

## 유도전동기 회전자 불량 진단 및 특성고찰

정 용배<sup>a</sup>, 김 창업<sup>a</sup>, 정 창기<sup>b</sup>

<sup>a</sup>효성중공업 기술연구소, <sup>b</sup>한국전력공사 전력연구원

### A Study of the Detection of Broken Bars and the Effect on the Performance in the Squirrel Cage Induction Motor

Yong-Bae Jung<sup>a</sup>, Chang-Eob Kim<sup>a</sup>, Chang-Ki Jeong<sup>b</sup>

<sup>a</sup>R & D Institute of HICO, <sup>b</sup>Korea Electric Power Research Institute

**Abstract** - The squirrel cage rotors for induction motors may have several faults such as broken bars, bad spots in the end ring and abnormal skew caused by improper processing. These faults have bad effect on the performance of the induction motor. In this paper, these fault detection method is proposed, then the effects on the performance of the motor is analyzed using FEM.

#### 1. 서 론

유도전동기의 회전자 도체는 동 bar 또는 알루미늄 다이캐스팅에 의해 제작되며, 제작 과정 중에 회전자 도체의 파손 또는 다이캐스팅 작업시 기포 발생으로 인해 회전자 일부분의 도체가 정상시의 도체보다 저항이 증가하여 전동기 성능에 나쁜 영향을 미칠 수 있다. 회전자의 불량을 전동기 조립 후보다 조립 전에 검사하는 것이 시간, 비용 면에서 유리하기 때문에 조립 전 회전자의 불량을 검출할 수 있는 방법이 필요하다[1].

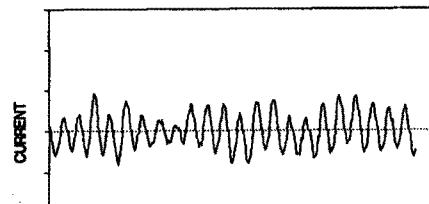
본 논문에서는 실험을 통하여 제안한 불량 진단 방법의 타당성을 보이고, 불량도체가 전동기 특성에 미치는 영향을 정격부근에서의 발생토크, 역률 및 회전자에서의 손실등을 계산하여 분석하였다.

#### 2. 회전자의 불량검출

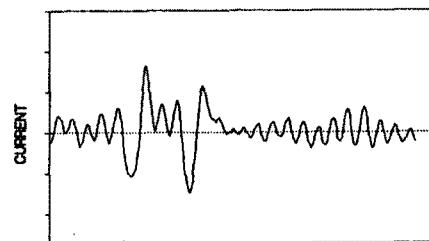
회전자 bar의 불량을 검출하기 위하여 다음과 같은 실험장치를 구성하였다. 권선이 감겨있지 않은 고정자 쿄아의 한 teeth에 권선을 감아 전류전압을 인가하여 전자석의 역할을 하도록 하였다. 이 고정자 안에 검사를 회전자를 넣고 전동기를 조립한 후 외부에서 회전자를 들려주어 권선에 흐르는 전류 파형을 측정하였다. 검사대상 회전자는 5마력 전동기에 사용되는 회전자로 하였다. 그림 1.(a)에는 정상인 회전자를 검사했을 때의 전류파형을 나타내었다. 회전자 bar가 전자석 밑을 통과할 때마다 전자석 주변의 자속에 영향을 미치기 때문에 규칙적인 전류의 맥동이 발생하게 된다.

그림 1.(b)에는 회전자 bar가 끊어져 있을 때 측정된 전류파형을 나타내었다. 끊어진 도체가 전자석 밑을 통과할 때는 이 도체에서 유기전류가 흐르지 않기 때문에 전자석 주변 자속의 증감이 커져서 맥동이 크게 발생하는 것을 볼 수 있다. 그림 1.(b)에서 끊어진 bar 1개에 대해서 전류맥동의 변화가 2개 쌍으로 발생하는 것은 끊어진 도체가 전자석 밑을 통과할 때 자속의 변화가 2번 크게 변하기 때문이다.

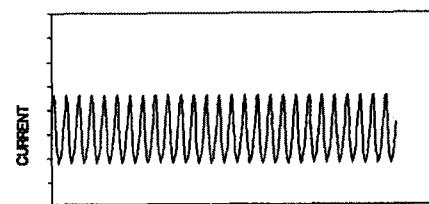
그림 2에는 유한요소법으로 시뮬레이션 한 결과를 보였다. 그림 2.(a)에는 정상일 회전자일 때의 전류 파형을 나타내고 있으며 그림 2.(b)에는 회전자 bar가 끊어져 있을 때의 전류 파형을 나타내었다.



