

## GIS의 열화진단



**임기조**

충북대학교 전기공학과 교수  
주관심분야: 절연, 유전물성 및 응용, 절연진단, 압전모터, EL



**박영국**

충북대학교 대학원 전기공학과  
주관심분야: 절연기술, 절연진단, 부분방전



**장동욱**

충북대학교 대학원 전기공학과  
주관심분야: 절연진단, 절연설계

GIS는 모선 및 개폐기기를 축소화하여 변전설비 전체를 compact하게 할 수 있다는 장점이 있다. 특히, 변전설비의 compact화가 요구되고 있으며, 환경과의 조화, 고신뢰성, 안전성, 省力화 등의 요구에 따라서 급속하게 GIS화가 진행되고 있다. 최근, 차단기, 단로기, 계기용 변성기, 접속도체 등을 금속용기에 취부하고, SF<sub>6</sub> 가스를 주입시킨 큐비클형 GIS가 출현하고 있다. 차단기로서는 가스 차단기, 또는 진공차단기가 이용되고 있다.

GIS의 절연구조는 SF<sub>6</sub> 가스갭, 스페이서의 내부 및 연면, 스페이서와 전극 및 가스와의 3중점 등으로 되어 있으며, 초고압변전소의 경우 그 크기가 종래의 약 1/20까지 축소됨으로써, 설계 전계치가 크게되고 미소결함이 존재할 경우 코로나 및 부분방전 등 고전압 특유의 현상이 나타난다. GIS의 설계시에는 1)절연성능, 2)통전성능, 3)tank성능, 4)접지방식과 개폐써지, 5)자연환경에 대한 배려, 6)절연진단법 등 고려해야 할 사항이 많다.<sup>1,2)</sup>

### 1. 이상 진단의 메카니즘

GIS의 이상 진전을 살펴보면, 통상의 운전조작에 따라서 발생하는 열화와 제조, 취부단계에서의 불완전성이 그 당시의 시험검사에서는 검출되지 않았으나, 이상 상태를 내포한 상태로 운전에 들어가선 장기간의 운전조작에

의해 심화되는 이상으로 대별할 수 있다. 각종 이상의 사고·장해의 진전상황을 그림 1에 나타내었다.

GIS의 경년 열화의 부위로는 ①접촉부(소모, 마찰), ②SF<sub>6</sub> 가스(수분, 분해생성물), ③절연물, ④가스킷 등의 기밀 재료 ⑤윤활 재료 ⑥제어회로부분(압력 스위치, 밀도 스위치, 리미트 스위치, 릴레이 등)이 있다. 또, 이상의 원인으로 다음과 같은 것이 있다.

- ① 각종 도체, 나사류가 느슨해지거나 탈락, 조작 진동에 의한 부품의 탈락
- ② 금속용기 내부의 미소 금속이물의 잔존
- ③ 제조, 시공단계에서의 용접이나 납땜 불량
- ④ 조작 기구부 불량

### 2. 진단기술·자동감시 기술

각종 이상의 진조현상을 검출하는 외부 진단기술이 여러방면에서 연구되어, 다양한 방법들이 제안되어 있다. GIS의 이상 진조현상과 효과적인 검출기술에 관하여 정리하면 표 1과 같다. 예를 들면, 내부에서 도체가 느슨해지거나 하여 접촉불량이 있다면 [부분방전→부분방전에 의한 절연성능의 저하→절연파괴]에 달하는 모드를 생각해 볼 수 있고, 이 과정에서 음, 진동, 분해가스가 발생한다.

