Journal of Radiation Industry 13(3) : 179~183(2019)

고에너지 엑스선의 선속평탄여과판이 조사야의 축이탈비 선량 변화에 미치는 영향

지연상[1] · 동경래[1] · 김성길[2,*] · 정묘영[3,4] · 곽종길[1,5] · 김미현[1]

[1]광주보건대학교 방사선과, [2]한려대학교 방사선학과, [3]조선대학교 호남권역 재활병원,
[4]동신대학교 보건의료학과, [5]KS 병원 종합검진센터

High Energy X-ray Flattening Filter is Irradiated with OAR Effect on Dose Change

Yeon-Sang Ji[1], Kyung-Rae Dong[1], Sung-Gil Kim[2,*], Myo-Young Jung[3,4], Jong-Gil Kwak[1,5] and Mi-Hyun Kim[1]

[1]*Department of Radiological Technology, Gwangju Health University, 73, Bungmun-daero 419 beon-gil, Gwangsan-gu, Gwangju 62271, Republic of Korea*
[2]*Department of Radiological Science, Hanlyo University, 94-13, Hallyeodae-gil, Gwangyang-eup, Gwangyang-si, Jeollanam-do 57764, Republic of Korea*
[3]*Department of Radiology, Chosun University Honam Regional Rehabilitation Hospital, Haseoro 590, Buk-gu, Gwang-ju 61027, Republic of Korea*
[4]*Department of Public Health and Medicine, Dongshin University Graduate School, 185, Geonjae-ro, Naju-si, Jeollanam-do 58245, Republic of Korea*
[5]*Comprehensive medical examination center, KS Hospital, 220, Wangbeodeul-ro, Gwangsan-gu, Gwangju 62248, Republic of Korea*

Abstract - In order to evaluate the usefulness of whether or not to use of high energy x-ray Flattening Filter, we analyzed dose by comparing the change of irradiation surface and the off-axis size at the center. From the results of FF (Flattening filter) and FFF (Flattening filter free) of 6 MV energy, the dose decreased as the distance of FFF from the center plane. FFF also showed low dose to protect normal tissue around the tumor. FFF was higher near the skin surface than FF, and the dose was higher when the irradiation surface was smaller. FFF can be used to treat radiation that can focus on optimizing tumor dose and minimizing peripheral dose when irradiated.

Key words : High energy, FF, FFF, Normal tissue

서 론

방사선치료가 정확성과 정밀성을 추구함에 따라, 장비의 발전과 더불어 다양한 종양을 효과적으로 치료하는 데 필요한 치료계획을 연구하게 되었다. 3D입체방사선치료, 강도변조방사선치료, 영상유도방사선치료, 호흡고려방사선치료, 체부정위적방사선치료 등의 방사선치료는 최근 치료 발전에 중요한 역할을 담당하고 있다. 방사선치료의 중요한 요인은 정상조직의 선량을 감소시키며 종양조직선량을 최

* Corresponding author: Sung-Gil Kim, Tel. +82-61-760-1137, Fax. +82-61-760-1105, E-mail. stardr@hanmail.net

적화시키는 목적을 충족시키는 계획이다(Goo *et al*. 2014; Yang and Lim 2017). 종양 치료에 사용되고 있는 고에너지 엑스선은 고속으로 가속되는 전자가 타겟에 충돌하여 상호작용에 의한 불균질한 빔의 형성으로 선속평탄여과판 FF (2F, Flattening filter)을 사용하게 된다. 선속평탄여과판을 사용하므로 균등한 등선량곡선을 얻을 수 있지만, 충분한 에너지 강도 분포를 얻을 수 없을 뿐만 아니라 누설선량과 산란선을 증가시키는 결과를 가져올 수 있다(Georg *et al*. 2010; Goo *et al*. 2014). 최근에는 이와 같은 기술적인 부분을 보완하기 위한 치료 기술로 선속평탄여과판을 사용하지 않는 FFF (Flattening filter free, 3F) 방사선 치료장치들이 임상에서 널리 사용되고 있다. 이 장치들은 갠트리 조사헤드부 아래에서 발생하는 산란선이 적다는 장점과 선량분포가 평탄하지 않다는 단점을 가지고 있다(Purdy 2001; Kry *et al*. 2007; Lohse et al 2011; Guy *et al*. 2016). 이러한 선속평탄여과판을 사용하지 않았을 경우 정위적 방사선치료나 소조사면 체부 정위적 방사선치료(Stereotatic body radatiotherapy, SBRT) 등에는 선속의 평탄도에 차이가 줄어든다는 결과의 연구 보고서가 있다. 특히 FFF 빔의 불균질 강도 분포는 컴퓨터에 의하여 다엽콜리메이터(Multi Leaf Collimator, MLC)를 정밀하게 조절함으로써 표적체적에 조사가 가능하게 된다(Ting 2012; Goo *et al*. 2014).

