

# 용해성물질과 비용해성물질로 인공 오손된 송전용 애자의 누설전류 특성

論 文

53C-9-3

## Characteristics of Leakage Current on Transmission Insulators Contaminated Artificially with Soluble and Nonsoluble Materials

崔仁赫<sup>†</sup>·崔長絃<sup>\*</sup>·李東一<sup>\*\*</sup>·金燦泳<sup>\*\*\*</sup>

(In-Hyuk Choi · Jang-Hyun Choi · Dong-Il Lee · Chan-Young Kim)

**Abstract** - The leakage current of transmission insulators contaminated with salt, clay, and kaolin was examined in the Gochang's Long Periods Testing Center. The Insulators were artificially contaminated and estimated with the method of equivalent salt deposit density(ESDD). The artificially contaminated insulators were installed with the same condition as in the real transmission power line and applied with 154 [kV]. The leakage current of the artificially contaminated insulators was measured with environment conditions, such as temperature and humidity by the a automatic leakage current detecting system. The leakage current of heavily contaminated insulator was abruptly increased above 72 [%] of humidity, even though the leakage current was similar between the contaminated and non-contaminated insulators below 72 [%] of humidity. Also, it was found that the humidity was much more important than the temperature in the leakage current of transmission insulators. The leakage current of contaminated insulator was decreased when it was plenty of rainfall, resulting from natural washing.

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

### 1. 서 론

오늘날 산업 발전과 문화생활의 발달에 따른 전기에너지의 수요가 증가하면서 대용량 에너지의 장거리 송전에 필요한 전압 격상 및 안정적 전력공급에 관한 관심이 높아져가고 있다 [1]. 따라서 애자는 송전선과 철탑과의 절연, 작업자의 안전, 송전 신뢰성 등을 결정하는 가장 중요한 역할을 담당하고 있으며, 자기애자, 유리애자, 폴리머애자 등이 사용되고 있다 [2-4]. 특히 자기애자는 재질의 특성에 의한 경년변화가 거의 없지만, 금구류 및 시멘트의 특성이 경년에 따라 감소되며, 애자에 부착된 염분 및 분진 등에 의해 금구류가 부식되고, 섬락현상이 발생하는 경우가 있다. 결국 해안지역에 설치된 애자는 청정지역에 설치된 애자와 비해 열화가 속도가 빠르다. 따라서 국제전기기술위원회에서는 애자에 대한 염무(salt fog) 시험(IEC 60507)을 통해 애자의 신뢰성 평가하도록 규정하고 있고, 애자를 인공오손시켜 내전압 특성 및 섬락전압시험 등의 전기적 시험을 실시하고 있으며[5], 일본전력중앙연구소(CRIEPI)에서는 해안가 근처에서 장기적으로 누설전류를 측정하여 오손과의 상관성을 연구하고 있다.

본 연구는 해안지역에 설치된 송전용 애자가 자연 오손됨에 따라 나타나는 전기적 특성 변화를 모의하기 위하여, 애자를 인공오손시켜, 주위환경에 따른 누설전류 변화를 분석하였다.

또한 실선로와 동일한 수량(13개)의 애자를 설치하고, 실선로와 동일한 전압(154 [kV])을 인가함으로써, 국내 송전용 애자(36,000 [lbs])의 전기적 특성을 모의한 인공오손실험이다. 따라서 본 연구에서는 등가염분부착밀도(Equivalent Salt Deposit Density, ESDD) 측정법을 이용하였다[6]. 물에 비용해성(kaolin과 황토) 물질과 용해성 물질인 식염을 넣어 오손물을 만들고, 송전용 애자(36,000lbs)를 함침한 후 건조한 다음, 애자의 오손등급을 측정하고 등급별로 분류하여, 고창실증시험장의 옥외시험장[7]에 실선로와 동일한 방법으로 설치하고 154 [kV]를 인가하여, 강우량, 습도, 온도 등의 환경조건과 함께 누설전류를 측정하여, 오손등급과 환경이 애자의 누설전류에 미치는 영향을 분석하였다.

### 2. 본 론

#### 2.1 인공오손 실험 절차

애자에 대한 인공오손은 고창실증시험장에서 수행하였다. 고창실증시험장은 서해바다와 인접하여 있기 때문에 지하수의 전도도가 약 300 [ $\mu$ S/cm]로써, 일반 수돗물의 전도도보다 높았다. 지하수에 전도성 물질인 식염(salt)을 넣고, 불용성 물질인 황토(yellow soil)와 카올린(kaolin)을 혼합해 오손물을 만들었다.

