

# 누설 전류 모니터링에 의한

## 오손된 고분자 애자에서의 섬락 예지 방법

A Flashover Prediction Method by the Leakage Current Monitoring in the Contaminated Polymer Insulator

자료원 : 전기학회 논문지 제53권 제7호(2004년 7월호)

필자 : 박재준 송영철

### Abstract

In this paper, a flashover prediction method using the leakage current in the contaminated EPDM distribution polymer insulator is proposed. The leakage currents on the insulator were measured simultaneously with the different salt fog application such as 25g, 50g, and 75g per liter of deionized water. Then, the measured leakage currents were enveloped and transformed as the CDFS using the Hilbert transform and the level crossing rate, respectively. The obtained CDFS having different gradients(angles) were used as a important factor for the flashover prediction of the contaminated polymer insulator. Thus, the average angle change with an identical salt fog concentration was within a range of 20 degrees, and the average angle change among the different salt fog concentrations was 5 degrees. However, it is hard to be distinguished each other because the gradient differences among the CDFS were very small. So, the new weighting value was defined and used to solve this problem. Through simulation, it is verified that the proposed method has the capability of the flashover prediction.

### KeyWords

Flashover prediction, Leakage current monitoring, Hilbert transform, Cumulative Density Function

## 1. 서론

오손된 애자는 산업 지역과 농업 지역 그리고 해안가 지역에서 큰 복구 비용을 요구하는 대규모 정전 사태를 일으킬 수 있다. 실제로 이런 대형 사고를 사전에 방지하려는 여러 방법들이 수행되고 있으나 이를 위해선 많은 시간과 비용이 요구되고 있다. 특히 정기적인 애자의 세정(washing)은 긴 시간과 많은 비용이 요구되는 대표적인 방법이다. 그러나 신뢰성 있는 세정 시기에 관한 정보를 제공받을 수 있다면 그 빈도를 상당히 줄일 수 있을 것이다. 이와 더불어서 다양한 환경하에서 운전되는 애자의 오손에 의해 발생하는 정보는 애자의 교체시기를 예측하는 중요한 판단 근거로 사용될 수 있을 것이다. 이것들을 가능케 하기 위한 노력으로 오손된 애자에서의 누설 전류를 측정하여 분석하는 방법이 지속적으로 연구되어져 왔다 [1, 2].

애자는 운전되는 환경이 열악하여 오손된 경우에는 표면 트래킹(tracking)과 침식 문제를 발생시키는데 이로 인한 관통과 섬락(flashover) 고장은 자체 성능을 떨어뜨리게 된다. 표면 트래킹과 침식은 누설 전류와 같은 전기적 스트레스가 주요 원인으로 작용하고 있으므로 애자에서 발생하는 누설전류의 분석을 통해 애자의 오손 상태와 트래킹 정도를 대략적으로 파악할 수 있다. 이런 이유로 애자의 초기 설치 단계에서 섬락이 이루어지는 과정동안에 발생하는 누설 전류들의 특징 분석은 큰 의미를 가지게 되며 그 결과물로서 얻어진 애자의 섬락 시기에 관한 예측 정보는 실제 필드에서 유용하게 사용될 수 있다.

본 논문에서는 해양지대(포항, 1997년~2001년)에서 오염된 EPDM 배전용 현수 애자에서 발생하는 누설 전류의 파형을 분석하여 애자의 섬락 시기를 예측하기 위한 방법을 제안하였다. 제안한 방법에서는 누설 전류의 최대값과 주파수 특성을 고려하는 기존의 방법과는 달리 누설 전류의 포락(envelop)과 레벨 교차(level crossing) 방법을 이용하였다 [3, 4].

제작된 챔버안에서 salt fog(증류수 1000ml 당 25g, 50g, 75g의 salt 농도를 갖는다)와 함께 16kV의 일정한 전압을 애자에 가하여 섬락이 발생하기까지의 신호를 0.1ms의 샘플링 주기와 함께 200ms 단위로 획득하여 저장하였다. 이렇게 매 20분 동안 저장된 누설 전류 파형들은 힐버트 변환(Hilbert

