

대용량 회전기의 전기절연 진단 시험기술

조 연 옥* · 류 회 석**

(*한국전기연구소 고전압 연구실장,

**동 선임연구원)

1. 서 론

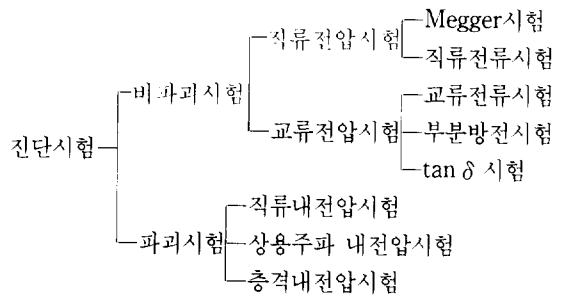
회전기에는 수W급 소형전동기로부터 수백MVA급의 대용량발전기 및 대용량 전동기에 이르기까지 많은 종류가 포함된다. 이 가운데서도 전기적 열화 진단의 대상이 되는 것은 고전압이 인가 또는 발생하는 고정자권선을 구성하고 있는 절연체의 절연특성을 측정, 파악하고 그 측정시점에서의 상태를 기준으로 사용가능여부 또는 사용가능수명을 판정하는 과정이 열화진단시험 기술이다.

고압회전기의 고정자권선에는 열, 전기 및 기계적, 환경적 스트레스가 단독 또는 복합적으로 가해지며, 이러한 응력들은 기기의 크기, 정력, 동작상태 등에 따라서 변화된다. 따라서 주기적인 절연진단 시험을 통하여 절연상태를 평가하고 그 변화추이를 검토하여 잔여수명을 예측함으로써 보수 및 교체시기를 계획하여 절연파괴로 인한 대형사고를 예방하는 것이 가장 바람직 하다.

본 논문에서는 대용량 회전기의 정지기간 동안 실시하는 진단시험 및 열화상태 판정법에 관하여 서술하고자 한다.

2. 대용량 회전기의 절연진단 시험

고압회전기 권선의 전기적 열화를 검출하기 위한 시험은 다음과 같이 분류될 수 있다.



이러한 시험항목들 가운데 직류전압시험은 절연저항, 및 흡습정도등을 조사하기 위하여 열화진단시 사용되는 성극지수(PI)측정시험이 있으며 교류전압 시험 중 ΔI , P_{11} 및 P_{12} , 부분방전시험에서는 최대방전전하량 Q_m 및 $\tan \delta$ 시험에서는 $\Delta \tan \delta$ 등을 얻을 수 있다. 내전압시험들은 절연진단 시험이라기 보다는 기기의 절연강도점검을 목적으로 실시하는 것으로 운전에 필요한 절연강도의 보유여부를 판단하기에 효과적이나 통상적인 내전압 시험시 인가되는 전압이 기기의 운용전압보다 높기 때문에 특히 열화가 어느정도 진행된 기기를 대상으로 할 경우 깊은 주의를 요한다.

2.1 절연저항시험(Megger 시험)

절연저항측정 시험은 운전개시전이나 운전중에 있는 기기에 대한 보수, 점검시에 주로 실시되며 운전

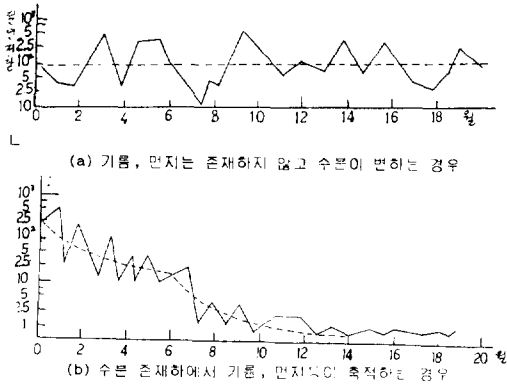


그림 2.1 장기적인 절연저항 측정결과 예

에 필요한 절연저항을 가지고 있는가에 대한 여부, 운전에 따른 절연저항 저하정도를 점검하고, 절연열화진단시험시 사용되는 고전압을 인가해도 충분한가를 점검하기 위하여 실시된다.

절연체의 외부로부터 이물질이 부착되거나 흡습, 혹은 오손되면 절연체에 도전성 경로가 형성되어 절연저항이 낮아진다. 따라서 Megger시험으로 절연체의 흡습이나 먼지축적에 의한 오손상태를 어느정도는 알 수 있다. 그러나 절연저항치는 시료의 절연구조, 형태, 공정등에 따라 변하므로 절대치만으로 절연상태를 평가하기는 곤란하다. 따라서 Megger시험으로 절연체의 상태를 판정하기 위해서는 정기적인 측정에 의해 경년변화에 따른 절연저항 변화추이를 평가하여 절연상태를 판정하는 것이 바람직하다. 그림 2.1은 대형전동기 및 발전기를 장기간에 걸쳐 시험한 절연저항치의 경년변화에 대한 예이다. 그림 2.1의 (a)는 절연저항치가 경년변화에 따라 절연저항치가 변동하고 있지만 장기적인 경향으로 보아 절연저항치는 저하하지 않는 것을 알 수 있다. 그러나 (b)는 기름이나 먼지가 서서히 축적되어 절연저항치가 점차 저하하고 있으며, 어느정도 오손이나 흡습이 진행하고 있는 것으로 분석할 수 있다.