인공오손에 사용된 황토는 전북 고창군 상하면에서 채취하여 수돗물(tap water)로 세척하여, 황토에 포함되어 있는 전도성 성분을 제거하였고, 18번 체(sieve)를 사용하여 미세한 황토만을 걸러 80 [°C]의 챔버에서 건조하였다. 그리고 카올린은 일본(Junsei Chemical Co., Ltd.)에서 수입된 제품을 사용하였다.

<sup>†</sup> 교신저자, 正會員 : 韓電 電力研究院 先任研究員

E-mail : idhyuk@kepri.re.kr

<sup>\*</sup> 正會員 : 韓電 電力研究院 委囑研究員

<sup>\*\*</sup> 正會員 : 韓電 電力研究院 責任研究員

<sup>\*\*\*</sup> 正會員 : 우석대학교 전기전자공학과 부교수

接受日字 : 2004年 4月 8日

最終完了 : 2004年 8月 2日

인공오손물은 물 20 리터에 불용성 물질의 중량 800 그램을 넣고, 각각 500, 1,000, 2,000 [gram] 씩 식염을 넣어 만들었다. 36,000 [lbs] 애자를 인공오손시키기 위해 오손물을 저어 주면서 30초 동안 애자를 함침 시킨 후 건조, 애자의 캡과 핀을 지면과 수직하게 하여, 오손물이 애자의 표면에 균일하게 부착되도록 하고, 음지에 놓인 건조대에 걸어 수분이 증발되도록 건조시켰다. 건조 후에 애자의 표면에 부착된 오손물의 등가염분부착밀도를 측정하여 인공오손된 애자의 오손등급을 판정하였다.

여러 등급으로 인공오손된 애자는 고창실증시험장의 옥외 구조물에 실선로와 동일한 수량으로 수직하게 설치하여, 154 [kV] 송전전압을 인가하였다. 애자에 흐르는 누설전류는 누설전류 측정시스템을 이용하여 10초당 1회의 샘플링 주기로 측정하였고[8], 습도 및 온도는 Finland, VAISALA Ltd.사의 DTR503A(model HMP45A)로 누설전류와 동시에 측정하였으며, 강우량은 기상청의 일일 강우량 자료를 참고하였다. 그림 1에 애자의 인공오손 실험방법을 나타냈다.

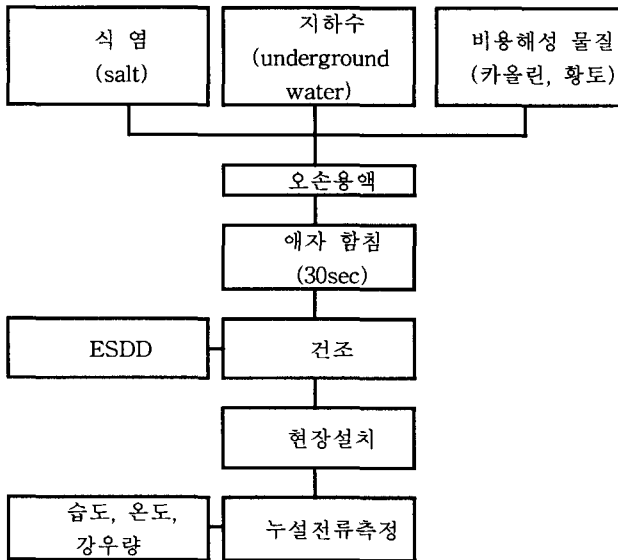


그림 1. 송전용 애자의 인공오손 실험방법  
Fig. 1. Experimental method of an artificially contaminated transmission insulator

2.2 등가염분 부착밀도 및 오손등급

등가염분 부착밀도는 식(1)을 사용하여 계산하였다[6]. 여기서 상수 k는 전도도를 염분량으로 환산하는 실험 상수로써, 세정 용액의 량을 200 [ml] 사용하였을 때 상수 k는 0.095로써, 이 값과 전도도를 곱하면 염분량이 된다.

$$ESDD = \frac{mg}{A} = \frac{k \times \sigma}{A} [mg/cm^2] \quad (1)$$

여기서,

- k : 전도도를 염분량으로 환산하는 실험상수(세정용액이 200 [ml]일 때 k = 0.095)
- σ : 전도도 (μS/cm)
- A : 절연물의 세정된 면적 (cm<sup>2</sup>)

오손등급의 분류는 한국전력공사의 기준을 따랐으며, 이것은 등가염분부착밀도에 따라 표 1과 같이 5등급으로 분류를 하고 있다[9].

