

## Evaluation of the Radiation Dosage Flowing out of the Hot Cell During Synthesis of $^{18}\text{F}$ FDG

Hongmoon Jung\*, June ho Cho\*\*, Jaeun Jung\*, Doyeon Won\*

Department of Radiological Science\*, Daegu Health College Department of nuclear medicine, yeungnam Univ. Hospital\*\*

### $^{18}\text{F}$ FDG 합성시 핫셀장비 외부로 유출 방사선의 선량 평가

정홍문\*, 정재은\*, 조준호\*\*, 원도연\*

대구보건대학교 방사선과\*, 케어캠프(주)-영남대학교병원\*\*

#### Abstract

Intravenous injection is administered with radioactive medical isotopes to detect disease on Positron Emission Tomography (PET). In this case, typically,  $^{18}\text{F}$ FDG (Fluorodeoxyglucose) is used as a radioactive medicine. Cassette equipment is needed to synthesize deoxyglucose with  $^{18}\text{F}$ , produced by medical cyclotron. Production of radioactive medicine creates a lot of radiation, thus Hot Cell is used to shield a secondary radiation. We measured the radiation dosage flowing out of the hot cell during synthesis of  $^{18}\text{F}$ FDG or distribution. The purpose of this study is to provide the information of radiation dosage regarding the occupational exposure that unintentionally occurs during the synthesis of  $^{18}\text{F}$ FDG. In conclusion, we confirmed the radiation dosage out of the hot cell during the  $^{18}\text{F}$ FDG synthesis. Especially, we observed that the radiation flowed out through the lead window, attached as a view port. Thus, it is considered that the improvement of a lead window is necessary in order to decrease the occupational exposure during the  $^{18}\text{F}$ FDG synthesis.

Keyword:  $^{18}\text{F}$ Fluorodeoxyglucose, Hot cell, Hot cell shield, Hot cell secondary radiation

#### 요약

PET(positron emission tomography)을 촬영하기 위해서는 방사선 의약품 동위원소를 사용하여 인체 내에 정맥주사를 한다. 이 경우 대표적으로 사용하는 방사선 의약품은  $^{18}\text{F}$ FDG (Fluorodeoxyglucose)이다. 의료용 싸이클로트론으로 생산하는  $^{18}\text{F}$ 에 deoxyglucose를 합성하기 위해서 합성용 카세트장치가 필요하다. 방사성 의약품 제조시에는 많은 양의 2차 방사선이 발생이 된다. 따라서 2차 방사선을 차폐하기 위하여 핫셀(Hot cell)을 사용한다. 우리는  $^{18}\text{F}$ FDG 합성 또는 분배시에 핫 셀 외부로 유출되는 선량을 측정하였다. 이번 실험은  $^{18}\text{F}$ FDG 제조 작업시에 의도하지 않게 발생할 수 있는 방사선 작업종사자의 피폭에 관한 선량정보를 제공하기 위함이다. 결론적으로 핫셀 내부에서 외부로  $^{18}\text{F}$ FDG 합성시에 선량이 유출됨을 확인 할 수 있었다. 특히 핫셀에서 핫셀 내부를 볼 수 있는 납유리에서 외부로 방사선이 유출되는 것을 알 수 있었다. 결론적으로  $^{18}\text{F}$ FDG 합성시 방사선 작업종사자의 피폭선량을 감소하기 위해서는 핫셀 존재하는 납유리의 개선점이 필요할 것으로 사료된다.

