

# 치료 장비 별 표면 선량 비교평가

삼성서울병원 방사선종양학과

최은하 · 윤보름 · 박병석 · 안예찬 · 박명환 · 박용철

**목 적:** 본 연구는 6MV-FFF(Flattening Filter Free) 에너지를 사용하는 Tomotherapy, Halcyon, True-Beam 장비를 이용하여 가상의 표적 용적에 대한 표면 선량 값을 측정, 비교평가하고자 한다.

**대상 및 방법:** IMRT 팬텀(IBA, Germany)을 이용하였으며 표면 선량 측정의 정확도를 높이기 위해 without bolus, 0.5 cm bolus, 1 cm bolus 총 세 가지 조건으로 전산화 단층촬영을 시행하였다. 가상의 표적 깊이로 치료 계획 용적(Planning Target Volume, PTV)을 설정하고 1회, 200 cGy로 치료 계획을 각각 수립하였다. 표면 선량 측정은 Gafchromic EBT3 필름을 전산화 치료 계획과 동일한 구간에 위치시켜 10회 반복 측정 후 분석하였다.

**결 과:** 각 장비 별 실험 결과 without bolus, 0.5 cm bolus, 1 cm bolus 순서로 표면 선량 측정값의 평균은 Tomotherapy에서 115.2±2.0 cGy, 194.4±3.3 cGy, 200.7±2.9 cGy로 확인되었고, Halcyon에서 104.7±3.0 cGy, 180.1±10.8 cGy, 187.0±10.1 cGy로 확인되었으며, TrueBeam에서 92.4±3.2 cGy, 148.6±5.7 cGy, 155.8±6.1 cGy로 확인되었다. 세 가지 조건에서 모두 치료 계획 시스템과 동일하게 Tomotherapy, Halcyon, TrueBeam 순으로 높게 측정되었다.

**결 론:** Tomotherapy와 Halcyon에서 TrueBeam 장비에 비해 표면 선량이 높게 측정되었다. 치료 부위와 치료 목적에 맞춰 장비 별 특성이 고려된다면 치료 효율성의 증가뿐 아니라 환자의 치료 만족도도 높아질 것으로 사료된다.

▶ **핵심용어:** 표면 선량, Halcyon, TrueBeam, Tomotherapy, Gafchromic EBT3

## 서 론

진단 영상 장비의 발전과 건강검진으로 인한 조기 진단 건수의 증가로 암 환자의 수는 점차 증가하고 있으며 암의 발병률이 증가함에 따라 방사선치료 또한 증가하고 있다.<sup>(1)</sup> 방사선치료 장비와 치료기술들의 발전으로 방사선 치료 영역이 넓어지면서 치료뿐만 아니라 치료를 하면서 발생하게 되는 합병증과 부작용에 대해서도 관심이 늘고 있다. 대표적으로 육안으로 확인 가능한 부작용은 급성 피부반응으로 방사선피부염이 있다. 방사선치료에서 부작용을 유발하

는 피부 선량은 조사야의 크기(Field size), 선원과 표면 사이의 거리, Beam modifier(wedge) 및 빔의 입사 각도 등 여러 가지 인자에 의해 좌우된다.<sup>(2)</sup>

두경부(Head&Neck)나 흉부(Breast) 또는 겹치는 부위 등이 치료 부위인 환자는 방사선 치료를 받는 동안 피부선량으로 인해 방사선 피부염과 같은 방사선 부작용을 대부분 겪고 있다.<sup>(3, 4)</sup> 특히 두경부나 흉부 환자에서 치료 선량은 주로 피부 반응으로 인해 제한된다.<sup>(5)</sup> 방사선 피부염이 심해지게 될 경우 일시적인 방사선 치료 중단 및 환자들의 치료 순응도 감소 등 부정적인 영향을 받기 때문에 피부 선량을 정확하게 예측하여 치료의 목적과 피부 반응의 가능성을 균형 있게 조정하여 방사선 치료 계획을 세우는 것이 중요하다.<sup>(6, 7)</sup>

책임저자: 최은하, 삼성서울병원 방사선종양학과  
서울특별시 강남구 일원로 81  
Tel: 02) 3410-2592, \*\*\*-\*\*\*\*-\*\*\*\*  
E-mail: eunha.choi@samsung.com

FFF(Flattening-Filter-Free) 빔을 사용하는 경우 선속 경화 현상(Beam hardening effect)이 감소하는데 이는 빔 경로에 물질이 현저히 적기 때문에 표면 선량이 증가하게 되는 원인이 된다. 또한 FFF 빔은 전자 오염의 영향으로 표면 선량 및 빌드 업(Build-up) 선량이 FF(Flattening-Filter) 빔보다 크다는 연구 결과가 보고되기도 했다. (8-10)

6 MV-FFF 단일 에너지를 사용하는 Halcyon은 Varian의 최신 선형 가속기로 기존 Linac 장비와 달리 Jaw가 없으며 Dual-layer MLC(Multi-Leaf Collimator)를 사용한다. 또한 O-ring의 형태로 보여 안에 갠트리가 위치해 기존에 상용화되어 있는 Linac 장비 대비 4배의 RPM(Rotation Per Minute)으로 빠르게 회전시킬 수 있으며(11, 12) 갠트리와 환자와의 충돌 위험이 없다는 장점이 있다.

