

간이 합성시험설비를 이용한 차단기의 차단성능 평가기술

정진교 (한국전기연구원 전력기기연구센터)

1 서론

차단기 및 개폐기는 전력계통의 보호와 에너지의 공급을 제어하기 위한 기기들로서, 이들에게 요구되는 차단동작의 신뢰성은 무엇보다 중요한 것이라 할 수 있다. 그래서 이들의 개발 및 성능시험 단계에서는 설계, 제작 그리고 평가시험 및 보완의 단계들이 계속해서 반복되어 보다 신뢰성 높은 제품의 개발이 보장 되도록 하는 것이 필요하다. 그러나 차단성능의 평가 시험은 차단기의 용량이 증가할수록 막대한 예산이 소요되는 시험설비가 필요하게 되며, 이는 성능평가 시험에 지출되는 경비 및 제품 개발 기간에 많은 장애 요소가 된다. 따라서 보다 경제적이고 사용하기 용이한 평가기술 및 평가시스템의 필요성이 제기되었다.

차단기의 단락전류 차단성능을 검증하기 위한 방법으로는 직접시험법과 합성시험법 등 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 직접시험은 단락전류, 과도회복전압 및 회복전압을 하나의 전원인 단락발전기에서 직접 모두 공급하여 시험하는 방법이고, 합성시험법은 차단기가 단락전류를 차단하는 경우에는 대전류가 필요하지만 전압조건은 아크전압에 알맞은 정도로 직접시험에서의 전압보다 적어도 되고, 또한 단락전류 차단 이후에는 높은 전압이 필요하지만 전류공급은 작아도 좋다

는 전류 차단과정으로부터 출발하여, 아크소호 시에 피스폼차단기를 대전류 회로로부터 고전압 회로에 이동시킴에 따라 결과적으로는 한 개의 전원으로부터 고전압 대전류를 공급하는 직접시험과 등가로 볼 수 있는 시험을 수행하는 방법을 말한다. 즉, 차단시험 시 필요한 단락전류와 과도회복전압, 그리고 회복전압을 독립된 두 개의 전원으로부터 인가하여 시험하는 시험방법이다. 합성시험법에는 다음과 같은 두 가지 방법으로 구분된다.

- ① 전류중첩법 : 전류원 전류의 영점직전에서 피스폼차단기에 전압원 회로를 연결하여 전압원 전류가 전류원 전류에 중첩되게 한다. 전류원 전류가 차단된 후에는 전압원 전류만이 흐르게 되며, 피스폼차단기에 의하여 전압원 전류가 차단 되면 전압원 회로로부터 과도회복전압 및 회복전압을 공급하여 시험하는 방법이다.
- ② 전압중첩법 : 피스폼차단기에 의하여 전류원 전류가 차단된 후, 피스폼차단기의 극간에 과도회복전압이 인가될 때 전압원 회로를 연결하여 과도회복전압 및 회복전압을 중첩시켜 시험하는 방법을 말한다.

현재 세계적으로는 Weil-Dobke 회로를 적용한 전류중첩법이 많이 사용되고 있다. 그러나 Weil-Dobke

회로와 단락발전기를 이용한 합성시험방법은 운전 및 유지보수에 시간과 비용이 많이 소요되며, 특히 차단기의 개발 시에는 많은 시험을 반복적으로 실시하여야 하므로 단락발전기의 운전에 대한 부담이 더욱 커지게 된다. 그래서 단락발전기에 의하여 공급되는 시험전류 대신에 커패시터와 리액터로 구성된 공진회로에 의하여 만들어지는 진동전류를 이용하여 시험하는 간이 합성시험방법이 많은 이용되고 있는 실정이다. 이는 차단기 개발과 관련된 경제적 부담을 현저하게 감소시킬 수 있기 때문에 차단기의 연구개발에 보다 효율적으로 활용하는 것을 가능하게 한다.

본 고에서는 차단기 개발과정에서 사용되는 차단성능 평가시스템으로 설치 및 운전이 경제적으로 우수한 간이 합성시험설비에 대하여 기술하고자 한다.

