KẾT HỢP MÔ HÌNH PHÁT TÁN HẠT LAGRANGIAN VÀ MÔ HÌNH KHÍ TƯỢNG KHU VỰC TRONG DỰ BÁO PHÁT TÁN PHÓNG XẠ TẠI VIỆT NAM

Kiều Ngọc Dũng[1*], Hoàng Hữu Đức[2], Nguyễn Hào Quang[3], Đinh Văn Thìn[4]

Tóm tắt: *Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu tìm hiểu mô hình phát tán hạt Lagrangian kết hợp với mô hình khí tượng khu vực được tích hợp trong phần mềm Flexpart-Wrf phiên bản 3.3.2 mới nhất và áp dụng trong việc mô phỏng quá trình phát tán phóng xạ trong một tai nạn giả định từ nhà máy điện hạt nhân Cảng Phòng Thành, Trung Quốc. Trong phân tích này, nhóm tác giả đã thực hiện mô phỏng quá trình phát tán chất phóng xạ với 500.000 hạt ^{137}Cs được phát ra tại khu vực nhà máy theo độ phân giải thời gian là 1 giờ. Các kết quả thu được cho thấy sự phù hợp tốt của mô hình sử dụng với quá trình di chuyển của mô hình thời tiết khu vực tại miền Bắc Việt Nam và cho phép dự báo tình hình diễn biến chi tiết với độ tin cậy cao của sự lan truyền phóng xạ từ nhà máy điện hạt nhân Cảng Phòng Thành. Kết quả nghiên cứu sẽ là cơ sở cho các tính toán phân tích, dự báo, hỗ trợ việc đưa ra quyết định và biện pháp phù hợp nhất trong công tác ứng phó sự cố bức xạ hạt nhân và cứu hộ cứu nạn tại Việt Nam.*

Từ khóa: Phát tán phóng xạ; Mô hình Lagrangian; Mô hình khí tượng khu vực; Flexpart-Wrf.; NMĐ hạt nhân Cảng Phòng Thành.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Mô hình phán tán hạt Lagrangian đã được sử dụng rộng rãi để mô phỏng vận chuyển hạt trong khí quyển ở nhiều quy mô và ứng dụng khác nhau, chẳng hạn như phát tán chất ô nhiễm từ các nhà máy nhiệt điện than trong khu vực lân cận hoặc là dự đoán quá trình lan truyền chất phóng xạ trên quy mô lớn [1-4]. Mô hình Lagrangian tính toán quỹ đạo của một số lượng lớn vô hạn các hạt khí nhỏ để mô tả sự vận chuyển của chúng trong không khí và có thể xác định chính xác khí thải từ các nguồn điểm hoặc các nguồn phát thải theo dòng. Đây là một ưu điểm lớn của Lagrangian khi so sánh với mô hình rời rạc Eulerian. Ngoài ra, mô hình Lagrangian còn cung cấp các giải pháp tính toán linh hoạt hơn, điều này dẫn tới việc giảm thiểu chi phí và thời gian tính toán.

Tuy nhiên, các mô hình Lagrangian gặp phải sai số lớn do nội suy trong không gian và thời gian của các trường khí tượng mô phỏng. Bên cạnh đó, việc trộn đều các hạt trong thuật toán có thể không đạt được độ chính xác cần thiết khi mà các quá trình chảy rối của khí tượng không được cung cấp đầy đủ.

Hiện nay, mô hình Lagrangian được tích hợp trong các chương trình tính toán như HYSPLIT, STILT và FLEXPART. Các phiên bản FLEXPART ban đầu sử dụng dữ liệu khí tượng toàn cầu từ Trung tâm dự báo khí tượng tầm trung Châu Âu (ECMWF) hoặc Trung tâm Dự đoán môi trường Quốc gia (NCEP). Phần mềm FLEXPART đã được xác nhận bằng nhiều kết quả thực nghiệm của nhiều nhóm nghiên cứu khác nhau trên thế giới.

Phần mềm FLEXPART chủ yếu được sử dụng với đầu vào dữ liệu từ các mô hình khí tượng toàn cầu, tuy nhiên, các tham số nhiễu loạn lớp biên hành tinh PBL (Planetary Boundary Layer) lại dựa trên dữ liệu thu được từ các thí nghiệm quy mô nhỏ. Do đó, các tham số nhiễu loạn này chỉ phù hợp với quy mô địa phương và khu vực. Điều này đòi hỏi phải phát triển phiên bản FLEXPART mà có thể sử dụng được các mô hình khí tượng khu vực, từ đây mô hình kết hợp FLEXPART-WRF ra đời.

Phiên bản FLEXPART sử dụng mô hình WRF (Weather Research and Forecasting Model) được phát triển tại Phòng thí nghiệm Quốc gia Tây Bắc Thái Bình Dương (PNNL)

và được đổi tên thành PILT. Định dạng dữ liệu đầu vào và toàn bộ miền tính toán được thay đổi để phù hợp với hệ tọa độ từ WRF. Gần đây, một phiên bản mới được phát triển tại Viện Nghiên cứu khoa học Môi trường (CIRES) của Đại học Colorado dưới sự hợp tác với Viện nghiên cứu Khí quyển Na Uy (NILU), Viện Năng lượng của Đại học Kỹ thuật Catalonia (INTE) và Trung tâm siêu máy tính thuộc Đại học Alaska Bắc Cực (ARSC). Phiên bản mới này đã được kiểm chứng thành công trong các thử nghiệm vận chuyển chất ô nhiễm ở quy mô khu vực trong địa hình phức tạp.

Phần mềm kết hợp FLEXPART-WRF sử dụng các đặc điểm chính của PILT và FLEXPART v9.02 cho phép sử dụng dữ liệu gió khác nhau, đặc biệt là khả năng tính toán song song cho hiệu quả tính toán cao hơn nhiều lần so với các phiên bản trước đó. Hiện nay, phiên bản mới nhất đang được sử dụng là FLEXPART-WRF v3.3.2.

