

절연진단법을 이용한 고전압전동기 고정자권선의 절연특성분석

오봉근, 강현구, 김현일, 임기조*
한국수자원공사, *충북대학교

Analysis of Insulation Characteristics for High-voltage Motor Stator Winding using Insulation Diagnostic Test

Bong-keun Oh, Hyun-goo Kang, Hyun-il Kim, Kee-joe Lim*
K-water, *Chungbuk Univ.

Abstract : Insulation diagnostic tests for high voltage motor stator winding were conducted to analyze the insulation characteristics. Test motors were manufactured same factory and year(1996). Insulation characteristics of moisture winding are different from those of deteriorative winding. Insulation resistance and dissipation factor test results are sensitive to moisture winding. AC current, dissipation factor tip-up and PD test results are sensitive to deteriorative winding. Also, Capacitance value for stator winding insulation material has characteristic of increasing in moisture winding.

Key Words : High-voltage motor, Stator winding, Insulation diagnostic test, aging

1. 서론

고전압회전기 고정자권선 절연물의 열화상태를 측정하는 절연진단법은 다양하지만, 산업현장에서 일반적으로 사용하는 진단법으로는 직류전압을 인가하여 진단하는 절연저항 및 성극지수시험법과 교류전압을 인가하여 진단하는 교류전류, 유전정점 및 부분방전시험법으로 나눌 수 있다. 직류시험은 간단한 시험으로도 고정자권선 절연물의 사용여부와 흡습 및 오손상태를 판단 할 수 있는 장점이 있지만, 절연물의 열화상태를 분석하기에는 부족한 점이 많다. 반면, 교류시험은 현재까지 다양한 연구결과 및 분석기법을 통한 데이터베이스화로 어느정도 열화상태를 예측할 수 있게 되었다[1]. 하지만, 어느 시험방법으로든 한 종류의 시험법으로는 정확한 절연진단이 어렵기 때문에 각 시험법에서 나타나는 분석결과에 대한 정확한 해석이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 실제산업현장에서 운전환경이 다른 조건에서 운영되었던 동일시기에 제작된 고전압전동기 고정자권선에 대하여 절연진단시험을 실시하고 측정결과를 이용하여 각 시험법에서 나타나는 고유의 절연특성을 분석하였다.

2. 시험 방법

진단대상 설비는 측정결과 신뢰성을 높이기 위해 실제 산업현장에서 운영중인 설비로 동일시기, 동일용량의 펌프구동용 고전압전동기 6대를 시료(#1~#6)로 선정하였다. 정격전압 3.3 kV, 용량 260 kW, 절연등급 F종으로 1996년에 제작되었으며, 전동기 고정자권선은 진공가압침법(VPI, Vacuum Pressure Impregnation)에 의한 절연시스템이 적용되었다. 각 설비의 운전환경 및 운전이력을 조사해본 결과 전동기가 지하에 설치되어 있고 다습한 환경에서 운영되고 있었다. #1, #6 전동기는 휴지기간이 장시간으로 고정자권선 절연물이 다소 흡습되었을 것으로 판단되었고, 나머지 4대(#2-5)는 매일 연속으로 운전되는 운영특성을 보여 권선의 흡습특성은 상대적으로 미소할 것으로 판단되었다. 본 논문에서는 이들 진단대상 전동기

에 대하여 서론부에서 언급한 직류 및 교류시험의 5가지 절연진단시험을 수행하고, 여기서 도출된 절연진단인자를 분석하였다.

3. 결과 및 검토

표 1은 5종류의 절연진단법으로 펌프용 고전압 전동기 고정자권선 절연물에 시험을 실시하고 측정된 절연특성 결과값을 보여준다. 모든시험은 고정자권선을 상상일괄로 하여 시험전압 인가 후 측정하였고, 운전이력(환경)과 측정결과를 근거로 유사한 특성을 갖는 전동기를 그룹으로 분류하여 두 그룹(#1,6 전동기와 #2-5 전동기)으로 나누었으며, 진단결과 분석을 용이하게 하고자 각 그룹에서 #4 전동기와 #6 전동기를 선정하였고, 이에 대한 측정결과를 비교분석하였다.

