

362kV, 63kA 초고압차단기 투입차단시험

박승재*, 서운택*, 윤학동*, 김맹현*, 고희석**
*한국전기연구원, **경남대학교

Short-circuit making and breaking test for 362kV, 63kA circuit breaker

Park, Seung-Jae*, Suh, Yoon-Taek, Kim, Yoon, Hack-Dong*, Maeng-Hyun*, Koh, Heui-Seog**
*Korea Electrotechnology Research Institute, **Kyungnam University

Abstract - Testing capacity of KERI synthetic short-circuit testing facilities has been upgraded to fulfill the requirements up to 550kV, 63kA, 1-break circuit breaker ratings. Specially the current capacity was increased 50kA to 63kA and the full type test of 362kV 63kA circuit breaker(1-break) was firstly completed in domestic. Up to now, domestic manufacturers have depended on the foreign testing laboratory for performance verification of newly designed products.

This paper introduces the summary of the increased short-circuit testing facilities, the testing techniques and its results for the making and breaking performance of 362kV, 63kA circuit breaker which was performed according to IEEE C37.06(1999) used in North America.

1. 서 론

산업 발전 및 문화생활의 향상에 따른 전력 수요의 증가와 더불어 전력계통의 대용량화 및 계통의 연계는 필수적이며, 이와 더불어 송전전압의 격상과 계통 단락용량의 증가가 수반되고 있다. 국내의 송전전압도 765kV로의 승압이 이루어지고 있으며 345kV급 선로의 단락용량도 50kA 또는 63kA로 증가하고 미국 등 국내와 동일한 345kV 송전선로를 운영하고 있는 외국의 경우에도 63kA의 단락용량을 요구하고 있다. 이러한 추세와 함께 국내의 중전기 제작 기업들도 63kA 정격의 차단기 개발을 활발하게 진행하고 있지만, 국내의 한국전기연구원 설비용량 부족으로 성능 검증을 전적으로 외국의 시험 설비에 의존하고 있었다.

초고압 대용량 차단기의 성능평가 설비는 대단위 투자가 필요한 대형설비로서 국내의 초고압차단기의 성능평가시험기술은 한국전기연구원을 중심으로 1982년 단락시험설비가 완성되면서부터 기초적 수준을 개발하기 시작하였으며, 정부 및 한전 지원을 통해 1차 증설사업을 1992년에 완성함으로써 초고압 차단기의 3상 단락합성시험 및 단상 420kV 50kA Full-Pole차단기의 단락합성시험이 가능하게 되었지만 국제적인 추세에는 전압과 전류의 양면에서 다소 부족하였다. 이후 이러한 시험 용량 증대의 필요성에 따라 정부의 지원을 통하여 550kV, 63kA Full-pole 차단기의 단락합성시험을 실시할 수 있는 설비의 용량 보강을 2003년 완성하였고 국내 최초로 IEEE C37-06(1999)을 적용한 362kV, 63kA 차단기의 성능평가를 실시하였다.

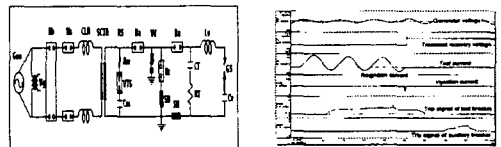
이러한 시험용량 증대를 위해서는 상용주파수 전류원 회로(단락 발전기, 변압기)와 전압원 회로(콘덴서, 충전설비)의 증강이 필요하며, 본 논문에서는 한국전기 연구원의 전류원과 전압원 회로의 시험설비 용량 증강, 건설사업 및 이를 이용한 362kV, 63kA 차단기의 시험 방법 및 결과 등에 대하여 기술한다.