중심단어 : 18 불소 탈산소 포도당, 핫셀, 핫셀 차폐, 핫셀 외부 2차 방사선

## I. 서 론

양전자 방출 단층촬영 PET(positron emission tomography)은 핵의학 검사 중 대표적인 촬영방법이다. 인체 장기의 영상을 입체적으로 얻을 수 있을 뿐만 아니라 생리학적 대사 검사까지 할 수 있는 방법이기 때문에 사용빈도가 점차 증가하고 있다. PET를 검사하는데 있어 대표적인 방사선의  $^{18}\text{F}$ FDG 방사성의약품을 이용하여 검사한다.[1,2,3] PET의 원리는 원자내의 양전자가 원자 외부로 이탈시 음전자 하나와 쌍을 이루면 외부로 방출이 되는데, 이때 음전자 하나와 쌍을 이루면 외부로 방출이 되는데, 이때 음전자 하나를 쌍을 이루어 양전자가 소멸이 된다. 소멸의 의한 감마선이 180도 방향으로 각각 511keV가 발생된다. 양전자를 발생할 수 있는 방사성의약품을 사용하여 양전자 소멸 현상에 의해 양전자가 소멸된 곳을 중심으로 쌍방향으로 동시에 발생한 511 keV 감마선 에너지를 검출기로 측정하여 양전자 방출 핵종이 표시된 장기와 병변을 3차원 영상 정보를 영상으로 볼수있게 된다.[4,5] 이러한 PET 표시 추적자(tracer) 영상을 얻기 위해  $^{11}\text{C}$ ,  $^{13}\text{N}$ ,  $^{15}\text{O}$ ,  $^{18}\text{F}$  방사선의약품 동위원소가 사용된다. 그 중에서도  $^{18}\text{F}$ 가 가장 널리 사용된다. 이는 적절한 반감기(109분)와 고에너지를 가지고 있기 때문이다.  $^{18}\text{F}$ 에 인체 내 표지할 수 있는 deoxyglucose를 접합시키는 작업을 합성이라 한다. 이러한 작업은 방사선 에너지가 커서 작업자로 하여금 피폭을 가져오기 때문에 핫셀(Hot cell)이라 불리는 상하좌우 납두께 10cm 인 납상자 안에서 작업이 이루어진다. 핫셀은 방사선이 방출되는 상황에서 작업을 수행해야 할 경우 작업자의 피폭을 최소화하기 위해서 방사선원을 가두는 방을 의미한다.  $^{18}\text{F}$ FDG 합성시에는 핫셀 내부에 설치되어 있는 합성장치와 분배 장치에 약 2000 mCi~7000 mCi의 방사성 의약품이 존재한다. 핫셀의 벽은 납 두께가 상하좌우 10 cm가 되어 핫셀 외부로 감마선이 누출되는 영향은 적을 것으로 예상이 되지만 우리는 핫셀 내부에 있는 합성기 분배기를 중심으로  $^{18}\text{F}$  합성시에 방사선량과 분배시의 방사선량을 측정하여, 핫셀이 방사선 차폐가 잘 이루어지고 있는지 검증하고자 선량측정을 하였다. 아직까지  $^{18}\text{F}$ FDG 합성시에 핫셀 외부로 유출되는 선량에 관한 보고가 없다. 또한

핫셀 중앙에 위치하는 납유리가 정확한 차폐가 이루어지고 있는지도 의문점을 가지고 납유리를 통과한 유출방사선을 측정하였다. 이러한 측정은  $^{18}\text{F}$ FDG 합성 및 분배 작업 중 방사선이 방출되는 상황에서 작업을 수행해야 할 경우 작업자의 피폭을 최소화하기 위해서 반드시 이루어져야 하는 상황이다.

## II. 실험 및 방법

### 1. 핫셀(Hot cell)의 제원 및 크기

MX & EXPLORA HOT CELL(DUAL HOT Cell) 제작년도 2012/2 한국 차폐기술에서 제작하였으며, 핫셀의 외부크기는 1135 (W) x 1350 (D) x 2800 mm(H), 상하부 내부크기 800 (W) x 800 (D) x 800 mm(H) 로 되어 있다. 벽은 납으로 구성되었으며 두께는 100 mm로 되어있다.



Fig.1 Image of hotcell

### 2. $^{18}\text{F}$ FDG 합성기 제원

합성장치는 GE(General Electric)사의 Fastlab 과 MX TraceLab, FX-Cpro, FXFN 등이 있으며, FDG를 생산하기 위해 사용하는 합성장치는 Fastlab과 MX traceLab을 사용하고 있다. 따라서 Fastlab과 MX traceLab이 내제되어있는 핫셀의 외부를 측정하였다. 합성장치의 크기는 가로 510 mm 너비 404 mm 높이 440 mm로 구성되어 있으며 무게는 약 48kg 정도이다.

### 3. 선량측정기

방사선 선량을 측정은 한국원자력연구원에서 검 · 교정한 Thermo 사의 감마서베이미터(ESM FH 40G)를 사용하였으며, 교정인자는 1.1 (교정일자 2012년 12월 04일)이다.

