

## 154kV 송전용 자기애자의 ESDD 오손특성에 관한연구

박재준\*, 최인혁\*\*, 이동일\*\*  
 중부대학교 전기전자공학과\*, 한전전력연구원\*\*

### ESDD Contamination Characteristics for 154kV Transmission Porcelain Insulator

Jae-Jun Park\*, In-Hyuk Choi\*\*, Dong-il Lee\*\*  
 Joongbu University\*, KEPRI\*\*

**Abstract** -154kV송전용 자기현수애자 오손특성을 구하기 위하여 자체 제작된 챔버 내에서 3개의 자기애자를 현수하여 누설전류파형의 변화를 관찰하였다. 154kV 송전용자기애자의 신뢰성평가를 위하여 ESDD 레벨에 따른 누설전류 파형 및 최대값 변화양상을 단계적 습압을 통하여 파형을 계측하였다. ESDD 레벨에 따른 누설전류 파형의 최대값이 아크방전의 영향을 없을 경우는 일정한 규칙으로 증가하였고, ESDD레벨이 높아지면서 아크방전의 발생은 주파수 분석을 통한 고조파성분의 변화양상을 볼 수가 있다.

#### 1. 서 론

애자의 오손에 관계하는 주요한 문제로서 내전압의 저하에 의하여 섬락 과 국부방전에 의한 환경문제를 들 수가 있다. 이들의 현상은 이미 연구되어져 왔고 그리고 고전압스트레스가 건조대를 가로질러 표면아래 주변 편에 기인한다고 알려져 있다. 현수애자는 오손습윤 시 누설전류에 의해 전류밀도가 높은 편 주변의 전계가 높아지기 때문에 오손습윤 복합으로 편 주변으로부터 미소방전이 발생되고, 더욱더 습윤이 가세함으로 대 전류의 아크방전이 발생한다. 이제까지 애자의 오손대책은 표면누설거리가 긴 염분에 견디는 애자 등 애자형상에 개발이 중심이 되어왔다. 그러나 염분에 견디는 애자는 방전의 역제가 곤란한 점이 있어서 최근에는 표면에 반도체유를 이용한 오손대책, 환경대책을 목적으로 연구되어지고 있으며, 사용되어지고 있다. 애자의 오손 섬락에 미치는 요인으로서 오손외에 습윤이 매우 중요함은 인지의 사실이다.

본 연구에서는 이러한 오손과 습윤의 환경을 모의하기위하여 모의 챔버를 자체 제작하였다. 정량화된 오손평가를 위하여 ESDD(Equivalent Salt Deposit Density)을 5개의 오손레벨 A, B, C, D, E 그리고 Clean 애자 등 6가지의 경우에 대한 오손특성을 누설전류 파형의 계측을 통하여 특성을 변화를 살펴보았다. 옥외용 154kV 송전용 애자의 경우 무엇보다 전력의 원활한 수송을 위해서는 오손의 경우섬락을 맞이할 수 있는 가장 큰 가능성을 지니고 있기에 오손도의 진단은 무엇보다 필요한 것이다. 이와 같은 오손도의 진단을 위해서 누설전류 파형의 계측으로 주파수분석을 통한 기본파 및 3고조파 그리고 5고조파의 성분분석을 실시하였고, 이와 같은 고조파 성분분석의 결과를 통하여 기본파에 대한 3고조파의 왜곡율 그리고 기본파에 대한 5고조파의 왜곡을 구하여 각각의 오손정도인 ESDD 레벨을 설정하여 인가전압 레벨과 상관성을 왜곡율로 구하였다.

