

전극재에 의한 실리콘 고무의 C-V 특성에 관한 연구

이성일^a

한국교통대학교 안전공학과

A Study on Properties of C-V of Silicone Rubber due to Electrode Materials

Sung Ill Lee^a

Department of Safety Engineering, Korea National University of Transportation, Chungju 27469, Korea

(Received October 18, 2015; Revised October 23, 2015; Accepted October 24, 2015)

Abstract: In this study, the properties of C-V degradation for thermal conductivity silicone rubber sample which is attached by copper-copper, copper-aluminum, aluminum-aluminum on upper-side and under-side has been measured at temperature of 80°C ~ 140°C. The results of this study are as follows. In case the frequency is increased, it found that the electrostatic capacity increased with increasing temperature to 80°C, 110°C, 140°C regardless of kind of electrode. It found that the electrostatic capacity increased with becoming high temperature range of frequency regardless of kind of electrode. This result is considered to be caused by thermal absorption on the thermal conductivity silicone rubber sample. It found that the electrostatic capacity decreased with increasing temperature and frequency. This result is considered to be caused by molecular motion of C-F radical or OH radical.

Keywords: Electrostatic capacity, Dielectric loss frequency and temperature

1. 서 론

실리콘 고무는 규소와 산소로 된 실록산 결합(-Si-O-Si-)을 골격으로 한, 규소원자 상으로는 유기기를 갖는 분자 수준의 무기물과 유기물의 하이브리드며와는 다른 특이한 성질을 가지며 다양한 제품 형태와 함께 산업계에 널리 사용되고 있다 [1,2].

그 골격구조에 따라 실리콘 고분자는 수지, 오일, 고무 등으로 분류되며, 수지는 그물구조를 가지고 있고, 오일은 선형구조를, 고무 폴리머는 가교가 가능한 부위를 갖는 선형 고분자이다. 휘발성이 있는 액체에서 유동성을 가지지 않는 물엿과 같은 고분자까지의 특성 중 고무 폴리머는 충

진제, 첨가제와 혼합하여 촉매를 가하여 프레스나 압출성형기로 가열, 성형하는 미러블형 고무와 유동상 또는 그리이스상으로 실온에서 약간 가열하면 고무가 되는 액상고무로 가공하여 실용하고 있다. 오일을 다시 2차 가공한 에멀전이나 그리이스와 같은 제품도 있다 [3-5].

최근 반도체 디바이스의 고기능화, 고집적화, 고속화, 표면실장으로 의해 납땀에 의한 접착 형태에서 전도성 입자를 분산시킨 필름상의 접착제를 사용하고 있다. 이에 따라 이방전도성 필름(anisotropic conductive film, ACF)은 금속 코팅된 플라스틱 또는 금속입자 등의 전도성 입자를 분산시킨 필름상의 접착제로 LCD 실장 분야에서의 LCD 패널과 TCP (tape carrier package) 또는 PCB (printed circuit board)와 TCP 등의 전기적 접속에 널리 이용되고 있다 [6,7].

실리콘 고무는 내후성, 내오존성, 내열성, 내한성, 전기특성이 우수하고, 표면에너지가 낮아 발수성이 뛰어나 송전용 애자로 사용되고 있다. 실리콘 고무는 전기, 전자 산

a. Corresponding author; silee@cjnu.ac.kr

업에서는 주로 절연재료로서 사용되고 있으며, 카본블랙을 첨가하면 도전성 실리콘 고무도 최근 컴퓨터 산업의 발달과 함께 폭넓게 이용되고 있다. 이외에도 자동차 산업 및 의료, 생활용품, 전선로의 실리콘 애자 등에도 다양하게 사용되고 있다 [8,9].

본 논문에서는 열전도성 실리콘 고무 시편을 제작하여 전기절연 특성을 검토하기 위하여 온도 80~140°C의 범위에서 0.1 kHz~100 MHz의 범위에서 주파수에 따른 정전용량 및 유전손실 특성을 비교 검토하였다.

2. 실험 방법

2.1 시료 및 측정

2.1.1 시료

이 실험에서는 Dimethylvinyl terminated dimethyl siloxane : 100 g, SiO₂ : 10 g, Al₂O₃ : 230 g 배합한 열전도성 실리콘 고무 시료를 110°C에서 10분 동안 압축 성형하여 두께 20 μm로 제작하였다. 그 후 그림 2와 같이 상부지름 38 mm, 상부와 하부 전극을 Al - Al Foil, Al - Cu Foil, Cu - Cu Foil을 시료에 부착하였다.

