

광자선 조사에 따른 변환기재료의 유전특성

고길영, 김탁용, 백금문\*, 조경순, 이충호\*\*, 이수원\*\*\*, 홍진웅  
광운대학교, 서울아산병원\*, 충주대학교\*\*, 한국철도대학\*\*\*

Dielectric characteristics of the transducer materials due to irradiation of photon beam

K. Y. KO, T. Y. KIM, G. M. BACK\*, K. S. CHO, C. H. LEE\*\*, S. W. Lee\*\*\*, J. W. HONG  
Kwangwoon Univ., Asan Medical Center\*, Chungju Univ.\*\* Korea Nat'l Railroad College\*\*\*

**Abstract** - 본 연구에서는 전기적 특성, 기계적 특성, 내수성 및 내유성이 우수한 고분자 화합물로 산업용, 콘덴서절연재료용, 의료센서용 등 각종 절연재료 및 유전체 재료로 활용되어 지고 있는 변환기용 PET박막에 광자선을 10[Gy] 15[MeV], 30[Gy] 15[MeV], 50[Gy] 15 [MeV]를 조사하여 물성분석 및 전기적 특성중 유전정접 특성에 관하여 검토하였다. 물성분석으로 X-선 회절(XRD) 분석 결과 조사량에 따라 피크의 크기가 커지므로 결정성이 더욱 좋아짐을 알수 있었으며 적외선 분광(FTIR) 측정 결과로 파수 1752[  $cm^{-1}$  ]에서는 C=O기의 신축운동 기여로 피크가 나타나며 파수 1266[  $cm^{-1}$  ]에서 =C-O기의 신축운동기여와 그리고 1019[  $cm^{-1}$  ]에서는 벤젠환의 진동기여로 흡수 피크가 나타남을 알 수 있었고, 전자현미경을 이용하여 800배로 확대한 시료의 파단면을 조사한 결과 결정질과 비정질 영역이 혼재하고 있는 것을 확인하였다. 유전정접 특성으로는 측정온도범위 상온에서 130[ $^{\circ}C$ ]와 인가전압 범위 1[V]에서 20[V]를 변화시켜 각각의 조사량에 대한 PET 박막의 유전특성의 온도의존성 및 주파수 의존성에 대하여 실험한 결과 변환기 재료의 가능성을 조사하였다.

1. 서 론

최근 합성분야의 진보와 산업의 급속한 발달로 우수한 고분자 물질이 나날이 많이 개발되고 있으며, 그 중에서도 고분자 전기절연재료에 대하여 많은 연구가 이루어지고 있다. 산업용, 콘덴서절연재료용, 의료센서용 등 각종 절연재료 및 유전체재료로 활용되고 있으며 센서재료로도 연구 개발되어지고 있는 폴리에틸렌테레프탈레이트(PET)는 우수한 전기적, 기계적 성질, 내수성 및 내유성을 가진 고분자 화합물이다[1-3]. 가벼우면서도 높은 절연파괴 강도를 가지고 있으며 우수한 광학투명성과 같은 전기, 물리·화학적 장점과 커패시터 유전체재료로 유전체 손실이 적고 저주파 특성이 우수하며 내 필스 특성이 우수하고 자기 회복능력이 있어서 최근에는 콘덴서 재료 및 변환기 재료로 많이 사용되어지고 있다. 유전체에 투과성방사선을 조사하면 내부 전하축적효과가 관측되며, 이 전하는 방사선조사가 끝난 후에도 서서히 분산하거나 오랜 시간동안 반영구적 전하보존상태를 나타낸다. 광자선을 조사한 PET 박막은 전하축적시간이 그리 길지 않기 때문에 주로 선량계로서의 응용에 관한 연구, 즉 방사선 선량측정용 전리함(electret ionization chamber, EIC)로서의 가능성이 많이 연구되었다[4]. 본 연구에서는 유전특성과 열 특성이 우수한 변환기용 PET 박막을 시료로 선정하였으며, 광자선을 조사하여 주파수와 인가전압 및 온도변화가 변환기재료의 PET박막에 미치는 영향을 조사하기 위하여 시료의 물성분석 및 전기적 특성 중 유전정접에 대하여 실험한 결과를 소개한다.[2,5,6]

