

# Evaluation of Bolus Applicability through Dose Evaluation According to 3D Print Materials

Jung-Hoon Kim,<sup>1</sup> Deuk-Hee Lee<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Radiological Science, College of Health Sciences, Catholic University of Pusan, Korea

<sup>2</sup>Department of Radiation Oncology, Busan Paik Hospital, Inje University, Korea

Received: March 05, 2019. Revised: April 26, 2019. Accepted: April 30, 2019

## ABSTRACT

Among the 4th Industrial Revolution technologies, evaluated bolus applicability through dose assesment according to the materials of 3D printing technology. Dose assesment was using MCNPX which was applied Monte Carlo method and 3D print materials were ABS, PC and PLA. Thus, the thickness with the same effect as the bolus 10 mm was found to be ABS 10 mm, PC 9 mm and PLA 9 mm for the 6 MeV electron. For 6 MV X-ray, ABS 11 mm, PC 10 mm and PLA 9 mm were shown. This study showed that tissue equivalent materials made from 3D printer materials can replace bolus.

Keywords: 3D print, Bolus, Monte Carlo, MCNPX

## I . INTRODUCTION

최근 국가암정보센터 통계에 따르면 1999년 101,032 명에 비해 2016년 229,180 명으로 암 환자 수는 두 배 이상 증가된 것으로 보고되고 있다.<sup>[1]</sup> 암 환자를 치료하는 방법에는 외과적 수술, 화학적 요법 그리고 방사선치료 등이 있다.<sup>[2,3]</sup>

방사선치료는 장비의 발달과 더불어 치료기술 또한 더욱 발달해 왔다.<sup>[4]</sup> 과거 평면적인 치료에서 현재 세기조절방사선치료(Intensity modulated radio therapy, IMRT)로 진화하며 치료는 더욱 정밀해 졌다.<sup>[5]</sup> 이러한 방사선치료를 수행함에 있어 다양한 보조기구들이 정확한 치료를 위하여 이용 되고 있다. 그 중 조직등가물질인 볼루스(Bolus)는 최대 선량지점을 표면으로 이동시키며 피부표면을 평탄하게 만들기 위한 용도로 사용이 된다.<sup>[6-8]</sup> 볼루스는 최대한 피부에 밀착시켜 사용을 하여야 하나 재질의 특성상 완전 밀착이 힘들고, 필요 부위만 정확하게 적용시키는 것이 쉽지 않다.<sup>[9]</sup>

4차 산업혁명 기술 중 하나인 3차원(Dimension, D) 프린팅 기술은 소량생산 및 개인 맞춤형 제작이 가능하다는 장점을 가지고 있다.<sup>[10]</sup> 최근 국내에서도 3D 프린팅 기술을 의료분야에 접목하여 활용을 하고 있으며, 국내외로 다양한 연구가 진행되고 있다.<sup>[11]</sup> 그 중 볼루스의 단점을 보완하기 위한 연구도 이뤄지고 있으나, 심부선량에 대한 연구는 미비한 실정이다.<sup>[12]</sup>

이에 본 연구는 모의모사를 통해 3D 프린터 소재의 볼루스 대체 가능성을 분석하고자 먼저 선량을 평가하고, 기존 볼루스와 동일한 효과를 구현하는 두께를 산정하고자 한다.

## II . MATERIAL AND METHODS

### 1. 몬테카를로 모의모사

본 연구에서는 모의모사를 위해 몬테카를로 방식의 MCNPX(Monte Carlo N-Particle Extended. ver 2.5.0, USA) 프로그램을 사용하였다. 선원은 선형가

\* Corresponding Author: Deuk-Hee Lee

E-mail: deckhee@hanmail.net

Tel: +82-51-890-6677

속기에서 사용되는 6 MV의 X-선과 6 MeV의 전자선으로 설정하였다. 선량평가를 위하여 조직등가물질은 볼루스(Bolus)를 이용하였다. 그리고 3D 프린트의 소재는 ABS(Acrylonitrile-Butadiene-Styrene), PC(Poly Carbonate), PLA(Poly Lactic Acid) 총 3가지를 선정하였으며, 특히 PLA의 경우 옥수수 전분으로 구성되어 인체에도 무해하다. 또한 볼루스와 3D 프린트 소재의 밀도는 Table 1에 나타내었다. 선량 측정을 위한 팬텀은 물 팬텀(Water phantom)을 이용하였으며 크기는 AAPM에서 권고하는 크기에 부합하는  $40 \times 40 \times 40 \text{ cm}^3$ 로 설정하였다.<sup>[13]</sup>

