

직류 전자접촉기의 아크 소호성능 향상

조현길\*, 이은웅\*\*, 김길수\*, 임수생\*\*, 김준호\*\*  
 LG산전\*, 충남대\*\*

The Arc Extinction Capability of DC Magnetic Switch

HYUN-KIL CHO\*, EUN-WOONG LEE\*\*, Kil-Su Kim\*, Su-Saeng Lim\*\*, Jun-Ho Kim\*\*  
 LGIS\*, Chungnam Nat'l. Univ.\*\*

**Abstract** - This paper describes an analysis of electromagnetic system of Magnetic Switch using 3D and 2D finite element method. The electromagnetic blowout force acting on the arc is obtained by 3D finite element method. So, we are researching the arc chamber for dc current using permanent magnet.

1. 서 론

전자석을 응용한 전자접촉기는 간단하고, 신뢰성과 안전성이 뛰어나 전동기 구동에 활용된다. 직류전동기는 속도와 토오크 제어가 유도 전동기에 비하여 용이하기 때문에 특히 제철공장의 압연 공정 등 대형 프로세스에서 많이 사용된다. 하지만, 직류 전동기 운전을 위해 직류전원과 접속되는 직류 전자접촉기의 개발은 비교적 쉽지 않다.

교류 전자접촉기는 전류가 썸점을 지나면서 아크가 소호되지만, 직류 전자 접촉기는 썸을 지나지 않아 아크가 자연소호되지 않기 때문에 아크 접촉부에 아크 정유시간이 길게된다.

이미 배선용 차단기의 차단 용량 향상을 위하여 아크 소호 원리 및 구조에 관하여 유한요소법 3차원 해석이 연구되었고 [1][2], 아크의 이동에 따른 자기 소호력이 해석되었다 [3]. 이를 토대로 유한요소법을 사용하여 직류 전자접촉기의 아크 소호부를 2차원, 3차원 해석하고, 정량적으로 아크 구동력을 계산함으로써 아크 소호성능 향상을 위한 설계의 기초 자료로 활용하고자 한다.

2. 아크 소호 해석

전기회로의 개폐에 이용되는 접촉기는 회로의 전류를 차단 할 때 개폐 접촉자 간에 발생하는 아크를 신속히 아크 소호실 안으로 구동하여 아크 정유 시간을 가능한 한 짧게하는 것이다.

2.1 자기 구동력

자계내의 물체에 작용하는 힘을 구하는 방법은 Maxwell 응력법, 가상변위 원리법, lorentz 법, 자기 포텐셜법등이 있다.

자계중의 아크 영역  $V_a$ 에서 3次元전류분포의 해석으

로 얻어지는 전류밀도  $\overline{J}_a$  분포와 삼차원 비선형 자계 해석으로 얻어지는 자속밀도  $\overline{B}_a$  분포로 아크에 작용하는 전자력F를 식 (1)로 구할 수 있다.

$$F = \int_{V_a} (\overline{J}_a \times \overline{B}_a) dV_a = \int_{V_a} f_a dV_a, \quad f_a = \overline{J}_a \times \overline{B}_a \quad (1)$$

이 아크영역에서 자계는 전류자체가 만드는 自己磁界, 외부자계까지의 합이 된다.

2.2 유한요소법의 정식화

영구자석의 자화력 M, 자계중의 자계 세기 H라 하면, 영구자석중의 자속밀도 B는 식(2)과 같다.

$$B = \mu_0 H + M \quad (2)$$

계의 전류 밀도  $J_0$ 와 벡터 포텐셜  $B = \nabla \times A$ 의 자기 방정식은 식 (3), (4), 5)와 같다.

$$J_0 = \nabla \times \frac{H}{\mu_0} (B - M) \quad (3)$$

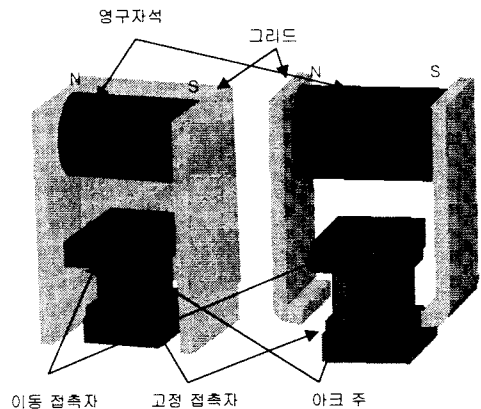
$$\nabla \times \nu_0 (\nabla \times A - M) - J_0 = 0 \quad (4)$$

$$\nu_0 \nabla \times (\nabla \times A) = J_0 + \nu_0 \nabla \times M \quad (5)$$

