

실리콘 고무 폴리머 애자의 형상의 변화에 따른 특성 연구

강동필, 박효열, 안명상, 명인혜

한국전기연구원

Characteristics of Silicone Rubber Polymer Insulator According to Variation of Shapes

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

Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract

폴리머 애자의 장기성능예측을 위하여 많은 수단과 측정방법이 연구되어 왔다. 그러나 폴리머 애자에 있어서 성능저하는 대부분 하우징 재료의 열화에 기인되고 있어 예측 및 진단목적의 연구가 하우징 재료의 가속열화에 초점이 맞추어져 있다. 폴리머 애자는 초고압 절연성능과 기계적 강도가 우수하여 송배전 설비에 많이 사용되고 있지만 애자의 형상과 장기성능과의 관계가 정량적으로 규명되어 있지 않아 개발하는 회사는 물론 사용하는 전력회사가 함께 어려움을 가지고 있다. 폴리머 애자의 형상이 폴리머 애자의 장기 성능에 어떻게 영향을 주는 지를 비교분석하고 평가하는 연구가 필요한 시점이다. 본 연구에서는 규칙 교대 갓, 불규칙 교대 갓의 폴리머 애자를 조립방식으로 제작하고, 규칙 교대 갓의 폴리머 애자를 일체형 진공사출 방식으로 제작을 하여 건조섬락전압, 주수섬락전압, 오손섬락전압을 측정하였다. 오손섬락전압은 주수섬락에 비하여 60 % 정도 감소함을 보였고 불규칙한 교대 갓의 폴리머 애자의 경우 특성의 편차가 크게 나타났다. 폴리머 애자의 경우 소재의 우수한 특성도 중요하지만 형상적인 인자도 중요한 설계요소이므로 최적화 방안이 요구된다.

Key Words : 실리콘 고무, 폴리머 애자, 형상설계, 섬락전압

1. 서 론

송배전용 설비에 사용되는 옥외 절연물로는 자기재나 유리가 주로 사용되어 왔지만 최근 신소재의 발달로 가볍고 절연성능이 우수한 폴리머 애자가 보편화 되기 시작하였다. 폴리머 애자는 고분자 소재를 이용한 대형 절연물의 제조 기술이 발달되어 성능이 우수하고, 생산 원가면에서도 자기재 보다 유리하다. 더욱이 국토가 좁고 해안에 접해있기 때문에 송배전 설비의 시설환경이 좋지 않고, 선진 사회화 되면서 인건비 상승으로 인하여 취급이 용이하고 경량인 폴리머 애자의 장점이 부각되고 있다. 폴리머 애자의 하우징 재료가 자기재 소재에 비하여 내열성과 내후성이 부족한 것은 사실이지만 절연물이 오염과 습윤된 환경하에서 폴리머 애

자의 절연성능은 훨씬 우수한 것으로 밝혀지고 있다.

폴리머 애자는 기계적 강도를 유지하기 위한 FRP core와 표면 절연성능 유지를 위한 하우징 재료로 구성되어 있다. 산업의 대규모화와 도시의 과밀화로 매연과 분진에 의한 절연물의 오손이 증가하고 있으며, 전력부하가 밀집된 도시의 공단지역은 대부분이 염해가 있는 해안지역에 위치하고 있기 때문에 표면방전에 의한 외피 소재의 열화내성이 중요한 인자로 부각되고 있다. 폴리머 애자용 하우징 소재는 트래킹성(재료침식), 내광성, 산화안정성 등의 성능이 기본적으로 우수해야 하고, 오염으로 인해 재료열화가 가속되는 환경에서도 장기간 그 성능을 유지하여야 한다. 애자성능은 오손조건에서 하우징 재료성능에 크게 의존하는데 실리

콘 고무가 좋은 성능을 나타내고 있다.

실리콘 고무가 내열성, 내후성, 내광성, 산화안정성, 발수성, 내오염성 등 절연소재로서 우수한 특성을 가지고 있지만 하우징 표면에서 방전발생이 불가피한 옥외 절연물에서 장기적인 성능은 실리콘 고무의 배합처방에 따라 상당히 차이가 나는 것으로 밝혀지고 있다. 고무소재의 발달은 첨가제의 발달에 기인하고 있는데 폴리머 애자용 하우징용 실리콘 고무가 장기절연성능을 유지하기 위해서는 트래킹 방지제인 ATH와 발수성과 성형성에 영향을 주는 실리콘 오일의 최적 처방을 통해 우수한 장기성능을 가진 고무소재의 개발이 필수적이며 많은 연구가 진행 중에 있다.

