

배전용 S2급 차단기의 차단 성능평가 시험법에 관한 연구

(Study on interrupting test method for class S2 circuit breaker of distribution system)

박병락* · 조만영 · 김진석 · 신희상 · 김재철**

(Byung-Rak Park · Man-Yong Jo · Jin-Seok Kim · Hee-Sang Shin · Jae-Chul Kim)

Abstract

Technical requirements for medium voltage class circuit breaker were harmonized by IEC and IEEE, and IEC newly adopted the requirements for class S2 circuit-breaker for overhead-line with the ratings of high-frequency TRV(Transient Recovery Voltage), which IEEE already adopted. Under these circumstances, KERI(Korea Electrotechnology Research Institute) studied testing technologies and facilities, which enable to perform interrupting capacity tests for class S2 circuit-breaker. As results, KERI could carry out interrupting capacity tests for medium voltage class circuit breaker rated up to 3-phase 52[kV] 40[kA], which satisfies the IEC standard.

Key Words : Class S2 Circuit Breaker, High-frequency TRV, Interrupting Capacity Test

1. 서 론

고전압 차단기에 대한 표준으로 사용되고 있는 국제 전기위원회(IEC: International Electrotechnical Commission)의 IEC 62271-100과 북미 지역을 대표하는 미국의 IEEE C37. 04, 37. 06, 37. 09 는 상호 부합화(Harmonization)를 위한 작업을 2000년 초반부터 활발하게 진행해온 결과 2000년 말에는 많은 부분에서 부합화를 이루었다[1]. 특히, IEEE에서 고주파수의 과도회복전압(TRV : Transient Recovery Voltage)을 규정하고 있는 가공선로용 차단기에 대하여 IEC에서

도 S2급(가공선로용) 차단기를 신규로 채택하였다[2].

일반적으로 배전급 차단기의 경우에는 단락발전기만의 단일 전원을 사용하는 직접시험법을 적용하지만 시험설비의 용량이 부족한 경우에 시험전류는 한 개의 전원에서 공급하고, TRV와 상용전원의 회복전압은 별도의 전압회로에서 공급하여 성능평가를 실시하는 합성차단시험법이 대안이 될 수 있다[3-4]. 특히 하나의 금속 외함 내부에 3상의 차단부가 내장된 일괄 외함형이나 하나의 조작 기구부로 구성된 일괄 조작형의 경우에는 차단 시 상호간에 작용하는 전기적, 기계적 영향을 고려하여 3상 시험법으로 성능을 검증해야 한다[5-7].

그러나 한국전기연구원에서 보유하고 있는 대전력 시험설비는 설비 자체 고유 커패시턴스 과다로 인해 고주파수 TRV를 가진 정격 단락전류의 10[%]인 T10과 30[%]인 T30의 시험책무에 대하여 직접시험법으

* 주저자 : 숭실대학교 전기공학부 박사과정 수료

** 교신저자 : 숭실대학교 전기공학부 교수

Tel : 02-820-0647, Fax : 02-817-0780

E-mail : jckim@ssu.ac.kr

접수일자 : 2011년 7월 18일

1차심사 : 2011년 7월 20일, 2차심사 : 2011년 8월 4일

심사완료 : 2011년 8월 16일

로는 개정된 IEC 규격을 충족하는 차단 성능평가 시험을 수행할 수 없었다. 또한 단락발전기의 용량 한계로 직접시험법으로는 25.8[kV], 25[kA]를 초과하는 단락전류에 대한 차단 성능평가가 불가능한 문제점이 있었다.

본 연구에서는 이러한 문제점을 해소하고 3상 52[kV], 40[kA]이하의 배전용 S2급 차단기에 대하여 IEC 규격을 충족하는 차단 성능평가가 가능하도록 시험기술과 설비구성에 관한 연구를 하였다. 즉 T10과 T30의 차단성능평가에 적용이 가능한 고주파수 TRV 발생회로를 이용한 직접시험법과 대용량 배전급 차단기의 차단성능평가를 위한 3상 합성차단시험법에 대하여 연구하였다.

