Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers Vol. 19, No.8, pp. 131~137 December 2005

논문 19-8-19

축방향 누설자속 측정에 의한 유도전동기의 고정자 결함검출에 관한 연구

(A Study of Stator Fault Detection for the Induction Motor Using Axial Magnetic Leakage Flux)

신대철* · 김영환

(Dae-Cheul Shin · Young-Hwan Kim)

요 약

본 논문은 유도 전동기에 대한 상태 모니터링 시스템의 도구로서 축방향 누설자속 측정 방법을 사용할 수 있는가를 평가하고 전동기에 대한 진단 알고리즘을 개발하는 것이다. 결함검출을 위해 전동기를 정지시키지 않고 전동기의 코일단에 설치된 자속코일로 누설자속 신호를 수집하여 전동기의 각종 결함을 검출하기 위해 시간과 주파수 영역으로 신호를 분석한다. 전동기 각각의 결함에 대해 시간과 주파수 영역에서 특정 신호 현상이 검출되었다. 전원전압 불평형과 고정자 권선의 선간 단락은 축방향에서 측정된 고해상도의 누설자속 스펙트럼으로부터 특정 측대파와 회전자봉 통과주파수의 측대파를 분석함으로서 결함을 검출할 수 있다. 주파수 영역에서의 스펙트럼이 모니터링 목적으로 더욱 유용하다는 결론을 얻었다.

본 논문에서는 유도 전동기의 축방향 누설자속 측정이 진단 방법으로서 적합한 도구임을 증명하고 결함을 검출하기 위한 알고리즘을 개발하였다.

Abstract

The purpose of this paper is to evaluate the axial magnetic flux measurement could be used as a tool of the condition monitoring system for the induction motor and to develope the diagnostic algorithm for the electric motors. The magnetic leakage flux signal is captured by the flux coil located at the end of motor without the disturbance of the operation. And the signal is analyzed both time and frequency bases to detect the failure of the motor. Specific signature can be described in time and frequency domain for each faults of the motor. The spectrum of the signal was found more useful for the monitoring purpose. The supply voltage imbalance and turn to turn failure of the stator winding could be detected by analysing the specific sidebands of the axial flux and sideband of the rotor bar pass frequency with the high resolution spectrum..

The goal of this study verity that the axial flux measurement for the induction motor is a powerful tool for the diagnostic method and develope the algorithm to detect the fault.

Key Words : Flux coil, Axial magnetic flux measurement, Condition monitoring, Induction motor

---

* 주저자 : 호서대학교 전기공학과 교수
Tel : 041-540-5651, Fax : 041-549-5651, E-mail : dcsin@office.hoseo.ac.kr
접수일자 : 2005년 10월 24일, 1차심사 : 2005년 10월 27일, 심사완료 : 2005년 11월 9일

1. 서 론

정밀가공 및 생산라인의 구동장치로 가장 많이 쓰이고 있는 전동기는 주파수 변환기에 의해 회전수를 변경시킬 수 있는 가변주파수 전동기이다. 이 전동기는 매우 신뢰성이 높은 기계이지만 때때로 예상할 수 없는 결함이 발생하기도 한다. 그러나 전동기가 갑자기 고장이 나서 생산라인이 정지된 경우 생산중단에 따른 비용은 매우 큰 손실을 가져다 줄 수 있다.

만약 고장이 초기에 발견될 수 있다면, 수리작업을 계획하는데 충분한 시간이 있고, 예상하지 못한 생산 중단 시간을 감소시킬 수 있다. 이런 이유로 산업체에서는 생산중단에 따른 크나큰 손해를 사전에 방지하고 기계의 고장을 조기에 발견하기 위해 계획된 정비작업과 기계 상태 모니터링을 실시하였다[1].

기계 상태 모니터링의 변수로는 진동, 축 전류, 축 전압, 회전자전류, 부분방전, 속도변동, 온도, 누설자속, 고정자전류 측정 및 가스분석, 오일 분석등의 방법이 있다[2]. 이 방법들은 전동기에 적용되어 성공적으로 결함을 검출하였다. 그러나 운전 중인 저전압 전동기의 고정자와 회전자 권선 고장을 검출하기 위한 신뢰할 수 있는 상태감시 방법이 없기 때문에 문제점을 가지고 있다. 또한 고정자 권선의 고장은 다른 고장에 비해서 더 빠르게 진전된다. 운전되는 동안 유도 전동기의 고정자와 회전자 권선의 상태를 감시하기 위한 잠재적 방법으로 축의 누설자속 측정을 소개하였다[3].