Table 1. 3D printing material Density (Unit : g/cm<sup>3</sup>)

	Bolus	ABS	PC	PLA
Density	1.04	1.04	1.20	1.24

## 2. 심부선량 백분율 측정

심부선량 백분율 측정을 위하여 Fig. 1과 같이 모사하였다. 선원은 6 MV X-선과 6 MeV 전자선을 조사하였다. 선원표면간(Source Skin Distance, SSD)의 거리는 100 cm으로 설정하였으며, 조사야의 크기는  $10 \times 10 \text{ cm}^2$ 으로 하였다. 흡수선량은 MCNPX의 MeV/g으로 측정하는 F6 Tally를 이용하여, 1 mm 간격으로 측정하였다. 이를 바탕으로 받아 심부선량 백분율을 평가하였다. 그리고 조직등가물질인 볼루스 유무에 따른 차이를 평가하고자, 볼루스 1 cm을 표면에 위치시켜 동일한 방식으로 측정하였다.

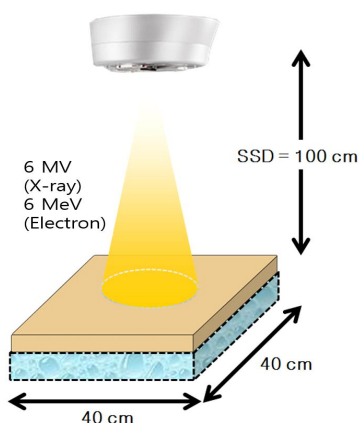


Fig. 1. Schematic diagram of absorbed dose measurement experiment.

## 3. 공기층에 따른 선량평가

볼루스 사용 시 공기층 발생에 따른 선량차이를 측정하고자 공기층 두께에 따른 선량을 평가하였다. 볼루스 1 cm을 표면에 위치시켰으며, 공기층이 존재하지 않는 0 mm 부터 1 mm 간격으로 하여 20 mm 공기층까지 설정하였다. 이를 바탕으로 표면의 선량을 측정하여 비교 평가하였다.

## 4. 3D 프린트 소재에 따른 선량평가

3D 프린트 소재 별 두께에 따른 선량평가를 통해 볼루스 1 cm과 유사한 효과를 가지는 두께를 측정하였다. 소재에 따라 1 mm 간격으로 5 mm 부터 15 mm까지 선량을 측정하여 최대선량 지점이 유사한 두께를 산정하여 심부선량을 평가하였다.

## III. RESULT

### 1. 심부선량 백분율

심부선량 백분율 측정결과는 Fig. 2와 Fig. 3에 나타냈다. 전자선의 경우 100% 지점이 12 mm로 나타났으며, 90% 지점이 14~15 mm 사이로 나타났다. 또한 볼루스를 사용한 경우 최대 선량지점이 2 mm에서 나타났다.

X-선에서는 100% 지점이 11 mm로 나타났으며, 볼루스를 사용한 경우 최대지점이 2 mm로 나타났다.

### 2. 공기층에 따른 선량평가

공기층 발생에 따른 선량의 차이는 Fig. 4에 나타내었다. 전자선과 X-선 둘 다 공기층이 커질수록 선량이 감소하는 것으로 나타났다. 전자선의 경우 표면에 비해 20 mm 공기층에서 2.8% 선량이 감소하는 것으로 나타났으며, X-선의 경우 1.6%의 선량 감소를 보였다.

### 3. 3D 프린트 소재에 따른 선량 결과

볼루스 1 cm과 유사한 효과를 나타내는 소재 별 두께 결과 전자선의 경우 ABS 10 mm, PC 9 mm, PLA 9 mm로 나타났다. X-선의 경우 ABS 11 mm, PC 10 mm, PLA 9 mm로 나타났다.

산정된 두께에 따른 선량평가 결과, 전자선의 경우 최대선량 지점의 흡수선량은 유사하게 나타났다. 하지만 심부선량은 3D 프린트에서 소량 높게 나타나는 경향성을 보였으며, Fig. 5에 결과를 나타내었다. X-선의 경우 Fig. 6과 같이 나타나며 최대 선량지점 및 심부선량 모두에서 큰 차이를 나타내지는 않았다.

