

예방진단기술을 활용한 GIS 고장에 방대책

(The Prevention Countermeasure against Breakdown of GIS
using the Preventive Diagnostic Technology)

최종수*, 김종구, 박준성

jong-soo Choi, jong-gu Kim, jun-sung Park

한국전기안전공사 송배전검사팀

Transmission & Distribution Inspection Team, Korea Electrical Safety Corporation

요 약

전력계통이 초고압, 대규모화되고 이를 구성하고 있는 대용량 전력설비들의 고신뢰도 운전이 한층 요망되고 있는 환경에서 예방진단기술을 활용한 설비운영의 중요성은 날이 커지고 있다. GIS 등 설비의 최적화 및 효율적인 관리를 위한 예방진단기술의 정착은 현재 유지보수 비용의 절감과 설비의 안정성 향상 및 체계적인 운영을 가능하게 한다는 점에서 전력설비의 성공적인 운영에 없어서는 안 될 핵심기술로서 자리매김하고 있으며, 설비의 잔존수명예측 등 향후 예방진단기술의 발전을 위한 지속적인 연구와 관심이 뒷받침되어야 할 것이다.

Abstract

In the circumstances which a highly reliable operation in electric power facilities of extra high voltage and large capacity is needed, the importance of a preventive diagnostic technology is growing large day and day. The settlement of a preventive diagnostic technology for optimization and efficient management on the electric power facilities like GIS enable the reduce of repair fee, the improvement of safety and the systematic management of electric power facilities. The remaining life prediction of facilities will play a decisive role as a core technology of a preventive diagnostics in the future. And so it is necessary a continuous research and concern for the development of a preventive diagnostic technology hereafter.

1. 서 론

전력 계통에서의 예방 진단은 주로 상시 감시가 용이한 개개의 설비를 대상으로 현재의 설비 상태를 진단하고, 이상 징후의 조기 검출을 통하여 개개 설비들의 고장을 사전에 예방할 뿐만 아니라 이를 토대로 설비의 수명 등을 예측할 수 있는 기술을 말한다. 현재 전력계통에서의 진단기술은 천재지변이나 설비의 노후화로 인한 설비의 이상이 발생하였을 경우 신속하게 이를 식별함으로써 손실을 최소화 하는 측면뿐만 아니라 설비에 대한 상시 진단을 통하여 이상이 발생하기 전에 미리 이를 판단함으로써 이로 인한 손실을 예방하는 측면에서도 그 중요성이 매우 크다고 할 수 있다.

GIS(Gas Insulated Switchgear)는 전력계통을 이상전압에서 보호하기 위한 밀폐형 개폐장치로서 전력공급의 핵심 위치를 차지하고 있기 때문에 GIS 내부 이상으로 인한 단·지락 등의 고장이 발생하면 계통 전체에 심각한 피해를 주게 된다.

따라서 GIS에 대한 예방진단기술은 천재지변이나 설비의 노후화로 인한 설비의 이상이 발생하였을 경우 신속하게 이를 식별함으로써 손실을 최소화 하는 측면뿐만 아니라 설비에 대한 상시 진단을 통하여 이상이 발생하기 전에 미리 이를 판단함으로써 이로 인한 손실을 예방하는 측면에서도 그 중요성이 매우 크기 때문에 예방진단설비를 이용한 GIS 고장예방대책에 대해서 알아보려고 한다.

2. 본 론

전력계통에 발생할 수 있는 여러 가지 결함들을 사전에 검출하여 그 발생 원인을 분석하는 고장진단 기술은 크게 발전과 송전 및 배전시스템에서의 예방 진단과 사후 진단으로 대별할 수 있으며, 표 2.2에 이를 나타내었다.

