

전동기 전류분석을 통한 회전자회로 고장진단에 관한연구

이영수*, 이간운, 김현수
한전기공(주) 원자력 기술연수원

A study on the diagnosis of rotor faults through the current analysis

Y.S. Lee, J.L. Kwon, K.J. Lee, H.S. Kim

Abstract - Faults in induction motors can be categorized into mechanical faults and electrical faults, and most mechanical faults result from inferiority or damage of the bearing, while most electrical faults derive from insulation faults of stator windings and rotor bar cracks. When a crack appears on the rotor bar, its efficiency decreases, which increases energy consumption and temperature, reducing the life span of the motor. This kind of fault can only be sensed by the protection relay after the condition has worsened to a certain degree, bringing massive economic loss. This paper will deal with the diagnosis method of rotor bar faults through the load current analysis method of the motor used during operation.

1. 서 론

전동기의 고장을 분류하면 기계적 고장과 전기적 고장으로 나눌 수 있고 기계적 고장의 대부분은 베어링의 불량이나 파손이며 전기적 고장은 고정자 권선의 절연불량과 회전자 바 크랙이 대부분이다. 기술발전에 따라 고정자 권선의 절연불량에 의한 고장은 절연재료의 성능향상과 정비기법 개선 등으로 줄어드는데 비해 회전자 권선의 고장은 변함이 없다. 회전자 권선의 고장원인은 기동,정지가 잦거나 기동시간이 긴 전동기에서 열팽창 및 수축에 의한 열응력으로 인해 회전자 바와 엔드링 부위에 크랙이 발생하는 것이 대부분이며 용접부의 브레이징 작업 잘못이나 설계시 회전자 바의 선정 잘못이 원인이 된다.

회전자 바에 크랙이 발생하면 회전자 회로가 불평형이 되어 역상토크가 발생하므로써 효율이 낮아져 에너지 소모가 크며 온도가 상승하여 전동기 수명을 단축시킨다. 이러한 고장은 상태가 상당히 진전 되어 심각한 상태가 되어야 보호계전기가 감지되는 경우가 많아 이때는 크나큰 경제적 손실을 초래할 수 있다.[1]

따라서 본 논문은 전동기 고장의 조기 발견과 미연의 조치를 통해 사고확대를 방지할 목적으로 전동기 운전전류 스펙트럼을 통해서 회전자의 고장진단 기법을 고찰한 것이다.

2. 본 론

유도전동기는 회전자에 이상이 있게되면 회전자와 고정자 사이의 자계 불균형이 형성되고, 이것은 고정자권선에 영향을 주어 부하전류의 주파수가 변조되어 나타나게 된다. 따라서 회전자 고장시 나타나는 전류의 주파수 스펙트럼은 회전자계 주파수(f)와 함께 side band 주파수(fs)를 동반한다.

이 사이드밴드 주파수 fs는 (1±2s)f이고, 이는 회전자계 주파수를 중심으로 좌우에 슬립주파수의 2배에 해당하는 주파수가 존재하게 된다.[2][4] (1-2s)f의 side band

주파수는 회전자 회로 고장시 발생하는 sf의 역상 회전자 계가 1차회로의 회전자계에 대해 (1-2s)f로 회전하기 때문이고, (1+2s)는 그 결과에 따라 발생하는 속도리플이다. 실제로 공간자속에 분포된 고조파의 영향을 고려하여 발생하는 사이드 밴드 주파수 fs=(1±2ks)f 이고 여기서, k는 정수이다. 또한, 회전자 고장시 회전자 전류의 크기가 고정자에 나타나므로 side band의 주파수 및 크기가 부하의 영향을 받게된다.[3][4]

3. 시 험

3.1 시험모델 전동기

전동기 전류 분석 통한 고장진단 기법을 시험하기위한 시험모델의 사양은 3상,380[V],4극3[HP]1대와 3상 380[V] 5[HP]5대를 사용 했다. 전동기 시험을 위해 임의로 회전자에 손상을 주어 여러 형태의 고장을 만들었으며 사진1~6은 이를 나타낸 것이다.

