

향상된 동적썰기인자(Enhanced Dynamic Wedge Factor)의 특성 및 적용에 관한 고찰

서울아산병원 방사선종양학과

김대섭 · 반태준 · 염미숙 · 유순미 · 이우석 · 백금문 · 권경태

목 적: 향상된 동적썰기인자(EDW-Factor)의 핵심 내용을 적용한 수식으로 EDW-Factor을 쉽게 계산하고, 측정을 통하여 유효성을 평가하고자 한다.

대상 및 방법: EDW-Factor의 계산을 위한 구간선량표(Golden Segmented Treatment Table, GSTT)는 제공된 값을 이용하였다. 검출기는 물팬텀(Phantom)에서 0.6 cc 파머형 전리조와 전위계를 사용하였다. 측정은 선원표면거리 100 cm에서 측정점을 각 에너지의 최대선량점으로 하여 시행하였다. 광자선 에너지는 6 MV와 15 MV 모두 측정하였고, EDW는 Y1-OUT방향에서 60°, 30°, 20° EDW를 선택하였다. 치료계획시스템은 Eclipse planning system (Varian, USA)을 이용하였다. 모든 조사야와 EDW 방향에 대하여 EDW-Factor를 계산할 수 있도록 하고, 측정은 EDW-Factor의 특징을 잘 나타낼 수 있도록 EDW-Factor의 X, Y-jaw 의존성과 OFF-Axis 조사야 영향을 검증할 수 있는 조사야를 선택하였다.

결 과: Y1 조사야가 달라지면 EDW-Factor는 달라지고 그에 따라 측정값도 다르게 나타나지만 계산값과 측정값의 오차는 1% 이내였다. 계산중심점(측정점)이 치료중심(isocenter)이거나 아니거나 EDW의 각도가 적어질수록 계산값과 측정값의 오차가 적어지는 경향을 나타내었다. 전체 조사야 크기 및 에너지에 따른 오차의 경향을 찾을 수 없었다. 측정 조건을 치료계획시스템에서 구현하여 얻어지는 MU와 상용프로그램에서 얻어진 EDW-Factor을 이용한 매뉴얼 계산 MU를 비교한 결과 그 차이가 없음을 알 수 있었다.

결 론: 일반적으로 알려진 EDW-Factor식에서 fitting 값을 제외하고 EDW-Factor의 핵심내용만을 적용한 수식으로 EDW-Factor를 계산하고 측정하여 검증하였을 때 오차는 1% 이내로 보여, 정확한 EDW-Factor 계산 값을 얻을 수 있었다. 또한 상용프로그램에서 구현하여 각각의 조사야에서 EDW-Factor를 측정하지 않고, 보편적으로 쉽게 EDW-Factor를 얻을 수 있도록 하였다.

핵심용어: 썰기인자, 동적썰기, 향상된 동적썰기, 향상된 동적썰기인자

서 론

금속 썰기 필터(Wedge)는 인체의 불균질한 밀도, 불규칙적인 체표면 및 중첩된 선량분포로 인한 방사선량의 변화를 보완하여 치료 부위에 균일한 선량분포를 만들기 위해 사용된다. Wedge를 사용하였을 때와 동일한 방사선량 분포를 얻을 수 있도록 조사야(jaw를 움직여서 만든 방사선 조사범위)를 움직이며 방사선을 조사하는 동적 썰기(Dynamic Wedge)의 기술은 1990년에 소개되어 이용되었다.¹⁻⁵⁾ 그 후 기능이 강화되고 간소화된 알고리즘이 적용된 향상된 동적썰기(EDW, Enhanced Dynamic Wedge)가 선형가속기를 사용하

는 방사선 치료에서 현재까지 널리 이용되고 있다.⁶⁻⁸⁾ EDW는 범용 썰기필터(universal wedge)의 개념을 근간(根幹)으로 하고 있으며, wedge를 사용하는 조사야(Wedge field)와 사용하지 않는 조사야(Open field)를 조합하여 다양한 EDW를 구현한다.⁶⁾ 예를 들면 60° EDW의 정보를 open field와 적절한 비율로 조합하면 60° EDW보다 작은 각도의 EDW 정보를 얻을 수 있다.

EDW의 선량적 정보 및 영향은 치료계획 시스템에 반영되어, 방사선 치료 환자를 위한 치료계획 수립에서 정확한 선량 분포를 환자에게 구현한다.⁹⁾ 또한, 완성된 치료계획의 모니터 유닛(MU Monitor Unit)을 독립된 다른 시스템 및 알고리즘을 이용한 계산에서 검증하여 안전하고 정확한 방사선 치료가 이루어질 수 있도록 한다.^{10,11)} 이때 독립된 MU 검증용 계산에 썰기 인자(Wedge Factor)가 반드시 필요하다. 향상된 동적썰기 인자(EDW-Factor, EDWF, Enhanced Dynamic

