

직류전원을 이용한 배전급 차단기의 등가 3상 합성투입시험법

(Equivalent three-phase synthetic making test for medium voltage circuit breaker of distribution system using DC power)

박병락* · 조만영 · 김진석 · 신희상 · 김재철**

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

Abstract

The study about three-phase synthetic making test using DC power has been performed in order to increase the making test capacity on Vacuum Circuit Breaker. And, it made possible to solve the limitations that short-circuit testing facilities can not fulfill the testing requirements of VCB exceeding three-phase 36[kV] 31.5[kA]. By using DC power and high speed spark-gap switch, this method made the equivalence with the pre-arc that occurred during the making process under the fault condition of power system. As results, KERI(Korea Electrotechnology Research Institute) could have capacity to carry out type test for VCB under three-phase 52[kV] 40[kV], which satisfies the IEC Standard.

Key Words : Short-Circuit Generator, Synthetic Making Test, Medium Voltage Circuit Breaker, Pre-Arc, DC Power

1. 서 론

차단기의 단락전류 차단 능력을 검증하기 위해서는 전력계통에서 발생하는 현상과 유사하게 일정 시간 동안 단락전류를 공급할 수 있고, 단락전류 차단 직후 회복전압을 공급할 수 있는 단락시험설비를 필요로 한다. 실제로 단락발전기의 용량 한계로 대용량 차단기의 성능검증에 필요한 큰 단락전류와 회복전압을 단락발전기의 전원만으로 공급하는 것은 불가능하다.

이러한 문제점을 극복하기 위하여 발전기에서 공급하는 전류원과 별도의 커패시터에 충전된 전원을 이용한 합성시험방법을 개발하여 이용하였다[1]. 또한 설계기술의 향상으로 3상 차단기 부분을 동일한 탱크 내에 설치한 3상 일괄형 차단기가 개발되면서 3상 합성투입시험법을 개발하여 단락투입 성능검증에 이용하였다[2]. 합성투입시험은 차단기에 극간에 발생하는 프리 아크를 직접시험과 동일하게 만들어 주기 위하여 고전압의 전압원 전류와 상용주파 전류를 중단 없이 중첩하여 전이되도록 하는 갭 스위치의 특성이 매우 중요하다[3]. 이러한 배경으로 2000년대 중반부터 국제 전기위원회 IEC(International Electrotechnical Committee)에서는 단락전류 투입성능을 3상으로 평가하도록 규격화하기에 이르렀다[4-5]. 또한, 세계 단

* 주저자 : 숭실대학교 전기공학부 박사수료

** 교신저자 : 숭실대학교 전기공학부 교수

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

E-mail : jckim@ssu.ac.kr

접수일자 : 2011년 6월 14일

1차심사 : 2011년 6월 17일

심사완료 : 2011년 7월 14일

락시험기관협의체 STL(Short-circuit testing liaison)에서도 IEC 표준에 따른 시험방법을 가이드로 제시하고 있다.[6] 한국전기연구원이 보유하고 있는 단락시험설비는 3상 직접시험방법으로 투입시험은 36[kV] 25[kA] 60[Hz]까지로 용량이 한정되기 때문에 그 이상의 대용량 차단기는 별도의 합성투입시험법에 대한 기술개발이 필요하다. 또한 현재 운영 중인 합성투입 시험설비는 발전기 전원에 병렬로 변압기를 결선하여 얻어진 AC전원을 인가전원으로 이용한 방법으로서 72.5[kV] 이상의 초고압 GCB에 대한 성능평가가 가능한 시험설비로 설계되어 있으므로 채터링(Chattering) 현상이 발생하는 배전급 VCB의 경우에 상용주파 전류로 중첩되기 전에 아크전류가 차단되어 시험이 불가능하다. 이와 같은 배경으로 배전급 VCB의 경우 3상 합성 투입시험에서 인가전원을 커패시터에 저장된 직류전원을 이용하고 프리아크 구간에서 연속성을 유지하기 위하여 초기과도 투입전류를 증가시켜 성능을 평가할 수 있는 시험기술을 개발하였다.

