

변전소 종합예방진단 시스템 요소기술 참고자료

차세대송변전연구소 선임 이종건(☎ 5838)

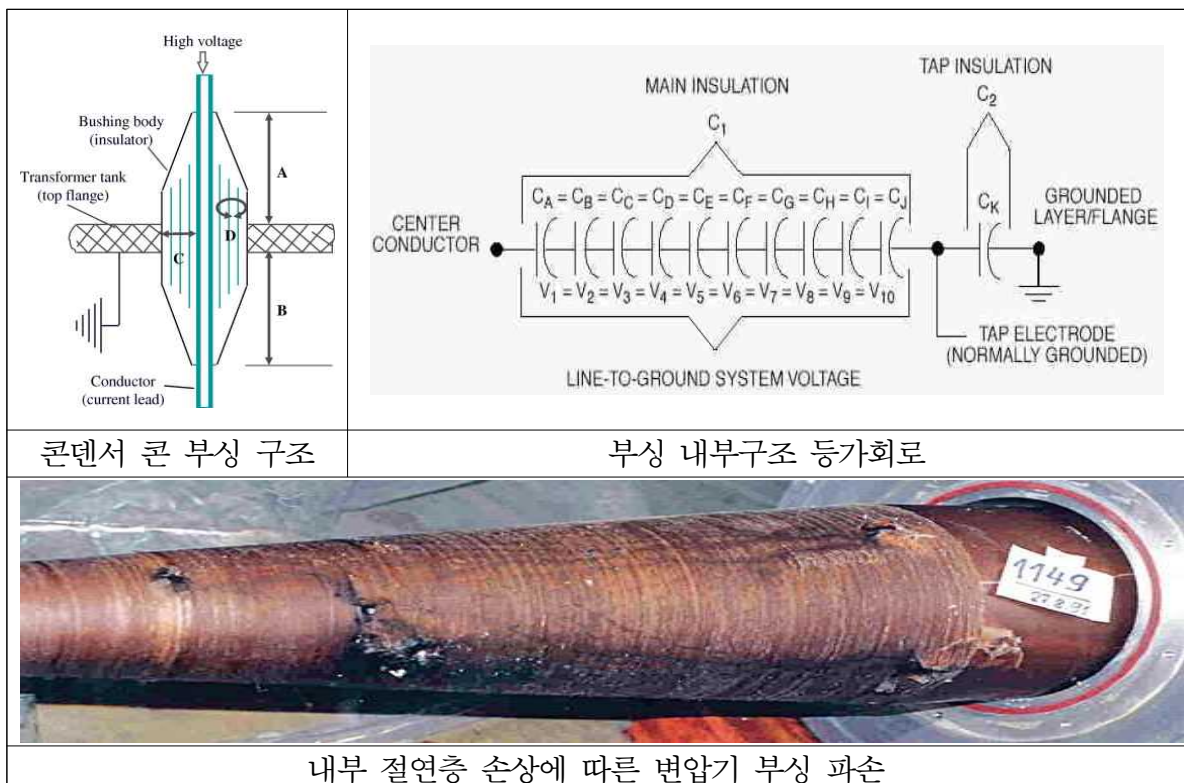
1. 변압기 부상 누설전류 측정 시스템

□ 시스템 개발 목적

- 33kV급 이상 변압기에서 주로 이용되는 콘덴서형 부상의 누설전류를 측정하여 산출된 커패시턴스, PF, $\tan\delta$ 등을 통한 절연 열화 진단을 그 목적으로 함

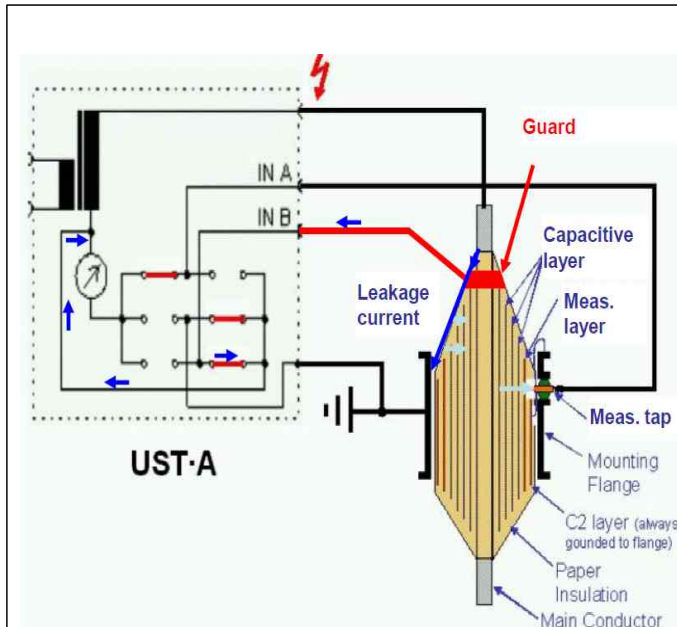
□ 관련이론 요약

- 한전에서 주로 사용하는 OIP 부상은 부상 제작 시 절연지를 여러 겹으로 감아 오일에 함침시켜 제작함. 이 과정에서 내부에 얇은 금속층을 겹겹이 적층시켜 제작한 부상을 콘덴서 콘 부상이라 하며, 33kV급 이상 변압기에 적용됨
- 부상 내부에 삽입된 다수의 금속층은 각각 커패시턴스를 형성하여 부상 도체와 접지 사이에서 가해지는 전압 스트레스를 분산시켜 주기 때문에, 도체-접지 간 발생하는 전계의 세기를 완화시켜 줌
- 내부 절연층에 결함(절연지 열화, 크래킹 등)이 발생할 경우 절연 내력이 약화되어 절연층을 타고 흐르는 누설전류가 증가하며, 열화가 진전될 경우 절연 파괴로 인해 부상을 비롯한 변압기 전체에 치명적인 손상을 줄 수 있음
- 절연층의 절연 내력이 감소할수록 누설전류가 크게 나타나고, 그로 인한 손실이 증가할수록 3상 전압, 전류의 위상차도 변하기 때문에 누설전류 상시 모니터링을 통해 효율적인 부상 상태 진단이 가능함

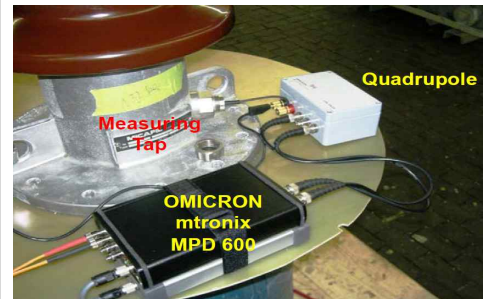


□ 유중가스 측정 및 분석 방법

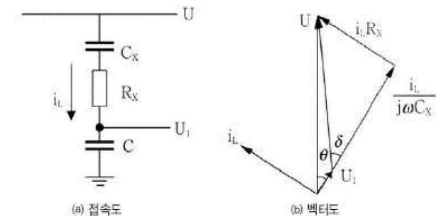
- 내부 최외곽 도전층(Meas. layer)과 연결된 부상 탭(Meas. tap)에 센서와 N-type 동축 케이블을 연결하여 부상 누설전류 측정장치에 연결하여 도체와 최외곽 도전층 간 발생하는 누설전류와 도체에 인가되는 전압의 크기를 측정함
- 측정된 누설전류, 전압의 크기 및 위상차를 활용하여 도체-최외곽 도전층 간 커패시턴스, 역률, 절연체에 의한 손실 성분을 나타내는 $\tan\delta$ 를 측정하여 진단



