

# 3D 프린터를 이용한 Customized Bolus 제작에 관한 연구

국립암센터 양성자치료센터

정상민 · 양진호 · 이승현 · 김진욱 · 염두석

**목 적** : 3D 프린터는 입력한 도면을 바탕으로 3차원의 입체 모델을 만들어 낼 수 있는 장비이다. 이러한 특징을 이용하여 방사선치료시 bolus 사용으로 인한 피부와 bolus 사이의 air gap을 최소화 할 수 있는 bolus 제작이 가능하다. 이에 본 연구에서는 3D 프린터를 이용하여 customized bolus를 제작하여 air gap과 target 선량을 상품화된 1 cm bolus와 비교하고자 한다.

**대상 및 방법** : 왼쪽 chest wall에 돌출된 종양이 있는 RANDO phantom을 CT 모의치료를 이용하여 영상 획득 후, CT DICOM 파일을 3D 프린터에 필요한 STL 파일로 변환시켰다. 이것을 이용하여 치료부위의 체표윤곽과 일치하면서 1 cm 두께를 유지하는 customized bolus 주형틀을 3D 프린터로 제작한 후 paraffin wax를 녹여 customized bolus를 만들었다. 이렇게 만들어진 customized bolus와 상품화된 1 cm bolus의 air gap을 확인하였고, air gap으로 인한 차이를 Eclipse를 이용하여 치료계획상  $D_{max}$ ,  $D_{min}$ ,  $D_{mean}$ ,  $D_{95\%}$ 와  $V_{95\%}$ 를 비교하였다.

**결 과** : customized bolus 제작 기간은 약 3일이 소요되었다. air gap 총 용적은 customized bolus는 평균  $3.9\text{ cm}^3$ , 상품화된 1 cm bolus는 평균  $29.6\text{ cm}^3$ 이었다. 상품화된 1 cm bolus를 사용할 때보다 3D 프린터를 이용하여 제작한 customized bolus를 사용하는 것이 air gap을 최소화시켰다. 6 MV photon에서 customized bolus의  $D_{max}$ ,  $D_{min}$ ,  $D_{mean}$ ,  $D_{95\%}$ ,  $V_{95\%}$ 는 각각 102.8%, 88.1%, 99.1%, 95.0%, 94.4%이었고, 상품화된 1 cm bolus의  $D_{max}$ ,  $D_{min}$ ,  $D_{mean}$ ,  $D_{95\%}$ ,  $V_{95\%}$ 는 101.4%, 92.0%, 98.2%, 95.2%, 95.7%이었다. proton의 경우 customized bolus의  $D_{max}$ ,  $D_{min}$ ,  $D_{mean}$ ,  $D_{95\%}$ ,  $V_{95\%}$ 는 각각 104.1%, 84.0%, 101.2%, 95.1%, 99.8%이었고, 상품화된 1 cm bolus의  $D_{max}$ ,  $D_{min}$ ,  $D_{mean}$ ,  $D_{95\%}$ ,  $V_{95\%}$ 는 104.8%, 87.9%, 101.5%, 94.9%, 99.9%이었다. 이처럼 치료계획에서 customized bolus와 1 cm bolus 모두 GTV의 선량은 큰 차이를 보이지 않았다. 그러나 GTV에 인접한 정상조직은 customized bolus의 선량이 더 적게 나타났다.

**결 론** : 3D 프린터를 이용한 customized bolus가 표면이 일정하지 않은 치료부위에 사용 할 때 air gap을 줄이는 효과를 나타냈다. 그렇지만 상품화된 bolus와 피부 사이에 생기는 air gap은 target에서의 선량의 변화를 일으킬 만큼 많은 양이 아님을 알 수 있었다. 반면 chest wall에서는 air gap이 적을수록 선량이 감소함을 확인 할 수 있었다. customized bolus 제작 기간은 3일이 걸렸고, 고가의 제작비용이 든다는 문제점이 발생하였다. 따라서 3D 프린터 customized bolus의 상용화를 위해서는 저비용이고, bolus 사용으로 적합한 3D 프린터 재료 모색의 필요성이 있다고 사료된다.

**핵심용어** : 3D 프린터, Customized Bolus, Air gap

## 서 론

방사선치료는 정상조직에 불필요한 선량을 최소화 하고 종양에는 정확한 처방 선량이 전달 되도록 개발 되어 왔다. 현재 주로 사용하는 고 에너지의 광자선은 build up 깊이에 서 최대 선량이 주어지기 때문에 피부에서는  $D_{max}$  선량보다 25% 낮은 선량이 주어지게 된다. 이를 두고 ‘피부보호효

과(Skin Sparing)’라 부르고 있다. 이러한 이유로 피부 표면의 종양을 치료하기 위해서는 전자선이나 조직 등가 물질인 bolus를 사용한다.<sup>1)</sup> bolus는 피부 표면에 위치시켜  $D_{max}$ 를 피부 쪽으로 올려주어 표면선량을 증가시켜준다.

bolus 사용 시 기본 되는 원칙은 환자의 체표에 확실하게 밀착을 시켜 위치해야 한다.<sup>1)</sup> 그러나 인체의 구조 또는 병변 및 수술로 인한 돌출과 함몰 부분이 생기는 등 환자의 일정하지 않은 체표면 때문에 상품화된 bolus를 사용하면 피부와 bolus 사이에 불필요한 공기층(air gap)이 생기게 된다. 이러한 air gap은 표면선량과 중심축심부선량(central axis depth dose) 감소의 원인이 된다.<sup>2-4)</sup> 또한 air gap에 의

