

GIS용 부분방전 진단 시스템

■ 정재룡, 김정배, 김민수, 최영준, 이학성 / (주)효성 중공업 연구소

1. 서 론

최근, 국내의 변전소에 일반적으로 적용되고 있는 가스절연개폐장치 (GIS : Gas Insulated Switchgear)는 비정상적인 부하의 급격한 상승으로 인한 지락, 뇌등으로부터 전력계통을 보호하는 장치로 만의 하나 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 운전환경등의 이유로 내부절연 파괴가 발생하고 있다. 게다가, 국내에는 20년 이상 운전되고 있거나, 혹은 도래되는 GIS도 상당수 있어 내부절연사고가 예견되고 있으며, 새로 설치되는 변전소의 경우는 무인화 및 자동화가 빠르게 진행되고 있으므로 기기의 상태나 이상을 사고가 발생되기 전에 인지하는 감시/진단 기술이 요구되고 있다. 이러한 배경과 더불어 GIS의 보수점검 방식은, TBM(Time Base Maintenance) 방식에서 CBM(Condition Base Maintenance) 방식으로 바뀌고 있으며, 향후에는 RCM(Reliability Centered Maintenance)방식으로 전환될 것으로 예상되면서, 변전소 전체의 수명연장과 운전비용 절감의 측면에서 예방진단 기술의 도입이 긍정적으로 검토되고 있으며, 일부 변전소에서는 부분적으로 적용이 되고 있다. 상기의 기술적 배경으로 GIS의 감시/진단 기술은 국내에서는 국공립연구소, 대학, 기업체를 중심으로 차단기의 동작특성, 피뢰기의 열

화, 가스누기 감시, 부분방전의 측정 등을 대표적인 진단항목으로, On-line 진단에 대한 기술이 연구되고 있다. [1][2]

실제 GIS사고 원인에 대해 CIGRE 23-102(1998)과 국내 전력회사에서 발표한 자료[3]에 따르면, 그림 1에 서와 같이 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 펄스형태의 부분방전이 발생하게 된다. 이때의 펄스는 350[ps]~3[ns]의 상승시간과 1[ns]~5[ns]의 펄스주기를 갖게 되어 수[Hz]~수[GHz]의 넓은 주파수 대역의 전자파를 발생시키며, 이러한 부분방전 펄스에 의한 전자파를 고주파 안테나에 의해 사전에 감지하게 되면 고압의 가스로 채워진 GIS내부의 문제점을 예측할 수 있고, 문제의 정도를 파악해 사고를 미연에 방지할 뿐만 아니라, 적합한 유지·보수계획을 세울 수 있다.

이러한 부분방전을 측정하는 방법에는 UHF[4][5][6]법과 초음파법[7]이 적용되고 있다. 특히 UHF법은 최근들어 세계각국의 연구그룹들에 의해 검증된 부분방전을 측정하는 기법으로, 외부 잡음의 영향을 상대적으로 적게 받는 UHF대역(300MHz~3000MHz)의 부분방전 펄스를 검출하여, GIS 내부의 이상 원인 및 정도를 예측하는 현재 가장 신뢰성 있는 방법으로 알려져 있다.

부분방전 펄스는 GIS의 동축 부스바(금속용기)를 따라 전파하는 TEM모드와 TE, TM의 여러 고차모드의

2. 본 론

전자파로 구성되는데, GIS 내부를 전파하면서 각종 불연속면을 만나 복잡하게 반사 및 굴절하게 되어 원래의 신호보다 훨씬 복잡한 형태를 띠게 된다. 이러한 복잡한 부분방전 신호를 외부에서 측정하기 위해서는, GIS 금속용기를 통과하지 못하는 UHF 대역의 전자파 특성 때문에, GIS 제작초기에 센서를 내장시키는 방식이 감도나 신뢰성면에서 우수하다. 하지만, 국내 GIS에는 UHF 센서가 내장되는 방식이 현재 일부 GIS에 대해서만 도입되어 있어 내부의 절연상태를 효과적으로 확인할 수 없는 상황이다. 그러나, 최근 들어서는 부분방전에 의해 GIS 내부에서 발생하는 전자파가 유기물을 관통한다는 특성을 이용하여, GIS의 가스구획 및 도체지지의 목적으로 설치되어 있는 에폭시 스페이서를 통해 감지하는 방법이 제안되고 있다.[8]

본 논고에서는 UHF법 중 주파수 분석 및 위상분석을 실시하는 Narrow Band 기법을 제안하며, 이 방식에 의한 국내 최초로 개발된 휴대용 및 온라인 시스템을 이용하여 UHF 센서의 감도특성과 UHF 부분방전 진단기법의 신뢰성 검증연구를 기초로 실제 운전중인 변전소의 GIS에 적용사례를 보고 하고자 한다.