본 연구에서는 6MV-FFF 빔을 사용하는 최신 장비인 Tomotherapy, Halcyon, TrueBeam을 이용하여 방사선 피부 부작용에 영향을 미치는 표면 선량을 측정, 비교 평가하고자 한다.

## 대상 및 방법

- CT simulator (Discovery CT 590 RT, GE, USA)
- IMRT Phantom (IBA, Germany)
- Precision® Treatment Planning System (Version 1.1.1.1, Accuray, Sunnyvale, CA, USA)
- Eclipse Treatment planning System (Version 16.1.0, Varian, Palo Alto, CA, USA)
- Gafchromic™ EBT3 radiochromic film (Ashland Advanced Materials, Bridgewater, NJ, USA)
- RADIXACT® Treatment Delivery System (X9, Accuray, Sunnyvale, CA, USA)
- Halcyon (Varian Medical System, Version 3.0, Palo Alto, CA, USA)
- TrueBeam (Varian Medical System, Version 2.7, Palo Alto, CA, USA)
- VIDAR Scanner (VXR-16 Dosimetry Pro, Vidar System Corporation, USA)
- Dose Analysis system (RIT113 Version 5.0, Ra-

diological Imaging Technology, USA)

- SPSS 27 Data Analysis software (IBM, New York, NY USA)

### 1. IMRT 팬텀의 전산화 단층촬영

본 실험을 위해 본원에 설치된 입체 모의치료기(CT simulator)를 이용하여 크기가 33(W)×36(L)×18(H) cm<sup>3</sup>, 평균 농도가 1,045 g/m<sup>3</sup> IMRT 팬텀의 전산화 단층 영상을 획득하였다. 촬영 조건은 관전압 120 KVp, 관전류 350 mA, 0.938:1 Pitch, 슬라이스 두께 2.5 mm, Helical scan type, interval 간격 2.5 mm로 하였으며 스캔 범위는 IMRT 팬텀을 전부 포함하여 스캔하였다. 전산화 단층 촬영은 IMRT 팬텀을 지정해 놓은 중앙(center) 위치에 놓고 표면 선량 측정에 정확성을 높이기 위하여 세 가지 방법(without bolus, 0.5 cm bolus, 1 cm bolus)을 적용하여 동일 조건으로 반복 촬영하였다(Fig. 1).

### 2. 전산화 치료 계획 수립

#### 1) IMRT 팬텀 구조물 설정 및 처방 선량

전산화 단층을 이용하여 획득된 IMRT 팬텀의 CT 영상에 가상의 표적을 PTV로 설정하였으며 체표면에서 안쪽(inner margin) 3 mm까지의 윤곽을 피부(skin)로 정의하였다. without bolus, 0.5 cm bolus, 1 cm bolus 적용한 CT 치료 계획 영상에 동일한 윤곽 및 처방 선량을 설정하였다. 처방 선량은 PTV에 1회 200 cGy가 PTV 처방 선량에



Fig. 1. Computed tomography of IMRT Phantom

80% 이상이 포함되도록 치료 계획을 수립하였다(Fig. 2).

2) Tomotherapy, Halcyon, TrueBeam 장비의 치료 계획

Tomotherapy는 Precision<sup>®</sup> Treatment Planning System(Version 1.1.1.1, Accuray, Sunnyvale, CA, USA)의 Helical IMRT mode를 선택했고 Plan Setup Parameter는 Jaw Mode는 Dynamic, Field Width는 2.5 cm, Pitch는 0.430, Modulation Factor는 2.0을 사용하여 치료 계획하였다. 기존 Linac 치료 장비와 달리 O-ring 형태의 Halcyon과 기존 Linac 장비와 동일한 C-arm 형태의 TrueBeam은 Eclipse Treatment Planning System(Version 16.1.0, Varian, Palo Alto, CA, USA)을 사용하여 4개의 Arc로 용적 변조 회전 치료(Volumetric Modulated Arc Therapy, VMAT) 계획을 수립하였다. 모든 치료 계획의 에너지는 동일하게 6MV-FFF를 사용하였다. 치료 계획은 최적화 과정에서 동일한 알고리즘 및 선량 제약치를 사용하여 치료 계획에서의 변수를 최소화하여 장비의 특성을 알아보고자 하였다(Fig. 3).

3) 선량 계산

선량 계산의 정확성을 높이기 위하여 각각의 치료 계획 수립 후 Tomotherapy는 convolution-superposition을 사용하였고 Halcyon, TrueBeam은 AXB(Acurus XB)를 사용하였다.