축방향 누설자속 측정법을 사용하여 작동중인 전동기 상태의 결함진단에 적용하기 위해서는 아직 많은 연구가 필요한 단계이다. 따라서 축방향 누설자속 측정에 의한 유도 전동기의 고정자와 회전자 고장의 상태 감시를 연구하게 되었다.

본 연구에서는 정상전동기와 각종 결함을 가진 전동기로부터 실험적인 자료를 수집하고, 수식들에 의해 실험적 측정자료를 평가하였다. 축방향 누설자속 측정을 사용한 상태감시로부터 얻은 정보에 기초를 둔 최종적인 목표는 유도 전동기와 분석 명령들에 의해 전동기의 상태를 평가하는 진단 시스템의 알고리즘을 개발하는데 있다.

2. 이론적 배경

2.1 고정자 상전류에 의한 기자력

대칭권선을 가진 3상 교류 전동기에 대한 A상의 기자력 파형은 전류가 $\sqrt{2}I\cos\omega t$ 인 경우 다음과 같다[4].

$$F_A = 2\frac{M_n}{\pi}\sum_{k=1,3,5}\frac{1}{k}K_{pk}K_{dk}\cos(k\Phi+\omega t) + \frac{1}{k}K_{pk}K_{dk}\cos(k\Phi-\omega t) \quad (1)$$

여기서 $M=\sqrt{2}I\times$턴수(코일당 첨두암페어턴 수)

n : 극 당 코일 수

k : 기수 고조파 차수(1, 3, 5, ...)

K_p : 권선 피치계수(≤ 1)

K_d : 권선 분포계수(≤ 1)

ω : 각속도

식 (1)에서 $\cos(\Phi-\omega t)$ 값은 정회전 파형이고 $\cos(\Phi+\omega t)$ 값은 역회전 파형이다.

3상은 모두 유사한 자기 공극 자속 파형을 야기하고 각 상전류는 반대 방향으로 회전하는 2개의 자기 공극 파형을 야기한다. 고정자전류의 각 상은 코일단 영역에서 유사한 누설자속을 야기한다. 그래서 축방향 누설자속을 측정할 때 식 (1)에 의거하는 상전류에 의한 공극 누설자속 주파수의 성분은 다음과 같다.

$$f_{pc} = kf_{sync} \quad (2)$$

여기서 f_{sync} : 전원주파수

k : 기수 고조파 차수(1, 3, 5, ...)

2.2 평형 3상전류에 의한 회전 기자력

대칭의 3상 고정자 권선에 대칭 교류전류가 공급되는 경우, 모든 정회전 자장은 $(2qk-1)$이 0 또는 정수인 것을 제외하고 상쇄를 일으키고, 모든 역회전 자장은 $(2qk+1)$이 정수인 것을 제외하고 상쇄되어 다음과 같은 합성 기자력파형을 발생한다[4].

$$F_T = \frac{2qMs}{\pi} K_p K_d \cos(\Phi - \omega t) + \frac{1}{5} K_{p5} K_{d5} \cos(5\Phi + \omega t) + \frac{1}{7} K_{p7} K_{d7} \cos(7\Phi - \omega t) + \frac{1}{11} K_{p11} K_{d11} \cos(11\Phi + \omega t) + \ldots \quad (3)$$

여기서 $M = \sqrt{2}\, IT$(코일당 첨두 암페어턴 수)

s : 권선 당 슬롯 수

K_p : 권선 피치계수(≤ 1)

K_d : 권선 분포계수(≤ 1)

ω : 각속도

q : 극당 상 권선수(3상의 경우 q=3)

이것은 평형 운전에서 3상 전동기 동작의 고정자 전류가 다음의 고조파에서 정회전과 역회전 자장 주파수들을 야기한다는 것을 식(3)으로부터 볼 수 있다. 동기 회전 공극 누설자속 주파수에 대한 일반식과 균형운전에서 3상 유도 전동기 작동에 대한 고조파는 다음과 같다.

$$f_{sync} = \frac{1}{p}(6m \pm 1) \quad (4)$$

여기서 m은 정수이다.(0, 1, 2, 3,...)

이 주파수는 전동기의 축 누설자속을 측정할 때 누설자속에 존재한다. 권선계수는 각 고조파에 따라 진폭이 감쇄한다.

2.3 고정자 슬롯에 의한 누설자속 주파수

슬롯 창의 존재 때문에 고정자 슬롯의 퍼미언스 변동은 고주파 누설자속을 발생시킨다. 기본 주파수에 대한 고정자 주파수는 슬롯 통과주파수의 2배의 전원주파수 고조파로서 다음과 같이 "슬롯통과주파수 ± 2× n×전원주파수"에서 발생된다[5].

$$f_{RSS} = (Q_s f_r \pm 2nf_s) \pm if_r \quad (5)$$

여기서 f_r : 전동기의 회전주파수

Q_s : 고정자 슬롯 수

n, i : 정수(1, 2, 3, 4...)