2.1 부분방전 발생 메카니즘

앞서 서론에서 언급한 바와 같이 부분방전은 도체 이물, 스페이서 균열 등의 원인에 의해서 극과 극사이 특정 부분에 전계가 집중되어 전계가 집중된 부분에서만 절연파괴가 일어나는 현상으로 극과 극사이 전역에서 절연파괴가 되어 방전이 일어나는 아크방전과는 다르다. 일반적으로 GIS의 경우 내부에 SF6 가스가 절연매체로 사용되고 있는데, 부분방전이 발생하게 되면 분해가스가 생성되어, 장기적으로 내부 절연내력이 떨어져 사고로 까지 이어질 수 있다.

부분방전을 발생시키는 원인으로는 Chamber위의 도체 자유입자와 부유입자, Conductor위의 침상이나 도체 입자, 스페이서 내부 공극과 균열, 도체입자등이 있다. 부분방전이 발생되면 전자파나 이음이 발생되어 전자파(UHF법)나 이음(초음파법)을 측정함으로써 부분방전을 감지 할 수 있다.

2.2 부분방전 측정 메카니즘 (UHF법)

부분방전 측정방법에는 UHF 측정 방식과 초음파 측정방식이 있으나, On-line 시스템에 주로 적용되고, 또한 당사 시스템에도 적용되는 방식인 UHF 측정방식에 대해 소개하고자 한다. GIS 내부에 부분방전이 발생하게 되면 전대역의 전자파가 발생하게 되는데, 이중 500MHz이하의 전자파는 변전소내의 기중방전 노이즈와 구별하기가 어렵고, 2GHz이상의 전자파는 고가의 장비만이 측정 가능하며, 또한, 도파관 현상에 의해 GIS 내부 원형 Tank에서 전자파 전달특성이 500MHz~1.5GHz에서 가장 뛰어나기 때문에, 500MHz~1.5GHz UHF 대역의 신호를 측정함으로써 부분방전 유무를 검증하는 것이 일반적

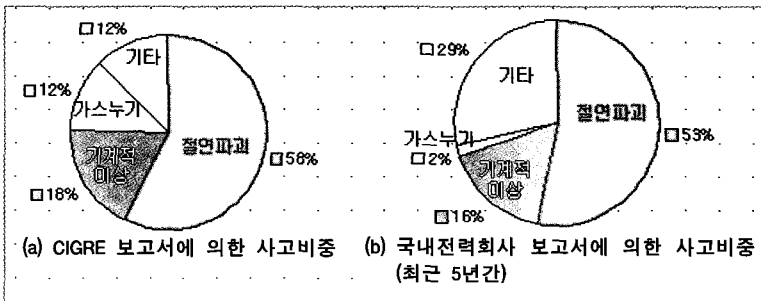


그림 1. GIS 사고원인

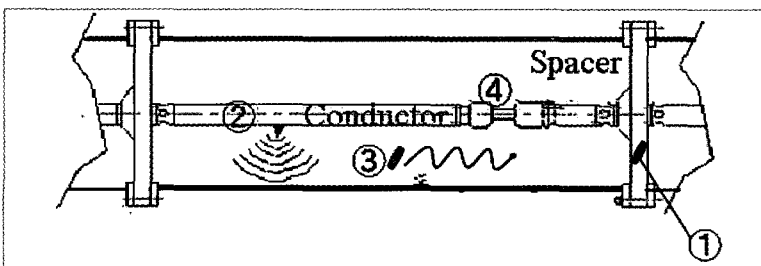


그림 2. GIS 내부의 부분방전 발생 메카니즘

인 UHF 기법을 이용한 부분방전 진단기법으로 알려져 있다. [6]

UHF신호를 측정하여 부분방전을 감시하는 메카니즘에는 부분방전 진단시 전 대역 신호를 이용하는 Wide band 방식과 특정대역 신호를 추출하여 사용하는 Narrow band 방식이 있다. Narrow Band 방식이 감도가 뛰어나고, 외부노이즈 영향에 강인하지만, 시스템이 Wide band 방식에 비해 복잡하고, 고가의 장비를 사용해야하는 단점이 있다.

