

고압전동기 고정자 권선 절연재료에서 유전정접 특성

모일순, 김희동, 이영준, 주영호
한전 전력연구원

Characteristics of Dissipation Factor in High Voltage Motor Stator Insulations

Il-Soon Mo, Hee-Dong Kim, Young-Jun Lee, Young Ho Ju
Korea Electric Power Research Institute

Abstract - The insulation condition of stator windings was measured by dissipation factor($\tan \delta$) test in the six high voltage motors(rated 6.6kV) which had been in service for two years. The $\Delta \tan \delta$ of motor D and E was higher than that of the rest motors. The specimens were drawn out from stator windings of the high voltage motor and their were analyzed using scanning electron microscope (SEM). SEM result shows that large voids are present in the interface both turn insulation and groundwall insulation.

및 미소공극(small void) 등을 분석하여 절연상태와 열화정도를 판정하고 있다[2].

본 논문에서는 발전소의 여러 가지 운전조건에서 사용되고 있는 고압전동기 고정자 권선의 절연진단 시험중에 측정된 유전정접 특성을 분석하였다. 그리고 유전정접이 크게 나타난 고압전동기 고정자 권선 절연재료에서 미시적 관찰을 위해 시편의 단면을 주사형 전자현미경(Scanning Electron Microscope : SEM)을 사용하여 관찰하였다.

1. 서 론

최근 고압전동기의 주절연재료로 마이카/에폭시 복합재료가 사용되고 있으며, 운전중에 열적, 기계적, 전기적 응력 및 외부환경에 의한 열화요인이 단독 혹은 복합적으로 작용한다. 열적요인은 열응력과 열분해로 분류되는데, 열응력은 기계적 응력과 더불어 균열(crack)을 발생시키고 열분해는 에폭시의 분해에 의한 가스압력이 증가하여 접촉강도를 저하시켜 계면에서 박리를 발생시킨다. 기계적 응력은 계면과 마이카/에폭시 단채부분에서 각각 미소 균열을 발생시키고 동시에 이미 다른 원인에 의해 생성된 균열을 확대시킨다. 전기적 응력은 박리, 균열과 같은 결합부분에서 부분방전이 발생하여 유전정접이 증가된다. 열화의 최종단계에서는 독립적으로 발생된 미소 균열이 결합하여 균열에서 트리가 급속히 진전되어 절연파괴에 이른다[1].

이와같이 절연파괴가 발생하기 전에 고압전동기에서 고정자 권선의 절연상태를 판정하기 위해 절연저항, 성극지수, 교류전류, 유전정접 및 부분방전 등을 측정하고 있다. 유전체 절연물에 교류전계를 인가하면 일반적으로 누설전류, 유전분극 및 부분방전 등에 의한 유전손(dielectric loss)이라는 에너지 손실이 발생하고, 이를 나타내는 척도로서 유전정접(dissipation factor)을 사용한다. 절연체에 교류전압을 인가하여 측정되는 유전정접의 변화율, $\tan \delta$ -전압 특성, 정전용량 변화율 등으로부터 절연재료의 흡습, 건조, 오손

2. 시험방법

본 논문에서는 고압전동기 절연진단 시험을 위해 슈어링브리지(Schering Bridge)를 사용하여 유전정접을 측정하였다. 슈어링브리지는 전원장치(HV Supply, Type 5283), 브리지(Bridge, Type 2818) 및 공진 인덕터(Resonating Inductor, Type 5285)로 구성되어 있다. 그림 1은 고압전동기 고정자 권선에서 삼상 일괄로 유전정접을 측정하기 위한 회로도를 나타냈다. 그리고 유전정접이 크게 나타난 고압전동기와 동일한 회사에서 제작한 고정자 권선 절연재료의 미시적 관찰을 위해 주사형 전자현미경(Scanning Electron Microscope, 일본 JEOL, JSM-6400)을 사용하여 분석하였다.

