

NGHIÊN CỨU PHƯƠNG ÁN NÂNG CẤP MÁY GIA TỐC HIC- KOTRON13 ĐỂ CÓ HIỆU QUẢ TỐT HƠN SẢN SUẤT ĐỒNG VỊ PHÓNG XẠ ^{18}F

NGUYỄN TIẾN DŨNG, NGUYỄN TUẤN ANH, PHẠM MINH ĐỨC

*Phòng Gia tốc, Trung tâm chiếu xạ Hà Nội
Km12, Đường 32, Xã Minh Khai, Quận Bắc Từ Liêm, Hà Nội
Email: ntdung@vinatom.gov.vn*

Tóm tắt: Máy gia tốc cyclotron HIC-KOTRON13 thuộc những thế hệ đầu trong dự án về phát triển máy PET cyclotron tại Hàn Quốc, được sản xuất tại công ty SAMYUONG. Thiết bị thuộc loại cyclotron có từ trường và tần số điện trường RF cố định. Từ trường thay đổi theo góc phương vị gồm 4 sectors. Máy KOTRON13 được hoàn thiện và phát triển đi theo 2 hướng: Thay đổi về cấu trúc các bộ phận của cyclotron và phát triển hệ thống điện tử. Nguồn ion đặt tại vùng tâm máy đã phát triển về cấu hình của nguồn và về hình dạng Anode. Hình dạng, cấu tạo vùng tâm của máy gia tốc cũng được thay đổi theo thiết kế mới. Bia lỏng và hệ thống làm mát bia được phát triển theo 3 cấp độ khác nhau phụ thuộc vào dòng trên bia. Hệ điện tử cũng có sự phát triển liên tục như hệ thống điều khiển bia nước H_2O^{18} sử dụng kỹ thuật điều khiển logic có thể lập trình (PLC), hệ thống đo dòng chùm tia trên 4 tấm che chắn xung quanh bia theo nguyên lý Faraday bản phẳng...Sau khi nâng cấp KOTRON13, các thế hệ máy PET- Cyclotron thế hệ mới của Hàn Quốc đã đạt được dòng trên bia tới 120 μA . Trong chế độ chạy tiêu chuẩn, dòng trung bình đạt 75 μA , sau 2 giờ bắn bia hoạt độ phóng xạ ^{18}F đạt tới 4 Ci. Báo cáo này trình bày các thay đổi của KOTRON13 thế hệ hiện nay so với các thế hệ đầu và đề xuất phương án hoàn thiện HIC-KOTRON13 nhằm nâng cao hiệu quả quá trình sản xuất đồng vị phóng xạ ^{18}F tại Trung tâm chiếu xạ Hà Nội.

Từ khóa: KOTRON13, Bia nước H_2O^{18} , PET- Cyclotron, Nguồn ion PIG, Hệ điều khiển PLC, Đồng vị phóng xạ ^{18}F

THE STUDY ON UPGRADING THE CYCLOTRON HIC-KOTRON13 FOR BETTER EFFECTIVENESS IN ^{18}F RADIOISOTOPE PRODUCTION

NGUYEN TIEN DUNG, NGUYEN TUAN ANH, PHAM MINH DUC

*Cyclotron Department, Hanoi Irradiation Center
Km12, Road 32, Minh Khai ward, North Tu liem District, Hanoi.
Email: ntdung@vinatom.gov.vn*

Abstract. The cyclotron HIC-KOTRON13, belongs to the first generation of Korean PET-Cyclotron, was made by SAMYUONG-manufacturer. Its magnetic field and RF-source frequency are fixed. The azimuthal varying magnetic field is created by 4 sectors. The two ways for upgrading KOTRON13 were applied, namely the changes in structure of cyclotron components and electronic system. The ion source installed in central region of cyclotron is developed by changing the configuration and shape of anode. The central region of cyclotron was changed for the new design. The liquid target and cooling system for target were developed for 3 levels of beam current. The electronic systems were developed continuously such as the PLC to control liquid H_2O^{18} target system, the plate Faraday cup to measure beam current of 4 collimators around target... After upgrading the KOTRON13, the new version of Korean PET-Cyclotron can get the beam current on target up to 120 μA . For routine operation, the

average beam current on target is 75 μA . After 2 hours of bombardment, the radioactivity of radioisotope ^{18}F achieve 4 Ci. This report presents the changes in new version of KOTRON13 in comparison to first one and proposes the measures to upgrade HIC-KOTRON13 in order to get better effectiveness in ^{18}F radioisotope production.

