

Wedge Factor의 임상적 응용

삼성의료원 치료방사선과

최 동 락 · 안 용 찬 · 허 승 재

= Abstract =

Clinical Application of Wedge Factor

Dong-Rak Choi, Ph.D., Yong-Chan Ahn, M.D. and Seung Jae Huh, M.D.

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

Purpose : In general, the wedge factors which are used clinical practices are ignored of dependency on field sizes and depths. In this present, we investigated systematically the depth and field size dependency to determine the absorbed dose more accurately.

Methods : The wedge factors for each wedge filter were measured at various depths (depth of Dmax, 5cm, 10cm, and 15cm) and field sizes (5cm×5cm, 10cm×10cm, 15cm×15cm, and 20cm×20cm) by using 4-, 6-, and 10-MV X rays. By convention, wedge factors are determined by taking the ratio of the central axis ionization readings when the wedge filter is in place to those of the open field in same field size and measurement depth. In this present work, we determined the wedge factors for 4-, 6-, and 10-MV X rays from Clinac 600C and 2100C linear accelerators (manufactured by Varian Associates, Inc., Palo Alto, CA). To confirm that the wedge was centered, measurements were done with the two possible wedge position and various collimator orientations.

Results : The standard deviations of measured values are within 0.3 % and the depth dependence of wedge factor is greater for the lower energies. Especially, the variation of wedge factor is no less than 5% for 4- and 6-MV X rays with more than 45° wedge filters. But there seems to be a small dependence on field size.

Conclusion : The results of this study show a dependence on the point of measurement. There also seems to be a small dependence on field size. And so, we should consider the depth and field size dependence in determining the wedge factors. If one wedge factor were to be used for each wedge filter, it seems that the measurement for a 10cm x 10cm field size at a depth of 10cm would be a reasonable choice.

Key Words : Wedge factor

서 론

wedge factor는 빔의 중심축상의 개방조사면에 의한 선량에 대해 동일조사면과 동일지점에 wedge를 사용한 선량과의 비로 나타낸다¹⁾. 일반적으로, wedge factor는 에너지 및 wedge angle에 따라 선량최대지점에서 측정하여 환자치료용 선량계산에 이용되고 있으나 최근들어 wedge factor의 깊이 및 조사면에 따른 의존성에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다²⁻⁴⁾. 본 연구에서는 wedge factor의 조사면과 깊이에 따른 의존성을 체계적으로 조사함으로써 보다 합리적인 선량계산을 도모하고자 한다.

대상 및 방법

본원은 4-, 6-, 그리고 10-MV X 선을 가진 CLINAC 600C 와 2100C (Varian Associates, Inc., Palo Alto, CA)를 보유하고 있으며 wedge 사용시 가능한 최대조사면은 20cm x 40cm 이다. 사용가능한 wedge angle은 15°, 30°, 45°, 그리고 60° 이며 적절한 조합을 이용하면 임의의 wedge angle을 사용했을 때와 유사한 선량분포도 만들 수 있다. 실제 임상에 있어서 대부분의 경우 isocentric technique을 사용하고 있기 때문에 본 실험에서는 선원에서 측정점까

지의 거리를 100cm으로 고정하였다. 4-, 6-, 그리고 10-MV X 선을 이용하여 각각의 wedge angle이 다른 필터마다 5×5 cm² 부터 20×20 cm² 까지의 조사면에 대해서 여러 깊이 (최대선량지점, 5cm, 10cm, 15cm) 에서 측정하였으며 측정된 값을 열린 조사면에서의 측정값으로 나누어 줌으로써 wedge factor가 결정되었다. 사용한 측정기는 NE-2571 Farmer chamber이며 폴리스틸렌 팬텀에서 측정하였다. 각 측정값은 우연오차를 줄이기 위하여 최소한 5회 이상 반복 측정하여 평균값을 구하였다. 측정된 값을 임상에 적용하기 위하여 에너지, wedge angle에 따른 wedge factor를 깊이 및 조사면에 대한 1차함수의 형태로 나타내었다.

$$WF(v,d) = \lambda (W_0 + W_1 (v - v_s)) \tag{1}$$

이다.

여기서 $W_0 = \alpha (d - d_s) + 1$, $W_1 = \alpha' (d - d_s) + \beta$ 이고 α , β 는 각각 깊이, 조사면에 대한 의존도를 나타내는 매개상수 이다. α' 는 임의의 조사면에서의 상대적인 깊이 의존도를 나타내는 매개상수이다. 그리고 $WF(v,d)$ 는 조사면 v , 깊이 d 에 따른 wedge factor 이다. 특히, λ 는 기준 조사면 v_s , 기준 깊이 d_s 에서의 wedge factor를 나타낸다. 이 때 기준 조사면과 기준 깊이는 각각의 wedge angle에 대한 wedge factor의 평균값에 일치하는 조사면과 깊이를 의미한다.

