

현장실무자를 위한 설비진단 테크닉

전기는 응용하는 기술의 발달에는 실로 눈부신 바가 있다.
전기를 깨끗하고 안전한 에너지원으로써
또, 컴퓨터나 통신에 이용되는 정보전송의 매체로서
널리 사용되어 최근에는 광이나 초음파의 분야도 포함하여
설줄 모르는 진보를 계속하고 있다.
우리들은 그 전부를 볼수는 없으나, 미래기술이라는 거대한 양상에 대하여
비록 기술의 단편이라도 많이 모아 쌓이면 많은 참고가 될 것이다.
· 본고에서는 이를 위해 전 13장을 번역 게재할 예정이다.

글 씌는 순서

- | | | | |
|------------|---------------------|-------|-----------------------|
| 제1장 | 예지보존에의 기초기술 | 제 7 장 | 케이블 열화의 간이측정 |
| | · 이상예지를 위한 데이터 처리 | 제 8 장 | 롤러 베어링의 진단 테크닉 |
| | · 열화 프로세스에서의 이상예지 | 제 9 장 | 전력전자 기기의 수명예측 |
| 제2장 | 운전감시로 되는 상태의 추정 | 제10장 | 콘덴서 개폐와 보수유지 |
| | · 운전상태를 아는 테크닉 | 제11장 | 큐비클의 방식기술 |
| | · 이상 발생후의 상태진단 | 제12장 | 보전용 계기와 사용법 |
| 제3장 | 기기에 의한 외부진단 테크닉 | 제13장 | 센서에 사용되는 여러가지 성질과 활용법 |
| 제4장 | 가스절연기기의 내부진단 | | |
| 제5장 | 리모트 센싱에 의한 설비진단 | | |
| 제6장 | 변압기의 예지 보전 | | |

제4장 가스절연기기의 내부진단

역/대한전기기사협회

서 론

가스절연 개폐장치(Gas Insulated Switchgear)는 그의 주요 부분인 차단기, 단로기, 모선 등이 SF₆ 가스를 충전시킨 금속용기 속에 밀폐되어 있으므로 종래의 대기절연기기에 비하여 신뢰도가 높고 무보수 및 무점검으로 운전되는 일이 많다. 그러나 만일 고장이 발생하면 변전설비의 주요기기이기 때문에 그 영향은 크다. 따라서 이상의 발생을 빨리 발견하고 필요한 대책을 세워서 사고를 미연에 방지할 필요가 있다.

GIS의 고장은 대기절연기기와 비교하여 대단히 적으나 지금까지의 조사결과에 의하면 전체의 약 50%가 가스속에 내장된 부분의 고장이며 그 중에서 약 50%, 즉 전체의 약 1/4이 절연에 관계되는 고장이었다. 이것은 절연파괴사고 및 절연파괴사고와 연결될 염려가 있는 고장이며 이를 방지하는 것은 GIS에 대하여 중요한 과제이다. 여기서는 이 절연에 관계되는 전기적인 고장의 진단법에 대하여 설명한다.

1. 부분방전 검출에 의한 GIS의 내부진단

(1) 내부진단의 필요성

GIS는 그의 주요 부분이 금속용기 안에 밀폐되어

있으므로 대기절연기기와 같이 일상 점검할 때에 눈 점검으로서 적은 이상을 발견하여 큰 사고로 발전하는 것을 방지한다는 것은 어려운 일이다. 또한 정기 점검에서도 작업 조건이 좋지 않은 변전소 현장의 작업은 분해, 해체해서 내부를 점검하는 것은 쉬운 일이 아니며 수분이나 이물질이 혼합할 염려도 있으므로 가스 안의 부분에 대해서는 불필요한 내부점검을 피하고 무보수 및 무점검으로 운전되는 일이 많다. 따라서 만일의 고장을 방지하기 위해서는 금속용기 외측에서 내부를 진단하여 이상이 검출되면 필요한 대책을 세워야 한다.

(2) 부분방전에 의한 내부진단

정상적인 운전 상태에서는 GIS 내부에서 부분방전이 발생하는 일은 없다. 그러나 고전압 접촉부의 접촉불량이나 절연 스페이스의 결함 또는 금속 이물의 혼입 등이 있으면 부분방전이 발생한다. 77kV GIS 모델에서 이러한 모의고장을 발생시킨 경우에 부분방전의 크기를 <표1>에 나타낸다.

