

Usefulness of Silicon Bolus Using 3D Printing of Head and Neck Patients

Kyung-Tae Kwon,¹ Yong-Ki Lee,² Young-Jin Won^{3,*}

¹Department of Radiologic Technology, Dongnam Health University

²Department of Radiological Science, Chungbuk Health & Science University

³Department of Radiation Oncology, Ewha Womans University Medical Center Seoul Hospital

Received: November 25, 2019. Revised: December 26, 2019. Accepted: December 31, 2019

ABSTRACT

Radiation therapy of oral and head and neck cancers often involves skin in the therapeutic range, and the use of bolus is frequently used. Dose irregularities provide dose uncertainty in patient application. In this study, the physical properties of patients with gel bolus, poly lactic acid (PLA), and silicon using 3D printing were fabricated. Dose uncertainties arising from the actual radiation dose delivery were measured. As a result, PLA bolus was stable in the Common irregularities. Silicon bolus may be useful for patients with severe irregularities or frequent changes in patient's body shape.

Keywords: Gel bolus, PLA, Silicon, MOSFET Dosimeter, 3D Printer

I . INTRODUCTION

구강 편평 상피 세포암 1기, 2기 림프절 전이율은 20~30%로 환자의 생존율을 저하시키는 주된 요인이다.^[1] 구강암의 주된 치료는 수술 요법과 보조적인 화학요법 및 방사선치료 요법을 병용하며, 병용 시 5년 생존율은 15% 이상 증가하며 10년 생존율은 10% 정도 증가하지만 화학요법은 방사선치료의 독성을 증가시키는 요인이기도 하다.^[2] 특히 두경부암의 방사선치료는 단독요법 26%, 방사선치료와 화학 요법을 병용 38%로 방사선치료의 적용률이 매우 높다. 최근 고선량 등의 적용으로 공격적인 치료적인 접근이 늘어나는 추세이다.^[3-6]

과거에는 구강 및 두경부의 방사선치료 적용 시 전자선과 광자선을 혼합하여 사용하였으나, 선형가속기의 발전으로 세기변조방사선치료(Intensity modulated radiation therapy, IMRT), 용적변조회전방사선치료(Volumetric modulated arc radiation therapy,

VMAT), Tomo therapy 등의 광자선을 사용하는 경우가 많으며, 환자의 생존율도 증가하고 있다.^[7,8] 구강 및 두경부암의 방사선치료 시 치료 범위에 피부를 포함하는 경우가 많으며 이때 볼루스의 사용이 빈번해진다. 특히 턱 부분의 요철로 인하여 환자의 적용 시 선량 불확실성이 나타난다.^[9]

이러한 선량 불확실성을 줄이기 위하여 최근 3D Printer를 이용한 볼루스의 제작이 늘어나고, 그 소재에 대한 연구도 활발하게 진행되고 있으며, 최근 환자 맞춤형으로 제작된 Poly lactic acid(PLA)와 구조형 3D Printing을 이용한 Silicon 및 Gel에 대한 많은 연구가 진행되고 있다.^[10-13]

본 연구에서는 Gel 볼루스와 PLA, Silicon을 적용한 환자 맞춤형 볼루스를 제작하여 물성 특성을 확인하고, 제작된 볼루스와 치료계획의 불일치성을 확인하며, 실제 방사선 선량 전달 시 발생하는 선량 불확실성을 Metal oxide semiconductor field effect transistor(MOSFET, TN-520RD, T&N, Canada)

* Corresponding Author: Young-Jin Won

E-mail: 98368s@eumc.ac.kr

Tel: +82-2-6986-3480

dosimeter로 측정하여 확인하고자 한다.

II. MATERIAL AND METHODS

1. 영상획득 및 3D printing 제작

두경부 인체조직 등가 팬텀(ART-310X, RSD, USA)을 Fig. 1과 같이 전산화단층촬영기(CT; Computed tomography, Light speed RT16, GE, USA)에 120 kV, 200 mA, 0.625 mm Slice thickness, 35 DFOV로 Helical scan하여 촬영하여 치료계획 시스템(TPS; Treat Planning system, eclipse 8.6, Varian, USA)으로 전송하였다.