심각한 이상 상태에 도달하기 전에 이상을 포착하기 위해서는

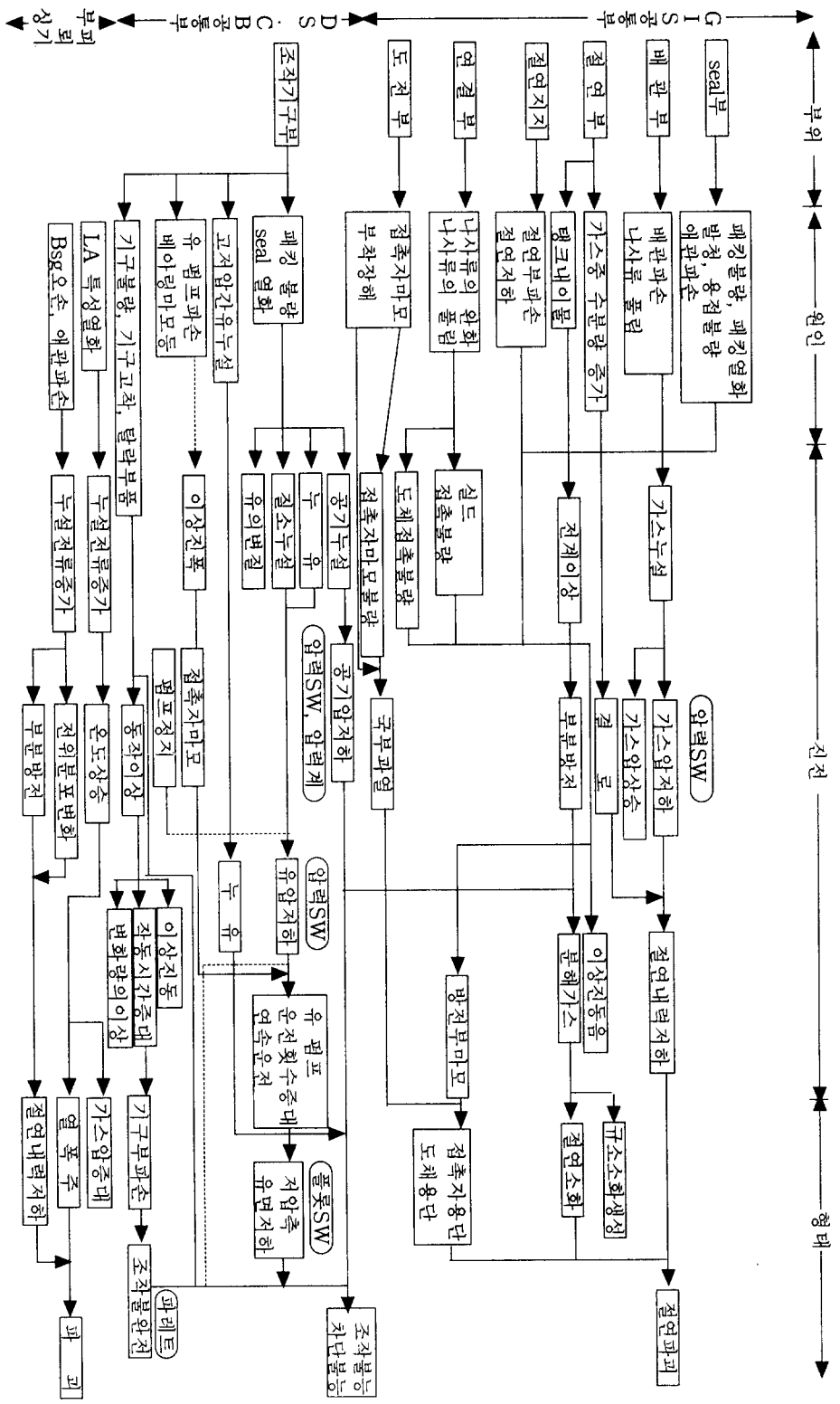


그림 1. GIS의 사고·장해 진단과정

결함이 경미한 단계에서 검출되어야 하지만, 신호검출의 가능성과 감시 항목수를 고려할 때, 어느 정도 이상이 진전하였을 때가 결함을 검출하기 쉬운가를 정하고 검출하는 것이 현실적이다.

