

LabVIEW를 이용한 유도전동기 베어링의 실시간 결합진단시스템 개발

이승현 · 권오현*

부경대학교 대학원 안전공학과 · *부경대학교 안전공학과

1. 서 론

산업현장에서 동력전달에 의해 회전되는 기기 중 가장 광범위하게 사용되는 기기인 유도전동기는 매우 신뢰성 있는 기기이지만 결합이 발생되면 그로 인한 생산과 인명에 막대한 손실을 초래한다. 산업현장에서는 이를 방지하기 위해 유도전동기에 전용계측기를 설치하여 데이터를 수집 분석하고 있으나 이러한 계측기들은 대부분이 고가이므로 생산원가의 상승 등 부작용을 초래하고 있다. 하지만 최근 들어 PC의 성능이 가격에 비해 급격히 향상됨에 따라 PC를 기반으로 한 가상계측기(Virtual Instrument, VI)의 활용이 증가하고 있는 추세이다. 가상계측기의 장점은 PC를 기반으로 하기 때문에 각종 응용프로그램, 인터넷을 동시에 활용할 수 있고, 프로그램과 센서 등의 일부 변경만으로 하나의 계측 시스템이 여러 가지의 기능을 가진 복합 계측 시스템을 가질 수 있는 것이다. 가상계측기를 활용하기 위해서는 프로세스 모니터링 등 핵심적인 기능을 제공할 수 있는 소프트웨어를 사용하여야 한다. National Instrument 사에서 개발한 LabVIEW는 Graphic User Interface(GUI) 기반의 프로그램 작성 언어로 비교적 짧은 시간 안에 프로그램을 작성할 수 있다. Pillay 등¹⁾은 LabVIEW를 이용해 모터 전류신호를 측정하여 모터 속도를 측정하는 방법을 제시하였고, Turley 등²⁾은 LabVIEW를 이용한 엔진 테스트 소프트웨어를 개발하였다. 이러한 제어, 감시 및 계측 분야의 많은 연구가들에 의해 LabVIEW를 이용한 가상계측기에 대한 연구가 최근 활발히 진행되고 있다.

한편 유도전동기의 결합분석을 위해 진동측 전류, 누설자속, 회전자 전류, 부분방전, 속도변동, 온도, 고정자 전류 및 가스분석, 오일분석 등의 많은 방법이 이용되어져 왔다. 그 중에서도 유도전동기의 진동을 분석하는 방법이 가장 많이 이용되었으나 진동측정에 의한 신호는 자계성분의 영향으로 신호를 분석하는데 어려움이 있어 최근에는 계측이 쉬운 전동기 전류측정에 의한 결합 연구가 진행되고 있다. 1982년 Hargis 등³⁾의 유도전동기의 회전자 결합 발견에서 처음 전류신호분석을 통한 유도전동기의 결합검출 및 진단이 소개된 이후, Schoen 등⁴⁾은 고정자 전류감시를 통해 베어링의 손상을 검출하였으며, 최근 2002년에 Jung⁵⁾은 전류신호를 이용해 유도전동기의 회전자봉 결합을 검출할 수 있다는 것을 증명하였다. 온라인 결합검출에 관한 연구로는 Xiaoli⁶⁾가 전류신호 웨이블릿 변형을 이용하여 드릴의 결합을 온라인으로 검출하였다. 따라서 본 연구

에서는 산업현장에서 광범위하게 사용되고 있는 유도전동기의 전류신호감시를 통해 베어링 결함을 인터넷으로 원거리에서 실시간으로 검출하고 경보하는 시스템을 LabVIEW를 이용하여 구축하였다.

2. 이론적 배경

2.1 고정자 전류신호 분석

고정자 전류신호를 이용한 결함진단은 기계·기구의 작동상태에 의해 위험구역이나 제한구역에 들어갈 필요 없이 수행 가능하여 측정자를 위험에서 보호할 수 있고 전동기 효율 저하와 진동 증가를 일으키는 회전자 축의 파손 등의 문제를 미리 감지하여 경보함으로써 사고로 인한 재해가 발생되기 전에 이러한 문제점들이 해결 가능하다. 전류신호를 이용한 결함분석의 원리는 전동기 내부의 결함이 마찰력의 변화를 일으키는 것을 이용한다. 즉, 토크의 변화를 일으켜 공급전류를 변화시키고, 이 공급전류의 미세 변화를 측정하여 전동기 내부결함을 분석하는 것이다. 또한 고정자 전류신호 분석을 위한 전류 스펙트럼의 분석법은 위치적인 고장 정보를 포함하고 있다. 따라서 각각의 주파수 성분들을 분석하여 유도 전동기의 고장 원인을 발견할 수 있다.

