

# Small-Gap을 이용한 가스차단기에서의 열가스 속도측정에 관한 연구

論 文  
55B-3-5

## A Study on A Hot Gas Velocity Measurement in GCB Using Small-Gap

鄭 鎮 教<sup>†</sup> · 金 洪 樞<sup>\*</sup> · 宋 基 東<sup>\*\*</sup> · 朴 敬 燁<sup>\*\*\*</sup> · 洪 正 杓<sup>§</sup>

(Jin-Kyo Chong · Hong-Kyu Kim · Ki-Dong Song · Kyong-Yop Park · Jung-Pyo Hong)

**Abstract** - SF<sub>6</sub> gas circuit breakers are widely used for short circuit current interruption in EHV or UHV power system. For a SF<sub>6</sub> gas circuit breaker development, the hot gas velocity measurement is necessary during SF<sub>6</sub> gas circuit breaker's trip operation. Small-gap flashover characteristics are used for this hot gas velocity measurement. This study shows the hot gas velocity measurement results during SF<sub>6</sub> gas circuit breaker's trip operation.

**Key Words** : SF<sub>6</sub> 가스차단기, Small-Gap 방전특성, 열가스 속도측정

### 1. 서 론

초고압 전력계통에서 고장이 발생하는 경우, 고장전류를 차단하고 전력계통의 설비를 보호하기 위하여 일반적으로 SF<sub>6</sub> 가스차단기(이하 가스차단기)가 사용된다. 가스차단기의 기본적인 차단원리는 다음과 같다. 가스차단기에 동작신호가 입력되면 조작장치가 동작하게 된다. 동시에 링크에 의하여 연결된 노즐 및 파퍼실린더가 같이 움직이게 된다. 이동하는 파퍼실린더와 고정된 피스톤의 상호작용에 의하여 SF<sub>6</sub> 가스가 압축되고 압축된 SF<sub>6</sub> 가스는 절연재질의 노즐을 통하여 아크점점 사이에서 발생한 아크에 분사된다. 분사되는 압축 SF<sub>6</sub> 가스는 고장전류의 크기가 0이 되는 순간에 아크를 소호하게 된다. 아크가 소호된 후, 아크점점사이에 과도회복전압(Transient Recovery Voltage)이 인가되는데 재점화(restrike) 현상이 발생하지 않고 이 과도회복 전압을 견디어 내면 차단기는 최종적으로 고장전류의 차단을 성공하게 된다.

가스차단기를 개발하는 과정에서 가장 중요한 것은 가스차단기가 이동하는 동안에 가스차단기 내부에서 변화하는 유동 파라미터(압력, 밀도, 온도, 속도 등)의 값을 정확하게 분석하여야 한다. 가스차단기에 고장전류가 공급되지 않는 무부하 조건에서는 SF<sub>6</sub> 가스의 물리적 특성이 변하지 않기 때문에 수치해석의 과정에 큰 문제는 없지만, 차단기에 고장전류가 인가되어 아크점점 사이에서 아크가 발생하는 유부하 조건에서는 아크에너지에 의하여 SF<sub>6</sub> 가스분자가 해리되

면서 SF<sub>6</sub> 가스의 고유특성을 상실하게 된다. 따라서 수치해석의 결과에 대한 타당성을 입증하기 위해서는 측정된 열가스의 속도와 비교 분석되어야 한다. 하지만 국내에서는 가스차단기 동작 시 발생하는 열가스의 속도측정에 대한 측정설비 및 측정결과가 전무한 실정이다.

본 연구에서는 열가스의 이동속도를 측정하기 위하여 소형전극(이하 small-gap)의 방전특성을 측정하기 위한 Small-gap 측정시스템을 이용하였으며, 가스차단기가 동작하는 동안 발생하는 열가스의 이동속도를 small-gap의 방전조건의 변화로부터 근사적으로 측정하였으며 관련 연구내용을 정리하였다.

### 2. 본 론

가스차단기가 동작하는 동안에 발생하는 열가스의 속도를 측정하기 위해서 간이합성시험설비를 이용하였다. 간이합성시험설비는 가스차단기의 성능을 평가하기 위하여 이용하는 설비로서 현재 국내에는 5개 회사에서 활용하고 있으며 전체적인 시험설비의 회로도도 그림 1과 같다. 시험용차단기(TCB)를 기준으로 왼쪽은 시험전류의 공급 및 차단을 위한 전원원 공급회로를 보여주고 있으며, 오른쪽은 차단기 양극간에 인가되는 과도회복전압의 공급을 위한 전압원 공급회로를 보여주고 있다.

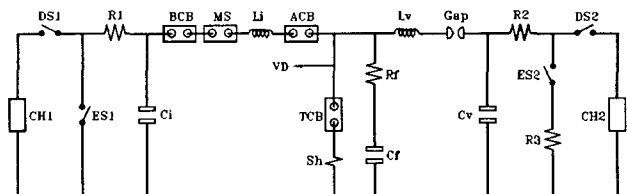


그림 1 간이합성시험설비 회로도

Fig. 1 Circuit diagram of simplified synthetic testing facility

† 교신저자, 正 會 員 : 韓國電氣研究院 先任研究員

E-mail : jkchong@keri.re.kr

\* 正 會 員 : 韓國電氣研究院 先任研究員

\*\* 正 會 員 : 韓國電氣研究院 責任先究員

\*\*\* 正 會 員 : 韓國電氣研究院 責任先究員 Group長

§ 正 會 員 : 昌原大學校 電氣工學科 副教授

接受日字 : 2005年 11月 30日

最終完了 : 2006年 2月 3日

열가스의 속도를 측정하기 위해서는 가스차단기에 고장전류에 해당하는 시험전류가 공급되어야 한다. 시험전류의 공급은 간이합성시험설비의 전류원 회로를 이용하였다. 시험전류의 주파수 및 크기를 계산하기 위하여 전류원 회로에 대한 수치해석을 수행하였다. 수치해석은 RLC 직렬회로 방정식을 이용하였으며, 그림 2는 전류원 회로해석을 위한 회로정수의 값을 보여주고 있다.

