

고압전동기 고정자 권선의 유전정접 특성

김희동*

한전 전력연구원*

Characteristics of Dissipation Factor in High Voltage Motor Stator Windings

Hee-Dong Kim*

KEPCO Korea Electric Power Research Institute*

Abstract - Diagnostic tests were performed in three high voltage motors. These tests included insulation resistance, polarization index, ac current, dissipation factor($\tan\delta$) and partial discharge magnitude. The rewind of motor stator insulation at rated voltage is assessed by the results of these tests. After completing the diagnostic tests, the stator windings of motors were subjected to gradually increasing ac voltage, until the insulation punctured. No. 1 and No. 2 motors failed near rated voltage of 14.0 kV, respectively. These motors are lower than expected for good quality coils in 6.6 kV class motors. The breakdown voltage of No. 3 motor was 15.0 kV.

$\Delta\tan\delta$ 는 아래의 식(1)에 의해 계산되며, 고압전동기 No. 2에서 가장 높고 고압전동기 No. 1, 3이 유사하게 나타났다.

$$\Delta\tan\delta = \tan\delta_E - \tan\delta_0 \quad (1)$$

〈표 1〉 고압전동기 유전정접 특성

고압전동기 No.	용량 [kW]	운전 년수	유전정접 특성			절연과피 전압[kV]
			$\tan\delta_0$	$\tan\delta_E$	$\Delta\tan\delta$	
1	448	17	4.34	15.8	11.46	14.0
2	224	18	8.99	34.8	25.81	14.0
3	2400	30	1.47	12.5	11.03	15.0

1. 서 론

발전소 주요설비에서 운전중인 고압전동기의 갑작스런 절연과피 사고는 전력공급의 신뢰성을 저하시키고, 단시간에 복구가 곤란할 뿐만 아니라 상대적으로 경제적인 손실이 매우 크게 된다. 따라서 대용량 고압전동기 고정자 권선에서 절연과피가 발생하기 전에 열화상태를 평가하기 위해 주기적인 정밀점검과 절연연단 시험을 수행하고 있다. 정밀점검은 대략 3년 주기로 계획예방 정비 기간 중에 실시되며, 절연연단 시험은 성극지수, 교류전류, 유전정접 및 부분방전 크기 등을 측정하여 절연열화 정도를 종합적으로 평가하고 있다[1].

특히, 유전정접 시험은 절연재료 내부에서 손실 정도를 측정하며, 열적, 전기적, 기계적 및 환경적 복합열화를 받고 있는 고압전동기 고정자 권선의 건전성을 확인하는데 매우 유용한 방법이다. 여러 가지의 다른 정지중 시험과 마찬가지로 유전정접의 절대값은 시간이 지남에 따라 변하기 때문에 트렌드에 의한 변화를 관리함으로써 절연과피를 예측할 수 있다[2, 3].

본 논문에서는 17년 이상 운전된 고압전동기 3대에서 유전정접 시험을 수행하고 최종적으로 절연과피 시험을 통해 절연상태를 평가하였다.

2. 실험방법

고압전동기 고정자 권선에서 유전정접 시험을 위해 웨빙브리지(schering bridge, Tettex Instruments)를 사용하였다. 웨빙브리지는 전원장치(HV supply, Type 5283), 브리지(bridge, Type 2818) 및 공진 인덕터(resonating inductor, Type 5285)로 구성되었다. 고압전동기 고정자 권선에 웨빙브리지를 연결하여 전원장치에서 교류전압을 인가하면서 유전정접을 측정하였다.

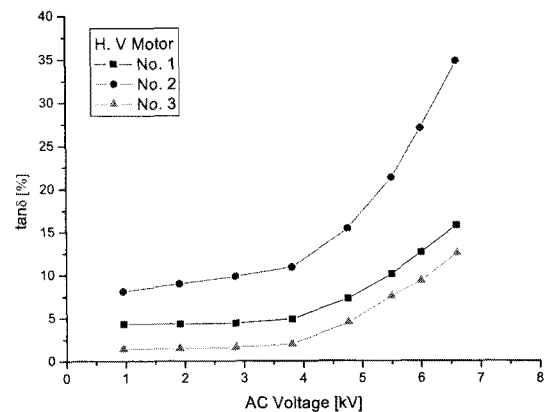
3. 결과 및 검토

고압전동기 고정자 권선에서 유전손실은 주로 줄열에 의해 발생하기 때문에 권선 손실은 유전정접으로 나타난다. 유전정접의 크기가 크게 되면 고정자 권선 절연재료 내부에 보이드가 존재하고 국부적인 열화가 진행되고 있다는 것을 의미한다.

