

초고압 옥외 절연용 고분자 재료의 트래킹 열화특성

한동희, 박효열, 강동필, 김인성
한국전기연구소 절연·피뢰기기술연구팀

Tracking and erosion resistance of polymer for outdoor high voltage insula

Dong-Hee Han, Hoy-Yul Park, Dong-Pil Kang, In-Sung Kim
Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract

Silicone rubber is being used for the housing material of outdoor high voltage insulators such as composite insulator, bushing, surge arrester and cable terminator because of good tracking and erosion resistance, good hydrophobicity and recovery of hydrophobicity, and chemical stability. In this paper, tracking and erosion resistance of silicone rubber having fluids and different ATH contents were examined. Fluids were selected under the consideration of their molecular weight and chemical structure, expecting the high migration rate, the good pollutant encapsulation, and the long period with good hydrophobicity. Good tracking and erosion resistance and arc resistance have been achieved for the silicone rubber above ATH content 130 phr.

1. 서 론

많은 장점을 가진 고분자 물질은 전기 절연체로 사용됨으로써 트래킹에 노출될 수 있으며, 트래킹은 탄소원자를 가지고 있는 유기 물질만의 독특한 현상으로 고분자 표면에서 일어나는데, 이는 표면의 오염으로 인해 생겨난 방전 때문이다. 오염의 정도와 표면젖음 때문에 생긴 방전의 형태와 표면전류크기, 표면장력은 여러 종류이며, 염분, 먼지, 습기, 대기, 화학물질과 같은 것들이 오염원으로 존재한다.

일단 트래킹이 발생하면 표면전기 절연성분은 떨어지고 회복이 불가능하기 때문에 고분자 물질의 신뢰도와 거동을 증진시키기 위한 트래킹현상이 전세계적으로 연구되고 있다. 초창기에는(1959~1968) 에폭시 수지, 페놀 수지, 부틸고무와 같은 물질들의 내트래킹성 평가를 위한 시험방법으로 몇 가지 방법들이 제시되었다. 1959년에는 IEC에 의해 IEC Pub.112가 설립되었고 그 후에, 이 시험 방법은 모든 환경조건에서 사용되지는 않았지만 여러가지 개정된 IEC Pub.112가 트래킹 시험방법으로 제시되었다.

중반기에 이르러(1969~1990) 트래킹 메카니즘을 화학적으로, 현상학적으로, 광학적으로 확립하려는 노력이 주류를 이루었다. 표면오염과 방전의 영향을 현상학적인 예들로 접근하여 IEC Pub.112의 시험 방법으로 트래킹과 봉괴실험을 하는 동안 코로나 방전, 불꽃방전의 광학적 연구도 트래킹현상을 이해하는데 보조적인 역할을 했다.

트래킹 현상은 전도성을 지닌 탄소통로의 형성으로

생겨난다고 알려져 있다. 낮은 산소량과 방전으로부터 생겨난 높은 열에너지의 조건에서 전도성을 지닌 탄소로의 형성이 표면탄소화를 만든다. 일단 탄소화가 진행되면 불꽃방전이 일어나고, 표면에서 전도성의 탄소가 축적된다. 불꽃방전은 탄소화의 초기를 뜻하기 때문에 이것의 특성이 심도있게 연구되어졌다.

이 탄소통로는 높은 전도성을 지니고 검정색이기 때문에 결정성의 흑연으로 이루어져 있다고 믿어왔다. 그러나 형성된 탄소의 결정구조는 흑연구조와 항상같지는 않았다. 이것은 여러 연구가들에 의해서 보고되어졌고, 이 시기에 연구는 트래킹현상을 기본적으로 이해하는데 많은 도움을 주었다.

최근에는(1991~현재) 옥외용 절연체로서 고분자 물질에 관한 연구가 진행되고 있는데, HTV, RTV 실리콘 고무와 EPDM을 이용하여 IEC Pub.587과 RWDT방법에 의해 내트래킹성을 연구하고 있다. 요즘에 이르러 트래킹현상과 내트래킹성의 기초연구나 활용연구는 여러 가지 대기압과 산성비, UV-자외선과 γ -선과 같은 환경적인 외압의 영향에 관한 연구로 전환되고 있다.

