

다이오드를 이용한 치료방사선 검출기의 특성에 관한 연구

이 동훈* · 지 영훈* · 김 낙 환 · 민 홍 기** · 홍 승 흥

=Abstract=

A Study on the Characteristics of Therapy Radiation Detector with Diode

Lee Dong hun* · Ji Young hoon* · Kim Nakh wan · Min Hong ki** · Hong Seung hong

High-energy and high-dose X-ray and electron beam have been used in radiation therapy after developing particle accelerators. It is recommended to irradiate patients exact real dose for improving therapy effectiveness by International Committee on Radiation Units and Measurement. The radiation detector for daily beam checks of medical accelerators is described.

Using thirteen silicon diodes, we have designed the diode detector providing information about calibration, beam symmetry, flatness, stability variation according to radiation damage, time and general quality assurance for both photon and electron beams. We also compared these measurement values with those of using ionization chamber, film and semiconductor dosimeter.

Key words : microtron, diode detector, radiation therapy, accelerator, flatness

서 론

최근 사이클로트론을 위시하여 의료용 전자가속기인 마이크로트론, 선형가속기 및 베타트론 등 최신형 고에너지, 고선량을 방사선 치료 장비를 각 의료기관에서 설치하여 가동하고 있다¹⁾. 방사선치료는 방사선의 전리효과(ionizing effect)를 이용하여 종양세포를 죽이는 과정을 말한다. 국제 방사선 규정협회(ICRU, International Committee on Radiation Units and Measurement)보고서에 따르면, 방사선에 의한 암환자 치료시 투여 방사선량의 5%증감은 방사선 치료성적의 성패에 직접 관계가 있기 때문에 투여 선량의 정확도는 +/-3%이하로 높여야 하고 방사선 치료

의 전체적인 부정확도는 +/-5%를 넘지 않도록 정도 관리를 철저히 하도록 권고하고 있다^{2,3)}. 특히, 방사선 발생장치인 사이클로트론, 마이크로트론, 베타트론 및 선형가속기 등의 빔의 선질은 방사선 동위원소를 사용하고 있는 코발트-60 치료기에 비해서 에너지의 다양성, 고에너지, 고선량을 및 반응영 등에서 보다 나은 장점을 가지고 있지만 처음부터 전자장치에 의해서 입자를 가속시켜 원하는 에너지에 도달하였을때 이를 X-선, 전자선 및 중성자선으로 변환시켜 치료에 이용함으로 빔의 안정성 및 재현성에서는 코발트 치료기에 비해 떨어진다. 그러므로 방사선 발생장치에 의해 치료시 주기적으로 빔의 각종 파라메타를 측정하여 치료에 만전을 기하여야만 한다⁴⁾.

인하대학교 전자공학과

Dept. of Electronic Eng., Inha Univ.

* 원자력병원 사이클로트론 응용 연구실, 인하대학교 전자공학과

* Lab. of Cyclotron Application, Korea Cancer Center Hospital Dept. of Electronic Eng., Inha Univ.

** 인천대학교 정보통신공학과

** Dept. of Information and Telecomm. Eng., Incheon Univ.

통신저자: 이동훈, (139-240) 서울시 노원구 공릉동 215-4, Tel. (02) 970-1332, Fax. 978-2005

치료 빔을 측정할 수 있는 검출기로는 전극간 공간에 입사한 하전입자의 전리작용에 의해 만들어진 전자와 이온의 쌍을 전극간에 전계로 포집하여 전기 신호를 얻도록 한 기체전리함(Ionization chamber)이 있다. 이는 방사선의 절대 선량을 측정하는데 있어서는 그 성능이 좋으나, 전리함의 부피가 크기 때문에 작은 조사면의 선량 측정에 있어 효율적이지 못하다. 또한, 방사선을 필름에 조사시켜 생긴 흑화도를 필름 농도계(densitometer)와 필름스캐너를 이용하여 측정하는 방법이 있다. 필름은 단 일회의 조사에 의하여 선량분포를 얻을 수 있어서 간편하나 현상조건 등에 따라서 필름의 흑화도가 변할 수 있다는 단점이 있다. TLD(Thermoluminescent dosimeter)에 의한 선량측정은 사용이 편리하고 취급이 용이하며 넓은 선량측정범위를 가지고 있어 사용이 급증하고 있으나 TLD가 저에너지 전자선에 대한 감도가 급격히 감소되어 낮은 에너지의 전자선의 선량측정에는 부적당하다는 단점이 있다. 반면, 반도체 검출소자는 전리 방사선에 의해 반도체내에 기체의 이온쌍에 해당하는 전자, 정공쌍을 생성하여 전리 전류를 전극에 모아 측정하는 검출기이다. 반도체 검출소자는 한쌍의 전자, 정공쌍을 만드는데 필요한 에너지가 기체전리함의 1/10에 해당함으로 에너지 분해능이 우수하며 300° K에서 si 이동도가 1,350cm²/V · s 이므로 분해시간이 작아 빠른신호로서 취급이 가능하다. 고체이므로 기체보다 밀도가 1,000배 정도여서 방사선을 포착하는 효율이 크다. 크기가 작으므로 작은 조사야의 측정에 유리하다는 등의 장점을 가지고 있다^{3, 5, 8)}.

근래는 치료용 고에너지 방사선 장치의 선질 검사 목적으로 다이오드를 이용한 실험이 Douglas Jones, Wendell 등에 의해 강력하게 시사되었다^{6, 7)}.

