

선형가속기의 동적썰기(EDW) 작동에 대한 품질보증

— Quality Assurance of Operation of Enhanced Dynamic Wedges in Linac —

원광대학병원 방사선종양학과 · 전북대학병원 방사선종양학과¹⁾ · 전주예수병원 방사선종양학과²⁾ ·
한국원자력연구원 동위원소이용기술개발부³⁾ · 원광보건대학 방사선과⁴⁾

정동혁 · 김진기¹⁾ · 강정구²⁾ · 손광재³⁾ · 이정옥⁴⁾

— 국문초록 —

선형가속기의 동적썰기(enhanced dynamic wedge: EDW)의 품질보증을 위하여 다양한 방법으로 동적썰기의 특성을 평가하였다. 본 연구에서는 6 MV와 15 MV 엑스선에 대하여 각각 7종(10, 15, 20, 25, 30, 45, 60도)의 EDW를 평가하였다. EDW 작동에 필요한 SIT(segmented treatment table)를 계산으로 구하고 로그파일을 통하여 기계적 작동을 평가하였으며, 이차원배열형검출기와 전리함을 사용하여 팬텀속 선량분포를 측정하고 치료계획시스템(RTP)과 비교하였다. EDW의 기계적 작동은 예상과 잘 일치하였으며, 빔측면도를 포함한 이차원선량분포는 근사적으로 RTP 계산과 일치하였다. 선형가속기 조사량 100 MU에 대한 출력선량은 RTP 계산과 2.9% 이내로 일치하였으며, 측정된 썰기인자는 RTP 계산과 최대 2.6%를 보였다. 이 결과들은 본 선형가속기에 장착된 EDW의 임상적 적용에 문제가 없음을 의미한다.

중심 단어: 동적썰기, 품질보증, 썰기인자

I. 서 론

Varian 선형가속기에 장착된 EDW(Enhanced Dynamic Wedge; 기능강화동적썰기)는 비물리적썰기(non-physical wedge)의 일종으로서 콜리메이터 한쪽 턱(jaw)의 실시간 이동에 의해 금속썰기와 유사한 형태의 선량분포를 생성할 수 있는 장치이다¹⁾. EDW는 다양한 썰기각, 비대칭조사면, 넓은 조사면 등의 지원에 있어서 기존의 모델인 DW(Dynamic Wedge; 동적썰기)보다 기능면에서 보완된

것으로 평가된다¹⁾. 이러한 DW 또는 EDW와 같은 동적썰기(포괄적 의미에서)의 사용은 썰기의 탈부착이 필요 없기 때문에 임상에서 치료시간의 단축과 함께 업무의 효율을 증가시킬 수 있는 장점을 가진다.

물리적 측면에서 동적썰기의 알려진 특성은 표면선량 및 깊이선량은 민조사면(open field)과 차이가 적으며, 썰기인자는 조사면 크기의 증가에 따라 감소하는 특성을 가진다²⁻⁴⁾. 또한 금속썰기에 비해 조사면 바깥 영역의 선량이 낮아 조사면 주변 영역의 불필요한 선량 전달을 줄일 수 있다⁵⁻⁶⁾. 이러한 동적썰기의 임상적 사용에 있어서 고려할 사항은 빔 조사량과 동기되어 턱이 이동하기 때문에 금속썰기에 비해 품질보증이 어렵다는 점이다. 특히 빔측면도를 측정할 경우에 선형가속기 선량분포 측정에 널리 사용되는 3차원 물팬텀은 단일 검출기만으로 선량을 측정하도록 되어 있기 때문에 동적썰기에는 적용할 수 없다. 따라서 이러한 목적에 일차원 배열형 검출기가 사용

*접수일(2010년 4월 30일), 심사일(2010년 5월 7일), 확정일(2010년 6월 14일)

- 본 연구는 2009학년도 원광보건대학 교내연구비 지원에 의해 수행되었음.

교신저자: 이정옥, (570-749) 전북 익산시 신용동 344-2
원광보건대학 방사선과
Tel : 063-840-1232, FAX : 063-840-1239
E-mail : jolee@wkhc.ac.kr

되어 왔으나 특정 지점만을 측정할 수 있기 때문에 실용적이지 못하다⁷⁾. 동적썰기의 경우에 이차원적 선량분포를 생성하기 때문에 필름을 사용할 수 있지만⁸⁾, 이 경우에 측정과 분석에 소요되는 시간이 길며 불확도가 높아서 임상에서 실용적이지 못한 측면이 있다. 최근 방사선치료의 품질보증을 위하여 이차원 배열형 전리함을 사용하는 사례들이 보고 되고 있는데⁹⁻¹⁰⁾, 이는 이차원 배열형 검출기의 경우에 필름 보다 신속한 측정과 분석이 가능하며 또한 오차의 요인이 적기 때문이다.

본 연구에서는 Varian 선형가속기(CI-iX, Varian, US)에 장착된 동적썰기의 임상적 적용에 앞서 정도관리와 품질보증의 차원에서 여러 방법으로 장치의 작동을 평가하였다. 먼저 EDW의 기계적 작동을 평가하기 위해 EDW의 예상 움직임을 계산하고 실제 작동 결과와 비교하였다. 다음은 팬텀속 이차원적 선량분포와 출력선량을 측정하여 치료계획시스템(Radiation Treatment Planning system: RTP)의 계산결과와 비교하였으며, 마지막으로 썰기인자를 측정으로 구하고 기 발표된 논문들^{3,8)}의 결과와 비교하고 평가하였다.

