

초고압 가스절연 개폐장치의 스마트 진단 시스템 개발

(주)효성 중공업 PG
과장 김 정 배

1. 서론

독립운영계통(IPP) 시스템, 분산전원 시스템 구조의 세계적 추세와 정보통신 기술의 향상에 따라, 사고 예방 및 진단기능이 부착된 GIS의 국내외 수요가 급속히 증가하고 있다. 현재 한전 및 기타 수요자층에서 도입을 추진하고 있는 "변전기기 예방진단 시스템"은 고성능 센서와 신호해석 기술로 이상징후를 상시 감시, 급속한 이상 진행시 경고를 발하여 불시정전을 방지하며, 진단기준치에 따른 유지보수 계획수립, 이상원인 및 이상위치를 판단하여 사고의 재발방지과 신속한 사고복구를 목적으로 하고 있다. 이와 더불어 양질의 전력공급과 무인 원격 시스템 운영에 따른 폭넓은 수요자의 요구에 대처하기 위해 저가격대의 지능형 진단 시스템이, 또한 기 설치된 GIS의 사고 예방, 수명 예측 및 경제적인 보수계획 수립을 위한 범용 진단 시스템 개발이 요구되어지고 있다.

지능형 진단 시스템은 고성능 센서와 신호해석 기술, 그리고 광통신기술 및 S/W 기술을 이용하여 GIS의 열화특성을 온라인으로 상시 감시/진단하는 시스템으로, 개발을 위해서는 ① GIS의 이상

내역을 검출하는 센서 적용기술(GIS 상태의 디지털화), ② GIS의 이상유무를 판단하는 진단 알고리즘 설계기술, ③ GIS의 상태를 표시하는 모니터링 시스템 기술, ④ GIS 가격의 10% 이내로 시스템의 저 가격화 기술을 들 수 있으며, 이것을 제품화하기 위해서는 그림 1에 나타난 바와 같이 크게 1) 변전기기의 센서 적용기술, 2) 진단 알고리즘 기술, 3) 네트워킹 시스템 기술, 4) 모니터링 시스템 기술이 필요하다. 현재 당사에서는 3), 4) 항목에 대해서는 개발이 완료된 상태이고, 1), 2) 항목에 대해서도 지난 몇 년간 연구 개발을 수행해 본 궤도에 올라와 있는 상태이다.

현재, 네트워킹/모니터링 항목에 대해서는 국내 감시 제어업체에서 시제품을 일부 개발한 상태이지만, 1), 2) 항목에 대한 충분한 검토가 없어 진단 알고리즘 구현이 곤란한 상태이며, 이것에 대해 일부대학과 연구소에서 기초연구를 수행하고 있다. 이에 비해, 일본의 Hitachi, Mitsubishi, Toshiba, Fuji, Nissin 등에서 센서기술, 분석기술, 전체 시스템 구축 기술분야에 폭넓게 참여하고 있으며, 일부 변전소에 대해서는 현재 납품되어 운전 중에 있고, 유럽의 ALSTOM, Siemens 및 ABB에서

