

# 송전용 애자의 인공오손시험 기법과 누설전류 특성

Artificial contaminated test method and leakage current characteristics of EHV insulators

최인혁 · 정윤환 · 최장현 · 이동일

(In-Huyk Choi · Yoon-Hwan Jung · Jang-Hyun Choi · Dong-Il Lee)

## Abstract

To find out the reason of accident by being stained of insulators, this paper researched and analyzed the result of electrical characteristic test and field test of EHV insulator through artificial contaminated method. The best way to evaluate contaminated level of insulator surface is getting a contamination data by regional groups continually. But it is needed a lot of time and manpower. To overcome those difficulties, this research introduced ESDD(equivalent salt deposit density) measurement method which is adapted to the international codes of IEC and compared the relation between experimental test results which contaminated insulators by going through stain procedure and electrical measurement results.

## 1. 서 론

오늘날 산업의 발달과 더불어 전력수요의 증가와 함께 수요자의 안정적 전력공급에 대한 욕구도 커져가고 있다. 전력계통의 뼈대를 구성하는 송전선로에서의 고장은 막대한 경제적 손실을 불러오기 때문에 이러한 고장을 일으킬 수 있는 원인 규명은 매우 중요하다. 애자는 송전선로에서 절연을 담당하고 있는 중요한 기자재 중 하나이다. 일반적으로 송전 선로에 사용되고 있는 자기재 애자의 세라믹 재질 특성은 경년에 따라 거의 변하지 않는 것으로 알려져 있다. 하지만 세라믹 재질의 특성이 거의 변화되지는 않음에도 불구하고, 애자의 표면에 부착된 오손물에 의한 고장이 자주 보고 되어 왔다.[1, 2] 특히 해안지역에 설치된 애자의 경우에 바다로부터 불어오는 바람에 섞인 염분이 애자의 표면에 부착되어 절연파괴를 일으키는 빈도는 청정지역에 설치된 애자와 비교해 높은 것으로 나타나고 있다. 이처럼 애자에 부착되는 오손의 정도는 애자의 종류와 지역 환경에 따라 큰 차이를 보이고 있는 것이 현실이다. 애자의 오손도를 평가하는 가장 좋은 방법은 지역별 오손 데이터를 지속적으로 확보하는 것이지만 이는 많은 노동력과 시간을 필요로 한다.

따라서 본 연구에서는 자연 상태에서의 자기재 애자의 오손 등급에 따른 특성 평가의 어려움을 극복하기

위하여 인공 오손을 통한 전기 전도도를 측정하여 각 오손 등급 별 자기재 애자의 외부환경에 대한 전기적 특성을 비교 분석하였다.

## 2. 본 론

### 2.1. 인공 오손 시험 방법

애자에 대한 인공오손 시험방법은 표 1에서와 같이 매우 다양하고 적용 범위 등을 고려해야하기 때문에 오손방법을 선택함에 있어서 지역, 환경, 용도 등에 적합한 시험방법을 선택하는 것이 필요하다.[3] 본 논문에서는 국제전기기술위원회(IEC)에서 제안하였고, 세계적으로 가장 많이 사용되는 방법인 등가염분부착밀도(Equivalent Salt Deposit Density, ESDD) 측정법을 채택하여 연구에 도입하였다.[4] 증류수에 카올린(kaolin), 황토 등의 비용해성 물질과 식염을 넣은 오손물을 만들고 애자를 함침하여, 염분과 비용해성 물질이 애자에 부착되도록 한 다음, 건조시켜 교류전압을 인가하고 애자표면에 흐르는 누설전류를 측정하였다. 또한 애자 표면이 표 2에 제공된 오손등급에 따라 오손되었는지를 평가하였다.[5, 6] 그림 1에는 애자를 인공오손시키는 방법 및 특성화시키는 방법을 차트로 나타냈다.