표 1 전력계통의 각 부분별 주요 진단대상

진단분야	예방진단	사후진단
발전시스템	회전자 권선단락진단 고정자 과열진단 시정상적인 진동진단	발전제어설비의 고장진단
송전시스템	변압기 열화진단 GIS 열화진단 커패시터 열화진단	송전망의 사고진단 변전소의 사고진단 HVDC의 사고진단
배전시스템	지중케이블 열화진단	배전망의 사고진단

여기서 언급하고자 하는 GIS 열화진단법은 밀폐된 구조의 GIS 내부에서 발생하는 부분방전을 탐지하여 이상 유·무를 판별하는 것이며, 이러한 진단시스템중 대표적인 것이 UHF 부분방전 측정법인데 이는 활선상태의 GIS 내부의 부분방전시 발생하는 UHF 대역의 전자파를 검출하여 GIS 내부 고장진행을 예측하는 기술로서 이에 대하여 살펴보기로 한다.

1. GIS 절연결합

GIS 절연성능을 약화시키는 결함으로는 도전성 입자(Conducting Particle), 돌출전극(Protrusion Electrode), 절연체결합(Defective Insulator), 부유전극(Floating Electrode) 등이 있다.

도전성 입자는 자유 운동하는 금속 이물로서 GIS내의 전계 영역에서 입자는 고전계 영역으로 튀어 오르는 동작을 하다가 GIS 중앙 도체에 접근하는 과정에서 절연파괴를 일으키게 된다. 그림 3.3은 도전성 입자인 파티클에 의한 부분방전 패턴을 나타낸 것으로 무작위적인 파형이 주기에 관계없이 나타남을 알 수 있다.

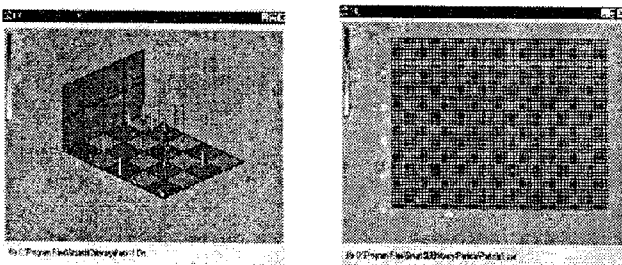


그림 1 도전성 입자에 의한 부분방전 패턴

도체 돌출부는 도체 표면에 생긴 날카로운 돌출 부분을 말하는데, 전원전압의 반주기마다 전압값은 최고가 되므로 돌출부에 전계가 집중되어 코로나 방전 현상이 나타난다. 그림 3.4에서 보듯이 양의 반주기와 음의 반주기에서 나타나는 방전 패턴이 유사하지 않음을 알 수 있다.

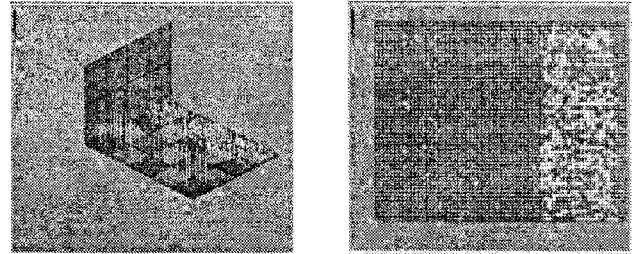


그림 2 돌출전극에 의한 부분방전 패턴

절연체 결합은 절연체 내부의 공극(void)이나 균열(crack) 또는 절연체 표면이 오염된 경우를 말하는데 그림 3.5에서처럼 방전 패턴은 1, 3상만에 집중되고 있으나 타 결함들에 비해 다양한 모습을 보인다.

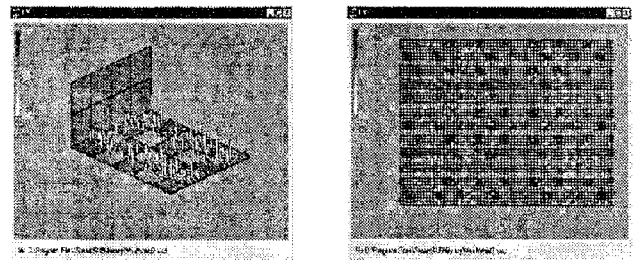


그림 3 절연체 결합에 의한 부분방전 패턴

부유전극은 GIS 내에 전기적으로 연결이 안 된 금속 도체를 말하는 것으로 제작 및 운반 과정에서 볼트류 등이 풀려 GIS 내에 존재하거나 운전 중 도체간의 연결이 느슨해져 나타날 수 있다. GIS내 금속 도체가 중앙전극이나 외함 전극 어느 곳에도 전기적으로 연결되지 않은 상태에서 분리된 도체 주변의 절연성능이 미흡할 경우 방전이 발생하게 되는데 이를 부유전극 방전이라고 한다. 방전량은 최소 수 천 pC 이상이며, 그림 3.6과 같이 방전은 1, 3상한 2곳에 집중되고 있음을 보이고 있다.

