

# 고압회전기 절연열화진단의 현장적용기술연구

○ \* \*  
 김길용, 조경혜, 김택수  
 (한전 기술연구원 발전 연구실)

\*\* \*\*  
 한상욱, 이현수  
 (충남대 전기공학과)

A Study on Site Application Techniques for Insulation Reliability of Rotating Machine

K.Y.Kim, K.H.Jo, T.S.Kim,  
 KEPCO Research Center

S.O.Han, H.S.Lee  
 Chung Nam National Univ.

## ABSTRACT

Most of the failures of rotating machine are stator coil insulation failures.

The insulation diagnostic testing for high voltage motors and generators are only megger test and P.I Test which is applied DC voltage until now. But it was impossible to judge insulation deterioration status of high voltage rotating machinery by above testing. In other words, even though the megger measurement values are fairly high, they used to be failed from time to time.

Therefore in order to excute reliable and detailed diagnosis of insulation deterioration for rotating machinery, the tangent delta test, the alternating current test and the partial discharge test shall be applied to the insulation diagnostic testing on site.

## 1. 서 론

1960년대 초반부터 시작된 고도 경제성장으로 전력 수요의 증가와 더불어 발전설비 단위용량도 계속 증가되었으며, 이에 따라 기술적 경제적 관점에서 발전기 및 전동기와 같은 회전 기기도 고전압 대응항화 되어왔다.

이와 관련 회전기기 설계 및 제작기술의 향상과 고성능 전기재료의 개발을 위하여 세계적으로 많은 연구가 추진되어 기기의 성능과 신뢰성이 지속적으로 향상되어온 것이 사실이다. 그러나 대응항 설비의 증가로 기존설비들은 운전조건의 가속화(DSS 및 WSS운전등)와 장기 운전으로 인해 필연적으로 고정자 Coil절연의 열화가 진행되어 종래에는 사고로 진전되고 이로 인해 특히 증오기기의 사고시는 발전출력의 감발뿐만 아니라 발전정지 등 경제적인 손실과 기기의 고신뢰성 운전에 막대한 지장을 초래하게 되었다. 이에 대한 대처방안으로 고압 회전기에 대한 절연진단시험으로서 현재까지는 직류전압을 이용한 Megger 및 PI시험등을 실시해 왔으나 이들 시험만으로는 고전압 회전기의 절연열화 여부를 판단한다는 것은 사실상 거

의 불가능하였다. 즉, Megger 값이 상당히 높은 데에도 운전 중 절연사고가 빈번하게 발생하여 발전소 신뢰성 운전에까지 영향을 미치게되는 사례가 많이 발생되었다.

따라서 본 연구에서는 회전기의 절연열화 여부를 보다 신뢰성 있고 또한 정밀하게 진단함으로써 절연열화사고를 미연에 방지할 수 있는 진단기술의 제시와 동 진단시험을 실제 현장적용분석을 통해 이를 실증함으로써 고압회전기의 신뢰도 높은 현장 절연진단 방법 및 판정기준 등을 제시코저 한다.

## 2. 회전기의 절연열화 요인 및 특성

회전기는 용도에 따라 형식이나 정격(전압, 용량, 회전수 등)이 광범위하고 또한 부하의 상태, 운전시간, 기동정지회수, 외적환경 등의 운전조건도 다양하여 이에 따른 열화의 형태도 달라지며 절연수명도 기종이나 용도에 따라 매우 다르게 나타난다. 회전기의 절연열화 형태는 매우 다양하나 열화요인을 크게 나누어 보면 1) 열적 2) 전기적 3) 기계적 4) 환경적 원인의 4가지로 분류된다. 이러한 열화요인은 단독으로 작용하는 경우보다 많은 경우 복합적으로 작용하여 절연열화가 진행되며 또한 절연 System의 종류에 따라 열화요인의 영향도가 다르게 나타난다.

### 2.1 열 열화

운전중 발생하는 온도상승에 의해 절연재료가 열화하는 현상 즉 운전중 권선의 발열에 의해 산화열화 혹은 열분해가 생겨 절연특성이나 절연층의 강도가 저하하는 현상을 말한다.

### 2.2 기계적 열화

회전기는 타 기기에 비해 큰 기계적 Stress를 받으며 이러한 기계적 Stress는 기동정지시의 전차력, 운전중의 진동, 열 Cycle에 의한 응력 등이 있으며 이로 인해 절연층의 박리, 균열, 마모에 의한 손상으로 나타난다.

