

The Effects of Interfacial on the Electrical Properties in PET Films

姜 武 成* · 李 昌 勳** · 朴 秀 吉*** · 朴 大 熙§

(Moo-Seong Kang, Chang-hyun Lee, Soo-gil Park, Dae-Hee Park)

Abstract - In this paper, the electrical conduction, breakdown strength and dielectric properties were investigated in the interfaces of PET films. The volume resistivity and breakdown strength were decreased; especially the specimens with semiconductive layer showed the lowest breakdown strength. This decrease of electrical properties was appeared by increasing charge density in inhomogeneous layer of PET. The dielectric properties of PET did not show significant difference with PET/PET but the films with semiconductive interface layer showed the increase in capacitance and $\tan \delta$. The temperature dependency of $\tan \delta$ was affected by the PET rather than semiconductive layer. It is assumed that the variation of $\tan \delta$ was affected by the dielectric polarization and the leakage current(charge).

Key Words : Interface, PET films, conduction current, breakdown strength, $\tan \delta$

1. 서 론

최근의 전력기기와 절연부품의 절연시스템은 초고압화와 대용량화와 함께 금속/절연, 절연/절연, 반도체/절연등과 같은 계면의 구조로 구성되어지고 있다. 이와 같은 절연구조는 구조적으로나, 전기적으로 안정된 특성이 요구되고 있으나, 계면 하에서의 빈번한 절연사고가 발생되고 있다. 이와 같은 계면 하에서의 절연사고는 장시간에 걸쳐서 유전손실 혹은 부분방전등에 의한 열화가 진전되어지는 경우가 많으며, 이에 대한 대책으로서 설계적, 물성적인 연구가 요구되고 있다. 절연계면은 부품의 소형화, Prefab화와 고전계하에서의 전계완화를 목적으로 전력 기기와 절연부품에 많은 응용이 되고있는 추세에 있다. 이같이 절연계면은 절연시스템의 신뢰성의 관점에서 매우 중요한 역할을 하고 있으며, 절연성능의 향상을 위한 많은 연구가 진행되고 있다.

절연재료에 있어서 계면 연구는 절연재료/FRP, FRP/금속간의 절연과피와 카본 블랙과 같은 첨가제의 분포 및 입자의 크기에 따른 전기전도특성의 결과는 전력케이블의 반도체층의 특성을 향상시키고 있다.[1][2] 또한 절연재료의 전기적인 물성에 미치는 미세구조의 연구와 고체/액체를 갖는 절연시스템에 있어서 전기적인 물성은 초고압 전력기기의 절연성능 및 신뢰성의 향상에 기여하고 있으며.[3][4][5] 전력케이블의 절연층과 반도체층간의 계면부근에 형성되어지는 폴리에틸렌의 라멜라 방향에 의해서 절연과피강도에 영향을 미친

다는 결과가 있으며,[6] 이같은 연구의 결과는 절연시스템을 설계하고 절연성능을 향상시키는데 매우 중요하다.

이와 같은 관점에서 본 연구는 절연/절연, 절연/반도체층/절연과 같은 계면을 갖는 PET필름의 전기적인 평가를 하였다. 또한 절연재료의 전기적인 특성에 계면이 미치는 영향을 파악하고, 그의 현상을 고찰하였다.

2. 실험방법

사용한 시료는 두께가 일정한 125 μm 의 PET(SR-100, SKC사)필름과 반도체층은 전력케이블에 사용되는 반도체(동선특수재료, 체적저항율: 1000 $\Omega \cdot \text{cm}$)필름을 사용하였다. 각 시료는 그림 1과 같은 PET/PET, PET/SEMI/PET필름의 계면을 갖는 구조이며, 두께는 각각 250 μm 와 350 μm 이다.

