

## 방사선 검출기용 PET 박막의 에너지 의존성

백금문, 김건중<sup>1</sup>, 김왕곤, 홍진웅<sup>2</sup>, 이병용<sup>3</sup>

서울산업대학교 전기공학과, <sup>1</sup> 광운대학교 전기공학과, <sup>2</sup> 서울아산병원, <sup>3</sup> 울산대학교 의과대학

### Energy Dependency of the Polyethylene Terephthalate Film for Radiation Detector

Geum Mun Back, Keon Chung Kim<sup>1</sup>, Wang Gon Kim, Jin Woong Hong<sup>2</sup>, Byong Yong Yi<sup>3</sup>

Seoul Nation Uni. Polytechnology, <sup>1</sup> Kwangwoon Uni. <sup>2</sup> Asan Medical Center, <sup>3</sup> Ulsan Uni.

#### Abstract

Currently small and accurate dosimeters are on the rise. In this study, the feasibility and energy dependency of the electret dosimeter that made of PET (polyethylene terephthalate) were observed by irradiating 4, 6, 15 MV photon beams from the clinical linear accelerator to develop a dosimeter for the clinical field. 10 x 10 cm field size of the photon beams were irradiated to the electret dosimeter where the 2.5 cm depth in the polystyrene phantom from 100 cm SSD, while 300 DCV was applied to the electret dosimeter. The result showed that the absorbed dose was proportional to the charge linearly, and the volume of a dosimeter could be reduced and the signals were high enough. According to this study, it was found that the polymer electret detector could be produced as a large quantity with a small cost and showed the feasibility of a realtime measurement.

**Key Word** : dosimeters, linear accelerator, photon beams, polymer electret detector

#### 1. 서론

고체 유전체에 투과성 방사선을 조사하면 많은 물질에서 전하축적효과가 관측되는데 이 전하는 일단 발생하면 방사선조사가 끝난 후에도 서서히 분산하거나 많은 경우에는 극히 오랜 시간동안 지속된다. 이러한 반영구적 전하보존상태를 보이는 유전물질을 일렉트렛(electret)라 한다. 일렉트렛에 관한 연구는 Gray가 시초이며 그 이후 Faraday가 이론화하였다. Heaviside가 처음으로 일렉트렛란 말을 사용하였으며, 체계적인 연구는 Eguchi에 의해 시작되었다. 이후 전자나 이온을 절연체에 주입하거나 코로나방전 등에 의한 충전요법과 자기장과 열을 유전체에 가하여 열일렉트렛을 형성하는 방법 등이 개발되었다. 일렉트렛 현상을 보이는 고체유전체로서 가장 많이 상업화되어 있는 것이 PET (polyethylene-terephthalate, 상

품명; Mylar, USA)박막이고 투과성방사선을 조사하여 일렉트렛을 만들기 위해선 큰선량의 방사선이 필요하며, 무엇보다도 전하축적시간이 그리 길지 않기 때문에 주로 선량계로서 응용에 관한 연구가 이루어지고 있다. PET박막을 검출기로 사용하여 만들어진 선량측정용 전리함 (electret ionization chamber, EIC)은 평행판 전리함(plane-parallel chamber)과 유사한 형태의 구조를 가지고 있다. 여러 연구자들은 기존의 EIC와는 다른 원리의 고분자 박막 방사선 검출기의 가능성을 보인바 있다. 두께가 1[mm] 이하로 작게 만들 수 있고 인체등가물질을 사용할 수 있다는 장점으로 주목을 받고 있다. PET박막이 투과성방사선에 노출되었을 때 방사선량을 정량적으로 측정이 가능한 측정기를 개발하기 위한 물리적 특성 및 전기적 특성을 연구하고, 방사선 선량계로 응용 가능성과 에너지 의존성에 대해 시험하는 것이 목적이다. 본 연구에

서는 고분자 물질 자체에서 방사선에 의하여 이온화전류 및 유도전류가 발생하는 성질을 이용하여 고분자 물질 선량계의 개발 가능성에 관한 연구로 검출기용 PET박막의 에너지 의존성에 대하여 보고한다.

## 2. 실험

### 2.1 시료의 제작

일렉트렛트의 특성을 갖고 있는 PET 박막으로 단면이 크롬 증착 된 PET 박막 두께  $80[\mu\text{m}]$ 을 이용하고 크롬 상부전극을 증착하여 지름  $1.5[\text{cm}]$ 의 크기로 전극을 만들어 시료를 제작하였다.

