

전자선 조사야 결합부분의 선량분포 개선을 위한 acrylic electron wedge의 제작 및 사용

고려대학교 의료원 치료방사선과 · 고려대학교 보건대학* · 경기대학교 대학원 물리학과**
김영범 · 권영호 · 황응구 · 김유현** · 권수일***

-Abstract-

Design and Application of Acrylic Electron Wedge for Improving Dose Inhomogeneities at the Junction of Electron Fields

Young Bum Kim · Young Ho Kwon · Woong Ku Whang · You Hyun Kim* · Soo Il Kwon**
*Dept. of Radiation Oncology, Korea University Hospital**
*Depth. of Radiologic Technology, College of Health Sciences Korea University***
*Dept. of Physics, Kyonggi University****

Treatment of a large diseased area with electron often requires the use of two or more adjoining fields. In such cases, not only electron beam divergence and lateral scattering but also fields overlapping and separation may lead to significant dose inhomogeneities($\pm 20\%$) at the region of junction of fields. In this study, we made Acrylic Electron Wedges to improve dose inhomogeneities($\pm 5\%$) in these junction areas and to apply it to clinical practices.

All measurements were made using 6, 9, 12, 16, 20 MeV Electron beams from a linear accelerator for a 10×10 cm field at 100cm of SSD. Adding a 1 mm sheet of acryl gradually from 1 mm to 15 mm acquires central axis depth dose beam profile and isodose curves in water phantom.

As a result, for all energies, the practical range was reduced by approximately the same distance according to the acryl insert, e.g. a 1 mm thick acryl insert reduces the practical range by approximately 1 mm. For every mm thickness of acryl inserted, the beam energy was reduced to approximately 0.2 MeV. These effects were almost independent of beam energy and field size. The use of Acrylic Electron Wedges produced a small increase(less than 3%) in the surface dose and a small increase(less than 1%) in X-ray contamination. For acryl inserts, thickness of 3 mm or greater, the penumbra width increased nearly linear for all energies and isodose curves near the beam edge were nearly parallel with the incident beam direction at the point of penumbra width(35 mm~40 mm). We decide heel thickness and angle of the wedge at this point.

These data provide the information necessary to design Acrylic Electron Wedge which can be used to improve dose uniformity at electron field junctions and it will be effectively applied to clinical practices.

Key words : adjoining electron fields, dose inhomogeneity, penumbra width

I. 서 론

일반적으로 표재성으로 넓게 분포하는 종양을 치료하는 경우, 전자선을 이용하여 전체 조사야를 2~3개로 분할하여 치료하며 종양의 깊이가 다르게 존재하는 경우 종양의 깊이에 따라 조사야를 분할하여 적합한 전자선 에너지를 선택하여 치료 한다.¹⁾²⁾ 이러한 경우, 조사야의 결합부분에서는 조사야의 겹침과 분리현상, 또는 전자선

의 특이한 확산과 산란특성 때문에 심각한 선량 불균등 현상이 발생한다.^{1~3)}

이러한 전자선 조사야 결합부분에서의 선량 불균등 현상을 최소한으로 하기 위한 방법들이 많은 연구자들에 의해 개발되고 있으며 현재 임상에서 사용되고 있다.^{3~9)} 그 방법 중 하나는 광자선 치료에서처럼 두 조사면 사이에 적당한 간격(치료 경험을 통해 많은 시행 착오를 거쳐 얻은)을 두고 치료를 하면서 전체 치료기간동안 조사

야 결합부분을 여러 번 이동하여 선량 불균등 지점을 한 곳에 집중되지 않게 치료하는 방법이다.^{3,4)} 이 방법은 조사야 결합부분의 일정 깊이에서는 다소 균등한 선량분포를 기대할 수 있지만 전자선의 측방산란 증가에 의한 확산현상과 전자선 발생 장치의 특성에 기인하는 전자선 반응영 때문에 표면에서는 심각한 선량 부족 현상이 발생한다. 또 다른 방법은 두 전자선 조사야를 간격 없이 결합하여 치료하면서 조사야의 결합부분에 적절한 두께(경험을 통해서 얻은)의 조직등가물질 혹은 전자선 감약물질을 추가하여 치료하는 방법^{4,6,7)}이 있으나 이 방법 역시 조직등가물질이나 전자선 감약물질의 두께가 적절치 못할 경우 조사야 결합부분에 선량 부족현상이나 선량 과다현상이 발생할 가능성이 있다.

