

열상카메라를 이용한 애자의 열화에 관한 연구

김정태*, 김지홍**, 구자윤**, 윤지호***, 함길호***
 대진대학교 전기공학과 ** 한양대학교 전기공학과 *** LG 산전 (주) 전력시험기술센터

A Study on the Degradation of Insulators using Thermal Image Camera

Jeong-Tae Kim*, Ji-Hong Kim**, Ja-Yoon Koo**, Ji-Ho Yoon***, Gil-Ho Ham***
 * Daejin Univ. ** Hanyang Univ. *** LG Industrial Systems

Abstract - In this paper, it was tried to find out the minimum measurement range in the diagnosis of insulators using thermal image camera. For the purpose, leakage currents and thermal images were observed simultaneously for the insulators of which surface had been artificially polluted by salt fog. As a result, the surface temperature was increased with leakage currents. Also, the results of AC breakdown tests for the insulator of which temperature rise was more than 1 °C showed to be bad. Therefore, through the study on the relationship between leakage current, temperature rise and AC breakdown voltages, the diagnosis of the insulator in site would be possible using the thermal image camera.

를 이용한 온도측정의 개념도를 나타내었다. 교류 고전압을 애자에 인가하면서 2 kΩ의 션트 저항과 오실로스코프를 이용하여 누설전류를 측정하고 인가전압 및 시간에 따라 열상 카메라를 이용하여 애자 표면의 온도를 측정하였다. 이 때, 본 연구에서 사용한 애자는 모두 배전급으로 라인포스트 애자, 옥내용 지지애자 및 현수 애자이다.

1. 서 론

송배전선에 적용되는 애자의 공장 출하시 품질의 신뢰성은 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 절연 파괴 사고가 일어난다. 외부 절연은 기상 조건 및 표면 오손 그리고 습윤 정도에 따라 크게 영향받으며, 상용주파수 전압에서 현저히 나타나고 오염 지역에서 특히 심각하다.

불량 애자의 경우 누설전류가 2 ~ 3 mA 정도 흐를 경우, 이로 인해 정상 애자에 비해 온도차가 4 °C 이상을 나타내 열상 카메라로 식별이 가능하다.[1] 그러나, 이 정도의 누설전류가 흐르는 것은 애자의 불량 상태가 매우 심각하여 운전전압에서도 거의 절연파괴가 일어날 수 있는 정도이다.

따라서, 본 연구에서는 애자에 작은 누설전류가 흐를 때 어느 정도까지 열상 카메라를 이용하여 측정이 가능한지를 파악하였다. 이를 위해, 애자 표면에 인위적으로 염수 오손을 시킨 뒤 적절한 교류 전압을 인가하면서 션트를 이용하여 누설전류를 측정함과 동시에 열상 카메라를 이용하여 애자 표면의 온도를 측정하였다.

2. 본 론

2.1 실험방법

일반적으로 한전의 ESB 규정을 포함하여 애자에 대한 시험 규격에는 열화에 따른 누설전류 측정 시험이라든가 이에 대한 한계 값 등은 나타나 있지 않다. 따라서, 본 연구에서는 한전의 ESB 규정에 의한 시험을 수행하지 않고, 애자를 염수 분무하여 열화시킨 뒤 이에 대해 누설전류를 측정하고 열상 카메라를 이용하여 온도 측정을 함으로써 애자의 열화에 대한 열상 카메라의 이용 방법을 연구하였다.

그림 1은 애자에 대한 누설전류 실험과 열상 카메라

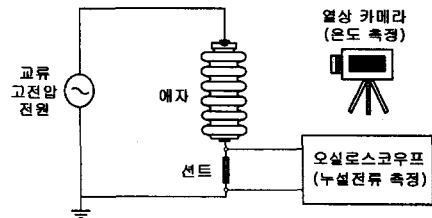


그림 1. 애자에 대한 누설전류 실험과 열상 카메라를 이용한 온도측정 개념도

2.2 실험 결과 및 고찰

2.2.1 라인 포스트 애자

배전용 라인포스트 애자는 그림 1에 나타난 것처럼 주름이 6 개 있다. 그러나, 본 연구에서는 전압이 가해지는(누설전류가 흐르는) 부분과 가해지지 않는 부분을 같이 나타내고, 가급적 낮은 전압에서 누설전류가 많이 흐를 수 있도록 3 개의 주름에 대해서만 전압을 인가하였다.

