

배선용 차단기 Arc Chute의 최적형상에 관한 연구

김진수°, 이창용, 송태현, 최명준, 김덕중*, 이관희*
 현대중공업(주) 기계전기연구소, *전기전자시스템사업본부 중저압차단기부

A Study on the Optimal Shape of Arc Chute for Molded Case Circuit Breakers

J. S. Kim°, C. R. Lee, T. H. Song, M. J. Choi, D. J. Kim*, and G. H. Lee*
 HEMRI, *L/V Circuit Breakers Dep't., HHI, Co., Ltd.

Abstract - Much progress has been made during the past two decades in numerical analysis of electromagnetic forces in molded case circuit breakers (MCCB) for increasing arc voltage due to the change of the configuration of arc chute and fixed conductor. A review on this topic is given, which mainly covers the past research activities associated with that of our company.

1. 서 론

전력기기의 극한설계의 흐름에 병행하여 저압 배전계통의 단락용량은 계속 증가하는 추세에 있고, 이에 따라서 배선용 차단기에 부과되는 책무는 더욱 가혹해지고 있다 [1-2]. 배선용 차단기의 일반적인 구조는 그림 1과 같으며, 기능상 개폐기구부와 차단부로 크게 나뉘어진다. 차단부에 있어서 단락전류를 차단하는 책무에 가장 중요한 역할을 수행하는 것이 소호실로, 여러 장의 금속판을 일정 간격으로 적층시킨 arc chute와, arc chute를 지지하는 절연판, 가동자와 고정자 사이의 접점으로 구성되어 있다.

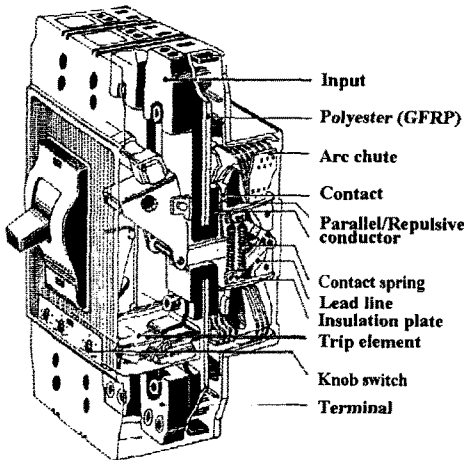


그림 1. 배선용 차단기의 일반적인 구조(예)

Arc chute에서는 가동자 및 고정자 접점간에 발생한 아크를 신장·구동시키고, arc chute에서의 분단(分斷)·냉각에 의해 아크 전압을 상승시켜서 전류를 한류 차단하게 된다. 배선용 차단기에서 한류차단성을 향상시키기 위해서는 점점 분리직후의 아크전압 상승속도를 높여야 하는데, 이를 위해서는 전자기력에 의해 가동자

를 고속으로 분리시켜며, 점점간에 발생한 아크를 강력한 구동자계로 신속하게 신장시키는 것이 중요하다고 보고된 바가 있다 [2]. 그러므로, 한류성능 (그림 2 참조)을 향상시키기 위해서는 소호실 내의 자계분포가 최적화되어야 하며, 소호실 내의 자계분포는 주로 자성체인 arc chute와 전류에 의해 결정된다. 그런데, 소호실 내 자계분포의 최적화를 위해 전류차단동작시의 자계분포를 직접 실측하는 것은 고온, 고압의 아크가 발생하고 있기 때문에 곤란하다. 더욱이 컴퓨터를 이용한 자계해석이 있어서도 소호실의 구조가 복잡하고 비선형성의 특성 등에 의해서 자계해석에는 어려움이 따르게 된다 [3, 4].

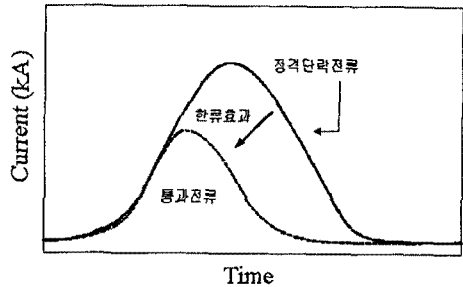


그림 2. 한류차단과정.

본 연구에서는 선진사에서 실시된 자계해석의 연구동향 및 결과를 정리하고, 이를 이용하여 당사에서 개발하고 있는 배선용 차단기에서의 체계적인 적용에 대해서 고찰을 실시하였으며, 간이모델에 대한 해석을 통하여 arc chute의 수와 아크구동력에 대해 다루었다.