transform)을 통해 포락 형태로 변환되며, 포락된 파형들에서 누설 전류들에 대한 레벨 교차율을 구한 후 CDF(Cumulative Density Function) 형태로 나타낸다. 이렇게 구해진 각각의 시간 구간을 대표하는 CDF들로부터 누설 전류 대 CDF의 50%에 해당되는 지점에서의 각도들을 구한 후 이것을 현수 애자의 섬락 시기의 예측에 사용하였다. 본 논문에서는 섬락 과정을 모든 salt fog의 농도와 무관하게 임의로 4 단계로 분류하였으며 섬락에 가까워질수록 CDF의 각도는 작아지는 특성을 보인다. 그러나 각 단계별 각도는 아주 작은 차이로 인해 서로 명확히 구별되지 않으므로 본 논문에서는 각 단계별 각도가 서로 명확히 구분되도록 하였다.

## 2. 애자의 섬락 시기 예측 방법

### 2-1. 누설 전류의 포락 과정

그림 1의 실험 장치를 통하여 애자의 섬락이 이루어지는 시점까지 발생하는 모든 누설 전류들을 획득하여 저장하게 된다.

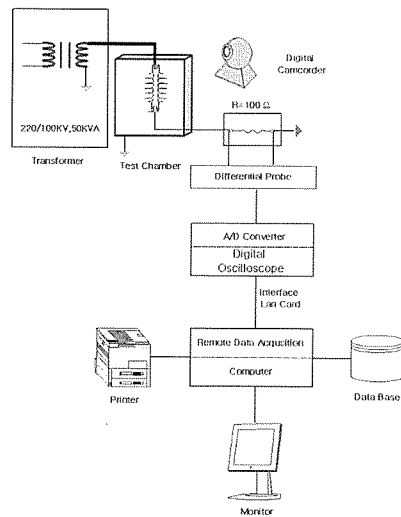


그림 1 전체 시스템 구성도  
Fig. 1 Whole system diagram

저장된 누설 전류들에 대해 레벨 교차 방법을 적용하기 위해서는 포락 과정이 선행되어야 한다. 포락 과정은 힐버트 변환을 통해 이루어지며, 누설 전류  $i(t)$ 의 힐버트 변환 쌍은 식 (1)과 같이 정의된다 [5].

$$\tilde{i} = H\{i(t)\} = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\tilde{i}(\tau)}{t-\tau} d\tau = \frac{1}{\pi} \tilde{i}(t) \otimes \frac{1}{t} \quad (1)$$

여기서  $\otimes$ 는 컨볼루션(convolution)을 나타낸다. 이때 누설 전류  $i(t)$ 와  $\tilde{i}(t)$ 에 의해 구성된 복소 함수인 식 (2)는 해석 함수(analytic function)가 된다.

$$Z(t) = i(t) + j\tilde{i}(t) \quad (2)$$

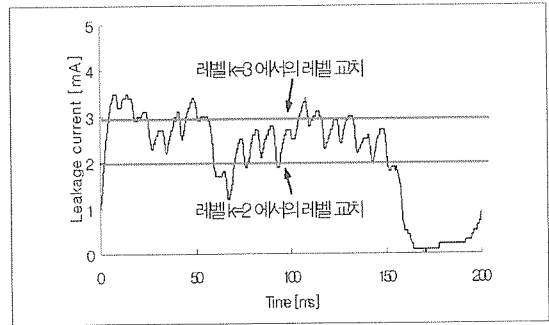
이 힐버트 변환은 시간에 따라 변화하는 신호의 해석에 주로 사용되며 포락을 구하는데 이용된다. 즉 식 (2)는 식 (3)과 같이 다시 쓸 수 있으며,

$$Z(t) = A(t) e^{j\phi(t)}$$

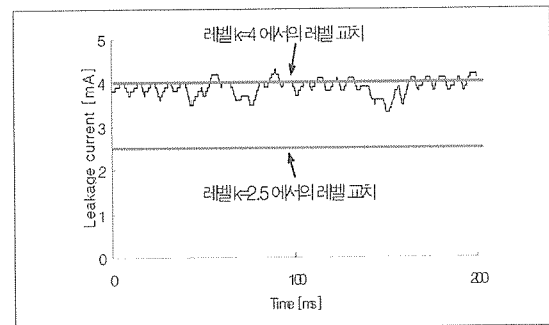
$$A(t) = \sqrt{i^2(x) + \tilde{i}^2(t)}, \quad \phi(t) = \tan^{-1} \frac{\tilde{i}(t)}{i(t)} \quad (3)$$

