

= 電氣設備의 豫測保全 =

가스 絶緣開閉裝置의 外部診斷技術

大韓電氣協會

電氣技術情報센터 提供

變電機器는 전력계통에 있어서 電力의 安全供給에 대해서 중요한 責務를 담당하고 있지만 고도성장사회로부터 고도정보사회로의 사회적 변화에 의해 電力도 量의 시대로부터 安全供給을 지향하는 質의 시대로 변화해 나가고 있다. 이와 같은 상황에서 變電機器의 保全方法도 정기 점검을 중심으로 한 豫防保全으로부터 사고를 豫知하여 미연에 방지하는 豫測保全으로 변화해 가고 있다.

여기서는 그 豫測保全에 불가결한 외부진단 기술중 가스 絶緣開閉裝置에 관한 기술의 현상과 과제, 금후의 전망에 대해서 알아 보기로 한다.

가스 絶緣開閉裝置(이하 GIS라고 한다)의 異常診斷技術로서는 현재까지 많은 기술이 개발되어 있다. 이들 기술을 크게 나누어 보면 절연기

능 진단기술, 통전기능 진단기술, 개폐기능 진단기술의 세 종류로 대별된다.

絶緣機能 診斷技術은 내부 부분방전을 화학적, 기계적, 전기적 수법을 사용해서 검출하는 기술이며, 通電機能 診斷技術은 溫度上昇을 서모라벨, 서모 카메라 등으로 검출하는 기술이다. 그리고 開閉機能 診斷技術은 개폐특성을 개폐시간 센서 등으로 검출하는 기술이다.

여기서는 현재 주목을 받고 있는 絶緣機能 診斷技術(내부부분 방전검출기술)에 대해서 現狀에 있어서의 최신 기술의 예, 適用例 및 金후의 전망·과제에 대해서 記述하기로 한다.

1. 絶緣劣化現象

GIS는 주요 부품이 금속용기내에 수용되어 종래의 大氣絶緣機器와 같이 風雨나 汚損 등과

같은 환경의 영향을 받지 않으므로 본질적으로 고신뢰도 특성을 가지고 있으며 이제까지의 통계를 보더라도 GIS의 사고 발생률이 종래의 대기절연방식의 기기에 비해 작은 값으로 나타나 있다.

또한 GIS의 주요 絶緣物인 SF₆ 가스 및 에폭시系 注形絶緣物은 통상적인 사용조건에서는 거의 劣化를 고려할 필요가 없다고 할 수 있을 정도의 설계적 배려가 되고 있고 工場에서의 관리도 철저하기 때문에 통상상태에서의 절연열화 현상은 생각할 수 없다고 할 수 있다.

그러나 과거의 GIS에 있어서의 절연과피사고의 원인을 조사분석 해보면 절연과피에 이르는 과정에 있어서 절연과피의 前驅現象으로서의 部分放電發生의 가능성이 높으며 반수 이상이 부분방전 또는 그에 가까운 현상을 발생하고 있는 것으로 생각된다.

이것들의 원인으로서의 운반·조립시의 기계적 쇼크에 의한 크러크의 발생 또는 導電性 異物의 混入 등을 들 수 있다. 이것들이 원인되어 발생된 部分放電이 절연물에 악영향을 주고 최종적으로 절연과피에 이르는 것으로 판단된다.

이와 같은 部分放電劣化, 트리(Tree)의 進展이라는 면에서의 연구는 예전부터 많은 보고가 있는데 모두 긴 劣化期間 후에 短時間(수 분간~수 시간)에 급격히 부분방전전류가 증가하여 絶緣破壞에 이르는 것으로 보고되고 있다.

따라서 이 部分放電을 검출하면 内部異常을 검출할 수가 있어 事故를 미연에 방지할 수가 있다고 본다. 이러한 점에서 絶緣診斷裝置의 개발은 部分放電檢出裝置의 개발이라고 할 수 있다.

