

구동코일의 단락한 형상변경에 따른 아크전류와 자속간의 위상차 특성

정진교, 박경엽, 신영준, 조현호*, 최승현*
한국전기연구소, 신성산전(주)*

Characteristics of the Phase Difference Between Arc-current and Magnetic Field Due to the Shape Variation of the Short-Circuit Ring of the Driving Coil

J.K. Chong, K.Y. Park, Y.J. Shin, H.H. Jo*, S.H. Choi*
KERI, SSIE Co., Ltd.*

Abstract - In these days the hybrid interrupters are widely used for medium voltage class circuit breakers. In the design of the hybrid interrupter, the shape of the short-circuit ring is one of the most important design parameters. Recently the investigation into the phase difference between arc current and magnetic field due to the shape variation of the short circuit ring has been conducted.

In this paper, the results of eddy current analyses in the hybrid interrupter and test result are presented.

위하여 수치해석을 수행하였으며, 해석결과를 활용하여 제작된 차단부의 단락시험 결과를 정리하여 나타내었다.

2. 본 론

2.1 아크회전력

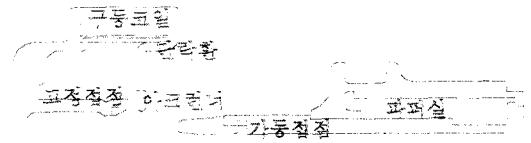


그림 1 복합소호식 차단부의 형상

1. 서 론

배전급 가스차단기에 많이 이용된 소호방식은 파퍼식이었으나, 80년 이후 파퍼식의 결점을 보완하기 위하여 노력한 결과, 현재는 로타리아크 소호방식과 열팽창소호방식이 주된 소호방식을 이루고 있다. 그러나 하나의 소호방식만으로는 대전류 영역 및 소전류영역 모두에서 우수한 차단성능을 얻는데 난점이 있을 뿐만 아니라 대응량화 및 소형·경량화에도 문제점이 있어 현재는 2 혹은 3가지의 소호방식을 결합시킨 복합소호방식의 차단기를 설계 제작하는 것이 주류를 이룬다.

로타리아크 소호방식은 60년대 말부터 유럽 등에서 활발한 연구가 진행되었다. 일본도 이러한 로타리아크 소호방식에 대한 연구를 수행하여 73년도에 Yaskawa에서는 로타리아크 소호방식의 개폐기를 세계 최초로 상품화하는데 성공하였다.

로타리아크 소호방식에도 전류를 회전 구동시키기 위한 자속을 발생시키는 방법에 따라 3가지, 즉 구동코일 단독형, 영구자석 단독형, 구동코일과 영구자석의 결합형으로 나뉘어진다. 로타리아크 소호방식과 파퍼실을 이용한 복합소호방식 차단부에서 로타리아크 소호방식은 대전류의 차단에 주요한 역할을 하며 파퍼실은 소전류의 차단에 중요한 역할을 한다. 이러한 로타리아크 소호방식의 차단부에서 단락환은 아크전류와 자속간의 위상차를 조절해 주고, 구동코일을 보호 및 지탱하는 역할을 한다.

본 논문에서는 전압범위 25.8kV 전류범위 12.5kA의 복합소호식 차단부 개발과 관련하여 구동코일의 형상변경에 따른 전류와 자속밀도의 위상차에 특성을 파악하기

로타리아크 소호방식을 주된 소호원리로 하고, 파퍼실을 보조 소호원리로 하는 가스차단부의 형상을 나타내면 그림 1과 같다. 대전류차단이 이루어지는 소호부의 주요 구성부품으로는 구동코일, 아크런너, 단락환, 고정접점부, 가동접점부 그리고 파퍼실 등이 있으며, 단락환의 형상을 결정하는데 있어서 중요한 설계변수로는 길이와 두께이다.