그림 2는 전형적인 누설전류 측정 파형을 나타낸 것으로, 라인포스트 애자 3 개의 주름에 대해 염수 분무를 한 후 잘 말린 뒤 20 kV의 교류 전압을 인가할 때 흐르는 누설 전류를 측정 한 것이며 약 80 mV 정도가 측정되어 2 kΩ의 션트를 고려하면 40 μA의 누설전류가 흐르는 것을 알 수 있다. 이러한 방법으로 각 애자에 대해 전압을 인가하며 누설전류를 측정하였다.

그림 2의 파형을 보면 기본적으로 60 Hz의 교류 성분과 함께 상당한 고조파 성분이 포함된 것을 볼 수 있는데, 이러한 결과는 여러 문헌[2,3]에서도 많이 보고되고 있는 것으로 누설전류의 증가와 함께 고조파 성분이나 직류 성분이 증가된다. 따라서, 측정된 파형은 교류전압 인가시의 전형적인 누설전류 파형으로 판단된다. 앞으로 애자의 열화에 따른 기본파인 변위전류 성분과 고조파 성분의 비율로서 열화 정도를 판단할 수 있는 연구가 추진되어야 할 것으로 사료된다. 즉, 측정된 전류가 크다고 해서 반드시 열화가 많이 되었다고는 보기 어렵다. 교류 전압 인가시에 측정되는 전류는 변위전류 성분과 누설 성분으로 구분할 수 있는데, 변위전류는 인가 전압의 크기 및 애자 표면의 커패시턴스 등에 의해 다르

므로 변위전류가 크다고 해서 열화가 많이 되었다고 볼 수 없다. 따라서, 누설전류 전체의 크기 뿐 아니라 변위전류와 누설성분과의 비율로서 애자의 열화 정도를 판단하는 것이 바람직하다고 사료된다.

그림 3은 염수 분무한 라인포스트 애자에 대해 전압인가 전(0 μ A)과 13.2 kV 30분(52 μ A), 20 kV 30분간(76 μ A) 인가하였을 때의 열상 카메라 사진이다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 특별히 온도상승이 일어났다고 보기 어렵다. 그러나, 그림 4에 나타난 바와 같이 30 kV(120 μ A)를 인가하였을 때 온도의 상승이 나타났다. 하지만, 이 경우의 온도 상승은 그리 크지 않아 약 0.3 $^{\circ}$ C 정도 상승되었다.

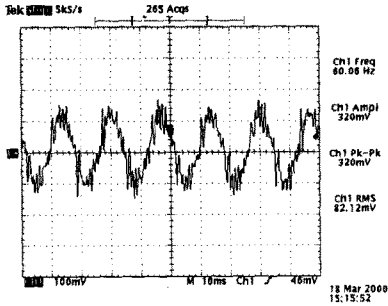
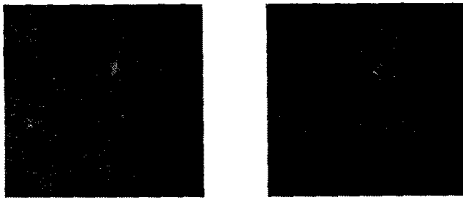


그림 2. 전형적인 누설전류 측정 파형



(a) 전압인가 전 (b) 13.2 kV 30분(52 μ A)



(c) 20 kV 30분간(76 μ A)

그림 3. 염수분무 라인포스트 애자에 대한 열상 카메라 사진

2.2.2 옥내용 지지애자

옥내용 지지애자는 타 실험을 수행할 때 도체를 지지하였던 것으로 150 $^{\circ}$ C 이상의 온도에서 250 시간 정도의 열적 스트레스를 받은 것이다. 그러나, 자기 애자의 특성상 이러한 열적 스트레스로 인해 애자 표면에 열화가 일어났다고 볼 수 없다. 실제로 이 애자에 대해 20 kV로 30분간 인가한 후에도 누설전류는 6 ~ 7 μ A 정도로 나타나 열상 카메라에서도 온도 상승을 찾아볼 수 없었다.

