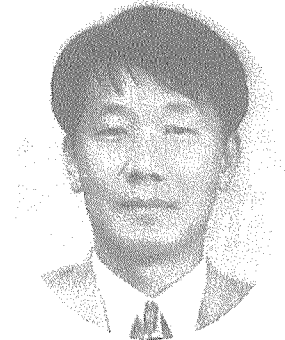


전력기기의 잔여수명 추정기법



충청대학교 산업안전과
교수 강성화

고도의 기술, 정보화 사회에서는 고품질 전력의 안정적인 공급이 요구된다. 예를 들면, 균질한 재료의 제조과정에서는 정전 및 미소한 전압변동도 치명적일 수 있으며, 순시전압의 감소에 따라 컴퓨터의 데이터 저장 및 정보통신이 영향을 받을 우려가 있다.

또한, 전기공급자의 측면에서도 대용량 전력설비를 한계 수명 이전에 교체하는 것은 경제적으로 부담이 크기 때문에 전력설비의 수명한계점까지 사용하는 것이 바람직하다.

따라서 현재 전력설비의 절연이상·열화진단기술의 연구·개발이 활발히 이루어지고 있다. 열화진단 기술은 절연물의 각종 스트레스에 대한 열화진전 메카니즘의 크기·빈도·지속시간 등을 감안하여 기기의 절연열화의 상태를 판정하고 궁극적으로는 절연수명을 추정하는 것이다.

제1절에서는 기초사항으로서 잔여수명추정법의 고려방향이나 열화지표 및 그 측정법, 통계처리 기법에 대하여 기술하며, 제2절에서는 회전기·유입변압기·전력케이블의 직접적인 예를 들어 실제의 기기에 대한 잔여 수명 추정기법의 적용에 대하여 서술한다. 회전기에서는 합성수지의 열화메

카니즘에 의해서 해석하고 실기기에 대한 열화데이터를 집적하여 절연 잔여 수명추정의 기법을 검토한다. 유입변압기는 유침지 절연이므로 셀룰로오스의 분해에 수반되는 furfural이나 $CO_2 + CO$ 가스의 양이 유효한 열화의 지표이며, 변전기기 중에서는 절연 잔여 수명 추정법이 가장 잘 확립되어 있다.

1. 절연 잔여수명 추정법의 기초

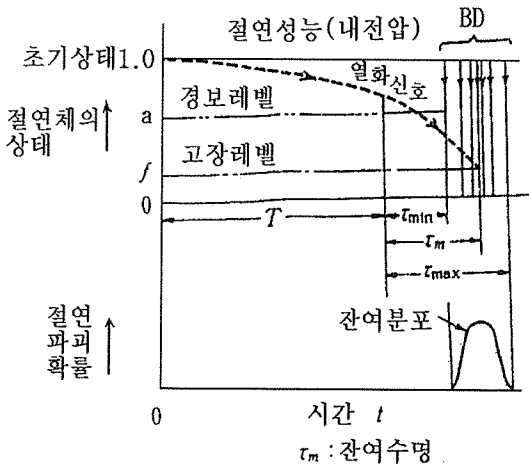
1.1 잔여수명 추정법의 고려방향

전기설비의 진단기술에서는 잔여수명이라 함은 "신품은 대상으로 하지 않으며, 어느 정도의 스트레스 하에서, 임의 시간 사용되고 있는 장치의 고장까지의 시간의 기대치"로 정의되고 있다. 이 정의를 절연체에 적용하면 그림 1과 같이 된다. 그러나, 실제 운전하는 입장에서는 고장 발생이전의 신뢰성이 보증되는 시점까지가 중요하다.

또한, 절연물 본체이외의 구성부품의 고장·열화에 의한 기기에서의 기능저하를 기기 본체의 수명과 혼동해서는 안 된다.

절연 잔여 수명을 추정하는 방법으로는 다음과 같은 3가지의 기본적인 방법이 있다.

- ① 전력기기의 사용시간의 경과와 더불어 진단을 실시하며, 절연 열화의 특징을 보이는 신호레벨의 변화를 추적한다. 신호레벨이 경보레벨로 되면 상세히 추적하여 경향을 분석하고, 운전의 신뢰성이 보호레벨로 도달하는 시점까지의 시간을 추정한다.
- ② 수명의 말기상태인 경보레벨에 도달하기까지는 ①과 동일하지만 별도로 취득한 시험데이터를 통계적으로 처리하여, 경보레벨에 도달된 후부터 고장까지의 시간을 추정한다.



(그림 1) 절연열화와 잔여수명

- ③ 동시에 작용하는 복수의 열화요인에 대한 영향을 추정하기 위하여 각각의 열화요인이 단독으로 작용할 때의 수명 소비 속도를 별도의 실험에 의하여 측정된 데이터를 통계적으로 처리하여 전력기기의 사용조건에 대응하는 복수의 열화요인이 동시에 작용한 시간의 수명 소비 속도를 복합요인 열화이론으로부터

추정하고, 수명소비에 이르기까지의 시간을 추정한다.

1.2 절연 잔여수명 추정법의 지표

(1) 부분방전

① 통계 연산자를 이용한 방법

계측된 부분방전(PD) 데이터로부터 통계 처리된 모든 양들을 이용하는 방법이지만, 절연재의 열화해석에는 PD 발생분포의 왜도, 첨예도 등과 같이 독자적으로 정의되어 수치화 된 통계량이 이용되며, 이들은 절연재가 절연파괴에 도달하기 직전에 그 값이 급격하게 변화하는 것이 많다.

