

직류전자 접촉기의 아크 소호력 향상 요인 추정

조현길*, 이은웅**, 김길수*, 김견목*, 임수생**, 김준호**, 류종상*
 LG산전*, 충남대**

Estimating factor for Improving Arc Extinction Capability of DC Magnetic Switch

HYun-Kil Cho*, Eun-Woong Lee**, Kil-Soo Kim*, Gyun-Muk*, Kim Su-Saeng Lim**, Jun-Ho Kim**, Jong-Sang Ryu*
 LGIS*, Chungnam Nat'l. Univ.**

Abstract - This paper describes arc quenching chambers of three type for Magnetic Switch and analyzes electromagnetic blowout force acting on the arc using 3D finite element method. we make prototype device of each model and establish characteristics of arc quenching by measuring arcing time.

This paper compares electromagnetic blowout to inverse arcing time. As the result this proposes the improving method for arc quen performance in DC magnetic switch.

1. 서 론

1897년대에 전파의 존재를 확립한 Maxwell씨가 접점의 접촉저항에 관한 문제를 이론적으로 정립하고, 그 후 R. Holm씨의 실험에 의하여 접점 접촉시 집중 저항과 접촉 면간에 존재하는 피막저항에 관해 심도있는 연구 결과가 얻어졌다. 그 결과 활용하여 차단기 및 접촉기 분야에서 접촉 신뢰성 향상과 아크 소호 성능 향상을 위하여 꾸준한 연구가 진행되고 있다.[1][2]

접점의 접촉현상을 이용하는 전자접촉기는 전류 차단시 접점에서 발생하는 아크 소호력에 수명이 좌우된다. 특히 직류 전자 접촉기는 아크 소호 시간이 교류전자 접촉기에 비하여 길기 때문에 차단 성능향상을 위하여 전자(電磁) 현상의 해석이 중요하다. 그래서, 본 연구에서는 3종류의 아크 소호실 구조에 Holm의 식을 적용하여 가동접점과 고정접점의 적절한 접촉 단면적을 산정하고 아크 모델을 구성한후 3차원 유한 요소법을 이용하여 아크 구동력을 해석한다. 아크 구동력과 아크 차단시간의 관계를 규명하기 위하여 유한 요소법 해석 모델과 동일한 아크 소호실을 제작하고 아크 차단시간을 측정하였다. 유한 요소법 해석 결과의 아크 구동력과 실험 결과의 아크 차단 시간을 비교 분석을 하여 아크 소호 성능에 미치는 전자(電磁)적 요인으로 아크 구동력을 제안한다. 그리고, 전자계(電磁界) 해석을 통하여 아크 소호 성능 예측 기법을 제안한다.

2. 아크 소호 해석

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

2.1 자기 구동력

자계내의 물체에 작용하는 힘을 구하는 방법은 Maxwell 응력법, 가상면위 원리법, lorentz 법, 자기 텐셜법등이 있다.

자계중의 아크 영역 V_a 에서 3차원 전류분포의 해석으로 얻어지는 전류밀도 \bar{J}_a 분포와 3차원 비선형 자계해석으로 얻어지는 자속밀도 \bar{B}_a 분포에 의해 아크에 작용하는 전자력 F 는 식 (1)로 구할 수 있다.[3][4][5]

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

2.2 유한요소법의 정식화

영구자석의 자화력 M , 자계중의 자계 세기 H 라 하면, 영구자석중의 자속밀도 B 는 식(2)과 같다.

