

절연용 유리장섬유의 정전기 대전완화 특성에 관한 연구

이성일¹, 이원재^{2,a}

¹ 한국교통대학교 안전공학과

² 가천대학교 전자공학과

A Study on Electrostatic Electrification Relaxation Properties of Glass Filament for Insulation

Sung Ill Lee¹ and Won Jae Lee^{2,a}

¹ Department of Safety Engineering, Korea National University of Transportation, Cheongju 27469, Korea

² Department of Electronics Engineering, Gachon University, Seongnam 13120, Korea

(Received November 19, 2015; Accepted November 24, 2015)

Abstract: In this study, the characteristics of electrostatic attenuation in plain shape glass filament sample (0.29 mm thickness, cross section of 12.25 cm², 16 cm², 20.25 cm²) for insulator has been measured at temperature of 5°C ~ 38°C, humidity of 50%~90%. The results of this study are as follows. In case of samples that the cross section is 12.25 cm², 16 cm², 20.25 cm² at humidity of 50%~90%, it found that the electrification voltage of electrostatic increased with increasing temperature, with a return to decrease at 20°C. In case of samples that the cross section is 12.25 cm², 16 cm², 20.25 cm² at temperature of 5°C~38°C, it found that the electrification voltage of electrostatic decreased with increasing humidity. In case of the sample at temperature of 20°C and humidity of 65%, 75%, it found that the electrification voltage of electrostatic increased with increasing cross section. In case of the sample at humidity of 65% and cross section of 12.25 cm², the time that it takes to reduce electrification voltage of electrostatic in half decreased to 0.912s, 0.736s, 0.673s with increasing temperature to 10°C 20°C, 30°C.

Keywords: Electrostatic electrification voltage, Electrification relaxation time

1. 서 론

유리섬유는 1930년대 초 Owens-Illinois Glass Co.에서 개발 후 1938년 Corning Glass와의 합작으로 Owens-corning Fiberglass Corporation을 설립하여 고온에서 견디는 가는 전선의 절연재료로 적용되는 초

기 장섬유 응용품은 개발하였으며, 조성에서부터 전기적 절연 특성을 고려하여 “E” glass라고 불리는 새로운 조성을 확립하게 되었다. 1935년에 상온경화용 폴리에스터 수지에 “E” glass fiber가 강화된 제품이 구조재 및 내열재로 사용되면서 FRP 산업을 확대하게 되었다 [1]. 유리 장섬유는 굵기가 10 μm ~ 23 μm 정도의 비결정질 이므로 폐에 침착될 우려가 없다. 또한, 높은 비인장강도, 전기절연성, 내열성 등의 특성을 가진 E-glass 조성의 유리장섬유는 FRP(유리섬유 강화 플라스틱) 보강 재료로 사용되며, 여러 가지 성형공법을 적용하여 전기, 전자부품, 건설, 자동차, 선박, 항공산업 등의 다양한 분

a. Corresponding author; wjlee@gachon.ac.kr

야에 사용되고 있다 [2]. 이 연구에서는 두께 12.25 cm², 16 cm², 20.25 cm²인 평직 형태(plain shape)의 E-glass 조성의 절연용 유리장 섬유 시료를 온도 5°C ~ 38°C, 습도 50% ~ 90%의 환경에서 정전기 대전완화 특성을 측정하고 검토하였다 [3-7].

2. 실험 방법

2.1 시료

본 실험에서 사용한 절연용 장유리 섬유 시료의 배합을 표 1과 같이 하여, 혼합된 무기 원료들을 1,500°C 이상의 고온 용해로 속에서 용융, 청징, 균질화한 후 1,250°C 정도의 온도로 유지된 용융 유리가 'bushing'이라는 성형기의 노즐을 통하여 미세한 장섬유 형태로 인출한 후 수천 개의 장섬유를 size라고 불리는 유기물 계통의 물질로 코팅하고 결합 및 접착시켜 direct roving을 위사와 경사로 나누어 직물 형태로 직조하였다.

Table 1. Mixing ratio of glass filament sample.

Material	Mixing ratio[phr]
SiO ₂	53
Al ₂ O ₃	14
CaO	21
MgO	2
Ba ₂ O ₃	8
K ₂ O	0.3

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 Serial Dot 방식) 및 온도와 습도의 환경 조성을 위하여 항온·항습계를 사용하였다.

