

전류영점 영역에서 파퍼식 SF₆ 가스차단기의 아크 컨덕턴스에 관한 연구

논 문
59-2-16

A Study on Arc Conductance of Puffer Type SF₆ GCB at Current Zero Period

정진교* · 송기동* · 이우영* · 김규탁**
(Jin-Kyo Chong · Ki-Dong Song · Woo-Young Lee · Gyu-Tak Kim)

Abstract - The SLF(Short Line Fault) breaking capability test for high voltage class SF₆ GCB(Gas Circuit Breaker) was conducted. Simplified LC resonant circuit test facility was used for SLF breaking test. During test, Test current was measured by Rogowski coil and arc voltage was measured by voltage divider. Arc conductance was calculated by using these test results before 200ns at current zero. Critical arc conductance value at rated voltage 145kV class is about 2.3mS regardless of breaking current magnitude and arc conductance value at rated voltage 170kV class is about 2.6mS.

Key Words : SF₆ Gas Circuit Breaker, simplified synthetic test facility, Current Zero Period, Arc Conductance

1. 서론

초고압 전력계통에서 고장이 발생하는 경우, 고장전류를 차단하고 계통을 보호하기 위하여 SF₆ 가스차단기(이하 가스차단기)가 사용된다. 가스차단기는 고장전류를 차단하는 소호방식에 따라 파퍼식, 열평창식, 로타리아크식 그리고 이들 소호방식을 서로 결합한 복합소호식으로 구분된다. 현재는 그림 1과 같이 구조가 간단하고 설계제작이 용이한 파퍼식 차단부가 가장 많이 사용되고 있다.

가스차단기는 고전압 절연성능, 대전류 차단성능 그리고 소전류 차단성능을 보유하여야 한다. 여기서, 대전류 차단성능은 BTF(Breaker Terminal Fault) 차단성능과 SLF(Short Line Fault) 차단성능으로 나누어진다. 수치해석을 통하여 가스차단기의 SLF 차단성능을 예측하기 위해서는 가스차단기 내부에서 변화하는 가스의 유동변수 즉, 압력, 밀도, 온도 그리고 속도의 값을 정확하게 계산하여야 한다. 그중에서도 전류영점 영역에서의 아크변수는 가스차단기의 차단성능을 비교분석하는데 매우 중요하기 때문에 시험결과와 계산결과를 비교하여 결과에 대한 정확성을 검증하여야 한다. 결과를 비교하기 위해서 일반적으로 전류영점 직전에서의 아크 컨덕턴스(Arc conductance)의 값을 이용하거나 전류영점 후 발생하는 아크-후 전류(Post-arc current)의 값을 이용한다. 하지만 두 가지 방법 모두 극히 짧은 시간영역에서 미소한 값으로 나타나기 때문에 측정하는 것이 용이하지 않다.^{[1][2]}

가스차단기의 정격전압은 일정하게 유지하고 차단전류의 크기 그리고 아크 유지시간을 변경해 가면서 SLF 차단성능 시험을 수행하였다. 가스차단기에 대한 SLF 차단성능 시험

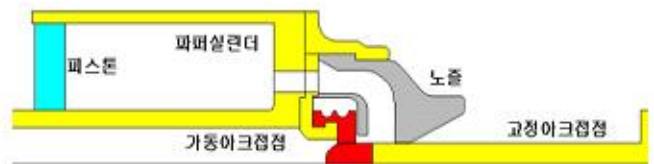


그림 1 파퍼식 차단부의 형상
Fig. 1 Geometry of puffer type GCB

은 간이 합성시험설비를 이용하여 수행되었으며, 시험전류는 로고우스키 코일(Rogowski coil)을 이용하여 시험전압은 분압기를 이용하여 각각 측정하였다. 측정된 전류와 전압의 결과로부터 전류 영점 200ns 이전에서 아크 컨덕턴스의 값을 계산하여 정리하였다.

