

유전체필름을 이용한 평행판검출기의 납 차폐물 두께변화에 대한 반응

*충남대학교병원 방사선종양학과, †충남대학교 암공동연구소, ‡충북대학교 자연과학대학 물리학과,
 §을지외과대학교 방사선종양학교실, ¶전북대학교병원 방사선종양학과, ¶단국대학교병원 방사선종양학과,
 #동아대학교병원 방사선종양학과, 원광대학교병원 방사선종양학과

김기환* · 김용은† · 조문준*† · 김준상*† · 오영기§ · 김진기¶ · 신교철¶ · 김정기# · 정동혁

본 연구에서는 납 차폐물의 두께변화에 대한 반응을 알아보기 위하여 크롬으로 코팅된 전극을 사용한 FEP 유전체필름과, 그들 사이에 PTFE 유전체 필름을 삽입한 형태의 평행판 검출기를 제작하였다. 측정조건은 선원-팬텀표면 간의 거리 100 cm, 조사면 크기 10×10 cm, 그리고 팬텀의 표면으로부터 깊이 5 cm 되는 지점과 10 cm 되는 지점에 유전체필름을 이용한 제작검출기와 Farmer형 전리함을 설치하고 6 MV, 10 MV X-선을 조사하였다. 차폐물은 조사면을 충분히 포함하도록 제작하여 측정순서에 따라 차례대로 Tray 위에 놓아서 두께변화에 대한 감쇄효과를 확인하고 두 검출기 간의 반응함수를 알고자 하였다. 차폐효과에 대한 두 검출기 간의 반응함수는 선량에 대하여 지수적으로 감소함을 확인할 수 있었다. 제작검출기와 비교검출기로 측정된 선형감쇄계수 $\mu(\text{cm}^{-1})$ 는 6 MV X-선으로 조사한 경우 0.1414, 0.541이었고, 10 MV X-선으로 조사한 경우 각각 0.1368, 0.5279로서 납 차폐물의 두께 변화에 의한 선형감쇄계수가 감소하는 경향을 확인할 수 있었으며 계산된 반응함수로부터 제작검출기는 전리함에 비해 상대적으로 매우 크게 반응하고 있음을 알 수 있었다. 제작검출기에서 측정된 선량값(R)과 전리함에서 측정된 선량값(D) 간의 반응함수를 최적화 과정을 통하여 계산하였다. 이들 반응함수의 최적화 상수 값들은 고 에너지 X-선 크기에 비교적 무관한 경향을 보였다. 제작 검출기와 비교검출기 간의 최적화된 반응함수를 계산한 결과 6 MV X-선의 경우 1%, 10 MV X-선의 경우 4% 이내의 범위 내에서 측정된 선량이 일치함으로써 상대 선량계로서의 가능성을 확인하였다.

중심단어: 광자선 차폐물, 유전체 필름, 선형감쇄계수

서 론

고 에너지 X-선과 방사능물질이 발견된 이후 1930년대에는 유전체의 이온화 방사선에 의한 효과들 즉, X-선 또는 감마선 조사에 의하여 파라핀의 전도도가 증가하는 현상 또는 유전흡수가 상당히 증가하는 현상들을 관찰하게 되었으며, 또한 온도 효과와 열적 활성화 등이 방사선유도 전도도와 관련이 있다는 사실을 알게 되었다.¹⁾ 이러한 것들에 대한 연구를 수행하면서 방사선에 의해 조사받고 있는 유전체 내에서 전자의 전도현상을 적절히 해석하게 되면 전하수송의 메커니즘, 국소상태, 운반자 들뜸, 트래핑과 재결합에 대한 많은 정보를 얻을 수 있는 단서가 있음을

알게 되었다. 고분자화합물과 같은 저전도성 물질에 오랜 시간 동안 전기장을 인가하면 전기전도도가 상당히 감소하게 되는데 이러한 조건에서 유전체의 전류 밀도는 단지 전류운반자생성률과 함께 유전체물질의 두께와 비례하지만 전기장세기와는 무관하게 되어 그 결과 옴의 법칙과 무관하게 된다는 사실을 알게 되었다.²⁻⁴⁾

방사선조사에 의한 축전기 형태로 만들어진 유전체 필름이 투과성 방사선에 노출되었을 때 유전체물질의 물리적 특성 변화를 이용하여 방사선량을 측정하는 연구들이 국내외에서 수행되었다.⁵⁻¹⁰⁾

그러므로 방사선측정 매질로서 유전체를 사용하게 되면 평행판형 전리함과 유사한 형태의 구조로 제작이 용이하고, 두께에 대한 제약을 적게 받으면서도 작은 방사선량에 높은 반응을 얻는 검출기를 제작할 수 있는 장점이 있다. 본 연구에서는 이러한 점에 착안하여 Poly-Tetra-Fluoroethylene (PTFE) 필름과 Fluoro-Ethylene-Propylene (FEP) 필름을 이용하여 제작한 평행판 검출기로 납 차폐물의 두께에 대한 반응을 알아보려고 하였다.

