

Teflon-FEP와 PET Film의 감마선 조사에 따른 물리적 특성에 관한 연구

김성훈, 김영진, 이명자*, 전하정*, 이병용**

한양대학교 물리학과, 한양대학교 치료방사선과학교실*

울산대학교 의과대학 서울중앙병용 방사선종양학과**

일렉트릿(electret)의 특성을 갖고 있는 Teflon-FEP와 PET 필름의 유전체 양면에 크롬을 증착시켜 전극을 만들고 코발트-60 감마선을 쬐어 이 두 유전체의 물리적 특성변화를 조사하였다. 선량을 25.0 cGy/min에서 방사선 조사하기 시작하여 2초이내에서 전류가 급격히 증가해 최대값에 이르면, 60초 이후에선 거의 안정값에 이르는 특성을 보였다. 방사선 조사동안 Teflon의 경우 유전상수는 2.15에서 18.0으로, 전기전도도는 1×10^{-17} 에서 $1.57 \times 10^{-13} \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$ 으로 증가했고, PET는 유전상수는 3에서 18.3으로, 전기전도도는 10^{-17} 에서 $1.65 \times 10^{-13} \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$ 값으로 변화하였다. 분당선량을 변화시켰을때(4.0 cGy/min, 8.5 cGy/min, 15.6 cGy/min, 19.3 cGy/min) 정상상태 방사선 유도전류(I_c), 유전율(ϵ), 전기전도도(σ)가 선량률에 따라 증가함을 보였다. 정상상태방사선유도전류(I_c)값은 12시간내에선 1%내의 재현성을 보였고, 1주일간에선 3%내에서 일치하였다. 전하 및 전류값이 측정간격 (방사선 조사후 다음 조사때까지의 시간)에 의존성을 보였으며, 측정간격이 작을수록 초기측정값과 후측정값의 차가 크며, 최소 20분이상 간격을 둘 때 후측정값이 초기측정값과 같아졌다. 25.0 cGy/min.선량률에서 유전체가 20분동안 전하를 유지하는 일렉트릿 성질을 갖고 있음을 보였다. 위 실험결과들은 2차전자에 의한 자유전자와 정공의 발생 및 이로 인한 내부편극과 전도도의 변화, 재결합등으로 인한 전자평형상태에 의한 것으로 볼 수 있다. 방사선조사직후 시료에 열을 가한후 다시 조사하면 측정값이 상승하는 현상을 보였다. 이는 열을 가함으로 내부편극이 감소되었고 이로 인해 다음 방사선 조사시 전하운반자(charge carriers)의 숫자를 높이는데 기여했음을 알 수 있다. 인가전압 및 흡수선량에 따른 선형성 및 재현성과 다른 전리함에 비해 적은 부피로 큰 전하량을 측정하는 것은 미세전류검출기로서의 사용가능성과 검출기의 부피를 크게 줄일수 있는 가능성을 보여준다.

서 론

투과성방사선을 고체유전체에 조사하면 대부분에서 전하축적효과가 관측된다.^{(1),(2)} 이 전하는 일단 발생하면 방사선조사가 끝난 후에도 서서히 분산하거나 많은 경우에는 극히 오랜 시간동안 지속된다. 이러한 반영구적 전하보존상태를 보이는 유전물질을 일렉트릿(electret)이라 한다.

이러한 일렉트릿은 코로나 방전, 대선량방사선조사, 고압편극 및 열자극등으로 발생시킬수 있다^{(3), (4)} 일렉트릿 현상을 보이는 고체유전체^{(5),(6)}로서 가장

많이 상업화되어 있는 것이 Teflon-FEP (tetrafluoroethylene-hexafluoropropylene copolymer, 상품명 Teflon)과 PET (polyethylene-terephthalate, 상품명 Mylar)이고, 방사선에 의한 radioelectret^{(7),(8)}은 다른 방법에 의한 일렉트릿보다 덜 안정적인 면이 있고, 투과성방사선을 조사하여 일렉트릿을 만들기위해선 대선량방사선이 필요하며, 무엇보다도 전하축적시간이 그리 길지않기 때문에 주로 선량계로서의 응용에 관한 연구, 즉 방사선 선량측정용 전리함(electret ionization chamber, EIC)로서의 가능성이 많이 연구되어 왔다.^{(9),(10)} 국내에서도 이온주입에 의한 PET의 일렉트릿 특성에 관한 연구가 보고되었다.^{(11),(12)}

Table 1. The sample specification of Teflon-FEP and PET film

학 명	Polyethylene -terephthalate	Tetrafluoroethylene- hexafluoropropylene copolymer
약 어	PET	Teflon - FEP
상호명(제작회사)	Mylar (SKC)	Teflon(Dupont)
화 학 구 조	$\begin{array}{c} \text{O} \quad \text{O} \\ \parallel \quad \parallel \\ -\text{C}-\text{O}-\text{C}-\text{O}-(\text{CH}_2)_2-\text{O}- \end{array}$	$\begin{array}{cccc} \text{F} & \text{F} & \text{F} & \text{F} \\ & & & \\ -\text{C} & -\text{C} & -\text{C} & -\text{C}- \\ & & & \\ \text{F} & \text{F} & \text{CF}_3 & \text{F} \end{array}$
직 경	1.0 cm	1.0cm
두 께	100 μm	125 μm
부 피	7.9 x 10 ⁻³ cc	9.9 x 10 ⁻³ cc
유전상수(K)	3	2.15
유전율(ε = CV ⁻¹ cm ⁻¹)	3 x 10 ⁻¹⁵	1.904 x 10 ⁻¹⁵
volume resistivity(Ωcm)	10 ¹⁷	1 x 10 ¹⁷
밀도 (g/cm ³)	1.4	2.13-2.17
전기전도도(Ω ⁻¹ cm ⁻¹)	10 ⁻¹⁷	10 ⁻¹⁷ (<10 ⁻¹⁵)

※ 위 값은 실험에 사용한 필름 제작회사로부터 받은 값이다.

