

다이오드를 이용한 광자선 선량측정에 관한 연구

오이 동훈*, 강 전권*, 장 영권*, 지 영훈**, 홍 승홍*

*인하대학교 전자공학과, **원자력병원

A Study on Photon Dosimetry System with Diode Detectors

○D. H. Lee*, J. K. Kang*, Y. G. Jang*, Y. H. Jee**, S. H. Hong*

*Dept. of Electronic Eng., Inha University, ** K.C.C.H.

Abstract

There is a definite requirement to continuously monitor the operating characteristics of radiation therapy machines. It is advisable to monitor the symmetry, flatness, and energy stability of x-ray beams. The semiconductor system was developed using commercially available rectifier diode for the assessment of quality assurance in radiation therapy, which is capable of the above measurements. The beam characteristics of 6MV, 10MV and 21MV photon of Microtron electron accelerator were measured using seven-diodes as detectors and the results were compared with that of using a film dosimetry with an X-Y plotter. The seven-diode detector is versatile enough to be used for checking beam profile, flatness, symmetry and energy.

1. 서 론

최근 방사선 치료에서 가속기를 이용한 고에너지, 고선량률 X-선과 전자선을 다양한 암환자 치료에 이용하고 있다. 방사선에 의한 치료성적과 예후에 수반되는 합병증은 방사선의 선량과 밀접한 관계를 갖고 있다. 국제 방사선 규정협회(ICRU, International Committee On Radiation Units and Measurement)에 따르면 방사선 투여선량의 5%증감은 방사선 치료성적의 성패에 직접 관계가 있기 때문에 투여 선량의 정확도는 +/-2% 이하로 높여야 하고 방사선 치료의 전체적인 부정확도는 +/- 5%를 넘지 않도록 정도 관리를 철저히 하도록 권고하고 있다. 그러므로 방사선 치료성적에 영향을 미치는 빔의 특성의 변동 여부를 정확히 파악하는 것이 요구된다 고 에너지 X-선 및 전자선을 발생시키는

장치는 Linear Accelerator, Microtron, Betatron 등이 있다. Betatron은 장비의 사용상 또는 유지상의 문제점이 많아 현재는 차츰 사용되지 않고 있다. Linear Accelerator와 Microtron의 차이는 직선상의 가속과 회전형 가속의 방법상의 차이이며 microwave 및 magnetic field의 이용은 같다. 에너지의 고저 및 다양성의 면에서도 거의 큰 차이가 없다. 단, Microtron의 선질이 훨씬 monoenergetic(FWHM:35kV)한 편이 장점이며, 설치비용은 더 비싸다. 본 논문에서는 3Mev 부터 22Mev까지 높은 에너지를 갖는 Microtron에서 발생된 방사선을 범용실리콘 다이오드를 사용하여 측정하였다. 반도체 검출 소자는 에너지 분해능이 우수하고 Carrier의 속도가 빠르며 포착중심이 작고 센서의 크기가 작으므로 작은 조사야의 선량측정에 용이하다는 장점을 가지고 있다. 고선량률의 X-선 및 전자선이 다이오드 검출소자에 입사하면 고체 결정속에 구속되어 있던 전자가 여기되어 공간 전하층에서 전하운반자인 전자와 정공이 생성되고 전리전류가 방사선 선량에 따라 흐르게 된다. 이 전리전류를 검출하여 빔의 특성인 방사선의 선량, 대칭성, 편평도 및 안정성을 검출하여 보았다. 이를 기체전리함인 Ion Chamber을 이용하여 측정된 값과 Film을 이용한 측정값 과를 상호 비교 분석하여 보았다.

2. 실험장치

Microtron에서 발생된 광자선 및 전자선이 다이오드에 조사될때 발생하는 미세 전리전류를 측정하기 위해서 각 채널별로 적분회로를 구성하였다. 전류의 측정값은 $10^{-9}A$ - $10^{-12}A$ 정도로 매우 작은 값이므로 측정시 잡음 전류(noise current)의 영향과 Background 방사선에 의한 영향을 받으므로 이 측정장치는 $10^{-13}A$ 이하의 전류를 측정할수 있는 고감도를 가져야 한다. 미세 전류측정회로에는 electrometer picoammeter 방법

