

인텔리전트의 절연진단 기법(2)

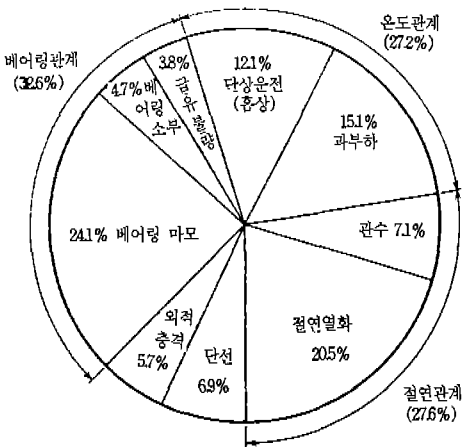
역/대한전기기사협회

전동기 코일의 절연진단

머리말

회전기는 여러 산업분야에서 사용되고 있지만 물, 기름, 분진, 부식성 가스, 고온 등과 같은 나쁜 환경에서의 사용이나 ON-OFF 제어 등 시동빈도 증가로 인한 스트레스를 받는 등, 최근의 전동기 사용조건은 더욱 더 어려워지고 있다.

한편, 전기설비의 대형화, 시스템의 고도화에 수반하여 1대의 회전기 고장이 설비 전체의 기능정지라는 사고로 발전할 가능성이 높아지고 있다. 이 때문에 예기치 않은 사고를 방지하여 설비의 신뢰성을 올리는 예방보전이라는 입장에서 설비 진단기술이 개발되어 실용화되고 있다.



<그림 1> 회전기의 고장상태

<그림1>은 전동기의 고장상태를 나타낸 것으로, 권선의 절연불량은 베어링 이상과 함께 많은 퍼센트를 차지하고 있다. 권선은 회전에 있어서 중요한 부위로서 재료 및 가공에 대해서 최신의 기술이 집약되고 있지만 사용에 의해 열화하며 또 사용조건에 따라 열화속도가 상이하다. 여기서는 권선의 절연성능, 열화의 정도를 알고 보수·보전의 자료로 하기 위한 절연진단기술에 대해서 기술한다.

1. 절연물의 열화요인과 현상

전동기권선의 절연은 사용중에 받는 여러가지 스트레스에 의해 그 성능이 차차 저하하며, 그것이 어느 한계에 이르면 절연파괴를 일으킨다. 이 열화요인과 현상은 아래와 같은 것이 있는데, 이들 요인이 단독으로 절연파괴를 일으키는 일은 거의 없고 주원인은 어느 것이긴 하지만 최종적으로는 복수의 요인이 관련되어 파괴에 이른다.

<열화요인과 현상>

- (i) 과부하 등 과열로 인한 열화—열적 변질
- (ii) 코로나에 의한 열화—부분 방전 침식
- (iii) 냉열의 반복으로 인한 팽창·수축에 의한 열화—박리, 균열
- (iv) 뇌 서지나 개폐 서지 등 이상전압 침입에 의한 열화—절연층의 침식
- (v) 진동에 의한 열화—마모, 박리, 균열
- (vi) 습기, 결로에 의한 열화—누설전류의 증가

- (Ⅳ) 염분, 기름, 약품, 오손에 의한 열화—화학적 변질, 누설전류의 증가
- (Ⅴ) 단락, 빈번한 시동 정지로 인한 기계적 열화—박리, 균열, 마모

2. 진단방법

(1) 시험항목

전동기의 절연진단은 절연물의 열화를 검지함으로써 시행 되는데, 이를 위해 일반적으로 실시되고 있는 시험항목을 <표1>에 든다.

(2) 시험방법

(a) 눈검사

절연물이 박리, 균열, 마모 등과 같은 이상이 생겨 있지 않는가, 또한 변색하거나 심하게 오손되어 있지 않는가 등을 눈으로 조사 판정한다.

