

# 대용량 유도전동기의 고장 진단 기법 소개

권 병 훈

(현대중공업 회전기설계부/전기전자시스템사업부 차장)

## 1. 서론

유도전동기는 동력을 발생하는 구동기로서, 산업현장에서 가장 널리 사용되고 있으며, 우리나라 총 소비전력량 중 약 60%를 사용하고 있는 것으로 추산되고 있다. 최근 전동기가 대용량화, 고속화됨에 따라 가혹한 운전조건으로 인해 진동, 소음, 절연등과 관련된 고장이 주로 발생하고 있다. 따라서 전동기의 고장을 미리 진단하여 사고를 예방하는 것은 플랜트의 안정적이고 신뢰성있는 운전을 확보하기 위해 매우 중요하다.

대형 전동기는 일반적으로 기계의 신뢰성 및 가동률 향상을 위해 정기적으로 점검하는 정기진단을 수행하고 있다. 그리고 중요한 전동기에는 운전상태를 감시하기 위한 각종 계측장비가 부착되어 있어 설비보전의 측면에서 유용하게 활용되고 있다. 전동기에서는 전압, 전류, 온도 등의 데이터뿐만 아니라, 일반적으로 진동신호가 매우 중요한 감시대상이 되고 있다. 이는 진동신호가 전동기의 건전성을 나타내는 중요한 지표가 되고 고장의 초기검지에 적합할 뿐만 아니라, 이상이 발생했을 때 그 원인을 추정하는데 유익하고 신뢰할 수 있는 자료를 제공하기 때문이다.

전동기의 구조는 다른 회전기계(터빈, 압축기 등)에 비하여 비교적 간단하나, 전동기가 기계와 전기의 복합 구조이기 때문에 발생하는 고장도 기계적인 원인과 전기적인 원인이 상호 연관되어 복합적으로 나타난다. 그러므로 전동기의 고장 진단에는 많은 현장 경험과 측정 데이터의 피드백이 필요하다.

## 2. 본론

전동기의 상태를 감시하는 방법으로는, 표 1에서 보는 바와 같이, 진동, 전류 등을 포함하여 여러 가지 방법들이 있다.

산업현장에서는 진동신호, 전류신호, 소음신호, 부분방전신호 등의 분석에 의한 전동기 상태 진단이 가장 널리 적용되고 있다. 진동 분석은 베어링 하우징에서 가속도계로 측정된 진동 신호의 스펙트럼을 분석하여 주로 베어링 손상, 회전자 편심, 회전자 권선 등에서의 이상을 진단하기 위해 적용되며, 전류 분석은 고정자 전류의 스펙트럼을 분석하여 고정자 권선, 회전자 권선, 회전자 편심 등에서의 이상 진단에 적용된다. 부분 방전은 고정자 권선내의 방전 펄스를 시간 영역 분석 또는 스펙트럼 분석을 통하여 절연 상태를 진단하는데 유용하게 적용된다. 다음은 전동기의 결함을 진단하는 방법들을 알아본다.

### 2.1 전류 신호 분석

전동기의 전류에는 많은 고조파 성분들이 중첩되어있다. 이 성분들 중에는 정상적인 전동기에서도 존재하는 것도 있지만, 전동기의 결함에 의해서 발생되어진 것도 존재한다. 전동기의 전기적 및 기계적 결함은 전자장의 분포에 변화를 주어 전류에 특정 형태의 고조파 성분을 발생시킨다. 따라서 전류 신호에 중첩되어 나타나는 특정 결함에 의해 발생하는 특징적인 고조파 신호들을 분석하면 전동기의 결함 원인을 진단해 볼 수 있다.

