

회전기 고정자 권선의 절연상태 평가

김희동
한전 전력연구원

Assessment of Insulation Condition in Rotating Machine Stator Windings

Hee-Dong Kim
Korea Electric Power Research Institute

Abstract - Nondestructive tests are used to evaluate the insulation condition of stator windings in rotating machine. These tests included ac current, tan delta and maximum partial discharge. The insulation condition of stator windings was assessed by three test items. The stator windings were generally in good condition, wash, reimpregnation and rewind. It was confirmed that nondestructive tests were most useful method to indicate the insulation condition of stator windings.

5283), 브리지(Bridge, Type 2818) 및 공진 인덕터(resonating inductor, Type 5285)로 구성되어 있다. 그림 1은 고압회전기 고정자 권선에서 교류전류, 유전정접 및 부분방전을 측정하기 위한 회로도를 나타냈다. 고압회전기 고정자 권선에 웨팅브리지(Tettex Instruments)를 연결하여 교류전압을 인가하며, 커플링 캐패시터(Tettex Instruments, 4,000pF)는 권선에서 유입되는 신호를 커플링 유니트(coupling unit, Tettex Instruments AKV 572)에 보내어 증폭한 후 부분방전 측정기에서 방전크기 및 패턴을 측정하였다. 부분방전 측정기의 주파수 대역폭은 40~400kHz 이다.

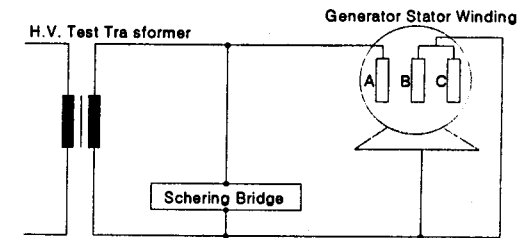
1. 서 론

고압회전기 고정자 권선의 주절연체재료로 마이카/에폭시 복합재료가 사용되고 있으며, 운전중에 열적, 기계적, 전기적 응력(stress) 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 단체부분에서 각각 미소 균열을 발생시키고 동시에 이미 다른 원인에 의해 생성된 균열을 확대시킨다. 전기적 응력은 박리(delamination), 균열과 같은 결함부분에서 부분방전이 발생하여 유전정접의 증가, 코로나 침식 및 트리(tree)가 진행하다가 마이카 조각이 존재하면 진전이 억제된다. 열화의 최종단계에서는 독립적으로 발생된 미소 균열이 결함하며, 이 부분에서 트리가 급속히 진전하여 절연파괴에 이른다[1]. 외부환경에 의한 열화는 먼지, 오일 및 습분의 유입으로 인해 고정자 권선 표면에서 오손이 발생한다.

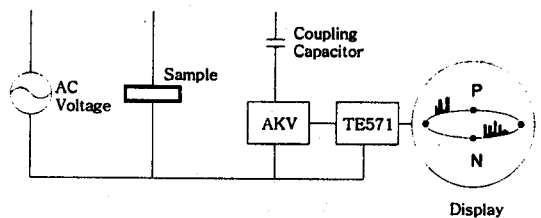
본 논문에서는 고압회전기 고정자 권선에서 정지중에 절연진단을 수행하여 절연상태를 평가하였다. 절연진단 시험에서는 교류전류, 유전정접 및 부분방전 패턴 등을 측정하여 종합적으로 분석하고 평가함으로써 회전기의 절연상태를 양호, 분해점점, 절연보강 및 권선교체로 분류해서 판정하였다.

2. 시험방법

본 논문은 고압회전기 고정자 권선에서 정지중에 절연진단 시험을 수행하였다. 정지중에 고정자 권선의 교류전류, 유전정접 및 부분방전 시험을 위해 웨팅브리지(Schering Bridge), 커플링 캐패시터(coupling capacitor) 및 부분방전 측정기(partial discharge detector : PDD, Tettex Instruments TE 571)를 사용하였다. 웨팅브리지는 전원장치(HV supply, Type



