

주파수 분석을 이용한 GIS 부분방전 진단 시스템 개발

김홍석, 오재훈, 홍정기
(주) 효성

A Development of the Partial Discharge Diagnosis for a Gas-Insulated Switchgear using frequency analysis

Hong-Seok Kim, Jae-Hun Oh, Jung-Ki Hong
Hyosung Co. Power & Industrial R&D Center

Abstract - 가스절연개폐장치(GIS: Gas Insulated Switchgear) 내부에서 발생하는 UHF 부분방전 신호를 측정하고, 이를 주파수 분석을 통하여 1차 부분방전 진단을 수행하며, 주요 이상이 있을 경우 위상 분석을 통하여 7가지의 부분방전 패턴으로 분류하여 부분방전 원인을 진단할 수 있는 GIS 부분방전 진단 시스템을 국산화 개발하였다. 이에 본 논문에서는 주파수 분석 방법, 부분방전 진단 패턴 및 모니터링 시스템에 대하여 기술한다.

1. 서 론

최근 국내외 변전소에 일반적으로 적용되고 있는 가스절연개폐장치 (GIS : Gas Insulated Switchgear)는 비정상적인 부하의 급격한 상승으로 인한 지락, 낙뢰 등으로부터 전력계통을 보호하는 장치로써 기기에 이상이 발생하게 되면 전체 전력 계통에 매우 심각한 피해를 줄 수 있다. 또한 GIS는 20년 이상의 내구성을 보장하도록 설계가 이루어지지만 실제로는 내부부품의 불량, 절연물의 경년열화, 가혹한 운전환경의 이유로 내부절연 파괴가 발생하고 있다. 게다가, 국내에는 20년 이상 운전되고 있거나, 혹은 도래되는 GIS도 상당수 있어 내부절연사고가 예견되고 있으며, 진단 시스템이 구축되어있지 않은 변전소에는 예방진단 시스템이 요구되어지고 있다. 실제 GIS사고 원인에 대해 CIGRE 23-102(1998)과 국내 전력회사에서 발표한 자료에 따르면, GIS 사고의 50%이상이 절연파괴가 원인인 것으로 발표하고 있다. GIS 내부에 도체이물이 존재하거나 스페이스 내에 공극 또는 균열이 존재하면 내부 절연파괴로 연결되는데, 사고로 발전되기 전에 필스형태의 부분방전이 발생하게 된다. 따라서 부분방전 필스를 사전에 감지하게 되면 고압의 가스로 채워진 GIS내부의 문제점을 예측할 수 있고, 문제의 정도를 파악해 사고를 미연에 방지할 뿐만이 아니라, 적절한 유지 보수 계획을 세울 수 있다. 이러한 부분방전을 측정하는 방법에는 UHF법과 초음파법이 적용되고 있다. 특히 UHF법은 최근 들어 세계 각국의 연구그룹들에 의해 검증된 부분방전을 측정하는 기법으로, 외부 잡음의 영향을 상대적으로 적게 받는 UHF대역 (300MHz~3000MHz)의 부분방전 필스를 검출하여, GIS 내부의 이상원인 및 정도를 예측하는 현재 가장 신뢰성 있는 방법으로 알려져 있다. 본 논문에서는 본 연구를 통해 개발된 UHF기법을 이용한 부분방전 진단 시스템의 구성에 대해 논의하고자 한다.

2. 본 론

2.1 부분방전(Partial Discharge) 진단방법

부분방전을 진단하는 방식에는 이음, 초음파, UHF, SF₆등이 있지만, 그 중 UHF 대역을 이용한 방식이 가장 활발히 연구되고 있으며, 본 연구에서도 UHF 방식을 이용하여 iPDM(intelligent Partial Discharge Monitoring) System을 개발하였다. UHF 방식으로 부분방전을 진단하는 방법은 크게 3 단계로 이루어진다. 1단계로 부분방전신호와 Noise 신호를 구별하는 단계이다. 부분방전 신호 자체가 미약한 신호이기 때문에 UHF 센서에서 입력된 신호에서 Noise신호를 얼마나 잘 제거하느냐에 따라 부분방전 진단 성능이 크게 좌우된다. 일반적으로 band-stop filter를 이용하거나, 주파수 분석을 통해 부분방전 발생대역을 찾아서 해당 대역의 신호만을 진단에서 사용하는 방식이 있다. 본 연구에서는 후자의 방식을 사용하고 있다.