2.2 직류전류시험

직류전류시험은 절연물에 직류전압을 인가했을 때의 전류-시간특성으로부터 절연물의 흡습, 도전성 불순물의 혼입 혹은 생성, 오손, 절연물의 결합등 절연체의 상태를 판정하는 시험이다. 일반적으로 절연체에 직류전압을 인가하면 그림 2.2의 전전류와

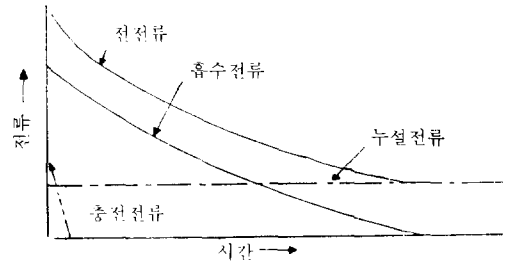


그림 2.2 직류 전류-시간 특성

같은 전류변화곡 선을 측정할 수 있다. 그림 2.2에서 충전전류는 급속히 감소되는 전류성분으로 진공중의 변위전류, 유전체의 전자분극 또는 이온분극에 의해 생성되는 전류등이 포함되어 있으며 흡수전류는 쌍극자배열의 시간지연 과정 및 캐리어의 이동이 공간전하를 형성하는 과정에서 나타나는 현상이며 충전전류보다 서서히 감소한다. 이상과 같은 전류성분때문에 전전류는 그림 2.2에서와 같이 시간경과에 따라 누설전류로 수렴됨을 알 수 있다.

직류전류-시간특성에 있어서 전류의 크기는 시료의 형태, 크기에 따라서 변하기 때문에 전류의 크기만으로 절연상태를 판단하지는 못한다. 절연체가 열화하거나 흡습되면 누설전류가 증가하고 따라서 전류-시간특성곡선에서는 누설전류의 상승으로 전류의 감소율이 낮아지게 된다. 이러한 특징을 이용하여 전류의 시간변화를 나타내는 지표로서 (2.1)식과 같은 성극비를 사용하며 이 성극비로서 시료의 흡습 및 오손상태를 판정한다.

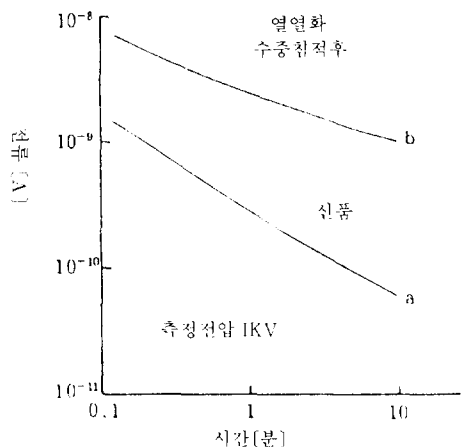


그림 2.3 회전기 모델권선의 직류전류특성

$$\text{성극비 (P.I.)} = \frac{\text{전압인가 1분후의 전류}}{\text{전압인가 10분 후의 전류}} \quad (2.1)$$

그림 2.3은 전류-시간특성의 예로서 그림에서 처럼 신품인 곡선a의 경우 누설전류가 극히 작기 때문에 흡수전류가 급격히 저하함에 따라 성극지수가 커지는 것을 알 수 있으며 절연체b는 흡습 및 열 열화로 인하여 누설전류치가 크기 때문에 성극지수가 작아짐을 알 수 있다.

2.3 교류전류시험

교류전류시험은 교류전압 인가시 흐르는 전류와 전압의 관계 즉 $I-V$ 특성으로 부터 절연체의 열화 상태를 조사하기 위한 시험이다. 절연체에 주파수 f 의 교류전압 v 를 인가하여 측정되는 전류 I 는 (2.2)식과 같이 나타낼 수 있다.

$$I = wCV(1 + \tan^2 \delta) \quad (2.2)$$

식(2.2)와 같이 전류 I 는 유전율 및 $\tan \delta$ 에 비례하며 절연체가 흡습되면 일반적으로 유전율이나 $\tan \delta$ 가 증가하고, 또한 부분방전 발생시에도 정전용량이나 $\tan \delta$ 가 증가하게 된다. 그러므로 전류 I 를 측정하여 절연체의 흡습, 열화, 혹은 부분방전 발생상태를 파악할 수 있다.

그림 2.4는 절연체에 교류전압을 인가하였을 경우

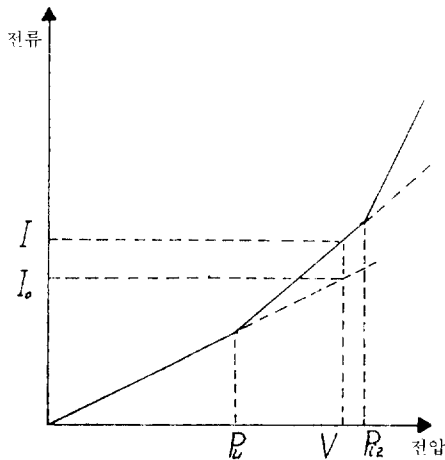


그림 2.4 교류 전류-전압특성

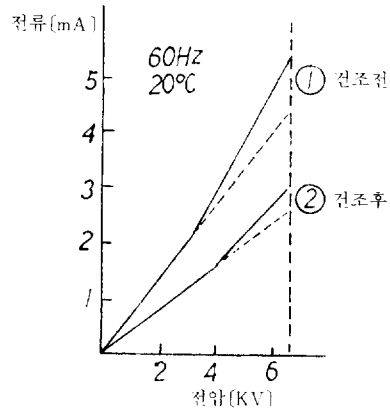


그림 2.5 전조전후의 전압전류특성

전류-전압특성 예를 나타내고 있다.