그림 1에 정전기 전하량 측정회로를 나타내었으며, 항온·항습계로 온도 5~38°C까지 5°C씩 상승시키면서, 습도는 50~90%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,

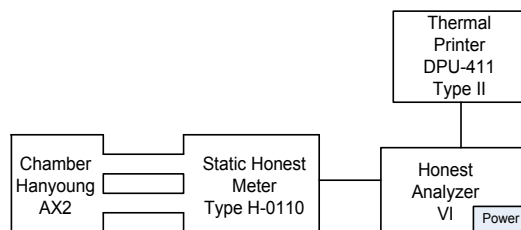


Fig. 1. Measuring device.

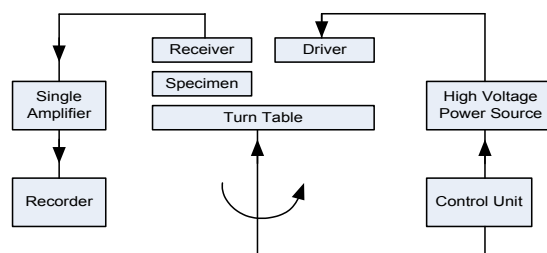


Fig. 2. A schematic diagram showing the structure of Static Honestmeter.

소자를 위에 놓고 회전시키는 턴테이블 및 모터, 시료의 전위를 픽업하는 수신기와 증폭기, 또 완화된 전하로부터 반감기를 측정하는 analyzer가 부착, 이를 조작하는 조작부 등으로 구성되어 있는 Static Honestmeter의 구조를 나타내었으며 턴 테이블(turn table)을 1,550 rpm의 속도로 회전시키면서 시료에 10 kV의 전압을 20 mm 떨어진 시료에 인가하여 대전되는 대전전압이 3 kV인데 두께 0.29 mm이며, 12.25 cm², 16 cm², 20.25 cm²인 시료를 장착한 후 온도 5~38°C, 습도 50~90%의 환경에서 10 kV의 직류 고전압을 코로나 방전형으로 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 습도 대전완화 특성

그림 3~5는 두께 0.29 mm, 표면적이 12.25 cm², 16 cm², 20.25 cm²인 절연용 유리장섬유 시료를 장착한 후 온도를 5~38°C, 습도 50~90%의 환경에서 10 kV의

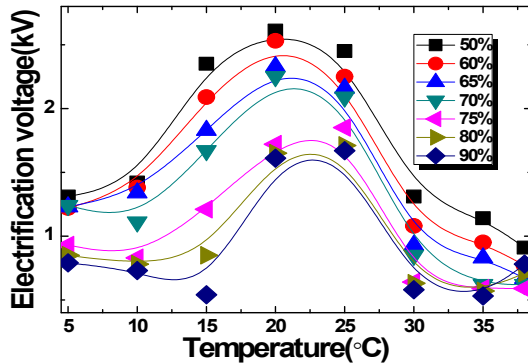


Fig. 3. Electrostatic electrification relaxation properties of humidity 50 ~ 90% due to temperature in glass filament for insulation of 12.25 cm².

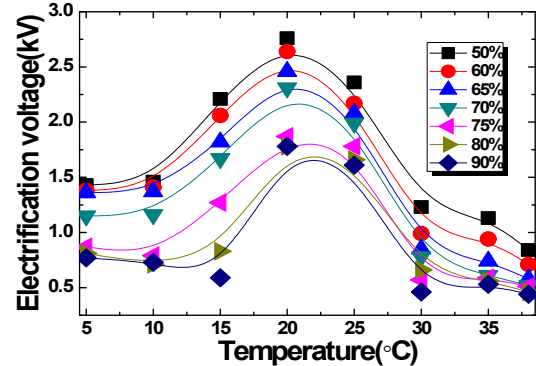


Fig. 5. Electrostatic electrification relaxation properties of humidity 50 ~ 90% due to temperature in glass filament for insulation of 20.25 cm².

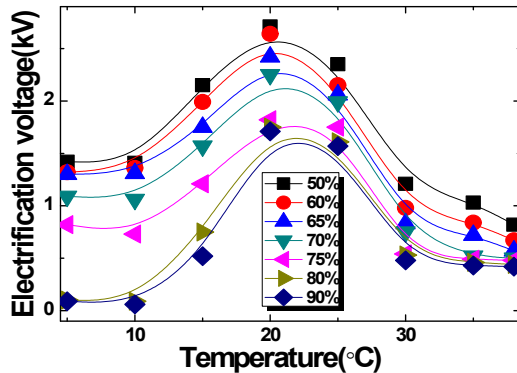


Fig. 4. Electrostatic electrification relaxation properties of humidity 50 ~ 90% due to temperature in glass filament for insulation of 16 cm².