이 논문은 2010년 1월 5일 접수하여 2010년 2월 25일 채택되었음.
책임저자 : 김대섭, 서울아산병원 방사선종양학과
Tel: 02)3010-2786, Fax: 02)3010-6950
E-mail: kdsupcmd@empal.com

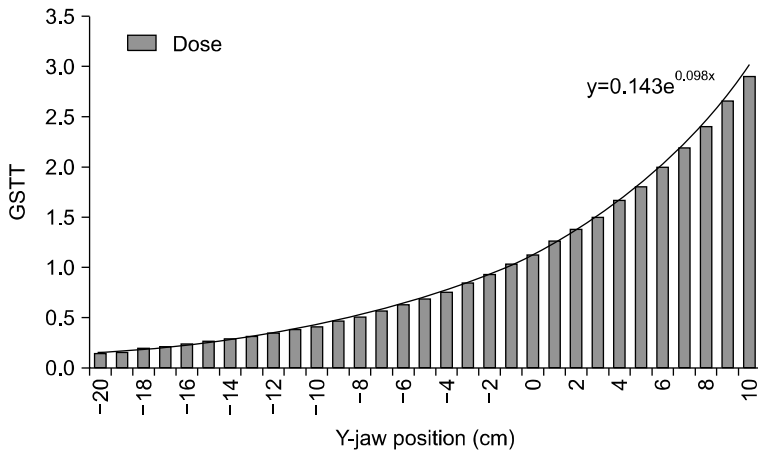


Fig. 1. The golden segmented treatment table for Varian 60° EDW.

Wedge Factor)를 계산하는 방법 중 MU 분할 방법(Monitor Unit fraction method)은 EDW의 구간선량표(GSTT, Golden Segmented Treatment Table) (Fig. 1)를 분석하여 쉽게 EDW-Factor을 계산할 수 있다.^{8,12,13)} 구간선량표는 jaw의 위치에 따른 MU 또는 선량(dose 또는 fluence)의 관계를 나타내는 것으로 EDW의 선량분포는 조사야 이동에 따르는 GSTT에 따라 나타나며, 향상된 동적췌기 인자(EDW-Factor)도 구간선량표의 영향을 받는다. 따라서 EDW-Factor는 치료조사야에 따라 값이 달라진다.

본 연구는 GSTT로부터 구현되는 향상된 동적췌기의 특성을 이해하고, EDW-Factor의 핵심 내용을 적용한 수식으로 상용프로그램에서 EDW-Factor가 쉽게 계산될 수 있도록 하고자 한다. 또한 EDW-Factor의 특징을 잘 나타낼 수 있는 특정지점에서 측정 값과 계산 값을 비교하고, 같은 조건을 치료계획시스템(Planning system)에 적용하여 플랜 모니터유닛(Planning Monitor Unit)과 매뉴얼 계산 모니터유닛(Manual calculation MU)의 검증을 통해 상용프로그램을 이용한 계산 값의 유효성에 대하여 평가하고자 한다.

대상 및 방법

1. 사용기기 및 측정 조건

EDW-Factor의 계산 및 측정을 위한 선형가속기는 CL-21EX (Varian, USA)을 사용하였고, EDW-Factor의 계산을 위한 GSTT은 제공된 값을 이용하였다. 측정은 물팬텀(Water Phantom)에서 0.6 cc 파머형 이온챔버(Farmer type ion chamber, IBA)와 전위계(Electrometer, DOSE1, IBA)를 사용하였다. 측정 조건은 선원표면거리 100 cm (SSD=100 cm)에서 각 에너지의 최대선량점(Dmax)에 이온챔버를 위치시켰다. 측정조건을 재현시킬 치료계획시스템(RTPs, Radiation

Treatment Planning system)은 Eclipse planning system (Varian, USA)을 이용하고 선량 계산 알고리즘은 pencil beam convolution (ver. 8.9.08)을 선택하였다. RTPs에서 이용할 팬텀은 질량 밀도와 전자 밀도가 1.0이 될 수 있도록 RTPs에 설정되어 있는 전산화 단층촬영 교정 밀도(Computed Tomography calibration density)값을 참조하여 하우스필드(HU, Hounsfield Unit)가 0.0으로 하는 가상의 팬텀을 만들어서 사용하였다.

상용프로그램은 마이크로소프트 엑셀 프로그램(Microsoft Excel)을 사용하였다. 프로그램에서는 모든 조사야와 EDW 방향에 대하여 EDW-Factor를 계산할 수 있도록 하였고, 측정은 EDW-Factor의 특징을 잘 나타낼 수 있도록 특정 조사야를 선택하였다. 선택한 조사야는 EDW-Factor의 X, Y-jaw 의존성과 OFF-Axis 조사야에서 EDW Factor의 특징을 검증할 수 있도록 하였다. 광자선 에너지는 6 MV와 15 MV 모두 측정하였고, EDW는 Y1-OUT방향에서 60°, 30°, 20° EDW를 선택하였다.