2. 본 론

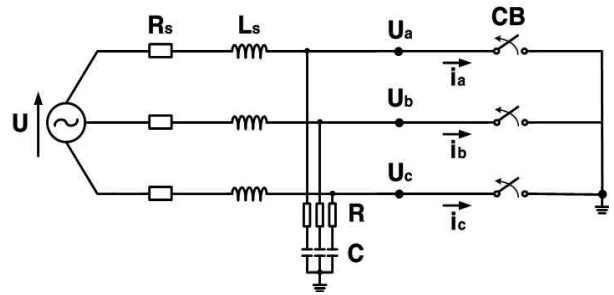
2.1 3상 전력계통에서의 과도회복전압 발생

TRV는 차단기가 전류를 차단한 직후 과도현상이 발생하는 동안 차단기 극간에 걸리는 전압을 말한다. 그림 1 (a)는 고장상태인 전력계통의 등가회로로서 $\omega L_s \gg R_s$ 상태이므로 위상차가 거의 90도에 이르는 지상전류가 발생한다. 그림 1 (b)와 같이 3상 단락 상태에서 가장 먼저 전류가 차단되는 상(First-pole-to clear)의 과도회복전압을 식 (1)로 표현할 수 있으며, 이 전압을 정격 TRV라고 한다. 첫 상 차단 후에는 선간단락 상태로 전이되고 90도 후에 2상에서 직렬로 동시에 차단 (Last-pole-to clear)되는 조건으로 된다[4,8].

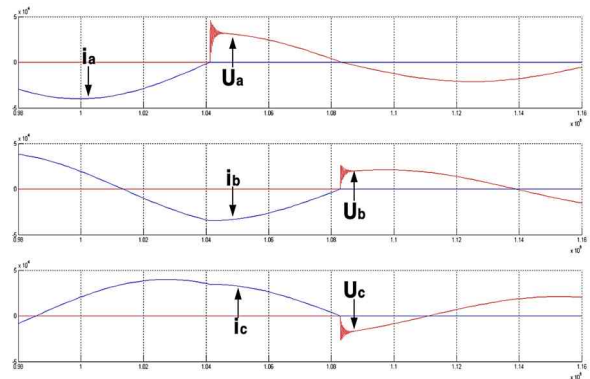
$$TRV = \sqrt{\frac{2}{3}} K_T \cdot U \cdot \left(1 - \frac{1}{\beta} e^{-\alpha t} \cos(\omega_0 t + \theta) \right) \quad (1)$$

여기서 K_T 는 첫 상의 차단계수, U 는 선간전압이고 α, β, ω_0 은 $\alpha = \frac{R_s}{2L_s}, \beta = \sqrt{1 - \zeta^2}, \omega_0 = \beta\omega_n$ 이고 이때

$$\zeta = \frac{R_s}{2} \sqrt{\frac{C}{L_s}}, \theta = \tan^{-1} \frac{\sqrt{1 - \zeta^2}}{\zeta}$$



(a) Equivalent circuit



(b) Three-phase current interruption

그림 1. 전력계통의 3상 전류 차단

Fig. 1. Three-phase current interruption in power system

이며, C 는 회로에 존재하는 커패시턴스이다.

2.2 단락시험설비 특성과 성능평가 시험법

일반적으로 단락시험설비의 경우 전원 회로에 존재하는 고유의 커패시턴스로 인해 고주파수 TRV를 요구하는 기본단락시험의 시험채무 중 정격 단락전류의 10[%]인 T10과 30[%]인 T30에서 TRV 침투치까지 도달하는 시간 t_3 를 발생시키는 것이 불가능하다. 이는 정격 단락전류에 비하여 리액턴스가 커지는 반면에 회로에 존재하는 커패시턴스는 일정치 이하로 줄이는 것이 불가능하기 때문이다. 또한, 한국전기연구원이 보유하고 있는 단락시험설비는 직접시험법으로 가능한 차단 시험 용량은 3상 25.8[kV], 25[kA]까지이므로 이 용량을 초과하는 배전급 차단기에 대한 차단 성능평가가 불가능하다. 이와 같이 시험설비의 특성

과 용량이 부족한 문제를 극복하기 위한 방법으로 T10과 T30에서 고주파수 TRV를 발생시키기 위한 3상 직접시험법과 3상 25.8[kV], 25[kA]를 초과하는 100[%] 정격 단락전류의 시험책무인 T100s(대칭전류 차단)와 T100a(비대칭전류 차단)에 적용하기 위한 3상 합성차단시험법이 필요하다.