본 연구에서는 전자선 결합부분의 선량 불균등 현상이 전자선의 특이한 확산과 산란 특성인 등선량 곡선상의 고선량 부분(100%~80%)에서의 수축현상과 저선량 부분(70% 이하)에서의 팽창현상 때문에 발생한다는 점에서 착안을 하여 전자선 조사야 전체를 덮을 수 있는 아크릴로 electron wedge를 제작하여 전자선의 저선량 부분, 즉 전자선의 반응영 영역 부분의 폭(90%~10%)을 넓힘과 동시에 저선량 부분의 등선량 곡선의 팽창 현상을 완화시켜 전자선의 입사 방향과 평행하게 하여 전자선 결합 부분에서의 선량 불균등 현상을 개선시켜 보려고 하였다.

II. 실험방법 및 재료

고려대학교 의료원 안암병원에서 현재 사용하고 있는 Clinac-1800(Varian, USA) 선형가속기에서 발생하는 6, 9, 12, 16, 20 MeV의 전자선 에너지에 필요한 electron wedge를 제작하기 위하여 다음과 같은 측정을 시행하였다.

Electron wedge의 재질은 전자선 조사야 결합부분의 경계를 분명히 확인할 수 있는 장점을 이용하기 위하여 투명한 아크릴(밀도 : 1.18 g/cm³)로 하였다. 측정을 위한 아크릴판의 크기는 표준 전자선 10 cm cone의 개구부를 완전히 덮을 수 있는 크기로 각각 10 × 10 cm²하고, 아크릴판의 두께는 1mm로 하여 15장을 준비하여 각 전자선 에너지에서 아크릴 두께를 1mm에서 15mm까지 점차적으로 증가시키면서 아크릴 각 두께에서의 beam profile과 심부선량곡선, 등선량곡선을 측정하여 아크릴판의 증가에 따른 전자선 에너지와 전자선의 비정 및 반응영 폭(90%~10%)의 변화를 비교하여 보았다. 이때 아크릴판은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 표준전자선 cone의 차폐 block을 장착하는 곳에 위치시켰다. 모든 측정의 SSD는 100 cm로 하였고 아크릴판에서 표면까지의 거리는 6 cm였다. 이에 사용된 선량측정장비 및 분석장치는 multidata dosimetry system과 water phantom(Multidata Systems International Corp, USA)이었다.

위의 측정으로 얻은 결과를 토대로 계단형 acrylic electron wedge를 제작하여 각 acrylic electron wedge의

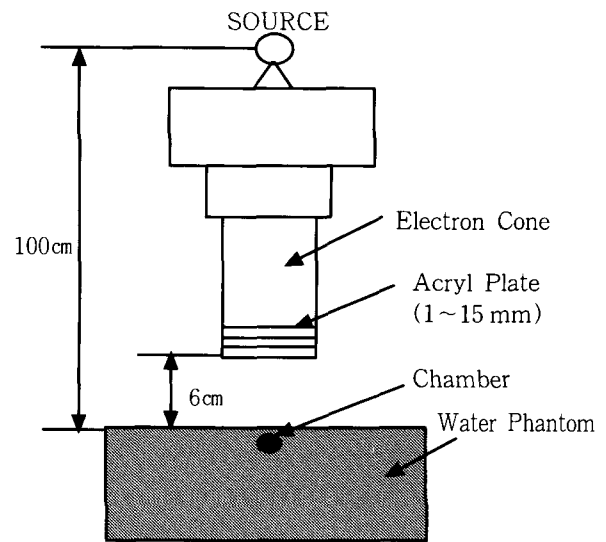


Fig. 1. Experimental setup for measurement

beam profile과 등선량곡선을 구하여 그 자료를 치료계획 장치인 MarxPlan System(Bay Area Medical Physics, Inc, USA)에 입력시키고 실제 전자선 조사야 결합부분의 선량 분포를 평가해 보았다. 또한 Kodak X-Omat V-film과 Multidata Film Dosimetry System을 이용한 평가와 인체모형(Alderson Rando Phantom)을 통한 굴곡부위에서의 전자선 결합부분의 선량분포도 평가해 보았다.

III. 결 과

아크릴판이 증가됨에 따라 모든 전자선 에너지에서 조사야 경계부분의 반응영 영역(90%~10%)이 확대되는 현상을 볼 수 있었고 심부선량백분율이 감소되었으며 최대선량점은 표면쪽으로 이동되는 것을 볼 수 있었다.