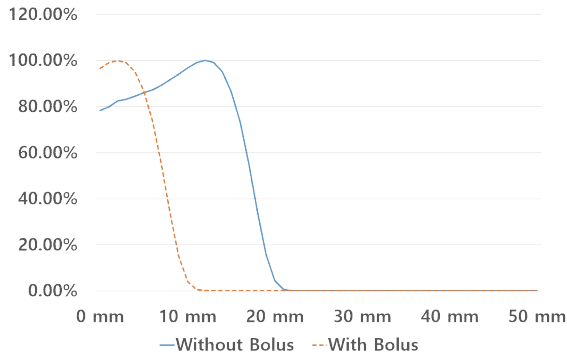


Fig. 2. Result of 6 MeV electron percentage depth dose.

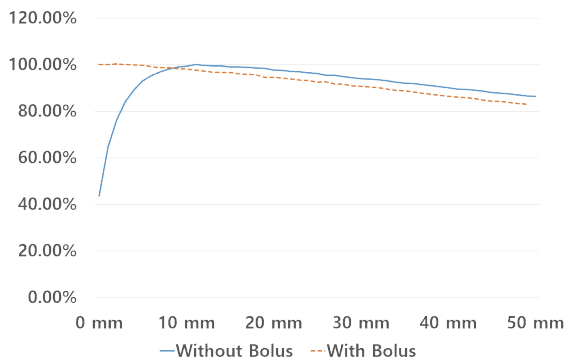


Fig. 3. Result of 6 MV X-ray percentage depth dose.

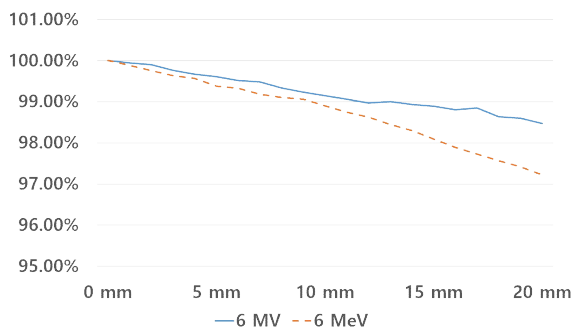


Fig. 4. Result of dose reduction according to air gap thickness.

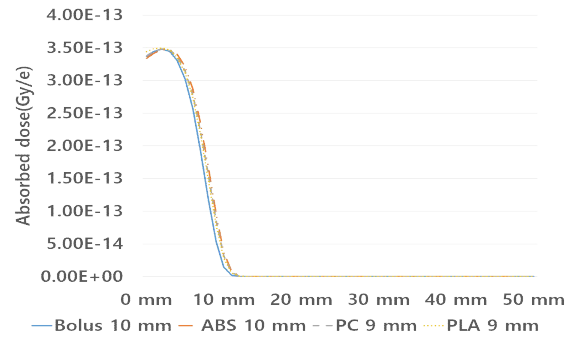


Fig. 5. 6 MeV electron absorbed dose according to the material.

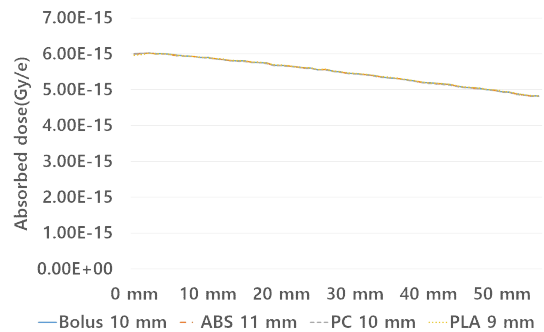


Fig. 6. 6 MV X-ray absorbed dose according to the material.

#### IV. DISCUSSION

본 연구는 3D 프린터 소재를 통해 기존 볼루스의 단점을 보강하고자 심부선량을 모의모사를 통해 평가하였다.

본 연구의 신뢰도 확보를 위한 심부선량 백분율을 측정된 결과 6 MeV 전자선의 최대선량 깊이가 12 mm에서 나타나고 유사하게 나타나,<sup>[6]</sup> 본 실험의 기하학적 구성 및 신뢰도를 확보한 것으로 판단된다. 6 MV X-선의 경우 심부선량 백분율의 최대 선량지점이 15 mm인 이론과 차이를 보이는 것으로 나타났다. 하지만 선행연구에 따르면 스펙트럼의 사용 및 프로그램에 따라 최대 6 mm까지 차이를 보이는 것으로 보고하였으며,<sup>[16]</sup> 본 실험의 결과도 오차 범위 내에 포함되는 것을 확인할 수 있었다.

