

800kV, 50kA 차단기의 전절연 검증을 위한 시험방법 검토

박승재*, 서윤택*, 윤학동*, 김용식*, 김맹현*, 고희석**
 *한국전기연구원, **경남대학교

Review about test method for the full-insulation verification of circuit breaker rated on 800kV, 50kA

Park Seung-Jae*, Suh Yoon-Taek*, Yoon Hack-Dong*, Kim Yong-Sik*, Kim Maeng-Hyun*, Koh Heui-Seog**

Abstract - In case of dead-tank circuit breaker with the earthed enclosure, the dielectric performance for phase to ground should be verified under the hot-gas condition produced by the current interruption. This test condition is required in breaking test duties with the rated short-circuit current and rated voltage. And, KERI has completed the reinforcement of the synthetic testing facilities and these facilities have the testing capacity which enables the full-pole testing for 800kV circuit breaker by adopting the series voltage injection method.

So, this paper introduced the test circuit and procedures about the full-pole and the multi-part testing method which was devised to estimate the full-insulation of phase-to-ground for the multi-pole and dead-tank circuit breaker.

1. 서 론

급속한 산업발전 및 문화생활의 향상에 따른 전력수요의 증가에 따라 전력계통의 대용량화 및 연계가 필수적이며, 또한 송전전압의 격상과 계통 단락용량의 증가가 수반되고 있다. 그리고 전력계통에서 보호용으로 사용되는 차단기의 단락전류에 대한 투입차단 성능평가는 국제전기위원회의 규격인 IEC(International Electrotechnical Committee) 62271-100 Edition 1.1(2003)에 규정된 방법에 따라 실시하고 있다[8]. 이러한 차단기의 성능을 평가하는 시험방법으로는 하나의 독립된 전원을 이용하여 전압과 전류를 발생시키는 직접시험법(direct test)과 전압원과 전류원이 별도로 구성된 2개의 전원을 이용하는 합성시험법(synthetic test)으로 구분된다[7].

초고압·대용량 차단기의 성능평가에 대해서는 시험설비 용량의 한계로 인하여 합성시험법을 이용하며, 특히 800kV급 차단기와 같이 복수의 단위소호부가 직렬로 구성된 다점절차단기의 경우에는 전압의 일부분만을 인가하는 단위시험법(unit test)을 사용한다. 그러나 단위시험법의 경우에는 충전부 극간의 차단성능을 검증하는데 있어서는 충분하지만, 외함이 접지되는 Dead-tank형 차단기에 대한 상·대지간의 절연성능은 검증할 수가 없다. 이러한 문제점으로 인하여 국제전기위원회도 Dead tank형 차단기의 시험평가 방법에 관해서 별도의 규격으로서 IEC 61633(1995)을 제정하였으며, 단위시험법을 이용하는 경우에 있어서 정격 단락전류를 차단할 때 발생하는 아크상태에서 상대지간의 절연성능 검증을 반드시 실시하도록 규정하고 있다[5, 6].

그리고 한국전기연구원은 2000년부터 합성차단시험용 전압원 회로의 용량을 증강시켜 전압주입법을 이용하여 국내의 800kV 선로용 초고압 차단기에 대하여 상대지간 및 극간의 차단성능을 Full-pole로 평가할 수 있도록 하였다.

따라서 본 논문에서는 Full-pole 및 Half-pole 시험에 있어서 전절연 검증을 위한 시험회로와 시험방안에 대해

여 기술하였다.

2. 본 론

2.1 합성차단시험법

초고압·대용량 차단기의 성능을 평가하기 위하여 전압원과 전류원을 별도로 구성하는 합성시험법은 전류를 중첩시키는 병렬전류주입법(parallel current injection method)과 전압을 중첩시키는 직렬전압주입법(series voltage injection method)으로 구분된다[1].

2.1.1 병렬전류주입법

병렬로 전류를 중첩시키는 합성차단시험법은 그림 1에 나타낸 바와 같이 시험전류를 공급하는 전류원 회로와 시험전압을 공급하는 전압원 회로가 병렬로 구성되어 있으며, 회로의 동작은 다음과 같다. 이 회로에서 전류원은 낮은 전압에서 상용주파수의 시험전류를 공급하고 전압원은 콘덴서에 충전된 전압을 이용하여 시험전압을 발생시킨다.

