

# 배전용 가스개폐기의 UHF PD 측정시스템 개발

권태호 / 한국전력공사 전력연구원

## 1. 개요

23 kV 개폐장치는 전력계통에 있어서 고객의 부하와 직접 연결되어 차단·투입, 통전되는 설비로 사용된다. 따라서 개폐장치 고장은 산업설비의 제어불능, 정지를 의미하며, 수용가의 광범위한 정전을 유발함과 동시에 전기 품질 저하의 원인이 되고 있다. 그러므로 고객이 만족하는 전기를 판매하기 위해서는 선로운영에 기본이 되는 개폐장치의 품질

확보가 우선적으로 제고되어야 한다.

절연내력 및 소호능력이 우수한 SF6 가스를 절연매체로 사용하는 가스절연개폐장치(GIS : Gas Insulated Switchgear)는 소형화, 고신뢰화 등의 장점을 가지고 있어 대표적인 전력기기로 사용되고 있지만 SF6 가스를 금속용기에 밀폐시킨 매우 콤팩트한 기기이기 때문에 고전계 상태에서 금속이물 등의 내부 결함이 존재하면 절연성능에 미치는 영향은

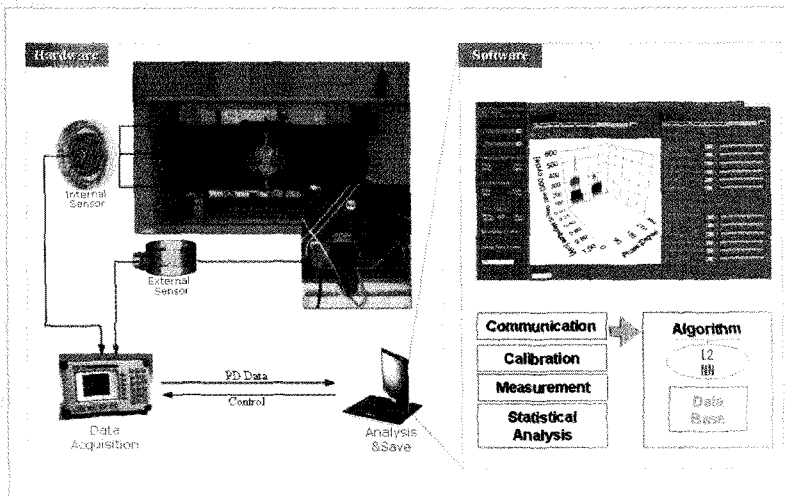


그림 1 UHF PD 측정시스템의 구성

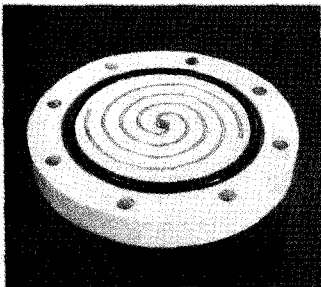


그림 2 내장형 UHF PD 센서

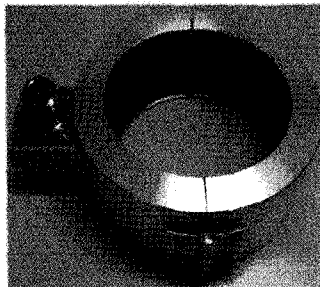


그림 3 외장형 UHF PD 센서

상대적으로 크게 된다. 따라서 운전 중에 GIS 내부에서 발생하는 이상의 징후를 초기단계에서 검출하는 예방 진단기술이 중요하다.

본 고에서는 가스개폐기의 내부결합 검출에 가장 신뢰도가 높고 활성진단 적용이 가능한 부분방전(PD: Partial Discharge) 측정기술을 배전급 개폐기에 적용하여 개발한 UHF(Ultra High Frequency) PD 측정시스템 개발 내용을 소개하고자 한다.

## 2. UHF PD 측정시스템의 구성

배전용 가스개폐기의 UHF PD 측정시스템 구조는 그림 1과 같이 개폐기 내부결합에서 발생하는 PD의 방사 전자파 신호를 측정하기 위한 내/외장형 UHF PD 센서, 측정된 신호를 처리하는 신호처리부(DAU : Data Acquisition Unit), PD 신호를 저장, 분석하고 DAU를 제어하는 분석부(HMI : Human Machine Interface)로 구성되어 있다.

