

개극시간 조정회로를 삽입한 축소형 가스절연 차단기

김정배, 김두성, 서경보, 양대일, 송원표, 김맹현\*, 고희석\*\*

Hyosung Corporation, \*KERI(Korea Electrotechnology Research Institute, \*\*Kyungnam University

Compact Gas-Insulated Circuit-Breaker adopting opening-time control circuits

Jung Bae Kim, Doo Sung Kim, Kyung Bo Seo, Dae Il Yang, Won Pyo Song, Maeng Hyun Kim, Hee Seok Ko

**Abstract** - High-voltage gas-insulated circuit-breaker must interrupt short-circuit current successfully when breakdown occurs in electric power system. Among many test-duties, Basic Terminal Fault T100a(BTF T100a) is the one of the severest duties because of its high DC component of short-circuit current. In this paper, we developed 245kV 50kA gas circuit breaker using control circuits to reduce DC component while interrupting short-circuit current, then got good performance through high-power tests in Korea Electrotechnology Research Institute(KERI) and KEMA

차단기와 관련된 규격으로는 ES150, IEC 62271-100, ANSI C37.04 등이 있으며, 이 중 IEC 62271-100이 가장 많이 적용되고 있다. IEC 62271-100에서 BTF T100a 시험 시 직류분은 아래와 같은 지수함수로 표현된다.

$$\%dc = 100 \times e^{-\frac{T_{op} + T_r}{\tau}} \quad (1)$$

여기서,  $T_{op}$ 는 첫 번째 개극 되는 상의 최소 개극 시간이며,  $T_r$ 은 정격 주파수의 1/2 cycle이다.  $\tau$ 는 시정수를 의미하며, 일반적으로 45ms값을 사용한다. 식 (1)의 직류분은 차단기 개극 시점에서의 값이며, 최소 개극 시간이 18ms인 50Hz 차단기의 경우에는 직류분이 54%가 되며, 최소 개극 시간이 30ms가 될 경우 직류분은 41%가 된다. 차단기 개극 후 차단기 극간에 발생하는 아크에너지는 전류의 제곱과 아크시간에 비례하므로, 동일한 아크시간에서 직류분이 54%에서 41%로 줄어들면, 아크에너지는 약 16%가 감소하게 된다. 최근의 차단기 개발에서는 축소화 및 저조작력화가 필수적인데, 이러한 차단기의 경우 BTF T100a 시험에서의 높은 직류분으로 인한 차단 실패 가능성이 매우 높으므로, 개극 시간 조정으로 인한 직류분의 감소는 매우 의미 있는 것이라 할 수 있다.

BTF T100a 차단시험에서 가장 중요한 것은 차단전류의 마지막 루프에서의 크기와 시간이며, 이는 시험을 실시하는 각 시험소마다의 회로 조건에 의해 개극 시점에서의 직류분을 정확히 모의한다 하더라도 그 값이 다를 수 있다. 이와 같은 문제로 인해 IEC의 관련 Technical Report<sup>1)</sup>에서는 Minimum clearing time(최소 개극시간 + 1/2 cycle + 첫 상 차단)의 최소 아크시간을 몇 단계로 구분하여 각 단계에서의 마지막 전류 루프에서의 전류크기와 시간을 명시하고 있다. 표 1은 시정수 45ms, 주파수 50Hz인 경우의 차단전류 마지막 루프에 대한 크기와 시간을 나타낸 것이다.