그림 1(b)는 이 방법에 대한 결과를 나타내는 전압과 전류 파형이다. 먼저 전류원이 상용주파수의 시험전류(ic(t))를 공급하고, 차단성능을 평가하기 위한 전류영점(t2)의 500~1000μs 이전 지점(t1)에서 갭 스위치(GS)를 동작시키면 전류원 회로의 상용주파수 시험전류와 전압원 회로의 고주파수 주입전류(iv(t) : injection current)가 중첩되어 시험용 차단기(Bt)에 흐른다. 이후 시험전류(i(t)=ic(t) + iv(t))의 영점(t2)에서 Bt가 차단하면 시험전압(v(t))이 극간에 인가되어 직접시험법과 동일한 결과를 얻게 된다.

합성차단시험용 전압원 회로의 주입전류는 영점에서의 기울기가 식(1)에 나타낸 바와 같이 상용주파수 시험전류의 영점에서 기울기와 같아야 한다. 따라서 주입전류의 주파수(fv)와 상용주파수 시험전류의 주파수(fc) 사이에 식(2)에 나타낸 바와 같은 관계가 성립하여야 한다.

$$\left[\frac{di_c(t)}{dt} \right]_{t=0} = \left[\frac{di_v(t)}{dt} \right]_{t=0} \quad (1)$$

$$f_v = f_c \cdot \frac{I_c}{I_v} \quad (2)$$

여기서,

I_c : 상용주파수 시험전류의 실효치

I_v : 주입전류의 실효치

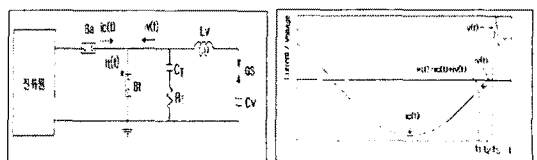


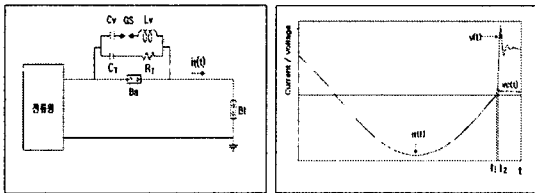
그림 1 : 병렬전류주입법을 이용한 합성차단시험
 Fig. 1 : Synthetic breaking test using parallel current injection method

2.1.2 직렬전압주입법

직접시험법과의 등가성이 우수한 방법은 전류주입법이지만, 이 경우에는 전류를 증첩시켜야 한다는 제약조건으로 인하여 시험설비의 구성에 있어서 대용량 및 고비용이 필요하다. 따라서 초고압·대용량 차단기의 경우에는 그림 2에 나타난 바와 같이 직렬로 전압을 증첩시키는 방법을 사용하며, 동작은 다음과 같다.

전류원 회로로부터 상용주파수 시험전류($i_c(t)$)가 Ba 를 통해 Bt 에 공급되고, 전류영점(t_1)에서 차단시키기 위하여 Ba 와 Bt 를 동작시킨다. 그리고 Ba 와 Bt 에 의해 시험전류가 차단되면 전류원 회로의 전압($v_c(t)$)이 전압원 회로의 R_T 와 C_T 를 통해서 Bt 에 인가되기 시작한다. 그리고 수 μs 이후의 지점(t_2)에서 갭 스위치 GS 를 시동시키면 콘덴서(C_V)에 충전된 전압이 L_V , C_T , R_T 를 통해 방전하면서 높은 시험전압($v(t)$)을 $v_c(t)$ 에 증첩시켜 Bt 에 인가한다.

이와 같이 낮은 전류원 전압에 높은 전압원 전압을 증첩시킴으로써 차단과정의 연속성 및 직접시험법과 등가성을 유지하기 위한 방법을 직렬전압주입법이라고 한다. 이 방법은 주입전류를 발생시키지 않기 때문에 전압원 회로의 에너지가 병렬전류주입법의 10% 정도로 작게 유지할 수 있다는 장점이 있다. 하지만 근거리선로고장과 같이 열과파 성능에 대한 검증이 필수적으로 요구되는 경우에는 적용하는데 있어서 한계가 있다.



