

Quality Control of Dose Calibrator using 3D Printery

Chan-Ju Ryu^{1,2,*}

¹Department of Nuclear medicine, Bundang Cha Hospital

²Department of Radiological Science, Eulji University

Received: May 27, 2021. Revised: June 29, 2021. Accepted: June 30, 2021.

ABSTRACT

In nuclear medicine, radioactive isotope tracers are administered to the human body to obtain and evaluate disease morphological information and biological function information. Dose calibrator is a device used to measure the radioactivity of a single nuclide in medical institutions. Administration of the correct dose to the human body acts as an important factor in diagnosis and treatment, and measurement through a dose calibrator before administration is the most important factor. Dose calibrator performs daily quality control after installation in each medical institution. Quality control is a means of guaranteeing quality control after installation, and is essential for improving the quality of treatment and promoting patient safety. Therefore, accurate and standardized performance evaluation methods should be established. In this study, 3D printing was used for quantitative evaluation of quality control by increasing the accuracy and standardization of quality control. When the 3D printer was installed and reproducibility was tested, the error range of the expected value and reading value decreased by 0.302% in the F-18 nuclide and 0.09% in the ^{99m}Tc-pertechnate nuclide than when the 3D printer was installed. The error rate for other nuclides was also found to have a low error rate for reproducibility tests when 3D printing was installed.

Keywords: Dose calibrator, 3D Printer, Quality control, Standard source

I. INTRODUCTION

핵의학은 개봉 선원을 진료 목적으로 인체에 투여한다. 이러한 선원의 방사능량을 정량하기 위한 용도로 Dose calibrator를 사용한다^[1]. Dose calibrator는 일반적으로 기체가 고압으로 채워진 전리함(Ionization chamber)으로 되어있고, 선원이 방출하는 감마선을 4π 방향에서 측정하도록 우물형으로 구성되어 있다^[2]. 선원으로부터 발생하는 방사선이 충전 기체를 이온화 하며 발생하는 미세 전류를 측정하고, 장비 제작사에서 사전에 설정한 핵종별 교정상수^[3](전류와 방사능의 상관관계)를 통해 핵종의 방사능을 제시한다^[4]. 이러한 Dose calibrator는 인체에 투여되는 핵종의 방사능과 계획된(처방된) 값과의 차이를 확인할 수 있는 유일한 기기이므로

핵의학 절차에서 품질 관리의 주요 대상이다. 대부분의 국제 기준과 표준들은 Dose calibrator의 기본적인 품질 관리 항목으로 일 단위(daily)의 재현성(constancy) 검사 수행을 권고하고 있다^[5]. 특정 선원을 이용하여 반응도가 이전일 대비 유의미한 차이가 있는지 여부를 살펴봄으로써, 해당기기 전반적인 건전성(전리함 기체 충전, 전기 회로 및 전력 공급 안정성 등), 측정 환경의 변동(주변 오염 등), 기기의 임상 사용 가능성 등을 확인하기 위한 기본적인 절차이다^[6,7]. 비교적 Dose calibrator가 장기간 사용되고 일일 단위 점검을 고려할 때, 밀봉된 ¹³⁷Cs과 같은 장반감기 핵종의 사용이 권고된다^[8]. 이러한 일일 점검은 각 의료기관마다 점검 결과 기록, 관리 오차 설정 및 오차 초과 시 조치 방법 수립의 의무를 갖는다. 관리 오차 설정 시 국내외 표

* Corresponding Author: Chan-Ju Ryu

E-mail: ddrk18@naver.com

Tel: +82-31-780-5682

Address: 59, Yatap-ro, Bundang-gu, Seongnam-si, Gyeonggi-do, Republic of Korea

준에서 제시하는 5% (재심검, 조정, 수리 및 불가피한 경우 임시 보정하여 사용), 10%(수리, 기기교체, 임상적용 불가)의 기준을 참조할 수 있다⁹⁾. 각 의료기관의 진단과 치료에 중요한 요인으로 작용하는 목적으로 사용되는 Dose calibrator의 품질관리는 중요하다. 이에 정확성을 높이고 표준화된 방법을 통한 관리가 이루어야 한다. 본 연구에서는 4차 산업혁명 기술에서 3D 프린팅 기술을 이용하여 제작된 보조기구를 사용하여 Dose calibrator의 정도 관리의 정확도를 높이고자 한다.

