

## 옥외용 고분자 절연물의 표면 열화진단을 위한 아크파형 분석

문중섭 · 서광석 · 김정호 · 이재형 · 송우창 · 박용관

\* : 성균관대학교

### The Analysis of Arc Waveform for deterring Surface Ageing of Polymeric Insulator for Out Door

J.S.Moon · K.S.Seo · J.H.Kim · J.H.Lee · W.C.Song · Y.G.Park

\* : Sungkyunkwan Univ.

**Abstract** - In recent, the application of polymeric insulators for outdoor is significantly increasing. These materials have shown good performance in service, but had disadvantages under long-term exposure to contamination and moisture, resulting in some problems. Thus, this study concentrated on the development of technique evaluating the insulating status. Experiment was referred to IEC publ. 587, with data aquisition system to monitor leakage current. The components of leakage current investigated were waveform and 3rd harmonic. FFT was conducted for the analysis of harmonic components. The distortion of waveform with application time of voltage was evident, and so the 3rd harmonic component.

#### 1. 서 론

최근 옥외용 절연물을 고분자 물질로 대체하는 경향이 뚜렷하게 나타나고 있다. 이 물질은 기존의 자기 절연물에 비해 절연저항, 절연파괴 강도가 우수하고, 유전 손실이 낮으며, 가공성 및 기계적 강도가 우수할 뿐만 아니라, 세라믹과 비교하여 비산성이 거의 없다. 그러나, 고분자 절연물은 옥외의 자연환경에 노출되면 공업분진, 해안가의 염분 등에 의해 표면이 열화 되는 단점이 있다. 따라서 이 물질의 안정성을 인정받기 위해서는 옥외 열화조건과 옥내열화조건을 체계적 연구를 통해 실제 사용 환경에서의 장기 성능과 신뢰성 확보가 무엇보다 중요하다. 절연물의 절연 성능에 영향을 미치는 인자로는 절연물의 형상, 오손 정도, 오손물질의 종류, 절연물의 표면 재질, 표면에서의 오손액의 유동성 등이 있다. 이러한 인자들에 대한 문제는 그 동안의 연구에 의해 상당 부분 해결이 되어 왔고 또 진행 중이다. 이러한 인자들 중 가장 대표적이고 취약적이라고 할 수 있는 것이 장기간 옥외 노출에 의한 재료의 장기적 열화라고 할 수 있다. 장기적 열화의 가장 큰 문제점은 열화의 진행 상태를 정확히 파악 할 수 없다는데 있다. 이 문제의 해결은 열화의 진단을 통해 제품의 정확한 교체시기를 찾아 선로를 사고로부터 보호하는 것이다. 그 동안 이러한 열화의 진단 방법으로서 등가 염부 부착밀도, 표면 전도도, 누설 전류, 플레시오버 스트레스 등이 있는데 이 논문에서는 실시간으로 열화의 과정을 관찰할 수 있는 누설 전류방법을 다루었고 세부내용으로는 시간별로 arc 파형을 분석함으로써 시료의 열화에 직접 참여하는 인자를 관찰하는데 목적을 두었다. 시험 방법은 IEC publ. 587을 채택하였고 데이터 취득은 매 30분 간격으로 3

초간 하였다. 또한 측정된 파형의 정량적 분석을 위한 기초로서 고조파 성분을 분석하여 열화와의 연관성을 파악하고자 하였다. 보고에 의하면, 아크의 발생이 제3 및 제5, 제7... 고조파와 관계가 있는 것으로 알려져 있으므로 [1], 이것에 기초해서 DAS에서 취득한 데이터를 FFT(Fast Fourier Transform)를 통해 주로 제3고조파에 중점을 두어 분석을 했다. 이러한 분석을 통해 정량적 분석이 이루어진다면 옥외 절연물의 정확한 상태를 평가하는 데 용이하게 이용될 것으로 생각된다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 실험 방법

