

碩士學位論文

의료용 선형가속기의 선속평탄도와
대칭성 측정에 있어서 전리함과
다이오드 검출기의 비교



濟州大學校 産業大學院

에너지工學科

金 永 煥

2005年 6月

碩士學位論文

의료용 선형가속기의 선속평탄도와
대칭성 측정에 있어서 전리함과
다이오드 검출기의 비교



濟州大學校 産業大學院

에너지工學科

金 永 煥

2005年 6月

의료용 선형가속기의 선속평탄도와 대칭성 측정에 있어서 전리함과 다이오드 검출기의 비교

指導教授 朴 在 雨

金 永 煥

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함.



金永煥의 에너지工學 碩士學位 論文을 認准함

審査 委員長 李 憲 周 印

審 員 朴 在 雨 印

審 員 鄭 鈺 津 印

濟州大學校 産業大學院

2005年 6月

A comparison of ion chamber and diode detector
for measuring beam flatness and symmetry of
the medical linear accelerator

Yeong-Hwan Kim

(Supervised by professor Jae-Woo Park)



A THESIS SUMMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE
REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF MASTER OF
ENGINEERING

DEPARTMENT OF NUCLEAR AND ENERGY ENGINEERING
GRADUATE SCHOOL OF INDUSTRY
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

2005. 6

목 차

LIST OF FIGURES	ii
LIST OF TABLES	iii
SUMMARY	iv
I. 서 론	1
II. 이 론	3
1. X선에서의 선속평탄도와 대칭성	3
1) 선속평탄도	3
2) 대칭성	7
2. 전자선에서의 선속평탄도와 대칭성	8
3. 다이오드 검출기	9
III. 실험장치 및 실험방법	13
1. 실험장치	13
2. 실험방법	16
1) 이온전리함을 이용한 X선 선량단면도	17
2) 이온전리함을 이용한 전자선 선량단면도	18
3) 다이오드 검출기를 사용한 선량단면도	18
IV. 실험결과 및 고찰	21
1. X선의 선량단면도 분석	21
2. 전자선의 선량단면도 분석	26
3. 다이오드 검출기의 선량단면도 분석	28
4. 이온전리함과 다이오드 검출기의 비교	32
V. 결론	39
참고문헌	41

LIST OF FIGURES

Fig. 1 Flattening filter	4
Fig. 2 Isodose distribution with flattening filter and without	4
Fig. 3 Definition of flatness	5
Fig. 4 Dose profiles plotted across a field at d_{\max} , $d_{10\text{cm}}$, $d_{20\text{cm}}$	7
Fig. 5 Definition of symmetry	8
Fig. 6 Water phantom setup for photon	14
Fig. 7 Water phantom setup for electron	14
Fig. 8 Ionization chamber setup	14
Fig. 9 Control computer	14
Fig. 10 Basic configuration of diode detector	16
Fig. 11 Experimental setup with ion chamber for photon	17
Fig. 12 Experimental setup with ion chamber for electron	18
Fig. 13 Diode calibration setup and factor	19
Fig. 14 Experiment setup with diode detector for photon	19
Fig. 15 Experiment setup with diode detector for electron	20
Fig. 16 6MV, F.S. 40×40cm, 10×10cm Beam profile at d_{\max} , d_{10}	24
Fig. 17 10MV, F.S. 40×40cm, 10×10cm Beam profile at d_{\max} , d_{10}	26
Fig. 18 6MeV, F.S. 20×20cm, Beam profile at d_{\max}	27
Fig. 19 9MeV, F.S. 20×20cm, Beam profile at d_{\max}	28
Fig. 20 Beam profile with 6MV, F.S. 40×40cm, SSD=101.6cm, 110cm	30
Fig. 21 Beam profile with 10MV, F.S. 40×40cm, SSD=102.5cm, 110cm	31
Fig. 22 Beam profile with 6MeV, 9MeV, F.S. 20×20cm, at d_{\max}	32
Fig. 23 6MV x-ray profiles at d_{\max} and d_{10} , 40×40cm, SSD=100cm : water scanner system vs. diode detector	35
Fig. 24 10MV x-ray profiles at d_{\max} and d_{10} , 40×40cm, SSD=100cm : water scanner system vs. diode detector	36
Fig. 25 6MeV, 9MeV electron profiles at d_{\max} , 20×20cm, SSD=100cm : water scanner system vs. diode detector	37

LIST OF TABLES

<Table-1> General specification of the detector	15
<Table-2> Comparison of flatness and symmetry values measured with ionization chamber(for different photon energies, penetration depths, field size 10×10, 40×40cm)	22
<Table-3> Comparison of flatness and symmetry values measured with ionization chamber(for different electron energies, maximum depths, field size 20×20cm)	26
<Table-4> Comparison of flatness and symmetry values measured with diode detector(for different photon energies, penet- -ration depths, field size 40×40cm)	28
<Table-5> Comparison of flatness and symmetry values measured with diode detector(for different electron energies, maxi- -mum depths, field size 20×20cm)	31
<Table-6> Comparison of flatness and symmetry values measured with ionization chamber and diode detector	33

Summary

The linear accelerator frequently used in radiation therapy is a very complicated and sophisticated machine. X-rays and electron beams generally used in tumor treatment have different characteristics of the beam energy and intensity distribution depending upon machine vendors. Such accelerators have the potential for massive overdose to the patient. Therefore, periodic maintenance(QA) of a radiotherapeutic accelerator is required to confirm an accurate delivery of radiation dose to the patient.

Output check, verification of the beam energy, gantry and collimator rotation, congruence between light field and x-ray, and verification of flatness and symmetry of the field are among the most commonly performed tests for daily and monthly QA recommended.

In this work, we have investigated how much measured data of beam flatness and symmetry are different between using an ionization chamber and using a diode detector. All measurements were performed using a Clinac 2100C/D linear accelerator that could produce photons of 6MV(MV is used for photons indicating MeV) and 10MV and electron beams of 5 energies of which only the 6MeV and 9MeV were considered for this study.

The beam profile was measured with an ionization chamber submerged in the water phantom (ACCUSCAN II) which was regarded as the tissue equivalent material. The distance between the source and surface of the phantom was 100cm for all cases of the beam energy. The dose rate was measured at the maximum dose point(d_{max}) for each beam energy and 10cm from the surface in a field size of 40cm×40cm. The ionization chamber was moved with a velocity of 20mm/sec from the water surface to the measuring point. For the calibration of the diode detector, each individual diode was placed along the central axis of the beam at the source-to-surface distance(SSD) of 100cm, in a

field size of 40×40cm for photons and 20×20cm(conic form) for electrons, and then exposed to 100cGy. The measured dose was input into the DB of the control computer. A correction factor was calculated for the diode detector and applied to the measured data corresponding to the 100 cGy exposure. The flatness and symmetry of photon beams (6MV, 10MV) and electron beams(6MeV, 9MeV) produced by the linear accelerator were measured at depth of the maximum dose point(d_{max}) and depth of 10cm(d_{10}) in case of the photon beam in a maximum field size of 40cm×40cm using the diode detector. The measured data were compared with those measured with the ionization chamber which was usually considered as a most accurate reference dosimeter.

It has been found that though the diode detector shows a slightly larger perturbation than the ionization chamber, the diode detector accurately measures the beam flatness and symmetry within the recommended value of AAPM($\pm 3\%$). From this result, we see that using the diode detector system will not cause any significant errors in the measurement of the beam flatness and symmetry. Considering the convenience and fastness of using the diode detector system, the QA work including verification of beam flatness and symmetry of the linear accelerator required for the cancer therapy can be more easily carried out with the diode detector system.

In a busy radiation therapy facility, multiple measurements for QA of the beam flatness and symmetry with water phantom would necessitate a lot of tedious work, and be too much time consuming. Therefore, it is recommended that the beam flatness and symmetry checks in every month be carried out with the diode detector, and in every six month with the ionization chamber.

I. 서론

방사선치료는 암을 치료하는데 있어서 중추적인 역할을 하고 있으며, 방사선 치료를 실시하는데 있어서 중요한 것은 주변 정상조직의 장해를 최소화하고, 종양의 국소제어를 극대화 하는데 있다. 그러나 방사선치료에는 언제나 오류의 가능성이 있고 그러한 불확실성의 원인은 환자의 해부학적 구조 결정(예, 체표윤곽, 자세, 임계장기 조직의 불균질성), 표적용적 결정(예, 모양, 위치, 운동성), 치료계획, 실제 치료과정(예, 장비교정, set-up, 기계 상태) 등 다양하게 존재한다. 따라서 방사선치료성적을 높이기 위해서는 방사선치료과정의 정확성 및 정밀도를 유지시켜야 하며, 이러한 이유로 전반적인 품질관리가 필요하다.

방사선치료장비가 현대에 있어서 더욱더 정교하게 발달하여 품질관리를 통하여 최고의 정확성과 정밀도를 유지하지 않고서는 사용하지 못하도록 하고 있지만 전기적인 오작동, 부품고장 및 기계적 고장등으로 인하여 사용중에도 장비의 성능은 언제든지 변할 가능성이 있다. 이러한 이유로 방사선치료장비는 환자치료에 이용하기 전에 절대적인 교정절차를 거쳐야 하며, 모든 의료기관에서는 방사선치료장비에 대한 충분한 주기적인 교정을 제공하도록 해야 한다. 방사선속의 평탄도와 대칭성은 빔 조사시 매우 중요하며, 정확하게 교정되지 않으면 의사의 처방선량을 올바르게 조사하여도 종양의 국소제어율은 높지 않다. 그리하여 국내외 여러 기관에서 방사선치료장비에 대한 품질관리(QA)를 권고하고 있는 실정이다.

치료용 방사선 조사장비의 교정주기는 장비를 설치하고 처음으로 사용할 때, 처음으로 사용한 이후 매 1년, 예상출력치와 실제출력치의 차이가 $\pm 5\%$ 이상인 경우, 방사선원을 교체하거나 또는 새로운 시설로 이전한 경우, 선량평가에 영향을 미칠 수 있는 보수를 한 경우 등으로 하고 있으며 품질관리 절차는 기

계적인 정확성, 선량의 정확성, 그리고 안전 관리 체계의 기능성에 관한 항목으로 구분하여 이에 대한 검사 절차와 방법 그리고 평가 수준으로 구분하여 기술하도록 요구하고 있다.

품질관리절차서의 내용 중 조사되는 선량의 정확성과 아울러 조사야내의 선량의 안정된 분포는 방사선 치료의 기본이 되는 매우 중요한 요소이며 방사선의 종류, 에너지, 조사범위에 따른 정확한 선량측정이 요구되고 있다. 현재 국내에 있는 많은 의료기관에서는 품질관리 절차서에 따라서 월 1회정도 이온전리함을 이용하여 선속평탄도와 대칭성을 측정하고 있는데 측정과정에서 물팬텀을 이용하게 되므로 상당히 복잡하고 시간이 많이 소요되어 불편함을 느끼고 있다.

이러한 이유로 본 논문은 짧은 시간에 간편하게 선속평탄도와 대칭성을 측정할 수 있는 다른 방법을 생각해 본 결과 병원에서 사용 중인 다른 종류의 측정기인 다이오드 검출기를 이용하여 측정하고 품질관리 권고기관의 허용조건을 만족하는지와 그 결과를 이온전리함을 이용한 측정값과 비교함으로써 선속평탄도와 대칭성 측정에 이온전리함을 대신하여 다이오드 검출기를 이용할 수 있는지의 그 유용성을 알고자 하였다.

II. 이론

선속평탄도나 대칭성은 방사선치료장비(선형가속기) 설치시에 평가되어야 하며 최소한 매월 그리고 도파관, 전자총, 가속기유도관, 편향전자석(Bending magnet), 산란막(Scattering foils)등 선형가속기의 중요 부품을 점검한 후에는 반드시 검사하여야 한다. 주기적인 선속평탄도와 대칭성 점검은 양질의 선량보증 프로그램의 일부분인 것이다.

1. X선에서의 선속평탄도와 대칭성

1) 선속평탄도

표적용적을 포함하는 조사야 전체 영역에 걸쳐서 균일한 선량분포를 얻기 위해서는 선속평탄도와 대칭성은 합리적인 허용치 내에 있어야만 한다. 실제 사용하는 선속에서 평탄도는 깊이에 따라 다양하며, 그것은 광자선에서는 선속에 걸친 선질의 편차에 기인하며, 전자선에서는 상당한 산란선의 영향으로 인하여 발생한다.

Megavoltage X-선 치료장비에 사용되는 평탄필터는 등선량곡선을 결정하는데 가장 큰 역할을 한다. Fig. 1에서 보는 바와 같이 평탄필터는 여러 가지의 형태를 갖고 있으며, 가속관에서 발생한 전자선속이 구멍이 막힌 Target을 통과하게 되면 고에너지의 X선이 발생하게 되는데, 이때 선속의 중심부는 매우 강하고 주변부로 갈수록 강도가 약해져 이를 직접 치료에 이용하게 되면 균등한 선량을 조사할 수 없게 된다. 평탄필터의 기능은 조사야에 걸쳐 상대적으로 균일한 강도분포를 만드는 것이므로 평탄필터는 중앙부분에서는 가장 두껍고 가장자리(edge)로 갈수록 점점 얇아진다.



Fig. 1. Flattening filter.

이러한 평탄필터가 없다면 Fig. 2에서 보는바와 같이 등선량곡선은 원뿔형으로 중심축에는 X선 강도가 상당히 증가하고 횡단면으로 갈수록 급속히 떨어진다. 즉 빔의 평균에너지는 중심부보다 가장자리로 갈수록 더 낮아진다. 이러한 선질변화는 깊이에 따라 선속평탄도가 달라지게 되는 원인이 된다.