그 일례를 보면, GIGRE Method-II전극계를 이용한 저밀도 폴리에틸렌(LDPE)에 대한, 부분방전 펄스의 특성을 내부 부분방전 발생위상각 특성 (Φ (방전발생 위상각)- q (방전 전하량)- n (방전 발생빈도)분포) 또는, 각종 방전통계량의 경시변화를 측정하여, 열화판정에 유효한 PD통계량으로서 PD펄스 개시위상평균 θ_{inc} , 펄스 수 최대 위상각 왜도 Φ_{nmax+} , 방전펄스 수 집중도 $Cn+$, 경계점 전후에서의 충전하량비 PQ 등의 5가지로 검토되고 있다.

② 패턴인식을 이용한 방법

부분방전의 $\Phi - q - n$ 분포를 3차원 패턴으로 취급하고, 패턴인식 이론과 관련된 각종의 방법으로 열화상태를 파악하는 방법이다. 이러한 방법에 의한 열화진단의 방법으로는 실험 데이터나 시뮬레이션 결과에 의하여 구축된 추론기구에 기초하여 부분방전 패턴을 해석하는 방법이나, 패턴인식의 분야에서 주목되고 있는 뉴럴 네트워크를 이용하는 방법 등이 주로 검토되고 있다. 부분방전 현상

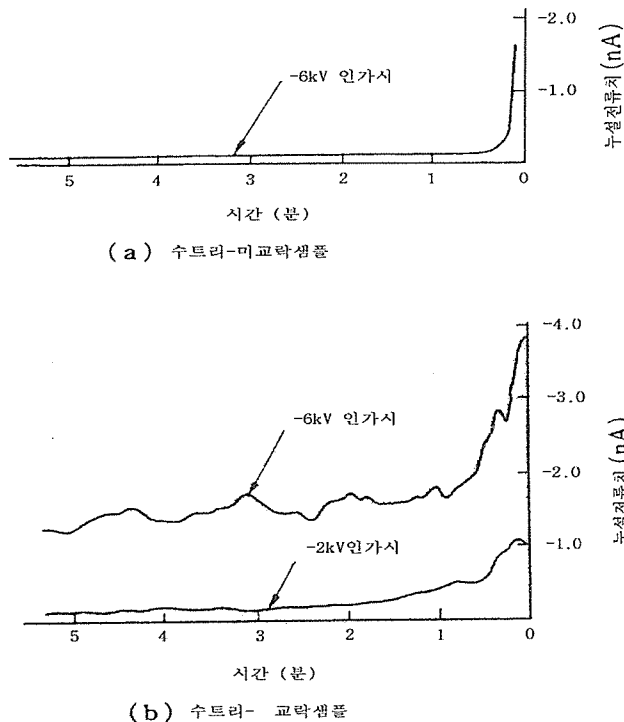
의 패턴인식에 의하여 절연열화를 판정하는 방법은 단순화한 절연체 모델을 이용한 연구가 행해지고 있는 단계이며, 실제의 기기에 대한 잔여 수명 추정법으로는 아직 실행되지 않는 실정이다.

(2) 직류누설전류

직류 누설전류는 직류전원과 미소전류 계측장치에 의하여 비교적 간단하게 측정되므로 오래 전부터 전기설비의 절연 열화도를 평가하는 방법으로 이용되었다. 근년에는 광 계측 기술에 의하여 누설전류 측정이나 측정작업·결과판정의 자동화가 이루어져 누설전류 파형 정보처리가 행해지고 있으며, 합리화도 진행중에 있다. 잔여수명 진단에 대한 지표는 절연 저항치와 누설전류 파형 등의 2가지로 분류할 수 있다.

절연저항치를 지표로 하는 방법은 절연저항치와 잔존 파괴 전압치와의 상관계수가 큰 폴리에스테르와 같은 경우에 특히 유효하다. 단 국부적인 결함부로부터 열화가 진전되는 경우에 대해서는, 상당한 열화가 진행되어도 판정되지 않는 경우가 발생한다.

누설전류 파형을 지표로 하는 방법은 전압인가 후 1분간의 전류치와 최종치의 비율(성극 지수)을 이용하는 방법으로 종래부터 회전기나 케이블 등의 절연열화판정에 이용되고 있다. 그림 2는 18년간 사용한 6kV, CV케이블에 대한 측정결과를 나타낸 것이다. 그림 2(a)는 절연체에 미교락 수트리가 존재하는 경우이고, 그림(b)는 절연체에 교락 수트리가 존재하는 경우이다.



(그림 2) 직류 누설전류 실측 파형

(3) 분해가스

절연열화에 수반하여 발생하는 가스의 종류 및 양은 표 1에 나타낸 바와 같이 방전형태 및 온도 등의 열화조건 및 절연재료의 종류에 따라 다르다.