2. 본론

2.1 간이 합성시험설비의 널림(Stray)-L 계산

전류중첩법의 원리를 적용한 간이 합성시험설비는 그림 2와 같은 회로도도 표현된다.^{[3][4]}

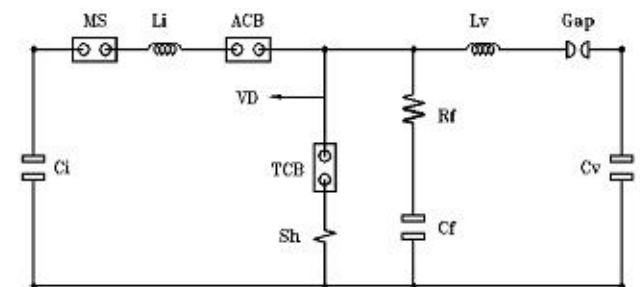


그림 2 간이 합성시험설비 회로도
Fig. 2 Circuit diagram of simplified synthetic test facility

† 교신저자, 정회원 : 한국전기연구원 선임연구원
E-mail : jkchong@keri.re.kr

* 정 회 원 : 한국전기연구원 책임연구원

** 펠로우회원 : 창원대학교 전기공학과 교수

접수일자 : 2007년 0월 00일

최종완료 : 2007년 0월 00일

시험용차단기 TCB(Test Circuit Breaker)를 기준으로 왼쪽은 시험전류를 공급하기 위한 전류원 회로를 보여주고 있으며, 오른쪽은 주입전류 및 과도회복전압을 공급하기 위한 전압원 회로를 보여주고 있다. 시험전류는 커패시터 C_v와 리액터 L_i의 공진특성에 의하여 만들어져 시험용차단기에 공급되며, 과도회복전압은 커패시터 C_v와 리액터 L_v의 공진특성에 의하여 만들어진 1/2주기의 주입전류가 시험용차단기에 공급된 후, 극간에 인가된다. 여기서 과도회복전압의 상승률 즉, dv/dt는 회로정수 R_f, C_f에 의하여 조정된다. 시험용차단기에 흐르는 시험전류는 셉트 S_h에 의하여, 과도회복전압은 분압기 V_D에 의하여 측정된다.

시험용차단기 TCB가 동작하지 않은 조건에서 측정된 전류와 전압의 파형(5ms/div)을 그림 3에 나타내었으며 그림 3의 사각형 영역의 측정결과(200μs/div)를 그림 4에 나타내었다.

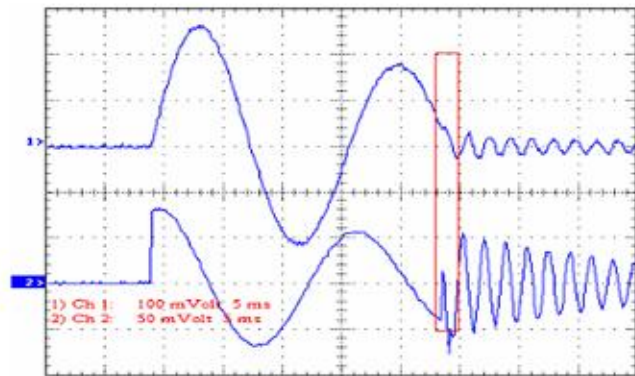


그림 3 시험결과(TCB 동작 안함)
Fig. 3 Test Result(Without TCB Operation)

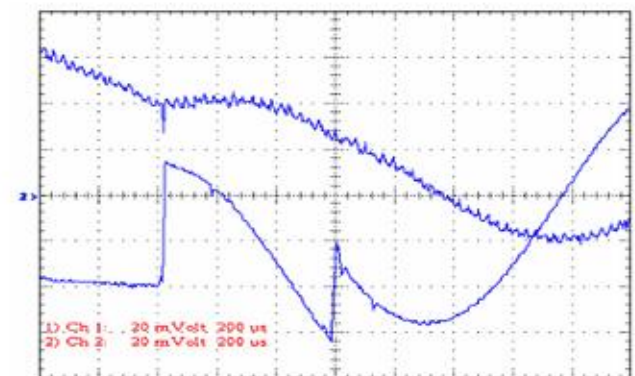


그림 4 시험결과 (그림 3 네모 영역)
Fig. 4 Test Result (box of Fig. 3)

그림 3에서 1번 파형은 셉트 S_h에서 측정된 시험전류의 크기, 2번 파형은 분압기 V_D에서 측정된 전압의 크기를 각각 보여주고 있다. 2번 전압파형과 시험전류 파형에는 약 90도의 위상차가 발생하고 있는데 이는 차단기의 내부 구조 그리고 시험회로의 결선에 의하여 필연적으로 발생하는 널림-L 성분에 의한 것이다.