2. EDW angle의 정의 및 특징

Varian사에서 정의하는 EDW 각은 10 cm 깊이에서 등선량곡선(isodose curve)과 중심축선이 교차하는 지점을 기준으로 양쪽 1/4 조사야가 등선량 곡선과 교차하는 두 지점을 연결한 선의 각이다(Fig. 2).

60° EDW의 GSTT을 기준으로 하여, 다른 EDW의 GSTT를 60° EDW의 GSTT에서 얻는다. EDW의 가장 핵심적인 내용은 GSTT에서 나타나는 dose (fluence)이고, 그 비율을 이용하여 다른 각도의 EDW 자료를 얻어내는 것이다.

60° EDW를 기준으로 한 jaw가 움직일 때의 조사야와 jaw가 움직이지 않을 때 조사야를 적절히 사용하여 다른 EDW을 얻는 것이다. 물론 60° EDW도 open field를 이용한다.

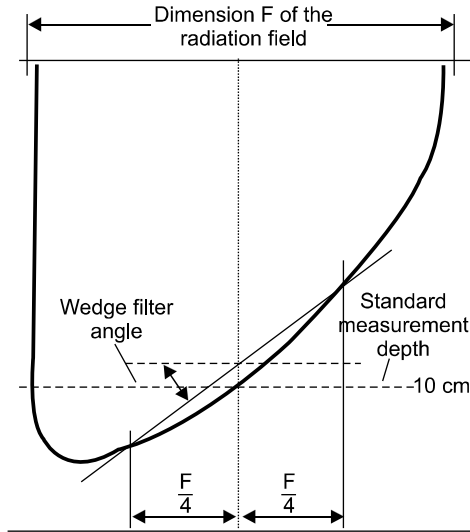


Fig. 2. Dynamic wedge angle diagram, enhanced dynamic Wedge™ implementation guide book, Varian.

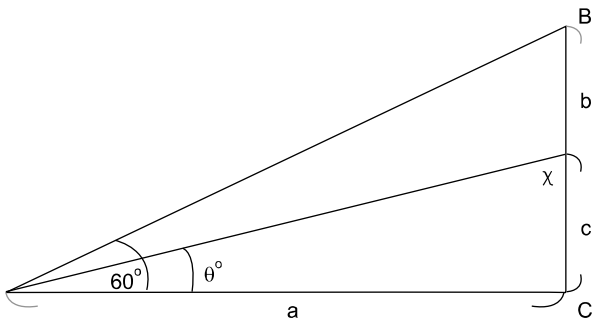


Fig. 3. Enhanced dynamic wedge diagram.

Fig. 3에서 삼각형 ACB를 60° EDW로, 삼각형 ACX를 θ°의 EDW라고 가정하면 W₆₀을 60° EDW 전체 중 사용할 비율로 나타낼 수 있고, W₀을 나머지 사용율(OPEN field 사용율 또는 Y=0일 때 fluence)로 나타낼 수 있다. 그리고 각각의 값을 tan 함수로 나타내면 다음과 같다.

$$\tan 60^\circ = \frac{b}{a}, \quad \tan \theta^\circ = \frac{c}{a} \quad (1)$$

$$W_{60} = \frac{60^\circ \text{ EDW 사용}}{60^\circ \text{ EDW 전체}} = \frac{c}{b} = \frac{\tan \theta^\circ}{\tan 60^\circ} \quad (2)$$

$$W_0 = 1 - W_{60} = \frac{(b-c)}{b} = \frac{(\tan 60^\circ - \tan \theta^\circ)}{\tan 60^\circ} \quad (3)$$

위의 식 (1)~(3)으로부터 각 EDW의 W₀와 W₆₀의 값을 계산할 수 있다(Table 1).

언어진 W₆₀에 구하고자 하는 조사야의 GSTT값을 곱한 값

Table 1. The value of W₀ and W₆₀

EDW angle	Open field fluence (W ₀)	Wedged field fluence (W ₆₀)
10°	0.89820	0.10180
15°	0.84530	0.15470
20°	0.78986	0.21014
25°	0.73078	0.26922
30°	0.66667	0.33333
45°	0.42265	0.57735
60°	0.0	1.00000

과 W₀에 jaw의 위치가 0일 때 GSTT 값을 곱한 값을 더하면 구하고자 하는 θ°의 dose (Fluence)을 얻을 수 있다(식 4).

$$W_\theta \text{의 Fluence 값} (\text{Fluence}_\theta) = (c/b \times 60^\circ \text{ weight}) + ((b-c)/b \times 0^\circ \text{ weight}) = W_{60} \times (\text{Fluence}_{60^\circ}) + W_0 \times (\text{Fluence}_{0^\circ}) \quad (4)$$

예를 들면, Y1=7 cm의 25° EDW에서 W₀=0.73078, W₆₀=0.26922, Fluence 0=1.145206, Fluence 60=2.202931이므로 Y1=7 cm에서 GSTT값(fluence)은 (0.73078×1.145206)+(0.26922×2.202931)=1.429967이다.

