

간이합성시험설비를 이용한 가스차단기 개발에 관한 연구

정진교*, 김규탁
한국전기연구원*, 창원대학교

A Study on A Gas Circuit Breaker Development Using Simplified Synthetic Testing Facility

Jin-Kyo Chong*, Gyu-Tak Kim
KERI*, Chang-Won National Univ.

Abstract - A SF₆ gas circuit breakers are widely used for short circuit current interruption in EHV or UHV power system. During a SF₆ gas circuit breaker development, Simplified synthetic testing facility is used.

This paper shows how simplified synthetic testing facility is used for a SF₆ gas circuit breaker development.

1. 서 론

전력계통이 대용량화됨에 따라 차단기도 용량도 대용량화 되었다. 이러한 대용량의 차단기를 개발하는 과정에서 설계 제작된 시제품 차단기의 성능을 평가하기 위하여 특성시험을 수행하는 것이 반드시 필요하다. 소용량의 시험용 차단기에 대한 성능평가 시험설비는 하나의 전원으로 부터 시험전류 100%와 시험전압 100%를 공급하는 직접시험방법의 시험설비가 이용된다. 하지만, 시험용 차단기의 용량이 커질수록 하나의 전원을 이용하여 시험전류 및 시험전압을 공급하는 시험설비를 설계 제작하는 것은 불가능 해진다. 따라서 용량이 적은 시험설비로 대용량의 차단기에 대한 특성시험을 수행하는 것이 가능한 시험법이 현재 전 세계적으로 이용되고 있다. 즉, 직접시험법과는 달리 하나의 전원에서 시험전류만을 공급하고 다른 하나의 전원에서 시험전압을 인가하여 특성시험을 수행하는 합성시험법이 그것이다.

합성시험법이란 차단기가 시험전류를 차단하는 할 때에는 대전류가 필요하지만 전류전압은 아크전압에 적당한 정도로 적어도 되고, 또한 시험전류차단 시간 이후에는 높은 전압이 필요하지만 전류공급은 적어도 좋다는 전류차단과정으로부터 출발해서 전류원과 전압원을 별개로 하여 시험용차단기가 전류를 차단하는 시점을 전후로 해서 시험전류 공급회로부터 시험전압 공급회로로 전원회로를 이동시키면서 특성시험을 수행하는 방법이다. 이러한 합성시험법에는 다음의 두 가지 방법이 있다.

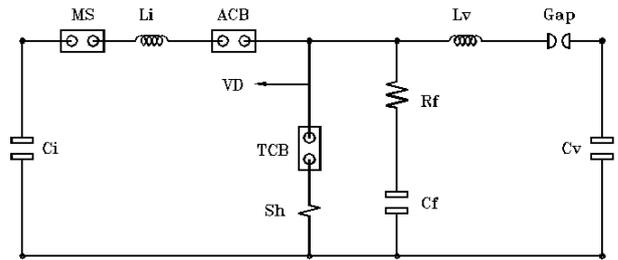
- 1) 전류중첩법 : 시험용차단기에 의하여 시험전류의 차단이 이루어지기 전, 시험전류 영점직전에서 시험차단기에 전압원 회로가 접속되어 전압원 회로에 의한 주입전류가 시험전류에 중첩되고 시험전류 및 주입전류가 차단된 후 재기전압 및 회복전압을 공급하여 특성시험을 수행하는 시험법
- 2) 전압중첩법 : 시험용차단기에 의하여 시험전류의 차단이 이루어진 후, 시험용 차단기에 병렬로 연결된 TRV 회로에 의하여 회복전압이 인가된다. 이때 회복전압은 전류원 전압에 의한 것으로 정상적인 시험전압보다 크게 작다. 이때 정상적인 시험전압을 공급하기 위하여 시험용 차단기에 전압원 회로가 접속되어 시험전압을 공급하여 특성시험을 수행하는 시험법

세계적으로 전류중첩법이 많이 사용되고 있고 전류중첩법 중에서도 보편적으로 Weil-Dobke 회로를 사용하고 있다. 일반적으로 시험전류를 공급하기 위해서는 단락발전기라는 설비를 이용하며, 시험전압을 공급하기 위해서는 커패시터 뱅크를 이용하여 합성시험설비를 구축한다. 하지만 이러한 단락발전기는 주기적으로 유지보수를 수행하여야 하며, 설비를 관리하기 위하여 많은 인력을 필요로 한다. 이러한 이유로 시험전류를 커패시터와 리액터의 공진특성을 이용하여 시험전류 공급회로를 구성하기도 하는데 이렇게 구성된 시험설비를 간이합성 시험설비라고 한다.