여기서 포락  $A(t)$ 와 신호의 위상  $\phi(t)$ 를 구할 수 있다. 그림 2는 200ms 동안에 획득된 임의의 누설 전류에 대한 상위 포락 곡선들을 나타낸 것이다. 그림 2(a)는 섬락 전의 누설 전류를 포락한 것으로 누설 전류들의 크기가 주로 2~3.5mA 사이에서 형성되고 있으나, 그림 2(b)의 섬락의 경우에 있어서는 4mA 근처에서 형성되고 있음을 확인할 수 있다. 즉 섬락에 가까울수록 누설 전류의 크기는 점차로 커지는데 기존의 방법에서는 이러한 누설 전류의 크기 정보가 주로 섬락 시기의 예측에 사용되었다. 본 논문에서는 섬락 시기를 예측하기 위한 다른 방법을 제안하였는데 이때 그림 3의 포락 곡선에서의 레벨 교차율이 중요한 정보로 사용된다. 그림 2(a)의 섬락 전에서는 레벨  $k$ 가 3 이하에서 레벨 교차가 주로 이루어지며 특히 2와 3사이에서 가장 많이 발생된다. 반면에 섬락에 도달한 그림 2(b)의 경우에는 레벨 4 근처에서 레벨 교차가 주로 이루어지며 레벨 3 이하에서는 레벨 교차가 일어나지 않는다. 즉 애자의 오손된 정도와 salt fog와 같은 주위의 환경에 영향을 받아

섬락에 가까워질 수록 애자에서 발생하는 누설 전류에 대한 레벨 교차 회수는 상위 레벨에서 점차로 증가 할 것이다. 섬락은 아주 긴 시간을 두고 점진적으로 발생하므로 정해진 시간(본 논문에서는 20분 간격)내에서 발생하는 누설 전류들의 포락에



(a) 섬락 전



(b) 섬락

그림 2 누설 전류에 대한 상위 포락들

Fig. 2 Upper envelopes for the leakage currents

대한 레벨 교차 회수에 대한 누적 정보는 애자의 현재 상태를 파악하는 하나의 기준으로 사용될 수 있을 것이다. 그림 2에서는 상위 포락 곡선만을 나타내었는데 이것은 레벨 교차 수행 시 단지 상위 포락 곡선만을 사용하기 때문이다.

## 2.2 포락의 레벨 교차율과 CDF

누설 전류 파형에 대한 포락이 수행되면 상위 포락에서의 레벨 교차율을 구하게 된다. 누설 전류가  $L$ 의 이산 레벨을 가진다고 가정하면(본 논문에서는 0.1 간격으로 0.0mA 에서 4.0mA) 레벨 교차율은 식 (4)를 통해 구해진다.

$$\hat{p}_i(i_k) = \frac{n_k}{n}, \quad k=0,0.1, \dots, L \quad (4)$$

여기서  $i$ 는 누설 전류를 의미하며,  $k$ 는 0.1 간격을 갖는 누설 전류의 레벨을 나타낸다.  $n$ 은 누설 전류가 레벨 교차되는 총 회수이며,  $n_k$ 는 각각의 누설 전류 레벨  $k$ 에서의 레벨 교차 회수이다. 즉 식 (4)의 레벨 교차율이란 누설 전류의 레벨 교차 회수를 PDF(Probability Density Function) 형태로 나타낸 것이다. 그림 3은 그림 1의 실험 장치를 사용하여 50g salt fog 하에서의 누설 전류의 레벨 교차율에 대한 PDF를 보인 것이다. 그림 3에서 볼 수 있듯이 PDF의 최대값의 변화를 기준으로 하면 대략적으로 4 단계로 분리된다. 본 논문에서는 이러한 각각의 단계들을 초기 단계, 중기 단계, 섬락 전 단계, 섬락 단계로 각각 임의로 명명하여 사용하였다. 이러한 분류는 누설 전류의 획득이 실제 필드가 아닌 실험에서 이루어졌으므로 실제 필드에 설치된 애자에서 발생하는 섬락의 각 단계를 정확히 대표할 수는 없다. 실제로 섬락으로 이어지는 완벽히 동일한 누설 전류 파형을 실험실에서 획득한다는 것은 거의 불가능하다. 그러나 섬락에 도달하는 일반적인 특징을 지닌 (예를 들어 누설 전류의 크기가 점차로 증가하는) 누설 전류들은 그림 3과 같은 규칙을 만족시킬 것이다. 즉 초기 단계에서는 작은 레벨의 레벨 교차율이 증가하여 PDF의 최대치는 좌측으로 치우치는 경향을 보이지만, 섬락에 가까워질수록 큰 레벨의 레벨 교차율이 증가함으로써 우측으로 점차로 이동하게 된다. 특히 마지막 섬락 단계인 201분-220분 사이에서의 PDF는 레벨 4 근처에서 최대값을 형성하며 우측으로 완전히 치우친 형태를 보인다. 즉