표 1. 시정수 45ms, 주파수 50Hz인 경우 BTF T100a의 마지막 루프 전류 크기와 시간

Minimum clearing time [ms]	마지막 루프 전류크기 [p.u.]	마지막 루프 전류 시간 [ms]	전류영점의 직류분 [%]	저감된 di/dt [%]
10.0<t≤22.5	1.51	13.5	44.6	92.6
22.5<t≤43.0	1.33	12.0	28.9	97.8
43.0<t≤63.5	1.21	11.5	18.7	99.6

a) Major loop

1. 서 론

가스절연 차단기는 전력계통의 고장 시 발생하는 대전류를 차단해야 하며, 고장이 발생할 수 있는 책무 중 기본단락시험 Duty 100a는 차단책무 중에서도 가장 가혹한 책무 중의 하나이다. 이 책무는 개극 시간에 따라 차단해야 하는 전류의 크기가 결정되는데, 현재의 차단기 대부분은 개극을 위한 트립 코일의 특성과 조작기 계통의 응답시간에 따라 개극 시간이 결정되는 구조이다. 이 구조는 개극 시간의 조정이 불가능하기 때문에 지나치게 개극 시간이 빠를 경우 정격 차단시간의 여유가 충분함에도 과도하게 큰 전류를 차단해야 하는 경우가 발생하여, 차단기의 조작력 및 크기가 커져야 하는 문제점이 생길 수 있다. 여기서는, 차단기 개극 시간 조정을 위한 회로과 이에 따른 차단부 축소화 및 성능평가에 대해 설명하고자 한다.

2. 본 론

2.1 개극 시간 제어회로를 채택한 초고압 차단기 설계

개극 시간과 주요 책무의 최대 아크시간과의 합을 차단기의 정격차단시간이라고 하며, 이 값을 기준으로 2 cycle 차단기, 3 cycle 차단기, 5 cycle 차단기 등으로 차단기가 구분된다. 정격차단시간이 짧을수록 고장 발생 시 전력 계통에 미치는 파급효과를 줄일 수 있는 장점이 있으나, 차단기의 동작시간과 차단 가능한 아크시간을 줄여야 하기 때문에 기기의 크기, 조작력 등이 상대적으로 커져야 하는 문제가 발생하게 된다. 또한 일부 기종의 경우에는 정격 차단시간에 여유가 있음에도 차단기의 개극 시간이 매우 빨라 기본단락시험 duty 100a(BTF T100a)의 직류분이 과도하게 되어, 차단 시 매우 불리한 조건이 되는 경우도 있어, 이를 해결하기 위한 방법으로 개극 시간을 조정하여 직류분을 낮추는 방법을 사용하였다.

2.1.1 기본단락시험 duty 100a의 직류분과 개극 시간과의 관계

Minimum clearing time [ms]	마지막 루프 전류크기 [p.u.]	마지막 루프 전류 시간 [ms]	전류영점의 직류분 [%]	저감된 di/dt [%]
10.0<t≤22.5	0.36	5.5	60.2	75.6
22.5<t≤43.0	0.59	7.5	37.9	89.9
43.0<t≤63.5	0.74	8.5	24.0	95.4

b) Minor loop

IEC 규격에서는 차단기 개극 시간에는 차단기의 구성에 필수적인 요소로써 개극 동작에 필요한 보조기기들의 동작 시간을 포함하며, 또한 이러한 개극 시간의 최소 값을 정하기 위해 시간 지연 장치 등의 사용을 허용하고 있다.<sup>2)</sup>

## 2.2 개극 시간 제어 회로 및 차단기 설계

### 2.2.1 개극 시간 제어 회로

그림 1은 일반적인 차단기 동작을 위한 흐름도와 개극 시간을 조정할 수 있는 보조 기기를 설치한 경우의 흐름도를 비교한 것이다. 일반적인 동작 회로에 개극 시간을 조정할 수 있는 타이머를 설치하여 1ms 단위로 개극 시간을 조정할 수 있도록 하였다.