표 1. 인공오손 시험 방법

Table 1. Artificial contaminated test methods

명칭	소 속	시험방법	오손물	평가방법
		염분 분무	NaCl	식염량(g/l)
IEC Pub. 507,1975	국제전기기술 위원회	오손된 표면의 전도도 측정	NaCl or CaCl <sub>2</sub> Kieselguhr 100g/l SiO <sub>2</sub> 10 g/l	표면의 전도도(μS)
IEC Pub. 507,1985 (Draft- Revision)	국제전기기술 위원회	오손물의 ESDD 측정	NaCl Kaolin or Tonoko 40 g/l	ESDD (mg/cm <sup>2</sup> )
전해액 분무법	프랑스	전해액 분무	용해성염 (Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> )	일정 용해도에서 3분간 견디는 최고 전압
진애 염무법	프랑스	사용전압을 인가상태에서 오손물 부착	Kaolin, 식염	섬락발생까지 오손회수
풍동 염무법	영국	사용전압을 인가하고 15% 식염수를 분무	식염수	섬락발생까지의 시간
반복 진애법	벨기에	사용전압을 인가한 상태에서 섬락이 발생할 때까지 진애를 부착	시멘트, 석회, 불용성염	섬락발생까지의 오손회수
메틸 셀룰로즈법	독일, 체코슬로바키아	Spray 등으로 오손	메틸셀룰로즈 30g Chalk 가루 25g 물 1 l	4회중 3회를 견디는 사용전압하의 표면전도도의 최대값
염무법	영국	사용전압 인가상태에서 식염수를 분무	식염수	4회중 3회의 내전압을 갖는 식염수의 농도
진애법	러시아	오손시킨 다음 전압인가 후 청수분무	점토, 모래먼지, 식염수, 시멘트	표면고유전도도-내전압 곡선으로 평가
염수 주수법	일본	정전압을 인가하고 주수	식염	5회 동안 섬락이 발생하지 않은 최고전압
정전압인가 습윤법	일본	오손액을 부착하고 분무	황토흙, 식염	오손정도-내전압곡선으 로 평가

표 2. 등가염분부착밀도에 따른 오손등급

Table 2. Contamination level followed by ESDD

등 급	등가염분 부착밀도(mg/cm <sup>2</sup> )
A	0 ~ 0.063
B	0.063 초과 ~ 0.125까지
C	0.125 초과 ~ 0.25까지
D	0.25 초과 ~ 0.5까지
E	0.5 초과

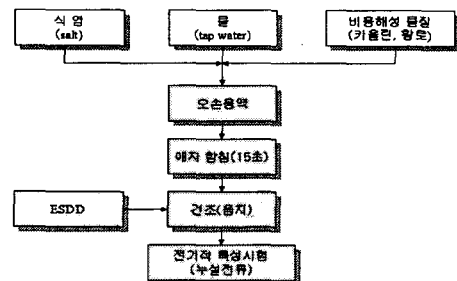


그림 1. 애자의 인공오손 시험법

Fig. 1. Artificial contaminated test method of insulators

2.1.1 카올린, 황토

카올린은 일본(Junsei Chemical Co., Ltd.)에서 제공된 것을 사용하였고, 황토는 고창군 상하면에서 채취하여 그림 2의 과정을 거쳐 준비한 정제된 황토를 사용하였다. 황토를 수도물(tab water)에 세척하고 여과기(sieve # 18(1 mm))를 사용하여 미세한 황토만을 걸러 80℃의 챔버에서 5일 정도 건조시킨 다음 칭량하여 사용하였다.

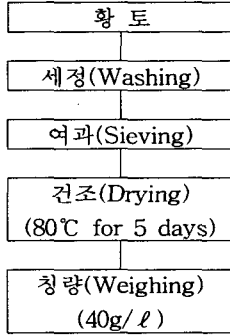


그림 2. 황토의 정제과정  
Fig. 2. Refine process of yellow mud

2.1.2 인공 오손액

인공오손액은 수도물에 일정량의 카올린 또는 황토를 혼합하고 식염량을 증가시켜 가면서 표 3과 표 4에서와 같이 12종류를 준비하였다. 인공오손액에 송전용 자기 애자 25,000lbs와 36,000lbs 애자를 15초 동안 함침하여, 애자의 표면에 인공오손액이 부착되도록 한 다음 음지에서 건조시켰다.

