

합성시험법을 이용한 진상소전류 성능검증에 관한 고찰

박승재\*, 김용식\*, 박용환\*, 김맹현\*, 고희석\*\*

Review for verification of capacitive current performance by using synthetic testing method

Park, Seung-Jae\*, Kim, Yong-sik\*, Park, Yong-Hwan\*, Kim, Maeng-Hyun\*, Koh, Heui-Seog\*\*

(\*) Korea Electrotechnology Research Institute, (\*\*) Kyungnam University

**Abstract** - Several synthetic testing methods have widely been used for the performance evaluation of ultra high-voltage circuit breaker. Among these synthetic method, in the paper, capacitance switching testing method which can meet the test requirements and increase the testing capacity has been proposed. This method is made up of two separated sources of short-circuit generator for current source and L-C resonance circuit for voltage source. By using this method, KERI will perform the performance evaluation of capacitive current switching performance for the 800kV GCB(Gas Circuit Breaker).

한 차단기가 투입된 상태에서 수전단 전압은 Feranti 효과에 의해 dE만큼 상승하며, 차단 직후에는 식(1)로 표현되는 Voltage Jump의 최대치(dE)가 발생한다.

$$dE = k_{af} \cdot (E_L - E_S) = k_{af} \cdot I X_S \tag{1}$$

여기서,  $k_{af}$ : 진폭율(Amplitude factor)

그리고 0.5Cycle까지의 극간 전압은 <그림 2-2(b)>에서와 같이 4개의 변수( $U_1$ ,  $t_1$ ,  $U_c$ ,  $t_2$ )로 표시할 수 있고, 이를 과도회복전압(transient recovery voltage: TRV)이라고 한다. 이 과도회복전압은 [1] 과도회복전압의 초기치를 나타내는 ( $U_1$ ,  $t_1$ )과, [2] 과도회복전압의 첨두치를 나타내는 ( $U_c$ ,  $t_2$ )로 구분한다.

1. 서 론

전력용 차단기는 계통에서 발생하는 고장전류 차단이라는 기본 기능뿐만 아니라 무부하 선로의 용량성 부하 조건에서 발생하는 진상소전류의 개폐능력을 구비해야 하는 것은 중요한 요소이다. 이러한 차단기의 진상소전류 개폐능력을 검증하기 위해서는 대용량 단락발전기를 전원으로 이용하여 전압과 전류를 발생시키는 직접시험법이 가장 일반적이지만, 초고압 차단기의 경우에는 시험설비의 용량한계로 인해 콘덴서에 저장된 에너지를 추가로 이용하는 합성시험법이 사용된다.

이러한 진상소전류 개폐시험에 있어서 100kV 이상의 초고압 차단기의 경우에는 진상부하를 차단할 때 발생하는 Feranti 효과로 인한 전압 상승과 차단 후 복구과정에서 발생하는 Voltage Jump가 규격치를 초과하는 문제점을 가지고 있다. 또한 전력계통의 확대추세에 따라 격상된 800kV급 차단기의 경우에는 시험설비 출력전압의 한계로 직접시험법은 적용 자체가 불가능하다.

따라서, 초고압 차단기의 진상소전류 성능평가에 있어서 국제전기위원회인 IEC 62271-100(2003)에 규정된 조건을 충족시키면서 시험용량을 증강시킬 수 있는 합성시험법이 필요하게 되었다.

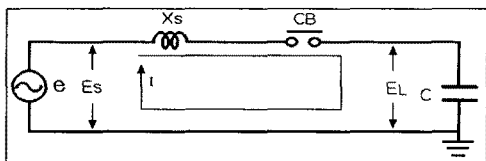
이러한 배경으로 본 논문에서는 단락발전기를 시험전류 공급용 전류원으로 사용하고, 이와는 별도로 L-C 공진회로를 이용하여 진상소전류 차단 후 발생하는 시험전압을 발생시키는 전압원으로 사용하는 합성시험법에 대하여 검토하여 800kV 차단기의 성능평가에 적용하고자 한다.