2.2.1 고주파수 TRV 발생회로를 이용한 3상 직접시험법

1) 시험회로의 구성과 동작

단락발전기를 전원으로 사용하고 차단기(CB) 2차측을 단락시켜 차단성능을 평가하는 일반적인 직접시험법에서 추가로 고주파수 TRV 발생회로인 L_a 와 C_a 를 사용하는 방법이며, R_a 는 리액터의 권선에 존재하는 미소한 값의 저항이다. 전원의 중성점이 접지된 전원을 이용하고 차단기의 부하측에 비접지된 추가회로(L_a, C_a)를 연결하면 첫 상 차단(First-pole-to-clear) 후 발생하는 전압분포는 다음의 식과 같다. 차단기 전원측 전압인 U_1 과 부하측 전압의 일부를 나타내는 U_2 는 상대적으로 저주파수로 조정하여 TRV에 영향을 미치지 않도록 한다. 그리고 추가 회로에 의한 고주파수 TRV인 U_3 가 규격의 기준을 충족하도록 회로를 설정한다. U_{CB} 는 차단기 극간에 인가되는 TRV로서 대부분 U_3 에 의해 결정된다[8].

$$U_1 = \sqrt{\frac{2}{3}} d_1 \cdot U \left(1 - \frac{1}{\beta} e^{-\alpha t} \cos(\omega_0 t + \theta) \right) \quad (2)$$

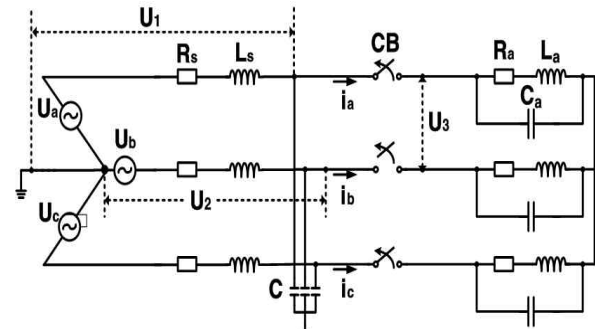
$$U_2 = -\sqrt{\frac{2}{3}} d_1 \cdot (K_T - 1) \cdot U \left(1 - \frac{1}{\beta} e^{-\alpha t} \cos(\omega_0 t + \theta) \right) \quad (3)$$

$$U_3 = -\sqrt{\frac{2}{3}} K_T \cdot d_2 \cdot U (e^{-\alpha_1 t} \cos(\omega_a t)) \quad (4)$$

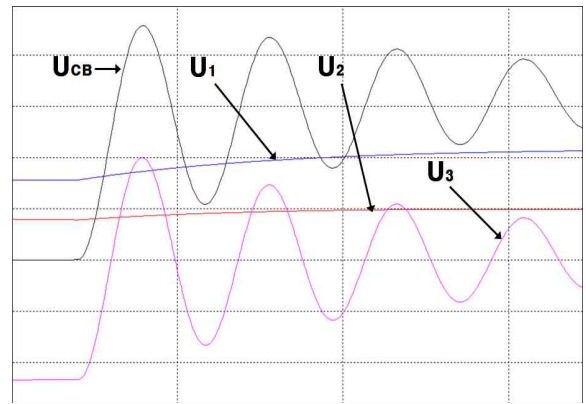
$$U_{CB} = U_1 - (U_2 + U_3) = \sqrt{\frac{2}{3}} d_1 \cdot K_T \cdot U \cdot \left(d_1 \cdot \left(1 - \frac{1}{\beta} e^{-\alpha t} \cos(\omega_0 t + \theta) \right) + d_2 \cdot e^{-\alpha_1 t} \cos(\omega_a t) \right) \quad (5)$$

여기서 $d_1 = \frac{L_S}{L_S + L_a}$, $d_2 = \frac{L_a}{L_S + L_a}$, $\omega_a = \frac{1}{\sqrt{L_a C_a}}$,

$$\alpha_1 = \frac{R_a}{2L_a}$$



(a) Test circuit



(b) Transient Recovery Voltage

그림 2. 직접시험법을 적용한 고주파 TRV 발생법 시뮬레이션 결과

Fig. 2. Simulation result of high frequency TRV test by using direct testing method

