주성분 분석기법을 이용한 유도전동기 고장진단

Fault diagnosis of induction motor using principal component analysis

변윤섭*, 이병송**, 백종현***, 왕종배****
(Yeun-Sub Byun, Byung-Song Lee, Jong-Hyen Baek, Jong-Bae Wang)

* 한국철도기술연구원(전화:(031)460-5437, 팩스:(031)460-5449, E-mail : ysbyun@krri.re.kr)
** 한국철도기술연구원(전화:(031)460-5404, 팩스:(031)460-5449, E-mail : bslee@krri.re.kr)
*** 한국철도기술연구원(전화:(031)460-5441, 팩스:(031)460-5449, E-mail : jhbaek@krri.re.kr)
**** 한국철도기술연구원(전화:(031)460-5540, 팩스:(031)460-5449, E-mail : jbwang@krri.re.kr)

Abstract : Induction motors are a critical component of industrial processes. Sudden failures of such machines can cause the heavy economical losses and the deterioration of system reliability. Based on the reliability and cost competitiveness of driving system (motors), the faults detection and the diagnosis of system are 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 faults of the motor. The diagnostic algorithm is based on the principal component analysis(PCA), and the diagnosis system is programmed by using LabVIEW and MATLAB.

Keywords : Induction motor, diagnosis, PCA, MCSA

Ⅰ. 서론

전동기는 전기철도차량, 전기차량, 공장생산 라인 등 다양한 분야에서 구동원으로 사용하고 있다. 그 중 유도전동기는 구조적인 강점 때문에 많은 주요 기기의 구동장치로 사용되고 있다. 그럼에도 불구하고 오랜 사용과 운전 조건에 따라 각 요소별로 고장이 진행 될 수 있다. 이런 유도전동기의 갑작스런 고장은 구동장치를 사용하는 전체 시스템에 대한 신뢰도 및 안정성을 저하시키고 경제적인 손실을 초래할 수 있기 때문에 유도전동기에 대한 고장진단 및 감시에 대한 많은 연구가 수행되어왔다. 많은 경우에 있어서 전동기의 고장은 비교적 오랜 기간의 악화과정을 거쳐 이루어짐으로 고장진행초기에 또는 고장 발생 전에 전동기의 상태를 파악하고 진단하기 위해 전동기 고정자 전류 주파수 분석이나 진동 주파수 분석을 통하여 조기에 고장을 진단하기 위한 많은 연구가 있어왔다. 본 논문에서는 고장진단을 목적으로 주성분 분석기법을 이용하여 전류신호를 분석하고 고장진단을 시도하였다. 실제 전류분석 및 진단을 수행하기 위하여 상용프로그램인 LabVIEW와 MATLAB을 이용하였다.

Ⅱ. 본론

1. 주성분 분석에 의한 고장진단

주성분분석(principle component analysis)은 차원축소를 통하여 저차원상에서 변수의 관계를 규명하는 다변량 자료분석기법이다. 주성분분석은 다변량기법에서 가장 오래되었고 폭넓게 사용되는 기법이다. 다변량자료에서 변동을 변수들의 선형결합들로 이루어진 새로운변수(주성분분석에서는 이를 주성분이라한다.)에 의해서 나타내려는 생각이 이 기법의 주된 내용이다. 그리고 가급적 적은 새로운 변수(주성분)로 전체의 변동을 설명하려는 점은 이 기법이 지니는 차원축소의 주된 개념이다.

p개의 고장모드에서 취득한 주파수 벡터를 식 (1)과 같이 표기하고

$$x_1 \quad x_2 \quad x_3 \quad \cdots \quad x_p \tag{1}$$

각 고장모드 $x_i(\ i=0,1,2 \cdots\ p)$는 n×1의 크기의 주파수 데이터를 갖는 벡터로 가정한다.
주파수의 평균벡터를 다음과 같이 표기하자.

$$m_{n\times 1}=\frac{1}{P}\sum_{i=1}^{p}x_i \tag{2}$$

각 고장모드 주파수벡터 x^i와 평균주파수벡터 m의 차를 구한다.

$$\overline{x_i}=x_i-m \tag{3}$$

위의 차 벡터들을 이용 새로운 벡터를 구성한다.

$$\overline{X}=[\overline{x_1} \quad \overline{x_2} \quad \overline{x_3} \quad \cdots \quad \overline{x_p}] \tag{4}$$

