

### 누설전류 모니터링에 의한 옥외용 실리콘 고무의 열화 특성 평가

김정호<sup>\*</sup> · 서광석<sup>\*</sup> · 문중섭<sup>\*</sup> · 양계준<sup>\*\*</sup> · 조한구<sup>\*\*\*</sup> · 박용관<sup>\*</sup>

\* : 성균관대학교    \*\* : 충주대학교    \*\*\* : 한국전기연구소

### The Evaluation of Ageing Characteristics of Silicone Rubber for Outdoor by Leakage Current Monitoring

J.H.Kim · K.S.Seo · J.S.Moon    G.J.Yang    H.G.Cho    Y.G.Park

\* : Sungkyunkwan Univ.    \*\* : Chungju Univ.    \*\*\* : KERI

**Abstract** - The ageing process was checked by leakage current monitoring in Inclined-Plane Method. In order to monitor leakage current, DAS with 12-bit, 8-channel A/D converter was prepared. The monitored components of leakage current were averages of the rms and peak, max peak, cumulative charge, and the number of peaks in the ranges of 1-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, >50 mA. And, erosion depth was measured to be used as the index of the ageing. So, the results of leakage current components and erosion depth measurement were compared to find one or more components of which trends of changes were similar to that of erosion.

에 의해 발생하게 된다. 이 중 몇 가지 인자들은 적절한 재료의 형상 및 누설거리 설계에 의해 해결할 수 있다. 이러한 여러 인자 중 대표적인 것은 재료의 장기적 열화로서, 최근에 보고된 고분자 절연물의 선로사고 원인 조사에 따르면, 전기적, 기계적 요인에 의한 사고가 35 %를 차지하고, 64 %는 장기적 열화에 의한 사고임을 나타내었다[2]. 열화의 직접적 원인은 오손 및 습윤에 의한 방전이 주된 요인이다.

#### 1. 서 론

열화진단 기술은 이러한 열화의 진전과정을 평가하여 언제 어떻게 절연물의 사고가 발생할 것인지를 결정함으로써 사고를 막기 위한 기술이다. 열화 진단 기술로는 표면 전도도, 발수성, ESDD, FOV, 누설전류 분석 등 여러 가지가 있으며, 이 중 누설전류 분석은 on-line 상태에서 실시간으로 수행할 수 있다는 장점이 있다.

HV 옥외 절연물은 전통적으로 무기 절연물로 만들어졌는데, 주로 자기나 유리였다. 유기 재료 특히 합성 고분자를 옥외 HV 선로 절연물로 사용하게 된 것은 약 30년 전으로 거슬러 올라간다. 이러한 절연물들은 다양한 이름으로 칭해지는데, composite, nonceramic, synthetic, polymeric 등등이고, 처음 두 개의 이름이 가장 널리 사용된다. 몇 가지 인자들, 예를 들면 자기/유리와 비슷하거나 더 나은 성능, 경량, 파괴자에 대한 개선된 저항성, 쉬운 설치, 및 취급, 그리고 경쟁력 있는 가격 등의 결합으로 최근에는 복합 절연물이 널리 사용되게 되었다.

본 연구에서는 가속 실험인 IPM을 통해 침식에 의한 침식깊이와 누설전류 성분을 측정하였다. 측정된 누설전류 성분은 실효전류, 피크전류의 평균값, 최대 피크전류, 축적전하량 및 누설전류 펄스의 횟수 등이다. 누설전류 펄스는 1-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, >50 mA의 6 단계로 나누어 측정하였으며, 누설전류의 파형도 측정하였다. 이 누설전류의 결과들과 침식깊이 결과를 비교하여 유사한 경향의 전류 성분을 밝혀내고자 하였다.

#### 2. 실험

그러나, 서비스에서 주기적으로 몇 가지 문제가 발생하며, 이를 해결하기 위한 주된 관심영역은 장기간의 전기적 성능으로 절연물 weathershed 및 설계와 관계가 있다.