표 1에 열전도성 실리콘 고무의 측정 조건을 나타내었다.

Table 1. Conditions of measure in specimen due to at 80 ~ 120°C.

Temp.	Cu-Cu	Cu-Al	Al-Al
No.			
C	O	O	O
Tan δ	O	O	O
Frequency : 0.1 ~ 100 kHz			
Temperature : 80 ~ 140°C			

2.1.2 측정

이 연구에서는, 정전용량-전압 특성을 측정하기 위한 전극 구성은 상부전극으로 주 전극 내경 지름 38 mmΦ와 보호전극(내경 40 mmΦ, 외경 54 mmΦ와 하부전극 54 mmΦ)으로 구성되어 있으며, 측정 회로는 그림 1과 같다. 두께가 20 μm인 열전도성 시료를 온도가 80°C~140°C인 환경에서 주파수를 0.1~100 kHz 인가하였을 때 정전용량 C와 유전손실 tan δ를 측정하여 그 열화 특성을 비교하였다.

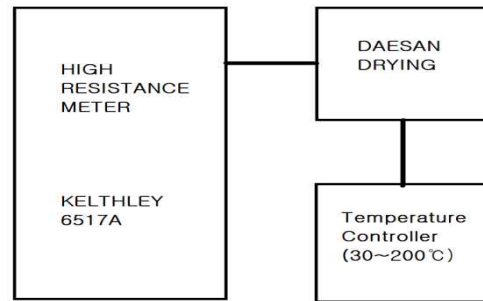


Fig. 1. Measuring circuit.

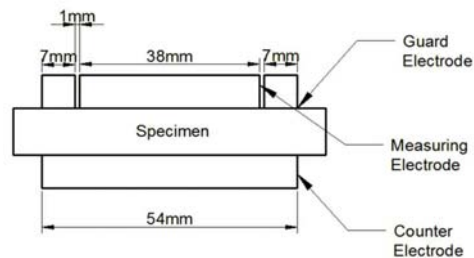


Fig. 2. Measuring unit.

그림 2에 측정 시료 단면의 단위를 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

3.1 온도 특성

그림 3~8은 열전도성 실리콘 고무 시료에 주전극의 상부 전극의 지름이 38 mm인 상부와 하부 전극이 Cu - Cu Foil, Al - Cu Foil, Al - Al Foil을 부착한 후 온도가 80°C~140°C인 환경에서 주파수를 0.1~100 kHz 인가하였을 때 정전용량 C를 측정된 결과이다.

그림 3은 열전도성 실리콘 고무 시료에 지름이 38 mm인 상부 전극이 Cu와 하부 전극이 Cu를 부착한 후 주파수를 0.1~100 kHz 인가하였을 때 정전용량 C를 측정된 결과이다.

80°C~140°C일 때 0.1~3 kHz 영역에서는 $1.27 \sim 1.72 \times 10^{-10}$ C 정도의 크기이나 3 kHz 이상에서는 80°C인 경우 70 kHz의 주파수를 인가했을 때까지는 서서히 감소하다가 100 kHz일 때는 정전용량이 1.07×10^{-12} 정도로 감소했다. 110°C인 경우는 주파수를 100 kHz 인가했

을 때 정전용량은 1.76×10^{-11} 정도로 감소했다. 140°C인 경우는 주파수가 100 kHz일 때 정전용량은 1.30×10^{-10} 정도로 거의 일정했다. 또한 열전도성 실리콘 고무에 주파수를 100 kHz 인가했을 때 정전용량은 온도가 높아질수록 감소함을 확인하였다.

그림 4는 열전도성 실리콘 고무 시료에 지름이 38 mm인 상부 전극 Cu와 하부 전극 Al를 부착한 후 주파수를 0.1 ~ 100 kHz 인가하였을 때 정전용량 C를 측정된 결과이다.

80°C일 때 주파수 0.1 ~ 3 kHz 영역에서는 그림 3의 결과와 유사한 형태를 나타내며 정전용량은 $1.47 \sim 1.67 \times 10^{-10}$ C 정도의 크기이나 3 kHz 이상부터 서서히 감소하다가 70 kHz의 주파수를 인가했을 때 정전용량이 7.19×10^{-12} 정도까지 서서히 감소하다가 100 kHz일 때는 정전용량이 1.16×10^{-11} 정도로 약간 증가했다. 110°C의 경우에는 주파수를 3 kHz 이상부터 서서히 감소하다가 100 kHz 인가했을 때 정전용량은 2.86×10^{-11} 정도로 감소했다. 140°C인 경우는 주파수가 100 kHz일 때 정전용량은 $1.47 \sim 1.48 \times 10^{-10}$ 정도로 거의 일정했다. 또한 열전도성 실리콘 고무에 주파수를 100 kHz 인가했을 때의 정전용량은 온도가 높아질수록 감소함을 확인하였다.