Table 1. Normalized Wedge Factors for 4-MV X Rays. Factors Normalized to the Mean Value for each Wedge Angle

wedge angle	measurement position	side of equivalent square field(cm)			
		5	10	15	20
15°	depth of Dmax	0.983	0.985	0.989	0.999
	5.0 cm	0.995	0.992	0.997	0.997
	10.0 cm	1.003	1.000	1.004	1.004
	15.0 cm	1.011	1.009	1.011	1.011
30°	depth of Dmax	0.972	0.977	0.985	1.000
	5.0 cm	0.995	0.988	0.997	1.003
	10.0 cm	1.002	1.000	1.007	1.012
	15.0 cm	1.015	1.015	1.020	1.025
45°	depth of Dmax	0.955	0.955	0.965	0.985
	5.0 cm	0.989	0.989	0.987	0.996
	10.0 cm	1.013	1.013	1.009	1.017
	15.0 cm	1.037	1.037	1.032	1.039
60°	depth of Dmax	0.950	0.950	0.966	
	5.0 cm	0.987	0.987	0.995	
	10.0 cm	1.010	1.010	1.018	
	15.0 cm	1.042	1.042	1.052	

Table 2. Normalized Wedge Factors for 6-MV X Rays. Factors Normalized to the Mean Value for Each Wedge Angle

wedge angle	measurement position	side of equivalent square field(cm)			
		5	10	15	20
15°	depth of Dmax	0.991	0.990	0.993	0.998
	5.0 cm	0.999	0.993	0.998	1.001
	10.0 cm	1.008	0.997	1.999	1.005
	15.0 cm	1.012	1.007	1.006	1.005
30°	depth of Dmax	0.983	0.984	0.989	1.000
	5.0 cm	0.989	0.985	1.000	1.006
	10.0 cm	1.002	1.001	1.002	1.009
	15.0 cm	1.011	1.011	1.013	1.016
45°	depth of Dmax	0.978	0.978	0.982	0.994
	5.0 cm	0.989	0.989	0.992	1.002
	10.0 cm	1.013	1.002	1.995	1.012
	15.0 cm	1.025	1.017	1.014	1.017
60°	depth of Dmax	0.974	0.978	0.983	
	5.0 cm	0.985	0.990	0.996	
	10.0 cm	1.006	1.008	1.010	
	15.0 cm	1.031	1.024	1.016	

Table 3. Normalized Wedge Factors for 10-MV X Rays. Factors Normalized to the Mean Value for Each Wedge Angle

wedge angle	measurement position	side of equivalent square field(cm)			
		5	10	15	20
15°	depth of Dmax	0.993	0.989	0.991	0.999
	5.0 cm	1.001	0.996	0.996	1.007
	10.0 cm	1.004	1.001	1.003	1.007
	15.0 cm	1.006	1.004	1.007	1.010
30°	depth of Dmax	0.989	0.984	0.990	1.002
	5.0 cm	0.993	0.985	0.997	1.009
	10.0 cm	1.003	1.001	0.999	1.011
	15.0 cm	1.008	1.011	1.000	1.018
45°	depth of Dmax	0.989	0.985	0.991	1.002
	5.0 cm	0.992	0.989	0.996	1.010
	10.0 cm	1.007	1.000	1.002	1.014
	15.0 cm	1.010	1.002	1.005	1.020
60°	depth of Dmax	0.986	0.986	0.997	
	5.0 cm	0.995	0.996	1.007	
	10.0 cm	1.000	1.001	1.013	
	15.0 cm	1.000	1.003	1.019	

결 과

Table 1-3은 에너지, wedge angle에 따른 정규화된 wedge factor를 각 깊이 (depth of Dmax, 5cm, 10cm, 15cm)에서 측정된 값이다. 상호 비교를 쉽게 하기 위하여 각각의 wedge angle에 대하여 평균값을

구해 1로 정규화하였다.

