

교류 전자 접촉기의 점접 전자반발력에 관한 연구

류종상, 김경목, 이경구, 조현길, 서정민
LG산전(주) 전력연구소

A Study on Magnetic Repulsion Force in Electromagnetic Contactors

Jong-Sang Ryu, Gyeon-Mook Kim, Kyung-Ku Lee, Hyun-Kil Cho, Jung-Min Seo
LGIS Co.,Ltd. Electrothechnology R&D Center

Abstract - In this paper, an analysis of electromagnetic repulsion force is presented using 3D FEM considering eddy current. It is important for the optimum design of switching device to analysis electromagnetic repulsion forces generated by the interaction of the electric current and its own magnetic field on the closed electric contacts flowing over current. The validity of our analysis is confirmed by comparing analytic and experimental results.

1. 서 론

전자 접촉기는 모터를 기구적으로 개폐하는 전력기로서 자동화 시스템, 공작기계, 전력 설비등 산업계 전반에 걸쳐서 폭 넓게 사용되고 있다. 주로 3P 전자 접촉기는 모터 부하용으로 쓰이며, 4P 전자 접촉기는 주로 가로등, 터널등과 같은 저항부하용 전력기구의 개폐에 사용된다.

교류 전자 접촉기는 통상 AC Motor의 시동과 정지를 위하여 열동형 과부하 계전기(TOR)와 함께 연결되어 사용되어진다. 교류 전자 접촉기는 AC Motor의 시동, 인칭(Inching) 그리고 플러깅(Plugging) 때에 돌입전류(Inrush Current)가 발생된다.

이 때 최대 돌입전류는 AC Motor의 전부하전류(FLA)의 10배 ~ 12배의 전류가 발생된다.

따라서, 전자 접촉기의 접점은 이러한 과전류(Over Current)를 견디어 내야 한다. 즉, 닫혀진 전자 접촉기의 접점은 접점 자신의 자계 영역과 전기전류의 상호작용에 의해 발생되는 전자 반발력(Electromagnetic Repulsion Force)에 의해 열린 상태가 되면 안 된다. 그러므로 닫혀진 상태에서 과전류를 수반하는 전기 접점 상에서 일어나는 전자 반발력을 계산하는 것은 전자 접촉기의 최적 설계에 필요하게 된다.

본 논문에서는 교류 전자접촉기의 접점이 닫혀진 상태에서의 점 접촉 현상을 가지는 고정 접점과 가동 접점 사이의 전자 반발력을 간단한 구 접촉 모델에 의한 수식적 해석 기법인 Holm's 식에 의한 계산과 전기 접점의 교류 통전에 의한 와전류(Eddy Current)가 흐르는 것을 고려한 3차원 유한요소해석에 의해 계산을 비교하였다. 그 결과로 3차원 유한요소 해석의 타당성을 입증하고, 교류 전자 접촉기의 접점에서의 전자반발력 해석기법을 제안한다.

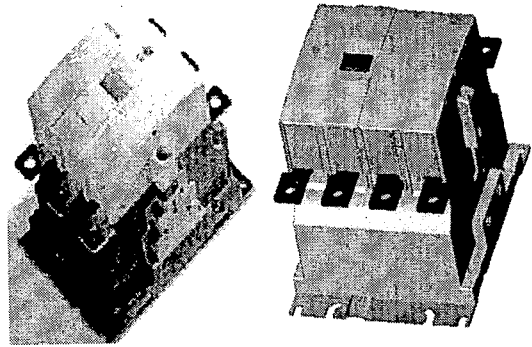


그림 1. 전자접촉기

2. 본 론

2. 1 개폐접촉부에서 발생하는 현상

전자 접촉기, 개폐기, 배선용 차단기, 진공 차단기의 개폐 접촉부는 전동기(모터)회로나 수배전 회로를 흐르는 정상 운전시의 부하전류로부터 사고시의 과전류까지를 투입, 통전, 차단하기 때문에, 거기에는 과전류에 의한 접촉자의 전자반발현상, 회로 전류의 차단에 의한 아크현상, 부하전류의 통전에 의한 접촉자의 가열현상들이 나타난다.

