

백금 난연제에 의한 실리콘 고무의 정전기 대전 특성

이성일 

한국교통대학교 안전공학과

Electrostatic Electrification Properties of Silicone Rubber in the Presence of Pt Flame Retardant

Sung Ill Lee

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

(Received June 17, 2022; Revised July 19, 2022; Accepted July 21, 2022)

Abstract: In this study, SiO₂ 20 phr, ATH 70 phr, and platinum flame retardant were mixed with raw silicone rubber and -10 kV was applied to measure electrostatic charge attenuation voltage, surface resistance, and volume resistance, and the following conclusions were obtained. When the platinum flame retardant was 0 phr, the humidity 74.6% and the temperature was 21.8 °C, the potential was half-reduced to 0.63 kV, 0.57 kV, and 0.44 kV when the applied voltage was changed from -10 kV to -8 kV, and the time halved to 50% was increased to 2.40 seconds, 2.47 seconds, and 2.61 seconds. It was confirmed that as the platinum flame retardant increased from 0.1 to 0.3 phr, the potential half-reduced to 0.67 kV, 0.60 kV, and 0.595 kV decreased, and the charge potential attenuation time half-reduced to 50% decreased to 3.44 seconds, 1.78 seconds, and 1.60 seconds. It was confirmed that the surface resistance increased as the humidity decreased, and the volume resistance decreased as the platinum flame retardant increased.

Keywords: Platinum flame retardant, Electrostatic charge attenuation voltage, Volume resistance

1. 서론

실리콘 고무는 고중합도 선상의 직쇄상으로 5,000~10,000 규소와 산소 단위의 생고무인 주원료에 실리카계의 보강성 충전제, 각종 특성을 주기 위한 첨가제 등을 배합하여 베이스 컴파운드를 제조한 후 가류제를 첨가하여 가열경화하는 고무이다. 여기서 생고무란 약 40~70만 분자량이고, 끈적끈적한 1,000만 cp의 점도를 넘는 공중합체이다. 또한 생고무의 화학구조에 따라 메틸프로알킬,

메틸비닐, 메틸페닐비닐, 디메틸 실리콘 고무로 구분되고 있다. 실리콘 고무는 내열, 내한, 내유, 난연, 투명, 도전, 고강도의 특성을 지니며, 내열부품, 전기부품, 전선이나 케이블, 의료 및 식품류, 자동차부품에 사용되고 있다 [1-3].

물체의 종류, 불순물, 표면상태, 발생의 이력, 접촉의 압력과 면적, 분리속도 등 물체의 마찰, 박리 등에 의해 발생한다. 이때 발생하는 정전기 대전은 완화가 늦어져서 비 접지도체나 누설이 큰 저항의 도체, 저항률이 높은 유전체에 축적되어 일어나는 현상을 말한다. 절연물에서는 도전물질을 첨가, 대전방지제나 습도 등을 높여 접지선으로 전류를 누설시켜 안전성을 향상시키게 된다 [4-6].

원자력발전소의 격납시설의 전선이나 케이블, 항공우주 시설의 난연 및 절연 설비에 정전기에 의해 폭발 및 화재, 재산과 생명의 장애를 도래하게 된다. 그래서 고분자의 내

✉ Sung Ill Lee; silee@ut.ac.kr

Copyright ©2022 KIEEME. All rights reserved.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

부 및 표면에 얼마만큼의 저항이 발생하며, 정전기가 대전하여 얼마만큼의 전압이 발생하는지 분석하는 것이 중요하며, 아직 연구사례가 미흡한 상태이다 [6]. 이러한 재해를 해결하기 위해서 이 연구에서는 실리콘 생고무에 충전제, 가류제, 첨가제에 특성향상제 Pt를 0~2,000 ppm을 증가배합시켜 난연·절연용 고무시료를 두께 1 mm로 만든 시료를 1.0×4.5×4.5 mm로 절단하여 습도 74.9~75.2%, 온도 21.4~21.8°C의 범위에서 전압 7~10 kV, 시료와 고정용 프로브 높이와의 거리 18~20 mm일 때 10 kV를 인가하여 1,550 rpm으로 대전시켜서 정전기 대전특성을 측정하였으며, 대전특성에 미치는 영향을 검토하기 위하여 체적저항과 표면저항을 측정하여 비교 분석하였다.

