

발전소 입형펌프 전동기의 전류/진동신호 특성 분석

Analysis of Current/Vibration Characteristics for Vertical Pump Induction Motors in Power Plant

김연환 · 이두영** · 구재량** · 배용채** · 이현**

Yeon-Whan Kim, Doo-Young Lee, Jea-Rayng Gu, Yong-Chae Bae, Hyun Lee

Key Words : Amplitude Modulation, Current Signature, Rotor Bar, Eccentricity, Induction Motor

ABSTRACT

The diagnosis of mechanical load and of power transmission system failures is usually carried out through mechanical signals such as vibration signals, acoustic emissions, motor speed envelope. If the mechanical load comes from an electrical machine the mechanical failures could be detected previously. Mechanical rotor imbalances and rotor eccentricities are reflected in electric, electromagnetic and mechanical quantities. Therefore, many surveillance schemes apply to the Fourier spectrum of a line current in order to monitor the motor condition. Due to the interaction of the currents and voltages, both these current harmonics are also reflected by a single harmonic component in the frequency spectrum of the electric power. Motor Current Signature Analysis is the useful technique to assess machine electrical condition.

1. 서 론

회전기계에 대한 설비의 상태감시 및 진단방법은 여러 가지가 있으나 대표적으로 사용되는 베어링의 결함, 기초의 불량, 로터의 불 평형 등에 의해 발생되는 열적손실과 진동 신호를 기본요소로 하여 전전성 여부를 진단할 수 있고 부가적으로 압력 및 온도 등의 변화상태도 온라인으로 분석함으로써 시스템의 신뢰성을 제고해 나가고 있다. 그러나 정상 운전조건중 접근하기 어려운 원자로 건물 내의 전동기와 같은 회전체의 경우 센서 또는 감시설비에 이상이 발생될 때 시스템의 이상 유무를 판단하기 어려운 것이 현실이다. 한편, 회전체를 구동하는 전동기의 전기신호를 분석하여 시스템 현상을 감시하고 진단하는 기술을 "EMPATH", "PdMA", "BAKER"등의 전기적 전전성 진단 장비에서 적용하고 있다. 원자로 내 설치된 전동기 구동밸브의 결함을 알아내는 연구를 1980년대 초 미국 "Oak Ridge National Labs"에서 수행하였으며 그 결과 전류신호가 전동기의 결함뿐 아니라 시스템 상태가 전동기의 부하에 의하여 변조되는 현상을 발견하였다. 전동기 전류분석은 원격 제어실에서 전류 및 전압 신호를 측정하여 시스템의 부하 특성을 찾아내는 방법이다.

기존의 진동 상태감시 시스템의 단점을 보완하는 측면에서 유도전동기 전류의 상태감시 기술을 접목하는 연구가 유용한 기술로 판단된다. 본 전류신호특성 분석의 장점은 전동기의 결함뿐만 아니라 시스템 전체의 동적 결합특성이 변조되어 있어 진동 상태감시와 유사한 정보를 얻을 수 있다.

본 논문은 700MW급 발전소의 해수 재순환용 볼 베어링 형 입형펌프 전동기의 이상 진동 현상 및 1000MW급 발전소의 저널 베어링형 복수 입형펌프 전동기에서 나타나는 고소음 현상과 관련하여 진동신호와 함께 전류신호 분석에서 나타나는 변조특성을 고찰한다.

2. 대형 유도전동기의 고장 현황

펌프, 송풍기, 압축기 등을 구동시키는 유도 전동기에서 발생하는 사고 원인에 대하여 IEEE 및 EPRI에서 조사한 내용을 종합해 보면 표 1과 같이 베어링, 고정자, 회전자 순으로 사고가 많이 발생하고 있다. 베어링의 사고원인별로 구성비를 살펴보면 과열 20%, 기계적 결함 70%, 전기적 결함이 5% 정도 차지하며, 고정자 권선 사고의 경우는 과열이 30%, 절연물 결함 45%, 기계적 결함 15%, 전기적 결함이 10% 정도로 구성되고 있다. 따라서 전동기 사고 원인 분석 및 진단을 위해서는 베어링의 진동과 고정자 권선을 분석할 수 있는 기법을 이용하면 가능하다. 고정자 권선의 고장 진단은 두 가지로 크게 구분된다. 첫 번째는 과거부터 수행해 오고 있는 메가 시험, 성극 시험, 고전압 시험, 서지 시험 등

* 한전 전력연구원
E-mail : ywkim@kepri.re.kr
Tel : (042) 855-5426, Fax : (042) 855-5444

** 한전 전력연구원

이 있으며 이 들은 정지 시 off-line으로 전기적인 측면에서 시험하는 것이다. 두 번째는 설비의 신뢰성 향상과 비용을 절감하기 위한 노력으로 최근에는 온 라인으로 전동기 상태를 분석할 수 있는 기법으로 부분 방전과 전류, 전압, 속도 등을 이용한 기술이 개발되고 있다.