2. 본 론

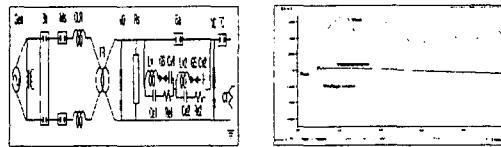
2.1 합성 단락시험 회로

단락 발전기를 주 전원으로 사용하는 단락시험 설비를 이용한 시험 방법은 전압과 전류를 한 개의 에너지로부터 발생시키는 직접시험법(Direct test)과 별도의 전원으로 부터 전압과 전류를 발생시키는 합성시험법(Synthetic test)으로 구분된다. 직접시험법은 단락 발전기로부터 전압과 전류를 동시에 발생시키는 방법으로서 시험용량의 한계를 가지고 있는 관계로 주로 배전급 차단기의 성능평가에 적용되며, 이러한 용량의 한계점을 극복하고 초고압 차단기의 성능 시험을 실시하기 위하여 전류원과 전압원을 별도로 구성하는 합성시험법이 사용된다.

그림-1(a)는 합성시험법으로서 가장 보편적으로 사용되는 전류주입법, 그림-1(b)는 전류 주입법의 대안으로 사용되는 전압 주입법의 시험 회로와 결과이다.



(a) 전류 주입법



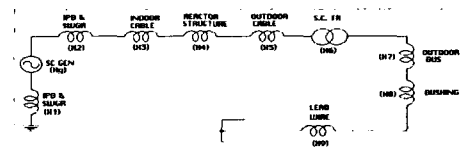
(b) 전압 주입법

그림-1 : 합성시험회로와 결과

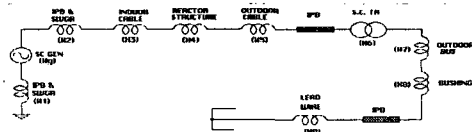
2.2 전류원 회로의 증설

2.2.1 전류원 회로의 단락전류

한국전기연구원 단락시험설비의 전류원 용량을 50kA에서 63kA로 증강하기 위하여 단락변압기의 1차와 2차를 역결선하는 방안을 채택하였다. 그림-2는 전류원 회로의 임피던스 분포로서, 그림-2(a)는 정결선(18/24kV), 그림-2(b)는 역결선(24kV/18kV)의 분포를 나타내고 있으며, 식-(1)과 식-(2)는 단상시험회로와 3상 시험회로의 단락전류 해석을 위한 식이다.



(a) 단락변압기를 사용하는 경우(정상결선 ; 18/24kV)



(b) 단락변압기를 사용하는 경우(역결선 ; 24/18kV)
 그림-2 : 전류원회로의 임피던스 분포도

$$I_{1\phi} = \sqrt{3} \left[\left(\frac{1}{x_d} - \frac{1}{x_d'} \right) e^{-\frac{t}{\tau_d'}} + \left(\frac{1}{x_d} - \frac{1}{x_d'} \right) e^{-\frac{t}{\tau_d}} + \frac{1}{x_d} \right] V_n \dots (1)$$

$$I_{3\phi} = \left[\left(\frac{1}{x_d} - \frac{1}{x_d'} \right) e^{-\frac{t}{\tau_d'}} + \left(\frac{1}{x_d} - \frac{1}{x_d'} \right) e^{-\frac{t}{\tau_d}} + \frac{1}{x_d} \right] V_n \quad (2)$$

여기서,

$$x_d'' = x_e + x_d'' + X_{C2} + x_{e2}$$

$$x_d' = x_e + x_d' + X_{C2} + x_{e2}$$

$$x_d = x_e + x_d + X_{C2} + x_{e2}$$

$$Tds'' = x_d''/x_d \times (x_d' + X_{C2}) / (x_d' + X_{C2}) \times Td'$$

$$Tds' = x_d'/x_d \times (x_d + X_{C2}) / (x_d + X_{C2}) \times Td'$$

In : 5.773 kA

x_{C2} : 발전기 역상 임피던스

x_{e2} : 외부 역상 임피던스

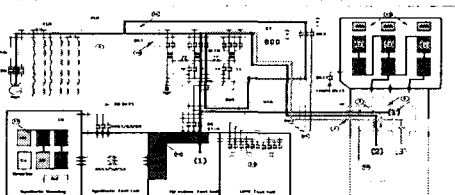
$x''e_2$: 발전기의 역상 임피던스 ($=x_{C2} + x_d'' = 2.7\%$)

$$\frac{Z_{TV}}{2} = x_{e2} : \text{단상 변압기에서의 역상 임피던스}(x_{eT})$$

x_e : 단락변압기이외의 역상 임피던스(x_{eT})

2.2.2 설비증설과 실험결과

전류원 용량 증가는 변압기의 역결선을 통하여 13.5kV 전압에서 3상, 53.2kA 및 단상, 64.5kA의 전류가 발생하도록 구성하였으며, 그림-3은 증설 후의 구성도, 표-1은 증설 전후의 전류원의 전류용량 비교이다.