Narrow band방식을 근거로 본 연구진에서 제안된 부분방전 측정메카니즘은 다음과 같다. UHF 센서에 의해 측정된 전자파 신호는 그림 3 (a)와 같이 먼저 주파수 분석을 실시 한다. 일반

적으로, 변전소내의 기중방전 주파수는 500MHz이하이므로, 500MHz~1.5GHz 대역에 대해 주파수 분석을 실시한다. 그러나 500MHz~1.5GHz 대역에도 외부노이즈가 존재하므로, 사전에 변전소 노이즈 신호를 측정하여 노이즈 대역을 부분방전 측정 프로그램에 저장시킨 후, 이 노이즈 대역은 판단에서 제외시킨다. 상기와 같이, 변전소 노이즈 대역 이외의 대역에서 일정크기 이상의 전자파 존재유무를 확인하는 주파수 분석을

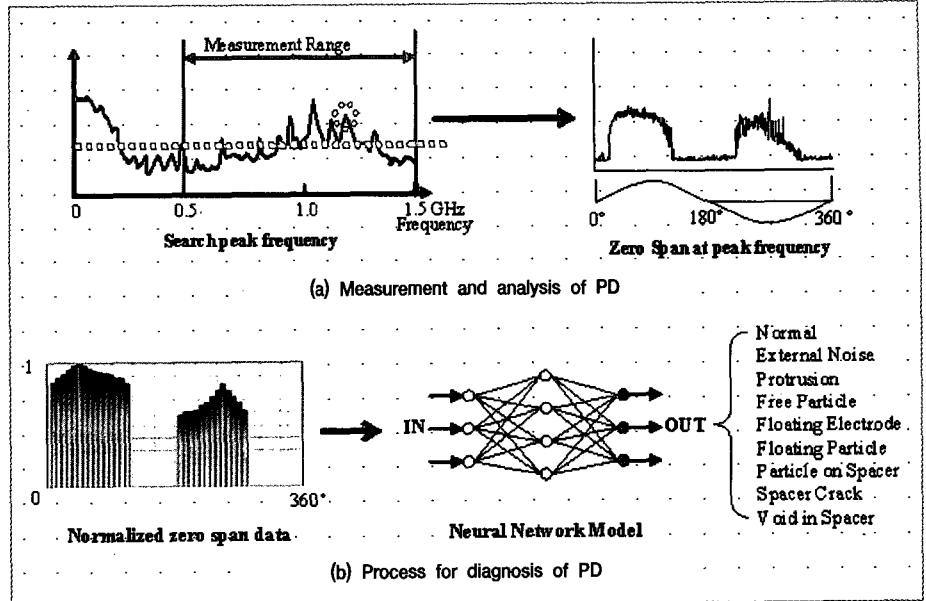


그림 3. 부분방전 측정 및 진단 메카니즘

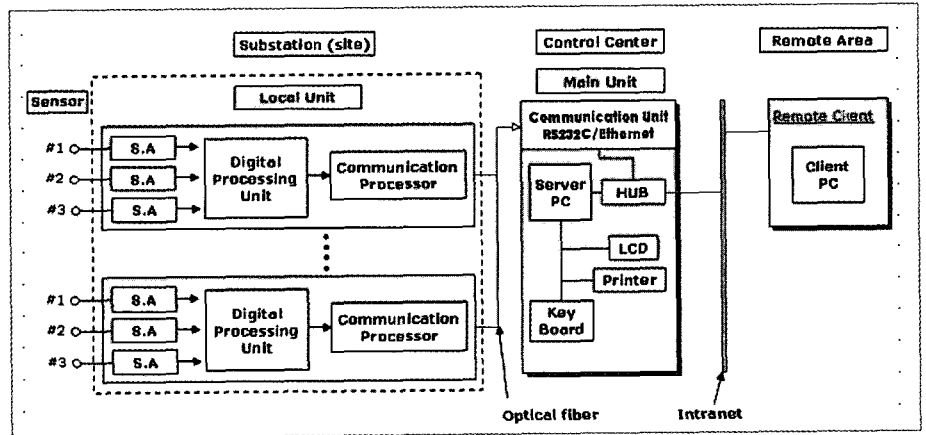


그림 4. On-line iPDM System 구성

통해 GIS 내부에 부분방전이 발생하고 있음을 판단한다. 그리고, 부분방전 신호로 측정된 전자파 신호중 가장 큰 값을 갖는 주파수에 대해 그림 3 (b)와 같이 위상 분석을 실시한다. 위상분석은 GIS 운전전압과 동일한 위상을 같도록 위상보정 후 실시되며, 위상분석된 데이터는 정규화 과정을 거쳐 Neural Network 진단모델에 입력하여, 측정된 신호의 PD 발생 유무 재확인 및 PD 발생시 PD 원인을 진단한다.

