

유도전동기 고장진단시스템 연구

변윤섭\*, 박현준, 김길동, 한영재  
철도연

A study on the fault diagnosis system for Induction motor

Yeun-Sub Byun, Hyun-June Park, Gil-Dong Kim, Young-Jae Han  
Korea Railroad Research Institute

**Abstract** - Induction motors are a critical component of many industrial machines and are frequently integrated in commercial equipment. The many economical losses and the deterioration of system reliability might be caused by the failure of induction motors in industrial field. Based on the reliability and cost competitiveness of driving system(motors), the faults detection and diagnosis of system is considered very important factors. In order to perform the faults detection and diagnosis of motors, the vibration monitoring method and motor current signature analysis (MCSA) method are emphasized. In this paper, MCSA method is used for induction motor fault diagnosis. This method analyzes the motor's supply current, since this diagnoses the motor's condition. The diagnostic system is constructed by using LabVIEW of National Instruments.

1. 서 론

전동기는 전기에너지를 기계적인 회전에너지로 변환하는 원동기로 산업 전반에 걸쳐 폭넓게 사용되고 있다. 그러나 이런 기기의 갑작스런 고장은 전체시스템의 신뢰도 저하와 막대한 경제적인 손실을 초래할 수 있으므로 회전기기의 상태진단 및 감시에 대한 많은 연구가 수행되어왔다. 이런 목적을 위해 회전기기의 진동감시기법과 고정자전류 고조파 분석기법이 강조되고 있다. 이중 고정자전류 스펙트럼 분석법을 사용할 경우 구동기기의 제어를 위해 전류센서들이 기본적으로 장착되어 있으므로 추가적인 센서를 사용하지 않아도 되는 장점이 있다. 본 논문에서 유도전동기의 고장진단을 위해 고정자전류 고조파 분석기법을 사용하였으며 실제 기기에 진단시스템을 적용하기 위해 응용프로그램인 Labview와 NI data acquisition board를 이용하였다. 진단을 위해 정전원정주파수에 상태에서 고장 분석에 관한 연구를 수행하였다.

2. 본 론

2.1 유도전동기의 고장 분석

회전기기의 고장을 사전에 감지하기 위한 진단기술로는 주요부위 온도측정에 의한 감시, 기계적 진동감시, 회전자 자속감시, 고정자 전류의 신호 감시 등 다양한 방법들이 제시되고 있다. 이 중 고정자 전류 신호 감시 방법은 여타 방법들에 비해 간단하고 경제적인 장점을 가지고 있다. 본 논문에서는 유도 기기의 주요고장 부위에 대해 고정자 전류신호 분석을 통한 고장진단 시스템을 구현하였다. 우선 주요 고장요소인 베어링에서의 초기 고장은 내부 혹은 외부 race상의 크랙 또는 회전요소 자체에 크랙이 있을 수 있다. 이러한 크랙은 회전하

는 부품중의 하나가 크랙을 통과할 때 매순간 작은 임펄스(충격)를 만들고 이러한 임펄스들은 베어링 하우징에 에너지를 전달하고, 공진 주파수에서 진동하게 된다. 만약 크랙이 베어링의 고정륜에 있다면, 각 펄스는 같은 크기일 것이다. 그러나, 만약 크랙이 회전륜에 있다면, 임펄스는 회전기 요소의 부하변화에 따라서 변할 것이다. 이것은 간단한 계산에 의해서 구해진다[2]. 볼베어링 관련결합은 내륜결합, 외륜결합, 불결합, 케이지 결합으로 분류될 수 있고 이외에 편심결합, 회전바 깨짐결합 등이 있다. 이런 주요결합들을 검출하기 위한 진동주파수는 다음과 같이 주어진다.