2. 絶緣診斷技術의 例

内部部分放電을 검출하는 기술로서는 部分放電에 의한 분해 가스를 검출하는 化學的 方法과 부분방전에 의해 발생하는 진동·가속도를 검출

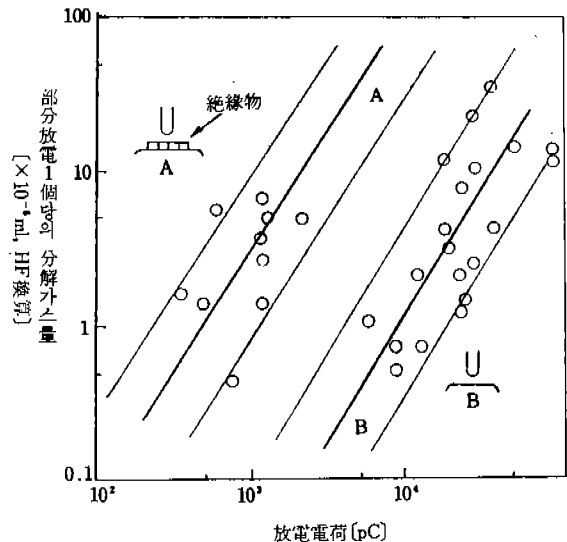
하는 機械的 方法 및 部分放電 펄스를 직접 검출하는 電氣的 方法이 있다. 이하 이들 방법에 대해서 소개하기로 한다.

가. 化學的 方法(呈色反應法)

GIS 내부에 部分放電이 생기면 SF₆, SOF₂, HF, SO₂ 등과 같은 活性인 酸性 分解 가스가 발생한다. 방전전화와 분해 가스들의 관계를 그림 1에 든다.

이들 分解 가스 검출에는 종래부터 가스크로마트 그래프 등에 의한 정밀 가스 분석이 시행되어 왔지만 변전소 현지에서 적용하기는 곤란하다. 그래서 分解 가스에 의해 변색하는 呈色 反應試藥(브로모크레졸 퍼플)을 응용한 변전소 현장에서 간편하게 사용할 수 있는 검출장치가 개발되어 있다.

檢出裝置는 검출소자와 검출장치 본체로 구성되는데 檢出素子는 呈色反應試藥의 알칼리 溶液을 가진 알루미늄 粉末을 유리관에 봉입한 것이다. 이 검출소자는 청자색인데 水素 이온 농도(PH)에 대응해서 변색, SF₆ 분해 가스내의 活性의 酸性 가스에 의해 黃色 내지 黃綠色으로 변색한다. 검출장치 본체는 檢出素子를 수납·보유



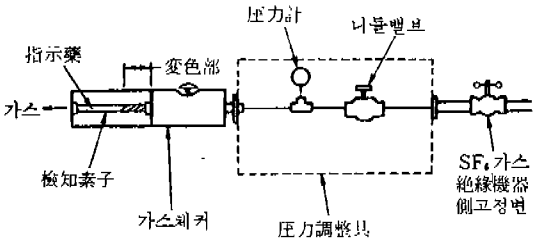
〈그림 1〉 部分放電電荷와 分解 가스量

하는 本体와 설치부(취 코빅터)로 구성된다.

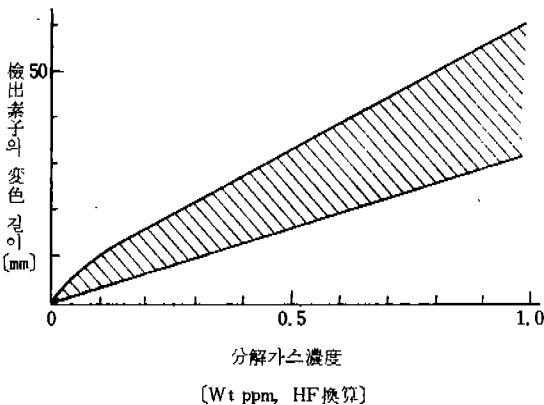
測定操作은 대단히 간단한데 그림 2와 같이 검출장치를 GIS의 給氣口에 설치한 후에 니들 밸브를 열고 GIS내부에 加壓狀態로 봉입되어 있는 SF₆ 가스를 검출소자를 통과시켜서 방출시킨다.

