

## 농형 유도전동기의 회전자 도체 불량 검출 방법

임 달호<sup>a</sup>, 김 장업<sup>b</sup>, 정 용배<sup>b</sup>, 권 오문<sup>b</sup>, 박 병성<sup>c</sup>

<sup>a</sup>한양대학교 전기공학과 <sup>b</sup>효성중공업 기술연구소 <sup>c</sup>효성중공업 창원공장 전동기부

### The detection of Broken Rotor Bars in Squirrel Cage Induction Motors

Dal-Ho Im<sup>a</sup>, Chang-Eob Kim<sup>b</sup>, Yong-Bae Jung<sup>b</sup>, O-Mun Kwon<sup>b</sup>, Byung-Sup Park<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Hanyang University, <sup>b</sup>R & D Institute of HICO, <sup>c</sup>Motor Dept. of HICO

**Abstract** - The squirrel cage rotors for induction motors may have several faults such as broken bars, bad spots in end ring, abnormal skew caused by improper processing. These faults have bad effect on the performance of the induction motor. This paper proposes the detecting technique of these faults by analyzing the current of the detecting electric magnet, using 2-D finite element method taking account of the rotor movement.

#### I. 서 론

유도전동기의 회전자 도체는 동 Bar 또는 알루미늄 다이캐스팅에 의해 제작되며, 제작 과정에서 회전자 도체의 파손 또는 다이캐스팅 작업시 기포 발생으로 인해 회전자 일부분의 도체가 정상시의 도체보다 저항이 증가하여 전동기 성능에 나쁜 영향을 미칠 수 있다. 전동기가 조립되고 나면 이와같은 불량을 판별하기 곤란하며 고장의 원인을 판별하는데 시간과 비용이 소요되어 조립전에 고장의 내용을 알 수 있는 방법이 요구된다. 기존에는 이와같은 고장을 실험에 의해서 식별하는 연구가 진행되었으며[1], 최근에는 회전자 도체에 흐르는 전류의 스펙트럼 분석으로 고장을 판별하는 연구도 진행되고 있다[2,3].

본 논문에서는 유한요소법에 의하여 유도전동기 회전자 도체의 고장시 발생하는 자속량의 변화를 전자석 코일에 흐르는 전류 파형을 분석함으로써 회전자 도체 불량 내용을 판별하는 방법을 제안하였다. 유한요소법으로 처리할 때의 회전자 이동은 moving band[4,5] 기법을 이용하였으며 여러종류의 회전자 도체 고장에 대하여 수치적으로 전자석 코일에 흐르는 전류 파형을 구하였다. 회전자 도체의 불량정도(완전단락 또는 기포발생으로 인한 저항증가), 불량도체의 수 및 배치방법에 따라 전자석의 전류 파형을 각각 비교분석하였다.

#### II. 유한요소 해석

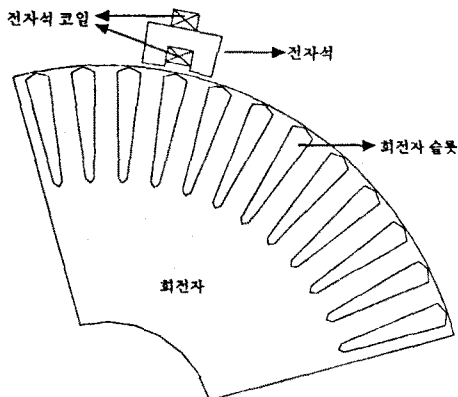


그림 1. 2차원 해석 모델

본 연구에서 해석대상으로 한 유도전동기의 회전자와 전자석의 2차원 해석 모델을 그림 1에 나타내었다. 와전류가 있는 해석영역에서의 지배방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial}{\partial x} \frac{1}{\mu} \left( -\frac{\partial A}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \frac{1}{\mu} \left( -\frac{\partial A}{\partial y} \right) = -J_o + J_e \quad (1)$$

A : 자기벡터 포텐셜의 z방향 성분    μ : 자기투자율,  
J<sub>o</sub> : 입력 전류밀도    J<sub>e</sub> : 와전류 밀도.

