

3D FEM해석을 통한 배선용 차단기의 가동자 거동해석

송 중천, 김 용기, 유 만중, 서 정민  
LG산전(주) 전력연구소

Dynamic Motion Analysis of a Moving Contact by  
Electromagnetic Repulsion Force in MCCB

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

**Abstract** - The behaviour of contactors protected by arcs under short-circuit currents is analysed using a simple model to represent the electric circuit and the contactor. In most cases, the protection of contactors against short-circuit currents is entrusted to fuses. Fuses are suitable for preventing excessive damage to the contactor, or parts of the contactor, under short-circuit conditions. In particular, they are capable of limiting the thermal and electrodynamic stresses which can lead to arcing or welding together of the contacts of a contactor. This paper is the Dynamic Motion Analysis of a Moving Contact by Electromagnetic Repulsion Force in Molded Case Circuit Breaker(MCCB)

1. 서 론

차단기는 개로상태에서 흐르는 전류에 따라 전자반발력이 발생하며, 차단기의 가동접촉자와 고정접촉자 사이에서 서로 반대방향으로 작용하는 힘이 발생한다. 전자반발력은 전류의 제곱에 비례적으로 증가한다. 서로 분리된 접촉자 사이에서는 전기 저항이 크게 증가하며, 열에너지도 증가한다. 따라서 전류가 충분히 큰 단락전류와 같은 경우에 접촉자들의 분리는 아크를 발생시킨다. 접촉자들 사이에 발생된 아크는 높은 열에너지를 갖는다. 단락차단 전류에서 아크에 의한 접촉자들의 손상은 접촉자들의 움직임과도 밀접한 관련이 있다. 특히 가동 접촉자의 반발이 복귀되어 고정 접촉자와 다시 접촉하게 될 때 접점이 녹아 융착될 수 있는 열적상태를 형성할 수도 있다. 따라서 본 논문에서는 차단전류 11.25kA에서 전자반발력에 의

한 가동자의 움직임에 대해 해석적으로 연구하였다.

2. 본 론

2.1 해석 순서와 모델링

차단기에서 전자반발력에 의한 가동접촉자의 거동해석을 위하여 Fig.2에서와 같은 적용 모델에 대한 3차원 mesh모델을 적용해야 한다. 그리고 전자반발력을 해석하는 1차적인 과정과, 가동 접촉자가 움직이기 시작하는 시점에서의 가동자의 변위각 계산을 가동 접촉자의 운동방정식을 이용하여 계산하는 2차적인 과정이 필요하다. 전체적인 해석 순서는 Fig.1과 같다.

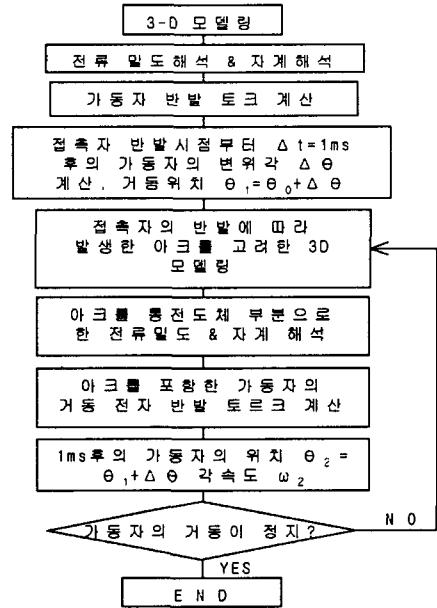


Fig 1. 가동자 거동해석 순서도

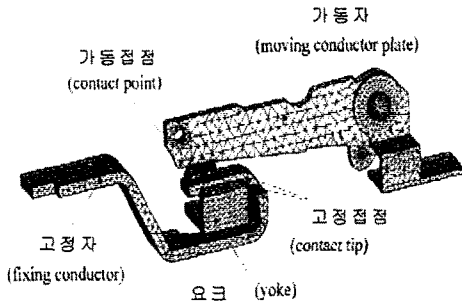


Fig 2. 접촉부분의 3D mesh 모델링

### 2.2 전자 반발력 (반발 Torque) 계산

2D, 또는 3D의 mesh 모델링은 FEM 해석을 위해 간단히 모델링하여 모델링 시간과 해석 시간을 줄이는 것이 좋다. 전계해석(Current density analysis)은 다음의 식(1)을 이용하였다.

