

3D FEM해석을 통한 배선용 차단기의 전자반발력 해석

송 중천, 유 만중, 김 용기  
LG산전(주) 전력연구소

Magnetic Repulsion Forces in MCCB by 3-D FEM Analysis

Jung-Chun Song, Man-Jong Ryu, Yong-Gi Kim  
LGIS Co.,Ltd. Electrotechnology R&D Center

**Abstract** - MCCB(Molded Case Circuit Breakers) is a multi-function safety device which, unlike other forms of protection, combines many protection features in a single unit. This paper is the analysis of magnetic repulsion forces with the breaking current 11.28kA, 22.5kA, 38.9kA and 45kA.

MCCB의 전자반발력 해석을 위해 먼저 4가지의 모델을 정하였다. 첫째, 고정자 밑에 요크를 삽입하는 경우, 둘째, 요크를 삽입하지 않은 경우, 셋째, 요크와 Grid를 삽입한 경우, 마지막으로 Grid만 삽입한 경우들로 모델을 정하고, 각각의 모델에 대하여 그림. 1, 그림. 2와 같이 3-D Mesh 모델링을 수행하였다.

1. 서 론

배선용 차단기는 전력계통상에서 회로를 보호함을 목적으로 하는 전력기기이다. 근래에는 다양한 회로조건들을 만족하기 위해서 빠른 차단시간과, 고 차단전류를 요구한다. 기중차단기인 MCCB가 빠른 차단시간과 높은 차단전류를 갖기 위해서는 차단기의 기구적인 동작시간이 중요하며, 이를 위해 전기적으로 전자반발력을 이용하는 한류기구부를 사용한다. 본 연구는 3-D FEM 해석을 통해 MCCB 고정자와 가동자 사이에 발생하는 전자반발력을 해석적으로 구하였다. 고정자와 가동자 및 요크와 그리드의 유무를 고려하여 11.28kA, 22.5kA, 38.9kA, 45kA의 차단전류에 따른 각각의 경우의 전자반발력을 해석적으로 구했다.

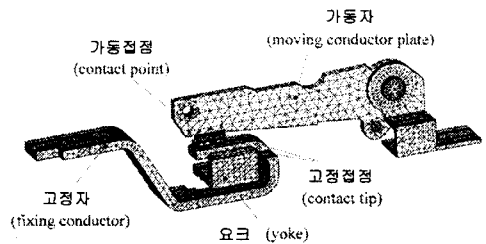


그림. 1 3-D Mesh 모델링(요크 삽입)

2. 본 론

2.1 해석 순서와 모델링

MCCB의 기구부의 전자반발력 해석을 위하여 다음과 같은 순서로 진행하였다.

- 1) 통전 상태의 2-D Mesh 모델링.
- 2) 3-D Mesh 모델링.(2-D 모델링 기준)
- 3) Current density analysis.

$$\text{rot}\left(\frac{1}{\sigma} \text{rot}T\right) = 0, J_0 = \text{rot}T$$

- 4) Magnet field analysis.

$$\text{rot}\left(\frac{1}{\mu} \text{rot}A\right) = J_0 + J_e, B = \text{rot}A$$

- 5) 통전전류 11.28kA, 22.5kA, 38.9kA, 45kA에 대하여 가동자의 반발력 계산.

$$F = \int_V [J_o \times B] dv = \int_V f dv$$

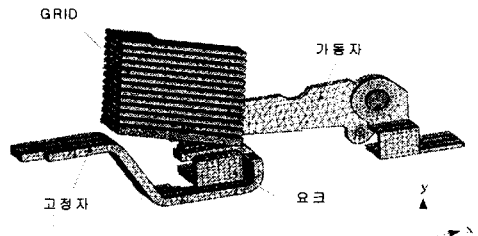
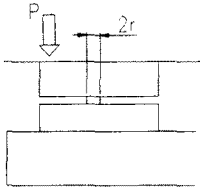