Teflon-FEP와 PET을 검출기로 사용하여 만들어진 선량측정용 전리함(EIC)은 평행판전리함(plane-parallel chamber)과 유사한 형태의 구조를 가지고 있다. 따라서 기존의 다른 전리함에 비해 체적에 있어서 큰 차이가 없다. 고분자 Teflon-FEP와 PET 필름을 축전기형태로 만들면 측정기의 체적을 작게 할 수 있다. 이렇게 축전기형태로 만들어진 고분자 Teflon-FEP와 PET 필름이 투과성방사선에 노출되었을 때 물리적특성이 어떻게 변화하며 측정기로서의 이용가능성에 대해 알아보는 것이 이 실험의 목적이다.

본 연구에서는 두 유전체의 양면에 크롬을 증착시켜 축전기형태로 만들어서 코발트-60에서 나오는 감마선을(선량률 25.0 cGy/min)조사하였다. 방사선유도 안정상태 전류값(I_c), 유전율(ε), 유전상수(K), 전기용량 (C), 전도도(σ) 및 비저항(ρ)등의 변화를 측정함으로써 감마선조사로 인한 두 유전체의 물리적 특성변화를 살펴보고자 하였으며, 선량률 및 인가전압을 변화시키고 시료에 열을 가함으로 나타나는 특성변화를 조사하였다. 또한 선량측정기로서의

가능성도 살펴 보았다.

재료 및 방법

사용한 두 유전체의 특성은 Table 1 에 나타나 있다. 사용한 코발트-60의 기준선량률은 0.25 Gy/min 이고 측정기로는 미세전류계(Keithly 35614E)을 사용하였고, 측정은 SSD(source-surface distance)는 80 cm, 조사면 (field size)의 크기는 10 X 10 cm², 폴리스티렌 팬텀 0.5 cm 깊이에서 실시하였다. 제작된 시료의 형태는 Fig. 1에서, 실험장치와 등가회로는 Fig. 2에서 보여 준다. 유전체에 방사선을 쬐면 유전율(ε)과 전도도(σ)는 방사선에 의해 변한다.⁽¹³⁾ 시료가 유전체이므로 방사선을 쬐기전의 전류는 무시할수 있게 작다. 그러나 방사선을 조사하면 회로에 흐르는 전류는 다음처럼 주어진다.

$$I(t) = I_c e^{-\frac{t}{RC}} + I_c, = I_c [1 + e^{-\frac{t}{RC}}] \quad (1)$$

단, I_c = $\frac{V}{R}$ 로서 방사선 유도 정상상태 전류

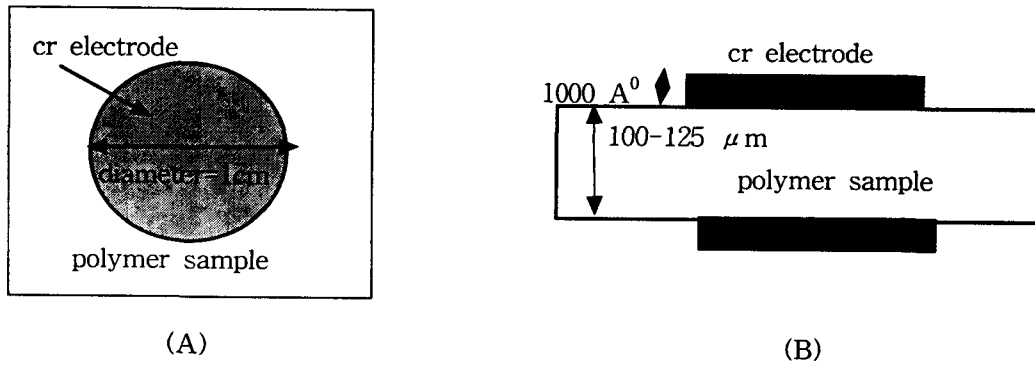


Fig. 1 Schematic diagram of the sample
(A) Frontal view (B) Lateral View

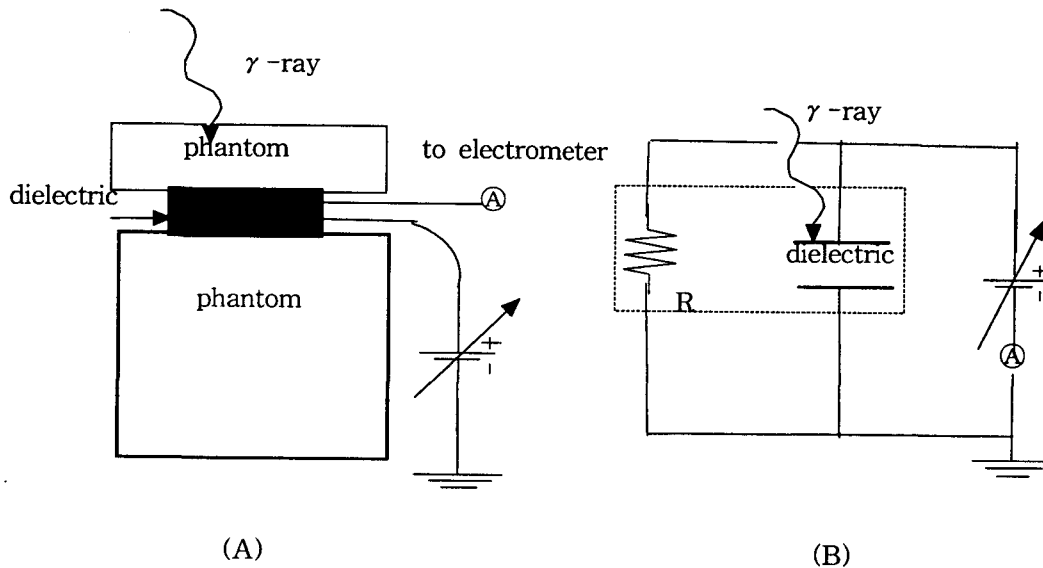


Fig. 2. Schematic drawing of the experimental setup
(A) Sample in the phantom
(B) Equivalent circuit of the experiment

(radiation-induced steady-state current)이며, V 는 인가전압, R 은 변화된 비저항 ρ 에 의한 저항이다. 시료의 면적을 A , 두께를 d 라 하면 저항 R 은

$$R = \rho \frac{d}{A}, \tag{2}$$

로 표시할 수 있다.