시험전동기 사진1은 건전한 전동기이다. 시험전동기 사진2의 고장은 5[HP] 전동기로 로터바에 지름3.5mm 깊이 7mm의 홀을 1개 만들었고 사진3의 고장은 5[HP] 전동기로 로터바에 지름3.5mm 깊이 7mm의 홀을3개 만들었다. 사진4의 고장은 5[HP]전동기로 로터 바에 지름 5mm 3개와 2mm 2개 즉, 5개의 홀을 10mm깊이의 고장을 만들고, 사진5의 고장은 5[HP]전동기로 로터 바를 원주방향으로 길이 85mm 깊이 15mm의 고장을 만들었다. 시험전동기 사진6은 3[HP]전동기로 로터 바를 원주방향으로 길이 75mm 깊이 7mm의 고장을 만들었다. 부하 가변기를 이용하여 부하별 시험에 이용했고, 측정장비는 FFT기능이 있는 Memory Hicoder를 사용했다.



사진1



사진2



사진3



사진4



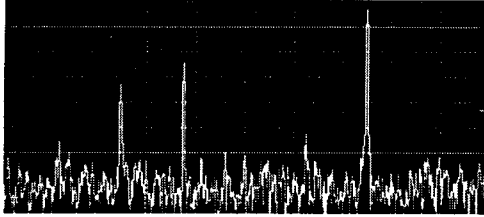
사진5



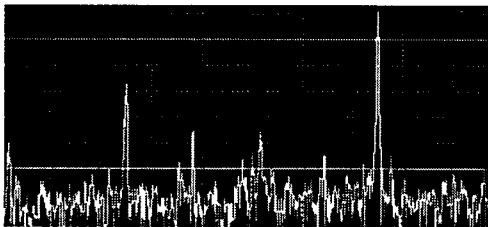
사진6

3.2 시험전동기 파형측정

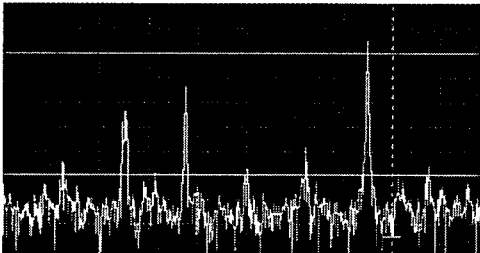
파형1~10은 사진형태의 고장에 따른 무부하 및 부하시 전류 분석 파형을 건전한 전동기 함께 측정한 파형이고, 파형11~16는 사진7의 전동기에 무부하에서 120%까지 부하를 가변하면서 변화하는 고장전류의 파형을 측정 한 것이다.



