

적외선 방사 카메라를 이용한 PMMA 트래킹 열화에 관한 연구

A Study on the Tracking Aging of PMMA using Infrared Radiation Camera

이학현¹, 임장섭², 소순열^{1,a}, 이진¹

(Hack-Hyun Lee¹, Jang-Seob Lim², Soon-Youl So^{1,a}, and Jin Lee¹)

Abstract

Tracking and erosion of Poly Methyl Methacrylate (PMMA) and the suppression mechanism of alumina trihydrate were investigated in the present study. The conventional testing as IEC-60587 is widely used in surface aging measurement of outdoor insulator those testing can carry out very short time for Lab testing. Also IEC-60587 testing is able to offer the standard judgement of relative degradation level of outdoor HV system. Therefore it is very useful method compare to previous conventional tracking testing method, But surface discharges(SD) have very complex characteristics of discharge pattern so it is required estimation research to development of precise analysis method. In recent, the study of IRR-Camera is carrying out discover of temperature of power equipment through condition diagnosis and system development of degradation diagnosis. In this paper, SD occurred from IEC-60587 is measured with the surface temperature of weibull distribution in real time, the degradation grade of SD is analyzed through produced patterns in IEC-60587 using Infrared Radiation(IRR) camera.

Key Words : Tracking, Erosion, Surface discharge, Infrared radiation diagnosis

1. 서론

전력계통에는 여러 종류의 재료가 도전재료, 자성재료 및 절연재료 등으로 사용되고 있다. 이 중 옥외용 절연재료는 타 분야의 재료에 비하여 열악한 환경에 노출되어 장기간 사용되고 있다. 이러한 이유로 옥외용 애자는 내아크성, 내후성, 내열성 등이 우수한 특성을 갖도록 제작되고 있으나, 산업의 발전으로 인한 전력수요의 급격한 증가는 상기의 특성 외에도 유지, 보수, 소형화, 경량화 및 내환경성 등의 추가적인 기능을 요구하고 있다.

고분자 비정질 애자는 제작상의 손상, 염진해, 산상우, 자외선, 열적 열화, 기계적 열화 및 전계적

열화 등으로 절연성의 점진적인 특성저하가 일어난다. 그 중 전계적 열화에 의한 국부적인 표면파괴 현상인 트래킹 파괴는 절연물이 열악한 환경에서 장기간 사용되어 표면에 수분, 이온성 물질 및 먼지 등의 불순물에 오염이 일어나 발생하는 현상으로써, 표면이 오염되면 오염물의 전도성에 따라 누설전류가 흐르고 누설 전류에 의한 Joule열이 발생하여, 건조점 및 건조대가 형성되어 분단된다. 표면에 전로대가 분단되면 분단점의 전위차에 의한 미소발광방전(Scintillation discharge)이 발생하여 재료 표면이 국부적으로 탄화되고, 전로를 형성하면서 트랙(track)의 급격한 진전이 일어나 최종적으로 절연파괴에 도달하는 현상을 말한다[1,2].

트래킹 파괴는 먼지, 습기, 유분 및 강우 등 여러 가지 표면의 오손이 원인으로 발표되고 있다. 특히 주된 2대 요인으로 염해로 인한 원인과 화석연료의 연소에 의한 유황산화물(SO_x)이나 질소산화물(NO_x) 등이 대기 중에 머물다가 비의 형태로 강우하여 피해를 주는 산성비로서, 이들의 영향이

1. 목포대학교 전기제어신소재공학과
(전남 무안군 청계면 도리리 61)
2. 목포해양대학교 해양전자통신공학과
a. Corresponding Author : syso@mokpo.ac.kr
접수일자 : 2006. 12. 8
1차 심사 : 2007. 1. 18
심사완료 : 2007. 1. 23