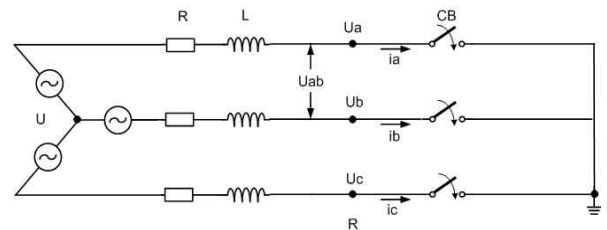
2. 본 론

2.1 3상 투입 과정과 성능평가 요건

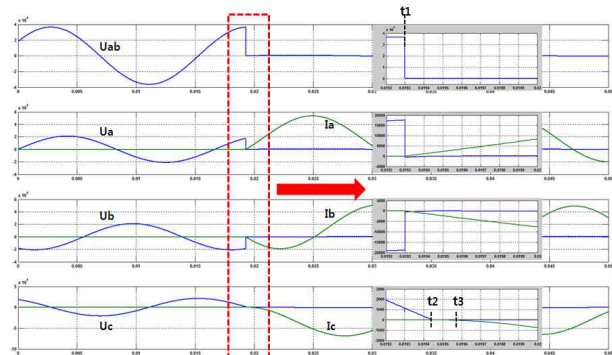
2.1.1 3상 투입 현상

배전급 차단기는 일괄적으로 첫 상 차단계수(KT) 1.5로서 비접지 계통에 대한 성능을 3상 시험법으로 평가하는 경우에 직접접지계통이나 유효접지계통에 대한 성능을 포함하는 것으로 IEC에서 인정되고 있다. 그림 1에서 알 수 있는 것처럼 비접지 계통인 3상 단락고장 상태에서 차단기(CB)를 투입시키면 먼저 2상에서 접점이 기계적으로 접촉하기 전에 발호가 개시(t_1)되어 프리 아크가 발생하고 전류가 흐르기 시작한다. 그리고 일정시간($\Delta T=t_2-t_1$) 후에는 나머지 한 상에서도 전류가 개시(t_2)되어 3상 단락상태가 된 후에는 접점이 기계적으로 투입 위치에 도달(t_3)하여 프리 아크가 소멸된다. 이러한 전류 투입과정에서는 대칭 전류 투입과정에서의 최대 프리 아크에 의한 전기적 내력과 비대칭 전류투입과정에서 발생하는 최대의 전자력에 대한 기계적 내력을 평가해야 한다. 이와 같은

투입 과정에서는 대칭전류는 먼저 프리 아크가 발생하는 2상 직렬조건에서는 인가전압의 피크에서 발호되어 대칭에 가까운 단락전류가 발생하면서 최대의 프리 아크 시간으로 인한 아크 에너지로 접점의 손상을 유발시켜야 한다. 그리고 마지막 상은 인가전압의 영점 부근에서 투입되어 프리 아크 시간이 거의 없는 상태에서 최대의 비대칭 단락전류로 인한 내력을 검증한다.



(a) 등가회로
(a) Equivalent circuit



(b) 전압과 전류
(b) Voltage and current

그림 1. 3상 투입 과정

Fig. 1. Three-phase making process

2.1.2 투입성능평가 요건

투입성능을 평가하는 목적은 표 1과 같이 대칭전류와 비대칭전류 투입의 2가지로 구분된다. 특히 발전기의 용량 부족으로 전압원과 전류원을 분리하여 전원을 인가하는 합성투입시험 방법은 대칭전류 투입 조건으로서 차단기의 정격과 동일한 인가전압 조건에서 단락전류를 투입해야 단락시험에 대한 등가성을 유지할 수 있다.

표 1. 투입시험의 개요
Table 1. Summary of making test

항목	발호위상	인가전압	프리 아크 시간	전자 력	목적	비고
대칭 전류 투입	인가전압 첨두치의 ±15도 이내	정격 전압	최대	최소	접점의 내아크 성능 평가	합성 투입 시험 대상
비대칭 전류 투입	인가전압 영점부근	무시 가능	최소 (무시 가능)	최대	접점의 기계적 내력 평가	직접 투입 으로 가능

2.2 직류 전원을 이용한 등가 3상 합성투입시험법

2.2.1 시험회로와 동작

별도로 분리된 전류원과 전압원을 구성하여 성능을 평가하는 3상 합성투입시험에서는 차단기의 정격 선간전압과 동일한 상용주파 교류전압을 첫 2상 직렬 상에 인가하고 마지막 상에는 정격 상전압을 인가하는 것이 가장 등가성이 있지만, 이 방법은 설비구성과 대전류를 투입해야하는 합성투입시험용 갭 스위치(Gap-switch)의 제어에 상당한 어려움이 있다. 또한, 그림 1에서 알 수 있는 바와 같이 마지막 상 투입 조건에서는 인가전압의 영점 부근에서 투입동작이 일어나서 발호전압이 매우 낮기 때문에 투입시험용 갭 스위치가 구동되지 않는 경우가 대부분이며, IEC-62271-100에서도 비대칭 전류 투입조건에서는 시험전압에 대한 제한이 없다. 이와 같은 합성투입시험법 적용의 기술적 문제점과 합성투입 시험설비를 하나만 보유하고 있는 설비부족 때문에 그림 2의 시험 방법을 개발하였다. 단락시험설비는 고전압, 대전류를 동시에 발생시켜야하기 때문에 그림 2에서 Δ-결선된 3상 비접지 전류원(U_c)을 이용한다. 이 시험방법에서는 (1) 한 상과 중간상에 합성투입시험용 전원인 R-C branch, (2) 차단기 극간 발호 후에 전압원에서 전류원으로 전이과정을 제어하는 갭 스위치(CH), (3) CH를 보호하기 위한 보조차단기(ACB1)로 구성된 1조의 합

