

에자의 설치 높이에 따른 오손 특성

강연욱, 객주식  
전력연구원

The Contamination Characteristics of Insulators with Heights

Yeon-Woog Kang, Joo-Sik Kwak  
KEPRI

**Abstract** - This paper explains the characteristic differences in the process of insulator contamination according to heights. To investigate the contamination characteristics, test insulators are suspended to tower at the heights of 8m, 15m, 33m and 50m. That points stand for distances from insulator to bottom of the 22.9 kV, 154 kV, 345 kV and 765 kV towers, respectively. Generally, the contamination level of transmission lines is determined on the basis of measured value at the height of around 10m due to limitation in measuring. As the contamination level could be affected by the heights and the location of the constructed tower, it is suggested that the measured values should be corrected to minimize errors.

1. 서 론

에자의 전기적 섬락은 주로 오손에 의한 섬락이다. 특히 우리나라의 경우는 장기간 계속되는 봄 가뭄기에 에자가 많이 오손되고 있다. 가뭄기 말기에 내리는 소량의 봄비나 안개는 오손된 에자의 표면을 도전성 액화필름처럼 만들어 섬락에 의한 심각한 선로 정전을 유발하기도 한다. 빗물이나 안개 및 고체상태의 소금은 정상적으로는 도전성을 갖지 않지만, 불행하게도 에자표면에 부착되는 대기중의 먼지는 용해성 소금을 포함하고 있기 때문에 빗물이나 안개와의 결합에 의해 이온화됨으로써 에자 절연에 나쁜 영향을 미친다.

물론 이러한 섬락을 방지하기 위해서 위험한 지역에서는 주기적으로 에자를 세정하지만 더욱 경제적이고 신뢰성이 높은 해답은 적절한 절연을 제공하는 것이다. 최적 절연설계는 에자가 사용되는 지역에서의 장기 옥외실험에 의한 데이터를 필요로 한다. 이러한 실험 데이터는 10m 이상의 높이에 측정설비를 구축하고 데이터를 취득하는 것이 어려운 지역의 에자오손등급을 결정하는데 사용될 수 있을 것이다.

2. 본 론

2.1 실험

2.1.1 측정설비 구축시 고려사항

전압이 걸려 있는 에자 주위의 입자에는 3개의 중요한 힘이 작용하고 있다. 이 3개의 중요한 힘은 중력, 공기 점성의 힘, 전계에 의한 힘으로서 에자 오손과정에서 에자 주위의 입자에 작용하는 중력에 의한 힘의 크기는 아래와 같다.

$$F_g = \frac{4}{3} \pi \rho r^3 g \quad (1)$$

여기서  $\rho$  = 입자밀도(kg/m<sup>3</sup>),  $r$  = 입자반경(m)  
 $g$  = 중력가속도(9.8m/sec<sup>2</sup>)

점성울 힘의 크기는

$$F_a = 6\pi nrv \quad (2)$$

여기서  $n$  = 공기의 점성율(kg/m-sec)

$v$  = 입자속도(m/sec)

전계에 의한 힘은 유전체 입자에서 전계가 가해진 쌍극자에 의한 유전체력이다. 이것은 극성에 관계없이 최대 전계의 영역쪽으로 직진된다. 크기는 아래와 같다.

$$F_e = 2\pi r^3 \epsilon_0 \left( \frac{k-1}{k+2} \right) | \nabla E^2 | \quad (3)$$

여기서  $\epsilon_0$  = 자유공간의 유전율(F/m)

$k$  = 입자의 상대 유전율,  $E$  = 전계(V/m)

