

합성단락시험용 재점화장치

* 박승재* 김맹현* 강영식* 신영준* 고희석**
 *한국전기연구소 산업협력부 **경남대학교 전기전자공학부

Reignition system for synthetic short-circuit test

Park, seung-jae* Kim, maeng-hyun* Kang, young-sig* Shin, young-june* Koh, heui-se
 *Testing & Industrial Service Center in KERI **Dept. of Electrical & Electronics Eng. in Kyung N

Abstract - This paper describes the principles of reignition system which has newly been developed and used as KERI's high power testing facilities.

Synthetic short-circuit testing method is generally adopted to perform the short-circuit test of the ultra high-voltage circuit breakers, which consists of two separated sources such as the current source from short-circuit generator and the voltage source from charged energy in capacitor.

And, in case of synthetic short-circuit test, it will be necessary to use the reignition system in order to extending the arcing time of the circuit breaker and provide the arc energy equivalent to the direct testing method.

1. 서 론

전력계통의 신뢰도 향상과 안정적인 전기에너지 공급을 위해서는 계통의 고장전류를 차단하여 선로를 분리시키는 차단기의 역할이 매우 중요하다. 이러한 차단기의 차단성능은 대용량 단락발전기를 사용하여 계통에서 발생하는 고장조건을 모의하는 단락시험 설비를 이용하고 있다.

이러한 단락시험법은 그 방법에 따라 1) 독립된 에너지원, 즉 단락발전기로부터 전류와 전압을 공급하는 직접시험법(Direct test)과, 2) 별도로 분리된 에너지원, 즉 계통고장시 발생하는 대전류는 단락발전기가 공급하고, 고장전류 차단 후 발생하는 과도회복전압(Transient Recovery Voltage)과 회복전압(Recovery Voltage)은 콘덴서에 저장된 에너지를 이용하는 합성시험법(Synthetic test)으로 구분된다. 일반적으로, 배전계통에 사용되는 차단기는 직접시험법을 적용하고 송변전계통에 사용되는 차단기의 경우에는 합성시험법이 사용되고 있으며, 이러한 시험법의 구분은 단락발전기의 용량에 따라 시험시간에 적용을 달리하고 있다.

그리고 합성시험법은 전류원 전압이 보통 수십 kV 정도로 차단기의 정격전압보다 작기 때문에 짧은 아크시간 안에 전류가 차단되므로, 차단기의 접점에 발생하는 아크를 연장시켜 직접시험법과 동일한 아크에너지를 공급하여 예정된 전류영점에서 전류가 차단되어 전압원과의 합성이 가능하도록 하여 직접시험법과 동가성을 유지하는 것이 필수적이다. 이러한 아크연장을 위한 시스템을 재점화 장치(Reignition system)라고 하며, 이 장치는 상용주파수의 전류영점에서 수 kA 정도의 변화율(di/dt)이 매우 큰 고주파수의 전류를 중첩시켜 강제로 전류가 차단되지 않도록 하며 그 구성은 다음과 같다.

- 전압을 충전하기 위한 콘덴서와 충전 시스템
- 고속으로 콘덴서의 전압을 방전시켜 상용주파수 전류영점에서 고주파수 전류를 중첩시키기 위한 Spark-Gap
- 상용주파수 전류영점을 검출하여 Spark-Gap을 구동시키기 위한 시동장치

- 중첩되는 전류의 크기 및 시정수를 제어하는 방전저항으로 구성된다.

본 연구에서는 상기와 같은 아크연장을 위하여 개발되어 단락시험설비로서 사용되고 있는 재점화 장치의 구성, 동작원리 및 특성을 기술하고, 실제 단락시험시 적용 결과를 소개하고자 한다.

2. 본 론

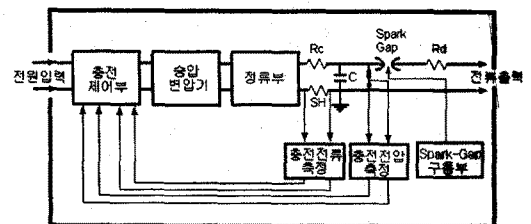
2.1 재점화 장치 구성

본 연구에서 개발된 재점화 장치의 Block별 구성은 다음과 같이 구분할 수 있으며, 그 구성은 표-1 및 그림-1과 같다.