본 논문에서는 실리콘 P-N 접합 다이오드를 이용하여 역바이어스를 가하지 않은 상태에서 직접 방사선이 다이오드에 조사될때 발생하는 전리전류를 검출하여 빔의 치료적합여부를 간편하고 빠르게 검출해 낼 수 있는 장치를 저렴한 비용으로 제작해 보았다. 1회 조사에 의한 전 조사야의 방사선질을 검출할 수 있도록 X-축 및 Y-축에 각각 7개의 다이오드를 아크릴 팬텀내에 설치하여 총 13개의 다채널로 구성하여 각 채널별로 적분회로를 제작하였다. 이를 이용하여 3MeV부터 22MeV까지의 높은 에너지를 갖는 마이크로트론 입자가속기에서 발생된 치료방사선의 대칭도, 편평도, 안정성 등을 구성된 다채널 다이오드 검출기로 검출하여 보았다. 또한 방사선 손상에 대한 고찰, 일정기간후의 변화량, 에너지 의존성 및 심부량 백분율 등을 기존의 측정방법인 기체전리함을 이용한 방법, 필름을 이

용한 방법, 반도체 소자를 이용한 방법과의 값과 비교 분석하였다.

실리콘 다이오드 검출기의 전압-전류 특성 및 측정장치의 제작

1. 실리콘 P-N 접합형 다이오드검출기의 바이어스에 의한 전류-전압특성

열평형상태에서 p, n 두 영역의 페르미 준위는 일치한다. 이 사실은 두 영역에 있어서의 전도대의 E_{cp}레벨 이상의 전자밀도 및 가전자대의 E_{vn}레벨 이하의 정공밀도가 같게 되어 캐리어의 이동이 더 이상 일어나지 않는다는 사실을 의미한다⁹⁾.

즉, n 영역의 E_{cp} 이상의 전자밀도는 p 영역의 전자 열평형밀도와 같게 되므로

$$n_p = n_n \exp(-qV_0/kT) \quad (1)$$

또한, p영역의 E_{vn} 이하의 정공밀도는 n영역의 정공 열평형밀도와 같게 되므로

$$p_n = p_p \exp(-qV_0/kT) \quad (2)$$

가 된다. 여기에서, qV₀는 두 영역에서의 전도대 및 가전자대 사이의 에너지 차로써

$$qV_0 = E_{cp} - E_{cn} = E_{vp} - E_{vn} \quad (3)$$

이다.

$n_p p_p = n_i^2$, $n_n p_n = n_i^2$, $p_p = N_A$, $n_n = N_D$ 를 사용하면 확산전위차는

$$V_0 = kT/q \cdot \log(N_A N_D / n_i^2) \quad (4)$$

로 구해진다. 확산전위차는 두 영역의 불순물농도에 의존하는 것을 알 수 있다. 열 평형상태에서는 확산전위차는 약 1V 정도이다. 그림 1은 무바이어스된 실리콘 P-N 접합형 다이오드 검출기에 전리 방사선이 공핍층에 입사될때 고체 결정속에 전하운반자인 전자와 정공이 생기고 전리함과 동일하게 전리전류가 흐르게 됨을 나타내고 있다⁸⁾. 결핍영역의 전체폭을 d라 하고, 반도체의 유전율ε라 하면 단위 면적당 정전용량의 값은

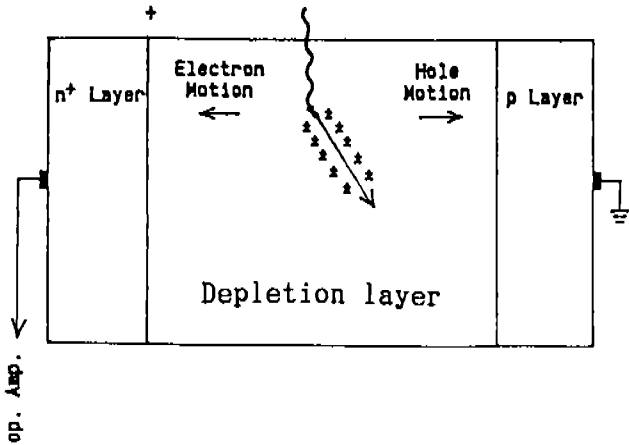


그림 1. P-N 접합형 검출기의 동작원리
 Fig. 1. Illustration of the operation of p-n junction detector

$$C = \epsilon/d = (\epsilon\epsilon N/2V) \tag{5}$$

여기서, $N=N_A$ (p의 농도) \gg n의 농도 일때),
 $N=N_D$ (n의 농도) \gg p의 농도 일때)이다
 열평형상태에 있는 P-N 접합에는 식(4)에 표시한 확산 전위차 V_0 가 형성되고 이것이 장벽이 되어 캐리어의 이동을 저지하기 때문에 평형이 유지되고 있다. 무 바이어스시 접합을 가로질러 자발적으로 형성되는 접촉전위는 약 1V 이고 전하운반자를 고속으로 움직이게 할 만큼 충분한 고전압을 형성하는 데에는 부족하여 반응시간이 느리고, 감응도가 낮다. 또한, 전하는 덧치기와 재결합에 의해서 간단히 손실되고 가끔 불완전한 전하수집을 초래한다. 전기용량이 커서 잡음특성도 나쁘다. 그러나 외부에서 역바이어스 전압(V)을 증가시키면 전위장벽의 높이는 V_0+V 로 증가하여 다수 캐리어의 이동은 불가능하게 되고 소수 캐리어의 이동에 의한 극히 미미한 전류만이 흐른다. 역바이어스 전압을 증가시키면 결핍영역은 더욱 넓어지고, 결핍영역의 비저항은 p형물질이나 n형물질에 비해서 훨씬 크게 된다. 따라서 결핍영역의 두께가 증대되어 방사선이 생성한 전하운반자를 모을 수 있는 체적으로 확대되어 전기용량은 감소된다. 전자회로의 잡음이 중요한 조건하에서 좋은 에너지분해능은 검출기 전기용량을 작게하는 것에 의존되고 있으며, 따라서 가능한 높은 인가전압을 사용하면 에너지 분해능이 개선 될 수 있다.