본 논문에서는 동적썰기의 품질보증을 위해 다소 복잡한 방법들을 도입하고 있으나 새로 설치되었거나 주요 부분을 수리한 선형가속기의 경우에 동적썰기의 신뢰성 평가와 향후 지속적 품질보증을 위한 기초 자료의 확보 차원에서 필수적인 요소들이라고 생각한다.

II. 방법 및 재료

1. EDW의 작동 순서

EDW는 비대칭 콜리메이터의 한쪽 턱(Y1 또는 Y2)을 빔 조사 중에 이동시켜 조사면내 빔의 세기를 변화시켜 급속썰기와 유사한 선량분포를 유도하는 장치이다. 따라서 선량분포는 움직이는 턱의 위치에 따른 조사량, 즉 모니터 유닛(Monitor Unit: MU) 값과 관계가 있으며, 이를 계산한 표를 STT(Segmented Treatment Tables)라고 한다¹⁾. 임의 썰기각에 대한 STT는 60도 썰기에 대한 플루언스를 이용하여 다음과 같은 순서로 계산한다.

첫째 단계는 민조사면과 60도 썰기의 플루언스에 각각에 대한 하중인자(weight factor)를 선형 조합하여 주어진 썰기각에 대한 플루언스를 계산한다¹⁾.

$$\Phi(\theta, y) = W(\theta)_{Open}\Phi(60, 0) + W(\theta)_{60}\Phi(60, y) \dots\dots\dots (1)$$

여기서 $W(\theta)_{Open}$ 과 $W(\theta)_{60}$ 은 탄젠트 공식으로 구한 민조사면과 60도 썰기에 대한 하중인자이다.

$$W(\theta)_{Open} = 1 - \frac{\tan\theta}{\tan 60^\circ}, W(\theta)_{60} = \frac{\tan\theta}{\tan 60^\circ} \dots\dots (2)$$

이 식에서 $\Phi(60, y)$ 는 썰기각이 60도일 때 y 축상의 플루언스이며, $\Phi(60, 0)$ 는 y=0인 지점의 플루언스이다. 이 계산에 사용된 $\Phi(60, y)$ 는 EDW에서 구할 가능한 최대 조사면에 대하여 사전에 결정된 60도 썰기의 STT와 같으며 이를 골든(Golden) STT라고 한다¹⁾. 이와 같이 계산된 $\Phi(\theta, y)$ 는 썰기각 θ 를 이루면서 규격화되지 않은 STT와 같다.

둘째 단계는 계산된 $\Phi(\theta, y)$ 를 Y 조사면의 크기에 해당하는 값만을 선택하는 과정으로서 이를 절단과정(truncation process)이라고 한다. 이 과정에서는 y축에 나란한 Y 조사면을 가정할 때, Y 조사면 양 끝의 좌표가 Y1과 Y2로 주어지면, $y_1=Y1$ 에서 $y_2=Y2-0.5$ cm까지의 $\Phi(\theta, y)$ 만을 선택하게 된다. 여기서 0.5 cm는 Y1과 Y2 턱의 인접시 최소 간격과 같다.

셋째 단계는 치료 조사면에 적용할 조사량, 즉 MU값에 대하여 규격화 과정이다. 방사선 조사는 y_1 에서 y_2 까지 진행되므로 $\Phi(\theta, y_2)$ 의 값이 MU와 동일하도록 규격화한다. 따라서 주어진 썰기각 θ , Y 조사면 크기, 그리고 MU에 대해 최종적으로 결정된 STT는 다음과 같다.

$$STT(\theta, y, y_2) = MU \times \frac{\Phi(\theta, y)}{\Phi(\theta, y_2 - 0.5)} \dots\dots\dots (3)$$

Varian 선형가속기는 7종(10, 15, 20, 25, 30, 45, 60도)의 EDW를 지원한다. 본 논문의 결과에서는 Y=15 cm(Y1=Y2=7.5 cm)인 조사면에 대하여, 100 MU 전달에 따른 7종의 썰기각에 대하여 (3)식으로 계산한 STT를 제시할 것이다.

본 연구에서 이러한 계산을 시행한 목적은 EDW의 기계적 작동에 대하여 고찰하기 위함이며 다른 목적으로 EDW 실제 작동후 치료 콘솔(treatment console)에 생성되는 동적로그파일(Dynamic log file: Dynalog file)과의 비교하기 위해서이다. 여기서 동적로그파일은 EDW가 작동하는 동안 포텐시옴터(potentiometer)에서 측정한 콜리메이터 턱의 위치와 그 시점에서 전달된 MU값이 기록된 파일로서 EDW 작동후 콘솔 컴퓨터에 자동으로 생성되며, 치료 콘솔의 COMMUNICATION 기능을 통하여 열람할 수 있다.

본 결과에서는 EDW 60도에 대하여 Y1IN과 Y2OUT의 두 가지 방향에 대해 (3)식에 의해 계산한 STT와 동적로그프 일로부터 얻어진 실제 STT값을 비교 제시할 것이다.

2. 선량분포 계산 및 측정

본 연구에서 이차원적 선량측정은 이차원배열 검출기인 MatriXX(Wellhofer, Germany)를 사용하였으며, 측정결과 분석은 전용 소프트웨어인 OmniProIMRT(Wellhofer, Germany)를 사용하였다. 선형가속기 품질관리를 위한 MatriXX 검출기의 임상적 유용성에 대해서는 이 등⁹⁾에 의해 보고된바 있다. MatriXX는 약 0.08 cm³(직경 4.5 mm, 높이 5 mm)의 초소형 전리함을 32×32로 배열하여 제작한 이차원 측정기이다. 각 검출기 사이의 간격은 7.62 mm로서 공간적 선량변화가 그다지 크지 않은 경우에 이차원적 선량분포를 쉽게 측정할 수 있으나, 반응영역과 같이 선량이 급격하게 변화하는 경우에는 실제 선량분포를 정확하게 평가하지 못하는 단점을 가진다.

