai nạn nghiêm trọng, phần lớn chúng tồn tại dưới dạng các hạt sol khí, ổn định trong môi trường nhà lò phản ứng.

Các hạt sol khí CsI có thể hòa tan, trong bể chứa nước của nhà lò phản ứng, buồng ngăn hoặc bộ

phân lọc nước của hệ thống thông hơi cho nhà lò phản ứng (CFVS), dưới dạng Cs^+ và I^- . Tuy nhiên, các hợp chất iốt không bay hơi có thể phản ứng với các sản phẩm của nước phóng xạ như OH , H^+ , H_2O_2 , HO_2 để hình thành nên các iốt dễ bay hơi I_2 trong nhà lò phản ứng.



Hình 2. Hành vi chung của sản phẩm phân hạch do tai nạn nghiêm trọng trong nhà lò phản ứng

Có rất nhiều yếu tố ảnh hưởng đến độ giải phóng của iốt trong pha khí, một trong những yếu tố ảnh hưởng nhiều nhất đến trạng thái tồn tại của iốt ở pha khí hay pha nước, điều này được thể hiện qua độ lớn của hệ số phân tách IPC hay hệ số khử nhiễm DF, đó chính là nồng độ pH trong dung dịch. Do vậy mà trong bài báo này, chúng tôi sẽ tập trung khảo sát ảnh hưởng của nồng độ pH trong dung dịch iốt thông qua sử dụng chương trình IRIS đã được xây dựng cho mục đích này. Cấu trúc của chương trình gồm ba phần chính: các mô hình cho thủy động lực học trong bể lọc, mô hình trạng thái cân bằng của iốt và phân bố của iốt trong môi trường chiếu xạ.

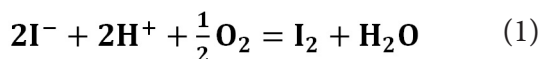
2. LÝ THUYẾT VÀ MÔ HÌNH

Một luồng khí bao gồm cả các chất phóng xạ thoát ra từ hệ thống RCS do sự chênh lệch áp suất đến nhà lò hay qua đường dẫn thông hơi đến hệ thống FCVS, một số hạt trong số chúng sẽ được giữ lại trong bể nước bởi quá trình lọc rửa. Quá trình này được xác định bởi hệ số khử nhiễm DF, là tỷ

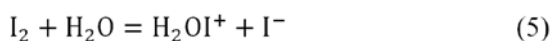
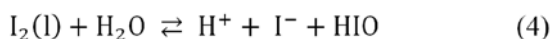
số giữa khối lượng ban đầu của chất phóng xạ với khối lượng cuối cùng sau khi nó đi qua bể nước là bể chứa nhiên liệu đã qua sử dụng, bể chứa trong hệ thống lọc rửa nhà lò phản ứng (FCVS), hay hệ thống sparging. Các trường hợp sau cần phải được xem xét trong hệ số IPC.

Phản ứng iốt trong môi trường nước không chứa phóng xạ

Trường hợp iodine trong dung dịch ban đầu tồn tại dưới dạng iốt không bay hơi, I_2 , được chuyển thành I_2 dưới điều kiện oxy hóa bởi sự có mặt của phần tử oxy trong không khí,

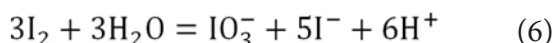


Các phần tử I_2 tồn tại ở dạng không bền vững trong môi trường nước. Do vậy, chúng có xu hướng chuyển thành các dạng iốt khác ở trạng thái bền vững hơn trong dung dịch nước pha loãng thông qua các phản ứng sau:



Nồng độ cân bằng của các thành phần iốt khác nhau trong dung dịch được xác định thông qua các hằng số cân bằng K_{eq} tương ứng với các phản ứng (2 - 5), cùng với việc giả định rằng, tổng nồng độ của iốt trong nước là không đổi và sự cân bằng điện tích được thiết lập giữa các chất phản ứng và sản phẩm trong dung dịch. Khi đó, sự phân bố này sẽ được xác định theo hàm của nồng độ I_2 và I^- .

Ngoài các thành phần nói trên, người ta cũng thấy rằng sự chuyển đổi của HOI sang dạng IO_3^- thông qua phản ứng (6) trở nên quan trọng khi nồng độ pH trong dung dịch tăng,



Phản ứng iốt trong môi trường nước có phóng xạ

Trong môi trường chiếu xạ, phản ứng oxy hóa các nguyên tố iốt với các sản phẩm của nước phóng xạ trở nên quan trọng, chính các phản ứng đó lại dẫn đến sự tái hình thành của các phân tử I_2 dễ bay hơi trong dung dịch. Một số các phản ứng trên có thể kể ra là:



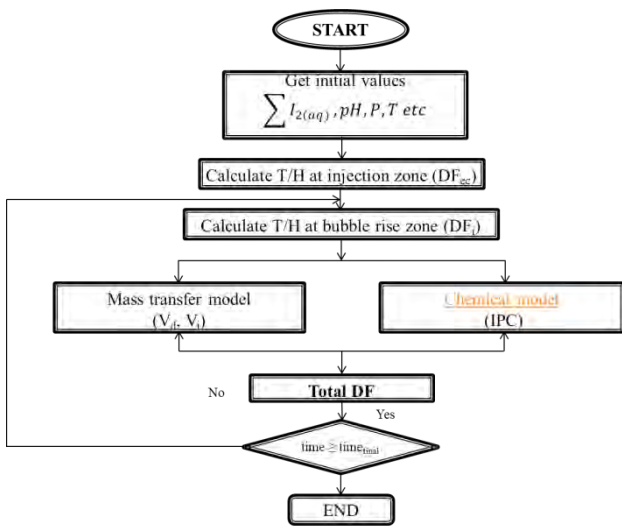
Tuy nhiên, việc xác định tốc độ của tất cả các phản ứng hóa học là khá phức tạp vì iốt có thể tồn tại ở nhiều trạng thái oxy hóa khác nhau từ -1 đến +7 như I^- , I_2 , HIO , IO_2^- , IO_3^- , v.v.. và chúng lại là hàm của thời gian được xem xét.

$$\frac{d[I_2]}{dt} = k_1[I^-]D[H^+]^{0.5} - k_2[I_2] \quad (13)$$

Tốc độ bay hơi của I_2 trong dung dịch được xác định bởi các hệ số k_1 và k_2 và các điều kiện ban đầu khác như liều chiếu xạ, độ pH, thời gian chiếu xạ v.v..

Một chương trình iốt với tên gọi là IRIS (Iodine Retention In Solution) được xây dựng nhằm đánh giá độ bất định về khả năng bắt giữ iốt dưới điều kiện khác nhau như nhiệt độ, vận tốc dịch chuyển của các bong bóng trong môi trường nước, pH, nồng độ iốt khác nhau trong dung dịch, đồng thời với nó thì mô hình đánh giá mối tương quan mới để ước tính nồng độ iốt trong dung dịch axit dưới điều kiện chiếu xạ cũng được thực hiện. Sơ đồ tính toán của chương trình

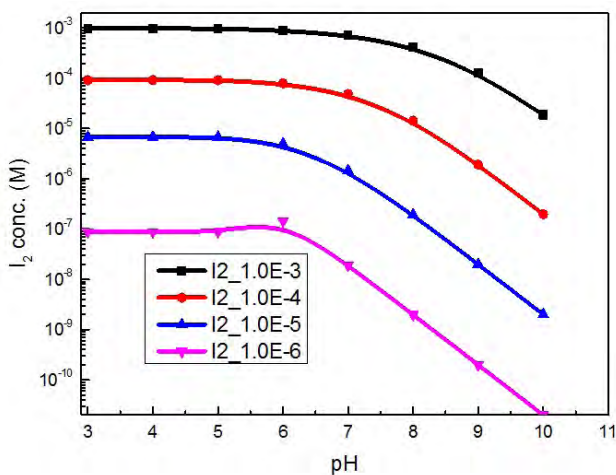
IRIS được thể hiện tóm tắt như trong Hình 3 [3].



Hình 3. Sơ đồ tính hệ số khử nhiễm DF của iốt trong dung dịch (chương trình IRIS)

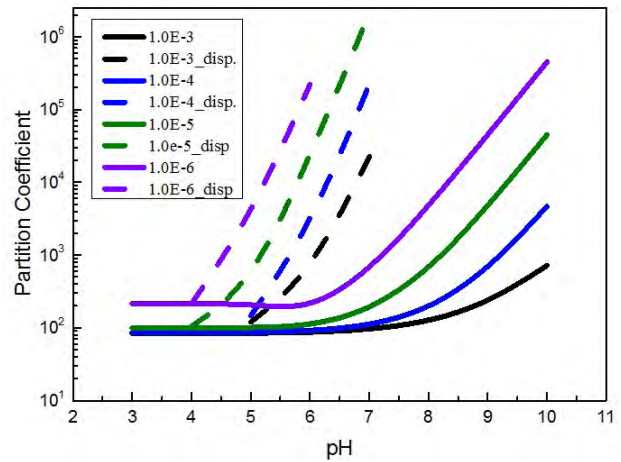
3. KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM VÀ BÌNH LUẬN

Chương trình IRIS được sử dụng để xem xét sự phụ thuộc của nồng độ iốt dễ bay hơi I₂ theo độ pH trong dung dịch. Hình 4 cho thấy nồng độ I₂ giảm đáng kể khi độ pH trong dung dịch lớn hơn 6. Với nồng độ ban đầu I₂ nhỏ ($\leq 10^{-5}$ M) thì gần như toàn bộ I₂ được bắt giữ trong dung dịch ở pH = 10. Còn đối với trường hợp ban đầu, nồng độ I₂ $\geq 10^{-4}$ M, thì khả năng bắt giữ của dung dịch có tính kiềm (pH = 10) vào khoảng 10 đến 100 lần.



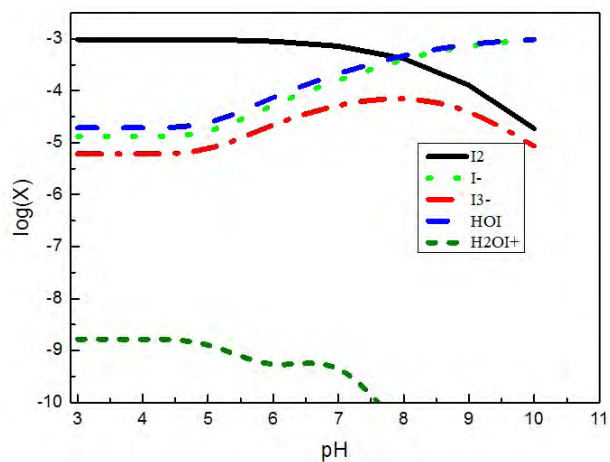
Hình 4. Sự thay đổi của nồng độ I₂ dễ bay hơi tương ứng với độ pH trong dung dịch

Nồng độ I₂ trong dung dịch giảm, tương ứng với hệ số phân tách giữa pha khí và lỏng (IPC) trong dung dịch pH tăng và IPC ở trạng thái cân bằng tăng nhanh khi giá trị pH trong dung dịch lớn hơn 6 (Hình 5).



Hình 5. Hệ số phân tách giữa pha khí và pha lỏng của iốt ở nhiệt độ phòng ở pH khác nhau

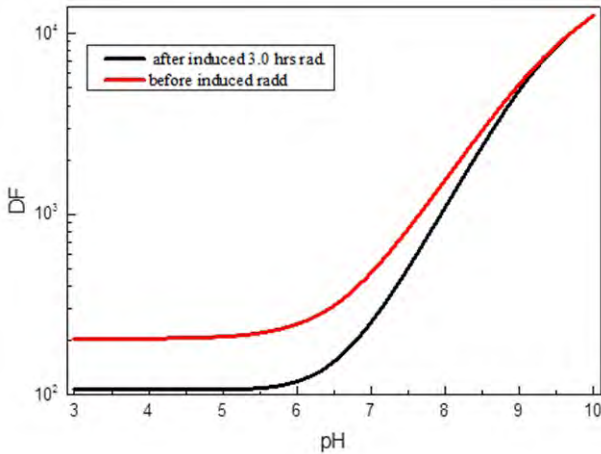
Sự phân bố của hỗn hợp iốt hoàn tan trong dung dịch trải qua nhiều phản ứng hóa học khác nhau và trạng thái bền của nó phụ thuộc vào độ pH của dung dịch. Điển hình như nguyên tố HOI tăng nhanh ở dung dịch có pH ≥ 8 (Hình 6).



Hình 6. Sự phân bố của các nguyên tố iốt bởi quá trình hydro hóa ($[I]_0 = 2.0 \times 10^{-3} M$)

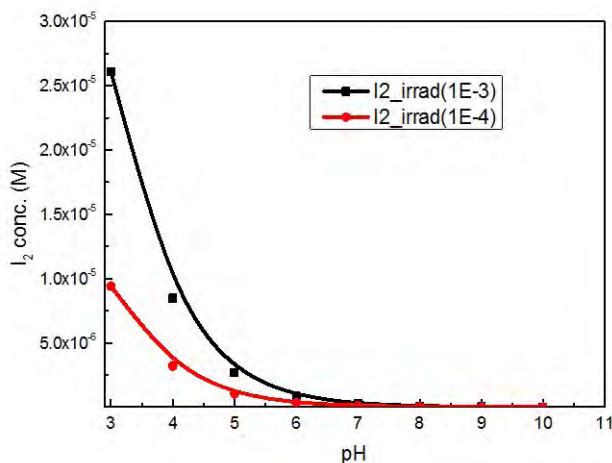
Sự tái bay hơi của iốt được bắt giữ trong dung dịch cũng được đánh giá theo thời gian chiếu xạ và độ pH. Các giá trị DF và nồng độ I₂ được được so sánh trước và sau chiếu xạ tương ứng với độ

pH khác nhau trong dung dịch (Hình 7). Kết quả cho thấy, giá trị DF giảm đi khoảng 10 lần so với trước chiếu xạ dưới suất liều tương ứng 1.25Gy/hr trong 3.0 giờ với dung dịch có nồng độ iốt là 10^{-4} M.



Hình 7. Giá trị DF trước và sau chiếu xạ với suất liều 1.25Gy/hr trong 3.0 giờ ở nồng độ iốt (10^{-4} M)

Tương ứng với nó thì nồng độ bay hơi của iốt cũng tăng lên khoảng 10 sau chiếu xạ. Tuy nhiên, sự chênh lệch này là không đáng kể đối với dung dịch có độ pH cao (Hình 8).



Hình 8. Sản phẩm I_2 dưới ảnh hưởng của suất liều 1.25 Gy/s trong vòng 3.0 giờ với các trường hợp: $1.E-3$ và $1.0E-4$ M CsI

4. KẾT LUẬN

Trong bài báo này, chương trình IRIS đã được

xây dựng để đánh giá lượng iốt dễ bay hơi trong môi trường nước dưới điều kiện tai nạn nghiêm trọng. IRIS được xây dựng dựa trên việc lựa chọn các mô hình có sẵn trong SPARC và chương trình tính toán BUSA, đồng thời bổ sung thêm mối tương quan động học cho quá trình tái bay hơi của nguyên tử iốt. Cấu trúc của chương trình gồm ba phần: các mô hình thủy động lực học trong bể, mô hình cân bằng của iốt và phân bố của iốt trong môi trường chiếu xạ.

Ảnh hưởng độ pH đối với các quá trình bay hơi của iốt trong dung dịch được đánh giá ở đây. Kết quả tính toán cho thấy, độ pH càng cao thì lượng iốt được bắt giữ trong dung dịch càng cao, với hiệu suất từ 10 đến 100 lần trong môi trường không chiếu xạ. Tuy nhiên, khả năng bắt giữ của bể lọc giảm khoảng 10 lần dưới tác động của bức xạ gamma. Để đạt được hiệu quả tốt nhất cho việc bắt giữ iốt trong dung dịch, thì việc duy trì điều kiện kiềm trong dung dịch ($pH > 8$) là trở nên quan trọng. sự hình thành các chất axit trong dung dịch bởi sự tương tác giữa các cấu trúc vật liệu được giải phóng từ nhiên liệu cũng như trên bề mặt của thành lò phản ứng. Ngoài ra, hệ thống màng lọc cũng cần phải được lắp đặt phù hợp đối với từng kích thước hay nồng độ của chúng, đó có thể là công việc tiếp theo của nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] B.R. Sehgal, et. al. "Sarnet lecture notes in nuclear reactor severe accidentphenomenology", Sep. 2008.
- [2] L. Soffer, et. al., "Accident Source Terms for Light Water Nuclear Power Plants", USNRC, NUREG-1465, 1995.
- [3] Thi Thanh Thuy Nguyen, Kwang Soon Ha, Jin Ho Song & Sung Il Kim, "An Estimation of Volatile Iodine in a Pool at Low pH and High Iodide Concentrations Under Irradiation", Nuclear Science and Engineering, Feb 2019

KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU CÔNG NGHỆ NHIÊN LIỆU HẠT NHÂN TẠI VIỆN CÔNG NGHỆ XẠ HIỂM

PHẦN I: MÔ HÌNH HÓA QUÁ TRÌNH ĐIỀU CHẾ BỘT GỐM UO_2 ex-AUC

Nguyễn Trọng Hùng
Viện Công nghệ xạ hiểm

Viện Công nghệ xạ hiểm đã thực hiện có hệ thống các nghiên cứu công nghệ chế tạo và đánh giá trạng thái viên gốm urani dioxit (UO_2) mô phỏng là viên gốm nhiên liệu hạt nhân cho lò phản ứng. Các nghiên cứu được tiến hành từ giai đoạn điều chế bột gốm UO_2 đến chế tạo viên gốm UO_2 và đánh giá trạng thái của chúng vận hành trong lò phản ứng.

Trong bài viết này, chúng tôi giới thiệu kết quả nghiên cứu điều chế bột gốm UO_2 từ bột amoni uranyl cacbonat (UO_2 ex-AUC).

1. TỔNG QUAN CÔNG NGHỆ CHẾ TẠO BỘT VÀ GỐM UO_2 NHIÊN LIỆU HẠT NHÂN

Hiện nay trên thế giới, nhiên liệu hạt nhân (NLHN) được dùng phổ biến nhất là NLHN cho lò nước nhẹ (LWR) dưới dạng viên gốm UO_2 đã được làm giàu đồng vị U-235 từ 1,8-4,8%. Khoảng 90% lượng điện của các NMDHN được sản xuất ra từ loại nhiên liệu này. Trong khi đó lượng điện được sản xuất từ nhiên liệu urani tự nhiên cho các lò nước nặng (HWR) chỉ chiếm khoảng 4% [1-2].

NLHN cho lò LWR được chế tạo từ UF_6 đã được làm giàu đồng vị U-235. Công nghệ làm giàu

đồng vị đòi hỏi kỹ thuật cao và đầu tư lớn mà trên thế giới chỉ có một số nước tiên tiến làm chủ công nghệ này như Nga, Mỹ, Anh, Pháp, Đức, Trung Quốc,... và cũng chỉ một số quốc gia được phép làm giàu. Mặc dù sản phẩm UF_6 đã được làm giàu và NLHN cho lò LWR đã được thương mại trên thị trường thế giới nhưng đây là vấn đề rất nhạy cảm. Việc mua bán các sản phẩm này phải là cấp chính phủ và có sự giám sát chặt chẽ của cơ quan Năng lượng Nguyên tử Quốc tế IAEA [1].

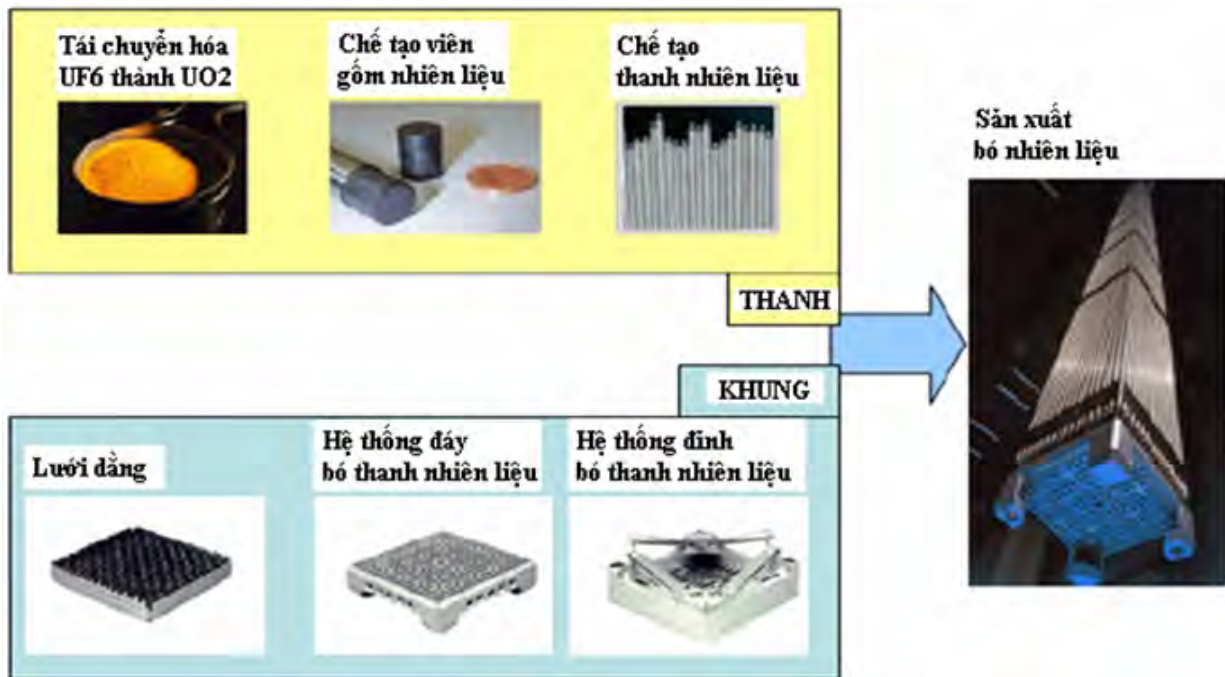
Trong công nghệ chế tạo viên gốm NLHN UO_2 cho lò LWR, một số quá trình sau đang được áp dụng:

UF_6	\rightarrow	UO_2	} Phương pháp chuyển hóa khô
UF_6	$\rightarrow UF_4 \rightarrow$	UO_2	
UF_6	$\rightarrow UO_2F_2 \rightarrow$	ADU	$\rightarrow UO_2$
UF_6	$\rightarrow UO_2F_2 \rightarrow$	AUC	$\rightarrow UO_2$
UF_6	$\rightarrow UO_2F_2 \rightarrow$	UO_4	$\rightarrow UO_2$

Mỗi phương pháp có những ưu nhược điểm riêng và nhiều quốc gia đã lựa chọn công nghệ chế tạo nhiên liệu hạt nhân cho lò LWR của riêng mình, ví dụ: Nhật Bản lựa chọn công nghệ ADU, Hàn Quốc lựa chọn công nghệ khô, các nước châu Âu và Ấn Độ lựa chọn công nghệ AUC.

