

직류 아크 소호실의 자기회로에 따른 아크 자기 구동력 해석

조현길*, 이은웅**, 임수생**, 이화수**, 서정민*, 김견욱*,
LG산전*, 충남대**

The Analysis of Magnetic driving force depending on Magnetic Flux-path in DC Arc-quenching chamber

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

Abstract - In this paper, magnetic force on acting arc was analyzed by 3-D FEM for three DC arc-quenching rooms having different magnetic flux paths. We measured arc breaking time in prototypes by experiment so that we compared the relation of magnetic force and arc breaking time. Finally, we present the techniques for magnetically-driven arc and for the prediction of arc breaking time.

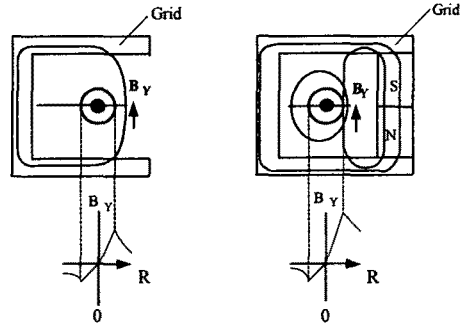
1. 서론

접점의 접촉을 이용하는 전자 접촉기나 전자계전기등의 스위칭 장치는 회로 개폐시 발생하는 접점의 소모량에 의하여 수명이 좌우된다. 그래서, 접점의 개방과 투입시에 접점소모에 직접적으로 영향을 미치는 아크 발생 현상에 관한 연구가 많이 이루어 지고 있다. 접점의 폐로와 개방을 반복하면서 접점의 소모량을 재질별로 비교하는 연구와 통신용 계전기 분야에서는 접촉 신뢰성 연구가 진행되고 있고, 접촉현상이 일어나는 소호 매질을 SF6 가스로 사용하여 스위칭 장치의 아크 소호 시간을 단축하고 절연 회복시간을 짧게하여 차단 성능향상을 위한 연구가 진행되고 있다 [1]. 은(Ag) 접점을 사용하는 개폐장치가 DC 부하에 적용되는 경우 아크가 접점사이에서 머무는 시간과 접점 표면 상태, 접점 두께 등에 따라 접촉저항 크기와 수명에 영향을 주게 되므로 [2][3], 아크 전류 차단 시간을 단축시키도록 아크 구동력을 증대시키는 방안을 제안하고, 아크 전류와 쇄교하는 자속 밀도가 다른 3종류의 아크 소호실 구조를 제시한다. 그리고, Holm의 식을 이용하여 [4], 접점의 접촉 단면적을 산정하고 아크 전류를 변화시키면서 3차원 유한 요소법으로 아크 전류와 쇄교하는 자속밀도를 구했으며, 아크 전류에 미치는 아크 구동력을 계산하였다. 아크 차단 시간이 아크 구동력에 역비례하는 특성을 실험을 통하여 규명하였으며 마지막으로 아크 구동력 향상기법과 예측 기법을 제안한다.

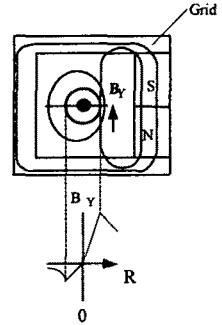
2. 아크 소호 해석

2.1 자기 구동 원리

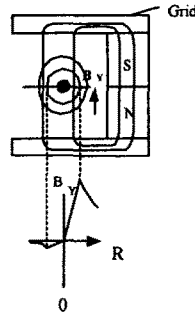
그림 1은 아크 전류방향과 외부 자계, 아크 전류에 의한 자계방향을 나타낸다. 아크 전류에 의한 자계는 압페어의 오른손 법칙과 일치하는 방향으로 발생하고, 자연 상태에서 일직선으로 흐르는 전류에 의한 자계의 세기는 전류 중심을 기준으로 대칭이 된다. 따라서, 그리드를 이용하여 아크 전류 주위의 자기 회로를 변형시키므로써 자기 구동력을 증가시키게 된다. 그림 1(a)는 Grid만을 가진 전자 접촉기의 아크 소호실이다. U자 Grid의 내부에 있는 아크 전류가 발생하는 자속 흐름은 Grid의 철심과 개로된 곳을 지나게 된다.