측정결과를 치료계획시스템(Radiation Treatment Planning system: RTP)의 계산결과와 비교하기 위하여 3차원선량 계산이 가능한 Eclipse(Varian, USA)에서 측정과 동일한 조건에 대하여 선량계산을 수행하였다. Fig. 1은 본 연구에 사용된 RTP에서 선량계산을 수행하는 과정을 보여준다. 이 때 선량계산에 사용된 팬텀의 영상은 전산화단층 촬영장치(Sensation Open, Siemens, Germany)를 사용

하여 얻었다. 선량계산은 6 MV와 15 MV 엑스선에 대하여 팬텀 표면으로부터 깊이 10 cm에 SAD=100 cm가 되도록 한 상태에서 100 MU 조사 조건으로 수행하였다. 이 때 조사면의 크기는 15×15 cm²이며 7종의 EDW에 대하여 수행하였다. 선량계산후 평면 선량분포를 측정과 비교하기 위하여 선량계산결과를 다이콤 RT(dicom RT) 형태로 변환하여 파일로 저장하였다.

3. 뿔기인자 측정

본 연구에서는 전리함을 이용한 물팬텀속 선량측정을 통하여 출력선량을 측정하고 뿔기인자를 결정하였다. 측정에는 전리체적이 0.1 cm³인 CC13(IBA, Germany) 모델의 소형 전리함과 WP34(IBA, Germany) 모델의 선형가속기 출력 측정용 물팬텀을 사용하였다. 이 때 출력선량의 측정은 전리체적 0.6 cm³인 파머형 전리함으로 시행되므로, CC13 전리함으로 출력선량을 측정하기 위해서는 기존 선량에 대하여 얻어진 교정계수가 주어져야 한다. 본 연구에서는 기준전리함 FC65G(IBA, Germany)를 사용하여 IAEA(국제원자력기구)의 TRS-398 프로토콜¹¹⁾에 따라 출력선량을 평가하고 동일 깊이에 CC-13 전리함을 위치시켜 다음과 같이 교차교정 방법으로 물흡수선량 교정계수를 결정하였다.

$$N_{DwQ} = \frac{D_{ref}}{M} \dots\dots\dots (4)$$

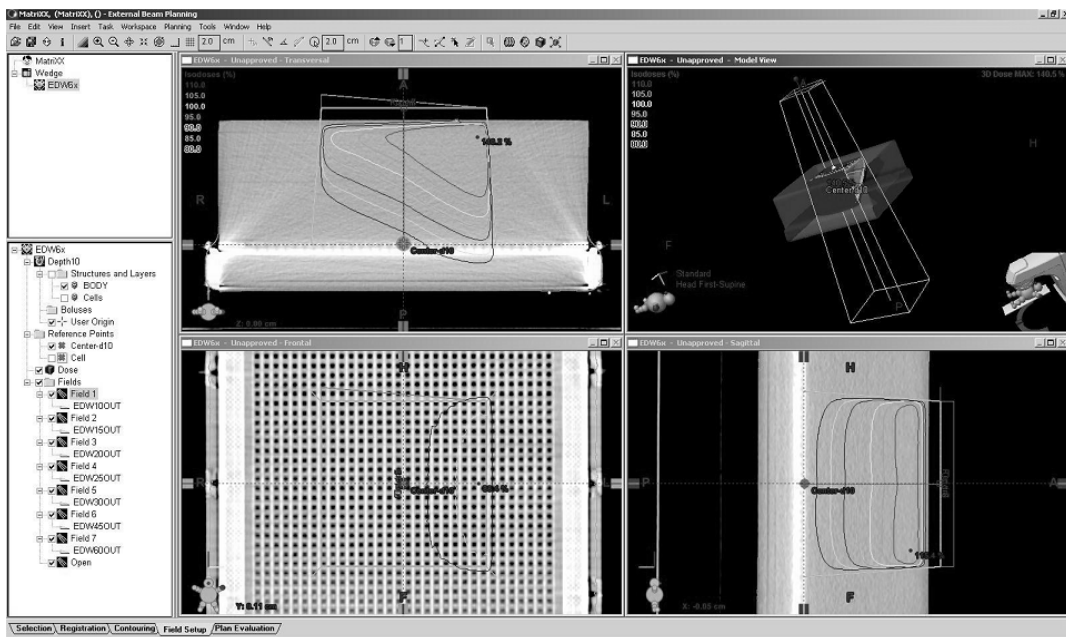


Fig. 1. Treatment planning for enhanced dynamic wedge in solid phantom with MatriXX detector

여기서, $D_{ref} = M N_{D_{WQ_0}} k_{Q_0}$ 로서 TRS-398 프로토콜로부터 결정된 기준 흡수선량인데, 본 연구에서 측정결과 6 MV와 15 MV에 대해 각각 66.1과 76.7 cGy로 나타났다. 이 때 M 은 전기계로 측정한 전하에 공동속 대기 조건을 보정한 값이며, $N_{D_{WQ_0}}$ 는 표준기관에서 발급한 Co-60 기준선원에 대한 물흡수선량 교정계수로서 기준전리함에 대해 $N_{D_{WQ_0}} = 4.819$ cGy/nC이었다. 또한 k_{Q_0} 는 프로토콜로부터 결정되는 선질보정인자로서 6 MV와 15 MV에 대해 각각 0.996과 0.979이다. 이와 같은 방법으로 결정된 $N_{D_{WQ_0}}$ 는 6 MV와 15 MV에 대해 각각 27.204와 26.792 cGy/nC이었다. 따라서 CC-13 전리함으로 측정된 전하가 M_C 이면 흡수선량은 다음과 같다.

$$D = M_C N_{D_{WQ_0}} \dots\dots\dots (5)$$

본 연구에서는 이와 같은 수식체계를 도입하여 SSD=100 cm 및 물속 10 cm 깊이 그리고 10×10 cm²에 대하여 EDW의 선량을 측정하였으며 측정결과를 치료계획시스템에서 계산한 결과와 비교하였다. 본 측정에서는 각각의 조건에 대해 3회 또는 4회 측정을 시행 후 평균값을 측정결과로서 취하였다.