(a) 교류전류, 유전정접의 측정



(b) 부분방전의 측정

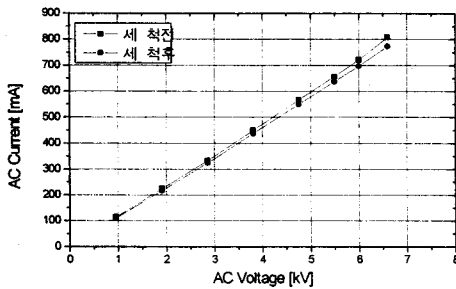
그림 1. 회전기에서 절연진단 시험

3. 시험결과 및 고찰

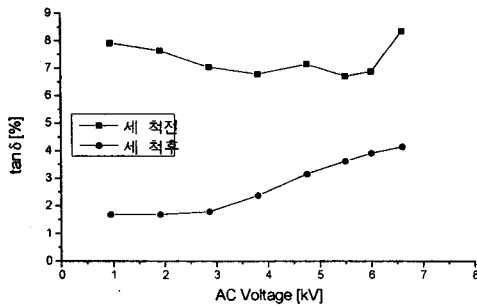
3.1 분해점점

현재 대부분의 화력발전소에서 고압전동기 정밀 분해점검을 3년마다 시행하고 있으나 사용환경에 따라 정비주기를 단축하는 것이 필요하다. 특히 미분기용 고압전동기는 분진의 흡입 가능성이 매우 높기 때문에 매년 정밀 분해점검을 실시하고, 평소 운전시 베어링 오일의 유입 가능성이 높거나 환경적으로 취약한 고압전동기도 역시 매년 점검을 시행하여 유지정비, 수명연장 및 발전설비 안정적 운전에 크게 기여할 수

있다. 그리고 초년도 계획예방정비공사 중에 모든 고압전동기를 정밀 분해점검하여 건설공사 기간동안 먼지 유입에 의한 권선 상태와 시운전 기간동안 빈번한 기동정지에 의한 손상 여부를 파악하여 기기마다 점검 주기를 다르게 설정해 놓으면 향후 설비 유지정비에 큰 도움이 될 것이다. 그림 2는 화력발전소에서 15년 동안 운전한 고압전동기(1,400kW, 6.6kV) 고정자 권선에서 정밀 분해점검 전후에 교류전류와 유전정접의 변화를 나타냈다. 그림 2(a)에서 나타난 바와 같이 분해점검 전후에 교류전류 자체는 큰 변화가 없지만 $\Delta I[\%]$ 는 약간 감소하였다. 그림 2(b)와 같이 유전정접은 현저한 차이를 보이고 있는데 분해점검 전에는 이물질 유입에 따라 $\tan \delta$ -전압 특성이 이상하게 나타나고 있다. 그러나 회전자를 분리하고 세척하여 건조한 후에 측정한 유전정접 특성은 양호하게 분석되었다. 또한 부분방전 크기도 먼지와 같은 이물질이 유입되어 있으면 크게 나타나다가 고전압에 의해 먼지가 타버리면 다시 감소한다.



(a) 교류전류-전압 특성



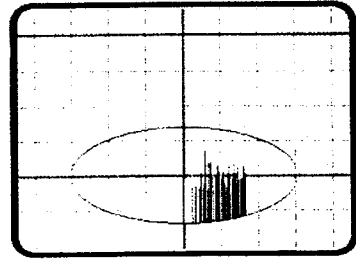
(b) $\tan \delta$ -전압 특성

그림 2. 분해점검 전후에 교류전류와 유전정접의 비교

3.2 절연보강

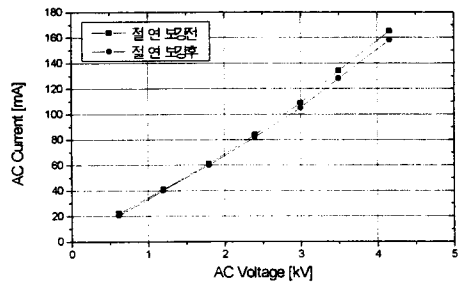
그림 3에서 나타난 바와 같이 슬롯방전[2]은 권선 표면의 코일과 슬롯의 상대적인 움직임으로 마모되어 반도체층을 손상시킨다. 반도체층이 손상됨에 따라 일부 권선의 접지상태는 나빠지고 권선 표면에 전하가 축적되어 철심과 권선 사이에 방전을 일으킨다[3]. 이

와 같이 슬롯방전의 크기가 크게 나타날 때 절연보강을 판정한다. 그림 4는 원자력발전소에서 20년 동안 운전한 고압전동기(260kW, 4.16kV) 고정자 권선에서 절연보강 전후에 교류전류와 유전정접의 변화를 나타냈다. 그림 4(a)에서 나타난 바와 같이 절연보강 전후에 교류전류 자체는 큰 변화가 없지만 $\Delta I[\%]$ 는 약간 감소하였다. 그림 4(b)와 같이 유전정접 특성은 현저한 차이를 보이고 있는데 절연보강 전에 비해 유전정접값이 크게 감소하였다. 또한 부분방전 크기도 절연보강 전에 비해 현저하게 감소하는데 이는 절연보강을 위해 재합침시에 바니쉬가 슬롯과 권선 사이에 양호하게 유입되기 때문이다.