통과하는 가스의 流量은 일정하며 5 l/min이 되도록 조정되어 있다. 1회 測定에 소요되는 시간은 6분이고 합계 30l의 試料 가스를 통과시킨 후 檢出素子の 變色 길이를 조사한다.

變色 길이는 그림 3과 같이 分解 가스 濃度에 의해 바뀌므로 變色 길이에서 분해 가스 농도를 추정할 수가 있다. 變色檢出의 限界濃度는 HF換算으로 0.03 重量 ppm이며 GIS 내부에서 部分放電이 연속적으로 발생하고 있으면 1000pC 정도의 部分放電을 검출할 수 있는 것을 실험 및 제산으로 확인하고 있다.



〈그림 2〉 呈色 反應法



〈그림 3〉 呈色反應法 檢出素子の 檢出感度

이 檢出裝置의 장점은 다음과 같다.

- ① 檢出素子の 變色에 의해 部分放電을 확실하게 검출할 수 있다.
- ② 測定操作이 간단하여 熟練을 요하지 않는다.
- ③ 電氣的 및 機械的 노이즈의 영향을 받지 않는다.
- ④ 檢出裝置는 小形·輕量으로 운반이 용이하다.
- ⑤ 檢出素子는 카트리지式으로 간단히 교환할 수 있다.

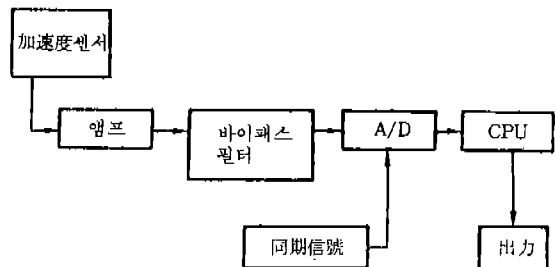
나. 機械的方法(振動·加速度法)

GIS 내부에 부분방전이 발생하면 탱크벽에 진동에 수반되는 미소한 彈性波가 생긴다. 이 彈性波를 탱크벽에 설치한 진동·가속도 센서로 검출하는 방법이다. 그림 4는 檢出 블록圖이다.

탱크 外壁에서 검출되는 진동은 대단히 작으므로 부분방전에 의한 신호와 外部 노이즈를 식별, 高感度化를 도모하여야 한다.

이를 위해 마이크로 컴퓨터를 사용, 波形的 平均化 처리를 하여 信號와 노이즈의 식별을 하고 測定結果를 디지털 表示하게 되어 있다. 신호와 노이즈의 식별은 다음과 같은 방법으로 한다.

- ① 帶域增幅器를 사용하여 기기 자체의 定常振動 및 주위의 소음에 포함되는 低周波 成分을 제거한다.
- ② 人力信號의 레벨을 판별, 一定 레벨 이상의 신호를 노이즈로서 제거한다.



〈그림 4〉 檢出 블록圖(振動·加速度法)

③ 供試器 전원주파수에 동기시켜 複數回 샘플링하고 波形的 절대치를 취하여 平均화 처리를 하여 그 周期性의 패턴을 조사한다. 部分放電의 파형에는 명확한 주기성이 있는데 비해 노이즈 波형에는 주기성이 없으므로 信號와 노이즈가 식별된다.

이 장치는 平均화 처리후의 波형을 디스플레이에 표시하는 방식이기 때문에 部分放電의 주기성을 간단히 觀察할 수 있도록 되어 있다. 그 平均化後의 파형(모니터 出力)을 그림 5에 든다.

1회의 측정은 약 1분이 소요되는데 최소검출감도는 주위 노이즈에 따라 변화하며 50~200 pC의 부분방전을 검출할 수 있다.

이 검출장치에는 다음과 같은 특징이 있다.

