

계면을 갖는 PET 필름의 유전특성의 온도 및 주파수 의존성

이창훈*, 이종복**, 이동영*, 김우성**, 박대희*
 원광대학교*, 호원대학교**, 위덕대학교*, LG산전**

Dependencies of Dielectric Properties on Temperature and Frequency in PET films with interfaces

Chang-Hoon Lee*, Jong-Bok Lee**, Dong-Young Lee*, Moo-Sung Kang**, Dae-Hee Park*
 Wonkwang Univ.*. Howon Univ.**. Uiduk Univ.*. LG Industrial Systems Co., Ltd.**

Abstract - In order to improve insulating character and ability of insulating system of power apparatus, the interfacial and complex structure is widely used. However, the interface or complex structure of insulation materials is reported as a weak point which causes breakdown. As the interface of insulation system degrades its electrical property and eventually causes a failure, the detailed phenomenon analysis is reported.

The object of this paper is to evaluate dielectric property of PET film with the interface.

The $\tan \delta$ increased with the existence of semiconducting layer and showed prominent decrease as a function of temperature. Also, the $\tan \delta$ showed prominent increase as a function of frequency. The dielectric properties of interfacial were affected by the interface characteristics.

우수한 전기적·기계적 성질, 내수성 및 내유성을 가진 고분자 화합물로서 전동기, 변압기, 전선 및 케이블과 축전기 등에 많이 사용되고 있다.

본 논문에서 사용된 절연 재료는 SKC사에서 제작한 두께가 75[μ m]인 PET 필름과 동선특수재료에서 제작한 두께 75[μ m], 체적저항 1000[$\Omega \cdot$ cm]인 반도체 재료로 측정전에 건조기내에서 건조시킨 후 에틸알콜로써 세척한 후에 사용하였다. 그리고 절연 계면이 존재하는 구조를 고려하여 그림 1과 같이 3가지 시료를 구성하였다.

온도, 주파수 의존성을 측정하기 위해서 Dielectric Loss Measuring Set(Ando Electric Co., LTD Type TR-10C)와 Null Detector(Ando Electric Co., LTD Type BDA-9)를 사용하였고, 주파수 의존성을 알아보기 위하여 Oscillator(Ando Electric Co., LTD Type WBG-9)를 사용하였다. 또한 온도의존성을 알아보기 위하여 Thermostatic Oven(Ando Electric Co., LTD Type TO-9)을 사용하였다. 전극은 상부전극이 18.0[mm ϕ], 하부전극은 87.0[mm ϕ]인 평판대 평판 전극(Ando Electric Co., LTD Type SE-70 Electrode)을 사용하였다. 주파수의존성을 위해서 주파수의 범위는 1, 10, 100[kHz]로 하였고, 측정 온도는 30, 50, 70[$^{\circ}$ C]로 설정하여 실험을 수행하였다.

1. 서 론

최근 급속한 산업발달에 따라 전력 수요가 급격히 증가하고 있으며 이에 따라 전력 기기의 대용량화, 전력계통의 고압화가 추진되고 있다. 이에 따라 기존 절연재료에 대한 절연재료의 성능 개선 및 보다 우수한 절연재료의 개발이 절실히 요구되고 있다.^{[1][2]}

전력 기기에 있어서 절연재료는 절연성능을 유지하고 있으나, 이들 절연재료 및 구성을 상세히 살펴보면 단일 재료로 이용되는 경우는 거의 없다. 특히 초고압 XLPE 전력 케이블에 있어서 PE의 절연체와 반도체층 간에 계면이 존재함으로써 이 부분이 절연과피의 시발점으로 케이블의 절연 성능을 저하시킨다.^{[3][4][5][6]}

따라서 본 연구에서는 실제 케이블의 접속시 발생하는 이종계면층의 전기적 현상들을 구명하기 위하여 PET, PET/PET 시료와 PET/Semi/PET로 구성된 이종계면을 갖는 시료의 유전특성을 주파수와 온도에 따라 측정·비교하여 복합구조로 구성되어 있는 이종계면이 절연재료의 성능에 미치는 영향을 연구하였다.

