



# 회전기의 절연진단 기술

김 광 화  
(한국전기연구소 절연진단팀장)

## 1. 서 론

회전기는 기계에너지를 전기에너지로 변환시켜 주는 발전기, 전기에너지를 기계에너지로 변환시켜 주는 전동기로 현대의 산업에 있어서 중요한 역할을 하고 있다. 이와 같은 회전기는 최근에 에너지의 대량소비로 인하여 대용량화 고압화되고 있으며, 제어기술의 발달로 부하의 변동을 심하게 받고 있다. 이에 따라 회전기의 절연은 심하게 열화되며, 절연수명의 단축과 불시적인 절연고장을 발생시킨다. 이와 같은 고장을 막고, 신뢰성의 향상을 위해서는 권선의 절연열화의 상태를 진단하는 기술이 중요한 것으로 부각되고 있다.

본고에서는 회전기의 절연열화진단을 위하여 이의 열화기구, 열화상태와 각 절연특성과의 상관관계로부터 절연상태평가에 관하여 논하고자 한다.

회전기는 종류도 다양하고 절연방식도 전압에 따라 다르지만, 여기서는 고압교류회전기에 관해서만 국한하기로 한다. 그리고 절연열화기구와 절연특성과의 상관성을 잘 알 수 있는 운전중지중(Off-Line) 절연진단법에 관한 것만 논하기로 한다.

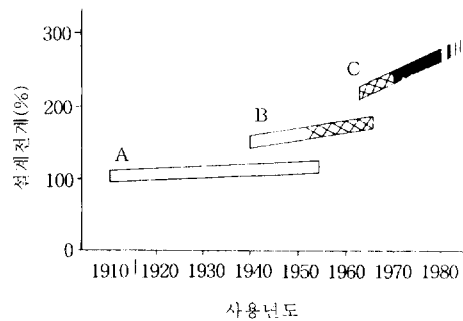
## 2. 회전기의 절연열화 기구

### 2.1 회전기의 절연재의 변천

회전기의 절연시스템은 운전중에 열적, 기계적, 전기적 스트레스를 받게 되므로 단순한 절연재료로서 회전기의 절연시스템에 적용하는 것이 불가능하다. 그러므로 마이카(운모, mica) -레진 복합절연재료를 주로 사용하여 왔다.

대형 회전기 권선의 절연재료 및 설계전계의 변천은 그림 1과 같다. 그림 1에서 보면 마이카 기재는 플레이크 마이카(flake mica)에서 집성 마이카로, 함침재는 아스팔트 콤파운드에서 폴리 에스테르 레진을 경유하여, 에폭시 레진으로 변천하였다.

또한 절연재 함침방식은 진공가압함침 방식에서 레진부분이 많은 레진리치(resin-rich)방식으로 발전하였다. 이와 같이 절연재료 및 코일(coil)제조기술의 진보 발전과 함께 회전기 대



A : Micafolium, thermal class Y  
B : Polyester - impregnated continuous-tape insulation, thermal class B  
C : Epoxy insulation, thermal class F  
□ : flake mica    ⊗ : flake mica and 집성마이카  
■ : 집성마이카

그림 1. 회전기 권선 절연재료의 변화와 설계전계강도

용량화, 고전압화 소형경량화 등이 행하여져 설계 전계도 대폭적으로 향상되었다.

따라서 회전기의 절연 시스템에서 결함 및 열화가 어느 범위 이상으로 발생되면 이는 급격히 진전되어 파괴되는 현상이 일어날 확률이 높아지므로 최근의 대용량 회전기의 절연시스템은 주기적인 절연진단 감시가 필요한 것으로 고려되고 있다.

### 2.2 회전기 권선의 절연열화 현상[1-4]

회전기 권선에 있어서 절연열화의 원인인 절연열화 과정을 표 1 및 그림 2에 나타냈다.

이전의 콤파운드 권선에서는 함침재가 열 가역성이기 때문에 먼저 연화, 유출, 발산 등의 열열화가 선행적으로 일어나고, 절연층에 보이드(void)나 박리가 생성된다. 열열화 진전에 따라 산화, 침식 등의 부분방전열화가 일어나고, 이와 같은 과정을 거쳐 절연파괴에 이른다. 또한 열화에 의한 내습성의 감소와 코일표면층의 오손흡수에 의해서 트래킹(tracking) 열화가 일어나고 절연파괴에 도달하는 현상이 일어난다.