### 2.3 전압 열화

운전전압 혹은 기동정지시의 과도전압등에 의해 부분방전이나 treeing이 발생하여 절연내력이 저하하게 되는 현상을 말한다.

2.4 환경열화

화학적 또는 도전성 물질이나 수분에 의한 오손으로 절연층 표면의 절연 특성 저하를 일으키는 것을 말한다. 특히 기기의 장시간 정지중에는 흡습에 의한 절연내력 감소의 현상이 많으며 흡습상태로 운전할 경우 발열에 의한 절연재료의 가수분해 등 절연재료의 극심한 특성저하를 일으키게 한다.

이상의 각종 열화요인과 열화현상을 요약하면 표 1과 같고 그림 1은 고압회전기 절연의 열화과정을 나타낸다.

표 1. 고압회전기 절연열화요인과 열화현상

열 화 요 인	열 화 현 상	
열	인 속	화학적 변질
	cycle	박리, 균열, 마모
전 압	상규전압	부분방전침식, tracking
	surge 전압	treeing
기계력	굽힘응력	박리, 균열
	진 동	마 모
	충 격	박리, 균열
수 분	흡 습	누설전류증대, tracking
	결 로	
	침 수	
오 손	도전물질	누설전류증대, tracking, 화학적 변경
	유·악 품	

그림 1. 고압회전기 절연열화과정

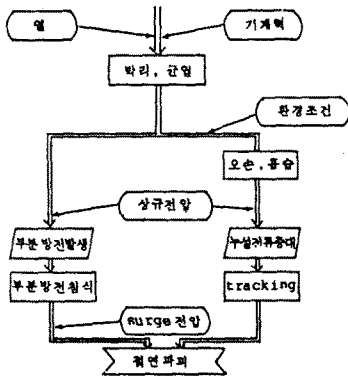


그림 1. 고압회전기 절연열화과정

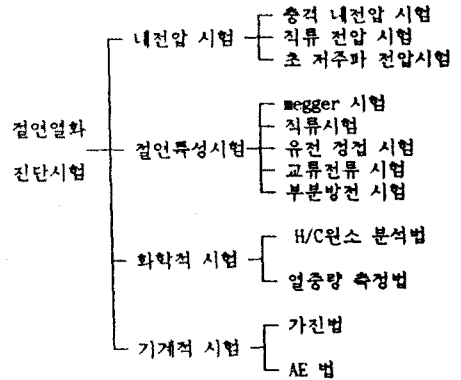
3. 절연진단 시험방법

절연열화 진단시험은 권선절연의 상태를 진단하여 잔존 절연내력이나 잔존 수명을 추정하는 것이 목적이며 이 때문에 비 파괴적으로 진단하는 것이 불가결하다.

이러한 시험은 전기적 시험, 화학적 시험, 기계적 시험 등이 있으나 현실적으로 이를 현장에 적용할 수 있는 시험은 전기적인 방법만이 유일하다고 할 수 있고 이에는 크게 내전압 시험과 절연특성 시험으로 나눌 수 있다.

내전압 시험은 절연열화진단을 하기위한 시험이라기 보다 품질보증시험으로 주로 이용되고 있으며, 절연열화 진단용으로 이용되는 시험법으로는 절연특성 시험이 주로 이용되고 있다. 표 2는 고압회전기 권선의 절연열화 진단방법을 나타낸다.

표 2. 고압회전기의 절연진단 시험법



3.1 Megger 시험

이 시험은 Megger로서 간편하게 직류전압을 인가하여 절연저항을 측정하는 시험을 말하며 오래전부터 기기보수점검시의 절연시험으로서 가장 널리 보편적으로 행해져 온 시험이다.

이 시험은 전압인가 1분후의 절연저항을 측정하며 회전기의 운전개시시 운전 전에 필요한 절연저항을 보유하고 있는지의 확인시험 및 절연열화 진단시험에 앞서 고전압인가 가능여부 check등의 확인에 이용된다. 측정기로서는 직류전원을 내장한 절연저항 계 (megger)가 이용된다.

절연저항치는 대상기의 종류, 정격전압, 용량 등에 따라 다르기 때문에 절대적 기준치를 정하여 절연의 상태를 판단하는 것은 곤란하며 정기적인 Megger 시험을 행하여 절연저항치의 장기적인 경향으로부터 절연의 상태를 판단하는 것이 바람직하다.