본 논문은 2015년 5월 29일 접수하여 2015년 6월 24일 채택되었음.  
책임저자 : 정상민, 국립암센터 양성자치료센터  
경기도 고양시 일산동구 일산로 323, 410-769  
Tel: 031)920-0485, Fax: 031)920-0149  
E-mail : topeople@ncc.re.kr

한 표면선량은 gantry 각도증가에 따라 감소하는 경향이 있다.<sup>5~6)</sup>

bolus로 사용 가능한 것으로는 조직등가물질인 Paraffin wax, Polystyrene, Lucite, Superstuff, Superflab등이 있다.<sup>7)</sup> 이러한 조직등가물질과 다양한 방법으로 air gap 없이 bolus를 사용하기 위해 끊임없이 연구를 이어왔다. 유방암 수술 후 조직 결손이 큰 환자와 카포시육종의 치료를 위해 물 bolus 기구를 고안하였으나 물을 사용하기 때문에 외부적인 강한 충격으로 인하여 기구의 외형이나 물이 담긴 진공 비닐이 손상될 수 있다.<sup>8~9)</sup> 두피의 방사선 치료를 위해 여러 방법으로 helmet bolus를 제작하였으나 이 또한 air gap의 형성, 제작 후 변형 등의 문제점이 지적되었다.<sup>10)</sup>

최근 들어 3-dimensional(3D) 프린터 기술의 발전과 함께 의료계에서도 3D 프린터를 이용이 늘고 있다.<sup>11~12)</sup> 이에 본 연구에서는 3D 프린터 출력물을 이용한 customized bolus를 제작하고, 이렇게 제작한 customized bolus와 기존 상품화된 bolus 사용 시 생기는 air gap과 선량을 비교하여 보고자 한다.

### 대상 및 방법

본 연구는 chest wall 밖으로 돌출된 종양을 대상으로

실험하였다. 이는 종양의 모양이 울퉁불퉁하여 불규칙적으로 생기는 경우가 많고 방사선치료시 bolus를 사용함으로써 피부 선량을 증가시키는 방법을 사용하기 때문이다. 이렇게 chest wall에 돌출된 종양을 가장하여 RANDO phantom(Radiology Support Devices, Long Beach, CA)의 왼쪽 가슴에 종양조직 모형을 만들었다. [Figure 1] 이 종양 모양에 맞도록 3D 프린터를 이용하여 customized bolus를 제작하여 실험을 진행하였다.

#### 1. Customized bolus 제작

연구를 위한 customized bolus의 제작은 RANDO phantom의 CT 영상을 기초로 하였다. 이를 위해 CT 모의 치료기(Light Speed VCT, GE, USA)가 사용되었다. 3D 프린트 제작을 위해서는 Stereolithography(STL) 파일 형식이 사용되어지는데, CT 영상은 STL 파일로 직접 변환이 불가능하기 때문에 다음 단계를 추가로 진행하였다. 촬영한 CT 영상을 Digital Imaging and Communications in Medicine(DICOM) 형식으로 받은 후, 이 DICOM 파일을 Mimics(Mimics<sup>®</sup>, Materialise NV, Belgian)를 이용하여 STL 파일로 변환하였다. [Figure 2] 이렇게 STL로 변환한 파일은 다시 Magics(Magics<sup>18</sup>, Materialise NV, Belgian)라는 프로그램을 이용하여 customized bolus 제작을 위한 주형틀로



Fig 1. Chest Wall Tumor.

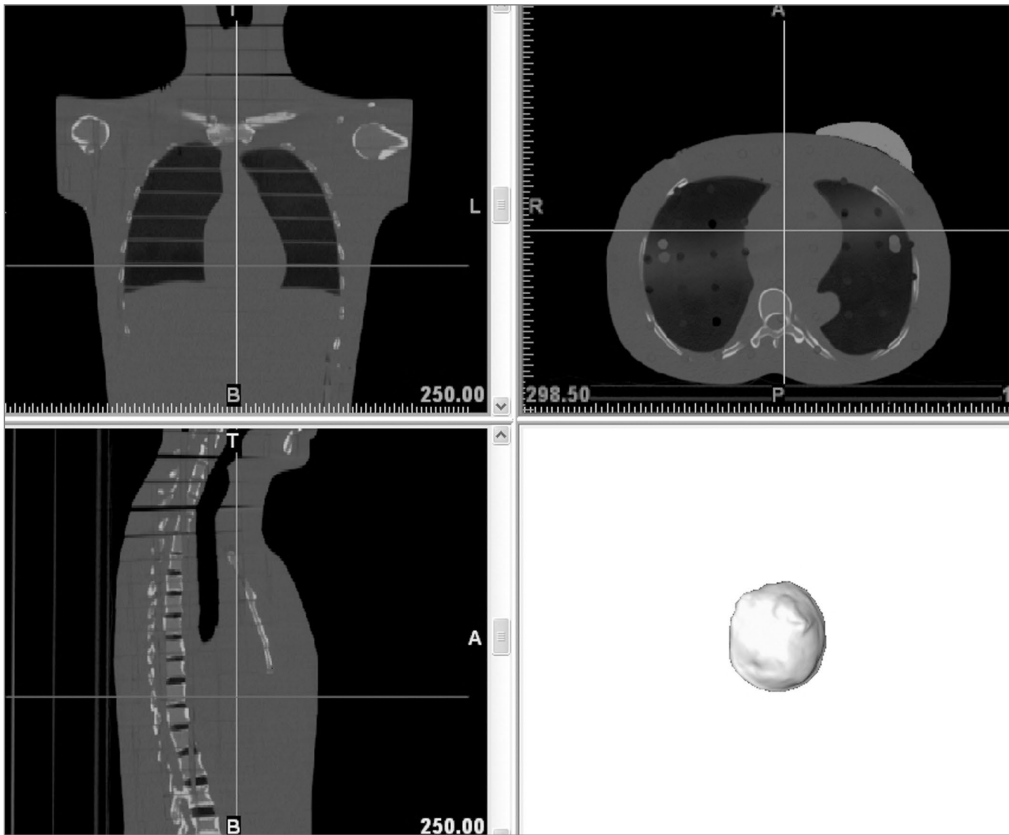


Fig 2.  
DICOM file conversion  
using the Mimics.

