

고압전동기 고정자권선의 건조상태에 따른 절연특성 변화사례 고찰

공태식
한전전력연구원

Example study of the insulation characteristic change according to the dryness condition in high voltage motor stator winding

Tae-Sik Kong
Korea Electric Power Research Institute

Abstract - This paper is purpose to understand the insulation properties of the high voltage motor stator winding according to the different dryness conditions. we carried out the three times insulation diagnosis test for the same motor stator winding. the first test object is the contaminated winding, second is the washed-out, and natural dried during the 24 hours, and the last is the heating dried in 110℃ during the 48 hours. the insulation diagnosis tests are consist of the megger, the polarization index, the AC current test, the dissipation factor test and the partial discharge test, we analyzed and made a comparison of the three cases test result

시험한 전동기는 국내 제작사에서 1995년에 제작하였으며, 정격전압은 6.6kV이며, 용량은 448kW 이다.



그림2-2 세척장면

그림2-3 시험장면

1. 서 론

고압전동기 고정자권선 절연물의 결함은 제작 시 발생하거나, 장기간 운전되는 동안 열적, 기계적, 전기적, 화학적인 열화 등에 의해 나타나며, 전동기의 고장원인 중 절연물 손상에 의해 발생하는 것이 약 37%에 이른다.^[1] 고압전동기의 절연과피로 인한 정지는 전체 시스템에 막대한 손실을 야기시키게 된다. 따라서 고압전동기의 절연물에 대한 건전성을 평가하는 절연진단의 중요성은 날로 높아가고 있다. 절연상태에 대한 건전성을 확인하는 방법으로는 고압전동기 정격전압의 1.25 ~ 1.7배의 전압을 일정 시간 동안 인가하여 절연이 파괴되지 않고 견디는가를 보는 절연내력시험법이 있으나 이는 신규 제작된 고압전동기 권선의 품질보증을 위한 수단으로 행하여지는 공장시험, 검수시험 등 특별한 경우에만 사용되어지고 있으며 현장에서 운용 중인 전동기에 대해서 적용하지 않고 있다.^[2] 일반적으로 국내 산업현장에서 사용하는 전동기에 대한 진단방법으로는 정격전압 이내에서 실시하고 있으며, 시험의 종류에는 절연저항시험, 성극지수시험, 교류전류시험, 유전정점시험, 부분방전시험 등이 주로 행하여지고 있다.^[3]

발전소에서 운용 중인 고압전동기들은 고정자권선에 있는 오염물질을 제거하기 위하여 주기적으로 분해하여 세척하고, 건조하는 정비를 하고 있다. 본 논문에서는 실제 발전소에서 운용중인 동일한 고압전동기에 대하여 세척 전, 세척 후, 건조 후 세 단계로 나누어 절연진단 시험을 실시하고 그 결과를 분석하여 전동기 상태와 절연진단 시험 인자와의 상관관계를 알아보았다. 이를 통하여 향후 절연진단 시험에 대한 신뢰성 향상 및 정비 방법을 선택하는데 기여할 것으로 기대된다.

2. 본 론

현재 국내 표준석탄 화력발전소에서 사용 중인 미분기용 고압전동기 중 고정자권선 절연진단 시험결과가 불량한 전동기에 대하여 분해 및 로터인출 후 고압 에어 블로잉 및 세척액으로 고정자권선에 붙어있는 미분탄가루, 베어링 오일, 먼지 등 이물질 제거한 다음 자연건조



그림2-1 세척전 오염상태



그림2-2 세척 후 건조상태

1일 후에 시험을 실시하고, 또한 건조로에서 110℃로 48시간 건조 후 절연진단 시험을 실시하여 각 단계별 절연특성변화를 살펴보았다. 금번에

2.1. 절연저항 및 성극지수 시험

절연저항 시험은 고장자 권선과 대지 간에 직류전계를 인가하여 기본적인 절연상태를 측정하여, 권선의 흡습 및 표면 오염상태 등을 평가하는 시험이다. 측정 방법은 전압인가 1분후의 절연저항 값을 측정하며, 판정기준은 100MΩ 이상이 되어야한다.^[3] 성극지수 시험도 시험방법은 절연저항시험과 동일하나 측정을 전압인가 1분과 10분 후의 절연저항 값을 측정하여 10분의 절연저항 값을 1분시 측정한 절연저항 값으로 나누어 그 비를 계산하여 성극지수 값을 구한다. 판정기준은 2.0이상이면 양호하다고 판단을 하고 있다. 절연저항과 성극지수시험에 사용한 장비는 영국 AVO사의 S1-5010 모델을 사용하여 시험을 하였다.^[3]

2.2. 교류전류 시험

절연물에 교류전압을 인가하여 대지로 누설되는 전류를 측정하는 시험이며, 누설전류는 인가한 전압에 비례하여 증가하나 전압이 증가함에 따라 미소공극 및 권선슬롯 간 틈의 부분방전현상에 의해 전류가 급증하는 현상을 보이게 된다. 인가전압에 비해 누설전류가 얼마나 더 증가하는 가를 계산하여 권선내부의 결합 정도를 판단하게 되며, 그 계산식은 아래와 같다. 실험에 사용한 장비는 Haefely사의 Schering Bridge를 이용하였다.

