

3차원 유한요소법을 이용한 배선용 차단기의 순시 트립부 해석

홍승표*, 김길수, 임종득, 박진영, 조현길
 LG산전(주) 차단기 설계팀

Analysis of Instant Trip Unit Using 3D Finite Element Method

Seung-Pyo Hong, Kil-Soo Kim, Jong-Deug Yim, Jin-Young Park, Hyun-kil Cho
 LGIS Co., Ltd. MCCB Design Department

Abstract - Through the Standard of UL489, the Adjustable Type Instant Trip Unit should NO trip at 80% of each current from $5 \times I_n$ to $10 \times I_n$ and trip 130% of those. In this paper, we obtain the attraction force between Fixing Magnet and Moving Armature. we simulated the modelling by 3D Finite Element Method. With values of experiment and simulated values, in this paper, we show the method for set up the process of designing Instant spring.

2. 본 론

1. 서 론

종래의 전기, 전자 소자의 해석은 2차원적으로 이루어져 왔다. 그러나 이는 어느 한 방향으로의 변화를 무시할 수 있는 모델에만 적용이 되는 것으로 각종 소자의 소형화, 고기능화가 이루어지고 있는 지금의 실정에서는 3차원 적인 효과를 고려한 해석이 필요하다.

3차원적인 해석의 기법을 통해 전자계의 분포와 자기력의 크기를 구함으로써 각종의 전자계 해석을 필요로 하는 문제에 있어서 보다 정확한 해석을 통해 제품 또는, 소자 개발의 비용 및 시간을 단축하는 효과가 있다.

본 논문은 배선용차단기의 순시트립부를 다양한 방법의 3차원 전자계 해석을 함으로써 추후 전자계 효과를 고려한 구조적인 개선을 필요로 할 때 가장 적합한 설계 방법을 제시하고자 한다.

배선용차단기의 순시트립부는 부하상태에서 정격전류의 5배~10배에 해당하는 사고전류가 갑자기 흐를 경우 개폐기구부를 트립시켜주는 역할을 한다. UL489 규격에 의하면 차단기의 순시기능은 5~10배수 사고전류 각 설정치의 80%에서는 No트립, 130%에서는 트립되는 것을 규정하고 있다.

순시트립 전류 조정이 가능한 가조정 순시트립부에서 최적의 마그네트와 아마추어를 설계하기 위해 3D FEM 해석을 통해 자기구동력을 구하였으며 전류의 증가에 따른 자기구동력 크기를 실험을 통해 추출하여 해석치와 비교하였다.

2.1 전자계 해석을 위한 지배방정식

투자율 μ 와 도전율 σ 가 있는 도체영역 R_1 과 그 외부에 도전율 σ 는 없고 투자율 μ 와 존재하는 영역 R_2 가 있다고 가정할 때 시변 자계에서의 전류 및 와전류에 대한 지배방정식은 변위 전류를 무시하면 다음의 전자계의 현상을 표현하는 Maxwell의 방정식으로부터 유도된다.

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} \tag{1}$$

$$\nabla \times \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \tag{2}$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \tag{3}$$

$$\nabla \cdot \vec{D} = \rho \tag{4}$$

여기서, \vec{B} 는 자속밀도, \vec{E} 는 전기장의 세기, \vec{H} 는 자기장의 세기, \vec{J} 는 전류밀도, \vec{D} 는 전속밀도, ρ 는 전하밀도이다. 또, $\vec{B}, \vec{E}, \vec{H}, \vec{J}, \vec{D}$ 사이에는 다음의 관계가 있다.

$$\vec{B} = \mu \vec{H} \tag{5}$$

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E} \tag{6}$$

$$\vec{J} = \sigma \vec{E} \tag{7}$$

자기 벡터 포텐셜 \vec{A} 는 자속밀도 \vec{B} 로부터 다음과 같이 정의된다.

