Regular Paper
J. KIEEME
Vol. 25, No. 9, pp. 732-737, September 2012
DOI: http://dx.doi.org/10.4313/JKEM.2012.25.9.732

실리콘 고무의 면적 변화에 따른 정전기 대전 특성

이성일[1,a]
[1] 한국교통대학교 안전공학과

Electrostatic Electrification Properties due to Square of Silicone Rubber

Sung-Ill Lee[1,a]
[1] Department of Safety Engineering, Korea National University of Transportation, Chungju 380-702, Korea

(Received July 23, 2012; Revised August 13, 2012; Accepted August 22, 2012)

Abstract: This study made a specimen (contact surface size: 45 ㎜×0.02 ㎜×45~55 ㎜) with silicon rubber for low voltage cable with 50 phr silica filler. The electrification voltage of electrostatics were measured for different sizes of contact surface with the applied voltage of 10kV and the environmental settings of temperature (25~40℃) and humidity (40~80%). The following conclusions were made. The electrification voltage of electrostatics decreased as the humidity increased. The electrification voltage of electrostatics increased as the temperature increased. The larger the surface size, the higher the electrification voltage of electrostatics. The property of the material had more effect on the relaxation time than the humidity.

Keywords: Silicone rubber, Electrification voltage of electrostatics, Humidity, Temperature

1. 서 론

최근, 산업 현장에서 고분자 물질의 정전기에 의한 생산 장애와 시스템 파괴 등의 재해가 점증하여 일어나고 있다. 이에 시료로 선정한 실리콘 고무는 주사슬 (main chain)이 규소와 산소로 되어 있는 무기 고분자이기 때문에 주파수 및 온도 변화에 따른 전기절연성, 내로나성, 내후성, 내약품성이 우수하여 전천후 절연재료로 널리 사용되고 있다 [1-3]. 또한 송전선로의 고압화, 배전선로의 지중화, 수중화, 원자력 발전소 등의 전선이나 케이블 등의 극한 환경 속에서도 절연내력, 내열 및 내한성이 아주 우수하다.

특히 실리콘 고무 케이블의 절연재료에 발생하는 정전기는 정전기의 발생과 누설의 차이로 대전에 의한 방전에너지가 수 mJ 정도로 작아도 가연성가스 및 증기가 착화원으로 작용하게 된다 [4-6].

실리콘 고무는 그 고분자간 분자간의 힘이 낮아 부족한 특성을 보강하기 위하여 충전재 입자의 표면적, 입도 분포 그리고 표면처리 상태 등이 잘 고려되어야 한다. 또한 고분자와 충전재의 체적분율, 형상, 크기 등도 고무의 최종 물성에 크게 영향을 미친다. 무기물 충전재의 표면 상태는 친수 특성을 가지고 있어 고분자에의 함침성이 나쁘므로 가공성이 좋지 않기 때문에 표면처리를 함으로써 기계적 강도, 접착성, 전기적 특성, 내수성, 내후성 등을 개선할 수 있다 [7,8].

본 연구에서는 저압용 실리콘 고무 케이블의 절연재에 충전제인 실리카를 50 phr을 배합한 시료를 접촉면적 두께 0.02 ㎜, 세로 45 ㎜, 가로를 45, 50, 55 ㎜의 3 종류로 제작하여 온도 25~40℃, 습도 40~80%의 환경에서 정전기 대전전압을 측정하여 대전과

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

완화 특성에 대하여 검토하였다. 이때 접촉 면적이 정전기 대전 특성에 어떤 영향을 미치는지 면적이 다른 세 종류 시료에 10 kV의 전압을 인가하여 정전기 대전 전하량을 측정하였으며, 습도와 온도의 환경 하에서 특히 접촉 면적에도 영향을 받는다는 것을 검토하였다.