시료의 전기용량 C 는 변화한 유전율 ϵ 과 관련이 있다.

$$C = \epsilon \frac{A}{d}, \tag{3}$$

감마선에 의한 전류의 변화를 살펴봄으로서 위 (1, 2, 3)식으로부터 시료의 물리적 특성 즉 유전율

(ϵ), 전도도(σ)등의 변화를 알아볼수 있다.

$$R = \frac{V}{I_c} = \rho \frac{d}{A} \text{ 이므로} \tag{4}$$

$$\rho = \frac{AV}{dI_c},$$

$$\sigma = \frac{1}{\rho},$$

$$= \frac{dI_c}{AV}, \tag{5}$$

로 쓸 수 있다.

실험에서 얻은 I_c 값을 (4)와 (5)식에 대입하므로 방사선 조사시 변화된 고분자 필름의 비저항 및 전

Table 2. Intercomparison between some different detectors for measured amount of charges

전리합	체 적	1 분 간 측정값	단위체적당 측정 전하량[nC/cc]	electrometer
PR-06	0.65cc	5.1 nC	7.85	Capintec
IC-10	0.147cc	1.1 nC	7.48	Keithly 35614E
Teflon	0.0099cc	~140nC	~10 ⁴	Keithly 35614E
Mylar	0.0079cc	~160 nC	~10 ⁴	Keithly 35614E

분당선량률(Output); 0.25 Gy/min

도도 값을 얻어낼 수 있다.

(1)식을 R에 대한 (2)식과 C에 대한 (3)식을 대입하여 다시 쓰면

$$I(t) = I_c [1 + e^{-\frac{t}{RC}}], = I_c [1 + e^{-\frac{u_c d}{VA\epsilon}}], \quad (6)$$

이다.

여기서 $\sigma = \frac{dI_c}{AV}$ 이므로

$$I(t) = I_c [1 + e^{-t\frac{\sigma}{\epsilon}}], \quad (7)$$

양변에 자연로그를 취하여 ϵ 에 대해 정리하면

$$\epsilon = -\frac{t\sigma}{\ln\left(\frac{I}{I_c} - 1\right)}, \quad (8)$$

이다.

실험에서 얻어진 시간에 따른 전류의 변화곡선으로부터 (8)식을 이용하여 평균 유전율 ϵ 을 구할수 있다. 이 유전율은 시간에 따라 변할것이므로 평균 값을 취한다.

물질의 유전상수 K는

$$K = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}, \quad (9)$$

이므로 (8)식에서 얻은 유전율 ϵ 값을 (9)식에 대입하여 변화된 평균유전상수 K을 구할수 있다.

결과 및 고찰

전하량 측정 민감도를 비교하기 위해 Teflon-FEP와 PET의 측정결과를 다른 전리합인 PR-06C와 IC-10의 전하량 측정값과 비교해 보면 Table 2와 같다.

Table 2는 Teflon-FEP나 PET이 훨씬 작은 측정 체적을 가지고서도 많은 전하량을 측정함을 보여준다.

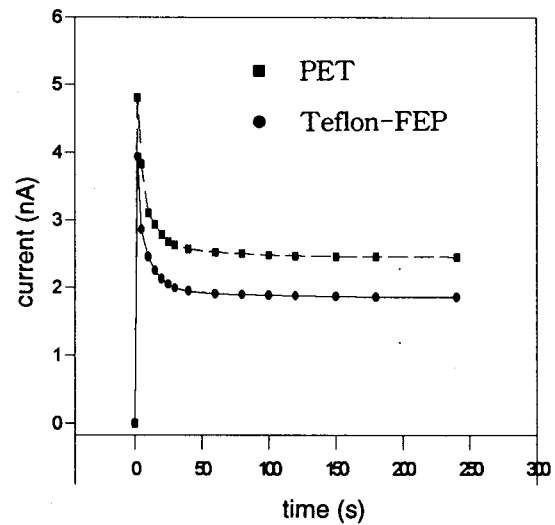


Fig. 3. Current curves of the two samples during an irradiation time. ■ PET; ● Teflon-FEP

Fig. 3로부터 전류가 RC회로의 전류곡선형태를 따르며, "0"으로 접근하지 않고 시간이 흐름에 따라 안정상태 전류값(radiation-induced steady-state current) I_c 로 접근함을 보여준다. 조사(irradiation) 직후 2초 이내에서 최대값에 이르고 ~60초 이후에 선 거의 안정값에 이른다. 감마선에 의해 발생된 PET에서 전자에 의한 전도전류성분의 크기를 계략적으로 계산해 보자. 사용한 선원의 선량률 X는 다음과 같다.

$$X = 25 \left(\frac{cGy}{min} \right) = 4.17 \times 10^{-6} \left[\frac{J}{gs} \right]$$

고분자의 이온화생성에너지 $\frac{\bar{W}}{e}$ 는 정확히 알려져

Table 3. Change of physical properties during an irradiation.