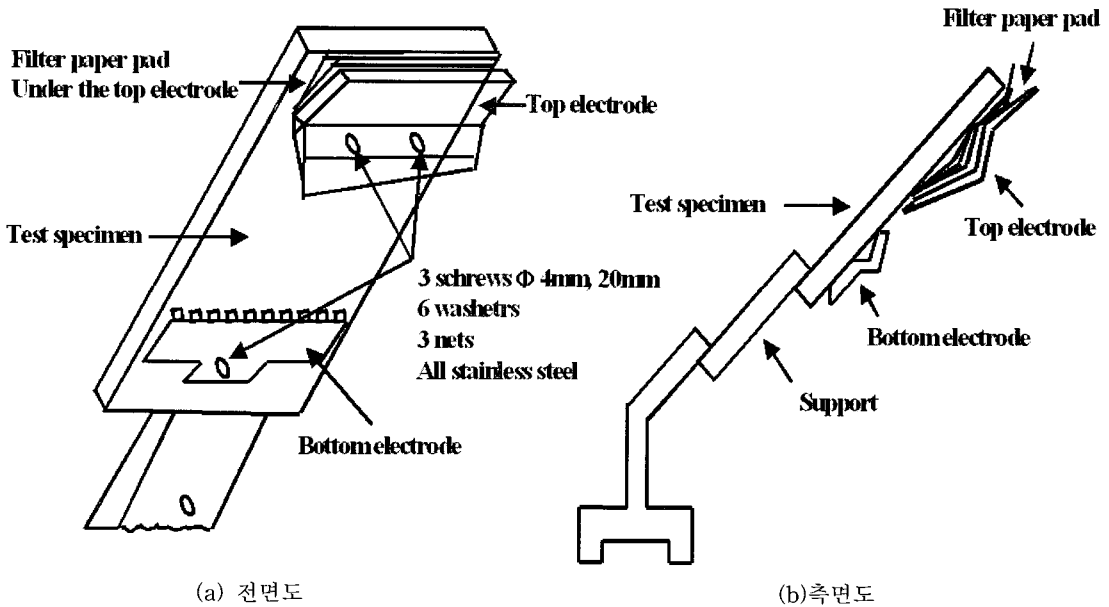


그림 1. 실험장치 구성도(IEC-60587).

Fig. 1. Experimental setup of electrode(IEC-60587).

심각하게 대두되고 있다. 트래킹 현상을 연구하는 시험법으로 IEC법, ASTM법, DIN법 및 Dust & Fog법 등 20여 종류의 시험법이 제안되어 있으나, 트래킹 파괴 양상의 복잡성과 그것을 초래하는 인자의 다양성을 실험실에서 재현하는 것은 매우 어려운 현실이다[3,4].

본 연구에서는 PMMA 재질을 이용하여 IEC-60587법에서의 트래킹 발생 및 진행 과정을 적외선 카메라를 이용하여 측정된 표면 온도를 와이블 분포함수를 통하여 분석하였다. 특히 현장에서 급격히 보급되고 있는 적외선 방사 카메라로 표면열을 측정하여 열화과정을 비교분석 및 각종 가속시험 전후의 특성을 해석하고자 한다.

2. 측정원리 및 실험방법

2.1 적외선 이론

물체 표면으로부터 나온 복사 에너지는 방출된 복사 에너지로 제한되지는 않는다. 이 의미는 어떤 복사 에너지는 반사될 수도 있고 어떤 경우에 복사 에너지는 그 물체를 통과 될 수도 있는데 이를 투과된 복사에너지라고 한다.

비접촉으로 온도를 측정하고자 할 때는 많은 요소들을 고려하여야 한다. 고려 대상중에서 대표적인 것들을 나열하게 되면, 우선 방사율(ϵ), 주변의 온도, 측정거리, 상대습도 등이 있다. 그 중에서도 방사율은 매우 중요하다. 방사율은 표면으로부터 방출한 복사 에너지의 효율을 측정하는 것이다. 이를 수학적으로 표현하자면 다음과 같다.

$$\epsilon = E_{object} / E_{blackbody} \quad (1)$$

이것은 곧 흑체로부터 복사된 에너지에 대한 피사체로부터 복사된 에너지의 비율을 나타낸 것이다.(단, 같은 온도, 파장 조건) 물체가 방사율이 높다고 하는 것은 흡수율 또한 높다는 것을 의미한다.