2. 실험 방법

2.1 시료

본 실험에서 사용한 실리콘 고무 시료는 표 1과 같으며 원재료를 준비하고 설비를 가동하며 base를 투입한 후 100℃에서 30분 동안 mixing 하였으며, 실리카와 첨가제인 오일과 카본을 투입 후 170℃에서 4시간 동안 혼합시켜 토출한 후 냉각시킨 상태에서 난연 실리카 투입 후 1시간 혼합하여 45 ㎜×45 ㎜×0.02 ㎜, 45 ㎜×50 ㎜×0.02 ㎜, 45 ㎜×55 ㎜×0.02 ㎜인 세 가지 시료를 제작하였다.

Table 1. Mixing ratio of silicone rubber sample.

Material	Mixing ratio[phr]
Vinyl terminated polydimethyl siloxane	20
Polydimethyl siloxane hydroxy terminated (Coupling Agent)	3
Silicone dioxide (Coupling Agent)	50
Aluminium Trihydroxide($AlOH_3$) (Reinforceing Agent)	26
Carbon Black Pigment Agent)	1

2.2 측정회로 및 방법

정전기를 발생시켜 주는 직류 코로나 방전식의 chopper형의 D.C(±), 0~10 kV)의 가변형인 static honestmeter (일본: Shishido 정전기(type H-0110), 분석용으로 honest analyzer (일본: Shishido 정전기 (type V1), thermal printer (일본: DPU-411, 열감지식 seriai dot 방식) 및 온도와 습도의 환경 조성을 위하여 항온·항습계를 사용하였다. 그림 1에 정전기

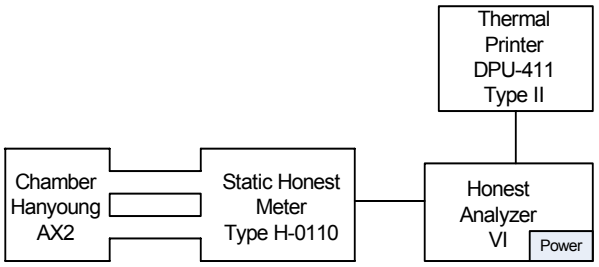

Fig. 1. Measuring device.

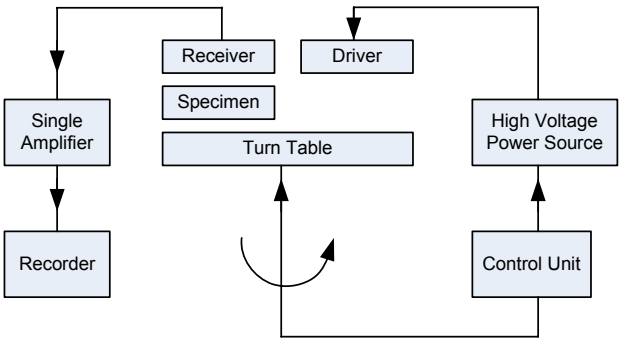

Fig. 2. A schematic diagram showing the structure of static honestmeter.

전하량 측정회로를 나타내었으며, 항온·항습계로 온도 25~40℃ 까지 5℃씩 상승시키면서, 습도는 40~80% 까지 5%씩 상승시켜 가면서 1분 동안 정전기 대전 및 완화를 측정했다. 그림 2에 시료를 코로나 방전에 의해 임의로 대전시키는 구동기, 코로나를 발생시키기 위한 고압직류 전원, 소자를 위에 놓고 회전시키는 턴테이블 및 모터, 시료의 전위를 픽업하는 수신기와 증폭기, 또 완화되는 전하로부터 반감기를 측정하는 analyzer가 부착, 이를 조작하는 조작부 등으로 구성되어 있는 static honestmeter의 구조를 나타내었으며 턴테이블 (turn table)을 1,550 rpm의 속도로 회전시키면서 시료에 10 kV의 전압을 20 mm 떨어진 시료에 인가하여 대전되는 대전전압이 3 kV인데 45 ㎜×45 ㎜ ×0.02 ㎜, 45 ㎜×50 ㎜×0.02 ㎜, 45 ㎜×55 ㎜× 0.02 ㎜인 시료를 장착한 후 온도를 10~40℃, 습도 40~80%의 환경에서 10 kV의 직류고전압을 코로나 방전 형으로 인가시켜 그 검출치가 포화치 (saturation level)에 도달한 후 고압인가를 차단시키고 그 후 60 sec 동안 시료 표면상의 전위 감쇠상태를 연속적으로 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 습도의 영향

그림 3~6은 실리콘 고무 시료의 면적을 45 ㎜×45 ㎜×0.02 ㎜, 45 ㎜×50 ㎜×0.02 ㎜, 45 ㎜×55 ㎜×0.02 ㎜로 제작하여 온도 25℃~40℃, 습도 40%~80%에서 10 kV의 직류 고전압을 코로나 방전형으로 인가하여 정전기 대전특성을 측정한 결과이다.