2. 시료 및 실험

2.1 시료

이 연구에서는 표 1과 같이 배합한 실리콘 고무(PDMS) 시료를 130°C에서 10분간 성형한 후 압력이 150 kg/cm², 1.0 × 4.5 × 4.5 mm의 직육면체로 제작하였다.

2.2 측정

2.2.1 대전감쇠전압 측정

정전기 대전감쇠전압 측정 회로와 Static Honestmeter의 구조의 개략도(schematic diagram)를 그림 1에 나타내었으며, 정전기를 발생시켜 주는 초퍼(chopper)형의

Table 1. Mixing ratio of silicone rubber sheets (Pt).

Compound	Specimen No.			
	1	2	3	
Polydimethyl siloxane	100	100	100	Main material
Silica(SiO ₂)	20	20	20	Reinforcing agent
ATH	70	70	70	Coupling agent
Pt complex	0	0.1	0.2	Crosslinking agent

Curing conditions : 130°C × 10 minite
 ATH : Aluminum tryhydrate
 phr: Parts per Hundred Resin

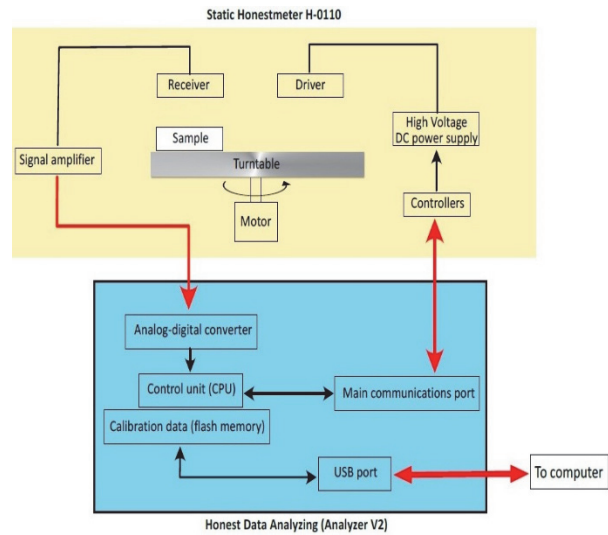


Fig. 1. Measure schematic diagram of electrostatic Honestmeter structure & Honest analyzer.

정·부의 코로나 방전식과, 0 ~ 10 kV까지 인가할 수 있는 가변형의 정전기 측정 장치인 Static Honestmeter(일본: Shishido Co, Type H-0110), 분석 장치인 Honest Analyzer(일본: Shishido Co, Type V2) 및 컴퓨터 분석 장치를 사용하였다.

백금난연제를 0.1~0.3 phr 배합한시료를 턴테이블(turn table)에 시료를 장착하여 고정용 프로브 높이와의 거리를 18~20 mm, 전압 7~10 kV를 인가하여 1,550 rpm의 속도로 회전시켰을 때 발생하는 대전전압을 온도 20~25°C, 습도 60~75%의 범위에서 직류 고전압을 코로나 방전하여 검출된 값이 포화치(saturation level)에 도달한 후 고전압을 차단한 후에 1분 동안 시료 표면상의 전위감쇠 상태를 자동으로 측정하였다.

2.2.2 표면·체적저항의 측정

표면저항·체적저항 측정기(tri function tester, STATIRON DZ4, 일본: Shishido Co)를 사용하여 온도 및 상대습도와 표면저항과 체적저항을 측정하였다.