표 1은 17년 이상 운전된 6.6kV급 고압전동기 3대의 정격용량, 운전연수, 유전정접 특성 및 절연과피전압을 나타내었다. 유전정접 시험은 대지와 3상의 입력단자를 일괄로 정격전압(6.6kV)까지 교류전압을 인가하여 $\tan\delta$ 를 측정하며, $\Delta\tan\delta$ 는 정격전압에서 측정값과 25%(2.0kV)에서 측정값 사이의 차이로 얻을 수 있다. 측정결과에 대한 $\Delta\tan\delta$ 판정기준은 6.6kV급 이상 고압전동기는 6.5% 미만이면 양호하게 판정하고 있다.

고압전동기 No. 1, 2의 최종적인 절연과피전압은 14.0kV로 나타났으며, 운전에 필요한 14.2kV를 확보하지 못했기 때문에 권선교체가 적절하게 판정되었다. 그러나 고압전동기 No. 3의 절연과피전압은 15.0kV로 나타났으며, 운전에 필요한 14.2kV 이상에서 절연과피가 되었으나 운전연수가 30년을 경과함에 따라 권선교체를 판정하였다. 그림 1은 고압전동기 3대의 $\tan\delta$ -전압 특성을 나타내었으며, 전압이 증가함에 따라 유전정접값이 증가하고 있다. 고압전동기 No. 1, 3은 전압증가에 따라 $\tan\delta$ 증가 형태가 유사하며, No. 3에 비해 No. 1에서 크게 나타났다. $\tan\delta$ 변화는 상전압(3.81kV)이하에서는 일정하다가 상전압 이상에서 크게 증가하고 있다. 그러나 고압전동기 No. 2는 0.96kV에서부터 서서히 증가하다가 상전압 이상에서 크게 증가하고 있다. 일반적으로 $\tan\delta$ 가 급격하게 증가하는 전압에서 부분방전 크기도 크게 증가한다. 고압전동기 No. 2에서 부분방전 크기가 가장 높고 No. 1, 3순으로 낮게 됨을 예측할 수 있다.

또한, $\Delta\tan\delta$ 시험은 고압전동기 고정자 권선에서 부분방전 발생 여부를 결정하는 간접적인 방법이다. 부분방전은 고압전동기 고정자 권선 절연재료에서 열화 메카니즘의 징후를 나타내며, $\Delta\tan\delta$ 시험은 고장 과정이 발생하는지를 나타내 준다. 정지중 정비시험으로서 사용할 경우에 $\Delta\tan\delta$ 시험은 코일 제조과정 동안에 에폭시와 폴리에스터에 의해 적절하게 함침 되는지를 확인하기 위해서 품질관리 시험의 일환으로서 고정자 코일과 바 제작사들에 의해 넓게 사용된다[2, 3].