아크를 구동하는 전자력 즉, 로렌츠힘은 기본적으로 식 (1)과 같이 벡터적으로 정의될 수 있다.

$$\vec{F} = \vec{I} \times \vec{B} \quad (1)$$

여기서 \vec{F} 는 아크의 단위길이 당 힘, \vec{I} 는 구동코일에 흐르는 전류의 순시치, \vec{B} 는 구동코일에 전류가 흘러 생성된 자속밀도의 순시치이다. 효과적인 로렌츠의 힘을 얻기 위해서는 자계가 차단전류에 대하여 위상차가 있어야 한다. 본질적으로 전류와 자속밀도의 직각성분의 곱으로 표현되는 로렌츠힘은 영전류 바로 직전에 큰 값을 가져야 전류차단에 효과적이다. 힘의 크기는 영전류에서 항상 영으로 감소하므로 영전류에서 단위시간 당 그리고 단위아크길이당 힘의 변화율로 정의되는 $d\vec{F}/dt$ 가 힘의 실효성을 나타내는 좋은 척도로 사용될 수 있다.

자기구동력에 의해 효과적인 차단성능을 얻으려면 차단전류의 영점 직전의 구동력을 보다 크게 할 필요가 있다. 이 때문에 구동코일의 형상 및 배치를 적절하게 하여야 하며, 아크가 회전되는 아크런너부 근방에 단락환을 설치하여야 한다. 이 단락환에는 구동코일에서 발생

한 자속에 의해 2차 유기전류가 흐르기 때문에 단락환의 형상을 조정하면 아크전류와 자속사이의 위상차가 생기게 할 수 있어 전류영점 직전에서 아크의 회전력을 확보할 수 있다.

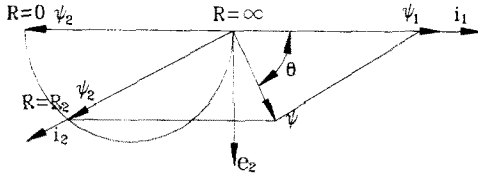


그림 2 구동코일에서의 자속벡터도

즉, 그림 2에서와 같이 차단전류 i_1 이 구동코일에 흘러 발생하는 자속을 ψ_1 이라 하면, 이 자속은 차단전류와 동위상이 된다. ψ_1 에 의해 단락환에는 2차 유기전류 i_2 가 흐르게 되고, 이 2차 유기전류에 의한 전압 e_2 는 차단전류 i_1 보다 위상이 90° 지연되게 된다. 단락환에 2차 유기전류가 흐르면, 이 전류에 의해 자속 ψ_2 가 발생하게 된다. 단락환이 저항성분만을 가지고 있다면 ψ_2 는 e_2 와 동위상이 되고, 저항성분을 전혀 가지고 있지 않다면, ψ_2 는 e_2 보다 위상이 90° 지연되고 ψ_1 보다 위상이 180° 지연되어 역방향이 된다.

단락환의 형상 및 재질을 적당하게 하여 단락환의 저항성분을 변화시키면 그 크기 및 위상이 달라진다. 따라서, 단락환이 있는 구동코일에서 발생하는 최종적인 자속은 코일에서 발생하는 자속과 단락환에 의해 발생하는 자속과의 벡터 합으로 되기 때문에 구동코일에 흐르는 전류와의 위상차는 6 가 된다. 합성된 자계는 구동코일의 주위 각 위치에 따라 다르지만 아크가 구동되어 회전하는 공간은 아크런너의 내주 근처이므로 특히 이 부분의 자속의 크기 및 위상을 적절히 설정할 필요가 있다. 그리고 그림 2에서 알 수 있듯이 6가 45도일 때 총 자속이 최대가 되고, 아크회전력이 효과적으로 되므로 위상차가 45도에 가깝게 되도록 단락환을 설계하여야 한다.

2.2 와전류해석

차단전류가 구동코일에 흐르기 시작한 후 아크에 로렌츠힘이 작용하여 아크가 구동·회전하게 되고, 첫 번째 전류영점이나 두 번째 또는 세 번째 전류영점에서 차단이 이루어지게 된다. 따라서 그림 3,4,5,6과 같은 차단부의 형상에 대하여 구동코일에 흐르는 전류와 발생하는 총 자속사이의 위상차를 계산하여 보았다.