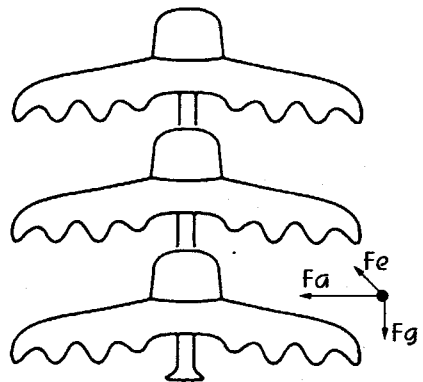


그림1. 전계가 가해진 에자근처에서 입자에 작용하는 힘

본 연구에서는 8m, 15m, 33m, 50m 높이의 측정설비 모두 전계를 가하지 않은 상태에서 장기 옥외실험을 진행하였다. 높이에 따른 오손량의 차이는 위에 설명한 3개의 힘 가운데 입자에 작용하는 중력  $F_g$ 와 점성울  $F_a$ 이다. 입자에 작용하는 중력  $F_g$ 는 높이가 높을수록 커진다. 점성울  $F_a$ 는 식(2)에 나타난 것처럼 입자속도  $v$ 의 함수인데, 입자속도는 풍속과 밀접한 관계가 있고 풍속은 높이의 증가에 따라 빨라진다. 본 실험에서는 에자에 전계를 가하지 않은 상태에서 등가면분부착밀도를 측정하였다. 유전체력  $F_e$ 는 식(3)과 같이 높이에 따라 변하지 않으므로, 측정된 데이터로 높이에 따른 오손량

의 차이를 규명할 수 있다.

### 2.1.2 측정방법

본 연구에서는 765kV 고장실증시험장에 그림2 및 그림3과 같이 254mm 자기애자 3개를 직렬로 연결하고 현수형으로 배치하여 실제 적용시와 유사한 조건을 설정한 후, 중간애자의 하면에 대한 오손특성을 관찰하였다. 현수형으로 배치된 경우, 애자의 상면은 경우에 의해 직접적인 영향(우세작용)을 받게 되므로, 1개월 주기의 측정에 있어서는 애자의 하면에 부착된 염분 오손량만을 측정하였다.

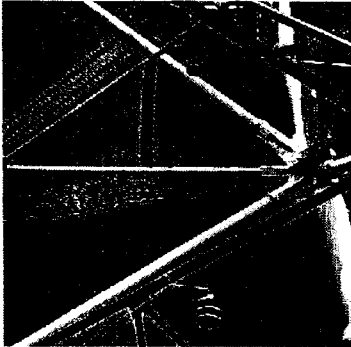


그림2. 8m, 15m 위치에 설치한 시료

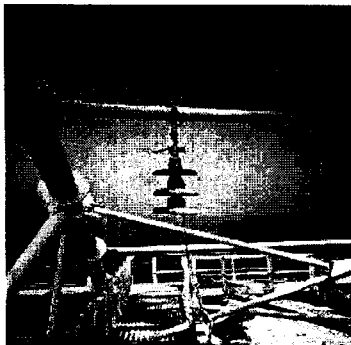


그림3. 33m 위치에 설치한 시료

오손물의 세정을 위해서는 400 cc의 증류수를 사용하여 필세법(Brush Wipeing Method)을 적용하였다. 다음의 식 (3)은 필세법을 통해 구한 전도도를 이용한 등가염분부착밀도 환산식이다.

$$ESDD = 0.09 \times C \times \frac{V}{200 \times S} \text{ [mg/cm}^2\text{]} \quad (3)$$

ESDD : 등가염분부착밀도 [mg/cm<sup>2</sup>]  
 C : 수용액의 체적전도도 [μS/cm]  
 V : 물의 체적, 400 [cc]  
 S : 애자의 하면 단면적, 800 [cm<sup>2</sup>]

## 2.2 결과 및 고찰

### 2.2.1 데이터 분포

애자의 오손과정은 일정한 패턴으로 증가하는 것이 아니라, 평상시에는 서서히 오손량이 증가하다가 비가 오면 세정효과에 의해 감소하고, 태풍이 불면 급속히 증가하는 등 복잡한 과정을 보인다. 그림4는 애자 오손과정의 한가지 예를 보여준다. 높이에 따른 오손특성 분석은 이론에 근거한 모의 실험보다는 장기외의실험이 가장 신

뢰할 수 있는 실험이 될 것이다. 그림5는 동일지역의 8m, 15m, 33m, 50m 높이에 각각 설치된 254mm 현수애자 하면에 부착된 염분량을 나타낸다. 경우에 의한 애자의 세정에 따라 오손량이 적은 시기에는 높이에 따른 애자 오손특성의 차이가 미미하지만, 오손량이 많은 시기에는 차가 커짐을 알 수 있다. 또한 많은 양이 오손된 시기의 데이터와 적은 양이 오손된 시기의 데이터의 범위가 크며, 절연설계시에는 가혹한 조건에서도 절연이 견뎌야 되므로 대표값 선정시 통계적인 고려가 필요하다.