개폐기 및 차단기를 설계할 때에, 이러한 현상들에 의해 야기되는 문제점들을 해석하는 것은 최적 설계를 위해 필요하게 된다. 종래에 설계기법으로 쓰고 있던 현상해석의 수법은 어렵잡은 계산이나 경험식에 의한 검토를 한 뒤에 실험용 시작품을 만들어 개발시험으로 문제없는 것을 확인하였다.

2. 2 접점에서의 전자 반발력

두개의 평행한 왕복도체에 흐르는 전류의 방향이 반대 방향일 때 도체간에는 전자 반발력이 작용하고, 평행한 도체에 같은 방향의 전류가 흐를 때 흡인하는 방향으로 전자기력이 작용한다[3].

이 전자력의 원리가 그대로 전기접점에서 적용된다. 전기접점의 접촉부는 그림 2에 나타낸 바와 같이 표면의 미소접촉부의 접촉에 의하여 통전한다. 전류는 전원부의 단자로부터 접촉부를 향해서 집중하여 접촉부를 통과한 후 다시 확산되면서 흐르게 된다. 따라서 접촉부 근방에서 보면 전류는 대단히 작은 간격을 두고 역방향으로 흐르는 것으로 되어 접점사이에는 반발력이 작용하게 된다.

전자 접촉기의 접촉 스프링은 고정접점과 가동접점 사이에 접촉압력을 가하여 접촉저항을 감소시키고, 접점의 통전 시 발생하는 접점의 주열(Joule)열을 억제한다.

따라서, 접촉 스프링이 잘못 설계된다면 과전류 보다 작은 시험전류에 가동접점은 채터링(Chattering) 동작이 일어나고, 주열열과 아크열로 인하여 접점이 융착되는 등 손상을 입을 수 있다.

전기접점의 전자반발력은 접점을 가지는 모든 대전류 기기에서는 중요한 문제이기 때문에 꾸준히 연구되어 왔으며, 그림2와 같은 회전대칭모델의 접촉부 구조에서 전자 반발력 $F(N)$ 는 Holm의 식(1)에 의하여 구할 수 있다.

$$F = \frac{\mu^2}{4\pi} \ln \frac{R}{r} \quad [N] \quad (1)$$

여기서, I 는 통전 전류[A], R 는 접점의 등가반경[mm], r 은 접촉부 반경[mm], μ 는 $4\pi \times 10^{-7}$ 이다.

이 모델은 동일한 반경 R 의 2개의 원주형 접촉자가 그 중심에서 접촉되어 전류는 그림의 중앙의 화살표로 표시한 것과 같이 미소 반경 r 의 구 표면으로부터 방사모양으로 빠져나가고 반경 R 의 구면으로 굴절되어 원주의 바깥면과 평행하게 흐른다고 가정하였고 미소구 접촉부는 무한대의 도전율을 갖는 것으로 가정했다.[3].

또한 미소접촉부의 직경 r [mm]은 접촉압력, 접점재료의 도전율 및 탄성한계에 의존하는데 Holm의 식(2)로 정리된다[4].

$$r = \sqrt{P/\pi \xi H_b} \quad (2)$$

여기서, P 는 접촉 압력[N]이고, H_b 는 접점재료의 브리넬(Brinell) 경도 $[N/mm^2]$, ξ 는 접점 접촉면의 상태에 따라 결정되는 상수이며, 보통 0.5~0.7이다.

표 1은 Holm 식에 의한 전자반발력을 계산하기 위한 물성값들이다.

표 1. Holm 식에 의한 계산에 필요한 물성값

접점 재질	H_b	ξ	P [N]	r [mm]
AgCdO	90	0.5	6.25	0.09

추가로 등가반경 R 는 접점 면적에 의한 등가반경이므로, $R = \sqrt{S/\pi}$ (S 는 접점의 면적)로 결정된다.