3. 최종 Y-jaw 위치의 GSTT값

EDW를 사용할 때, 전달되는 MU가 움직이는 Y-jaw의 최종 위치로 정규화(normalization)되기 때문에 EDW-Factor를 결정하는 중심에서의 선량은 Y-jaw의 최종 위치에 달려있다. 즉, Y-jaw 마지막 위치의 GSTT값이 EDW Factor를 결정하게 된다. 예를 들면, EDW가 Y1-IN 방향으로 쓰인다면 움직이는 jaw의 최종 위치는 Y2가 되고, EDW Factor 구하기 위해서 Y2 값의 조사야에서 GSTT값을 얻어야 한다. 이때 jaw는 반대편 조사야 0.5 cm 전에서 멈추기 때문에 구하고자 하는 조사야에서 0.5 cm을 뺀 조사야를 적용시킨다.

4. GSTT(0) 구하기

조사야가 대칭이건 비대칭이건 Y1 또는 Y2의 값을 기준으로 GSTT값을 읽는다. 만약 jaw의 위치가 음수라도 같은 방법으로 적용한다. 하지만 EDW-Factor 계산점(Y0)이 0이 아닌 경우, 즉 조사야의 중심이 치료중심(isocenter)이 아닐 경우에는 Y0의 값을 0이 아닌 계산점(normalization point 또는 weight point)의 위치에서 GSTT(Y0)값을 구해야 한다.

따라서, Y0=0일 경우,

$$\text{GSTT}(0) = W_0 \text{ Fluence}(0) + W_{60} \text{ Fluence}(Y0) \quad (5)$$

이고, Y0=X일 경우는,

$$\text{GSTT}(0) = W_0 \text{ Fluence}(0) + W_{60} \text{ Fluence}(Yx) \quad (6)$$

이다. 예를 들면, 조사야가 Y1=10 cm, Y2=-2 cm이고 계산

점이 Y=4 지점일 때, 30° EDW에서 W₀=0.66667, W₆₀=0.33333, Fluence (0)=1.145206, Fluence 60 (4)=1.668756이므로 Y1=10 cm에서 GSTT값(fluence)은 (0.66667×

1.145206)+(0.33333×1.668756)=1.319723이다. 이때 만약 Y2의 조사야가 isocenter에 영향을 주지 않을 경우(Y0=0) GSTT(0)는 (0.66667×1.145206)+(0.33333×1.145206)=1.145206이다.

Table 2. Table of fitted parameter to the exponential form of S_G(Y), by Gibbons

Energy (MV)	a ₁	b ₁	a ₀
4	1.1880	0.10324	-0.0378
6	1.1940	0.09054	-0.0496
8	1.1906	0.08336	-0.0587
10	1.1977	0.07607	-0.0708
15	1.1968	0.07054	-0.0818
18	1.1991	0.06648	-0.0918
20	1.2021	0.06364	-0.0998

5. EDW factor

Wedge Factor는 근본적으로 OPEN field에 대한 Wedge를 사용하였을 때의 비율이다.

EDW-Factor는 GSTT에서 얻어지는 Fluence의 비율이다. 즉, Y-jaw 지점의 GSTT값(GSTT(Y))과 Y-jaw의 위치가 0일 때 GSTT값(GSTT(0))의 비율이다. 여기에서 GSTT는 EDW를 사용하였을 때 나타나는 결과 값(fluence)임을 감안하면 Gibbons가 제시한 식 (7)을 이해할 수 있다.