본 연구에서는 고에너지 엑스선의 선속평탄여과판 사용 유무가 조사면의 선량변화와, 축이탈비와 관계, 표면에서 깊이에 따른 선량의 변화를 알아보고 정상조직과 종양조직에 선량이 미치는 특징을 분석함으로써 방사선치료의 유용성을 얻고자 한다.

실험 기기 및 방법

1. 실험 기기

실험기기 및 측정기는 Novalis Tx (Varian, U.S.A)와 Electrometer (PTW, Germany)를 사용하였다. Solid body water phantom (RD INC, U.S.A) 안에 Ion chamber (lBA domestry CC04, U.S.A)를 넣고 선량을 측정하였다. Treatment planning system Eclipse ver. 13 (varian, U.S.A)을 이용하여 치료계획을 설정하였다.

2. 실험 방법

Novalis Tx를 이용한 고에너지(6 MV) 엑스선을 FF와 FFF를 적용한 선량을 실험하였다. 실험방법은 선량은 100 MU, 엑스선을 2회 조사하여 조사면 크기에 따른 중심 선량값을 측정하고 프로파일 프로그램을 이용하여 조사면 크기와 깊이, 조사면의 중심점에서 축이탈점을 설정하여 선량을 산출해 비교 분석하였다. 첫째, FF, FFF의 사용 유무에 따른 조사면 (5×5 cm^2, 10×10 cm^2, 15×15 cm^2, 20×20 cm^2, 30×30 cm^2)과, 축이탈 (0 cm, 1 cm, 2 cm, 3 cm, 5 cm, 7 cm)을 설정하여 선량을 분석하였다. 둘째, 10×10 cm^{2}의 FF, FFF의 사용 유무에 따른 깊이 (1 cm, 1.5 cm, 2 cm, 3 cm, 5 cm, 7 cm, 9 cm)를 설정하여 선량을 분석하였다. 셋째, FF, FFF의 사용 유무에 따른 소조사면 (3×3 cm^2, 4×4 cm^2, 6×6 cm^2, 8×8 cm^2, 10×10 cm^2)과, 깊이 (1.5 cm, 5 cm, 10 cm, 18 cm)를 설정하여 선량을 분석하였다.

결 과

Table 1에서 나타나듯이 6 MV FFF의 중심선량과 축이탈 선량을 비교하면 20×20 cm^2 조사면의 중심 선량값 84.9 cGy, 1 cm의 축이탈 선량값 84.1 cGy, 2 cm의 축이탈 선량값 83.7 cGy, 3 cm의 축이탈 선량값 83.7 cGy, 5 cm의 축이탈 선량값 76.3 cGy, 7 cm의 축이탈 선량값 71.9 cGy 으로 중심에서 멀어질수록 감소하는 선량값이 나타났다. 이는 20×20 cm^{2}에서 뿐만 아니라 실험한 모든 조사면에서 6 MV FFF가 중심선량에서 멀어질수록 선량이 감소한다는 결과를 보인다. 6 MV FF의 20×20 cm^2 조사면에서 중심선량값 89.4 cGy, 1 cm의 축이탈 선량값 89.7 cGy, 2 cm의 축이탈 선량값 89.9 cGy, 3 cm의 축이탈 선량값 89.9 cGy, 5 cm의 축이탈 선량값