표 3. 카올린을 이용한 인공오손액  
Table 3. Artificial contaminated liquid using kaolin

시료 번호	물의 량 (ℓ)	카올린 (g)	식염 량 (g)	물1ℓ 당의 식염량
1-1	20	800	500	25.0 g/ℓ
2-1	20	800	750	37.5 g/ℓ
3-1	20	800	1,000	50.0 g/ℓ
4-1	20	800	1,250	62.5 g/ℓ
5-1	20	800	1,500	75.0 g/ℓ
6-1	20	800	2,000	100.0 g/ℓ

3. 시험결과 및 고찰

애자의 표면에 부착된 오손물을 200 [ml]의 증류수로 세정하고, 오손물의 전도도를 측정하여, 애자의 표면적으로 나누어 등가염분 부착밀도를 계산하여 오손도를 측정하였다.

표 4. 황토를 이용한 인공오손액  
Table 4. Artificial contaminated liquid using yellow mud

시료 번호	물의 량 (ℓ)	카올린 (g)	식염 량 (g)	물1ℓ 당의 식염량
1-2	20	800	500	25.0 g/ℓ
2-2	20	800	750	37.5 g/ℓ
3-2	20	800	1,000	50.0 g/ℓ
4-2	20	800	1,250	62.5 g/ℓ
5-2	20	800	1,500	75.0 g/ℓ
6-2	20	800	2,000	100.0 g/ℓ

3.1 식염양에 따른 등가염분 부착밀도

식(1)은 등가염분부착밀도를 계산하는 공식이다. 사용되는 세정용 용액량이 증가되면 전도도가 떨어진다. 따라서 전도도에 상수 k를 곱하고 면적으로 나누어 등가염분 부착밀도를 구했다. 이와 같이 구해진 등가염분 부착밀도를 표 5에서 표 8까지 나타냈다.

$$ESDD = \frac{k \times \sigma \times V}{200 \times A} \quad (1)$$

여기서,

- k : 전도도와 용액의 염분농도에 관련된 상수(0.095)
- σ : 전도도(μs/cm)
- V : 세정용 용액의 량(ml)
- A : 절연물의 세정된 면적(cm<sup>2</sup>)

표 5. 카올린에 의해 인공오손된 25,000 lbs애자의 오손등급  
Table 5. Contamination level of 25,000 lbs insulators which is artificially contaminated by kaolin

카올린	전도도 (μs/cm)	등가염분 부착밀도 (mg/cm <sup>2</sup> )	오손 등급
1-1-25	558	0.096	B
2-1-25	723	0.124	B
3-1-25	862	0.148	C
4-1-25	938	0.161	C
5-1-25	1234	0.211	C
6-1-25	1324	0.223	C

표 6. 황토에 의해 인공오손된 25,000 lbs애자의 오손등급

Table 6. Contamination level of 25,000 lbs insulators which is artificially contaminated by yellow mud

황토	전도도 ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	등가염분 부착밀도 ( $\text{mg}/\text{cm}^2$ )	오손 등급
1-2-25	650	0.111	B
2-2-25	783	0.134	C
3-2-25	963	0.164	C
4-2-25	1387	0.237	C
5-2-25	1644	0.281	D
6-2-25	1683	0.288	D

표 7. 카올린에 의해 인공오손된 36,000 lbs애자의 오손등급

Table 7. Contamination level of 36,000 lbs insulators which is artificially contaminated by kaolin

카올린	전도도 ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	등가염분 부착밀도 ( $\text{mg}/\text{cm}^2$ )	오손 등급
1-1-36	558	0.096	B
2-1-36	793	0.136	C
3-1-36	875	0.150	C
4-1-36	998	0.171	C
5-1-36	1281	0.219	C
6-1-36	1300	0.223	C

표 8. 황토에 의해 인공오손된 36,000 lbs애자의 오손등급

Table 8. Contamination level of 36,000 lbs insulators which is artificially contaminated by yellow mud

황토	전도도 ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	등가염분 부착밀도 ( $\text{mg}/\text{cm}^2$ )	오손 등급
1-2-36	713	0.122	B
2-2-36	780	0.133	C
3-2-36	1231	0.211	C
4-2-36	1399	0.239	C
5-2-36	1456	0.249	C
6-2-36	1472	0.252	D