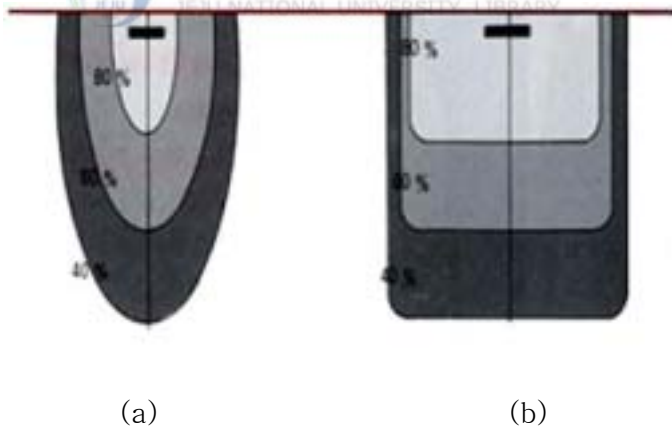


Fig. 2. Isodose distribution without(a) and with flattening filter(b).

그러나 깊이에 따른 평탄도의 변화는 조사야에 걸친 선택적인 빔의 경화(Beam hardening)뿐만 아니라 깊이가 증가할수록 방사선 산란분포에서의 변화에 의해서도 일어난다.

광자선에 대한 조사면 평탄도는 전통적으로 10cm 깊이에서 중심축에 대해

수직인 평면에서 중심축에 대해 상대적 조사면 크기(FWHM)의 중심 80% 조사면내에서의 선량의 변동으로 정의된다. 일반적으로 사용가능한 최대의 조사야(보통 40×40cm)에 대해서 선원-표면간 거리(SSD) 100cm, 깊이 10cm인 조건을 갖추고 인체연부조직과 유사한 물팬텀에서 측정하며 선량변동은 3%이하가 될 것을 요구한다. (Fig. 3 a)

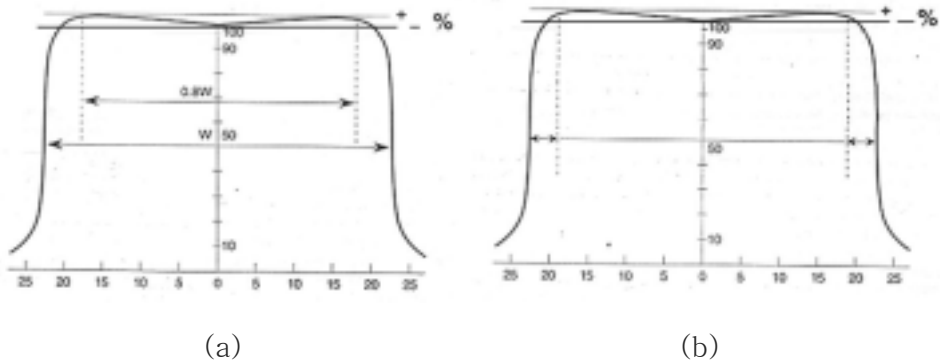


Fig. 3. Definition of flatness.

선량평탄도는 다음과 같이 정의된다.

$$F = 100 \times \frac{D_{max} - D_{min}}{D_{max} + D_{min}} \quad \text{----- (1)}$$

F=선속평탄도(flatness)

D_{max} : 선량 최대값

D_{min} : 선량 최소값

위의 조사면 평탄도 정의에서는 평탄필터에 의해 발생하는 선량변동과 반응영에 의한 것 간에 분별할 수 없다. 평탄필터에 의해 평탄이 바뀔 수 있는 곳에서 반응영 영역에서의 선량변동은 기하학적 음영과 투과적 음영, 광자산란, 전자산란에 의해 주요하게 결정된다. 따라서 평탄도 기준은 기본적으로 변하지 않는 평탄필터에 의한 효과로 반응영이 아닌 것을 반영하여야 한다. 그래서 X-선 빔조사면 평탄도에서는 음영효과를 배제하도록 지정하여야 한다고

주장하는 경우도 있으며(Fig. 3 b), 이런 경우는 평탄도의 기준 영역은 조사면 크기의 어떤 백분을 대신에 조사면의 경계면으로부터 2cm까지 뺀 부분까지이며, 일반적인 평탄도는 +3%에서 -5%까지 허용한다.(F.M. Kahn. 1994)

평균 선량단면도 값에 대한 조사면 평탄도와 대칭성에 대한 다른 정의들은 애매모호함이 있으며 임상과 불일치한 점이 있다. 빔을 중심축에서 교정하므로 중심축에 상대적인 선량변동을 특성화하는 것이 더 이론적이다.

위 언급의 견해에서 국가적 또는 국제적 관련기관이 우세한 조사면 평탄도의 결정을 검사하고 음영을 제외한 평탄필터의 효과를 점검하는 표준을 권장해주는 것이 필요하다. 허용시험의 경우 평탄도는 최소한 두 개의 깊이 즉, 10cm와 최대선량깊이(d_{max})에서 최대조사면 크기(40×40cm)에 대하여 점검하여야 한다. 10cm 깊이에서 평탄도기준이 선량단면도에 적용하였다면 최대선량깊이에서 선량단면도는 Hot spot 또는 "Horn"의 확장을 검사하여야 한다. 이런 Horn은 선형가속기 구성특성상 발생하는 것으로서 105% 즉 편차가 5%를 초과하지 않아야 한다. Fig. 4는 특정 에너지에서 측정 깊이에 따른 선량단면도를 나타내고 있는데 10cm 깊이에서는 평탄한 모양을 보이는 반면 최대선량깊이에서는 조사야의 가장자리로 갈수록 선량이 높게 되는 Horn을 보이고 있다. 큰 Horn의 경우 Accessory filter는 큰 조사면을 사용할 때 이런 것을 감소시키도록 설계되어야 한다.

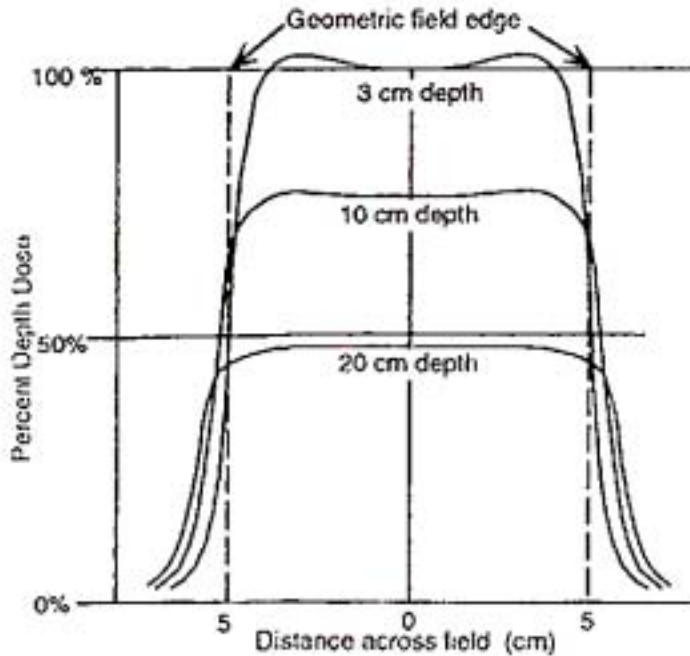


Fig. 4. Dose profiles plotted across a field at d_{max} , 10cm depth, 20cm depth. The dose is normalized to 100% on the central axis at d_{max} . The beam is flatter at a greater depth than at d_{max} .

2) 대칭성

평탄도에 대해 얻은 선량단면도는 대칭성에서도 사용할 수 있다. 대칭성은 선량단면도 도면을 조사면 중심에서 접어 두 개의 반쪽 선량단면도를 비교하며, 빔 균일성인자들을 평가하는데 가장 민감한 위치인 최대선량깊이에서 결정한다. 기준영역에서 중심선에 대하여 좌우측으로 대칭적으로 놓인 어떠한 점 쌍의 선량으로서 다음과 같은 식으로 계산되며, 이 값은 3%이상 차이가 나서는 안 된다. 또한 Varian사의 선형가속기는 Fig. 5에서 보는 바와 같이 좌우측의 면적으로 비교하는 방법을 취하고 있는데, 어떠한 한 쌍의 점으로 측정된 것이 아니고 중심축을 기준으로 좌측면적과 우측면적으로 대칭성을 구

하는 방법을 나타내고 있다.

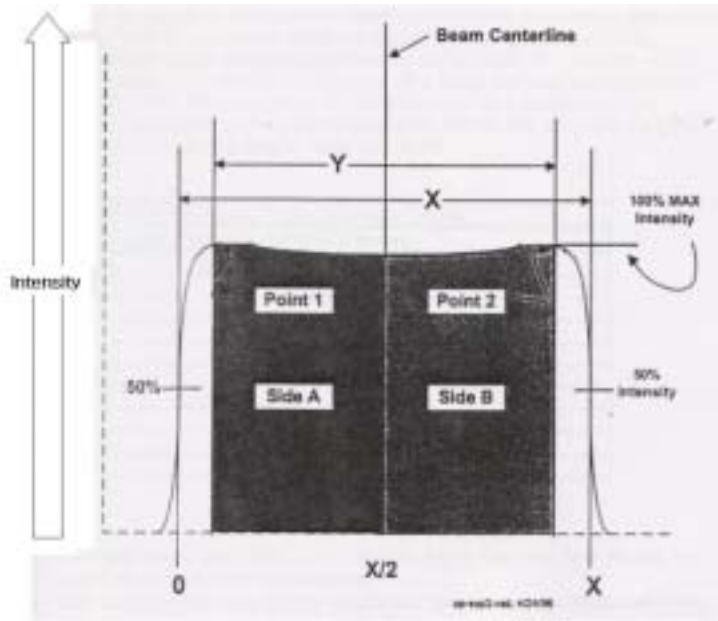


Fig. 5. Definition of symmetry.



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

대칭성은 다음과 같이 정의된다.

$$S=100 \times \frac{(\text{area}_{\text{left}} - \text{area}_{\text{right}})}{(\text{area}_{\text{left}} + \text{area}_{\text{right}})} \quad \text{-----} \quad (2)$$

area_{left} : 중심축을 기준으로 한 좌측면적

area_{right} : 중심축을 기준으로 한 우측면적

2. 전자선에서의 선속평탄도와 대칭성

전자선조사야에 걸쳐 방사선강도의 균일성은 전자선을 이용한 치료에 있어서 선결 조건이다. 전자선의 선속평탄도와 대칭성은 평탄시스템의 모양과 적용 그리고 선속 조사야 결정에 사용되는 기구에 의존한다. 전자선은 가속기의 유도관의 진공창, 산란박막(Scattering foils), Beam monitoring chamber, 중간

의 공기 그리고 조사야 결정기구들을 통과한다. 종종 전자선집속기구(Electron cone)와 X-ray jaw들로부터 산란된 전자선들이 평탄도의 오차를 증가시킨다. 산란된 전자선들은 저에너지이기 때문에 빔의 평탄도는 깊이에 따라 상당히 변한다. 그래서 전자선 조사야의 균일성은 어떤 깊이에서 빔의 특별한 영역에서의 선속평탄도나 대칭성에 대한 권장사항을 설정하므로써 정의되어질 수 있다. 이러한 결정에 사용되는 참조(기준)깊이는 전통적으로 최대선량깊이 또는 그 근처이다. 아울러 표면과 치료비정(Therapeutic range; 90% 선량깊이 = 에너지/4)에서의 균일성도 평가될 것을 권장한다.

참조(기준)면은 중심축에 수직이면서 팬텀표면에 평행한 면으로 정의된다. 최대선량깊이는 장비마다 상당한 차이를 보이므로 최대선량깊이(d_{max}) 이상의 90% 등선량 깊이(d_{90})를 기준면으로 권장한다. 10×10cm 보다 큰 조사야이거나 기하학적 조사야의 가장자리 안쪽 2cm로 한정된 영역에서 중심축 선량값에 정규화된 선량의 편차는 $\pm 5\%$ 를 넘어서면 안 되며, 최적의 조건은 $\pm 3\%$ 이 내이다. 대칭성에 대해서는 선량단면도에서 중심선량에 대하여 등방향으로 위치한 어떤 두 쌍의 점에서 3%이상 차이나서는 안 된다.

3. 다이오드 검출기

반도체 검출기의 구조, 작동은 전리조와 상당히 유사하지만 다른 점도 있다. 입사선에서 발생한 운반자가 증폭되지 않고 그대로 전극에 모여져서 펄스가 형성되는 점은 같다. 전리조에서는 이동도가 낮은 이온은 펄스의 상승에 거의 기여하지 않는데 비하여 반도체 검출기에서는 전자와 정공이 같은 정도로 기여한다.(고성진 등 2001)

실리콘 다이오드 검출기들은 방사선치료분야에서 광자선과 전자선의 측정을 위해 수년간 사용되어 왔다. 이러한 검출기들은 좋은 검전기와 결합되었을 때 크기를 작게 만들 수 있고 즉각적인 판독, 간편한 작동, 외부 바이어스전압의

불필요성, 높은 정확도와 견고함등의 장점을 제공한다. 다이오드 검출기는 에너지의존성, 방사선에 의한 감도 손상 그리고 방사선의 조사각도의 의존성등으로 사용에 제한이 있었지만 지금은 제작회사에 의하여 이러한 문제점들이 많이 개선되었다고 할 수 있다.