본 연구에서는 실리콘 고무의 내트래킹성을 향상시키기 위하여 첨가되는 ATH(aluminum trihydrate)와 발수성 회복특성이 기대되는 오일의 함량에 따른 내아크 및 내트래킹에 대하여 조사되어졌다.

2. 실 험

절연체의 표면이 아크에 노출되면 그 결과 열과 광에 의하여 열적 및 화학적으로 분해가 일어나거나 침식이 생겨 도전로가 형성되고 시료의 표면 및 내부로 전류가 흐르기 시작하여 곧 단락으로 이어지게 되어 절연성을 상실하게 된다. 내아크성은 이러한 아크에 대한 절연체의 내성을 말하며 표면절연성능 저하로 아크가 소멸할 때까지의 시간으로 나타낸다.

절연물은 전계강도를 충분히 고려하여 설계하지만 실제 계통에서 사용되면 절연물의 표면 오손과 습윤에 의해 불평등한 전계가 생기게 되고 짧은 거리에 고전계가 걸려 아크가 발생할 수 있으며 아크에 의해 열화될 때 전도성이 높은 탄화물이 생기기 때문에 내아크성을 향상시키는 것이 중요하다. 일반적으로 내아크성을 향상시키기 고차 하는 경우에는 무기물을 첨가한다.

일반적으로 JEC-143, ASTM D 495에 의하면 2차 회로 개방시의 전극전압은 12,500V를 표준으로 하고 있다. 표 1과 같이 한 단계를 1분으로 하며, 흐르는 전류의 on-off에 따라 7단계(420초 동안)로 이루어진다. 사용되는 전극은 직경이 2.4mm, 전극 사이의 거리가 6.35mm로서 두 전극 사이에 직선으로 아크방전을 유지하기 위하여 30°를 유지한다. 전극의 재료는 두가지로

서 시험재료의 내아크성이 작을 경우(180초 이하)에는 stainless steel strip이 유용하지만 내아크성이 큰 시편의 경우(180초 이상)에는 stainless steel strip의 모서리가 아크에 의하여 마모가 되므로 텅스텐 봉이 적절하다.

표 1 Sequence of 1 min current steps

| Step | Current (mA) | Time Cycle | Total time (sec) |
|------|--------------|----------------|------------------|
| I | 10 | ¼s on, 1¼s off | 60 |
| II | 10 | ¼s on, ¾s off | 120 |
| III | 10 | ¼s on, ¼s off | 180 |
| IV | 10 | Continuous | 240 |
| V | 20 | Continuous | 300 |
| VI | 30 | Continuous | 360 |
| VII | 40 | Continuous | 420 |

최근에 절연물의 사용조건이 복잡하고 가혹해짐에 따라 전기적 특성이 우수한 고분자 절연물이 개발되어 IEC Publ. 112(0~600V의 저전압 인가)로 내트래킹성을 평가하는 것은 충분하지 않다.

본 실험은 내트래킹성을 평가하기 위하여 경사평면법(IEC Publ. 587)을 이용하였다. 시험 주파수는 60Hz, 출력전압은 ±2%이내에서 6kV까지, 전류는 600mA로 설정하며 시험회로 및 전극과 시료의 구성도를 그림 1에 나타내었다. 상부전극과 하부전극의 거리는 50±0.5mm이며, 수평으로부터 45°로 유지하였다. 트래킹파괴는 고압회로에 60mA 이상의 전류가 2초간 연속적으로 흐를 때의 시간과 도전로(conducting path)가 하부전극으로부터 25mm의 표시에 도달하는 시간으로 평가하는데 전자를 내트래킹성 평가기준으로 하였다. 주요한 실험조건을 표 2와 3에 나타내었다.