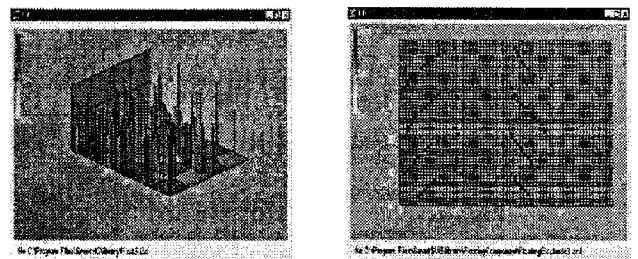


그림 4 부유전극에 의한 부분방전 패턴

2. 부분방전 측정기법의 비교

부분방전 측정기법에 대한 분석 비교를 표 3.6에 나타내었는데, 표에 나타난 바와 같이 UHF법이 검출감도나 위치 추정 면에서 가장 뛰어나기 때문에 부분방전 검출법으로 가장 적합한 방법이라는 것을 알 수 있으며, 이러한 장점으로 인해 현재 변전소에는 UHF 부분방전 센서가 채용된 GIS가 설치되고 있다.

표 2 PD 측정기법 비교

종류	방법	측정 범위	위치 추정	외부 잡음 영향	비고
UHF법	방전시 발생하는 UHF신호 측정	○	○	△	검출감도 우수 위치추정 우수
VHF /HF법	방전시 발생하는 VHF신호 측정	○	△	×	Cable, 회전 기기 진단용
초음파법	기계적 진동음 측정	×	○	×	상시감시용으로 부적합
가스 분석법	방전에 의한 가스 오염 분석	△	×	×	응답성이 낮으며, 가스구획에 따라 제한 받음

3. 부분방전 측정시의 잡음 대책

GIS 부분방전을 검출하는 과정에서 잡음을 완전히 제거하는 일은 불가능하지만 적절한 조치를 통해 만족할 수준까지 제거할 수는 있다. 변전소 잡음환경을 미리 측정하여 문제시 되는 잡음만을 제거하는 Band Pass Filter법은 신호입력부에 필터를 설치해서 주변 잡음의 영향을 줄여준다. GIS측에 Noise Antenna를 설치해서 외부 잡음을 제거하는 Noise Gating법은 각 Channel을 통해 유입되는 Noise에 대해서 Gating Thres -hold를 사용하여 원하는 크기에 해당되는 Noise를 제거하는 방법이다. 그림 4.4에 Noise Gating 전·후의 측정 파형에 대해서 나타내었는데, Noise Antenna를 설치했을 때 각 상에서는 Noise에 대한 영향이 거의 측정되지 않음을 알 수 있다. 이외에 잡음 data base를 활용하여 측정된 부분방전 신호들 중 어떤 잡음신호에 의한 것인지를 따로 분류하여 운전자에게 알려주는 방법 등이 있는데 이러한 방법들을 함께 조합하여 사용한다면 Noise의 영향을 최소화하는데 매우 효과적인 대책이 될 것이다.

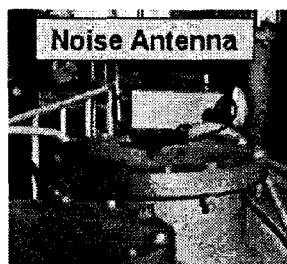
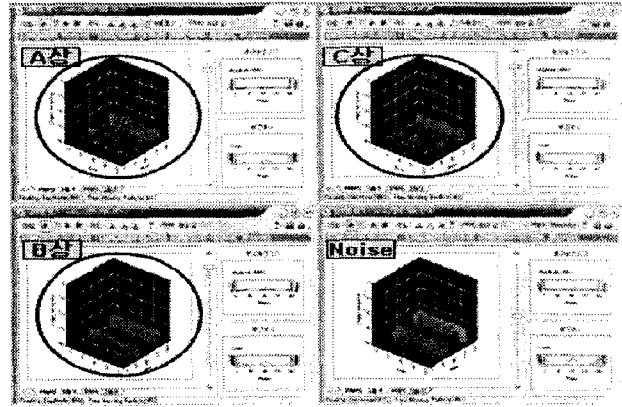