다음에 EDW에 대한 췌기인자의 결정은 앞의 측정 결과를 토대로 다음과 같이 결정하였다.

$$WF(\theta) = \frac{D_\theta}{D_{Open}}, \quad d = 10 \text{ cm at SSD} = 100 \text{ cm.}$$

..... (6)

여기서, D_θ 는 EDW 각도 θ 일 때의 선량(cGy)이며 D_{Open} 은 민조사면에 대한 선량이다.

III. 결 과

Fig. 2는 (1)-(3)식으로 계산한 EDW 7종에 대한 STT를 보여준다. 이 계산에 적용된 Y 조사면은 15 cm ($Y_1=Y_2=7.5$ cm)이며 적용된 모니터유닛 값은 100 MU이다. 이 그림에서 가로축은 y축에 놓인 움직이는 Y1 턱의 좌표와 같다. 이 그림에서 (a)와 (b)는 각각 6 MV와 15 MV 엑스선에 대한 결과인데, 두 에너지에 대한 STT를 비교할 때 동일한 EDW 각도에서 15 MV 엑스선에 대한 STT가 보다 완만한 증가를 보이고 있다.

Fig. 3은 EDW 60도에 대한 STT의 계산값과 동적로그 파일에 기록된 값을 함께 보여주고 있다. 이 때 (a)와 (b)에서 Y1IN으로 표시된 것은 Fig. 2에서 계산한 것과 동일하며 Y2OUT은 Y2 턱에 대한 STT로서 Y1IN과 정반대의 형태를 가진다. 이 결과에서 Y1 또는 Y2 턱의 이동에 대한 계산과 실제의 차이로서 표준편차를 구한 결과 0.02 cm로서 EDW의 기계적 작동이 매우 양호함을 보여준다.

Fig. 4는 조사면 중심에 대한 일차원적 빔 측면도로서 선으로 표시된 것은 RTP로 계산한 결과이며 도형으로 나타낸 것은 각 EDW 종류에 대해 이차원배열 검출기로 측정된 결과이다. 이 그림에서 알 수 있듯이 두 결과는 RTP의 계산값과 좋은 일치를 보이고 있다. 두 빔 측면도에 대해 정량적 비교는 어렵기 때문에 본 연구에서는 조사면 중심에 대해 상대적 선량이 50%인 지점의 폭(W_{50})

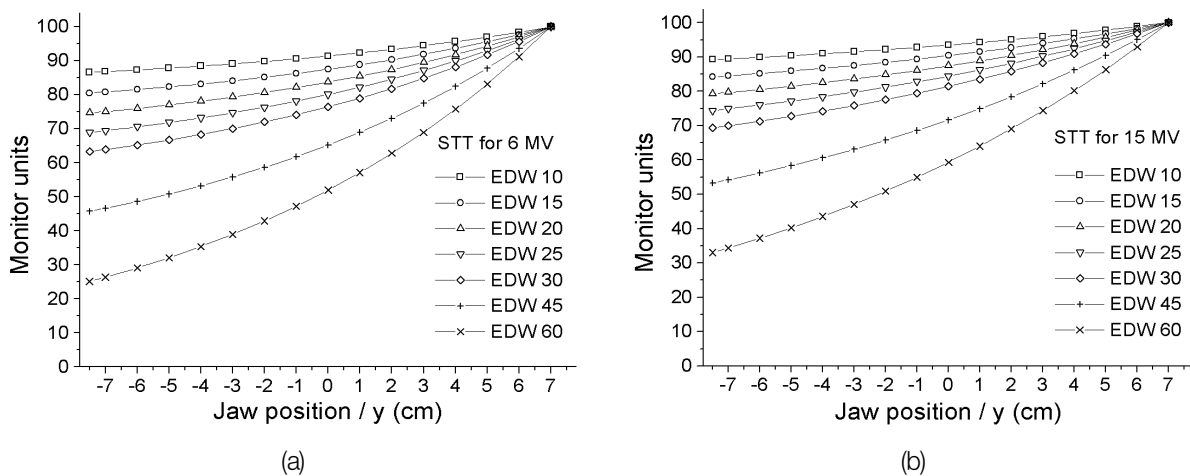


Fig. 2. Calculated STT(segmented treatment table) for a field size of 15×15 cm² in 6 MV(a) and 15 MV(b) x-rays