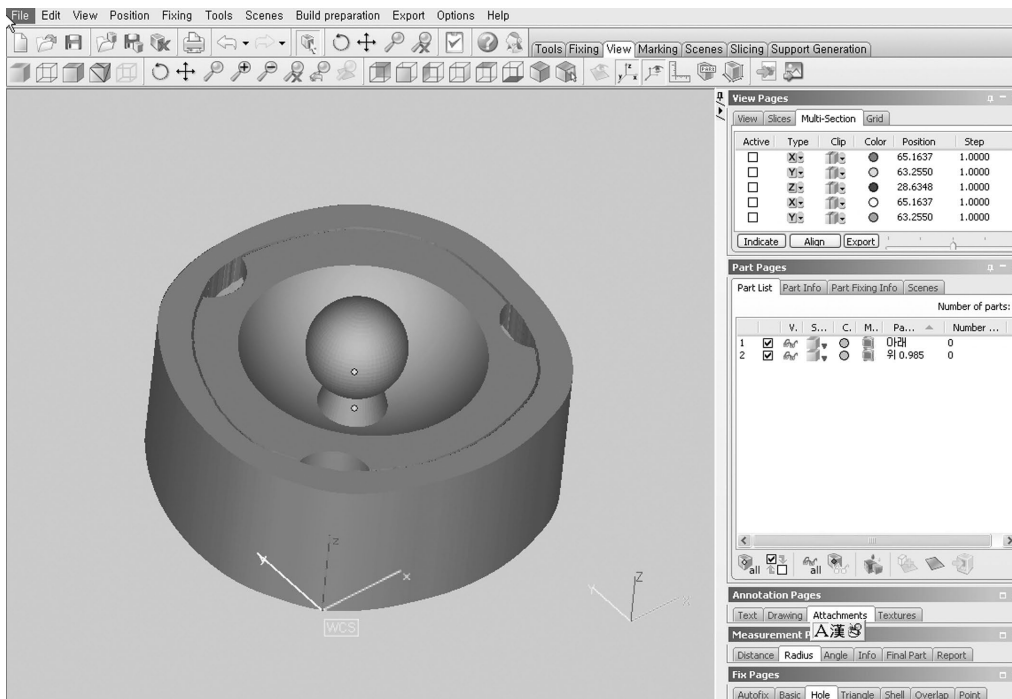


Fig 3.  
Editing a molding box for  
customized bolus using the  
Magics.

편집하여 3D 프린터로 출력하였다. [Figure 3] 출력에 사용한 3D 프린터는 ProJet®660Pro(ProJet® x60, 3D Systems, USA)을 사용하였고, [Figure 4] 제작 재료는 석고소재인 VisiJet® PXL™이 사용되었다. ProJet® 360은 customized bolus 재질로 사용한 조직등가물질인 paraffin wax 재질의 제작 재료가 호환되지 않기 때문에 체표 윤곽과 일치하는 customized bolus를 바로 출력하지 못하는 문제가 있다. 따

라서 본 연구에서는 3D 프린터를 사용하여 bolus 주형틀을 만들고 paraffin wax를 녹여 부어서 customized bolus를 제작하였다. [Figure 5]

## 2. Air gap 측정

앞서 제작한 customized bolus와 상품화된 1 cm bolus를



Fig 4.  
3D printer ; ProJet? 360.



Fig 5.  
Molding box for customized bolus.

**Table 1.** Comparison of air gap volume for customized bolus and 1 cm bolus (Unit: cm<sup>3</sup>)

	1st	2nd	3rd	4th	5th	Average
Customized bolus	4.0	4.2	3.5	4.1	3.8	3.9
1 cm bolus	29.2	29.8	32.7	25.9	30.2	29.6

사용한 상태에서 CT 모의치료기로 각각 5회 촬영 후 치료 계획 시스템인 Eclipse(Eclipse 10.1, Varian medical system, USA)를 이용하여 피부와 bolus 사이에 생기는 air gap의 총 용적을 확인하였다.

### 3. 선량 비교

customized bolus와 상품화된 1 cm bolus의 선량 비교는 Eclipse를 활용한 plan 비교로 하였다. plan은 6 MV photon과 235 MeV proton beam으로 하였고 종양을 GTV로 설정하여 GTV에 1 cm margin을 주고 daily dose 180 cGy, 총 4500 cGy로 주었다. plan parameter는 photon plan은 gantry angle 20°, field size 12×12 cm<sup>2</sup>, SSD 100 cm, proton plan은 gantry angle 20°, snout size 180으로 설정하였다.

photon과 proton plan에서 customized bolus와 상품화된 1 cm bolus 각각 GTV의 Dose Volume Histogram(DVH), Dmax, Dmin, Dmean, D95%와 V95%를 비교하였다.

정상조직의 방사선량 비교를 위하여 GTV에 접한 chest wall에서 각각의 DVH에서 Min Dose, Max Dose, Mean Dose를 확인하였다.