직류 고전압을 코로나 방전형으로 인가시켜 그 검출치가 포화치(saturation level)에 도달한 후 고압인가를 차단시키고 그 후 60 sec 동안 시료 표면상의 전위 감쇠 상태를 연속적으로 인가하여 정전기 대전 특성을 측정 한 결과이다.

그림 3은 온도 5~38°C, 습도 50~90%의 환경에서 표면적이 12.25 cm²인 유리장섬유 시료의 정전기 대전완화 특성을 측정한 결과이다. 습도가 50%인 경우 5°C일 때 1.31 kV, 10°C일 때 1.42 kV, 15°C일 때 2.35 kV, 20°C일 때 2.61 kV 정도를 피크로 30°C일 때 1.31 kV 정도까지 경사지게 감소하다가 38°C일 때 0.91 kV 정도로 감소했다. 50%, 60%, 65%, 70%, 75%, 80%, 90%인 경우 모두 같은 경향을 나타내었다. 5°C일 때 습도가 50~90%인 경우 1.31~0.79 kV, 20°C일 때 습도가 50~90%인 경우 2.61~1.61 kV, 38°C일 때

습도가 50~90%인 경우 0.91~0.78 kV 정도를 나타 내었다. 습도가 90%인 경우 5°C일 때 0.79 kV, 10°C일 때 0.73 kV, 15°C일 때 0.54 kV, 20°C일 때 1.61 kV 정도를 피크로 30°C일 때 0.58 kV 정도까지 경사지게 감소하다가 38°C일 때 0.78 kV 정도로 감소했다.

그림 4는 온도 5~38°C, 습도 50~90%의 환경에서 표면적이 16 cm²인 유리장섬유 시료의 정전기 대전완화 특성을 측정한 결과이다. 습도가 50%인 경우 5°C일 때 1.42 kV, 10°C일 때 1.41 kV, 15°C일 때 2.15 kV, 20°C일 때 2.71 kV 정도를 피크로 30°C일 때 1.21 kV 정도까지 경사지게 감소하다가 38°C일 때 0.82 kV 정도로 감소했다. 50%, 60%, 65%, 70%, 75%, 80%, 90%인 경우 모두 같은 경향을 나타내었다.

5°C일 때 습도가 50~90%인 경우 1.42~0.09 kV, 20°C일 때 습도가 50~90%인 경우 2.71~1.71 kV, 38°C일 때 습도가 50~90%인 경우 0.82~0.42 kV 정도를 나타내었다. 습도가 90%인 경우 5°C일 때 0.09 kV, 10°C일 때 0.06 kV, 15°C일 때 0.52 kV, 20°C일 때 1.71 kV 정도를 피크로 30°C일 때 0.48 kV 정도 까지 경사지게 감소하다가 38°C일 때 0.42 kV 정도로 감소했다.

그림 5는 온도 5~38°C, 습도 50~90%의 환경에서 표면적이 20.25 cm²인 유리장섬유 시료의 정전기 대전완화 특성을 측정한 결과이다. 습도가 50%인 경우 5°C일 때 1.31 kV, 10°C일 때 1.42 kV, 15°C일 때 2.35 kV, 20°C일 때 2.61 kV 정도를 피크로 30°C일 때 1.31 kV 정도까지 경사지게 감소하다가 38°C일 때 0.91 kV 정도로 감소했다. 50%, 60%, 65%, 70%, 75%, 80%, 90%인 경우 모두 같은 경향을 나타내었다.

5°C일 때 습도가 50~90%인 경우 1.31~0.79 kV, 20°C일 때 습도가 50~90%인 경우 2.61~1.61 kV, 38°C일 때 습도가 50~90%인 경우 0.91~0.78 kV 정도를 나타내었다. 습도가 90%인 경우 5°C일 때 0.79 kV, 10°C일 때 0.736 kV, 15°C일 때 0.54 kV, 20°C일 때 1.61 kV 정도를 피크로 30°C일 때 0.58 kV 정도까지 경사지게 감소하다가 38°C일 때 0.78 kV 정도로 감소했다.