그림 5 내장형 UHF PD 센서와 Noise Antenna

Noise Gating 전 측정파형



Noise Gating 후 측정파형

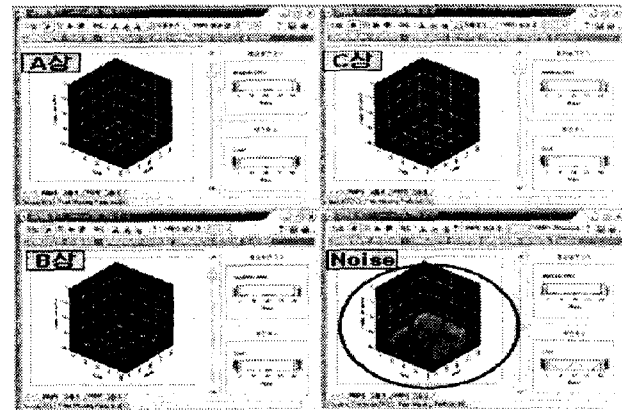


그림 6 Noise Gating 전·후의 측정파형

4. UHF 부분방전의 확인

일반적으로 GIS 내부에 부분방전이 발생한 것으로 인정하는 기준은 부분방전량이 5pC 이상이 될 때부터이며, 현장에서 사용되는 UHF 진단 시스템도 5pC 이상의 신호가 발생하게 되면 부분방전이 발생하였다고 확인하게 된다. 아래 그림은 부분방전이 발생하였을 때 나타나는 부분방전 Event 분석의 예로서 Event 신호 중 5pC 이상이 넘는 신호는 부분방전으로 발생된 신호로 볼 수 있다.

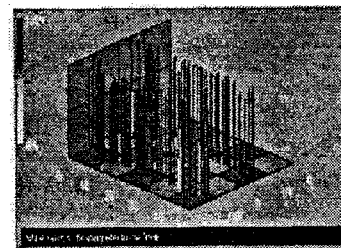


그림 7 부분방전 Event 분석의 예

5. 170kV GIS UHF PD 측정사례

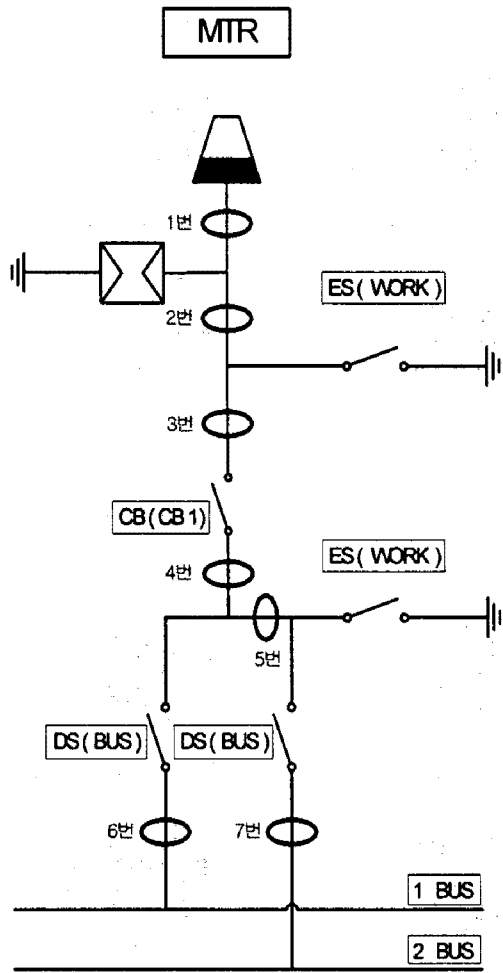


그림 8 170kV GIS M.Tr Bay UHF PD 측정예

1) 측정결과

구역	PD 발생유무						
	6131DS (6)	6132DS (7)	6133CB (4)	6136CB (3)	1번	2번	5번
154kV #1 M.Tr 1차 6133	무	무	무	무	무	무	무