2.2 트래킹 절연파괴

내트래킹성의 대표적인 측정방법으로는 IEC-60587법 등 20종류 이상의 방법이 제안되어 왔다. 현재까지 제안된 내트래킹 시험법을 크게 나누면 오염상태에서 하는 습식시험법과 가상의 모형을 제작하여 시험하는 건식시험법 등이 있다. 본 논문에서는 실험 재현성이 뛰어난 IEC-60587법을 이용한 내트래킹성을 측정하였으며 이를 이용한 평가

와 SD측정의 비교분석을 수행하였다.

또한 단계별 표면열화 및 표면 온도분포 해석을 위하여 다음과 같은 단계로 구분하였고, 트래킹은 전기적 스트레스와 침적물의 복합적인 요인으로 발생하며 트래킹에 의한 절연파괴의 메커니즘을 다음의 세 단계로 구분되어 보고되고 있다[5-8].

제 1 단계 : 표면의 오염에 의한 도전로의 형성
 절연재료 표면의 침식은 습기와 해안지역의 염분, 무기질, 섬유질 및 침적성 가스분위기 등 여러 가지 침식인자들에 의해 표면이 침식되어 도전로가 형성되는 과정이다.

제 2 단계 ; 도전로의 분단과 미소발광방전의 발생

침식된 표면 즉 도전로를 통하여 누설전류가 흐르고 이 때 발생한 주울열로 건조대가 형성되어 도전로가 분단된다. 분단된 도전로 사이의 전위차로 인하여 미소발광방전이 발생한다. 이 시점은 방전에 의한 도전성 잔여물의 형성과정이다.

제 3 단계 : 방전에 의한 표면의 탄화개시 및 트랙의 생성

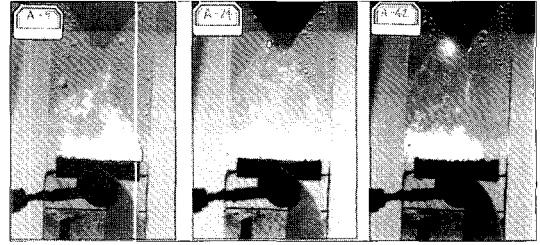
도전로의 분단점에서 미소발광방전이 반복되면 방전의 열에너지에 의해 재료표면이 탄화되거나 휘발됨으로서 도전성 트랙이 생성된다.

3. 결과 및 고찰

3.1 PMMA에서의 표면열화

표면방전을 명확히 구분하는 것은 대단히 어렵다. 그 이유 중 하나는 IEC-60587법이 연속적으로 오손액을 공급하기 때문에 건조대 등의 형성이 불규칙한 지점에서 반복되기 때문이다. 따라서 적외선 방사카메라 (IRR-Camera)의 연속촬영을 이용하였고, 그 결과를 그림 2에 나타내었다.

그림 2는 약 15초간의 연속촬영을 통하여 표면방전의 발생을 관측한 결과이다. 상부의 전극에서 국부적인 크랙 발생과 같은 미세한 차이가 고찰되었고, 그림 2의 (c)는 파괴 1 min전의 상태이다. (a)와 (b)는 표면침식과 국부적인 크랙이 일어나는 과정으로, 절연파괴에 이르기까지 수명의 대부분을 차지하며, 스트레스와 고분자 수지의 내트래킹성에 많은 의존성을 가진다. 절연용 애자의 경제적 교체시점을 결정하는 것이 어려운 이유 중 하나는 영역 II와 영역 III 사이의 열화과정이 극히 짧은 시간 내에 진행된다는 점이다[9,10].



(a) 영역 I (B) 영역 II (C) 영역 III

그림 2. 단계별 트래킹 진전과정.

Fig. 2. The third step of tracking.

(a) Aging step I, (b) Aging step II, and (c) Aging step III.