따라서, 분해가스를 측정하여 절연열화를 진단하는 것이 가능하고 유효하지만 일반적으로 고체 절연기기에서는 가스 채취의 문제점 등이 있으므로 밀폐식 기기에 이용한다. 특히 변압기 등의 밀

폐형 유침지 절연에 대한 절연열화 진단기법으로써 가스분석법은 매우 유효하며 신뢰도 또한 높은 잔여 수명 추정법이다. 수명에 직접 관계하는 분해가스로는 유침 절연지의 열화에 의하여 발생하는 CO₂ 및 CO가 있다. 이 방법은 절연유를 채취하여 유 중에 용해된 분해가스를 추출하고 그 양으로부터 절연지의 평균중합도 잔율을 구하여 절연잔여수명을 추정한다.

〈표 1〉 이상시 발생하는 가스

이상의 종류		절연물의 종류	분 해 온 도	발 생 가 스
과 열		절 연 유	300~600 ℃	CH ₄ , C ₂ H ₆ , C ₃ H ₆
			600~900 ℃	(CH ₄), C ₂ H ₄ , C ₃ H ₆
			800 ℃ 이상	C ₂ H ₂ , H ₂ (CH ₄ , C ₂ H ₄)
	고체절연물	200 ℃ 이하	CO, CO ₂ .	
		200 ℃ 이상	CO ₂	
방 전	아 크	절 연 유	-	C ₂ H ₂ , H ₂ (CH ₄ , C ₂ H ₄)
		고체절연물	-	C ₂ H ₂ , H ₂ , CO(CH ₄)
	코로나	절 연 유	-	H ₂ , C ₂ H ₂ , CH ₄
		고체절연물	-	H ₂ , CO, CH ₄ (C ₂ H ₂)

(4) 색차·색도의 추적

고분자 절연재료는 열 열화에 의하여 변색되는 경우가 많다. 변색을 측정하여 열화판정을 행하는 방법은 오래 전부터 시각적인 점검항목으로 절연 열화 진단법으로 이용되고 있지만 객관적인 판단 기준이 될 수는 없다. 그런데, 근년에는 우수한 색차·색차계가 개발되어 색 변화 정도를 정량화하는 것이 가능해졌다. 색차계를 사용하는 방법은 변압기의 절연유 및 에폭시 수지의 열화진단에서의 적용이 검토되고 있다.

밀접한 관련성이 있다. 따라서 절연지나 프레스보드의 기계적 강도가 절연수명을 좌우하는 전력설비에서는 평균 중합도 잔율을 추적함으로써 절연 잔여수명을 추정하는 것이 가능하다. 단, 가동 중의 전력설비로부터 직접 절연지나 프레스보드 시험편을 채취하는 것은 일반적으로 어렵기 때문에 유 중 가스나 유 중 furfural 등의 생성량을 측정하는 간접적인 방법에 의하여 추정하고 있다.

(5) 중합도

절연지나 프레스보드의 중합도와 기계적 강도는

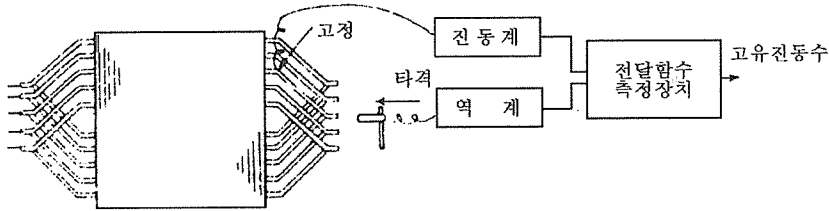
(6) 고유진동수

종래에는 전동기 권선의 각 부분에 충격을 주어 발생하는 음이나 감촉에 의하여 이상을 판정하는 해머링법이 이용되었다. 이 방법은 숙련이 요구되

며, 진동해석법은 해머링법을 정량화한 것이다.

즉, 열화에 의해 권선의 절연층에 균열이나 박리 등의 구조적 변화가 발생한 경우에 권선에 진동을 가하고 진동계로 진동가속도·진동속도·진

동변위 혹은 음 등을 계측·해석하고, 감쇠비나 전달함수 혹은 고유진동수의 변화를 측정하여 절연열화 판정을 한다. 그림 3에 측정법의 일례를 나타내었다.

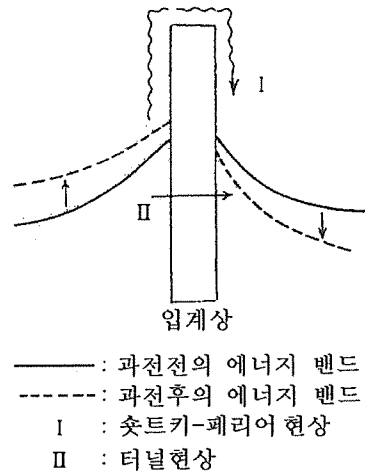


(그림 3) 고유진동수

(7) 교류전류중의 저항성분전류

절연체에 흐르는 교류전류 중 저항성분 전류가 절연체의 열화에 의해 증가하고, 어느 임계치를 초과하면 발열과 방열의 파라미터가 열폭주에 이르는 전력설비(산화아연형 피뢰기 등)에 대하여 저항성분 전류의 계측에 의한 절연진단이 수행되고 있다.