먼저 기존 볼루스의 단점인 공기층 발생에 따른 선량차이를 분석한 결과 공기층이 커질수록 전자선과 X-선 둘 다 선량이 감소하는 결과를 보였다.

이러한 결과는 Sharma 등과 Butson 등의 선행연구와 동일한 경향성으로 나타났다.<sup>[14,15]</sup> 또한 이러한 선량의 차이는 IMRT에서의 허용범위 3%를 초과하게 하는 주된 원인으로,<sup>[17]</sup> 방사선치료 시 정확한 선량전달을 어렵게 할 수 있다.

3D 프린트 소재를 조직등가물질로 적용한 결과, 전자선의 경우 볼루스 10 mm와 동일한 효과를 나타내는 두께는 ABS 10 mm, PC, 9 mm, PLA 9 mm로 나타났다. ABS의 경우 볼루스와 밀도가 동일함으로 인해 나타난 결과로 사료되며, PC와 PLA의 경우 볼루스 보다 밀도가 높아 필요 두께가 얇아진 것으로 판단된다. 심부선량의 경우 소재별 물성의 차이로 인하여 미세한 선량의 차이가 나타나는 것으로 보인다.

X-선의 경우 ABS 11 mm, PC 10 mm, PLA 9 mm에서 볼루스 10 mm와 유사한 것으로 나타났으며, 소재의 밀도가 높아짐에 따라 필요두께가 얇아지는 것을 알 수 있었다. 또한 심부선량에 있어서 전자선에 비해 차이가 더 줄어든 것을 확인할 수 있었다.

이에 본 연구를 바탕으로 할 때 방사선치료 시 3D 프린팅 기술을 이용하여 제작하는 조직등가물질이 기존 상용화 된 볼루스를 대신할 수 있을 것으로 사료된다.

## V. CONCLUSION

4차 산업혁명 기술 중 하나인 3D 프린트 소재를 이용한 볼루스효과를 평가하였다. 기존 볼루스를 대신하여 3D 프린트 소재를 이용 시 동일한 효과를 재현 가능한 것을 알 수 있었으며, 맞춤형 제작을 통해 기존 볼루스의 단점을 보강할 수 있을 것으로 판단된다. 향후 본 연구를 바탕으로 3D 프린팅 기술을 방사선치료에 적용한다면, 좀 더 정확한 암 치료가 가능할 것으로 사료된다.

## Acknowledgement

이 논문은 2018년도 부산가톨릭대학교 교내연구비에 의하여 수행된 연구임.

## Reference

- [1] National Cancer Information Center(<https://www.cancer.go.kr>), 2019.
- [2] H. J. Park, "Proton therapy: Literature review of clinical effectiveness as an advanced convergent cancer therapy," *Journal of the Korea Convergence Society*, Vol. 9, No. 10, pp. 191-198, 2018.
- [3] E. T. Park, D. H. Lee, I. C. Im, "Evaluation of Absorbed Dose According to the Nanoparticle in Prostate Cancer Brachytherapy," *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol. 12, No. 2, pp. 167-172, 2018.
- [4] E. T. Park, D. H. Lee, S. S. Kang, "Evaluation of Photoneutron by Hypofractionated Radiotherapy," *The Journal of the Korea Contents Association*, Vol. 15, No. 12, pp. 347-354, 2015.
- [5] D. H. Lee, E. T. Park, J. H. Kim, I. C. Im, "Evaluated Absorbed Dose According to Prescribed Dose and Therapeutic Technique in Radiation Therapy," *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol. 10, No. 6, pp. 469-476, 2016.
- [6] S. S. Kang, I. H. Go, G. J. Kim, S. H. Kim, Y. S. Kim, Y. J. Kim, *Radiation Therapeutics*, third edition, Chung-ku munhwasa, Korea, 2014.
- [7] M. E. Daly, A. M. Chen, J. S. Mayadev, R. L. Stern, "Enhanced surface dose via fine brass mesh for a complex skin cancer of the head and neck: Report of a technique," *Practical Radiation Oncology*, Vol. 5, No. 1, pp. 16-20, 2015.
- [8] C. Ordonez-Sanz, S. Bowles, A. Hirst, N. D. MacDougall, "A single plan solution to chest wall radiotherapy with bolus?," *British Institute of Radiology*, Vol. 87, No. 1037, pp. 1-9, 2014.
- [9] E. Healy, S. Anderson, J. Cui, L. Beckett, A. M. Chen, J. Perks, R. Stem, J. Mayadev, "Skin dose effects of postmastectomy chest wall radiation therapy using brass mesh as an alternative to tissue equivalent bolus," *Practical Radiation Oncology*, Vol. 3, No. 2, pp. 45-53, 2013.
- [10] Y. H. Seoung, "3-Dimensional Printing for Mesh Types of Short Arm Cast by Using Computed Tomography," *The Korea Contents Association*, Vol. 15, No. 1, pp. 308-315, 2015.