2. 본 론

2.1 실험방법

폴리에틸렌테레프탈레이트(polyethylene terephthalate; PET)는 폴리에틸렌(PE), 폴리염화비닐(PVC)과 함께

2.2 결과 및 고찰

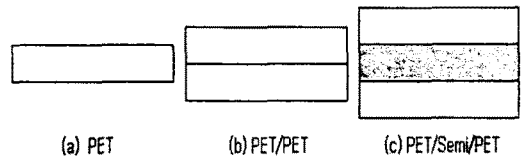


그림 1 시료의 구조

세 종류의 시편을 이용하여 주파수 및 온도의 변화에 따른 유전율, 정전용량, $\tan \delta$ 를 살펴보았다.

그림 2, 3, 4, 5는 1[kHz]하에서 온도 변화에 따른 각 시료의 Capacitance와 $\tan \delta$ 를 나타낸 것이다. 전체적으로 온도가 증가함에 따라 $\tan \delta$ 는 감소하는 경향을 나타내고 있다. 단일 종류의 원자로 구성된 재료와 영구쌍극자를 갖지 않는 이온상 유전체가 아닌 이외의 재료는 전위분극, 전자분극, 이온분극 3가지의 전 분극현상이 함께 일어나는데 그 정도는 온도에 따라 변화를 갖기도 한다.

그러나 분자의 전자배열구조에 변화가 없으면 전자분극과 이온분극은 온도의 영향을 받지 않는다. 즉 전위분극만이 온도에 영향을 받고 전위분극은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P = NU_p L(a) = NU_p^2 E / 3kT$$

(N : 전 쌍극자수, U_p : 영구쌍극자능률

L(a) : Langevin 함수($U_p E / 3kT$)

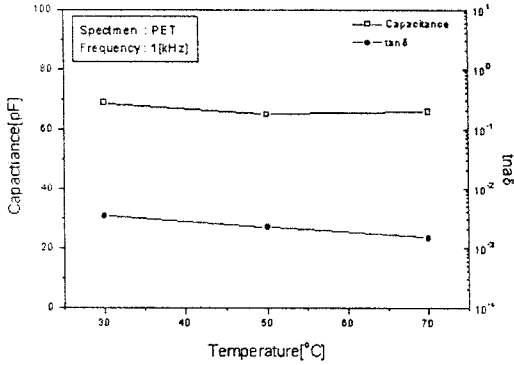


그림 2 PET 필름의 유전특성의 온도의존성

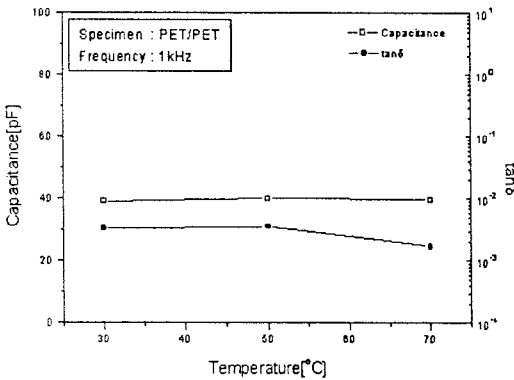


그림 3 PET/PET 필름의 유전특성의 온도의존성

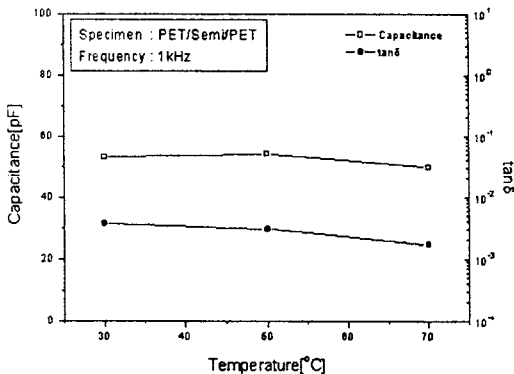


그림 4 PET/Semi/PET 필름의 유전특성의 온도의존성

거시론 이론의 분극을 $P = \epsilon_0(\epsilon_r - 1)$ 으로 나타내면 $\epsilon_0(\epsilon_r - 1) = N(\alpha_e + \alpha_i + \mu_p^2 / 3kT)$ 의 등식이 성립되므로 비유전율 ϵ_r 도 마찬가지로 온도 증가에 따라 ϵ_r' 와 ϵ_r'' 가 작아짐으로써 $\tan \delta$ 값도 작아짐을 알 수 있다.