2.2 베어링 결함

베어링의 결함은 대부분 정렬불량, 축치침 등과 같은 설치 결함으로 인해 발생된다. 베어링에 부적절한 힘이 가해지면 베어링의 공극편심이 발생되고 베어링의 진동을 유발하여 레이스웨이(raceway)에 물리적인 손상을 가져오게 된다.

볼베어링의 고유 주파수들은 Fig. 1에서와 같이 베어링 결함에 기초를 두고 있다. 베어링 레이스웨이 내·외륜의 결함 고유주파수는 식(1)~(3)⁷⁾에 의해 주어지며, Fig. 2와 같은 Sub VI 프로그램으로 Fig. 3의 전체 프로그램에 삽입된다. Fig. 4는 사용자가 구동하는 진단 프로그램 화면의 예를 나타낸다.

$$f_{bng} = |f \pm n_b f_{i,o}| \quad (1)$$

$$f_o = \frac{n}{2} f_r \left[1 - \frac{D_B}{D_P} \cos \beta \right] \quad (2)$$

$$f_i = \frac{n}{2} f_r \left[1 + \frac{D_B}{D_P} \cos \beta \right] \quad (3)$$

여기서 n 은 베어링 볼의 수, f_r 는 기계적 회전자 속도, D_B 는 베어링 볼의 직경, D_P 는 베어링 피치 직경 그리고 β 는 레이스웨이와 볼의 접촉각이다.

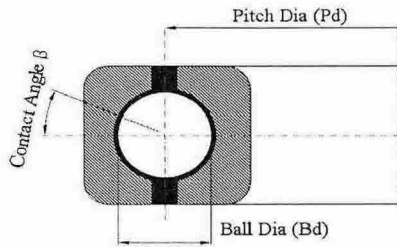


Fig. 1 Ball bearing dimensions

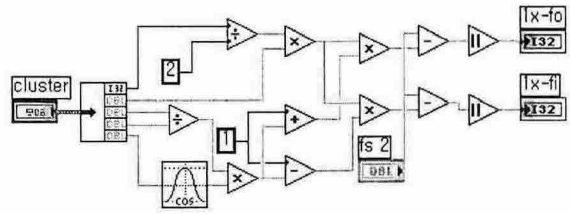


Fig. 2 Sub VI Program

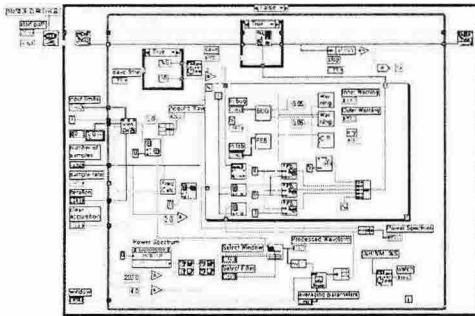


Fig. 3 Block diagram

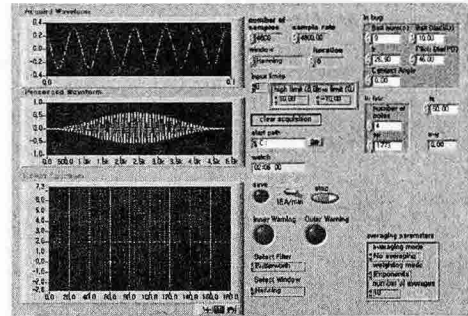


Fig. 4 Program panel

3. 시스템 구성 및 모니터링 시스템

3.1 전류신호 감시 시스템 구성

본 연구의 전류신호감시 시스템 구성은 다음과 같다. 호스트 프로그램에 사용된 개발 툴은 NI사의 LabVIEW 6.1i와 데이터 취득은 PCI-6013 보드를 내장한 PC시스템을 사용하였다. PCI-6013 보드는 16개의 아날로그 입력 채널을 가지고 있으며 데이터를 16bits로 처리한다. 장치에 사용된 유도전동기는 국내 S사의 밀폐형 3상 유도전동기를 사용하였다. 전류신호 측정을 위한 전류센서는 국내 H사의 개폐형 전류센서를 사용하였고 Table 1과 Table 2에 각각의 규격을 나타내었다. 또한 유도전동기의 고장감시를 위한 실험장치의 개략도를 Fig. 5에 나타내었다.

