

On-Line Assessment of High Voltage Motor Condition using the Motor Performance Monitor

金熙東[†] · 孔太植^{*}
(Hee-Dong Kim · Tae-Sik Kong)

Abstract - The condition of a high voltage motor was monitored with the motor performance monitor (MPM) at the motor control center. The MPM detected defects in the rotor bar and end ring and input power according to motor and load conditions. The assessment of the condition of a coal pulverizer motor indicated it was clearly in good condition in terms of the rotor bars, over voltage, and motor performance. However, the side bands at frequency, 56.48 Hz indicated existence of rotor end-ring fault. The large torque ripple indicated abnormal operating conditions. After visual inspection, it has been observed that an impeller blade of the circulating water pump was broken off causing the irregular torque pattern.

Key Words : High Voltage Motor, Motor Performance Monitor, Rotor Bar, Assessment, End-ring Fault

1. 서 론

발전소에서 사용중인 고압전동기는 팬(fan), 송풍기(blower), 미분기(pulverizer), 컨베이어 벨트(conveyor belt) 및 각종 펌프(pump) 등과 같은 부하에 연결하여 운전하고 있다. 빈번한 기동정지와 높은 이용률 때문에 중요한 고압전동기에서 돌발적인 고장이 발생하여 출력감발 혹은 발전정지를 유발할 수 있다. 고압전동기의 주요한 고장 원인은 고정자 권선의 절연열화, 회전자 바의 소손, 이음, 과열 및 진동 등으로 분류할 수 있다[1~3].

국내에서도 고압전동기 고정자 권선에서 절연열화 상태를 사전에 예측하기 위해 정지중(off-line)에 절연진단을 시행하고 있다. 그러나 회전자 바의 상태, 이음, 과열 및 진동 등은 정지중에 시험이 불가능하기 때문에 운전중(on-line)에 고압전동기 상태를 종합적으로 분석할 수 있는 진단기법이 필요하게 되었다. 따라서 좀 더 과학적인 방법으로 운전중에 고압전동기 상태를 분석하기 위해 MPM(motor performance monitor)이 개발되었다. MPM은 전원상태, 전동기의 종합적인 건전성 및 부하상태를 측정할 수 있으며, 현장 기술자가 안전하고 유용하게 활용함으로써 예측정비가 가능하다[4~5].

본 논문에서는 운전중에 고압전동기 상태를 분석하기 위해 MPM을 사용하였다. 운전중인 고압전동기 변성기(potential transformer)와 변류기(current transformer)에 MPM을 연결하고 과전압, 과전류, 고조파, 효율, 속도, 토오

크 리플(torque ripple), 부하상태와 트렌드(trend), 회전자 바 상태 등을 측정하고, 그 결과를 종합적으로 분석하였다.

2. 시험방법

운전중에 고압전동기 상태를 분석하기 위해 그림 1과 같이 MCC(motor control center)에 설치되어 있는 변성기(potential transformer)와 변류기(current transformer) A, B, C상에 MPM(motor performance monitor)을 연결하여 과전압, 과전류, 고조파, 효율, 속도, 토오크 리플, 부하상태와 트렌드, 회전자 바 상태 등을 시험하였다.

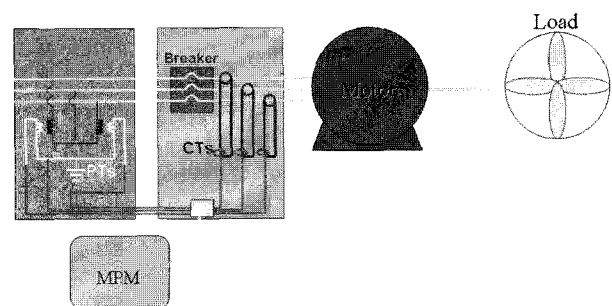


그림 1 MPM의 연결

Fig. 1 Connection Diagram of MPM

3. 결과 및 고찰

운전중인 미분기용 고압전동기(6.6 kV, 500 HP)에서 MPM을 사용하여 전원상태, 전동기의 종합적인 건전성 및 부하상태를 측정하였다. 그림 2는 MPM의 주요한 데이터를 나타내었으며, 과전압, 과전류, 역율, 전압 불평형율, 회전수,