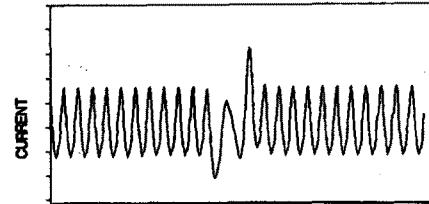
(a) 정상 회전자인 경우



(b) 회전자 bar가 끊어졌을 경우  
그림 1. 전류 파형 (실험치)



(a) 정상 회전자인 경우



(b) 회전자 bar가 끊어졌을 경우  
그림 2. 전류 파형 (계산치)

### 3. 불량 회전자를 갖는 유도전동기의 특성해석

#### 3.1 유한요소해석

와전류가 존재하는 해석영역에서 자기벡터 포텐셜이 시간에 따라 정현적으로 변한다고 가정한다면 다음과 같은 지배방정식을 사용할 수 있다.

$$\frac{\partial}{\partial x} \frac{1}{\mu} \left( \frac{\partial A}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \frac{1}{\mu} \left( \frac{\partial A}{\partial y} \right) = -J_0 + j\omega A + \sigma \nabla \phi \quad (1)$$

$A$  : 자기벡터 포텐셜의 z방향 성분  $\mu$  : 자기투자율

$J_0$  : 입력전류 밀도

$\sigma$  : 도전율

$\omega$  : 각주파수

$\phi$  : 전위

또한 고정자 코일 각 상에서의 전압방정식은 다음과 같다.

$$V = RI + j\omega L_0 I + j\omega \psi \quad (2)$$

$V$  : 각 상 전압  $I$  : 각 상 전류

$R$  : 상당 코일의 저항  $L_0$  : 각 상 end 코일 누설 인덕턴스

$\psi$  : 상당 쇄교 자속

해석 전동기의 2차원 단면을 9153개의 요소와 4617개의 절점으로 나누고 식(1)을 Galerkin 법을 사용하여 이산화 하였다. 또한 식(1)과 식(2)를 결합하여 풀로서 입력전압에 따른 전류도 계산 가능하다. 또한 회전자를 bar와 end ring으로 구성된 회로로 모델링하여 식(1)의 회전자 bar에서의  $\nabla \phi$ 를 결정하였다[2]. 식(1)에서 자기투자율  $\mu$ 의 비선형성을 고려하기 위하여 Newton-Raphson법에 의한 반복계산을 하였다.

회전자 bar가 끊어졌을 경우에는 bar의 도전율을零距离으로 놓고 계산하였다.

#### 3.2 해석결과

해석대상으로 한 전동기는 5마력, 4극, 220 volt 전동기이다. 정상적인 회전자 bar를 가진 전동기와 1개, 3개, 5개의 회전자 bar가 끊어진 전동기의 특성을 비교하기 위해서 slip이 0.01, 0.023, 0.035, 0.05일 때 선간 전류, 역률, 토크, 출력, 효율 등을 계산하였다.

그림 3에는 slip에 따른 선간 전류의 특성을 나타내고 있고 그림 4에는 역률을 보이고 있다. 회전자 bar가 끊어질수록 전류가 적게 흐르고 역률이 나빠지는 것을 알 수 있다.

그림 5과 6에는 회전자 상태에 따른 토크와 전동기 출력을 나타내었다. 회전자 bar가 끊어질수록 발생 토크가 감소하며, 같은 출력을 내기 위해서 정격 slip이 커지는 것을 볼 수 있다.

