

<원저>

IBA 사이클로트론 표적집합체에서의 잔류 방사화 분석 및 선량률 평가

- Evaluation of Residual Radioactivity and Dose Rate of a Target Assembly in an IBA Cyclotron -

부산대학교 기계공학부

황선용·김영주·이승욱

— 국문초록 —

사이클로트론을 이용하여 ^{18}F 동위원소를 생산하는 경우 가속된 양성자 빔은 사이클로트론의 금속부품들과 반응하여 방사화를 일으킨다. 그 중에서도 빔과 주요하게 반응하는 표적집합체를 구성하는 표적실, 표적창에 장반감기의 핵종이 많이 발생한다. 이러한 표적집합체의 방사화 핵종을 잘 이해하는 것은 사이클로트론 운영자와 유지 보수 작업자를 위해서 매우 중요하다. 본 연구에서는 IBA(Ion Beam Application)사 사이클로트론 Cyclone 18/9 기기의 표적집합체 유지보수 작업자의 방사선 안전지침을 마련하기 위해서 사이클로트론 가동 후 표적집합체에 발생하는 주요 핵종을 분석하고, 또한, 사이클로트론 가동정지 직후부터의 선량감소율을 실험적으로 측정하였다. ^{18}F 동위원소 생산 후 표적집합체의 잔류 방사화 핵종의 종류 및 방사능농도를 확인하기 위하여, 표적실내 잔류물질 및 표적창 하버포일 시료를 채취하여 고순도 게르마늄(HPGe) 감마핵종분석기로 측정하여 분석하였다. 또한, 사이클로트론 가동직후 사이클로트론에서 발생하는 선량률을 시간에 따라 측정하였다. 감마핵종분석과 선량률감소에 대한 데이터는 추후 사이클로트론 운영의 방사선안전을 위한 데이터로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

중심 단어: 사이클로트론, 표적집합체, 방사화, 하버포일, 감마핵종분석

I. 서 론

국내 의료용 사이클로트론센터는 2015년 현재 약 40개소에 이르고 있으며, 사이클로트론은 가속에너지 20 MeV 이하, 가속전류 150 μA 이하가 대부분이다. 의료용 사이클로트론은 방사성의약품인 [^{18}F]FDG를 주로 제조하고 있으며, [^{18}F]FDG는 핵의학 검사장치인 양전자방출단층촬영기기(PET-CT)에 이용되고 있다.²⁾

사이클로트론 구성부품들은 가속된 양성자 빔 및 ^{18}O (p,n) ^{18}F 핵반응에서 발생하는 이차 중성자 빔과 같은 이차

방사선에 의해 방사화 핵종으로 변환된다³⁾. 특히, 표적집합체 구성품인 윈도우포일에서 방사화 핵종이 많이 생성된다⁴⁾. 이러한 방사화 핵종들에는 장반감기 핵종이 포함되어 있어서 사이클로트론 가동 정지 후에도 방사화 핵종으로부터의 잔류방사선에 주의할 필요가 있다⁵⁾. 따라서, 표적집합체의 고장수리나 표적집합체 라인 점검 등 사이클로트론 표적 부품에 접촉할 필요로 하는 작업은 방사화된 부품으로부터의 높은 선량을 받을 우려가 있다^{6,7)}. 또한, 사이클로트론 가동 직후에는 방사화생성물에서 방출되는 방사선뿐만 아니라 잔류 동위원소 ^{18}F 으로부터의 피폭에도 주의하여야

This work was supported by a 2-year Research Grant of Pusan National University.

Corresponding author: Seung Wook Lee, Pusan National Univ., Busandaehak-ro 63beon-gil, Geumjeong-gu, Busan, 46241, Rep. of KOREA / Tel: +82-51-510-1013 / E-mail: : seunglee@pusan.ac.kr

Received 29 November 2016; Revised 10 December 2016 ; Accepted 12 December 2016

Part of this paper is an excerpt from the first author Hwang Seon-yong's master thesis of Pusan National University in 2016.

