

진공차단기에서의 Post-arc Current 계산

정진교, 이우영, 이병윤, 안희일*
 한국전기연구소 스위치기어연구팀, *LG산전 전력기연구팀

Calculation of The Post-arc Current in VCB

J.K. Chong, W.Y. Lee, B.Y. Lee, K.Y. Park, H.I. Ahn*
 KERI, Switchgear Team, *LGIS Electric Equipment Team

Abstract - The post-arc current in VCB(Vacuum Circuit Breaker) was calculated from the transient recovery voltage. A differential equation for the post-arc current was derived from the equivalent circuit of the test circuit. And it's results were showed.

1. 서 론

차단기는 전류에 대한 차단이 이루어진 후, 차단부의 접점 사이에 인가되는 과도회복전압에 대한 절연성능을 확보하여야 차단에 성공하게 된다. 한편, 차단기의 성능평가 시험을 수행하게 되면 많은 양의 변수들이 관찰되고 측정되는데, 아크가 발생하는 차단기에서는 과도회복전압이 발생하는 기간에 과도회복전압과 post-arc current가 측정되어진다. Post-arc current는 차단기의 주접점 사이에서 아크가 소호된 후, 흐르는 매우 작은 전류를 나타내는 것으로 이는 차단부의 접점간 매질의 이온화 감쇄율 및 유전적 회복특성을 파악할 수 있게 해준다.

간이합성 시험설비를 이용하여 차단기의 성능시험을 수행하는 경우, 시간의 축에 따라 측정되는 전류파형 [ch1]과 전압파형[ch2]의 예를 그림 1에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 차단부의 접점이 투입되어 있는 상태에서 전류는 통전되고, 어떤 주어진 시간에 차단부의 접점이 분리되기 시작하면 접점간에 아크가 발생하고 발생한 아크는 주 전류가 0이 되기까지 접점사이에 존재하게 된다. 전류의 0점에서 아크가 소호 되었다고 가정하면, 차단부 접점사이에는 과도회복전압이 인가되기 시작한다. 이때 접점의 사이에 잔류하고 있던 매질의 플라즈마 상태에 의거하여 post-arc current가 흐르게 된다. Post-arc current는 주 전류의 크기보다 매우 작고, 주파수도 주전류에 비하여 상당히 큰 고주파의 물리량이기 때문에 이를 직접적으로 측정하기 위해서는 매우 고가의 장비인 noninductive coaxial shunt가 필요하다.

Van Sickel은 시험전류의 등가회로를 활용하여 회복전압으로부터 post-arc current를 계산하였으나 이때는 수치해석을 위한 장비가 없었기 때문에 모든 계산이 수작업으로 진행되었다⁽¹⁾.

본 논문에서는 수치해석 방법을 적용하여 측정된 회복전압의 파형으로부터 post-arc current를 계산하였으

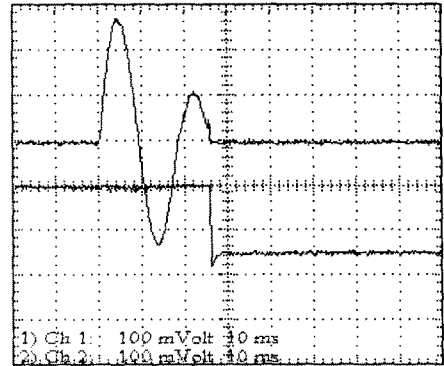


그림 1 시험전류 및 전압파형의 예

며, 해석결과를 제시하였다.

2. 이론 및 수치해석

2.1 기본이론

회복전압으로부터 post-arc current를 계산하기 위해서는 차단기를 시험하는 시험회로에 대한 등가회로를 구성하여야 한다. 시험회로의 주요 구성기기로는 시험전압의 공급을 위한 전압원, 시험전류의 제한을 위한 공심 리액터, 그리고 매우 작은 값의 선로저항이 존재하게 되며, 또한 차단기의 접점 사이에는 접지에 대한 분포커패시턴스가 존재하게 된다. 마지막으로 고려해야 할 것으로 차단기 접점내부에서의 잔류플라즈마가 있는데 이는 해석대상이 아니고, 이 도전영역에 흐르는 전류가 연구의 대상이므로 이 도전영역은 간략화 할 수 있다.