절연저항시험은 직류시험전압 1000 V를 권선단자에 1분간 인가후 절연저항을 측정하였다. IEEE 43-2000에서는 측정값을 권선온도 40 °C로 환산하여 100 MΩ초과시 양호한 것으로 판정하고 있다[2]. 시험결과 #6 전동기 권선 절연물이 14 MΩ으로 측정되어 절연내력이 상당히 저하된 것으로 나타났으며, #1 전동기의 경우도 기준값 이상으로 양호하게 측정되었으나 #2-5 전동기의 값과 비교하여 상대적으로 낮게 나타났다. 이러한 결과는 #1,6 전동기가 지하 다습한 장소에서 장시간 휴지상태에 있었던 점을 고려하면 절연물이 흡습되어 나타난 현상으로 판단된다.

성극지수시험은 직류시험전압 1000 V를 10분간 인가 후 측정하였다. IEEE 43-2000에서는 측정값이 2.0 초과시 양호한 절연물로 판정하며 절연저항값이 5000 MΩ로 상당히 큰 값일 경우 성극지수값은 절연상태평가 지표로서의 의미가 없음을 제시하고 있다[2]. 그림 1은 #4 와 #6 전동기에 대하여 10분간 측정된 누설전류의 변화추이를 보여준다. #4 전동기는 전압인가 후 바로 강제하여 10분 후 누설전류는 0.011 uA로 측정된 반면, #6 전동기는 전압인가 후 완만하게 감소하여 10분 후 측정된 누설전류는 14.84 uA로 두 전동기 모두 동일조건에서 제작된 절연물

표 1. 절연저항시험 측정값

전동기 시험법	#1	#2	#3	#4	#5	#6
절연저항	834	9136	4317	12318	7913	14
성극지수	1.47	1.34	1.18	2.57	1.39	2.26
교류전류	0.88	2.75	4.88	4.89	4.40	1.03
유전정점1 ^{주1)}	10.8	1.16	1.15	1.10	1.01	13.0
유전정점2 ^{주2)}	1.10	3.14	4.85	4.87	4.45	1.00
부분방전	8600	35700	38700	44200	40800	8900

주1) 유전정점1: 시험전압(at 1 kV) 측정값

주2) 유전정점2: 시험전압(at 3.3kV) 측정값 - 시험전압(at 1kV) 측정값

* 측정단위: 절연저항(MΩ), 교류전류 및 유전정점(%), 부분방전(pC)

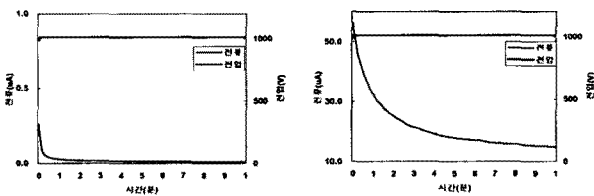


그림 1. 성극지수 시험결과(좌:#4, 우:#6)

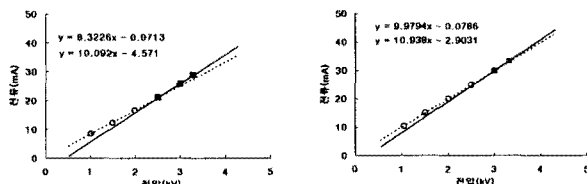


그림 2. 교류전류시험결과(좌:#4, 우:#6)

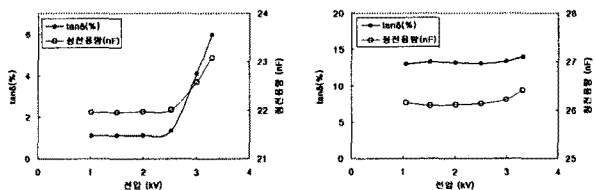


그림 3. 유전정점시험결과(좌:#4, 우:#6)

임을 고려하면 #6 전동기가 누설전류가 많이 흘러 절연내력이 상대적으로 저하되어 있음을 보여준다. 따라서, 단순히 성극지수만으로 절연상태를 평가하는 것은 잘못된 판단을 내릴 수 있음을 의미하는 것으로 절연저항값 및 10분후 누설전류값을 이용하여 좀더 정확한 절연상태분석이 필요한 것으로 나타났다.