내트래킹 및 내침식성 평가 실험은 IEC publ. 587에 따른다[3]. 그림 1에 실험의 회로도를 나타내었다. 인가전압은 4.0 kV로 고정하였으며, 실험 시간은 6 mm 두께의 시편이 완전히 침식되어 시편의 뒷면에 구멍이 뚫릴 때까지 계속하였다. 오손액은 0.1% NH4Cl 과 0.02% iso-octylp henoxypolyethoxyethanol (non-ionic surfactant)를 증류수와 혼합하여 사용하였다. 또한, 오손액의 전도도는 약 2500 μS/cm (23℃)가 되도록 하였다. 시편은 제조사가 다른 두 종류의 실리콘 고무를 180 °C에서 10 분간 경화시켜 제작하였다. 제작된 실리콘 고무의 사양으로 베이스

전체적인 전기적 성능을 표시하는 지표로는 섬락 (flashover)과 열화 (degradation)의 두가지가 있다 [1]. 이 중 섬락의 발생은 선로의 정전사고로 이어지기 때문에 가장 직접적인 지표가 될 수 있으며, 기후나 지역적인 위치 등에 의한 환경 요인들과 재료 자체의 결합에 의한 요인 등 여러 가지 복잡한 인자들

고분자 및 충전제의 량을 표 1에 나타내었다. 실험을 위해 시료는 50mm×120mm×6mm 의 규격으로 잘라서 45° 각도의 경사를 가진 홀더에 부착하였다.

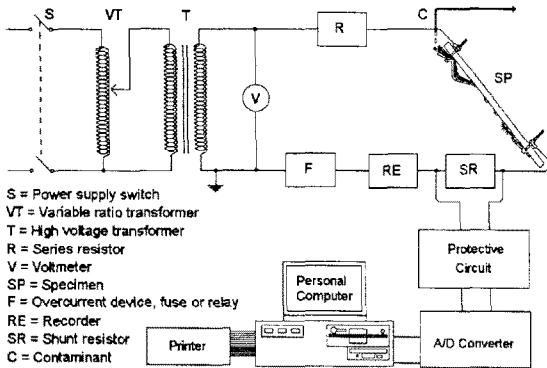


Fig. 1. Schematic circuit diagram of IEC publ. 587 for observing leakage current waveform.

Table 1. Details of silicone rubber samples evaluated.

Sample ID	Base gum (pph)	Treated ATH (pph)
SR-1	100	100
SR-2	100	120

또한, 100Ω의 shunt resistor를 직렬로 연결하고 양단의 전압강하를 통해 누설전류를 측정하였다. Data Aquisition System은 12 bit 8 channel A/D converter를 사용하여 제작하였으며, 25 kHz의 sampling rate로 4채널을 사용하였다. 측정된 누설전류 성분은 실효전류 및 피크전류의 평균, 최대 피크전류, 축적전하량 및 누설전류 펄스의 횟수 등과, 누설전류의 파형을 측정하였다. 누설전류 펄스는 1-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, >50 mA의 6 단계로 나누어 측정하였다. 그림 2에 Data Aquisition을 위한 알고리즘을 나타내었다.

### 3. 결과 및 고찰

그림 3에 시간에 따른 침식깊이의 변화를 나타내었다. 침식깊이는 재료의 열화가 가속되는 단계에서 급격히 증가하는 경향을 띠게 되는데, 이 때에는 방전형상도 강한 불꽃을 내는 아크가 연속적으로 나타남을 알 수 있었다. 따라서, 재료의 열화과정은 누설전류의 변화와 일정한 관련을 가짐을 알 수 있고, 누설전류의 성분 측정을 통해 열화를 진단해 낼 수 있을 것으로 생각된다. 누설전류 성분은 오손액의 진도도에 의한 성분과 아크에 의한 성분으로 크게 나눌 수 있는데[4], 두 파형은 다른 양상을 나타낸다. 그림 4에 시간에 따른 누설전류 파형의 전형적인 변화를 나타내었는데, 시간에 따라 찌그러짐이 현저히 증가하는 아크형태가 됨을 알 수 있다.