표 1. 오손등급의 분류

Table 1. Classification of pollution level

오손등급	한계치(mg/cm <sup>2</sup> )
A	0 ~ 0.063
B	0.063이상 ~ 0.125
C	0.125이상 ~ 0.250
D	0.25 이상 ~ 0.500
E	0.5 이상

3. 실험결과 및 고찰

3.1 등가염분부착밀도 측정

표 2는 황토와 카올린으로 인공오손된 애자의 하면(bottom)을 면(cotton)으로 세정하여 측정된 전도도를 EDSS로 환산하여 오손등급을 평가한 결과이다. 표에서와 같이 식염량이 증가 될수록 전도도가 증가하였다. 지하수의 전도도(약 300 [μS/cm])가 비록 일반 수돗물의 전도도(수십 [μS/cm])보다 높았지만, 여러번의 실험을 통하여 식염량을 결정하였기 때문에 애자의 오손등급을 원하는 B, C, D 등급으로 오손시킬 수 있었다. 황토와 카올린의 등가염분부착밀도의 차이는 황토입자의 균일성이 떨어지기 때문으로 판단되나, 큰 차이는 아닌 것으로 나타났다.

표 2. 인공오손된 애자의 오손등급

Table 2. Pollution levels of artificially contaminated insulators

비용해성 물질	오손물			측정결과		오손 등급
	물의 량 (ℓ)	비용해성 중량(g)	식염량 (g)	전도도 (μS/cm)	ESDD (mg/cm <sup>2</sup> )	
황토	20	800	500	670	0.080	B
카올린	20	800	500	530	0.063	B
황토	20	800	1,000	1,117	0.133	C
카올린	20	800	1,000	1,259	0.150	C
황토	20	800	2,000	2,250	0.268	D
카올린	20	800	2,000	2,110	0.251	D

3.2 누설전류 특성 분석

B, C, D 등급으로 각각 인공오손된 자기애자(36,000 [lbs])를 실선로와 동일하게 1면에 13개씩 실험선로에 취부하여 154 [kV] 교류 송전전압을 인가한 후, 애자에 흐르는 누설전류의

양을 10 초당 1회의 샘플링 주기(sampling rate)로 온도와 습도와 함께 측정하였다.

3.2.1 누설전류의 시간적 변화

(가) B등급으로 오손된 애자의 누설전류

B등급으로 오손된 애자의 누설전류 변화는 그림 2와 같다. 누설전류를 11일 동안 측정하였으며, 1일 강우량과 함께 비교하였다. 설치한 첫날에는 비가 오지 않았다. 첫날 야간의 누설전류 최고값은 황토와 카올린은 각각 800 [μA]과 780 [μA]로 비슷하였다. 1일 강우량이 44 [mm]인 5일 째 되던 날, 비오손 애자와 오손애자(카올린)의 누설전류 최고값은 각각 400 [μA]와 2,260 [μA]로써, 오손된 애자의 누설전류가 큰 폭으로 증가한 것을 알 수 있다. 이와 같은 차이는 오손된 애자에 포함된 염분이 녹아 도전경로를 만들었기 때문으로 판단된다. 한편 애자를 설치하고 매우 많은 량의 비가 내린 6일 이후에는 비오손애자와 오손애자의 누설전류 차이가 크지 않았다. 이것은 오손된 애자에 부착된 염분이 많은 강우량으로 자연세정되었기 때문으로 판단된다.

