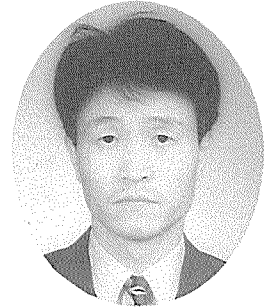


電力用 變壓器 豫防診斷 技術



한전전력연구원 전력계통연구실
공학박사 權 東 震

1. 緒 言

최근의 電力設備은 전력수요의 증가와 더불어 계통이 확대됨에 따라 구성기기가 대용량화, 초고압화되고 있다. 따라서 電力設備의 사고는 停電範圍가 광역화되어 지장시간이 단축됨에도 불구하고 지장전력량은 증가하고 있다. 電力用 變壓器는 送變電 設備 중에서 가장 중요한 기기의 하나로서 그 기능이나 성능을 충분히 확보하여야 하므로 사고를 예방하기 위한 保守管理 및 綠緣診斷의 필요성이 증가하고 있다.

지금까지 變壓器의 維持保守는 日常巡視와 일정기간 사용함에 따른 定期點檢에 의하여 불량개소를 발견하고 보수하는 일정주기에 따른 豫防保守 (Time Based management)를 하였으나, 경제적인 유지와 신뢰성있는 전력공급을 위하여 變壓器 상태를 점검하여 정비하는 狀態點檢 (Condition Based management)으로 전환하고 있다. 따라서 최근에는 變壓器의 운전 및 사고이력에서 殘餘壽命을 추정하고, 變壓器의 이상징후를 운전상태 (on

-line)에서 상시 감시하여 장애에 일어날 사태를 예측하고 그것이 치명적이기 이전에 처리하는 豫測保全技術 중심으로 변하고 있다.

電力用 變壓器의 豫測保全에 있어서는 구성재료의 劣化 메커니즘을 규명하고, 각종 이상징후를 검출할 수 있는 센서기술의 개발이 선행되어야 복잡한 물리현상 및 화학현상을 검출할 수 있다. 최근 정보처리에 의한 신호전송기술의 진보에 의하여, 센서에서 검출된 신호의 전송과 정보처리가 실현되어 온라인 상태에서 자동적으로 變壓器를 감시, 진단하는 방법이 실용화되고 있다.

2. 設備 維持保守 技術

과거의 設備 維持保守 技術은 설비 또는 부품이 파손되면 수리, 교환하는 事後保守의 개념이 일반적이었다. 그러나 설비의 가동율이 대폭 증가하게 됨에 따라 事後保守로서는 생산성을 향상시킬 수 없게 되었으며, 사고가 발생하는 경우 생산에 막대한 영향으로 거액의 산업손실이 발생하게 되었다. 따라서 기기의 部品交換과 精密點檢을 일정기

간에 따라 실시하여 돌발사고를 방지하는 豫防保守 技術이 기기의 신뢰성 유지에 유효하게 평가되어 적용되고 있다. 그러나 이러한 豫防保守 技術은 사용 가능한 기기를 교환하는 過保守가 됨으로써 극단적으로는 保守를 함으로써 기기의 성능을 손상시킬 가능성도 있게 되었다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위하여 설비의 생산성 향상을 목표로 하는 生産保守方式과 설비의 본질적인 개선을 중요시한 改良保守方式이 제창되었다. 이것은 設備自體의 개선에 의하여 劣化의 정도를 저하시켜 故障率을 감소시킴으로써 劣化에 의한 손실 및 보수비용을 저감하는 진보된 保守技術이다. 따라서 設備改善에 필요한 비용이상으로 保守費를 경감할 수 있는 경우에는 경제적이다. 최근 설비의 劣化狀態에 근거한 保守技術인 豫測保守技術이 제시되고 있다. 이 기술은 기기의 상태를 정량적으로 파악하고 기기의 이상징후와 장래에 일어날 사태를 예측하여 필요에 대응한 보수를 실시하는 방법으로 豫防保守와는 대조적인 狀態基準形 保守技術이다. 設備 維持保守 技術엔 설비의 안전 확보 및 이용을 향상, 보수비용의 절감과 설비의 보수를 위한 運轉停止時間 감소가 주요한 과제이다. 최근 保守技術의 변천에 따라 설비고장의 검출 또는 豫測技術이 개발되고 있다.