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

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

$$J_0 = \nabla \times \frac{1}{\mu_0} (B - M) \quad (3)$$

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

그리고, Galerkin Method에 의한 정식화는 식 (5)과 같다.

$$G_1 = \int_{\Omega} \nabla N_i \times \nu_0 (\nabla \times A) dv - \int N_i J_0 dv - \int N_i (\nabla \times M) dv \quad (5)$$

2.3. 접점 접촉 모델

아크의 모델링은 Holm의 식으로 부터 1점 접촉의 접촉 반경 r 을 식(6)로 부터 구하였다.[1]

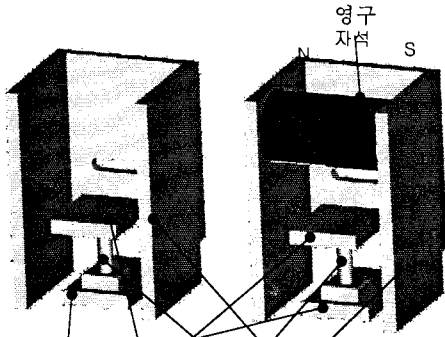
$$r = \sqrt{\frac{P}{\pi \zeta H_d}} \quad (6)$$

P 는 접촉 압력[N], H_d 는 접점재료의 Brinell 경도 [N/mm^2] ζ 는 접점표면의 상태로 결정되는 정수이다.

아크 모델에 적용한 접촉부의 특성을 표1에 나타내었다.

표1. 아크 모델 접촉부의 특성

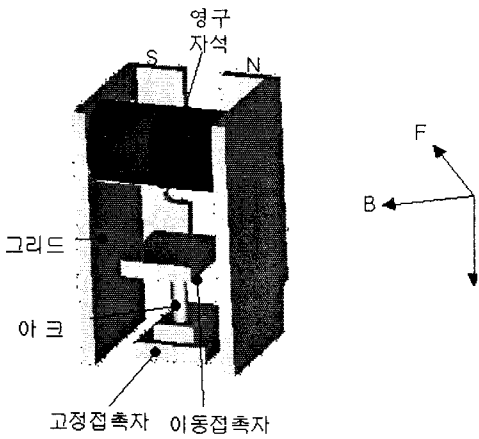
접점 재질	H_d	ζ	P [kgf]	접촉 반경[mm]
AgCdO	90	0.5	0.7	0.25



고정접촉자 이동접촉자 아크 그리드

(a) 모델 1

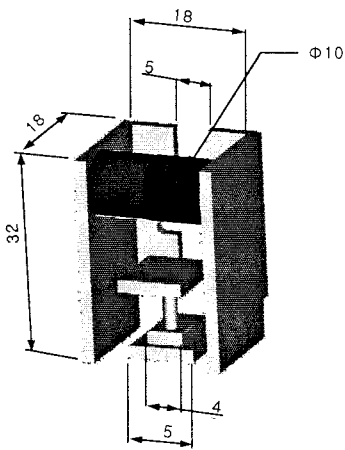
(b) 모델 2



고정접촉자 이동접촉자

(c) 모델 3

(d) 벡터 좌표



(e) 아크 소호부 치수

그림 1. 아크 소호부

3. 3종류 아크 소호 모델의 특징

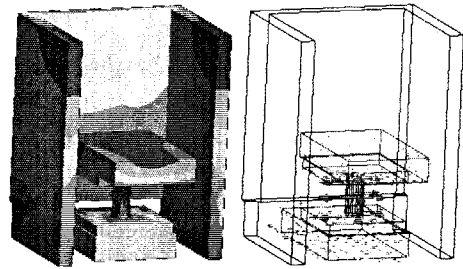
그림 1의 (a), (b), (c)에 3종의 해석 모델을 나타내었고, (d)에 전류(I), 자속밀도(B), 아크 구동력(F)의 벡터 방향을 나타 내었다. (e)는 아크 소호 공간의 체적과

영구자석의 크기를 나타내었으며, 각 재질은 SCP1 철 판과 Alnico5계 자석을 이용하였다. 그리고, 각 모델은 직류 100A를 스위칭하는 전자 접촉기의 이동 접촉자가 개방되어 아크 주가 형성된 것을 나타낸다.