[†] 교신저자, 正會員 : 韓電 電力研究院 責任研究員 · 工博
E-mail : hdkim@kepeco.co.kr

^{*} 正會員 : 韓電 電力研究院 先任研究員
接受日字 : 2008年 6月 5日
最終完了 : 2008年 7月 30日

토오크 리플(torque ripple), 부하율, 회전자 바의 상태 및 효율 등을 분석할 수 있다. 속도는 886.2 rpm, 토오크는 2973.3 ft-lbf이며, 슬립은 부하의 토오크에 의존한다. 부하율은 100.3 %이며, 효율은 92 %를 나타내었다. 따라서 전원 상태(power condition), 전동기 성능(motor performance) 및 전동기 상태(motor condition) 등이 모두 양호하게 분석되었다.

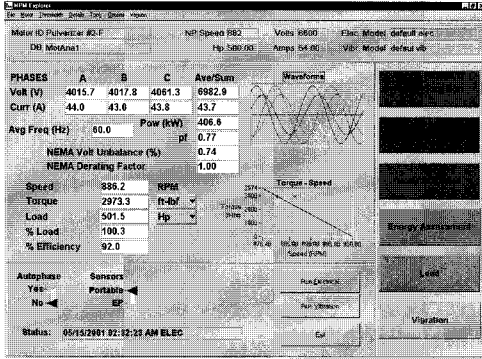
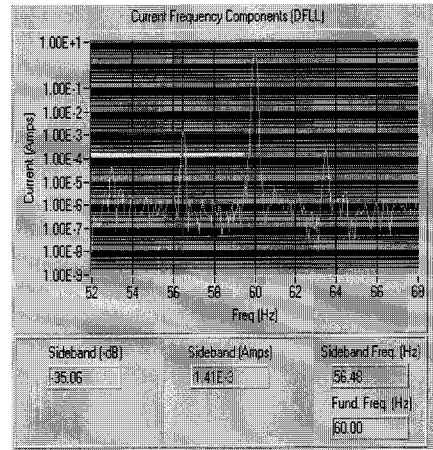


그림 2 MPM의 주요한 데이터
Fig. 2 Main Data of MPM

회전자 바(rotor bar)와 엔드링(end-ring)의 균열(crack)과 같은 고장은 회전자에서 전형적으로 발생되며, 회전자에 대해 대칭성 결함 여부를 확인하기 위해 회전자 바를 3상에서 시험하고 있다. 그림 3은 A, B, C상에 연결하여 회전자 바의 상태를 측정한 결과를 나타내었으며, 그림 3(a)은 양호한 상태이고 그림 3(b)은 회전자 바에서 고장 상태가 발생한 경우를 보여주고 있다. 그림 3(b)에서 나타난 바와 같이 56.48Hz 부근에서 펄스의 증가는 회전자 바 혹은 엔드링에서 고장이 발생하고 있음을 예측할 수 있다[2]. 실제로 회전자 바를 인출하여 점검한 결과 그림 3(c)에서 나타난 바와 같이 회전자 엔드링에서 균열이 발생하였다. 이러한 고장은 A, B, C상에서 동일한 사이드 밴드 주파수 특성을 나타낸다.



(b) 고장이 발생한 상태
(b) Faulty condition



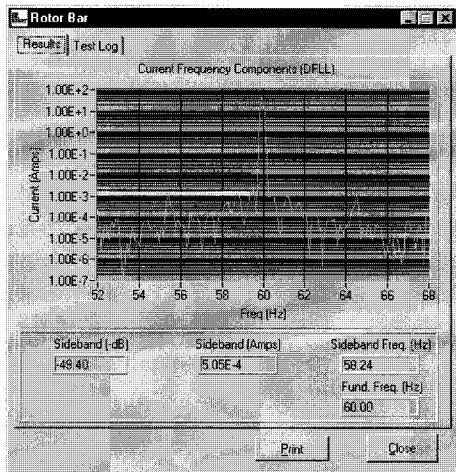
(c) 회전자 엔드링의 균열
(c) Crack of rotor end-rings

그림 3 회전자 바의 상태 분석
Fig. 3 Analysis of rotor bar condition

고압전동기 회전자 바에서 슬립이 클 때 발생하는 과도한 열과 6~10배의 고정자 전류에 의한 회전자 바의 열팽창으로 인해 보통 기동할 때 회전자 도체 부분에서 고장이 주로 일어나고 있다. 높은 전류, 거의 완전한 고정자 자속 및 높은 슬립에 의해 매우 큰 맥동력(pulsating force)이 회전자에 영향을 미치기 때문에 도체를 피로하게 만들어 최종적으로 고장이 발생한다. 회전자 바에 가해지는 원심력이 크면, 바가 고정자 성층철심 방향으로 밀려 철심과 권선의 절연재료를 손상시켜 절연과파가 발생할 수 있다.