표 1 전동기 상태 감시 방법

감시방법	파라미터	감시 가능 항목
진동	진동변위, 속도, 가속도	기계적, 전기적 결함
전류	전동기 공급전류	회전자 봉 손상 파악
성능	전원전압, 전류, 입력, 출력	전류비대칭, 권선과열, 절연결함
충격펄스	베어링하우징의 진동가속도	구름베어링 결함
소음	가청 및 초음파주파수	구름베어링, 크랙
속도변동	전동기 회전속도 변동	회전자결함, 공극편심, 정렬불량
공극토크	전류, 전압	회전자 봉 크랙, 고정자 코일단락
부분방전	임피던스	절연상태
누설지속	축방향 누설지속	회전자 봉 파손, 고정자 권선 단락
온도	베어링 출구 및 권선 온도	베어링 마찰, 권선 과열
서지	고전압, 고주파 펄스의 반향 펄스	권선 결함

전류 신호 분석법으로는 회전자 봉의 결함, 정렬불량, 회전자 불평형, 연약 기초, 공극 편심, 고정자의 기계적 결함, 고정자의 전기적 결함, 베어링의 결함 등을 진단할 수 있다.

대표적인 진단 사례로는, 그림 1과 같이 회전자 봉에 결함이 발생하였을 경우에 극통과 주파수(PPF: Pole Pass Frequency)라고 하는 측대역파(SB: Side Band) 성분이 전원주파수 주위에 발생하는 것을 볼 수 있다. 이 측대역파 성분의 크기가 일정 수준이상이 되면, 회전자 봉의 절단등을 의심해 볼 수 있으며, 실제 분해를 해보면, 그림 2와 같이 회전자 봉이 절단된 부분이 과열이나 방전 등으로 검게 변색되어 있는 것을 볼 수 있다.

전류 신호 분석법은 전동기에 직접 접근하지 않고도, 배전반에서 전류 신호만 측정함으로써 쉽게 전동기의 상태를 진단해 볼 수 있는 장점이 있다.

2.2 진동신호 분석

전동기에 이상이 발생하였을 때, 가장 직접적으로 느낄 수 있는 것이, 진동이나 소음의 변화이다. 전동기의 진동신호 분석법은 전동기의 기계적 및 전기적 결함을 직접적이고 신뢰성있게 분석할 수 있어 산업 현장에서 널리 사용되고 있다. 전동기의 진동신호는 주로 전동기 베어링의 하우징에 가속도계를 부착하여 베어링 하우징의 진동값을 측정하거나, 전동기의 축에 비접촉식 근접센서를 설치하여 축의 변위를 측정하기도 한다. 그림 3은 앞서 언급된 고장 진단 분석 사례가 진동 신호로는 어떻게 나타나는지 보여주고 있다. 여기서 주의

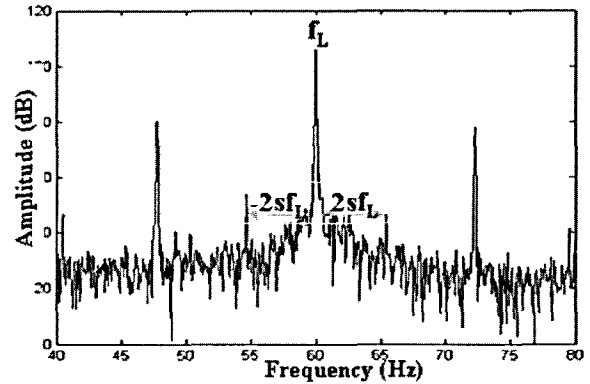


그림 1 전류 신호 분석 사례(회전자 봉 절단 결함)



그림 2 회전자 봉 절단 결함 사례

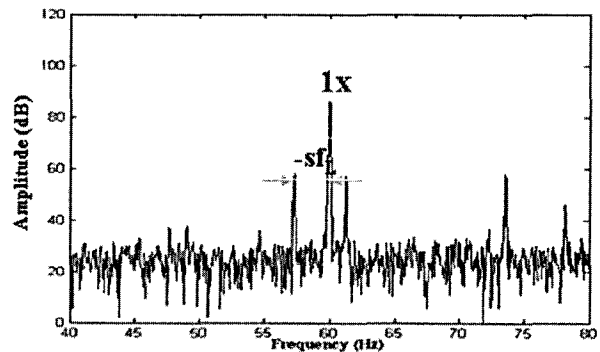


그림 3 진동 신호 분석 사례(회전자 봉 절단 결함)

할 사항은 진동신호의 1x는 회전자주파수를 나타낸다. 2극 전동기의 경우에는 1x(3600rpm=60Hz)가 전원주파수( $f_L=60\text{Hz}$ )와 동일하지만, 4극에서의 1x(1800rpm=30Hz)는 전원주파수의 1/2배가 된다. 즉  $1x=f_L/\text{쌍극수}$ 가 된다.

