

GIS On-line Monitoring 센서특성과 부분방전 패턴분석 결과 비교연구

이지철, 정승용, 장용무, 구자윤, 최재옥, 이영상
한양대학교, PSD Tech

Comparative study for PD pattern analysis using different type of sensors applicable to on-line monitoring of GIS

Ji-chul Lee, Seoung-young Jung, Yong-moo Chang, Ja-yoon Koo, Jae-ok Choi, Young-sang Lee
SMDT Lab, Dept. of Electrical, Hanyang Univ, PSD Tech.

Abstract - 본 연구는 전력 계통에 상용화된 SF₆ GIS (Gas Insulated Switchgear) 내부에서 발생되는 부분방전 검출 방법을 개발하기 위하여, GIS의 내부에 유입되거나 생산과정에서 형성 될 수 있는 세가지 결합들을 연구용 GIS 내부에 모의하였으며 또한 특성이 다른 센서(UHF, CT, AE)를 제작 또는 이용하여 그 부분방전 패턴 결과와 주파수 분석 결과를 상호 비교 하였다. 실험 결과에 의하면, 동일한 결합에 의하여 센서의 검출 결과는 다르게 나타나거나 전혀 검출이 되지 않음이 밝혀졌다. 따라서, 부분방전 패턴분석을 하나의 분석방법에 의존하는 것은 바람직하지 못한 것으로 사료되며 신뢰성 있는 GIS 진단을 위하여 적합한 센서개발 및 두가지 이상의 분석 방법이 병행되는 것이 절대적으로 필요한 것으로 사료 된다.

1. 서 론

운전 신뢰성이 높아 전력계통에 상용화된 SF₆ GIS(Gas Insulated Switchgear)의 사고가 발생 할 경우 그 사회적인 파급 효과가 광범위하므로, 기기의 감시 및 신뢰성 있는 진단기술 개발을 위하여 과거의 Off-line 진단 기술을 대체할 수 있는 기술 개발이 필요하다. 이러한 목적으로 GIS 내부의 결합에서 발생되는 부분방전 검출에 의한 On-line Monitoring 기술이 많은 연구기관에서 개발 시도되고 있다.

GIS 내부에서 부분방전이 발생하면, 전기적인 신호와 비전기적인 신호가 발생하므로 신호의 검출 방법으로 전기적인 방법과 비전기적인 방법이 있다[1-3]. 전자의 경우, UHF(Ultra High Frequency) 전자파 측정법과 고주파 방전 전류를 측정하는 HFCT(High Frequency Current Transformer) 전류 측정법이 있다[4]. 후자의 방법으로, 초음파(Acoustic Emission) 측정법이 있다[5-6]. UHF 전자파 측정법은 전자파 검출법으로써 UHF대역의 센서를 GIS에 내장하거나 외장 시켜 내부에서 발생하는 전자파를 신호를 검출하는 방법이다. HFCT 방전 전류 측정법은 접지전류를 타고 흐르는 누설전류를 HFCT 센서로 측정하는 방법이다. 초음파 측정법(AE)은 부분방전 발생 시 기계적인 진동을 초음파 센서로 측정하는 방법이다.

센서가 검출한 물리적 수치들이 부분방전 진단 기술에 적용되기 위해서는 측정된 데이터를 분석 가능한 형태로 변환하여 데이터베이스화하여야 하므로 동일한 결합에 의한 부분방전을 다양한 센서들을 적용하여 검출신호 분석이 이루어져야 한다. 그러나 각각의 센서들에 대한 연구는 활발히 진행되고 있으나 3개의 센서를 동시에 사용하여 상호 분석하고 두 가지 분석 방법을 적용한 사례는 전무하다.

따라서 본 논문에서는 GIS 내부에서 동일한 결합에 의한 부분방전의 물리량들을 내장형 UHF 센서, HFCT 센서, AE센서등을 동시에 사용하여 검출하고 그 결과들을 PRPDA(Phase Resolved Partial Discharge Analysis) 분석법과 주파수 분석을 병행하여 상호 비교 연구를 하였

다.