전리함(Ion chamber)등이 환경적인 요소(예를 들면, 온도, 대기압, 습도)등에 영향을 받기 쉬운 것처럼 실리콘 다이오드 검출기들도 작동환경에 민감하게 반응한다. 그러므로 전리함을 사용할 때와 마찬가지로 다이오드의 특성을 잘 이해하여 적절하고 가장 효율적으로 사용하도록 해야 한다.

1) 다이오드에서의 전하수집과정

p type pn junction diode는 p type 기저물질에 n type 물질을 확산시켜 만들어진다. In-vivo dosimetry의 응용에 있어, 방사선에 의하여 다이오드안에서 생성된 전자와 정공쌍들이 측정되어지고, 방사선 선원으로 부터 나온 1차 또는 2차입자들은 다이오드를 통과하면서 전자와 정공쌍을 생성하면서 흡수된다. 확산에 의하여, 접합으로부터 확산길이안에 생성된 이러한 전자와 정공들은 접합부분에 도달한다. 극소수의 운반자(Carriers ; p쪽의 전자와 n쪽의 정공)들은 p-n 접합부분에 걸어진 전압에 의하여 반대쪽으로 이동하고, 다이오드의 종단들이 작동증폭기(Op-amp)에 연결되었을 때, 방사선에 의하여 생성된 전하들은 수집된다.

다이오드의 감도(방사선량당 수집된 전하)는 대략 소수전하운반자의 확산길이에 비례한다.

$$S=aL=a\sqrt{D\tau} \text{ ----- (3)}$$

a : 상수

τ : 방사선이 만들어낸 운반자의 수명시간

L : 소수전하운반자의 확산길이

D : 소수전하운반자의 확산계수

2) 온도영향

온도가 증가함에 따라 다이오드의 내부저항은 감소하고 감도는 보통 증가한다. 온도에 따른 다이오드의 감도변화는 다이오드에 의해서 받은 축적선량에 의존하며, 다이오드가 방사선에 조사되지 않았을 경우 $0.1\%/^{\circ}\text{C}$ 정도 온도변화에 따른 감도 증가가 발생하고, 20MeV전자선에 의하여 6kGy의 선량을 조사한 후에는 $0.4\%/^{\circ}\text{C}$ 정도 감도가 증가한다. 교정인자에 의한 초기의 변화율을 낮추기 위해서 미리 조사된 다이오드를 공급하는 경우도 있다.

3) 누적선량에 의한 감도변화(Sensitivity variation with the accumulated dose : SVWAD)

실리콘 원자가 격자로부터 변위되었을 때 방사선손상이 발생한다. 가스충전형 전리함에서 이온재결합이 발생하고 이온밀도가 증가함에 따라 수집되는 전하량은 감소한다는 것은 잘 알려져 있다. 그러나 Si 반도체에서는 방사선에 의하여 생긴 전자-정공쌍은 실리콘의 전도대와 가전자대사이의 에너지 간격(Gap)에서 에너지 준위를 통하여 간접적으로 재결합한다. 전도대와 가전자대들은 운반자를 포획하고 방출할 수 있기 때문에 재결합중심(R-G center)이라 하는데 이러한 간접결합 과정에서 매개자로 작용하며, 비어있는 R-G center는 우선 전자(또는 정공)를 포획한다. 이러한 운반자는 재결합중심이 반대의 운반자인 정공(전자)을 포획할 때까지 멎에 머물게 된다. 방사선이 조사되는 동안 다이오드에서 생성된 대부분의 전자-정공쌍은 접합부분을 획 지나가게 되고 신호(Signal)에 공헌한다. 그러나 그들 중 일부분은 R-G center에 잡힐 것이고 그곳에서 결국 재결합된다.

방사선은 소수전하운반자 재결합중심과 멎(Trap)을 만드는 반도체에서 결함을 유발한다. 이러한 재결합중심과 멎은 소수전하운반자의 수명시간(τ)을 감소시킨다. 그러므로 식 3에 따라서 다이오드 검출기의 감도는 축적된 선량에 비례하여 감소한다. 여러 가지 실험에 의하면 누적선량에 의한 감도변화(SVWAD)

는 빔 에너지가 증가할수록 크게 나타나며, 누적된 선량이 높을수록 누적선량에 의한 감도변화는 감소하는 것으로 알려져 있다. 일반적으로 예전에 선량측정용으로 사용해왔던 n type 다이오드 검출기보다 p type 다이오드 검출기가 방사선손상에 덜 민감하다.(J.R. Williams 등 2000) 방사선에 의하여 손상을 받는 경우 n-type 다이오드의 반응은 선량율에 비선형인 반면 p-type 다이오드는 고선량의 방사선조사후에도 선량율에 대하여 선형적인 반응을 보이기 때문에 가격면에서는 다소 비싸지만 p-type 다이오드를 권장하고 있다.

4) 누설전류

방사선이 아닌 열, 빛, 전압등 다른 원인에 의하여 생성된 다이오드의 전류를 누설전류라 한다. in-vivo dosimetry의 응용에서 주요 누설전류는 열과 전류의 조합으로부터 나타난다. 바이어스 전압이 pn 접합부에 가해지면 다이오드를 통하여 전류가 흐르게 될 것이다. 이러한 전류는 식 4와 같이 나타낼 수 있다.



$$I_e = I_{rs}(e^{qV/kT} - 1) \text{ ----- (4)}$$

V : 외부 바이어스 전압

I_{rs} : 역전압시의 다이오드 전류

I_{rs} 는 반도체에 결함이 누적될수록 증가하므로 누설전류는 축적선량이 많아질수록 높게 된다. I_{rs} 와 방사선에 의하여 생성된 다이오드 전류는 온도에 영향을 많이 받기 때문에 전류 또는 검출기의 온도에 따른 감도변화는 누설전류와 방사선전류의 조합된 영향이다.

III. 실험장치 및 실험방법

1. 실험장치

실험에 사용된 선형가속기(LINAC)는 X선과 전자선을 이용할 수 있는 Varian사의 Clinac 2100C/D이며, 6MV(MV는 photon에서 사용하며, MeV를 의미한다), 10MV의 에너지를 가진 X선과 6MeV, 9MeV, 12MeV, 16MeV, 20MeV의 에너지를 가진 전자선을 이용할 수 있다.

인체에 조사되는 방사선량을 직접 측정할 수 없으므로 조직등가물질로 방사선에 대한 흡수, 산란등의 성질이 인체의 조직과 유사하고 그 원소구성이 일정하면서 재현성이 우수한 물팬텀(ACCUSCAN II)을 사용하였으며, 크기는 58cm×58cm×38cm이다. 이온전리함은 PTW사의 0.3cc farmer type이며, 다이오드 검출기는 Sun Nuclear사의 ISORAD-p diode detector(p-type diode)를 사용하였다. 이온전리함은 물팬텀내에서 자동으로 움직일 수 있도록 Cable을 통해 조정실에 자동 조정장치(Control computer)에 연결되어 있다. Fig. 6은 물팬텀을 이용하여 광자선(X선)을 측정하고자 하는 것이고, Fig. 7은 전자선을 측정하고자 하는 것인데 조사부 헤드에 전자선 Cone을 추가로 장착한 것이다. Fig. 8은 물팬텀에 이온전리함을 장착한 모습으로 하나의 이온전리함은 물속에서 움직이면서 선량을 검출할 목적으로 사용하고, 다른 하나는 참조용으로 측정된 값과 비교하기 위해 사용되어진다. 그리고 Fig. 9는 방사선 조사시 이온전리함에서 발생한 전류신호를 받아서 선량단면도로 나타내고 분석하는 컴퓨터 시스템이다.



Fig. 6. Water phantom setup for photon measurement.



Fig. 7. Water phantom setup for electron measurement.

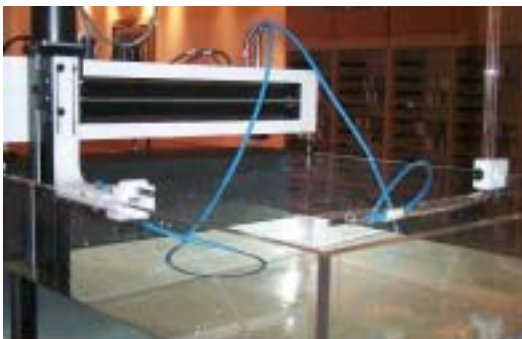


Fig. 8. Ionization chamber setup.



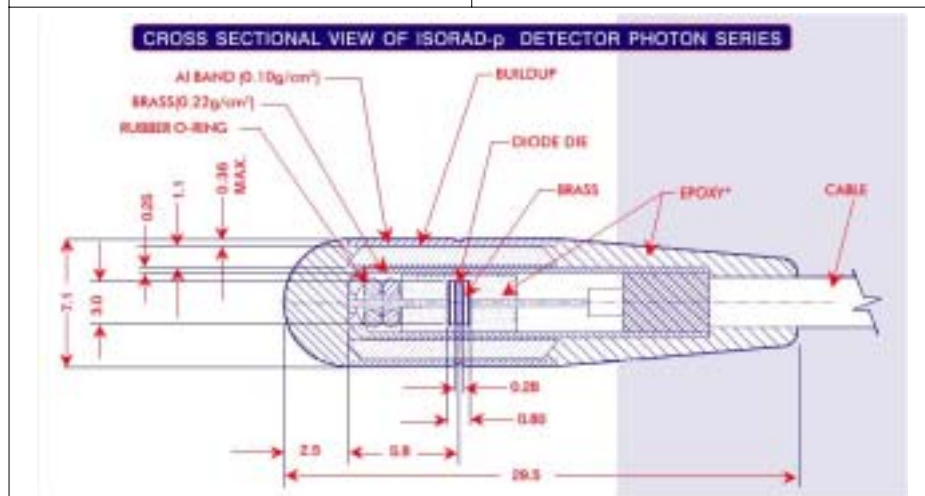
Fig. 9. Control computer.

다이오드 검출기는 Fig. 10에서 보는바와 같이 8개의 다이오드가 in vivo dosimetry module에 있는 각각의 채널에 연결되어 치료실 내부에 위치하며, 모듈외부로 나온 Data cable을 통하여 조정실에 있는 데이터처리 컴퓨터에 연결되어 있다. 모듈은 방사선에 직접 조사되었을 경우는 손상의 우려가 있으므로 조사야에 벗어난 지점에 장착하였다.

그리고, 실험에 사용한 다이오드 검출기의 특성을 다음 Table1에 표시하였다.

Table 1. General specification of the diode detector.

Energy level	6-12MV
Build up material	brass
Total buildup(g/cm ²)	1.36
Detector diameter	7.1mm
Active volume	0.14mm ³
Effective detection area	1.65×1.65 mm ²
Sensitivity	40nC/Gy
Preirradiation level	10kGy at 10MeV e ⁻ beam
Model number	1163000-0



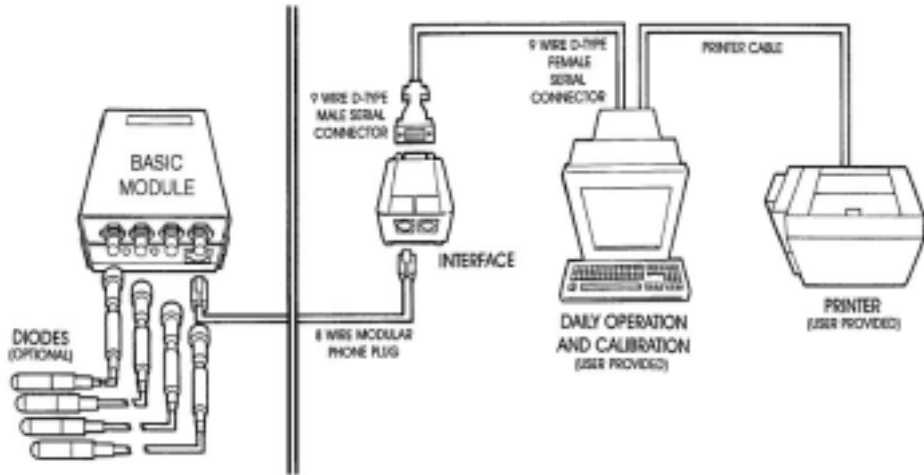


Fig. 10. Basic configuration of diode detector system.

2. 실험방법



전리함과 다이오드를 이용한 선속평탄도와 대칭성에 대한 실험을 측정된 값을 상호비교하기 위하여 전리함과 다이오드에 의한 측정을 분리하여 시행하였다. 전리함을 사용하는 경우는 정상적인 QA 과정으로 실시하는 방법과 마찬가지로 물팬텀에 3cc farmer type 전리함을 장착하여 저에너지 X선(6MV)과 고에너지 X선(10MV)에서는 SSD 100cm, 조사야를 10×10cm와 최대조사야인 40×40cm, 측정깊이는 10cm와 각 에너지별 최대선량깊이(d_{max})(6MV X선 : 1.6cm, 10MV X선 : 2.5cm)에서 측정하였고, 전자선에서는 실험에 사용한 다이오드 검출기의 에너지 의존성을 나타내는 사용영역이 6~12MV이므로 6MeV, 9MeV에너지에서만 조사하였고 20×20cm 조사야에 측정깊이는 에너지별 최대선량깊이(d_{max})인 1.4cm와 2.2cm로 정하였다. 각각의 스캔에서 얻어진 데이터를 이용한 조사면 평탄도는 분석 소프트웨어(ACCUSCAN II)를 사용하여 구하였다.