GIS 내부에서 부분방전이 발생하면 SF₆가스의 분해, 소리나 진동 및 빛의 발생과 금속용기의 전위가 상승하게 된다. 이러한 현상에 대하여 금속용기의 외부서부터 검출하는 방법을 화학적, 기계적, 광학적인 입장에서 광범위하게 검토하고 다음과 같은 전제하에서 검출장치를 개발하였다.

(i) 운전중인 GIS를 금속용기의 외부에서 간편하고

안전하게 진단할 수 있다.

(ii) 진단을 하기 위하여 구성 기기의 구조변경 등에 대한 설계변경을 하지 않는다.

(iii) 변전소의 노이즈 레벨 하에서도 측정할 수 있다.

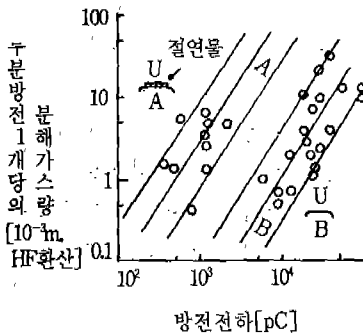
<표1> 77kV GIS 모델에 대한 모의고장과 방전전하

모 의 고 장	방전전하 [pC]	발생빈도 [pps]
(1) 접촉자의 접촉불량	10,000	1,000
(2) 절연스페이스에 대한 방전	11,000	600
(3) 이물의 혼입		
(a) 동 선	40	(간헐적)
(b) M 10 볼트	600	100
(4) 절연스페이스의 보이드방전	2,800	80

2 내부절연 진단장치

(1) 정색반응법(화학적 검출법)

(a) 검출원리 : GIS 내부에서 부분방전이 발생하면 SF₆가스는 도체나 금속용기 등과 같은 금속재료와 반응하여 미량의 SF₆가스가 생긴다. 이 SF₆는 대단히 활성이며 금속용기 안에 극히 미량으로 존재하는 수분과 반응하여 SOF₂, HF, SO₂ 등의 산성이고 활성 분해 가스를 생성한다. 부분방전의 방전전하와 분해 가스량의 관계를 <그림 1>에 나타낸다.



<그림 1> 부분방전 전하와 분해가스량

이러한 분해 가스를 검출하는 데는 과거부터 사용한 가스 크로마토그래프(gas chromatograph)에 의하여 가스 분석을 하고 있다. 그러나 이러한 측정은 시료 가스(sample gas)를 공장으로 가지고 가서 정밀측정장치에 의하여 측정해야 하며 또한 측정하는데 숙련을 필요로 하기 때문에 변전소 현장에서 측정하는 데는 적합하지 않다.

정색 반응법은 산성이고 활성 분해 가스에 의하여 청자색에서 황색으로 변색하는 정색반응 시약을 응용한 방법이며 검출장치는 소형이고 경량으로 취급도 간단하다.

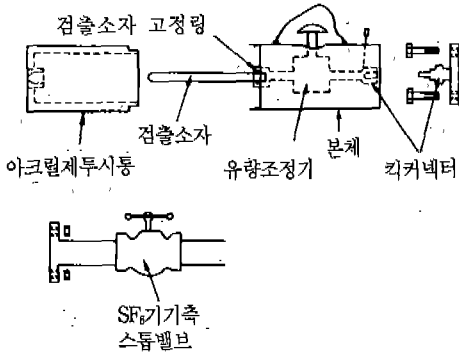
(b) 검출장치 : 검출장치의 구조도는 <그림2>와 같다. 검출장치는 검출소자(sensing element)와 이를 보존하고 내장하는 본체로 구성되어 있다. 검출소자는 정색반응 시약을 부착시킨 알루미나 분말(alumina powder)을 유리관에 봉입하고 있다. 본체는 GIS에 설치부, 유량 조정부, 검출소자 및 아크릴로 만든 투시통으로 구성되어 있다. GIS의 설치부에는 킥커넥터방식(quick connector type)이고 검출소자는 카트리즈방식(cartridge type)으로 취급은 간단하다.

(c) 측정방법 : 측정상황을 <그림3>에 나타내고 있다. 측정조작은 대단히 간단하다. 검출장치를 세트시킨 뒤에 GIS의 배관구에 설치한다. GIS의 배관구 및 검출장치 본체에 있는 유량조정기의 밸브를 열어서 검출소자에 시료 가스를 유량 5 l/분(대기압 환산)으로 6분 동안 합계 30 l를 보낸다.