매질상수로는 SF₆가스와 Teflon, PE, Epoxy 및 Segment로 이루어진 고정접점은 투자율의 값을 1로 하였고 아크런너 tip의 재질은 CuW로 저항률 ρ 는 $0.3 \times 10^{-7} (\Omega m)$ 을 대입하였으며, 단락환 및 그 외의 재

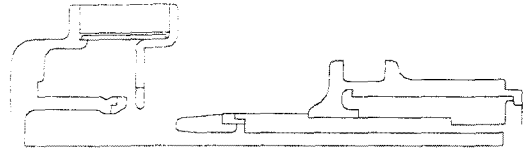


그림 3 해석형상 X1

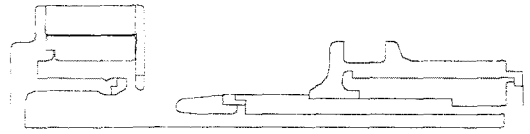


그림 4 해석형상 X2

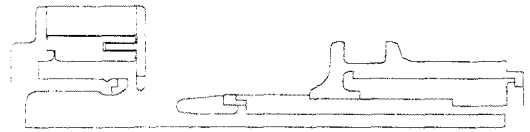


그림 5 해석형상 X3

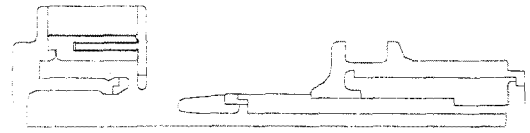


그림 6 해석형상 X4

질은 Cu로 저항률 ρ 는 $0.17 \times 10^{-7} (\Omega m)$ 의 값을 대입하여 계산하였다. 그리고 구동코일에 입력한 전류밀도는 1[A]의 전류에 대한 값으로 입력하였으며 비대칭전류의 영향을 피하고 정확한 위상차를 산출하기 위해 전류투입각은 60도로 설정하여 입력하였다. 경계조건으로 회전 중심축은 Dirichlet 경계조건을, 외부공간은 Neumann 경계조건으로 설정하여 계산을 수행하였다. 또한, 해석 방법은 Transient magnetic을 적용하였고, 0.1 [msec]부터 30[msec]까지의 시간에 대하여 계산을 수행하였다.

아크점접간에 발생한 아크가 회전할 확률이 가장 높은 아크런너 tip의 위치에서 자속과 전류와의 위상차에 대한 결과의 한 예를 그림 7에 나타내었으며, 각각의 해석형상에 대한 위상차의 결과를 정리하여 표1에 나타내었다.

표 1 해석형상에서의 전류와 자속간의 위상차

	1차 전류0점과 자속의 위상차		2차 전류0점과 자속의 위상차		3차 전류0점과 자속의 위상차	
	반경방향[x]	축방향[y]	반경방향[x]	축방향[y]	반경방향[x]	축방향[y]
X1	33.9	86.0	11.3	84.9	14.7	84.9
X2	43.2	64.9	45.5	66.0	45.5	66.0
X3	67.1	79.7	68.2	79.7	68.2	79.7
X4	89.7	86.3	88.6	87.4	90.8	87.4

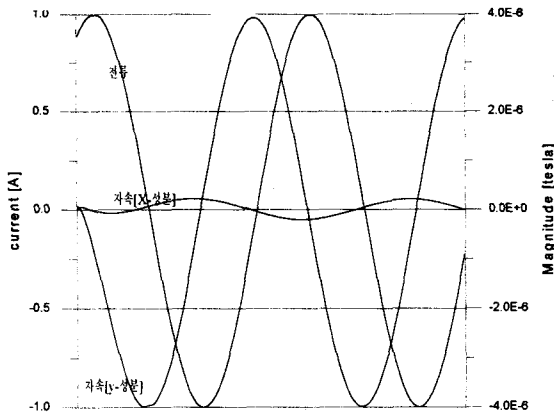


그림 7 해석형상 X1에서 전류와 자속의 해석결과

차단부가 OPEN되면서 아크가 발생하면 차단과정의 시작 단계에서는 아크는 축방향으로 존재하는 성분이 크므로 효과적인 아크구동력을 위해서는 자속밀도의 반경 방향에 대한 성분과의 위상차를 고려할 필요가 있고, 아크가 회전을 하기 시작하면 자속밀도의 반경방향 성분 및 축방향 성분을 같이 고려하여야 효율적인 아크의 회전을 구현할 수 있다. 해석결과로부터 알 수 있는 것은 형상 X2가 아크의 회전에 효율적인 위상차특성을 가지고 있으며, 형상 X4가 아크의 회전에 가장 비효율적인 위상차 특성을 가지고 있다.