한다. 따라서, 표적집합체 유지보수 작업자 피폭을 줄이기 위해서는 사이클로트론 가동 정지 후 충분히 긴 시간동안 지연 후 작업을 수행하는 것이 바람직하다.

사이클로트론 관련 국내연구를 살펴보면 사이클로트론 시설의 차폐연구 및 [^{18}F]FDG관련 피폭선량에 대한 연구 등이 진행된 적은 있으나¹⁾, 사이클로트론 표적집합체 유지보수 작업에 대한 잔류 방사화 분석 및 선량률 평가는 매우 부족한 실정이며, 표적집합체 유지보수 작업에 따른 표적집합체 잔류 방사화 분석 및 선량률 평가를 근거로 한하여, 사이클로트론 가동직후 시간에 따른 선량률감소에 대한 데이터를 통하여 사이클로트론 운영의 방사선안전과 ICRP 103권고에서 강조한 방사선방호의 최적화 달성^{8,9)}을 위한 실무차원에서의 방사선안전관리의 필요성이 대두되고 있다.

본 연구는 사이클로트론 Cyclone 18/9 기기 Maintenance Guide에 따라 사이클로트론 가동 후 표적집합체에 발생하는 주요 핵종을 분석^{10,11)}하였다. 이를 위해서 표적실내의 잔류물질 및 표적창 하버포일에 대한 감마핵종분석을 수행하였다¹²⁾. 또한, 사이클로트론 가동직후 사이클로트론에서 발생하는 선량률을 시간에 따라 측정하였다¹³⁾.

II. 본 론

1. 연구 재료

1) 사이클로트론 및 표적집합체

이 연구의 분석 대상인 사이클로트론은 IBA사의 Cyclone 18/9 모델로서 Fig. 1에 보여진 것과 같다^{10,11)}. 이 사이클로트론은 2005년 1월 부산대학교병원 사이클로트론센터에 설치되었고 2005년 3월부터 현재(2016년 11월)까지 양성자를 가속하여 ^{18}F 동위원소를 생산하는데 이용되고 있다. 이 사이클로트론의 빔출구에는 Fig. 2와 같은 ^{18}F 동위원소 생산을 위한 표적집합체가 설치되어 있다. 양성자빔을 집속하기 위한 집속기가 표적집합체의 앞에 양성자빔의 크기를 조절하게 되고, 집속된 양성자가 표적실의 표적물질과 반응하게 된다. 표적물질이 들어있는 표적실의 재질은 니오비움(Nb : Niobium)합금으로 구성되어 있다. 표적물질은 액체형태의 H_2^{18}O 농축수를 사용하며 표적물질을 저장하는 용량은 약 2.2 mL(대형부피표적-large volume target)이다. 사이클로트론의 가동조건은 일반적으로 양성자 가속에너지 18 MeV, 가속전류 35 μA , 2시간을 가동조건으로 하고 있으며 가동 후 생산되는 ^{18}F 는 약 4,000 mCi가 생산되며 자동합성장치로 이송 후 [^{18}F]FDG약 2,400 mCi가 제조되어진다.