인가전압의 상승으로 부분방전이 발생하면 그림 2.4와 같이 전류는 전압에 비례하지 않고 급증하게 된다. 이 전류가 급증하는 점의 전압을 전류급증전압이라 하며 일반적으로 P_1 로 표시한다. 이 전류급증전압은 그림 2.4와 같이 P_{11} 과 P_{12} 두개가 존재할 수 있으며 P_{11} 은 부분방전개시전압 혹은 $\tan \delta$ 증가전압과 비교적 일치하는 경향이 있으며 P_{12} 는 파괴전압과 상관관계가 있는 것으로 보고되고 있다. 한편, 교류전압-전류특성에 있어서 절대치는 기기의 정격, 크기등에 따라 차이가 나므로 그림 2.4의 전류 I 및 I_0 를 이용, 식(2.3)과 같은 전류증가율 ΔI 를 사용한다.

$$\Delta I = \frac{I - I_0}{I_0} \times 100[\%] \quad (2.3)$$

일반적으로 흡습 및 오손등으로 열화된 절연체에 비하여 상태가 양호한 절연체는 전류량 및 전류급증전압이 낮다.

그림 2.5는 동일 발전기권선에 대한 전조전후의 전압-전류특성을 측정한 예이다.

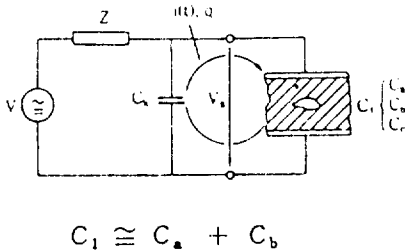
그림 2.5에서처럼 전조전의 곡선이 후의 곡선보다 전류치가 크고 전류급증전압이 낮은 것을 알 수 있다.

2.4 부분방전시험

기기 내부에서 발생하는 부분방전이 전력기기의

절연 수명에 크게 영향을 미친다는 사실은 오랫동안 인정되어 왔으며 기기의 장기적 절연 신뢰도를 향상시키기 위해서 부분방전 발생을 가급적 억제하여 왔다.

절연체 내부의 가스공극에서 부분방전이 일어나면 가스방전에 의해 발생하는 오존, 산화질소 불안정한 여자 및 전리된 이온이 형성되어 공극 주변의 절연체에 화학반응을 일으켜 절연체가 열화된다고 믿어지고 있으며 이러한 이유때문에 부분방전과 절연수명은 깊은 상관관계가 있다고 인정되어 왔다.



$$C_1 \cong C_a + C_b$$

그림 2.6 부분방전의 시험회로

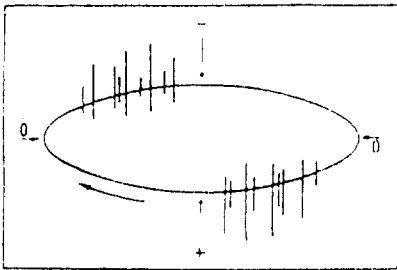


그림 2.7 가장 일반적인 부분방전 형태

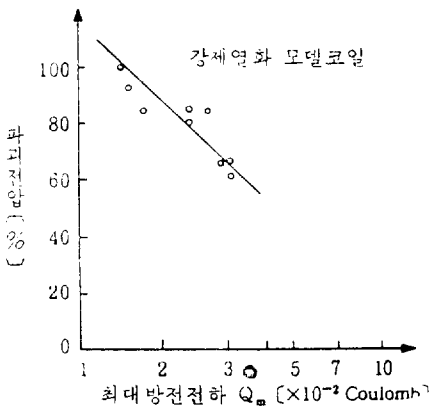


그림 2.8 최대방전전하와 과피전압과의 관계

그림 2.6은 부분방전의 측정회로를 보여 주고 있다. 커패시턴스 C_k 는 부분방전이 일어날때 부분방전 전하량 δq_c 를 저장하는 결합 커패시터 이며 임피던스 Z 는 전압원과 C_k 및 시료사이의 인가선로 임피던스이거나 필터이다. 시료 커패시턴스 C_1 사이의 전압강하 δV_c 를 상쇄시키기 위해서 C_1 와 C_k 사이에서 전류 $i(t)$ 가 흐르며 C_k 가 C_1 보다 매우 크면 전하이동 q 는 식(2.4)와 같다.

$$q = \int i(t)dt = (C_a + C_b) \delta V_a = C_b \delta V_c \quad (2.4)$$

식(2.4)의 전하량 q 를 부분방전의 크기라 하며 결합 커패시턴스 C_k 에 흐르는 전류를 측정하여 구할 수 있다.

절연체 내부에서 발생하는 부분방전 펄스를 오실로스코프로 관찰할 때 가장 기본적인 형태는 그림 2.7과 같다. 일반적으로 부분방전 진단시 검토해야 할 인자들은 펄스의 크기, 부분방전의 개시위상 위치, 펄스의 숫자, 펄스간격, 펄스크기의 전압 및 시간에 대한 의존성등이다.