4-MV X-선 의 경우에 측정된 다른 에너지에 비해 가장 큰 변화를 나타내었으며 wedge angle이 60 ° 일 때 깊이와 조사면에 따라 -5.0 % (깊이 : depth of Dmax, 조사면 : 5 cm×5 cm) 에서 +5.2 % (깊이 : 15 cm, 조사면 : 15 cm×15 cm) 까지 매우 큰 변화를 나타내었다. 그 이유는 wedge angle이 클수록

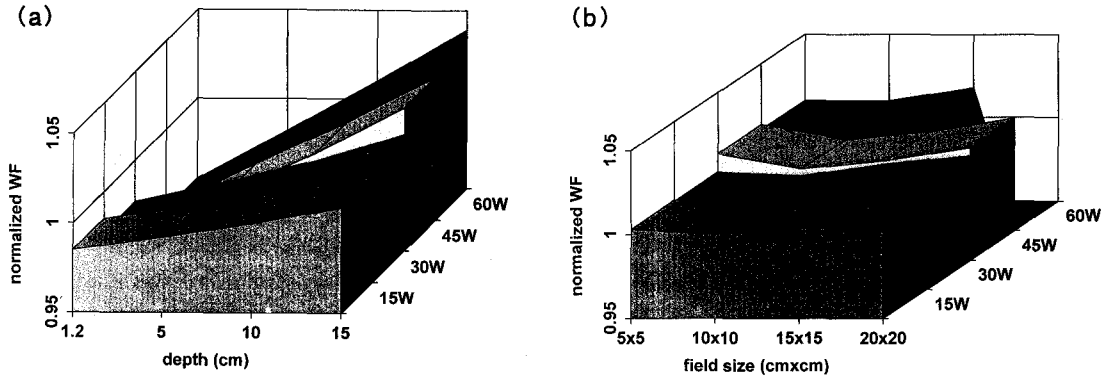


Fig. 1. Normalized wedge factors for 4-MV X-rays. (a) normalized wedge factors on various depths; (b) normalized wedge factors on various field sizes.

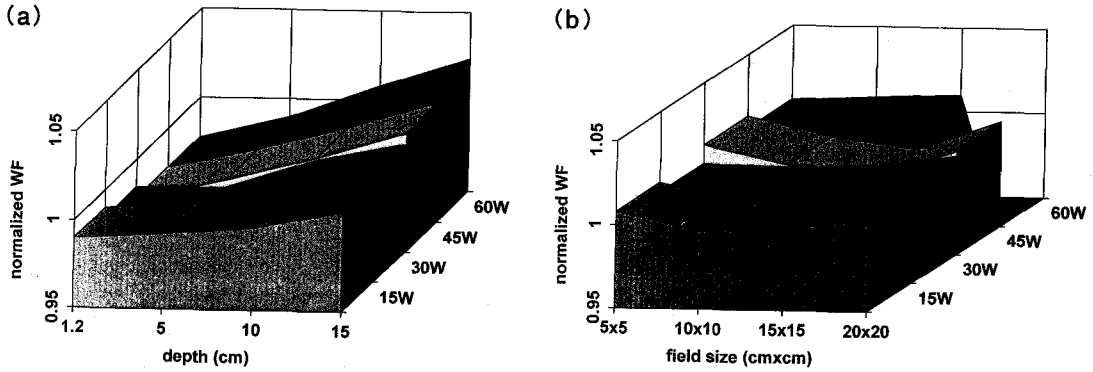


Fig. 2. Normalized wedge factors for 6-MV X-rays. (a) normalized wedge factors on various depths; (b) normalized wedge factors on various field sizes.

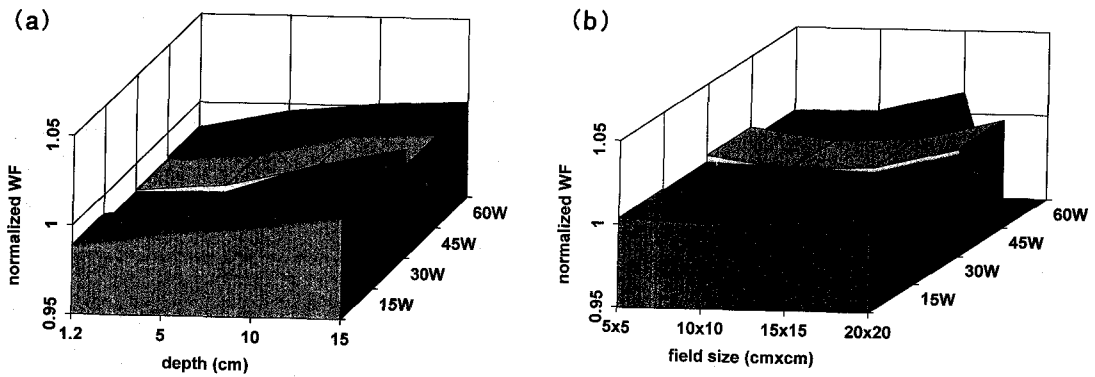


Fig. 3. Normalized wedge factors for 10-MV X-rays. (a) normalized wedge factors on various depths; (b) normalized wedge factors on various field sizes.