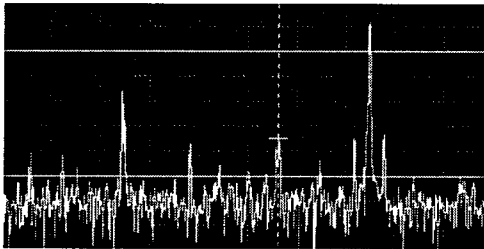
파형1 : 사진1(건전한 전동기)의 무부하



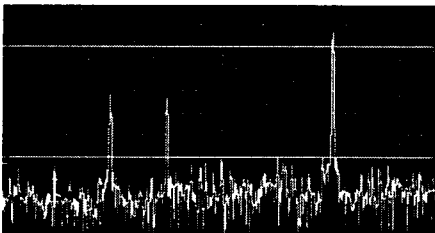
파형2 : 사진1(건전한 전동기)의 80% 부하



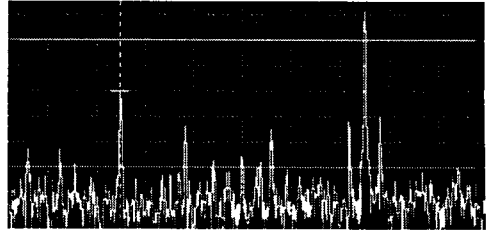
파형3 : 사진2의 무부하



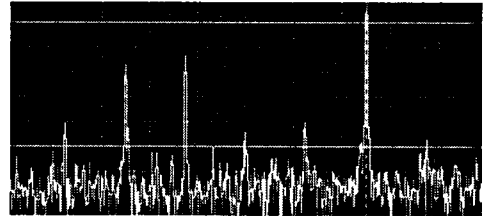
파형4 : 사진2의 80%부하



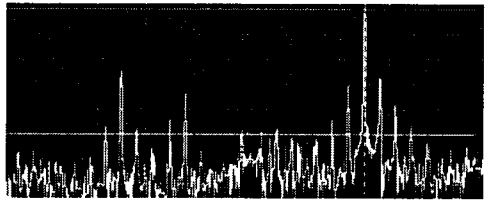
파형5 : 사진3의 무부하



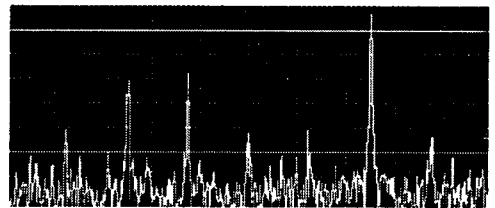
파형6 : 사진3의 80%부하



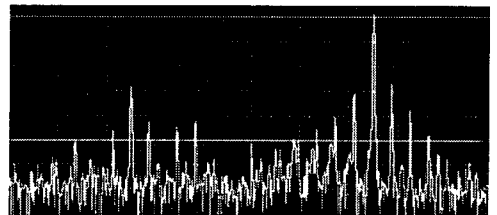
파형7 : 사진4의 무부하



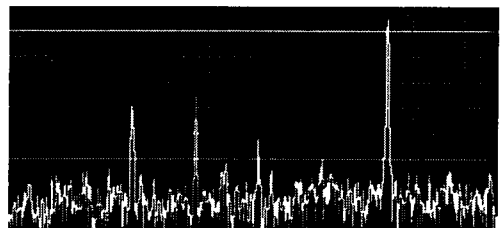
파형8 : 사진4의 80%부하



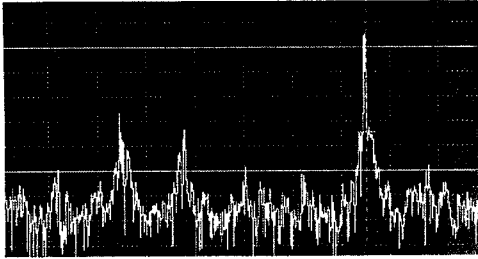
파형9 : 사진5의 무부하



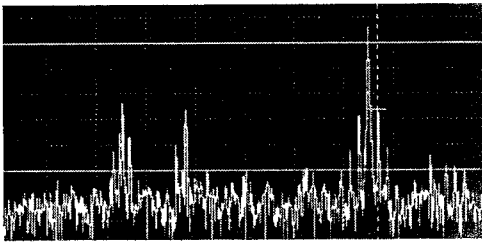
파형10 : 사진5의 80%부하



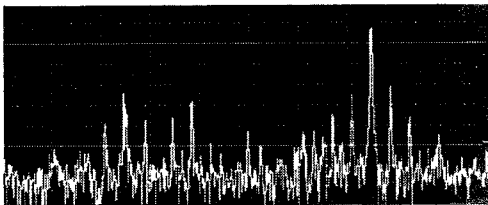
파형11 : 사진6의 무부하



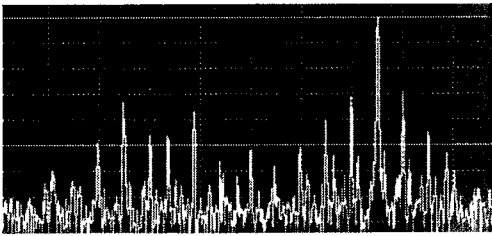
파형 12 : 사진6의 30% 부하



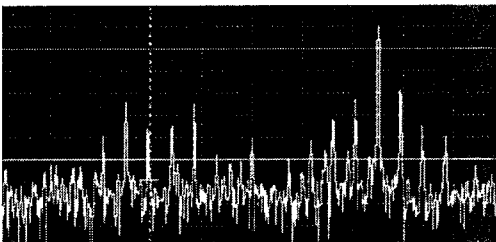
파형 13 : 사진6의 50%부하



파형 14 : 사진6의 70%부하



파형 15 : 사진6의 100%부하



파형 16 : 사진6의 120%부하

3.3 측정파형 분석

파형 1은 건전한 전동기(사진1)의 무부하시 전류스펙트럼이다. 60Hz의 기본 주파수에 30Hz와 20Hz의 주파수도 포함되어 나타나고 있다.

