

유도전동기 Rotor Bar 손상에 따른 특성 변화 연구

최진석*, 정진관*, 이은춘*, 김대근*, 안주훈*, 현리경*
한국수자원공사*

Study on characteristics of induction motor due to Rotor Bar crack

Jin-Seok Choi*, Jin-Gwan Jeong*, Eun-Chun Lee*, Dae-Keun Kim*, Joo-Hoon Ahn*, Li-Kyoung Hyun*
K-water*

Abstract - 유도전동기에서 회전자에 대한 진단은 소형, 저압전동기의 실험결과 위주의 논문이 주를 이루어 수도사업장의 용수 공급을 위한 고압 유도전동기의 회전자 진단에 대해서는 많은 관심을 갖지 않은 실정이다. 본 논문에서는 MCSA(Motor Current Signature Analysis) 방식을 이용한 장비를 이용하여 전류 스펙트럼과 기동전류 특성 통해 회전자의 건전성을 평가하는 방법을 기술하였다. 문제가 발생한 유도전동기를 대상으로 분해점검 후 실제 문제가 발생하였음을 확인하였고 문제 해결후 정상인 것을 확인하여 회전자 결합판정기준으로 전류 스펙트럼과 기동전류 특성이 타당함을 설명하였다.

1. 서 론

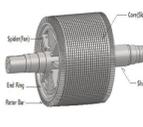
전동기는 가장 일반적으로 사용되고 있는 중요한 동력원으로 전동기의 고장은 인간의 일상생활에 직·간접적으로 영향을 주고 있다. 유도전동기는 구조가 간단하고 견고하며 가격이 비교적 저렴하고 취급이 편리함 등의 이점으로 인해 산업계에서 가장 널리 사용되고 있다. 그러나 최근 대용량화, 고속화에 따라 대규모화 되고 있고, 고속의 운전속도, 대규모의 하중 그리고 가혹한 운전 조건으로 인해 진동 소음과 관련된 문제가 많이 발생하고 있으므로 전동기의 품질을 보증하는 것은 전동기의 안정적인 기능 유지와 신뢰성 확보를 통한 고품질 생산과 수명 연장 및 정비 비용의 절감을 위하여 무엇보다 중요하다. 특히 용수공급을 목적으로 하는 정수장, 가압장에서의 전동기 사고는 단수를 야기하여 해당산업의 기능을 마비시키고, 큰 보수비용을 들게 하며 장기간 해당 설비의 운전을 정지하게 만든다. 지금까지 유도전동기의 진단은 고장 확률이 약 36%로 가장 높고 이상유무 판단이 쉬운 고정자의 절연상태 진단이 위주였으나, 전원 신호분석 기술이 발전됨에 따라 MCSA(Motor Current Signature Analysis)나 ESA(Electrical Signatnure Analysis) 등의 분석 기술이 등장하여 보다 정확한 회전자 진단이 가능하게 되었다. 이는 전동기의 직접적인 분해없이 전기적, 기계적으로 상태진단이 가능할 뿐만 아니라 모터효율 측정 등의 부가적 기능을 가지고 있다. 본 논문에서는 MCSA 기술을 적용한 모터 진단장비를 이용하여 회전자가 파손된 모터의 특성을 연구하여 향후 회전자 결합판정 기준으로 삼고자 한다.

2. 본 론

2.1 유도전동기 구조

유도전동기는 크게 회전자계를 발생시키는 고정자와 회전자계에 의해 회전력을 발생시키는 회전자로 나뉘며, 형태 및 특징은 아래 표와 같다.

<표 1> 유도전동기 구조

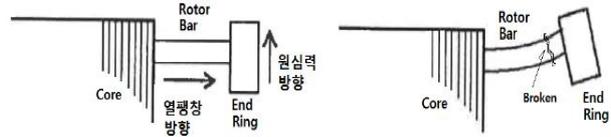
구분	특징	형태
고정자	<ul style="list-style-type: none"> 회전자계를 발생하며, 철심과 권선으로 구성 Mica epoxy 수지 등을 이용한 소선절연, 층간절연, 주절연으로 구성 고전압이 인가되므로 절연성능 유지 중요 	
회전자	<ul style="list-style-type: none"> 회전자계에 의해 회전력을 발생시켜 부하에 공급 높은 온도(약 200℃)에서 고속 회전마호르 응력(stress)에 취약 철심, Rotor Bar, end ring, shaft, 베어링 등으로 구성 	

2.2 유도전동기 회전자 진단 이론

본 논문에서는 유도전동기 구성품 중 회전자를 대상으로 진단 내용을 기술하였다.

2.2.1 회전자 고장 원인

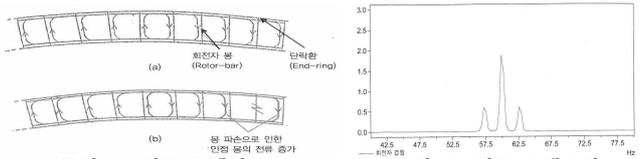
회전자는 Rotor Bar의 상하간 온도차에 의한 열 응력, End-Ring의 열 팽창에 의한 응력 및 전자력과 원심력의 합성에 의한 응력으로 인한 피로에 의해 Rotor Bar, End-Ring의 균열, 파손 및 core의 전식 등이 발생한다.