3. 결과 및 검토

3.1 대전전하감쇠 특성

3.1.1 전압의존성

그림 2~4는 실리콘 생고무 100 phr에 폴리디메틸실록

산(SiO_2)을 20 phr, 수산화알루미늄(ATH) 70 phr, 백금계 난연제를 0 phr한 시료를 제작하였다. 습도 74.6%, 온도 21.8°C 의 환경에서 턴테이블(turn table)에 시료를 장착하고 수신기(receiver)와의 거리가 20 mm, 회전속도는 1,550 rpm, 직류 $-10 \sim -8$ kV의 고전압을 시료에 인가했을 때 대전전하감쇠 전압을 측정했다.

그림 2는 백금계 난연제를 0 phr 배합한 시료를 턴테이블에 놓고 회전시키면서 -10 kV를 인가하면서 시료의 전위가 상승하기 시작하여 시료의 인가와 누설이 평행하는 포화치인 최대정전전압 -1.26 kV에 도달한다. 10초 후 -10 kV를 60 sec 동안 인가하였을 때 시료의 반감시간이 2.40초가 되었을 때 50%로 반감되는 전위는 0.63 kV의 전위감쇠상태를 연속적으로 나타내었다.

그림 3은 그림 2와 같은 조건에서 -9 kV를 인가하여 턴테이블을 회전시키면 시료의 인가와 누설이 평행하는 포화치(saturation level)인 최대정전전압 -1.15 kV에

도달하였다. 10초 후 -9 kV를 60초동안 인가하였을 때 시료의 반감시간이 2.47초가 되었을 때 50%로 반감되는 전위는 0.57 kV의 전위감쇠상태를 연속적으로 나타내었다.

그림 4는 그림 2와 같은 조건에서 -8 kV를 인가하면 턴테이블의 회전에 따라 시료의 인가와 누설이 평행하는 포화치인 최대정전전압 -0.89 kV에 도달하였다. 10초 후 -8 kV를 60초동안 인가하였을 때 반감시간은 2.61초가 되었을 때 50%로 반감되는 전위는 0.44 kV의 전위감쇠상태를 연속적으로 나타내었다.

그림 2~4의 결과로부터 백금 난연제가 0 phr 일 때 전압이 직류 -10 kV에서 -8 kV를 가할수록 최대정전전압은 -1.26 , -1.15 , -0.89 kV로 감소하였으며, 50%로 반감되는 전위는 0.63 , 0.57 , 0.44 kV로 감소하였으며, 50%로 반감되는 시간은 2.40, 2.47, 2.61초로 증가됨을 확인했다.

백금 난연제를 0.1 phr 배합한 시료를 습도 74.9%, 온도 21.8°C 에서 직류 -10 kV의 고전압을 턴테이블의 시료에 인가하여 누설이 평행하는 포화치인 최대정전전압이 1.34 kV에 도달하였다. 10초 후 -10 kV를 60초 동안 인가하였을 때 시료의 반감시간이 3.44초가 되었을 때 50%로 반감되는 전위는 0.67 kV의 전위감쇠상태를 연속적으로 나타내었다. 백금계 난연제를 0.2 phr 배합한 시료를 습도 75.0%, 온도 21.4°C 에서 직류 -10 kV의 고전압을 인가했을 때 누설이 평행하는 포화치는 최대정전전압이 -1.20 kV에 도달한 10초 후 -10 kV를 60초동안 인가하였을 때 시료의 반감시간이 1.78초가 되었을 때 50%로 반감되는 전위는 0.60 kV의 전위감쇠상태를 연속적으로 나타내었다.