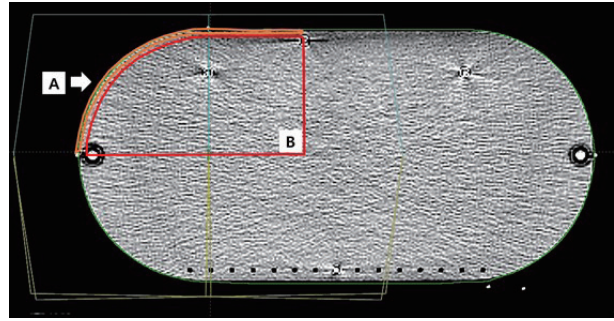


Fig. 2. IMRT Phantom structure settings  
 A : Set 3 mm from body to skin  
 B : Set PTV

3. Gafchromic EBT3 필름을 이용한 선량 측정

Gafchromic EBT 필름은 조직 등가 물질로 구성되어 있으며 높은 공간 분해능과 방사선 에너지 의존성이 적다는 특성이 있다.<sup>(13)</sup> 세기 조절 방사선 치료(Intensity Modulated Radiation Therapy, IMRT)와 같은 방사선 치료에서 선량 분포를 검증하는 중요한 도구로 사용되고 있으며<sup>(14)</sup> 상대적으로 낮은 유효 원자 번호  $Z = 6.9$ 는 물의 원자 번호에 가깝기 때문에 빌드 업 효과는 문제가 되지 않는다.<sup>(15)</sup> 측정에 사용된 Gafchromic EBT3 필름은 동일한 교정 상수를 적용한 교정된 필름으로 사용하였으며 치료 계획에서의 측정 구간 위치에 맞게 가로 21 cm, 세로 4 cm 크기를 사용하였다. 팬텀의 측정 구간 표면에 Gafchromic EBT3 필름을 위치시킨 뒤 without bolus, 0.5 cm bolus, 1 cm bolus 3가지의 방법으로 각각 10회 반복 측정하였



Fig. 3. Equipment image  
 A : Tomotherapy  
 B : Halcyon  
 C : TrueBeam

다. 측정된 필름은 VIDAR Scanner(VXR16 Dosimetry Pro, Vidar System Corporation, USA)를 통해 디지털 화하였다. 디지털 화 된 측정 정보는 선량 분석 시스템(RIT113 Version 5.0, Radiological Imaging Technology, USA)을 이용하여 필름 전체 면적의 선량 값과 필름 중앙(center)을 기준으로 한 profile의 선량 값을 측정 분석하였다(Fig. 4, 5).

#### 4. 전산화 치료 계획 시스템에서의 피부 선량 측정

체표면에서 3 mm 깊이까지를 피부로 설정하여 전체 피부 윤곽의 평균값을 확인하였다. 각 bolus 적용에 따른 피부 선량을 비교하였다.

#### 5. 통계 분석

통계 분석은 SPSS 28 Data Analysis software(IBM, New York, NY USA)를 활용하였으며, Tomotherapy, Halcyon, TrueBeam 세 개의 장비로 10회 반복 측정한 결과를 평가하기 위해 일원배치 분산분석(one-way Analysis of Variance, ANOVA)을 시행하였다. Kolmogorov-Smirnov 검정과 Shapiro-Wilk 검정을 통해 세 군이 정규성 가정을 만족함을 확인하였다. 일원배치 분산분석 이후 두 군의 크기를 각각 비교하기 위해 Tukey HSD(Leneve의 등분산검정  $p \geq 0.05$ ), Dunnett, T3(Leneve의 등분산검정  $p < 0.05$ ) 방법을 통해 각각 사후 검정을 진행하였다. 모든 통계 결과는  $p < 0.05$  수준에서 유의한 것으로 설정하였다.

### 결 과

#### 1. Gafchromic EBT3 필름을 측정한 선량

##### 1) Gafchromic EBT3 필름 전체 면적의 선량 값

Tomotherapy의 without bolus, 0.5 cm bolus, 1 cm bolus 별 각각 측정 선량의 평균값은  $115.2 \pm 2.0$  cGy,  $194.4 \pm 3.3$  cGy,  $200.7 \pm 2.9$  cGy로 확인되었다. Halcyon의 without bolus, 0.5 cm bolus, 1 cm bolus 별 각각 측정 선량의 평균값은  $104.7 \pm 3.0$  cGy,  $180.1 \pm 10.8$  cGy,  $187 \pm 10.1$  cGy로 확인되었다. TrueBeam의 without bolus, 0.5 cm bolus, 1 cm bolus

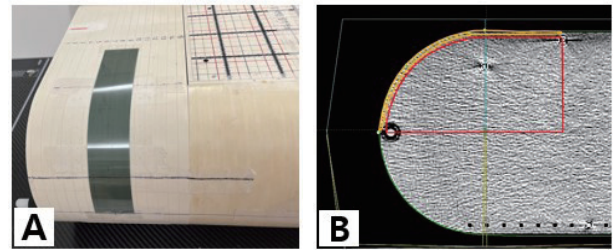


Fig. 4. Film application section and actual section in the plan  
A : Gafchromic EBT3 Film measurement section in IMRT Phantom  
B : Dose measurement section in TPS(Treatment Planning System)



Fig. 5. VIDAR Scanner image

별 각각 측정 선량의 평균값은  $92.4 \pm 3.2$  cGy,  $148.6 \pm 5.7$  cGy,  $155.8 \pm 6.1$  cGy로 확인되었다(Table 1, 2, 3, Fig. 6, 7, 8).

