

변전기기 온라인 예방진단 기술

■ 권 동 진 / 전력연구원 전력계통연구실 송변전기술그룹

서론

예방진단시스템은 그림 1과 같이 변압기 및 GIS에 설치되어 운전상태를 측정하는 센서부, 센서에서의 데이터를 측정하는 이상검출장치, 센서나 이상검출장치에서의 데이터를 수집하는 DAS(data acquisition system), DAS와 Server를 연결하는 FEP, 모니터링 프로그램과 예방진단 프로그램이 설치된 서버로 구성된다.

표 1과 표 2는 변압기 및 GIS에 적용되고 있는 감시항목과 센서의 기본 원리이다. 최근 센서기술의 발달로 많은 수의 감시항목을 선정할 수 있으나, 감시항목의 수가 많아지면 예방진단시스템의 가격이 높아진다. 따

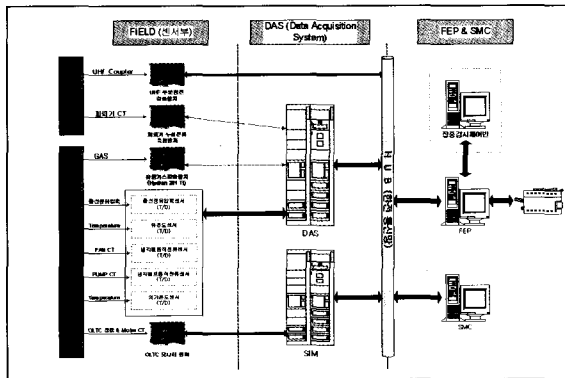


그림 1 예방진단시스템의 구성

라서 감시항목의 선정은 감시대상 기기의 중요도에 따라 결정되어야 한다. 또한 최적의 비용으로 효과적인 감시를 위해서는 몇 가지의 중요한 감시항목에 집중할 필요도 있다.

표 1 변압기 예방진단 감시항목

감시항목	센서종류	감시목적	측정원리
유증가스	다종류	이상여부 및 열화원인	반도체 센서와 적외선 분석
	수소	주 감시가스	반도체 센서 이용
부분방전	누설전류	부분방전 발생여부	누설전류 측정
	초음파	부분방전 발생여부 위치 추정	초음파 신호수 측정
유온	측온저항	과부하, 절연열화	측온저항체의 저항치 변화
OLTC	접점마모	접점마모 및 토오크	접점마모:부하전류+동작회수 토오크:동작전류
	토오크		
	온도		
접점위치	OLTC 모니터		
활선정유 장치압력	압력센서	필터 압력	반도체 압력소자
FAN, Pump 동작전류	CT, TD	냉각시스템 동작상태	모터 전류와 동작시간
부하전류 권선온도	감시제어	과부하 측정	-
외기온도	측온저항	온도보정	측온저항체의 저항치 변화

본론

유증가스 분석장치

변압기의 내부이상은 주로 국부과열과 부분방전에 의한 발열을 동반하므로, 이러한 발열원에 접하는 절연유, 절연지 및 프레스보드 등의 절연체는 분해하여 탄화수소계 가스가 발생한다. 이 발생가스의 대부분은 절연유 중에 용해되므로, 변압기에서 절연유를 채취하여 가스를 분석하여 내부 이상을 진단한다.

표 2 GIS 예방진단 감시항목

감시항목	센서종류	감시목적	측정원리
부분방전	UHF센서	부분방전	GIS Hatch Cover 내부에 UHF 센서 설치, Local Control Unit에서 부분 방전의 발생여부 감시
SF6 가스밀도 점검	가스 밀도계	SF6 가스의 압력 저하	감시제어시스템에서 저압력 경보감시 정보수취
CB 누설차단 전류	보호계 전기연계	차단기 접점마모량	보호계전기동작시각, 최대 차단전류 데이터로 접점마모량 환산
피뢰기 누설전류	고주파 CT	피뢰기 ZnO 소자 열화	고감도 CT 또는 Shunt 저항의 누설 전류에서 전 누설전류 및 제3고주파 전류 검출