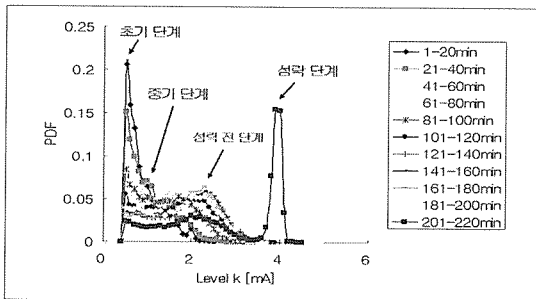
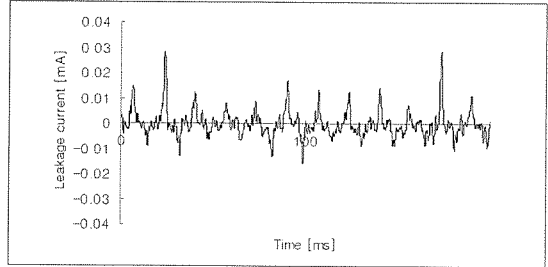
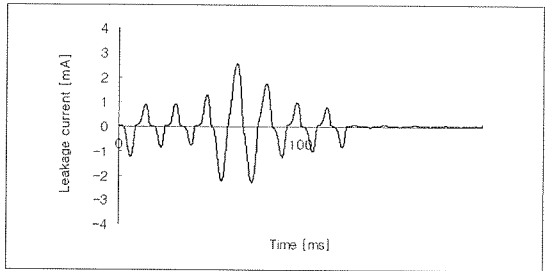


그림 3 50g salt fog 하에서 누설 전류들의 PDF들  
Fig. 3 PDFs of the leakage currents under the 50g salt fog

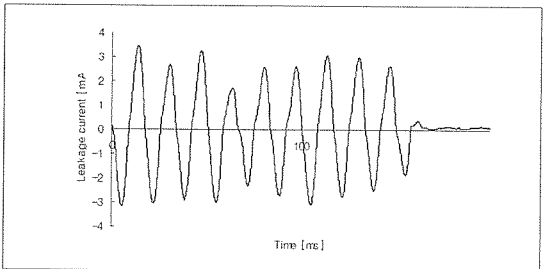
이러한 PDF들의 최대값 이동에 관한 정보는 애자의 섬락 시기를 예측할 수 있는 중요한 데이터로 사용될 수 있을 것이다.



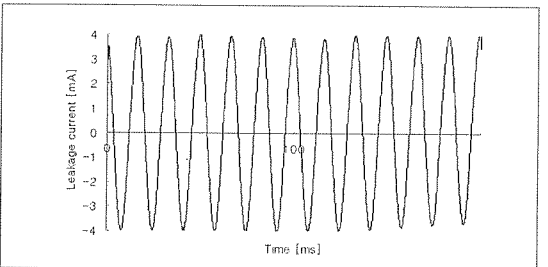
(a) 초기 단계



(b) 중기 단계



(c) 섬락 전 단계



(d) 섬락 단계

그림 4 각 단계에서의 누설 전류 파형  
Fig. 4 Leakage current waveform in each stage

그림 4는 그림 3을 근거로 하여 분류된 4 단계 각각을 대표하는 누설 전류 파형을 보인 것이다. 그림 4(a) ~ 4(d)는 각각 초기 단계와 중기 단계, 섬락 전 단계, 그리고 섬락 단계로 분류된 누설 전류 파형이다. 전체적인 누설 전류의 크기는 섬락에 가까워질수록 점차로 커짐을 확인할 수 있다.

