

열전도성 실리콘 고무의 전압-전류 특성

이성일^{1,a}

¹ 한국교통대학교 안전공학과

Properties of Current due to Voltage in Heat Conductive Silicone Rubber

Sung-Il Lee^{1,a}

¹ Department of Safety Engineering, Korea National University of Transportation, Chungju 380-702, Korea

(Received July 18, 2014; Revised July 29, 2014; Accepted July 31, 2014)

Abstract: This study used the heat conductive silicone rubber sample of 0.95 mm thickness to research the properties of current by changing voltage. When the 1, 10, 30, 60, and 90 minute have passed, the running current has been measured through the applied voltage range of 200 V~800 V on setting temperature of 110°C~170°C. As the temperature increased in applied voltage of 800 V, so did the current value according to time in proportion to the increasing temperature. In an analysis of FT-IR (fourier transform infrared) spectrum, the hydroxyl radicals group(O-H) was created by effects of the hydrogen that methyl group is eliminated by addition of the cross-linking agent peroxide.

Keywords: Running current, FT-IR (fourier transform infrared) spectrum, Hydrogen

1. 서 론

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

실리콘 고분자는 그 골격구조에 따라 크게 수지, 오일, 고무 등의 세 가지로 분류된다. 수지는 그물구조를 가지고 있고, 오일은 선형구조를, 고무 폴리머는 가교가 가능한 부위를 갖는 선형 고분자이다. 그 특성도 휘발성이 있는 액체에서 유동성을 가지지 않는

물엿과 같은 고분자까지 여러 가지가 있다. 그 중에서 고무 폴리머는 충전제, 첨가제와 혼합하여 촉매를 가하여 프레스나 압출성형기로 가열, 성형하는 미리 불형 고무와 유동상 또는 그리이스상으로 실온에서 약간 가열하면 고무가 되는 액상고무로 가공하여 실용하고 있다. 또한 오일을 다시 2차 가공한 에멀전이나 그리이스와 같은 제품 형태도 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]. 또한, 실리콘 고무는 내후성, 내오존성, 내열성, 내한성, 전기 특성이 우수하

a. Corresponding author: silee@ut.ac.kr

고 또한, 표면에너지가 낮아 발수성이 뛰어나 송전용 애자로 사용되고 있다. 실리콘 고무는 전기, 전자산업에서는 주로 절연재료로서 사용되고 있으며, 카본블록을 첨가하면 도전성 실리콘 고무도 최근 컴퓨터 산업의 발달과 함께 폭넓게 이용되고 있다. 이외에도 자동차산업 및 의료, 생활용품, 전선로의 실리콘 애자 등에도 다양하게 사용되고 있다 [8,9].

본 논문에서는 열전도성 실리콘 고무 시편을 제작하여 전기절연 특성을 검토하기 위하여 온도 110~170°C의 범위에서 1분, 10분, 30분, 60분, 90분 경과했을 때의 전압-전류 특성에 대하여 검토 고찰하였다.

2. 실험 방법

2.1 시료 및 측정

2.1.1 시료

이 실험에서 사용한 시료는 Dimethylvinyl terminated dimethyl siloxane: 19 wt%, Methylhydro siloxane - dimethyl siloxane copolymer: 2 wt%, Amorphous silica: 3 wt%, Alumina: 76 wt%, Pt: 15 ppm을 배합한 실리콘 컴파운드를 핫-프레스로 150 kG/cm²의 압력으로 120°C에서 10분 동안 압축 성형하여 두께 0.95 mm로 제작하였다. 또한, 지름 38 mm의 Al foil을 시료에 부착하였다. 표 1에 열 열화 환경 조건을 나타내었다.

Table 1. Conditions of heat degradation in silicone rubber.

Voltage Temperature	200 V	400 V	600 V	800 V
110°C	O	O	O	O
130°C	O	O	O	O
150°C	O	O	O	O
170°C	O	O	O	O

O : 1 min, 10 min, 30 min, 60 min, 90 min

2.2 측정

이 연구에서는 전압-전류 특성을 측정하기 위한 전극 구성은 상부전극으로 주 전극 38 mm와 가드링 전극 (내경 40 mmΦ, 외경 54 mmΦ와 하부전극 54 mmΦ)로 구성되어 있으며, 측정 회로는 그림 1과 같다.