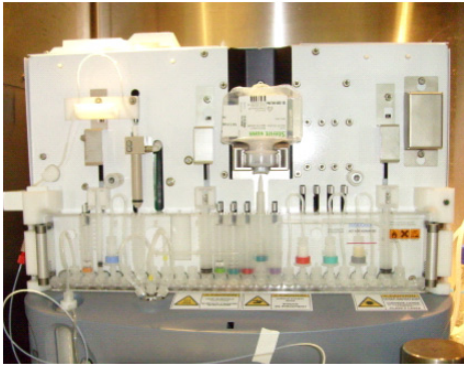


Fig.2 Image of <sup>18</sup>F-FDG synthesis

4. 실험방법

기본적인 <sup>18</sup>F-FDG 합성량인 1500 mCi를 기준으로 두고 실험을 시작하였다. <sup>18</sup>F-FDG 합성기 및 분배기가 내재되어있는 핫셀의 전면개폐부에서 합성기를 방향성이 없는 선원으로 간주하여 각각 50 cm, 100 cm, 150 cm 떨어진 거리에서 각도를 각각 30도, 60도, 90도, 120도, 150도에서 선량을 측정하였다. 각각 5회 이상을 측정하여 평균값과 표준 오차값을 구현하였다.

5. 통계적 분석

모든 통계적 수치의 차이는 엑셀을 통하여 T-student (t-test)를 통하여 검증되었으며 P값 value 0.05 < P 의 범위에 있을 때 통계적 차이가 유의한 것으로 간주하였다.

Ⅲ. 결 과

방사성 의약품인 <sup>18</sup>F-FDG는 합성 시에 오염에 주의하여야 한다. 합성 중에 이 물질의 유입은 약물을 투여하는 환자에게 치명적으로 작용할 수 있기 때문이다. 따라서 <sup>18</sup>F-FDG 제조 시에는 멸균 시스템을 갖춘 상태에서 작업을 해야 한다. 핫셀 내부에 존재하는 <sup>18</sup>F-FDG 합성 장비는 외부에서도 관찰 할 수 있게 납유

리로 만들어져 있다. 아울러 이곳에서 나오는 방사선량의 측정그림을 보여준다. (Fig.3)



Fig.3 Measuring outside scatter ray of <sup>18</sup>F-FDG synthesis equipment in hot cell

- (A) hot cell lead glass,
- (B) measuring of hot cell out side during <sup>18</sup>F-FDG synthesis

합성된 <sup>18</sup>F-FDG를 병원에 필요한 공급량만큼 분배를 하여야 한다. 이는 비방사능에 의해 계산되어지며, 이를 분배하는 방식에는 Manipulator(로봇팔)을 이용하는 방식과 Tong(집게)을 이용하는 방식 크게 두 가지로 나누어진다. 분배장치의 집게 또한 핫셀(Dispensing 핫셀, 분배핫셀) 내부에 설치되어있다. 이는 사용자로 하여금 피폭을 최소화하기 위함이다. 따라서 조종하는 손잡이 부분만 핫셀 바깥에 부착되어 있으며 이것을 조작하여 <sup>18</sup>F-FDG 방사성의약품을 분배하게 된다. 분배시 핫셀 표면에 부착된 납유리를 통해 분배과정을 직접 보면서 수행 할 수 있다. 아울러 <sup>18</sup>F-FDG 분배시의 측정을 그림과 같이 수행하여 측정하였다.(Fig.4)

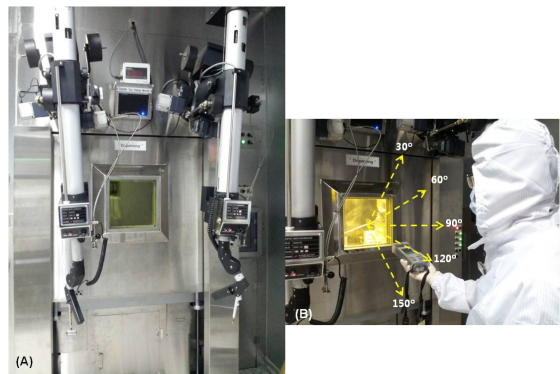


Fig.4 Measuring outside scatter ray of <sup>18</sup>F-FDG dispense equipment in hot cell

- (A) Dispense robot arms machine,
- (B) measuring of hot cell out side during <sup>18</sup>F-FDG dispensing

<sup>18</sup>F-FDG 합성중에는 선량측정값은 다음과 같다. 50 cm 거리에서는 평균적으로 각각 30도에서는 1.22 μSv/hour, 60도에서는 1.45 μSv/hour, 90도에서는 1.70 μSv/hour, 120도에서는 1.50 μSv/hour, 150도에서는

1.41 $\mu$ Sv/hour 가 각각 측정되었다. 합성기와 수직방향인 90도 방향에서 가장 높은 방사선량이 측정되었다. (Fig.5)