그림 2에서 전원에서부터 발생하는 TRV U_1 과 U_2 는 저주파수로 조정하고, 고주파수 발생회로의 L_a 와 C_a 는 제동이 거의 발생하지 않도록 하여 진폭율인 K_a 를 약 1.8~1.9 정도의 범위로 상승시킨다. 전원측 L_s 와 부하측 L_a 의 비율에 따라 차단 직후 순시 전압이 약간 감소하지만 고주파수 발생회로의 L_a 와 C_a 로 진폭율을 상승시켜 TRV를 충족시킨다. 3상에서 전류가 차단되고 TRV가 사라진 후에는 차단기의 전원측은 전원과 동일한 전압으로 복귀하고 부하측은 영 전압으로 수렴하면서 정격전압과 동일한 상용주파수 회복

전압이 인가되어 계통의 차단 현상과 등가성을 유지하게 된다. 단락발전기의 출력 용량을 결정하는 전원측 L_s 는 시험전류를 발생시키기 위한 회로의 전체 인덕턴스인 L_t 와 추가되는 고주파수 발생회로의 L_a 에 의해 식 (6)으로 결정할 수 있으며, 고주파수 TRV 회로의 저항인 R_a 를 별도로 사용하지 않는 상태에서 1.9 정도의 K_{at} 가 가능하기 때문에 시험책무별로 시험전류를 발생시키기 위하여 전원측 회로의 인덕턴스는 전체 인덕턴스의 30[%] 이하로 유지되는 전원(단락발전기) 용량을 가져야 한다.

$$L_s = L_t - L_a = L_t \left(1 - \frac{K_{af}}{K_{at}}\right) \quad (6)$$

여기서 $L_a = \frac{K_{af}}{K_{at}} \cdot L_t$

K_{af} : 시험책무별 규정 진폭률(1.4 ~ 1.6)
 K_{at} : 리액터 고유 특성에 따른 진폭률(≈1.9)

이러한 조건을 고려하여 그림과 같이 배전용 S2급 차단기의 차단 성능평가를 위한 시험회로를 구성하였다.

2) 시험 적용 및 결과

그림 3과 같이 구성된 배전용 S2급 차단기의 차단 성능평가 시험회로를 이용하여 3상 25.8[kV], 40[kA] 차단기의 기본단락 시험책무 중 정격 단락전류의 10[%]인 T10과 30[%]인 T30에 대한 차단 성능평가 시험을 실시하였으며, 시험결과는 표 1과 같다. 그림 4는 T10에 대한 성능평가에서 얻어진 전압 및 전류에 대한 시험결과 파형이며, B상이 첫 상 차단 조건이 되었고 U_{bs} 는 식 (2)의 U_1 , U_{bl} 은 앞의 1)에서 표현한 $U_2 + U_3$ 의 전압이다. 최종적으로 차단기 양단에 인가되는 과도회복전압(TRV)은 U_{bd} 이며, 이 값은 $U_{bs} - U_{bl}$ 의 값으로서 식 (5)의 $U_1 - (U_2 + U_3)$ 값임을 알 수 있다. 또한 표 3에 나타난 시험결과에서 주입전류의 기울기인 di/dt , TRV의 파고치인 u_c 와 상승률인 RRRV가 기준 이상이고, 상승시간을 나타내는 t_3 가 기준 이하가 되어야 하는 IEC 62271-100의 요건을 충족함을 확인할 수 있다.



그림 3. 직접시험법을 적용한 고주파수 TRV 발생법 시험설비

Fig. 3. Testing facilities for high frequency TRV test by using direct testing method

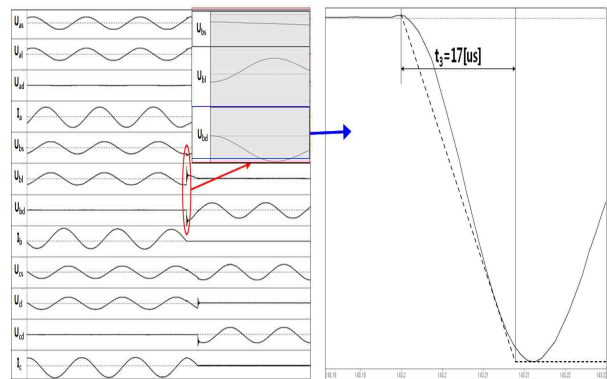


그림 4. 고주파수 TRV 발생회로를 이용한 3상 직접시험 오실로그래프

Fig. 4. Oscillogram of three-phase direct test by using high frequency TRV circuit

