

고압전동기 절연시험 및 특성 분석에 관한 연구

최정환*, 어수영*, 이동준*, 이지철*, 강태구**, 정현표**, 최종필**
(주)태광이엔시*, 한전KDN(주)**

Insulation experience and character analysis of High Voltage Motor

J.H. Choi*, S.Y. Eo*, D.Z. Lee*, j.C. Lee*, T.K. Kang**, H.P. Jeong**, J.P. Choi**
Taegwang E&C*, Korea Electric Power Data Network CO., LTD**

Abstract - 본 논문에서는 고압 모터의 절연열화 상태를 감시하기 위해 소선단락, 도체표면 공극, 주절연재료 내부공극, 반도체체 제거, 정상권선으로 모델권선을 제작하고 이 모델 권선에 고전압을 인가하여 shering bridge를 이용하여 교류전류의 변화분 및 정전용량, 유전정접 시험을 하였다. 이를 통해 얻어진 결과는 고압 모터의 고장자 권선의 절연상태를 판단하는 중요한 기초자료가 될 것으로 판단한다.

1. 서 론

근래 경제 성장과 산업 및 사회가 고도화됨에 따라 전력 에너지의 수요가 급증하고 있으며, 또한 무정전, 고품질, 고신뢰성 등이 절대적으로 요구되고 있다. 전력회사는 이러한 요구를 설비의 교체 및 유지보수를 통해 충족시키고 있다. 그러나, 설비투자비의 감소로 인해 현존 전력설비의 사용률 증가를 지향하고 있어 전력설비의 노후가 진행되고 있다. 노후화된 전력설비를 보다 효과적으로 유지보수하기 위해 CBM(Condition-Based Maintenance) 기법이 적용되고 있는 실정이다.

국내 산업 전체 에너지의 20%를 소모하는 전력설비인 고압 모터의 고장 원인은 크게 베어링관련(43%), 절연 관련(37%), 회전자 바관련(8%), 기타(12%)로 나누고 있다. 고장 원인 중 비교적 큰 영역을 차지하고 있는 절연열화로 인한 고장의 감시 및 진단 방법은 절연저항(IR), PI(Polarization Index), 커패시턴스 측정, 유전정접(Tan δ), 교류 전류의 변화분 ΔI, 주파수 변동에 따른 상관전류 불평평률과 같은 다양한 기법이 적용 및 개발되고 있으며 이를 적용한 장비가 출시되고 있다.

본 논문에서는 고압 모터의 절연열화 상태를 감시하기 위해 소선단락, 도체표면 공극, 주절연재료 내부공극, 반도체체 제거, 정상권선으로 모델권선을 제작하고 이 모델 권선에 고전압을 인가하여 shering bridge를 이용하여 교류전류의 변화분 및 정전용량, 유전정접 시험을 하였다. 이를 통해 얻어진 결과는 고압 모터의 고장자 권선의 절연상태를 판단하는 중요한 기초자료가 될 것으로 판단한다.

2. 본 론

2.1 고압 모터의 상태 감시 및 진단 기법

본 논문에서는 고압 모터의 상태를 효율적으로 감시 및 진단하기 위해 고압 모터에 공급되는 전류 및 전압을 이용하였으며, 3상 전류 신호는 Clamp-on type의 전류변환기(Current Transformer)를 사용하였고, 3상 전압 신호는 PT(Potential Transformer)의 2차측에서 Probe를 통해 측정하였다. 여기서 취득된 전압과 전류를 이용하여 다양한 감시 및 진단 파라미터를 정의하고 이에 따른 고압 모터의 상태감시 및 진단 시스템의 구조를 설계 및 구현하였다.

2.1.1 절연열화 원인 및 메커니즘

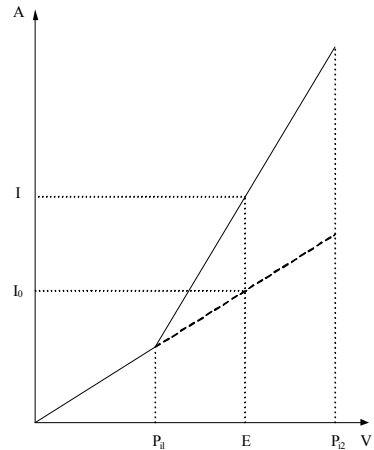
고압 모터는 다양한 원인에 의한 고장이 발생한다. 고압 모터에서 발생하는 고장 중 중요한 요소는 고정자 권선의 절연열화로 인한 고장이다. 고압 모터의 고정자 권선의 절연이 열화의 원인은 일반적으로 모터의 가동 중에 열적, 기계적, 전기적 응력(Stress) 및 외부환경에 의해 단순 또는 복합적으로 열화 된다. 열적 응력에 의한 열화는 열응력과 열분해로 분류되는데, 열응력은 기계적 응력과 더불어 균열(Crack)을 발생시키고 열분해는 에폭시 분해에 의한 가스압력이 증가하여 접착강도를 저하시켜 계면에서 박리를 발생시킨다. 기계적 응력은 마이카/에폭시 계면과 에폭시 리치(Rich)부분에서 각각 미소 균열을 발생시키고 동시에 이미 다른 원인에 의해 생성된 균열을 확대시킨다. 전기적 응력은 절연재료의 절연내력이 정격전압 혹은 과도 전압에 더

