

## 유도전동기 로터바의 손상과 인버터 제어특성에 관한 연구

김근웅\*, 권중록, 이갑재,  
현대중공업(주)

최경수, 이호석, 장서건  
(주)에이디티

### A Study on The Broken Rotor Bars in Induction Motor and The Control Characteristics in Inverter

K.W. Kim\*, J.L. Kwon, K.J. Lee,  
HYUNDAI Heavy Industries Co.,Ltd

K.S. Choi, H.S. Lee, S.G. Chang  
Advanced Drived Technology

#### ABSTRACT

The advantage of the squirrel cage induction motor is the brushless rotor. This advantage for operation and maintenance turns out to be a disadvantage for the detection of the cage rotor bar and ending defects, which means that the detection of cage faults is due to the measurement and analysis of only the stator input signals.

The monitoring task in an inverter drive is complicated mainly because the voltage and current waveforms are nonsinusoidal and the high dv/dt values from fast switching inverter distort the measurements.

in this paper, we are going to discuss the detection method of broken rotor bar of squirrel cage induction motor by the motor current signal analysis(MCSA).

#### 1. 서 론

농형유도전동기는 회전자에 브러쉬가 없는 타입으로 간단하고 유지보수가 쉬운 장점이 있으나 운전중에 회전자 손상이 발생시 직접적으로 고장진단이 어려운 단점이 있다. 결국 고장진단은 고정자의 입력, 전압 및 전류신호로부터 분석되어야 한다는 것을 의미한다[1].

농형유도기 회전자의 주요 고장을 크게 분류하면 동심도의 불일치 및 과중한 부하에 의한 피로증가 등에 의해 발생하는 베어링 고장, 열응력, 전자력 및 그에 따른 진동 등에 의한 회전자 바와 엔드링의 고장 등으로 나타난다[2]

이러한 고장에 대해 대부분 과부하, 과전류 등 간단한 보호장치에 의존해 왔으나 이는 복잡한 현

상으로 인한 기기의 고장이 한계상황에서 대부분 발생하므로 신규제작 등의 막대한 경제적 손실과 안정성에 심각한 위협을 초래할 수 있다. 그러므로 기기상태에 대한 조기 진단을 통하여 초기에 고장 현상을 분석, 대처하기 위한 방법이 여러 문헌에서 발표되고 있다.

고장분석에 있어서 상용전원이 아닌 인버터로 구동되는 농형유도전동기는 전압, 전류파형이 비정형적이고, 인버터의 빠른 스위칭의 높은 dv/dt에 의해 측정파형이 왜곡되며, 운전 중에 속도가 가변되기 때문에 파형 검출 후 분석이 용이하지는 않다[3]. 본 논문에서는 선전류에 존재하는 기본파와 공간고조파에 이웃하는 사이드밴드(sideband)를 검출하여 분석하는 전류신호분석(MCSA)법[2]을 통하여 인버터 구동 농형유도전동기의 회전자바의 이상유무를 진단하고, 그 방법에 대해 논하고자 한다.

#### 2. 전동기 전류신호 분석법(MCSA)

이 방법은 유도기 회전자 바의 이상유무를 진단하는 가장 잘알려진 접근 방법으로 선전류에 존재하는 기본파와 공간고조파에 이웃하는 사이드밴드(sideband)를 검출하는 방법이다.

바의 고장과 관련하여 선전류스펙트럼의 기본파에 이웃하는 사이드밴드 성분  $f_b$ 는 (1)식에 의해 대개 검출된다.

$$f_b = (1 \pm 2s)f \tag{1}$$

여기서,  $f_b = (1 - 2s)f$ 는 바의 고장을 나타내는 주파수의 사이드밴드이고,  $f_b = (1 + 2s)f$ 의 주파수밴드는 그 결과에 따라 발생하는 속도 리플(speed ripple)을 나타낸다.

실제적으로 고조파를 포함한 고장바에 대한 사이드밴드는 다음 수식에 의한다.

$$f_b = (1 \pm 2ks)f, k=1, 2, 3, \dots \quad (2)$$

또한 전동기 부하의 관성은 이러한 사이드밴드 크기에 영향을 끼친다. 또 다른 스펙트럼, 즉 공극자속에서 검출할 수 있는 고장바의 스펙트럼 성분은 (3)식에 의한다.

$$f_b = \left[ \left( \frac{k}{p} \right) (1-s) \pm s \right] f, (k=1, 2, 3, \dots) \quad (3)$$

p: 쌍극수, s: 슬립 [p.u.]

여기서 고정자 권선의 전류신호에서 검출가능한 주파수는  $(\frac{k}{p} = 1, 5, 7, \dots)$  일 때이다.

또한 회전자바의 고장시 속도와 토크 신호는  $2sf$  와  $4sf$  의 주파수 성분을 가지고 변동을 일으킨다.