그림 3은 온도가 25℃일 때 40%~80%의 습도 환경에서 정전기 대전특성을 측정한 결과이다. 면적이 45×55×0.02 ㎜인 시료는 습도가 40%에서 대전전압은 1.68kV 정도이나 습도 80%일 때 약 1.46 kV 정도로 크기가 완만하게 감소했다. 면적이 45×45×0.02 ㎜, 45×50×0.02 ㎜의 45 ㎜×55 ㎜×0.02 ㎜인 시료의 경우 대전전압은 근소하게 작으나 거의 같은 경향으로 감소했다.

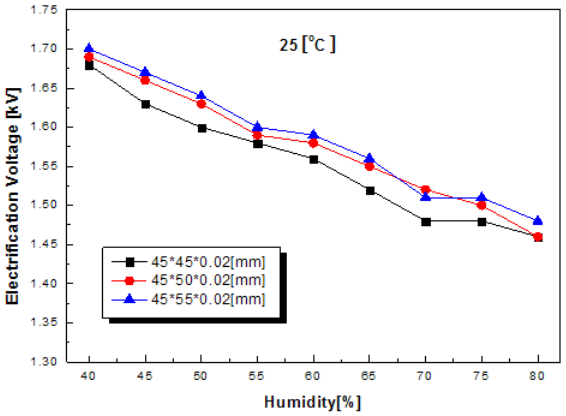

Fig. 3. Electrostatics electrification properties due to humidity change of silicone rubber at 25℃.

그림 4는 온도가 30℃일 때 40%~80%의 습도 환경에서 정전기 대전특성을 측정한 결과이다. 면적이 45 ㎜×(45~55)㎜×0.02 ㎜인 시료는 습도가 40%에서 대전전압은 1.7 kV 정도이나 습도 80%일 때 약 1.48~1.54 kV 범위 정도로 완만하게 감소하다가 면적이 넓은 시료일수록 대전전압이 높게 나타났다. 그림 5는 온도가 35℃일 때 40%~80%의 습도 환경에서 정전기 대전특성을 측정한 결과이다. 면적이 45 ㎜×(45~55) ㎜×0.02 ㎜인 시료는 습도가 40%에서 대전전압은 1.72 kV 정도이나 습도 80%일 때 약 1.53~1.55 kV 범위 정도로 완만하게 감소하였다.

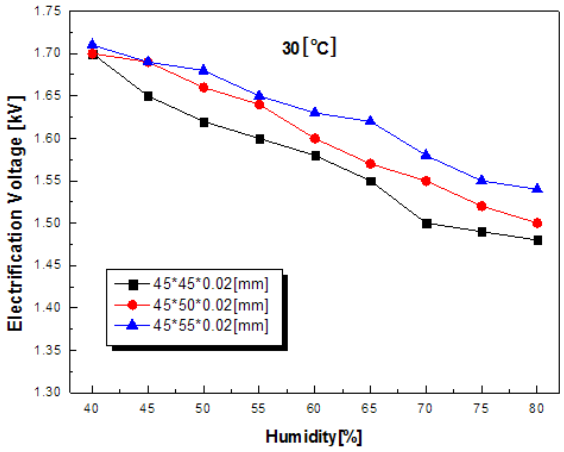

Fig. 4. Electrostatics electrification properties due to humidity change of silicone rubber at 30℃.