Fig. 2-1은 9MeV 전자선의 조사야 10 × 10 cm², SSD 100 cm에서 최대선량점(d_{max})에서의 beam profile을 보여주는 그림인데 아크릴판을 첨가하지 않은 표준전자선에 비해 아크릴판이 증가됨에 따라 조사야 경계의 안쪽에서는 점차 선량감소 현상이 일어나고 있으며 경계의 밖에서는 선량증가 현상이 일어나고 있는 것을 볼 수 있다. 따라서 조사야 경계부분에서의 선량변화의 경사도가 완만해 짐으로써 반응영의 폭(90%~10%)이 증가하는 것을 볼 수 있다. Fig. 2-2는 9 MeV 전자선의 조사야 10 × 10 cm², SSD 100 cm에서의 아크릴판 증가에 따른 심부선량곡선을 보여주는 그림이다. 아크릴판의 두께가 증가함에 따라 심부선량백분율이 감소하는 것을 볼 수 있으며 최대선량점은 표면 쪽으로 이동하는 것을 볼 수 있다. 또한 아크릴판의 두께가 증가함에 따라 표면선량도 함께 약간 증가하는 것을 볼 수 있다.

Fig. 3은 9 MeV 전자선의 조사야 10 × 10 cm², SSD 100 cm에서 아크릴판을 첨가 하지 않고 얻은 등선량곡선과 아크릴판 5 mm를 첨가해서 얻은 등선량곡선을 비교

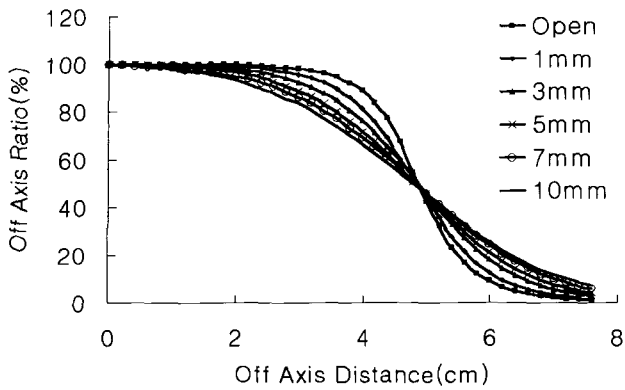


Fig. 2-1. Beam profile of 9 MeV electron beam at Dmax(10 cm cone, SSD 100 cm)

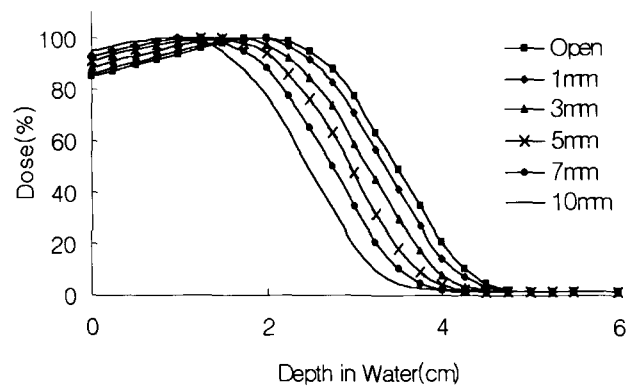


Fig. 2-2. Depth dose curve of 9 MeV electron beam by increasing acryl thickness(10 cm cone, SSD 100 cm)

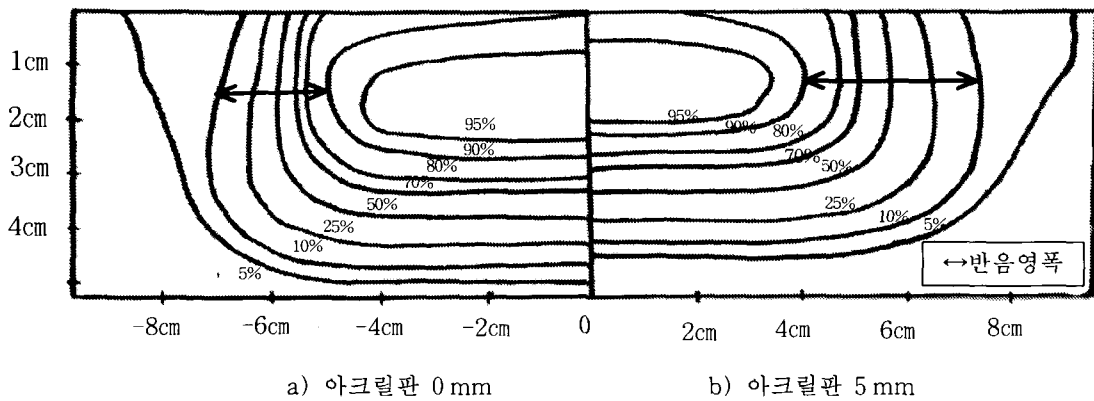


Fig. 3. Comparison of isodose curve with and without acryl plate for 9MeV electron beam