### 2.1 UHF PD 센서

내장형 UHF PD 센서는 광대역 주파수 특성을 갖는 Archimedean 스파이럴(Spiral) 안테나의 원리를 이용하여 제작하였으며, 가스개폐기의 부싱부에 부착이 가능한 외장형 UHF PD 센서는 현대역 주파수 특성을 갖는 Log-periodic 안테나의 원리를 이용하여 외부 노이즈의 영향을 최소화하기 위하여 차폐형태의 착탈식 구조로 제작하였다.

### 2.2 PD 측정 및 분석 시스템(DAU & HMI)

PD 측정 및 분석시스

템의 구성은 그림 4와 같이 가스개폐기 PD 측정 및 분석시스템의 소프트웨어는 노트북에 설치하여 스펙트럼 분석기(Spectrum analyzer)와 Cross Cable을 이용하여 Lan 통신방식으로 전송한다. 본 시스템에서는 UHF 대역의 PD 신호 측정을 위하여 Anritsu사의 상용 Spectrum analyzer MS2721A를 사용하였다.

표 1 UHF PD 센서의 특징

구분	내장형	외장형
주파수 대역	300 MHz-1.5 GHz	300 MHz-1.5 GHz
측정감도	< 5 pC	< 5 pC
설치위치	개폐기 내부	개폐기 외부(부싱부)
센서 형태	Spiral type	Log Periodic type
단자 종류	N-type connector	N-type connector
센서 재질	Cooper, Epoxy	Cooper, MC Nylon, Aluminum
특징	· 광대역 방식 · 외부 노이즈 차폐기능 · 감도특성 우수	· 현대역 방식 · 착탈식 구조 · 지상개폐기에 적용 · 노이즈 차폐구조