반면에 열경화성의 합성레진(폴리에스테르, 에폭시) 권선에

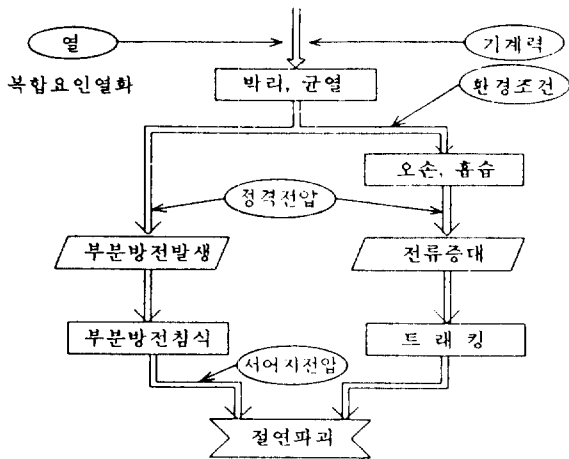


그림 2. 고압회전기 권선절연의 열화과정

표 1. 고압회전기 권선절연선의 열화요인과 열화형태

열화요인		열화현상
열	연속	화학적 변질
	반복	박리, 균열, 마모
전압	상규전압	부분방전 침식, 트래킹
	서지전압	트리잉(Treeing)
기계력	구부림	박리, 균열
	진동	마모
	충격	박리, 균열
수분	흡습	
	결로	누설전류증대, 트래킹
	침수	
오손	도전물질 유·약품	누설전류증대, 트래킹 화학적 변질

서는 내열성이 우수하므로 열열화에 관해서는 무시될 수 있으나, 부하변동이나 기동정지에 동반된 히트 사이클(heat cycle)에 의한 열기계 스트레스의 반복과 전기 스트레스가 복합작용에 의해 그림 3과 같이 주로 코일의 끝단(edge)부분에 절연층의 보이드(Void), 박리가 일어나 부분방전열화가 발생하여

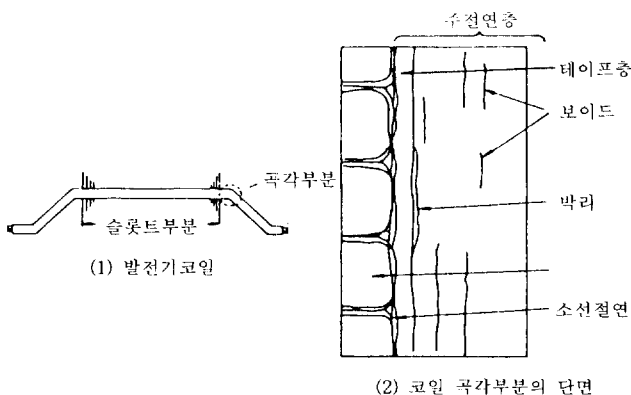


그림 3. 회전기 권선의 열화상황의 예

진전하는 것으로 알려져 있다.

회전기 권선의 열화를 원인으로 세분하면, 열적, 전기적, 기계적 및 환경적으로 나누어진다.

### 2.2.1 열적 열화

회전기의 운전중에는 도체의 주울열과 고정자 코어(core)의 와전류(eddy current)에 의한 열의 발생으로 절연재료의 변질, 변형, 보이드 생성 및 박리가 일어나고 또한 부분방전 발생에 의한 침식과 기계장도의 저하, 흡습등과 같은 외부의 영향을 받게 된다. 예로서 레진의 절연시스템에서는 이와 같은 열열화의 영향이 적은 것으로 보고되고 있다.

### 2.2.2 전기적 열화

절연층내에 큰 보이드나 박리등이 존재하면 대지간 전압에 이들 보이드나 박리에서 부분방전이 발생하고, 절연층은 부분방전에 의해서 침식된다.

부분방전에 의한 침식은 유기절연재료에서 시작하여 보이드의 확대 또는 교락이 일어나 다음의 큰 방전으로 이행하여간다. 그 결과 마이카나 유리섬유의 무기재료까지 침식이 발전하여 결국 절연파괴에 이른다.

일반적으로 부분방전에 의한 절연체의 침식은 전계가 집중되기 쉬운 도체근방에서 발생하여 시작하는 것이 많다. 권선이 운전중에 받는 전압 스트레스는 대지간 상규전압, 이외에 이상전압인 개폐서지(surge), 뇌서지 등이 반복 침입하므로써 절연체에 트리(tree)등과 같은 임펄스 절연열화가 발생하고 이것에 의한 층간절연의 절연내력 저하가 문제로 된다.