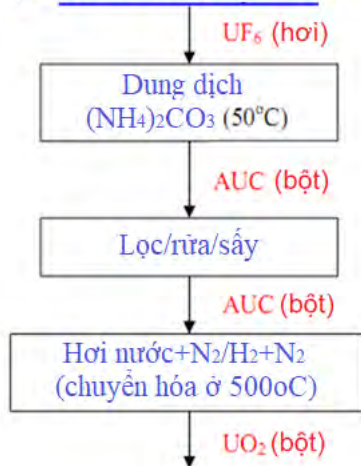
Trong công nghệ chế tạo nhiên liệu cho lò LWR gồm các giai đoạn chính sau (hình 1):

- (a) Tái chuyển hóa UF_6 thành UO_2 dạng bột;
- (b) Chế tạo viên gốm UO_2 từ bột gốm UO_2 ;
- (c) Sản xuất thanh nhiên liệu và
- (d) Giai đoạn lắp ghép thành bó nhiên liệu.



Hình 1. Các giai đoạn chính trong quá trình chế tạo bó nhiên liệu hạt nhân cho lò LWR [2].

Quá trình chuyển hóa AUC



Hình 2. Quy trình kỹ thuật của quá trình điều chế bột UO_2 ex-AUC [2].

Như trên đã trình bày, quá trình tái chuyển hóa UF_6 thành bột gốm UO_2 có hai phương pháp là phương pháp khô và phương pháp ướt. Công

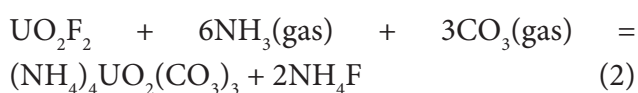
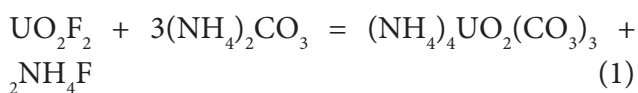
nghệ chuyển hóa khô gồm việc cho hơi UF_6 và hơi nước qua máy phun để tạo bột UO_2F_2 . Bột này được cho vào lò quay với dòng hỗn hợp H_2 và hơi nước ngược chiều. Sản phẩm bột UO_2 hoạt hóa cao và kích thước nhỏ thu được sau khi đi qua lò quay [1-2]. Công nghệ chuyển hóa ướt gồm việc cho hơi UF_6 thủy phân trong dung dịch nước cho hệ dung dịch UO_2F_2+HF (tỷ lệ mol $UO_2F_2/HF=1/4$) và từ dung dịch này, khi đó tùy vào công nghệ ADU hay AUC người ta sục khí NH_3 (hoặc đưa dung dịch NH_4OH) hay hỗn hợp khí CO_2+NH_3 (hoặc dung dịch $(NH_4)_2CO_3$) để kết tủa hợp chất trung gian là ADU hay AUC. Từ bột kết tủa ADU hay AUC, quá trình hoàn nguyên được thực hiện để điều chế bột gốm UO_2 . Đặc điểm đặc trưng của công nghệ ADU là mức độ chín muối công nghiệp cao. Nhược điểm của

công nghệ ADU là bột UO_2 có độ chảy thấp và cần thiết có giai đoạn tạo hạt trung gian. Trong khi đó, bột UO_2 sản xuất theo công nghệ AUC có độ chảy cao, hạt hình cầu, do đó không cần giai đoạn tạo hạt trung gian [1-2]. Hình 2 chỉ ra quy trình kỹ thuật điều chế bột gốm UO_2 ex-AUC.

Bài viết này sẽ giới thiệu kết quả nghiên cứu điều chế bột gốm UO_2 ex-AUC tại Trung tâm Công nghệ nhiên liệu hạt nhân, Viện Công nghệ xạ hiếm.

2. KỸ THUẬT THỰC NGHIỆM

Bột AUC được điều chế từ hệ dung dịch uranyl florua (UO_2F_2) và axit flohydric (HF) với tỷ lệ mol U:F = 1:6. Hệ dung dịch UO_2F_2 +HF, dung dịch mô phỏng của quá trình thủy phân UF_6 , được điều chế theo quy trình đã được báo cáo tại Báo cáo tổng kết của đề tài cấp Bộ mã số ĐT.04/10/NLNT. Phản ứng hóa học kết tủa AUC như sau [3]:



Bột AUC thường chứa ion F, do đó quá trình điều chế bột UO_2 ex-AUC được tiến hành qua 2 bước: (1) nung bột AUC thành bột U_3O_8 trong môi trường hỗn hợp hơi nước+nitơ tỷ lệ 1:1 để loại bỏ tạp chất F [4-5] và (2) khử bột U_3O_8 thành bột UO_2 trong môi trường khử hỗn hợp hydro+nitơ tỷ lệ 3:1.

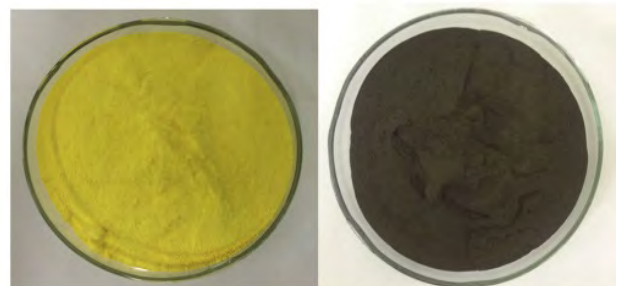
Các hóa chất và khí N_2 , H_2 được dùng là tinh khiết phân tích. Quá trình nung-khử (chuyển hóa) bột AUC được thực hiện trong lò nung quay $1300^\circ C$ (Nabertherm, Germany) được kết nối với hệ thống cung cấp hydro-nitơ-hơi nước. Các thông số ảnh hưởng đến quá trình chuyển hóa là nhiệt độ và thời gian nung-khử. Hình 3 chỉ ra ảnh lò

nung quay $1300^\circ C$ của quá trình chuyển hóa bột AUC thành bột UO_2 .

Phương trình toán học Brandon được sử dụng để mô hình hóa quá trình điều chế bột gốm UO_2 ex-AUC. Diện tích bề mặt của bột UO_2 được xác định bằng phương pháp Brunauer-Emmett-Teller (BET) trên thiết bị Coulter SA 3100 (USA) [3].



Hình 3. Lò nung quay điều chế bột UO_2 ex-AUC



(a)

(b)

Hình 4. Bột AUC (a) và bột UO_2 ex-AUC

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Xây dựng phương trình hồi quy Brandon mô tả ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến diện tích bề mặt bột

Diện tích bề mặt riêng SBET là một trong số các đặc trưng bản chất nhất, chứa đựng những thông tin về tính năng và mức độ phù hợp của bột để chế tạo viên gốm. SBET chứa đựng những thông tin về kích thước tinh thể, mức độ hợp thể và kết tụ, hình dạng và cấu trúc hạt bột. Vì vậy, SBET của bột là một tiêu chí được chấp nhận phổ biến để

đánh giá tính thiêu kết của bột [1-2]. Về nguyên tắc, các bột UO_2 có nguồn gốc khác nhau sẽ có một khoảng giá trị SBET tối ưu riêng. Bột UO_2 có SBET quá cao có tính thiêu kết kém hơn so với bột có SBET nhỏ hơn. Hơn nữa, khi tăng lực ép viên, khối lượng riêng của viên thiêu kết giảm do tạo ra các vết nứt tế vi và nhiều lỗ xốp [1-2].

Để chủ động điều chế bột UO_2 có SBET thích hợp cho chế tạo viên gốm, các số liệu thực nghiệm được xử lý theo phương pháp mô hình hóa thống kê. Phương pháp được sử dụng ở đây là mô hình hồi quy bội Brandon [3].

Ảnh hưởng của các điều kiện công nghệ đến tính chất của bột UO_2 thể hiện qua chỉ tiêu SBET có thể được biểu diễn dưới dạng phương trình toán học Brandon:

$$y = a.f_1(x_1).f_2(x_2) \dots f_j(x_j) \dots f_k(x_k) \quad (3)$$

trong đó: Hàm y biểu diễn diện tích bề mặt của bột UO_2 ; $y = S_{BET}$

- Hàm $f_j(x_j)$ biểu diễn ảnh hưởng của yếu tố công nghệ x_j đến hàm mục tiêu

- a là hệ số hiệu chỉnh

Trong phương trình Brandon cần xây dựng một chuỗi liên tục các hàm $f_j(x_j)$ theo thứ tự giảm dần mức độ ảnh hưởng của các yếu tố công nghệ x_j đến hàm y . Ban đầu bộ số liệu thực nghiệm $\{y; x_1, x_2, \dots, x_k\}$ được sử dụng để xác định hàm hồi quy $y = f(x_1)$. Từ $f_1(x_1)$ một bộ số liệu mới sẽ nhận được khi đánh giá:

$$\hat{y}_1 = \frac{y}{f(x_1)} \quad (4)$$

Lúc này \hat{y}_1 không phụ thuộc vào x_1 nữa mà chỉ ảnh hưởng bởi x_2, x_3, \dots, x_k :

$$\hat{y}_1 = a.f_2(x_2) \dots f_j(x_j) \dots f_k(x_k) \quad (5)$$

Các hàm $f_j(x_j)$ tiếp theo được tính toán lặp lại $f_1(x_1)$ cho tới khi nhận được:

$$\hat{y}_k = \frac{y_{k-1}}{f(x_k)} = \frac{y}{f_1(x_1).f_2(x_2) \dots f_k(x_k)} \quad (6)$$

Các số liệu thực nghiệm cho thấy 4 thông số có ảnh hưởng lớn đến S_{BET} của bột UO_2 theo thứ tự:

Nhiệt độ khử $T_K >$ Nhiệt độ chuyển hóa $T_N >$ Thời gian chuyển hóa $t_N >$ Thời gian khử t_K

Để xác định hàm $f_1(T_K)$ mô tả ảnh hưởng của nhiệt độ khử đến S_{BET} của bột UO_2 , chúng tôi đã tiến hành thu thập bộ số liệu thực nghiệm phản ánh ảnh hưởng của nhiệt độ khử (T_K) đến S_{BET} . Các giai đoạn nung và khử được tiến hành nối tiếp trong hệ thống thiết bị kín là lò chuyển hóa và hoàn nguyên. Tốc độ gia nhiệt $200^\circ C/h$; giữ nhiệt ở $217^\circ C$ trong 1 giờ; AUC được nung trong môi trường 50% N_2 - 50% hơi nước với lưu lượng 21ml N_2 /phút; tiếp đó là quá trình khử bằng hỗn hợp $3H_2/ 1N_2$ với lưu lượng 62 ml H_2 /phút. Kết quả đo diện tích bề mặt SBET ($SSA(TN)$) được trình bày trên bảng 1.

Bằng phương pháp bình phương nhỏ nhất và sử dụng công cụ *Solver* trong Microsoft Excel để giải, hàm $f_1(T_K)$ được xác định có dạng:

$$f_1(T_K) = 1,698 + 0,0009415T_K \quad (7)$$

Từ phương trình $f_1(T_K)$ các giá trị của \hat{y}_1 được tính:

$$\hat{y}_1 = \frac{y}{f_1(T_K)} = \frac{(S_{BET})_{TN}}{f_1(T_K)} \quad (8)$$

Giá trị của hàm $f_1(T_K)$ và \hat{y}_1 tại các điểm thí nghiệm được tính toán và trình bày trên bảng 1.

Tính toán tương tự như hàm $f_1(T_K)$, từ giá trị của \hat{y}_1 và nhiệt độ nung (T_N) trên bảng 1, ảnh hưởng của nhiệt độ nung đến S_{BET} được xác định có dạng:

$$f_2(T_N) = 3,023 - 0,002935T_N \quad (9)$$

Từ phương trình $f_2(T_N)$ các giá trị của \hat{y}_2 được tính:

$$\hat{y}_2 = \hat{y}_1/f_2(T_N) \quad (10)$$

Từ giá trị của \hat{y}_2 và thời gian nung (t_N) trên bảng 1, ảnh hưởng của thời gian nung đến S_{BET} được xác định theo phương trình:

$$f_3(t_N) = 1,353 - 0,095t_N \quad (11)$$

Từ phương trình $f_3(t_N)$ các giá trị của \hat{y}_3 được tính: định từ giá trị trung bình của \hat{y}_4 :

$$\hat{y}_3 = \hat{y}_2 / f_3(t_N) \quad (12) \quad a = 1,0000255$$

Từ giá trị của \hat{y}_3 và thời gian khử (t_K) trên bảng 1, ảnh hưởng của thời gian nung đến S_{BET} được xác định theo phương trình:

$$f_4(t_K) = 1,365 - 0,0896 t_K \quad (13)$$

Từ phương trình $f_4(t_K)$ các giá trị của \hat{y}_4 được tính:

$$\hat{y}_4 = \hat{y}_3 / f_4(t_K) \quad (14)$$

Các giá trị của hàm $f_4(t_K)$ và \hat{y}_4 tại các điểm thí nghiệm được tính toán và trình bày trên bảng 1.

Hệ số a trong phương trình Brandon được xác

Như vậy hàm số Brandon mô tả ảnh hưởng của các yếu tố công nghệ đến diện tích bề mặt riêng của bột UO_2 ex-AUC có dạng:

$$y = a \cdot f_1(T_K) \cdot f_2(T_N) \cdot f_3(t_N) \cdot f_4(t_K) = 1,0000255 \times (1,698 + 0,0009415T_K) \times (3,023 - 0,002935T_N) \times (1,353 - 0,095t_N) \times (1,365 - 0,0896 t_K) \quad (15)$$

Diện tích bề mặt riêng S_{BET} ($SSA_{(TT)}$) của bột UO_2 được tính toán theo phương trình toán học (15) được chỉ ra trong bảng 1.

Mẫu	T_K (°C)	t_K (hr.)	T_N (°C)	t_N (hr.)	$SSA_{(TN)}$ ($m^2/gr.$)	$f_1(T_K)$	\hat{y}_1	$f_2(T_N)$	\hat{y}_2	$f_3(t_N)$	\hat{y}_3	$f_4(t_K)$	\hat{y}_4	$SSA_{(TT)}$ ($m^2/gr.$)
U1	550	5	650	4	2.250	2.216	1.015423	1.115	0.91049	0.973	0.93575	0.917	1.02045	2.206
U2	600	5	650	4	2.420	2.263	1.069424	1.115	0.95891	0.973	0.98552	0.917	1.07472	2.252
U3	650	5	650	4	2.645	2.310	1.145034	1.115	1.02671	0.973	1.05520	0.917	1.15071	2.299
U4	700	5	650	4	2.446	2.357	1.037738	1.115	0.93050	0.973	0.95632	0.917	1.04288	2.346
U5	600	2	700	3	2.724	2.263	1.203765	0.969	1.24292	1.068	1.16378	1.186	0.98143	2.776
U6	600	3	700	3	2.573	2.263	1.137037	0.969	1.17402	1.068	1.09927	1.096	1.00280	2.567
U7	600	4	700	3	1.977	2.263	0.873658	0.969	0.90207	1.068	0.84464	1.007	0.83910	2.357
U8	600	5	700	3	1.961	2.263	0.866587	0.969	0.89477	1.068	0.83780	0.917	0.91363	2.147
U9	700	3	600	5	3.259	2.357	1.382661	1.262	1.09561	0.878	1.24785	1.096	1.13834	2.864
U10	700	5	700	4	1.905	2.357	0.808214	0.969	0.83450	0.973	0.85766	0.917	0.93529	2.037
U11	700	3	700	5	2.228	2.357	0.945249	0.969	0.97599	0.878	1.11161	1.096	1.01406	2.198
U12	650	4	750	2	2.165	2.310	0.937240	0.822	1.14054	1.163	0.98069	1.007	0.97426	2.223
U13	650	4	750	3	2.399	2.310	1.038540	0.822	1.26381	1.068	1.18335	1.007	1.17559	2.041
U14	650	4	750	5	1.242	2.310	0.537668	0.822	0.65430	0.878	0.74521	1.007	0.74033	1.678

3.2. Kiểm định tính tương hợp của mô hình

Tính tương hợp của mô hình toán học Brandon với các kết quả thực nghiệm được kiểm định bằng phương pháp Wilcoxon. Phương pháp kiểm định này có thể được mô tả như sau: hai nhóm đối tượng $\bar{y} = (SBET)_{TN}$ và $\hat{y} = (SBET)_{TT}$ được tập hợp thành 1 nhóm và sắp xếp theo thứ tự giá trị tăng dần như trên bảng 2.

Tổng hạng S của nhóm \hat{y} được tính như sau:

$$S = 2 + 6 + 7 + 8 + 10 + 11 + 12 + 15 + 16 + 17 + 18 + 22 + 26 + 27 = 197$$

Chỉ số trung bình của hạng của nhóm \hat{y} được

tính:

$$\mu_T = \frac{n_2(n_1 + n_2 + 1)}{2} = \frac{14(14 + 14 + 1)}{2} = 203$$

Phương sai của hạng được tính:

$$\sigma_T^2 = \frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 + 1)}{12} = \frac{14 \cdot 14 (14 + 14 + 1)}{12} = 473.66$$

Độ lệch chuẩn được tính:

$$\sigma_T = \sqrt{\sigma_T^2} = \sqrt{473.66} = 21.76$$

Khoảng tin cậy 95% của thứ hạng được tính:

$$\text{Giới hạn trái: } \mu_T - 1.96 \cdot \sigma_T = 203 - 1.96 \cdot 21.76 = 160.35$$

$$\text{Giới hạn phải: } \mu_T + 1.96 \cdot \sigma_T = 203 + 1.96 \cdot 21.76 = 245.65$$

Vì tổng hạng liên kết $S = 197$ nằm trong khoảng tin cậy 160,35 – 245,65 nên 2 nhóm \bar{y} và \hat{y} được

kết luận là tương đương nhau.

quả thực nghiệm.

Như vậy kết quả tính toán tương hợp với các kết

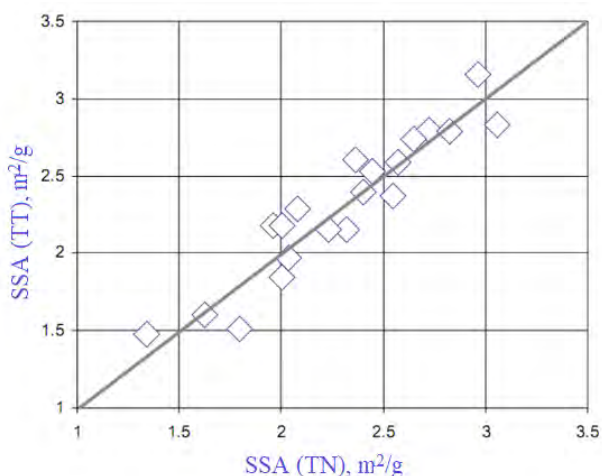
Bảng 2. Thứ tự giá trị tăng dần trong tập hợp các phân tử của \bar{y} và \hat{y}

W_T	1.242	1.678	1.905	1.961	1.977	2.037	2.041	2.147	2.165	2.198
Rank	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
W_T	2.205	2.223	2.228	2.250	2.252	2.299	2.346	2.357	2.399	2.42
Rank	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
W_T	2.446	2.566	2.573	2.645	2.724	2.776	2.864	3.259		
Rank	21	22	23	24	25	26	27	28		

Để kiểm chứng mô hình toán học Brandon mô tả ảnh hưởng của các điều kiện công nghệ đến SSA của bột UO_2 , đã tiến hành 6 mẫu thí nghiệm ở các điều kiện như chỉ ra trong bảng 3.

Bảng 3. Các thí nghiệm kiểm chứng tính tương hợp của mô hình

Mẫu	T_K (°C)	t_K (hr.)	T_N (°C)	T_N (hr.)	$SSA_{(TN)}$ ($m^2/gr.$)
No1	650	4	600	4	2.868
No2	675	5	600	4	2.695
No3	600	5	650	5	1.796
No4	650	4	650	5	2.038
No5	625	4	675	2	2.976
No6	600	5	750	4	1.627



Hình 3. So sánh giữa giá trị SSA (TT) và SSA (TN)

Kết quả đánh giá tính tương hợp của mô hình với

kết quả thực nghiệm được chỉ ra trên hình 5. Như vậy phương trình toán học Brandon đã được thiết lập mô tả ảnh hưởng của các điều kiện công nghệ đến SSA của bột UO_2 .

