변동 문턱값을 이용한 유도전동기 회전자 바 고장의 진단

양철오*, 김종선*, 박규남*, 송명현*
*순천대학교 전기공학과

Diagnosis of Rotor Bar fault of Induction Motor Using the Moving Threshold

Chul-oh Yang, Jong-sun Kim, Kyu-nam Park, Myung-hyun Song,
Sunchon National University, Dept. of Electrical Eng.

Abstract - 본 연구에서는 소형 유도전동기의 회전자 바 고장을 자동진단을 함에 있어, 회전속도 변화에 따라 변동하는 문턱값을 적용하는 방법을 제안하였다. 유도전동기 회전자 바 고장 시 부하의 감소에 따라 회전자 바 고장 특징 주파수 진폭의 크기는 작아진다. 따라서 부하의 감소에 따라 문턱값 또한 작아지는 것이 정확한 회전자 바 고장 진단에 유리하다. 유도전동기 회전속도의 증가는 부하의 감소를 의미하므로 회전속도 증가에 따라 문턱값의 크기를 감소시켜주는 변동 문턱값을 적용하여 진단함으로써 유도전동기 회전자 바 고장 진단의 정확도를 높였다.

1. 서 론

유도전동기는 산업영역 전반에 걸쳐 폭 넓게 사용되고 있다. 유도전동기의 갑작스런 고장은 구동장치를 사용하는 전체 시스템에 대한 신뢰도 및 안전성을 저하시키고 경제적인 손실을 초래할 수 있다. 따라서 중요한 전동기는 어떤 형태로든 초기 결함을 감지하여 계획적인 예방정비 또는 적기에 수리가 이루어질 수 있는 결함 검출 방법이 필요하다.

유도전동기의 여러 가지 고장 중 회전자 바 고장은 자주 발생하는 결함 중에 하나이다. 또 유도전동기의 회전자 바 고장에 따른 토크성능 저하는 파손된 회전자 바가 1개(40개중)인 경우 성능저하는 2-4[%]이고 3-5개의 파손인 경우 10-15[%]로 연구되었다[1].

이와 같은 회전자 바 고장에 대하여 신호 해석에 의한 여러 가지 진단 방법이 사용되고 있다. 하지만 실제 산업 현장에서 전문적인 지식을 가지지 않는 작업자가 이러한 진단 방법을 적용하여 진단하기에는 많은 어려움이 있다. 따라서 진단 전문가가 아닌 일반 작업자도 간단한 조작으로 손쉽게 회전자 바 고장을 진단할 수 있는 자동진단 시스템을 필요로 한다[2].

유도전동기 회전자 바 고장 자동진단을 위해서는 정상과 고장을 구분하기 위한 기준 문턱값 설정을 요구한다. 자동 진단 시 부하 변화에 관계없이 고정된 문턱값을 적용하여 진단하는 방법은 정확한 진단이 어렵다. 따라서 본 연구에서는 회전자 바 고장 자동진단의 정확도 향상을 위해 효과적으로 문턱값을 설정하는 방법에 대해 고찰하였다.

2. 본 론

2.1 회전자 바 고장 특징 주파수

회전자 바 고장은 고정자 선 전류에서 관측되는 회전자 바 결함 주파수 성분을 이용하여 회전자 바 고장을 검출 할 수 있다. 선 전류 스펙트럼상의 회전자 바 고장의 특성 주파수는 식(2.1)과 같이 전기적 공급 전류 주파수 주변에 새로운 측파대에서 순차적으로 발생한다[3].

$$f_b = (1 \pm 2ks) f_e \qquad k = 1,2,3,... \tag{1}$$

여기서, f_b는 회전자 바 결함 주파수, f_e는 공급전류 주파수, s는 슬립(slip), k는 상수이다. f_b의 $(1-2ks)f_e$ 성분(the Lower Sideband: LSB)은 회전자 바 고장으로 인하여 발생하게 되고, $(1+2ks)f_e$ 성분(the Upper Sideband:USB)은 속도 진동의 결과로서 발생한다[4].