Keyword: KOTRON13, Liquid target H_2O^{18} , PET- Cyclotron, Ion source PIG, Control system PLC, Radioisotope ^{18}F .

1. Giới thiệu về máy gia tốc cyclotron HIC-KOTRON13

Máy gia tốc cyclotron HIC-KOTRON13 do hãng Samyoung Unitech chế tạo để sản xuất dược chất phóng xạ ^{18}F dùng trong kỹ thuật chẩn đoán ung thư sớm PET/CT [1]. Máy được lắp đặt tại Trung tâm chiếu xạ Hà Nội thuộc Viện Năng lượng nguyên tử Việt Nam thuộc thể hệ đầu do Viện KIRAMS thiết kế với tên gọi là KIRAMS13 [2]. Cấu trúc chính của máy bao gồm [3]: Nguồn ion theo công nghệ PIG dùng để tạo ion âm H⁻; Buồng gia tốc cộng hưởng RF tần số cố định 77,3 MHz và hệ tách chùm tia ra khỏi máy gia tốc hướng tới bia theo kỹ thuật Stripping Foil. Chùm proton được gia tốc tới năng lượng 13 MeV và dòng trên bia đạt tới 50 μA . Nguồn ion bên trong máy và được đặt tại vị trí vùng tâm của máy gia tốc. Báo cáo này trình bày các bước nâng cấp máy KIRAMS13 đã được tiến hành tại Hàn Quốc và đề xuất phương án nâng cấp máy HIC-KOTRON13 tại trung tâm chiếu xạ Hà Nội trong thời gian tới.



Hình 1: Hình ảnh máy gia tốc cyclotron HIC-KOTRON13

2. Quá trình nâng cấp máy KIRAMS13 tại Hàn Quốc.

Máy gia tốc KIRAMS13 thể hệ đầu cấu trúc còn chưa hoàn thiện, các thông số kỹ thuật của máy còn hạn chế [3]. Một số thông số kỹ thuật của máy thể hệ này được mô tả trong bảng 1.

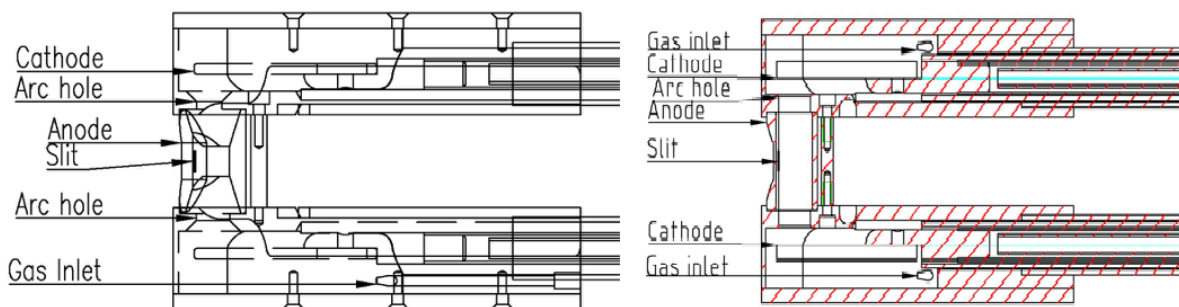
Bảng 1: Một số thông số kỹ thuật của KIRAMS13 thế hệ đầu.

Loại nguồn	Loại nguồn Loại ion lồi ra	Nguồn PIG cathode lạnh Ion âm H ⁻
Từ trường	Hình dạng Số cực sector Đường kính cực sector Kích thước vùng Hill / Valey Từ trường vùng Bmax(Hill) / Bmax(Valey) Dòng cuộn dây nam châm Công suất tiêu thụ	Dạng chữ H 4 0.96 m 5 / 14 cm 1.92 / 0.84 T 466 A 36 kW
Điện từ trường RF	Tần số Hệ số Hamonic Số điện cực Dee Góc Dee Điện áp gia tốc trên Dee	77,3 MhZ 4 2 39° 45 kV
Tách hạt khỏi máy gia tốc	Loại Năng lượng proton ra Cường độ dòng ra	Striping Carbon Foil 13 MeV 10 μ A

Máy gia tốc KIRAMS13 đã từng bước được hoàn thiện và nâng cấp. Quá trình nâng cấp được tiến hành qua các bước: Tính toán cấu hình và các thông số của các thiết bị bằng phần mềm mô phỏng; Thiết kế, chế tạo các thiết bị cấu thành; Lắp ráp và hoàn thiện thiết bị gia tốc. Một số phần nâng cấp hoàn toàn thực hiện bằng thực nghiệm. Phần sau đây giới thiệu một số nâng cấp đã được công bố tại các hội nghị khoa học của Hàn Quốc về máy gia tốc KIRAMS13.

