

# 배전용 피뢰기의 인공오손에 의한 누설전류의 고조파 분석

## Harmonics Analysis of Leakage Current due to Artificial Contamination of Distribution Arresters

박재준\*  
(Jae-Jun Park)

**Abstract** - This paper reports the contamination performance of two distribution arresters (new and used ones) tested under three different contaminant conditions - clean fog, ESDD (equivalent salt deposit density) level (A, B, C, and D), and kaolin contamination conditions, and their leakage current, total leakage current, and component of the resistive leakage current were measured in order to diagnose arrester deterioration. The 3rd harmonics was larger than 5th and 7th ones for the arrester under the clean fog, and as the ESDD contamination level was applied, 5th one became relatively larger than 3rd one. Therefore, these results indicated that the resistive leakage current could be used for the diagnosis of the arresters.

**Key Words** : Distribution arresters, ESDD contamination level, Resistive leakage current, Kaolin contamination, Harmonics

### 1. 서론

피뢰기는 외부의 이상전압으로부터 전력시스템을 안전하게 운전을 하기위해 중요한 보호장치로서 역할을 하여야한다. 그러나 피뢰기에 누설전류를 지속적으로 통과시키면 피뢰기의 절연성능 약화를 초래하게 되며 그리고 외부환경요인 즉, 표면오손, 내부습도, 에이징, 열적 열화 등에 영향을 받게 된다. [1-3].

이들 피뢰기들은 표면에 부착되는 먼지, 분진 등에 의해 절연성능이 저하되고 결국 절연이 파괴되어 사고를 유발하게 된다. 특히 염해지역에서 오손도에 의한 표면오손 [4-6] 그리고 특히 분진이 많이 발생하는 공장지역 및 철도의 터널내부[7-10] 등 설치되는 피뢰기 및 애자에 표면열화의 진행이 빠르게 이루어져 전력공급의 신뢰도가 떨어지게 된다. 이러한 열화조건이 가혹하게 되면 수명단축 및 정전사태에 이르게 된다. 피뢰기의 감시 및 진단이 향후 온라인과 같은 방향으로 이루어지기 위해서도 신뢰성 높은 계측기법이 연구될 필요가 있다. 그 계측기법 중 범용적이면서 현재까지 가장 우수한기법이 누설전류 계측기법이다[12-14]. 최근의 연구에서 ZnO 서지 피뢰기에대한 저항성 전류테스터에 대한 표준 장치의 개발이 이루어지고 있으며, 측정값도 전체전류, 저항성분의전류, 용량성분의 전류, 유효전력, 기준전압, 위상각, 고조파성분의 전류 등 다양화되어지고 있다[13]. 특히 제3고조파의 저항성 전류와 용량성 전류에 관하여 알고리즘을 통하여 계측기화 되어 현장에 적용되고 있다. 이런 저항성 누설전류를 통하여 열화정도를 알 수 있는 중요한 요소로서 효과적인 판단의 자료로 이용하고 있다[14]. 본 연구에

서는 피뢰기로부터 발생된 누설전류는 ZnO소자로부터 흐르는 전체 누설전류성분 과 하우징으로부터 흐르는 표면누설전류가 존재하게 된다. 이런 전체 누설전류 중 저항분 누설전류 검출은 전체 누설전류에서 용량성 누설전류를 제거하는 방법으로 개발된 시스템을 이용하였다. 또한 외부환경에 의한 피뢰기 절연모니터링을 위하여 다음과 같은 환경오손을 실시하였다. 첫째로 청정지역을 모의한 Clean Fog 적용에 따른 누설전류 계측(배전용 신제품피뢰기, 사용된 배전용 피뢰기)과 둘째로 공장지역 및 해변가 고장밀집지역을 모의한 카울린 오손실험 그리고 셋째로 염해지역을 모의한 오손조건들 즉, ESDD A, B, C, D기준으로 실시하였다. 인가전압은 저전압으로부터 고전압에 이르기 까지 인가하였으며, 그때 계측된 누설전류 파형은 Matlab 7.0을 이용하여 기본파, 3, 5, 7 고조파를 분석하였다.

### 2. 본론

#### 2.1 실험 및 측정

##### 2.1.1 피뢰기 오손 현상, 평가, 측정방법

###### (1) 오손섭락기구[15,16]

오손이 장기간의 송. 배전계통 운용경험을 통해 알려진 바와 같이 오손섭락이 발생하는 경우는 다음과 같다.

- ① 다량의 수용성 오손물이 부착된 절연물이 습윤되는 경우
- ② 해무나 심각한 오염 공단지역의 안개 등이 절연물에 부착 되는 경우,
- ③ 오손된 절연물 표면에 결빙이 발생되고, 계면이 활성화되는 경우,
- ④ 습윤 및 오손된 절연물에 이상전압(일시적, 과전압, 스워칭 서지 등)이 인가되는 경우이다.

가장 일반적인 오손으로 인해 나타난 현상은 ①에서와 같

\* 정 회 원 : 중부대학교 전기전자공학과 교수

E-mail : jjpark@joongbu.ac.kr

접수일자 : 2012년 8월 8일

최종일자 : 2012년 8월 16일

이 다량의 수용성 오존물이 부착된 절연물이 안개, 응축, 비 등의 기상현상으로 인해 습윤 되는 경우이다. 그러나 이 현상은 새벽녘의 안개와 밀접한 관련성을 지니지만, 해안지역에서는 정제되어 있는 안개가 가장 위험한 것으로 여겨지고 있어, 해당지역 환경특성에 크게 의존함을 알 수 있다. 염무 실험과 같은 ②는 일부 해안의 경우에 국한되는 현상으로 내륙지역에 적용하기는 곤란하며, ③과 같은 조건은 우리나라는 결빙 및 적설에 의한 영향은 비교적 미미한 것으로 판단된다. 이와 같은 오존섭락 기구는 전해질의 전도도에 크게 의존하며, 전해질의 전도도는 이온의 농도 및 이동도에 의존한다.

