

# 업무 조건에서의 고분자 절연재료의 표면 노화특성에 관한 연구

허창수, 박상덕\*  
인하대학교 전기공학과

## A Study on the Surface Aging of Polymer Insulating Materials Under Salt-Fog Condition

Huh chang su, Park sang durk\*  
Dept. of Electrical Eng. Inha Univ.

### Abstract

This paper describes the performance of the widely used polymeric insulating material for outdoor insulation. Various methods to describe the surface aging of polymer materials such as the peak and average of the leakage current, the cumulative charge, the weight loss have been investigated. The relationship between surface current, time are plotted and discussed.

### 1. 서론

최근 전기적 성능이 우수한 유기물 절연재료의 출현으로 고분자 재료의 옥외절연재의 적용에 대한 가능성 검토 및 실제 적용사례가 급증하고 있는 추세에 있다. 그러나 고분자 재료는 재료의 특성상 그 사용환경에 따라 장시간 옥외절연재료로 사용시 산소에 의한 고분자재료의 산화, 오염물질의 표면결합으로 인한 재료의 물리적, 전기적 특성이 약화하는 등 유기물절연재료의 한계를 가지고 있고 이러한 요인들 중 특히 고습도 염분오염에 의한 재료의 절연성 약화는 가장 큰 옥외 절연재료의 약점으로 지적되고 있으며 이에 따른 고분자 재료의 특성평가 및 재료의 내오손특성을 개선하기 위한 연구가 진행되고 있는 실정이다. 옥외용 고분자 절연재료의 고압 저항성은 인가전압, 오염의 정도, 표면의 젖음 정도와 관련이 있으며 또 이러한 특성은 조건에 따라 여러 가지로 달라지는 데, 이 연구에서는 실제적인 옥외절연물의 내오손특성을 평가하기 위하여 전도도를 가진 안개입자를 인공적으로 생성시켜 장기간 절연물의 절연성을 평가할 수 있도록 salt fog chamber를 제작하여 분무액의 전도도에 따른 특성을 검토하였고 이러한 고분자 재료의 오염에 따른 절연성의 노화에 대한 특성을 표면 누설전류의 평균치, 총 축적전하량, 전류 피크치, 무게감소, 파형의 측정을 통하여 검토하였다.

### 2. 실험방법 및 장치

#### 2.1 시료 및 전극배치

본 실험은 옥외절연재의 특성평가를 주 목적으로 하므로 시료는 현재 옥외용 절연물의 재료로 사용되고 있는 독일 Baker사의

제품인 Silicon 고무를 사용하였으며 전극배치 및 salt fog test chamber는 ASTM D 2132의 규격에 따라 제작하였다. 이 때 상부전극의 경우는 부식에 의한 영향을 최소화 하기 위하여 탄소전극을 사용하였다.

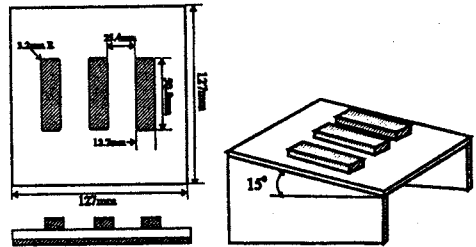


그림 1. 전극배치

#### 2.2 데이터 취득 시스템(DAS)

측정장치는 12 bit 8 channel a/d converter(제품명 : PCL-818, 분해능 : 12bit 변환속도 : 최대100kHz)와 IBM호환기종 386AT PC와 연결하여 구성하였다. 또한 시험기간 동안 일정한 주기를 가지고 시료표면에 흐르는 누설전류를 검출하여 그 적분치를 계산하도록 프로그램 함과 동시에 일정한 전류피크치 이상의 펄스발생시 그 수와 발생시점, 최대 피크전류치를 누적제신하여 Disk에 저장하도록 하였다. 이 과정 중에서 축적전하량은 전류치의 적분값 ( $\int idt = Q$ )으로 계산할 수 있으며, 측정기간

이 길게 되면 데이터량이 많아지기 때문에 계산 및 파형의 분석에 용이하도록 반파장의 값만 취득하여 peak값과 누설전류의 적분값을 추출하였다.이 때 데이터 추출간격은 (sampling period)는 15분으로 설정하였다. 전류치의 적분값은 축적전하를 알기 위하여 중요한 자료이기 때문에 전류파형의 상당부분의 point가 필요하게 되므로 이 실험에서는 데이터 처리속도를 4000Hz의 값으로 설정하여 한 파장 당 65 Point이상의 데이터를 처리하였다.