Fig. 1 Picture of the cyclotron used in this study - IBA Cyclone®18/9 Model

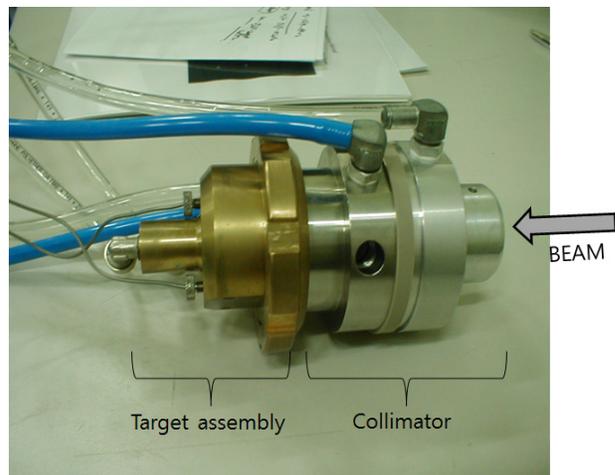


Fig. 2 Picture of target for the production of ^{18}F isotope from ^{18}O enriched water by the $^{18}\text{O}(p,n)^{18}\text{F}$ reaction. The beam is coming from the right to be collimated at the collimator section before the target section

2) 핵종분석을 위한 감마핵종분석기

표적실 잔류물질 및 표적창의 방사화된 핵종을 분석하기 위하여 미국 ORTEC사의 고순도 게르마늄 감마핵종분석기를 사용했으며, 감마핵종분석기는 검출기(detector), 증폭기(amplifier), 다중 파고 분석기(Multi-Channel Analyzer; MCA) 등으로 구성되어 있다. 감마핵종분석기의 교정은 국가표준기관(Primary Standard Institution)인 한국표준과학연구원(KRISS)에서 제시하는 국제적으로 인증된 표준물질(Primary Standard Institution)을 사용한 교정용 혼합표준선원 10개(^{241}Am , ^{109}Cd , ^{57}Co , ^{139}Ce , ^{51}Cr , ^{113}Sn , ^{85}Sr , ^{137}Cs , ^{60}Co , ^{88}Y)의 인공방사성핵종이 혼합되어 있는 인증 표준물질(CRM, 1 L marinelli beaker) 혼합선원을 이용하

여 에너지 및 효율을 교정하였다.

3) 선량률 측정을 위한 큐리미터

표적집합체에 잔류하는 $^{18}\text{F}^-$ 의 방사능을 정량하기 위하여 미국 CAPINTEC사의 CRC-25PET 모델 큐리미터(Dose Calibrator)를 사용했다. 큐리미터는 방사성동위원소의 방사능량을 Bq 또는 Ci 단위로 정량하는데 사용하는 장비로서 이온함 챔버와 디스플레이 장치로 구성되어 있다. 방사능량을 정량하는 방법은 원통형 차폐체내에 우물형 이온함에 정량할 시료를 넣고 계측하며, 주로 PET용 선원($^{18}\text{F}^-$ 등)을 사용하는데 이용되고 있다. 교정은 20 cc 유리병에 에폭시 형태로 담겨있는 교정용 밀봉선원(^{57}Co , ^{133}Ba , ^{137}Cs)으로 교정되었다.

4) 방사선감시기

표적집합체에 잔류하는 방사선량률을 확인하기 위하여 미국 CAPINTEC사의 AreaExpert 방사선감시기를 사용했다. 방사선감시기는 사이클로트론 시설 내에서의 방사선안전성 및 작업자의 안전을 확보하기 위하여 특정지역 및 방사성물질을 함유할 수 있는 계통의 방사선준위 및 선량률을 연속적으로 측정 및 감시하는 기능을 가지고 있는 장치이다. 방사선감시기의 교정은 2014년 10월 24일 PTW Unidose사의 Weblin T10021 참고기준에 따라 교정되었다.

2. 연구방법

1) 표적집합체 방사화 핵종 분석

표적집합체내 잔류 방사화 핵종 분석을 위하여 사이클로트론을 양성자 가속에너지 18 MeV, 가속전류 35 μA , 2시간 가동하여 $^{18}\text{F}^-$ 생산한 후 표적내부를 H_2^{18}O 농축수 2.2 mL로 세척하여 시료를 Fig. 3과 같이 채취한 후 고순도 게르마늄 감마핵종분석기를 이용하여 표적집합체 내 잔류하는 방사화 핵종의 종류 및 방사능농도를 측정분석하였다. 표적집합체 내부 구성부품인 하버포일(Havar foil)에서 생성된 방사화 핵종의 종류 및 방사능농도를 확인하기 위하여 하버포일(5,000 μAh 사용)을 Fig. 4와 같이 표적집합체 유지보수 작업 시 분리하여 0.03 g의 시료를 채취하여 고순도 게르마늄 감마핵종분석기로 측정분석하였다.