##### 2) Gafchromic EBT3 필름 중앙을 기준으로 한 profile의 선량 값

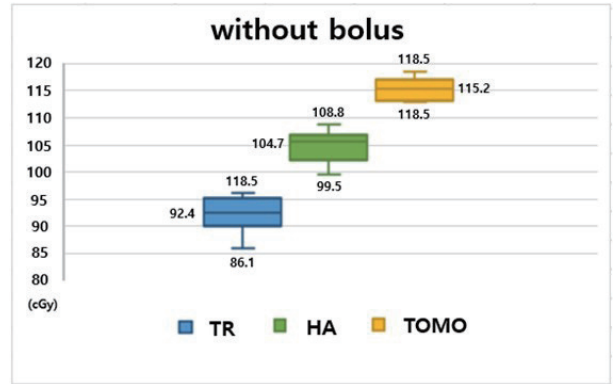
Tomotherapy의 without bolus, 0.5 cm bolus, 1 cm bolus 별 각각 측정 선량의 평균값은  $117.0 \pm 1.8$  cGy,  $198.0 \pm 4.0$  cGy,  $203.5 \pm 4.7$  cGy로 확인되었다. Halcyon의 without bolus, 0.5 cm bolus, 1 cm bolus 별 각각 측정 선량의 평균값은  $108.0 \pm 3.7$  cGy,  $182.8 \pm 11.2$  cGy,  $190.7 \pm 12.2$  cGy로 확인되었다. TrueBeam의 without bolus, 0.5 cm bolus, 1 cm bolus 별 각각 측정 선량의 평균값은  $95.6 \pm 3.5$  cGy,  $151.5 \pm 4.6$  cGy,  $160.2 \pm 6.9$  cGy로 확인되었다(Table 4, 5, 6).



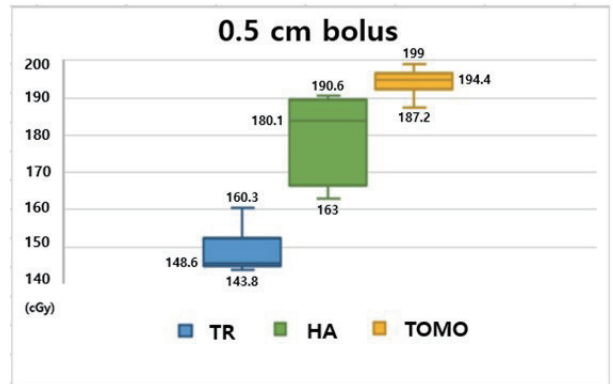
**Table 1.** Surface dose values of the total area of Film and TPS of Tomotherapy

Machine	Bolus	Measurement			TPS <sup>†</sup> Skin 3 mm (cGy)
		EBT3 film (cGy)	Average (cGy)	SD*	
Tomo-therapy	Without	115.7	115.2	2.0	169.5
		112.9			
		113.6			
		117.9			
		112.9			
		115.1			
		116.8			
		113.2			
		115.8			
	118.5				
	0.5 cm	195.9	194.4	3.3	194.9
		199			
		194.5			
		197			
		194.9			
		192.8			
		187.2			
		196.4			
		194.5			
	191.2				
	1 cm	200.4	200.7	2.9	197.1
		204.5			
		197.6			
		196.3			
		198.5			
		201.8			
		204.6			
203.5					
200.3					
199.2					

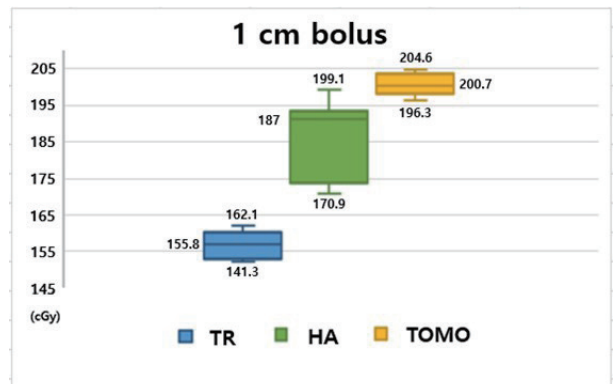
\*Standard Deviation(SD), <sup>†</sup>Treatment Planning System(TPS)



**Fig. 6.** Surface dose values of the entire Film of without bolus  
Tomotherapy(TOMO), Halcyon(HA), TrueBeam(TR)



**Fig. 7.** Surface dose values of the entire Film of 0.5 cm bolus  
Tomotherapy(TOMO), Halcyon(HA), TrueBeam(TR)



**Fig. 8.** Surface dose values of the entire Film of 1 cm bolus  
Tomotherapy(TOMO), Halcyon(HA), TrueBeam(TR)

**Table 2.** Surface dose values of the total area of Film and TPS of Halcyon

Machine	Bolus	Measurement			TPS <sup>†</sup>
		EBT3 film (cGy)	Average (cGy)	SD*	Skin 3 mm (cGy)
Halcyon	Without	99.5	104.7	3.0	134.0
		101.2			
		103.2			
		105.8			
		106.3			
		108.6			
		105.3			
		106.1			
		102.6			
		108.8			
	0.5 cm	164.8	180.1	10.8	178.8
		163			
		167.1			
		183.9			
		190.5			
		189.1			
		184.6			
		183.7			
		190.2			
		184			
	1 cm	170.9	187.0	10.2	182.4
		173.4			
		174			
		189.4			
		189.6			
		193.1			
		193.7			
		199.1			
		193.4			
		193.4			