2.1 Nâng cấp nguồn ion PIG máy KIRAMS13.

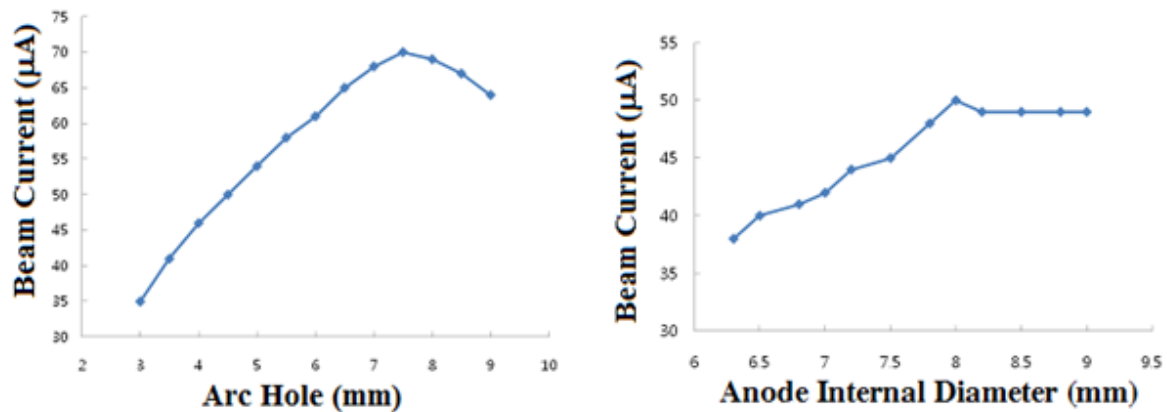
Nguồn ion công nghệ PIG thuộc loại nguồn có cấu hình đơn giản. Cấu tạo của nguồn PIG gồm 1 ống Anode hình trụ và 2 Cathode đặt tại 2 phía Anode. Quá trình ion hóa chất khí được tạo ra nhờ điện thế chênh lệch giữa Anode - Cathode và nguồn ion này đặt trong từ trường B có hướng trùng với trục Anode. Trạng thái Plasma tạo ra một vùng ion hóa có mật độ cao tại tâm của Anode bao gồm các ion âm, dương, các hạt điện tử và các phân tử khí trung hòa.



Hình 2: Cấu trúc nguồn ion PIG thế hệ đầu (Bên trái) và thế hệ mới (Bên phải)
Một số cải tiến, nâng cấp nguồn ion công nghệ PIG trên máy KIRAMS13 [4].

2.1.1 Tối ưu hóa kích thước của Arc hole và Anode.

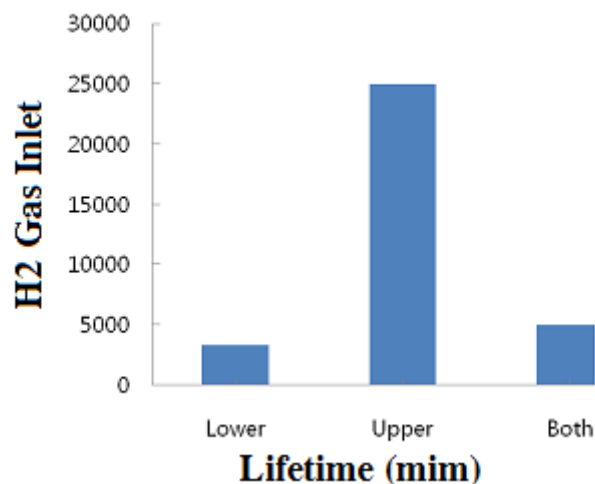
Các nghiên cứu tập trung vào xác định kích thước tối ưu của Arc hole và đường kính Anode. Thí nghiệm được tiến hành với việc xác định sự phụ thuộc của dòng trên bia vào đường kính Arc hole từ 3 đến 9 mm và đường kính Anode từ 6,34 đến 9 mm. Kết quả đã xác định được kích thước tối ưu đường kính của Arc hole là 7,5 mm và đường kính tối ưu của Anode là 8 mm. Thí nghiệm được tiến hành với các điều kiện: Giá trị Duty Cycle 60%; Lưu lượng dòng khí hydro vào nguồn ion là 6 sccm; điện thế giữa 2 điện cực Anode-Cathode là 2,5 kV.