성투입시험설비를 연결한다. R-C Branch는 직렬로 구성된 저항(R1)과 콘덴서(C1) 2개조를 다시 직렬로 연결하여 중간점을 시험용 차단기(CB)의 2차 단락 점에 연결시켜 두 상에 동일하게 전압분담이 되도록 한다. 차단기의 2차측을 비접지하고 R-C branch를 접지시키는 것은 커패시터의 양단을 접지에서 분리할 경우 갭 스위치의 제어를 용이하게 하기 위함이다.

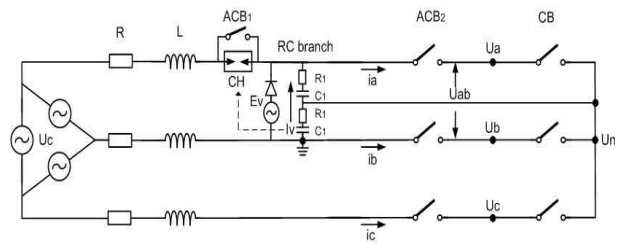


그림 2. 3상 합성 투입시험 회로
Fig. 2. Three-phase synthetic making test circuit

① 전압원의 충전전압

이 회로에서 3상 전류원은 차단기의 정격전압보다 작은 약 20[kV] 정도에서 정격 단락전류를 발생시키기 때문에 별도의 시험전압을 인가할 수 있는 전압원용 R-C branch에 식 (1)로 결정되는 직류전압(E_v)을 충전한다. 그리고 전압분담을 균일하게 하기 위하여 R-C branch는 동일 특성의 저항과 커패시터 2개조를 직렬로 구성하여 차단기 부하측 단락점과 연결한다.

$$E_v = 2\sqrt{\frac{2}{3}} U_n \tag{1}$$

② 극간 프리 아크의 발호와 ITMC의 발생

투입과정에서 차단기의 2상에서 발호(그림 1의 t₁) 되면 R-C branch의 커패시터에 충전된 전압은 직렬 저항을 통하여 방전하면서 식 (2)와 같이 시정수(τ=RC)를 가진 그림 3에서 I_v로 나타낸 지수함수 파형의 고주파수 임펄스 파형의 초기과도투입전류(ITMC; Initial Transient Making Current)를 발생한다. 이 ITMC로 인해 차단기의 극간에는 프리 아크가 유발되며 충전전압의 극성은 3상 전류원 회로의 전압 극성과 같도록 조정해서 중첩 과정에서 영점이 발생하지 않도록 해야 한다.

직류전원을 이용한 배전급 차단기의 등가 3상 합성투입시험법

$$I_V = \frac{E_V}{R} e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (2)$$

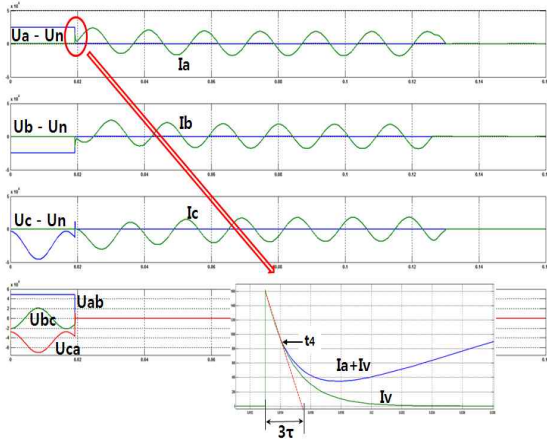


그림 3. 3상 합성 투입시험 파형
Fig. 3. Waveform of three-phase synthetic making test wave

③ 갭 스위치의 동작과 합성 투입

그림 3에서 ACB1과 갭 스위치(CH)가 개방되고 ACB2가 투입된 상태에서 차단기(CB)의 두상 극간에는 ITMC로 인해 미소한 아크가 유지되고 이 전류가 검출되어 전단에 있는 갭 스위치(CH)를 동작시키면 차단기의 2상에는 전류원의 상용주파 대전류가 그림 3의 t_4 에서 중첩되어 그림 1의 3상 투입 과정과 동일한 프리 아크가 발생(t_1, t_2)한다. 그림 4는 ITMC의 검출에서 갭 스위치 구동까지의 블록선도로서 고전위 상태에 있는 갭 스위치를 동작시키기 위해서는 절연을 유지할 수 있도록 ITMC를 광신호로 변환하여 트리거 장치를 구동시켜야 한다. 이 과정은 합성투입시험에서 차단기의 극간에 인가전압 피크에서 프리 아크를 발생시켜 최대의 프리 아크 상태를 모의하기 위한 구동 개념이다.