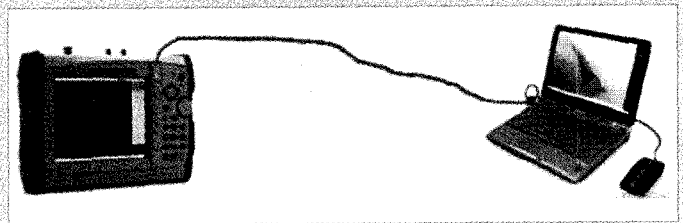


그림 4 PD 측정 및 분석시스템의 구성

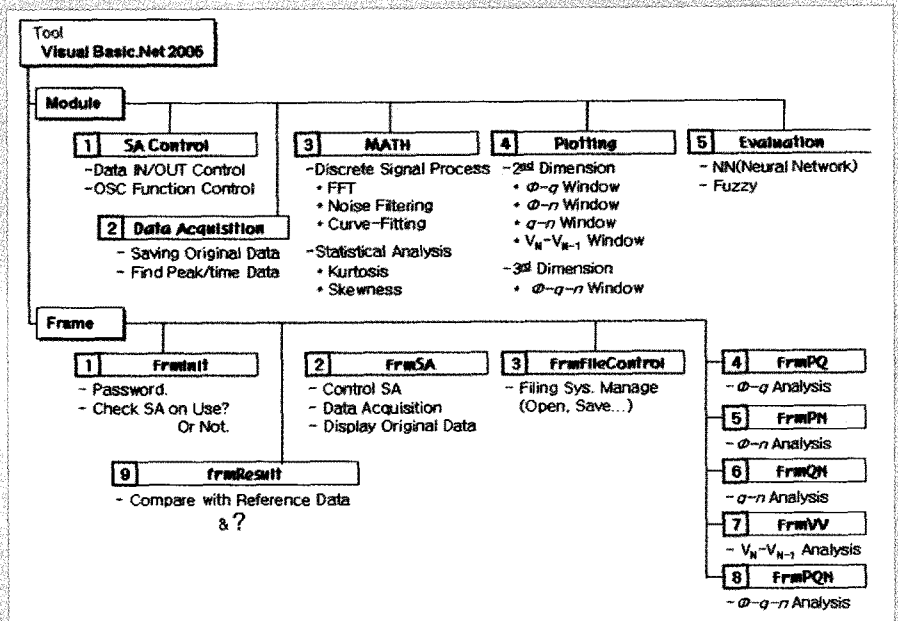


그림 5 PD 분석 Software 구조

소프트웨어는 DAU를 Local로 제어하는 프로그램과 On-site에서 Portable로 PD 신호를 분석하는 프로그램

으로 크게 2부분으로 나눌 수 있다. 가장 널리 사용되고 있는 PD 분석방법인 PRPDA(Phase Resolved Partial

Discharge Analysis)을 사용하여 phi-n, phi-q, n-q를 분석하고 2차원으로 표현할 수 있으며, 1차 노이즈 판정을 위한 phi-q-n의 3차원 표시 기능을 가지고 있다. 이들을 통하여, 2차 분석을 수행하지 않고도 PD의 유무를 1차 측정으로 판정할 수 있다. 그림 5는 PD 측정 및 분석 프로그램의 구조를 나타내고 있으며, 그림 6은 분석 소프트웨어 구동화면이다.