표 1. UHF 센서 사양

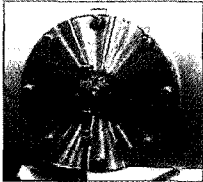
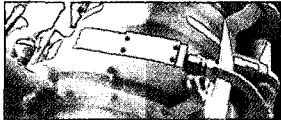
	내장형 센서	외장형 센서
주파수대역	500~1500MHz	500~1500MHz
최소 감도	0.3pC 이하	2pC 이하
Antenna Type	Dipole Antenna	Dipole Antenna
Connector Type	N-Type	N-Type
취부위치	 점검창 내부	 스페이스 위

표 2. Local Unit 사양

항목	사양
입력 범위	-85dBm~-35dBm
채널수	3 or 9ch
크기	600×400×975mm
주파수 범위	500~1500MHz
Communication	RS232C/Optic.
IP Protection Category	IP55

표 3. Main Unit 사양

항목	사양
크기	800×800×2350mm
Workstation	HP XW6200
Communication	RS232C/Optic.-Ethernet
IP Protection Category	P54
최대 센서 수	90EA/BoxUPS1kVA
Ups	1kVA

2.3 On-line iPDM(intelligent Partial Discharge Monitoring) System 구성

당사에서 개발하여 적용중인 On-line iPDM System은 그림 4와 같이 구성된다. 부분방전 신호를 측정하는 센서와 센서 신호를 주파수 분석 및 위상분석 후 디지털 신호로 처리하여 광으로 전송하는 Local Unit과 각 Local Unit으로부터 전송받은 신호를 분석하여, PD 발생유무, PD 원인진단, PD 위치표정을 실시하는 Main

Unit으로 구성된다. 각 구성품별 사양은 표1~3과 같다.

본 시스템은 현재 345kV 변전소에 운영 중인 362kV GIS에 설치하여, 현재 가동 중에 있다.(그림 5) 전체 변전소에 총 39개의 센서를 설치하여 5pC 이상의 PD발생 시 감지할 수 있도록 센서의 위치를 선정하고, 13대의 Local Unit에서 센서의 신호를 처리하여 Main Unit에서 39EA의 센서신호를 실시간 감시하고, 진단하고 있다.

Main Unit의 HMI에서는 그림 6에서와 같이 전체 39EA의 센서의 신호크기와 PD 발생유무를 한 화면에서 감시할 수 있는 Main 화면과 각 센서별 주파수 분석 데이터와 위상 분석 데이터를 볼 수 있는 화면, PD 발생시 PD발생 구획(예로, 345kV S/S의 경우 135EA의 위치표정 구획을 나누어 분석하고 있음)을 표시하는 위치표정 화면, PD 원인을 진단하여 표시하는 PD 원인 진단 화면을 확인 할 수 있다. 또한, 당사의 실험식

을 통해 측정된 부분방전량을 pC단위로 환산하여 표시함으로써 부분방전량을 정량적으로 확인할 수 있다. 이와 같은 GIS에서 측정/분석된 다양한 정보의 실시간 감시/진단을 통해 사고예방에 큰 효과를 얻을 수 있다.