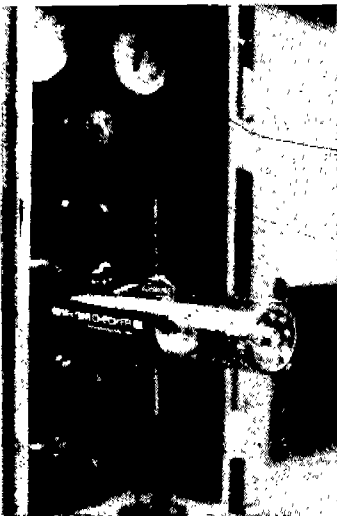
시료 가스 속에 산성이고 활성인 SF₆ 분해 가스가 존재하면 검출소자가 시료 가스의 유입측에서 서서히 변색한다. 그 변색 길이를 기본으로 하여 <그림4>에 나타낸 분해 가스의 농도와 검출소자의 변색 길이와의 관계에서 분해 가스의 농도를 구한다.

최소 검출감도는 0.63ppm이며 가스 크로마토그래프에 비하여 훨씬 높은 감도이며 IEC Publication 376 및 480에 규정되어 있다.

극히 미량의 SF₆ 분해 가스를 검출하는 고감도 측정법과 동일한 정도의 감도이다.



<그림 2> 가스 체커 구조도



<그림 3> 가스체커 측정상황

(2) 진동·이상음 검출법(기계적인 검출법)

(a) 검출원리 : GIS 내부에서 부분방전이 발생하면 진동이나 소리가 발생한다. 이 진동이나 소리는 절연물 또는 도체 등의 고체나 SF₆ 가스를 통하여 금속용기에 전달된다. 진동과 이상음의 검출법은 부분방전에 의한 금속용기벽의 진동을 압전형 진동기속도계로 검출하는 방법이다.

77kV GIS 모델에서 <표1>에 나타낸 모의고장을 발생시킨 경우에 방전전하와 금속용기의 벽에서 검출된 진동 가속도와와의 관계를 <그림5>에 나타내고 있다. 여기서 특징적인 것은 고장의 종류에 따라 진동을 전달하는 방법이 다르기 때문에 동일한 방전전하라도 고장의 종류에 따라 검출되는 진동 가속도에 차이가 있다는 것이다.

특히 미소한 금속조각과 같은 이물이 존재하고 그 진동이 직접 금속용기에 전달될 때에는 검출된 진동 가속도는 커진다. 또한 부분방전이 발생하지 않아도 전기(electric field)에 의하여 혼입한 이물이 진동하고 그 진동이 금속용기의 벽에 전달되는 경우에는 혼입한 이물을 검지할 수 있다.

(b) 검출장치 : 검출장치의 외관은 <그림6>과 같다. 검출된 신호는 미소하기 때문에 외부 잡음과 식별하는 것이 문제로 된다. 변전소의 노이즈에는 정상적으로 발생하고 있는 것으로서

- (가) 기기 자체의 정상적인 미소 진동
- (나) PT(Potential Transformer, 계기용 변압기) 및 주변기기의 여자진동(exciting vibration)

돌발적으로 발생하거나 상황이 항상 변화하는 것으로서

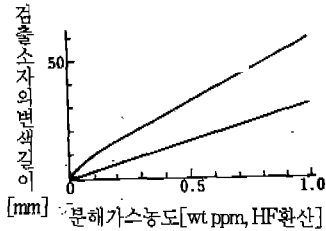
- (다) 가공선의 코로나 음
- (라) 주변의 작업소리 및 교통 소음
- (마) 비나 바람의 소리, 벌레나 새가 우는 소리 등이 있다.

이러한 외부 잡음과 부분방전에 의한 신호를 식별하기 위하여 다음과 같은 처리를 하고 있다.

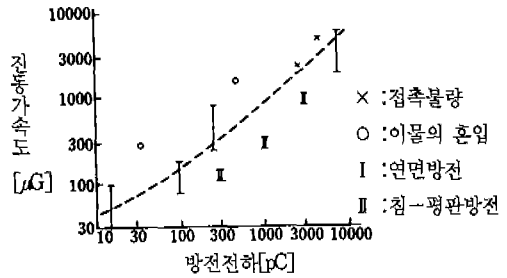
- (i) 기기의 정상적인 진동(위에 말한 (가),(나) 또는

(d) 특징 : 정색반응법의 특징을 종합해 보면 다음과 같이 된다.