다음과 같은 공분산 행렬을 정의한다.

$$\Omega=\overline{X}\,\overline{X}^T \tag{5}$$

공분산행렬 Ω에 대한 고유치 λ와 고유벡터 V를 구한다.

$$\Omega\, v_i = \lambda_i\, v_i \quad , \quad i = 1,2,3 \cdots p \qquad (6)$$

고유벡터를 정의한다.

$$V = [v_1\, v_2\, v_3 \cdots v_p] \qquad (7)$$

위의 고유벡터 V를 이용하여 특징벡터 $\hat{x}_i$ 를 구한다.

$$\hat{x}_i = V_T\, \bar{x}_i \qquad (8)$$

주성분 분석에 의한 인식은 임의의 취득한 주파수 벡터를 y_i라고 할 때 평균주파수 벡터 m과의 차 $\bar{y}_i$를 구한다.

$$\bar{y}_i = y_i - m \qquad (9)$$

이를 인식대상에 투영하면

$$\hat{y}_i = V_T\, \bar{y}_i \qquad (10)$$

이렇게 두 특징벡터 $\hat{x}_i$와 $\hat{y}_i$가 구해지면 거리를 유크라디언 거리계산법 식(11)에 의해구하여 가장 적은 거리의 $\hat{x}_i$가 대상 $\hat{y}_i$와 가장 유사하다고 판단하게 된다.

$$distance = \sqrt{\sum_{i=1}^{p} |\hat{x}_i - \hat{y}_i|^2} \qquad (11)$$

2. 주성분 분석에 의한 고장분류 및 진단

이 연구에서는 유도전동기의 주요고장 요소 중 총 5가지 경우를 진단 대상으로 하였다. 정상 상태, 볼 베어링 내륜5mm 결함, 볼 베어링 외륜5mm 결함, 베어링 볼 결함, 회전자 편심 결함을 갖도록 시험체를 제작하여 실험하였다. 본 연구에서는 데이터 취득보드를 통해 구동 중인 전동기로부터 전류신호를 취득하고 계측용 범용 프로그램 LabVIEW를 이용하여 전류신호의 주파수 분석을 하였고 이 주파수 데이터를 MATLAB 프로그램을 이용하여 주성분 분석(PCA) 기법을 이용하여 진단에 활용하였다. 그림 1에서와 같이 먼저 전류 신호 분석을 통해 얻은 주파수 데이터의 로그값을 취한 다음 0.1에서 0.9값으로 정규화를 시킨다. 이렇게 고장모드 별로 각각 정규화 되고 평균화된 기준 데이터를 이용하여 주성분 분석을 통해 고유벡터를 만들었다. 이를 이용 주성분 분석을 통한 고장진단 및 분류를 하게된다.

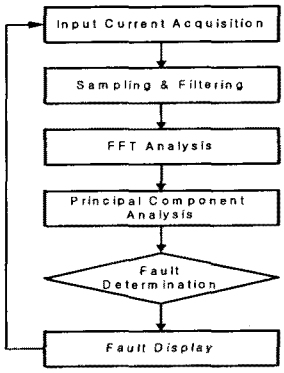


그림 1. PCA를 이용한 고장진단 순서도
Fig. 1. Flow chart of fault diagnosis using PCA

2. LabVIEW를 이용한 진단프로그램

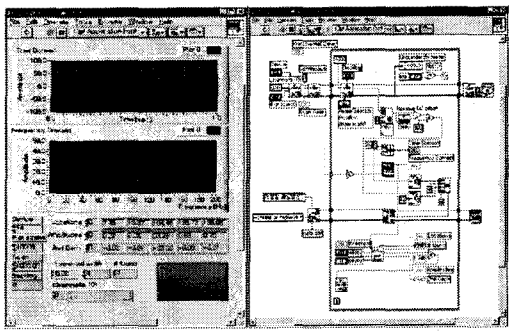


그림 2. LabVIEW를 이용한 고장 데이터 취득
Fig 2. Data acquisition using the LabVIEW

데이터 취득 및 분석을 위해 NI사의 A/D board (1.25MS/s)와 LabVIEW 그리고 MATLAB을 이용하였다. 고장 데이터를 취득할 때 우선 5가지 종류의 데이터로 나누어서 측정하였다. 정상상태, 내륜 5mm 결함 외륜 5mm 결함, 볼 결함, 편심 결함. 각 경우에 대해서 무 부하 상태에서 측정하였다. 센서를 통해서 얻은 신호를 LabVIEW 프로그램을 통해 저장하고 이 신호의 주파수 스펙트럼을 확인하고 다시 저장한다.