Post-arc current나 회복전압이 발생하는 시간은 주회로의 전압원의 주기 16.7(ms)에 비하여 상당히 작은 (μs)단위의 값을 가지므로, 교류의 전압원도 DC로 고려할 수 있다.

차단부의 접점에 인가되는 과도회복전압의 파형을 측정하면 진동하면서 감쇄하게 되는데, 이 전압의 감쇄율은 시험회로의 선로저항에 매우 큰 영향을 받게 된다. 그리고 정확한 계산을 위해서는 선로저항을 고려하여야 하지만 본 연구에서는 무시하였다.

위의 내용을 정리하여 차단기 시험회로에 대한 등가회로를 구성하면 그림 2와 같은 형태를 이루게 된다.

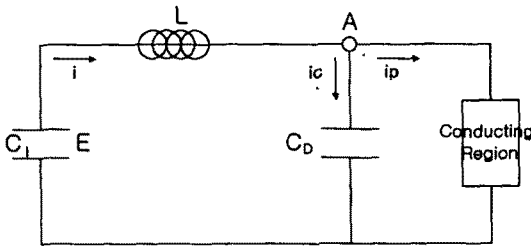


그림 2 차단시험설비의 등가회로

여기서, 전압원 전압은 E , 리액터는 L , 접지에 대한 분포커패시턴스는 C_D , 그리고 도전영역은 Box로 취급하였다.

계산을 위해서는 분포커패시턴스의 값을 구해야 하는데 이는 측정하기는 상당히 어려운 물리량이다. 하지만, 측정된 과도회복전압이 심하게 감쇄하지 않는다고 하면 분포커패시턴스 C_D 는 다음 식을 이용하여 계산할 수가 있고,

$$C_D = \frac{1}{(2\pi)^2 L} \quad (1)$$

주파수 f 는 측정전압의 파형으로부터 계산 가능하다. 이 커패시턴스의 값은 일반적으로 수백 [pF]의 값을 가지며, 회복전압 측정을 위한 분압기의 내부저항을 무시하면, 차단기의 접점을 통하여 흐르는 post-arc current i_p 는 다음과 같은 식으로부터 계산할 수 있다.

$$i_p = \frac{E}{L} t - C_D \frac{dV_c}{dt} - \frac{1}{L} \int V_c dt \quad (2)$$

식 [2]에서 E , L , C_D 의 값은 알고 있는 양이며, V_c 의 값은 측정결과로부터 구해진다.

수치해석을 위하여 식 [2]를 유한차분 형태로 바꾸면 다음과 같이 표현된다.

$$I_p(n\Delta t) = \frac{E}{L} n\Delta t - C_D \frac{[V_c(n\Delta t) - V_c((n-1)\Delta t)]}{\Delta t} - \frac{\Delta t}{L} \sum_{k=1}^n V_c(k\Delta t) \quad (3)$$

여기서, n 은 계산 step, Δt 는 각각의 step에 대한 시간간격, 그리고 $V_c(n\Delta t)$, $V_c((n-1)\Delta t)$ 는 각각 n , $n-1$ step에서의 회복전압의 값을 나타낸다.

2.2 수치해석

Post-arc current의 값을 계산하기 위하여 LG산전 [주] 진공차단기를 이용하였으며, 차단기의 시험은 간이 합성시험설비를 이용하였다

표 1 시험회로조건

	$C_i(\mu F)$	$L(mH)$	$E(kV)$
NO 1	30,000	0.256	2
NO 2	30,000	0.256	9

시험을 회로조건은 표 1과 같으며, 측정된 과도회복전압의 파형은 그림 3, 4에 나타내었다.

시험전류를 차단한 후, 콘덴서 C_i 에 잔류하고 있는 전압은 그림 3의 경우, $E = 1920(V)$ 이고, 그림 4의 경우, $E = 5250(V)$ 이었다.