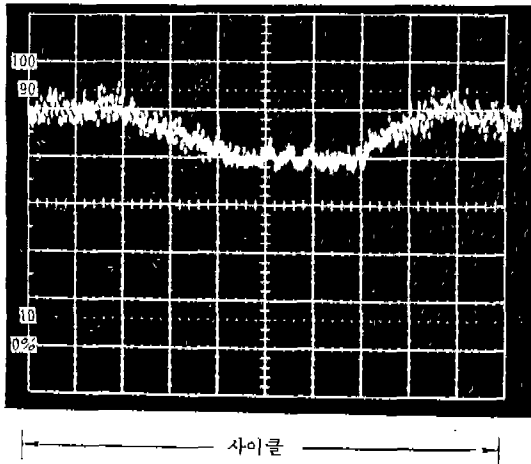
① 센서를 탱크外壁에 부착하기만 하면 측정할 수 있고 檢出裝置의 취급도 하여 숙련을 요하지 않는다.

② 測定結果가 디지털 표시이므로 판독오차가 없다.

③ 센서의 설치장소를 바꿈으로써 部分放電의 발생장소의 標定도 가능하다.

④ 部分放電을 수만하지 않는 微小金屬片의 존재를 검출할 수 있다.

⑤ 入力信號 레벨의 판별, 波形的 平均화 처리에 의해 信號와 노이즈를 식별 가능하며 高感



〈그림 5〉 放電時의 平均化波형(振動·加速度法)

도로 측정할 수 있다.

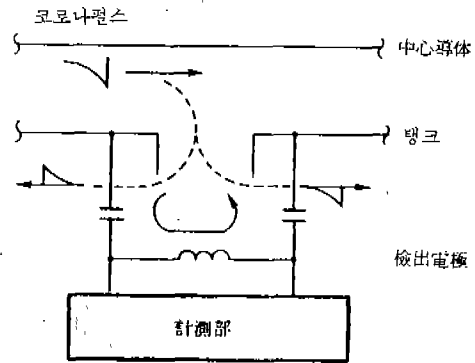
다. 電氣의 檢出法(外被電極法)

GIS 내부에서 발생한 部分放電 펄스가 GIS 내부를 進行波로서 진행하는 경우 절연 설치부 등의 서지 임피던스의 不連續部分에 電位差가 발생한다. 이 電位差를 절연 설치부 양측에 설치한 電極에 의해 검출하는 방법이며, 그림 6에 검출원리를 그림 7에 블록도를 든다.

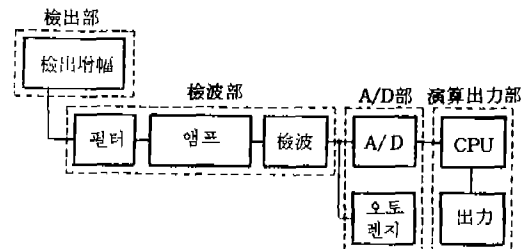
檢出裝置 本体外形은 前述한 기계적 검출법과 동일하다. 電極은 절연 필름으로 절연되고 용이하게 탱크에 설치되는 구조이고 절연 설치부를 商用周波로 단락시키지 않게끔 배려되어 있다.

이 電極과 인덕턴스로 검출부를 구성하고 있고 검출된 電位差는 20~40MHz의 減衰振動波形式으로 변환된 후 검파되어 A/D 변환된다.

出力은 交流 64사이클中の 波高值, 그 平均치를 디지털 表示하고 同期加算 平均化 디스플레이



〈그림 6〉 檢出原理(外被電極法)



〈그림 7〉 外被電極法 블록圖

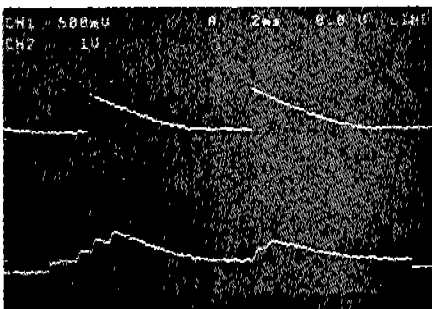
이에 표시하는 방식이기 때문에 펄스의 크기, 발생위상, 주기성 등을 간단히 판별할 수 있게 되어 있다. 出力波形例를 그림 8에 든다.