- 1) 입력 전원부
- 2) 고전압 충전부 : 송압변압기, 정류기, 충전용콘덴서(C), 충전저항(Rc)
- 3) 충전전압과 전류를 제어하는 충전제어부
- 4) 전압/전류 측정부 : SH, 분압기
- 5) 아크연장전류 제어부 : Spark-Gap, 방전저항(Rd), 구동부

표-1 : 재점화 장치 구성 경격 및 특성

항 목	정격 및 특성	비 고	
입력 전원부	440/200V, 2kVA	차폐 변압기	
고전압 충전부	송압변압기	220/12000V, 1.5kVA	전압제어범위 : 10 - 150kVdc
	정류기	충전전류:10mA	
	전류제한저항	50kΩ	
	충전용콘덴서	150kV, 3.2μF	
충전제어부	150kV, 10mA	전압:10-150kV 전류:5-10mA	
전압/전류 측정부	SH 1kΩ VD 15000/1		
아크연장 전류 제어부	Spark-gap Air gap 방전저항 30Ω 구동부 에너지:270J		



Rc ----- 충전저항 Rd ----- 방전저항
 C ---- 충전용 콘덴서

그림-1 : 재점화 장치의 구성

2.2 각 부분의 구성

2.2.1 입력 전원부

입력 전원부는 440Vac를 입력으로 하여 440/220V 차폐 변압기를 사용하여 충전제어부를 통해 제어된 후 승압 변압기에 전압을 공급한다.

2.2.2 고전압 충전부

저압(220V) 전원 입력은 충전제어부에서 제어된 후 승압 변압기, 정류기, 충전저항으로 구성된 고전압 충전부에 공급되어 콘덴서에 10-150kV 까지의 전압을 충전시킨다.

2.2.3 충전 제어부 및 전압/전류 측정부

충전용 콘덴서에 전압을 충전하기 위해서는 충전전류를 정전류로 제어하여 시스템을 보호하여야 하며, 이를 위하여 충전전류는 5-10mA, 충전전압은 10-150kV 범위에서 설정/제어되도록 하였으며, 각각의 제어 블록 구성은 그림-2와 같다.

그림-2에서 SH와 VD에 의해서 측정된 전압과 전류신호는 광신호로 변환되고, 이 광신호는 Absolute value unit와 SCR 제어부에서 Voltage regulator의 Gate 제어용 광신호를 Gate drive system에 공급하며, 이와 같이 정전류 충전으로 결정되는 충전시간(T)는 식-(1)로 결정된다.

$$T = \frac{CV}{I} \quad (\text{sec}) \quad (1)$$

여기서, C : 콘덴서 용량 (μF)
V : 충전전압 (kV)
I : 충전전류 (mA)

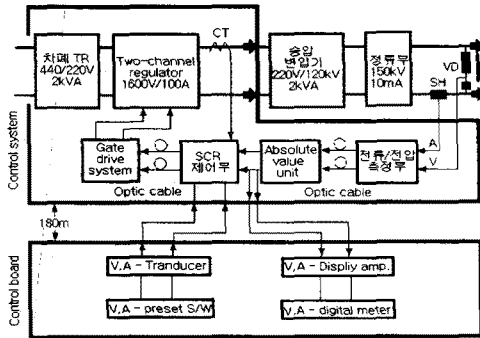


그림-2 : 충전 제어부 및 전압/전류 측정부

2.2.4 아크연장 전류 제어부

재점호 장치의 최종 출력인 고주파수 전류는 합성단락 시험시 차단기의 아크를 연장하기 위하여 최종 차단 전류점보다 0.5cycle 전 전류영점에서 중첩되어 차단기의 아크시간을 연장시킴으로서 전압원과 전류원이 합성되도록 하여야 한다. 이러한 기능을 위하여 전류영점에서 Spark-gap을 구동시키는 구동부와 방전되는 크기의 크기와 시정수를 제어하는 방전저항(Rd)이 필요하며, 그림-3은 구동부를 보여주고 있다.