VLOOKUP									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	W0	0.8982	0.8453	0.78986	0.73078	0.66667	0.42265		0
2	W60	0.1018	0.1547	0.21014	0.26922	0.33333	0.57735		1
3		10	15	20	25	30	45		60
4	-20	1.043964	0.991355	0.936219	0.877463	0.813704315	0.571022765		0.150691
5	-19	1.045732	0.99404	0.939867	0.882136	0.819490924	0.581045561		0.168051
6	-18	1.047683	0.997006	0.943895	0.887297	0.825880527	0.592112783		0.18722
7	-17	1.049837	1.000278	0.948341	0.892993	0.832932456	0.6043272		0.208376
8	-16	1.052212	1.003888	0.953243	0.899274	0.840709378	0.617797352		0.231707
9	-15	1.05483	1.007866	0.958647	0.906197	0.849280959	0.632643908		0.257422
10	-14	1.057713	1.012248	0.964599	0.913823	0.858722865	0.648997924		0.285748
11	-13	1.060888	1.017072	0.971153	0.922218	0.869117761	0.667002583		0.316933
12	-12	1.064381	1.02238	0.978363	0.931456	0.88055498	0.686812617		0.351245
13	-11	1.068222	1.028218	0.986292	0.941614	0.893132521	0.708597764		0.388978
14	-10	1.072444	1.034634	0.995008	=(SH\$24*SE\$1)+(SH14*SE\$2)				0.430453
15	-9	1.077083	1.041682	1.004583	0.965047	0.922145231	0.758849731		0.476017
16	-8	1.082176	1.049423	1.015097	0.978517	0.938822731	0.787736283		0.52605
17	-7	1.087766	1.057918	1.026636	0.993301	0.957127214	0.819440881		0.580964
18	-6	1.093899	1.067238	1.039296	1.00952	0.977209013	0.854223909		0.64121
19	-5	1.100625	1.077458	1.053179	1.027306	0.999230126	0.89236596		0.707274
20	-4	1.107996	1.088661	1.068396	1.046802	1.023368552	0.934175337		0.77969
21	-3	1.116074	1.100935	1.08507	1.068163	1.049816621	0.979985173		0.859035
22	-2	1.12492	1.114379	1.103332	1.091559	1.078783664	1.030158043		0.945937
23	-1	1.134606	1.129098	1.123325	1.117173	1.11049768	1.085088854		1.04108
24	0	1.145206	1.145206	1.145206	1.145206	1.145206	1.145206		1.145206
25	1	1.156803	1.162829	1.169144	1.175874	1.18317762	1.210975403		1.259122
26	2	1.169485	1.182102	1.195324	1.209414	1.224704538	1.28290282		1.383704
27	3	1.18335	1.203172	1.223945	1.246082	1.270104084	1.36153789		1.519904
28	4	1.198503	1.226199	1.255225	1.286156	1.319720922	1.447477593		1.668756
29	5	1.215059	1.251357	1.289399	1.329938	1.373928713	1.541369136		1.831381
30	6	1.23314	1.278835	1.326723	1.377756	1.433134121	1.643916889		2.008999
31	7	1.252882	1.308836	1.367476	1.429967	1.497777474	1.755883529		2.202931
32	8	1.274431	1.341583	1.411959	1.486955	1.568336769	1.878096977		2.414611
33	9	1.297946	1.377316	1.460498	1.549141	1.645331332	2.011456744		2.645597
34	10	1.323597	1.416298	1.513449	1.616979	1.729323825	2.156937397		2.897577
35									

Fig. 4. The fluence of others enhanced dynamic wedge which are calculated by 60° EDW fluence.

$$EDWF = \frac{W_0 S_G(0) + W_{60} S_G(Y_0) + W_{60} a_1 b_1 \alpha e^{\beta Y_0} \left[\frac{e^{(b_-) \tilde{Y}_{FJ}} - e^{(b_-) Y_0}}{b_-} + e^{2b_1 Y_0} \frac{e^{-(b_+) \tilde{Y}_{FJ}} - e^{-(b_+) Y_0}}{b_+} \right]}{W_0 S_G(0) + W_{60} S_G(\tilde{Y}_{FJ})} \quad (7)$$

SG(Y)는 Y-jaw에 대한 GSTT 함수이고, $\alpha (=0.132)$ 와 $\beta (=0.162)$ 는 30×30 cm 프로파일(profile)의 평균 보정(fit-

ting)값이다. Table 2는 gibbons가 제시한 a_1, b_1, a_0 의 값이다.⁷⁾

식 (7)에서 식 (7-1) 결과값을 보정(fitting)을 위한 값으로 간주하면

$$W_{60} a_1 b_1 \alpha e^{\beta Y_0} \left(\frac{e^{(b_-) \tilde{Y}_{FJ}} - e^{(b_-) Y_0}}{b_-} + e^{2b_1 Y_0} \frac{e^{-(b_+) \tilde{Y}_{FJ}} - e^{-(b_+) Y_0}}{b_+} \right) \quad (7-1)$$