### 3. 시험 모델

전류신호분석(MCSA)법을 통하여 회전자바의 이상유무를 진단하기 위한 시험모델의 사양을 표 1.에 나타내었고, 그림 1.은 측정을 하기 위한 시스템 구성도를 도시하였다. 시험전동기는 380V전원의 토크모드의 인버터 제어를 하고, 20kW 부하가 되도록 구동된다.

표 1. 시험모델 사양

상/극수	3상/6극	회전자바수	38
정격출력	75 kW	정격 전압	380 V
관성	0.475 kgm <sup>2</sup>	정격 전류	144 A
정격속도	3000 rpm	정격 토크	238 Nm

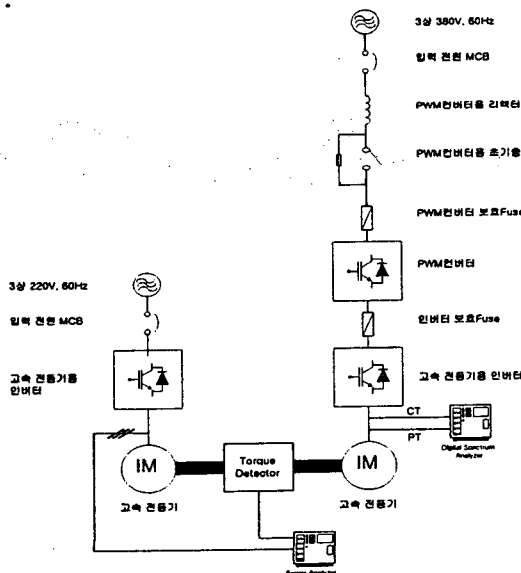


그림 1. 측정 시스템 구성도

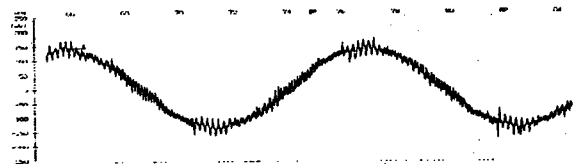
### 4. 시험 결과

그림 2는 토크 모드로 제어하는 인버터의 출력 전류 파형이고, 그림 3~6은 기본파와 5, 7차 고조파에 이웃하는 주파수에 대한 선전류 스펙트럼을 도시하였다.

그림 3에서는 기본주파수 89.3Hz, slip 0.0375(p.u.)에 대해 수식 (1)에 의한 사이드밴드 주파수는 82.6Hz와 96Hz이고, 82.6Hz에서 대략 4dBV정도가 바가 손상된 전동기에서 더 크다.

그림 4에서는 5,7차 고조파 446.5Hz와 625.1Hz에 대해 사이드밴드 주파수는 426,433Hz와 598.3, 605Hz이나 7차 고조파의 605Hz이외의 다른 사이드밴드 주파수에서는 구별하기가 어렵다.

그림 5과6은 269Hz(기본파)와 1345, 1883Hz(5,7차 고조파)에서의 스펙트럼으로 바손상에 대해 구별하기가 어렵다. 이는 축결합의 발란싱이 정확하지 않아 진동에 의한 다른 사이드밴드 주파수 성분이 두드러지지 않았나 판단된다.

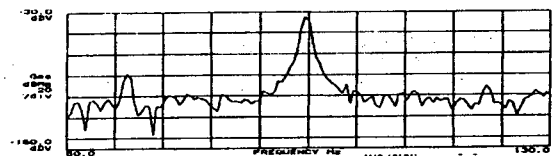


a) 89.3Hz(x:1ms/300div, y: 0.2V/200A)

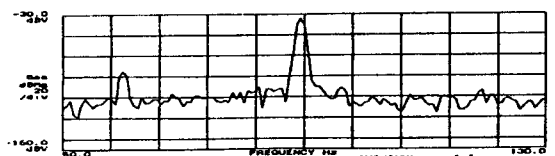


b) 269Hz(x:500µs/300div, y: 0.2V/200A)

그림 2. 'a'상 전류(인버터출력파형)

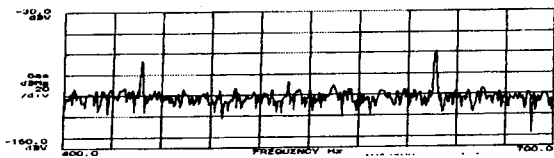


a) 정상

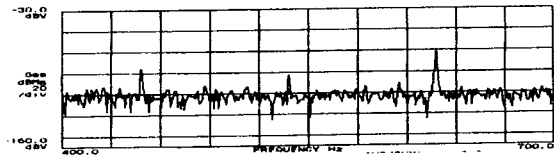


b) 바 손상

그림 3. 기본파에 이웃하는 선전류 스펙트럼 (89.3Hz)

