

## 인위적 열화 애자에 대한 누설전류와 온도와의 관계

### Correlation between leakage current and temperature Rise for artificially aged insulators

김정태\*, 김지홍\*\*, 구자윤\*\*, 윤지호\*\*\*, 함길호\*\*\*  
(J.T.Kim\*, J.H.Kim\*\*, J.Y.Koo\*\*, J.H.Yoon\*\*\*, G.H.Ham\*\*\*)

#### Abstract

In this study, the correlation between leakage currents and temperature rise was investigated for the more accurate diagnosis of bad insulator by use of the infrared camera. For the purpose, leakage currents and thermal images were measured for the artificially aged insulators using salt fog. From the results, it is concluded as follows ; in case of artificially aged insulators, the leakage current was decreased with the duration of voltage application and was largely affected by humidity, which seems due to ionic conduction. Also, the correlation between temperature rise and leakage current was appeared to be quite linear, although it showed below linearity at large leakage current.

**Key Words** : insulator, diagnosis, leakage current, thermal image, artificially salt fog aging

#### 1. 서 론

송배전선에 적용되는 애자는 공장 출하시 품질의 신뢰성이 높지만, 염해 오손, 먼지 오손, 눈에 의한 외부 방전 사고 및 공사 중 외상에 의한 자기부의 크랙, 지진 태풍시의 이물 충돌에 의한 파손에 의해 전기적 절연파괴 사고가 일어난다. 애자 표면의 절연 상태는 기상 조건 및 표면 오손 그리고 습윤 정도에 따라 크게 영향받으며, 상용주파수 전압에서 현저히 나타날 수 있으며 오염 지역에서는 특히 심각한 것으로 알려져 있다.

애자가 불량일 경우 상당한 누설전류가 흐르며, 누

설전류가 2 ~ 3 mA 정도 흐르게 되면 애자의 불량 상태가 매우 심각하여 운전전압에서도 거의 절연파괴가 일어날 수 있는 정도이다. 이 때, 이 정도의 누설전류로 인해 정상 애자에 비해 온도차가 4 °C 이상을 나타내 열상 카메라로 식별이 가능하다고 보고되고 있다.[1] 따라서, 열상 카메라를 이용한 불량 애자의 진단이 가능한 것으로 보고되고 있다.

그러나, 열상 카메라를 이용한 온도 측정은 주위 환경, 날씨 상태, 피사체의 종류 등에 따라 달라지므로 정확한 측정은 대상 애자의 종류에 따라 다르게 고려되어야 하고, 이를 이용한 진단을 위해서는 많은 데이터 구축이 필요하다. 또한, 현재까지 현장에서 열상 카메라를 이용하여 단순 비교 측정만 수행하고 있어 정량적으로 열화 판단에 대한 심도있는 연구는 수행되지 않고 있다.

따라서, 본 연구에서는 열상 카메라를 이용하여 보다 체계적이고 정확한 불량 애자의 진단을 위해 애

\* 대전대학교 전기공학과

Fax: 031-535-3579

E-mail : jtkim@road.daejin.ac.kr

\*\* 한양대학교 전기공학과

\*\* LG 산전 대전력시험센터

자의 누설전류에 따른 애자 표면의 온도상승 관련성에 대해 조사하였다. 이를 위해 소금물 분무를 통해 인위적으로 열화시킨 애자에 대해 전압을 인가하고 누설전류를 측정하고 그 때의 온도 상승을 열상 카메라를 이용하여 측정하였다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 애자에 대한 인위적 열화

본 실험에 사용한 애자는 국내 22.9 kV 배전 선로에 가장 많이 사용되는 라인포스트 자기 애자이며, 소금물 분무 열화는 적정 농도의 소금물을 애자 표면에 1 cm 정도의 폭으로 분무한 후 자연 건조시키는 방법을 이용하였다. 본 연구에서 인위적 열화로써 소금물 분무 방법을 이용한 것은 일반적으로 해안가 등지에서 이로 인한 애자의 사고가 많이 발생되기 때문이다. 또한, 1 cm의 폭으로 열화시킨 이유는 열화 부위로 누설전류가 흐르고 그 부분의 온도가 높아질 것이므로 열상 카메라를 이용한 측정의 확실성을 높이기 위한 것이다. 그림 1은 애자 표면에 소금물 분무 열화가 된 상태의 사진이다.