Table. 1 Motor specification under test

Power	2 [HP]
Speed	1,710 [rpm]
Rated Voltage	220 [V]
Rated Current	3.7 [A]
Current Frequency	60 [Hz]
Phase	3
Poles	4

Table. 2 Bearing specification under test

Outer Dia.	52 [mm]	Inner Dia.	25 [mm]
Ball Num.(n)	9 [mm]	Contact Angle(β)	0 [°]
Pitch Dia.(D _P)	16.5 [mm]	Mechanical rotor speed	28.48 [Hz]
Ball Dia.(D _B)	5.5 [mm]		

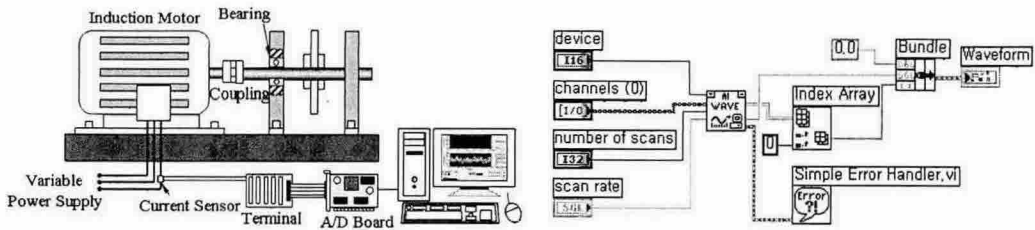


Fig. 5 Schematic view of the Fig. 6 Block diagram for 1 DAQ board experimental setup

Fig. 6은 데이터 취득을 위한 기본적인 프로그램 코딩을 나타낸 것이다. 이 프로그램은 기본적으로 AI Waveform scan 함수와 Index Array 함수, Bundle 함수로 이루어진다. AI Waveform scan 함수는 데이터 취득을 위한 하드웨어 설정과 데이터 취득속도, 취득할 스캔 수 등을 설정하며 출력으로 웨이브폼 또는 Scaled Array 형태로 취득한 데이터를 출력하게 된다. 본 연구에서는 데이터의 계산 및 저장을 위하여 Scaled Array 형태로 출력하게 하였다. 단순히 입력된 신호를 패널에 출력하기 위함이라면 웨이브폼 형태로 출력하게 하면 된다. device는 어떤 DAQ(Data Acquisition) 보드를 사용할 것인지를 결정하는 것이고 channels는 DAQ 보드에서 신호원을 몇 번 채널에 물려서 데이터를 획득할 것인지를 선택하는 것이다. 또 number of scans는 데이터를 취득할 스캔수를 결정하는 것이며, scan rate는 데이터를 취득하는 속도를 나타내는 것으로 scan rate가 1,000일 경우 1개의 채널이면 1초에 1,000개를 데이터를 획득하며, 2채널인 경우에는 2,000개의 데이터를 받을 수 있다. Index Array는 행렬형태로 취득된 데이터 중 행렬을 선택하여 출력하게 하고 Bundle은 그래프 형태로 나타내기 위해 데이터를 처리하는 역할을 한다. 이런 코딩만으로 프로그램은 충분히 오실로스코프의 역할을 할 수 있으며 데이터 저장 함수를 추가하면 저장까지 가능하게 된다.

3.2 모니터링 시스템

전류센서를 통해 측정된 아날로그 전류신호는 A/D보드를 통해 디지털 신호로 변환된다. 변환된 디지털 신호는 LabVIEW의 필터 VI를 통해 filtering되며 filtering된 신호는 FFT Power Spectrum VI를 통해 스펙트럼으로 변환된다. 각각의 측정 데이터는 그래프로 Fig. 4에서 제시한 패널에 출력된다. 베어링 결함검출을 위한 프로그램은 변환된 스펙트럼 데이터 중 식(1)~(3)에서 계산된 주파수 성분의 값과 설정치를 비교하여 설정치 이상의 값이 입력되면 Panel의 Inner Warning 또는 Outer Warning 램프가 작동되어 경고신호를 발생시킨다. 측정된 스펙트럼 데이터는 데이터 로그 기능에 의해 일정 간격으로 저장된다. 프로그램은 초당 4,800개의 데이터를 저장하므로 로그파일의 비대화를 초래할 수 있다. 따라서 저장 간격을 필요에 따라 조절할 수 있게 하였다.

4. 모니터링 시스템의 적용

본 연구에서 개발한 시스템의 타당성을 검토하기 위하여 다음과 같은 실험을 실시하였다. Fig. 7은 베어링의 결함 탐지를 위해 정상상태의 베어링의 고정자 전류 스펙트럼을 측정한 결과를 나타낸다. 정상상태에서는 전원 주파수인 60Hz 이외의 미세한 잡음 등이 나타나고 있는 것을 알 수 있다. 베어링의 결함을 측정하기 위해 외륜에 초경드릴로 지름 4mm의 구멍을 뚫어 인위적인 결함인 Raceway 손상을 가하여 신호를 측정한 결과를 Fig. 8에 나타내었다. 실제 프로그램에서는 패널에 실시간으로 그래프가 나타나며 결함발견시 경보를 발생시키게 된다. 실험에서 사용한 베어링의 규격의 값을 식(1)과 (2)에 대입하면 $|60-1xf_0|$ 의 값은 25Hz가 된다. 또한 $|60-2xf_0|$ 의 값은 111Hz이다. Fig. 8의 그래프에서 $|60-1xf_0|$ 와 $|60-2xf_0|$ 의 결함 성분 주파수가 나타나고 있다.