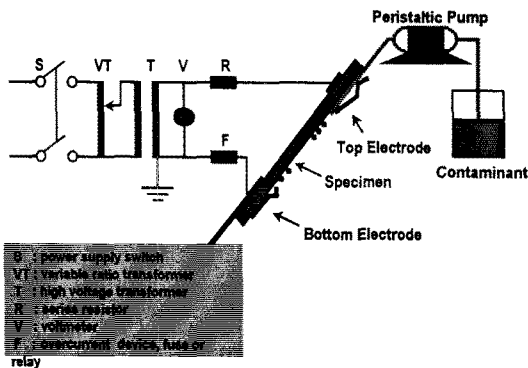


그림 1 트래킹 실험 장치도(경사평면법)

표 2. 트래킹 실험을 위한 오손액의 조성

| Ingredients | Contaminant |
|-----------------------|--|
| Electrolyte | NH ₄ Cl (0.1wt%) |
| Surfactant (Nonionic) | Iso-octylphenoxy polyethoxy-ethanol(0.02wt%) |
| Resistivity | 390±10 (Ω.cm) |
| pH | 5.7 |

표 3. 내트래킹 실험조건

| Items | Standards | Specifications |
|-----------------------|-----------|-----------------|
| Specimen configuratio | | 50×120 (mm) |
| Electrode material | | Stainless steel |
| Specimen thick | | 6 (mm) |
| Inclination | | 45 (°) |
| Electrode spacing | | 50±0.5 (mm) |
| Temperature | | 23±2 (°C) |
| Applied voltage | | 3.5~5.5 (kV) |

3. 결과 및 고찰

옥외용 절연물로 사용되는 실리콘 고무에 대하여 내트래킹성을 개선시키기 위해 첨가하는 ATH를 내아크성에 대해서도 평가하는 것이 필요하다. 그림 2는 ATH의 첨가량을 변화시키면서 아크에 대한 내성을 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 ATH의 함량이 증가함에 처음에는 서서히 증가하다가 120 phr을 넘어서면서 상당히 증가하여 그 이후부터는 거의 최고의 값을(420초) 나타낸다. 이 결과로부터 ATH는 130 phr 이상이 첨가되어야 함을 알 수 있다.

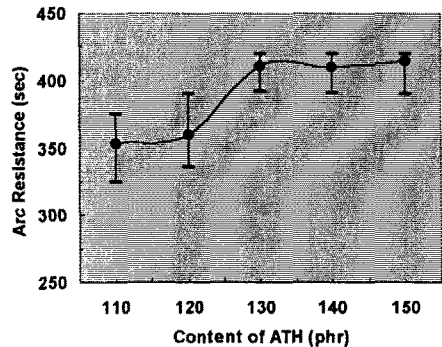
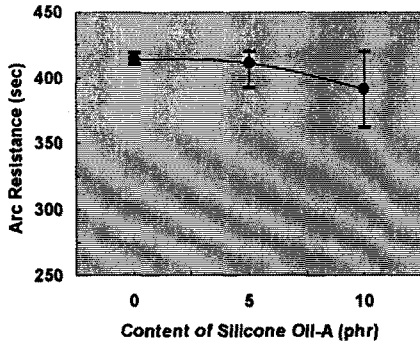


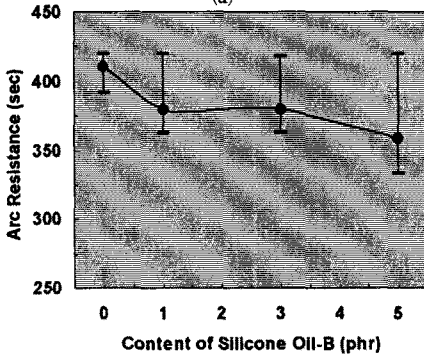
그림 2 ATH 함량에 따른 내아크성

그림 3은 초고압 옥외용 실리콘 고무의 발수성 회복 특성을 향상시키기 위하여 첨가된 오일이 내아크 특성에 어떤 영향을 미치는지를 조사한 것으로서 오일의 종류와 첨가량을 달리하면서 내아크 특성의 결과를 나타낸 것이다. 오일의 함량이 증가할수록 내아크성은 감소하는 경향을 보이며 이는 오일의 첨가에 의해 고무가 다소 물러진 것으로 판단된다. 또한 오일 A보다는 B의 내아크성 감소가 현저하게 나타남을 볼 수 있으며 이러한 결과는 위에서 언급할 내트래킹 특성과 같이 고려되어야 할 것이다.