표 2 전동기 주요 결함 유형별 진동 신호 특징

결함 유형	진동 신호 특징
베어링 정렬불량	2x(주), 1x(보조), 전원 차단시 천천히 감소
커플링 정렬불량	1x(주), 2x(보조), 전원 차단시 천천히 감소
회전자 불균형 (Unbalance)	1x, 전원 차단시 천천히 감소
공극 불균형	2f, 전원 차단시 즉시 감소
회전자 열적 휨	1x(주), 2f(보조), 부하증가시 진동 증가
회전자 봉 결함	1x(주), 축대역과 발생, 전원 차단시 즉시 감소
회전자 봉 느슨함	1x(주), 고정자슬롯 주파수성분(보조), 전원 차단시 고정자 주파수 성분 즉시 감소, 1x성분은 저속에서 순간적으로 사라짐
전압 불평형	2f, 비트음, 전원 차단시 즉시 감소
자기소음 진동	회전자 주파수 성분

표 2에서는 전동기의 주요 결함 유형별 진동 신호 특징을 설명 하였다.

### 2.3 소음신호 분석

전동기에서 발생하는 소음으로는 마찰음, 베어링 이음, 저주파 자기음, 고주파 자기음 등이 있다. 전동기 결함으로 나타나는 신호는, 일반적으로 저주파 영역에서는 진동의 형태로, 고주파 영역에서는 소음의 형태로 나타나기 쉽다. 따라서, 전동기에서 나타나는 저주파 영역 소음은 동일 주파수의 진동을 동반하는 경우가 많다. 저주파 영역에서의 대표적인 소음은 공극 불균형으로인해 발생하는 전원 주파수의 2배 성분(2f)의 소음으로, 동일 주파수의 큰 진동을 동반한다.

고주파 영역의 대표적 소음으로는 전자기 소음이 있는데, 주로 회전자 슬롯 주파수 성분의 소음이 발생한다. 이 소음은 무부하 운전시에는 소음이 작지만, 부하가 증가할 수록 소음이 크게 증가 하는 경우도 있다.

소음 측정은 주위 환경에 많은 영향을 받고, 정밀하게 측정하기도 어려워, 실제 산업 현장에서는 적용하기 쉽지 않다.

### 2.4 부분방전신호 분석

고압 고정자 권선은 운전중에 항상 부분방전이 일어 나고있다. 부분 방전은 전동기 제작시부터 존재하며, 장기간 운전으로인한 열적, 전기적, 기계적 및 환경적 요인으로 인해 증가할 수 있다. 부분 방전은 코일과 철심사이 또는 엔드권선에서도 발생하며, 절연물 중에서 에폭시와 같은 유기물을 잠식하여 절연열화의 원인이 되기도 한다. 따라서, 운전중 부분 방전값을 측정하여 그 경향을 살피는 것은 전동기의 신뢰성을 높이는데 대단히 중요하다. 부분 방전 측정은 Off-line 상태에서 가능하지만, 최근에는 중요기기에 대하여 운전중 On-

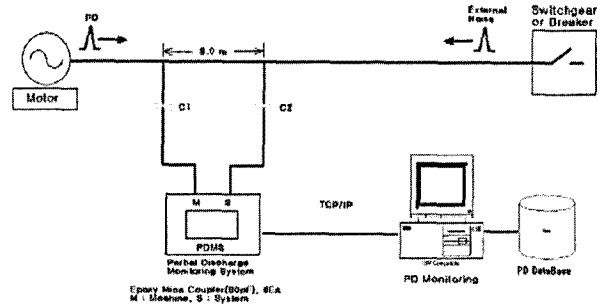
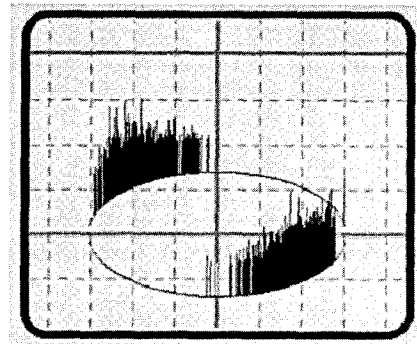
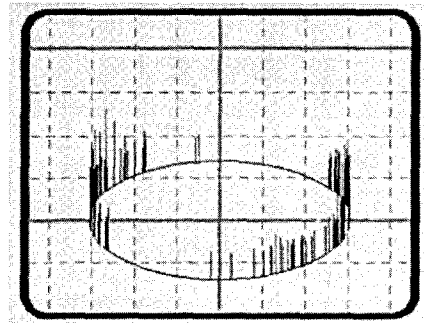