3. 變壓器 劣化要因과 檢出技法

3.1 變壓器의 劣化要因

變壓器는 장기간 운전됨에 따른 劣化에 의하여 전기적, 기계적인 성능이 저하하여 이상을 나타내고, 그 이상에 의하여 放電이 발생하면 중대한 사고에 이르는 경우가 있다. 變壓器의 劣化要因은

크게 內部 및 外部異常으로 분류된다. 내부 絶緣材料에 있어서는 熱的劣化, 외부단락에 의한 熱的, 機械的 損傷, 部分放電 등이 劣化要因이고, 이것에 의해 기계적 강도의 저하, 진동증가, 가연성 가스 등이 발생하여 絶緣破壞로 진전할 수 있다. 變壓器 각 부위에서 일어나는 劣化要因은 다음과 같다.

3.1.1 變壓器의 內部異常

變壓器 內部異常의 발생개소로는 <표 1>에 나타난 바와 같이 철심, 코일, 리드, 절연물로 분류할 수 있다. 內部材料로는 絶緣油, 絶緣紙, 프레스보드 등의 絶緣材料가 사용되고, 이것은 油入 變壓器의 劣化에 가장 큰 영향을 미치는 재료이다.

<표 1> 變壓器의 內部異常

부 위	현 상	원 인
철 심	철심, 구조 재 과열	냉각불량, 조임불량, 누설자속
	진동증가	조임불량
코 일	過 熱	냉각불량
	放 電	絶緣不良, 異常電壓
리 드	변 위	단락전자력에 의한 변위
	過 熱	냉각불량, 접속불량
絶緣物	放 電	경년열화, 절연내력저하, 이물혼입
	파 손	경년열화, 기계적 강도 저하
絶緣油	放 電	경년열화, 수분혼입

3.1.2 變壓器의 外部異常

變壓器 外部異常의 발생개소로는 <표 2>와 같이 탱크, 배관의 용접불량, 손상에 의한 누유, 패

〈표 2〉 變壓器의 外部異常

부 위	현 상	원 인
탱 크	누 유	용접불량, 손상, 패킹불량, 경년열화
배 관	파 손	외 력
가 스켓	누 유	경년열화, 접속불량

킹블량 또는 경년열화에 의한 누유가 있다. 變壓器 外部異常에 있어서는 가스켓이 주요한 劣化要因으로 판단된다. 이것은 경년열화에 의하여 탄력성 저하, 변형, 균열을 나타내고, 누유로 진전된다.

3.1.3 부속기기의 이상

變壓器는 부하시 탭절환기, 냉각기, 계기 및 보호계전기를 부속품으로 갖고 있으므로, 이러한 부

속기기의 기계적 열화도 주요한 장애의 요인이다. 부하시 탭절환기는 접점재료가 마모등에 의하여 열화되고, 접촉저항의 증가, 동작 불안정, 탭 단락과 絶緣破壞로 진전된다. 變壓器 부속기기의 이상은 〈표 3〉과 같다.

〈표 3〉 부속기기의 이상

부 위	현 상	원 인
냉각장치	누 유 냉각능력 저하	용접불량, 손상, 부식 팬고장, 펌프모터고장
계기, 보호장치	오동작, 부동작	압착불량에 의한 단선, 배선의 진동 피로에 의한 파손, 기계적 불량
부하시 탭절환기	부동작, 오동작	조작기구의 전기적, 기계적 불량

〈표 4〉 순시점검

점검항목	점검내용	비고
1. 유온도	온도상승과다, 국부과열 온도계 이상여부	부하상태, 주위온도에서 볼 때 적당한가 확인, 적정부하관리
2. 유면	유면상태 유면계 이상여부	유면의 온도에 대한 관계위치가 적당한가 확인, 변색
3. 진동, 음향	변압기 외부에서의 음, 외함에 전달되는 미소진동	접속부 이상음의 유무 조사
4. 부싱	애자균열의 유무, 누유에 의한 오손의 유무	
5. 누유	가스켓, 용접, 접속부분의 오손	
6. 가스누설	질소가스 누설유무	압력계에 의한 유온과 가스압의 관계, 냄새
7. 흡습호흡기	흡습제의 변색	실리카겔 교체, 분해, 재조립
8. 방압장치	누유의 유무	부하 및 유온도 확인
9. 냉각장치	전동기 회전음의 이상유무 이상진동의 유무 송유펌프의 회전이상 유무	
10. 계기	계기의 지시, 동작의 확인	전압, 전류 역률

3.2 變壓器 劣化檢出 技法

變壓器의 중대사고를 미연에 방지하기 위해서는 이상의 징후를 열화 초기단계에서 검출하고, 이상의 내용을 정확히 파악하여 대책을 수립할 필요가 있다. 變壓器의 異常檢出 수단은 인간의 오감에 의한 점검에서 온라인 측정기를 사용한 豫防診斷 까지 각종 방법이 있으며, 현재 실용화되거나 개발중인 檢出技法은 다음과 같다.

