

UHF 대역에서 가스절연 개폐장치의 주요 결함별 부분방전 신호 특성 연구

구선근, 임재섭, 박기준, 윤진열
한국전력공사 전력연구원

Characteristics of Various PD Signatures due to GIS Defects in UHF Band

Sun-geun Goo, Jae Sup Lim, Kijun Park, and Jin-yul Yoon
Power System Laboratory - Korea Electric Power Research Institute

Abstract - 가스절연개폐장치에서 발생하는 고장을 조기에 예방하기 위해서는 방전신호를 분석하여 방전을 일으키는 결함을 유추하는 것이 핵심 기술이다. 본 논문에서는 UHF 대역에서 알고 있는 결함에 의한 방전신호를 측정하여 다양한 가시화 방법으로 방전유형을 분류, 정리함으로써 미지의 방전신호로부터 방전원인을 추정할 수 있도록 하였다.

(TDS-7104, Tektronix)로 전송한 후 디지털 신호로 변환되어 PD analyzer로 전송한다. PD analyzer에서는 GIS 인가전원의 한 주기를 256개의 sample로 규격화 한 후 그림 3과 같이 방전신호의 크기(V), 방전발생시간(t), 방전발생 위상(Φ), 및 방전발생빈도(N)를 추출한 후 이들 변수를 조합하여 다양한 방법으로 가시화 한다. 본 논문에서는 특히 표 1에서와 같이 상기 변수 중 각각 3개를 조합해 방전유형을 표현한 4개의 가시화 방법으로 방전유형을 분석하였다.

1. 서 론

국내 전력수요의 증가와 안정적인 전력공급을 위하여 변전설비의 예방진단에 대한 필요성이 증가하고 있다. 대부분 국내 변전소는 가스절연개폐장치(GIS)로 구성되어 있고 345 kV 이어 765 kV 변전소가 운전 중이며 설비 용량도 크게 증가하고 있다. 따라서 GIS의 고장으로 인한 사회·경제적 파급효과가 매우 높음을 고려할 때 GIS 고장을 미리 방지하기 위한 진단연구가 활발히 진행되고 있는 것은 당연하다 할 수 있으며 이러한 연구의 결과로 UHF(Ultra-high frequency, 극초단파) 부분방전 상시감시장치가 국내외 변전소에 적용·운전되고 있다.[1]

UHF 대역에서 각종 결함에 대한 방전신호의 유형은 IEC60270법에 의해 측정된 방전유형과 다를 수 있으므로 UHF 대역에서 각 결함에 대한 정확한 유형분류가 선행되어야 실 변전소에서 오류 없는 예방진단활동이 이루어 질 수 있다. 따라서 본 논문을 통해 UHF 대역에서의 다양한 방전유형을 분석하고 분류하여 추후 신경망 회로와 같은 방전신호에 대한 결함원인의 자동판단기법 등에도 활용할 수 있도록 하였다.

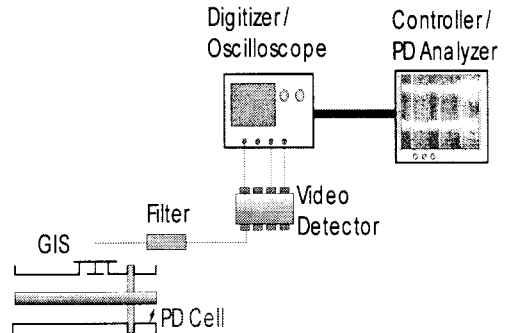


그림 1. UHF 부분방전 신호취득장치 구성도

2. 본 론

2.1 부분방전 측정 실험 장치

그림 1과 같이 UHF 센서가 장착된 GIS에 다양한 형태의 부분방전 발생장치(PD Cell)를 장치하고 전압을 인가해 방전신호를 발생시켰다. 이때 발생된 방전신호의 주파수 분포는 그림 2와 같이 방전발생 위치와 센서의 위치가 동일할 경우 비슷한 모양을 보이는 경우가 많다. 따라서 각 결함에 대한 변별력 있는 방전유형을 얻기 위해 UHF 주파수 대역에서 시간진행에 대한 방전신호를 분석할 수 있는 방전신호처리장치를 구성하였다. 센서로부터 측정된 신호는 UHF 대역(본 실험에서는 600 - 1,750 MHz 또는 600 - 1,100 MHz)의 대역통과필터를 거쳐 영상검출기(video detector)로 인가된다. 영상검출기는 방전신호의 envelope만을 추출하여 오실로스코프