2. 방사선 검출소자의 선택 및 측정장치의 제작

방사선원으로는 마이크로트론 MM-22(스웨덴, Scan-

ditronix AB사)에서 발생하는 6MV, 10MV, 21MV X-선, 일부 전자선 및 코발트-60(AECL, Canada)감마선을 사용하였다. 측정에 사용된 다이오드는 광 다이오드 ST-1KLA, 제너다이오드, 실리콘 P-N접합 다이오드 1N4001, 1N4007을 선택하여 실험에 사용하였다. 다이오드의 선택 조건은 가격이 저렴하고 구입이 용이할 뿐 아니라 실온에서 보관 및 사용할 수 있어야 한다. 다이오드에 역바이어스를 가하지 않고 선량 측정회로를 구성하였으므로, 누설전류에 의한 잡음이 크거나 방사선에 대한 반응도가 작은 경우와 방사선량의 증가에 따른 선형성을 갖지 않는 다이오드는 대상에서 제외시켰다. 광 다이오드 ST-1KLA는 방사선에 대한 반응도는 민감하였으나 방사선이 조사되지 않을때도 누설전류가 많아서 정확한 선량을 측정하기가 어려웠다. 가시광에도 반응을 보이므로 제작시 빛의 차단에도 고려를 해야하는 어려움이 있다. 제너 다이오드는 누설전류는 작았으나 방사선에 대한 반응도가 거의 없어서 측정에 적합치가 않았다. 실리콘 P-N 접합 다이오드 1N4001과 1N4007은 비 조사시 누설전류가 1-3pA 정도로 적었으며 조사시에는 860nA/Gy 을 얻어 Monitor unit 100Rad/min을 조사할 때 신호대 잡음비율 0.34%을 얻었다. 방사선의 조사시 양에따른 선형성 및 재현성도 우수하였다. 이중 1N4007이 약간 성능이 우수하여 검출 센서로서 선택하였다. 선택된 다이오드를 10MV 광자선에 SSD 100cm에서 10회이상 반복 조사시켜서 오차율이 2%이내의 값을 갖는 양호한 다이오드만을 선택하였다. 측정장치는 방사선이 다이오드에 조사될때 발생하는 미세 전리전류를 측정하기 위해서 그림 2와 같이 적분회로를 구성하였다. 전류의 측정값은 $10^9A - 10^{12}A$ 정도로 매우 작은값이므로 측정시 잡음전류의 영향과 백그라운드 방사선에 의한 영향을 받으므로 이 측정장치는 $10^{13}A$ 이하의 전류를 측정할 수 있는 고감도를 가져야 한다. 연산증폭기는 입력 오프셋 전류가 40pA인 CA3140을 사용하였으며, 전리전류의 전하가 축적되는 콘덴서는 장기간동안 안정되며 낮은 누설전류를 갖는 폴리스틸렌 콘덴서를 사용하였다. 또한, 리셋기능을 갖는 저 누설전류의 릴레이, 초기의 누설전류를 보상해주는 옴셋 전위계 및 출력을 조절할 수 있는 전위계 등으로 구성하였다. 방사선 조사시 조사야의 모든 정보를 한번에 읽어들이기 위해서 13개의 다채널로 구성하였으며, 이를 위해 RS플립플롭과 MC4066 스위치를 이용하여 하나의 디스플레이 DVM(Digital Volt Meter)에 표시하기위해서 채널 선택회로를 구성하였다. 선택된 다이오드는 전면 표시부의 LED가 표시해 주도록 제작하였다. 다이오드검출기는 공간 방사선에 의한 누설전류 오차를

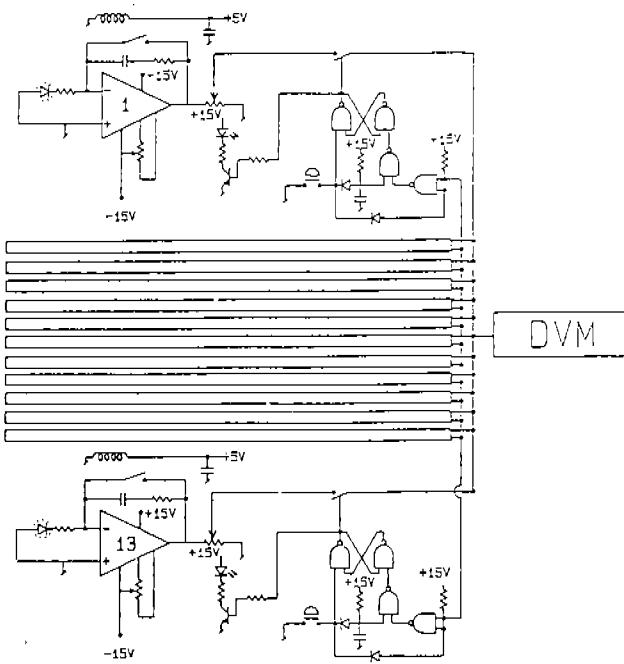


그림 2. 다채널 다이오드 검출회로

Fig. 2. Schematic diagram of multi-channel diode detector circuit

줄이고 측정시 정확한 위치에서 편리하게 측정할 수 있도록 그림 3에서 보여주는 것처럼 직경 1cm의 원통 모양의 아크릴 봉에 넣고 에폭시 수지로 밀봉하였으며, 표면으로부터 3mm 깊이에 다이오드의 중심이 오도록 하였다. 측정회로는 치료실내가 공간방사선에 의해 오염돼 있고 전자회로장치에 잡음을 유발시킬 수 있으므로 치료실 밖에 설치되어야만 한다. 다이오드 검출소자와 측정회로 사이는 잡음이나 누설전류가 적은 동축케이블을 사용하였다. 다채널다이오드에 의한 선량분포측정을 위해 40×40×1.5cm³ 크기의 아크릴판에 X-축, Y-축 및 대각선 방향으로 각각 7개의 구멍을 뚫은 아크릴 팬텀을 제작하였다. 그림 4는 제작된 아크릴 팬텀 및 측정방법을 보여주고 있다.