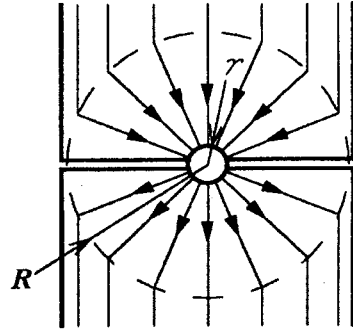


그림 2. Holm의 접촉 모델

2.3 유한 요소 해석 방법 과 조건

해석모델은 그림 3과 같으며 400A Frame의 전자 접촉기를 3상 중 1상의 접점을 해석영역을 1/4로 모델링 하였다.

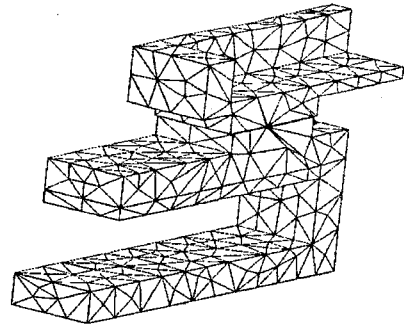


그림 3. 해석 모델 (mesh 도)

또한 가동접점과 고정접점이 사이에 존재하는 미세 접촉부는 접점의 중심에 원기둥으로 모의하였고, 반경은 Holm 식에 의해 선정되었으며, 그 원기둥 주위에 해석의 정확도를 높이기 위해 공기로 된 dummy를 만들었다. 접점간의 Gap($G=0.1$)의 크기는 변화 없는 것으로 하며, 와전류의 효과를 고려한 정자계 해석을 통해 전자 반발력을 계산하였다.

접촉부위의 전자 반발력 해석을 위하여 전류 벡터 포텐셜 T 를 이용하는 3차원 유한 요소법에 의해 도전부에 흐르는 전류밀도 분포 J 는 식(3)과 같다.

$$\nabla \left(\frac{1}{\sigma} \nabla T \right) = 0, \quad J = \nabla T \quad (3)$$

식(3)에서 얻어진 전류밀도를 이용하여 자기벡터 포텐셜 A 를 3차원 유한 요소법에 의하여 구하고 이를 이용하여

해석영역의 자속 밀도 분포 $B[T]$ 는 식(4)와 같이 계산한다.

$$\nabla\left(\frac{1}{\mu}\nabla A\right)=J_0+J_e, \quad B=\nabla A \quad (4)$$

$$J_e=-\sigma\frac{\partial A}{\partial t}$$

여기서, μ 는 투자율 [H/m], J_e 는 와전류 밀도 [A/m^2]이다. 전류분포해석(식(3))과 자계 해석(식(4))에 의하여 얻어진 전류 밀도와 자속 밀도를 이용하여 가동 접촉자에 발생하는 전자반발력 $F[N]$ 는 식(5)와 같이 정량적으로 계산한다[4].

$$F=\int_V[(J_0+J_e)\times B]dV \quad (5)$$

여기서, V 는 전자반발력이 작용하는 가동자 영역의 체적이다.