2) 잔류 $^{18}\text{F}^-$ 및 표적집합체 외부에서의 공간선량률 변화 분석

사이클로트론을 이용한 $^{18}\text{F}^-$ 생산 후 표적 내 잔류하는

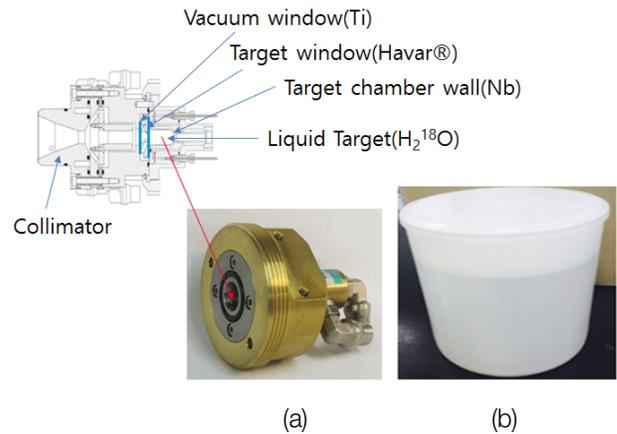


Fig. 3 (a) Cross sectional drawing of the target assembly and picture of the target section of the assembly. (b) Recovered H_2^{18}O water, which was used to rinse the target chamber, was used for gamma spectroscopy to estimate the residual activity of the target

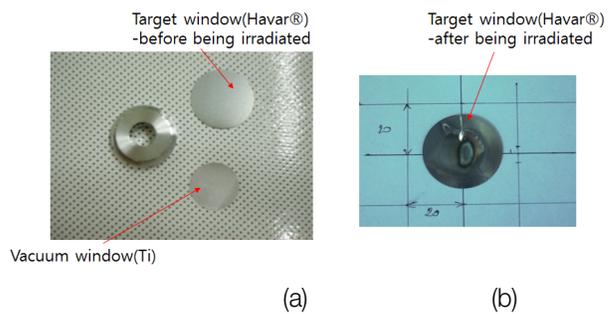


Fig. 4 (a) Vacuum window and target window before being irradiated. (b) The discolored target window after being irradiated has been recovered for gamma spectroscopy

$^{18}\text{F}^-$ 에 의한 방사능이 선량률에 미치는 영향을 확인하기 위하여 양성자 가속에너지 18 MeV, 가속전류 35 μA , 2시간 가동 후 표적 내부를 H_2^{18}O 농축수 2.2 mL로 세척하여 양이온교환수지(C-18 cartridge)에 하버포일로부터 발생된 방사화 핵종을 포집 시키고 잔류 $^{18}\text{F}^-$ 만 10 cc 바이알에 회수하여 1시간 간격으로 12시간까지 큐리미터를 이용하여 방사능을 측정하고 패턴을 분석하였다. 또한, 표적집합체내 잔류하는 방사화 핵종에 의한 선량률을 확인하기 위하여 Fig. 5와 같이 사이클로트론 표적집합체 유지보수 작업자의 최대 유효선량을 받을 수 있는 높이 1.44 m, 거리 50 cm 지점에서 방사선감시기를 이용하여 시간 경과에 따른 감마선량률을 1시간 간격으로 12시간 측정하고 패턴을 분석하였다.