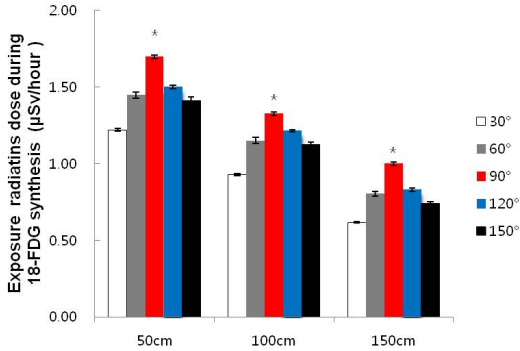


Fig.5 Result of measuring radiation of hot cell outside during <sup>18</sup>FDG synthesis  
High dose rays was detected hot cell outside toward angle 90 degree during <sup>18</sup>FDG synthesis (\* 0.05<P)

하지만 분배기 장치에서의 선량의 각도에 따른 차이는 나타나지 않았다. 50 cm 거리에서 평균선량을 측정한 결과 30도는 0.95  $\mu$ Sv/hour, 60도에서는 0.97  $\mu$ Sv/hour, 90도 에서는 0.97  $\mu$ Sv/hour, 120도에서는 0.94  $\mu$ Sv/hour, 150도에서는 0.84  $\mu$ Sv/hour가 각각 측정되었다. 분배기에서는 거리에 따른 선량감약만 존재할 뿐 각도에는 통계적 수치가 유의하지 않았다. (Fig6)

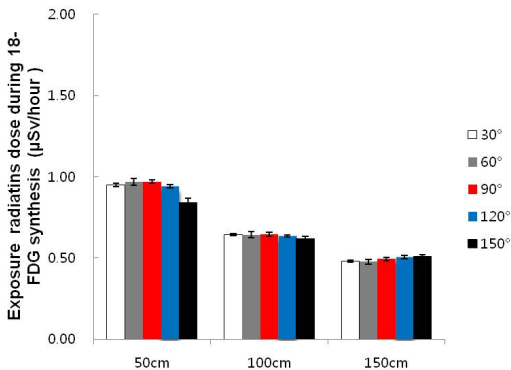


Fig.6 Result of measuring radiation of hot cell outside during <sup>18</sup>FDG dispense No signification of scatter ray angle on hot cell outside during <sup>18</sup>FDG dispense

#### IV. 고 찰

생산된 <sup>18</sup>FDG는 반감기 (109min)를 가지고 있기 때

문에 그 날에 환자에 필요한 공급량만큼 각 병원에 분배를 하여야 한다. 합성장치와 분배장치는 핫셀 내부에 설치되어 있다. 합성기는 외부에서 볼 수 있게 납유리로 되어있다. 또한 분배기는 조종하는 손잡이 부분만 핫셀 바깥에 부착되어 이를 조작하여 방사성의 약품을 분배하게 된다.[6.7] 분배시 핫셀 표면에 부착된 납유리를 통해 분배과정을 직접 보면서 수행 할 수 있다. 사람이 직접 손으로 분배를 하면 가장 빠르고 정확하게 시행할 수 있지만 작업자가 피폭을 대량으로 받게 되므로 이를 방지하고자 외부 조작 장치를 이용하여 작업자의 피폭을 최소화 할 수 있게 해준다. 이 분배장치를 이용하여 원하는 <sup>18</sup>FDG 약품을 주사기를 이용하여 추출 후 투명한 멸균 소액용기에(vial) 담아서 약품사용자로 하여금 적절량을 사용하기 좋은 환경으로 만들어준다. 이렇게 각 소액용기에 담긴 <sup>18</sup>FDG의 의약품을 텅스텐 운반용기 내부에 위치시킨 후 운반용기 뚜껑을 닫고 다시 운반함에 재포장하여 운반시 견고성을 갖춘 뒤 외부로 반출시킨다. <sup>18</sup>FDG의 에너지량은 높기 때문에 인체에 직접적으로 장시간 노출을 하게 되면 방사선 속취나 장애를 유발할 수 있다.[8,9] <sup>18</sup>FDG를 합성하는 작업자는 한명에 의존하는 것이 아닌 여러 작업자가 서로 교대로 작업을 하기 때문에 <sup>18</sup>FDG 합성 피폭을 무시할 수도 있으나, 지속적이고 장기적인 <sup>18</sup>FDG합성 종사자는 방사선의 피폭에 작업시간만큼 충분히 많은 양이 노출될 수 있다. 합성기 측정 시 가장 방사선량이 높은 1.7  $\mu$ Sv/hour의 양을 연간 작업 선량으로 환산하면, 하루 8시간에 300일의 날짜를 곱한 결과 약 4.08 mSv/year의 수치가 나온다. 이 수치는 연간 1mSv/year인 자연방사선량에 비해 높지만 방사선 작업종사자의 연간 50mSv/year 허용선량에는 못 미친다. 그러나 작은 방사선량이라 해도 누적이 일어남으로 방사선 확률적 장애를 유발 할 수 있으므로 방사선 작업 시 최소한의 피폭을 줄여야 한다. 환자가 급증하고 이에 따른 검사의 증가로 인해 앞으로도 <sup>18</sup>FDG의 합성작업자의 인력이 증가할 것으로 보인다. 약품을 만들어 환자에게 사용하는 것도 중요하지만 방사선 작업종사자의 안전 또한 중요시해야 할 상황이다. 따라서 <sup>18</sup>FDG의 합성 작업자가 증가함에 따라 이에 따른 핫셀도 적절한 사용자에 따른 보완이 이루어져야 한다.