**(2) 공업 오존물 (불용성 오존물)[17-18]**

공업 오존물질은 연소나 소각시설에서는 탄소가 주를 이루지만, 화학공장에서는 공정의 특성에 따라 다양한 생성물이 발생된다. 일반적으로 공업 오존물은 발생원에 따라 다음과 같이 분류하여 살펴볼 수 있다.

- ① 화석연료를 사용하는 연소시설(0.5~30 μm)
- ② 유리, 도자기 및 금속의 용융, 용해, 열처리 시설 (0.3~10 μm)
- ③ 화학비료, 석유정제 및 석유화학제품 제조시설 중 소성, 건조, 가열 및 탈황시설(3~50μm)
- ④ 시멘트, 코크스, 석탄, 연탄 및 제조시설 등 (3~50μm)
- ⑤ 각종 토목, 건축공사장, 채석장, 비포장도로 및 내대지
- ⑥ 자동차에서 배출되는 매연, 자동차의 운행에 의해 타이어 및 도로의 마모

**(3) 오존도 측정방법[19]**

정밀한 오존도 측정을 위해서는 화학성분 분석 및 화학 등가법을 사용하여 한다. 가장 일반적으로 많이 사용되는 기법은 전통적인 필세법(brush wiping method)으로서 전해질에 따른 25°C 수용액의 등가 전도도를 이용하였다. 좀더 정확한 전도도를 측정하기 위하여 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[19].

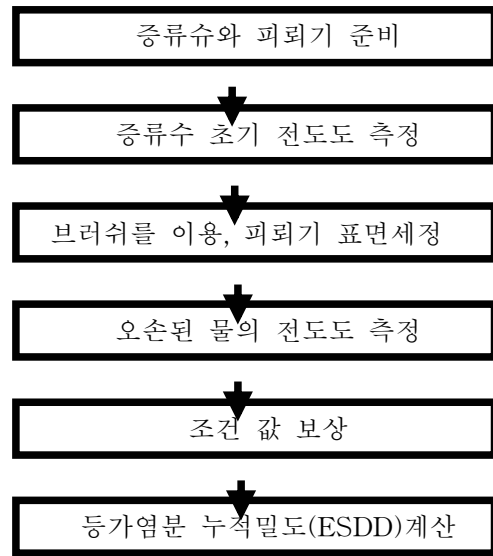
$$ESDD = \frac{0.09 \times A \times V}{200 \times A} [mg/cm^2] \quad (1)$$

여기서, A는 세정용액의 체적전도도, μS/cm, V는 세정용액의 체적, 500cc, A는 세정대상의 표면적은 (상부:980,하부:633, 시드:108+52=160) 전체 1626cm<sup>2</sup>을 적용하였다.

**2.1.2 실험장치**

피뢰기의 누설전류 측정은 그림 2에서 나타낸 실험장치를 이용하여 여러 가지 오존환경을 모의한 실험이 이루어졌다. 사용된 피뢰기는 배전용고분자 피뢰기로서 신풍피뢰기 (Virgin Arrester), 사용된 피뢰기(Used Arrester) 두 종류를 사용하였다. 자체 제작된 포그챔버에 피뢰기를 설치하고 초음파가습장치(Ultra Sonic Humidifier ; 400cc/hr, 연속분무)를 이용하여 실험 전 챔버 내 스팀안개로 가습한 후 (습

도:93%, 30°C) 교류 상용주파 고전압을 인가하였다.



**그림 1 오존도 측정방법**  
Fig. 1 Measurement for contamination degree

피뢰기의 오존특성을 연구하기 위하여 오존처리는 등가염분부착밀도(Equivalent Salt Deposit Density ; ESDD)를 근거로 하여 오존레벨을 A,B,C,D 네 개의 등급으로 오존을 실시하였다. 또한 환경오존 특성을 연구하기 위하여 불용성 오존물은 비산먼지와 일치하며, 비산먼지는 국내외를 막론하고 SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 가 주성분이다. 이러한 특성을 감안하여 각종 국내외의 오존관련 규격실험에 SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>을 주성분으로 하는 카올린(Kaolin)을 사용하였다. 오존량은 증류수 1000ml당 20g, 40g 두 종류를 사용하였으며, 오존물의 ESDD는 D레벨로 실시하였다.

누설전류의 계측은 초음파가습기에서 발생된 스팀안개 아래에서 상부방향으로 주입이 이루어졌으며 피뢰기 표면에 일정한 습도가 존재할 때 전압을 인가하였다. 고전압이 인가되면 피뢰기의 표면에서 흐르는 표면누설전류와 ZnO 바리스터로부터 누설된 두 가지 종류의 전류가 측정되었다. 즉, 저항성성분에 해당된 전류와 전해누설전류를 각각 개발된 측정장치로 부터 계측이 이루어졌다. 세 개의 출력단자로부터 계측된 누설전류는 디지털오실로스코프 (LeCroy; Wave Runner 6050A, 500MHz, 4channel, Quad 5GS/s, Window XP환경)로 입력되어진다. 입력된 아날로그 신호파형이 디스플레이 되고, 164ms에서 10μs/pt로서 100kS/s을 갖는 누설전류파형이 계측되어진다. 계측된 데이터는 필터링의 과정을 걸쳐 Matlab7.0을 통하여 FFT를 실행하여 실효치의 값으로 스펙트럼이 분석된다. 누설전류의 최대값이 FFT의 분석을 통하여 780Hz(기본파로부터 13고조파까지)고조파신호를 연구에 사용하였다. 저항성 누설전류의 기본파, 3고조파, 5고조파 그리고 7고조파에 대한 인가전압상승과의 관계를 나타내었다. 그리고 ESDD 와 저항성 누설전류와의 관계를 정립하였으며, 이를 토대로 피뢰기의 저항성 누설전류의 오존특성을 구할 수 있었으며, 이를 토대로 피뢰기의 신뢰성 평가를 할 수 있었다.