Trong bài báo này, chúng tôi sẽ trình bày các tính năng mới nhất hiện có trong phần mềm FLEXPART-WRF v3.3.2 và một số kết quả mô phỏng quá trình phát tán chất phóng xạ giả định trong điều kiện khí tượng khu vực của miền Bắc Việt Nam. Nội dung này dựa trên thực tế những năm gần đây, Trung Quốc đã và đang xây dựng, vận hành nhiều tổ máy điện hạt nhân trong phạm vi lân cận với biên giới của chúng ta. Do vậy, chúng ta cần có những hiểu biết và dự báo chính xác về những ảnh hưởng phóng xạ trong trường hợp xảy ra những tai nạn hạt nhân tại các nhà máy này.

Bài báo này được chia thành 3 phần chính: Phần 1 đưa ra vấn đề cần phải giải quyết; Phần 2 sẽ trình bày chi tiết về phương pháp để giải quyết vấn đề được đưa ra; Phần 3 sẽ trình bày về một số kết quả thu được; Cuối cùng là phần 4 sẽ đưa ra tổng kết, đánh giá và kết luận cho toàn bộ nghiên cứu.

2. MÔ HÌNH KẾT HỢP FLEXPART-WRF v3.3.2

2.1. Mô hình khí tượng khu vực WRF

WRF là hệ thống mô hình được sử dụng cho các dự báo và ứng dụng phân tích khác nhau, từ quy mô khu vực đến quy mô toàn cầu. WRF bao gồm nhiều tham số cho các quá trình lớp biên, đối lưu, vi vật lý, bức xạ, các quá trình bề mặt, và một số tùy chọn khác. Để xác nhận được mô hình WRF có phù hợp với một khu vực cụ thể hay không, thì người dùng cần phải so sánh kết quả mô phỏng với thực tế trước khi sử dụng cho FLEXPART [1, 2].

WRF là một mô hình khu vực phi thủy tĩnh, nó sử dụng các phương trình nhiễu loạn liên quan đến trạng thái cơ bản của thủy tĩnh khô. Một số biến khí tượng theo yêu cầu của FLEXPART cần phải được tính từ giá trị cơ bản trên và sự nhiễu loạn từ kết quả lối ra của WRF. WRF sử dụng áp suất để theo dõi các tọa độ địa hình và các biến dự báo được phân chia theo trọng số, do vậy, mà duy trì được sự bảo toàn về khối lượng.

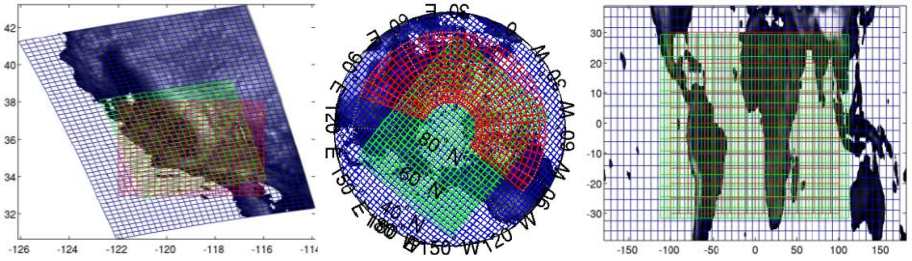
Mô đun tiền xử lý WPS (WRF Pre-processing System) sẽ thiết lập miền tính toán, hình chiếu địa lý và độ phân giải cả theo phương ngang và theo phương dọc, từ đó nội suy các trường khí tượng. Các thông số này sẽ được sử dụng làm điều kiện ban đầu và điều kiện biên cho bài toán phân tích. WPS cũng chuẩn bị và báo cáo lại dữ liệu tĩnh cho các lần chạy, bao gồm cả sử dụng dữ liệu mặt đất và độ cao không gian.

Sự lựa chọn dữ liệu khí tượng cho việc khởi tạo ban đầu, mô hình hóa mặt đất, sơ đồ các lớp biên và đối lưu sẽ quyết định trực tiếp đến độ chính xác của WRF. Chẳng hạn như, nội suy độ ẩm của đất từ mô hình toàn cầu sẽ gây ra sai số lớn cho WRF, hoặc là nếu như chúng ta sử dụng mô hình nhiễu loạn TKE (Turbulent Kinetic Energy) đối với lớp biên trong WRF thì cần phải cung cấp một sơ đồ mô tả TKE trong FLEXPARTtương ứng. Sự lựa chọn có hay không sử dụng sơ đồ đối lưu trong WRF phụ thuộc vào tình hình cụ thể. Nhà phát triển khuyến khích sử dụng sơ đồ đối lưu cho khoảng cách lưới ngang lớn hơn 30 km, sơ đồ đối lưu nói chung không được thiết kế cho khoảng cách lưới dưới 10 km. Hiện

tại không có quy tắc chung cho khoảng cách lưới trung gian. Tuy nhiên, nếu chúng ta sử dụng sơ đồ đối lưu trong miền WRF thì cũng phải khai báo trong FLEXPART.

2.2. Phiên bản FLEXPART-WRF v3.3.2

FLEXPART-WRF v3.3.2 có thể xử lý các phép chiếu bản đồ khác nhau mà mô hình WRF cung cấp. Hình 1 trình bày các phép chiếu thường được sử dụng trong WRF [1]:



Hình 1. *Phép chiếu bảo giác Lambert (trái), địa cực (giữa) và Mercator (phải) [1].*

Các ô lưới màu xanh đại diện cho lưới trung tâm của lưới Arakawa C được sử dụng trong WRF. Các lưới màu xanh lá cây và màu đỏ đại diện cho hai phép chiếu đầu ra FLEXPART khác nhau.