이외에 Megger 시험으로 절연상태를 파악하는 것으로서 많은 경험으로부터 도출해낸 절연저항 값의 허용최저 한계로서 다음 식을 참고하기도 한다. (JIS C4004 참조)

$$R \geq \frac{\text{정격전압 (V)}}{\text{정격출력 (Kw 또는 KVA) + 1000}} \quad [\text{M}\Omega]$$

또는

$$R \geq \frac{\text{정격전압 (V) + 배분회전수/3}}{\text{정격출력 (Kw 또는 KVA) + 2000}} + 0.5 \quad [\text{M}\Omega]$$

3.2 직류 고전압 시험

절연물에 직류전압을 인가하면 전류는 시간과 함께 감소하며 점차 일정치로 된다. 이 전류는 순시총전류 Id(t), 흡수 전류 Ia(t) 및 누설전류 Ir로 구성되어 다음 식으로 나타내어지며 그림 2는 전압인가에 따른 전류-시간특성을 나타낸다.

$$I(t) = I_d(t) + I_a(t) + I_r$$

순시충전전류는 유전체의 전자분극, 원자분극 등으로 인해 생기는 전류로서 순간적으로 감쇄하며, 흡수전류는 양극자분극과 공간전하분극에 기인한 전류로서 매우 긴시간에 걸쳐 시간과 함께 감쇄하며, 누설전류는 이온전류와 전자전류로 구성되며 절연물에 Carrier가 이동하여 생기는 전도전류로서 시간이 지남에 따라 점점 일정해진다.

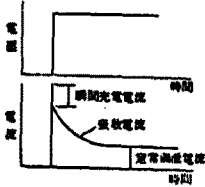


그림 2. 절연물의 전류 - 시간특성

이 시험은 절연물의 건조, 흡습, 도전성 불순물의 혼입 및 생성, 오손 등을 조사하는 시험으로 통상 절연물이 흡습, 오손이 되어 있는 경우는 누설전류가 증가하기 때문에 전류 - 시간 특성으로부터 성극지수라는 특성치를 구하여 절연물의 상태를 판단하고 있다.

$$\begin{aligned} \text{성극지수(P.I.)} &= \frac{\text{전압인가 1분째의 전류}}{\text{전압인가 10분째의 전류}} \\ &= \frac{\text{전압인가 10분째의 저항}}{\text{전압인가 1분째의 저항}} \end{aligned}$$

3.3 유전정접 시험 ( $\tan \delta$  또는 % Power Factor 시험)

일반적으로 절연물에 교류전압을 인가하면 손실이 발생한다. 이 손실은 누설 전류에 의한손실, 유전분극에 기인한 손실, 부분방전에 의한 손실 등으로 인해 전 전류는 그림 3과 같이 충전전류 성분인  $I_c$ 보다  $\delta$ 만큼 늦어진다. 이 늦은 각을 유전손 각, 그 정접을 유전정접( $\tan \delta$ )이라 부르며 유전정접  $\tan \delta$  및 유전손  $W$  는 다음과 같이 표시된다.

$$\tan \delta = \frac{I_c}{I_c} = \frac{\text{유전손}(GV^2)}{\text{무효전력}(\omega CV^2)} = \frac{G}{\omega C}$$

$$W = \omega CV^2 \tan \delta$$

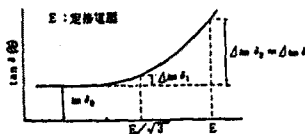
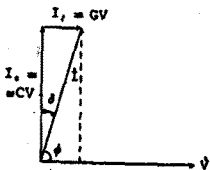


그림 3. 전압과 전류와의 관계      그림 4.  $\tan \delta$ -전압특성

이  $\tan \delta$ 의 값은 절연물의 형상 및 크기와 부관계한 수치로서 절연물 고유의 특성치이기 때문에 절연물의 상태를 표시하는데 사용된다. 즉,  $\tan \delta$ 는 절연물의 상태, 불순물의 잔류, 공극의 부분방전에 의한 손실 및 기타 열화로 인한 손실 등에 의한 고유의 값이기 때문에 회전기 권선의 품질관리와 절연열화의 판정에 이용할 수 있다.