본 연구에서는 가스차단기를 개발하기 위하여 Weil-Dobke 회로로 설계된 간이합성시험설비의 활용결과를 정리하였다.

2. 본 론

차단기의 차단성능을 검증하기 위하여 이용되는 간이합성시험설비의 기본회로도는 그림 1과 같으며, 시험설비의 전경은 그림 2와 같다.



<그림 1> LC공진회로를 이용한 간이합성 시험설비 회로도



<그림 2> 간이합성시험설비

차단성능 검증을 위한 시험용차단기 TCB를 기준으로 좌측은 시험전류 공급을 위한 전류원 회로를 보여주고 있으며, 우측은 전류주입법을 적용하여 시험전압을 공급하기 위한 전압원 회로를 보여주고 있으며, 또한 시험용차단기 TCB에 병렬로 TRV 회로(Rf, Cf)가 연결되어 있음을 볼 수 있다. 시험용차단기에 공급되는 시험전류의 크기는 섀트 Sh에 의하여, 시험전압의 크기는 시험용차단기의 인입부에 설치된 분압기 VD에 의하여 측정된다.

● 전류원 회로에 의한 전류 - 시험전류 -

LC 공진회로로 구성된 전류원 회로에서의 시험전류는 커패시터 Ci와 리액터 Li의 공진특성을 이용하여 만들어지며 전류의 크기는 식 (1)과 같은 RLC 직렬회로방정식에 의하여 계산이 가능하다.

$$i(t) = \frac{V_{Ci}}{\beta L_i} e^{-\alpha t} \cdot \sin \beta t \quad (1)$$

여기서

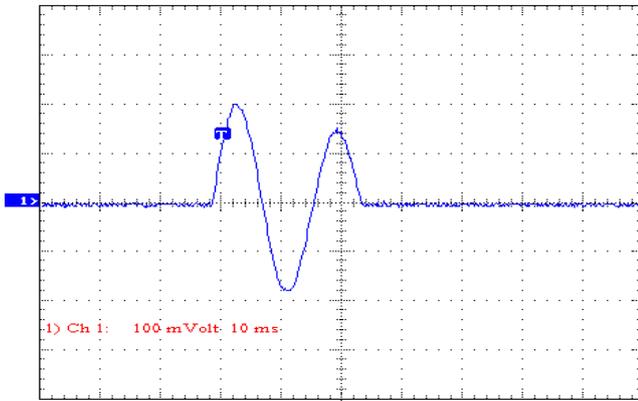
$$\alpha = \frac{R}{2L_i}, \quad \beta = \sqrt{\frac{1}{L_i C_i} - \left(\frac{R}{2L_i}\right)^2}$$

이고, 시험전류의 주파수는 $f = 1/(2\pi\sqrt{L_i C_i})$ 에 의하여 계산 된다. 저항값을 나타내는 변수 R 은 전류원 회로의 총저항을 나타내는 것으로 값을 계산하는 것은 불가능하다. 이 저항을 구성하는 주요 요소로는 공심리액터 L_i 를 구성하는 권선저항, 커패시터뱅크의 케이블 결선 및 단자대의 접촉저항 등이 있으며, 다음으로 커패시터의 정방향과 역방향의 충전비율을 나타내는 Voltage Reversal Factor 등이 있다. 커패시터의 VRF는 방전조건에서 역방향으로의 충전비율을 나타낸 것으로 2차 방전조건에서는 이 값이 얼마나 되는지 정확하게 알 수 없기 때문에 전류원 회로에 대한 저항값 계산하는 것이 매우 어려워진다.

따라서 전류원 회로의 총 저항은 실험을 통하여 측정할 필요가 있다. 전류원 회로의 총 저항을 얻기 위하여 회로정수의 값을 아래와 같이 설정한 후, 특성시험을 수행하였다.