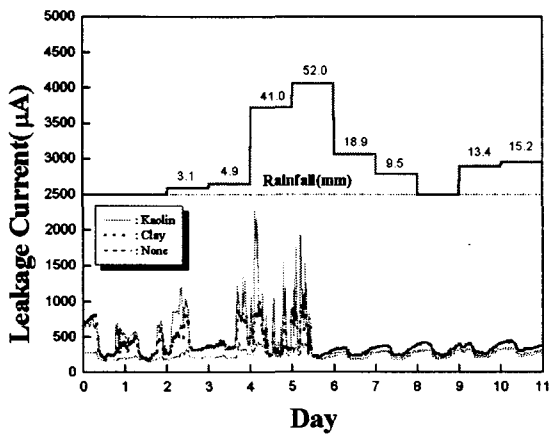


그림 2. 강우량에 따른 애자의 누설전류(오손등급 B)  
Fig. 2. Leakage current of insulators as a function of rainfall (pollution level B)

(나) C등급으로 오손된 애자의 누설전류

그림 3은 C등급으로 오손된 애자의 누설전류 변화를 나타낸 것으로 누설전류 값은 6일 동안 측정하였다. 측정 1일째 누설전류 최고값은 황토와 카올린은 각각 316 [μA], 440 [μA]로 나타났다. 이 기간동안에 비는 거의 오지 않았고, 마지막 6일째 0.1 [mm]의 비가 왔을 때 비오손애자와 오손애자(카올린)의 누설전류 최고값은 각각 380 [μA], 980 [μA]로 나타났다. 이는 비가 조금만 내려도 오손된 애자의 누설전류값이 크게 증가하는 것을 알 수 있다. 비에 의하여 애자에 부착된 염분이 녹아 전도경로를 만들기 때문으로 판단된다. 그러나 이 정도의 강우량으로는 애자의 표면에 부착되어 있는 오손물이 세정되지 않을 것으로 판단된다. 오손등급 C로 오손된 애자의 누설전류 값은 B등급으로 오손된 애자의 누설전류와 비슷한 경향을 나타냈다. 그리고 낮에는 비오손애자와 오손애자의 누설전류에 큰 차이가 없었지만, 저녁부터 새벽까지의 누설전류는 비오손애자에 비하여 크게 증가하는 것으로 나타났다. 이것은 습도의 영향으로 확인되었다.

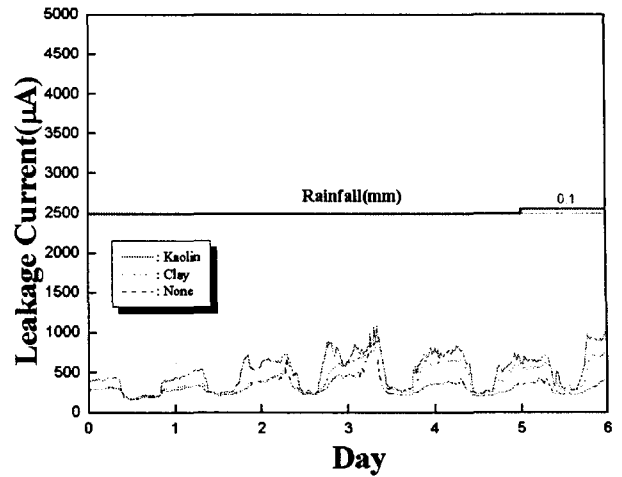


그림 3. 강우량에 따른 애자의 누설전류(오손등급 C)  
Fig. 3. Leakage current of insulators as a function of rainfall (pollution level C)

(다) D등급으로 오손된 애자의 누설전류

그림 4는 D등급으로 오손된 애자의 누설전류 변화를 나타낸 것으로 누설전류는 14일 동안 측정하였다. 애자를 부착하던 날 1.1 [mm]와 0.1 [mm]의 강우량을 보였을 때 비오손애자와 오손애자(카올린)의 누설전류 최고값은 각각 380 [μA]와 1,100 [μA]로 나타났다. 이후 9일 동안에는 비가 내리지 않았으며 누설전류 값의 변화는 다른 등급으로 오손된 애자와 비슷한 경향을 보였다. 오손된 애자와 오손되지 않은 애자의 누설전류의 크기가 낮과 밤에 모두 비슷하였다. 이것은 누설전류를 측정한 기간이 2003년 10월 1일에서 14일까지로써, 밤의 습도가 약 72 [%] 이상으로 넘어가지 않았기 때문이다. 습도에 대한 분석은 다음절에서 언급하였다. 그리고 13일째에 10.4 [mm]의 많은 비가 내렸을 때 누설전류 최고값이 크게 증가한 것을 알 수 있다. 이후에는 다시 누설전류가 감소한 것으로 보아, 인공 오손된 애자가 자연세정된 것으로 판단된다.