$$\vec{B} = \nabla \times \vec{A} \tag{8}$$

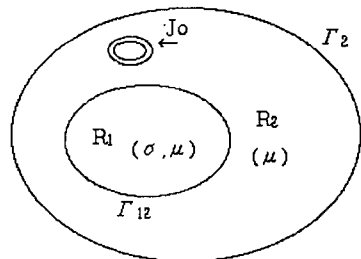


그림 1.영역과 경계

시변계에서 지배방정식은 다음과 같이 유도되고,

$$\nabla \times \left(\frac{1}{\mu} \nabla \times \vec{A} \right) = \vec{J}_0 + \vec{J}_e \quad (9)$$

여기에서 \vec{J}_0 는 강제 전류밀도, \vec{J}_e 는 와전류밀도, ϕ 는 전기 스칼라 포텐셜이다. 여기서 Γ_1 는 와전류가 발생하는 영역과 투자율 μ 가 존재하는 영역사이의 경계조건이며 Γ_2 는 외곽의 경계조건이다.

위의 식(9)로 인해 시변자장에서 인가되는 강제전류 \vec{J}_0 와 시변자장에서 강제전류의 반대방향으로 발생하는 와전류밀도 \vec{J}_e 를 통하여 시변자장 해석을 하여야 정확한 해석결과를 얻을 수 있다.

2.2 배선용 차단기의 과전류 보호

배선용 차단기는 교류 600V, 직류 500V 이하의 전로를 과전류(부하)사고, 단락사고로부터 보호하기 위하여 설치되는 것으로 일반배선, 구동 모터 등 산업현장에서 안전 및 보호를 위한 핵심제품으로 다양하게 사용되고 있다. 한국표준규격 KS C8321에는 개폐기구, 트립장치 등을 절연물의 용기내에 일체(-體)로 조립한 것으로 통전상태일 때 자동적으로 전로를 차단하는 기구로 표현한다. 국제적으로 통용되는 명칭은 Molded Case Circuit Breaker(MCCB)이다.

국내에서는 전기설비기술기준과 내선규정 등에서 설치를 의무규정화하고 있다.

배선용 차단기는 회로에 고장 전류가 흐를 때 재빨리 전로를 차단함으로써 배선 및 접속기기 파괴나 화재발생을 방지한다. 그 사고전류의 크기에 따라 먼저 비정상적으로 큰 전류(예를 들면 단락전류)가 흐르면 순간적으로 전로를 차단한다. 이것을 순시동작이라고 하며 동작시간은 0.1초 이하이다.

전류가 정격을 초과해 흐르면 전선이 뜨거워지고 방치하면 화재의 원인이 되는데 전선의 온도가 위험한 정도로 되기 전에 전로를 차단해야 한다. 이것을 지연동작이라 하며, 동작시간은 과전류의 크기에 따라 반비례하여 감소한다.

만일 회로에 모터가 있으면 시동 시에 시동전류라는 대전류가 흐르게 되는데 이때 배선용 차단기가 동작하면 오동작이 되므로 배선용 차단기는 시동전류에서 동작하지 않도록 해야 한다. 이를 그림 2에 나타내었다.