본 논문에서는 애자가 섬락으로 가는 단계를 좀더 명확히 구분하기 위하여 식 (4)를 통해 얻은 레벨 교차율의 PDF들을 식 (5)를 이용하여 CDF로 재변환 하였다.

$$g_k = \sum_{j=0,0.1}^k \widehat{p}_i(i), \quad k=0.0,0.1, \dots, L \quad (5)$$

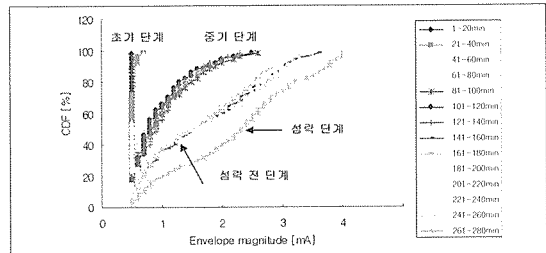
여기서  $k=0.5mA$  미만의 레벨은  $0.5mA$ 로 간주하였다. 그림 5는 각각 25g, 50g, 75g salt fog 하에서의 누설 전류 CDF들로써 전체 크기를 100%로 놓았을 때 하위 2%와 98%에 해당되는 부분만을 고려하여 나타낸 것이다. 그림 5에서 볼 수 있듯이, salt fog의 염수 농도에 무관하게 섬락까지의 과정은 PDF에서와 동일하게 총 4 단계로 분류된다. 우선 첫째로 그림 5(a)-5(d)까지의 전체적인 경향을 살펴보면 다음과 같다. 초기 단계에서는 작은 크기를 갖는 누설 전류들의 발생 빈도의 증가로 인하여 CDF의 기울기가 커지는 반면에, 섬락 단계로 진행해 나갈수록 열화의 발생으로 인하여 큰 크기의 누설 전류의 발생 빈도가 증가되어 CDF의 기울기는 점진적으로 작아지게 된다. 이러한 특징은 섬락 단계에서 가장 두드러지게 나타난다. 즉 현재 애자 상태에 대한 진단이 일정 간격동안 획득한 누설 전류들의 포락과 그것의 레벨 교차율의 통계적 특성인 CDF를 통해 가능하게 된다. 이러한 통계적인 특성을 기반으로 하는 애자의 섬락 시기 예측 방법은 기존의 최대값을 이용한 방식에 비해 향상된 신뢰성을 보이게 된다. 둘째로 서로 다른 salt fog하에서 동일한 단계들이 갖는 특징은 다음과 같다. 25g, 50g, 75g에서 초기 단계를 비교해보면 동일한 단계임에도 불구하고 CDF의 기울기는 salt fog의 염수 농도가 낮을수록 상대적으로 크게 나타나게 되며 이 규칙은 각 단계가 진행됨에 따라 변함없이 유지된다. 이것은 제안한 방법이 서로 다른 환경하에서 운전(본 논문에서는 서로 다른 salt fog)되는 애자들의 각 단계별 상태를 일정한 범위의 기울기 구간으로 나타낼 수 있음을 의미한다. 앞서 언급한 두가지 특징들을 종합해 보면 제안한 방법은 서로 다른 salt fog간의 기울기들은 물

론 동일한 salt fog 하에서의 각각의 단계별 기울기들이 서로 구별되어 나타나므로 서로 다른 환경하에서 운전되는 애자의 현재 상태를 판단하는데 유용하여 사용될 수 있다.

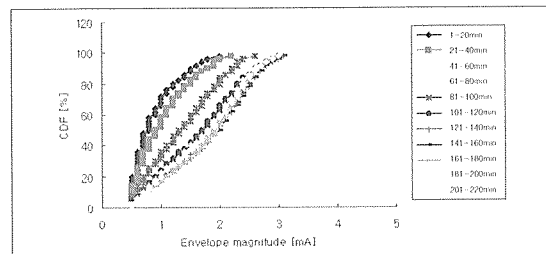
### 3. 실험 결과 및 고찰

그림 5에서 각 단계에서의 CDF의 기울기가 섬락 과정을 예측하는데 중요한 정보로 사용될 수 있음을 보였다. 이러한 CDF의 기울기는 식 (6)을 사용하여 각도로 변환함으로써 정량적으로 표현될 수 있다.