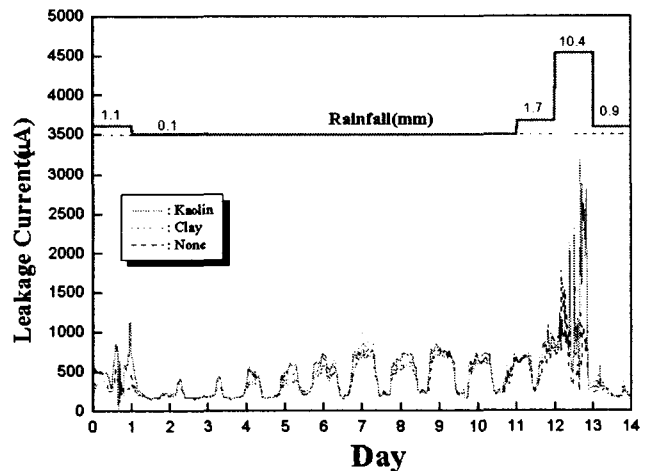


그림 4. 강우량에 따른 애자의 누설전류(오손등급 D)  
Fig. 4. Leakage current of insulators as a function of rainfall (pollution level D)

### 3.2.2 Heavy 강우량에 따른 누설전류의 변화

그림 5는 40 [mm] 이상의 많은 강우량의 비가 내렸을 경우의 비오손애자와 오손애자에 누설전류 변화이다. 많은 강우량에서도 비오손애자의 누설전류는 약 380[ $\mu$ A]이하였지만, B등급으로 오손된 애자(카올린)의 누설전류는 최대 2,260 [ $\mu$ A]까지 증가되었다. 따라서 오손이 되고 최초로 많은 비가 내리는 경우의 누설전류가 가장 크게 증가되는 것으로 나타났다. 그 이후에는 애자가 자연 세정되어 많은 비가 내리더라도 누설전류가 큰 값으로 증가하지 않았다.

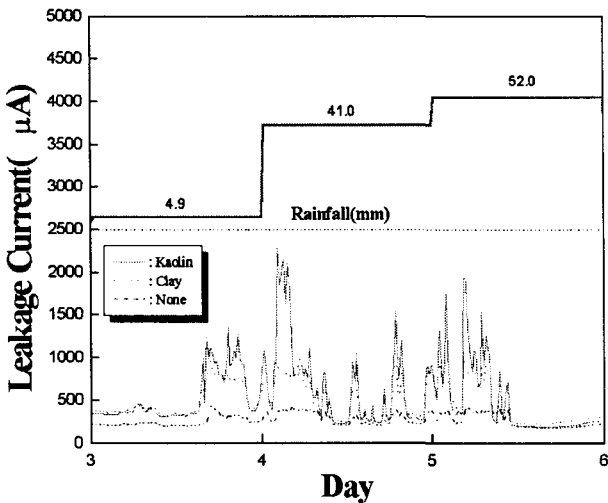


그림 5. 오손등급 B로 오손된 애자의 누설전류  
Fig. 5. Leakage current of insulators contaminated with pollution level B

### 3.2.3 습도에 따른 누설전류 변화

오손된 애자의 누설전류가 낮에는 감소하고 밤에는 증가하는 이유를 습도의 변화로 판단하였다. 따라서 각 오손등급으로 오손된 애자의 누설전류를 습도의 변화에 따라 분석하였다. 습도에 따른 분석은 오손된 애자가 자연세정되기 직전까지의 누설전류 데이터를 활용하여 분석하였다. 특히 온도에 의한 영향을 제외하기 위하여 온도가 20 [°C]일 때, 습도변화에 따른 누설전류 변화를 분석하였다.

(가) B급 오손애자의 습도에 따른 누설전류

그림 6은 비오손애자와 황토와 카올린으로 인공 오손된 애자의 습도증가에 따른 누설전류 변화를 측정된 결과이다. 그림에서와 같이 습도가 증가함에 따라 황토와 카올린의 누설전류는 증가하였다. 습도가 72 [%]일 때 비오손애자와 오손애자(카올린)의 누설전류는 각각 190 [ $\mu$ A]와 440 [ $\mu$ A]이었고, 습도 90 [%]로 높아졌을 때 누설전류는 각각 330 [ $\mu$ A]와 1,050 [ $\mu$ A]로 증가되었다. 따라서 대기중에 포함된 습도의 함량이 증가되면 누설전류가 증가하지만 오손된 애자의 누설전류는 비오손애자에 비하여 그 증가폭이 훨씬 크다는 것을 알 수 있다.