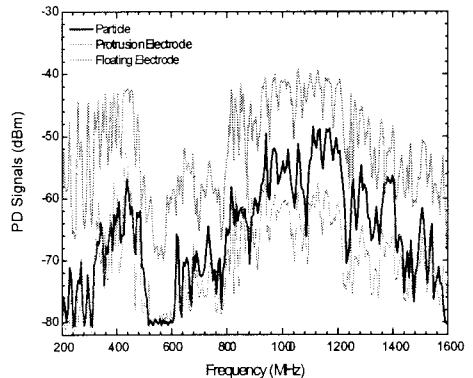


그림 2. 방전원인별 부분방전신호의 주파수 분포.

표 1. 방전신호 가시화 방법

- $\Phi : V : N$ (PRPD)
- $V_n : (t_{n+1} - t_n) : N$
- $(t_{n+1} - t_n) : (t_n - t_{n-1}) : N$
- $\Phi_n : \Phi_{n-1} : N$

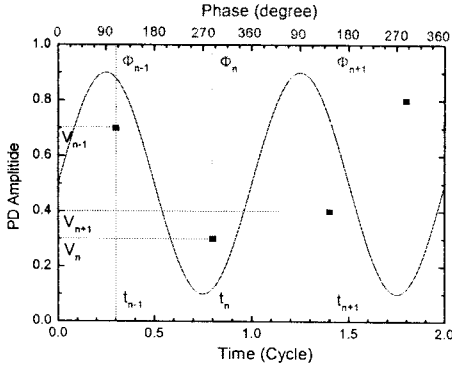


그림 3. 부분방전신호의 특성변수.

2.2 결합별 PD 신호의 특성 요약

GIS에서 발생하는 결합을 크게 자유도체, 부유전극, 돌출전극, 절연체 결합 등 4가지로 나누고 각각을 모의할 수 있는 PD Cell 들을 제작하여 약 300여 가지의 서로 다른 조건에서의 방전신호를 취득하였다.

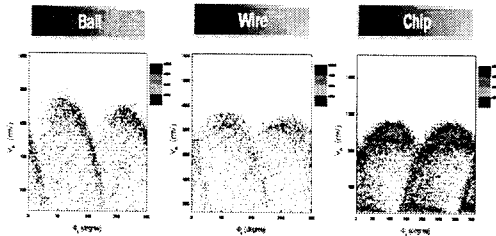


그림 4. 자유도체의 모양에 따른 PRPD. 가로축은 인가전압의 위상이며(Φ), 그림의 세로축은 방전신호의 크기(V), 그림의 점 색은 방전의 빈도(N)를 표시.

자유도체 결합은 GIS 내 금속이물인 인가된 전압에 의해 자유운동하면서 부분방전을 발생하는 결합으로, 자유도체의 PRPD는 잘 알려진 바와 같이 인가전압의 모든 위상에서 전반적으로 방전신호가 발생하며 특히 \pm peak에 비교적 큰 방전신호가 발생한다. 그리고 자유도체의 모양이 바뀌면 PRPD의 모양도 약간 바뀌는데 그림 4를 보면 구(ball)형의 자유입자는 인가전압의 + peak에서의 방전신호가 - peak보다 약간 크게 나타난다. 또한 자유도체가 wire를 구겨놓은 듯한 모양인 chip인 경우 기립전압에서 그림4와 같이 인가전압이 0 V일 때에도 비교적 빈도가 높은 방전현상을 보인다. 따라서 자유도체의