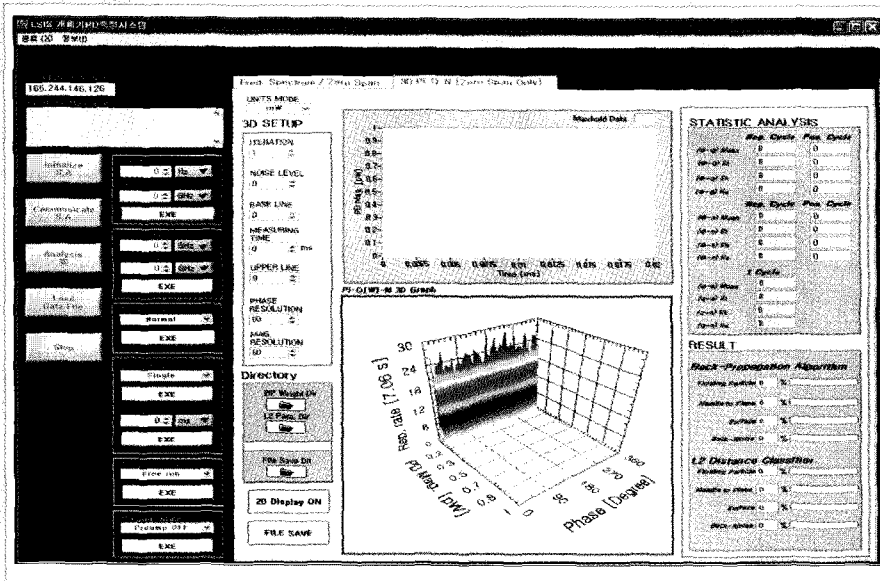


그림 5 PD 측정 시스템 구동 화면

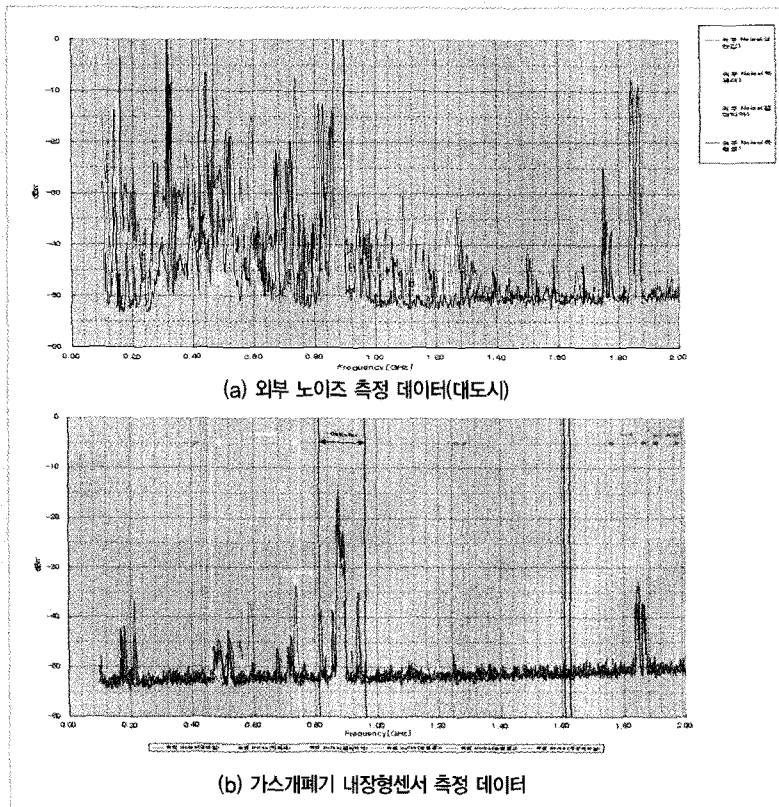


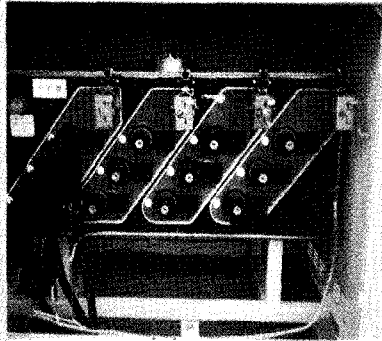
그림 7 외부노이즈의 주파수 스펙트럼

### 3. PD 검출 주파수 대역의 선정

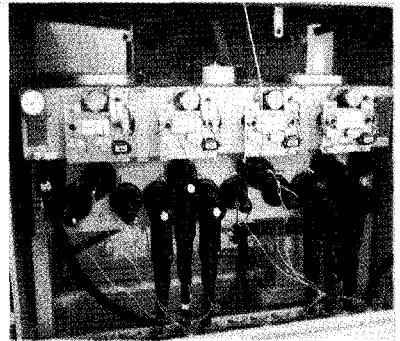
UHF PD 측정 시스템을 사용하여 가스개폐기의 절연이상 유무를 파악하기 위해서는 UHF 대역에서 Signal/Noise 비가 가장 우수한 대역을 선정하여야 한다. 이를 위하여 외부 노이즈가 심한 대도시 5개소를 선정하여 100~2,000 MHz 대역에 존재하는 외부 노이즈와 이들의 가스개폐기내 유입특성을 분석하였다.

금속으로 구성된 가스개폐기의 외함 및 본체는 자체 차폐성을 가지고 있어 거의 모든 주파수 대역에서 약 20 dB이하로 차폐되었다. 따라서 많은 노이즈가 제거되었으나 핸드폰, 방송파와 같이 상대적으로 전자파의 세기가 강한

주파수 성분이 개폐기 내부로 유입됨을 확인하였다. 실제 배전선로에 존재하는 노이즈와 가스개폐기 내부로 유입되는 노이즈 주파수 대역을 파악한 결과, 최적 PD 측정 주파수 대역으로서는 500~600 MHz, 900~1,200 MHz 및 1,400~1,600 MHz의 3개 주파수 대역으로 확인되었다.



(a) 사용품(절연물 결합)



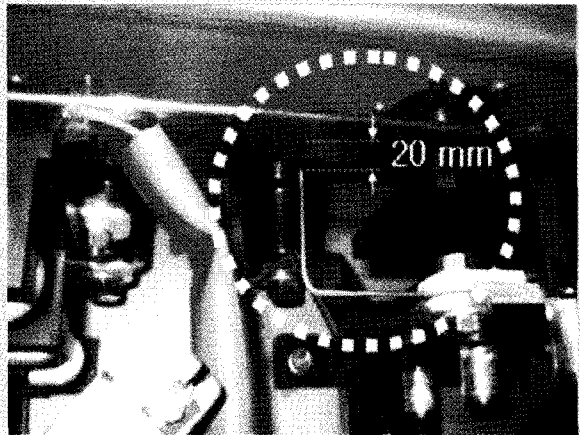
(b) 신품(돌출전극, 자유도전입자)

시험용 가스개폐기

#### 4. 배전선로 모의시험

한전 고창 전력시험센터에 설치되어 있는 22.9 kV 시험선로에 그림 8과 같이 인공결합이 내부에 부착된 시험용 가스개폐기 2대(사용품 1대, 신품 1대)를 설치하여 개폐기 내부에 인공결합을 설치하여 방출되는 신호를 통하여 UHF PD 측정시스템의 성능을 검증하였다.