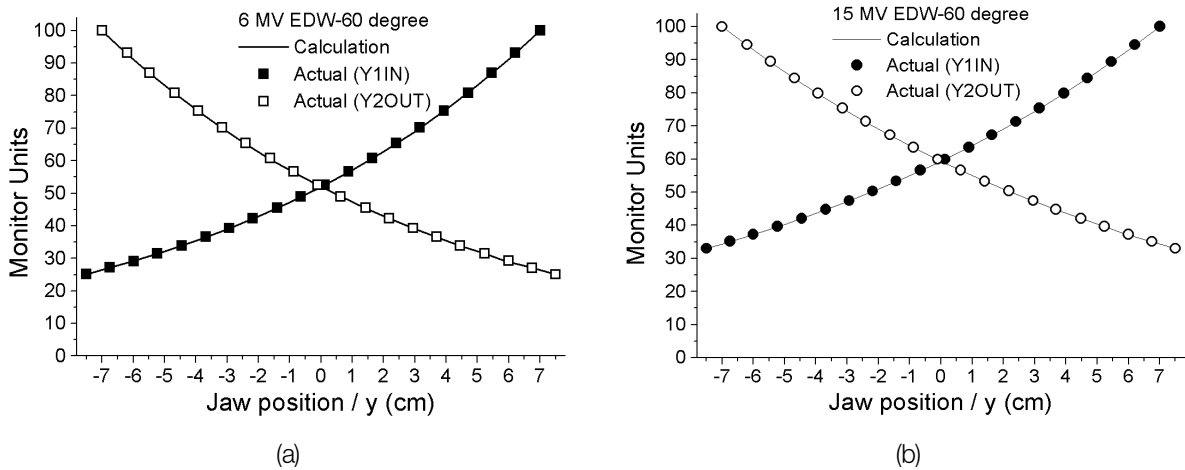


Fig. 3. Calculated and recorded STT data for a 60 degree EDW in two opposite directions of Y-jaw movement : (a) 6 MV x-rays ; (b) 5 MV x-rays

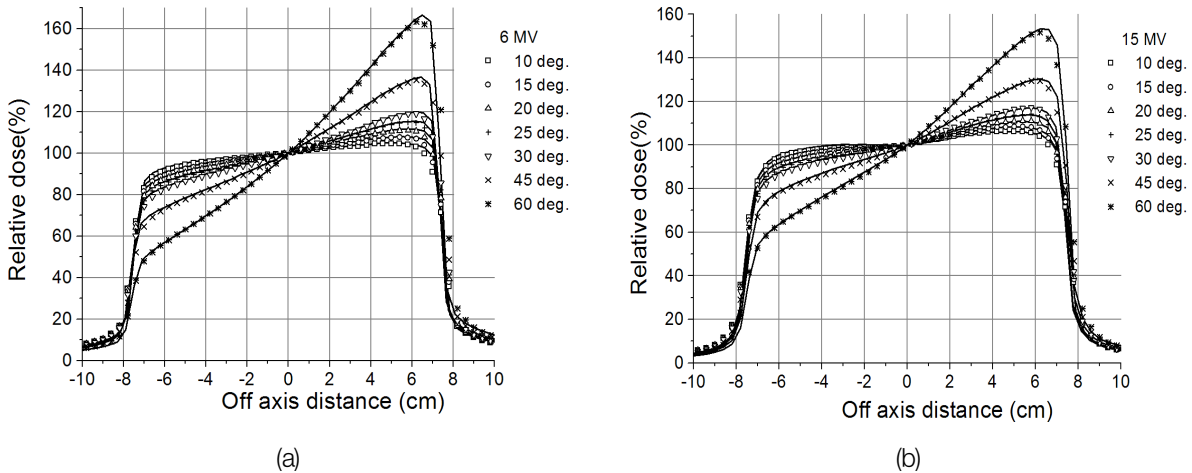


Fig. 4. Calculated (lines) and measured (symbols) beam profiles for enhanced dynamic wedged fields of 6 MV(a) and 15 MV(b) at the depth of 10 cm at SAD=100 cm

Table 1. Calculated and measured field width for enhanced dynamic wedged beams

(a) For 6 MV x-rays

EDW angles	open	10	15	20	25	30	45	60
Calculated (cm)	15.04	15.01	14.99	14.96	14.92	14.88	14.32	9.46
Measured(cm)	15.23	15.20	15.18	15.15	15.11	15.05	14.35	9.81
Diff.(cm)	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.17	0.03	0.35

(b) For 15 MV x-rays

EDW angles	open	10	15	20	25	30	45	60
Calculated (cm)	15.04	15.01	14.98	14.97	14.94	14.90	14.70	11.42
Measured(cm)	15.20	15.19	15.17	15.14	15.10	15.05	14.78	11.49
Diff.(cm)	0.16	0.18	0.19	0.17	0.16	0.15	0.08	0.07