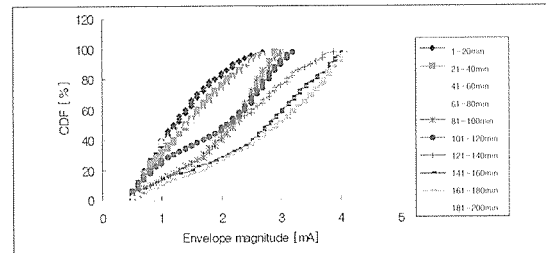
$$A = \text{atan} \frac{50}{r \cdot (ep - sp)} \quad (6)$$



(a) 25g



(b) 50g



(c) 75g

그림 5 25g, 50g, 70g의 salt fog하에서 누설 전류들의 CDF 들  
Fig. 5 CDFs of the leakage currents under the salt fogs of 25g, 50g, and 70g

여기서 sp(start point)는 각각의 CDF에서 처음으로 값이 존재하는 곳으로 시작점(즉 0.5mA)을 나타내며, ep(end point)는 CDF의 50%에 해당하는 곳의 x축 값으로 끝점을 나타낸다. 그러나 누설 전류를 나타내는 x축의 크기가 y축의 크기보다 상당히 작으므로 x축의 크기를 r만큼 증가시킨 후 각도를 계산하였다(본 논문에서는 r=10을 사용). 구해지는 각도는 salt fog의 염수 농도에 따라서 달라지는데 표 1은 반복적인 실험을 통해 결정된 salt fog의 염수 농도 변화에 따른 평균 각도 변화를 나타낸다. 표 1에서 볼 수 있듯이 25g 크기로 변화는 서로 다른 salt fog간의 최대 각도와 최소 각도의 평균 변화량은 모두 5°로 동일하게 나타났으며, salt fog내에서의 각도 범위 또한 동일하게 20°를 갖는 것으로 나타났다. 이러한 규칙적인 변화는 CDF의 각도가 애자의 현재 상태를 파악하는데 중요한 정보로 사용될

표 1 각각의 salt fog하에서의 평균 각도 범위들  
Table 1 Average angle ranges under the each salt fog

	25g	50g	75g
각도 (°)	90-70	85-65	80-60

수 있음을 의미한다. 전체적으로 보면 salt fog의 염수 농도가 증가할 수록 각도가 점점 작아지는데 이것은 염분의 농도가 증가하면 큰 전도도를 가지므로 상대적으로 큰 크기를 갖는 누설 전류의 발생 확률이 높아지기 때문이다. 그러나 식 (6)을 이용하는 방법은 그림 6에 보인 것처럼 다음과 같은 문제점들을 가지고 있다. 첫째로는 같은 염수 농도내에서 섬락이 발생하기까지의 총 4 단계가 평균 20°의 작은 각도 안에서 서로 구분지어져 있어서(r=10으로 놓았음에도 불구하고) 서로 명확히 구분되기 어려울 뿐만 아니라 본 논문에서 발생한 단계보다 더 많은 단계로 섬락이 이루어지는 상황에서는 더욱 어려울 것이다. 둘째로는 다른 염수 농도안에서는 더욱 작은 평균 5°의 차이로 서로 구분되고 있어서 구분되기 더욱 어렵게 된다.

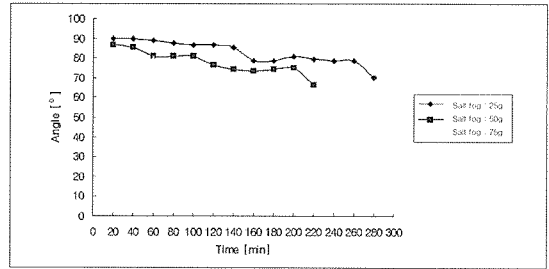


그림 6 그림 5의 CDF들에 대한 각도들  
Fig. 6 Angle for CDFs in Fig. 5

이와 같은 작은 차이로는 각각의 단계를 명확히 구분하기 어려우므로 식 (7)과 같은 가중치(weighting value)를 정의하여 사용하였다. 이때 구해진 가중치는 50g salt fog를 기준으로 한 것이다.

$$w = \begin{cases} \alpha & . \text{if } T \geq 1.0 \\ \alpha \cdot \exp\left[-\frac{8(D-LD_{50g})}{LD_{50g}}\right] & . \text{elseif } T < 1.0 \ \& \ D < UD_{50g} \\ \alpha \cdot \exp\left[-\frac{8(UD_{50g}-LD_{50g})}{LD_{50g}}\right] & . \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