<표 1> 절연시험항목

NO	대상권선 시험항목	고압고정자권선		저압 고정자권선	
		○	○	○	○
1	눈 조사	○	○	○	○
2	직류 시험	○	○	○	○
3	교류전류 시험	○	○	—	—
4	유전 정점 시험	○	○	—	—
5	부분방전 시험	○	○	—	—

(b) 직류시험

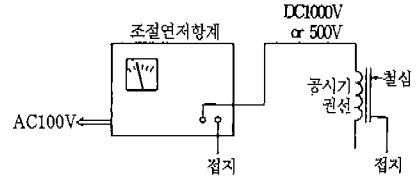
<그림2>의 시험회로에 의해 권선에 직류전압을 인가하여 절연저항을 측정한다. 절연저항은 권선의 충전전류와 누설전류에 따라 결정되기 때문에 <그림3>과 같이 시간과 더불어 변화하는데, 1분 후의 절연저항치(R_1)와 10분 후의 절연저항치(R_{10})를 구하여 성극지수(成極指數, PI)를 산출한다.

$$PI = R_{10}/R_1$$

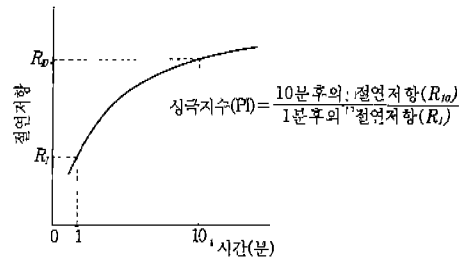
시험전압은 고압기는 DC 1,000[V], 저압기는 DC 500[V]이다.

(c) 교류전류시험

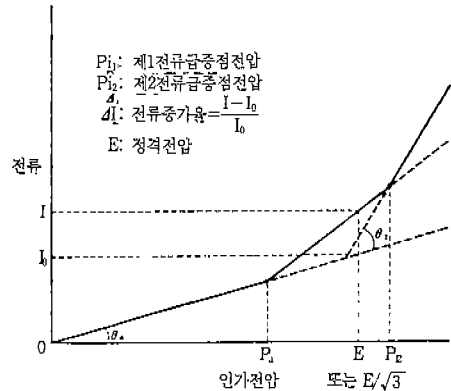
<그림 4>와 같은 시험회로에 의해 권선에 상용 주파전압을 인가하여 각 전압에 대한 전류특성 <그



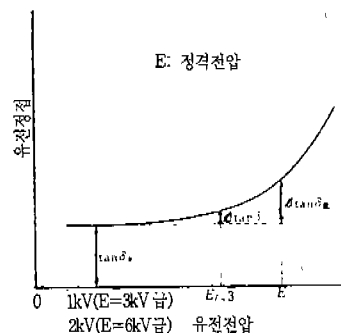
<그림 2> 직류시험회로



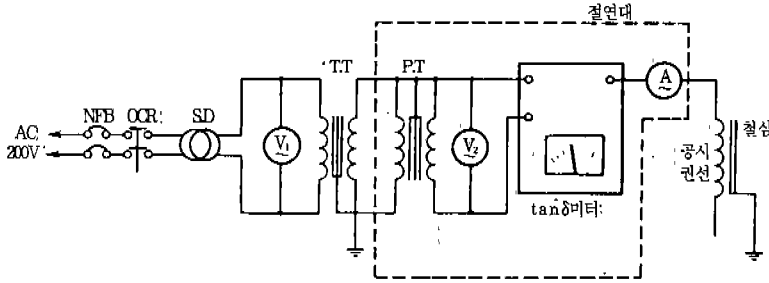
<그림 3> 절연저항의 시간특성



<그림 5> 교류전류의 전압특성



<그림 6> 유전 정점의 전압특성



<그림 4> 교류전류 시험 및 유전정접시험 회로

림5>을 구한다. 그리고 또 이 그림에서 전류증가율 (ΔI)과 제1전류 급증점 전압 (P_{1c})과 제2전류 급증점 전압(P_{2c})을 구한다.