#### 2.3 데이터 취득 시스템(DAS)의 보호

Sensing 저항은 최대누설전류 150mA가 흐를 때 회로에 5V이하의 전압이 인가될 수 있도록 30 Ω의 저항을 사용하였으며 시

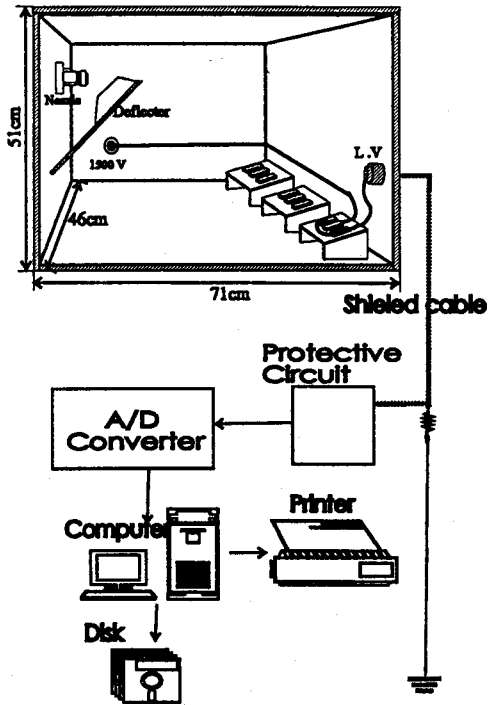


그림 2. Salt fog test chamber 및 데이터 취득 시스템 (Data Acquisition System)

로에 계속 높은 전류가 계속해서 흐르게 될 경우 System에 고압이 걸리지 않도록 항복전압 15V인 쌍방향 Diode를 사용하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 Dry band arc의 진전에 의한 전류 파형의 변화추정 및 전도와의 관계

일반적인 옥외절연물에 흐르는 누설전류의 파형은 재료의 표면 상태의 열화와 국부방전이 개입하는 상황에 따라 그림 3.과 같

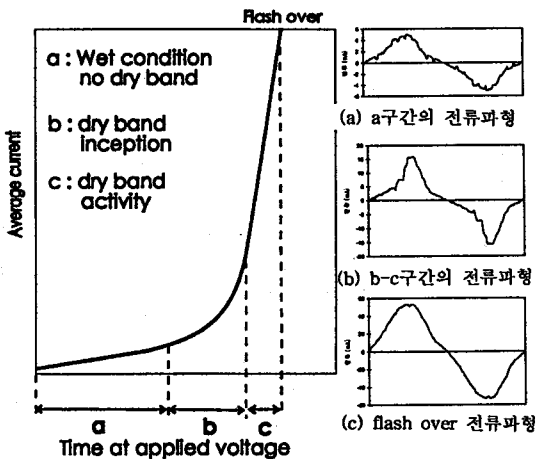


그림 3. 염무분무 시험에서의 누설전류의 개략도

고 (a),(b),(c)는 본실험중 전도도  $2000\mu S$ 의 실험에서 추출한 것으로서 (a)는 dry band가 형성되지 않은 시험시작 약 3시간 이내의 파형이고, (b)는 재료의 표면에 dry band가 형성되어 arc가 발생하여 전류에 개입하게 되는 시험시작 약 12시간 이후의 파형이다. (c)의 파형은 표면이 dry band arc로 인하여 침식되어 그 침식로에 전도성의 수분이 개입하여 그 도전로를 따라 전도성의 전류가 급증하는 시점의 파형을 추출하였고 추출해낸 시간은 누설전류 평균치에서 가장 큰 피크를 보이는 시험시작 42시간 쯤의 파형이다.