3.2.1 巡視點檢

巡視點檢은 變壓器의 운전상태에서 주로 육안에 의한 관찰로 점검하는 것으로서, <표 4>와 같이 온도, 음향변화, 냄새, 진동, 변색, 파손, 접속부의 과열 등을 확인함과 동시에 電壓, 電流, 力率 등을 체크하여 운전상태를 관리한다.

3.2.2 普通點檢

變壓器의 이상을 검출하기 위해서는 巡視點檢에

더하여 정기적으로 운전을 정지하고 巡視點檢에서 측정할 수 없었던 항목에 대하여 측정, 시험을 한다. 普通點檢은 설비의 기능확인 및 기능유지를 목적으로 하는 점검으로서 기기의 내부보다는 주로 기기의 외부에서 행하는 점검이다. <표 5>는 普通點檢 항목이다.

3.2.3 精密點檢

變壓器를 정상상태로 유지하기 위하여 巡視點檢과 普通點檢을 하지만, 설비의 성능회복을 목적으로 내부상태를 진단하는 精密點檢을 한다.

(1) 絶緣抵抗 測定

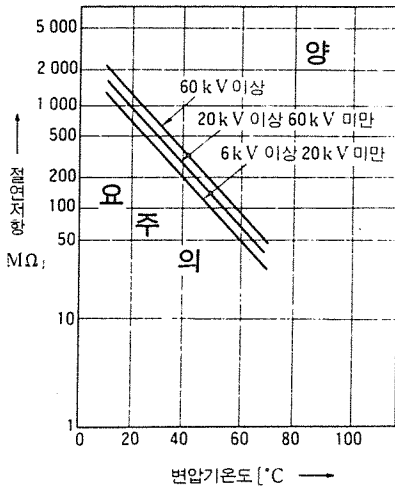
絶緣抵抗 測定은 絶緣物의 吸濕과 劣化(體積抵抗率의 低下) 등을 추정할 수 있다. 絶緣抵抗試驗은 일반적으로 1,000V 이상의 絶緣抵抗計를 사용하여 권선상호간 및 권선과 대지간의 絶緣抵抗을 측정한다. 그 허용치는 <그림 1>과 같다.

<표 5> 보통점검항목

점 검 항 목	점 검 내 용	비 고
1. 권 선	절연저항측정	
2. 절연유	절연파괴전압측정 전산가측정, 유중가스분석	
3. 부하시텟절환장치	절환동작점검	
4. 질소봉입장치	질소순도측정, 봉입장치점검	질소순도 95% 이상
5. 콘서베이터	누유점검	
6. 송유펌프	회전, 케이스 누유	이상이 있는 경우 분해
7. 냉각용 송풍기	절연저항 측정	이상이 있는 경우 분해 베어링 그리스 교환
8. 수냉식냉각기	수냉관점검청소	
9. 온도계, 유면계	경보점검점검, 지시판청소	
10. 보호계전기	동작확인	

(2) 유전정접 (tan δ) 측정

유전정접은 絶緣物의 수분량 변화에 민감하므로 吸濕의 판정과 絶緣物의 劣化程度 판정에 유효하다. 絶緣物이 熱劣化하면 일반적으로 tan δ가 증가하는 경향을 보인다. 또한 熱劣化가 진행되면 일반적으로 絶緣物은 吸濕하기 쉽게 되고, 吸濕했을 경우 tan δ의 변화는 더욱 크게 된다. 이와 같



(그림 1) 變壓器 絶緣抵抗의 判定

이 측정값의 절대치와 측정치의 경년변화에서 열화의 진단이 가능하다. 시험은 일반적으로 휴대용 tan δ계 및 웨빙브릿지를 사용하여 권선상호간 및 권선과 대지간의 tan δ를 측정한다. tan δ에 의한 變壓器의 絶緣劣化 판정의 기준치는 <표 6>과 같으며, tan δ는 絶緣物의 종류나 구성에 의하여 그 값이 다르기 때문에 절대치에 의한 평가뿐만 아니라 초기치와의 비교나 경시적인 변화 등으로 종합 판단한다.

(3) 絶緣油의 특성 측정

絶緣油의 양부는 油入 變壓器에 있어서 매우 중요한 요소로서 냉각효과 및 수명에 영향을 미친

다. 絶緣油가 劣化하면 絶緣破壞電壓, 全酸價, 體積抵抗率, 水分量 등이 변화하므로 이것을 측정함으로써 絶緣油의 양부를 판정할 수 있다. 絶緣油 관리기준치를 <표 6>에 나타내었다.