구역	PD 발생유무						
	6231DS (6)	6232DS (7)	6233CB (4)	6236CB (3)	1번	2번	5번
154kV #2 M.Tr 1차 6233	무	무	무	무	무	무	무

구역	PD 발생유무					
	611DS (5)	612DS (6)	616CB (3)	617CB (4)	1번	2번
154kV OO-OO #1 T/L 617	무	무	무	무	무	무

구역	PD 발생유무					
	621DS (5)	622DS (6)	626CB (3)	627CB (4)	1번	2번
154kV OO-OO #2 T/L 627	무	무	무	무	무	무

구역	PD 발생유무			
	DS(1)	DS(2)	CB(3)	CB(4)
154kV BUS TIE 6100	무	무	무	무

구역	PD 발생유무	
	PT #1BUS (1)	PT #2BUS (2)
PT반	무	무

측정결과 OO변전소 #170kV OO GIS의 모든 Spacer 구역을 측정하였으나, GIS내부에서는 PD로 인한 이상 현상은 발생하지 않았음.

5.1 측정결과 평가

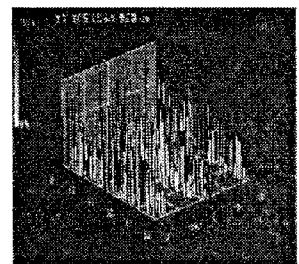
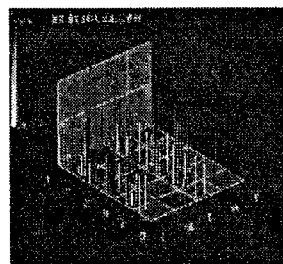
1) 측정 결과에 대한 신뢰성을 확인하였다.

본 장비는 3CH의 PD측정과 1CH의 노이즈 측정을 실시하였으며, 노이즈 측정용 안테나를 사용하지 않는 경우와 사용한 경우에 대한 판정을 확인하였으며, 이에 대한 평가를 진행한 결과, 노이즈 안테나를 이용한 판정이 정확하다고 판단하였다.

2) 그 이유로는 외부 Noise 신호가 스페이스 및 붓싱을 통해 GIS 내부로 유입되면서 기설치된 내장형센서에서 신호로 취득하였으나 Noise Antenna를 이용한 휴대형진단 장비로 확인한 결과 이는 Noise 신호였으며, Noise를 제거하였을 때는 PD 측정 신호가 나타나지 않았기 때문이다.

6. 고장예방사례

- 1) 발생설비 : OO발전소 345kV 7100Bay측 1C
- 2) 부분방전 시스템 : 24시간 상시 온라인감시시스템
- 3) 부분방전 파형 유형 : 부유전극
- 4) 부분방전 측정파형



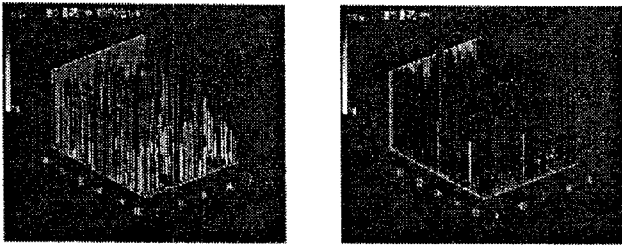
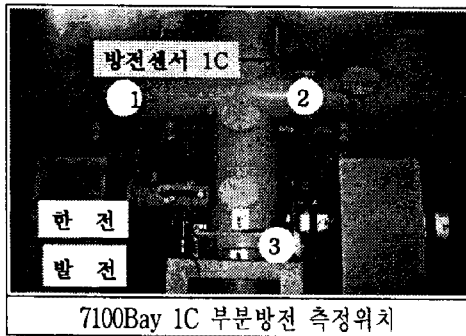


그림 9 부분방전 측정과형 (발생량 증가)

6.1 부분방전 발생 정밀분석

1) 분석결과

가. 부분방전 발생개소 정밀분석 결과 ③번측 측정장소는 ②,①번측 측정장소보다 신호크기가 크며, 주파수 분석결과 ③번측에서 발전소측으로 수십m 거리에서 발생한 것으로 결론.