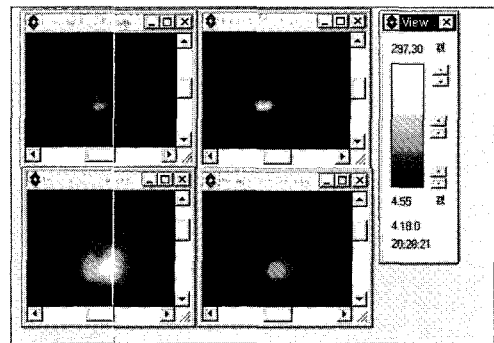


그림 3. 4.5 kV 인가상태의 IRR 카메라 측정 (Ex.1, IEC-60587 method).

Fig. 3. Analysis of IRR-camera for PMMA using IEC-60587 method applied to 4.5 kV.

트랙의 진전특성은 재료의 종류, 시험전압, 오손액의 종류 및 시간의 경과에 따라 변화 하지만, 트래킹 파괴 과정은 시간 경과상의 차이를 제외하면 III단계의 동일한 형태를 나타낸다.

그림 2의 (a)는 시료에 오손액을 분무한 후, 양단에 전압을 인가하여 미소 발광방전이 발생된 결과이다. 미소방전이 반복되면 그림 2의 (b)와같이 탄화점의 형성이 일어나고, 트랙이 점지 전극으로부터 전원 전극으로 진행되어 간다. 최종적으로는 전극간의 단락이 일어나고 강한 화염이 발생하면서 그림 2의 (c)와 같이 트래킹 절연파괴가 일어난다.

3.2 적외선방사카메라(IRR-Camera)분석

IEC-60587법의 의한 PMMA 트래킹 시험단계를 적외선방사카메라를 이용하여 촬영하였으며, 표면 온도를 단계별로 구분한 결과를 그림 3에 나타내

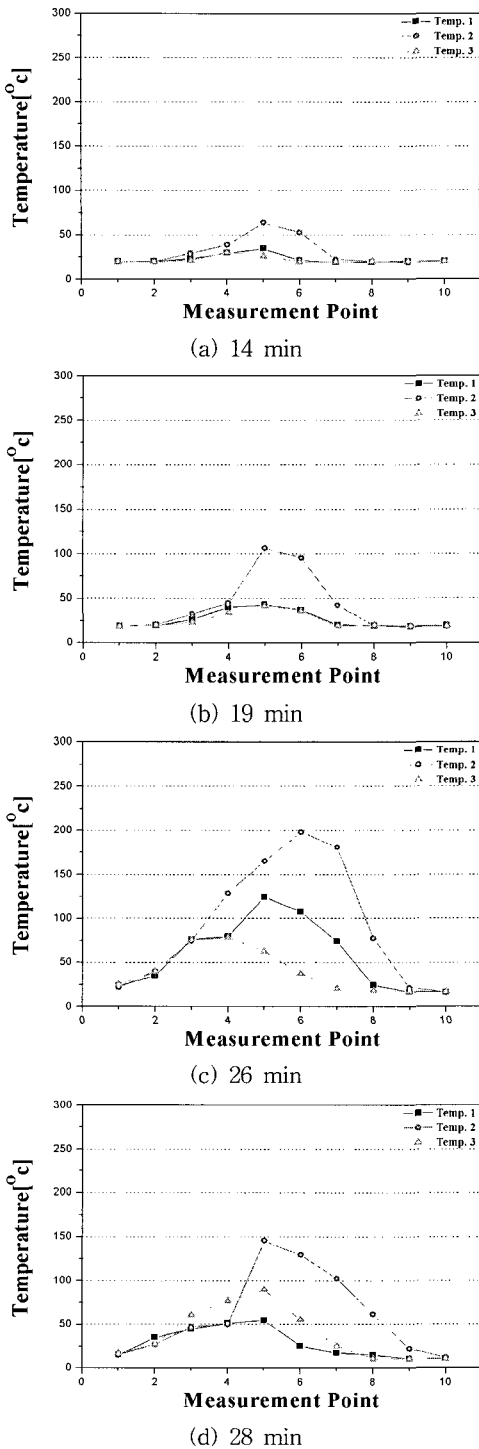


그림 4. 4.5 kV 인가상태의 온도분포 (BDT 85 min).
 Fig. 4. Temperature distributions of PMMA using IEC-60587 method applied to 4.5 kV.