표 1. 전동기 부위별 사고율 (단위: %)

| 조사기관 | 베어링 | 고정자 | 회전자 | 기타 |
|------|-----|-----|-----|----|
| IEEE | 44 | 26 | 8 | 22 |
| EPRI | 41 | 36 | 9 | 14 |

3. 전동기의 전류신호에 나타나는 변조특성

3.1 전류신호에 의한 진폭변조

유도전동기에 결함이 있는 경우 부하전류에 변화가 생기므로 전원주파수가 반송파역할을 하여 결합특성이 신호파형태로 변조된다. 유도전동기의 경우 로터를 구동할 때 변압기와 같은 원리로 1차 측의 부하신호가 2차 측에서 그림 1과 같이 진폭 변조되어 전류신호에 변동특성이 나타나게 된다. 그림 1에서 f_c 는 전원주파수이다. 발전소에서 대형 유동전동기는 펌프, 펜, 압축기 등의 기계류에 광범위하게 적용되고 있다. 부하가 증가하면 전동기는 약간 느려지면서 전류는 증가한다. 부하가 변하면 전동기 전류가 변한다. 회전기계의 불평형, 축정렬 불량, 왕복동 요소 등에 의하여 유발되는 기계진동은 전동기의 부하에 변동을 일으키므로 전류의 변동특성을 측정하는 방법은 기계의 상태진단을 위하여 매우 유용하다. 따라서 감도가 좋은 장비를 통하여 전원에 실려 있는 작은 부하변동의 변조 특성을 분석함으로서 전동기의 상태를 감시 할 수 있다.

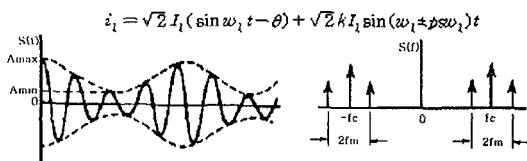


그림 1. 진폭변조의 원리

3.2 로터 바 결합의 전류변조특성

전동신호로 감지되는 경우는 로터의 회전주파수에 극통과 주파수가 변조되어 양측에 축대파로 나타나는 반면 전기신호에서는 로터에 결함이 있는 경우 식(2)과 같이 전동기의 극통과 주파수(F_p , 식(1) 참조)가 전원 주파수의 양쪽에 축대파로 변조되어 나타난다.

$$F_p = p \times f_s \quad (1)$$

$$F_{rb} = F_E \pm F_p \quad (2)$$

여기서, F_{rb} 는 로터 바의 결함주파수, F_E 는 전원주파수($= f_c$),

f_s 는 슬립주파수, p 는극수를 의미한다. 2극전동기의 경우에는 이들 축대파는 f_s 의 2배 주파수가 되며 4극 전동기의 경우, f_s 의 4배 주파수가 된다. 전동기 로터 바의 전전성 평가는 전원주파수와 극통과 주파수가 변조된 축대파 사이의 dB 레벨차로 정의할 수 있으며 볼베어링 전동기를 대상으로 정해진 기준은 표 2와 같이 7단계로 분류하고 있다. 문헌에서 경험적으로 적용하는 기준은 전원주파수의 크기와 극통과 주파수의 크기 사이에 표 2에 근거하여 60dB 이상이 차이가 있으면 로터 바는 극히 건전한 것으로 평가한다. 표 2는 소형 볼베어링 전동기에 대한 실험결과로서 대형 유도전동기에 적합한지는 검증되어 있지 않다.

