

# 전류 및 진동 데이터를 이용한 유도전동기 고장진단 시스템 구현에 관한 연구

권정민, 이흥희, 이명재, 원덕두  
울산대학교 전기전자정보시스템공학부

## A Study on Implementation of Fault Diagnosis System for Induction Motor Using Current and Vibration Data

Jung Min Kwon, Hong Hee Lee, Myeong Jae Yi, Ngoc Tu Nguyen  
School of Electric Engineering, University of Ulsan

### ABSTRACT

기존에 사용되어 온 진동데이터를 이용한 유도전동기 고장진단 기법은 유도전동기의 전기적 결함을 파악하기 어렵고 특정 고장의 경우 유사한 진동주파수를 포함하고 있어 정확한 고장진단이 어렵다. 본 논문에서는 유도전동기 고장진단 시스템을 구현하기 위해 기존의 진동데이터 분석에 전류 분석기법 중의 하나인 MCSA(Motor Current Signature Analysis)기법을 추가하여 유도전동기 예지보전시스템의 신뢰성을 향상시켰다. 구현된 시스템의 신뢰성을 검증하기 위해 유도전동기의 고장진단을 위한 실험환경을 구축하고 진동데이터만을 이용하여 얻어진 고장진단 결과와 전류데이터 분석을 병행하여 얻어진 고장진단 결과를 비교 분석하였다.

**Keyword** : Induction motor, MCSA, Current data, Vibration data

### 1. 서론

생산성 향상을 위해 생산 설비의 자동화, 대용량화, 다기능화가 이루어짐에 따라 생산설비의 신뢰성과 안정성이 더욱 중요하게 되었다. 그러나, 설비를 유지하고 관리하기 위한 숙련된 기술자는 고령화와 더불어 수적으로 감소하는 추세이다. 이러한 현실적인 문제를 해결하기 위한 방안으로 생산 설비유지 관리기술에 대한 필요성이 날로 증가하고 있는 추세이다. 기존의 설비유지 관리기술은 설비부품 또는 설비시스템이 고장, 파손되면 수리하거나 교환하는 등의 사후보수(Breakdown Maintenance) 개념이 일반적이었다. 그러나 설비의 규모가 대형화 및 고기능화 되면서 고장을 미리 예측하여 사전에 보수하는 예지보전(Predictive Maintenance) 개념이 요구되기 시작하였다. 예지보전의 개념은 1925년 미국에서 시작하여 생산보수(Productive Maintenance), 개량보수(Corrective Maintenance) 등의 상황별 유지관리기술을 거쳐 현재에 이르고 있다<sup>[1]</sup>.

유지관리기술에서 결함의 검출 및 분석에 있어 일반적으로 진동 데이터를 사용하여 고장을 진단하는 방법이 사용되어 왔다. 유도전동기의 경우 진동 데이터를 이용해 고장진단을 행할 경우 유도전동기에서 발생할 수 있는 대부분의 고장을 검출하고 진단할 수 있는 매우 강력한 방법이라고 할 수 있다. 하지만 진동데이터를 이용한 고장진단이 신뢰성을 갖기 위해서는 많은 수의 센서가 필요하고 정확한 진단을 위해서는 전문적인

경험이 요구된다. 더구나 진동 데이터만을 이용하여 진단을 할 경우 다른 고장에 대해 같은 진동 주파수를 갖고 있는 경우도 있어 오진 할 가망성이 있으며 전기적 고장을 검출하기 어려운 단점이 있다. 본 논문에서는 이러한 단점을 보완하기 위하여 전동기의 진동 데이터 및 전류 데이터를 같이 취득하여 좀 더 신뢰성 있는 고장진단을 시스템을 구현하고자 한다. 구체적으로 축 어긋남과 이완과 같은 진동성분이 비슷한 결함에 대하여 진동데이터 만을 이용한 고장진단과 진동 및 전류 데이터를 이용한 고장진단을 비교함으로써 좀 더 신뢰성 있는 고장진단 방법을 제시한다.

### 2. 진단원리

#### 2.1 축 어긋남

축의 어긋남과 같은 기계적 결함은 보통 커플링, 베어링, 축 및 풀리 등과 같은 기계적 요소의 정렬 불량으로 발생한다. 축의 어긋남은 크게 각도성 축 어긋남(Angular Mis-alignment)과 오프셋 축 어긋남(Off-set Mis-alignment)으로 구분된다.