무부하 선로에 분포하는 Capacitance를 집중정수 회로로 나타내면 <그림 1>과 같다. 이러한 용량성 부하의 진상소전류를 차단하는 경우에는 <그림 2>에 나타낸 바와 같이 전원측에는 송전단 전압(e)과 동일한 상용주파수의 교류전압( $E_S$ )이 발생하고 부하측에는 커패시턴스(C)에 충전된 상태인 직류전압( $E_L$ )이 인가된다. 따라서 차단 후 0.5cycle 지점에서 차단기의 극간 전압( $E_S - E_L$ )은 실효치의  $2\sqrt{2}$ 배에 도달한다. 또한 차단 직후에는 Feranti 효과에 의한 전압 상승으로 인해서 Voltage Jump가 발생한다.

2. 본 론

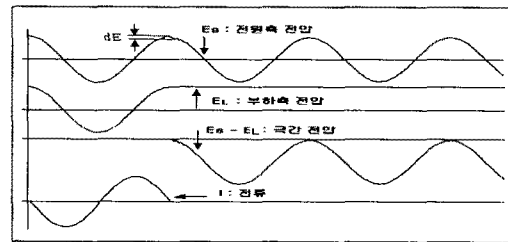
2.1 무부하 전력계통과 차단현상

무부하 계통의 선로에 분포하는 Capacitance를 하나의 집중정수 회로로 나타내면 <그림 1>과 같다.

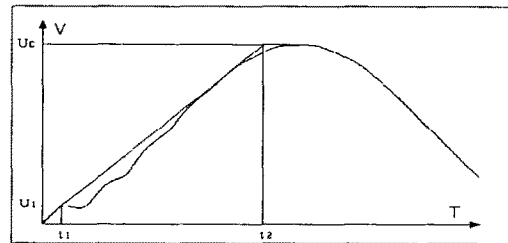


<그림 1> 무부하 전력계통과 등가회로

이러한 용량성 부하의 진상소전류를 차단하는 경우에는 <그림 2>에 나타낸 바와 같이 전원측에는 송전단 전압(e)과 동일한 상용주파수의 교류전압( $E_S$ )이 발생하고 부하측에는 커패시턴스(C)에 충전된 상태인 직류전압( $E_L$ )인 상태를 유지한다. 따라서 차단 후 차단기 극간에 인가되는 전압( $E_S - E_L$ )은 0.5cycle 지점에서 최대치에 도달하여 실효치의  $2\sqrt{2}$ 배에 도달한다. 또



(a) 전압과 전류



$U_1$ : 초기치,  $U_c$ : 첨두치,  $t_1$ :  $U_1$  도달 시간,  $t_2$ :  $U_c$  도달시간  
(b) 과도회복전압(TRV)

<그림 2> 진상소전류 차단현상

2.2 L-C 공진회로를 이용한 합성시험법

2.2.1 차단성능 시험

<그림 3(a)>는 L-C공진회로를 이용하여 극간 차단성능을 평가하는 합성 시험법을 보여주고 있으며, 회로의 동작은 다음과 같다. 먼저 전류원 회로를 인가하면 시험용 차단기(Bt)에는 상용주파수 교류전류(ic)가 흐른다. 그리고 Bt의 차단영점보다 0.5cycle 이전( $T_0$ )에서 접스위치(G)를 동작시키면 식(2)와 식(3)으로 나타낸 전압원 회로의 전류(iv)가 증첩되어 Bt에 흐르며, Bt에 흐르는 전류(it)는 ic와 iv의 합이 된다. 이후 전원 주파수 영점에 인 T1에서 Ba가 ic를 차단하고 Bt가 iv를 차단하면 CL에는 직류전압이 충전된 상태를 유지하고, Lv와 Lpf를 통하여 상용주파수 전압이 발생한다. 따라서 Bt에 인가되는 전압은 이 두 전압의 합으로서 <그림 3(b)>에 나타낸 바와 같이 한쪽 극성으로 off-set된 전압이 된다. 여기서, 식(4)는 L-C 공진 회로에 의해 인가되는 전압의 주파수로서, 이는 식(2)에 나타낸 전압원 전류(iv)의 주파수와 다르지만, CL을 CV의 5-10% 범위에서 설정하면 주파수 차이가 무시할 정도로 작아지게 된다.