시간에 따라 회전자의 이동에 의한 슬롯의 와전류를 고려하기 위하여 회전자를 이동시키면서 해석하면 식(1)은 다음 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial}{\partial x} \frac{1}{\mu} \left( \frac{\partial A}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \frac{1}{\mu} \left( \frac{\partial A}{\partial y} \right) = -J_o + \sigma \frac{dA}{dt} \quad (2)$$

여기서, σ는 회전자 도체의 도전율이다.

또한 전자석 코일의 회로방정식은 다음과 같다.

$$V = Ri + N \frac{d\phi}{dt} \quad (3)$$

R : 코일의 저항    V : 인가한 직류 전압  
N : 코일의 권회수    φ : 전자석 코일에 채워지는 자속

식 (2)의 지배방정식을 Galerkin법을 사용하여 유한요소 영역으로 이산화하고, 식(2)와 식(3)의 시간미분항에 관해서는 다음과 같은 차분근사식을 사용하여 시간에 대하여 이산화한다.

$$\frac{dA}{dt} \approx \frac{A^{t+\Delta t} - A^t}{\Delta t}$$

$$\frac{d\phi}{dt} \approx \frac{\phi^{t+\Delta t} - \phi^t}{\Delta t} \quad (4)$$

이렇게 하여 얻어진 식(2)와 (3)에 대해 이산화된 대수방정식을 시간 t+Δt 마다 풀어서 해를 구하였다.

그리고 회전자의 이동처리는 Δt마다 공극부분의 요소만을 재분할하는 방법인 moving band 법을 사용하였다.

#### III. 회전자 도체의 불량에 따른 전자석 코일의 전류 파형 분석

그림 2,4 그리고 6~11은 고장 종류별로 시간에 따라 회전자가 이동할 때 전자석 코일에 나타나는 전류 파형으로 그림에서 가로축은 시간에 따라 전자석 밀을 통과하는 도체의 일련번호를 나타내었다. 여기서 회전자는 일정 속도로 외부에서 임의로 회전시킨 것으로 가정하였다.

그림 2는 회전자 도체가 모두 정상인 경우 전자석 코일에 흐르는 전류의 파형을 나타내었다. 전류의 파형은 일정값을 기준으로 맥동하는 양상을 나타낸다. 전류 맥동의 원인은 회전자에 흐르는 유기전류에 의해서 자속의 변화가 주기적으로 변화하기 때문으로 생각한다. 이때의 자속분포는 그림 3과 같다.

그림 4는 회전자 도체 1개가 불량인 경우(5번 도체단락) 전자석 코일에 흐르는 전류 파형을 나타내었다. 전류 파형으로부터 불량도체 위를 지날때 그 전후에서 전류의 peak치가 정상 도체일 때보다 훨씬 크게 나타남을 알 수 있다. 이는 불량 도체가

있는 부분에서 유기전류가 발생하지 않기 때문에 자속의 증감이 커져 자속의 변화율, 즉 전자석 부분의 자속 변화가 커지기 때문에 생각된다. 그림 5는 이때의 자속분포를 나타낸 것이다. 그림 6과 7은 불량인 회전자 도체가 연속적으로 배치되어 있는 경우 (4,5번 도체 단락)와 불량 회전자 도체가 하나 건너 배치된 경우 (4,6번 도체 단락)의 전자석 코일에 흐르는 전류 분포를 나타낸 것이다.