2.4 저주파 누설자속에 의한 권선간 결함의 검출

선간 결함은 전동기 권선에서 큰 비대칭을 나타내고 누설 자계가 높아지므로 상태 감시 방법으로서 축방향 누설자속을 이용할 수 있다. 축방향 누설자속으로부터 단락된 권선을 검출하기 위해 다음과 같은 관련 주파수를 찾을 수 있다.

$$f_{SWF} = kf_s \pm if_r \quad (6)$$

여기서 i : 정수

k : 전원 고조파 차수

2.5 누설자속을 이용한 권선간 고장의 검출

축방향 누설자속코일의 측정에서 "슬롯통과주파수"의 고조파를 살펴봄으로서 전동기의 권선간 결함을 검출할 있다. 분석은 시간의 경과에 따라 스펙트럼의 경향변화에 기초를 두고, 고정자와 회전자에 대한 "슬롯통과주파수 고조파"의 성분에 변화가 일어날 때 결함을 알아낸다. 또한, "2배의 전원주파수 고조파"와 "회전속도 고조파"의 조합파형이 분석된다. 정상 전동기와 비정상 전동기로부터의 측정 결과사이에서 가장 심한 변화는 식(7)의 주파수에서 발생한다는 것을 권선간 결함에서 찾을 수 있다.

$$(f_{PSP} \pm nf_{sync}) \quad (7)$$

여기서 f_{PSP} : 슬롯통과주파수

n : 정수

3. 측정 시스템

3.1 축방향 누설자속 측정의 원리

그림 1은 코일단 공간에서의 고정자와 회전자 전류에 의한 누설자속 측정을 나타내고 있다. 전동기마다 고유의 불균형이 있기 때문에 공급되는 전원이 대칭이라 하더라도 누설자속은 항상 검출될 수 있다.

누설자속 스펙트럼은 고정자와 회전자전류 주파수성분에 의한 결과에 해당한다. 기본 주파수 이외의

스펙트럼은 고정자전류에 의한 고조파, 공급전압의 불균형과 다른 비정상적인 상태 및 편심, 고정자 상과 접지 간의 결함, 고정자 권선의 선간단락과 회전자 권선 결함과 같은 결함에 의한 주파수 성분을 포함한다. 이러한 이유로, 누설자속 측정은 농형 유도전동기의 전기적 상태를 감시하는데 사용될 수 있다.

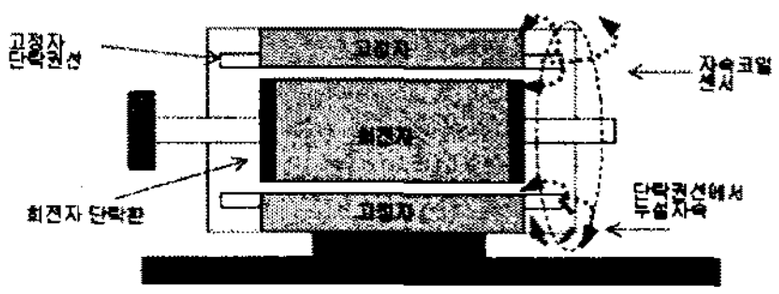

그림 1. 코일단 공간에서 누설자속
Fig. 1. Leakage flux at the space of motor end

누설자속은 전동기의 내부 또는 전동기 코일단 외부에 설치된 자속코일에 의해 측정될 수 있다. 전동기의 외부에 자속코일을 설치함으로서 전동기 운전을 방해하지 않고 측정하는 것이 가능하다. 이런 종류의 누설자속을 연구하기 위해서 고정자와 회전자전류 주파수 성분이 개별적으로 확인되어야 한다. 이것은 변동하는 누설자속을 측정하는 디지털측정 장비에 의해 필터링과 A/D 변환, FFT에 의해 주파수 스펙트럼으로 신호를 변환하는 신호처리로 수행된다.

3.2 축방향 자속코일 센서에 의한 전동기의 누설자속의 측정

유도전동기의 고장검출을 위한 누설자속 측정은 직경 300[mm], 턴 수 300회를 갖는 1개의 큰 자속코일을 제작하여 사용하였다. 센서는 그림 2와 같이 전동기의 코일단 축 중앙의 위치에 설치하고 스펙트럼 분석기는 자속코일에 의해 측정된 축방향 누설신호 성분을 분석하기 위해 사용하였다.

그림 2는 유도전동기에 부착한 자속코일과 측정 장비를 나타낸다.