그림 5는 열전도성 실리콘 고무 시료에 지름이 38 mm인 상부 전극 Al과 하부 전극 Al를 부착한 후 주파수를 0.1 ~ 100 kHz 인가하였을 때 정전용량 C를 측정된 결과이다.

80°C일 때 주파수 0.1 ~ 3kHz 영역에서는 그림 3, 그림 4의 결과와 유사한 형태를 나타내었으며 정전용량은 $1.44 \sim 1.60 \times 10^{-10}$ C 정도의 크기이나 3 kHz 이상부터 서서히 감소하다가 100 kHz의 주파수를 인가했을 때 정전용량이 3.25×10^{-11} 정도까지 서서히 감소하였다. 110°C의 경우에는 주파수가 3 kHz 이상부터 서서히 감소하다가 100 kHz 인가했을 때 정전용량은 8.02×10^{-11} 정도로 감소했다. 140°C인 경우는 주파수가 100 kHz일 때 정전용량은 1.14×10^{-10} 정도로 서서히 감소하였다. 또한 열전도성 실리콘 고무에 주파수를 100 kHz 인가했을 때 정전용량은 온도가 높아질수록 감소함을 확인하였다.

그림 3~5에서 열전도성 실리콘 고무 시료에 상부와 하부 전극을 Cu - Cu Foil, Al - Cu Foil, Al - Al Foil을 부착한 후 80~120°C의 오븐 내의 환경 속에 0.1 ~ 100 kHz의 주파수를 인가하였을 때 주파수가 3 kHz일 때까지는 거의 변화가 일어나지 않았으나 3 kHz를 초과한 경우부터는 온도가 80°C, 110°C, 140°C로 증가할수록 정전용량은 증가하였는데 이는 방열용 충전제(filler)인 Al_2O_3 와 SiO_2 의 배합 시 전위, 적층결합, 고용체, 불순물 원자, 기공 등에 의해 열전도율이 저하하는데 입자 내의 산소나 분순물을 제거하면 열전도율(W/m°C)은 증가하게

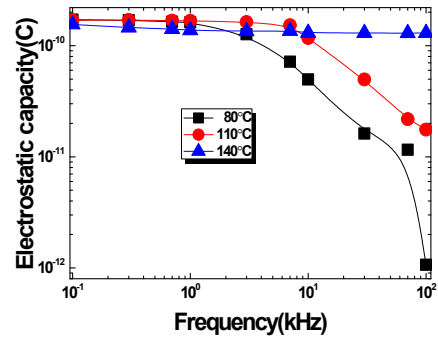


Fig. 3. Temperature properties of C-frequency of specimens due to Cu-Cu electrode materials, 80~140°C.

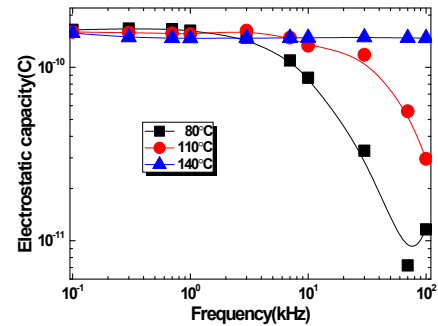


Fig. 4. Temperature properties of C-frequency of specimens due to Cu-Al electrode materials, 80~140°C.

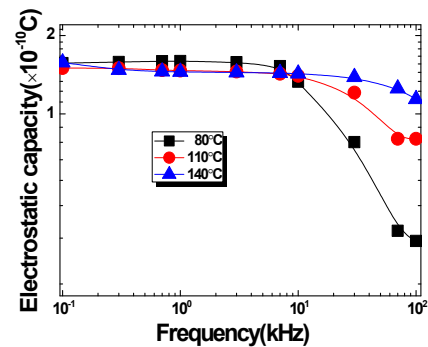


Fig. 5. Temperature properties of C-frequency of specimens due to Al-Al electrode materials, 80~140°C.