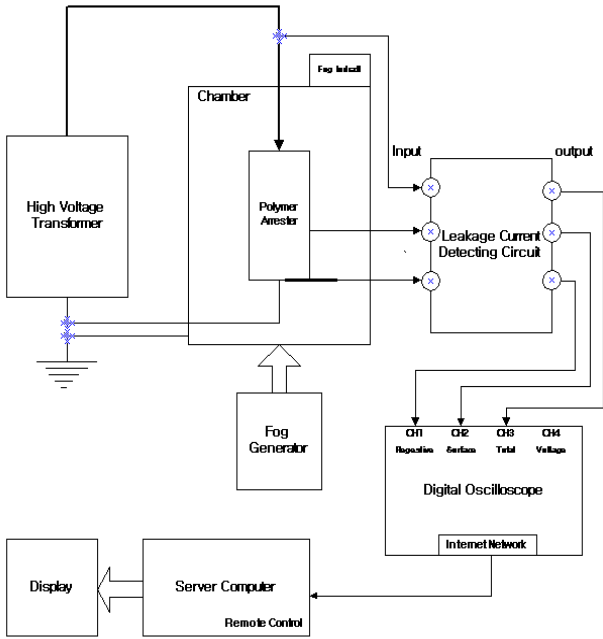


그림 2 피뢰기 누설전류 전체 측정시스템  
Fig. 2 Measurement system for leakage current of arrester

2.2 실험결과 및 검토고찰

2.2.1 인가전압 레벨에 따른 Clean 피뢰기 고조파 분석

(1) 전체, 표면, 저항성 누설전류의 분석

피뢰기의 비선형성 저항에 기인하여, 피뢰기에 순수한 정현파 전압이 인가되면 여러 고조파를 포함한 누설전류가 발생하게 된다. 피뢰기로부터 얻을 수 있는 누설전류 파형은 피뢰기의 ZnO소자를 통하여 발생된 전체 누설전류와 표면으로부터 흐르는 누설전류를 계측한 것이다. 저항성누설전류는 피뢰기의 상태를 알리는 지시자로서 역할을 수행한다고 보고되고 있다[1~3].

본 연구에서는 사용된 배전용 피뢰기(건전상태)를 이용하여 표면의 오손을 깨끗이 제거하고 측정장치에 설치된 피뢰기의 하부로부터 상부로 증류수를 초음파가습기로 안개를 적용하였다. 챔버내부의 습도가 93%를 유지하도록 일정하게 인가하였고 그때 교류 고전압을 인가하였다. 인가전압은 8kV 로부터 20kV까지 10분간의 시간간격으로 일정하게 승압하였고, 각각의 전압레벨 하에서 30초 동안 측정하였고, 계측된 자료를 산술평균한 값을 자료로 이용하였다. 그러나 여기에서는 14, 18kV에 대하여만 나타내었다.

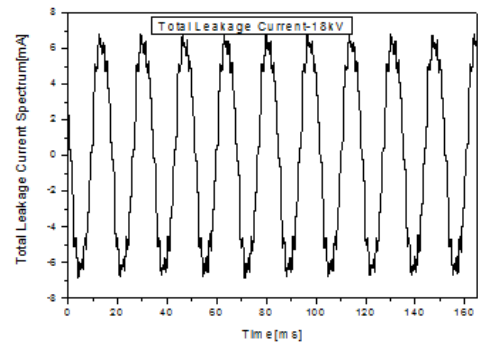
그림 3(a)~(b)는 전체 누설전류에 대한 시간영역에서 전류파형과 주파수 영역에서 전류파형을 나타낸 경우이다. 그리고 그림 3(c)~(d)에서는 18kV 인가 시, 저항성 누설전류에 대한 시간영역과 주파수영역에 대한 전류파형을 나타내었다.

이는 배전용 전압 13.2kV보다 4.8kV과전압(약 36%)을 인가하였을 때 나타낸 결과이다. 표 1에서는 배전용 전압과

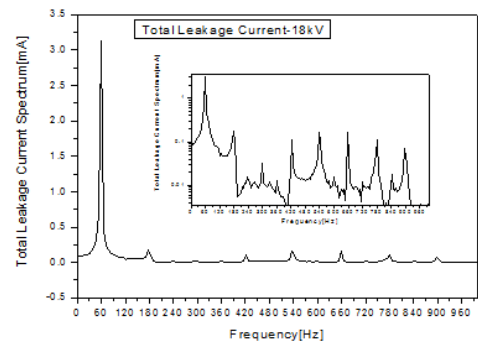
근사한 인가전압레벨(14kV)에서의 경우 주파수 특성으로 표면누설전류와 전체누설전류의 경우 3, 5고조파의 크기가 그 이상의 고조파 7, 9, 11고조파에 비하여 상대적으로 작은 크기를 나타내었다. 저항성누설전류의 경우 3, 5, 7, 9고조파가 거의 같은 크기를 나타내었다.

그러나 과전압이 인가되었을 때, 즉 인가전압의 상승에도 불구하고 표면누설전류 및 전체누설전류의 3, 5고조파는 7, 9, 11고조파에 비하여 14kV의 경우처럼 상대적으로 작은 크기의 진폭을 나타내었다. 저항성누설전류의 경우는 14kV의 특성과 유사함을 알 수 있었다.

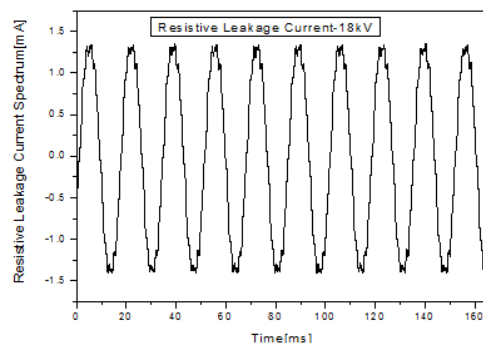
저항성 누설전류의 경우 14kV에 비하여 18kV에서는 전체 고조파영역에서 증가되는 경향을 나타내었고, 표면누설전류의 경우도 기본파를 포함한 전 고조파영역에서 우세하였다. 전체누설전류의 고조파분석 결과 역시 전체 고조파영역이 우위에 있음을 알 수 있었다.