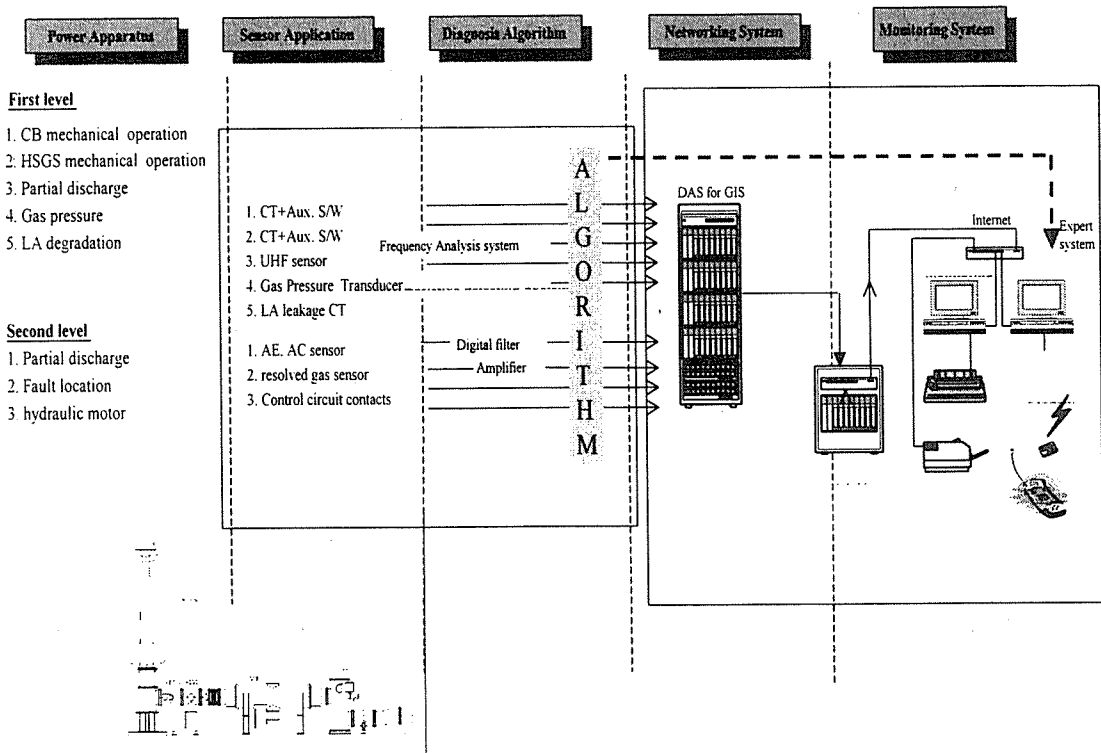
도 생산실적이 있으며, 영국의 DMS(Diagnostic Monitoring System) 진단 설비회사가 부분방전 진단제품을 선보이고 있다.

본 논문에서는 당사에서 개발중인 800kV GIS에 적용가능한 예방진단 시스템중, 네트워킹 및 모니터링 시스템을 제외한 지능형 진단 알고리즘 개발 분야에 대한 개략적인 서술과 CB 및 HSDS(High Speed Ground Switchgear : 고속 접지 개폐기)의 동작특성 진단, 피뢰기 열화진단, 가스기밀에 대한 감시진단, 절연특성(부분방전) 진단, 가스센서에 의한 고장점 표정등에 대해 수행한 연구결과를 중심으로 보고하도록 한다.

2. 본 론

가. 800kV GIS 예방진단 시스템

현재 당사에서 추진하고 있는 800kV GIS 예방진단 시스템의 감시항목은 표 1에 나타낸 바와 같이 총 8항목으로 추진중에 있으며, 수요자의 요구에 따라 감시항목을 추가하는 방식으로 개발을 추진중에 있다. 상기 8항목중 기본적인 6개항목에 대해서는 다음과 같은 방식으로 개발을 진행하고 있다.



(그림 1) GIS 예방 진단 시스템 Layout

나. CB, HSGS 동작특성

보조접점에 의한 진단방식을 채택했다.

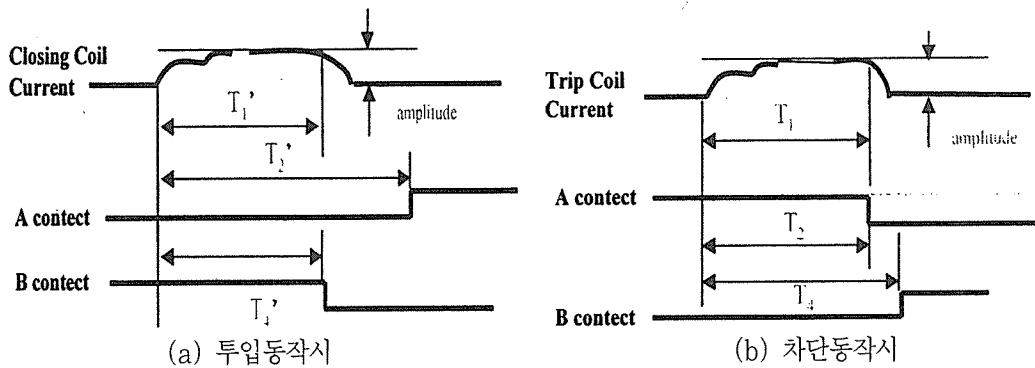
800kV GIS용 CB 및 HSGS의 조작방식은 유압조작방식이며, 특성은 속도 및 개폐 동작시간으로 규정되고 있다. 이와같은 동작특성을 그대로 진단항목으로 하는 광슬릿식 진단방식이 일본의 메이커에 의해 제안되고 있지만, 고신뢰도의 설비 추가 부담과 장기 신뢰성 미확인의 관점에서 당사는 간단한 추가설비로 진단이 가능한 보조 CT와

