

Giới thiệu

Cho dù sự cố nhà máy điện nguyên tử Fukushima Daiichi đã xảy ra hồi tháng 3 năm 2011, năng lượng hạt nhân vẫn là một phương án lựa chọn quan trọng đối với nhiều quốc gia. Sử dụng năng lượng hạt nhân sẽ vẫn tiếp tục tăng trưởng trong các thập kỷ tới, tuy tốc độ tăng trưởng sẽ chậm hơn so với dự báo được đưa ra trước khi xảy ra sự cố.

Các yếu tố đóng góp vào sự quan tâm không ngừng đến năng lượng hạt nhân bao gồm sự gia tăng nhu cầu năng lượng toàn cầu, cũng như các mối lo về tác động của biến đổi khí hậu, giá nhiên liệu hóa thạch biến động và an ninh cung ứng năng lượng. Thế giới khó có thể đạt được hai mục tiêu cùng một lúc, vừa đảm bảo cung ứng năng lượng bền vững và vừa ngăn chặn khí nhà kính nếu thiếu năng lượng hạt nhân. Nhiều quốc gia khi lựa chọn hỗn hợp năng lượng tối ưu của mình, đã tin chắc rằng năng lượng hạt nhân sẽ đáp ứng được mối quan tâm biến đổi khí hậu bằng cách làm giảm phát thải cacbon.

Các công nghệ phi năng lượng cũng mang lại những đóng góp quan trọng trong các lĩnh vực y tế, lương thực và nông nghiệp, quản lý tài nguyên nước, môi trường biển và đất liền, sản xuất đồng vị phóng xạ và công nghệ bức xạ. Sử dụng hiệu quả và an toàn các kỹ thuật y học hạt nhân và xạ trị được áp dụng để phòng chống căn bệnh ung thư đang ngày càng gia tăng trên toàn cầu. Việc thanh toán nghèo đói đang được hỗ trợ bằng sử dụng các công nghệ hạt nhân trong lương thực và nông nghiệp giúp cải tiến quản lý đất đai, phát triển giống cây trồng và đẩy mạnh phát triển chăn nuôi.

Dựa trên báo cáo của Cơ quan năng lượng nguyên tử quốc tế (IAEA), **CỤC THÔNG TIN KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ QUỐC GIA** biên soạn Tổng luận giới thiệu những ứng dụng mới nhất của công nghệ hạt nhân trong các lĩnh vực năng lượng, y tế, nông nghiệp và bảo vệ môi trường. Hy vọng đây sẽ là tài liệu tham khảo hữu ích nhằm giúp các nhà nghiên cứu cũng như hoạch định chính sách có những quyết định sáng suốt trong việc khai thác an toàn các công nghệ hạt nhân, đảm bảo hòa bình, sức khỏe và thịnh vượng.

Trân trọng giới thiệu cùng độc giả!

CỤC THÔNG TIN KH&CN QUỐC GIA

Bảng các chữ viết tắt

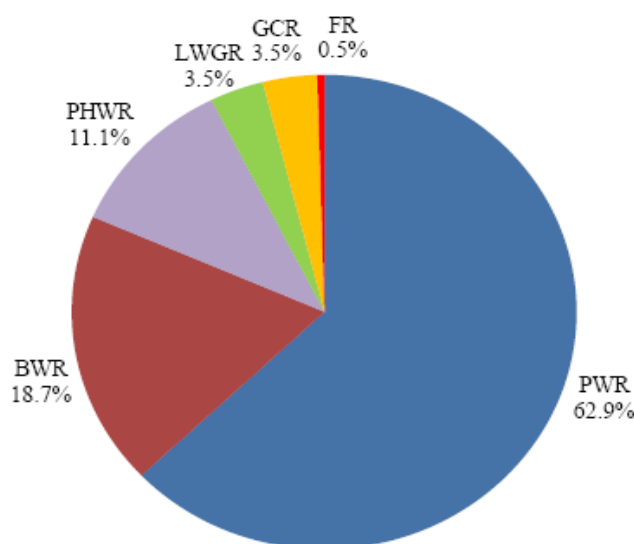
ABWR	Lò phản ứng nước sôi tiên tiến
AGR	Lò phản ứng làm mát bằng khí tiên tiến
APWR	Lò phản ứng nước áp lực tiên tiến
BWR	Lò phản ứng nước sôi
CCS	Thu giữ cacbon
CSP	Tập trung năng lượng mặt trời
DOE	Bộ năng lượng Hoa Kỳ
EU	Liên minh châu Âu
FR	Lò phản ứng nhanh
GCR	Lò tải nhiệt bằng khí
GFR	Lò phản ứng nhanh làm mát bằng khí
GIF	Diễn đàn lò phản ứng thế hệ IV
GHG	Khí nhà kính
HLW	Chất thải phóng xạ mức cao
HTR	Lò phản ứng nhiệt độ cao
IAEA	Cơ quan năng lượng nguyên tử quốc tế
IEA	Cơ quan năng lượng quốc tế
ILW	Chất thải phóng xạ mức trung bình
INPRO	Dự án quốc tế về lò phản ứng hạt nhân đổi mới và chu trình nhiên liệu
IPCC	Nhóm chuyên gia liên chính phủ về biến đổi khí hậu
LEU	Nhiên liệu urani được làm giàu thấp
LFR	Lò phản ứng nhanh làm mát bằng chì
LLW	Chất thải phóng xạ mức thấp
LWGR	Lò graphit nước nhẹ
LNG	Khí hóa lỏng
MOX	Nhiên liệu hỗn hợp oxit
MSR	Lò phản ứng muối nóng chảy
NEA	Cơ quan năng lượng nguyên tử
NPT	Hiệp ước không phổ biến vũ khí hạt nhân
NRC	Ủy ban Điều phối hạt nhân Hoa Kỳ
OECD	Tổ chức hợp tác và phát triển kinh tế
PBR	Lò phản ứng phân tử tầng sỏi
PHWR	Lò nước nặng áp lực
PWR	Lò phản ứng nước áp lực
RE	Năng lượng tái tạo
SCWR	Lò phản ứng làm mát bằng nước siêu tới hạn
SFR	Lò phản ứng nhanh làm mát bằng Natri
TEPCO	Công ty điện lực Tokyo
VHTR	Lò phản ứng nhiệt độ rất cao
VLLW	Chất thải phóng xạ mức rất thấp
VVER	Lò phản ứng nước nhẹ
WNA	Hiệp hội hạt nhân thế giới
WEC	Hội đồng năng lượng thế giới
WWER	Lò phản ứng điều hòa làm mát bằng nước
kW	kilowatt
kWh	kilowatt-giờ
MW	megawatt (10^6)
MWe	megawatt điện
GW	gigawatt (10^9)
GWe	gigawatt điện
TWh	terawatt giờ (10^{12})

I. ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ HẠT NHÂN TRONG LĨNH VỰC NĂNG LƯỢNG

1.1. Tình hình phát triển năng lượng hạt nhân thế giới

Tính đến ngày 31/12/2013, toàn thế giới có 434 lò phản ứng năng lượng hạt nhân đang hoạt động, với tổng công suất đạt 371,7 GW (bảng 1). So với năm 2012, tổng công suất năng lượng hạt nhân có sự suy giảm nhẹ: 1,6 GW. Năm 2013 có bốn nhà máy hòa điện lưới mới, đó là: Hongyanhe 1 và 2 (1000 MW) và Yangjiang-1 (1000 MW) ở Trung Quốc; và Kudankulam-1 (917 MW) ở Ấn Độ.

Khoảng 81% lò phản ứng thương mại đang hoạt động, thuộc loại lò phản ứng điều tiết và làm mát bằng nước nhẹ; 11% là các lò phản ứng điều tiết và làm mát bằng nước nặng; 3,5% là các lò làm mát nước nhẹ, điều tiết graphite; và 3,5% là các lò tải nhiệt bằng khí (Gas cooled reactor - GCR) (Hình 1). Có hai lò thuộc loại lò phản ứng nhanh kim loại nóng chảy (Liquid metal cooled fast reactor - LMCFR).



Hình 1: Phân bố các loại lò phản ứng hạt nhân trên thế giới

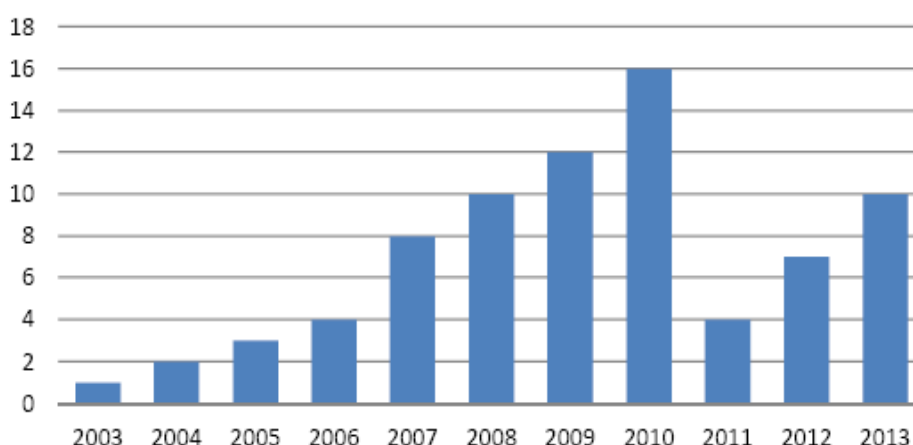
Ghi chú: BWR - Lò phản ứng nước sôi; FR - lò phản ứng nhanh; GCR - Lò tải nhiệt bằng khí; LWGR - Lò graphite nước nhẹ; PHWR - Lò nước nặng áp lực; PWR - Lò phản ứng nước áp lực.

Tuy số các lò phản ứng mới bắt đầu được xây dựng giảm từ 16 năm 2010 xuống còn 4 vào năm 2011, nhưng 7 tổ hợp bắt đầu xây dựng trong năm 2012 và 10 trong năm 2013, cho thấy xu hướng tăng lên kể từ khi xảy ra sự cố nhà máy điện nguyên tử Fukushima Daiichi. Công trình xây dựng đã được bắt đầu tại các tổ hợp: Summer 2 và 3, Vogtle 3 và 4 tại Hoa Kỳ; Tianwan-4 và Yangjiang-5 và 6 tại Trung Quốc; Shin-Hanul-2 (tên gọi mới của Shin-Ulchin-2) tại Hàn Quốc; Barakah-2 tại Các tiểu vương quốc Ả-rập; và Belarusian-1 tại Belarus. Trong vòng ba thập kỷ gần đây, sau Các Tiểu vương quốc Ả-rập là nơi bắt đầu xây dựng nhà máy điện hạt nhân đầu tiên vào năm 2012, Belarus là quốc gia "mới" thứ hai trong việc bắt đầu xây dựng nhà máy điện hạt nhân đầu tiên của mình.

Bảng 1: Các lò phản ứng năng lượng hạt nhân đang hoạt động và đang xây dựng trên phạm vi toàn thế giới (tính đến ngày 31/12/2013)

Tên nước	Lò phản ứng đang hoạt động		Lò phản ứng đang xây dựng		Cung ứng điện hạt nhân năm 2013		Tổng thời gian vận hành đến cuối năm 2013	
	Số lò phản ứng	Tổng MW (điện)	Số lò phản ứng	Tổng MW (điện)	TW-h	% tổng	Số năm	Số tháng
Argentina	2	935	1	692	5,7	4,4	70	7
Armenia	1	375	2,2	29,2	39	8		
Belarus	1	1109						
Belgium	7	5927	40,6	52,1	261	7		
Brazil	2	1884	1	1245	13,8	2,8	45	3
Bulgaria	2	1906	13,3	30,7	155	3		
Canada	19	13500	94,3	16	655	7		
China	20	15977	29	28774	104,8	2,1	160	0
CzechRepublic	6	3884	29,0	35,9	134	10		
Finland	4	2752	1	1600	22,7	33,3	139	4
France	58	63130	1	1630	405,9	73,3	1932	3
Germany	9	12068	92,1	15,4	799	1		
Hungary	4	1889	14,5	50,7	114	2		
India	21	5308	6	3907	30,0	3,5	397	6
Iran	1	915	3,9	1,5	2	4		
Japan	48	42388	2	1325	13,9	1,7	1646	4
Korea,Republic	23	20721	5	6370	132,5	27,6	427	1
Mexico	2	1330	11,4	4,6	43	11		
Netherlands	1	482	2,7	2,8	69	0		
Pakistan	3	690	2	630	4,4	4,4	58	8
Romania	2	1300	10,7	19,8	23	11		
LBNga	33	23643	10	8382	161,7	17,5	1124	2
Slovakia	4	1815	2	880	14,6	51,7	148	7
Slovenia	1	688	5,0	33,6	32	3		
NamPhi	2	1860	13,6	5,7	58	3		
Spain	7	7121	54,3	19,7	301	1		
Sweden	10	9474	63,7	42,7	412	6		
Switzerland	5	3308	25,0	36,4	194	11		
Ukraine	15	13107	2	1900	78,2	43,6	428	6
UnitedArabEmirates	2	2690						
UnitedKingdom	16	9243	64,1	18,3	1527	7		
UnitedStates	100	99081	4	5633	790,2	19,4	3912	4
Totalb	434	371733	72	69367	2358,9	15660	7	

Nguồn: Hệ thống thông tin lò phản ứng điện hạt nhân của IAEA (PRIS), <http://www.iaea.org/pris>.



Hình 2: Xu hướng khởi công xây dựng nhà máy điện hạt nhân

Trong năm 2013, 6 lò phản ứng đã được chính thức tuyên bố đóng cửa vĩnh viễn, bao gồm: Crystal River-3, Kewaunee và San Onofre 2 và 3 tại Hoa Kỳ; và Fukushima Daiichi 5 và 6 tại Nhật Bản. Con số này lớn hơn 3 lò so với năm 2012 nhưng ít hơn nhiều so với 13 lò đóng cửa vào năm 2011. Ngoài ra, còn có một lò phản ứng tại Tây Ban Nha là Santa Maria de Garona cũng đã tuyên bố đóng cửa dài hạn.

Tính đến ngày 31/12/2013, có 72 lò phản ứng đang trong quá trình xây dựng, đây là con số cao nhất kể từ năm 1989. Cũng giống như các năm trước đây, sự phát triển cũng như các triển vọng tăng trưởng trong tương lai gần và dài hạn vẫn tập trung ở châu Á, đặc biệt là ở Trung Quốc. Trong số 72 lò phản ứng đang được xây dựng nêu trên, có 48 nằm ở châu Á, khu vực này cũng chiếm đến 42 trong số 52 lò phản ứng mới hòa vào lưới điện kể từ năm 2000.

Trong năm 2013, xu thế nâng công suất và thay mới hoặc gia hạn giấy phép vận hành lò phản ứng vẫn tiếp tục duy trì. Ủy ban an toàn hạt nhân Canada đã cho phép 6 lò phản ứng nước nặng áp lực (PHWR) tại Pickering được gia hạn giấy phép vận hành thêm 5 năm. Ủy ban Điều phối hạt nhân Hoa Kỳ (NRC) đã phê chuẩn nâng công suất đối với ba tổ hợp, McGuire 1 và 2, và Monticello. Ủy ban điều phối hạt nhân của Ukraine đã cho phép kéo dài giấy phép hoạt động thêm 10 năm đối với tổ hợp 1 thuộc nhà máy điện hạt nhân South Ukraine.

Trong năm 2013, nhiều quốc gia đã đạt được những tiến bộ quan trọng trong việc xây dựng nhà máy điện hạt nhân đầu tiên của mình. Tập đoàn năng lượng hạt nhân Emirates Nuclear Energy Corporation tại Các Tiểu vương quốc Ả-rập đã bắt đầu xây dựng tổ hợp thứ hai tại Barakah hồi tháng 5 năm 2013. Lò phản ứng đầu tiên trong số bốn tổ hợp của nước này đã được lên kế hoạch đưa vào vận hành vào năm 2017, với số còn lại được hy vọng sẽ đưa vào vận hành vào năm 2020.

Belarus đã bắt đầu xây dựng tổ hợp năng lượng hạt nhân đầu tiên của mình - Belarusian-1 vào tháng 11 năm 2013. Đây là tổ hợp đầu tiên trong số hai tổ hợp WWER-1200 được đưa vào xây dựng theo hợp đồng đã được ký kết với Atomstroyexport của Liên bang Nga tháng 7 năm 2012.

Thổ Nhĩ Kỳ vẫn tiếp tục phát triển cơ sở hạ tầng cho chương trình năng lượng hạt nhân

của mình và chuẩn bị xây dựng bốn tổ hợp WWER-1200 tại Akkuyu. Năm 2013, công ty chịu trách nhiệm xây dựng nhà máy điện hạt nhân Akkuyu đã đệ trình báo cáo đánh giá tác động môi trường đối với dự án. Thổ Nhĩ Kỳ đã ký hiệp định hợp tác với Nhật Bản về nhà máy điện hạt nhân thứ hai tại Sinop. Đánh giá tích hợp cơ sở hạ tầng hạt nhân của IAEA (Integrated Nuclear Infrastructure Review - INIR) tháng 11 năm 2013 đã kết luận rằng Thổ Nhĩ Kỳ đã đạt được tiến bộ trong việc phát triển cơ sở hạ tầng hạt nhân của mình và đã đưa ra khuyến nghị về các hành động tiếp theo.

Nhiều quốc gia quyết định sử dụng điện hạt nhân đang tiến hành các công tác chuẩn bị về cơ sở hạ tầng. Tiếp theo hiệp định liên chính phủ với Liên bang Nga về hợp tác xây dựng hai tổ hợp thuộc nhà máy điện hạt nhân Rooppur, Bangladesh đã bắt đầu công việc chuẩn bị địa điểm vào năm 2013. Tháng 10 năm 2013, Jordan đã chọn Atomstroyexport của Liên bang Nga là nhà cung cấp ưu tiên và hiện đang tiến hành đánh giá đặc điểm vị trí Amra. Ba Lan có kế hoạch xây dựng hai nhà máy điện hạt nhân. Đánh giá INIR của IAEA hồi tháng 3 năm 2013 đã thừa nhận sự tiến bộ mà Ba Lan đã đạt được và đã đưa ra khuyến nghị về các hành động tiếp theo. Năm 2013, Việt Nam đã hoàn thành các nghiên cứu khả thi về hai địa điểm xây dựng nhà máy điện hạt nhân ở Ninh Thuận với tổng công suất 4000 MW. Ai Cập và Nigeria vẫn tiếp tục phát triển cơ sở hạ tầng để chuẩn bị xúc tiến điện hạt nhân. Jordan, Ma-rốc và Nigeria đã chính thức yêu cầu khảo sát đánh giá INIR của IAEA vào năm 2014. Tháng 1 năm 2013, Nam Phi đã trở thành quốc gia vận hành đầu tiên được nhận khảo sát INIR để đánh giá cơ sở hạ tầng hạt nhân của nước này nhằm chuẩn bị cho kế hoạch xây dựng mới.

Nhiều quốc gia tiếp tục cân nhắc xúc tiến điện hạt nhân. Một số nước đang tích cực chuẩn bị để có quyết định sáng suốt về tiềm năng thực hiện chương trình năng lượng hạt nhân, và nhiều quốc gia đang phát triển các chiến lược năng lượng của mình có bao gồm phương án điện hạt nhân. Ở giai đoạn này, sự chú trọng được nhằm vào việc phát triển khuôn khổ pháp lý toàn diện và hạ tầng luật pháp cần thiết để hỗ trợ cho một chương trình điện hạt nhân cùng với việc phát triển nguồn nhân lực cần thiết.

Trong số 30 quốc gia đang vận hành các nhà máy điện hạt nhân, có 13 nước vừa xây dựng thêm các nhà máy mới như: Trung Quốc, Hàn Quốc, Liên bang Nga và Hoa Kỳ, vừa tích cực hoàn tất các công việc xây dựng trước đây, như Argentina, Braxin và Slovakia. 12 quốc gia đang lên kế hoạch xây dựng các nhà máy mới như CH Séc, Hungary, Nam Phi và Vương quốc Anh hoặc hoàn thiện các công việc xây dựng bị trì hoãn như Romania và Hoa Kỳ.

Mặc dù ngành năng lượng hạt nhân có truyền thống hướng tới hiệu quả kinh tế nhờ quy mô, hiện nay mối quan tâm đối với các lò phản ứng kích thước nhỏ và vừa (SMR) vẫn gia tăng, một phần là do các tổ hợp này đòi hỏi đầu tư ít hơn và làm giảm được những rủi ro đầu tư tài chính. Hiện tại, có 130 SMR đang hoạt động tại 26 quốc gia, với tổng công suất đạt 58,2 GW và có 14 trong số 72 lò phản ứng đang được xây dựng thuộc loại SMR.

Sản xuất điện là chức năng chủ yếu của các lò phản ứng đang hoạt động hiện nay; một số tổ hợp hiện đang được sử dụng để khử muối, cung cấp nước nóng và nhiệt quá trình (process heat). Sử dụng phi điện năng trong tương lai có thể bao gồm cả sản xuất hydro: thứ nhất để nâng cấp các nguồn dầu mỏ chất lượng thấp như cát dầu, trong khi bù đắp lượng phát thải cacbon liên quan đến chuyển hóa metan bằng hơi nước; thứ hai để hỗ trợ sản xuất

quy mô lớn các loại nhiên liệu lỏng tổng hợp dựa trên sinh khối, than đá hay các nguồn cacbon khác; thứ ba để cung cấp nhiên liệu trực tiếp cho các phương tiện, chủ yếu là cho các loại xe lai kết hợp xạc điện với tế bào nhiên liệu hydro. Việc sử dụng các nhà máy điện hạt nhân để sản xuất điện và các ứng dụng phi điện (tức là đồng phát hạt nhân (nuclear cogeneration)) có thể cung cấp nhiều lợi ích kinh tế đa dạng cho những nước sử dụng năng lượng cường độ cao, các nhà máy điện hạt nhân sẽ hiệu suất cao hơn chuyển hóa thành hiệu quả kinh tế tốt hơn, giảm phát thải các chất ô nhiễm, làm tăng độ tin cậy và chất lượng điện, sử dụng tốt hơn nhiên liệu hạt nhân và linh hoạt hơn với lưới điện.

1.2. Dự báo tốc độ tăng trưởng điện hạt nhân

Cho đến nay đã có 30 quốc gia lựa chọn điện hạt nhân và một số lượng tương đương các quốc gia đang cân nhắc việc đưa điện hạt nhân chiếm một phần trong hỗn hợp năng lượng của mình, do những lợi ích hấp dẫn lâu dài của nó. Một trong những thông điệp then chốt từ Hội nghị bộ trưởng IAEA về Điện hạt nhân trong thế kỷ 21 được tổ chức tại St. Petersburg tháng 6 năm 2013 đó là, đối với nhiều quốc gia, điện hạt nhân sẽ đóng một vai trò quan trọng trong việc đạt được các mục tiêu an ninh năng lượng và phát triển bền vững. Năng lượng hạt nhân, nguồn năng lượng sạch cacbon thấp có thể giúp các quốc gia đáp ứng các nhu cầu điện ngày càng tăng, hạn chế phát thải cacbon đáp ứng mối quan tâm về biến đổi khí hậu, làm giảm các mối lo ngại liên quan đến an ninh cung ứng năng lượng và hạn chế sự phụ thuộc vào nhiên liệu hóa thạch, khắc phục được sự bất ổn định và chênh lệch giá cả.

Theo dự báo năm 2013 của IAEA, năng lượng điện hạt nhân được cho là sẽ tăng trong khoảng từ mức dự báo thấp 17% đến mức dự báo cao là 94% vào năm 2030. Các con số này thấp hơn một chút so với dự báo vào năm 2012, điều đó phản ánh tác động tiếp diễn của sự cố hạt nhân tại nhà máy điện nguyên tử Fukushima Daiichi, giá khí tự nhiên thấp và các nguồn năng lượng tái tạo được trợ cấp có công suất gia tăng.

Theo mức dự báo cao, tổng công suất thế giới sẽ đạt 722 GW vào năm 2030, cao hơn gần gấp đôi so với công suất đạt được vào năm 2012. Ước tính này được dựa trên cơ sở các giả định lạc quan nhưng hợp lý về tốc độ tăng trưởng kinh tế và nhu cầu về điện, đặc biệt là ở vùng Viễn Đông. Kịch bản dự đoán mức tăng trưởng cao giả định rằng các chính sách quốc gia sẽ có nhiều thay đổi nhằm ứng phó với biến đổi khí hậu và nền kinh tế toàn cầu được củng cố dẫn đến có thêm nhiều quốc gia đưa điện hạt nhân vào trong hỗn hợp năng lượng của mình hoặc mở rộng công suất hiện tại.

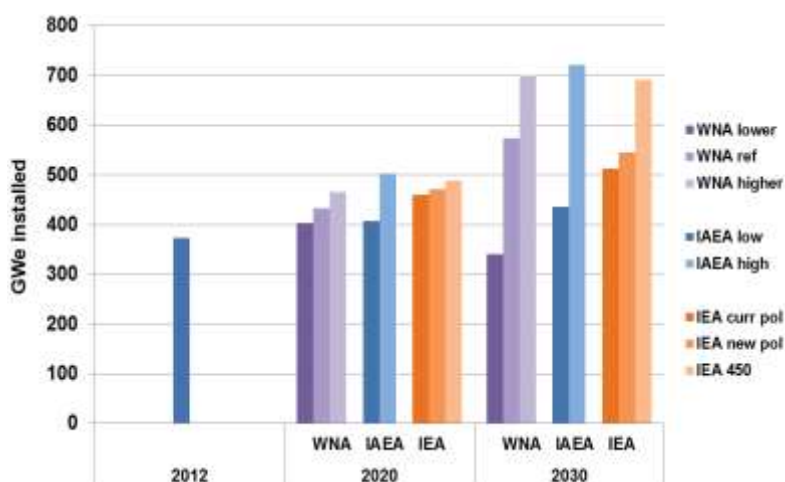
Trong kịch bản dự đoán tăng trưởng thấp, tổng công suất điện hạt nhân thế giới sẽ đạt 435 GW vào năm 2030, tăng cao hơn 62 GW so với mức đạt được năm 2012. Ước tính này giả định rằng các xu hướng thị trường, công nghệ và tài nguyên hiện tại sẽ vẫn tiếp tục diễn ra với ít thay đổi về luật pháp, chính sách và các quy định có lợi cho việc gia tăng chấp nhận điện hạt nhân. Dự đoán thấp phản ánh một sự gián đoạn kéo dài hay các quyết định không theo hướng phát triển năng lượng hạt nhân tại một số quốc gia do sự cố Fukushima Daiichi.

Tốc độ tăng trưởng mạnh nhất theo dự đoán sẽ diễn ra tại các khu vực đã vận hành các nhà máy điện hạt nhân, dẫn đầu là các quốc gia châu Á trong đó có Trung Quốc và Hàn Quốc. Đông Âu bao gồm cả Liên bang Nga, cũng như vùng Trung Đông và Nam Á, bao gồm cả Ấn Độ và Pakistan cũng cho thấy có tiềm năng tăng trưởng mạnh.

Các đánh giá khác cũng cho thấy dự báo tăng trưởng năng lượng hạt nhân tương tự như

dự đoán của IAEA. Trong báo cáo về Triển vọng năng lượng thế giới năm 2013 được Cơ quan năng lượng quốc tế (IEA) và Tổ chức hợp tác và phát triển kinh tế (OECD) công bố cho thấy năng lượng hạt nhân được dự báo tăng lên 513 GW vào năm 2030 tuân theo Kịch bản chính sách hiện tại, đạt 545 GW tuân theo Kịch bản chính sách mới và 692 GW theo kịch bản cao nhất với giới hạn gia tăng nhiệt độ toàn cầu là 2oC. Điều này chỉ ra rằng, dự báo thấp của IAEA là tương đối thận trọng, với ước tính cho năm 2030 là 78 GW thấp hơn so với dự đoán thấp nhất của IEA.

Hình 3 dưới đây thể hiện những dự báo vào năm 2013 của IAEA, các kịch bản năm 2013 của IEA và các dự đoán của Hiệp hội hạt nhân thế giới (WNA) trong ấn phẩm: Thị trường nhiên liệu hạt nhân toàn cầu: cung và cầu 2013-2030. Các kịch bản cao của ba tổ chức này cho những kết quả tương tự.



Hình 3: So sánh các dự báo về năng lượng hạt nhân của các tổ chức IAEA, IEA và WNA.

1.3. Chu trình nhiên liệu hạt nhân

Trữ lượng và sản lượng urani

Giá urani tại chỗ năm 2013 vẫn giữ ở mức thấp trong vòng bảy năm, giảm từ 115 USD/kg vào thời điểm đầu năm xuống còn khoảng 90 USD/kg vào cuối năm. Xu hướng này cũng rõ ràng trong mức giá dài hạn, từ khoảng 150 USD/kg vào đầu năm xuống khoảng 130 USD/kg vào cuối năm. Giá nguyên liệu giảm làm hạn chế đáng kể khả năng huy động vốn cho các hoạt động thăm dò và nghiên cứu khả thi, điều đó sẽ tác động đến sản lượng trong tương lai. Nhiều dự án mới được công bố trước đây có khả năng bị trì hoãn. Cuốn sách Đỏ mang tên: *Urani 2011: nguồn dự trữ, sản lượng và nhu cầu* do IAEA và OECD đồng xuất bản năm 2012 ước tính tổng lượng xác định các nguồn dự trữ urani thông thường có thể khôi phục lại mức giá chưa đến 260 USD/kgU với sản lượng 7,1 triệu tấn U.