한 그림이다. 아크릴판을 사용하지 않은 표준전자선 등선량곡선에서는 전자선의 전형적인 특징인 고선량 부분에서의 수축현상과 저선량 부분에서의 팽창현상을 잘 보여주고 있으며 아크릴판 5mm를 첨가하여 얻은 등선량곡선에서는 반응영의 폭이 확장된 모습을 보여주고 있으며 조사야 경계부분의 등선량곡선이 전자선의 입사방향과 거의 평행을 이루고 있음을 볼 수 있다.

Fig. 4-1은 조사야 $10 \times 10 \text{ cm}^2$, 각 전자선 에너지에서 아크릴판의 두께의 증가에 따른 에너지의 변화를 나타내는 그림이다. 각 에너지에서 아크릴판의 두께가 증가함에 따라 전자선의 에너지가 감소하는 것을 볼 수 있다. 감소의 크기는 아크릴 1mm당 약 0.2 MeV정도 감소하는 것을 알 수 있다.

Fig. 4-2는 조사야 $10 \times 10 \text{ cm}^2$, 각 전자선 에너지에서 아크릴판의 두께의 증가에 따른 최대 비정의 변화를 나타내는 그림이다. 각 에너지에서 아크릴판의 두께가 증가함에 따라 최대 비정이 감소하는 것을 볼 수 있다. 감소의 크기는 아크릴 1mm당 약 1mm 감소한다는 것을 알 수 있다.

Fig. 4-3은 각 전자선 에너지에서 아크릴판의 두께의 증가에 따른 반응영 폭(90%~10%)의 변화를 나타내는

그림이다. 에너지가 높을수록 전자선의 수축되는 힘이 강하기 때문에 반응영의 폭이 좁은 양상을 보이고 있으며 아크릴판이 3mm 이상이 첨가되면서부터는 반응영의 폭이 일정하게 증가하는 것을 볼 수 있다. 각 에너지에서의 등선량곡선을 분석한 결과 반응영의 폭이 35~40mm정도 되었을 때 모든 에너지의 전자선에서 조사야 경계부분의 등선량곡선이 전자선의 입사 방향과 거의 평행을 이루게 되는 것을 알 수 있었다. 저자들은 반응영의 폭이 35~37mm되는 곳의 두께를 acrylic electron wedge의 끝부분의 두께로 결정하였다.

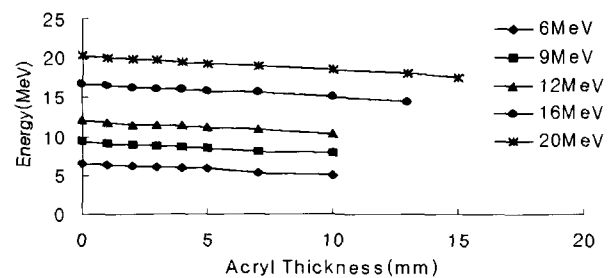


Fig. 4-1. Variation of the thickness of acryl plate by increasing electron beam energy.

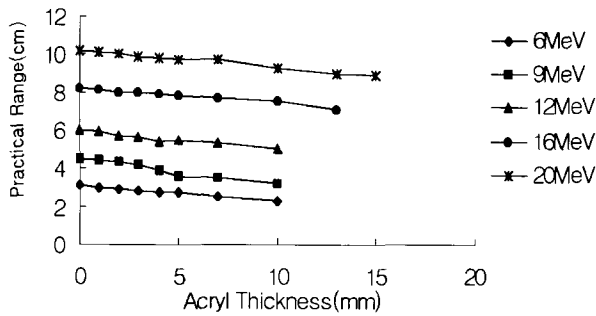


Fig. 4-2. Variation of the maximum rang of electron beam by increasing acryl thickness

