

## 소재의 변화에 따른 실리콘 고무 폴리머 애자의 특성 연구

박효열, 강동필, 안명상, 명인혜

한국전기연구원

### Characteristics of Silicone Rubber Polymer Insulator According to Variation of Materials

Hoy-Yul Park, Dong-Pil Kang, Myeong-Sang Ahn, and In-Hae Myung

Korea Electrotechnology Research Institute

#### Abstract

옥외 절연물은 환경에 의한 오염과 수분에 의한 젖음 현상이 항상 발생하므로 폴리머 애자의 하우징 재료의 전기방전에 대한 열화내성과 우수한 발수성의 장기간 유지특성은 제품의 장기성능에 있어서 매우 중요한 물성이다. 실리콘 고무는 내열성, 내후성, 산화안정성, 발수성 및 내오염성 등 절연소재로서 우수한 특성을 가지고 있지만 하우징 표면에서의 방전이 발생될 때 옥외절연물에서의 성능은 실리콘 고무를 배합처방에 따라서 많은 차이가 나고 있다. 본 연구에서는 내트래킹 agent인 ATH의 첨가량의 변화에 따른 재료의 특성을 조사하고, 그 특성이 실리콘 고무 폴리머 애자의 특성에 미치는 영향을 조사하였다. ATH의 첨가량에 따라서 내아크성, 내트래킹성 및 표면 발수성을 조사하였고, 폴리머 애자를 내트래킹 휠 시험 및 선행오손 후 설파전압을 측정하였다.

**Key Words** : 실리콘 고무, 폴리머 애자, 내아크성, 내트래킹성, 발수성, 설파전압

#### 1. 서 론

현장에서의 우수한 특성이 입증되면서 폴리머 애자의 보급이 확대되고 있지만 고무소재의 종류 및 처방에 따라서 그 성능의 차이는 크게 나타나고 있어 제품의 장기신뢰성에 대한 불안감은 아직도 상존하고 있다. 이들은 전기방전에 의한 화학적 내구성에 있어서 세라믹 소재에 비하여 취약한 특성을 나타내고 있지만 발수성이 우수할 뿐만 아니라 방전으로 발수성을 잃거나 친수성의 물질로 표면이 오손되어 발수성이 저하되었을 때에도 발수성을 회복시킬 수 있는 동적 특성을 보이는 것으로 알려져 있다. 이는 실리콘 분자사슬의 유연성과 저분자성 오일의 migration에 기인하고 있다[1-7].

고무원료 속에 포함된 오일은 고무가 성형되는 동안 표면으로 나와 이형제 역할도 하고 가교된 후에도 공기와 접하고 있어 표면에너지가 낮은 표

면 쪽으로 스며 나올 수 있어 표면의 절연성능이 중요한 애자에 있어서 상당한 의미를 갖는다. 표면 에너지가 17-18 dyne/cm 정도로 매우 낮으며 표면에 오염된 물질도 쉽게 적시는 특징을 가지고 있어 애자에 있어서 매우 중요하다.

실리콘 고무를 원료인 gum은 실록산 고분자로 구성되어 있지만 분자량 분포가 매우 크며 오일에 가까운 저분자도 상당히 포함되어 있다. 실리콘 gum에 포함되어 있는 저분자성 오일은 실제 폴리머 애자가 현장에 설치되어 사용 중일 때 표면으로 매우 낮은 속도로 흘러나와 폴리머 애자의 발수성을 높여 주는 역할을 한다. 열화된 표면은 물론 오손된 표면에서도 발수성이 장기간 잘 유지되는 것은 이러한 저분자성 오일이 내부로부터 확산되어 열화된 표면이나 오염물질을 덮는 encapsulation에 기인하는 것이다.

표면에서 방전이 발생될 때 고무소재의 열화를

막기 위하여 다량의 ATH가 첨가되고 있는데 ATH의 첨가량, 표면처리상태, 입도 등에 의하여 실리콘 고무의 발수성과 회복특성은 다르게 나타날 수 있다. 이것은 실리콘 고무의 발수성이 ATH에 크게 좌우된다는 것을 알 수 있다. 또한 무기보강재의 첨가량이 많아 성형 작업성의 만족을 위하여 process oil의 사용이 필요하지만 사용하는 오일의 종류와 양에 따라 표면 발수성이나 방전열화에 대한 저항성은 매우 다르게 나타난다.