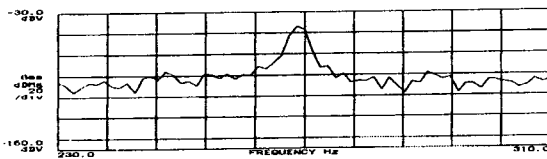


a) 정상

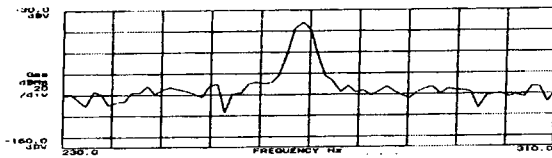


b) 바 고장

그림 4. 5,7차 고조파에 이웃하는 선전류 스펙트럼 (89.3Hz)

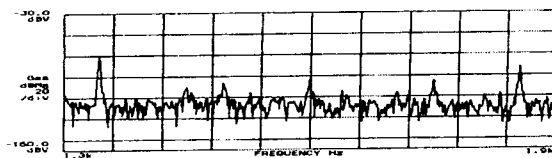


a) 정상

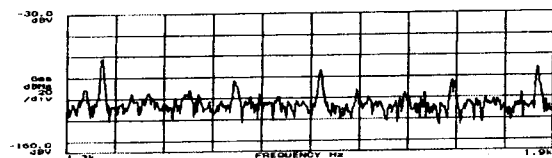


b) 바 손상

그림 5. 기본파에 이웃하는 선전류 스펙트럼 (269Hz)



a) 정상

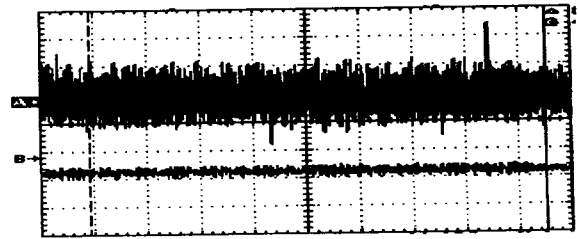


b) 바 손상

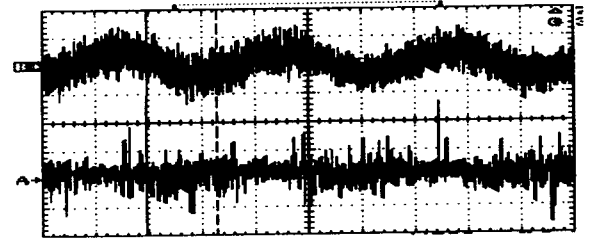
그림 6. 5,7차 고조파에 이웃하는 선전류 스펙트럼 (269Hz)

그림 7은 3000rpm, 15kW부하에서의 인버터의 단자전압 및 전류의 q축 성분을 나타낸다. b)에서는 바손상에 의해 q축 단자전압이 2배의 슬립주파수인  $2 \times 378.8\text{mHz}$ 로 리플이 발생하는 것을 알 수 있는데, 이것은 강제적으로

q축 전류를 일정하게 유지시켜주므로 인해 q축 전압에서 발생하는 것으로 판단된다



a) 정상(x:100ns/div)



b) 바 손상(500ms/div)

그림 7. 동기좌표계에서의 q축 전압, 전류 성분 (15kW부하-3000rpm)

### 3. 결론

지금까지 전류신호분석법을 이용하여 인버터 구동 농형유도전동기의 회전자바가 손상 시 속도변화에 대한 선전류에 존재하는 기본파와 공간고조파에 이웃하는 사이드밴드(sideband)를 시험을 통하여 검출, 분석하여 그 타당성을 검증하였다. 또한 인버터 전원에서의 q축 전압 및 전류의 맥동성분을 검출, 분석하므로써 회전자 바의 손상에 대한 진단이 가능하다는 것을 입증하였다. 시험 중 축결합의 언발란스 영향에 의해 고속에서의 정확한 측정이 어려운 면은 있었으나, 본 연구에서 전체적으로 회전자 바의 손상에 대한 현상을 명확히 규명하였다. 향후 이 분야에 대해 검출기술, 해석기술 등을 더 연구하여 진보된 결과를 발표하도록 하겠다.

### 참 고 문 헌

- [1] J. Blattner, "Sensorless Detection of Rotor-cage-defects for Inverter Fed Induction Motors," *IEEE Trans.*, pp. 2311~2315, 1998, July.
- [2] S.Nandi, H.A. Toliyat, "Condition Monitoring and Fault Diagnosis of Electrical Machine - A Review," *IEEE Trans.*, pp. 1~8, 1999.
- [3] R.S.Wieser, "The Integration of Machine Fault Detection into an Indirect Field Oriented Induction Machine Drive Control Scheme The Vienna Monitoring Method," *IEEE Trans.*, pp. 278~285, 1998.