Fig. 1. CT scan of head and neck phantom.

TPS에서 가상의 볼루스를 Fig. 2와 같이 제작하여 3D Slicer program(Slicer 4.4.0)로 전송하였다. 3D Slicer에서 가상의 볼루스를 Stereo lithography(STL) file로 Fig. 3과 같이 변환시킨 후 Meshlab program(Meshlab_64 bit v1.3.4 beta)로 전송하였다. Meshlab program에서 Laplacian smoothing 10 step 3회 실시 후 Simplify 3D Program(v4.1.1)으로 전송하였다. Fig. 4와 같이 Simplify에서 G-Code로 변환시킨 후 3D Printer(CR-10S4, Creality 3D Technology, China)로 출력하였다. 3D 프린터로 두께 각각 5 mm, 10 mm로 내부가 비워진 것과 채워진 것 2개의 형태로 출력하였다(Fig. 5). PLA로 출력된 출력물 중 내부가 채워져 있는 볼루스는 그대로 사용하였으며, 내부가 비워진 PLA는 Silicon(Silicon rubber A,B, PONY, China)을 삽입하여 6시간 경과 후 Fig. 6과 같이 PLA에서 제거하여 Silicon 볼루스로 제작하였다.

2. 볼루스 일치성

두경부 인체조직 등가 팬텀에 3종류의 볼루스를 Fig. 7과 같이 3회 반복 위치시킨 후 영상획득 하여 치료계획 시스템으로 전송하였다. 치료계획 시스템에서 가상의 볼루스 위치와 CT 영상의 볼루스 위치를 제거하여 일치하지 않는 부분의 용적(cc)을 convert 기능을 사용하여 불일치성을 판독하였다.

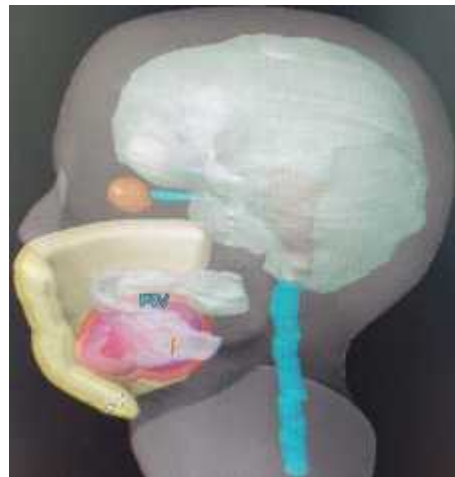


Fig. 2. Virtual bolus production at TPS.



Fig. 3. Convert STL file bolus in 3D Slicer.

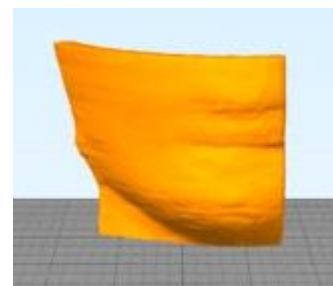


Fig. 4. Convert from Simplify to G-Code file.



A : Bolus filled inside: PLA 5mm, 10mm



B : Bolus empty inside: PLA 5mm, 10mm

Fig. 5. Bolus on 3D printer.



Fig. 6. Silicon bolus.



(A) Gel bolus



(B) PLA bolus



(C) Silicon bolus

Fig. 7. Acquire images by attaching bolus to the phantom.

3. MOSFET 선량교정

TRS-398에 의해 교정된 선형가속기(Clinac ix, Varin, USA)을 이용하여 MOSFET dosimeter를 Calibration 하였다. Dmax 지점 아래에 Solid water slab phantom(Slab phantom, Lab, Germany, 30 × 30 × 1 cm³)을 10개, Dmax 지점 위에 1.5 cm을 Fig. 8과 같이 위치시킨 후 중앙에 MOSFET dosimeter Sensor 2개를 6 MV의 광자선 에너지로 0 cGy, 10 cGy, 30 cGy, 50 cGy, 70 cGy, 100 cGy, 150 cGy, 200 cGy, 250 cGy, 300 cGy로 조사시켜 선형계수를 획득하였다(Fig. 8).

