

전류신호 분석을 통한 유도전동기 고장진단시스템 연구

변운섭*, 장동욱, 박현준, 왕종배, 이병승
 철도연

A study on the fault diagnosis system for Induction motor
 using current signal analysis

Yeun-Sub Byun, Dong-Uk Jang, Hyun-June Park, Jong-Bae Wang, Byung-Song Lee
 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

유도전동기는 운전 중 비정상적인 운전조건에 의해 전기재료나 기계적인 부분에 손상을 받을 수 있고 정상조건에서 운전된다 할지라도 장시간 사용에 의한 기기 노화에 따라 결함이 발생할 수 있다. 80년대 중반 미국에서 다양한 동작조건과 크기를 갖는 유도기기의 주요 고장에 대한조사가 이루어졌다[1]. 그 결과가 표 1에 정리되어있다. 또한 1994년 한 석유화학공장에서 조사결과에서 유도전동기의 고장사건을 유도전동기의 용량에 따라 세 그룹으로 분류하여 조사하였다[1]. 조사결과 산업용 유도전동기의 상당부분이 기계적 부분의 손상이나 고정자 권선의 절연열화에 의해 발생하는 것으로 조사되었다. 또한 그림 1에서 볼 수 있듯이 유도전동기의 고장 중 상당부분이 베어링에 있으며 전동기의 용량이 증가할수록 베어링 고장이 차지하는 점유율이 높아지는 것을 알 수 있다.

표 1 유도전동기 5000대에 대한 고장분류

고장에 의한 정지	약	900
총 고장건수	약	1230
고장위치	베어링	41%
	고정자	37%
	회전자	10%
	기타	12%

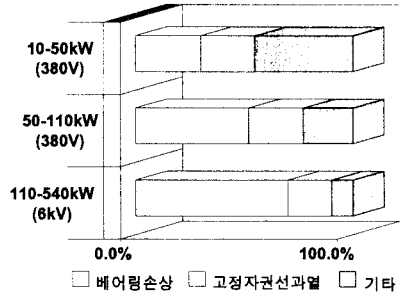


그림 1 1994년 한 석유화학공장의 유도전동기 고장을

2. 본 론

2.1 유도전동기의 베어링 고장 분석

기기의 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 서론의 조사결과에서 볼 수 있듯이 고장요소에 상당부분을 차지하는 베어링의 고장을 고정자 전류 신호 스펙트럼 분석을 통하여 우선적으로 진단하고자 한다. 베어링 고장은 진동신호를 감지하여 검출할 수 있다. 이것에 대한 물리적인 이유[2]는 다음과 같다. 회전-요소(ball과 roller)베어링에서의 초기 고장은 내부 혹은 외부 race상의 크랙 또는 회전요소 자체에 크랙이 있을 수 있다. 이러한 크랙은 회전하는 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 결함으로 분류될 수 있다. 이런 결함들을 검출하기 위한 진동주파수는 다음과 같이 주어진다.

- 1) 외륜결합 주파수

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

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

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

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

여기서, f_r : rotational frequency,
 N : 볼의 수,
 b_d : 볼의 직경
 d_p : ball pitch diameter
 β : contact angle of the ball

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 2와 같다.

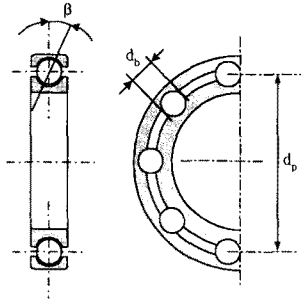


그림 2 베어링 단면도 및 측면도

고정자전원 주파수 : 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_p : 59.5[mm]
 볼 지름 d_b : 11.906[mm]

표 2 계산된 고장주파수

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

2.3 퍼지고장진단

퍼지고장진단 과정은 그림 3과 같이 수행되고 퍼지시스템의 내부구조는 그림 4와 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 나타내게된다. 퍼지진단은 앞서 언급된 4개의 고장에 대해 하나씩 구성하였다.

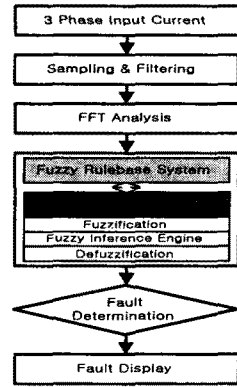


그림 3 퍼지고장진단 순서도

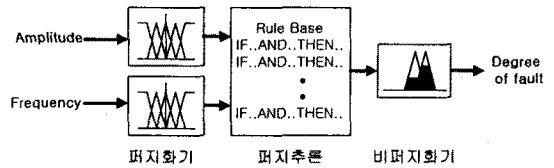


그림 4 퍼지시스템 내부구조

2.3.1 입력변수의 퍼지화

2.3.1.1 주파수의 멤버십 함수

계산된 각 고장주파수를 중심으로 하는 멤버십 함수는 다음과 같다. 고장 주파수의 정점에서 멤버십 정도를 1로하고 인접한 다른 주파수에서의 멤버십정도 0점을 연결하는 3각형으로 만든 선형멤버십 함수를 취하였다.