방전신호는 도체의 모양 및 인가전압에 따라 약간 다른 형태를 보인다

그림 5는 지름 1 mm, 길이 5 mm의 알루미늄 wire 3개가 인가 전압에 의해 자유 거동하는 경우 방전유형을 4가지 가시화법으로 표현한 것으로 $V_n:(t_{n+1}-t_n):N$ 의 경우 기존의 1개의 자유도체에 대한 연구결과([2, 3])에서 방전발생시간차($\Delta t = t_{n+1} - t_n$)를 이용해 자유도체의 최대 상승높이 $H (= g\Delta t^2/8, g: \text{중력가속도})$ 를 통계적으로 계산하여 위험도를 평가할 수 있었으나, 도체가 2개 이상 존재할 시 도체사이의 방전이 발생하기 때문에 방전발생 시간차를 이용한 자유도체 상승높이를 유추할 수 없었다.

도체의 개수 변화에 따른 방전유형의 변화를 그림 6과 같이 살펴보면 PRPD는 도체의 개수에 관계없이 거의 비슷한 유형을 보이나, $\Phi_n\Phi_{n-1}:N$ 가시화법에서는 도체의 개수가 증가할수록 좌상면의 밀도가 우하면의 밀도보다 높아짐을 알 수 있다. 따라서 $\Phi_n\Phi_{n-1}:N$ 의 좌상면과 우하면의 밀도가 비슷한 도체가 1개인 경우에 대해 $V_n:(t_{n+1}-t_n):N$ 가시화법으로 위험도를 평가할 수 있다.

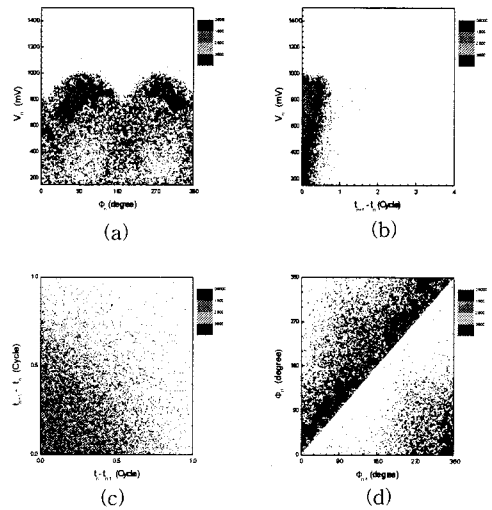


그림 5. 자유도체(3개의 wire)의 방전유형. (a) $\Phi:V:N$ (PRPD) (b) $V_n:(t_{n+1} - t_n):N$ (c) $(t_{n+1}-t_n):(t_n-t_{n-1}):N$ (d) $\Phi_n\Phi_{n-1}:N$.

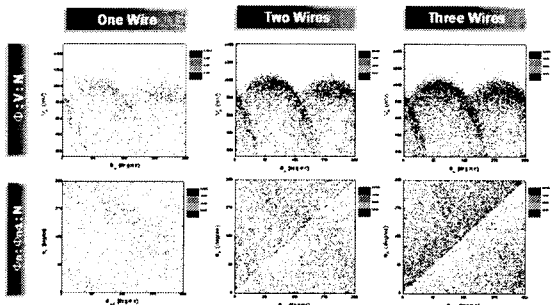


그림 6. 자유도체의 개수에 따른 방전유형의 변화.