Hình 3: Dòng trên bia phụ thuộc vào đường kính Arc Hole và đường kính Anode.

2.1.2 Cải thiện tuổi thọ của Cathode

Thế hệ đầu của nguồn ion PIG máy KIRAMS13, cửa nạp khí Gas inlet (Hình 2) được đặt ở phía dưới. Các nghiên cứu đã đánh giá tuổi thọ của Cathode dựa vào các vị trí cửa nạp khí H₂ tại các vị trí trên, vị trí dưới và vị trí cả trên và dưới. Kết quả là tuổi thọ Cathode đạt tới 25.000 phút với cửa nạp khí ở vị trí trên đỉnh, 5.000 phút với vị trí cửa nạp cả 2 phía trên, dưới và 3.300 phút với cửa nạp khí vị trí phía dưới (hình 4)



Hình 4: Tuổi thọ của Cathode phụ thuộc vị trí cửa nạp khí hydro.

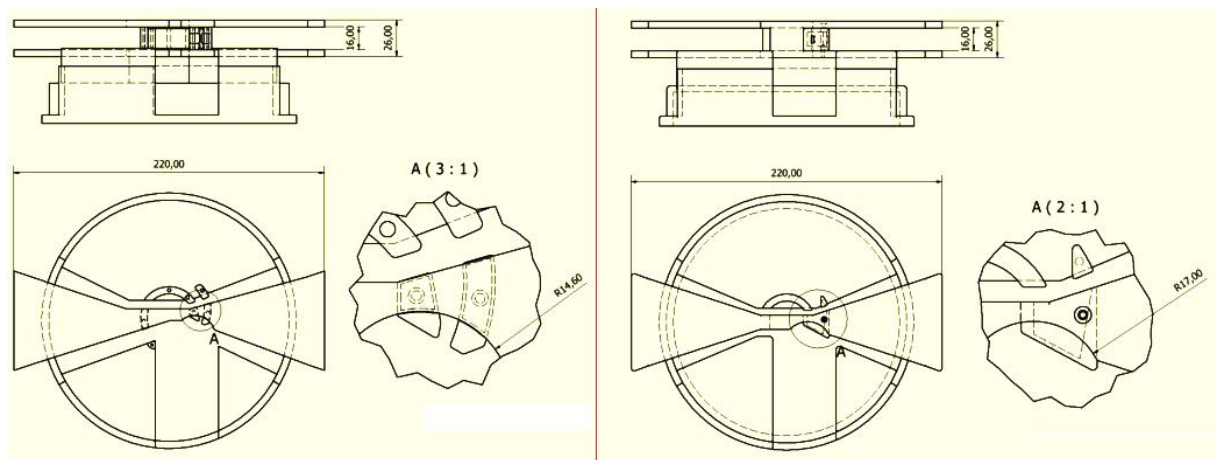
Thí nghiệm được tiến hành trong một thời gian dài với điều kiện: Một ngày 2 lần chiếu xạ 180 phút; điện áp Anode-Cathode là 2,5 kV, dòng trên bia 50 µA,..).

Tóm lại việc nghiên cứu thay đổi cấu hình nguồn ion, kích thước đường kính Arc hole và đường kính Anode đã cho phép tăng dòng ra trên bia và kéo dài tuổi thọ của nguồn ion PIG nói chung. Các nghiên cứu về nguồn ion này vẫn còn tiếp tục như hình dạng Anode, kích thước khe lấy ion ra từ Anode,..