II. MATERIAL AND METHODS

Fig. 1은 연구의 전체 제작과정을 도식화로 나타내었다. 3D 프린터를 이용한 디자인의 구성부터 설계, 제작과정에서는 Dose calibrator의 규격에 맞게 제작하였으며, 크기 와 재질을 고려하여 디자인 하였다. 제작된 3D 프린터 보조기구의 반복적인 검토휘 보완으로 피드백을 진행하였다. 다음 단계로 완성된 3D 프린터의 가공품을 적용시킨 것과 일반적으로 진행한 일단위의 Quality control의 재현성 (constancy) 결과를 비교·분석 하였다.

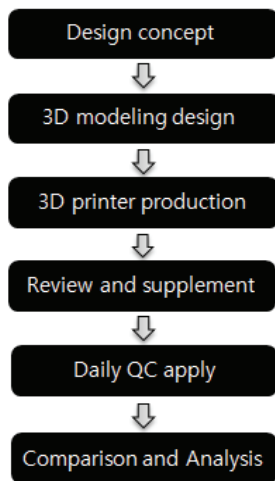


Fig. 1. The Whole Experimental Process.

1. 3D Modeling 설계

Dose calibrator의 구조와 표준선원의 중심성과 기준성 그리고 Daily QC에 있어서의 편리성에 중점을 두고 모델링을 설계하였다. Fig. 2와 같이 상부

높이 15 mm에 반경 26 mm로 구성하였고, 하부 높 이 20 mm 의 20 mm의 반경으로 전체 틀을 구성하였다. 내부 반경은 표준선원의 크기와 고정을 고려하여 15 mm로 설계되었다.

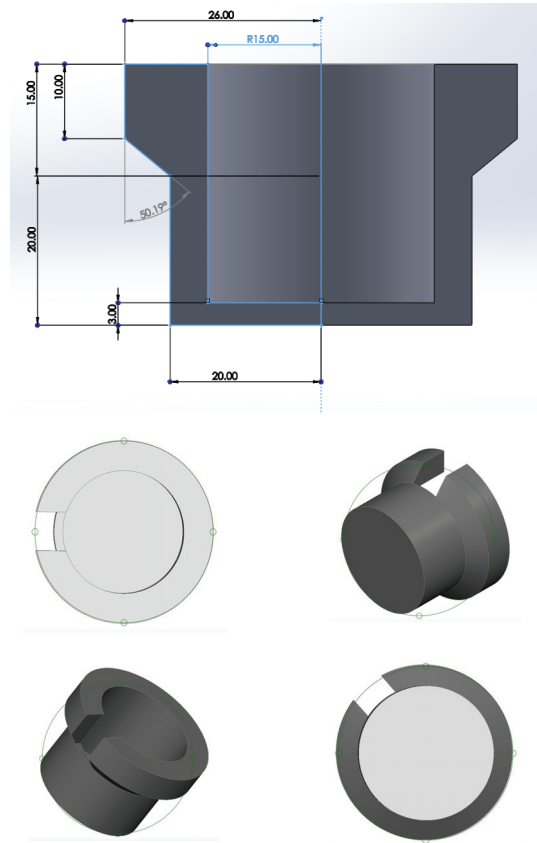


Fig. 2. 3D Print Design Drawings.

2. 3D 프린터 제작

3D 모델링 프로그램 Z-SUITE 2.0으로 디자인된 설계를 바탕으로 모델링을 완성하여 3D 프린터로 보조기구를 제작하였다. Fig. 3은 제작에 사용된 3D 프린터는 Zortrax M 200 모델이다.