3.4 교류전류 시험 (Alternating Current Test)

이 시험은 절연물에 교류 전압을 인가한 경우에 흐르는 전류와 전압과의 관계 즉 I-V 특성으로부터 절연의 상태를 조사하는 시험법이다. 절연물에 교류전압  $V$ 를 인가할 때 흐르는 전류  $I$  는 다음과 같이 되며 그 Vector는 그림 5와 같다.

$$I = I' + jI'' \quad (I' = I \tan \delta, I'' = \omega \epsilon CgV)$$

따라서 전류는

$$\begin{aligned} I &= \omega \epsilon CgV \sqrt{1 + \tan^2 \delta} = \omega \epsilon CgV \sqrt{1 + \frac{1}{2} \tan^2 \delta} \\ &= \omega CV(1 + \tan^2 \delta) \end{aligned}$$

[단,  $\epsilon$ : 비유전율,  $Cg$ : 기하학적 Capacitance,  $C$ : Capacitance ( $C = \epsilon Cg$ )]

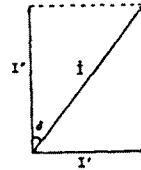


그림 5. 전류의 Vector도

즉 절연물에 흐르는 전류는 인가전압의 크기, 주파수, 절연물의 정전용량,  $\tan \delta$ 에 따라 정해진다. 그런데 절연물이 흡습하면 유전율 및  $\tan \delta$ 가 증대하며 또한 절연물에 부분방전이 발생하면 정전용량이나  $\tan \delta$ 가 증대하므로 절연물에 흐르는 전류를 측정하여 절연물의 흡습, 열화, 부분방전의 발생상황 등을 진단한다.

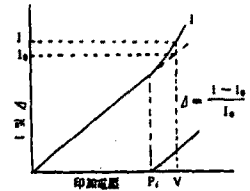
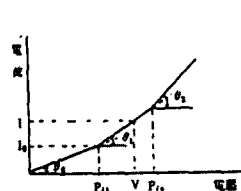


그림 6. 교류전압-전류특성      그림 7. 전류-전압특성

Pi1 = 제 1 전류 급증 전압 (부분방전 개시전압)

Pi2 = 제 2 전류 급증전압

I = 임의의 전압 V 에서의 전류

I<sub>0</sub> = 전압에 비례하여 전류가 직선적으로 증가한다고 가정할 때의 V에서의 전류

### 3.5 부분방전 시험

기기내부에서 발생하는 부분방전이 전력기기의 절연수명에 크게 영향을 미친다는 사실은 오랫동안 인정되어 왔으며 기기의 장기적 절연신뢰도를 향상시키기 위해서 부분방전발생을 가급적 억제하여 왔다.

절연체 내부의 공극에서 부분방전이 일어나면 방전에 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. 그러므로 기기의 신뢰도를 높이기 위해서는 절연체 내부에서 부분방전이 발생하는 것을 가급적 억제해야 하며 부분방전이 발생하더라도 기기의 운전상 지장이 없는 허용부분방전의 크기를 결정하는 것은 매우 중요하다.

## 4. 절연진단 System 및 열화 판정기준

### 4.1 절연열화 현상과 절연특성과의 관련성

절연열화진단에 이용하는 특성치는 권선의 절연층 내부 또는 단부언면의 절연내력저하를 민감하게 반영하는 것이어야 한다. 절연층의 절연내력저하는 절연층의 흡습, 오손, 침착제의 변질, Void, Crack의 발생에 기인하며, 권선단부언면의 절연내력저하는 오손, 흡습, 절로 등에 따라 발생한다. 절연열화진단의 특성치는 이들의 상태변화를 민감하게 반영하는 것이어야 하며 이상의 절연내력저하원인, 즉 절연열화진단에 있어서의 진단내용과 검지가능한 특성치와의 관련을 표 3에 나타내었다. 표 3의 특성치는 A, B, C 의 3 Group으로 분류 가능하다.

A Group은 흡습, 변질, 오손 등을 반영하고 B Group은 박리, Void등 절연물의 전체적 상태를 반영하며 C Group은 국부이상열화를 반영하고 있다.

표 3. 특성치와 진단내용의 상관성

특성치의 분류 구분	일반적인정의	진단내용과 상관성			분류
		흡습, 변질 오	박리 Void	국부이상 열화	
A	tan δ	○	○	○	A
	Co	△	△	△	
	R	○	△	△	
	PI	○	○	△	
B	Δtan δ	○	○	○	B
	ΔC/Co	○	○	○	
	Δ	○	○	○	
C	Z <sub>eq</sub>	○	○	○	C
	F	○	○	○	
	PI <sub>1</sub>	○	○	○	
	PI <sub>2</sub>	○	○	○	
	VI	○	○	○	
	QH	○	○	○	