교류시험전압을 인가한 절연진단법 가운데 교류전류시험은 관련 논문자료에서 교류전류증가율이 4 % 이상시 주의를 요하는 것으로 제시하고 있다[3,4]. 그림 2는 교류전류증가율이 큰 #4 전동기와 증가율이 작은 #6 전동기의 교류전류시험결과를 보여준다. 정격전압에서 측정된 누설전류의 크기를 비교하면 #4 전동기는 28.7 mA, #6 전동기는 33.3 mA로 교류전류증가율이 낮은 전동기 권선절연물의 누설전류가 큰 것으로 측정되었다. 이는 교류전류증가율이 절연물의 흡습상태에서 미소하게 나타나 열화평가 판정시 오류를 범할 수 있음을 의미한다. 따라서, 동일제품에 대한 열화판정시 교류전류시험에서는 교류전류증가

율과 함께 누설전류값의 크기를 비교하면 좀더 정확한 절연상태분석이 가능한 것을 알 수 있다.

유전정점시험은 표 1에서 유전정점1과 유전정점2로 구분하여 측정값을 기록하였다. 유전정점1은 관련논문에서 10 % 이상일 경우 절연물이 흡습된 상태로 주의를 요하며, 유전정점2는 3.5 % 이상일 경우 주의를 요하는 것으로 제시하고 있다[3,4]. 그림 3은 #4와 #6 전동기의 유전정점시험결과로 시험전압을 인가하면서 측정된 유전손실계수를 보여준다. #4 전동기는 절연물내 보이드 층의 생성으로 나타나는 전형적인 열화특성을 보이고, #6 전동기는 절연물의 전형적인 흡습특성을 보였다. 따라서, 유전정점시험에서는 이 두가지 측정값으로 열화 및 흡습특성을 모두 알 수 있었다. 또한, 유전손실계수와 함께 측정된 정전용량값은 #4,6 전동기에서 각각 23.08 nF, 26.42 nF로 정전용량의 크기증가는 절연물의 흡습상태를 판단 할 수 있는 평가인자로 활용이 가능함을 알 수 있다.

부분방전시험은 정격전압에서 측정된 최대부분방전량(pC)으로 관련논문자료에 의하면 5000 pC 이상에서 주의 의견을 제시하고 있다[3,4]. 앞의 절연시험결과에서 보듯이 #1,6 전동기의 고정자권선이 흡습특성을 보이고 있어 절연물내 보이드층이 수분침투로 인하여 부분방전의 발생이 미소하게 나타난 것으로 판단된다. 반면, #2-5 전동기는 높은 측정값으로 전동기의 열화가 어느정도 진행된 것으로 판단되며, 이것은 교류전류 및 유전정점시험 결과에서도 유사한 특성을 보이고 있음을 알 수 있다.

4. 결론

절연물의 흡습특성은 절연저항 및 유전정점시험(유전정점1)에서 민감하였고, 절연물의 열화특성은 교류전류, 유전정점(유전정점2), 부분방전시험에서 민감한 인자로 반응하였다. 이러한 특성은 전동기의 현장 운영환경과도 일치하여 진단결과 신뢰성을 얻을 수 있었다. 특히, 권선 절연물이 흡습상태일 경우 성극지수, 교류전류, 유전손실계수(유전정점2) 및 부분방전 특성인자로 절연물 열화상태 판정시 오류를 범할수 있는 것으로 나타났다. 따라서 동일제품에 대한 절연상태 판정시 적류 및 교류누설전류, 유전손실 초기값(유전정점1), 정전용량 등 흡습특성에 민감한 인자를 반드시 고려하여 종합판정을 실시하면 향후 권선 절연물에 대해 보다 정확한 열화판정이 이루어 질 것으로 사료된다.

참고 문헌

- [1] I. M. Culbert, H. Khirani, G. C. Stone, "Handbook to Assess the Insulation Condition of Large Rotating Machines, EL-5063, 16, EPRI, 5-14, 1989.
- [2] IEEE 43-2000, "IEEE Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Rotating Machinery".
- [3] H. Yoshida, K. Umemoto, "Insulation Diagnosis for Rotating Machine Insulation", IEEE Trans. Elec. Ins, Vol. EI-21 No. 6, 1986.
- [4] 池田, "水車發電機 Coil의 劣化豫知와 壽命豫測의 調査研究", 전력중앙연구소보고, W95517. 1996.