2. 실험장치 구성

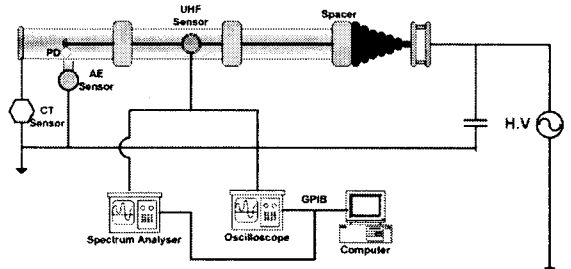


그림 1. 실험장치 구성도

본 연구를 위한 실험장치의 개략도는 그림 1과 같다. 사용된 실험용 챔버의 알루미늄 중심도체 반경은 60mm이며, 챔버 내부에서 일어나는 현상관찰을 위한 감시창에 내장형 UHF sensor (연구실 제작, 300MHz-3GHz)를 부착하여 발생하는 전자파를 검출하였다. 접지부분에는 CT 센서(PD사. 2-25MHz)로 전류 신호를 검출하고 엠프 단에서 증폭하여 PC와 오실로스코프 (LC574AL, 1GHz, 4Gs/s)에서 측정하고 저장하였다. AE 센서(PAC R151, 25 KHz-800KHz)는 인위적으로 삽입된 결합과 가장 가까운 챔버 외부에 설치하여 발생될 초음파 신호를 검출하였다. 스펙트럼 분석기는 (Agilent, E7402, 9kHz-6.7GHz)를 사용하였다.

CT 또는 AE 센서에 의한 방전신호 검출 시, 서지 전류의 인입으로 인하여 측정장치 고장을 유발하고, 서지 프로텍터를 사용하였을 경우, 검출신호가 감쇄되어 검출 신호의 분석에 많은 어려움이 제기되었다. 따라서, 방전 신호의 주파수 분석은 UHF센서 검출 결과에만 적용되었다.

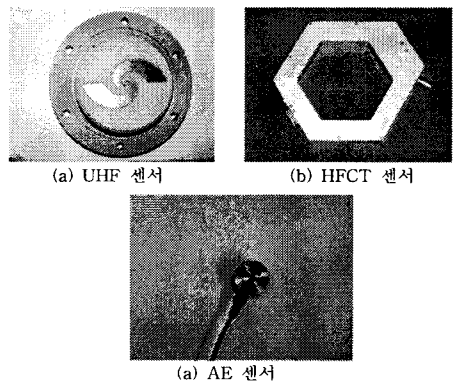


그림 2. 센서 사진

삽입된 인위적 세 종류의 결함들은 다음과 같다 :

MFMP(Multi Free Moving Particle): 길이1cm, 폭 1mm (그림 3(a))

Void: 지름1mm, 높이 1mm인 실린더형, 전극간 거리가 10mm인 에폭시 몰드 전극에 삽입(그림3 (b))

CFP(Conductor-Fixed Protrusion): 곡률반경 100um, 길이 1cm의 Oggura 바늘을 도체에 고정(그림3 (c)).

GIS 챔버 내부의 SF₆ Gas 압력은 3kg · f/cm² 이며 PD 검출은 상기 언급한 3개의 센서로 동시에 측정 하였다.

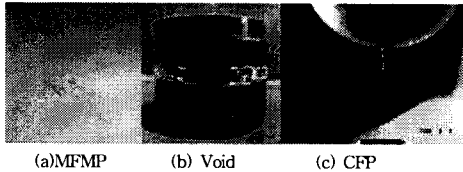


그림 3. 모의한 결함들

3. GIS 내 부분방전 신호 검출

3.1 실험실 내부의 외부 노이즈 측정

인가전압이 60kV 일때, 실험실 주위 잡음은 GIS 내부에 결함이 삽입되지 않은 상태에서, 그림 4(a)와 같이 방전량은 2pc 이하이고, 스펙트럼 분포는 그림 4(b)와 같이 -80dBm이하로 나타났다. Void와 MFMP의 경우, 방전을 지속적으로 유지하기 위하여 최초 방전개시 전압부터 1kV씩 증가 시켰다.