그림 4는 고압전동기 A, B, C상에서 각각의 상별로 전압을 측정하여 과전압 상태를 나타내었으며, 정격전압(선간전압)이 6.6 kV이고 실제 고압전동기에 인가되고 있는 상간 평균전압은 6.983 kV로 5.8 %의 과전압 상태를 보이고 있다. 고압전동기의 과전압 레벨은 보통 고전압 버스(bus)보다 더 높으며, 선간 전압강하는 전동기가 과전압을 측정할 장소에서 멀리 떨어져 있지 않기 때문에 무시할 수 있다.

그림 5는 미분기용 고압전동기의 토오크 리플을 분석하여 전동기가 갖고 있는 고유의 부하 특성을 나타내었다. 정상 상태 뿐만 아니라 시간의 함수로써 운전중에 토오크 계산이 가능하며, 전동기와 기계설비에 스트레스(stress)가 존재할



(a) 양호한 상태
(a) Healthy condition

때 전기-기계적 동요(electro-mechanical oscillation)를 확인할 수 있다. 그림 5(a)는 미분기용 고압전동기의 토오크 리플이 28.86%로 높게 분석되어 운전중에 받는 스트레스로 인해 전동기 수명에 큰 영향을 미치기 때문에 석탄의 양을 감소시킬 필요가 있다. 그림 5(b)는 순환수 펌프용 고압전동기이며, 토오크의 밴드가 넓고 토오크 리플의 형태가 정상상태로 보이지 않아 점검을 수행하였다. 순환수 펌프를 인양하여 육안으로 점검한 결과 임펠러(impeller) 날개 일부가 절손된 것을 확인하였다. 임펠러를 예비품으로 교체하였으며, 다시 설치작업을 완료하고 재시험한 결과를 그림 5(c)에 나타낸 바와 같이 토오크 리플은 약 10%로 양호하게 분석되었다.

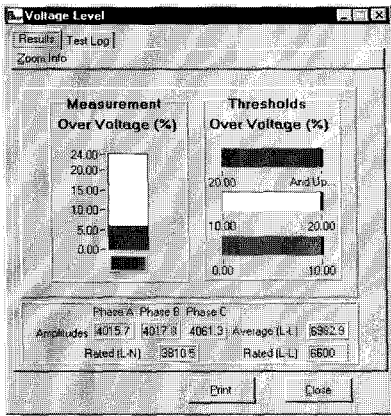
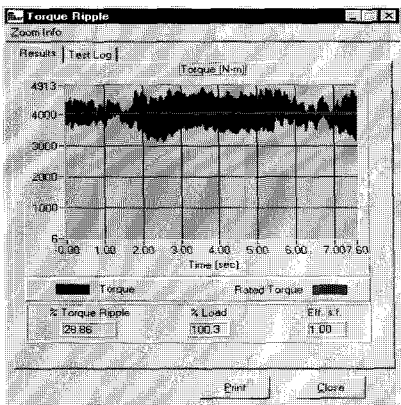
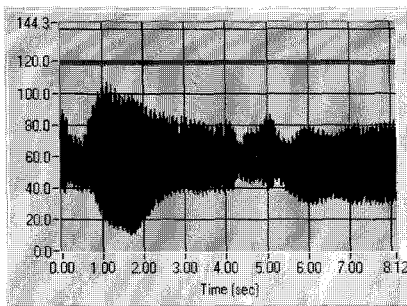


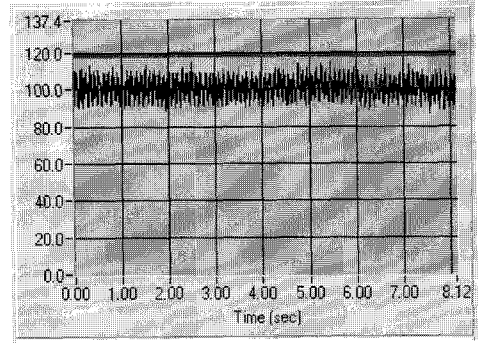
그림 4 과전압 상태
 Fig. 4 Over voltage condition