Table 1. Comparison of dose changes for irradiated surface size and off-axis according to the use with or without flattenig filter (unit: cGy)

		Center	1 cm	2 cm	3 cm	5 cm	7 cm
6 MV FF	5×5	74.4	73.9	–	–	–	–
	10×10	82.5	83.3	82.9	81.7	–	–
	15×15	87.8	–	88.2	87.7	86.8	–
	20×20	89.4	89.7	89.9	89.9	90.3	90.0
	30×30	–	–	–	–	–	94.1
6 MV FFF	5×5	72.9	71.7	–	–	–	–
	10×10	80.2	79.5	78.3	78.3	–	–
	15×15	84.1	–	82.5	82.5	74.6	–
	20×20	84.9	84.1	83.7	83.7	76.3	71.9
	30×30	–	–	–	–	–	73.9

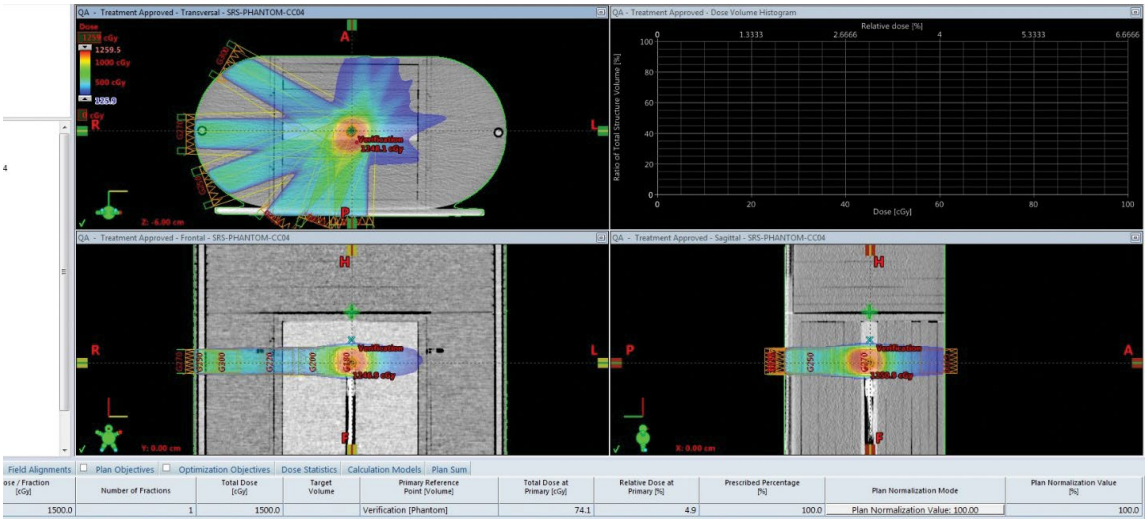

Fig. 1. 6 MV dose measurement of irradiated surface and off-axis point of high-energy X-ray.

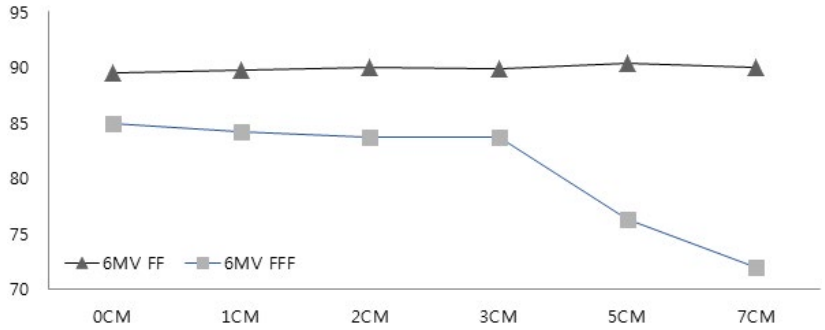

Fig. 2. Comparison of center dose and off-axis dose of FF and FFF of irraiation surface 20×20 cm^2 (unit: cGy)