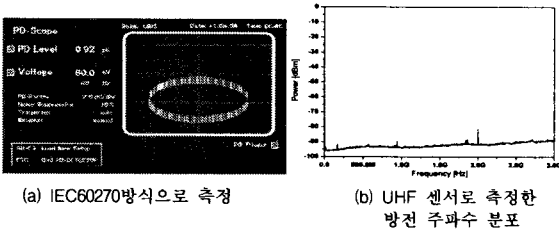


그림4. Background Noise

3.2 결함과 검출 신호의 분석

3.2.1 MFMP(Multi Free Moving Particle)

MFMP는 이물의 크기와 재질 그리고 전계 크기에 매우 민감하게 반응하여 방전 개시 전압이 일정하지 않으며 너무 큰 전계가 인가되면 전계가 작은 쪽으로 이물이 이동하여 더 이상 방전이 발생하지 않는 경우가 발생된다. 또한 동일한 재질의 이물이 다수 삽입되었을 경우, 충분한 전계가 챔버 내부에 형성되면, 하나가 먼저 기립하여 부상하여 돌아다니면서 다른 두개와 부딪치거나 근접하면서 나머지도 기립되는 경우가 많았다. 본 논문에서는 3개의 이물을 삽입하여 그 관련 현상을 관찰 측정하였다.

(i) 방전 패턴 분석

IEC60270방식으로 측정된 PD 양상은 인가전압이 30kV 일때 최초부분방전이 검출되었으며 그림5(a)와 같이 40kV까지 인가전압을 증가시켜서 방전을 측정하였다. 3개의 이물을 삽입 했을 때 부분방전 양상은 측정 결과 매우 불규칙하였으며, 또한 부분방전 펄스의 크기는 일정하지 않아 판별이 불가능하며, 서로 다른 3개의 센서의 패턴은 그림5의 (b),(c),(d)과 같이 외부 잡음과 구별이 불가능하게 분석되었다.

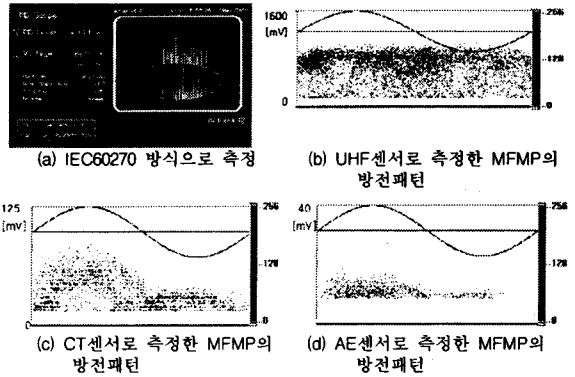


그림 5. MFMP의 부분 방전 발생시 신호검출

(ii) 주파수 분석

MFMP에 의한 부분방전 신호의 주파수 분포는 매우 넓게 분포하여 그림 6과 같이 측정 주파수 전 대역에서 고르게 분포하였다.

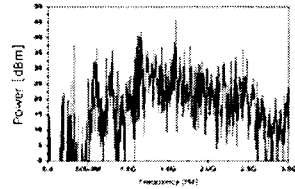


그림 6. UHF 센서로 측정된 MFMP에서의 방전 주파수 분포

3.2.2 Void

타 연구기관의 보고에 의하면, 고체 절연체 내부 Void는 그 크기와 위치에 따라 방전패턴이 매우 다양한 것으로 알려져 있다. 따라서, 본 논문에서는 Void 방전패턴의 재현성을 유지하기 위해서 지름이 1mm 높이 1mm인 실린더형 보이드를 전극간 거리가 10mm인 에폭시 몰드 전극에 삽입하여 사용하였다.