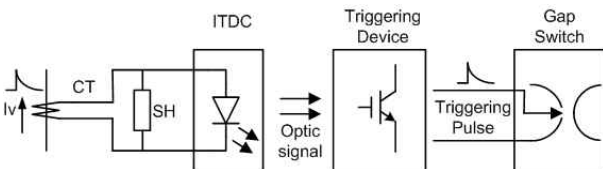


그림 4. 갭 스위치의 구동 개념도
Fig. 4. Conceptual diagram of driving of gap-switch

④ 비대칭 전류 투입

2상에서 프리 아크가 발생하면 전압원 회로의 전압은 소멸되고, 나머지 한 상에는 전류원 회로의 상전압만 인가된다. 일반적으로 이 상에서는 인가전압의 순시치가 낮은 상태에서 발호되기 때문에 프리 아크가 거의 발생하지 않고 최대의 비대칭 전류를 투입(그림 1의 t_3)하게 된다. 이 조건에서 차단기는 점점이 안정 상태에 도달하기 전의 점점축 상태에서 전류를 투입해야 하기 때문에 최대의 전자력과 함께 용착을 유발시키는 것에 대한 내력을 평가한다. 이 과정에서 비대칭 투입전류의 피크 값은 계통의 직류분 감소 시정수가 45[ms]인 조건에서 60[Hz]인 경우에는 2.6배, 50[Hz]인 경우에는 2.5배의 전류가 발생해야 한다.

⑤ 상용주파 전류의 유지

③의 합성투입으로 인한 최대 프리 아크 내력과 ④의 비대칭 전류에 의한 전자력 검증으로 IEC 62271-100에 규정되어 있는 차단기 투입시험의 요구조건을 충족시킨다. 배전급 VCB의 경우 일반적으로 두 과정의 시간차가 1~2[ms] 정도로 매우 짧다. 그리고 ③의 합성 투입시험과정에서는 갭 스위치는 수십 [kA] 정도에 이르는 전류원의 상용주파 전류를 통전으로 인해 상당한 손상이 발생되기 때문에 병렬로 보조차단기(ACB1)를 투입하여 전류를 분류시켜 갭 스위치를 보호한다. 그리고 이러한 투입시험에서는 차단기의 기구부와 점점이 안정 상태에 도달하기까지의 래칭(Latching) 구간에 대한 내력을 평가해야하기 때문에 보조차단기(ACB2)의 개방시간을 조정하여 피시험품 차단기(CB)에 전류원 회로의 3상 단락전류가 0.1초 이상 통전하도록 한다.

2.2.2 시험전압의 분포

일반적으로 합성투입시험이 적용되는 초고압 차단기의 경우에는 상용주파 단락전류를 공급하는 전류원 전압이 20[kV] 정도로서 차단기에 인가해야 하는 수백 [kV] 정도의 전압에 비하여 매우 작기 때문에 무시할 수 있다. 하지만 배전급의 경우 그림 2의 시험회로에서 차단기의 정격전압에 해당하는 시험전압을 공급

하는 전압원 전압이 수십 [kV] 정도의 직류로서 작은 값이기 때문에 약 20[kV] 정도의 전류원 전압을 무시할 수 없다. 그림 3에서 각 상의 극간에는 전원측 각상과 부하측 단락점 사이의 전압($U_{an}=U_a-U_n$, $U_{bn}=U_b-U_n$, $U_{cn}=U_c-U_n$)이 인가되고 2상에는 전압원의 직류전압, 나머지 한 상에는 전압원의 직류전압과 전류원 교류전압과의 차이로서 영점으로부터 오프셋(offset)된 전압이 발생한다. 이러한 전류원의 교류전압으로 인해 선간 $U_{ab}(=U_{an}-U_{nb})$ 에는 전압원으로부터 직류전압이 인가되고, 나머지 2개의 선간 $U_{bc}(=U_{bn}-U_{nc})$ 와 $U_{ca}(=U_{cn}-U_{na})$ 에는 전류원으로 부터의 교류전압과 전압원으로부터의 직류전압이 중첩되어 인가된다. 표 2는 이러한 전압분포를 나타내고 있으며, 합성시험 전압원이 1개의 직류전압으로 구성되지만 전류원 전압이 추가되어 각 상의 전압은 규격의 기준 값 이상이 유지된다.