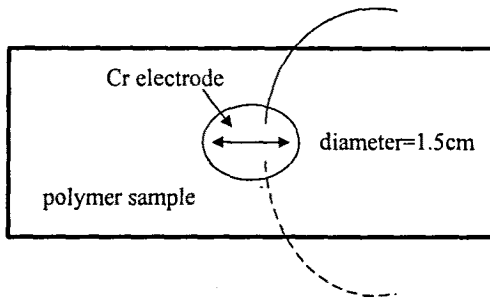


그림 1. 시료의 구성도

Fig. 1. Schematic diagram of the specimen

### 2.2 실험장치

#### 2.2.1 의료용 선형가속기(linear accelerator : Linac)

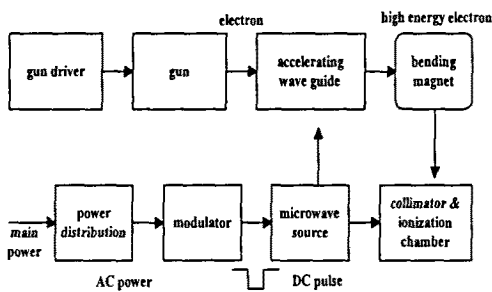


그림 2. 의료용 선형가속기의 블록도

Fig. 2. Block diagram of typical medical linear accelerator

의료용 선형가속기에서 발생하는 4, 6, 15[MV]의 광자선을 이용하였다. 선형가속기(Linac)의 광자선 발생

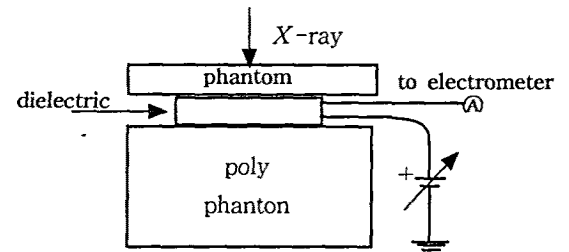
원리는 전자총에서 발생된 전자를 고주파전자파(microwave  $\approx 3[\text{GHz}]$ )로 가속하고 이때 고주파(전자파)는 magnetron(또는 klystron)에서 발생시켜 도파관(wave guide)을 통하여 가속관(accelerator tube)에 공급되며 전자는 6~45[MeV]의 에너지를 얻어 target에 충돌하여 X선(4~15[MV])을 발생시킨다.

#### 2.2.2 미소전류계

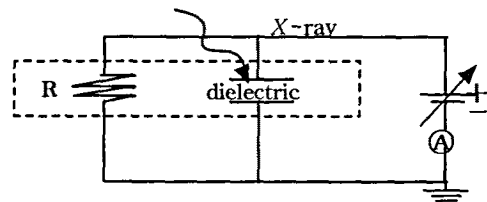
측정기로는 미소전류계(Keithley 35617EBS)를 사용하였고, 측정은 SSD(source-surface-distance)는  $100[\text{cm}]$ , 조사면(field size)의 크기는  $10 \times 10[\text{cm}^2]$  폴리스티렌 팬텀  $2.5[\text{cm}]$  깊이에서 실험하였다. 따라서 SDD(source-detector-distance)는  $102.5[\text{cm}]$ 에서 실시하였다.

### 2.3 실험방법

실험은 의료용 선형가속기(Linac)를 사용하였으며 사용 팬텀으로는 폴리스티렌 팬텀을 사용하였고, 시료에 걸린 외부전압은  $300[\text{V}]$ 로 이는 측정에서 사용한 미소전류계에서 일정하게 공급해주는 전원이다. 전압의 변화에 따른 전하량 및 전압값의 변화를 보고자 할 때는  $9[\text{V}]$  전전지를 직렬 연결하여 원하는 전압값을 만들고, 조사면의 크기(field size)는  $10 \times 10[\text{cm}^2]$  으로 하였다.



