애자용 실리콘 고무의 유전특성

Dielectric Characteristics of Silicone Rubber for Insulators

이상민, 신현택, 변두균, 신종열*, 이창형**, 이충호***, 홍진웅
(S.M.Lee, H.T.Shin, D.G.Byun, J.Y.Shinl, C.H.Lee, C.H.Lee, J.W.Hong)

Abstract

A silicone rubber has been used so many dielectric materials for extremely high voltage(EHV) electric appliances. The reason why it is very stable in the thermal, mechanical and electrical environment. In this paper, we have studied the dependence of dielectric characteristics of silicone rubber on frequency-dependent variation. The dielectric characteristics were measured in the temperature range of 25[℃] and 150[℃]. Also we measured in the voltage range of 1[V] and 20[V]. The energy of activation on the dielectric loss obtained 2.44[kcal/mol], 2.1[kcal/mol], 1.63[kcal/mol] and 1.57[kcal/mol] by appling, respectively.

Key Words : Silicone rubber, Dielectric characteristics, Insulating resistance, Dielectric resistance, Activation energy

1. 서 론

실리콘(Silicone)은 유기기(有機基)가 결합되어 있는 규소가 실록산결합(Si-O-Si)에 의해 결합된 모양으로 된 폴리머이다. 실리콘을 그 모양에 따라 분류해보면 고무, 오일 및 수지의 3가지 기본형으로 분류되며 각각 실리콘함유 100 [%]의 폴리머로서 뿐만 아니라 사용목적에 따라서 다른 재료를 배합한 복합물로 제품화되어 사용되고 있으며, 그 제품의 종류는 수천 가지에 이른다. 특히 실리콘 고무는 유기적 특성과 무기적 특성을 동시에 가지고 있는 특수소재로서 우수한 전기절연 특성뿐만 아니라 내열성, 내한성, 내유성, 내수성, 내아크성, 내오존 특성 등이 매우 양호하여 전기·전자, 의료용품, 선박, 자동차, 레저산업, 항공 우주산업분야 등 사용범위가 크게 증가하고 있다.

실리콘 고무는 전기·전자 산업분야에서 주로 옥외용 애자, 피뢰기, 부싱 및 각종 절연체 외관 등의 절연 재료로서 사용되고 있다.

본 논문에서는 송배전 계통에서 최근 사용되고 있는 애자용 실리콘 고무의 절연성을 조사하기 위하여 전기절연특성을 간접적으로 실험하고 있는 유전정접 특성을 측정온도 상온에서 150 [℃] 범위에서 주파수 $30\sim1\times10^6$ [Hz], 전압 1~20 [V_{pp}]를 인가하여 온도의존성과 주파수의존 특성에 대하여 조사한 결과를 보고한다.

광운대학교 전기공학과
(서울시 노원구 월계동 광운대학교
Fax: 02-915-4630)
* 삼육의명대 자동차공학과
** 충주대학교 전기공학과
*** (주)한국 이엔아이

2. 시료 및 실험

2.1 시료

Organometalic(유기금속) polymer인 실리콘의 우수한 특성은 일반 유기계 고무와는 달리 분자구조상 무기적 성질과 유기적 성질을 동시에 갖는 독특한 양면성에 기인한다. 즉, 분자구조상 주쇄인 실록산 결합(Si-O)의 무기적 특성으로 일반 유기체 고무에 비해 내열성, 화학적 안전성, 전기절연성, 내마모성, 광택성 등이 매우 우수하다. 또한, 실리콘 고무의 기본물질인 폴리디메틸 실록산(Polydimethyl Siloxane)은 긴 사슬의 고중합체로

서 나선형 구조를 형성하고 분자간 상호 인력이 작아 풍부한 탄성과 우수한 압축 영구 줄음율, 뛰어난 내한성 등을 나타내며, 측쇄의 유기 메틸기는 실리콘만이 가질 수 있는 발수성, 이형성 등의 계면특성과 더불어 우수한 반응성, 용해성, 작업성 등의 유기적 특성을 발휘하게 된다.

본 실험에서는 D사 제품의 송·배전 및 피뢰기용 애자에 사용되는 실리콘 고무로 두께 900 [㎛]를 사용하였다.

2.2 실험

실험에 사용된 측정장치의 개략도는 그림 1과 같으며, 유전정접 측정장치(HEWLETT PACKARD Co. LCR METER 4284A)와 온도 조절 장치를 내장한 오븐(ANDO Co. TO-9B)을 이용하였다.

전극장치에 설치된 시료의 온도분포를 일정하게 하기 위하여 설정온도가 되고, 수십분이 경과한 후에 측정주파수에서 전압을 인가하고 유전특성을 실험하였다.