표 2. 전동기 로터 바의 상태 기준표

| 단계 | 기준 | 로터 상태 | 권고사항 |
|----|---------|---------------------|----------|
| 1 | >60dB | 매우 앙호 | 정상운전 |
| 2 | 54-60dB | 양호 | 정상운전 |
| 3 | 48-54dB | 정상 | 추이 감시 |
| 4 | 42-48dB | 로터 바에 이상증상 발생 | 지속 추이 감시 |
| 5 | 36-42dB | 로터 바중 2개 이상 크랙의심 | 원인규명 |
| 6 | 30-36dB | 수개의 크랙의심 | 정비 |
| 7 | <30dB | 매우 심각 | 교체 |

3.3 고정자 및 로터의 편심현상에 의한 변조특성

로터에는 그림 2와 같이 정적편심, 동적편심 등 두 가지 형태로 편심이 나타난다. 전자는 그림 2(a)와 같이 고정자 중심에 대해서는 편심이 존재 하지만 로터 축면에서는 편심 없이 회전하는 경우를 의미하며 후자는 그림 2(b)와 같이 고정자 중심에 대해서는 편심이 없으나 회전 중심에서는 편심이 존재하는 경우를 의미한다.

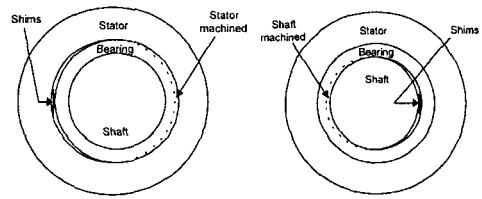


그림 2. 로터 편심의 종류

정적 편심에서는 공극의 변화가 없고 일정한 반면 동적 편심에서는 로터의 위치에 따라 달라진다. 정적편심은 타원형 고정자 철심에 의해 나타나거나, 설치단계에서 로터 또는 고정자의 부정확한 위치로부터 원인이 될 수 있다. 로터 축조립이 충분히 견고한 경우 편심이 크게 문제가 되지 않는다. 반면 동적편심은 로터의 중심이 회전중심에서 이탈되어 있어 최소 공극이 로터와 함께 회전하는 경우에 나타난다. 따라서 동적편심으로 인해 로터의 힘, 기계적 공진, 베어링

손상이 발생될 수 있다. 동적편심이 증가하면 로터에 과도한 불 평형 자력(UMP: unbalanced magnetic pull)을 발생시켜 회전자와 고정자 사이의 마찰 위험이 증가하므로 공극편심의 상태감사는 중요하다. 유동전동기에서 편심을 감지하는 많은 논문에서 편심 결합이 있는 경우 특정 주파수에 영향을 주는 것으로 기술하고 있다. 이 주파수는 다음의 식과 같이 구해질 수 있다.

$$F_{sh} = F_E \left\{ (Rn_{rt} \pm n_d) \frac{2(1-s)}{P} \pm n_{ws} \right\} \quad (3)$$

$$= f_r R \pm n_{ws} F_E \pm n_d f_r$$

여기서 F_E 는 편심주파수, R 는 로터 바 개수, n_{rt} 는 임의정수(보통 1), n_d 는 편심정수($1, 2, 3, \dots$), s 는 슬립, P 는 극수, n_{ws} 는 고정자 하모닉 차수($\pm 1, \pm 3, \pm 5, \pm 7, \dots$), f_r 은 로터의 회전수(rps)를 의미한다. n_d 이 적정한 상수를 가지는 경우 동적 편심주파수를 나타내며, “0”을 가지면 정적편심 주파수로 진단한다. 단, 영구자석용 동기기계에서는 로터 슬롯이 없으므로 식(3)을 적용할 수 없다. 일반적으로 진동신호에서는 전원주파수의 2배 주파수에서 높은 진동이 발생하며 극통과주파수 만큼 떨어져 측대파가 존재한다. 진동신호에서 2배 전원 주파수 진동 값이 1.3mm/s, rms 를 초과할 경우 경향분석을 실시할 것을 추천하고 있다.