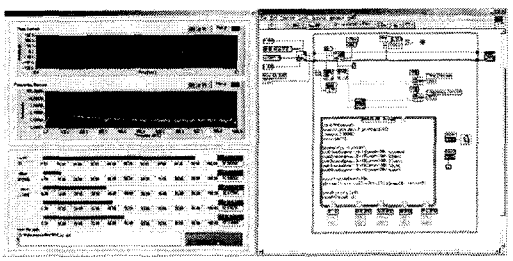


그림 3. LabVIEW-Matlab 진단 프로그램
Fig 3. Diagnosis program Linked with LabVIEW-Matlab

A/D보드를 통해 취득한 저장 데이터를 불러들여 Off-Line으로LabVIEW 프로그램 내에서 주파수 스펙트럼을 얻고 이것을 다시 정규화시킨 다음 PCA를 통하여 고장을 분류 진단하였다.

3. 고장진단시험설비

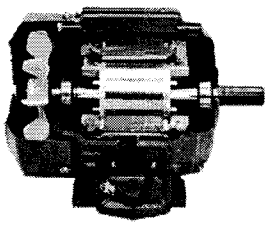


그림 4. 유도 전동기의 단면도
Fig 4. Cross section of induction motor

고장진단 시험설비는 다음과 같이 관성부하, DC모터, 토크메타, 정상모터를 결함모터로 구성되고 3상 유도전동기는 10HP, 4P, 380V, 관성부하 32[Nm]. 그림 4유도전동기 그림에서 전동기가 부하에 연결되는 우측부위의 베어링을 그림 5과 같이 결함을 모의하였다. 진단을 위한 컴퓨터 및 데이터 취득장비이다. 그림 6은 결함모터의 회전자를 교체하기 위해 분리하는 사진이다. 그림 7은 고장진단을 위해 사용된 모터 및 구동설비 이다. 고장진단 시스템 전체 구성도 이다. 그림 8은 고장진단을 위한 진단설비 이다. 그림 9는 진단시스템 전체 구성도 이다.

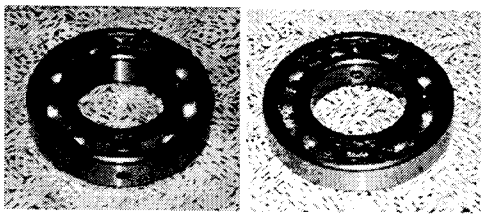
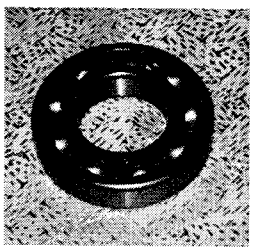


그림 5. (a)베어링 외륜5mm결함 (b)내륜 5mm결함
Fig5. (a) Outer race defect (b)Inner race defect