\*Standard Deviation(SD), <sup>†</sup>Treatment Planning System(TPS)

**Table 3.** Surface dose values of the total area of Film and TPS of TrueBeam

Machine	Bolus	Measurement			TPS <sup>†</sup>
		EBT3 film (cGy)	Average (cGy)	SD*	Skin 3 mm (cGy)
True-Beam	Without	86.1	92.4	3.1	131.8
		89.2			
		90.4			
		92.2			
		95.3			
		91.9			
		95.1			
		93			
		94.9			
		96.1			
	0.5 cm	150.9	148.6	5.7	175.7
		156.5			
		160.3			
		144.5			
		145			
		143.8			
		144.8			
		145.4			
		149.3			
		145.7			
	1 cm	161.1	155.8	6.1	180.8
		158.1			
		159.8			
		141.3			
		155.7			
		162.1			
		152.1			
		153.1			
		155.6			
		159.5			

\*Standard Deviation(SD), <sup>†</sup>Treatment Planning System(TPS)

**2. 전산화 치료 계획 시스템에서의 선량**

Tomotherapy의 without bolus, 0.5 cm bolus, 1 cm bolus 별 각각 선량의 평균값은 169.5 cGy, 194.9 cGy, 197.1 cGy로 확인되었다. Halcyon의 without bolus, 0.5 cm bo-

lus, 1 cm bolus 별 각각 선량의 평균값은 134.0 cGy, 178.8 cGy, 182.4 cGy로 확인되었다. TrueBeam의 without bolus, 0.5 cm bolus, 1 cm bolus 별 각각 선량의 평균값은 131.8 cGy, 175.7 cGy, 180.8 cGy로 확인되었다(Fig. 9).

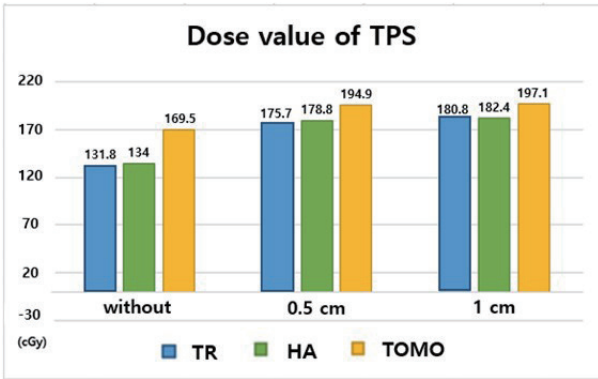


Fig. 9. Dose by equipment at TPS(Treatment Planning System) Tomotherapy(TOMO), Halcyon(HA), TrueBeam(TR)

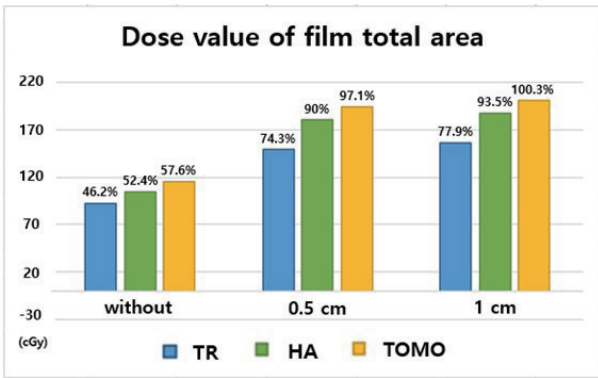


Fig. 10. Comparison of Surface Dose by Equipment Using Gafchromic EBT3 Film Tomotherapy(TOMO), Halcyon(HA), TrueBeam(TR)

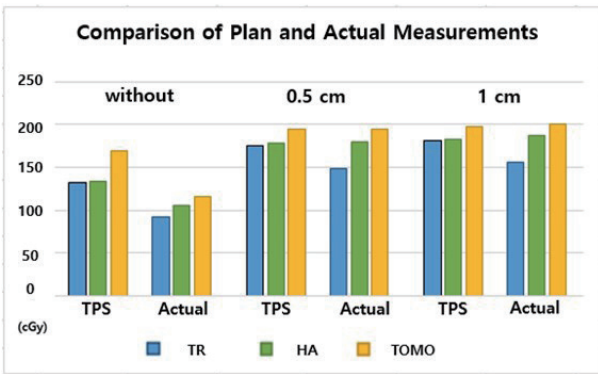


Fig. 11. Comparison of measured values in the Treatment Planning System with measured values in the actual Gafchromic EBT3 Film Tomotherapy(TOMO), Halcyon(HA), TrueBeam(TR), Treatment Planning System(TPS), Actual surface dose value measured using Gafchromic EBT3 film(Actual)