- (i) 검출소자의 편색에 의하여 부분방전의 발생을 확실하게 검지할 수 있다.
- (ii) 대단히 간단한 측정조작이며 높은 감도로 측정된다.
- (iii) 외부 잡음의 영향을 받지 않는다.
- (iv) 검출장치는 소형이고 경량이며 휴대하기가 간편하다.



<그림 4> 정색반응법 검출소자의 검출감도



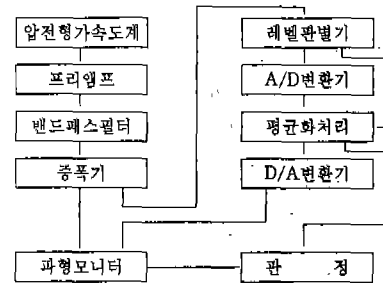
<그림 5> 방전전하와 금속용기의 진동가속도

소음 ((라), (마))의 저주파 성분 및 전기적인 노이즈의 고주파 성분을 대역여파기로 제거한다.

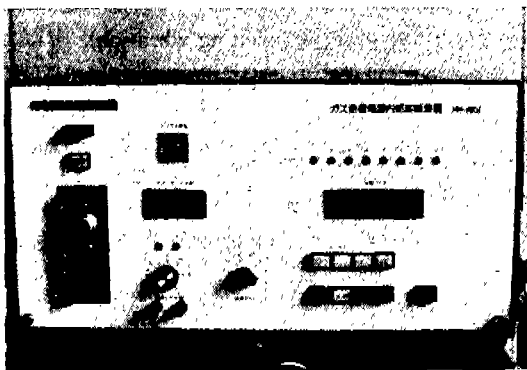
(ii) 입력신호의 레벨을 판별하고 일정한 레벨 이상의 신호는 노이즈로서 제거한다.

(iii) 입력신호를 디지털 변환하고 마이크로 컴퓨터를 사용하여 공시기(供試器)의 전원주파수에 동기(synchronism)시켜서 전원주파수의 2Hz사이 에 있는 파형을 반복 샘플링하고 검출파형을 가산해서 평균 처리한다. 처리의 블록도를 <그림7>에, 또한 가산 평균처리 전후의 파형을 <그림8>에 나타낸다.

전형파형에 동기하여 주기적으로 발생하는 신호파형은 가산 평균되어도 큰 값으로 되나 돌발적으로 발생하는 노이즈는 가산 평균되면 작은 값이 되어서 외부 노이즈의 영향은 저감된다.



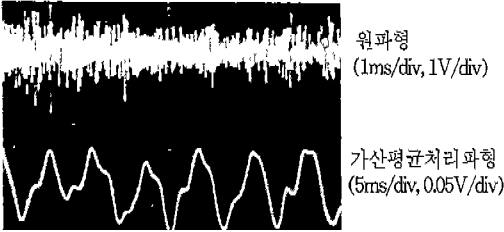
<그림 7> 진동·이상음검출법검출 장치 블록도



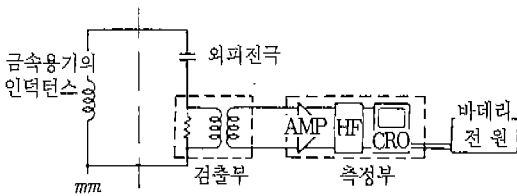
<그림8> 진동·이상음 검출장치

- (가) 공시기를 대지로부터 절연하여 시험할 수 있다.
- (나) 차폐실이나 필터 등의 설비에 의하여 외부 잡음을 저감시킬 수 있다.
- (다) 대형의 정밀측정기를 사용할 수 있다는 것으로 보아 부분방전의 정량적인 측정만이 아니고 발생위치도 추정할 수 있다. 그러나 변전소와 같은 현장에서는 이러한 조건을 기대할 수 없다. 외피 전극법은 종래의 부분방전 검출법을 변전소 등과 같은 현장의 시험용으로 개량한 방법이다.