사용된 측정 시스템에 대한 자속코일 분석기의 기술적 사양은 다음과 같다.

A/D 변환기 : 16[bit] 정밀도
동적 범위 : 90[dB] 이상
분해능 : 400, 800, 1600, 3200, 또는 6400라인
주파수 범위 : 0~10[Hz] 최소, 0~40[kHz] 최대
창함수 : Hanning

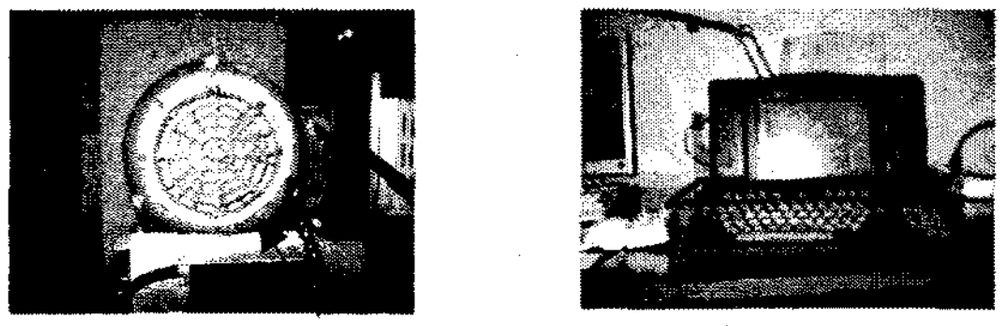

그림 2. 누설자속 측정시스템
Fig. 2. The measurement system of leakage flux

저주파 측정과 고주파 측정을 위해 다음의 2가지 설정하여 사용하였다.

(1) 저주파 영역의 측정을 위해, 0~200[Hz] 주파수 범위, 샘플링 속도는 512샘플/초와 3200라인의 분해능을 선택하였다.

(2) 고주파 영역의 측정을 위해, 선택된 주파수 범위는 0~6400[Hz]이다. 분석기에 의해 자동적으로 선택된 샘플링 속도는 6400[Hz]×2=12800샘플/초이고 6400라인의 분해능을 선택하였다.

4. 실험 및 검토

고정자 결함과 회전자 결함을 가진 전동기를 제작하여 주파수 변환기로 발생시킨 전압을 공급하고 전동기에서 발생하는 축방향 누설자속의 신호현상을 실험하였다. 또한 시간 파형의 결과를 비교하였고. 대부분의 결과는 주파수 성분에 기초를 둔 스펙트럼 분석에 의해 연구되었다.

4.1 자속코일 전압의 시간축 파형

그림 3은 회전자봉 결함전동기로부터 초당 12800 샘플의 높은 샘플링 속도로 측정된 자속코일 전압파형의 16384개 데이터를 보여준다. 파형으로부터 빠른 변동 사이클의 주기는 25[ms]로 약 40[Hz]의 주파수에 해당한다. 이것은 동기주파수(40.5[Hz])와 일치하는 주파수이다. 긴 주기는 640[ms] 정도로 슬립주파수(1.5[Hz])에 해당한다. 이 파형들은 스펙트럼에서 보다 명확히 나타나있다.

시간 데이터를 주파수 분석한 파형을 그림5에 보였다. 선정한 주파수 영역은 0~100[Hz]이고 스펙트럼의 라인 해상도는 512라인이다. 그림 5의 피크들은 주파수 변환기의 출력 주파수(40.5[Hz])와 이것의 고조파 진폭을 나타낸다. 기수고조파는 우수고조파의 진폭에

비해 훨씬 크게 나타나있다. 이는 식 (3)에서와 같이 높은 고조파 차수로 갈수록 감쇠가 크게 되는 현상이다.