P_{2c} 는 P_{1c} 보다 훨씬 높은 전압으로, 전류증가 경향이 명료하게 출현하고 있는 전압을 말한다. 원칙적으로 다음 3조건을 만족시키는 것을 말한다.

- (i) P_{2c} 는 P_{1c} 의 대략 1.68배 이상
- (ii) P_{2c} 에 있어서의 전류증가율 (m)은 1.6배 이상

$$\text{단, } m = \frac{\tan \theta_2}{\tan \theta_1}$$

- (iii) P_{2c} 이상의 전압에 있어서의 전류증가 경향은 P_{2c} 에서 1.2, P_{2c} 이상의 범위에서 일정

일반적으로 절연능력이 양호한 경우는 전압과 전류의 관계는 정격전압 가까이까지 급변이 없고 직선적이다. 판정은 P_{2c} 과 ΔI 및 P_{2c} 의 유무 등에 의해서 한다.

(d) 유전정접시험

절연물에 교류전압을 인가하면 미소한 유전체 손실이 있으며 그것에 비례하는 유전정접치(誘電正接値, $\tan \delta$) 전압에 대한 변화 및 루프의 상황에 의해 열화의 정도를 판정한다.

시험은 <그림4>에 의해 하고 각 전압에 대한 유전정접치 특성<그림6>을 구한다. 그리고 이 그림에서 $\tan \delta$, $\Delta \tan \delta$, $\Delta \tan \delta$ 를 구한다.

- (i) $\tan \delta$: 부분방전이 발생하고 있지 않다고 생각되는 전압(정격전압이 3KV급에서는 1KV, 6KV급에서

는 2kV)에 있어서의 유전정접치

- (ii) $\Delta \tan \delta$: 정격전압/ $\sqrt{3}$ 에 있어서의 유전정접치 - $\tan \delta$

- (iii) $\Delta \tan \delta$: 정격전압에 있어서의 유전정접치 - $\tan \delta$

(e) 부분방전시험

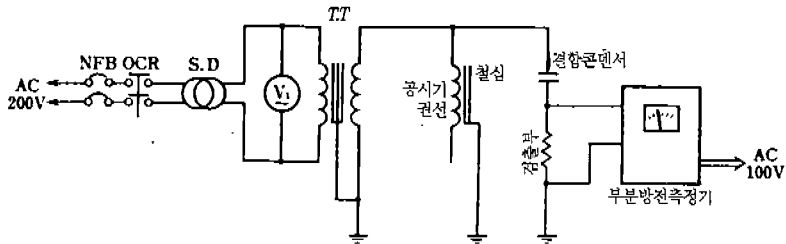
절연물 내부에 보이드가 있는 경우, 보이드의 전계 분포가 높아져 국부적으로 방전한다. <그림7>은 부분 방전 시험회로로서, 이 시험에 의해 각 전압에 대한 최대 방전전하 특성 <그림8>을 구한다.

(3) 판정

이상과 같은 시험을 실시하여 얻은 데이터에 대해서는 열화의 판정법으로서 공인되고 있는 기준은 없다. 판정기준의 일례를 <표2>에 드는데, 이들 값은 절연 근성, 전동기 용량 등에 따라 대폭적으로 상이하야 어디까지나 참고치이다. 예컨대 절연저항치가 몇가지 정해져 있지만 일본의 경우, <표3>과 같이 규정, 기준에 따라 상당한 차를 볼 수 있다.

<표4>에 절연성능과 열화현상의 관련을 표시한다. 흡습, 오손에 의해 절연성능이 저하한 경우는 세정—건조—와니스 처리에 의해 회복할 수가 있지만 절연물의 열화에 의한 경우는 다시감기가 필요하다.