### 2.2.3 기계적 열화

회전기의 기계적 스트레스는 기동정지시의 충격, 운전중의 열응력 및 운전중의 전자(電磁)진동이 있다. 급격한 부하변동이나 기동정지시의 히트사이클(heat cycle)에 의한 열화는 절연층중에서 열응력이 반복적으로 걸리는 층에 균열, 박리나 보이드가 생성되는 데 이러한 현상은 권선의 끝단(edge)부분에 집중적으로 발생하는 경향이 있어 눈으로 그 정후를 발견할 수 있다. 운전중의 전자진동에 의해서 절연층의 박리나 균열등이 생기는 것이 있으며, 권선의 고정이 느슨한 곳에서 권선의 진동에 의해서 철심간에 마모 열화가 일어난다. 또한 기계적 열화는 절연층의 박리, 균열, 마모에 의한 손상에 의해서도 나타난다. 그 결과, 전기적 열화인 부분방전에 의해 절연체 손상이 일어나 절연파괴에 이른다. 또한 권선의 끝단 부분에 있어서의 손상은 흡습, 오손등에 의해 열화 촉진되어 절연저항의 저하나 절연파괴의 원인이 된다.

### 2.2.4 환경적 열화

환경적 열화의 대표적인 것은 기름, 진에오손, 습기등이다. 기름에 의한 열화는 절연재료의 팽윤에 의한 박리나 용해 현상이 나타난다. 또한 연면의 절연저항이 저하되고 이차적인 열화로 진전하는 것이 많다.

진에에 의한 오손은 Carbon분, 철분등과 같은 도전성 물질

부착의 경우 절연저항을 극단적으로 저하시키며 진에 자체가 도전성이 없는 것이라도 흡습에 의해서 절연저항이 저하된다.

침수나 결로에 의한 흡수는 절연파괴저하의 직접적인 원인이지만, 고습도중 또는 장마시 등에 회전기의 장기간 정지중에 흡습하는 것에 의해서도 절연내력은 저하한다. 또한 흡습상태 그대로 운전하면 흡습열에 의해 가수분해를 촉진하나, 이것은 재건조나 청소에 의해 어느정도 기능회복이 가능하다. 일반적으로 환경적 열화는 수력발전기나 전동기에서 많은 영향을 받으나, 화력발전기는 수소분위기의 밀폐형식으로 운전하므로 환경적 열화는 거의 받지 않는다. 그러나 화력 발전기도 분해점검시 장시간 노출에 의한 환경적인 열화를 받을 수 있으므로 주의를 해야 한다.

### 3. 회전기의 절연열화 평가방법

회전기의 절연열화정도를 평가하는 방법은 크게 2가지로 분류된다. 하나는 운전시간과 기동·정지횟수에 의한 절연잔여내전압 추정법이고, 나머지 하나는 비파괴 시험값에 의한 절연잔여내전압 추정법이다.

#### 3.1 절연의 수명점[4]

절연물의 수명점은 국제규격인 IEC-216에서 “절연파괴전압 초기치의 50% 저하점”으로 정의하고 있으며, 일반적으로 재료의 열화는 그림 4의 신뢰성 곡선 (bath-tub)에 보여지는 초기치의 50%이하에서 수명기에 들어가고 이 단계에서 열화 진행도는 급속히 진전하여 예측이 곤란한 것으로 조사되고 있다.

회전기의 경우 절연물의 수명점은 일본전력중앙연구소[6]에서는  $(2E^{3.1}+1)$ kV 정도의 잔여파괴전압을 갖는 것으로 추천

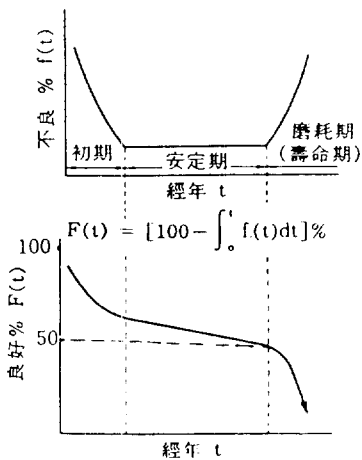


그림 4. 신뢰성 bathtub 곡선

하고 있다. 이는 초기치의 파괴전압이 45E정도로 설계되고 있으므로 초기치의 50%에 상당하는 파괴전압이 된다.

회전기가 받는 최대전압으로서는 뇌서지가 가장 크고, 그 값은 회전기 계통의 임피던스에 관계하지만, 일반적으로는 2E ~ 2.4E정도로 고려된다. 이러한 값을 고려하여 수명점을 X-30 값이 초기치의 40%에 도달하는 시점에서 절연교체를 실시하는 것이 타당하다고 보고하고 있다.

#### 3.2 운전이력에서 수명을 추정하는 방법[3, 5]

절연열화의 원인은 전기적 열화, 열열화, 환경적열화및 히트사이클에 의한 열화로 분류되며, 이중 전자의 3가지는 운전시간에, 히트사이클은 기동정지횟수나 부하변동횟수에 비례하는 열화로 고려된다.

