

# 충전제 형상이 미치는 에폭시 수지의 전기적 특성에 관한 연구

- A Study on Electric Properties of Epoxy Resin  
on Filler Shapes -

이 성 일\*

Lee Sung Ill

## Abstract

The epoxy resin materials used in outdoor high voltage equipments are required to have the high electric performance because of the miniaturization. The frequency dependence of the permittivity and the loss tangent have important information. In this paper we describe the frequency dependence of the permittivity and the loss tangent for epoxy resin filled with silica and the influence of filler shapes on the dielectric properties. The increment of  $\tan \delta$  in the low frequency region is caused by the increment of both the electrical conductivity and the polarization due to the shape of filler and the water absorbed in and near the interface between fillers and resins.

The result of charge current and discharge measure, electric conduction is increased according to voltage.

Key Words : permittivity, charge current discharge current

## 1. 서론

최근 발전소내의 터빈발전기 고정자부의 일부에, 붓싱, 몰-드형 변압기 등에 내후성이 우수한 에폭시수지가 사용되고 있다. 옥외용 복합에자의 수분 흡수가 유전특성에 미치는 영향을 평가하는 것은 전기기기 등의 절연사고를 미연에 방지하고 보수상 유익한 데이터를 얻는데 대단히 중요하다<sup>[1][2]</sup>

본 연구에서는 내후성의 문제의 하나인 수분 흡수에 의해 에폭시수지가 받는 절연열화에 대해 조사했다. 지금까지의 연구에서는 에폭시 수지가 수분을 흡수하므로써 유전특성 및 전기

---

\* 충주대학교 안전공학과

특성에 크게 영향을 주며, 또 이 영향이 에폭시 수지에 배합된 충전제의 형상에 의해 크게 다른 것이 알려져 있다.<sup>[3][4][5]</sup>

그러나 절연열화의 메카니즘이 유전분극의 분산 혹은 도전율의 증가의 어느쪽인가에 의한 것인가는 충분히 해명되어 있지 않다.

여기서 이번 연구에서는 다양한 형상의 실리카를 충전제로서 배합한 에폭시 수지를 물에 침적시켜 흡수시켜 유전특성과 직류전압 인가시의 충방전 전류를 측정했다. 이들 2가지의 측정 결과로부터 충전제의 형상의 차이가 흡수에 의한 절연열화의 진행에 미치는 영향에 대해서 검토했으며, 측정된 도전전류와 절연열화와의 관계를 검토했다.<sup>[6][7]</sup>

## 2. 시료 및 측정장치

### 2.1 시료

비스페놀계의 에폭시수지에 충전제로서 3종류의 실리카 분말을 배합했으며 Table 1과 같다. 또 시료로 사용한 에폭시수지는 직경이 70mm $\phi$ , 두께가 0.1mm인 시료를 사용하였으며 그 형상은 Fig.1과 같다.

Table 1 Materials

기 호	충 전 제	실리카의 특징
NON	충전제 없음	
RAS	타원형 용융 실리카	둥근 비결정 실리카
SAS	파쇄 용융 실리카	각이 있는 비결정 실리카
SCS	파쇄 결정 실리카	각이 있는 결정 실리카

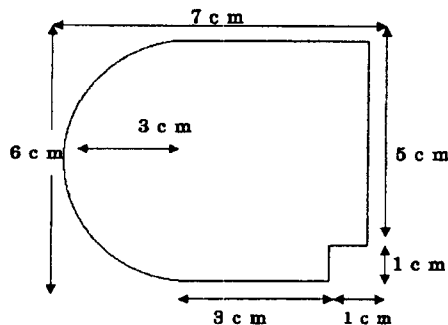


Fig. 1 Form of sample

2.2 측정장치 및 회로

유전체손의 측정에는 일본 안도(주)의 발진기(WBG-9형;AS-76182), 유전체손발진기(TR-10C형;AS-4245), 평형점검출기(BDA-9형;AS-4474), 고체용 전극(SE-70;AS-20438) 그리고 TABAI ESPEC CORP.제의 항온조(LHL-112)를 사용했으며, 측정회로도 는 Fig. 2 와 같다. 이 때 주파수는 30~3 MHz 범위에서 측정하였다.