위의 표에서 보는 바와 같이 오손물을 만들때 물의 단위 리터당에 포함되는 식염량이 증가할수록 등가염분 부착밀도가 증가하는 것을 알 수 있다. 비용해성 물질로 사용된 카올린과 황토의 실험 결과는 황토가 카올린보다 더 높은 등가염분부착밀도를 나타냈으며 식염량을 100 [g/l]를 첨가하였을 경우에 카올린을 사용한 애자는 C급으로, 황토를 사용한 애자는 D급으로 오손되었다. 이와 같이 오손등급의 차이는 카올린과 황토의 표면장력의 차이 때문인 것으로 판단된다. 그리고 황토보

다는 카올린에서 데이터 분포가 적음을 알 수 있다. 이것은 황토보다 카올린의 입자 크기가 균일하기 때문으로 판단된다. 또한 애자의 종류별 관찰에서 25,000 lbs 보다는 36,000 lbs의 애자에서 염분 부착밀도가 적은 것으로 나타났다. 이것은 애자표면의 상태(유약상태)가 다르기 때문으로 판단된다.

### 3.2 누설전류 측정

비오손 애자, 오손 애자를 인위적으로 건조 및 분무시킨 후 조건별로 누설전류를 분석하였다.

3.2.1. 비오손 애자의 건조 및 분무시의 누설전류  
오손되지 않은 애자의 누설전류를 측정된 후에, 애자의 표면에 증류수를 분무하여 젖게 한 다음 누설전류를 다시 측정하였다. 그림 7과 그림 8에서와 같이 비오손 애자의 누설전류는 분무 후에 교류전압 10 [kV]에서 약 10% 정도로 증가하였지만 그 폭이 크지는 않았다. 따라서 오손되지 않은 애자의 누설전류로 판단하였을 경우에 우천시에서 신뢰성이 있는 것으로 판단된다.

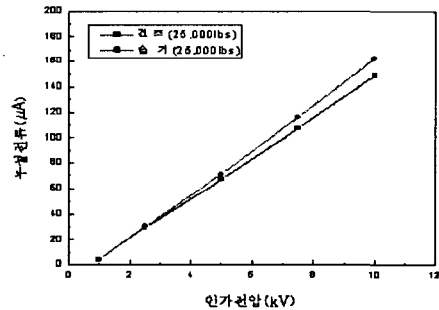


그림 7. 분무에 의한 비오손 애자의 누설전류 변화 (25,000lbs)

Fig. 7. Leakage current change of non-contaminated insulators by spraying moisture (25,000 lbs)

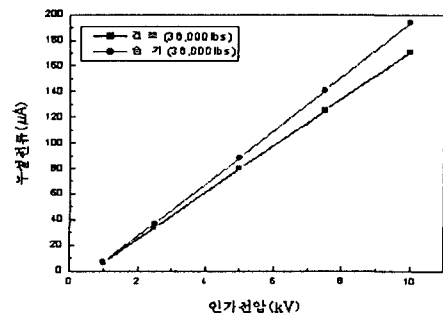


그림 8. 분무에 의한 비오손 애자의 누설전류 변화 (36,000 lbs)

Fig. 8. Leakage current change of non-contaminated insulators by spraying moisture (36,000 lbs)

3.2.2 비오손 및 오손 애자의 건조상태 누설전류

그림 9와 그림 10은 오손되지 않은 25,000 lbs와 36,000 lbs 현수애자의 건조상태 누설전류이고, 그림 11~그림 14는 각각 카올린과 황토로 오손된 애자의 건조상태 누설전류 측정값으로 건조상태에서는 애자가 오손이 되었다 하더라도 누설전류의 변화가 매우 적다는 것을 알 수 있다.