아래에서는 ①GIS의 절연성능, ②도체접촉부의 통전성능, ③개폐기의 개폐성능, ④고장 지점의 검출기술 등의 4가지 항목에 대하여 외부진단기술 및 자동감시기술을 소개한다.

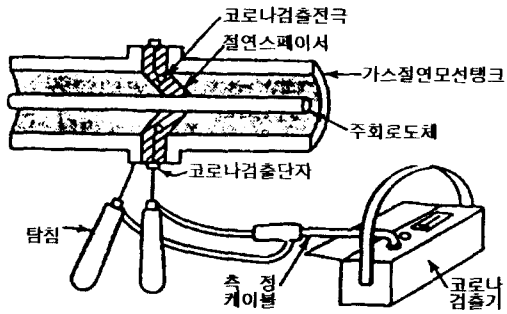


그림 2. 코로나 검출기에 의한 측정

### 3. 절연성능의 진단

#### 3.1. 부분방전 검출에 의한 절연성능 진단

##### (1) 전기적인 검출법

① 절연스페이서법 : 그림 2에 나타낸 바와 같이 GIS의 절연스

페이서내에 취부한 전극과 탱크·플랜지부에 측정용 탐침을 접촉하여, 부분방전 펄스를 검출하고, 지시계로 관측하는 기법이다. 오실로스코프에 의한 정밀한 펄스파형의 관측에 의하여, 부분방전의 발생부위의 추정도 가능하다.<sup>2)</sup>

② 탱크외벽검출법 : 그림 3과

같이 GIS내부에서 부분방전이 발생할 때, 탱크와 대지간에 발생하는 미소한 전위차를 고주파 광대역 Probe에 의하여 검출하여, 개별 파형 잡음제거회로로서 노이즈를 처리하고, GIS내부 부분방전을 검출한다. 절연스페이서법, 탱크외벽 검출법에서는 측

표 1. GIS의 감시항목과 측정

항목	감시할 현상	측정장치	정기검사시		이상시
			ON-Line	OFF-Line	
절연기능	내부 부분방전 이상음(파) 가스압저하	코로나 검출기	○		○
		Sonic센서(금속이물검출)	○		○
		밀도 스위치	○	○	○
	가스중 수분증가 가스분해	가스 누설 검출기	○	○	○
		수분계	○	○	○
		가스센서			○
		자동가스분석장치			○
	절연저항저하 지락	절연저항계		○	○
		충격압력검출기			
		진동검출기			
지락전류검출기					
누설전류증가	누설전류측정기		○	○	
통전성능	온도상승증대 가스압상승	온도계			○
		압력계	○		○
	주회로저항증가 접촉상태불량 (전극소모량)	주회로저항계		○	○
		코로나 검출기			○
		X선진단법			○
기계적 성능	개폐시간증대 가동부의 마찰력	개폐시간측정기		○	○
		저속구동법			○
	/느슨함 증대 동작횟수과잉 구조변형·부품의 결함 유면저하	X선진단법			○
		횡수계	○	○	○
		X선진단법			○
유면계	○	○	○		

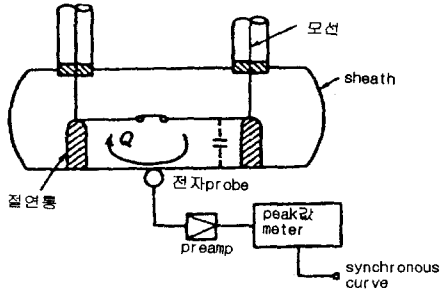


그림 3. 전자 probe법에 의한 부분 방전 검출기의 block diagram

정기가 소형, 경량, 휴대형으로 운전중에도 간단하게 적용할 수 있다.<sup>3)</sup>

③전자(電磁)coupling법 : 그림 4와 같이 접지선에 흐르는 상용 주파전류에 중첩된 고조파 펄스를 접지선에 연결된 ferrite core와 코일에 의해서 검출하고, 부분방전 주파수대만을 선택 증폭하는 방법이다.