3.4 베어링 결합 특성의 전류신호 변조

유도전동기에서 베어링 문제를 진단하기 위하여 전류 감시기술이 국내에서도 최근 연구대상이 되어왔다. 구름베어링에서 결합이 존재할 때 전류 스펙트럼(FFT)에서 변화가 나타난다. 베어링 결합은 공극의 동적편심과 유사하게 공극 자속밀도에 불 균일을 주어 고정자 전류에 변화를 준다. 베어링 결합은 크게 두 가지 범주로 나눌 수 있다. 베어링에 명확히 눈으로 구분되는 결합의 경우를 문헌에서는 “single-point 결합”과 눈으로는 구분할 수 없으나 불의 형상 불량, 레이스가 변형되어 있는 경우와 같은 불량 특성 등에 의하여 FFT에서 넓은 주파수에서 증가 현상이 나타나는 결합으로 분류한다. 일반적으로 전자의 경우는 잘 알려져 있으며 눈으로 보이는 결합위치에 따라 4가지 형태의 결합 주파수의 조화파 주파수가 나타난다. 결합위치는 내륜, 외륜, 불 또는 롤러, 케이지 또는 트레인 등으로 분류된다. 내륜 결합주파수는 “BPFI(ball pass frequency of inner race)”, 외륜은 “BPFO (ball pass frequency of outer race)”, 불 결합주파수는 “BSF(ball spin frequency)” 그리고 케이지 결합주파수는 “FTF(fundamental train frequency)”로 정의하며 그림 3과 같이 표현할 수 있다. 내륜이 회전하고 외륜이 정지된 경우에 4가지 주파수에 대한 계산공식은 다음과 같다.

$$FTF = \frac{f_r}{2} \left[1 - \frac{B_d}{P_d} \cos \phi \right] \quad (4)$$

$$BSF = \frac{P_d}{2B_d} (f_r) \left[1 - \left(\frac{B_d}{P_d} \right)^2 \cos^2 \phi \right] \quad (5)$$

$$BPFO = N (e \times FTF) \quad (6)$$

$$BPFI = N (f_r - FTF) \quad (7)$$

여기서 f_r 은 내륜의 회전수(rps), B_d 는 불지름, P_d 는 베어링 피치지름, N 은 불의 수 e 는 구름운동 및 미끄러짐의 정도로서 0.96~0.98을 적용하며 ϕ 는 접촉각을 의미한다.

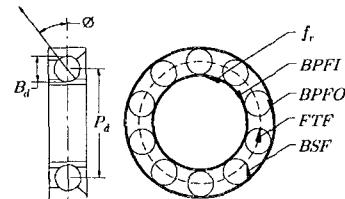


그림 3. 베어링 형상 및 특성 결합 주파수 발생위치

식(4) ~ (7)는 f_r 의 함수이므로 f_r 에 의하여 정규화시킬 수 있다. 특성결합 주파수는 회전기계가 운전시 발생되는 진동의 결과로서 고정자 전류에 직접적인 영향으로 나타나지는 않는다. 단, 고정자와 회전자의 상대운동에 의한 공극의 변화 및 로터의 편심은 고정자 전류에 그 영향을 준다. 만약 베어링에 결합이 발생된다면 그 특성이 전류에 다음 식과 같이 변조된다.

$$F_{BNG} = |F_E \pm m \times F_V| \quad (8)$$

이 식에서 F_{BNG} 는 고정자 전류에 나타나는 결합주파수를 의미하며 F_E 는 전원주파수, m 은 $1, 2, 3, \dots$ 등의 정수, F_V 는 식(4) ~ (7) 중의 한 특성주파수를 나타낸다. 식(8)의 의미는 베어링 결합이 발생하는 경우 전원주파수를 중심으로 측대파가 나타남을 의미한다. 즉, 베어링 결합성분은 전류스펙트럼에서 베어링주파수의 정수배와 전원주파수의 \pm 성분으로 나타나 결합진단에 이용할 수 있다. 단, 외륜 결합의 경우는 진동신호와 유사한 결과를 얻을 수 있으나 진동 신호에서는 내륜 결합이 명확히 나타나는 반면 전류신호에서는 구분하기 어렵고 마치 베어링에서 변형이 있는 특성처럼 나타나는 경향이 있다.

4. 유도전동기의 전류신호 측정 원리

전동기의 전기신호는 그림 4와 같이 전동기 제어반의 공급측 각 상에 “CT(current transformer)”를 설치하여 측정한다. 전류는 실효치로 처리되고 고감도의 신호를 추출하기 위하여 실효치로 복조하는 과정이 필요하다. 신호는 시간영역 및 주파수영역으로 나타내어 부하의 특성 및 전동기의 상태를 결정하는 정보를 얻게 된다. 측정시 고려되어야 하는 중요점은 전원주파수에 대하여 주요 정보가 되는 주파수 성분이 묻혀지지 않도록 해야 한다. 전동기 전류분석 기법은 기본적으로 전동기 자체에 대한 중요한 정보를 제공한다. 로터 바 결합, 결합부에 고 저항 발생 등의 로터 결합이 발생하면 하모닉 전자속에 의하여 고정자에 유도 전류가 발생한다. 이 유도전류는 60Hz근처에서 슬립 측대파 진폭의 증가 원인이 된다. 전기신호분석 시스템은 센서로부터 입력되는

전기신호를 A/D 보드를 통하여 각 채널에서 아날로그 신호를 디지털신호로 변환한다. 본 논문에서는 주파수 분해능이 1,600라인인 경우와 16,385라인인 주파수분석장치를 통하여 전류를 분석하고 변조특성을 한다.