인위적으로 방전신호를 발생시키기 위해 가스개폐기 내부에 돌출전극, 자유도전성 입자 및 절연물 등의 결합을 모의하였다. 이들 결합은 배전개폐기의 절연고장 중 가장 높은 점유율을 가지고 있어 분석결과를 예방진단에 많은 도움이 될 것으로 기대된다.



인공결합 예(돌출전극)

인공결합의 PD 신호를 측정한 결과, 절연물결합에서는 1,100 MHz, 1,300 MHz, 자유도전성 입자결합에서는 500~1600 MHz의 주파수 대역에서, 돌출전극은 500~1400 MHz 대역에서 신호 검출이 양호하였다.

인공결합에 대하여 2006년 9월부터 2008년 2월까지 매월에 걸쳐 UHF PD에 대한 주파수 스펙트럼 측정을 실시하였다. 돌출전극 및 자유도전성 입자 결합은 PD 신호가 측정시점에 따라 일시적인 변화는 있으나 지속적으로 증가 또는 감소하는 경향은 없었다. 절연물 결합의 경우 초기 단계에서는 300 MHz 부근과 600 MHz 부근에서만 -50 dBm(1 pC이하) 수준의 신호가 검출되었으나, 2008년 2월 측정시에는 거의 모든 주파수 대역에서 약 -15 dBm(26 pC)까지 증가함을 확인할 수 있었다. 초기에는 “정상”과 “요주의” 경계값 정도의 크기였으나, 최종 측정시에는 약 100 pC 이상의 PD 신호가 발생되어 “위험” 수준으로 진전되었음을 확인할 수 있었다.

#### 5. PD 위험도 판정기준

UHF PD 진단 시스템을 이용하여 가스 개폐기에 대한 PD 측정을 수행하면 그 출력값은 전자파 측정 단위인 dBm 형태이기 때문에 정확한 판정을 위해서 이 값을 실제 결보기 방전전하량인 pC으로 환산하였다. PD 신호를 IEC 60270 규격을 만족하는 PD 시험기와 UHF PD 측정시스템를 이용하여 동시에 측정하고, 이 두 측정값의 상관관계를 선형회귀(linear regression)방정식을 이용하여 분석하였다. 측정결과로부터 결보기 방전량 pC과 선정 주파수 대역에서 피크값(dBm)과의 상관성 비교를 위하여 그림 11과 같이 1차 회귀직선(regression line)을 통해 관계식을 도출하였다.