## 결 과

### 1. Customized bolus 제작

customized bolus를 위한 3D 프린터 제작을 위해 CT 모의치료기로 영상을 획득 하여 DICOM 파일로 변환하여 업체에 제작 의뢰를 하였다. 3D 프린터 출력을 위하여 DICOM 파일을 3D 데이터인 STL 파일로 변환하고, 종양 모양과 피부를 따라 1 cm 두께를 유지하는 주형틀 모양으로 편집하여 3D 프린터로 주형틀을 제작하였다. 이 주형틀에 녹인 paraffin wax를 부어 customized bolus를 완성하였다. 이렇게 customized bolus가 만들어지기까지 약 3일의 시간이 소요되었다.

### 2. Air gap 측정

이렇게 제작한 customized bolus와 상품화 된 1 cm bolus를 사용하여 CT 모의치료기로 각각 5회 씩 촬영하였을 때 생기는 air gap의 용적은 각각 customized bolus는 4.0 cm<sup>3</sup>, 4.2 cm<sup>3</sup>, 3.5 cm<sup>3</sup>, 4.1 cm<sup>3</sup>, 3.8 cm<sup>3</sup>로 평균 3.9 cm<sup>3</sup> 이었고, 상품화된 1 cm bolus는 29.2 cm<sup>3</sup>, 29.8 cm<sup>3</sup>, 32.7 cm<sup>3</sup>, 25.9 cm<sup>3</sup>, 30.2 cm<sup>3</sup>로 평균 29.6 cm<sup>3</sup>로 측정되었다. [Table 1] 특히 중심 함몰부위는 기존 상품화된 1 cm bolus에서는 air gap의 깊이가 최대 1.3 cm로 함몰 부위를 bolus

**Table 2.** Comparison of the dosimetric parameters of each plan from the 6 MV photon for GTV (Unit : %)

Parameters	Dmax	Dmin	Dmean	D95%	V95%
Customized bolus	102.8	88.1	99.1	95.0	94.4
1 cm bolus	101.4	92.0	98.2	95.2	95.7

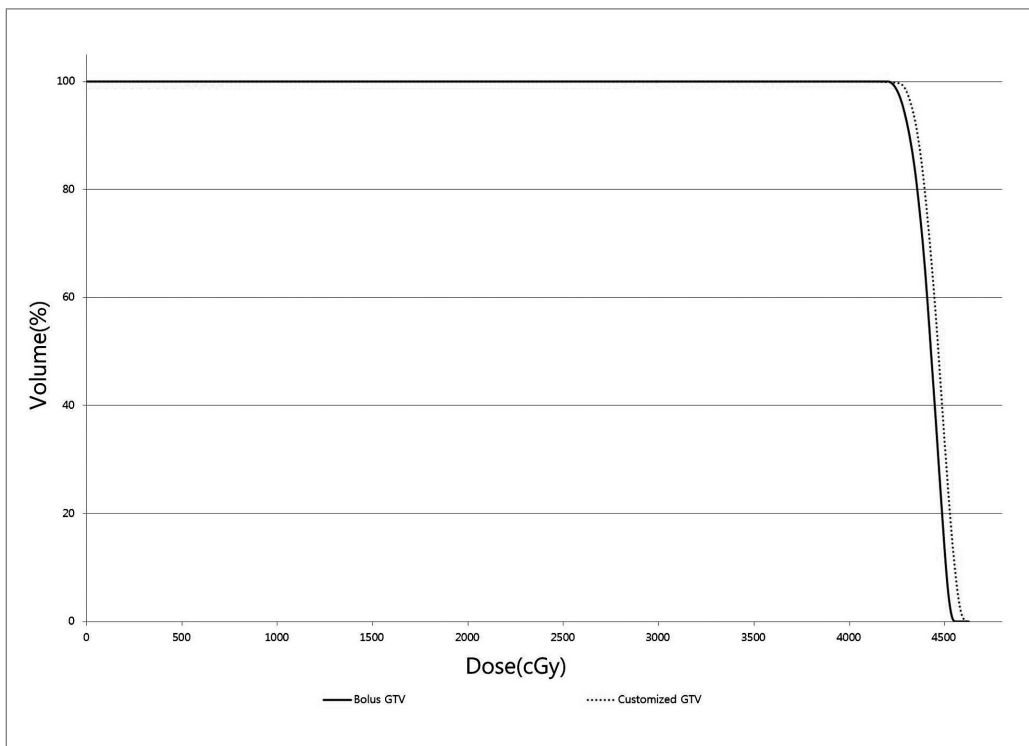
Dmax : maximum dose of the target volume