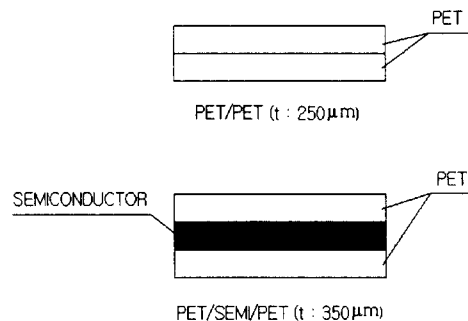


그림 1 시편의 구조

Fig. 1 Structure of the specimens

전도전류는 미소전류계(Keithley 617)를 이용하여 일정전계하에서 측정하고, 측정전극은 82.5[mm ϕ]의 상부전극과 50.5[mm ϕ]의 하부전극과 guard전극을 각각 사용했다.

유전특성은 정전용량 브리지(Tettex 2821)를 사용하고, 측

* 正 會 員 : LG 산전

** 正 會 員 : 圓光大 電子材料工學科 碩士

*** 正 會 員 : 忠北大 工業化學科 副教授 · 工博

§ 正 會 員 : 圓光大 電氣電子工學部 副教授 · 工博

接受日字 : 1998년 4월 10일

最終完了 : 1999년 3월 18일

정전압과 인가압력은 500[V], 3[N/cm²]이며, 실온으로부터 85°C 내에서 각각 온도의존성을 측정하였다.

절연파괴 강도는 상용주파 내전압기(Musasi Co, IP-5005S)와 9.5 [mmφ]의 구/평판전극을 사용하고 0.1[kV/sec]의 일정 속도로 증가시키면서 측정하였다. 절연파괴강도의 값은 12개의 시료에서 최저와 최고를 제외한 결과를 평균으로 계산했다. 파괴강도는 파괴전압/필름두께의 전계로 각각 나타냈다.

3. 실험결과 및 고찰

계면을 갖는 PET 필름의 전기전도와 시간의존성을 각각 평가하였다.

그림 2는 실온하에서 25[kV/cm]의 전계하에서 PET/PET와 PET/SEMI/PET 필름의 전기전도의 시간의존성을 나타냈다. 각 시료 전도전류는 시간과 함께 지수적으로 감소하며, 일정한 누설전류를 나타냈다. PET/SEMI/PET의 순시 충전전류는 PET/PET 필름에 비하여 큰 값을 나타냈다. 또한 PET/PET 필름보다 PET/SEMI/PET 필름의 흡수전류의 증가는 계면분극의 증가와 반도체층을 포함하는 필름의 전하밀도의 증가로 판단되며, 일정시간후에 있어서 누설전류는 PET/PET에 비해서 PET/SEMI/PET가 큰 것으로 나타났다.

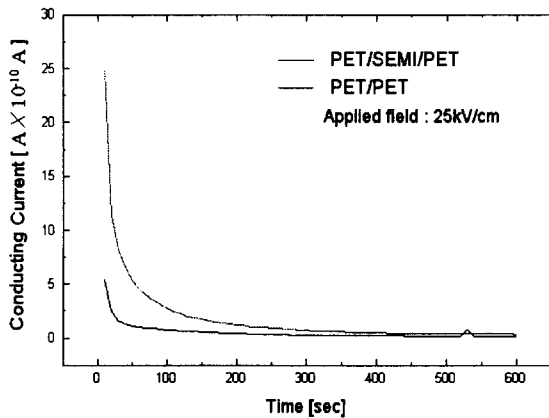


그림 2 전도전류의 시간의존성
Fig. 2 Time dependence of the conduction current

그림 3은 PET/PET, PET/SEMI/PET 필름의 전도전류의 전계의존성의 결과이다.

일정 전계하에서 전도전류는 PET/SEMI/PET의 경우가 PET/PET 필름에 비해서 큰 값을 나타내며, 이와 같은 원인으로서는 전하밀도가 큰 반도체층이 존재함으로 추정된다. 또한 전도전류의 전계의존성은 PET/PET 필름의 경우 30[kV/cm]까지 완만하게 증가를 나타내나, PET/SEMI/PET 필름은 25[kV/cm]~30[kV/cm]에서 급격한 전도전류의 증가를 나타내고 있다. 이와 같이 30[kV/cm] 전계하에서 전도전류의 급격한 증가는 반도체층 필름내에 있는 카이본블랙이 전계가속의 영향을 받아서 전하밀도 혹은 이동도의 증가로 추정된다.