본 논문에서는 내트래킹 agent인 ATH의 첨가량의 변화에 따른 재료의 특성을 조사하고, 그 특성이 실리콘 고무 폴리머 애자의 특성에 미치는 영향을 조사하였다. ATH의 첨가량에 따라서 내아크성, 내트래킹성 및 표면 발수성을 조사하였고, 폴리머 애자를 내트래킹 휠 시험 및 선행오손 후 섬락전압을 측정하였다.

## 2. 실험

### 2.1 시편제작

실험에 사용된 실리콘 고무 컴파운드의 구성성분을 표 1에 나타내었다. 컴파운드는 3 종류이며 ATH의 첨가량을 변화시켰다. base gum은 일본의 도시바 실리콘, ATH는 Huber 제품을 사용하였다. kneader를 사용하여 컴파운딩 하였으며, 소재평가를 위한 sheet 시편은 프레스를 사용하여 제작하였다.

표 1. 실리콘 고무 컴파운드의 구성 성분

Ingredients(phr) \ Name	A	B	C
Base Gum	100	100	100
ATH Content	140	155	170
PDMS(50 cps)	1	1	1
OH-t-PDMS(70 cps)	3	3	3
MeO-t-PDMS(10 cps)	2	2	2
MeO-t-PMPS(70 cps)	5	5	5

### 2.2 내아크성 평가

내아크성 시험은 ASTM D495에 의하여 측정하였고, 2차 회로 개방시의 전극전압은 12,500 V를 표준으로 하고 있다. 한 단계를 1분으로 하며, 흐르는 전류의 on-off에 따라 7단계(420초 동안)로

이루어진다. 사용되는 전극은 텅스텐이며, 직경이 2.4 mm, 전극 사이의 거리는 6.35 mm이고 두 전극의 표면과의 각도는 30°이다. 측정용 전극의 형태 및 전원 회로를 그림 1에 나타내었다.

일반적으로 내아크성은 아크를 인가한 후 재료에서 탄화되어 도전로가 형성되는 시간을 측정하여 기준으로 삼는다. 그러나 실리콘 고무는 탄화가 잘 되지 않으며 분해가 되어도 절연성이 우수한 실리카로 변하기 때문에 절연성의 저하는 잘 나타나지 않는다. 따라서 본 실험에서는 420초 동안 아크를 인가한 후 아크 인가 전후의 무게 손실로서 내아크성을 측정하였다.

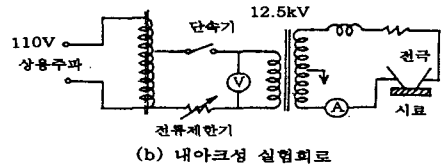
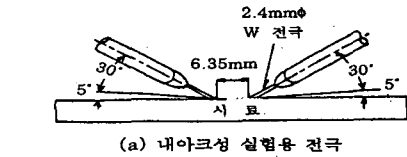


그림 1. 내아크 측정용 전극 배치 및 회로

### 2.3 내트래킹성 평가

IEC 60587의 규정에 따라 내트래킹성을 측정하였으며 AC 4.5 kV 전압을 인가하였다.

비이온성 wetting agent가 첨가된 0.2 g/l의 암모늄 크로라이드 수용액을 전해액으로 사용하였으며 전도도는 2,400  $\mu\text{S}$ 이었고 전해액의 유입속도는 0.6 ml/min이었다. 상부전극과 하부전극의 거리는  $50 \pm 0.5$  mm이며, 수평으로부터 45°로 유지하였다. 트래킹과피는 회로에 60 mA 이상의 전류가 2초간 연속적으로 흐를 때까지의 시간 혹은 도전로(conducting path)가 하부전극으로부터 25 mm의 표시에 도달할 때까지의 시간으로 평가하게 되어 있다. 그러나 실리콘 고무의 경우 트래킹 특성이 우수하여 규정에 의한 트래킹 과피는 실리콘 고무에서 거의 발생되지 않으므로 본 연구에서는 4.5 kV의 전압을 6시간 동안 인가 후 발생한 무게손실

을 측정하였다.