- 
- [11] S. W. Han, H. K. Sin, "Healthcare 3D Printing Technology Trends," Bulletin of the Korean institute of electrical and electronic material engineers, Vol. 28, No. 7, pp. 9-20, 2015.
- [12] J. S. Ha, J. H. jung, M. J. Kim, M. J. Jeon, W. S. Jang, Y. J. Cho, I. J. Lee, J. W. Kim, T. S. Suh, "Customized 3D Printed Bolus for Breast Reconstruction for Modified Radical Mastectomy(MRM)," Progress in Medica Physics, Vol. 27, No. 4, pp. 196-202, 2016.
- [13] P. R. Almond, P. J. Biggs, B. M. Coursey, W. F. Hanson, M. S. Huq, R. Nath, D. W. O. Rogers, "AAPM's TG-51 protocol for clinical reference dosimetry of high-energy photon and electron beams," Medical Physics, Vol. 26, No. 9, pp. 1847-1870, 1999.
- [14] S. C. Sharma, M. W. Johnson, "Surface dose perturbation due to air gap between patient and bolus for electron beams," Medical Physics, Vol. 20, No. 2, pp. 377-378, 1993.
- [15] M. J. Butson, T. Cheung, P. Yu, P. Metcalfe, "Effects on skin dose from unwanted air gaps under bolus in photon beam radiotherapy," Radiation Measurements, Vol. 32, No. 3, pp. 201-204, 2000.
- [16] T. C. F. Fonseca, B. M. Mendes, M. A. S. Lacerda, L. A. C. Silva, , L. Paixão, F. M. Bastos, J. V. Ramirez, J. P. R. Junior, "MCMEG: Simulations of both PDD and TPR for 6 MV LINAC photon beam using different MC codes," Radiation Physics and Chemistry, Vol. 140, pp. 386-391, 2017.
- [17] S. M. Yoon, B. Y. Yi, E. K. Choi, J. H. Kim, S. D. Ahn, S. W. Lee, "Quality Assurance of Patients for Intensity Modulated Radiation Therapy," The Journal of the Korean society for therapeutic radiology and oncology, Vol. 20, No. 1, pp. 81-90, 2002.

## 3D 프린트 소재에 따른 선량평가를 통한 볼루스 적용성 평가

김정훈,<sup>1</sup> 이득희<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup>부산가톨릭대학교 보건과학대학 방사선학과

<sup>2</sup>인제대학교 부산백병원 방사선종양학과

### 요 약

4차 산업혁명의 기술 중 3D 프린팅 기술의 소재에 따른 선량평가를 통해 볼루스 적용 가능성을 평가하였다. 선량의 평가는 몬테카를로 방식의 MCNPX 프로그램을 이용하였으며, 3D 프린트 물성은 ABS, PC, PLA 세 가지로 하였다. 그리하여 볼루스 10 mm와 동일한 효과를 보이는 두께를 산정한 결과 6 MeV 전자선의 경우 ABS 10 mm, PC 9 mm, PLA 9 mm로 나타났다. 6 MV X-선의 경우 ABS 11 mm, PC 10 mm, PLA 9 mm로 나타났다. 본 실험을 통해 3D 프린터 소재로 제작하는 조직등가물질이 볼루스를 대체할 수 있음을 확인할 수 있었다.

중심단어: 3D 프린트, 볼루스, 몬테카를로, MCNPX

### 연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(제1저자)	김정훈	부산가톨릭대학교 보건과학대학 방사선학과	교수
(교신저자)	이득희	인제대학교 부산백병원 방사선종양학과	방사선사