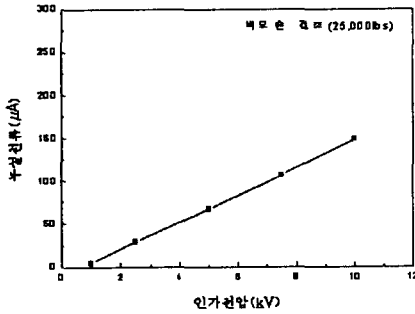


그림 9. 비오손 애자의 건조시 누설전류(25,000 lbs)  
Fig. 9. Leakage current of non-contaminated insulator in dry condition(25,000 lbs)

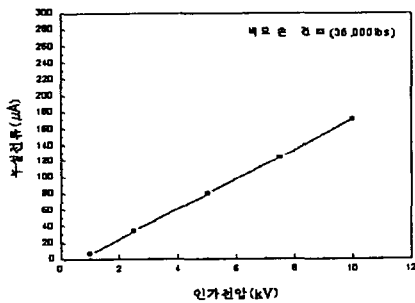


그림 10. 비오손애자의 건조시 누설전류(36,000 lbs)  
Fig. 10. Leakage current of non-contaminated insulator in dry condition(36,000 lbs)

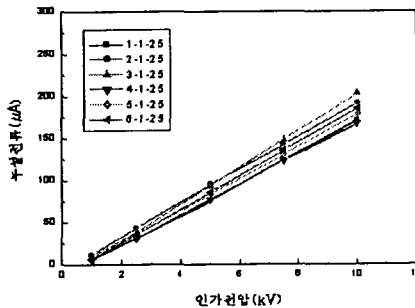


그림 11. 오손 애자의 건조시 누설전류 (25,000 lbs, 카올린)  
Fig. 11. Leakage current of contaminated insulators in dry condition(25,000 lbs, kaolin)

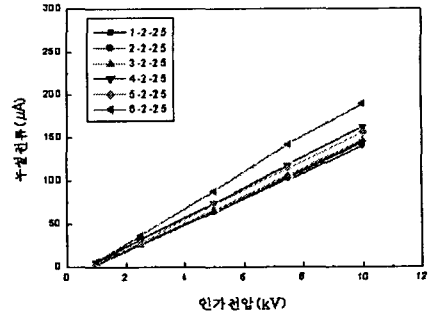


그림 12. 오손 애자의 건조시 누설전류 (25,000 lbs, 황토)  
Fig. 12. Leakage current of contaminated insulators in dry condition(25,000 lbs, yellow mud)

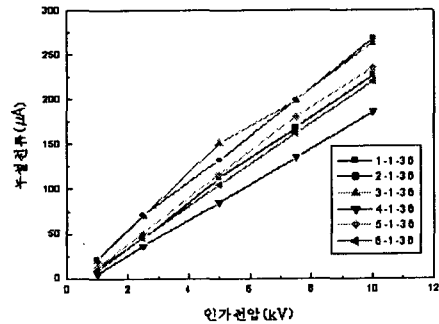


그림 13. 오손 애자의 건조시 누설전류 (36,000 lbs, 카올린)  
Fig. 13. Leakage current of contaminated insulators in dry condition(36,000 lbs, kaolin)

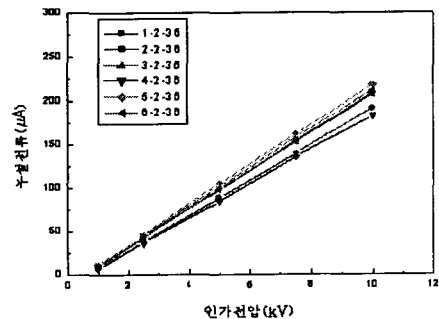


그림 14. 오손 애자의 건조시 누설전류 (36,000 lbs, 황토)  
Fig. 14. Leakage current of contaminated insulators in dry condition(36,000 lbs, yellow mud)

3.2.3 오손된 애자의 건조 및 흡습시의 누설전류  
 그림 15와 그림 16은 각각 B급 및 C급으로 오손된 애자의 건조상태의 누설전류 및 증류수를 분무하여 애자의 표면이 젖었을 경우의 누설전류 변화를 관찰한 그래프이다.