MOSFET의 선량 응답성은 Fig. 9과 같으며, MOSFET sensor A, B 모두 선형계수는 0.999으로 분석되었다.

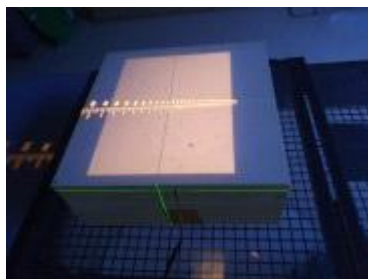


Fig. 8. Location of MOSFET dosimeter sensor and solid water slab phantom at Dmax point.

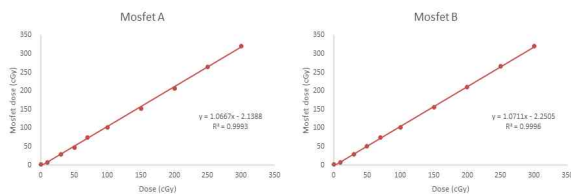


Fig. 9. Dose linearity response

4. 치료 계획 및 선량 전달

TPS에 의해 Gross tumor volume(GTV)에 1.0 cm margin을 두어 Planning tumor volume(PTV)를 획득한 후 PTV에 200 cGy, 35 Fraction 총 70 Gy를 처방하였다. 처방선량을 Static IMRT으로 7개의 coplanar beam 210, 260, 310, 0, 50, 100, 150° angle 과 1개의 Non-coplanar beam 20° angle 90° couch로 치료 계획하였다. 치료계획은 크게 두 가지로 볼루스의 Hounsfield unit(HU)가 0으로 적용된 치료계획

과 볼루스의 HU가 Gel 0, PLA 160, Silicon 250으로 적용된 치료계획으로 구분하여 치료계획 시 볼루스의 HU의 입력에 따른 결과의 차이를 알아보고자 하였다. 선량 분포는 Fig. 10과 같으며 A, B 지점에서 MOSFET dosimeter로 측정하였다. 선량 전달은 방사선치료실에서 Linac을 이용하여 Fig. 11과 같이 전달하였다.

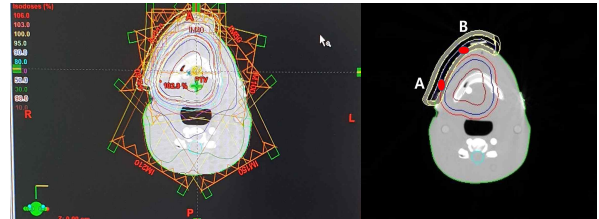
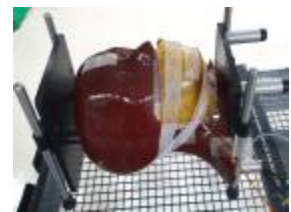


Fig. 10. Dose distribution image.



A : Dose measurement point of phantom



B : Gel bolus



C : PLA bolus



D : Silicon bolus

Fig. 11. Dose delivery using Linac in radiation treatment room.

III. RESULT

1. 볼루스의 물성

CT 영상에서 Gel 볼루스, PLA 볼루스, Silicon 볼루스의 HU는 4.6 ± 1.2 , 162.3 ± 2.1 , 254 ± 5.7 로 측정되었다.

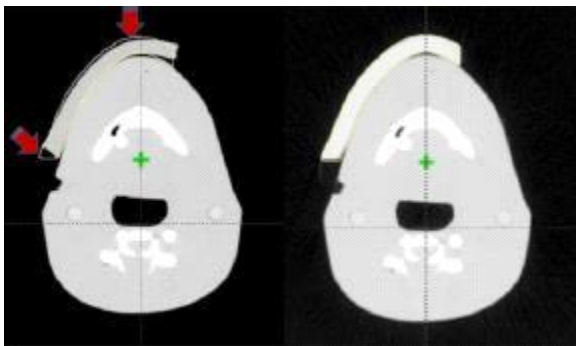
2. 볼루스의 일치성

TPS에서 계획된 Origin 볼루스와 Gel 볼루스,

PLA 볼루스, Silicon 볼루스의 용적은 0.5 cm에서 각각 51.28, 56.72, 53.4, 56.3이고, 1 cm에서 각각 109.21, 96.32, 111.19, 111.12로 나타났다(Table 1, Fig. 12).