이상 견디지 못할 정도로 약화되면 권선이 파괴이 이른다. 이와 같이 절연내력의 감소와 절연파괴를 야기시키는 것은 전기적인 성질 뿐만 아니라 열적 및 기계적 열화에 의한 요인이 복합적으로 작용한다. 박리(Delamination), 균열과 같은 결합부분에서 부분방전이 발생하여 유전정접의 증가, 코로나 침식 및 트리(Tree)가 진행하다가 마이카 조각이 존재하면 진전이 억제된다. 절연열화의 최종 단계에서는 독립적으로 발생된 미소 균열이 상호결합하며, 이 부분에서 트리가 급속히 진전하여 절연파괴에 이른다. 이에 해당하는 방전은 부분방전, 도체 표면방전, 주절연 내부의 방전, 슬롯방전 및 단말권선 방전으로 나눌 수 있다. 외부환경에 의한 열화는 먼지, 오일 및 수분의 유입으로 인해 고정자 권선 표면에서 오손이 발생한다. 따라서 고압회전기 고정자 권선의 절연열화 상태와 열화정도를 평가하기 위해 절연저항, 성극지수, 교류전류, 유전정접 및 부분방전 등으로 측정하고 있다.

2.1.2 고압 전동기의 절연열화 감시 방법

고압 전동기의 절연열화를 감시하는 방법은 절연저항(IR), PI(Polarization Index), 교류전류의 변화분(ΔI), 유전정접(DA, %tan δ)가 있다. 여기서 본논문에서는 교류전류의 변화분(ΔI), 유전정접(DA, %tan δ)만을 나타내었다.

교류회로시험은 절연물에 교류전압을 인가하여 전압이 증가함에 따른 전류의 증가하는 비율을 계산하여 절연상태를 진단하는 방법이며 절연열화시 인가전압에 따른 전류특성은 <그림 1>과 같다.



<그림 1> 절연열화 시 인가전압에 따른 전류 특성곡선

교류회로시험을 통한 분석 식은 아래와 같이 정의된다.

$$\Delta I = \frac{I - I_0}{I_0} \times 100[\%] \quad (1)$$

또한 이 시험을 통한 절연상태의 판정기준은 6kV 이상은 8.5%이내이며, 6kV이하는 4.5% 이내로 규정한다.

유전 정접 시험은 모터의 고정자 권선의 절연열화 정도를 측정하는 방법이며, Void의 발생, 흡습, 오염 등의 원인을 판단할 수 있는 방법이다. 시험방법으로는 Shering bridge를 이용하고 브릿지 회로를 통해 절연물의 R과 C값을 측정하여 식 3에 의해 계산할 수 있다. Δtanδ 계산을 이용한 열화 분석으로 인한 고정

자 권선의 절연상태는 아래와 같이 유추된다.

- 절연물에 인가전압을 증가시키면 절연물 내 Void, 권선과 슬롯 간 틈 등에서 부분방전(Partial Discharge)이 발생함
- 방전 현상으로 절연물이 계속 침식되어 결함(Void) 부위가 확대됨
- 방전(Void)의 순간적인 도통현상에 의해 R값이 작아져 tan δ가 증가함

고정자 권선의 절연상태를 파악하기 위한 정의 식은 아래와 같다.

$$\tan\delta = \frac{I_r}{I_c} = \frac{1}{\omega CR} \quad (2)$$

$$\Delta \tan\delta = \tan\delta_{lv} - \tan\delta_{hv} \quad (hv : \text{선간전압}, lv : \text{선간전압의 20\%})$$

또한 이 시험을 통한 절연상태의 판정기준은 6 kV 이상은 6.5% 이하이며, 6 kV미만은 3.5% 이하이다.