Để tiến hành phân tích trên FLEXPART, các dữ liệu trường khí tượng khác nhau từ WRF là cần phải được cung cấp. Bảng 1 trình bày danh sách các biến cần thiết để chạy FLEXPART-WRF.

Trường khí tượng quan trọng nhất để tính toán được tầng bình lưu của không khí là trường 3D của gió theo cả phương ngang và phương thẳng đứng. Trường kinh độ và vĩ độ 2D cũng được sử dụng để xác nhận sự phù hợp của phép chiếu tọa độ trong FLEXPART. Hệ số bản độ để tính toán độ lệch của phép chiếu, trường áp suất 3D để tính toán mật độ và sự lan truyền theo phương thẳng đứng. Trường trọng lực để nội suy tọa độ thẳng đứng của WRF sang tọa độ của FLEXPART. Trường độ ẩm và nhiệt độ sẽ giúp cho việc tính toán mật độ của khí và các thông số biên hành tinh. Ngoài ra, còn nhiều biến tùy chọn khác dành cho từng trường hợp cụ thể khác nhau, chẳng hạn như RAINNC dùng để tính toán việc rơi lắng ướt,…

Bảng 1. *Một số biến WRF cần thiết để phân tích trên FLEXPART-WRF [1, 2].*

Biến	Chiều	Mô tả
ZNW	1D	Giá trị sigma của cấp độ đầy đủ.
ZNU	1D	Giá trị sigma của cấp độ một nửa.
PB	3D	Giá trị áp suất cơ sở
P	3D	Độ nhiễu loạn của áp suất
PHB	3D	Giá trị cơ sở của trọng lực
PH	3D	Giá trị nhiễu loạn của trọng lực
T	3D	Nhiệt độ
QVAPOR	3D	Độ ẩm cụ thể
TKE	3D	Động năng rối.
XLAT	2D	Vĩ độ
XLONG	2D	Kinh độ
MAPFAC	2D	Hệ số bản đồ
PSFC	2D	Áp suất bề mặt

Trong FLEXPART-WRF, tất cả các tệp đầu vào đã được hợp nhất vào một tệp điều khiển duy nhất. Định dạng của tệp đầu vào cho phép người dùng dễ dàng xác định tên đường dẫn của thư mục chứa dữ liệu khí tượng và vị trí tệp đầu ra của FLEXPART.

Bên cạnh các chuyển đổi thông thường được tìm thấy trong các phiên bản khác, FLEXPART-WRF sử dụng hai chức năng chuyển đổi mới cho phép người dùng điều khiển thông tin trường gió đầu vào: WIND_OPTION cho sự lựa chọn của gió tức thời với vận tốc dọc của Cartesian W (tùy chọn =0), gió trung bình theo thời gian (tùy chọn 1); Tùy chọn thứ hai, TIME_OPTION, có thể được sử dụng để chuẩn lại thời gian tham chiếu của các trường gió trung bình theo thời gian so với các trường tức thời khác của WRF.

Tốc độ thay đổi nồng độ của một hạt nhân phóng xạ trong mô hình Lagrangian có thể được biểu diễn thông qua phương trình số (1) dưới đây [6]:

$$\frac{\partial c_i}{\partial t}+u_x\frac{\partial c_i}{\partial x}+u_y\frac{\partial c_i}{\partial y}+u_z\frac{\partial c_i}{\partial z}=\frac{\partial}{\partial x}\left(K_{xx}\frac{\partial c_i}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(K_{yy}\frac{\partial c_i}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(K_{zz}\frac{\partial c_i}{\partial z}\right)$$
$$+R_i\left(c_1,c_2,c_3,...c_n,\right)+E_i\left(x,y,z,t\right)-S_i\left(x,y,z,t\right) \quad (1)$$

Trong đó: C_i là nồng độ của hạt nhân phóng xạ, ng/m^3; u_x, u_y, u_z là vận tốc di chuyển theo tọa độ x, y, z tương ứng, m/s; t là thời gian, s; K_{xx}, K_{yy}, K_{zz} là hệ số nhiễu loạn của mô hình khí tượng; R_i là các phản ứng hóa học có thể xảy ra; E_i là nguồn phát ra chất phóng xạ; S_i là nguồn mất mát của chất phóng xạ đó.

FLEXPART-WRF cho phép khả năng tính toán song song trên các hệ máy chủ có cấu hình cao, giúp cho việc tính toán hiệu quả hơn rất nhiều so với các mô hình khác. Bên cạnh đó, mô hình toán học Lagrangian cho phép tính toán cho từng vị trí mà các hạt phát tán đến, chứ không phải thực hiện phép tính cho toàn bộ không gian trong mô hình. Điều này càng giúp cho FLEXPART-WRF có khả năng thực hiện phép tính với số lượng hạt theo dõi lớn hơn. Đây là một ưu điểm rất lớn của FLEXPART-WRF, đặc biệt là trong các bài toán liên quan tới phát thải chất ô nhiễm trong một vùng diện tích lớn. Người dùng có thể khai báo lệnh chạy song song trong tệp makefile.mom bằng lệch OMP hoặc MPI dựa trên hệ thống máy tính cụ thể. Người dùng có thể cài đặt số nhân và luồng của máy tính thông qua lệnh OMP_NUM_THREADS. Thời gian cần thiết để chạy FLEXPART-WRF chủ yếu bởi thời gian cần thiết để đọc tệp đầu ra WRF và nội suy chúng lên tọa độ dọc FLEXPART và số lượng hạt ngẫu nhiên ban đầu được sử dụng trong mô phỏng. Số lượng hạt này càng lớn, sai số thống kê của tệp đầu ra FLEXPART-WRF càng nhỏ.