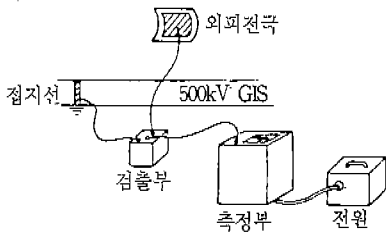
(a) 검출원리 : 측정법의 블록도를 <그림 9>에 나타내고 있다. GIS내부에서 부분방전이 발생하면 금속용기와 가설대 및 접지선으로 된 접지계에 고주파



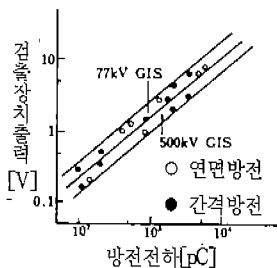
<그림8> 가산 평균처리 파형



<그림9> 외피전극법의 블록도



<그림10> 외피전극법 검출장치 구성도



<그림 11> 77kV, 500kV GIS모선에 대한 방전전하와 외피전극법 검출장치출력

전류가 흐르고 금속용기의 전위가 과도적으로 상승한다.

이러한 전위의 상승을 금속용기의 벽에 절연물을 거쳐서 붙인 전극(외피 전극)에 의하여 검출하는 방법이다.

(b) 검출장치 : 검출장치의 구성도는 <그림10>과 같다.

검출장치는 외피전극, 검출부, 측정부 및 전원부로 구성되어 있다. 장치는 소형이고 경량이며 휴대용 케이스에 넣어서 간단하게 가지고 다닐 수 있다. 각 부의 개요는 다음과 같다.

이와 같이 해서 가산 평균처리된 다음에 파형의 피크 값 또는 평균 값이 디지털로 표시된다.

또한 아날로그로 변환시켜서 파형의 주기성을 조사한다.

(c) 측정법 : 검출소자를 금속용기 벽에 왁스로 설치한다. 레벨 판별기의 레벨을 설정하여 샘플링을 하고 가산 평균처리한 다음에 파형의 피크 값 및 평균 값을 구한다. 이러한 측정을 기초로 하여 <그림5>에서 방전전하를 구한다.

1회 측정은 약 3분이며 최초 검출감도는 주위의 노이즈에 따라 변화하지만 50~200pC의 부분방전을 검출할 수 있다.

(d) 특징 : 진동과 이상음의 검출법에 대한 특징을 종합해 보면 다음과 같이 된다.

(i) 검출장치의 취급이 간단하며 숙련을 필요로 하지 않는다.

(ii) 측정결과가 디지털로 표시된다.

(iii) 검출소자의 설치위치를 변경 측정함으로써 부분방전의 발생위치도 추정할 수 있다.

(iv) 부분방전이 발생하지 않는 경우라도 미소한 금속 조각 등과 같은 혼입 이물의 존재를 검지할 수 있다.

(v) 마이크로 컴퓨터를 사용하여 검출 파형을 가산 평균처리하고 외부 잡음의 영향을 저감시키고 있으므로 변전소의 노이즈 레벨 하에서도 높은 감도로 측정할 수 있다.

(3) 외피전극법(전기적인 검출법)

고전압 전기기기의 절연성 시험으로서 부분방전시험은 광범위하게 실시되고 있다. 즉, 공장이나 실험실에서는

- (i) 외피전극은 폴리에틸렌 동판을 붙인 것이며 10cm×90cm의 띠 모양으로 된 것과 30cm×30cm의 정사각형으로 된 것이 있다.
- (ii) 검출부는 저항과 변성기로 구성된다.
- (iii) 측정부는 대역 증폭기(주파수 대역 10kHz~1MHz), 고역 여파기 및 오실로스코프로 되어 있으며 외피 전극과 검출부에서 검출한 부분방전의 신호를 증폭하고 전원주파수 성분을 제거시킨 뒤에 오실로스코프로 파형을 관측한다.
- (iv) 전원부는 충전식의 배터리 전원이다.

77kV 및 500kV GIS 모선에서 부분방전을 발생시킨 경우에 방전전하와 검출장치 출력의 관계를 <그림 11>에 나타내고 있다.

(c) 측정방법 : 77kV GIS에 대한 측정상황을 <그림 12>에 나타내고 있다. 측정조작은 간단하며 외피 전극을 금속용기의 벽에 붙이고 오실로스코프로 파크 값을 판독하고 <그림 11>에서 방전전하를 구한다.



<그림 12> 외피전극법 시험상황

1회의 측정은 약 3분이며 최소 검출감도는 현장 노이즈 레벨로 다르나 변전소 현장에서 시험한 결과로는 200~300pC이다.

(d) 특징 : 외피전극법의 특징을 종합해 보면 다음과 같이 된다.