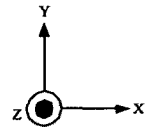
(a) 모델 1



(b) 모델 2



(c) 모델 3



(d) 좌표계

그림 1. 아크 전류 주위의 자속 밀도 분포
그러므로, Y방향으로 향하는 자속밀도 B_y 는 아크 중심을 기점으로 하여 U자 그리드가 닫힌 왼쪽은 낮고, 열린 오른쪽은 높게 된다. 아크 구동력에 미치는 자속밀도는 서로 다른 방향의 자속 벡터의 합과 쇄교하는 아크전류가 된다. 그림 1(b)는 Grid와 영구자석을 혼합한 것으로 아크 전류에 의한 자속 흐름은 U자형 Grid 철심을 통과하여 Grid의 개로된 곳을 지나게 된다. 그리고, 영구자석에 의한 자속 흐름은 U자형 그리드 철심과 아크 전류가 흐르는 소호가스를 통하여 자속흐름을 형성하게 된다. 그림 1(b)의 자속밀도 곡선과 같이 중심선 왼쪽은 영구자석의 자속과 아크 전류에 의한 자속은 서로 상쇄하는 방향이 되고, 오른쪽은 자속밀도를 증가시키는 방향으로 된다.

그림 1(c)는 U자형의 그리드를 분할한 모델이다. 그래서, 아크 전류에 의하여 발생한 자속이 아크 전류와 쇄교하는 양은 Grid 분할 전보다 적게된다. 그렇지만, 영구자석에 의한 자속흐름이 Grid를 통하여 모두 아크 전류가 흐르는 기중을 통과게 된다. 그 결과, 아크 전류 중심을 기점으로 왼쪽은 아크 전류에 의한 자속과 영구

자석에 의한 자속이 상쇄되고, 오른쪽은 합성되어 더욱 증가하게 된다.

아크 전류에 의하여 발생하여 아크 전류와 쇄교하는 Y 성분 자속 밀도를 B_{Ya} , 영구 자석에 의하여 발생한 자속 밀도가 아크 전류와 쇄교하는 Y 성분 자속 밀도를 B_{YP} 라고 하면 아크 전류에 미치는 로렌쯔 힘은 식 (1)과 같다.

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

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

2.2 유한요소법의 정식화

영구자석의 자화력 M, 영구자석중의 자속밀도 B라 하면, 아크 전류에 의한 자계 세기 H는 식(2)와 같다.

$$H = \frac{1}{\mu_0} (B - M) \quad (2)$$

계의 전류 밀도 J_0 , 자계 H와 벡터 포텐셜 $B = \nabla \times A$ 를 대입한 전자기 방정식은 식 (3)과 같다.

$$\nabla \times \nu_0 (\nabla \times A - M) - J_0 = 0 \quad (3)$$

그리고 Galerkin Method에 의한 정식화는 식 (4)와 같다.

$$G_i = \int_{\Omega} \nabla N_i \times \nu_0 (\nabla \times A) dv - \int N_i J_0 dv - \int N_i (\nabla \times M) dv \quad (4)$$

2.3 점접 접촉 모델

아크의 모델링은 Holm의 식으로 부터 1점 접촉의 접촉 반경 r을 식(5)로 부터 구하였다 [4].

$$r = \sqrt{\frac{P}{\pi(H_d)}} \quad (5)$$

여기서, P는 접촉 압력(N), H_d 는 점접의 Brinell 경도 ζ 는 점접표면의 상태로 결정되는 경도 정수(N/mm^2)이다.

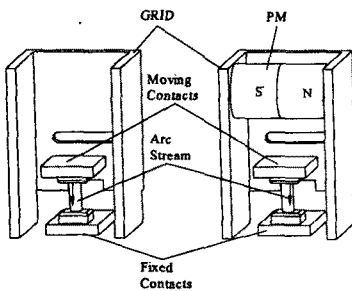
아크 모델에 적용한 접촉부의 특성을 표1에 나타내었다.