여하간에 각 시험결과는 상호 관련이 있으며 특정 항목만의 판단으로는 불충분하고 대상이 되는 전동기의 사용조건, 경년변화를 포함해서 총합적으로 판



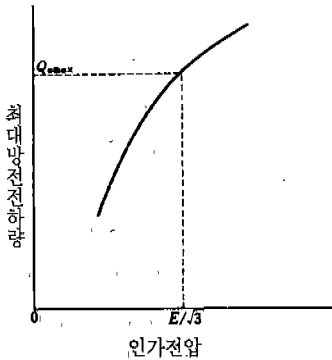
<그림 7> 부분방전 시험회로

<표 2> 판정기준(참고용)

정격전압	시험항목	판정항목	측정전압	판정기준
—	눈조사	—	—	빈색, 클러크, 상처나 심한 오손이 없을것
6.6kV급	직류시험	절연저항치(R_{60})	DC1000V	5M Ω 이하
		성극지수(P.I)	—	1.5 이상
	교류시험	전류증가율(ΔI)	6.6kV	10% 이하
		제2전류급증점전압(P_{2k})	—	정격전압 이하
	유전정접시험	$\tan \delta$	—	15% 이하
		$\tan \delta$	3.8kV	1% 이하
		$\tan \delta$	6.6kV	65% 이하
3.3kV급	부분방전시험	$Q_a \max$	4.8kV	10 ⁴ PC 이하
	직류시험	절연저항치(R_{60})	DC1000V	3M Ω 이상
		성극지수(P.I)	—	1.5 이상
	교류시험	전류증가율(ΔI)	3.3kV	5% 이하
		제2전류급증점전압(P_{2k})	—	정격전압 이상
	유전정접시험	$\tan \delta$	—	15% 이하
		$\Delta \tan \delta$	1.9kV	0.5% 이하
		$\Delta \tan \delta$	3.3kV	2% 이하
	부분방전시험	$Q_a \max$	2.4kV	10 ⁴ PC 이하
저압	직류시험	절연저항치(R_{60})	DC500V	1M Ω 이상
		성극지수(P.I)	—	1.5 {이상}

<표 4> 노화현상과 절연특성의 관계

노화현상	절연특성	변화
흡수 손	절연저항 성극지수 $\tan\delta_0$	저하 감소 증대
박리 균열 마모	$\Delta\tan\delta$ 전류급증점전압! 전류증가를 최대방전전하	증대 저하 증대 증대



<그림 8> 최대방전전하량의 전압특성

단하는 것이 올바른 판정이 된다. 그러므로 절연진단은 전동기의 가동 개시후 15년 이내는 3년에 1회 정도, 그 이상에서는 1~2년마다 실시하는 것이 바람직하다. 그리고 이 경우에 시험 때문에 고전압을 인가함으로써 권선의 열화를 향진시키는 일이 없도록 시험전압에 주의를 하여야 한다.

맺음말

이상, 전동기권선의 절연진단에 대해서 약술했는데, 이 밖에 절연물에 부착한 더스트를 분석하는 방법이나 절연물의 과열로 인해 발생하는 미립자를 검출·분석하는 방법 등도 발표되고 있다. 또한 센서를 고정자권선에 부착하여 상시 코로나를 감시하는 모니터 등도 있다. 이것들은 아직 필드 데이터가 적으며 앞으로도 데이터 수집에 의해 측정기술, 파정기술의 향상이 필요하다. ☹

<표 3> 절연저항에 관한 규정

규격	규정	200kW-6P-3000V-500Hz의예
JIS-C 4004	$\frac{\text{정격전압(V)}}{\text{정격출력(kW)+1000}}$ (M Ω)	25(M Ω)
	$\frac{\text{정격전압(V)} + \frac{1}{3} \times (\text{배분회전수})}{\text{정격출력(kW)} + 2000} + 0.5$ (M Ω)	15(M Ω)
NK	$\frac{3 \times \text{정격전압(V)}}{\text{정격출력(kW)} + 1000}$ (M Ω)	75(M Ω)
방위청규격	3(M Ω)	3 (M Ω)