④ GPT법 : 그림 5와 같이 모션 PT 일차 권선에 표유 커패시턴스를 삽입하고 흐르는 펄스 전류를 search coil에 의해서 검출하고, 코로나 측정기에 의해서 측정하는 방법이다.<sup>4)</sup>

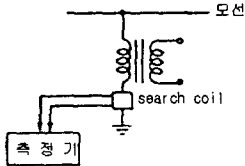


그림 5. GPT법

(2)기계적·잡음 검출법

GIS내부의 부분방전에 의한 기계적인 미소진동을 탱크외벽에 취부한 고감도의 진동가속도계로 검출하는 방법이다. 가속도계로 검출한 신호는 평균화 처리 등에 의하여 노이즈를 제거하고 부분방전에 의한 진동가속도를 식별

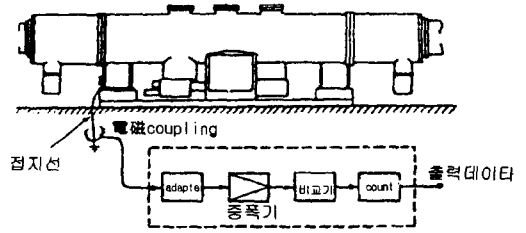


그림 4. 전자 coupling법에 의한 부분방전 검출기법

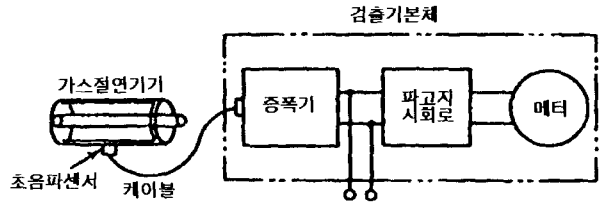


그림 6. 초음파 검출기법

한다.

GIS 탱크내의 미소 금속이물이 존재하는 경우, 이물은 탱크내표면의 전계에 대응한 정전력을 받아 이동하고, 탱크내표면과 충돌한다. 이때, 그림 6과 같이 탱크벽에서 발생하는 미소한 초음파를 검출하는 방법이 있다.<sup>5)</sup>

(3)화학적 검출법 - 정색반응법 (간이 가스분석법)

GIS내부에서 부분방전이 발생하면, 미량의 SF<sub>6</sub> 분해가스도 발생한다. 이 분해가스량을 간편하게 인지하는 방법으로 정색반응

법을 이용한 그림 7과 같은 분해 가스 검출장치(Gas checker)가 있다. 분해가스에 의하여 검출소자가 변색하고, 이 변색길로부터 분해가스 농도를 알 수 있다. 또, 변전소에서의 정밀한 가스분석을 위하여, 휴대형의 가스 크로마토그래피도 있다. 한편, 이 분해가스량과 부분방전량 사이의 일정한 관계가 있기 때문에 변색길으로부터 그 부분방전량을 추정할 수 있다.<sup>6)</sup>

(4)광학적 검출법 - 광전자배증관(光電子倍增管)