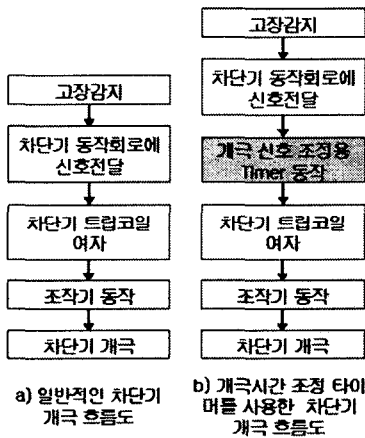


그림 1. 차단기 개극 동작 흐름도 비교

### 2.2.2 차단부 설계

유럽의 선진업체를 선두로 한 많은 차단기 제작업체에서는 원가절감 및 성능 향상을 위해 차단기의 축소화와 저조작력화를 지속적으로 추진해 왔으며, 국내에서는 최근 들어 기술의 자립화 및 경쟁력 확보 차원에서 지속적인 연구를 수행하고 있는 실정이다. 본 연구개발에서도 개극 시간 조정의 목적이 궁극적으로는 차단부의 축소와 저조작력화를 위한 것이기 때문에, 개극 시간 회로 구성과 함께 차단부의 축소화를 추진하였다. 표 2는 기존 당사의 170kV 차단기와 금번 개발에 성공한 245kV 차단기의 주요 제원을 비교한 것이다. 차단기 주요 부품인 퍼퍼실린더 내 체적은 약 44% 수준, 조작력은 약 65% 수준으로 감소시켰다. 조작력은 기존에 비해 약 35% 감소하였으나, 퍼퍼실린더 내 반력이 발생하는 면적의 감소, 구동 부 질량 감소시켜 속도는 오히려 20%이상 증가하도록 하였다. 속도를 증가시킨 이유는 차단부 이동 거리는 170kV 차단기와 동일하기 때문에 차단시 발생하는 높은 전압에 대한 절연내력을 확보하기 위함이다.

표 2. 당사 기존 170kV 차단기와 245kV 차단기의 주요 제원 비교

항목	170kV 차단기	245kV 차단기	비고
퍼퍼실린더 체적	1	0.44	단위 : p.u
차단부 이동거리	1	1	
조작력	1	0.65	
조작방식	유압	유압	-
주파수	60Hz	50/60Hz	-
첫 상 차단계수	1.3	1.3	-
적용규격	IEC 60056	IEC62271-100	170kV는 국내용

## 2.3 차단기 개발시험

### 2.2.1 국내 참고시험

차단기 제작 후 그 성능을 확인하기 위해 국내에서 참고시험을 실시하였다. 기본단락시험 T100s(BTF T100s), 근거리선로고장시험(SLF)의 책무의 차단전류는 차단기 개극 시간에 영향을 받지 않으며, 기본단락시험 T100a(BTF T100a)만이 개극 시간에 따라 차단전류가 영향을 받게 된다. 245kV 차단기의 개극 시간은 개극 시간 조정회로 사용 전에는 18ms이었으나, 조정회로 사용 후 30ms로 변경되어, BTF T100a 시험시 차단 전류의 마지막 major loop 에너지는 약 26% 감소하게 되었다. 표 3은 국내 참고시험의 결과를 정리한 것이다. 전류주입 합성시험법으로 가장 가혹한 조건에서의 성능을 확인하기 위해 차단전류는 50Hz, 주입전류는 60Hz로 시험을 실시하였다. 충전전류 개폐시험의 경우 전압계수 1.4로 최소아크시간 근처에서 주로 시험을 실시하였으며, 차단 시 재발호(Restrike)는 발생하지 않았다. BTF T100s와 SLF L90의 경우  $O_d=0.3$ 초-CuO<sub>2</sub>의 책무로 최대 아크시간에 대한 차단시험을 실시하였으며, 이 때 최대 아크시간에서 차단기 동작 부의 정체 현상이 발생하였으나, 차단은 성공적으로 이루어졌다. 기존 개발 시의 경험으로는 극간 스트로크 정체가 차단 실패의 주 원인으로 판단하는 경우가 많았으나, 당기종의 시험을 통해 스트로크 정체가 발생하더라도 차단 성능만 확보된다면 크게 문제가 되지 않는다는 것을 확인할 수 있었다.