Dmin : minimum dose of the target volume

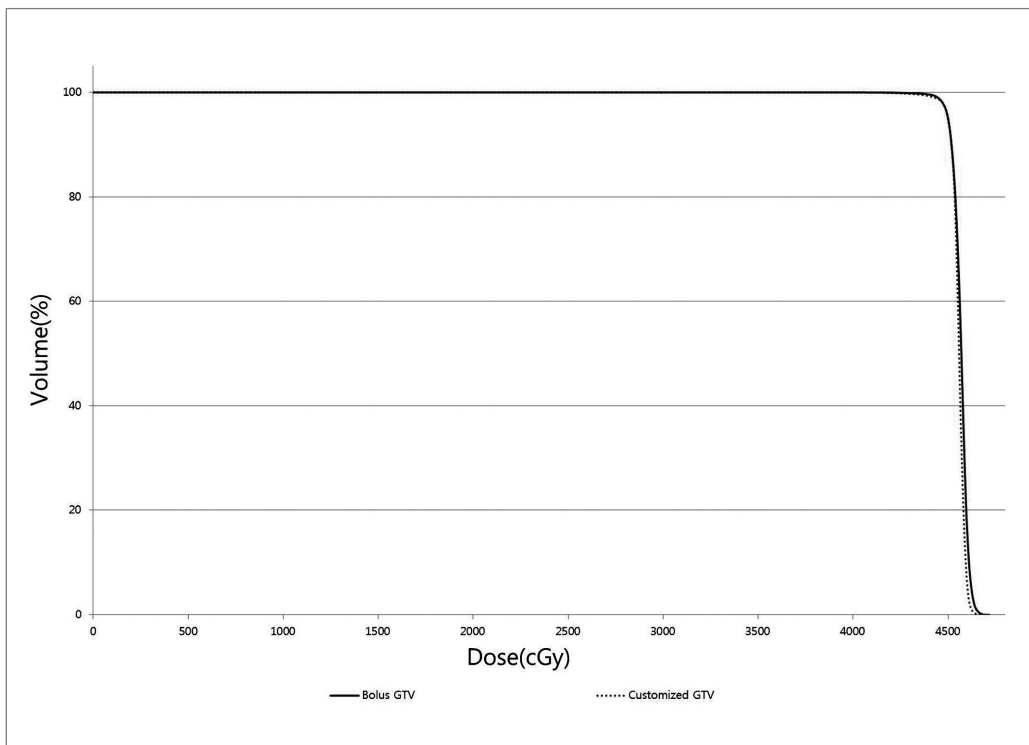
Dmean : mean dose of the target volume

D95% : the dose that covers 95% of the target volume

V95% : the target volume that received over 95% of the prescribed dose



(a)



(b)

Fig 6. GTV Dose Volume Histogram(DVH) of each plan. (a) Photon beam, (b) Proton beam,

로 덮는 것이 불가능 하였으나, customized bolus는 air gap 이 0.1 cm 이하로 함몰 모양을 그대로 채울 수가 있었다.

### 3. 선량 비교

Eclipse상 customized bolus와 상품화된 1 cm bolus의 DVH는 photon과 proton 모두 미세한 차이만 있을 뿐 의미 있는 확연한 차이를 보이지는 않았다. [Figure 6] customized bolus를 사용한 6 MV photon plan의 D<sub>max</sub>는 102.8%, D<sub>min</sub>은 88.1%, D<sub>mean</sub>은 99.1%, D<sub>95%</sub>는 95.0%, V<sub>95%</sub>는 99.4%였다. 상품화된 1 cm bolus의 6 MV photon plan의 D<sub>max</sub>는 101.4%, D<sub>min</sub>은 92.0%, D<sub>mean</sub>은 98.2%, D<sub>95%</sub>는 95.2%, V<sub>95%</sub>는 95.7%의 값을 보였다. [Table 2] customized bolus를 사용한 proton plan에서 D<sub>max</sub>는 104.1%, D<sub>min</sub>은 84.0%, D<sub>mean</sub>은 101.2%, D<sub>95%</sub>는 95.1%, V<sub>95%</sub>는 99.8%, 상품화된 1 cm bolus는 D<sub>max</sub> 104.8%, D<sub>min</sub>은 87.9%, D<sub>mean</sub>은 101.5%, D<sub>95%</sub>는 94.9%, V<sub>95%</sub>는 99.9%로 나타났다. [Table 3]

반면 정상조각인 chest wall에서의 방사선량은 customized bolus를 사용한 6 MV photon plan의 Min

Dose는 0.0 cGy , Max Dose는 4479.5 cGy, Mean Dose는 2334.0 cGy이었다. 상품화된 1 cm bolus의 6MV photon의 Min Dose는 26.7 cGy , Max Dose는 4424.4 cGy, Mean Dose는 2764.3 cGy로 나타났다. [Table 4] customized bolus를 사용한 proton plan에서의 chest wall의 Min Dose는 0.0 cGy , Max Dose는 4672.3 cGy, Mean Dose는 700.5 cGy, 상품화된 1 cm bolus는 Min Dose는 0.0 cGy , Max Dose는 4716.4 cGy, Mean Dose는 848.1 cGy의 값을 보였다. [Table 5], [Figure 7]

## 고안 및 결론

위 실험 결과 3D 프린터를 이용하여 customized bolus 사용 할 때의 최대 장점은 체표윤곽과 customized bolus를 밀착을 시킬 수 있다는 것이다. 즉, 피부와 bolus 사이 air gap을 최소화 할 수 있다고 할 수 있다. 이러한 air gap은 bolus 사용 시 표면선량 감소의 원인으로 지적되지만 실제 임상에서 생기는 수 mm의 air gap은 target에서의 선량에 크게 영향을 미치지 못함을 알 수 있었다. 국외 Yousaf

**Table 3.** Comparison of the dosimetric parameters of each plan from the proton for GTV (Unit : %)

Parameters	D <sub>max</sub>	D <sub>min</sub>	D <sub>mean</sub>	D <sub>95%</sub>	V <sub>95%</sub>
Customized bolus	104.1	84.0	101.2	95.1	99.8
1 cm bolus	104.8	87.9	101.5	94.9	99.9