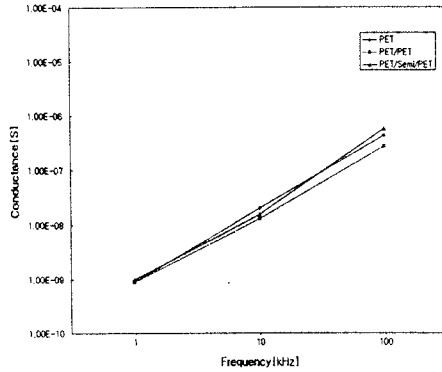


그림 5 50[°C]에서 각 시료의 Conductance의 주파수 의존성

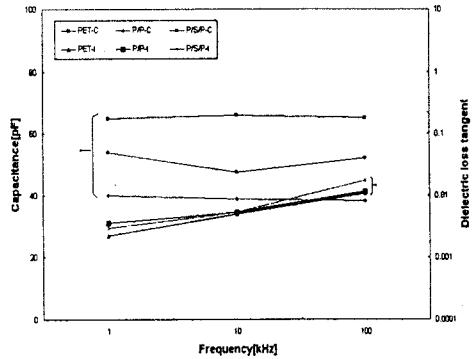


그림 6 50[°C]에서 각 시료의 유전특성의 주파수 의존성

그림 5는 50[°C]에서 주파수 변화에 따른 각 시료의 Conductance를 나타내고 있고, 그림 6은 50[°C]에서 주파수 변화에 따른 각 시료의 Capacitance와 $\tan \delta$ 를 나타낸 것이다.

그림에서 보는 바와 같이 주파수가 증가함에 따라 $\tan \delta$ 가 증가하는 경향을 보이고 있다. 전극에 교류전압을 가하게 되면 Specimen이 이상적인 콘덴서인 경우에는 전력손실이 없지만, 실제 이상적인 콘덴서가 아닌 경우에는 콘덴서 성분과 저항 성분을 갖고 위상도 δ 만큼 늦게 된다. 그러므로 손실성 유전체를 함유한 콘덴서는 에너지손을 만드는데 이를 유전체손이라 한다. 이 손실은 거의 누설전류에 의한 주열에 의한 손실과 전기분극이 생길 때 원자 및 분자가 관성 및 점성 등의 저항을 이겨서 생기는 손실과의 합이 된다. 또 유전손 $P = I_R^2 R = V I_R \cos \theta$, $I_R = I \cos \theta = I \tan \delta$ 이고,

$$\tan \delta = \frac{I_R}{I_C} = \frac{VG}{\omega C_X V} = \frac{G}{\omega C_X}$$
 이므로 주파수가 증가하면 $\tan \delta$ 는 작아진다. 그러나 그림 5에서 보는 것과 같이 주파수가 증가함에 따라 Conductance가 증가함으로 $\tan \delta$ 는 주파수가 증가함에 따라 Conductance 성분 외해서 증가한다. 그리고 그림 2, 3, 4에서 이중절연이 있는 시료(PET/Semi/PET)가 다른 시료(PET, PET/PET)보다 $\tan \delta$ 가 더 크게 나타나는 것을 볼 수 있다. 이는 반도체 재료의 저항율이 낮아서 누설전류가 크기 때문에 $\tan \delta$ 가 더 크게 나타난다.