Table 1. Conformity difference of bolus

		Unit : cc				
	cm	Origin	Gel	PLA	Silicon	
Measure Volume	0.5	51.28	56.72	53.4	56.3	
	1.0	109.21	96.32	111.19	111.12	
Convert Volume	0.5	-	11.93	11.99	3.55	
	1.0	-	24.54	5.15	9.8	
Convert Volume (0.2 cc Subtraction)	0.5	-	10.12	7.87	1.56	
	1.0	-	21.94	2.44	2.62	



A : Gel bolus 1 cm B: Silicon bolus 1 cm

Fig. 12. Conformity difference between the gel bolus and silicon bolus of radiotherapy planning. (The yellow line is virtual bolus location produced by the radiation treatment plan)

3. 선량 전달

각각의 볼루스 적용 시 발생하는 선량의 불확실성을 평가한 결과 0.5 cm Silicon 볼루스 B지점과 0.5 cm Gel 볼루스 A지점에서 각각 9.9%, 9.7%로 가장 높게 나타났으며, 1.0 cm PLA 볼루스 B지점에서 0.4%로 가장 낮게 나타났다(Table 2). 또한, 사용된 볼루스의 HU를 적용하여 선량 불확실성을 평가한 결과 0.5cm Gel 볼루스 A지점에서 9.7%, 1.0 cm Silicon 볼루스 B지점에서 9.6%로 가장 높게 나왔으며, 1.0 cm PLA 볼루스 B지점에서 0.6%로 가장 낮게 나타났다(Table 3).

Table 2. Dose uncertainty of bolus simply calculated as 0 HU

	cm	Gel		PLA		Silicon	
		A	B	A	B	A	B
Planning Dose(cGy)		194.8	138.4	199.6	136.4	198.6	139.8
Measurement Dose(cGy)	0.5	176	134	302	133	188	126
Difference Dose(%)		-9.7	-3.2	0.7	-2.5	-5.3	-9.9
Planning Dose(cGy)		190.2	143.8	190.2	142	190.2	144
Measurement Dose(cGy)	1.0	174	140	191	137	175	138
Difference Dose(%)		-8.5	-2.6	0.4	-3.5	-8.0	-4.2

Table 3. Dose uncertainty when Bolus HU is applied to TPS

	cm	Gel		PLA		Silicon	
		A	B	A	B	A	B
Planning Dose(cGy)		194.8	138.4	194.8	138.4	194.8	138.4
Measurement Dose(cGy)	0.5	176	134	193	129	183	132
Difference Dose(%)		-9.7	-3.2	-0.9	-6.8	-6.1	-4.6
Planning Dose(cGy)		190.2	143.8	190.2	143.8	190.2	143.8
Measurement Dose(cGy)	1.0	174	140	189	139	172	133
Difference Dose(%)		-8.5	-2.6	-0.6	-3.3	-9.6	-7.5

IV. DISCUSSION

볼루스의 HU는 0~100 사이 값을 갖는 것이 이상적으로 3D Printing을 이용한 볼루스에서 Gel 볼루스가 4.6으로 가장 좋은 것으로 나타났다. 반면 볼루스의 일치성을 평가한 결과 Gel 볼루스 0.5 cm, 1.0 cm 각각 9.6%, 13.4%로 가장 큰 오차를 보였으며, PLA 볼루스 0.5 cm, 1.0 cm 각각 4%, 1.8%로 가장 작은 오차를 보였다. PLA 볼루스와 Silicon 볼루스의 HU가 100 이상의 값을 갖지만 선량의 불확실성에서 Gel보다 우수하며, 플렉서블한 재질의 특성으로 요철이 심한 부위에도 재현 및 밀착이 잘되는 것을 볼 수 있었다.^[11-13] 특히 플렉서블한 재질

은 방사선치료 기간에 따라 GTV가 줄어들거나 환자의 체중이 변하는 변수에도 유연하게 움직여 피부에 밀착하여 TPS의 가상 볼루스에 일치성을 유지하는 장점을 보일 것이라 사료된다.