Năm 2013, theo báo cáo có nhiều nguồn dự trữ bổ sung tại nhiều quốc gia, trong đó có Ôxtrâyliia, Botswana, Canada, Trung Phi, Trung Quốc, CH Séc, Đan Mạch, Ấn Độ, Jordan, Mông Cổ, Namibia, LB Nga, Slovakia và Nam Phi.

Nước biển được xem là một nguồn urani đặc biệt. Với trữ lượng ước tính 4,5 tỷ tấn U cho thấy một nguồn năng lượng dồi dào hòa tan trong các đại dương trên thế giới với nồng độ rất thấp, chỉ khoảng 3,3 phần tỷ, so với nồng độ trong đất đá (terrestrial rock) từ 1000-

5000 phần tỷ.

Theo ước tính của WNA, sản lượng urani đạt 53.493 tấn U năm 2011, 58.394 tấn U năm 2012 và 54.039 tấn U năm 2013.

Phương pháp ngâm chiết tại chỗ (In situ leaching - ISL) đã vượt phương pháp khai thác hầm lò để trở thành phương pháp sản xuất chính trong năm 2009, và tỷ lệ sản xuất bằng phương pháp ISL được dự báo sẽ vẫn tiếp tục gia tăng trong giai đoạn trung hạn. Trong năm 2012, có nhiều mở rộng tại một số mỏ tại Kazakhstan, được mở rộng làm tăng sản lượng hàng năm của nước này lên xấp xỉ 2250 tấn U. Theo báo cáo của WNA, phương pháp khai thác ISL chiếm khoảng 45% sản lượng thế giới trong năm 2012.

Trên thế giới, một số quốc gia có khai thác các mỏ urani bao gồm: Ôxtrâyliya, Hoa Kỳ, Đan Mạch, Thổ Nhĩ Kỳ, Tây Ban Nha, Thụy Điển, Uzbekistan, Trung Quốc, Iran, Namibia, Botswana, và Tanzania. WNA ước tính, sản lượng urani năm 2013, chỉ đáp ứng được 83% lượng tiêu thụ tại các lò phản ứng là 64.978 tấn U,. Phần còn lại phụ thuộc vào 5 nguồn thứ cấp sau:

- Các kho dự trữ urani tự nhiên của quân đội;
- Các kho dự trữ urani được làm giàu;
- Urani tái chế (RepU) từ nhiên liệu đã sử dụng;
- Nhiên liệu MOX (Mixed Oxide fuel) với độ giàu 235U thay thế một phần bằng plutoni từ nhiên liệu đã dùng tái chế;
- Làm giàu lại quặng đuôi urani nghèo

Theo tỷ lệ tiêu thụ ước tính của năm 2012, thời hạn sử dụng của tổng trữ lượng ước tính 5,3 triệu tấn U trên thị trường hiện tại có thể kéo dài 78 năm.

Các nguồn urani và thori không phổ biến sẽ mở rộng hơn cơ sở tài nguyên. Các ước tính hiện nay về nguồn urani có khả năng thu hồi lại dưới dạng các sản phẩm phụ là vào khoảng 8 triệu tấn U. Trữ lượng thori thế giới ước tính đạt khoảng 6-7 triệu tấn. Mặc dù thori được sử dụng làm nhiên liệu mới chỉ ở mức độ giới thiệu, nhiều công việc cần tiến hành trước khi cân nhắc việc sử dụng nhiên liệu này. Vẫn còn rất ít dự án nguyên tố đất hiếm để có thể sản xuất ra thori dưới dạng sản phẩm phụ và các chất lắng cặn có chứa thori. Các dự án này theo dự báo sẽ được đưa vào sản xuất trong tương lai gần tại Ôxtrâyliya (Nolans Bore), Đan Mạch (Kvanefjeld tại đảo Greenland) và Nam Phi (Steenkampskraal). Tháng 4/2013, hãng Thor Energy đã khởi công chương trình thử nghiệm nhiên liệu MOX thori tại Halden, Na Uy.

Chuyển đổi, làm giàu và chế tạo nhiên liệu

Sáu quốc gia đang vận hành các nhà máy với quy mô thương mại chuyển đổi octaoxide triurani thành urani hexafluoride (UF₆) là Canada, Trung Quốc, Pháp, LB Nga, Vương quốc Anh và Hoa Kỳ, và các cơ sở chuyển đổi nhỏ khác đang được vận hành tại Argentina, Braxin, Iran, Nhật Bản và Pakistan. Phương pháp bay hơi florua khô (Dry fluoride volatility) đang được sử dụng ở Hoa Kỳ, còn các phương pháp chuyển đổi khác sử dụng quy trình ướt. Tổng công suất chuyển đổi hàng năm của thế giới vẫn duy trì ở mức không đổi, vào khoảng 76.000 tấn UF₆ mỗi năm. Tuy nhiên, dự báo khả năng xảy ra những thay đổi lớn, do một nhà máy mới đang được xây dựng tại Pháp (AREVA's Comurhex II) và một nhà máy khác đang được tân trang lại tại Hoa Kỳ (Honeywell Metropolis Works). Tổng nhu cầu hiện tại đối với các dịch vụ chuyển đổi (với phân tích đuôi quặng làm giàu là

0,25% U235) trong khoảng từ 60.000-64.000 tấn một năm.

Tổng công suất làm giàu hiện tại đạt khoảng 65 triệu đơn vị công việc phân tách (separative work units - SWU) một năm, so với tổng nhu cầu gần 49 triệu SWU mỗi năm. Có 5 công ty thực hiện các dịch vụ làm giàu thương mại, gồm Tập đoàn hạt nhân quốc gia Trung Quốc (CNNC), AREVA (Pháp), Rosatom (LB Nga), USEC và URENCO (Hoa Kỳ). Ngoài ra còn có các nhà máy làm giàu nhỏ tại Achantina, Braxin, Ấn Độ, Iran, Nhật Bản và Pakistan.

Tổng công suất khử chuyển hóa (Deconversion - chiết florua ra từ UF₆ nghèo) của thế giới vào năm 2013 vẫn giữ ở mức 60.000 tấn UF₆ mỗi năm.

Nhu cầu hàng năm hiện tại đối với các dịch vụ sản xuất nhiên liệu cho lò phản ứng LWR vẫn giữ ở mức 7000 tấn urani làm giàu trong các cấu trúc nhiên liệu, nhưng dự báo sẽ tăng lên 8000 tấn U vào năm 2015. Đối với loại lò phản ứng PHWR, nhu cầu khoảng 3000 tấn U mỗi năm. Hiện tại có một số nhà cung ứng cạnh tranh đối với hầu hết các chủng loại nhiên liệu. Tổng công suất sản xuất nhiên liệu toàn cầu giữ ở mức 13.500 tấn U một năm (urani làm giàu trong các phần tử nhiên liệu và bó nhiên liệu) đối với nhiên liệu LWR và khoảng 4000 tấn U một năm đối với nhiên liệu PHWR. Đối với nhiên liệu urani tự nhiên PHWR, urani được tinh chế và chuyển đổi thành UO₂ tại Achantina, Canada, Trung Quốc, Ấn Độ và Romania.

Tại Trung Quốc, công suất sản xuất của nhà máy nhiên liệu CNNC tại Yibin vào khoảng 600 tấn U mỗi năm. Đối với nhà máy CNNC tại Baotou, Mông Cổ, nơi sản xuất các cấu trúc nhiên liệu cho lò phản ứng CANDU PHWR (đoteri-urani Canada) của Qinshan đạt 200 tấn U một năm, công suất nhiên liệu của nhà máy này đang tăng lên 400 tấn U một năm. Một nhà máy mới đang được xây dựng để sản xuất nhiên liệu cho các lò phản ứng AP1000 của Trung Quốc. Nhà máy sản xuất nhiên liệu tại Kazakhstan theo dự kiến hoàn thành vào năm 2014, là liên doanh giữa AREVA và Kazatomprom, có công suất ước tính là 1200 tấn U/năm. Việc xây dựng nhà máy sản xuất nhiên liệu WWER-1000 với công suất theo kế hoạch là 400 tấn/năm đang được tiếp tục tại Smoline, Ukraine.

Trong vài năm gần đây, TVEL đã triển khai bó thanh nhiên liệu (fuel assembly) để vận hành tại các lò phản ứng nước áp lực (PWR) và bốn tổ hợp thí điểm đang được chạy thử nghiệm tại các nhà máy Ringhals PWR Thụy Điển.

Hoạt động tái chế cung cấp nhiên liệu hạt nhân thứ cấp bằng việc sử dụng nhiên liệu RepU và MOX. Hiện tại, có khoảng 100 tấn RepU mỗi năm được sản xuất bởi Elektrostal, LB Nga cho nhà máy AREVA. Công suất chế tạo hiện tại của thế giới đối với nhiên liệu MOX vào khoảng 250 tấn kim loại nặng (HM), với các nhà máy chính nằm ở Pháp, Ấn Độ và Vương quốc Anh, một số nhà máy nhỏ hơn nằm ở Nhật Bản và LB Nga.

Ấn Độ và LB Nga chế tạo nhiên liệu MOX để sử dụng trong các lò phản ứng nhanh. Tại Nga, một nhà máy chế tạo nhiên liệu MOX cho lò phản ứng nhanh BN-800 đang được xây dựng tại Zheleznogorsk (Krasnoyarsk-26). Nga cũng đang chạy thí điểm các nhà máy tại Viện nghiên cứu các lò phản ứng nguyên tử tại Dimitrovgrad và tại nhà máy Mayak, Ozersk.

Năm 2013, trên toàn thế giới có khoảng 30 lò LWR sử dụng nhiên liệu MOX. Tháng 10 năm 2013, nhà máy chế tạo nhiên liệu MELOX của AREVA đã bắt đầu sản xuất nhiên liệu MOX cho nhà máy điện hạt nhân Borssele tại Hà Lan. Trong 30 năm qua, 375 tấn nhiên

liệu đã sử dụng thải ra từ Borssele đã được tái chế tại nhà máy La Hague của AREVA.

Đầu cuối của chu trình nhiên liệu hạt nhân

Có hai chiến lược quản lý khác nhau được sử dụng đối với nhiên liệu hạt nhân đã qua sử dụng. Nhiên liệu này hoặc là tái chế để chiết tách các chất có thể sử dụng (urani và plutoni) cho nhiên liệu mới, hoặc coi là chất thải và được lưu giữ chờ xử lý. Hiện tại, các quốc gia như Trung Quốc, Pháp, Ấn Độ và LB Nga tiến hành tái chế nhiên liệu đã qua sử dụng, trong khi các nước khác như Canada, Phần Lan và Thụy Điển lựa chọn cách loại bỏ trực tiếp tại một cộng đồng địa phương tình nguyện. Hầu hết các nước vẫn chưa quyết định nên thông qua chiến lược nào và hiện nay vẫn đang bảo quản nhiên liệu đã qua sử dụng, những phát triển liên quan đến hai lựa chọn này được dự báo là tương đương nhau.

Nhà máy điện nguyên tử Sizewell B của hãng EDF Energy, Vương quốc Anh đã bắt đầu xây dựng một nơi bảo quản khô đối với nhiên liệu đã dùng vào tháng 1 năm 2013. Cơ sở này được dự kiến sẽ bắt đầu vận hành vào năm 2015.

Trong năm 2013, có khoảng 10.000 tấn HM đã thải ra từ tất cả các nhà máy điện hạt nhân dưới dạng nhiên liệu đã qua sử dụng. Tổng lượng tích lũy nhiên liệu đã qua sử dụng được thải ra trên phạm vi toàn cầu tính đến tháng 12 năm 2013 đạt xấp xỉ 370.500 tấn HM, trong số này có 253.700 tấn HM được bảo quản ngay tại lò phản ứng hoặc được lưu giữ ở một nơi cách xa lò phản ứng. Chưa đến một phần ba tổng lượng tích lũy nhiên liệu đã qua sử dụng thải ra trên toàn cầu, tức là khoảng 112.800 tấn HM đã được tái chế. Trong năm 2013, công suất tái chế thương mại toàn cầu tại bốn quốc gia (Pháp, Ấn Độ, LB Nga và Vương quốc Anh) là vào khoảng 4.800 tấn HM mỗi năm.

Ấn Độ tiếp tục xây dựng nhà máy chu trình nhiên liệu lò phản ứng nhanh tại Kalpakkam vào năm 2013. Nhà máy được dự kiến này được thiết kế để chế tạo nhiên liệu cho lò phản ứng nhân nhanh (Fast breeder reactor) nguyên mẫu đầu tiên sắp tới của nước này và tiếp theo là thêm hai tổ hợp nữa.

Nhà máy tái chế thương mại công suất 800 tấn HM một năm của Nhật Bản - Nuclear Fuel Limited (JNFL) được xây dựng tại Rokkasho, công việc đã tạm ngừng do hậu quả động đất và sự cố Tsunami ngày 11/3/2011, nay đã sẵn sàng vận hành thử máy vào cuối năm 2013. Sản xuất thử chất thải thủy tinh hóa tại một trong hai lò nấu chảy đã thành công. Một khi được đưa vào vận hành sau khi nhận được giấy phép, công suất tái chế tối đa của nhà máy sẽ là 800 tấn một năm.

Trung Quốc đã công bố một dự kiến tái chế nhiên liệu đã qua sử dụng tại một nhà máy mới với công suất 800 tấn nhiên liệu đã sử dụng mỗi năm, công trình được xây dựng hợp tác với hãng AREVA.

Tháng 10/2013, chính phủ Anh đã công bố một hợp đồng với EDF mở đường cho việc xây dựng nhà máy điện hạt nhân đầu tiên tại Vương quốc Anh trong vòng 20 năm. Sách trắng của chính phủ năm 2008 đã khẳng định rằng nhà máy mới sẽ tiến hành trên cơ sở không tái chế nhiên liệu đã sử dụng. Chiến lược hiện nay về quản lý nhiên liệu đã qua sử dụng tại Hinkley Point C sẽ là lưu giữ tại lò phản ứng đến 10 năm, tiếp theo là lưu giữ chuyển tiếp tại một cơ sở lưu giữ độc lập cho đến khi xây dựng được một nơi chôn hủy địa chất. Cơ sở thiết kế cho nơi lưu giữ này là bảo quản ướt kết hợp với các bộ trao đổi nhiệt chìm trong bể chứa với loại bỏ nhiệt thụ động. Loại công nghệ này hiện cũng đang được Braxin xem xét.

Tháng 10 năm 2013, công ty Recyclable-Fuel Storage của Nhật Bản - một công ty lép vốn của Công ty Tokyo Electric Power và Công ty Japan Atomic Power đã hoàn thành xây dựng tòa nhà lưu giữ tạm thời nhiên liệu đã qua sử dụng tại thành phố Mutsu, Quận Aomori. Cơ sở đã nhận được giấy phép bảo quản 3.000 tấn U nhiên liệu đã qua sử dụng, với công suất theo kế hoạch cuối cùng sẽ là 5000 tấn U. Tuy nhiên, tiến triển tiếp theo phụ thuộc vào giấy chứng nhận thỏa mãn các yêu cầu an toàn mới của Cơ quan lập pháp hạt nhân (NRA).

Ngừng hoạt động, xử lý và quản lý chất thải phóng xạ

Chất thải phóng xạ phát sinh ra từ các quá trình sử dụng công nghệ hạt nhân để sản xuất năng lượng, cũng như từ các hoạt động nghiên cứu, các ứng dụng y tế và công nghiệp. Ngoài nhiên liệu đã qua sử dụng được tuyên bố là chất thải hay các nguồn chất thải phát sinh như phụ phẩm trong tái chế nhiên liệu đã sử dụng, chất thải phóng xạ còn phát sinh trong vận hành các phương tiện hạt nhân, trong thời gian ngừng hoạt động và trong các công việc khắc phục liên quan. Việc quản lý an toàn chất thải phóng xạ đòi hỏi một sự quản lý thích hợp các nguồn chất thải, xử lý và chuẩn bị, cũng như tạo ra các dung tích chứa thích hợp, vận chuyển chất thải giữa các nhà máy và chôn hủy cuối cùng.

Tổng lượng chất thải đang được lưu giữ trên toàn cầu theo thông báo của năm 2013 là xấp xỉ 68 triệu m³ (bảng 2). Khối lượng lũy tích chất thải phóng xạ được thải ra cho đến năm 2012 vào khoảng 76 triệu m³, trong đó bao gồm khoảng 29 triệu m³ chất thải lỏng được phun vào giếng sâu, và gần 4000 m³ HLW rắn, chủ yếu phát sinh từ Chernobyl. Tích tụ hàng năm của HLW đã xử lý tương đối ổn định, với tỷ lệ tích lũy trung bình vào khoảng 850 m³/năm trên phạm vi toàn thế giới (không bao gồm nhiên liệu đã sử dụng).

Bảng 2: Ước tính tổng lượng tồn đọng chất thải phóng xạ toàn cầu năm 2013.

Loại chất thải	Chất thải đã qua xử lý (m ³)	Tổng lượng tích lũy đã được chôn lấp (m ³)
Mức rất thấp (VLLW)	163.000	193.000
Mức thấp (LLW)	56.663.000	64.992.000
Mức trung bình (ILW)	8.734.000	10.588.000
Mức cao (HLW)	2.744.000	72.000

Nguồn: CSDL quản lý chất thải của IAEA (2013), các báo cáo quốc gia và dữ liệu công bố công khai.

Tính đến tháng 12/2013, trên toàn thế giới có 467 nơi lưu giữ và 154 cơ sở xử lý chất thải phóng xạ.

Ngừng hoạt động

Tính đến tháng 12/2013, 149 lò phản ứng năng lượng trên thế giới đã đóng cửa vĩnh viễn. Trong đó, 16 lò phản ứng đã được tháo dỡ hoàn toàn; 52 lò đang trong quá trình tháo dỡ; 59 lò đang được duy trì ở phương thức đóng kín an toàn hoặc đang chờ để tháo dỡ lần cuối; 3 lò đã được chôn vùi; và 17 lò hiện vẫn chưa có một chiến lược ngừng hoạt động cụ thể. Khoảng 40% trong số 434 lò phản ứng hạt nhân đang hoạt động trên thế giới cho đến nay đã hoạt động được hơn 30 năm và khoảng 7% số này đã hoạt động hơn 40 năm. Mặc dù một số lò phản ứng có thể hoạt động đến 60 năm, nhiều lò sẽ ngừng hoạt động trong vòng 10 đến 20 năm tới. Ngoại trừ một số trường hợp đặc biệt (ví dụ như các lò phản ứng

tiết chế graphite với quy trình xử lý chất thải vẫn chưa hình thành), chiến lược ngừng hoạt động được lựa chọn phổ biến tại hầu hết các quốc gia đó là tháo dỡ ngay lập tức, điều đó có nghĩa là chất thải phóng xạ được đưa ra khỏi địa điểm nhà máy và phải chịu sự giám sát theo luật pháp trong vòng 15 đến 25 năm sau khi đóng cửa.

Trong số 480 lò phản ứng nghiên cứu và các cấu trúc nhiên liệu tới hạn (Critical assemblies) đã đóng cửa vĩnh viễn, có 70% đã ngừng hoạt động hoàn toàn. Ngoài ra còn có hàng trăm các cơ sở hạt nhân khác, như các nơi quản lý chất thải phóng xạ hay các thiết bị chu trình nhiên liệu đã ngừng hoạt động hoặc đang trong quá trình tháo dỡ.

Các quốc gia thành viên với các chương trình điện hạt nhân lớn (tức là các nước đã bắt đầu sản xuất điện hạt nhân từ những năm 1950 và 1960) đã đạt được những tiến bộ quan trọng trong việc tiếp tục sự kế thừa những hoạt động sớm của mình. Các nước này đã phát triển các công nghệ và kinh nghiệm về việc thực hiện các chương trình ngừng hoạt động và xử lý môi trường. Một số ví dụ về các chương trình đã đạt được những tiến bộ quan trọng trong năm 2013 như sau:

- Pháp: tiến hành khử nhiễm xạ và di dời tại Morvilliers;
- Tây Ban Nha: hoàn thành việc phân đoạn và di dời các bộ phận bên trong lò phản ứng ra khỏi nhà máy điện hạt nhân Jose Cabrera;
- Vương quốc Anh: khử nhiễm xạ các bể chứa nhiên liệu đã dùng tại nhà máy điện hạt nhân Bradwell để chuẩn bị cho đóng cửa an toàn vào năm 2015;
- Hoa Kỳ: đang tiến hành di dời LLW ra khỏi nhà máy điện hạt nhân Zion, thực hiện quyết định tiến hành tháo dỡ lập tức ngay tại chỗ sau khi chiến lược tháo dỡ đã bị trì hoãn trước đó.

Chính quyền Nhật Bản vẫn tiếp tục thực hiện Lộ trình trung và dài hạn tiến tới đóng cửa các tổ hợp 1-4 nhà máy điện hạt nhân Fukushima Daiichi của hãng TEPCO. Giai đoạn 1 của lộ trình (12/2011-12/2013) chú trọng vào công việc dọn dẹp và ổn định để chuẩn bị cho việc di dời nhiên liệu từ các bể chứa nhiên liệu đã dùng (giai đoạn 2). Việc di dời nhiên liệu từ tổ hợp 4 đã bắt đầu từ tháng 11 năm 2013, sớm hơn một tháng so với kế hoạch. Di dời nhiên liệu từ tổ hợp 3 được lên kế hoạch vào năm 2015 và từ các tổ hợp 1 và 2 vào năm 2017. Các kế hoạch đang được chuẩn bị cho giai đoạn 3 (sau tháng 12 năm 2021) di dời các mảnh vỡ của nhiên liệu ra khỏi các tòa nhà chứa lò phản ứng. Các công việc NCPT quan trọng vẫn tiếp tục tiến hành để tạo khả năng phát triển các thiết bị điều khiển từ xa để phát hiện sự cố đối với các bể chứa chính.

Khắc phục

Khắc phục môi trường bao gồm mọi biện pháp có thể thực hiện để làm giảm sự phơi nhiễm bức xạ tại các vùng đất thông qua các hành động được áp dụng đối với chính nguồn ô nhiễm hoặc đối với các đường phơi nhiễm đến con người. Rất nhiều địa điểm trên thế giới, cần có các hoạt động khắc phục. Công tác khắc phục thường yêu cầu những nguồn lực to lớn và cần lên kế hoạch thích hợp, quản lý tốt các dự án và cần các chuyên gia có trình độ cũng như một khung pháp lý đầy đủ. Tác động của các vấn đề cụ thể này trong việc thực hiện các dự án khắc phục và ngừng hoạt động đã được IAEA phân tích qua Dự án Những quy tắc ràng buộc đối với việc thực hiện ngừng hoạt động và khắc phục môi trường (CIDER).

Một phát triển quan trọng trong năm 2013 đó là tiến bộ đạt được trong các hoạt động dọn

đẹp tại các vùng bị ảnh hưởng bởi sự cố Fukushima Daiichi. Các cơ quan có thẩm quyền Nhật Bản đã cung cấp các nguồn lực quan trọng để phát triển các chiến lược, kế hoạch và để thực hiện các hoạt động khắc phục tại các vùng bị ô nhiễm lớn bên ngoài. Các nỗ lực đặc biệt đã được huy động để tạo điều kiện cho những người dân sơ tán quay trở về nhà. Tiên bộ quan trọng cũng đạt được trong việc phối hợp các hoạt động khắc phục với các nỗ lực tái thiết và phục hồi.

Di sản chất thải phóng xạ

Nhóm chuyên gia tiếp xúc (Contact Expert Group - CEG) của IAEA về các Xúc tiến di sản hạt nhân quốc tế (International Nuclear Legacy Initiatives) đã góp phần thực hiện thành công các chương trình quốc tế trong lĩnh vực này. Chương trình tháo dỡ các tàu ngầm hạt nhân ngừng hoạt động hiện nay đã sắp hoàn thành. Các tổ hợp lò phản ứng trên tàu ngầm đã xả nhiên liệu hiện đang trong quá trình niêm phong và chuyển đến các cơ sở lưu giữ dài hạn. Hiện tại có 65 tổ hợp lò phản ứng trên tàu ngầm đang được đặt tại một cơ sở lưu giữ tại vùng Tây Bắc và 3 tổ hợp được đặt tại vùng viễn đông LB Nga. Một chương trình tương tự cũng đang được thực hiện tại Hoa Kỳ, đã tháo dỡ 114 tàu và tàu ngầm hạt nhân. Có hai trung tâm xử lý và lưu giữ chất thải phóng xạ khu vực đang được xây dựng tại vùng Tây Bắc và vùng Viễn đông LB Nga. Một chương trình quốc tế về phục hồi các máy phát nhiệt đồng vị phóng xạ mạnh vốn được sử dụng tại các ngọn hải đăng dọc theo bờ biển LB Nga cũng đang được thực hiện thành công.

Xử lý và làm ổn định chất thải phóng xạ

Chất thải phóng xạ lỏng phát sinh từ hầu hết các bộ phận trong chu trình nhiên liệu hạt nhân, bao gồm các lò phản ứng, các thiết bị tái chế và xử lý chất thải, và các hoạt động ngừng hoạt động. Các kỹ thuật xử lý nhằm làm giảm nồng độ phóng xạ bao gồm kết tủa hóa học, bổ sung các chất hấp thụ được chia nhỏ (sau khi loại bỏ các chất rắn), và sử dụng các chất hấp thụ trao đổi ion dưới dạng tháp (column). Ngoài ra, bay hơi hay thẩm thấu ngược (lọc cấp độ nguyên tử) cũng có thể sử dụng. Các tính chất của các chất hấp thụ trao đổi ion chuyên dụng liên tục được cải tiến bằng cách tăng cường khả năng lựa chọn các nuclit phóng xạ (radionuclides) và cải thiện các tính chất vật lý cho sử dụng tháp, ví dụ như bằng cách sử dụng các vật liệu composite. Xử lý chất thải lỏng là một đặc trưng quan trọng trong khắc phục sự cố Fukushima Daiichi bằng việc sử dụng một thiết bị xử lý được cung cấp ở phạm vi quốc tế. Tất cả các quy trình nêu trên đều được kết hợp để xử lý khối lượng lớn các nuclit phóng xạ khác nhau tại Fukushima.

Ổn định chất thải bao gồm việc giữ cố định các nuclit phóng xạ, đặt chất thải vào trong các container và bao gói phụ thêm. Các phương pháp giữ cố định phổ biến bao gồm công đoạn hóa rắn chất thải phóng xạ lỏng nồng độ thấp và trung bình sử dụng xi-măng, nhựa bitum hoặc thủy tinh, và thủy tinh hóa chất thải phóng xạ lỏng nồng độ cao trong vật liệu nền thủy tinh hoặc nhúng vào vật liệu nền kim loại. Xu hướng hiện tại tiếp tục cải tiến các đặc điểm của các quy trình cố định chất thải nồng độ thấp và trung bình (LILW). Ai Cập, Ấn Độ, LB Nga, Serbia và Hoa Kỳ đều đã sửa đổi các quy trình bằng cách thêm các phụ gia để tăng cường các tính chất vật lý của xi măng và xây dựng các phương pháp cố định tiềm năng cho các loại chất thải đặc biệt và khắc phục những tác động có hại của các loại chất thải không hoạt hóa. Trung Quốc, Pháp, LB Nga, Thụy Sĩ, Vương quốc Anh và Hoa Kỳ đều đã phát triển các chất kết dính mới để khắc phục những hạn chế trong các đặc tính

của xi măng pooclang. Pháp thông báo về sự ổn định của các muối kẽm hòa tan sử dụng xi măng sulfo-nhôm canxi (CSAC).

IAEA gần đây đã đánh giá bốn loại vật liệu xi măng mới (11) gồm:

- Xi măng sulfo-nhôm canxi - CSAC;
- Xi măng aluminat canxi (CAC);
- Xi măng địa polime (*Geopolymer*) được chế tạo từ silicat kiềm và cao-lanh nhiệt hóa (*Metakaolin*);
- Xi măng ma-giê phot-phát (*magnesium phosphate*).

Kinh nghiệm xây dựng gần đây về vật liệu xi măng địa polime cho thấy có thể ứng dụng rộng rãi trong ổn định chất thải. SIAL địa polime cho thấy có độ bền nén cao và khả năng có thể lọc lấy nước (leachability) của Cs137 thấp, loại vật liệu này đã được cấp giấy phép sử dụng tại CH Séc và Slovakia để hóa rắn chất thải phóng xạ dạng bùn và keo. Các nghiên cứu tại Ôxtrâylia, LB Nga, Slovakia và Vương quốc Anh có khả năng mang lại thêm nhiều kiến thức, bao gồm cả các thông tin về tính lâu bền dài hạn của chúng.