비 고	Teflon-FEP		PET	
	No irradiation	irradiation	No irradiation	irradiation
유전상수 K	2.15	18.0	3	18.3
유 전 율 ϵ [CV ⁻¹ cm ⁻¹]	1.904x10 ⁻¹³	15.94x10 ⁻¹³	3x10 ⁻¹³	16.20x10 ⁻¹³
비저항 ρ [Ω cm]	1x10 ¹⁷	6.39x10 ¹²	10 ¹⁷	6.06x10 ¹²
전도도 σ [Ω^{-1} cm ⁻¹]	1x10 ⁻¹⁷	1.57x10 ⁻¹³	10 ⁻¹⁷	1.65x10 ⁻¹³

Table 4. Change of physical properties on a series of cosecutive measurements.

구 분	Teflon-FEP			PET		
	1차	2	3	1차	2	3
Ic [nA]	1.87	1.84	1.84	2.54	2.52	2.52
ϵ_{ave} [10 ⁻¹² CV ⁻¹ cm ⁻¹]	2.66	1.13	1.16	2.26	1.60	1.26
C [10 ⁻¹⁰ CV ⁻¹]	1.67	0.71	0.73	1.79	1.27	0.99
K	23.0	12.72	13.15	25.6	18.12	14.19
σ [10 ⁻¹³ AV ⁻¹ cm ⁻¹]	1.58	1.56	1.56	1.72	1.71	1.71

있지 않지만 대략 850 $\frac{eV}{ionpair}$ 정도로 추정하고 있다.⁽⁵⁾

$$\left(\frac{W}{e}\right)_{polymer} = 850 \left[\frac{eV}{ionpair} \right]$$

$$= 850 \times 1.602 \times 10^{-19} \left[\frac{J}{ionpair} \right]$$

선량을 $X = 4.17 \times 10^{-6} \left[\frac{J}{gs} \right]$ 가 발생시킨 이온쌍의 수 N은

$$N = \frac{X}{\left(\frac{w}{e}\right)} \times density \times volume$$

$$= \frac{4.17 \times 10^{-6} \left[\frac{J}{gs} \right]}{850 \times 1.602 \times 10^{-19} \left[\frac{j}{ionpair} \right]}$$

$$\times 2.15 \left[\frac{g}{cm^3} \right] \times 9.9 \times 10^{-3} \left[cm^3 \right]$$

$$= 6.514 \times 10^8 \left[\frac{ionpair}{s} \right]$$

초당 6.514x10⁸ 개의 이온쌍이 발생한다. (IV-4)식의 결과를 대입하여 초당 발생한 전하량 I_{rc}를 구하면 다음과 같다.

$$I_{rc} = N \times 1.602 \times 10^{-19} \left[\frac{C}{ionpair} \right]$$

$$= 1.04 \times 10^{-10} \left[\frac{C}{s} \right] \text{ (IV-6)}$$

PET에서 측정된 I_c ~ 3x10⁻⁹ [A]이므로 I_{rc}와 I_c의 비는

$$\frac{I_{rc}}{I_c} \sim \frac{1}{100} \quad \text{이다.}$$

위 결과로부터 감마선에 의해 발생한 전자에 의한 전도전류의 성분은 무시할 만큼 작다. 방사선을 쬐기전의 전류는 무시할수 있게 작고, 정상상태시 전류는 방사선에 의해 변해진 전도도에 의한 성분으로 볼 수 있다.⁽¹⁴⁾ Table 3은 유전율 및 전도도의 증가

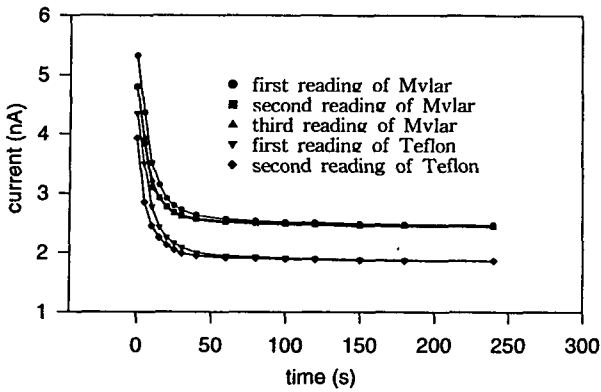


Fig. 4. Current curves of the two samples during an irradiation time with a couple of consecutive measurements. (● first reading of Mylar; ■ second reading of Mylar; ▲ third reading of Mylar; ▼ first reading of Teflon; ◆ second reading of Teflon)

및 비저항의 감소를 보여준다. 이는 자유전자-정공 쌍에 의한 내부편극등의 증가로 유전체의 전도도등 물성이 방사선조사동안 변했음을 설명해 준다.

Fig. 4는 연속 측정에 따른 전류곡선으로서 1차 측정때 값이 2,3,...차 측정때 보다 항상 높으며, 2차 이후의 측정값들은 안정상태 이전에선 다소 차이를 보이지만 같은 안정값으로 접근해 감을 보여준다. Fig. 4와 Table 4에서 보듯이 측정횟수에 따라 물성이 다르게 나타나는 것은 방사선 조사로 인해 변해진 물성이 방사선 조사후 조사전의 원상태로 돌아오는 데 다소 시간이 걸림을, 즉 일정시간 지속됨을 보여 주는 것이다. 측정간격(방사선 조사후 다음 조사 때까지의 휴지시간)을 다양하게 변화시키면서 Fig. 4에서 나타난 현상을 전하에 대해 실험하였다. 측정간격에 따른 전하량의 의존성을 살펴봄으로 방사선 조사후 유전체의 완화시간을 조사하였다. Fig. 5는 30초 측정간격으로 1분간씩 감마선을 조사하다 도중에 5분을 쉬었다가 다시 동일 30초 측정간격, 1분간씩 조사했을 때의 전하의 변화특성을 보여준다. 5분 쉬임후 첫 번째 측정에서 피크를 보이는 것은 시간이 흐르면서 방사선에 의한 효과가 회복됨을 의미한다.