2단계로 노이즈가 제거된 신호를 전원위상 (60Hz)에 동기시켜 위상분석을 실시한다. 부분방전의 발생 원인에 따라 부분방전의 발생 위상이 달라지기 때문에 진단에서는 위상분석 데이터를 사용한다.

3단계로 최종 위상분석 데이터를 진단모델에 입력하여 부분방전 원인을 진단하는 단계이다. 연구 초기에는 각 원인별 reference data를 이용하여 유사한 원인을 찾았으나, 최근에는 AI 모델(Neural Network, Fussy System 등)을 이용하여 진단을 하고 있으며, 본 연구에서는 Neural Network Model을 이용하여 진단 모델을 구성하였다.

2.1.1 부분방전 진단 시스템의 구성

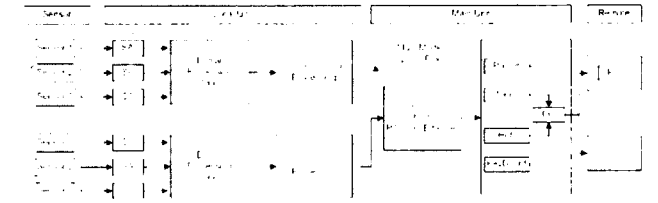
iPDM 크게 On-line iPDM 시스템과 Portable iPDM 시스템으로 분류된다. On-line iPDM 시스템은 On-line 감시용으로서 센서, 신호 취득 장치(Local Unit), 진단 해석 장치(Main Unit)로 구성되며 실시간으로 부분방전을 진단하여 PD 발생 위치 및 경향을 분석할 수 있다. Portable iPDM 시스템은 휴대가 가능한 On-site 감시용으로서 센서와 신호처리장치로 구성되며 정밀한 주파수 분석 및 위상분석이 요구되는 장소에 대한 부분방전 진단에 사용된다. 센서는 변전소 상황에 맞게 내장형 또는 외장형 UHF 센

서를 선택할 수 있다. 본 논문에서는 On-Line 시스템을 중심으로 논의하겠

2.2 On-Line iPDM 시스템

On-Line iPDM 시스템은 GIS에서 발생하는 부분방전을 실시간으로 감시하며 부분방전이 발생할 경우 발생한 위치와 원인을 진단한다. On-Line iPDM 시스템의 구성과 기능은 아래와 같다.

- UHF 센서: GIS의 부분방전이 발생할 경우 고주파 신호를 감지
 - 신호 취득 장치: 부분방전 신호를 주파수/위상 영역에서 신호 분석 및 Digital 신호로 변환
 - 진단 해석 장치: 부분방전의 원인, 위치, 크기, 위험도등을 분석 및 저장
- On-Line 시스템은 GIS에서 발생하는 고주파 신호를 UHF 센서로 상시 취득하여 신호 취득 장치의 주파수 분석기에 전달한다. 전달된 고주파 신호는 주파수 및 위상의 영역으로 분석되며 DPU(Digital Processing Unit)를 사용하여 Analog 신호를 Digital 신호로 변환하고 부분방전 발생 유무를 확인한다. 이렇게 변환된 신호는 Ethernet 통신을 사용하여 진단 해석 장치로 전달되면 진단 해석 장치는 PD의 원인 및 위치 등을 진단한다. 진단 해석 장치는 외부의 제어실 또는 Web을 통해 상시로 데이터를 확인할 수 있도록 분산화 구조로 되어 있다.



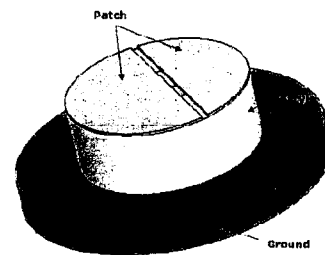
<그림 1> On-Line iPDM 시스템 구성

2.2.1 UHF 센서

내장형 UHF 센서는 부분방전으로 발생하는 고주파 신호를 500MHz에서 1.5GHz의 주파수 영역에서 측정한다. 아래 표 1과 그림 2는 내장형 UHF 센서의 사양과 구조를 나타내고 있다. 내장형 센서는 기본적으로 GIS 유지 보수 장에 설치가 용이하며 SF₆ 가스의 누기를 방지할 수 있도록 디자인 되어 있다.