Lưu giữ chất thải phóng xạ

Lưu giữ chất thải phóng xạ tạo khả năng ngăn chặn và cách ly chất thải, và tạo điều kiện thu hồi để xử lý tiếp theo hoặc chôn hủy. Các xu hướng đáng chú ý về lưu giữ chất thải phóng xạ được quan sát trong thập kỷ gần đây như thời gian lưu giữ kéo dài và lưu giữ với độ an toàn tăng cường. Các xu hướng này đã trở nên đặc biệt phổ biến đối với chất thải phóng xạ hoạt tính cao hơn. Một hướng dẫn về thực hành tốt trong quản lý lưu giữ chất thải phóng xạ đó là Bản hướng dẫn của Cơ quan tháo dỡ hạt nhân của Anh về Lưu giữ tạm thời các gói chất thải hoạt tính cao - cách tiếp cận tích hợp được xuất bản năm 2012. Các nguyên tắc bao gồm:

- Các chu trình vòng đời từ bắt nguồn đến chôn vùi;
- Các điều kiện bao gói và lưu giữ chất thải thích hợp nhằm giảm thiểu phát sinh chất thải;
- Phòng ngừa tốt hơn chữa trị;
- Cảnh báo trước trong thiết kế;
- Quản lý tri thức hiệu quả.

Hướng dẫn dự kiến rằng các phương tiện lưu giữ có khả năng kéo dài ít nhất 100 năm.

Đối với những nơi lưu giữ mới, thiết kế vòng đời đặc trưng ít nhất là 100 năm. Ngoài ra, điều được đề xuất là nên sử dụng các cấu trúc hiện có, được sửa đổi cho phù hợp với nơi lưu giữ, cần chứng minh được rằng cấu trúc đó đáp ứng các tiêu chuẩn xây dựng hiện đại, các vật liệu được lựa chọn cho công việc sửa sang cần phù hợp và kho lưu giữ phải phù hợp với mục tiêu vòng đời thiết kế ít nhất là 100 năm.

Chôn hủy chất thải phóng xạ

Các cơ sở chôn hủy đối với tất cả các hạng mục chất thải phóng xạ, ngoại trừ HLW hay nhiên liệu đã dùng, được vận hành trên phạm vi toàn thế giới. Các cơ sở bao gồm:

- Chôn cất trong hầm (trench disposal) đối với VLLW (như ở Pháp, Tây Ban Nha và Thụy Điển) hay đối với LLW ở những nơi khô cằn (Argentina, Ấn Độ, Nam Phi và Hoa Kỳ);
- Các cơ sở xử lý gần bề mặt đối LLW (Trung Quốc, CH Séc, Pháp, Ấn Độ, Nhật Bản, Slovakia, Tây Ban Nha, Ukraine và Vương quốc Anh);

- Các cơ sở dưới bề mặt đối với LILW (Phần Lan và Thụy Điển);
- Chôn cất trong các giếng khoan sâu đối với LLW được thực hiện tại Hoa Kỳ;
- Các công trình địa chất đối với LILW (Hungary và Hoa Kỳ).

Các phương án chôn hủy đối với các chất thải vật liệu phóng xạ phát sinh tự nhiên khác nhau phụ thuộc vào các quy phạm pháp luật của các quốc gia và quy mô các cơ sở chôn hủy trong lòng đất và các công trình được xây dựng dưới bề mặt (Na-uy). Phần Lan, Pháp và Thụy Điển đã tiến hành theo hướng cấp giấy phép cho các cơ sở lưu giữ địa chất đối với HLW hay nhiên liệu đã dùng.

Canada hiện đang phát triển hai địa điểm lưu giữ địa chất. Thứ nhất là cơ sở đặt tại Bruce đối với LLW và ILW phát sinh từ nhà máy điện Ontario, hiện đang ở giai đoạn cấp giấy phép, công việc lấy ý kiến công chúng đã hoàn thành trong năm 2013 và một quyết định có tính pháp lý được dự kiến vào cuối năm 2014 hoặc đầu năm 2015. Cơ sở thứ hai tại một địa điểm không xác định để làm nơi chôn cất nhiên liệu hạt nhân đã qua sử dụng và là trung tâm chuyên môn. Trong hợp tác với 21 cộng đồng tình nguyện viên quan tâm đến việc tìm hiểu về kế hoạch quản lý an toàn và dài hạn nhiên liệu hạt nhân đã qua sử dụng của Canada, Tổ chức quản lý chất thải hạt nhân đã hoàn thành giai đoạn đánh giá sơ bộ ban đầu với 8 cộng đồng này và đang làm việc với 13 nhóm còn lại. 4 trong số 8 cộng đồng đã làm việc cho rằng có thể xúc tiến sang giai đoạn đánh giá tiếp theo.

Trung Quốc đang thực hiện kế hoạch trung hạn về quản lý LILW của mình tại 5 địa điểm chôn cất vùng vào năm 2020 với tổng công suất chôn cất khoảng 1 triệu m³. Trong số này có hai cơ sở đang hoạt động với công suất hiện tại là 20.000 m³ và 80.000 m³. Địa điểm thứ ba đang được xây dựng và còn hai nơi nữa có kế hoạch phát triển. Trung Quốc hiện dự kiến nhu cầu lưu giữ địa chất phát sinh từ 140.000 tấn nhiên liệu đã dùng từ 48 lò phản ứng của nước này. Lượng HLW phát sinh sau tái chế sẽ cần đến giải pháp chôn cất. Các kế hoạch tiến tới chôn hủy địa chất đối với HLW bao gồm chọn địa điểm (2014), xây dựng (2017) và vận hành một phòng thí nghiệm nghiên cứu ngầm dưới đất vào năm 2020; tiến hành nghiên cứu và phát triển tại chỗ và bắt đầu xây dựng một kho lưu giữ địa chất sâu trong lòng đất (DGR) vào năm 2040; và bắt đầu các hoạt động xử lý vào năm 2050.

Cơ quan quản lý chất thải phóng xạ quốc gia của Pháp đang chuẩn bị giai đoạn công nghiệp cho dự án chôn cất nghịch đảo (reversible disposal) đối với ILW và HLW, và đang tiến hành nghiên cứu khả thi và hợp thức hóa quá trình tham gia của công chúng trước khi đệ trình đơn xin cấp phép. Trong năm 2013, các kế hoạch cho dự án Cigeo đã đạt đến giai đoạn lấy ý kiến công chúng cuối cùng. Các kế hoạch ban đầu về tiến hành các cuộc họp công chúng đã được thay thế bằng thảo luận online tiếp theo một loạt các kiến nghị phản đối. Một ủy ban công dân đã được thành lập như một bộ phận của quá trình này. Trong khi chờ đợi đệ đơn xin cấp phép vào năm 2015 và dự kiến được cấp phép xây dựng vào năm 2018, các kế hoạch Andra về vận hành xử lý bắt đầu vào năm 2025.

Đức đã phê chuẩn một dự luật quy định về lựa chọn nơi chôn cất vào tháng 6/2013. Một ủy ban độc lập sẽ tiến hành quy trình lựa chọn nơi lưu giữ mới đối với chất thải sinh nhiệt. Cơ sở được thăm dò trước đó tại Gorleben đã không bao gồm quy trình mới này.

Sau lễ khánh thành vào tháng 12/2012, Hungary đã bắt đầu vận hành thường xuyên cơ sở xử lý Bataapati, được thiết kế để tiếp nhận 40.000 m³ LILW từ các hoạt động nhà máy điện hạt nhân. Thiết kế này cho phép xây dựng song song các hầm xử lý mới trong khi chất

thải vẫn được cất giữ tại các nơi đã xây dựng xong.

Tại Hàn Quốc, công trình xây dựng Trung tâm chôn cất LILW Wolsong (WLDC) đã hoàn thành và giai đoạn đầu với 100.000 thùng chứa được hoàn thành vào tháng 6/2014. Chính phủ đã thành lập một ủy ban thảo luận công khai về các phương án xử lý đối với nhiên liệu đã qua sử dụng. Hầm nghiên cứu ngầm dưới đất KAERI sẽ mở rộng cho các chương trình nghiên cứu và phát triển dự phòng trước để hỗ trợ lưu giữ địa chất.

LB Nga, đang thiết kế một phòng thí nghiệm ngầm dưới đất tại núi granit Nizhnekanskiv, với độ sâu 500 m thuộc vùng Krasnoyarsk, Siberia, với mục đích nghiên cứu khả năng chôn cất chất thải mức độ trung và cao tồn tại lâu dài. Công suất dự kiến đủ chứa 7500 thùng chứa chất thải sinh nhiệt và 155.000 m³ chất thải không sinh nhiệt. Một cơ sở lưu giữ đối với LLW và ILW ngắn hạn đã được bố trí tại vùng Leningrad, trong một kiến tạo đất sét ở độ sâu 60-70 m dưới mặt đất. Địa điểm này được thiết kế để tiếp nhận 50.000 m³ LLW trong các buồng chôn dạng hầm trong giai đoạn vận hành đầu tiên.

Tại Thụy Điển, quá trình cấp giấy phép cho cơ sở lưu giữ nhiên liệu đã qua sử dụng có khả năng phải kéo dài trong vài năm nữa, Công ty quản lý chất thải và nhiên liệu hạt nhân Thụy Điển (SKB) đã đệ trình báo cáo đánh giá chương trình nghiên cứu, phát triển và trình diễn mới nhất về lưu giữ địa chất và hiện đang chuẩn bị những tính toán điều chỉnh về các chi phí tương lai của chương trình quản lý nhiên liệu đã qua sử dụng. Những tính toán này sẽ được sử dụng làm cơ sở cho quyết định của chính phủ về phí đóng góp vào Quỹ chất thải hạt nhân để cung cấp tài chính cho chương trình.

Thụy Sĩ hiện đang xem xét lại quy định của mình về các quỹ ngừng hoạt động và lưu giữ. Các kiến nghị điều chỉnh các ước tính chi phí tương lai bao gồm cả tỷ lệ lạm phát giảm (từ 3% xuống 1,5%) và lợi nhuận từ đầu tư (từ 5% xuống 3,5%) được sử dụng cho những ước tính trước đây cũng như bổ sung thêm 30% "phụ phí bất trắc". Chính phủ liên bang đã phê chuẩn chương trình quản lý chất thải toàn diện của Nagra bao gồm LILW và HLW. Các kiến nghị về bố trí các cơ sở gần mặt đất trong năm 2013 và giai đoạn 2 của quá trình kế hoạch ngành dẫn đến sự lựa chọn ít nhất là hai nơi lưu giữ dành cho LILW và HLW đang được tiến hành.

Tại Hoa Kỳ, khu nhà số 7 trong Nhà máy cách ly chất thải thí điểm của Bộ năng lượng Hoa Kỳ (DOE) đã được Cục Môi trường bang New Mexico phê chuẩn để làm nơi lưu giữ các vật liệu thải quốc phòng bị ô nhiễm từ các chất đồng vị phóng xạ phát sinh do các hoạt động của con người, các chất này nặng hơn urani. Dựa trên các khuyến nghị của Ủy ban Blue Ribbon về tương lai hạt nhân của Hoa Kỳ, chiến lược quốc gia về quản lý HLW và nhiên liệu đã dùng đã tiên đoán trước sự phát triển các cơ sở lưu giữ thí điểm và lớn hơn, cũng như việc đạt được sự tiến bộ về bố trí và đặc trưng hóa các địa điểm lưu giữ địa chất. NRC sẽ tiếp tục xử lý đơn xin cấp giấy phép của dự án Yucca Mountain.

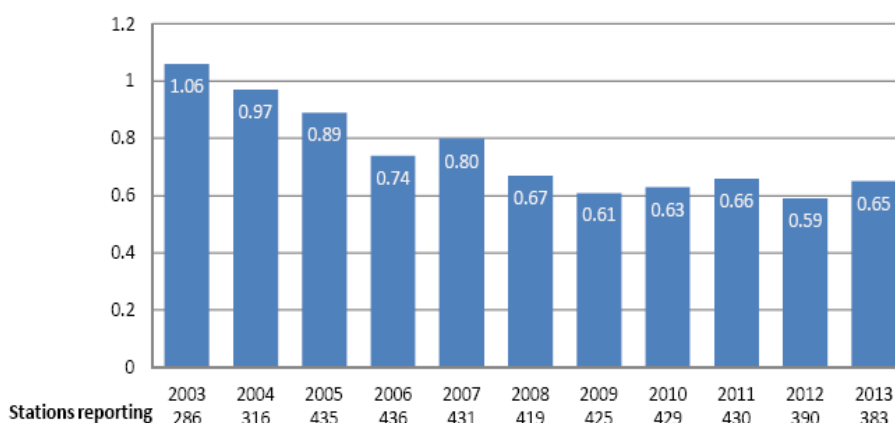
1.4. An toàn hạt nhân

Trong năm 2013, những cải tiến về an toàn liên tục được thực hiện tại các nhà máy điện hạt nhân trên toàn thế giới, bao gồm cả thông qua việc phát hiện và áp dụng các bài học rút ra từ sự cố Fukushima Daiichi. Tiến bộ quan trọng đã đạt được trong những lĩnh vực then chốt sau:

- Đánh giá những lỗ hổng an toàn của các nhà máy điện hạt nhân;

- Những cải tiến trong khả năng chuẩn bị và ứng phó khẩn cấp;
- Hỗ trợ các quốc gia thành viên lập kế hoạch tiến hành một chương trình điện hạt nhân;
- Đẩy mạnh và củng cố xây dựng năng lực;
- Bảo vệ người và môi trường tránh bức xạ iôn hóa.

Các tiến bộ đạt được đã góp phần tăng cường khuôn khổ an toàn hạt nhân toàn cầu. IAEA tiếp tục chia sẻ và phổ biến các bài học kinh nghiệm từ sự cố Fukushima Daiichi. Kế hoạch hành động của IAEA về An toàn hạt nhân đã được đại hội đồng thông qua sau sự cố Fukushima, vẫn là cốt lõi cho các hành động an toàn của các nước thành viên, ban thư ký và các bên tham gia liên quan khác. Năm 2013, IAEA đã tổ chức Hội nghị các chuyên gia quốc tế về tháo dỡ và khắc phục sau sự cố hạt nhân, Hội nghị các chuyên gia quốc tế về các yếu tố tổ chức và con người trong an toàn hạt nhân từ sự cố nhà máy điện hạt nhân Fukushima Daiichi, và Hội nghị quốc tế về các hệ thống pháp luật hạt nhân có hiệu lực. Năm 2013, IAEA đã xuất bản Báo cáo về ngừng hoạt động và khắc phục sau một sự cố hạt nhân, báo cáo của IAEA về đẩy mạnh hiệu lực của pháp luật hạt nhân rút ra từ sự cố nhà máy điện hạt nhân Fukushima Daiichi và báo cáo về sẵn sàng ứng phó với tình trạng khẩn cấp hạt nhân hoặc phóng xạ, kinh nghiệm rút ra từ sự cố Fukushima Daiichi.



Hình 4: Số lần ngừng khẩn cấp (tự động và bằng tay) bình quân 7000 giờ hoạt động.

IAEA đã chuẩn bị báo cáo về sự cố Fukushima Daiichi trong đó mô tả chi tiết về bối cảnh sự cố, đánh giá an toàn, sự chuẩn bị sẵn sàng ứng phó khẩn cấp, những hậu quả phóng xạ cũng như công tác khôi phục sau sự cố. Dự kiến, báo cáo này sẽ được công bố vào phiên họp Đại hội đồng lần thứ 59 vào tháng 9 năm 2015.

Sự an toàn trong vận hành các nhà máy điện hạt nhân vẫn được giữ ở mức cao theo các chỉ tiêu về an toàn do IAEA và Hiệp hội các nhà vận hành hạt nhân thế giới thu thập. Hình 4 minh họa số trung bình các vụ ngừng khẩn cấp không có kế hoạch trên mỗi 7000 giờ hoạt động (xấp xỉ một năm). Chỉ tiêu này được sử dụng phổ biến cho thấy kết quả cải thiện độ an toàn của nhà máy bằng cách giảm số lần chuyển tiếp phản ứng và nhiệt thủy lực không mong muốn và không theo kế hoạch đòi hỏi lò phản ứng phải ngừng khẩn cấp. Qua biểu đồ cho thấy sự tiến bộ liên tục đạt được trong những năm gần đây. Sự gia tăng từ năm 2010 đến 2011 liên quan đến số lần ngừng khẩn cấp xảy ra do động đất tháng 3/2011 tại Nhật Bản.

II. Lò phản ứng hạt nhân tiên tiến

2.1. Phân hạch và tổng hợp hạt nhân tiên tiến

Lò phản ứng làm mát bằng nước (WCR)

Ủy ban An toàn hạt nhân quốc gia Canada đã hoàn tất việc thẩm tra lần 3 và lần cuối trước khi cấp phép cho thiết kế lò CANDU 6 cải tiến (EC6) công suất 740 MW điện, kết hợp một số cải tiến an toàn để đáp ứng các tiêu chuẩn mới nhất của Canada và quốc tế. Hãng Candu Energy cũng đã hoàn thiện việc triển khai lò phản ứng CANDU tiên tiến (ACR-1000), áp dụng chuẩn hóa bộ phận ở mức rất cao kết hợp với urani được làm giàu nhẹ để bù đắp cho việc sử dụng nước nhẹ làm chất làm mát chính. Lò ACR-1000 đã hoàn thành 2 giai đoạn thẩm tra trước khi cấp phép. Candu Energy cũng đang phối hợp với các đối tác quốc tế để phát triển các phương án thiết kế lò EC6 sử dụng nhiên liệu tiên tiến, gồm urani tái chế, nhiên liệu MOX và thori.

Trung Quốc đang tiến hành xây dựng 29 lò phản ứng nước áp lực, bao gồm các lò phản ứng tiên tiến công suất 650 MW điện và 1080 MW điện dựa trên cơ sở công nghệ vận hành nhà máy hiện tại, cũng như các thiết kế AP1000 mới và lò phản ứng nước áp lực của châu Âu (EPR). Một tổ hợp mới có tên gọi Hongyanhe-1 với thiết kế lò phản ứng loại CPR 1000 đã kết nối vào lưới điện vào tháng 2/2013. Trung Quốc tiếp tục phát triển các thiết kế lò phản ứng plasma ăng ten tròn (CAP) loại CAP-1400 và CAP-1700, là các phiên bản kích cỡ lớn của AP1000. Đồng thời, Trung Quốc tiếp tục đầu tư nghiên cứu thiết kế lò phản ứng làm mát bằng nước siêu tới hạn (SCWR).

Tại Pháp, Tập đoàn năng lượng hạt nhân và năng lượng tái tạo đa quốc gia AREVA tiếp tục bán ra trên thị trường mẫu thiết kế lò phản ứng EPR công suất 1600MW+. Tập đoàn này cũng đang phối hợp với công ty Mitsubishi Heavy Industries của Nhật Bản để phát triển lò phản ứng nước áp lực ATMEA1 công suất 1100MW+ và hợp tác với Công ty năng lượng E.ON. của Đức về lò phản ứng nước sôi (BWR) KERENA 1250MW+. Mẫu thiết kế ATMEA1 dự kiến sẽ được triển khai đầu tiên tại Sinip, Thổ Nhĩ Kỳ.

Tại Ấn Độ, 5 tổ hợp đang được xây dựng, trong đó có 4 lò phản ứng nước nặng tiên tiến công suất 700 MW và 1 lò phản ứng điều hòa, làm mát bằng nước (WWER) 1000 MW. Tháng 10/2013, lò phản ứng Kudankulam-1 loại WWER đã được kết nối vào lưới điện và lò phản ứng thứ hai đang được chạy khởi động thử nghiệm. Trung tâm nghiên cứu nguyên tử Bhabha (BARC) đang hoàn thiện thiết kế lò phản ứng nước nặng tiên tiến (AHWR) công suất 300 MW, sẽ sử dụng nhiên liệu urani được làm giàu thấp (LEU) và nhiên liệu MOX thori, tiết chế bằng nước nặng kết hợp với các ống chịu áp lực kiểu đứng và các đặc tính an toàn thụ động cải tiến.

Ở Nhật Bản, hai tổ hợp lò phản ứng nước sôi tiên tiến (ABWR) đang được xây dựng. Công ty Hitachi-GE Nuclear Energy đã triển khai hai phiên bản ABWR công suất 600 MW và 900 MW để đáp ứng các nhu cầu đa dạng. Toshiba Corporation đã cải tiến mẫu ABWR để đáp ứng yêu cầu của Hoa Kỳ (US-ABWR) và Liên minh châu Âu (EU-ABWR). Nhật Bản hiện đang tiếp tục tiến hành NC&PT các mẫu thiết kế SCWR mới.

Tại Hàn Quốc, lò phản ứng tiên tiến đầu tiên APR-1400 đang được xây dựng theo kế hoạch. Quy trình cấp chứng nhận thiết kế của Ủy ban điều phối hạt nhân cho lò APR-1400 đang được tiến hành với đơn xin cấp đệ trình vào tháng 10/2013. Song song với đó là sự

phát triển các lò APR+ công suất 1500 MW và lò APR-1000 vẫn được tiếp tục tiến hành trong năm 2013.

Tại Hoa Kỳ, 5 lò phản ứng nước nhẹ áp lực (PWR), trong đó có 4 lò AP1000 đang được xây dựng. NRC tiếp tục xét đơn xin cấp chứng nhận thiết kế đối với mẫu lò BWR của GE-Hitachi Nuclear Energy, US-EPR (AREVA NP) và lò US-APWR (Mitsubishi Heavy Industries).

Bảy lò phản ứng WWER tiếp tục được xây dựng ở Nga, trong đó có 2 lò WWER-1000s và 5 lò WWER-1200s (NPP-2006). Kế hoạch triển khai lò WWER-1200A, cũng như WBER-600, WWER-600 (NPP-2006/2) và WWER-1800 dựa trên thiết kế WWER-1200 hiện tại, tiếp tục được thực hiện. Hơn nữa, Nga đang thực hiện nghiên cứu mẫu lò WWER-SC, thiết kế SCWR mới và tiếp tục xây dựng tổ hợp KLT-40S, lò phản ứng nổi cỡ nhỏ cho các ứng dụng đặc biệt.

Hệ thống neutron nhanh

Lò phản ứng neutron nhanh với các chu trình nhiên liệu liên quan từ lâu đã được cho là có ý nghĩa quan trọng đối với tính bền vững lâu dài của điện hạt nhân. Tỷ số tái sinh dương (positive breeding ratio) có thể đạt được và vật liệu phân hạch có thể tái chế nhiều lần thu được từ nhiên liệu đã qua sử dụng của các lò phản ứng nhanh cho phép tận dụng tối đa tiềm năng năng lượng của urani và thori. Công nghệ này đảm bảo nguồn cung cấp năng lượng trong hàng nghìn năm và làm tăng đáng kể tính bền vững của điện hạt nhân bằng cách giảm chất thải phóng xạ mức độ cao và có tác dụng lâu.

Tuy nhiên, việc triển khai quy mô lớn các lò phản ứng nhanh còn phụ thuộc vào sự phát triển nghiên cứu và công nghệ để tạo ra điều kiện đảm bảo khai thác tiềm năng tối đa của các hệ thống neutron nhanh và các chu trình nhiên liệu khép kín liên quan, cũng như cần đáp ứng đầy đủ các tiêu chuẩn về năng lực cạnh tranh kinh tế, các qui định an toàn nghiêm ngặt, phát triển bền vững và sự chấp thuận của công chúng.

Từ năm 1960, các chương trình phát triển và triển khai lò phản ứng nhanh quan trọng đã được thực hiện trên toàn thế giới, tạo ra những kiến thức sâu rộng về lò phản ứng nhanh và các công nghệ chu trình nhiên liệu liên quan. Công nghệ lò phản ứng nhanh thuần thực nhất là lò phản ứng nhanh làm mát bằng natri (SFR) với lịch sử 35 năm tích lũy kinh nghiệm thông qua việc thiết kế, xây dựng và hoạt động ở qui mô thử nghiệm, nguyên mẫu, trình diễn và thương mại tại một số quốc gia như Trung Quốc, Pháp, Đức, Ấn Độ, Nhật Bản, Nga, Anh và Hoa Kỳ. Nhìn chung, SFR đạt hiệu suất đáng chú ý với những thành tích quan trọng như chứng minh tính khả thi của việc tạo ra nhiên liệu mới thông qua chu trình nhiên liệu lò phản ứng nhanh với giá trị hiệu suất nhiệt đạt từ 43-45%, mức cao nhất trong lĩnh vực hạt nhân. Kinh nghiệm cần thiết trong việc ngừng hoạt động một số lò phản ứng loại này cũng được tích lũy.

Hiện nay, có 4 lò phản ứng SFR đang hoạt động, bao gồm:

- (a) Lò phản ứng nhanh thử nghiệm Trung Quốc (Trung Quốc);
- (b) Lò phản ứng thử nghiệm tái sinh nhanh (Ấn Độ);
- (c) Các lò phản ứng BOR-60 và BN-600 (Nga).

Hai lò phản ứng SFR gọi là Joyo và Monju ở Nhật Bản, đang tạm thời đóng cửa. Công trình xây dựng 2 lò SFR dự kiến được hoàn thiện vào năm 2014 gồm: nguyên mẫu lò phản ứng tái sinh nhanh ở Ấn Độ và lò phản ứng BN-800 công suất 880 MW điện ở Nga.

Tại Nga, một số kinh nghiệm về các kim loại nặng dạng lỏng như chì hoặc chì-bitmut euctecti đã tích lũy được từ 7 dự án tàu ngầm hạt nhân 705/705K, được trang bị lò phản ứng làm mát bằng chì-bitmut có công suất 155 MW nhiệt.

Bốn loại lò phản ứng nhanh khác đang được triển khai trên qui mô quốc gia và quốc tế để đáp ứng các tiêu chuẩn cao hơn về sự an toàn, tính bền vững, kinh tế, bảo vệ vật lý và chống phổ biến vũ khí hạt nhân. Đó là mẫu lò SFR, như lò phản ứng nhanh làm mát bằng chì (LFR), lò phản ứng nhanh làm mát bằng khí (GFR) và lò phản ứng nhanh muối nóng chảy (Molten salt fast reactor - MSFR).

Lò phản ứng làm mát bằng khí (GCR)

Anh đã vận hành lò phản ứng GCR thương mại trong nhiều năm. 1 lò Magnox và 14 lò GCR tiên tiến vẫn còn hoạt động tại quốc gia này, đóng vai trò quan trọng trong lĩnh vực lò phản ứng làm mát bằng khí ở nhiệt độ cao (HTGR) và cùng với nhiều trường đại học kỹ thuật vẫn tiếp tục cung cấp hỗ trợ kỹ thuật cho các nhà vận hành trong việc giải quyết những thách thức liên quan đến HTGR. Ở Anh, lò HTGR khác về cơ bản với lò GCR CO₂ ở chỗ sử dụng hạt nhiên liệu bọc (coated particle fuel), có nhiệt độ đường xả khí cao hơn ($\geq 750^{\circ}\text{C}$) và sử dụng heli làm chất làm mát.

Trung Quốc đã khởi công xây dựng lò phản ứng nhiệt độ cao (HTR-PM) vào tháng 12/2012, sau khi đáp ứng được các yêu cầu về việc đánh giá lại mức độ an toàn của lò phản ứng trong bối cảnh sự cố hạt nhân Fukushima Daiichi. Nhà máy có công suất demo 200 MW (điện) này bao gồm 2 tổ hợp lò phản ứng có công suất 250 MW (nhiệt), dự kiến sẽ được đưa vào hoạt động vào cuối năm 2017.

Trung Quốc đã triển khai công nghệ chế tạo nhiên liệu và đang được thử nghiệm trên qui mô quốc tế trong các điều kiện bình thường và có sự cố. Nhà máy sản xuất nhiên liệu mới bắt đầu được xây dựng ở Bao Đầu (Baotou) vào năm 2013 và công việc thử nghiệm ở quy mô đầy đủ đối với các cấu phần chính sẽ được thực hiện khi vòng lặp thử heli (helium test loop) 10 MW được hoàn thành. Lò phản ứng nghiên cứu HTR-10 đã được nâng cấp năm 2013 và sẽ được sử dụng cho tích lũy kinh nghiệm vận hành, thu thập dữ liệu và thử nghiệm.

Cơ quan năng lượng hạt nhân quốc gia Ấn Độ (BATAN, Badan Tenaga Nuklir Nasional) đang nghiên cứu thiết kế phương án về lò HTGR phù hợp với việc triển khai bên ngoài các đảo Java, Madura và Bali. Các hoạt động nghiên cứu tập trung vào nhu cầu, phương diện kinh tế, nhiệt quá trình và sản xuất nhiên liệu.