다이오드 검출기를 사용할 때는 6MV X선에서는 SSD를 101.6cm(d_{max} 1.6cm), 110cm(depth 10cm)로 하고 10MV X선에서는 SSD를 102.5cm(d_{max} 2.5cm), 110cm(depth 10cm)에서 측정하였고 조사야는 40×40cm, 측정하는 다이오드의 간격은 1cm로 하였다. 전자선에서는 측정하는 경우, 6MeV에서는 SSD를 101.4cm(d_{max} 1.4cm), 9MeV에서는 SSD를 102.2cm(d_{max} 2.2cm)에 맞추고, 20×20cm 조사야에서 다이오드의 간격을 0.5cm로 하여 측정하였다. 다이오드간의 상호간섭으로 인한 선량의 요동을 없애기 위하여 실제 측정할 때는 다이오드 간격을 2cm 이상 유지하면서 측정하였다.

1) 이온전리함을 이용한 X선 선량단면도(Beam profile)

물 팬텀을 이용하여 표준선량계산의 지표인 10cm×10cm와 40×40cm, 선원 표면간 거리(SSD)를 100cm에 맞추고 전리함을 물속에 에너지별 최대선량점 (6MV X선 = 1.6cm, 10MV X선 = 2.5cm)과 10cm 깊이에 잠긴 다음 선량단면도를 x축을 따라 측정하였으며, AAPM에서 요구하는 바와 같이 선속평탄도 (Flatness)는 $\pm 3\%$, 대칭성(Symmetry)은 $\pm 2\%$ 이내에 포함되는지 확인한다.(Fig. 11)

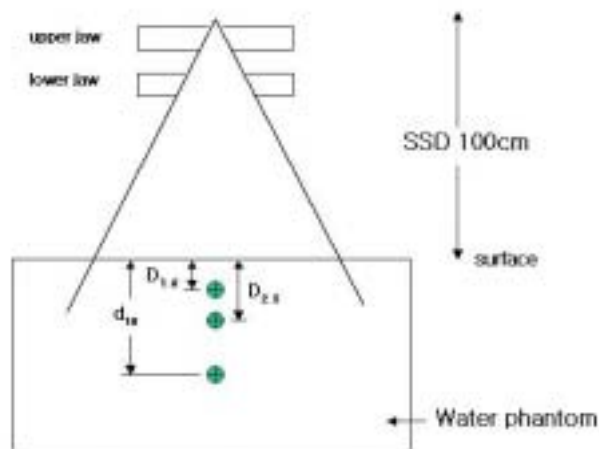


Fig. 11. Experimental setup for measuring photons with ion chamber.

2) 이온전리함을 이용한 전자선 선량단면도

물 팬텀을 이용하여 조사야 20cm×20cm에서 선원표면간 거리(SSD)를 100cm에 맞추고 전리함을 물속에 에너지별 최대선량점(6MeV 1.4cm, 9MeV 2.2cm)의 깊이에 잠긴 다음 선량단면도를 x축을 따라 측정하였으며, AAPM에서 요구하는 바와 같이 선속평탄도(Flatness)는 $\pm 3\%$, 대칭성은 $\pm 2\%$ 이내에 포함되는지 확인한다.(Fig. 12)

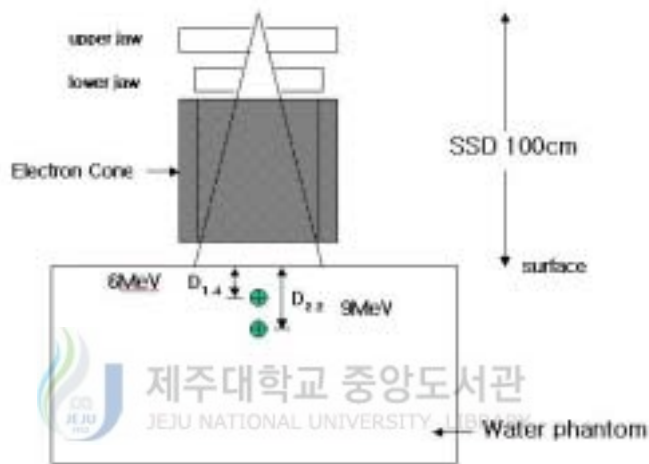


Fig. 12. Experimental setup for measuring electron with ion chamber.

3) 다이오드 검출기를 사용한 선량단면도

다이오드 검출기는 제조사로부터 4개의 검출기에 대해서는 교정이 되어 있었으나 추가로 사용하는 4개의 검출기에 대해서는 실제 측정하기 전에 현재의 환경에 따른 상태를 보정해주어야 하므로 교정 과정을 실행해야 한다. 기존에 저장된 교정인자를 이용해도 무방하지만 In vivo dosimetry module에 8개의 Detector를 연결하여 교정을 실시하여 교정값을 구하고 실제 측정에 사용하였다. Fig. 13은 다이오드 검출기를 처음 사용하기 전에 교정인자를 구하기 위해 설정한 모습이며 이때 나온 값을 프로그램을 사용하여 해당하는 각각의 검출기에 할당해 주면 된다.



Fig. 13. The setup for calibrating diode detectors and calibration factor.

ISORAD-p 검출기를 아크릴 팬텀(40×40cm)에 일정한 간격(X선에서는 1.0cm, 전자선에서는 0.5cm)으로 부착하여 X-선 조사에서는 SSD는 각각 110cm, 101.6cm(6MV X-선), 102.5cm(10MV X-선)에 맞추어 측정하였고 (Fig. 14), 전자선에서는 SSD 101.4cm(6MeV 전자선), 102.2cm(9MeV 전자선)에 맞추어 측정하였다.(Fig. 15)

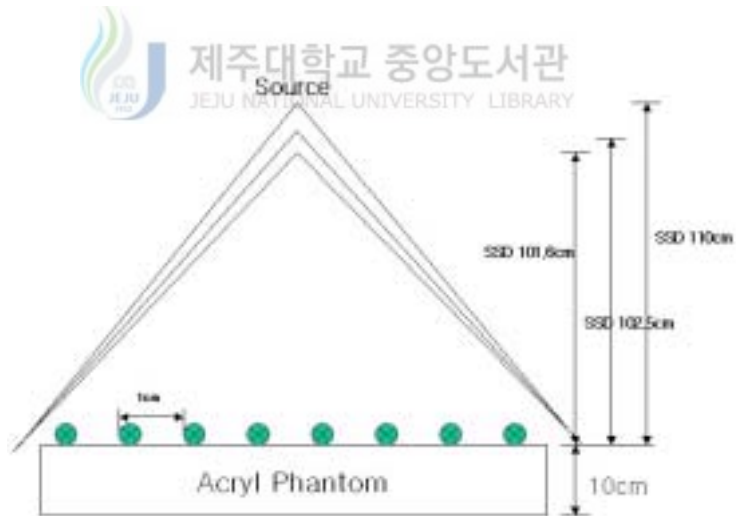


Fig. 14. Experiment setup for measuring photons with diode detector(6MV, 10MV).

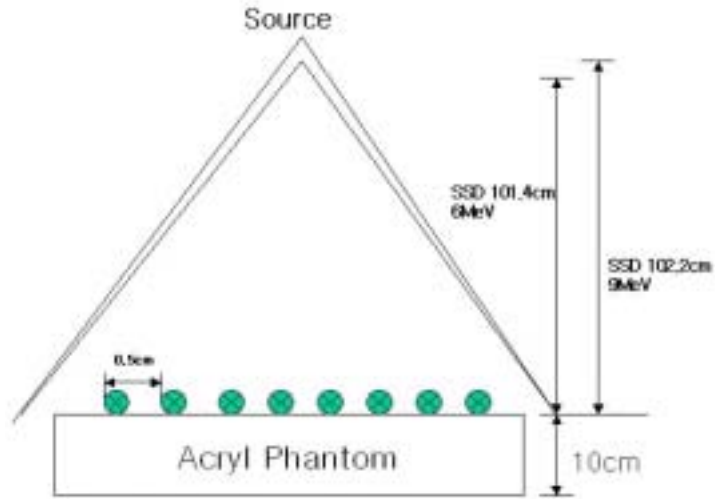


Fig. 15. Experiment setup for measuring electrons with diode detector(6MeV, 9MeV).

이상의 실험으로 측정된 값을 이용하여 선형가속기의 선속평탄도는 선량 최대점과 선량최소점에서, 대칭성은 선원조사야 중심점과 조사야내 80%의 크기의 범위내에서 최대값 또는 최소값을 나타낸 지점에 대하여 반대방향의 등위 지점의 값을 이용하여 계산하였다. 다이오드 검출기를 사용한 경우도 이온전리함을 사용한 경우와 마찬가지로 AAPM에서 요구하는 바와 같이 선속평탄도는 $\pm 3\%$, 대칭성은 $\pm 2\%$ 이내에 포함되는지 확인한다.

IV. 실험결과 및 고찰

1. X선의 선량단면도 분석

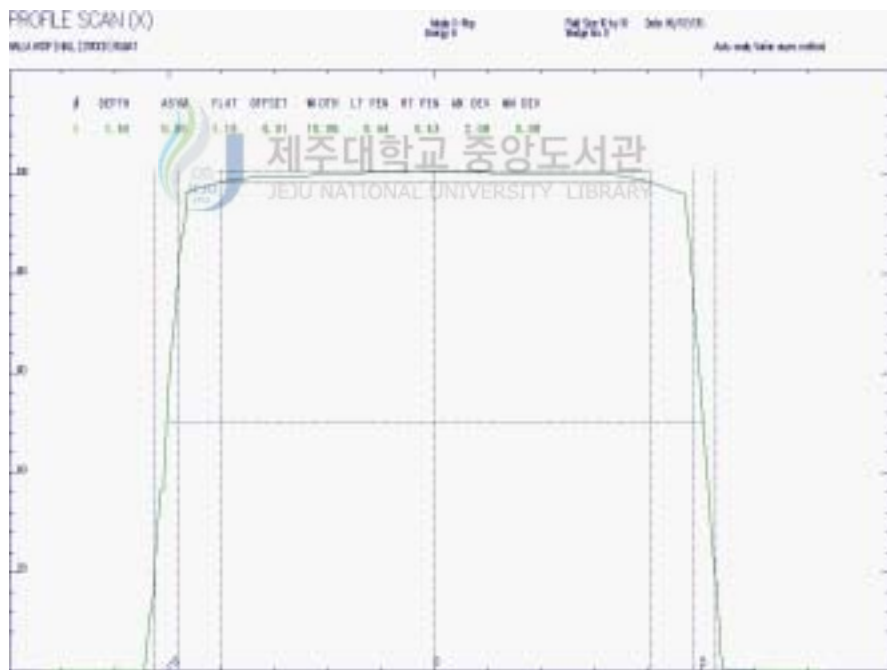
표준 조사야($10 \times 10 \text{cm}$) 및 최대조사야($40 \times 40 \text{cm}$)의 각 에너지별 최대선량 지점(d_{max})과 10cm 깊이에서의 선량단면도를 분석한 결과 6MV($d_{\text{max}}=1.6 \text{cm}$, MV는 photon에서 사용하며, MeV를 의미한다)에서는 $10 \times 10 \text{cm}$ 조사야인 경우 선속평탄도의오차는 1.10%, 대칭성의 오차는 0.55%(Fig. 16 a), $40 \times 40 \text{cm}$ 조사야인 경우 선속평탄도의오차는 1.70%, 대칭성의 오차는 0.38%이며(Fig. 16 b), 6MV 10cm 깊이(d_{10})에서는 $10 \times 10 \text{cm}$ 조사야인 경우 선속평탄도의오차는 2.89%, 대칭성의 오차는 0.35%(Fig. 16c), $40 \times 40 \text{cm}$ 조사야인 경우 선속평탄도의오차는 2.17%, 대칭성의 오차는 0.32%이다.(Fig. 16 d)

10MV($d_{\text{max}}=2.5 \text{cm}$)에서는 $10 \times 10 \text{cm}$ 조사야인 경우 선속평탄도의오차는 1.38%, 대칭성의 오차는 0.62%(Fig. 17 a), $40 \times 40 \text{cm}$ 조사야인 경우 선속평탄도의오차는 1.63%, 대칭성의 오차는 0.65%이며(Fig. 17 b), 10MV 10cm 깊이(d_{10})에서는 $10 \times 10 \text{cm}$ 조사야인 경우 선속평탄도의오차는 1.97%, 대칭성의 오차는 0.87%(Fig. 17 c), $40 \times 40 \text{cm}$ 조사야인 경우 선속평탄도의 오차는 2.05%, 대칭성의 오차는 0.25%이다.(Fig. 17 d)

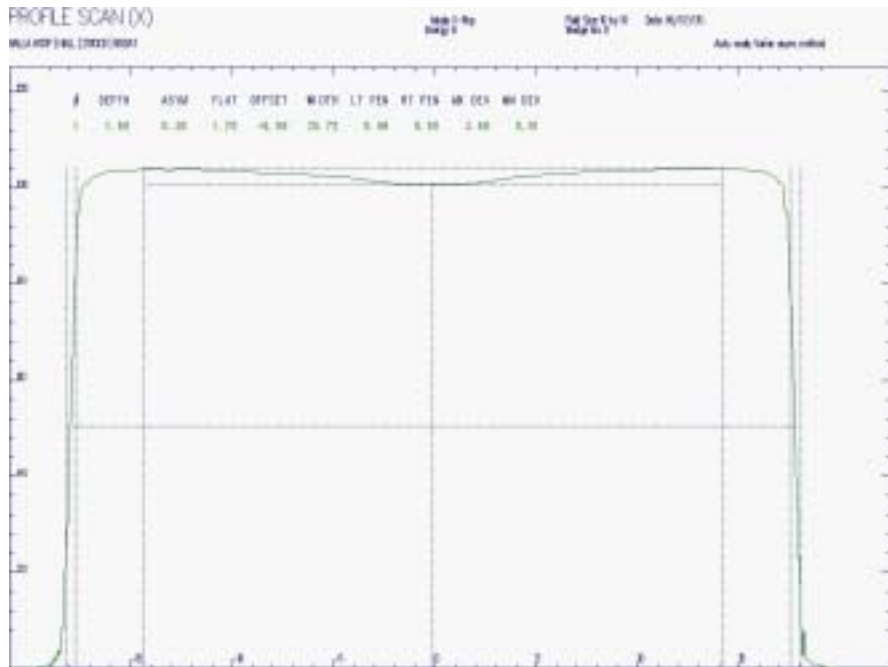
이러한 결과에 의하여 선속평탄도와 대칭성은 오차범위 각각 $\pm 3\%$, $\pm 2\%$ 이하로 적합한 수준이었으며, 모든 에너지에서 측정 깊이가 깊어짐에 따라 선속평탄도 오차값이 커져서 선속평탄도가 떨어지는 현상을 보였다.(Table 2)

Table 2. Comparison of flatness and symmetry values measured with ionization chamber(for different photon energies, penetration depths, field size 10×10, 40×40cm).