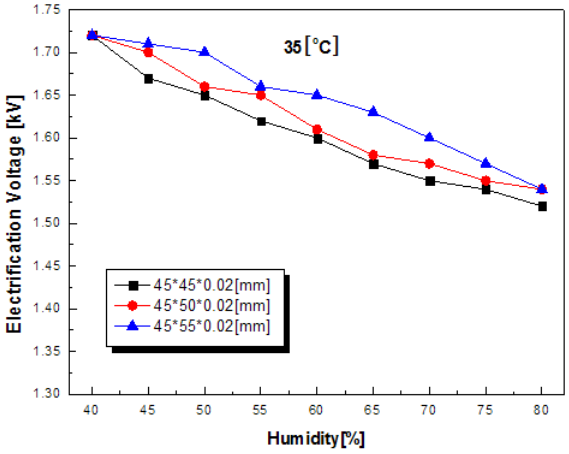

Fig. 5. Electrostatics electrification properties due to humidity change of silicone rubber at 35℃.

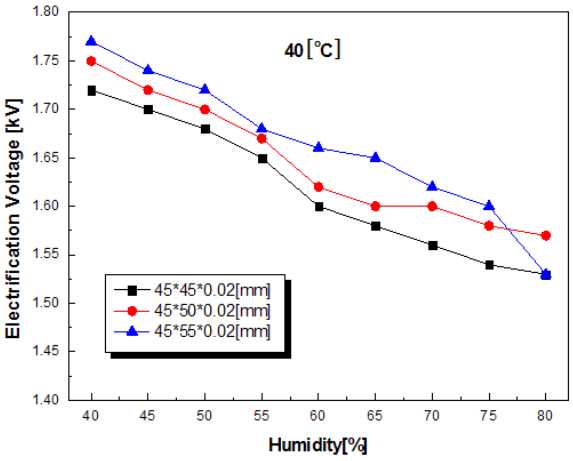

Fig. 6. Electrostatics electrification properties due to humidity change of silicone rubber at 40℃.

그림 6은 온도가 35℃일 때 40%~80%의 습도 환경에서 정전기 대전특성을 측정한 결과이다. 면적이 가로 45, 50, 55 mm, 세로 45 ㎜, 높이 0.02 ㎜인 시료는 습도가 40%에서 대전전압은 1.75~1.77 kV 정도이나 습도 80%일 때 약 1.54~1.57 kV 범위 정도로 완만하게 감소하였다. 그림 3~6에서 습도가 40%일 때 온도가 25℃에서 1.68 kV, 30℃에서 1.70 kV, 35℃에서 1.71 kV, 40℃에서 1.76 kV 정도의 대전전압이 발생하였으며, 습도가 80%일 때 온도가 25℃에서 1.51 kV, 30℃에서 1.53 kV, 35℃에서 1.57 kV, 40℃에서 1.26 kV 정도로 습도가 80%일 때가 80%일 때 보다 대전전압의 발생이 감소하였음을 확인했다.

이는 공기 중 습도가 공기 자체의 도전율을 변화시키지는 않지만 공기 중의 습도의 일부가 보강제인 $AlOH_3$ (aluminium trihydroxide)가 배합된 실리콘 고무 시료 표면에 흡수되어 절연체의 정전기 특성에 영향을 미쳤기 때문에 반비례 경향을 나타냈다고 생각된다. 또한 미세하지만 시료에 함유된 도전성이 정전기 대전 특성에 영향을 미쳤다고 생각된다. 면적이 넓을수록 정전기 대전량이 더 크게 발생했는데 이는 대전시 완전 방전되지 않았기 때문이라 생각된다.

3.2 온도의 영향

그림 7~9는 온도 25℃~40℃, 습도 60%~80%에서 10 kV의 직류 고전압을 코로나 방전형으로 실리콘 고무의 면적이 45 ㎜×45 ㎜×0.02 ㎜, 45 ㎜×50 ㎜×0.02 ㎜, 45 ㎜×55 ㎜×0.02 ㎜인 시료에 인가하여 정전기 대전특성을 측정한 결과이다.