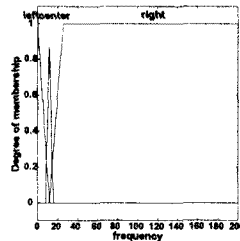


그림 5 케이지결함 멤버십함수

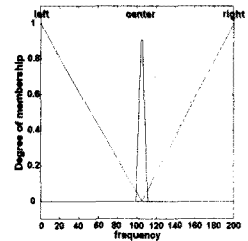


그림 6 외륜결함 멤버십함수

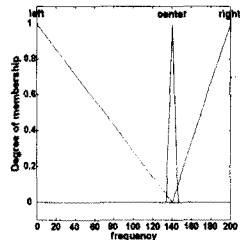


그림 7 볼결함 멤버십함수

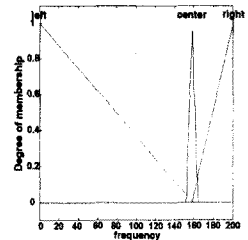


그림 8 내륜결함 멤버십함수

2.3.1.2 진폭과 진단에 대한 멤버십 함수

진폭과 진단에 대한 멤버십 함수는 최대범위를 100으로 하고 범위 내에 3개의 삼각형 poor, medium, good와 normal, process, abnormal의 멤버십 함수를 각각 포함하고 있다. 본 논문에서는 4가지 고장에 대한 진폭과 진단의 멤버십 함수를 같게 하였다. 진폭의 멤버십 함수는 실제 실험을 통하여 각 고장 주파수에서의 진폭을 범위를 선정해야 한다. 시험전 우선적으로 진단알고리즘을 구현하기 위해 최대 값을 모두 100으로 하였다.

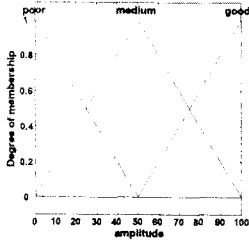


그림 9 진폭 멤버십함수

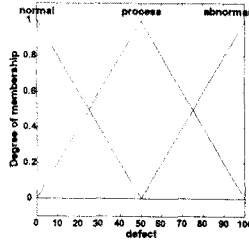


그림 10 진단 멤버십함수

진단 멤버십함수는 진단결과가 0에 가까울수록 정상상태를 나타내고 100에 가까울수록 고장확률이 높은 것으로 하였다.

2.3.2 퍼지추론

진단을 위한 퍼지 규칙은 표 3과 같다. 퍼지추론은 Mamdani의 min-max방법을 사용하였다. 추론에서 측정 주파수가 고장 주파수에 근접하고 진폭이 클수록 고장 정도가 높은 것으로 하였고 측정주파수가 고장 주파수에 근접하고 진폭이 중간이면 고장초기나 고장진행 중으로 판단하도록 하였다. 이렇게 구성되어 주파수와 진폭을 입력으로 하는 퍼지추론 입력력에 대한 3차원 평면도는 그림11과 같다.

표 3 퍼지진단 규칙

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

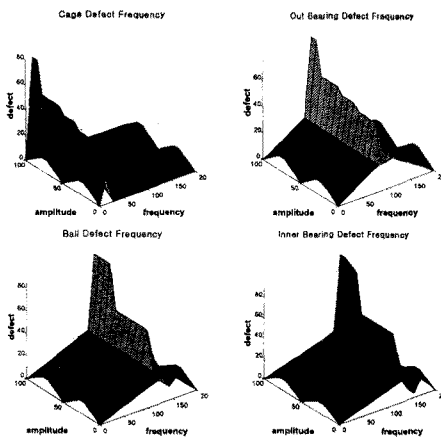


그림 11 퍼지 입력력 3차원도

2.3.3 비퍼지화

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

$$u^* = \sum_{m=1}^M \frac{u_m}{M} \quad (5)$$

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

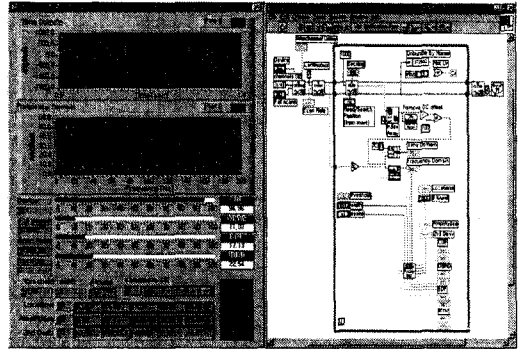


그림 12 퍼지 진단 프로그램

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

3. 결 론

실제의 유도전동기 전류를 검출하여 진단에 적용하기 앞서 진단프로그램을 검증하기 위해 함수발생기에서 계산된 고장 주파수를 발생시켜 A/D board에 입력하여 그 때의 진단 결과를 확인하였다. 고장주파수 인접영역에서 진단 값이 크게 증가하고 그 외의 주파수 영역에서는 작은 값의 결과를 보였다. 향후 실제 유도전동기의 고장검출에 진단시스템을 적용하기 위해 정상상태 및 고장상태에서의 유도전동기의 고장자 전류특성을 분석하여 계산된 고장주파수와 실제 발생하는 주파수가 일치하는지 확인하고 부하정도에 따른 고장 주파수에서의 진폭변화를 확인하여 진단의 정확도를 높이기 위해 퍼지고장추론기의 진폭에 대한 멤버십 함수값의 보정이 이루어져야 할 것이다.

[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.