이 논문은 2006년 2월 1일 접수하여 2006년 3월 3일 채택되었음.

책임저자 : 김기환, (301-721) 대전시 중구 대사동 640

충남대학교병원 방사선종양학과

Tel: 042)220-7394, Fax: 042)220-7899

E-mail: khkim@cnuh.co.kr

재료 및 방법

1. 검출기 고안

연구를 위하여 Fig. 1처럼 두 개의 전극과 그 사이에 유전체를 삽입하여 전기장 감소로 인한 정전용량이 증가하여 더 많은 전하축적을 유도하도록 하는 평행판형 검출기(이하, 제작검출기)를 고안하였다. 평행판 검출기의 전극물질은 한쪽 면이 크롬으로 코팅된 두께 100 μm의 FEP 유전체 필름(Du Pont, USA)이었다. 이 필름의 유전상수(K)는 2.15, 저항(R) 10¹⁵ Ω, 전기전도도(g) 10⁻¹⁸ Ω⁻¹ cm⁻¹, 그리고 밀도(ρ)는 2.14~2.17 g/cm³이다.¹¹⁾ 연구에는 한쪽 면이 크롬으로 코팅되어 있어 전극으로 사용하기에 적합한 FEP 유전체 필름을 사용하였다. FEP 전극 사이에는 두께 100 μm인 PTFE 필름(베스트론, Korea)을 삽입하였다. PTFE 필름의 유전상수(K)는 2.0, 저항(R)은 10¹⁵ Ω, 전기전도도(g)는 10⁻¹⁸ Ω⁻¹ cm⁻¹, 그리고 밀도(ρ)는 2.13~2.20 g/cm³이다.¹¹⁾

전극은 고전압 발생장치의 양극과 음극을 연결하기 위하여 두 개로 구성되었다. 전극의 제원은 가로, 세로가 20 × 20 mm², 두께 100 μm로 구성되어 있으며 전극과 유전체 내의 외부공기를 차단하면서 검출기의 기하학적 구조를 변형시키지 않도록 하기 위하여 폴리에틸렌 재질로 된 코팅지를 이용하여 압착시켰다. 또한, 측정에 사용하는 외부 팬텀과의 기하학적 구조의 일관성과 검출기의 물리적 견고성 등을 고려하여 아크릴판으로 검출기 외부를 고정하였다.

2. 실험 방법

연구에 사용한 의료용 선형가속기(CL2100C/D, Varian, USA)의 명목상 가속전압은 6, 10 MV인 고 에너지 X-선을 사용하였다. Fig. 2와 같이, 검출기의 측정 깊이는 팬텀 내의 고 에너지 X-선의 전자교란에 의한 변수를 최소화하면

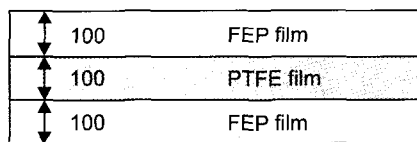


Fig. 1. The detector dimension of parallel-plate detector (lateral side view, unit: μm, A parallel plate detector containing PTFE films in FEP film for relative dosimetry was designed to measure the response of detectors to 6 and 10 MV X-rays through different thicknesses of lead).