	6MV		10MV	
	Flatness(%)	Symmetry(%)	Flatness(%)	Symmetry(%)
	depth=1.6cm(d_{max})		depth=2.5cm(d_{max})	
Field Size 10×10	1.10	0.55	1.38	0.62
Field Size 40×40	1.70	0.38	1.63	0.65
	depth=10cm		depth=10cm	
Field Size 10×10	2.89	0.35	1.97	0.87
Field Size 40×40	2.17	0.32	2.05	0.25



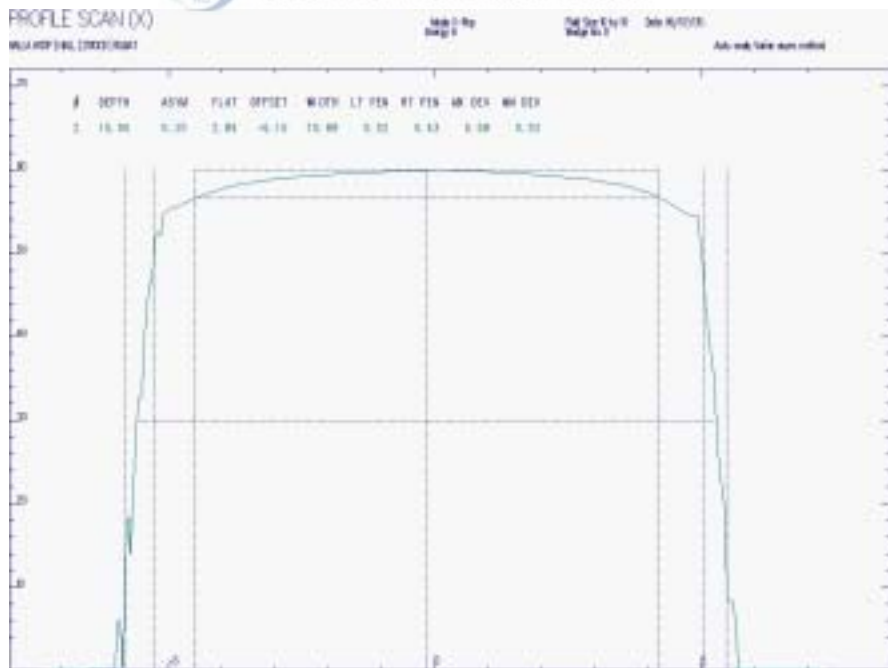
(a) F.S. 10×10cm, at d_{max} .



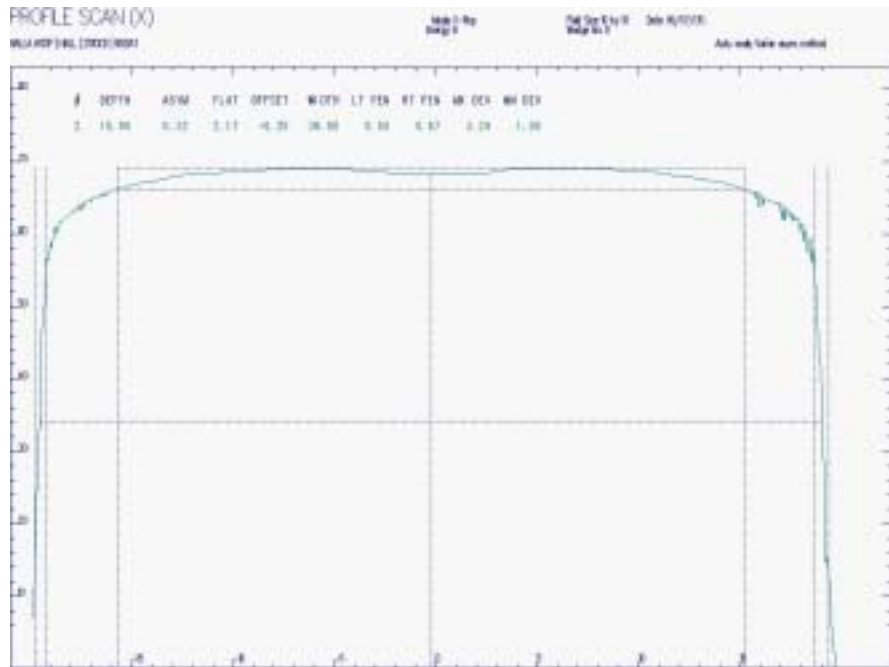
(b) F.S. 40×40cm, at d_{max} .



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

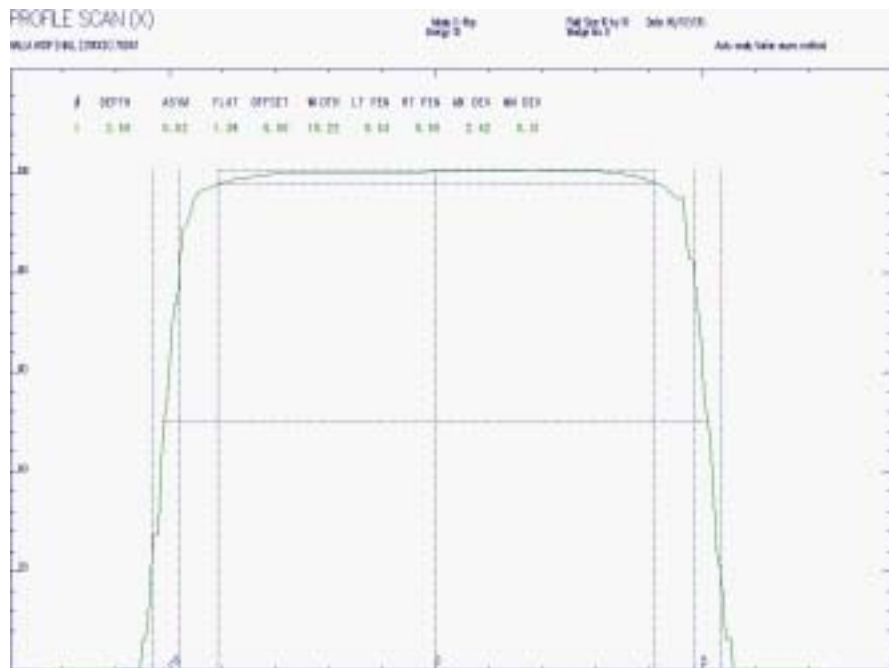


(c) F.S. 10×10cm, at d_{10} .

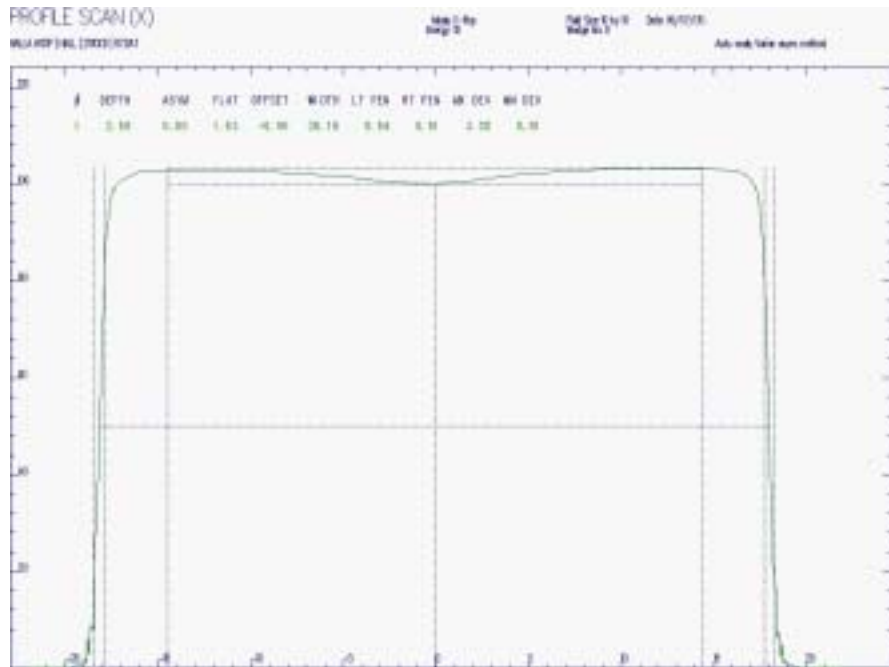


(d) F.S. 40×40cm, at d_{10} .

Fig. 16. 6MV, F.S. 10×10cm, 40×40cm Beam profile at d_{max} , d_{10} .

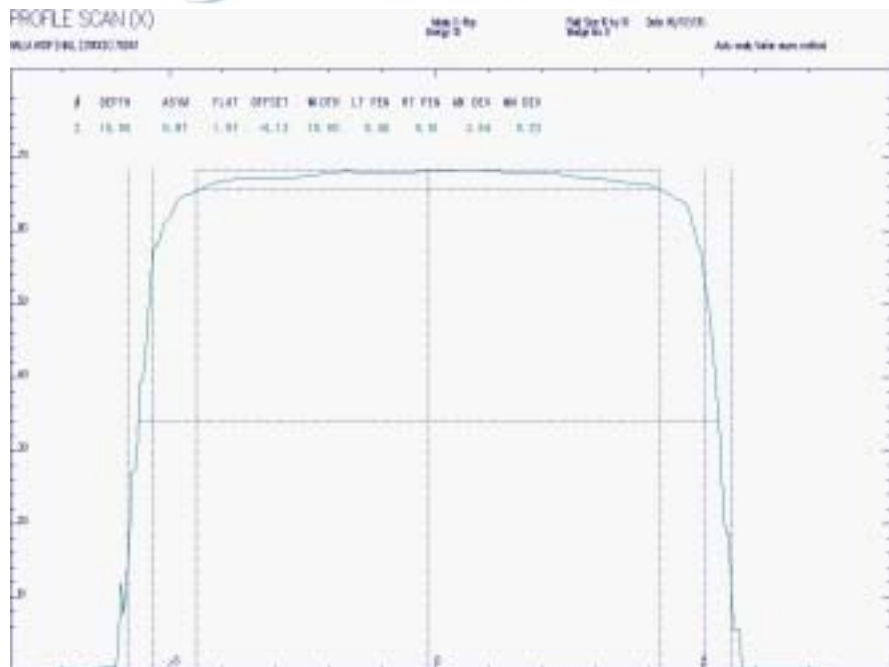


(a) F.S. 10×10cm, at d_{max} .

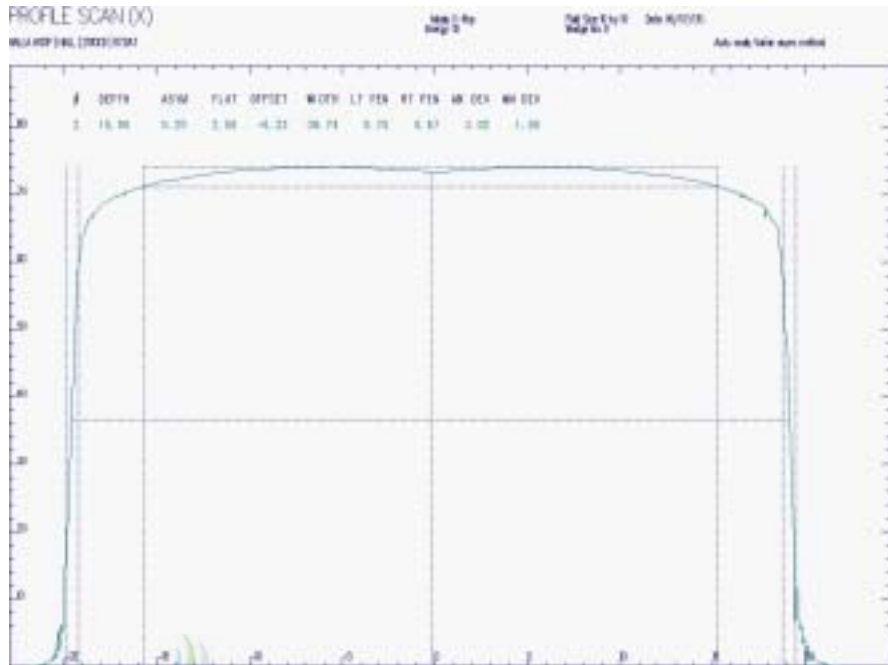


(b) F.S. 40×40cm, at d_{max} .