PD 위험도 판정기준은 결보기 방전량을 기준으로 약 5 pC이하 발생시는 정상(노란색), 6~100 pC은 요주의



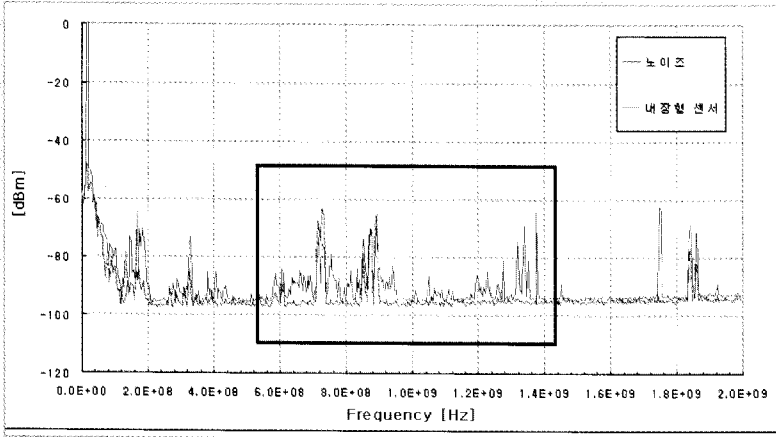


그림 10 돌출전극에 대한 PD 측정결과

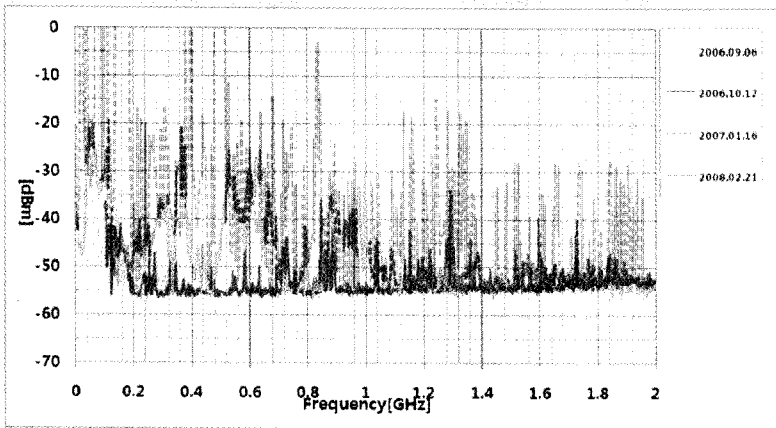


그림 11 절연물 결함에 대한 UHF PD 측정 데이터

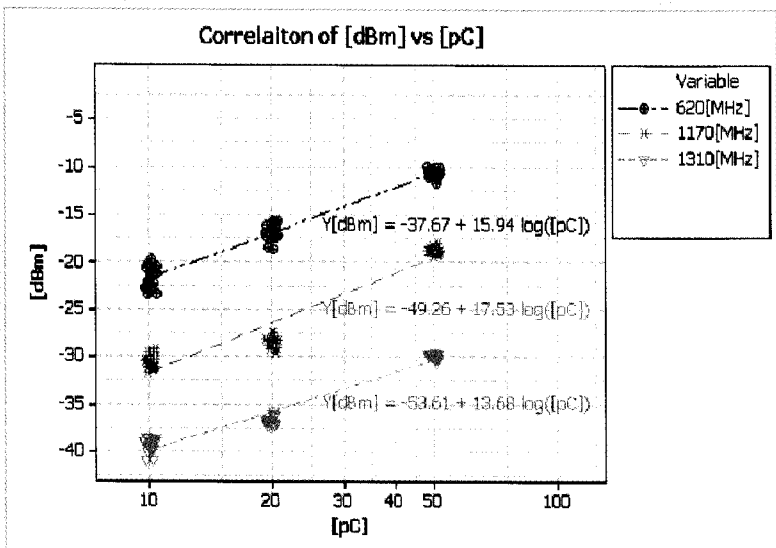


그림 12 pC과 dBm의 관계

(주황색), 100 pC초과 발생시에는 위험(빨간색)으로 설정하였다. 향후 현장 적용 및 여러 가지 형태의 내부 결함에서 발생하는 PD 신호에 대한 트렌드(trend) 분석 수행을 통하여 결함의 형태에 따른 기준과 요주의 기준을 세분화 한다면 더욱 정확한 위험도 평가 기준 제시가 가능할 것이라 판단된다. 본 연구에서 개발된 배전급 UHF PD 센서는 실제용 지중선로의 지상개폐기에 부착하여 2008년 8월부터 2010년 10월까지 효용성 검증과 성능 보안을 할 계획이다.

### 참고문헌

1. “개폐기 건전성 평가 및 진단 기준 제정에 관한 연구”, 한국전력공사, 2007.
2. “배전용 개폐기 교체기준 설정에 관한 연구”, 한국전력공사, 2008.
3. “GIS 고장예방을 위한 UHF 부분방전 신호해석 기술 연구”, 한국전력공사, 2005.
4. “遮断器の信頼性および診断技術”, 日本電気學會 技術報告 제 290 호
5. CIGRE WG 15-03 TF “Partial Discharge Detection System for GIS : Sensitivity Verification for the UHF Method and the Acoustic Method”, Electra, 1999.