<표 1> 내장형 UHF 센서 사양

구분	사양
Frequency band	0.3 GHz ~ 3.0 GHz
Operating range	0.5 GHz ~ 1.5 GHz
Type	Dipole disk antenna

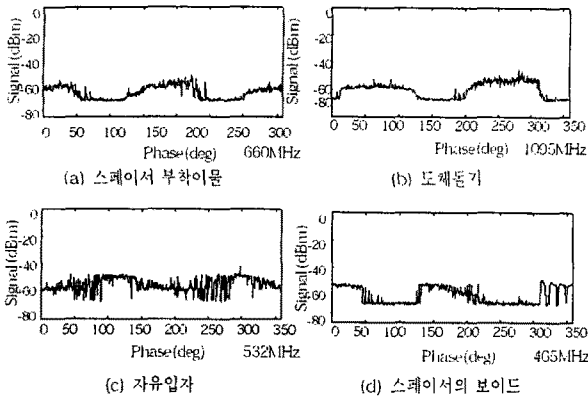


<그림 2> 내장형 UHF 센서의 3D 구조도

2.2.2 부분방전 위상 Pattern

부분방전은 GIS 내부의 자유입자, 스페이스 부착 이물, 도체돌기, 스페이스 보이드 등의 원인에 의해서 발생되며 부분방전의 원인은 GIS의 위험 정도를 판단하기 위해 구분되어야 한다. 이러한 부분방전의 원인을 구분하기

위해 시험실에서 여러 가지 형태의 부분방전을 모의한 위상분석 사례는 그림 3에 나타내었다. 그림 3의 (a)는 스페이스 부착이물, (b)는 도체돌기, (c)는 자유 입자 (d)는 스페이스의 보이드에 의해 발생된 위상분석 예로서, 위상 파형에 따라 부분방전 원인분석이 가능함을 알 수 있다.



<그림 3> 부분 방전의 원인별 위상분석 사례

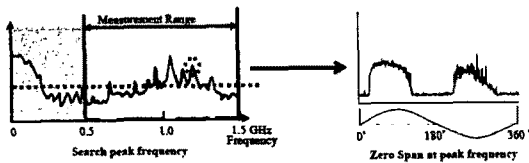
2.2.2 부분방전 진단 Expert 시스템

일반적으로 패턴 인식 기술은 ANN (Artificial Neural Network), fuzzy system, wavelet 등이 있다. 본 논문의 부분방전 진단 expert 시스템은 ANN을 사용하여 부분방전을 진단하였으며 구조는 그림 4와 같이 구분된다.

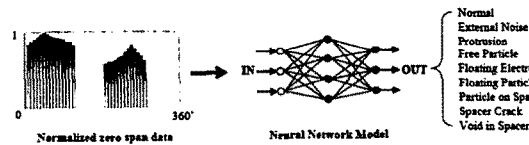
첫 번째 단계는 주파수 영역에서 부분방전 데이터를 측정하고 진단한다. UHF 센서에서 측정된 데이터를 500~1,500MHz에 해당하는 주파수 영역의 데이터로 변환하고 외부 노이즈를 제외하여 최대 주파수를 선정한다.

두 번째 단계는 위상 영역에서 부분방전 데이터를 측정하고 진단한다. 선정된 최대 주파수에 대한 위상을 획득하고 일반화 한다.

세 번째 단계는 일반화한 위상 데이터를 진단 Expert 시스템에 입력한다. 진단 Expert 시스템은 부분방전의 원인을 분석하며 분석된 원인과 크기를 바탕으로 위험도를 평가 한다.