온라인 유증가스 분석장치는 경제성의 관점에서 일차 경비용으로 수소가스 또는 가연성 가스의 총량을 측정하거나, 수동의 가스 크로마토그래피(gas chromatography)의 기능을 축약하여 몇가지의 대표적인 가스를 측정하며, 유증가스 관리기준에 따라 발생가스의 절대량, 경시증가경향으로 이상의 유무를 진단하며, 구성가스의 패턴 및 조성비에 의한 이상의 종류를 진단한다. 이러한 온라인 유증가스 분석장치에서 이상이 검출될 경우에는 수동의 다종류가스분석 장치로 정밀 진단한다. 다종류 가스분석 결과는 부분방전, 유온도 및 권선온도 등 다른 감시항목과 연계하여 종합적으로 진단한다.

일례로 그림 2의 수소가스 분석장치는 절연유 채취

밸브, 수소가스 측정 센서, CPU, 통신처리장치로 구성되어 있다.

절연유 채취밸브는 냉각용 펌프와 변압기 탱크 사이의 배관에 설치하는 것이 가장 좋으나, 절연유 Drain 밸브나 절연유 Return 밸브 등에 설치할 수도 있다. 절연유에 함유된 가스는 Membrane에서 분리되어 가스측정용 셀(Cell)에서 H₂(100%), CO(18%), C₂H₂(8%), C₂H₄(1.5%) 비율로 측정하여 4~20mA의 단일신호를 출력된다. 가스의 측정범위는 0~2,000ppm이며, 정밀도는 ±10%(H₂) 정도이다. 가스측정의 응답시간은

10분 이내이며, 경보는 주의(HI) 및 이상(HI-HI)으로 출력된다.

그림 3은 온라인 다종류 유증가스 분석장치의 일례를 나타낸 것으로, H₂, CO, C₂H₂, C₂H₄, CH₄, C₂H₆의 6가지 가스를 측정한다. 다종류 유증가스 분석장치는 절연유를 채취하기 위한 Sampling Head와 가스를 분석하기 위한 측정장치 및 통신장치로 구성되어 있다. 다종류 유증가스 분석장치의 Sampling Head는 가스를 추출한 후의 절연유를 변압기로 재순환시키는 역할을 가지고 있다. 가스분석의 측정주기는 1일을 기준으로 하며, 운전자의 요구에 의해 별도로 분석 가능하다. 측정된 가스는 표 3과 같은 진단기준으로 이상의 여부를 측정한다.

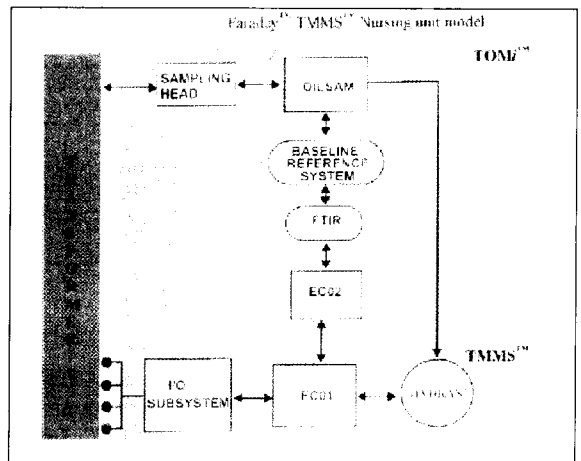
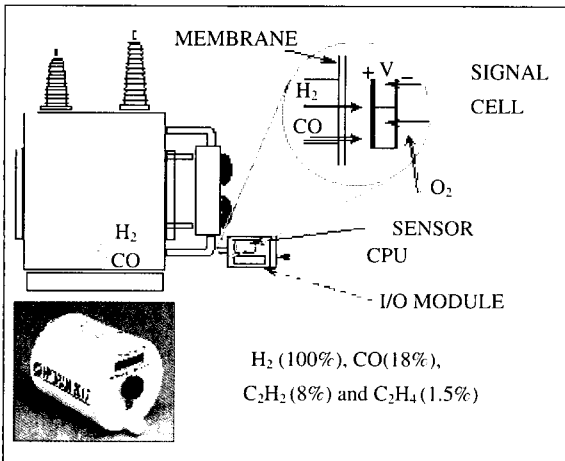