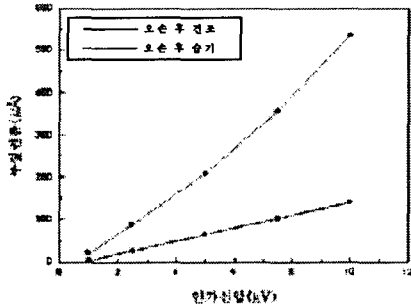


그림 15. 오손등급 B급  
 Fig. 15. Contamination level B

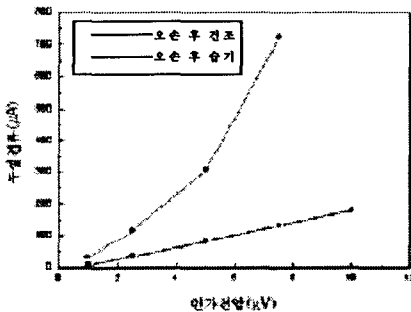


그림 16. 오손등급 C급  
 Fig. 16. Contamination level C

그림에서 건조상태의 경우 B등급과 C등급에 관계없이 전압에 비례하여 누설전류가 증가하였으며, 8 [kV] 전압일 경우에는 B등급과 C등급은 각각 90 [μA], 100 [μA]의 누설전류 값을 보였다. 그러나 분무상태의 경우에는, 오손등급에 상관없이 비선형적인 증가를 보였으며 C등급의 오손애자가 B등급의 오손애자보다 더 높은 누설 전류 값을 보였다. 이것은 자기 애자의 발수성 (hydrophobicity) 특성 때문이다.[7]

#### 4. 결 론

본 연구에서는 송전용 자기애자의 인공오손을 통한 등가염분부착밀도를 측정하는 방법과 각 오손 등급에 따른 누설전류 특성에 관하여 연구하였다.

첫째, 100 [g/l] 식염수에 인공오손한 36,000lbs 자기 애자의 등가염분부착밀도는 카울린과 황토의 경우 각각 0.228 [mg/cm<sup>2</sup>]과 0.255 [mg/cm<sup>2</sup>]으로 황토가 더 높은 등가염분부착밀도를 보였다.

둘째, 비오손 애자의 누설전류는 분무 후에 교류전압 10 [kV]에서 약 10% 정도가 증가하였지만 이것은 큰 증가는 아닌 것으로 판단되었다. 따라서 오손되지 않은 애자의 우천에 따른 누설전류는 크지 않을 것으로 판단 된다.

셋째, 오손된 애자의 경우 건조상태 누설전류는 오손 되지 않은 애자와 큰 차이는 없었으나, 분무 상태에서 누설전류는 비선형적으로 급격하게 증가하였다. 위에 기술한 결과들을 종합하여 분석하여 볼 때 오손된 경우라도 건조상태일 경우에는 누설전류에 큰 영향을 미치지 않지만 습도가 높거나 우천시에는 누설전류가 증가할 것이라는 것을 추정할 수 있다.

따라서 현장 누설전류 측정 시에는 습도와 같은 주위 환경과 관련하여 측정하는 것이 바람직하다는 결론을 내릴 수 있다.

#### 참 고 문 헌

- (1) Hampton BF, "Flashover mechanism of polluted insulation", proc IEE 1964, 111(5), 985-90, (1964).
- (2) David, C. Jolly, "Contamination flashover theory and insulator design", Journal of Franklin Institute, 294(6), 483-490 (1972).
- (3) "송전용 애자의 신뢰성 평가 연구(0)", 전력연구원 기술보고서, 2002.
- (4) Md. Abdus Salam, Hussein Ahmad and T. Tamsir, "Calculation of time to flashover of contaminated insulator by Dimensional Analysis technique", Computer & Electrical Engineering, 27(6), 419, (2001).
- (5) "염전해 오손정도 및 기준정립에 관한 연구", 전력연구원 최종보고서, 2001.
- (6) "애자오손에 관한 문헌집", 일본전기학회기술보고, 2부(213호), 1986.
- (7) Michio Ishiwari, Susumu Ito, Katsumi Arakawa, Toshiyuki Nakachi and Kuniaki Kondo, "Various Artificial Contamination Withstand Voltage Test Methods and a Comparison of their Results on Polymer and Porcelain Insulators", High Voltage Engineering Symposium, P2.4, 381, 1999.