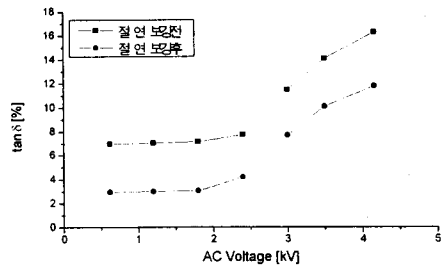


고압전동기 (PD-Range : 20nC/div)

그림 3. 슬롯방전



(a) 교류전류-전압 특성



(b) $\tan \delta$ -전압 특성

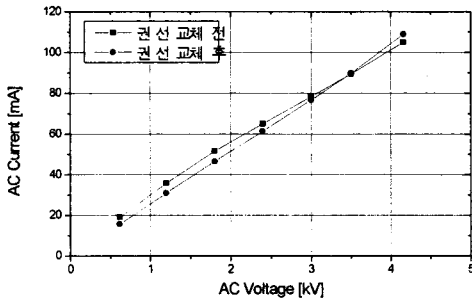
그림 4. 절연보강 전후에 교류전류와 유전정접의 비교

3.3 권선교체

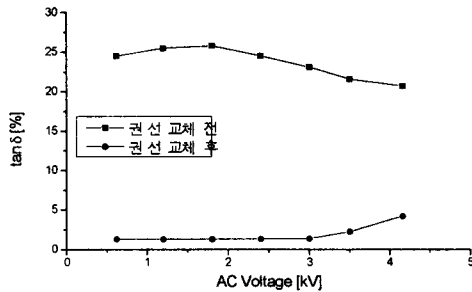
고압회전기 고정자 권선교체는 교류전류, 유전정접 및 부분방전 등에 의해 평가하는데, 절연열화로 인해 주절연 내부에 공극이 발생하여 내부방전이 크게 나타나거나 도체표면에서 부분방전이 발생할 때 권선교체를 판정한다. 그림 5는 원자력발전소에서 20년 동안 운전한 고압전동기(290kW, 4.16kV) 고정자 권선에서 권선교체 전후에 교류전류와 유전정접의 변화를 나타냈다. 그림 5(a)와 같이 교류전류 급증점이 낮고 그림 5(b)에서 나타낸 바와 같이 유전정접값이 높으며, 전압 증감에 따라 초기측정값에서 큰 차이가 발생할 때 권선교체를 판정한다. 그림 5(a), (b)에서 나타낸 바와 같이 권선교체 후에는 교류전류, 유전정접 및 부분방전 등이 양호하게 분석된다.

(참 고 문 헌)

- [1] P. Walker and J. N. Champion, "Experience with Turn Insulation Failures in Large 13.2kV Synchronous Motors", IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol. 6, No. 4, pp. 670-677, 1991.
- [2] Edward Gulski, "Digital Analysis of Partial Discharge", IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 2, No. 5, pp. 822-837, 1995.
- [3] A. Wilson, "Slot Discharge Damage in Air Cooled Stator Windings", IEE Proceedings-A, Vol. 138, No. 3, pp. 153-160, 1991.



(a) 교류전류-전압 특성



(b) $\tan \delta$ -전압 특성

그림 5. 권선교체 전후에 교류전류와 유전정접의 비교

4. 결 론

정지중에 고압회전기 고정자 권선에서 절연진단을 수행하여 교류전류, 유전정접 및 부분방전 등을 종합적으로 분석하고 평가함으로써 분해점검, 절연보강 및 권선교체 등을 판정하였다. 절연진단은 고압회전기를 단순히 운전년수에 따라 유지정비하는 것보다 훨씬 더 과학적인 방법이다. 따라서 절연진단을 수행하여 고압회전기를 관리하면, 수화결과 원자력 발전소에서 최적의 유지정비, 수명연장 및 안정적인 운전에 크게 기여할 수 있다.