표 2. 3상 합성투입시험에서 전압분포
Table 2. Voltage distribution in synthetic making test

항목	구분	전압	크기	성분
극간 전압	A	U_{an} ($=U_a-U_n$)	$\frac{E_V}{2}$	전압원 직류전압
	B	U_{bn} ($=U_b-U_n$)	$-\frac{E_V}{2}$	전압원 직류전압
	C	U_{cn} ($=U_c-U_n$)	$U - \frac{E_V}{2}$	전류원 교류전압과 전압원 직류전압
선간 전압	A-B	U_{ab} ($=U_{an}-U_{nb}$)	E_V	전압원 직류전압
	B-C	U_{bc} ($=U_{bn}-U_{nc}$)	U	전류원 교류전압
	C-A	U_{ca} ($=U_{cn}-U_{na}$)	$U - E_V$	전류원 교류전압과 전압원 직류전압

2.2.3 구성요소의 특성과 시험가능 영역

1) 갭 스위치의 특성

차단기 극간의 발호시점부터 상용주파 전류가 중첩되기까지는 갭 스위치의 특성에 의해 결정된다. 합성

시험법에 대하여 기술적 요건을 규정하고 있는 IEC 62271-101에서는 중첩의 지연시간(t_d)을 300[μ s] 이내로 유지하도록 규정하고 있다. 즉, 투입과정의 연속성을 유지하고 직접시험법과 등가성을 유지하기 위한 요건으로서 규정하고 있는 이 시간은 갭 스위치의 고유 특성에 의해 결정되며 합성투입시험에서 가장 중요한 요소이다. 그림 6은 갭 스위치의 외형으로서 내부에 1.5[bar]의 압축공기로 절연성능을 향상시켜 200[kV]의 내전압특성을 유지할 수 있다. 갭 스위치는 이러한 높은 절연능력을 구비하면서도 20[kV] 정도의 낮은 전류원 전압에서 외부 플라즈마 형태의 트리거 펄스에 의해 갭 극간에 방전으로 도통하여 스위치 역할을 하게 되며, 동작 특성은 지연시간(t_d)이 약 100[μ s] 정도로 유지되므로 발호시점부터 중단 없이 상용주파 전류를 중첩하는데 문제점이 없다.

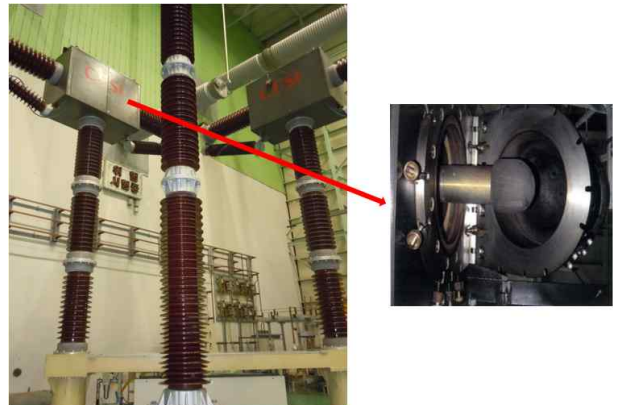


그림 5. 투입합성시험용 갭 스위치
Fig. 5. Gap switch for synthetic making test

2) 초기과도투입전류(ITMC) 회로 구성

ITMC회로는 그림 2에 나타낸 것과 같이 선간에 커패시터와 저항, 충전시스템 등으로 구성되며, 특성은 개방된 회로에서 2상 직렬 상태로 투입되는 초기에 차단기에서 발호되고 갭 스위치가 구동되어 상용주파 전류가 중첩될 때까지 차단기의 프리 아크를 유지시킬 수 있는 충분한 전류를 유지해야 한다. 초고압 GCB는 버트형(butt type) 접점구조로서 투입과정에서 채터링(Chattering)이 없기 때문에 수 암페어 정도의 ITMC만으로도 프리 아크가 유지된다. 하지만

