

주위 환경 변화 따른 폴리머 절연재료의 표면 누설전류

The Study of Leakage Current Distributions of Polymeric Insulators with Changing Environment

*이병성, *한재홍, *김주용, **한상옥
(*Byung Sung Lee, *Jae Hong Han, *Ju Yong Kim, **Sang Ok Han)

Abstract

Our knowledge about their long-term performance in an outdoor environment is still very limited. The electrical stress caused the surface of these insulators to become degradation. In order to evaluate leakage current patterns caused by surface aging on polymeric insulators, we utilized the combined aging test facility and leakage current monitoring system. And we get the continuous leakage current values from each sample. After completing the 3000h combined aging cycle test, leakage current measurement were conducted for these samples and carried out harmonics analysis for its data.

Key Words : Polymeric insulator, Leakage current, Aging test, harmonics analysis

1. 서 론

옥외용 절연재료로 많이 사용되고 있는 폴리머애자의 경우 표면 특성이 우수하며 기존의 세라믹애자에 비해 사용상 장점이 많아 전력회사에서는 세라믹 애자를 대체하여 사용하고 있다. 그러나 장기간 옥외에서 사용됨으로 인해 표면의 오손물 부착 및 열화 등으로 인해 표면 누설전류가 증가되어 심할 경우 사고로 이어지는 경우가 있다.

폴리머 절연재료의 표면 누설전류는 표면의 오손물 부착 및 열화 등으로 인한 재료의 표면 상태가 초기에 비해 저하되었을 경우 크게 된다. 표면 누

설전류를 측정하여 패턴을 분석함으로써 폴리머애자의 특성 변화에 대한 중요한 정보를 얻을 수 있다.

일반적으로 알려져 있는 누설전류에 있어서 폴리머애자의 표면 누설전류 크기와 열화정도는 어느 정도 상관성은 있으나 반드시 그렇다고 볼 수는 없다. 폴리머애자를 사용하고 있는 주변의 환경적인 요인, 일시적인 표면 오손이나 발수성 상실 등이 원인이 될 수 있기 때문이다.

본 연구에서는 주변 환경조건 및 표면 열화에 따른 누설전류를 분석하기 위해 일정한 가속 조건을 주어 인공적으로 폴리머애자 시료를 열화시킨 후 누설전류 변화 특성을 측정하였다. 누설전류 분석은 열화 및 환경조건에 따른 전류값의 크기, 파형, 주파수 스펙트럼 분석 등을 행하였으며, 표면열화와의 상관성을 분석하였다.

* 한전전력연구원

(대전시 유성구 문지동 103-16
Fax: 042-865-5804
E-mail: leebs@kepri.re.kr, jhhan@kepri.re.kr, jykim@kepri.re.kr)

** 충남대학교 전기공학과

(대전시 유성구 궁동 220
Fax: 041-821-7970
E-mail: sohan@hanbat.cnu.ac.kr)

2. 시 험

2.1 시료

시험에 사용된 시료는 25 kV급 폴리머 현수애자

3종류이다. 이들 시료 모두 EPDM 재질이며, 내부가 FRP 절연봉으로 이루어진 복합고분자 애자이며 이들 시료의 사양을 표 1에 나타내었다. 시료의 아크거리 및 표면누설거리는 시료간에 차이가 있으나 갓의 수는 모두 8개로 동일하였다.

표 1. 시료의 사양

시료명	재질	갓(개)	아크거리 (mm)	누설거리 (mm)
시료 A	EPDM	8	353	785
시료 B	EPDM	8	383	898
시료 C	EPDM	8	407	822

* EPDM: Ethylene Propylene Diene monomer

2.2 시험방법

2.2.1 시료의 복합가속 열화

신품의 시료 및 국내 환경에서 자연열화된 시료의 경우 표면이 거의 열화되지 않은 상태이므로 염무, 주수시에도 상당히 적은 표면누설전류가 흐르게 된다. 따라서 주위환경 및 시료의 표면 열화에 따른 누설전류 패턴 변화를 측정하기 위해 인공적으로 표면을 열화시키는 방법을 이용하였다.