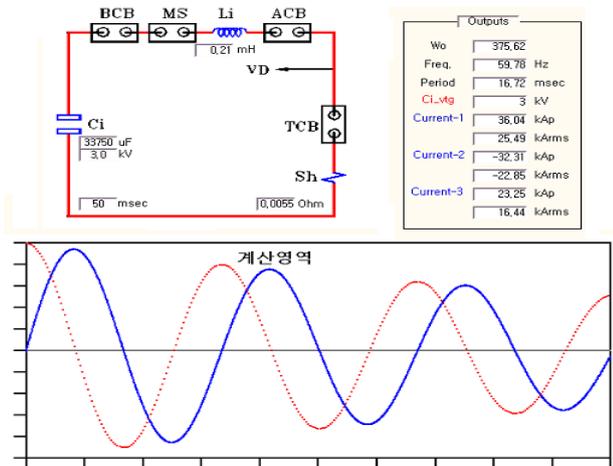
- 커패시터 뱅크 C_i 커패시턴스의 값은 33750 μ F
- 공심리액터 L_i 리액턴스는 0.21mH
- 커패시터 뱅크 C_i 의 충전전압 3.0kV

전압원 회로 및 시험용 차단기를 동작시키지 않고, Open되어 있던 투입스위치 MS를 Close시키면 LC공진전류가 전류원 회로를 통하여 흐르게 된다. 시험전류가 1.5cycle 흐른 후 보조차단기 ACB를 이용하여 시험전류를 차단한 경우의 시험전류의 파형은 그림 3과 같다.



<그림 3> 시험전류크기(충전전압 3.0kV)

시험전류의 크기를 환산하면 각각의 루프에서 22.8, 19.7, 16.4kArms가 되며, 이 값은 100%, 86.4%, 83.2%로 불규칙한 감소비율로 감소하는 전류의 값이 된다. 본 연구에 활용된 커패시터의 VRF는 90%이다. 식 (1)을 이용하여 3차 전류루프에서 측정된 전류값 16.4kArms의 값을 만족하는 전류원회로의 총 저항값을 계산하면 5.5m Ω 이 되는 것을 알 수 있으며, 결과를 그림 4에 나타내었다.



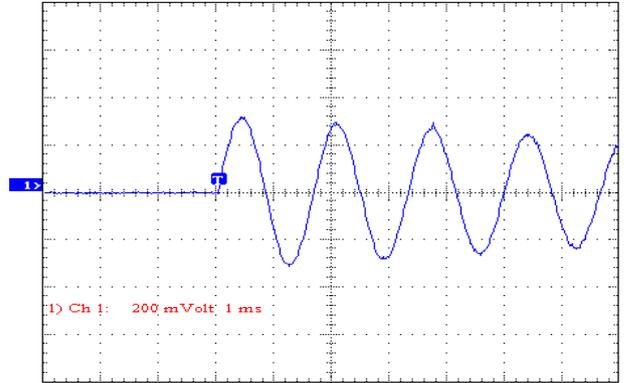
<그림 4> 전류원 회로의 총저항 계산

● 전압원 회로에 의한 전류 -주입전류-

전압원 회로에 의하여 차단기에 인가되는 전류는 보통 주입전

류라고 부른다. 주입전류는 시험전류의 차단이 이루어지기 전, 시험용차단기에 흐르고 있는 시험전류에 중첩되면서 전류원 회로에서 전압원 회로로 전원회로를 이동시켜주는 역할을 한다.

전압원 회로를 구성하는 커패시터 뱅크 C_v 의 총 커패시턴스 26.1 μ F, 충전전압 45kV, 공진전류를 발생시키기 위한 리액터 L_v 의 리액턴스를 2.68mH로 설정한 후, 시험용차단기 TCB를 투입한 상태에서 흐르는 전류 즉, 전압원 회로에 의한 주입전류의 파형을 측정하면 그림 5와 같다. 측정값의 결과를 환산하면 전류크기는 3.5kArms 주파수는 595Hz가 된다.