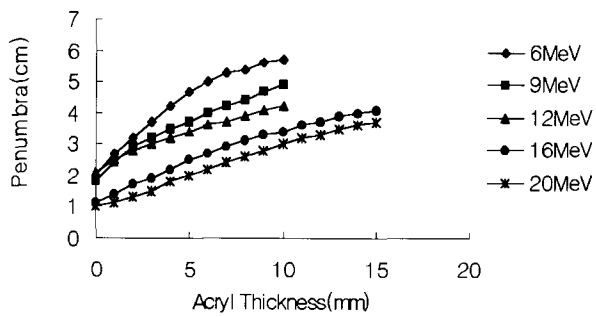
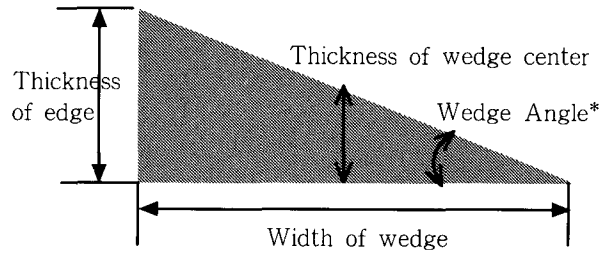


Fig. 4-3. Variation of the width of penumbra(90%-10%) by increasing acryl plate thickness.

Table 1. Dimension for fabrication of Acrylic Electron Wedge(field size $10 \times 10 \text{ cm}^2$)

Nominal energy of the beam (MeV)	6	9	12	16	20
Wedge말단부의 두께(mm)	3	5	7	12	15
Wedge Angle(deg)	1.7	2.8	4	6.8	8.5
전자선평균에너지(MeV) without wedge	6.5	9.3	12	16.7	20.4
전자선평균에너지(MeV) with wedge	6.2	8.7	11.2	10.8	19.2
Wedge중심축에서의 에너지결손(MeV)	0.3	0.6	0.8	0.9	1.3
표준전자선반응영폭(mm)	20	18	21	11	10
Wedge사용시 반응영폭(mm)	37	37	37	37	37
반응영폭의 증가(mm)	17	19	16	26	27

Table 1은 위의 모든 측정의 결과 얻은 자료를 토대로 결정한 acrylic electron wedge를 제작하기 위한 제원을 보여주는 것이며, Fig. 5-1은 acrylic electron wedge제작을 위한 디자인을 보여주는 그림이고 이를 바탕으로 제



* Wedge Angle = $\tan^{-1}(\text{Thickness of edge}/\text{width of wedge})$

Fig. 5-1. Design of acrylic electron wedge

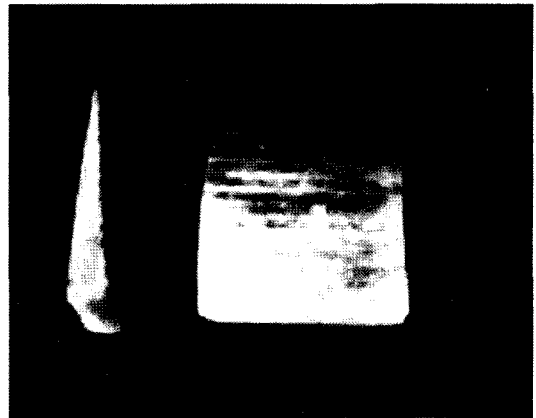


Fig. 5-2. Picture of acrylic electron wedge

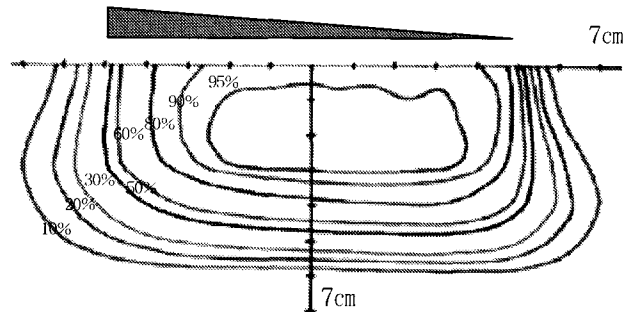


Fig. 6. Isodose curve for 12 MeV electron beam by acrylic electron wedge(10cm cone)

작된 acrylic electron wedge는 Fig. 5-2와 같다.

Fig. 6은 제원에 따라 제작된 acrylic electron wedge를 장착한 후 얻은 12 MeV 전자선의 등선량곡선을 보여주는 그림이다. Wedge의 두꺼운 부분에서 전자선 에너지 감소에 따른 약간의 선량감소 현상이 나타나는 것을 볼 수 있으며 등선량곡선의 간격이 넓어지면서 전자선의 입사 방향과 거의 평행을 이루게 되는 것을 볼 수 있다.