Kết luận

Phương trình toán học Brandon mô tả ảnh hưởng của các điều kiện công nghệ đến SSA của bột UO_2 đã được thiết lập. Tính tương hợp của mô hình đã được kiểm định bằng phương pháp Wilcoxon với hệ số biến thiên 7,8%. Dựa trên mô hình, quá trình điều chế bột gồm UO_2 ex-AUC được kiểm soát.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Ronald A. Knief, “Nuclear Engineering: Theory and Technology of Commercial Nuclear Power”, Hemisphere Publishing Corporation (1992).
 [2] Nuclear Fuel Cycle Information System, “A Directory of Nuclear Fuel Cycle Facilities”, IAEA-TEC-DOC-1613 (2009).
 [3] N. T. Hung, L. B. Thuan, et. al. “Brandon mathematical model describing the effect of calcination and reduction parameters on specific surface area of UO_2 powders”, J. Nucl. Mater., 474 (2016) 150-154
 [4] N. Lindman, The kinetics of the elimination of fluorine from uranyl fluoride/uranium dioxide pellets, J. Nucl. Mater. 66 (1977) 23-36.
 [5] Z.X. Song, X.W. Huang, Defluorination behavior and mechanism of uranium dioxide, J. Radioanalytical Nucl. Chem. 237 (1998) 81-84.

NGHIÊN CỨU, THIẾT KẾ CHẾ TẠO MÁY ĐO LIỀU NEUTRON

Mai Văn Điện

Viện Khoa học và Kỹ thuật hạt nhân

Báo cáo trình bày các kết quả nghiên cứu trong việc thiết kế, chế tạo máy đo suất tương đương liều neutron môi trường. Thiết bị được chế tạo bao gồm một khối đầu dò có cấu trúc làm chậm đa lớp và hệ điện tử ghi nhận đi kèm. Khả năng đo đặc suất tương đương liều neutron môi trường $H^(10)$ của thiết bị đo được kiểm chứng tại phòng chuẩn neutron của Viện Khoa học và Kỹ thuật hạt nhân. Các kết quả khảo sát cho thấy thiết bị có độ nhạy cao ($2.84 \text{ cps}/\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$) và có khả năng thực thi tốt trong các trường neutron thực tế.*

1. GIỚI THIỆU

Việc khai thác và ứng dụng năng lượng nguyên tử, hạt nhân trong đời sống khoa học ngày càng được phát triển mạnh mẽ ở nhiều quốc gia trên thế giới. Hiệu quả kinh tế - xã hội mà chúng đem lại là không nhỏ. Tuy nhiên, bên cạnh các lợi ích, các bức xạ ion hóa còn có thể gây ra những ảnh hưởng xấu tới sức khỏe con người và môi trường xung quanh [1, 2]. Theo thống kê, nước ta có khoảng 2100 nguồn phóng xạ đang được sử dụng tại các cơ sở ứng dụng kỹ thuật hạt nhân; 4 cơ sở sử dụng máy gia tốc hạt để sản xuất đồng vị phóng xạ phục vụ trong y tế; 4 trung tâm chiếu xạ sử dụng nguồn ^{60}Co với hoạt độ phóng xạ lên tới hàng triệu Ci; 1 lò phản ứng hạt nhân nghiên cứu tại Đà Lạt có công suất 0,5 MW; 35 cơ sở y học hạt nhân; hàng trăm cơ sở sử dụng X quang và 60 cơ sở quản lý về an toàn bức xạ được thành lập theo pháp lệnh về an toàn bức xạ đã được chính phủ ban hành [3, 4]. Trước tình hình đó, vấn đề giám sát và đảm bảo an toàn bức xạ tại các cơ sở ứng dụng kỹ thuật hạt nhân ngày càng được các cơ quan nhà nước và xã hội quan tâm.

Trường bức xạ xung quanh lò phản ứng hạt nhân, kho lưu giữ nguồn và các cơ sở sử dụng máy gia

tốc năng lượng cao,... thường hiện diện các thành phần bức xạ gamma và neutron với phân bố năng lượng phức tạp. Suất liều gây bởi các thành phần bức xạ này là rất lớn, do đó cần phải đo đặc và giám sát thường xuyên. Việc đo liều gamma tại các cơ sở hạt nhân đã được trang bị tương đối đầy đủ, tuy nhiên vấn đề kiểm soát liều lượng gây bởi thành phần neutron tại các cơ sở này còn nhiều hạn chế. Các thiết bị đo liều neutron thường dùng là các thiết bị xách tay được sử dụng cho việc giám sát định kỳ mà chưa có các thiết bị chuyên dụng giúp kiểm soát liều lượng một cách thường xuyên và liên tục. Bên cạnh đó, các máy đo thường là thiết bị nhập ngoại có giá thành rất đắt và gây khó khăn trong quá trình sửa chữa, bảo dưỡng.

Nhằm tiến tới việc nội địa hóa các thiết bị đo liều neutron tại nước ta, mục tiêu của nghiên cứu này là phát triển một thiết bị đo tương đương liều neutron môi trường dựa trên ống đếm tỉ lệ ^3He . Thiết bị được chế tạo theo nguyên lý thiết kế của các máy đo liều neutron truyền thống (Conventional neutron survey meter [5, 6]) với cấu hình làm chậm sử dụng polyethylen mật độ cao (HDPE) và Cadimi (Cd). Hệ điện tử được xây dựng đi kèm có chức năng xử lý tín hiệu, hiển thị và truyền dữ

liệu tới máy tính chủ thông qua chuẩn giao tiếp RS232. Các đặc trưng về độ nhạy, độ tuyến tính và khả năng đo đặc suất tương đương liều neutron môi trường được kiểm chứng thông qua các đo đạc thực nghiệm tại Phòng chuẩn neutron của Viện Khoa học và Kỹ thuật hạt nhân.

2. NỘI DUNG

2.1. Nguyên lý thiết kế

Tương đương liều neutron môi trường $H^*(10)$ được xác định theo công thức sau:

$$H^*(10) = \sum_{k=1}^n (\Phi(E_k) \times h(E_k)) \quad (1.1)$$

Trong đó: $\Phi(E)$ (cm^{-2}) là phổ thông lượng neutron tại vị trí đo; $h(E)$ (pSv.cm^2) là hệ số chuyển đổi từ thông lượng sang tương đương liều neutron môi trường (cung cấp bởi ICRP 74 [7]).

Phương trình (1.1) cho phép xác định tương đương liều neutron môi trường $H^*(10)$ khi biết phổ thông lượng neutron tới. Đại lượng này có thể được đo đạc bằng phổ kế cầu Bonner hoặc phổ kế thời gian bay (TOF). Tuy nhiên, các phương pháp này cần thời gian đo dài và yêu cầu thuật toán xử lý phức tạp. Ngoài ra, các đầu dò sử dụng để đo đặc neutron hiện nay thường chỉ nhạy với một dải năng lượng nhất định, do đó việc xác định phổ thông lượng neutron đối với các thiết bị đo liều là rất khó khăn. Để khắc phục điều này, các thiết bị đo thường được thiết kế để có một cấu hình đầu dò với đáp ứng thông lượng có dạng tương tự như đường chuyển đổi liều $h(E)$ [1, 5, 6]. Phương pháp này cho phép xác định giá trị của $H^*(10)$ một cách đơn giản qua số đếm ghi nhận được mà không cần quan tâm tới năng lượng của bức xạ tới.

Giả sử rằng: M và $R(E_k)$ lần lượt là số đọc và đáp ứng thông lượng của thiết bị đo liều neutron. Ta có thể biểu diễn mối quan hệ giữa các đại lượng này theo công thức sau:

$$M = \sum_{k=1}^n (\Phi(E_k) \times R(E_k)) \quad (1.2)$$

Từ (1.1) và (1.2):

$$\frac{H^*(d)}{M} = \frac{\sum_{k=1}^n (\Phi(E_k) \times h(E_k))}{\sum_{k=1}^n (\Phi(E_k) \times R(E_k))} \quad (1.3)$$

trong trường hợp đáp ứng thông lượng của thiết bị đo có dạng tương tự như đường chuyển đổi liều, khi đó tỷ số giữa $h(E_k)$ và $R(E_k)$ là một hằng số và giá trị tương đương liều neutron môi trường $H^*(10)$ sẽ được chuẩn hóa thông qua số đọc của thiết bị đo với hệ số hiệu chuẩn, c , như được mô tả trong công thức (1.5).

$$\frac{h(E_k)}{R(E_k)} = c \quad (c \text{ là hằng số, } k = \overline{1, n}) \quad (1.4)$$

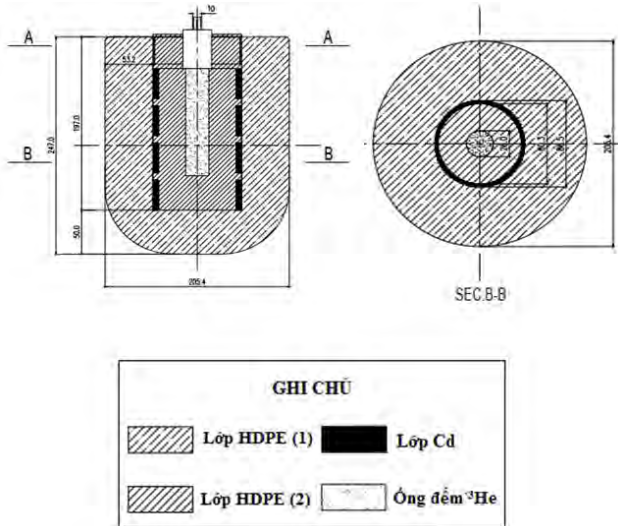
$$H^*(d) = c \times M \quad (1.5)$$

Để đạt được cấu hình đầu dò thỏa mãn điều kiện trên, chúng tôi đã thực hiện các tính toán Monte-Carlo nhằm xác định cấu hình tối ưu cho thiết bị đo. Các mô phỏng được thực hiện với ống đếm tỷ lệ ^3He có kích thước $15 \times 2,54$ (cm) do hãng Centronics (UK) chế tạo. Đáp ứng thông lượng của ống đếm với các cấu hình làm chậm khác nhau được tính toán dựa trên số phản ứng $^3\text{He}(n, p)$ t sinh ra trong vùng hoạt của đầu dò. Trong quá trình mô phỏng, các tham số như bề dày nhiệt hóa, vị trí và kích thước của lớp hấp thụ được điều chỉnh cho tới khi thu được một hàm đáp ứng năng lượng phù hợp theo khuyến cáo của tiêu chuẩn quốc tế IEC 61005-2014 [8]

2.2. Cấu hình của thiết bị đo

Thiết bị được chế tạo có cấu trúc như hình 1. Trong đó, ống đếm tỷ lệ ^3He được đặt tại vị trí trung tâm, bao quanh là khối làm chậm có kích thước là $20,5 \times 24,5$ (cm). Cấu trúc làm chậm gồm 2 lớp polyethylene mật độ cao với bề dày lần lượt là 6 cm và 2,7 cm, ở giữa là lớp Cd có bề dày 3 mm. Để tăng cường đáp ứng của thiết bị đo tại vùng neutron nhiệt, lớp Cd được đục lỗ với tổng

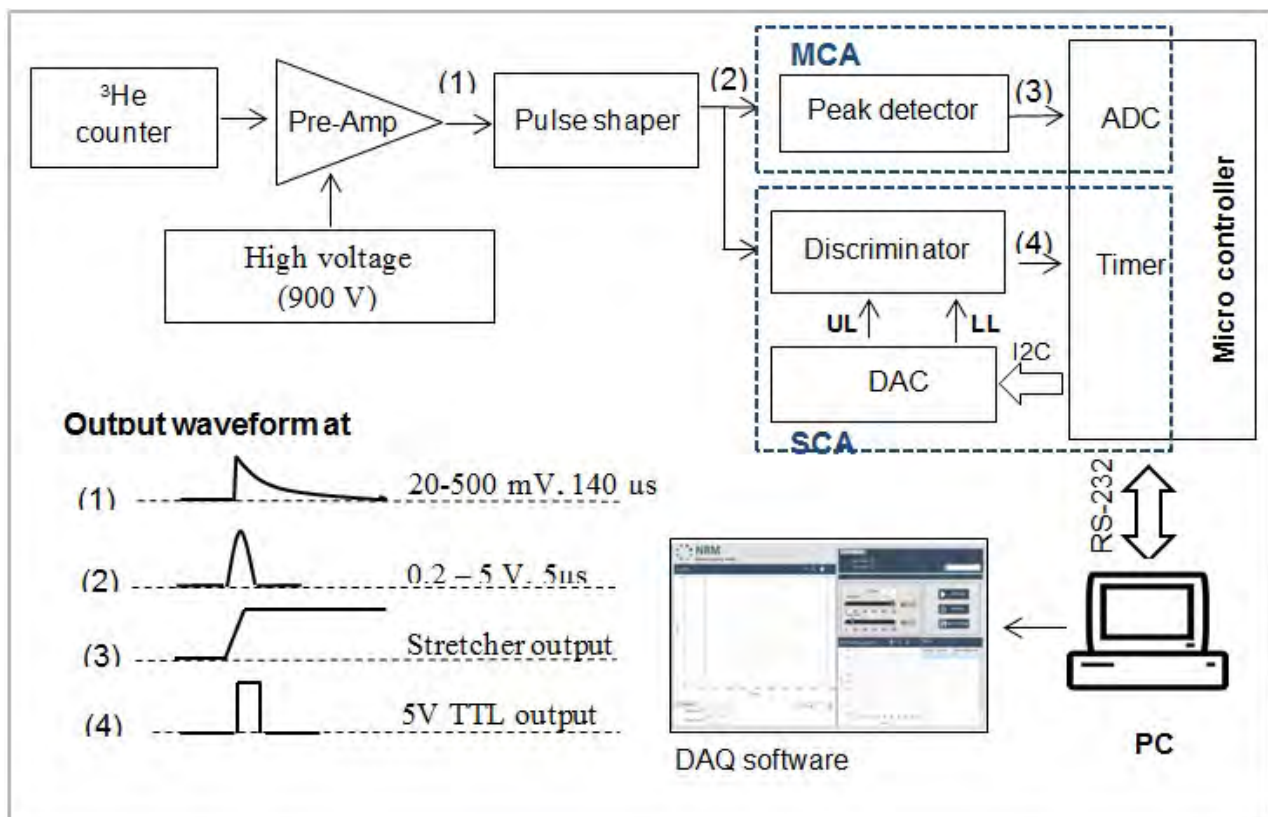
diện tích mở bằng 10% diện tích đầu dò. Các lỗ mở này được bố trí tại các vị trí cách đều nhau dọc theo trục của ống đếm nhằm cải thiện đáp ứng góc của thiết bị đo.



Hình 1. Cấu trúc của khối đầu dò

Hệ điện tử được chế tạo với các khối chức năng bao gồm: cao thế, tiền khuếch đại, khối hình thành

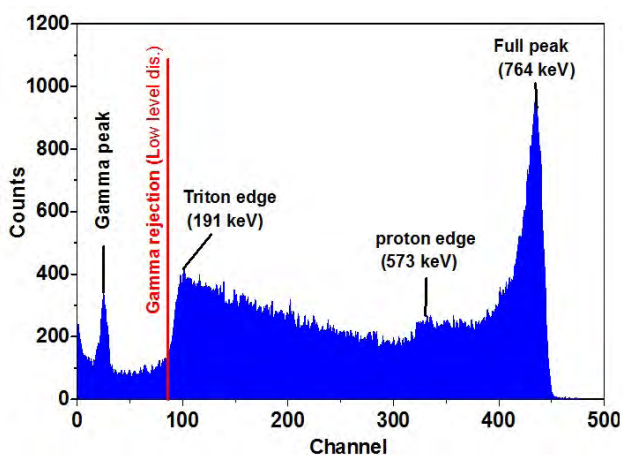
xung, MCA (1024 kênh) và SCA (hình 2). Trong đó, tiền khuếch đại được thiết kế có hệ số khuếch đại là 1400 mV/pC, độ ổn định cao và nhiễu thấp (ENC = 200 electron). Khối hình thành xung có nhiệm vụ khuếch đại và hình thành xung với biên độ lối ra có giá trị từ 0-5 V. Các xung này sau đó được đưa vào MCA và SCA để hình thành hai chế độ đo độc lập. Trong đó, chế độ MCA đóng vai trò như một chức năng phụ trợ và chỉ được sử dụng trong quá trình hiệu chuẩn nhằm khảo sát phổ năng lượng đặc trưng của phản ứng (n, p) và xác định ngưỡng cắt phù hợp cho SCA. Các giá trị này sẽ được thiết lập bởi việc điều khiển một DAC-10bit (MCP 4912) thông qua hệ thống phần mềm trên máy tính chủ. Khi hoạt động ở chế độ SCA, thiết bị sẽ đếm các xung bức xạ và tính toán suất tương đương liều neutron môi trường tương ứng. Hình 3 là phổ năng lượng đặc trưng của phản ứng bắt ${}^3\text{He}(n,p)t$ được ghi nhận bởi thiết bị đo khi chiếu với nguồn ${}^{241}\text{Am-Be}$.



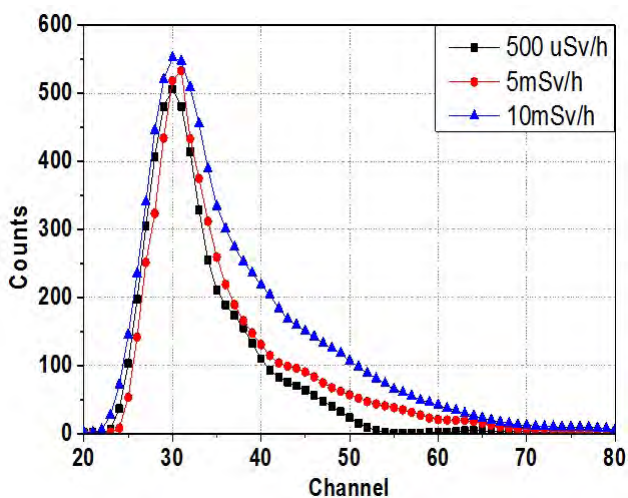
Hình 2.1. Sơ đồ khối của hệ điện tử đã được chế tạo



Hình 2.2. Hình ảnh của hệ điện tử đã được chế tạo



Hình 3. Phổ năng lượng đặc trưng của phản ứng bắt $^3\text{He}(n,p)t$

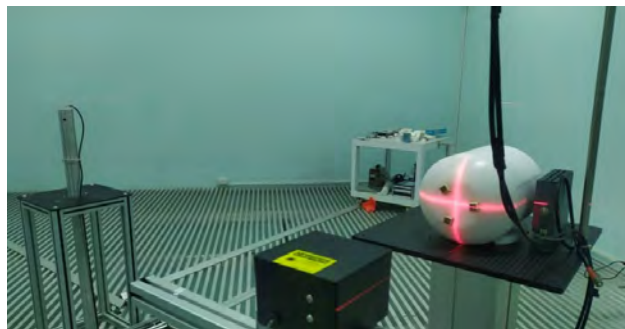


Hình 4. Khảo sát thiết bị đo trên trường chuẩn ^{137}Cs (662 keV) với các suất liều khác nhau

Phổ đặc trưng ghi nhận bởi thiết bị đo bao gồm một đỉnh năng lượng toàn phần tại 764 keV và các đỉnh thoát đơn của triton và proton tại 191 và 573 keV. Tại vùng năng lượng thấp, xuất hiện một đỉnh nhỏ gây ra do các bức xạ gamma sinh ra trong quá trình làm chậm neutron. Để loại trừ các đóng góp của gamma và nhiễu điện tử, ngưỡng thấp của SCA sẽ được lựa chọn gần đỉnh thoát của proton sao cho hệ thống ghi nhận có thể loại trừ hầu hết các bức xạ gamma ở suất liều 10 mSv/h tại năng lượng 662 keV của ^{137}Cs (hình 4).

3. KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM

Nhằm khảo sát độ nhạy và khả năng làm việc của thiết bị đo, các đo đạc thực nghiệm được tiến hành tại phòng chuẩn neutron của Viện Khoa học và Kỹ thuật Hạt nhân. Hệ đo được chiếu chuẩn với nguồn $^{241}\text{Am-Be}$ có năng lượng trung bình là 4,2 MeV và suất liều là $1,287 \times 10^7$ n/s.

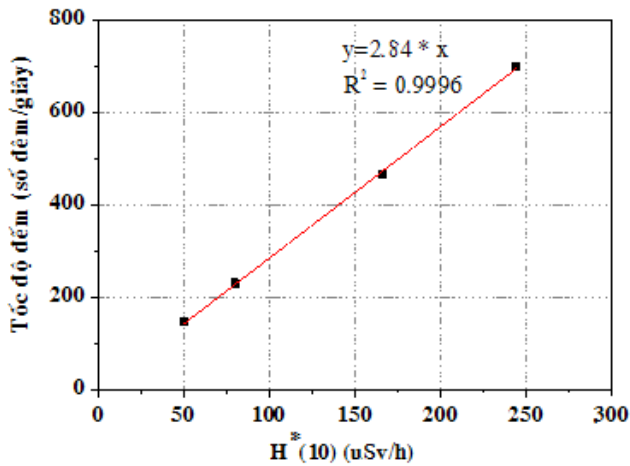


Hình 5. Bố trí thí nghiệm tại phòng chuẩn neutron viện KH&KT hạt nhân

- Độ tuyến tính của thiết bị đo

Các phép đo được thực hiện tại khoảng cách 80 cm, 100 cm, 150 cm và 200 cm nhằm đánh giá độ tuyến tính của thiết bị đo trong dải liều từ 50 $\mu\text{Sv/h}$ tới 300 $\mu\text{Sv/h}$. Hình 6 là đồ thị biểu diễn mối quan hệ giữa tốc độ đếm mà thiết bị ghi nhận được và suất tương đương liều môi trường tại vị trí khảo sát. Các kết quả cho thấy hệ đo có độ nhạy cao ($2.84 \text{ cps}/\mu\text{Sv.h}^{-1}$) và độ tuyến tính tốt

trong toàn dải đo.