VCB의 경우에는 평판전극 형상으로서 투입과정에서 2-3[ms] 정도의 채터링 시간(Tch)이 발생하는 것은 피할 수가 없다. 그리고 진공 차단부(Vacuum interrupter)는 10^{-7} [Torr] 정도의 고진공으로서 차단기 중에서 절연 성능이 가장 우수한 특성을 가지고 있기 때문에 극간에서 채터링이 발생하면 ITMC가 차단될 수 있다. 따라서 ITMC의 크기는 갭 스위치의 동작에 의해 상용주파수의 대전류가 중첩될 때까지는 200~300[A] 정도의 최소 순시 전류(I_{min})를 유지시켜 프리 아크가 소멸되지 않도록 해야한다. 이러한 ITMC의 특성을 고려하여 합성투입시험에 필요한 갭 스위치의 가능한 최대 지연시간을 t_{d(max)}, R-C branch의 시정수를 τ라고 하면 식 (2)로부터 저항(R)과 커패시터(C)는 각각 다음의 식 (3)과 식 (4)로 구해진다.

$$R = \frac{E_V}{I_{min}} e^{-\frac{t_d(max)}{\tau}} \quad [\Omega] \quad (3)$$

$$C = \frac{\tau}{R} \quad [\mu F] \quad (4)$$

표 3. ITMC 회로용 R-C branch의 파라미터
Table 3. Parameters of R-C branch for ITMC circuit

항목	25.8[kV] 차단기	36[kV] 차단기	비고
충전전압 (E _v)	42.1[kV]	58.8[kV]	충전전압은 정격 상전압 피크치의 2배
저항(R)	40[Ω]	56[Ω]	
커패시터 (C)	5[μF]	3.57[μF]	
ITMC 피크	1053[A]	1050[A]	

표 3은 갭 스위치의 가능한 최대 지연시간(t_{d(max)})을 150[μs]까지 고려하고 I_{min}은 여유를 고려하여 500[A], RC branch의 시정수를 200[μs]로 설정할 경우에 식 (3)과 식 (4)를 이용하여 25.8[kV]와 38[kV] 차단기의 합성투입시험에 필요한 파라미터들에 대한 계산 결과이다.

3) 시험설비의 동작 한계 설정

합성투입시험은 전압원의 전압에 의해 극간 발호가 발생하는 순간에 전류원 전압이 갭 스위치의 트리거 장치에 의해 갭이 정상적인 방전이 진행될 수 있는 최소 동작전압(V_p) 이상이어야 시험이 가능하다. 그림 6은 전류원(발전기) 전압과형 기준으로 투입합성시험에서 갭의 동작 지연시간을 고려한 시험설비의 동작 한계 위상 범위를 나타내고 있으며, θ₂는 갭 스위치의 동작 지연으로 발생한 위상차이다. 이러한 V_p의 특성에 따라 그림 7에서 전류원의 선간전압을 U_c라고 할 때 시험이 가능한 전류원 전압의 위상 상한치(θ_{1(min)})와 하한치(θ_{1(max)})는 각각 식 (5)과 식 (6)으로 결정할 수 있다.

$$\theta_{1(min)} = \sin^{-1} \frac{V_P}{\sqrt{2} U_C} \quad [\text{도}] \quad (5)$$

$$\theta_{1(max)} = 180 - \sin^{-1} \frac{V_P}{\sqrt{2} U_C} \quad [\text{도}] \quad (6)$$

동작한계 특성에 영향을 미치는 다른 요소는 갭 스위치의 동작 지연시간으로서, 최대 지연시간을 t_{dm}이라고 할 경우 식 (7)과 같은 추가 위상차(θ₂)의 범위를 고려해야 한다.

$$\theta_2 = \omega t_{dm} \quad (\text{rad}) = 360 f t_{dm} \quad [\text{도}] \quad (7)$$

여기서 w: 2πf f: 상용주파수

이와 같은 2가지 요소를 모두 고려하면 식 (8)과 식 (9)와 같은 최종적인 동작한계 위상 범위의 하한치(θ_(min))와 상한치(θ_(max))가 구해진다.

$$\theta_{(min)} = \theta_{1(min)} - \theta_2 = \sin^{-1} \frac{V_P}{\sqrt{2} U_C} - \theta_2 \quad [\text{도}] \quad (8)$$

$$\theta_{(max)} = \theta_{1(max)} - \theta_2 = 180 - [\sin^{-1} \frac{V_P}{\sqrt{2} U_C} + \theta_2] \quad [\text{도}] \quad (9)$$

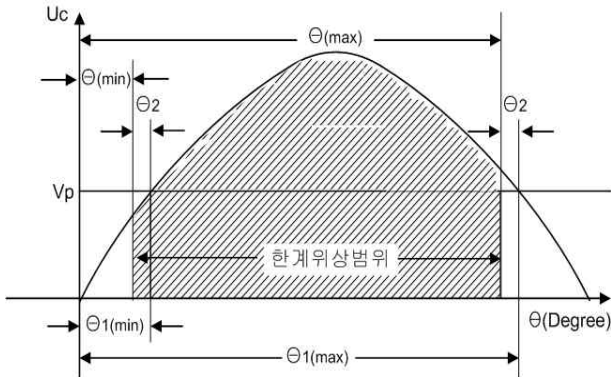


그림 6. 합성투입시험설비의 동작한계 특성
Fig. 6. Characteristic operating limits of synthetic making test facilities