Để kết hợp dữ liệu khí tượng vào FLEXPART, FLEXPART-WRF định nghĩa miền tính toán, đặc điểm và thông số kỹ thuật lưới từ dữ liệu khí tượng đầu vào. Trong trường hợp một cấu hình đầu vào được lồng nhau, miền thô nhất và lớn nhất sẽ được dùng để xác định phạm vi địa lý của miền tính toán. Đầu ra của WRF có thể chưa các phép chiếu hệ tọa độ khác nhau, FLEXPART-WRF sẽ sử dụng tọa độ ngang giống như trong WRF. Các tọa độ x và y là được tính bằng mét từ phía góc dưới bên trái của miền đầu ra WRF.

FLEXPART-WRF đọc thông tin phép chiếu để chuyển đổi tọa độ WRF vào tọa độ vĩ độ và kinh độ nếu cần thiết. FLEXPART-WRF sử dụng mô đun cmapf_mod.f90 và wrf_map_utils.f90 và map_proj_wrf.f90 để chuyển đổi qua lại giữa các tọa độ WRF và vĩ độ/kinh độ cho phép chiếu bảo giác Lambert, địa cực và Mercator. FLEXPART-WRF kiểm tra độ không đảm bảo trong các biến đổi phép chiếu trước khi bắt đầu phép tính, sử dụng các trường vĩ độ và kinh độ 2D từ WRF. FLEXPART-WRF sẽ dừng chạy nếu độ lệch lưới lớn hơn 2% theo chiều ngang.

Khi xem xét tới phát tán phóng xạ thì có hai quá trình rất quan trọng mà phải tính đến đó là quá trình rơi lắng khô và ướt. Các phiên bản trước đây không phân biệt được quá trình lắng đọng ướt ở trong đám mây hay phía dưới đám mây. Đối với tất cả các thông số khí tượng, mỗi giá trị được gán đến từng hạt bằng phương pháp nội suy lân cận gần nhất, cả về thời gian và không gian. Phương pháp này đôi khi có thể dẫn đến các mô hình không thực tế trong các tính toán lắng đọng hạt.

FLEXPART-WRF đã được viết để xử lý rõ các quá trình trên đối với các khí và sol khí khác nhau, các thông tin về cơ sở và đỉnh của đám mây là cần thiết và được nội suy thành trường độ ẩm tương đối đầu vào. Sơ đồ mới được thực hiện trong FLEXPART-WRF theo năm bước như sau [1-4]:

(1) FLEXPART-WRF không sử dụng dữ liệu mây 3D từ WRF.

(2) Các đám mây 3D được chẩn đoán khác nhau, giá trị ban đầu được lấy bằng 90% của độ ẩm tương đối được lấy làm ngưỡng cho sự tồn tại của đám mây và để có được độ cao và cơ sở của đám mây. Nếu lượng mưa tồn tại nhưng không có đám mây nào được chẩn đoán, thì ngưỡng độ ẩm tương đối được giảm xuống 5% cho đến khi một đám mây được phát hiện. Nếu độ ẩm tương đối giảm xuống 30%, lượng mưa chủ yếu là đối lưu và FLEXPART phát hiện chỉ một đám mây với đỉnh 6 km, sau đó, FLEXPART gán lại độ dày của đám mây theo cường độ lượng mưa: từ 0,5 km đến 8 km đối với lượng mưa yếu; và từ 0 km đến 10 km đối với lượng mưa lớn.

(3) Cơ sở và đỉnh của đám mây được nội suy đến vị trí từng hạt. Các ô lưới lân cận không có các đám mây được chẩn đoán thì sẽ không được xem xét trong nội suy.

(4) Nếu không có đám mây nào được chẩn đoán, nhưng lượng mưa vượt quá tỷ lệ mưa tối thiểu, thì FLEXPART-WRF sử dụng cách tính của các phiên bản trước.

(5) Các biến đổi trong quy mô nhỏ hơn một lưới đều không được tính đến trong FLEXPART-WRF.

Sơ đồ tính toán mới này giúp nâng cao độ chính xác của lắng đọng ướt và có tính đến thời gian sống của các hạt nhân phóng xạ.

Đối với bài toán lắng đọng khô thì FLEXPART-WRF sử dụng thuật toán giống như trong các phiên bản FLEXPART trước đó.

Đối với tệp lối ra của FLEXPART-WRF, người dùng có ba lựa chọn: thứ nhất là có thể lấy thông tin lối ra theo từng hạt (vị trí, không gian, thời gian, khối lượng) sử dụng lệnh IPOUT; Lựa chọn thứ hai là xuất ra tâm khối lượng và vị trí chùm hạt cùng với thông tin bổ sung (phần trăm của không khí tầng đối lưu, chiều cao PBL,…) bằng cách sử dụng lệnh IOUT = 4 hoặc 5; Lựa chọn thứ ba là lấy thông tin phân bố của mỗi hạt theo từng lưới.

Tệp lối ra có lưới FLEXPART-WRF được định dạng dưới dạng tệp nhị phân hoặc tệp NetCDF. Định dạng nhị phân là được nén bởi FLEXPART bằng thuật toán được thiết kế tùy chỉnh làm giảm đáng kể kích thước của ma trận dữ liệu nếu có nhiều giá trị 0. Các chương trình Fortran, Matlab và Python có sẵn để đọc tệp lối ra FLEXPART. Định dạng NetCDF sử dụng thư viện NetCDF-4 để nén tệp lối ra của FLEXPART-WRF. Tiêu đề một tệp lối ra bao gồm vĩ độ, kinh độ và thông tin về mô phỏng. Một tệp lối ra NetCDF FLEXPART-WRF có thể bao gồm các trường lắng đọng ướt và khô, nồng độ, tỷ lệ pha trộn và các điểm theo dõi hạt, và các loại hạt được phân tích. Định dạng đầu ra NetCDF FLEXPART-WRF có thể được đọc và hiển thị bằng các công cụ trực quan phổ biến như NCAR hay Pflexible.