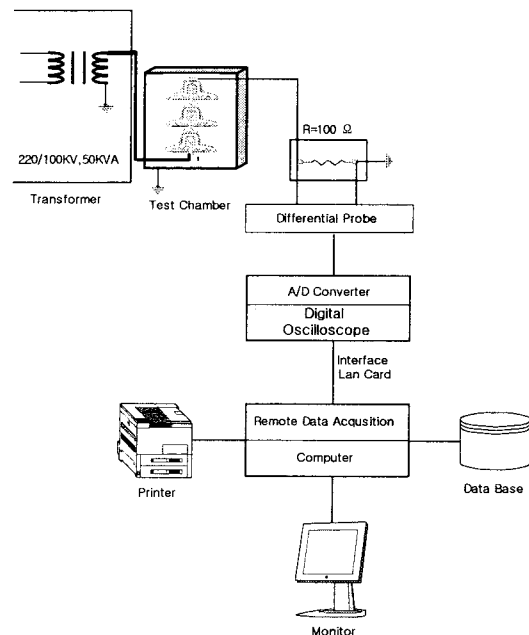
#### 2. 본 론

##### 2.1. 실험장치 및 오손

###### 1. 실험장치

송전용 자기애자의 누설전류 측정은 그림1에서 나타난 실험장치를 이용하여 여러 가지 오손환경을 모의하여 실험이 이루어졌다. 실험에 사용된 송전용 현수 자기애자는 (Transmission Line Porcelain Suspension Insulators)를 사용하였다. 자체 제작된 포그 챔버에 애자를 설치하고 초음파가습장치(Ultra Sonic Humidifier ; 400cc/hr, 연속분무)를 이용하여 실험전 챔버 내 스팀안개로 가습한 후(습도:93%, 30℃) 교류 상용주파 고전압을 인가하였다. 송전용 고압애자의 오손특성을 연구하기 위하여 오손처리는 등가염분분포확립도

(Equivalent Salt Deposit Density ; ESDD라 부른다)를 근거로 하여 오손레벨을 Clean, A, B, C, D, E, 여섯 등급으로 오손을 실시하였다. 누설전류의 계측은 초음파가습기에서 발생된 스팀안개가 아래에서 상부방향으로 주입이 이루어졌으며 자기애자 표면에 일정한 습도가 존재할 때 전압을 인가하였다. 고전압이 인가되면 애자의 표면에서 흐르는 표면누설전류를 전압강하법(Voltage Drop Methods)을 이용하여 누설된 전류를 측정하였다. 즉, 누설전류는 일정한 고전압이 인가되어 애자의 표면을 통하여 접지로 흐르는 전류가 전기저항 100Ω의 전압강하된 전류파형이, 차동프로브 (ADP305, Lecroy, 100:1)를 걸쳐 출력된 누설전류는 디지털오실로스코프(LeCroy;Wave Runner 6050A,500MHz,4channel, Quad 5GS/s, Window XP환경)로 입력되어진다. 입력된 아날로그 신호파형이 디스플레이 되고, 164ms에서 10ps/pt로서 100kS/s를 갖는 누설전류파형이 계측되어진다. 계측된 데이터는 필터링의 과정을 거쳐 Matlab7.0을 통하여 FFT를 실행하여 실효치의 값으로 스펙트럼이 분석된다. 누설전류의 최대값과 FFT의 분석을 통하여 780Hz(기본파로부터 13고조파까지)고조파신호를 사용하게 된다. 누설전류의 파형 과 주파수영역으로의 변환된 고조파분석 즉 기본파, 3고조파, 5고조파 그리고 7고조파에 대한 인가전압상승과 ESDD 와의 관계를 정립했으며, 이를 토대로 송전용자기애자의 누설전류의 오손특성을 구할 수 있었다. 이를 근거로 송전용자기 애자 신뢰성 평가의 토대를 마련할 수 있었다.



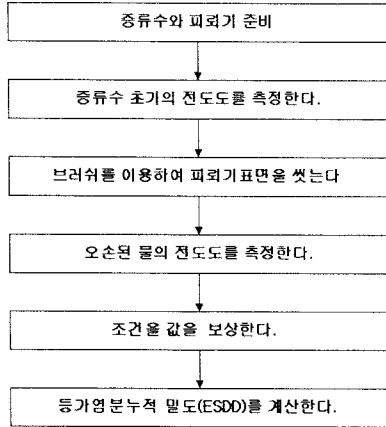
###### 2. 측정방법

정밀한 오손도 측정을 위해서는 화학성분분석 및 화학등가법을 사용하여 한다. 가장 일반적으로 많이 사용되는 기법은 전통적인 필세법(brush wiping method)으로서 전해질에 따른 25℃ 수용액의 등가전도도를 이용하였다. 좀더 정확한 전도도를 측정하기위하여 증류수를 이용하였으며, 전도도 측정장치인 Thermo Orion(Model:105, Made in USA) 을 사용하여 측정하였다.