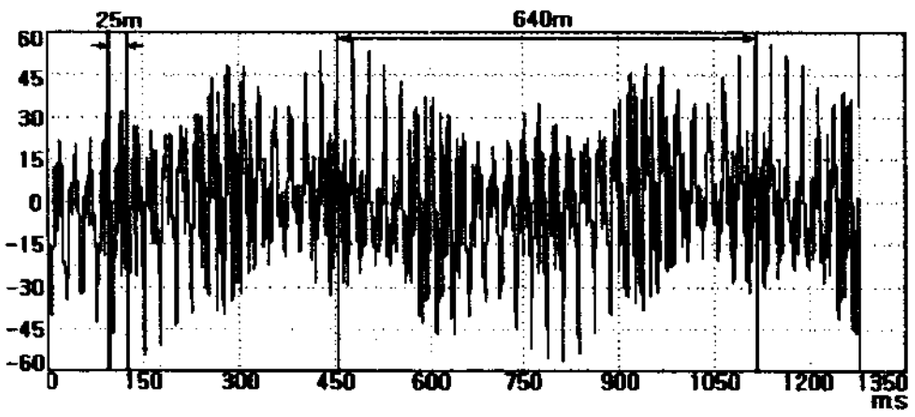

그림 3. 축방향 누설자속 전압파형
Fig. 3. Voltage signal of axial leakage flux

4.2 슬립주파수와 고조파의 검출

축방향 자속코일 전압의 슬립주파수 성분의 진폭은 회전자봉 결함 및 회전자 단락환의 상태를 평가하기 위해 사용될 수 있다. 주파수 변환기에 의해 공급되는 건전한 전동기와 회전자봉 결함 전동기의 실험결과로 축방향 누설자속 전압 스펙트럼으로부터 슬립주파수의 진폭을 검출하는 것이 가능한지를 알아보았다. 측정에서 선정한 주파수 영역은 0~100[Hz]이고 스펙트럼의 해상도는 256라인이다. 그림 4는 회전봉 결함 전동기에서 슬립주파수를 보이고 있다. 좌측에 첫 번째 주파수 성분은 슬립주파수(1.56[Hz])이다. 이 경우에 슬립주파수의 진폭은 쉽게 검출될 수 있으며 대략 6[dB]이다. 다른 전동기에서도 유사한 결과가 발견되었다. 또 2배 변환기 출력주파수의 측대파로서 슬립주파수의 2배를 나타낸다.

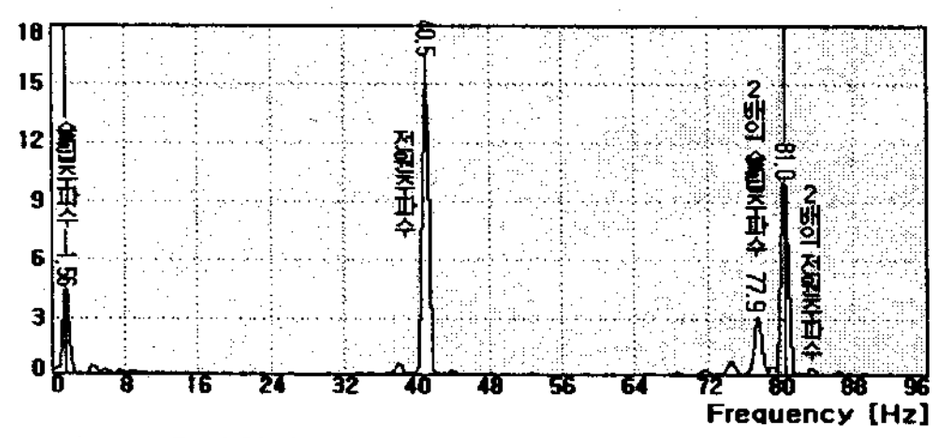

그림 4. 축방향 누설자속코일의 슬립주파수와 측대파
Fig. 4. Slip frequency and the sideband of axial leakage flux coil voltage

4.3 고정자 권선의 선간결함 검출의 실험결과

고정자 권선의 선간 결함의 검출은 전원 주파수 성분과 그것의 특정 회전 측대파 주파수의 진폭 사이의 차를 분석함으로서 가능하다. 축방향 누설자속 전압측정에 의해 선간 결함(고정자 권선의 권선 사이의 단락회로)을 검출하는 능력을 확인하기위해 다양하게 실험하였다. 시험 설정은 기계결함 시뮬레이터에 농형 유도전동기를 설치하고 3상 가변전압을 공급하였다. 각각의 실험은 부하와 무부하 상태에서 수행되었다.