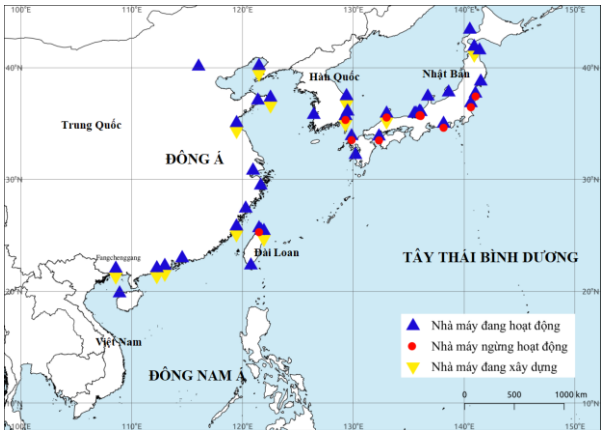
3. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG SỬ DỤNG FLEXPART-WRF

3.1. Số liệu đầu vào và công cụ mô phỏng

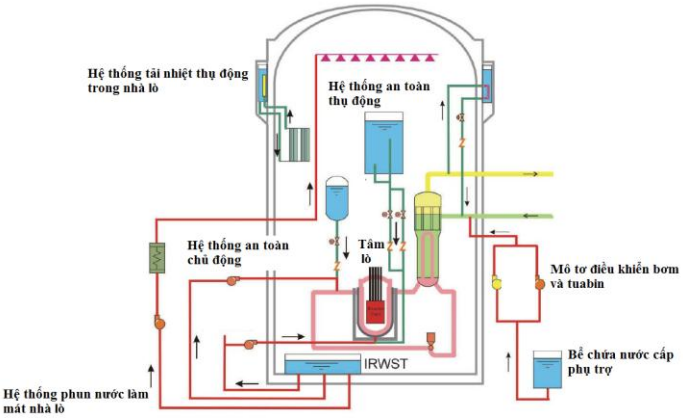
Việt Nam nằm trong khu vực Đông Nam Á, nơi tiếp giáp khu vực Đông Á hiện có 4 quốc gia và lãnh thổ có nhà máy điện hạt nhân đang hoạt động, bao gồm: Trung Quốc, Đài Loan, Nhật Bản và Hàn Quốc. Tổng số 48 nhà máy điện hạt nhân với 157 tổ máy, trong đó, 116 tổ máy đang hoạt động, 20 tổ máy đang xây dựng và 21 tổ máy đã ngừng hoạt động. Tính đến hết năm 2018, Trung Quốc có số lượng tổ máy đang hoạt động lớn nhất với 46 tổ máy. Trong phạm vi cách biên giới nước ta 1000 km có 18 tổ máy đang hoạt động và 4 tổ máy đang xây dựng đều thuộc về Trung Quốc. Các tổ máy bao gồm các thế hệ lò II, II+, III và III+. Trong đó, đặc biệt phải kể đến nhà máy điện hạt nhân Cảng Phòng

Thành (Fangchenggang) được xây dựng tại Cảng Phòng Thành thuộc khu tự trị Quảng Tây, Trung Quốc. Nhà máy cách biên giới nước ta chưa đầy 50 km, cách thủ đô Hà Nội khoảng chừng 250 km [5].

Tổng cộng có 6 lò phản ứng đang lên kế hoạch để hoạt động ở Cảng Phòng Thành. Tổ máy 1 và 2 với công nghệ CPR-1000 có công suất mỗi tổ máy 1000 MW đã đi vào hoạt động, tổ máy 3 và 4 dựa trên công nghệ HPR1000 đang trong quá trình xây dựng. Công nghệ CPR-1000 ở tổ máy 1 và 2 NMĐHN Cảng Phòng Thành là lò phản ứng nước áp lực PWR thế hệ II+, dựa trên thiết kế PWR công suất 900 MW với ba vòng làm mát của Pháp, được Trung Quốc nhập khẩu năm 1990 và cải tiến để có công suất 1000 MW với tuổi thọ khoảng 60 năm [5].



Hình 2. *Bản đồ các nhà máy điện hạt nhân khu vực Đông Á [5].*



Hình 3. *Cấu hình chính của lò phản ứng HPR1000 [5].*

Các nhà máy điện hạt nhân công nghệ nước áp lực đều sử dụng nhiên liệu là UO_2 được làm giàu ^{235}U lên khoảng 3-5%. Khi ^{235}U xảy ra phản ứng phân hạch dây chuyền với notron nhiệt thì sẽ tạo ra rất nhiều mảnh phân hạch, đi kèm với đó sẽ là năng lượng nhiệt khoảng 200MeV. Các mảnh phân hạch được giữ lại trong lớp vỏ bọc nhiên liệu cho đến khi chúng được lấy ra và chuyển đến các bể lưu trữ, trước khi được xử lý.

Tuy nhiên, nếu vì một lý do chủ quan hoặc khách quan nào đó, dẫn tới việc xảy ra các tai nạn nghiêm trọng đối với các nhà máy hạt nhân này, thì một lượng lớn chất phóng xạ có thể thoát ra ngoài môi trường và gây ra hệ lụy kéo dài cho con người và các loài sinh vật khác. Đặc biệt trong số đó có đồng vị ^{137}Cs, đồng vị này có thời gian bán rã là 30.07 năm, và phát xạ ra bức xạ gamma có năng lượng 661.62keV. Đây là nhân phóng xạ được nhóm tác giả lựa chọn để tiến hành phân tích trong các mô hình.

Bảng 2 trình bày một số thông số quan trọng trong mô hình WRF để tạo ra mô hình khí tượng đầu vào cho phần mềm Flexpart.