Hình 6. Mối liên hệ giữa tốc độ đếm và tương đương liều môi trường $H^*(10)$

- Khả năng làm việc của thiết bị đo trong các trường neutron giả lập thực tế

Trong trường bức xạ thực tế, neutron thường có phân bố năng lượng phức tạp. Việc khảo sát thiết

bị đo với các trường biến điệu của $^{241}\text{Am-Be}$ sử dụng các khối làm chậm có đường kính 20cm, 25cm, 30cm, 35cm, cho phép đánh giá khả năng làm việc của thiết bị đo trong trường thực tế. Các kết quả ghi nhận bởi thiết bị đo sẽ được so sánh với suất liều chuẩn do phòng chuẩn cung cấp và kết quả ghi nhận bởi thiết bị Aloka TPS-451C trên cùng một cấu hình đo. Bảng 1 trình bày các kết quả đo ghi nhận được.

Hầu hết các kết quả đo đều cho sai số nhỏ hơn 12% so với giá trị liều chuẩn. Các kết quả này cũng tương tự như kết quả ghi nhận bởi hệ Aloka TPS-451C do hãng Hitachi (Nhật Bản) chế tạo.

4. KẾT LUẬN

Thiết bị được chế tạo dựa trên ống đếm tỷ lệ ^3He với cấu hình làm chậm đa lớp làm từ vật liệu pol-

Bảng 1. Kết quả đo đạc tương đương liều neutron môi trường tại một số trường biến điệu của $^{241}\text{Am-Be}$

Nguồn neutron	khoảng cách (cm)	Suất liều $H^*(10)$ chuẩn ($\mu\text{Sv/h}$)	Suất liều $H^*(10)$ đọc bởi TB đo ($\mu\text{Sv/h}$)	Độ lệch tương đối (%)	Suất liều ghi nhận bởi ALOKA TPS-451C ($\mu\text{Sv/h}$)
$^{241}\text{Am-Be}$ với 20cm PE	80	131,6	144,3	9,6	143,2
	100	88,2	96,6	9,5	95,1
	150	43,4	48,3	11,3	46,9
	200	28,6	31,1	8,7	30,5
$^{241}\text{Am-Be}$ với 25cm PE	80	108,3	112,3	3,6	112,9
	100	71,6	74,9	4,6	75,1
	150	35,6	37,9	6,6	37,0
$^{241}\text{Am-Be}$ với 30cm PE	200	23,0	24,7	7,6	23,9
	80	83,5	85,9	2,9	84,8
	100	55,0	55,9	1,7	57,2
$^{241}\text{Am-Be}$ với 35cm PE	150	27,4	29,2	6,4	28,8
	200	17,8	18,7	5,3	19,0
	80	64,8	64,6	0,3	65,3
$^{241}\text{Am-Be}$ với 35cm PE	100	43,6	43,4	0,4	43,6
	150	21,3	21,9	2,8	22,8
	200	13,8	14,4	4,3	13,9

yethylen mật độ cao và Cd. Hệ đo có kích thước khoảng 20,5 cm x 24,5 cm và trọng lượng nhỏ hơn 6 kg. Hệ điện tử ghi nhận đi kèm được thiết kế tích hợp một MCA và một SCA cho phép loại trừ hầu hết các tín hiệu gamma và nhiễu điện tử mà vẫn duy trì hiệu suất ghi nhận đối với bức xạ neutron. Với độ nhạy cao (2,84 cps/ μ Sv/h) và khả năng thực thi tốt trong các trường neutron thực tế, thiết bị có thể được sử dụng cho việc kiểm soát an toàn bức xạ tại các cơ sở ứng dụng kỹ thuật hạt nhân trong nước.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] RJ Tanner et al., “Practical Implications of neutron survey instrument performance”, Radiation Protection Dosimetry, HPA-RPD-016, 2016.
- [2] IAEA, “Neutron monitoring for radiological protection”, IAEA Technique report, 1985.
- [3] Vũ Văn Tiến, “Nghiên cứu, khảo sát đặc trưng ống đếm neutron để thiết kế các thiết bị đo liều neutron”, Báo cáo tổng kết ĐTCS, 2013.
- [4] Lương thị Hồng, “Nghiên cứu, chế tạo thử nghiệm thiết bị đo liều neutron nhằm kiểm soát liều lượng bức xạ neutron sử dụng trong công nghiệp”, Báo cáo tổng kết ĐTCB, 2018.
- [5] T. M. Oakes et al., “An accurate and portable solid state neutron rem meter” Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 719, 6-12.
- [6] J. Saegusa et al., “Evaluation of energy responses for neutron dose-equivalent meters made in Japan”, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 516 (2004), p.p 193–202.
- [7] ICRP, “The International Commission on Radiological Protection”, Publication 74, 1996.
- [8] IEC international standard, “Radiation protection instrumentation – Neutron ambient dose equivalent (rate) meters”, IEC-61005 (2014).

CÔNG NGHỆ KHAI THÁC VÀ CHẾ BIẾN QUẶNG URANI

Lê Quang Thái, Nguyễn Văn Tùng

Trung tâm Công nghệ Urani, Viện Công nghệ xạ hiếm

Urani được khai thác chủ yếu phục vụ cho nhu cầu phát triển điện hạt nhân. Ngoài ra, một lượng nhỏ urani được sử dụng để sản xuất đồng vị phóng xạ trong y tế, nghiên cứu khoa học và một số lĩnh vực khác. Các phương pháp khai thác urani hiện nay bao gồm khai thác lộ thiên, khai thác hầm lò và khai thác tại chỗ (in-situ). Một phần nhỏ urani được thu hồi như một sản phẩm phụ của quá trình chế biến các loại khoáng sản khác. Nguồn cung cấp urani chủ yếu đến từ các hoạt động khai thác mỏ, ngoài ra còn một phần từ các nguồn thứ cấp khác. Sản phẩm của quá trình khai thác và chế biến urani là yellowcake với hàm lượng từ 75 - 85% U_3O_8 . Sản phẩm này sẽ được chuyển tới các nhà máy chế tạo nhiên liệu cho lò phản ứng hạt nhân, phục vụ cho ngành năng lượng nguyên tử trên thế giới.

Với sự phát triển của công nghệ điện hạt nhân và nhu cầu năng lượng sạch ngày càng cao, việc khai thác và chế biến urani vẫn đang tiếp tục được phát triển trên thế giới với nhiều triển vọng trong tương lai.

1. NGUỒN TÀI NGUYÊN URANI

Bảng 1. Nguồn tài nguyên urani theo quốc gia, năm 2019

Nước	Tấn U	Thế giới (%)
Úc	1.692.700	28%
Kazakhstan	906.800	15%
Canada	564.900	9%
Nga	486.000	8%
Namibia	448.300	7%
Nam Phi	320.900	5%
Brazil	276.800	5%
Niger	276.400	4%
Trung Quốc	248.900	4%
Mông Cổ	143.500	2%
Uzbekistan	132.300	2%
Ukraine	108.700	2%
Botswana	87.200	1%
Tanzania	58.200	1%
Jordan	52.500	1%
Hoa Kỳ	47.900	1%
Các nước khác	295.800	5%
Tổng	6.147.800	

Hiện nay, tổng trữ lượng urani đã được thăm dò trên thế giới khoảng 6,15 triệu tấn, trong đó chủ yếu ở 15 quốc gia (chiếm đến 95% trữ lượng thế giới).

Úc là nước có nguồn tài nguyên urani lớn nhất thế giới, chiếm đến 28%, tiếp theo là Kazakhstan với 15%, Canada, Nga và Namibia lần lượt là 9%, 8% và 7% và một số nước khác. Bảng 1 cho thấy các nguồn tài nguyên urani có thể khai thác được hiện nay ở các quốc gia.

Ngoài ra, mỗi năm có khoảng 12.000 tấn urani được cung cấp từ một số hoạt động bao gồm việc Hoa Kỳ và Nga ngừng hoạt động các đầu đạn hạt nhân, giải trừ vũ khí hạt nhân, quá trình pha trộn nguồn urani độ giàu cao trước đây. Các nguồn urani khác như kho dự trữ của chính phủ và các công ty, đặc biệt là một lượng rất lớn urani nghèo còn lại từ quá trình làm giàu trước đây, có thể được làm giàu lại bằng các quy trình hiệu quả hơn. Một phần nhỏ đến từ urani thu được từ việc

tái chế nhiên liệu đã qua sử dụng. Nhu cầu urani toàn cầu hiện nay là khoảng 67.000 tU/năm. Do đó, nguồn tài nguyên urani hiện tại trên thế giới có thể đáp ứng được nhu cầu hiện tại khoảng 90 năm nữa.

2. SẢN LƯỢNG KHAI THÁC URANI

Hầu hết các mỏ quặng urani đang khai thác hiện tại có hàm lượng trung bình lớn hơn 0,10% urani. Một số mỏ ở Canada có lượng quặng khổng lồ với hàm lượng trung bình lên tới 20% urani. Tuy nhiên, cũng có một số mỏ có thể khai thác với lượng quặng rất thấp, dưới 0,02% urani. Hiện nay, các mỏ urani đang được khai thác ở khoảng

20 quốc gia, trong đó Kazakhstan là nước có sản lượng lớn nhất (chiếm khoảng 42% nguồn cung thế giới vào năm 2019), tiếp theo là Canada (13%) và Úc (12%) (xem bảng 2).

Sản lượng urani toàn cầu trong giai đoạn dự báo (2021-2025) dự kiến sẽ tăng với tốc độ CAGR là 6,2% để đạt 65,2 kt vào năm 2025. Kazakhstan, quốc gia nắm giữ một số mỏ urani lớn nhất thế giới, dự kiến sẽ vẫn là nhà cung cấp lớn nhất thế giới trong vài năm tới. Với các mỏ urani lộ thiên tiềm năng, Namibia cũng được kỳ vọng sẽ là nhà cung cấp urani nổi bật cho thị trường toàn cầu. Hơn nữa, việc khởi động lại mỏ Cigar Lake vào tháng 4 năm 2021 cũng sẽ đảm bảo nguồn cung cấp urani từ Canada.

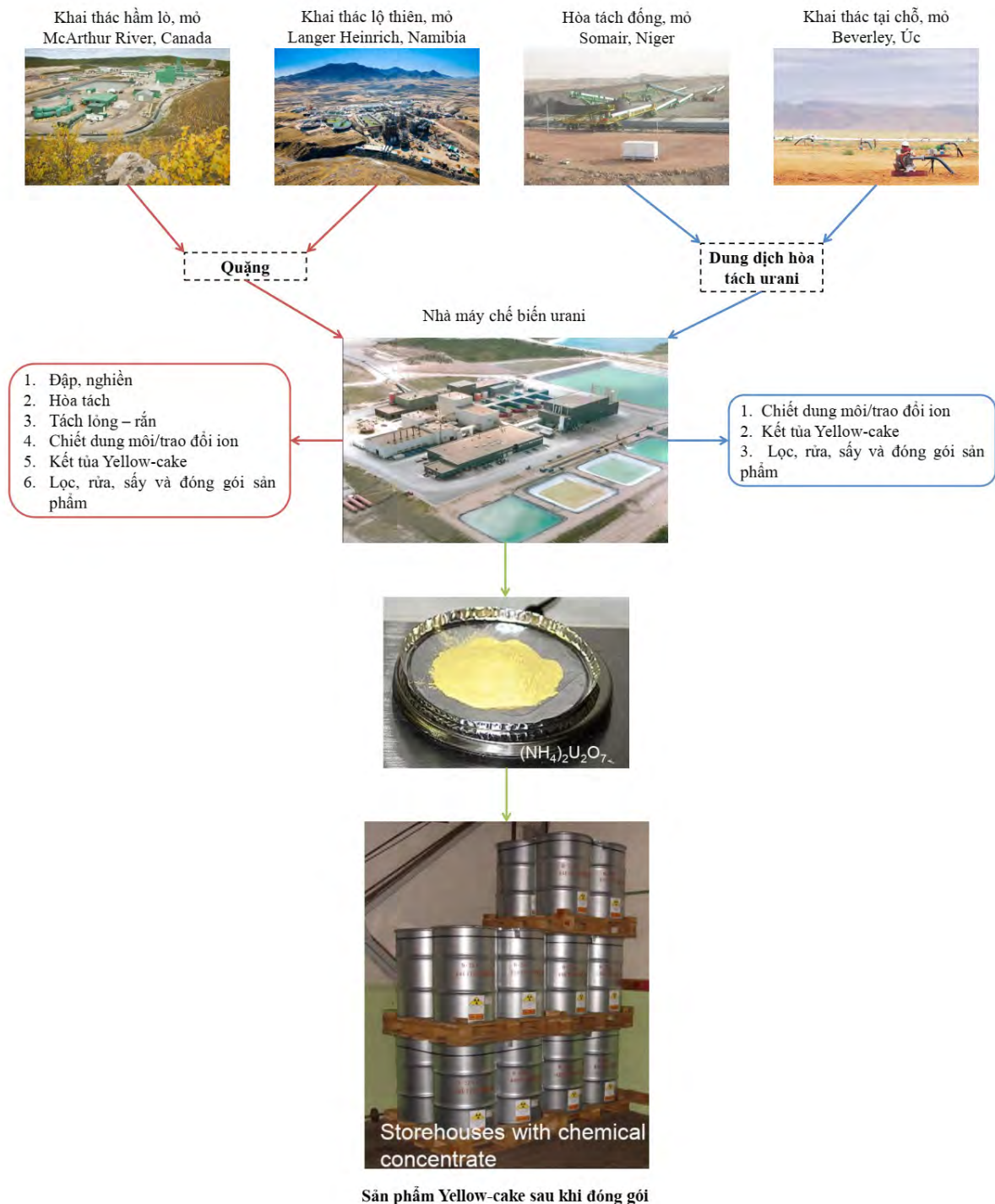
Bảng 2. Sản lượng khai thác urani trên thế giới (tấn)

Nước	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Kazakhstan	17.803	19.451	21.317	22.451	23.127	23.607	24.586	23.321	21.705	22.808
Canada	9783	9145	8999	9331	9134	13.325	14.039	13.116	7001	6938
Úc	5900	5983	6991	6350	5001	5654	6315	5882	6517	6613
Namibia	4496	3258	4495	4323	3255	2993	3654	4224	5525	5476
Uzbekistan	2400	2500	2400	2400	2400	2385	2404	2404	2404	3500
Niger	4198	4351	4667	4518	4057	4116	3479	3449	2911	2983
Nga	3562	2993	2872	3135	2990	3055	3004	2917	2904	2911
Trung Quốc	827	885	1500	1500	1500	1616	1616	1885	1885	1885
Ukraine	850	890	960	922	926	1200	1005	550	1180	801
Hoa Kỳ	1660	1537	1596	1792	1919	1256	1125	940	582	67
Ấn Độ	400	400	385	385	385	385	385	421	423	308
Nam Phi	583	582	465	531	573	393	490	308	346	346
Iran	0	0	0	0	0	38	0	40	71	71
Pakistan	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
Cộng hòa Czech	254	229	228	215	193	155	138	0	0	0
Romania	77	77	90	77	77	77	50	0	0	0
Brazil	148	265	326	192	55	40	44	0	0	0
Pháp	7	6	3	5	3	2	0	0	0	0
Đức	8	51	50	27	33	0	0	0	0	0
Malawi	670	846	1101	1132	369	0	0	0	0	0
Tổng	53.671	53.493	58.493	59.331	56.041	60.304	62.379	59.462	53.498	54.752
Tân U₃O₈	63.291	63.082	68.974	69.966	66.087	71.113	73.560	70.120	63.087	64.566
Đáp ứng nhu cầu thế giới	84%	87%	94%	91%	85%	98%	96%	93%	80%	81%

3. CÔNG NGHỆ KHAI THÁC VÀ CHẾ BIẾN URANI

Công nghệ khai thác và chế biến urani được thể hiện trong hình 1. Sản phẩm của quá trình khai thác và chế biến quặng urani là yellowcake có hàm lượng urani khoảng 75 - 85%.

Urani được thu hồi từ các nguồn quặng bằng các phương pháp khác nhau như khai thác lộ thiên, khai thác hầm lò, hòa tách đồng và khai thác tại chỗ. Các đặc trưng cơ bản của từng phương pháp khai thác được tổng hợp trong bảng 3.



Hình 1. Công nghệ khai thác và chế biến urani trên thế giới

Bảng 3. Các phương pháp khai thác urani

Khai thác lộ thiên	Khai thác hầm lò	Hòa tách đồng	Khai thác tại chỗ
<ul style="list-style-type: none"> - Các mỏ có thân quặng nằm sát bề mặt - Quặng khai thác từ mỏ được chuyển tới một nhà máy chế biến để thu hồi urani, dung dịch sau khi hòa tách có nồng độ urani khoảng 2 - 3 g/l - Tạo ra một lượng lớn chất thải, bao gồm cả chất thải rắn và thải lỏng, yêu cầu phải xử lý và quản lý chất thải phóng xạ - Diện tích sử dụng lớn, ảnh hưởng lớn đến môi trường - Chi phí khai thác lớn nhất - Kỹ thuật này được sử dụng tại mỏ Ranger ở miền bắc Australia, mỏ Rössing ở Namibia và hầu hết các mỏ từ Saskatchewan đến McClean Lake ở miền Bắc Canada 	<ul style="list-style-type: none"> - Thân quặng nằm sâu trong lòng đất - Cần xây dựng một hệ thống đường hầm kiên cố để đảm bảo an toàn trong quá trình khai thác - Sử dụng ít diện tích trên mặt đất, lượng chất thải tạo ra ít hơn so với khai thác lộ thiên và có thể tái chôn lấp lại trong các đường hầm sau khi kết thúc khai thác - Quặng khai thác từ mỏ được chuyển tới một nhà máy chế biến để thu hồi urani, dung dịch sau khi hòa tách có nồng độ urani khoảng 2-3 g/l - Ít ảnh hưởng môi trường hơn khai thác lộ thiên - Chi phí khai thác thấp hơn so với khai thác lộ thiên - Kỹ thuật này được sử dụng tại mỏ Olympic Dam ở Australia, mỏ McArthur River, Rabbit Lake và Cigar Lake ở Northern Saskatchewan, và mỏ Akouta ở Niger 	<ul style="list-style-type: none"> - Sử dụng đối với các loại quặng có hàm lượng thấp, dưới 0,1% urani - Quặng được khai thác sát bề mặt, đổ thành các đồng lớn trên mặt đất và sử dụng dung dịch axit hoặc kiềm để thu hồi urani, dung dịch thu được có nồng độ khoảng 2 - 3 g/l - Hiệu suất thu hồi urani thấp, khoảng 50 - 80% - Diện tích sử dụng lớn, lượng chất thải sinh ra lớn, thường được chôn lấp lại các hố khai thác - Ảnh hưởng đến môi trường - Chi phí thấp hơn so với khai thác lộ thiên 	<ul style="list-style-type: none"> - Thân quặng nằm sâu dưới đất, trong các mạch nước ngầm - Sử dụng dung dịch hòa tách bơm trực tiếp xuống thân quặng và thu hồi urani qua các mạch nước nằm trong thân quặng - Ít ảnh hưởng đến môi trường nhất - Diện tích sử dụng nhỏ nhất - Có khả năng thu hồi urani đối với nhiều cấp độ quặng - Cần phải nghiên cứu địa chất kỹ lưỡng, chỉ sử dụng được ở một số khu vực địa chất giới hạn, không sử dụng được với các khu vực khai thác nước ngầm cho các mục đích khác - Nguy cơ ô nhiễm nguồn nước ngầm - Chi phí khai thác thấp nhất - Ít ảnh hưởng tới công nhân do công nhân làm việc không tiếp xúc trực tiếp với quặng

Các kỹ thuật khai thác đều có ưu nhược điểm khác nhau. Năm 2019, tổng sản lượng khai thác bằng kỹ thuật khai thác tại chỗ chiếm đến 57%, trong khi khai thác hầm lò và khai thác lộ thiên là 36%. Ngoài ra, urani còn được thu hồi như một sản phẩm phụ của các quá trình khai thác khoáng sản khác như khai thác vàng ở Nam Phi, khai thác đồng ở mỏ Olympic Dam tại Úc, khai thác các mỏ photphát ở Maroc và Florida. Lượng urani này chiếm khoảng 7% tổng sản lượng urani thế

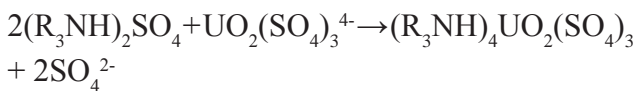
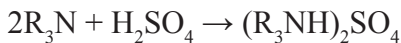
giới.

Sản phẩm từ các quá trình khai thác mỏ là dung dịch urani có hàm lượng urani khoảng 2 - 3 g/l. Dung dịch urani được làm giàu lên với hàm lượng urani khoảng 10 - 12 g/l bằng phương pháp trao đổi ion hoặc chiết dung môi. Đối với quá trình trao đổi ion, nhựa trao đổi ion được sử dụng để thu hồi urani từ dung dịch hòa tách, sau đó nhựa trao đổi ion được rửa giải bằng dung dịch Na_2SO_4 và Na_2CO_3 để thu được dung dịch có nồng độ

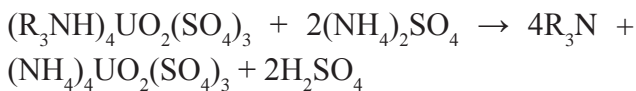
urani cao.