(i) 방전 패턴 분석

Void의 경우, 지속적인 방전을 얻기 위하여 인가전압을 25kV로 고정하여 방전 전하량은 그림7 (a)와 같이 약100 pC~150pC를 유지하였으며, 방전 패턴이 타 연구자들에 의해 보고 된 것과 매우 유사하였다[7]. 그림7 (b),(c),(d)에 의하면, 방전 위상은 3개의 센서 모두 유사하게 30°~60° 및 180°~270°로 측정되었다.

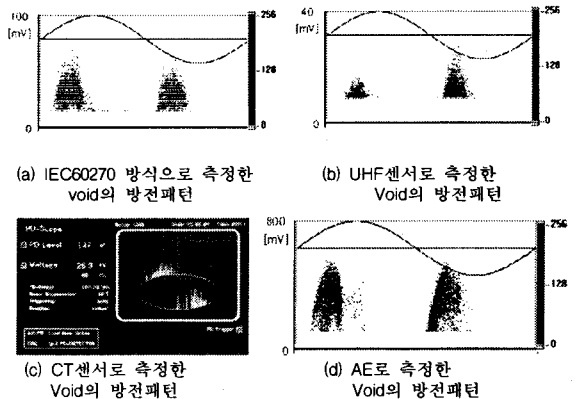


그림7. Void의 부분 방전 발생시 신호검출

(ii) 주파수 분석

Void에 의한 방전신호의 주파수 분포는 300MHz-600MHz, 1.1GHz-1.6GHz 및 2.5GHz 주변과 같은 특정 주파수 대역에 존재하는 것으로 측정되었다.

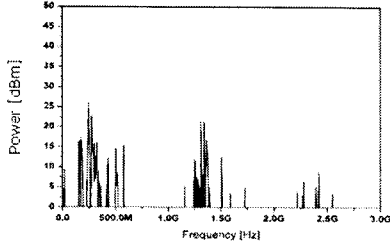


그림 8. UHF 센서로 측정된 Void의 방전 주파수 분포

3.2.3 CFP(Conductor Fixed Protrusion)

이 결합의 경우, UHF 센서에 의하여 방전 신호측정이 가능하지만 CT센서와 AE 센서의 경우 검출이 불가능하였다.

(i) 방전 패턴 분석

CFP는 그림9 (a)와 같이 방전량이 2pC~10pC사이로 측정되었고, 정극성부분에서의 방전량이 부극성에서의 방전량보다 크게 측정되었고, 또한 도체에 부착된 결합들의 챔버내의 위치와 방전 패턴과는 무관한 것으로 분석되었다. 그림9 (b)와 같이 UHF 센서의 경우, 정극성에서 펄스가 집중적으로 분포되어 있으나 그림9 (c),(d)와 같이 CT센서와 AE센서는 PD 신호를 검출하지 못해서 방전 패턴의 분석이 불가능했다.

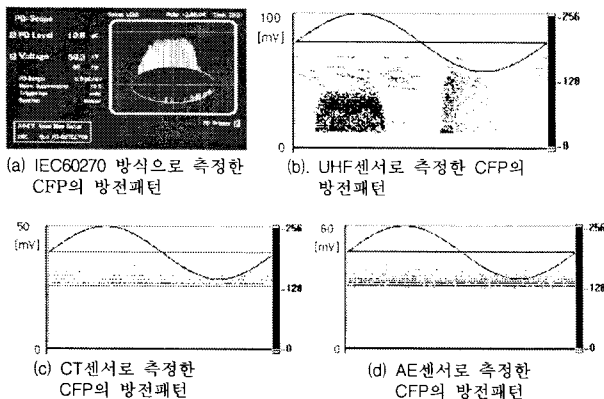


그림 9 CFP의 부분 방전 발생시 신호검출

(ii) 주파수 분석

UHF 센서로 스펙트럼 분석을 통한 CFP의 주파수 분포는 그림 10과 같다. 0.5GHz-2GHz 사이에서 분포하고 있는 것으로 측정되었다.