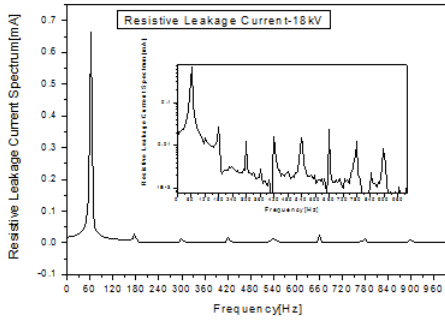
(a) Time domain Waveform(Total Leakage Current)



(b) Frequency domain (Total Leakage Current)



(c) Time domain Waveform (Resistive Leakage Current)



(d) Frequency domain (Resistive Leakage Current)

그림 3 기사용된 피뢰기에 대한 누설전류파형의 시간 및 주파수영역 (인가전압 18kV, 청정조건)

Fig. 3 Time domain and Frequency domain of Leakage Current Waveforms for used Arrester (Applied Voltage:18kV, Clean Condition)

표 1 누설전류 파형의 고조파 분석

Table 1 Harmonics Analysis for Leakage Current Waveform

		기본파	3고조파	5고조파	7고조파	9고조파	11고조파
14kV	저항분	0.518415	0.01419	0.011684	0.011368	0.008297	0.014601
	표면	0.00184	3.03E-05	4.08E-05	0.000113	0.000157	0.000183
	전체	2.46082	0.050814	0.028603	0.084223	0.105084	0.104957
18kV	저항분	0.665559	0.023014	0.012631	0.014125	0.014896	0.02381
	표면	0.002431	4.86E-05	5.11E-05	0.000117	0.000188	0.000224
	전체	3.137097	0.154626	0.031661	0.105237	0.156859	0.166836

## 2.2.2 ESDD 오손도에 따른 누설전류 특성

### (1) 표면누설전류 특성

오손량의 평가는 ESDD(mg/cm<sup>2</sup>)를 기준으로 평가되었다. A레벨은 0~0.063, B레벨은 0.063~0.125, C레벨은 0.125~0.25, D레벨은 0.25~0.5으로 규정하고 있다. 세 종류의 피뢰기(Virgin, Used Arrester)에 오손을 실시하여 네 가지 오손레벨을 적용하여 실험을 실시하였다. 인가전압레벨 역시 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20kV레벨로 단계적 승압을 실시하였다. 사용된 피뢰기의 경우도 세척한 상태로 누설전류파형을 측정한 결과 인가전압의 단계적 승압에 따라 누설전류파형의 최대값이 비례하여 증가하는 결과를 얻었다.

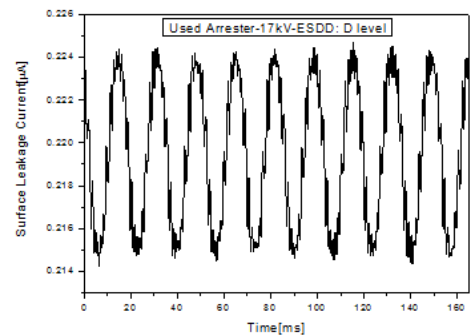
표 2 오손도에 따른 표면누설전류 최대값의 평균값 크기

Table 2 Average Value Magnitude of Surface Leakage Current for Contamination Level

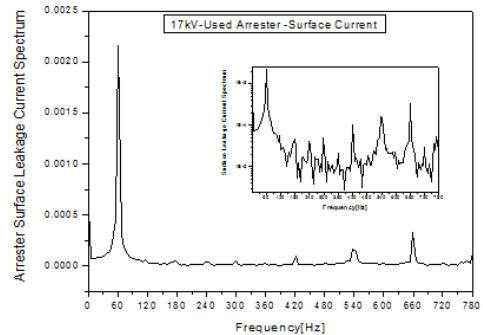
오손등급	Clean Arrester	ESDD:A	ESDD:B	ESDD:C	ESDD:D
인가전압	8kV	0.0021	0.00529	0.0211	0.05206
	14kV	0.00411	0.01506	0.0636	0.1246
	17kV	0.00476	0.01802	0.0792	0.16549

표 2에 근거하여 Clean 상태 피뢰기 누설전류 최대값과 오손된 상태의 피뢰기 누설전류 최대값의 증가비율은 14kV 인가전압을 기준으로 할 때, A 등급의 경우는 3.664배, B 등급의 경우 15.4배, C 등급의 경우 30배, D 등급의 경우 48배 누설전류 증가를 가져왔다. 누설전류의 증가는 표면 열화를 가속시키며, 전력품질을 크게 저하시킴으로서 이와 같이 오손된 피뢰기의 진단은 절실한 것이다.

그림 4(a)~(b)는 표면누설전류의 시간영역에서의 전류파형과 주파수영역으로 변환된 표면누설전류의 주파수스펙트럼의 결과를 나타내고 있다. 오손량은 ESDD: D레벨의 누설전류파형으로 17kV전압 인가 시 나타낸 결과이다. 전압인가의 상승은 누설전류파형의 최대값 크기가 증가하였고, Clean의 경우처럼 3, 5고조파의 경우 저항성 누설전류와는 다르게 오히려 크기가 작았고, 그리고 고조파로 갈수록 점진적으로 증가되는 현상을 볼 수 있다. 이는 14kV와 18kV 경우 고조파의 차수가 클수록 오히려 증가되는 경향을 알 수 있었다.