Đối với phương pháp chiết dung môi, một dung môi chứa tác nhân chiết là một amin bậc 3 (R_3N) pha loãng trong kerosel được sử dụng để thu hồi urani từ dung dịch hòa tách, dung dịch $(NH_4)_2SO_4$ được sử dụng để giải chiết urani từ dung môi để thu được dung dịch có nồng độ urani cao hơn. Các phản ứng xảy ra như sau:

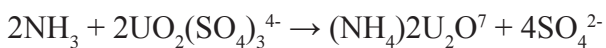
Quá trình chiết urani:



Quá trình giải chiết:



Sau đó, urani được thu hồi bằng cách kết tủa với NH_3 để tạo thành yellowcake. Phản ứng kết tủa như sau:



Sản phẩm được lọc, rửa loại tạp chất bằng dung dịch axit HNO_3 và nước, sấy khô và đóng gói trong các thùng thép.

Sản phẩm cuối cùng là yellowcake có hàm lượng urani khoảng 75 - 85%. Yellowcake được chuyển tới nhà máy chuyển hóa để chế tạo UF_6 và làm giàu urani, chế tạo nhiên liệu cho các nhà máy điện hạt nhân và một số mục đích khác.

4. QUẢN LÝ CHẤT THẢI VÀ HOÀN THỒ MỎ SAU KHI KHAI THÁC

Các chất thải rắn và lỏng phát sinh từ quá trình khai thác và chế biến urani đều phải được quản lý chặt chẽ do chúng đều là các chất thải phóng xạ. Tất cả các nguồn thải phát sinh đều được đánh giá mức độ phóng xạ để có biện pháp xử lý phù hợp.

Các loại chất thải rắn không phải là quặng sẽ

được sử dụng để hoàn thổ lại khu vực mỏ sau khi kết thúc khai thác đối với các phương pháp khai thác lộ thiên, khai thác hầm lò và hòa tách đồng. Các loại chất thải rắn phát sinh từ quá trình xử lý quặng sẽ được lưu giữ tập trung trong một hồ chứa thải dưới dạng bùn thải. Trong hồ chứa bùn sẽ có một lượng nước bao phủ bề mặt bùn thải để giảm thiểu tối đa sự phát thải của khí radon. Nước thải từ quá trình xử lý quặng và chế biến urani cũng được thu gom xử lý tập trung và tái tuần hoàn lại để giảm thiểu lượng nước cần sử dụng trong cả quá trình.

Tất cả các mỏ sau khi kết thúc khai thác đều được hoàn thổ để đảm bảo không xảy ra môi trường. Các hồ chứa bùn thải được xử lý triệt để nước thải. Hồ chứa bùn chứa chất thải rắn còn lại được bao phủ bởi khoảng hai mét đất sét và lớp đất mặt vôi đủ đá để chống xói mòn. Điều này là để giảm cả mức bức xạ gamma và tốc độ phát xạ radon xuống mức gần như mức thường xảy ra trong vùng của thân quặng và cuối cùng là phủ một lớp thực vật trên cùng. Các hầm lò sau khi khai thác được hoàn thổ bằng chính lượng chất thải rắn sau khi đã xử lý. Đối với khai thác tại chỗ, cần tiến hành rửa trôi để phục hồi lại hiện trạng nguồn nước ngầm như ban đầu. Sau khi hoàn thổ, vẫn cần tiếp tục giám sát bằng cách đo đặc chất lượng môi trường trong khu vực trong một thời gian tùy theo quy định của từng quốc gia.

5. KẾT LUẬN

Năng lượng hạt nhân vẫn là một lựa chọn cần thiết để đảm bảo nhu cầu năng lượng trên thế giới đang ngày càng tăng trong khi các nguồn năng lượng hóa thạch đang dần cạn kiệt. Do vậy, việc thăm dò, khai thác và chế biến urani vẫn đang tiếp tục được phát triển. Nguồn cung cấp urani trên thế giới vẫn chủ yếu là từ khai thác mỏ, một phần nhỏ từ các nguồn khác và vẫn đáp ứng được nhu cầu thế giới. Công nghệ khai thác urani bao gồm

các phương pháp như khai thác lộ thiên, khai thác hầm lò, hòa tách đồng và khai thác tại chỗ. Sản phẩm cuối cùng của quá trình khai thác và chế biến urani là yellowcake có hàm lượng urani từ 75 - 85%. Yellowcake được chuyển tới nhà máy chuyển hóa để chế tạo UF₆ và làm giàu urani, chế tạo nhiên liệu cho các nhà máy điện hạt nhân và một số mục đích khác. Chất thải phát sinh từ quá trình khai thác và chế biến urani đều được xử lý và giám sát chặt chẽ theo quy định của từng quốc gia. Các khu vực mỏ sau khi khai thác được hoàn thổ và tiếp tục giám sát để đảm bảo an toàn môi trường trong một thời gian nhất định.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. OECD NEA & IAEA, Uranium 2020: Resources, Production and Demand ('Red Book')
2. <https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/mining-of-uranium.aspx>
3. PRODUCTION OF YELLOW CAKE IN CHEMICAL MILL- build-up and description of technologies, DIAMO state enterprise, branch plant GEAM Dolní Rožinka, plant Chemical mill
4. <https://www.epa.gov/radtown/radioactive-waste-uranium-mining-and-milling>
5. Primary Extraction, IAEA - INT2019 Interregional Workshop on Case Study of Conventional Uranium Production: from Exploration to Closure October 14 to 18th, 2019, Prague, Czech Republic

TỔNG QUAN VỀ TỔNG HỢP HẠT NANO CHITOSAN-POLY ACRYLIC AXIT CHỨA GD-DTPA ỨNG DỤNG CHO ẢNH CỘNG HƯỞNG TỪ (MRI)

Trung tâm Công nghệ đất hiếm và Phòng ứng dụng công nghệ & phân tích
Viện Công nghệ xạ hiếm

Chụp cộng hưởng từ (MRI) là một kỹ thuật được sử dụng rộng rãi để thu được các chi tiết giải phẫu của các mô mềm do các lợi ích sau: không ion hóa, vô hại và hình ảnh có độ phân giải cao với độ tương phản mô mềm khác biệt giữa các mô khác nhau [1]. Sự tương phản giữa các mô không giống nhau có thể được tăng cường bằng cách sử dụng các hợp chất thuận từ.

Ngày nay có ba loại chất tương phản MRI: thuận từ (Gd), siêu thuận từ (hạt nano oxit sắt) và từ tính. Gd (III) là một tác nhân thuận từ, với các electron bên ngoài không ghép cặp, cái đó làm giảm thời gian phục hồi T1 của các proton lân cận. Hợp chất của Gd (phức chất của Gd) đáp ứng một số yêu cầu cho mục đích chẩn đoán MRI: khả năng sửa đổi một số tính chất mô liên quan đến độ tương phản hình ảnh, độ đặc hiệu của mô, thời gian bù hợp lý (hình ảnh trong cộng hưởng từ), độc tính thấp và thời gian bảo quản dài.

Việc sử dụng các chất tương phản này là phổ biến trong hình ảnh y tế như điều tra ung thư và khối u lành tính, quét mạch máu, xác định bất thường tim và phát hiện vỡ hàng rào máu não. Gadolinium được sử dụng làm chất tương phản trong hình ảnh cộng hưởng từ (MRI), để tăng khả năng hiển thị của các cấu trúc cơ thể bên trong, tức là, để tăng cường sự khác biệt tương đối của cường độ tín hiệu giữa hai mô liên kề. Hợp chất của Gd đã được thương mại hóa vào những năm 1980. Hợp chất của Gd (phức chất của Gd) đáp ứng một số yêu cầu cho mục đích chẩn đoán MRI: khả năng sửa đổi một số tính chất mô liên quan đến độ tương phản hình ảnh, độ đặc hiệu của mô, thời gian bù hợp lý (hình ảnh trong cộng hưởng từ), độc tính thấp và thời gian bảo quản dài.

Hanns-Joachim Weinmann [1] và cộng sự đã nghiên cứu và thử nghiệm chelat của nguyên tố

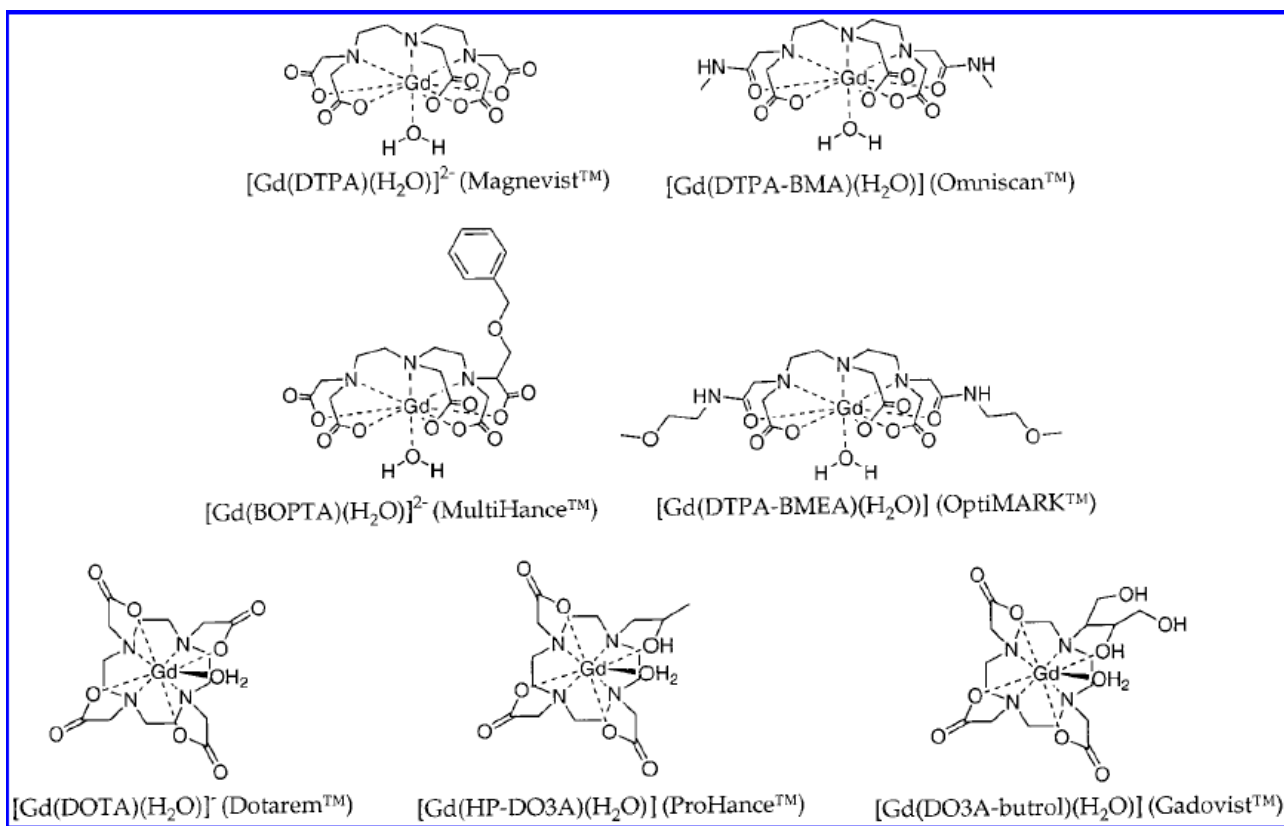
đất hiếm gadolini (Gd) với diethylenetriamine-pentaacetic acid (DTPA) tái tổ hợp một phức chất thuận từ, ổn định mạnh, tương ứng tốt ở động vật. Phức gadolini có từ tính mạnh làm giảm hydroproton ngay cả ở nồng độ thấp (dưới 0,01 mmol/L). Dược động học của Gd-DTPA tiêm tĩnh mạch tương tự như các thuốc tương phản iốt nổi tiếng được sử dụng trong chụp cắt lớp và chụp động mạch, nó được bài tiết chủ yếu qua thận hơn 90% trong 24 giờ. Liều LD50 tiêm tĩnh mạch của trục meglumine của Gd-DTPA là 10 mmol/kg đối với chuột và cho thấy không có sự phân ly của ion gadolinium từ phối tử DTPA. Sự kết hợp của phức chất với phục hồi proton mạnh, ổn định, bài tiết nước tiểu nhanh và dung lượng cao tạo điều kiện cho sự phát triển hơn nữa và tiềm năng ứng dụng lâm sàng của gadolinium-DTPA như một chất tăng cường tương phản trong hình

ảnh cộng hưởng từ.

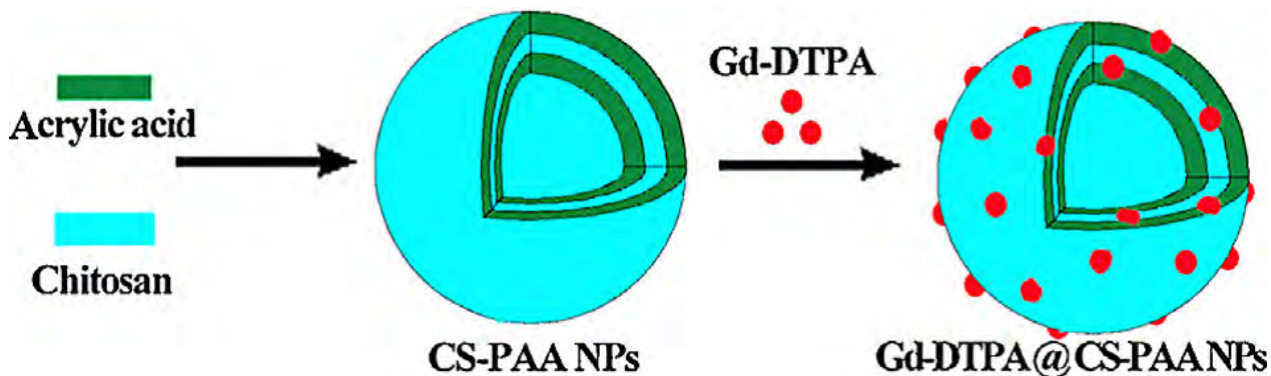
Bảng 1. Các phức chất của Gd đang được phê duyệt hoặc trong các thử nghiệm lâm sàng.

chemical name	generic name	brand name	company	classification
[Gd(DTPA)(H ₂ O)] ²⁻	gadopentetate dimeglumine	Magnevist ^a	Schering (Germany)	extracellular
[Gd(DOTA)(H ₂ O)] ⁻	gadoterate meglumine	Dotarem ^a	Guerbet (France)	extracellular
[Gd(DTPA-BMA)(H ₂ O)]	gadodiamide	Omniscan ^a	Nycomed-Amersham (U.K.)	extracellular
[Gd(HP-DO3A)(H ₂ O)]	gadoteridol	ProHance ^a	Bracco (Italy)	extracellular
[Gd(DO3A-butrol)(H ₂ O)]	gadobutrol	Gadovist ^a	Schering (Germany)	extracellular
[Gd(DTPA-BMEA)(H ₂ O)]	gadoversetamide	OptiMARK ^b	Mallinckrodt (U. S.)	extracellular
[Gd(BOPTA)(H ₂ O)] ²⁻	gadobenate dimeglumine	MultiHance ^a	Bracco (Italy)	hepatobiliary/extracellular
[Gd(EOB-DTPA)(H ₂ O)] ²⁻	gadoxetic acid disodium	Eovist ^b	Schering (Germany)	hepatobiliary
MS-325	gadophostriamine trisodium	AngioMARK ^b	EPIX/Mallinckrodt (U. S.)	blood pool

^a Approved. ^b In clinical trials.



Hình 1. Các tác nhân chelat với phức chất Gd sử dụng thương mại trong chuẩn đoán MRI

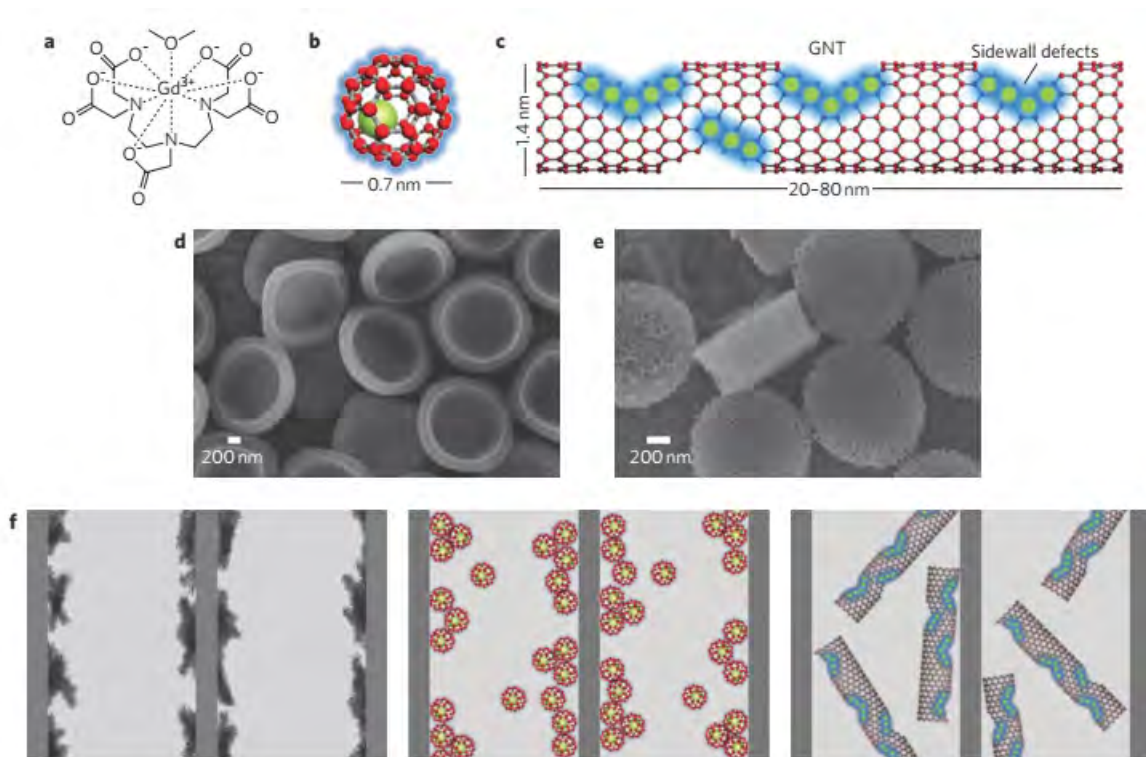


Hình 2. Tổng hợp hạt nano CS-PAA NPs chứa Gd-DTPA

Arsalan Ahmed [2] và cộng sự đã tổng hợp và xác định đặc tính của hạt nano Chitosan - Poly (Axit acrylic) chứa phức Gd-DTPA để chụp ảnh cộng hưởng từ. Quá trình tổng hợp như sau các hạt nano chitosan trên poly-acrylic (axit acrylic) chứa phức Gd-DTPA (NP-PATPA) được tổng hợp dựa trên hệ thống phản ứng của các cặp monome polyme hòa tan trong nước trong dung dịch chitosan, sau đó hấp phụ của Gd- DTPA. Tính chất của hạt NP-PATPA là hạt hình cầu với kích thước hạt khoảng 220nm. NP-PATPA có đặc tính đảo ngược điện tích trong dung dịch axit. Các đặc tính từ tính in-vitro (thử nghiệm trong ống nghiệm) của NP-PATPA đã được nghiên cứu để ước tính mức độ sử dụng của nó trong hình ảnh cộng hưởng từ, NP-PATPA nhạy cảm với pH. Khi sử dụng NP-PATPA trong MRI có kết quả tốt hơn

về độ tương phản và nồng độ chất tương phản tăng lên ở gan và não theo thời gian. Do đó, NP-PATPA có thể duy trì lưu thông dài, tốc độ lưu thông cao và là tác nhân phù hợp để chụp cộng hưởng từ trong in vivo (thử nghiệm trong cơ thể sinh vật sống).

Jeyarama S. Ananta [3] nghiên cứu sự lưu giữ hình ảnh của chất tương phản chứa hạt nano Gd để dụng làm tác nhân T1 tương phản trong MRI. Các chất tương phản hình ảnh cộng hưởng từ hiện đang được thiết kế bằng cách sửa đổi các đặc tính cấu trúc và hóa lý của chúng để cải thiện tính phục hồi và tăng cường độ tương phản hình ảnh. Ở đây, nhóm tác giả trình bày một phương pháp chung để tăng tính phục hồi bằng cách chất tương phản vào bên trong cấu trúc nano của các hạt silicon. Magnevist, gadofullerenes và gadonotubes với các hình dạng khác nhau. Đối với tất cả các kết hợp cấu trúc nano, sự tăng cường độ

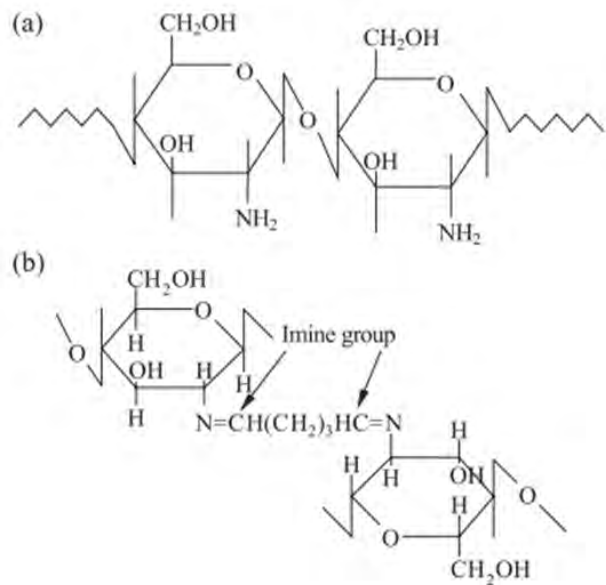


Hình 3: Các cấu trúc nano MRI mới. a-c, sơ đồ hiển thị Magnevist (a), GFs (b) và GNTs (c). d, e, Quét các vi sóng điện tử của các hạt bán cầu (H-SiMP: đường kính, 1,6 mm; độ dày, 0,6 mm) (d) và hình đĩa (D-SiMP: đường kính, 1,0 mm; độ dày, 0,4 mm) (e). f, Phim chụp cho thấy Magnevist, GF và GNTs (trái sang phải) được đặt trong cấu trúc xốp của SiMPs. Sự giám cầm hình học của các Gd-base CAs giúp tăng cường độ tương phản của tác nhân T1 bằng cách thay đổi cả các đóng góp bên trong và bên ngoài hình cầu.[3]

giãn của proton theo chiều dọc r_1 đã được quan sát: Magnevist, $r_1 \approx 14 \text{ mM}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} / \text{Gd}^{3+}$ ($\sim 8,15 \cdot 10^{+7} \text{ mM}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} / \text{cấu trúc}$); gadofullerenes, $r_1 \approx 200 \text{ mM}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} / \text{Gd}^{3+}$ ($\sim 7 \cdot 10^{+9} \text{ mM}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} / \text{cấu trúc}$); gadonano-tubes, $r_1 \approx 150 \text{ mM}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} / \text{Gd}^{3+}$ ($\sim 2 \cdot 10^{+9} \text{ mM}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} / \text{cấu trúc}$). Các giá trị này lớn hơn khoảng 4 đến 50 lần so với phức chất đơn của Gd ($\sim 4 \text{ mM}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} / \text{Gd}^{3+}$). Sự tăng cường độ tương phản được cho là cấu trúc core-shell hình học của phức chất và chất mang ảnh hưởng đến thuận từ của các ion Gd^{3+} . Do đó, cấu trúc core-shell của phức chất Gd và vỏ chất mang ở quy mô nano sẽ là một hướng mới về hợp chất dùng trong ảnh cộng hưởng từ với cường độ tương phản tăng dựa trên gadolinium.