널림-L에 대한 크기를 계산하기 위하여 EMTP-ATP를

이용하였다.^[6] 간이 합성시험설비의 전류원 회로에 대한 EMTP-ATP회로는 그림 5와 같다. 분압기 V_D와 셉트 S_h(0.63mΩ) 사이에 널림-L의 성분이 삽입되어 있는 것을 볼 수 있다. 측정결과와 동일한 위상차를 발생시키는 널림-L의 크기는 0.009mH정도가 되는 것을 확인하였으며, 계산결과를 그림 6에 나타내었다.

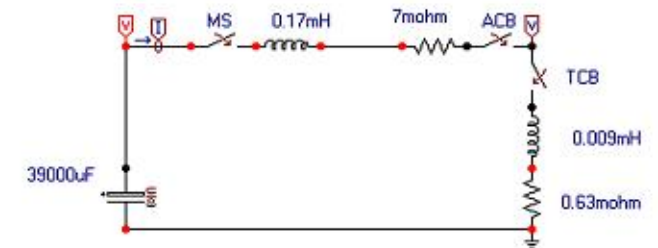


그림 5 널림-L 계산을 위한 회로도
Fig. 5 Circuit diagram for stray-L calculation

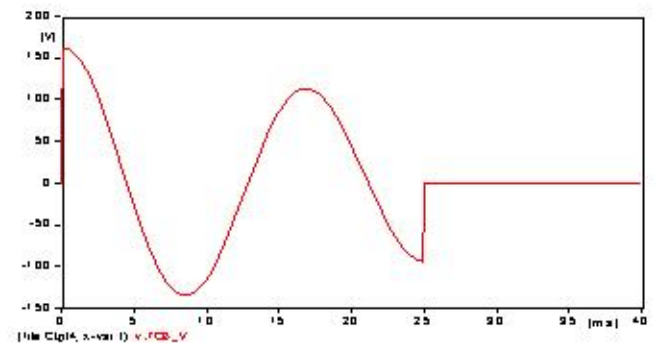


그림 6 분압기 V_D에서의 전압파형
Fig. 6 Voltage waveform at Voltage Divider V_D

다음으로 합성시험을 수행하는 동안 전류 영점에서 널림-L에 의하여 발생하는 전압의 크기를 계산하였다. 이 전압의 크기는 차단기가 동작할 때 발생하는 이크에 의한 전압이 아니기 때문에 이크 컨덕턴스를 계산할 때 빼주어야 한다. 널림-L이 삽입된 합성시험 회로도도 구성하면 그림 7과 같다. 전류 영점에서 널림-L에 의하여 발생하는 전압의 크기에 대한 결과를 그림 8에 나타내었다. 전류 영점에서 전압의 크기는 18V가 되는 것을 알 수 있다.

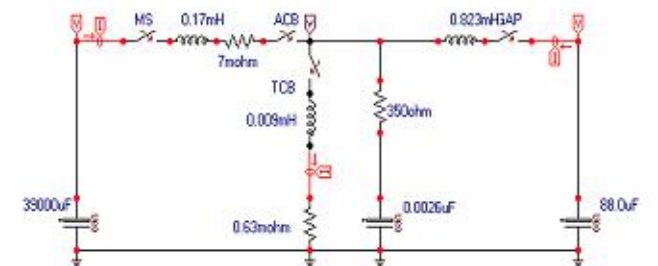


그림 7 EMTP-ATP 합성시험 회로도
Fig. 7 EMTP-ATP circuit diagram for synthetic test

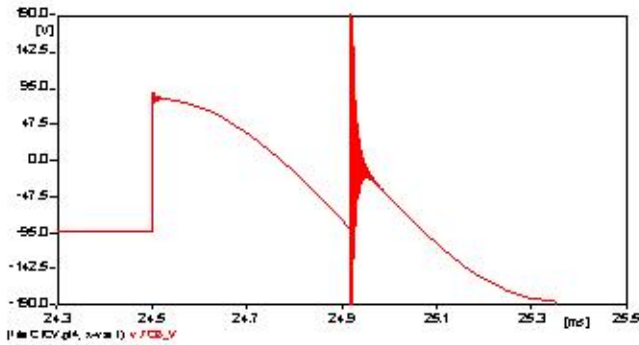


그림 8 전류영점 영역에서의 전압
Fig. 8 Voltage at current zero period

2.2 로고우스키 코일의 특성 변수 M 계산

전류영점 영역에서의 전류를 측정하기 위하여 로고우스키 코일을 이용하였다. 로고우스키 코일의 출력은 식 (1)과 같은 전압의 형태로 출력된다.