1) 외륜결합 주파수  $f_o[Hz] = (N/2)f_r[1 - b_d \cos(\beta)/d_p]$  (1)

2) 내륜결합 주파수  $f_i[Hz] = (N/2)f_r[1 + b_d \cos(\beta)/d_p]$  (2)

3) 불결합 주파수  $f_b[Hz] = d_p f_r / b_d [1 - \{b_d \cos(\beta)/d_p\}^2]$  (3)

4) 케이지결합 주파수  $f_c[Hz] = (1/2)f_r[1 - b_d \cos(\beta)/d_p]$  (4)

5) 에어갭 편심결합 주파수  $f_g[Hz] = f_e[1 \pm m(1-s)2/p]$  (5)

6) 회전자바 깨짐 결합 주파수  $f_k[Hz] = f_e[(1-s)k/p \pm s]$  (6)

여기서,  $f_r$  : rotational frequency,  
 $f_e$  : electrical supply frequency  
 $N$  : 볼의 수,  
 $b_d$  : 볼의 직경  
 $d_p$  : ball pitch diameter  
 $\beta$  : contact angle of the ball  
 $m$  : 1,2,3,...  
 $s$  : per unit slip  
 $p$  : 극점 수  
 $k/p$  : 1,5,7,11,13,...

Schoen et. al[2].은 이들 진동주파수가 전류 스펙트럼 그 자체를 반영한다는 것을 보였다.

2.2 베어링 고장주파수

진단대상 3상 유도전동기는 10HP 4P 380V, NSK 6208 베어링을 가지고 있다. 아래의 주어진 정수 값에 따라 고장주파수를 계산하면 표 1과 같다.

고정자전원 주파수  $f_e = 60[Hz]$   
 정격속도 : 1750(rpm)  
 회전속도  $f_r = 29.16 [Hz]$   
 베어링의 볼 수  $N$  : 9개

볼의 접촉각  $\beta$  :  $\approx 0$   
 베어링 피치 직경  $d_b$  : 59.5(mm)  
 볼 지름  $d_b$  : 11.906(mm)

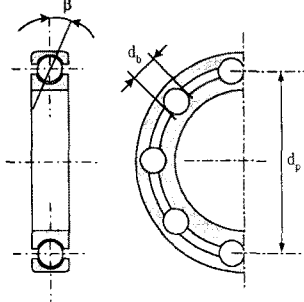


그림 1 베어링 단면도 및 측면도

표 1 계산된 고장주파수

고장종류	고장 주파수[Hz]
케이지결함	12
외륜결함	105
볼결함	140
내륜결함	158

### 2.3 퍼지고장진단

퍼지고장진단 과정은 그림 2와 같이 수행되고 퍼지시스템의 내부구조는 그림 3과 같다. 유도전동기 3상 전원 입력단에서 전류신호를 센서를 이용하여 전압신호로 받고 이 전압신호가 컴퓨터에 내장된 A/D 보드에 입력된다. 입력된 전류신호는 주파수 분석을 통하여 피크진폭과 그에 해당 주파수로 분리된다. 이렇게 구해진 진폭과 주파수는 퍼지화기에서 퍼지변수로 변환되고 퍼지변수는 퍼지추론기에 입력된다. 퍼지추론 과정을 거쳐 선정된 결과는 비퍼지화기에 의해 고장의 정도를 값으로 나타 내게된다. 퍼지진단기는 앞서 언급된 고장에 대해 하나씩 구성하였다.

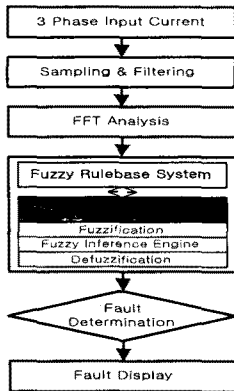


그림 2 퍼지고장진단 순서도

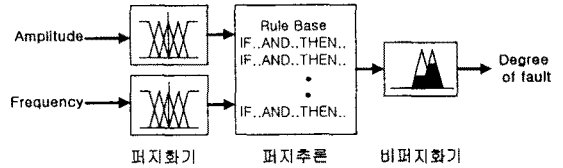


그림 3 퍼지시스템 내부구조

### 2.3.2 퍼지추론

진단을 위한 퍼지 규칙은 표 2와 같다. 퍼지추론은 Mamdani의 min-max방법을 사용하였다. 추론에서 측정주파수가 고장 주파수에 근접하고 진폭이 클수록 고장 정도가 높은 것으로 하였고 측정주파수가 고장 주파수에 근접하고 진폭이 중간이면 고장초기나 고장진행 중으로 판단하도록 하였다.