(a) 전류원 구성도



(b) 단로기(24kV)



(c) 역결선용 BUS



(d) Test cell

그림-3 : 증강된 전류원 회로

표-1 : 용량 증강 후의 최대 시험용량

시험회로	증강 전		증강 후	
	시험전압 (kV)	시험전류 (kA)	시험전압 (kV)	시험전류 (kA)
단상	24.0	49.2	13.5	64.5
3상	24.0	45.7	13.5	53.2

2.3 전압원 회로의 용량 보강

합성 시험시 전압원 회로는 에너지를 저장하기 위한 콘덴서와 충전장치 및 주입전류와 전압을 조정하기 위한 Tuning element로 구성된다. 그림-4는 증설 후 전압원 회로의 구성도를 보여주고 있으며, 본 전압원 회로의 시험 용량은 단상, 550kV, 63kA의 전류주입법 시험이 가능하다.

도록 하였다.

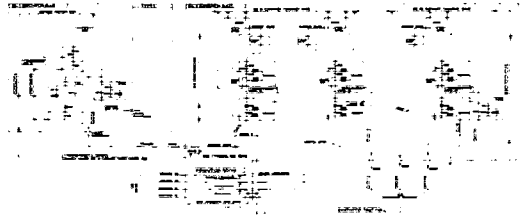
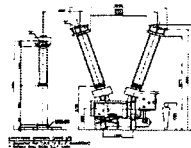


그림-4 : 증강된 전압원 회로

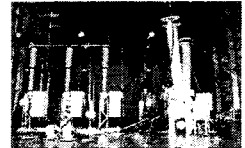
2.4 362kV, 63kA 초고압 차단기 성능평가

2.4.1 실험용 차단기

증강된 한국전기연구원의 합성단락시험설비를 이용하여 실시된 362kV, 63kA 초고압 차단기의 외형과 시험장면은 그림-5에서 보여주고 있으며, 표-2는 실험용 차단기의 주요 정격사양이다. 이 차단기의 성능평가는 미주 수출을 위하여 IEEE C.37.06(1999)의 시험 방법 및 규정을 적용하였다.



(a) 외형도



(b) 실험 장면

그림-5 : 시험용 차단기의 내부 구조와 시험 평가 장면

표-2 : 시험용 차단기의 주요 정격 및 사양

정격전압 / 정격차단전류	362kV, 63kA
정격 차단시간	2Cycle
정격 주파수	60 Hz
조작방식	유압조작방식
제어전압	125Vdc
정격 동작채무	O 0.3초 CO 3분 CO
SF6 가스압력	정격 : 0.5 MPa·G, 최소 : 0.45 MPa·G

2.4.2 IEC와 ANSI/IEEE 규격

전력용 차단기의 성능과 요건에 대하여 가장 보편적으로 사용되고 있는 IEC 62271-100(2001)과 IEEE C37.06(1999)은 1990년대 말부터 상호간의 차이점을 조화시키기 위한 협의가 활발하게 진행되어 많은 부문에서 조화를 이루고 있다. 표-3은 현재 통용되고 있는 양 규격에 대한 비교표로서 시험 항목 및 규정에 많은 조화를 이루고 있음을 알 수 있다.