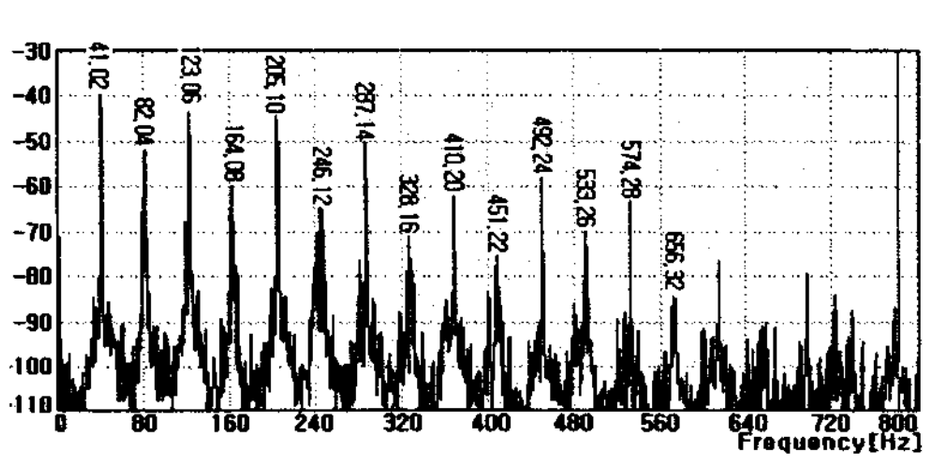

그림 5. 부하 운전상태에서 정상 전동기에 대한 축방향 누설자속코일 전압의 공급 주파수와 고조파
Fig. 5. Supply frequency and harmonics of axial leakage flux coil voltage of normal motor with the load condition

무부하 운전상태에서 슬립은 매우 적고 회전 슬립 주파수 성분은 공급 주파수의 고조파에 매우 근접해 있어 쉽게 결함을 검출할 수 없었다. 그림 5는 부하 운전상태의 정상 전동기의 축방향 누설자속 스펙트럼을 보였다. 그림 6은 3선 단락회로를 가진 전동기에 대한 동일 주파수대역의 스펙트럼이며 공급 주파수 및 고조파를 나타내고 있다.

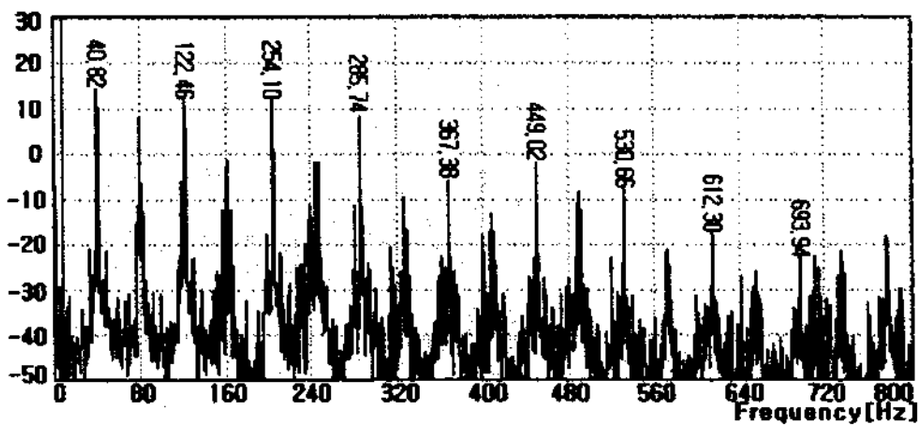

그림 6. 부하 운전상태에서 3선 단락 전동기에 대한 축방향 누설자속코일 전압의 공급 주파수와 고조파
Fig. 6. Supply frequency and harmonics of axial leakage flux coil voltage for 3 turns short circuit in the stator with the load condition

부하 운전상태에서 여러 가지 결함정도에 따른 공급주파수와 고조파의 진폭의 결과를 표 1에 보였다.

기수 고조파에서는 권선 결함 전동기의 성분이 건

전한 전동기 진폭보다 더 크다. 또한 레벨차도 크다. 그리고 우수 고조파에서는 건전한 전동기 성분이 더 크고 레벨차는 크지 않게 나타났다. 이것은 식 (1), (2)에서와 같이 고정자 전류에 의한 기자력은 기수 고조파에 의해 지배됨을 나타내고 있다 .

표 1. 부하 운전상태에서 여러 가지 결함정도에 따른 공급주파수와 고조파의 진폭 차

Table 1. The amplitude difference of supply frequency and harmonics depend on the level of the fault with load condition

구분 / 차수	정상 전동기[dB]	권선 결함 전동기[dB]	레벨차[dB]
1차(40.96)	13.84	19.94	6.10
2차	7.63	7.43	-0.20
3차	11.32	14.81	3.49
4차	-3.75	-3.93	-0.18
5차	11.23	13.82	2.59
6차	-2.42	-10.39	-7.97
7차	7.90	10.00	2.10
8차	-9.84	-10.95	-1.11
9차	-6.61	-1.60	5.01
10차	-13.78	-15.15	-1.37
11차	-2.35	0.98	3.33
12차	-8.73	-9.55	-0.82
13차	-8.14	-3.08	5.06
14차	-21.29	-23.37	-2.08
15차	-18.08	-23.62	-5.54
16차	-26.31	-29.71	-3.40
17차	-23.69	-19.42	4.27

"회전자 슬롯통과주파수와 전원주파수 측대파 집단"이 고정자의 선간 결함을 알아내는데 사용될 수 있다. 그림 7은 부하 운전상태에서 정상 전동기에 대한 축방향 누설자속의 높은 주파수 스펙트럼을 보이고 있다. 회전자 슬롯통과주파수 및 2배의 전원주파수 측대파 측대파가 추가적으로 나타나있다. 그림 8은 3선 단락 전동기에 대한 동일한 스펙트럼이 나타났다.