(a) 미분기용 전동기

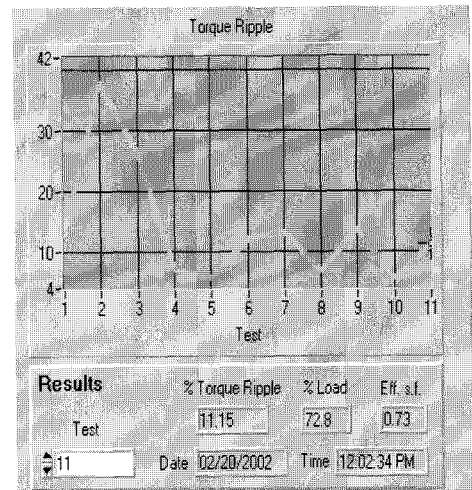


(b) 순환수 펌프용 전동기
 (임펠러 날개의 손상)

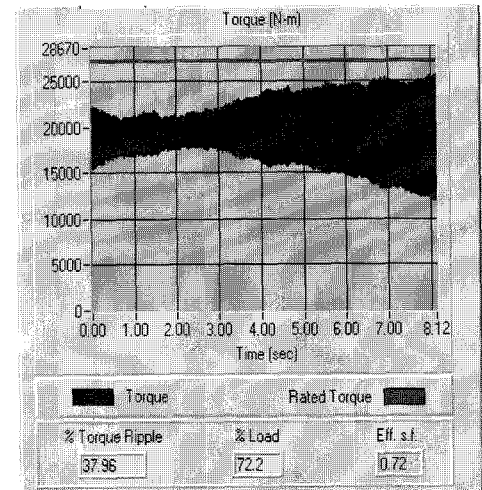


(c) 순환수 펌프용 전동기
 (임펠러 날개 교체 후)

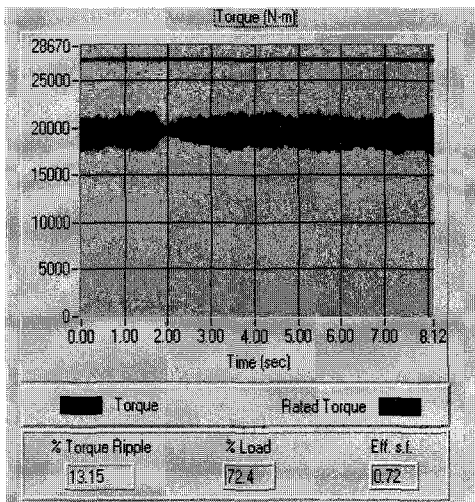
그림 5 토오크 리플의 분석
 Fig. 5 Analysis of torque ripple



(a) 토오크 리플의 트렌드
 (a) Trend of torque ripple



(b) 두 번째 시험 결과
 (b) The result of 2nd test



(c) 다섯 번째 시험 결과
(c) The result of 5th test

그림 6 해수인양 펌프에서 토오크 리플의 비교
Fig. 6 Comparison of torque ripple in the sea water lifting pump

그림 6은 해수인양 펌프(sea water lifting pump)의 토오크 리플을 나타내었으며, 고압전동기 정격은 6.6 kV, 1675 HP, 437 rpm, 153 A이다. 그림 6(a)에 나타낸 바와 같이 전동기 상태를 연속적으로 11번 시험하여 토오크 리플의 트렌드를 분석하였다. 그림 6(b)는 그림 6(a)에서 가장 높게 나타난 두 번째 시험결과이며, 그림 6(c)은 가장 낮게 나타난 다섯 번째 시험결과를 나타내었다. 두 번째 시험의 토오크 리플은 37.96%이며, 다섯 번째 시험에서는 13.15%로 분석되어 거의 3배 차이를 보이고 있다. 따라서 거의 일정한 72.2%의 부하율을 갖는 해수인양 펌프는 불규칙한 토오크 리플을 갖기 때문에 고압전동기 수명에 큰 영향을 미칠 것으로 사료된다.