다른 종류의 결함에 대해서도 같은 방법으로 방전유형을 분석하였으며 그림 7은 부유전극, 돌출전극, 절연체 이상에 의한 방전신호를 PRPD로 표현한 예이다. 금속이 물이 전기적으로 GIS의 외함 또는 중심도체에 연결되어 있지 않은채로 고정된 형태인 부유전극의 경우 GIS 인가전압 위상의 1, 3사분면에서 비교적 일정한 크기의 신호가 분포하나, 전극의 모양이나 극성에 따라 매우 다양한 방전유형을 보여주기 때문에 방전유형을 분석하면 부유전극의 형상 및 극성을 유추할 수 있다. 돌출전극에 의한 코로나 방전은 그림 7의 (b)와 같이 인가전압의 ± peak 부근에서 방전이 발생한다. 특히 돌출전극의 경우 그림 8과 같이 비교적 낮은 주파수대의 방전신호를 측정하는 IEC60270법과 UHF 대역의 방전신호를 비교해 보면 인가전압의 - peak에서 서로 상이함을 보인다. 이는 돌출전극의 코로나 방전이 서로 다른 주파수 성분의 방전으로 구성되어 있으며, 비교적 낮은 주파수 대역에서 측정하는 IEC60270방법과 UHF 대역의 측정법은 다른 대역에서 발생하는 상이한 방전을 측정하기 때문이다. 따라서 IEC60270방법에 의해 측정된 유형을 기초해 UHF 대역에서 측정된 미지의 방전신호의 원인을 유추하는 것은 부정확한 판단결과를 초래할 수도 있다. 또한 기존의 연구에서 돌출전극이 GIS의 중심도체 또는 외함 중 어디에 부착되어 있느냐에 따라 전압의 변화에 대해서도 다른 방전유형을 보여주는 것으로 보고하였으나[4] 본 실험에서는 전극의 위치에 관계없이 전극의 조건에 따라 비슷한 열화 과정을 보여주는 경우도 있어 방전유형을 이용해 돌출전극의 위치를 판단할 때 유의하여야 한다.

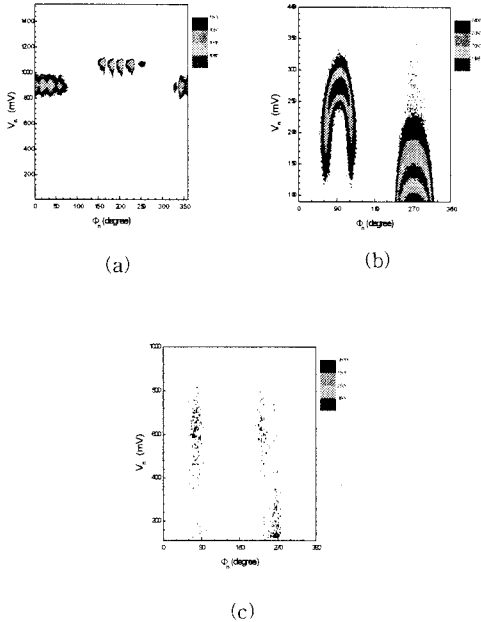


그림 7. 다양한 방전원별 PRPD. (a) 부유전극. (b) 돌출전극. (c) 절연체 이상.

방전원인 중 가장 다양한 형태를 가진 절연체 이상은 절연체 내 공극, 절연체 표면의 오염 등으로 발생할 수 있으며, 이때 나타나는 방전신호의 PRPD는 그림 7의 (c)와 같이 인가전압 위상의 1, 3사분면에서 나타난다. 이는 부유전극에 의한 방전신호 발생위상과 동일하나 부유전극과는 달리 다양한 크기의 신호를 발생한다. 방전유형의 세부적 형태는 결함의 형상, 열화의 정도 등의 조건에 따라 다양하게 나타난다.

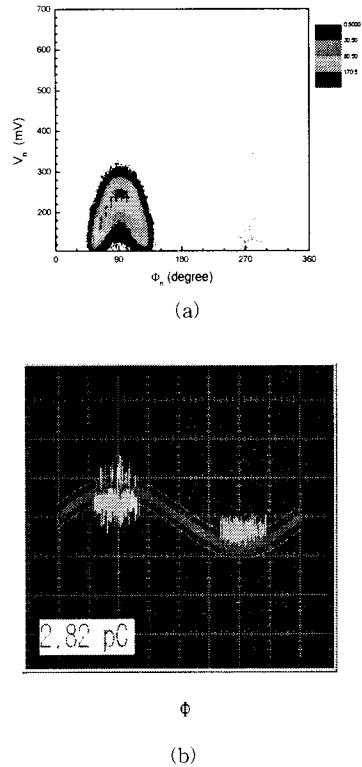


그림 8. 측정대역이 다른 돌출전극의 부분방전신호 유형. (a)UHF 대역에서의 부분방전신호 (b) IEC60270방법에 의한 부분방전신호.