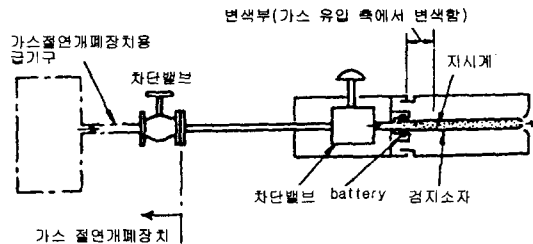


그림 7. 간이분해가스 검출기의 구조 예

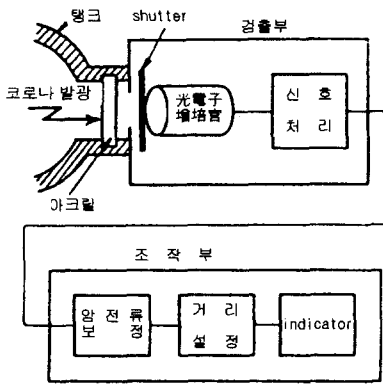


그림 8. 광학적 검출법의 예

그림 8과 같이 부분방전에 의한 발광을 광전자배관 등으로 검출하는 방법이 있다.<sup>5,7)</sup>

### 3.2 통전성능 이상의 진단

내부도체의 통전성능 이상에 의한 국부과열과 탱크나 절연체 표면의 온도변화에 의해서 검출하는 방법이 있다. 이것은 적외선 카메라에 의한 비교화상으로부터 온도분포의 패턴을 구하여 국부과열의 위치와 온도를 추정하는 방법으로 실제의 기기에 적용되고 있다.

한편, 현장에서 GIS내부의 접촉자의 상태와 취부된 나사류의 느슨함,

셴드등 내부 구조물의 탈락이상 등을 조사하는 방법으로써, X선 촬영에 의한 내부투시법이 실용화되어 있다. 내부 투시를 보다 명확하게 하기 위하여 접촉자의 주변에 X선 흡수율이 높은 재료를 배치하는 방법 등에 대한 연구가 행해지고 있다.<sup>8)</sup>

### 3.3 개폐성능 이상의 진단

개폐기기는 통상 정지되어 있기 때문에 그 개폐성능의 이상 검출은 어렵지만, 이 장애의 발생률은 매우 중요한 진단항목이다. 개폐기기의 특성상, 개폐기기의 동작시간을 측정하여 이상을 판별하는 방법을 행할 수 없다.

표 2. 지락점의 추정방법

검출현상	원리	적용센서	특징·문제점 등
사고에 따른 전류의 검출	주회로에 흐르는 전류의 방향, 접지선에 흐르는 전류등을 계측함.	· CT · 광CT · 씨치코일 · 자계센서	· 주회로의 전류를 측정하기 위해 다수의 CT가 필요. · 시스전류의 방향을 측정하는 방법도 있음. · 접지선 전류방식에서는 GIS의 각구획을 일점접지하여야함. · 3상일괄 GIS의 상간단락사고는 검출감도가 낮음 · 공간적인 분해능은 CT의 설치간격에 의존함.
충격적인 압력의 검출	아크의 발생에 따른 충격적인 압력상승을 검출함.	· SP릴레이 · 벨로즈방식 · 플로트방식 · 광압력계방식	· 가스 구분단위의 표정이 행해져야함. · 가스용기가 작은 구획에서는 압력상승이 높아 측정이 용이.
아크 광의 검출	아크에 의한 발광을 검출	· 검광소자 · 형광파이버센서	· 검광소자를 다수설치하면, 가스구분단위보다 높은 정도의 분해능이 가능함. · 검광소자를 가스공간에 설치하는 등, 가스중에 취부해야할 필요가 있음.
용기벽 진동의 검출	아크압력, 전자진동 등에 의한 용기벽진동의 검출	· AE센서 · 진동센서 · 압전소자 · 광진동계	· 진동의 크기, 진동개시 시간지연등의 비교에 의하여 사고점의 위치를 추정. · 분해능은 센서의 취부간격에 의해 결정됨.
분해 가스의 검출	아크에 의한 분해가스를 검출.	· 가스체크 (시약정색반응)	· 코로나, 국부과열 등에 의한 분해가스를 측정하기 때문에 저전류의 아크의 추정에는 주의가 요구됨. · 가스 구분단위의 추정이 불가.
용기벽 온도상승의 검출	아크가 주행한 용기벽의 온도상승을 검출.	· 적외선카메라 · 씨모뷰어 · 온도센서	· 사고발생 직후에 계측할 필요가 있음. · 주행속도의 차이가 온도상승의 차이로 나타나므로 주의요망. · 3상일괄 GIS의 상간단락사고는 감도가 낮음.