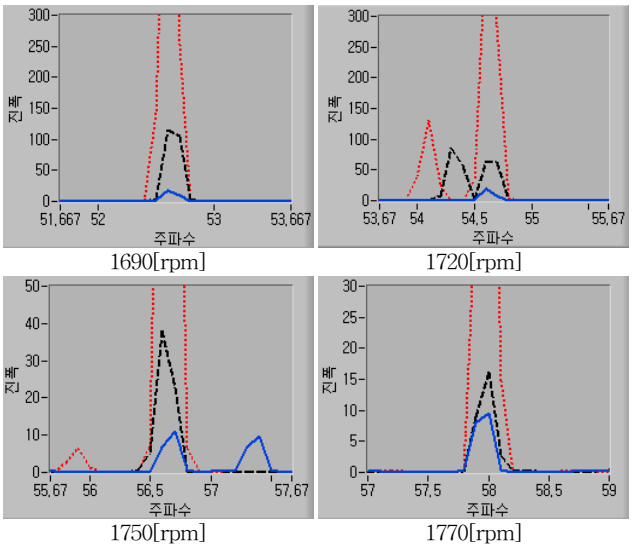
회전자 바 고장의 LSB와 USB를 비교하였을 때 LSB가 USB보다 진폭의 크기가 크게 나타나며, 그 중 LSB1(k=1일 때) 진폭의 크기가 가장 크게 나타난다[2]. 따라서 본 연구에서는 LSB1에서의 진폭의 크기를 이용해 진단하였다. 이하 회전자 바 고장의 특징 주파수는 LSB1 성분이며 식 (2)와 같이 정의한다. 슬립은 식 (3)에 의해 구할 수 있다.

$$f_{b1} = (1-2s) f_e \tag{2}$$

$$s = \frac{N_s - N}{N_s} \tag{3}$$

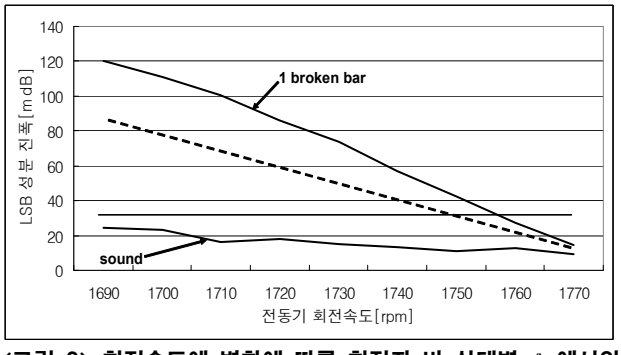
여기서, f_{b1}은 k=1일 때의 회전자 바 고장 특징주파수의 LSB, N_s는 유도전동기 동기속도, N은 유도전동기 회전속도

<그림 1>은 각 회전속도별 f_{b1}의 $\pm 1[Hz]$ 구간의 주파수 스펙트럼을 나타낸 그림으로 진폭이 큰 그래프부터 차례로 2 broken bar(....), 1 broken bar(---), sound(___) 회전자 바 전동기의 그래프이다. 회전속도가 증가함에 따라 회전자 바 고장 전동기와 정상 전동기의 f_{b1}의 진폭의 차가 줄어든다.