원료로는 고체 상태인 Z-ABS(Acrylonitrile Butadiene Styrene)에 열을 가해 녹인 후 노즐을 통해 일정한 양으로 적층시켜 구조물을 만들어 내는 FDM(Fused Deposition Modeling) 방식으로 출력하였다. 출력베드의 크기는 200 × 200 × 180 mm (7.9 × 7.9 × 7.1 in)로 설계 하였으며, 노즐 직경은 0.3 mm, 적층 두께는 90 μm(최소 25 μm)까지의 정밀도를 가지고 있다.



Fig. 3. Zortrax M200 3D Printer.

3. 3D 프린터를 이용한 Dose calibrator의 Quality Control 적용

실험에 사용한 Dose calibrator는 CRC-15tR (Capn tec , New Jersey, USA)를 사용하였다. Fig. 4와 같이 선원으로는 정도관리를 위한 용량이 고정되어 있는 고체 형태의 표준선원(Standard source) ¹³⁷Cs을 사용하였다. 사용한 표준선원의 세부사항은 Table 1 과 같다^[11].

사용된 Dose calibrator의 Chamber의 깊이는 28.5 cm이다. 깊은 위치로 표준선원이 내려 갈 때 위치의 변동과 정확한 위치의 기준을 위해 3D 프린터로 제작된 제품을 Dose calibrator 에 고정시키고 안쪽에 표준선원인 ¹³⁷Cs을 위치시켰다.

Fig. 5와 같이 3D 프린트를 이용하여 표준 선원을 고정시킨 후, 제외한 후 각각 60회 반복을 통한 Dose calibrator의 재현성을 실시하였다.

표준선원을 이용한 Dose calibrator를 이용한 측정에는 처음 측정 시점과 마지막 시점간의 시간 차이가 발생하여 그에 대한 보정은 Dose calibrator의 Time setting 기능을 사용하였다.

두 가지 실험의 비교를 위해 통계 프로그램은 SPSS (Ver. 26.0, IBM, U.S.A)으로 기술 통계량에서 데이터 탐색을 통하여 정규 분포를 확인하였고, 대응 표본 t-검정을 통하여 두 집단 간의 차이를 비교·분석 하였다.

본 연구에서 사용된 모든 통계 분석의 유의수준은 일반적으로 사용되는 5 % ($\alpha = 0.05$)를 기준으로 설정하였다.



(a) Standard source(¹³⁷Cs)

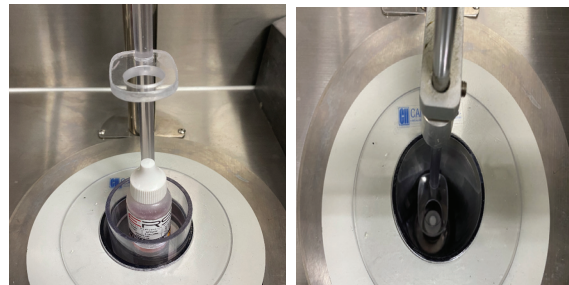


(b) CRC-55tR Dose calibrator

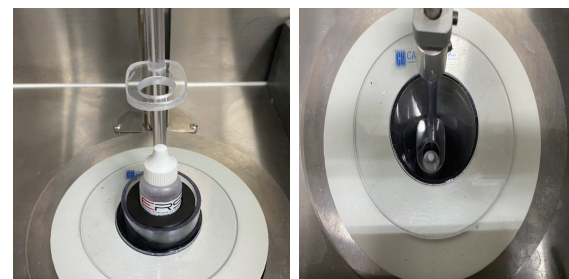
Fig. 4. Measurement tools used in quality control.

Table 1. Dose Calibrator Standard Sources

Product Type		Reference Source	
Isotope	Cesium-137	half-time(y)	30.2
Activity (SI)	3.563 MBq	Activity (NON SI)	96.29 μCi
Source No.	8400-19-29	REF.Date	2019.10.01



(a) Quality control using standard



(b) Equipped with a 3D printer and control quality using standard sources

Fig. 5. Standard source(¹³⁷Cs)was used for measurement.

