

고압회전기 절연진단 주기 설정에 관한 연구

이영준, 김희동
한전 전력연구원

A Study on the Establishment of Insulation Diagnosis Cycle for High Voltage Rotating Machine

Young-Jun Lee, Hee-Dong Kim
Korea Electric Power Research Institute

Abstract - Nondestructive and destructive insulation tests were performed the high voltage rotating machine in the local thermal power plants. Nondestructive tests include measurements of insulation resistance, polarization index, AC current, $\tan\delta$, partial discharge. Destructive tests include measurements of AC hipot and DC hipot.

This paper propose to establish the insulation diagnosis cycle for high voltage rotating machine.

1. 서 론

산업현장 및 발전소에서 사용되고 있는 발전기와 고압 전동기는 핵심 설비들로서 고장 발생시 그 파급효과는 매우 크게 된다. 이러한 고압회전기들은 사용년수가 증가함에 따라 열적, 기계적, 전기적, 환경적 열화 요인들이 복합적으로 작용하여 열화를 진전시켜 결국에는 절연 내력이 약해져 절연파괴에 의한 불시고장 등이 종종 발생된다.⁽¹⁾

일본전기학회에서 조사한바에 따르면 고압회전기는 운전개시후 6년이 경과하면 절연열화에 의한 사고가 증가하기 시작하고 10년이 경과하면 고압회전기 사고원인중 가장 많은 부분을 차지하며, 사용년수가 20년이 경과하면 기기의 수명점으로 보고있다.

고압회전기 정상운전중 절연파괴에 의한 불시고장은 산업현장이나 발전소에서 제품생산이나 전력생산에 막대한 지장을 일으킬 수 있다. 따라서 이러한 절연파괴에 의한 고장을 사전 예방하기 위해서는 철저한 예방정비는 물론 주기적인 절연진단을 통한 절연상태의 추이관리를 통해 돌발적인 사고를 미연에 방지하는데 더 많은 노력을 기울여야 한다.

절연진단 시험방법으로는 크게 비파괴시험과 파괴시험으로 나눌수 있으며, 비파괴시험은 절연저항시험(megger test), 직류전류시험(polarization index test), 교류전류시험(AC current test), 유전정접시험($\tan\delta$ test), 부분방전시험(partial discharge test) 등을 시행하며, 파괴시험은 통상 교류 및 직류 내전압시험을 시행하는데 새로 제작된 고압회전기 고정자 권선의 품질보증시험 수단으로 또는 권선 정비후 복구여부를 확인하기 위한 시험으로 정격전압보다 훨씬 높은 전압을 인가하여 시행하는 것이나 절연물에 상당한 손상을 주거나 절연상태를 악화시킬 수 있기 때문에 제한적으로 사용되고 있다.⁽²⁾

본 논문에서는 전력연구원에서 그동안 수많은 현장에서 시행하여온 절연진단시험을 통해 얻어진 경험과 결과를 토대로 산업현장이나 발전소에서 중요 동력 에너지원으로 사용되고 있는 고압회전기에 대한 적절한 절연진단 절차 및 주기를 설정, 제시함으로써 현장 실무자에게 보다 효과적으로 고압회전기를 관리할 수 있는 기술을 마련하는데 그 목적이 있다.

2. 본 론

2.1 비파괴시험

2.1.1 절연저항시험(Megger test)

절연저항시험은 절연물의 흡습이나 오손상태를 파악할 수 있으며, 운전 개시전이나 운전중에 필요한 절연저항을 가지고 있는가의 여부, 운전에 따른 절연저항 저하의 정도를 점검하고 절연열화 시험시 사용되는 고전압을 인가해도 충분한가를 점검하기 위해서 실시하는 시험이다. 통상 DC 1,000(V) 메거(megger)를 사용하여 전압인가 1분후의 절연저항값을 측정한다.

2.1.2 직류전류시험(P.I test)

직류전류시험은 절연물에 직류전압을 인가하였을 때 전류-시간 특성으로부터 절연물의 흡습, 도전성 불순물의 흡입, 생성, 오손과 결합 등 절연물의 상태를 판정하는 시험이다. 시험방법은 DC 5,000(V)를 10분간 인가하여 전류의 변화상태를 측정한다.