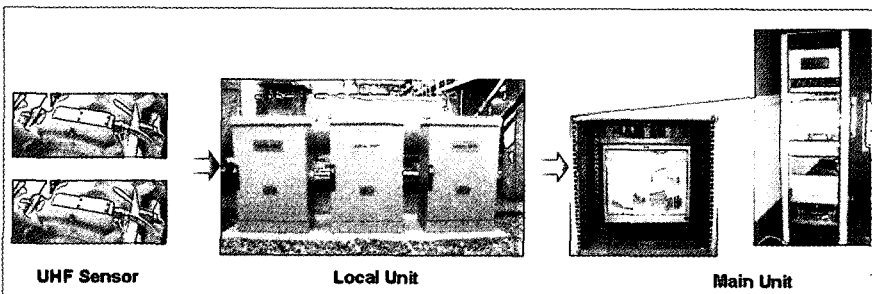


그림 5. 345kV S/S에 설치 운영중인 On-line iPDM System

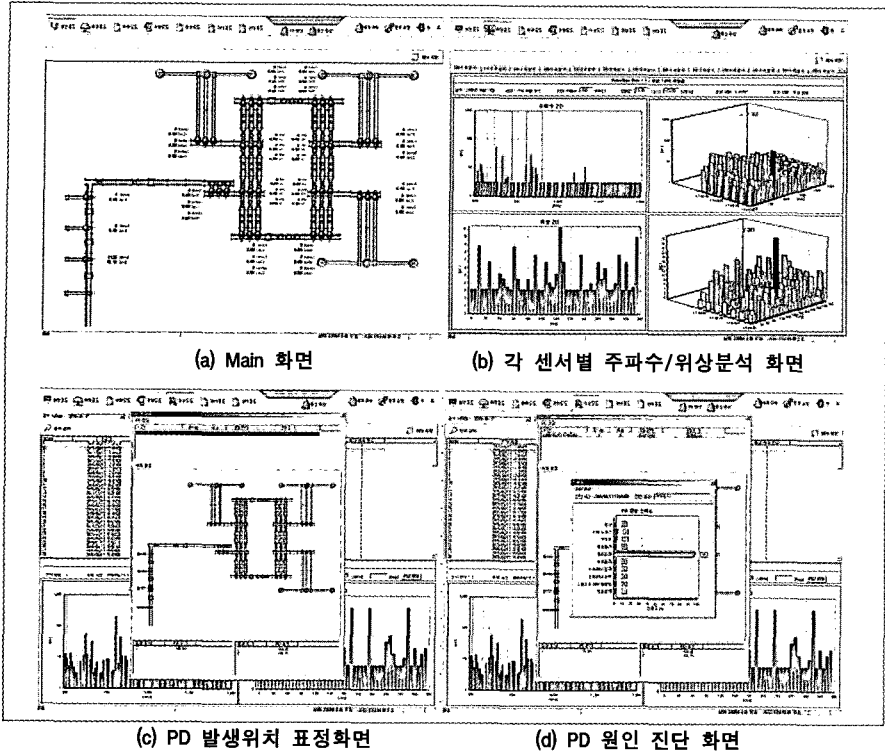


그림 6. 345kV S/S에 설치 운영중인 On-line iPDM System의 주요 HMI 화면

3. 결론

최근 GIS의 절연상태를 효과적으로 진단하기 위해 UHF방법을 이용한 PD진단 기술의 연구가 활발히 진행되고, 제품들이 개발되고 있다. 본 논고에서는 부분방전 발생 및 측정 메카니즘, On-line iPDM System 구성, 실제 운전중인 GIS에 적용한 사례 등을 살펴보았다.

최근 변전소의 사고예방에 관심이 고조되면서 예방진단 시스템 도입이 활발히 추진되고 있으며, 본 연구팀은 사고 예방 및 GIS의 신뢰성 향상에 이바지하고자, 변전소 현장 노이즈 Data-base화, 부분방전 종류별 위험지수, 내/외장형 UHF센서의 고감도/소형화등에 대해서도 지속적인 연구를 수행하고 있다.

4. 참고 문헌

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, April 7-10, 2002, 453-456

2. 김정배, 김민수, 송원표, 김덕수, 전찬석, 길경석, "가스절연개폐장치용 감시시스템 적용에 관한 연구", 대한전기학회 논문지, Vol.51C, No.1, Jan 2002.

3. 이동철, "초고압 GCB/GIS 성능 및 품질 향상 대책", 전력용 개폐장치 연구회 제1차 기술발표회 및 토론회 자료, 2000,07, p.5-10.

4. M.D.Judd, O.Farish, B.F. Hampton, "The Excitation of UHF Signals by Partial Discharges in GIS", IEEE Trans. dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 3, No. 2, April 1996.

5. R.Kurrer, K.Feser, "The Application of Ultra-High-Frequency Partial Discharge Measurements to Gas-Insulated Substations", IEEE Tras. on Power Delivery, Vol.13, No.3, July 1998

6. Fumihiro Endo, "Risk Assessment of Defects in GIS by PD Diagnostics", CIGRE WG 15-03 TF15.03.09 Mun-chen Meeting, March, 2000

7. M.runde, T.Aurud L.E., Lundgaard, G.E.Ottesen, K.Faugstad, "Acoustic Diagnosis of High Voltage Circuit-Breakers", IEEE Trans. on Power Deliver, Vol.7, No.3, July 1992

8. C.Neumann, B.Krampe, R.Feger, K.Feser, M.Knapp, A.Breuer, V.Rees, "PD Measurements on GIS of different designs by non-conventional UHF Sensors", CIGRE 2000, 15-305