<그림 5> 전압원 회로에 의한 주입전류

● 과도회복전압 -TRV-

시험용차단기에 인가된 주입전류가 시험용 차단기TCB에 의하여 차단된 후, 차단기의 극간에는 전압원 회로와 TRV 회로에 의하여 발생하는 전압이 인가되는데 이를 과도회복전압 (Transient Recovery Voltage)라 부른다. 각각의 차단기의 정격에 따라 TRV의 값은 다르며 규격 IEC62271-100에 정해져 있다. 차단기에 인가되는 과도회복전압의 기울기 즉, dv/dt 는 TRV 회로의 회로정수 R_f, C_f 에 의하여 결정되며, v_{TRV} 의 값은 식 (2)와 같이 계산된다.

$$v_{TRV}(t) = R_f \frac{V_{Cv}}{\beta L_v} \cdot e^{-\alpha t} \cdot \sin \beta t \quad (2)$$

$$+ \frac{1}{C_f} \frac{V_{Cv}}{\beta L_v} \frac{1}{\alpha^2 + \beta^2} [\beta - e^{-\alpha t} (\alpha \sin \beta t + \beta \cos \beta t)]$$

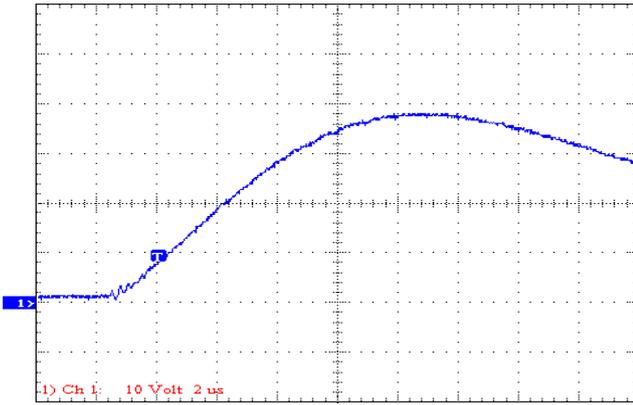
여기서,

$$C_T = \frac{C_v C_f}{C_v + C_f}$$

$$\alpha = \frac{R_f}{2L_v}, \quad \beta = \sqrt{\frac{1}{L_v C_T} - \left(\frac{R_f}{2L_v}\right)^2},$$

이다.

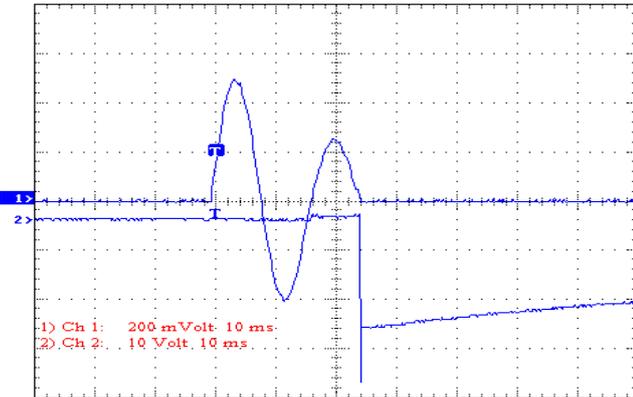
주입전류를 위하여 구성된 전압원 회로정수의 값에 TRV 회로의 저항 R_f 500 Ω , C_f 6.2nF를 추가 연결한 후, 시험용차단기를 Open상태에 놓고 극간에 인가되는 전압의 파형을 측정하면 그림 6과 같으며, 분압기의 비율을 적용하여 dv/dt 의 값을 계산하면 10kV/us의 값이 된다.



