

직류전자 접촉기의 아크 소호력 향상

조현길*, 이은웅**, 임수생**, 이화수**, 서정민*, 김경목*,
LG신전*, 충남대**

The study for Improving Arc Extinction Capability of DC Magnetic Switch

HYun-Kil Cho*, Eun-Woong Lee**, Su-Saeng Lim**, Hwa-Su Lee**, Jeong-Min Seo*, Gyun-Muk Kim*
LGIS*, Chungnam Nat'l. Univ.**

Abstract - We derived a theory of increasing electromagnetic force acting on arc column for reducing arcing time between electric contacts. A simulation method of arc velocity is presented by calculating blowout force using 3D FEM and drag acting on arc column. This paper is proposed 3 types arc extinguish chamber of different fulx path and is presented electromagnetic force and arc velocity of each model.

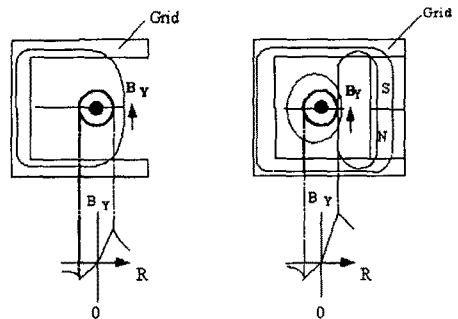
1. 서 론

접점의 접촉현상을 이용하는 전자 접촉기나 전자계전기 등의 스위칭 장치는 회로 개폐시 발생하는 접점의 소모량에 의하여 전기적 수명이 좌우된다. 그래서, 접점의 개방과 투입시에 발생하는 아크 현상에 관하여 많은 연구가 이루어 지고 있다 [1]. 접점의 폐로와 개방을 반복 하면서 접점의 소모량을 재질별로 비교하는 연구와 통신용 계전기 분야에서 접촉 신뢰성 연구[2]가 꾸준히 진행되고 있다. 접촉현상을 가지는 아크 소호실의 배열을 SF6 가스를 사용하여 아크 소호 시간과 절연 회복시간을 짧게하여 차단 성능을 향상시키기 위한 연구가 진행 중이다 [3]. 은(Ag) 접점을 사용하는 개폐장치를 DC 부하에 사용할 때 아크가 접점사이에 머무는 시간과 접점 표면 상태, 접점 두께 등에 의하여 접촉저항과 수명에 영향을 준다.[4] 아크에 의한 접점 소모량을 최소화 하기 위한 방법으로 아크의 자기적 구동 현상이 아크 거동에 미치는 영향에 관하여 연구되고 있다. 아크 운동에 시간적 지연 요인으로는 유체의 난류운동에 의한 Drag force가 제시되고 있다.[5][6] 따라서 본 논문에서는 아크 전류 차단 시간을 단축하기 위한 방안으로 아크 구동력을 증대시키는 방안을 제안하고, 아크 구동력에 의한 아크 이동속도를 계산하였다. 아크 전류와 쇄교하는 자속밀도가 서로 다른 3종류의 아크 소호실 구조를 제시하고, Holm의 식을 이용하여 접점의 접촉 단면적을 산정하였다. 산정한 접촉 단면적에서 아크 전류를 변화 시키면서 3차원 유한 요소법으로 아크 전류와 쇄교하는 자속밀도를 구하고, 아크 전류에 미치는 아크 구동력과 아크 이동속도를 계산하였다.

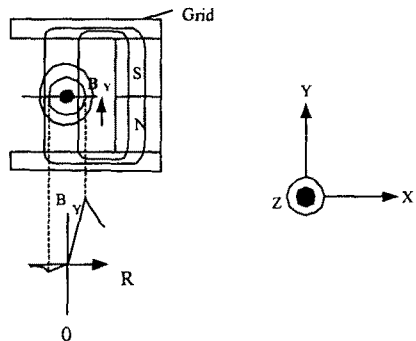
2. 아크 소호 해석

2.1 자기 구동 원리

그림 1은 아크 전류방향과 외부 자계, 아크 전류에 의한 자계방향을 나타낸다. 아크 전류에 의한 자계는 암페어의 오른손 법칙과 일치하는 방향으로 발생하고, 자연 상태에서 일직선으로 흐르는 전류에 의한 자계의 세기는 전류 중심을 기준으로 대칭이 된다. 따라서, 아크 전류 주위의 자기 회로를 그리드를 변형하므로써 자기 구동력을 증가시키게 한다.