$$v_{out}(t) = M \frac{di(t)}{dt} \quad (1)$$

로고우스키 코일의 특성변수 M 값은 로고우스키 코일을 통과하는 시험전류의 파형과 로고우스키 코일의 출력단자에서 측정된 전압의 파형을 비교하면 계산이 가능하다. 로고우스키 코일을 관통하여 흐르는 전류와 출력단자에서 측정된 전압의 파형을 그림 9에 나타내었다.

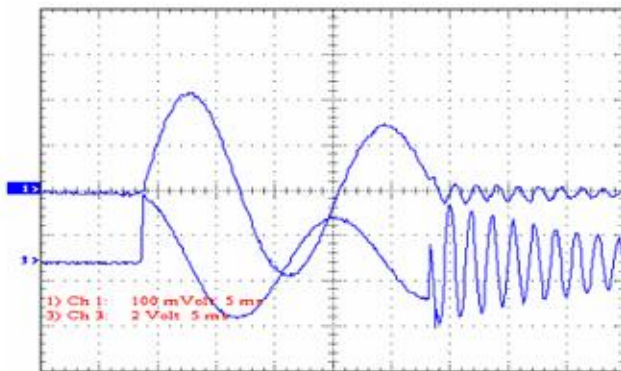


그림 9 전류와 로고우스키 코일의 출력
Fig. 9 Current and Output from Rogowski coil

로고우스키 코일의 출력파형을 적분한 후, 시험전류의 크기와 비교함으로써 계산된 M 값은 $M = 2.062 \cdot 10^{-7}$ 이다.

2.3 아크 컨덕턴스 계산

간이 합성시험설비를 이용하여 SLF 차단성능 시험을 수행하였다. 시험전경은 그림 10과 같으며, 전류 영점영역에서 측정된 파형(1 μ s/div)를 그림 11에 나타내었다.



그림 10 시험설비의 전경
Fig. 10 View of the Test Facility

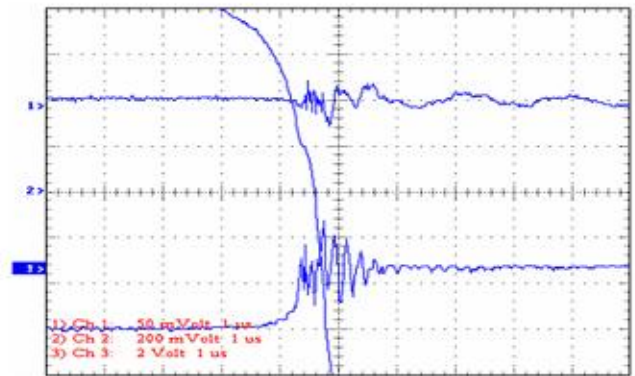


그림 11 전류 영점 영역에서의 측정결과
Fig. 11 Test Result at Current Zero Period

그림 11에서 1번 파형은 셉트 S_h 에 의하여 측정된 전류의 크기, 2번 파형은 분압기 V_D 에 의하여 측정된 전압의 크기 그리고 3번 파형은 차단기의 출력단자에 설치한 로고우스키 코일에서의 측정된 전압의 크기를 각각 보여준다. 셉트 S_h 에 의하여 측정된 파형에서는 전류의 영점 위치를 판단하는 것이 용이하지 않기 때문에, 분압기에서 측정된 전압파형과 로고우스키 코일에서 측정된 전압파형을 이용하여 아크 컨덕턴스를 계산하였으며 결과를 그림 12에 나타내었다.