① CB 동작특성

제어회로에 추가설치된 보조 CT와 보조접점 a, b 접점의 동작시간을 관측하므로써, 차단부의 이상 유무를 감시한다. 그림 2 (a)는 투입동작시의 코일 전류크기, 지속시간, a 접점 동작시간, b 접점 동작시간의 항목으로 진단이 가능함을 보여주고 있다. (b)는 차단동작시의 진단항목을 보여주고 있다.

<표 1> 800kV GIS 진단항목(효성안)

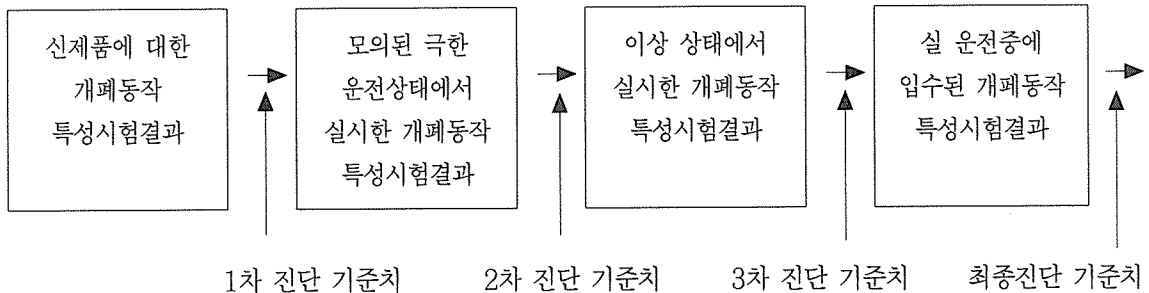
구분	진 단 항 목		진 단 방 식	당사 개발품	경쟁사 1	경쟁사 2
					HITACHI	ALSTOM
1	동작 특성	CB 개폐특성	CT + Aux. 접점	채용	채용	채용
			CT + 광 slit	-	채용	-
		코일단선 유무	미소전류 순환센서	채용	-	-
		DC 전원 이상	Voltage Divider	채용	-	-
		모타 이상유무	회로 접점	채용	채용	
2	절연특성(부분방전)		내장 UHF 센서	채용	채용	채용
			접지 CT	-	채용	-
			AE, AC 센서	고려중	채용	채용
3	피뢰기	열화특성	접지선 CT	채용	채용	-
		동작 전류	고주파 CT	-	채용	-
4	가스기밀 특성		반도체 압력센서	-	채용	-
			가스밀도 측정센서	채용	-	채용
			가스품질 측정센서	-	-	채용
5	고장점 위치확인		SP - relay	-	채용	-
			접지선 CT	-	채용	-
			분해가스센서	채용	-	-
6	제어시스템의 디지털		Optical CT/PT	채용	채용	채용
진단 기준치 및 알고리즘				보유	보유	보유



(그림 2) 동작특성 진단 항목

상기 진단방식으로 측정한 측정값을 판단해주는 기준치가 필요한데, 이 기준치는 그림 3과 같은 방식으로 결정되어진다. 그림 4는 신제품에 대해 정격조건에서 실시한 투입 동작시의 동작특성 결과를 보여준다. $\Delta T_2'$ 와 $\Delta T_4'$ 는 각각 0.5ms 이내임을 알 수 있다. 2차 진단 기준치는 모의된 극한 운전상태에서 실시한 개폐동작 특성시험에서

얻어지는데, 차단동작시 얻어진 T_2 와 T_4 에 대해 그림 5에서 보여주고 있다. 3차 진단 기준치가 내장된 진단 알고리즘이 장착되어 현장에 설치되어 지는데, 투입동작시의 결과를 그림 6에서 보여주고 있다. 이상과 같은 시험결과를 바탕으로 진단 기준치 및 이상시의 점검부위등이 입력된 진단 알고리즘이 현장에 설치되어진다.

