

모터의 상태 감시를 위한 효율적인 모터 감시 및 진단 시스템의 설계 및 구현

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

Design of Efficient Monitoring and Diagnosis System for Motor Condition Monitoring

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

Abstract - 본 논문은 현장에 운전 중인 모터를 효율적으로 고압 모터 감시 및 진단 기법을 검토하고 현장에 보다 적합한 고압모터 감시 및 진단 시스템을 설계 및 개발에 관하여 기술하였다. 고압 모터의 감시 및 진단 방법은 MCSA(Motor Current Signature Analysis) 기법을 기반으로 하여 순시전력, 공극토크, 진동분석 등 다양한 기법이 있으며 이 기법을 적용한 시스템이 출시되고 있다. 그러나 사용자의 요구 및 편이가 반영되지 않아 그대로 적용하기에는 어려움이 있다. 따라서 본 논문에서는 국내의 실정 및 사용자의 편이 맞도록 진단 시스템을 개발의 필요성이 요구되어 다양한 검출 요소를 종합적으로 이용한 보다 현장에 적합하고 유용한 모터 감시 시스템을 설계하였다.

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 모터는 모터의 상태를 정확히 감시 및 진단하기 위해 다양한 기법이 적용 및 개발되고 있으며 이를 적용한 장비가 출시되고 있다. 고압 모터의 상태를 감시 및 진단하는데 적용되는 기법으로는 기본적으로 모터의 전류신호를 이용하는 MCSA(Motor Current Signature Analysis) 기법[1-4]을 기본으로 한다. 이 기법은 급작스런 부하변동과 외부에서 유입되는 노이즈로 인해 정확도가 감소하는 단점을 가지고 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해 순시전력 분석 기법, 모터 공극토크 분석 기법[5], 공극 자속과 전류 진동신호를 복합적으로 이용하는 기법, 최근에는 퍼지 및 신경회로망, 유전자알고리즘을 이용한 인공지능 기법이 있다. 그러나 이러한 장비는 국내 고압모터의 상태를 감시 및 진단하기에는 고가이며 사용자의 요구 및 편이가 반영되지 않아 그대로 적용하기에는 어려움이 있다. 따라서 국내의 실정 및 사용자의 편이 맞도록 진단 시스템을 개발의 필요성이 요구되었다.

본 논문에서는 고압 모터의 상태감시 및 진단 기법에 대해 검토하고 효율적으로 모터의 상태를 감시 및 진단할 수 있는 시스템을 설계 및 구현하였다. 우선 고압 모터에 공급되는 3상 전압, 전류 신호를 취득하고 엠프 및 저역통과필터를 통해 취득된 신호를 증폭 및 노이즈를 제거하여 전처리하였다. 전처리된 아날로그 신호는 PCMCIA 카드를 이용하여 A/D 변환(Analog-to-Digital Conversion)을 통해 디지털신호로 변환시켰으며, 변환된 신호는 다시 고압 모터의 상태를 진단하기 위해 3상 전압, 전류의 실효치, 소비전력, 공극 토크, 기계적인 이상유무를 분석하기 위해 주파수분석을 통해 각종 결함에 따른 특성주파수의 스펙트럼 등과 같은 진단 파라미터를 구하고 이 파라미터의 크기 및 추이를 분석하였다. 여기서, 데이터의 샘플링 주파수는 4950 Hz 이다. 또한 본 논문에서 제안된 시스템을 현장에 적용하였으며 적용하여 제안된 시스템의 설계 및 구현 결과에 대한 평가를 수행하였다.

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 고압 모터의 상태 감시 및 진단 시스템의 설계

가. 고압 모터의 상태 감시 및 진단 파라미터의 정의

고압 모터의 상태 감시 및 진단을 위해 사용되는 기본 파라미터는 고압 모터로 공급되는 전압 및 전류이고 이는 PT와 CT의 2차측 단자를 통해 취득되며, 취득된 데이터의 주기와 한주기당 샘플수는 각각 1초, 825 샘플이다. 모터의 상태를 평가하는데 있어 중요한 파라미터는 (1)에서 (9)와 같이 정의된다.

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N v_i^2} \tag{1}$$

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N i_k^2} \tag{2}$$

$$S = \bar{v}i = P + jQ \\ = \sqrt{3} V_{rms} I_{rms} \cos\theta + j \sqrt{3} V_{rms} I_{rms} \sin\theta \tag{3}$$

여기서, i와 k는 샘플의 수, N은 주기를 나타낸다.

$$T_{Air-gap} = \frac{P}{2\sqrt{3}} \left\{ (i_a - i_b) \int [V_{ca} - R_s(i_c - i_a)] dt - (i_c - i_a) \int [V_{ob} - R_s(i_a - i_b)] dt \right\} \tag{4}$$