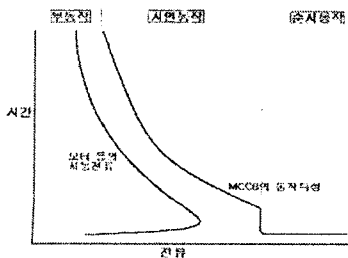


그림 2. MCCB 동작특성

2.3 배선용 차단기의 순시트립부

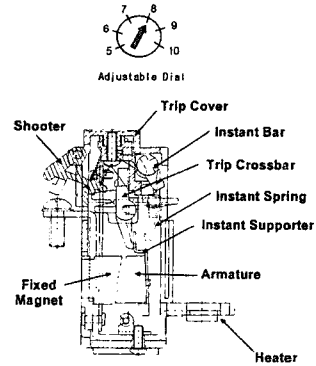


그림 3. 배선용 차단기의 순시트립부 구조

배선용 차단기에 단락전류와 같이 정격전류의 5배~10배의 사고전류가 흐르면 상대적으로 공기보다 자기저항이 적은 자성체인 강판(SCP1)으로 만들어진 마그네트와 아마추어에 자속이 발생한다. 이때 공극부분에는 자기구동력이 발생하고 발생된 자기구동력은 아마추어에 아래의 식과 같은 토크를 발생시킨다.

미소체적 v 에서의 Volume force density \vec{p}_v 는 다음의 식(10)과 같이 표현되어진다.

$$\vec{p}_v = \vec{j} \times \vec{B} \quad (10)$$

표면에 대한 가우스의 법칙을 이용한 면적 적분의 형태로 표현하면 텐서 \vec{P} 에 의해 자기구동력 \vec{F} 가 표현된다.

$$\vec{F} = \int_v \nabla \cdot \vec{P} dv = \oint_s \vec{P} \cdot \vec{n} ds \quad (11)$$

여기서, \vec{n} 은 맥스웰 표면에서의 단위 법선 벡터이다. 또한, 토크 식은 다음과 같이 유도할 수 있다.

$$\vec{T} = r \vec{F} \quad (12)$$

2.4 해석결과

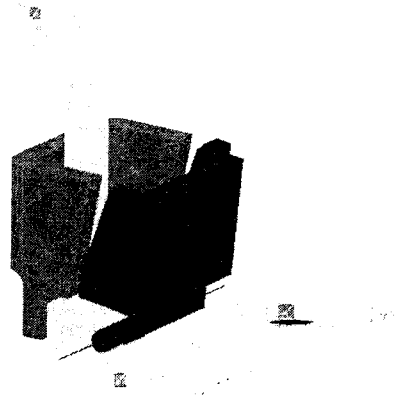
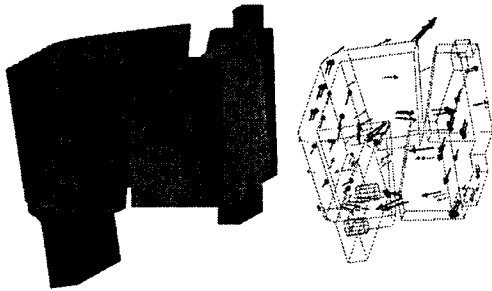


그림 4. 순시 트립부의 모델도

본 연구에서는 자기구동력 측정이 주목적이므로 자기구동력 해석모델은 히터, 마그네트와 아마추어만으로 단순화하였다. 실제 해석모델은 그림 4와 같다. 정자계 해석에 있어서 전류는 피크값의 반을 인가하였으며, 시변자장 해석의 경우 주파수를 60Hz로 인가하였다. 또한 마그네트의 두께는 3.0mm, 아마추어의 두께는 2.3mm로 설계하였다.



(a) 자속밀도의 크기 (b) 자속밀도의 분포방향
그림 5. 자속밀도 분포도

자속 밀도의 분포는 그림 5 (a)에서 볼 수 있는 바와 같이 마그네트와 아마추어 사이의 공극중 하단부가 자속 밀도가 크게 분포함을 알 수 있고 그림 5 (b)에서 화살표의 크기 및 방향으로 Air Gap이 작은 하단부의 자속 밀도가 큼을 뚜렷이 알 수 있다.