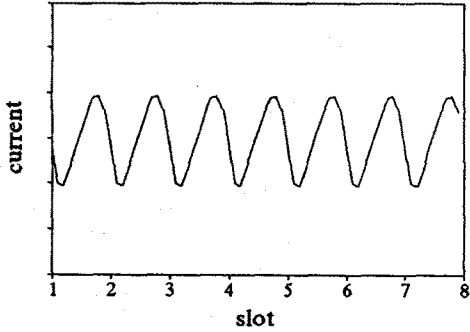


그림 2. 정상도체인 경우

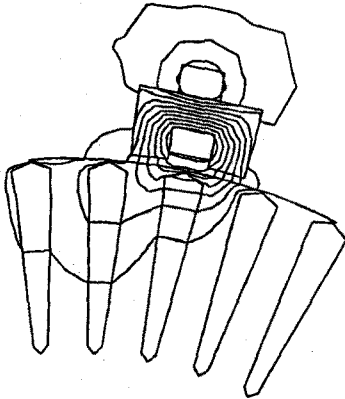


그림 3. 정상도체 위에서의 자속분포

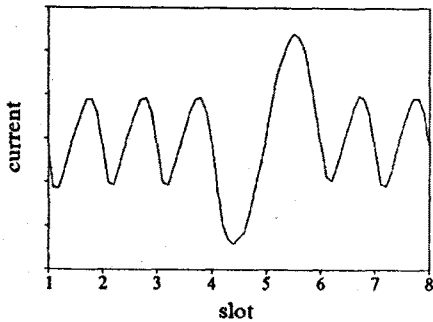


그림 4. 5번도체 단락일 경우

그림 6과 같이 연속적으로 불량 도체가 배치된 경우 전류 peak치가 불량도체를 전후에서 나타나며 그 중간에는 정상시 전류보다 작은 전류 파형이 하나 나타난다. 4,5번 도체 중간에서의 이 전류 파형의 변화는 도체의 유기전류의 영향은 없고 단지 회전자의 이동에 따라 자기저항이 변화하기 때문이다. 이에 비해 불량 도체가 하나 건너 배치된 경우 peak치가 4개 나타남을 알 수 있다.

그림 8은 불량 도체가 연속으로 3개 있는 경우 (4,5,6번 도체 단락)의 전자석 코일에 흐르는 전류 분포 파형으로 그림 6과 같은 경향이며 중간에 작은 전류 파형이 생겼다. 그림 9는 불량 도체가 2개 연속적으로 배치되어 있고 (4,5번 도체 단락) 하나 건너 불량 도체(7번 도체 단락)가 배치되어 있는 경우로 그림 6과 그림 7의 합성 형태로 파형이 나타났다.

그림 10과 그림 11은 불량 도체(5번 도체)의 도전율이 정상치의 50%와 30%로 낮은 경우의 전자석 코일에 흐르는 전류 파형을 나타내었다. 전류 파형의 peak치는 불량도체 전후에서 나타나는 경향은 그림 4와 같으나 전류 파형의 peak치 크기는 불량 도체 도전율의 크기에 반비례하였다.

이상의 simulation 결과로부터 전자석 코일에 흐르는 전류 파형을 알면 회전자 도체의 불량정도, 불량갯수 및 불량 도체의 배치에 대한 정보를 추정할 수 있음을 알 수 있다.