발전기 권선이 열화되어 절연층에 crack, 박리, 공극등이 생기면 이 결합에서 부분방전이 발생한다. 부분방전시험시 부분방전 개시전압은 절연층에 존재하는 공극중에서도 가장 낮은 전압에서 방전하는 공극의 방전개시전압을 표시한다. 따라서 공극이 한개인 경우라면 부분방전 개시전압의 경년변화로서 열화정도를 추정할 수 있겠으나, 실제의 발전기 절연층은 크기가 서로 다른 많은 공극을 포함하고 있기 때문에 방전개시 전압으로서는 열화판정이 곤란하다. 그러나 운전전압이하에서 부분방전이 발생하는가의 여부를 조사하기 위하여 필요하다. 그러므로 국부적인 열화를 검출하는 수단으로서 최대방전전하량 Q_m 을 사용한다. 그림 2.8에서와 같이 Q_m 이 커지면 과피전압이 저하하는 경향이 있다. 일반적으로 절연열화가 진행되면 방전전하 Q 가 커지고 방전발생개수 또한 증가하는 경향이 있다.

2.5 $\tan\delta$ 시험

$\tan\delta$ 시험은 절연체에 교류전압을 인가하여 측정되는 $\tan\delta$ 치나 $\tan\delta$ -전압특성으로부터 흡습, 오존, 공극등, 절연체의 상태 및 열화정도를 조사하기 위

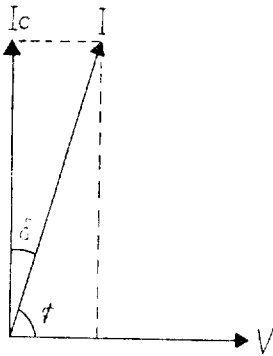


그림 2.9 절연체에 있어서 전류-전압기본 vector

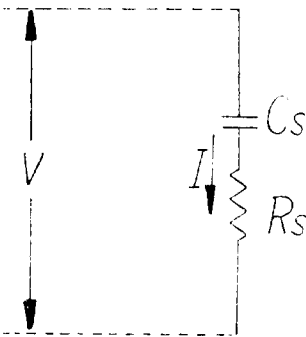


그림 2.10 절연체의 직렬 등가회로

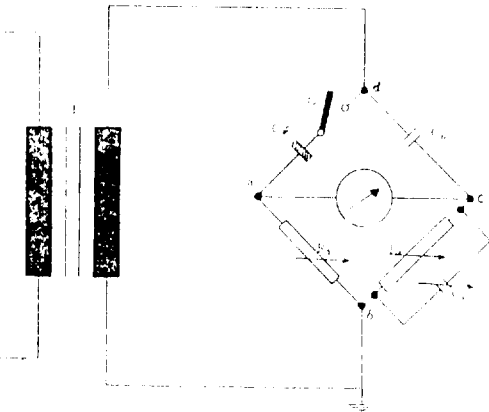


그림 2.11 기본 Schering Bridge 회로

한 시험이다. 유전체에 교류전압을 인가하면 일반적으로 유전손실이 발생한다. 그림 2.9와 그림 2.10은 절연체의 전류-전압기본 Vector도 및 절연체의 직렬등가회로를 보여주고 있다. 그림 2.9에서 유전손실 W 는 식(2.5)와 같이 표시할 수 있다.

$$W = VI \cos \phi = VI_c \tan \delta = \omega C V^2 \tan \delta \quad (2.5)$$

또한 그림 2.10에서 $\tan \delta$ 를 구하면 식(2.6)과 같다.

$$\tan \delta = \frac{I_r}{I_c} = \omega C_s R_s \quad (2.6)$$

식(2.6)과 (2.7)에서 알 수 있는 바와같이 유전손실은 $\tan \delta$ 에 비례하고 절연체의 형상 및 크기와 무관한 수치로서 절연물 고유의 특성치로 나타나기 때문에 절연체의 상태 및 열화정도를 표시하는데 이용된다.

$\tan \delta$ 측정에는 통상 Bridge 회로가 사용되고 있으며 상용주파수 부근에서의 $\tan \delta$ 측정은 측정정도가 높은 그림 2.11과 같은 Schering Bridge가 광범위하게 사용되고 있다. 그림 2.10과 그림 2.11에서 식(2.7)과 같은 $\tan \delta$ 값을 유도할 수 있다.

$$C_s = (R_4/R_3)C_n, \quad R_s = (C_4/C_n)R_3,$$

식 (2.6)에서

$$\tan \delta = \omega C_s R_s = \omega C_4 R_4 \quad (2.7)$$

식(2.7)과 같이 Schering Bridge 회로를 통하여 R_4 와 C_4 를 계측함으로써 $\tan \delta$ 를 계산할 수 있다. 그러나 일반적으로 고압회전기는 저압부가 일단접지되어 있는 경우가 많아 그림 2.11과 같은 비접지상태의 시험회로를 구성하지 못하는 경우가 많다. 이때는 그림 2.12와 같은 회로를 이용하여 $\tan \delta$ 를 측정한다.