그러므로 절연층의 복합열화는 운전이력에 관계하므로 복합열화에 의한 잔여내전압은 다음 식(1)로 표시가능하다.

$$V_R = (1-D_1)(1-D_2)(1-D_3)(1-D_4) \times 100(\%) = (1-aY)(1-bN) \times 100(\%) \quad (1)$$

여기서 Di : 각종 열화 소모율

a : 년차 소모율

b : 기동·정지 소모율

Y : 운전년수

N : 기동·정지 횟수

실제 자료에서 실험적인 계수인 a,b를 구하면

a =  $7 \times 10^{-3}$  : 운전시간 1년 (24시간 × 365일) 당 0.7%

b =  $8 \times 10^{-5}$  : 기동·정지횟수 1000회당 8%

인 것으로 나타나고 있다. 이값에 따라 x축을 운전시간 y축을 기동·정지회수로 하여 그림을 그리면 그림 5와 같다.

최근에 에폭시 절연시스템을 갖는 회전기는 불포화 폴리에스테르 절연시스템을 갖는 회전기와 같이 베이스라인(baseline)운전을 하는 것과는 달리 부하변동, 무효전력 변동등의

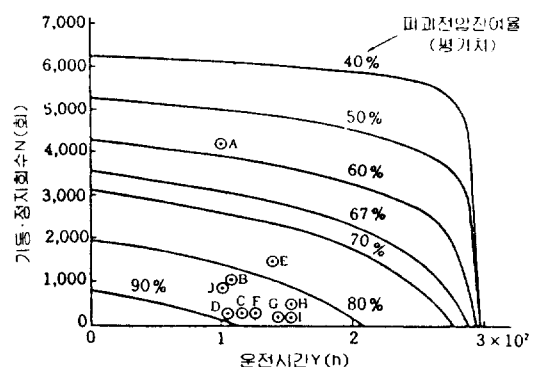


그림 5. 불포화 폴리에스테르 절연수명 NY map

주1) E는 정격전압

빈번한 부하변동과 기동정지를 하는 운전조건에서 사용되고 있어 기계적인 스트레스를 크게 받게 된다. 따라서 기동·정지 횟수 등가적인 환산방법을 통하여 Y축에 적용시켜 보상하는 방법을 사용하고 있다.

등가 기동·정지횟수는 다음 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$N_{12}/N_0 = N_1/N_{10} + N_2/N_{20} + N_3/N_{30} + \dots \quad (2)$$

- N<sub>1</sub> : 기동정지 횟수
- N<sub>2</sub> : 부하변동 횟수
- N<sub>3</sub> : 무효전력 변동횟수
- N<sub>10</sub>: 기동정지횟수에 의한 수명횟수
- N<sub>20</sub>: 부하변동에 의한 수명횟수
- N<sub>30</sub>: 무효전력 변동에 의한 수명횟수

식(2)에서 구한 등가 기동정지 횟수 N<sub>12</sub>와 운전년수 Y의 경우 그림 5의 NY map을 사용하여 잔여파괴전압을 추정하는 것이 가능하다.

### 3.3 비파괴시험에서 수명평가방법[1-3, 7-9]

#### 3.3.1 판정기준법 및 D-Map 방법

회전기의 비파괴시험은 표 2와 같은 단계를 거쳐 실시한다.

① 단계는 권선의 흡습상태가 어떤가를 조사하는 것으로 일반적으로 아스팔트 콤파운드 절연 시스템의 경우 주목이 되지만 레진 절연시스템을 갖는 회전기에서는 일반적으로 1.5 이상의 값이 측정되므로 크게 문제되지 않고 있다.

② 단계에서는 교류전류의 제 2전류 급증점 P<sub>2</sub>가 아스팔트 콤파운드에서 절연의 상태를 판정하는 데 중요한 요인으로 작용하지만 레진 시스템의 회전기에서의 제 2전류급증점이 잘 나타나지 않는 것으로 알려져 있다. 이 때문에 레진 계열의 회전기는 ③단계의 결과가 매우 중요하다.

레진 회전기에서 잔여수명 평가방법은 ③단계의 3항목으로 평가할 수 있으며 이 방법을 판정기준법이라고 부른다.

D-map법은 ③단계의 3항목으로써 잔여수명을 계산하는 것으로 아래의 식으로 행한다.

그림 6은 잔여파괴 내전압 V<sub>R</sub>과 Δ의 관계를 표시하고 있다. 실측결과를 발전기와 전동기에서 30개의 결과를 종합한 것이며, 경년열화 코일의 대다수는 아래 식(3)과 같이 나타났고, 강제열화코일과 전동기는 식(4)와 같이 나타난 것임을 알 수 있다.