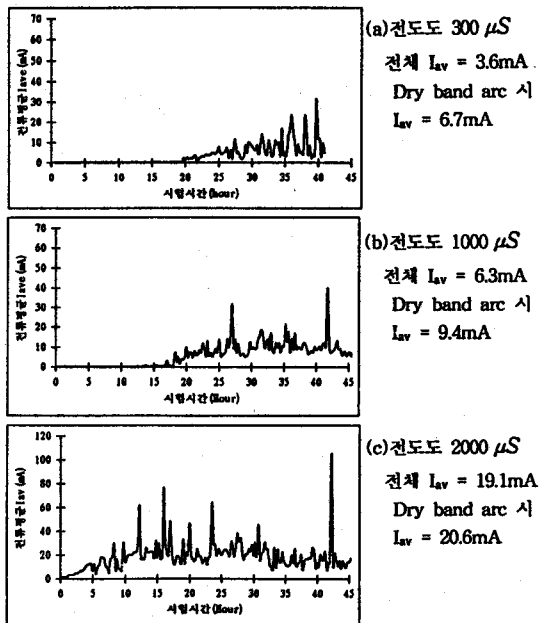
전도성 전류가 판측되기 시작하는 시점의 차이는 표면에 Dry band arching이 발생하는 시점과 일치하는 데 이는 일반적으로 재료의 표면에너지에 의존하게 되며 이제까지의 연구결과를 검토하면 Dry band arching의 발생은 재료의 표면에너지를 변화시켜 그림의 b. 와 같은 전도성전류를 흐르기 쉬운 상태로 전이시키게 되는 데 표 1.에 fog 전도도에 시료의 상태에 대한 결과를 표시하였다.  $I_p/I_{av}$ 값이 10보다 작을 때는 상대적으로 축적 전하값이 크게 나타나고 있으며 이 값의 의미는  $I_p/I_{av}$ 의 값이 작을 수록 Dry band arching이 자주 일어나고 있음을 의미한다.

전도도 ( $\mu S$ )	300	1000	2000	10000
미소방전발생 시점(표면 전이시간)	20	15	5	1
최초 flashover 발생시점(시간)	X	X	42	26
$I_p/I_{av}$	2	3	5	10>
빈도가 큰 peak current 범위	5-20mA	10-30mA	20-40mA	50mA이상

표 1. 전도도에 따른 재료노화의 비교

#### 3.2 누설전류

전도도  $10000\mu S$ 에서는 시험시작 1시간 이후부터 dry band의 형성에 따른 arc로 피크전류가 급증하였고 평균치는 전도도



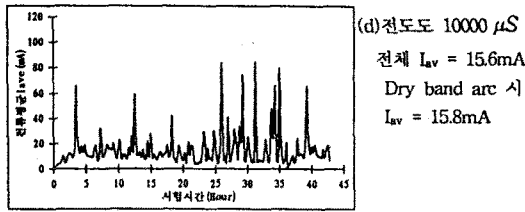


그림 4. 시험 전도도에 따른 누설전류 평균치의 변화

2000  $\mu\text{S}$ 보다 작은 10mA 이하로 내려가는 일이 많았는데 특히 높은 누설전류치가 검출된 직후에는 더욱 전류치가 급감하였다. 이는 피크전류의 급증으로 흐르는 전하의 에너지가 표면의 오손에 의해 생성된 도전통로의 수분을 증발시켜 도전통로를 없애는 역현상을 유발하기 때문인 것으로 사료되며 이러한 결과는 [1]의 결과와도 일치하고 있다.

### 3.3 dry band arc에 따른 무게손실

Fog의 전도도 2000  $\mu\text{S}$ 에서 Erosion이 표면에서 강하게 일어났으며 육안으로도 비교하여도 1000  $\mu\text{S}$ 이하나 10000  $\mu\text{S}$ 이상보다 손상정도가 심하였고 무게감소도 많았다.

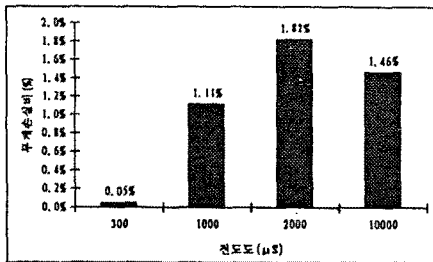


그림 5. 전도도에 따른 시료의 무게감소 (%)

표면의 분해(degradation)는 누설전류치 15mA 이상에서 일어나는 것으로 추측되며 전류가 15mA보다 작거나, 80mA보다 컸을 때에는 일어나지 않는 것으로 생각되는 데 이는 전류치가 80mA보다 큰 경우는 표면의 도전성 막을 통하여 전류가 흐르는 것이 대부분 인 것으로 추정되었고 이 때에는 Arc를 동반하지 않으므로 표면의 손상이 일어나지 않았다.