$\tan \delta$ 시험 결과로부터 절연층의 건조, 습윤정도, 열화상태 및 공극의 유무등을 추정할 수 있다고 이미 언급한 바 있다. 그림 2.13은 $\tan \delta$ -전압특성을

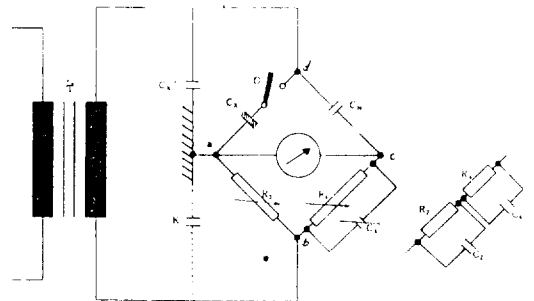


그림 2.12 일단접지시료인 경우에 사용하는 Schering Bridge 회로

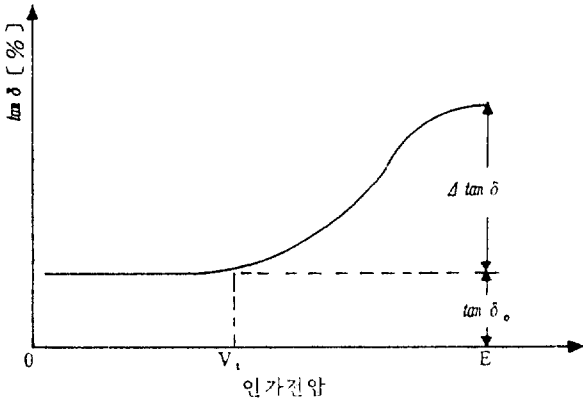


그림 2.13 전압-tanδ특성

나타내는 일반적인 예이다. 부분방전이 발생하지 않는 저압부에서의 tanδ값을 tanδ₀라 하며 tanδ₀는 절연층의 흡습정도, 오손, 열화의 진행등에 따라 변화한다. 절연체가 흡습 또는 표면오손에 따라 절연저항이 저하하면 tanδ가 하며 인가전압의 상승과 더불어 부분방전에 따른 손실이 증가하므로 tanδ값은 증가한다. 상간 정격 전압에서의 tanδ값과 tanδ₀값과의 차를 Δtanδ라 하며 이 Δtanδ값은 손실증가분에 해당되므로 적을수록 양호한 절연체라할 수 있다.

3. 대용량 회전기 열화진단기술

대용량 회전기의 고압 고정자권선의 절연계통은 일반적으로 마이카 테이프와 고정절연재료로 구성되어 있다. 고정재료는 초기 Asphalt와 Shellac이 사용되어 왔으나, 이후 Unsaturated Polyester Resin으로 대체되어 왔고 현재는 높은 절연강도, 안정된 열주기특성 및 균일한 전기적 특성 때문에 에폭시수지가 널리 사용되고 있다. 그림 3.1은 이러한 대용량 회전기의 절연재료 변화와 기술향상을 요약한 것이다. 그림 3.1에서 알 수 있는 바와 같이 대용량 회전기 고정자권선 절연체는 절연재료의 개발과 기술발전에 따라 그 특성이 향상되어 왔고 이에따라 진단기술 또한 변화되어 왔다.

일반적으로 현재 사용되고 있는 절연열화 판정기준은 Asphalt Compound절연에 대한 회전기 권선 절연열화 판정기준에 의한 전통적인 방법과 최근에 널리 이용되고 있는 절연열화 진단법으로서 회전기

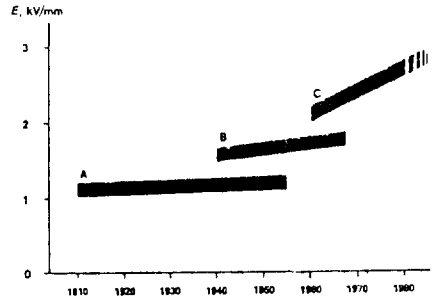


그림 3.1 1900년대의 회전기권선 절연체의 변화

- A : Micafolium thermal class Y
- B : Asphalt-impregnated continuous-tape insulation, thermal. class B
- C : Epoxy insulation, thermal class F

표 3.1 발전기 권선의 절연열화 판정기준

비파괴측정치	권선의 정격전압 [kV]		
	3.3	6.6	11
P.I	> 1.5	> 1.5	> 1.5
Pi ₂	> 4.58	> 8.55	> 13.86
▲tanδ	<0.7%	<3.5%(A종) <6.5%(B종)	<6.5%
▲I	<4%	<8.5%	<12%
Qm	<10 4 PC	<10 4 PC	<10 4 PC

- (註) : 1. ▲I=100×(I-I₀)/I₀, 여기에서 I는 정격전압을 인가하였을 때 권선에 흐르는 전류이며 I₀는 전류가 전압에 신행적으로 비례한다고 가정할 때 정격전압에서의 전류이다.
2. Pi₂가 확실하게 정격전압 이내에 있는 경우에는 권선이 운전에 필요한 절연내력을 보유하고 있지 않은 것으로 한다.
3. Pi₂가 정격전압이내에 있지 않은 경우에는 다음 사항에 해당하면 권선이 운전에 필요한 절연내력을 보유하고 있는 것으로 한다.
- 1) 정격전압 3.3KV권선에서는 ▲tanδ 및 ▲I 중 1개 이상이 표3.1의 값을 만족할 경우.
 - 2) 정격전압이 6.6KV 및 11KV권선에서는 ▲tanδ, ▲I 및 Qm 중 2개 이상이 표3.1의 값을 만족할 경우.

표 3.2 전통적인 열화기준에 의한 분석결과

특성치	기 준	상		
		A	B	C
P.I	> 1.5	1.92	2.13	2.8
I(%)	<12	3.9	4.2	3
Qm(pC)	<10000	15700	13200	16700
$\Delta \tan \delta$ (%)	<6.5	2.4	2.4	2.3
종합평가	K	OK	OK	OK

기동정지횟수와 운용년수에 따라 잔존수명을 평가하는 N-Y Map법, 및 전기적 진단시험에 의한 특성 측정치를 기준으로 잔존수명을 평가하는 Discharge-Map(D-Map 또는 Δ -log Qm Map)법이 있다.