2.3 단락전류 차단시험

복합소호식 차단부를 제작하기 위하여 위의 수치해석의 결과를 활용하였다. 수치해석의 결과로부터 가장 효율적인 차단특성을 가지는 것으로 보이는 형상 X2의 차단부를 실제로 제작하여 단락시험을 수행하였다.

차단부의 충전 가스압은 3(kgf/cm²)로 설정하였고, 점접간 개극속도는 2.5(m/sec)로 설정하였으며, 단락전류의 크기는 규정치 12.5(kA)보다 큰 14(kA)로 설정하여 시험을 수행하였으며, 단락시험 결과를 정리하여 표 2에 나타내었다.

표 2 단락시험의 결과

시험횟수	전류의크기	아킹시간
1	90%	18(msec)
2	90%	11.5(msec)
3	90%	13(msec)
4	100%	22(msec)
5	100%	13(msec)
6	100%	12.5(msec)

제작된 차단부는 고장전류 14(kA)의 90%를 3회 100%를 3회 차단하는데 성공하였다. 따라서 정격 단락전류 12(kA)의 차단에는 문제점이 없을 것으로 판단되어, 차단부의 절연성능을 파악하기 위하여 충전 가스압을 3(kgf/cm²)에서 2(kgf/cm²)로 조정하여 단락전류

100% 차단시험을 수행하였지만, 전류차단에 실패하였다.

3. 결 론

본 논문에서는 로타리아크식과 파퍼실을 이용한 복합소호식 차단부에서 아크회전력에 결정적 영향을 미치는 단락환에 대한 외전류 해석을 수행하여 차단부 설계를 위한 변수의 값들을 결정하였다. 그리고 수치해석의 결과를 활용하여 복합소호식 차단부를 제작하였으며, 제작된 차단부에 대하여 단락시험을 수행하였다. 단락시험의 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 단락환의 형상변경에 따른 전류와 자속간의 위상차를 계산하여 아크차단에 효율적인 위상차 특성을 가지는 복합소호식 차단부를 제작하였다.
- (2) 제작된 차단부는 정격단락전류 12.5(kA)의 차단에는 문제가 없을 것 판단되었다. 하지만 충전 가스압이 2(kgf/cm²)인 경우에 시험에 실패함으로써 차단부의 절연설계를 보완할 필요가 있는 것으로 판단된다.
- (3) 효율적인 파퍼실의 설계를 위해서는 유체역학적인 측면에서 별도의 추가적인 연구가 수행되어야 할 것으로 생각된다.

본 연구는 중소기업청 "중소기업 기술혁신개발사업" 과제로 수행한 연구결과입니다.

[참 고 문 헌]

- [1] 신영준, "SF6가스 자력소호 차단기에 대한 연구동향," KERI 전기기술동향, 제5권 제7호, 한국전기연구소, 10월 1992년 pp 1-7
- [2] 신영준, 박경엽, 송기동, "자력소호 가스차단부의 소호특성," 대한전기학회, 1994년도 하계학술대회 논문집 C, pp 1593-1598
- [3] S. Hamada, Y. Takemoto, Y. Tanaka, T. Matsuo and H. Ishihara, "Small breaking-capacity rotary-arc SF₆ circuit breaker," 安川電氣, 第41卷 通卷 第 156號, No. 2, 1977, pp 60-66
- [4] G.R. Jones, D.R. Turner, J. Spencer, D. Chen and J. Parry, "Factors affecting the performance and properties of and SF6 rotary arc interrupter," GD92, pp 1-5