서 선량을 측정할 수 있도록 최대선량지점보다 깊은 지점인 팬텀의 표면으로부터 5.0 cm 깊이에 제작검출기를 놓았다. 연구에 사용한 납 블록의 조성비는 비스무트(50%), 납(26.7%), 주석(13.3%), 그리고 카드뮴(10.0%)이고, 납밀도의 83%에 해당하는 9.4 g/cm³의 밀도 값을 갖는 물질이다. 차폐효과를 측정하기 위하여 선원으로부터 표면까지의 거리, 즉 SSD를 100 cm의 조건에서 제작검출기를 깊이 5 cm인 105 cm의 위치에 설치하였고, Farmer 전리함(이하, 비교검출기)은 SSD를 100 cm의 조건에서 팬텀의 깊이 10 cm 되는 지점인 110 cm의 위치에 설치하였다. 측정 장치로부터 전기적 신호를 획득하기 위하여 제작검출기는 CAPINTEC 192 전기계(Capintec, USA)에 연결하였으며, 비교검출기는 MK614 전기계(Kethley, USA)에 연결하여 선량에 관련된 정보를 두 개의 검출기로부터 동시에 획득하도록 하였다. 이러한 방법을 택하게 되면 선형가속기로부터 발생하는 방사선량을 동일한 시간에 두 개의 검출기가 독립적으로 전기적 신호를 수집하면 선량률에 대한 시간성분을 고려하지 않아도 되므로 선량에 의한 상대비교를 쉽게 할 수 있는 장점이 있다. 측정에 사용한 두 개의 검출기들에 인가한 전압은 300 V로 동일하였다.

본 연구에서 사용한 X-선은 명목상 가속전압이 6 MV, 10 MV이었고 선원에서 표면까지의 거리, 즉 SSD는 100 cm였다. 조사면 크기는 10 × 10 cm²였으며, 차폐물로는 납 블록을 사용하였다. 사용한 블록들은 조사 면을 충분히 포함하도록 제작하였으며 측정순서에 따라 차례대로 의료용 선형가속기의 헤드에 부착된 tray 위에 올려놓았다. 사용

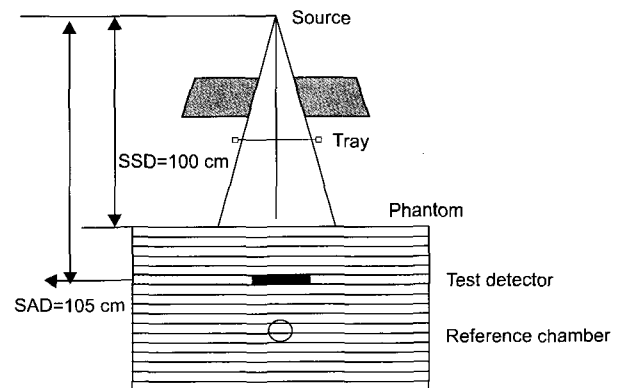


Fig. 2. The measurement geometrical set-up (The set-up conditions for measurements with this detector were as follows: SSD = 100 cm, the test detector was at a depth of 5 cm and the reference chamber was at a depth of 10 cm from the phantom surface for 6 and 10 MV X-rays).

한 블록의 두께는 순서에 따라 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.2, 1.1 cm로 총 6개를 제작하여 차폐두께 변화에 따른 제작검출기의 감쇄효과를 측정하였다. 또한 동일한 조건에서 선량을 100~600 MU/min까지 변화시켜 제작검출기의 선량 의존성과 감쇄효과를 확인하였다.

결과 및 결론

차폐효과를 측정하기 위하여 선원으로부터 표면까지의 거리, SSD를 100 cm의 조건에서 제작검출기를 깊이 5 cm 인 105 cm의 위치에 설치하였고, 깊이 10 cm 되는 지점인 SAD가 110 cm 되는 지점에 비교검출기를 동시에 놓아 두 검출기 간의 조사한 선량과의 상관관계를 비교하였다. 고 에너지 X-선에서 납 블록을 사용하지 않고 얻은 측정값을 기준으로 하여 블록 두께 변화에 대한 상대 측정값을 분석한 결과 Table 1, 2와 같이 제작 검출기와 비교 전리함 모두에서 블록두께에 대한 검출기의 반응은 선량에 대하여 지수 함수적으로 감쇄되고 있음을 알 수 있었다. 즉, 제작 검출기 선량감쇄 측정의 경우 $I=1.1267e^{-\mu x}$ 의 관계가

성립하였으며 선량감쇄계수 $\mu(\text{detector})=0.1414 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$ 이었다. 비교검출기 선량감쇄 측정의 경우 $I=1.1267e^{-\mu x}$ 의 관계였고, 선량감쇄계수 $\mu(\text{Reference})=0.541 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$ 이었다.