2.2 Thay đổi cấu trúc vùng lõi của KIRAMS13.

Có thể xem máy gia tốc cyclotron bao gồm nhiều phần với các chức năng khác nhau: Nguồn ion dùng để tạo ra các ion phục vụ quá trình gia tốc, buồng gia tốc có chức năng gia tốc các hạt ion tới năng lượng xác định, phần lấy hạt ion đã gia tốc ra khỏi máy và hướng chùm hạt này tới bia,.. Giữa các vùng chức năng này có các thiết bị giúp hiệu suất sử dụng chùm hạt là cao nhất. Cấu trúc vùng lõi máy gia tốc KIRAMS13 chính là vùng đệm tạo hiệu suất sử dụng hạt ion sinh ra từ nguồn ion đi tới buồng cộng hưởng với hiệu suất cao nhất. Về mặt lý thuyết, khái niệm không gian pha (Phase Space) là không gian 2 chiều: Một chiều là vị trí 3 chiều của chùm hạt (Vị trí tọa độ x,y,z trong không gian tọa độ đề các và một chiều là xung lượng của hạt. Để có hiệu suất sử dụng chùm hạt ion cao, phần diện tích Beam

Emitance của chùm hạt lõi ra từ nguồn ion và Acceptance của buồng gia tốc trong không gian Phase Space là phải trùng nhau nhiều nhất. Bản chất vùng lõi máy gia tốc KIRAMS13 là cung cấp xung lượng phù hợp cho các hạt ion ra khỏi nguồn ion PIG và hướng hạt tới vị trí phù hợp với buồng cộng hưởng.



Hình 4: Cấu trúc vùng lõi máy gia tốc KIRAMS13 ban đầu (Bên trái) và sau khi được nâng cấp (Bên phải).

Cấu hình của vùng lõi đã được thay đổi về hình dạng, vị trí và kích thước các điện cực,..Sau khi thay đổi, đã tiến hành thực nghiệm đo dòng ra trên bia máy gia tốc KIRAMS13 và ghi nhận kết quả tại bảng 2.

Bảng 2: Dòng trên bia tăng khi thay đổi cấu hình vùng lõi của KIRAMS13.

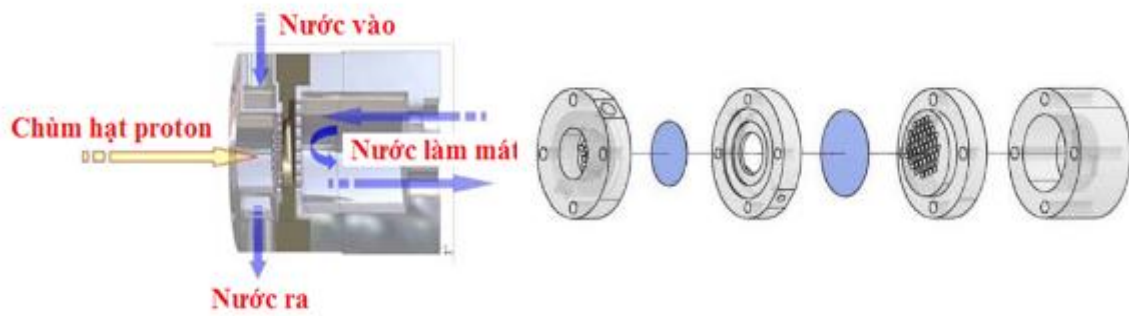
	Các thông số cài đặt KIRAMS13 khi làm thí nghiệm	Dòng trên Stripper	Dòng trên bia
Cấu hình cũ	Giá trị Duty Cycle: 30% Lưu lượng dòng khí H ₂ : 3scm Giá trị Arc current: 0,3 A	6 μ A	3 μ A
Cấu hình mới	Giá trị Duty Cycle: 30% Lưu lượng dòng khí H ₂ : 3scm Giá trị Arc current: 0,3 A	20 μ A	8 μ A

Tóm lại: Việc thay đổi cấu hình vùng lõi máy KIRAMS13 đã làm tăng dòng ra trên bia với cùng một thông số kỹ thuật cài đặt. Có thể đánh giá cấu hình mới này đã làm tăng hiệu suất sử dụng hạt ion âm hydro phát ra từ nguồn ion PIG của đầu vào buồng cộng hưởng gia tốc một cách đáng kể.

2.3 Nâng cấp hệ thống bia cho máy KIRAMS13.

Hệ thống bia bao gồm buồng chứa mẫu nước nặng H₂O¹⁸ và hệ thống giá đỡ, hệ làm mát bia,.. Tại đây khi chùm proton năng lượng 13 MeV bắn phá mẫu nước nặng sẽ gây ra phản ứng hạt nhân hợp phần ¹⁸O(p,n)¹⁸F đồng thời tạo ra nhiệt độ, áp suất cao trong bia. Hệ thống bảo vệ áp suất cao và làm mát bia của máy KIRAMS13 đã được phát triển qua 3 thế hệ tương ứng với cường độ dòng trên bia khác nhau.