<표 6> 絶緣油의 보수관리기준치

구 분	기준치	판 정
絶緣破壞電壓 (kV at 2.5mm)	> 30	양 호
	25~30	요주의
	< 20	불 량
體積抵抗率 (Ω-cm at 50°C)	> 1×10 ¹²	양 호
	1×10 ¹¹ ~1×10 ¹²	요주의
	< 1×10 ¹¹	불 량
酸 價 (mg KOH/g)	< 0.3	양 호
	0.3~0.4	요주의
	> 0.4	불 량
TAN δ(%) (at 50°C, 50Hz, 1,000V)	< 1.25	양 호
	1.25~5.0	요주의
	> 5.0	불 량

4. 變壓器 絶緣診斷 技術

油入 變壓器는 絶緣性能과 冷却性能을 확보하기 위하여 보통 絶緣油와 油浸紙의 複合絶緣이 채용되고 있다. 따라서 變壓器 권선은 일반적으로 油浸紙로 둘러 싸여 있으므로 部分放電이 발생하여도 바로 絶緣破壞에 도달하지 않고 部分放電과 생성가스를 발생한 후 絶緣破壞로 이어진다. 따라서 變壓器의 絶緣診斷技術은 油中 가스분석법과 部分放電 측정법이 개발되어 실용화되고 있다.

4.1 油中 가스분석

油入 變壓器의 내부 이상현상은 주로 局部 絶緣 破壞와 局部過熱에 의한 發熱을 동반한다. 이러한 發熱源에 접하는 絶緣油, 絶緣紙, 프레스보드 등의 絶緣物은 그 熱의 영향으로 분해 반응하여 탄화수 소계 가스를 발생한다. 이 발생가스의 대부분은 絶緣油 중에 용해되므로 變壓器에서 絶緣油를 채유하여 油中の 가스를 분석하고, 그 가스량 및 가스조성비에 의해 變壓器의 내부이상의 유무, 이상의 종류를 추정한다. 油中 용존가스분석에는 가스 크로마토그래프가 일반적으로 많이 사용되고, 분석 대상가스는 O₂, N₂, H₂^{*}, CH₄^{*}, C₂H₆^{*}, C₂H₄^{*}, C₂H₂^{*}, CO^{*}, CO₂ 등 9종류의 가스이다(여기서 *는 가연성 가스이다). 일반적으로 變壓器 이상의 종류와 발생가스의 관계는 <표 7>과 같고, 가스분석 결과의 판정방법은 <표 8>~<표 10>과 같다.

<표 7> 이상의 종류에 의한 가스성분

이상의 종류	油中 혼합가스
絶緣油의 過熱	H ₂ , CH ₄ , C ₂ H ₄ , C ₂ H ₆ , C ₃ H ₆ , C ₃ H ₈
油侵 고체 絶緣物의 過熱	CO, CO ₂ , H ₂ , CH ₄ , C ₂ H ₄ , C ₂ H ₆ , C ₃ H ₆ , C ₃ H ₈
絶緣油 中の 放電	H ₂ , CH ₄ , C ₂ H ₂ , C ₂ H ₄ , C ₃ H ₆
油侵 고체 絶緣物의 放電	CO, CO ₂ , H ₂ , CH ₄ , C ₂ H ₂ , C ₂ H ₄ , C ₃ H ₆

<표 8> 가연성 가스총량(TCG) 및 요주의 레벨

變壓器 容量 (MVA)	가스 량 (PPM)					
	TCG	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	CO
10 이하	1,000	400	200	150	300	300
10 초과	700	400	150	150	200	300

<표 9> 가연성 가스총량(TCG) 및 이상 레벨

變壓器 容量 (MVA)	가스 량 (PPM)					
	TCG	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	CO
10 이하	2,000	800	400	300	600	600
10 초과	1,400	800	300	300	400	600

<표 10> 가연성 가스총량(TCG)의 증가경향의 요주의 레벨

變壓器 容量	TCG 증가율 (PPM/년)
10MVA 이하	350
10MVA 이상	250

4.2 部分放電 측정

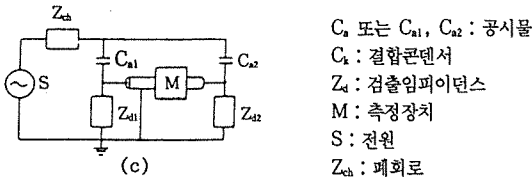
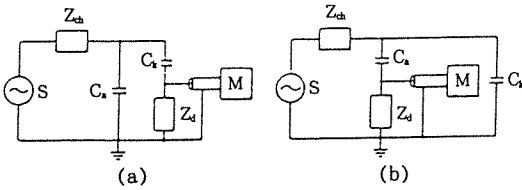
變壓器의 중대사고 요인인 内部絶緣이상은 돌발적인 사고를 제외하고는 대부분 部分放電을 수반하므로, 部分放電과 絶緣壽命은 깊은 相關關係가 있다고 認定되어 왔다. 또한 部分放電은 이상상태 발생시 다른 징후보다 응답이 빠른 특성을 지니고 있으므로 部分放電을 지속적으로 관찰하면 變壓器 사고를 미연에 방지하거나 감소시킬 수 있는 유효한 방식이다. 變壓器 內에서 발생하는 部分放電을 검출할 수 있는 방법으로는 로고우스키 코일 (rogowski coil)을 이용하여 部分放電에 의한 전류펄스를 검출하거나, 變壓器 외함에 초음파 탐촉자를 설치하여 초음파 신호를 검출하는 두 가지 방식이 있다. 또한 이것을 조합하여 노이즈의 제거와 部分放電의 위치추정도 가능하다.