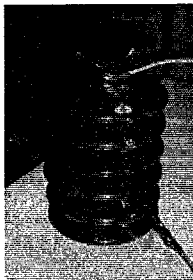


그림 1. 소금물 분무 열화시킨 라인포스트 애자

### 2.1 누설전류 및 온도 측정

애자에 60Hz 상용주파 전압을 인가하고 센트를 이용하여 누설전류를 측정함과 동시에 애자 표면의 온도를 열상 카메라를 이용하여 측정하였다. 본 연구에서는 실험의 신뢰성을 높이기 위해 열화 애자 4개와 열화시키지 않은 정상적인 미열화 애자 1개에 동시에 전압을 인가하였으며, 미열화 애자에 데이터를 기준으로 열화 애자의 누설전류와 온도를 분석하였다.

그림 3에 실험 전경을 나타내었다. 사진 뒷편에 전압 인가용 변압기, 그 앞으로 테이블 위에 5개의 실험 대상 애자, 그 앞에 온도 측정을 위한 열상 카메라 그리고 사진 우측에 센트를 통한 누설전류 측정용 오실로스코프가 나타나 있다.

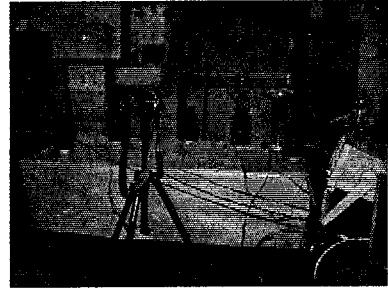


그림 2. 누설전류와 온도 측정 실험 전경

## 3. 실험 결과 및 검토

### 3.1 누설전류 분석

전술한 바와 같이 소금물 분무 열화 애자 4개와 정상적인 미열화 애자 1개에 대해 10kV, 20kV, 30kV, 40kV의 전압을 인가하며 누설전류를 측정하였다. 이때, 누설전류는 전압 인가시간에 따라 달라질 수 있으므로, 각 전압당 20시간 이상 인가하면서 누설전류의 변화를 추적하였다. 그림 3은 각 전압을 인가할 때 시간에 따른 각 시료의 누설전류 변화를 대표적으로 나타낸 것이다. 그림에 %로 표현된 것은 측정 당시의 상대습도이다.

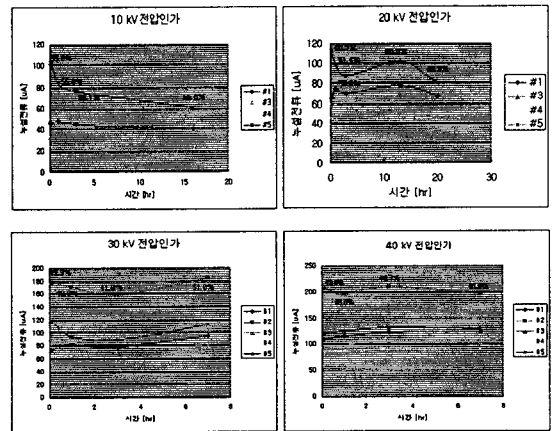


그림 3. 시간에 따른 누설전류의 변화

그림에서 알 수 있는 바와 같이 열화 시료(#1, #2, #3, #5)는 전압인가 초기에 누설전류가 크게 나타나다가 시간에 따라 거의 지수함수 꼴로 감소하는 것을 볼 수 있다. 이러한 경향은 열화가 많이 된 경우가 더 심하게 나타났다. 이러한 결과는 인위적인 열화가 소금물 분무에 의한 것이니 만큼 누설전류는 이온성 전도를 띄게 되고, 교류 전압을 인가하더라도 전계가 높은 쪽으로 이온들의 거동이 주로 나타

나 시간에 따라 안정화되었기 때문에 판단된다. 그러나, 이에 대해서는 보다 추가적인 실험을 통해 입증되어야 할 것으로 생각된다.

이 실험에서 볼 수 있는 또 다른 특징은 누설전류가 습도에 상당히 크게 좌우된다는 것이다. 그림 3의 30kV 전압인가의 경우 시간이 지남에 따라 누설전류가 커지고 있는데, 이것은 습도가 높아져 이온성 전도를 크게 하였기 때문으로 판단된다. 이 역시 열화 시료에서는 크게 나타나지만, 정상적인 미열화 시료(#4)에서는 습도의 영향이 미미한 것을 알 수 있다.