- (i) 운전 중인 GIS에도 간편하고 또한 안전하게 적용된다.
- (ii) 부분방전을 전기신호로 직접 측정할 수 있다.
- (iii) 검출장치는 소형이고 경량이며 간단하게 휴대할 수 있다.
- (iv) 배터리 전원을 사용하고 있으므로 전원계통에서 외부 잡음의 영향을 받지 않는다.

(4) 광전자증배관법(광학적인 검출법)

부분방전에 의한 발광을 광전자 증배관으로 검출하는 방법이다. 이 방법은 외부 잡음의 영향을 받지 않는다는 이점이 있는데, 미리 GIS안에 검출소자를 설치해 두거나 금속용기의 벽에 수광창을 설치해 둘 필요가 있다. 이미 설치된 GIS에는 그대로 적용되지 않기 때문에 실제 기기에 적용하는 것은 앞으로의 과제이다.

3. 적용법

(1) GIS 보수점검의 현상

GIS는 수명에 대하여 다음과 같은 특징이 있으며 대기 절연기와 비교해서 수명이 길고 무보수와 무점점을 지향하고 있다.

- (i) 가스 부분은 수분이나 염분 또는 먼지 등에 의하여 오손되는 영향을 받지 않는 좋은 환경 아래 있다.
- (ii) SF₆가스의 우수한 소화성이나 절연능에서 접촉자 등의 장수명이 기대된다.
- (iii) 조작기구 등과 같이 금속용기외의 부분에 대해서도 단순화를 기할 수 있고 장수명이 기대된다.

그러나 현재의 상태로는 사용실적이 적기 때문에 조작기구 등과 같이 외기의 영향을 받는 부분, 접촉

자, 절연재료, 패킹수명 등의 데이터 축적을 목적으로 하여 종래의 기기와 동일하게 <표2>와 같은 점검을 시행하고 있다.

<표2> 보수점검의 종류와 내용

점검의 종류	내 용	주 기	
정기 점검	순시점검	사용상태대로 외부에서부터 이상 유무를 감시한다.	순 시 시
	보통점검	운전을 정지하고 각부기능의 확인, 유지를 목적으로 한다.	1회/3년
	세밀점검	기능회복을 주목적으로 하여 필요한 범위를 분해하고 마모부품의 교환, 조정, 손질을 한다.	1회/3년
	임시점검	이상이 인정된 경우 및 규정동작 회수에 도달한 경우에 필요하다고 인정된 기소를 점검한다.	필요하다고 인정될 때

(2) 보수관리업무에 적용

각 검출장치를 실제로 보수관리 업무에 적용할 때에는 <표3>과 같은 각 검출장치의 특징을 고려한 다음에 선택 또는 병용해서 사용하는 것이 바람직하다고 생각된다. 또한 앞으로 사용실적을 쌓아서 장치의 개량이나 판정기준의 명확화를 검토하고 다시 사용하기 쉬운 검출기와 신뢰성이 높은 예방진단기술로서 해 나갈 필요가 있다.

구체적인 적용법으로는 현재 상태에서 다음과 같은 방법이 적당하다고 생각된다.

<표3> 각 검출법의 실기적용성 비교

	정색 반응법	진동·이상음 검출법	외피 전극법	광전자증배관법
내진동 노이즈	◎	○	◎	◎
내전기 노이즈	◎	◎	○	◎
취급용 용도	◎	○	○	-
최소검출감도	약1,000pC	약 50 ~200pC	약200 ~300pC	약100 ~1000pC

◎ 대단히 우수하다.

○ 우수하다.

(i) 정색반응법

- 순시점검할 때의 발췌 검사
- 순시점검에서 이상이 인정된 경우의 검사

(ii) 진동과 이상음의 검출법 및 외피 전극법

- 보통점검 때에 정기적으로 검사
- 설치할 때와 분해 조립할 때의 검사
- 순시점검할 때에 이상이 인정된 경우의 정밀 검사

결 론

부분방진법에 의하여 운전중인 GIS의 내부진단법에 대해 설명하였다. GIS는 내부 이상이 인정되지 않는 한, 분해해서 내부를 점검하는 것을 피하는 것이 바람직하며 여기에서 소개한 내부진단법은 내부 이상유무를 판정하는 데 유효한 수단이며 GIS의 신뢰성을 향상시킬 것으로 기대된다.㉔

<다음호 계속……>

알 림

정부의 새생활·새질서운동 일환으로 국토대청소 활동 및 체육행사 관계로 당 협회 본부 및 서울 4개지부는 10월5일(토) 임시휴무를 합니다.