실리콘 고무가 내트래킹성 및 내광성 등은 자기재 소재에 비하여 취약한 특성을 나타내고 있지만 주 사슬이 무기결합적 특성을 가지고 있어 내열성과 내후성 그리고 발수성과 발수성 회복특성이 우수하여 옥외절연물 재료로 현재 그 사용이 증대되고 있다. 특히, 옥외절연물에서 요구되는 내오염성과 내트래킹성이 우수하며, 방전으로 발수성을 잃거나 친수성의 물질로 표면이 오손되어 발수성이 저하되었을 경우에도 1-2시간 정도에 거의 초기 발수성까지 회복되는 동적 특성을 보이고 있다. 이는 실리콘 분자사슬의 유연성과 저분자성 오일의 migration에 기인하고 있다[1-11].

고무원료 속에 포함된 오일은 고무가 성형되는 동안 표면으로 나와 이형제 역할도 하고 가교된 후에도 공기와 접하고 있어 표면에너지가 낮은 표면 쪽으로 스며 나올 수 있어 표면의 절연성능이 중요한 애자에 있어서 상당한 의미를 갖는다. 표면에너지가 17-18 dyne/cm 정도로 매우 낮으며 표면에 오염된 물질도 쉽게 적시는 특징을 가지고 있어 애자에 있어서 매우 중요하다.

실리콘 고무의 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 서서히 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 덮는encapsulation에 기인하

는 것이다.

폴리머 애자의 장기성능 예측을 위하여 많은 수단과 측정방법이 연구되어 왔다 그러나 폴리머 애자에 있어서 성능저하는 대부분 하우징 재료의 열화에 기인하고 있어 예측 및 진단목적의 연구가 하우징 재료의 가속열화에 초점이 맞추어져 있다. 폴리머 애자는 초고압 절연성능과 기계적 강도가 우수하여 많은 사용이 되고 있지만 애자의 형상과 장기성능과의 관계가 정량적으로 규명되어 있지 않아 개발하는 회사는 물론 사용하는 전력회사가 함께 어려움을 가지고 있어 폴리머 애자의 형상이 장기성능에 미치는 영향을 비교분석하고 평가하는 연구가 필요한 시점이다.

본 연구에서는 폴리머 애자의 형상이 제품의 장기성능에 미치는 영향을 조사하기 위하여 규칙 교대 갓, 불규칙 교대 갓의 폴리머 애자를 조립방식으로 제작하고, 규칙 교대 갓의 폴리머 애자를 일체형 진공사출 방식으로 제작을 하여 건조섬락전압, 주수섬락전압, 오손섬락전압을 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 하였다.

큰 갓과 작은 갓이 규칙적으로 배열된 규칙 교대 갓(8-1), 큰 갓은 일정하고 작은 갓의 높이가 낮은 것 2 개, 높은 것 4개로 구성된 불규칙 교대 갓(8-2), 8-1과 형상은 같지만 성형방법으로서 일체형으로 진공 사출한 성형품(8-3)으로 3 가지의 모델제품을 제작하였다. 8-1과 8-2는 큰 갓과 작은 갓을 진공성형방식으로 성형한 후 부분품들을 조립하여 제작하였다. 3가지 시료 모두 애자의 길이 즉, 아크거리는 같고 8-1과 8-3은 형상이 같으므로 누설거리도 같다. 8-2는 8-1과 8-3에 비하여 작은 갓 4개의 높이가 더 높으므로 누설거리가 8-1과 8-3에 비하여 누설거리가 좀 더 길다. 3가지의 모델 제품을 그림 1에 나타내었다.

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

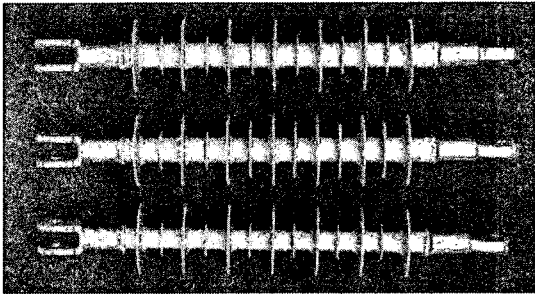


그림 1. 폴리머 애자의 형상별 시료 사진

2.2 전기적 특성 평가

모델제품 3가지의 폴리머 애자의 전기적 특성평가는 ANSI C29.2의 8.2.1 (Low-frequency dry flashover test)에 의하여 상용주파건조섬락전압을, ANSI C29.2의 8.2.2 (Low-frequency wet flashover test)에 의하여 상용주파주수섬락전압을, 그리고 IEC 60507의 오손선행법 (solid layer method)에 의하여 선행오손섬락전압을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 상용주파건조섬락전압

그림 2는 상용주파 건조섬락전압 측정의 결과로서 3종의 애자가 arc distance가 같기 때문에 건조섬락의 평균값은 거의 같은 것을 알 수 있다. 다만 일체형 진공사출 성형품인 8-3 시료의 섬락전압이 다소 높으면서 편차가 작은 것을 알 수 있다.