(a) Time domain (17kV-ESDD: D level)



(b) Frequency domain (17kV-ESDD: D level)

그림 4 ESDD에 따른 표면누설전류에 대한 시간과 주파수영역

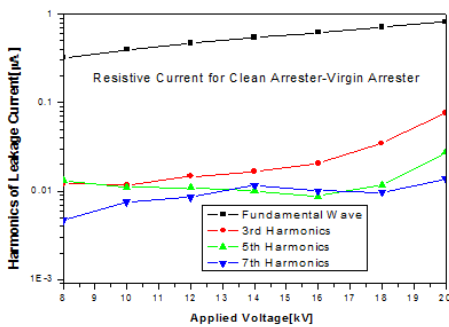
Fig. 4 Time domain and Frequency domain for Surface Leakage Current according to ESDD (D-level)

### (2) 저항성 누설전류의 고조파 분석

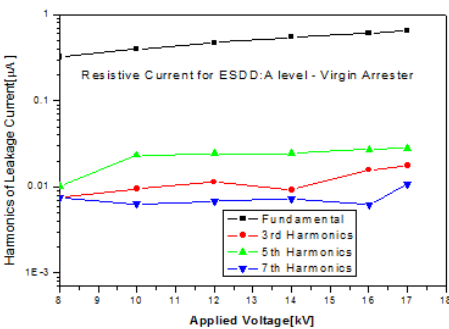
피뢰기의 진단 지표로서 저항성 누설전류를 계측하여 측정하는 연구가 진행되고 있다. 본 연구에서는 이런 저항성 누설전류의 오손특성을 집중적으로 연구하기 위하여 현재 피뢰기 환경에 가능한 오손 환경을 모의하였다.

**a. 신제품피뢰기(Virgin Arrester)**

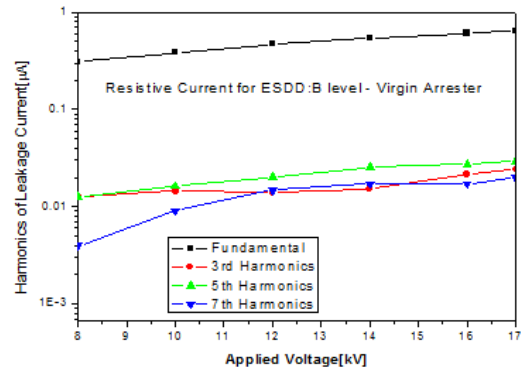
그림 5(a)~(e)는 신제품피뢰기의 clean 및 오손상태에서 저항성누설전류 고조파분석의 결과를 나타낸 것이다. 인가전압의 증가를 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20kV로 일정하게 5분간격으로 2kV씩 승압하였고, ESDD 4레벨 A,B,C,D의 오손상태를 모의하였다. 그 결과로서 그림 5(a)는 clean상태로서 인가전압의 승압에 따라 기본파 경우는 거의 정비례한 결과를 나타내었다. 또한 3고조파 성분은 전압이 증가함에 따라 비례하여 증가하였다. 5고조파의 경우 3고조파와 유사한 경향을 가지고 있지만, 10kV까지는 일정한 크기를 갖고 있으며 이후 인가전압의 의존성에 따르고 있다. 그리고 7고조파의 크기는 3고조파에 비하여 작지만 대체로 증가되는 경향이다. 이로써 clean 상태의 환경 하에서 피뢰기 저항성누설전류의 경우 3고조파가 우세한 경우로 거의 선형적으로 증가 되었다. 그림 5(b)의 경우는 ESDD:A 레벨의 환경조건하에서 저항성누설전류 고조파특성을 나타내고 있다. Clean상태와는 다르게 5고조파의 경우 3고조파에 비하여 고조파 크기가 4배의 크기를 갖고 있다. 이는 전체 전압구간에서 거의 일정한 크기를 유지하고, 16kV이후 3고조파의 약진으로 증가 폭이 좁아지는 경향을 나타내고 있다. 그림 5(c)는ESDD:B 레벨의 환경조건하에서, A레벨의 경우와 같이 5고조파가 3고조파보다 큰 값을 갖고 있으며, 더불어 증가되는 경향을 나타내고 있었다. 그림 5(d)의 경우도 같은 경향을 유지하고 있으며, 그림 5(e)의 경우는 ESDD : D의 경우로서 전체 전압구간에서 3고조파에 비하여 5고조파가 우세한 크기를 가지면서 증가하는 경향을 갖고 있다. 이로써 신제품피뢰기의 오손특성으로 기존의 clean 상태와는 전혀 다른 양상을 볼 수가 있다. 오손된 고분자피뢰기는 인가전압이 증가할수록 3고조파도 비례하는 특성을 갖고 있지만, 상대적으로 5고조파가 큰 값으로 인가전압에 비례하여 증가하는 결과를 얻었다.



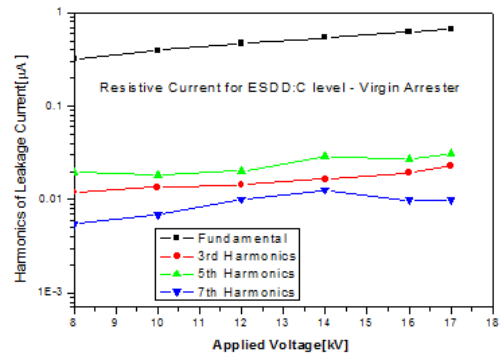
(a) Clean Arrester



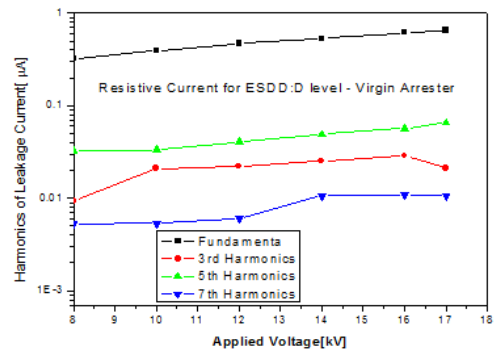
(b) ESDD : A level



(c) ESDD: B level



(d) ESDD: C level



(e) ESDD: D level

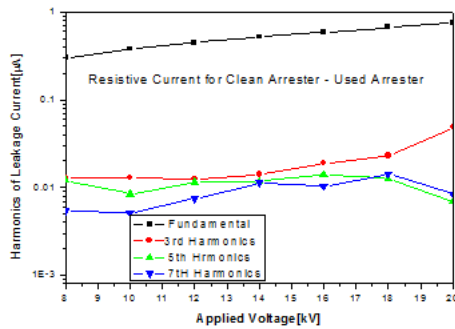
**그림 5** ESDD 변화에 대한 저항성 누설전류(신품)