부상 누설전류 측정장치 구성도



누설전류 측정 예시 (OMICRON)

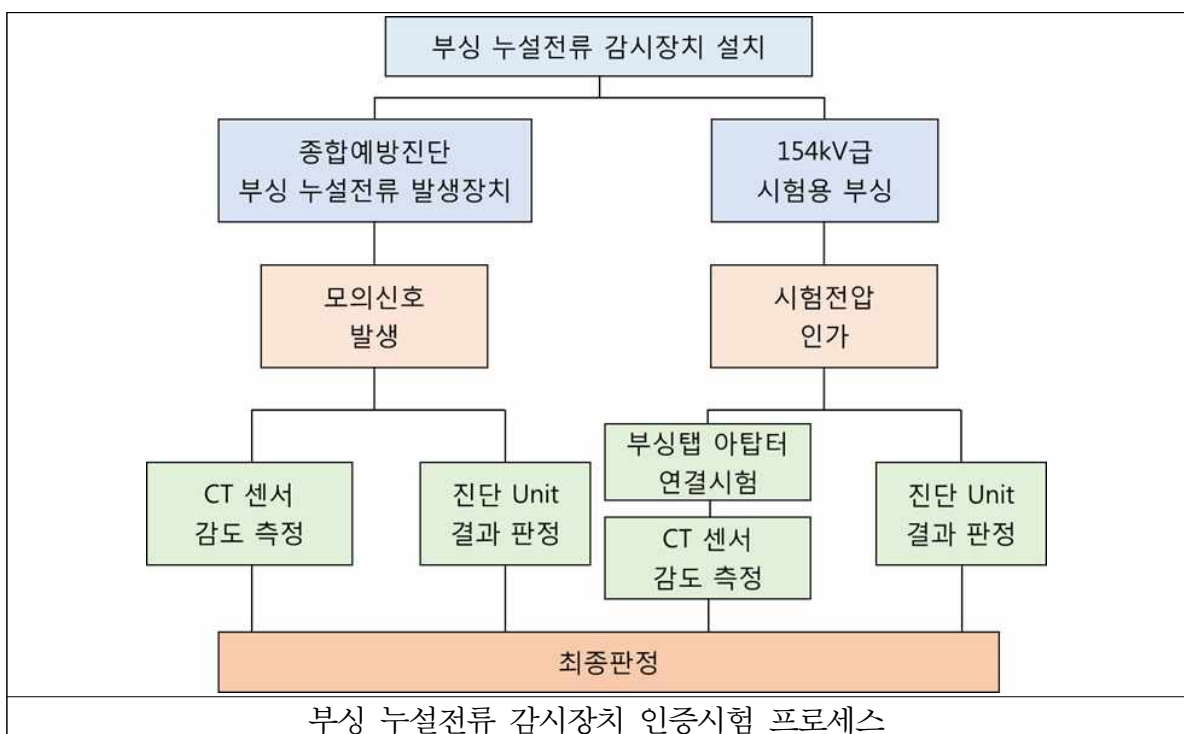


(a) 접속도 (b) 벡터도

U : 대지전압
 U_L : 부상 탭 출력 전압
 i_L : 부상 전류
 G_x, R_x : 부상 탭과 중앙 도체 간 임피던스
 C : 부상 탭과 접지 간 정전 용량

누설전류 값 활용 진단요소 산출

□ 인증시험 절차



부상 누설전류 감시장치 인증시험 프로세스

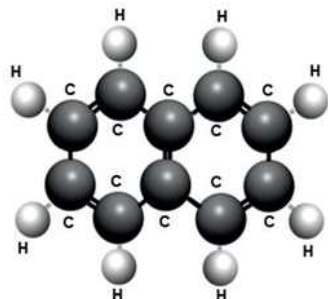
2. 변압기 유증가스 분석장치

□ 유증가스 분석 목적

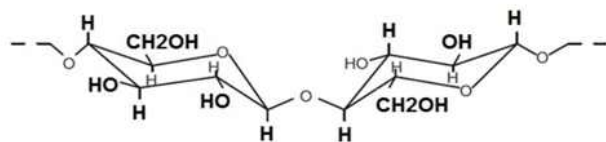
- 변압기 내부 이상현상 시 절연물에 가해지는 열적 스트레스로 인해 형성되는 탄화수소 계열의 가스를 측정하여 내부 이상 유무 진단을 그 목적으로 함

□ 관련이론

- 변압기나 OLTC 등 유입기기 내부에 이상현상(절연파괴, 국부가열 등)이 생기면 열 발생을 수반하며, 발열원에 접촉한 절연유, 절연지, 프레스보드 등의 절연물이 분해되어 CO₂, CO, H₂, CH₄, C₂H₂ 등의 탄화수소가스를 발생하여 용해됨
- 유입기기에서 절연유를 채취하여 가스를 추출, 분석하면 가스의 양과 조성비에 따라 내부이상의 유무 및 그 정도 추정이 가능함
- H₂ 검출 : 부분방전과 아크방전에 의한 이상 진단
 - 코일 층간단락, 코일 용단, 탭절환기 접점간 아크 단락, 순환전류에 의한 아크 발생 등의 현상이 발생할 경우 H₂ 계열의 가스가 주로 형성됨
 - 변압기 이상현상 전반에서 발생하는 가스로, H₂ 분석만으로도 진단이 가능함
- CO, CO₂ 검출 : 절연유중 고체 절연물 과열 시 발생 (70% 적중률)
 - CO 다량 검출 시 : 고체 절연물(절연지, 백크라이트 등) 소손 가능성이 큼
 - CO 소량 검출 시 : 고체 절연물 소손 가능성 적음
- C₂H₂ 검출 : 고온 열분해시 다량 발생
 - 아크 발생 시 절연유가 고온 분해되어 C₂H₂가 다량 검출되며, 변압기 사고 중 가장 치명적인 사고로 분류됨
 - 변압기 내부 결함으로 인해 부분방전이 발생할 경우에도 C₂H₂가 다량 검출됨
 - 접촉불량 등에 의한 국부과열로 C₂H₂가 검출될 수 있으나, 발생량은 적음
- C₃, C₄ 계 검출 : 이상 진단 시 보조로 활용
 - 다른 가연성 가스에 비해 분자량이 무거워 기중으로의 확산량이 적음
 - 가연성 가스 가스 발생동향 확인 등의 진단 보조 항목으로 이용됨
 - 현재까지 발생원인에 대한 명확한 분석은 이루어지지 않았으며, 변압기 내부 단락 및 섬락과 같은 중대사고가 발생할 경우에도 주성분이 된 사례는 없음