표 1. 고주파수 TRV 발생회로를 이용한 3상 직접시험 결과

Table 1. Test result of three-phase direct test by using high frequency TRV circuit

구분	시험 전류 [kA]	TRV			
		u_c [kV]	t_3 [μ s]	RRRV [kV/ μ s]	
T10	시험 기준	4	56.9	18	3.16
	시험 결과	4	58.6	17	3.45
T30	시험 기준	12	55.0	18	3.06
	시험 결과	12	56.0	17	3.29

2.2.2 3상 합성 차단 성능평가 시험법

1) 시험회로의 구성과 동작

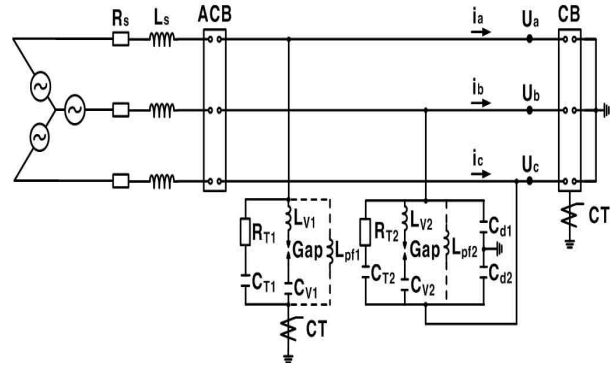
단락발전기의 전원으로 10~20[kV] 정도의 낮은 전압으로 전류를 공급하고 별도의 충전용 커패시터인 C_V 에 저장된 전압원 에너지를 예정된 차단전류의 영점 전 수 백 μs 이전에 중첩시켜 성능을 평가하는 시험방법이다. 그림 5는 첫 상 차단계수 $K_T=1.5$ 인 차단기인 경우에 3상 전류 주입법에 의한 차단 시험회로와 결과파형이며, (a)의 시험회로에서 점선으로 표기된 리액터 L_{pf1} 와 L_{pf2} 를 추가하여 상용주파수 회복전압을 발생시킬 수 있다. 이 시험법은 직접시험법과 가장 높은 등가성을 유지할 수 있는 병렬 전류주입법으로서 C_V 에 충전된 전압인 E_{CV} 의 방전으로 공급되는 고주파수의 주입전류(i_v : Injected current)와 TRV 조정회로를 이용하여 규정된 TRV를 발생시키는 방법이다. 식 (7)과 같이 주입전류인 i_v 는 상용주파수인 f_c 의 전류 i_c 보다 크기는 약 10배 정도 작고 주파수는 약 10배 정도 높게 발생시키고, 식 (8)에서와 같이 영점에서 전류의 기울기를 동일하게 하여 직접시험법과 등가성을 유지하게 한다.

$$f_v = f_c \frac{i_c}{i_v} \quad (7)$$

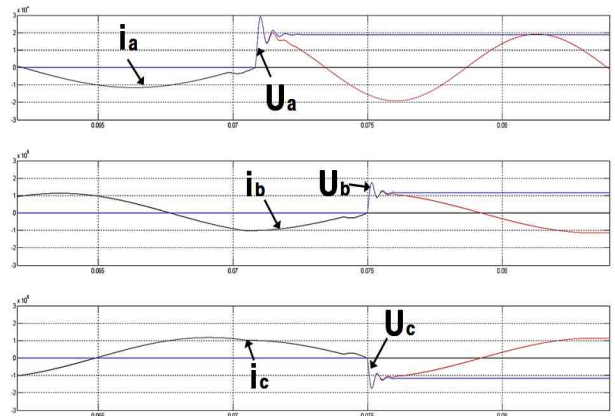
여기서 i_c : 상용주파수 시험전류의 순시치,
 i_v : 주입전류의 순시치

$$\left[\frac{di_v(t)}{dt} \right]_{t=0} = \left[\frac{di_c(t)}{dt} \right]_{t=0} \quad (8)$$