각도성 축 어긋남(Angular Mis-alignment)은 그림 1에서 보듯이 수직 또는 수평 방향으로 2개의 축 중심선이 일정한 각도를 가지고 만날 때 발생한다. 각도성 축 어긋남의 특성은 진동 데이터의 스펙트럼 분석에서 1X ~ 10X의 성분이 주류를 이루고 고조파(Harmonics) 성분이 거의 나타나지 않는다. 또한 스펙트럼 분석에서 가장 높은 진동성분은 각을 이루는 방향으로 발생한다.<sup>[2]</sup>

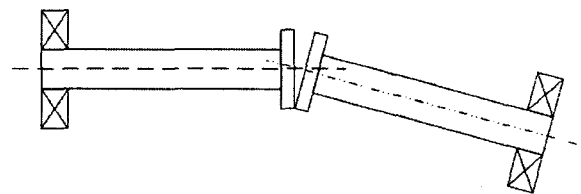


그림 1 각도성 축 어긋남의 형태  
Fig. 1 An Example of Angular Mis-alignment

한편, 각도성 축 어긋남으로 특정 진동 성분이 발생하는 원리와 같이 토크 변화는 회전자가 1회전할 때마다 회전주파수의 정수배 형태로 변화가 발생하며 그 성분은 회전자 주파수 및 조화성분에서 나타나게 된다.

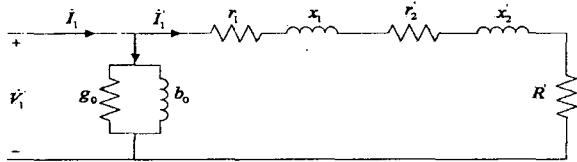


그림 2 유도전동기 등가회로  
Fig. 2 Equivalent Circuit of Induction Motor

기호 설명

- $r_1$  : 고정자 권선저항,  $x_1$  : 고정자 누설 리액턴스
- $r_2$  : 2차 권선 저항,  $x_2$  : 2차 누설 리액턴스
- $b_0$  : 자화 서셉턴스,  $g_0$  : 철손에 의한 컨덕턴스

유도전동기에서 토크 변화는 전류의 변화로 나타나며 전류 변화는 그림 2와 같은 유도전동기 등가회로를 이용하여 표현할 수 있다.

전압  $v_1 = V_1 \sin(\omega_1 t)$ 가 인가된 경우 정상상태에서 유도전동기 전류는  $i_1 = I_1 (\sin \omega_1 t - \theta)$ 이다. 토크변화가 있을 때 전류의 식은 그림. 2의 등가회로에서 식 (1)과 같이 유도할 수 있다.<sup>[3],[4]</sup>

$$i_1 = \sum_{n=1}^{\infty} I_{h_n} \sin(n\omega_1 t - \theta_n) + \sum_{n=1}^{\infty} I_{m_n} \sin((n+1)\omega_1 t - n\omega_1 t) \quad (1)$$

- 단,  $I_1$  : 1차 전류,  $\dot{I}_1$  : 1차로 환산한 부하전류
- $I_{h_n}$  : 전원주파수의 조화성분 진폭
- $I_{m_n}$  : 축 어긋남에 의한 조화성분의 진폭

2.2 이 완(Looseness)

이완(Looseness)은 유도전동기의 구조 또는 회전요소 성분이 적절하게 맞춰지지 않았을 때 발생한다. 그림 3에서 보듯이 이완의 대표적인 형태는 구조상의 이완과 회전 요소의 이완으로 분류할 수 있으며, 구조상의 이완은 느슨해진 기계의 볼트 고정부(Soft foot)에서 발생되고 회전 요소의 이완은 회전자나 고정자의 구성요소 또는 팬 등에서 발생할 수 있다 이 두 형태의 결함은 비슷한 특징을 가진다. 즉, 원주방향의 진동이 주로 발생하며, 스펙트럼 분석에서 1X ~ nX 성분이 주로 발생한다.<sup>[3],[4]</sup>

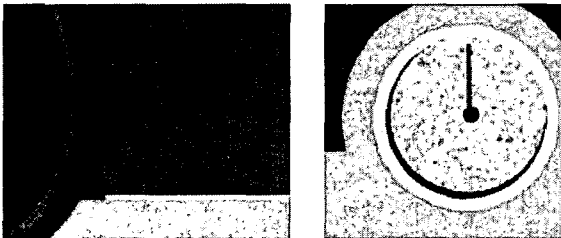


그림 3 구성요소의 이완과 회전요소의 이완  
Fig. 3 Structural and Rotating Element Looseness

2.3 진단 시스템

그림 4는 본 연구에서 제안한 진단 시스템의 개략도 이다.