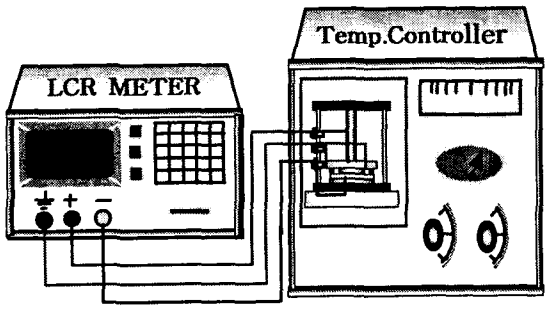

그림 1. 유전특성 측정장치
Fig. 1. Experimental device of dielectric properties

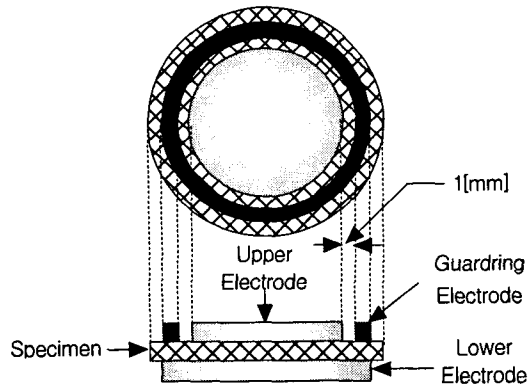

그림 2. 전극 구성
Fig. 2. Electrode configuration

상부전극은 주전극 38[mmφ]과 가드링 전극(내경 40[mmφ], 외경 80[mmφ])및 하부전극은 80[mmφ]로 구성되어 있으며, 전극 모양은 그림 2와 같다.

3. 실험 결과 및 검토

본 실험에서는 시편인 실리콘 고무의 물성 변화가 유전특성에 미치는 영향을 고찰하기 위하여 주파수 범위 $30\sim1\times10^{6}$ [Hz]와 온도범위 25~150 [℃]에서 인가전압에 따른 유전정접을 실험하였다.

3.1 유전 특성

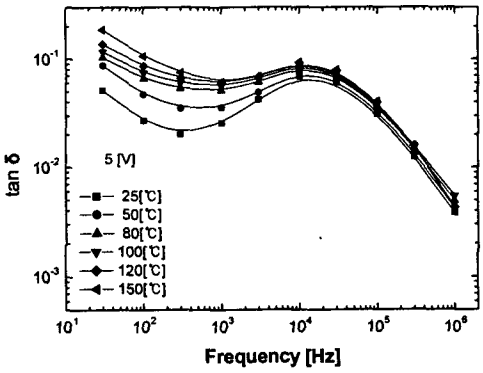

그림 3. 유전정접의 주파수 의존성
Fig. 3. Frequency dependence of tan δ

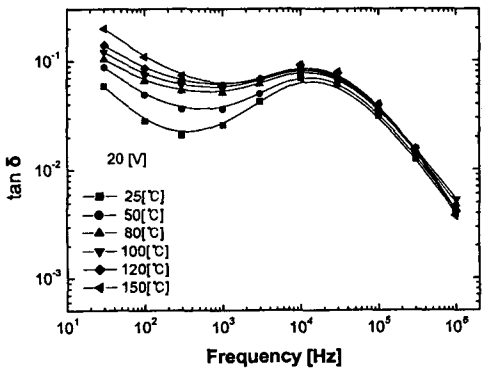

그림 4. 유전정접의 주파수 의존성
Fig. 4. Frequency dependence of tan δ

그림 3은 인가전압 5 [V]때 실리콘 고무의 주파수의존성 특성을 나타낸 것으로 저주파수 영역에서는 유전분산이 넓게 나타나고, 주파수 10 [㎑] 이상에서는 분산의 폭이 매우 좁게 나타남을 확인

할 수 있다. 30~300 [Hz]영역에서는 측정온도가 25 [℃]에서 150 [℃]로 높아지면 열에너지는 약 1.5배 커지고, 유전손실은 약 3~4배 커지는 것을 확인할 수 있다. 그리고, 10 [㎑] 부근에서 유전손실의 피크가 나타나는데, 저온 영역 (25~80 [℃]) 에서는 최대손실이 나타나는 주파수 f_m은 저주파수 영역으로 이동하고 고온영역(100~150 [℃])에서는 f_m이 고주파수 영역으로 이동하는 것을 확인할 수 있다.

그림 4는 같은 조건에서 인가전압을 20 [V] 인가 시 유전특성도로 그림 3과 유사하다. 특히 활성화 에너지에서도 인가전압이 낮으므로 전계 에너지에 의한 영향보다는 온도의 영향이 큰 것으로 사료된다.

