

실계통에 포설된 송전용 고분자 애자의 AGING 특성 연구

김수연, 이상진, 하영길, 김동욱  
LG전선(주) 전력연구소

A Studies on Aging Properties for Transmission Line Polymer Insulators which are Installed in - service

Soo-Yeon Kim, Sang-jin Lee, Young-Kil Ha, Dong-Wook Kim  
Electric Power Research & Technology Center. LG Cable Ltd.

**Abstract** - Recently the extensive use of composite insulators for transmission lines can ultimately be justified only on long-term qualification tests. Especially, it is possible for the polymer insulator to be aged in according to the environment in which it is used, this may bring about the decrease of the duration of voltage application.<sup>1)</sup>

So, this paper deals with aging property of the polymer insulator installed at real transmission line in the industry area. The contact angle, arc test, tracking test were measured for acquiring the degradation characteristics of silicone rubber and the SEM, XRF, FT-IR tests were measured for analyzing the crack and components. Also the surface leakage current of the polymer insulator was compared with that of the porcelain insulator. Finally, we knew that the aging property was not appeared during seven months at real transmission line in the industry area.

1. 서 론

전력계통에서의 중추적 역할을 담당하고 있는 가공송전선로의 절연물인 애자는 세계적으로 자기재 현수애자가 가장 많이 사용되고 있으나, 폭발, 비산으로 인한 2차 사고 우려, 표면 발수성 부족으로 인한 내오손성 부족, 중량 및 유지보수 비용 등의 단점으로 1980년대에 들어서면서 고분자 애자로 대체되어 가고 있다. 고분자 애자의 경우, 자기재 애자에 비해 가벼워 설치가 용이하고 건설경비의 절감효과 및 유지보수 비용에 있어서 획기적인 절감을 가져올 수 있다. 뿐만 아니라 월동한 발수성으로 인한 내오손 특성 및 내트래킹성이 우수하며, 외피재 고무로 인한 내충격성 및 우수한 기계적 강도를 나타내고 있다.<sup>2)3)</sup>

이러한 우수한 특성에도 불구하고 자기재 애자와의 제폭수명 비교에서 신뢰성 평가에 문제가 제기되는 것은 외피 유기물 재료의 열화 현상에 기인하기 때문이다. 고분자 절연물은 옥외의 가혹한 환경에 노출되면 자외선, 산성비에 의한 열화, 공장지역의 매연, 공기중의 부유물 등에 의해 절연성이 떨어져 국부적인 탄화와 열화가 발생하여 장기 신뢰성을 잃게 된다. 따라서 본 연구에서는 공장지역의 154kV 실계통에서 7개월에 걸쳐 포설된 실리콘 고무를 외피재로 하는 송전용 고분자 애자를 수거하여 접촉각, 내트래킹성, 내아크, SEM, XRF, FT-IR 및 누설전류 등을 측정하여 열화특성을 측정하였다.<sup>4)</sup>

2. 본 론

2.1 실험 시료

실험시료는 공장지역의 154kV 송전 Line의 실계통

에 적용되어 7개월 정도 사용한 송전용 고분자 애자를 수거하여 외피재의 열화특성을 건전시료와 비교하여 측정하였다.

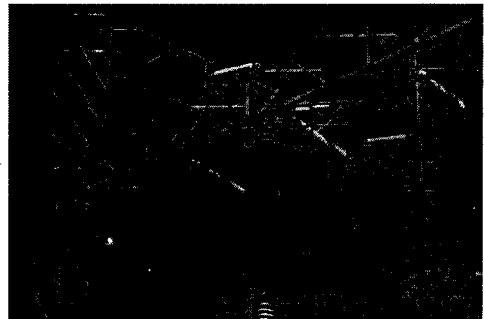


그림 1. 실계통에 포설된 고분자 애자 전경

2.2 실험 방법

2.2.1 접촉각 측정

측정방법으로 Contact angle Meter(FACE사)를 사용하여 액적법으로 측정하였으며, 사용된 액체는 증류수로 시료 위 직경 0.5~1mm의 액체방울을 떨어뜨린 후 1분후에 측정하였다.