D<sub>max</sub> : maximum dose of the target volume

D<sub>min</sub> : minimum dose of the target volume

D<sub>mean</sub> : mean dose of the target volume

D<sub>95%</sub> : the dose that covers 95% of the target volume

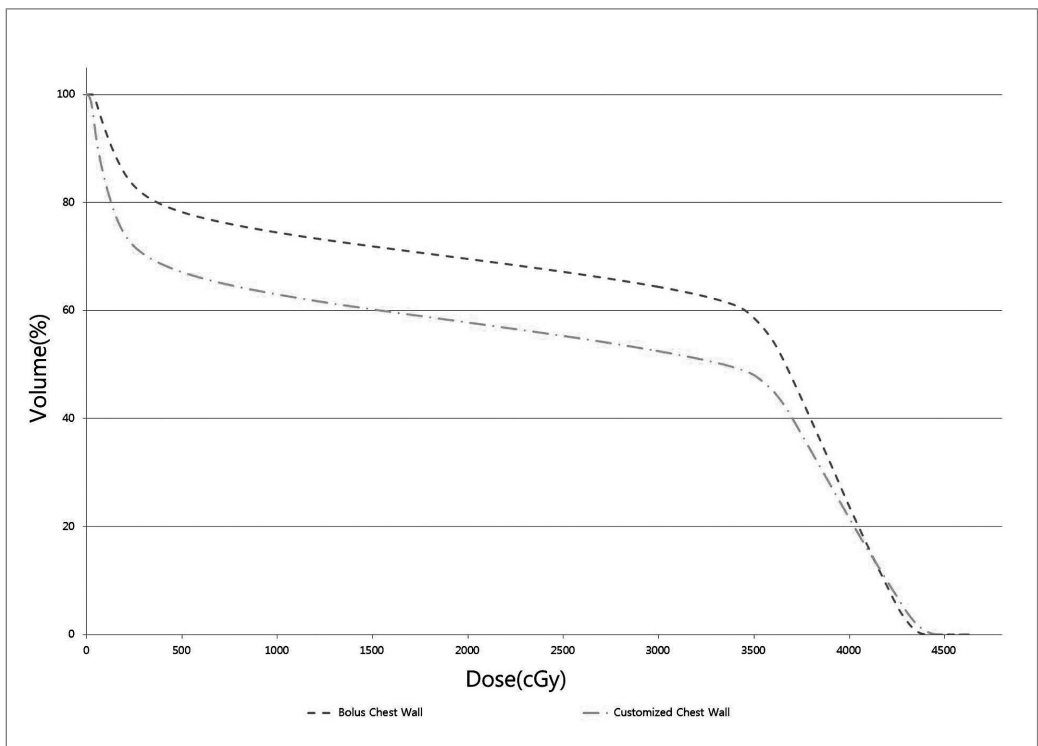
V<sub>95%</sub> : the target volume that received over 95% of the prescribed dose

**Table 4.** Comparison of 6 MV photon dose for chest wall (Unit : cGy)

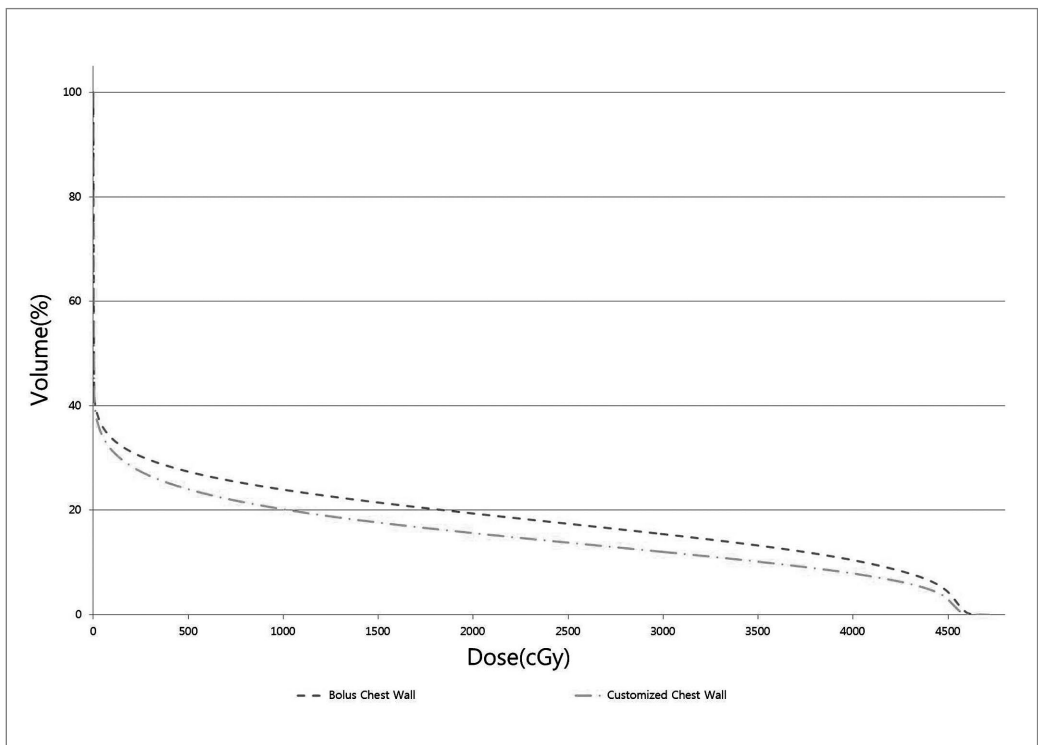
Parameters	Min Dose	Max Dose	Mean Dose
Customized bolus	0.0	4479.5	2334.0
1 cm bolus	26.7	4424.4	2764.3

**Table 5.** Comparison of proton dose for chest wall (Unit : cGy)

Parameters	Min Dose	Max Dose	Mean Dose
Customized bolus	0.0	4672.3	700.5
1 cm bolus	0.0	4716.4	848.1



(a)



(b)

Fig 7. Chest Wall Dose Volume Histogram(DVH) of each plan. (a) Photon beam, (b) Proton beam.



Khan과 국내 안승권은 6MV에서  $5 \times 5 \text{ cm}^2$  정도의 작은 field size 일 때 표면선량과 Dmax의 변화 폭이 크게 나타나며,  $10 \times 10 \text{ cm}^2$ 인 경우 1 cm air gap 일 경우 선량의 변화가 거의 없게 나타나고, 2 cm air gap 정도 되어야 표면선량이 약 7% 감소한다고 보고하였는데,<sup>4,6)</sup> 여기에서 본 연구의 선량 변화가 크지 않은 원인을 찾을 수 있다.