(a) Sample in the phantom



(b) Equivalent circuit of the experiment

그림 3. 실험 장치의 구성도

Fig. 3 Schematic drawing of the experimental setup

회로의 구성은 그림 3(a)와 같으며 그림3(b)의 회로는 용량 C와 저항 R을 갖는 RC 등가 회로로 이해할 수 있다. PET 박막의 방사선 조사 후 전하의 시간의존성을 관측하였으며, 재현도를 조사하였다. 각 에너지의 재현성을 보기 위하여 전압을 일정하게 고정하여 10회 이상 50[MU]를 조사하여 측정하였다. 조사선량율(Dose rate)의 변화를 측정하였으며 또한 MV의 변화에 따른 측정값의 변화와 전압의 변화에 따른 측정값의 변화를 측정하였다. 여기서 monitor unit(MU)는 의료용 선형가속기에서 사용하는 선량단위로서, 통상적으로 SSD 100[cm], 기준조사면의 크기(reference field size) 10×10 [cm<sup>2</sup>]에서 기준점 깊이(reference depth)에 1 [cGy]가 흡수되도록 조정하여 사용하고 있다. Gy(Gray)는 단위 질량 당 흡수한 에너지를 합리화 단위계인 MKS 단위로 표현한 [J/kg]는 흡수선량 단위이다.

### 3. 결과 및 고찰

그림 4는 조사선량율을 300[MU/min], 50[cGy]를 연속측정에 따른 전하량곡선으로 처음에는 다소 차이를 보이지만 점차 측정횟수가 증가하면서 안정값으로 된다. 이는 방사선 조사로 인해 변해진 물성이 방사선 조사 후 조사 전의 원상태로 돌아오는데 다소 시간이 걸림을 알 수 있다. 즉 일정 시간동안 지속됨을 보여주고 있다.

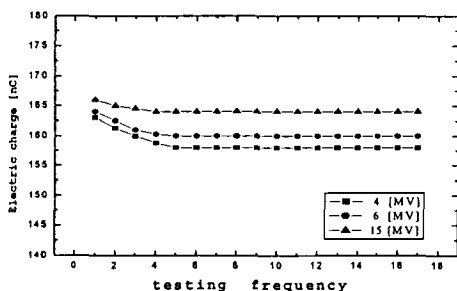


그림 4. 시험 횟수에 따른 전하량  
Fig. 4 Electric charge due to testing frequency

조사선량비율이 300[MU/min]로 하고 광자선 에너지를 4, 6, 15 [MV]로 상승시키면서 흡수선량에 대한 전하량을 조사한 것이 그림 5이다. 그림에서 흡수선량이 증가되면서 전하량은 직선적으로 상승되

는데 이것은 조사 선량율이 300[MU/min]으로 일정하므로 흡수선량이 커지면 조사시간이 길어지므로

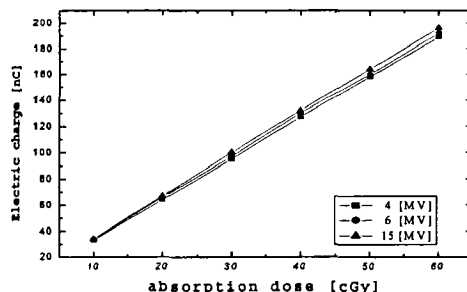


그림 5. 흡수선량에 따른 전하량  
Fig. 5 Dose response relation for various energies, dose rates is fixed 300[MU/min]

시료 내에서 캐리어의 이동도 조사시간에 비례하여 커지므로 전하량도 커진다. 그리고 저흡수선량 영역 40[cGy]에서는 광자선 에너지에 대한 영향이 적으나, 흡수선량이 50[cGy] 이상이 되면 광자선 에너지 크기에 따라 전하량 증가율이 커진다.

이 현상은 에너지의 영향으로 사료된다. 따라서 PET 박막을 이용한 방사선 검출용 고분자 검출기 개발의 가능성을 확인하였다.

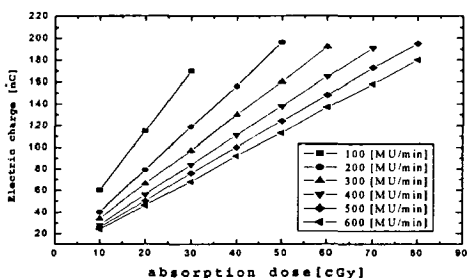


그림 6. 조사선량을 변화에 따른 전하량 (6[MV])  
Fig. 6 Dose response relation for various dose rates

조사선량율을 100[MU/min]부터 600[MU/min]까지 변화시키면서 흡수선량에 대한 전하량을 조사한 것이 그림 6과 같으며 100[MU/min]을 이용한 흡수선량에 대한 전하량은 조사시간이 가장 길기 때문에 전하량이 가장 크다. 그리고 600[MU/min]으로 조사선량율을 높이면 하면 조사시간은 짧아진

다. 그러나 일반적으로 의료용 선형가속기의 표준 조사 선량은 300[MU/min]으로 사용한다.