또한 LabVIEW의 Web publishing tool을 이용하여 Fig. 9에서와 같이 Web을 통한 원격 계측을 실행하였다. Web publishing tool은 프로그램을 HTML 파일로 저장하고 Web server를 실행시킨다. 이는 원격지에서 프로그램의 제어, 계측을 가능하게 한다.

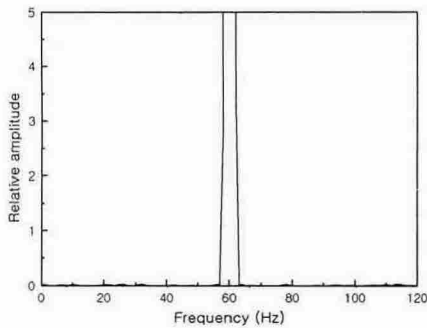


Fig. 7 Stator current spectrum for a normal motor

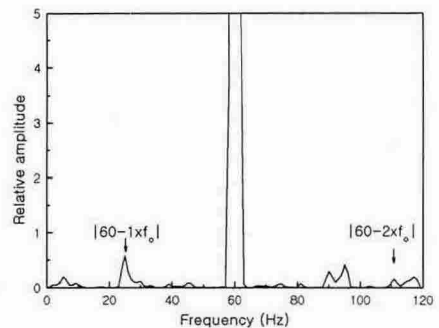


Fig. 8 Stator current spectrum for a motor having outer raceway faults

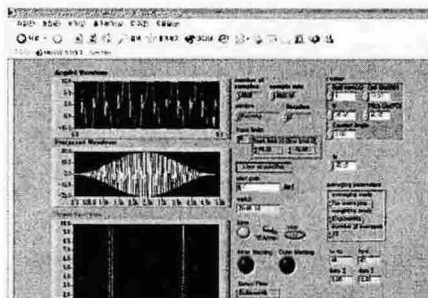


Fig. 9 Monitoring using Web

5. 결 론

대부분의 산업현장에서 사용하고 있는 유도전동기는 고장발생빈도가 낮다 하여도 고장발생시 인적 및 물적 피해정도가 상대적으로 높다. 따라서 안전성 측면에서 유도전동기의 결함 검출은 상당히 중요하다. 유도전동기의 베어링 결함유무를 평가하기 위해 정상상태와 인위적인 결함을 삽입한 비정상상태에서 간단한 전류신호 계측장치를 적용하여 전류센서와 A/D보드를 이용하여 데이터를 수집하여 결함검출을 시도하여 원격전류신호 검출시스템이 LabVIEW를 이용하여 손쉽게 구축될 수 있음을 확인할 수 있었다.

향후 개발한 베어링 결함 탐지 기능에 회전자 봉 결함 및 공극편심 탐지 등의 기능을 추가한다면 사용자가 유도전동기의 고장 위치 및 그 정도를 신속하게 파악할 수 있어 설비고장으로 인하여 발생할 수 있는 생산 중단을 미리 감지할 수 있는 설비의 예방보존 및 그로 인한 생산기간 단축 및 생산량 증대로 생산원가를 절감에 기여할 수 있다. 또한 중대재해로 발전되기 전에 설비의 이상 유무를 미리 감지할 수 있어 산업재해 예방에도 기여할 수 있을 것으로 사료되어 진다.

참고문헌

- [1] P. Pillay and Z. Xu, "Motor Current Signature Analysis", Conference Record - IAS Annual Meeting(IEEE Industry Applications Society), Vol.1, pp.587~594, 1996
- [2] Russ Turley and Matthew Wright, "Developing Engine Test Software in LabVIEW", IEEE Systems Readiness Technology Conference, pp.575~579, 1997
- [3] C. Hargis, B. G. Gaydon and K. Kamish, "The Detection of Rotor Defects in Induction Motors", Proc IEE EMDA Conf., London, pp.216~220, 1982
- [4] Randy R. Schoen and Thomas G. Habetler, "Motor Bearing Damage Detection Using Stator Current Monitoring", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol.31, No.6, pp.1274~1279, 1995
- [5] Byung hoon Jung and Dae chul Shin, "A Study on Detection of Broken Rotor Bars in Induction Motors Using Current Signature Analysis", The Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol.12, No.4, pp.287~293, 2002
- [6] Li Xiaoli, "On-line Detection of the Breakage of Small Diameter Drills Using Current Signature Wavelet Transform", International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol.39, pp.157~164, 1999
- [7] G. B. Kliman and J. Stein, "Induction Motor Fault Detection Via Passive Current Monitoring", in Proc. International Conference Electric Machines, pp.13~17, 1990