따라서, 이 옥내 지지용 애자에 대해 염수 분무하여 열화시킨 후 누설전류와 온도를 측정하였다. 그러나, 이 경우에도 인가전압 30 kV까지는 온도의 변화를 나타내지 않았고, 40 kV를 인가할 때야 비로소 온도의 상승

을 확인할 수 있었다. 그림 5는 염수 분무한 옥내 지지용 애자에 대해 40 kV(50 μ A)를 인가할 때의 열상 카메라 사진이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 시간이 지남에 따라 온도가 상승하는 것을 알 수 있다. 특히 이 경우에는 그림 5에 나타난 애자의 앞 부분에만 염수를 분무하여 분무되지 않은 부위는 거의 온도 상승이 일어나지 않는 것을 볼 수 있다. 그리고, 염수가 묻은 부위를 위주로 누설전류가 주로 흘러 그 부분의 온도가 상승되고 있다. 가장 온도 상승이 큰 부분(애자의 윗쪽 부분으로 색깔 변화가 큰 부분)은 약 1.5 $^{\circ}$ C 정도의 온도 상승이 일어났고 나머지 부분은 최저 0.2 $^{\circ}$ C 이상의 온도 상승이 일어났다. 그러나, 이 경우에는 부분적으로 염수 분무를 하였기 때문에 누설전류와 온도상승과의 관계를 정의하기는 어렵다.



(a) 초기 (b) 10분

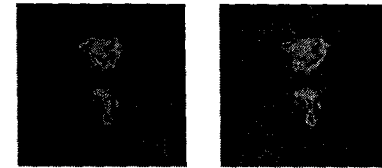


(c) 20분 (d) 30분

그림 4. 30 kV(120 μ A) 인가시 염수분무 라인포스트 애자에 대한 열상 카메라 사진



(a) 초기 (b) 10분



(c) 20분 (d) 30분

그림 5. 40 kV(50 μ A) 인가시 부분적인 염수분무 옥내 지지 애자의 열상 카메라 사진

2.2.3 현수 애자

그림 6은 현수 애자에 대해 염수를 분무한 후 20 kV(250 μ A)의 교류전압을 인가한 경우의 열상 카메라 사진이다. 시간이 지남에 따라 온도 상승이 확실한 것이 보인다. 이 때의 온도 상승은 2.1 $^{\circ}$ C 정도로 나타났으나, 실험시 주위의 온도가 히터의 가동으로 0.7 $^{\circ}$ C 정

도 상승되어 실제의 온도상승은 1.4 °C로 고려할 수 있다.

한편, 그림 7은 그림 6.(d)의 경우 전체 현수 애자의 사진을 나타낸 것으로, 현수 애자가 3련으로 구성된 가운데 첫 번째 애자에만 전압을 인가하여 그 부분만 온도가 상승되고 나머지 아래의 2련은 낮은 온도로 보이고 있다. 이 사진을 통해 누설전류로 인한 온도 상승을 열상 카메라로 확실히 측정할 수 있음을 알 수 있다.

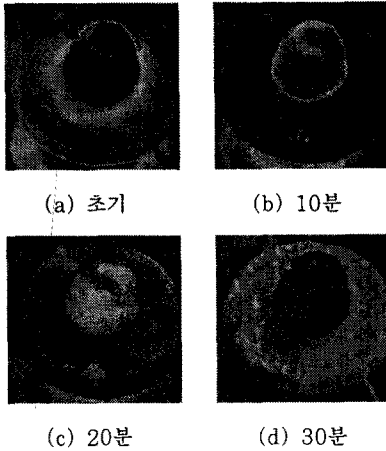


그림 6. 20 kV(250 μA) 인가시 염수분무 현수 애자에 대한 열상 카메라 사진

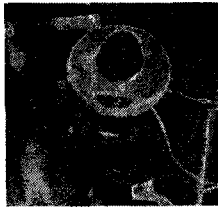


그림 7. 20 kV(250 μA) 30분 인가후 염수분무 현수 애자 3련에 대한 열상 카메라 사진

2.2.4 열상 카메라를 이용한 애자의 열화 추적방안
 전술한 실험 결과와 같이 염수 분무한 애자에 대해 누설전류에 따라 애자 표면의 온도가 상승하므로 열상 카메라를 이용하여 온도 측정이 가능함을 보였다. 정상적인 애자에 대해 열화를 시킨다는 것이 쉽지 않기 때문에 본 연구에서는 염수를 분무하는 방법을 이용하였다. 그러나, 염수 분무방법을 이용하여도 큰 누설전류를 흘릴 수는 없어, 전압을 정격 전압 이상으로 인가하여도 최대 250 μA 정도 밖에 인가하지 못하였으며, 경우에 따라서는 전체 누설전류는 작지만 온도는 크게 올라간 실험 결과도 나타나 주위 습도의 영향 및 염수 분무 실험의 한계가 아닌가 하는 정도로 분석하고 있다. 또한, 본 실험에서 인가한 전압 이상을 인가하면 애자의 금구류나 설치한 전극에서 상당한 량의 코로나가 발생되기 때문에 현실적으로 누설전류의 측정이 쉽지 않아 더 이상의 전압을 인가하지 못하였다.