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

전계해석(Magnetic field analysis)을 위해서는 다음의 식(2)을 이용하였으며, 전자 반발력(Electro magnetic Force)의 관계식(3)은 다음과 같다.

$$\text{rot}\left(\frac{1}{\mu} \text{rot } A\right) = J_0 + J_c, B = \text{rot } A \quad (2)$$

$$F = \int_V [J_c \times B] dv = \int_V f dv \quad (3)$$

$T$ : Current density potential,  $J_0$ : Current density  
 $A$ : Magnetic vector potential,  $B$ : Flux density  
 $F$ : Electromagnetic force,

Fig. 2의 MCCB 모델에 대한 3D FEM 해석을 통하여 각각의 Peak 차단전류에 따라서 전자 반발력을 해석하였으며, 본 연구의 대상 모델의 가동접촉자의 접점이 지점을 중심으로 회전운동을 함으로 접점에서의 전자 반발력을 가동자의 Torque값으로 변환하여 계산하였다. MCCB의 통과전류값은 11.28kA, 22.5kA, 38.9kA, 45kA의 4가지 경우에 대하여 적용하였으며, Fig 3은 각각의 통과전류에서의 전자 반발 Torque를 계산한 값을 나타낸 그래프이다.

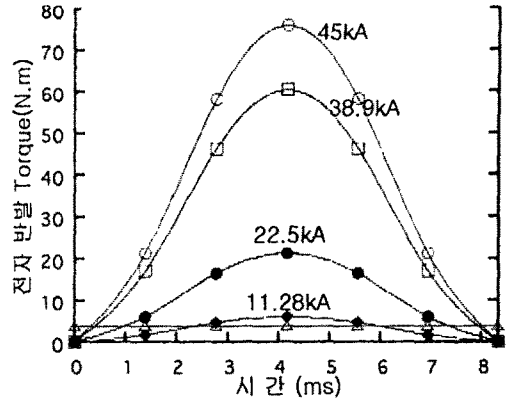


Fig 3. 차단전류에 따른 가동자의 전자반발 토크

### 2.3 가동자 거동 해석

Fig 3에서 각각의 차단전류에서 발생하는 전자반발 Torque에 의해 MCCB의 가동접촉자는 고정 접촉자에서 반발하여 이탈하게 된다. 이때 가동자의 초기 상태는 가동 접촉자의 접압스프링에 의해 기계적인 접압력을 받고 있으며, 전자 반발력이 접압스프링에 의한 가동자의 초기 접압력보다 크게 발생할 경우 가동자는 전자반발Torque에 의해 거동을 시작한다. 본 논문에 적용된 가동자의 접압스프링에 의한 접압Torque는 3.9N.m 이다.

이처럼 접촉자들 사이에 발생하는 전자반발력이 가동 접촉자의 접압력보다 클 경우에는 가동접촉자가 고정접촉자로부터 이탈하게 되며, 이때까지의 시간을 Delay Time으로 정의한다. 본 모델의 Delay Time은 Fig.4와 같으며, Peak전류값이 클수록 가동자가 이탈되는 시간은 2차원 적으로 줄어드는 것을 알 수 있다.

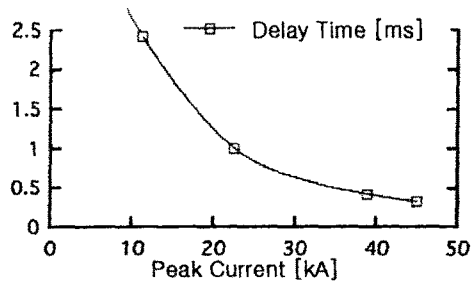


Fig. 4 차단전류에 따른 가동자의 Delay Time

MCCB의 가동접촉자가 Delay Time을 지나 거동이 시작되면, 가동자는 기계적으로 식(4)와 같은 운동방정

식에 의해 지배된다.

또한 가동자가 고정자에서 이탈된 경우 가동자와 고정자 사이에는 물리적으로 아크가 발생하며 이는 해석적으로 아크를 아크저항을 갖는 통전체로 Fig.5와 같이 모델링하여 가동자 거동시점에서의 전자 반발력을 해석하였다

가동자의 반발개시 시점에서 각속도  $\omega=0$ 이다. 그리고  $\Delta t = 1[ms]$  이후의 각속도  $\omega$ 는 다음과 같다.

$$\omega = \Delta\theta / 10^{-3}$$

따라서 가동자의 거동각  $\theta$ 는 식(6),(7)의 의해 지배된다.

$$I \frac{d^2\theta}{dt^2} + T_s + T_f = T_{R1} \quad T_s = T_{L0} + K\theta \quad (4)$$

$$\theta(t) = \frac{T_{R1} - T_{L0}}{K} \left( 1 - \cos\sqrt{\frac{K}{I}} t \right) \quad (5)$$

$$\Delta\theta = \frac{T_{R1} - T_{L0}}{K} \left( 1 - \cos\sqrt{\frac{K}{I}} \times \Delta t \right)$$

$$\theta(t) = \frac{\omega}{\sqrt{K/I}} + \frac{T_{R1} - T_{L0}}{K} \left( 1 - \cos\sqrt{\frac{K}{I}} t \right) \quad (6)$$

$$\Delta\theta = \frac{\omega}{\sqrt{K/I}} + \frac{T_{R1} - T_{L0}}{K} \left( 1 - \cos\sqrt{\frac{K}{I}} \times \Delta t \right) \quad (7)$$

여기서

$I$ : 관성모멘트[kg.mm]  $T_{R1}$ : 반발토크[kgf.mm],

$K$ : 스프링상수[kgf.mm/deg]  $\theta$ :가동자의 거동각[rad]

$T_{L0}$ : 접압토크[kgf.mm] 를 각각 나타낸다.