### 2.4 코로나 방전열화 특성 평가

본 실험에서는 실리콘 고무의 발수성 회복특성 (recovery of hydrophobicity)을 평가하기 위하여 그 표면 열화 수단으로서 코로나 discharge를 이용하였다.

코로나방전 처리장치(Tantec GmbH, Denmark)는 10 cm의 진폭을 가지고 초당 1회씩 scan(왕복운동)을 하도록 제작되어 있으며, 25 kHz, 10 kV의 전원을 사용하였다. 세라믹 롤 전극과 시편 표면과의 거리는 2 mm로서 모든 시편에 동일하게 적용하였다. 실험에 사용한 판상시편의 크기는  $100 \times 100 \times 2 \text{ mm}^3$ 이었으며 각 시편별로 100회 코로나 방전열화실험을 하였다.

코로나 방전 처리된 실리콘 고무표면의 열화에 따른 발수성 감소와 방치시간에 따른 발수성 회복특성을 조사하기 위하여 Surface and Electro-Optics사의 Dynamic Contact Angle Meter를 사용하여 접촉각을 측정하였다. 적가한 물의 양은  $10 \mu\text{l}$ 이었으며 적가 10초 후에 값을 측정하였다.

### 2.5 트래킹 휠 열화 평가

폴리머 애자를 CEA LWIWG-01 5.6(Tracking and erosion test)의 method 2에 의하여 29 kV의 전압을 인가하여 30,000 싸이클의 열화실험을 하였다.

### 2.6 오손선행 열화 평가

고무소재의 처방에 따른 열화상태의 변화를 보기 위하여 트래킹 휠에 의하여 열화된 폴리머 애자를 IEC 60507의 오손선행법(solid layer method)에 의하여 미리 오손 시킨 후 섬락전압을 측정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 내아크성

420초 동안 아크를 인가한 후 아크 인가 전후의 무게 손실의 차를 측정하여 그림 2에 나타내었다.

내아크성은 ATH의 함량이 증가할수록 감소하는 경향을 나타내었다. 일정량 이상의 ATH가 첨가되면 서로 접착력도 떨어지게 되어 아크에 의하여 손실이 발생될 때 ATH의 비중이 실리콘 고무보다

크므로 더 큰 무게손실이 발생된 것으로 보여진다.

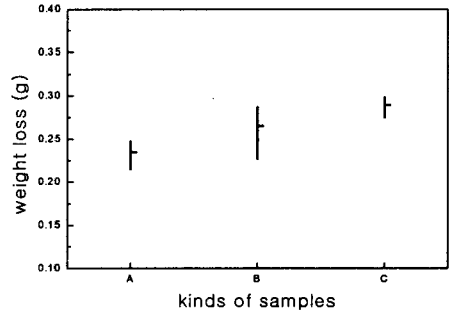


그림 2. 시편의 종류에 따른 내아크성

### 3.2 내트래킹성

4.5 kV의 전압을 6시간 동안 인가한 후 전압 인가 전후의 무게 손실의 차이를 측정하여 그림 3에 나타내었다.

내트래킹성은 ATH의 함량이 증가할수록 증가하는 경향을 나타내었다. ATH가 anti-tracking agent이므로 첨가량이 증가할수록 내트래킹성도 증가함을 알 수 있다.

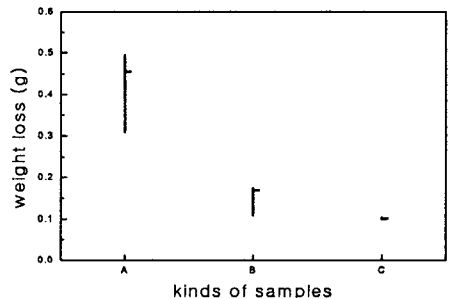


그림 3. 시편의 종류에 따른 내트래킹성

### 3.3 발수성 회복특성

코로나 표면처리 후 시간이 경과함에 따른 발수성의 회복특성을 접촉각의 측정을 통하여 그림 4에 나타내었다.