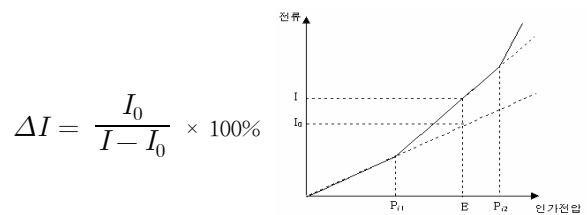
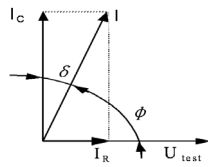


그림 2-3 교류-전압 그래프

2.3. 유전정점 시험

유전체에 교류전계를 인가하면 유전체 손실이 발생하게 되는 데, 절연물 내 쌍극자가 교번전계에 의한 진동을 하며 발생하는 마찰열, 부분방전에 의한 손실, 방전 시 발생하는 빛에 의한 손실 등이 발생한다. 만일, 절연물에 이러한 손실분이 없다면, 충전 전류만 존재하겠지만 실제로는 누설전류도 존재하게 된다. 그림 2-4에서 전압보다 90° 앞선 충전전류(Ic)와 실측전류(I)와의 각을 유전손실각 δ로 표시하며, 이러한 손실을 측정하는 척도로 유전정점(dissipation factor)은 tanδ로 나타낸다.



유전정접(tanδ)

절연물내의 미소공극 등이 많이 존재하게 되면 부분방전양도 커지게 되고, 따라서 유전정접도 증가하게 된다. 따라서 유전정접(tanδ)을 측정하여 절연물의 상태를 파악할 수 있다. 시험전압은 정격전압인 6.6kV까지 인가하고, 정격전압일 때의 tanδ값에서 정격전압의 20%전압에서의 tanδ를 뺀 Δtanδ를 계산하여 절연상태를 파악할 수 있다.

2.4 부분방전 시험

고정자권선 주절연물이 열화에 의해 발생하는 절연물 내부의 공극(void)과 권선의 기계적 진동에 의해 권선표면의 반도체층이 손상되고 권선과 슬롯 사이가 벌어진 틈 등에서 부분방전이 발생하고, 이러한 방전은 절연물을 계속 열화시켜 결국에는 절연과피에 이르게 된다. 부분방전 시험은 고정자권선에서 발생하는 방전량을 직접 측정하여 절연물의 상태를 평가하는 주요 항목이며, 실험 회로도는 그림 2-5와 같고, 실험에 이용된 장비는 부분방전 측정 장비인 PD Detector(TE-571, Haefly社)를 사용하였다.

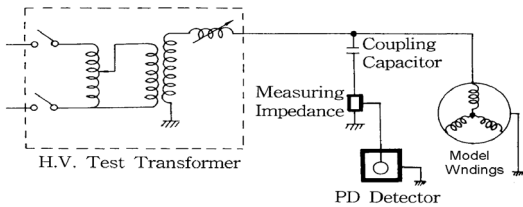


그림 2-6 부분방전실험 회로도

부분방전 실험의 원리는 공극의 양단에 절연내력이상 전압이 올라가면 순간적으로 단락되는 부분방전 현상이 발생하며, 따라서 방전은 전압이 증가하는 위상에서 나타난다.[4][5] 이러한 방전으로 양단에 축적되어 있던 전하가 소멸되고, 없어진 전하량만큼 모델권선에 병렬로 연결되어 있는 coupling capacitor에 축적된 전하가 시료 쪽으로 전하가 이동한다. 이렇게 이동하는 전하를 부분방전 측정기(TE-571)에서 감지하여 부분방전 발생량과 전압 위상별 위치를 나타내게 된다.

3. 시험결과 및 고찰

표준석탄 화력용 미분기 고정자권선의 오염상태, 세척상태, 세척 및 건조상태 일 때의 절연저항 및 성극지수 시험결과를 표 3-1과 같다.

시험항목	절연저항 [MΩ]	성극지수
시험전압	DC 5,000[V]	DC 5,000[V]
오염	35,400	3.09
세척/자연건조 1일	160	1.21
세척/110℃ 48시간 건조	42,600	4.08

표 3-1 절연저항, 성극지수 시험결과

시험결과 권선이 오염되었을 때도 절연저항 및 성극지수 값은 양호하였으며, 권선 세척 자연건조 1일 후에는 권선의 흡습으로 인한 절연저항, 성극지수 모두 크게 나빠졌음을 알 수 있다.