Fig. 5 Gamma dose rate from the target was measured with an area monitor device marked by a red arrow

III. 결과 및 토의

1. 표적집합체 방사화 핵종 분석

표적실내에 잔류하는 방사화 핵종을 감마핵종분석기를 이용하여 분석한 결과 검출 핵종 및 방사능농도는 ^{51}Cr (13.3 Bq/L), ^{52}Mn (27.1 Bq/L), ^{54}Mn (11.3 Bq/L), ^{56}Co (104 Bq/L), ^{57}Co (116 Bq/L), ^{58}Co (537 Bq/L)이었고, 검출된 핵종 중 ^{58}Co 의 방사능농도가 537 Bq/L로 가장 높은 것으로 나타났다. 검출된 감마핵종의 방사능 농도는 Table 1에 나타내었고 분석한 감마스펙트럼은 Fig. 6에 나타내었다.

표적집합체내 하버포일에서 잔류하는 방사화 핵종을 감마핵종분석기를 이용하여 분석한 결과 검출된 감마핵종 및 방사능농도는 ^{54}Mn (9.5679×10^5 Bq/kg), ^{56}Co (1.9224×10^7 Bq/kg), ^{57}Co (1.0872×10^6 Bq/kg), ^{58}Co (7.4645×10^7 Bq/kg) 이고, 검출된 감마핵종 중, ^{58}Co 의 방사능농도가 7.4645×10^7 Bq/kg로 가장 높은 것으로 나타났다. 검출된 감마핵종의 방사능 농도는 Table 2에 나타내었고 분석한 감마스펙트럼은 Fig. 7에 나타내었다.

생성된 핵종 중 ^{51}Cr , ^{52}Mn 의 반감기는 각각 27.7일, 5.6일로 비교적 짧은 물리적반감기를 가지고 있으며 ^{54}Mn , ^{56}Co , ^{57}Co , ^{58}Co 의 반감기는 312일, 77.3일, 272일, 71일로 비교적 긴 물리적 반감기를 가지고 있다.

표적실내에 잔류하는 방사화 핵종을 분석한 선행연구결과¹⁾는 1년 이상 보관된 H_2^{18}O 농축수를 분석하였기 때문에 반감기가 짧은 ^{51}Cr , ^{52}Mn 은 검출되지 않았다. 표적집합체내 하버포일에서 잔류하는 방사화 핵종을 분석한 선행연구

Table 1 List of gamma emitters detected in the recovered water sample, their specific activity and the MDA.

| Detection nuclide | Detection value (Bq/L) | MDA (Bq/L) |
|-------------------|------------------------|------------|
| ^{51}Cr | 13.3 | 7.59 |
| ^{52}Mn | 27.1 | 1.52 |
| ^{54}Mn | 11.3 | 0.65 |
| ^{56}Co | 104 | 0.66 |
| ^{57}Co | 116 | 0.57 |
| ^{58}Co | 537 | 1.01 |

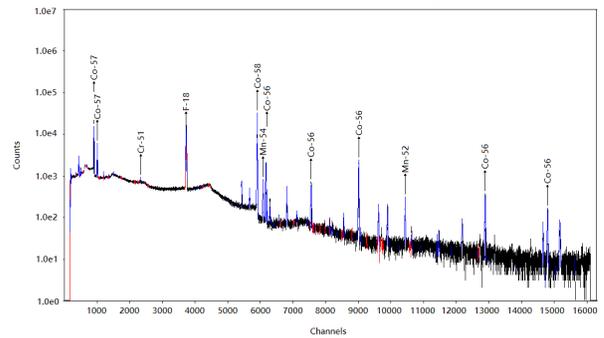


Fig. 6 Measured gamma spectrum of the recovered H_2^{18}O water sample in Fig. 3(b)

Table 2 List of gamma emitters detected in the Havar foil sample, their specific activity and their MDA

| Detection nuclide | Detection value (Bq/kg) | MDA (Bq/kg) |
|-------------------|-------------------------|--------------------|
| ^{51}Cr | > 12 Halfives | - |
| ^{52}Mn | > 12 Halfives | - |
| ^{54}Mn | 1.51×10^5 | 4.86×10^4 |
| ^{56}Co | 8.04×10^6 | 6.59×10^6 |
| ^{57}Co | 1.58×10^7 | 1.09×10^4 |
| ^{58}Co | 4.31×10^7 | 8.35×10^4 |