4.2.1 電氣的 測定法

部分放電에 의한 전류펄스를 검출하는 기본적인 회로는 (그림 2)와 같이 公試物에 인가하는 전원,

펄스전류를 펄스전압으로 변환하는 검출 임피던스, 펄스전류가 검출 임피던스에 유효하게 흐르도록 폐회로를 형성하기 위한 결합 콘덴서, 검출 임피던스의 출력을 측정하는 장치로 구성된다. 일반적으로 전원과 公試物 사이에는 전원에서의 電源雜音의 유입, 部分放電 펄스전류가 전원으로 유출되지 않도록 저항, 인덕턴스 등의 폐회로를 삽입한다. 검출 임피던스의 접속위치는 다음과 같다.

- (a) 公試物의 고압측 단자에 접속된 결합 콘덴서의 접지단자와 대지 사이
- (b) 公試物의 접지측 단자와 대지 사이



C_a 또는 C_{a1} , C_{a2} : 공시물
 C_a : 결합콘덴서
 Z_d : 검출임피던스
 M : 측정장치
 S : 전원
 Z_a : 폐회로

(그림 2) 部分放電 검출의 기본회로

현장에서의 部分放電 전류펄스를 검출하는 방법으로는 기본적으로 (그림 2)에 나타난 기본회로를 이용하며, 권선 중성점에 상용주파전류와 중복되어서 흐르는 放電電流를 로고우스키 코일 타입의 고주파 펄스 CT로 검출하는 펄스 CT법과 고압 부싱에서 放電電流를 검출하는 부싱탭법, 變壓器 탱크 접지선에 로고우스키 코일을 설치하여 검

출하는 방법이 있다.

(1) 부싱을 이용하는 방법

콘덴서형 부싱을 사용하는 경우에는 부싱의 전압 측정용 단자 또는 시험용 단자에서 部分放電에 의한 펄스전압을 검출할 수 있다. 이 방법은 공장에서 部分放電 펄스 검출방법과 같이 감도적으로는 아주 우수하지만, 측정선을 연결하기 위하여 變壓器를 정지할 필요가 있는 등 실용면에서 곤란하다.

(2) 중성점 접지선을 이용하는 방법

중성점이 직접 접지된 경우에는 중성점의 접지선에 고주파 특성의 CT를 삽입하여 部分放電 펄스전류를 검출할 수 있다. 이 방법은 감도적으로는 부싱을 이용하는 방법에 비하여 약간 떨어지지만 취부가 용이하므로 실용적이다. 그러나 중성점이 직접접지가 아닌 경우에는 검출감도가 저하되는 문제가 있다.

(3) 變壓器 본체 접지선을 이용하는 경우

部分放電 펄스전류는 變壓器 본체의 접지선에서 로고우스키 코일을 삽입하여 검출할 수 있다. 이 방법은 활선상태에서도 로고우스키 코일을 취부하기가 용이하고 구조가 간단한 잇점이 있지만 검출 감도가 적다.

4.2.2 음향적 측정법

變壓器 내부에서 部分放電이 발생할 경우, 일반적으로 그 부위에는 국부적인 발열을 동반하고 그 발열열에 의해 주변의 絶緣油가 급격한 압축을 받아 펄스형태의 초음파가 발생된다. 따라서 이 초음파를 검출하여 部分放電을 탐지하면 變壓器의 絶緣劣化 監視가 가능하다. 초음파를 이용한 豫防 診斷의 장점은 이상 발생부의 위치표정이 가능하므로 이상부위의 수리를 용이하게 할 수 있으며 수리비와 수리시간을 최소화할 수 있다. 또한 현