2. Weil-Dobke 회로를 이용한 간이 합성시험설비

2.1 구성 및 동작원리

전류 중첩법의 합성시험법을 채용한 간이 합성시험설비의 전체적인 회로도도 그림 1과 같은 구조를 가진다.

회로도 중심에 표시된 피스폼차단기 Bt를 기준으로 왼쪽은 시험전류를 공급하기 위한 전류원 회로를 보여주고 있고, 오른쪽은 전류주입법에 의한 합성시험을 구현하기 위한 전압원 회로와 Rf, Cf를 이용하여 2-parameter의 과도 회복전압 파형을 발생시킬 수 있는 Weil-Dobke 회로를 보여주고 있다.

전류원 측의 주요 설비로는 공진회로를 구성하기 위한 전류원 커패시터 Ci, 공심리액터 Li가 있으며, 시험전류 공급을 제어하는 투입용 스위치 Ms, 전류원 회로의 보호를 위한 보조차단기 Ba 그리고 후비보호(Backup)용 차단기 등이 있다. 그리고 전압원 측의 주요 설비로는 전압원 전류를 공급하기 위한 전압원 커패시터 Cv, 공심리액터 Lv 그리고 전압원 회로의 동작을 제어하기 위한 방전갭 Gm 등이 있으며, 과도 회복전압의 파형을 조정하기 위하여 Rf와 Cf로 구성된 TRV(Transient Recovery Voltage) 제어회로 등이 있다.

전류원 충전장치 CHI를 이용하여 전류원 커패시터 Ci를 충전하고 개방상태의 Ms를 투입시키면 전류원 전류가 Ci, Ms, Li, Bt를 통하여 흐르게 된다. 이때 흐르는 전류의 크기는 식 (1)을 이용하여 계산할 수 있다.

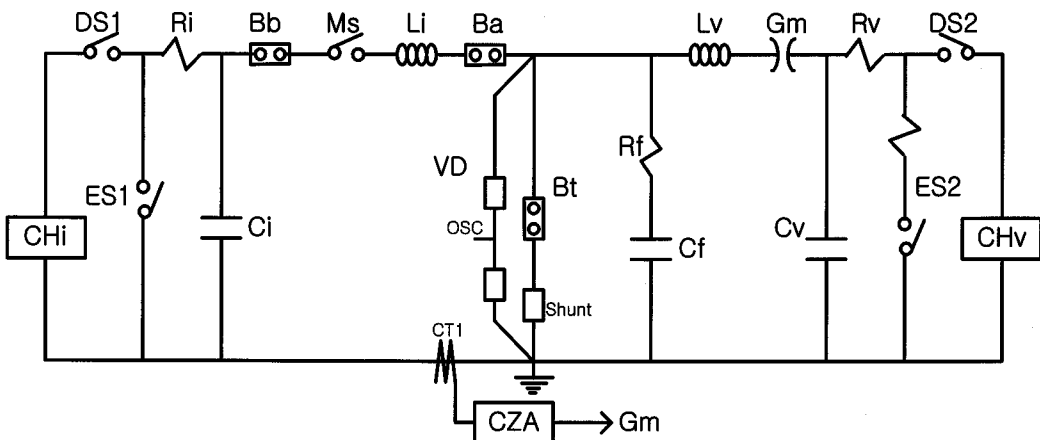


그림 1. 간이 합성시험설비의 회로도

$$i(t) = \frac{V}{\beta L} e^{-\alpha t} \cdot \sin \beta t \quad (1)$$

여기서

$$\alpha = \frac{R}{2L}$$

$$\beta = \sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2}$$

이다.