측정 및 실험방법

1. 방사선에 대한 선형성 및 오차율 검사

코발트-60 감마선 선원을 SSD(Source-surface Distance) 80cm, 조사야 10×10cm², 물 팬텀내에서 다이오드에 조사량을 1분간격으로 일정하게 5분까지 증가시키면서 다이오드의 출력을 측정장치로 검출하였다. 또한, 마이크로트론의 광자선 10MV 및 전자선 11MeV을 조사야 10×

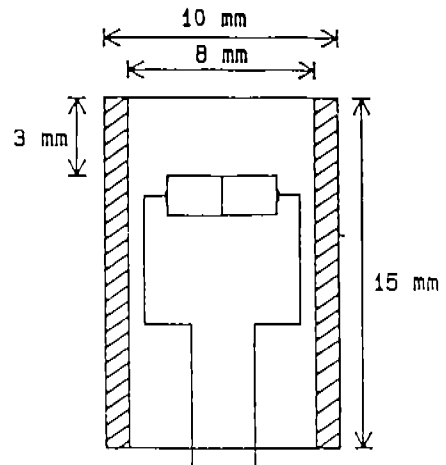


그림 3. 다이오드 검출기

Fig. 3. Diode detector

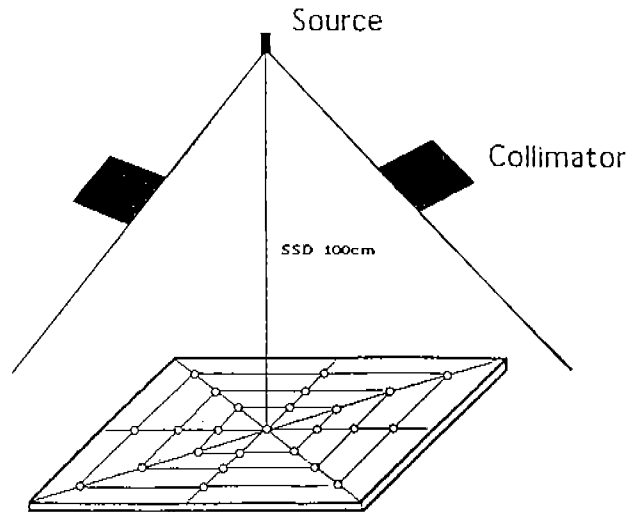


그림 4. 선량분포 측정용 아크릴 팬텀

Fig. 4. Acrylic phantom for measuring dose distribution

10cm², SSD 100cm에서 조사단위를 50 MU(Monitor Unit)씩 250 MU까지 방사선을 조사하면서 출력을 검출한 후 각각의 출력값을 최대치로 표준화하여 그 선형성을 검사하였다. 오차율을 검사하기 위하여 선택된 7개의 다이오드를 아크릴 팬텀에 위치시킨 후 조사야 34×34cm², SSD 100cm 상태에서 100 MU을 10회에 걸쳐 다이오드에 조사시켰다. 같은 선량을 동일한 조건에서 반복조사시 그 최대값과 최소값의 차를 백분율한 것을 오차율로 보았다. 사용

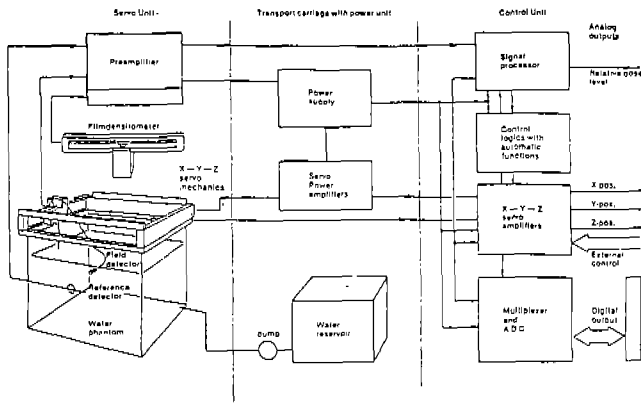


그림 5. 선량측정장치의 블럭도
Fig. 5. Block diagram of RFA-3

된 에너지는 광자선 6MV, 10MV, 21MV이며 전자선은 7 MeV, 11 MeV을 선택하여 사용하였다.

2. 에너지 의존성

코발트-60 및 마이크로트론 6MV, 10MV, 21MV의 광자선 에너지를 기체전리함 및 다이오드에 각각 같은 양의 방사선을 조사시킨후 각 에너지별 다이오드 검출기의 출력력을 코발트-60의 감마선에 의한 기체전리함의 값을 기준으로 그 상대적 값을 측정하였다.

측정은 각 에너지별로 최대선량깊이에서 측정하여야만 한다. 코발트-60의 최대선량깊이는 SSD 80cm, 조사야 10×10cm²에서 1.0cm 이며, 광자선은 SSD 100cm, 조사야 10×10cm²에서 6MV일때 1.6cm, 10MV일때 2.5cm 및 21MV일때 3.0cm이다.

3. 필름에 의한 측정값과 비교

마이크로트론에서 발생된 광자선의 주기적인 선질 관리를 위해 조사면내 선량분포의 대칭도와 편평도의 측정은 인체의 등가물질로 간주하는 아크릴 팬텀속이나 물 팬텀속에서 측정되어야 한다. 마이크로트론 전자가속기에서 발생된 10MV광자선을 SAD 100cm, 조사야 34×34cm², 선량증가두겹 깊이 2.5cm에서 100MU을 조사할 때 아크릴 팬텀속 2.5cm깊이에 각각 5cm간격을 유지하면서 설치한 7개의 다이오드 검출기로 부터의 값을 측정하였다. 중심축상에 있는 다이오드의 값을 기준으로 하여 상대적 값을 백분률하여 표시한 값과 필름에 100MU을 상기 다이오드와 같은 조건으로 조사시킨 후 현상하여 생긴 흑화도를 필름 농도계 (densitometer) 및 RFA-3을 이용하여 X-Y

플로터에 빔의 특성인 편평도 및 대칭도를 그린후 서로 비교 분석하였다.