2. 시료 및 실험

2.1 시료

시료 폴리에틸렌 테레프탈레이트는 강인성, 내열성, 내약품성, 투명성, 전기절연성 등이 우수하며 260[ $^{\circ}C$ ]에서 용융되는 유극성 고분자이며 비정질 유리전이온도는 67[ $^{\circ}C$ ]이고 결정질은 117[ $^{\circ}C$ ]에서 나타난다. 폴리에틸렌 테레프탈레이트의 단량체 구조식에서  $(CH_2)_x$ 에서  $x=2$ 의 경우에 해당한다. 보통은 원료로서 테레프탈산과 디메틸을 사용하고 에스테르 교환반응으로서 중합체를 얻는다. 본 실험에 사용한 시료 PET 박막은 한 쪽면에 Cr으로 증착하였고 두께는 80[ $\mu m$ ]를 사용하였으며 각각의 시료에 광자선을 10Gy 15[MeV], 30Gy 15[MeV], 50Gy 15[MeV]를 조사하여 사용하였다.

2.2 실험

유전특성과 열 특성이 우수한 폴리에틸렌테레프탈레이트 박막의 전기적 특성을 조사하기 위하여 실험에 사용된 측정장치는 유전정접 측정장치(HEWLETT PACKARD Co. LCR METER 4284A)와 온도조절 장치를 내장한 오븐(ANDO ELECTRIC Co. TO-9B)을 사용하였으며, 시료의 물성분석을 위하여 X-선회절 분석법(XRD)과 적외선 분광법(FT-IR) 및 주사 전자 현미경법(SEM)을 이용하였다. 광자선을 조사하기 위하여 의료용 선형가속기(linear accelerator : Linac)를 이용하였으며, 선형가속기(Linac)의 광자선 발생원리는 전자총에서 발생된 전자를 고주파전자파(high frequency electromagnetic waves ; microwave, ~ 3000 [MHz])에 실어 가속하는 장치로 이때 전자파는 magnetron 또는 klystron에서 발생시켜 도파관(wave guide)을 통하여 가속관(accelerator tube)에 공급되며 전자는 6~45[MeV]의 에너지를 얻어 Target에 충돌하여 X선을 발생시킨다.[7] 실험에 사용된 전극의 상부전극은 주전극 38[mm $\Phi$ ]과 가드링 전극(내경 40[mm $\Phi$ ], 외경 80[mm $\Phi$ ])으로 되어 있고 하부전극은 Cr로 증착하여 사용하였다. 전극장치에 설치된 시료의 온도분포를 일정하게 하기 위하여 온도를 설정하고 수십 분이 경과한 후 전압 및 주파수를 변화시키며 유전특성을 측정하였다.

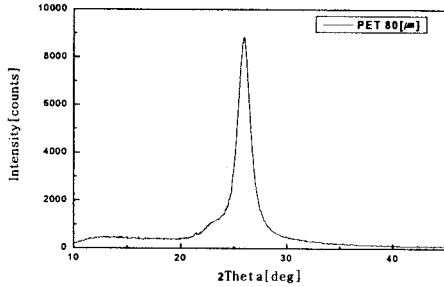
3. 결과 및 고찰

본 실험에서는 10[Gy], 30[Gy], 50[Gy]으로 광자선 조사된 변환기용 PET 박막에 대하여 X-선회절 분석법(XRD)과 적외선 분광법(FT-IR) 및 주사전자현미경법(SEM)을 이용하여 시료의 물성에 대하여 실험을 하였으며, 또한 측정온도범위 상온-에서 130[ $^{\circ}C$ ]와 인가전압

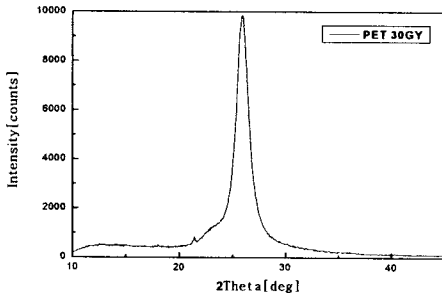
범위 1[V]에서 20[V]까지 변화시켜 각각의 조사량에 대한 PET 박막의 유전특성의 온도 의존성 및 주파수 의존성에 대하여 실험하였다.