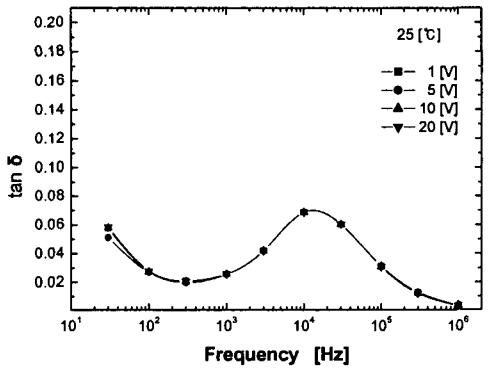

그림 5. 유전정접의 주파수 의존성
Fig. 5. Frequency dependence of tan δ

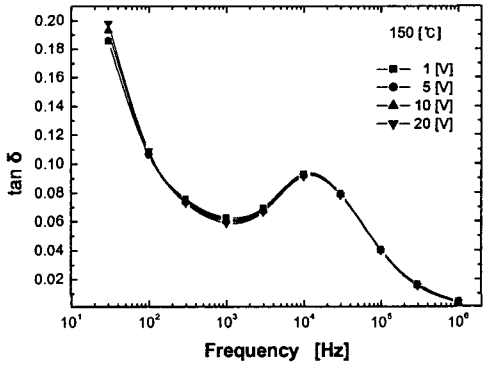

그림 6. 유전정접의 주파수 의존성
Fig. 6. Frequency dependence of tan δ

일반적으로 유극성 고분자의 유전특성은 저주파수 흡수와 고주파수 흡수 2종류로 분류되는데, 저주파수 흡수는 96~156 [℃]에서 30~120 [㎉/㏖]를 얻었고, 고주파수 흡수는 -45~50 [℃]에서 10^3~10^6 [㎉/㏖]의 크기를 보고하고 있는데, 본 실험에서는 100 [℃]와 150 [℃]에서 활성화 에너지는 2.1 [㎉/㏖]을 얻었다.

그림 5와 그림 6은 측정온도가 25 [℃]와 150 [℃] 때의 유전특성도로 25 [℃]때의 유전특성은 150 [℃]와 비교하여 낮은 주파수 영역에서는 유전손실의 차이가 3배정도(6×10^{-2} 에서 2×10^{-1})로 매우 크나 주파수가 높아지면 서서히 차이가 줄어들다가 1 [㎒]에서 일치하는 것을 확인 할 수 있다. 이것은 유전손실이 온도에 지배를 받기 때문으로 사료된다.

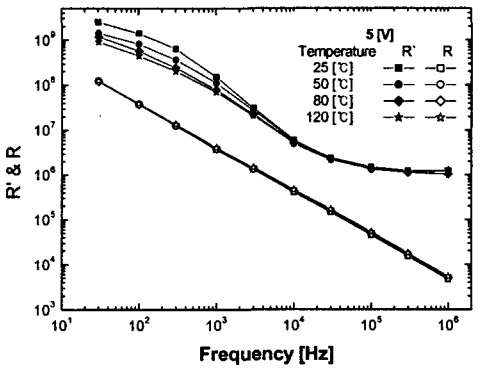

그림 7. R과 R'의 주파수 의존성
Fig. 7. Frequency dependence of R and R'

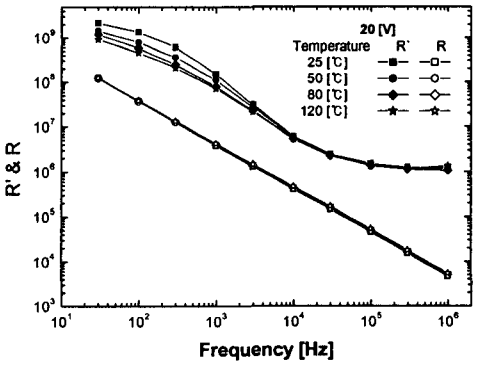

그림 8. R과 R'의 주파수 의존성
Fig. 8. Frequency dependence of R and R'

그림 7은 교번전계 5 [V]인가시 시료의 유전특성 중 절연성 저항 R과 유전성 저항 R'의 주파수 의존성을 나타낸 그림이다.

정전계에서 절연성을 나타내는 R은 도전성을 나타내는 특성으로 주파수가 증가하면 선형으로 감소되는데, 이것은 정전계의 절연성은 인가전압에 따른 누설전류의 비로 되므로 선형으로 감소한다. 그러나 유전성 저항 R´는 시료내부에 존재하는 쌍극자나 하전입자의 기여로 나타나는 유전특성으로 주파수 30 [㎑]까지는 거의 선형적으로 감소하다가 100 [㎑] 이상에서는 주파수가 증가하여도 크기가 일정한 것을 확인할 수 있는데, 이것은 유전율과 도전율의 기여로 사료된다.