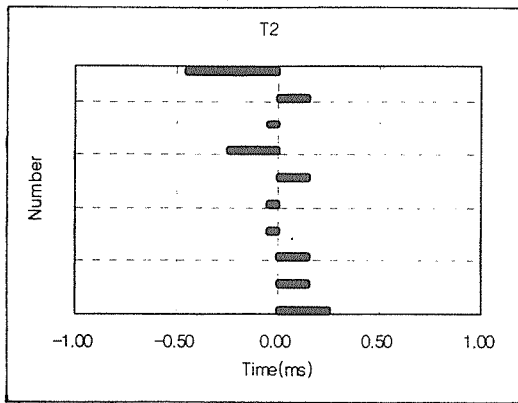


(그림 3) 진단 기준치 작성 순서

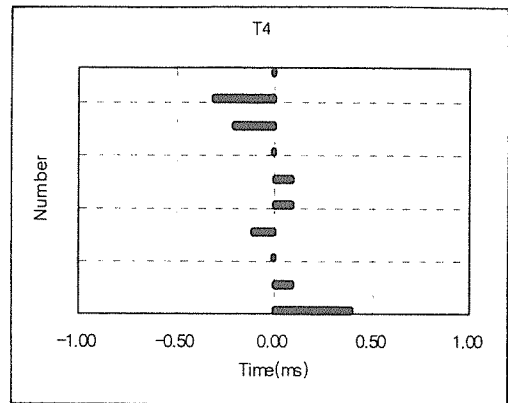
② HSGS

HSGS의 경우도 CB와 동일하게 제어회로에 추가설치된 보조 CT와 보조점접 a, b 점접의 동작 시간을 관측하여 개폐특성의 이상유무를 감시한다. 그러나 국내 전력계통에는 아직 HSGS의 설치가 이루어져 있지 않기 때문에 동작특성을 진단하기

위해서는 먼저 1단계로 공장에서 HSGS에 대한 제어전류치, 제어전류 인가 시간, a, b 점접의 동작시간에 대한 1차 기준치를 확보하는 연구가 필요하고, 추가로 2, 3 최종 진단 기준치 결정작업이 필요하다. 본 논문에서는 1차 진단 기준치를 연말에 설치 예정으로 현재 공장시험이 완료된

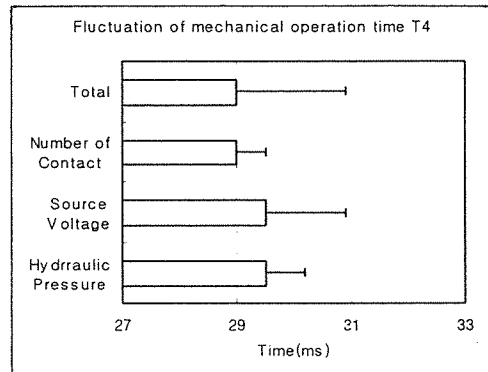
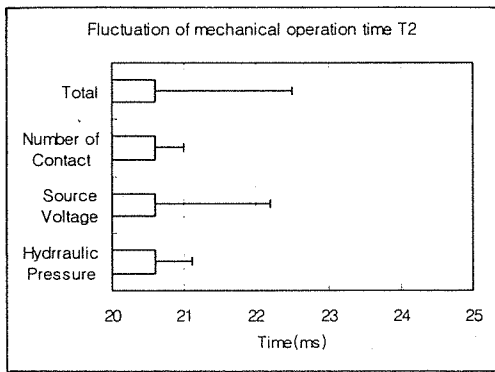