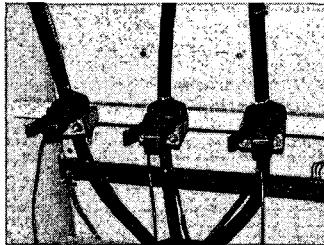


그림 4. 전동기 제어반에서의 전류신호측정

5. 발전소의 현장 시험

5.1 해수냉각수 공급펌프 전동기에서의 결과

그림 5는 발전소 해수재순환용 입형펌프 전동기이다. 펌프는 지하 3층에 설치되어 있고 전동기는 지상에 설치된 구조이며 정격 회전수는 594rpm, 고정자 슬롯(Slots)은 108개, 로터 바는 132개, Pole수는 12개인 전동기이며, 상부베어링 형식은 7328B이고 하부베어링은 NU234이다. 전류측정은 그림 4와 같이 제어실의 단자함에서 운전 중 전류 신호를 분해능이 1600라인인 DI2200 주파수 분석기를 통하여 측정하였다.



그림 5. 700MW급 발전소의 해수 재순환용 입형펌프 전동기

(1) 로터 바 특성

그림 5는 대상 전동기의 로터 바 건전성을 평가할 때 적용되는 스펙트럼이다. 로터 바에 결함이 존재하는 경우 전원 주파수(60Hz)를 중심으로 \pm 극통과 주파수의 측대파가 나타난다. 측대파는 그림 5와 같이 60Hz에 근접해 있어 분해능이 좋은 분석기를 사용해야 한다. 로터 바에 결함이 심하면 측대파의 크기가 커지므로 로터의 결함을 쉽게 찾을 수 있다. 본 스펙트럼의 측대파를 사용하여 다음식과 같이 슬립주파수를 구할 수 있다.

$$f_s = \frac{F_E - 59 \text{ (sideband)}}{p} = 5 \text{ rpm} \quad (9)$$

그림 6(a)의 경우 왼쪽 측대파 59Hz, 오른쪽 측대파 61Hz의 레벨이 60Hz 진폭크기와 레벨차이가 63dB이상으로 로터

에 결함이 없는 상태임을 보여준다. 실제 값은 6rpm이나 분석기기의 분해능이 1600라인이어서 식(9)에서는 1rpm의 오차를 나타내었다. 즉 전류신호분석에서 중요시되는 것은 충분한 분해능이 요구된다.

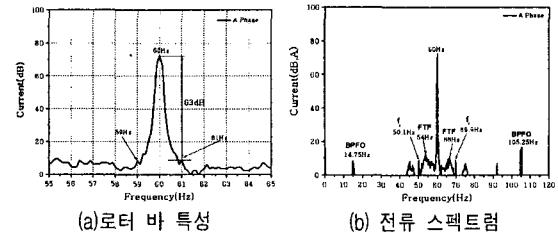


그림 6. 전동기 고정자 전류 스펙트럼 분석

(2) 변조된 베어링 특성

그림 6(b)는 대상 전동기의 특성신호가 전류신호에 변조되어 나타난 결과를 보여준다. 대상펌프는 정상 펌프임에도 불구하고 정상운전조건에서 외륜관련 FTF 및 BPFO 등의 정보와 회전수($f_r = 9.9\text{Hz}$)의 정보가 전류 스펙트럼에서 분석되었다. 여기서 식(8)의 m 은 1이다. 반면 내륜관련 정보는 여러 연구문헌에서 나타나 있는 것처럼 분명한 주파수 특성으로는 나타나지 않았다. 베어링이 손상된 상태가 아니므로 BPFO는 하모닉 성분으로 나타나지는 않았다. 손상된 경우 스펙트럼에서 120Hz의 간격을 갖는 주파수 쌍이 나타난다. 중심주파수를 회전주파수를 나눌 때 정수배가 되지 않는 특성을 나타낸다. 표 3은 대상 전동기에 설치된 베어링의 제원에 따른 발생가능 주파수를 계산한 결과이다.

