

ESDD 레벨에 따른 고분자피뢰기의 고조파분석에 관한연구

박재준*, 김주용**, 송일근**
 중부대학교 전기전자공학과*, 한전전력연구원**

Harmonics Analysis of Polymer Arrester according to ESDD Level

Jae-Jun Park* , Joo-Young Kim**, Il-Keun Song**
 Joongbu University* , KEPRI**

Abstract - 배전용 고분자피뢰기의 오손환경 하에서 표면누설전류, 저항성누설전류, 전체누설전류 특성을 구하기 위하여 ESDD오손환경 하에서 실험을 실시하였다. ESDD레벨에 따라 인가전압의 승압으로 일정한 규칙을 얻을 수 있다. 또한 피뢰기의 진단을 위해서 모니터링을 위한 파라미터는 저항성성분의 누설전류를 이용하였다. Clean상태의 피뢰기는 3고조파가 우세한 상태로 인가전압의 승압에 따라 특징을 찾을 수 있었다 그러나 오손된 경우는 clean상태와는 전혀 다른 5고조파성분이 크게 나타난 결과를 얻을 수 있었다.

1. 서 론

피뢰기는 전기적 전력시스템을 외부의 이상전압으로부터 안전한 운전을 위해 중요한 보호장치로서 역할이 크다. 비선형성과 그리고 에너지 흡수능력이 크면 클수록, 피뢰기는 중전기기 나 전력계통을 보호하는데 광범위하게 적용하게 될 것이다. 이러한 훌륭한 적용능력에 반하여 피뢰기로 누설전류를 통과시키고 피뢰기의 절연능력의 약화를 초래하게 된다. 피뢰기의 절연성능은 동작전압, 임펄스전류 그리고 외부환경요인 즉, 표면오손, 내부습도, 에이징, 열적 열화 등에 영향을 받고 있다. 이러한 열화조건이 가혹하게 되면 수명단축 및 정전상태에 이르게 된다. 피뢰기의 감시 및 진단이 향후 온라인과 같은 망으로 이루어지기 지기위해서도 신뢰성 높은 측정기법이 연구될 필요가 있다. 그 측정기법 중 범용적이면서 현재까지 가장 우수한 기법이 누설전류 측정기법이다. 피뢰기로부터 발생된 누설전류는 ZnO소자로부터 흐르는 전체 누설전류성분과 하우징으로부터 흐르는 표면누설전류가 존재하게 된다. 전체 누설전류중 저항성 누설전류 검출은 용량성 누설전류를 전체 누설전류에서 제거하여 얻은 방법으로 시스템을 개발하였다. 여러 연구자들의 경우 피뢰기의 열화는 저항성누설전류의 증가를 가져 온다 보고하고 있다. 본 연구에서는 외부환경의 오손조건을 여러 가지로 모의하여 3가지 누설전류 즉, 전체누설전류, 표면누설전류, 저항성 누설전류 측정을 실시하였다. 인가전압을 저전압으로부터 과전압을 적용하여 신품피뢰기, 사용된 피뢰기 그리고 결합이있는 피뢰기를 사용하였으며, 오손조건은 ESDD를 기준으로 A,B,C,D 그리고 카올린 오손을 실시하여 각각의 누설전류 파형을 측정하였다. 측정된 파형을 고조파 분석을 위하여 Matlab 7.0을 이용하여 기본파, 3rd 5th, 7th 고조파를 분석하였다.

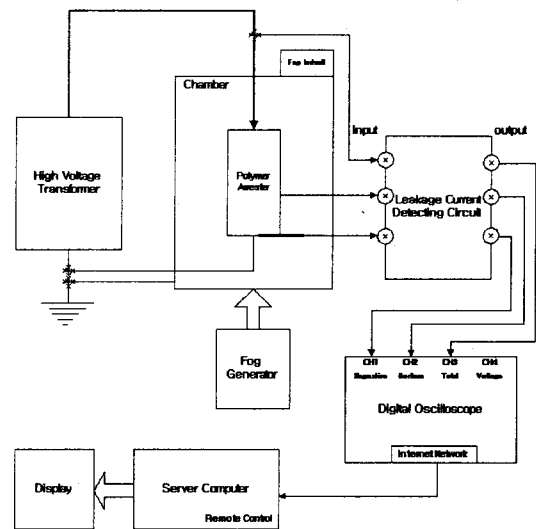
2. 본 론

2.1 실험 및 시스템

피뢰기의 누설전류 측정은 그림1에서 나타난 실험장치를 이용하여 여러 가지 오손환경을 모의하여 실험이 이루어졌다. 사용된 피뢰기는 배전용고분자 피뢰기로서 신품피뢰기(Virgin Arrester), 사용된 피뢰기(Used Arrester), 오손지역(부산영도지역)에서 사용하여 결합이 존재한 피뢰기(Fault Arrester)등 세 종류 사용하였다. 자체 제작된 포그챔버에 피뢰기를 설치하고 초음파가습장치(Ultra Sonic Humidifier ; 400cc/hr, 연속분무)를 이용하여 실험전 챔버 내 스팀안개로 가습한 후(습도:93%, 30l) 교류상용주파 고전압을 인가하였다. 피뢰기의 오손특성을 연구하기 위하여 오손처리는 등가염분부착 밀도(Equivalent Salt Deposit Density ; ESDD라 부른다)를 근거로