그림 7은 습도 60%일 때 온도 25℃~40℃의 환경에서 정전기 대전특성을 측정한 결과이다. 면적이 45 ㎜×55 ㎜×0.02 ㎜인 시료의 대전전압은 대략 온도가 25℃에서 1.56 kV, 30℃에서 158 kV, 35℃에서 1.60 kV, 40℃에서 1.60 kV 정도로 증가하였다. 면적이 45 ㎜×50 ㎜×0.02 ㎜인 시료의 대전전압은 대략 온도가 25℃에서 1.58 kV, 40℃에서 1.62 kV 정도로 완만하게 비례하며 증가하였다. 면적이 45 ㎜×50 ㎜×0.02 ㎜인 시료의 대전전압은 대략 온도가 25℃에서 1.588 kV, 30℃에서 1.63 kV, 35℃에서 1.65 kV, 40℃에서 1.66 kV 정도로 증가하였다. 면적이 45 ㎜×45 ㎜×0.02 ㎜인 시료의 대전전압은 대략 온도가 25℃에서 1.58 kV, 40℃에서 1.66 kV 정도로 완만하게 증가하였다. 습도가 일정할 경우 면적이 넓을수록 정전기 대전량이 커짐을 확인했다.

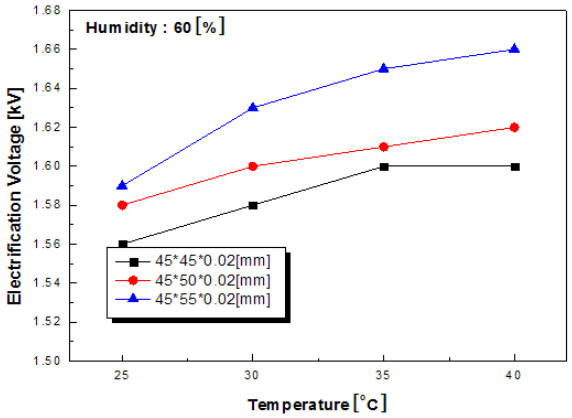

Fig. 7. Electrostatics electrification properties due to temperature change of silicone rubber at 60%.

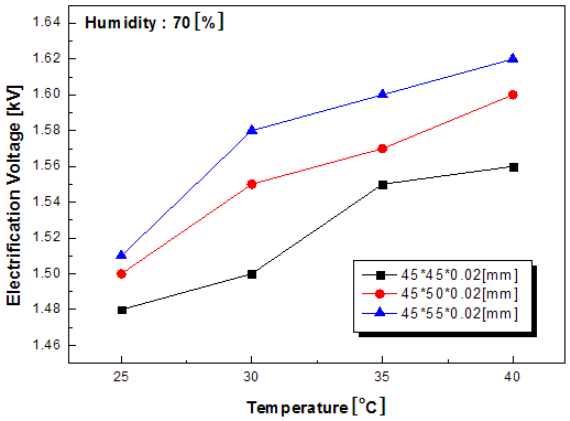

Fig. 8. Electrostatics electrification properties due to temperature change of silicone rubber at 70%.

그림 8은 습도 70%일 때 온도 25℃~40℃의 환경에서 면적이 다른 세 가지 시료의 정전기 대전특성을 측정한 결과이다. 대략 온도가 25℃에서 1.48~1.52 kV, 40℃에서 1.56~1.62 kV 정도로 완만하게 비례하며 증가하였다.

그림 9는 습도 80%일 때 온도 25℃~40℃의 환경에서 정전기 대전특성을 측정한 결과이다. 면적이 45 ㎜×55 ㎜×0.02 ㎜인 시료의 대전전압은 대략 온도가 25℃에서 1.48 kV, 30℃에서 1.5 kV, 35℃에서 1.51 kV, 40℃에서 1.53 kV 정도로 증가하였다. 면적이 45 ㎜×50 ㎜×0.02 ㎜인 시료의 대전전압은 대략 온도가 25℃에서 1.45 kV, 40℃에서 1.49 kV 정도로 완만하게 비례하며 증가하였다. 면적이 45 ㎜×45 ㎜×0.02 ㎜인 시료의 대전전압은 대략 온도가 25℃에서 1.45 kV, 40℃에서 1.49 kV 정도로 완만하게 증가하였다.