그림 6. 습도에 따른 애자의 누설전류 변화(B등급, 20°C)  
Fig. 6. Leakage current of insulators as a function of humidity(pollution level B, 20°C)

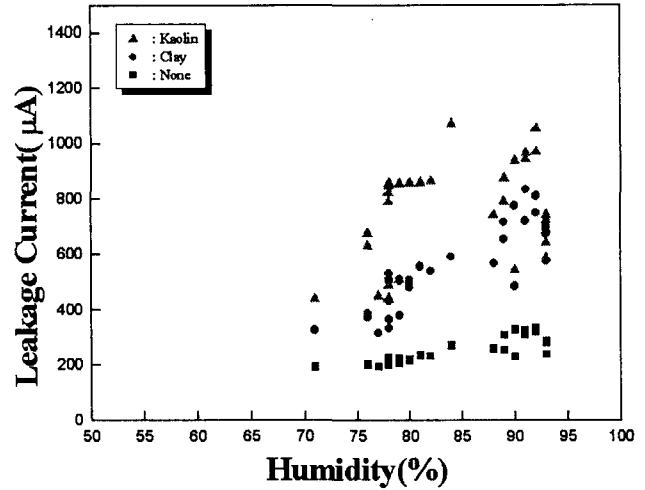


그림 6. 습도에 따른 애자의 누설전류 변화(B등급, 20°C)  
Fig. 6. Leakage current of insulators as a function of humidity(pollution level B, 20°C)

(나) C급 오손애자의 습도에 따른 누설전류

그림 7과 8은 각각 C와 D등급으로 오손된 애자의 누설전류를 습도의 함수로 나타낸 그래프이다. 그림에서와 같이 C와 D등급으로 오손된 애자도 B등급으로 오손된 애자와 같은 경향을 나타냈다. 습도가 낮은(72 [%] 이하) 상태에서는 비오손애자와 오손애자의 누설전류에 거의 차이가 없었다. 그러나 습도가 약 72 [%] 이상으로 증가함에 따라 비오손애자의 경우는 거의 증가가 없었지만, 오손애자의 경우에는 누설전류가 급격히 증가하였다. 따라서, 애자가 오손된 상태에서 습도가 높아질 경우에 고장으로 진전될 가능성이 높음을 알 수 있다.

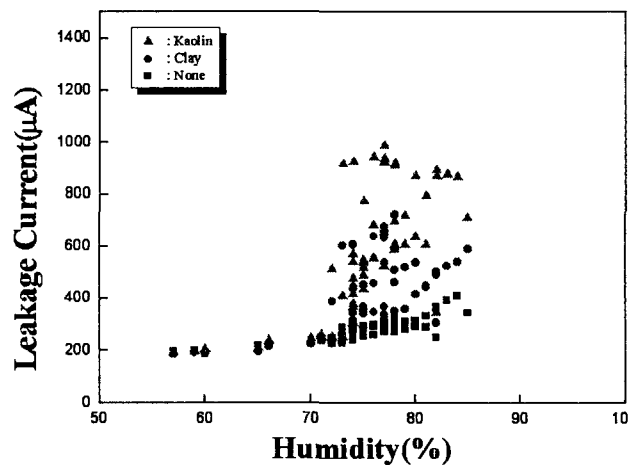


그림 7. 습도에 따른 누설전류 변화(C등급, 20°C)  
Fig. 7. Leakage current of insulators as a function of humidity(pollution level C, 20°C)

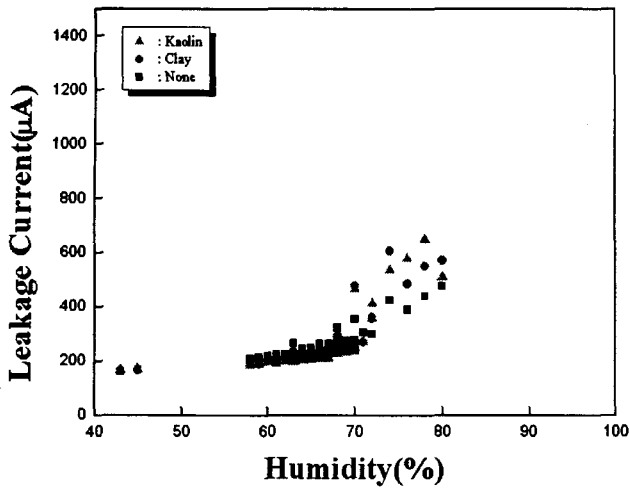


그림 8. 습도에 따른 누설전류 변화(D등급, 20°C)  
 Fig. 8. Leakage current of insulators as a function of humidity(pollution level D, 20°C)