산화아연소자에서는, 저전계 영역에서는 그림 4에 나타낸 바와 같이 포텐셜 장벽이 전계에 의하여 저감되어 전자가 열적 원인으로 장벽을 넘어서 이동하는 쇼트키효과에 의한 전도기구가 지배적이다. 열화는 포텐셜 장벽의 변형 및 높이의 저하에 의해 발생한다고 할 수 있다. 그 원인은 열 열화에 의한 것과, 장벽에서의 이온이동 혹은 장벽 내에서의 전자트랩의 발생에 의한 것이 있다. 실제의 열화 현상은 양자의 복합으로 되어 단순한 아레니우스 플롯으로부터 수명을 추정하는 것은 곤란하고, 운전중의 교류전류 중 저항성분 전류를 (연속)측정하여 그 경향으로부터 추정하는 것이 합리적이다.



(그림 4) 산화아연형 피뢰기의 에너지 밴드구조

2. 실기기에서 잔여수명 진단기법

2.1 발전기와 전동기의 수명진단기법

(1) 열화요인과 형태

전동기의 운전중에 고정자 권선 절연체가 받는 열화요인으로서 열, 전압, 기계력 및 외부환경

요인이 있으며, 이들의 열화요인이 단독 혹은 복합적으로 작용한다. 열적 요인 중에서 열적 응력은 크랙을 발생시키고, 열분해는 수지의 분해에 의한 가스압의 증가나 접착강도를 저하시키며, 계면에서 박리를 발생시킨다. 그 결과 절연체가 팽창하여 부분방전에 의한 유전점점의 증가나 $\Delta \tan \delta$ 의 증가로 나타난다. 기계적 스트레스는 계면이나 마이카·수지 단체부분에 각각 마이크로크랙을 발생·증가시키지만 동시에 이미 다른 원인에 의하여 발생된 크랙을 확대·진전시킨다. 전기적으로는 결합 부분에서 부분방전이 발생하고, 코로나 침식·트리가 진행되지만 마이카 편에서의 진전은 둔화된다. 열화의 초기 단계에서는 독립적으로 발생하는 매크로크랙이 결합하여 최종적으로 기계적으로 파괴에 도달하지만 파괴 직전에 대규모로 연결된 크랙으로부터 트리가 급속하게 진전되는 절연파괴를 생각할 수 있다.

이상의 메커니즘을 고려하면 열화는 시간적으로 일정하게 진전되지 않으며 초기에는 결합이 발생하고 열화가 진전하는데 장시간이 요구되지만 일단 대규모의 크랙이 진전하고, 각각의 스트레스에 의한 상승작용으로 단시간 내에 파괴에 도달한다.

(2) 수명진단 추정기법

발전기의 형식이나 정격은 다양하고 부하의 상태, 운전시간, 기동·정지회수, 주위환경 등의 운전조건도 다양하다. 이들을 고려한 고정자 권선의 절연 잔여 수명 추정법의 개발이 중요시되고 있다. 또한 터빈 발전기 고정자 권선에 있어서 고정방향을 고려하여 진단의 정도를 향상할 필요가 있다.

비파괴법으로는 운전이력으로부터 잔여수명을 추정하는 방법과 실기기 권선의 절연진단 특성시

험으로부터 잔여수명을 추정하는 방법이 있다. 또, 파괴법으로서는 실제 권선에 의한 여러개의 코일을 샘플링하여 그 실측치를 이용하여 통계적 해석 기법에 의하여 잔여수명을 추정하는 방법이다.

여기서 운전이력으로부터 추정되는 에폭시 절연의 NY맵에 의한 추정방법의 개요를 소개한다. 잔존 파괴 전압을 V_R/V_o 은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{V_R}{V_o} = \frac{V_E}{V_o} \cdot \frac{V_T}{V_o} \cdot \frac{V_N}{V_o}$$

여기서, V_o, V_R 은 각각 초기파괴전압, 잔존파괴전압, V_E, V_T, V_N 은 각각, 전기적 요인, 열적 요인, hit cycle적 요인이 단독으로 작용할 때의 파괴전압이다.

발전기의 기동정지회수 N 과 운전시간 Y 가 정해지면 위 식에 의하여 잔존파괴 전압치가 구해진다. 정격부하에서 운전되는 발전기의 경우에는 부하변동 등이 없기 때문에 절연에 주어지는 기계적 스트레스를 고려할 필요는 없고 단순한 기동정지회수를 이용하는 것이 바람직하다. 그러나 최근 일부의 발전기는 빈번한 기동정지나 부하변동 등으로 부하 조정용으로서 운전되기도 하기 때문에 운전상태의 변화에 따른 DSS, 부하변동 등의 hit cycle열화를 고려하여야 한다.

부하변동이나 VAR(무효전력)변동이 절연열화에 미치는 영향을 기동 정지 회수에 등가적으로 환산하는 기법으로서, 금속재료의 응력 피로평가에서 일반적으로 이용되고있는 마이너측을 적용하고, 등가 기동·정지회수 N_E 를 다음 식으로 구한다.

$$\frac{N_E}{N_{10}} = \frac{N_1}{N_{10}} + \frac{N_2}{N_{20}} + \frac{N_3}{N_{30}}$$