(a) 모델 1 (b) 모델 2



(c) 모델 3 (d) 좌표계

그림 1. 아크 전류 주위의 자속 밀도 분포

U자 Grid만으로 전자 접촉기의 아크 소호실을 이룬 그림 1(a)는 아크 전류가 발생하는 자속 흐름은 Grid의 철심과 개로된 곳을 지나게 된다. 그러므로, Y방향으로 향하는 자속밀도 By는 아크 중심을 기점으로 하여 U자 그리드가 닫힌 곳은 낮고, 열린 쪽은 높아지게 된다. 아크 구동력에 미치는 자속밀도는 서로 다른 방향의 자속 벡터의 합과 쇄교하는 아크전류가 된다. Grid와 영구자석을 혼합한 그림 1(b)는 아크 전류에 의한 자속 흐름이 U자형 Grid 철심을 통과하여 Grid의 개로된 곳을 지나게 된다. 그리고, 영구자석에 의한 자속 흐름은 U자형 그리드 철심과 아크 전류가 흐르는 기증을 통하여 자속흐름을 형성하여 중심선 왼쪽은 영구자석의 자속과 아크 전류에 의한 자속이 서로 상쇄하는 방향이 되고, 오른쪽은 자속밀도를 증가시키는 방향으로 된다.

Grid가 상하로 분할된 그림1 (c)는 아크 전류에 의하여 발생한 자속이 아크 전류와 쇄교하는 양은 U자

Grid보다 적게되지만, 영구자석에 의한 자속흐름이 Grid를 통하여 모두 아크 전류가 흐르는 기중을 통과하게 되어 아크 전류 중심을 기점으로 왼쪽은 아크 전류에 의한 자속과 영구자석에 의한 자속이 상쇄되고, 오른쪽은 합성되어 더욱 증가하게 된다.

Magnetic Contactor내에서 아크 전류에 의하여 발생하고 아크 전류와 쇄교하는 Y 성분 자속 밀도를 B_{Ya} , 영구 자석에 의하여 발생한 자속밀도가 아크 전류와 쇄교하는 Y 성분 자속밀도를 B_{YP} 라고 하면 아크 전류에 미치는 로렌즈 힘은 식 (1)과 같다.

$$F_e = \int_{V_a} \{ \vec{J}_a \times (\vec{B}_{Ya} + \vec{B}_{YP}) \} dV_a \quad (1)$$

여기서, V_a 는 아크 영역의 체적, \vec{J}_a 는 아크 전류 밀도이다.

2.2 Drag Force

아크는 이온과 전자가 흐르는 전류의 통로로 기계적 힘, 자기적 힘의 합성에 의하여 자유로이 변형된다. 아크내의 모든 입자의 운동을 구할 수 있다면 아크의 움직임을 정확히 알 수 있지만 실제로 모든 입자의 운동을 추적하는 것은 매우 어려우므로 단순화하여 추정한다.

아크 주의 중심은 고온에서 강하게 이온화된 가스를 포함하여 아크 경계가 명확하지 않지만 유체의 난류운동에 의한 Drag Force를 고려하기 위하여 아크 경계를 명백하게 한다. 아크를 둘러싸고 있는 공기층은 자계에 의하여 구동되지 않는다. 아크주에 작용하는 Drag Force는 식(2)와 같다.

$$F_d = \frac{1}{2} C_D \rho D U^2 \quad (2)$$

U 는 아크의 이동 속도, ρ 는 공기 밀도, D 는 아크의 직경이다. 여기에서 $C_D = 0.62 * \left(\frac{L}{D}\right)^{0.12}$ 는 Drag Coefficient이다.[3]

아크 구동속도는 Drag Force 때문에 순간적으로 포화되고, 포화시간은 시뮬레이션 step보다 상당히 짧기 때문에 자기 구동력 F_e 근처에서 균형을 이루는 것으로 한다. 아크 운동방정식은 아크 구동력과 Drag Force가 같게 되는 식(3)으로 나타낸다.

$$F_e = F_d \quad (3)$$

식(1), (2)로 되는 식 (3)에서 속도 U 를 구할 수 있다.

2.3 유한요소법의 정식화

영구자석의 자화력 M , 아크 전류에 의한 자계 세기 H 와 투자율 μ_0 에서 영구자석중의 자속밀도 B 는 식(4)와 같다.

$$H = \frac{1}{\mu_0} (B - M) \quad (4)$$

계의 전류 밀도 J_0 와 자계 H 의 관계에서 벡터 포텐셜 $B = \nabla \times A$ 를 대입한 전자기 방정식은 (5)와 같다.

$$\nabla \times \nu_0 (\nabla \times A - M) - J_0 = 0 \quad (5)$$

여기서, $\nu_0 = \frac{1}{\mu_0}$

Galerkin Method에 의한 정식화는 식 (6)와 같다.

$$G_i = \int_{\text{Vol}} \nabla N_i \times \nu_0 (\nabla \times A) dv - \int N_i J_0 dv - \int N_i (\nabla \times M) dv \quad (6)$$

표1. 아크 모델 접촉부의 특성

접점 재질	H_d	ζ	P[kgf]	접촉 반경[mm]
AgCdO	90	0.5	0.7	0.25

2.4. 점접 접촉 모델

아크의 모델링은 Holm의 식[7]으로 부터 1점 접촉의 접촉반경 r 을 식(7)로 부터 구하였다.