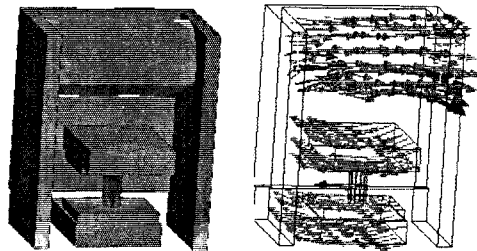
그림 1(a)의 아크 소호 모델 1은 교류 전자접촉기 아크 소호실과 동일한 π 자형 그리드, (b)의 모델 2는 (a)의 모델 1에 아크 전류와 쇄교하는 자속을 증가시키는 영구 자석을 설치하여 아크 소호력을 증대시킨 것이다. 그리고, (c)의 모델 3은 영구 자석의 자속이 그리드를 통과하여 자로가 형성되는 것을 아크 전류가 통과하는 공간을 자속이 통과하도록 자기회로를 개선하여 아크 소호능력을 향상한 것이다. 그림 1(d)에서 영구자석의 자속이 좌우의 B방향으로, I방향으로 아크 전류가 향하게 되어 구동 힘은 앞뒤로 향하는 F가 발생하여 아크 소호력이 발생한다. 그림 1의 해석 모델은 직류 전자 접촉기의 아크 소호실로 영구자석의 극성과 전류의 방향이 고정되어 있다. 아크 주의 직경은 식(7)에 의하여 얻어진 결과이다.

4. 해석 결과와 실험 결과

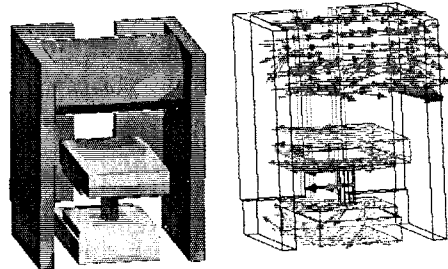
4.1 해석 결과



(a)



(b)



(c)

그림 2. 3종류이 아크 소호실 자속 해석 결과

그림 2.(a)는 모델 1의 아크 전류에 의한 자속밀도 분포와 자속 벡터 방향을 나타내었다. 아크 주(柱)

주위의 자속벡터는 아크 주를 중심으로 회전하고 있다. 아크 주에 작용하는 아크 구동력은 0.002[N]이다. 그림 2.(b)는 모델2의 아크 전류에 의한 자속밀도 분포와 자속 벡터 방향을 나타내었다. 모델2는 아크 주 주위에서 영구 자석 내부자재와 반대 방향으로 자속 벡터가 향하고 있으며, 그리드의 자속밀도가 증가 되었음을 알 수 있으며, 아크 구동력은 0.014[N]이다. 그림2.(c)는 모델3의 아크 전류에 의한 자속밀도 분포와 자속 벡터 방향을 나타내고 있으며, 아크 구동력은 0.024[N]이다. 아크주와 쇠교하여 아크 구동력이 증가되도록하는 자속 성분이 모델2.(a), (b), (c)중 가장 크게 나타나게 되었다. 이는 모델2보다 그리드만을 통과하여 폐로를 형성하는 자속이 감소되고 아크 소호 공간을 통하는 하는 자속이 증가되었기 때문이다. 또한, 아크 주 주위의 자속밀도가 증가 되었음을 알 수 있다.

4.2 실험 방법 및 결과

각 모델의 실험은 전자 접촉기의 접촉부에 DC 100A를 인가하고, 시정수를 15ms의 부하를 이용하여 시험하였다. 아크 구동력과 증가하는 것은 아크 소호능력이 향상 되는 것이다. 즉, 아크가 아크 소호실에 머무는 시간을 짧게하는 결과가 되므로 아크 소호모델의 아크 소호시간을 측정하여 아크 구동력과 비교하기 위하여 전자 접촉기가 부하를 off하는 순간에 전류 파형을 측정하였다. 오실로스코프로 측정한 전류 파형을 그림3에 나타내었으며, (a), (b), (c)의 모델1, 2, 3에 전류 차단시간은 464[ms], 6.96[ms], 5.26[ms]로 나타났다. 유한 요소법 해석 결과의 아크 구동력과 아크 소호 성능을 비교하기 위하여 그림4에 아크 차단 시간(T)의 역수(1/T)와 아크 구동력의 관계 그래프를 나타내었다. 이 결과로부터 아크 구동력이 커지면 아크 차단 시간은 비례하여 짧아짐으로서 해석 결과에 부합됨을 알 수 있다.