(a) 시험회로 (b) 시험 전류와 전압

그림 2 : 직렬전압주입법을 이용한 합성차단시험법
Fig. 2 : Synthetic breaking test method using series voltage injection method

2.2 다점절 Dead tank형 차단기의 시험방법

차단기는 정격 전압이 높아질수록 한 극에 여러 개의 소호부를 직렬로 구성하여 전류를 차단하는 다점절 차단방식(multi-break)으로 설계한다. 이와 같은 방식에 있어서 단위 소호부에 발생하는 전압분포의 균형을 유지하기 위하여 병렬로 균압콘덴서(grading capacitor)를 설치하며, 단락전류를 차단할 때 발생하는 아크상태에서의 극간 및 상대지간 성능을 검증하기 위하여 다음과 같은 방법을 적용한다[4].

2.2.1 차단성능 검증

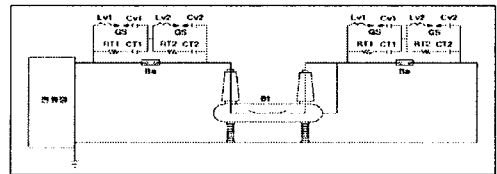
다점절 차단부의 극간 차단성능을 검증하기 위해서는 정격전압과 동일한 전압을 인가하는 Full-pole 시험이 가장 이상적이다. 하지만 시험설비의 용량한계가 있는 경우에는 단위소호부에 최대로 걸리는 전압으로 검증하는 단위시험법(unit test method)으로 성능을 평가할 수 있다. 이러한 단위시험법의 경우에는 차단과정에서 아크로 인해 구동부에 인가되는 기계적인 힘에 대하여 실제 조건과 동일한 스트레스를 인가하기 위하여 모든 소호부가 전류를 차단하도록 하여야 한다[2, 3]. 그러나 단위시험법을 적용하는 경우에는 차단과정에서 발생하는 아크에 의한 열가스 상태에서의 상대지간 절연성능에 대한 평가가 불가능하기 때문에 Dead tank형의 경우에는 별도의 시험이 필요하다. 즉, 다점절 차단기의 성능검증은 정격 단락전류를 차단하는 경우에 대하여 극간 성능뿐만 아니라 대지간 성능을 평가하여야 한다.

2.2.2 다점절 차단기의 시험방안

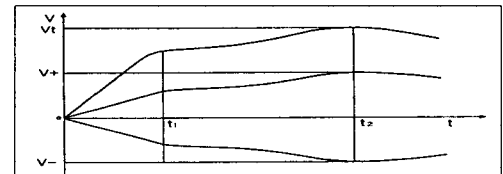
다점절 차단기의 단락전류 차단성능은 방법으로는, (1) 그림 3과 같이 극간을 Full-pole로 시험함으로써 동시에 상대지간의 성능도 평가할 수 있는 Full-pole 시험법과 (2) 그림 4와 같이 극간의 성능은 단위시험법을 이용하고 상대지간의 절연 성능은 별도로 평가하는 다단시험법(multi-part test)으로 구분할 수 있다.

2.2.2.1 Full-pole 시험법

그림 3은 극간과 상대지간을 동시에 평가하는 시험방법으로서 극간에 발생하는 전압이 충전부와 외함에도 동시에 인가되는 방법이다. 그림 3에서 알 수 있는 바와 같이 차단기의 한쪽 단자에는 50%에 해당하는 전압($V+$)을 인가하고 반대쪽 단자에는 외함과 충전부의 출력단자를 단락시킨 상태에서 나머지 50%의 전압($V-$)을 인가하는 방법으로서 극간과 상대지간에는 100%의 전압을 인가하는 방법이다. 따라서 모든 차단기 전체를 절연시켜야 하며, 차단기를 동작시키기 위한 전원은 및 제어장치는 시험전압에 대하여 절연을 유지하여야 한다. 그리고 이 시험방법에 있어서는 회로구성상 병렬전류주입법은 적용할 수가 없고 직렬전압주입법을 사용해야 한다. 이 방법은 차단기의 전 절연 성능을 검증하는데 있어서 가장 이상적인 방법이다. 하지만 반대쪽 단자에 50%의 전압($V-$)을 인가하고 또한 시험전류를 통전시키는 설비의 구성에 있어서 어려움이 있다.