전압원 충전장치 CHv를 이용하여 전압원 커패시터 Cv를 충전한 후, 전류중첩법의 규격조건에 해당되는 시간에 방전갭 Gm을 동작시키면 전압원 전류(이하 주입전류)가 Cv, Gm, Lv, Bt를 통하여 흐르게 된다. 전압원 회로에 의하여 공급되는 주입전류가 피스폼차단기 Bt에 의해 차단이 되면 피스폼차단기의 양극 사이에는 전압원 회로 Lv, Cv와 TRV 회로 Rf, Cf에 의해 결정되는 과도 회복전압이 인가된다. 이때 인가되는 과도 회복전압의 $v_{TRV}(t)$ 의 크기는 식 (2)와 같이 표현된다.

$$v_{TRV}(t) = V \frac{C_v}{C_v + C_f} [1 - e^{-\alpha t} \cdot \cos \beta t] + V \frac{\alpha}{\beta} \left(2 - \frac{C_v}{C_v + C_f}\right) e^{-\alpha t} \cdot \sin \beta t \quad (2)$$

여기서 $C_T = \frac{C_v C_f}{C_v + C_f}$

$$\alpha = \frac{R}{2L}$$

$$\beta = \sqrt{\frac{1}{LC_T} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2}$$

이다.

전류원 회로와 전압원 회로를 구성하는 회로정수의 값은 피스폼차단기의 정격에 의하여 결정된다.

간이 합성시험설비를 이용하여 차단성능시험을 수행하기 위해서는 시퀀스타이머(Sequence timer), 전류영점 예측기, 방전갭 트리거시스템 등과 같은 장비가 추가적으로 필요하다. Sequence timer는 시험

수행 시 동작하는 회로 구성부품의 동작시간, 즉 투입 스위치 Ms가 동작하는 시간, 아크시간을 고려하여 피스폼차단기 Bt가 동작하는 시간, 보조차단기가 동작하는 시간, 방전갭의 동작시간 등을 제어하기 위하여 사용된다. 일반적으로 사용되는 Sequence timer의 특성은 표 1과 같다.

표 1. Sequence timer의 특성

항 목	특 성
채널수	12개
시간조정 해상도	100[μ s]
시간조정 범위	0~9999.9[ms]
동작시간 오차범위	200[μ s]
출력접점의 형태	수은 및 Telephone 릴레이

전류영점 예측기는 합성시험방법의 규격에 적합하게 전압원 회로를 동작시키기 위하여 필요로 하는 설비이다. 전류영점 예측기는 전류원회로에 의하여 흐르는 전류의 값이 10V이하의 값으로 변환되어 입력 되면 전류영점 이전 설정된 시간에서 광펄스를 출력하는 기능을 가지는 기기로서 표 2와 같은 특징을 가진다.

표 2. 전류영점 예측기의 특성

항 목	내 용
입력신호	< ± 10 [V]
출력신호	전압(120V), 광펄스 신호
시간 조정범위	0~2,000[μ s]
주파수 조정범위	0~999[Hz]
Gate 단자	출력펄스 신호의 선택용

마지막으로 방전갭 트리거시스템은 전류영점 예측기의 광출력신호를 입력신호로 하여 주어진 시간에 방전갭 사이에 순간적인 전기 Spark를 발생시켜 전압원에 충전된 에너지를 피스폼차단기에 인가시키는

기술해설

역할을 담당하는 설비로 표 3과 같은 특징을 가진다.

표 3. 방전갭 트리거시스템의 특성

항 목	내 용
구갭 직경	300(mm)
갭의 재질	구리, 텅스텐 합금
갭간 조정거리 범위	300(mm)
갭의 높이	1,500(mm)
갭의 점화 에너지	32(J)
점화용 전원	24(V) 충전용 전지
점화방식	Current transformer

2.2 측정변수 및 측정회로

차단기의 성능평가를 위해서는 차단전류의 크기, 아크전압, 과도 회복전압, 차단부에서의 압력변화, 차단부의 스트로크 파형이 측정되어야 한다. 이와 같은 항목들을 측정하기 위하여 다음과 같은 측정회로가 이용된다.

차단부의 스트로크, 접점 동작시점 및 무부하 압력 상승측정을 위한 시험회로도 살펴보면 그림 2와 같다.