표 3 유증가스 분석장치

구분	정상[ppm]		요주의[ppm]		이상[ppm]		위험[ppm]	
	200kV 이하	345kV 이상	200kV 이하	345kV 이상	200kV 이하	345kV 이상	200kV 이하	345kV 이상
H ₂	400 미만		400 이상		800 초과		1,200 초과	
CO	400 미만	350 미만	400 이상	350 이상	700 초과	600 초과	1,000 초과	800 초과
C ₂ H ₂	25 미만	20 미만	25 이상	20 이상	80 초과	60 초과	150 이상	120 이상
CH ₄	250 미만		250 이상		750 초과		1,000 초과	
C ₂ H ₆	250 미만		250 이상		750 초과		1,000 초과	
C ₂ H ₄	300 미만		300 이상		750 초과		1,000 초과	
CO ₂	5,000 미만		5,000 이상		7,000 초과		-	
TCG	1,000 미만		1,000 이상		2,500 초과		4,000 초과	
경시증 가량	200 미만/월		200 이상/월		200 이상/월		300 이상/월	
분석주기	1회/년		추적조사 1회/3년		추적조사 1회/1월		내부점검 실시	

부분방전 측정장치

변압기의 중대사고 요인인 내부 절연이상은 돌발적인 사고를 제외하고는 대부분 부분방전을 수반하므로, 부분방전과 절연수명과는 깊은 상관관계가 있다고 인정되어 왔다. 또한 부분방전은 이상 발생시 다른 징후보다 응답이 빠른 특성을 지니고 있으므로, 부분방전을 지속적으로 관찰하면, 변압기사고를 미연에 방지하거나 감소시킬 수 있는 유효한 방식이다. 운전중인 변압기에서의 부분방전을 측정하는 방법은 부분방전에 의한 전류를 측정하는 방법과 부분방전에 의해 동반되는 초음파 신호를 측정하는 방법이 있다.

부분방전에 의한 전류를 측정하는 방법으로는 고압 부싱에서 검출하는 부싱탭 법, 권선 중성점이나 변압기 탱크 접지선에 흐르는 누설전류를 측정하는 방법이 있다. 초음파를 측정하는 방법은 변압기 외함에 초음파 센서를 자석을 이용하여 설치하여 측정한다.

일례로 그림 4의 부분방전 누설전류 측정장치는 변압기의 부싱 탭에 설치되어 있는 시험단자에서 부분방전에 의한 펄스전류를 변압기의 운전 중에 상시 측정하고, 방전 전하량에 비례하는 신호의 변화경향으로 변압기내부의 부분방전 발생 여부를 판단한다. 또한 변전소에는 전기

적인 코로나 노이즈가 많이 발생하므로, 변압기 외부에서 발생하는 코로나는 노이즈 측정센서로 별도로 측정하여 부싱 탭에서 측정한 신호로부터 외부 노이즈를 제거한다. 신호처리는 경제성의 관점에서 A, B, C상 3개의 부싱 탭 결합장치에서의 부분방전을 순차적으로 감시한다.