4. 반도체 검출기에 의한 측정값과 비교

에너지 10MV, 100MU (rad/min), 조사야 34×34cm² 상태에서 물팬텀내의 물 표면을 SSD 100cm으로 맞추었다. 다이오드 검출센서를 물의 표면 방사선의 중심축 (beam central axis) 위치에 잡은 후 RFA-3 서어보 모터를 이용하여 물속으로 다이오드 센서를 일정 간격마다 위치시켰다. 이 위치에서 방사선을 조사하여 측정된 전리전류값을 읽었다. 깊이에 따른 선량의 변화를 물속에서 같은 조건으로 반도체 검출소자에 조사하여 얻은 흡수선량 값과 비교하였다. 그림 5는 필름 농도계 (densitometer) 및 반도체 검출소자를 이용하여 빔의 특성을 측정할 수 있는 RFA-3 측정장치의 블럭도이다. 반도체 검출소자에 의한 빔의 대칭성 및 편평도를 물팬텀내, 흡수선량이 최대치를 나타내는 위치에서 X-축방향 및 Y-축방향으로 스캐닝하여 측정하였다. 같은 조건에서 아크릴 팬텀내에 X-축 및 Y-축에 각각 7개씩 다이오드를 설치하여 한번의 빔 조사후에 X-축 및 Y-축 영역의 빔의 특성을 측정하여 서로 비교 분석하였다.

5. 기체 전리함에 의한 값과의 비교

마이크로트론 10MV의 에너지를 조사야 크기 1×1cm²에서 12×12cm²까지 변화시켜가면서 깊이 5cm, 10cm, 15cm, 20cm별로 물 팬텀내에서 100MU을다이오드에 조사시켰으며, 같은 조건에서 조사야가 4×4cm²미만의 소조사야의 선량측정에는 기체전리함의 크기가 커서 부적합함으로 조사야 크기만 4×4cm²부터 시작하여 기체전리함 (Capintec, PR06C, 0.65ml)에 조사후 전기계 (Capintec 192)를 이용하여 측정하였다. 이를 각 검출기의 최대 선량 깊이에서 측정된값으로 규준화 시켜 심부량 백분률을 구하여 서로 비교하였다.

6. 방사선 피폭후의 변화량

반도체검출기를 장기간 사용할 경우에는 반드시 그 결정을 통과한 방사선의 파괴효과에 의해서 격자에 손상이 초래된다. 방사선손상 (radiation damage)이 극심하면 누설 전류가 상당히 증가되어 에너지 분해능이 저하되며 저선량에 대해서도 검출기의 시간적 특성이 퇴화되는 경우가 있다. 방사선 손상 중에서 가장 보편적인 형태의 것은 프렌켈 결함 (Frenkel defect)이고 반도체 물질의 원자가 그 정상인 격자위치로부터의 변위에 의해서 만들어진다. 격자사이의 위치에서 이동한 원래의 원자와 함께 남게 되는

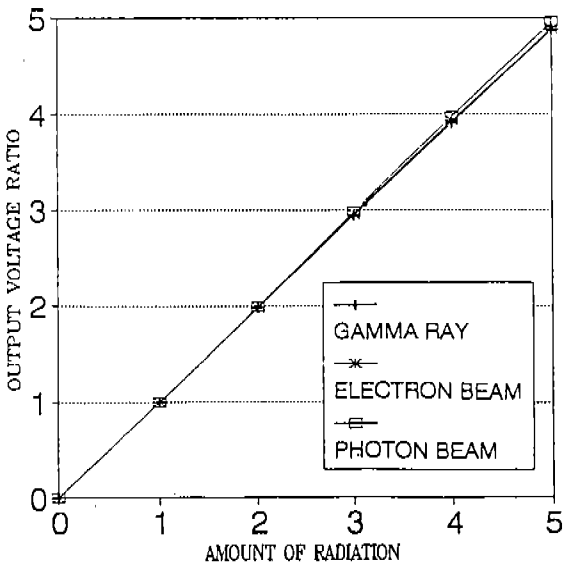


그림 6. 방사선량에 따른 출력전압비
Fig. 6. Output voltage ratio according to amount of radiation

빈자리가 전하운반자의 뺏기기 장소를 형성한다. 이 결합이 다수 형성되면 운반자의 수명은 감소되고 손실된 전하량의 요동에 기인해서 검출기의 에너지 분해능이 저하된다. 방사선 피폭후의 다이오드의 출력특성을 파악하여 다이오드의 수명 및 재현성을 알아보기 위해서 코발트-60의 감마선 선원을 다이오드에 10,000 rad/min씩 100,000 rad/min까지 조사시키면서 감도, 선형성, 오차율을 마이크로트론 10MV에서 검사해 보았다.

결과 및 고찰

선형성, 안정성 및 재현성에 있어서 앞서 언급한 여러 다이오드들 중에서 범용 P-N 접합 실리콘 다이오드 1N4007이 가장 우수하여 방사선 선원 검출소자로서 선택하였다. 코발트-60 감마선, 마이크로트론의 광자선 10MV 및 전자선 11 MeV에 대해서 그 선형성을 측정된 결과 그림 6에서처럼 방사선량의 일정량씩 증가에 따른 다이오드 검출소자의 출력전압비는 좋은 직선성을 보여 주었으며 모든 선질에 대해서 대동소이한 선형성을 나타내었다. 다이오드의 오차율을 구하기 위해서 동일한 선량을 동일한 조건에서 10회 반복조사 시킨후 최대값과 최소값의 차를 최대값으로 백분율한 것을 오차율로 보았다. 이 오차율에는 다이오드 자체의 오차율, 계측회로의 오차율 및 방사선