코로나 처리 후 3,000 분 후에는 거의 초기 접촉각까지 회복됨을 나타내었고 ATH의 첨가량이 적을수록 접촉각의 회복속도가 빠름을 나타내었다.

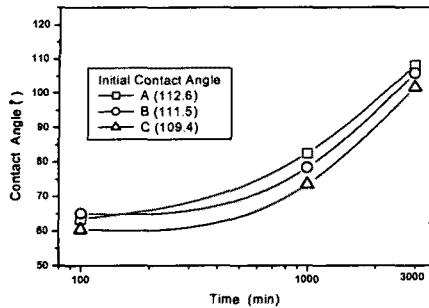


그림 4. 시편의 종류에 따른 접촉각 회복특성

### 3.4 오손섬락전압

트래킹 휠 시험에 의하여 폴리머 애자를 열화시킨 후 오손선행법에 의하여 선행오손처리 후 섬락전압을 측정된 결과를 그림 5에 나타내었다.

오손섬락전압은 ATH가 적게 첨가된 A 시료에서 가장 낮게 나타났고 ATH가 많이 첨가된 B 및 C 시료에서는 A 시료에 비해서는 높지만 서로 비슷하게 나타났다. 이는 ATH가 적게 첨가된 A 시료에서 트래킹 휠 열화에서 상대적으로 더 많은 열화가 생긴 것으로 추정된다.

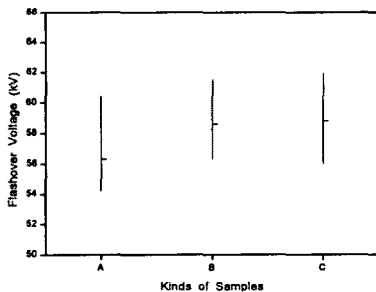


그림 5. 시편의 종류에 따른 오손섬락전압

## 4. 결 론

실리콘 고무 소재의 ATH 함량은 증가할수록 내트래킹성은 향상되지만 내아크성과 발수성 회복특성은 약간 감소하는 경향을 나타내었다.

트래킹 휠 시험에 의하여 폴리머 애자를 열화시킨 후 오손선행법에 의하여 선행오손처리 후 섬락전압을 측정된 결과 오손섬락전압은 ATH가 적게 첨가된 A 시료에서 가장 낮게 나타났고 ATH가 많이 첨가된 B 및 C 시료에서는 A 시료에 비해서는 높지만 서로 비슷하게 나타났다.

내트래킹성, 내아크성, 발수성 및 오손섬락전압이 ATH의 함량에 따라서 서로 다르게 나타나므로 ATH 함량의 최적화가 필요하다.

## 참고 문헌

- [1] D. H. Han, H. Y. Park, D. P. Kang, H. G. Cho, "Effects of Added Silicone Oils on the Surface Characteristics of SIR", IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 9, No. 2, p. 323, 2002
- [2] 한동희, 조한구, 강동필, 민경은, "코로나 방전에 따른 실리콘 고무의 표면특성", 전기전자재료학회논문지, 15권, 2호, p. 133, 2002
- [3] Y. Hirano, T. Inohara, M. Toyoda, H. Murase, and M. Kosakada, "Accelerated weatherability of shed materials for composite insulators", IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 8, No. 1, p. 97, 2001.
- [4] D. H. Han, H. Y. Park, D. P. Kang, and K. E. Min, "Tracking and erosion resistance and hydrophobicity of HTV silicone rubber for outdoor insulators", Proceedings of 6th ICPADM, p. 354, 2000.
- [5] H. Deng and R. Hackam, "Low molecular weight silicone fluid in RTV silicone rubber coatings", IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 5, No. 1, p. 84, 1998.
- [6] J. W. Chang and R. S. Gorur, "Surface recovery of silicone rubber used for HV outdoor insulation", IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 1, No. 6, p. 1039, 1994.
- [7] H. Homma, T. Kuroyagi, and K. Izumi, "Diffusion of low molecular weight siloxane from bulk to surface", IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 6, No. 3, p. 370, 1999