이는 습도가 공기 자체의 도전율을 변화시키지는 않지만 공기 중의 습도의 일부가 보강제인 Al_2O_3 가 배합된 유리장섬유 시료 표면에 흡수되어 절연체의 정전기 특성에 영향을 미쳤기 때문에 20°C 이후 반비례 경향을 나타냈다고 생각된다. 또한 미세하지만 시료에 함유된 이물질이 정전기 대전 완화 특성에 영향을 미쳤다고 생각된다. 또한 습도가 높을수록 정전기 대전량이 감소하였는데 이는 습도가 유리장섬유 시료에 흡수되어 도전성이 증가되었기 때문이라 생각된다.

3.2 온도 대전완화 특성

그림 6~8은 두께 0.29 mm, 표면적이 12.25 cm², 16 cm², 20.25 cm²인 절연용 유리장섬유 시료를 장착한 후 습도 50~90%의 환경에서 온도가 5~38°C인 경우 10 kV의 직류 고전압을 코로나 방전형으로 인가시켜 그 검출치가 포화치(saturation level)에 도달한 후 고압인가를 차단시키고, 그 후 60 sec 동안 시료 표면상의 전위 감쇠상태를 연속적으로 인가하여 정전기 대전 특성을 측정한 결과이다.

그림 6은 습도 50~90%의 환경에서 온도가 5~38°C인 경우 두께 0.29 mm, 표면적이 12.25 cm²인 유리장섬유 시료의 정전기 대전완화 특성을 측정한 결과이다. 온도가 20°C인 경우 습도 50%일 때 2.76 kV, 60%일 때 2.64 kV, 70%일 때 2.31 kV까지 서서히 감소하다가 80%일 때 1.78 kV로 완만하게 감소하다가 90%일 때 1.78 kV 정도로 감소했다. 온도가 20°C와 25°C인 경우 같은 경향을 나타내었다. 온도가 30~38°C인 경우 습도 50%일 때 1.23~0.84 kV 정도에서 서서히 감소하다가 75%일 때 약 0.57~0.51 kV 정도로 감소하다가 90%일 때 0.58~0.78 kV 정도가 되었다. 온도가 38°C인 경우 습도가 50%일 때 0.91 kV, 60%일 때 0.77 kV, 70%일 때 0.62 kV까지 서서히 감소하다가 80%일 때 0.71 kV로 완만하게 감소하다가 90%일 때 0.78 kV 정도로 감소했다.

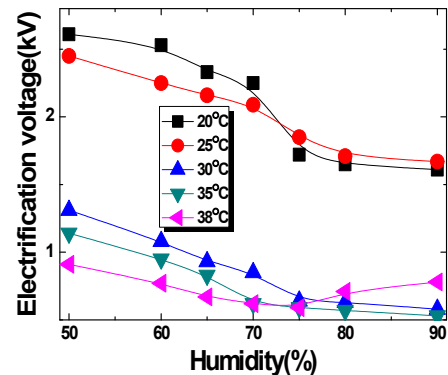


Fig. 6. Electrostatic electrification relaxation properties of temperature 20~38°C due to humidity in glass filament for insulation of 12.25 cm².

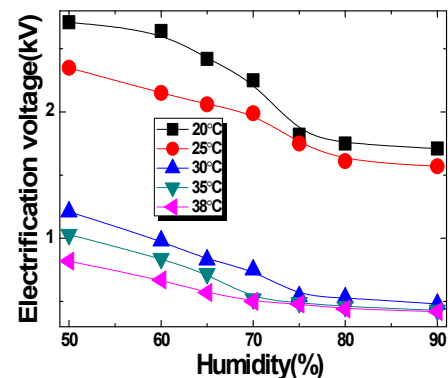


Fig. 7. Electrostatic electrification relaxation properties of temperature 20~38°C due to humidity in glass filament for insulation of 16 cm².

그림 7은 습도 50~90%의 환경에서 온도가 5~38°C인 경우 두께 0.29 mm, 표면적이 16 cm²인 유리장섬유 시료의 정전기 대전완화 특성을 측정한 결과이다. 온도가 20°C인 경우 습도 50%일 때 2.71 kV, 60%일 때 2.64 kV, 70%일 때 2.25 kV까지 서서히 감소하다가 80%일 때 1.78 kV로 완만하게 감소 90%일 때 1.71 kV 정도로 감소했다. 온도가 20°C와 25°C인 경우 같은 경향을 나타내었다. 온도가 30~38°C인 경우 습도 50%일 때 1.21~0.82 kV 정도에서 서서히 감소하다가 75%일 때 약 0.54~0.48 kV 정도로 감소하다가 90%일 때 0.48~0.42 kV 정도가 되었다. 온도가 38°C인 경우 습도가 50%일 때 0.82 kV, 60%일 때 0.67 kV, 70%일 때 0.5 kV, 감소하다가 90%일 때 0.4 kV 정도로 감소했다.