식(1)은 전도도 값을 이용하여 등가염분부착밀도를 계산하는 식을 나타내고 있다.

$$ESDD = \frac{0.09 \times A \times V}{200 \times A} [mg/cm^2] \dots\dots\dots(1)$$

여기서, A는 세정용액의 체적전도도,  $\mu S/cm$ , V는 세정용 용액의 체적, 500cc, A는 세정대상 154kV 송전용 현수애자의 표면적(상부 : 550  $cm^2$ , 하부 : 850  $cm^2$ , 상부+하부 : 1400  $cm^2$ )으로 본 연구의 ESDD의 적용은 전체 표면적인 1400  $cm^2$ 으로 하였다.



〈그림 3〉 오손도 측정방법

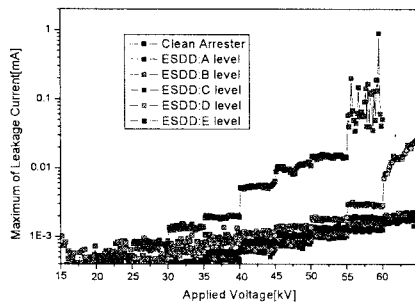
### 3. ESDD의 측정결과

그림3의 과정을 통하여 ESDD를 계산하여 오손도를 측정하였고, ESDD의 측정 기준표와 적용된 ESDD를 표1에서 나타내었다. 본 연구에서 사용된 154kV 송전용 현수애자의 오손도 측정결과 오손되지 않는 애자에 스팀안개를 발생 시 증류수의 전도도는 27.6 $\mu S$  이었다.

〈표 1〉 ESDD 오손도 레벨(Contamination Level of ESDD)

Contamination Level		
	Equivalent Salt Deposit Density:ESDD( $mg/cm^2$ )	
Symbol	Standard Contamination	Used Contamination
Clean		27.6 $\mu S$
A	0~0.063	0.0459 $mg/cm^2$
B	0.063~0.125	0.1097 $mg/cm^2$
C	0.125~0.25	0.1382 $mg/cm^2$
D	0.25~0.5	0.275 $mg/cm^2$
E	0.5~	0.5865 $mg/cm^2$

### 2.2 ESDD level에 따른 누설전류 최대값 변화



〈그림 5〉 ESDD에 따른 154kV송전용 자기애자의 누설전류 최대값

154 kV 송전용 Porcelain 현수애자 3개를 각기 다른 오손레벨에 적용 후 태양빛으로 자연건조 후 자체 제작된 챔버에 현수하여 일정

시간 초음파 가습기로 가습 후 교류 사용주파 고전압을 인가하였다. 챔버 내의 가습기는 아래에서 위쪽방향으로 안개가 애자의 하부 및 분위기 전체에 고루분포 하도록 송풍 및 흡입장치를 통하여 환경조건을 일정하게 하였다. 안개의 적용은 고온다습한 수증기 즉, 온도는 30℃, 습도는 93%로 일정하게 유지하였으며, 수증기는 증류수로서 전도도(27.6 $\mu S$ )를 갖는 증류수를 사용하였다.