Bảng 3. Các thiết kế lò phản ứng nhanh

Thiết kế	Loại	Công suất điện	Nhà thiết kế
CFR-600	SFR, lò phản ứng dạng bể (pool-type)	600 MW	Viện năng lượng nguyên tử Trung Quốc
Astrid	SFR, nguyên mẫu lò phản ứng dạng bể	600 MW	Ủy ban năng lượng nguyên tử và năng lượng thay thế của Pháp, Tập đoàn điện lực Pháp, Tập đoàn AREVA NP, Công ty hạt nhân Comex, Toshiba, Jacobs, Rolls-Royce và Astrium châu Âu (Pháp)
FBR-1 và 2	SFR, lò phản ứng dạng bể	500 MW	Trung tâm nghiên cứu nguyên tử Indira Gandhi, Ấn Độ
4S	SFR, lò phản ứng cỡ nhỏ	10 MW	Hãng Toshiba (Nhật Bản)

JSFR	SFR, lò phản ứng kiểu vòng (loop-type)	750 MW (qui mô vừa) và 1.500 MW (qui mô lớn)	Cơ quan năng lượng nguyên tử Nhật Bản (Nhật Bản)
PGSFR	SFR, nguyên mẫu lò phản ứng dạng bể	150 MW	Viện nghiên cứu năng lượng nguyên tử Hàn Quốc (Hàn Quốc)
BN-1200	SFR, lò phản ứng dạng bể	1.220 MW	Viện thiết kế thử nghiệm cấu trúc máy (Nga)
MBIR	SFR, lò phản ứng nghiên cứu dạng bể	100 MW	Viện nghiên cứu và phát triển kỹ thuật điện (Nga)
RISM	SFR, lò phản ứng dạng bể	311 MW	Tập đoàn GE-Hitachi (Hoa Kỳ)
TWR-P	SFR, lò phản ứng sóng dịch chuyển (travelling wave)	600 MW	Công ty thiết kế lò phản ứng hạt nhân TerraPower (Hoa Kỳ)
MYRRHA	LFR, lò phản ứng nghiên cứu chì-bitmut dạng bể		Trung tâm nghiên cứu hạt nhân Bỉ (Bỉ)
CLEAR-I	LFR, lò phản ứng nghiên cứu chì-bitmut dạng bể		Viện công nghệ an toàn năng lượng hạt nhân (Trung Quốc)
ALFRED	LFR, nhà máy demo chì tải nhiệt dạng bể	125 MW	Công ty Ansaldo Nucleare (Châu Âu/Italia)
ELFR	LFR, lò phản ứng chì tải nhiệt dạng bể	630 MW	Công ty Ansaldo Nucleare (Châu Âu/Italia)
PEACER	LFR, nhà máy demo chì-bitmut dạng bể	300 MW	Đại học quốc gia Seoul (Hàn Quốc)
BREST-OD-300	LFR, lò phản ứng chì dạng bể	300 MW	Viện nghiên cứu và phát triển kỹ thuật điện (Nga)
SVBR-100	LFR, lò phản ứng chì-bitmut mô-đun nhỏ	101 MW	Công ty kỹ thuật AKME (Nga)
ELECTRA	LFR, lò phản ứng chì tải nhiệt phục vụ mục đích đào tạo		Viện công nghệ hoàng gia (Thụy Điển)
G4M	LFR, lò phản ứng chì-bitmut mô-đun nhỏ	25 MW	Công ty năng lượng Gen4 (Hoa Kỳ)
ALLEGRO	GFR, lò phản ứng thử nghiệm		Cộng đồng năng lượng nguyên tử châu Âu (châu Âu)
EM2	GFR, lò phản ứng nhiệt độ cao	240 MW	Công ty General Atomics (Hoa Kỳ)
MSFR	MSFR	1.500 MW	Trung tâm nghiên cứu khoa học quốc gia (Pháp)

Chú thích: GFR - lò phản ứng nhanh làm mát bằng khí; LFR - lò phản ứng nhanh làm mát bằng chì; MSFR - lò phản ứng nhanh muối nóng chảy; SFR - lò phản ứng nhanh làm mát bằng Natri

Tại Nhật Bản, lò phản ứng thử nghiệm kỹ thuật nhiệt độ cao công suất 30MW (nhiệt) (HTTR) đang được kiểm tra theo qui định. Việc kiểm chứng an toàn bao gồm thử nghiệm mất khả năng làm lạnh cưỡng bức ban đầu và mất làm mát bằng bể chứa, mô phỏng hiện tượng mất điện lưới. Để ứng phó với sự cố Fukushima Daiichi, Cơ quan Năng lượng

nguyên tử Nhật Bản đã bắt đầu thiết kế lò phản ứng HTGR an toàn một cách tự nhiên hoàn toàn dựa vào các đặc tính an toàn cố hữu và lò phản ứng HTGR cháy sạch để sử dụng hết lượng plutoni dư thừa tại Nhật Bản. Nghiên cứu phát triển sản xuất hydro vẫn đang được thực hiện.

Hàn Quốc tiếp tục đầu tư cho các cơ sở thử nghiệm lò phản ứng HTGR dùng để sản xuất hydro. Các ứng dụng nhiệt quá trình dự kiến được triển khai cùng hợp tác với các nhà sử dụng nhiệt sản xuất. Sự phát triển hạt nhiên liệu bọc đang được thực hiện có hiệu quả và việc chiếu xạ kiểm tra sẽ được tiến hành trong lò phản ứng ứng dụng neutron tiên tiến mật độ cao.

Dự án nghiên cứu chung giữa Nga và Hoa Kỳ về lò phản ứng heli mô-đun tuabin khí đang được thực hiện để xử lý plutoni cấp độ vũ khí bằng cách dùng để sản xuất điện và các ứng dụng nhiệt quá trình. Trọng tâm chính của dự án là dựa vào các công nghệ cốt lõi cho lò phản ứng như nhiên liệu, than chì, vật liệu chịu nhiệt cao, hệ thống chuyển đổi năng lượng với một tua bin khí và các hệ thống lò phản ứng khác.

Tại Hoa Kỳ, dự án Nhà máy điện hạt nhân thế hệ tiếp theo chú trọng vào việc thẩm định nhiên liệu TRISO (tristructural isotropic), graphit và vật liệu chịu nhiệt cao tại các cơ sở thử nghiệm để mô tả các đặc tính an toàn thụ động và phát triển khuôn khổ cấp phép. Nhiên liệu mới được chế tạo cho thấy có tính năng vượt trội trong chiếu xạ nhiệt độ cao (1250°C) và có độ cháy rất cao (phân hạch 19% ứng với mỗi nguyên tử kim loại ban đầu) và ở nhiệt độ sự cố lên đến 1800°C, thể hiện mức độ an toàn gia tăng và lợi nhuận lớn trong thiết kế lò phản ứng và hiệu suất nhiên liệu. NRC đã tập trung giải quyết vấn đề trong lĩnh vực cấp phép, đặc biệt là cơ sở lựa chọn sự kiện, xác định giới hạn nguồn (source term), hiệu suất hệ thống, hiệu suất của các rào cản dưới bề mặt và liều phóng xạ tiềm tàng đối với công chúng, và lập kế hoạch tình trạng khẩn cấp.

Dự án NC&PT lò phản ứng nhiệt độ cao tiên tiến của Ủy ban châu Âu sản xuất nhiệt-điện nhằm mục đích mở rộng công nghệ HTGR của châu Âu với trọng tâm nhằm vào các khía cạnh an toàn của hệ thống đi đôi với ứng dụng công nghiệp. Tại Ba Lan, một dự án do Chính phủ tài trợ, đã được phê duyệt để nghiên cứu khả năng xây dựng hệ thống HTGR. Các hoạt động ở Đức chỉ giới hạn ở nghiên cứu mức độ an toàn có chọn lọc và tham gia vào các chương trình HTGR của Ủy ban châu Âu. Tại Hà Lan, nhóm nghiên cứu và tư vấn hạt nhân ở Petten và Đại học công nghệ Delft hỗ trợ các chương trình của Ủy ban châu Âu.

Lò phản ứng điện hạt nhân cỡ vừa và nhỏ

Lò phản ứng cỡ vừa và nhỏ (SMR) là nguồn phát điện tiềm năng đối với các cộng đồng tương đối biệt lập hoặc lưới điện hạn chế. SMR cũng có thể là phương thức hiệu quả để thay thế các nguồn sản xuất phát điện đã lạc hậu, lâu đời hoặc phát thải nhiều cacbon mà không cần thiết phải có những thay đổi lớn về hạ tầng hiện có. Công nghệ khử muối nước biển bằng năng lượng hạt nhân đã được thực hiện thành công thông qua nhiều dự án tại một số nước và hoạt động này nhìn chung có hiệu quả về chi phí, mặc dù tính kinh tế của việc thực hiện sẽ phụ thuộc vào các yếu tố đặc thù cho mỗi địa điểm. Lò SMR còn được xem như sự lựa chọn công nghệ tiềm năng cho sản xuất đồng phát nhiệt-điện.

Theo bảng xếp loại đã được IAEA thông qua, các lò phản ứng nhỏ là lò phản ứng có sản lượng điện thấp hơn 300 MW và lò phản ứng qui mô trung bình có sản lượng điện dao động từ 300-700 MW. Hiện nay, có 4 lò SMR tiên tiến đang được xây dựng tại 4 quốc gia:

Achentina, Trung Quốc, Ấn Độ và Nga. SMR đang được phát triển cho tất cả các dòng lò phản ứng chính bao gồm LWR, lò phản ứng nước nặng (HWR), HTGR và lò phản ứng làm lạnh bằng kim loại lỏng (LMFR). Xu hướng phát triển đang hướng tới triển khai các lò phản ứng hạt nhân nhỏ tiên tiến như nhà máy điện nhiều mô-đun. Một số lò SMR làm mát bằng nước, áp dụng cách tiếp cận tích hợp cho hệ thống chính, trong đó các cấu phần của hệ thống cung cấp hơi nước hạt nhân (nuclear steam supply system) được đặt trong một bể chứa chung cùng với lõi lò. Một số quốc gia đang xúc tiến việc phát triển và ứng dụng các nhà máy điện hạt nhân có thể dịch chuyển, gồm lò SMR nổi và ở trên biển.

Khoảng 45 khái niệm lò phản ứng SMR đổi mới đang trong các giai đoạn nghiên cứu và phát triển khác nhau. Dưới đây là mô tả một số thiết kế lò SMR làm mát bằng nước chuẩn bị cho việc triển khai ngắn hạn.

Achentina đã bắt đầu triển khai các lò phản ứng CAREM-thiết kế LWR áp lực nhỏ, loại nguyên khối với toàn bộ các thành phần chính nằm bên trong thùng lò phản ứng và sản lượng điện từ 150-300 MW (điện). Việc thăm dò địa điểm đặt mẫu nhà máy CAREM-25 công suất 27 MW đã được hoàn tất. Chính phủ nước này đã cấp giấy phép xây dựng cho lò CAREM-25 vào tháng 10/2013. Công trình xây dựng đã được khởi công vào đầu năm 2014.

Trung Quốc đã phát triển các lò PWR công suất 300 MW (điện) và 600 MW (điện). Một số lò đã được triển khai và 3 lò CNP-600 đang được xây dựng. Pakistan cũng đã triển khai 2 lò CNP-300 nhập khẩu từ Trung Quốc và thêm 2 lò CNP-300 đang được xây dựng. Ngoài ra, CNNC đang phát triển lò ACP-100 công suất 100 MW (điện). Trung Quốc lập kế hoạch xây dựng 2 lò ACP-100 ở tỉnh Phúc Kiến để sản xuất điện và khử muối nước biển. Viện nghiên cứu và chế tạo công nghệ hạt nhân Thượng Hải đã xây dựng lò phản ứng nhỏ tiên tiến công suất 150 MW gọi là CAP-150 đáp ứng các đặc trưng về mức độ an toàn thụ động và lò SMR nổi 200 MW (nhiệt).

Tại Pháp, Tập đoàn chế tạo hải quân DCNS đang phát triển lò Flexblue, lò phản ứng thiết kế mô-đun nhỏ và di chuyển được có công suất 160 MW (điện). Lò phản ứng làm mát bằng nước này hoạt động dưới đáy biển, sử dụng các công nghệ hạt nhân hải quân, ngoài khơi và thụ động để tận dụng lợi thế của biển như bộ tản nhiệt vô hạn và vĩnh cửu.

Tại Ấn Độ, nhiều lò phản ứng HWR 220 MW (điện), 540 MW (điện) và 700 MW (điện) đang trong quá trình xây dựng hoặc vận hành. Lò AHWR 304 MW (điện) do Trung tâm nghiên cứu nguyên tử Bhabha (BARC) phát triển, đang trong giai đoạn thiết kế chi tiết.

Ở Italia, Đại học Bách khoa Milan đang tiếp tục phát triển thiết kế lò phản ứng quốc tế mới và an toàn (IRIS). Đây là loại lò LWR với cấu hình hệ thống chính nguyên khối, mô-đun, sản xuất điện ở mức trung bình 335 MW (điện). Khái niệm lò phản ứng được nghiên cứu nhằm đáp ứng các yêu cầu về an toàn, phương diện kinh tế, chống phổ biến vũ khí hạt nhân và giảm thiểu chất thải.

Tại Nhật Bản, lò phản ứng LWR công suất 350 MW (điện) qui mô trung bình với hệ thống chính nguyên khối gọi là lò phản ứng nước mô-đun tích hợp (IMR) đã được phát triển. Việc kiểm chứng, nghiên cứu và phát triển các thành phần, phương pháp thiết kế và thiết kế cơ bản đang được tiến hành để hỗ trợ cấp phép. Lò IMR được thiết kế để sản xuất đồng phát nhiệt-điện.

Hàn Quốc đã phát triển thiết kế lò phản ứng tiên tiến mô-đun tích hợp hệ thống

(SMART) công suất nhiệt 330 MW, nhằm sử dụng kết hợp phát điện và khử mặn. Dự án thiết kế nhà máy thí điểm đã được công bố phục vụ việc kiểm chứng hiệu suất tổng thể. Lò SMART công suất 100 MW (điện) đã đạt tiêu chuẩn thiết kế được Ủy ban an toàn và an ninh hạt nhân thông qua tháng 7/2012 và hiện chuẩn bị được xây dựng.

Nga đang hoàn tất việc xây dựng nhà máy điện hạt nhân trên sà lan với 2 lò phản ứng KLT-40S công suất 35 MW (điện) để sản xuất đồng thời điện và nhiệt quá trình. Lò KLT-40S dựa vào động cơ đẩy hàng hải KLT-40 thương mại và là một biến thể cải tiến của lò phản ứng cung cấp năng lượng cho các tàu phá băng hạt nhân. Lò ABV-6M công suất 8,6 MW đang trong giai đoạn thiết kế chi tiết. Đây là lò LWR áp lực nguyên khối với sự tuần hoàn tự nhiên của chất làm mát chính. Lò ITM-200 50 MW (điện), đang trong giai đoạn thiết kế chi tiết, là lò phản ứng nguyên khối với sự tuần hoàn cưỡng bức cho tàu phá băng hạt nhân.

Ở Hoa Kỳ, 4 lò phản ứng PWR nguyên khối đang được phát triển. B&W mPower reactor là kiểu thiết kế nhà máy bó kép (twin pack) với công suất 180 MW (điện) mỗi mô-đun. Công ty NuScale Power dự kiến sẽ xây dựng nhà máy điện hạt nhân đến 12 mô-đun công suất 45 MW (điện). Lò SMR Westinghouse là thiết kế phương án của lò phản ứng công suất 225 MW (điện) kết hợp các hệ thống an toàn thụ động và các thành phần đã được chứng thực của mẫu AP1000. Lò SMR-160 Holtec công suất 160 MW (điện) phụ thuộc vào sự đối lưu tự nhiên, do đó, không cần bơm chất làm mát và nguồn điện bên ngoài. Dự kiến đơn xin cấp chứng nhận thiết kế cho 4 phương án trên sẽ được trình lên NCR trong thời gian từ 2014-2016.

Bảng 4: Các thiết kế lò phản ứng SMR làm mát bằng nước cỡ vừa và nhỏ cho phát triển trung hạn và ngắn hạn

Thiết kế	Loại	Công suất điện (MW điện)	Nhà thiết kế	Tình trạng
CAREM-25	PWR nguyên khối, tuần hoàn tự nhiên	27	Ủy ban năng lượng nguyên tử quốc gia (Achentina)	Một tổ hợp nguyên mẫu đang được xây dựng
CNP-300	2 loop PWR	315	Tập đoàn hạt nhân quốc gia (Trung Quốc)	3 lò đang hoạt động, 2 lò đang xây
ACP-100	PWR nguyên khối	100	Tập đoàn hạt nhân quốc gia (Trung Quốc)	Thiết kế chi tiết
CAP-150	PWR nguyên khối	150	Công ty điện hạt nhân Thượng Hải	Thiết kế phương án
Flexblue	Lò phản ứng mô-đun nhỏ neo dưới đáy biển	160	Tập đoàn DCNS (Pháp)	Thiết kế phương án
IMR	PWR mô-đun nguyên khối, tuần hoàn tự nhiên	335	Công ty Mitsubishi Heavy Industries (Nhật Bản)	Thiết kế phương án

SMART	PWR nguyên khối	100	Viện năng lượng nghiên cứu nguyên tử Hàn Quốc	Phê duyệt thiết kế tiêu chuẩn được cấp tháng 7/2012
ABV-6M	PWR nguyên khối, tuần hoàn tự nhiên	8,6	Viện thiết kế thử nghiệm cấu trúc máy (Nga)	Thiết kế chi tiết
VBER-300	PWR nguyên khối	325	Viện thiết kế thử nghiệm cấu trúc máy (Nga)	Thiết kế chi tiết
RITM-200	PWR nguyên khối	50	Viện thiết kế thử nghiệm cấu trúc máy (Nga)	Thiết kế chi tiết
KLT-40S	Nhà máy điện hạt nhân nổi gắn sà lan	70	Viện thiết kế thử nghiệm cấu trúc máy (Nga)	2 lò ở giai đoạn cuối của quá trình xây dựng
WWER-300	PWR nguyên khối	300	Công ty cổ phần Gidropress của Nga	Thiết kế chi tiết
VK-300	BWR	250	Viện NC&PT kỹ thuật điện (Nga)	Thiết kế phương án
UNITHERM	PWR nguyên khối, rất nhỏ tuần hoàn tự nhiên	2,5	Viện NC&PT kỹ thuật điện (Nga)	Thiết kế phương án
Shelf	Lò phản ứng mô-đun nhỏ, neo dưới đáy biển	6	Viện NC&PT kỹ thuật điện (Nga)	Thiết kế phương án
IRIS	PWR nguyên khối	335	Hiệp hội quốc tế IRIS (Italia)	Thiết kế phương án
B&W mPower	PWR nguyên khối (Gói kép 180 MW)	360	Công ty điện lực B&W (Hoa Kỳ)	Thiết kế chi tiết
NuScale	PWR nguyên khối, tuần hoàn tự nhiên (12 mô-đun 45 MW điện)	45	Công ty điện lực NuScale (Hoa Kỳ)	Thiết kế chi tiết
Westinghouse SMR	PWR nguyên khối	225	Công ty điện lực Westinghouse (Hoa Kỳ)	Thiết kế chi tiết
Holtec SMR-160	PWR nguyên khối	160	Công ty Holtec, Hoa Kỳ	Thiết kế chi tiết

Xúc tiến quốc tế về các hệ thống hạt nhân mới

Do lo ngại ngày càng tăng về nguồn tài nguyên năng lượng, biến đổi khí hậu và an ninh năng lượng, và còn vì năng lượng hạt nhân có tiềm năng to lớn đáp ứng nhu cầu năng lượng của thế giới, một số xúc tiến quốc tế về các hệ thống hạt nhân mới đã được công bố trong

thập kỷ qua.

Đặc biệt, các quốc gia thành viên IAEA đã nhận thức được sự cần thiết phải hành động để đảm bảo phát triển năng lượng hạt nhân theo cách bền vững. Năm 2000, Dự án quốc tế về lò phản ứng hạt nhân mới và chu trình nhiên liệu (INPRO) đã được khởi động, nhằm mục đích để năng lượng hạt nhân góp phần đáp ứng nhu cầu năng lượng toàn cầu một cách bền vững trong thế kỷ 21. Mục tiêu chính của dự án là kết nối người sở hữu và người sử dụng công nghệ để cùng đưa ra các hành động ở tầm quốc gia và quốc tế nhằm thực hiện đổi mới công nghệ lò phản ứng hạt nhân và chu trình nhiên liệu như mong đợi. Nhóm INPRO chủ yếu được tài trợ từ Ủy ban châu Âu và có 38 quốc gia thành viên tham gia.

INPRO đang xem xét phương pháp đưa ra cách tiếp cận tổng thể để đánh giá các hệ thống hạt nhân mới trong 7 phạm vi: kinh tế, hạ tầng, quản lý chất thải, chống phổ biến vũ khí hạt nhân, bảo vệ vật lý, môi trường và an toàn.

Diễn đàn quốc tế lò phản ứng thế hệ IV (GIF) là nỗ lực hợp tác quốc tế, được tổ chức để thực hiện NC&PT nhằm tăng cường tính khả thi và hiệu quả của các hệ thống năng lượng hạt nhân thế hệ mới. Diễn đàn có 13 thành viên, tập trung vào 6 hệ thống năng lượng hạt nhân được mô tả trong Lộ trình công nghệ về các hệ thống năng lượng hạt nhân thế hệ IV được công bố năm 2002:

- Lò phản ứng nhanh làm mát bằng khí (GFRs);
- Lò phản ứng nhiệt độ rất cao (VHTRs);
- Lò phản ứng làm mát bằng nước siêu tới hạn (SCWRs);
- Lò phản ứng nhanh làm mát bằng Natri (SFR);
- Lò phản ứng nhanh làm mát bằng chì (LFRs);
- Lò phản ứng muối nóng chảy (MSRs).

GIF và INPRO tổ chức hội nghị chung thường niên về các phương pháp đánh giá cụ thể trong lĩnh vực kinh tế, chống phổ biến vũ khí và bảo vệ vật lý, rủi ro và an toàn, cũng như mô phỏng tiên tiến.

Một hoạt động quan trọng nữa do GIF hợp tác với IAEA đưa ra vào năm 2011 trong lĩnh vực SFR, là xây dựng tiêu chuẩn thiết kế an toàn (SDC) nhằm hài hòa các yêu cầu về mức độ an toàn giữa các tổ chức thiết kế trong GIF, cũng như xác định mức độ an toàn cao như mong đợi cho các hệ thống lò phản ứng SFR thế hệ IV. Báo cáo giai đoạn 1 về tiêu chuẩn thiết kế an toàn do GIF công bố năm 2013 và hiện đang được IAEA, OECD /NEA, Chương trình đánh giá thiết kế đa quốc gia (MDEP) và một số nhà lãnh đạo từ các nước thành viên của GIF thẩm tra. Giai đoạn 2 của báo cáo sẽ định lượng các tiêu chuẩn thiết kế và sẽ bao gồm việc đưa ra các hướng dẫn chi tiết về cách áp dụng các tiêu chuẩn chung.

Nền tảng công nghệ năng lượng hạt nhân bền vững (SNETP) chính thức được Liên minh châu Âu công bố vào năm 2007 để thúc đẩy nghiên cứu, phát triển và triển khai các công nghệ phân hạch hạt nhân cần thiết cho việc xây dựng Kế hoạch công nghệ năng lượng chiến lược của châu Âu (SET-Plan).

Hiện nay, SNETP thu hút hơn 100 đối tác tham gia đến từ các tổ chức công nghiệp, nghiên cứu, hàn lâm và an toàn kỹ thuật, tổ chức phi chính phủ và đại diện các quốc gia ở châu Âu. Các hoạt động tập trung duy trì sự an toàn và khả năng cạnh tranh trong công nghệ phân hạch, cung cấp các giải pháp quản lý chất thải dài hạn đến năm 2020, hoàn thành triển khai các lò phản ứng phân hạch thế hệ mới với tính bền vững gia tăng và mở rộng các

ứng dụng phân hạch hạt nhân, xa hơn là sản xuất điện vào năm 2050.

Sáng kiến công nghiệp hạt nhân bền vững châu Âu (ESNII) của Liên minh châu Âu khởi động năm 2010, giải quyết được nhu cầu của châu Âu trong việc trình diễn các công nghệ lò phản ứng neutron nhanh thế hệ IV, cùng với hạ tầng hỗ trợ nghiên cứu, điều kiện nhiên liệu và NC&PT. Sáng kiến tập trung phát triển song song 2 công nghệ: công nghệ lò phản ứng neutron nhanh làm mát bằng Natri như một giải pháp tham khảo, với việc xây dựng một nguyên mẫu vào năm 2020 tại Pháp; và công nghệ thay thế, LFR hoặc GFR, với việc xây dựng lò phản ứng thử nghiệm để trình diễn công nghệ tại một nước châu Âu sẵn sàng tổ chức chương trình này.

Đồng phát nhiệt-điện đối với các ứng dụng ngoài mục đích sản xuất điện

Kết hợp các lò phản ứng hạt nhân với các ứng dụng công nghiệp (được gọi đồng phát hạt nhân - nuclear cogeneration) có một số ưu điểm thiết thực như:

- Tiết kiệm bằng cách tái sử dụng nhiệt thải từ các nhà máy điện hạt nhân;
- Tăng tổng hiệu suất nhiệt của nhà máy;
- Tăng tính linh hoạt của lưới điện;
- Giảm phát thải khí thải nhà kính và tác động môi trường.

Nhìn chung, tất cả các lò phản ứng hạt nhân đều có thể được sử dụng cho các ứng dụng không dùng điện. Tùy thuộc vào công nghệ, loại lò phản ứng, loại nhiên liệu và mức nhiệt, quy trình đồng phát nhiệt điện có thể khác nhau. Một phần nhiệt thường thải ra môi trường, có thể được sử dụng để khử mặn và sưởi ấm trong khu vực. Theo đó, tổng hiệu suất sử dụng nhiệt có thể tăng 70-80%, so với mức khoảng 33% của các lò LWR hiện có. Các lò phản ứng LMFR, LWR và SCWR là những ứng viên phù hợp cho việc đồng phát nhiệt điện với các ứng dụng nhiệt quá trình thấp như sưởi ấm theo khu vực và các hệ thống khử mặn.

Lò phản ứng nhiệt độ cao (như HTGRs, GFRs và MSR) thích hợp hơn cho các ứng dụng nhiệt quá trình ở nhiệt độ cao và sản xuất hydro. Cách tiếp cận chu kỳ gián tiếp được coi là phù hợp cho tất cả các lò phản ứng.

Đồng phát nhiệt điện là sự lựa chọn lý tưởng cho nhiều ứng dụng tiêu tốn năng lượng như tổng hợp nhiên liệu (bao gồm sản xuất hydro), khí hóa than đá và khai thác dầu mỏ. Năng lượng hạt nhân có thể là lựa chọn thích hợp để đáp ứng tiềm năng thị trường cho các lựa chọn đồng phát nhiệt điện. Trong phạm vi nhiệt độ thấp, sưởi ấm theo khu vực (80-150°C) và khử muối nước biển (65-120°C) là các ứng dụng rõ rệt nhất. Trong phạm vi nhiệt độ trung bình có số lượng lớn ứng dụng nhiệt như lọc dầu, gia công đá phiến dầu và cát dầu. Mức nhiệt độ cao thường cần cho sản xuất hóa dầu, thép và hydro.

Tính khả thi kỹ thuật và thương mại của các lò LWR đã được chứng minh tại nhiều nhà máy hoạt động ở nhiều quốc gia trong hơn 30 năm qua. Bulgaria, Hungary, Nga, Slovakia, Thụy Sĩ và Ukraine, là những nơi có hệ thống sưởi ấm theo khu vực kết hợp với các nhà máy điện hạt nhân. Công suất sưởi ấm do các nhà máy điện hạt nhân cung cấp, trong khoảng từ 20-250 MW (nhiệt), thường chiếm một phần nhỏ trong tổng công suất nhiệt của lò phản ứng. Nước hoặc hơi nước dùng để sưởi ấm theo khu vực được làm nóng đến mức 130-150°C bằng cách khai thác hơi nước từ tuabin.

Khử mặn kết hợp đồng phát nhiệt điện với các nhà máy LWR ở Nhật Bản và Hoa Kỳ và với lò phản ứng SFR BN-350 ở Kazakhstan. Tại Nhật Bản, tất cả các nhà máy điện hạt nhân đều được đặt ở biển. Một số nhà máy điện hạt nhân do Công ty điện lực Kansai,

Kyushu và Shikoku vận hành, được trang bị các hệ thống khử muối nước biển bằng nhiệt hoặc điện từ nhà máy điện hạt nhân để tạo ra các hệ thống cấp nước cho nồi hơi và cung cấp nước uống tại chỗ. Các quy trình khử mặn chung cất đa tác dụng (Multi-effect distillation - MED), chưng cất nhanh gồm nhiều giai đoạn (Multi-stage flash - MSF) và thẩm thấu ngược (Reverse osmosis - RO) đã được sử dụng. Công suất khử mặn đặc biệt dao động từ 1000-3000 m³/ngày.