Table 4. Surface dose values of profile based on center of Film and TPS of Tomotherapy

Machine	Bolus	Measurement			TPS <sup>†</sup>
		EBT3 film (cGy)	Average (cGy)	SD*	Skin 3 mm (cGy)
Tomotherapy	Without	116,2	117.0	1.8	169.5
		113,9			
		116,2			
		119,5			
		118,6			
		117,1			
		117,2			
		114,8			
		116,7			
	119,4				
	0.5 cm	199,9	198.0	4.0	194.9
		201			
		199,1			
		199,1			
		198,2			
		195,5			
		189			
		203,1			
		194,6			
	200,9				
	1 cm	205,3	203.5	4.7	197.1
		208,3			
		198,7			
		195,5			
199,5					
203,3					
209,9					
208,5					
203,4					
202,6					

\*Standard Deviation(SD), <sup>†</sup>Treatment Planning System(TPS)

**Table 5.** Surface dose values of profile based on center of Film and TPS of Halcyon

Machine	Bolus	Measurement			TPS <sup>†</sup>
		EBT3 film (cGy)	Average (cGy)	SD*	Skin 3 mm (cGy)
Halcyon	Without	102	108.0	3.7	134.0
		103.2			
		105.6			
		109.2			
		110.3			
		113.4			
		109.2			
		109.1			
		105.7			
		112			
	0.5 cm	166.4	182.8	11.3	178.8
		166.1			
		168.3			
		190.2			
		193.6			
		192.3			
		187.9			
		185.4			
		191.8			
		186			
	1 cm	172.5	190.7	12.2	182.4
		172.9			
		176.1			
		190.5			
		193.9			
		200.8			
		199			
		203.7			
		197.7			
		199.4			

\*Standard Deviation(SD), <sup>†</sup>Treatment Planning System(TPS)

**Table 6.** Surface dose values of profile based on center of Film and TPS of TrueBeam

Machine	Bolus	Measurement			TPS <sup>†</sup>
		EBT3 film (cGy)	Average (cGy)	SD*	Skin 3 mm (cGy)
True-Beam	Without	88.6	95.6	3.5	131.8
		91.7			
		94.1			
		96.7			
		98.5			
		94.8			
		99.5			
		95			
		97.6			
		99.6			
	0.5 cm	152.8	151.5	4.6	175.7
		158.6			
		160.1			
		148			
		146.8			
		149.9			
		147.1			
		150.7			
		152			
		149.4			
	1 cm	165.3	160.3	6.9	180.8
		160.5			
		165.2			
		145.2			
		158.8			
		169.5			
		154.5			
		158.5			
		160.3			
		164.8			

\*Standard Deviation(SD), <sup>†</sup>Treatment Planning System(TPS)



**Table 7.** ANOVA result value

ANOVA	F	P_value
without SD-TA*	116.6	0.000
0.5 cm SD-TA	102.3	0.000
1 cm SD-TA	68.0	0.000
without SD-PB†	165.5	0.000
0.5 cm SD-PB	102.4	0.000
1 cm SD-PB	106.2	0.000

\*Surface dose values of the total area of Film(SD-TA), †Surface Dose value of profile based on center of film(SD-PB)

### 3. 통계 결과(ANOVA)

일원 배치 분산분석에서 모든 결과가 유의 확률 0.05 미만이었으며(Table 7) 사후 분석 또한 Tukey HSD 검정과 Dunnett,T3 검정 결과에서 모두 유의 확률 0.05 미만이었다. 이를 통해 본 연구에서 측정된 장비 별 표면 선량 값의 비교가 모두 통계적으로 유의함을 확인하였다(Table 8, 9).

## 고안 및 결론

본 연구에서 6MV-FFF 빔을 사용하는 Tomotherapy, Halcyon, TrueBeam 장비의 표면 선량을 Gafchromic EBT3 필름을 이용하여 측정된 결과 without, 0.5 cm, 1 cm bolus 세 가지의 모든 조건에서 Tomotherapy, Halcyon, TrueBeam 장비 순서로 표면 선량이 높게 측정되었다. 1 cm bolus에서의 필름 전체 면적의 표면 선량 값을 기준으로 Tomotherapy가 Halcyon보다 6.8 %, TrueBeam 보다 22.4% 차이로 높은 측정값을 보였다(Fig. 10). Tomotherapy와 Halcyon 장비의 표면 선량이 TrueBeam 장비에 비해 높게 측정된 이유로는 기존 Linac 장비와 달리 빔 경로에 존재하는 커버가 표면 선량을 증가시키는 빔 스포일러와 같은 작용을 했을 것으로 보인다.<sup>(16)</sup> Tomotherapy가 Halcyon보다 표면 선량이 더 높게 나타난 이유는 Helical 치료 빔을 이용하여 치료를 진행할 때 표면에 수직으로 입사하는 빔 뿐만 아니라 빔면 조사 빔의 사용이 표면 선량 증가의 원인으로 보인다. 본 실험의 결과를 토대