Fig. 7-1은 9 MeV 전자선에서 조사야를 $10 \times 10 \text{ cm}^2$ 로 하여 두 개의 조사야를 간격이 없이 결합하여 전자선을 조사했을 때의 등선량곡선을 보여주는 그림이다. 두 조사야의 결합부분의 선량이 증가(+20% 정도)되는 것을 볼 수 있다. Fig. 7-2는 9 MeV 전자선에서 조사야를 10×10

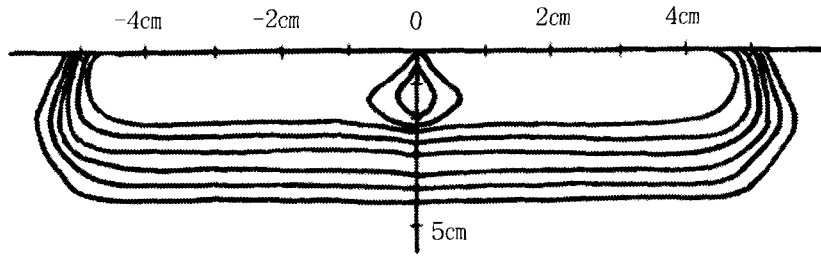


Fig. 7-1. Isodose curve for adjacent fields matched without wedge(9 MeV, gap 0 mm)

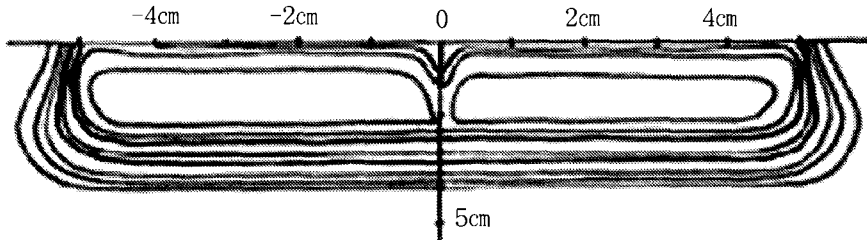


Fig. 7-2. Isodose curve for adjacent fields matched with 3 mm gap(9 MeV)

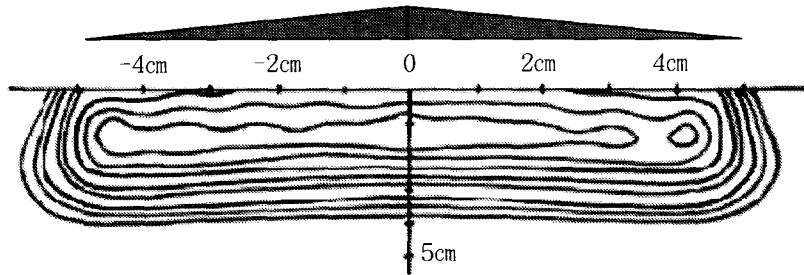


Fig. 7-3. Isodose curve for adjacent fields matched using two acrylic electron wedges

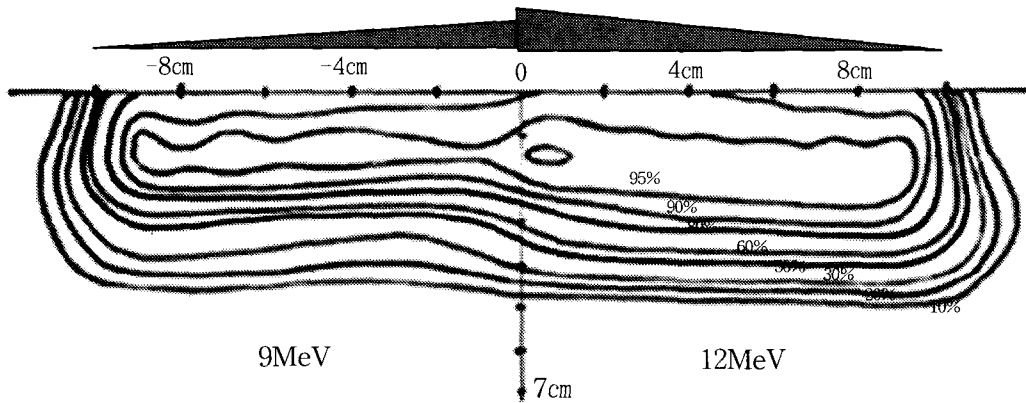


Fig. 8. Isodose curve for adjacent fields matched using acrylic electron wedge

cm²로 하고 두 조사야의 간격을 3 mm로 하여 전자선을 조사했을 때의 등선량곡선을 보여주는 그림이다. 두 조사야의 결합부분의 선량이 결핍(-20% 정도)되는 것을 볼 수 있으며 특히 표면에서는 더욱 심해짐을 알 수 있다. Fig. 7-3은 9 MeV 전자선에서 조사야를 10×10 cm²로 하고 두 조사야를 간격 없이 조사하면서 acrylic electron wedge를 사용했을 때의 등선량곡선을 보여주는 그림이다. 두 조사야의 결합부분의 선량분포가 증가되거나 결핍 없이 고르게 나타나는 것을 볼 수 있다. 반복적으로