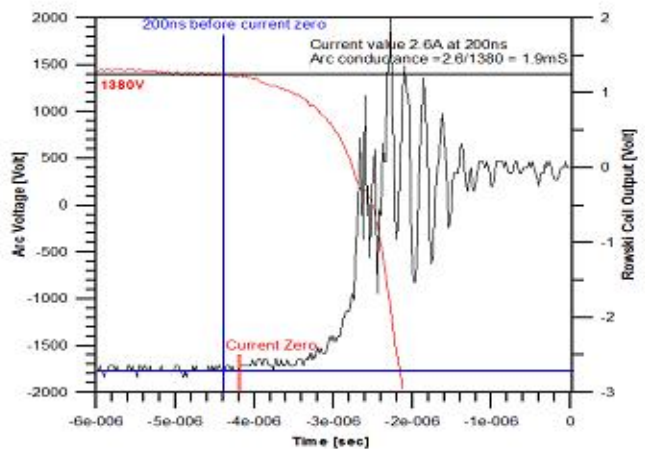


그림 12 아크컨덕턴스 계산
Fig. 12 Calculation of arc conductance

먼저, 로고우스키 코일의 특성변수 $M=2.062 \times 10^{-7}$ 를 적용하여 di/dt 의 값을 계산하면 $13.0A/ns$ 가 되며, 전류 영점 200ns 이전에서의 전류의 값을 계산하면 $2.6A (= 13.0A/ns \times 0.2ns)$ 가 된다.

다음으로, 분압기에서 측정된 전압파형에 분압기의 비율 (2000:1)을 적용하고, 널링-L에 의한 전압의 크기 186V를 제거한 후, 전류 영점 200ns 이전에서 전압의 크기를 계산하면 1380V의 값이 된다. 결과적으로 전류 영점 200ns이전 에서 아크 컨덕턴스의 값을 계산하면 $1.9mS$ 가 되는 것을 알 수 있다.

2.4 아크 컨덕턴스의 계산 결과

정격전압은 145kV로 고정하고 차단전류의 크기(25kA, 31.5kA, 40kA) 그리고 아크 유지시간을 변경해 가면서 차단 성능 시험을 수행하였다. 측정된 결과로부터 전류 영점 200ns 이전에서 아크 컨덕턴스를 계산하여 그림 13에 나타내었다. 여기서 기호 O는 차단에 성공한 경우 그리고 기호 X는 차단에 실패한 경우를 보여준다.

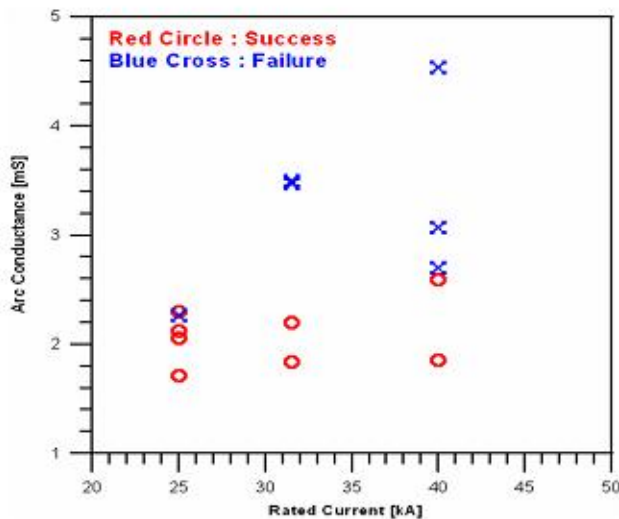


그림 13 아크컨덕턴스의 계산 결과
Fig. 13 Calculation results of arc conductance

그림 13의 결과로부터 차단전류의 크기 및 아크 유지시간에 크기에 관계없이 아크 컨덕턴스의 값이 약 $2.3mS$ 보다 작은 경우에는 차단시험에 성공하고, 아크 컨덕턴스의 값이 $2.3mS$ 의 값보다 크면 차단에 실패하는 것을 볼 수 있다.

다음으로, 정격전압은 170kV로 설정하고 차단전류의 크기(25kA, 31.5kA, 40kA)와 아크 유지시간을 바꾸어 가면서 차단성능 시험을 수행하였다. 동일한 방법을 적용하여 계산된 결과를 그림 14에 나타내었다.

그림 14의 결과에서는 차단에 성공하고 실패하는 경계 아크 컨덕턴스의 값이 $2.6mS$ 가 되는 것을 볼 수 있다.