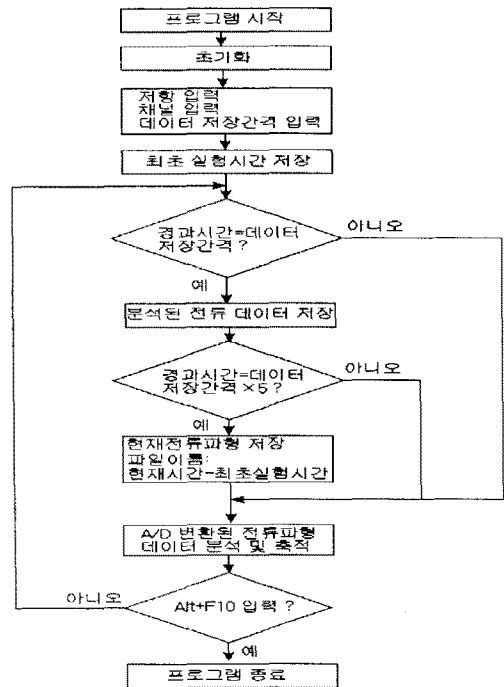


Fig. 2. Algorithm for Data Aquisition.

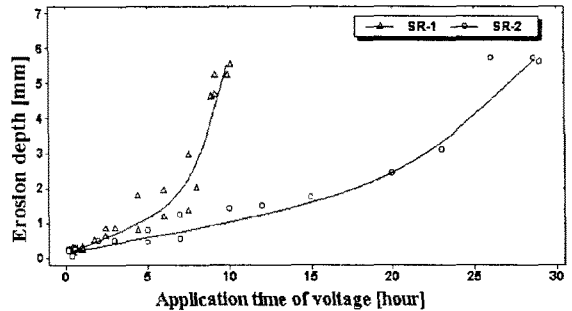


Fig. 3. The change of weight loss with Application time of voltage.

그림 5에 SR-2 재료에서의 실효전류와 피크전류의 평균치 및 최대 피크전류를 나타내었다. 실효전류와 피크전류의 평균값은 재료의 열화와 관계없이 거의 일정하게 나타남을 알 수 있다. 그러나, 최대 피크전류는 재료의 열화에 따라 값의 변화가 크고, 평균 피크전류보다 3 배 이상의 값을 나타내었는데, 이는 재료의 열화에 의해 누설전류에 이상 서지 성분이 발생함을 의미한다. 그림 6에는 SR-2의 축적전하량을 나타내었는데, 시간에 대해 선형적으로 증가하는 경향을 나타낸다. 이 성분은 재료의 파괴에 영향을 미치는 아크 성분 뿐만 아니라 재료의 표면저항에 의한 전도성 전류 성분까지 포함하기 때문에 재료의 열화를 나타내는 지표가 되지 못한다. 따라서, 재료의 열화와 관련이 있는 성분이 되기 위해서는 누설전류 성분에서 아크를 분리해 내는 것이 필요하다.

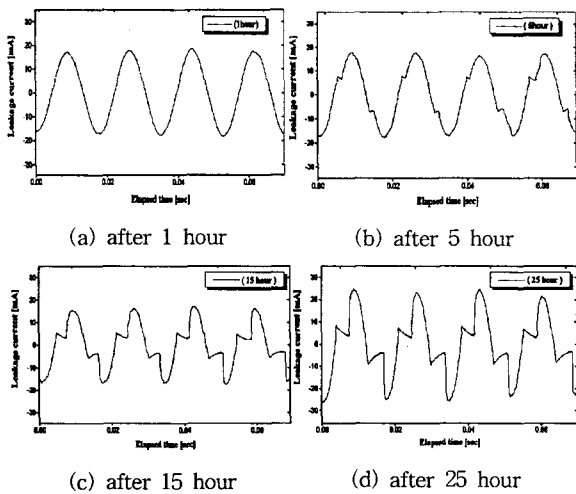


Fig. 4. Typical change of leakage current waveform with elapsed time.

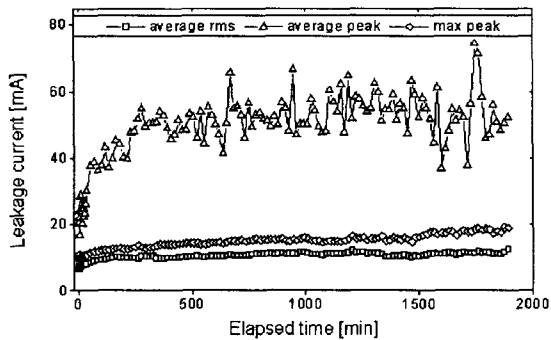


Fig. 5 rms, peak of average and max peak current.