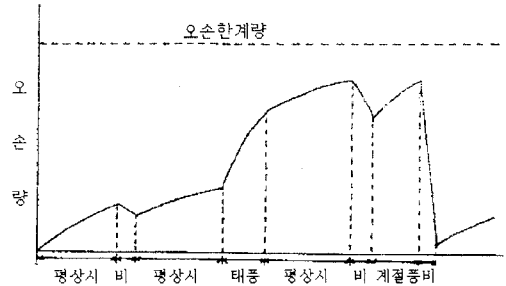


그림4. 애자 오손 과정의 한가지 예

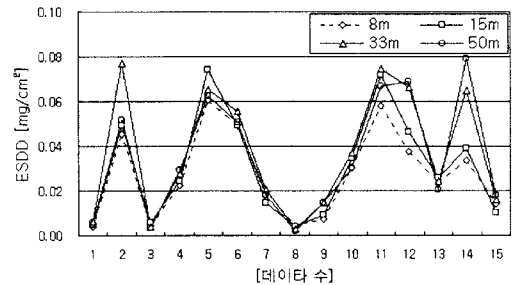


그림5. 설치높이에 따른 애자하면의 ESDD값

### 2.2.2 데이터 통계 분석

보다 분석적으로 높이에 따른 오손량의 차이를 알기 위해서는 별도의 통계적 처리를 필요로 하며, 우선 다항식을 적용하여 높이별 측정 데이터를 추정하면 그림4와 같으며, 과거 국내의 선행 연구사례에서는 추정된 데이터의 95% 값을 기준 데이터로 설정하였다. 또한 높이에 따른 등가염분부착밀도값을 프로그램을 이용하여 누적확률 분포로 분석한 결과는 그림5와 같다.

앞에서 설명한 바와 같이 애자의 오손과정은 복잡하며, 1개월 주기로 측정하는 데이터의 신뢰도는 다양한 방법으로 검토되어야 한다. 본 논문에서는 평균값, 최값, 다항식을 적용한 95%값, 누적확률 50%값으로 높이에 따른 오손특성을 비교하였으며 그 결과는 표1과 같다.

평균값의 비교에서도 알 수 있듯이 대체적으로 8m 높이에 설치된 애자에 비해 15m, 33m, 50m에 설치된 애자의 경우는 최소 12%에서 35%정도 더 오손물이 부착됨을 알 수 있다. 애자의 절연문제에 있어서는 평균적으로 오손되는 양 보다는 최대값이나 기존의 다항식을 적용한 95%값 또는 누적확률을 고려한 값으로 비교하는 것이 타당한데, 이러한 값들도 모두 8m 높이에 설치된 애자의 오손량보다 약 20%이상 더 오손됨을 알 수 있다. 높이에 따른 오손량의 비교는 최종적으로 기존의 분석방법인 다항식을 적용한 95%값을 적용하여 그림 6과 같이 나타내었다.