이와 같이 반도체층에 의한 전도전류의 증가는 체적저항을 저감시키는 것으로, 그림 4에 각 필름의 체적저항을 나타냈

다. 각 필름의 체적저항율은 PET, PET/PET, PET/EMI/PET 순으로 높고, 각각 1.1×10^{17} , 1.89×10^{16} , $6.3 \times 10^{15} [\Omega \cdot \text{cm}]$ 으로 계산되었다. 계면을 갖는 PET 필름은 PET에 비하여 체적저항율이 저하되고 특히 반도체의 계면층을 지닌 경우에는 더욱 큰 저하를 보인다. 체적저항율의 저하는 필름내에 계면이 갖는 공간전하의 밀도 혹은 이동도의 증가등으로 생각할 수 있다. 이와 같은 계면을 갖는 PET 필름의 체적저항의 감소는 절연파괴강도에 영향을 미칠것으로 사료되어 다음에는 각 필름의 절연파괴강도를 측정하였다.

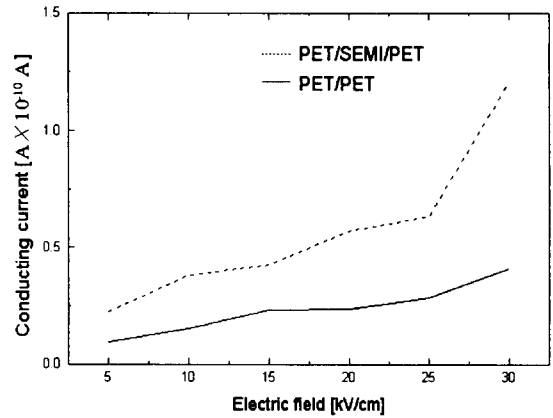


그림 3 전도전류의 전계의존성
Fig. 3 Electric field dependence of the conduction current

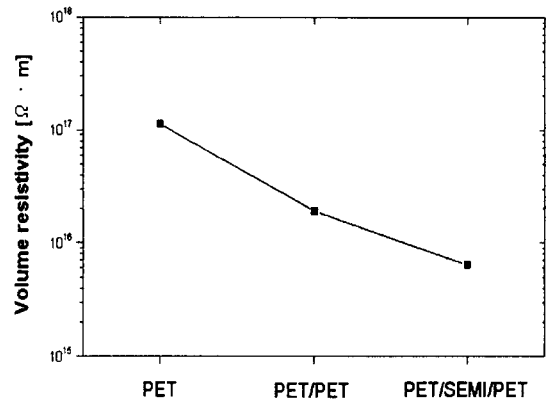


그림 4 각 시료의 체적 저항율
Fig. 4 Volume resistivities of the specimens

그림 5는 각 필름의 절연파괴강도를 나타냈다. PET, PET/PET, PET/SEMI/PET 필름의 파괴 강도는 2.2, 1.59, 0.57[kV/cm]가 얻어지고, 절연파괴강도는 반도체층을 갖는 경우가 PET 필름에 비교하여 25%정도로 큰 저하를 나타내고 있다. 절연파괴강도의 저하는 필름내에 계면이 존재함으로서 전계집중을 일으켜 나타나는 것으로 생각된다. 또한 필름내의 계면은 가해지는 전압에 대하여 전계집중(공간내의 고에너지)과 함께 전위 왜곡효과와, 반도체층내의 카이본블랙의 입자간의 전자생성이 가속되어져 절연파괴강도가 크게 저하되는 것으로 추정된다.