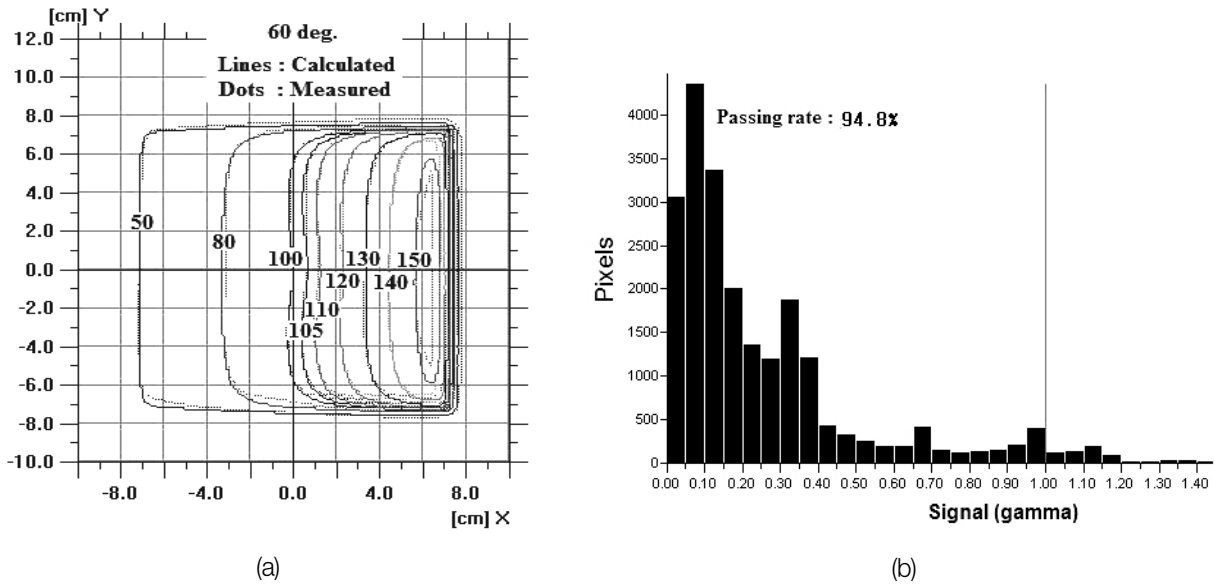


Fig. 5. Comparison of planar dose curves for 60 degree enhanced dynamic wedge for 15 MV x-rays at the depth of 10 cm at SAD=100 cm where (a) is isodose comparison and (b) is histograms from Gamma calculation as an example in this study

Table 2. Evaluated passing rate using gamma index for 6 and 15 MV x-rays in comparison of measured and calculated dose distributions with a criteria 3% dose difference and 3 mm distance to agreement

EDW angles	10	15	20	25	30	45	60
6 MV(%)	92,9	92,0	92,1	93,6	93,5	93,6	93,9
15 MV(%)	96,0	94,9	95,0	95,1	95,1	95,4	94,8

Table 3. The percentage difference between measured and RTP calculated output(cGy) for 100 MU irradiation in 6 MV and 15 MV x-rays. The maximum difference were -2,85% for 6 MV x-rays and -2,23% for 15 MV x-rays while RTP calculations slightly underestimate the dose

	EDW angles (degree)							
	10	15	20	25	30	45	60	
6 MV RTP	62,90	61,20	59,50	57,80	56,00	50,20	42,60	
6 MV Measured	62,85	61,26	59,73	58,09	56,51	51,05	43,81	
6 MV Diff(%)	0,08	-0,11	-0,39	-0,51	-0,91	-1,70	-2,85	
15 MV RTP	73,90	72,30	70,80	69,20	67,50	61,80	54,00	
15 MV Measured	73,81	72,41	70,92	69,44	67,95	62,59	55,21	
15 MV Diff(%)	0,12	-0,15	-0,17	-0,34	-0,67	-1,27	-2,23	

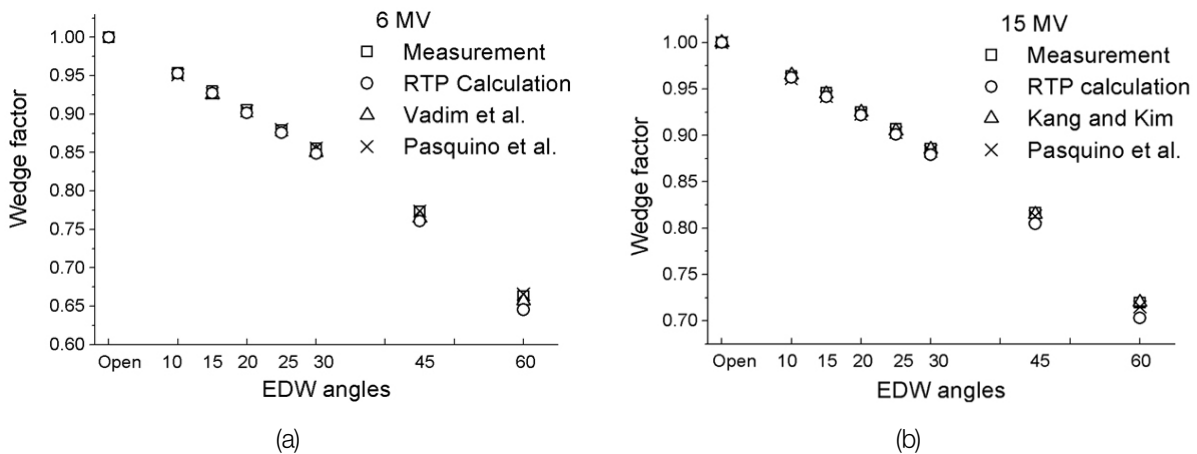


Fig. 6. Measured, calculated, published EDW wedge factors for 6 MV(a) and 15 MV(b) x-rays. The measured factors were agreed with calculated and published values. The compared results are summarized at Table 3

Table 4. Comparison of measured, calculated, and published EDW wedge factors. The values are percentage differences with measured values. The measured data were greed with RTP calculated data within -2.6%(60 degree for 6 MV) and with published data within -1.0%(45 degree for 6 MV) approximately

		EDW angles (degree)						
		10	15	20	25	30	45	60
6 MV	RTP(%)	0.23	0.05	-0.24	-0.35	-0.75	-1.52	-2.62
	Vadim et al.(%)		-0.20			-0.57	-0.95	-0.88
	Pasquino et al.(%)	0.02	0.02	0.04	0.13	0.13	0.21	0.48
15 MV	RTP(%)	-0.01	-0.28	-0.30	-0.47	-0.80	-1.39	-2.31
	Kang & Kim(%)	0.28	0.10	0.04	-0.04	-0.11	-0.12	0.03
	Pasquino et al.(%)	-0.14	-0.21	-0.18	-0.26	-0.34	-0.37	-0.66

을 구하여 상호 비교하였으며 그 결과를 Table 1과 같이 나타냈다. 이 표에 나타낸 바와 같이 W_{50} 의 계산과 측정과의 차이는 0.2 cm 미만으로 나타났다. 이 결과는 선량이 급격하게 변화하는 조사면 가장자리의 측정시 이차원 검출기의 공간 분해능이 낮아 선량을 정확하게 평가하지 못했기 때문으로 생각된다. 두 선량분포의 비교에 있어서 차이가 발생하는 영역은 대부분 급격한 선량의 감소가 발생하는 조사면 가장자리 영역으로서 본 연구에서 사용한 MatriXX의 검출요소 간의 간격이 0.76 cm를 가지기 때문에 선량측정에 한계를 보인 것으로 해석된다.