시료의 제작은 hot press법으로 상용 실리콘 고무를 180℃에서 10분간 경화하여 제작하였다. 실험 방법은 가속 열화 시험법으로 IEC publ. 587을 택했다. 그러므로 시료의 크기는 시험 규격에 맞추어 50mm × 120mm × 6mm로 했고, 전압은 4kV 교류 파형을 일정하게 인가하였다. 이 때의 전압의 주파수는 60Hz로 하였다. 전극은 스테인레스 강재를 사용했고, 오손액은 중류수에 0.1±0.002%의 염화암모늄(NH<sub>4</sub>Cl)과 0.02±0.002%의 비이온 계면 활성제로 저장용량은 23±1℃에서 3.95±0.05Ω·m이고 유량은 0.6ml/min으로 했다. 시험의 기울기는 45°로 고정 시켰다. 상세 구조는 그림 1에 나타내었다. 그림에서 저항 R은 100(Ω)을 사용했다. 그리고 그림 하단 부에 나타낸 DAS는 12 bit 8 channel A/D converter를 사용하여 제작하였으며, 25 kHz의 sampling rate로 4채널을 사용하였고 시간별로 3초의 scan 범위로 취득하였다. 시험시간은 실리콘 고무의 표면 열화 특성을 이해하기 위해 시료 뒷부분이 드러날 때까지 오손액과 전기스트레스를 주었다.

##### 2.2. 결과 및 고찰

아크와 관련된 인자를 분석하기 위해서 표면 전류 파형을 분석하여 그림 2에 나타내었다. 젖은 표면이 건조 될 때의 전류 파형은 사인곡선에서 찌그러진 곡선으로 변한다는 사실이 이미 보고되어 있다. [2,3] 그림 2는 3초간 취득한 데이터 중 전형적인 전류 파형(약 0.08초)을 추출해서 그래프화 한 것이다. 그림에서 사인파는 순수한 저항성 요소가 지배적인 전류성분을 나타내며, 습윤시의 오손액의 전도도에 의한 누설전류 성분으로 생각된다. 이 성분은 저항에 의한 주열을 발생시켜 오손액을 증발시킴으로써, 건조대를 형성하는데 기여하는 것으로 생각된다. 그리고, 시간이 지남에 따라 파형은 점점 찌그

러진 형태로 변하며, 이는 전류 성분이 저항성에서 건조대 방전에 의한 성분으로 변하기 때문으로 생각된다. 건조대 방전에 의한 에너지는 매우 크기 때문에 재료 표면에 전달되면, 침식을 더욱 가속시키는 데 기여하는 것으로 볼 수 있다.

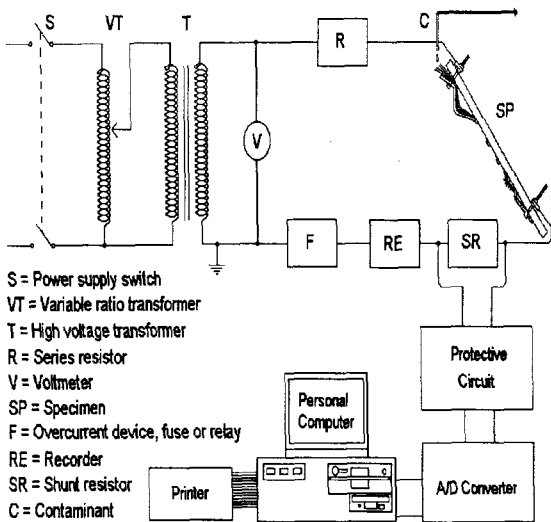
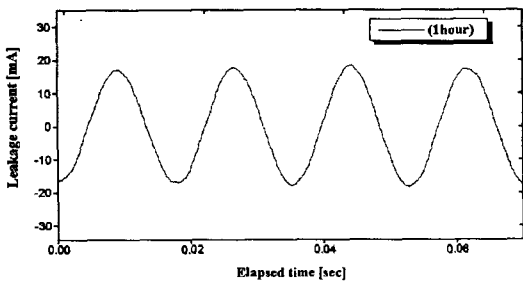
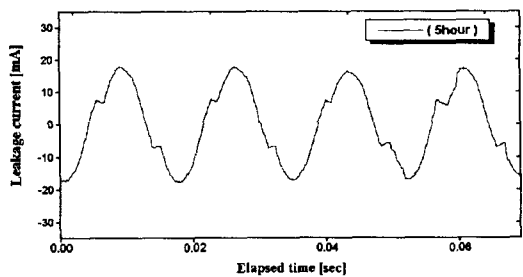


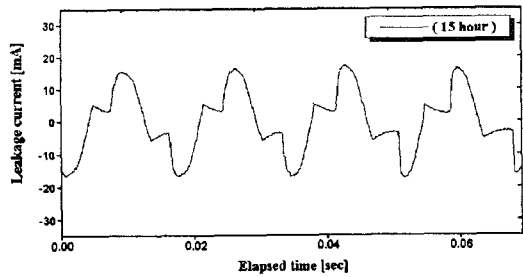
그림 1. 누설전류 파형 분석을 위한 IEC Publ. 587과 DAS회로의 구성도.