부분방전신호와 GIS 주변 전자파 노이즈가 같이 측정될 경우 노이즈의 종류에 따라 방전유형에서 노이즈를 비교적 쉽게 제거할 수 있는 가시화법이 존재할 수 있다. 그림 9는 그 예로 GIS 내부에 돌출전극 신호와 PCS에 의한 노이즈가 동시에 측정될 경우 그림 9의 (b)처럼 PRPS 가시화법에서 인가전압 + peak의 돌출전극 신호에는 위상에 관계없이 존재하는 PCS 신호가 중첩되어 있다. 그러나 $\Phi_n; \Phi_{n-1}; N$ 가시화법으로 바꾸어보면 PCS에 의한 신호는 그림 9의 (d)처럼 좌하에서 우상으로 연결되는 대각선에 분포하기 때문에 이 대각선을 삭제하면 그림 9의 (c)와 같이 순수한 돌출전극 신호를 추출할 수 있다. 이와 같이 적절한 가시화법을 통해 측정된 방전신호로부터 외부 노이즈를 손쉽게 제거할 수 있다.

- 51C, No. 4, Apr. 2002
 [4] A. G. Sellars, O. Farish and M. M. Peterson, "UHF Detection of Leader Discharges", IEEE Trans. Elec. Ins., Vo. 2, No. 1, Feb 1995.

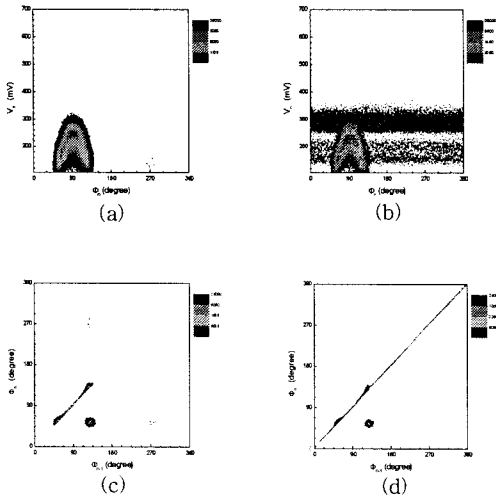


그림 9. 노이즈에 의한 방전유형의 변화. (a) 돌출전극의 PRPD (b) 돌출전극과 PCS 신호의 PRPD (c) 돌출전극의 $\phi_n, \phi_{n-1}:N$ (d) 돌출전극과 PCS 신호의 $\phi_n, \phi_{n-1}:N$.

3. 결 론

GIS에서 측정된 UHF 대역 부분방전신호를 분석하는 방법은 본 논문에서 기술한 4가지 가시화 방법 외에도 많은 방법이 있을 수 있으며 각 가시화 방법에 대해 쉽게 분석 가능한 방전 특성이 있다. 따라서 분석코자 하는 목적에 맞게 적절한 가시화 방법을 사용해야 한다.

방전원의 종류, 모양, 전극의 위치, 열화정도 등 다양한 변수에 의해 방전유형이 변화한다. 따라서 미지의 방전신호에 대한 원인을 분석코자 할 경우 되도록 다양한 조건에서 방전유형을 참고유형으로 가지고 있어야 한다.

또한 IEC60270법에 의해 측정된 방전유형과 UHF 대역에서 측정된 방전유형이 서로 상이한 경우가 있으므로 IEC60270법에 의해 측정된 유형을 이용해 미지의 방전신호에 대한 원인을 분석할 때 유의하여야 한다.

[본 내용은 산업자원부 전력산업 연구개발사업의 기술개발결과입니다]

[참 고 문 헌]

- [1] 윤진열, 박기준, 구선근, "GIS 부분방전 검출기술 연구", 최종보고서", 전력연구원, TR.98PJ04.J2002.407, 2002.10.
- [2] M. Hikita, M. Onomoto, Y. Kunitake, M. Kozako, S. Yuasa, S. Okabe and S. Ohtsuka, "Motion Analyzer and Size Estimation of a Free Moving Metallic Particle in GIS based on Propagation Properties of Acoustic Wave", 2003 ISH, Proceedings CD.
- [3] 윤진열, 박기준, 구선근, "GIS내 자유 도전성 파티클 결함에 대한 위험도 평가 방안", 대한전기학회지Vol.