2. 소호실에 대한 연구동향

2.1 한류특성의 강화 [4]

선진사들에서는 축소된 크기의 배선용 차단기에 기존의 기능을 구현하거나 크기를 증가시키지 않으면서 배선용 차단기에 누전차단기의 기능을 추가하고 있다. 이와 같은 추세에 따라서 별도의 공간을 확보하기 위해 소호실은 소형화되어야 하며 새로운 한류 기술이 개발되었다. 새로운 한류기술은 전류차단동작 초기에 아크전압의 상승률을 높이기 위해서 가동접점이 고속으로 분리되어져서 아크가 구동되어지고 늘어나는 것이 매우 중요하다. 그리고 이것을 구현하기 위한 여러 방법들 중 한 방법이 전자기력을 이용하는 것이다.

한류차단에서는 단락 차단시, 점점간에 발생한 아크를 급격하게 신장·냉각하여 아크 저항을 증가시켜서 단락

전류 자체를 제한하여 차단한다. 그림 3의 회로에는 다음과 같은 기본 식이 성립한다.

$$E_m \sin(\omega t + \theta) = L \frac{di}{dt} + R \cdot I_a + V_a$$

이 식에 있어서 아크가 없는 경우 ($V_a=0$)의 단락전류는 다음 식으로 주어진다.

$$i = \frac{E_m}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} \left\{ \sin(\omega t + \theta - \phi) - \sin(\theta - \phi) e^{-\frac{R}{L}t} \right\}$$

상기 식에서 ϕ 는 역률각을 나타낸다. 여기에서 아크 전압을 실제 파형을 근사하여 단락전류, 전 차단시간 등의 시뮬레이션을 실시하면, 접점을 조기에 분리하고, 분리 속도를 가능한 한 빠르게 하는 것이 아크를 고착 상태로 부터 활성상태로 만들며, 이것이 한류효과를 증가시키는 포인트가 된다고 보고되었다 [4].

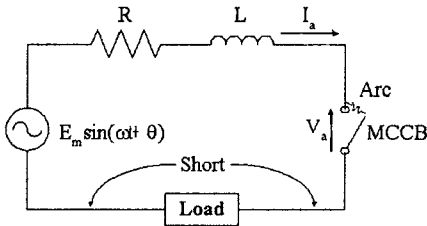


그림 3. 차단회로 [2].

2.2 고정자의 구조에 의한 자계특성의 변화 [1, 2]

자성체가 자기포화를 일으키는 단락전류영역에서는 자성체를 이용해서 아크 구동자계 및 가동자의 분리토크를 보강하는 것은 어렵다. 선진사에서는 그림 4에 나타난 바와 같은 고정자 (모델 A와 B) 구조를 채용하여 단락전류영역의 자계특성의 개선을 도모하고 있다. 이 신형 고정자는 단락전류 차단시 한류성능의 향상을 꾀한 것으로, 신형 고정자의 적용에 의해 가동자를 고속분리하는 분리토크와, 개폐 직후의 아크를 신장하는 강력한 아크 구동자계 등이 얻어진다.

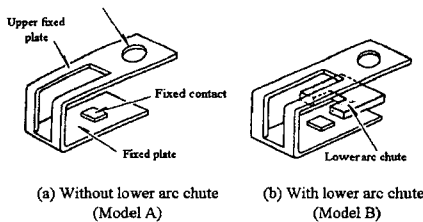


그림 4. 고정자 구조의 개선(예) [1].

그 결과, 각 모델의 개극 직후의 아크 구동전계는 그림 5와 같이 변화한다. 단락전류영역에서는 구형모델에 비해서 모델 A, B의 아크 구동자계가 커지고, 그 차이는 전류의 증가와 함께 증가한다. 또한, 그림 6에 나타난 바와 같이 개극 직후의 가동자의 개극 토크에 대해서도 단락전류영역에서는 구형 모델에 비해서 모델 A, B가 큰 값을 보이며, 그 차이는 전류의 증가와 함께 증가하게 된다.