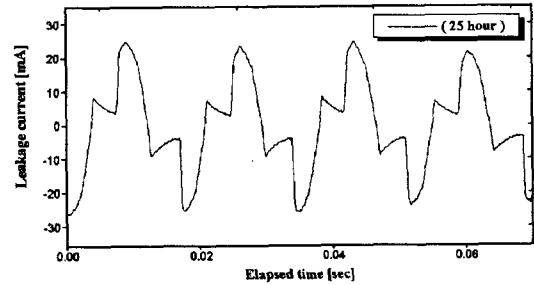
(a) after 1 hour



(b) after 5 hour



(c) after 15 hour



(d) after 25 hour

그림 2. 경과시간에 따른 누설전류의 변화 과정.

한편, 그림 2로부터 찌그러진 파형에서는 상용주파수와는 다른 일종의 고조파 성분이 섞여 있음을 알 수 있다. 또한, 이러한 파형의 찌그러짐 정도가 커질수록 누설전류의 펄스폭은 더욱 좁아지게 되는데, 이는 고조파 성분의 점유율이 더욱 높아지게 되는 결과를 낳을 것으로 생각할 수 있다. 따라서, 이러한 고조파 성분을 분석하여 파형의 찌그러짐과 관련이 있는 특정한 고조파 성분을 추출해 내어 그 량을 측정함으로써 열화의 진단과정을 정량적으로 분석해 낼 수 있을 것으로 생각된다. 누설전류 파형의 관찰은 열화의 정도를 지시하는 인자로서 충분한 가치가 있음을 그림 2에서 알 수 있지만, 파형의 변화 자체를 정량화시키는 어렵기 때문에 데이터의 정량화를 위해 파형에 포함된 고조파 성분을 분석하였다. 보고에 의하면, 소전류 파형에서 아크발생은 제 3 및 연속되는 제 5, 제 7, ... 고조파와 관계 있고, 제 3 고조파는 아크 발생 전까지는 거의 나타나지 않는다는 사실이 알려져 있다[1, 4]. 이러한 보고를 바탕으로 전류 파형에 포함된 고조파 성분을 분석하였다.

그림 3은 그림 2의 각 시간별 데이터를 FFT (Fast Fourier Transform)를 통해 주파수 별로 나타내었다. 그림에서 (a)와 (b)를 비교하면 제 3고조파가 시간 경과되었음에도 불구하고 오히려 줄어들었음을 관찰할 수 있는데, 이 부분은 열화의 초기 단계로서 파형 자체도 크게 찌그러짐이 보이지 않는 부분을 나타낸다. 그러나, 실험을 개시하고 약 1 시간 후부터는 실리콘 고무의 침식이 시작되는 단계이므로, 이 시간에 대해서는 좀 더 세부적인 연구가 필요하다. 한편, 그림 3의 (c)와 (d)에서 보면, 3고조파 성분에 해당하는 피크의 크기가 증가한다. 이것은 열화가 진행이 될수록 더욱 더 현저하게 나타남을 알 수 있다. 이 결과의 정량화를 위해 I1과 I3(I1은 60Hz, I3은 180Hz)의 비를 구하였으며, I3의 비율이 점점 증가함을 알 수 있다. 또 열화가 진행되면서 3고조파 이외에 5, 7 고조파도 점점 눈에 띄는데 이것은 3고조파에 비해 극히 미소하므로 상세히 관찰하지는 않았다. 이러한 결과는 고분자 절연물의 옥의 사용

시 신뢰성 있는 상태의 지시로서 고조파 성분이 사용될 수 있는 가능성을 보여주는 것으로 생각된다.