<그림 1> 유도전동기의 회전자 바 상태별 f_{b1}에서 주파수 스펙트럼

2.2 회전속도에 변화 따른 회전자 바 특징주파수(f_{b1}) 진폭 변화

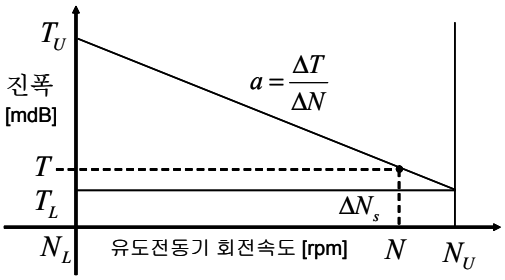


<그림 2> 회전속도에 변화에 따른 회전자 바 상태별 f_{b1}에서의 진폭 변화와 고정 문턱값(___)과 변동 문턱값(---)의 비교

<그림 2>는 유도전동기의 회전속도가 1690[rpm]에서 1770[rpm]까지 10[rpm]씩 변화함에 따라 $k=1$일 때 회전자 바 고장 특징 주파수(f_{b1})의 진폭 크기 변화를 나타낸 그래프이다. 전동기의 회전속도가 증가(부하가 감소)함에 따라 1 broken bar의 f_{b1}에서 진폭의 크기는 감소한다. 그리고 그 크기의 감소 그래프는 선형에 가깝다. 따라서 <그림 2>의 실선(___)처럼 부하 변화에 상관없이 같은 문턱값을 적용하여 진단하는 방법 보다 점선(---)과 같이 부하가 감소함에 따라 변동하는 문턱값을 적용하여 진단하는 방법이 유리하다.

2.2 회전속도에 변화에 따른 변동 문턱값 설정

<그림 3>은 유도전동기 회전속도 변화에 따른 변동 문턱값 설정의 개념도이다. 유도전동기 회전속도(N)에 따라 기준 점의 파라미터 값(N_U, N_L, T_U, N_L)을 이용해 식 (4), (5)로 유도전동기 회전속도에 따른 문턱값을 계산한다.



<그림 3> 회전속도 변화에 따른 변동 문턱값 설정

본 연구에서 유도전동기 회전속도 감소에 따른 변동 문턱값 계산을 위해 제안한 수식은 식 (4),(5)와 같다.

$$T=-a(N-N_L)+T_U \tag{4}$$

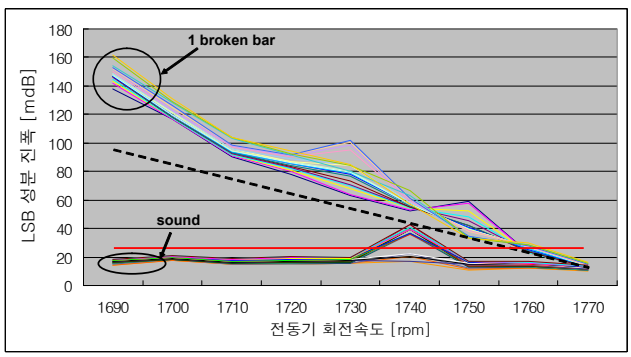
$$a=\frac{\Delta T}{\Delta N}=\frac{T_U-T_L}{N_U-N_L} \tag{5}$$

여기서, T는 유도전동기 회전속도에 따라 계산되는 변동 문턱값, a는 문턱값 적용 구간에서의 기울기, N은 유도전동기 회전속도, N_L과 N_U는 각각 전동기 기준 회전속도의 하위값과 상위값, T_L과 T_U는 기준 회전속도에서 문턱값의 하위값과 상위값

2.3 실험 결과 및 검토

<그림 4>는 실험에 사용된 실험장치의 구성도이다. 실험에 사용된 전동기는 효성 3상 1마력 유도전동기이다. 유도전동기의 부하 효과를 위해 다이나모메타를 연결하여 유도전동기의 회전속도를 제어하였다. 전류 신호 검출을 위해 FLIKE사의 i5s AC Current Clamp를 한 상에 연결하였으며, USB-DAQ 보드는 NI(National Instrument)사의 USB 9215A with BNC를 사용하였고, USB 2.0을 이용하여 펜티엄 노트북 컴퓨터와 연결하여 전류 신호를 수집하였다[2].

본 연구에서는 유도전동기 회전속도를 정격속도인 1690[rpm]에서 1770[rpm]까지 10[rpm]씩 증가시켜가며 20회씩 반복 실험하여 회전자 바 상태별로 총 180개의 f_{b1}의 피크값의 샘플 데이터를 수집하였다.