여기서, T는 일종의 문턱값으로  $\frac{LD_{50g}}{D}$  을 나타내며, D는  $\text{atan} \frac{50}{r \cdot (ep-sp)} + \Delta D$  로써 정의되는데 50g salt fog에서는  $\Delta D$  는 0으로 설정되지만 25g과 75g에서는 50g과 동일한 기준을 유지하기 위하여 각각 -5와 +5로 설정하였다.  $UD_{50g}$  과  $LD_{50g}$  은 기준점인 50g salt fog의 최대 각도와 최소 각도로서 표 1에서 보인 것처럼 각각 85°와 65°가 된다. 마지막으로  $\alpha$  는 가중치의 크기를 조절하는 일종의 변수로서 여기서는  $\alpha=20$ 로 설정하여 사용하였다. 그림 7은 식 (7)에서 정의된 각도의 변화에 따른 가중치의 변화를 나타낸 것이다.

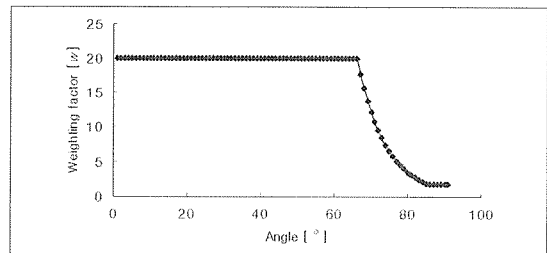


그림 7 정의된 가중치  
Fig. 7 Defined weighting value

그림 7에서 볼 수 있듯이 가중치의 크기는 각도 D가 작을수록 점차로 커지며, 반대로 각도 D가 클수록 점차로 작아진다. 이런 특징을 갖는 가중치를 적용하여 변형되는 새로운 각도 (NA: new angle)는 큰 각도의 입력에 대해서는 변화의 폭을 적게 할 것이며, 작은 각도의 입력에 대해서는 변화의 폭을 크게 할 것이다. 그림 7의 가중치는 50g을 기준으로 한 것이지만 25g과 75g도 기준으로써 사용될 수 있다. 만약 25g이 기준으로 사용된다면 식 (7)의  $UD_{50g}$ 과  $LD_{50g}$ 은 각각  $UD_{25g}$ 과  $LD_{25g}$ 으로 바뀌어야 하며, 25g에서 0으로 설정된  $\Delta D$ 는 50g과 75g에서는 25g과 동일한 기준을 유지하기 위하여 각각 +5와 +10로 설정하여야 한다. 제안된 가중치를 이용하면 선형적으로 증가하는 가중치에 비해 좀더 효율적으로 각 단계를 구별할 수 있게 된다. 식 (7)을 통해 정의된 가중치  $w$ 를 이용하여 식 (6)은 다음과 같이 변형될 수 있다.

$$NA = \text{atan} \frac{50}{r \cdot w(ep - sp)} \quad (8)$$

그림 8은 식 (8)을 이용하여 그림 6을 개선시킨 것이다. 그림 8에서 보듯이 같은 salt fog 내의 CDF들과 서로 다른 salt fog 간의 CDF들이 서로 명확한 구분되어 나타난다. 표 2는 각각의 salt fog하에서의 단계별 각도 범위를 나타낸 것이다.

표 2 각각의 salt fog하에서의 각 단계별 각도 범위  
Table 2 Each angle range under each salt fog

	단계 1	단계 2	단계 3	단계 4
25g	90	89 ~ 70	50 ~ 30	10미만
50g	90 ~ 80	70 ~ 60	40 ~ 20	10미만
75g	80 ~ 70	40 ~ 30	20 ~ 10	10미만

표 2에서 볼 수 있듯이 각각의 단계별 각도는 애자가 운전되는 환경(본 논문에서는 염분의 농도가 서로 다른 지역)에 따라서 항상 일정한 범위를 유지하고 있다. 이것을 기준으로 사용하면 실제 필드에 설치되어 있는 애자에서 측정된 누설 전류

들에 대한 CDF 각도와 비교할 수 있어 현재 애자가 어떤 단계에 포함되는지를 파악할 수 있으며 이를 통해 섬락 시기에 대한 예측이 가능할 것이다. 표 2에서 주목할 사항은 첫째로 세 경우 모두에서 섬락이 이루어는 단계 4에서의 각도는 항상 10°미만을 유지하고 있다는 것이며, 둘째로 염수의 농도가 상대적으로 낮은 25g salt fog의 초기 상태는 항상 90°를 유지하고 있다는 것이다.