$$f_i = 1 / (2\pi \sqrt{L_M \cdot (C_V + C_L)}) \tag{2}$$

$$i_v = \omega \cdot C_L \cdot E_V \text{ (첨두치)} \tag{3}$$

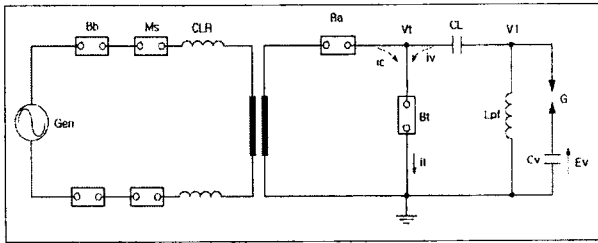
$$f_{RV} = 1 / (2\pi \sqrt{L_M \cdot C_V}) \tag{4}$$

이 방법은 다음과 같은 장점을 가지고 있다.

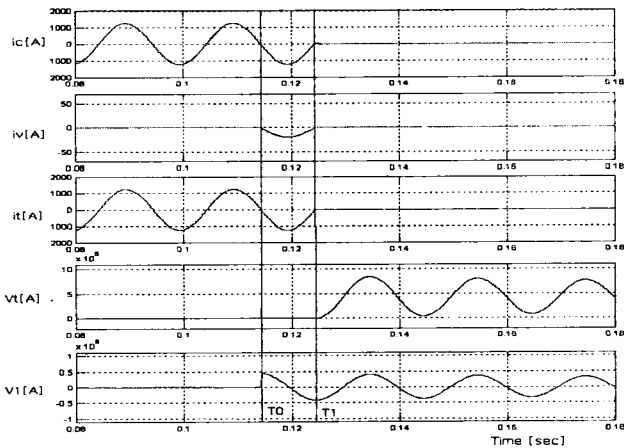
[1] 시험전압 발생시키기 위하여 단락발전기를 이용하지 않기 때문에 시험 가능 용량을 증가시키는 것이 용이하다.

[2] 차단기의 진원측과 부하측에 양분되어 발생하는 전압을 차단기의 한 쪽에서 인가하기 때문에 2점절 차단기의 Half-pole 시험의 경우에도 상대적으로 Full-pole 절연성능을 동시에 평가할 수 있다.  
 [3] <그림 3(b)>에서 알 수 있는 바와 같이 TRV의 초기전압(U<sub>1</sub>, t<sub>1</sub>)이 발생하지 않기 때문에 IEC 62271-100에 규정된 성능검증 요건을 충족시킬 수 있다.

이에 비하여 다음과 같은 단점도 가지고 있다.  
 (a) 시험전압의 교류분을 콘덴서와 리액터의 공진에 의해 발생시키기 때문에 인가시간에 따른 교류회복전압 감소가 크다. 이는 IEC 62271-100에 규정된 0.3s에서 10% 이하의 전압감쇠 규정을 충족시킬 수가 없기 때문에 별도의 회복전압 시험이 필요하다.  
 (b) 이 방법은 전압원과 전류원을 별도로 구성하기 때문에 시험설비의 구성이 복잡하고 제어가 어렵다.