여기서, P는 부하전력, V_{ca} , V_{ob} 는 AB, CA의 선간전압, i_a , i_b , i_c 는 A, B, C 상의 전류, R_s 는 고정자 권선 저항을 의미한다. 또한 모터의 기계적인 상태를 분석하는 데 있어 중요한 파라미터는 기계적인 이상을 나타낼 때의 특성주파수에 대한 크기를 분석하여 평가하는 것이다. 이 특성주파수에 대한 특성 주파수에 대한 정의는 아래와 같다.

$$\text{축편심(동적 상태)} f_{ccc-dym} = f_e \left[1 \pm k \left(\frac{2(1-S)}{P} \right) \right] \tag{5}$$

$$\text{회전자 불량} f_{rot} = f_e \left[k \left(\frac{2(1-S)}{P} \right) \pm S \right] \tag{6}$$

$$\text{고정자 불균형} f_{stator} = (1 - 2Sn) f_e \tag{7}$$

$$\text{전동기회전주파수} f_{rotor} = S n f_e \tag{8}$$

$$\text{베어링 결함} f_i = \frac{n}{2} f_e \left[1 + \frac{BD}{PD} \cos\beta \right] \tag{9}$$

여기서, f_e 는 공급전원의 주파수, P는 극수, S는 슬립, n은 동기속도이며, BD와 PD는 각각 베어링의 직경, 피치에 대한 직경을 의미한다.

나. 고압 모터의 상태 감시 및 진단 시스템의 구조

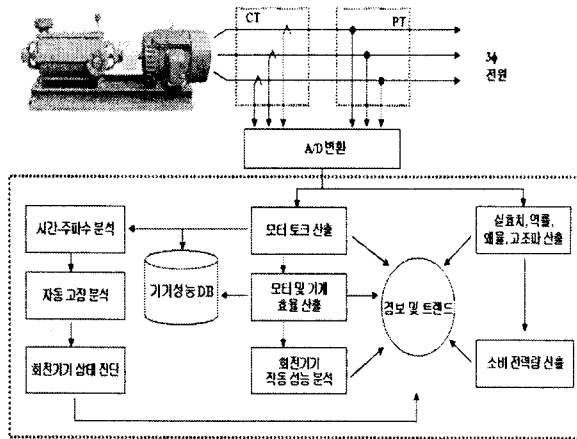
본 논문에서 제안된 고압 모터의 상태 감시 및 진단 시스템의 구조는 아래 그림과 같이 입력부, 고속 신호처리부, 감시 및 진단을 위한 파라미터 생성부, 상태 감시 및 진단부로 나누어 진다.

먼저 입력센서부는 PT와 CT의 2차측에서 전압과 전류를 센싱하며, 센싱되는 신호의 개수는 각각 3 채널이다. 고속 신호처리부는 센싱된 전압, 전류를 A/D 변환한다. 여기서 A/D 변환부의 스위칭 주파수 fs는 최대 100 kHz이며, 본 논문에서 사용된 샘플링 주파수는 4950 Hz이다. 그리고 상태 감시 및 진단을 위한 파라미터 생성부에서는 전절에서 정의한 (1)에서 (9)를 생성하며, 상태 감시 및 진단부에서는 모터의 상태를 자동 진단한다. 여기서 자동진단 기법은 if ~, then rule를 이용하였다.

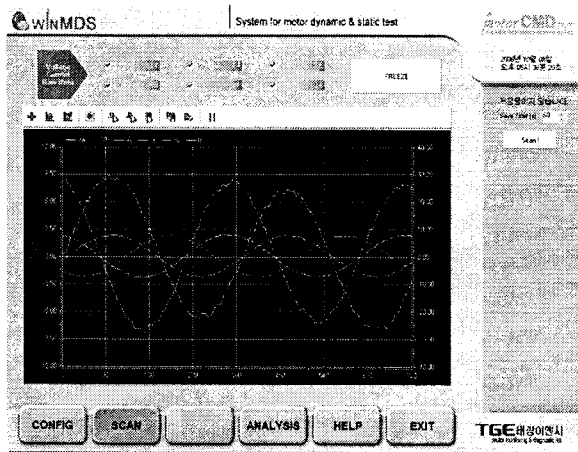
2.1.2 고압 모터의 상태 감시 및 진단 시스템의 구현

본 논문에서 개발한 고압 모터 상태 감시 및 진단용 시스템의

HMI(Human Machine Interface)는 <그림 2>와 같이 입력신호의 배출, 옵션, 배어링 정보, 설정치 입력 등 각종 자료를 입력하는 Config 모드와 신호를 취득하여 도시하는 Scan 모드, 감시 및 진단을 위한 Analysis 모드, Help(도움말)로 구성되어 구현하였다. 구현된 시스템은 윈도우 XP 기반의 Visual C++를 이용하여 제작하였다.