EDW F는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

Y(0)= 0							
Energy	Angle	EDW type	fixed jaw position *	EDWF	RO EDWF	Correction**	
6X	30	Y1-IN (Y2-OUT)	Y2 (Y1) = 8	0.747	0.850	0.879	
			* fixed Y-jaw position >2 & <10.5 cm	** Correction factor를 RO에서 compensator factor로 적용			
Energy	Angle	EDW type	fixed jaw position	EDWF	RO EDWF	Correction	
15X	30	Y1-IN (Y2-OUT)	Y2 (Y1) = 10	0.746	0.882	0.846	
Y(0)= 0							
Golden Segmented Treatment Table							
6X	EDW angle						
Index	1	2	3	4	5	6	7
Y_fin	10	15	20	25	30	45	60
-20	1.04396	0.99135	0.93622	0.87746	0.8137	0.57102	0.15069
-19	1.04573	0.99404	0.93987	0.88213	0.81949	0.58105	0.16805
-18	1.04768	0.99701	0.9439	0.88729	0.82588	0.59211	0.18722
-17	1.04983	1.00028	0.94834	0.89299	0.83293	0.60433	0.20838
-16	1.05221	1.00389	0.95324	0.89927	0.84071	0.6178	0.23171
-15	1.05483	1.00787	0.95865	0.90619	0.84928	0.63264	0.25742
-14	1.05771	1.01225	0.9646	0.91382	0.85872	0.649	0.28575
-13	1.06089	1.01707	0.97115	0.92222	0.86912	0.667	0.31693
-12	1.06438	1.02238	0.97836	0.93145	0.88055	0.68681	0.35125
-11	1.06822	1.02822	0.98629	0.94161	0.89313	0.7086	0.38898
-10	1.07244	1.03463	0.99501	0.95278	0.90696	0.73254	0.43045
-9	1.07708	1.04168	1.00458	0.96505	0.92214	0.75885	0.47602
-8	1.08217	1.04942	1.0151	0.97852	0.93882	0.78774	0.52605
-7	1.08776	1.05792	1.02664	0.9933	0.95713	0.81944	0.58096
-6	1.0939	1.06724	1.0393	1.00952	0.97721	0.85422	0.64121
-5	1.10062	1.07746	1.05318	1.0273	0.99923	0.89237	0.70727
-4	1.108	1.08866	1.0684	1.0468	1.02337	0.93418	0.77969
-3	1.11607	1.10094	1.08507	1.06816	1.04982	0.97999	0.85904
-2	1.12492	1.11438	1.10333	1.09156	1.07878	1.03016	0.94594
-1	1.13461	1.1291	1.12333	1.11717	1.1105	1.08509	1.04108
0	1.14521	1.14521	1.14521	1.14521	1.14521	1.14521	1.14521
1	1.1568	1.16283	1.16914	1.17587	1.18318	1.21098	1.25912
2	1.16949	1.1821	1.19532	1.20942	1.22471	1.2829	1.3837
3	1.18335	1.20317	1.22394	1.24608	1.27011	1.36154	1.5199
4	1.1985	1.2262	1.25522	1.28616	1.31972	1.44748	1.66876
5	1.21506	1.25136	1.2894	1.32994	1.37393	1.54137	1.83138
6	1.23314	1.27884	1.32672	1.37776	1.43314	1.64392	2.009
7	1.25288	1.30884	1.36747	1.42997	1.49778	1.75588	2.20293
8	1.27443	1.34158	1.41196	1.48696	1.56834	1.8781	2.41461
9	1.29795	1.37732	1.4605	1.54915	1.64534	2.01146	2.6456
10	1.3236	1.4163	1.51345	1.61698	1.72933	2.15694	2.89758
RO EDWF ⁸⁾	0.94897	0.92446	0.9001	0.87551	0.8503	0.76632	0.65438

Fig. 5. EDW factor calculation using MS Excel program.

$$EDWF = \frac{GSTT(0)}{GSTT(Y)} \quad (8)$$

물리적 wedge의 경우 중심축을 기준으로 조사야를 이용하기 때문에 조사야가 달라져도 Wedge factor가 산란선 외에 큰 영향이 없지만, EDW는 조사야가 달라지면 GSTT에서 나타나는 fluence가 달라지기 때문에 fluence간의 비율이 달라져서 결국 EDW Factor가 달라진다. 따라서 EDW Factor는

조사야 마다 구해야 한다.

결 과

1. 각 EDW의 fluence

60° EDW의 GSTT로부터 식 (5), (6)을 이용하여 얻은 각 EDW의 조사야별 fluence를 계산하여 Fig. 4에 나타내고

Table 3. The comparison of EDW-factor in calculation and measurement value

6 MV									OUT EDW									
Field size (cm)			60W						30W				20W					
X	Y1	Y2	Cal	OPEN	W	EDWF	DIV [†]	Cal	OPEN	W	EDWF	DIV	Cal	OPEN	W	EDWF	DIV	
4	2	2	0.867	19.16	16.57	0.864823	0.25178	0.951	19.16	18.21	0.950418	0.061285	0.969	19.16	18.56	0.968685	0.032543	
10	4	8	0.718	20.79	14.83	0.713324	0.655563	0.884	20.79	18.35	0.882636	0.15455	0.924	20.79	19.19	0.92304	0.104013	
10	5	5	0.654	20.74	13.55	0.653327	0.103026	0.85	20.74	17.62	0.849566	0.051078	0.9	20.74	18.66	0.899711	0.032154	
10	8	8	0.496	21.15	10.51	0.496927	-0.18649	0.747	21.15	15.82	0.747991	-0.13243	0.824	21.15	17.43	0.824113	-0.01377	
10	10	15	0.413	21.4	8.888	0.415327	-0.56031	0.679	21.4	14.55	0.679907	-0.13333	0.77	21.4	16.5	0.771028	-0.13333	
10	10*	-2	0.602	19.59	11.83	0.60388	-0.31124	0.782	19.59	15.34	0.783053	-0.13442	0.844	19.59	16.55	0.844819	-0.09692	
10	8*	0	0.723	19.86	14.25	0.717523	0.763368	0.861	19.86	17.04	0.858006	0.348944	0.903	19.86	17.9	0.901309	0.187598	
40	10	20	0.413	21.46	8.942	0.416682	-0.88369											