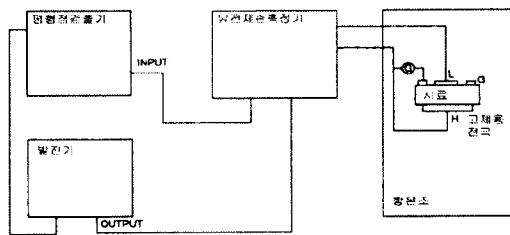


Fig. 2 Measured device circuit dielectric loss

충방전전류의 측정에는 직류전압원장치(MODEL BOB 1000M, KEPCO), 미소전류계 (TR8401, TAKEDA RIKEN), 펜 레코-다(LP4120E, YOKOGAWA), 황동전극, 프리앰프(TR8401/8411, TAKEDA RIKEN), 항온조(TABAI ESPEC CORP., LHL-112)를 사용하였으며, 측정회로도 는 Fig. 3과 같다.

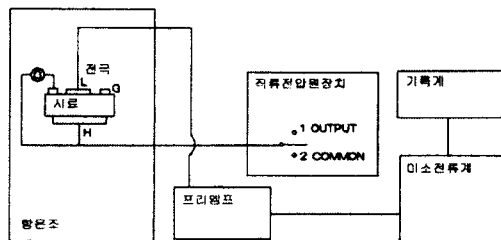


Fig. 3 Measured device circuit charge and discharge current

3. 결과 및 검토

3.1 유전특성

Fig.4 는 온도 25℃, 주파수 30~3MHz의 범위에서 충전제 형상의 차에 의한 유전율을 측정 한 결과이며 Fig.5는 같은조건에서 Tan δ를 측정 한 결과이다.

Fig.4에서 NON(충전제 없음)은 모든 주파수 영역에서 거의 일정값을 나타내고 있다. 또, 모든 주파수 영역에서 4개의 시료중 가장 작은 값을 나타내었다.

이것에 대해서 SAS(Squarish Amorphous Silica), SCS(Squarish Crystal Silica)는 상호 유사한 주파수 특성을 나타내고 있다. 10kHz 부근까지는 SAS가 SCS의 값보다 큰 값을 나타내고 있지만 10kHz 이상에서는 SAS가 SCS의 값보다 작아져 있다. 또, 양 시료 모두 10kHz 부근까지 유전율이 비교적 큰 감소 경향을 보였다.

RAS(Roundish Amorphous Silica)에 대해서는 다른 3개의 시료에 비해 30Hz에서 NON과 비교하여 약 4배를 나타내었으며, 100kHz까지 감소 경향을 나타냈다.

Fig.5에서 NON은 주파수가 증가할수록  $\tan \delta$ 의 값은 증가한다. SAS, SCS의  $\tan \delta$ 는 30Hz의 저주파 영역에서는 극대값을 나타내며 고주파영역이 되면 감소하며, NON과 거의 같아져 있다. RAS는 10kHz~100kHz에서 급격한  $\tan \delta$ 의 증감이 나타났다.

Fig.4~ 5에서는, Without Filler의 유전특성의 값이 낮으므로 우수한 유전체인 것을 알 수 있다. 그러나 NON의 단량체는 강도면에서 사용하기가 어려우므로 충전제의 평가를 하지 않으면 안된다. NON의 값은 거의 일정함에 대해서 SAS, SCS의 차는 충전제의 차이가 원인이며, 에폭시 수지와 충전제와의 계면간의 수분의 통과 때문이라 생각된다. RAS는 좋은 결과가 얻어졌는데 본 실험에 사용한 시료는 열화되지 않았기 때문이라 생각된다. 에폭시와 같은 유기물질이 열화하면 산화에 의해 탄화결합의 절단이 일어나며, 동시에 C=O나 COOH 등의 극성기나 축리성 물질을 발생한다. 그 결과 유전 손실이 증대하기도 하며, 열화하기 전에 없었던 유전흡수가 일어나기도 한다. RAS에는 SAS, SCS에 보이지 않는 유전흡수가 유전체손실의 값으로부터 확인되고 있다.