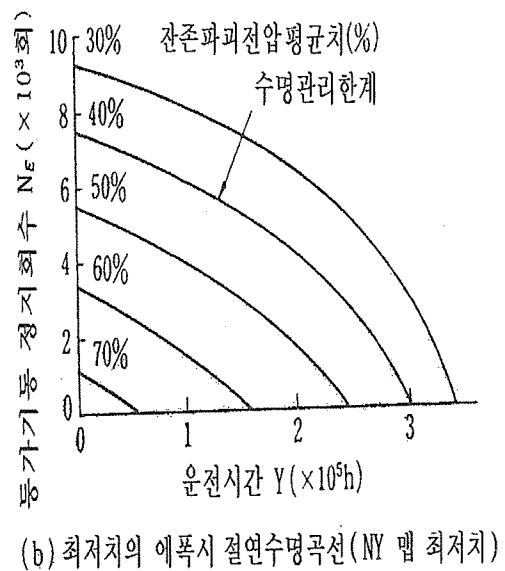
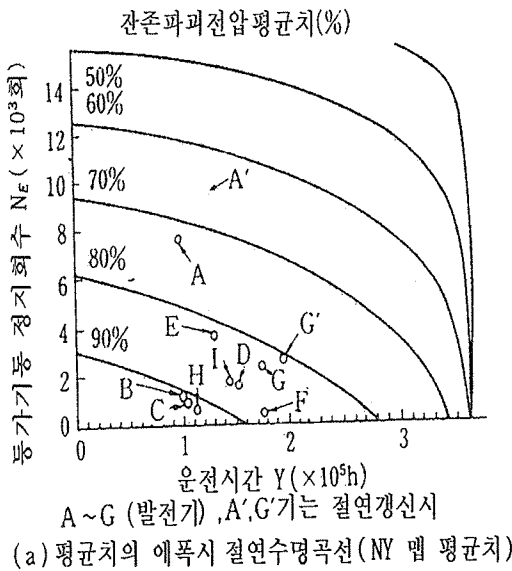
여기서, N_E : 등가 기동·정지 회수, N_1 : 기동·정지 회수, N_2 : 부하 변동 회수, N_3 : VAR (무효전력) 변동 회수, N_{10} : 기동·정지에 의한 수명 회수, N_{20} : 부하변동에 의한 수명 회수, N_{30} : VAR 변동에 의한 수명 회수이다.

위 식에서 구해진 N_E 와 운전년수 Y 로부터 NY 맵에 의한 잔존 파괴전압을 추정하는 것이 가능하다. 그림 5(a)은 발전기 코일의 평균 잔존 파괴전압을 나타낸 것이다. 이들에 대한 발전기 수명은 최악점 즉 최저치에서 결정되기 때문에 잔존 파괴전압의 최저치를 추정하여야 한다. 잔존 파괴전압치의 분포는 많은 현장 데이터나 데이터 샘플링 결과 정규분포인 것이 확인되었으며, 최저치 관리법으로는 일반적으로 3σ 관리법이 제안되고 있다. 평균 잔존 파괴전압과 표준편차를 최소 자승법에 의해 구한 평균치의 90% 신뢰구간의 표준편차 σ_2 를 이용하여 $X-3\sigma_2$ 를 구하고 최저치를 추정하는

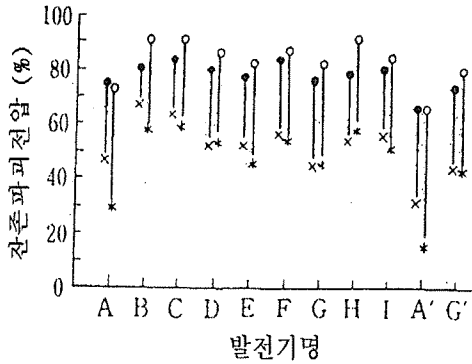
것이 가능하다. 그림 5(b)에 3σ 법에 의해 얻어진 최저치를 NY 맵으로 나타내었다.

NY 맵에 의한 수명추정의 타당성을 검증하기 위해서 터빈 발전기 고정자권선 9개를 샘플링한 코일과 2개의 교체 코일에 대한 잔존 파괴전압을 측정하고 그 결과를 그림 6에 나타내었으며, 추정치와 실측치의 평균치 및 최저치가 비교적 양호하게 일치된다.

이상에서 단독 열화 요인에 의한 잔존 파괴 전압비를 단순한 곱에 의하여 실기기에서 발생하는 복합 열화 요인을 대략적으로 확인, 추정하는 것이 가능하지만, 이는 수명 단축이 미지의 요인에 의해서 열화의 경우에도 시간에 근사적으로 비례하기 때문이다. 그러나, 수명소비량의 시간 비례성이 크지 않은 경우의 열화형태에서는 엄밀한 복합 요인 열화이론에 의하여 수명을 추정하여야 한다.