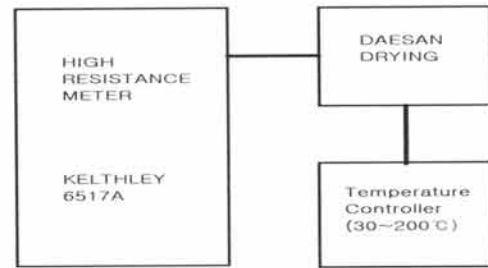


Fig. 1. Measuring circuit.

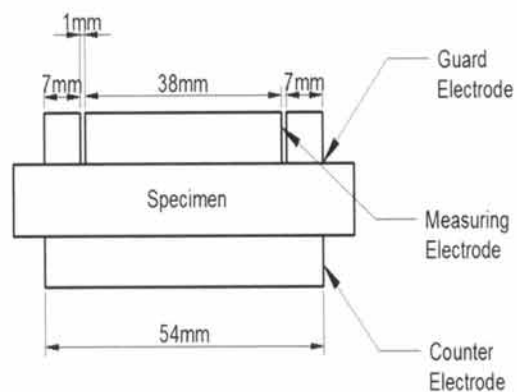


Fig. 2. Measuring unit.

두께 0.95 mm인 실리콘 고무 시료의 지름을 38 mm로 양면에 Al foil을 부착하여, 온도가 110°C, 130°C, 150°C, 170°C 인가하였을 때 전압 200 V, 400 V, 600 V, 800 V와 1분, 10분, 30분, 60분, 90분 인가했을 때의 전류 값을 측정하였다.

3. 결과 및 검토

3.1 푸리에 변환 적외선 분광 (FT-IR spectrum) 분석

실리콘 고분자는 다른 유기 고분자와 마찬가지로 공유 결합을 하고 있어, 관능기는 스펙트럼 중 적외선 영역에서 흡수를 일으킨다. 실리콘 고분자는 파수 1,000~1,200[cm⁻¹] 영역에서 실록산기의 Stretching vibrations에 의한 강한 흡수, 파수 2,900[cm⁻¹]에서 C-H₃의 신장에 의한 흡수를, 파수 1,250~1,270[cm⁻¹]에서 날카로운 밴드는 대칭성 C-H₃의 결합에 의한 흡수, 파수 874~740[cm⁻¹]에서 C-H₃의 흔들림 (rocking)에 의한 IR 흡수가 나타난다고 보고되어 있다 [10].

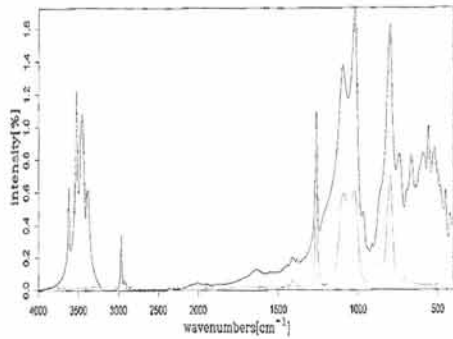


Fig. 3. FT-IR spectra of specimens.

그림 3은 푸리에 변환 적외선 분광계 (Germany, Bruker optics vertex 79 model)로 파수 3,400~3,500[cm⁻¹] 영역에서 나타난 피크는 가교제인 과산화물이 첨가되어 메탈기에서 탈락된 수소의 작용으로 하이드록실 라디칼기가 생성되어 나타난 피크이며, 파수 2,900~3,000[cm⁻¹] 영역에서 뾰족하게 나타난 피크는 메탈기에서 탄소와 수소에서 의한 나타난 피크이다. 또한, 1,400[cm⁻¹] 부근에서 나타난 피크는 실리콘과 메탈기에 의한 비대칭 변형 피크이며, 1,300[cm⁻¹] 부근에서 나타난 피크는 실리콘과 메탈기에 의한 대칭 변형 피크이며, 파수 1,100~1,200[cm⁻¹] 부근 영역에서 나타난 피크는 규소와 규소 사이의 산소와 규소와의 진동피크이며, 파수 900 [cm⁻¹]에서 나타난 피크는 규소와 탄소에 의한 신축 피크라 생각된다 [10].