beam hardening에 의한 에너지 증가효과가 커지기 때문이다. 반면에 동일한 조사면에 대한 wedge factor

의 깊이에 의존성은 에너지나 wedge angle에 대해 예의 없이 조사면이 작을수록 크게 나타났는데 이는 조사

Table 4. The Various Parameters of 1-dimensional Trial Function for 4-MV, 6-MV, and 10-MV X Rays

wedge angle	α ($\times 10^{-3}$)	β ($\times 10^{-3}$)	λ	ds (cm)	vs (cm)
4-MV X rays					
15°	1.56	0.37	0.758	10	10
30°	2.36	1.11	0.603	10	10
45°	5.04	0.89	0.462	9	10
60°	6.14	1.04	0.381	8	10
6-MV X rays					
15°	1.01	0.06	0.783	10	10
30°	1.75	0.80	0.639	10	10
45°	2.45	0.36	0.499	10	10
60°	3.31	0.19	0.418	8	10
10-MV X rays					
15°	0.82	0.45	0.815	10	10
30°	1.36	0.71	0.687	10	10
45°	1.27	0.87	0.532	10	10
60°	1.03	1.50	0.448	10	10

Table 5. The Maximum Error for Various Energies and Wedge Angles (Experimental Values vs Calculated Ones)

wedge angle	maximum error(%)
4-MV X rays	
15°	0.6
30°	1.4
45°	1.5
60°	1.1
6-MV X rays	
15°	0.8
30°	0.6
45°	1.5
60°	0.4
10-MV X rays	
15°	0.7
30°	0.9
45°	1.1
60°	0.7

면이 작을수록 산란에 의한 선량증가 효과에 줄어들기 때문에 beam hardening에 의한 에너지 증가효과가 상대적으로 크게 작용함에 기인한다.

Fig. 1-3은 4-, 6-, 및 10-MV X-선에 대한 정규화된 wedge factor를 깊이, 조사면 그리고 wedge angle에 대한 의존성으로 나타낸 것이다. 각각의 그림에서 보는 바와 같이 에너지가 작고 wedge angle이 클수록 wedge factor의 깊이 의존성이 커짐을 알 수 있다. 반면에, 조사면에 대한 의존성은 에너지나 wedge angle에 거의 무관하게 나타남을 알 수 있다.

Table 4는 에너지, wedge angle에 따른 wedge

factor를 깊이 및 조사면에 대한 1차함수의 형태 (식 1)로 나타낼 때의 매개상수 α , β , λ , ds, vs를 나타낸다. 여기서 매개상수 α 의 값은 매우 작기 때문에 무시할 수 있으므로 Table 4에서 제외하였다. 이러한 매개상수들은 선형회귀분석 방법에 의하여 구해진 것이며 Table 5에서 보는 바와 같이 1차함수에 의한 계산값과 측정값사이의 오차는 최대 1.5% 이내이다. Table 4로 부터 wedge factor의 깊이에 대한 의존도를 나타내는 매개상수 α 는 wedge angle이 증가함에 따라 크게 나타남을 알 수 있으며 특히 에너지가 작은 경우에는 조사면에 대한 의존도를 나타내는 매개상수 β 에 비해 훨씬 큰 값을 나타내고 있는데 이는 wedge factor가 조사면에는 거의 무관하나 깊이에 따라 비교적 큰 변화를 나타내고 있음을 수치적으로 보여주는 것이다. 반면에 10-MV X 선의 경우, 매개상수 α 와 β 는 거의 비슷한 수치를 나타내고 있는데 이는 α 가 상대적으로 작은 값을 가지기 때문이며 이로부터 에너지가 커질수록 wedge factor의 깊이 의존성은 사라짐을 알 수 있다. 전반적으로 기준조사면과 기준깊이는 조사면 10cm×10cm, 깊이 10cm 이었다.