2.2.2 내Arc 실험

ASTM D495의 방법으로 실험을 하였으며, 실험 방법은 고전압 소전류 아크를 측정 고분자 애자 외피부의 표면에 근접시킨 후 시간 측정법으로 시료에 도전로(conducting path)가 발달하여 아크가 사라질 때까지의 시간을 측정하였다.

2.2.3 내Tracking 실험.

내트래킹 실험은 IEC 587법에 의한 경사 평판 시험 방법으로 평가하였다. 실험 방법으로는 오손액(증류수+NHCl (0.1wt%)+계면활성제(0.02wt%))를 분당 0.06ml 흘린 상태에서 4kV의 전압을 6시간 이상 인가하였을 경우, 트래킹이 진전되어 하부전극으로부터 25mm지점에 이르거나, 누설전류가 증가하여 60mA 이상되거나 시료가 발화하지 않을 경우 만족하는 것으로 하였다.

2.2.4 미세 Crack 및 표면성분 분석.

외피 절연부의 표면 미세 Crack을 분석하기 위하여 SEM(Scanning Electron Microscope) 측정을 하였으며, 표면의 성분 분석을 위하여 XRF(X-ray Fluorescence Spectrometer), FT-IR(Fourier Transform Infra-Red Spectrometer)을 측정하였다.

2.2.5 누설전류 측정.

누설전류의 측정은 포설된 애자의 표면에 전극을 설치

하여 애자표면에 흐르는 누설전류를 측정하여 증폭과 필터를 거친 후 데이터 취득 시스템(DAS: Data Acquisition System)을 통해 측정하였다.<sup>5)</sup>

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 외피재 특성 평가

처음 포설된 고분자 재료의 표면은 우수한 발수성을 갖지만 사용환경에 따라 자외선에 노출, 표면의 방진, 산성비, 표면의 부유물 등의 영향으로 표면의 오손이 진행되며 발수성이 저하하면서 절연특성 떨어지게 된다.<sup>6)</sup> 그러나 실제통에서 7개월간 포설된 고분자 애자의 경우 그림 2에서 보는 바와 같이 열화에 다른 접촉각 변화는 오히려 건전시료보다 상승하는 것을 확인하였다. 그림 2에서 보는 바와 같이 7개월 열화 시료의 접촉각은 평균 120°로 건전시료의 평균 106.2°의 접촉각 보다 높은 값을 나타내었다.

내아크 특성은 7개월 열화된 시편이 건전시료의 특성값과 비교시 평균값의 오차 범위내에서 약간 낮은 값을 보여 주었다.

내트래킹 특성의 경우도 4.0kV 인가전압에서 건전시료 및 7개월 열화된 시료 모두 탄화로에 의한 트래킹 현상은 나타나지 않았으며, 미세한 침식현상만 발생하는 결과를 얻었으며 그림 3에 나타내었다.

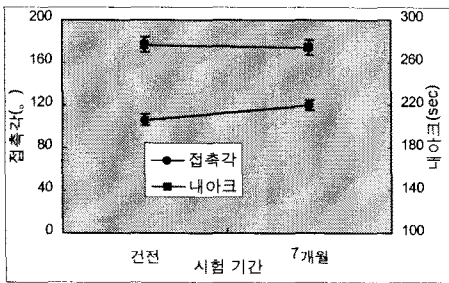


그림 2. 접촉각 및 내아크 특성 결과



그림 3. 내트래킹 특성 결과

#### 3.2 미세 Crack 검사

마이크로 미세 Crack 분석을 위하여 SEM분석을 실시하였다. 그림 4는 7개월 시료의 세척 전 미세 조직으로 공장지역의 미세한 부유물이 외피부 표면에 존재하는 것을 알 수 있으며, 미세 Crack은 존재하지 않음을 알 수 있다. 미세 부유물을 세척 후 관찰한 미세조직에서는 그림 5와 같이 표면에 미세한 무기물과 무기물이 빠져 나간 빈공간만 일부 나타나는 것을 알 수 있었다.