3.2 전압-전류 특성

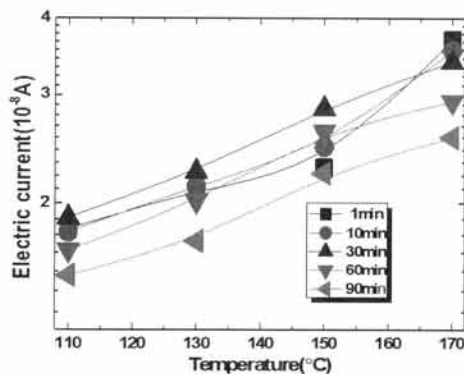


Fig. 4. Temperature dependence of electric current due to 200 V of (1~90) min.

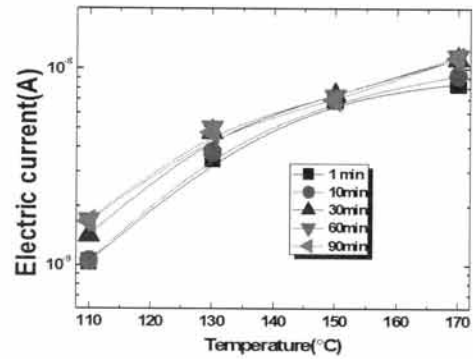


Fig. 5. Temperature dependence of electric current due to 400 V of (1~90) min.

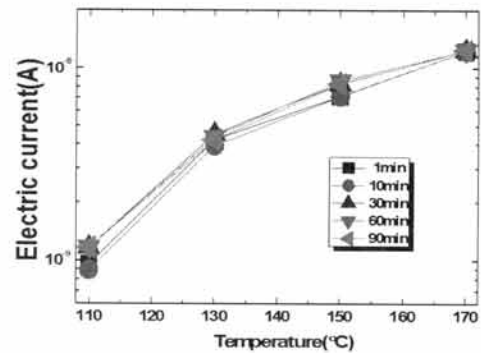


Fig. 6. Temperature dependence of electric current due to 600 V of (1~90) min.

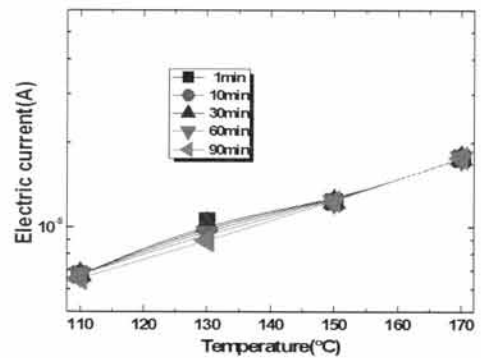


Fig. 7. Temperature dependence of electric current due to 800 V of (1~90) min.

그림 4~7은 열전도성 실리콘 고무 시료에 온도 110~170°C 범위에서, 전압 200~800 V를 인가하여 1

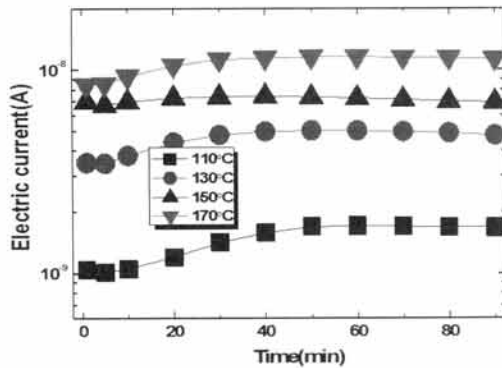


Fig. 8. Time dependence of electric current due to 200 V of (110~170)°C.