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY



(c) F.S. 10×10cm, at d_{10} .



(d) F.S. 40×40cm, at d_{10} .

Fig. 17. 10MV, F.S. 10×10cm, 40×40cm Beam profile at d_{max} , d_{10} .

2. 전자선의 선량단면도 분석

조사야 20×20cm에서 측정된 선량단면도를 분석한 결과 6MeV에서는 선속 평탄도의 오차는 2.25%, 대칭성의 오차는 1.37%이었고(Fig. 18), 9MeV에서는 선속평탄도의 오차는 1.28%, 대칭성의 오차는 1.24%이었다.(Fig. 19)

전자선에서는 X선에 비하여 최대선량깊이에서는 저에너지인 6MeV에서 선속 평탄도와 대칭성의 오차가 더 크게 나타났다.(Table 3)

Table 3. Comparison of flatness and symmetry values measured with ionization chamber(for different electron energies, maximum depths, field size 20×20cm).

Field size=20×20cm	Flatness(%)	Symmetry(%)
6MeV (d=1.4cm)	2.25	1.37
9MeV (d=2.2cm)	1.28	1.24

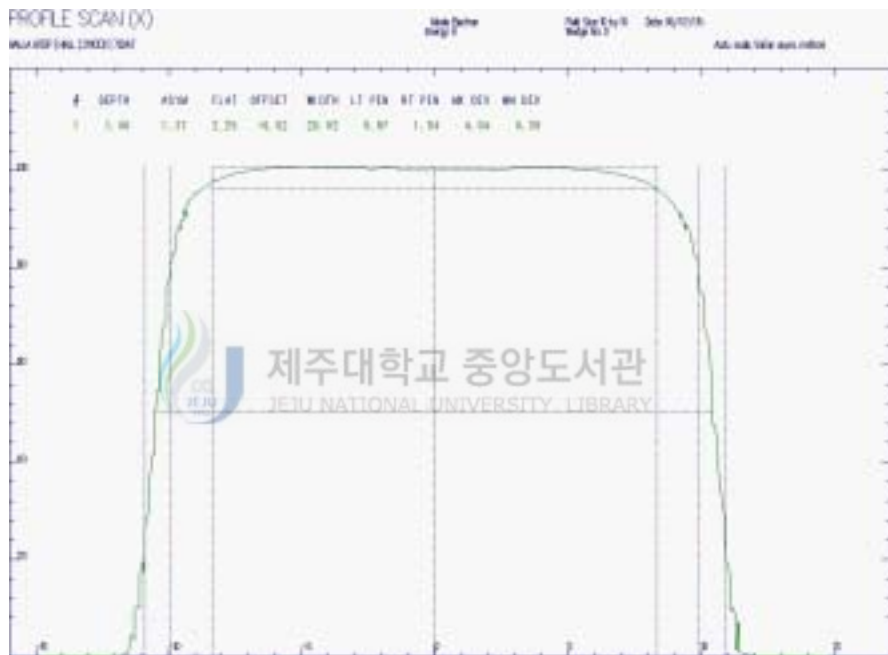


Fig. 18. 6MeV, F.S. 20×20cm, Beam profile at d_{max} .

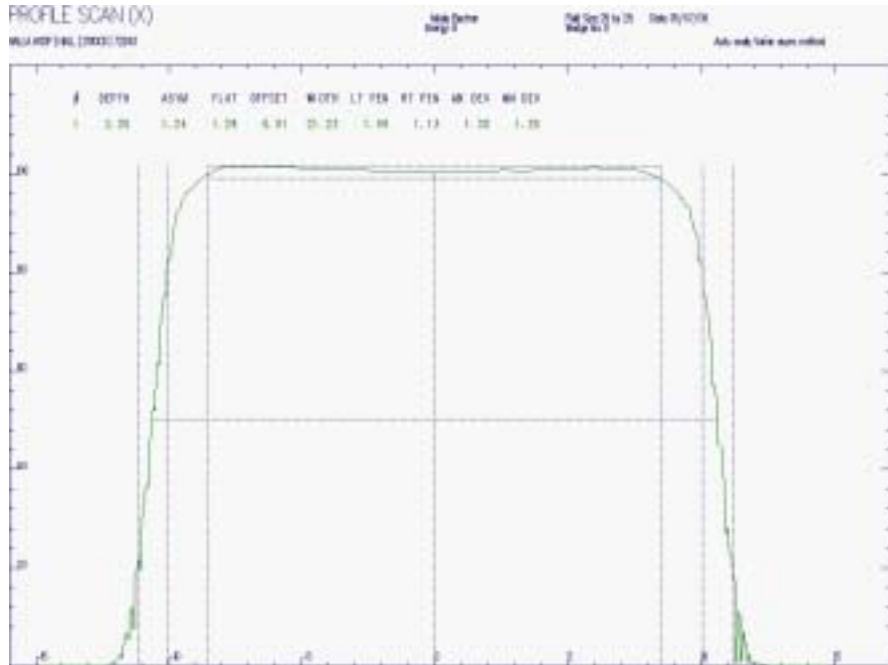
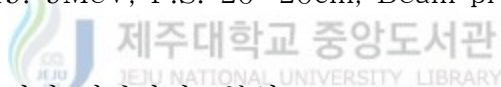


Fig. 19. 9MeV, F.S. 20×20cm, Beam profile at d_{max} .



3. 다이오드 검출기의 선량단면도분석

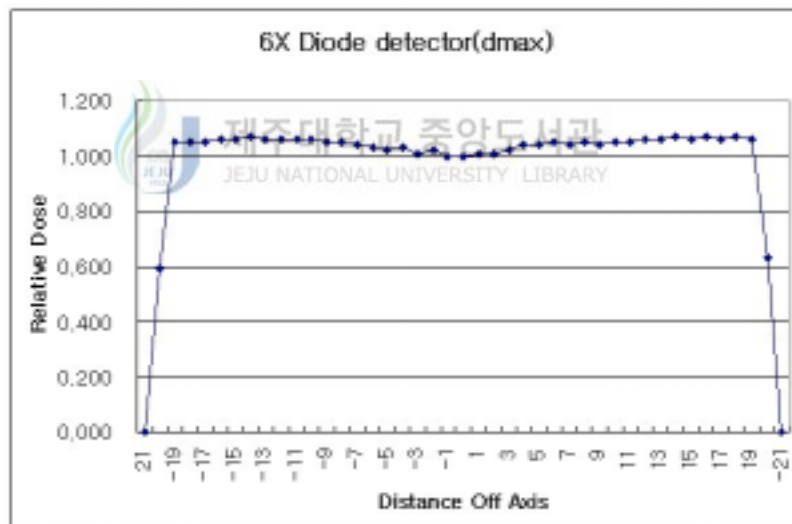
다이오드 검출기로 측정된 값 중에서 최대값과 최소값을 이용하여 선속평탄도를 계산하였고, 최대값 또는 최소값의 위치 및 반대쪽 등위치의 값을 이용하여 대칭성을 계산하였다. 다이오드 검출기를 이용한 X선에서의 선속평탄도와 대칭성을 측정한 결과 6MV($d_{max}=1.6\text{cm}$)에서는 선속평탄도의 오차는 2.88%, 대칭성의 오차는 0.94%이며(Fig. 20a), 6MV SSD=110cm에서는 선속평탄도의 오차는 2.70%, 대칭성의 오차는 0.50%(Fig. 20b)이다.

10MV($d_{max}=2.5\text{cm}$)에서는 선속평탄도의 오차는 2.58%, 대칭성의 오차는 0.85%이며(Fig. 21a), 10MV SSD=110cm에서는 선속평탄도의 오차는 2.51%, 대칭성의 오차는 0.49%(Fig. 21b)이다.

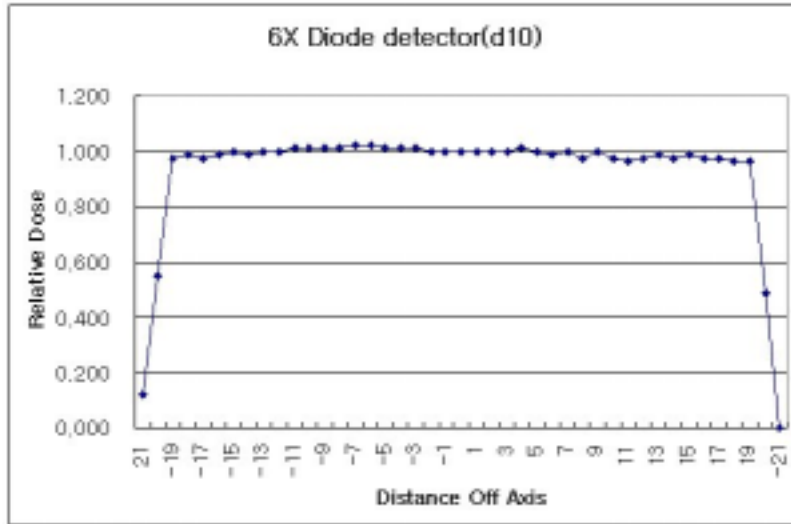
모든 X선 에너지(6MV, 10MV)에서 오차 허용범위 안에 있었지만 이온전리함에서 측정한 것보다도 전반적으로 오차가 더 크게 나타났다.(Table 4)

Table 4. Comparison of flatness and symmetry values measured with diode detector(for different photon energies, penetration depths, field size 40×40cm).

	6MV		10MV	
	Flatness(%)	Symmetry(%)	Flatness(%)	Symmetry(%)
	depth=1.6cm		depth=2.5cm	
Field Size 40×40	2.88	0.94	2.58	0.85
	depth=10cm		depth=10cm	
Field Size 40×40	2.70	0.50	2.51	0.49

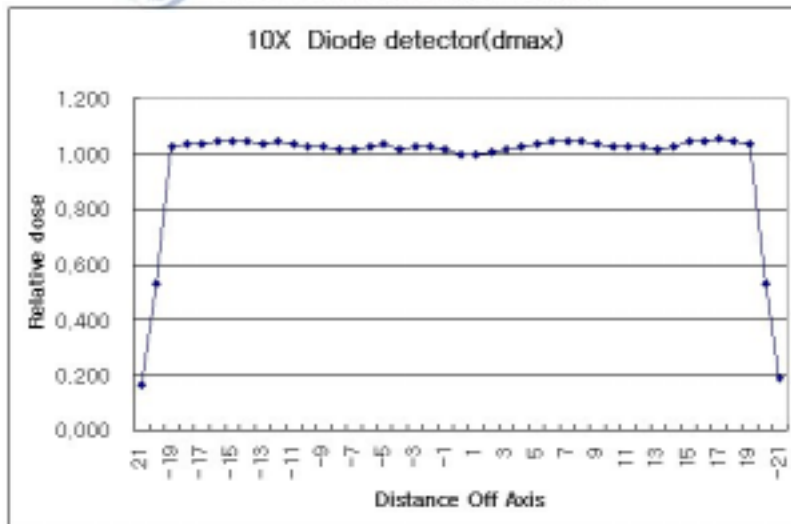


(a) At SSD=101.6cm

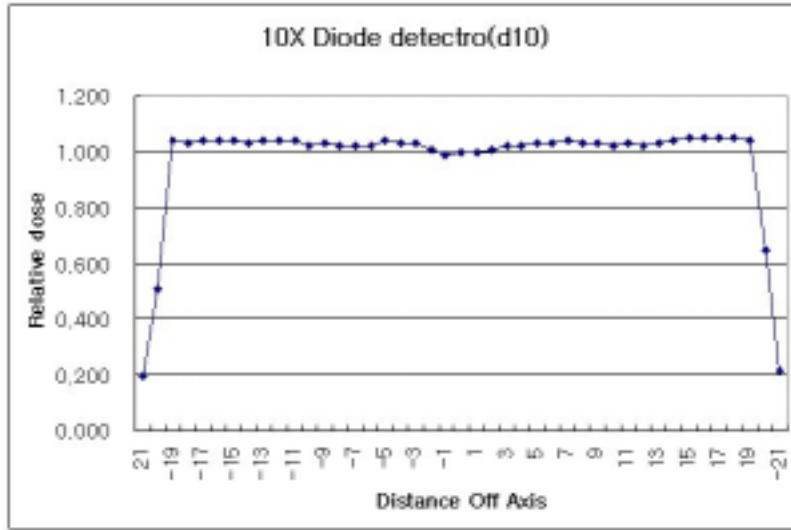


(b) At SSD=110cm

Fig. 20. Beam profile with 6MV photon, F.S. 40×40cm, SSD=101.6cm, 110cm.



(b) At SSD=102.5cm



(b) At SSD=110cm

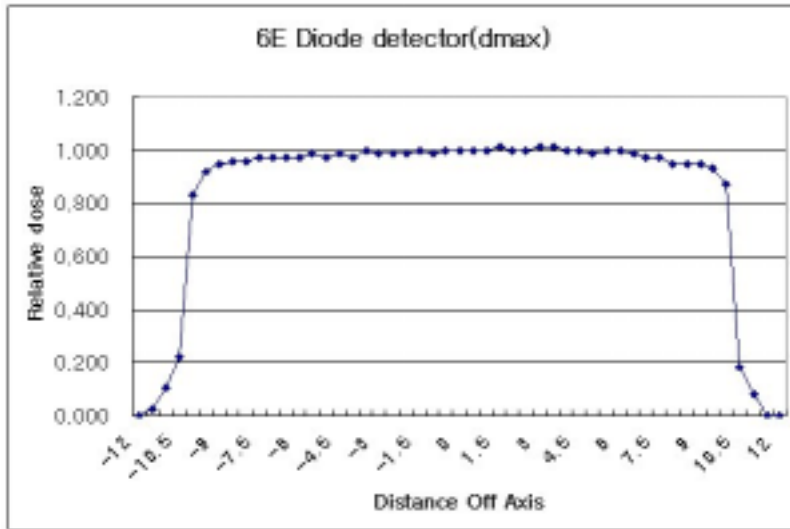
Fig. 21. Beam profile with 10MV photon, F.S. 40×40cm, SSD=102.5cm, 110cm.