변압기 내부에서 부분방전이 발생할 경우, 그 부위에는 국부적인 발열을 동반하고, 그 발열에 의해 주변의 절연유가 급

격한 압축을 받아 충격파로 절연유를 전달하는 펄스 형태의 초음파 신호를 발생한다. 따라서 초음파 신호를 측정하면 변압기 내부의 부분방전을 감시할 수 있다. 초음파 측정기법은 이상발생부의 위치표정이 가능하여 정밀점검시 이상부위를 확인하고, 수리하는데 편리하며, 측정시 변압기의 운전에 따른 노이즈의 영향을 받지 않는 장점이 있다. 그러나 초음파 측정기술은 변압기의 철심 및 권선에 의해 초음파 신호가 초음파 센서에 도달할 때까지 감쇄하고, 거리에 따라서도 감쇄하므로, 초음파 신호의 크기로 부분방전 전하량을 추정하는 것은 곤란하다. 따라서 초음파 신호의 절대적인 크기보다는 기준레벨 이상의 초음파 신호수의 변화경향으로

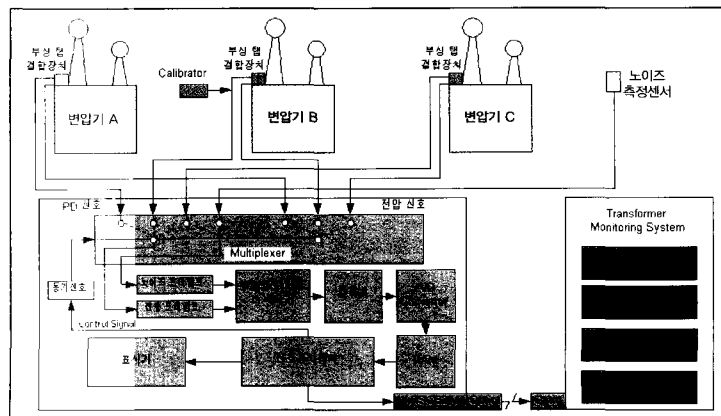


그림 4 부분방전 누설전류 측정장치

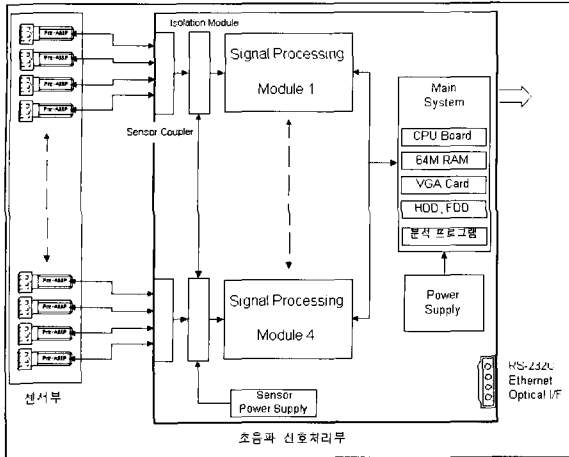


그림 5 초음파 측정장치

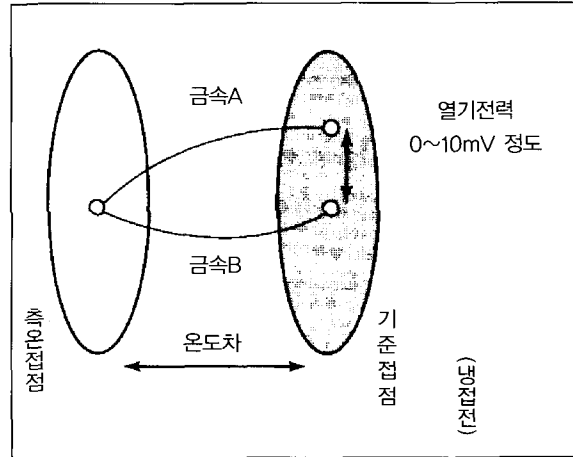


그림 6 측온저항체의 원리

부분방전의 진전상황을 파악하는 것이 보다 중요하다.