○ : 상관성양호, △ : 상관성이 약한 있음

## 4.2 절연진단 시스템 구성 및 열화판정 기준

절연열화는 이의 발생원인 및 현상이 다양하며 또한 각 현상을 진단하기 위한 절연진단 시험에도 여러가지 방법이 있어 권선의 절연열화 상태를 파악하기 위해서는 여러가지 시험을 시행하는 것이 바람직하나, 미반 측정시 마다 여러가지 시험을 한꺼번에 시행하는 것은 비경제적일 뿐아니라 절연물 자체에도 고전압의 인가로 나쁜 영향을 미치므로 회전기의 절연방법, 운전년수 및 운전경력, 설치장소에 따른 주위 여건등을 감안하여 시험종류 및 주기 등을 결정하여 시행하는 것이 필요하다. 그림 8은 회전기절연의 시험 및 판정 Flow Chart를 나타내며 표 4는 고압회전기의 절연진단 판정기준을 나타낸다.

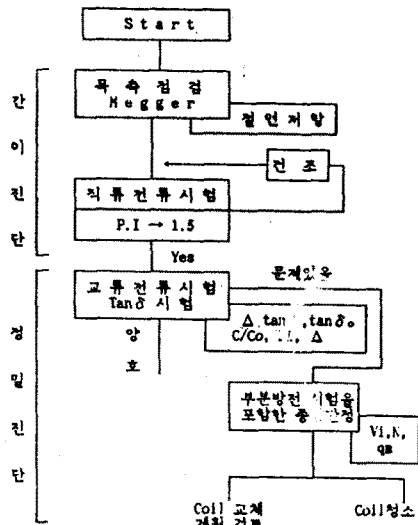


그림 8. 시험 및 판정 Flow Chart

표 4. 고압회전기의 절연진단 판정기준

시험항목	시험조건	절연구분			compound 및 shellac절연coil			Resin 절연 coil		
		상	우	최	상	우	최	상	우	최
직류시험	정기 지수 P.I.	3.3 - 11	1.5 이상	1.5-1.0	1.0 이하	1.5 이상	1.5-1.0	1.0 이하		
유전성적	tan δ 또는 base power factor %	3.3 - 6.5	10 이하	10 - 30	30 이상	10 이하	10 - 30	30 이상		
	Δtan δ 또는 power factor tip-up (%)	3.3	0.7 이하	0.7-1.1	1.1 이상	2 이하	2 - 5	5 이상		
		6 - 11	6.5 이하	6.5 이상		10 이하	10 이상			
교류전류	전류 증가율 ΔI (%)	3.3	4 이하	4 - 7	7 이상	4 이하				
		6 또는 6.6	8.5 이하	8.5 - 14	14 이상 (15이하)					
	제2전류 급증전압 PI <sub>2</sub>	3.3	4.6 이상			4.6 이상				
부분방전	리터 방전전하 Q <sub>50</sub> (P.C)	6-11	10,000			10,000	10,000	30,000	30,000	이상
	리터 방전전하 Q <sub>50</sub> (P.C)	6-11	10,000			10,000	10,000	30,000	30,000	이상

○ : 1 이하의 숫자는 임계치임

그리고 동판정 기준치의 적용은 다음을 기준으로함을 원칙으로 한다.

① PI<sub>2</sub> 즉 제 2 전류 급증전압이 확실하게 정격전압이내에 있는 경우에는 피시험물은 운전에 필요한 절연내력을 보유하고 있지 않다고 판정하며

② PI<sub>2</sub>가 정격전압이후에 있더라도 다음사항에 해당하면 피시험물은 운전에 필요한 절연내력을 보유하고 있지않는 것으로 본다.

③ 정격전압 3.3 KV권선에서는  $\Delta \tan \delta$  (Xp.F tip-up) 및  $\Delta I$  중 1개 이상이 해당될 때

④ 정격전압 6 KV 이상은  $\Delta \tan \delta$ ,  $\Delta I$  및  $Q_{max}$  중 2 항목 이상이 해당될 때

5. 현장 절연진단 시험 결과 및 사례분석

5.1 고압회전기 설치 현황 및 사고 실태 분석

한전의 14개소 화력발전소와 5개소의 원자력 발전소에 설치된 고압전동기는 화력발전소가 752대, 원자력발전소에 284대가 설치되어 있다.

이 중 화력발전소스 외계가 493대로 약 65%, 국산이 259대로 35%로서 국산전동기 보유비중이 상당히 높은 것으로 나타났으며, 특히 앞으로 건설되는 거의 모든 화력발전소는 특수 용도를 제외하고는 대부분 국산전동기가 설치될 예정이며, 원자력발전소는 외계가 269대로 약 95% 정도 점유하고 있고 국산전동기는 품질 보증등 문제점으로 거의 사용되지 못하고 있는 실정이다.