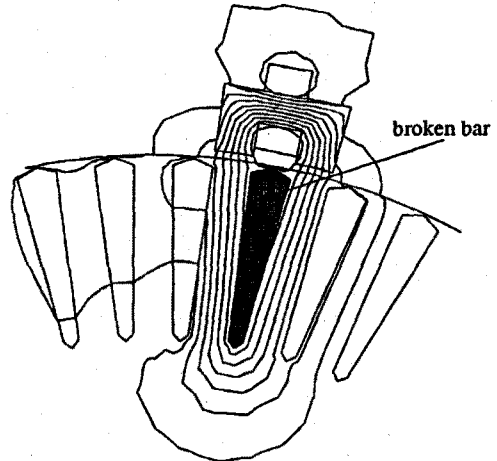


그림 5. 단락도체 위에서의 자속분포

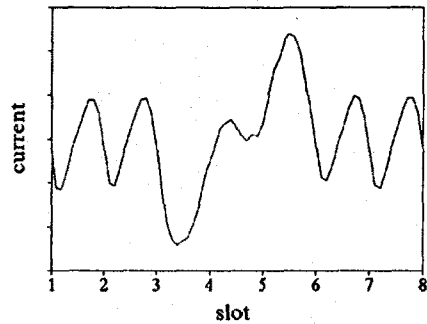


그림 6. 4,5번 도체 단락일 경우

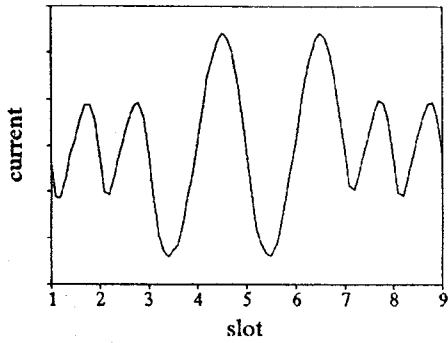


그림 7. 4,6번 도체 단락일 경우

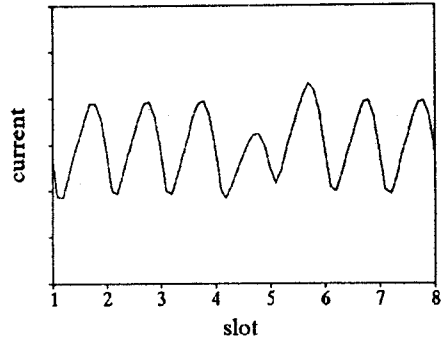


그림 10. 5번 도체 도전율이 정상도체의 50%일 경우

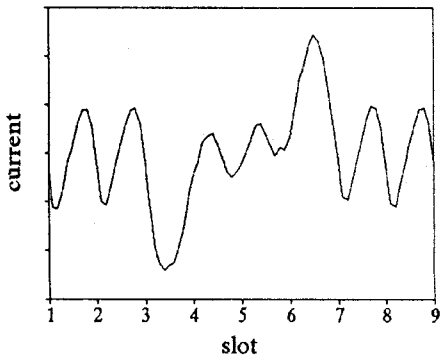


그림 8. 4,5,6번 도체 단락일 경우

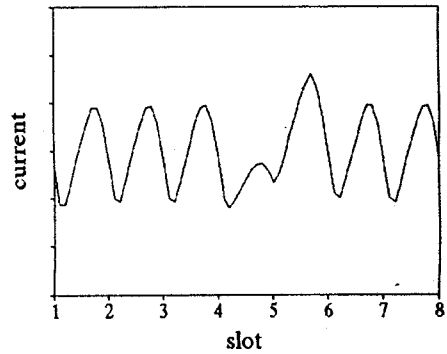


그림 11. 5번 도체의 도전율이 정상도체의 30%일 경우

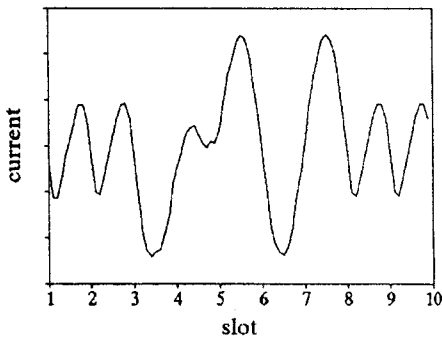


그림 9. 4,5,7번 도체 단락일 경우

#### IV. 결론

본 논문에서는 회전자 이동을 고려한 2차원 유한요소법을 사용하여 전자석측에 나타나는 전류 파형으로 농형 유도전동기의 회전자 도체 불량 내용을 판별하는 방법을 제안하였다. 해석 결과 회전자의 불량 정도, 불량 도체수 및 불량도체의 배치 등에 따라 전자석측에 흐르는 전류 파형이 정상도체인 경우와는 다른 양상을 보임으로써 고장의 내용을 판별할 수 있음을 알 수 있다. 향후 본 논문에서 제안한 내용을 실험을 통하여 확인하고 검증할 예정이다.

#### 참고문헌

- [1] L. C. Parker, G. E. Monchamp, "Die cast rotor studies," *Proceedings of AIEE Winter General Meeting*, January 22-26, 1951.
- [2] R. F. Walliser, C. F. Landy, "Determination of interbar current effects in the detection of broken bars in squirrel cage induction motors," *IEEE Trans. Energy Conversion*, Vol.9, No.1, pp.152-158, 1994.3.
- [3] R. F. Walliser, C. F. Landy, "Assessment of interbar currents in double-cage induction motors with broken bars," *IEEE Trans. Energy Conversion*, Vol.9, No.1, pp.159-164, 1994.3.
- [4] B. Davat, Z. Ren and M. Rajoi-Mazenc, "The movement in field modeling," *IEEE Trans. Magnetics*, Vol.21, No.6, pp.2296-2298, 1985.
- [5] 임 달호, 김 창업, 정 용배, "회전자 이동을 고려한 발전기 유기전압의 고조파 해석," *한국자기학회지*, Vol.5, No.2, pp.103-108, 1995.4.