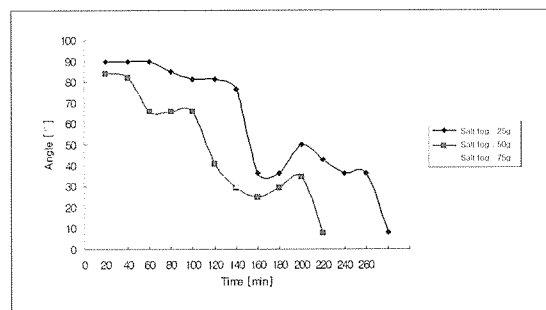


그림 8 새로운 가중치를 사용하여 변형된 CDF들의 각도들

Fig. 8 Angles of CDFs transformed by using the new weighting value

## 4. 결론

본 논문에서는 오손된 EPDM 배전용 현수 애자에서 측정된 누설 전류의 특징을 분석하여 애자의 섬락 시기를 예측하는 방법을 제안하였다. 이를 위해 측정된 누설 전류들을 힐버트 변환을 통해 포락시키고 레벨 교차율을 통해 CDF들로 변환하였다. 이렇게 변환된 CDF들의 각도 정보는 애자의 초기 단계에서 섬락에 이르는 단계까지 서로 다르게 나타나게 되므로 애자의 섬락 시기를 예측할 수 있는 정보로 사용될 수 있었다. 즉 같은 salt fog 하에서의 각 단계별 각도는 20°범위 안에서 서로 구분되어 나타났으며, 서로 다른 salt하에서의 각 단계별 각도 또한 거의 5°의 차이로 구분되는 규칙성을 보임을



확인하였다. 이러한 특징을 가지는 PDF들을 애자의 섬락시기 예측에 좀더 용이하게 사용하기 위하여 새로운 가중치를 정의하여 사용함으로써 각 단계가 서로서로 명확히 구분될 수 있도록 하였다. 본 논문에서는 이러한 단계별 각도를 통해 애자의 섬락 시기를 예측할 수 있는 하나의 방법을 제시한 것이다. 만약 각 지역별 환경 특성이 고려된 CDF들이 데이터 베이스 되어있다면 임의의 지역내에 설치된 애자들에서 얻어진 CDF와 비교하여 해당 애자의 오손 정도와 섬락 시기를 예측할 수 있을 것으로 기대된다.

## ■ 참고문헌

- [1] K. J. Lloyd and H. M. Schneider, "Insulation for power frequency voltage," in Transmission Line Reference Book (345 kV abd Above), Palo Alto, CA:EPRI, 1982.
- [2] G. Karady and F. Amarch, "Signature analysis of leakage current for polluted insulators," in Proc. IEEE Transmission and Distribution Conf., vol. 2, New Orleans, LA, Apr. 1999, pp. 806-811.
- [3] S. O. Rice, "Mathematical analysis of random noise," Bell Syst. Tech. J., vol. 23, pp. 282-332, July 1994.
- [4] A. Papoulis, Probability, Random Variable and Stochastic Processes, New York: McGraw-Hill, 1984.
- [5] S. Braun and J. K. Hammond, "Additional techniques," in Mechanical Signature Analysis, London, U.K. : Academic, 1996.

## ■ 저자소개



박재준 (朴材俊)

- 1962년 5월23일생
- 1985년 2월 광운대학교 전기공학과 졸업
- 1987년 2월 동대학원 전기공학과 석사
- 1993년 2월 동대학원 전기공학과 박사
- 현재 중부대학교 전기전자공학과 부교수
- Tel : 041-750-6751
- Fax : 041-750-6751
- E-mail : jjpark@joongbu.ac.kr

## 송영철 (宋映澈)

- 1969년 2월 4일생
- 2001년 8월 광운대학교 전기공학과 박사
- 2002년 ~ 현재 경북대학교 전자전기공학부 조교수
- Tel : 053-950-7324
- Fax : 053-950-6614
- E-mail : songyc03@ee.knu.ac.kr