진동 가속도계와 전류 센서를 이용하여 데이터를 취득하고 취득된 데이터를 이용하여 RMS분석, Trend분석 등 1차 시스템 감시 프로그램을 이용하여 online monitoring을 실시하고 1차 시스템 감시에서 이상징후 발생시 2차 정밀진단을 실시한다. 2차 정밀 진단에서는 미리 정의된 통계적 분석 기법을 이용한 Decision Tree의 rule을 이용하여 진단을 수행한다. 이후 결함 진단에 대한 결과를 확률로서 나타내고 결과 Reporting 및 데이터 베이스화 하여 이후 진단의 기초로 사용한다.

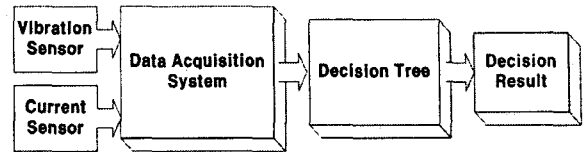


그림 4 진단시스템 개요  
Fig. 4 Overview of Diagnosis System

3. 실험 결과

3.1 실험장치의 구성

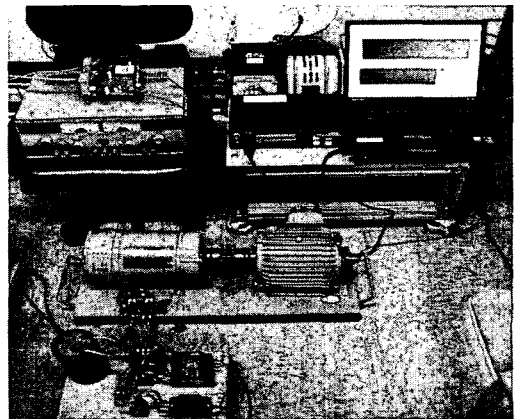


그림 5 진단을 위한 테스트 베드 개요  
Fig. 5 Test Bed for Diagnosis

유도전동기의 고장진단을 위하여 소형 3상 유도전동기(0.75 kW, 220V)와 데이터 취득 장치 및 센서를 이용하여 그림 5와 같은 실험 테스트 베드를 구성하였다. 이 연구에서는 유도전동기의 결함 분석을 위해 진동데이터만을 이용한 진단과 전류와 진동데이터를 같이 이용한 경우의 신뢰성을 비교하기 위하여 전류와 진동데이터를 모두 취득할 수 있도록 하였다.

테스트 베드에서 진동을 측정하기 위하여 전동기의 베어링 하우징 부분에 3축 가속도 센서를 부착하였고 유도전동기에 인가되는 3상 전류 데이터를 얻기 위하여 홀센서(hall sensor)를 사용하였다. 데이터 취득 장비로는 일본 DEICY사의 DR200을 이용했으며, 취득된 데이터는 PC를 통해 실시간으로 모니터링 할 수 있도록 했다.

테스트 베드에서 각도성 축 어긋남의 고정 결함을 만들기 위하여 부하축 전동기 기초에 두께 2mm의 철판을 삽입하여 두 축사이의 축 중심선이 벗어나도록 고정하여 정적 변형을 가하였다. 데이터 취득의 최대 측정 주파수는 20kHz로 설정하였으며 샘플링 개수는 524288개로 함으로써 매우 높은 해상도를 가지

는 신호를 획득 하도록 하였다.

### 3.2 진단 결과

그림 6은 각도성 축 어긋남이 있을 경우 축방향과 수평 및 수직성분의 진동데이터의 스펙트럼 분석 결과를 차례로 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 축 어긋남이 있을 경우  $1X \sim nX$ 의 스펙트럼 성분이 각 센서에서 발생하는 것을 알 수 있다.

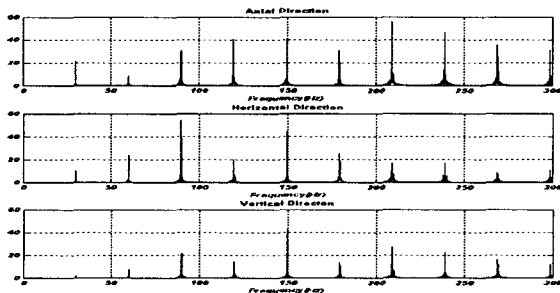


그림 6 진동 스펙트럼 (축어긋남)  
Fig. 6 Vibration Spectrum (Misalignment)

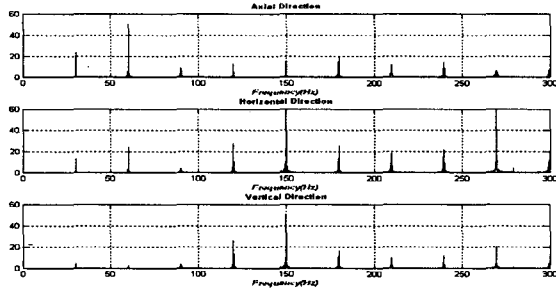


그림 7 진동 스펙트럼 (이완)  
Fig. 7 Vibration Spectrum (Looseness)