표 2. 콤파운드 절연 회전기의 권선에 대한 열화판정기준

단계	측정항목	판정 기준
①	PI	<1.5인 경우 흡습상태, 건조하여 >1.5가 되면 ②단계로
②	PI <sub>2</sub>	<E인 경우 불합격, E이하에서 나타나지 않으면 ③단계로
③	Δtan δ	≤6.5%
	ΔI	≤8.5%
	Q <sub>max</sub>	<1×10 <sup>9</sup> °C (3항목중 2항목이상 통과하면 합격(따라서 절연파괴전압은 2E+1kV이상 추정))

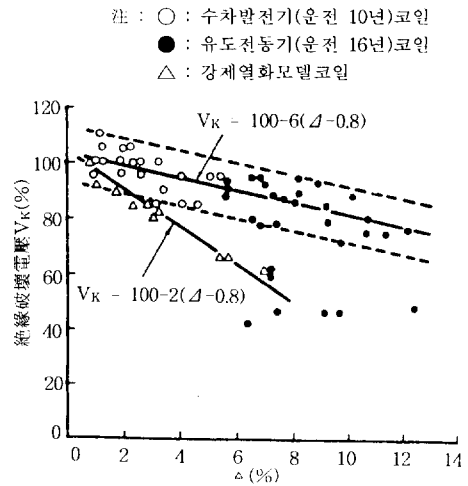


그림 6. 각종 열화코일 절연파괴전압과 Δ상관관계

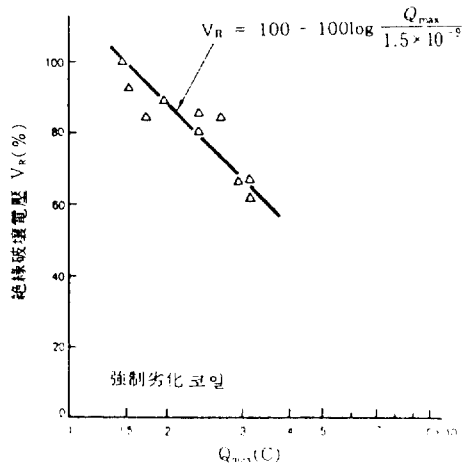


그림 7. 강제열화코일 절연파괴전압과 Q<sub>max</sub> 상관관계

$$V_R = 100 - 2(\Delta - 0.8) \quad (3)$$

$$V_R = 100 - 6(\Delta - 0.8) \quad (4)$$

그림 7은 강제 열화 코일에 대한 잔여전압 V<sub>R</sub> 과 부분방전량 Q<sub>max</sub>의 관계를 그린 것으로 식 (5)를 적용할 수 있다.

$$V_R = 100 - 100 \log \frac{Q_{max}}{1.5 \times 10^{-9}} \quad (5)$$

식(3)으로 근사가능한 코일군은 정상열화에 속하며 Q<sub>max</sub>는 초기치 1.5 X 10<sup>-9</sup>C에서 거의 증대하지 않는다고 생각한다. 식(3)은 식(5)를 고려해 조합하면 식(6)으로 표시할 수 있다. 식(6)에서도 정상열화 코일의 특성을 나타낼 수 있고, 국소 이상열화를 포함한다고 할 수 있다. 여기서 k를 결정하면 잔여전압 V<sub>R</sub>는 평가된다. k는 회전기의 절연시스템에 따라 다

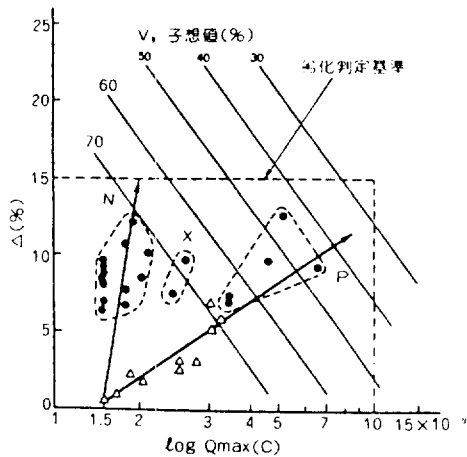


그림 8. 절연수명의 D-map결과의 예

르며 이 방법이 발표된 초기에는 k값은 67로 사용되었고, 불포화 폴리에스테르 절연시스템에서는 37.5 최근의 에폭시 레진 절연시스템인 경우 27.4 를 적용하고 있다.

$$V_R = 100 - 2(\Delta - 0.8) - k \log \frac{Q_{max}}{1.5 \times 10^9} \quad (6)$$

D-map으로 표시하는 방법은 그림 8과 같이 X축을 log Qmax, Y축을 Δ(Δ=ΔI+Δtanδ)의 눈금으로 하여, 측정점을 그리는 것이다. 식 (6)에서 VR의 예상치가 설정되며 이 그림에 나타난 바와 같이 경사진 직선으로 표시된다. 즉 열화된 코일은 이 그림 중의 N방향으로 향하는 정상열화 코일군과 P방향으로 향하는 이상열화 코일군으로 대별된다. 따라서 절연열화의 경향과 절연과피 전압의 측정치 VR를 쉽게 알 수 있게 된다. Δ와 Qmax는 공통적으로 부분방전(Partial discharge)에 관련된 값이므로 이 그림과 같은 표시법을 D-map (Discharge Map) 이라고 약칭한다.