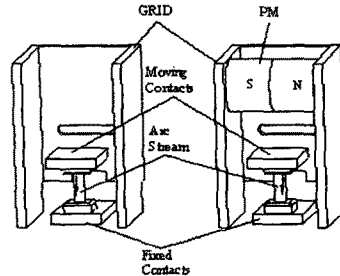
$$r = \sqrt{\frac{P}{\pi \zeta H_d}} \quad (7)$$

여기서, P 는 접촉 압력(N), H_d 는 점접의 Brinell 경도 ζ (N/mm²)는 점접표면의 상태로 결정되는 정수이다. 아크 모델에 적용한 접촉부의 특성은 표1과 같다.

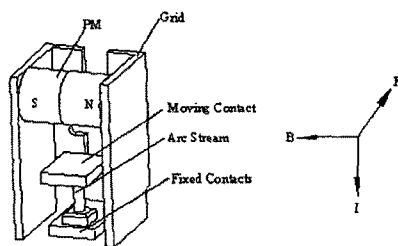
3. 해석 모델

그림 2 (a),(b),(c)는 2.1절에서 설명한 아크 구동 원리에 따른 모델을 나타낸다. 아크 소호 현상은 복잡하며 아크 구동력 이외에도 아크 소호공간의 크기, 가동 접점의 이동속도, 점접간 개극 거리 등의 요인이 영향을 미치게 된다.

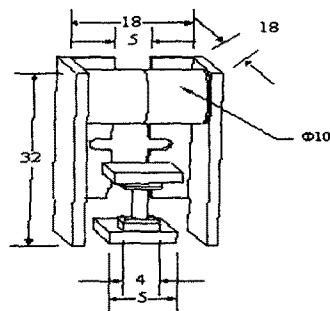
그래서, 여러가지 요인을 변화 요인을 최대한 억제하기 위하여 아크 소호 공간을 동일하게 하고, 전자 접촉기의 조작부를 동일한 사양으로 하여 점접의 이동 속도와 개극 거리는 같은 것을 간주하였다. 그림 2(e)는 아크 소호공간과 Grid 및 영구자석의 제원을 나타낸다.



(a) 모델1 (b) 모델2



(c) 모델 3 (d) 벡터 방향



(e) 아크 소호실 제원

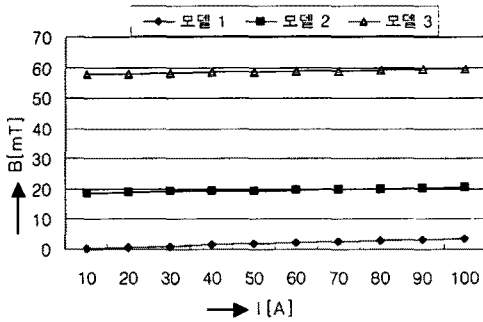
그림2. 아크 소호실 구조와 제원

4. 해석 결과

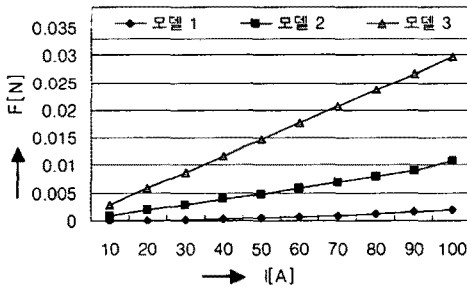
4.1 아크 구동력

그림 3(a)는 개극 거리 4.5(mm)에서 아크 전류를 10~100A 까지 변화시킬때 각 모델에 아크 전류 영역에서의 평균 자속밀도를 나타낸다. 모델 1은 아크 전류에 의하여만 발생한 자속밀도이고, 모델 2, 3은 아크 전류와 영구자석에 의한 자속밀도의 합이다. 모델2와 모델 3을 비교하여 Grid를 분할하므로써 아크와 쇄교하는 자속밀도가 크게 증가하였음을 알 수 있다.

그림 3(b)는 아크 전류 변화에 따른 아크 구동력을 나타내었다. 모델1, 2, 3을 비교하면 아크 구동력이 모델 3이 가장 크게 나타나고, 전류 증가에 따른 아크 구동력 증가하는 기울기도 가장 크게 나타남을 알 수 있다.