### 3.1 물성 분석

#### (1) X-Ray Diffraction(XRD)



(a) 원시료



(b) 30 [Gy]

그림 1. 시료의 X-선 회절  
Fig. 1. XRD of specimen

그림 1은 원시료(a)와 30[Gy](b)의 광자선을 조사한 PET 시료의 X선 회절로 원시료 일 때 보다 30[Gy]의 광자선 량을 조사한 시료의 피크 값이 커진 것을 확인할 수 있었는데, 이것은 결정성의 증가로 사료되며 일부는 열화현상도 있다. 회절각도  $2\theta$ 값이  $27^\circ$ 에서 피크가 커지는 것을 확인할 수 있는데 이것은 일정한 크기의 결정들의 기여로 사료된다. 따라서 광자선 조사된 시료의 결정성이 증가되는 것을 확인하였다.

#### (2) Fourier Transform Infrared Spectrum(FTIR)

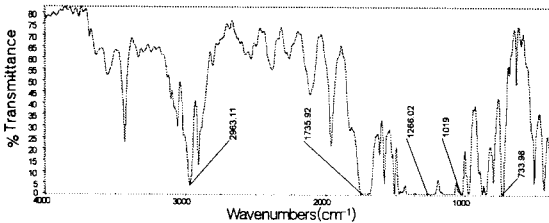
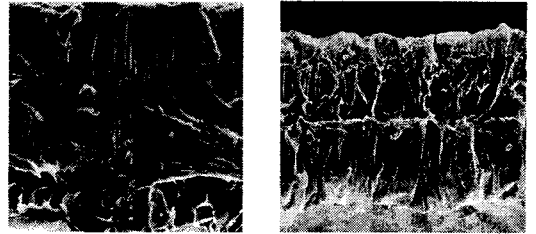


그림 2. 시료의 적외선 분광  
Fig. 2. Infrared spectra of specimen

위의 그림 2는 시료의 적외선 분광으로 PET기본 특성의 흡수 피크가 나타남을 확인하였으며, 파수  $1752[cm^{-1}]$

에서는 C=O기의 신축운동 기여로 피크가 나타나며 파수  $1266[cm^{-1}]$ 에서는 =C-O기의 신축운동기여와 그리고  $1019[cm^{-1}]$ 에서 벤젠환의 진동기여로 흡수 피크가 나타났으며  $730[cm^{-1}]$  근처에서 긴주쇄  $CH_2$ 의 흔들림 운동(rocking motion)이 나타난다.[8-9]

#### (3) Scanning Electron Microscopy(SEM)



(a) 원시료

(b) 30[Gy]

그림 3. 시료의 과단면  
Fig. 3. Cross section of specimen

그림 3은 원시료(a)와 30[Gy](b) 조사된 시료의 고체 조직을 조사하기 위해 전자현미경(SEM)을 이용하여 PET 박막의 과단면을 800배로 확대한 것으로 원시료 보다는 광자선이 조사된 시료의 결정성이 증가된 것을 확인할 수 있으며 앞의 X선 회절에서 확인한 것과 같이 결정성이 증가함을 확인할 수 있었다.

### 3.2 유전 특성

변환기 재료의 유전정점 특성을 실험하기 위하여 주파수 범위 30[Hz]에서 1[MHz]와 온도범위 상온에서  $130^\circ[C]$  그리고 인가전압 1, 5, 10, 20[V]범위에서 온도의존성과 주파수의존특성에 대하여 조사하였다.