표 3.1은 고전적 절연진단법으로서 절연판정 기준치를 보여주고 있다. 표 3.1의 각 비파괴 측정치 항목에 관해서는 이미 앞에서 언급한 바 있다. 표 3.1의 절연진단법은 측정시점에서 절연체가 필요절연내력을 보유하고 있는가에 중점을 두고 있기 때문에 열화의 정도를 파악하고 잔여수명을 예측하기에는 미흡한 방법이다.

표 3.2는 국내 모 발전소의 발전기 절연진단 시험

결과를 표 3.1에 의한 전통적인 절연진단법으로서 분석한 진단분석 결과다.

표 3.2에서 알 수 있는 바와 같이 이 시험결과와는 표 3.1의 절연열화 판정기준을 만족하므로 운전에 필요한 절연내력을 보유하고 있다고 판단된다. 그러나 표 3.2의 분석결과에서 알 수 있는 바와 같이 이미 언급한 잔여수명을 예측할 수 없으므로 절연체의 수명을 예측하기 위해서는 앞에서 언급한 바 있는 N-Y Map이나 D-Map을 이용해야 한다.

N-Y Map과 D-Map에 의한 두가지 진단 방법은 각기 독립되었다기 보다는 상호보완적인 것으로 그림 3.2의 도식적인 열화과정에서 볼 수 있듯이 절연열화과정의 진행정도를 측정 또는 예측하기 위하여 서로 다른 방향에서 접근하는 것으로 이해 될 수 있다.

그림 3.2에서 볼 수 있듯이 절연열화 과정은 전기적, 기계적요인 및 열응력과 기동정지에 따른 열직-기계적 주기변화에 의해 발생한다. 또한 열화과정의 진행에 따라 점진적으로 Void가 발생하고 이 Void들에 의해 절연강도도 감소하며 최종 열화단계에 도달하면 Void들이 서로 연결되어 각질화 현상을 촉진시키고 최종적으로 절연강도를 위험수준까지 감소시킨다. 이 과정을 정량화 하기 위하여 잔존파괴 강도와 열화율(aging factor)의 개념을 도입하면 식

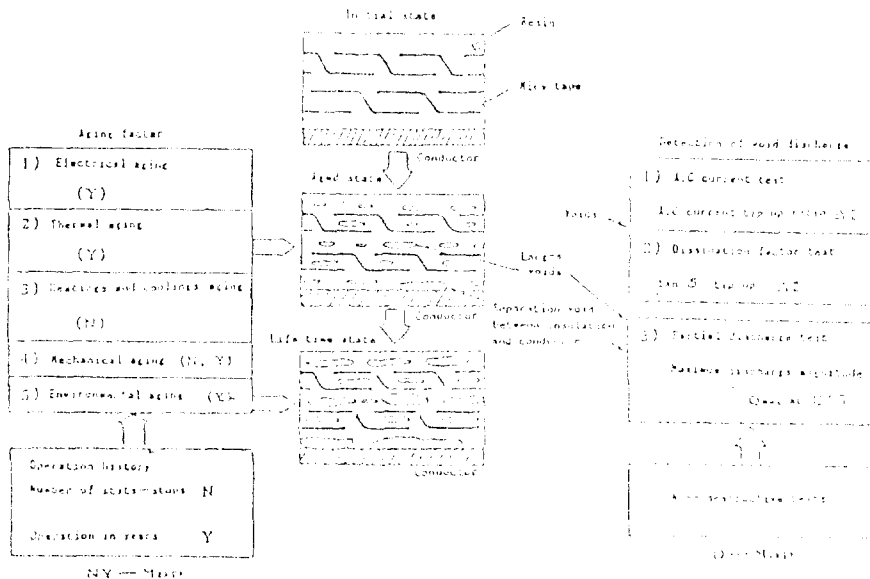


그림 3.2 절연열화기구 및 열화도의 예측방법

(3.1)과 같은 기본식이 성립될 수 있다. 식(3.1)에서

$$(V_r/V_0) = (V_e/V_0) \times (V_n/V_0) \times (V_t/V_0) \quad (3.1)$$

여기서 (V_r/V_0) : 잔존 절연강도 [%]

(V_e/V_0) : 전기적 열화율[%]

(V_n/V_0) : 가열과 냉각주기 반복에 따른 열화율[%]

(V_t/V_0) : 열적 열화율[%]

V_e/V_0 와 V_t/V_0 는 운전시간(Y)에 관련되며 V_n/V_0 는 기동정지횟수(N)에 비례한다. 또한 식(3.1)은 식(3.2)와 같은 완성된 식으로 표현된다[6].

$$V_r[\%] = 100(1 - 8.75 \times 10^{-3}Y)(1 - 6.4 \times 10^{-5}N) \quad (3.2)$$

식(3.2)에 의한 결과가 초기치의 50%이하로 저하되면 시험대상기기의 사용수명이 다한 것으로 국제규격에서는 정의하고 있으나 실제의 전력기기는 식(3.2)와 같은 정량적인 산출결과에 대해 어느 정도의 분포형태를 나타내므로 나타난 분포범위의 최저치가 40%보다 저하되는 경우 수명년한의 최종단계에 도달한 것으로 판정될 수 있다. 또한 반복기동정지에 따른 권선절연의 주기적인 가열과 냉각으로 인한 열화율은 권선절연이 상온부근에서 80°C까지 약 60°C의 온도 변화폭을 갖는다는 기준으로 한 것이므로 실제 기기의 온도상승폭 θ_1 을 알 수 있으면 식(3.3)에 의해 동가 기동정지 횟수(N')으로 변환이 가능하다.

$$N' = N \times \theta_1 / 60 \quad (3.3)$$

이렇게 얻어진 N'과 Y의 관계에 따라 그림 3.3과 같은 N-Y map상에서 잔존수명 한도를 추정한다.