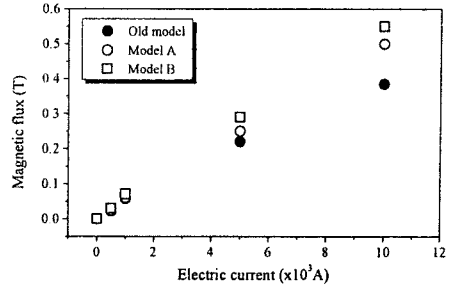


그림 5. 고정자에 의한 아크 구동자계의 차이 [1].

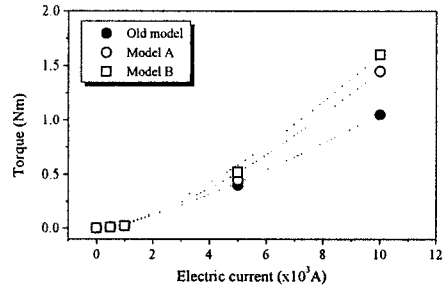


그림 6. 고정자에 의한 가동자 분리토크변화 [1].

이상으로부터 신형 고정자를 적용한 소호실에서는 보다 큰 사고전류의 차단이 되면 될수록 구형보다 우수한 자계특성을 나타낸다고 말할 수 있다. 또한, 그림 5와 6에 나타난 바와 같이 하부 arc chute를 가진 모델 B의 아크 구동자계 및 가동자의 분리토크는 모델 A에 비해서 10~20% 크다. 이것으로부터 하부 arc chute는 신형 고정자를 이용한 소호실의 자계특성을 개선시키는 데에 유효하다고 여겨진다.

2.3 Arc chute의 구조에 따른 자계특성의 변화

2.3.1 Arc chute의 역할

Arc chute는 일반적으로 자성체 금속을 사용하여 제작되며, 그 역할은 크게 아크를 arc chute 방향으로 구동시키는 것과 아크를 신장, 절단하여 냉각효과 및 음극 효과에 의해 아크 전압을 상승하게 하여 소호하는 것이다. Arc chute가 없을 경우에는 아크에는 고정자 및 가동자 도체에 흐르는 전류간의 상호작용에 의한 Lorentz force만이 작용하게 되나, arc chute를 배치함으로써 소호실 내 아크 주위에 자계가 왜곡되어 아크는 arc chute쪽의 virtual force를 받게 된다. 하지만 이러한 구동력은 소전류 영역에서 아크를 효율적으로 구동하여 아크를 소호하는데 도움을 주지만, 대전류 영역으로 전이하게 되면 arc chute가 자기적으로 포화됨에 따라 arc chute에 의한 구동력은 점차 감소되고 Lorentz force가 주요 아크구동력이 된다.

2.3.2 Arc chute에 의한 아크구동력 변화

그림 7은 arc chute에 의한 아크구동력 변화를 살펴 보기 위해 해석에 사용한 간이 모델의 3차원 형상을 나타낸 것이다. 1kA의 전류 입력을 주었을 경우에 대하여 arc chute가 없을 경우, 2개, 4개, 6개인 경우에 대해 자체해석을 실시하여 아크 구동력의 변화를 살펴보았다.

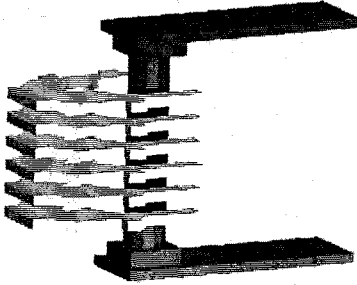


그림 7. Arc chute 해석용 간이모델

그림 8은 arc chute 수에 대한 아크구동력을 나타낸 그래프로서, 아크가 없을 경우의 순수한 Lorentz force를 1로 하여 구동력의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 arc chute 수가 증가함에 따라 아크가 받는 힘이 커짐을 볼 수 있으며, arc chute가 6개일 경우 없을 때에 비해 약 5배 가량의 힘이 작용한다. 그러나 아크구동력은 arc chute 수에 대해 선형적으로 증가하지는 않고 있으며, 이로부터 아크 구동력에 대한 최적의 arc chute 수를 결정할 수 있음을 알 수 있다.