된다. 또한, 전극재가 온도의 영향을 받아 규소와 산소의 결합을 반복 단위로 하는 폴리실록산을 골격으로 하는 열전도성 실리콘 고무 시료에 열 흡수가 일어나 이것이 정전용량의 크기에 영향을 미쳤기 때문이라 생각된다.

3.2 주파수 특성

그림 6~11은 열전도성 실리콘 고무 시료에 주전극의 상부 전극의 지름이 38 mm인, 상부와 하부 전극이 Cu - Cu Foil, Al - Cu Foil, Al - Al Foil을 부착한 후 온도가 80°C ~ 140°C일 때 정전용량 C를 측정하여 0.1 kHz, 1 kHz, 10 kHz, 100 kHz인 경우의 주파수 특성을 나타낸 결과이다.

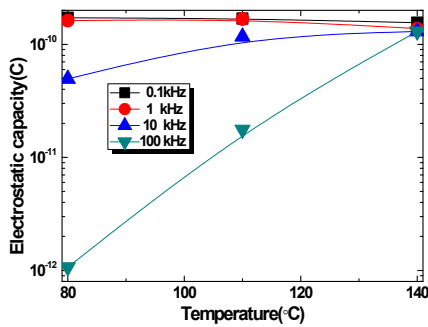


Fig. 6. Frequency properties of C-temperature of specimens due to Cu-Cu electrode materials, 0.1~100 kHz.

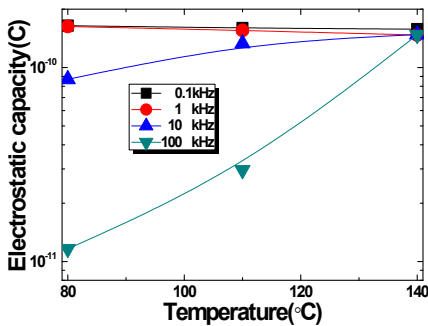


Fig. 7. Frequency properties of C-temperature of specimens due to Cu-Al electrode materials, 0.1~100 kHz.

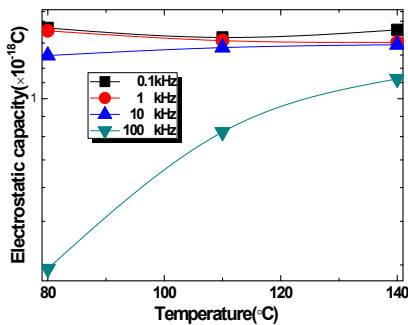


Fig. 8. Frequency properties of C-temperature of specimens due to Al-Al electrode materials, 0.1~100 kHz.

그림 6은 열전도성 실리콘 고무 시료에 주전극의 상부 전극의 지름이 38 mm인, 상부와 하부 전극이 Cu - Cu Foil, l을 부착한 후 온도가 80°C~ 140°C 범위일 때의 정전용량 C를 측정하여 0.1 kHz, 1 kHz, 10 kHz, 100 kHz인 경우의 주파수 특성을 나타낸 결과이다.

0.1 kHz와 1 kHz의 경우 80°C일 때 1.72×10^{-10} C, 1.62×10^{-10} C 정도의 크기이나 110°C일 때 약 1.68×10^{-10} C, 140°C일 때 1.55×10^{-10} C, 1.38×10^{-10} C 정도로 아주 서서히 감소하였다. 10 kHz의 경우 80°C일 때 4.96×10^{-11} C, 110°C일 때 1.17×10^{-10} C, 140°C일 때 1.30×10^{-10} C 정도 아주 서서히 증가하였다. 100 kHz의 경우 80°C일 때 1.07×10^{-12} C, 110°C일 때 1.76×10^{-11} C, 140°C일 때 1.30×10^{-10} C 정도 아주 서서히 증가하였다. 80°C일 때 정전용량의 폭은 넓었으나 100 kHz일 때는 정전용량의 폭이 포화형태로 좁아졌다.

그림 7은 열전도성 실리콘 고무 시료에 주전극의 상부 전극의 지름이 38 mm인 상부와 하부 전극이 Cu - Al Foil, l을 부착한 후 온도가 80°C~ 140°C 범위일 때의 정전용량 C를 측정하여 0.1 kHz, 1 kHz, 10 kHz, 100 kHz인 경우의 주파수 특성을 나타낸 결과이다.