무부하 운전상태에서 선간단락 결함을 가진 전동기에 대해 "회전자 슬롯통과주파수와 2배의 전원주파수 측대파"의 진폭으로 결함을 검출할 수 있다.

표 2는 무부하 운전상태에서 선간단락 결함 조건의 전동기에 대한 2배의 전원주파수 측대파를 가진 회전자 슬롯에 의한 고주파수의 진폭을 나타낸다. 이 2개의 주파수 그룹은 작은 슬립 때문에 서로의 고조파에 가까이 접근되어 있다(무부하 전동기의 슬립은 0.002임).

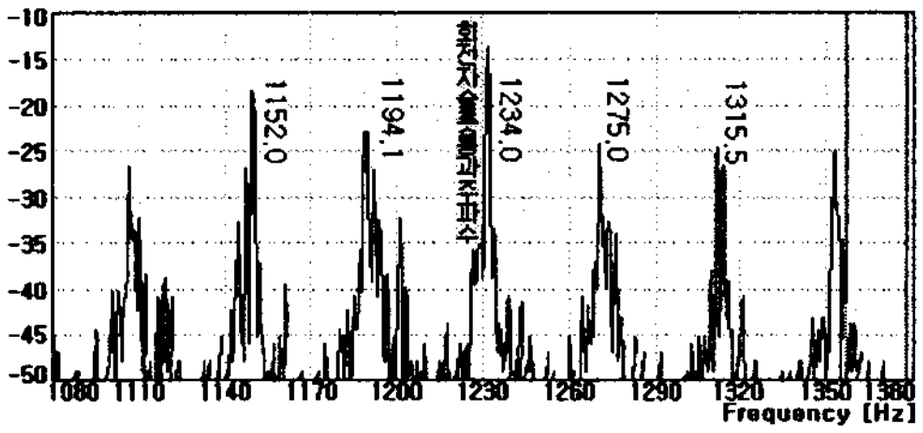

그림 7. 부하 운전상태에서 정상전동기에 대한 축방향 누설자속코일 전압의 슬롯통과주파수와 2배의 전원주파수 측대파

Fig. 7. Slot pass frequency and 2x supply frequency of axial leakage flux coil voltage of normal motor with the load condition

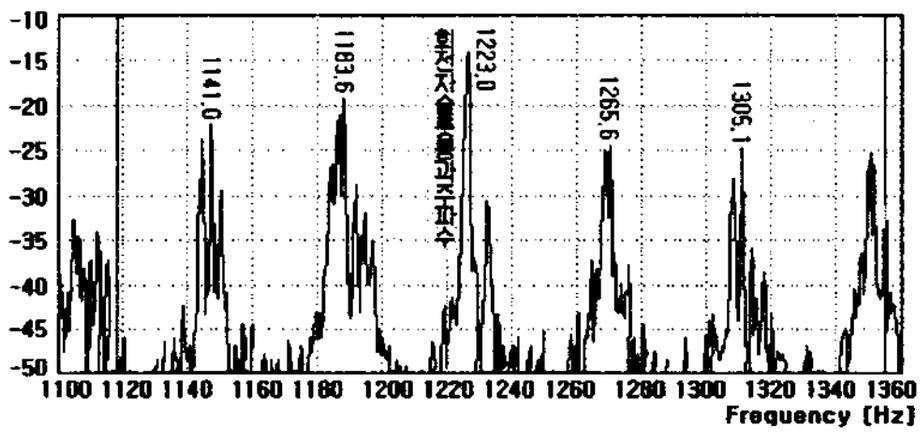

그림 8. 부하 운전상태에서 3권선 단락 전동기에 대한 축방향 누설자속코일의 회전자봉 통과주파수와 2배의 전원주파수 측대파

Fig. 8. Rotor bar pass frequency and 2x supply frequency and sideband of axial leakage flux coil voltage for 3 turns short circuit in the stator with the load condition

표 2. 무부하 운전상태에서 선간단락 전동기에 대한 회전자봉 주파수와 2배 전원주파수 측대파의 진폭

Table 2. The amplitude of rotor bar pass frequency and sideband of 2x supply frequency for shorted turn in the stator with no load condition

구분 / 측대파	정상전동기 [dB](주파수)	결함전동기 [dB](주파수)
2차 좌측대파	-26.0(1152)	-11.3(1161.8)
1차 좌측대파	-21.3(1194.1)	-15.4(1202.8)
회전자슬롯통과 주파수	-15.3(1234)	-14.7(1243.8)
1차 우측대파	-27.4(1275)	-24.0(1284.8)
2차 우측대파	-27.0(1315.5)	-16.6(1325.8)

표 3은 부하 운전상태에서 선간단락 결함을 가진

시험 전동기에 대한 2배의 전원주파수 측대파를 가진 회전자 슬롯에 의해 발생되는 높은 주파수의 진폭을 보이고 있다. 이 동일한 결함에 대한 전원주파수와 그 고조파의 결과를 표 3에 나타내었다.