장에서도 전기적 노이즈의 영향이 없기 때문에 신뢰성이 높으며 變壓器의 운전상태에서도 絶緣異常을 검출할 수 있으므로 變壓器의 초기고장을 발견할 수 있다. 초음파를 이용한 變壓器 진단은 전류 측정법과 같은 특별한 시험회로가 필요없으며, 탐촉자를 變壓器 외함에 자석을 이용하여 부착하기 때문에 측정이 간편하다. 또한 초음파 탐촉자는 變壓器 상태와는 독립적으로 취부할 수 있으므로 운전 중에도 보수, 점검이 가능하다. 그러나 초음파 신호는 變壓器 구조물에 의해 초음파 탐촉자에 도달할 때까지 감쇄하고, 거리에 따라서도 감쇄하므로 초음파 신호의 크기로 變壓器 내에서의 部分放電량을 추정하는 것은 곤란하다. 따라서 部分放電에 의한 초음파를 이용하여 變壓器를 常時診斷할 경우에는 초음파 신호의 절대적인 크기보다는 기준레벨 이상의 초음파 신호를 계수하여 초음파 신호 수의 시간적 변화경향으로 部分放電의 진전 상황을 파악하는 것이 보다 중요하다.

4.2.3 部分放電의 위치추정

(1) 전기-초음파 신호를 이용하는 방법

變壓器의 豫防診斷에는 이상개소의 조기제거와 복구를 위하여 部分放電이 발생하는 부위를 명확히 파악하는 것이 중요하다. 部分放電의 발생 위치는 로고우스키 코일로 部分放電에 의하여 발생되는 전기적인 펄스를 검출하고 變壓器 탱크에 취부된 초음파 탐촉자로 초음파 신호를 검출하여 두 신호간의 시간 차를 이용하여 部分放電의 발생 위치를 추정할 수 있다.

部分放電 발생점의 위치추정은 3각 측량법 또는 뉴턴-랩슨(Newton-Raphson)법으로 部分放電의 발생 위치를 추정할 수 있으며 정확한 위치를 추정하기 위해서는 3곳 이상에서의 측정이 필요하다.

따라서 變壓器 탱크 벽에 3~4개의 초음파 탐촉자를 설치하거나, 초음파 탐촉자를 3~4번 이동하여 측정하면 部分放電의 발생 위치를 추정할 수 있다.

(2) 초음파-초음파 신호를 이용하는 방법

變壓器 內에서 部分放電이 발생하는 경우, 變壓器 외함에 설치된 복수의 초음파 탐촉자에는 部分放電 발생위치에서 초음파 탐촉자까지 油中을 초음파가 전파해 가는 시간만큼 검출이 늦어지기 때문에 각 초음파 탐촉자 도달하는 시간은 다르게 된다. 따라서 部分放電의 발생 위치는 2개의 초음파 탐촉자에서 검출된 초음파 신호의 도달 시간 차이의 상호상관함수와 變壓器 絶緣油에서의 音速에 의하여 발생 위치를 추정할 수 있다.

4.3 變壓器 壽命診斷技法

현재 국내에는 운전개시 후 20~30년 경과한 電力用 變壓器가 증가하고 있으므로 이들 變壓器의 殘餘壽命에 대한 관심이 증가하고 있다. 油入 變壓器는 絶緣油와 絶緣紙 등의 絶緣材料는 물론 동, 알루미늄 등의 導電材料, 규소강판의 鐵心材料, 철, 스테인레스 스틸 등의 構造材料가 사용되고 있다. 油入 變壓器에 사용되는 이러한 재료는 운전 중에 발생하는 熱, 油中에 잔존하고 있는 산소, 수분 및 불순물 등에 의하여 열화된다. 현재 油入 變壓器에 사용되는 재료 중 금속재료는 전기적, 기계적 특성의 經年劣化 경향은 확인되고 있지 않으며, 油入 變壓器의 壽命과 관계되는 것은 絶緣油, 絶緣紙, 프레스보드 등의 絶緣材料이다. 따라서 油入 變壓器의 壽命診斷技法으로 絶緣紙, 프레스보드 등의 셀룰로오스계 재료에 대한 기계적 성질, 平均重合度, CO+CO₂와 經年劣化의 관계에 대한 研究가 진행중에 있다.