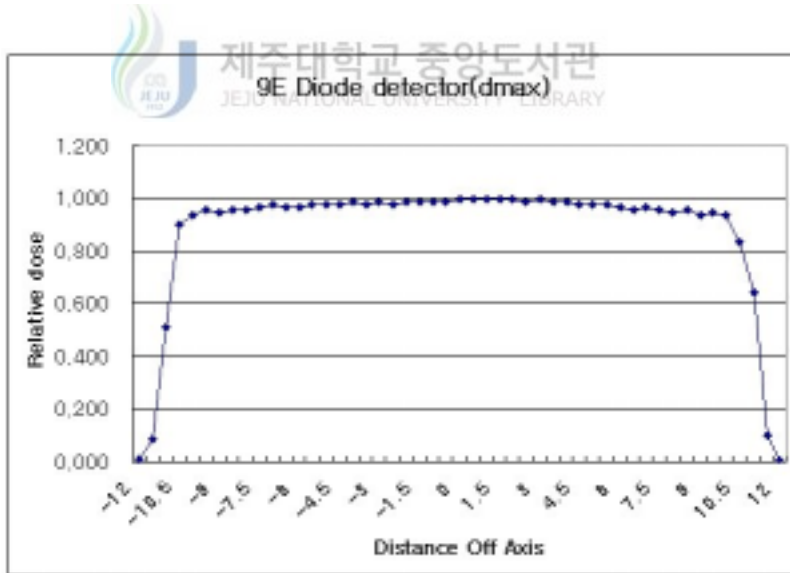
다이오드 검출기를 이용한 전자선에서의 선속평탄도와 대칭성을 측정한 경우도 오차허용범위($\pm 3\%$, $\pm 2\%$)에는 적합하지만 선속평탄도와 대칭성의 오차는 6MeV에서는 각각 2.63%, 1.29%, 9MeV에서는 각각 2.61%, 1.05%로 이온 전리함을 사용한 경우보다 높게 나타났고, X선에 비하여 대칭성의 오차가 더 높게 나타났는데 이것은 전자선의 진행과정 중에서 발생한 산란선의 영향으로 보였다.(Table 5)

Table 5. Comparison of flatness and symmetry values measured with diode detector(for different electron energies, maximum depths, field size 20×20cm).

Field size=20×20cm	Flatness(%)	Symmetry(%)
6MeV (d=1.4cm)	2.63	1.29
9MeV (d=2.2cm)	2.61	1.05



(a) 6MeV, at d_{max} .



(a) 9MeV, at d_{max} .

Fig. 22. Beam profile with 6MeV. 9MeV electron, F.S. 20×20 cm, at d_{max} .

4. 이온전리함과 다이오드 검출기의 비교 분석

이온 전리함과 다이오드 검출기를 이용하여 선속평탄도 및 대칭성에 대하여 측정하여 비교한 결과는 다음과 같다.

6MV X선, 최대선량깊이에서 이온전리함에 대한 다이오드 검출기의 선속평탄도 오차는 1.18%, 대칭성 오차는 0.56% 높게 나타났고, 6MV X선, 10cm 깊이(d_{10})에서 이온전리함에 대한 다이오드 검출기의 선속평탄도 오차는 0.53%, 대칭성 오차는 0.18% 높게 나타났다. 또한 10MV X선, 최대선량깊이에서 이온전리함에 대한 다이오드 검출기의 선속평탄도 오차는 0.95%, 대칭성 오차는 0.20% 높게 나타났고, 10MV X선, 10cm 깊이(d_{10})에서 이온전리함에 대한 다이오드 검출기의 선속평탄도 오차는 0.46%, 대칭성 오차는 0.24% 높게 나타났다.

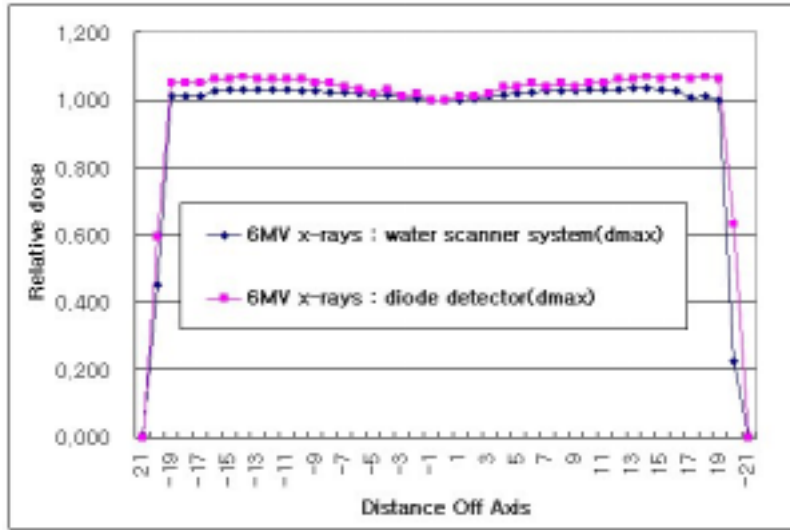
6MeV 전자선인 경우 최대선량깊이에서 이온전리함에 대한 다이오드 검출기의 선속평탄도 오차는 0.38% 높게, 대칭성 오차는 -0.08%로 낮게 나타났으며, 9MeV 전자선인 경우는 최대선량깊이에서 이온전리함에 대한 다이오드 검출기의 선속평탄도 오차는 1.33% 높게, 대칭성 오차는 -0.19%로 낮게 나타났다.(Table 6)

Table 6. Comparison of flatness and symmetry values measured with ionization chamber and diode detector.

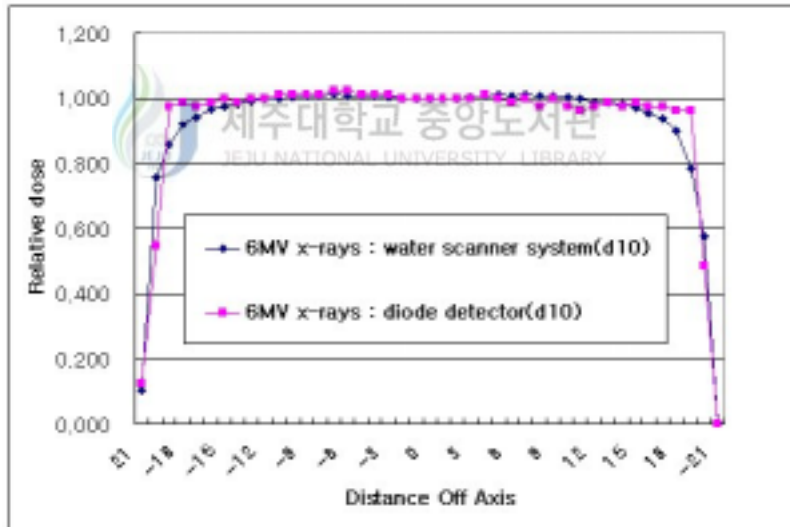
Energy/Mode/depth	Scanner flatness	Diode detector flatness	Scanner symmetry	Diode detector symmetry
6X/1.6	1.70%	2.88%	0.38%	0.94%
6X/10	2.17%	2.70%	0.32%	0.50%
10X/2.5	1.63%	2.58%	0.65%	0.85%
10X/10	2.05%	2.51%	0.25%	0.49%
6e/1.4	2.25%	2.63%	1.37%	1.29%
9e/2.2	1.28%	2.61%	1.24%	1.05%

이와 같은 결과를 종합해 보면 모든 에너지에서 이온 전리함을 이용하여 측

정한 값이 다이오드 검출기를 이용하여 측정된 값보다 오차가 적은 안정된 모습을 보였다. 또한 X선을 이용하여 측정된 값보다 전자선을 이용하여 측정된 값이 선속평탄도나 대칭성등 모든 항목에서 전반적으로 오차가 큰 것으로 나타났다. 이것은 전자선이 진행과정에서 물질과의 상호작용으로 많은 변화가 나타나는 선질의 특성으로 인한 것으로 보였으며, 대칭성 오차의 증가는 X선에서 보다 전자선에서 두드러지게 나타났다. Fig. 23부터 Fig. 25까지는 이온전리함에서 측정된 값과 다이오드 검출기에서 측정된 값을 비교한 것으로서 중심축을 기준으로 하여 다이오드의 위치에 따라 측정된 값을 상대적인 값으로 나타낸 것이다. 방사선 치료에 사용하는 장비는 항상 정확성과 정밀성을 높여야 하고, 환자의 치료에 사용하는 방사선에 대해서는 계획된 선량과 실제 투여되는 선량이 일치하는지에 대해 관리를 해야 하며, 오차는 $\pm 5\%$ 를 초과하지 않도록 정하고 있다. 이러한 이유로 조사되는 선량이 정확한지에 대해 주기적으로 측정하여 선량일치 여부를 점검한다. 그러나 조사선량은 조사되는 빔의 중심축을 기준으로 하여 중앙부분에서 측정하는 것이기 때문에 선형가속기의 기계적 특성상 빔을 분산시키는 평탄 필터의 기능으로 인하여 조사야의 선량에 대해서도 점검할 필요가 있다. 평탄필터의 모양과 기능으로 인하여 깊이 에 따른 선량분포를 보면 선질은 중심축에서 측면거리에 따라 다양하게 변하게 된다. 이러한 조사야내에서의 선질 변화 및 그로 인한 선량의 변화된 분포를 분석하는 것도 치료의 정확성을 높이는 것이라 하겠다. 이러한 선속평탄도와 대칭성에 대한 측정은 평탄필터의 특성으로 인하여 각 에너지별 최대선량 깊이 및 10cm 깊이에서 기본적으로 측정해야 하며, 오차는 각각 $\pm 3\%$, $\pm 2\%$ 이하가 되도록 유지해야 한다. 실제 이러한 선속 평탄도와 대칭성을 측정하는 데는 이온전리함 및 Diode array등 다양한 검출기가 이용되고 있고 이온전리함이 가장 우수한 것으로 알려져 있다. 그러나 Daily QA등 일시적이고 즉각적으로 확인할 수 있는 방법으로 다이오드 검출기를 이용하는 경우가 늘고 있으며, 예전에 비하여 기능적인 면에서 많이 개선되었다.

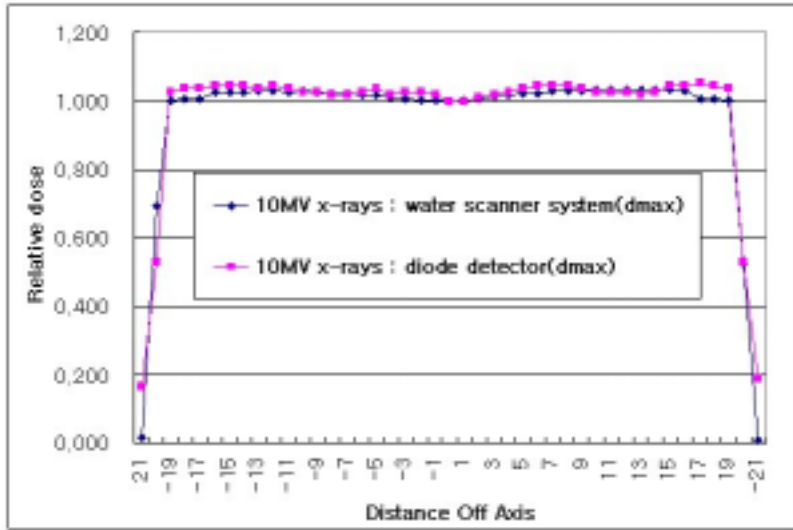


(a) 6MV x-ray, at d_{max} , 40×40 cm, SSD=100cm

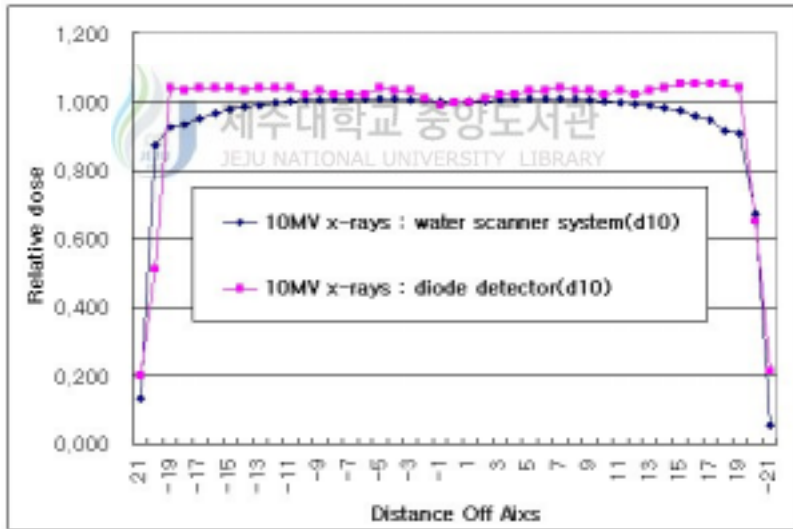


(b) 6MV x-ray, at d_{10} , 40×40 cm, SSD=100cm

Fig. 23. 6MV x-ray profiles at d_{max} and d_{10} , 40×40 cm, SSD=100cm : water scanner system vs. diode detector.