이 시험법에서 주입전류가 0.5[cycle] 동안 지속된 후 시험용 차단기인 CB에 의해 차단되면 C_V 에는 원래의 전압과 반대 극성인 $-E_{CV}$ 로 재충전되고, 이 전압이 L_V , R_T , C_T 로 방전하면서 TRV를 발생시키며, IEC규격에서 규정하고 있는 첩두치 전압인 u_c 과 상승률인 RRRV를 충족시킨다. 식 (9)는 R_T 와 C_T 의 양단에 발생하는 TRV이며 부족제동 조건을 이용한다[4].



(a) Test circuit



(b) Test current and voltage

그림 5. 3상 전류주입법을 적용한 합성 차단 성능평가 시험법 시뮬레이션 결과

Fig. 5. Simulation result of synthetic breaking test by using three-phase current Injection method

$$TRV = -E_{CV} \frac{C_V}{C_V + C_T} [1 + \sin(\omega_T \cdot t - \theta_T)] \cdot \frac{1}{\sin \theta_T} e^{-\alpha_T t} \quad (9)$$

$$\text{여기서 } \omega_T = \sqrt{\frac{1}{L_V C_s} - \alpha_T^2},$$

$$C_s = \frac{C_V \cdot C_T}{C_V + C_T},$$

$$\alpha_T = \frac{R_T}{2L_V},$$

$$\theta_T = \tan^{-1} \frac{\omega_T \cdot C_V}{\alpha_T (C_V + 2C_T)}$$



그림 6. 합성 차단 성능평가 시험설비
Fig. 6. Testing facilities for synthetic breaking test

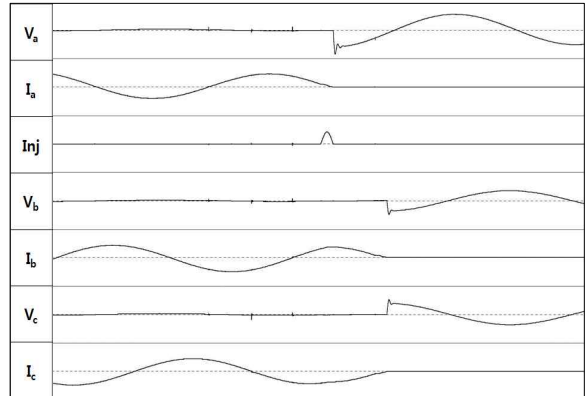
표 2. 합성 차단 성능평가 시험을 위한 전압원 조건
Table 2. Condition of voltage source for synthetic breaking test

항목		First-pole-to clear	Last-pole-to clear
주입전류 (기울기)		정격 시험전류의 100[%]	정격 시험전류의 87[%]
T R V	u_c	정격의 100[%]	정격의 58[%](각 상) 정격의 116[%](선간)
	RRRV	정격의 100[%]	정격의 70[%](각 상) 정격의 140[%](선간)
충전전압		$E_{V1} = \sqrt{\frac{2}{3}} \eta \cdot K_T \cdot U_n$	$E_{V2} = \sqrt{\frac{2}{3}} \eta \cdot U_n$
비고		$\eta = \frac{L_V}{L_S}, L_S = \frac{U_n}{\sqrt{3} I}, U_n$: 시험전압, I : 시험전류	