그림. 2 3-D Mesh 모델링(요크 & Grid 삽입)

2.2 접점에서의 전류집중

차단기의 통전상태에서 가동자와 고정자의 접촉상태의 모델을 정의하는데 있어서, 접점의 면적 전체로 통전되는 것이 아니라, 실제로는 작은 부분의 부분접촉으로 이루어져 있다. 본 연구에서도 접점에서의 모델링을 다음의 식에 의한 r값으로 단일 접촉반경을 구하여 적용하였다.



$$r = \sqrt{\frac{P}{\pi \xi H}}$$

그림. 3 접점 Contact 모델링

$r$  : radius  $r$  of a single contact point  
 $P$  : Contact Force  
 $\xi$  : experimental coefficient  
 $H$  : hardness of contact material

### 2.3 해석 결과

#### 1) 요크가 있는 경우의 전자반발력 해석

3-D 모델링이 끝난 경우 전자 반발력의 해석을 위해 전류밀도 분포해석을 수행하였다. 통과전류는 실제 차단 전류를 기준으로 11.28kA, 22.5kA, 38.9kA, 45kA의 4 가지 경우에 대하여 수행하였다. 그림 4-1은 각각의 통전 전류에서의 전류분포를 나타낸 것이며, 그림.4-2는 가동자와 고정자의 접촉부분에서의 전류밀도를 나타낸 것이다

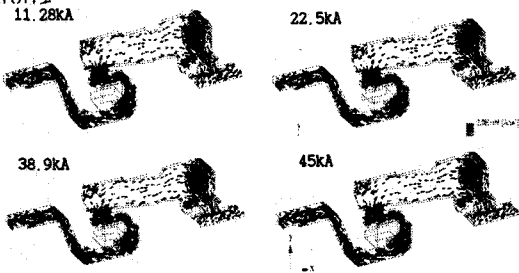


그림. 4-1 전류밀도 분포도(11.28kA, 22.5kA, 38.9kA, 45kA)

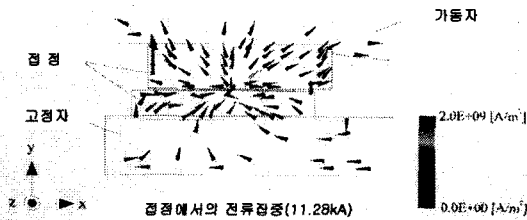


그림. 4-2 전류밀도 분포도(접점부근)

통전전류에 대한 전류밀도를 구한 후 다음 과정으로 Magnetic field 해석을 진행한다. 이때 고정자와 가동자의 전류방향이 반대임으로 전자력은 서로 밀어내는 힘이 발생하며, 그림 5는 접점주위와 가동자와 고정자에서의 전자력밀도의 벡터값이다.

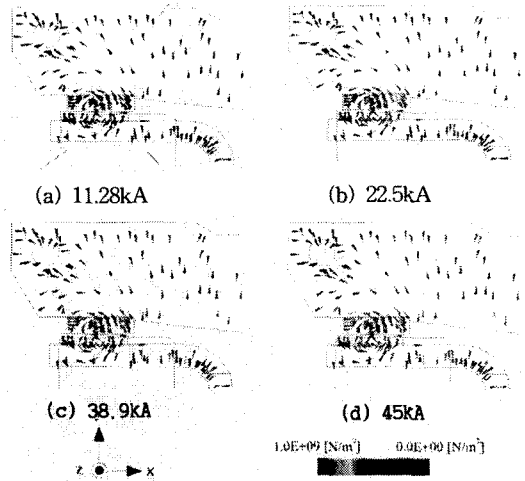


그림. 5 전자력 분포도(접점주변)

위에서 얻어진 전자력은 가동자를 밀어 올리게 되며 가동자는 회전지점을 중심으로 전자반발력에 의해 생성된 전자반발 Torque로 계산될 수 있다. 그림. 6은 각각의 통전 전류에 대한 가동자의 전자반발 Torque를 계산한 값이다.