Việc đồng phát nhiệt điện cho các ứng dụng công nghiệp đã được chứng minh tại nhà máy điện hạt nhân Stade của Đức, đây là lò phản ứng PWR công suất 1.892 MW (nhiệt), 640 MW (điện), cung cấp hơi nước cho nhà máy tinh chế muối đặt cách đó 1,5km. Nguồn cung cấp hơi nước thông qua nhà máy điện hạt nhân có giá trị cao với kinh nghiệm hoạt động hiệu quả từ năm 1983 đến năm 2003. Một ví dụ khác là lò phản ứng PWR công suất 970 MW (điện) của nhà máy điện hạt nhân Gösgen ở Thụy Sĩ, đã được cung cấp hơi nước quá trình (process steam) cho nhà máy sản xuất bia các tông ở gần đó kể từ năm 1979. Hơi quá trình được tạo ra trong một chu trình hơi nước thứ ba bằng khai thác hơi nước trực tiếp từ lò PWR. Sau đó, hơi nước được dẫn qua quãng đường dài 1,75 km đến nhà máy. Nhà máy điện hạt nhân Beznau của Thụy Sĩ với 2 lò phản ứng PWR công suất 365 MW (điện), cũng được sử dụng để sưởi ấm theo khu vực.

Việc đồng phát nhiệt điện cũng đã được chứng minh bằng lò phản ứng CANDU. Ví dụ, nhà máy điện hạt nhân Bruce của Canada cung cấp nhiệt để sản xuất nước nặng, đồng thời sản xuất điện trong hai thập kỷ qua. Năm 2008, một nhà máy khử mặn công suất 6300 m³/ngày kết hợp với nhà máy điện nguyên tử Madras ở Kalpakkam, Ấn Độ. Quá trình khử mặn kết hợp 2 quy trình MSF và RO. Hỗn hợp nước cuối cùng được cung cấp cho ngành công nghiệp và các thành phố. Sử dụng 1 MW năng lượng nhiệt điện có thể sản xuất 1500 m³ nước/ngày bằng quy trình MSF và 1800 m³ nước/ngày bằng quy trình RO. Vì vậy, nếu được nâng cấp, hiệu suất có thể đạt 6.300 m³ nước/ngày bằng cách giảm gần 4 MW sản lượng điện từ việc phát điện bằng năng lượng hạt nhân. Năm 2010, nhà máy đồng phát nhiệt điện hạt nhân hiện đại nhất thế giới đã được trang bị tại Pakistan. Đây là dự án nâng cấp kết hợp quy trình MED vào nhà máy điện hạt nhân Karachi, nhà máy CANDU-HWR công suất 125 MW (điện). Nhà máy khử mặn này sản xuất 1.600 m³ nước/ngày từ nước biển. Địa điểm này cũng là nơi vận hành của nhà máy áp dụng quy trình RO với công suất 454m³/ngày phục vụ việc sử dụng nước trong nội bộ.

Tất cả các lò phản ứng nhiệt độ cao rất thích hợp cho việc đồng phát. Bảng 5 minh họa khái niệm lò phản ứng phân tử tầng sỏi (Pebble bed reactor - PBR), lò phản ứng mô-đun lắng trụ (PMR) và lò phản ứng GFR có thể cung cấp nhiệt cho các quy trình công nghiệp và sản xuất hydro. Để khai thác lợi thế của các lò phản ứng này, Liên minh châu Âu đã đưa ra Sáng kiến công nghiệp đồng phát nhiệt điện hạt nhân (NC2I). Ngoài ra, hệ thống VHTR được xem là ứng viên đầu tiên cho hoạt động sản xuất hydro quy mô lớn. Khả năng đồng phát nhiệt điện làm cho hệ thống VHTR trở thành một nguồn sản sinh nhiệt hấp dẫn cho các cụm công nghiệp lớn. Hệ thống VHTR có thể được triển khai tại các nhà máy lọc dầu và ngành công nghiệp hóa dầu để thay thế các nguồn khác bằng khối lượng lớn nhiệt quá trình ở nhiều mức khác nhau, bao gồm sản xuất hydro để cải tạo dầu thô nặng và dầu thô nhiều lưu huỳnh (dầu thô chua).

Các nhà máy đồng phát nhiệt điện còn mang lại thêm nhiều lợi ích, nếu được xây dựng

trên cùng một địa điểm vì các nhà máy có thể chia sẻ các phương tiện và hạ tầng, giảm cả chi phí lẫn sử dụng đất. Thông thường, người ta chú ý nhiều đến các khía cạnh an toàn có được nhờ kết nối nhà máy điện hạt nhân với lò phản ứng đồng phát nhiệt điện ở cùng một nơi, vòng lặp trung gian được xem xét.

Bảng 5: Tiềm năng ứng dụng năng lượng của các hệ thống lò phản ứng làm mát bằng khí thể hệ IV triển vọng nhất

Lò phản ứng	PBR	PMR	GFR	VHTR
Công suất nhiệt (MW(th))	250	600	600	600
Công suất điện (MW (e))	110	286	288	300-360
Nhiệt độ đầu ra (°C)	850	850	850	950-1.300
Áp suất ban đầu (MPa)	7.75	7.07	7.0	6.8-8.0
Sản xuất hydro	Có	Có	Có	Có
Khử muối nước biển	Có	Có	Có	Có
Nhiệt quá trình ở mức cao (lọc dầu và khử lưu huỳnh của dầu nặng)	Có	Có	Có	Có
Sưởi ấm theo khu vực	Có	Có	Có	Có

Chú thích: GFR - lò phản ứng nhanh làm mát bằng khí; PBR - lò phản ứng tầng sôi; PMR - lò phản ứng mô-đun lắng trụ; VHTR - lò phản ứng nhiệt độ rất cao

Tổng hợp hạt nhân

Phát triển khoa học, kỹ thuật và công nghệ tổng hợp hạt nhân đến giai đoạn có thể cung cấp năng lượng nhiệt hạch cho lưới điện là một trong những thách thức lý thú nhất của thế kỷ 21 và là một trong những hoạt động bổ ích nhất.

Cùng với việc xây dựng dự án Lò phản ứng thử nghiệm nhiệt hạch quốc tế (ITER) năm 2006, một số quốc gia đã chung sức để chứng minh tính khả thi về khoa học và công nghệ và những đặc trưng an toàn của năng lượng nhiệt hạch vượt quá 500 MW vì mục đích hòa bình.

Lịch trình tổng thể hiện nay còn bao gồm thêm việc hoàn thiện thiết bị và vận hành plasma đầu tiên vào tháng 11/2020.

Cùng với hoạt động xây dựng cơ sở hạt nhân ITER đang được tiến hành, chương trình tổng hợp từ tính trên toàn thế giới đang chuyển sang tập trung ngày càng nhiều vào sản xuất năng lượng tổng hợp hạt nhân qui mô nhà máy điện công nghiệp. Nhiều quốc gia đang phát triển độc lập các kế hoạch chương trình và bắt đầu các hoạt động NC&PT mới dẫn đến chứng minh mức độ sẵn sàng thương mại của năng lượng tổng hợp. Các kế hoạch và hoạt động nằm trong chương trình mang tên "Trình diễn nhà máy điện tổng hợp hạt nhân" (DEMO), mặc dù chưa có một lộ trình chung để trình diễn sản xuất phát điện bằng tổng hợp hạt nhân.

Giải quyết các vấn đề khoa học và kỹ thuật của chương trình DEMO, cũng như các yêu cầu về phương tiện là mối quan tâm chung, ngay cả khi các quốc gia có những trọng tâm và ưu tiên khác nhau. Năm 2012, IAEA đã tổ chức các hội thảo thường niên về chương trình DEMO để thúc đẩy hợp tác quốc tế trong việc xác định và điều phối các hoạt động. Hội thảo chương trình DEMO đầu tiên đã diễn ra tại trường Đại học California, Hoa Kỳ vào tháng 10/2012. Những thảo luận tại hội thảo đã nhấn mạnh đến lộ trình ITER cần phải bao

gồm cả các cơ sở hạt nhân tích hợp lẫn cơ sở chiếu xạ vật liệu phân hạch. Việc lập kế hoạch cho một số cơ sở hạt nhân qui mô lớn này hiện đang được tiến hành. Lộ trình cũng như các phương thức hợp tác tối ưu, sẽ được xác định bởi các sáng kiến do các bên đưa ra để xây dựng và khai thác các cơ sở hạt nhân này.

Một lộ trình chính thức tiến tới hiện thực hóa năng lượng nhiệt hạch đã được châu Âu công bố thông qua Hiệp định phát triển năng lượng nhiệt hạch châu Âu (EFDA). Lộ trình này chia khối lượng công việc tiến tới phát triển năng lượng nhiệt hạch thành 8 nhiệm vụ. Đối với mỗi nhiệm vụ, lộ trình đánh giá thực trạng nghiên cứu hiện nay, xác định các vấn đề mở, đề xuất chương trình NC&PT và ước tính nguồn lực cần thiết. Lộ trình nêu rõ cần có sự tham gia của ngành công nghiệp và tìm kiếm cơ hội hợp tác bên ngoài châu Âu. Theo lộ trình này, nhà máy năng lượng nhiệt hạch DEMO sản xuất điện cho lưới điện ở công suất vài trăm MW dự kiến bắt đầu hoạt động vào đầu những năm 2040 và tiến đến nhà máy điện nhiệt hạch thương mại ở châu Âu. Từ tháng 1/2014, Chương trình năng lượng nhiệt hạch châu Âu đã chuyển từ giai đoạn chú trọng nghiên cứu khoa học sang thành một dự án kinh doanh mạo hiểm do côngxooxium EURO fusion hỗ trợ. Tổ chức này có cách tiếp cận định hướng dự án, hỗ trợ các nhiệm vụ theo lộ trình, nghiên cứu các quá trình plasma cơ bản và chuẩn bị đào tạo thế hệ mới các nhà khoa học ở ITER. Hội thảo Chương trình DEMO thứ 2 của IAEA được tổ chức vào tháng 12/2013 tại trụ sở của IAEA với các thảo luận xoay quanh 3 chủ đề chính: các mã thiết kế kỹ thuật vật lý nhiệt hạch; điều khiển việc xả điện plasma và tạp chất; các kịch bản plasma và việc điều khiển.

2.2. Các ứng dụng máy gia tốc và lò phản ứng nghiên cứu

Máy gia tốc

Lĩnh vực phát triển máy gia tốc đang phát triển nhanh chóng, cho phép thực hiện các ứng dụng mới có tác động xã hội. Cho đến nay, sự phát triển các công nghệ máy gia tốc đang phải đối mặt với 2 thông số quan trọng khi xác định hình dạng và độ dài của một máy gia tốc: từ trường tối đa áp dụng cho một chùm hạt gia tốc; và gradient gia tốc tối đa mà máy có thể đạt được. Hiện nay, từ trường cao có thể đạt mức khoảng 20T với giả thuyết các chất siêu dẫn được sử dụng. Hy vọng sự ra đời của các chất siêu dẫn nhiệt độ cao mới có thể cho phép nâng từ trường lên mức 30T. Sự gia tăng cường độ từ trường này chắc chắn là bước tiến lớn, nhưng không được xem là đột phá trong NC&PT máy gia tốc. Đột phá phải bắt nguồn từ các gradient tăng tốc mạnh gần đây: thay vì mức 20-50 MeV/m của máy gia tốc thông thường, máy gia tốc plasma trường dòng đuôi (Wakefield plasma accelerator - PWFA) có thể tăng tốc chùm điện tử lên 200 GeV trong cùng một khoảng cách. Trong máy gia tốc PWFA cường độ cao, chùm điện tử năng lượng thấp (hoặc xung laser ngắn, mạnh) kích thích plasma hình thành bằng cách ion hóa khí với một laser hoặc thông qua ion hóa trường bằng một chùm điện tử đi đến.

Máy gia tốc plasma có tiềm năng lớn cung cấp chùm điện tử trong phần không gian rất nhỏ cần cho máy gia tốc thông thường. Việc giảm độ dài của máy tương ứng với giảm chi phí, cho phép chế tạo máy gia tốc plasma laser đầu bảng trong tương lai. Như được chứng minh tại Phòng thí nghiệm quốc gia Lawrence Berkeley, Hoa Kỳ, một xung laser qua ống nhỏ hơn một bàn tay chứa đầy plasma hydro, tạo ra trường dòng đuôi, có thể tăng tốc chùm điện tử lên đến 1 tỷ eV chỉ trong 3,3 cm.

Bức xạ synchrotron cho phép nghiên cứu chi tiết cấu trúc vật chất, đặc biệt ở phạm vi tương đương với sự phân bố của các nguyên tử. Các phương pháp phân tích dựa vào bức xạ synchrotron có khả năng cung cấp thông tin về cấu trúc không gian của các vật liệu, cấu trúc hóa học và điện tử, vi cấu trúc, các tính chất bề mặt, giao diện, màng mỏng và đa lớp. Bức xạ synchrotron có thể được sử dụng để tạo ảnh mặt cắt của vật chất để phân tích các hành vi của nó trong khoảng nano giây. Do đó, đây là công cụ cần thiết cho nghiên cứu ứng dụng trong nhiều lĩnh vực khác nhau như phát triển vật liệu mới liên quan đến công nghệ nano, các thiết bị điện tử và truyền thông, sản xuất và lưu giữ năng lượng, y tế và chăm sóc sức khỏe, giao thông và môi trường.

Máy gia tốc còn được dùng để sản xuất đồng vị phóng xạ như ^{11}C , ^{64}Cu và ^{18}F . Một dự án hợp tác nghiên cứu của IAEA công bố năm 2011, tập trung sản xuất trực tiếp đồng vị y tế ^{99}Mo và sản phẩm phân rã của nó là $^{99\text{m}}\text{Tc}$ trong máy gia tốc cộng hưởng từ. Không giống quá trình phân hạch thông thường sản xuất ^{99}Mo trong một lò phản ứng bằng cách sử dụng các bia urani, các công nghệ này sử dụng bia ^{100}Mo . Máy gia tốc tuyến tính có thể được dùng để sản xuất ^{99}Mo thông qua sự biến đổi của ^{100}Mo được làm giàu, trong khi máy gia tốc cộng hưởng từ có thể sản xuất $^{99\text{m}}\text{Tc}$ trực tiếp bằng cách chiếu xạ ^{100}Mo .

Chương trình của Canada trong lĩnh vực này do trường Đại học Alberta (với máy gia tốc cộng hưởng từ), Phòng thí nghiệm quốc gia hạt và vật lý hạt nhân (TRIUMF) (máy gia tốc cộng hưởng từ) và doanh nghiệp sản xuất đồng vị Prairie (máy gia tốc tuyến tính) dẫn đầu. Các hoạt động đang được tiến hành để chứng minh khả năng sản xuất đồng vị với số lượng thương mại, cùng với việc gần đây, TRIUMF thông báo đã tạo ra sản lượng đồng vị đủ để cung cấp cho 10-20 cơ sở y học hạt nhân tại các bệnh viện. Cả hai công nghệ này đã mang lại lợi ích kinh tế và môi trường to lớn và các dự án đã chứng minh hiệu suất tái chế ^{100}Mo đạt 90%. Công trình nghiên cứu đang được tiến hành để đáp ứng các yêu cầu pháp lý và để giải quyết những thách thức kỹ thuật và thương mại còn tồn tại.

Thông qua các chương trình và hoạt động chuyên ngành, Phòng thí nghiệm ứng dụng và trắc phổ hạt nhân (NSAL) hỗ trợ phát triển phòng thí nghiệm và máy gia tốc dựa vào các kỹ thuật trắc phổ tia X cho các ứng dụng liên ngành và nghiên cứu cơ bản. Trên cơ sở dự án NC&PT do Phòng thí nghiệm NSAL khởi động năm 2011, IAEA và Trung tâm nghiên cứu quốc tế Elettra của Italia đã ký hợp đồng xây dựng và vận hành đường đi của chùm ánh sáng huỳnh quang tia X mới. Trạm thử nghiệm mới đã hoàn thành vào quý IV của năm 2013, cho phép đào tạo tại chỗ cho các nước thành viên về các kỹ thuật phổ khối tia X tiên tiến như huỳnh quang tia X (XRF), huỳnh quang tia X phát xạ toàn phần và chiếu huỳnh quang tia X vào/ra, kết hợp với phản xạ tia X và khối phổ hấp thụ tia X và thúc đẩy các hoạt động và chương trình nghiên cứu liên quan.

Tác hại bức xạ là mối lo chung của các nhà khoa học, nhà quản lý, chuyên gia bảo tồn và nhà khảo cổ học. Do liều bức xạ lắng đọng cao, nên nguy cơ về sự suy thoái vật liệu cần được nghiên cứu. Thiệt hại đôi khi có thể nhìn thấy bằng mắt thường như sự hình thành các đốm màu trong thủy tinh hay các hợp chất hữu cơ chuyển sang màu nâu. Ngoài ra, khả năng mất thông tin hoặc tệ hơn là thu thập thông tin sai lệch từ không gian bị thiệt hại do bức xạ là một rủi ro phân tích rất lớn.

Đến nay, một số nghiên cứu hệ thống về sự thay đổi màu sắc bắt nguồn từ phân tích chùm ion của giấy: ví dụ, một nghiên cứu nêu rõ việc đánh dấu 2 loại giấy chất lượng tốt bị

lão hóa nhân tạo bằng cách cho tiếp xúc với các proton MeV trong những điều kiện khác nhau.

Tác hại do bức xạ gây ra cho các vật liệu di sản văn hóa, là một cơ chế quan trọng trong quá trình lão hóa và xuống cấp. Tuy nhiên, một qui trình tương tự xảy ra khi các mẫu di sản văn hóa được chiếu xạ để mô tả đặc điểm và bảo tồn chúng.

IAEA đang giải quyết các vấn đề này thông qua các hội nghị kỹ thuật, trao đổi kinh nghiệm và phát triển các phương tiện và giao thức tốt nhất, với mục tiêu đề xuất định nghĩa mới về cách mô tả tác động của bức xạ đến các vật liệu di sản văn hóa, bao gồm:

- Không chỉ dựa vào kiểm tra trực tiếp bằng mắt thường;
- Xác định các hoạt động phù hợp trong các lĩnh vực liên quan để cung cấp thông tin giá trị về các cơ chế thiệt hại đối với các vật liệu di sản văn hóa đa dạng và đôi khi là độc nhất;
- Thẩm tra các chiến lược giám sát thiệt hại do bức xạ;
- Đề xuất chiến lược giảm thiểu.

IAEA sẽ khai trương Công tri thức máy gia tốc mới vì lợi ích của người sử dụng máy gia tốc, các nhà nghiên cứu và các nhà cung cấp dịch vụ phân tích trên toàn thế giới. Công tri thức không chỉ cung cấp cơ sở dữ liệu máy gia tốc hạt Megavolt trên thế giới, mà còn kết nối cộng đồng máy di tốc chùm ion, cũng như cung cấp thông tin cho người sử dụng máy gia tốc và các nhà hoạch định chính sách.

Các lò phản ứng nghiên cứu chủ yếu được sử dụng để cung cấp neutron cho nghiên cứu và các ứng dụng khác như giáo dục và đào tạo (xem Bảng 6). Phân loại công suất lò phản ứng nghiên cứu được xác định bằng MW và công suất của lò có thể dao động từ 0 (ví dụ các cụm lắp ráp tới hạn hoặc dưới tới hạn) lên đến 200 MW (nhiệt), so với 3000 MW (nhiệt), tức là 1000 MW (điện) của một lò phản ứng đặc trưng quy mô lớn để sản xuất điện.

Bảng 6. Các ứng dụng phổ biến của lò phản ứng nghiên cứu trên toàn thế giới

Loại ứng dụng	Số lượng lò sử dụng	Các nước thành viên sở hữu lò được sử dụng
Giảng dạy/đào tạo	174	54
Phân tích hoạt tính bằng neutron	128	54
Sản xuất đồng vị phóng xạ	96	43
Chiếu xạ vật liệu/nhiên liệu	80	29
Chụp X quang neutron	72	41
Tán xạ neutron	50	33
Chuyển hóa (Transmutation) (kích thích silicon)	30	19
Địa niên biểu học (Geochronology)	26	22
Chuyển hóa (Đá quý)	21	12
Liệu pháp thu neutron Bo, chủ yếu là NC&PT	18	12
Ứng dụng khác	137	35

Nguồn: Cơ sở dữ liệu lò phản ứng nghiên cứu của IAEA đăng tải trên trang web <http://nucleus.iaea.org/RRDB>.

Tính đến ngày 31/12/2013 tổng cộng có 245 lò phản ứng nghiên cứu hoạt động trên toàn thế giới. Ngoài ra, 20 lò đang trong tình trạng đóng cửa tạm thời và 142 lò đóng cửa dài hạn. Trong đó, 57 lò công suất cao, hoạt động với công suất hơn 5MW và cung cấp dòng nơtron mật độ cao hơn. Ngoài ra có 338 lò đã ngừng hoạt động. Phần lớn các lò phản ứng đang hoạt động được sử dụng không đúng mức, đều đã quá cũ và do đó yêu cầu liên tục chống lão hóa, thường xuyên hiện đại hóa và nâng cấp.

Trong những năm gần đây, các nước thành viên ngày càng quan tâm đến phát triển các chương trình lò phản ứng nghiên cứu. Một số nước thành viên tiến hành các dự án mới ở các giai đoạn khác nhau và một số nước thành viên mong muốn sử dụng lò phản ứng nghiên cứu đầu tiên của họ để giới thiệu hạ tầng khoa học và công nghệ hạt nhân quốc gia. Các lò phản ứng nghiên cứu mới đang được xây dựng tại Pháp, Jordan và Nga. Một số nước thành viên lập kế hoạch chính thức xây dựng các lò phản ứng mới gồm: Aentina, Bỉ, Braxin, Ấn Độ, Hàn Quốc, Hà Lan, Nga, Saudi Arabia và Nam Phi. Các nước thành viên khác như Bangladesh, Belarus, Kuwait, Lebanon, Nigeria, Sudan, Thái Lan, Tunisia, Tanzania và Việt Nam đang tính đến việc xây dựng các lò mới.

Khi các lò phản ứng cũ ngừng hoạt động và được thay thế bằng số ít các lò phản ứng đa mục đích, thì số lượng các lò phản ứng nghiên cứu hoạt động và các cơ sở quan trọng dự kiến sẽ tiếp tục giảm. Tăng cường hợp tác quốc tế là cần thiết để đảm bảo tiếp cận rộng rãi và sử dụng hiệu quả các cơ sở này. Năm 2013, các mạng lưới khu vực hay các liên minh lò phản ứng nghiên cứu được IAEA tạo điều kiện thúc đẩy hợp tác quốc tế và hỗ trợ mở rộng loại lò này.

Sáng kiến giảm rủi ro toàn cầu (GTRI) xuyên suốt năm 2013 do Hoa Kỳ công bố, nhằm thực hiện sứ mệnh giảm thiểu nhiên liệu HEU trong lĩnh vực hạt nhân dân sự toàn thế giới. Trong năm 2009, phạm vi của GTRI đã được mở rộng từ 129 lò lên khoảng 200 lò, hoạt động bằng nhiên liệu HEU và cuối năm 2013, 88 lò phản ứng trong số đó chuyển sang dùng nhiên liệu LEU hoặc đóng cửa trước khi chuyển đổi.

Một ví dụ tiêu biểu gần đây về sự hỗ trợ và hợp tác quốc tế để giảm thiểu nhiên liệu HEU là phát triển kế hoạch ngừng sử dụng và loại bỏ nhiên liệu HEU cho lò phản ứng nghiên cứu FOTON ở Tashkent, Uzbekistan. Cuối năm 2013, Chính phủ Uzbekistan phối hợp tài trợ cho việc ngừng hoạt động lò này.

Ngoài ra, ở Cộng hòa Séc, lò phản ứng nghiên cứu LVR15 được chuyển đổi hoàn toàn sang dùng nhiên liệu LEU và cuối cùng 70 kg nhiên liệu HEU đã qua sử dụng được vận chuyển trở lại Nga vào tháng 4/2013. Tại Việt Nam, sau khi lò phản ứng TRIGA ở Đà Lạt chuyển đổi từ nhiên liệu HEU sang LEU, gần 12 kg HEU đã qua sử dụng còn lại, được trả cho Nga vào thời điểm tháng 7/2013.

Ở Hungary, việc chuyển đổi lõi Lò phản ứng nghiên cứu Budapest công suất 10 MW (BRR) được hoàn tất vào tháng 1/2013 và mẻ cuối gồm hơn 49 kg HEU đã được vận chuyển đến Nga trong tháng 10 và tháng 11/2013. Dự án này hoàn thành đã làm cho 3 nước thành viên không còn nhiên liệu HEU.

Việc chuyển sang dùng nhiên liệu LEU và trả lại nhiên liệu HEU thường diễn ra sau

các nâng cấp hạ tầng quan trọng. Ví dụ, Sáng kiến sử dụng hạt nhân vì mục đích hòa bình của IAEA đang tài trợ cho chương trình hiện đại hóa toàn diện lò TRIGA Mark III của Mexico. Ở Ukraine, một tổ hợp dưới tới hạn, truyền động bằng máy gia tốc, chạy bằng nhiên liệu LEU đang được xây dựng tại Viện Vật lý và Công nghệ Kharkov với sự hỗ trợ tài chính và kỹ thuật từ Bộ Năng lượng Hoa Kỳ, sau khi trao trả toàn bộ nhiên liệu HEU cho Nga.

Trung Quốc tiếp tục nỗ lực chuyển đổi các lò phản ứng nguồn neutron cỡ nhỏ từ dùng nhiên liệu HEU sang LEU và đang lập kế hoạch phối hợp với các nước thành viên mua các lò phản ứng này để hỗ trợ việc chuyển đổi và trả lại nhiên liệu HEU.

Tiếp sau sự thiếu hụt nguồn cung ^{99}Mo trong năm 2012, những thách thức về vận hành tại các cơ sở xử lý và các lò phản ứng nghiên cứu cũ lại phát sinh vào năm 2013. Do những thay đổi trong quản lý nhu cầu cũng như sự đa dạng hóa phân nano nguồn cung, nên tình trạng thiếu hụt không dẫn đến cuộc khủng hoảng trên qui mô như diễn ra trong giai đoạn từ 2007 đến 2010. Các quá trình sản xuất đồng vị y tế vẫn tiếp tục chuyển đổi từ nhiên liệu HEU sang LEU. Ôxtrâyli và Nam Phi vẫn là các nhà cung cấp ^{99}Mo không HEU và Nam Phi tiếp tục chuyển đổi các quá trình này sang chỉ sử dụng nhiên liệu LEU. Hai nhà sản xuất đồng vị y tế lớn khác là Bỉ và Hà Lan, tiếp tục các kế hoạch chuyển đổi các qui trình sản xuất qui mô thương mại của họ từ HEU sang LEU.

Nhiên liệu uranium-molybden tiên tiến, mật độ rất cao hiện đang được phát triển, cần cho sự chuyển đổi của các lò phản ứng nghiên cứu mật độ cao, hiệu suất cao. Mặc dù đã đạt tiến bộ đáng kể trong lĩnh vực này từ trước năm 2013, nhưng những nỗ lực và thử nghiệm, đặc biệt đối với các chương trình kiểm tra chiếu xạ và sau chiếu xạ, cũng như trong lĩnh vực kỹ thuật chế tạo, cần đạt được giá trị thương mại của nhiên liệu LEU chất lượng.

Sau khi chuyển đổi các lò phản ứng TRIGA phù hợp, nhu cầu nhiên liệu TRIGA trên toàn cầu đã giảm. Từ năm 2010, không cung cấp các thanh nhiên liệu mới, điều này gây thách thức đối với sự hoạt động của một số lò phản ứng TRIGA trên toàn thế giới. Do những mối đe dọa chung, cộng đồng TRIGA khởi xướng Mạng lưới lò phản ứng nghiên cứu TRIGA toàn cầu (GTRRN) vào tháng 6/2012. GTRRN được hợp thức hóa tháng 11/2013 tại Vienna bằng việc thành lập Ban Chỉ đạo mạng lưới. Mạng lưới sẽ giải quyết những thách thức của 38 cơ sở TRIGA đang hoạt động trên toàn thế giới, chủ yếu là tìm kiếm giải pháp thay thế cho các vấn đề như cung cấp nhiên liệu mới, mở rộng chương trình hoàn trả nhiên liệu hạt nhân đã qua sử dụng cho Hoa Kỳ, tăng cường sử dụng, quản lý quá trình lão hóa, vận hành và bảo trì.

Trong năm 2013, các hoạt động tiếp tục đẩy mạnh và tăng cường sử dụng các lò phản ứng nghiên cứu vì mục đích giáo dục và đào tạo. Các dự án quốc tế bao gồm dự án tìm cách tăng số lượng, loại hình và chất lượng các khóa đào tạo, tạo điều kiện đào tạo các chuyên gia trẻ tại các nước đang phát triển trên thế giới và sử dụng các lò phản ứng nghiên cứu phục vụ giáo dục cơ bản và đặc biệt liên quan đến khoa học và công nghệ hạt nhân.

III. ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ HẠT NHÂN TRONG CÁC LĨNH VỰC Y TẾ, NÔNG NGHIỆP VÀ BẢO VỆ MÔI TRƯỜNG

3.1. Ứng dụng công nghệ hạt nhân để nâng cao sản lượng gia súc và giảm thiểu phát thải khí nhà kính

Việc sản xuất đủ lương thực để đáp ứng nhu cầu tiêu thụ của dân số đang ngày càng tăng là một thách thức toàn cầu. Thách thức này trở nên phức tạp hơn do tác động môi trường của việc sản xuất lương thực, bởi nó dẫn đến tiêu hao năng lượng và vì vậy góp phần vào phát thải khí nhà kính. Theo đánh giá, ngành nông nghiệp bao gồm cả chăn nuôi chiếm khoảng 22% tổng lượng phát thải toàn cầu (1). Các kinh nghiệm thực hành sản xuất chăn nuôi tốt có thể làm tăng được lượng gia súc và chất lượng sản phẩm chăn nuôi trong khi có thể góp phần làm giảm nhẹ phát thải khí nhà kính. Các công nghệ hạt nhân đang được phát triển và ứng dụng có thể giúp nâng cao dinh dưỡng, sức khỏe vật nuôi, sinh sản và lai giống, và do đó đóng góp cho an ninh lương thực bền vững trong khi làm giảm nhẹ biến đổi khí hậu bằng cách giảm phát thải khí nhà kính. Về lĩnh vực này Tổ chức Nông lương thế giới của Liên hiệp quốc (FAO) đã đưa vào áp dụng mô hình mang tên Nông nghiệp thông minh thích ứng với biến đổi khí hậu (Climate smart agriculture).

Theo dự báo đến năm 2050 lượng tiêu thụ thực phẩm có nguồn gốc động vật sẽ tăng 70% do tăng trưởng dân số, thu nhập gia tăng và đô thị hóa. Hậu quả là sản xuất chăn nuôi sẽ phải tăng lên gấp nhiều lần. Các ước tính hiện nay chỉ ra rằng ngành chăn nuôi đóng góp xấp xỉ 14,5% (tương đương 7,1 Gt CO₂ mỗi năm) trong tổng số phát thải khí nhà kính do con người gây ra. Các quá trình tiêu hóa và lên men thức ăn trong dạ cỏ¹ vật nuôi là hai nguồn phát thải khí nhà kính chủ yếu trong chăn nuôi, chiếm tương ứng khoảng 45% và 39% trong lượng phát thải liên quan đến chăn nuôi. Phần lớn lượng khí nhà kính phát thải trong chăn nuôi có nguồn gốc từ gia súc (65%) và 31% lượng khí nhà kính do gia súc thải ra là khí mêtan đường ruột. Sự thải khí này được coi là làm mất đi các chất dinh dưỡng, vì vậy việc cải thiện hiệu quả tiêu hóa thức ăn sẽ làm giảm được sự mất khí mêtan đường ruột.

Các nguồn phát thải khí nhà kính khác liên quan đến chăn nuôi gồm có lưu giữ và chế biến phân bón (10%), phá rừng để phát triển đồng cỏ và trồng cây lương thực (9%), và tiêu thụ nhiên liệu hóa thạch tại các công đoạn trong chuỗi cung ứng ngành (20%). Các mục tiêu giảm thiểu lượng khí nhà kính ngắn và trung hạn, và sự gia tăng sản xuất chăn nuôi có thể đạt được thông qua áp dụng các thực hành sản xuất nông nghiệp tốt để nâng cao hiệu quả sử dụng thức ăn và tăng năng suất chăn giữ cá thể và bầy đàn. Đối với các giải pháp dài hạn, cần nghiên cứu sáng tạo để thúc đẩy sự phát triển các vật nuôi cho năng suất cao hơn và có khả năng thích ứng với điều kiện khí hậu khắc nghiệt, có sức đề kháng bệnh tật và có khả năng tiêu hóa tốt hơn, tiêu thụ thức ăn gia súc kém chất lượng trong khi không làm ảnh hưởng đến sản lượng ngũ cốc.

Các công nghệ hạt nhân như phóng xạ, đồng vị phóng xạ và các chất đồng vị ổn định là những công cụ quan trọng trong chăn nuôi và nghiên cứu thú y. Ưu điểm của các công nghệ hạt nhân trong nghiên cứu chăn nuôi gia súc và chẩn đoán là độ nhạy và tính đặc hiệu của

¹ Ở động vật nhai lại có dạ cỏ là một cái thùng lên men yếm khí có hiệu quả cao, nằm ngay tại phần đầu của ống tiêu hóa.

các kỹ thuật này cao hơn các kỹ thuật phi hạt nhân. Các công nghệ hạt nhân giúp giải quyết các vấn đề trong xác định lượng phát thải khí nhà kính và giảm thiểu tác động thực tiễn liên quan đến quá trình lên men trong ruột, phân hủy phân bón, sản xuất thực phẩm và thức ăn gia súc, hiệu quả sử dụng thức ăn và quản lý đồng cỏ.

Cải thiện khả năng tiêu hóa thức ăn thô kém chất lượng

Việc cải thiện khả năng tiêu hóa ở động vật nhai lại phụ thuộc vào chế độ ăn uống cân bằng, dẫn đến cải thiện quá trình lên men trong dạ cỏ, bởi các vi sinh vật sản xuất ra các axit béo dễ bay hơi như axit axetic, axit butyric và axit prôpionic, và cung cấp chất dinh dưỡng cho động vật nhai lại. Một kết quả khác của quá trình này là sự phát triển sinh khối vi sinh vật, đáp ứng một phần nhu cầu protein của động vật chủ nhai lại. Trong quá trình này, các bazơ purin có trong ADN và ARN của các vi sinh vật và thức ăn gia súc bị phân hủy thành các chất dẫn xuất purin (PD) như xantin, hypoxantin, axit uric và alantoin, sau đó được bài tiết qua đường nước tiểu.

Việc sử dụng phương pháp phát hiện PD tiết niệu không xâm lấn để ước tính nguồn cung cấp protein vi khuẩn trong cơ thể có ưu điểm hơn các kỹ thuật xâm lấn thông thường. Các chất đánh dấu đồng vị phóng xạ cacbon-14 như axit uric và alantoin đánh dấu ^{14}C đã được sử dụng để phát triển các mô hình quan hệ giữa hấp thụ purin và bài tiết PD trong nước tiểu. Kỹ thuật truyền axit prôpionic và axetic đánh dấu ^{14}C được sử dụng để ước tính tỷ lệ sản xuất axit béo dễ bay hơi. Urê nitơ-15, cacbonat axit amoni và clorua amoni ^{15}N có thể được sử dụng để nghiên cứu sự phân hủy do vi khuẩn của chất xơ kém chất lượng, đo mật độ vi khuẩn, đánh giá sử dụng nitơ phi protein, tái chế urê, tổng hợp protein vi khuẩn và hoán chuyển axit amino trong dạ cỏ.

Tỷ lệ tổng hợp protein vi khuẩn được xác định bởi sự kết hợp ^{14}N , ^{32}P , ^{33}P hay ^{35}S trong các vi sinh vật dạ cỏ. Các khoáng chất đánh dấu các chất đồng vị phóng xạ như ^{76}As , ^{45}Ca , ^{67}Cu , ^{32}P và ^{75}Se được sử dụng để nghiên cứu sự mất cân bằng khoáng chất của gia súc. Ethylene diamene axit tetraacetic cobalt-58, phenantrolin ^{104}Ru và thức ăn gia súc đánh dấu ^{51}Cr được sử dụng để xác định tỷ lệ hoán chuyển. Các kỹ thuật truyền bicacbonat natri đánh dấu cacbon-13/cacbon-14 được sử dụng để ước tính lượng CO_2 sản sinh ra trong dạ cỏ. Những nghiên cứu này cung cấp cơ sở cho việc cải thiện khả năng tiêu hóa, do đó làm tăng tỷ lệ chuyển hóa thức ăn, sử dụng năng lượng và giảm phát thải khí nhà kính trên mỗi đơn vị sản phẩm. Ngoài ra, phát thải khí mêtan ở động vật nhai lại có thể được ước tính bằng cách pha loãng chất đồng vị sử dụng mêtan đánh dấu ^3H hay ^{14}C .

Mô tả đặc tính di truyền của vi sinh vật dạ cỏ nhằm cải thiện khả năng tiêu hóa ở dạ cỏ

Vi sinh vật dạ cỏ đóng vai trò quan trọng trong chuyển đổi các cấu trúc thực vật phức tạp thành các chất dinh dưỡng cần thiết cho sự phát triển của bản thân chúng và của động vật chủ. Sự đa dạng về chủng loại phát sinh của cộng đồng vi khuẩn trong dạ cỏ đã được mô tả bằng cách nghiên cứu gen SSU rRNA (small subunit ribosomal RNA) hay các gen tương ứng. Các công nghệ như đầu dò oligonucleotide đánh dấu ^{32}P , phương pháp điện di gel gradient biến tính (denaturing gradient gel electrophoresis-DGGE), kỹ thuật lai huỳnh quang tại chỗ (fluorescence in situ hybridization - FISH) và phản ứng chuỗi trùng hợp (polymerase chain reaction - PCR) trong thời gian thực giúp mô tả đặc điểm và xác định số lượng vi khuẩn dạ cỏ và động lực học của chúng. Kỹ thuật thăm dò chất đồng vị ổn định dựa trên ADN có tiềm năng đáng kể trong kết hợp thông tin di truyền của vi khuẩn với các

chức năng sinh học của chúng. Các nghiên cứu về siêu bộ gen sử dụng kỹ thuật lập trình tự gen thể hệ mới giúp thiết lập hoàn chỉnh bộ gen của vi khuẩn dạ cỏ và tổng hàm lượng plasmid có sẵn trong dạ cỏ, do đó có thể nhằm mục tiêu vào các phạm vi mới là các trình tự gen mới xuất hiện trong các protein đơn lẻ, kết quả của quá trình tiến hóa của vi khuẩn dạ cỏ và những đặc điểm chức năng của chúng trong khả năng tiêu hóa trong dạ cỏ.

Tăng sản lượng chăn nuôi gia súc trong khi duy trì khả năng thích ứng với các điều kiện địa phương

Việc xác định các gen đích và mô tả đặc điểm bộ gen của các giống gia súc bản địa và các giống gia súc thích nghi với điều kiện địa phương sẽ tạo thuận lợi cho việc xác định các đặc điểm gen có lợi, chẳng hạn như những gen chịu trách nhiệm về khả năng đề kháng bệnh (ví dụ như ký sinh trùng đường tiêu hóa và ký sinh trùng trypanosomosis) hay khả năng phát triển mạnh trong điều kiện căng thẳng dinh dưỡng hay khí hậu. Kỹ thuật đầu dò ADN đánh dấu đồng vị, kỹ thuật lai tại vết bệnh (dot blot hybridization) và lập bản đồ bằng phương pháp lai phóng xạ cùng với các công nghệ sinh học phi hạt nhân, như phản ứng chuỗi trùng hợp và giải trình tự thể hệ mới đặc điểm di truyền hỗ trợ lai tạo vật nuôi bằng vật đánh dấu giúp tạo ra các giống gia súc có năng suất và khả năng thích ứng tốt hơn.

Tăng sản lượng chăn nuôi gia súc đồng thời giảm phát thải khí nhà kính

Trong một đàn bò sữa, tỷ lệ bò cho sữa lớn hơn sẽ làm giảm lượng phát thải khí nhà kính trên một đơn vị sữa được sản xuất. Dựa trên đặc điểm này, hoóc môn progesterone đánh dấu Iodine-125 được sử dụng trong xét nghiệm miễn dịch phóng xạ (RIA) để xác định progesterone trong máu, sữa, các chất dịch cơ thể khác và chất bài tiết (phân, nước tiểu). Progesterone là một hoóc môn sinh sản và việc xác định được hoóc môn này sẽ hỗ trợ cho chẩn đoán thai, chu kỳ và các rối loạn sinh sản ở trâu bò. Các chẩn đoán này có thể cải thiện hiệu suất sinh sản, gia súc sinh sản càng nhiều thì lượng sữa mỗi đàn gia súc sản xuất ra càng cao. Kỹ thuật RIA cũng được phát triển cho các phân tích hoóc môn sinh dục khác, như hoóc môn động dục cái (oestrogen), kích thích tố sinh dục đực (testosterone), hoóc môn kích thích nang, hoóc môn lutein hóa, kích tố sinh dục màng đệm ở người (human chorionic gonadotropin - hCG) và ngựa (equine chorionic gonadotropin - eCG).

Một số phân tử đã được xác định có trong máu và các chất dịch cơ thể khác có thể được sử dụng để chẩn đoán thai sớm và kỹ thuật phản ứng chuỗi trùng hợp và xét nghiệm miễn dịch phóng xạ có thể được sử dụng để phát hiện các phân tử đó. Các phân tử này bao gồm glucoprotein thời kỳ mang thai (Pregnancy Associated Glycoprotein - PAG), yếu tố thụ thai sớm, IFN-tau (interferon tau) và các gen kích thích IFN-tau. IFN-tau đặc biệt có triển vọng trong chẩn đoán thai sớm do sự xuất hiện nhanh chóng của chúng trong máu mẹ. Chẩn đoán thai sớm là một công cụ rất quan trọng cho việc quản lý sản lượng đàn gia súc bằng cách xác định những con không mang thai nhưng đủ điều kiện để sinh sản. Kỹ thuật này có thể được sử dụng để giảm tỷ lệ động vật không sinh sản và tăng sản lượng đàn gia súc.

Mô tả đặc điểm và lựa chọn thức ăn gia súc vùng nhiệt đới và sự phát triển của ngành khoa học thức ăn gia súc

Kỹ thuật cảm ứng đột biến đã được ứng dụng rộng rãi để nâng cao sản lượng và chất lượng cây trồng làm thức ăn gia súc. Những cải tiến định tính bao gồm khả năng tiêu hóa tốt hơn (ví dụ hàm lượng lignin thấp) và hàm lượng dinh dưỡng cao hơn (ví dụ thành phần protein được cải thiện) và những cải tiến này có thể đạt được mà không làm giảm năng suất

đàn gia súc. Kỹ thuật gây giống thực vật đột biến cũng có hiệu quả trong phát triển cây trồng làm thức ăn gia súc thích nghi tốt hơn với các điều kiện khắc nghiệt (ví dụ khả năng chịu ngập úng, hạn hán, độ mặn và nhiệt độ quá cao). Sản lượng các loại cây trồng này được cải thiện do có thể canh tác ở các vùng đất khó trồng trọt.

Hệ thống sản xuất hỗn hợp cây trồng-vật nuôi nhằm mục đích tối đa hóa sản lượng cây trồng và vật nuôi, bao gồm các loại ngũ cốc cho con người, đồng thời giảm thiểu nhu cầu về phân bón, nước và năng lượng. Các chất đồng vị ổn định có thể được sử dụng để đánh giá những cải thiện này. Chăn nuôi đóng góp đáng kể vào sự gia tăng tính bền vững của hệ thống canh tác hỗn hợp bằng cách cung cấp phân bón cho đất và cung cấp năng lượng cho canh tác. Trong các hệ thống như vậy, đầu ra của một quy trình trở thành đầu vào của một quy trình khác, do đó sự rò rỉ chất dinh dưỡng vào môi trường được giảm thiểu, ví dụ, dưới dạng khí thải nhà kính.

Cây họ đậu và cây không thuộc họ đậu khi được trồng cùng nhau có tác dụng bổ sung cho nhau làm cho chất lượng và sản lượng thức ăn gia súc tốt hơn. Có sử dụng nitơ cố định trong đất do cây họ đậu tạo ra để sản xuất ra nhiều sinh khối có chất lượng cao hơn. Quá trình cố định nitơ và chuyển hóa nitơ sang các cây trồng khác chỉ có thể đánh giá chính xác bằng kỹ thuật làm loãng ^{15}N điều đó đòi hỏi đánh dấu đất bằng phân bón có chứa đồng vị phóng xạ nitơ ^{15}N (ví dụ: amoni sunfat ^{15}N /urê ^{15}N). Ngoài ra, phân bón có chứa đồng vị phóng xạ photpho ^{33}P có thể được sử dụng để đánh giá hiệu suất sử dụng photpho trong canh tác các cây trồng họ đậu làm thức ăn gia súc.

Cải thiện quản lý đồng cỏ cho chăn nuôi và môi trường bền vững

Hệ thống nông lâm kết hợp trồng rừng với chăn nuôi gia súc mang lại những lợi thế vượt trội so với các hệ thống chăn nuôi gia súc trên đồng cỏ. Hệ thống nông lâm kết hợp không chỉ giảm thiểu phát thải khí nhà kính và ô nhiễm hóa chất trong đất và các sông ngòi, kênh rạch, mà còn bảo tồn đa dạng sinh học do giảm thiểu việc sử dụng các phương tiện vận chuyển, phân bón và thuốc diệt cỏ. Ngoài ra, hệ thống nông lâm kết hợp còn làm cho đất đai màu mỡ và giữ nước tốt hơn, đồng thời cung cấp thức ăn bổ sung dưới dạng lá giàu protein cho nhiều gia súc hơn cũng như tạo bóng râm cho gia súc tránh nắng khi thời tiết nắng nóng, do đó dẫn đến sự gia tăng sản lượng sữa và thịt trên một đơn vị diện tích đất so với đồng cỏ đã được phát quang. Các phương pháp nước chứa các đồng vị phóng xạ kép (^2H và ^{18}O) được sử dụng để ước tính tiêu hao năng lượng ở động vật ăn cỏ.

Tái chế và quản lý phân bón bằng công nghệ khí sinh học

Trong quá trình lưu giữ và xử lý, chất hữu cơ trong phân bón chuyển đổi thành mêtan và nitơ, dẫn đến các phát thải oxit nitơ. Các phát thải này tăng lên khi phân bón ở trong môi trường lỏng, chẳng hạn như trong các đầm sâu hay các bể chứa. Chất bài tiết (phân, nước tiểu) có chứa đồng vị ổn định ^{15}N có thể được sử dụng để giám sát sự phát thải nitơ trong môi trường và để xây dựng dữ liệu liên quan đến phát thải khí nhà kính. Khí sinh học là một nguồn năng lượng tái tạo có thể được sản xuất từ phân bón nhờ khả năng tiêu hóa hàm lượng chất hữu cơ của vi khuẩn yếm khí. Quá trình sản xuất khí sinh học cũng làm giảm ô nhiễm nước thải hữu cơ vì nếu không có quá trình này, oxy sẽ bị tiêu hóa làm cho nồng độ oxy trong nước bề mặt thấp. Khí sinh học cũng có tác dụng bảo tồn nitơ và photpho trong đất dưới dạng các chất dinh dưỡng cho cây trồng. Ngoài ra, khí chứa cacbon đã được cố định trong thực vật từ CO_2 trong không khí, do đó kết quả của quá trình sản xuất khí sinh

học là cacbon trung tính, không tạo ra các phát thải khí nhà kính. Theo FAO, nếu tất cả phân chuồng được chuyển đổi thành khí sinh học thay vì bị phân hủy, lượng phát thải khí nhà kính toàn cầu có thể giảm 4% (tương đương 99 triệu tấn).

3.2. Kỹ thuật tạo ảnh số và chẩn đoán hình ảnh từ xa

Cho đến cuối thế kỷ trước, đa số các chẩn đoán hình ảnh y học sử dụng phim như một phương tiện chính để chụp ảnh, hiển thị và lưu trữ. Tuy nhiên, cuộc cách mạng ảnh kỹ thuật số trong chẩn đoán hình ảnh bắt đầu vào thập niên 1970 với việc sáng chế ra máy chụp cắt lớp vi tính (computed tomography - CT) và máy chụp cắt lớp bức xạ positron (positron emission tomography - PET). Tiếp theo những kỹ thuật chụp ảnh hạt nhân này, chụp ảnh cộng hưởng từ (magnetic resonance imaging - MRI), một kỹ thuật chụp ảnh phi hạt nhân, được phát triển vào thập niên 1980 và các hệ thống chụp X-quang kỹ thuật số (như chụp X-quang điện toán và chụp X-quang kỹ thuật số) được phát triển vào thập niên 1990. Những kỹ thuật chẩn đoán hình ảnh hiện đại như CT, MRI và PET đã tạo ra một lượng thông tin chẩn đoán lớn hơn đáng kể so với các kỹ thuật trước đó, làm tăng nhu cầu quản lý các thông tin này một cách hiệu quả. Nhu cầu ngày càng tăng này đã thúc đẩy việc áp dụng rộng rãi các công nghệ quản lý hình ảnh kỹ thuật số hiện đang là phương pháp chụp ảnh, hiển thị và lưu trữ được ưa chuộng do chúng có khả năng làm cho các kỹ thuật chụp ảnh hạt nhân và phi hạt nhân hiện đại hiệu quả hơn về chi phí và dễ dàng tiếp cận. Chụp ảnh, lưu trữ và hiển thị kỹ thuật số có một số lợi thế so với các lựa chọn thay thế bằng phim thông thường như:

- Phổ biến thông tin hiệu quả và gia tăng khả năng tiếp cận hình ảnh
- Khoảng động trong các hệ thống tạo ảnh số tốt hơn đáng kể do đó có thể chụp được các cấu trúc giải phẫu cho hình ảnh ngày càng đa dạng hơn
- Cải thiện độ tin cậy, tìm lại chính xác hình ảnh mà không làm mất thông tin chẩn đoán
- Dễ sử dụng
- Có tiềm năng chụp ảnh tổng hợp và đa phương thức
- Lưu giữ thông tin chẩn đoán chức năng dưới dạng một bộ ảnh kỹ thuật số
- Truyền tải và hiển thị hình ảnh đồng thời đến nhiều khu vực địa lý
- Thao tác và xử lý, khai thác đặc điểm và tăng cường hình ảnh
- Phối hợp dễ dàng giữa các chuyên gia (ví dụ, bác sĩ X-quang với các bác sĩ điều trị)
- Chuyên môn trong các chuyên khoa chẩn đoán hình ảnh có thể được phổ biến rộng rãi
- Các thông số chẩn đoán có ngay sau khi ảnh được chụp
- Có thể kiểm tra trình tự, sửa chữa và tích hợp dữ liệu chẩn đoán
- Loại bỏ các vấn đề môi trường (ví dụ, phim chụp bỏ đi và chất thải hóa học)

Mặc dù chi phí ban đầu của thiết bị kỹ thuật số cao hơn các hệ thống thông thường, nhưng về lâu dài, công nghệ kỹ thuật số sẽ tiết kiệm chi phí tổng thể thông qua giảm chi phí vận hành do không cần đến hóa chất, phim, xử lý phim và lưu trữ phim. Mặc dù có những lợi thế như vậy nhưng việc áp dụng hoàn toàn các hệ thống chẩn đoán hình ảnh kỹ thuật số, bao gồm cả báo cáo, lưu trữ và phân bố hình ảnh, rất phức tạp. Những hệ thống như vậy phải được thiết kế riêng cho các hoạt động chẩn đoán và người sử dụng cuối cùng khác nhau và cần khối lượng đào tạo đáng kể để vận hành.

Chẩn đoán hình ảnh từ xa

Một trong những lợi thế chính của công nghệ chụp ảnh kỹ thuật số, thông qua các ứng dụng chẩn đoán hình ảnh từ xa (teleradiology), đó là các chuyên gia có thể chẩn đoán hình ảnh không phụ thuộc vào khoảng cách giữa nơi chụp ảnh và vị trí của chuyên gia. Chẩn đoán hình ảnh từ xa có thể được định nghĩa theo nhiều cách khác nhau, song nói chung nó được hiểu là việc truyền tải một tập hợp các giải pháp đầy đủ, các hình ảnh hoàn toàn nguyên vẹn đến một trung tâm cách xa nơi hình ảnh được chụp cho các mục đích chẩn đoán hay hội chẩn. Những công nghệ như vậy đã được sử dụng rộng rãi ở các nước phát triển và một số nước đang phát triển ở mức độ còn hạn chế.

Chẩn đoán hình ảnh từ xa có thể được sử dụng cục bộ (ví dụ trong cùng một cơ sở) hay giữa các tòa nhà trong một khu liên hợp hay trong một thành phố, hay giữa các cơ sở y tế ở bất cứ nơi nào trên thế giới. Chẩn đoán hình ảnh từ xa mang lại sự thay thế cho các phương pháp chẩn đoán hình ảnh truyền thống trong đó đòi hỏi đội ngũ nhân viên đưa ra kết quả chẩn đoán tại chỗ.

Chẩn đoán hình ảnh từ xa có thể có nhiều ứng dụng khác nhau, như truy cập từ xa các hệ thống truyền thông và lưu trữ hình ảnh, hay truy cập từ xa dưới bất cứ hình thức nào từ một kho lưu trữ tập trung. Một ứng dụng khác thường được sử dụng là công nghệ máy trạm nhỏ dựa trên internet và web (trong đó máy tính cần kết nối với một máy chủ để thực hiện đầy đủ chức năng). Các ứng dụng khác bao gồm chẩn đoán tại chỗ một phần hay toàn phần, phối hợp chẩn đoán giữa các địa điểm khác nhau và chẩn đoán cuối cùng hay trong các trường hợp khẩn cấp do các tổ chức chuyên sâu thực hiện.

Về phương diện kỹ thuật, việc truyền hình ảnh đến hầu hết các địa điểm trên thế giới không phải là một vấn đề, nhưng các kết quả chẩn đoán hình ảnh từ xa chính xác cũng đòi hỏi tiến độ công việc phù hợp để xử lý một lượng lớn các trường hợp chẩn đoán hình ảnh từ xa một cách hiệu quả. Các hình ảnh có dung lượng từ vài MB đến hàng trăm MB và việc truyền các hình ảnh có dung lượng lớn có thể rất chậm và do đó không thực tế. Ngoài ra, các mạng truyền thông hiện có là một thành phần quan trọng của các ứng dụng chẩn đoán hình ảnh từ xa, do đó cần lập kế hoạch và nguồn lực thích hợp để áp dụng các công nghệ này.

Công nghệ chẩn đoán hình ảnh từ xa sử dụng mạng truyền thông sẵn có của địa phương và yêu cầu về băng thông sẽ phụ thuộc vào kích thước và khối lượng ảnh được truyền. Tuy nhiên, sự mở rộng các hệ thống địa phương để cung cấp truy cập từ xa có thể bị hạn chế bởi các vấn đề hiệu suất mạng, đặc biệt là ở khu vực nông thôn, cũng như ở các khu vực có các vấn đề về an ninh mạng, đặc biệt do nhu cầu cung cấp cho người sử dụng bên ngoài các thông tin xác thực và để kiểm soát sự truy cập của họ.

Một trong những ví dụ phổ biến nhất của chẩn đoán hình ảnh từ xa là sự kết nối các bệnh viện ngoại vi trong một quốc gia hay khu vực với một tổ chức trung ương. Điều này mang lại cơ hội cho các bác sĩ ở các khu vực nông thôn, những người có thể không có kinh nghiệm trong chẩn đoán hình ảnh, sự hỗ trợ cho chẩn đoán ban đầu từ các bác sĩ chuyên khoa tại các bệnh viện chuyên ngành hay bệnh viện của các trường đại học lớn. Điều này có thể được thực hiện để chẩn đoán chính xác và do đó điều trị hiệu quả hơn tại địa phương hoặc, nếu cần thiết, để xác định sự cần thiết phải chuyển bệnh nhân đến cơ sở có trình độ cao hơn. Đối tượng hưởng lợi trực tiếp của các dự án chẩn đoán hình ảnh từ xa là nhân viên

của các bệnh viện có liên quan và quan trọng hơn là các bệnh nhân được các bác sĩ X-quang giàu kinh nghiệm chẩn đoán.

Chụp X-quang tuyến vú sàng lọc (Screening mammography) đã được chứng minh là một công cụ hữu hiệu để phát hiện sớm ung thư vú. Một số nghiên cứu đã chứng minh sự gia tăng tỷ lệ phát hiện ung thư vú với việc áp dụng phương pháp chẩn đoán hai lần (các chuyên gia chẩn đoán hai lần để đảm bảo chẩn đoán đáng tin cậy hơn) kết hợp với kinh nghiệm tích lũy của bác sĩ chẩn đoán trong chẩn đoán lần thứ hai. Trong chẩn đoán hình ảnh từ xa (chụp X-quang tuyến vú từ xa), các trung tâm tham gia vào một chương trình sàng lọc sẽ được hưởng lợi đáng kể nếu kết quả việc chẩn đoán X-quang tuyến vú độc lập lần thứ hai được thực hiện bởi các chuyên gia X-quang tại một bệnh viện ung thư vú trung ương. Các bác sĩ chẩn đoán, do số lượng lớn các hình ảnh họ chẩn đoán, sẽ có những kỹ năng tiên tiến và kinh nghiệm trong chẩn đoán X-quang tuyến vú và có thể cải thiện hiệu quả các chương trình sàng lọc.

3.3. Xử lý nước thải và chất thải rắn sinh học

Vai trò của công nghệ phóng xạ trong bảo vệ môi trường

Quá trình công nghiệp hóa và đô thị hóa xã hội hiện đang diễn ra trên toàn thế giới là yếu tố hàng đầu gây ô nhiễm nguồn nước ngọt vốn đã cạn kiệt và tạo ra một lượng lớn nước thải từ các đô thị. Sự xuất hiện các chất ô nhiễm hữu cơ như dược phẩm, thuốc nhuộm, thuốc trừ sâu và các chất gây rối loạn nội tiết trong nước thải và bùn nước thải tiếp tục làm trầm trọng thêm các tác động hóa học, thậm chí ở mức độ rất thấp, có thể ảnh hưởng sâu sắc đến sinh vật thủy sinh, động vật trên cạn và con người. Việc xử lý chất thải công nghiệp và nước thải giúp bảo tồn các nguồn nước và cải thiện chất lượng đất.