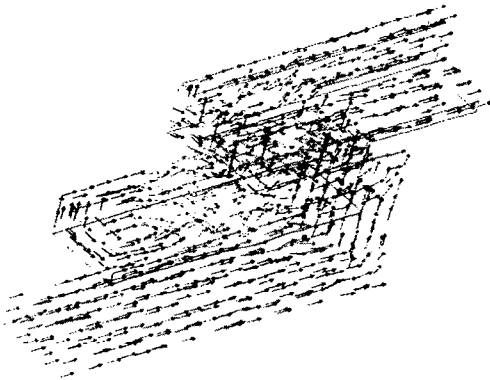


그림 4. 전류 벡터

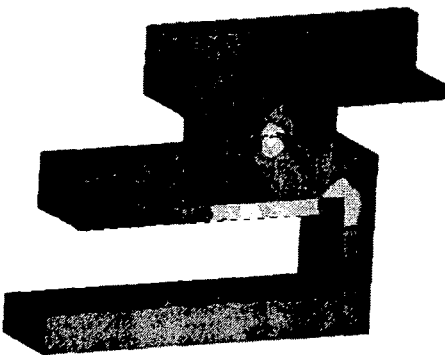


그림 5. 자속 밀도

2. 4 해석 결과

그림4와 그림5는 3차원 유한요소 해석에 의한 인가전류가 400A에서의 전류 벡터도와 자속 밀도의 분포를 나타내고 있다. 그림6은 0에서 4000A까지 전류를 증가시키면서 Holm의 식에 의하여 전자반발력을 계산하고 유한 요소법에 의한 전자반발력 해석과 비교한 결과이다. 그림7은 교류전류의 위상변화에 따른 전자 반발력을 보여주고 있으며, 전자반발력은 전류 주기의 2배의 주기로 변화하므로 반 사이클의 통전 시간의 과도 해석으로 최대 전자력을 구할 수 있다.

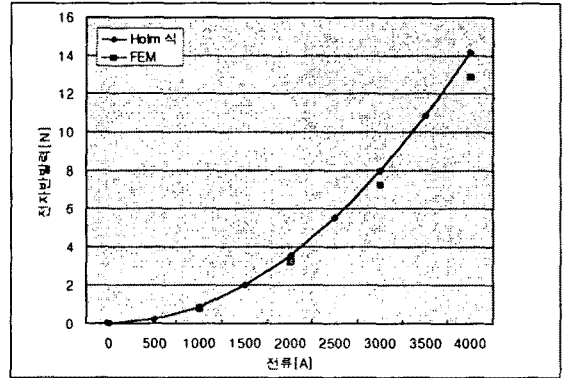


그림 6. Holm식과 FEM에 의한 전자반발력 비교.

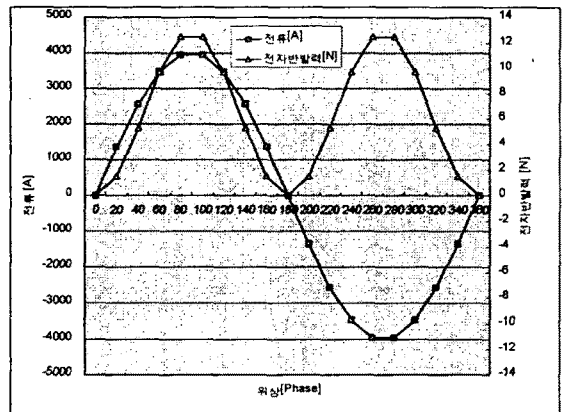


그림 7. 위상변화에 따른 전자반발력

3. 결 론

본 논문에서는 교류형 전자접촉기의 접점에서의 전자반발력을 점 접촉 현상으로 해석하여, Holm식에 의한 계산과 와류를 고려한 3차원 유한요소 해석에 의한 계산을 비교하였다. 해석 결과 와전류와 자성체의 고려에 의하여 Holm의 계산 결과와는 약간의 차이가 있음을 알 수 있다. 해석 모델과 같은 시료를 제작하여, 점점간의 반발력을 실

험하지 못한 아쉬움을 남기며, 향후 접점의 재질과 형상의 변화에 따른 전자 반발력을 해석하고, 실험에 의한 비교로 유한요소 해석의 타당성을 확고히 입증하여 전자 접촉기의 최적 설계에 적용하고자 한다.

(참 고 문 헌)

- [1] IEC publication 158-1, "Low-voltage Contactor."
- [2] 국립기술품질원, "KSC 8321", 한국표준협회 1996
- [3] 河瀬順洋・伊藤昭吉, "電氣・電子機器の實用解析", 1997
- [4] Y.Kawase, Y.Mori and S. Ito "3-D Finite Element Analysis of Electrodynamical Repulsion Forces in Stationary Contacts Taking into Account Asymmetric Shape(Invited)", IEEE Trans. on Magnetics, Vol.33 . No.2 , pp.1994-1999, 1997
- [5] 伊藤昭吉, "交流電磁接觸器の接點反發力の三次元有限要素解析"