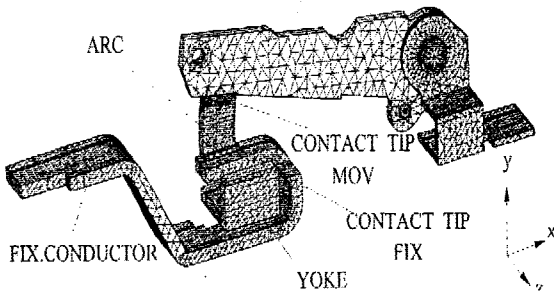


Fig.5 가동접촉자의 Arc 모델링

#### 2.4 차단전류 11.25kA에서의 가동자 거동해석

Fig. 1의 순서에 의하여 차단기의 단락 차단전류에서의 가동자의 거동해석을 수행하였다. Fig. 6은

11.25kA의 차단전류에서 가동자의 거동을 나타낸 그래프이다.

차단기의 개로상태에서의 전자반발Torque가 3.1ms의 Delay Time지점에서 가동자의 접압스프링에 의한 접압Torque(3.8N.m)보다 더 큰 힘으로 반발되기 때문에 가동자는 고정자로부터 이탈하여 거동각도( $\theta$ )를 갖으며 점점 증가한다. 그리고 가동자는 운동방정식에 의해 움직이며, 아크저항에 따른 전자 반발력이 약해지는 시점부터 가동자의 거동각도( $\theta$ )는 줄어들어 초기 상태, 즉 차단기의 개로상태를 유지한다.

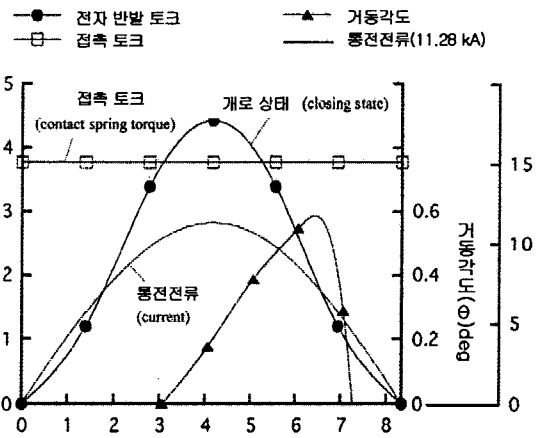


Fig 6. 차단전류 11.28kA에서의 가동자 거동

### 3. 결 론

1) 3-D FEM 해석을 통하여 배선용 저압차단기(MCCB)에서 가동접촉자와 고정접촉자사이의 전자반발력을 해석적으로 구할 수 있었다.

2) MCCB의 가동자의 접압스프링에 의한 접압력과 차단전류에 의한 가동자의 전자반발력과의 관계를 규명하고 전자반발력이 접압력보다 큰 시점에서 가동자가 이탈하는 정확한 Delay Time을 구할 수 있었다.

3) MCCB의 가동자가 고정자에서 이탈할 때 생기는 아크에 관해 모델링하고 거동하는 가동자에 운동방정식을 적용하여 전자반발력에 따른 가동자의 움직임을 해석적으로 구할 수 있었다.

4) MCCB의 전자반발력에 따른 가동자의 거동해석을 통하여 차단전류에서의 가동자의 거동을 해석적으로 구할 수 있었다.

결론적으로 본 연구를 통하여 저압 배선용 차단기의

단락차단 전류에서의 가동자의 전자 반발력을 구하고, 가동자의 접압력과 관성모멘트가 고려된 동적해석을 통하여 차단기의 성능확보의 기본적인 자료들을 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

[참 고 문 헌]

- [1] Cantarella, G., and Farina, G., "Behaviour of contactors protected by fuses during short-circuit currents", PROC, IEE, Vol.124, No.12, 1977
- [2] Turner, H.W., Lardi, F., and Turner, C., "The static selding of contactor contacts". ERA report 5227, 1967.
- [3] Shokichi Ito, "전기전자 기기의 실용해석", 1997
- [4] Shokichi Ito, "전기전자 기기의 CAE", 1997
- [5] Shokichi Ito, Yusuke Kawaziri, Hayato Usagawa, Man-Jong Ryu, "배선용 차단기의 전자반발력 해석을 통한 가동접점의 과도동작 해석" IEEJ, 2001. 3.