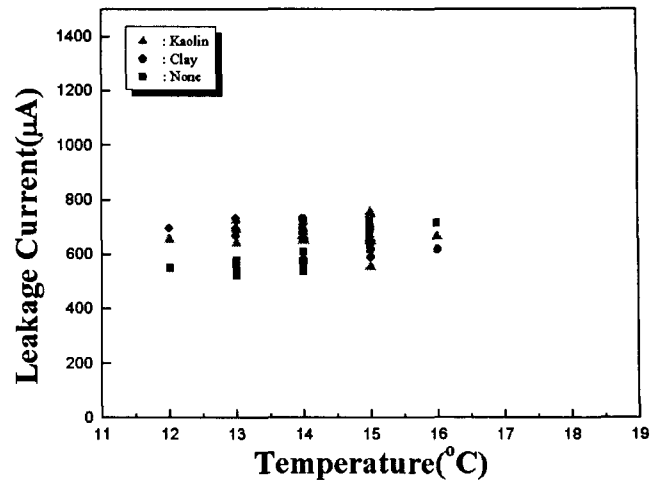


그림 10. 온도변화에 따른 누설전류의 변화 (D 등급, 습도 : 88 [%])  
 Fig. 10. Leakage current of insulators as a function of temperature(pollution level D, humidity : 88 [%])

3.2.4 온도에 따른 누설전류의 변화

그림 9와 10은 습도가 88 [%]일 때, 온도변화에 의한 C급 및 D급 애자의 누설전류 변화를 관찰한 그래프이다. 그림에서와 같이 습도가 일정할 때, 온도가 증가하면 누설전류도 증가하는 경향이 있다. 그러나 그 증가하는 기울기는 습도의 기울기에 비해서는 작은 것으로 판단되었다. 습도가 높은(88 [%]) 새벽의 온도 변화는 12~18 [°C]로써 크지 않았기 때문에, 온도가 누설전류에 미치는 영향은 크지 않은 것으로 판단되었다.

4. 결 론

본 연구는 해안지역에 설치된 송전용 애자가 자연 오손됨에 따라 나타나는 전기적 특성 변화를 모의하기 위하여, 애자를 인공오손시켜, 주위환경에 따른 누설전류 변화를 분석하였다. 따라서 실선로와 동일한 수량(13개)의 애자를 설치하고, 실선로와 동일한 전압(154 [kV])을 인가하여, 국내 송전용 애자의 전기적 특성을 모의하였다. 36,000 [lbs] 송전용 애자를 용해성 물질과 비용해성 물질로 B, C, D등급으로 인공오손시켜 고창 옥외실증시험선로에 설치하여, 습도, 기온, 강우량에 따른 누설전류변화를 분석하였다. 그 결과는 다음과 같다.

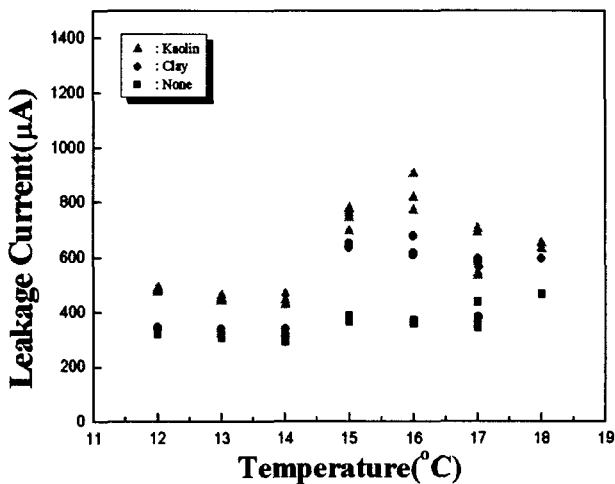


그림 9. 온도변화에 따른 애자의 누설전류 변화 (C 등급, 습도 : 88 [%])  
 Fig. 9. Leakage current of insulators as a function of temperature (pollution level C, humidity : 88 [%])