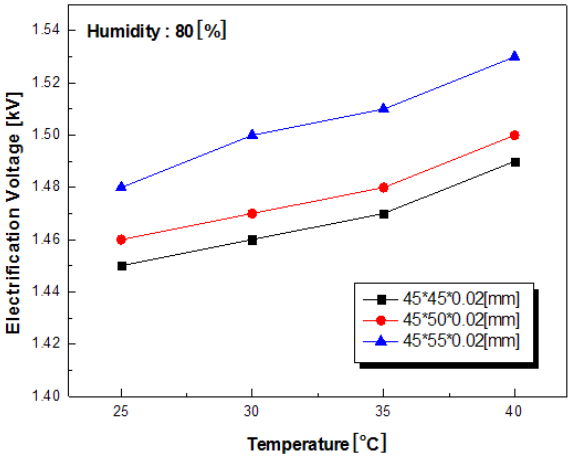

Fig. 9. electrostatics electrification properties due to temperature change of silicone rubber at 80%.

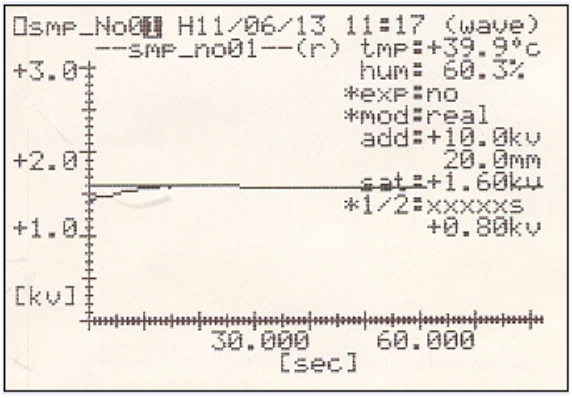

Fig. 10. Electrostatics electrification relaxation due to humidity change of silicone rubber at 40℃, 45×45×0.02 ㎜.

그림 10~12는 온도 약 40℃, 습도 약 60%, 면적 45 ㎜×45 ㎜×0.02 ㎜, 45 ㎜×50 ㎜×0.02 ㎜, 45 ㎜×55 ㎜ ×0.02 ㎜의 세 가지 시료의 정전기 대전전하량이 1/2로 반감되는데 걸리는 시간 및 대전전압을 측정한 결과이다.

시료에 전하를 인가하여 전하의 분포가 정상상태에 도달한 후 전원을 차단한다. 이때의 시료의 전위를 10 kV라 하면 t초 후에는 누설전류에 의한 전하의 감소분만큼 시료 전위가 강하하며 그때의 전위V [V]는 시료의 누설저항 R_c[Ω]과 정전용량C [F]에 의해 다음 식으로 주어진다.

$$V = V_0 \epsilon^{-\frac{t}{CR_c}}$$

시료의 전하가 누설되어 감소하고 그 전위 V가 초기의 전위 V_0의 1/2 전압치로 될 때의 시간 τ를 반감기라 부른다. 여기에서 반감기 τ는 누설저항 R_c[Ω]과 비례관계에 있으므로 반감기 τ를 측정하면 대전체의 전하이동에 대한 난이도의 추정이 가능하다. 이때 analyzer에 기록되는 V_0의 크기는 시료의 누설전하와 코로나 방전에 의해서 공급된 전하가 평형을 이루는 곳에서 결정된다. 일반적으로 대전물체의 절연성능이 높을수록 V_0가 높고, τ가 커진다.

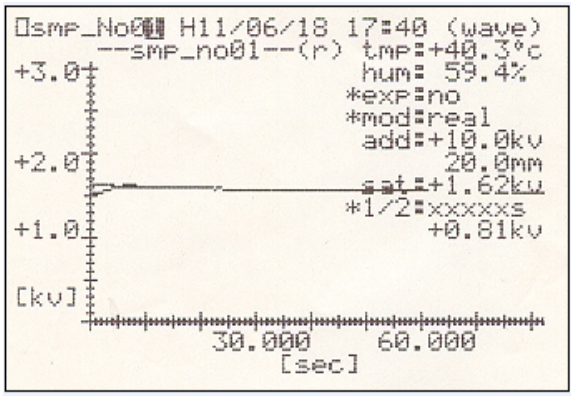

Fig. 11. Electrostatics electrification relaxation due to humidity change of silicone rubber at 40℃,45×50×0.02 ㎜.