따라서 조사선량 시간에 따른 캐리어의 이동이 전하량에 비례하므로 조사선량이 낮으면 낮을수록 전하량은 커진다.

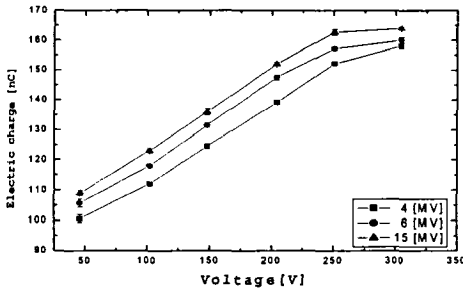


그림 7. 인가전압에 따른 전하량  
Fig. 7 Electric charge due to applying voltage

그림7은 조사선량을 300[MU/min], 흡수선량 50[cGy]로 일정하게 하고 광자선 에너지를 4, 6, 15 [MV]로 변환시키면서 인가전압에 따른 전하량의 변화를 조사한 그림으로 200[V]이하 저전압 영역에서는 인가전압에 따라 선형적으로 전하량은 증가하지만 광자선 에너지가 커지면 증가율은 커진다. 또한 인가전압이 250[V]이상으로 높아지면 포화되는 특성이 나타나는데 이것은 시료의 절연성이 우수하여 인가전압에 따라 흡수전류영역을 지나고 누설전류 영역에 이르므로 포화되는 경향을 나타낸다.

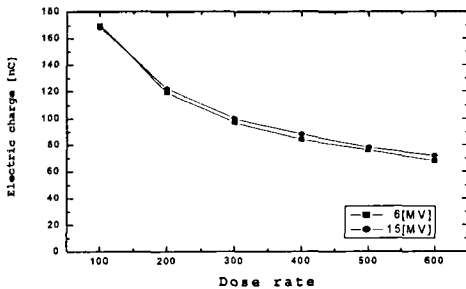


그림 8. 조사선량에 대한 전하량  
Fig. 8 dose rate dependency on the response for 6 and 15[MV]

시료의 광자선 에너지 6, 15 [MV] 의존특성을 조사하기 위하여 흡수선량 30[cGy]에서 조사선량 비율을 100[MU/min]에서 600[MU/min]까지 변화시킨 것이 그림 8이다. 고분자의 절연성능이 우수하여 캐리어의 이동이 어렵고 그리고 저조사선량에서는 쌍극자나 이온 등이 배향되는 시간이 길어지기 때문에 지수함수적으로 감소하나, 높은 조사량에서는 급하게 캐리어가 증가됨을 알 수 있다.

#### 4. 결론

방사선 검출기용 PET 박막의 에너지 의존성을 연구하기 위하여 4 [MV], 6 [MV], 15 [MV] 광자선을 조사한 결과 흡수선량의 증가에 따라 전하량이 선형적으로 증가하여 선량계 재료로서 좋은 성적을 확인하였고 이 polymer electret detector는 비슷한 원리를 갖는 전리함에 비해 용량을 획기적으로 줄일 수 있었으면서도 수집한 선량은 통상의 0.1~0.6 [cc] 전량에 비해 2.5배 내지 20배 큰 판독치를 확인하였으며 선량계로서 사용 가능성을 보여주었다. 본 연구의 결과로부터 제작이 용이하고 가격이 저렴하며 동시에 여러 개를 만들 수 있고 실시간 선량평가의 가능성을 확인하였다.

최근 방사선 기술의 발달로 작고 정밀한 선량계의 필요성이 대두되고 세기변조방사선치료, 3차원 입체조형치료, 정위적 방사선수술 등 정교한 치료에서 정확한 선량평가가 중요하다. 이 polymer electret detector를 사용함으로써 작은 조사면에 대한 정확한 선량 평가가 가능하리라고 사료된다.

#### 참고 문헌

- [1] G. M. Sessler; "Electrets", Springer-Verlag pp. 1~5, pp. 217~219, 1987.
- [2] Halliday; "Fundamentals of Physics" ,John Wiley & Sons, pp. 484~490, . (1981).
- [3] Faiz M. Khan; "The Physics of Radiation Therapy", Williams & Wilkins. 1994.
- [4] Elsa Reichmanics, "The effects of radiation on High-technology polymers", American Chemical Society, pp. 1-18, 1989.
- [5] 박영우, 조철우, "원주의대 논문집" 4, 100(1991).
- [6] 김성훈, "Teflon-FEP와 PET Film의 감마선 조사에 따른 물리학적 특성에 관한 연구" (1998).