결론

본 실험의 결과 wedge factor의 조사면 의존성은 무시할 수 있을 정도로 작게 나타났는데 이는 Sharma⁵⁾ 등에 의해서 이미 보고된 바와 잘 일치하였다. 반면에 각각의 에너지에 대해 깊이에 따라 측정된 wedge factor의 의존성은 저에너지로 갈수록 커지는 경향을 보였다. 특히 4-, 6- X선의 경우 wedge angle이 45° 이상일 때 깊이에 따른 wedge factor의 변화량은 $\pm 3\%$ 내지 $\pm 5\%$ 까지 차이가 남을 알 수 있었다. 그 이유는 넓은 영역의 에너지 분포를 가진 X-선이 wedge를 통과하면서 저 에너지 영역의 X-선이 흡수됨으로써 X-선의 평균에너지가 증가하기 때문이다. 이러한 효과는 X-선의 에너지가 낮을수록, wedge의 두께가 커질수록 크게 나타남을 알 수 있다.

선량계산시 wedge factor를 합리적으로 평가하기 위해서는 평균값을 나타내는 깊이에서 측정된 값을 사용하거나 깊이에 따라서 wedge factor를 달리 적용시켜야 한다. 그러나 평균값을 나타내는 깊이에서 측정된 값을 사용할 경우에는 평균값과 $\pm 2\%$ 를 벗어나는 깊이에서는 적절한 보정이 필요하다. 따라서 보다 정확한 선량계산을 위해서는 wedge factor를 깊이에 관한 1차함수의 형태로 표현한 후 에너지와 wedge angle에 따라 각각의 매개상수를 결정하여 임상적 적

용하는 것이 바람직하다.

REFERENCES

1. Khan FM. The physics of radiation therapy. 2nd ed. Baltimore, William & Wilkins 1994; 234-239
2. Knoos T, Wittgren L. Which depth dose data should be used for dose planning when wedge filters are used to modify the photon beam? Phys Med Biol 1991; 36:255-267
3. McCullough EC, Gortney J, Blackwell CR. A depth dependence. Determination of the wedge transmission factor for 4-10 MV photon beams. Med Phys 1988; 15:621-623
4. Palta JR, Daftari I, Suntharalingam N. Field size dependence of wedge factors. Med Phys 1988; 15:624-626
5. Sharma SC, Johnson MW. Recommendations for measurement of tray and wedge factors for high energy photons. Med. Phys 1994; 21:573-575

= 국문초록 =

Wedge Factor의 임상적 응용

삼성의료원 치료방사선과

최 동 락 · 안 용 찬 · 허 승 재

목 적 : 환자에 투여될 선량계산시 사용되는 wedge factor는 조사면과 깊이에 대한 의존성은 무시되고 에너지 및 wedge angle에 따라 측정하는 것이 일반적이다. 본 연구에서는 wedge factor의 조사면과 깊이에 따른 의존성을 체계적으로 조사함으로써 보다 합리적인 선량계산을 도모하고자 한다.

방 법 : 4-, 6-, 그리고 10-MV X 선을 이용하여 각각의 wedge angle에 따라서 5 x 5 cm² 부터 20 x 20 cm² 까지의 조사면에 대해서 여러 깊이에서 측정하였으며 측정된 값을 열린 조사면에서의 측정값으로 나누어 줌으로써 wedge factor가 결정되었다. 이 때 사용된 가속기는 본원이 보유하고 있는 CLINAC 600C 와 2100C 이며 사용된 에너지는 6- 그리고 10-MV X 선을 사용하였다. 측정기가 빔의 중심에 정확히 놓여졌는지를 확인하기 위하여 여러 폴리메이터 각도에서 측정하였다.

결 과 : 각 측정값의 재연성에 관한 표준편차는 0.3 % 이내였으며 각각의 에너지에 대해 깊이에 따라 측정된 wedge factor의 의존성은 저에너지로 갈수록 커지는 경향을 보였다. 특히 4-, 6- X 선의 경우 wedge angle이 45 ° 이상일 때 깊이에 따른 wedge factor의 변화량은 5% 이상 차이가 남을 알 수 있었다. 반면에 wedge factor의 조사면에 대한 의존성은 거의 나타나지 않았다.

결 론 : 측정을 통하여 wedge factor는 조사면에 대해서는 거의 무관하나 깊이에 따른 의존성이 비교적 크게 나타남을 알 수 있었다. 따라서 선량계산시 wedge factor를 합리적으로 평가하기 위해서는 평균값을 나타내는 깊이에서 측정된 값을 사용하거나 깊이에 따라서 wedge factor를 달리 적용시켜야 한다. 본 실험의 결과, 각 wedge filter에 대해 단일 wedge factor를 사용하고자 하면 조사면 10cm x 10cm, 깊이 10cm에서 측정된 값을 쓰는 것이 가장 합리적임을 알 수 있었다.