<그림 1> 고압 모터의 상태 감시 및 진단 시스템의 구조



<그림 2> 고압 모터 상태 감시 및 진단 시스템의 HMI

2.2 사례연구

본 절에서는 제안된 고압 모터 감시 및 진단용 시스템은 당진 화력 발전소의 진동에 의한 소음이 발생하는 것으로 예상되는 회(Ash)처리용 모터와 해수 인양펌프용 모터를 대상으로 평가하였다. 이들 모터의 데이터는 <표 1>과 같다. 현장에 설치된 고압모터에 공급되는 전압 전류 신호의 취득하여 모터의 상태를 진단한 결과, 회처리용 모터인 경우 전압 및 전류, 사용 전력의 크기는 각각 6671kV, 9.7 A, 93.3 kW로 나타나 IEEE std. 519. 1992[6] 및 NEMA(National Electrical Manufacturers Association)[7]에서 제안하는 기준에 만족하고 고조파 분석 결과에서도 전원 주파수 성분만 나타나 모터의 상태가 양호함을 판단할 수 있었다. <그림 3>은 회(Ash)처리용 모터의 A상 전류의 고조파 분석 파형이다.

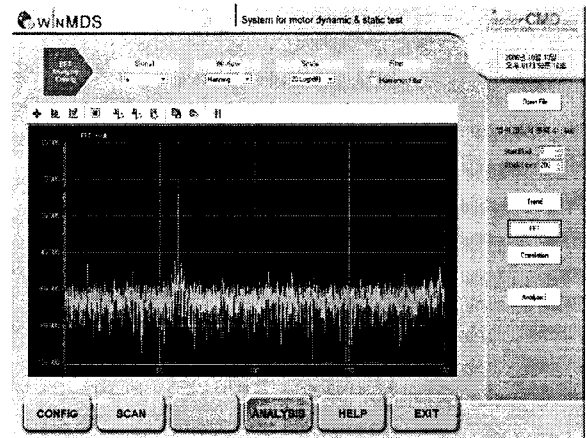
<표 1> 모델 고압 모터 정격

구분	회처리용모터	해수인양펌프	비고
정격출력	300KW	1200KW	
정격전압	6.6 KV	6.6 KV	
정격전류	31 A	132 A	
회 전 수	176 rpm	394 rpm	
토 크	398.1 N/m	21,432 N/m	
P T 비	6,900/120 V	7,200/120 V	
C T 비	100/5A	250/5A	

3. 결 론

본 논문에서는 기존에 개발된 고압 모터 진단 기법을 종합하여 현장에 설치되어 운전중인 모터의 상태를 효율적으로 감시 및 진단할 수 있는 시스템을 설계 및 구현에 대해 기술하였다. 고압 모터의 상태를 진단하기 위해 모터에 공급되는 3상 전압, 전류 신호를 PT, CT를 통해 취득하고 앰프

및 저역통과필터, A/D 변환를 통해 취득된 신호를 모터 상태 감시 및 진단 시스템의 입력으로 사용하였다. 고압 모터의 상태를 진단하기 위해 전압, 전류의 실효치, 소비전력, 공극 토크, 특성주파수를 통해 진단 파라미터를 계산하고 계산된 파라미터를 이용하여 모터의 상태를 if ~, then rule를 이용하여 자동 진단하였다. 본 논문에서 제안된 시스템을 당진 화력 발전소의 회(Ash)처리용 모터와 해수 인양펌프용 모터를 대상으로 테스트하였다. 테스트 결과 보다 현장에 적합하고 유용한 모터 감시 시스템을 확인하였다.



<그림 3> 회처리용 고압모터의 공급전류 주파수 분석 결과

감사의 글

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

[참 고 문 헌]

- [1] Mohamed El Hachemi Benbouzid, Gerald B. Kliman, "What stator current processing-based technique to use for induction motor or faults diagnosis?," IEEE TRANSACTIONS ON ENERGY CONVERSION, VOL. 18, NO. 2, Page(s):238 - 244, JUNE 2003,
- [2] R.R.Schoen, T.G.Habetler, "Effects of time-varying loads on rotor fault detection in induction machines", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 31, Issue 4, Page(s):900 - 906, July-Aug. 1995
- [3] Jae-Cheon Jung, Poong-Hyun Seong, "Error analysis in improved motor control center method for steam thrust estimation of motor-operated valves in nuclear power plants", IEEE Transactions on Nuclear Science, Volume 50, Issue 3, Part 4, Page(s):735 - 740, June 2003
- [4] G. B. Kliman, J. Stein, " Methods of Motor Current Signature Analysis", Electric Machines and Power Systems, 20:463-474, 1992
- [5] 한국전력공사, "고압회전기 운전중 진단 기술", 한국전력공사 전력연구원, 191-260, 2006. 8.
- [6] IEEE Standard 519-1992, "IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems", April 1993.
- [7] NEMA Standards Publication MG 1-2006, "Motors and Generators", 2006.