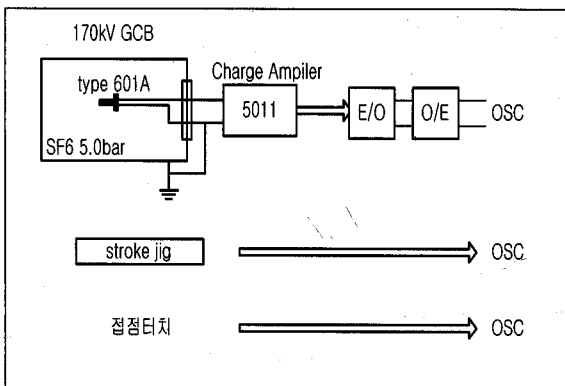


그림 2. 무부하 측정회로도

그림 2에서 압력측정을 위한 센서 601A 그리고 앰프 5011은 Kistler 사 제품의 모델명이다. 압력측정 시

주의해야 할 것은, 압력센서에서 출력되는 신호는 미약한 신호이기 때문에 압력신호 측정용 쉴드선과 접지전위에 의한 Loop 전류가 발생되지 않도록 하는 것이 필요하다. 이를 위하여 일반적으로 광신호 시스템이 이용된다.

다음으로 차단전류의 크기 및 파형을 측정하기 위한 회로구성은 그림 3과 같다. 전류 측정에는 일반적으로 션트(Shunt)가 이용한다. 접지전위 및 노이즈의 영향을 제거하기 위하여 광신호 시스템이 활용된다. 전류 측정을 위해 CT(Current transformer)를 사용하면 시험회로와 절연되어 있기 때문에 측정회로의 구성이 간단해 지는 장점이 있지만, 자성체의 포화특성에 의한 위상차 발생문제를 해결하면서 측정결과의 정확도를 고려한다면 션트(Shunt)를 활용하는 것이 바람직하다.

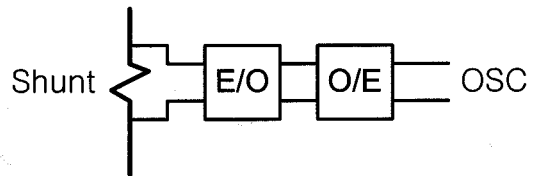


그림 3. 전류측정 회로도

마지막으로 아크전압 및 과도 회복전압의 파형을 측정하기 위한 회로도를 그림 4에 나타내었다. 일반적으로 RCR 구조의 분압기(Voltage divider)가 이용되는데 이는 DC 성분부터 과도전압 및 회복전압의 고주파 영역에서까지 양호한 분압특성을 가지고 있기 때문이며, Attenuator에 의해 최종 분압비가 결정된다. 추가적으로 아크전압과 과도 회복전압은 신호크기 측면에서 현저한 차이가 있기 때문에 아크전압의 측정을 시도한다면 별도의 Clipper회로를 사용하는 것이 측정기기의 안전에 도움이 된다. 과도 회복전압은 일반적으로 kV/us 의 기울기를 가지는 파형이기 때문에 광신호 시스템이 이러한 시간영역에서 정상적으로 동작하는지를 반드시 확인해야 한다.

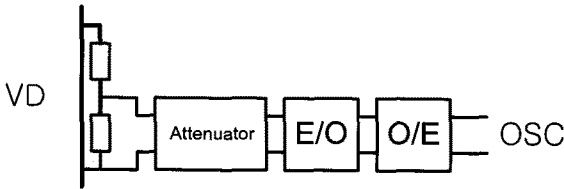


그림 4. 아크전압 및 과도 회복전압 측정

2.3 합성시험수행 및 측정결과 비교

그림 5는 간이 합성시험설비를 이용하여 차단기의 성능평가 시험을 수행하는 전경을 보여주고 있다.

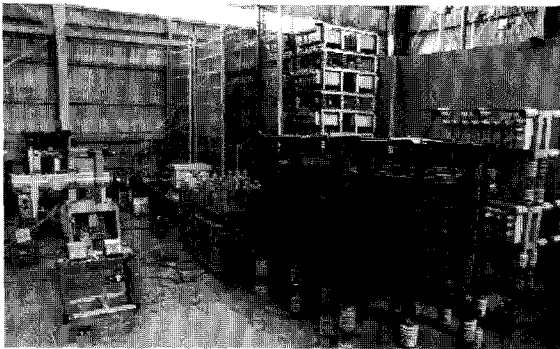


그림 5. 간이 합성시험설비

전류원 회로만을 동작시킨 경우에 측정된 전류파형의 예를 그림 6에 나타내었다.