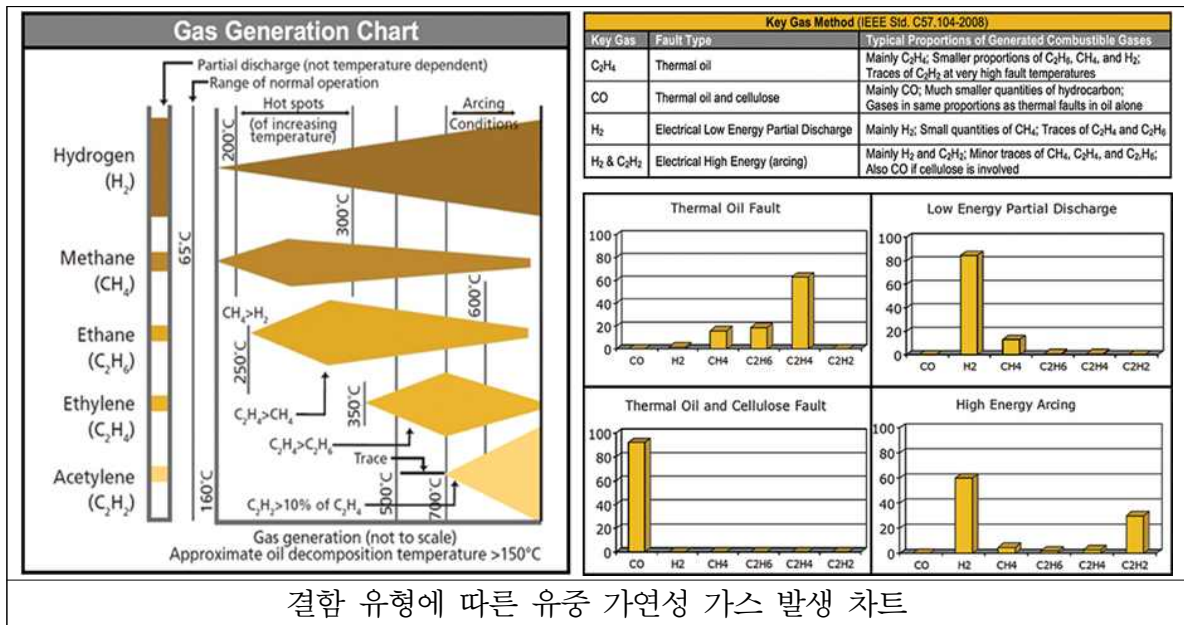


[절연유(Mineral Oil) 결합구조]



[절연지(Cellulose) 결합 구조]

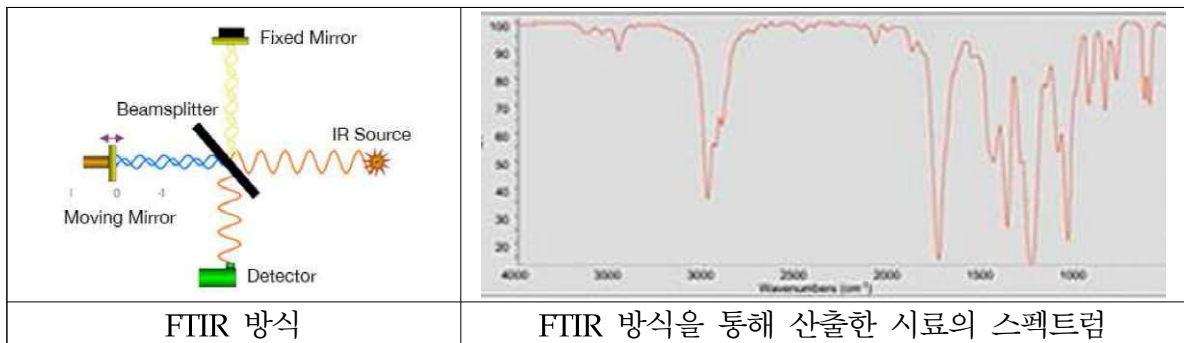
절연유 및 절연지 결합 구조



□ 유증가스 측정 및 분석 방법

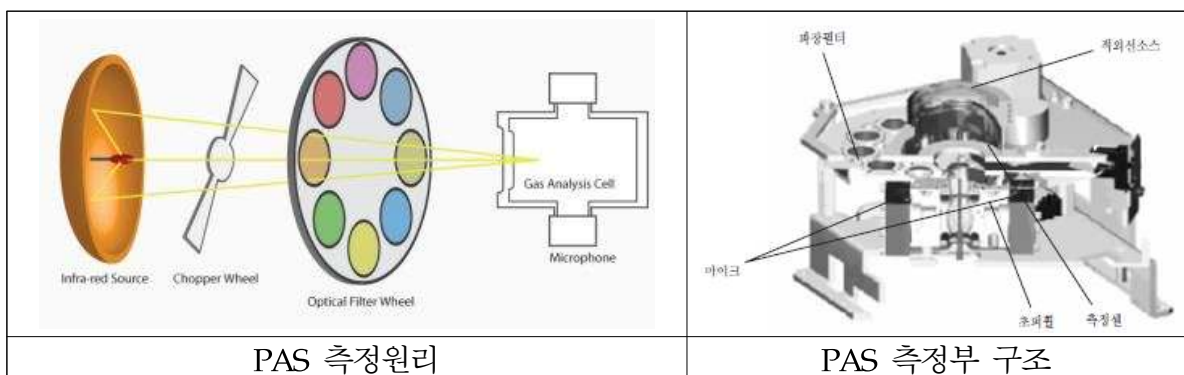
○ 푸리에 변환 적외선 분석 방식(Fourier Transform InfraRed (FTIR))

- 적외선을 시료에 통과시키면 시료에 흡수되거나 투과되는데, 서로 다른 구조를 갖는 분자는 고유 스펙트럼을 형성하기 때문에 식별 또는 정량화가 가능