한편, 그림 7은 이완 현상이 있을 경우 축방향과 수평 및 수직성분의 진동데이터의 스펙트럼 분석 결과를 차례로 나타낸 것이다. 그림 7에서 알 수 있는 바와 진동성분은 축 어긋남이 있을 경우와 같이  $1X \sim nX$ 의 스펙트럼 성분이 존재하는 것을 알 수 있다. 이 처럼 축 어긋남과 이완의 경우는 비슷한 스펙트럼 분석 결과를 갖고 있어 진동데이터만의 분석을 통해 둘 사이의 차이를 구별하기 어렵다. 따라서 정확한 진단을 위해서는 별도의 진단방법이 필요한데 본 연구에서는 전동기에 인가되는 전류분석을 통해 진단을 행했다.

그림 8은 축 어긋남과 이완에 대한 전류성분 분석 결과를 나타내고 있다. 그림 8(a)의 각도성 축 어긋남에 의한 전류 성분은 전원 주파수( $f_1$ )의 조화성분  $2f_1$ 과 축대역과  $2f_1 - sf_1$ 과  $2f_1 - 3sf_1$ 의 성분이 발생한다. 그림 8(b)는 이완에 의한 전류 성분으로 전원 주파수( $f_1$ )의 조화성분  $2f_1$ 만 존재한다. 따라서 축대역과의 유무에 따라 축 어긋남과 이완을 쉽게 진단하는 것이 가능하다. 그림 8(a)의 경우 전류 데이터를 스펙트럼이  $2f_1$ (120.02Hz) 성분과  $2f_1 - sf_1$ (119.7Hz) 성분이 나타나므로 축 어긋남에 의한 고장으로 진단된다.

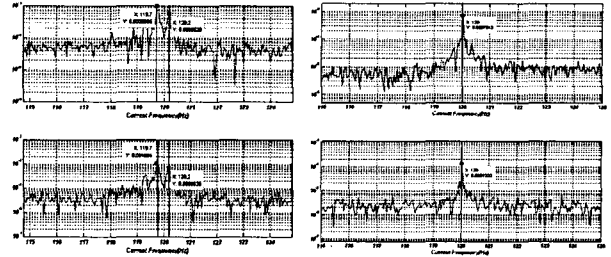


그림 8 전류 스펙트럼 (a)축 어긋남(좌) (b) 이완(우)  
Fig. 8 Current Spectrum (a)Misalignment (b)Looseness

실험결과 진동 센서만을 이용하여 진단을 한 경우 66%가 각도성 축 어긋남으로 진단하였고, 38%는 이완으로 진단하였으며 또한 이완의 경우도 비슷한 결과를 나타내었다. 그러나, 진동과 전류 센서를 같이 이용하여 진단을 한 결과는 99%의 정확성을 가지는 진단 결과를 볼 수 있었다.

## 4. 결론

현재까지 전동기의 결함을 찾는 방법으로 주로 진동 데이터를 이용한 고장진단 방법이 사용되어 왔으나, 전동기의 진단이 신뢰성 있기 위해서는 많은 경험이 요구되고 또한 앞에서 보인 것과 같이 오진을 할 확률이 매우 높다. 본 연구에서는 비슷한 진동 특징을 가지는 고장에 대하여 전류 데이터를 추가로 이용함으로써 전동기의 내부 결함을 정확하게 찾아낼 수 있음을 확인하였다.

향후 과제로는 베어링의 결함, 질량 불균형과 같은 기계적 결함을 전류신호 분석을 통하여 분석할 수 있는 방법을 연구하고자 한다.

## 참고 문헌

- [1] 류승기, 전기설비 예방보전기술헌책 및 발전방향, 기전연구실
- [2] James I. Taylor, The Vibration Analysis Handbook : second edition, United States of America, 2003.
- [3] Peter F. Ryff, Electric Machinery : second edition, United States of America, 1994.
- [4] Sen, P. C., Principles of Electric Machines and Power Electronics, John Wiley & Sons, Inc.,1997.
- [5] P.Vas, Parameter Estimation, Condition Monitoring and Diagnosis of Electrical Machines, Clarendon Press, Oxford, 1993.
- [6] Hong Hee Lee, Ngoc Tu Nguyen, Jung Min Kwon, "Expert system for induction motor online fault diagnostics", Proceeding of KIFE 2005.