III. RESULT

표준선원으로 Dose calibrator를 측정된 방사선량에서 설정된 핵종 중 핵의학과에서 사용 빈도가 높은 두 가지 핵종인 F-18, ^{99m}Tc-pertechnate의 방사능량(Activity)에 대하여 비교하였다. 먼저 3D 프린터를 장착하지 않고 표준선원을 측정하였을 때와 장착하고 측정하였을 때 Fig. 6과 같이 F-18 핵종에 대한 방사능량의 비교에서 통계적으로 유의한 차이가 있었다($p < 0.05$). 3D 프린터를 장착하고 측정하였을 때 기댓값의 평균 오차범위가 -0.057%, 장착하지 않고 측정하였을 때 -0.359%로 나타났다. 평균 상대편차는 0.302%로 나타났다.

Fig. 7과 같이 ^{99m}Tc-pertechnate 핵종에 대한 방사능량의 비교에서도 통계적으로 유의한 차이가 있었다($p < 0.05$). 3D 프린터를 장착하고 측정하였을 때 기댓값의 평균 오차범위가 -0.043%, 장착하지 않고 측정하였을 때 -0.133%로 나타났다. 평균 상대 편차는 0.09%로 나타났다.

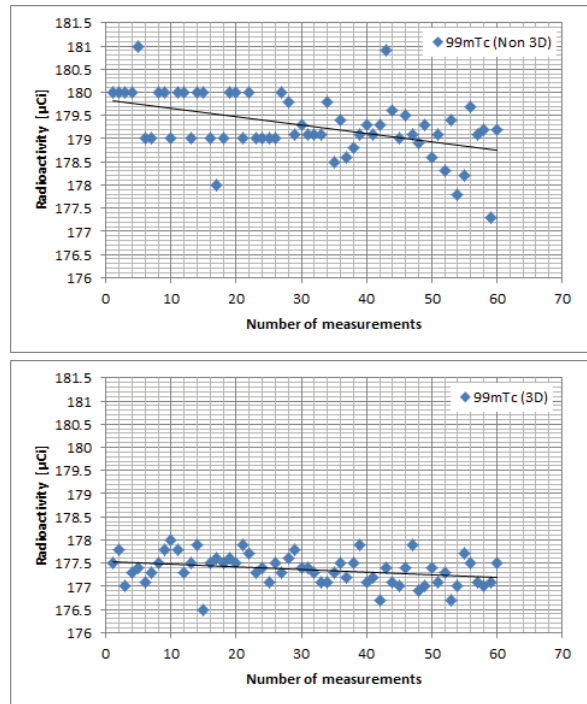


Fig. 7. Radioactivity measurements of 60 times of radioisotope ^{99m}Tc-pertechnate through a Dose calibrator.

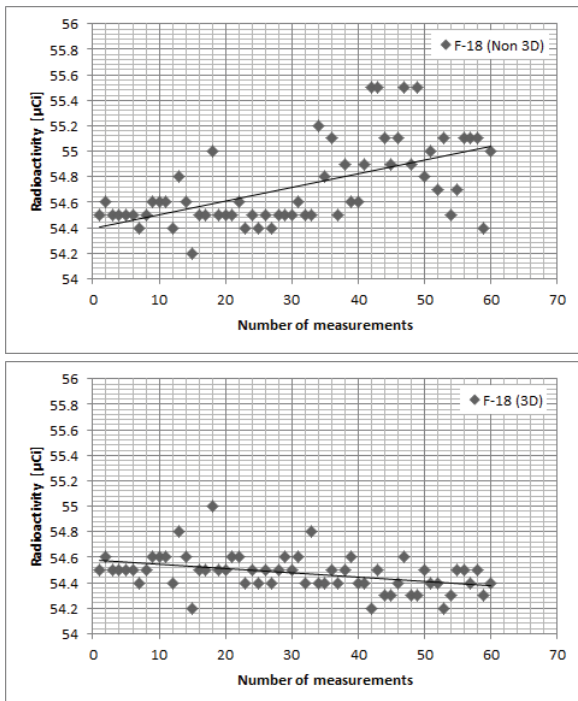


Fig. 6. Radioactivity measurements of 60 times of radioisotope F-18 through a Dose calibrator.