정기점검시 등과 같이 주접점의 개폐시간을 직접 측정할 수 있는 경우, 동작시간의 변화로부터 조작성능부와 가스중의 동작부분에서의 윤활불량, 변형과괴, 느슨함 등의 이상을 추정할 수 있다. 운전중의 경우에는, 주접점과 운동하는 보조접점의 개폐시간을 측정하여 대응할 수도 있다. 또, 동작시 마그네트 코일에 흐르는 제어 전류파형을 측정함으로써 마그네트부의 발청 등에 의한 동작불량을 검출하는 방법도 있다.

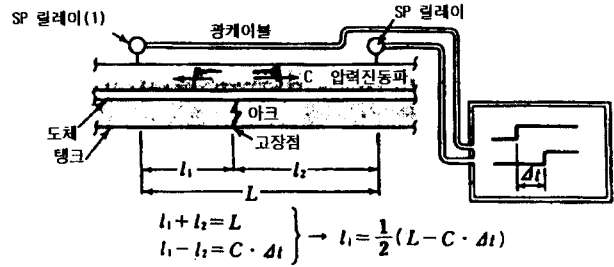


그림 9. 사고점 추정 원리

개폐 stroke측정에 의한 진단법은 정보량이 많고, 확실한 진단이 가능하기 때문에 현장에서 stroke를 용이하게 측정할 수 있는 구조가 연구되어 운전상태에서도 측정이 가능한 기기도 있다. 또, 차단기의 접점소모량 진단법에는 개폐성능과 차단전류정보와의 조합에 의한 누적차단전류감시를 실행함으로써 접점의 잔여수명을 추정하는 것도 가능하다.

### 3.4 GIS의 사고점 추정방법

일단 GIS의 내부에서 고장이 발생하면, 보호릴레이 시스템은 보호범위가 넓기 때문에 고장점을 추정하는 것이 어려운 경우가 있다. 따라서 고장지속시간을 극소화하기 위해서는 릴레이 시스템과는 별도의 고장점 추정수단이 요망된다. 지락(내부아크)에 대한 현상을 정리하면 표 2와 같다.

이들의 현상을 적당한 센서로 검출하고, 릴레이 정보와 조합하면, 효과적으로 지락점을 추정할 수 있다. 센서의 선택은 각각의 센싱방법의 특징과 GIS의 구성을 고려하는 것이 중요하다.

그림 9에 나타낸 바와 같이 내부아크에 의한 충격압력파의 도착시간차를 검출하여 고장점을

표 3. GIS 전조현상과 적용검출기술

고장사항	전조(발생)현상	적용검출기술	
절연성능에 관한 사항	코로나방전	코로나센서	
	이상음		
	가스압저하		가스압센서
	가스중수분증가		가스체크
	가스분해		LA누설전류센서
통전성능에 관한 사항	절연저항저하	내부온도센서	
	온도상승증대		
	주회로저항증대 · 접촉불량		
	가스압상승		
기계적인 성능에 관한 사항	전극소모증대	개폐센서	
	동작횟수과잉		
	구동계의 마찰력증대		
	구조변형		
지락검출에 관한 사항	지락전류발생	지락검출센서	
	지락광발생		
	충격압력발생		
	탱크표면고주파진동발생		

추정하는 방법도 있다. 이 방법은 추정원리로부터 알 수 있듯이 GIS의 모선에 다수의 충격압력과 릴레이(SP릴레이)를 배치하고, 최초로 신호가 도달하는 SP릴레이를 트리거로 하여 시간계측을 하여 고장점을 추정하는 방법이다. GIS의 각종 정보를 입력해 두면, 복구조작시의 판단에 유리하다.

### 3.5 자동감시 장치

사고를 미연에 방지하는 계측은 외부진단기술의 연장선상에 있으며, 연속적인 감시를 실시하여 그 변화경향으로부터 이상의 전조를 감지하는 것이 효과적이다. 현재의 기술수준을 정리하면 표 3과 같다.

## 4. 결 론

우수한 수법이 개발되고 필드

적용 데이터가 축적되면 운전 보수원의 부적절한 판단에 따른 사고를 줄일 수 있도록 전문가 시스템이 구축될 것이고 온라인 감시와 오프라인 감시를 적절히 조합하여 변전소 전체를 고도 관리할 수 있는 시스템도 출현될 것으로 생각된다.