(c)베어링 볼결함
(c) ball defect

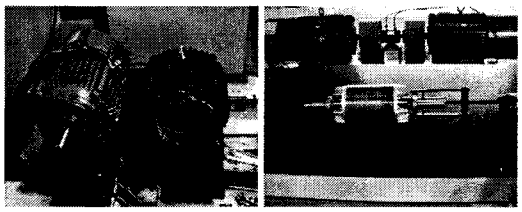


그림 6. 유도전동기 분리상태
Fig 6. Decomposed induction motor

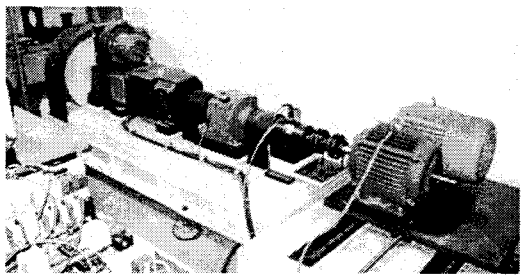


그림 7. 진단모터 구동설비
Fig 7. Driving facilities of motor

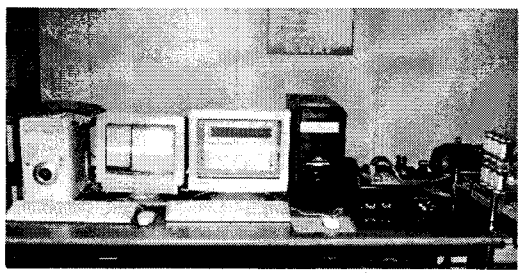


그림 8. 고장진단 감시장비
Fig 8. Morning equipment for fault diagnosis

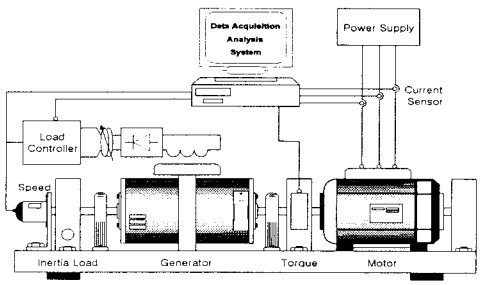


그림 9. 진단시험설비 구성도
Fig 9. Configuration of diagnosis equipment

III. 결론

다음은 각 고장 모드에서 이미 취득한 전류 데이터파일을 Off-line상태에서 LabVIEW프로그램을 통해 읽어들이고 읽어 들인 데이터를 주파수 분석하고 그 결과를 내부 Matlab 프로그램을 이용 주성분 분석을 하여 진단한 결과이다. 각 고장 모드의 전류데이타를 입력으로 하였을 때 자기가 소속한 진단 값이 가장큰 값을 갖도록 하였다. 각 고장모드별 진단결과에서 보듯이 진단 최소 값을 10에서 최대 값을 90으로 표현하였다. 90에 가까운 값이 많을수록 각 고장모드를 지목하고 있다.

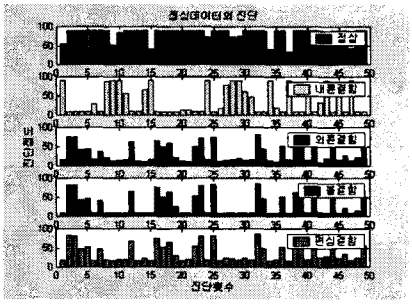


그림 10. 정상상태 진단결과
Fig 10. Diagnosis of normal state

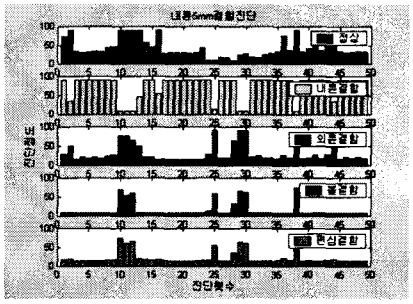


그림 11. 내륜결함 진단
Fig 11 Diagnosis of inner race defect

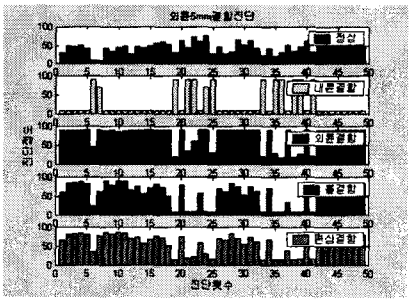


그림 12. 외륜결함 진단
Fig 12. Diagnosis of outer race defect

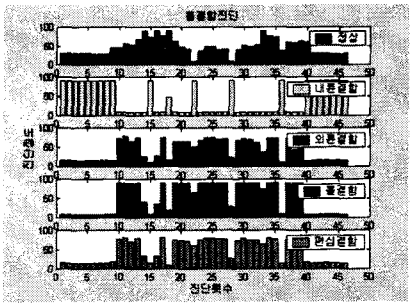


그림 13. 볼결함 진단
Fig 13. Diagnosis of ball defect

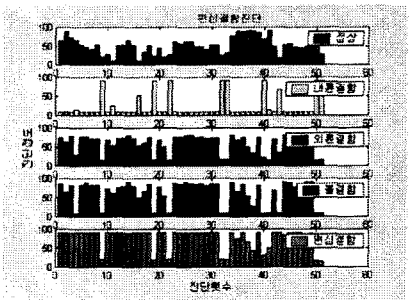


그림 14. 편심결함 진단
Fig 14. Diagnosis of eccentricity

참고문헌

[1] Peter Vas "Artificial-Intelligence-Based Electrical Machines and Drives" OXFORD university press.

[2] 장현오, "LabVIEW 그래픽 프로그램의 이해", ADC SYSTEM

[3] 전명근, "생체인식" 충북대학교