### 3.4 축적전하량

축적전하는 전도도 10000  $\mu\text{S}$ 이상의 시험상태의 시료가 2000  $\mu\text{S}$ 의 시료보다 낮은 것으로 추정되었는데 이는 고전도도의 시료

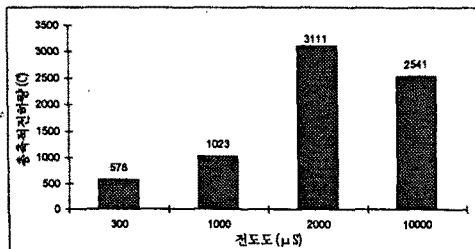


그림 6. 전도도에 따른 총 축적전하량의 비교

가 상대적으로 피크치가 저전도도보다 높은 것으로 측정되었음에도 불구하고 피크치가 상당히 산발적으로 일어나는 특성을 가지고 있고 또한 시료표면에 흐르는 누설전류의 평균치도 2000  $\mu\text{S}$ 의 시료보다 낮기 때문인 것으로 생각된다.

### 3.5 피크 펄스전류의 영향

시료가 fog에 오염되어 표면침식(erosion)이 일어나 재료노화가 가까워질수록 30mA 이상의 펄스 수가 증가하였다. 전도도 2000  $\mu\text{S}$ 의 경우 10시간이 경과한 후부터 펄스가 급증하고 있는데 이는 이 때부터 Dry band가 형성되어 Arc가 일어나고 있음을 나타낸다고 생각된다. 전도도 10000  $\mu\text{S}$ 의 경우에는 좀 더 시기가 빨라져 3시간 이후부터 급증하는 현상을 보이고 있다. Fog가 고 전도도인 10000  $\mu\text{S}$ 의 경우처럼 표면이 친수성이 되는 시기가 빠르다고 해서 재료노화 또한 빨리 일어난다고 볼수는 없다 그 이유로는 피크펄스의 수가 증가한다고 해서 평균누설전류, 축적전하가 증가하지는 않기 때문이다.

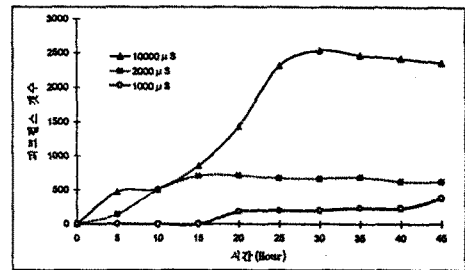


그림 7. 시험 시간에 따른 피크전류 펄스의 갯수

## 4. 결론

4.1 평균 누설전류의 측정으로 표면상태가 hydrophobic(배수성)에서 hydrophilic(친수성)이되는 시점 및 표면노화와와의 관련성을 예측할 수 있었으며 고전도의 실험조건에서 그 전이는 비교적 빠른시간에 이루어 졌다.

4.2 peak 전류펄스 갯수는 시료의 노화가 활성화되는 시점에서 급증하는 경향을 보이므로 시료 오손판정에 적절한 기준으로 쓰일 수 있을 것으로 생각된다.

4.3 총 축적전하량, 평균누설전류, 무게감소치는 Fog전도도 2000  $\mu\text{S}$ 에서 가장 큰 것으로 측정되었고 이에 따라 본 실험장치에서는 Fog전도도 2000  $\mu\text{S}$ 부근에서 실험하는 것이 가장 가혹한 실험조건인 것으로 생각된다.

### 참고 문헌

- [1] R. S. Gorur, E. S. Sundhara Rajan " Contamination of Polymeric insulating Materials Used for Outdoor Insulation Applications "IEEE EI August 1989
- [2] Randolph G. Niemi 外 " Test Methods Useful in the Wet Voltage Capability of Polymer Insulator Systems after Time Related Outdoor Exposures" IEEE EI-9 September 1974
- [3] ASTM D 2132-89 " Standard Test Method for Dust-and-Fog Tracking and Erosion Resistance of Electrical Insulating Materials"