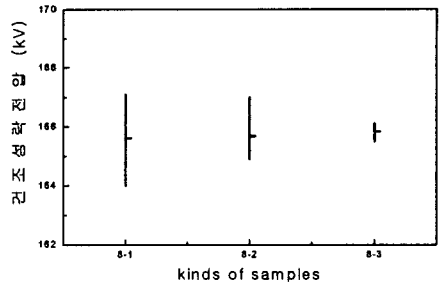


그림 2. 상용주파 건조섬락전압

3.2 상용주파주수섬락전압

그림 3은 상용주파 주수섬락전압 측정의 결과로서 arc distance 대비 누설거리가 큰 8-2 시료의 주수섬락전압은 오히려 낮게 나타났다. 일체형의 진공 사출 성형품인 8-3 시료의 특성이 다소 우수한 것을 알 수 있다.

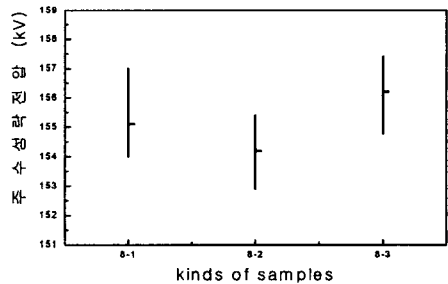


그림 3. 상용주파 주수섬락전압

3.3 선행오손섬락전압

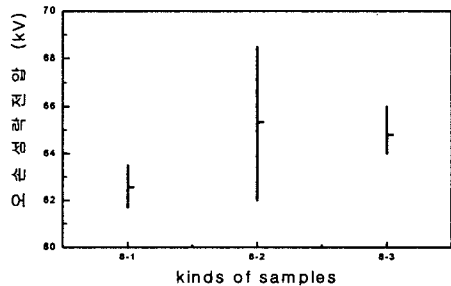


그림 4. 선행오손 섬락전압

선행오손 섬락전압의 결과는 그림 4에 보이는 바와 같이 불규칙 교대 갯일수록 평균값은 높으나 편차가 큰 반면, 일체형으로 진공 사출 성형된 규칙 교대 갯의 애자가 신뢰성 측면에서도 편차가 작은 좋은 특성을 나타내었다.

3.4 컴파운드의 구성성분에 따른 섬락전압

실리콘 고무 컴파운드의 구성성분을 A, B 그리고 C로서 서로 다르게 하여 폴리머 애자를 제작하여 섬락전압을 시험하였지만 값이 서로 비슷하게 나타났다. 이는 섬락전압이 누설거리 및 아크거리에 지배되는 인자이고 구성성분에는 크게 영향을 받지 않기 때문인 것으로 보인다.

4. 결 론

성형방법 및 누설거리에서 차이가 있는 실리콘 폴리머 애자의 상용주파 건조섬락전압의 평균값은 거의 같게 나타났다. 상용주파 주수섬락전압은 누설거리가 큰 시료에서 오히려 더 낮게 나타났으며 선행오손 섬락전압은 누설거리가 큰 시료에서 더 높게 나타났다. 그러나 그 값의 편차는 일체 진공 사출 성형품 시료가 가장 작고 3 가지의 섬락전압은 대체로 높게 나타났다.

실리콘 컴파운드의 구성성분에 따른 섬락전압의 차이는 크게 나타나지 않았다.

선행오손으로 인하여 섬락전압은 크게 낮아졌으나, 배전급의 실제 선로에서 전압은 안전하게 유지할 수 있는 특성을 나타내었다.

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
- [8] X. Wang and N. Yoshimura, "Fractal phenomena dependence of hydrophobicity on surface appearance and structural features of SIR insulators", *IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation*, Vol. 6, No. 6, p. 781, 1999.
- [9] R. S. Gorur, J. W. Chang, and O. G. Am-burgey, "Surface hydrophobicity of polymer used for outdoor insulation", *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. 5, No. 4, p. 1923, 1990.
- [10] 허창수, 연복희, 조한구, "HTV 실리콘 고무에서 열화인자에 따른 저분자량 성분과 표면 발수성의 변화", *전기전자재료학회논문지*, 12권, 1호, p. 1, 1999.
- [11] 박영국, 이운석, 정수현, 장동욱, 임기조, "옥외 애자용 재료의 표면 전기전도 특성", *전기전자재료학회논문지*, 11권, 10호, p. 758, 1998.