

# 초고압 송전용 자기애자의 인공오손법을 통한 누설전류 분석

최인혁\*, 최장현\*, 정윤환\*, 이동일\*  
한전전력연구원

## A Leakage Current Analysis of EHV Porcelain Insulators by Artificial Contamination Method

(In-Hyuk Choi\*, Jang-Hyun, Choi\*, Yoon-Hwan Jung\*, Dong-Il Lee\*)  
KEPRI

### Abstract

This paper researched leakage current characteristics of artificially contaminated EHV insulators through construction of long-term testing facility. Insulators were contaminated and classified into the ESDD contaminated levels under IEC standards method. As the test results of contaminated insulators was carried out several experiments, leakage current greatly increased during initial rainfall. After contaminated insulators were naturally washed by rain, leakage current was not increased.

**Key Words** : Contamination, Insulators, Leakage Current, ESDD

### 1. 서론

오늘날 산업 발전과 문화생활의 발달에 따른 전기에너지의 수요가 증가하면서 대용량 에너지의 장거리 송전에 필요한 전압 격상 및 안정적 전력 공급에 관한 관심이 높아져가고 있다.[1] 그중 애자는 송전선과 철탑과의 절연, 작업자의 안전 등 송전의 신뢰성 등을 결정하는 가장 중요한 역할을 담당하고 있으며 그 종류는 자기애자, 유리애자 및 폴리머애자가 사용되고 있다.[2] 특히 자기애자는 오손 열화요인은 크게 지형적, 기후적, 환경적 요인 등과 애자의 내부 균열, 특히 두부의 균열에 의한 열화가 발생하면 누설전류가 크게 증가하여 송전 장애 요인을 제공한다.[3] 그리고 해안지역에 설치된 애자의 경우에 바다로부터 불어오는 바람에 섞인 염분이 애자의 표면에 부착되어 절연파괴를 일으키는 빈도는 청정지역에 설치된 애자와 비교해 높다. CIGRE, IEEE 등 외국의 연구단체에서 옥외 시험을 위한 실증시험장을 구축하여 인공적으로 애자를 오염시켜 애자의 누설전류 및 내전압(withstand voltage) 특성에 관하여 연구되고 있다.[4] 애자의 오손도를 평가하는 가장 좋은 방법

은 지역별 오손 데이터를 지속적으로 확보하는 것이지만 이는 많은 노동력과 시간을 필요로 한다.

따라서 본 연구에서는 자연 상태에서의 자기애자의 오손 등급에 따른 특성 평가의 어려움을 극복하기 위해 인공 오손하여 옥외장기실증시험장에 시험용 변압기를 선간전압 154 [kV] 전압을 인가하여 실제선로와 동일한 방법으로 오손등급에 따른 누설전류 특성을 분석하고 상대습도가 누설전류 어떠한 영향을 미치는지에 관하여 비교 분석하였다.

### 2. 인공오손 및 실험 방법

#### 2.1 인공오손 실험 절차

애자에 대한 인공오손 시험방법은 적용 범위 등을 고려해야하기 때문에 오손방법을 선택함에 있어서 지역, 환경, 용도 등에 적합한 시험방법을 선택하는 것이 필요하다.[5] 그래서 본 연구에서는 국제전기기술위원회(IEC)에서 제안하였고, 세계적으로 가장 많이 사용되는 방법인 등가염분부착밀도(Equivalent Salt Deposit Density, ESDD) 측정법을 이용하였다. 먼저 인공오손을 위하여 고창균

상하면에서 채취된 황토 흙을 수돗물로 세척하여 여과기(sieve) #18(1 mm)을 사용하여 미세한 황토만을 걸러 80℃의 챔버에서 5일 정도 건조하여 순수한 황토를 만들었다. 그리고 지하수에 준비된 순수한 황토, 카올린(일본, Junsei Chemical Co., Ltd) 등의 비용해성 물질과 식염을 넣은 오손물을 만들고 시료 애자를 함침하여, 염분과 비용해성 물질이 애자에 부착되도록 한 다음, 시험용 변압기로 154kV 송전전압을 인가하여 주변 환경요인에 따라 시료 애자에 흐르는 누설전류의 양을 10초당 1회의 샘플링 주기로 이더넷(ethernet)을 통한 누설전류 측정시스템을 이용하여 측정하였다.[6] 그림 1은 애자의 인공오손 시험절차를 나타낸 것이다.