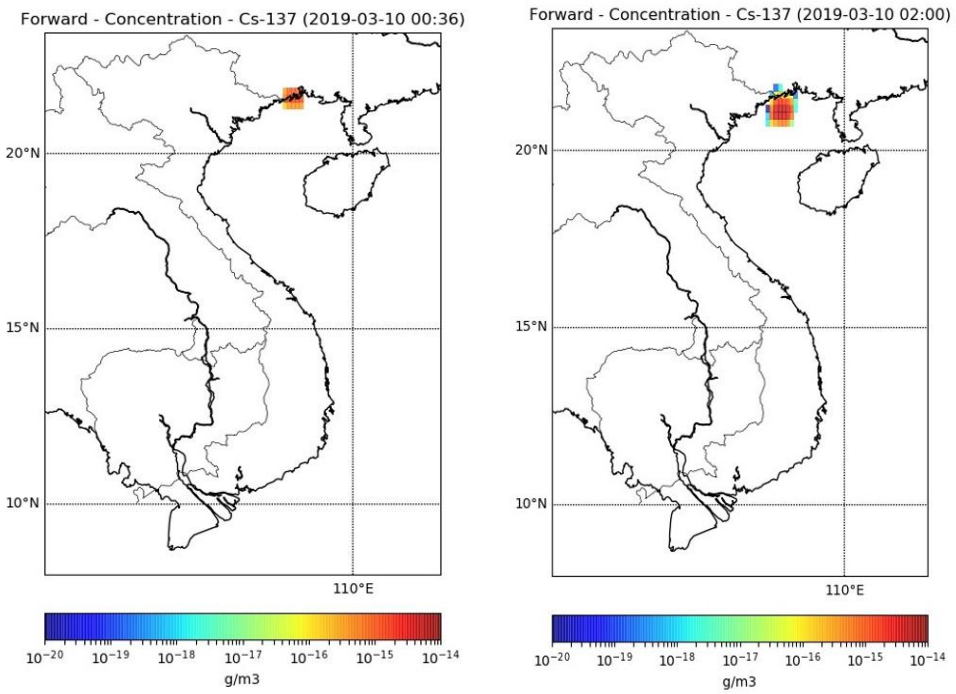
Bảng 2. *Thiết lập WRF để mô phỏng khí tượng cho FLEXPART [2].*

STT	Thông số	Sơ đồ cấu hình
1	Tệp dữ liệu điều kiện ban đầu	Dữ liệu dự báo GFS
2	Độ phân giải lưới	6km
3	Phép chiếu bản đồ	Mercator
4	Vi vật lý	Sơ đồ Ferrier
5	Bức xạ sóng dài	Sơ đồ mô hình chuyển đổi bức xạ nhanh
6	Bức xạ sóng ngắn	Sơ đồ Dudhia
7	Lớp bề mặt	Sơ đồ tương tự MM5
8	Bề mặt mặt đất	Sơ đồ Noah
9	Lớp biên hành tinh	Sơ đồ YSU
10	Tham số mây tích	Sơ đồ Betts-Miller-Janjic

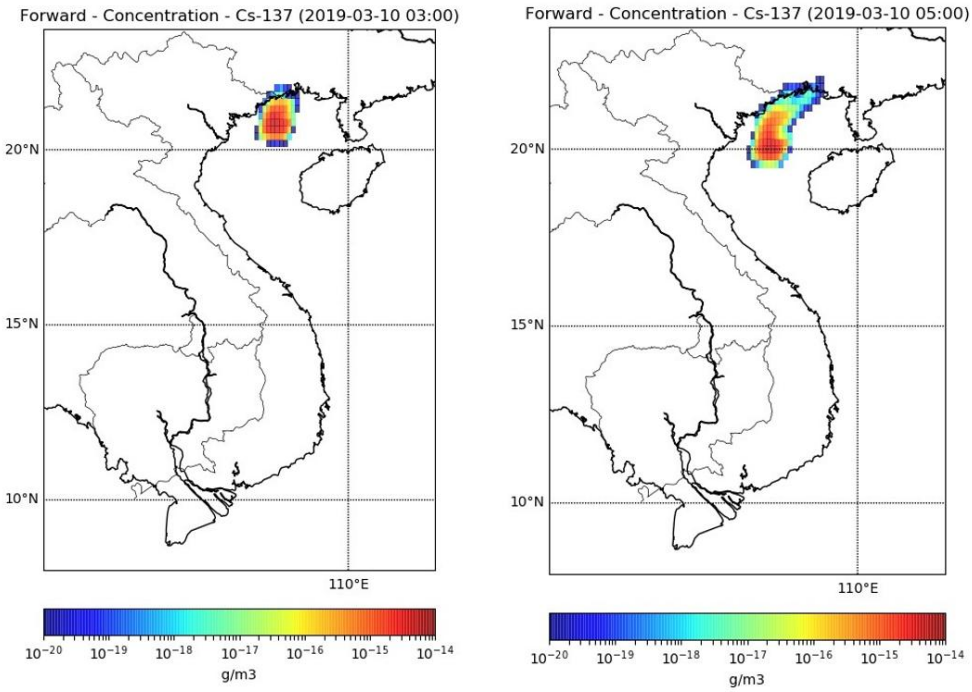
Trong phân tích này, nhóm tác giả đã sử dụng FLEXPART-WRF để mô phỏng quá trình phát tán chất phóng xạ ^{137}Cs từ một kịch bản tai nạn giả định tại nhà máy điện hạt nhân Cảng Phòng Thành. Mô phỏng đã thực hiện với 500.000 hạt ^{137}C được phát ra tại khu vực nhà máy, vĩ độ là 21,694929 và kinh độ là 108.370895, thời gian bắt đầu từ 00:36 ngày 2019/03/10 đến 06:00 ngày 2019/03/11. Mô phỏng này chạy trên máy tính hiệu năng cao (HPC) với 88 luồng Intel Xeon E5-2699 2.2 GHz của Viện Hóa học Môi trường quân sự.