표 3. 245kV 50kA 차단기 국내 참고시험 결과

시험항목	시험결과	실패원인	비고
충전전류 개폐시험	차단성공	-	C2 class (Very low probabilities of restrike)
BTF T100s	차단성공		
SLF L90	차단성공	-	-
BTF T100a	차단실패	직류분에 의한 대시간 및 극간 절연파괴	개극 시간 조정회로 미사용
	차단성공	-	개극 시간 조정회로 사용

### 2.2.2 해외 Certificate 시험

국내 참고시험을 통한 성능 확인 후 해외 공인기관인 네덜란드 KEMA에서의 개발시험을 실시하였다. 국제규

격 IEC 62271-100과 IEC 62271-308에 준하여, 50Hz와 60Hz 양 주파수에 대해 개발시험을 실시하였다. 시험 항목 및 결과는 표4와 같으며, 그림 2와 3은 개발 시험 시의 피시폼 개략도와 설치 상태를 각각 나타낸 것이다. 개발시험 시 전 시험 항목에 대해 양호한 성능을 확인하였으며, 국내에서는 최초로 245kV 50kA급에 대한 국제공인 Certificate를 획득하였다.

표 4. 245kV 50kA 차단기 KEMA 개발시험 항목 및 결과

시험항목	시험결과	주파수	비고
충전전류 개폐시험	양호	60Hz	C2 class (Very low probabilities of restriking), 50Hz도 인정됨
BTF T10	양호		50Hz도 인정됨
BTF T30	양호		
BTF T60	양호	50Hz/60Hz	50Hz, 60Hz 별도 실시
BTF T100s	양호	50Hz/60Hz	50Hz, 60Hz 별도 실시
BTF T100a	양호	50Hz/60Hz	50Hz, 60Hz 별도 실시
Out-of-phase Duty 2	양호	60Hz	50Hz도 인정됨
단시간 내전류 시험	양호	60Hz	130kAp, 50kArms, 1초

### 3. 결 론

본 논문에서는 축소형 및 저조작력 차단기 개발을 위한 차단기 개극 시간 조정회로의 사용 및 시험 결과에 대해 설명하였다. 해외에서는 복합소호 차단부를 적용한 저조작력 차단기가 일반화되어 있으나, 국내에서는 아직까지 이러한 세계적 경쟁력을 가진 제품이 매우 적은 것이 현실이다. 금번에 개발된 245kV 50kA 차단기의 경우 차단부는 기존의 퍼퍼형 실린더를 채택하고 있으나, 그 체적을 50% 이하로 줄여 아크에너지를 효율적으로 활용하고 이에 따라 조작력도 저감시키는 효과를 갖도록 하였다. 이러한 결과는 향후 선진업체와 동등한 수준의 복합소호 저조작력 차단기 개발에 이용될 수 있을 것이며, 현재 개발 중인 타 기종에도 확대 적용될 수 있을 것으로 예상된다.

### [참 고 문 헌]

- [1] International Electrotechnical Commission, "High voltage switchgear and control gear Part 308: Guide for asymmetrical short-circuit breaking test duty T100a", IEC 62271-308 Technical Report, pp25, 2002
- [2] International Electrotechnical Commission, "High voltage switchgear and control gear Part 100: High-voltage alternating-current circuit breakers", IEC 62271-100 Edition 1.1, pp49, 2003

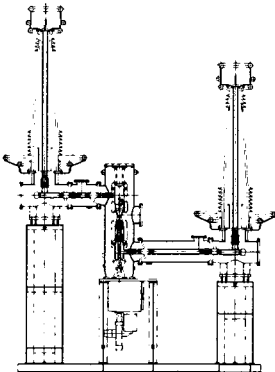


그림 2. 245kV 50kA 차단기 Layout

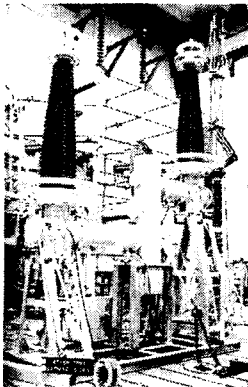


그림 3. KEMA 단락시험 후 차단기