그림 8은 교번전계 20 [V]인가시 절연성 저항 R과 유전성 저항 R´의 주파수 의존특성으로 그림 7과 유사하고 특히 저주파수 영역에서는 측정 온도에 따라 약간의 분산특성이 나타나지만 주파수가 10 [㎑]이상에서는 거의 온도의 영향이 없음을 알 수 있다.

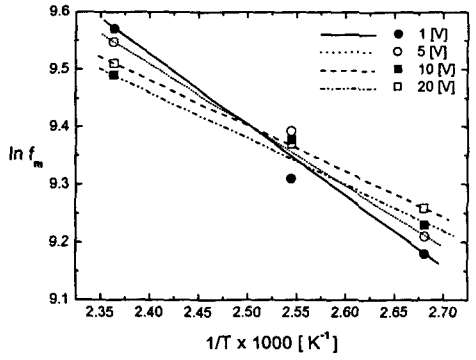

그림 9. 시료의 활성화 에너지
Fig. 9. Activation energy of specimen

그림 9는 인가전압 1~20 [V]에서 측정온도가 100 [℃], 120 [℃], 150 [℃]일 때 시료에 대한 활성화 에너지를 조사한 그림이다. 그림 9의 기울기로부터 활성화 에너지를 구할 수 있는데, 1 [V]의 기울기로부터 2.44 [㎉/㏖]을 얻었고, 5 [V]로부터 2.11 [㎉/㏖], 10 [V]로부터 1.63 [㎉/㏖], 20 [V]로부터 1.57 [㎉/㏖]을 얻었다.

4. 결 론

고전압용 실리콘 고무의 전기 절연성을 조사하기 위하여 유전특성에 대하여 연구한 결과는 다음과 같다.

1. 인가전압에 따른 실리콘 고무의 주파수의존 특성은 저주파수 영역에서는 유전분산이 넓게 나타나고, 주파수 10 [㎑] 이상에서는 분산의 폭이 매우 좁게 나타남을 확인할 수 있었다.

2. 온도에 따른 유전특성은 측정온도가 25 [℃]일 때 유전특성은 150 [℃]와 비교하여 낮은 주파수 영역에서는 유전손실의 차이가 3배정도로 매우 크지만 주파수가 높아지면서 차이가 줄어들다가 1 [㎒]에서 유전손실이 일치하는 것을 확인 할 수 있다. 이것은 유전손실이 온도에 지배를 받기 때문으로 사료된다.

3. 절연성 저항 R은 주파수가 증가에 따라 선형으로 감소하고, 유전성 저항 R´는 주파수 30 [㎑]까지는 거의 선형적으로 감소하다가 100 [㎑] 이상에서는 주파수가 증가하여도 유전율과 도전율의 기여로 크기가 일정한 것으로 사료된다.

4. 인가전압이 증가할수록 시료의 활성화 에너지는 조금씩 감소함을 알 수 있었다.

참고 문헌

[1] Wilfred Lynch, "Silicone Rubber fabrication", Van Nostrand Reinhold Com., pp.6~9, 1978.

[2] J. P. Reynders, I. R. Jandrell, "Review of Aging and Recovery of Silicone Rubber Insulation for Outdoor Use", IEEE Trans. on DEI., Vol.6, No.5, pp.620~631, Oct., 1999

[3] M.B. Armand, J.M. Chabagno, M.J. Duclot, "Fast ion transport in solids", Elsevier North Holland, pp.131(1979).

[4] R. Chen, and Y.Kirsh, "Analysis of thermal anlysis", Vol.2 (1972).

[5] Dow corning [http://www.dowcorning.com]

[6] Y. Wada, R. Hayakawa, "Pyroelectricity of polymers", J.J. Appl. Phys., Vol.15, pp.2041(1976).

[7] J. Mort and G. Pfister, "Electronic properties of polymers", John wiley and sons, New York, pp. 140~186, 1984.

[8] R. S. Gorur, "Stats Assessment of Composite In sulators for Outdoor HV Application", Proc. the 5th ICPDM, Seoul, Korea, May 25~30, 1997.

[9] H. Frohlich, "Theory of Dielectrics", Oxford, pp. 130~159, 1990.

[10] Karl Kammermeyer, "Silicone Rubber as a Sele ctive Barrier", Industrial and Engineering Chemi stry, pp. 10, 49, 1685~1686, 1957.