또한 Table 2에서 보는 바와 같이 10 MV X-선에서도 제작검출기의 납 블록두께에 대한 감쇄 효과를 확인할 수 있었으며 6 MV X-선과 동일한 경향을 확인할 수 있었다. 즉 10 MV X-선을 조사하여 제작 전리함으로 측정된 경우 선량에 대하여 $I=1.1477e^{-\mu x}$ 의 관계가 성립하였으며 선량 감쇄계수는 $0.1368 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$ 이었다.

비교검출기의 경우 $I=1.7396e^{-\mu x}$ 의 관계를 확인할 수 있었으며 선량감쇄계수 $\mu(\text{Reference})$ 는 $0.5279 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$ 이었다. 10 MV X-선의 투과력이 상대적으로 크기 때문에 6 MV X-선에 비하여 선량 감쇄 효과가 상대적으로 작게 나타났다.

또한 Table 1, 2의 결과들로부터 본 연구진들은 제작 검출기는 Macdonald 등¹²⁾의 연구 결과와 동일하게 측정시간에 대하여 선량의존성의 특성을 가지면서 비교검출기와 일정한 반응관계를 갖고 있음을 확인할 수 있었다. 그러므로 본 연구에서는 제작 검출기에서 측정된 선량값을 비교검출기에서 측정된 선량값의 지수함수에 비례한 $R = k_1 D_r^d + k_2 D_r$

Table 1. Attenuation effect of lead block thickness at 6 MV X-ray.

Block (cm)	Dose rate (MU/min)							Farmer chamber
	100	200	300	400	500	600	Mean	
0	1	1	1	1	1	1	1	1
1.2	0.85	0.85	0.88	0.84	0.87	0.89	0.86	0.59
2.3	0.73	0.72	0.74	0.72	0.70	0.73	0.72	0.33
3.6	0.61	0.61	0.66	0.61	0.62	0.64	0.62	0.18
5.0	0.55	0.53	0.54	0.54	0.53	0.55	0.54	0.11
6.2	0.49	0.47	0.49	0.48	0.48	0.49	0.48	0.07
7.3	0.45	0.41	0.41	0.45	0.45	0.44	0.43	0.04

Table 2. Attenuation effect of lead block thickness at 10 MV X-ray.

Block (cm)	Dose rate (MU/min)							Farmer chamber
	100	200	300	400	500	600	Mean	
0	1	1	1	1	1	1	1	1
1.2	0.88	0.91	0.94	0.91	0.91	0.88	0.90	0.62
2.3	0.76	0.73	0.78	0.77	0.76	0.76	0.76	0.37
3.6	0.66	0.62	0.65	0.65	0.66	0.63	0.64	0.21
5.0	0.56	0.54	0.56	0.55	0.56	0.56	0.56	0.12
6.2	0.52	0.50	0.51	0.51	0.50	0.49	0.51	0.07
7.3	0.46	0.44	0.46	0.45	0.47	0.46	0.46	0.04

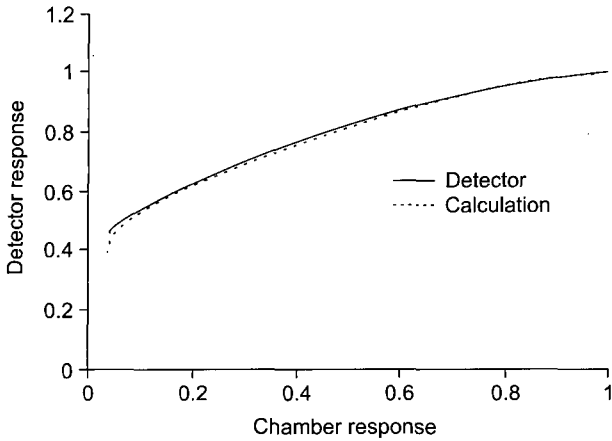


Fig. 3. The response function from the measured values of the test detector and reference chamber using optimization.

의 관계로 가정할 수 있었다. 여기서 선량 R 은 제작 검출기의 반응함수(선량)값이고 D_r 은 비교검출기로 얻은 선량값이다. 여기에서 가정한 반응함수를 이용하여 검출기들의 최적화 계산을 수행하여 Fig. 3과 같은 두 검출기 간의 선량 반응관계를 알아낼 수 있었다. 최적화계산 결과 얻어진 매개변수 값 $\Delta=0.2239$, $k_1=0.8582$, $k_2=0.1474$ 로서 에너지에 비교적 무관한 특성을 확인할 수 있었다. 본 연구는 비록 절대선량측정을 수행하지 못한 한계점이 있음에도 불구하고 계산된 반응함수를 이용하여 제작 검출기와 비교검출기 간의 선량오차는 6 MV X-선의 경우 1% 이내에서, 10 MV X-선의 경우 4% 이내에서 일치함으로써 유전체를 이용한 방사선검출기를 상대 선량계로의 사용 가능성을 확인하였다.