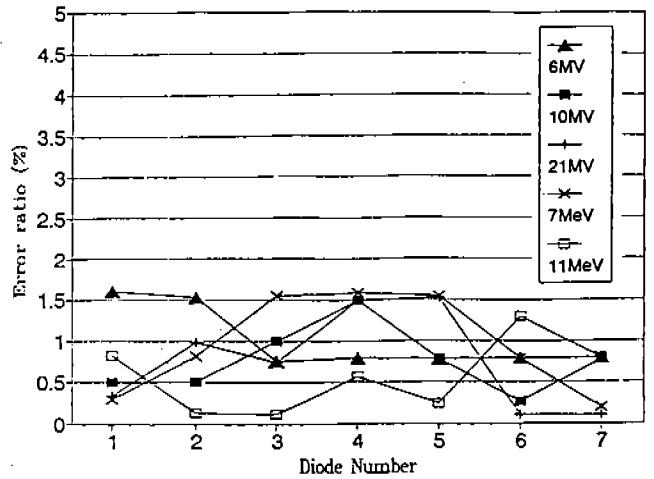


그림 7. 다이오드 검출기의 오차율
Fig. 7. Error ratio of diode detector

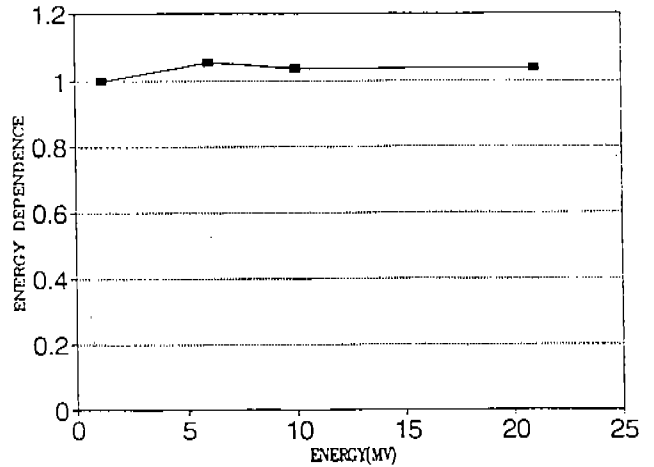


그림 8. 에너지 의존성
Fig. 8. Energy dependence

질의 변동에 따른 오차율 등의 전체적인 오차율을 포함하고 있다. 그림 7에서처럼 가장 많이 치료에 사용되고 있는 치료 방사선 에너지들에 대해서 전체 오차율은 최대 1.6% 이내에서 안정성을 보여 주었다. 이 오차율은 10회 조사중 단 1회의 돌발적인 빔의 비균질성에 의해 오차율이 다소 높아 졌지만 대부분은 1%이내 값으로 측정되었다. 이는, 국제 방사선 규정협회에서 규정하고 있는 방사선량 자체 오차율도 2~3%이내에 들어감으로 다이오드에 의한 치료방사선 검출기는 충분히 효능이 있는 것으로 사료된다.

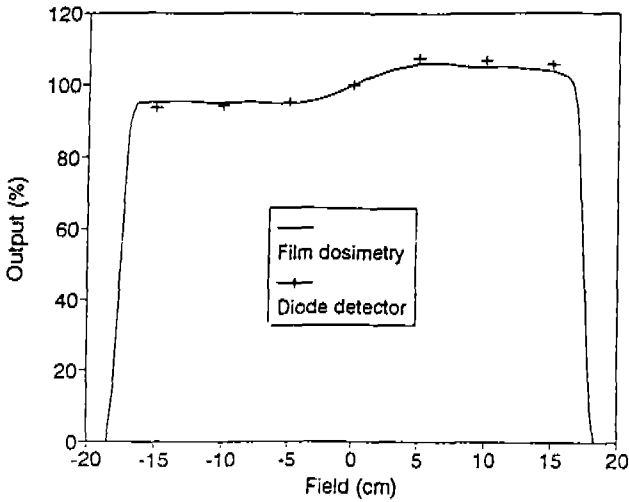


그림 9. 다이오드 검출기와 필름에 의한 방법과의 편평도 비교
Fig. 9. Comparison between diode detector and film dosimetry

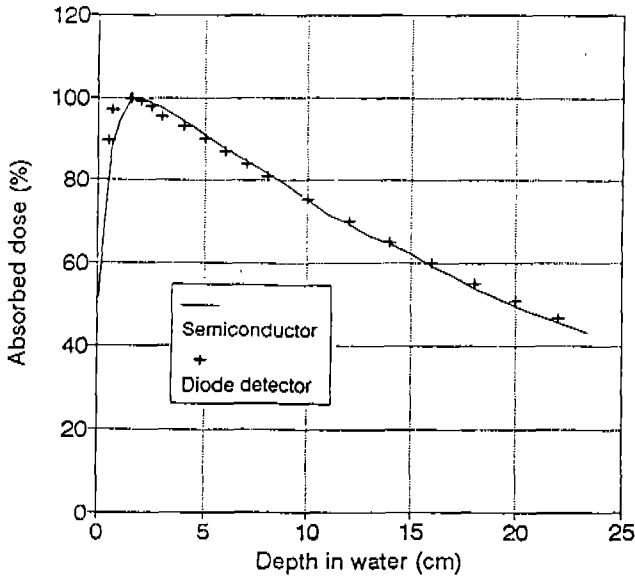


그림 10. 다이오드 검출기와 반도체소자에 의한 방법과의 흡수 선량비교
Fig. 10. Comparison of absorbed dose between diode detector and semiconductor

다이오드도 반도체 소자이므로 반도체소자의 단점인 같은 선량을 같은 조건에서 조사시 에너지의 세기에 따른 검출 값에 차이가 발생할 수 있다. 측정된 선원중 동위원소를 사용하는 코발트-60의 감마선을 가장 안정된 선원으로 기

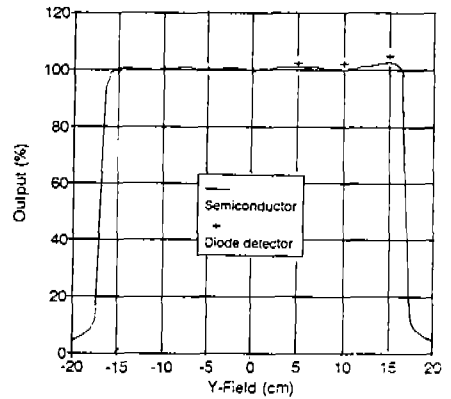
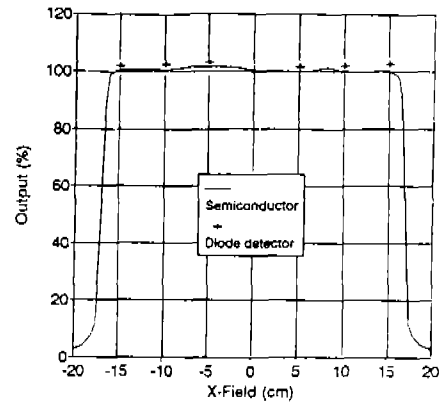