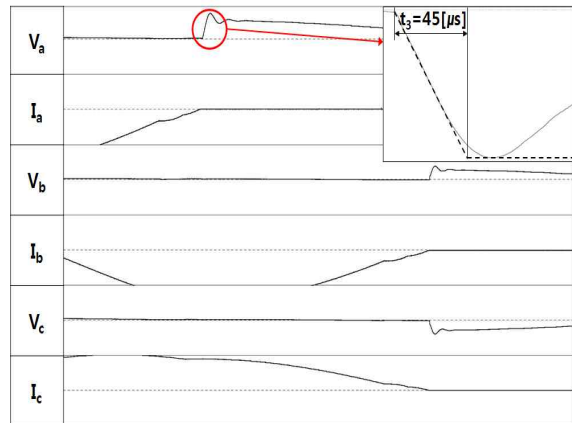
설비 구성과 제어의 정밀성이 필요하지만 직접시험법에 비하여 단락발전기로부터 발생시킬 수 있는 전류용량에 따라 성능평가 가능 용량을 크게 증가시킬 수 있기 때문에 대용량 차단기의 기본 단락시험 중 100[%] 정격 전류에 대한 시험책무인 T100s(b)(대칭 전류 차단)와 T100a(비대칭전류 차단)에 유용하게 이용된다. 합성 차단 성능평가 시험법에서 첫 상(First-pole)과 나머지 상(Last-pole)에 별도의 전압원을 구성하고 선간 단락 상태인 나머지 상(Last pole)에는 전압 배분을 위하여 상간에 병렬로 분압장치인 C_d 를 추가한다. 표 2는 $K_T=1.5$ 인 경우에 첫 상 차단(First-pole-to-clear)과 나머지 상 차단

(Last-pole-to-clear)을 위한 시험조건이다. 이 표에서 C_V 에 충전해야 하는 전압 E_V 는 과충전 계수인 η 를 고려하여 높여야 한다.

2) 시험 적용 및 결과



(a) Test current and voltage



(b) Current injection and TRV

그림 7. 3상 합성 차단 성능평가 시험 오실로그래프
Fig. 7. Oscillogram of three-phase synthetic breaking test

그림 7은 3상 25.8[kV], 40[kA] 차단기의 대칭전류 차단성능을 평가하는 T100s(b)에 대하여 성능평가를 실시한 시험결과 파형이다. 한국전기연구원이 보유하고 있는 시험설비를 이용하는 경우에 직접시험법으로 차단 성능평가가 가능한 단락시험설비의 최대 용량은 60[Hz]에서 3상 13.5[kV], 50[kA]와 3상 24[kV],

25[kA]이고, 전압원 회로의 용량은 초고압 차단기의 차단성능평가까지 가능하므로 배전급의 경우에는 전 범위가 가능하다. 따라서 3상 25.8[kV], 25[kA]를 초과하는 경우에 100[%]의 정격 단락전류에 대한 차단성을 평가하기 위한 시험책무인 T100s(b)(대칭전류 차단)와 T100a(비대칭전류 차단)는 이 방법을 적용해야 한다. 표 3은 3상 25.8[kV], 40[kA] 차단기에 대하여 100[%] 정격 단락전류의 차단 성능평가 시험을 실시하고, 그 결과를 나타내었다. 표 3의 시험결과와 같이 첫 상(First pole)과 나머지 상(Last pole)의 주입전류 기울기인 di/dt , TRV의 파고치인 u_c 와 상승률인 RRRV가 기준 이상이고, 상승시간을 나타내는 t_3 가 기준 이하가 되어야 하는 IEC 62271-100의 요건을 충족함을 확인할 수 있다.

표 3. 3상 합성 차단 성능평가 시험결과
Table 3. Result of three-phase synthetic breaking test

구분			시험전류			TRV		
			전류원 [kA]	주입전류		u_c [kV]	t_3 [μ s]	RRRV [kV/ μ s]
				주파수 [Hz]	di/dt [A/ μ s]			
First pole	A상	기준	40	-	21.3	48.7	45	1.08
		결과	40	677	21.6	49.1	45	1.09
Last pole	B상	기준	40	-	18.5	28.2	37.3	0.76
		결과	40	622	18.8	28.5	37	0.77
	C상	기준	40	-	18.5	28.2	37.3	0.76
		결과	40	622	18.8	28.7	37	0.78

3. 결 론

본 연구는 지금까지 국내에서 단락시험설비의 용량 한계로 인해 3상 25.8[kV], 25[kA]를 초과하는 옥외 가공선로용(S2급) 배전급 차단기에 대하여 IEC 62271-100을 충족하는 차단 성능평가 시험이 불가능한 문제점을 극복하기 위하여 실시하였으며, 연구결과 전 세계적으로 최대 정격인 3상 52[kV], 40[kA]이하의 옥내외용 배전급 차단기에 대하여 국제표준을 충족하는 단락 차단 성능평가 시험이 가능하게 되었다. 배전