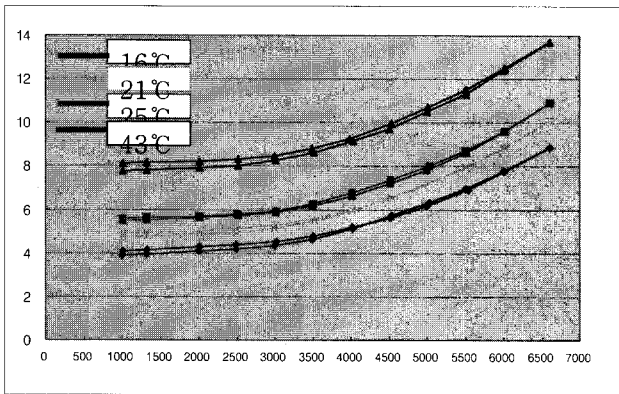


〈그림 1〉 $\tan\delta$ -전압 특성

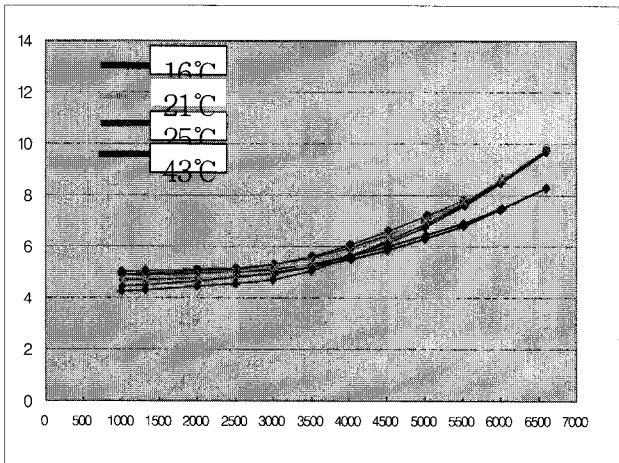
[참고 문헌]

- [1] 김희동, 김병한, "6.6kV급 고압전동기 고정자 권선의 절연열화 평가", 전기전자재료학회논문지, Vol. 19, No.11, pp. 1067~1071, 2006.
- [2] F. T. Emery, "Power Factor Measurements on High Voltage Stator Bars & Stator Windings", IEEE International Symposium on Electrical Insulation, pp. 502~505, 2002.
- [3] F. T. Emery, "Principles of Power Factor Testing of Complete Generator Stator Windings", IEEE International Symposium on Electrical Insulation, pp. 426~429, 2004.

그림 2(a), (b)는 온도보정 전후에 측정된 유전정점의 온도 의존성을 나타내었다. 그림 2(a)에서 나타난 바와 같이 온도가 16℃일 때 tanδ값이 가장 낮게 나타났으며, 온도가 43℃일 때는 상대적으로 제일 높게 나타났다. 따라서 온도보정 전에는 고압전동기 고정자 권선의 온도가 증가함에 따라 tanδ값이 높게 나타나고 있다. 그림 2(b)는 유전정점 측정 장비에서 20℃로 온도보정 후에 tanδ값을 측정하였다. 고압전동기 고정자 권선측의 온도가 16℃, 21℃ 및 25℃일 때는 거의 동일하게 나타났으며, 온도가 43℃일 때는 인가전압 4500V까지는 상기 온도에서 측정값과 일치하다가 6600V에서는 tanδ값이 1.7[%] 정도 낮게 측정되었다. 일반적으로 현장에서 운전중인 고압전동기를 정지하고 고운을 유지하고 있을 때 유전정점을 측정하면 tanδ값이 높게 나타나다가 몇 시간이 지난 후에 온도가 감소한 상태에서 다시 측정하면 tanδ값이 감소한다. 이런 경우에 온도보정을 시행하면은 그림 2(b)와 같이 일정한 tanδ값을 얻을 수 있다.



(a) 온도보정 전



(b) 온도보정 후

<그림 2> 온도보정 전후에 tanδ-전압 특성

4. 결 론

고압전동기 No. 1, 2의 최종적인 절연과피전압은 14.0kV로 나타났으며, 운전에 필요한 14.2kV를 확보하지 못했기 때문에 권선교체가 적절하게 판정되었다. 그러나 고압전동기 No. 3의 절연과피전압은 15.0kV로 나타났으며, 운전에 필요한 14.2kV 이상에서 절연과피가 되었으나 운전연수가 30년을 경과함에 따라 권선교체를 판정하였다. 온도보정 전에는 온도가 16℃일 때 tanδ값이 가장 낮게 나타났으며, 온도가 43℃일 때는 상대적으로 제일 높게 나타났다. 유전정점 측정 장비에서 20℃로 온도보정 후에 tanδ값을 측정한 결과 고압전동기 고정자 권선측의 온도가 16℃, 21℃ 및 25℃일 때는 거의 동일하게 나타났으며, 온도가 43℃일 때는 인가전압 4500V까지는 상기 온도에서 측정값과 일치하다가 6600V에서는 tanδ값이 1.7[%] 정도 낮게 측정되었다.