표1. 아크 모델 접촉부의 특성

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

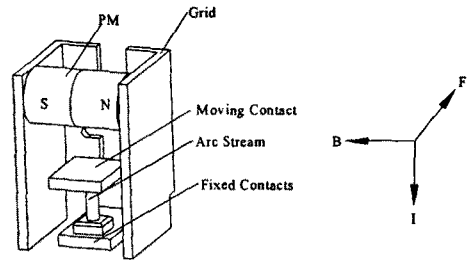
3. 해석 모델

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



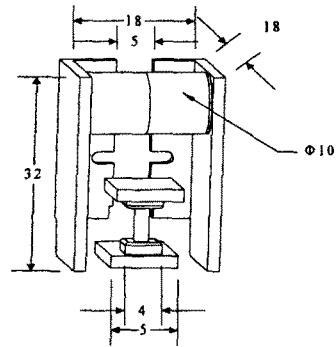
(a) 모델1

(b) 모델2



(c) 모델 3

(d) 벡터 방향



(e) 아크 소호실 제한

그림2. 아크 소호실 구조와 제한

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

4. 해석 결과와 실험 결과

4.1 해석 결과

그림 3(a)는 개극 거리 4.5[mm]에서 아크 전류를 10~100[A] 까지 변화시킬때 각 모델에 아크 전류 영역에서의 평균 자속밀도를 나타낸다. 모델 1은 아크 전류에 의하여만 발생한 자속밀도이고, 모델2, 3은 아크 전류와 영구자석에 의한 자속밀도의 합이다. 모델2와 모델3을 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 모델3이 가장 크게 나타나고, 전류 증가에 따른 아크 구동력 증가 기울기도 가장 크게 나타남을 알 수 있다.

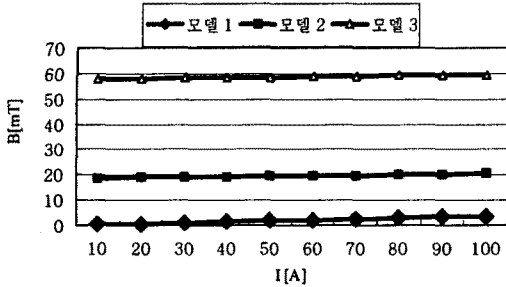
4.2 실험 방법 및 결과

각 모델의 실험은 전자 접촉기의 접촉부에 DC 100[A]를 인가하고, 시정수 15(ms)의 부하를 이용하여 시험하였다. 아크 구동력이 증가하면 아크가 소호실에 머무는 시간을 짧게 되므로 아크 소호시간과 아크 구동력을 비교하기 위하여 부하를 off하는 순간에 전류 파형을 측정하였다.

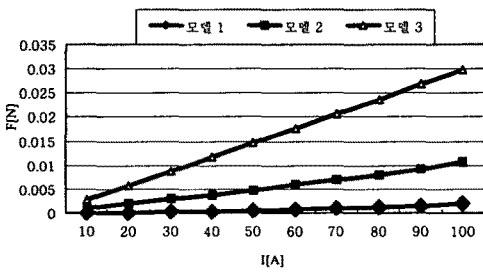
그림 4는 오실로스코프로 측정한 전류 파형을 나타내며, 모델 1, 2, 3의 전류 차단시간은 각각 464(ms), 6.96(ms), 5.26(ms)이다.

그림 5는 아크 구동력과 아크 소호 성능을 비교하기 위

해서 유한요소법으로 해석하여 아크 차단 시간(T)의 역수(1/T)와 아크 구동력의 관계를 그래프를 나타낸 것이다. 그림 5에서 아크 구동력이 커지면 아크 차단 시간은 역비례하여 짧아짐으로서 유한요소법 해석결과에 부합됨을 알 수 있다.