그림 4는 내트래킹 실험에서 ATH의 증가에 따른 시험편의 증량손실을 나타낸 것이다. ATH의 함량이 증가함에 따라 증량손실률은 급격히 줄어들음을 볼 수 있으며 130 phr 이상에서는 줄어드는 폭이 감소됨을 볼 수 있다. 실리콘 고무와 무기물과의 계면문제 및 성형상의 문제점만 없다면 내트래킹성의 향상을 위해 ATH를 다량 첨가하는 것이 유리하다고 생각된다. 또한 가격적인 문

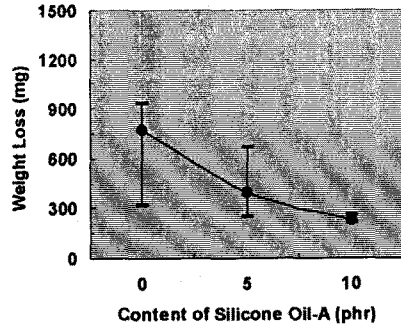


(a)

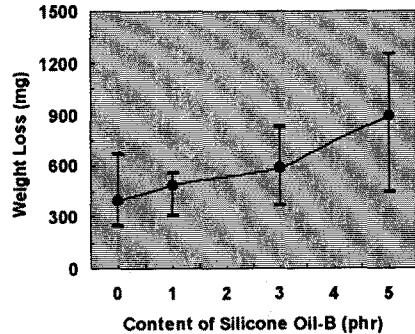


(b)

그림 3 오일의 첨가에 따른 내아크성



(a)



(b)

그림 5 오일의 첨가에 따른 내트래킹 특성

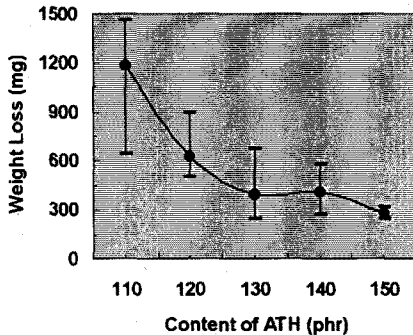


그림 4 ATH 함량에 따른 내트래킹 특성

4. 결 론

초고압 옥외 절연용 재료로 사용되는 실리콘 고무의 ATH 함량과 오일 종류 및 함량에 따른 내아크 및 내트래킹 실험결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

ATH 130 phr 이상에서 내아크 및 내트래킹 특성이 양호한 안정된 값을 보임을 알 수 있었다.

내아크 실험에 있어서 오일이 첨가됨에 따라 내아크성은 감소하는 경향을 보이며 오일A보다 B에서 더 많은 감소를 보였다.

내트래킹 실험에서는 오일의 종류에 따라 상반된 결과를 보였다. 오일A의 경우 첨가량이 증가할수록 내트래킹성은 증가하는 양상을 보였으며 B의 경우는 감소하는 경향을 보였다.

[참 고 문 헌]

- (1) R. J. Chang and Linas Mazeika, "Electrical activities associated with inclined plane tracking and erosion test", IEEE conference on electrical insulation and dielectric phenomena Annual report, Vol. 1, pp. 381-385, 1996
- (2) S. H. Kim, E. A. Cherney and R. Hackam, "Suppression mechanism of leakage current on RTV coated porcelain and silicone rubber insulators", IEEE Trans. on PD, Vol. 6, pp. 1549-1556, 1991.
- (3) S. M. Gubanski, "Properties of silicone rubber housings and coatings", IEEE Trans. on EI, Vol. 27, No. 2, pp. 374-382, 1992.

제에서도 ATH의 가격이 실리콘 고무보다 저렴하므로 이 또한 중요하다 할 수 있겠다.

실리콘 고무의 발수성 회복특성을 향상시키기 위하여 오일 A와 B를 첨가하여 내트래킹 특성에 미치는 영향을 살펴 보았다. 그림 5는 오일의 종류 및 첨가량에 따른 내트래킹 특성을 나타낸 것으로서 오일의 분자구조에 따라 상반된 결과를 나타내었다. 오일 A의 경우 함량이 증가함에 따라 중량손실량이 줄어들었으나 오일 B의 경우는 오히려 중량손실이 증가하는 양상을 나타내었다. 이러한 현상은 오일 A의 경우 오일이 실리콘 고무와 무기물과의 계면접착력을 증가시킨 것으로 생각되며 오일 B의 경우는 단순히 가공제로서의 역할만 한 것으로 생각된다.