하여 오손레벨을 A,B,C,D 네 개의 등급으로 오손을 실시하였다. 또한 환경오손 특성을 연구하기 위하여 불용성 오손물은 비산먼지와 일치하며, 비산먼지는 국내의를 막론하고 SiO₂, Al₂O₃ 가 주성분이다. 이러한 특성을 감안하여 각종 국내외의 오손관련 규격실험에 SiO₂, Al₂O₃을 주성분으로 하는 카올린(Kaolin)을 사용하였다. 오손량은 증류수 1000ml당 20g,40g 두 종류를 사용하였으며, 오손물의 ESDD는 D레벨로 실시하였다.

누설전류의 측정은 초음파가습기에서 발생된 스팀안개가 아래에서 상부방향으로 주입이 이루어졌으며 피뢰기 표면에 일정한 습도가 존재할 때 전압을 인가하였다. 고전압이 인가되면 피뢰기의 표면에 흐르는 표면누설전류와 ZnO바라스터로부터 누설된 두가지 종류의 전류가 측정되었다. 즉, 저항성성분에 해당된 전류와 전체누설전류를 각각 개발된 측정장치로 부터 측정이 이루어졌다. 세 개의 누설전류 출력단자로부터 출력된 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 계속되어진다. 측정된 데이터는 필터링의 과정을 거쳐 Matlab7.0을 통하여 FFT를 실행하여 실효치의 값으로 스펙트럼이 분석된다. 누설전류의 최대값과 FFT의 분석을 통하여 780Hz(기본파로부터 13고조파까지)고조파신호를 사용하게 된다. 저항성 누설전류의 기본파, 3고조파, 5고조파 그리고 7고조파에 대한 인가전압 상승과의 관계 구했다. 또한 ESDD 와 저항성 누설전류와의 관계를 정립했으며, 이를 토대로 피뢰기의 저항성 누설전류의 오손특성을 구할 수 있었다. 이를 근거로 피뢰기의 신뢰성 평가를 할 수 있을 것으로 본다.



〈그림1〉 피뢰기 누설전류 전체 측정시스템

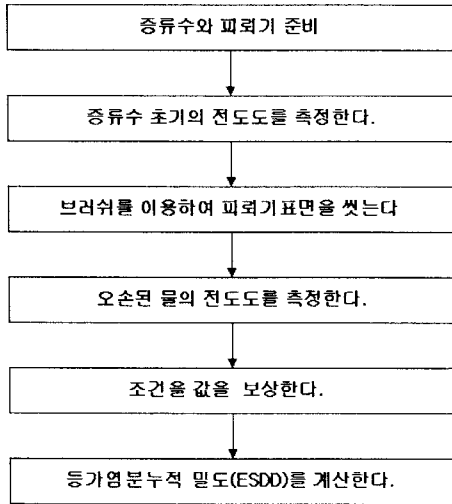
2.2 ESDD 측정방법

정밀한 오손도 측정을 위해서는 화학성분분석 및 화학등가법을 사용하여 한다. 가장 일반적으로 많이 사용되는 기법은 전통적인 펄세

법(bush 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 등가염분농도(ESDD)를 계산하는 식을 나타내고 있다.

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

여기서, Λ 는 세정용액의 체적전도도, $\mu S/cm$, V 는 세정용 용액의 체적, 500cc, A 는 세정대상의 표면적은(상부:980,하부:633, 시드:108+52=160) 전체 1626cm²을 적용하였다. 그림2는 오손도 측정방법을 나타낸 것이다.