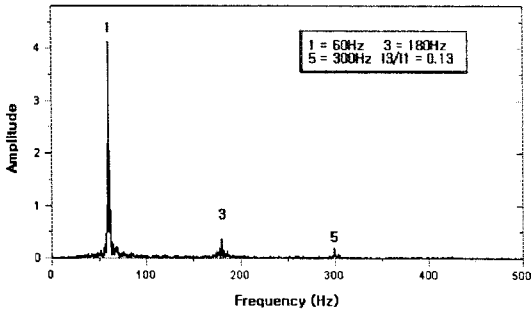
### 3. 결 론

IEC Publ. 587 시험법에 의한 누설 전류의 아크 파형 분석을 통해서 다음과 같은 결과를 얻었다.

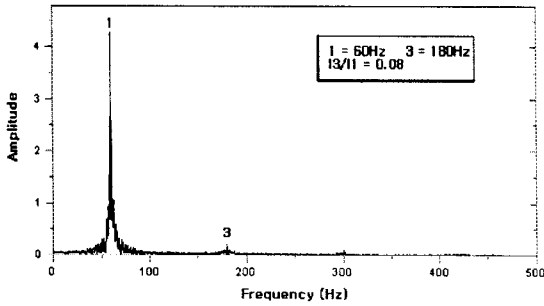
- (1) 최초 누설전류에 의한 전류 파형은 정현파임을 볼 수 있었고, 건조대 방전 이후 전류 파형은 점점 찌그러져서 나타나고, 이것은 침식 가속되면서 그 경향이 뚜렷해짐을 볼 수 있었다.
- (2) 누설 전류 데이터를 FFT로 분석한 결과 초기를 제외하고는 열화가 가속화 될수록 제3고조파가 뚜렷이 증가하는 것을 볼 수 있었고 이것은 I1과 I3의 비로 나타낼 때 더욱더 확연히 나타났다.
- (3) 아크의 발생에 의해 나타나는 제3고조파의 분석이 좀더 심각하게 연구된다면 이것을 옥외 절연물의 절연상태평가에 아주 훌륭하게 적용될 수 있을 것이다.

#### (참 고 문 헌)

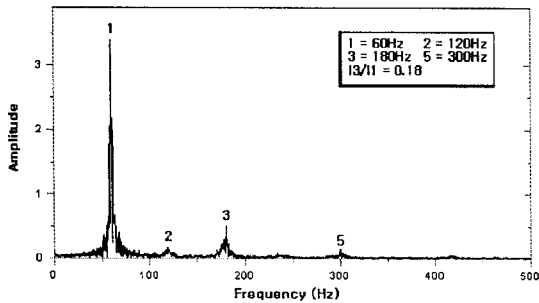
- (1) T.W.Dakin, G.A.Mullen, and T.E.Chenoweth, "Outdoor Insulator Surface Conductance and Surface Arcing". Proc.11th IEEE-NEMA Electrical Electronics Insulation Conference. p157-161. 1973
- (2) Mandelcorn, L. and Dakin, T.W., "Wet Surface Tracking of Insulation - Differential Test with Controlled Short Discharges to a Water Electrode", IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems. Vol. 81. p291. 1962
- (3) Sforzini, M. "Testing of Polluted Insulators-The Present Situation and Problems of the Future". Nournal of the Franklin Institute. Vol. 294. p437. 1972
- (4) R.S. Gorur, J.Montesinos, L.Varadadesikan. " A Laboratory Test for Tracking and Erosion Resistance of HV Outdoor Insulation". IEEE Transaction on Dielectrics and Electrical Insulation. Vol.4 No6, p767 1997



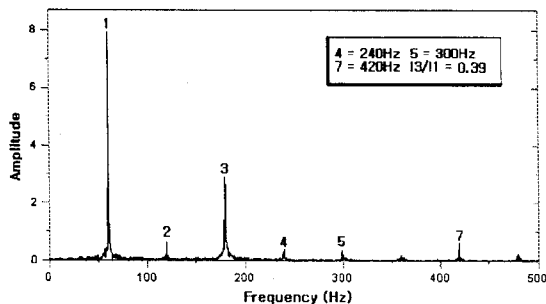
(a) after 1 hour



(b) after 5 hour



(c) after 15 hour



(d) after 25 hour

그림 3. 경과 시간별 고조파 성분의 FFT의 결과