<그림 6> 시험용차단기 극간에 인가되는 회복전압

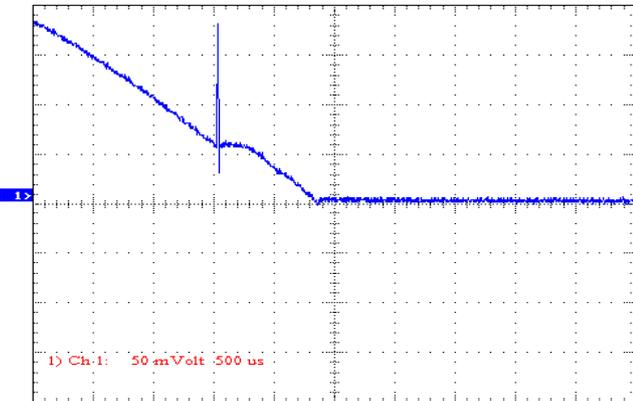
● 합성시험 수행

지금까지 시험용차단기에 대한 성능평가를 수행하기 위한 간이합성시험설비의 모든 회로정수에 대한 값을 결정하였으며, 동작조건을 확인하였다. 이렇게 결정된 회로정수를 이용하여 시험용차단기에 대한 성능평가를 수행하였다. 투입스위치 MS, 보조차단기 ACB, 시험용차단기 TCB의 시험조건을 타이머에 입력시키고 성능시험을 수행하면서 측정된 결과의 예를 그림 7에 나타내었다.



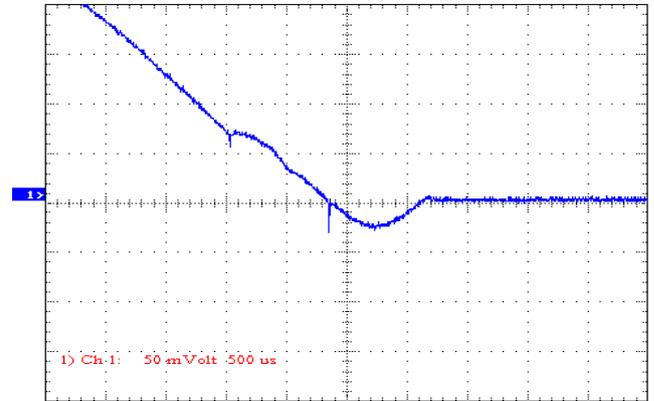
<그림 7> 합성시험결과

Ch1은 시험전류의 크기를 보여주고 있다. 시험전류의 크기를 환산하면 $55.3 > 45 > 27.3$ kArms 크기로 감쇄하면서 1.5사이클 시험용 차단기를 통하여 흐른 후 차단된 모습을 볼 수 있다. 다음으로 Ch2는 시험용 차단기에 인가된 전압의 파형을 보여주고 있다. 합성시험이 정상적으로 수행되었는지 확인하기 위하여 시험전류의 차단이 이루어지는 시점에서의 파형을 그림 8에 나타내었다. 시험전류의 3차루프 27.3kArms에 대한 차단이 이루어지기 전, 전압원 회로가 동작하여 1/2사이클의 주입전류가 중첩된 모습을 볼 수 있다.



<그림 8> 중첩된 주입전류의 파형

시험용 차단기의 성능평가시험은 차단기 극간에 흐르는 시험전류의 크기 및 차단기의 극간에 발생하는 아크유지시간을 변화시켜가면서 수행된다. 정상적인 합성시험은 1/2 사이클의 주입전류가 흐른 후 더 이상의 전류가 흐르지 않고 차단이 이루어져야 한다. 하지만, 시험용 차단기의 시험조건에 따라 차단에 성공하기도 하지만 차단에 실패하기도 한다. 그림 9는 차단에 실패하여 주입전류가 0.5사이클 추가로 흐른 후 차단이 이루어진 파형을 보여주고 있다.



<그림 9> 차단실패 (주입전류 0.5사이클 추가통전)

3. 결 론

간이합성시험설비를 이용하여 가스차단기의 성능평가 시험을 수행하기 위한 연구 내용을 정리하였다. 시험설비의 회로정수를 변경하면 다양한 정격의 차단기에 대한 성능평가시험이 가능하다. 또한 차단기 극간에 흐르는 시험전류의 크기 및 차단기의 극간에 발생하는 아크유지시간을 변화시켜가면서 다양한 조건에서 시험용 차단기의 차단성능을 평가하는 것이 가능해진다.

【참 고 문 헌】

- [1] 박경엽, 신영준, 장기찬, 정진교, 최영길, "LC 공진회로를 이용한 단락시험의 등가성에 관한 연구", 한국전기연구소 1996년 10월
- [2] 金方直弘 외 2인, "대용량 C-L회로에 의한 단락차단시험에 대하여", SPD-88-1, 일본적기학회연구회자료, 개폐보호연구회, 1988
- [3] J.G.P. Anderson et al., "Synthetic testing of a. c. circuit breakers", IEEE Proc., Vol. 113, No.4, April 1966