IV. DISCUSSION

3D 프린팅 기술은 소재의 다양성, 빠른 시간내 출력성 등의 장점을 기반으로 의료 분야의 여러 영역에서 널리 활용되고 있다. 현재 국내에는 의료용 방사능 측정기에 대해 점검 또는 교정을 수행하는 기관이 없으므로 의료기관에서 자체적으로 품질관리를 수행해야 한다. 이를 통해 국내 핵의학 의료기관에서 방사성의약품의 방사능 측정에 사용하는 방사능 측정기의 품질관리를 3D 프린트를 이용하여 F-18, ^{99m}Tc에 대한 의료기관 측정기의 측정 정확도를 높이고자 하였다. 연구를 통해 앞으로 의료기관에서 의료용 방사능 측정기의 품질관리에 대한 가이드라인을 제시하고 측정기에 대한 주기적인 품질관리 및 인식도를 높여 측정기의 성능을 최적화된 상태로 유지할 수 있도록 유도해 나갈 계획이다. 본 연구의 아쉬운 점은 각 제조사별 방사능 측정기에 대한 제작과 교정 시 제조사별로 시료의 용기 및 부피가 다르고 기준 선원도 다르다. 이는 추후 다른 기종의 Dose calibrator의 사용을 통한 재

현성 검사를 실시해야 한다. 또한 핵의학과에서 사용 되어지는 다양한 핵종들에 대한 정도 관리를 시행하여 오차율이 높아지는 핵종에 대한 분석을 통하여 환자로부터 정확한 선원의 투여를 기대할 수 있을 것이라 사료된다.

V. CONCLUSION

Dose calibrator의 정도 관리는 의료기관 자체적으로 일단위 또는 주단위로 시행하고 있다. 이때 사용되는 표준선원은 깊이 있는 Dose calibrator로 들어가면서 선원의 중심성을 잃게 되고 정확한 정도 관리의 결과값을 구할 수 없다. 이러한 오차율을 감소시키기 위한 3D 프린터를 이용하여 표준선원을 지지하는 보조기구를 제작하여 정도 관리의 효율성을 높이고자 하였다. 3D 프린터 보조 기구의 사용의 유무를 통해 Dose calibrator에서 표준선원 (^{137}Cs 사용)을 이용하여 측정값과 기댓값의 차이를 파악하여 상대적인 오차 값을 구하였다. F-18의 핵종에서는 3D 장착하지 않았을 때 0.3% 이상의 오차율이 발생하였고, $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -pertechnetate 핵종에서는 0.1% 이상의 오차율이 발생하였다. 국내외 표준에서 제시하는 5%의 오차범위를 넘지 않았지만, 환자에게 사용되는 방사성의약품의 정량화, 검사의 품질 향상 및 피폭선량 저감을 위해 정확한 품질관리를 확보할 필요가 있다. 본 연구는 향후 3D 프린팅 기술을 이용한 다양한 의료 장비의 정도 관리 고안 할 수 있는 기초적인 자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

Reference

[1] S. H. Park, B. H. Park, Y. S. Lee, "Dose calibrator quality control plan in nuclear medicine field", Korean Association For Radiation Protection, Vol. 2018, No. 11, pp. 311-312, 2018.

[2] J. G. Kim, J. C. Ham, S. H. Oh, C. K. Kang, J. S. Kim, "A Study on the Tendency of Dose value According to Dose calibrator Measurement Depth and Volume", The Korean Journal of Medicine technology, Vol. 24, No. 1, pp. 20-26, 2020.

[3] S. U. Bark, S. M. An, K. Y. Yu et al, *The Nuclear medicine science*, 4nd Ed., Daihak Publishing Co.,

pp. 63, 2011.

[4] M. K. Kim, H. I. Kim, J. H. Lee, S. H. Park, M. C. Song, "Status of quality control of medical Dose calibrator", The Korean Journal of nuclear medicine technology, Vol. 2017, No. 11, pp. 578-579, 2017.