한편, 열화가 일어나면 거의 대부분의 절연체는 V-I 특성에서 비선형성을 나타내게 된다. 따라서, 본 연구에서도 인위적 열화에 의한 애자 누설전류의 비선형성에 대해 분석하였다. 그림 4는 각 시료마다 인가전압과 누설전류와의 상관성을 나타낸 것으로 모든 시료가 거의 선형성을 나타내고 있다. #1~#3 시료는 열화 시료이고 #4 시료는 미열화 시료인데, 미열화 시료의 경우 데이터의 분산 정도가 아주 작게 나타나고 열화 시료의 경우에는 분산도가 조금 크게 나타나고 있지만, 거의 선형적인 관계임을 알 수 있다. 열화 시료의 경우, 데이터의 분산 정도가 조금 큰 것은 습도의 차이로, 열화가 심할수록 습도의 영향이 큰 상술한 결과를 고려하면 가능한 해석이라 판단된다.

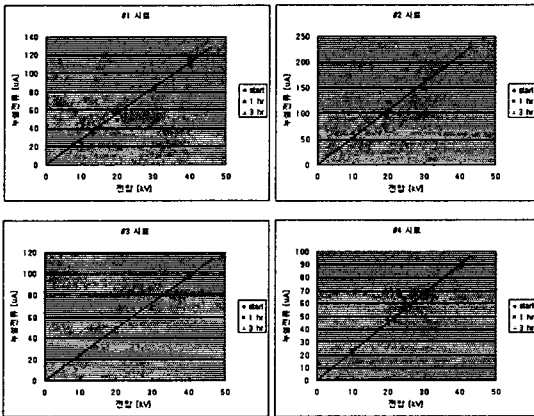


그림 4. 인가전압에 따른 누설전류의 변화

### 3.2 누설전류와 온도와의 상관 관계

본 연구에서는 누설전류와 온도와의 상관관계를 해석하기 위해 열화 시료와 미열화 시료 간의 차이를 이용하였다. 이와 같이 분석한 이유는 다음과 같다. 먼저, 시료 표면의 온도는 주위 온도와 누설전류에 의한 온도 상승과의 합으로 나타난다. 그리고, 측

정된 전류는 기본적인 애자의 변위전류와 도전전류의 합으로 나타나는데, 이 중 변위전류는 기본적으로 모든 시료가 비슷하다고 가정하고, 도전전류는 열화 정도에 의해 증가되며 누설전류로서 발열에 기여한다고 생각할 수 있다. 따라서, 각 전압 레벨에서 열화 시료와 미열화 시료의 전류 차이는 거의 순수한 열화에 의한 누설전류 성분으로 볼 수 있으며, 측정된 온도 역시 주위 온도에 누설전류에 의한 온도 상승이 더해진 것이므로 열화 시료와 미열화 시료의 온도 차이는 누설전류(열화)에 의한 온도 상승 값이라고 볼 수 있기 때문이다.

그림 5는 각 인가전압에서 열화 시료와 미열화 시료 간의 누설전류 차이와 온도 차이를 도시한 것으로, 누설전류가 증가함에 따라 온도가 증가하는 것을 알 수 있다. 하지만, 누설전류와 온도상승은 선형적인 관계는 아니고 추세선으로 표현된 바와 같이 누설전류의 증가에 따라 온도 상승은 작아지고 있다. 이것은 누설전류에 의해 발열량이 커지면 상대적으로 방열량도 커져 온도 상승이 선형적으로 커지는 않는 것으로 해석된다.

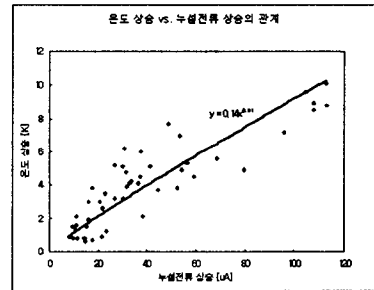


그림 5. 누설전류에 따른 온도상승

## 4. 결 론

본 연구에서 애자의 누설전류와 온도상승과의 관련성에 대해 실험을 수행한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

인위적 열화 애자의 경우, 누설전류는 전압인가 시간에 따라 줄어들며 습도에 크게 영향받는데, 이것은 이온성 전도 때문인 것으로 생각된다.

누설전류에 따른 온도상승은, 누설전류가 커질수록 온도상승이 선형적으로 증가하지는 않지만, 대체로 선형적인 관계로 나타났다.

## 참고 문헌

- [1] 日本電氣學會, “電氣設備の診斷技術”, 日本電氣學會, p.335, 1998