이 방식은 部分放電을 전기신호로서 그대로 검출하므로 放電電荷量과 검출장치 출력의 관계는 고장의 종류에 따라 변하는 일이 없고 일정하다. 또 검출대역을 現地 노이즈가 적은 20~40MHz로 함으로써 外部 노이즈의 영향이 저감되어 종래의 진단장치와 비교해서 S/N比로 20dB 이상 개선되고 있다. 또 1회의 측정은 약 1분이 소요되며 최소 검출감도는 변전소 현지 실측결과 100pC 이하로 되어 있다. 이 검출장치에는 다음과 같은 특징이 있다.

- ① 電極을 절연 설치부 양단에 설치하는 것만으로 간단히 측정할 수 있다.
- ② 部分放電과 電氣信號로서 그대로 검출할 수 있다.
- ③ 측정결과가 디지털 表示되므로 판독 오차가 없고 波形도 관측할 수 있으므로 판정이 용이하다.
- ④ 檢出帶域의 측정 및 入力を 差動 增幅함으로써 外來 노이즈의 영향을 저감시켜 고감도 측정이 가능하다.

3. 監視 시스템으로의 適用例

密閉化된 GIS는 일단 고장이 발생하면 고장



(그림 8) 出力波形例 (外被電極法)

개소의 발견이 곤란하며 정전시간이나 정전범위가 커진다는 문제점이 있는데, 故障의 豫知 또는 고장점의 早期發見이라는 관점에서 前項까지 記述한 각종 진단기술을 적용, 監視 시스템을 구성한 예가 있다.

여기서는 감시 시스템을 구성하는데 있어서 필요로 하는 監視 시스템의 기본적인 방법 및 실제의 適用例에 대해서 소개한다.

가. 監視 시스템의 기본적인 고려방법

監視 시스템은 기기가 고장에 이르기 전에 異常이 경미한 단계에서 검출하는 것을 主目的으로 하고 돌발적인 사고가 발생한 경우는 波及을 최소한으로 줄이기 위하여 사고개소의 檢出도 고려한다. 이와 같은 시스템을 실현시키기 위한 기본적인 방법을 들어 본다.

(1) 外部診斷方式

상태검출을 하는 센서는 物理 센서나 画像 센서를 사용하며 센서의 설치는 기기 본체의 신뢰성을 손상하지 않도록 원칙적으로 기기의 主回路部에 貫通孔을 새로 만들지 않도록 한다. 이 방식으로는 既設機器에의 설치도 용이하다.

(2) 分散處理方式

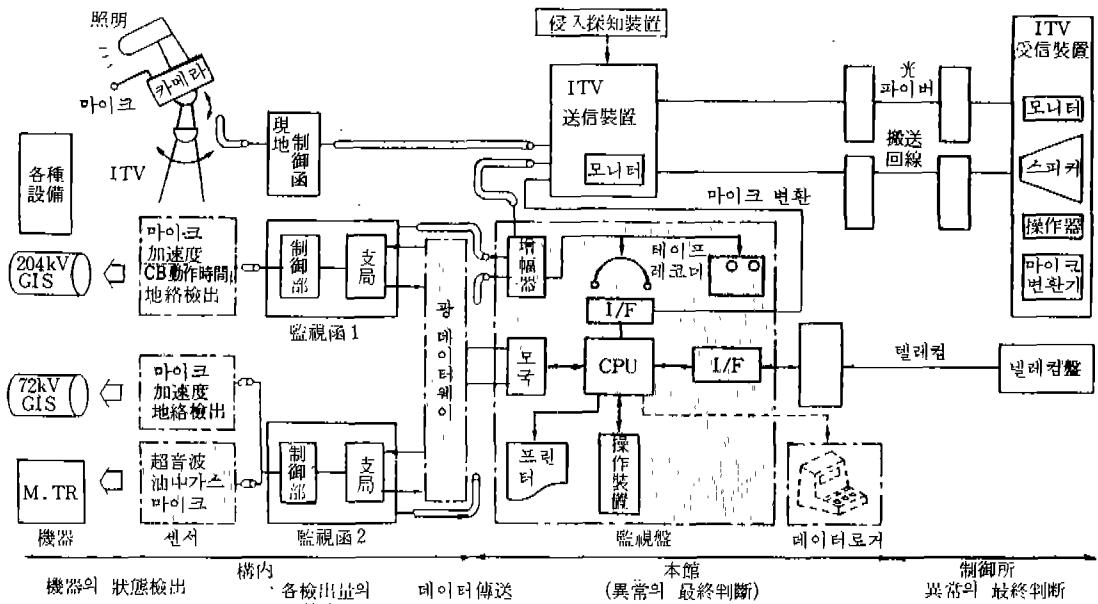
각종 센서 마다에 個別 데이터 처리를 필요로 하므로 센서 出力의 演算처리를 하는 마이크로 프로세서를 기기 근방에 배치하는 分散처리방식을 취하여 센서의 독립성을 높인다.