시료를 일정한 크기의 챔버 (10 m³) 내에 수직으로 설치하고 일정한 환경 주기를 설정하여 3000시간 동안 가속열화 시켰다. 여기서 가속열화방법은 이전에 발표되었던 자료와 동일한 것이다. [1]

2.2.2 시험 조건

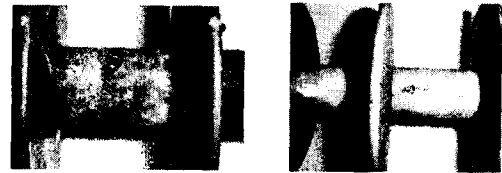
열화 챔버내에서 가속열화시킨 시료를 챔버 내에 설치하고 내부 환경 조건 변화에 따른 표면 누설전류를 측정하였다. 시험에 적용한 환경조건은 온도, 습도, 주수, 염무로 하였으며, 사용한 주수의량은 4 mm/min, 염무의량은 8 cc/min/m³로 하였다. 시험 전 모든 시료를 챔버 내부에서 1시간 이상 충분히 건조하여 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 시료의 열화상태

3000시간 시험완료 후 육안검사에서 모든 시료에서 트래킹이나 코어까지의 침식 및 관통은 없었으나 표면 발수성 감소 및 약간의 침식이 존재하였다. 그림 1에서 나타낸 것처럼 시료 A (그림 1의 (a))의 경우 표면의 약한 chalking 현상 및 침식을 보였으며, 시료 C (그림 1의 (b))의 경우는 sheath에서 보다 심한 침식현상을 보였다. 시료 B의 경우

는 표면 특이한 점을 발견할 수 없었다.



(a) 시료 A

(b) 시료 C

그림 1. 가속열화시험 후의 시료 침식

시료의 표면 발수성 변화를 측정하기 위해 STRI에서 추천하는 스프레이식 방법을 이용하였다. 발수성 평가 (HC ; Hydropobicity Class)는 7등급으로 구분하였으며, 가속열화 완료후 시료 A는 거의 완전 젖음성을 나타내는 HC6~7, 시료 B, C는 HC4~5로 나타났다.

이와 같이 가속열화 시킨 시료는 염해지역에서 6년 사용한 시료 보다 표면상태가 훨씬 더 불량하였다.

3.2 염분에 의한 표면 오손상태

시료의 표면 누설전류는 표면상태 및 표면에 부착된 오손물의 영향을 많이 받게 되므로 가속열화 시험완료 후 시료의 표면 오손정도를 측정하였다. 측정은 각 시료에 대해 수회 측정하여 평균값을 구한 것으로 시료별로 약간의 차이는 있었으며, 측정된 결과를 표 2에 나타내었다. 시료 B가 가장 높은 값을 보였지만 청정지역(오손등급 A, 0.063 이하)으로 분류되는 오손정도이다.

표 2 시료의 등가염분부착밀도

구분	시료 A	시료 B	시료 C
ESDD (mg/cm ²)	0.017	0.048	0.018

3.3 누설전류 측정

3.3.1 환경조건에 따른 누설전류

온도 및 습도는 시료 표면누설전류에 미치는 영향이 아주 적었다. 습도가 높아 시료 표면에 미소한 물방울이 형성되면서 누설전류는 약간 증가하였다. 반면에 주수 및 염무는 누설전류 변화에 아주 민감한 영향을 주었다. 건조대 아킹에 의해 누설전류 변화가 아주 컸다. 따라서 본 논문에서는 주수

및 염무시 누설전류 분석에 중점을 두었다.

3.3.2 누설전류 측정 결과

안개가 많은 환경 상태를 모의하기 위해 챔버 내부의 온도를 10℃ 정도로 하고 염무 환경조건에서 시료의 표면 누설전류 파형을 측정된 결과를 표 3에 나타내었다. 표에서 처럼 대체로 누설전류가 클수록 고조파 비율이 증가함을 알 수 있었다.