**Fig. 5** Resistive Leakage Current for ESDD Variation (Virgin Arrester)

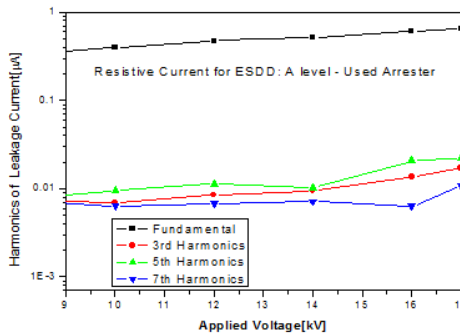
**b. Used Arrester**

그림 6(a)~(e)는 기 사용한 피뢰기의 clean 상태 및 오손 상태에서 저항성누설전류의 고조파분석 결과를 나타낸 것이다. 인가전압은 앞서 적용한 경우와 동일한 단계로 인가하였다. 그 결과로서 그림 6(a)는 clean상태로서 인가전압의 승압에 따라 기본파의 경우는 완전한 비례성의 결과를 나타내었고, 3고조파 성분은 전압의 증가에 비례하여 증가하였다. 5고조파의 경우 3고조파와 유사한 경향을 가지고 있지만 18kV까지는 증가한 경향을 나타내었고, 18kV이상에서는 감소하는 결과를 얻었다. 7고조파의 경우 진폭크기는 3고조파 및 5고조파에 비하여 작지만 대체로 증가되는 경향이다. 이

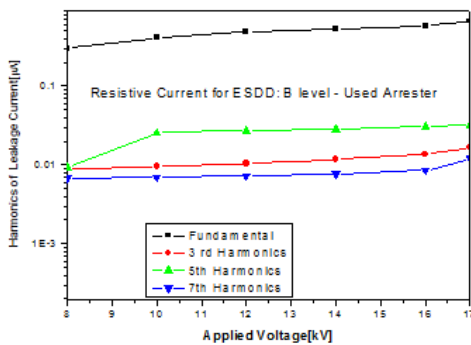
로서 clean 상태의 환경 하에서 피뢰기 저항성누설전류의 경우 3고조파가 우세하게 거의 선형적으로 증가 되었다. 그림 6(b)의 경우는 ESDD:A 레벨의 환경조건하에서의 저항성 누설전류 고조파특성을 나타내고 있다. Clean상태와는 다르게 5고조파의 경우 3고조파에 비하여 고조파의 크기가 인가 전압 레벨 즉, 8,10,12,14,16,17로의 증가함에 따라 증가하는 경향을 가져왔다. 그림 6(c)는 12kV로부터 3고조파보다 5고조파가 우세하게 증가하는 경향이며, 7고조파의 경우는 8kV 경우에서 3고조파에 비하여 2.4배 작은 큰 차이를 나타내었다. 그리고 인가전압의 증가에 따라 일정한 증가분을 가지고 증가한 결과를 나타내었다. 그림 6(d)의 경우 전반적으로 3고조파에 비하여 5고조파의 경우 큰 간격을 갖고 일정하게 증가하였다. 7고조파의 경우는 12kV를 경계로 하여 3고조파 크기보다 오히려 크게 나타낸 결과를 얻었다. 그림 6(e)의 경우는 ESDD: D레벨의 경우로서 인가전압의 증가에 따라 전반적으로 증가되는 경향으로서 일정한 폭을 유지하여 증가하는 경향을 갖고 있다.



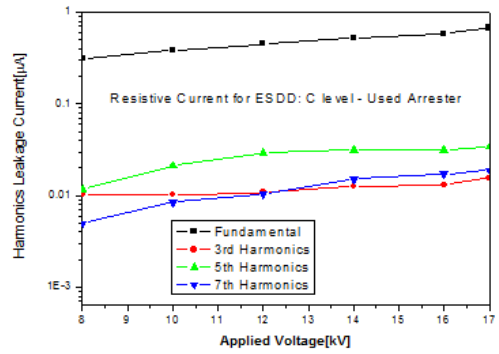
(a) Clean Arrester



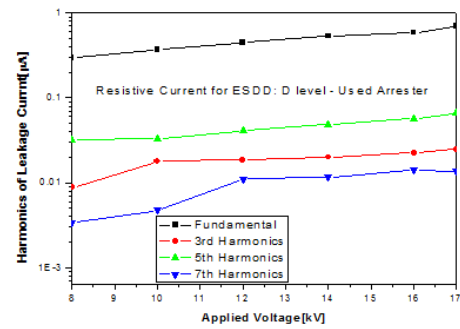
(b) ESDD: A level



(c) ESDD: B level



(d) ESDD: C level



(e) ESDD: D level

그림 6 Resistive Leakage Current according to ESDD Variation(Used Arrester)

저항성 누설전류로서 14kV (배전전압 :13.2kV)을 기준으로 할 때 4kV 낮은 전압(8kV)과 3kV 높은 전압(17kV)을 인가 하였다. 그 결과 Clean상태의 피뢰기에서는 저항성누설전류 고조파의 경우 3고조파> 5고조파>7고조파 순서로 반면에 오손된 경우는 5고조파>3고조파>7고조파 순서로 저항성 누설전류의 특성을 알 수 있었다.