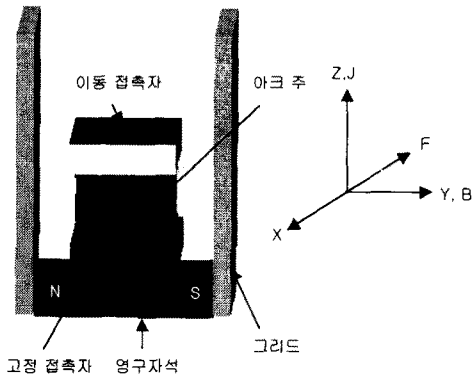
그리고, Galerkin Method에 의한 정식화는 식 (6)과 같다.

$$G_1 = \int_{rot} N_i (\nabla \times A) dv - \int N_i J_0 dv - \int N_i (\nabla \times M) dv \quad (6)$$

2.3 해석모델



(a) 해석 모델1 (b) 해석 모델2



(c) 해석 모델3 (d) XYZ축과 J,B,F벡터  
그림 1. 해석 모델

그림 1에 해석 모델 3종과 해석에 이용된 좌표축, 전류(J), 자속밀도(B), 아크 구동력(F)의 벡터 방향을 나타내었다. 해석모델은 직류 100A를 스위칭하는 것으로 전자 접촉기의 접촉자가 완전히 개방되었을 때에 아크 주가 형성된 순간이다.

그림 1에서 (a) 해석모델1은 기존에 사용되고 있는 ㄷ자형 그리드와 영구자석을 혼합하여 아크 소호력을 증대시킨 것이고 (b) 해석모델2는 개선된 아크 소호실로 영구자석의 자속과 아크에 의한 자속이 합성하여 아크 소호능력을 향상한 시킨 것이며 (c) 해석모델3은 (b)에서 영구자석의 위치에 따른 영향을 고려하기 위한 모델이다. 이 해석 모델 모두는 직류에 적용되는 것으로 영구자석의 극성과 전류가 흐르는 방향이 동일하고 고정 접촉자와 이동접촉자 사이의 정유시간은 접촉자의 형상, 자성체 형상, 영구자석의 세기에 크게 영향을 받는다. 따라서, 본 연구에서는 접촉자의 형상과 영구자석은 동일하게 하고, 자성체의 형상만 고려하여 아크 구동력을 증대하는 방안을 고려한다.

해석은 영구자석에 의한 자속밀도를 조사하기 위하여 아크 전류가 썸(I=0)인 경우를 해석하고, 아크 구동력 해석하기 위하여 정격전류(I=100), 200%, 600%에 대시물레이션하였다. 그림 2에 해석 모델의 외형크기를

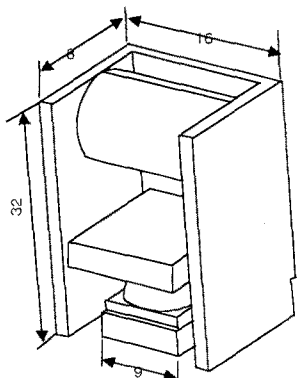


그림 2. 해석 모델의 외형

나타내었다. 그리드의 재질은 SCP1 철 사용하고, 영구자석은 페라이트 사용하였다.

### 3. 유한 요소법에 의한 해석

그림 1의 해석모델 1,2,3에 대한 유한요소법 해석결과는 다음과 같다.

#### 3.1 해석 모델 1

해석모델1의 아크 길이 방향의 중앙과 아크 중심 x축 방향으로 선을 그어 By성분 자속밀도를 그림 3에 나타내었다.

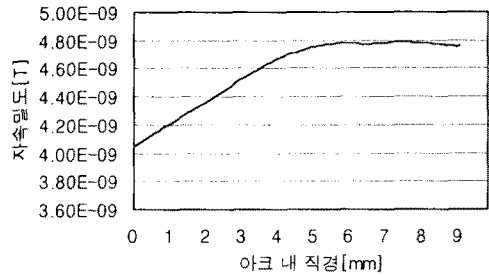


그림 3. 아크 주(柱) 내의 자속 밀도(I=0)

전류가 영(零)인 경우는 영구자석에 의한 자속밀도만 작용한다. 전류가 흐르지 않는 경우 자속밀도는 미미한 것으로 보아 영구자석은 아크 주(arc streamer) 주위 자속밀도에 영향을 주지 않는 것으로 보인다.