Fig.6-(A)는 측정간격을 다양하게 주었을 때 (0.5, 1, 2, 3 minutes) 전하량의 변화를 보여준다. Fig. 6-(B)는 Fig. 6-(A)에서 각 측정간격에 대한 첫 번째 값과 두 번째 값의 차이를 보여 준다. 측정간격이 클수록 첫 번째 값과 두 번째 값의 차이가 적어

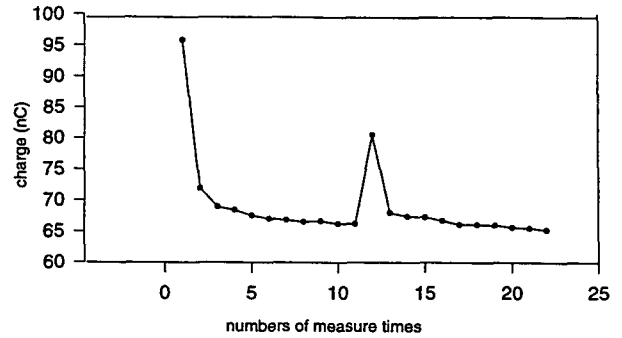


Fig. 5. Charges of numbers of measurement times of Teflon-FEP measured with the same measurement time intervals of 30 seconds and second peak shows the rise of charge reading in the measurement time interval of 5 minutes.

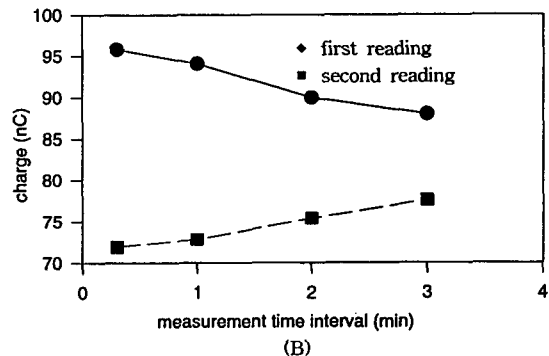
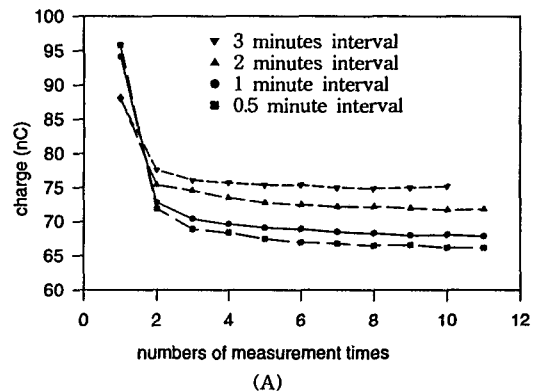


Fig. 6. Charge readings of numbers of measurement times of Teflon-FEP (A) with the different measurement time intervals of 0.5, 1.0, 2.0, and 3.0 minutes (B) showing the differences between first charge and second charge reading in (A).

Table 5. Change of physical properties on dose rates.

분당선량률 [cGy/min]		4	8.5	15.6	19.3
Ic [nA]	Teflon	2.85	3.12	3.43	3.58
	Mylar	3.06	3.38	3.66	3.78
ϵ_{ave} [$10^{-12} CV^{-1}cm^{-1}$]	T	1.77	1.89	2.03	2.39
	M	1.76	1.95	1.97	2.01
C [$10^{-10} CV^{-1}$]	T	1.11	1.19	1.28	1.51
	M	1.39	1.54	1.56	1.59
σ [$10^{-13} AV^{-1}cm^{-1}$]	T	2.41	2.64	2.90	3.02
	M	2.07	2.29	2.48	2.56

짐을 보여주고 있다. 이것은 "radiation-off" 후 물리적 상태가 시간이 흐름에 원상태로 되돌아가고 있음을 보여 준다. Fig. 7은 측정간격이 5분 이상일 때 측정간격이 클수록 초기값에 근접하며 측정간격이 20분 이상일 때 초기값과 같아짐을 보여 준다. Fig. 8도 측정간격이 20분 이상일 때 초기 전류값과 같아짐을 보여 준다. 전하나 전류 측정값이 둘 다 최소 20분이 지난 후에야 초기상태 측정값과 같아짐을 Fig. 7와 Fig.8에서 보여 준다.

Fig. 5, Fig. 6, Fig. 7, Fig. 8로부터 방사선조사로 인해 형성된 내부전하가 조사 직후 바로 없어지지 않고 일정시간 일렉트릿 성질을 갖고 있음을 알 수 있다. 이러한 시간에 따른 감소는 통계적 열운동으로 트랩된 콤펙트전자의 트랩소거(detrapping)와 재결합, 전자-정공쌍의 감소 및 내부편극의 완화 등으로 인한 것으로 볼 수 있다.

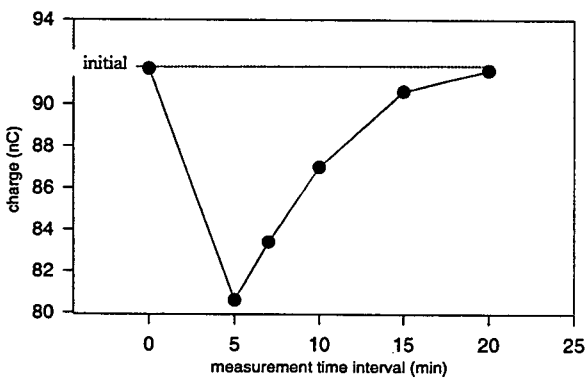


Fig. 7. Charge readings of Teflon-FEP with measurement time intervals, 5minutes to 20 minutes

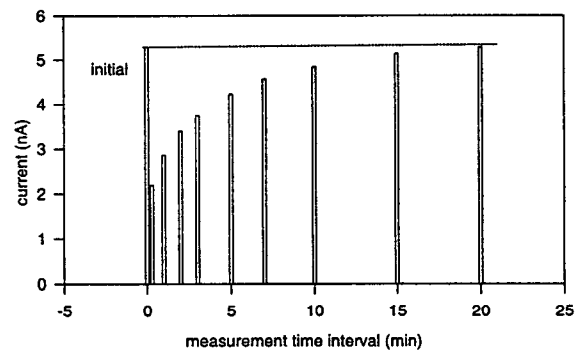


Fig. 8. Maximum currents of Teflon-FEP with measurement time intervals of 0.5 to 20 minutes.