과 전류축적(current integration) 방법이 있는데 electrometer picoammeter 방법은 짧은 순간의 전류를 즉시 측정할 수 있는 장점이 있으나 noise의 영향을 많이 받을 경우 측정값이 매우 불안정하고 급격하게 변하므로 측정 값에서 잡음 전류 값을 보정하기가 어렵다. 전류축적방법은 잡음 전류나 누설 전류 및 background 방사선에 의한 전류 등을 제외한 측정하고자 하는 실제 전류만을 정확히 측정할 수 있는 장점이 있다. 따라서 본 실험에서는 측정 전류값의 안정화와 누설 전류 및 잡음 전류에 영향을 거의 받지 않는 전류축적방식을 채택하였다. 다이오드는 공간 방사선에 의한 누설 전류 오차를 줄이고, 측정시 정확한 위치에서 편리하게 측정할 수 있도록 원통의 아크릴 봉에 넣고 예폭시 수지로 3mm 두께로 밀봉하였다. 그림1은 다채널 다이오드 검출 장치의 블록도이다. 다이오드 검출기로부터 측정회로는 방사선에 의해서 측정회로 자체가 영향을 받지 않도록 측정점으로 부터 약 15M 밖에서 측정하였으며 케이블은 방사선에 의한 잡음이나 누설전류가 적은 동축케이블을 사용하였다. 방사선 조사시 조사야 전역에서 동시에 여러개의 다이오드 검출기로부터 신호를 읽어 한 Display로 표시하기 위해서 채널 선택회로를 구성하였다. Display로는 4자리 까지 표시하고 5V까지 측정할 수 있는 DVM을 사용하였다

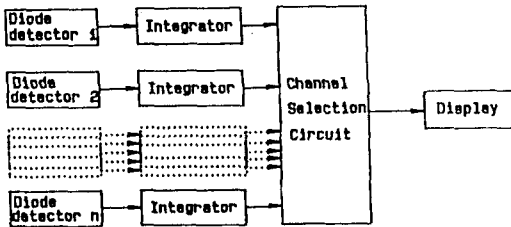


그림 1. 다채널 다이오드 검출 장치의 블록도

3. 방사선 검출소자인 다이오드의 선택과 아크릴 팬텀의 제작

Microtron의 정기적인 선질검사에 이용할 수 있는 다이오드의 선택조건은 가격이 저렴하고 구입이 용이할 뿐 아니라 실온에서 보관 및 사용할 수 있어야 한다. 역바이어스의 인가 없이 측정함으로써 방사선을 조사하지 않을 때 누설전류에 의한 오차가 작고 방사선량의 증가에 따른 선형성 및 재현성이 작아야 한다. 또한 장기간에 걸쳐서 특성의 변화가 적은 것이 바람직하며 최고 에너지 22MeV까지 조사해도 파괴되지 않아야 한다. 몇가지의 다이오드를 선정하여 10MV의 광자선을

조사하여 보았다. 광 다이오드 ST-1KLA는 방사선에 대한 반응도는 민감하였으나 방사선이 조사 되지 않을 때도 누설전류가 많아서 정확한 선량을 측정하기가 어려웠다. 가시광에도 반응을 보이므로 제각시 빛의 차단에도 고려를 해야하는 어려움이 있다. 제너다이오드는 누설전류는 작았으나 방사선에 대한 반응도가 거의 없어서 측정에 적합치가 않았다. 실리콘 p-n접합 다이오드 1N4001과 1N4007은 비조사시에 누설전류가 1-3 pA 정도로 적었으며 방사선의 조사시 양에 따라 선형성 및 재현성이 우수하였다. 이중 1N4007이 약간 성능이 우수하여 검출 센서로서 선택하였다. 선택된 다이오드를 10MV 광자선에 SSD 100cm에서 10회 이상 반복 조사시켜서 오차율이 2%이상인 다이오드는 버리고 2%이내의 값을 갖는 양호한 다이오드만 선별하였다.

아크릴 팬텀은 Microtron의 최대 조사야인 34 * 40cm² 까지 측정할 수 있도록 그림2에서 보여주는 것처럼 40*40*1.5cm³의 크기에 X축, Y축 및 대각선 방향으로 각각 7개의 다이오드 센서를 5cm간격으로 연결할 수 있도록 구멍을 뚫어 놨다.