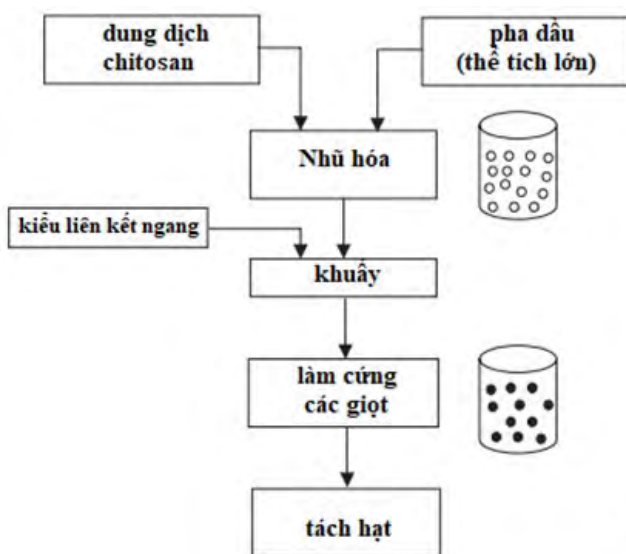
Chitosan ở cấu trúc nano, với tính năng quan trọng là tương thích sinh học và có khả năng phân hủy sinh học, có thể được sử dụng như một chất dẫn thuốc tiềm năng. Để tạo cấu trúc phù hợp với mục đích dẫn thuốc cho chitosan, hiện nay, các nghiên cứu đã đang hướng tới việc phát triển các hệ dẫn thuốc dựa trên chitosan, polyme tự nhiên có tính tương thích sinh học cao, an toàn và hiệu quả [4]. Tổng quan hiện nay phác thảo những phát hiện mới về các ứng dụng dược phẩm của các hệ thống phân phối thuốc vi hạt/nano dựa trên chitosan được công bố trong thập kỷ qua. Phương pháp chuẩn bị, tải thuốc, đặc điểm phát hành và ứng dụng được đề cập. Chitosan biến đổi hóa học hoặc các dẫn xuất của nó

được sử dụng trong nghiên cứu phân phối thuốc được thảo luận nghiêm túc để đánh giá tính hữu ích của các hệ thống này trong việc cung cấp các phân tử hoạt tính sinh học. Từ một cuộc khảo sát tài liệu, người ta nhận thấy rằng các hoạt động nghiên cứu trên các hệ thống vi hạt/nano chitosan có chứa các loại thuốc khác nhau cho các ứng dụng điều trị khác nhau đã tăng lên với tốc độ nhanh chóng.



Hình 4. (a) Cấu trúc của chitosan [poly (β 1-4-d-glucosamine)].

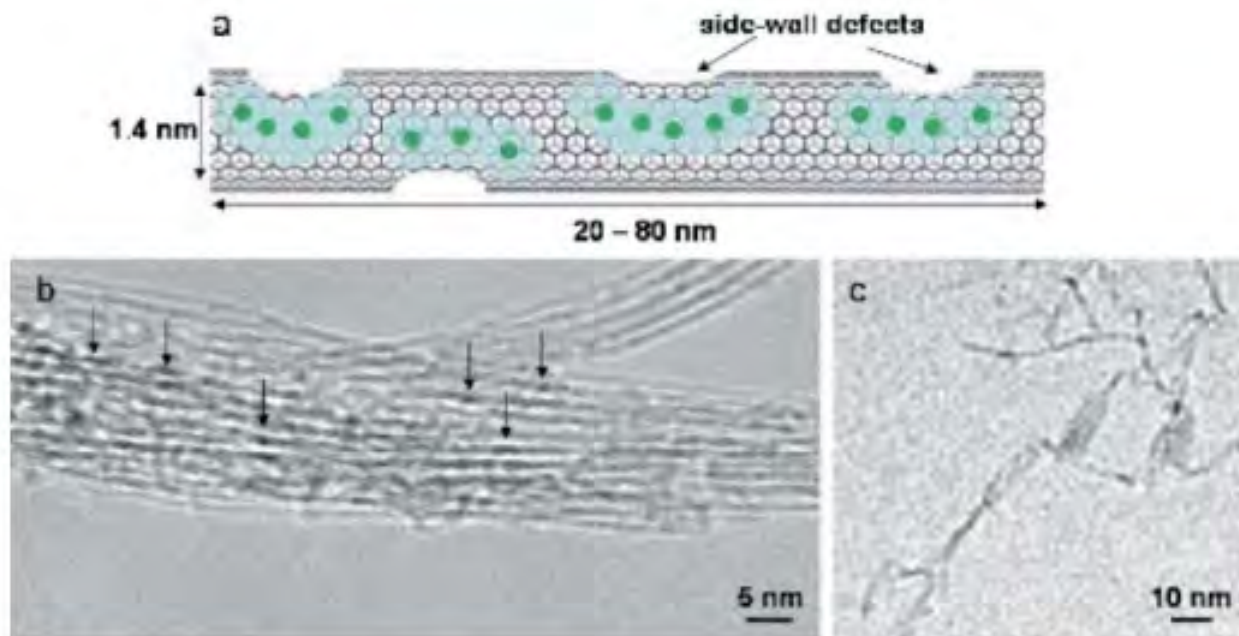
(b) Cấu trúc của chitosan liên kết ngang. [4]



Hình 5: Sơ đồ biểu diễn điều chế hệ thống hạt chitosan và hình ảnh quét kính hiển vi điện tử chitosan được tạo ra bằng phương pháp liên kết ngang nhũ tương

Tác nhân tương phản (CA) đóng một vai trò nổi bật trong hình ảnh cộng hưởng từ trong y học. CA MRI chủ yếu được sử dụng để cải thiện phát hiện bệnh bằng cách tăng độ nhạy và độ tin cậy chẩn đoán. Có một số loại chất tương phản MR đang được sử dụng trong thực hành lâm sàng ngày nay. Chúng bao gồm các tác nhân không gian dịch ngoại bào (ECF), các tác nhân nhóm máu nội mạch cư trú kéo dài và các tác nhân đặc hiệu mô (cơ quan). Hàng năm, khoảng sáu mươi triệu thủ tục MRI được thực hiện trên toàn thế giới và khoảng 30% các thủ tục này sử dụng CA MRI. Ion lanthan, Gd^{3+} , thường được chọn cho

các MRI CA vì nó có mô men từ rất lớn ($\mu^2=63 \mu_B^2$) và trạng thái nhóm điện tử đối xứng, $^8S_{7/2}$. Các ion Gd^{3+} ngậm nước rất độc hại và do đó được cô lập bằng chelat hoặc bao phủ để giảm độc tính. Nhóm nghiên cứu báo cáo việc tải và giam cầm ở kích thước nano của ion Gd^{3+} trong các ống nano carbon đơn vách siêu ngắn (ống US); các loại ống Gd^{3+} này là nam châm phân tử siêu thuận từ tính tuyến tính với hiệu quả chụp cộng hưởng từ (MRI) lớn hơn 40 đến 90 lần so với bất kỳ chất tương phản dựa trên cơ sở nào của Gd^{3+} trong sử dụng lâm sàng hiện nay [5].



Hình 6: (a) Mô tả về một ống nano carbon được nạp các ion Gd^{3+} ngậm nước. (b) Hình ảnh HRTEM của các ống chứa Gd^{3+} hiển thị các cụm (mũi tên) Gd^{3+} được hình thành trong các ống được xác nhận bằng các phép đo EDS. (c) Hình ảnh Cryo-TEM của các ống Gd^{3+} từ dung

Kết luận

Công nghệ nano phát triển mạnh mẽ, nhưng các nghiên cứu chủ yếu xoay quanh các nguyên tố quý hiếm như Ag, các nguyên tố bán dẫn và một số kim loại thông dụng. Trong khi đó phức hợp Gadolini được sử dụng làm chất tương phản trong hình ảnh cộng hưởng từ (MRI), để tăng khả năng hiển thị của các cấu trúc cơ thể bên trong.

Chụp cộng hưởng từ (MRI) là một kỹ thuật được sử dụng rộng rãi để thu được các chi tiết giải phẫu của các mô mềm do các lợi ích sau: không ion hóa, vô hại và hình ảnh có độ phân giải cao với độ tương phản mô mềm khác biệt giữa các mô khác nhau. Sự tương phản giữa các mô không giống nhau có thể được tăng cường bằng cách sử dụng các hợp chất thuận từ. Việc sử dụng các chất tương phản này là phổ biến trong hình ảnh y tế

như điều tra ung thư và khối u lành tính, quét mạch máu, xác định bất thường tim và phát hiện vỡ hàng rào máu não.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Hanns-Joachim Weinmann, (1984) Characteristics of Gadolinium-DTPA Complex: A Potential NMR Contrast Agent. *AJR*: 142. 619-623.
2. Arsalan Ahmed (2015) Fabrication and Characterization of Gd-DTPA-Loaded Chitosan-Poly(Acrylic Acid) Nanoparticles for Magnetic Resonance Imaging, *Macromol. Biosci.* DOI: 10.1002/mabi.201500034.
3. Jeyarama S. Ananta (2010) Geometrical confinement of gadolinium-based contrast agents in nanoporous particles enhances T1 contrast. *Nature nanotechnology*. Vol 5: 815-821
4. Sunil A. Agnihotri (2004) Recent advances on chitosan-based micro- and nanoparticles in drug delivery. *Journal of Controlled Release* 100: 5-28 doi:10.1016/j.jconrel.2004.08.010
5. B. Sitharaman (2005) Superparamagnetic gadonotubes are high-performance MRI contrast agents. *Chem. Commun.*, 2005, 3915-3917. DOI: 10.1039/b504435a
6. Qi Lifeng, Zirong Xu, Xia Jiang, Caihong Hu and Xiangfei Zou - Preparation and antibacterial activity of chitosan nanoparticles, *Carbohydrate Res.* 339 (16) (2004) 2693-2700

NĂNG LƯỢNG HẠT NHÂN VÀ VẬT LIỆU NANO: TIỀM NĂNG ỨNG DỤNG LỚN CHO CÁC HẠT CÓ KÍCH THƯỚC NHỎ

Hoàng Văn Đức
Viện Công nghệ xạ hiểm

1. GIỚI THIỆU

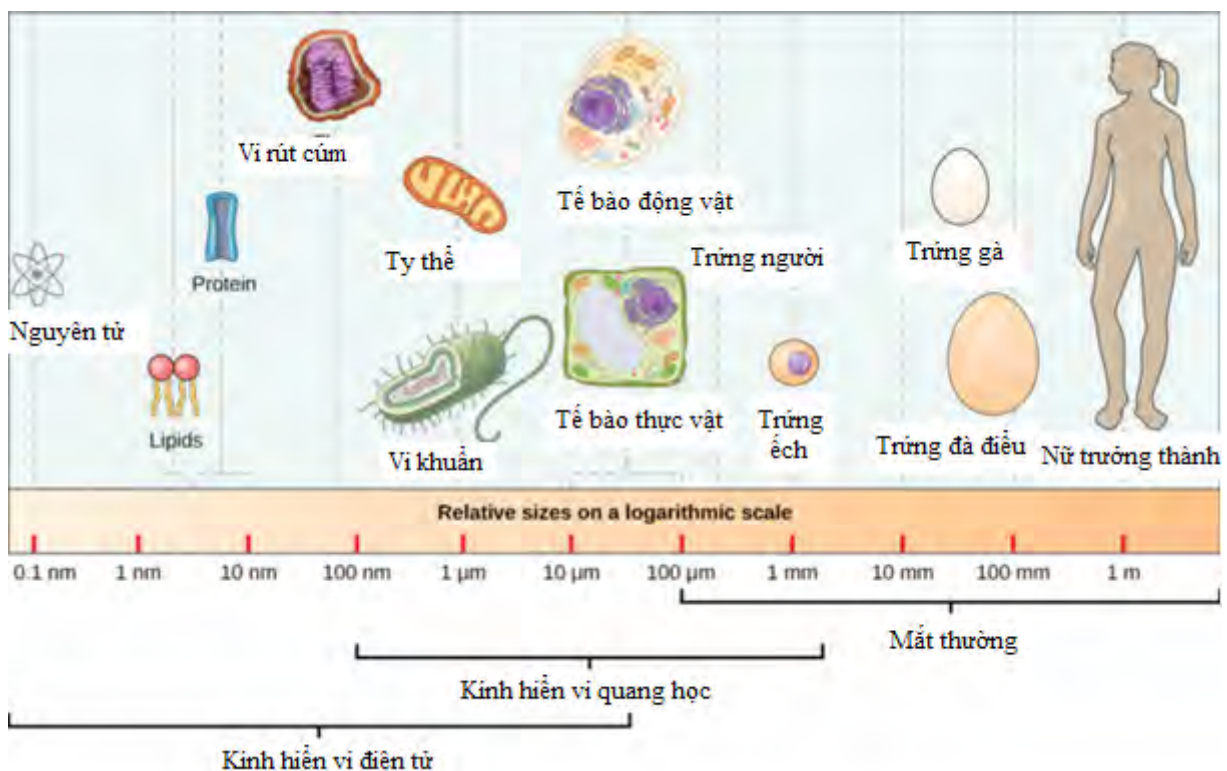
Nhà máy điện hạt nhân (NPP) là những cơ sở lớn, phức tạp và đắt tiền. Ở Hoa Kỳ thì điện hạt nhân cung cấp khoảng 19% tổng lượng điện. Trong quá trình hoạt động các nhà máy điện hạt nhân tiêu thụ một lượng nước khổng lồ [1]. Tuy nhiên, có một loại hạt rất nhỏ đang được nghiên cứu để hỗ trợ cho các nhà máy điện hoạt động hiệu quả hơn và chi phí thấp hơn. Bài báo này sẽ giới thiệu ngắn gọn về vật liệu nano và thảo luận về những cách mà một số hạt nano này có thể làm cho các

nhà máy điện hạt nhân hoạt động hiệu quả hơn.

2. THẢO LUẬN

Vật liệu nano, một trong số vật liệu tiên tiến hiện nay, có tiềm năng ứng dụng trong nhiều ngành công nghiệp như điện tử, quang học, luyện kim, năng lượng, môi trường, quốc phòng,...vv.

Trong mười lăm đến hai mươi năm về trước, các nhà nghiên cứu tập trung vào việc tổng hợp, xác định cấu trúc và tính chất của vật liệu nano. Gần



Hình 1: hình dung, mối quan hệ về kích thước.

đây, các cuộc đua nghiên cứu tổng hợp, thiết kế, thử nghiệm và ứng dụng các vật liệu nano mới để giải quyết các vấn đề khó khăn về năng lượng và quốc phòng đang diễn ra sôi nổi. Vật liệu nano, ở trạng thái không bị kết tụ, có kích thước hạt trong khoảng 1-100 nm ở ít nhất một chiều và thông thường là ở 3 chiều. Loại vật liệu mới này đã khơi dậy trí tưởng tượng của các nhà khoa học và các kỹ sư về ứng dụng vật liệu nano để giải quyết các vấn đề khó khăn trong năng lượng, quốc phòng, chăm sóc sức khỏe và điện tử...vv.

Để cung cấp cái nhìn tổng thể về quy mô, hình 1 đưa ra mối quan hệ về kích thước của các đối tượng khác nhau.

Vật liệu nano, vật liệu có cấu trúc nano không phải là mới, và thực sự xuất hiện tự nhiên trên khắp trái đất, ví dụ như: vi rút, lớp phủ của lá sen, đáy của bàn chân tắc kè và một số cấu trúc của đất sét, kaolan...vv.

Một trong những ứng dụng lâu đời nhất được ghi nhận của vật liệu nano có từ thời Lycurgus Cup (La Mã thế kỷ thứ 4), một loại thủy tinh được làm từ thủy tinh có chứa các hạt nano vàng và nano bạc. Kết quả là một chiếc ly có màu xanh lục khi được chiếu sáng từ bên ngoài, nhưng lại có màu đỏ khi được chiếu sáng từ bên trong [2]. Hiệu ứng này là kết quả của việc lọc các bước sóng ánh sáng khác nhau bằng vật liệu nano tùy thuộc vào các điều kiện ánh sáng khác nhau. Tất nhiên, người La Mã không biết họ đang sử dụng các hạt nano trong quá trình chế tạo loại thủy tinh này.

Nhưng điều gì làm cho các hạt nano trở nên thú vị hoặc độc đáo như vậy? Câu trả lời là phụ thuộc vào vật liệu và ứng dụng cụ thể. Vật liệu có kích thước từ 1 nm đến 100 nm nằm giữa hiệu ứng lượng tử của nguyên tử, phân tử và tính chất của vật liệu khối. Đây là vùng kích thước mà nhiều tính chất vật lý, tính chất nhiệt, tính chất điện của vật liệu thay đổi khác với vật liệu dạng khối. Một

số thay đổi này là do tỷ lệ diện tích bề mặt/kích thước là càng lớn khi kích thước hạt càng nhỏ. Điều này có ý nghĩa sâu rộng đối với cách các hạt tương tác với ánh sáng, nhiệt và tương tác với các hạt khác. Các nhà nghiên cứu có tầm nhìn xa hiện đang tìm cách mà những đặc tính thú vị của vật liệu nano có thể ứng dụng trong các nhà máy điện hạt nhân và làm cho các nhà máy điện hạt nhân hoạt động hiệu quả hơn.

Một điều quan trọng nữa là quá trình truyền nhiệt, khả năng truyền nhiệt càng cao khi diện tích tiếp xúc càng lớn. Nhưng điều này liên quan như thế nào đến các hạt nano? Khi một hạt trở nên rất nhỏ, tỷ lệ giữa diện tích bề mặt của hạt với thể tích của nó tăng lên rất nhanh. Vì sự dẫn nhiệt qua thể tích là một hàm của diện tích bề mặt, các hạt có tỷ lệ diện tích bề mặt trên thể tích lớn có thể thay đổi nhiệt độ rất nhanh. Nếu bạn đặt một lượng lớn các hạt lạnh nhỏ vào một vùng nước nóng, các hạt sẽ nóng lên nhanh chóng. Nếu bạn lấy cùng một khối lượng các hạt, nhưng thay vì nén nó thành một hạt lớn, thì hạt lớn đó sẽ ấm lên từ từ. Các hạt nhỏ truyền nhiệt hiệu quả hơn các hạt lớn hơn.

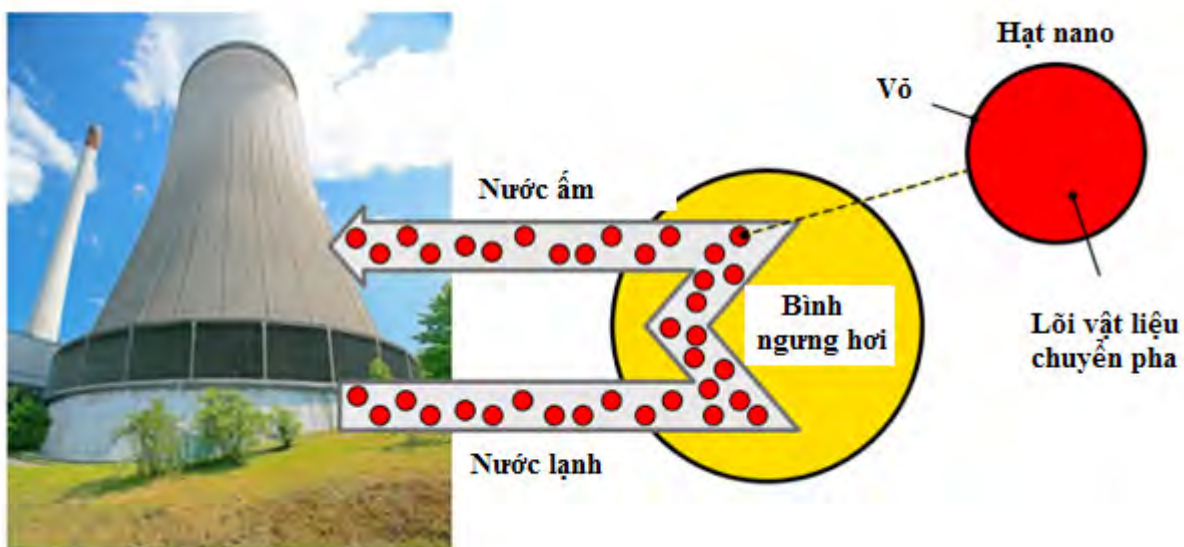
Vậy điều này liên quan như thế nào đến các nhà máy điện hạt nhân? Các nhà máy điện hạt nhân khi hoạt động sử dụng rất nhiều nước và dựa vào quá trình truyền nhiệt, trao đổi nhiệt để chuyển đổi năng lượng hạt nhân thành điện năng. Các lò phản ứng phổ biến nhất của phương Tây là lò phản ứng nước áp lực (PWR). Trong lò PWR, bộ phận làm lạnh sơ cấp (nước) được bơm vào lõi lò phản ứng dưới áp suất cao, tại lõi nước được nung nóng bằng nhiệt tạo ra từ phản ứng hạt nhân, nước được nung nóng sau đó chảy đến một bộ phận thứ cấp để truyền nhiệt mà nó mang, lượng nhiệt này sẽ làm nước sôi và tạo ra hơi nước để quay tuốc bin, và phát ra điện. Sau khi đi qua các tuốc bin, hơi nước được thu giữ và ngưng tụ để tái chế. Nước thu hồi này sau đó có thể được đưa

trở lại máy tạo hơi nước. Tuy nhiên, một lượng đáng kể năng lượng của hơi nước này bị thất thoát vào khí quyển thông qua hệ thống nước làm mát thứ ba được sử dụng để ngưng tụ hơi nước. Một lượng lớn nước (ở dạng hơi nước) được thải ra môi trường trong quá trình này.