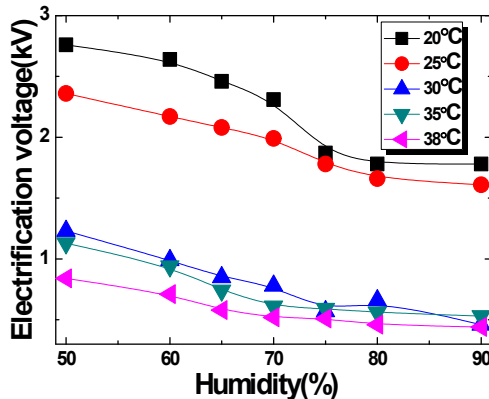


Fig. 8. Electrostatic electrification relaxation properties of temperature 20~38°C due to humidity in glass filament for insulation of 20.25 cm².

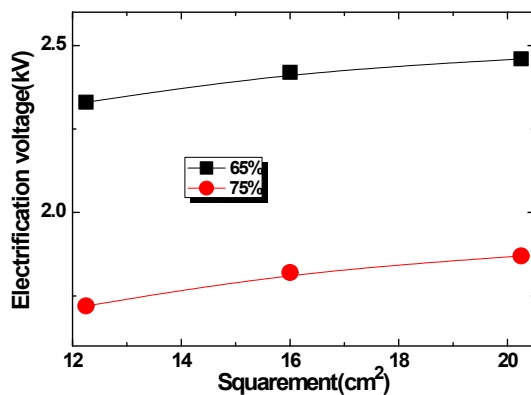


Fig. 9. Electrostatics electrification relaxation due to squarement of glass filament for insulation in effect of humidity.

그림 8은 습도 50~90%의 환경에서 온도가 5~38°C인 경우 두께 0.29 mm, 표면적이 20.25 cm²인 유리장섬유 시료의 정전기 대전완화 특성을 측정한 결과이다. 온도가 20°C인 경우 습도 50%일 때 2.76 kV, 60%일 때 2.64 kV, 70%일 때 2.31 kV까지 서서히 감소하다가 80%일 때 1.78 kV로 완만하게 감소 90%일 때 1.78 kV 정도로 감소했다. 온도가 20°C와 25°C인 경우 같은 경향을 나타내었다.

온도가 30~38°C인 경우 습도 50%일 때 1.23~0.84 kV 정도에서 서서히 감소하다가 75%일 때 약 0.57~0.51 kV 정도로 감소하다가 90%일 때 0.46~0.44 kV 정도로 감소했다. 온도가 38°C인 경우 습도가 50%일 때 0.84 kV, 60%일 때 0.71 kV, 70%일 때 0.52 kV, 감소하다가 90%일 때 0.44 kV 정도로 감소했다.

Table 2. Time to electrostatics electrification relaxation 1/2 due to squarement of glass filament for Insulation of from 10°C. to 30°C in humidity 65%.

squa. temp.	12.25(cm ²)	16(cm ²)	20.25(cm ²)
10	0.912	0.987	0.642
20	0.736	0.732	0.556
30	0.673	0.633	0.233

Table 3. Time to electrostatics electrification relaxation 1/2 due to squarement of glass filament for Insulation of from 50°C to 80°C in temperature 25°C.

squa. humi.	12.25(cm ²)	16(cm ²)	20.25(cm ²)
50	1.038	0.988	1.228
60	0.644	0.674	0.667
80	0.436	0.636	0.578

그림 6~8에서 습도가 증가할수록 대전완화 전압은 서서히 감소하며, 온도가 증가할수록 대전전압은 감소하였다.

그림 9는 유리장섬유 시료의 두께가 0.29 mm, 온도 20°C, 습도 65%일 경우 표면적이 12.25 cm²일 때 2.34 kV, 16 cm²일 때, 2.42 kV, 20.25 cm²일 때 2.46 kV로 증가하였다 같은 조건에서 습도 75%일 경우 표면적이 12.25 cm²일 때 1.72 kV, 16 cm²일 때, 1.82 kV, 20.25 cm²일 때 1.87 kV로 증가하였다. 이는 습도가 높아질수록 대전완화 전압은 낮아졌으며, 표면적이 높아질수록 대전완화 전압은 서서히 증가하였는데 이 결과로부터 표면적이 습도의 함량보다 더 영향을 미침을 알 수 있었다.