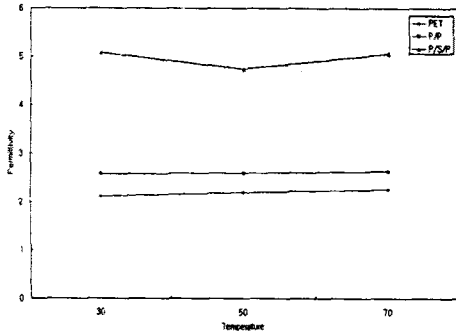


그림 7 10[kHz]에서 각 시료의 유전율의 온도의존성

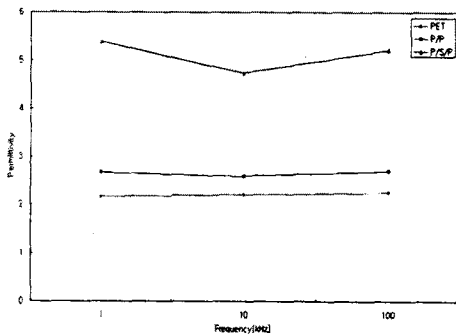


그림 8 50[C]에서 각 시료의 유전율의 주파수 의존성

그림 7은 10[kHz]에서 온도변화에 따른 각 시료의 유전율을 나타낸 것이다. 각 시료가 온도가 증가함에 따라 유전율이 증가하는 경향을 보이고 있다. 이는 아래의 Debye 이론식으로 설명할 수 있다.

교번 전계하에서 복소유전율 ϵ_r^* 에 관한 Debye식은

$$\frac{\epsilon_r^* - 1}{\epsilon_r^* + 2} = \frac{N}{3\epsilon_0} \left(a_e + a_a + \frac{\mu_d}{3kT(1 + j\omega\tau)} \right)$$

로 표시되며 위 식으로부터 온도가 증가함에 따라 유전율은 증가함을 확인할 수 있다.

그림 8은 50[C]에서 주파수 변화에 따른 각 시료의 유전율을 나타낸 것이다. PET/Semi/PET 시료가 다른 시료보다 유전율이 큰 것을 볼 수 있고, 또한 10[kHz]이상의

주파수에서 유전율이 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는 10[kHz] 부근이 전기적 주파수 영역이라고 보면 이 부근에서 배향분극이 시작됨을 알 수 있다. 전기적 주파수 영역에서 나타나는 배향분극에 의한 분산은 분자 사이의 충돌 혹은 주위 분자에서 받는 속전(束縛)에 기인하고, 소위 완화형 분산이라고도 한다.

3. 결 론

두께가 75[μm]인 PET 필름을 이용하여 세 가지의 시료(PET, PET/PET, PET/Semi/PET)를 구성하여 주파수와 온도의 변화에 따른 유전율, 정전용량, $\tan \delta$ 를 측정하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- [1] PET, PET/PET 시료보다 PET/Semi/PET 시료의 $\tan \delta$ 가 더 크게 나타난 이유는 반도체 재료의 저항율이 낮아서 누설전류가 컸기 때문에 $\tan \delta$ 가 더 크게 나타난 것이라고 생각된다.
- [2] 온도가 증가함에 따라 $\tan \delta$ 는 감소하는 경향을 보였다.
- [3] 주파수가 증가함에 따라 $\tan \delta$ 는 증가하는 경향을 나타냈다.
- [4] 10[kHz] 이상의 주파수에서 유전율이 증가하는 경향을 보인 것은 10[kHz] 부근에서 배향분극이 시작되었음을 알 수 있다.
- [5] 유전율이 온도증가와 더불어 증가하는 것은 Debye 이론식으로 설명할 수 있었다.

[참 고 문 헌]

- [1] 홍진웅·홍능표 外 3, "XLPE 필름의 전기 전도 및 공간 전하 특성", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp.1330-1332, 1994
- [2] 김석기·한상욱, "용액법에 의해 작성한 고밀도 폴리에틸렌 박막의 절연파괴 특성 연구", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp.1379-1380, 1994
- [3] 박대회, "XLPE 전력케이블의 이중재료간의 계면현상 연구", pp.9-60, 1993
- [4] 한민구·정동원 外 2, "배전용 CN-CV 케이블과 접속재의 열화시험 방지대책 연구(최종보고서)", 한국전력공사 기술연구원, pp.72-296, 1992
- [5] 한민구 外 7, "이중절연계면에 있어서 절연 및 유전 특성", 대한전기학회논문지 44권 12호, pp.1631-1637, 1995
- [6] Stanislaw Gubanski·Ralf hartings, "Swedish Research on the Application of Composite Insulators in Outdoor Insulation", IEEE Electrical Insulation Magazine, Vol.11, No.5, pp.24-31, 1995

본 연구는 한국전력공사의 지원에 의하여 기초전력공학 공동연구소 주관(과제관리번호:98-중기-05)으로 수행되었음.