### 3.3.2 RC치에 의한 절연진단법

절연저항치를 규격화하여 공시체의 출력용량과 절연체의 크기에 의존하지 않는 특성치로 하여 표시한 RC치(정전용량과 절연저항의 적)는 종래부터 CV 케이블의 열화 특성치로 하여 사용되고 있지만, 모델 코일 및 6kV급 전동기 권선의 RC치와 잔여과피전압 VR와의 간에 그림 9에 표시한 것과 같은 양호한 상관관계가 있는 것이 밝혀져 사용하기도 한다.

그리고 발전기 권선의 RC를 조사하여 흡습 및 오손을 반영하는 특성치로 하여 알려지고 있다. tanδ0와 대비하면 그림 10에 표시한 것 같이, 침수된 권선을 제외한 것에서 특성 곡선이 경년적으로 좌하로 추이되어 가는 것이 나타나 R1C0 - tanδ0특성이 오손과 흡습, 레진의 질량감소 등을 진단하는 경우 유효한 지표로 되는 것으로 알려지고 있다.

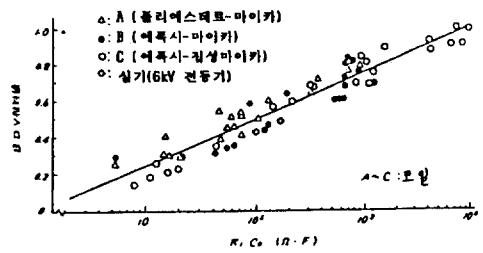


그림 9. RC치와 절연과피전압과의 상관관계

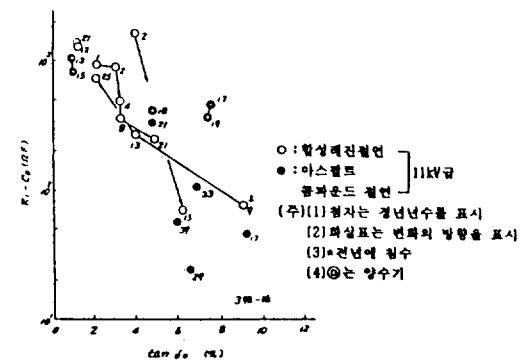


그림 10. R1C0치와 tanδ0와의 상관관계

### 3.3.3 S치에 의한 절연진단법

컴퓨터 계측기술의 이용에 의해 부분방전특성 자료의 다각적인 해석이 가능하게 되어 그결과의 하나인 부분방전 발생위상각 - 방전전하(φ - q)분포 패턴의 변화가 도출되어진다. 이것은 절연체중의 트리잉의 열화의 진전에 동반하는 φ - q 분포 패턴의 시간변화(그림 11)에 착안하여 그림 12에 나타난 것과 같이 φ - q분포의 패턴을 수치화한 것으로 된다. 즉, φ - q분포 패턴은 그림 11에 표시한 것과 같이 열화의 초기에

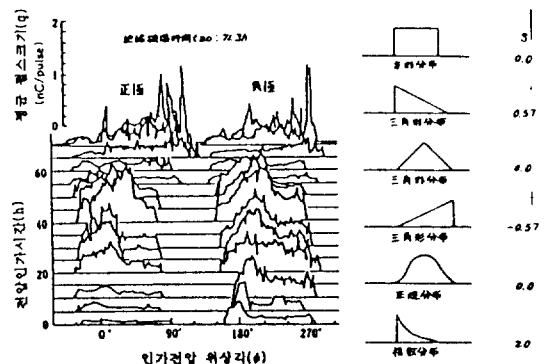


그림 11 부분방전 발생위상- 그림 12. 부분방전 발생 방전전하(φ-q) 분포 패턴의 시간변화 (φ-q)분포패턴의 형상과 왜곡도 S

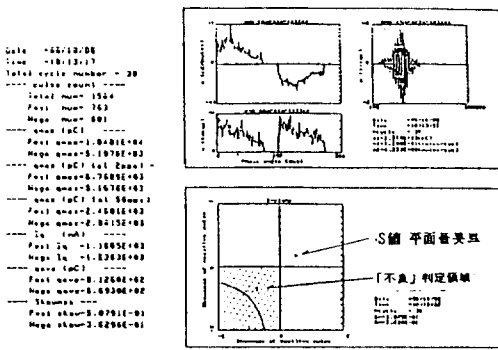


그림 13. 부분방전 스펙트럼 진단장치의 11kV급 발전기권선의 적용결과

있어서는 좌에서의 패턴(S>0)을 표시하지만, 열화의 진전과 함께 분포의 피크(큰 방전 펄스)가 분포의 중심부로 이동하여 좌우대칭(S=0)으로 되어 재차 절연파괴 직전에 있어서는 우쪽에서의 패턴(S<0)이 변한다. 따라서 S치의 추이를 따르는 것에 의해서 절연상태의 진단이 가능하다.