분, 10분, 30분, 60분, 90분 경과하였을 때의 온도에 의한 전류 값을 측정된 결과이다.

그림 4는 200 V의 전압을 인가하여 1분, 10분, 30분, 60분, 90분일 때의 온도에 의한 전류 값을 측정된 결과이다. 110°C일 때에는 1분, 10분, 30분, 60분, 90분 경과하였을 때의 전류 값이 $1.59\sim 1.96\times 10^{-8}$ A 정도의 크기로 5승의 범위 정도의 같은 간격으로 증가하여 170°C일 때 $2.6\sim 3.8\times 10^{-8}$ A 정도의 크기 범위로 증가하고 있다. 110°C일 때 1분, 10분, 30분, 60분, 90분 경과하였을 때의 전류 값은 모두 혼조 상태를 이루고 있으나 170°C에 이르렀을 때에는 장시간 경과한 순서대로 전류 값이 낮아져 있음을 확인했다.

그림 5는 400 V의 전압을 인가하여 1분, 10분, 30분, 60분, 90분 경과하였을 때의 온도에 의한 전류 값을 측정된 결과이다. 1분, 10분, 30분, 60분, 90분 경과하였을 때는 110°C일 때에는 전류 값이 $1.01\sim 1.9\times 10^{-8}$ A 정도, 130°C일 때 전류 값이 8×10^{-8} A 정도의 크기로 일치하다가, 170°C일 때 $2\times 10^{-9}\sim 8\times 10^{-8}$ A 정도의 크기 범위로 폭이 좁게 포화 상태로 증가하고 있다. 200 V를 인가하였을 때보다는 전류 값의 크기의 폭이 좁아져 있음을 확인했다.

그림 6은 600 V의 전압을 인가하여 1분, 10분, 30분, 60분, 90분 경과하였을 때의 온도에 의한 전류 값을 측정된 결과이다. 1~90분일 때 110°C일 때에는 전류 값이 $9\times 10^{-9}\sim 1.14\times 10^{-8}$ A 정도, 130°C일 때 전류 값이 1.45×10^{-8} A 정도의 크기까지 증가하다가 170°C일 때 1.12×10^{-7} A 정도의 크기 범위로 폭이 증가해 있다. 400 V를 인가하였을 때보다 전류 값의 크기의 폭이 더 좁아져서 비례하고 있음을 확인했다.

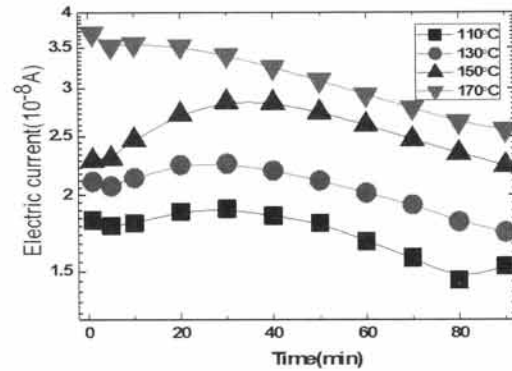


Fig. 9. Time dependence of electric current due to 400 V of (110~170)°C.

그림 7은 800V의 전압을 인가하여 1분, 10분, 30분, 60분, 90분 경과하였을 때의 온도에 의한 전류 값을 측정된 결과이다. 1~90분일 때 110°C일 때에는 전류 값이 6.7×10^{-7} A 정도, 130°C일 때 전류 값이 9.5×10^{-7} A 정도, 150°C일 때 전류 값이 1.4×10^{-7} A 정도, 170°C일 때 1.85×10^{-8} A 정도의 크기 범위로 폭이 증가해 있다. 600V를 인가하였을 때보다는 전류 값의 크기의 폭이 더 좁아져서 비례하고 있음을 확인했다.