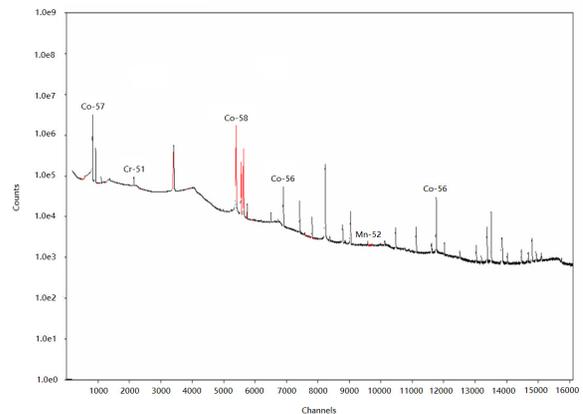


Fig. 7 Measured gamma spectrum of the target window sample in Fig. 4(b).

결과³⁾와 비교하여 본 연구에서는 반감기가 짧은 ⁵¹Cr, ⁵²Mn 은 검출되지 않았다.

검출된 시료에 대하여 최소검출방사능(Minimum Detectable Activity; MDA)을 산출하였다. 최소검출방사능은 시료에서 검출할 수 있는 최소 방사능 크기를 의미한다. 본 연구에서는 방사능 95%의 신뢰수준으로 최소검출방사능을 산출하였다.

$$MDA = \frac{2.71 + 4.65\sqrt{N_b}}{f \times \epsilon \times t_s} \quad [\text{Bq/L or Bq/kg}] \quad (1)$$

- 여기서, N_b : 백그라운드 계수치
- t_s : 시료의 계측시간
- f : 붕괴당 방사선 방출률
- ϵ : 전체수효율

계측에서 평가된 시료의 방사능 농도값이 최소검출방사능보다 작게 나타나는 경우에는 95%의 신뢰도로 시료에 방사능이 존재하지 않는다고 평가한다. 분석한 검출값이 최소검출방사능이상이므로 측정값은 95%의 신뢰도로 방사능이 존재한다는 의미이다. 하버포일의 측정에서 ⁵¹Cr, ⁵²Mn은 검출되었지만 12반감기 이상 경과 후 시료를 측정하였기 때문에 신뢰도 95%를 만족하지 않는 결과값이다.

시료의 잔류하는 방사화 핵종을 분석한 결과, Cr, Mn, Co 등의 핵종이 검출된 이유는 표적집합체 내 하버포일의 구성성분이 고강도의 코발트 합금으로 Co 42%, Cr 19.5%, Mn 1.6% 등의 합금으로 이루어져 있으며 하버포일과 사이클로트론 양성자 및 이차 중성자의 핵반응에 의해 방사화 핵종이 생성되었기 때문이다.

2. 잔류 ¹⁸F⁻ 및 표적 외부에서의 공간선량률 변화 분석

표적집합체 내 잔류하는 ¹⁸F⁻에 의한 방사능을 측정된 결과에 감마상수(1.851×10^{-4} mSv/MBq.h at 1 m)를 적용하여 선량률로 환산하였다. 사이클로트론 빔 종료 후, 초기 선량률은 1.23 mSv/h이고, 10시간 후 0.04 mSv/h로 감소하였다.