전술한 바와 같이 불량 애자의 경우 누설전류가 2 ~ 3 mA 정도 흐르면 온도 상승이 4 °C 이상을 나타낸다고 하였으나, 본 연구에서는 그 정도의 열화는 시킬 수 없었다. 본 연구의 실험 결과에서는 120 μA가 흐를 때 0.3 °C 그리고 250 μA가 흐를 때는 1.4 °C 정도의 온도 상승이 나타났다. 1 °C 이상의 온도 차이라면 열상

카메라로 충분히 구분이 가능하므로, 본 연구에서 실험한 정도의 열화가 일어났다면 현장에서 이러한 열화를 추적할 수 있다고 판단된다.

한편, 본 연구에서 가장 열화가 많이 된 현수 애자에 대해 교류 파괴전압을 측정하여 표 1에 결과를 나타내었다. 표에서 알 수 있는 바와 같이 20 kV에서 250 μA가 흐를 때 1.4 °C의 온도상승이 측정되었던 애자는 상용주파 건조 섬락치와 상용주파 주수 섬락치 모두 허용 기준치에 미달되어 불량인 것으로 나타났다. 이러한 실험 결과로부터, 열상 카메라로 1 °C 이상의 온도 차이가 측정된다면 열화된 불량 애자로 판단할 수 있다. 즉, 현장에서 애자에 대해 열상 카메라로 측정하여 다른 애자(정상적인 것으로 간주함)에 비해 1 °C 이상의 온도 차이가 나타나면 불량 애자로 판정할 수 있다.

표 1. 염수 분무 현수 애자에 대한 교류 파괴시험 결과

항 목	측정값	허용 기준 값[4]	비 고
상용주파 건조 섬락치	71 kV	80 kV	누설전류 : 20kV에서 250 μA (1.4 °C 온도상승)
상용주파 주수 섬락치	34 kV	50 kV	

물론 상기한 판단기준은 한 가지 연구 방안을 제시한 것이므로, 앞으로 보다 많은 실험을 통해 입증되어야 할 것으로 사료된다. 즉, 염수 분무 방법을 이용한 애자의 모의 열화 실험에서 누설전류는 시간에 따라 그 크기와 파형이 변화하므로[2,3] 보다 장기적인 측정을 통해 누설전류의 변화와 그 때의 열상카메라를 이용한 온도의 변화를 측정하여야 할 것이다. 그리고, 누설전류는 주위 습도에 따라 변화되므로 습도에 따른 누설전류의 값 및 온도 변화를 측정하여야 한다. 아울러, 현재 누설전류에 대한 열화 판단 기준이 없으므로 표 1에 나타난 바와 같은 파괴 시험을 통해 누설전류의 한계값 그리고 그 때의 온도상승 값을 결정하여야 할 것으로 판단된다.

3. 결 론

본 연구에서는 열상 카메라를 이용하여 애자의 열화 정도를 판단하기 위하여 염수 오손을 시킨 뒤 누설전류와 애자 표면의 온도를 측정하였다. 그 결과, 함수적인 관계를 도출하지는 못하였지만 누설전류의 증가에 따라 애자 표면의 온도가 상승하는 것을 알 수 있었다. 아울러, 열상 카메라로 충분히 구분 가능한 1 °C 이상의 온도상승이 나타난 시료의 교류 파괴시험 결과가 허용 기준치 이하로 나타나 불량 애자임을 판정할 수 있었다. 앞으로 이러한 일련의 실험을 통해 누설전류와 온도상승 및 파괴 전압과의 관련성을 파악하여, 현장에서 열상 카메라를 이용한 애자의 열화 판단이 가능하리라 생각된다.

(참 고 문 헌)

- [1] 日本電氣學會編, "電氣設備の診斷技術", 日本電氣學會, 1988
- [2] M.A.R.M.Fernando et al., "Leakage Current Patterns on Artificially Polluted Composite Insulators", 1996 CEIDP, pp.394~397, San Francisco, Oct., 1996
- [3] W.Tjokrodiponto et al., "Leakage Current Magnitudes and Waveshapes along Polymer Insulators", 1997 CEIDP, pp.390~393, Minneapolis, Oct., 1997
- [4] 한국전력 표준 구매 사양서, ES 131-537~539, 배전용 불소캐칭 현수애자, 1996