그림-3에서 Spark-gap 구동부의 동작원리는,

- 1) 상용주파수 전류영점 전 약 100μs 전에서 전류영점 예측기로부터 발생된 펄스는 Transmitter에서 광신호로 변환된 후 Optic receiver에 전달된다.
- 2) Optic receiver에 전달된 광신호는 다시 전기신호로 변환되어 GTS의 Gate를 구동시키고, GTS에서는 25kV 펄스를 발생시킨다.
- 3) GTS에서 발생된 25kV 펄스에 의해서 Gap S/W가 Trigger되면 0.6μF에 충전된 270J의 에너지는 저항(1.0Ω)을 통하여 방전하면서 그림-1의 Spark-gap을

Trigger시킨다.

그림-3에서 Metal box내의 구동부 전원은 대지로부터 150kVdc의 절연을 유지하기 위하여, 5bar의 Air로 구동되는 Motor-Generator 시스템을 이용한 절연전원을 사용하여 외부 Noise로부터 오동작을 방지하도록 구성하였다.

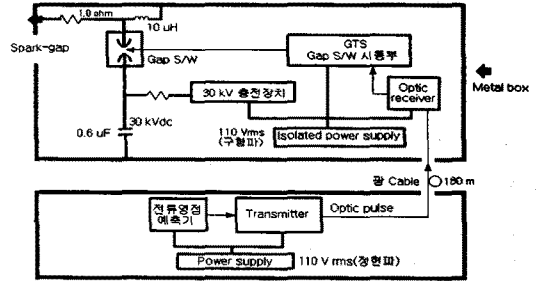


그림-3 : Spark-gap 구동부

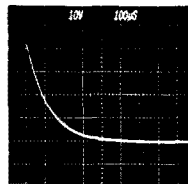
2.3 재점호 장치의 특성실험 결과 및 합성단락시험에서의 적용

2.3.1 재점호 장치의 특성실험

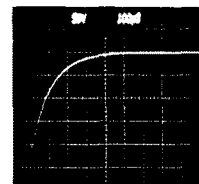
본 재점호 장치의 충전시스템 및 아크연장전류 특성은 표-2와 같으며, 식-1에 의해서 결정되는 충전시간과의 오차는 충전초기에 발생하는 과도한 돌입전류를 억제하여 시스템을 보호하기 위한 Soft-start 시간에 따른 것이다. 그리고 재점호 장치의 출력인 아크연장 전류는 그림-4와 같으며, 정류기에 따른 충전 극성에 따라서 발생전류를 Positive와 Negative로 설정하였다.

표-2 : 재점호 장치의 특성

충전전압 (V)	충전전류 (I)	충전시간 (T)	아크연장전류	
			크기	시정수
30kV	5mA	22sec	-	-
50kV	7mA	27sec	-	-
70kV	9mA	33sec	2.05kA	110μs
100kV	10mA	45sec	3.08kA	110μs
120kV	10mA	50sec	3.62kA	110μs
140kV	10mA	55sec	4.35kA	110μs



(A) 충전전압:120kV
충전극성:(+)



(B) 충전전압:120kV
충전극성:(-)

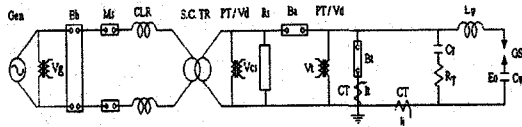
그림-4 : 아크연장전류

2.3.2 합성 단락시험에서의 적용결과

합성단락시험은 1)상용주파수의 대전류를 공급하는 전류원은 단락발전기를 이용하여 20kV 정도의 전압에서 차단기의 정격차단전류를 공급하며, 2)과도회복전압과 상용주파수 회복전압을 공급하는 전압원은 콘덴서에 저장된 에너지를 방전시켜 약 500Hz 정도의 주입전류를 발생시킨 후 정격전압에 상당하는 과도회복전압과 회복전압을 발생시킨다. 이 과정에서 전류원 전압이 차단기 정격에 비하여 매우 작기 때문에 인위적으로 아크를 연장시키기 위하여 재점호 장치를 사용하며, 이러한 합성단락시험의 회로 구성은 그림-5 (A)와 같다.