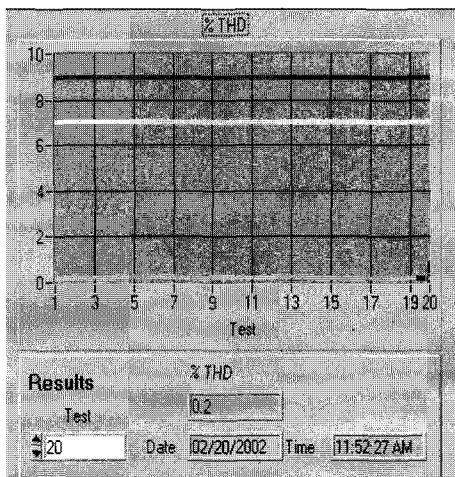


그림 7 고조파 특성
Fig. 7 Harmonic characteristics

그림 7은 해수인양 펌프의 고조파 특성을 나타내었으며, 전동기 상태를 연속적으로 20번 시험하여 고조파의 트렌드를 분석하였다. 고조파는 0.2 %로 매우 낮기 때문에 양호하며, 트렌드가 거의 일정하게 나타났다.

4. 결 론

운전중인 미분기용 고압전동기에서 과전압, 과전류, 역율, 효율, 전압 불평형률, 회전수, 토오크 리플, 부하율 및 회전자 바의 상태 등을 측정하고, 그 결과를 분석하였다. 미분기용 고압전동기의 과전압은 5.8 %이며, 역율, 효율, 전압 불평형률, 회전수, 부하율, 회전자 바의 상태 등을 종합적으로 분석한 결과 양호하게 평가되었다. 그러나 토오크 리플이 28.86 %로 높게 측정되어 운전중에 받는 스트레스로 인해 전동기 수명에 큰 영향을 미치기 때문에 석탄의 양을 감소시켜 운전할 필요가 있다. 고압전동기 회전자 바와 엔드링에서 균열과 같은 고장이 발생한 경우와 양호한 경우로 분류하여 시험 및 분석함으로써 고장을 명확하게 예측할 수 있었다. 순환수 펌프용 고압전동기는 토오크의 밴드가 넓고 토오크 리플의 형태가 비정상적으로 분석되어 펌프를 인양하여 육안으로 점검한 결과 임펠러 날개가 절손된 것을 확인하였다. 임펠러를 예비품으로 교체하고 다시 토오크 리플을 측정한 결과 양호하게 분석되었다.

참 고 문 헌

- [1] 김희동, 김병한, "6.6kV급 고압전동기 고정자 권선의 절연열화 평가", 전기전자재료학회 논문지, Vol. 19, No. 11, pp. 1067~1071, 2006.
- [2] N. M. Elkasabgy and A. R. Eastham, "Detection of Broken Bars in the Cage Rotor on an Induction Machine", IEEE Trans. on Industry Applications, Vol. 28, No. 1, pp. 165~170, 1992.
- [3] G. C. Stone, Partial Discharge Seminar, Iris Power Engineering Inc., Vol. 1, pp. 13~19, 2001.
- [4] S. Nandi, H. A. Toliyat and Xiaodong Li, "Condition Monitoring and Fault diagnosis of Electrical Motors-A Review", IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol. 20, No. 4, pp. 719~729, 2005.
- [5] E. J. Wiedenbrug, A. Ramme, E. Matheson, A. V. Jouanne and A. K. Wallace, "Modern Online Testing of Induction Motor for Predictive Maintenance and Monitoring", IEEE Trans. on Industry Applications, Vol. 38, No. 5, pp. 1466~1472, 2002.

저 자 소 개



김 희 동 (金 熙 東)

1961년 12월 15일생. 1985년 홍익대 전기 공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 2002년 일본 큐슈공업대학교 초빙연구원. 현재 한전 전력연구원 책임연구원

Tel : 042-865-5481

Fax : 042-865-5304

E-mail : hdkim@kepco.co.kr



공 태 식 (孔 太 植)

1972년 2월 27일생. 1997년 충북대 전기 공학과 졸업. 2004년 충남대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 한전 전력연구원 선임연구원

Tel : 042-865-5483

Fax : 042-865-5304

E-mail : kongts@kepco.co.kr