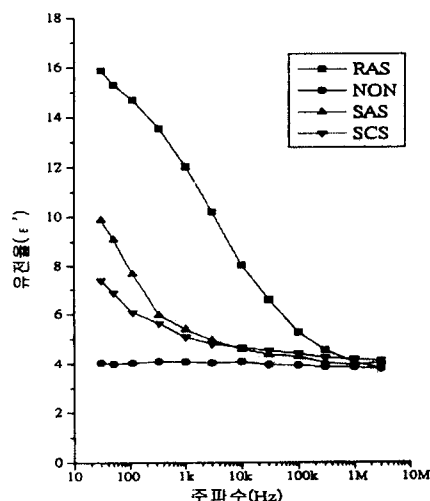


Fig. 4 The frequency properties of  $\epsilon'$  vs. filler shapes(25°C)

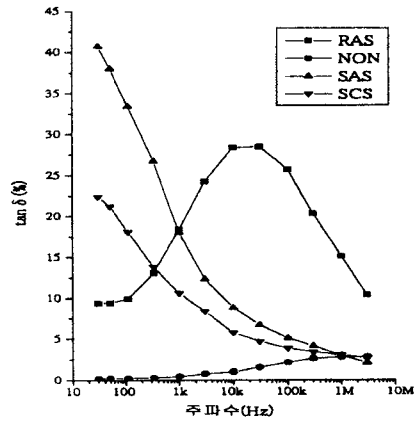


Fig. 5 The frequency properties of Tan  $\delta$  vs. filler shapes(25°C)

Fig. 6~9는 RAS, SCS의 주파수 30~3MHz, 온도 25°C~80°C 영역에서 유전 및 Tan  $\delta$  특성을 검토한 것이다. Fig.6~7에서 SCS는 각 주파수에서 유전율은 25°C, 40°C, 50°C, 60°C로 온도상승과 더불어 작아지며, 60°C를 경계로 70°C, 80°C로 온도 상승과 더불어 커지는 경향을 나타낸다. 80°C에 관해서는 값이 내려가는 원인이 시료의 건조에 의해 계면에 침입한 물이 감소하여 유전특성이 회복하는 것이라고 생각된다 이것은 온도가 높아지면 쌍극자나 이온이 그 분극 과정에서 분자간의 충돌 혹은 주변 분자로부터의 속박에 의한 마찰저항이 감소하기 때문이다 또 항온조의 최고 설정 온도가 90°C 이상 측정할 수 없었기 때문에 80°C의 값이 측정오차일 것으로 사료된다.

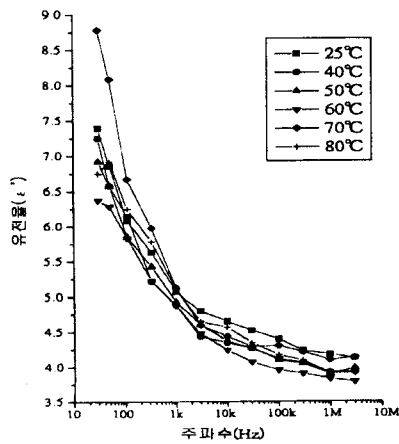


Fig. 6 The temperature-frequency properties of  $\epsilon'$  in SCS

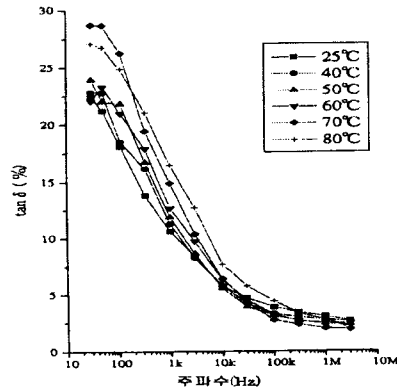


Fig. 7 The temperature-frequency properties of  $\text{Tan } \delta$  in SCS

Fig.8,~9의 RAS에 있어서 유전율 및  $\text{Tan } \delta$ 의 온도·주파수 특성을 나타내었다. 온도가 25°C에서 60°C로 높아짐에 따라 극대값이 나타나는 주파수가 높아지는 것을 알았다. 60°C-3MHz 이상의 값이 본 실험 장치로 측정할 수 없었기 때문에 Fig.8~9에서 80°C, 90°C의 그래프는 없다. 이는 실험장치의 측정조건 및 열화한 RAS가 원인으로 사료된다.