그림 4는 전류가 흐르지 않는 경우에 해석 모델1의 자속 흐름도이다. 자속 흐름도에서 알수 있는 것처럼 영구자석에 의한 자속은 그리드 철심통하여 흐름으로 아크 주와 쇠교하는 자속은 극히 미미하다. 따라서, 영구자석에 의한 자속은 아크 구동력 증대에 기여하지 못하고 있다.

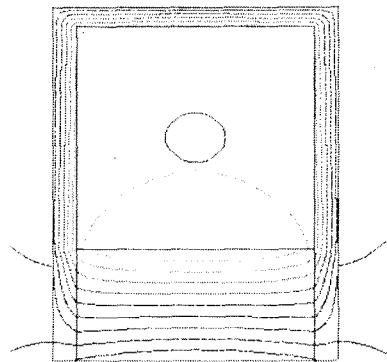


그림 4. 해석 모델1의 아크 소호실 등가 2차원 자속 흐름도

그림 5는 아크 전류에 따른 자속밀도 분포로 그림 6의 A-A'선 위에서 나타낸 것이다. 간격이 0 부분인 곳에서는 전류에 비례하여 자속밀도가 증가하지만 간격 9부분으로 가면서 그리드 자속밀도가 포화되어 600A에서는 비례하여 증가되지 않음을 알 수 있다.

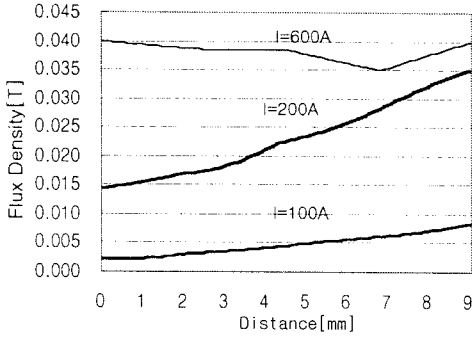


그림 5. 아크 전류에 따른 자속밀도 분포

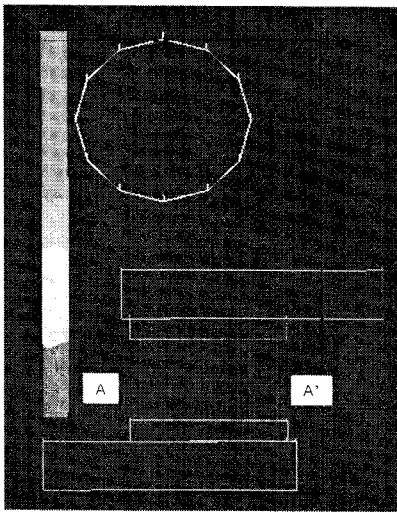


그림 6. I=600A에서 XZ평면의 자속밀도 (해석 모델1)

### 3.2 해석 모델2

해석모델2에서 전류가 영(零)인 경우에 그림 6의 A-A' 선에서 By성분 자속밀도를 그림 7에 나타내었다. 전류가 영(零)인 경우는 영구자석에 의한 자속밀도는 평균 0.004[T]이다. 해석 모델1의 그리드 변경에 의하여 영구자석에 의한 자속이 아크 주(柱)와 쇠교됨을 알 수 있다.

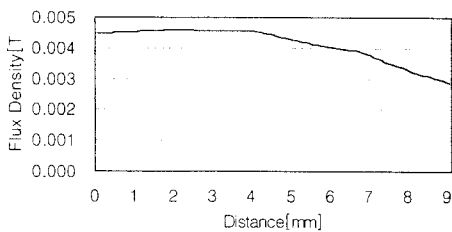


그림 7. 해석 모델2의 아크 주(柱)내의 자속밀도 (I=0)

그림 8에 아크 전류에 따른 자속밀도 변화를 나타내었다. 영구자석에 의한 자속밀도가 그림 7에서 0.0045[T]인데 반하여 그림 5에서 I=200A에서 0.015[T], 그림 8에서 I=200A에서 0.01[T]이다. 그림 5, 7, 8에서 I=100A에서는 영구자석에 의한 자속밀도 크기와 유사하고, I=200A에서는 영구자석만에 의한 자속밀도보다 아크 전류로 인하여 자속밀도가 크게 증가됨을 알 수 있다.