었다. 그림 3은 열화가 시작되면서 소멸할 때까지의 결과를 보여주고 있으며, 기존의 육안 관측법으로는 구분되지 않았던 열화의 단계별 차이가 확인되었고, 열화의 후반에는 표면온도가 300 °C에 가까이 상승하였다.

그림 4의 (a)와 (b)는 온도분포를 30개의 샘플링 지점을 임의로 선택하여 추출한 값으로, 열화 진행 시간은 14 min과 19 min이다. 이것은 열화초기의 상태를 나타내고, 측정된 전체의 온도분포는 100 °C미만이었다. 그러나, 그림 4(c) 및 (d)는 열화시간이 26 min와 28 min로서, 열화의 진행에 따라 표면의 온도가 약 200 °C미만까지 상승하였다.

그러나 열화가 진행되면서, 온도가 100 °C정도로 다시 하강하는 경우가 관측되는데, 이것은 표면에 다수의 건조대가 형성되기 때문에 트래킹 열화에서 발생하는 전계가 완화되는 것으로 판단되며, 일정한 트랙을 형성한 후에는 오손액 증발에 의해 넓은 영역에서 건조대가 생성됨에 따라 전계집중 현상이 줄어들고, 일시적으로 높은 온도분포의 정체가 나타나는 것으로 고찰된다. 그러나 열화영역 III으로 분류되는 절연파괴 직전의 단계에서는 약 250 °C 이상의 높은 온도분포가 고찰되고 트래킹 파괴가 급격히 진행 된다.

3.3 와이블 분포함수를 이용한 데이터 해석

적외선 카메라를 이용한 온도분포를 측정하여 척도파라미터와 형상 파라미터를 구하였다. 척도파라미터(Measuring Parameter)는 누적 파괴확률에 따른 IRR 카메라의 온도분포를 도시하여 63.2 %의 값을 표시한다. 그림 5는 척도파라미터의 측정된 표면 온도에 따른 누적절연파괴 확률을 열화영역별 단계로 구분하여 재해석한 결과이다. 형상 파라미터(Shape Parameter)는 와이블 분포 방정식의 변형으로 각 시료의 형상파라미터를 구할 수 있다. 위에서 구해진 형상과 척도파라미터를 이용한 와이블 분포함수 대입으로 각 단계별 적외선 방사 카메라의 온도 분포를 도시하였으며, 파괴확률에 따른 수명 예측값을 1%~99.99%의 범위내에서 파괴수명을 예측한 결과를 그림 6에 나타내었다.

와이블 함수에서 보이듯 형상 파라메타와 적외선카메라의 온도분포의 형상에 따른 고장률의 척도를 확인할 수 있다.

적외선 카메라의 표면 온도분포도 불규칙적인 측면을 가지고 있지만, 본 연구에서 해석한 와이블 분포 함수를 통하여 특성 파라메타의 기술기 차이나

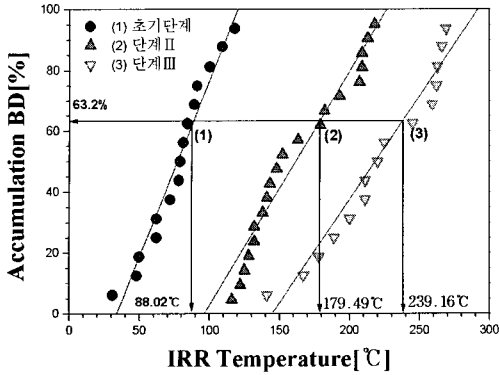


그림 5. 적외선 온도에 따른 열화단계별 누적과파 확률.

Fig. 5. The accumulated breakdown probability of aging step according to the IRR temperature.