표 2 퍼지진단 규칙

frequency \ amplitude	left	center	right
poor	normal	normal	normal
medium	normal	process	normal
good	normal	abnormal	normal

### 2.3.3 비퍼지화

비퍼지화는 최대치 평균법(Mean of Maxima Method)을 사용하였다.

$$u^* = \frac{\sum_{m=1}^M u_m}{M} \quad (7)$$

$u^*$ 는 고장진단정도 값,  $u_m$ 은 진단정도가 최대 값을 갖는 영역의  $m$ 번째 진단 값,  $M$ 은 진단 정도가 최대 값을 갖는 요소들의 수

### 2.3.4 LabView를 이용한 진단프로그램

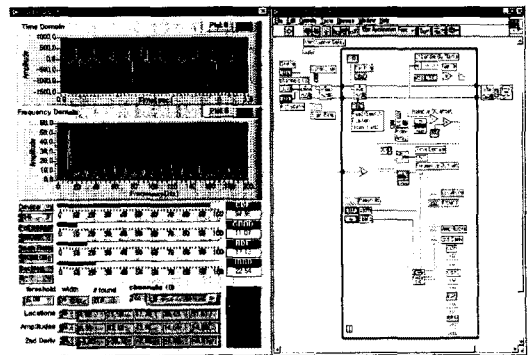


그림 4 퍼지 진단 프로그램

데이터 취득 및 분석을 위해 NI사의 A/D board (1.25MS/s)와 Labview 프로그램을 이용하였다. 함수 발생기에서 Cage defect frequency(CDF) 12(Hz) 사인파신호를 입력하였을 때 위의 그림 4의 상단 그래프창은 A/D 보드로 입력되는 실제 사인파 신호의 시간 영역 그래프이고 두 번째창은 입력되는 사인파 신호를 스펙트럼 분석한 결과이다. 윈도우의 우측하단에 CDF 고장정도를 나타내는 결과 지시창에 95에 인접한 값의 진단결과를 보여주고 있다.

### 2.3 고장진단시험 설비

고장진단 시험설비는 다음과 같이 관성부하, DC모터, 트그메타, 정상모터를 결합모터로 구성되고 3상 유도전동기는 10HP, 4P, 380V, 관성부하 32(Nm)