급 차단기에 대한 차단 성능평가 시험은 국내외 대부분의 시험기관에서 단락발전기의 전원을 이용한 직접 시험법으로 실시하고 있으며, 단락시험설비의 용량이 부족한 문제 해결을 위한 합성 차단 성능평가 시험법은 주로 초고압 대용량 차단기에 대하여 이루어져 왔다. 하지만 최근에는 배전선로용 차단기의 경우에도 대용량화, 용도 및 등급 세분화, 신규 시험책무 추가 등의 추세에 따라 국제 표준을 만족하는 차단기의 성능평가 시험을 위한 대책이 필요하였다. 본 연구의 결과로 국내에서도 새로운 등급으로 구분하고 있는 옥외 가공선로용 S2급 차단기에 대한 차단 성능평가 시험이 가능하게 됨으로서 신제품 개발을 원활하게 지원할 수 있게 되었다.

References

- [1] IEEE Std C37.09bTM, "IEEE standard test procedure for AC high-voltage circuit breakers rated on a symmetrical current basis - amendment 2: to change the description of transient recovery voltage for harmonization with IEC 62271-100", 2010.
- [2] IEC 62271-100 Ed. 2.0, "High-voltage switchgear and controlgear -Part 100: Alternating-current circuit-breakers", April 2008.
- [3] G.S. Jean and R.F. Wang, "equivalence between direct and synthetic short-circuit interruption tests on H.V circuit breakers", IEEE Power Engineering Review, Vol.PER-3, No. 7, pp. 45-46, July, 1983.
- [4] J. G. Jamnani, Mrs. S.A. Kanitkar, "Design and simulation of 2-parameters trv synthetic testing circuit for medium voltage circuit breakers", 4th international conference on electrical and computer engineering ICECE 2006, pp. 1-4, 19-21, Dhaka, Bangladesh, December 2006.
- [5] K.J. Froehlich, D.S. Johnson, "A new three phase synthetic test circuit for HVAC breakers of high interrupting power - as applied to a new 242[kV] SF6 single tank breaker" IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. PWRD-2, No. 4, pp. 1131-1138, October 1987.
- [6] Denis Dufoumet, Georges Montillet, "Three-phase short circuit testing of high-voltage circuit breakers using synthetic circuits", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 15, No. 1, pp. 142-147, January 2000.
- [7] S. Yanabu 외 4명, "Short-circuit testing method of 3-phase-in-one-tank-type SF6 gas circuit breaker", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 4, No. 1, pp. 349-354, January 1989.
- [8] Mirsad Kapetanovic, "High voltage circuit breakers", ETF-Faculty of Electrotechnical Engineering, Sarajevo, pp. 233~ 266, September 21, 2002.

◇ 저자소개 ◇



박병락(朴炳樂)

1952년 2월 23일생. 1978년 영남대학교 전기공학과 졸업. 1996년 동 대학원 전기 전자공학과 졸업(석사). 2011년 숭실대학교 대학원 전기공학과 박사과정 수료. 1980년~현재 한국전기연구원 본부장.
Tel : (055)280-1600
E-mail : brpark@keri.re.kr



조만영(趙萬英)

1962년 2월 10일생. 숭실대 전기공학과 졸업. 2008년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동대학원 박사과정 수료. 조엔지니어링 대표이사. 발송배전기술사.
Tel : (02)2057-0532
E-mail: cmylee@hanafos.com



김진석(金辰碩)

1983년 1월 26일생. 2007년 서울산업대 전기공학과 졸업. 2009년 숭실대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2009년~현재 동 대학원 전기공학과 박사과정 수료.
Tel : (02)817-7966
E-mail : redwolf832@ssu.ac.kr



신희상(申熙尙)

1980년 9월 16일생. 2007년 숭실대학교 전기공학과 졸업. 2009년 동 대학원 전기 공학과 졸업(석사). 2011년 동 대학원 전기공학과 박사과정 수료.
Tel : (02)817-7966
E-mail : shs8828@ssu.ac.kr



김재철(金載哲)

1955년 7월 12일생. 1979년 숭실대 전기 공학과 졸업. 1983년 서울대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1988년~현재 숭실대학교 전기공학부 교수.
Tel : (02)820-0647
E-mail : jckim@ssu.ac.kr