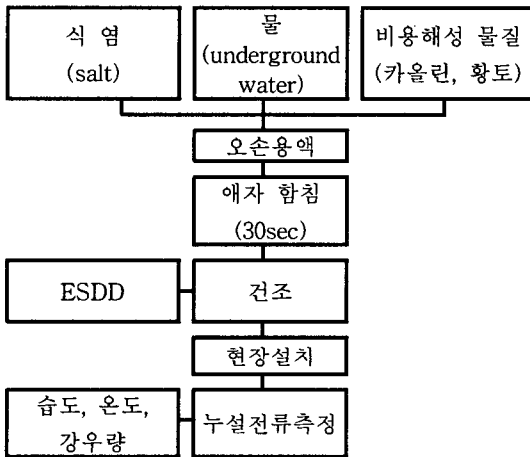


그림 1. 애자의 인공오손 시험법

## 2.2 인공오손

애자를 인공오손시키기 위해 황토와 카올린 각각 800g에 지하수 20ℓ를 사용하였다. 오손등급을 B, D등급으로 오손시키기 위해, 식염량을 500g, 2,000g씩 각각 사용하여 오손물을 만들었다. 그림 2는 인공오손 과정으로 오손물 혼합과정과 함침과정 사진이다.



(a) 혼합과정 (b) 함침과정  
그림 2. 인공오손 과정

인공 오손물에 애자를 함침하면서, 오손물의 염분 균일성을 유지하기 위하여 오손물을 저어 주면서, 함침시간이 30초를 지나면 애자를 오손물에서 건져, 애자의 캡과 핀을 지면과 수직하게 하여, 오손물이 애자의 표면에 균일하게 부착되도록 하고, 음지에 놓인 건조대에 걸어 수분이 증발되도록 건조시킨다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 ESDD 측정

표 1은 황토와 카올린으로 오손시킨 애자의 하면을 면으로 세정하여 측정한 전도도 값을 이용하여 ESDD로 오손등급을 평가한 결과이다.

표 1. 인공오손된 애자의 오손등급

비용해성 물질 (800 g)	물의 량 (ℓ)	식염량 (g)	전도도 (μS/c m)	ESDD (mg/c m <sup>2</sup> )	오손 등급
황토	20	500	670	0.080	B
카올린	20	500	530	0.063	B
황토	20	2,000	2,250	0.267	D
카올린	20	2,000	2,110	0.251	D

### 3.2 누설전류 특성 분석

오손 등급 B, D로 각각 오염시킨 애자를 실선로와 동일하게 1련에 13개씩 시험선로에 취부하여 154kV 교류 송전전압을 인가한 후, 주변 환경요인에 따라 시료 애자에 흐르는 누설전류의 양을 10초당 1회 샘플링 주기(sampling rate)로 이더넷을 통한 누설전류 측정시스템으로 측정하였다.[6]

#### 3.2.1 누설전류의 시간적 변화

(가) B등급으로 오손된 애자의 누설전류

B등급으로 오손된 애자의 누설전류 변화는 그림 3과 같다. 누설전류는 11일 동안 측정하였으며, 누설전류를 강우량과 함께 비교하였다. 처음 2일간은 비가 오지 않았고, 3일 째는 3.1 mm, 4일째는 4.9 mm의 아주 적은 강우량을 보였다. 이 기간 동안에 누설전류는 강우량에 영향을 받지 않았다. 즉 오손된 애자가 우천으로 자연세정되기 전까지, 낮에는 오손애자와 비오손애자의 누설전류에 큰 차이는 없었다. 밤에는 비오손애자의 누설전류는 약간 증가하였지만, 오손된 애자의 누설전류는 크게 증가하였다. 애자를 설치하고 5일째와 6일째의 강우량이 각각 41 mm와 52.0 mm로써, 매우 많은 량의 비가 내렸다. 따라서 오손된 상태에서 많은 강우량은 누설전류를 크게 증가시켰다. 많은 강우량 이후에는 비오손애자와 오손애자의 누설전류 차이가 크지 않았다. 이것은 오손된 애자에 부착된 염분이 자연세정으로 감소되었기 때문으로 판단된다.