시료에 전하를 인가하여 전하의 분포가 정상상태에 도달한 후 전원을 차단했다. 이때의 시료의 전위를 10 kV라 하면 60초 후에는 누설전류에 의한 전하의 감소분만큼 시료 전위가 강하하며 그때의 전위 V[V]는 시료의 누설저항 $R_e[\Omega]$ 과 정전용량 C[F]에 의해 다음 식과 같이 된다.

$$V = V_0 e^{-\frac{t}{CR_e}} \quad (1)$$

표 2는 유리장섬유 시료의 두께가 0.29 mm, 습도 65%, 온도 10~30°C, 표면적이 12.25 cm², 16 cm², 20.25 cm²인 경우의 대전전압이 1/2로 될 때까지의 걸린 시간이다. 동일한 조건에서 온도가 증가할수록 대

대전전압이 1/2로 될 때까지의 걸린 시간은 감소하였다.

표 3은 0.29 mm, 온도 25°C, 습도 50%, 60%, 80%, 표면적이 12.25 cm², 16 cm², 20.25 cm²인 경우의 대전전압이 1/2로 될 때까지의 걸린 시간이다. 동일한 조건에서 습도가 증가할수록 대전전압이 1/2로 될 때까지의 걸린 시간은 감소하였다. 표 2, 표 3의 결과로부터 대전전압이 반감되는데 걸린 시간은 습도의 영향이라고 생각된다.

4. 결 론

1) 이 연구에서는 온도 5°C~38°C, 습도 50%~90%의 환경에서 두께 0.29 mm, 단면적이 12.25 cm², 16 cm², 20.25 cm²인 평직 형태(plain shape)의 절연용 유리 섬유에 정전기 대전완화 특성을 측정한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

2) 단면적이 12.25 cm², 16 cm², 20.25 cm²인 시료 모두 50~90% 습도 환경의 대전전압이 온도의 증가와 더불어 서서히 증가하다가 약 20°C를 피크로 서서히 감소함을 확인하였다.

3) 단면적이 12.25 cm², 16 cm², 20.25 cm²인 시료 모두 5~38°C의 온도 환경, 대전전압이 습도의 증가와 더불어 서서히 감소함을 확인하였다.

4) 온도가 20°C일 때, 습도가 65%, 75%인 경우 모두 표면적이 증가할수록 정전기의 대전전압은 증가함을 확인하였다.

5) 습도가 65%일 때, 표면적이 12.25 cm²인 경우 대전전압이 1/2로 완화되는 시간은 온도가 10°C 20°C, 30°C 증가하면 0.912초, 0.736초, 0.673초로 감소함을 확인하였다.

REFERENCES

- [1] J. Y. Nam, S. Ray, and M. Okamoto, *Macromolecules*, **36**, 7126 (2003).
[DOI: <http://dx.doi.org/10.1021/ma034623j>]
- [2] F. T. Wallenberger and P. A. Bingham, *Fiberglass and Glass Technology: Energy-Friendly Compositions and Applications* (Springer, USA, 2010)
- [3] S. Lee and S. Kim, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, **23**, 48 (2010).
- [4] S. Lee, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, **23**, 718 (2010).
- [5] R. G. Renninger, *J. Electrostatics*, **28**, 253 (1992).
[DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0304-3886\(92\)90076-6](http://dx.doi.org/10.1016/0304-3886(92)90076-6)]
- [6] D. L. Sin and T. L. Welsher, *J. Electrostatics*, **31**, 199 (1993).
[DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0304-3886\(93\)90009-V](http://dx.doi.org/10.1016/0304-3886(93)90009-V)]
- [7] M. C. Jon and T. L. Welsher, *J. Electrostatics*, **32**, 43 (1994).
[DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0304-3886\(94\)90028-0](http://dx.doi.org/10.1016/0304-3886(94)90028-0)]
- [8] W. D. Greason, *J. Electrostatics*, **28**, 199 (1992).
[DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0304-3886\(92\)90073-3](http://dx.doi.org/10.1016/0304-3886(92)90073-3)]