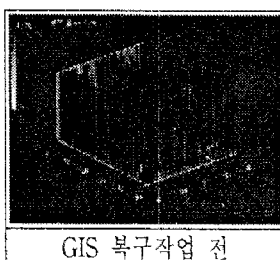
나. 정밀측정 결과 ○○발전소 345kV GIB 한전측에서 발전소측으로 65m 부분에서 부분방전(방전크기 1,000 PC이상) 발생 확인

6.2 GIS 해체 긴급점검

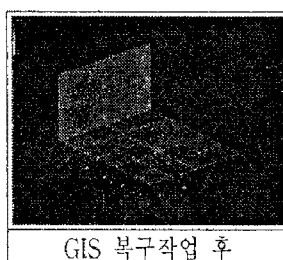
1) GIS 가스 분석 : SF₆ 가스 분해로 SO₂ 가스 발생 확인

2) 점검 결과

- 변압기 진동으로 2차측 GIB "C"상 Support Insulator 내부 Conductor 지지용 Collar 조임볼트(3곳) 이완, "부유전극"현상의 부분방전 발생
- GIB "C"상 Sheath 절단작업, Support Insulator 지지애자 및 Collar 교체
- 계통병입후 부분방전 발생 : 이상없음



GIS 복구작업 전



GIS 복구작업 후

그림 11 PD 발생원인 제거 전·후의 Event 화면 비교

3. 결 론

지금까지 GIS의 열화와 이상현상 및 이를 감시하기 위한 진단기술에 관하여 설명하였다. 앞서 살펴본 GIS 예방진단을 위한 UHF PD 측정법과 관련된 사항을 요약하면,

첫째, PD 측정 방법중 UHF 측정법이 타 측정법보다 검출 감도 및 위치추정 능력 면에서 더 우수하므로 이의 활용을 통한 예방진단이 이루어져야 한다는 것과

둘째, UHF 측정법의 신뢰성을 높이기 위한 잡음 대책 중 Noise Antenna를 이용한 Noise Gating법의 효과성에 대해서 현장측정사례를 들어 확인할 수 있었으며,

셋째, UHF PD 측정법과 같은 예방진단기술을 활용한 고장 예방사례를 통해 복구비용의 절감 및 정전으로 인한 사회적인 유·무형의 피해를 예방할 수 있다는 것을 확인할 수 있었다.

GIS PD 측정기술의 발전을 위해서는 진단의 신뢰성 및 검출감도의 향상을 위한 외부 노이즈의 억제 및 제거방법을 확립할 것과 계산기를 이용한 집적(集積)과 해석의 효율화(시간단축 등)를 이루는 것 그리고 전문가 시스템을 이용한 종합적인 예방진단시스템의 개발 등이 이루어져야 할 것이다. 이와 더불어 진단, 감시 대상인 기기는 처음부터 센서를 내장하고 감지하기 쉬운 구조로 제작되어야 하며, 보호·제어시스템 및 운전, 보수지원, 설비관리시스템을 일체화한 종합적인 인텔리전트 시스템의 구성도 검토하여야 할 것이다. 향후 전력설비의 효율적인 운영을 위해서는 UHF법을 포함한 예방진단기술의 적용이 반드시 필요하다는 사실을 인식하고 이에 대한 관심과 기술개발을 위한 지속적인 노력이 뒤따라야 할 것이다. 끝.

(참 고 문 헌)

- [1] "GIS 부분방전 검출기술 연구", 한전 전력연구원, 2002.10.
- [2] "전력기기 광역 감시진단 시스템개발에 관한 연구", 한국전기연구원, 2004.12.
- [3] "GIS설비 안전진단 보고서", 한국전기안전공사, 2003.
- [4] "변전기기 예방진단 전문가시스템", 대한전기학회지, 2002.
- [5] "SF₆ 가스챔버내 금속이물에 의한 부분방전 및 절연파괴 현상", 한국조명·전기설비학회 논문지, 2000. 1.