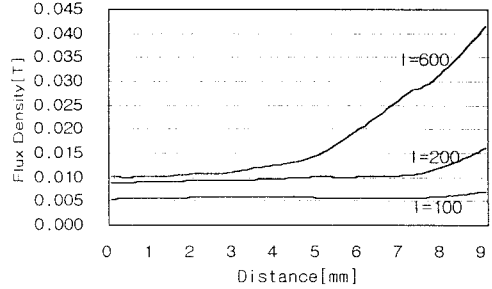


그림 8. 해석 모델2의 아크 주내 자속밀도

### 3.3 해석 모델3

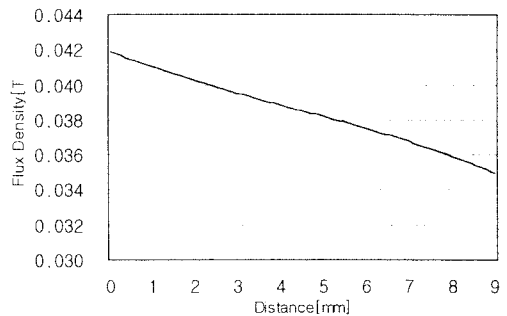


그림 9. 해석 모델3의 아크 주(柱)내 자속밀도(I=0)

해석모델3에서 전류가 영(零)인 경우에 그림 6의 A-A' 선에서 By성분 자속밀도를 그림 9에 나타내었다. 전류가 영(零)인 경우는 영구자석에 의한 자속밀도는 평균 0.038[T]로 3가지 모델중 가장 큰 자속밀도이다.

그림 10에 아크 전류에 따른 자속밀도 변화를 나타내었다. I=600[A]에서 간격=0부근에서 아크전류에 의한 자속과 영구자석에 의한 자속이 상쇄됨이 명확히 나타나고, 간격=9[mm] 부근에서 자속합성 현상이 두드러지게 된다.

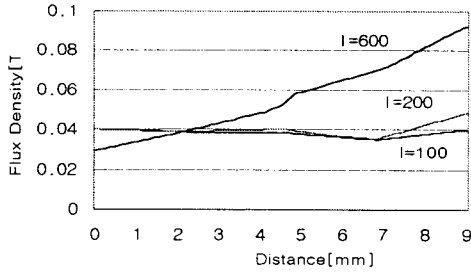


그림 10. 아크 전류에 따른 자속밀도 분포

### 3.4 아크 구동력 해석 결과

그림 11에서 아크 구동력의 해석 결과를 나타내었다. I=600A에서 모델1은 0.006[N], 모델2는 0.035[N]은 0.18[N]으로 해석 모델이 영구 자석에 아크 구동력이 가장 좋은 것으로 나타났다.

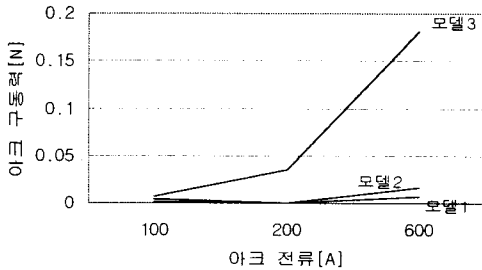


그림 11. 아크 구동력 해석 결과 비교

## 4. 결 론

직류 전자 접촉기의 아크 소호실을 유한 요소법을 이용하여 영구자석에 의한 자로형성을 알아보고, 아크 주 내에 자속밀도를 비교하여 아크 구동력을 증대할수 있는 방법을 모색하였다. 그 결과, 자로 형성과 영구자석의 위치가 중요하게됨을 알았다.

해석 모델2와 3은 영구 자석으로부터 자로가 짧게 형성되는 위치에 아크주(柱)가 위치하도록 하여야 했다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 河津順洋 外 1人, 電氣電子器機의 實用解析, 化出版株式會社, pp.52-83, 1997
- [2] Shokichiro Ito and Yoshiaki Takato, " Numerical Analysis of Electromagnetic Forces in Low Voltage AC Circuit Breakers Using 3-D Finite Element Method Taking into Account Eddy Currents", IEEE Transactions on Magnetics, Vol.34, No. 5, pp. 2597~2600, September, 1998.
- [3] Shokichiro Ito, " 3-D Finite Element Analysis of Magnetic Blowout Forces Acting on the Arc in Molded Case Circuit Breakers", IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 33, No. 2, pp. 2053~2056, March, 1997
- [4] 河津順洋 外 1人, 電氣電子器機의 實用解析, 化出版株式會社, pp.52-83, 1997