〈그림 2〉 오손도 측정방법

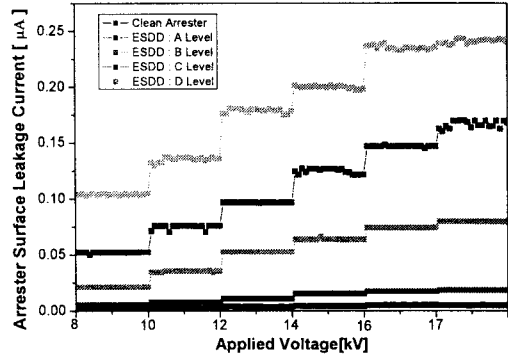
2.3 ESDD 오손도에 따른 표면누설전류 특성

오손량의 평가는 ESDD(mg/cm²)를 기준으로 평가된다. A레벨은 0~0.063, B레벨은 0.063~0.125, C레벨은 0.125~0.25, D레벨은 0.25~0.5으로 규정하고 있다. 세 종류의 피뢰기에 오손을 실시하여 네 가지 오손레벨을 적용하여 실험을 실시하였다. 그림3는 서로 다른 오손레벨의 피뢰기에 인가전압 레벨을 단계적으로 승압한 결과 표면누설전류파형의 최대값 크기를 나타낸 결과이다. 실험에 사용된 피뢰기는 기 사용된 피뢰기로서 그리 열화가 많이 진전되지 않는 건전상태의 피뢰기를 적용한 결과이다. 기준은 오손을 시키지 않고 세척한 상태로서 오손된 경우 누설전류파형 최대값은 인가전압의 상승에 따라 비례하는 결과를 표1에 근거하여 Clean 상태 피뢰기 누설전류 최대값과 오손된 상태의 피뢰기 누설전류 최대값의 증가비율은 14

kV 인가전압을 기준으로 할 때, A 등급의 경우는 3.664배, B등급의 경우 15.4배, C 등급의 경우 30배, D등급의 경우 48배 누설전류 증가를 가져왔다. 누설전류의 증가는 표면 열화를 가속시키며, 전력품질에도 크게 기여하므로 이와 같은 오손된 피뢰기의 진단이 필요하게 될 것이다.

〈표 1〉 오손도에 따른 누설전류 최대값의 평균값 크기

오손등급	Clean Arrester	ESDD:A	ESDD:B	ESDD:C	ESDD:D	
인가 전압	8kV	0.0021	0.00529	0.0211	0.05206	0.104
	14kV	0.00411	0.01506	0.0636	0.1246	0.1997
	17kV	0.00476	0.01802	0.0792	0.16549	0.2405

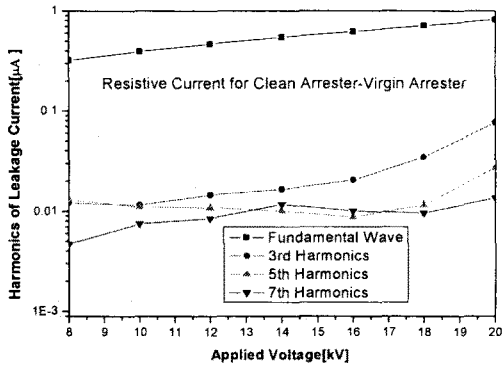


〈그림 3〉 ESDD에대한 표면누설전류 (Clean, A, B, C, D level)

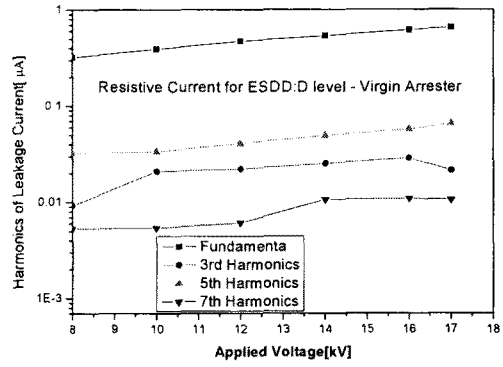
2.4 저항성 누설전류의 고조파 분석

피뢰기의 진단 지표로서 저항성 누설전류를 계측하여 측정하는 연구가 진행되고 있다. 본 연구에서는 이런 저항성누설전류의 오손특성을 집중적으로 연구하기 위하여 현재 피뢰기 환경에 가능한 오손환경을 모의하였다. 첫째로, 안개만이 존재하는 환경조건, 둘째, 염회지역에서 일어날 수 있는 환경조건 즉, ESDD을기준으로 A, B, C, D등급으로 분류하여 모의한 실험, 연구를 위한 챔버 내의 환경은 습도가 93%이며, 온도30℃로서 매우 습윤하고 고온인 상태로 일정한 습도와 온도를 최대한 유지하였다.