(a) $\Delta T2' \leq \pm 0.5\text{ms}$



(b) $\Delta T4' \leq \pm 0.5\text{ms}$

(그림 4) 투입동작시 동작시간

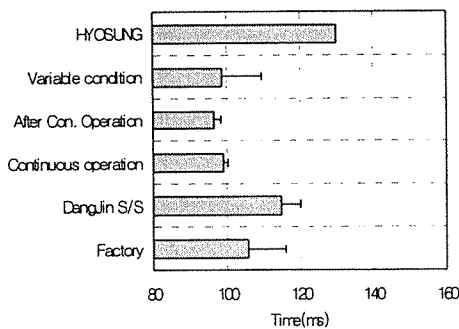


(그림 5) 차단동작시 동작시간

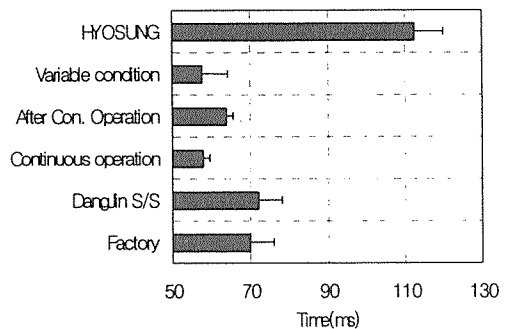
신서산 변전소용 HSGS에 대한 공장시험결과를 보고한다. 그림 7은 신서산 변전소용 HSGS(85 HIES의 A, B, C상)의 차단동작 10회시 얻은 a, b 접점의 동작시간 ΔT 를 보여주고 있다. CB보다

ΔT 가 큰 이유는 상간의 거리차가 포함되어 있기 때문이다. 이 결과로부터 열화가 진행되지 않은 초기상태의 1차 진단 기준치 범위를 결정할 수 있게 되었다.

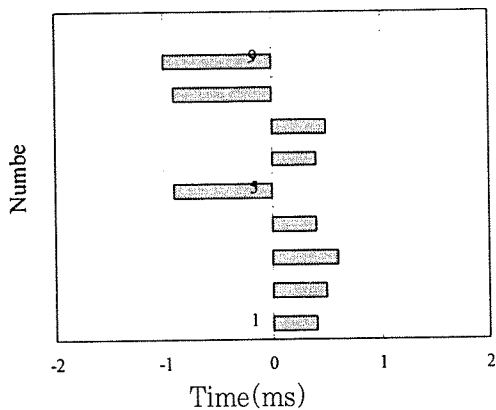
Standard of operation time T2 in 800kV GIS



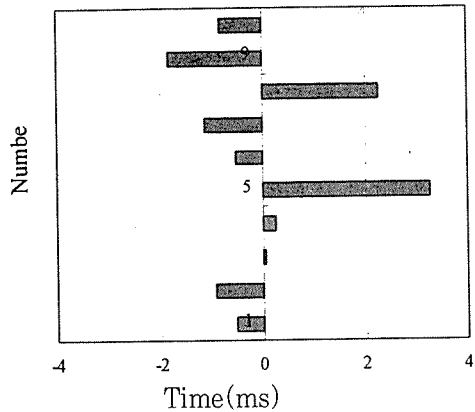
Standard of operation time T4 in 800kV GIS