표 3. 전동기의 베어링의 구성과 가능 주파수

| 구 분 | 7328B | NU234 |
|---------------|---------|---------|
| N | 12 | 18 |
| B_d (mm) | 47.625 | 31.979 |
| P_d (mm) | 220.116 | 239.979 |
| \emptyset | 30 | 0 |
| BPFO (Hz) | 48.27 | 77.23 |
| BPFI (Hz) | 70.53 | 100.97 |
| BSF (Hz) | 22.075 | 36.48 |
| 외륜관련 FTF (Hz) | 5.878 | 5.61 |
| 내륜관련 FTF (Hz) | 4.022 | 4.29 |

(3) 고주파수 영역에서의 전류 스펙트럼

그림 7의 스펙트럼은 발전소 현장에서는 정상적으로 운전되는 경우임에도 불구하고 로터 편심이 나타나고 있다. 대형 전동기의 로터의 바의 수는 제작자에 의하여 제공되나 정밀형 소형 전동기의 경우는 대외비로서 알 수 없다. 이런 경우에는 스펙트럼상의 성분을 분석하고 로터 바의 수를 추정하거나 정지시 분해 조립시 개수를 확인할 수 밖에 없다. 표 4는 전동기 로터의 정적편심에 의하여 발생되는 조화파를 정리한 것으로 본 전동기는 태생적으로 정적편심을 일정량 갖

고 있음을 알 수 있다. 고정자 권선에 대한 특성을 나타내는 전류 스펙트럼은 그림 7의 결과를 통해 중심주파수를 구하여 전동기 고정자의 중심주파수를 결정하여 회전수의 측대파 여부를 확인한다. 고정자의 슬롯 개수는 식(10)에서 구한 중심주파수를 사용하여 식(11)과 같이 얻을 수 있으며 이 수치들은 분해점검을 통하여 확인한 결과와 잘 일치한다. 중심주파수 1,070Hz 중심으로 특징적인 회전수의 측대파는 나타나지 않았다. 즉 기계적인 측면에서 대상전동기는 전전한 상태로 판단할 수 있다.

$$\text{Center Frequency} = 1,010 + 1,130 = 1,070 \text{Hz} \quad (10)$$

$$\text{Stator slot No} = \frac{\text{Center Frequency}}{f_r} = \frac{1,070}{9.9} = 108 \text{ea} \quad (11)$$

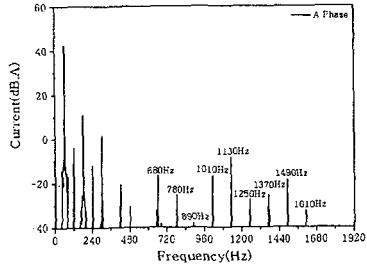


그림 7. 편심을 갖는 전동기의 전류 스펙트럼

표 4. 전동기 로터의 정적편심에 의하여 발생되는 조화파

| n_{ws} | 실험식 주파수(Hz) | 측정 주파수(Hz) | 진폭(dB) |
|----------|-------------|------------|--------|
| -7 | 886.8 | - | - |
| -5 | 1006.8 | 1010 | -16.7 |
| -3 | 1126.8 | 1130 | -8.3 |
| -1 | 1246.8 | 1250 | -27.4 |
| 1 | 1366.8 | 1370 | -25.2 |
| 3 | 1486.8 | 1490 | -18.7 |
| 5 | 1606.8 | 1610 | -32.2 |
| 7 | 1726.8 | - | - |

5.2 저널형 입형복수펌프 전동기의 전류변조특성
그림 8의 전동기는 웨스팅하우스의 "VVCSM" 모델로서 정격전압 1.32kV, 정격전류 114A, 정격회전수가 1,188rpm이고, 상부베어링이 "Kinsbury Type(kV10.5)", 하부는 "8.00 Split sleeve"인 저널 베어링으로 지지하는 6극 농형 유도전동기로서 15년 이상 가동된 상태이다.

전류측정은 그림 4와 같이 제어룸의 단자함에서 운전중 전류 신호를 LMS Test Lab 주파수 분석기를 통하여 16,385라인의 분해능으로 분석하였다. 그림 9는 고정자 권선을 보수 후 1000MW급 발전소에서 운전 중인 복수펌프 전동기로서 동일 타 전동기에 비하여 진동속도가 좋아진 반면 파거에 나타나지 않은 이상소음 특성이 증가하였다.