#### 3.3 외피재 표면성분 분석

XRF를 통한 표면의 성분 분석을 실시하였다. 먼저 건전시료에서는 Si, Al 등의 무기물 충전제가 98% 이상을 차지하고 있었으며, 7개월 시료에 대해서는 Si, Al 등

의 무기물 충전제가 83% 수준이며, 그 외에는 Mg, Ca, Fe, Zn, Sn 등의 금속성분이 미량 분석되었다. 이는 분석한고분자 애자가 설치된 지역이 공업지역이었다는 것을 보여준다.

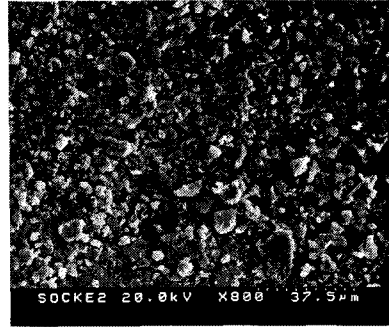


그림 4. SEM 분석(7개월 세척전)

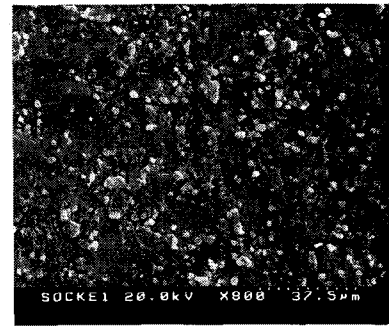


그림 5. SEM 분석(7개월 세척후)

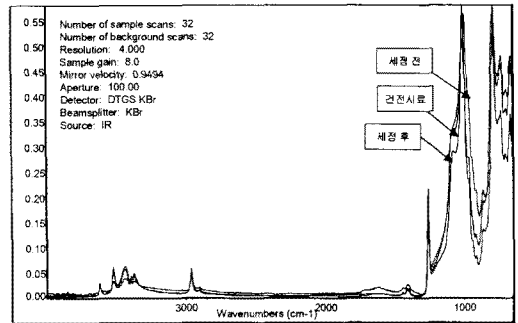


그림 6. FT-IR 분석 결과(건전, 7개월 세척전, 후)

고분자 애자 외피부에 대한 FT-IR 분석으로 자외선에 의한 분자 결합의 변화를 파악할 수 있으나, 그림 6에서와 같이 Si-O-Si, Si-C, O-H, C-H기의 peak intensity의 변화가 없었다. 이것으로 포설중 자외선에 의한 표면 분자결합 변화는 생기지 않았음을 알 수 있다.

#### 3.4 외피재 특성 결과 고찰

이상에서와 같이 접촉각, 내아크, 내트래킹을 통한 외피재 특성과 SEM, XRF, FT-IR을 통한 성분분석을 통해 외피재 Aging 흔적은 없음을 확인하였다. 특히, SEM 분석에서 표면에 금속성 이물이 많이 산재해 있음에도 접촉각 측정에서 열화 시편이 더 높은 발수성을 나타내었는데 이는 Silicone rubber의 경

우 통전시 사용환경에 따라 처음의 발수성을 잃게 되나, 외피재 표면에서부터 LMW(Low Molecular Weight) siloxanes 확산으로 인하여 발수성을 회복하는 원인에 기인한다.<sup>7)</sup>

### 3.5 누설전류 측정

이상에서 외피재 열화 특성에 관해 분석하였으며, 제품상에서 고분자 애자 및 자기재 애자의 표면에 흐르는 누설전류를 실계통에서 비교, 측정하였다. 그림 7에서 보듯이 강우에 의한 누설전류 peak치가 상승하는 구간은 있으나 전반적으로 안정한 특성을 보여 주고 있으며, 자기재 애자와 고분자 애자와의 상대 비교에서는 고분자 애자의 누설전류가 자기재 애자에 비해 1/3 수준이면서 시간에 따른 누설전류의 변화는 크게 나타나지 않고 안정적인 상태를 보여줌을 알 수 있었다.