Những tiến bộ vẫn đang tiếp tục đạt được trong công nghệ xử lý nước thải và các quy định ngày càng nghiêm ngặt về xả nước thải đảm bảo rằng nước thải được xử lý an toàn nhất trước khi xả. Tuy nhiên, việc xử lý này không đủ để có thể tái sử dụng nước hay tận dụng bùn nước thải, do đó cần các phương pháp thay thế. Các kỹ thuật phóng xạ sử dụng công nghệ tia gamma và điện tử đã được triển khai thành công trong xử lý nước thải dệt nhuộm công nghiệp và bùn nước thải cho các ứng dụng nông nghiệp.

Công nghệ phóng xạ xử lý các chất ô nhiễm hữu cơ khác nhau chưa được ứng dụng rộng rãi trên quy mô thực tế nhưng tính khả thi và hiệu quả của công nghệ này đã được chứng minh trong các quy mô vận hành khác nhau và có tiềm năng lớn trong giải quyết các thách thức về xử lý nước thải và bùn nước thải. Do các chất thải và nước thải công nghiệp về cơ bản thường không hòa lẫn với nhau, nên chúng cần được xử lý tại nguồn thải. Những công nghệ như vậy có thể được thiết kế để thích ứng với các nhu cầu xử lý chất thải khác nhau.

Các vấn đề tồn tại trong xử lý nước thải và bùn nước thải cho tái sử dụng

Do tình trạng khan hiếm nước ngày càng tăng, việc tái sử dụng nước trên toàn thế giới được quan tâm nhiều hơn. Đồng thời, các nguồn nước ô nhiễm hóa chất và vi sinh tiềm tàng, đặc biệt từ các nguồn ô nhiễm mới nồng độ thấp, cũng ngày càng được quan tâm. Việc phát triển các công nghệ tái chế nước đáng tin cậy và hiệu quả về chi phí do đó rất quan trọng để thực hiện thành công các dự án tái sử dụng nước.

Các công nghệ xử lý nước tiên tiến, như công nghệ phóng xạ và việc tích hợp các công nghệ này vào các quy trình thông thường, hiện đang được thử nghiệm để sản xuất nước có

chất lượng cao cho phép tái sử dụng gián tiếp nước uống được, ví dụ như nước tái chế đã được xử lý đặc biệt trước khi xử lý thông thường để có thể uống được. Những công nghệ như vậy được kỳ vọng sẽ trở thành những công nghệ xử lý chủ đạo trong tương lai gần.

Xu hướng gia tăng các tiêu chuẩn ngày càng nghiêm ngặt về xả nước thải đã có tác dụng tích cực đối với môi trường, nhưng những tiêu chuẩn này cũng làm tăng lượng bùn nước thải. Hiện đang có rất nhiều lựa chọn để xử lý bùn thải như đốt, chôn hay sử dụng làm phân bón hay chất dinh dưỡng cho đất mặc dù thành phần của bùn nước thải sẽ hạn chế những lựa chọn này.

Trong tương lai, các nhà máy xử lý nước thải được kỳ vọng sẽ tái chế các nguồn tài nguyên có giá trị cao chứ không chỉ là nơi xử lý và sau đó loại bỏ các chất thải đô thị. Tuy nhiên, để biến mục tiêu trên thành hiện thực, việc xác định được công nghệ có thể khử trùng và làm ổn định các chất rắn sinh học đô thị với giá thành thấp là điều rất quan trọng. Do vậy cần tăng cường sản xuất các chất rắn sinh học chất lượng cao không làm ảnh hưởng đến môi trường hay sức khỏe con người và có thể được sử dụng một cách hiệu quả.

Ứng dụng công nghệ phóng xạ trong xử lý nước và bùn nước thải

Xử lý nước thải dệt nhuộm bằng chùm điện tử

Ngành công nghiệp sản xuất thuốc nhuộm và dệt nhuộm thải ra gần 20% lượng nước ô nhiễm toàn cầu. Hơn 700 triệu tấn thuốc nhuộm được sản xuất trên toàn thế giới mỗi năm và các quy trình nhuộm sử dụng rất nhiều nước, cần đến khoảng 80.000 m³ nước cho mỗi tấn dệt thành phẩm. Nước thải từ ngành công nghiệp này có nhu cầu oxy hóa học cao (COD) là biểu hiện của nồng độ các chất ô nhiễm hữu cơ và khả năng phân hủy sinh học thấp, do độ mặn và sự hiện diện của một loạt các hóa chất.

Quy trình xử lý sinh học nước thải nhuộm thông thường, ngoài đòi hỏi thời gian dài xử lý, không thể phân hủy thuốc nhuộm tổng hợp do cấu trúc hóa học phức tạp của chúng. Các điện tử năng lượng cao từ máy gia tốc chùm điện tử đã được chứng minh có khả năng biến đổi các chất nhuộm phức tạp này một cách hiệu quả thành các phân tử đơn giản hơn, tạo điều kiện cho quá trình phân hủy sinh học tiếp theo. Quy trình này có thể dễ dàng tích hợp với quy trình xử lý sinh học hiện có. Sự hiện diện của các hạt rắn chiếm tới 3% vật liệu sét đã được chứng minh không có các tác động xấu đến sự phân hủy hóa chất. Các giải pháp chứa các hợp chất hấp thụ ánh sáng mạnh không làm giảm hiệu quả của quá trình này và không cần thêm bất kỳ hóa chất bổ sung nào cho toàn bộ quá trình. Mức độ thoái hóa đạt được làm cho các sản phẩm phụ dễ bị phân hủy trong các quá trình xử lý sinh học sau đó, do đó giảm thiểu các chi phí xử lý. Các máy gia tốc sử dụng lên đến 400kW điện đã được chứng minh cực kỳ đáng tin cậy và đạt mức độ sẵn sàng hoạt động tối thiểu là 99%. Các máy gia tốc này được tự động hóa hoàn toàn trong vận hành tại chỗ hay từ xa với tuổi thọ lên đến 30 năm.

Thiết bị chùm điện tử tại khu Liên hợp Công nghiệp nhuộm Daegu, Hàn Quốc đã chứng minh hiệu quả của công nghệ này khi xử lý lên tới 10.000 m³ nước thải dệt nhuộm/ngày với liều lượng 1 kilogray (đơn vị đo lường hấp thụ phóng xạ ion hóa tuyệt đối) với chi phí 0,3 USD/m³. Chi phí cho máy gia tốc công suất cao như vậy là khoảng 2 triệu USD (tính cả chi phí lắp đặt), trong đó chi phí lắp đường ống, xây dựng trạm xử lý và mua các thiết bị khác là khoảng 1 triệu USD. Hiện nay, đây là cơ sở duy nhất của loại hình này trên thế giới và các chi phí ban đầu được công bố là trở ngại cho việc mở thêm các cơ sở như vậy. Chi phí

gia tăng do các quy định nghiêm ngặt về môi trường ở một số quốc gia đã dẫn tới việc nhiều doanh nghiệp dật nhuộm chuyển địa điểm tới các quốc gia có các quy định về môi trường ít nghiêm ngặt hơn, điều này làm nổi bật sự cần thiết nâng cao khả năng và tính hiệu quả về chi phí của các công nghệ như vậy để khuyến khích nhân rộng hơn các công nghệ này.

Xử lý bùn nước thải bằng công nghệ phóng xạ năng lượng cao

Phóng xạ năng lượng cao là phương pháp vô hiệu hóa vi khuẩn gây bệnh rất hiệu quả và công nghệ này đã được áp dụng trên toàn thế giới để khử trùng thiết bị y tế. Dựa trên ý tưởng đó, việc sử dụng công nghệ phóng xạ để làm sạch bùn nước thải đã được nghiên cứu ở nhiều quốc gia. Bùn nước thải sau khi được làm sạch sẽ trở thành nơi trú ẩn an toàn cho các lợi khuẩn như rhizobium, vi khuẩn nốt rỗ giúp cố định nitơ trong đất, và đã được chứng minh là một nguồn phân bón tuyệt vời trong các thử nghiệm quy mô lớn. Các chất rắn sinh học nhờ vậy có thể thay thế cho các loại phân bón hóa học ít thân thiện môi trường.

Các hoạt động được tổ chức liên tục và thành công từ năm 1992 của Viện Nghiên cứu làm sạch bùn nước thải bằng phóng xạ (Sludge Hygienization Research Irradiator - SHRI) của Ấn Độ cho thấy chiếu xạ bùn nước thải chứa hàm lượng chất rắn khoảng 5% bằng bức xạ gamma ^{60}Co với liều lượng 3 Kgy có thể vô hiệu hóa đến 99,99% vi khuẩn gây bệnh. Công nghệ này có thể dễ dàng tích hợp với các nhà máy xử lý nước thải hiện có. Ngoài ra, sản phẩm phụ là phân hữu cơ thu được từ hoạt động của SHRI đã được nông dân và người trồng vườn sử dụng hiệu quả, giúp nâng cao sản lượng cây trồng. Tuy nhiên, vật liệu đầu vào cho quá trình xử lý có giá thành cao và nhu cầu bổ sung định kỳ ^{60}Co đã hạn chế sự phổ biến của công nghệ tiềm năng này.

Trong những năm gần đây, công nghệ chùm điện tử năng lượng cao cho thấy có hiệu quả cao trong khử trùng, đưa đến kết quả giảm đáng kể rất nhiều vi khuẩn và virus gây bệnh. Kết quả cho thấy liều 8-15 Kgy tiêu diệt số lượng lớn vi khuẩn, virus và ký sinh trùng gây bệnh. Các đặc điểm kỹ thuật của hệ thống xử lý chùm điện tử năng lượng cao có khả năng cung cấp các liều lượng cần thiết đã được phát triển, mô hình hóa và đánh giá thực nghiệm. Các mô phỏng Monte Carlo (một thuật toán được vi tính hóa cho phép tính rủi ro trong quá trình phân tích định lượng và ra quyết định) và các kiểm tra thực nghiệm đã khẳng định kỹ thuật này khả thi và hiệu quả về chi phí để cung cấp các liều lượng chùm điện tử đồng nhất cho các dòng chất rắn sinh học với nồng độ chất rắn và chất lượng khác nhau và lượng bùn nước thải xử lý là khoảng 1.500 m³/ngày. Bên cạnh tính khả thi về mặt kỹ thuật, các phân tích sơ bộ chi phí ước tính cho thấy khử trùng dựa vào công nghệ chùm điện tử năng lượng cao rất hiệu quả về chi phí so với một số phương pháp xử lý hiện nay như sử dụng vi khuẩn ưa nhiệt cho làm khô bằng nhiệt, ủ phân và ổn định vôi.

Ngoài ra, kết hợp phóng xạ chùm điện tử với các chất oxy hóa học như clo dioxit và ferat có tác dụng khử trùng mầm bệnh, trong đó kết hợp giữa chiếu xạ chùm điện tử và xử lý bằng ferat cho thấy hiệu quả trong khử trùng vi sinh vật gây bệnh, phá hủy hoạt tính gây động dục và ổn định các chất rắn sinh học. Kết hợp phóng xạ chùm điện tử với ferat trong sản xuất chất rắn sinh học chất lượng cao có giá thành xấp xỉ 70 USD/tấn, thấp hơn đáng kể so với các công nghệ hiện có. Khả năng khử trùng và ổn định các chất rắn sinh học đô thị bằng cách kết hợp phóng xạ chùm điện tử với các chất oxy hóa hóa học đã mở ra một số cơ hội tái sử dụng chất rắn sinh học và phục hồi tài nguyên.

Áp dụng công nghệ phóng xạ trong xử lý ô nhiễm nước

Trong lĩnh vực xử lý nước, sự quan tâm ngày càng lớn đối với các hóa chất gây rối loạn nội tiết (các chất hóa học có thể gây bệnh bằng cách can thiệp vào hệ thống hormone) cũng như các sản phẩm chăm sóc cá nhân và dược phẩm do chúng không thể bị loại bỏ hay phá hủy hoàn toàn bằng các quy trình xử lý thông thường. Một lượng nhỏ các hóa chất trên, gây hại cho sinh vật sống dưới nước ở nồng độ 1 ng/lít, sẽ rất khó xử lý bằng các phương pháp hiện có. Ngoài ra, nồng độ của các chất này trong môi trường nước ngọt có xu hướng tăng dần do dân số tăng và sự đa dạng hóa các dược phẩm hiện đang được sử dụng trên toàn thế giới.

Những hợp chất như vậy có thể được xử lý bằng các kỹ thuật mới nổi bao gồm các phân tử gốc tự do trong các quy trình oxy hóa tiên tiến. Phương pháp bức xạ ion hóa được báo cáo có hiệu quả trong phân hủy các chất ô nhiễm hữu cơ bền vững như dioxin, polychroinate binphenyl và các chất gây rối loạn nội tiết. Phóng xạ tia gamma với liều lượng 200 Gy đã được chứng minh có tác dụng làm giảm các chất gây rối loạn nội tiết và các sản phẩm phóng xạ của chúng trong nước thải. Chi phí ước tính của một nhà máy xử lý nước sử dụng phóng xạ chùm điện tử cho mục đích này là 0,17 USD/m³. Các thí nghiệm được tiến hành trên dược phẩm cũng đã chỉ ra rằng các loại dược phẩm như diclofenac đã được chứng minh là có hại cho các loài cá nước ngọt có thể được loại bỏ hiệu quả bằng công nghệ phóng xạ.

Năm 2010, Viện Nghiên cứu năng lượng nguyên tử Hàn Quốc (KAERI) đã phát triển máy gia tốc chùm điện tử di động để nghiên cứu thực địa trong xử lý các hóa chất như vậy trong nước thải. Phần lớn các chất kháng sinh và chất gây rối loạn nội tiết với nồng độ ban đầu 0,5 mg/l đã bị phân hủy hoàn toàn bởi liều chiếu xạ thấp hơn 1,5 kGy và các vi khuẩn gây hại và các vi sinh vật khác cũng bị tiêu diệt với liều phóng xạ tương tự. Nghiên cứu cũng chỉ ra rằng các độc tố phát sinh từ chất kháng sinh trong tảo đã giảm khi bị chiếu xạ. Máy gia tốc chùm điện tử di động được thiết kế như một thiết bị trình diễn có thể mang đến nhiều địa điểm để chứng minh tiềm năng của chúng trong xử lý các loại chất thải khác nhau có hiệu quả về chi phí, với mục tiêu khuyến khích áp dụng rộng hơn công nghệ này. Các kết quả đạt được từ nghiên cứu này đóng vai trò quan trọng trong việc được cấp giấy chứng nhận Công nghệ xuất sắc mới của Bộ Môi trường Hàn Quốc về xử lý nước thải tiên tiến bằng phương pháp phóng xạ.

Nhu cầu nghiên cứu và thách thức trong tương lai

Mặc dù những quy trình liên quan đến các ứng dụng của công nghệ phóng xạ cho xử lý nước thải, bùn nước thải và các chất gây ô nhiễm khác khá phổ biến và tồn tại trong thời gian dài nhưng các thách thức đang nổi lên có khả năng ảnh hưởng đến ngành công nghiệp này trong những năm tới và những lợi ích tiềm năng của việc tối ưu hóa các ứng dụng mới để đối phó với những thách thức đó cho thấy cần có các nghiên cứu để phát triển các ứng dụng. Những thách thức đang nổi lên này cho thấy các cơ hội trong tương lai hỗ trợ cho sự phát triển của các ứng dụng công nghệ phóng xạ trong ngành công nghiệp xử lý môi trường.

Một trong những thách thức đó là sự hiện diện của các hóa chất mới xuất hiện trong nước thải và bùn nước thải, đòi hỏi sự phân tích toàn diện và nhất quán tại các nhà máy xử lý nước thải đô thị. Những năng lực này là cần thiết để đánh giá nồng độ gây nguy hiểm cho

sức khỏe con người, động vật và môi trường của các hợp chất hữu cơ độc hại có trong nước thải và bùn nước thải, và sau đó đánh giá và đảm bảo tính hiệu quả của phương pháp phóng xạ trong xử lý nước thải.

Sử dụng phóng xạ trong xử lý nước thải cấp 3 để đảm bảo nước thải được xử lý ở mức cao nhất trước khi xả ra môi trường là một thách thức khác và đòi hỏi các dữ liệu thực nghiệm về mức độ khử trùng sau khi xử lý khối lượng lớn nước thải bằng máy gia tốc chùm điện tử. Máy gia tốc chùm điện tử di động cũng mang đến những cơ hội để cung cấp nước sạch, khử trùng cho các mục đích không uống trong thiên tai hay các trường hợp khẩn cấp gây ảnh hưởng đến dịch vụ cung cấp nước, tuy nhiên các ứng dụng như vậy vẫn cần được tiếp tục nghiên cứu. Điều này có thể đặc biệt thích hợp trong bối cảnh gia tăng tần suất và mức độ nghiêm trọng của các thảm họa thiên nhiên do biến đổi khí hậu.

3.4. Ứng dụng công nghệ hạt nhân theo dõi các độc tố sinh học biển trong thủy sản và môi trường

Tác động của các độc tố từ hiện tượng tảo độc nở hoa đối với thương mại thủy sản

Các sản phẩm thủy sản là nguồn cung cấp đạm động vật và hàng hóa thương mại quan trọng tại nhiều quốc gia đang phát triển. Nhu cầu toàn cầu đối với thủy sản ngày càng tăng, thúc đẩy cả hoạt động nhập khẩu và sản xuất trong nước. Nuôi trồng thủy sản hiện đóng góp hơn 50% tổng nguồn cung thủy sản trên toàn thế giới. Thủy sản là mặt hàng thực phẩm được giao dịch nhiều nhất trên thế giới và xuất khẩu thủy sản của nhiều nước đang phát triển đã vượt quá tổng giá trị của cà phê, ca cao, chè, thuốc lá, thịt và lúa cộng lại. Ngoài ra, các quốc gia đang phát triển đóng góp hơn 50% kim ngạch xuất khẩu thủy sản toàn thế giới.

Việc các nhà xuất khẩu phải tuân thủ các quy định của quốc gia nhập khẩu đã trở thành một trở ngại lớn để tiếp cận thị trường ngành đánh bắt. Các mặt hàng nhập khẩu thủy sản như sò, nghêu, sò điệp và trai cần được dán nhãn và có giấy chứng nhận truy xuất nguồn gốc chính thức để đảm bảo chất lượng và an toàn vệ sinh thực phẩm. Các cơ quan quản lý địa phương tại nhiều quốc gia đã đặt trọng tâm vào việc xây dựng và thực thi các giới hạn quy định và tiêu chí đối với các độc tố sinh học biển.

Các độc tố sinh học biển phát sinh từ một số loài vi tảo biển nhất định, những loài này trong các điều kiện nhất định, có thể nở hoa và đạt các mật độ cao, tạo thành hiện tượng của tảo độc hại (harmful algal blooms - HAB) hay còn gọi là “thủy triều đỏ”. Thông qua thức ăn, cá và các loại động vật có vỏ có thể tích lũy những độc tố sinh học này và trở nên nguy hiểm đối với con người. Do đó, thủy sản có thể gây chết người ngay cả khi nước có vẻ sạch và dường như không có HAB. Thủy sản độc và không độc hại có hương vị và vẻ ngoài như nhau và các độc tố HAB không thể bị phá hủy thông qua đông lạnh hay nấu chín.

Các độc tố HAB có thể gây ra thiệt hại kinh tế to lớn cho ngành nuôi trồng động vật có vỏ do lệnh đóng cửa các cơ sở khai thác được áp đặt khi các độc tố trong động vật có vỏ vượt quá các mức quy định. Khi chưa có quy định, việc thiếu các chế tài kiểm soát độc tố trong thủy sản đã làm tăng nguy cơ cho người tiêu dùng và gây trở ngại cho xuất khẩu. Độc tố cũng có thể gây ra các báo động xã hội (bao gồm cả các tác động rộng hơn từ việc người tiêu dùng không có thông tin đầy đủ nên tránh tất cả các loại thủy sản), ảnh hưởng xấu đến ngành du lịch và khuyến khích nhập khẩu cá từ các khu vực kiểm soát gây thiệt hại cho

nghe cá địa phương. Các công nghệ hạt nhân có thể được sử dụng để xác định và đo lường các độc tố HAB trong thủy sản và để nghiên cứu tác động của biến đổi khí hậu và môi trường đối với sự thống trị của các loại HAB, các mô hình phân bố của chúng và tần số có thể xảy ra các đợt bùng phát trong tương lai.

Phân tích các độc tố của tảo bằng công nghệ hạt nhân mới

Xét nghiệm bám thụ thể (receptor binding assay - RBA) dựa vào hạt nhân là một phương pháp đặc thù và nhạy được phát triển cho mục đích phân tích các độc tố của tảo liên quan tới ngộ độc thủy sản có vỏ gây liệt cơ (paralytic shellfish poisoning - PSP), gây tiêu chảy (diarrhetic shellfish poisoning - DSP), độc tố thần kinh (neurotoxic shellfish poisoning - NSP) và nhiễm độc ciguatera. RBA dựa trên khả năng của một loại độc tố có trong một chiết xuất mẫu so sánh với một chất độc sinh học đánh dấu đồng vị phóng xạ triti (ví dụ tritiated saxitoxin hay tritiated brevetoxin) để liên kết với các protein đích của chúng (tức là các thụ thể). Định lượng của liên kết này có thể được xác định bằng máy đếm nhấp nháy trong môi trường lỏng dùng để đo lường mức chiếu xạ beta của đồng vị phóng xạ, hoặc trong các bình truyền thống hay sử dụng máy đọc khay vi thể.

RBA là một ứng dụng then chốt của công nghệ hạt nhân có thể giải quyết các vấn đề liên quan đến các phương pháp thông thường được sử dụng để phát hiện độc tố trong xét nghiệm sinh học chuỗi. RBA có thể ước tính mức độ độc tố trong vật mẫu, rất cụ thể và có giới hạn phát hiện rất thấp, cho phép cung cấp cho các nhà chức trách hay các nhà sản xuất các thông tin cảnh báo sớm quan trọng về HAB.

Thông lượng cao của định dạng khay vi thể của RBA hạn chế tối đa việc sử dụng thuốc thử và tạo ra các chất thải phóng xạ. Vật liệu phóng xạ được sử dụng trong phương pháp này có số lượng nhỏ (ví dụ như độc tố gắn nhãn triti, xấp xỉ 5-37 kBq mỗi khay) và được coi là an toàn đối với các chương trình vận chuyển, bảo vệ chất phóng xạ thí nghiệm và xử lý chất thải. Các hướng dẫn sử dụng RBA rất dễ để làm theo và được nêu chi tiết trong tài liệu IAEA-TECDOC-1729: Phát hiện các độc tố của tảo độc hại bằng thí nghiệm liên kết thụ thể chất phóng xạ. Tài liệu này được xuất bản với sự hợp tác của Cơ quan Quản lý khí quyển và đại dương quốc gia Hoa Kỳ (NOAA), Ủy ban Hải dương học liên chính phủ (IOC), Tổ chức Khoa học và Văn hóa (UNESCO) như một sự bổ sung cho tài liệu hướng dẫn sử dụng của IOC số 59 về HAB.

Với sự hậu thuẫn của IAEA, NOAA đã đệ trình phương pháp này lên AOAC quốc tế, một tổ chức có quyền đưa ra các tiêu chuẩn phân tích hóa học quốc tế. RBA hiện được công nhận là phương pháp đo lường PSP trong động vật có vỏ chính thức đầu tiên của AOAC. 9 phòng thí nghiệm từ 9 quốc gia thành viên (Ôxtrâyliya, Chilê, Italy, Niu Di-lân, Philipin, Thái Lan và Hoa Kỳ), bao gồm cả Viện Nghiên cứu hạt nhân Philipin, một trung tâm hợp tác của IAEA, đã tham gia vào các thí nghiệm liên phòng thí nghiệm để dẫn đến sự công nhận này. Cùng với thành tích này, IAEA và các thành viên đang nỗ lực phát triển các thí nghiệm liên phòng thí nghiệm tương tự cho các loại độc tố khác, như những độc tố gây ra DSP, NSP và ciguatera có thể phát hiện hiệu quả bằng phương pháp RBA.

Ứng dụng công nghệ hạt nhân nghiên cứu HAB liên quan đến những biến đổi khí hậu trong quá khứ và hiện tại

Tốc độ phát triển, độc tính và phân bố địa lý của loài HAB bị ảnh hưởng bởi những biến đổi khí hậu và môi trường toàn cầu và địa phương. Sự gia tăng quá mức chất dinh dưỡng,

còn được gọi là hiện tượng phú dưỡng, của các vùng nước trong lục địa và ven biển là hệ quả trực tiếp của sản xuất thực phẩm và năng lượng cho dân số ngày càng tăng và đi kèm với đó là chất thải và nước thải. Sự lắng đọng của nitơ trong khí quyển (dưới dạng oxit nitơ trong các trận mưa axit) cũng là nguyên nhân gây nên hiện tượng tăng chất dinh dưỡng quá mức.

Việc quá tải các chất dinh dưỡng hữu cơ hay tỷ lệ chất dinh dưỡng thay đổi trong các hệ sinh thái biển thường dẫn tới sinh khối tảo tăng lên trong các vùng nước và có tương quan với các hiện tượng nở hoa của vi khuẩn lam (cyanobacteria) và tảo đơn bào hai roi (dinoflagellate). Hiện tượng phú dưỡng hiện nay được coi là một trong những vấn đề ô nhiễm toàn cầu lớn nhất. Trong bối cảnh này, hạt nhân phóng xạ và đồng vị ổn định có thể được sử dụng để nâng cao sự hiểu biết về chu kỳ cacbon và nitơ, và về ảnh hưởng của các hoạt động do con người gây ra ở những nơi xuất hiện HAB.

Một số tảo hai roi sản sinh ra các độc tố độc hại nhất (ví dụ như tảo *Gymnodinium* và tảo *Pyrodinium*) có thể sản sinh ra các bào xác sau đó bị chôn vùi trong trầm tích biển, đây là giai đoạn nghỉ ngơi để có thể hóa thạch. Các kỹ thuật hạt nhân có thể được sử dụng để nghiên cứu những lõi trầm tích chứa các hóa thạch như vậy để tìm ra các thông tin quan trọng có thể hé lộ tác động của những biến đổi môi trường và khí hậu đối với sự thống trị và sự phân bố của HAB. Những kỹ thuật này bao gồm ứng dụng xác định niên đại và tốc độ bồi lắng có nguồn gốc $^{210}\text{Pb}/^{210}\text{Po}$. Trong trường hợp này, việc tái tạo các điều kiện cổ khí hậu cũng có thể sử dụng các tỷ lệ đồng vị ổn định như các proxy và cho phép hiểu biết tốt hơn về các điều kiện môi trường thường thấy khi các bào xác được tạo ra.

Các công cụ đồng vị ổn định bao gồm xác định tỷ lệ $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$, $^{16}\text{O}/^{18}\text{O}$ hay $^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$, v.v... Tỷ lệ thứ hai thường được sử dụng như một máy ghi lại những thay đổi về hiệu suất cũng như các mức chất dinh dưỡng trong cột nước và nguồn gốc của các hợp chất nitơ. Mối liên hệ giữa những yếu tố này với việc sản xuất và sự phong phú của các bào xác trong trầm tích góp phần vào sự hiểu biết tốt hơn vai trò của các thông số sinh học trong sự xuất hiện của hiện tượng HAB.

Những loại dữ liệu này tuy còn rất ít nhưng rất cần thiết để xác định liệu một loài HAB gần đây có xuất hiện ở một khu vực mới hay không và liệu việc nở hoa của một loài HAB có gia tăng theo tần suất, cường độ và mở rộng phạm vi địa lý hay không, hay chỉ trải qua các biến động thông thường trong thập kỷ. Thông tin này rất quan trọng để hiểu và dự đoán những thay đổi trong các sự kiện HAB, để sử dụng các công cụ phân tích đầy đủ cho phát hiện sớm các độc tố một cách hiệu quả và để điều chỉnh các chiến lược quản lý các dịch vụ hệ sinh thái và an toàn vệ sinh thủy sản.

Trong thập niên qua, biến đổi khí hậu và hiện tượng phú dưỡng kéo theo sự gia tăng độc tính của HAB trong các môi trường nước ngọt, bao gồm cả hồ và cửa sông. Tảo được sinh ra tự nhiên trong nước ngọt, nơi dưới các điều kiện thuận lợi chúng có thể phát triển cực kỳ nhanh chóng. Trong số các loại tảo nước ngọt có thể tìm thấy trong các hồ hay các cửa sông, vi khuẩn lam sản xuất ra các độc tố mạnh đe dọa sinh vật dưới nước, sức khỏe hệ sinh thái và an toàn nước uống cho con người và gia súc. Các độc tố như vậy đã được biết có thể đồng thời giết chết hàng trăm vật nuôi. Loại vi khuẩn lam sản xuất ra độc tố saxitoxin được tìm thấy ở rất nhiều hồ trên thế giới và độc tố này đã được phát hiện với liều lượng thấp tại điểm xử lý nước và trong quá trình xử lý nước ở Niu Di-lân. Như với các độc tố HAB trong

biển, RBA hứa hẹn là một công cụ có thể dễ dàng thích ứng để giám sát các độ tố HAB trong nước ngọt. Đây là một lĩnh vực tiềm năng trong tương lai cho ứng dụng RBA.