표-3 : IEC와 ANSI의 비교

항목	시험항목	IEC	ANSI/IEEE
진상 소전류	케이블, 선로	시험회수:48회 전압배수:1.0 ~ 1.4 재점호 발생:회수 제한	시험회수:24회 전압배수:1.0 ~ 1.2 재점호 발생:과전압 제한
		근거리 선로 고장	52kV, 12.5kA 이상 시험채무:Leo, L75, L80 정격 동작채무로 시험
탈조		전압계수:2.0(점지계통) 2.5(비점지계통)	전압계수:2.0(점지계통)
		TRV:4 Parameter	TRV:2 Parameter
기본 단락 시험	T10	전압계수:1.3, 1.5 시험채무:정격 동작채무	전압계수:1.3 시험채무:2회(대칭) 1회(비대칭)
	T30		
	T60		
	T100s	전압계수:1.3, 1.5 시험채무:정격 동작채무	전압계수:1.3 시험채무:2회(대칭) 정격 동작채무
단상 단락	T100a	전압계수:1.3, 1.5 시험채무:3회(비대칭)	전압계수:1.3 시험채무:3회(비대칭)
	대칭	점지계통:상전압 정격차단전류 비점지계통:상전압 정격차단전류의 87%	상전압, 정격차단전류로서 대칭전류 차단
비대칭			상전압, 정격차단전류로서 비대칭전류 차단

2.4.3 실험 결과

2.4.3.1 고장전류 차단성능 평가

차단기의 핵심 성능은 지락 또는 단락 사고와 같은 계통 고장에 의해 발생하는 수십 kA 정도의 대전류 차단 성능으로서, 대전류 차단성능은 다음과 같이 차단전류와 전압의 2가지 측면에서 구분할 수 있다.

1) 차단전류

- 영점에서 전류 기울기
- 아크 최종 구간에서 전류 높이
- 아크 구간에서 Loop의 지속 시간

2) 전압

- 차단 직후 TRV 기울기와 침두치
- 회복전압

이러한 대전류 사고에 대한 고장 유형은 그 특성에 따라 다음과 같이 3가지로 구분된다.

- (1) 단자단락사고 : 차단기의 단자에서 발생하는 사고에 대한 성능 검증으로서 주로 열가스 상태의 내전압 절연 파괴에 대한 성능평가
- (2) 근거리 선로고장사고 : 차단기의 단자로부터 수백 m ~ 수 km 지점에서 발생하는 사고로서 높은 상승률의 삼각파 전압에 대한 성능으로서 열과파에 대한 성능평가
- (3) 탈조사고 : 계통의 동기 상실로 인해 발생하는 고장전류에 대한 성능으로서 높은 과도회복전압에 대한 내전압 절연파괴 성능평가

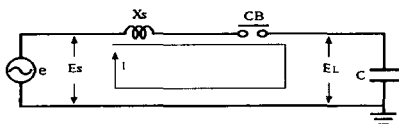
표-4는 차단기의 대전류 차단성능평가 결과로서 근거리선로고장전류 시험은 전류주입법으로 실시하였고, 그 외의 시험은 전압 주입법을 적용하여 실시하였다.

표-4 : 대전류 차단성능평가 결과

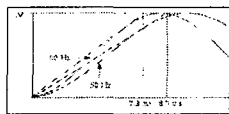
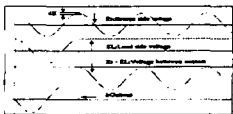
항목	시험 채우	시험전류			TRV		아크 시간 (ms)
		기울기 (A/μs)	침두치 (kAp)	시간 (ms)	E ₂ (kV)	T ₂ (μs)	
근거리 선로	L75	25.2	69.2	8.76	421	277	12.6-18.5
	L90	30.7	80.7	8.67	421	277	12.0-18.5
탈조	1	2.65	6.25	8.23	756	932	9.8-16.3
	2	8.58	24.7	8.58	756	932	10.4-17.6
기본 단락	1	3.43	8.51	8.21	642	159	10.5-17.2
	2	10.4	25.9	8.29	248	64	12.2-18.6
	3	20.9	54.2	8.42	589	195	12.0-19.0
	4	33.6	85.2	8.35	545	343	12.3-19.2
	5	32.5	115	10.5	541	604	12.3-21.5