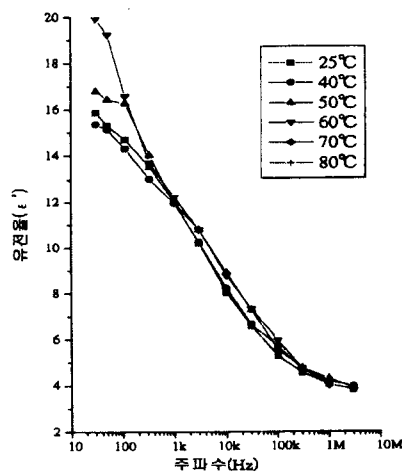


Fig. 8 The temperature-frequency properties of  $\epsilon'$  in RAS

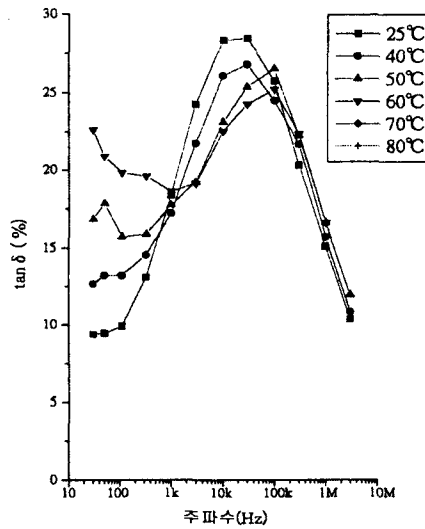


Fig.9 The temperature-frequency properties of Tan  $\delta$  in RAS

3.2 충·방전전류 특성

Fig.10에서 도전전류의 값은 RAS가 가장 크며, 다음에 SCS, SAS, NON의 순이다. 이것에 의해 예폭시수지에 배합되어 있는 실리카가 영향을 준다고 사료된다. 또, 파쇄 실리카보다 타원형 실리카가, 용융 실리카보다 결정 실리카쪽이 도전전류가 크게 나타났다. 또, 분극이 평형상태로 되기까지의 시간, 완화시간은 직류전압의 인가시간이 짧아 흡수전류가 충분히 감쇄하지 않았기 때문에 평가하기가 어려웠다. Fig.10의 측정 결과로부터 4종류의 시료의 115분값의 전류값을 이용하여 도전율  $\sigma$ 는 다음 식을 이용하여 계산했다.

$$\sigma = I/SV$$

l : 시료의 두께(0.001m)

I : 충전전류의 115분값(A)

S : 전극면적( $0.01^2 \pi m^2$ )

V: 인가전압(500V)

$\epsilon'' = \sigma / 2\pi f \epsilon_0$ 에 대입하여 측정값 · 계산값을 비교했을 때 도전전류에 의한 영향보다도 유전분극의 분산의 영향이 크게 나타났다. 그러나 흡수전류가 2시간 동안의 측정으로는 감쇄하지 않았기 때문에 도전전류의 평가에 가치가 있는지 측정시간이 문제가

된다고 생각된다. Fig. 11과 Fig.10의 비교에서 SAS, SCS, RAS에 대해서는 가역적 성질은 전혀 없으며, NON에 대해서는 가역적 성질은 있다고 생각된다. Fig. 10과 Fig.11에서 모든 시료의 충전전류 · 방전전류 모두 기울기의 차이는 있으나 시간과 더불어 직선상으로 혹은 1차 곡선상으로 감쇄하고 있다.