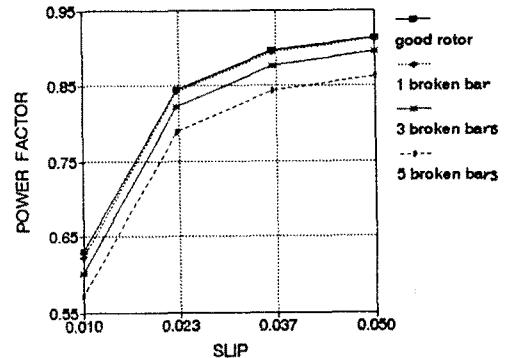


그림 4. 회전자 상태에 따른 역률특성

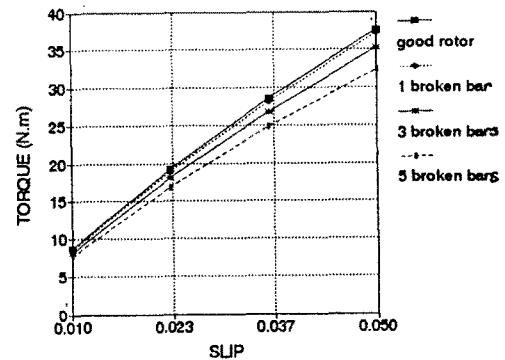


그림 5. 회전자 상태에 따른 토크 특성

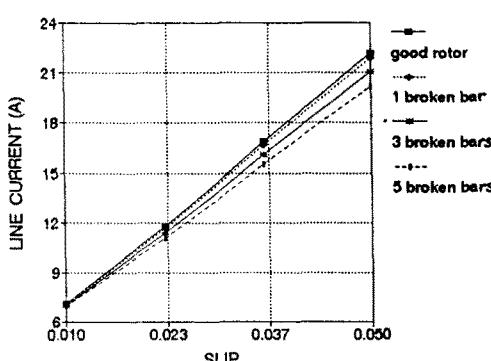


그림 3. 회전자 상태에 따른 전류특성

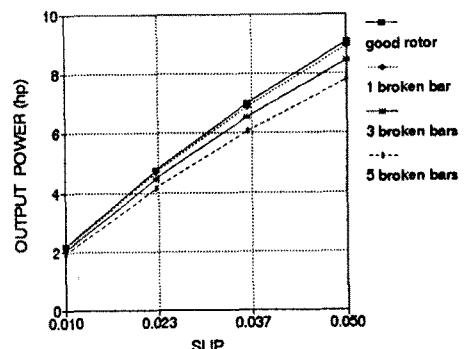


그림 6. 회전자 상태에 따른 전동기 출력

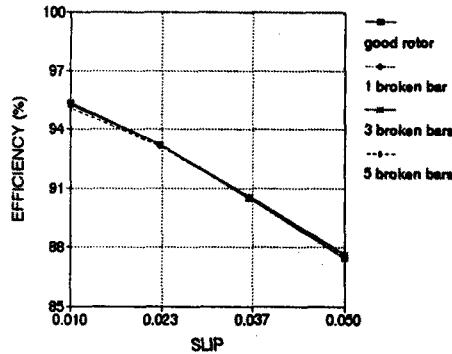


그림 7. 회전자 상태에 따른 전동기 효율

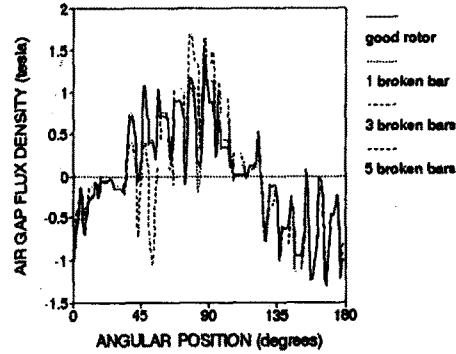


그림 9. 회전자 상태에 따른 공극자속 분포

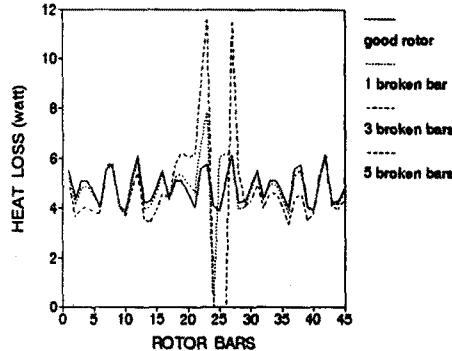


그림 8. 회전자 bar에서의 열 손실

그림 7에는 회전자 상태에 따른 효율특성을 나타내고 있다. slip에 따라 효율이 비슷한 값을 보이고 있지만 회전자 bar가 끊어지면 정격 slip이 증가하기 때문에 운전시의 효율이 떨어진다는 것을 알 수 있다.

그림 8에는 각 회전자 bar에서의 열 손실을 나타내었다. 45개 회전자의 열 손실의 합은 비슷한 값을 보여주었지만 회전자 bar가 끊어진 주변에서는 열 손실이 증가하여 국부과열 될 수 있음을 보여주고 있다.

그림 9에는 회전자 bar 상태에 따른 공극자속을 나타내었다. 회전자 bar가 끊어질수록 공극자속의 불 균일이 심하다는 것을 보여주고 있으며, 이로 인해 토크의 맥동이 증가하게 된다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 유한요소법을 사용하여 농형유도전동기의 회전자 불량 진단방법을 제안하고 실험을 통하여 타당성을 확인하였다. 또한 전동기의 토크, 역률, 효율, 손실 특성을 통하여 불량도체가 모터의 성능에 미치는 영향을 분석하였다.

#### 참고문헌

- [1] 임 달호, 김 창업, 정 용배, 권 오문, 박 병섭, "농형 유도전동기의 회전자 도체 불량 검출 방법," 95 대한전기학회 학술대회 논문집 A, pp.65-67.
- [2] E. Vassent, G. Meunier and J. C. Sabonnadiere, "Simulation of induction machine operation using complex magnetodynamic finite elements," *IEEE Trans, Magn.*, vol. 25, No. 4, pp. 3064-3066, 1989.