Thế hệ đầu: Cấu tạo bia có dạng hình trụ với vật liệu cửa sổ Titanium mỏng 50 μ m. Cửa sổ Titanium được hàn cố định với giá đỡ kim loại buồng bia. Hai phía cửa sổ là các giá đỡ bằng nhôm với các lỗ hình lục giác trên bề mặt. Thể tích bia chứa được 27 ml nước mẫu. Nước lạnh làm mát bia từ 2 phía: Phía trước nước chảy bên trong miếng đỡ bằng nhôm và phía sau nước phun trực tiếp vào cửa sổ bia. Bia loại này cho phép dòng tới đa trên bia đạt tới 50 μ A. Cấu tạo và nguyên lý hệ làm mát thế hệ đầu của thiết bị được mô tả trên hình 5 [6].



Hình 5: Hệ thống bia thể hệ đầu của KIRAMS13.

Hệ bia mẫu thể hệ 2: Có cấu tạo cơ bản gần giống thể hệ 1 song đã nâng cấp về cấu trúc bia và hệ làm mát. So với thể hệ đầu hệ thống bia này đã có 2 thay đổi cơ bản: Lưu lượng nước làm mát cao hơn thể hệ đầu cho phép tải nhiệt trên bia tốt hơn và cửa sổ Titalium được dán với buồng bia cho phép có thể thay cửa sổ này khi bảo hành thiết bị. Với thể hệ này của hệ làm mát, dòng trên bia có thể đạt tới 90 μA . Hình ảnh hệ làm mát thể hệ 2 được mô tả trên hình 5 (Bên trái).



Hình 5: Hệ thống bia thể hệ 2 (Bên trái) và thể hệ 3 (Bên phải).

Hệ bia mẫu thể hệ 3: Hệ này được mô tả trên hình 5 (Bên phải). So với thể hệ 1, loại này có 2 cải tiến cơ bản: Tăng lưu lượng nước làm mát lên bia, tăng cường làm mát bằng khí heli. Cấu trúc bia cũng giống thể hệ 2 là cửa sổ được dán vào buồng bia giúp thuận lợi khi thay thế cửa sổ khi bảo hành thiết bị. Với hệ bia mẫu loại này, dòng trên bia có thể đạt tới trên 100 μA .

3. Đề xuất phương án nâng cấp HIC-KOTRON13.

Máy gia tốc HIC-KOTRON13 lắp đặt tại Trung tâm chiếu xạ Hà nội thuộc thể hệ đầu của thiết bị gia tốc KIRAMS13. Máy chưa được hoàn thiện về cấu trúc cơ khí và hệ điện tử điều khiển. Việc hoàn thiện, nâng cấp máy HIC-KOTRON13 dựa trên một số tiêu chí sau:

- Máy hoạt động ổn định, dễ vận hành, bảo dưỡng...
- Nâng cao năng lực sản xuất đồng vị phóng xạ ^{18}F bằng cách tăng được dòng trên bia.

Để thực hiện được các yêu cầu trên, nhóm tác giả đưa ra một phương án khả dĩ có thể từng bước thực hiện trong thời gian tới.

3.1 Nâng cấp hệ chuyển mẫu nước.

Khối điều khiển chuyển mẫu nước thực hiện 3 chức năng cơ bản: Nạp mẫu nước từ lọ chứa vào bia, chuyển mẫu nước chứa đồng vị phóng xạ ^{18}F từ bia sang bộ tổng hợp ^{18}F FDG và thực hiện chức năng rửa hệ thống bia, đường ống dẫn mẫu nước. Hệ này hiện tại hoạt động thủ công qua các công tắc Tắt-Bật 2 trạng thái. Vận hành hệ thống này mất nhiều thời gian và dễ gây ra các sai sót. Phương án đề xuất nâng cấp hệ này là thay hệ mới điều khiển tự động toàn bộ bằng PLC. Để thực hiện các chức năng trên, vận hành mỗi chức năng chỉ cần bấm 1 nút trên màn hình cảm ứng hoặc một phím bấm trên mặt máy. Khối nâng cấp này phục vụ cho việc vận hành thiết bị chuyển mẫu nước dễ dàng hơn.