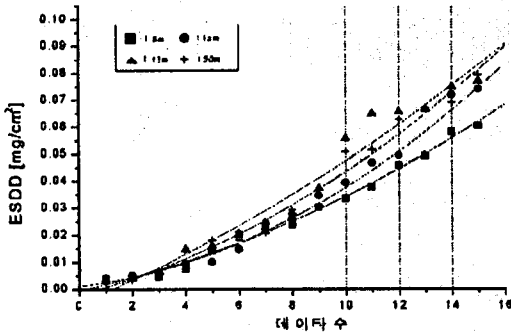


그림6. 설치높이에 따른 애자하면 ESDD값의 다항식을 적용한 Curve Fitting

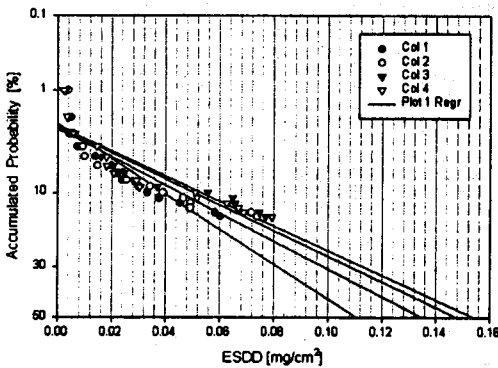


그림7. 누적확률을 적용한 설치높이에 따른 애자하면의 ESDD값

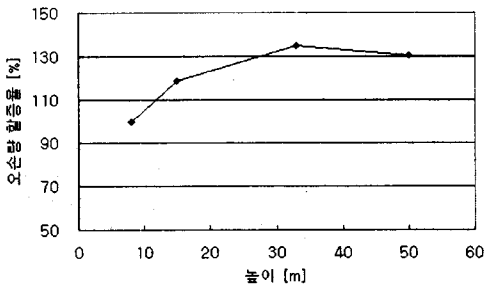


그림8. 높이에 따른 오손량 할증율

표1. 8m 높이의 ESDD값 기준 높이별 오손비

	154kV 철탑 기준높이 15(m)	345kV 철탑 기준높이 33(m)	765kV 철탑 기준높이 50(m)
평균값	1.12	1.35	1.26
최대값	1.23	1.28	1.31
다항식적용 95%값	1.19	1.35	1.31
누적확률 50%값	1.23	1.41	1.35

그림에서 알 수 있듯이 8m 높이에 설치된 애자에 부착되는 오손량보다 15m, 33m에서는 높이가 증가함에 따라 8m 높이의 오손량에 비해 각각 19%, 35%정도 부착량이 증가한다. 하지만 50m의 높이에서는 31%정도 더 많이 부착됨으로써, 33m 높이에 설치된 애자의 염분 부착량보다는 약간 감소되었다. 이것은 높이가 높을수록 풍속이 증가하여 점성율  $F_a$ 는 증가하지만, 반대로 오손물 입자에 작용하는 중력  $F_g$ 는 오히려 감소함으로써, 애자의 오손에 작용하는 점성력과 중력의 합성력이 높이가 증가함에 따라 증가하다가 일정 높이 이상에서는 감소함을 알 수 있다.

### 3. 결 론

본 연구는 765kV 고창 실증시험장에 설치한 8m, 15m, 33m, 50m 높이의 시험용 애자에 부착된 오손물의 양을 99년 3월부터 2000년 3월까지 측정된 데이터를 분석하고 통계처리를 통해 합리적인 비교를 하였다.

자연상태에서 오손의 특성을 고려하여 월 1회 측정하였지만, 통계분석하기에는 데이터의 수가 부족하지만 평균값, 최대값, 다항식을 적용한 95%값, 누적확률값 등을 종합 검토함으로써 합리적인 비교가 가능하였으며 그 값을 제시하였다.

애자 사용 예정 지역에서 높은 곳에 측정설비를 구축하고 데이터를 취득하는 것이 불가능하여 8m정도의 낮은 곳에서 등가염분부착밀도를 측정하여, 이 값을 15m 이상의 높이에 애자를 사용하는 철탑 절연설계에 적용할 경우, 그림 6과 같이 높이에 따라 다르게 나타나는 애자 오손특성을 고려한 적당한 할증값을 적용해야 할 것이다.

### (참 고 문 헌)

- [1] James F. Hall and T. Paul Mauldin, "Wind Tunnel Studies of the Insulator Contamination Process", IEEE Transaction on Electrical Insulation, Vol. EI-16, No.3, June 1981
- [2] 최남호, 박강식, 한상욱, "통계적 처리방법을 이용한 동해안 염해 오손물의 분포특성", 대한전기학회, 제50권 3호, 130~134, 2001
- [3] "전력설비의 염해 대책에 관한 연구", 한전 전력연구원, 1988년 6월