Table 2. Dose comparison according to deep depth in 10×10 cm^2 field with or without flattening filter (unit: cGy)

	1 cm	1.5 cm	2 cm	3 cm	5 cm	7 cm	9 cm
6 MV FF	119.0	122.3	120.4	115.0	104.3	93.9	85.8
6 MV FFF	115.9	119.5	118.6	113.5	101.8	90.4	81.9

90.3 cGy, 7 cm의 축이탈 선량값 90 cGy로 6 MV FFF와 비교하였을 때 선량변화가 상대적으로 작았다. 그러나 Fig. 2에서 나타났듯이 6 MV FFF의 조사면에서는 FF의 조사면보다 전체적으로 선량값이 낮게 나타났으며, 중심점에서 3 cm 이상으로 축이탈이 커질수록 선량은 FF의 선량값보다 크게 감소됨을 알 수 있었다.

Table 2에서 6 MV FF의 깊이 1 cm의 선량값 119 cGy, 1.5 cm 선량값 122.3 cGy, 2 cm의 선량값 120.4 cGy, 3 cm의 선량값 115 cGy, 5 cm의 선량값 104.3 cGy, 7 cm의 선량값 93.9 cGy, 9 cm의 선량값 85.8 cGy로 6 MV FFF의 깊이 1 cm의 선량값 115.9 cGy, 1.5 cm의 선량값 119.5 cGy, 2 cm의 선량값 118.6 cGy, 3 cm의 선량값 113.5 cGy, 5 cm의 선량값 101.8 cGy, 7 cm의 선량값 90.4 cGy, 9 cm의 선량값 81.9 cGy로 나타났다. Fig. 3을 보면 10×10 cm^2의 동일한 깊이에서 6 MV FF가 6 MV FFF보다 상대적으로 높은 선량값을 보인다는 것을 알 수 있다.

Table 3에 나타나듯이 깊이 1.5 cm에서의 조사면의 크기별로 변화선량을 비교하면 6 MV FF는 3×3 cm^2에서 111.3 cGy, 10×10 cm^2에서 122.2 cGy로 선량변화값이 10.9 cGy, 6 MV FFF는 3×3 cm^2에서 111.7 cGy, 10×10 cm^2에서 119.5 cGy로 선량변화값이 7.8 cGy 차이를 보인다. 이는 6 MV의 FFF에서 조사면 크기의 변화에 따른 선량이 감소한다는 것을 알 수 있다. 또한 표면과 가까운 깊이 1.5 cm의 6 MV FF의 소조사면 3×3 cm^2에서 111.3 cGy, 4×4 cm^2에서

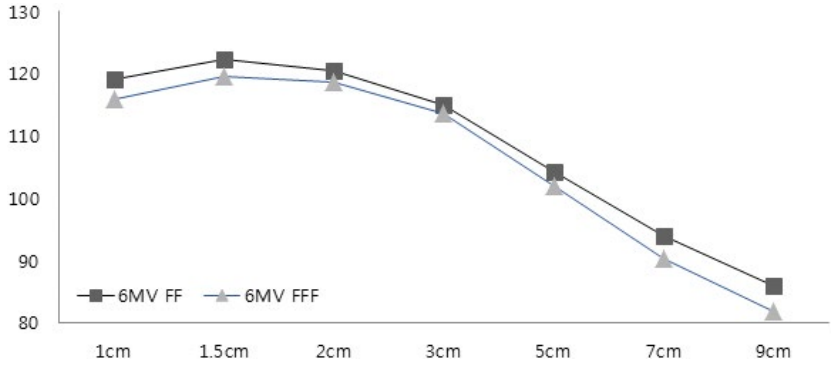

Fig. 3. Comparison of dose according to depth in $10 \times 10\,cm^2$ field with or without flattening filter (unit: cGy).