3.2 Xây dựng hệ điện tử xác định vị trí chùm hạt từ máy gia tốc tới bia.

Thông thường, hệ dẫn dòng từ máy gia tốc đến bia đều có hệ quan sát, theo dõi chùm hạt. Các thông số cần theo dõi như cường độ, vị trí, kích thước chùm,..Hiện tại máy HIC-KOTRON13 chưa có hệ thống này. Xây dựng hệ điện tử xác định vị trí chùm hạt tới bia giúp cho việc điều chỉnh thông số vị trí cơ khí một số bộ phận máy gia tốc thuận lợi hơn, đạt được mục tiêu dòng trên bia là cao nhất.

Cầu hình hệ đầu đo bao gồm 4 tấm che chắn xung quanh bia. Các tấm chắn này được xem như đầu đo dòng FARADAY bản phẳng. Căn cứ giá trị dòng trên 4 đầu đo này, có thể dự đoán vị trí dòng trên bia và thực hiện các thao tác điều chỉnh các thông số cơ khí máy gia tốc như vị trí mặt phẳng trung tâm của dòng ion lõi ra nguồn ion PIG, vị trí góc phù hợp của Stripping Foil,..

3.3 Nâng cấp hệ bia mẫu và hệ làm mát cho bia.

Muốn nâng cao năng lực sản xuất đồng vị phóng xạ ^{18}F , cần phải tăng dòng trên bia. Hệ làm mát cũng cần được nâng cấp dựa theo các tiêu chí sau:

- Việc bảo dưỡng bia, thay bia phải dễ dàng, thực hiện ngay tại Trung tâm.
- Việc làm mát hệ bia mẫu cũng đơn giản không cần các điều kiện đặc biệt như nhập khẩu khí heli lỏng, lắp đặt thiết bị làm lạnh heli lỏng bổ sung,..

Với các tiêu chí này thì phương án nâng cấp hệ làm mát hệ 2 là thỏa mãn: Bia mẫu có thể thay thế cửa sổ Tantalum ngay tại Trung tâm, chỉ làm mát bằng nước, dòng trên bia tối đa đạt 90 μA . Trong chế độ hoạt động bình thường với dòng 75 μA , sau 2 giờ bắn bia, hoạt độ phóng xạ ^{18}F đạt tới 4 Ci .

4. Kết luận.

Máy gia tốc HIC-KOTRON13 là thiết bị R&D do Hàn Quốc hỗ trợ vẫn đang trong quá trình hoàn thiện về mặt kỹ thuật. Báo cáo này trình bày các thông số kỹ thuật hiện tại của HIC-KOTRON13, các công việc nâng cấp thiết bị gia tốc PET-Cyclotron đã được thực hiện tại Hàn Quốc và đề xuất các phương án nâng cấp HIC-KOTRON13 với mục đích nâng cao năng lực sản xuất đồng vị phóng xạ ^{18}F theo khả năng thực tế của Trung tâm chiếu xạ Hà Nội. Xây dựng hệ chuyển mẫu nước tự động trên cơ sở PLC và hệ quan sát theo dõi vị trí chùm hạt tới bia giúp việc vận hành, điều chỉnh vị trí cơ khí của HIC-KOTRON13 thuận tiện hơn trong quá trình bảo dưỡng, sửa chữa thiết bị. Nâng cấp hệ bia mẫu và hệ làm mát bia làm tăng thêm năng lực sản xuất đồng vị phóng xạ ^{18}F . Ngoài ra các công việc trên còn giúp nâng cao trình độ cán bộ về điều khiển tự động, về công nghệ gia tốc hạt tích điện.

Tài liệu tham khảo.

1. Samyuong Unitech Co,.. Limited; Site planning, 2007.
2. Y.S.Kim, Dong Hyun An, Jong Seo Chai,..New design of KIRAMS13 cyclotron for regional cyclotron center; Proceedings of APAC 2004, Gyeongju, Korea.
3. Reference manual of KOTRON13, 2013.
4. Byung Chul Lee, _ Hong Jin Lee,..Intensification of the KOTRON13 cyclotron by optimizing ion source; Journal of the Korean Physical Society, Vol. 57, No. 6, December 2010, pp. 1376_1380
5. Dong Hyun An, Jong Seo Chai,.. Design of the central region in KIRAMS13 cyclotron; Proceedings of APAC 2004, Gyeongju, Korea.
- 6..Bong Hwan Hong, Jong-Seo Chai,..The performance of double grid O-18 water target for FDG production; Proceedings of EPAC 2006, Edinburgh, Scotland.