본 연구의 제한점으로는 사용된 인체조직 등가 팬텀의 구조가 인체와 다르게 단순하여 볼루스의 밀착도 등이 보다 정확하지 못하였다. 또한, 적층 방식의 3D Printing은 표면이 고르지 못하고 정밀도가 떨어져 일치성에서 차이가 나타났다. 볼루스를 보다 정밀하게 제작하고 다양한 체형에도 사용 가능한 연구와 방사선치료 기간에 따른 볼루스의 일치성에 관한 연구가 추후 진행되어야 할 것이라 사료된다.

V. CONCLUSION

구강 및 두경부, 특히 턱 부분은 요철로 인하여 암의 방사선치료 시 볼루스의 사용이 빈번하다. 이 때 환자에게 주어지는 선량의 불확실성을 줄이고자 3D printing을 이용한 볼루스를 제작하여 물성 특성을 확인하고 실제 선량 전달 시 발생하는 선량 불확실성에 대해 알아보았다. 그 결과 일반적인 요철 부위에는 PLA 재질의 볼루스가 안정적이며, 요철이 심하거나 환자의 체형이 자주 바뀔 수 있는 환자의 경우 Silicon 재질의 볼루스가 유용할 것으로 사료된다.

Acknowledgement

본 연구는 2019년도 동남보건대학교 교내연구비의 지원에 의해 수행되었다.

Reference

- [1] G. K. Danielson, V. Fuster, J. F. Kennedy, "Surgical repair of Ebstein's anatomy," *Medical Physics*, Vol. 200, No. 7, pp. 449-455, 2015.
- [2] Y. H. Jo, C. J. Kim, J. Y. Yoon, D. H. Jo, G. P. Kim, "External Exposure Due to Natural Radionuclides in Building Materials in Korean Dwellings," in *X-ray Image*, H. G. Kim, C. C. Hung, Eds., Proceedings of X-ray Imaging, Washington, D. C., Vol. 7, pp. 40-52, 2012.
- [3] V. Budach, C. Stromberger, C. Poettgen, M. Baumann, W. Budach, G. Grabenbauer, S. Grabenbauer, H. Olze, K. D. Wernecke, P. Ghadjar, "Hyperfractionated accelerated radiation therapy (HART) of 70.6 Gy with concurrent 5-FU/Mitomycin C is superior to HART of 77.6 Gy alone in locally advanced head and neck cancer: long-term results of the ARO 95-06 randomized phase III trial," *International Journal of Radiation Oncology*, Vol. 91, No. 5, pp. 916-924, 2015.
- [4] V. Budach, M. Stuschke, W. Budach, M. Baumann, D. Geismar, G. Grabenbauer, I. Lammert, K. Jahnke, G. Stueben, T. Herrmann, M. Bamberg, P. Wust, W. Hinkelbein, K. D. Wernecke, "Hyperfractionated accelerated chemoradiation with concurrent fluorouracil-mitomycin is more effective than dose-escalated hyperfractionated accelerated radiation therapy alone in locally advanced head and neck cancer: final results of the radiotherapy cooperative clinical trials group of the German Cancer Society 95-06 Prospective Randomized Trial," *Journal of clinical oncology*, Vol. 23, No. 6, pp. 1125-1135, 2005.
- [5] P. Blanchard, C. Hill, C. Guihenneuc-Jouyaux, C. Baey, J. Bourhis, J. P. Pignon, "Mixed treatment comparison meta-analysis of altered fractionated radiotherapy and chemotherapy in head and neck cancer," *Journal of clinical epidemiology*, Vol. 64, No. 9, pp. 985-992, 2011.
- [6] J. Bernier, J. S. Cooper, T. F. Pajak, M. van Glabbeke, J. Bourhis, A. Forastiere, E. M. Ozsahin, J. R. Jacobs, J. Jassem, K. K. Ang, J. L. Lefebvre, "Defining risk levels in locally advanced head and neck cancers: a comparative analysis of concurrent postoperative radiation plus chemotherapy trials of the EORTC (#22931) and RTOG (# 9501)," *Head & Neck: Journal for the Sciences and Specialties of the Head and Neck*, Vol. 27, No. 10, pp. 843-850, 2005.
- [7] K. K. Ang, J. H. Kaanders, L. J. Peters, "Radiotherapy for Head and Neck Cancers-Indications and Techniques," Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, PA, pp. 304, 2011.
- [8] J. H. Song, J. Y. Jung, H. W. Park, G. W. Lee, S. M. Chae, C. S. Kay, S. H. Son, "Dosimetric comparison of three different treatment modalities for total scalp irradiation: the conventional lateral photon-electron