그림 11. 다이오드 검출기와 반도체소자에 의한 방법과의 편평도비교
Fig. 11. Comparison of flatness between diode detector and semiconductor in the direction of X-field and Y-field

준해서 동일한 선량을 동일한 조건에서 기체전리함과 다이오드에 조사후 기체전리함의 값과 비교해 본 결과 그림 8과 같이 6MV에서 5.3%, 21MV에서 3.5%로 고에너지 쪽보다 저에너지쪽에서 다소 에너지 의존성이 큰 것으로 나타났다. 이는 절대선량을 측정할 때에는 에너지별로 교정이 필요함을 나타낸다. 그러나 다이오드 출력값의 상대적값에 의한 빔의 안정성이나 편평도를 파악하여 치료적합 여부를 판정하는데 사용시에는 별다른 고려없이 사용해도 무방하리라 본다.

그림 9는 빔의 편평도를 나타내고 있다. X-선축은 조사되는 크기이며 Y-축은 방사선량의 백분율을 나타내고 있다. 실선은 필름에 조사시 발생된 흑화도에 의해 산출된 값이고 "+" 표시로된 값은 다이오드 검출기에 의한 값을 나타내고 있다. 그림과 같이 오른쪽으로 빔의 편평도가 약 10%정도 기울어져 있는 나쁜상태의 빔의 모양이다. 결과적으로, 이런 상태로 빔의 편평도가 불균일해져 있는 상태

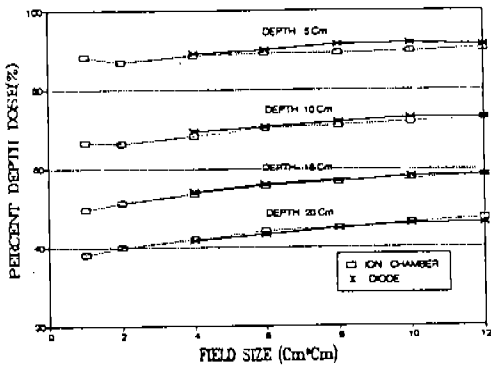


그림 12. 조사야별 심부량 백분율
Fig. 12. Percent depth dose ratio according to field size and depth

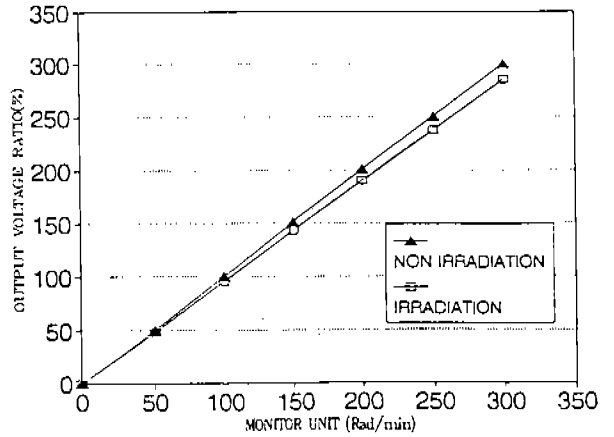


그림 14. 방사선 조사량에 따른 감도
Fig. 14. Sensitivity of diode according to amount of irradiation

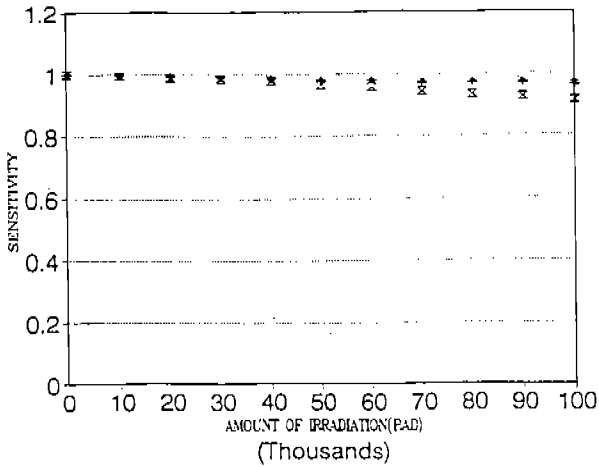


그림 13. 방사선 손상후의 안정성
Fig. 13. Stability of diode after radiation damage

를 빠른 시간내로 검출해 내기 위한것이 본 연구의 목적이였다. 다이오드에 의해 빔의 나쁜상태를 검출해 낼 수 있었으며, 빔의 재조정에 의해 균질한 상태로 조정이 가능해질 수 있었다. 그림 9에서 볼 수 있는 것처럼 필름에 의한 방법과 비교해 보았을때 조사야 끝부분에서 최대 2% 정도의 오차율을 보이면서 일치함을 알 수 있었다.

방사선량은 표면으로 부터 에너지에 따라서 일정 깊이에서 최대 선량을 나타내며 서서히 깊이별로 감소하게 된다. 물속에서 반도체 검출기로부터 측정된 흡수선량의 값은 그림 10에서처럼 표면 근처 급격한 선량분포 영역에서는 10% 정도의 많은 오차율을 보였고 최대선량깊이 이후

에는 1.5%이내의 오차율을 보이면서 일치하고 있다.