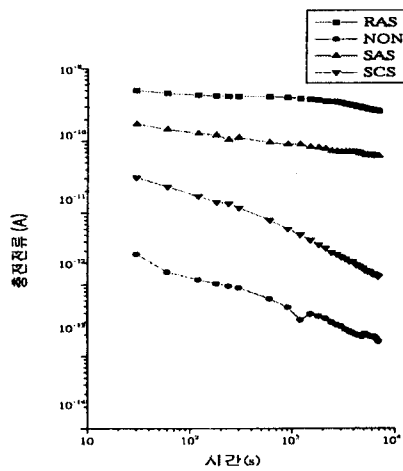


Fig. 10 The properties of charge current due to time vs. filler shape  
(25°C  $V_b = -500V$ )

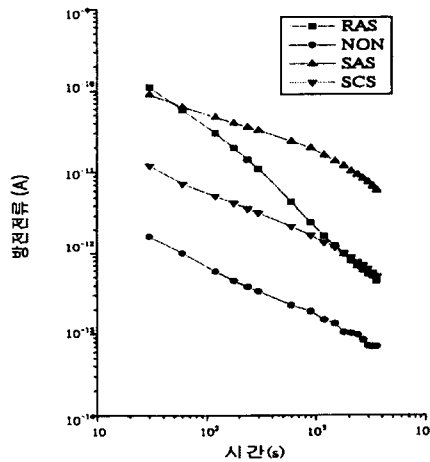


Fig. 11 The properties of discharge current due to time vs. filler shapes  
(25°C  $V_b = -500V$ )



Fig.12~15에서 SCS, RAS의 인가전압에 있어서 충·방전전류 특성을 나타내고 있으며, 어느쪽 시료에 대해서도 인가전압이 커지면 도전전류는 커진다. 이는 옴의 법칙이 성립한다고 생각된다. 또, RAS는 인가전압의 증가에 의해 도전전류는 거의 같은 간격으로 증가함에 대해서 SCS는 500V(정확히 -500V)와 1000V(정확히 -1000V)사이의 증가량은 100V(정확히 -100V)와 500V 사이의 증가량보다 작다. 이것에 의해 절연물의 파괴전압은 RAS쪽이 크다고 생각된다.

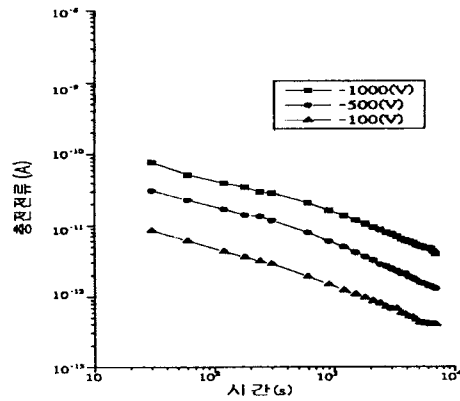


Fig.12 The properties of charge current due to voltage in SCS (25°C Vb=-500V)

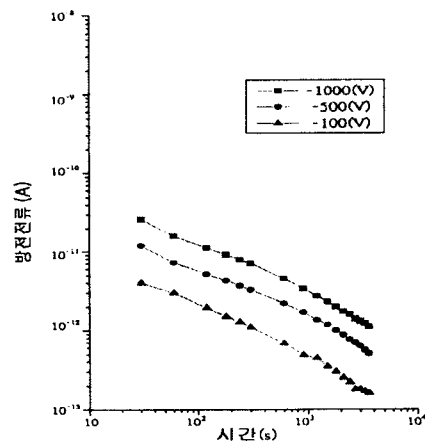


Fig.13 The properties of discharge current due to voltage in SCS (25°C Vb=-500V)

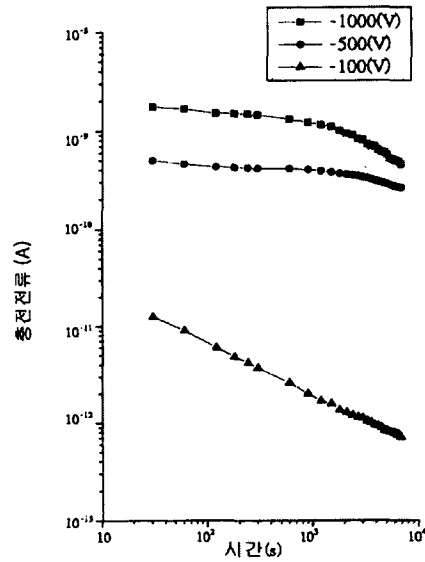


Fig. 14 The properties of charge current due to voltage in RAS  
(25°C  $V_b = -500V$ )