**Table 8.** Tukey HSD and Dunnett,T3 result value of the total area of Film

Bolus	Machine	Machine	AD <sup>§</sup> (cGy)	SD <sup>□</sup>	P_value
without	TOMO*	HA †	10.5	1.3	0.000
		TR ‡	22.8	1.3	0.000
	HA	TOMO	-10.5	1.3	0.000
		TR	12.3	1.3	0.000
	TR	TOMO	-22.8	1.3	0.000
		HA	-12.3	1.3	0.000
0.5 cm	TOMO	HA	14.3	3.6	0.007
		TR	45.7	2.1	0.000
	HA	TOMO	-14.3	3.6	0.007
		TR	31.5	3.9	0.000
	TR	TOMO	-45.7	2.1	0.000
		HA	-31.5	3.9	0.000
1cm	TOMO	HA	13.7	3.3	0.006
		TR	44.9	2.1	0.000
	HA	TOMO	-13.7	3.3	0.006
		TR	31.2	3.8	0.000
	TR	TOMO	-44.9	2.1	0.000
		HA	-31.2	3.8	0.000

\*Tomotherapy(TOMO), †Halcyon(HA), ‡TrueBeam(TR), § Average Difference(AD), □Standard Deviation(SD)

**Table 9.** Tukey HSD and Dunnett,T3 result value of profile based on center of film

Bolus	Machine	Machine	AD <sup>§</sup> (cGy)	SD <sup>Ⓜ</sup>	P_value
without	TOMO*	HA <sup>†</sup>	9,0	1,4	0,000
		TR <sup>‡</sup>	21,4	1,4	0,000
	HA	TOMO	-9,0	1,4	0,000
		TR	12,4	1,4	0,000
	TR	TOMO	-21,4	1,4	0,000
		HA	-12,4	1,4	0,000
0.5 cm	TOMO	HA	15,2	3,8	0,006
		TR	46,5	1,9	0,000
	HA	TOMO	-15,2	3,8	0,006
		TR	31,3	3,8	0,000
	TR	TOMO	-46,5	1,9	0,000
		HA	-31,3	3,8	0,000
1 cm	TOMO	HA	12,9	4,1	0,027
		TR	43,3	2,6	0,000
	HA	TOMO	-12,9	4,1	0,027
		TR	30,4	4,4	0,000
	TR	TOMO	-43,3	2,6	0,000
		HA	-30,4	4,4	0,000

\*Tomotherapy(TOMO), †Halcyon(HA), ‡TrueBeam(TR), § Average Difference(AD), ⓂStandard Deviation(SD)

로 치료 장비에 따라 표면 선량은 차이를 보이기 때문에 급성 피부 반응과 같은 방사선 피부염의 발생이 우려되는 환자의 경우 비교적 표면 선량이 낮은 TrueBeam 장비를 이용해 치료 계획을 수립한다면 피부 부작용을 줄일 수 있을 것으로 사료된다. 더 나아가 피부 표면에 충분한 선량이 필요한 환자의 경우 비교적 표면 선량이 높은 Tomotherapy와 Halcyon 장비를 이용해 치료 계획을 수립한다면 전자선과 bolus를 사용하지 않고도(17) 표면에 충분한 선량을 줄 수 있을 것으로 생각된다. 이처럼 치료 부위와 치료 목적에 맞춰 장비 별 특성이 고려된다면 치료 효율성의 증가뿐만 아니라 환자의 치료 만족도도 높아질 것으로 기대된다.

본 연구 결과에서는 실제 측정값과 치료 계획 시스템에서의 측정값을 비교했을 때 without bolus 조건에서 빌드업 현상으로 인해 실제 측정값이 치료 계획 시스템에서의 측정값에 비해 20% 정도 감소되는 오차를 보였지만(Fig. 11) 실제 측정된 측정값과 치료 계획 시스템에서의 측정값 모두 동일하게 Tomotherapy, Halcyon, TrueBeam 순으로 표면 선량이 높게 측정되었으므로 치료 계획 단계

에서 미리 표면 선량을 예측해 볼 수 있을 것으로 사료된다.

### 참고문헌

- Perz CA, Brady LW : "Principle and Practice of Radiation Oncology," 2nd ed. Philadelphia, JB Lippincott Co, 1992; pp.51-55
- Sigamani A, Nambiraj A, Yadav G et al : Surface dose measurements and comparison of unflattened and flattened photon beams. J Med Phys. 2016;Vol 41(2):85-91
- Erica B. Collen and Monique N. Mayer : Acute effects of radiation treatment: Skin reactions. Can Vet J. 2006;Vol 47(9):931-935
- Sharma M, Chow JCL : Skin dose enhancement