2.1.3 유전정접시험($\tan\delta$ test)

유전체 절연물에 교류전압을 인가하면 일반적으로 누설전류, 유전분극, 부분방전 등에 의한 유전손이라는 에너지 손실이 발생하고 이를 나타내는 척도로 $\tan\delta$ 를 사용한다. 이것을 유전정접이라 부르고 이와같이 절연물에 교류전압을 인가하여 측정되는 $\tan\delta$ 로부터 흡습, 오손, 미소공극 유무 등의 절연상태 및 열화정도를 파악한다. 시험방법은 정격전압까지 전압을 인가하면서 정격전압과 사용전압의 25(%) 전압에서 측정된 $\tan\delta$ 값의 차이를 계산하여 절연상태를 평가한다.

2.1.4 교류전류시험(AC current test)

교류전류시험은 절연물에 교류전압을 인가하였을 경우에 흐르는 전류와 전압과의 관계, 즉 I-V 특성으로부터 절연상태를 평가하기 위한 시험이다. 교류전압을 절연물에 인가하면 전압상승에 비례하여 충전전류가 증가하며, 이때 절연층내에 결함이 존재하여 부분방전 현상이 발생하게 되면 미소공극을 단락시켜 충전전류가 급격히 증가하고 이와같은 전류 급증전압 및 전류 급증율로부터 절연물의 흡습, 열화의 정도를 알 수 있다. 시험방법은 정격전압까지 전압을 인가하면서 전류의 변화율을 계산하여 절연상태를 평가한다.

2.1.5 부분방전시험(Partial discharge test)

대형 고압회전기 고정자 권선의 경우 사용시간의 증가로 인해 권선이 열화되어 절연물에 미소공극, 균열, 박리 등이 생기면 이 결합부에서 부분방전 펄스전류가 발생한다. 이 부분방전을 검출하여 전기적인 절연물의 열화상태 뿐만 아니라 과열이나 주기적 응력에 의한 권선 단말부에서의 표면방전, 뱃지이완, 그리고 슬롯방전 등의 이상상태를 알 수 있다. 부분방전 측정기준은 정격상전압에서 발생하는 부분방전 발생크기를 가지고 절연

상태를 판정한다.

2.2 파괴시험

2.2.1 직류 내전압시험(DC hipot test)

고압의 직류 내전압시험은 정격전압에서 고정자 권선의 주절연이 안전하게 운전될 수 있는가의 여부를 결정하는 시험이다. 내전압시험은 사용 가능여부를 판정하는 시험으로 일반적인 진단시험은 아니다. 고압의 DC 내전압시험을 실시하기 전에는 절연파괴에 대비하여 예비품과 충분한 정비시간이 확보된 상태이어야 한다. IEEE Std. 95-1977은 새로 제작된 권선의 검수시험시 AC 시험전압의 1.7배를 인가하는 것을 추천하고 있다. 일반적으로 주기적인 정비시에 사용하는 시험전압은 $2xV_{L-L}$ DC 이다.^[3]

2.2.2 교류 내전압시험(AC hipot test)

교류 내전압시험은 직류 내전압시험과 유사하나 시험전원으로 계통 주파수 전압이 사용되고 시험전압이 다소 낮은점이 다르다. 시험을 위해서는 대응량의 시험전원이 요구되기 때문에 일반적으로 고압회전기 제작 후에 시험을 시행한다. 이 시험은 고압회전기의 고정자 권선 뿐만 아니라 회전자 권선에 적용하기도 한다. 교류 내전압시험도 파괴시험이기 때문에 시험 전에 예비용 권선을 준비하는 것이 바람직하다. 시험전압은 통상 선간전압의 1.25~1.5배를 사용한다.

2.3 절연진단 시험절차

전력연구원 절연진단팀에서는 98년부터 현재까지 발전소 및 산업현장에서 운전되고 있는 약 1,500여대의 고압회전기에 대한 절연진단시험을 수행하여 왔으며, 그 결과 많은 경험과 시험결과를 바탕으로 절연진단 시험절차를 확립하였다. 그림 1은 절연진단 시험절차를 나타낸 것이다.

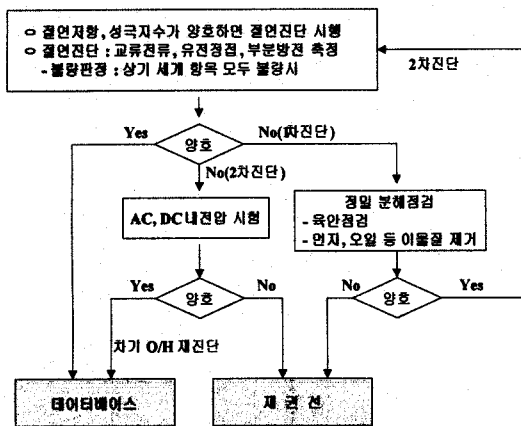


그림 1. 절연진단 시험절차

먼저 절연저항 및 직류전류시험을 시행하여 절연물이 흡습되지 않은 건조한 상태라고 확인이 되면 교류전압을 정격전압까지 인가하면서 교류전류, 유전정검, 부분방전 시험 등을 시행한다. 절연저항 및 직류전류시험 결과는 절연물에 고전압을 인가해도 팬텀은지의 여부를 결정하는 참고값이며 실제 절연상태의 양부를 판단하는 기준은 교류전류, 유전정검, 부분방전 시험결과로 판정한다.