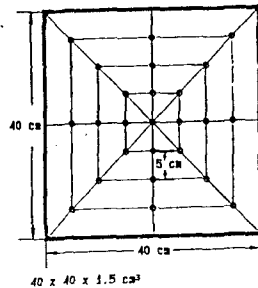


그림 2. 선량분포 측정을 위한 아크릴 팬텀과 다이오드 검출기의 위치

4. 측정 및 실험방법

4-1 기체전리함의 값에 대한 백분율

본 연구에서 제작한 미세전류 측정장치를 이용하여, 방사선에 의한 실리콘 p-n 접합 다이오드의 출력량의 값의 재현성을 파악하기 위해서 10MV 광자선을 SAD 100cm로 고정시키고 field 10 * 10cm², build up 깊이 2.5cm로 해서 먼저 Ion chamber(Capintec, PR06C, 0.65ml)와 Electrometer Capintec 192를 이용하여 측정하였고 다음으로 제작된 다이오드 검출기로 측정하여 Calibration 하였다. 출력 전압의 선형성 여부는 Microtron 전자가속기에서 발생한 6MV, 10MV, 21MV 광자선 및 전자선 7MeV, 11MeV의 조사단

위를 각각 50MU(Monitor Unit) 부터 300MU 까지 50MU 씩 증가시키면서 측정 하였다. 그림3 은 치료기의 구조를 나타내고 있다.

4-2 조사면내 선량분포의 대칭도와 편평도

MICROTRON에서 발생된 광자선의 주기적인 선질 관리를 위해 조사면내 선량분포의 대칭도와 편평도의 측정은 아르킬 팬토퉁속이나 물팬토퉁속에서 측정되어야 한다. MICROTRON 전자가속기에서 발생된 6MV, 10MV, 21MV 광자선의 선량을 SAD 100, 조사야 34*34 cm², build up 길이 2.5cm 에서 Monitor unit 100을 조사할 때 아르킬 팬토퉁속 2.5cm에 설치된 7개의 다이오드 검출기로부터의 값을 측정하였다. 각각의 다이오드는 5cm간격을 유지 하도록 설치하였다. 중심축상에 있는 다이오드의 값을 기준으로 하여 상대적 값을 백분율하여 그린 값과 Film에 Monitor unit 100을 조사시켜 생긴 흑화도를 Film densitometer을 이용하여 그린 편평도 및 대칭도와 서로 비교하였다.

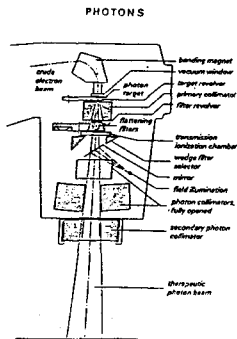


그림 3. 치료기의 구조

5. 결과 및 분석

여러가지 계층의 다이오드를 선별하여 10MV의 광자선의 선량을 각각 10회 정도 조사하여 보았다. 광 다이오드 ST-1KLA는 방사선이 조사되지 않을때도 누설전류가 많아서 정확한 선량을 측정할 수가 없었다. 또한 가시광에도 반응을 보이므로 부정확도가 가중되었다. 제너 다이오드는 누설전류는 적으나 방사선에 대한 반응도가 거의 없어서 측정에 적합치가 않았다. 1N4001 과 1N4007은 비조사시에 누설전류가 1-3pA 정도로 적었으며 방사선의 조사시 양에 따라 선형성 및 재현성이 우수하였다. 이중 1N4007이 약간 성능이 우수하여 검출소자로서 선택하였다. Microtron 전자 가속기의 여러에너지의 광자선 및 전자선에서 Monitor

unit 100을 SAD 100에서 Ion chamber에 조사시킨후 출력된 전하량의 값과 동일하게 다이오드 검출기로 읽은 값을 맞추어서 10회 에 걸쳐 그 오차율을 각 에너지별로 산출하였다. 다이오드 검출기로부터의 값은 그림4 에서 처럼 최대 1.6% 이내의 오차율 범위에서 안정성을 보였다. 광자선 및 전자선의 선량증가에 따른 선형성을 측정하기 위해 Monitor unit을 50씩 증가하면서 출력 전압과의 관계를 그림5 에서 처럼 측정하여 보았다. 백분율은 각 에너지별로 Monitor unit 100을 기준으로 하여 그 상대치를 구하였다. 선형성은 최고 1.7% 이내에서 좋은 선형성을 보였다. 다이오드 검출기는 에너지별로 같은 선량을 같은 조건에서 조사할때 차이가 발생하였다. 그림6 은 그 에너지 의존성을 보여주고 있다. 광자선 고에너지에서 보다 저에너지에서 그 차이가 더 많았다. 10MV를 기준으로 해서 그 상대적 값을 보면 6MV에서 0.9338 이었고 21MV에서는 그 차이가 0.6%인 1.006으로 아주 작았다. 반도체 실리콘 접합 다이오드를 5cm간격으로 제작된 아르킬 팬토퉁내에서 multi channel로 구성되어 10MV 광자선을 Monitor unit100으로 field 34*34cm², SAD 100, build