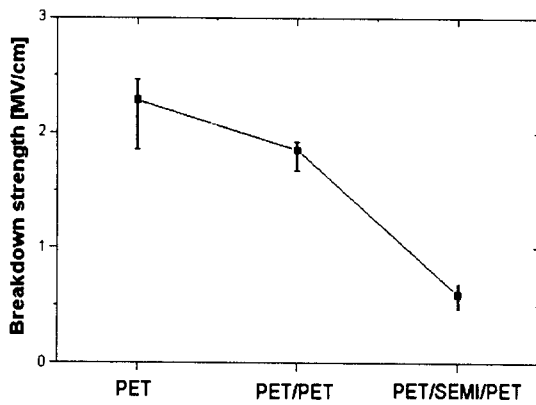


그림 5 PET, PET/PET, PET/SEMI/PET 필름의 절연파괴강도
Fig. 5 Breakdown strengths of PET, PET/PET, PET/SEMI/PET Films

이와 같이 PET 필름의 체적저항과 절연파괴강도는 계면의 의존성을 나타내는 것을 확인하고, 다음에는 각 필름의 유전 특성과 그의 온도의존성을 평가하였다. 절연재료의 유전 특성은 유전체손과 정전용량을 나타내는 것으로 장기적인 신뢰성 평가에 중요한 물성이며, 특히 유전체손($\tan \delta$)은 온도와 절연열화 정도에 따라서 크게 의존되고, 절연열화의 평가에 있어서 많은 이용이 되고 있다[7].

PET/PET, PET/SEMI/PET 필름의 유전 특성은 정전용량과 유전체손을 측정하고, 측정조건은 3 [N/cm²]의 압력과 500[V]의 전압을 인가하였다. 유전율(ϵ)은 필름의 두께(t), 전극의 면적(S), 전극간의 정전용량(pF)을 이용하여 계산하였다.

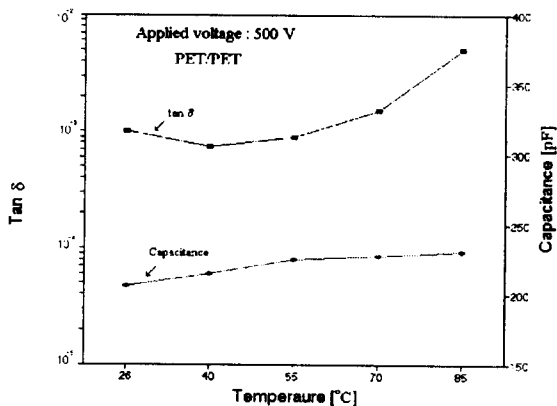


그림 6 PET/PET 필름의 유전 특성과 온도의존성
Fig. 6 Temperature dependence and the dielectric properties of PET/PET Films

그림 6은 PET/PET 필름의 유전 특성과 온도의존성을 나타냈다. PET/PET 필름의 $\tan \delta$ 와 정전용량은 실온하에서 각각 1.0×10^{-3} , 205.7[pF]로 얻어졌다. 또한 PET/PET의 유전율은 2.3으로 계산되었으며, 계면을 갖지 않는 PET 필름과 동일한 결과가 얻어졌다. PET/PET 필름에 있어서 $\tan \delta$ 는 실온에서 40°C까지는 감소하다가 온도증가와 함께 다시 증가하며, 85°C에서는 6.0×10^{-3} 로 증가하는 온도의존성을 나타냈다. 이와 같은 감소되는 $\tan \delta$ 의 온도의존성은 Tg이하에서 PET 필름의

주쇄가 갖는 마이크로 분자운동의 억제 혹은 공정중에 반응속도를 가속화하기 위하여 투입한 촉매의 잔사물이 온도증가와 함께 제거됨으로 나타나는 결과로 생각된다. 또한 필름내에 존재하는 유전분극, 전하이동의 거동에 의한 온도의존성을 추정할 수 있으나, 본 필름에 있어서는 유전분극과 계면분극이 Tg이하에서 억제됨으로 $\tan \delta$ 의 감소를 나타내는 것으로 추정된다. 반면에 증가하는 $\tan \delta$ 는 온도증가와 함께 활발한 마이크로 분자운동에 의한 쌍극자 배향효과와 계면 및 유전분극등의 증가에 의한 것으로 생각된다. 일반적으로 결정성 고분자에 있어서 $\tan \delta$ 의 온도의존성은 고온영역에서 α 흡수와 저온영역에서 β 흡수를 나타내는 것으로 본 결과의 40°C는 본 시료의 α 흡수와 β 흡수를 구분하는 온도영역으로 추정되었다.