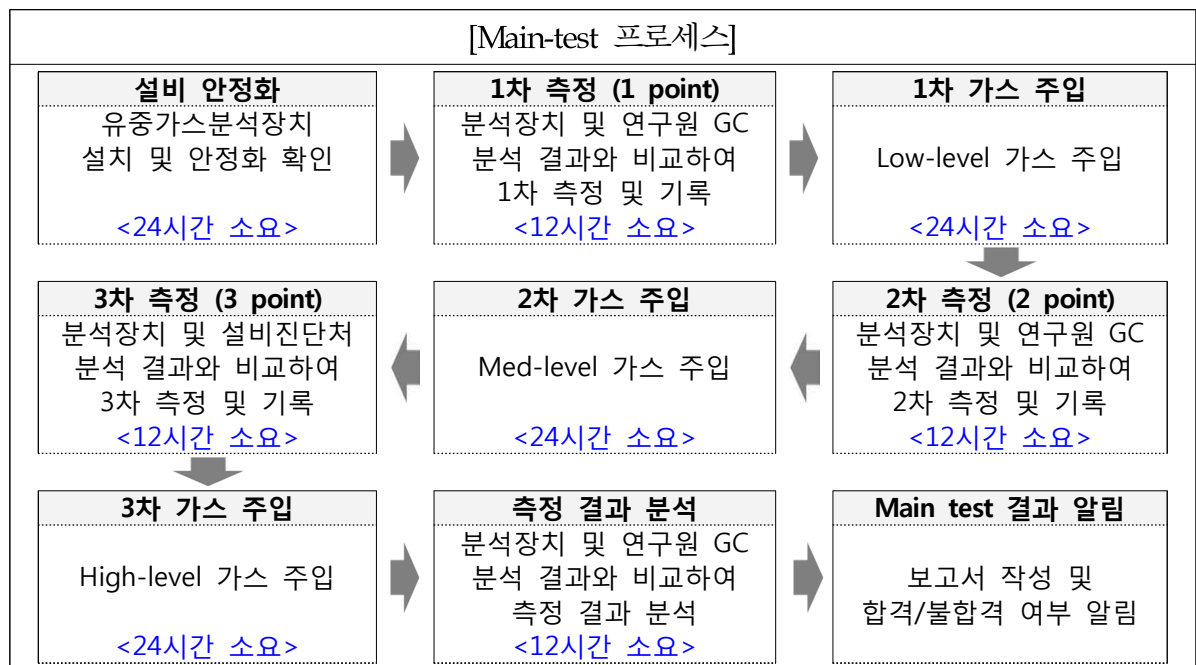
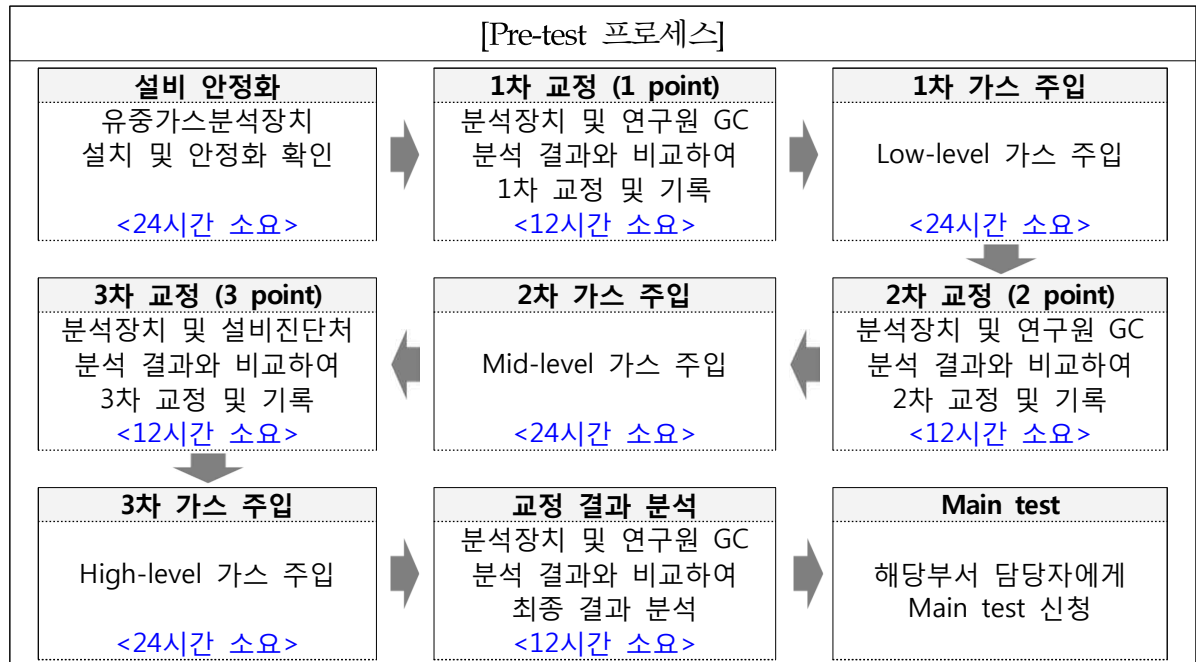
○ 적외선 광음 분광법(Infrared Photo-Acoustic Spectroscopy (PAS))

- 펄스 형태의 광원이 가스에 투과될 경우, 복사에너지가 흡수한 가스는 온도와 압력이 상승하여 진동하게 됨
- 진동 시 고감도 마이크로폰으로 검출 가능한 파장이 발생함
- 각각의 가스는 고유한 흡수 스펙트럼을 갖고 있기 때문에 진동 특성이 다르게 나타나며, 이를 활용하여 절연유 내부 용존 가스의 검출을 수행함



□ 인증시험 절차 및 판정기준

- 장비 교정을 위한 Pre-test와 Main-test로 구분되며 전력연구원 GC 분석 결과와 비교하여 판정기준 만족 여부 검증



- 분석가스 종류 및 판정기준

No.	분석가스 종류	검출범위	판정기준
1	H2	5 ~ 5,000 ppm	기준치의 10% 이내
2	CO	10 ~ 5,000 ppm	
3	C2H2	5 ~ 5,000 ppm	
4	H2O	상대습도 또는 "0" ppm 이상	