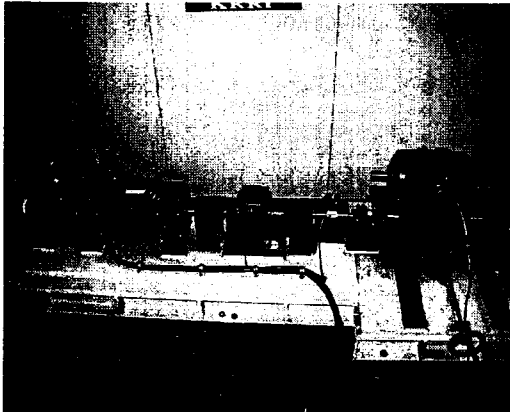


그림 5 진단시험설비

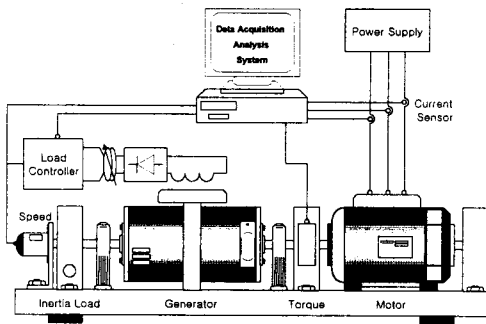


그림 6 진단시험설비 구성도

### 3. 결 론

본 시험결과에서 보면 그림 7과 8은 무부하 상태의 정상모터와 볼베어링 결함이 있는 전동기에 대한 주파수 분석결과이다. 그림 7과 8을 비교해 보면 정상모터 분석시 볼 수 없었던 240Hz의 새로운 주파수가 결함모터에서 관측됨을 볼 수 있다. 그림 9와 10은 정격부하의 78%가 적용된 경우의 정상모터와 볼베어링 결함이 있는 전동기에 대한 주파수 분석결과이다. 그림 9과 10을 비교해 보면 정상모터 분석시 볼 수 없었던 450Hz의 새로운 주파수가 결함모터에서 관측됨을 볼 수 있다. 본 시험 결과에서는 앞서 이론적으로 계산된 고장 수파수에서를 관측하기는 힘들었다. 이는 결함의 정도나 부하조건 등 다양한 원인이 있어 고장의 정도 및 다양한 조건에서 추가적인 시험이 필요할 것으로 사료된다. 실험 결과에서 볼 수 있듯이 결함 주파수와는 별도로 정상상태와 고장상태를 분리할 수 있는 특정 주파수를 파악할 수 있었다.

### [참 고 문 헌]

- [1] A.Consoli, F.Genaro, A. Raciti, A. Testa, "Fuzzy Logic Application to pre-fault Diagnoses of Induction Motors", IEEE 1998
- [2] Peter Vas "Artificial-Intelligence-Based Electrical Machines and Drives" OXFORD university press.

1999

- [3] R. R Schoen, B.K.Lin, T.G. Habetler, J. G. Bartheld, " Motor bearing damage detection using stator current monitoring", IEEE Trans. Ind. Appins. vol.31, no. 6, pp 1274-97, Nov-Dec 1995.

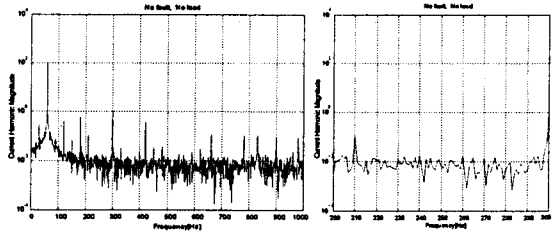


그림 7 무부하, 정상모터 전류신호분석

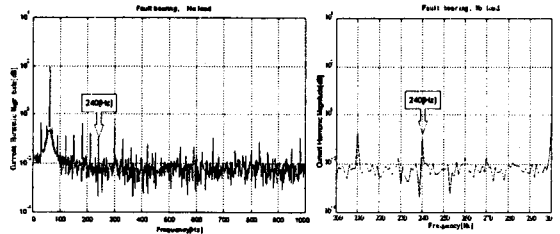


그림 8 무부하, 볼베어링 결함 모터 전류신호분석

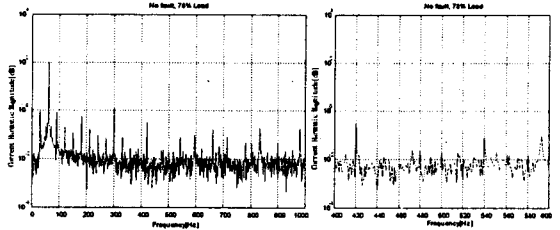


그림 9 78%부하, 정상모터 전류신호분석

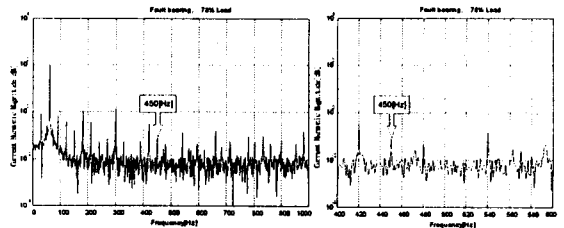


그림 10 78%부하, 볼베어링 결함모터 전류신호분석