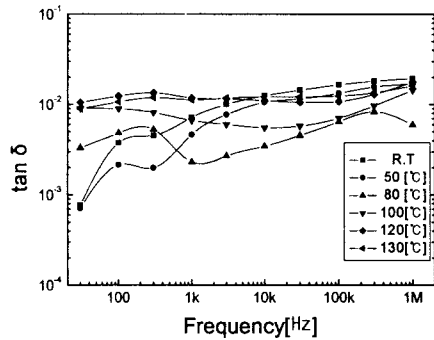


그림 4. 유전정점의 주파수의존성 10[Gy]  
Fig. 4. Frequency dependence of  $\tan \delta$  10[Gy]

그림 4는 10[Gy]의 광자선을 조사한 PET 박막시료의 인가전압1[V], 20[V]에 대한 유전정점의 주파수 의존성으로  $80^\circ[C]$ 이하 저온영역에서는 주파수가 증가하면 유전 손실이 선형적으로 증가하나 고온영역에서는 약간 감소함을 확인할 수 있었으며, 10[kHz]이상의 수백 [kHz] 부근에서 최대값이 나타남을 확인할 수 있었다. 또한 그림 5는 30[Gy]에 대한 유전정점의 주파수 의존성으로 저온영역에서는 주파수가 증가함에 따라 유전손실이 증가함을 확인할 수 있고 고온영역에서는 온도가

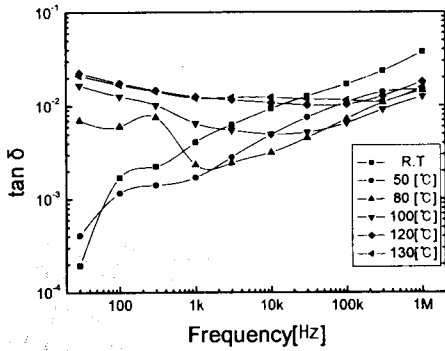


그림 5. 유전정점의 주파수의존성 30[Gy]  
Fig. 5 Frequency dependence of  $\tan \delta$  30[Gy]

높고 인가전압이 높기 때문에 시료의 도전 특성의 변화가 적어 유전특성이 약간 감소하는 것을 확인할 수 있었고, 이것은 광자선 조사로 인하여 시료의 결정성이 증가함으로 나타나는 것으로 사료된다. 그림 4와 5에서 알 수 있듯이 변곡점 온도는 시료의 비정정질 유리전이 온도인 67[°C]부근에서 나타나는 것을 확인하였다.

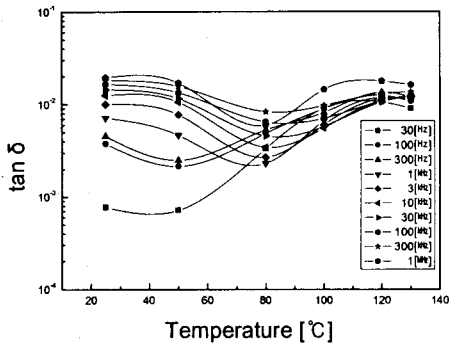


그림 6. 유전정점의 온도의존성 10[Gy]  
Fig. 6 Temperature dependence of  $\tan \delta$  10[Gy]

그림 6은 인가전압에 대한 유전정점의 온도의존성에 대하여 실험한 결과로 저온영역에서는 주파수가 증가하면 유전손실이 증가함을 확인할 수 있고, 고온영역에서는 유전손실의 증가폭이 작아짐을 알 수 있었다. 또한 낮은 주파수 30[Hz]에서는 유전손실이 온도가 증가함에 따라 선형적으로 증가함을 확인할 수 있었으며, 100[Hz] 및 300[Hz]에서는 유전손실이 저온영역에서 감소하다 60[°C]이상에서는 증가함을 확인할 수 있었으며, 이것은 시료의 비정질 유리전이 온도인 67[°C]이기 때문에 나타나는 것으로 사료된다. 그리고 1[kHz]이상의 수백 [kHz]에서는 유전손실이 저온영역에서는 약간 증가하지만 고온영역에서는 감소하는 것을 확인할 수 있었다.