(그림 6) 투입동작시 3차 진단 기준치



(a) $\Delta T2' \leq \pm 0.5\text{ms}$



(b) $\Delta T4' \leq \pm 0.5\text{ms}$

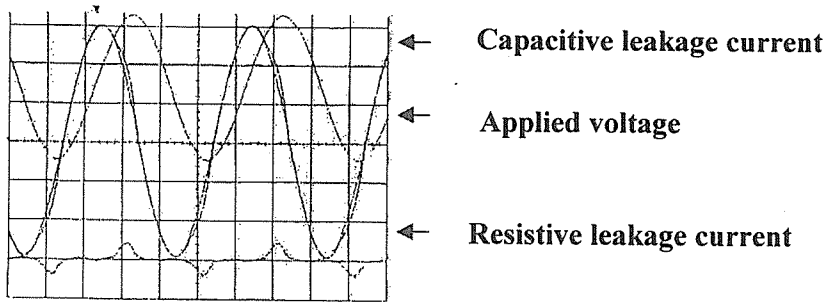
(그림 7) 차단동작시 동작시간

다. 피뢰기 열화 특성

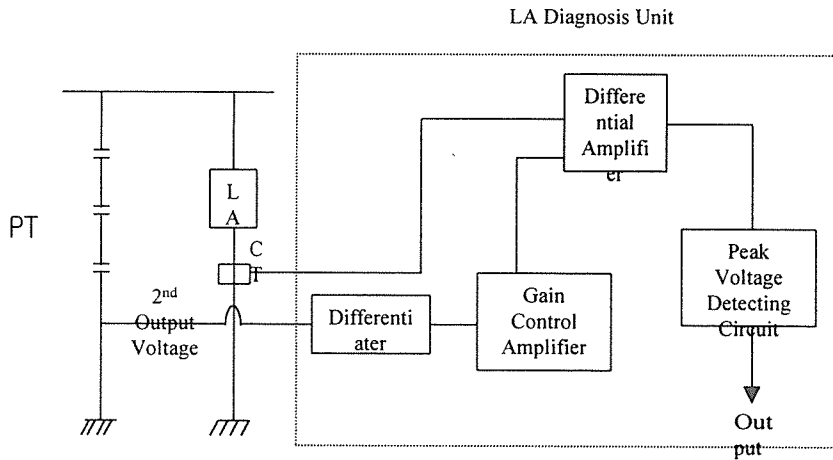
일반적으로 Gapless metal-oxide 피뢰기의 열화 상태를 감시진단하는 방법으로는 써지 카운터, 모니터링 스파크 gap, 온도측정, 누설전류 측정등이 발표되고 있으며, 그중 누설전류 측정이 가장 우수하게 피뢰기의 열화 상태를 On-line으로 감시/진단 할 수 있는 방법으로 알려져 있다. 교류 누설전류는 거의 대다수를 차지하는 용량성 부분과 현저하게 작은 저항성부분으로 나뉘어져 있다. 완제품 피뢰기의 연속운전 전압(Uc)이 인가 되었을 때, metal-oxide 저항체의 누설전류에 대한 전형적인 시험실 측정예를 그림 8에서 보여주고 있다. 피뢰기의 열화가 진행되면 용량성 부분은 거의 증가하지 않고, 저항분 누설전류량만 증가하기 때문에 일반적으로 피뢰기 열화 상태는 직접 저항분 누설전류 측정으로 확인되어지거나, 저항분 크기에 비례하여 증가되는 누설전류의 고조파분 측

정으로 확인되어진다.

800kV GIS용 피뢰기는 SF₆ 가스가 내장된 탱크형 피뢰기로 이 피뢰기에 대한 열화특성을 피뢰기 소자의 열화에 따른 누설전류량 변화를 이용하여 진단하고자 한다. 앞서 설명한 바와 같이 피뢰기 소자의 열화에 따른 누설전류량 변화는 크게 1) 저항분 누설전류량, 2) 고조파 누설전류량 측정 방식의 두 방식이 제안되고 있는데, On-line 시스템 구축시에 1)은 측정회로가 복잡하고, 2)는 측정 데이터 해석이 복잡하다는 어려움을 갖고 있다. 또한 두 방식 모두 온도보상이 필요하다. 이것은 해당 피뢰기의 특성에 따라 결정될 사항이므로, 당사는 현재 800kV GIS용 피뢰기에 대해 상기 두 방식의 적합성 우위를 시험하고 있다. 1차적으로 측정된 저항분 누설전류량은 수백 μA 정도이고, 진단 기준치는 1mA 이하로 규정할 수 있었다. 그림 9는 저항분 누설전류 측정장치의 개략도를 보여주고 있다.



(그림 8) 시험실에서 측정된 비선형 메탈 옥사이드 저항체의 전형적인 누설전류



(그림 9) 저항분 누설전류 측정장치

라. 가스기밀 특성

SF₆ 가스가 5~6kgf/cm²으로 충전되어 있는 GIS의 어느 일부분에 가스누기가 발생하면, 이는 바로 절연사고로 직결되는 문제이므로 상시 감시가 필요하다. 가스기밀은 온도보상이 필요없는 Gas density transducer와 온도보상이 필요한 Gas pressure transducer로 가스압을 상시 감시하는 시스템 구성이 일반적이는데, 당사에서는 경제성을 고려해 Gas pressure transducer로 선택하였다. 또한, Gas pressure transducer는 내부지락 사

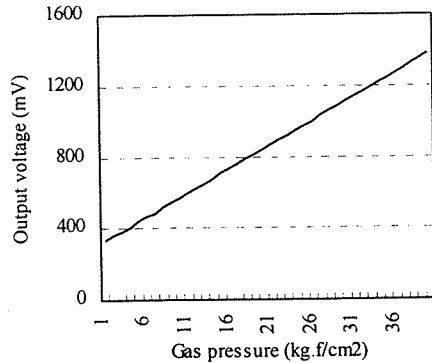
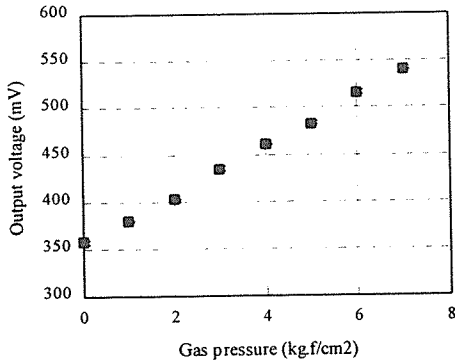
고시 아크열에 의한 압력상승을 측정할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 그림 10은 선택된 Gas pressure transducer로부터 얻어진 가스압과 출력신호와의 선형적 관계를 보여주고 있으며, 이를 통하여 진단 알고리즘을 작성할 수 있었다.