시행 해본 결과 조사야를 결합시키는 과정에서 슬자의 오류에 의한 1~2 mm의 조사야의 겹침과 이격이 발생하는데 이에 의한 선량 불균등 현상이 ±5%정도 발생함을 알 수 있었다. Fig. 8은 12 MeV 전자선과 6 MeV 전자선에서 조사야를 10×10 cm²로 하여 두 조사야에 acrylic electron wedge를 사용하여 결합시켜 얻은 등선량곡선이다. 두 조사야의 결합부분에서도 선량분포가 부드럽게 연결되는 것을 볼 수 있으며 결합부분에서의 선량 불균등 부분이 없어진 것을 볼 수 있다.

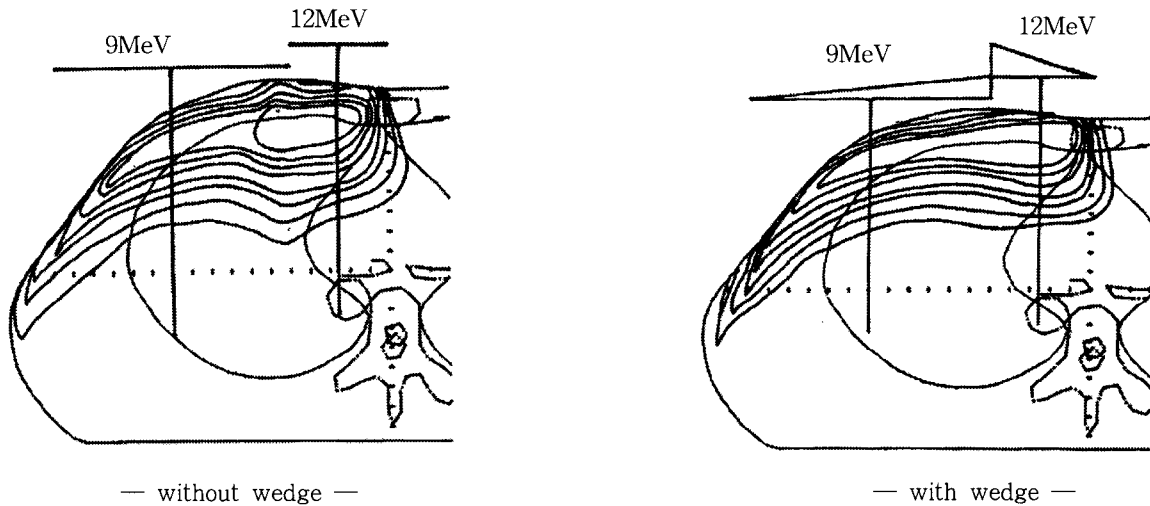


Fig. 9. Comparison of isodose distribution for chest wall irradiation(Alderson Rando phantom) with and without acrylic wedges.

Fig. 9는 인체모형(Alderson Rando phantom)을 이용하여 굴곡면에서의 조사야 결합부분의 선량분포를 평가해본 그림이다. 유방암 환자 치료시 내유림프절 부분을 $5 \times 15 \text{ cm}^2$ 조사야로 12 MeV 전자선을 이용하여 치료하고, 흉벽부분을 $10 \times 15 \text{ cm}^2$ 조사야로 9MeV 전자선을 이용하여 치료할 때, acrylic electron wedge의 사용없이 결합하여 치료하는 경우, 조사야의 결합부분에서 선량증가 현상이 발생하는 것을 볼 수 있으며, acrylic electron wedge를 사용하여 결합하는 경우에는 조사야의 결합부분에서의 선량증가나 감소현상은 일어나지 않았으며 정상폐야 부분에서도 과도한 선량이 조사되지 않는 것을 볼 수 있다.