<그림 1> 회전자 고장 원인

2.2.2 회전자 진단 기법

회전자 붕괴가 파손되면 전원 주파수 근처에 전류 측대역 주파수가 발생한다. 이 현상은 end ring 근처에서 회전자 붕괴가 파손되었다면 부러진 붕괴는 전류가 흐르지 않을 것이라는 가정에 기초한 모델링이 가능하다. 아래 그림은 회전자 붕괴 파손에 따라 인접 붕괴 전류가 재분배 되는 패턴을 보여주고 있다. <그림 2-a>는 회전자 바가 모두 정상인 상태이고 <그림 2-b>는 하나의 붕괴된 경우를 나타낸다.



<그림 2> 전류 모델링

<그림 3> 전류 스펙트럼

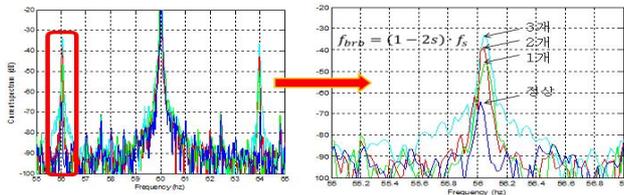
회전자 붕괴의 파손은 전류 스펙트럼에서 전원 주파수로부터 슬립 주파수(sf_L)의 2배인 $2sf_L$ 만큼 떨어진 2개의 측대역 주파수 성분이 전원 주파수의 좌우에 발생한다. 즉, 결합 주파수는 $f = (1 \pm 2s)f_L$ 이 된다. 좌측 성분이 직접적으로 결합에 의한 성분이고, 우측 성분은 연속적인 속도 리플(ripple)에 기인하는 성분이다. <그림 3>은 회전자 결합이 발생한 전동기의 전류 스펙트럼을 보여준다.

<표 2>은 유도 전동기의 결합에 대한 오랜 현장 경험을 바탕으로 Berry & James에 의해 제안된 회전자 붕괴의 결합에 대한 심각도 레벨을 나타낸다. 기본파 성분의 진폭과 좌측 측대역 성분의 진폭 차를 이용하여 회전자 붕괴의 결합 심각도를 유추하고, 이를 바탕으로 결합 상태 및 권장 조치에 대한 개략적인 지침을 얻을 수 있다.

<표 2> 회전자 붕괴의 손상 심각도 레벨(Berry & James, 1999)

등급	진폭 차	저항 증가율	상태 평가	권장 조치
1	> 60dB	< 0.6%	우수	없음
2	54~60dB	1.2~0.6%	양호	없음
3	48~54dB	2.4~1.2%	적절	경향 관리 데이터
4	42~48dB	4.8~2.4%	회전자 붕괴 결합 발생	경향 관리 주파수 증가
5	36~42dB	9.6~4.8%	1개 또는 2개 붕괴 파손	source 확인을 위한 진동 시험 수행
6	30~36dB	19.2~9.6%	다수의 붕괴 파손	가능한 빨리 보수
7	< 30dB	> 19.2%	심각한 회전자 붕괴 문제 가능한 빨리 보수 요망	가능한 빨리 보수 또는 교체

Rotor Bar의 이상 정도가 높아질수록 sideband의 크기가 증가하는 것을 다음 그림을 통해 알 수 있다.



〈그림 4〉 Rotor Bar 손상된 유도전동기의 전류 스펙트럼

회전자 봉이 손상되면 모터가 과열되고, 효율이 떨어지며, 절연 수명이 짧아지며, 코어가 손상될 수 있다. 유도모터가 기동시 회전자 및 회전자 바는 과도한 전기 스트레스를 받게 된다. 이러한 강력한 로터 바 전류가 자기장과 작용하면 커다란 진동을 발생시키고 기동시의 큰 힘은 로터 바를 파괴시킬 수 있는데, 특히 로터 바가 다이캐스팅 주물로 되어 있고 그 주물에 조그마한 결함이 있다면 그 로터 바는 기동시 큰 힘에 의해 파괴될 수 있다. 또한 과도한 부하 상태에서 모터를 운전시킬 때에도 로터 바 고장이 발생할 수 있다. 회전자에 손상이 있으면, 부하에 전달되는 토크에는 진동이 생기게 된다. 모터의 속도는 약간 감소하고 반면 회전자 및 고정자의 온도는 상승하게 되고 이는 모터를 더 과소하게 되는 결과를 낳게 된다.

2.3 유도전동기 회전자 진단

실제 펌프장에서 사용하는 유도전동기를 대상으로 MCSA 방식으로 측정이 가능한 BAKER社の EXP-4000을 이용하여 측정하였다.