무 부하상태나 부하상태에서 정상전동기에 비해 선간단락 결함 전동기의 측대파 진폭이 커짐을 발견할 수 있다.

표 3. 부하 운전상태에서 여러 가지 결함레벨을 가진 전동기에 대한 회전자봉 주파수와 2배의 전원주파수 측대파 진폭

Table 3. The amplitude of rotor bar pass frequency and sideband of 2x supply frequency for different fault level with the load condition

구분 / 측대파	정상전동기 [dB](주파수)	결함전동기 [dB](주파수)
2차 좌측대파	-28.7(1141.0)	-18.7(1149.2)
1차 좌측대파	-20.03(1183.6)	-15.0(1189.3)
회전자슬롯통과 주파수	-13.9(1223)	-13.9(1231.3)
1차 우측대파	-25.7(1265.6)	-22.9(1273.4)
2차 우측대파	-24.4(1305.1)	-16.1(1313.3)

5. 결 론

본 논문에서는 축방향 누설자속 측정에 의한 신호분석을 통해 유도전동기의 상태관측 및 전동기 내부의 전기적 고장을 검출할 수 있다는 것을 증명하였다.

정상운전 전동기에 공급된 전원으로부터의 축방향 누설자속은 고정자 전류, 회전자 전류, 고정자 슬롯과 회전자 슬롯에 의해 영향을 받은 여러 가지 주파수 성분을 포함한다는 것을 실험하였다. 각각의 전동기의 주파수 분포는 고정자 권선 계수, 설비 허용 한계, 동작상태 그리고 기계적 부하에 영향을 받기 때문에 축방향 누설자속의 주파수 성분을 미리 결정하기는 어렵고 각각의 전동기에 대해 정상상태에서 기준측정과 결함상태의 비교분석이 필요하였다. 실험결과 전동기의 특정한 고장은 개별적인 주파수 변화를 일으켰다.

- 1~200[Hz]까지의 저주파 영역에서 고정자의 권선결함, 회전자 슬립주파수, 그리고 공급 전압의 불균형을 검출할 수 있었다.
- 300[Hz]~6[kHz]까지의 고주파 영역에서 고정자 권선결함을 검출하기 위한 특징 주파수 성분을 찾아내었다.

누설자속 측정법은 유도전동기의 상태를 모니터링하기 위해 사용될 수 있는 유용한 도구라는 것이 증명되었으며, 고정자 권선 결함의 검출을 위한 여러 가지 방법 중에서 가장 간단한 방법인 것으로 확인되었다.

향후 연구에서 고정자의 선간단락 결함 외에 회전자 결함, 회전자 편심 및 기계적인 결함 등에 관한 연구를 진행하여 축방향 누설자속에 의한 결함 검출의 알고리즘을 완성할 계획이다.

References

[1] Browers, S. V., "Integrated strategy for predictive maintenance of AC induction motors", P/PM technology magazine, pp. 34~40, 1996.

[2] Lang, G.F., "Of cages, induction, deduction, bars, vars and squirrels", Journal of Wound and Vibration, pp. 4~21, 1994.

[3] 정병훈, 신대철, "전류분석을 이용한 유도전동기의 결함분석 알고리즘 개발", 한국소음진동공학회지, 제14권, 제8호, pp. 675~683, 2004.

[4] Alger, P., "Induction Machines", Gordon and Breach Science Publishers, New York, p518, 1970.

[5] CSI, "Motor View Software Manual", Computational Systems Incorporated, pp. 23~54, 1997.

◇ 저자소개 ◇

신대철 (申大澈)

1952년 3월 2일생. 1973년 건국대학교 전기공학과 졸업. 1975년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년 동 대학원(박사). 1989~1990년 나가사키대학 visiting scholar. 1989년~현재 호서대학교 전기공학과 교수.

김영환 (金榮煥)

1957년 11월 1일생. 1983년 충남대학교 전기공학과 졸업. 1997년 호서대학교 산업경영대학원 전기공학과 졸업(석사). 2003년 동 대학교 대학원 전기공학과 박사과정수료.