표 3. 고조파 성분 측정값 (저온, 염무)

구 분	시료 A		시료 B		시료 C	
	1	2	1	2	1	2
I_{LC} (μA)	100.0	210.2	442.4	728.0	425.0	649.5
3고조파 (%)	24.0	28.1	21.1	37.5	43.1	31.0
5고조파 (%)	-	-	-	21.9	21.0	10.1

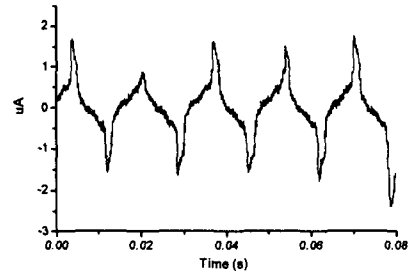
표 4는 여름기온에서 비오는 환경을 모의하기 위해 챔버 내부온도를 35℃로 하고 주수후 표면 누설전류 파형을 측정된 결과를 나타낸 것이다. 표 4에서는 누설전류값이 크다고 반드시 고조파 함유비율이 높다고 볼 수 없었다. 주수 후에도 열화품은 기본파 대비 제3고조파 비율이 높았으나 표면열화가 심하지 않은 시료 및 신품의 경우는 제3고조파 비율이 높지 않은 것으로 나타났다.

표 4. 고조파 성분 측정값(고온, 주수)

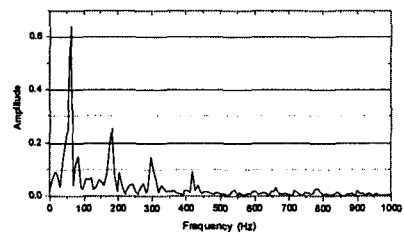
시료	시료 A		시료 B		시료 C	
	신품	열화	열화	열화	신품	열화
I_{pp} (mA)	3.984	1.350	0.762	2.109	1.141	2.391
I_{rms} (μA)	468.7	279.2	138.9	238.5	278.2	535.6
3고조파(%)	6.38	8.77	17.0	4.00	3.45	28.3
5고조파(%)	-	-	-	-	-	-

3.3.3 누설전류 파형 분석

그림 2과 그림 3는 염무시 시료 B, 시료 C에 대한 누설전류 파형을 분석한 그래프이다. 염무 환경조건에서는 그림에서와 같이 누설전류 크기가 급변하며, 기본파에 대해 3고조파와 5고조파 함량이 큰 것을 알 수 있었다. 여기서 시료 B의 경우는 표면이 침식된 것이며, 시료 C는 표면 발수성이 저하된 시료이다.

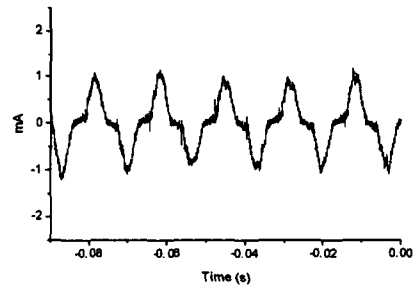


(a) 누설전류 파형

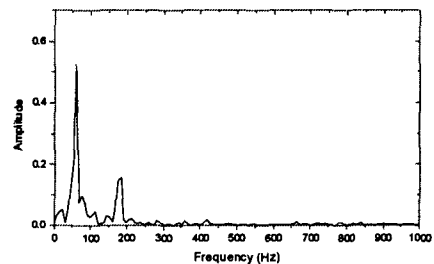


(b) 고조파 분석

그림 2. 염무시 누설전류 파형분석 (시료 B)



(a) 누설전류 파형



(b) 고조파 분석

그림 3. 염무시 누설전류 파형분석 (시료 C)

그림 4는 가속열화 시험으로 표면 발수성이 저하된 시료 B에 대한 누설전류 크기에 따른 제3고조파 함유량을 나타낸 그림이다. 그림에서와 같이 동일 시료에 대해 대체로 누설전류 크기가 클수록 고조파 함유량이 크다는 것을 알 수 있었지만 정확하게 비례하지는 않았다.