Một loại vật liệu nano mới được gọi là các hạt nano thay đổi pha lõi-vỏ (core-shell) có thể giúp giảm lượng nước thất thoát. Đầu tiên, hãy phân tích tên của hạt nano. Danh pháp lõi-vỏ được đề cập đến thực tế là, một hạt có tâm được làm từ vật liệu khác và vỏ ngoài được làm từ vật liệu khác. Phần lõi hạt có thể chuyển từ thể lỏng sang thể rắn hoặc ngược lại tùy vào điều kiện môi trường. Những hạt nano này có thể được trộn vào nước và được sử dụng để vận chuyển nhiệt năng sinh ra trong lò phản ứng. Sau khi được trộn vào nước của lò phản ứng, các lõi hạt sẽ tan chảy khi lấy năng lượng nhiệt từ nước nóng. Vật liệu nóng chảy trong lõi hạt được chứa bởi một lớp vỏ, lớp vỏ này vẫn ở trạng thái rắn ở nhiệt độ của nước trong lò phản ứng. Do đó, khi nước rời lò phản ứng, nó mang theo các hạt nhỏ chứa các bó năng lượng nhiệt lỏng được bọc trong lõi rắn. Điều này nói lên rằng khi các hạt nano này di chuyển đến

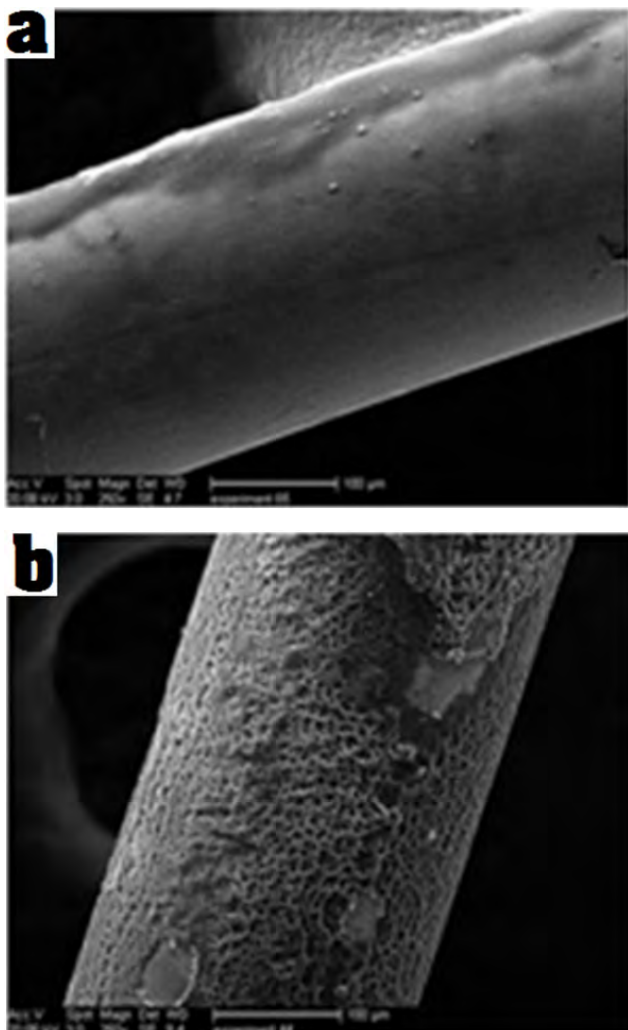
tháp làm mát, chúng đông đặc lại và tản nhiệt ra nước xung quanh, do đó làm giảm lượng nước cần thiết để chuyển đổi nhiệt năng do lò phản ứng tạo ra. Hơn nữa, vì những hạt nano này không hóa hơi nên chúng dễ dàng được giữ lại để tái chế. Viện Nghiên cứu Năng lượng Điện hiện đang làm việc với các nhà khoa học tại Phòng thí nghiệm Quốc gia Argonne, Hoa Kỳ để thương mại hóa các hạt nano này và đã gợi ý rằng công nghệ này có thể làm giảm nhu cầu nước của nhà máy điện tới 20% [3]. Hình 2 là mô hình các hạt nano (với vật liệu lõi thay đổi pha) trong nước được kỳ vọng sẽ cải thiện đáng kể hiệu suất nhiệt và giảm tiêu thụ nước của các nhà máy điện hạt nhân.

Điểm nhấn của việc nghiên cứu và phát triển hiện nay là tổng hợp và phát triển các hạt nano có lõi chuyển pha “lõi-vỏ” và có ứng dụng ở những quy mô lớn. Các mô hình lý thuyết đang được tiến hành để nghiên cứu các tác động lên sự truyền nhiệt ở quy mô nano. Các đặc tính như thành phần hạt, kích thước, hình dạng, nồng độ và nhiệt độ và tốc độ dòng chảy...vv. Dựa trên công trình này, các hạt nano sẽ được tổng hợp. Các kỹ thuật vi nhũ tương sẽ được sử dụng để sản xuất vật liệu lõi thay đổi pha, sau đó là quá trình lắng đọng pha



Hình 2: Các hạt nano với vật liệu lõi thay đổi pha được kỳ vọng sẽ cải thiện đáng kể hiệu suất nhiệt và giảm tiêu thụ nước của các nhà máy điện hạt nhân

hơi hóa học, lắng đọng pha hơi vật lý, quang hóa hoặc lắng đọng lớp nguyên tử có kiểm soát để tạo vỏ của hạt nano.



Hình 3: a) Dây thép ngâm trong nước;
b) dây thép ngâm trong dung dịch nano Al_2O_3 .

Ngoài ra, các giải pháp về truyền nhiệt vẫn đang được nghiên cứu và áp dụng. Trong lò phản ứng nước áp lực thì các thanh nhiên liệu tiếp xúc trực tiếp với nước. Tuy nhiên, các vi bong bóng hình thành trên bề mặt thanh nhiên liệu đã làm giảm đáng kể hiệu suất trao đổi nhiệt. Một phòng thí nghiệm tại Viện Công nghệ Massachusetts (MIT) đã nghiên cứu triển khai phủ các hạt nano alumina lên các thanh nhiên liệu và do đó đã ngăn chặn sự tích tụ của các bong bóng trên thanh nhiên liệu. Kết quả này làm tăng đáng kể hiệu suất trao đổi nhiệt và vì vậy cũng làm tăng hiệu suất của

lò phản ứng. Để chứng minh điều này, các nhà nghiên cứu đã nung nóng những sợi dây thép giống nhau có đường kính bằng 1 mm. Một dây được ngâm trong nước, dây còn lại ngâm trong chất lỏng chứa các hạt nano alumin. Các dây được đốt nóng đến khi làm sôi chất lỏng xung quanh. Sau khi đun sôi các dây được kiểm tra bằng kính hiển vi điện tử. Ảnh SEM hình 3 cho thấy rằng sợi dây được nung nóng trong chất lỏng nano được phủ các hạt nano, trong khi sợi dây còn lại vẫn duy trì bề mặt nhẵn ban đầu của nó [4].

Một ứng dụng quan trọng nữa của vật liệu nano là sử dụng trong hệ thống làm mát phần lõi khẩn cấp (ECCS) của lò phản ứng hạt nhân. Chất lỏng nano có khả năng vận chuyển nhanh chóng một lượng lớn năng lượng nhiệt. ECCS là các hệ thống dự phòng, độc lập được thiết kế để tắt lò phản ứng một cách an toàn trong trường hợp xảy ra sự cố hoặc có trục trặc khi hoạt động. Một thành phần chính của hệ thống ECCS là một bộ máy bơm và chất làm mát dự phòng được phun trực tiếp lên các bó thanh nhiên liệu. Vì chất lỏng nano có thể làm tăng hiệu quả truyền nhiệt của nước lên 50% hoặc hơn, nên một số nhà nghiên cứu đã gợi ý rằng các hạt nano có thể hữu ích trong các tình huống khẩn cấp [5].

Nhà máy điện hạt nhân và điện than chiếm khoảng 3% tổng lượng nước ngọt tiêu thụ ở Hoa Kỳ. Nhìn chung, các nhà máy điện hạt nhân tiêu thụ khoảng 400 gallon nước cho mỗi megawatt-giờ (MWh). Các nhà máy điện than và khí đốt tự nhiên lần lượt tiêu thụ khoảng 300 và 100 gallon/MWh. Do đó, các nhà máy điện hạt nhân có thể có lợi đáng kể nếu có giải pháp tiết kiệm được nước hơn [6].

3. NHẬN XÉT

Ngoài việc phân tích lợi ích chi phí, phải thực hiện thử nghiệm trên diện rộng để đảm bảo việc ứng

dụng lâu dài các hạt nano này mà không đe dọa đến sự an toàn vận hành của nhà máy điện hạt nhân. Để thực hiện điều này, các lò phản ứng quy mô nhỏ hơn (như lò phản ứng được đặt tại các cơ sở nghiên cứu và trường đại học) có thể kiểm tra các hạt nano trong suốt nhiều năm để theo dõi tác động của việc sử dụng lâu dài. Những nhược điểm tiềm ẩn bao gồm gia tăng ăn mòn, tắc nghẽn hệ thống và rò rỉ hạt nano vào nước thải...vv. Các chuyên gia chống ăn mòn sẽ cần thiết để nghiên cứu và xác nhận mức độ mà các hạt nano đóng góp vào sự lão hóa tổng thể của các lò phản ứng mà chúng được sử dụng. Sẽ cần các nhà chế tạo hạt nano và các nhà thủy động lực học để đảm bảo rằng việc tắc nghẽn hệ thống có thể kiểm soát được. Ngoài ra, các chuyên gia và Cơ quan Bảo vệ Môi trường sẽ phải thiết lập các phương pháp tốt nhất để giảm thiểu lượng vật liệu nano thoát ra môi trường, cũng như hiểu và đánh giá được các tác động môi trường của vật liệu thải ra đó. Các ứng dụng tiềm năng của công nghệ nano trong nhà máy điện hạt nhân không bao giờ là dễ dàng cần phải đầu tư nghiên cứu sâu hơn nữa. Tuy nhiên, trong khi những thách thức có vẻ lớn, thật sự đáng khích lệ khi thấy công nghệ nano được ứng dụng trong các nhà máy điện, điện hạt nhân.

Tyagi, J. Appl. Phys. 113, 011301, 2013.

6. "Water Use and Nuclear Power Plants," Nuclear Energy Institute, 2013.

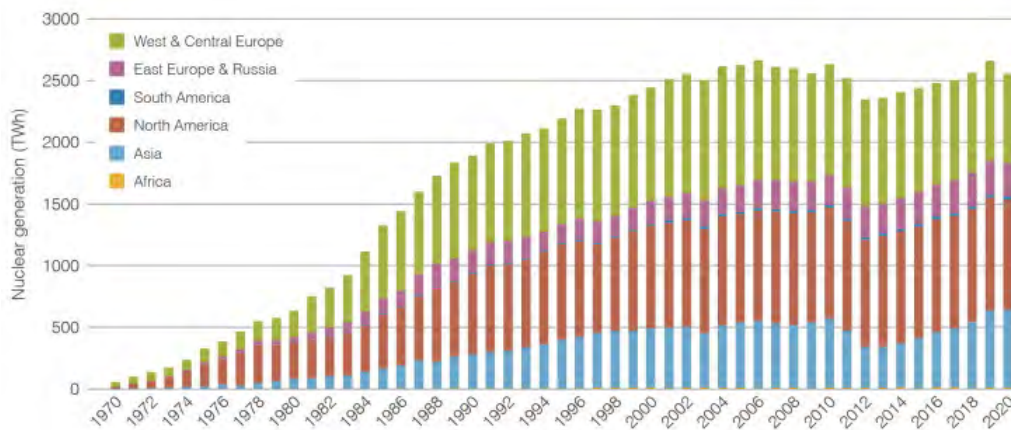
TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. DOE U.S. Energy Information Administration, Annual Energy Review, 2011.
2. I. Freestone, N. Meeks, M. Sax, and C. Higgitt, Gold Bulletin 40, 270-277, 2007.
3. Multifunctional Particles for Reducing Cooling Tower Water Consumption," Electric Power Research Institute, 2012.
4. S.J. Kim, I.C. Bang, J. Buongiorno, and L.W. Hu, Int. J. Heat Mass Transf., 50, 2007.
5. R. Taylor, S. Coulomb, T. Otanicar, P. Phelan, A. Gunawan, W. Lv, G. Rosengarten, R. Prasher, and H.

NĂM 2020 ĐÁNH DẤU KHẢ NĂNG PHỤC HỒI CỦA ĐIỆN HẠT NHÂN

Phạm Khắc Tuyên
Ban Hợp tác quốc tế

Theo Báo cáo kết quả hoạt động hạt nhân thế giới mới nhất do Hiệp hội hạt nhân thế giới công bố, trong năm 2020 các lò phản ứng hạt nhân đã sản xuất tổng cộng 2553 TWh điện, giảm so với mức 2657 TWh của năm 2019. Bất chấp sự sụt giảm nhỏ về sản lượng điện, Tổng giám đốc của Hiệp hội, ông Sama Bilbao y León, cho biết “Khả năng phục hồi và tính linh hoạt của hạm đội hạt nhân toàn cầu đã cho thấy một câu chuyện rất tích cực”.



Sản lượng điện hạt nhân trên thế giới từ năm 1970-2020 (Ảnh: Hiệp hội Hạt nhân thế giới)

Báo cáo cho biết sự sụt giảm sản lượng điện hạt nhân bị ảnh hưởng mạnh bởi nhu cầu sử dụng điện toàn cầu giảm khoảng 1% vào năm 2020 do đại dịch COVID-19 gây ra. Ngoài ra, các lò phản ứng hạt nhân ngày càng được kêu gọi để cung cấp hỗ trợ sau tải cho thị phần ngày càng tăng của điện tái tạo vốn thường có những biến động.

Trong lời nói đầu của báo cáo mới, ông Bilbao y León cho biết: “Trong bất kỳ năm nào khác, sự sụt giảm gần 4% về sản lượng điện hạt nhân sẽ là một sự thất vọng rõ ràng”. “Trong năm 2020, các

lò phản ứng hạt nhân trên thế giới đã cho thấy khả năng phục hồi và tính linh hoạt, thích ứng với những thay đổi về nhu cầu trong khi vẫn đảm bảo cung cấp điện ổn định và đáng tin cậy”.

Hệ số công suất của hạm đội hạt nhân toàn cầu năm 2020 vẫn ở mức cao là 80,3%, giảm so với mức 83,1% của năm 2019, nhưng vẫn duy trì hiệu suất cao đã cho thấy trong 20 năm qua, gần 2/3 số lò phản ứng có hệ số công suất lớn hơn 80% vào năm ngoái.

Hiệp hội cho biết: “Không có dấu hiệu về ‘tuổi tác’ đối với hiệu suất hoạt động của lò phản ứng

hạt nhân. “Hệ số công suất trung bình của các lò phản ứng trong 5 năm qua cho thấy không có sự thay đổi tổng thể đáng kể theo tuổi. Với một số lò phản ứng hiện đang được cấp phép hoạt động đến 80 năm, tính ổn định về hiệu suất hoạt động của các lò phản ứng bất kể tuổi tác là đáng chú ý”.

Vào cuối năm 2020, có 441 lò phản ứng hạt nhân có thể hoạt động, với tổng công suất là 392 GWe. Tổng công suất này hầu như không thay đổi trong ba năm qua, với việc bổ sung công suất mới tương ứng với lượng công suất hạt nhân sẽ ngừng hoạt động vĩnh viễn.

Trong năm 2020, 5 lò phản ứng mới với tổng công suất 5521 MWe (thực) đã khởi động: Barakah 1 ở UAE; Ostrovets 1 ở Belarus; Leningrad II-2 ở Nga; và, Fuqing 5 và Tianwan 5 ở Trung Quốc. Tuy nhiên, 6 lò phản ứng với tổng công suất 5165 MWe (thực) đã ngừng hoạt động: tổ máy Fessenheim 1 và 2 ở Pháp; Indian Point 2 và Duane Arnold ở Hoa Kỳ; Leningrad 2 ở Nga; và Ringhals 1 ở Thụy Điển.

Từ năm 2018 đến năm 2020, đã có 26 lò phản ứng ngừng hoạt động vĩnh viễn với tổng công suất 20,8 GWe, so với 20 lò phản ứng mới khởi động với tổng công suất 21,3 GWe.

Bilbao y León cho biết: “Với nhu cầu điện toàn cầu dự kiến sẽ tăng mạnh trở lại, có nguy cơ thực sự là lượng khí thải gây hiệu ứng nhà kính cũng sẽ tăng”. “Hơn một nửa số lò phản ứng ngừng hoạt động vĩnh viễn trong vài năm qua không phải vì những hạn chế về kỹ thuật, mà là do chính sách loại bỏ hoặc sự thất bại của thị trường trong việc công nhận đầy đủ giá trị của điện hạt nhân đáng tin cậy ít các-bon. Điều này là sự mất mát đối với sản xuất điện ít các-bon mà thế giới khó mà có thể lãng phí”.

Tuy nhiên, có những dấu hiệu đầy hứa hẹn cho điện hạt nhân, Hiệp hội lưu ý. Trong năm 2021, bốn lò phản ứng mới đã được kết nối với lưới điện và có 7 lò phản ứng khác đã được khởi công xây

dựng, mặc dù cũng đã có hai lò phản ứng khác ngừng hoạt động vĩnh viễn.

Bilbao y León cho biết: “Điều quan trọng là phát điện hạt nhân tiếp tục phục hồi trở lại và nhanh hơn, giúp thay thế nhiên liệu hóa thạch, do đó tránh sự gia tăng mạnh về phát thải khí nhà kính. Hoạt động của hạm đội hạt nhân hiện tại phải được tối đa hóa và kéo dài càng lâu càng tốt, đồng thời tiến độ và quy mô xây dựng hạt nhân mới phải tăng lên”.

Năm ngoái, hoạt động xây dựng bốn lò phản ứng mới với tổng công suất 4473 MWe đã được bắt đầu. Ba trong số này ở Trung Quốc (gồm có San’ao 1, Taipingling 2 và Chương Châu 2 (Zhangzhou 2)) và một ở Thổ Nhĩ Kỳ (tổ máy Akkuyu 2).

Thời gian trung bình để xây dựng các lò phản ứng nối lưới vào năm 2020 là 84 tháng, giảm so với 117 tháng của năm 2019.

Báo cáo, dựa trên phân tích dữ liệu từ cơ sở dữ liệu Dịch vụ Thông tin Lò phản ứng điện hạt nhân của Cơ quan Năng lượng nguyên tử quốc tế, cũng đề cập đến các báo cáo quốc gia, tóm tắt những phát triển gần đây ở mỗi quốc gia có lò phản ứng có khả năng vận hành và/hoặc lò phản ứng đang được xây dựng.

Báo cáo cũng trình bày bốn nghiên cứu điển hình nêu bật những đóng góp của năng lượng hạt nhân trong việc giảm phát thải khí nhà kính. Các nghiên cứu điển hình này bao gồm: nhà máy điện hạt nhân Grohnde ở Đức đã sản xuất 400 TWh điện ít carbon; nhà máy Haiyang ở Trung Quốc đang cung cấp nhiệt cho cả thành phố này; nhà máy Akkuyu, nhà máy điện hạt nhân đầu tiên được xây dựng ở Thổ Nhĩ Kỳ; và các tổ máy Peach Bottom số 2 và 3 ở Hoa Kỳ đã được phê duyệt để hoạt động tới 80 năm.