이 S치의 추이에 의해 절연파괴의 예지를 간편히 행한 S 평면 좌표법이 제안되고 있다. 이것은 정펄스분포의 S치와 부펄스분포의 S치를 각각 횡축과 종축으로 한 S 평면을 정의하고 이의 S평면에 그린 것에 의해 열화상태를 쉽게 파악하므로 그린 점이 S 평면의 제 3 상환(-S<sup>+</sup>, -S<sup>-</sup>)에 있는 동안은 절연파괴에 가까운 상태인 것을 표시하고 있다.

부분방전 스펙트럼 진단장치의 발전기 권선에의 적용결과를 그림 13에 표시하였다. q<sub>m</sub>치, S치 및 φ-q분포특성 등이 그려 나오고, 정·부펄스분포의 S치가 S평면에 표시되었다.

### 3.3.4 K치에 의한 절연진단법

절연층에 보이드, 박리, 균열 등의 공극이 발생하면 표면상 절연층의 유전율 ε이 작게 되기 때문에 권선의 정전용량이 감소한다. 따라서 정전용량의 변화를 촉진하는 것에 의해서 절연층에 함유하는 공극의 정도는 파악할 수 있다. 이것에 착안하여 보이드 용적비 K가 도출된다.

$$K = [(C_0/C_0') - 1]/\epsilon$$

여기서 C<sub>0</sub> 및 C<sub>0</sub>'는 방전개시 이하의 과전압에서 측정된 열화전 및 열화후의 정전용량으로 된다.

K치의 측정 예로 하여 교류전류치에 의한 정전용량을 근거로 산정하여 K값을 표 3에 표시하였다. K치는 다른 열화특성치와 잘 대응하는 것을 표시하고, 열화검출 감도도 비교적 높다. 단 흡습과 오손의 영향을 받으므로 주의가 필요하다.

### 3.3.5 샘플(Sample)코일에 의한 절연진단법

권선의 절연진단은 인간의 건강진단에 잘 근사되고 있다. 비파괴특성치와 운전이력에 의한 절연진단법은 문진과 청진,

표 3. 합성레진 권선의 경년 절연특성의 예

시험 항목	열화특성 항목	최고시험 전압V <sub>m</sub>	경년 년 수						판정 기준
			0	9	13	15	23	25	
직류	PI	1 kV		4.9	4.2	4.9	4.7	5.8	>1.5
	R <sub>1</sub> (MΩ)		88	370	580	760	1400		
	R <sub>10</sub> (MΩ)		430	1550	2850	3600	8100		
교류	ΔI(%)	1.25E <sub>0</sub>	-	1.6	5.0	2.9	3.1	5.5	<5.0
	P <sub>1</sub> /E <sub>0</sub>			1.0	0.79	0.53	0.59	0.66	
tan δ	tanδ <sub>0</sub> (%)	1.25E <sub>0</sub>	2.0	7.0	4.0	3.2	2.6	2.1	<2.5
	Δtanδ%		0.5	2.2	3.2	2.4	2.9	2.4	
정전 용량	ΔC/C <sub>0</sub> (%)	1.25E <sub>0</sub>	-	1.3	2.1	3.0	3.8	4.9	
부분 방전	R <sub>1</sub> C <sub>0</sub> (0F)			63	231	346	444	790	
	K <sup>2</sup> (%)			0	15	20	23	27	
교류 파괴 전압	qm(nC)	E <sub>0</sub>	-	18	86	40	25	80	<10
	N <sub>q</sub>	1.25E <sub>0</sub>	-	2.9	2.0	1.3	1.1	1.2	
	V/E <sub>0</sub>		-	-	0.54	0.64	0.42	0.40	
경력, 운용상황				3.1	2.4		0.8		0.34
운전개시후 3년간 침수(약 100시간침수) 권선최고온도 : 70℃(동기) - 90℃(하기), 계속 운전									