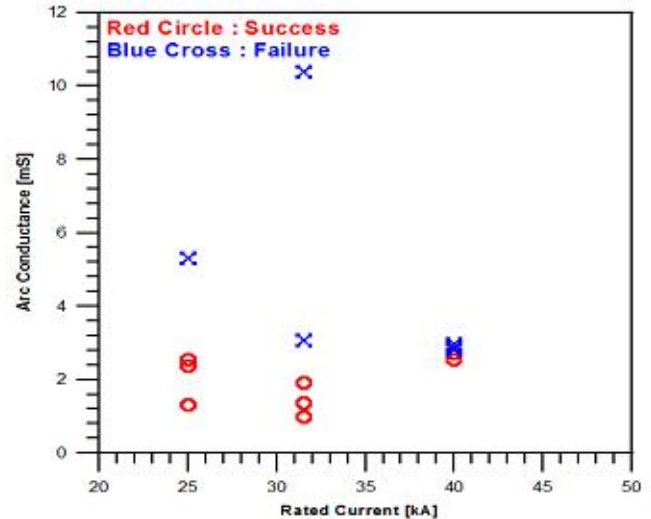


그림 14 아크컨덕턴스의 계산결과
Fig. 14 Calculation results of the arc conductance

3. 결 론

간이 합성시험설비를 이용하여 가스차단기에 대한 SZF 차단성능 시험을 수행하였다. 로고우스키 코일을 이용하여 측정된 전류 그리고 분압기에 의하여 측정된 전압을 이용하여 전류영점 200ns 이전에서 아크 컨덕턴스를 계산하여 결과를 비교하였다.

정격 차단전류의 크기(25kA, 31.5kA, 40kA)와 아크 유지시간의 크기에 관계없이 정격전압 145kV에서는 전류 영점 200ns 이전에서 경계 아크 컨덕턴스의 값이 약 $2.3mS$, 정격전압 170kV에서는 약 $2.6mS$ 가 되는 것을 알 수 있다.

이러한 시험결과는 향후, 수치해석 프로그램의 정확성을 검증하는데 매우 유용하게 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] R.P.P. Smeets, Susumu Nishiwaki, "Short-Line Fault Interruption Assessment of High-Voltage Circuit Breakers by Means of Current Zero Analysis" International Colloquium, pp 104-111 CIGRE SC A3, 2003
- [2] R.P.P. Smeets, V. Kertesz, "A New Arc Parameter Database for Characterization of Short-Line Fault Interruption Capability of High-Voltage Circuit Breakers", A3-110, CIGRE 2006
- [3] IEC 62271-101 Synthetic testing
- [4] IEC 62271-100 High-voltage alternating-current circuit-breakers
- [5] 정진교, 이우영, 김규택, "SF6 가스 차단기의 아크저항에 관한 연구" Trans. KIEE, Vol. 56, No. 9, pp1566-1570, SEP, 2007

저 자 소 개



정진교 (鄭 鎭 敎)

1967년생, 1991년 강원대 공대 전기공학과 졸업(학사), 1994년 강원대 대학원 전기공학과 졸업(석사), 현재 한국전기연구원 전기기기연구센터 선임연구원
E-mail : jkchong@keri.re.kr



송기등 (宋 基 東)

1963년생, 1988년 인하대 공대 전기공학과 졸업, 1990년 인하대 대학원 전기공학과 졸업(석사), 2003년 부산대 대학원 전기공학과 졸업(공학박사), 현재 한국전기연구원 전력기기연구센터 책임연구원.
E-mail : kdsong@keri.re.kr



이우영 (李 佑 暎)

1957년 10월 2일생, 1980년 경북대 전자공학과 졸업, 1982년 동 대학원 전자공학과 졸업(석사), 1982년~현재 한국전기연구원 전력기기연구센터 책임연구원
E-mail : wylee@keri.re.kr



김규탁 (金 奎 卓)

1961년 11월 12일생, 1982년 한양대학교 공대 전기공학과 졸업, 1984년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사), 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사), 1996 ~ 2000년 일본 早稻田大 客員研究員, 현재 창원대학교 공대 전기공학과 교수,
E-mail : gtkim@sarim.changwon.ac.kr