반면 target 바로 아래에 있는 정상조직에서는 air gap이 존재할수록 선량이 증가됨을 알 수 있었다. 이는 air gap에 의한 re-build up의 영향 때문이라고 생각되어진다. 따라서 customized bolus를 사용 하였을 때 정상조직의 선량이 감소되었고, 이것은 중앙조직에는 최대 선량을 정상조직에는 최소 선량을 주고자 하는 방사선 치료 목적에 더욱 부합하다고 할 수 있다.

본 연구에서 정상조직으로 고려한 chest wall은 방사선에 민감한 조직이 아니기 때문에 실험 결과의 방사선량으로는 심각한 부작용을 걱정해야 하는 수준은 아니다. 그렇지만 안와 같이 결정 장기를 포함하는 부위라면 조사되는 방사선량의 최소화를 위해 노력해야 하며, 치료 시 필요에 따라 bolus 사용이 고려되어진다면 적극적으로 피부와 bolus 사이에 생기는 air gap을 줄여야 한다. 이때 3D 프린터를 이용한 customized bolus의 제작이 air gap을 줄이는 역할을 훌륭히 할 수 있다고 생각되어 진다고 사료된다. 추후 중요 결정 장기가 많은 두경부에서 추가적인 customized bolus 사용에 관한 연구가 계속 되어져야 할 필요가 있다.

3D 프린터를 이용한 customized bolus 제작에 약 3일의 시간이 소요되었다. 이는 아직 본원에 3D 프린터 장비 및 소프트웨어가 완벽하게 구비되어 있지 않고, 3D 프린터와 관련된 프로그램을 능숙하게 사용할 수 있는 인력의 부재 때문이었다. 이러한 이유로 주형틀을 3D 프린터로 제작하기 위해 외부 업체에 제작 의뢰를 하였고, 고가의 제작비용이 들었다. 따라서 방사선치료를 위한 3D 프린터를 이용한 customized bolus 제작의 상용화를 위해서는 다음과 같은 문제들이 해결되어야 한다.

### 1) 3D 프린터 재료

3D 프린터 결과물의 가격은 제작 재료 자체의 단가와 출력물의 크기에 비례한다. 출력물이 클수록 재료가 많이 사용되기 때문에 가격이 상승하게 된다. 참고로 1kg에 수백만 원 하는 3D 프린터 재료도 있다. 현재 개발되어 사용이 가능한 3D 프린터 재료 중 customized bolus에 가장 적합한

것으로는 wax 재질이다. 그러나 wax 재질의 재료는 원료 자체가 고가이기 때문에(본 연구에 사용된 금액의 약 3배) customized bolus 제작에는 무리가 있다. 반면 현재 대중화 되어 저렴하게 구할 수 있는 3D 프린터는 융합수지 압출 적층 조형(Fused Filament Fabrication ; FFF)방식으로 열가소성 플라스틱을 노즐 안에서 실처럼 녹여서 적층하여 조형하는 방식이다. 여기에 사용되는 재료인 열가소성 플라스틱은 조직등가 물질이 아니다. 그렇기 때문에 열가소성 플라스틱 재료를 방사선 치료에 사용하기 위해서는 상용화된 bolus 두께에 해당하는 두께를 측정하여 사용 가능성을 확인하는 연구가 반드시 이어져야 한다. 더 나아가 customized bolus로 사용가능한 저렴한 3D 프린터 제작 재료를 찾아내는 연구가 필요하고, 추후 저가이면서 보급형 3D 프린터에 호환 가능한 조직등가물질 재료 개발도 필요할 것이다.

### 2) 3D 프린터 소프트웨어

원하는 모양의 customized bolus를 만들기 위해서는 본 연구에서 사용되어진 Mimics와 Magics 프로그램 같이 DICOM 파일을 STL 파일로 변환하고, 이를 원하는 모양대로 편집 할 수 있는 소프트웨어가 필요하며, 그 프로그램을 사용할 수 있는 인력도 필요하다. 단순히 인체 모형 제작을 위해서는 웹상에서 무료로 제공되는 소프트웨어를 다운 받아 DICOM 파일을 STL 파일로 변환하여 바로 3D 프린터로 출력할 수 있지만, bolus는 인체의 체표를 따라 원하는 두께와 모양을 가지도록 편집하는 작업을 반드시 거쳐야 3D 프린터로 출력을 할 수 있기 때문이다.

현재 3D 프린터는 금형, 예술, 보석 디자인, 의류, 건축 등 사회 전반에서 적용이 가능하다. 특히 최근 들어 의료계에서 3D 프린터 사용이 점점 증가하고 있다. 이미 치과에서는 치아 교정과 치료에 3D 프린터가 상용화되어지고 있다. 이처럼 방사선치료 분야에서도 customized bolus 제작뿐만 아니라 기타 여러 보상체, 환자 고정 기구 등에서 3D 프린터를 활용한 맞춤형 방사선치료가 가능하도록 더 많은 연구가 이어져야 할 것으로 사료되어진다.