IV. 고 찰

Acrylic electron wedge 제작의 물리학적 기본 원리는 조사야의 경계부분(반음영 영역)의 선량을 감소시켜 두 개의 조사야가 결합될 때 감소된 선량의 합이 중심선량과 같게 되도록 하여 조사야 결합 부분에서도 균등한 선량분포가 되도록 하는 것에 두었다.^{1,2)} 본 연구에서 시행된 측정 방법과 결과에 의해 제작된 acrylic electron wedge는 치료목적에 적합하게 선택된 표준 전자선의 에너지 및 유효비정을 크게 변화시키지 않는 범위 내에서 효과적으로 조사야 결합 부분에서의 선량불균등 현상을 개선시킬 수 있었다. Acrylic electron wedge를 사용함으로써 모든 전자선에서 X-선 오염의 정도는 1%정도 증가하고 표면선량도 약간 증가(1%~3%)하는 것으로 나타났으나 임상적용에 있어서 크게 문제가 되는 정도는 아닌 것으로 사료된다.

조사야 경계 끝부분에 선량 감약물질을 부착하여 사용하는 방법^{4,6)}에서는 선량 감약물질과의 경계면에서 급격한 선량 감소 현상이 일어나는 것에 비해 acrylic electron wedge는 선량 감소가 서서히 일어나는 것을 볼 수 있었다. 또한 고밀도의 금속 빗살을 조사야 경계부분에 부가

하여 사용하는 방법⁷⁾은 표면 근처의 얇은 곳에서 선량곡선에 물결현상이 일어나는 것을 볼 수 있었는데 acrylic electron wedge에서는 이같은 현상도 나타나지 않았다.

측정에 사용된 전자선의 조사야를 $10 \times 10 \text{ cm}^2$ 으로 한정 한 이유는 본 실험에 앞서 예비 실험을 통한 결과, 측정치의 결과가 조사야의 변화에는 특별히 크게 영향을 받지 않음을 보여 주었으며 R G Kurup 등의 연구결과^{3,4,6,7)}와 일치함을 알았기 때문이다. 또한 지면을 통해 보여주는 전자선의 에너지도 9MeV와 12MeV로 한정 한 이유도 전체의 전자선 에너지에서 비슷한 결과를 보여 주었기 때문에 지루한 나열을 피하기 위해서 임상에서 주로 많이 이용하는 전자선의 에너지를 선택하였기 때문이다.

본 연구에 제작되어 사용된 acrylic electron wedge는 시간과 비용을 고려하여 1 mm acrylic판을 계단식으로 덧 붙여서 제작된 것이었기 때문에 완전한 형태의 acrylic electron wedge를 사용한다면 보다 나은 결과를 기대할 수 있을 것으로 사료된다.

V. 결 론

본 연구의 결과, 제작된 acrylic electron wedge들은 두 개의 전자선 조사야 결합부분의 선량불균등 현상을 현저한 수준으로 감소시켜 임상적용에 탁월한 효과를 나타냈으며, acrylic electron wedge제작을 위한 제원에 관한 정보를 얻는데 필요한 측정 방법을 제시해 주었다. 또한, acrylic electron wedge의 사용으로 전자선 조사야의 결합부분의 선량분포 개선뿐만 아니라 전자선 조사야와 광자선 조사야의 결합부분의 선량 불균등 현상도 개선시킬 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1. FM Khan : The Physics of Radiation Therapy, 2nd edition, 346-417, 1994.

2. GC Bentel : Radiation Therapy Planning, 2nd edition, 153-155, 1996.
3. JM Johnson, FM Khan : Dosimetric effects of abutting extended SSD electron fields with photons in the treatment of head and neck cancers. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 24(suppl 1):202, 1992.
4. RG Kurup, S Wang, GP Glasgow : Field matching of electron beams using plastic wedge penumbra generator. *Phys Med Biol*, 37:1, 145-153, 1992.
5. RG Kurup, GP Glasgow, LB Leybovich : Design of electron wedges for increasing the penumbra of abutting fields. *Phys Med Biol*, 38, 667-673, 1993.
6. AM Kalend, RD Zwicker, Andrew Wu, ES Sternick : A beam-edge modifier for abutting electron fields. *Med Phys*, 12:6, 793-798, 1985.
7. B Lachance, D Tremblay, J Poulit : A new penumbra generator for electron fields matching. *Med Phys*, 24:4, 485-495, 1997.
8. R Keys, PW Grigsby : Gapping fields on sloping surfaces. *Int J Radiat Oncol Phys*, 18, 1183-1190, 1986.
9. M Karlsson, B Zackrisson : Matching of electron and photon beams with a multileaf collimator. *Radiother. Oncol*, 29, 317-326, 1993.