1. 낮에는 비오손애자와 오손애자의 구별없이 누설전류에 큰 차이는 없었으나, 밤에는 오손애자의 누설전류가 비오손애자의 누설전류보다 크게 증가하였다. 이것은 습도가 증가함에 따라, 오손된 애자에 부착된 염분이 용해되고, 전도도가 증가하여 누설전류가 증가하는 것으로 확인되었다. 특히 카올린으로 오손된 애자는 황토로 오손된 애자보다 습도에 더 큰 영향을 받았는데, 이것은 카올린의 입자 사이즈가 균일하고 미세하였기 때문으로 판단된다.
2. 40 [mm] 이상의 비가 내렸을 경우에, 비오손애자의 누설전류는 약 380[μA]이하였지만, B등급으로 오손된 애자(카올린)의 누설전류는 최대 2,260 [μA]까지 증가되었다. 따라서 오손이 되고 최초로 많은 비가 내리는 경우의 누설전류가 크게 증가하는 것으로 나타났다. 오손된 애자가 자연 세정된 이후에는 비오손애자의 누설전류와 비슷하게 되었다.
3. 온도(20 [°C] 기준)가 일정 할 때, 습도가 낮은(약 72 [%] 이하) 상태에서는 비오손애자와 오손애자의 누설전류 차이가 거의 없었으나, 습도가 증가(약 72 [%] 이상)함에 따라 오손된 애자의 누설전류가 크게 증가하였다. 이것은 습도가 증가되어 애자의 표면에 부착된 전도성 이온이 녹아

누설전류가 흐르는 경로를 만들기 때문에 판단된다. 그러나 습도가 일정(88 [%])할 때, 온도에 따른 누설전류의 변화는 크지 않았다. 따라서 온도보다는 습도가 누설전류에 더 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

**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] R. Matsuoka, H. Shinokubo, K. Kondo, Y. Mizuno, K. Naito, T. Fujimura, T. Terada, "Assessment of basic contamination withstand voltage characteristics of polymer insulators", IEEE Transactions on power delivery, Vol. 11. No. 4, p. 1895, 1996.

[4] F. F. Bologna, A. C. Britten, G. Watridge, D. J. Stevens, G. Grigorakis, "Leakage current on lightly polluted on 275kV glass disc insulator strings in conditions of light wetting", IEEE proceedings, p. 739, 1999.

[5] Raji sundararajan and Ravi Gorur, "Influence of Inert Materials on the Pollution Flashover Voltage of Porcelain Insulators", Proceedings of IEEE Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena (CEIDP' 94), 1994.

[6] 심용보외 2인, "염진해 오손정도 및 기준정립에 관한 연구(최종보고서)", 한국전력공사 전력연구원, pp. 73-77, 2002.

[7] I. H. Choi, et al, "Characteristic Test on the leakage Current of Transmission Insulators", Proceeding of the KIEE Summer Annual Conference, Vol A, p. 479, 2003.

[8] 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.

[9] 전영국의 6인, "전력설비의 염진해대책에 관한 연구(III)", 한국전력공사 기술연구원 보고서, pp. 58-72, 1988.

**저 자 소 개**



**최 인 혁(崔仁赫)**

1963년 4월 13일 생. 1986년 성균관대학교 전기공학과 학사 졸업. 1989년 동 대학원 동학과 석사 졸업. 2002년 동 대학원 동학과 박사 졸업. 현재 한전 전력연구원 선임연구원.



**최 장 현 (崔長紘)**

1975년 11월 10일 생. 2001년 서남대 전기전자공학과 학부 졸업. 2003년 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학과 석사 졸업. 현재 전력연구원 위촉 연구원.



**이 동 일(李東一)**

1958년 3월 15일 생. 1979년 단국대 전기공학과 학부 졸업. 1983년 인하대 전기공학 재료분야 석사 졸업. 1996년 한양대 전기공학 고전압분야 박사 졸업. 현재 한전 전력연구원 책임연구원.



**김 찬 영(金燦泳)**

1962년 9월 16일생. 1989년 인하대 공대 전기공학과 졸업. 1994년 미국 Colorado School of Mines 재료공학 석사 졸업. 1997년 동 대학원 재료공학 박사 졸업. 현재 우석대학교 전기전자공학과 부교수.