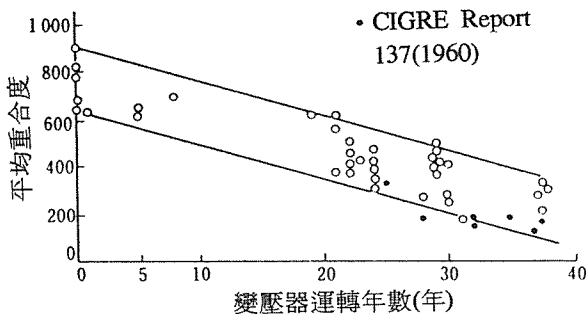
4.3.1 絶縁材料의 劣化特性

絶縁油는 熱, 산소, 수분 및 불순물 등에 의하여 열화되어 全酸價의 증가, 體積抵抗率의 저하, 絶縁破壞電壓의 저하가 나타난다. 최근 제조상의 건조 처리기술의 진보, 油 劣化防止 대책으로 무압 밀봉형과 질소밀봉형의 콘서베이터가 채용되고 있으므로 絶縁油의 열화는 아주 작다. 그러나 絶縁紙나 프레소보드 등의 셀룰로스계 재료의 기계적 특성은 經年劣化에 의해 비교적 크게 저하한다. 셀룰로스계 재료는 酸化劣化하면 셀룰로스 분자의 구조가 절단되어 셀룰로스 분자의 저분자량화, 즉 平均重合度の 저하가 발생한다. 따라서 이 평균분자량은 셀룰로스계 재료의 기계적 강도의 열화지표가 된다. 變壓器에서 絶縁紙를 채취하여 측정된 平均重合도와 變壓器 운전시간과의 관계에서 30년간 사용된 變壓器에서는 平均重合도가 초기치의 60~40% 저하된다. (그림 3)은 그 일례를 나타낸 것이다. 絶縁紙 및 프레소보드는 經年劣化에 平均重合도는 저하되어도 破壞電壓은 그다지 저하되지 않지만 抗張力은 현저히 저하된다. 장기간 정상으로 운전한 變壓器에서 채취한 絶縁紙의 引

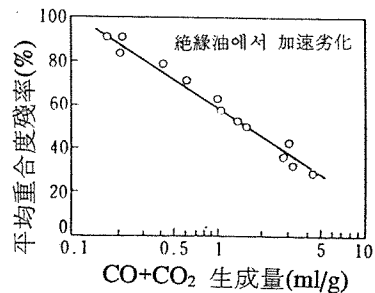
張強度는 30년 운전된 경우 초기치의 약 30~70% 저하되며 외부단락시 絶縁紙의 강도상에 문제가 발생할 가능성이 있다.

4.3.2 CO+CO₂의 생성량과 壽命

셀룰로스 분자는 분해가 진행되면 CO, CO₂와 물이 생성되고, CO, CO₂는 絶縁油에 용해된다. 이 현상은 온도가 높고 유중의 산소와 수분이 많으면 CO+CO₂의 생성량의 증가가 현저해 진다. 따라서 유중 가스분석으로 CO+CO₂의 생성량을 측정함으로써 絶縁紙의 劣化程度 및 殘餘壽命을 추정할 수 있다. 絶縁紙의 平均重合도와 유중 용존가스 중의 CO+CO₂ 생성량의 상관관계를 (그림 4)에 나타내었다. 그림에서 平均重合도 殘率과 CO+CO₂ 생성량의 사이에는 平均重合도 殘率 30~90% 사이에서 양호한 직선관계가 나타나고 있다. 약 30년 운전된 油入 變壓器에 있어서 絶縁紙의 重合도는 약 50% 이하이다. 한편 이 경우의 CO+CO₂ 생성량은 1~2.5(ml/g) 정도이다. 따라서 絶縁油 中の CO+CO₂ 생성량이 1~2.5(ml/g) 정도이면 이 絶縁油에 사용된 絶縁紙는 經年劣化가 진행되어 壽命末期에 도달한 것으로 추정할 수 있다.



(그림 3) 油入 變壓器 운전시 絶縁紙 平均重合도의 저하



(그림 4) 絶縁紙의 平均重合도 殘率과 CO+CO₂ 生成량의 관계

5. 變壓器 自動監視診斷技術

현재 유중 가스분석은 현장에서 채유된 샘플을 시험실에 운반하여 가스 크로마토그래프로 분석하여 變壓器의 이상유무를 진단하고 있다. 이러한 방법은 가스분석을 위한 시간 및 비용이 많이 드는 단점이 있다. 따라서 최근에는 유중 가스분리부를 變壓器에 고정시켜 온라인에서 자동으로 진단하는 방법이 개발되어 실용화에 이르고 있다.