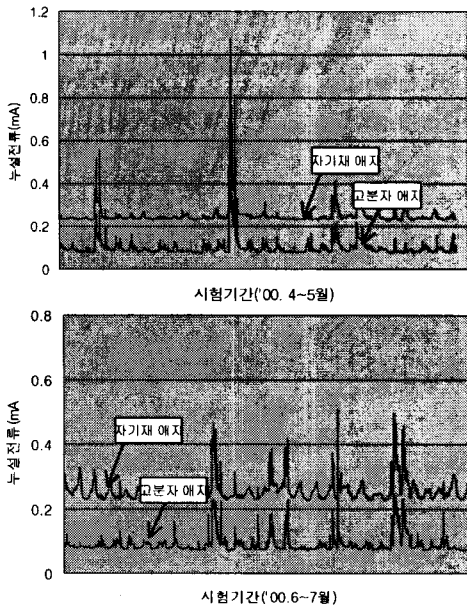


그림 7. 누설전류 Data 측정 예('00.4~7월)

## 4. 결 론

이상에서와 같이 공업지역의 실계통에 포설된 154kV 송전용 고분자 애자의 Aging 특성에 관한 연구 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 접촉각, 내아크, 내트래킹 실험을 통한 외피재 특성 평가에서 열화 현상은 발견되지 않았으며, 특히 접촉각의 상승은 LMW의 확산에 의함을 알 수 있었다.
2. SEM을 통한 마이크로 미세조직을 관찰한 결과, 열화에 의해 발생할 수 있는 미세 Crack은 생기지 않은 것을 알 수 있었다.
3. XRF, FT-IR 분석을 통한 외피재 표면 성분 분석에서는 공업지역에서의 특성으로 금속 성분의 원소가 분석되었고 이는 외피재 특성 평가에서 크게 영향을 미치지 않음을 확인하였고, 열화에 의한 분자 결합의 변화는 발생되지 않은 것을 알 수 있었다.
4. 장기간 누설전류에 의한 특성 변화는 고분자 애자가 자기재 애자에 비해 크기와 변화에서 훨씬 안정적인

것을 확인하였다.

이전의 연구에서 해안지역의 오손환경에서 고분자 애자의 열화특성은 상당히 안정적인 것을 확인하였으며, 본 연구에서 공업지역의 오손환경에서도 고분자 애자의 열화특성은 안정적인 것을 확인하였다. 향후 장기간에 걸친 열화특성 분석은 실험 기간을 연장하여 지속적인 연구가 진행될 예정이다.

### [참 고 문 헌]

- [1] Michael J. Owen, "Hydrophobicity Loss and Recovery of Silicone High Voltage Insulation", Insulator 2000, PP.13-24, 1999.11
- [2] Kosei Doi, Kenji Ueda(2000), "Hydrophobic Behavior of Composite Insulators under Fog Conditions", 전기협회 전력 에너지 부문 대회
- [3] 한동희, 박완기, 이철호, "송배전용 Composite Insulator의 개발동향 및 특성", 한국전기전자재료학회, 1998.
- [4] 이상진, 하영길, 김수연, "송전용 고분자애자의 모의 포설 환경에서의 장기 신뢰성 평가", 대한 전기학회 춘계학술대회, PP.73-75, 2000.5
- [5] A.E. Vlzstos and M.Sjobeg(1993), "Leakage Current Data Aquisition System for Field Tests of Polymeric Insulators", 8th ISH, 47.09, pp. 205-208
- [6] L.Xidong, Z.Renyu(1993), "On the surface hydrophobicity of Insulation Material", 8th Internations Symposium on High voltage Engineering, 47.03
- [7] Eckhard Wendt, Heiko Jahn, "Influence of Chemical of Insulating Silicone Compounds on Hydrophobic and Electrical Behaviour", Insulator 2000, PP.190-209, 1999.11