백금계 난연제를 0.3 phr 배합한 시료를 습도 75.2%, 온도 21.6°C 에서 직류 -10 kV의 고전압을 시료에 인가했을 때 시료의 인가와 누설이 평행하는 포화치는 최대정전전압이

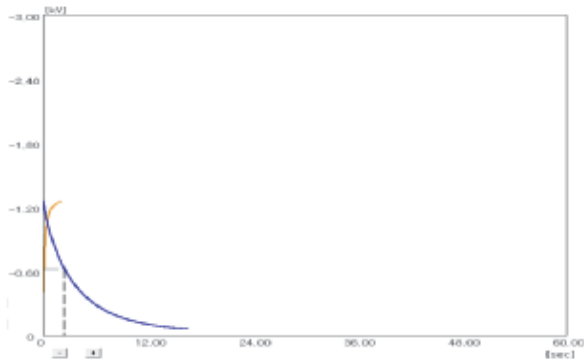


Fig. 2. -10 kV voltage dependence on electrification attenuation-time of the silicone rubber specimen mixed Pt complex of 0 phr.

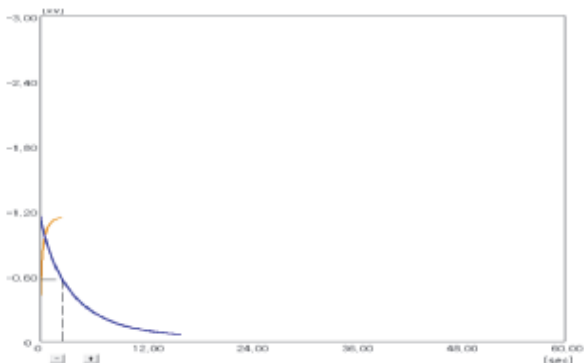


Fig. 3. -9 kV voltage dependence on electrification attenuation-time of the silicone rubber specimen mixed Pt complex of 0 phr.

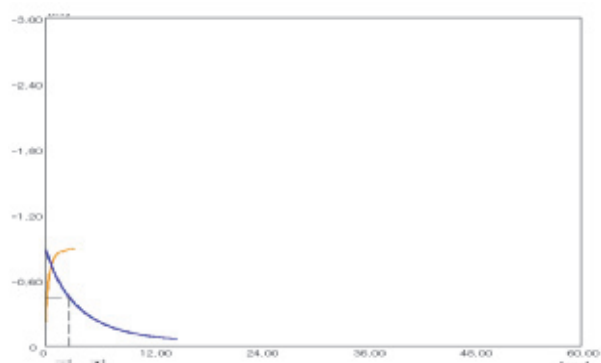


Fig. 4. -8 kV voltage dependence on electrification attenuation-time of the silicone rubber specimen mixed Pt complex of 0 phr.

-1.19 kV에 도달한 10초 후 -10 kV를 60초 동안 인가하였을 때 대전반감시간이 1.60초되었을 때 50%로 반감되는 전위는 0.60 kV의 전위감쇠상태를 연속적으로 나타내었다.

백금 난연제 0.1에서 0.3 phr로 증가 배합할수록 전압 -10 kV를 인가했을 때 정전기 대전전압이 -1.34, -1.20, -1.19 kV로 감소하였으며, 50%로 반감되는 전위는 0.67, 0.60, 0.595 kV로 감소하였으며, 50%로 반감되는 대전전위감쇠 시간은 3.44, 1.78, 1.60초로 감소됨을 확인했다. 여기서 50%로 반감되는 전위와 시간을 백금난연제가 영향이라 생각한다.

3.2 체적 표면저항 특성

표면저항 특성은 실리콘 고무 시편 1 × 300 × 210 mm 위에 5lb weight sits on the floor 전극을 위치시키고 시료 표면의 전극과 전극의 간격은 230 mm로 했다. 표면저항.체적저항 측정기로 백금계 난연제 0.0~0.2 phr을 배합한 시료를 온도 24.3°C, 습도 53.5%인 환경에서 표면저항의 측정결과를 표 2에 나타내었다.

백금계 난연제를 0.0에서 0.2 phr로 증가배합한 시료에서 온도가 24.3°C로 일정할 경우 백금 함량이 높아짐보다 습도가 73.5%에서 73.0% 낮아질수록 표면저항값은 $8.94 \times 10^{10} \Omega$ 에서 $1.05 \times 10^{11} \Omega$ 로 커짐을 확인했는데 이는 미량의 백금 배합 시료보다 습도가 표면저항에 더 영향을 미친다고 생각된다.