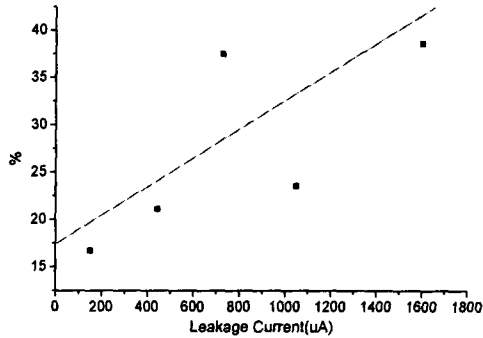
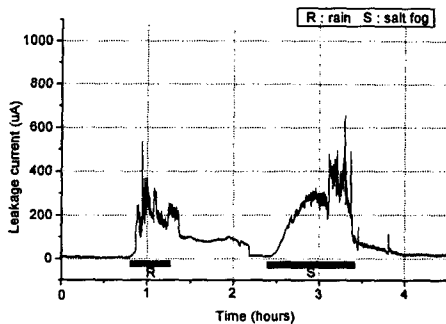


그림 4. 누설전류 크기에 따른 제3고조파 함유량

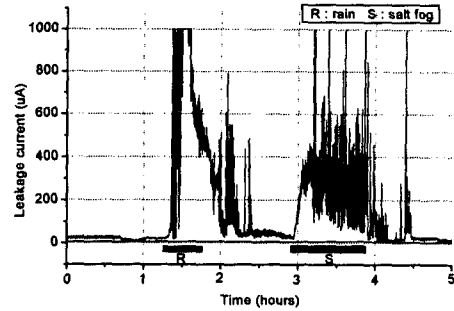
3.3.4 환경조건에 따른 누설전류 분포

가속열화 시험 시료에 대한 주수 및 염무시 누설전류 패턴을 측정하였다. 초기에 시료를 50℃에서 약 1시간 정도 건조시킨 다음 30분간 주수하고 다시 1시간 건조 후 1시간동안 염무를 분무하면서 측정하였다.

그림 5는 가속열화로 시료에 대해 표면 누설전류 패턴을 측정한 결과를 나타낸 것이다. 시료의 표면이 열화되고 염분 오손물이 부착된 상태에서 주수 초기에 표면 누설전류가 급증하였으며 점차 표면 오손물의 세정으로 감소하는 경향을 보였다.



(a) 시료 A



(b) 시료 B

그림 5. 주수 및 염무시 누설전류 분포

또한 주수 후에도 표면에 부착된 수분의 영향으로 누설전류가 얼마동안 지속되었다. 반면에 염무시에는 누설전류가 서서히 증가하다가 염무 종료와 더불어 급격히 감소함을 보였으며 시료 표면의 물방울이 증발됨에 따라 초기의 상태로 회복되었다.

시료 C 역시 누설전류 크기는 상이하었지만 비슷한 패턴을 보였다.

4. 결론

가속열화시킨 폴리머에자의 환경에 따른 누설전류 측정 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- 1) 대체로 누설전류는 표면 상태 및 주변 환경에 따라 증가하지만 누설전류가 클수록 반드시 누설전류에 기수고조파가 포함되었다고 할 수는 없었지만 시료 표면이 열화되었을 경우는 누설전류가 증가하였고 고조파 성분도 많았다.
- 2) 표면에 오손되었을 경우 주수로 인한 표면에 수막이 형성되면 누설전류가 급격히 증가하였다. 또한 염무시에는 염무 시간에 따라 누설전류값이 점차 증가함을 보였다.

참고문헌

- [1] 한재홍, 이병성, 정종욱, "가속열화시험에 의한 폴리머에자 신뢰성 평가", 한국전기전자재료학회 춘계학술대회 논문집, pp.10~14, 2001
- [2] "배전용 폴리머에자의 신뢰성평가 및 운용기준 제정", 최종보고서, 전력연구원, 2001.4
- [3] Ravi S. Gorur et al., Outdoor Insulators, Ravi S. Gorur Inc., 1999.