2.2 사례연구

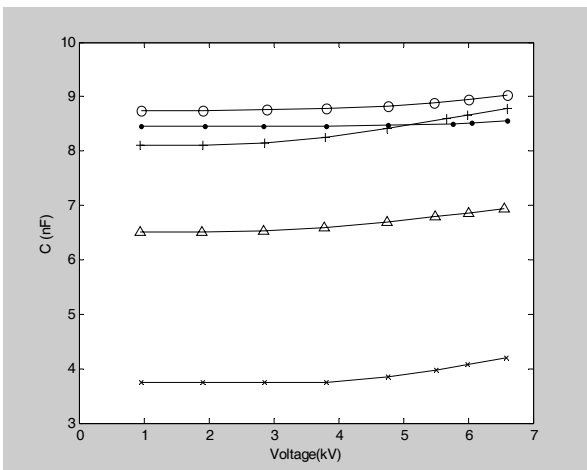
본 연구에서는 고전압 인가 및 교류전류, tan δ, 정전용량을 계산하기 위하여 사진 1과 같이 Tettex의 instruments의 장비를 이용하였다. 또한 고압 모터의 고정자 권선의 다양한 절연열화 현상을 파악하기 위해 소선단락, 도체표면 공극, 주절연재료 내부공극, 반도체 제거, 정상권선으로 모델권선을 제작하여 아래 사진과 같이 결선하였다. 실험 결과 그림 2에서 그림 4와 같은 결과를 얻었다.



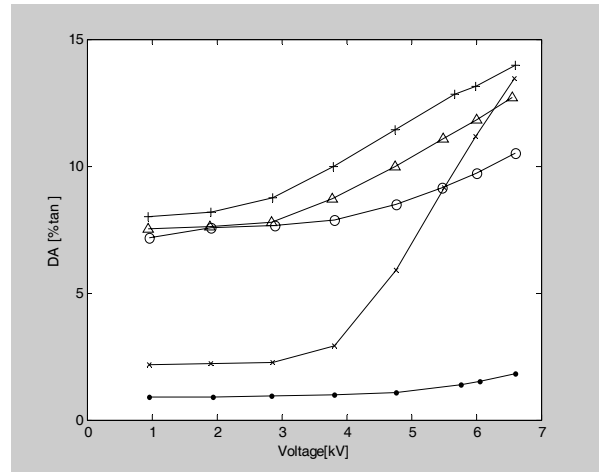
<사진 1> 고전압 발생 및 시험장비와 시험 권선을 포함한 모터

<표 1> 시험 모델 권선의 종류

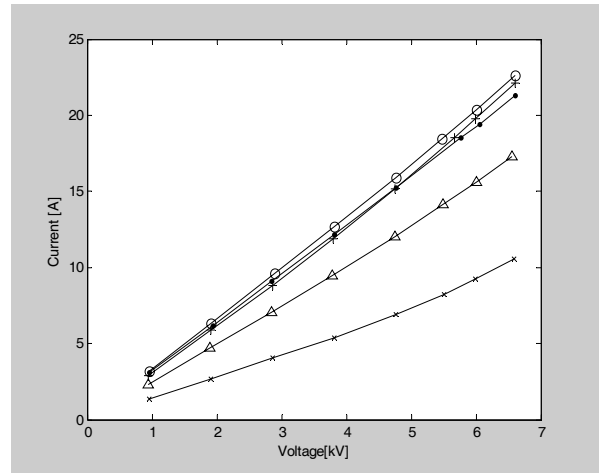
Group	Defect	비고
A	소선단락	
B	도체표면 공극	
C	주절연재료 내부공극	
D	반도체층 제거	
E	정상적인 권선	



<그림 2> 인가전압에 따른 정전용량의 변화



<그림 3> 인가전압에 따른 유전정접(%tan δ)의 변화



<그림 4> 인가전압에 따른 교류전류

3. 결 론

본 논문에서는 고압모터의 고장 원인 중 가장 중요한 요소인 절연에 관련된 고정자 권선의 절연열화 상태를 감시 및 진단하는 방법과 실험 결과를 나타내었다. 시험 방법으로는 커패시턴스 측정, 유전정접(Tan δ), 교류 전류의 변화분 ΔI를 이용하였다. 또한 다양한 절연열화 상태를 나타내기 위해 소선단락, 도체표면 공극, 주절연재료 내부공극, 반도체 제거, 정상권선으로 모델권선을 제작하여 시험하였다. 이를 통해 얻어진 결과는 고압 모터의 고정자 권선의 절연상태를 판단하는 중요한 기초자료가 될 것으로 판단한다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부 전력산업기술개발사업(R-2005-7-333)을 통해 이루어졌으며 이에 감사를 드립니다.

참고문헌

- [1] IEEE Std 43-2000, "Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Rotating Machinery (ANSI)"
- [2] IEEE Std 56-1977, "Guide for Insulation Maintenance of Large Alternating-Current Rotating Machinery (10,000 kVA and Larger) (ANSI)"
- [3] 한국전력공사, "고압회전기 운전중 진단 기술", 2006.8