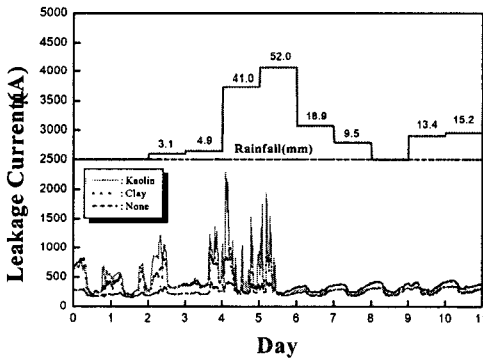


그림 3. 강우량에 따른 애자의 누설전류(등급 B)

(나) D등급으로 오손된 애자의 누설전류

그림 4는 D등급으로 오손된 애자의 누설전류 변화를 나타낸 것이다. 누설전류는 14일 동안 측정하였다. 애자를 부착하던 날 1.1 mm와 0.1 mm의 강우량을 보였을 때 누설전류가 증가하였다. 이후 9일 동안에는 비가 내리지 않았다. 이 기간 동안의 누설전류 변화는 다른 등급으로 오손된 애자와 같은 경향을 보였다. 즉 밤에는 증가하였고, 낮에는 감소하였다. 13일째에는 10.4 mm의 큰비가 내렸고 누설전류도 크게 증가하였다. 이후에는 다시 누설전류가 크게 감소한 것으로 보아, 인공오손된 애자가 자연세정된 것으로 판단된다.

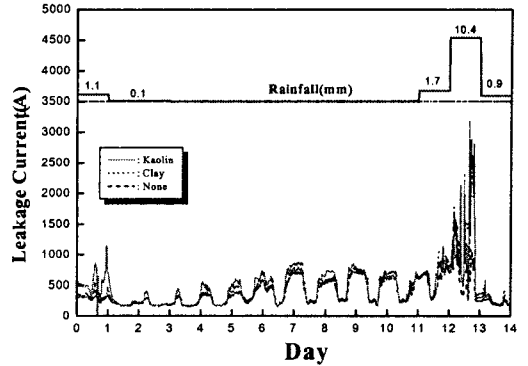


그림 4. 강우량에 따른 애자의 누설전류(등급 D)

3.2.2 습도에 따른 누설전류 변화

오손된 애자의 누설전류가 낮에는 감소하고 밤에는 증가되는 이유는 습도의 변화로 판단된다. 따라서 각 오손등급으로 오손된 애자의 누설전류를 습도의 변화에 따라 분석하였다. 습도에 따른 누설전류는 오손된 애자가 세정되기 직전까지의 데이터를 활용하여 분석하였다. 특히 온도에 의한 영향을 제외하기 위하여 온도가 20℃일 때, 습도변화에 따른 누설전류 변화를 분석하였다.

(가) B급 오손애자의 습도에 따른 누설전류

그림 5은 비오손된 애자와 황토와 카울린으로 인공오손시킨 애자의 습도증가에 따른 누설전류 변화를 측정한 결과이다. 그림에서와 같이 습도가 증가함에 따라 누설전류가 증가하였다. 또한 비오손애자에 비하여 B등급으로 오손된 황토와 카울린의 누설전류의 증가폭이 더욱 컸다.