본 연구에 이용된 합성투입시험용 갭 스위치는 200[kV] 전압에 대한 전압을 유지하면서 트리거 장치의 플라즈마 펄스에 의한 최소 동작전압이 10[kVp], 최대 지연시간이 $t_{dm}=150[\mu s]$ 의 조건을 적용하고 60[Hz]의 전류원 전압 $U_c=20[kV]$ 에서 시험을 실시하기 때문에 19.8~154[°]의 동작한계 위상의 범위가 구해진다.

2.3 적용 시험결과

본 연구를 통하여 개발된 시험법은 2011년도부터 배전용 차단기의 3상 합성투입시험에 적용하기 시작하였으며, 그림 7은 시험용 차단기와 시험결과와의 측정과 분석을 위한 DAS(Data Acquisition System)이다. 시험용 차단기는 3상 25.8[kV] 40[kA] 60[Hz]의 정격을 가진 일괄 외함형 및 일괄 조작형이다. 그림 8은 실제 적용한 합성투입시험결과 오실로그래프이며 표 4는 시험 조건과 시험 결과이다. 그림 7의 시험 결과 파형으로부터 알 수 있는 바와 같이 A상과 C상에서 합성투입시험이 이루어졌고 B상은 최대 비대칭 전류 조건의 직접투입시험 조건으로 이루어졌다. 합성 투입시험이 이루어진 A상과 C상에서 갭 스위치의 지연시간은 85[μs]가 얻어졌고, 1.3[ms]의 프리 아크 시간이 발생하였다. 그리고 B상은 전류원 전압에 의해 9.8[kV]의 순시치에서 프리 아크가 거의 없이 비대칭 투입전류 조건의 직접투입시험이 되었으며, 이 과정

에서 발생한 투입전류의 피크 전류는 114[kA]로서 IEC 62271-100에서 규정하고 있는 실효치의 2.6배인 104[kA]의 피크 전류를 초과하는 전류로서 유효한 시험이 되었다. 이 시험은 직류전원을 B상과 C상 선간에 인가하여 시험을 실시하였으나, 최대 프리 아크가 발생하는 합성투입시험은 A상과 C상에서 이루어졌다. 하지만 이 경우에도 A상에는 전류원 교류전압과 전압원 직류전압이 인가되고, C상에는 충전전압(Ev)의 50[%]인 직류전압이 인가된 상태로서 서로 반대극성이기 때문에 A와 C상에 인가되는 선간 전압의 순시치는 $57.9[kV]$ 로서 규격에서 요구하는 전압인 $25.8 \times \sqrt{2} = 36.5[kV]$ 보다 높은 조건으로서 규격을 충족시키기 때문에 유효한 시험이 된다. 이렇게 예정하지 않는 상에서 합성투입시험이 실시되는 원인은 차단기 기구부의 투입 동작시간의 변동 폭이 커진 것이 주원인이다.

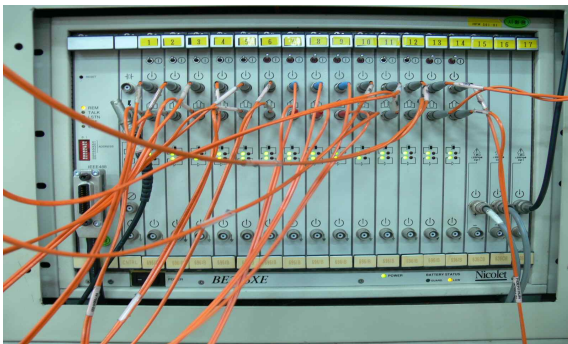
표 4. 25.8[kV] 40[kA] 차단기의 3상 합성 투입시험 회로 파라미터와 시험 결과

Table 4. Parameters and test results of three-phase synthetic making test of 25.8[kV] 40[kA] circuit breaker

시험 조건	전류원	인가전압: 18.7[kV]
	전압원 (RC branch)	R1 = 25[Ω], C1 = 6.4[μF], Ev = 49[kV] ITMC: Peak = 1.68[kA], τ = 160[μs]
시험 결과	발호 전압	합성 투입 A상: 33.4[kV], C상: 24.5[kV] A와 C의 선간: 57.9[kV]
		직접 투입 B상: 9.8[kV]
	합성투입 (A상, C상)	투입위상(전류원 전압 기준): 80[°] 프리 아크 시간: 1.3[ms] 갭 스위치 지연시간(t_d): 85[μs] 시험전류: 실효치 = 41.0[kA] 투입위상(전류원 전압 기준): 80[°]
직접투입 (B상)	프리 아크 시간: 0.2[ms] 시험전류: 실효치 = 41.2[kA], 피크치 = 114[kA]	