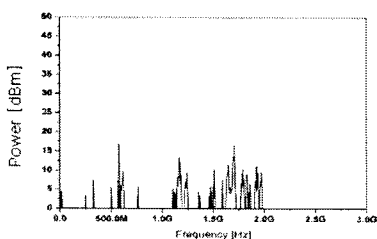


그림 10. UHF 센서로 측정된 CFP의 주파수 분포

4. 결 론

70kV GIS 실험용 챔버에 전압을 인가하여 Free Moving Particle, Void, Conductor Fixed Protrusion에서 발생되는 PD 신호를 UHF, CT, AE 센서로 동시에 검출하여 얻은 실험 결과의 요약은 다음과 같다.

- Free Moving Particle의 경우, 3개의 센서 모두 PD 신호 검출은 가능하나 PD 양상이 매우 불규칙하여 Background Noise와 구별되는 특성이 없었다.
- Void의 경우, PD 위상은 30°~60° 및 180°~270°에서 측정되었다. 3개의 센서 모두 정극성과 부극성에 비슷한 펄스의 분포를 보였다.
- Conductor Fixed Protrusion의 경우, 방전량이 작아서 UHF 센서의해서 만이 PD 신호 검출이 가능하였고 정극성 부근에 집중적으로 펄스가 분포하는 것으로 분석되었다. CT센서와 AE 센서의 경우, PD 신호 검출이 불가능했다.

따라서, PRPDA에 의한 방전패턴이 분석 불가능한 경우를 보완하기 위해서 주파수 분석법을 병행하여 분석 결과의 신뢰성을 향상시켜 전력기기 진단에 적용시켜야 한다고 사료 된다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부 전력산업연구 개발사업(R-2002-0-307) 및 한양대학교 전자재료 및 부품연구센터와 퓨전전기기술 응용연구센터에 의해 수행된 연구 결과의 일부로 이에 감사드립니다.

[참 고 문 헌]

[1] M.D.Judd, O.Farish, B.F.Hampton "The Excitation of UHF Signals by Partial Discharges in GIS" IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. Vol.3 No.2, April 1996

[2] J.Y. Koo, Y.S. Lim, Y.M. Chang, C.W. Kang, J.Y. Youn "A novel approach for the pattern classification of partial discharges in gas-insulated switchgear using a chaotic theory combined with spectral analysis" CIGRE 2004. D1-305

[3] NICHOLAS DE KOCK, BRANKO CORIC and RALF PIETSCH "UHF PD Detection in Gas-Insulated Switchgear: Subtability and Sensitivity of the UHF Method in Comparison with the IEC270 Method" IEEE Electrical Insulation Magazine

[4] J.S Person, O.Farish, B.F. Hampton, M.D. Judd, D.Templeton "Partial Discharge Diagnostics for Gas Insulated Substations" IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation Vol.2 No.5. October 1995

[5] L.E.Lundgaard, G.Tangen, B.Skyberg, K.Faugstad, "Acoustic Diagnoses of GIS: Field Experience and Development of expert system" Transactions on Power Delivery, vol.7 No.1, January 1992

[6] 최재구, 김익균, 김민규, 김익수, 김광화, 윤진열 "GIS이물진단을 위한 초음파 측정 적용기술연구(II)" 2001년도 대한전기학회 학회 학술대회 논문집 2001.7.18-20

[7] M.D.Judd and O Farish. "Transfer Functions for Partial Discharge signals in GIS" High voltage Engineering Symposium, 22-27 August 1999 Conference Publication No.467, IEEE 1999