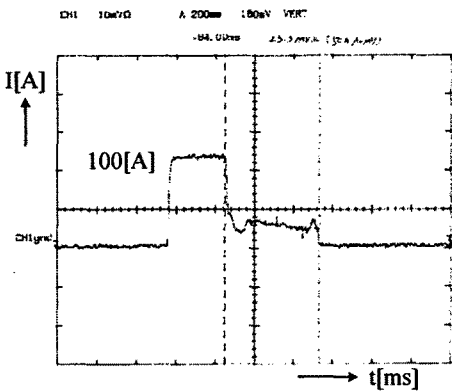
(a) 전류 변화에 따른 자속밀도(By)



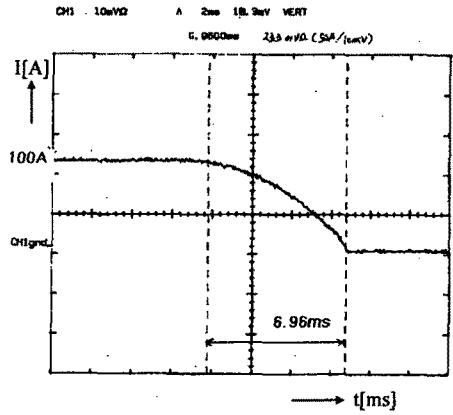
(b) 아크 전류에 변화에 따른 아크 구동력
그림 3. 해석 결과

5. 결 론

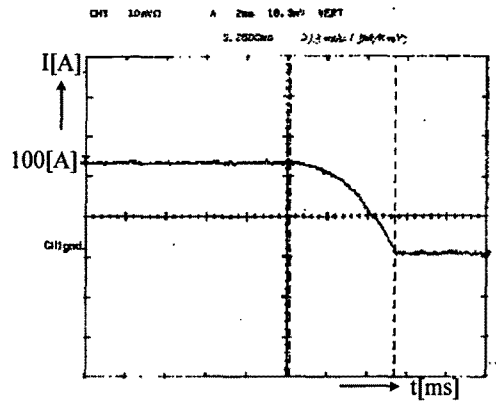
본 연구에서는 아크 구동 원리를 적용하는 3가지의 아크 소호실 모델에 가동접점과 고정접점의 적정한 접촉 단면적을 아크 반경으로 가정하고, 아크 전류와 쇄교하는 자속밀도사이에서 발생하는 아크 구동력을 3차원 유한요소법으로 계산하였다. 그리고, 아크 구동력과 아크 차단 시간의 관계에서 아크 구동력이 증가함에 따라 차단 시간이 짧아짐을 실험측정하여 규명하였다. 또한, 아크 차단성능의 향상 요인으로 작용하는 아크 구동력을 제시하고, 직류 전자 접촉기의 성능 향상을 위한 모델을 제시하였다. 그리고, 시뮬레이션과 실험 결과를 비교·분석을 하는 기법을 제시하였다.



(a) 모델 1



(b) 모델 2



(c) 모델 3

그림 4. 아크 소호 시간의 측정 결과

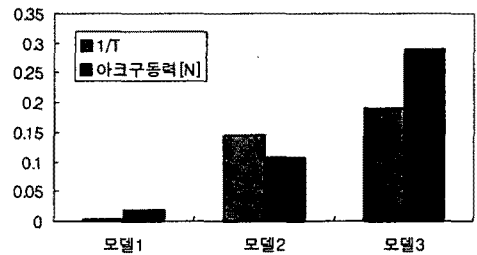


그림 5. 아크 차단시간과 아크 구동력 비교

[참 고 문 헌]

- [1] Wemem Johler, "Optimized contact erosion by using electronegative gases in telecom relays", Proceedings of the Forty-Sixth IEEE Holm Conference, pp. 83-93, 2000
- [2] J.W. McBride, et al., "Volumetric erosion measurements of contacts tested in dc automotive relays", Proceedings of the Forty-Seventh IEEE Holm Conference, pp. 73-81, 2001
- [3] Tejiro Mori, et al., "A New interruption for low-voltage, small-capacity, air-break contactors", IEEE Trans. on I.A., Vol.27, No.1, pp. 161-166, Jan. 1991,
- [4] Shokichiro Ito and Yoshiaki Takato, "Numerical Analysis of Electromagnetic Forces in Low Voltage AC Circuit Breakers Using 3-D Finite Element Method Taking Account into Eddy Currents", IEEE Trans. on Magnetics, Vol.34, No. 5, pp. 2597~2600, Sep. 1998.