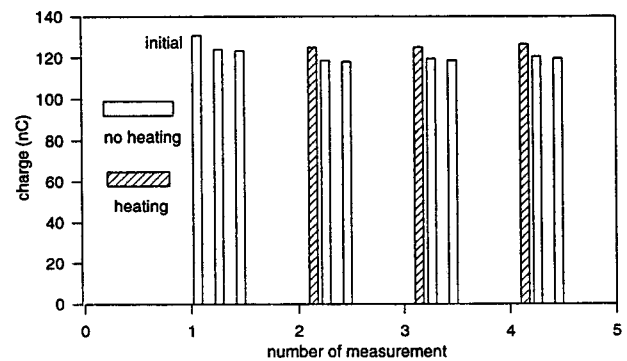
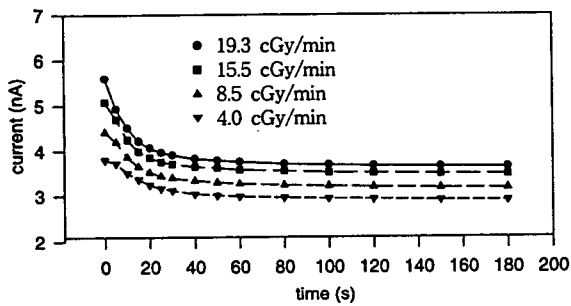


Fig. 9. Effect of heating after a radiation-off to the sample Teflon-FEP on readings. Each group of 3 readings is composed of two parts (apart from first initial group). First reading is the charge just after heating to the sample and is followed by a couple of consecutive measurements without heating.

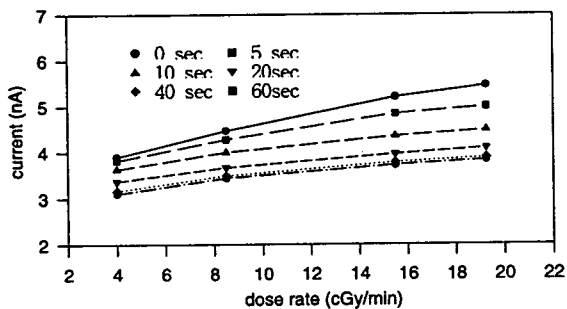
따라서 외부에서 열을 가해준다면 이러한 현상은 가속화 될 것이고 더 빠른 시간에 원 상태로 돌아올 것이다. 아래 실험(Fig. 9)은 이러한 과정을 확인해 주는 결과이다. Fig. 9는 “radiation-off”후 유전체에 열을 가한 다음에 다시 방사선 조사했을 때의 전하량의 변화모습을 보여준다. 가열 후에 값이 항상 높게 나오는 것은 내부 편극이 가열에 의한 열적 활성화로 더욱 빨리 방출되어 유전체의 완화시간(방사선 조사로 인해 변해진 유전체의 내부 물리적 상태가 원상태로 돌아오는 데 걸리는 시간)이 단축됨을 보여준다.

Fig. 10과 Fig. 11와 Table 5는 분당선량을 변화 (4.0 cGy/min, 8.5 cGy/min, 15.6 cGy/min, 19.3 cGy/min)시켰을 때 전류의 변화와 이에 따른 물성의 변화를 보여준다. 전기전도도, 유전율, 전기용량, 정상상태 유도전류 등이 선량률이 증가함에 따라 증가함을 보여준다. 이는 선량률이 증가함에 따라 발

생되는 콤펄턴전자의 수가 많아지고 따라서 2차전자에 의한 전자-정공쌍의 수가 증가하기 때문으로 볼 수 있다. Fig. 11 와 Fig. 12은 외부전압(94 V와 188 V)에 대한 두 시료의 전류곡선을 보여준다. Ohm의 법칙($V = IR$)에 따라 전류가 전압에 비례하여 증가하고 있다. Fig. 13은 외부전압을 변화시켜 주었을 때 (69.9 V, 134.8 V, 207.6 V, 346 V) 이에 따른 정상상태 유도전류 I_c 가 전압에 비례하는 모습을 보여 준다. Fig. 14는 흡수선량에 따라 전하량이 선형적으로 증가하는 양상을 볼 수 있다. Fig. 11-14에서 보듯이 일반 전리함과는 달리 전압에 따른 전하량의 포화 상태를 볼 수 없으며, Ohm의 법칙 $V = IR$ 에 따라 전하 및 전류값이 전압에 선형성을 보이고 있다. 두 시료의 재현성을 알아보기 위하여 1시간 이상간격으로

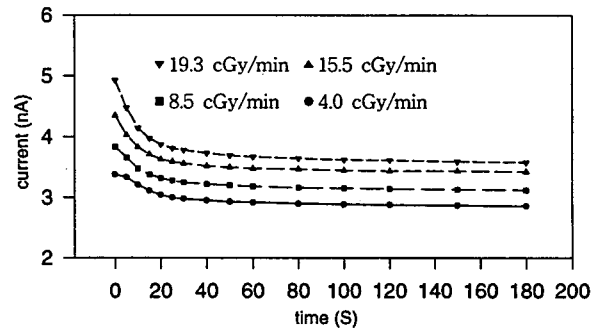


(A)