이에 대해 화력발전소 고압전동기에 대한 사고 실태를 분석해보면 고압전동기가 국산화되고 외계 전동기가 장기 운전된 시점인 1970년대 후반부터 사고가 서서히 증가하기 시작하여 80년대 초에는 국산전동기의 다수 설치로(보령, 평택, 삼천포 T/P) 많은 사고가 발생하였다.

표 5는 화력발전소에 설치된 고압전동기의 사고 원인별 사고 실태를 분석한 결과로서 국산과 외계의 사고 건수를 비교해 보면 총 사고건수 218건중 국산이 157건, 점유율 72% 정도로서 단연 국산전동기의 사고가 많은 것으로 나타났다. 이는 국산전동기가 외계에 비해 설계, 제작상의 결함은 물론, 설치 불량 및 동정지 빈번 등의 운전 약조건 상태에서 품질이 뒤따르지 못하는 점이 사고의 근본원인 이라고 추정된다.

표 5. 고압전동기 사고원인별 분류

	외				소계	국				총	
	1-5년	6-10년	11-15년	16년-		1-5년	6-10년	11-15년	16년-		
1. 절연결락	-	11	3	24	38	-	5	2	-	7	45
2. 절연불량	3	1	-	-	4	96	3	1	-	100	104
3. loading 불량 및 단락	1	1	-	-	2	17	-	-	-	17	19
4. bearing 결외전압 결함	1	1	2	2	6	9	1	-	-	10	15
5. 시공 및 제작 불량, 단락 불상	5	1	1	-	7	20	1	-	-	21	28
6. 진동	-	2	-	-	2	-	-	-	-	-	2
7. 이상 전압	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1	1
8. 과열 및 과부하	1	1	-	-	2	1	-	-	-	1	3
계	11	18	6	26	61	144	10	3	-	157	218

※ 例 : 상기자료는 1970년부터 1987년까지의 사고실태임

5.2 측정장비

본 연구에 사용된 측정장치는 직류시험에서는 직류전류를 측정하는 대신 이와 동등한 값을 가질수 있는 절연저항을 측정할 수 있는 PI 6000(日)을 사용하였고, 교류시험에서는 Schering Bridge 대신 현장 측정이 보다 용이 하고  $\tan \delta$  (Power Factor)와 교류 전류를 동시에 측정할 수 있는 M2H (미)를 이용하였다.

일반적으로 손실각이 20도 내의 적은 값에서는  $\tan \delta$ 의 값과 이의 보각인  $\cos \phi$  값이 별차이가 없으므로 동 시험에서는 Power Factor를 측정하였다.

Partial Discharge Detector는 기기도입이 늦었을 뿐 아니라 현장측정시험도 매우 복잡하여 동 연구에서는 측정실적이 많지 않았다.

5.3 시험결과 및 사례분석

현장 절연진단 시험은 화력발전소 13개 Unit 272대에 대하여 3년간에 걸쳐 시험하였다. 이들 절연진단 시험결과에 대한 종합적인 분석결과를 표 5에서 7에 나타내었다.

표 6은 고압전동기의 전압별 및 운전년수별 절연진단 시험 결과를 나타내는 것으로 총 시험대수 272대중 6.6KV급 88대, 6KV급 106대, 4KV급 78대였다.

이들 다시 외계와 국산으로 분류하여 보면 외계는 총 169대중 11년이상 운전된 전동기가 110대(65%), 6-10년 운전전동기가 15대(8.9%), 5년이하 운전된 전동기가 44대(26%)로 구성되어 있으나, 국산은 총 103대중 6-10년 운전된 전동기가 15대(14.6%), 5년 이하, 운전된 전동기가 88대(85.4%)로 구성되어 있어 동 절연진단 시험에서는 10년 이상 운전된 국산전동기는 없었다.

표 6. 절연진단 시험대수 및 운전년수별 분석

	전압 별				운전 년 수 별						
	외 계				국 산						
	6.6KV	6KV	4KV	계	5년-	6-10년	11년-계	5년-	6-10년	11년-계	
시험대수 (대)	38	106	78	222	44	15	110	169	88	15	103
점유율 (%)	32.7	40.0	28.7	100	16	8.9	65.1	100	85.4	14.6	100

표 7 및 8은 현장 시험전동기의이 권선교체 및 보수 사항과 절연진단 시험 결과를 종합한 것이다.