[5] N. V. Uushona, T. J. Khotle, "Quality Assurance of the Dose Calibrator", Physica Medica, Vol. 23, No. 34, pp. 1120-1797, 2007.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ejmp.2007.09.033>

[6] B. E. Zimmerman, G. J. Kubicek, J. T. Cessna, "Radioassays and experimental evaluation of dose calibrator settings for 18F", Applied Radiation and Isotopes, Vol. 54, No. 1, pp. 113-112, 2001.
[http://dx.doi.org/10.1016/S0969-8043\(99\)00260-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0969-8043(99)00260-2)

[7] H. K. Son, H. J. Kim, H. J. Jeong, H. K. Jeong, "A Study of Quality Control of Nuclear Medicine Counting System and Gamma Camera", Korean Journal of Medical Physics, Vol. 12, No. 2, pp. 103-112, 2001.

[8] C. K. Kim, J. H. Choe, S. H. Kim, W. W. Choe, "Accuracy Management of Dose calibrator According to IAEA(International Atomic Energy)", Journal of Health Science & Medical Technology, Vol. 26, No. 1, pp. 7-12, 2000.

[9] Alan Britten, Wendy Tindale, Maria E Lyra, "Routine quality control recommendations for nuclear medicine instrumentation", European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging, Vol. 37, No. 3, pp. 662-671, 2010.
<http://dx.doi.org/10.1007/s00259-009-1347-y>

[10] Hojjat Ahmadzadehfar, Hans-Jürgen Biersack, Leonard M. Freeman, Lionel S. Zuckier, "Clinical Nuclear Medicine: Instrumentation and Radiation Safety and Regulations", Springer Nature Switzerland, pp. 3-48, 2020.

[11] CRC-15R Radioisotope dose calibrator Manual, CAPINEC, INC., Vol. 200, No. 7, pp. 449-455, 2015. from: <http://www.capintec.com/>

3D 프린터를 이용한 Dose Calibrator의 품질관리

류찬주^{1,2*}

¹분당차병원 핵의학과

²을지대학교 방사선학과

요약

핵의학에서 Dose calibrator는 단일 핵종의 방사능을 측정하기 위해 사용하는 장비이다. 인체에 정확한 용량의 투여는 진단과 치료에 중요한 요인으로 작용하며, 투여 전 Dose calibrator를 통한 방사능 측정은 가장 중요한 요소이다. 이러한 Dose calibrator는 각 의료기관에서 설치 후 일상적인 정도 관리를 시행한다. 정도 관리는 설치 후 품질관리를 보증하는 하나의 방법이며 진료의 질을 향상시키고 환자의 안전을 도모하는데 필수적이다. 이에 정확하고 표준화된 성능 평가 방법을 구축해야 한다. 따라서 본 연구는 정도관리의 정확도와 기준성을 높여 품질 관리의 정량적 평가를 위해 3D 프린터를 이용하였다. 연구 방법은 정도관리를 위한 Q.C 표준선원이 중앙에 장착될 수 있는 3D 프린터를 이용한 보조기구를 제작하였다. 재현성 검사를 시행하였을 때 3D 프린트의 장착 유무에 따른 정도관리 선원의 오차율 값의 차이를 비교하였다. 연구 결과 표준선원의 정도관리 기댓값과 판독값의 오차 범위가 F-18 핵종에서는 0.302% 감소하였고, ^{99m}Tc-pertechnete 핵종에서는 0.09%로 나타났다. 향후 정량적이고 표준화된 정도관리를 통해 장비의 노후화, 표준선원의 반감기에 따른 계산 오류 등 정도관리의 영향을 주는 요인을 감소시키고 정확한 방사성의약품을 투여할 수 있는 기본적인 요인으로 작용할 수 있을 것이라 사료된다.

중심단어: 방사선량 측정기, 3D 프린터, 품질관리, 표준선원

연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(단독저자)	류찬주	차 의과학대학 분당차병원	방사선사
		을지대학교 대학원 방사선학과	대학원생