Fig. 5는 이차원배열 검출기로 측정된 등선량 분포와 RTP로 계산한 선량분포의 차이를 감마방법(Gamma method)¹²⁾으로 평가하는 과정이며 이 그림은 15 MV EDW 60도에 대한 예이다. 이 때 평가 조건은 선량차이 3%와 거리차이 3 mm이었다. Table 2는 이와 같은 방법으로 두 에너지에 대해 모든 EDW를 평가한 결과이다. 이 표에서 볼 때 평가조건에 만족하는 면적은 조사면내 92-96%를 보이고 있다. 이차원적선량분포의 경우에도 이차원배열 검출기로 측정된 값과 RTP 계산값이 감마방법으로 비교한 결과 상호 92-96% 범위에서 일치하였다. 이 결과는 본 연구에서 사용한 것과 유사한 이차원배열 검출기인 MapCheck(Sunnuclear, US)을 이용한 Pasquino 등⁸⁾의 Varian EDW 조사면에 대한 연구에서 약 95%의 일치율을 보였던 점 그리고 필름 계측 방법을 이용한 Caprie 등¹³⁾의 연구에서 90% 이상의 일치율을 보였던 점으로 미루어 이들의 연구 결과와 큰 차이를 보이지 않는 것으로 평가된다.

기준 깊이에서 출력선량으로서 100 MU 조사량당 흡수 선량을 측정된 결과는 Table 3과 같이 나타났다. 이 표에서 보여지는 바와 같이 RTP 계산값은 대부분 측정값 보다

약간 낮게 나타나고 있음을 알 수 있다. 가장 차이가 많은 60도 췌기의 경우에 6 MV와 15 MV에서 각각 -2.85% 및 -2.23%를 보이고 있으나 다른 각도에서는 대부분 1.7% 이내의 차이를 보이고 있다.

이와 같이 측정된 EDW 조사면에 대한 출력선량으로부터 결정된 췌기인자는 Fig. 6과 같은 형태를 가진다. 이 그림에는 RTP 계산으로 결정된 값과 타 연구자들^{3,8,14)}이 보고한 값들이 함께 제시되어 있다. 또한 Table 4에는 이 결과에서 측정값과 RTP 계산값 및 타 연구결과들과의 차이(%)를 나타냈다. 이 표에서 알 수 있듯이 측정된 췌기인자를 RTP 계산값과 비교한 결과 EDW 10도에서 30도 까지 $\pm 0.8%$ 이내로 일치하지만, 45도에서 약 -1.5%(6 MV), 그리고 60도에서 약 -2.6%(6 MV)의 차이를 보이고 있다. 그리고 타 연구자의 값들과는 1% 이내의 일치를 보이고 있다.

IV. 결론 및 고찰

본 연구에서는 Varian 선형가속기에 장착된 EDW의 품질보증의 일환으로서 다양한 방법으로 EDW를 평가하였다. 먼저 이동하는 턱의 기계적 정확성을 확인하기 위하여 이론적 계산으로 STT의 예상값을 계산하였으며 EDW의 실제 작동후 생성되는 동적로그파일과 비교하였다. 그리고 이차원배열 검출기를 사용하여 빔측면도와 이차원적선량분포를 측정하였으며, 전리함을 사용하여 조사면 중심에서 출력선량과 췌기인자를 측정하였다. 이러한 모든 측정결과들은 RTP 계산과 비교하는 방법으로 EDW의 품질보증을 수행하였다.

동적로그파일로부터 실제 이동한 자료를 분석한 결과

예상과 잘 일치하였으며 EDW의 기계적 작동은 정상임을 확인하였다. 이차원배열 검출기를 사용한 측정결과는 빔 측면도상 W_{50} 의 길이는 RTP 계산과 2 mm 이내의 차이를 보였는데, 이 결과는 선량이 급격하게 변화하는 조사면 가장자리의 측정시 이차원검출기의 공간 분해능이 낮아 선량을 정확하게 평가하지 못했기 때문으로 생각된다. 두 선량분포의 비교에 있어서 차이가 발생하는 영역은 대부분 급격한 선량의 감소가 발생하는 조사면 가장자리 영역으로서 본 연구에서 사용한 MatriXX의 검출요소 간의 간격이 0.76 cm를 가지기 때문에 선량측정에 한계를 보인 것으로 해석된다.

전리함을 사용하여 기준 깊이에서 측정한 EDW 조사면의 출력선량은 RTP 계산과 2.8% 이내로 일치하였으며, 썰기인자의 경우에 측정값은 RTP 계산과 2.6% 이내로 일치하였으며, 타 연구들^{3,8,14)}과 비교한 결과에서는 1% 이내의 차이를 보였다. RTP의 계산과 비교에서 1% 이상 높은 오차를 보이는 항목은 두 에너지에 대해 EDW 45도 및 60도인데, 모델화된 선량계산 알고리즘에서 EDW 조사면에 대한 선량을 약간 낮게 평가하고 있는 것으로 보인다.