고압회전기 고정자 권선의 교체는 많은 경비와 시간을 필요로 하기 때문에 권선교체 판정은 내리기까지는 신중을 기하여야 한다. 권선교체를 판정하는 기준은 여러가지 방법이 있지만 전력연구원에서는 상기 세가지 시험항목이 모두 불량한 경우 정밀 분해점검 시행후 2차로 진

단시험을 시행하여 불량한 결과가 다시 발생하면 교류 및 직류 내전압시험을 시행하여 재권선 여부를 결정한다. 통상적으로 상기 세가지 시험항목이 모두 불량한 결과가 발생하였을 경우 권선교체를 판정하는 경우가 종종 발생하였다.

2.4 절연진단 주기 설정

절연진단시험은 고압회전기 고정자 권선의 건전성을 진단하는 수단이나, 잦은 절연진단시험은 오히려 절연물의 절연상태를 악화시킬 수도 있기 때문에 절연진단을 수시로 시행하는 것은 불필요하며, 적절한 주기를 설정하여 진단시험을 시행하는 것이 바람직하다. 전력연구원 절연진단팀에서는 그동안의 수많은 절연진단을 수행하여 얻은 경험과 시험결과로부터 절연진단 시험 주기를 설정하여 운영중에 있으며, 표 1과 같다.

표 1. 절연진단 주기

고압회전기 사용년수	절연진단 주기
5년 미만	최초 계획예방정비공사 기간중 진단시험 후 양호한 경우 5년후 시행
5 ~ 20년	매 3년 주기로 절연진단 시행
20년 이상	매 계획예방정비공사시 절연진단 시행
기 타	절연진단 시험중 절연상태가 다소 불량한 경우 차기 계획예방정비공사시 절연진단 재시행후 절연보강 또는 권선교체 여부 판정

최근에 산업현장이나 발전소에 설치된 고압회전기들은 품질이 대단히 양호한 편으로 최초 계획예방정비공사시 절연진단 시행후 약 5년후에 재진단을 시행하는 것이 바람직하며, 5년이 경과한 고압회전기들은 절연물에 열화가 발생할 소지가 많으므로 매 3년마다, 그리고 20년 이상 장기적으로 사용한 고압회전기들은 운전중 절연파괴에 의한 불시고장 여지가 상존하기 때문에 매 계획예방정비공사시 마다 절연진단을 시행하여 재권선 또는 절연보강 등의 조치를 취하는 것이 적절한 방법이다. 또한 사용기간이 많이 경과하지 않은 고압회전기라도 이전에 시행한 절연진단 결과가 다소 불량한 경우에는 절연진단 주기에 상관없이 차기 계획예방정비공사 기간중 절연진단을 시행하여 사용 가능여부를 결정하는 것이 바람직하다.

3. 결 론

본 논문에서는 발전소 및 산업현장에서 고압회전기에 대하여 시행되고 있는 절연진단시험에 대한 전반적인 내용을 소개하였고 절연진단시험 절차, 주기 등을 제시하였으며, 그 결론은 다음과 같다.

- (1) 절연진단시험은 발전소 및 산업현장에서 중요설비로 사용되고 있는 고압회전기의 건전성을 진단하는 시험으로 주기적인 시험을 통해 설비 안전운전을 도모하는데 많은 도움이 되고 있다.
- (2) 절연진단을 통해 권선교체를 판정하는 것은 많은 비용과 시간을 요하는 중요한 사안으로 철저한 분석과 시험절차를 통해 결과 판정을 정확히 내려야 한다.
- (3) 잦은 절연진단 시험은 오히려 고압회전기 고정자

권선에 열화를 촉진시킬수 도 있기 때문에 적절한 절연 진단 주기를 설정하여 운영하는 것이 바람직 하다.

(참 고 문 헌)

- [1] "발전기 고정자 및 회전자의 정지중 진단기법", TR.93GJ01.65, 한전 전력연구원, 1997.
- [2] 주영호, "고압전동기 고정자 권선에서 비파괴와 파괴시험의 비교" 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 2097~2100, 1999.
- [3] "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.