시험전압	3.81kV	6.6kV	ΔI[%]
오염	72.50mA	133.6mA	12.22
세척/자연건조 1일	87.56mA	156.6mA	5.93
세척/110℃ 48시간 건조	63.71mA	125.8mA	15.81

표 3-2 교류전류 시험결과

표 3-2는 교류누설전류 시험결과이며, 세척/자연건조 1일에서는 전류 급증율(ΔI)은 제일 낮게 나타났다. 이는 흡습으로 인한 초기 누설전

류가 커져 발생한 것으로 분석되며, 세척/48시간 건조권선이 누설전류는 제일 낮았으나 전류 급증율은 가장 높았다. 이는 일정전압 이상에서 부분방전이 발생하여 전류가 급증하는 현상으로 분석된다.

시험전압	3.81kV	6.6kV	Δtanδ[%]
오염	6.25%	15.2%	10.5%
세척/자연건조 1일	13.8%	16.2%	3.0%
세척/110℃ 48시간 건조	3.10%	14.3%	13.56%

표 3-3 유전정접 시험결과

표 3-2는 유전정접 시험결과이며, 세척/자연건조 1일에서는 Δtanδ는 제일 낮았으며, 흡습으로 인해 초기 tanδ가 커져 발생한 것으로 분석된다. 세척/48시간 건조 권선이 tanδ는 제일 낮았으나 Δtanδ는 가장 높았다. 이는 교류전류 시험과 마찬가지로 부분방전 발생과 관련된 것으로 생각된다. tanδ가 권선의 흡습에 매우 민감하게 반응함을 알 수 있었다.

시험전압	방전개시	4.76kV	6.6kV
오염	2.8kV	5,200pC	11,600pC
세척/자연건조 1일	5.1kV	900pC	2,400pC
세척/110℃ 48시간 건조	4.0kV	2,600pC	6,600pC

표 3-4 부분방전 시험결과

표 3-4는 부분방전 시험결과이며, 세척/자연건조 1일에서 방전개시전압이 제일 높았으며, 방전량도 제일 낮았다. 이는 공극 양단의 전위차가 수분의 도전 작용으로 인해 발생하지 않고 전류가 누설되어 나타난 현상으로 분석되며, 오염권선은 미분탄 가루 및 먼지 등 표면의 오염물질이 방전현상을 쉽게 만들어 낮은 전압을 인가해도 방전이 발생하였으며, 방전량도 크게 나타났다. 단, 고전압을 계속 인가 시 방전량이 점차 줄어들어 포화되는 현상을 보였으며, 이는 방전을 촉진하는 권선표면의 미분탄 가루 및 먼지 등 이물질이 타면서 없어져 방전량이 줄어드는 것으로 분석된다.

4. 결 론

급번 고정자 권선의 오염, 흡습, 건조상태에 따른 절연특성변화를 분석한 결과는 다음과 같다.

1. 절연저항 및 성극지수 시험으로 흡습과 건조상태는 파악이 가능하지만 습분이 아닌 물질에 의한 오염은 본 시험만으로 구별이 어렵다.
2. 교류전류 시험결과 흡습되었을 때 ΔI 값은 양호하게 나타나지만, 누설전류(I)값은 건조되었을 때보다 높게 나타났다. 따라서 건조된 동일규격의 권선을 비교시험하지 않는 이상 교류전류 시험만으로 권선의 흡습상태를 파악하기는 어렵다.
3. 유전정접 시험결과 흡습상태일 때 Δtanδ는 작게 나타나지만 tanδ 값은 낮은 전압에서도 크게 증가하여 흡습에 민감한 특성을 갖는 것으로 나타나 흡습관정에 용이하게 사용될 수 있다.
4. 부분방전 시험결과 방전개시 전압 및 방전량은 오히려 흡습상태일 때 가장 양호하게 나타났으며, 다음이 건조상태, 오염상태일 때가 가장 불량한 결과를 나타내었다. 따라서 부분방전 시험 결과가 양호하다면 실제로 절연상태가 좋은 것인지, 아니면 단지 발생경로에 흡습이 발생되어 방전현상이 줄어든 것인지는 유전정접시험 결과 등을 종합 분석해야 파악이 가능하다.
5. 동일한 전동기일 지라도 절연진단 시험결과는 전동기의 오염 및 흡습의 정도에 따라 크게 달라지는 것을 알 수 있었다. 따라서 절연진단 결과의 추이관리는 동일한 상태 즉, 분해세척 및 건조 후 시험을 한 결과분석이 바람직하며, 과거와 다른 조건(흡습이나 오염)일 때의 시험결과 추이분석은 무의미하다.

[참 고 문 헌]

- [1] Motor Reliability Working Group, "Report of Large Motor Reliability Survey of Industrial and Commercial Installation", Parts I and II, IEEE IAS Transaction Vol I A-21, No4, pp. 863, 1985.
- [2] "Recommended Practice for Insulation Testing of Large AC Rotating Machinery with High direct Voltage", New York : Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE Std. 95-1977, 1977
- [3] IEEE Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Rotation Machinery (IEEE Std 43-2000) pp7