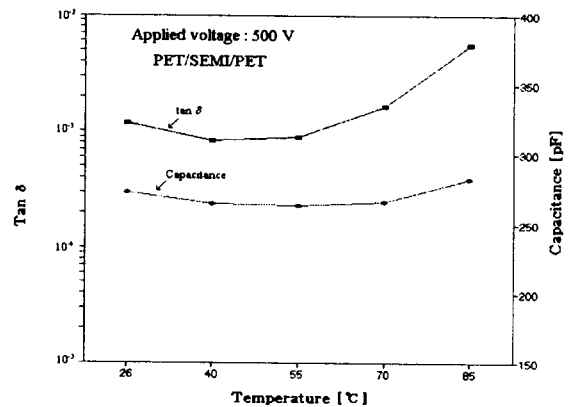


그림 7 PET/SEMI/PET 필름의 유전 특성과 온도의존성
Fig. 7 Temperature dependence and the dielectric properties of PET/SEMI/PET Films

PET/SEMI/PET 필름의 유전 특성과 온도의존성을 그림 7에 나타냈다. 실온하에서 정전용량은 272.6[pF]이고, $\tan \delta$ 는 1.18×10^{-3} 로 PET/PET 필름과 거의 동등한 결과로 측정되었으며, 유전율은 5.71로 PET/PET 필름에 비하여 2.5배정도로 증가하였다. 또한 유전 특성의 온도의존성은 PET/PET 필름과 같은 경향을 보이며, 반도체층보다도 PET 필름의 온도의존성에 지배적인 것으로 나타낸다. 반도체층(카아본블랙의 입자)은 PET 필름의 $\tan \delta$ 에는 영향을 미치지 못하고, 유전율의 증가를 나타내는 것을 확인 할 수 있었다.

이와 같이 계면을 갖는 절연층에서의 전기적인 특성은 계면의 종류에 의존되어지며, 특히 본 시험에서 얻어진 결과는 PET/PET 필름간의 계면보다 반도체층이 삽입되는 계면에서 전기적인 물성의 저하가 크게 나타났으며, 유전 특성(유전율), 절연 파괴강도, 체적저항율순으로 큰 감소를 나타냈다. 계면을 갖는 필름에 있어서 전기적인 물성의 변화는 고분자의 분자구조나 분자운동의 미시적인 면과 계면을 갖는 필름 형성 구조에 의한 거시적인 관점에서 해석할 수 있다. 절연 필름내의 $\tan \delta$ 는 원자나 전자를 구성하는 정 및 부전하가 전계에 의해서 내부의 상대위치의 비틀림으로 나타내나, 반도체층은 $\tan \delta$ 에 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 예측된다. 절연 파괴강도는 필름내의 계면층이 전계집중을 일으키고, 특히 반도체층은 급격하게 필름의 절연강도를 저하시키는 역할을 한다. 체적저항율은 동일 전계하에서 필름내에 반도체층이 존

재함으로서 300배정도의 감소를 나타내고 있으며, 이와같은 원인으로서 반도체층내의 전하밀도와 전하 이동도의 증가에 의한 영향으로 생각된다.