마. 절연특성(부분방전)

GIS의 부분방전에 대해서는 내장 UHF 센서, 가속도 센서, 초음파 센서, 접지선 센서등을 이용한 여러 연구결과가 보고되고 있지만, 변전소 현장

에서의 노이즈문제 때문에 센서로부터 얻어진 신호해석에 상당히 곤란을 겪고 있다. 당사도 여러방식을 검토한 결과, 변전소 현장 노이즈와 구별되는 주파수를 갖는 부분방전 신호를 얻기 위해 최종적으로 내장 UHF 센서를 선정하였다. 그러나, 시제품에서는 UHF 센서 이외에 보조로 초음파 센서를 이용하여 GIS의 절연성능을 감시/진단 하고자

한다. UHF 센서 신호는 디지털 필터방식의 노이즈 제거 기술을 활용하여 부분방전량을 측정하고자 한다. 측정된 PD 신호는 UHF 대역(300MHz - 3GHz)에서 검출되었으며, 발생부위에 따라 서로 다른 주파수 특성을 보여주고 있다. 그 결과에 대해서는 다음 기회에 정리하여 보고하도록 하겠다.



(그림 10) 가스압과 Gas pressure transducer의 출력신호와의 선형적 관계

바. 고장점 표정

GIS의 내부지락사고 발생시, 고장부위를 신속히 확인하여 복구할 목적으로 고장점 위치확인 시스템 구축이 필요하다. 일반적으로 고장점 표정 방법은 ①아크열에 의한 압력 측정, ②아크광에 의한 빛 측정(Photo detector), ③아크열에 반응하는 도료 도장, ④아크에 의해 발생하는 초음파 측정, ⑤아크에 의해 발생하는 분해가스와의 반응이 있다. 당사는 ⑤의 방식을 채택, 내부 지락사고시 발생하는 분해가스에 반응하는 HF 분해가스 센서를 적용하였다. HF 분해가스 센서는 고체 전해질 화학 센서로 SF₆가스의 분해가스인 HF 성분에 반응하는 센서로 수명상의 문제점을 가지고 있다. 이에 비해, 반도체식 분해가 tm센서는 수명상의 문제점을 해결한다는 장점이 있어 현재 외부기관에서

HF 성분에 반응하는 센서가 개발중에 있다.

3. 결론

본 논문에서는 당사에서 추진중인 800kV 변전기기 예방진단 시스템 개발에 있어서 GIS 항목에 대한 열화 진단 알고리즘 분야의 연구결과를 보고했다. 먼저 전반적인 지능형 진단 시스템의 개념에 대해 언급한 후 1), 2)항목에 대해 구체적인 사양 및 개발상황에 대해 서술했다. 특히, 동작특성에 대해 수행된 진단 알고리즘 연구 결과와 가스 기밀진단 알고리즘 연구결과를 보고했다.

현재 잔여 진단항목에 대해서도 지속적인 연구가 진행되고 있으며, 2000년 말을 목표로 연구에 박차를 가하고 있다.

참고문헌

1. T. Sakakibara, H. maehara, S. Maruyama, A. kobaysahi, S. Kuninori, "Reliability verification of system applying a microprocessor in a high-voltage gas insulated substation", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 13, No. 4, 1105-1113, 1998
2. Endre Mikes, "State of the art high voltage switchgear : Availability, reliability, Functionality and condition based maintenance aspects of circuit breakers with spring mechanism", CLDEM, 1996
3. V. Rees, M. Burgard, G. Krutmann, B. Feuchter, "Advanced digital control and monitoring of gas insulated switchgear(GIS)", CIGRE 2000, session paper 23/39-08
4. Asle Schel, "Diagnostic techniques for surge arresters with main reference to on-line measurement of resistive leakage current of matal-oxide arresters", CIGRE 2000, session paper P1-05