5. 결 론

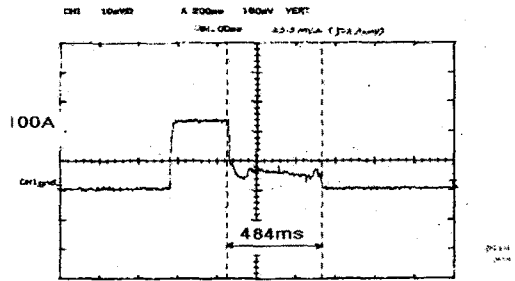
본 연구에서는 모델 1, 2, 3의 직류 아크 소호 구조를 모델링하고, Holm씨의 식을 적용하여 가동접점과 고정접점의 적정한 접촉 단면적을 산정하여 3종류의 아크 모델을 구성한 후 3차원 유한요소법으로 해석하였다. 그 결과 아크주에 미치는 아크 구동력을 구하고, 해석 모델과 동일한 아크 소호실을 제작하여 아크 차단시간을 측정하였다. 아크 구동력과 실험 결과의 아크 차단 시간을 비교하여 아크 구동력이 증가함에 따라 차단 시간이 반비례하여 감소하게 되어 차단성능의 향상 요인으로 작용하는 아크 구동력을 제시하고, 직류 전자 접촉기의 성능 향상을 위한 모델을 제시 하였다. 또한, 시뮬레이션과 실험 결과를 비교 분석을 하는 기법을 제안하였다.

[참 고 문 헌]

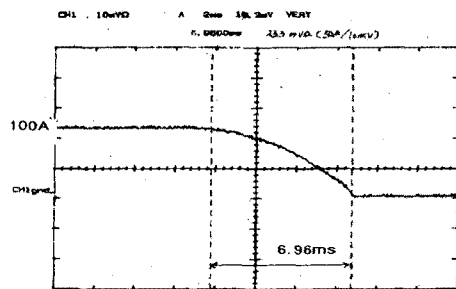
- [1] 眞野國夫"接觸 部品の 信頼性", 總合電子出版社, pp.74-84, 1976.
- [2] 河津順洋 外 1人, 電氣電子器機의 實用解析, 化出版株式會社, pp.52-83, 1997
- [3] Shokichiro Ito and Yoshiaki Takato, " Numerical Analysis of Electromagnetic Forces in Low Voltage AC Circuit Breakers Using 3-D

Finite Element Method Taking into Account Eddy Currents", IEEE Transactions on Magnetics, Vol.34, No. 5, pp. 2597~2600, September, 1998.

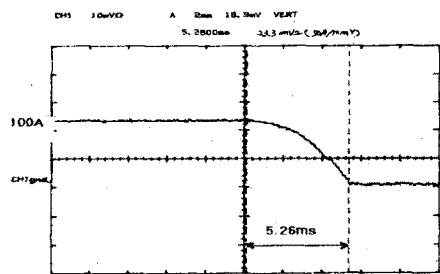
- [4] Shokichiro Ito, " 3-D Finite Element Analytic Magnetic Blowout Forces Acting on the Arc in M Case Circuit Breakers", IEEE Transactions on Mag Vol. 33, No. 2, pp. 2053~2056, March, 1997
- [5] 河津順洋 外 1人, 電氣電子器機의 實用解析, 森花出版株式會社, pp.52-83, 1997



(a) 모델1



(b) 모델2



(c) 모델3

그림3. 아크 소호 시간의 측정 결과

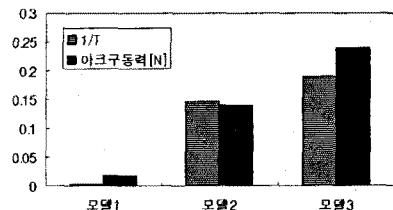


그림4. 아크 차단시간과 아크 구동력 비교