- from the application of skin-care creams using FF and FFF photon beams in radiotherapy: A Monte Carlo phantom evaluation. *AIMS Bioengineering*. 2020; Vol 7 Issue2: 82–90
5. Fischbach M, Hälgl RA, Hartmann M, Besserer J, Gruber G, Schneider U : Measurement of skin and target dose in post-mastectomy radiotherapy using 4 and 6 MV photon beams. *Radiation Oncology (London, England)*. 2013; Vol 8:270
  6. Wang L, Cmelak AJ, Ding GX : A simple technique to improve calculated skin dose accuracy in a commercial treatment planning system. *Journal of applied clinical medical physics*. 2018; Vol 19(2):191–197
  7. Rijken J, Kairn T, Crowe S, Muñoz L, Trapp J : A simple method to account for skin dose enhancement during treatment planning of VMAT treatments of patients in contact with immobilization equipment. *Journal of applied clinical medical physics*. 2018; Vol 19(4):239–245
  8. Mohammed M, Chakir E, Boukhal H, Mroan S, Bardouni TEL : Evaluation of the dosimetric characteristics of 6 MV flattened and unflattened photon beam. *Journal of King Saud University - Science*. 2017; Vol 29 Issue 3: Pages 371–379
  9. Wang Y, Khan MK, Ting JY, Easterling SB : Surface Dose Investigation of the Flattening Filter-Free Photon Beams. *International journal of radiation oncology, biology, physics*. 2012; Vol 83(2):e281–5
  10. Meshram MN, Pramanik S, Ranjith CP, Gopal SK, Dobhal R : Dosimetric properties of equivalent-quality flattening filter-free (FFF) and flattened photon beams of Versa HD linear accelerator. *Journal of applied clinical medical physics*. 2016; Vol 17(3):358–370
  11. Everardo FM, Kim GY, Yashar CM, Cerviño LI : Dosimetric study of the plan quality and dose to organs at risk on tangential breast treatments using the Halcyon linac. *Journal of applied clinical medical physics*. 2019; Vol 20(7):58–67
  12. Sun T, Lin X, Zhang G, Qiu Q, Li C, Yin Y : Treatment planning comparison of volumetric modulated arc therapy with the trilogy and the Halcyon for bilateral breast cancer. *Radiation oncology (London, England)*. 2021; Vol 16(1):35
  13. Sorriaux J, Kacperek A, Rossomme S, Lee JA, Bertrand D, Vynckier S, Sterpin E : Evaluation of Gafchromic EBT3 films characteristics in therapy photon, electron and proton beams. *Physica medica*. 2013; Vol 29(6):599–606
  14. Borca VC, Pasquino M, Russo G : Dosimetric characterization and use of GAFCHROMIC EBT3 film for IMRT dose verification. *Journal of applied clinical medical physics*. 2013; Vol 14(2):4111
  15. Vu TTT, Pignol JP, Rakovitch E, Spayne J, Paszat L : Variability in Radiation Oncologists' Opinion on the Indication of a Bolus in Post-mastectomy Radiotherapy: an International Survey. *Clinical oncology (R Coll Radiol)*. 2007; Vol 19(2):115–9
  16. O'Grady F, Barsky AR, Anamalayil S et al : Increase in Superficial Dose in Whole-Breast Irradiation With Halcyon Straight-Through Linac Compared With Traditional C-arm Linac With Flattening Filter: In vivo Dosimetry and Planning Study. *Advances in radiation oncology* .Vol 5(1) 2020:120–126
  17. Hardcastle N, Soisson E, Metcalfe P, Rosenfeld AB, Tome WA : Dosimetric verification of helical tomotherapy for total scalp irradiation. *Medical physics*. 2008; Vol 35:5061–5068

# Evaluation of surface dose comparison by treatment equipment

Department of Radiation Oncology, Samsung Medical Center, Seoul, Korea

**Choi Eun Ha, Yoon Bo Reum, Park Byoung Suk, An Ye Chan,  
Park Myoung Hwan, Park Yong Chul**

**Purpose:** This study measures and compares the surface dose values in the virtual target volume using Tomotherapy, Halcyon, and TrueBeam equipment using 6MV-Flattening Filter-Free(FFF) energy.

**Materials and Methods:** CT scan was performed under three conditions of without bolus, 0.5 cm bolus, and 1 cm bolus using an IMRT phantom (IBA, Germany). The Planning Target Volume (PTV) was set at the virtual target depth, and the treatment plan was established at 200 cGy at a time. For surface dosimetry, the Gafchromic EBT3 film was placed in the same section as the treatment planning system and repeated measurements were performed 10 times and then analyzed.

**Result:** As a result of measuring the surface dose for each equipment, without, 0.5 cm, 1 cm bolus is in this order, and the result of Tomotherapy is 115.2±2.0 cGy, 194.4±3.3 cGy, 200.7±2.9 cGy, The result in Halcyon was 104.7±3.0 cGy, 180.1±10.8 cGy, 187.0±10.1 cGy, and the result in TrueBeam was 92.4±3.2 cGy, 148.6±5.7 cGy, 155.8±6.1 cGy, In all three conditions, the same as the treatment planning system, Tomotherapy, Halcyon, TrueBeam was measured highly in that order.

**Conclusion:** Higher surface doses were measured in Tomotherapy and Halcyon compared to TrueBeam equipment. If the characteristics of each equipment are considered according to the treatment site and treatment purpose, it is expected that the treatment efficiency of the patient will increase as well as the treatment satisfaction of the patient.

▶ **Key words:** Surface Dose, Halcyon, TrueBeam, Tomotherapy, Gafchromic EBT3