본 계산에 사용된 RTP의 경우에 AAA(anisotropic analytical algorithm)라는 선량계산 모델을 사용하고 있는데, 본 결과로 미루어 이 RTP의 선량계산 모델의 경우에 EDW 조사면에 대한 팬텀속 흡수선량을 약간 낮게 평가하고 있다고 보여진다. AAA 알고리즘에서 동적썰기 계산을 위한 입력 자료에 있어서 금속썰기와는 달리 별도의 측정자료를 사용하지 않고 민조사면에 대한 모델링 결과만을 사용한다. 이러한 경우에 선량계산의 정확성은 모델의 특성에 의존하게 되므로 측정과의 차이가 발생할 수 있다. 추후에 계산모델의 세밀한 분석을 통하여 측정결과와 일치하지 않는 부분들에 대하여 보다 정확한 결과를 얻을 수 있는 방법을 연구해야 할 것이다. 이러한 측면과 함께 본 연구의 결과들은 IAEA TECDOC-1540¹⁵⁾에 명시된 썰기의 선량오차 허용범위인 3% 이내로 평가되며 임상적으로 문제가 없을 것으로 생각한다.

결론적으로 본 연구를 통하여 Varian 선형가속기에 장착된 EDW의 성능을 확인할 수 있었으며 물리적 측면에서 임상적 적용에 문제가 없을 것으로 생각한다.

참 고 문 헌

1. Varian: Enhanced Dynamic Wedge Implementation Guide, Varian Medical Systems, 2002
2. Chang SX, Gibbons JP: Clinical Implementation of Non-Physical Wedge. AAPM Refresher Course, 1999
3. 강위생, 김재성: 기능상썰기와 물질썰기의 썰기인수의 비교. 의학물리 15(4):237-246, 2004
4. 조정근, 최계숙, 임청환 등: 가상썰기와 기존썰기의 물리적 특성비교. 한방기학지 24(2):49-52, 2002
5. 고신관, 민제순, 나경수 등: 고정형 썰기와 동적 썰기의 조사야 주변 선량에 관한 연구. 방사선기술과학 31(4):408-418, 2008
6. 박종민, 김희정, 민제순 등: 금속썰기와 기능강화동적 썰기의 조사야 주변부 선량 비교. 의학물리 18(3):107-117, 2007
7. Martins C, Wagter CD, Neve WD: The value of the LA48 linear ion chamber array for characterization of intensity-modulated beams. Phys Med Biol 46 :1131-1148, 2001
8. Pasquino M, Borca VC, Tofani S, Ozzello F: Verification of Varian enhanced dynamic wedge implementation in MasterPlan treatment planning system. J App Cli Med Phys 10(2):11-20, 2009
9. 이정우, 홍세미, 박병문 등: 선형가속기의 품질관리를 위한 2차원이온전리함배열의 유용성. 방사선기술과학 31(2):183-189, 2008
10. Spezi E, Romani AF, Ferri A: Characterization of a 2D ion chamber array for the verification of radiotherapy treatments. Phys. Med Biol. 50:3361-3373, 2005
11. IAEA: Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy: An International Code of Practice for Dosimetry based on Standards of Absorbed dose to Water. Technical Report Series No. 398, Vienna, 2000
12. Low DA, Harms WB, Mutic S, Purdy JA: A technique for the quantitative evaluation of dose distributions. Med Phys 25(5): 656-661, 1998
13. Caprile P, Venencia CD, Besa P: Comparison between measured and calculated dynamic wedge dose distributions using the anisotropic analytical algorithm and pencil-beam convolution. J App Cli Med Phys 8(1):47-54, 2007

1. Varian: Enhanced Dynamic Wedge Implementation

14. Vadim YK: A new analytical model for Varian enhanced dynamic wedge factors. *Phys Med Biol* 49: 2841-2851, 2004
15. IAEA TECDOC-1540: Specification and acceptance testing of radiotherapy treatment planning system. International Atomic Energy Agency, Austria, 2007

• Abstract

Quality Assurance of Operation of Enhanced Dynamic Wedges in Linac

Dong-Hyeok Jeong · Jhin-Kee Kim¹⁾ · Jeong-Ku Kang²⁾ · Kwang-Jae Son³⁾ · Jeong-Ok Lee⁴⁾

Department of Radiation Oncology, Wonkwang University Hospital

¹⁾*Department of Radiation Oncology, Jeonbuk National University Hospital*

²⁾*Department of Radiation Oncology, Presbyterian Medical Center*

³⁾*Radioisotope Research Division, Korea Atomic Energy Research Institute*

⁴⁾*Department of Radiotechnology, Wonkwang Health Science College*

The evaluation of Varian enhanced dynamic wedges (EDW) were performed in terms of quality assurance in external radiotherapy. The seven (10, 15, 20, 25, 30, 45, 60 deg.) EDW angles were evaluated for 6 and 15 MV x-rays in Varian Linac. The STT (segmented treatment table) for a field were calculated and compared with actual movement of the jaw using Dynalog files in order to evaluate mechanical operation. Two dimensional array detector and an ionization chamber were used to measure dose distributions in phantom from Linac. The mechanical movement of jaw was agreed with its expectation and two dimensional dose distributions including beam profiles were in agreement with RTP data approximately. In comparison with RTP calculations the percentage difference of output dose values for 100 MU irradiation was less than 2.9% and measured wedge factor was less than 2.6%. These results are shown that there is no problem in clinical applications of EDW equipped on this linac.

Key Words : Dynamic wedge, Quality assurance, wedge factor