그림 4~7에서 1분, 10분, 30분, 60분, 90분 경과하였을 때의 전류 값이 온도가 110°C에서 170°C로 증가함에 따라서 거의 일치하게 증가하였는데 이는 절연성이 우수한 실리콘 고무 시편이 측정 온도가 높아질수록 Si에 흡착된 결합된 유기기의 산화로 가교수가 증가하기 때문으로 생각된다. 또한, Siloxane 결합은 이온성이 51%나 되기 때문에 물, 알코올, 산 및 알칼리 등의 극성 물질에 의한 개열(開裂)이 일어난다. 특히, 물에 의한 Siloxane 결합의 개열현상에는 보강제로 사용되는 Silica에 흡착된 물의 영향도 크게 작용하기 때문에 열전도성이 증가한다고 생각된다.

그림 8~11은 열전도성 실리콘 고무 시료에 온도 110~170°C 범위에서, 전압 200~800 V를 인가하여 1분, 10분, 30분, 60분, 90분 동안의 시간의 경과에 따른 전류 값을 측정된 결과이다.

그림 8은 200V의 전압을 인가했을 때 온도 110°C, 130°C, 150°C, 170°C인 경우의 1분, 10분, 30분, 60분, 90분의 경과했을 때의 시간에 대한 전류 값을 측정된 결과이다. 170°C인 경우에는 1분일 때 9×10^{-8} A 정도에서 30분일 때 1.14×10^{-8} A 정도로 증가하다가 90분 경과하였을 때 전류 값이 거의 같은 크기로 일정하게

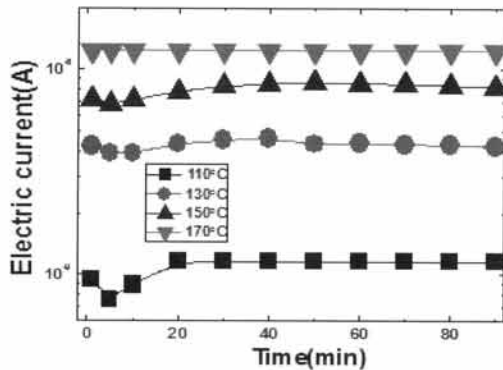


Fig. 10. Time dependence of electric current due to 600 V of (110~170)°C.

흐른다. 130°C인 경우에는 1분일 때 3.6×10^{-8} A 정도에서 40분일 때 5×10^{-8} A 정도로 서서히 증가하다가 90분 경과하였을 때 전류 값이 거의 같은 크기로 일정하게 흘렀다. 170°C인 경우에는 1분일 때 9×10^{-9} A 정도에서 30분일 때 1.14×10^{-8} A 정도로 증가하다가 90분 경과하였을 때 전류 값이 거의 같은 크기로 일정하게 흘렀다. 1분 경과했을 때와 90분 경과했을 때 110~170°C인 경우 0.8승 정도의 차이로 일정하게 흘렀다.

그림 9는 400 V의 전압을 인가했을 때 온도 110°C, 130°C, 150°C, 170°C인 경우의 1분, 10분, 30분, 60분, 90분의 경과했을 때의 시간에 대한 전류 값을 측정 한 결과이다. 1분일 때 $1.8 \sim 3.7 \times 10^{-8}$ A 정도에서 거의 같은 차이로 90분일 때 $1.55 \sim 2.7 \times 10^{-8}$ A 정도로 완만하게 감소하며 흘렀다. 전압을 파라메타로 한 전류와 시간의 관계를 보면 시간의 경과와 더불어 전류는 감소해 가는 것을 알았다. 이론식으로 표시하면 $I_c(t) = I_d(t) + I_a(t) + I$ 로 된다. 이때 $I_d(t)$ 는 변위 전류, $I_a(t)$ 는 흡수 전류, I 누설 전류로 되지만 $I_d(t)$ 는 일순간 감쇠(減衰)하는 전류이므로 무시할 수 있다. 따라서 $I_c(t) = I_a(t) + I$ 로 된다.