(그림 5) 에폭시절연의 NY 맵



- (실측평균치 \bar{X}_T)
 - × (실측최저치 $\bar{X}_T - 3\sigma_T$)
 - (NY맵법에 의한 추정평균치 \bar{X}_S)
 - * (NY맵법에 의한 추정최저치 $\bar{X}_S - 3\sigma_S$)
- A', G' 기는 절연갱신시제도 샘플링

(그림 6) NY맵에 의한 추정치와 실측치의 비교

2.2 유입변압기의 수명진단기법

(1) 열화요인과 형태

유입변압기에 사용되는 재료 중 열화가 문제 시 되는 것은 변압기 내부의 절연재료이다. 절연유는 약 30년간 사용되어도 체적 저항율의 경우 초기치의 1/2 이하 및 절연파괴 전압의 약 10% 감소를 초과하지 않으며, 교환이나, 탈기 등의 재생처리를 하는 것도 가능하다. 절연지·프레스 보드의 장기 사용에 의한 절연파괴 전압의 저하는 약 10% 정도로 변압기의 연속운전에서는 큰 피해를 야기하지 않는 것이 보통이다. 그러나 절연지·프레스 보드의 기계적 강도는 30년 운전한 변압기에서는 초기 값의 40~60%로 저하된다. 절연지의 기계적 특성 즉 인장강도는 평균중합도와 밀접한 관계가 있다. 따라서 평균 중합도와 $CO_2 + CO$ 생성량 및 유중 furfural량에도 밀접한 관계가 있다. 유중 furfural이란 절연지의 열화과정에 있어서 알

콜이 알데히드로 될 때의 액상 생성물이다. 개방형 변압기가 많은 유럽에 $CO_2 + CO$ 생성량에 대한 열화 진단법으로는 IEC에서 검사가 수행되었으며, 근래에는 일본에서도 검사가 행해지고 있다.

절연지를 열화시키는 요인은 열, 수분, 산소이다. $CO_2 + CO$ 생성량이 어떤 일정값에 달하는 시간을 유 중 수분 함유량을 변수로 하여 표 2에 나타내었다. 온도상승 혹은 유 중의 산소량과 수분 함유량이 많은 경우 $CO_2 + CO$ 생성량이 현저히 증가하고 열화가 급속하게 진행되는 것으로 사료된다.

이상의 요인에 의하여 열화가 진행된 상태에서 단락 등이 발생하면 권선에 큰 전자력이 가해지고 절연지의 파손을 유발하여 절연파괴로 진전한다. 셀룰로우스가 열화하면 알콜, 알데히드를 거쳐 산소와 기타 H_2O , CO , CO_2 등의 화합물이 생성된다. 절연지의 열화과정에서 발생하는 $CO_2 + CO$ 는 변압기 유 중에 용해되어 있다. 이 2종의 가스분석은 유 중 가스 분석법에 의하여 검출된다.

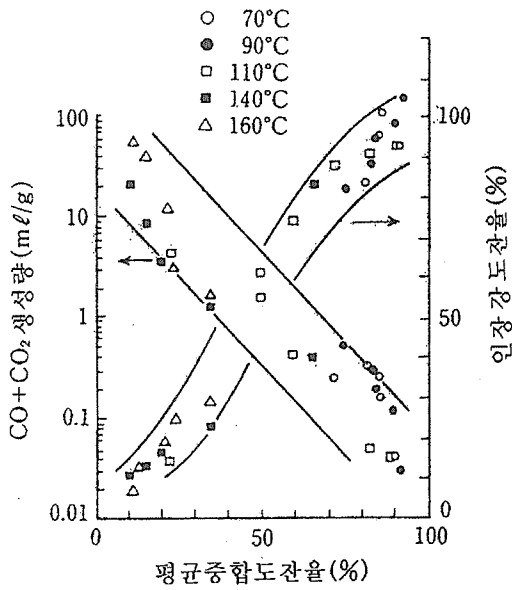
그림 7은 가열 열화에 의한 인장강도와 평균중합도 및 절연지 1g당의 $CO_2 + CO$ 의 생성량을 실험적으로 구한 것이다. 이 데이터로부터 절연지의 열화정도를 판정하여 변압기의 잔존수명을 추정한다.

절연지 전체가 동일한 속도로 과열 열화된 경우 인장 강도 잔율이 60%일 때의 평균중합도 잔율은 40~50%이다. 또 그림 8에 나타난 바와 같이 평균 중합잔율 40~50%일 때 $CO_2 + CO$ 생성량은 절연지 단위질량은 약 1-4ml/g이다. 따라서

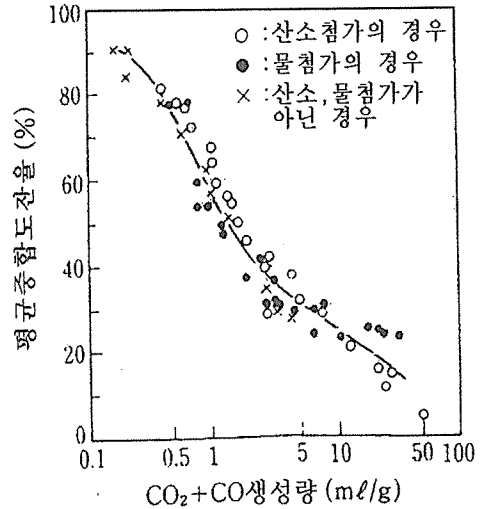
〈표 2〉

유중수분 함량과 CO₂ + CO의 발생량

온도(°C)	CO ₂ + CO 생성량(ml/g)	1			2		
	O ₂ 함유량(ppm)	500~1,000	7,000	500~1,000	500~1,000	7,000	500~1,000
	수분함유량(g)	0.015		0.15	0.015		0.15
60		4,200	1,800	110	11,700	4,200	320
70		850	380	20	2,400	850	85
80		190	90	5	540	190	15



(그림 7) 평균 중합도 잔 율과 인장강도 및 CO + CO₂ 생성량의 관계



(그림 8) 절연지를 절연 유 증에서 열화시킨 경우의 절연지 평균 중합도 잔 율과 절연지 단위중량당 CO + CO₂ 생성량의 관계

CO₂ + CO 생성량이 1-4ml/g일 때를 절연지의 수명으로 본다.