(a) 시험용 차단기(25.8[kV] 40[kA])
 (a) Circuit breaker for test(25.8[kV] 40[kA])



(b) 측정장치(Data Acquisition System)
 (b) Measuring device(Data Acquisition System)

그림 7. 시험용 차단기와 측정장치
 Fig. 7. Circuit breaker for test and measuring device

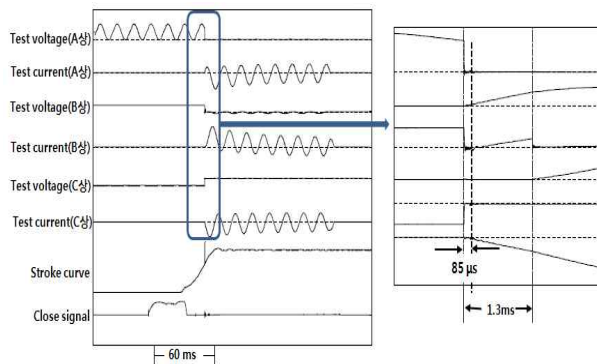


그림 8. 합성투입 시험결과와 오실로그램
 Fig. 8. Oscillogram of test result of synthetic making test circuit

3. 결 론

본 연구는 국내에서 단락발전기의 용량 부족으로 3상 36[kV] 31.5[kA] 이상의 배전급 차단기에 대한 투입전류 성능평가가 불가능한 문제점을 해소하고, 3상 52[kV] 40[kA] 범위까지 IEC 62271-100에 적합하게 투입시험할 수 있는 시험기술을 개발하기 위하여 수행하였다. 연구 결과로 현재까지 전 세계적으로 배전계통에 사용되는 차단기의 단락전류 정격은 52[kV] 40[kA] 이하이므로 전 범위에 대한 성능평가가 가능하게 되었다. 또한, 본 연구에서는 실제로 많이 사용되고 있는 배전급 VCB의 투입과정에서 발생하는 채터링으로 인한 초기과도투입전류(ITMC)의 재단현상을 방지하여 프리 아크의 연속성을 유지하여 시험의 유효성을 확보할 수 있는 기술을 확보하였다. 이러한 합성투입시험 기술의 개발로 통해서 그 동안 단상으로만 투입시험을 실시하고 불완전한 성능평가를 실시해 오던 문제점을 개선하여 실제 사용 상태와 유사한 3상으로 투입시험을 실시하므로 국제 표준을 만족하는 시험뿐만 아니라 더욱 정확한 성능평가를 실시할 수 있는 계기가 되었다. 따라서 국내에서 불가능하던 25.8[kV] 31.5[kA] 이상의 배전급 차단기에 대한 투입 차단시험이 국내에서 가능하게 됨에 따라 신제품의 성능검증을 위하여 해외 공인시험기관을 이용함에 따른 비용 절감 및 개발 기간을 단축할 수 있을 것으로 사료된다.

References

- [1] Guy St-Jean, "Ren Fu Wang, Equivalence Between Direct and Synthetic Short-Circuit Interruption Tests on HV Circuit Breakers", IEEE Power Engineering Review, pp. 45-46, July 1983.
- [2] Rene Peter Paul Smeets, Wim A. van der Linden, "Verification of the Short-circuit Current Making Capability of High-Voltage Switching Devices", IEEE Transaction on Power Delivery, Vol.16, No.4, Oct. 2001. pp.611-618.
- [3] K. Suzuki, S. Nishiwaki, H. kawano, K. Kudo, K. Miyazaki, N. Miyake, H. Ikeda, "CHARACTERISTIC OF LARGE CURRENT MAKING SWITCH TO VERIFY MAKING PERFORMANCE OF HIGH VOLTAGE SWITCHGEAR", Gas Discharges and their Applications, 17th International

Conference of IEEE, 7-12. Sept. 2008, pp.541-544.

- [4] IEC 62271-100 Ed. 2.0, High-voltage switchgear and controlgear -Part 100: Alternating-current circuit-breakers, April 2008.
- [5] IEC 62271-101 Ed. 1.1, High-voltage switchgear and controlgear - Part 101: Synthetic testing, Nov. 2010.
- [6] STL guide to the interpretation of IEC 62271-100 and IEC 62271-101, June 2009.

◇ 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@nate.com



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