이들 표 6에서 8까지의 종합분석 결과를 요약해 보면 절연진단시험시까지 외계전동기는 10년 이상 운전된 것이 110대 (점유율 65%)이고, 국산은 5년이하 운전된 전동기가 88대 (점유율 85%)로 구성되어 있으나 권선교체 및 보수대수는 오히려 국산이 외계에 비하여 많을 뿐 아니라 절연진단 결과에서도 국산이 외계에 비하여 열화 및 오손된 대수 및 비율이 훨씬 높게 나타났다.

따라서 국산전동기가 외계에 비하여 절연사고 대수도 훨씬 많고 절연수명 기간도 훨씬 짧은 것은 본 장에서의 절연진단 시험결과와 값과 앞장의 고압전동기 사고 실태분석결과를 비교 검토해 보아도 매우 잘 일치하고 있으며 또한 너무나 당연한 결과라는 것을 쉽게 알 수 있다.

표 7. 권선교체 및 보수사양

	권선교체 및 보수사양				운전년수별 분류			
	외 계		국 산		외 계		국 산	
	보수대수	보수전수	보수대수	보수전수	6-10년	11년이상	1-5년	6-10년
시험대수 보의 수	14대	14회	18대	33회	3대	11대	16대	2대
점유비율 (%)	8.3	8.3	17.5	32				

비고: ① 여기에서 나타난 점유비율은 외계는 외계시험전동기에 대한 점유비율, 국산은 국산시험전동기에 대한 점유비율을 나타냄.

표 8. 고압전동기의 절연진단 시험결과 요약

	외 계				국 산				
	양 호		주 의		양 호		주 의		
	양호	다제양호	일차오손	이차오손	양호	다제양호	일차오손	이차오손	
대 수	112	24	11 (인간적 인위적)	6	154	41	25	30 (인간적 인위적)	13
점유비율 (%)	73.4	15.6	7.1	3.9	100	37.6	23.0	27.5	11.9

비고: 외계중 권선교체후의 전동기는 국산으로 간주하였 으며, 경련현상까지 시험하지 못한 정동회로2호기 1대는 제외하였음.

표 9 및 10은 현장에 설치되어 있는 고압전동기의 절연진단 시험 결과를 나타낸다.

동 표에서 보면 Megger 값인 1분치의 절연저항은 모두가 운전전에 필요한 값을 충분히 상회하고 있는 것으로 표시되고 있고 PI값도 상당히 높게 나타나고 있다. 그러나 교류전류시험 및 % Power Factor( $\tan \delta$ ) 시험에서는 보병화력 FATBI-B의 3대는 열화가 상당히 진전된 것으로 나타나고 있고 1대는 시험전압 5KV에서 절연이 파괴되기도 하였다.

표 9. 현장 절연진단 시험 결과 (I)

시험항목	기기명	보병화력 FATBI-B		보병화력 CWP - D		보병화력 CWP Square		보병화력 CEP 1 - A		보병화력 CWP 1-A	
		1분	8,000 M $\Omega$	700 M $\Omega$	2,100 M $\Omega$	1,800 M $\Omega$	7,000 M $\Omega$	1,400 M $\Omega$	4,700 M $\Omega$	950 M $\Omega$	3,700 M $\Omega$
P I test	P I	3.4	3.0	3.9	3.25	3.9					
	$\Delta I$	27.3 %	14.8 %	19.7 %	8.4 %	8.4 %					
A C current test	1 KV	7.9 mA	61 mA	58 mA	42 mA	59 mA					
	2 KV	15.9 mA	122.5 mA	115.5 mA	87 mA	121 mA					
	4 KV	32.2 mA	252.0 mA	241.5 mA	176.5 mA	243 mA					
	6 KV	57.0 mA	407.5 mA	404 mA	271.5 mA	385.5 mA					
	6.6 KV	67.5 mA	462.5 mA	458.5 mA	300.5 mA	407.5 mA					
	$\Delta I$	27.3 %	14.8 %	19.7 %	8.4 %	8.4 %					
% Power Factor test	1 KV	4.08 %	5.32 %	3.69 %	3.37 %	2.97 %					
	2 KV	4.12 %	5.15 %	3.81 %	3.33 %	2.27 %					
	4 KV	5.62 %	7.74 %	6.58 %	4.20 %	2.55 %					
	6 KV	19.22 %	13.79 %	12.99 %	5.75 %	5.20 %					
	6.6 KV	24.21 %	14.90 %	14.27 %	6.11 %	5.58 %					
	% P.F tip-up	20.09 %	9.35 %	10.36 %	2.58 %	4.11 %					
결 과 내 용	주주의 열화진단 필요		다제양호 양호		주주의 열화진단 필요		양호		양호		