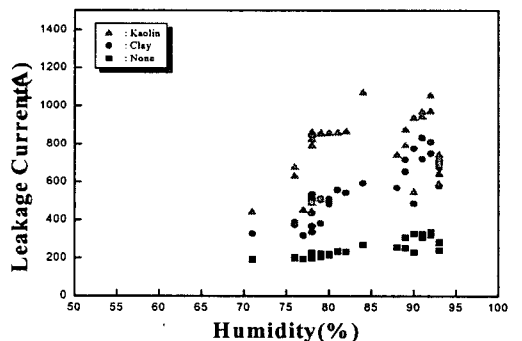


그림 5. 습도에 따른 누설전류 변화(B등급, 20℃)

(나) D급 오손애자의 습도에 따른 누설전류

그림 6은 D등급으로 오손된 애자의 습도에 따른 누설전류 변화이다. 습도가 낮은 상태에서는 오손 애자와 비오손애자의 차이가 없었으나 습도가 약 72% 이상에서는 누설전류의 차이가 변하고 있다. 그러나 온도가 20℃ 상태이고 습도가 높은 데이터가 존재하지 않아 확인할 수는 없었지만 습도가 올라감에 따라 그 차이가 크게 변할 것으로 판단된다.

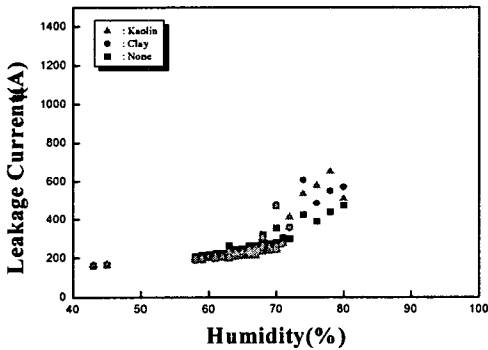


그림 6. 습도에 따른 누설전류 변화(D등급, 20℃)

#### 4. 결 론

황토와 카올린을 사용하여 B, D등급으로 인공오손된 애자를 만들어 누설전류를 측정하고, 환경적인 요인인 습도에 따라 누설전류를 분석하였다.

1. 낮에는 오손애자와 비오손애자의 누설전류에 큰 차이는 없었으나, 밤에는 오손된 애자의 누설전류가 비오손애자와 비교하여 크게 증가하였다. 이것은 습도가 증가함에 따라 오손된 애자에 부착된 염분이 용해되고 전도도가 증가하여 누설전류가 증가하는 것으로 판단된다.
2. 인공 오손된 상태에서 최초로 내리는 폭우는 누설전류를 크게 증가하였으나 폭우 이후에는 애자에 부착된 염분이 자연세정으로 감소되었기 때문에, 비가 내리더라도 누설전류가 큰 값으로 증가하지 않았다.

#### 참 고 문 헌

[1] G. H. Vaillancourt, J. P. Bellerive, M. St-Jean, C. Jean, "New live line tester for

porcelain suspension insulators on high voltage power lines", IEEE transactions on power delivery, Vol. 9, No. 1, p. 208, 1994.

- [2] S. Grzybowski, R. A. Wilson, A. L. Libby, R. Barbre, "Electrical and mechanical performance of porcelain suspension insulators removed from a 230kV transmission line after 35 years of service", IEEE proceedings , p. 59, 1995.
- [3] Guozhang Xu Paul B. McGrath, Clayton W. Burns, "Accelerated environmental and electrical aging of polymer insulators", IEEE annual report, p. 405, 1996.
- [4] Redu Munteanu, Felix Kaidanov, "Some results of polluted insulator investigations in Israel", IEEE proceedings, p. 491, 1996.
- [5] Md. Abdus Salam, Hussein Ahmad and T. Tamsir, "Calculation of time to flashover of contaminated insulator by Dimensional Analysis technique", Computer & Electrical Engineering, p. 419, 2001.
- [6] I. H. Choi, J. H. Choi, D. I. Lee, G. J. Jung, J. S. Ahn, "광대역 누설전류 자동측정 장치", Korea Patent, 10-2003-0074891, 2003.