(a) Measurement and analysis of PD

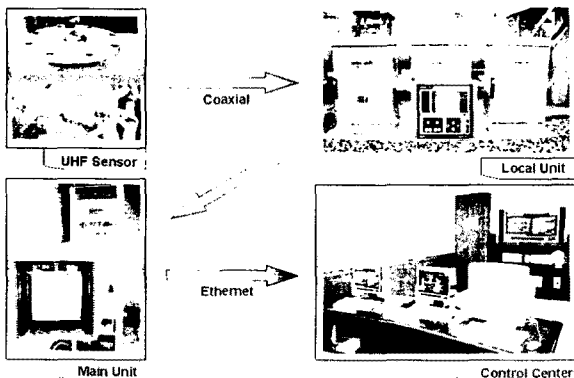


(b) Process for diagnosis of PD

<그림 4> 부분 방전진단 Expert 시스템의 구조

2.3 On-Line iPDM 시스템 적용

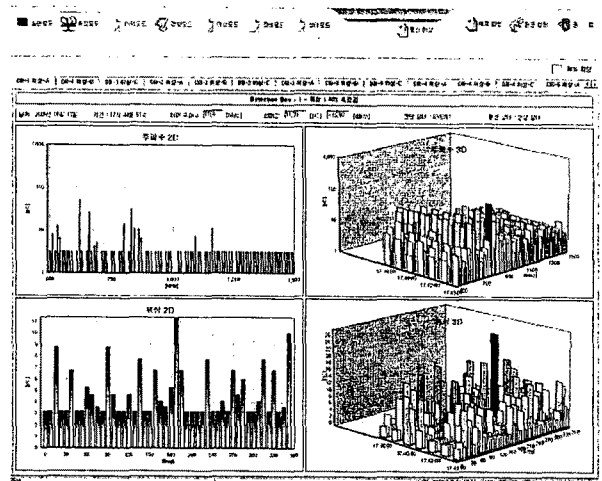
본 논문에서 제안한 iPDM 시스템은 345kV 변전소의 362kV GIS에 설치되어 운전되고 있으며 그림 5는 On-Line iPDM 시스템을 구성하고 있는 센서, Local Unit, Main Unit을 보여주고 있다.



<그림 5> iPDM 시스템

On-Line iPDM System의 소프트웨어는 COM+를 사용한 분산 시스템으로 구성되어 있으며 현장에 위치한 Main Unit의 데이터는 원격에서 감시가 가능하도록 Business Server를 통해 Data Server에 저장된다. 저장된 데이터는 대용량의 이력 데이터이므로 관리와 검색의 효율을 위해 월별로 나눠지는 Partitions을 이용하였다.

각 센서에서 측정되는 데이터는 그림 6과 같이 실시간 GUI로 표시되어 사용자가 쉽게 부분방전 위치 및 진단을 인식하도록 하였다.



<그림 6> iPDM 시스템 측정 HMI

3. 결 론

본 논문에서는 GIS의 부분방전에 대한 진단 방법과 개발 시스템인 iPDM 시스템에 대하여 소개하였다. 개발 시스템은 GIS의 부분방전 측정 방법 중에 UHF 센서를 이용한 방법을 사용하였으며 진단 방법으로 주파수 영역의 최대 주파수를 선정하고 선정된 최대 주파수의 위상 데이터를 측정하여 분석하였다. 분석된 위상 데이터는 Expert 시스템을 통하여 부분방전의 원인을 분석하며 원인과 크기를 바탕으로 위험도를 평가하였다. 현재 345kV 변전소에 설치하여 운전되고 있으며 향후 GIS의 부분방전 데이터 및 외부 노이즈의 수집을 통해 진단 Expert 시스템을 향상 시킬 예정이다.

[참 고 문 헌]

- [1] J.B.Kim, M.S.Kim, K.S.Park, W.P.Song, D.S.Kim, "Development of Monitoring and Diagnostic System for SF6 Gas Insulated Switchgear", IEEE Conference record of the 2002 IEEE International symposium on Electrical Insulation, pp. 453-456, 2002
- [2] W.P.Song, J.B.Kim, M.S.Kim, J.R.Jung, "UHF Narrow Band Type Partial Discharge Method for the Internal Insulation Performance Verification of the Gas Insulated Switchgear", Trans. KIEE, vol. 54C, no. 9, pp. 414-420, 2005.
- [3] CIGRE WG 15-03 TF 15/33.03.05, "Partial Discharge Detection System for GIS : Sensitivity Verification for the UHF Method and the Acoustic Method", Electra, April 1999.
- [4] Tatsuro Kato, Fumihiko Endo and Shingo Hironaka, "Sensitive Partial Discharge Monitoring System by UHF Method and Calibration Technique", CIGRE 2001
- [5] Fumihiko Endo, "Risk Assessment of Defects in GIS by PD Diagnosis", CIGRE WG15-03 TF15.03.09 Munchen Meeting, March, 2000