5.1 油中 가스분석법

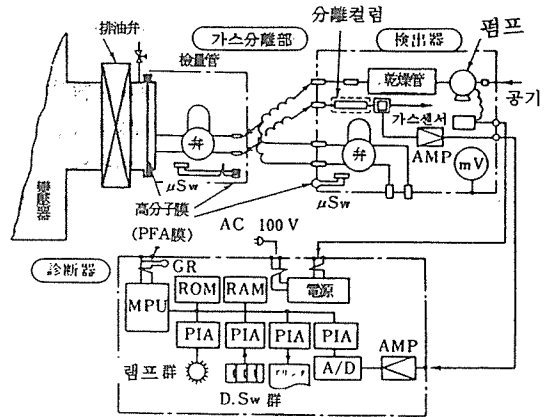
5.1.1 수소가스 常時監視裝置

油中 용해 가스중에서 단일성분의 분석대상 가스로는 수소가스가 가장 널리 적용되고 있다. 이것의 내부이상시 수소가스는 다른 가스와 동반하여 필히 발생하며, 내부 이상이 진전됨에 따라 발생하는 수소가스량은 비례적으로 증가 경향을 보이기 때문이다. 이와 같이 수소가스는 내부 이상 및 다른 가스와의 상관관계가 클 뿐만 아니라 絶緣紙 中の 용해도가 용존가스중 가장 낮기 때문에 추출이 쉽다는 등의 이유 때문에 수소가스만의 단독 가스분석으로도 내부 이상을 진단하는데 유용하게 적용되고 있다. 따라서 自動檢出裝置로 常時監視함으로써 이상의 징후를 파악하는 방법이 실용화되고 있다. 油中의 수소가스는 투과막을 투과하여 가스실에 유입되어 평형상태가 된다. 따라서 수소센서로 가스실의 농도를 측정하여 油中의 수소가스의 농도를 측정할 수 있다.

5.1.2 다종류 가스 자동감시장치

가스 검지방식 중 가스 크로마토그래프방식은 컬럼(column) 충전제 내를 투과한 가스의 이동시

간차를 검지하는 방식으로, 여러 성분의 가스를 높은 정밀도를 가지고 검지할 수는 있다. 이 장치는 變壓器 본체에 취부된 가스분리부와 가스검출기 및 진단기로 구성되어 있어 분석의 간소화, 자동화 및 신속화에 유효한 진단시스템이다. (그림 5)와 같은 다성분 유중가스 自動監視裝置의 분석 가능한 가스는 CO, H₂, CH₄, C₂H₂, C₂H₄, C₂H₆ 등이다.



(그림 5) 다성분 가스 自動分析裝置

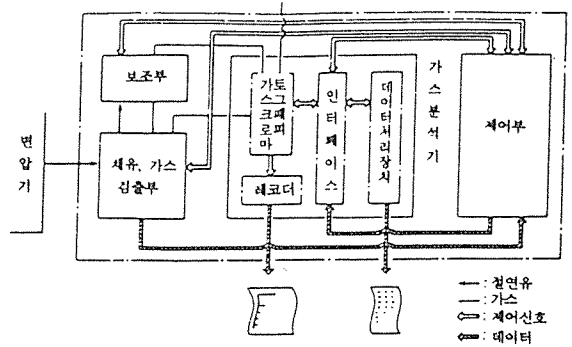
5.2 變壓器 常時監視裝置

최근 變壓器의 内部診斷을 목적으로 유중 가스 自動分析裝置는 물론 部分放電, 漏油, 油溫度, 부하시 탭절환기 監視裝置 등을 조합한 變壓器 常時監視裝置가 개발되고 있다. (그림 6)은 온라인 모니터링 시스템의 예이다. 이 장치는 각종 센서를 變壓器에 취부하고, 센서에서 취득된 정보를 컴퓨터로 데이터 처리하여 變壓器의 상태를 기록하고, 분석하여 경보를 표시할 수 있도록 시스템화된 경

우가 많다. 또한 기타 기기를 포함한 變電所 전체에 대한 常時監視시스템도 개발되고 있다.

6. 結言

電力用 變壓器를 진단하기 위하여 현재 적용하고 있는 기술은 巡視點檢 및 定期點檢과 시료를 정기적으로 채취하여 분석하는 가스분석에 의존하고 있다. 그러나 수동방식에 의한 유중 가스분석 기술은 變壓器 이상유무의 診斷까지는 장시간이 소요될 뿐만 아니라 급속히 진행되는 이상발생시는 효과적인 診斷法이 되지 못하며, 絶緣油 採取와 分析에 따른 인력 및 시간의 과다한 소요가 불가피한 실정이다. 최근 自動分析 기기에 의해 油中 가연성가스 총량이나 특정가스를 상시감시할 수 있는 장치에 대한 연구가 활발히 진행중에 있다. 또한 變壓器의 內部診斷을 목적으로 유중 가스 自動分析裝置는 물론 部分放電, 漏油, 油溫度,



(그림 6) 온라인 모니터링 시스템

부하시 탭절환기 監視裝置 등을 조합한 變壓器 常時監視裝置가 개발되고 있다. 發電所의 無人化 추세가 확산될 것으로 전망됨에 따라 變電設備의 綜合 豫防診斷 시스템과 연계시켜 컴퓨터에 의한 綜合 管理 시스템을 구축하는 보다 효과적인 診斷技術의 정립이 향후 필수과제이다.

국경없는 무한경쟁 세계화로 이겨내자.