이에 의해 일부분이 고장난 경우는 다른 곳으로의 故障를 한정시킬 수 있고 또 센서 增設時에도 시스템을 정지시키지 않고 대응할 수가 있다.

나. 가스 絶緣 變電所에의 適用例

실제의 204kV級 變電所에 적용된 감시시스템의 構成例를 그림 9에 든다. 이 시스템은 센서系와 画像系(ITV)로 구성되며, 本館側에서는 보호계전기반과의 대조나 두 系의 連系處理를 한다.

센서系는 本館盤과 電壓階級 또는 複數 유닛



〈그림 9〉 204kV級變電所에 適用된 監視시스템의 構成例

마다 설치하는 구내 감시반으로 구성되는데, 센서의 出力信號를 센서의 종류 대응 마이크로 프로세서로 演算, 데이터의 蓄積處理를 한 후 본館에 이상유무와 測定 데이터를 光 데이터 웨이를 걸쳐 전송한다.

本館盤에서는 表示, 印字 및 日報作成 등을 한다. 또한 텔레콤을 걸쳐 上位의 制御所에서 상황을 파악하는 것도 생각할 수 있다.

또한 GIS는 기중절연형과 비교해서 主回路機器間이 근접되어 있기 때문에 센서거리도 근접되게 되므로 구내 감시반의 연산 처리용 마이크로 프로세서로 多數의 센서를 처리하는 것이 합리적이다.

4. 今後的 課題와 展望

電力設備의 진단기술은 電力 에너지의 安定된 확보가 요망되고 있는 현재 비교적 중요한 기술적 과제의 한가지이며 활발한 기술개발이 이루어지고 있다. 또 變電所의 자동운전, 無人化와 같은 요구에 의해 監視 시스템의 적용이 확대되

어 나갈 것으로 보아도 診斷技術로서의 今後的 과제로는 다음과 같은 두 가지 점을 들 수 있다

① 노이즈 除去技術도 포함한 檢出技術의 더 향상의 향상

② 診斷 알고리즘도 포함한 判定基準의 확립
檢出技術의 향상에 대해서는 新素材를 적용한 새로운 센서의 개발 등으로 비약적으로 향상할 가능성이 크고 今後的의 센서 개발에 기대가 된다.

한편 判定基準의 확립에 대해서는 이상유무의 판정을 部分防電 出力 레벨, 周期性과 같은 것으로 판정하고 있는데, 이것만으로는 내부의 상세한 이상현상을 판단할 수 없다. 앞으로 보다 효율적이고 安定된 運轉을 위해서 機器의 豫壽命 등과 같은 판정이 요구될 가능성도 있고 外部에서의 측정으로 내부의 이상을 정확히 파악할 수 있는 診斷의 알고리즘 확립이 중요해진다.

이와 같은 課題가 해결되면 진단기술은 變電所의 運轉·보수면에서 인간의 판단·처리에 대한 강력한 지원대책이 될 수 있으므로 今後 이러한 과제를 해결하는 방향으로 개발이 진행될 것으로 예상된다.