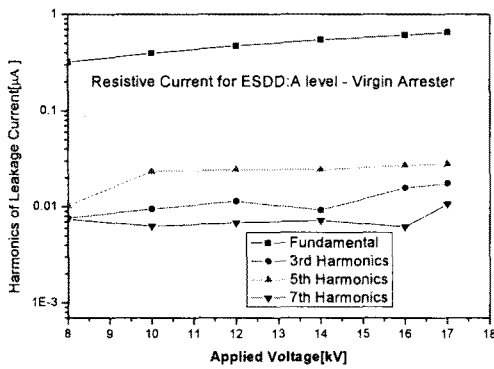
그림4(a)~(e)는 신품피뢰기의 clean 상태에서 저항성누설전류의 고조파분석의 결과를 나타낸 것이다. 인가전압의 증가를 8,12,14,16,18,20으로 일정하게 5분 간격으로 2kV씩 승압하였고, ESDD 경우 A,B,C,D 4 레벨의 오손상태를 모의하였다. 그 결과로서 그림 4(a)는 clean상태로서 인가전압의 승압에 따라 기본파의 경우는 완전한 정비례의 결과를 나타내었고, 3고조파 성분은 전압의 증가에 비례하여 증가하였다. 5고조파의 경우 3고조파와 유사한 경향을 가지고 있지만 10kV까지는 일정한 크기를 갖고, 이후 인가전압의 의존성에 따라-고있다. 7고조파의 경우 크기는 3고조파에 비하여 작지만 대체로 증가되는 경향이다. 이로서 clean 상태의 환경 하에서 피뢰기 저항성누설전류의 경우 3고조파가 우세하게 거의 선형적으로 증가 되었다. 그림4(b)의 경우는 ESDD:A 레벨의 환경조건하에서의 저항성누설전류 고조파특성을 나타내고 있다. Clean상태와는 다르게 5고조파의 경우 3고조파에 비하여 고조파의 크기가 4배의 크기를 갖고 있다. 이는 전체 전압구간에서 거의 일정한 크기를 유지하고 16kV이후 3고조파의 약진으로 증가 폭이 좁아지는 경향을 나타내고 있다. 그림4(c)는 A레벨의 경우와 같이 5고조파가 3고조파보다 큰 값을 갖고 더불어 증가되는 경향을 나타내고 있으며, 그림4(d)의 경우도 같은 경향을 유지하고 있다. 그림4(e)의 경우는 ESDD : D의 경우로서 전체 전압구간에서 3고조파에 비하여 5고조파가 우세한 크기를 가지면서 증가하는 경향을 갖고 있다. 이로서 신품피뢰기의 오손특성으로 기존의 clean상태와는 전혀 다른 양상을 볼 수가 있다. 오손된 고분자피뢰기는 3고조파도 인가전압에 비례하는 특성을 갖고 있지만 상대적으로 5고조파가 큰 값으로 인가전압에 비례하여 증가한다는 결론을 얻었다.



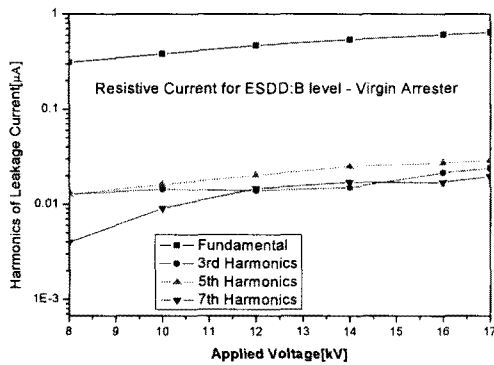
(a) Clean Arrester



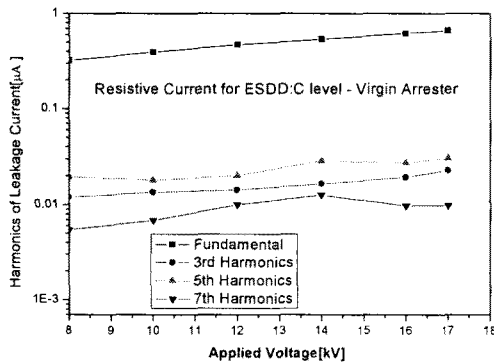
(e) ESDD: D level



(b) ESDD : A level



(c) ESDD: B level



(d) ESDD: C level

<그림 4> ESDD변화에 따른 저항성누설전류(Virgin Arrester)

3. 결 론

clean상태의 파괴기는 고조파분석의 결과 3고조파의 증가를 뚜렷하게 나타내어 기본연구자의 견해와 일치함을 알 수 있었다. 그러나 오손된 파괴기 ESDD의 오손레벨 A,B,C,D의 경우 전체 오손레벨에서 3고조파의 증가를 확인하였지만 상대적으로 5고조파의 증가 폭 및 크기가 3고조파의 경우 보다 크게 나타난 결과를 얻을 수 있었다. 이는 향후 오손특성 및 신뢰성 평가 시 적용되어야 할 것으로 본다.

[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 박사 학위논문, 2002