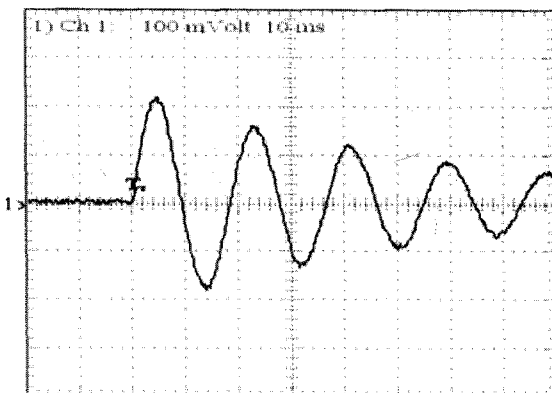


그림 6. 시험전류 파형의 예

선트($Sh = 0.63m\Omega$)와 광신호 시스템의($E/O - O/E = 100:1$)비율을 적용하면, 전류의 값이 25-20-18 [kArms]로 감소하고 있으며, 주파수는 55[Hz]임을 알 수 있다. 전류의 감쇄정도는 100[%], 80[%], 72[%]의 크기로 감소하는 것을 알 수 있는데 이러한 감소는 시험설비의 회로를 구성하는 전선에서의 저항, 단자에서의 접촉저항, 그리고 커패시터의 역방향충전 계수(Voltage reversal factor)에 의하여 발생한다.

다음으로 전압원 회로에서 측정된 전류(주입전류)의 파형을 그림 7에 나타내었다. 측정장비의 비율을 적용하여 전류의 크기를 계산하면 1차 최고치의 값이 2[kArms]이고 주파수는 600[Hz]가 되는 것을 알 수 있다. 이러한 주입전류의 파형의 크기 및 주파수 크기는 합성시험의 규격 IEC62271-101에 정리되어 있다.

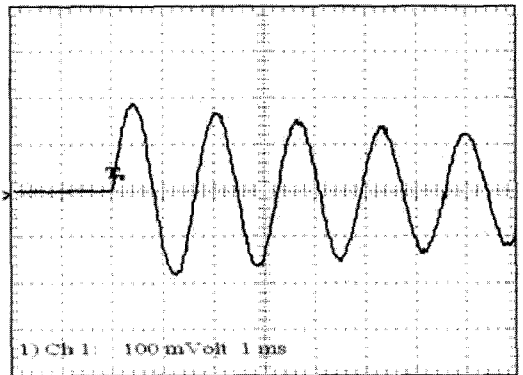


그림 7. 전압원 전류파형의 예

전압원 회로에서 공급되는 주입전류는 1/2 주기만 피스폼차단기에 흐르고 난 후, 차단이 이루어지도록 하는 시간 값이 시험 전에 Sequence timer에 입력된다. 이것은 전압원 회로에서 발생한 주입전류가 피스폼차단기에 의하여 차단되면 피스폼차단기의 양극간에는 TRV 조정용 저항 R_f , 커패시터 C_f 에 의하여 결정되는 과도 회복전압 및 회복전압을 피스폼차단기에 공급하기 위함이다.

전류원 회로와 전압원 회로를 합성하여 피스폼차단

기술해설

기에 대한 차단성능 시험을 수행한 경우의 측정결과
의 예를 그림 8에 나타내었다. Ch1은 전류파형의 크기를, Ch2는 아크전압 및 TRV의 파형을, Ch3은 파괴
실린더에서의 압력상승의 크기를, Ch4는 피시폼차단
기의 트립코일(Trip coil)에 흐르는 전류파형을 각각
보여주고 있다. 시험전류의 경우, 주파수가 60(Hz)이
기 때문에 시간영역이 10[ms/div] 영역에서 측정되
었음을 볼 수 있다.