0.1 kHz와 1 kHz의 경우 80°C일 때 1.65×10^{-10} C, 1.63×10^{-10} C 정도의 크기이나 110°C일 때는 1.60×10^{-10} C, 1.55×10^{-10} C 정도, 140°C일 때 1.58×10^{-10} C, 1.47×10^{-10} C 정도로 아주 서서히 감소하였다. 10kHz의 경우 80°C일 때 8.70×10^{-11} C, 110°C일 때 1.33×10^{-10} C, 140°C일 때 1.48×10^{-10} C 정도 아주 서서히 감소하였다. 100 kHz의 경우 80°C일 때 1.16×10^{-11} C, 110°C일 때 1.96×10^{-11} C, 140°C일 때 1.30×10^{-10} C 정도 아주 서서히 감소하였다. 80°C일 때 정전용량의 폭은 넓었으나 140°C일 때 정전용량의 폭이 아주 좁아졌다.

그림 8은 열전도성 실리콘 고무 시료에 주전극의 상부 전극의 지름이 38 mm인, 상부와 하부 전극이 Al - Al Foil, l을 부착한 후 온도가 80°C~ 140°C 범위일 때의 정전용량 C를 측정하여 0.1 kHz, 1 kHz, 10 kHz, 100 kHz인 경우의 주파수 특성을 나타낸 결과이다.

0.1 kHz, 1 kHz, 100 kHz의 경우 80°C일 때 $1.60 \sim 1.33 \times 10^{-10}$ C 정도, 110°C일 때는 $1.5 \sim 1.40 \times 10^{-10}$ C 정도, 140°C일 때 $1.58 \sim 1.43 \times 10^{-10}$ C 정도로 거의 같은 크기로 아주 서서히 증가하였다. 100 kHz의 경우 80°C일 때 3.25×10^{-11} C, 110°C일 때 8.02×10^{-11} C, 140°C일 때 1.14×10^{-10} C 정도로 포물형으로 증가하였다. 80°C일 때 정전용량의 폭은 넓었으나 140°C일 때 정전용량의 폭이 아주 좁아졌음을 확인하였다.

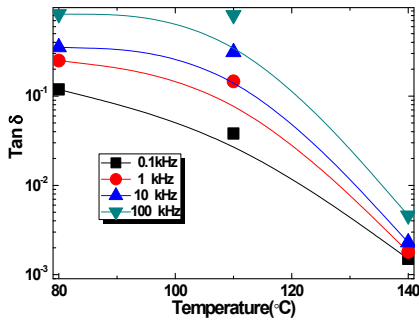


Fig. 9. Frequency properties of D-temperature of specimens due to Cu-Cu electrode materials, 0.1~100 kHz.

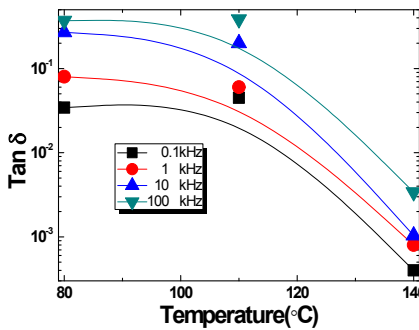


Fig. 10. Frequency properties of D-temperature of specimens due to Cu-Al electrode materials, 0.1~100 kHz.

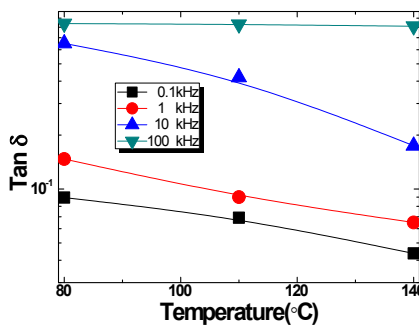


Fig. 11. Frequency properties of D-temperature of specimens due to Al-Al electrode materials, 0.1~100 kHz.

그림 9~11은 열전도성 실리콘 고무 시료에 주전극의 상부 전극의 지름이 38 mm인, 상부와 하부 전극이 Cu - Cu Foil, Al - Cu Foil, Al - Al Foil을 부착한 후 온도가 80°C~140°C 범위일 때의 유전손실 tan δ를 측정하여 0.1 kHz, 1 kHz, 10 kHz, 100 kHz인 경우의 주파수 특성을 나타낸 결과이다.

그림 9는 열전도성 실리콘 고무 시료에 주전극의 상부 전극의 지름이 38 mm인, 상부와 하부 전극이 Cu - Cu Foil을 부착한 후 온도가 80°C~140°C 범위일 때의 유전손실 tan δ를 측정하여 0.1 kHz, 1 kHz, 10 kHz, 100 kHz인 경우의 주파수 특성을 나타낸 결과이다.