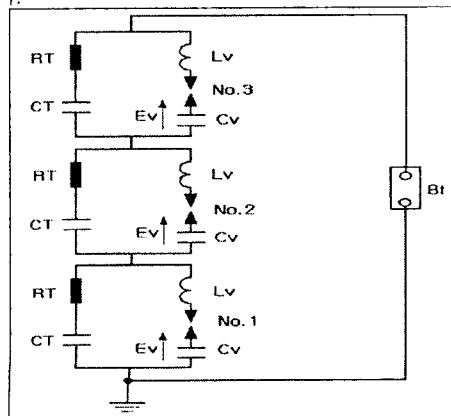
(a) 시험회로



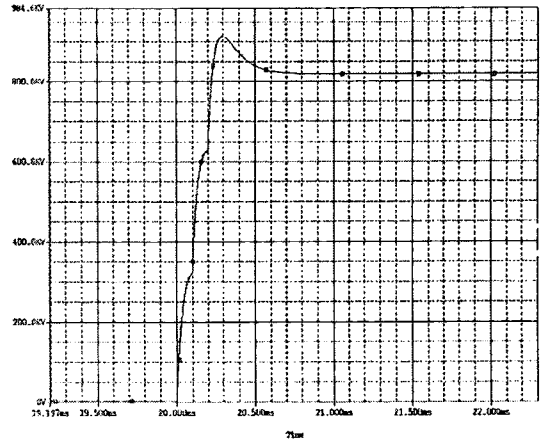
(b) 해석결과  
 <그림 3> 차단시험법

**2.2.2 회복전압 시험**

2.2.1에 기술된 극간 차단성능시험에서 시험회로의 특성상 차단기에 인가되는 시험전압을 0.3s동안에 90% 이상으로 유지하는 것은 불가능하다. 이러한 전압감쇠는 시험회로 구성에 있어서 Reactor에 필연적으로 존재하는 저항분에 의해 발생한다. 따라서 이러한 경우에 대하여 IEC 62271-100에서는 전류는 차단하지 않고 차단기를 무부하로 동작시키고 개극 후 1cycle에 도달하는 시험에서 규정된 전압을 인가하여 평가하는 별도의 시험방법을 규정하고 있다.  
 <그림 4>는 이를 위하여 각류전압을 인가하는 방법으로 상용률이 빠른 전압이 인가되지 않도록 하기 위하여 콘덴서가 3단으로 구성된 전압원 회로를 순차적으로 동작시켜 <그림 5>와 같은 전압을 발생시킨다.



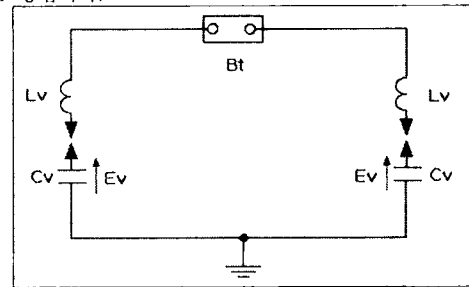
<그림 4> 회복전압 시험법



<그림 5> 회복전압 시험법

**2.2.3 투입시험법**

2.2.1과 2.2.2는 극간 차단성능 시험에 관련된 것이며, 별도의 투입성능 검증방법은 <그림 6>과 같다. 이 방법은 시험용 차단기(Bt)가 개방되어 있는 상태에서 양단에 연결된 전압원 회로를 충전시킨 후에 Bt를 투입시키는 방법이다. 이 방법에서는 계통에서 발생하는 돌입전류(Inrush current)와 동일한 전류를 발생시키고 Pre-arc를 유발시키는 방법이다.



<그림 6> 투입시험법

**3. 결 론**

본 논문에서 제안된 시험방법은 차단기의 진상소전류 개폐성능을 실 계통에서 발생하는 현상과 등가성을 유지하는 조건으로 검증할 수 있는 방법으로 IEC 62271-100(2003)의 규정을 충족시킬 수 있다. 특히 이 시험법은 극간성능은 Half-pole로 평가하고, 이에 비하여 상대적으로 Full-pole 조건으로 평가하는 방법이다. 그리고 현재 한국전기연구원의 합성시험설비를 이용하여 가능한 시험용량은 현재, 전 세계적으로 상용화되어 있는 가장 높은 충전전압인 800kV급 차단기뿐만 아니라 향후 격상이 예상되는 1100kV까지 적용될 수 있다.

그리고 한국전기연구원은 2006년 1월에 800kV 차단기의 Full-pole 단락 투입차단 성능평가를 완료한 차단기에 진상소전류 개폐성능까지 추가로 완료함으로써 차단기 성능평가에 있어서 국제적인 위상을 구축함과 동시에 국내 중전기기 기업의 연구개발을 지원할 수 있을 것으로 사료된다.

**[참 고 문 헌]**

[1] IEC 62271-100, "High-voltage switchgear and controlgear-Part 100: High-voltage alternating-current circuit breakers", International Electrotechnical commission, 2003  
 [2] IEC 17A/753/FDIS, "High-voltage switchgear and controlgear-Part 100: High-voltage alternating-current circuit breakers", International Electrotechnical commission, 2006  
 [3] Allan Greenwood, "Electrical transients in power systems(Second edition)", JOHN WILEY & SONS, INC. 1990  
 [4] Thomas E. and Browne JR, "Circuit interruption Theory and Techniques", MARCEL DEKKER, INC.  
 [5] C. H. Flursheim, "Power circuit breaker theory and design, second edition", Peter Peregrinus Ltd., 1982