3. GIS/변압기/OLTC 부분방전 진단시스템

□ 부분방전 측정 목적

- GIS/변압기/OLTC 내부에서 결함 발생 시 발생하는 부분방전 신호를 취득하여 기기의 상태를 진단하는 것을 그 목적으로 함

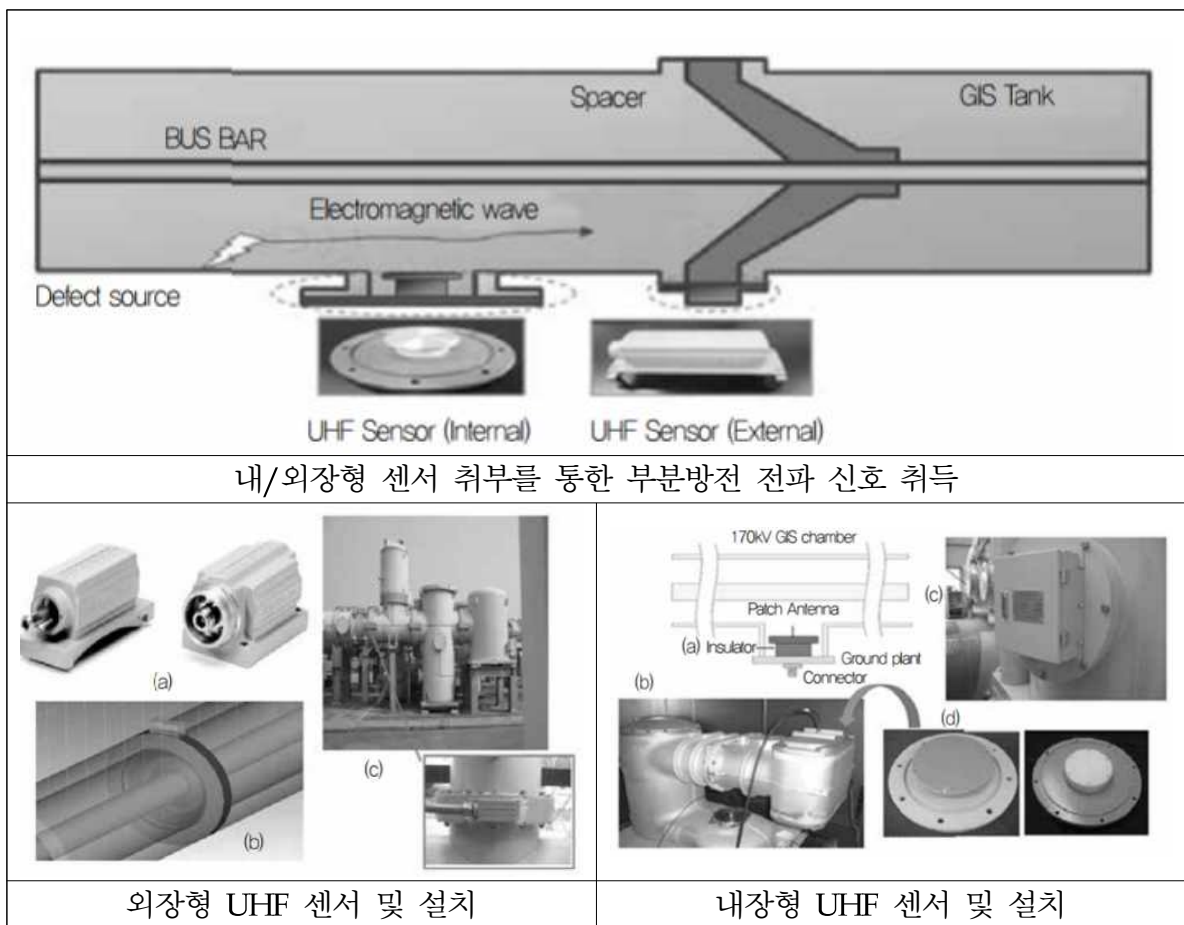
□ 관련이론 요약

- 부분방전은 절연시스템에서 발생하는 국부적인 전기 방전 현상으로 전극간을 완전히 교락하지 않고 유전체의 일부분에서 발생함
- 부분방전은 방전개시전압(PDIV, Partial Discharge Inception Voltage)을 초과한 전압이 결함에 인가될 경우 발생하는 국부적인 절연과괴 현상을 지칭하며 높은 에너지를 가진 전자 혹은 가속이온들의 에너지 충돌에 의하여 재료에 여러 가지 형태의 화학적/물리적 변형을 일으키며 재료를 열화시킴
- 대표적 부분방전 결함
 - 보이드 방전 : 고체 절연체 내부에서 공극이 발생할 경우 유전율의 차이로 인해 국부적인 전계집중이 발생하며 그로 인한 내부방전을 지칭함
 - 코로나 방전 : 돌출 전극 구조에서 국부 전계집중이 발생하여 나타남
 - 연면 방전 : 두 개 이상의 절연물로 이루어진 복합절연 구조에서 절연물 간 계면은 가장 취약한 전계 특성을 나타내며, 계면을 통해 누설전류가 흐르며 발생
 - 플로팅 방전 : 전극 사이에서 금속이 부유해 있을 경우 발생
 - 파티클 방전 : 매우 작은 금속 입자가 전압이 인가될 경우 가해지는 전기에너지에 의해 움직이면서 발생
 - 전기 트리 : 고체 절연체 내부에서 전기트리 발생 혹은 진전 시 발생

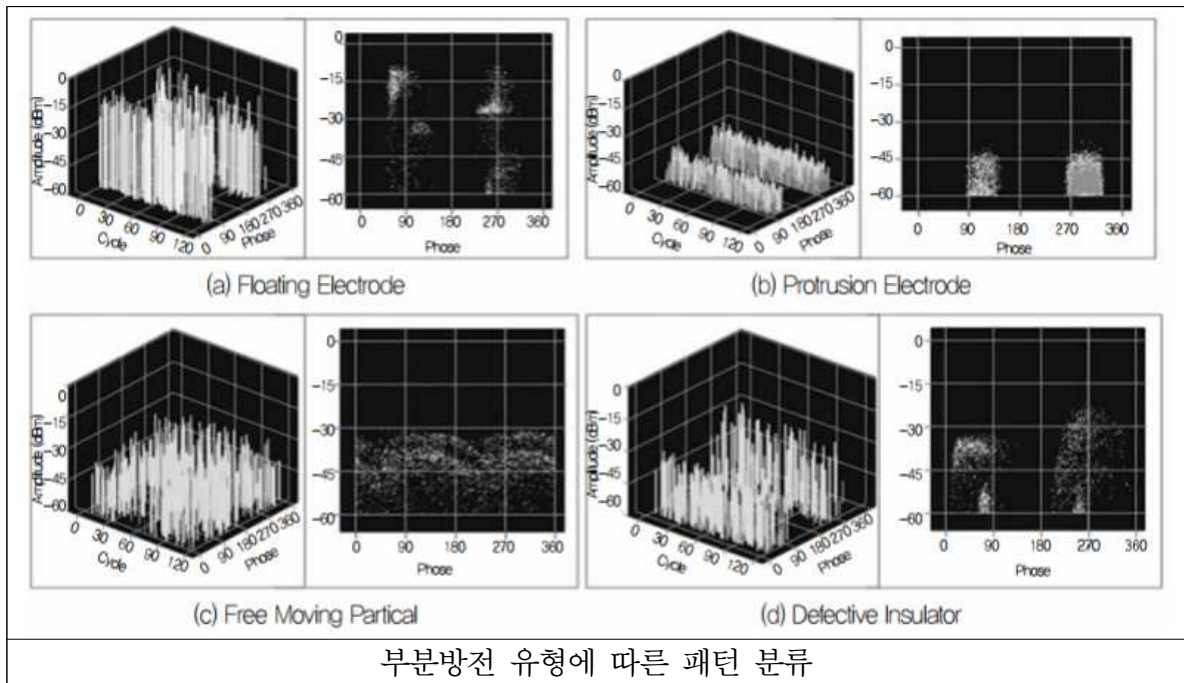
코로나 방전	보이드 방전	연면 방전
플로팅 방전	파티클 방전	전기 트리
대표적 부분방전 결함 구조		