일례로 그림 5의 초음파 측정장치는 OLTC측을 제외한 변압기 외함에 12개 이상의 초음파 센서를 부착하여 부분방전의 발생여부와 영역적인 발생위치를 측정한다. 초음파 센서의 주파수 대역은 50~300kHz(중심 주파수 : 150kHz)이며, 초음파 센서에는 60[dB] 증폭도의 프리앰프가 내장되어 있다. 초음파 측정장치에는 0~60dB(10dB step)의 주 증폭기가 소프트웨어로 조정되며, 채널별로 1.2MHz Sampling, 16-bit Resolution의 A/D Converter와 32Bit Microprocessor를 사용한 실시간 신호처리 및 통신을 지원한다. 또한 변압기 주위 노이즈 제거 알고리즘과 초음파 신호를 카운트하는 알고리즘이 내장되어 있다. 초음파 신호는 이동평균값으로 환산하여 부분방전의 증가경향을 상시 감시한다.

절연유 및 권선온도계

변압기에 비정상적인 온도가 발생하여도, 바로 사고로 이어지지 않기 때문에 온도측정은 사고를 예측하는데 어려움이 있으나, 과부하, 국부과열 및 냉각시스템의 운전상태를 감시하는데 유용하다.

일반적으로 금속은 온도에 거의 비례하여 전기저항

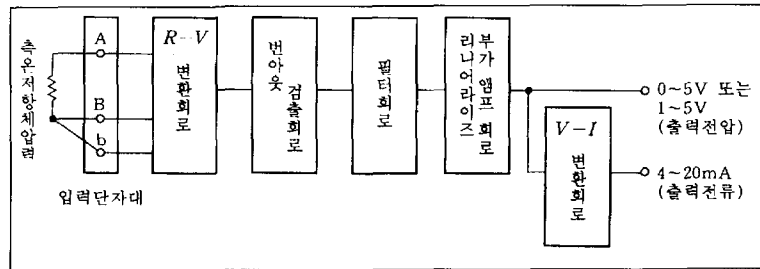


그림 7 온도 측정장치의 구성

이 증가하는 이른바 정(+)의 온도 계수를 가지고 있으며, 금속선의 저항치가 온도에 따라 변화하는 특성을 이용하여 온도를 측정하는 방식의 온도센서를 측온저항체(Resistance Temperature Detectors)라고 한다.

저항에 따른 전압신호는 그림 7과 같이 필터회로에서 노이즈 성분을 제거한 다음 선형성이 부가된 앰프회로에 입력된다. 앰프회로에서 온도에 대한 측온저항체의 저항값 변화에 대한 비선형성을 보정하고 온도에 대하여 선형적인 직류전압(0~5[V] 또는 1~5[V])으로 변환한다. 전류신호로 출력하려는 경우는 전압-전류 변환기로 4~20[mA]의 신호로 변환한다.

OLTC 모니터

OLTC는 변압기의 유일한 가동부위로서 동작빈도가 많고, 고장율이 높아 온라인 모니터링의 필요성이 강조된다. 일례로 OLTC 모니터의 주요기능은 다음과 같다.

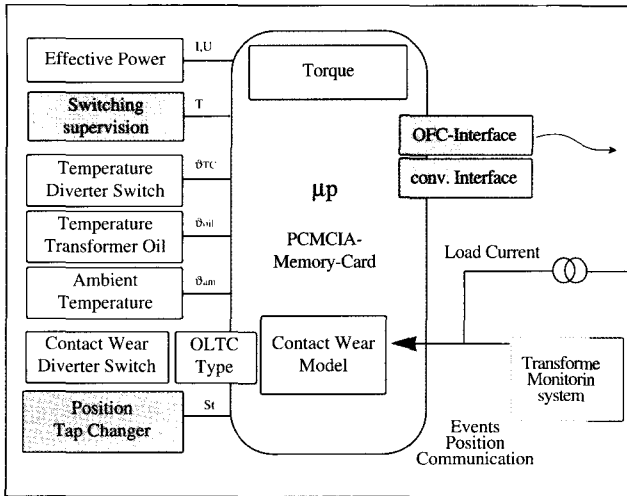


그림 8 OLTC 모니터의 주요 감시기능

(1) 접점마모 감시

접점마모는 부하전류와 탭 위치에 따른 동작회수로 계산하며, 제작자가 제시한 값과 비교하여 양, 부를 판정한다. 부하전류는 감시제어시스템에서 공급받거나, 별도의 CT를 설치하여 공급받을 수 있다.