표 10. 현장 절연진단 시험 결과 (II)

시험항목	기기명	보산화력 NILLI-F10		울산화력 CWP1 - 1		울산화력 CWP1 - 2		영월화력 IDB - #4		영월화력 BFP - #2	
		1분	2,800 M $\Omega$	20,000 M $\Omega$	15,000 M $\Omega$	630 M $\Omega$	900 M $\Omega$	7,200 M $\Omega$	25,000 M $\Omega$		
P I test	P I	1.56	3 이상	3 이상	1.43	3.47					
	$\Delta I$	23.15 %	6.02 %	5.56 %	- %	22.9 %					
A C current test	1 KV	9.0 mA	18.0 mA	18.0 mA	21.0 mA	7.0 mA					
	2 KV	18.0 mA	37.0 mA	36.0 mA	42.5 mA	14.2 mA					
	3 KV	29.0 mA	56.0 mA	55.5 mA	65.0 mA	21.6 mA					
	4 KV	40.0 mA	75.0 mA	74.0 mA	86.5 mA	29.6 mA					
	5 KV	51.5 mA	94.0 mA	93.0 mA	- mA	36.6 mA					
	6 KV	66.5 mA	114.5 mA	114.0 mA	- mA	51.6 mA					
% Power Factor test	1 KV	1.70 %	1.11 %	1.29 %	5.48 %	2.14 %					
	2 KV	1.68 %	1.49 %	1.57 %	6.35 %	2.23 %					
	3 KV	1.79 %	1.61 %	1.80 %	9.15 %	2.36 %					
	4 KV	2.30 %	2.00 %	2.09 %	23.10 %	3.58 %					
	5 KV	5.88 %	2.29 %	2.58 %	- %	8.03 %					
	6 KV	13.20 %	2.43 %	2.68 %	- %	17.2 %					
% P.F tip-up	11.32 %	0.96 %	1.15 %	- %	14.96 %						
결 과 내 용	주주의 열화진단 필요		양호		양호		다제시험 전압 5KV에서 절연파괴		주주의 열화진단 필요		

6. 결 론

본 논문에서는 고압회전기의 사고중 가장 빈번히 발생하는 절연사고의 사전예방 및 방지를 위해 절연열화 진단기술 및 이의 현장 적용방안에 대해 기술하였다.

물론, 오래전부터 회전기 절연시험으로서 직류시험인 Megger와 PI시험 등을 시행해온 것이 사실이나 동시험만으로는 절연물 내부의 열화상태를 진단 한다는 것은 거의 불가능 하였다.

따라서 본 논문에서 제시한 내부 절연열화 상태를 보다더 잘 반영할 수 있는 교류전류,  $\tan \delta$ , 부분방전 시험 등을 운전년수, 단위설비별 증오도, 측정결과 등에 따라 2-4년 마다 주기적으로 시행하여 동 진단결과에 의거 권선열화 여부의 조기 발견 및 사전 보수를 시행함으로써 절연사고 감소, 보수비용절감, 설비 신뢰도 향상 등에 크게 기여할 것으로 판단된다.

아울러 한가지 덧붙이고 싶은 것은 국산전동기는 외계와 비교하여 일반적으로 운전년수가 짧은 데에도 불구하고 더 많은 사고건수가 발생하고 사고율도 높게 나타나고 있으며 또한 절연특성치도 상대적으로 높게 나타나고 있는바 국내 제작자는 보다 철저한 품질관리와 제작기술의 향상을 통해 회전기의 신뢰도 향상 및 품질향상이 이루어질 수 있도록 많은 노력을 기울여야 할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] 한전 기술연구원, "회전전기기의 절연진단 기술연구", 1989.3
- [2] 한전 기술연구원 전력지, PP.29-48, 회전기기의 절연진단기술, 1987.3
- [3] 谷口正俊 외 1인, "절연열화와 수명예지 테크닉", 電氣書院, 設備診斷 Automation, pp.278-284, 1986.2
- [4] 日本鐵鋼協會, "設備診斷技術 Handbook", pp.157-180, 1986.
- [5] 日本電氣學會, "高電壓試驗 Handbook", 1983.3
- [6] H.Meyer 외 3인, "Evaluation of an insulation system for stator windings of high voltage machines", Cigre, 1982.9