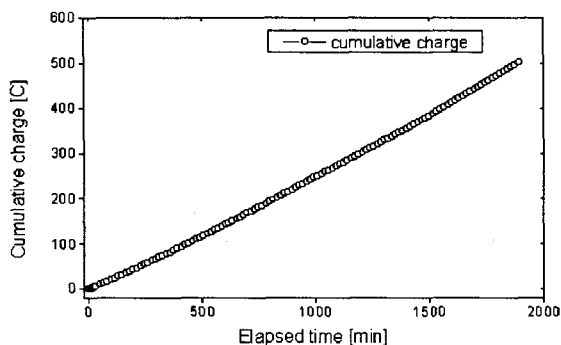


Fig. 6. Cumulative charge with elapsed time.

그림 7에는 1-10, 20-30, 40-50, >50 mA의 단계별로 측정된 누설전류 펄스의 횟수를 적분하여 나타내었다. 1-10 mA의 누설전류 펄스는 초기부터 급격히 증가하지만, 열화가 진행됨에 따라 점점 포화되었는데, 이 값은 적분한 것이므로 포화되는 부분의 누설전류 펄스는 거의 나타나지 않음을 알 수 있다. 즉, 이 범위의 펄스 성분은 재료의 열화에 기여하지 않는 성분임을 알 수 있다. 또한, 재료가 열화되어 감

에 따라 초기에는 나타나지 않는 성분들이 점점 나타남을 알 수 있으며, 특히 >50 mA의 성분은 재료가 급격히 열화되는 시점에서 나타나기 시작하여 점점 그 횟수가 증가함을 알 수 있다. 이러한 결과로부터, 누설전류 펄스의 계수를 통해 열화를 진단할 수 있을 것으로 생각된다.

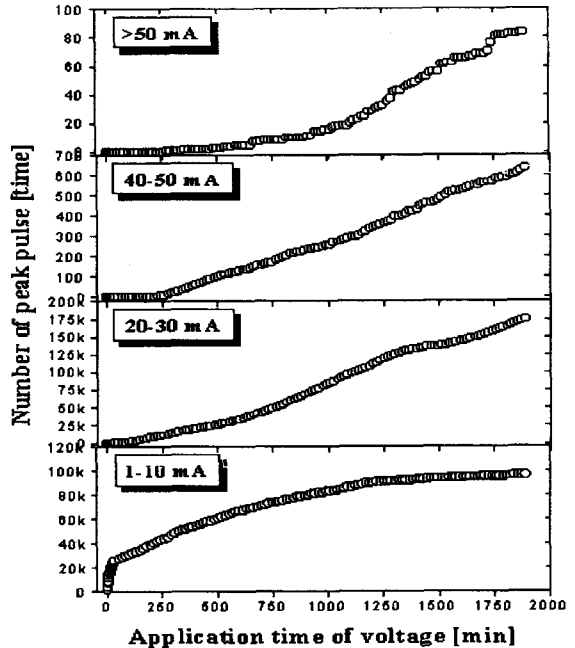


Fig. 7. Number of current pulses in each range with application time of voltage

#### 4. 결 론

DAS를 통해 누설전류 성분을 측정된 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- [1]. 누설전류 파형은 시간에 따라 점점 아크 점유율이 증가하는 형태가 됨을 알 수 있었다.
- [2]. 축적전하량은 일정하게 증가하는 경향을 나타내는데, 이는 저항성 전류 성분까지 포함한 결과이기 때문에, 아크의 분리가 필요함을 알 수 있었다.
- [3]. 누설전류 펄스 성분은 열화와 일정한 관련을 가지며 변하는 것을 알 수 있으며, 특히 1-10 mA 성분과 >50 mA 성분은 열화와 밀접한 관련을 가짐을 알 수 있었다.

#### 참 고 문 헌

- [1]. R. S. Gorur, Proc. of 5th ICPADM, Vol. 1, pp. 35-38, 1997.
- [2]. G. G. Karady, H. M. Schneider, F. A. Rizk, paper 33-103, Cigre, 1994.
- [3]. IEC publ. 587, 2nd edition, 1984.
- [4]. H. Kärner and D.Schulte, 4th Int. Symp. on High Voltage Eng., Athens, 1983, paper No. 45.08.