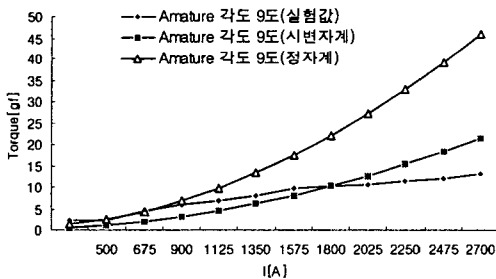


그림 6. 전류증가에 따른 토크 값 비교

그림 6은 아마추어 자기구동력의 실험값과 해석값을 비교한 것이다. 실제 아마추어는 자기구동력에 의해 회전운동을 하게 된다. 실험값과 해석값이 서로 차이가 있는 원인은 해석조건은 아마추어가 고정된 조건에서 자기구동력을 해석했지만 실제 실험은 시간에 따라 움직여 기구부를 트림시켰을 때 분동의 무게로 측정하였으므로 측정시 분동의 흔들림 등으로 인한 오차가 있을 수 있었으며, 또한 1575A 실험 이후 토크 값의 증가 기울기가 급격히 줄어드는 것으로 보아 반복되는 시험으로 인한 마그네트와 아마추어의 자기포화가 발생한 것으로 여겨진다. 따라서, 실제 설계 시 자기포화를 막아 주는 형상의 설계가 필요함을 알 수 있다. 그림 5의 (a)에서 볼 수 있듯이 모서리 부분에 자속이 집중되므로 설계 시 재질의 선택 또는 형상의 최적화를 통해 자기포화를 막아주는 설계를 고려하여야 한다.

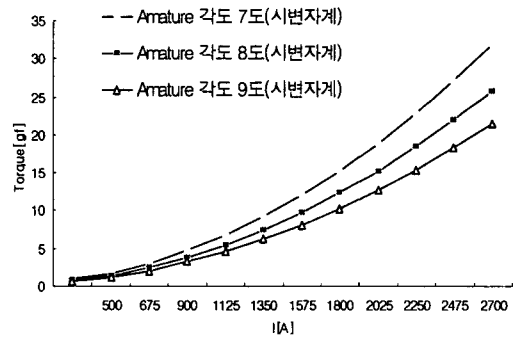


그림 7. 시변자계에서 축에 대한 아마추어의 각도에 따른 자기구동력 비교

그림 6과 그림 7은 해석을 통해 나타낸 값으로 실제 설계에서 와전류에 의한 영향을 무시할 수 없음을 보여주는 것이다. 와전류로 인한 영향을 최대한 줄일 수 있는 설계를 한다면 아마추어에 가해지는 토크 역시 커질 수 있음을 해석 결과의 비교를 통해 알 수 있다. 실제 설계 시에 아마추어와 마그네트 간의 공극은 회전축에 의해 아마추어가 회전되어 있는 상태에 의해 결정된다. 따라서 순시동작을 시작하기 이전의 회전 각도에 따른 변화를 해석함으로써 실제 설계 시 스프링의 힘을 고정 조건으로 결정하고 설계하거나 스프링 힘의 결정과 함께 아마추어가 받는 토크를 고려하여 가장 적합한 각도의 설계와 스프링 선택이 가능하다.

3. 결 론

- 1) 시변자장에서의 전자계 방정식을 유도했다.
- 2) 전자계 해석을 통하여 적합한 자기구동력을 갖는 마그네트와 아마추어를 선정하였으며, 실험값과 비교하였다.
- 3) 시변자계에 해석을 통해 와전류 문제를 검증했다.
- 4) 아마추어의 초기 각도에 따른 토크 해석을 통해 실제 설계 시 문제가 될 수 있는 자기구동력의 크기를 검증했다.

배선용차단기의 순시트립부 아마추어의 각도에 따른 트립 특성을 해석함으로써 실제 설계 시 나타날 수 있는 여러 가지 조건에서 최적의 설계방법을 제시했다.

[참 고 문 헌]

- [1] 강종성, 송희찬, 최종용, "3D FEM 해석을 이용한 배선용 차단기 순시트립부 설계", KIEE, 하계학술대회는문집
- [2] LG산전, "MCCB 설계이론", 1996
- [3] UL 489 규격(Nine Edition), 1996