0.1 kHz, 1 kHz, 10 kHz, 100 kHz 모두 80°C일 때 1.19~8.30×10⁻¹, 140°C일 때 0.1 kHz, 1 kHz, 10 kHz, 100 kHz일 때 모두 1.50~4.60×10⁻³ 정도로 tan δ는 감소하였다. 주파수가 0.1 kHz로부터 100 kHz로 증가할수록 10 kHz의 경우 80°C일 때 8.70×10⁻¹¹ C, 110°C일 때 1.33×10⁻¹⁰ C, 140°C일 때 1.48×10⁻¹⁰ C 정도로 증가했다. 80°C일 때나 140°C일 때 모두 tan δ 크기의 폭은 좁아져 있음을 확인했다.

그림 10은 열전도성 실리콘 고무 시료에 주전극의 상부 전극의 지름이 38 mm인, 상부와 하부 전극이 Cu - Al Foil을 부착한 후 온도가 80°C~140°C 범위일 때의 유전손실 tan δ를 측정하여 0.1 kHz, 1 kHz, 10 kHz, 100 kHz인 경우의 주파수 특성을 나타낸 결과이다.

80°C일 때 0.1 kHz, 1 kHz, 10 kHz, 100 kHz인 경우 tan δ는 3.44×10⁻¹, 8.00×10⁻², 2.70×10⁻¹, 3.71×10⁻¹ 이었으며, 140°C일 때 0.1 kHz, 1 kHz, 10 kHz, 100 kHz일 때 tan δ는 4.00×10⁻⁴, 8.00×10⁻⁴, 1.04×10⁻³, 3.40×10⁻³ 정도로 감소하였다. 주파수가 0.1 kHz로부터 100 kHz로 증가할수록 tan δ는 증가함을 나타냈다.

그림 11은 열전도성 실리콘 고무 시료에 주전극의 상부 전극의 지름이 38 mm인, 상부와 하부 전극이 Al - Al Foil을 부착한 후 온도가 80°C~140°C 범위일 때의 유전손실 tan δ를 측정하여 0.1 kHz, 1 kHz, 10 kHz, 100 kHz인 경우의 주파수 특성을 나타낸 결과이다.

0.1 kHz인 경우 tan δ는 80°C일 때 1.47×10⁻¹, 140°C일 때 6.50×10⁻²으로 감소하였으며, 1 kHz, 10 kHz인 경우도 같은 기울기의 경향으로 감소하고 있다. 주파수가 100 kHz인 경우 80~140°C일 때 8.10~8.10×10⁻¹ 정도로 거의 일정했음을 확인하였다.

4. 결론

이 연구에서는, 열전도성 실리콘 고무의 상부와 하부에 동-동, 동-알루미늄, 알루미늄-알루미늄을 부착하여 80~140°C의 환경 속에서 C-V 열화 특성을 측정하고 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 주파수가 증가한 경우 전극의 종류에 관계없이 온도

가 80°C, 110°C, 140°C로 증가할수록 정전 용량도 더 커짐을 확인하였다.

2) 전극의 종류에 관계없이 주파수의 폭이 고, 온영역이 될수록 정전용량이 증가하였는데 이는 열전도성 실리콘 고무 시료에 열 흡수가 일어났기 때문이라 생각된다.

3) 온도가 높아질수록 정전용량은 주파수가 높아질수록 감소하였는데 이는 C-F기나 OH기의 분자운동에 기인한 것으로 생각된다.

이 결과는 스마트폰에서 열이 발생할 때 절연효과에 영향을 준다.

REFERENCES

- [1] S. I. Lee, *KIEE, Smart High Power and Application*, **1**, 86 (2015).
- [2] S. I. Lee, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, **8**, 522 (2014).
- [3] S. I. Lee, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, **9**, 576 (2014).
- [4] S. I. Lee, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, **11**, 730 (2014).
- [5] S. I. Lee, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, **12**, 841 (2014).
- [6] H. G. Cho and Y. K. Park, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, **10**, 770 (1997).
- [7] J. J. Park and J. Y. Lee, *IEEE Trns. Dielectr. Electr. Insul.*, **17**, 5 (2010).
[DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TDEI.2010.5411996>]
- [8] H. C. Karner, *Evaluation of Polymeric Insulating Materials for HV Outdoor Application, 6th ISH*, **30.02**, 1-4 (1989).
- [9] *ASTM D 2132-91*, Standard Test Method for Dust-and-Fog Tracking and Erosion Resistance of Electrical Insulation Materials (1991).