그림 3.3과 같은 N-Y map에서는 직접적인 진단 시험에 의한 결과보다는 설비의 운전경력을 기준으로 설비의 잔여수명을 예측하기 때문에 개별설비의 특수한 조건 및 정확한 설비운용경력을 파악하기 어렵다. 그러므로 외견상의 설비운용경력을 기준으로 평가하는 진단방법 보다는 실제의 측정에 따라 얻어

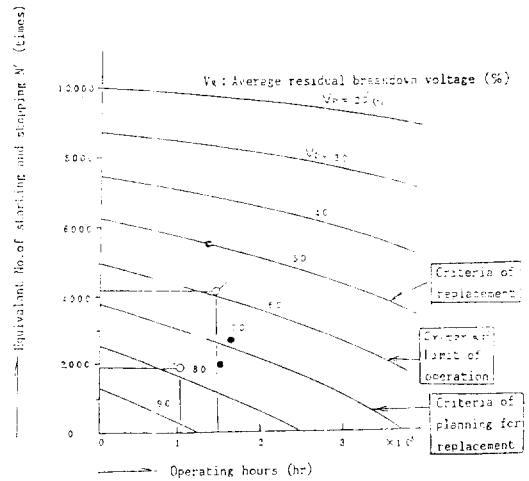


그림 3.3 N-Y Map

지는 비교과 특성치를 기준으로 평가하는 방법이 의미를 갖게 된다.

실제 측정치를 기준으로 판단하는 Discharge Map은 절연열화결과 절연층 사이에 Void양이 증가하고, 전압인가에 따라 유전손실 또는 유전체의 용량성 전류가 Void방전에 따라 증가한다는 기본개념에 따른 것이다. 따라서 Void의 크기에 따라 측정되는 특성치가 판정의 기준이 된다. 열화과정이 진행됨에 따라 국부적인 Void가 절연체 내로 확산된다고 가정하면 최대 부분방전 크기가 증가하게 되며 가장 큰 방전을 일으키는 Void가 가장 위험한 요인이 된다. 이러한 최대크기의 Void를 대표하는 특성치가 최대부분방전량 Q_{max} 이다. 또 하나의 인자로서 void의 분포밀도 및 평균크기가 판단되어야 하는데 이러한 특성을 Discharge Parameter Δ 로 표시한다. Δ 는 $\Delta \tan \delta$ 와 ΔI 의 합으로 나타나는 계수이다. 그림 3.4는 이러한 두가지 계수를 근거로 도식적인 잔존전압을 판단하는 D-Map이다.

그림 3.4와 같은 도식적인 방법을 정량적으로 표시하면 식(3.4)와 같다. 식(3.4)는

$$V_r(\%) = 100 - 1.8(\Delta - 0.8) - 37.5 \log(Q_m / 1.5 \times 10^{-9}) \quad (3.4)$$

문헌[6]에 의하면 최소잔여전압 V_{rmin} 은 평균잔여전압 V_{rave} 보다 평균 15% 적은 것으로 보고되어 있고

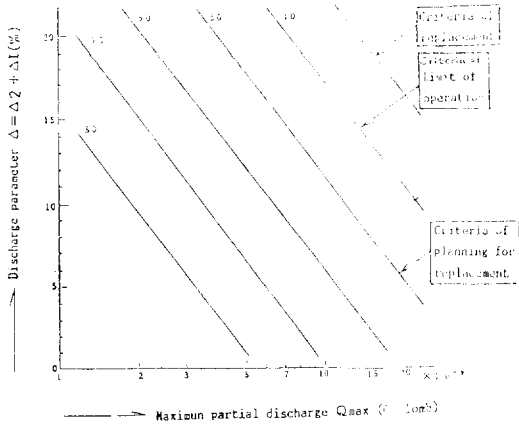


그림 3.4 D-Map

문헌[7]에 의하면 최소잔여파괴전압은 $(2E+1)kv$ 로 간주되며 이 전압은 회전기의 초기파괴전압의 30%에 해당 되므로 V_r 이 권선의 교체한계로 보고 있다. 또한 문헌[7]에 의하면 권선의 운전한계는 V_r 이 40%에 도달하는 지점으로 보고 있는데 이는 교체한계에 도달하기 전에 주기적인 정밀진단에 의한 계속