technique, helical tomotherapy, and volumetric-modulated arc therapy," *Journal of radiation research*, Vol. 56, No. 4, pp. 717-726, 2015.

- [9] R. J. Kudchadker, J. A. Antolak, W. H. Morrison, P. F. Wong, K. R. Hogstrom, "Utilization of custom electron bolus in head and neck radiotherapy," *Journal of applied clinical medical physics*, Vol. 4, No. 4, pp. 321-333, 2003.
- [10] S. Y. Park, C. H. Choi, J. M. Park, M. S. Chun, J. H. Han, J. I. Kim, "A Patient-Specific Polylactic Acid Bolus Made by a 3D Printer for Breast Cancer Radiation Therapy," *PloS one*, Vol. 11, No. 12, e0168063, 2016.
- [11] S. W. Kim, J. W. Kwak, B. C. Cho, S. Y. Song, S. W. Lee, C. Y. Jeong, "Clinical Implementation of 3D Printing in the Construction of Patient Specific Bolus for Photon Beam Radiotherapy for Mycosis Fungoides," *Progress in Medical Physics*, Vol. 28, No. 1, pp. 33-38, 2017.
- [12] M. Ichikawa, Y. Miyasaka, A. Takagi, Y. Ieko, T. Kanai, K. Suzuki, N. Yano, M. Yamada, M. Harada, H. Akamatsu, K. Nemoto, "Effectiveness of a 3D-Printed Bolus with Gel and Silicon Materials for an Irregularly Shaped Skin Surface," *International Journal of Radiation Oncology, Biology, Physics*, Vol. 105, No. 1, E742, 2019.
- [13] Y. Kong, T. Yan, Y. Sun, J. Qian, G. Zhou, S. Cai, Y. Tian, "A dosimetric study on the use of 3D-printed customized boluses in photon therapy: A hydrogel and silica gel study," *Journal of applied clinical medical physics*, Vol. 20, No. 1, pp. 348-355, 2019.

두경부 환자의 3D Printing을 이용한 Silicon Bolus의 유용성

권경태,¹ 이용기,² 원영진^{3,*}

¹동남보건대학교 방사선과

²충북보건과학대학교 방사선과

³이화여자대학교 의료원 서울병원 방사선종양학과

요 약

구강 및 두경부 암의 방사선치료 시 치료 범위에 피부를 포함하는 경우가 많으며 이때 볼루스의 사용이 빈번해진다. 특히 턱 부분의 요철로 인하여 환자의 적용 시 선량 불확실성을 제공한다. 본 연구에서는 3D Printing을 이용하여 Gel 볼루스와 Poly lactic acid(PLA), Silicon을 적용한 환자 맞춤형 볼루스를 제작하여 물성 특성을 확인하고, 제작된 볼루스와 치료계획의 불일치성을 확인하며, 실제 방사선 선량 전달시 발생하는 선량불확실성을 측정하였다. 그 결과 일반적인 요철 부위에는 PLA 재질의 볼루스가 안정적이며, 요철이 심하거나 환자의 체형이 자주 바뀔 수 있는 환자의 경우 Silicon 재질의 볼루스가 유용할 것으로 사료된다.

중심단어: Gel bolus, PLA, Silicon, MOSFET Dosimeter, 3D Printer

연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(제1저자)	권경태	동남보건대학교 방사선과	교수
(공동저자)	이용기	충북보건과학대학교 방사선과	교수
(교신저자)	원영진	이화여자대학교 의료원 서울병원 방사선종양학과	의학물리사