이는 흡수선량분포 측정시 최대 흡수선량깊이에서 매우 민감하게 변하는데 비해 제작된 다이오드 검출기를 깊이 별로 정확히 위치시키지 못한데에 따른 오차로 보여지며 검출센서 제작시 더 정밀성을 요구하는 부분이기도 하다. 빔의 편평도 및 대칭성을 물속에서 반도체 검출소자로 측정된 값과 비교해 본 결과 그림 11과 같이 X-선축, Y-선축 방향 및 전조사야에서 2%이내의 오차율을 보이면서 일치하였다. 오차는 급격한 선량차가 생기는 끝부분이 중간부위보다 높았다. 또한, 실제 방사선 조사는 환자 환부에 따라 임의의 조사야 크기 및 치료깊이에 조사되어야 함으로 조사야의 크기별 심부량 백분율을 기체전리함으로 측정된 값과 비교해 보았다. 그림 12에서처럼 깊이 5cm, 조사야 8×8cm²에서 최대 2.2% 오차를 보였으며 그의 부분에서는 그 이하로 일치함을 보였다. 선질을 나타내는 기준으로 사용되는 SSD 100cm에서 깊이 10cm, 20cm 흡수선량비인 D₂₀/D₁₀가 10MV의 경우,다이오드 검출기에서는 0.64, 기체전리함은 0.627로 나타났다. 이는 Andreo의 논문에 의한 0.63과 비교할 때 신뢰할 수 있는 값으로 사료된다. 다이오드의 방사선 손상에 의한 성능저하 및 수명에 대해 고찰하기 위해서 방사선 피폭후의 변화량을 살펴 보았다. 방사선피폭은 코발트-60 감마선 선원을 사용하였다. 그림 13에서처럼 10,000 rad/min을 조사할 때마다 감도는 약 1%씩 저하가 매우 서서히 발생했지만, 100,000 rad/min의 조사후에도 그림 14에서 처럼 선형성 및 오차율의 증가는 발생하지 않았다. 이는 하루 다이오드 검출기에 400

rad/min씩 빔 파라메타 검출을 위해 방사선을 조사한다면 다이오드를 1년이상 사용할 수 있다고 본다.

결 론

본 논문에서는 범용 실리콘 정류형 다이오드를 13개 채널로 구성하여 입자 가속장치로 부터 얻은 치료방사선의 선질을 단 1회 조사하여 빠르고 간편하며 저렴한 비용으로 측정할 수 있는 가능성을 확인하여 보았다. 실리콘 정류형 다이오드를 사용한 치료방사선의 선질을 측정하였는바, 다이오드 자체의 오차율은 1%이내로 선형성 및 재현성을 나타내었고, 13개의 멀티 다이오드 채널로 빔의 편평도 및 안정성을 타측정방법인 기체전리함에 의한 방법, 필름에 의한 방법 및 반도체 소자를 이용한 방법과 비교해 본 결과 전체적인 측정오차가 최대 2.5%이내에서 일치함을 보여 주었다. 정확도에 있어서는 다소 떨어지나 국제방사선 규정협회의 오차 기준치 2~3%이내에 들어가며, 빠르고 간편하게 측정할 수 있다는 장점이 있다. 방사선피폭에 의한 감도저하는 10,000 rad/min 조사마다 약 1%의 저하가 발생했지만, 선형성 및 재현성은 100,000 rad/min 조사후에도 변화가 발생하지 않았다. 이는 검출기로서 약 1년 정도의 수명은 충분하리라 본다.

본 연구에서 제작된 다이오드 검출기는 가격이 저렴하고 설치 및 측정이 간단하여 누구나 빠른 시간내에 빔의

특성을 허용된 오차 범위 한도내에서 측정할 수 있으며 측정장비를 갖추고 있지 않은 병원 뿐만 아니라 기존의 측정장비를 갖추고 있는 병원에서도 사용할 수 있으리라 본다.

참 고 문 헌

1. A. Junghem, J. Osterberg and J. Weitman, *The microtron-A new Accelerator for high voltage radiography*, British journal of NDT, Jan., 1974.
2. ICRU(1984), *International Commission on Radiation Units and Measurements. Radiation Dosimetry: Electron Beams with Energies Between 1 and 50MeV*, ICRU Report 35.
3. Khan et al, *Clinical electron-beam dosimetry: Report of AAPM Radiation Therapy Committee Task Group No. 25*. Med. Phys. 18(1), Jan/Feb, 1991.
4. 방사선량의 표준 측정법, 한국화학물리학회, 1990.
5. F. M. Khan, *The physics of radiation theory*, Williams and Wilkins, 1984.
6. Douglas Jones, B. SC., *An Instrument for the rapid check of output, energy and field symmetry of superevoltage therapy equipment*. Am. J. Roen. Vol. 123, pp. 198-202, 1975.
7. Wendell R. Lutz, B. Jerry Maddox, and Kenneth R. Kase, *Daily check instrument for photon and electron beam quality assurance of medical linacs*. Med. Phys. vol. 12, pp. 462, 1985.
8. NCRP Report NO. 58, *A Handbook of Radioactivity Measurements Procedures*, pp. 50-58, ~1978.
9. Edward S. Yang, *Fundamentals of semiconductor device*, 1978.

국문초록

최근 방사선 치료에서 가속기를 이용한 고에너지, 고선량을 X-선과 전자선을 암환자 치료에 이용하고 있다. 치료시 방사선 조사선량의 5% 증감은 방사선 치료성적의 성패를 직접적으로 간여하고 있다고 국제 방사선 규정협회는 규정하고 있다. 본 논문에서는 방사선 치료에 영향을 미치는 빔 파라메타의 변동여부를 빠르고 간편하게 검출해 낼 수 있는 장치를 범용 실리콘 다이오드를 이용하여 제작한 후 그 특성에 관해 고찰해 보았다.

13개의 다이오드를 X-축 및 Y-축에 각각 7개씩 배열한 후 조사영역의 빔의 대칭도, 편평도, 안정성 등을 검출하여 보았고 방사선 손상에 대한 고찰, 일정기간 후의 변화량, 에너지 의존성 및 심부량 백분률등을 기존의 측정방법인 기체전리함을 이용한방법, 필름을 이용한 방법, 반도체 소자를 이용한 방법과의 값과 비교 분석하였다.