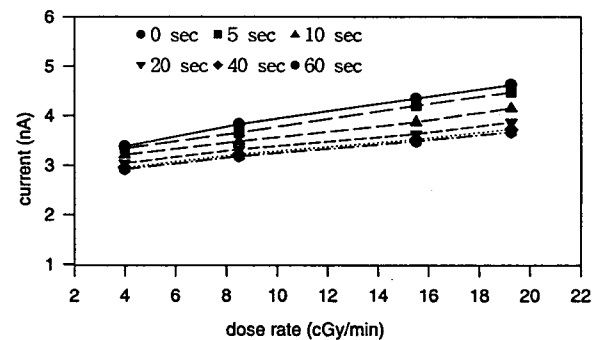


(B)

Fig. 10. Current curves of the sample Mylar during an irradiation time (A) with different dose rates of 4.0, 8.5, 15.5 and 19.3 cGy/min and the same applied voltage of 188V (B) showing the linear relationship between current readings at the same measuring time with dose rates.

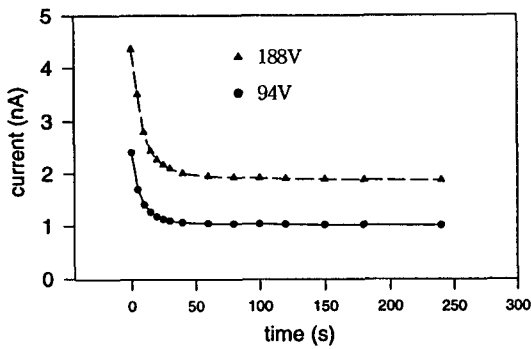


(A)

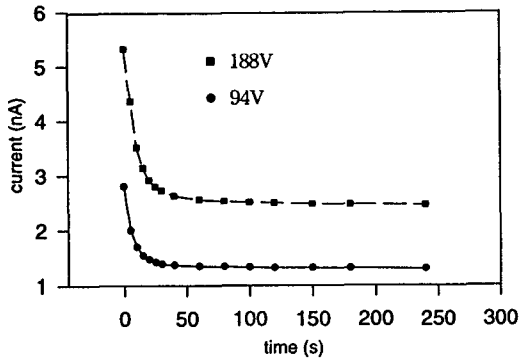


(B)

Fig. 11. Current curves of the sample Teflon during an irradiation time (A) with different dose rates of 4.0, 8.5, 15.5 and 19.3 cGy/min and the same applied voltage of 188 V (B) showing the linear relationship between current readings at the same measuring time with dose rates.



(A)



(B)

Fig. 12. Current curves of the two samples, (A) Teflon and (B) PET, with two applied voltages of 94V and 188V

로 12시간에 걸쳐 8회 측정된 결과 1%이내에서 일치하며, 일주일간에 걸쳐 측정된 결과들은 3%이내의 재현성을 보여 주었다.

결론

100 μm 두께의 Teflon-FEP와 125 μm 두께의 PET film의 감마선조사에 따른 물리적 특성을 조사하였다. 두 Polymer film의 양면에 크롬을 증착시켜 전극을 형성하여 감마선, 감마선선량의 변화, 측정간격, 인가전압등에 따른 물성의 변화를 살펴본 결과를 요약하면 다음과 같다.,

1. 방사선 조사동안 Teflon의 경우 선량을 25 cGy/min.에서 유전상수는 2.15에서 18.0으로, 전기전도도는 1×10^{-17} 에서 $1.57 \times 10^{-13} \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$ 으로 증가했고, PET는 유전상수는 3에서 18.3으로, 전기전도도는 10^{-17} 에서 $1.65 \times 10^{-13} \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$ 값으로 변화였다.

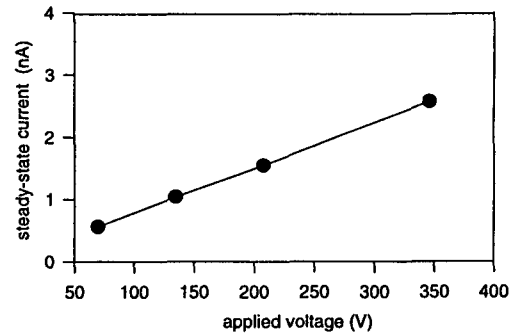


Fig. 13. Radiation-induced steady-state current ^{따른} showing the linear increase with applied voltages.

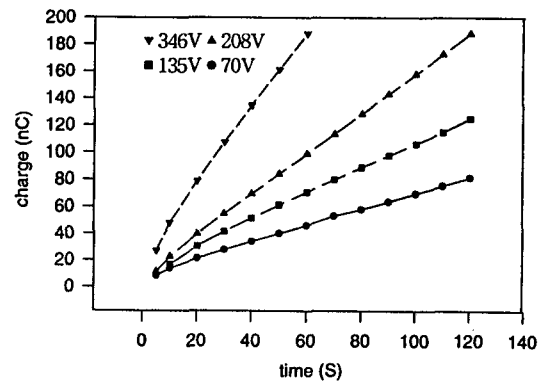


Fig. 14. Charges curves of Teflon-FEP increasing linearly during an irradiation time, that is, with an increase of an absorbed dose, measured with four different applied voltages, 70, 135, 208 and 346 V.

감마선 조사로 인해 Teflon-FEP와 PET의 물성이 변함을 확인할 수 있었다.

2. 시료에서 감마선에 의해 발생한 전자에 의한 전도전류의 크기는 대략 1.03×10^{-10} (A) 정도였고, 방사선조사에 의한 안정상태 전류값은 $2 \sim 3 \times 10^{-9}$ 였다. 그 비는 $\sim 1/100$ 였다. 또한 외부전압을 변화시켰을 때 안정상태 전류값은 Ohm의 법칙에 따라 증가하였다. 이상으로 볼 때 방사선조사동안 시료에 흐르는 전류는 방사선에 의해 변해진 전도도에 의한 것으로 사료된다.