(2) 토오크 감시

토오크는 drive mechanism을 모니터링하는데 유용하다. 토오크는 접점의 이동에 따른 구동축의 토오크를 모터 전류와 스위칭 시간을 측정하여, 감시한다.

(3) 과부하 감시

OLTC의 고장은 탭 절환장치 탱크의 온도를 상승시킨다. 따라서 변압기 본체와 탭 절환장치 탱크 내의 온도차를 측정하여, 탭 절환장치 내부의 이상 유무를 감시한다.

(4) 탭 위치

OLTC의 탭 위치와 동작회수를 감시하여 토오크 데이터와 유지보수에 활용한다.

활선정유장치 압력센서

OLTC의 Diverter Switch가 아크에 의하여 마모되면 절연유가 변질되고 절연능력이 저하하게 되므로 이를 막기 위하여 OLTC의 동작이 이루어 질 때마다 절연유를 거를 수 있는 필터장치가 사용된다. 따라서 필터에는 OLTC의 동작이 계속 될수록 걸러진 이물질이

쌓이게 되고 필터링 효과가 떨어질 뿐만 아니라, 절연유의 흐름 자체를 방해하게 되므로, 이러한 상태가 되기 전에 필터를 교환해 주어야 한다. 따라서 필터장치가 고장 또는 이상이 발생하지 않도록 사전에 감지할 수 있는 상시 감시가 필요하며, 이를 위하여 활선정유장치의 오일필터의 압력을 검출하여 필터의 교환시기를 감시한다. 활선정유장치 압력센서는 압력센서, 절연신호변환기 및 신호 케이블로 구성되어 있으며,

팬 및 펌프 동작전류

팬이나 펌프의 상태는 냉각 시스템에 영향을 주므로 감시의 대상이 된다. 지금까지는 펌프나 팬의 on, off만을 감시하였으나, 모터전류를 감시하여 냉각시스템의 성능저하와 이상과열을 감시한다. 이 방법은 펌프나 팬 전동기의 전원 입력측에 CT를 설치하여 4~20mA 아날로그 출력신호를 입력받고, 보조접점에서 동작시간을 입력받아 정상시와 비교한다.

부하전류

부하전류는 감시제어시스템으로부터 각 상의 데이터를 입력받는다. 부하전류는 변압기의 초기고장 검출이나 진단에는 유용하지 못하나, 상부 유온도, 권선온도 등 다른 점검항목과 연계하여 주로 과부하를 검출한다.

외기온도

외기 온도계는 변압기 및 기타 기기의 온도영향을 받지 않는 장소에서 측정하여 다른 진단 항목의 온도 보상으로 사용한다. 센서는 RTDs(PT-100Ω)이며, 측정범위는 -40~125°C를 기준으로 한다.

GIS 부분방전

GIS의 주된 사고원인은 conducting particle, metallic protrusion, floating electrode 등으로, 이들에 의해 GIS 내부에는 부분방전이 발생하며, 부분방전은 광범위한 주파수 대역에 걸쳐 전자파를 발생시킨다. 따라서 GIS의 일정구간마다 배치된 UHF Coupler를 통해 약 300 MHz 이상의 전자파를 검출하여, 부분방전 발생유무 및 결합의 종류를 감시한다.

GIS 부분방전 측정장치는 센서, Local Unit, 통신 네트워크 및 Main Unit로 구성되어 있다. 센서는 UHF 신호를 검출할 수 있는 주파수 대역을 선정하고, Local unit는 UHF 신호의 취득과 신호의 처리 및 통신 네트워크와 연결을 담당한다. Local Unit와 Main unit 사이의 네트워크는 광 케이블로 구성되어 있다. Main unit에는 프로그램 운전, 장치를 구성하는 개별기기 전원 제어, 각상전압과의 동기화, 자체진단기능, Watch-dog, Data display, 데이터 전송기능(RS-232C 또는 LAN)이 있다.