그림 10은 600 V의 전압을 인가했을 때 온도 110°C, 130°C, 150°C, 170°C인 경우의 1~30분 경과했을 때 각 온도마다 약간 변화가 있으나 30분 이후부터 110°C일 때 1.2×10^{-9} A 정도, 130°C일 때 4.5×10^{-9} A 정도, 150°C일 때 9×10^{-9} A 정도, 170°C일 때 9×10^{-9} A 정도 2×10^{-8} A 정도의 전류가 흐르며, 600 V의 인가의 때에 30분 이후부터 일정한 전류가 흐르게 되었다.

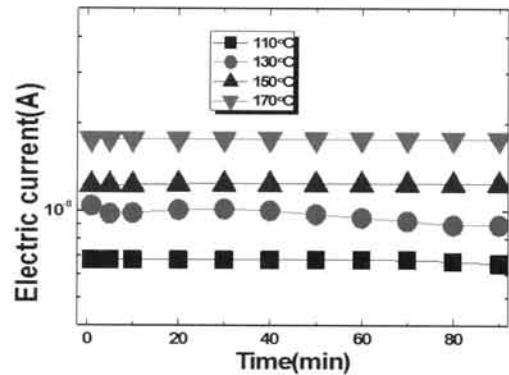


Fig. 11. Time dependence of electric current due to 800 V of (110~170)°C.

그림 11은 800 V의 전압을 인가했을 때 온도 110°C, 130°C, 150°C, 170°C인 경우의 1분 이후부터 110°C일 때 6.8×10^{-7} A 정도, 130°C일 때 9.8×10^{-7} A 정도, 150°C일 때 1.3×10^{-8} A 정도, 170°C일 때 1.8×10^{-9} A 정도의 전류가 흐르며, 800 V의 인가의 때에는 1분 이후부터 일정한 전류가 흐르게 되었다.

4. 결론

이 연구에서는, 전압에 따른 전류의 특성을 검토하기 위하여 두께 0.95 mm의 열전도성 실리콘 고무 시료를 사용하였다. 설정 온도 110~170°C, 시편에 전압을 200~800 V를 인가하여 1분, 10분, 30분, 60분, 90분 경과했을 때 흐르는 전류를 측정 한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다. 800 V 인가했을 때 시간 경과에 따른 전류 값은 온도가 110°C에서 170°C로 증가할수록 비례하여 증가함을 확인하였다. 800 V 인가했을 때 온도 증가에 따른 전류 값은 시간 경과가 110°C에서 170°C로 증가할수록 일정하게 됨을 확인했다. 또한 푸리에 변환 적외선 분광 (FT-IR spectrum) 분석에서 가교제 (cross-linking agent) 과산화물이 첨가되어 메틸기 (CH_3) 탈락된 수소의 작용으로 수산화기 (O-H)가 생성됨을 확인하였다.

REFERENCES

- [1] Annual Book of ASTM Standards, *Electrical*

- Insulation*, 10.01, 19 (1993).
- [2] Y. Toureille and J. P. Reboul, *Ann. Soc. Sci., Bruxelles*, 89, 190 (1978).
- [3] H. G. Cho and Y. K. Park, *J. KIEEME*, 10, 770 (1997).
- [4] C. S. Huh, K. S. Jang, and H. G. Cho, *J. KIEEME*, 9, 344 (1996).
- [5] K. S. Cole and R. H. Cole, *J. Chem. Phys.*, 9, 341 (1941).
- [6] Y. S. Yoo, J. H. Kim, K. S. Seo, H. G. Cho, and Y. K. Park, *J. KIEEME*, 12, 1052 (1999).
- [7] R. J. Morgan, L. T. Mones, and W. J. Steele, *Polymer*, 23, 295 (1982).
- [8] T. Imai, F. Sawa, T. Ozaki, T. Shimizu, R. kido, M. Kozako, and T. Tanaka, *Proc. of International Symposium on Electrical Insulating Materials*, 5-9 (Kitakyushu, Japan, 2005) p. 239.
- [9] H. C. Karner, *Evaluation of Polymeric Insulating Materials for HV Outdoor Application*, 6th ISH, 30.02, 1 (1989).
- [10] ASTM D 2132-91, *Standard Test Method for Dust-and-Fog Tracking and Erosion Resistance of Electrical Insulation Materials* (1991).