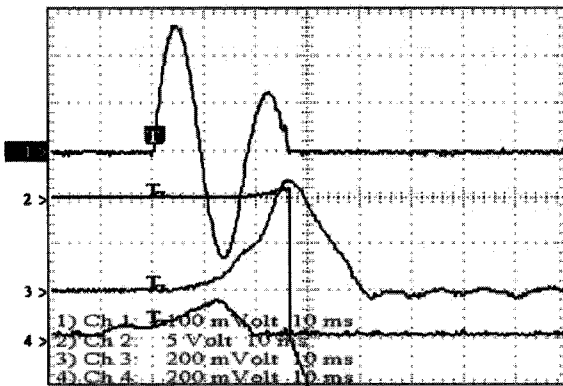


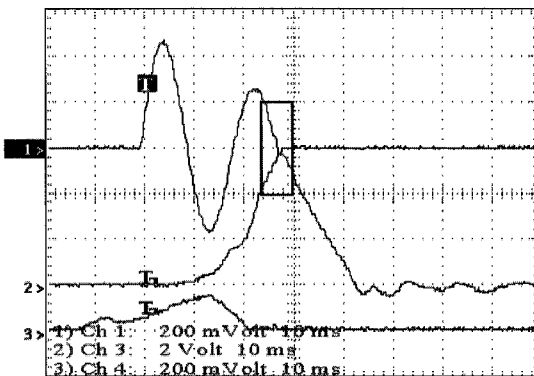
그림 8. 유부하 측정결과예

합성시험을 수행한 경우, 차단에 실패한 파형을 그림 9에 제시하였다. 그림 9 (a) 전류가 차단되고 전

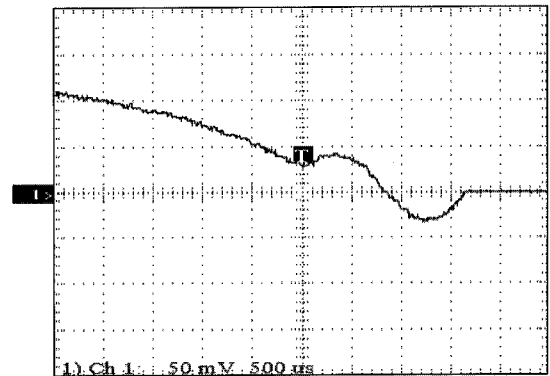
압이 인가되는 전체의 영역을 보여주고 있으며, 그림 9 (b)는 전류 영점영역에서 측정된 파형을 보여주고 있다. 주입전류의 주입시점은 주입전류 주기의 1/4 이내에 위치하도록 IEC 62271-101규격에 정해져 있는데 전류원 전류가 영점이 되는 위치와 주입전류의 침투점이 정확하게 일치하고 있기 때문에 규격에 적합하게 합성시험이 수행되었음을 볼 수 있다.

전류원과 전압원이 합성되어 차단부에 인가되었지만 반주기의 주입전류가 흐른 후 차단에 성공하지 못하고 반주기의 전류가 한번 더 흐른 것을 볼 수 있다. 이것은 1/2 주기의 주입전류를 차단하고 인가되는 과도 회복전압을 견디어 내는 것만을 유효시험으로 규정하는 합성시험의 규격에 위배하므로 차단실패이다. 주입전류의 경우 주파수가 수백 Hz 영역을 가지므로 효과적인 측정을 위하여 시간영역이 500[ms/div]으로 설정되었음을 볼 수 있다.

합성시험을 수행한 경우 차단에 성공한 파형을 그림 10에 제시하였다. 그림 10 (a) 전류가 차단된 후 전압이 인가되는 합성시험 전체의 영역을 보여주고 있으며, 그림 10 (b)는 전류 영점영역에서 측정된 파형을 보여주고 있다. 그림 10 (b)에서 볼 수 있듯이 1/2주기의 전류가 흐른 후 정상적으로 전류가 차