15 MV									OUT EDW									
Field size (cm)			60W						30W				20W					
X	Y1	Y2	Cal	OPEN	W	EDWF	DIV	Cal	OPEN	W	EDWF	DIV	Cal	OPEN	W	EDWF	DIV	
10	2	2	0.892	20.04	17.87	0.891717	0.031785	0.961	20.04	19.27	0.961577	-0.05999	0.975	20.04	19.54	0.97505	-0.00512	
10	4	8	0.768	21.18	16.19	0.7644	0.470908	0.908	21.18	19.21	0.906988	0.111609	0.94	21.18	19.9	0.939566	0.046231	
10	5	5	0.713	21.11	15.07	0.71388	-0.12322	0.882	21.11	18.62	0.882046	-0.00526	0.922	21.11	19.47	0.922312	-0.0338	
10	8	8	0.572	21.5	12.35	0.574419	-0.42105	0.8	21.5	17.23	0.801395	-0.17411	0.864	21.5	18.61	0.865581	-0.1827	
10	10	15	0.495	21.78	10.81	0.496327	-0.26735	0.746	21.78	16.28	0.747475	-0.1973	0.823	21.78	17.97	0.825069	-0.25075	
10	10*	-2	0.6684	21.26	14.12	0.664158	0.638697	0.8333	21.26	17.97	0.845249	-1.4137	0.884	21.26	18.85	0.886642	-0.29793	
10	8*	0	0.773	21.59	16.57	0.767485	0.718588	0.8939	21.59	19.25	0.891616	0.256109	0.928	21.59	20.01	0.926818	0.127536	
40	10	20	0.495	22.76	11.27	0.495167	-0.03372											
40	10	10	0.495	22.45	11.22	0.499777	-0.95588											
20	10	10	0.495	22.17	11.06	0.498872	-0.77622											

*Measurement point = 4 cm (Y0=4), †DIV=(Calculation - Measure)/Measure×100.

Table 4. The comparison of monitor unit in manual calculation and plan value

	X	Y1	Y2	Dose	Sc	Sp	OAR	EDWF	Cal MU	Plan MU	Diff*
30 EDW	10	10	-2	99.8	0.994	0.997	1.015	0.782	127	127	0
	10	8	0	100.2	0.994	0.997	1.014	0.861	116	116	0
20 EDW	10	10	-2	200	0.994	0.997	1.015	0.844	236	236	0
	10	8	0	200	0.994	0.997	1.014	0.903	220	220	0

*(Cal MU - Plan MU)/Plan MU×100.

EDW-Factor의 가장 핵심적이 내용인 식 (8)을 상용프로그램에서 구현하였다. 만약 EDW-Factor의 계산 중심이 isocenter가 아닐 경우에는 계산지점을 지정할 수 있게 하였다(Fig. 5). 상용프로그램을 이용하여 각각 지정된 조사야에 대하여 EDWF를 얻고 측정을 실시한 결과를 Table 3에 나타내었다.

EDW-Factor의 정의에 의해 EDW-Factor는 Y-jaw의 최종 위치에 따라 결정된다. 본 실험에서 Y-jaw의 최종위치는 Y1이다. Y1이 달라지면 EDW-Factor는 달라지고 그에 따라 측정값도 다르게 나타났다. 하지만 계산 값과 측정 값의 오차는 1% 이내이다.

계산중심점(측정점)에 따라 조사야의 중심이 isocenter일 경우($Y_0=0$)이든 아니든 EDW의 각도가 적어질수록 계산값과 측정값의 오차가 적어지는 경향을 나타내었다.

전체 조사야 크기 및 에너지에 따른 오차의 특징은 찾을 수 없었다. 각 에너지는 각각의 GSTT를 이용하고, Y의 최종 위치에 따라 EDW Factor가 영향을 받기 때문에 전체 조사야의 크기도 큰 영향을 미치지 못하였다.

또한 측정 조건을 Planning system에서 구현하여 얻어지는 MU와 상용프로그램에서 얻어진 EDW-Factor을 이용한 매뉴얼 계산 MU을 비교한 결과 그 차이가 없음을 알 수 있었다 (Table 4). 이때 에너지는 6 MV이고, Y_0 가 0이 아닌 조사야 ($Y_0 \neq 0$)에서 30° 와 20° EDW에 대하여 factor을 계산하고, Dmax 지점에 각각의 선량을 부여하였다.

고안 및 결론

선형가속기를 이용하는 방사선 치료에서 MU의 검증을 위한 독립된 시스템은 반드시 필요하며, EDW을 사용할 때 EDW Factor는 측정이나 계산을 통하여 MU 검증에 이용된다. EDW Factor을 계산하는 여러 방법이 있지만 각각의 방법은 계산값과 측정값의 오차가 1%이내의 값을 보여준다.^{10,11,14,15)}

본 연구에서 일반적을 알려진 EDW-Factor식에서 fitting의 값을 제외하고 EDW-Factor의 핵심내용만을 적용한 수식으로 EDW-Factor를 계산하고 측정하여 검증하였을 때도 오차는 1%이내로 보여, 정확한 EDW-Factor 계산 값을 얻을 수 있었다. 또한 상용프로그램에서 구현하여 각각의 조사야에서 EDW-Factor를 측정하지 않고, 보편적으로 쉽게 EDW-Factor를 얻을 수 있도록 하였다.