(a) 시험 회로



(b) 전압분포

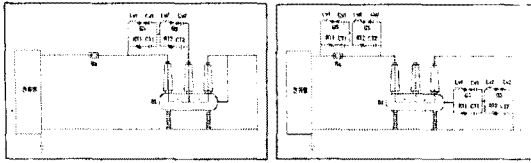
그림 3 : Full-pole 시험법
Fig. 3 : Full-pole test method

2.2.2.2 다단 시험법

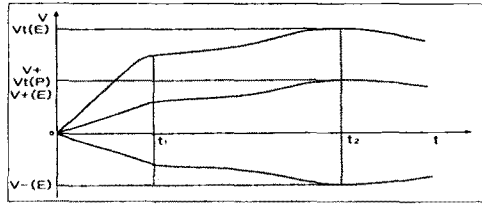
그림 4는 극간과 상대지간 성능을 분리하여 평가하는 방법으로서 먼저 그림 4(a)와 같이 단위시험법을 이용하여 50%의 전압으로 극간에 대한 성능을 평가한다. 이 시험방법에서는 차단기에 중앙부에 추가로 부상을 설치하여 50%의 전압($V+(P)$)을 인가하고 다른 쪽에는 외함과 함께 접지시켜 영전위가 되도록 한다. 그리고 Full-pole로 전류를 차단시켜 구동부에 인가되는 기계적 스트레스를 동일하게 유지한다.

그리고 상대지간 성능을 검증하기 위해서는 극간시험을 통하여 얻어진 아크시간과 동일한 조건으로 차단시험으로서 열가스에 의한 스트레스의 등가성을 유지시키고, 그림 4(b)와 같이 차단기의 한쪽 단자에는 50%에 해당하는 전압($V+(E)$)을 인가하고 외함에는 나머지 50%의 전압($V-(E)$)을 인가하여 상대지간에 100%의 전압($Vt(E)$)을 인가하는 방법이다. 이 때 반대쪽 단자는 접지시켜 영전위가 되도록 한다.

이 방법을 이용하는 경우에는 반대쪽이 접지되기 때문에 회로구성이 다소 용이한 장점이 있지만, 다수의 시험이 필요하다는 단점을 가지고 있다.



(a) 극간 성능검증회로 (b) 상대지간 성능검증회로

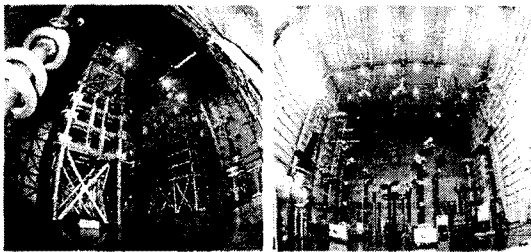


(c) 전압분포

그림-4 : 다단 시험법
Fig. -4 : Multi-part test

2.3 800kV, 50kA 차단기의 전절연 검증을 위한 방안

현재 국내에서 가장 높은 공칭전압 765kV 송전선로에서는 차단기의 정격은 800kV, 50kA로서, 한 극에 2개의 단위 소호부를 가진 2점절 방식로서 기존에는 단위시험법을 적용하여 극간의 성능만 검증하였지만, 향후에는 차단기의 전절연 성능을 검증하기 위한 시험방법으로서 2.2.2.1에 기술한 바와 같이 전압주입법을 적용한 Full-pole 시험법에 따라 시험하고자 한다. 표-1은 이러한 Full-pole 시험을 위한 회로 parameter이며, 그림 5는 전압원 회로를 구성하고 있는 시험장치를 보여주고 있다.