(1) 로터 바 특성

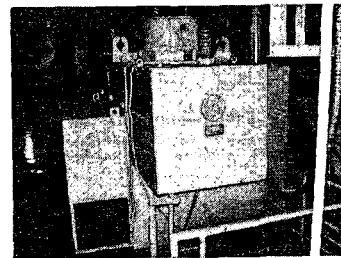
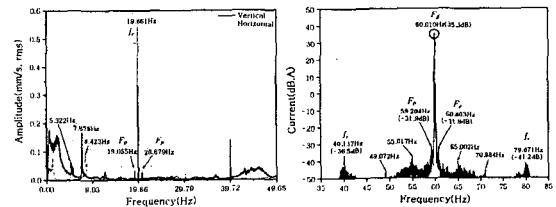


그림 8. 1000MW급 발전소의 저널형 복수펌프 전동기의 모습

그림 9(a)은 그림 9의 전동기 상부에서 측정한 진동속도 스펙트럼으로서 $1X(f_r)$ 성분이 19.861Hz이고 0.55mm/s, rms 이었으나 $1X$ 주위에 0.806~0.818Hz의 극통과 주파수가 변조되어 상하 측대파로 나타났다. 전동주파수에서 나타나는 극통과 주파수는 로터의 이상 징후와 연관된 특성으로 알려져 있다. 그림 9(b)은 그림 4(b)와 같은 방법으로 측정한 저주파수영역에서의 전류스펙트럼이다. 전원주파수인 60.01Hz 가 전송파의 역할을 하여 극통과 주파수인 F_p 가 상하 측대파가로 나타났으며 극통과 주파수가 0.800~0.806Hz로서 그림 9(a)의 진동에서 나타난 결과와 비슷한 결과를 나타내어 전동기 종래에 사용되어온 진동측정기술과 더불어 대형 입형 농형 유도전동기의 상태 진단에 적용할 수 있는 측정기술임을 알 수 있다. 단, 고소음을 나타내는 복수펌프 전동기의 전류 스펙트럼은 15년 이상 운전되었고 고소음 및 진동에서 극통과 주파수가 보였음에도 불구하고 전원주파수와 측대파의 레벨변차가 60dB 이상으로서 표 2의 로터 바 상태 기준은 대형 전동기 특히 저널형 유도전동기에 대해서는 기준을 재평가 할 필요가 있는 것으로 나타났다.



(a) 펌프 진동 (b) 전류 변조신호 특성
그림 9. 저널형 대형 전동기의 로터 바 특성 변조

(2) 고주파수 영역에서의 전류 스펙트럼

그림 10(a)은 대상 전동기의 소음 스펙트럼으로서 1,490Hz 및 측대파가 전체소음 레벨을 주도하였으며 1,490Hz는 90dBA를 초과하였고 2배 고조파 성분인 2,980Hz의 크기와 120Hz의 측대파들이 많이 나타나 전체소음레벨이 96.8dBA로서 정상전동기보다 4dBA정도 크게 나타났다. 그림 10(b) 및 10(c)는 전동기 상부 진동가속도의 파형과 주파수 분포를 나타낸다. 소음스펙트럼의 결과와 유사하게 로터 바의 통과 주파수(RBPF=Rotor Bar Pass Frequency)로 추정되는 1,490Hz에 대하여 120Hz간격의 진동성분들이 1kHz인

후에 나타났고 그 성분들사이에 회전수에 해당하는 측대파가 나타났다. 따라서, RBPF는 로터와 고정자사이의 공극(Air Gap)에 의하여 나타나는 현상으로서 고 소음현상의 주원인은 RBPF진동성분이 증가하여 정상전동기에 비하여 10배 이상 큰 진폭과 연관이 있는 것으로 규명할 수 있다. 그림 10(d)은 전류신호에 부하로 작동하여 변조되어 RBPF등의 진동특성이 그림 10(a) 및 그림10(c)에서처럼 나타나는 것을 보여준다. 분석결과를 통하여 전동기 고정자 슬롯수의 수는 62개이고 로터 수는 75개로 로터 바통과 중심주파수에서 양쪽으로 60Hz 및 180Hz 이격된 주파수 근처에 좌우로 회전주파수의 측대파가 나타나 전형적인 동적편심이 존재하는 것으로 진단할 수 있다. 이는 저널베어링의 형태가 정중앙을 회전치 못하고 일정한 편심을 가지고 회전함에 따라 나타나는 현상이다. 즉 로터 회전체의 공극변화, 또는 느슨해짐 등과 관련된 징후가 발생한 것으로 추정할 수 있으며 심한 경우는 크랙, 절연손상 등의 초기 징후로도 생각할 수 있다.