2.3.1 대상 및 측정방법

측정설비는 가압장에서 용수를 공급하는 펌프를 부하로 하는 고압설비로서 규격은 아래 표와 같으며, 전동기 단자대에서 직접 측정이 불가하여 모터기동반의 PTT와 CTT 단자대를 이용하였으며 설치장면과 측정 대상은 <그림 5, 6>과 같다

〈표 3〉 유도전동기 규격

구분	용량 (kW)	전압 (V)	전류 (A)	회전수 (rpm)	제조사	제조년도
주남(가) #5	375	3,300	74	1776	효성	1997



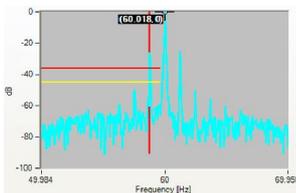
〈그림 5〉 장비 설치장면



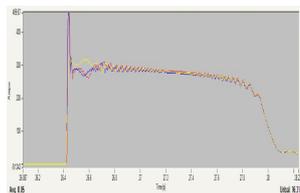
〈그림 6〉 측정 대상 전경

2.3.2 측정 결과

측정결과 <그림 7>의 전류 스펙트럼에서와 같이 기본주파수(60Hz)에서와 sideband 주파수의 크기의 차가 26.26dB로서 <표 2>에 따르면 심각한 회전자 봉 문제가 발생함을 알 수 있으며, <그림 8>에서는 유도전동기 기동시 기동전류의 특성을 살펴보면 3상의 기동전류가 정상상태 전류로 하강할 때 서로 꼬여지는 형태로 나타나는 것을 확인할 수 있다. 이것은 Rotor bar 또는 End-Ring이 굵이 갈 경우 전류가 비정상적으로 분배가 되어 일어난 결과로 판단된다.



〈그림 7〉 전류 스펙트럼



〈그림 8〉 기동전류 특성

2.3.3 분해 점검

측정결과를 바탕으로 해당 설비에 대해 분해점검을 실시하였으며, 총

7개소에서 crack이 발생하였으며, crack에 의한 회전자 적층부의 전식현상을 확인하였다.



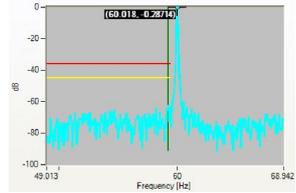
〈그림 9〉 Rotor Bar crack



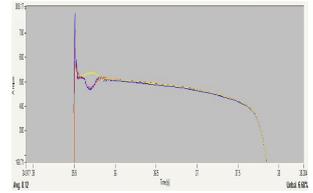
〈그림 10〉 적층부 전식

2.3.4 보수 후 재측정

유도전동기 재사용을 위해 Rotor Bar와 End-Ring을 교체하고 스웨이징 작업을 하였으며 가압장에서 설치후에 동일 장비로 재측정하였다. 전류 스펙트럼 결과 기본 주파수와 sideband의 크기차가 62.42dB로 회전자의 건전성은 우수하였으며, 기동전류 특성도 양호하였다.



〈그림 11〉 전류 스펙트럼



〈그림 12〉 기동전류 특성

3. 결 론

지금까지 유도전동기의 회전자는 고정자에 비해 성능진단이 실시되지 않아 사고가 발생한 후에 조치하는 수동적인 진단이었으나, 본 고에서 살펴본 것과 같이 운전중의 유도전동기에 대해 전류 스펙트럼과 기동전류 특성을 분석하면 회전자의 정상 여부를 바로 확인할 수 있어 대형사고를 예방할 수 있으며 정비기준으로 활용이 가능하다. 따라서 수도사업장에서 사용하는 유도전동기를 비롯하여 산업계에 사용하는 전동기는 앞서 살펴본 것과 같은 점검을 통해 설비의 분해없이 회전자의 상태를 확인할 수 있으므로 회전자 결함판정기준으로 선정되어 전동기로 인해 발생하는 사고를 줄일 수 있기를 바란다.

[참 고 문 헌]

- [1] William T. Thomson and Ronald J. Gilmore, "MOTOR CURRENT SIGNATURE ANALYSIS TO DETECT FAULTS IN INDUCTION MOTOR DRIVE", PROCEEDINGS OF THE THIRTY-SECOND TURBOMACHINERY SYMPOSIUM(2003), pp.149-156
- [2] 정재천·양보석·송명현, "전원 신호분석 기술에 의한 회전기기 진단", pp224-226, 2008년
- [3] 한성중공업(주), 주남가압장 신관 #5 고압전동기 분해점검보수 보고서, 2014년
- [4] 이은준, 고압유도전동기의 회전자 진단결과 고찰, 2015년
- [5] Neelam Mehala, "CONDITION MONITORING AND FAULT DIAGNOSIS OF INDUCTION MOTOR USING MOTOR CURRENT SIGNATURE ANALYSIS", 2010, pp.58-84
- [6] Chaitali S. Kalaskar and Vitthal J. Gond, "Motor Current Signature Analysis to Detect the Fault in Induction Motor", Chaitali S. Kalaskar Int. Journal of Engineering Research and Applications(2014), pp.58-61