참 고 문 헌

1. Sessler GM: *Electrets*. Vol 1, 3rd ed, Laplacian, California (2003), pp. 217-220
2. Malecki J: Dynamics of radiation-induced conductivity in the presence of spatial charge. *J Electrostatics* 50:109-117 (2001)
3. Raju GG: *Dielectrics in Electric Fields*. Marcel Dekker, New York (2003), pp. 360-375
4. Gross B, Faria RM, Ferreira GF: Radiation induced conductivity in teflon irradiated by X-Rays. *J Appl Phys* 52(2):571-577 (1980)
5. Yang GM, Sessler GM: Radiation-induced conductivity in electron-beam irradiated insulating polymer films. *IEEE Transaction on Electrical Insulation* 27(4):843-848 (1992)
6. Filho VB, Gross B: Time-resolved X-radiation induced conductivity in polyethylenetetraphthalate. *J Appl Phys* 66(11): 5478-5483 (1989)
7. 김성훈, 김영진, 이명자 등: Teflon-FEP와 PET film의 감마선 조사에 따른 물리적 특성에 관한 연구. *의학물리* 9:11-21 (1998)
8. 김기환, 조문준, 김용은 등: 6 MV X-선 검출특성 조사를 위하여 유전체필름을 이용하여 제작한 평행판 검출기의 유용성. *의학물리* 15(2):105-111 (2004)
9. Maeda H, Kurashige M, Nakakita T: Gamma-ray induced conduction in polyethylene-tetraphthalate under high electric fields. *J Appl Phys* 50(2):758-764 (1979)
10. Xia Z, Wedel A, Danz R: Charge storage and its dynamics in PTFE films electrets. *IEEE Transaction on Dielectrics and Electrical Insulation* 10(1):102-108 (2002)
11. Shugg WT: *Handbook of Electrical and Electronic Insulating Materials*. 2nd ed, IEEE, New York (1995), pp. 304-305
12. Macdonald BA, Fallone BG, Markovic A: Radiation induced conductivity of teflon in electret ionization chamber. *J Phys D: Appl Phys* 26:2015-2021 (1993)

Response for Lead Block Thickness of Parallel Plate Detector using Dielectric Film

Ki-Hwan Kim*, Yong-Eun Kim[†], Moon-June Cho*[†], Jun-Sang Kim*[†], Young-Kee Oh[§], Jhin-Kee Kim^{||}, Kyo-Chul Shin^{||}, Jeung-Kee Kim[#], Dong-Hyeok Jeong

*Department of Radiation Oncology, Chungnam University Hospital, [†]Cancer Research Center, Chungnam National University, [‡]Department of Physics, Chungbuk National University, Department of Radiation Oncology, [§]Eulji University Hospital, ^{||}Chonbuk National University Hospital, [¶]Dankook University Hospital, [#]Dong-A University Hospital, Wonkwang University Hospital

A parallel plate detector containing PTFE films in FEP film for relative dosimetry was designed to measure the response of detectors to 6 and 10 MV X-rays from a medical linear accelerator through different thicknesses of lead. The dielectric materials were 100 μ m thick. The set-up conditions for measurements with this detector were as follows: SSD=100 cm the test detector was at a depth of 5 cm and the reference chamber was at a depth of 10 cm from the phantom surface for 6 and 10 MV X-rays. Lead blocks were designed to cover the irradiated field. They were added to the tray to increase thickness sequentially. We found that the detector response decreased exponentially with the thickness of lead added. The linear attenuation coefficients of the test detector and reference chamber were 0.1414 and 0.541, respectively, for 6 MV X-rays and 0.1368 and 0.5279 for 10 MV X-rays. The test detector response was greater than that of the reference chamber. The response function was calculated from the measured values of the test detector and reference chamber using optimization. These optimized constants for the detector response function were independent of the energy. As a result of optimizing the response function between detectors, the use of a relative dosimeter was validated, because the response of the test detector was 1% for 6 MV X-rays and 4% for 10 MV X-rays.

Key Words : Lead block, Dielectric film, Linear attenuation coefficient