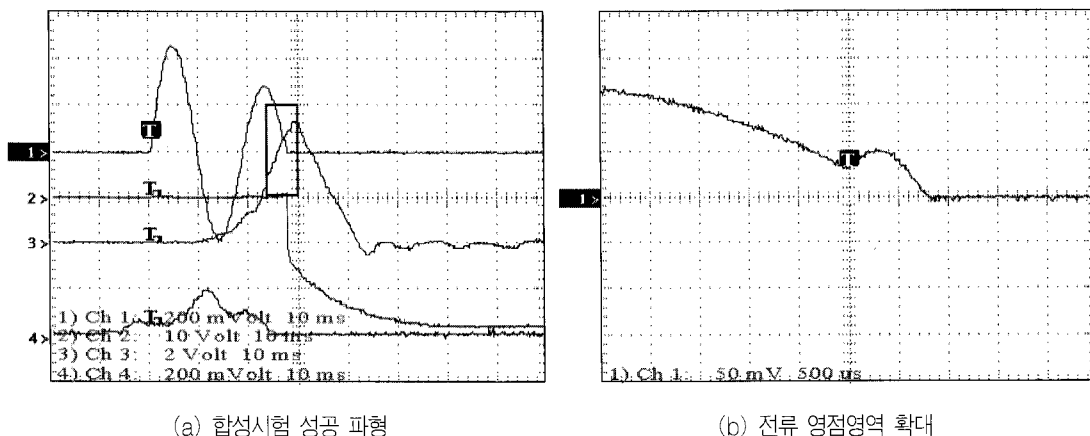


(a) 합성시험 실패 파형



(b) 전류 영점영역 확대

그림 9. 차단에 실패한 경우의 합성시험 파형



(a) 합성시험 성공 파형

(b) 전류 영점영역 확대

그림 10. 차단에 성공한 합성시험의 파형

단되었음을 볼 수 있다.

그림 11은 피시품차단기가 전류 차단에 성공한 후, 피시품차단기의 극간에 인가되는 과도 회복전압의 파형을 보여주고 있다. IEC 62271-101규격에 의하면 과도 회복전압의 파형은 T100S 시험의 경우, $2[kV/\mu s]$ 시간영역을 가지기 때문에 측정을 위한 시간 영역이 $5[\mu s/div]$ 로 설정되었음을 볼 수 있다.

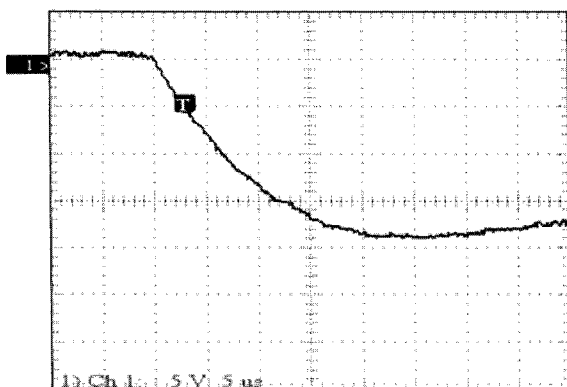


그림 11. 차단시험 성공 시 과도회복전압 파형

3. 결 론

본 고에서는 간이 합성시험설비의 구성 및 동작원

리, 그리고 측정방법에 대하여 살펴보았다. 본 연구센터에서는 간이 합성시험설비를 차단기의 성능평가 시험이외에도 부하개폐 특성시험, 대전류 내아크특성시험, 아크접점 개발, 고성능 내아크 절연물 개발 그리고 커패시터의 충전에너지에 이용한 영구자석의 착자 등 전력기기 및 산업기기의 개발에 적극적으로 활용하고 있다.

참 고 문 헌

- (1) 박경엽 외 4인, "LC 공진회로를 이용한 단락시험의 등가성에 관한 연구", 한국전기연구소, 1996. 10.
- (2) 金方直弘 외 2인, "대용량 C-L 회로에 의한 단락차단시험에 대하여", SPD-88-1, 일본 전기학회연구회자료, 개폐보호연구회, 1988.
- (3) IEC 62271-1, "Common specifications", Edition 1.0, 2007-10.
- (4) IEC 62271-100, "High-voltage alternating-current circuit-breakers", Edition 1.2, 2006-10.
- (5) IEC 62271-101, "Synthetic testing", First edition, 2006-05.

◇ 저 자 소 개 ◇



정진교(鄭鎭敎)

1967년 10월 18일생. 1991년 강원대 공대 전기공학과 졸업. 1994년 강원대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1994년 ~ 현재 한국전기연구원 전기기기연구센터 선임연구원.

E-mail : jkchong@keri.re.kr