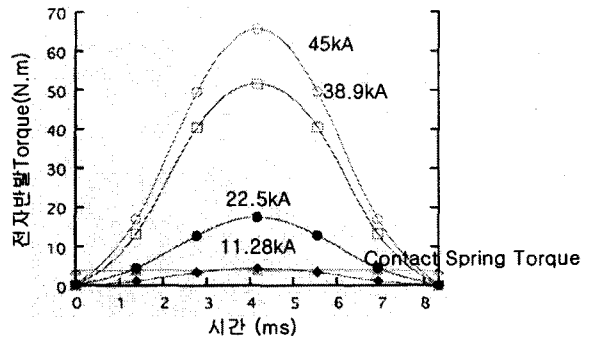


그림. 6 전자반발 Torque(요크가 있는 경우)

#### 2) 요크가 없는 경우의 전자 반발력 해석

1)에서와 같은 방법으로 요크가 없을 때의 전자반발 Torque를 계산하면 그림. 7을 구할 수 있다.

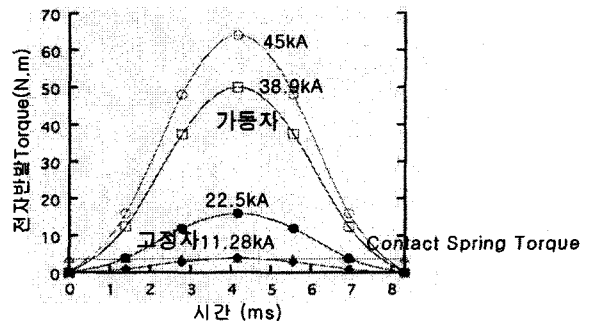


그림. 7 전자반발 Torque(요크가 없는 경우)

3) 그리드와 요크가 있을 경우의 전자반발력 해석

그림. 2에서와 같이 그리드와 요크가 있는 경우의 3-D Mesh 모델을 하고, 전류밀도해석과 자속밀도해석을 수행한다. 그림. 8은 그리드와 요크가 있는 경우의 자속밀도를 해석한 그림이다.

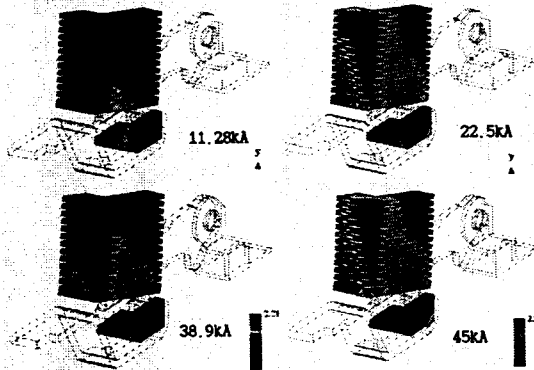


그림. 8 자속밀도 분포도(그리드와 요크가 있는 경우)

그리드가 있는 경우는 그리드가 없는 경우보다 전자반발력이 보다 크게 나타났으며, 또한 MCCB에서 그리드의 배치 위치에 따라서도 전자반발력의 차이가 클 것으로 사료된다. 그림. 9는 그리드와 요크가 있는 경우의 전자반발 Torque를 구한 값이다.

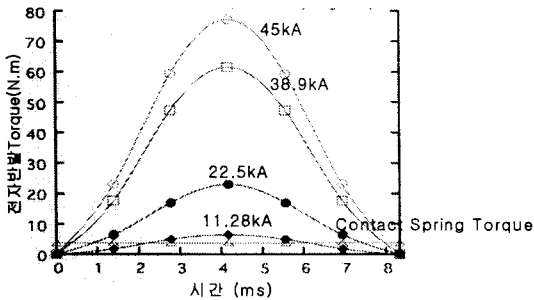


그림. 9 전자반발Torque(그리드와 요크가 있는 경우)

4) 그리드만 있는 경우의 전자반발력 해석

3)에서와 같은 방법으로 그리드가 있고, 요크가 없는 경우의 전자반발 Torque는 그림. 10과 같다.