3.2. Kết quả mô phỏng và bình luận

Sau khi thiết lập và chạy chương trình phân tích khí tượng khu vực WRF, thì kết quả về các trường khí tượng được xác định và chuyển sang mô hình của Flexpart. Sau đó, phần mềm Flexpart sẽ tiến hành chạy mô phỏng theo thông số cài đặt như đã được trình bày ở phần trên, các kết quả thu nhận được như sau:



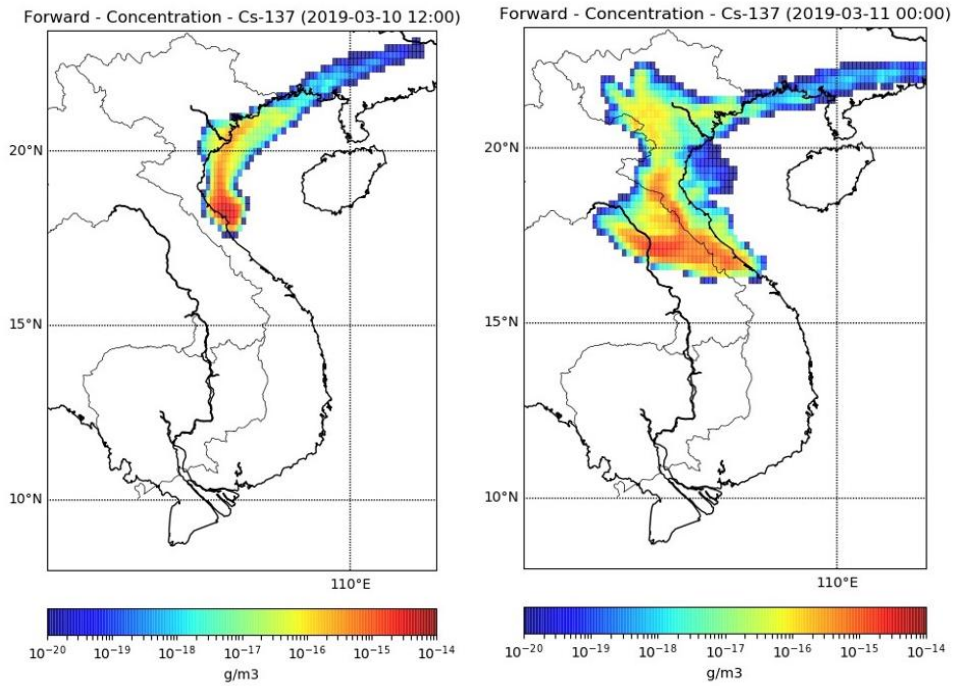
Hình 4a. *Nồng độ của ^{137}Cs tại thời điểm 0h36 và 2h00 ngày 10/3/2019.*



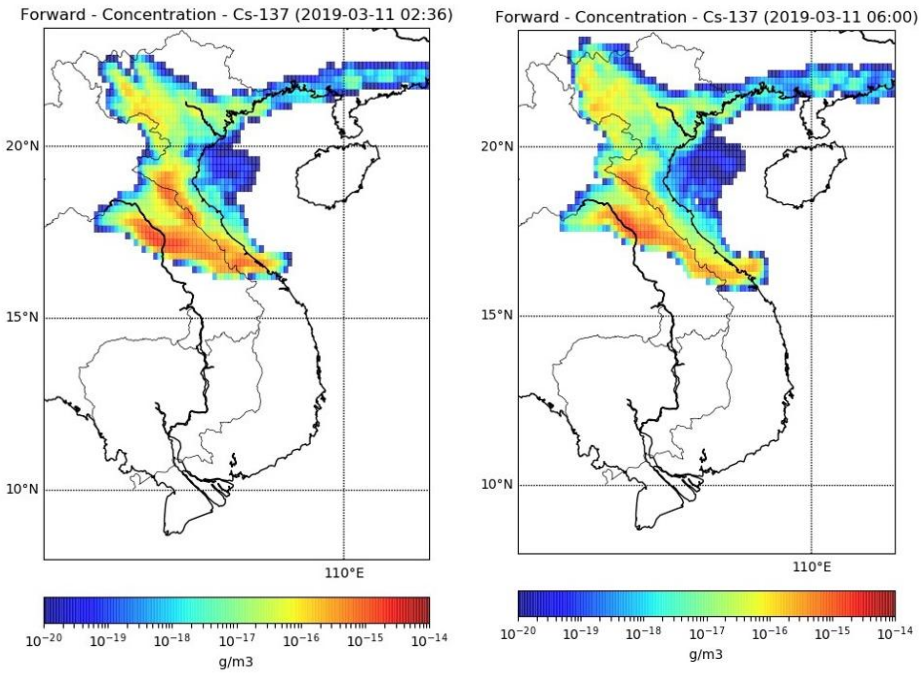
Hình 4b. *Nồng độ của ^{137}Cs tại thời điểm 3h00 và 5h00 ngày 10/3/2019.*

Từ những kết quả thu được, chúng ta thấy rằng, trong 5 giờ đồng hồ đầu tiên ngay sau sự số, sự phát tán phóng xạ ^{137}Cs phát triển chậm và hầu như không đi vào vùng lãnh thổ của Việt Nam như hình 4a và 4b.

Tại thời điểm 12 giờ sau sự cố, một phần nhỏ của ^{137}Cs đã phát tán về phía lãnh thổ Trung Quốc, còn lại phần lớn Cs^{137} đã đi vào vùng lãnh thổ Việt Nam như hình 4c *(trái).*



Hình 4c. *Nồng độ của ^{137}Cs tại thời điểm 12h00 ngày 10/3/2019 và 0h00 ngày 11/3/2019.*



Hình 4d. *Nồng độ của ^{137}Cs tại thời điểm 2h36 và 6h00 ngày 11/3/2019.*

Tại thời điểm 24 giờ sau sự cố, Thủ đô Hà Nội và gần như toàn bộ Trung du và Đồng bằng Bắc bộ đều bị ảnh hưởng của vùng phóng xạ lan tới như hình 4c *(phải)*.