그림 7은 광자선 조사량이 30[Gy]인 시료의 유전정점에 대한 온도의존성에 관하여 실험한 것으로 저온영역에서는 주파수가 증가하면 유전손실이 증가함을 확인할 수 있었고 고온영역에서는 주파수가 증가하면 유전손실이 감소함을 확인하였다. 주파수 30[Hz]에서 유전손실은 저온영역에서는 감소하는 경향을 나타내며 온도가 높아짐에 따라 선형적으로 증가하며 고온영역에서는 감소

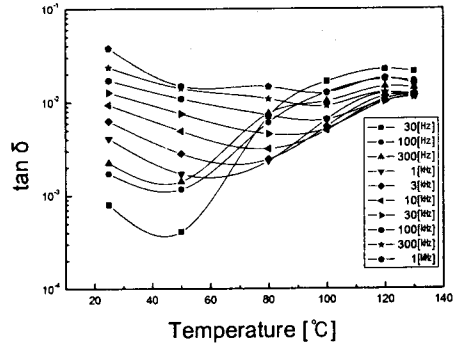


그림 7. 유전정점의 온도의존성 30[Gy]  
Fig. 7 Temperature dependence of  $\tan \delta$  30[Gy]

하는 것을 확인할 수 있었고 100[Hz], 300[Hz]에서는 저온영역에서는 유전손실이 약간 감소하고 50[°C]이상에서는 증가함을 확인할 수 있었다. 또한 1[kHz]이상의 수백 [kHz]에서는 온도가 증가함에 따라 유전손실이 조금씩 감소하는 것을 확인할 수 있었다.

#### 4. 결 론

변환기용 PET 박막에 광자선 10[Gy], 30[Gy], 50[Gy]를 조사하여 측정온도범위 상온 ~ 130[°C], 인가전압 범위 1[V]에서 20[V], 주파수 30[Hz]에서 1[MHz]의 물성 분석 및 전기적 특성 중 유전특성에 대하여 연구한 결과는 다음과 같다.

1. 시료는 상당량의 결정질과 비정질 영역이 혼재하고 있으며, 광자선 조사된 시료의 결정성이 증가하는 것을 확인하였다.
2. 온도의존성에서 저온영역에서는 주파수가 증가하면 유전손실이 증가함을 확인할 수 있었다.
3. 주파수의존성에서 온도 80[°C]이하의 고온영역에서는 유전손실이 선형적으로 감소하는 것을 확인할 수 있었다.
4. 유전방법으로 변환기 재료의 가능성을 확인할 수 있었다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] A.R. Blythe, "Electrical properties of polymers" Cambridge Univ. press, New York, pp.88-140, 1982.
- [2] M. Ikeda, Y. Umeshima, Y. Tanaka and T. Tanaka, "Development of New Crosslinked Polyethylene for DC Power Cable Insulator", 1995 CEIDP, pp.403-406, 1996.
- [3] F.W. Billmeyer, "Textbook of Polymer science", John Wiley and Son, New York, pp.229-261, 1984.
- [4] 家田 正之, "高分子の電氣物性とその應用", 日本電氣學會, p. 27-52, 1972.
- [5] G. M. Sessler: "Electrets", Springer-Verlag, pp. 1~5, 217~219, (1987).
- [6] B.A. MacDonald: "Feasibility study of an electret dosimetry technique" Phys. Med. Biolo, vol. 37(10), pp. 1825~1836 (1992).
- [7] G. M. Back, W. G. Kim, J. W. Hong, B. Y. Yi 한국전기전자재료학회 "2002년도 추계학술대회 논문집" Vol. 15, pp.71-74, 2002.
- [8] J. I. Youn, H. T. Shin, J. W. Hong 한국전기전자 재료학회 "2002년도 추계학술대회 논문집" Vol. 15, pp.224-227, 2002.
- [9] J. Mort and G. Pfister, "Electronic properties of polymers", John Wiley and sons, New York, 1984.