4. 결 론

계면을 갖는 PET필름의 전기적인 물성의 평가를 통하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- 1) 전도전류-시간의존성으로부터 반도체층을 갖는 PET필름의 순시충전 및 흡수전류는 PET/PET에 비해서 크다. 이같은 원인으로서 전자는 반도체층내의 전자분극 및 이온분극율의 증가와 후자는 계면분극율과 전하밀도의 증가에 의한 것으로 추정된다.
- 2) 30[kV/cm]하에서 PET/SEMI/PET필름의 전도전류는 PET/PET필름에 비하여 급격한 증가를 나타낸다. 이같은 큰 증가는 반도체층 내에 존재하는 카아본블랙의 전계가속에 의한 전하이동도의 증가가 역할을 하는 것으로 판단된다.
- 3) PET필름의 체적 저항율은 계면이 삽입되면 PET, PET/PET, PET/SEMI/PET순으로 1.1×10^{-17} [$\Omega \cdot \text{cm}$] 1.89×10^{-16} [$\Omega \cdot \text{cm}$], 6.3×10^{-15} [$\Omega \cdot \text{cm}$]으로 나타내고, 이같은 감소는 계면층내의 전하밀도와 이동도에 의존되는 것으로 생각된다.
- 4) PET, PET/PET, PET/SEMI/PET필름의 절연과피강도는 2.2[MV/cm], 1.59[MV/cm], 0.57[MV/cm]로 나타냈으며, 필름내에 계면형성이 전계집중을 가속시켜 절연과피강도가 저하되는 것으로 추정하였다.
- 5) PET/SEMI/PET필름내의 반도체층은 유전율을 증가시키나, $\tan \delta$ 에는 큰 영향을 미치지 못하고, PET/PET와 거의 동등하며 $\tan \delta$ 를 나타낸다. 그러나 $\tan \delta$ 의 온도의존성은 실온에서 40[°C]까지 감소하다가 다시 온도증가와 함께 증가하는 경향을 보였다. 이같이 감소하는 $\tan \delta$ 는 PET의 Tg이하에서의 분자운동의 억제에 의해서 나타나는 것으로 추정되며, 온도의존성은 필름내의 계면보다는 PET필름에 지배된다.

본 연구는 기초전력 중기과제 (98-중기-05)의 지원에 의해서 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] Investigation Committee of IEEJ, "Effects of Interfaces of Solid Insulating Materials", Digest Report of Investigation Committee. No. 488, pp. 1-4, 1994.
- [2] H. Kato, et al, "Influence of Surface Energy of Carbon Black-Filled Semiconducting layer upon Properties of Solid Insulating Materials". Proc. 25th Symposium on EIM, Nagoya Japan, pp. 453-234, 1993.
- [3] M. Ieda, et al, "Fundamental Aspects of Interfacial Phenomena in Solid Insulating System" 3rd. ICPADM, pp. 598-603, 1991.
- [4] J. P. Zheng, et al, "Investigation of Dielectric Properties of Polymer Laminates with PVDF" IEEE.

Trans. EI. Vol. 3, No. 1, pp.144-147, 1996. .

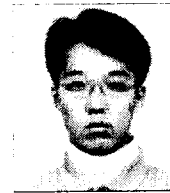
- [5] S.Ochiai, et al, "Interface Traps and Swelling of Polypropylene Films Immersed in Silicone Oils" IEEE Trans. Electr. Insul., Vol. EI-20, pp.575-580, 1985
- [6] T.Okamoto, et al, "Improvement of The Lamella Structure in The Interfacial Region and Breakdown Strength" Central Research Institute of Electric Power Industry Report, No.W87007, 1987(in Japan)
- [7] J.P.Bellomo, et al, "Study of The Ageing of Different Dielectrics Materials under Specific Electrical Constraints" 4th ICPADAM, pp.796~799, 1994

저 자 소 개



강 무 성 (姜 武 成)

1968년 1월 13일생. 1996년 원광대 공대 전기공학과 졸업. 1998년 동대 대학원 전자재료공학과 졸업(석사). 1998년~현재 LG산전 연구소 근무.



이 창 훈 (李 昌 勳)

1972년 4월 24일생. 1997년 원광대 공대 전자재료공학과 졸업. 1999년 동대 대학원 전자재료공학과 졸업(석사).



박 수 길 (朴 秀 吉)

1956년 9월 21일생. 1979년 한양대 공대 고분자공학과 졸업. 1981년 2월 동대 대학원 공업화학과 졸업(석사). 1985년 3월 일본 동경공업대학 전자화학과 졸업(석사). 1988년 3월 동대학 전자화학과 졸업(공학박). 1991년~현재 충북대학교 공업화학과 부교수.

Tel : (0431) 61-2492

E-mail : sgpark@trut.chungbuk.ac.kr



박 대 희 (朴 大 熙)

1954년 11월 10일생. 1979년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1983년 동대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1989년 일본 오사카 대학 대학원 졸업(공학박). 1979년~1991 LG전선 연구소 선임연구원. 1991년~현재 원광대학교 전기·전자공학부 부교수.

Tel : (0653) 850-6349

E-mail : parkdh@wonkwang.ac.kr