(2) 수명진단

① 절연지의 수명과 CO₂ + CO 생성량의 관계
권선 전체가 동일 온도에서 열 열화된 경우에

생성되는 CO₂ + CO 생성량(1-4ml/g)은 전체 절연지의 10%가 10°C 높은 온도에서 과열된 경우 CO₂ + CO 생성량이 0.422-1.69ml/g에 상당한다.

이로부터 유 증 가스 분석에서 구한 절연지 단위질량당의 CO₂ + CO 생성량으로부터 권선에 감

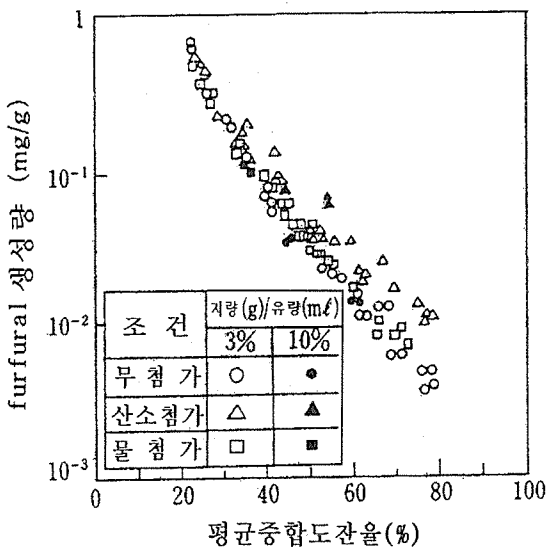


은 절연체에 대한 경년열화도를 판정할 때의 기준은 다음과 같이 주어진다.

- 0.42ml/g : 정상
- 0.42-1.7ml/g : 유주의
- 1.7ml/g : 이상

② 절연지의 수명과 furfural량과의 관계

그림 9에 절연지 수명의 기준이 되는 평균 중합도 잔율(40-50%)에 상당하는 절연지 단위질량당의 전체 furfural량(유중+지중)은 0.023-0.16ml/g이다. 이는 CO₂ + CO 생성량 1-4ml/g에 상당하며, 유중furfural량은 0.002-0.034ml/g이다. 이상은 0.034ml/g를 기준으로 한다.



(그림 9) furfural 생성량과 평균 중합도 잔율과의 관계

③ 잔여수명의 추정

CO₂ + CO 생성량의 측정치에서 이상레벨(1.7

ml/g)과 측정치의 차는 현재의 CO₂ + CO 생성 속도(금회와 전회의 측정데이터에서 산출)에서 나누어진것에서, 현시점에 있어서 유입변압기의 절연잔여수명을 추정하는 것이 가능하다.

동일한 방법으로 유중 furfural생성량의 측정치에서, 이상레벨(0.034ml/g)과 측정치의 차를 현재의 furfural 생성속도로 나누는 것에 의하여 현시점에서의 잔여수명을 추정하는 것이 가능하지만 현장 데이터가 적기 때문에 금후 새로운 데이터를 수집하여 정도를 높여야 한다.

2.3 전력케이블의 수명진단기법

전력 케이블은 6.6kV를 중심으로 고압 CV케이블, 22 및 33kV CV케이블, 66kV이상의 CV 및 OF케이블이 있지만 비교적 실용 레벨에 근접한 절연 수명 추정법이 개발된 고압 CV케이블에 대하여 서술한다.

(1) 열화요인과 형태

부분방전 열화는 절연체 내의 보이드나 내외 반도전층과 절연체 계면 등의 공간 부분에서 발생하여 기체방전에 의해서 절연체가 침식되고 내전압 성능이 저하되는 현상이다. 또, 전기트리 열화는 절연체중에서 존재하는 이물, 돌기등의 근방이 고전계로 되어 절연체가 국부적으로 파괴되어 파괴로가 수지상으로 진전되는 현상이다. 열 열화는 절연체가 고온에 노출되어 산화, 분해 등에 의해서 물리적 특성이 저하되는 현상이다. 수트리 열화는 물이 존재하는 환경하에서 고압이 장기간 인가되고 가교폴리에틸렌 절연체내의 보이드, 이물, 돌기 등의 전계 집중부에 다수의 미소 보이드 군