### 2.2.3 Kaolin Contamination Arrester

#### (1) Used Arrester

그림 7는 카올린으로 환경오손을 모의한 경우로서 증류수 1000ml에 카올린 함량을 40g 혼합된 오손액에 ESDD: D등급으로 혼탁액을 사용하였다. 카올린 오손의 경우는 혼탁액을 피뢰기하우징에 담근 후 자연 건조 후 샘플로 사용하였다. 카올린의 오손은 흡습성이 강한 특성으로 인하여, 오손레벨을 ESDD: D등급으로 하였지만 순수한 ESDD오손을 실시한 경우와 비교할 때 상대적으로 저항성 누설전류의 크기는 작았고, 고조파의 특성을 볼 때 5고조파가 3고조파에 비하여 인가전압 승압에 따라 일정한 차이를 유지하며 변화하는 양상을 갖고 있다. 인가전압을 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20kV로 승압할 때 그때의 저항성누설전류의 3고조파에비하여 5고조파의 증가비율이 3.2배, 2.06배 ,2.42배 ,1.84배, 2.17배 ,1.99배 ,1.96배로 증가됨을 알 수 있었다. 또한 7고조파와 3고조파는 인가전압의 승압에 따라 거의 같은 값을 얻었다.

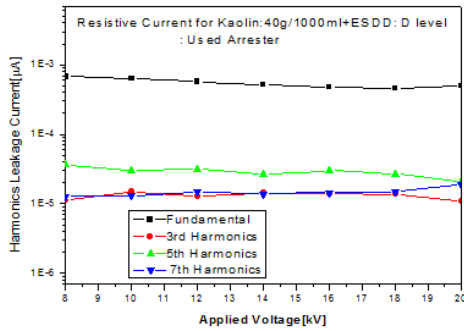


그림 7 카올린 오손에 따른 저항성 누설전류  
 Fig. 7 Resistive Leakage Current according to Kaolin Contamination (Kaolin : 40g/1000ml +ESDD : D level : Used Arrester)

이상의 결과를 정리하면, 다음과 같은 검토가 이루어질 수 있다. 저항성누설전류를 이용하여 피뢰기의 모니터링과 진단을 위하여 사용되어지고 있으며, 그 중 3고조파의 경우를 중심으로 연구되어져왔다[2, 3]. 그러나 이처럼 오손을 전적으로 모의한 경우 연구된 결과는 없었다. 그런 이유로 오손에 의한 표면 누설전류와 저항성누설전류를 중심으로 비교검토를 하기로 한다.

첫째: clean피뢰기의 누설전류 및 고조파 분석

기 사용된 피뢰기를 중심으로 저항성 누설전류를 계측하여 고조파 분석한 결과 인가전압의 상승에 따라 저항성누설전류의 크기는 대체로 비례성을 확인하였고, 습도에 따라 즉, 습도가 낮을 때와 높을 때의 차이는 존재 할 것이며, 본 실험에서는 고습도(93%)를 유지하면서 측정된 결과이다. 기본파의 경우는 인가전압의 상승 즉, 8kV에서부터 20kV 까지 일정한 간격 2kV씩 증압한 결과 그 값에 비례하는 기본파의 특성을 갖고 있음을 알았다. 3고조파의 분석결과는 8kV에서 18kV까지는 대체로 선형적 완만한 증가 곡선을 나타내었고, 20kV에 이르러 증가의 기울기가 대단히 크게 증가된 결과를 볼 수 있다. 5고조파의 경우는 큰 변화를 가져 오지못하고 인가전압에 따라 포화된 듯한 결과를 얻었으며, 20kV에 인가시 오히려 감소되는 경향을 보였다. 또한 7고조파는 변동의 폭은 존재하지만 대체로 증가되는 경향이었고 역시 20kV에서 감소되는 경향을 갖고 있다.

둘째: ESDD오손레벨에 따른 표면누설전류 특성

표면의 오손특성으로 누설전류파형은 피뢰기의 고분자하우징 특성에 따라 달라 질 것이다. 오손도가 증가되면 고습도하에서 표면누설전류가 증가하였고, Clean상태를 기준으로 볼 때 값의 차이가 크게 나타난 경우를 볼 수가 있었다. 표면의 누설전류는 표면의 트래킹과 같은 열화를 가속시키고 결국은 피뢰기의 성능에도 크게 영향을 주고 있음을 알았다. 표면의 누설전류와 피뢰기내부 저항성 누설전류와는 별개로 작용되는 원리이지만, 열화의 가속은 열을 동반하게 되므로 내부소자에도 영향을 주게 될 것으로 사료된다.

셋째: 인가전압 증가에 따른 저항성누설전류 특성

clean상태의 경우 저항성누설전류는 인가전압의 증가에

따라 증가되어지고, 3고조파가 5고조파 및 7고조파에 비하여 높은 누설전류를 갖고 있음을 알았다. 그러나 피뢰기표면의 오손은 ESDD를 기준으로 A,B,C,D등급으로 실험되어 졌으며, 오손등급에 상관없이 A등급부터 D등급에 이르기까지 기존의 Clean상태 경우 고조파 양상이 크게 달라짐을 알 수 있었다. 즉, 3고조파는 대체적으로 인가전압 및 오손레벨에 따라 증가되는 경향을 갖고 있지만, 증가폭의 정도는 크지 못하였다. 그러나 오손이 이루어지면 전구간에 걸쳐 5고조파가 크게 증가되는 결과를 볼 수 가있었다. 결과적으로 정리하면, clean의 경우는 3고조파 증가에 영향이 크고 오손이 이루어지면 5고조파의 영향에 지배적으로 나타남을 볼 수가 있었다. 이로서 향후 피뢰기 진단에 이와 같은 결과는 크게 영향을 줄 수 있을 것으로 사료된다.