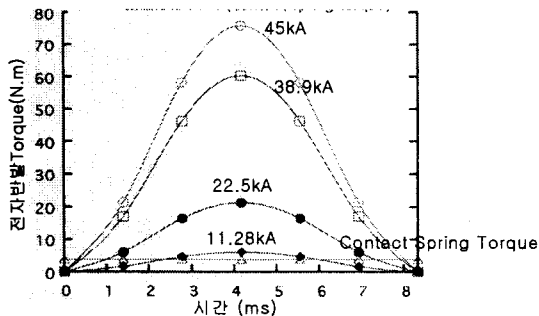


그림. 10 전자반발 Torque(그리드만 있는 경우)

위의 1)부터 4)까지 각각의 모델을 기준으로 11.28kA에서 45kA까지 4종류의 통과전류때의 전자반발력을 구하였다. 그러나 실제 통전상태 MCCB의 가동자가 들리게 될 때 아크가 발생하게 되고, 아크로 인한 열과 압도 전자반발력에 영향을 미치게 된다. 따라서 반발력이 접촉압력(Contact Spring Torque)과 비슷한 경우, 즉 접점이 물리적으로 들리려고 하는 순간인 비교적 낮은 차단전류(11.28kA)에서의 값은 의미있게 볼 수 있다. 그림. 11은 통전전류 11.28kA에서의 각각의 경우의 전자반발 Torque를 구한 값이다.

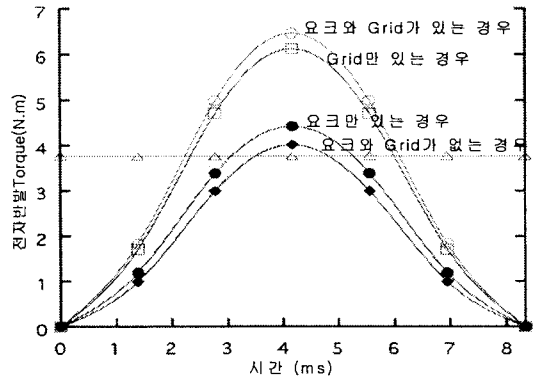


그림. 11 전자반발 Torque 비교(11.28kA)

3. 결 론

- 3-D FEM 해석을 통하여 MCCB에서 Grid와 요크의 유무에 따른 가동자의 전자반발력을 구할 수 있었다.
- 전자반발력이 제일 큰 경우는 Grid와 요크가 모두 있는 경우이며, Grid와 요크가 없을 때보다 크게 70%까지 차이난다.
- MCCB에서 요크를 삽입하는 것은 전자반발력에 도움이 되며, 또한 같은 Grid와 요크를 적절하게 배치하는 것도 전자반발력을 높이는 데 효과가 있을 것으로 판단된다.
- MCCB의 전자반발력 해석을 통하여 가동자의 접촉압력과 이론적 설계자료를 얻을 수 있다.

결론적으로 본 연구를 통하여 저압 배선용 차단기의 그리드의 유무에 따라, 그리고 요크의 유무에 따른 각종 전류에서의 전자반발력을 해석적으로 구하여, 차단기의 성능확보의 기초자료를 얻을 수 있었다.

[참 고 문 헌]

[1] Shokichi Ito, "전기전자 기기의 실용해석", 1997  
 [2] Shokichi Ito, "전기전자 기기의 CAE", 1997  
 [3] Shokichi Ito, Yusuke Kawaziri, Hayato Usagawa, Man-Jong Ryu, "배선용 차단기의 전자반발력 해석을 통한 가동접점의 과도동작 해석" IEEJ, 2001. 3.