외부진단기술로서 몇가지 방법은 실용화되어 소기의 성과를 얻고 있지만, 아직도 충분히 확립진동, 광, 분해가스 등을 측정하는 방법이 있으며, 특정 parameter나 측정장치의 선택방법에 따라서 외부진단 수법은 여러 가지 방법을 생각할 수 있다. 일반적으로 하나의 진단수법만으로 기기의 모든 상태를 진단한다는 것은 불가능하기 때문에, 각 수법의 효과, 감도 등을 고려하여 선정하되, 그 목적 기기상태에 대응할 수 있는 몇 개의 수법을 조합하여 종합적으로 판단하는 것이 필요하다.

앞으로는 더욱더 고신뢰화, 콤팩트화된 외부 진단기술의 연구·개발과 컴퓨터의 활용에 의하여 필요한 체크항목을 상시감시하는 시스템도 고려될 것이다. 이 경우 설계상 미리 구조상의 대처가 필요한가 아닌가에 대한 검사도 포함하고, 시스템 전체로서 신뢰성에 대한 검사도 필요하게 된다.

## 참 고 문 헌

1. 日本電氣學會, "GIS性能に配慮されている諸問題", pp94-101, 1984
2. Hyroyuki Watanabe, Tuneo Toda, Hirofumi Suzuki, Keiichi Kato and Kouzou Matuo, "Characteristics of Partial Discharge Sensors for GIS", pp1246-1251, IEE of Jappan, Vol.116-B, No.10, 1996.
3. J.S. Pearson, B.F. Hampton and A.G. Sellars, "A Continuous UHF Monitor for Gas-Insulated Substations", IEEE Trans. on Elect. Insul., Vol.26, No.3, pp469-478, 1991
4. W.Ziomek, H-D. Schlemper and K. Feer, "Computer Aided Recognition of Defects in GIS", Conference Record of the 1996 IEEE International Symposium on Elect. Insul., Vol.1, pp91-94, 1996
5. M.D. Judd, O. Farish and B.F. Hampton, "The Excitation of UHF Signals by Partial Discharges in GIS", IEEE Trans. on Elect. Insul., Vol.3, No.2, pp213-228, 1996
6. Han Xiaolian, Feng Youping, Qiu Yuchang, Zheng Xiaoguang

- and Chen Jinqing, "Partial Discharge and the Measurement in GIS", Conference Record of the 1996 IEEE International Symposium on Elect. Insul., Vol.1, pp83-86, 1996
7. D.F.Binns, A.H.Mufti, and N.H.Malik, "Optical Discharge Detection in SF<sub>6</sub>-insulated System", IEEE Trans. on Elect. Insul., Vol.25, No.2, pp405-414, 1990
8. H.Okubo, M.Yoshida, A.Suzuki, T.Kato, N.Hayakawa and M.Hikita, "Discrimination of Partial Discharge Type in SF<sub>6</sub> gas by Simultaneous Measurement of Current Waveform and Light Emission", Conference Record of the 1996 IEEE International Symposium on Elect. Insul., Vol.1, pp107-110, 1996
9. J.M. Braun, S. Rizztto, N. Fujimoto and G.L. Ford, "Modulation of Partial Discharge Activity in GIS Insulators by X-ray Irradiation", IEEE Trans. on Elect. Insul., Vol.26, No.3, pp460-468, 19916. F.Y.Chu, "SF<sub>6</sub> Decomposition in Gas-Insulated Equipment", IEEE Trans. on Elect. Insul., Vol.EI-21, pp693-725, 1986
10. Y. Takahashi, "Diagonostic Methods for Gas-Insulated Substations", IEEE Trans. on Elect. Insul., Vol.EI-21 No.6, pp1037-1043, 1986

< 이준호 위원 > < 김정태 위원 >