□ 부분방전 검출 방법

- 부분방전의 검출은 방전 중 발생하는 에너지의 변환에 근거를 두고 있으며, 전기적 임펄스 전류, 전자파 방사, 소리, 기체 압력의 증가, 화학적 반응 등으로 나타나므로 현상 관측 방식에 따라 부분방전 측정방법이 결정된다.
- 현재 가장 널리 활용되는 검출법은 부분방전 시 발생하는 300MHz ~ 2 GHz 대역의 전자파를 센서를 이용하여 측정하는 UHF(Ultra High Frequency) 방식이며, 취득된 신호를 통해 부분방전 발생 유무, 원인, 위치 등을 진단할 수 있음
- 변압기의 경우 철 외함이 완전 밀폐되어 접지되어 있기 때문에 감시창에 내장형 센서 취부를 통해서만 신호 취득이 가능하나, GIS의 경우 도체 지지용 스페이서로 인해 전파가 외부로 전파될 수 있기 때문에 감시창을 통한 내장형 센서 뿐만 아니라, 스페이서에 부착하는 외장형 센서의 적용 또한 가능함

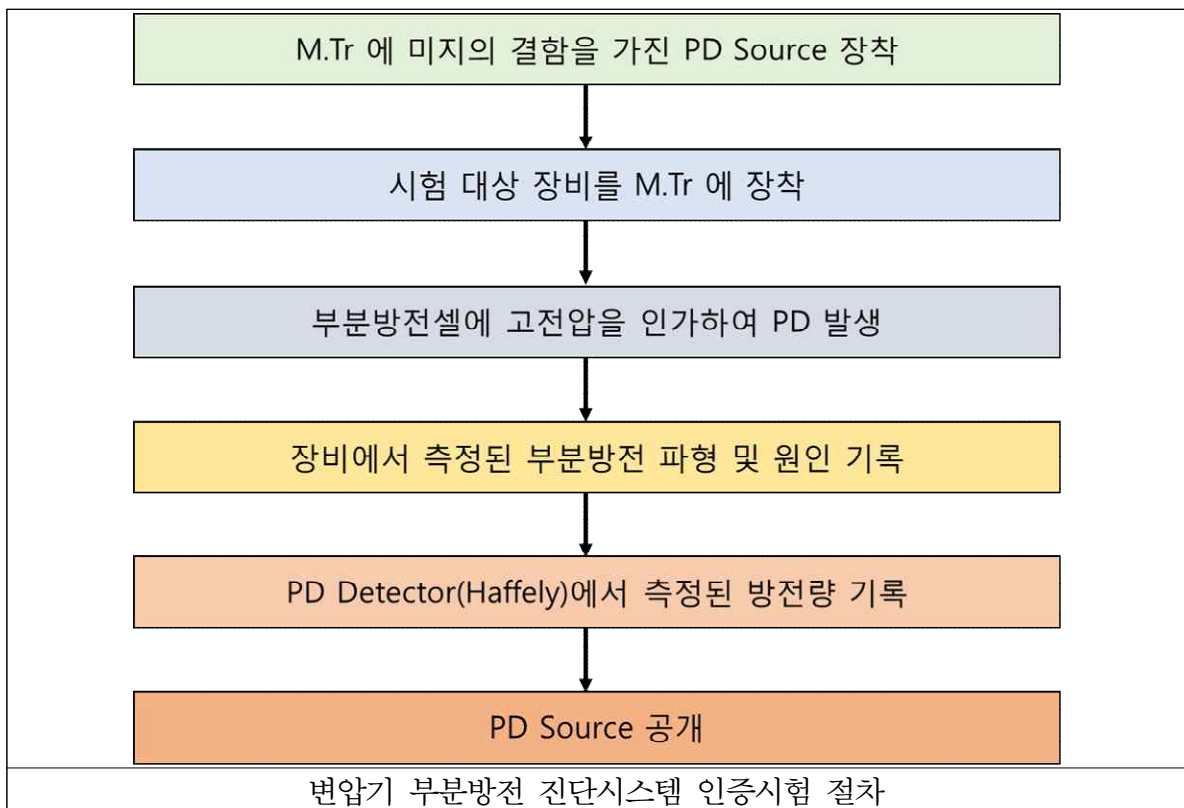


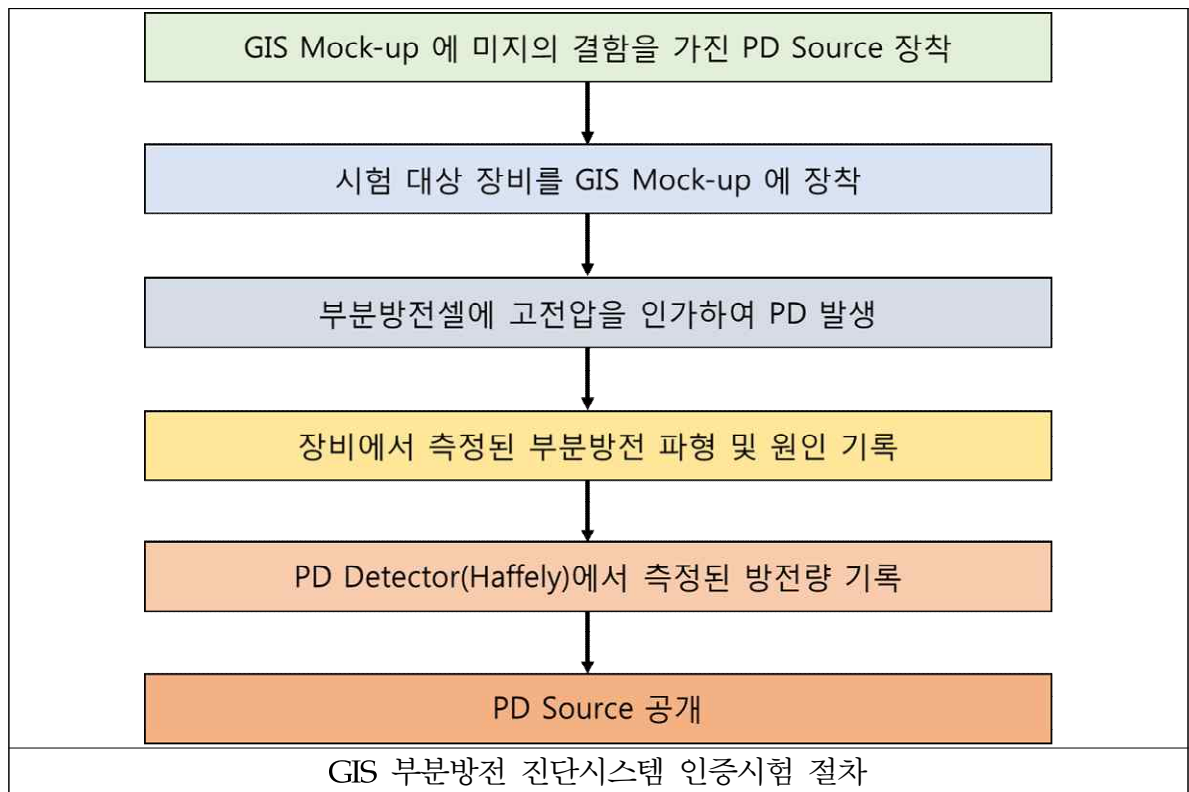
- 현재 가장 널리 활용되고 있는 부분방전 파형 분석방법은 PRPD(Phase Resolved Partial Discharge)/PRPS(Phase Resolved Pulse Sequence) 방식으로, 방전신호의 펄스 위상과 크기, 빈도를 이용하여 분석하는 Φ -q-n 분석을 기반으로 함
- PRPD 방법을 통해 취득되는 신호를 위상-신호크기의 축을 갖는 그래프로 나타내면 방전 유형에 따라 고유한 패턴을 나타내기 때문에 이를 활용하여 부분방전의 발생 여부 및 유형을 판정할 수 있음