Table 3. Comparison of dose according to the depth of each slope with and without flat filter (unit: cGy)

		1.5 cm	5 cm	10 cm	18 cm
6 MV FF	3 × 3	111.3	90.4	65.4	38.9
	4 × 4	113.5	93.4	68.2	41.1
	6 × 6	117.1	97.7	72.7	44.6
	8 × 8	119.9	101.2	76.7	47.9
	10 × 10	122.2	103.8	79.7	50.5
6 MV FFF	3 × 3	111.7	90.1	63.0	36.3
	4 × 4	113.7	93.1	66.0	38.2
	6 × 6	116.4	96.7	70.0	41.3
	8 × 8	118.2	99.2	73.0	43.8
	10 × 10	119.5	101.1	75.4	45.9

113.5 cGy와 6 MV FFF의 $3 \times 3\,cm^2$에서 111.7cGy, $4 \times 4\,cm^2$에서 113.7 cGy로 소조사면일 때 표면과 가까운 깊이에서의 선량값은 6 MV FFF가 높게 나타났다.

고 찰

본 연구는 방사선치료 방법 중 평탄필터여과판를 사용하지 않은 FFF (Flattening Filter Free)의 선량부여에 대한 치료의 유용성에 관하여 실험을 분석한 내용이다. 평탄필터를 사용할 경우에는 균등한 선량부여가 가능하지만 누설선과 산란선이 증가한다 (Goo *et al*. 2014). 이에 비해 평탄필터여과판을 사용하지 않을 경우 중심선량이 주변부와 차이가 나는 불균등한 선량이 나타나고 종양조직 영역 외에는 산란선이 적게 발생한다는 특징을 가지고 있다 (Jin *et al*. 2016). FFF의 불균등한 선량은 광자스펙트럼의 평균 에너지를 FF보다 감소시킨 결과로 나타난다. 이러한 FFF의 평균 선질 에너지의 감소는 모니터선량 (MU선량)의 효율을 증가시킨다. 이는 치료시간의 감소를 기대할 수 있고 치료시간의 감소는 외부표적용적에 대한 오차를 줄일 수 있다. 최근 고선량을 이용한 입체적방사선치료 (SRS), 체부방사선치료 (SBRT)와 같은 치료에서 기존의 FF 방식보다 FFF 방식이 강한 장점을 보인다 (Vassiliev *et al*. 2009; Dalaryd *et al*. 2010). 실제로 폐와 같은 부위의 SBRT 치료에서 FF와 FFF의 치료계획의 선량분포는 비슷하다는 결과가 있으나, FFF의 경우 치료시간이 짧기 때문에 폐 방사선치료와 같은 4차원 방사선치료에서 높은 효율성을 보인다 (Vassiliev *et al*. 2009; Ji and Dong 2018). 또한 FFF는 향후 발생 질병에 대한 위험성이 적어질 것으로 보인다. FF는 중심 외 영역의 산란선으로 인하여 2차적인 종양 발생 및 기타 합병증의 유발의 위험이 있다고 사료된다. 또한 FFF의 경우에 중심 외 영역의 엑스선의 에너지가 중심부보다 현저히 낮은 값을 보이기 때문에 2차적으로 발생될 수 있는 종양과 합병증 유발 가능성이 낮다고 보고된다 (Georg *et al*. 2010; Goo *et al*. 2014). 중심부선량값을 비교하였을 때 FFF의 장점은 잘 드러나지 않으나 주변부선량과 선량률을 비교하였을 때는 방사선치료에서 FF보다 FFF를 사용하였을 경우에 소조사면에서는 이점을 찾을 수 있다. FFF를 이용한 3D입체방사선치료, 강도변조방사선치료, 영상유도방사선치료, 호흡고려방사선치료, 체부정위적방사선치료 등에 대한 FFF의 효율성이 치료성과에 큰 도움을 줄 것이라 사료된다.