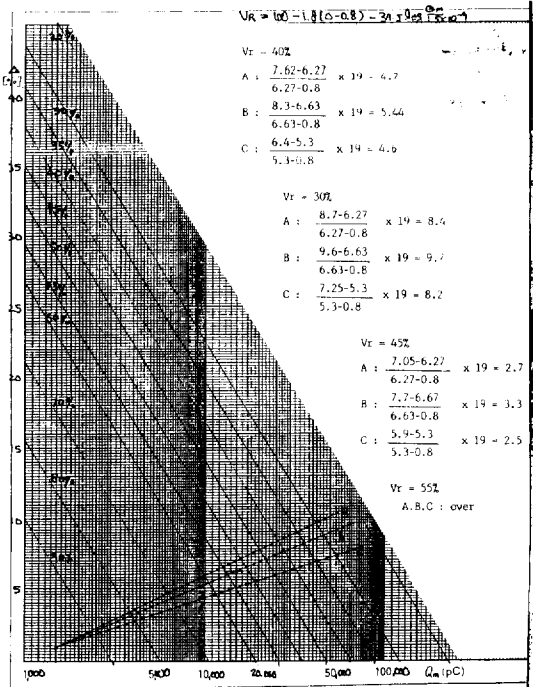


그림 3.5 D-Map에 의한 분석결과

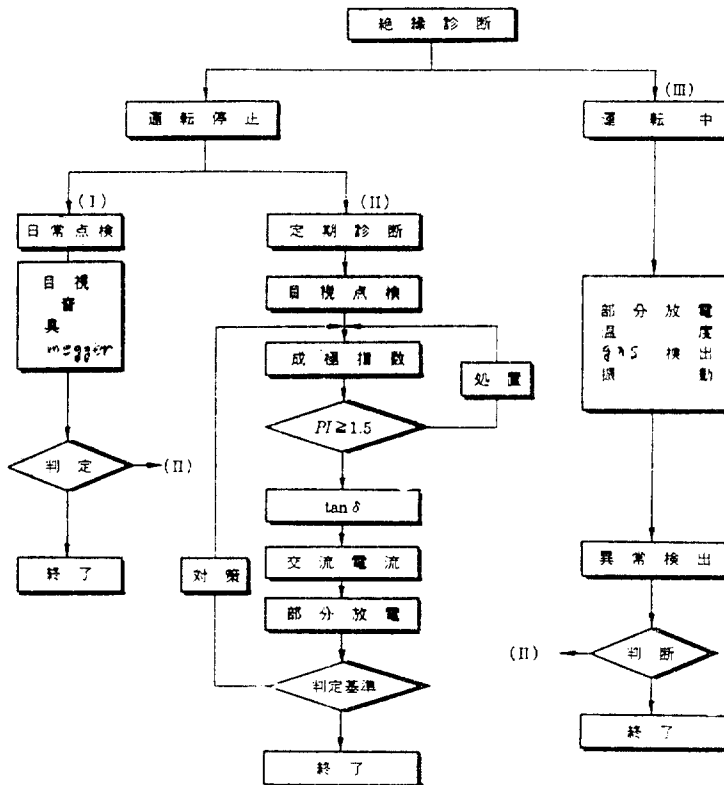


그림 4.1 절연 진단의 순서

적인 감시를 뜻한다.

그림 3.5는 식(3.4)를 이용하여 국내 모 발전소 발전기의 Q_m 과 $\Delta \tan \delta$ 및 ΔI 를 측정하여 얻은 결과로부터 구한 D Map이다. 그림 3.5에서 A, B, C는 상을 뜻하며 $V_r(30\%)$ 와 $V_r(40\%)$ 는 평균잔여수명의 교체한계와 운전한계를 뜻하고, $V_r(45\%)$ 와 $V_r(55\%)$ 는 최소잔여수명의 교체한계 및 운전한계를 말한다. 그림 3.5에서 알 수 있는 바와 같이 시험 대상발전기의 운전한계의 최소잔여수명은 이미 초과했음을 알 수 있다.

4. 결 론

이상에서 운전중 각종 스트레스에 의해 열화된 절연체의 열화진단을 위하여 실시되는 비파괴시험, 절연재료의 변천 및 특성향상추이, 절연열화 진단방법으로서 전통적인 판정 기준에 의한 방법, 운전기간 및 기동정지 횟수에 의한 N-Y Map법, 전기적 특성치에 의한 D-Map법에 관하여 살펴 보았다.

절연열화 진단방법중 전통적인 판정기준에 의한 방법은 잔여수명을 예측할 수 없었으며 N-Y Map법에 의한 잔존수명 예측은 정확한 운전경력이 필요했고, D-Map에 의한 방법은 전기적인 비파괴 특성치가 필요함을 알 수 있었다.

실제로 본 논고에서는 정지기간중 실시할 수 있는 진단시험 및 방법에 관해 서술 했지만 현재 세계적인 추세는 운전중에도 이상현상을 검출할 수 있는

monitoring 시스템 및 각종 sensor류가 개발되고 있고, 절연열화 진단에 필요한 측정치를 조속히 측정하고 해석을 해주는 자동열화 진단장치가 개발중에 있다.

그림 3.6은 열화진단 순서를 요약한 것이다. 이 그림에서처럼 운전정지중에 실시되는 절연진단 이외에 운전중 이상감시와 monitoring을 통해 이상이 검출될 경우 절연열화 진단시험을 시행하는 것이 이상적이라 할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] CIGRE 11-11(1986), "Diagnostic Test of Insulation (DTI), A Test Package to Determine the condition of Generator Stator Winding Insulation"
- [2] CRIEPI 67001(1967.4), "발전기 권선 절연열화 판정기준"
- [3] EPRI Conference (1986.10), "Preventive Maintenance and Diagnosis of Generator-Motors"
- [4] 일본전기학회(1983), "고전압시험 핸드북"
- [5] 조연옥외, 한국전기연구원(1988), "소양강 수력발전기 절연진단시험 연구"
- [6] K. Kadotani 외, "An Approach for Insulation Diagnosis of Mica-Resin Coils", IEEE PAS-100, no. 9, pp. 4136-4141, sept, 1981
- [7] IEEE Std 432, "IEEE Guide for Insulation Maintenance for Rotating Electrical Machinery", 1976.
- [8] OHM (1989.6), "전기설비의 진단기술"