Kết luận

Với 434 lò phản ứng năng lượng hạt nhân hoạt động trên toàn thế giới tính đến cuối năm 2013, năng lượng hạt nhân có công suất toàn cầu đạt 371,7 GW. Năm 2013, có bốn nhà máy điện hạt nhân mới hòa vào lưới điện và 19 khởi công xây dựng các lò phản ứng mới. Belarus đã chính thức khởi công xây dựng nhà máy điện hạt nhân đầu tiên của mình, trở thành quốc gia mới gia nhập thứ hai, trong vòng ba thập kỷ, vào nhóm các nước xúc tiến năng lượng hạt nhân. Các dự báo tăng trưởng gần và dài hạn vẫn tập trung ở châu Á, đặc biệt là ở Trung Quốc. Với 72 lò đang xây dựng, năm 2013 có số lò phản ứng được xây dựng cao nhất kể từ năm 1989, trong đó có 48 lò ở châu Á.

Hiện nay có 30 quốc gia trên thế giới đang sử dụng năng lượng hạt nhân và một con số tương đương các nước đang cân nhắc đưa nguồn năng lượng này trở thành một phần trong hỗn hợp năng lượng của mình. Trong số 30 quốc gia đang vận hành các nhà máy điện hạt nhân, có 13 nước hoặc là đang xây dựng các nhà máy mới hoặc đang tích cực hoàn thiện các công trình xây dựng bị đình chỉ trước đó, và có 12 quốc gia đang có kế hoạch xây dựng các nhà máy mới hoặc hoàn thiện các công trình xây dựng đang dở.

Theo dự báo của IAEA năm 2013, năng lượng hạt nhân được cho là sẽ tăng trưởng với tốc độ trong khoảng từ 17% (giới hạn thấp) đến 94% (giới hạn cao). Các tỷ lệ này thấp hơn một chút so với dự báo năm 2012, phản ánh tác động từ sự cố nhà máy điện nguyên tử Fukushima Daiichi, và còn do giá khí tự nhiên thấp và gia tăng sử dụng năng lượng tái tạo.

Đẩy mạnh các biện pháp đảm bảo an toàn vẫn tiếp tục được thực hiện tại các nhà máy điện hạt nhân, bao gồm cả việc áp dụng các bài học kinh nghiệm rút ra từ sự cố Fukushima Daiichi. Điều đó góp phần đẩy mạnh cơ cấu an toàn hạt nhân toàn cầu. Do việc chia sẻ và chuyển giao kiến thức có ý nghĩa quan trọng đối với quản lý an toàn và hiệu quả đối với bất kỳ một hoạt động hạt nhân nào, các thông tin bổ sung về kiến thức quản lý hạt nhân luôn được chú trọng.

Những cải tiến không ngừng và nghiên cứu về các lò phản ứng phân hạch tiên tiến, các loại lò phản ứng làm mát bằng nước, lò phản ứng nhanh và làm mát bằng khí được kỳ vọng sẽ đóng góp cho sử dụng hiệu quả nhiên liệu hạt nhân và làm giảm khối lượng chất thải phóng xạ. Mối quan tâm phổ biến ngày càng tăng về các lò phản ứng kích thước nhỏ và vừa, và về việc sử dụng các nhà máy điện hạt nhân cho các ứng dụng không phải để sản xuất điện như khử muối, nhiệt quá trình, sưởi ấm và sản xuất hiđrô.

Tổng công suất chế tạo nhiên liệu vẫn tương đối ổn định, mặc dù được dự báo sẽ tăng trong vài năm tới để đáp ứng nhu cầu gia tăng theo dự báo. Các cơ sở chôn cất nhiên liệu đã sử dụng và chất thải mức cao vẫn chưa hoạt động, khối lượng nhiên liệu đã dùng đang được lưu giữ tiếp tục gia tăng. Lượng gia tăng 10.000 tấn HM (kim loại nặng) nhiên liệu đã qua sử dụng thải ra từ các nhà máy điện hạt nhân trên toàn cầu dẫn đến tổng lượng tích lũy nhiên liệu đã qua sử dụng tăng lên xấp xỉ 370.500 tấn HM.

Các cơ sở chôn cất đối với tất cả các hạng mục chất thải phóng xạ khác, ngoại trừ chất thải phóng xạ mức cao (HLW) và nhiên liệu hạt nhân đã qua sử dụng (SNF) được coi là chất thải, hiện đang được vận hành trên phạm vi toàn thế giới. Cấp giấy phép xây dựng các

cơ sở lưu giữ địa chất đã được tiến hành tại Phần Lan, Pháp và Thụy Điển. Nghiên cứu và phát triển liên quan đến việc lưu giữ HLW và SNF đang được xúc tiến tại nhiều quốc gia thành viên.

Một khối lượng công việc đáng kể đã được thực hiện để ngừng hoạt động các lò phản ứng. Tính đến tháng 12/2013, có 147 lò phản ứng trên thế giới đã được đóng cửa vĩnh viễn, hơn 400 các lò phản ứng nghiên cứu và cơ sở lắp ráp quan trọng, và hàng trăm các cơ sở hạt nhân khác như các cơ sở quản lý chất thải phóng xạ hay chu trình nhiên liệu đã được cho ngừng hoạt động hoặc đang trong quá trình tháo dỡ.

Trong số tất cả các lò phản ứng hạt nhân hiện nay đang hoạt động, có khoảng 40% đã chạy được hơn 30 năm và khoảng 7% vận hành được hơn 40 năm. Mặc dù một số lò vẫn tiếp tục hoạt động đến 60 năm, nhiều lò phản ứng sẽ ngừng hoạt động trong vòng 10 đến 20 năm nữa.

Trong năm 2013, tiến bộ đã đạt được trong hoạt động dọn dẹp các vùng bị ảnh hưởng bởi sự cố Fukushima Daiichi. Nhật Bản đã dành các nguồn lực quan trọng cho việc lập kế hoạch và thực hiện công tác khắc phục tại những nơi bị ô nhiễm lân cận. Các nỗ lực đặc biệt đã được huy động để tạo điều kiện cho những người dân sơ tán trở về nhà của mình. Sự kết hợp giữa các nỗ lực khắc phục và tái thiết, phục hồi cũng đạt được tiến bộ đáng kể.

Với Lò phản ứng thử nghiệm nhiệt hạch quốc tế (ITER) đang được xây dựng, chương trình tổng hợp hạt nhân từ tính (Magnetic fusion) thế giới chuyển sang giai đoạn chú trọng gia tăng vào việc sản xuất năng lượng nhiệt hạch ở quy mô công nghiệp, nhà máy điện. Nhiều quốc gia hiện đang triển khai các kế hoạch và xúc tiến độc lập về các hoạt động NC&PT mới nhằm hướng tới giới thiệu năng lượng nhiệt hạch sẵn sàng cho thương mại hóa. Các kế hoạch và hoạt động còn bao gồm một chương trình DEMO để giới thiệu về nhà máy điện nhiệt hạch, mặc dù lộ trình giới thiệu sản xuất điện từ năng lượng nhiệt hạch vẫn chưa rõ ràng.

Công nghệ hạt nhân tiếp tục đóng góp đáng kể cho việc đạt được các Mục tiêu phát triển thiên niên kỷ. Nhiều quốc gia thành viên tin tưởng rằng năng lượng hạt nhân sẽ đáp ứng các mối quan tâm về biến đổi khí hậu bằng cách làm giảm lượng phát thải cacbon. Các công nghệ phi năng lượng đang tạo ra những đóng góp đáng kể trong các lĩnh vực sức khỏe con người, lương thực và nông nghiệp, quản lý nguồn nước, môi trường biển và đất liền, sản xuất đồng vị phóng xạ và công nghệ bức xạ. Việc sử dụng an toàn và hiệu quả các kỹ thuật y học hạt nhân và xạ trị đang được áp dụng để chẩn đoán và điều trị căn bệnh ung thư đang ngày càng tăng trên toàn cầu và sẽ ảnh hưởng mạnh đến các nước đang phát triển trong những năm tới. Nhiều công nghệ hạt nhân được sử dụng trong nông nghiệp và sản xuất lương thực góp phần cải thiện quản lý đất và tài nguyên đất và phát triển các giống cây trồng có khả năng thích nghi với các điều kiện khắc nghiệt. Các công nghệ khác được sử dụng để cải thiện sức khỏe vật nuôi và tăng sản lượng chăn nuôi, kiểm soát dịch hại côn trùng gây phá hoại mùa màng và làm lây lan bệnh tật ở người và động vật.

Phát triển nông nghiệp bền vững không thể thiếu việc quản lý bền vững các nguồn nước. Các kỹ thuật hạt nhân và đồng vị được sử dụng để đánh giá chính xác lưu lượng, vị trí và tỷ lệ bổ sung các nguồn nước cũng như phát hiện ô nhiễm nước ngầm, cung cấp những thông tin quan trọng cho phát triển các chiến lược dài hạn quản lý nguồn nước. Tính bền vững môi trường được hỗ trợ bằng việc sử dụng các ứng dụng khoa học hạt nhân trong việc phát

hiện và theo dõi các chất ô nhiễm phóng xạ tại các đại dương và vùng ven biển, đánh giá tác động của các chất ô nhiễm này đến các sinh vật biển, các chu trình tuần hoàn cacbon và nhiệt đại dương và cả tác động của biến đổi khí hậu.

Kỹ thuật phóng xạ có tiềm năng giải quyết một loạt các nhu cầu và thách thức về môi trường, sức khỏe cộng đồng và tài nguyên khi được sử dụng trong xử lý nước thải và bùn nước thải. Các nghiên cứu gần đây đã chứng minh tiềm năng phân hủy các hợp chất hữu cơ bằng phóng xạ để chuyển hóa chúng thành các chất ít độc hại hơn hay giảm nồng độ của chúng đến phạm vi cho phép. Tính hữu ích và hiệu quả của công nghệ phóng xạ trong xử lý một loạt các chất ô nhiễm hữu cơ đã được chứng minh đầy đủ ở các quy mô hoạt động khác nhau. Các ứng dụng xử lý nước thải có khả năng hỗ trợ việc tái sử dụng nước thải đã qua xử lý cho tưới tiêu tại các đô thị và phục vụ các mục đích công nghiệp khác, để giúp đối phó với tình trạng khan hiếm nước ngày càng tăng trên toàn thế giới do nhu cầu của con người tăng lên và do biến đổi khí hậu.

Khi dân số tiếp tục tăng trưởng thì nhu cầu cung cấp đủ lương thực cũng tăng lên, cùng với đó là lượng phát thải khí nhà kính phát sinh trong chuỗi sản xuất lương thực, đặc biệt là trong mối tương quan đến chăn nuôi. Các công nghệ hạt nhân mới đóng một vai trò quan trọng trong dinh dưỡng, sức khỏe vật nuôi, sinh sản và lai giống và qua đó đóng góp cho an ninh lương thực bền vững trong khi làm giảm thiểu biến đổi khí hậu thông qua giảm phát thải khí nhà kính.

Ứng dụng công nghệ hạt nhân tại Việt Nam

Ở nước ta, Chiến lược ứng dụng năng lượng nguyên tử vì mục đích hoà bình đến năm 2020 đã được Thủ tướng Chính phủ ban hành theo Quyết định số 01/2006/QĐ-TTg ngày 03/01/2006 trong đó khẳng định mục tiêu “từng bước xây dựng và phát triển ngành công nghiệp công nghệ hạt nhân có đóng góp hiệu quả trực tiếp cho phát triển kinh tế - xã hội và tăng cường tiềm lực khoa học và công nghệ của đất nước”. Kể từ đó đến nay, nhiều hoạt động quan trọng trong lĩnh vực năng lượng nguyên tử ở Việt Nam đã được triển khai thực hiện như: Quốc hội đã phê duyệt và ban hành Luật năng lượng nguyên tử; thông qua chủ trương đầu tư dự án điện hạt nhân Ninh Thuận; phê duyệt Quy hoạch tổng thể phát triển, ứng dụng năng lượng nguyên tử vì mục đích hòa bình đến năm 2020 và các quy hoạch chi tiết triển khai Quy hoạch tổng thể; thành lập Ban chỉ đạo nhà nước dự án điện hạt nhân Ninh Thuận và Ban Chỉ đạo Quốc gia về đào tạo nguồn nhân lực trong lĩnh vực năng lượng nguyên tử;...

Với những quyết định mang tính chiến lược, Việt Nam đã bước vào một thời kỳ mới: phát triển ngành năng lượng nguyên tử với nhiều mục tiêu và kế hoạch quan trọng, trong đó có phát triển điện hạt nhân. Việc phát triển ngành năng lượng nguyên tử ở Việt Nam hiện nay đã đạt được nhiều kết quả nổi bật. Khoa học và kỹ thuật hạt nhân đã được nghiên cứu và ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực góp phần vào sự phát triển kinh tế - xã hội, nâng cao tiềm lực khoa học và công nghệ của đất nước và chất lượng cuộc sống của nhân dân.

Cụ thể, trong lĩnh vực y học hạt nhân, các cơ sở y học hạt nhân ở nước ta hiện đã được trang bị 8 hệ ghi đo gamma in vivo và in vitro, 21 máy SPECT và SPECT/CT, 6 máy PET/CT và 3 Cyclotron (sắp tới sẽ là 7 PET/CT và 4 cyclotron). Tại các Bệnh viện Bạch Mai (Hà Nội), Bệnh viện Chợ Rẫy (TP. Hồ Chí Minh), số lượng bệnh nhân xạ hình SPECT

là khoảng 7.000 - 8.000 ca/năm. Một số bệnh viện có số bệnh nhân xạ hình SPECT trung bình từ 2000 - 3000 ca/năm. Các kỹ thuật xạ hình bằng SPECT và SPECT/CT để điều trị ung thư và di căn, các bệnh tim mạch, hệ tiêu hoá, xương khớp, hô hấp... đã và đang được thực hiện có kết quả cho hàng ngàn bệnh nhân mỗi năm tại các cơ sở có trang bị SPECT & SPECT/CT.

Trong xạ trị, hiện cả nước có 23 cơ sở xạ trị, 4 bệnh viện chuyên khoa ung bướu, trong đó có 3 cơ sở lớn điều trị ung thư có các thiết bị xạ trị hiện đại là Bệnh viện K, Bệnh viện Bạch Mai và Bệnh viện Ung bướu ở TP. Hồ Chí Minh. Ngoài ra còn có một số trung tâm và khoa ung bướu có máy xạ trị ở các bệnh viện đa khoa tỉnh, thành. Về điện quang, có 174 máy chụp cắt lớp vi tính, 51 máy chụp cộng hưởng từ và 21 máy chụp mạch máu, 500 máy X-quang cao tần. Các kỹ thuật cao về điện quang được áp dụng hiệu quả ở những bệnh viện đầu ngành như Bệnh viện Bạch Mai (Hà Nội), Bệnh viện Chợ Rẫy (TP. Hồ Chí Minh).

Trong lĩnh vực nông nghiệp, kỹ thuật hạt nhân đã được nghiên cứu và ứng dụng hiệu quả để tạo giống cây trồng, chế tạo các chế phẩm kích thích tăng trưởng và bảo vệ thực vật, sản xuất phân vi sinh, quản lý đất, nước, phân bón và nghiên cứu bệnh học gia súc. Một số giống cây trồng có giá trị đã được tạo ra bằng kỹ thuật hạt nhân, đặc biệt các giống lúa năng suất, chất lượng cao và thích ứng cho các môi trường sinh thái khác nhau. Những thành tựu của áp dụng kỹ thuật hạt nhân trong nông nghiệp đã góp phần vào Chương trình quốc gia về an ninh lương thực, xuất khẩu lúa gạo và xoá đói giảm nghèo. Việt Nam được Cơ quan Năng lượng nguyên tử quốc tế (IAEA) đánh giá là nước đứng hàng thứ 8 trên thế giới trong lĩnh vực nghiên cứu về đột biến tạo giống, được trao các Giải thưởng thành tựu xuất sắc trong lĩnh vực đột biến tạo giống.

Tính đến thời điểm hết năm 2013, cả nước đã có trên 50 giống cây trồng nông nghiệp được tạo ra bằng phương pháp chiếu xạ gây đột biến, bao gồm các giống lúa, đậu tương, bưởi, ... riêng đậu tương có tới trên 50% diện tích được trồng là các giống được tạo ra bằng phương pháp chiếu xạ. Giống lúa đột biến VND-95-20 là giống chủ lực để xuất khẩu đã chiếm 30% trên tổng số 1 triệu ha đất canh tác tại Đồng bằng Sông Cửu Long. Giống lúa đột biến DT10 được tạo ra trong những năm 1990 và từ đó đến nay đã tạo ra tổng giá trị thu nhập lên đến 3 tỷ USD, tăng thêm 537,6 triệu USD so với việc sử dụng các giống cũ. Giống Khang Dân đột biến đã được tạo ra và nhanh chóng trở thành một giống quan trọng trong sản xuất lúa gạo của Việt Nam.

Trong lĩnh vực địa chất thủy văn và nghiên cứu môi trường, kỹ thuật đồng vị đã được nghiên cứu ứng dụng trong quản lý và khai thác nước ngầm ở thành phố Hồ Chí Minh và các tỉnh Đồng bằng Nam Bộ. Các nghiên cứu về môi trường sử dụng kỹ thuật hạt nhân đã thu được nhiều kết quả trong những năm vừa qua phục vụ tốt nhiệm vụ quan trắc phóng xạ môi trường cũng như đánh giá hiện trạng các nguồn ô nhiễm và công nghệ xử lý. Việc quản lý chất thải và các nguồn phóng xạ đã qua sử dụng từng bước được kiện toàn theo tiêu chuẩn quốc tế. Hiện nay việc thống kê các nguồn phóng xạ đã qua sử dụng đã được hoàn thành. Các cơ sở và thiết bị lưu giữ và điều kiện hoá chất thải phóng xạ được tăng cường và nâng cấp.

Hiện nay nước ta cũng nghiên cứu hoàn thiện và áp dụng ở quy mô công nghiệp các quy trình công nghệ chiếu xạ thanh trùng thủy hải sản, bảo quản nông sản, hoa quả, thuốc đông nam dược, dụng cụ y tế phục vụ xuất khẩu và tiêu dùng trong nước. Làm chủ công nghệ

thiết kế, chế tạo thiết bị chiếu xạ Co-60, phát triển kỹ thuật đánh dấu trong khảo sát mỏ dầu, nghiên cứu sử dụng các chất đánh dấu hoá học, chất đánh dấu tự nhiên bên cạnh chất đánh dấu phóng xạ; phát triển công nghệ đánh dấu pha khí trong mỏ, nghiên cứu ứng dụng phương pháp đánh dấu đa pha cho công nghệ khảo sát chẩn đoán các quá trình công nghiệp.

Sự hợp tác giữa các cơ quan nghiên cứu, ứng dụng và đào tạo về năng lượng nguyên tử ở Việt Nam đã được tăng cường và đẩy mạnh. Các hình thức hợp tác quốc tế đa phương trong khuôn khổ IAEA, RCA và FNCA cũng như song phương với các nước, đặc biệt với Nhật Bản, Hàn Quốc, Ấn Độ, Pháp,... đã tạo ra những cơ hội rất tốt cho việc đào tạo cán bộ về ứng dụng năng lượng nguyên tử trong các ngành kinh tế - xã hội, an toàn bức xạ và hạt nhân, xây dựng luật hạt nhân, quan trắc phóng xạ môi trường.

Việt Nam đã có bước tiến quan trọng trong hội nhập quốc tế về hạt nhân. Việt Nam đã tham gia hầu hết các điều ước, công ước quốc tế về an toàn, an ninh và không phổ biến hạt nhân. Trong hai năm gần đây Việt Nam đã phê chuẩn Nghị định thư bổ sung về thanh sát; Công ước bảo vệ thực thể vật liệu hạt nhân; Công ước chung về an toàn quản lý chất thải phóng xạ và nhiên liệu hạt nhân đã qua sử dụng; hoàn thành chương trình chuyển đổi nhiên liệu hạt nhân độ giàu cao sang nhiên liệu độ giàu thấp tại lò phản ứng nghiên cứu hạt nhân Đà Lạt.

Cùng với việc ứng dụng năng lượng nguyên tử cho phát triển kinh tế-xã hội, hiện nay, Việt Nam cũng đang tích cực triển khai kế hoạch xây dựng và phát triển điện hạt nhân. Qua khảo sát đánh giá các hoạt động phát triển cơ sở hạ tầng điện hạt nhân, IAEA đã kết luận rằng Việt Nam đã đạt được những tiến bộ đáng kể trong phát triển cơ sở hạ tầng điện hạt nhân của giai đoạn 1, là giai đoạn chuẩn bị sẵn sàng để đưa ra quyết định chủ trương triển khai dự án điện hạt nhân đầu tiên. Tuy nhiên Việt Nam cần phải triển khai một khối lượng công việc đáng kể để đạt được Cột mốc số 2, tức là hoàn thành giai đoạn 2 - sẵn sàng mời thầu dự án đầu tiên. Hiện nay, Bộ KH&CN với vai trò là cơ quan điều phối, chủ trì về phát triển cơ sở hạ tầng điện hạt nhân đang nỗ lực thúc đẩy các hoạt động phát triển cơ sở hạ tầng điện hạt nhân theo các khuyến cáo của IAEA để đáp ứng các yêu cầu triển khai Dự án Điện hạt nhân đầu tiên ở Việt Nam an toàn, an ninh và hiệu quả.

Việc phát triển nguồn nhân lực trong lĩnh vực năng lượng nguyên tử trên thực tế vẫn chưa đáp ứng được nhu cầu nâng cao chất lượng, đảm bảo số lượng và cơ cấu nguồn nhân lực cần thiết cho các cơ quan quản lý, nghiên cứu, triển khai, hỗ trợ kỹ thuật phục vụ phát triển cơ sở hạ tầng điện hạt nhân quốc gia, cũng như việc thực hiện quy hoạch tổng thể phát triển, ứng dụng năng lượng nguyên tử.

Phát triển nguồn nhân lực hạt nhân được coi là một trong những yếu tố quan trọng nhất và cần phải được quan tâm đi trước một bước trong các hoạt động nghiên cứu, phát triển và ứng dụng năng lượng nguyên tử. Chương trình điện hạt nhân quốc gia đòi hỏi một số lượng lớn nhân lực cả cho chương trình dài hạn và cho dự án xây dựng những nhà máy điện hạt nhân cụ thể. Việt Nam cần sớm xây dựng một chương trình tổng thể về chuẩn bị nhân lực cho chương trình điện hạt nhân quốc gia và có kế hoạch cụ thể để triển khai thực hiện tốt chương trình này.

Ngoài ra, cần tăng cường phối hợp trong nước và hợp tác quốc tế, đặc biệt với IAEA trong nghiên cứu phát triển hạ tầng điện hạt nhân. Đẩy mạnh hoạt động nghiên cứu về vật lý

hạt nhân, vật lý neutron, vật lý lò phản ứng, điều khiển và tự động, khoa học vật liệu, nhiên liệu hạt nhân, vật liệu chiếu xạ, các nghiên cứu về an toàn phóng xạ, chất thải phóng xạ, xử lý và quản lý chất thải phóng xạ hỗ trợ cho các dự án điện hạt nhân. Đẩy mạnh ứng dụng năng lượng nguyên tử và phát triển điện hạt nhân; tích cực triển khai công tác huấn luyện, bồi dưỡng cán bộ quản lý, pháp quy hạt nhân, đội ngũ chuyên gia nghiên cứu và ứng dụng năng lượng nguyên tử; đẩy mạnh đào tạo sau đại học các chuyên ngành hạt nhân.

Nước ta mới bắt đầu xây dựng điện hạt nhân nên hiểu biết, nhận thức về điện hạt nhân còn chưa đầy đủ, đồng đều trong các bộ phận xã hội. Vì vậy, cần chú trọng đến công tác thông tin, tuyên truyền về điện hạt nhân. Theo IAEA, thông tin, tuyên truyền là một trong 19 vấn đề cần thiết cơ bản của phát triển cơ sở hạ tầng điện hạt nhân. Công tác tuyên truyền và thông tin đại chúng về điện hạt nhân phải đi trước một bước khi triển khai dự án điện hạt nhân và phải tiếp tục thực hiện thường xuyên trong quá trình xây dựng, vận hành và cả khi nhà máy điện hạt nhân dừng hoạt động.

Việt Nam cần xây dựng các chiến lược truyền thông để thông tin tới công chúng, nhằm tạo sự nhận thức và hiểu biết đầy đủ, đúng đắn của các tầng lớp xã hội về tính chất, đặc điểm, sự cần thiết và lợi ích của điện hạt nhân trong việc bảo đảm an ninh năng lượng, phát triển kinh tế-xã hội của đất nước, góp phần nâng cao sự đồng thuận của công chúng cho việc triển khai thành công Dự án điện hạt nhân Ninh Thuận cũng như phát triển điện hạt nhân một cách bền vững ở Việt Nam.

*Biên soạn: **Đặng Bảo Hà**
Nguyễn Lê Hằng
Nguyễn Phương Dung*

PHỤ LỤC

Các quốc gia thành viên của Cơ quan năng lượng nguyên tử quốc tế (IAEA)

AFGHANISTAN	ALBANIA	ALGERIA
ANGOLA	ARGENTINA	ARMENIA
ÔXTRÂYLIA	ÁO	AZERBAIJAN
BAHAMAS	BAHRAIN	BANGLADESH
BELARUS	BỈ	BELIZE
BENIN	BOLIVIA	BOSNIA AND HERZEGOVINA
BOTSWANA	BRAZIL	BRUNEI
BULGARIA	BURKINA FASO	BURUNDI
CAMPHUCHIA	CAMEROON	CANADA
TRUNG PHI		CHAD
CHILE	CHINA	COLOMBIA
CONGO	COSTA RICA	CÔTE D'IVOIRE
CROATIA	CUBA	CYPRUS
CH SEC		CONGO
ĐAN MẠCH	DOMINICA	
ECUADOR	AI CẬP	EL SALVADOR
ERITREA	ESTONIA	ETHIOPIA
FIJI	PHẦN LAN	PHÁP
GABON	GEORGIA	ĐỨC
GHANA	HY LẠP	GUATEMALA
HAITI	HOLY SEE	HONDURAS
HUNGARY	ICELAND	ẤN ĐỘ
INDONESIA	IRAN	IRAQ
IRELAND	ISRAEL	ITALY
JAMAICA	NHẬT BẢN	JORDAN
KAZAKHSTAN	KENYA	HÀN QUỐC
KUWAIT	KYRGYZSTAN	LÀO
LATVIA	LEBANON	
LESOTHO	LIBERIA	LIBYA
LIECHTENSTEIN	LITHUANIA	LUXEMBOURG
MADAGASCAR	MALAWI	MALAI XIA
MALI	MALTA	MARSHALL ISLANDS
MAURITANIA	MAURITIUS	
MEXICO	MONACO	MÔNG CỔ
MONTENEGRO	MOROCCO	MOZAMBIQUE
MYANMAR	NAMIBIA	NEPAL

HÀ LAN	NIU ZILÂN	NICARAGUA
NIGER	NIGERIA	NAUY
OMAN	PAKISTAN	PALAU
PANAMA	PAPUA NEW GUINEA	PARAGUAY
PERU	PHILIPPINES	BA LAN
BỒ ĐÀO NHA	QATAR	MOLDOVA
ROMANIA	LB NGA	RWANDA
SAN MARINO	SAUDI ARABIA	SENEGAL
SERBIA	SEYCHELLES	SIERRA LEONE
SINGAPORE	SLOVAKIA	SLOVENIA
NAM PHI	TÂY BAN NHA	SRI LANKA
SUDAN	SWAZILAND	THỤY ĐIỂN
THỤY SĨ	SYRIA	TAJIKISTAN
THÁI LAN	MACEDONIA	
TOGO	TRINIDAD AND TOBAGO	TUNISIA
THỔ NHĨ KỲ	UGANDA	UKRAINE
CÁC TIỂU VƯƠNG QUỐC Ả RẬP	VƯƠNG QUỐC ANH	BẮC AILEN
TANZANIA	HOA KỲ	URUGUAY
UZBEKISTAN	VIET NAM	VENEZUELA
YEMEN	ZAMBIA	ZIMBABWE

Tài liệu tham khảo

1. Nuclear technology review 2014, International atomic energy agency, Vienna, 2014.
2. Mycle Schneider, Antony Froggatt et al.: World Nuclear Industry Status Report 2014. World Nuclear Association, 2014.
3. Nuclear Energy Agency (NEA), Nuclear power and climate change, OECD, 2010.
4. Mycle Schneider, Antony Froggatt, Nuclear Power in a Post-Fukushima World, Worldwatch Institute, Washington, 4/2011.
5. Nuclear Technology for a Sustainable future, International atomic energy agency, Vienna, 6/2012.