3. 전하 및 전류값이 측정간격에 의존성을 보이는데 최소 20분이상 측정 간격을 둘 때 나중측정값이 초기측정값과 같아졌다. 동일한 측정간격에 대해 시료

에 열을 가했을 때가 가하지 않았을 때보다 측정값이 증가했다. 이것은 방사선 조사로 인해 변해진 물리적 상태가 조사가 끝난 후에도 잠시간 지속됨을 의미한다. 위 결과들로 볼 때 선량률 25.0 cGy/min에서 유전체가 20분 이내의 일렉트릿에 의한 전하를 유지하는 것으로 보인다. 방사선 조사로 인해 Teflon과 Mylar film이 일렉트릿 현상을 보임을 확인할 수 있었다. Teflon-FEP와 PET의 전하량측정결과를 다른 전리함인 PR-06C와 IC-10의 전하량 측정값과 비교해 보면, PR-06C는 5.1 nC을 IC-10은 1.1 nC을 측정하는 데 반해, Teflon-FEP는 140 nC을 PET는 150 nC을 측정하였다. 또한 인가전압 및 흡수선량에 선형성을 보이고 12시간 내에서 1% 이내로 일치하고, 일주일간에서는 3%의 재현성을 보였다. 이는 축전기형태로 만들어진 Teflon-FEP와 PET 필름이 미세전류 검출기로서의 사용가능성과 전리함의 부피를 크게 줄일 수 있는 가능성을 보여 준다.

참고 문헌

- Sessler GM (1987) Electrets 217-219 Springer Verlag.
- Monteith LK (1967) Space-Charge Effects in Insulators Resulting from Electron Irradiation J Appl Phys 38:5355-5365
- Fallone BG and Dodgorsak EB (1983) Production of Foil Electrets by Ionizing Radiation in Air Phys Rev B 27:2615-2618
- Robert A. Creswell (1970) Analytic Solutions of a Model for Radiation-Induced Conductivity in Insulators J Appl Phys 41:2365-2375
- Joseph Lindmayer (1965) Current Transients in Insulators J Appl Phys 36:196-201
- Julian Dow and Nablo SV (1973) Charge Buildup in Electron-Irradiated Dielectrics J Appl Phys 44: 2459-2463
- Gross B and Sessler GM (1974) Charge Dynamics for Electron-Irradiated Polymer-Foil Electrets J Appl Phys 45:2841
- Bernard Gross et al (1981) Radiation-Induced Conductivity in Teflon Irradiated by X-rays J Appl Phys 52(2):571-577
- MacDonald BA and Falloone BG (1995) Effect of Radiation Rate on Electret Ionization chambers Phy Med Biol 40:1609-1618
- MacDonald BA (1992) Feasibility Study of an Electret Dosimetry Technique Phys Med Biol 37:1825-1836 incident normally on water. Radiat Prot Dosim 35:
- ByungYong Lee (1989) Ionic Trap for Space Charge in Li⁺ Implanted Mylar Film J Kor Phys Soc 22:460-465
- 박영우, 조철우(1991) 원주의대 논문집 4:100
- Bernard Gross(1965) Compton Current and Polarization in Gamma-Irradiated Dielectrics J Appl Phys 36:1635-1641
- WeaverL et al (1977) Analytic solutions of a Model for Radiation-Induced Conductivity in Insulators J Appl Phys 48:2762-2770

Study on the Physical Properties of the Gamma Beam-Irradiated Teflon-FEP and PET Film

SeongHoon Kim, YoungJin Kim, Ph. D., MyungJa Lee*, M. D., HaJung Jun*, M. D., ByongYong Yi**, Ph. D

Dept. of Physics, Hanyang University, Dept. of Radiotherapy, Hanyang University Dept. of Radiation Oncology, Asan Medical center, Ulsan University

Circular metal electrodes were vacuum-deposited with chromium on the both sides of Teflon-FEP and PET film characteristic of electret and the physical properties of the two polymers were observed during an irradiation by gamma-ray from ^{60}Co . With the onset of irradiation of output 25.0 cGy/min the induced current increased rapidly for 2 sec, reached a maximum, and subsequently decreased. A steady-state induced current was reached about in 60 second. The dielectric constant and conductivity of Teflon-FEP were changed from 2.15 to 18.0 and from 1×10^{-17} to $1.57 \times 10^{-13} \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$, respectively. For PET the dielectric constant was changed from 3 to 18.3 and the conductivity from 10^{-17} to $1.65 \times 10^{-13} \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$. The increase of the radiation-induced steady state current I_c , permittivity ϵ and conductivity σ with output (4.0 cGy/min, 8.5 cGy/min, 15.6 cGy/min, 19.3 cGy/min) was observed. A series of independent measurements were also performed to evaluate reproducibility and revealed less than 1% deviation in a day and 3% deviation in a long term. Charge and current showed the dependence on the interval between measurements, the smaller the interval was, the bigger the difference between initial reading and next reading was. At least in 20 minutes of next reading reached an initial value. It may indicate that the polymers were exhibiting an electret state for a while. These results can be explained by the internal polarization associated with the production of electron-hole pairs by secondary electrons, the change of conductivity and the equilibrium due to recombination etc. Heating to the sample made the reading value increase in a short time, it may be interpreted that the internal polarization was released due to heating and it contributed the number of charge carriers to increase when the samples was again irradiated. The linearity and reproducibility of the samples with the applied voltage and absorbed dose and a large amount of charge measured per unit volume compared with the other chambers give the feasibility of a radiation detector and make it possible to reduce the volume of a detector.