그림5는 ESDD level에 따른 누설전류파형의 최대값 변화를 나타내고 있다. 인가전압은 1kV/s 승압으로 매 5kV 승압 후 5분 인가동안 누설전류 파형을 측정하였고, 60kV까지 일정한 방법으로 승압과 파형측정이 이루어졌다. 나타난 자료는 매 5kV마다 30개 파일의 자료를 나타내었다. 처음의 인가전압은 15kV로부터 시작하였으며 60kV까지의 설비능력에 까지 측정하였다. 표2의 경우는 각각의 전압레벨 및 ESDD레벨에 따른 최대값의 평균치를 나타낸 것이다. 인가전압의 승압 및 ESDD레벨 정도가 높아감에 따라 누설전류 증가는 단계적인 증가로서 증가율이 뚜렷하게 나타나고 있었다. ESDD 오손특성의 분명한 결과를 나타내고 있다.

ESDD Voltage	Clean Insulator	ESDD: A	ESDD: B	ESDD: C	ESDD: D	ESDD: E
15kV	3.30E-05	5.10E-05	5.17E-05	7.77E-05	1.54E-04	2.77E-04
20kV	1.30E-04	1.43E-04	1.46E-04	1.51E-04	2.63E-04	4.97E-04
25kV	1.68E-04	2.33E-04	2.90E-04	3.47E-04	4.31E-04	8.01E-04
30kV	2.44E-04	3.36E-04	5.42E-04	6.14E-04	8.32E-04	1.37E-03
35kV	3.92E-04	4.69E-04	6.85E-04	7.94E-04	9.69E-04	1.96E-03
40kV	5.35E-04	6.35E-04	8.10E-04	8.26E-04	1.12E-03	5.41E-03
45kV	7.18E-04	8.24E-04	1.00E-03	0.001046	1.39E-03	1.03E-02
50kV	0.001006	0.001013	0.001137	0.001349	0.001805	0.014819
55kV (52kV)	0.001247	0.001372	0.001562	0.0019	0.002934	0.109771
60kV	0.001761	0.001952	0.002007	0.002194	0.016132	

### 3. 결 론

ESDD level에 따른 누설전류 최대값을 평균값의 변화는 오손레벨과 인가전압의 승압에 대해서 분명한 규칙을 가지고 있음을 알 수 있었다. Clean Insulator는 ESDD 오손레벨을 평가를 위하여 기준한 경우로서 인가전압의 승압에 따라 증가율이 상당한 규칙성을 가지고 증가되었고, 40kV 이상으로부터 증가폭이 커지고 있음을 알 수 있었다. ESDD A레벨의 경우 Clean Insulator의 경우와 거의 유사한 증가폭을 갖고 있지만 증가 폭이 전반적으로 약간 크게 나타났다. ESDD B 레벨의 경우는 C레벨과 유사한 차이를 가지고 있으며 A레벨보다는 증가된 경향으로 증가되었다. D 레벨로부터 누설전류 크기는 큰 차이를 나타내었고 증가폭도 크게 증가됨을 알 수 있다. ESDD E 레벨의 경우 30kV에서 발생된 누설전류 크기와 ESDD D 레벨의 경우45kV 경우와 거의 같은 크기를 나타내었다. 50kV를 기준으로 할 때 ESDD 레벨에 대한 누설전류크기의 비교는 다음과 같다. Clean Insulator: ESDD A: ESDD B: ESDD C: ESDD D:ESDD E은 1.0 $\mu A$ : 1.03 $\mu A$ : 1.137 $\mu A$ : 1.349 $\mu A$ : 1.805 $\mu A$ : 14.81 $\mu A$ 의 경우처럼 인가전압의 증가 및 ESDD 레벨증가에 따라 전반적으로 증가되는 결과를 얻었다.

### 〔참 고 문 헌〕

- [1] Jae-Jun and Tae-Kyu Yang, "Harmonics Analysis of Leakage Current Waveforms and Surface Discharge for EPDM Polymer Insulator", KIE EME, Vol.17, No.9, p1013, 2004
- [2] Jae-Jun Park, In-Hyuk Choi, Dong-iL, "Variation in Leakage Current Characteristics of Polymer Insulator for Various Environment Condition", KIEEME, Vol.19, No.2, p169, 2006
- [3] 최남호, "통계처리에 의한 염회 오손의 분포특성 해석", 충남대학교 박사학위논문, 2002