(a) 전압원 회로 (b) 시험실

그림 5 : 시험장치의 구성

Fig 5 : Arrangement of test facilities

이 방법을 적용하기 위해서는 전원과 제어장치는 최소 500kV의 절연을 유지해야 하기 때문에 모두 중전부에 설치하여야 하며, 특히, 차단기의 동작은 그림 6과 같이 광신호를 이용하여 제어하여야 한다.

이 시험에서 차단기의 개극위상의 제어하기 위해서는 합성차단시험에서 전류원으로 사용되는 단락발전기와 등기를 유지하여야 한다. 그림 6에서 Sequence timer는 발전기의 PMG(Permanent Magnetic Generator)에서 발생하는 신호를 감지하고, E/O Transmitter는 절연유지를 위하여 광신호로 변환한다. 이 광신호는 광 케이블을 통하여 차단기의 중전부에 설치되어 있는 O/E Transmitter에 송신되어 다시 전기신호로 변환되고 동작 coil에 공급되어 차단기를 동작시킨다.

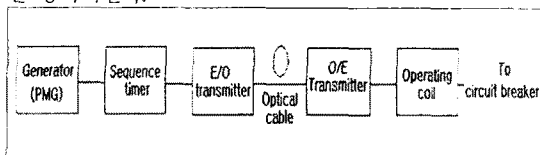


그림 6 : 차단기 동작용 제어장치 구성

Fig. 6 : Control circuit for circuit breaker operation

표-1 : 800kV 차단기의 Full-pole 시험을 위한 회로

Table-1 : Circuit for full-pole test of 800kV circuit breaker

고주파수 전압발생회로		저주파수 전압발생회로	
Ev1	220kV	Ev2	340kV
Cv1	6.03 μ f	Cv2	4.06 μ f
Lv1	84mH	Lv2	125mH
RT1	340 Ω	RT2	18 Ω
CT1	0.35 μ f	CT2	1.66 μ f

3. 결 론

초고압·대용량 차단기 산업분야에 있어서 국제 경쟁력 확보하기 위해서는 차단기의 소형화가 필수적이며, 이를 위해서는 성능평가 과정이 반드시 요구된다. 이러한 추세와 함께 본 연구에서 제안한 다점절 차단기의 전절연 검증을 위한 시험방법은 국내의 800kV 차단기에 대하여 기본적으로 Full-pole로 합성차단시험을 실시함으로써 성능을 완전하게 평가할 수 있을 것으로 사료된다. 이러한 시험방법에서 Full-pole 시험법이 계통의 조건과 동일하게 평가할 수 있는 방법으로서 가장 이상적이다. 하지만 특수한 경우에 있어서 단위 소호부간에 열가스의 이동이 없고 동작을 위한 구동 메카니즘을 별도로 구비하고 있는 경우에는 2.2.2.2에 기술한 다단시험법을 적용할 수도 있다.

본 연구에서 제안한 시험방법안은 2000년부터 정부의 지원으로 보강한 한국전기연구원의 단락시험설비를 이용하여 계통조건과 등가성을 유지하고 국제규격에 부합하는 성능평가를 실시하여 중전기기 업체를 지원할 수 있을 것으로 사료된다.

[참 고 문 헌]

- [1] L. Vander Sluis, G.C. Damster, H.W. Kempen, and W.A. Vander Linden, "Synthetic test methods : Experience and future developments," CIGRE Report 30, 1992
- [2] Klaus Ragaller, "Current interruption in high-voltage networks," PLENUM PRESS, NEW YORK and LONDON (1978)
- [3] C. H. Flursheim, "Power circuit breaker theory and design, second edition," Peter Peregrinus Ltd. (1982)
- [4] C. H. Flursheim, "Power circuit breaker theory and design, second edition," Peter Peregrinus Ltd. (1982)
- [5] Manganaro S., Mazza G., Mazoleni B., "Stresses on dead-tank circuit-breakers during fault-clearing," CIGRE Report 13-10, 1980
- [6] IEC 61633, 1995 : IEC-Guide for short-circuit and switching test procedures for metal-enclosed and dead tank circuit-breakers
- [7] IEC 60427, 2000 : IEC-Synthetic testing high voltage alternating current circuit breaker
- [8] IEC 62271-100 Edition 1.1, 2003 : IEC-High voltage alternating current circuit breaker