3. 결 론

본 연구는 피뢰기의 오손특성을 통하여 저항성누설전류를 계측하여 고조파분석을 통한 피뢰기의 신뢰성평가를 위해 고조파의 분석결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, clean상태의 피뢰기는 고조파분석 결과 3고조파의 증가를 뚜렷하게 확인하였으며, 여러연구자 결과와 일치함을 알 수 있었다. 그러나 오손된 피뢰기 ESDD의 오손레벨 A, B, C, D의 경우 전체 오손레벨에서 3고조파의 증가를 확인 하였지만 상대적으로 5고조파의 증가 폭 그리고 크기가 3고조파의 경우 보다 상대적으로 크게 나타난 결과를 얻을 수 있었다. 이는 향후 오손지역에서 오손특성 평가시 또는 신뢰성 평가시 적용하여 전력시스템의 안정화에 크게 기여할 것으로 본다.

둘째, 피뢰기의 오손특성은 ESDD 레벨 증가에 따라 표면 누설전류 증가는 거의 선형에 가깝고, 오손특성이 저항성 누설전류에도 영향을 주는 것으로 판단되며, 이는 파형의 변화를 주기 때문에 고조파의 변화를 가져올 수 있는 것으로 판단되며, 신뢰성 평가에 지대한 영향으로 주목될 것이다.

셋째, 공장지역이나 해변 가의 공장밀집지역의 경우 모의한 카올린 오손실험에서 카올린을 배제한 경우, ESDD:D레벨과 비교할 때, 저항성 누설전류는 5고조파가 3고조파에 비하여 우세한 특성을 갖고 있지만, 크기 면에서 카올린 오손의 경우에 비하여, 순수하게 오손한 경우 인가전압의 증가에 따라 상대적으로 크기가 큰 결과를 얻을 수 있었다. 이는 피뢰기의 건전성 평가에 큰 영향을 줄 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

[1] J.R.Ribeiro, M.E.McCallum, "An application of metal oxide arresters in the elimination of need for closing resistors in EHV breakers", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.4, No.1, pp282-291, 1989  
 [2] S.Shirakawa, F.Endo, H.Kitajima, S.Kobayashi, K. Kurita, K.Goto, and M.Sakai, "Maintenance of Surge Arrester by a portable Arrester Leakage Current Detector", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol.3, No.3, July, 1988  
 [3] J.Lundquist, L.Stenstorm, A.Schei, B.Hansen, "New

method for measurement of the resistive leakage currents of metal-oxide surge arrester in service”, IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 5, No4, November 1990

[4] Jae-Jun Park, "Classification Technique of Kaolin Contaminations Degree for Polymer Insulator using Electromagnetic Wave", Journal of the Korea Institute of Electrical and Electronic Material Engineers, Vol.19, No.2, p162, February 2006

[5] Jae-Jun Park, In-Hyuk Choi and Dong-il Lee "Variation in Leakage Current Characteristics of Polymer Insulator for Various Environmental Condition", Journal of the Korea Institute of Electrical and Electronic Material Engineers, Vol.19, No.2, p169, February 2006

[6] Jae-Jun Park and Tae-Kyu Yang, "Harmonics Analysis of Leakage Current Waveforms and Surface Discharge for EPDM Polymer Insulator", Journal of the Korea Institute of Electrical and Electronic Material Engineers, Vol.17, No.9, p162, September 2004

[7] Gyung-Suk Kil, Dae-Won Park, Kwang-Seok Jung, "Monitoring Technique and Device of Surface Contamination for Line-Post Insulator", J. KIEEME, Vol.23, No.5, pp.413-417, May 2010

[8] S.Chandrasekar, C.Kalaivanan, A. Cavallini, and G.Montanari, IEEE Trans. Dielectr. Insul. 16, 574(2009)

[9] G.Montoya, I.Ramirez, and J.I.Montoya, Proc. IEE Generation, Transmission and Distribution 151, 334 (2004)

[10] R.Sarathi and S.Chandrasekar, Electr. Power Syst. 68,137 (2004)

[11] Gyung-Suk Kil, Ju-Seop Han, Jae-Young Song, Han-Goo Cho, Moon-Seob Han, "New Diagnostic Technique and Device for Lightning Arresters by Analyzing the Wave Height Distribution of Leakage Currents", Trans.KIEE, Vol.52C, No.12, pp562-567

[12] T.K.Gupta, "Application of Zinc Oxide Varistors", Journal of the American Ceramic Society, Vol.73, No.7, pp1817-1840, 1990

[13] Kai Zhu, Hao Wang, Jun Zhang, Si-Qi Wang and Zi-li Xu, "Development of Standard Device for Resistive Current Tester for ZINC Oxide Surge Arrester", Procedia Engineering 29 (2012) 1008-1012

[14] Xuepeng Liu, Dongmei Zhao, "Study on Tester Method of MOA Resistive Current", Procedia Engineering 23 (2011) 24-28

[15] J.S.T.Looms, "Insulators for high voltages", Peter Peregrinus Ltd., 1990

[16] Ravi S.Gorur, Edward A Cherney, Jeffrey T.Burnham, "Outdoor Insulators", pp 145-163, Ravi S Gorur, Inc., 1999

[17] "内陸汚損 かいしの 耐電圧特性", 電氣學會 汚損特性調査専門委員會, 1984.4

[18] かいし類の 汚損特性にするき 現想技術の 調査, 電氣學會 碍子汚損 特性環境要因調査 専門委員會, 1993.1

[19] Nanm-Ho Choi, "Analysis on the Distribution Characteristics of Salt Contamination with Statistical Treatment", Department of Electrical Engineering, Graduate School Chungnam National University, A Thesis for Degree of Doctor, February 2002. 2

## 저 자 소 개



### 박재준 (朴材俊)

1985년 광운대학교 전기공학과 학사  
 1987년 광운대학교 전기공학과 석사  
 1993년 광운대학교 전기공학과 박사  
 현 중부대학교 전기전자공학과 교수  
 E-mail : jjpark@joongbu.ac.kr