혈액검사 등의 단기 검사적 방법을 말한다. 권선에서 코일을 샘플하여 그의 비파괴치. 파괴절연특성치에서 절연진단을 행하는 방법(샘플 시험법)은 세포진 등의 외과적인 방법으로 되어 이것은 경제적인 면에서 단점이 있지만, 최대로 확실한 진단법이라고 말하고 있다. 표 3에서 합성레진 권선의 경년 절연특성 및 열화 판정의 결과를 확인하기 위해서 행한 샘플 시험의 결과를 표시하였다. 열화 특성치는 경년과 함께 약화의 경향을 표시하고 경년 23년 것의 열화판정시험에 있지만, 권선은 운전이 필요한 절연내력(2E + 1)kV가지고 있지 않다고 판정되었다. 이의 판정 결과는 샘플시험에 의해서 확인되어 절연열화 판정시험 및 샘플시험의 유효성이 실증되고 있다.

이상과 같이 권선의 절연성능 저하는 절연층의 흡습, 변질, 보이드, 박리, 크랙 등의 절연열화 요인으로 하여 일어난다. 이러한 열화형태에 상관하는 열화 특성치와의 상관관계를 표 4에 표시하였다. 이 표에 나타난 항목이 실용 혹은 제안되고 있다.

표 4. 비파괴 절연특성과 진단내용의 상관관계

일반적인 기호	일반적인 정의	진단내용과 상관관계		
		흡습변질 오손	박리 보이드	국소이상열화
tanδ <sub>0</sub>	베이스의 tanδ (통상 2kV)	0		
C <sub>0</sub>	베이스의 정전용량(통상 2kV)	0		
R <sub>1</sub>	절연저항 1분치	0		
PI	상극지수	0		
R <sub>1</sub> C <sub>0</sub>	절연저항과 정전용량 적	0	0	
Δtanδ <sub>0</sub>	tanδ <sub>0</sub> - tanδ <sub>0</sub> (E는 정격전압)		0	
ΔC/C <sub>0</sub>	정전용량 증가율((C <sub>t</sub> -C <sub>0</sub> )/C <sub>0</sub> )		0	
ΔI	전류 증가율(=ΔC/C <sub>0</sub> )		0	
Σn <sub>q</sub>	평균방전전류		0	
P <sub>1</sub>	제 1 전류 급증전압		0	
P <sub>2</sub>	제 2 전류 급증전압		0	0
V <sub>i</sub>	방전 발생전압(통상 1x10 <sup>3</sup> pC)		0	0
qm	최대 방전전하(통상 E/3)		0	0
N <sub>q</sub>	qm - V 특성의 기울기		0	0
S	평균방전전하-위상각분포 외도		0	0
K	보이드 용적비		0	
Δ	Δtanδ + ΔC/C <sub>0</sub>		0	

#### 4. 맺는 말

본고에서는 한정된 지면의 관계로 고압교류회전기의 권선에 대한 운전정지중 절연진단에 관한 것만 논하였지만, 앞으로 직류기 및 운전중의 절연진단에 대하여도 기회가 있으면 논하고자 합니다.

#### 참 고 문 헌

- [1] Y.Ikeda, H.Fukagawa, "합성레진 절연발전기 권선의 절연열화 판정법", 전력중앙연구소보고, W88046, 1988. 6
- [2] Y.Ikeda, "대용량 발전기 권선의 절연진단기술의 현상과 문제점" 전력중앙연구소보고, W87013, 1987. 12
- [3] Y.Takikawa의 5인, "발전기의 예방보전기술", 日立評論, Vol. 72. NO. 8, pp. 73-77, 1985. 5
- [4] 일본전기학회, "전기설비의 진단기술", 1988.
- [5] M.Taniguchi의 2인, "대형회전기 코일의 수명진단기술", 日立評論 Vol. 67 No. 2 pp. 73-77, 1985.5
- [6] 발전기 권선열화 평가기준 위원회, "발전기 권선 절연열화 판정기준", 전력중앙연구소 기술연구보고서 No. 60071, 1967.4
- [7] Y.Wada의 1인, "기설 수력발전설비의 예방보전", 日立評論 Vol 70. No.8, pp. 49-54, 1988. 8

- [8] K.Kadotani의 3인, "고압회전기 코일의 절연진단과 수명 예측지", 日立評論 Vol. 3 No. 3, 1981.3
- [9] 김광화의, "안동다목적댐 수력발전-전동기 및 변압기 절연진단 시험연구", 한국전기연구소, 1992. 6

#### 저 자 소 개



##### 김광화(金光和)

1956년 5월 12일생. 1981년 2월 부산대 공대 전기공학과 졸업. 1983년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1992년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1983년 3월-1988년 2월 한국전기연구소 연구원. 1988년 3월-1994년 10월 동 연구소 선임연구원. 1994년 11월-현재 한국전기연구소 절연진단팀장.