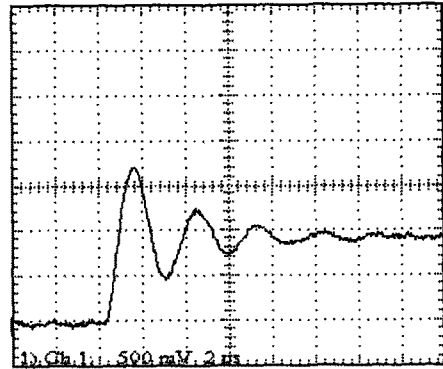


그림 3 과도회복전압 파형의 예 1

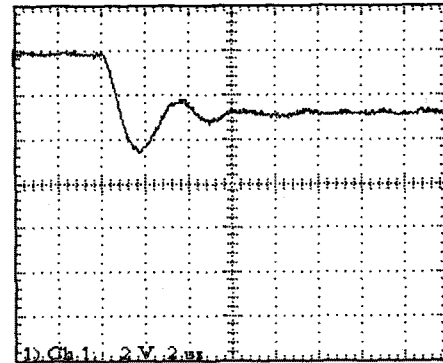


그림 4 과도회복전압 파형의 예 2

그림 3의 측정결과로부터 회복전압의 주파수를 계산하면 주파수 f 는 333[kHz]이고, 분포커패시턴스 C_D 는 892[pF]이며, 그림 4의 결과로부터 회복전압의 주파수를 계산하면 주파수 f 는 303[kHz]이고, 분포커패시턴스 C_D 는 1078[pF]이다.

그림 3에 대한 post-arc current의 값을 구하기 위하여 구해진 변수들의 값을 식 [3]에 대입하여 수치해석을 수행하였으며, 계산된 결과를 그림 5에 나타내었다. 결과로부터 알 수 있듯이 post-arc current는 최대

2[A]까지 흐른 후 소멸해 가는 것을 볼 수 있다.

같은 방법으로 그림 4의 결과에 대하여 post-arc current의 값을 계산하였으며, 계산결과를 그림 6에 나타내었다. 계산결과 post-arc current는 최대 8[A]까지 흐른 후 소멸해 가는 것으로 계산되었다.

3. 결 론

본 논문에서는 진공차단기의 차단성능 시험시 측정된 과도회복전압의 파형으로부터 post-arc current의 크기를 계산하기 위한 이론 및 계산결과를 제시하였다.

측정된 과도회복전압의 크기가 1940[V]인 경우에 post-arc current의 최대값은 2[A], 그리고 충전전압의 크기가 5250[V]인 경우의 post-arc current의 최대값은 8[A]로 계산되었다.

현재 당 연구팀에서는 post-arc current를 직접적으로 측정할 수 있는 장비를 보유하고 있지 못하므로 실험결과와 비교하지는 못하였다. 하지만 계산 결과는 일반적으로 알려진 범위의 값을 가지는 것으로 확인되었다.

[참 고 문 헌]

- [1] R.C. Van Sickle, "Breaker performance studied by cathode ray oscillograms", Electrical Engineering, vol. 54, pp. 178-184, Feb., 1935.

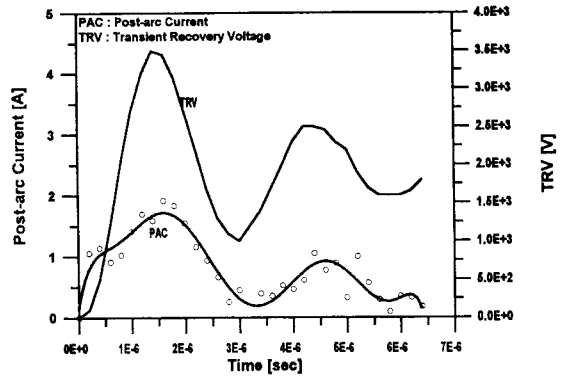


그림 5 Post-arc current의 계산결과[시험 1]

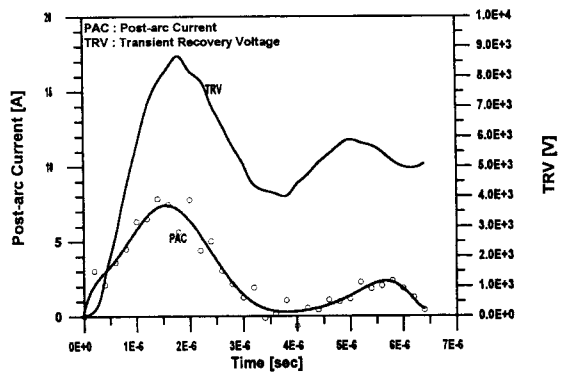


그림 6 Post-arc current의 계산결과[시험 2]