## 참고문헌

1. F. M. Khan, "The Physics of Radiation Therapy" 3rd

ed. 259

2. Sharma S. C, Johnson M. W : Surface dose perturbation due to air gap between patient and bolus for electron beams, *Medical physics*, 1993 ; 20, 377-378
3. M. Kong, L. Holloway : An investigation of central axis depth dose distribution perturbation due to an air gap between patient and bolus for electron beams, *Australasian Physical & Engineering Sciences in Medicine*, 2007 ; 30, 111-119
4. Yousaf Khan, J. Eduardo Villarreal-Barajas, Mona Udowicz, Richie Sinha, Wazir Muhammad, et al. : Clinical and Dosimetric Implications of Air Gaps between Bolus and Skin Surface during Radiation Therapy, *Journal of Cancer Therapy*, 2013 ; 4, 1251-1255
5. Martin J. Butson, Tsang Cheung, Peter Yu, Peter Metcalfe : Effects on skin dose from unwanted air gaps under bolus in photon beam radiotherapy, *Radiation Measurements*, 2000 ; 32, 201-204
6. 안승권, 이원주, 신동봉, 전병철, 이석, 조정희, 박재일 : Bolus 사용 시 환자와의 Air Gap에 의한 피부선량 변화에 관한 고찰, *대한방사선치료학회지*, 2001 ; 13, 51-58
7. F. M. Khan, "The Physics of Radiation Therapy" 3rd ed. 327
8. 박효국, 김주호, 이상규, 윤종원, 조정희, 김동욱 : 조직결손이 큰 환자에서 물 볼루스의 적용에 관한 고찰, *대한방사선치료학회지*, 2006 ; 제18권 제2호, 105-112
9. 안승권, 김용배, 이익재, 송태수, 손동민, 장영재, 조정희, 김주호, 김동욱, 조재호, 서창욱 : 사지에 발병한 카포시육종의 방사선치료를 위한 물 볼루스 기구의 유용성 고찰, *대한방사선종양학회지*, 2008 ; 26(3), 189-194
10. 송용민, 김종식, 홍채선, 주상규, 박주영, 박수연 : Total Scalp의 방사선 치료 시 Helmet Bolus 제작방법에 관한 연구, *대한방사선치료학회지*, 2012 ; 제24권 제1호, 31-37
11. S. M. Fuller, D. R. Butz, C. B. Vevang, M. V. Makhlof : Application of 3-dimensional printing in hand surgery for production of a novel bone reduction clamp, *J Hand Surg Am*, 2014 ; 39, 1840-1845
12. Zhiwei Dong, Qihong Li, Shizhu Bai, Li Zhang : Application of 3-Dimensional Printing Technology to

Kirschner wire Fixation of Adolescent Condyle Fracture, *J Oral Maxillofac Surg*, 2015 ; 14,

---

Abstract

# A Study on Developing Customized Bolus using 3D Printers

Department of Proton Therapy Center, National Cancer Center, Ilsan, Korea

Jung Sang Min, Yang Jin Ho, Lee Seung Hyun, Kim Jin Uk, Yeom Du Seok

---

**Purpose** : 3D Printers are used to create three-dimensional models based on blueprints. Based on this characteristic, it is feasible to develop a bolus that can minimize the air gap between skin and bolus in radiotherapy. This study aims to compare and analyze air gap and target dose at the branded 1 cm bolus with the developed customized bolus using 3D printers.

**Materials and Methods** : RANDO phantom with a protruded tumor was used to procure images using CT simulator. CT DICOM file was transferred into the STL file, equivalent to 3D printers. Using this, customized bolus molding box (maintaining the 1 cm width) was created by processing 3D printers, and paraffin was melted to develop the customized bolus. The air gap of customized bolus and the branded 1 cm bolus was checked, and the differences in air gap was used to compare  $D_{max}$ ,  $D_{min}$ ,  $D_{mean}$ ,  $D_{95\%}$  and  $V_{95\%}$  in treatment plan through Eclipse.

**Results** : Customized bolus production period took about 3 days. The total volume of air gap was average  $3.9 \text{ cm}^3$  at the customized bolus. And it was average  $29.6 \text{ cm}^3$  at the branded 1 cm bolus. The customized bolus developed by the 3D printer was more useful in minimizing the air gap than the branded 1 cm bolus. In the 6 MV photon, at the customized bolus,  $D_{max}$ ,  $D_{min}$ ,  $D_{mean}$ ,  $D_{95\%}$ ,  $V_{95\%}$  of GTV were 102.8%, 88.1%, 99.1%, 95.0%, 94.4% and the  $D_{max}$ ,  $D_{min}$ ,  $D_{mean}$ ,  $D_{95\%}$ ,  $V_{95\%}$  of branded 1cm bolus were 101.4%, 92.0%, 98.2%, 95.2%, 95.7%, respectively. In the proton, at the customized bolus,  $D_{max}$ ,  $D_{min}$ ,  $D_{mean}$ ,  $D_{95\%}$ ,  $V_{95\%}$  of GTV were 104.1%, 84.0%, 101.2%, 95.1%, 99.8% and the  $D_{max}$ ,  $D_{min}$ ,  $D_{mean}$ ,  $D_{95\%}$ ,  $V_{95\%}$  of branded 1cm bolus were 104.8%, 87.9%, 101.5%, 94.9%, 99.9%, respectively. Thus, in treatment plan, there was no significant difference between the customized bolus and 1 cm bolus. However, the normal tissue nearby the GTV showed relatively lower radiation dose.

**Conclusion** : The customized bolus developed by 3D printers was effective in minimizing the air gap, especially when it is used against the treatment area with irregular surface. However, the air gap between branded bolus and skin was not enough to cause a change in target dose. On the other hand, in the chest wall could confirm that dose decrease for small the air gap. Customized bolus production period took about 3 days and the development cost was quite expensive. Therefore, the commercialization of customized bolus developed by 3D printers requires low-cost 3D printer materials, adequate for the use of bolus.

---

**Keyword** : 3D printers, Customized Bolus, Air gap