(a) 아크 전류 변화와 자속밀도 변화



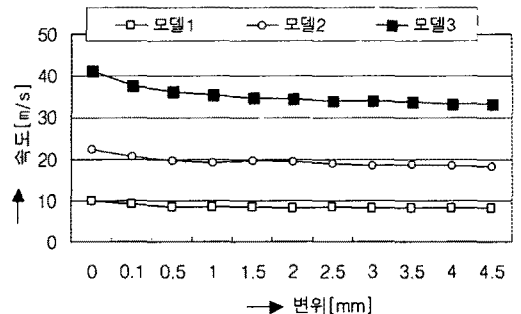
(b) 아크 전류에 변화에 따른 아크 구동력
그림 3. 해석 결과

4.2 아크 이동속도

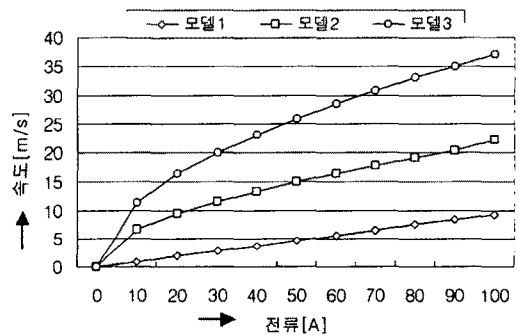
본 해석에서는 아크의 시간적 온도변화와 온도에 따른 아크의 도전을 변화는 고려되지 않았다. 공기의 밀도는 $\rho = 1.3\text{kg/m}^3$ 으로하여 기중에서 아크가 이동하는 것으로 고려하였다. 그림4(a)는 각모델에 정격전류 100A에서 아크 구동속도를 나타냈으며, 모델 1, 2, 3은 각각 10m/s, 22m/s, 41m/s의 속도로 초기 구동이 이루어지고, 접점사이가 완전히 개방되었을 때 8m/s, 18m/s, 33m/s의 속도를 가진다. 모델1은 Winsor와 Lee가 접점 사이 3.3mm, 전류 109A, 자속밀도 5mT에서 측정 한 속도 13m/s에 조금 작은 속도이다 [8]. 본 해석 결과와 약간의 차를 가지는 이유는 아크 직경 모델링과 실제 아크 가스는 정확한 경계를 가지지 않기 때문이다. 그림 4. (b)는 모델 1, 2, 3에 있어서 전류 증가에 따른 아크 구동 속도를 나타내었다. 모델 1은 전류 증가에 대하여 선형적으로 속도 증가를 하지만 모델 2와 3은 외부 자계에 의하여 초기에 작은 전류에도 급속히 이동 속도가 상승하게 된다.

5. 결 론

본 연구에서는 아크 구동 원리를 설명하고, 구동 원리에 적합한 3가지 모델을 설정하여 가동접점과 고정접점의 적정한 접촉 단면적을 아크 반경으로 가정하고 3차원 유한 요소법으로 아크 전류와 쇄교하는 자속밀도와 아크 구동력을 계산하였다. 난류운동에 의한 Drag Force와 아크 구동력력의 관계로부터 아크 구동속도를 산출하는 시뮬레이션 기법을 제시하고, 제안한 아크 소소실 모델에서 전류가 차단되는 경우의 아크 구동속도를 산출하였다.



(a) 각 모델의 아크 구동 속도(I=100A)



(b) 전류 변화에 따른 아크 구동 속도
그림 4. 아크 구동 속도

(참 고 문 헌)

- [1] V. Samoilov et al., "Physical Process at Opening Contacts", Proc. 45th IEEE Holm Conf. on electric contacts, pp.111-120, 1999
- [2] N. Ben Jemaa et al., "Break Arc Study for the New Electrical Level of 42V in Automotive Applications", Proc. 47th IEEE Holm Conf. on electric contacts, pp.50-55, 2001
- [3] Wemem Johler, "Optimized contact erosion by using electronegative gases in telecom relays" Proc. 47th IEEE Holm Conf. on electric contacts, pp. 83-93, 2001
- [4] J.W. McBride, et al., "Volumetric erosion measurements of contacts tested in dc automotive relays" Proc. 47th IEEE Holm Conf. on electric contacts, pp. 73-81, 2001
- [5] Tejiro Mori, et al., "A New interruption for low-voltage, small-capacity, air-break contactors", IEEE Transactions on Industrial Applications, Vol.27, No.1, Jan. 1991, pp. 161-166
- [6] K. Horinuchi, et al., "A Method of Simulating Magnetically Driven Arcs", IEEE Transaction on Power delivery, Vol. 12, No.1, Jan. 1997, pp.213-218
- [7] R. Holm, Electric Contacts: Theory and Applications, Springer-Verlag, New York, 1967
- [8] L.P. Winsor and T.H. Lee, "Properties of a d-c arc in a magnetic field." AIEE, May. 1956, pp. 143-148.