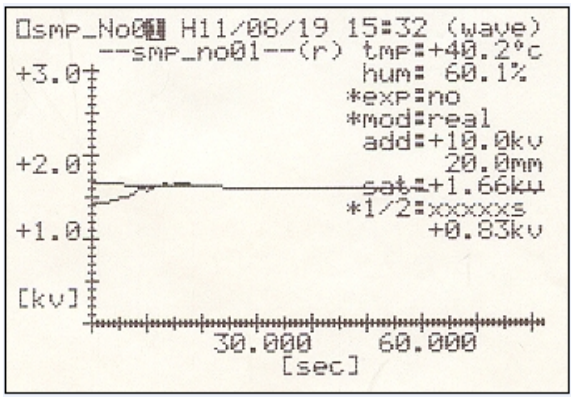

Fig. 12. Electrostatics electrification relaxation due to humidity change of silicone rubber at 40℃, 45×55×0.02 ㎜.

그러므로 면적을 증가시켰을 경우 대전전압은 1/2로 반감 시 면적이 증가할수록 감쇠시간은 나타나지 않았으며 습도가 일정할 경우 대전전압은 45 ㎜×45 ㎜×0.02 ㎜인 시료인 경우 0.80 kV, 45 ㎜×50 ㎜×0.02 ㎜인 시료인 경우 0.81 kV, 45 ㎜×55 ㎜×0.02 ㎜인 시료인 경우 0.83 kV로 나타났는데 접촉 면적이 커짐에 따라 대전전압도 높아짐을 확인했다.

4. 결 론

본 연구에서는 결합제인 실리콘 다이옥시드를 50 phr을 배합한 저압용 실리콘 고무 케이블용 접촉면적 45 ㎜×45 ㎜×0.02 ㎜, 45 ㎜×50 ㎜×0.02 ㎜, 45 ㎜×55 ㎜×0.02 ㎜인 3종류의 시료를 제작하여 온도 25~40℃, 습도 40~80%의 환경에서 10 kV의 전압을 인가하여 정전기 대전전압을 측정하였다. 여기서 면적이 정전기 대전 특성에 미치는 영향을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 일정온도, 습도가 60%에서 80%로 증가함에 따라 대전전압은 감소했는데 이는 공기 중의 습도의 일부가 보강제인 $AlOH_3$ (aluminium trihydroxide)가 배합된 실리콘 고무 시료 표면에 의해 흡수되어 절연체의 정전기 특성에 영향을 미쳤기 때문에 반비례 경향을 나타냈다고 생각된다.

2) 일정습도, 온도가 25℃에서 40℃로 높아질수록 대전전압이 상승함을 확인했는데 이는 실리콘 고무 시료 표면에 turn table에 장착된 시료가 마찰시 전자의 방출이 온도의 영향을 받기 때문이라 생각된다.

3) 면적이 넓을수록 온도 및 습도에 의한 대전전압이 상승함을 확인할 수 있었다.

4) 온도 및 습도가 일정할 경우 1/2 반감 시 면적이 넓을수록 대전전압이 더 높았음을 확인할 수 있었다.

REFERENCES

[1] S. Lee and S. Kim, *J. KIEEME,* **23**, 48 (2010).
[2] S. Lee, *J. KIEEME,* **23**, 718 (2010).
[3] R. G. Renninger, *J. Electrostatics*, **28**, 253 (1992).
[4] D. L. Sin and T. L. Welsher, *J. Electrostatics*, **31**, 199 (1993).
[5] M. C. Jon and T. L. Welsher, *J. Electrostatics*, **32**, 43 (1994).
[6] K. Lee, J. Yoo, J. Hong, S. Lee, Y. Kim, and H. Jeong, *J. KIEEME,* **20**, 25 (2007).
[7] W. D Greason, *J. Electrostatics*, **28**, 199 (1992).
[8] W. D Greason and S. Bulach, *IEEE Trans. on Ind. App.,*. **33**, 286 (1997).