Diode No.		1	2	3	4	5	6	7
Energy	6MV	1.60%	1.53%	0.76%	0.80%	7.80%	0.80%	0.80%
	10MV	0.59%	0.51%	1.00%	1.50%	0.78%	0.26%	0.77%
	21MV	0.34%	0.98%	0.74%	1.50%	1.52%	0.10%	0.10%
electron	7MV	0.29%	0.82%	1.55%	1.59%	1.54%	0.79%	0.20%
	11MV	0.83%	0.13%	0.11%	0.57%	0.24%	1.30%	0.80%

그림 4. Diode detector의 오차율

Monitor unit		50	100	150	200	250	300
Energy	6MV	50.6%	100.0%	150.2%	200.0%	250.6%	305.4%
	10MV	50.4%	100.0%	149.4%	199.8%	249.9%	299.5%
	21MV	50.5%	100.0%	149.5%	198.7%	247.9%	296.5%
electron	7MV	50.0%	100.0%	150.6%	201.1%	251.7%	301.7%
	11MV	51.1%	100.0%	148.9%	197.9%	246.8%	294.9%

그림.5. 광자선 및 전자선의 Monitor unit와 출력전압과의 관계

Energy	Energy dependence
6MV	0.9338
10MV	1.0
21MV	1.006

그림 6. 광자선의 에너지 의존성

up 길이 2.5cm 에서 조사시킨후, 같은 조건으로 film에 조사시켜 생긴 흑화도를 RFA-3 과 film densitometer 을 이용하여 광자선 선량의 대칭성 및 편평도를 상호 비교하여 본 결과 2% 이내의 오차율을 보이면서 잘 일치 하였다. 그림 7은 film dosimetry의 불확도와 범의 특성을 다이오드에서 측정된 값과 같이 보여주고 있다.

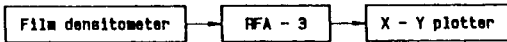
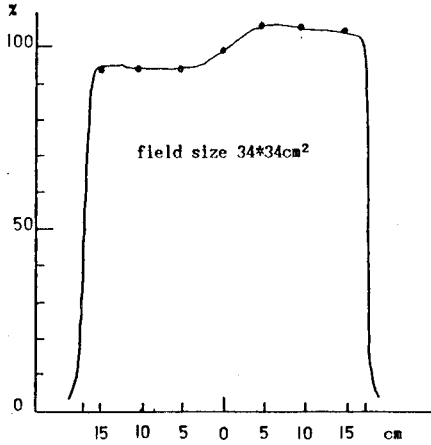


그림 7. Film dosimetry의 불력도와 출력파형

6. 결 론

본 연구에서는 고에너지, 고선량율의 방사선 치료장비의 선량, 대칭성, 편평도 및 안정성을 빠른 시간내로 검출해 낼 수 있는 장치를 외부에서 바이어스 전압을 인가하지 않고 실리콘-p-n접합 다이오드를 이용하여 제작해 보았다. 제작된 검출기는 가격이 저렴할 뿐만 아니라 구입도 용이 하였고 재현성, 선형성이 1.7%이내로 안정돼 있었으며 multi channel을 구성하여서 광자선 및 전자선 조사야 전부분의 빔의 특성을 한번의 빔 조사후 판별해 낼 수 있었다. 에너지 별로 의존성이 저에너지 쪽에서 다소 차이가 남을 알았다.

참 고 문 헌

1. Glenn F. Knoll, Radiation and Measurement, 1988
2. NCRP Report NO. 58, A Handbook of Radioactivity Measurements Procedures, 1978
3. DOUGLAS JONES, B.SC.: An Instrument for the rapid check of output, energy and field symmetry of supervoltage therapy equipment. Am. J. Roen. Vol. 123, pp. 198-202, 1985
4. 방사선량의 표준측정법, 한국과학기술학회, 1990