결 론

고 에너지 엑스선에서 선속평탄여과판을 사용 유무에 따

른 축이탈 선량의 유용성에 대해서 알아보았다. 축이탈거리에 따라 FF와 FFF의 선량을 비교한 결과, FFF는 중심에서 멀어질수록 현저히 선량이 감소되고, FF와 비교하였을 때 중심부에서 축이탈이 많을수록 선량의 감소값이 크다는 결과를 보인다. 이는 FFF가 주변부의 보호측면에서 유용성을 가진다는 결과를 도출할 수 있다. 심부 조직 깊이에 관해서는 FF가 FFF보다 상대적으로 높은 선량값이 나타났다. 소조사면 범위에서 조사면이 증가함에 따라 FFF를 이용하였을 때의 선량변화가 FF를 이용했을 때보다 적은 선량변화를 보여 조사면 크기에 따른 의존성이 작다는 것을 알 수 있다. 작은 조사면의 경우 표면에 가까울수록 FFF의 선량이 FF보다 높다고 결론내릴 수 있었다. 최근 방사선치료가 종양선량의 최적화와 주변부선량의 최소화에 초점을 둔 만큼 FFF를 이용한 SRS, SBRT와 같은 치료방법들이 좋은 치료성과를 나타낼 때 사용될 수 있다고 사료된다.

참 고 문 헌

Dalaryd M, Kragl G, Ceberg C, Georg D, McClean B, af Wetterstedt S, Wieslander E and Knöös T. 2010. A Monte Carlo study of a flattening filter-free linear accelerator verified with measurements. *Phys. Med. Biol.* **55**(23): 7333-7344.

Georg D, Kragl G, Wetterstedt S, McCavana P, McClean B and Kns T. 2010. Photon beam quality variations of a flattening filter free linear accelerator. *Med. Phys.* **37**(1):49-53.

Goo JH, Won HS, Hong JW, Chang NJ and Park JH. 2014. The evaluation of properties for radiation therapy techniques with flattening filter-free beam and usefulness of time and economy to a patient with the radiation therapy. *J. Korean Soc. Radiat. Ther.* **26**(2):363-368.

Guy CL, Karki K, Sharma M and Kim S. 2016. Clinically relevant investigation of flattening filter-free skin dose. *J. Appl. Clin. Med. Phys.* **17**(6):140-148.

Jin SJ, Park CW and Je JY. 2016. Characteristics of Scattered Rays Depending on the Use of a Flattening Filter. *J. Korean Soc. Radiol.* **10**(1):15-19.

JI YS and Dong KR. 2018. Dose Volume Histogram Analysis for Comparison of Usability Linear accelerator Flattening Filter. *J. Radia. Ind.* **12**(4):297-302.

Kry SF, Titt U, Pönisch F, Vassiliev ON, Salehpour M, Gillin M and Mohan R. 2007. Reduced Neutron Production Through Use of a Flattening-Filter-Free Accelerator. *Int. J. Radiat. Oncol Biol. Phys.* **68**(4):12620-1264.

Lohse I, Lang S, Hrbacek J, Scheidegger S, Bodis S, Macedo NS, Feng J, Lütolf UM and Zaugg K. 2011. Effect of high dose per pulse flattening filter-free beams on cancer cell survival. *Radiother Oncol.* **101**(1):226-232.

Purdy J. 2001. Intensity-modulated radiation therapy: current status and issues of interest. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* **51**(4):880-914.

Ting J. 2012. MO-A-BRB-02: Facts and Fiction of Flattening Filter Free (FF-FFF) X-Rays Beams. *Med. Phys.* **39**(6):3861-3862.

Vassiliev ON, Kry SF, Chang JY, Balter PA, Titt U and Mohan R. 2009. Stereotactic radiotherapy for lung cancer using a flattening filter free Clinac. *J. Appl. Clin. Med. Phys.* **10**(1):2880.

Yang ON and Lim CH. 2017. A Study on the Photoneutron Dose Estimation in Flattening Filter Mode and Flattening Filter Free Mode for Medical Linear Accelerator. *J. Radiol. Sci. Technol.* **40**(2):297-302.

Received: 27 May 2019
Revised: 20 June 2019
Revision accepted: 8 July 2019