파형 2는 건전한 전동기의 80% 부하에서의 전류 파형인데 전류 스펙트럼은 무부하시와 동일하다. 파형 3은 사진2(구멍 1개)와 같은 고장에서의 무부하 전류파형이다. 기본주파수 60Hz(-25dB)와 30Hz(-45dB) 및 20Hz(-53dB)를 포함한다. 파형 4는 사진 2의 부하전류 전류 스펙트럼인데 60Hz(-18 dB)와 $\pm 2sf$ 인 사이드밴드가 포함되고 주파수는 57.1Hz(-65dB)와 61.9Hz(-62dB)을 나타내고 있다. 이때 기본 주파수의 크기는 -18dB로 무부하시 -25dB보다 7dB 크게 나타난다. 파형 5는 사진 3의 고장에 대한 무부하시 전류파형이고 파형 6은 무부하시 파형이다. 무부하시 전류 스펙트럼에 사이드밴드가 나타나지 않는다. 부하전류 파형에서는 $\pm 2sf$ 의 사이드밴드가 포함되며 주파수 및 크기는 60Hz(-18dB), 57.5Hz(-61dB), 62.4(-60dB)이다. 파형 7은 사진 4의 고장에 대한 무부하시 전류파형이고 파형 8은 부하시 전류 파형이다. 이 고장에 대해서도 무부하시에는 사이드밴드가 나타나지 않았다. 부하전류 파형에서는 $\pm 2sf$ 외에 $\pm 4sf$ 의 사이드밴드도 포함되어 나타난다. 파형 9는 사진 5의 고장에 대한 무부하시 전류파형이고 사이드밴드가 포함되지 않았다. 파형 10은 부하시 전류 스펙트럼으로 $\pm 2sf$, $\pm 4sf$ 외에 $\pm 6sf$ 의 사이드밴드가 포함된다.

파형 11~16은 부하별 고장전류 스펙트럼을 보기 위한 실험이다. 파형 11은 무부하시 전류파형이고 사이드밴드를 포함하지 않고 기본주파수의 크기는 -23.8dB이다. 파형 12는 30%부하전류 파형이며 사이드밴드가 60Hz를 기준으로 좌·우로 형성되려고 하나 확연히 나타나지는 않는다. 파형 13은 50% 부하전류 파형으로 $\pm 2sf$ 의 사이드밴드가 형성되고 주파수는 59.2Hz(-61dB)과 60.9(-61dB)이다. 파형 14는 70% 부하의 전류파형이며 $\pm 2sf$ 의 사이드밴드를 포함하며 주파수는 57.5Hz(-58dB)과 62.5Hz(-56dB)이고 $\pm 4sf$ 의 사이드밴드도 나타난다. 파형 15는 100% 부하에서의 전류파형을 나타내고 있고 $\pm 2sf$ 및 $\pm 4sf$ 의 사이드밴드도 포함하고 그 주파수 크기는 55.8Hz(-50dB)과 64.3Hz(-46dB)이다. 파형16은 120% 부하전류 파형으로 $\pm 2sf$, $\pm 4sf$ 외에 $\pm 6sf$ 의 사이드 밴드를 포함한다.

2. 결론

고장 종류에 따라 나타나는 전류 파형과 부하가변시 변화하는 고장전류의 파형변화를 시험전동기를 통해 취득하고 분석 하므로써 선 전류 분석을 통한 회전자 고장 진단이 가능함을 입증하였다. 이를 정리하면 첫째 무부하시에서는 회전자의 어느 고장에서도 회전자의 고장전류 신호인 사이드밴드 주파수가 포함되지 않았고, 어느 정도의 부하를 인가해야만 고장신호가 취득되는데 그 경계선이 50%정도의 부하이다. 둘째, 회전자바의 직은 고장 즉, 바의 손상이 3개 이하시에는 오직 $\pm 2sf$ 사이드밴드만 나타나고 5개 이상 손상시에는 $\pm 2sf$ 외에 $\pm 4sf$ 의 사이드밴드가 존재하며, 7개 이상 손상시에는 $\pm 6sf$ 의 사이드밴드가 추가된다. 셋째 부하 증가시 슬립에 따라 사이드밴드의 주파수도 이에 비례하여 변하고 크기도 증가하며 넷째, 부하크기에 따라 사이드밴드도 정수배 즉, $\pm 2sf$, $\pm 4sf$, $\pm 6sf$ 등 비례하여 추가된다.

[참고문헌]

- [1] LINDLEY R. HIGGINS, PE, L.C.MORROW. "Maintenance Engineering" Hannd book. Third Edition. McGRAW Hill Section7. Electic Motors 7-1~7-33
- [2] JACK R. NICHOLAS JR., PE. "Motor Circuit and Current Signature Analysis." APE Facilities. July/august 1994년.
- [3] 김근용, 권중록, 이갑재. "3상농형 유도전동기 회전자바의 고장진단에 관한연구", 대한전기학회 논문지 P635~P637 2001년.
- [4] Noah Bethel "Rotor Testing with MCE" PdMA Corp. January 2000년.