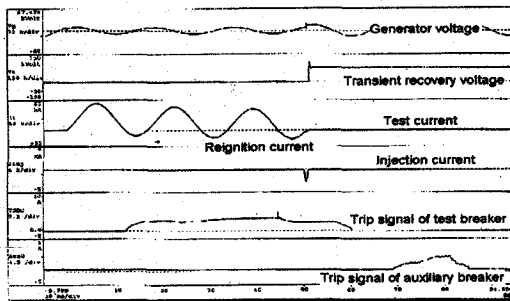
그리고 재점호 장치의 충전전압 극성은 아크연장 지점에서의 전류원 전류 기울기가 Positive일 경우에는 Positive, 전류원 전류 기울기가 Negative일 경우에는 Negative로 동일하게 설정하여야 한다.

그림-5는 국내에서 사용되고 있는 가스절연개폐장치(GIS:Gas Insulated Substation)용 차단기의 합성단락시험 결과로서 (A)시험회로, (B)시험전류 및 시험전압, (C) 아크연장전류를 보여주고 있다.

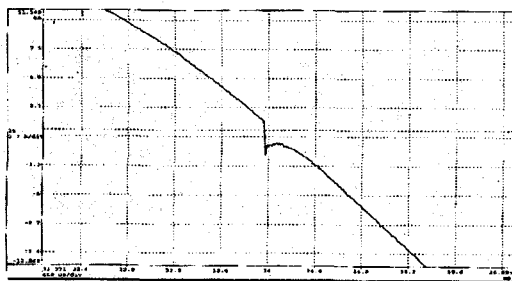


Gen	---- 단락발전기	Bb	---- 후비보호용 차단기
Ms	---- 투입스위치	CLR	---- 한류리액터
S.C TR	---- 단락변압기	Rs	---- 재점호 장치
Ba	---- 보조차단기	Bt	---- 시험용 차단기
Cv	---- 충전콘덴서	Lv	---- 공진리액터
Ct	---- 전압조정 콘덴서	Rr	---- 전압조정 저항
Eo	---- 충전전압	Gs	---- Main gap

(A) 합성단락시험 회로



(B) 시험전류 및 시험전압



(C) 아크연장 전류

그림-5 : 합성단락 시험 결과

3. 결 론

전력계통의 보호기기로 사용되는 차단기의 성능평가는 단락시험법을 사용하며, 특히 초고압 차단기의 경우에는 단락발전기를 포함한 설비용량의 한계로 인하여 전류원과 전압원을 분리하는 합성시험법을 사용한다. 이 경우에 있어서 계통 사고에서의 동일한 아크 에너지를 시험용 차단기에 공급하기 위해서는 재점호 장치가 필수적이다. 이러한 재점호 장치는 접지측으로부터의 Noise, 시험용 차단기의 차단실패시 발생하는 세지로 인해 재점호 시스템의 오동작 또는 고장이 빈번하였다. 그러나 본 논문에서 개발된 재점호 장치는 충전시스템을 방신타를 사용하여 정밀제어는 물론이고 외부 세지에 의한 고장을 제거할 수 있었으며, Spark-Gap 구동부는 대지로부터 200kVdc 절연된 전원을 사용하고 구동신호도 방신타를 사용함으로써 외부 Noise에 의한 오동작을 방지할 수 있었다. 이러한 재점호 장치의 개발을 통하여 한국전기 연구소의 합성단락시험의 효율증대와 함께 국내 중전기 제작사의 차단기 개발을 위한 성능검증에 크게 공헌할 것으로 사료된다.

(참 고 문 헌)

- [1] IEC 60427 : "Synthetic testing of high-voltage alternating current circuit-breakers", International Electrotechnical Commission(1989)
- [2] L.M.J. Vries and G.C. Damstra "A REIGNITION INSTALLATION WITH TRIGGERED VACUUM GAPS FOR SYNTHETIC FAULT INTERRUPTION TESTING" N.V. KEMA, R&D Division, Arnhem, The Netherlands (1985)
- [3] C. H. Flursheim "Power circuit breaker theory and design, second edition" Peter Peregrinus Ltd. (1982)
- [4] Klaus Ragaller "Current interruption in high-voltage networks" PLENUM PRESS, NEW YORK and LONDON (1978)
- [5] Thomas E. and Browne, JR. "Circuit interruption Theory and Techniques" MARCEL DEKKER, INC.