신호분석 소프트웨어는 이벤트 설정치에 따라 취득되는 신호를 부분방전(particle, Floating, corona 성분 등) 및 노이즈 유형을 분류할 수 있다.

SF6 가스밀도계

GIS에 봉입된 SF6 가스의 누설은 내부 절연능력의 저하를 나타내므로 가스의 누설감시는 상시 감시에 필요한 항목이다. 가스의 누설 감시는 GIS 탱크내 가스의 압력을 측정하여 기준온도로 환산한 밀도 값을 기준치와 비교하여 감시한다. 또한 감시제어시스템과 연계하여 SF6 가스 밀도계의 점점상태를 입력받아 SF6 가스 압력 저하를 감시한다.

차단기 동작특성

차단기는 투입 및 차단시에 여자되는 코일의 전류를 측정하고, 보조접점의 동작시간을 측정하여 정상 동작시의 설정치와 비교하여 이상을 판정한다. 따라서 차단기의 각 제어회로별로 설치된 CT로부터 4~20mA의 아날로그 출력신호와 각 상별 보조접점 1개씩을 입력받는다.

또한 차단기 접점부 재질은 구리, 알루미늄 및 은으로 도금되어 있는데, 차단기의 접점이 차단될 경우 아크가 발생되어 접점부의 도금이 서서히 마모되며, 특히 큰 고장 전류에 의하여 차단기가 차단되면 접점이 급속히 마모된다. 따라서 고장전류 크기에 따른 접점마모량을 누적하여 차단기 상태를 감시할 수 있다.

피뢰기 누설전류 측정장치

피뢰기의 ZnO 소자에 열화가 발생하면 누설전류가

증가하므로 이를 검출함으로써 ZnO 소자의 이상을 검출할 수 있다. 피뢰기의 누설전류는 전 누설전류와 저항분 누설전류 및 3고조파 누설전류를 측정하는 기법이 있다. 누설전류의 측정은 접지선에 관통형 고주파 CT를 설치하거나, SURGE COUNTER에 저항을 연결하여 측정할 수 있다.

결론

최근 예방진단시스템이 한국전력공사를 중심으로 적용되면서 국내에서도 예방진단시스템에 대한 관심이 보다 많아지고 있다. 현재 예방진단시스템에 적용되고 있는 센서기술은 우선적으로 신뢰성을 충분히 확보하고, 기존에 많이 활용되고 있던 센서를 중심으로 선정되어 있다. 그러나 앞으로도 효율적이고, 경제적인 센서가 많이 개발될 것이고, 이상을 효과적으로 측정할 수 있다면 예방진단시스템에 적용될 것이다. 특히 변전기기의 부분방전은 사고를 예방하는데 무엇보다 중요한 감시항목으로, 변전기기의 제작시 공장시험에 필수 측정항목으로 시험을 하는 등, 그 효용성은 이미 입증되어 있다. 따라서 현장의 노이즈를 적절히 제거하는 기법을 연구하여, 온라인 측정에 효과적으로 적용될 수 있기를 기대한다.

[참고문헌]

- [1] 권동진 외, "변압기 및 GIS 온라인 예방진단 센서 적용기법," 한전 전력연구원 보고서, pp.1~124, 1998
- [2] 권동진 외, "765kV 변전기기 예방진단시스템 개발," 한전 전력연구원 최종보고서, pp.1~123, 2001
- [3] 변압기 가스분석 및 상태진단 결과 보고서, 전력연구원, 1997
- [4] TNU 및 Hydran 201i 사용설명서, Syprotec, 1999
- [5] E. Lemke, "User's Manual of the Partial Discharge Measuring System LDS-6," LEMKE Diagnostics GmbH, pp.5~79, 2000
- [6] OLTC Monitoring system 사용설명서, MR, 1999