□ 인증시험 절차 및 판정기준

○ 인증시험 절차





○ 판정기준

시험항목	시 험 내 용	판정기준	비고
진단성능시험	방전 Cell, 실험 Data 각각 20개 이상을 Blind test	기기 유형 별 방전신호 분류 여부	
이종간 호환시험	LU-진단Unit, 진단Unit-HMI의 이종시스템간 호환진단성능 검증		


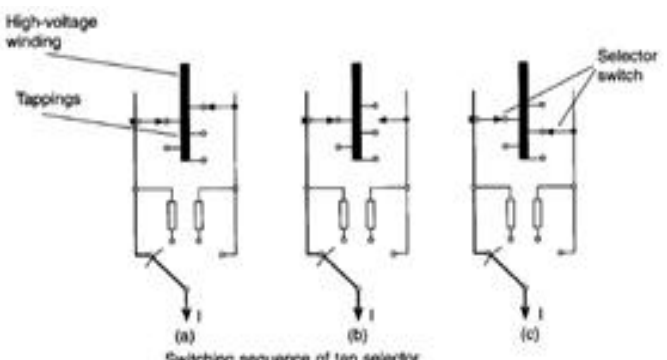

4. OLTC 동작특성 분석장치

□ 시스템 개발 목적

- OLTC 동작 시 탭 위치, 동작 시간 및 모터 구동 전류를 측정하여 각 탭의 접점 상태를 진단하는 것을 그 목적으로 함

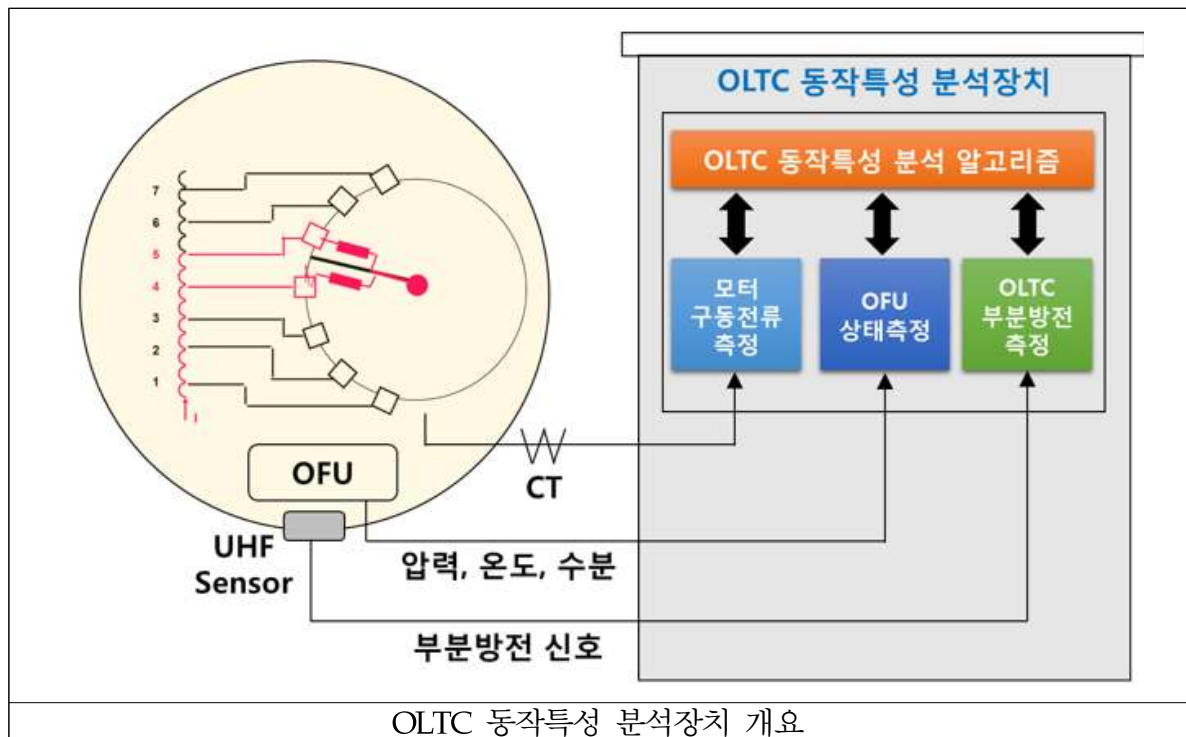
□ 관련이론 요약

- OLTC는 변압기 정상운전 중에도 탭 절환이 가능한 기기로서, 부하전류를 흘린 상태에서 유효전력이나 무효전력에 영향을 미치지 않고 변압기의 변압비를 조정할 수 있기 때문에 배전급부터 765kV 변압기까지 광범위하게 이용되고 있음
- 현재 한전에서 765kV 변압기에 OLTC On-Line 상태감시 시스템이 적용 중임
- OLTC 동작 순서
변압기 2차측 전압 변동 발생 → 전압조정 계전기에서 감지 → OLTC 구동용 모터 동작 → 1차측 권선 탭 선택기가 절체 대상 탭으로 이동 → 절환 스위치 동작을 통한 전기적 연결
- 절환 스위치가 동작할 때에는 일시적으로 한 단계의 탭을 단락하면서 탭 전압에 의한 순환전류가 흐르게 되어 탭 전환시 아크가 발생하며, 그로 인해 접점 용삭 등이 발생할 경우 OLTC 접점 접촉 불량을 유발할 수 있음