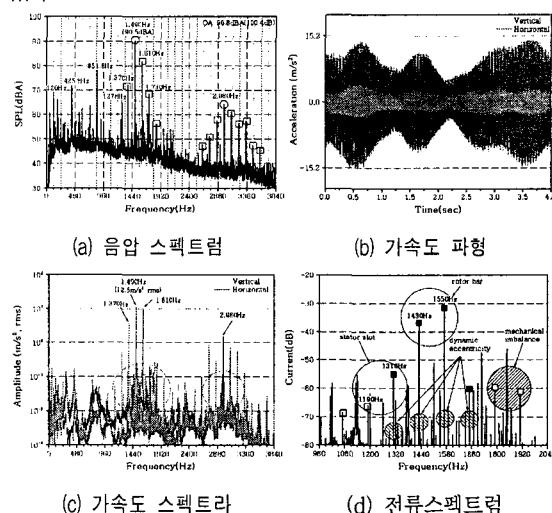


그림 10. 저널형 대형 전동기의 동적편심 특성 변조현상

5. 결론

본 연구에서는 최근 유도전동기의 결합진단에 적용해온 진동신호 분석기술을 대체 또는 보완하는 기술로서 전류신호 분석기술을 기준의 주파수 분석기술에 분석능 및 변조특성을 접목하여 대용량 발전소의 입형펌프 전동기의 시스템 결합진단에 전류신호 분석기술을 적용하였다.

(1) 로터 바의 열화, 편심, 베어링특성 등이 전류신호에 변조되어 전체시스템의 중요 정보로서 또는 진전성의 기준으로 유용한 결과를 나타낸다.

(2) 전원주파수의 측대파분석을 통하여 변조된 극통과주파수를 진단할 수 있으며 로터 바의 열화상태를 추정할 수 있는 유용한 결과를 얻을 수 있다. 단, 기준에 제시된 판정기준은 대용량 입형 유도전동기에 대하여 기준으로 충분치 못한 측면이 있다.

(3) 기준의 논문이 대부분 소형 볼 베어링 전동기에 초점을 맞추고 있어 대형 저널 베어링 전동기를 위한 상태감시 및 진단을 위한 기준은 정립되어 있지 않은 상태이다.

- 볼 베어링 형의 경우 주로 정적편심이 나타났으며 저널 형 전동기의 경우는 대부분 동적편심 현상이 발생하고 있는 것으로 분석되었다.

(4) 이상 장후로서 제시된 전동기의 고 소음현상은 정상적인 전동기와 유사한 RBPF에서 나타났으며 전류신호에서도 그특성을 확인할 수 있었으나 전류분석기술 단독으로 이상 정도를 규정하기에 충분치 못한 면이 있으나 원자로와 같이 접근하기 어렵고 기준 데이터가 확보된 경우에는 의미가 충분하여 전류신호 분석기술은 전동기 진동상태감시 등을 위한 적용기술이 될 수 있다.

후기

본 논문은 2002년도 산업자원부의 전력기금지원연구인 “발전소용 온라인 회전기기 상태감시 및 진단시스템 국산화 개발” 과제의 수행결과이다.

참고문헌

- (1) 전력연구원, 2004, “발전소용 온라인 회전기기 상태감시 및 진단시스템 국산화 개발-2차년도 중간보고서”, R-2002-0-269-0-00.
- (2) 정병훈, 2002, “전류신호를 이용한 유도전동기의 회전자봉 결합검출에 관한연구”, 한국소음진동공학회논문집 제12권 제4호, pp287-293.
- (3) W. Thomson, On-line current monitoring to diagnose shaft misalignment in three-phase induction motor drive systems,” Conference Proceedings of the International Conference of Electrical Machines, ICEM, pp.238-243, 1994
- (4) G.P. Kliman and J. Stein, “Methods of motor current signature analysis,” Electric Machines and Power Systems, vol. 20, no. 5, pp. 463-474, 1992.