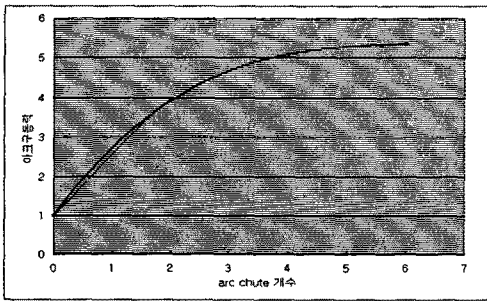


그림 8. Arc chute 개수에 대한 아크구동력

2.3.3 아크전압상승에 미치는 arc chute 간격의 영향 (2)

13장의 arc chute로 구성된 소호실에 있어서, 표 2와 같이 일부분의 arc chute를 제거하는 경우의 아크전압과 아크 전류를 보고한 결과를 정리하면 다음과 같다 (그림 7). 그림 9와 표 2에서와 같이 G13은 전체 arc chute가 있는 경우, G12는 가운데 한 장, G11은 아래에서 네 번째와 아홉 번째의 arc chute가 제거된 경우이며, G7은 한 장씩 건너뛰며 한 장씩 제거한 경우 (총 7장), G5는 한 장을 놓고 두 장씩 제거한 경우 (총 5장)이다. G0은 arc chute가 없을 때의 아크전압과 아크 전류값이다.

표 2. Arc chute의 구성 [2]

	Arc chute 번호												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
G13	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
G12	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○
G11	○	○	○	X	○	○	○	○	X	○	○	○	○
G7	○	X	○	X	○	X	○	X	○	X	○	X	○
G5	○	X	X	○	X	X	○	X	X	○	X	X	○
G0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

그림 9에 나타낸 바와 같이, arc chute의 수가 감소될수록 아크전압의 평균값과 최고값은 동시에 저하하며 아크 전류 파고치는 증대하는 즉, 한류효과가 약화된다는 것을 보여주고 있다. 이와 같은 결과로부터, arc chute사이의 간격은 한류차단특성에 큰 영향을 주고 있는 것으로 여겨진다.

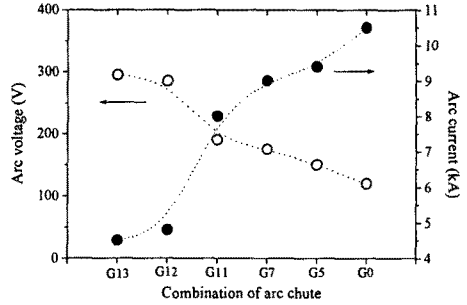


그림 9. Arc chute의 간격에 의한 아크전압 및 아크전류의 변화 [2].

또한, 아크전압상승에 어떤 위치의 arc chute가 가장 큰 기여를 하고 있는가를 살펴본 결과에 의하면 고정전극으로부터 낮은 번호순으로 한 장씩만을 순차적으로 제거하면서 아크전압과 아크전류를 측정하였다. 결과로서는 고정전극에 가까운 arc chute (번호가 작은 것)를 제거한 경우일수록, 아크전압 평균치의 저하가 현저하고, 반대로 아크전류는 증가하는 것으로 보고되었다. 반대로, 고정전극에서 멀리 떨어진 10~13번째의 arc chute에 대하여 살펴보면, 해당 arc chute가 제거되어도 아크 전압이나 전류는 기존의 경우와 큰 차이가 없으므로 한류에 유효하게 기여하고 있다고 말하기는 어려운 것으로 여겨진다.

3. 당사의 연구방향

당사에서는 현재까지는 배선용 차단기의 소호실을 그림 7의 가동자, 고정자, arc chute로 구성된 간이모델을 대상으로 소전류 영역에서 3차원 자체해석을 수행하여 왔으며, 현재 arc chute의 형상 및 기하학적 배치, 재질특성을 파라미터로 선정하여 소호실내 현상에 대해 연구중에 있다.

당사의 중저압차단기부와 기계전기연구소에서는 상기한 바와 같은 선진사의 연구동향과 연구결과를 review 하여 왔으며, 차후 지속적인 연구를 통하여 arc를 효율적으로 구동하기 위한 최적의 arc chute를 설계하여 소호성능이 향상된 배선용 차단기를 개발하고자 노력하고 있다.

(참 고 문 헌)

- [1] 三橋孝夫 외, 三菱電機技報, Vol. 69, No. 4, pp. 24-28, 1995.
- [2] Y. Ikuma, et al., Trans. IEE Japan, Vol. 108-B, pp. 119-224, 1988.
- [3] A. Tslaf, IEEE Trans. on Plasma Sci., Vol. PS-8, pp. 455-460, 1980.
- [4] K. Watanabe, et al., 富士時報, Vol. 74, pp. 611-616, 2001.