Tại thời điểm 30 giờ trở đi, toàn bộ miền Bắc Việt Nam và một phần lãnh thổ Lào đã nằm trong phạm vi nhiễm phóng xạ ^{137}Cs từ sự cố tại nhà máy điện hạt nhân Cảng Phòng Thành như hình 4d.

Các kết quả thu được từ mô hình cho thấy, có sự phù hợp với quá trình di chuyển của mô hình thời tiết khu vực tại miền Bắc Việt Nam. Do sự hạn chế của các nghiên cứu về phát tán phóng xạ cho khu vực Việt Nam nên những kết quả này chưa thể kiểm chứng và so sánh với những mô hình khác. Trong một số nghiên cứu đã công bố trước đó, các tác giả khác cũng có sử dụng mô hình phát tán hạt Lagrangian, nhưng các điều kiện về khí hậu và thời gian không đồng nhất.

4. KẾT LUẬN

Phần mềm FLEXPART kết hợp với mô hình khí tượng WRF là một công cụ phù hợp cho bài toán mô phỏng phát tán chất ô nhiễm nói chung, và chất phóng xạ nói riêng từ các nhà máy công nghiệp ở Việt Nam cũng như trên toàn thế giới.

Các kết quả mô phỏng thu được từ phiên bản FLEXPART-WRF v3.3.2 có độ tin cậy cao hơn so với các phiên bản trước đó, do phần mềm này sử dụng nhiều chức năng cập nhật mới và đặc biệt là việc sử dụng dữ liệu khí tượng khu vực. Dữ liệu khí tượng khu vực sẽ mang lại các thông số chính xác hơn đối với từng khu vực cụ thể trong sự so sánh với dữ liệu khí tượng toàn cầu.

Các tính toán ban đầu này là một phần trong nhiều tính toán khác mà nhóm tác giả đã và đang thực hiện nhằm đưa ra được một bộ các thông số tối ưu, sát thực nhất đối với khu vực có địa hình và khí hậu phức tạp như ở Việt Nam. Mục đích của các nghiên cứu này là cung cấp các thông tin cần thiết, góp phần vào việc chuẩn bị cho các kịch bản ứng phó sự cố khẩn cấp toàn quốc, nếu như có một sự cố hạt nhân xảy ra trong phạm vi lân cận với lãnh thổ nước ta.

Lời cảm ơn: *Bài báo này được hỗ trợ từ chương trình Nghiên cứu kỹ thuật, an toàn hạt nhân bảo đảm sẵn sàng chiến đấu cho Quân đội giai đoạn 2016 - 2020 định hướng tới những năm tiếp theo, mã số: KC.AT, tên đề tài "Nghiên cứu ảnh hưởng của Nhà máy điện hạt nhân nổi trên biển và các nhà máy điện hạt nhân trên đảo Hải Nam tới môi trường biển Việt Nam bằng các phương pháp mô phỏng mô hình và xây dựng Kế hoạch ứng phó với các sự cố hạt nhân xảy ra trên biển".*

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. J. Brioude, D. Arnold, A. Stohl, M. Cassiani, D. Morton, P. Seibert, W. Angevine, S. Evan, A. Dingwell, J. D. Fast, R. C. Easter, I. Pisso, J. Burkhart, and G. Wotawa , *"The Lagrangian particle dispersion model FLEXPART-WRF version 3.1",* Geosci. Model Dev., 6, 1889–1904, 2013.

[2]. Https://www.flexpart.eu/.

[3]. A. Stohl, H. Sodemann, S. Eckhardt, A. Frank, P. Seibert, and G. Wotawa, *"The Lagrangian particle dispersion model FLEXPART version 8.2".*

[4]. Ignacio Pisso, Espen Sollum , Henrik Grythe eta al. *"The Lagrangian particle dispersion model FLEXPART version 10.4".* Geosci. Model Dev., 12, 4955–4997, 2019.

[5]. Phạm Kim Long, Luận án Tiến Sĩ, *"Nghiên cứu và ứng dụng chương trình Flexpart trong đánh giá phát tán phóng xạ tầm xa", 2019*.

[6]. Https://www.flexpart.eu/, *"Flexpart Training 2019".*

ABSTRACT

COMBINATION OF LAGRANGIAN PARTICLE DISPERSION MODEL WITH WEATHER RESEARCH AND FORECASTING IN PREDICTION OF RADIATION TRANSPORTATION IN VIETNAM

The paper presents the research results to find out the Lagrangian particle dispersion model combined with the Weather Research and Forecasting Model integrated into the latest Flexpart-Wrf software version 3.3.2 and applied in the radioactive emission process simulation in a hypothetical accident from the nuclear power plant of Fangchenggang, China. In this analysis, the authors simulated the dispersing process of radioactive material with 500,000 ^{137}Cs of particles emitted in the factory area at a time with 1-hour resolution. The results show a good fit of the model used with the movement of the regional weather model in Northern Vietnam and allow the forecast of detailed movements with high reliability of radiation propagation from the Fangchenggang nuclear power plant. The research results will be the basis for analytical calculations, forecasts, support the decision making and the most appropriate measures in the response to nuclear radiation incidents and rescue operations in Vietnam.

Keywords: Radiation dispersion; Lagrangian model; Weather Research and Forecasting Model; Flexpart-Wrf; Fangchenggang; China.

Nhận bài ngày 15 tháng 6 năm 2020
Hoàn thiện ngày 27 tháng 7 năm 2020
Chấp nhận đăng ngày 03 tháng 8 năm 2020

Địa chỉ: [1]Cục Cứu hộ - Cứu nạn, BTTM;
[2]Viện Hóa học Môi trường Quân sự, BC Hóa học;
[3]Viện Năng lượng Nguyên tử Việt Nam;
[4]Trường Đại học Điện lực.
[*]Email: kieudung.nbc@gmail.com.