<그림 5> 회전자 바 상태별 f_{b1} 샘플 데이터와 고정 문턱값(___)과 변동 문턱값(---)의 비교

<그림 5>는 20회씩 수집된 샘플 데이터를 나타낸 그래프이고, 그림에서 실선(___)과 점선(---)은 각각 고정된 문턱값과 속도변화에 따라 유동적인 문턱값을 나타낸다.

본 연구에서는 실험을 통해 양 단의 기준 문턱값을 <표 1>과 같이 얻어냈다. 실험을 통해 얻어진 기준점의 설정 회전속도와 문턱값을 식 (4, 5)에 적용하여 회전자 바 고장의 상태를 진단하였다.

<표 1> 회전속도 변화에 따른 기준점의 설정 문턱값

추정속도 [rpm]	N_L	N_U
	1690	1770
문턱값 [mdB]	T_L	T_U
	94	13

<표 2>는 고정 문턱값을 적용하여 정상 전동기와 1 broken bar 전동기를 진단한 결과, 20회 진단 중 오진 횟수를 표기한 것이다. 여기서 오진은 정상 전동기를 고장 전동기로 판별하거나, 고장 전동기를 정상 전동기로 판별함을 의미한다. 경 부하 구간인 1770[rpm] 구간에서는 고정 문턱값을 적용할 경우 1 booken bar 진단이 어렵다.

<표 2> 고정 문턱값 적용 진단 결과 오진 횟수

	1690 rpm	1700 rpm	1710 rpm	1720 rpm	1730 rpm	1740 rpm	1750 rpm	1760 rpm	1770 rpm
sound	0	0	0	0	0	14	0	0	0
1 bar	0	0	0	0	0	0	0	2	20

<표 3>은 본 연구에서 제안한 유동적인 문턱값을 적용하여 진단한 결과를 나타낸 표이다. <표 2>의 고정 문턱값을 적용하여 진단한 결과와 비교하여 진단의 정확도가 높아졌음을 확인하였다.

<표 3> 변동 문턱값 적용 진단 결과 오진 횟수

	1690 rpm	1700 rpm	1710 rpm	1720 rpm	1730 rpm	1740 rpm	1750 rpm	1760 rpm	1770 rpm
sound	0	0	0	0	0	1	0	0	4
1 bar	0	0	0	0	0	0	0	1	4

2. 결 론

본 연구에서는 회전자 바 고장을 자동으로 진단함에 있어 회전속도 변화에 따라 변동 문턱값을 적용하는 방법을 제안하였다. 여러 가지 실험 데이터를 통하여 기준 문턱값을 정하였으며, 본 연구에서 제안한 문턱값 적용 방법이 종래의 방식인 고정된 문턱값을 적용하는 방법보다 진단 결과가 우수함을 <표 2, 3>의 실험 결과를 통해 확인하였다.

본 연구에서는 유도전동기 회전속도가 1690[rpm]~1770[rpm]인 구간에 대해서 실험을 수행하였다. 유도전동기의 회전자 바 고장 진단은 회전속도가 1770[rpm]보다 빠른 속도의 경 부하 구간에서는 정확한 진단이 어렵다. 따라서 앞으로 경 부하 구간에서 유도전동기 회전자 바 고장 진단에 대한 연구와 정확도 향상에 대한 연구가 필요하다.

[참 고 문 헌]

[1] Elkasabgy NM, Easthan AR & Dawson GE, "Dection of broken bars in the cage rotor on an induction machine", IEEE Transactions on Industry applications 28(1), pp165-171, 1992.

[2] 송면현, 박규남, 한동기, 양철오, "팍스벡터 패턴을 이용한 회전자 바 고장 자동진단", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp18-20, 2007

[3] O. V. Thomson. and M. Dalva, "Methods of condition monitoring and fault diagnosis for induction motors", ETEP Journal, Vol. 8. No. 5, pp. 383-395, 1998.

[4] G. B. Kilman, R.A. Koegl, J. Stein, R. D. Endicott, M. W. Madden, "Noninvasive dection of broken rotor bars in operating induction motors", IEEE Trans. Energy Conv. Vol. EC-3. No. 4, pp. 873-879, December 1988.