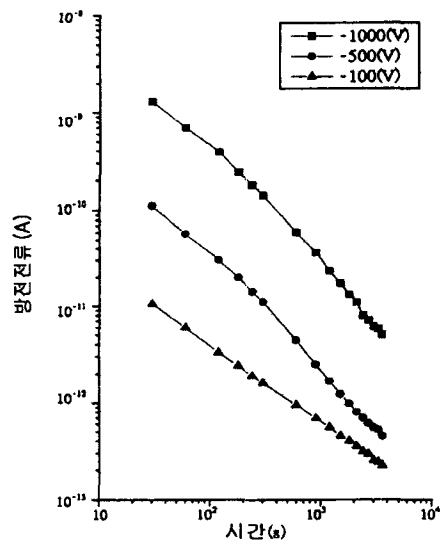


Fig. 15 The properties of discharge current due to voltage in RAS  
(25°C  $V_b = -500V$ )

#### 4. 결 론

에폭시 수지의 충전제 형상의 변화에 따른 유전 및 충·방전 전류특성을 30Hz~3MHz, 25~80℃의 범위에서 측정한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 배합한 실리카의 형상에 관계없이 주파수가 높아짐에 따라 유전특성이 작아짐을 확인했으며, 형상에 대해서 보면 유전율의 크기는 RAS, SAS, SCS의 순으로 적어졌다.

둘째, 유전정접은 배합하는 실리카의 형상에 의해 Tan $\delta$ 의 최대값이 나타나는 주파수 영역이 변화하는데 분극의 영향으로 사료되며, 온도의존성은 Tan $\delta$ 의 극대값이 나타나는 주파수는 온도가 높아지면 큰 쪽으로 이동하는 것을 확인했다.

셋째, 충·방전전류의 측정시 도전율을 과쇄 실리카보다 타원형 실리카가, 용융 실리카보다 결정 실리카가 큰 것을 확인했으며, 인가전압이 커지면 도전전류도 커졌다.

그러므로 이 특성으로 절연열화 메카니즘을 해명할수 있다고 생각한다. 앞으로 측정시간을 연장하여 유전 및 충·방전특성을 측정하고자 한다.

#### 5. 참 고 문 헌

- [1] A. Schutz, H.C. Karner, "Moisture absorption of glass-fiber reinforced epoxy resin", Proc. of 8th Int. Symp. On High Voltage Eng, pp.107~110, 1993.
- [2] M. Ruike, S.Fujita, F.Note, T.Sakai., "Effect of Filler on Treeing Breakdown in Epoxy Resin", T. IEE Japan, Vol. 116-A, No.7, pp559~603, 1996.
- [3] A. Fukuda, H.Mitsui, T.Tanii., "Influence of The Water Immersion on Dielectric and Electrical Insulation Properties of Composite Insulating Materials for Outdoor-CIGRE TF15-06-02. Round Robin Test", DEI-96-39, Japan, pp29~38,1996.
- [4] M. Nagao. A.Nakamura. Y.Muramoto, M.Kosaki., "Elect of water Absorption on Dielectric and Electrical Properties in Composite Insulating Materials", DEL-96-38, Japan .pp19~28, 1996.
- [5] M. Ezon, M.Tada, "Effect of Water Absorption on Interfacial Phenomena in High Voltage Insulation Materials", National Convention Record I.E.E Japan, No.2, pp2~87, 1996.
- [6] A.Fukudak, H.Mitsui, Y.Inoue, K.Goto., "The Influence of Water Absorption on Dielectric Properties of Cycloaliphatic Epoxy Resin", Proceedings of the 5th International Conference Application of Dielectric Materials, May 25-30, Seoul 01P01, pp58~61, 1997.
- [7] M.Ezon, M.Tada, M.Nakanisi., "Effect of Water Absorption on Interfacial Phenomena in HV Insulating Materials" Proceeding of the 5th International Conference Application of Dielectric Materials, May 25-30, 1997, Seoul, Vol. 04P14, pp.376~379, 1997.

#### 저 자 소 개

이성일: 광운대학교 전기공학과에서 학사·석사·박사학위 취득

현 충주대학교 안전공학과 부교수로 재직중, 관심분야는 정전기 및 소방 전기