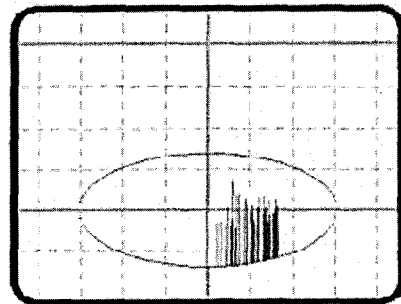
그림 4 운전중 부분 방전 감시 시스템



<내부 방전>



<표면 방전>



<슬롯 방전>

그림 5 위치별 부분 방전 형태

표 3 주요 결함 위치별 권장 감시 기술

감시기술	절연	고정자	회전자	공극	베어링
진동	비권장	비권장	권장	권장	권장
전류	비권장	권장	권장	권장	권장
부분방전	권장	비권장	비권장	비권장	비권장

line 상태 감시를 하는 경향이 커지고 있다. 이것은 Off-line 상태와 On-line 상태가 동일한 조건이 아니기 때문이다. Off-line 상태 측정시에는 실제 운전 조건과는 달리 모든 권선이 동일한 전압을 가지게 되며, 또한, 운전시 발생하는 진동으로 인한 코일의 움직임에 따른 방전의 증가의 영향을 구할 수 없다는 문제점 등이 있기 때문이다.

부분 방전값 그 자체로는 아직 국제적으로 허용치가 규정되어 있지 않으며, 따라서 절연 진단은 정기적이고 동일한 계측기 및 방법으로 측정하여 그 경향을 조사하는 것이 중요하다.


운전중 부분방전값을 측정하기 위해서는 전동기 단자 박스에 부분방전 측정기를 설치하고, 그림 4과 같은 부분 방전 감시 시스템을 갖추어야 한다.

부분 방전은 발생하는 위치에 따라, 내부 방전, 표면 방전, 슬롯 방전 등으로 구분되어 질 수 있다. 내부 방전은 고압전동기 대부분에서 발생하는 방전으로 절연물 내부의 보이드에서 발생하며, 표면 방전은 주 절연과 소선 절연 사이에서 발생하고, 슬롯 방전은 권선 표면과 슬롯 사이에서 발생한다. 그림 5는 방전 위치에 따른 부분 방전의 특징적인 형태를 보여준다.

### 3. 결론

유도 전동기는 전기기계로서 기계적 결함과 전기적 결함이 복합되어 나타난다. 기계적 문제가 전기적 현상으로 나타나기도 하기 때문에, 먼저 기계적 문제를 검토하여, 그 원인을 제거한 후에, 전기적 문제를 검토하는 순서가 바람직하다.

또한 전동기는 무부하시에는 회전자 권선에 전류가 흐르지 않아 전부하시와는 전혀 다른 신호를 나타낼 수 있으므로, 반드시 무부하 운전과 전부하 운전의 신호를 모두 분석하는 것이 바람직하다.

일반적으로 진동 신호 분석이 산업 현장에서 가장 보편적으로 사용되고 있으나, 전류 신호도 함께 분석하는 것이 바람직하고, 절연열화를 감시하기 위해서는 중요기에 대한 On-line 부분 방전 감시 시스템을 적용하는 것도 좋다. 

### 〈필자 소개〉



#### 권병훈(權炳勳)

1993년 2월 연세대 전기공학과 졸업. 2009년 2월 울산대 전기전자정보시스템공학과 졸업(석사). 1996년 8월~현재 현대중공업 회전기설계부/전기전자시스템사업부 차장.