## V. 결 론

$^{18}\text{F}$ FDG 합성과정은 핫셀 내부에서 이루어진다. 핫셀은 10cm의 두꺼운 납으로 만들어져 있으며 따라서 방사선의 차폐의 주목적으로 사용된다. 하지만  $^{18}\text{F}$ FDG 합성시에 핫셀 내부로부터 외부로 유출되는 방사선량은 50 cm에서 최저 1.22 에서 최고 1.70  $\mu\text{Sv}/\text{hour}$  까지 측정되었다. 또한 분배기에서는 50 cm에서 약 0.94  $\mu\text{Sv}/\text{hour}$  선량이 측정되었다. 핫셀 내부를 볼 수 있는 납유리에서 가장 많은 피폭선량이 측정되었다. 이는 납유리의 두께를 증가시키거나 더 나아가 납유리의 크기와 위치를 조정해야 할 필요가 있음을 시사한다. 하지만 분배기에서는 각도에 따른 선량의 차이를 나타내지 않아 합성기와는 차이점이 있다. 결론적으로 핫셀 자체에서 합성하는  $^{18}\text{F}$ FDG의 방사선의 2차 피폭량을 작업하는 종사자는 합성시에 납유리의 전방에서 있는 것을 피해야 하며, 또한 원천적으로 핫셀 납유리의 보완이 시급한 실정이다.

## 참고문헌

- [1] Chew J, Silverman DH. FDG-PET in early AD diagnosis., FDG-PET in early AD diagnosis. Med Clin North Am.,May;97(3):485-94,2013.
- [2] Cabral FC, Krajewski KM, Kim KW, Ramaiya NH, Jagannathan JP., Peritoneal lymphomatosis: CT and PET/CT findings and how to differentiate between carcinomatosis and sarcomatosis.,Cancer Imaging. Apr 15;13:162-70,2013.
- [3] Herrera FG, Prior JO. The role of PET/CT in cervical cancer.Front Oncol. Feb 26;3:34,2013.
- [4] Kim H, Frisch H, Chen CT, Genat JF, Tang F, Moses WW, et al. A Design of a PET Detector Using Micro-Channel Plate Photomultipliers with Transmission-Line Readout. Nucl Instrum Methods Phys Res A.622(3):628-636,2010.
- [5] Shakir DI, Okur A, Hart A, Matthies P, Ziegler SI, Essler M, et al. Towards intra-operative PET for head and neck cancer: lymph node localization using high-energy probes. Med Image Comput Comput Assist Interv.15(Pt 1):430-7, 2012.
- [6] Cho IJ, Kook Dk, Ku JH, Choung WM, You GS Eun-Pyo Lee GS, et al.Evaluation on the Radiological Shielding Design of a Hot Cell Facility. J. of the Korean Radioactive Waste Society , Vol.2 No.3, 2004.
- [7] Kook DH, Choung WM, Ku JH, Cho IJ, Lee EP, You GS. Radiation Dose Assessment of ACP Hotcell for Spent Fuel Treatment in Normal Operation & Accident Case. J. of the

Korean Radioactive Waste Society, Vol.2 No.3,2004.

- [8] Jingu K, Kaneta T, Nemoto K, Ichinose A, Oikawa M, Takai Y, et al.The utility of  $^{18}\text{F}$ -fluorodeoxyglucose positron emission tomography for early diagnosis of radiation-induced myocardial damage. Int J Radiat Oncol Biol Phys.Nov 1;66(3):845-51,2006.
- [9] Iyer RB, Balachandran A, Bruzzi JF, Johnson V, Macapinlac HA, Munden RF. PET/CT and hepatic radiation injury in esophageal cancer patients. Cancer Imaging.Nov 26;7:189-94,2007.