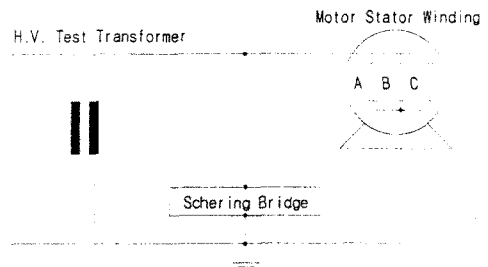


그림 1. 유전정접의 측정 회로도

3. 시험결과 및 고찰

약 2년정도 운전한 6.6kV 고압전동기 고정자 권선에서 절연진단을 위해 전원 입력단자와 대지간에 정

격 상전압의 1.25배까지 교류전압을 인가하면서 $\tan \delta$ 를 측정하였다. $\tan \delta$ 는 절연물 고유의 값을 갖으며, 그림 2는 $\tan \delta$ -전압 특성을 나타냈다. 전동기 A는 외국 제작사이며, $\tan \delta$ -전압 특성이 매우 양호하게 나타났다. 전동기 B, C는 국내 K사, 전동기 D, E는 국내 M사, 전동기 F는 국내 N사에서 제작하였다. 전동기 B, C 및 전동기 F도 외국제작사와 마찬가지로 양호하게 분석되었다. 그러나 전동기 D, E(448kW)는 $\tan \delta$ 값이 2.86kV이상에서 급격한 증가를 보이고 있다. 동일 전동기 24대를 절연진단한 결과 모두 전동기 D의 $\tan \delta$ -전압 특성을 나타내고 있으며, 이는 M사에서 제작한 고압전동기의 초기특성으로 판단된다. 전동기 E는 고정자 권선을 세척한 후에 완전히 건조하지 않은 상태에서 절연진단을 수행한 결과를 나타냈다. 전동기 D와 비교해 볼 때 2.86kV이하에서 $\tan \delta$ 가 매우 낮게 나타나는 것은 전동기 고정자 권선이 흡습되어 있는 것으로 판단된다[3]. $\Delta \tan \delta$ 는 정격 상전압의 125%인 4.76kV에서 측정된 값과 25%인 0.95kV에서 측정값 사이의 차이로 얻을 수 있으며, 측정결과에 대한 판정기준은 2.5[%] 미만이면 양호하게 판단하고 있다. 표 1은 그림 1에서 나타낸 고압전동기 6대의 $\Delta \tan \delta$ 값을 나타냈으며, 4대는 양호하고 2대는 불량으로 분석되었다.

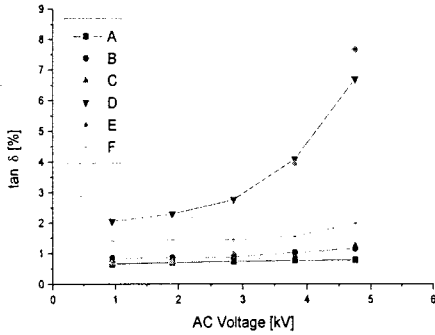


그림 2. $\tan \delta$ -전압 특성

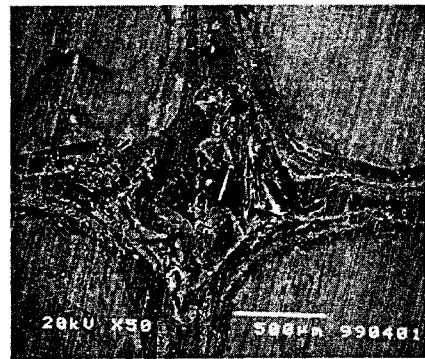
표 1. 고압전동기의 $\Delta \tan \delta$

전동기	$\Delta \tan \delta$ [%]
A	0.14
B	0.31
C	0.55
D	4.64
E	6.99
F	0.58

표 1에서 알 수 있듯이 국내 M사에서 제작한 고압 전동기 고정자 권선의 $\Delta \tan \delta$ 가 기준치를 초과하는 것으로 나타났다. M사에서 제작한 동일 용량의 고압 전동기가 절연과파 됨에 따라 미시적 관찰을 위해 단말권선(endwinding)에서 절출한 시편의 단면을 주사형 전자현미경을 사용하여 관찰하였다. 그림 3(a), (b)는 고정자 권선의 주절연(ground insulation)과 턴절연재료(turn insulation)의 SEM 사진을 나타냈으며, 옅은 회색은 마이카이고 짙은 회색은 에폭시를 나타낸다.



(a) 주절연재료



(b) 턴절연재료

그림 3. 고정자 권선의 SEM 사진

그림 3(a)의 주절연재료에서는 마이카/에폭시 테이프 사이의 계면에서 큰 보이드(large void)가 발견되었으며, 그림 3 (b)의 턴절연재료는 턴 사이의 절연재료에서 다량의 보이드를 볼 수 있었다. 따라서 주절연과 턴절연재료 사이의 보이드에 의해 유전정접이 크게 되어 $\Delta \tan \delta$ 가 기준치를 초과하는 것으로 판단된다.

4. 결 론

발전소 고압전동기 고정자 권선에서 절연진단 시험 중에 측정된 유전정접을 분석하였으며, $\Delta \tan \delta$ 가 기준치 이상으로 나타난 전동기 절연재료의 미시적 관찰을 위해 시편의 단면에서 주사형 전자현미경을 사용하여 아래와 같은 결론을 얻었다.

(1) 4개의 제작사 중에 M사의 고압전동기 고정자 권선에서 초기 유전정접이 가장 높게 나타났으며, 전동기 E는 고정자 권선을 세척한 후에 완전히 건조하지 않은 상태에서 절연진단을 수행한 결과 흡습상태로 분석되었다.

(2) 주절연재료에서는 마이카/에폭시 테이프 사이의 계면에서 큰 보이드가 발견되었으며, 턴절연재료는 턴사이의 절연재료에서 다량의 보이드를 확인하였다. 따라서 주절연과 턴절연재료 사이의 보이드에 의해 유전정접이 크게 나타나기 때문에 $\Delta \tan \delta$ 가 기준치를 초과하는 것으로 판단되었다.

(참 고 문 헌)

- [1] K. Mreuger, S. Oulski and H. Krivda, "Current Method of Insulation Life Expectancy for Power Apparatus", T. IEE Japan, Vol. 114-A, No. 12 pp. 845-852, 1994.
- [2] 특별고압회전기·케이블의 열화진단 기술조사전문위원회, "특별고압회전기·케이블의 절연열화 진단 기술", 일본전기학회기술보고(Ⅱ부), 제267호, pp. 14-20, 1988.
- [3] 주영호, 김희동, 이영준, 하동화력 #2 발전기 및 고압전동기 정밀절연진단 결과보고서, TM.C97GS06.S1999.73, 한국전력공사 전력연구원, pp. 1-24, 1999.