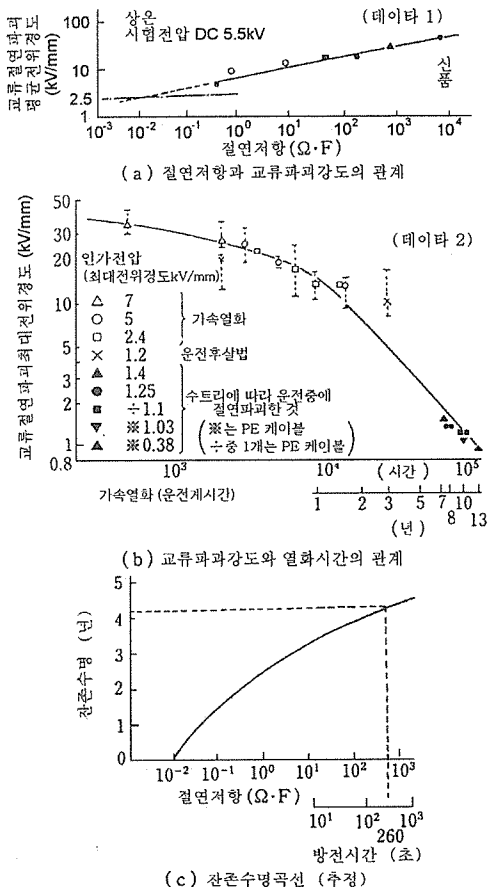
이 발생하고, 이들이 전계방향으로 진전하는 현상이다. 수트리의 진전과 함께 내전압 성능이 서서히 저하하며 열적·생물적 요인에 의한 열적, 기계적인 손상이 있다.

전의 신뢰성을 유지하기 위한 최저의 절연강도로 저하될 때 까지의 열화시간을 절연 잔여 수명으로 고려한다.

3. 금후의 연구과제

전력설비의 절연진단 기술은 최근 전문가 시스템의 적용도 포함하고 있으며 보수 지원의 고도화에 기여하고 있다. 금후에는 새로운 설비의 절연 잔여수명을 추정하는 기술의 확립이 강하게 요구되고 있다.

지금까지는 주로 절연진단에 의하여 얻어진 절연열화의 트래킹, 열화경험치·시험데이터를 가미하여 우선 수명 소비속도를 고찰하고, 수명 판정 기준으로 조합하여 절연 잔여수명을 추정하는 기법을 중심으로 개발되어왔다. 현재는 전력설비의 종류에 따라 도달 레벨에서 차이가 있지만, 앞에서 설명한 바와 같이 절연열화 기구가 비교적 명확하게 밝혀진 회전기 권선절연, 변압기 유침절연 및 고압 CV 케이블 절연체의 절연 잔여 수명 추정법은 실용레벨에 도달해 있다. 그러나 초기 단계에서 열화의 징후를 가지는 각각의 설비에 대한 트래킹의 급변을 예측하는 고도의 절연 잔여 수명 추정법은 아직 개발단계에 머물러있다. 금후 이와 같은 관점에서 전력설비의 절연 수명추정법을 연구할 필요가 있다.



(그림 10) 잔여수명 추정의 실시예

(2) 케이블의 수명진단 기법

그림 10은 수트리 열화가 발생한 케이블의 절연 저항과 교류파괴 강도의 관계(데이터1) 및 교류파괴 강도와 열화시간의 관계(데이터2)로부터 절연 저항과 잔여수명의 관계를 얻은 예이다. 그림에서 어느 절연저항을 가지는 케이블의 파괴강도가 운

참고문헌

- [1] Chen C. Ku, Raimond Liepins, "Electrical Properties of Polymers", Macmillan Publishing Company, 1987
- [2] 일본 전기학회, "전력설비의 운전중 절연진

- 단기술", 일본 전기학회 기술보고, 2부, No.402
- [3] A. Kelen, "Reflections on the Long Term Performance of Electrical Insulation", RGE, No.8, 1990
- [4] G. Z. Liptak, "Long-term Performance of Micaceous Insulation", Conf. Rec. IEEE Int. Symp, Elect. Ins., 1990
- [5] CIGRE Panel Discussion, "Life Extension of Large Electric Rotating Plant", 1992
- [6] W. Hauschild & M. Mosch, "Statistical Techniques for High-Voltage Engineering", Peter Peregrinus Ltd, 1992
- [7] 일본 전기학회, "전력설비의 절연수명 추정법", 일본 전기학회 기술보고, 2부, No.502
- [8] 일본 전기학회, "전기설계 진단 갱신기술에 관한 조사보고", 일본 전기학회기술보고, 2부, No.367
- [9] "Guide for the Determination of Thermal Endurance Properties of Electrical Insulating Materials", International Electrotechnical Commission Publication, 1990
- [10] G. C. Stone, M. Kurtz and R. G. van Heeswijk, "The Statistical Analysis of a High Voltage Endurance Test on an Epoxy", IEEE Trans. Vol. EI-14 NO.6, 1979
- [11] Anthony Barlow, "The Chemistry of Polyethylene Insulation", IEEE Electr. Insul, Magazine, Vol.7, No.1, 1991
- [12] S. Hirabayashi, S. Shibuya, K. Hasegawa & Y. Inuishi, "Estimation of the Size of voids in Coil Insulation of Rotating Machine", IEEE Trans. Electr. Insul., EI-9, No.4, 1974
- [13] T. W. Dakin & S. Studniarz, "The Voltage Endurance of Cast Resin", Proc. IEEE International Conference on Electrical Insulation, 1978
- [14] P. Mahonen, et al., "Voltage Endurance of Epoxy Resins", CIGRE Rep., 15-01, 1974
- [15] Y. Chen, "THB Agbing of some Capacitive Type Insulation Structures", IEE Conf. Publ Inst. Electric Eng., No.237, 1987
- [16] G. C. Stone, I. Culbert & H. Dhirani, "Flowchart Procedure to Assess the Condition of Turbing generator Insulation", IEEE Trans. Energy Conversion, EC-5, No.3, 1990