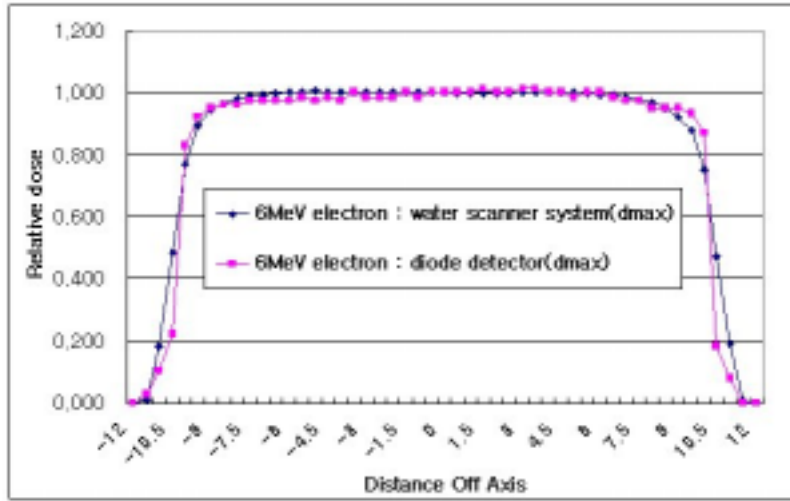


(a) 10MV x-ray, at d_{max} , 40×40 cm, SSD=100cm

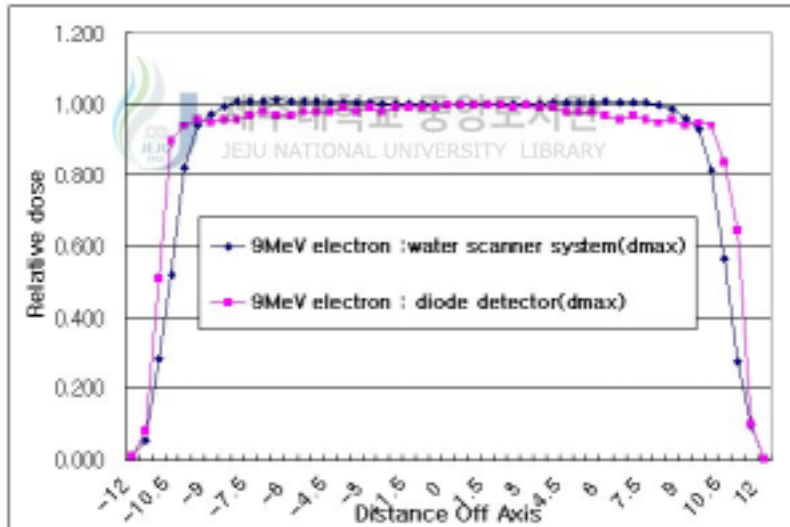


(b) 10MV x-ray, at d_{10} , 40×40 cm, SSD=100cm

Fig. 24. 10MV x-ray profiles at d_{max} and d_{10} , 40×40 cm, SSD=100cm : water scanner system vs. diode detector.



(a) 6MeV electron, at d_{max} , 20×20 cm, SSD=100cm



(b) 9MeV electron, at d_{max} , 20×20 cm, SSD=100cm

Fig. 25. 6MeV, 9MeV electron profiles at d_{max} , 20×20 cm, SSD=100cm : water scanner system vs. diode detector.

이에 전신조사시 사용할 목적으로 구입하여 이용하고 있는 다이오드 검출기를 이용하여 선속평탄도와 대칭성을 조사하였다. 측정은 Array 방식이 아니고 수작업으로 다이오드 검출기를 배열하였으며, 측정하는 과정으로 인하여 약간의 요동이 있을 것으로 생각되었으나 전반적으로 측정은 이온전리함에 의한 측정 결과에 대해 편차 5% 이내로 이루어 졌다.



V. 결 론

의료용 선형가속기에서 전리함과 다이오드 검출기를 사용하여 선속평탄도와 대칭성을 비교하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1. 6MV X선, 최대선량깊이(d_{max})에서 이온전리함에 대한 다이오드 검출기의 선속평탄도는 1.18%, 대칭성은 0.56% 높게 나타났고, 10cm 깊이(d_{10})에서는 선속평탄도는 0.53%, 대칭성은 0.18% 높게 나타났다. 측정된 모든 깊이에서 선속평탄도 및 대칭성오차는 다이오드 검출기가 더 높게 나타났다.
2. 10MV X선, 최대선량깊이(d_{max})에서 이온전리함에 대한 다이오드 검출기의 선속평탄도는 0.95%, 대칭성은 0.20% 높게 나타났고, 10cm 깊이(d_{10})에서는 선속평탄도는 0.46%, 대칭성은 0.24% 높게 나타났다. 측정된 모든 깊이에서 선속평탄도 및 대칭성오차는 다이오드 검출기가 더 높게 나타났다.
3. 6MeV 전자선, 최대선량깊이(d_{max})에서 이온전리함에 대한 다이오드 검출기의 선속평탄도는 0.38% 높게 나타났으며, 대칭성은 -0.08%로 낮게 나타났다.
4. 9MeV 전자선, 최대선량깊이(d_{max})에서 이온전리함에 대한 다이오드 검출기의 선속평탄도는 1.33% 높게 나타났으며, 대칭성은 -0.19%로 낮게 나타났다.

이상에서 보는 바와 같이 다이오드 검출기를 사용한 경우 이온전리함보다는 오차가 두드러지게 나왔고 특히 전자선에서 오차가 더 높게 나타났으나 이온전리함에 의한 측정 결과에 대해 편차 5% 이내로 이루어졌다. 현재 품질관리 규정에 의하면 선속평탄도와 대칭성평가는 그 중요성에 따라 월1회 시행하도록 되어있고, 보통 이온전리함을 물팬텀에 장착하여 측정, 평가하고 있다.

이것은 정확성은 있으나 상당히 시간 소모적인 일이며, 많은 작업을 요구한다. 이에 방사선치료시 사용하는 다이오드 검출기가 있는 경우에는 이번 실험에서 나타난 바와 같이 오차가 품질관리의 허용범위를 벗어나지 않으므로 월 1회 정도는 다이오드 검출기를 이용하여 측정하고 분기별 또는 6개월에 1회 단위로 이온전리함을 이용하여 측정 관리하는 것도 한 방법이라 하겠다.



참고문헌

AAPM Report no 47, 1994, Code practice for radiotherapy accelerators.

Ali S. Meigooni, Gwen Myron, and Ketth T. Sowards, 2003, Evaluation of the veridose qc phantom, medicaldosimetry, Vol. 28, 1, pp49-54.

Douglas M.D., Frye, Ph D., 1999, Diode verification of routine electron beam treatments, Vol. 24, 1, pp44-48.

Ervin B. Podgorsak, Ph.D., 2004, Review of Radiation Oncology physics - A Handbook for Teachers and Students, p.163.

F.M. Kahn., 1994, The physics of radiation therapy, 2nded.

J.R. Williams and D.I. Thwaites, 2000, Radiotherapy Physics in Practice.

J. Shi, W.E. Simon., 1998, Quality assurance of photon beam profiles using a linear diode array, AAPM Meeting.

R. Menz, P. Elgi., 1998, Use of a diode array for quality assurance measurements of static and dynamic wedge fields, AAPM Meeting.

Ronald J. Watts., 1997, Evaluation of a diode detector array for use as a linear accelerator QC device.

Sun Nuclear corp., 2001, ISORAD-p diode detectors manual.

Stephen Howlett., Lisa Duggan., Stephen Bazly., 1999, Selective In vivo dosimetry in radiotherapy using p-type semiconductor diode :

Areliable quality assurance procedure, medicaldosimetry, Vol. 24, 1, pp53-56.

고성진 등, 2001, 방사선계측학, 청구문화사.

과학기술부고시 제2001-18호, 2001, “의료분야의 방사선 안전관리에 관한 기술기준”.

김귀연, 1995, 치료방사선과 영역의 적정관리, 한국의료 QA학회지, vol. 2.

신동오 등, 1990, 의료용 선형가속기의 광자선선질 검사를 위한 반도체 검출기의 제작과 그 응용에 관한 연구, 경희대학교 재료과학기술연구소 연구논문.



의료용 선형가속기의 선속평탄도와 대칭성 측정에 있어서 전리함과 다이오드 검출기의 비교

방사선치료에 사용하는 선형가속기는 상당히 복잡하고, 정교한 장비이며, 치료에 사용하는 X선이나 전자선은 에너지에 따라 선질의 특성이 다르고 제작 회사마다 어느 정도 편차가 발생하게 된다. 이에 장비의 특성을 정확하게 조사하고 이해하여 치료에 이용해야 한다. 실험에 사용한 Varian CLinac 2100C/D 선형가속기는 6MV와 10MV의 X선, 6, 9, 12, 16, 20MeV의 전자선 등 다양한 에너지를 가지는 여러 가지 방사선에 대해서 동시에 사용할 수 있다. 가속기의 출력은 모든 에너지에서 1cGy/MU로 조정되어 유지되고 있다.

처음 사용하게 되는 장비는 사용자가 인수하는 과정에서 모든 품질관리 항목을 검사하고 허용할 수 있는 범위내에 있는지를 확인한다. 사용전 또는 장비 고장시 수리직후 등 이외에도 주기적으로 장비의 상태를 점검하여 항상 최상의 상태를 유지해야 한다. 이에 주기적인 품질관리(QA : Quality Assurance) 항목 중 방사선의 조사야내 선속평탄도나 대칭성등은 월1회 실시하며, 물팬텀에서 이온전리함을 구동시켜 이용한다. 매번 물팬텀을 이용하여 선속평탄도와 대칭성을 측정하고 분석하는 것은 반드시 필요하면서도 복잡하고, 상당히 시간 소모적인 일이기도 하다.

이에 방사선치료장비인 선형가속기(CLinac 2100C/D, Varian, USA)에서 물팬텀(Accuscan II, 58cm×58cm×38cm)에 장착하여 조사야 40×40cm, 측

정깊이를 10cm와 각 에너지별 최대선량 깊이에 따라 조사한 후, 반도체검출기의 일종인 다이오드검출기를 사용하여 아크릴팬텀에서 똑같은 방식으로 선속평탄도나 대칭성을 측정하여 결과 값을 비교하여 보았다.

측정된 결과치를 분석해 본 결과 등선량곡선의 모양은 이온전리함을 사용한 것이 더 고르게 나타났고, 다이오드를 사용하여 측정한 쪽은 등선량곡선은 고르지 못하나 측정된 각 지점의 값을 이용하여 수식으로 계산한 결과 허용치의 범위를 벗어나지 않은 것을 확인하였다. 또한 X선보다 전자선에서 선속평탄도나 대칭성 값의 요동이 더 많은 것을 알 수 있다. 이것은 전자선이 지나가는 곳에 존재하는 산란박, 차폐물, 조사야 결정기구, 공기 등 여러 가지 물체에 의한 산란의 영향으로 판단된다. 이에 다이오드를 사용한 측정결과 값이 품질 관리에서 요구하는 허용값을 만족하므로 월1회의 물팬텀 사용을 월 1회의 다이오드 사용으로 대체할 수 있고, 선속평탄도나 대칭성 검사를 물팬텀에서 이온전리함을 이용하여 더 정밀하게 검사하고자 하는 경우 분기별로 보완 실시하는 것도 가능하다고 본다.

감사의 글

저의 부족한 부분에 대한 학문적 욕구로 대학원 생활을 한 것이 엇그제 같은데, 마무리 하는 시점에서 아직도 많은 부족함과 아쉬움을 느낍니다. 하지만 이 작은 논문이 또 다른 시작으로 여기고 싶습니다.

부족한 저를 무사히 대학원 과정과 본 논문을 마칠 수 있도록 바쁘신 중에도 많은 가르침과 도움을 주신 박재우 지도교수님께 머리 숙여 감사를 드립니다. 아울러 논문심사를 하면서 세심한 배려와 많은 학문적 가르침을 주신 이현주 교수님, 정범진 교수님, 김신 교수님께도 깊은 감사를 드립니다.

대학원 생활 초기부터 많은 조언을 주신 김지훈 선생님, 고영주 선생님 그리고 저를 위하여 학업시간을 변경해야 하는 불편을 이해해주고 같이 학업에 임해주신 대학원생들에게도 감사를 드립니다.

직장생활과 학업을 같이 할 수 있도록 배려해주시고, 학문적 깊이를 더 하는데 많은 조언을 해주신 계철승 과장님과 실험에 같이 참여해 준 방사선종양학과 동료여러분께도 깊은 감사를 드립니다. 그리고 처음 방사선학에 입문하도록 지도해주신 한라대학의 이경성 교수님과 대학원생활에 많은 관심과 조언을 해주신 제주대학교병원의 김희삼 선배님께도 감사를 드립니다.

결혼하자마자 대학원 생활을 시작하였기에 누구보다도 힘들었으며, 그러한 불편함을 지금껏 잘 참고 견디어준 사랑하는 나의 아내 영실에게 한없는 고마움을 드립니다. 직장과 학교를 병행하는 모습에 걱정을 많이 하셨던 어머니, 그리고 모자란 부분에 대한 학문적 조언을 해준 동생 영석, 형님 그리고 지금은 곁에 안계시지만 누구보다도 기뻐하셨을 아버지께 이 논문을 바칩니다.