Nguồn: <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/2020-highlighted-nuclears-resilience-says-World-Nu>

TIN TRONG NƯỚC VÀ QUỐC TẾ

TRUNG QUỐC MỞ CỬA CƠ SỞ XỬ LÝ NƯỚC THẢI Y TẾ BẰNG CÔNG NGHỆ CHÙM TIA ĐIỆN TỬ ĐẦU TIÊN Ở CHÂU Á

Cơ sở thử nghiệm đầu tiên của châu Á về xử lý nước thải y tế sử dụng công nghệ chùm tia điện tử (EB) đã bắt đầu hoạt động tại Trung Quốc trong năm nay. Giáo sư Shijun He tại Viện Công nghệ hạt nhân và Năng lượng mới (INET) tại Đại học Thanh Hoa cho biết: “Đây là cơ sở quy mô thí điểm đầu tiên - 400 mét khối mỗi ngày – thử nghiệm công nghệ EB trong xử lý nước thải y tế”. Cơ sở nằm ở tỉnh Hồ Bắc này khử trùng nước thải y tế và các chất kháng khuẩn mà không cần chất khử khuẩn bổ sung hoặc tạo ra chất ô nhiễm thứ cấp. Sự kiện quan trọng này được xây dựng dựa trên nền tảng nghiên cứu và hợp tác kỹ thuật với Cơ quan Năng lượng nguyên tử quốc tế (IAEA) đã bắt đầu cách đây khoảng một thập kỷ. Giáo sư Shijun He cho biết: “IAEA đã đóng một vai trò rất quan trọng trong việc áp dụng EB ở Trung Quốc”.



Một kỹ thuật viên vận hành máy gia tốc chùm tia điện tử (Ảnh: Cơ quan Năng lượng nguyên tử Trung Quốc)

Kể từ năm 2010, IAEA đã hỗ trợ một dự án nghiên cứu phối hợp và một dự án hợp tác kỹ thuật tập trung vào công nghệ EB áp dụng cho

xử lý nước thải công nghiệp. Ông Gashaw Wolde, Trưởng bộ phận hợp tác kỹ thuật với châu Á và Thái Bình Dương, IAEA cho biết: “Việc áp dụng thêm công nghệ EB vào xử lý nước thải y tế thể hiện sự tiến bộ không ngừng của Trung Quốc và tác động kinh tế xã hội và môi trường hữu hình của việc IAEA chuyển giao công nghệ hạt nhân để giải quyết các vấn đề ưu tiên phát triển”.

Lợi ích của công nghệ chùm tia điện tử

Các công nghệ xử lý nước thông thường bao gồm lọc, xử lý hóa học và sinh học. “Quy trình xử lý nước thải y tế truyền thống là cho hóa chất khử khuẩn, chẳng hạn như natri hypoclorit, vào nước thải để tiêu diệt vi sinh vật. Tuy nhiên, việc này dễ dàng tạo ra dư lượng chất phản ứng hóa học, và dư lượng chất kháng sinh trong nước thải không thể bị phân hủy”, ông Liu Zhenwei, Tổng giám đốc Bệnh viện Xiyuan cho biết. Các kỹ thuật hạt nhân, dựa trên các quá trình oxy hóa/khử tiên tiến như chùm tia điện tử và bức xạ gamma, đã nổi lên như một giải pháp thay thế để loại bỏ các chất ô nhiễm nồng độ thấp (micropollutants).

Cơ quan Năng lượng nguyên tử Trung Quốc (CAEA) đã làm việc với các chuyên gia từ Đại học Thanh Hoa và Tập đoàn Điện hạt nhân Trung Quốc để lần đầu tiên kết hợp thành công công nghệ chiếu xạ EB với quy trình khử trùng y tế tại Trung Quốc. Nhóm nghiên cứu chung đã phát triển thiết bị ứng dụng công nghệ EB, với một máy gia tốc điện tử tự che chắn mới được chế tạo đặc biệt để chiếu xạ nước thải y tế. Các phương pháp mới để phát hiện vi rút, bao gồm cả vi rút gây ra COVID-19, cũng đã được phát triển.

Ông Joao Osso Junior, Trưởng Bộ phận sản phẩm

đồng vị phóng xạ và Công nghệ bức xạ của IAEA cho biết: “Thành phần của nước thải, bao gồm các chất ô nhiễm và các loại vi-rút, không có sự giống nhau giữa các bệnh viện và đòi hỏi các công nghệ và thông số cụ thể trong xử lý để đáp ứng các tiêu chuẩn quốc gia. “Công nghệ EB xử lý nước thải y tế không đòi hỏi nhiều năng lượng đầu vào hoặc bất kỳ yêu cầu nào về cô đặc hoặc sử dụng hóa chất, cũng như tránh được những vấn đề phức tạp liên quan đến việc vận chuyển các chất nguy hại, giảm thiểu các tác động tiêu cực đến sức khỏe và môi trường”.

Máy gia tốc điện tử tạo ra các chùm EB năng lượng cao phản ứng với các phân tử DNA/RNA hoặc tế bào của vi sinh vật. Phản ứng cản trở sự phát triển của vi sinh vật, tiêu diệt vi-rút và vi khuẩn gây bệnh. Giáo sư Shijun He cho biết chất lượng nước thải sau xử lý đã vượt trên tiêu chuẩn của Trung Quốc về xử lý nước thải của các bệnh viện bệnh truyền nhiễm, điều này rất có ý nghĩa đối với sức khỏe cộng đồng vì cơ sở xử lý nằm gần một hồ chứa nước chính cung cấp cho Dự án



Một máy gia tốc điện tử tự che chắn mới được sử dụng để chiếu xạ nước thải y tế (Ảnh: Cơ quan Năng lượng nguyên tử Trung Quốc)

Từ xử lý nước thải công nghiệp đến nước thải y tế

Cơ sở thử nghiệm mới nhất liên quan đến công nghệ EB là kết quả của nhiều năm phát triển không ngừng, tính từ năm 2010, khi IAEA bắt

đầu chuyển giao công nghệ và phương pháp xử lý nước thải công nghiệp. Năm 2012, thông qua một dự án hợp tác kỹ thuật của IAEA, các nhà khoa học Trung Quốc, bao gồm giáo sư Shijun He của Đại học Thanh Hoa, đã phát triển một chương trình xử lý nước thải bằng công nghệ EB. IAEA đã hỗ trợ học bổng tại các cơ sở hiện có ở các quốc gia khác, một khóa đào tạo quốc gia và các chuyến thăm chuyên gia, những người đã cung cấp hướng dẫn về phát triển dự án.

Năm 2017, Trung Quốc khánh thành cơ sở đầu tiên sử dụng EB để xử lý nước thải công nghiệp, và vào năm ngoái, Trung Quốc đã mở cửa cơ sở xử lý nước thải lớn nhất thế giới sử dụng công nghệ EB, với công suất xử lý 30 triệu lít nước thải công nghiệp mỗi ngày.

Ông Zhang Jianhua, Phó Chủ tịch của CAEA cho biết: “Công nghệ hạt nhân đã được sử dụng rộng rãi trên toàn thế giới trong các ngành công nghiệp, nông nghiệp, y tế và chăm sóc sức khỏe, cũng như bảo vệ môi trường. “Ở Trung Quốc, đây vẫn là một ngành công nghiệp mới bắt đầu và có nhiều tiềm năng đóng góp vào sự phát triển kinh tế và xã hội, cũng như mang lại một tương lai tốt đẹp hơn cho sức khỏe cộng đồng của Trung Quốc và thế giới”.

Phạm Khắc Tuyên

Ban Hợp tác quốc tế

Nguồn: <https://www.iaea.org/newscenter/news/china-opens-asias-first-facility-to-treat-medical-wastewater-using-electron-beam-technology>

CÁC NHÀ KHOA HỌC TỐI ƯU HÓA VIỆC SỬ DỤNG NƯỚC, PHÂN BÓN NHỜ ĐỒNG VỊ BÈN NITƠ

Các chuyên gia ở một số quốc gia như Naypidaw, Myanmar và Gabarone, Botswana đang sử dụng

kỹ thuật hạt nhân để giúp người nông dân tăng năng suất cây trồng, tối ưu hóa việc sử dụng phân bón và đánh giá các giống lúa, ngũ cốc và rau quả, đồng thời sản xuất nông nghiệp thích ứng với biến đổi khí hậu.



Kỹ thuật hạt nhân cung cấp dữ liệu giúp tăng cường độ phì nhiêu của đất và sản xuất cây trồng; đồng thời giảm thiểu tác động môi trường. (Ảnh: M. Gaspar / IAEA)

Nghiên cứu đã chỉ ra cây trồng chỉ hấp thụ được khoảng 40% lượng phân bón, trong khi 60% còn lại sẽ phát tán trong khí quyển và nước ngầm, hoặc sót lại trong đất ở dạng không thể hấp thụ được.

Anh U Kyaw Lay, một người nông dân tới từ làng Thar Yar Su (Myanmar) cho biết: “Chúng tôi tiết kiệm được một khoản tiền lớn bằng việc cắt giảm khoảng 1/4 lượng phân bón sử dụng cho giống lúa mới trồng thử trên mảnh đất rộng nửa mẫu Anh. Trong vụ mùa tiếp theo, anh Lay sẽ dành diện tích đất lớn hơn để trồng giống lúa đặc biệt mà theo anh đánh giá là ngon hơn loại thường được sử dụng”.

Anh Lay và 20 người nông dân khác đã cùng tham gia thử nghiệm các phương pháp sử dụng giống tốt nhất do Cục Nghiên cứu Nông nghiệp Quốc gia khởi xướng. Cho đến nay, đơn vị này đã thử nghiệm 106 giống lúa và xác định được 6 giống sử dụng phân bón gốc nitơ hiệu quả nhất. Bà Su Su Win, Giám đốc Bộ phận Khoa học Đất, Sử dụng Nước và Kỹ thuật Nông nghiệp khẳng định các giống cây này tiêu tốn lượng phân bón ít hơn hẳn

do với trước đây. Các nhà nghiên cứu cũng đưa ra khuyến nghị sử dụng các giống cây khác nhau ở các vùng khác nhau trên đất nước Myanmar, bao gồm cả các vùng đất biên cũng như ở các khu vực mà điều kiện khí hậu thay đổi thất thường khiến các giống cây truyền thống không đạt năng suất cao.

Nitơ đóng một vai trò quan trọng trong sự phát triển và quang hợp của thực vật, là quá trình mà thực vật chuyển đổi năng lượng từ ánh sáng mặt trời thành năng lượng hóa học. Nitơ thường được bổ sung vào đất dưới dạng phân bón. Các nhà khoa học có thể theo dõi các đồng vị và xác định mức độ hiệu quả của phân bón mà cây trồng đang sử dụng bằng cách sử dụng phân bón được gắn nhãn đồng vị bền nitơ-15 (^{15}N). Kỹ thuật này cũng giúp tối ưu hóa lượng phân bón bởi sau khi cây trồng đã đạt đến độ bão hòa với nitơ, lượng nitơ còn lại sẽ sót trong đất hoặc bị rửa trôi.

Tìm ra giống lúa hiệu quả dinh dưỡng và năng suất cao

Bà Su Win và nhóm nghiên cứu đã sử dụng kỹ thuật đồng vị nitơ-15, với sự hỗ trợ của IAEA và Tổ chức Nông lương Liên hợp quốc (FAO), để xác định sự hấp thụ nitơ của các giống lúa khác nhau.

Bà cho biết: “Lúa là cây trồng phổ biến nhất ở Myanmar và đóng vai trò quan trọng đối với an ninh lương thực và sự phát triển công nghiệp. Nhiều giống lúa truyền thống cho năng suất cao được sử dụng trong nước nhưng lại cần một lượng lớn phân bón. Những người nông dân thường không đủ khả năng trang trải cho việc mua phân bón, do đó năng suất và thu nhập của người dân vẫn rất thấp. Với sự xuất hiện của các giống cây mới hiệu quả hơn về chất dinh dưỡng, người nông dân có thể tiếp cận với các loại cây trồng cho năng suất cao hơn mà không cần sử dụng quá nhiều phân bón”.

Theo ông Joseph Adu-Gyamfi, chuyên gia về độ

phì của đất tại Bộ phận FAO/ IAEA về Kỹ thuật hạt nhân trong Thực phẩm và Nông nghiệp cho biết các kết quả ban đầu cho thấy việc bón phân đạm hợp lý cho cây lúa giúp tiết kiệm tới 30% lượng phân bón và giảm khoảng 20% lượng phân thải ra môi trường.

IAEA và FAO hỗ trợ các quốc gia áp dụng kỹ thuật này trên khắp thế giới, thông qua chương trình hợp tác kỹ thuật của IAEA và hoạt động như một nền tảng cho sự hợp tác nghiên cứu thông qua nhiều dự án nghiên cứu phối hợp. Hiện tại, các chuyên gia từ hơn 100 quốc gia đang hưởng lợi từ sự hỗ trợ này.

Nông dân ở Botswana hưởng lợi từ kỹ thuật nitơ-15

Ở Botswana, các nhà khoa học về đất đang trong giai đoạn đầu thử nghiệm sử dụng kỹ thuật này để xác định lượng phân bón cần thiết cho tiêu xanh, rau bina, các loại cây trồng làm vườn và đất khác.

Bà Kelebonye Bareeleng thuộc Phòng thí nghiệm Đất Quốc gia cho biết: “Các mẫu đất trên khắp thế giới rất đa dạng, vì vậy chúng tôi không thể chỉ sử dụng các kết quả thu thập được từ trước. Chúng tôi cần tính toán đúng lượng nitơ cần thiết cho từng loại cây trồng cụ thể”.

Các thí nghiệm vẫn đang được tiến hành nhưng từ những kết quả ban đầu, bà Bareeleng ước tính có khoảng 1/4 đến 1/5 lượng phân bón sử dụng trên các cánh đồng ngũ cốc không được cây trồng hấp thụ. Điều này không chỉ tiêu tốn một khoản chi phí không cần thiết mà lượng nitrat không được sử dụng cũng có thể ảnh hưởng tới nguồn nước ngầm gần các khu đất nông nghiệp. Bà nhận định: “Đối với một quốc gia phụ thuộc vào các hồ chứa ngầm để cung cấp nước uống như Botswana, điều này mang lại những rủi ro không hề nhỏ”.

Trong lĩnh vực nông nghiệp non trẻ, các nhà sản xuất đang cố gắng cạnh tranh với hàng đến từ

Nam Phi. Phân bón chiếm chi phí đầu vào cao nhất, vì vậy việc cắt giảm đáng kể việc sử dụng phân bón sẽ mang lại lợi thế cạnh tranh cho quốc gia này. Bà khẳng định: “Đây có thể là chìa khóa cho sự phát triển của lĩnh vực này ở Botswana”.

Bắp cải ở Việt Nam

Tại Việt Nam, kết quả thu được khi sử dụng kỹ thuật nitơ-15 cho thấy có tới một nửa lượng phân bón bón cho ruộng bắp cải bị thất thoát ra môi trường, tạo ra ô nhiễm nguồn nước và các vấn đề về an toàn thực phẩm. Ông Adu-Gyamfi khẳng định: “Nhờ kết quả của một dự án hợp tác kỹ thuật với IAEA, chính quyền địa phương hiện đang hành động và tư vấn cho nông dân về sử dụng phân bón hiệu quả nhất”.

Trần Thiện Phương Anh

Ban Kế hoạch và Quản lý khoa học

Nguồn: <https://www.iaea.org/newscenter/news/stable-nitrogen-isotope-helps-scientists-optimize-water-fertilizer-use>

CUBA: CÁC GIỐNG CÂY TRỒNG MỚI CÁI THIỆN NĂNG SUẤT CÀ CHUA VÀ ĐẬU TƯƠNG

Cà chua và đậu nành được sử dụng rộng rãi trên khắp thế giới với nhu cầu không ngừng tăng lên. Đã bao giờ bạn tự hỏi làm thế nào mà người nông dân có thể đáp ứng đủ nhu cầu và vai trò của các kỹ thuật hạt nhân trong đó?

Với sự giúp đỡ của IAEA, phối hợp với Tổ chức Nông lương Liên hợp quốc (FAO), Viện Khoa học Nông nghiệp Quốc gia Cuba (INCA) đã và đang triển khai các chương trình nhân giống sử dụng chiếu xạ và công nghệ sinh học để phát triển các giống mới có khả năng thích ứng tốt hơn với biến đổi khí hậu.

Kết quả của quá trình nghiên cứu này là các giống cà chua và đậu tương mới cải tiến (Giron 50 và Cuvin 22) được thu hoạch lần đầu tiên vào tháng 5 năm 2021 trên một cánh đồng thử nghiệm. Giờ đây, các loại giống mới này sẽ được phân phối đến người nông dân, cùng với 21 giống khác đã được phát triển trước đây như lúa, đậu xanh và roselle



Nhờ kỹ thuật hạt nhân, các giống cà chua mới đã được trồng và thu hoạch ở Cuba trong năm nay có năng suất cao hơn các giống chính thống.

(Ảnh: M.C. Gonzalez-Cepero / INCA)

Các giống mới đã được các quốc gia cấp phép trong năm 2021 và sau đó đăng ký trong cơ sở dữ liệu toàn cầu, do Bộ phận FAO/IAEA về Kỹ thuật hạt nhân trong Nông nghiệp và Thực phẩm quản lý.

Ông Fatma Sarsu, chuyên gia về chăn nuôi tại đây cho biết: “Kể từ năm 2009, thông qua nhân giống đột biến thực vật, chúng tôi đã tìm ra một cách để phát triển các giống cây trồng mới, thích hợp với khí hậu và đóng góp vào sinh kế của người dân địa phương cũng như tăng cường an ninh lương thực ở 18 quốc gia, trong đó có Cuba”.

Cây trồng ở Cuba

Hòn đảo Cuba, nơi có khí hậu nhiệt đới đang chứng kiến sự ấm lên toàn cầu với lượng mưa liên tục thay đổi, hạn hán kéo dài hơn và sự xâm nhập của nước mặn dọc theo các khu vực ven biển. Những điều này đang góp phần làm giảm sản lượng cây trồng.

Biến đổi khí hậu làm cho thực vật dễ bị tổn thương trước các điều kiện thời tiết khắc nghiệt, dẫn đến việc sử dụng nhiều phân bón hóa học và thuốc trừ sâu có hại cho môi trường. Do đó, các chuyên gia Cuba hướng tới việc cải tiến cây trồng như một giải pháp thay thế, bền vững hơn với môi trường. Để làm được điều này, quốc gia này đang áp dụng các kỹ thuật hạt nhân và đồng vị để tạo ra biến đổi gen mới nhằm cải thiện năng suất cây trồng và tăng sản lượng các loại cây trồng thiết yếu.

Một trong số này là đậu tương thường được sử dụng để sản xuất dầu, thức ăn gia súc, sữa chua và các chất thay thế thịt, nhu cầu về loại cây này đang tăng lên trên toàn thế giới, bao gồm cả ở Cuba. Phát triển các giống cải tiến là bước đầu tiên, sau đó những giống mới này sẽ được nuôi dưỡng để cung cấp lương thực cho người dân trên đảo.

Sử dụng kỹ thuật đồng vị để cải thiện phân bón sinh học, các nhà nghiên cứu Cuba hiện có thể tăng sản lượng đậu nành chất lượng cao giàu sắt, protein và dầu. Phân bón sinh học chứa các vi sinh vật sống phục hồi dinh dưỡng tự nhiên của đất, giúp cây trồng phát triển mạnh hơn và khỏe mạnh hơn mà không cần đến hóa chất. Kỹ thuật đồng vị được sử dụng để đo khả năng hấp thụ phân bón sinh học và cố định nitơ từ không khí để quản lý cây trồng tốt hơn đồng thời đảm bảo sức khỏe của đất và năng suất cây trồng.

Theo bà Maria Caridad Gonzalez-Cepero, Trưởng nhóm Ứng dụng kỹ thuật hạt nhân tại INCA, dự án không chỉ tạo ra các giống cây trồng khỏe, mà việc nâng cao năng lực trong những năm qua đã dẫn đến một quy trình làm việc hiệu quả và đào tạo các chuyên gia về kỹ thuật hạt nhân trong cùng làm việc và học hỏi.

Ảnh hưởng tích cực của IAEA

Cải thiện di truyền được sử dụng để phát triển giống mới một cách nhanh chóng, thích ứng với

biến đổi khí hậu. Các kỹ thuật hạt nhân tạo ra sự đa dạng di truyền cung cấp một nhóm chọn lọc lớn hơn để chọn lọc tốt hơn so với các phương pháp nhân giống thông thường. Điều này kết hợp với chương trình nhân giống hợp lý có khả năng cung cấp các giống cải tiến trong thời gian ngắn.

Với sự hỗ trợ cho các quốc gia trong chương trình hợp tác kỹ thuật của IAEA, các kỹ thuật hạt nhân đã được sử dụng để phát triển các giống có các đặc điểm cần thiết thích ứng với khí hậu ở nhiều loại cây trồng, bao gồm lúa gạo, đậu thông thường, cà chua và đậu nành.

Ông Gonzalez-Cepero cho biết: “Nhờ việc sử dụng các kỹ thuật đa dạng này, hạt giống của các dòng giống mới được chọn lọc đặc biệt đã được cung cấp cho nông dân và nhà sản xuất, dẫn đến thu hoạch thành công; đồng thời giảm thiểu sử dụng phân bón có nitơ, lượng khí thải nhà kính trong nông nghiệp của đất nước cũng sẽ giảm đáng kể”.

Nhân giống đột biến thực vật

Tạo giống đột biến thực vật là quá trình để hạt giống cây trồng, cành giâm hoặc vật liệu trồng trọt khác tiếp xúc với bức xạ, chẳng hạn như tia gamma hoặc tia X, sau đó gieo hạt hoặc nuôi cấy vật liệu đã chiếu xạ trong môi trường tạo rễ vô trùng để tạo ra cây con. Các cây riêng lẻ sau đó được nhân lên và kiểm tra các đặc điểm của chúng. Những cá thể hiện những đặc điểm mong muốn tiếp tục được nuôi cấy.

Tạo giống đột biến thực vật không liên quan đến việc chỉnh sửa gen, mà sử dụng vật liệu di truyền của chính cây trồng và bắt chước quá trình tự nhiên của đột biến tự phát.

Trần Thiện Phương Anh

Ban Kế hoạch và Quản lý khoa học

Nguồn: <https://www.iaea.org/newscenter/news/new-crop-varieties-improve-tomato-and-soybean-yields-in-cuba>