참고문헌

1. Leavitt DD, Martin M, Moeller JH, Lee WL: Dynamic wedge field techniques through computer-controlled collimator motion. Med Phys 1990;17:87-91
2. Klein E, Low D, Meigooni A, Purdy J: Dosimetry and clinical implementation of dynamic wedge. Int J Radiat Oncol Biol Phys 1995;31:583-592
3. Bidmead AM, Garton AJ, Childs PJ: Beam data measurements for dynamic wedges on Varian 600C (6-MV) and 2100C (6- and 10-MV) linear accelerators. Phys Med Biol 1995;40:393-411
4. Thomas SJ, Foster KR: Radiotherapy treatment planning with dynamic wedges - an algorithm for generating wedge factors and beam data. Phys Med Biol 1995;40:1421-1433
5. Liu C, Zhu TC, Palta JR: Characterizing output for dynamic wedges. Med Phys 1996;23:1213-1218
6. Petti PL, Siddon RL: Effective wedge angles with a universal wedge. Phys Med Biol 1985;30:985-991
7. Gibbons JP: Calculation of enhanced dynamic wedge factors for symmetric and asymmetric photon fields. Med Phys 1998; 25:1411-1418
8. Liu C, Li Z, Palta JR: Characterizing output for the Varian enhanced dynamic wedge field. Med Phys 1998;25:64-70
9. Beavis AW, Weston SJ, Whitton VJ: Implementation of the Varian EDW into a commercial RTP system. Phys Med Biol 1996;41:1691-1704
10. Wichman BD: A spreadsheet solution for off-axis, noncentral enhanced dynamic wedge factors. Med Phys 2003;4:217-223
11. Liu C, Kim SY, Kahler DL, et al.: Generalized monitor unit calculation for the Varian enhanced dynamic wedge field. Med Phys 2003;30:1891-1896
12. Waldron TJ, Boyer AL, Wells NH, Otte VA: Calculation of dynamically-wedged isodose distributions from segmented treatment tables and open-field measurements. Med Phys 1994;21:873
13. Klein E, Gerber R, Zhu R, Oehmke F, Purdy J: Multiple machine implementation of enhanced dynamic wedge. Int J Radiat Oncol Biol Phys 1998;40:977-985
14. Koken PW, Heukelom S, Cuijpers JP: On the practice of the clinical implementation of enhanced dynamic wedges. Medical Dosi 2003;28:13-19
15. Howlett SJ: Enhanced dynamic wedge and independent monitor unit verification. Australas Phys Eng Sci Med 2005; 28:26-36

Abstract

The Study on Properties and Application of Enhanced Dynamic Wedge Factor

Dae Sup Kim, Tae Joon Ban, Mi Suk Yeom, Soon Mi Yoo, Woo Seok Lee,
Geum Mun Back, Kyung Tae Kwon

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

Purpose: We try to calculate EDW-factor easily with the formula applies essential data of EDW-factor and evaluate the validity through a measurement.

Materials and Methods: We used the given value of GSTT (Golden Segmented Treatment Table) for the calculation of the EDW-factor. As to the experimental device, 0.6 cc farmer-type ion-chamber, an electrometer and water-phantom were used. A measurement was made at the maximum dose depth of the photon beam energy 6 MV and 15 MV under the condition that SSD (Source to Surface Distance) was 100 cm. The angle of the EDW (Enhanced Dynamic Wedge) which we use in an experiment was 60 degree, 30 degree, 20 degree in the Y1-OUT direction. We used Eclipse planning system (Varian, USA) as RTP system and the EDW-factor was calculated about all fields and EDW direction. In order to show the EDW-factor feature, a measurement was made at the selected field that verify the influence of the dependability about X, Y jaw and off-axis field.

Results: When we change the Y1 field, it influence on the EDW-Factor and measured value. But the error between measured values and calculated values was less than 1%. The experimental result indicated the tendency that the error of the result of calculation and measured value becomes smaller as the EDW angle become smaller whether the calculation point (measurement point) and iso-center are same or not. The influence of the field size and energy did not show up. We simulated with the same condition using the RTP system. And we found that it makes no difference between the MU which is calculated manually by applying the EDW-Factor obtained from the commercial program and the value which is calculated by using RTP system.

Conclusion: We excluded fitting value from well-known EDW-Factor formula and calculated EDW-factor with the formula applies essential data of EDW-factor only. As a result, there are no significant difference between the measured value and calculated value and it showed errors less than 1%. Also, we implemented the commercial program to calculate EDW-Factor conveniently without measure a factor on each field.

Key words: wedge factor, dynamic wedge, enhanced dynamic wedge, enhanced dynamic wedge factor