방사선감시기에 의한 표적집합체에서의 감마선량률을 측정한 결과 사이클로트론 빔 종료 후, 초기선량률은 21 mSv/h이고, 10시간 후 0.67 mSv/h로 감소하였다. 이는 초기 선량률의 95%이상 감소를 의미한다. 특히, 사이클로트론 빔 종료 후 초기 선량률은 10시간 후 약 95%이상 감소하였다는 의미는 단 반감기 핵종(¹⁸F⁻)에 의한 선량률이 가동

Table 3 Estimated dose rate contributed from the residual ¹⁸F in the target and total dose rate at 50 cm away from the target measured every hour after irradiation

| Time(h) | ¹⁸ F(mSv/h) | Target(mSv/h) |
|---------|------------------------|---------------|
| 0 | 1.23 | 21.0 |
| 1 | 0.88 | 13.0 |
| 2 | 0.63 | 8.70 |
| 3 | 0.44 | 5.80 |
| 4 | 0.30 | 3.70 |
| 5 | 0.22 | 2.93 |
| 6 | 0.14 | 2.01 |
| 7 | 0.09 | 1.50 |
| 8 | 0.07 | 1.15 |
| 9 | 0.05 | 0.87 |
| 10 | 0.04 | 0.67 |
| 11 | 0.02 | 0.54 |
| 12 | 0.01 | 0.50 |

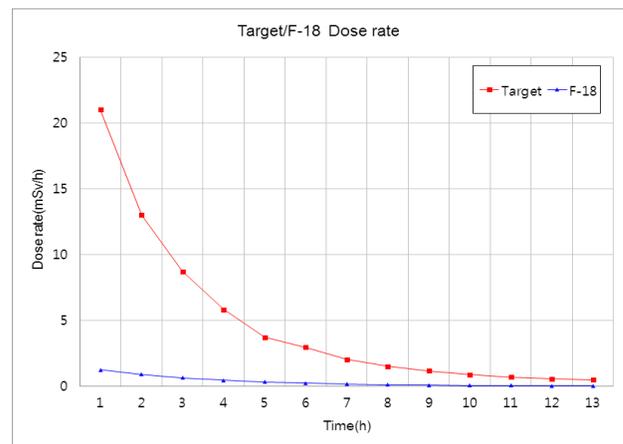


Fig. 8 Dose rates of the target and the residual ¹⁸F was measured every hour after the irradiation at a distance of 50 cm from them.

종료 후부터 10시간까지 지배적임을 알 수 있었다.

하지만, 잔류 ¹⁸F⁻에 의한 영향이 사라진 후에는 표적에서 검출된 핵종에 의한 피폭을 고려해야한다. Table 1, 2에서의 측정의 결과에 의하면 초기의 검출값은 ⁵⁸Co에 의한 것이 지배적일 것이나 장기적으로 선량에 영향을 주는 것은 ⁵⁷Co 일 것으로 기대된다. 왜냐하면 ⁵⁷Co의 반감기는 272일로서 ⁵⁸Co의 반감기 71일에 비해서 훨씬 길기 때문이다. 표적집합체에서의 선량률 값은 Table 3에 나타내었고, 시간경과에 따른 선량률 변화 그래프는 Fig. 8에 나타내었다.

IV. 결 론

본 연구에서는 사이클로트론을 이용한 $^{18}\text{F}^-$ 생산 후 표적 실 내 잔류하는 방사화 핵종과 표적창의 방사화 핵종 및 방사능을 확인하기 위하여 고순도 게르마늄 감마핵종분석기를 이용하여 분석하였다. 또한, 표적 방사화 핵종 및 표적에 잔류하는 $^{18}\text{F}^-$ 에 의한 선량률을 측정 및 분석하였다.

본 연구결과 사이클로트론 빔 조사 종료 후 표적 유지보수 작업 시 잔류 $^{18}\text{F}^-$ 의 영향에 의한 감마선 영향 감소를 고려하여 최소 10시간 이후 표적집합체 유지보수 작업을 수행할 필요가 있다.