Table 2. Surface resistance of silicone rubber specimen due to Pt complex change (phr).

Pt ratio	No	Temp. (°C)	Humidi. (%)	Ω /sq. (Ω)
Pt 0.0		24.3	73.5	8.94×10^{10}
Pt 0.1		24.3	73.2	1.02×10^{11}
Pt 0.2		24.3	73.0	1.05×10^{11}

Table 3. Volume resistance of silicone rubber specimen due to filler change (phr).

Pt ratio	No	Temp. (°C)	Humidi. (%)	Vol. rest. (Ω)
Pt 0.0		24.0	73.3	1.36×10^{10}
Pt 0.1		24.0	73.2	1.31×10^{10}
Pt 0.2		24.0	73.1	1.06×10^{10}

체적저항의 특성은 1 × 210 × 380 mm인 도전성 금속판 위에 1 × 70 × 70 mm의 실리콘 고무 시편을 올려놓고 5lb weight sits on the floor 전극 하나를 도전성 금속판 위에, 또 다른 5lb weight sits on the floor 전극 하나를 시료 위에 위치시키고 시료의 체적저항을 표면저항.체적저항 측정기로 백금계 난연제 0.0~0.2 phr을 배합한 시료를 온도가 24.3°C, 습도 73.1~73.3%인 환경에서 체적저항의 측정결과를 표 3에 나타내었다.

온도가 24.0°C로 일정할 경우 습도가 73.1~73.3%, 백금계 난연제 0.0 phr에서 0.2 phr로 증가 배합할수록 체적저항값은 $1.36 \times 10^{10} \Omega$, $1.36 \times 10^{10} \Omega$, $1.31 \times 10^{10} \Omega$ 으로 증가하였으므로 습도보다 백금 난연제의 영향을 더 받았다고 생각된다.

4. 결론

이 연구에서는, 실리콘 생고무에 SiO₂ 20 phr, ATH 70 phr, 백금 난연제를 0~0.3 phr 배합하여 -10 kV를 인가하여 정전기 대전전하 감쇠전압, 표면저항과 체적저항을 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 백금 난연제가 0 phr, 74.6%, 온도 21.8°C 일 때 -10 kV에서 -8 kV를 가할수록 50%로 반감되는 전위는 0.63, 0.57, 0.44 kV로 감소, 50%로 반감되는 시간은 2.40, 2.47, 2.61초로 증가하였다.
- 2) 백금 난연제가 0.1에서 0.3 phr로 증가할 수록 50%로 반감되는 전위는 0.67, 0.60, 0.595 kV로 감소하였으며, 50%로 반감되는 대전전위감쇠 시간은 3.44, 1.78, 1.60초로 감소됨을 확인했다.
- 3) 표면저항은 습도가 낮아질 수록 커졌으며, 체적저항은 백금 난연제가 증가할 수록 작아짐을 확인하였다.

ORCID

Sung Ill Lee

<https://orcid.org/0000-0002-0814-6958>

REFERENCES

- [1] S. Kumagal and N. Yoshimura, *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, 7, 424 (2000). [DOI: <https://doi.org/10.1109/94.848931>]
- [2] W. Lynchch, D. Greason, and S. Bulach, *IEEE Trans. Ind. Appl.*, 33, 286 (1997).
- [3] J. M. Zeigler and F. W. Gordon Fearon, *Silicone-Based Polymer Science: A Comprehensive Resource* (Oxford University Press, Washington, 1990) p. 47.

- [4] K. Lee, J. Yoo, J. Hong, S. Lee, Y. Kim, and H. Jeong, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, **20**, 25 (2007).
- [5] J. K. Park, W. S. Lee, and J. H. Han, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, **14**, 397 (2001).
- [6] J. Montesinos, R. S. Gorur, L. Zimmer, and N. F. Hubele, *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, **7**, 408 (2000). [DOI: <https://doi.org/10.1109/94.848927>]