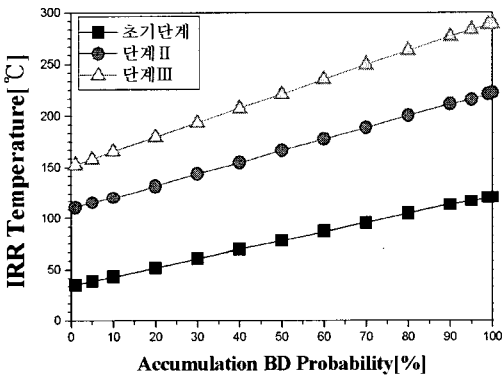


그림 6. 과파 확률에 따른 적외선 온도분포.

Fig. 6. IRR temperature according to the probability accumulation.

누적 확률 분포의 차이를 확인 할 수 있었다. 그러나 시료에 따른 열화 메카니즘이 다양하고, 현장 운용된 제품에 적용하기 위하여서는 많은 데이터 축적이 필수적이다. 특히 옥외용설비의 기본적인 운용 기간이 15년 이상이기 때문에 설비운용기간 별 지역별 데이터를 와이בל 분포함수를 통하여 적용하는 단계가 요구된다. 특히 국내에서도 적외선 카메라가 전력 시스템에 도입된 기간이 6년 이상이었기 때문에 이에 대한 전체적인 관리 및 데이터 해석이 요구된다.

4. 결론

본 연구에서는 IEC-60587법을 통한 적외선방사 카메라의 표면온도분포 해석에 관한 연구가 진행되었으며 그 결과, 열화의 3단계를 확인하였고 오손액 가속실험에서 충전제의 변화나, 탄화점을 형성하는 2단계를 거쳐 트래킹과파에 도달하였다. 또한 IEC-60587법의 결과만으로는 초기특성의 판정은 가능하나 현장에서 장기간 운용 상태를 예측하기 어려운 데이터 축적에 관한 문제점이 있었다.

온도분포의 고찰로 열화의 국부적인 집중과 급진적 진행에 대한 예측과 감지가 가능함을 알 수 있었으며, 적외선방사카메라 분석과 트래킹 누설진류에 관한 복합적인 연구를 통하여, 사고예측이 불분명한 시료에 대한 급진적인 트래킹 과파에 관한 예측이 가능함을 알 수 있다.

참고 문헌

- [1] M. A. R. M. Fernando, "Leakage currents on non-ceramic insulators and materials", IEEE Trans. DEI, Vol. 6, No. 5, p. 660, 1999.
- [2] IEC Publication 60587, First Edition, "Test method for evaluating resistance to tracking and erosion of electrical insulating materials used under severe ambient conditions", 1977.
- [3] T. Takada, "Acoustic and optical methods for measuring electric charge distribution in dielectrics", IEEE Trans. DEI, Vol. 6, No. 5, p. 519, 1999.
- [4] R. J. Chang and L. Mazeika, "Analysis of electrical activity associated with inclined-plane tracking and erosion of insulating materials", IEEE Trans. DEI, Vol. 7, No. 3, p. 394, 2000.
- [5] N. Yoshimura, "Electrical and environmental aging of silicone rubber used in outdoor insulator", IEEE Trans. DEI, Vol. 6, No. 5, p. 632, 1999.
- [6] T. Kikuchi, "Survey on the use of non-ceramic composite insulators", IEEE Trans. DEI, Vol. 6, No. 5, p. 548, 1999.
- [7] L. Xidong, "Development of composite unsulator in China", IEEE Trans. DEI, Vol. 6, No. 5, p. 586, 1999.
- [8] K. Lzumi, "Applications of polymeric

- outdoor insulation in Japan", IEEE Trans. DEI, Vol. 6, No. 5, p. 595, 1999.
- [9] S. Kumagai and N. Yoshmura, "Tracking and erosion of HTV silicone rubber and suppression mechanism of ATH", IEEE Trans. DEI, Vol. 8, No. 2, p. 203, 2001.
- [10] H. Homma, T. Kuroyagi, K. Izumi, C. L. Mirley, J. Ronzello, and S. A. Boggs, "Evaluation of surface degradation of silicone rubber using gas chromatography/mass spectroscopy", IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 15, No. 2, p. 796, 2000.