실제로 측정된 데이터를 근거로 부산대학교 병원에서의 사이클로트론 표적집합체 유지보수 작업 시, 방사화 핵종 분석 및 표적집합체에 잔류하는 $^{18}\text{F}^-$ 에 의한 선량률 분석 자료를 이용하여 표적집합체 유지보수 작업자의 출입시점 및 작업시간을 지정하여 유지보수 작업을 수행할 경우 ICRP 103 권고에서 강조한 작업자 방호의 최적화를 달성할 수 있을 것으로 예상된다.

REFERENCES

1. Bo Sun Kang: An Activation Analysis of Target("used H_2^{18}O ") for ^{18}F FDG Synthesis. *J. Korean. Soc. Radiol.*, 7(3), 213-219, 2013
2. Cyclotron Produced Radionuclides: Guidance on Facility Design and Production of [^{18}F]Fluorodeoxyglucose (FDG). International Atomic Energy Agency, Vienna, 2012
3. Guarino P, Rizzo S, Tomarchio E: Gamma-ray spectrometric characterization of waste activated target components in a pet cyclotron. 8th International Conference of Cyclotrons and Their Applications, Giardini Naxos, 295-297, 2007
4. O'Donnell R. G, León Vintró L., Duffy G. J, Mitcheel P. I: Measurement of the residual radioactivity induced in the front foil of a target assembly in a modern medical cyclotron. *Appl. Radiat. Isotopes.*, 60(2), 539-542, 2004
5. Mukherjee B: Decay characteristics of the induced radioactivity in the target cave of a medical cyclotron. *Appl. Radiat. Isotopes.*, 48(6), 735-738, 1997
6. Ledesma J, Cieoria G, Solanki K, Noya E, Boschi S and Marengo M: Radiation safety issues in the maintenance of cyclotron targets for the production of ^{11}C . 12th Congress of the International Radiation Protection Association, Buenos Aires, 2010
7. Muknerjee B, Khachan J: Operational health physics during the maintenance of a Radioisotope Production cyclotron. 18th International Conference of Cyclotrons and Their Applications, Giardini Naxos, 146-148, 2007
8. ICRP Publication 103: The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP, Ottawa, 2007
9. Yong-Min Kim, Kun-Woo Cho: A Study on the Implementation of Dose Constraints in Occupational Dose According to ICRP 103 Recommendations in Korea. *J. Radiol. Prot.*, 36(3), 127-133, 2011
10. Cyclone 18/9: System Description. IBA, Louvain-la-Neuve, 2005
11. Cyclone 18/9: Maintenance Guide. IBA, Louvain-la-Neuve, 2005
12. Knoll G. F: Radiation detection and measurement, 4th ed., John Wiley & Sons Inc., Hoboken, 2010
13. ORNL/RSIC-45: Specific Gamma-Ray Dose Constants for Nuclides Important to Dosimetry and Radiological Assessment. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, 1982

•Abstract

Evaluation of Residual Radioactivity and Dose Rate of a Target Assembly in an IBA Cyclotron

Seon Yong Hwang·Youngju Kim·Seung Wook Lee

School of Mechanical Engineering, Pusan National University

When a cyclotron produces ^{18}F , accelerated protons interact with metal parts of the cyclotron machine and induces radioactivity. Especially, the target window and chamber of the target assembly are the main parts where long-lived radionuclides are generated as they are incident by direct beams. It is of great importance to identify radionuclides induced in the target assembly for the safe operation and maintenance of a cyclotron facility. In this study, we analyzed major radionuclides generated in the target assembly by an operation of the Cyclotron 18/9 machine and measured dose rates after the operation to establish the radiation safety guideline for operators and maintenance personnel of the machine. Gamma spectroscopy with HPGe was performed on samples from the target chamber and Havar foil target window to identify the radionuclides generated during the operation for production of ^{18}F - isotope and their specific activity. Also, the dose rates from the target were measured as a function of time after an operation. These data will help improve radiological safety of operating the cyclotron facilities.

Key Words : Cyclotron, Target assembly, Activation, Havar foil, Gamma spectroscopy