2.4.3.2 소전류 개폐성능 평가

차단기의 요구되는 소전류 개폐요건은 무부하 계통의 capacitance에 의해 발생하는 진상소전류로서 전류 위상이 90도 앞선 전류이며 (1) 무부하 가공선로에서 발생하는 선로충전전류, (2) 무부하 지중선로에서 발생하는 케이블충전전류, (3) 역률조정용으로 사용되는 콘덴사군에 의한 콘덴사군전류로 구분할 수 있다. 이러한 진상소전류를 차단할 경우에는 그림-6에서처럼 전원측의 상용 주파수 교류전압(E_s)과 부하측의 Capacitance에 충전되는 직류전압(E_L)에 의해 극간에는 상용주파수 전압 침두치의 2배 전압(E_t=E_s-E_L)이 발생하며, 이 극간전압에 대한 재점화 성능 확보가 필수 요소이다.



(a) 동가회로



(b) 전압과 전류 파형 (c) 과도회복전압
그림-6 : 진상소전류 차단 현상

표-5는 실험용 차단기의 진상소전류 개폐성능 평가 결과를 보여주고 있으며, 대전류 차단성능 평가 결과에 비하여 아크시간이 아주 작은 것을 알 수 있다. 또한 전체 시험중 극간전압의 1/4Cycle 이후에 절연과파가 발생하는 재점화 현상은 없었다.

표-5 : 소전류 개폐성능 평가 결과

항목	채우	시험전류 (A)	시험전압 (kV)	TRV peak(kV)	극성 (회수)	아크시간 (ms)
케이블 충전	1A	76.7A	215	590	+(12)	1.0~8.2
	1B	255A	221	594	(12)	1.4~8.5
선로 충전	3A	84.5A	259	711	+(12)	1.6~8.7
	3B	253A	262	714	(12)	1.4~8.7

3. 결론

초고압 차단기의 투입 및 차단 성능 평가를 위한 합성 시험 설비를 국내에서 유일하게 보유하고 한국전기연구원 시험용량 증강으로 인하여 시험 용량 측면에서 단상시험으로는 Full-pole, 550kV, 63kA, 3상시험으로는 245kV, 63kA 차단기의 성능 평가가 가능하게 되었다. 이와 같은 설비 보강을 통하여 그 동안 국내 증전기 기 제작기업들이 새로운 제품 개발과정에서 큰 애로사항으로 작용해 온 대용량 차단기의 성능검증을 네델란드 KEMA나 이탈리아 CESI 같은 해외시험기관에 의존함으로써 발생하는 시간적, 경제적 비용 문제를 극복하는데 기여함으로써 기업의 경쟁력 확보에 크게 이바지할 것으로 사료된다. 금번 설비 보강 이외에 3상 시험용량을 증가시키기 위해서는 단락 변압기를 사용하지 않고 단락발전기만을 직접 전류원으로 사용하는 합성시험법에 대한 연구와 추가 설비 보강이 진행되어야 할 것이다.

[참고 문헌]

- [1] Maeng-Hyun, Kim 외 3인 "study on Reinforcement Scheme Of Current Source Circuit For Synthetic Short Circuit Test IEC, "
- [2] IEC, "IEC-High voltage alternating current circuit breaker", IEC62271 100, 2001
- [3] "High voltage alternating current circuit breakers - Guide for short circuit and switching test procedures for metal enclosed and dead tank circuit breakers", IEC 61633, 1995
- [4] R.Rallada, E. Brasca, S. Rovelli, V.Villa ; "Contribution to testing technique of high voltage circuit breaker the development of synthetic methods ", IEEE conference record of international symposium on high power testing volume I, July 1971, P111-119
- [5] Anderson, J.G.P et al Proc. ; " Synthetic testing of AC circuit breaker Part I. methods of testing and relative severity ", IEEE, vol. 113, No.4, 1966, P611-621
- [6] R. Ballada ; "A new fast and high current making switch for synthetic testing "Alta Frequenza n. 2, February 1975, pp. 107+111
- [7] ANSI C37.06, "AC high voltage circuit breakers rated on a symmetrical current basis Preferred ratings and related required capabilities", 2000
- [8] IEEE C37.09(1999); IEEE standard test procedure for AC high-voltage circuit breakers rated on a symmetrical current basis"