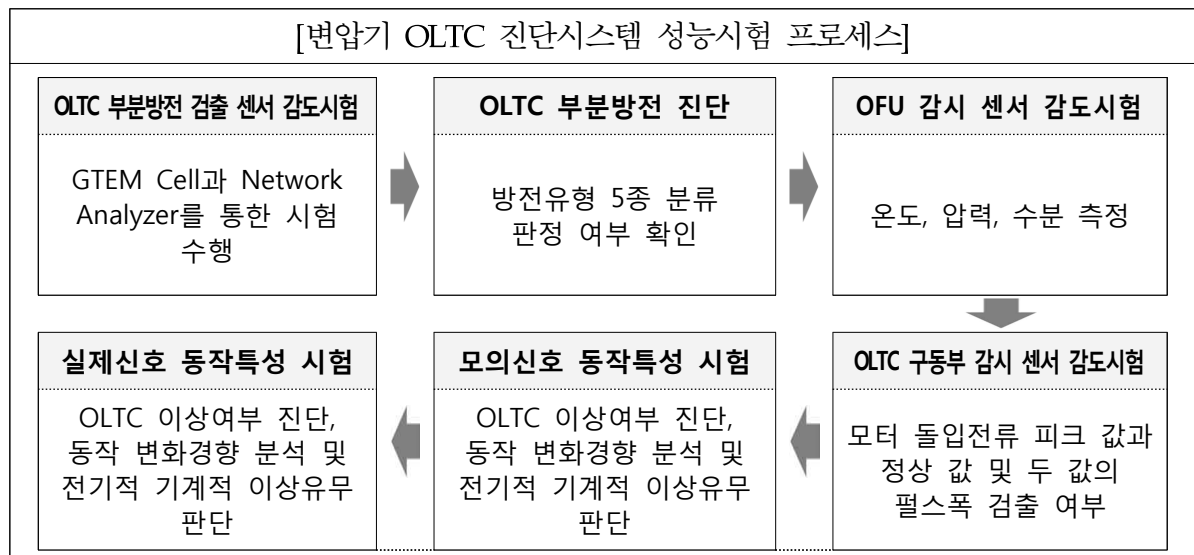
	
<p>OLTC</p>	<p>OLTC 기본동작 절차</p> 

□ OLTC 동작특성 분석 방법

- 구동장치 동력 전달 축에 토크 센서를 설치하여 축 토크를 측정하며, CT를 이용하여 3상 전동기의 전류 및 부하 전류를 측정하여 진단을 수행함
- 점점 용삭으로 인해 점착 저항이 증가할 경우, 2차 부하 측 전류가 변하는 점을 이용하여 부하전류와 동작회수의 측정을 통해 점점 마모도 산출이 가능함
- 점착 저항이 증가할 경우, 탭 절환 시 모터 구동 토크 증가 현상을 불러일으켜 모터 구동전류가 변화하는 점을 이용하여 모터 토크를 산출하여 상태 진단 수행
- 그 외에도, UHF 센서를 활용한 OLTC 내부 부분방전 측정 및 OFU(Oil Filter Unit)를 활용한 압력, 유온도 및 절연유 오염도 측정을 통한 종합 진단 수행



□ 인증시험 절차



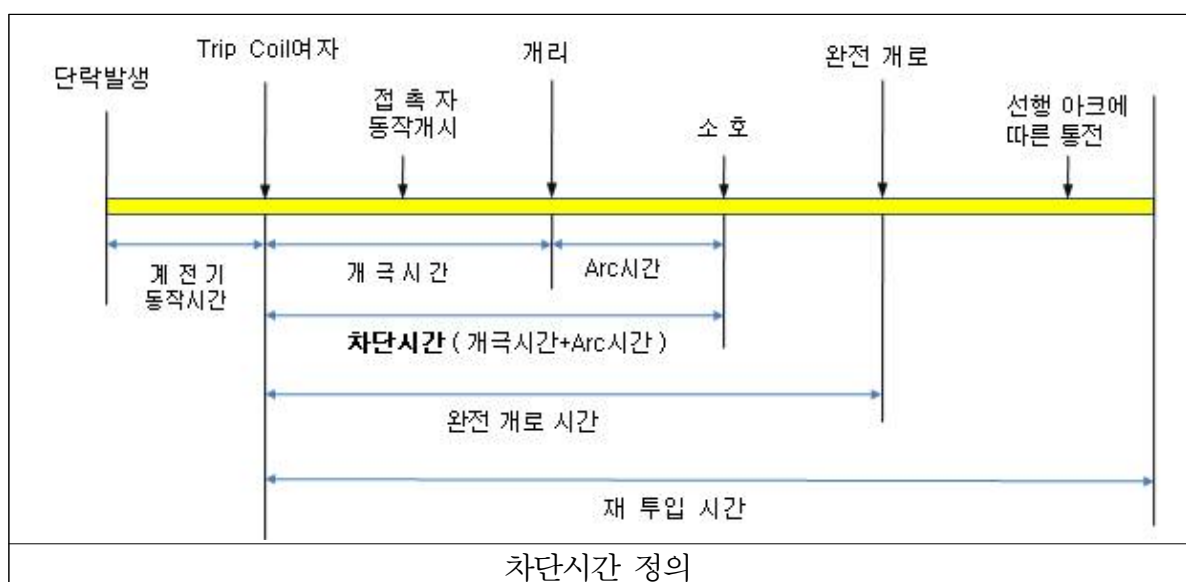
5. 차단기 동작특성 분석장치

□ 차단기 동작특성 분석 목적

- GIS의 전기적인 동작시간 및 Trip 신호 및 전류를 측정하고, 측정 데이터를 이용하여 차단기의 운전상태 감시 및 이상 유무 진단을 목적으로 함

□ 관련이론

- GIS내 차단기 제어회로는 설비 조작 방식에 따라 점점으로 이루어진 제어 장치가 구성되며, 그 점점의 조합에 의해 시퀀스 제어가 이루어짐
 - 'a' 점점 : 평상시에는 점점이 OFF 상태이며 동작 상태에서 ON 되는 점점
 - 'b' 점점 : 평상시에는 점점이 ON 상태이며 기계적 동작 시 OFF 되는 점점
- 차단기 동작은 Trip/Close로 구분되며 각 동작 시 점점 상태는 다음과 같음
 - Trip : 보호계전기에서 Trip 신호가 주어지고, 차단기 점점을 동작시키기 위한 압축공기 또는 유압 조건이 만족될 때, 제어 회로의 'a' 점점이 ON (차단기 투입) 상태로 변화하여 Trip coil이 여자되어 차단기 개방
 - Close : 보호계전기에서 Close 신호가 주어지고, 차단기 점점을 동작시키기 위한 조건이 만족될 때, 제어 회로의 'b' 점점이 ON(차단기 개방) 상태로 변화하여 Trip coil이 여자되어 차단기 투입
- 부하 상태에서 차단기의 투입/개방 동작이 이루어질 경우 점점 간 과도전압이 인가되며, 그 크기가 절연 내력을 상회할 경우 아크가 발생하여 전류 영점에 도달할 때까지 지속되다 전류 영점 이후 소호됨
- Trip Coil이 여자되는 시점부터 아크가 소호되는 시간을 차단시간으로 정의함



□ 차단기 동작전류 측정방법

○ Trip/Close 코일 전류 측정

- Trip/Close 코일에 DC 10A 이내의 1.0급(오차 $\pm 1\%$) 이상의 정밀도를 갖는 Open Clamp Type의 Hall 센서를 활용하여 코일전류 측정

○ AC 부하 전류

- 기존 계기용 CT의 2차 전류측에 개별 CT를 취부하여 2차 전류를 간접 분석
- AC 5A 이내의 0.5급 이상의 정밀도를 갖는 센서를 사용하여야 함

○ 'a', 'b' 접점 구성

- 각 접점을 조합하여 차단기의 개방 및 투입시간 측정이 가능하도록 구성

□ 인증시험 절차