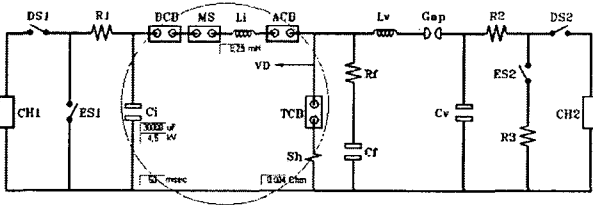


그림 2 전류원 회로의 해석  
Fig. 2 Analysis of current source circuit

시험전류의 주파수는 식  $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$  를 이용하여 60[Hz]로 설정하였으며, 전류원 회로를 구성하는 회로저항의 값은 케이블 길이에 의한 저항, 단자대 접촉저항, 커패시터 배크의 결선저항 등에 의하여 변하기 때문에 정확한 값을 결정하는 것은 불가능하다. 본 연구를 위하여 사용된 시험설비의 회로저항은 근사적으로 4[mΩ]이 된다. 시험전류의 크기는 시험차단기의 정격차단전류의 크기로 결정되는데, 본 연구에서는 1.5사이클 영역에서 시험전류의 크기를 26[kA<sub>rms</sub>]로 설정하였다. 주어진 주파수 조건 60[Hz]를 만족하는 회로정수의 값을 계산하면 전류원 커패시터의 용량은 30,000[μF], 리액터의 크기는 0.23[mH]가 되며, 전류원 커패시터의 충전전압을 4.5[kV]로 설정할 경우, 1.5사이클 영역에서 약 26[kA<sub>rms</sub>]의 값을 가지는 것을 알 수 있다. 시간에 따른 시험전류의 변화를 그림 3에 나타내었다.

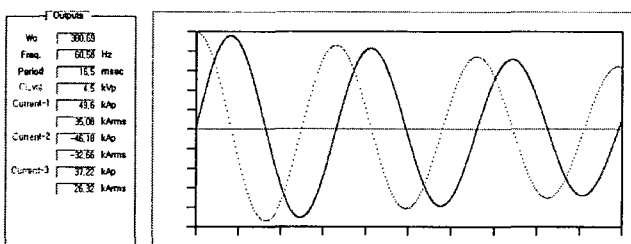


그림 3 전류원 회로해석 결과  
Fig. 3 Calculation result of current source circuit

가스차단기에서 시험전류를 차단하는 동안 발생하는 열가스의 이동속도를 측정하기 위해서 small-gap에서의 방전전압을 측정하는 "small-gap 측정시스템"<sup>[1]</sup>을 이용하였다. small-gap 측정시스템은 간이합성시험설비의 전압원 회로를 변형하여 구성하였으며, 측정시스템의 회로도도 그림 4와 같다. 측정시스템의 회로정수는 참고문헌 [1]에서 제시된 값을 이용하였으며, 전극간 거리 0.3[mm], SF<sub>6</sub> 가스압력 6[kgf/cm<sup>2</sup>abs.]조건에 대한 시험결과를 활용하였다.

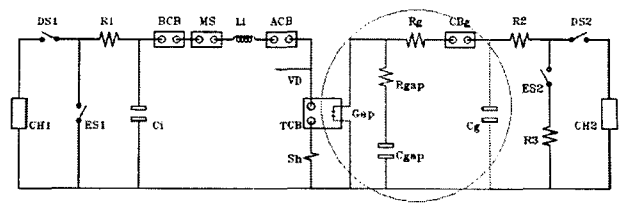


그림 4 전압원 회로를 이용한 small-gap 측정시스템  
Fig. 4 Small-gap measuring system using voltage source circuit

가스차단기의 내부에서 발생하는 열가스의 이동속도를 측정하기 위하여 시험용 가스차단기의 내부 3곳에 small-gap을 설치하였다. 그림 5는 가스차단기가 투입(close)되어 있는 상태에서 파퍼식 가스차단기의 내부구조 및 small-gap이 설치된 위치를 보여주고 있다. 가스차단기에 동작(트립)신호가 입력되면 고정되어 있는 피스톤에 대하여 파퍼실린더, 가동아크접점(MAC), 노즐의 형상이 왼쪽으로 이동하면서 시험전류의 차단이 이루어진다.

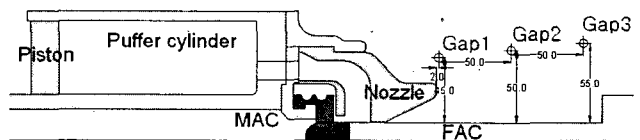


그림 5 차단부 형상 및 small-gap의 설치 위치  
Fig. 5 small-gaps position and shape of GCB

그림 6은 가스차단기 내부에서 발생하는 열가스에 의하여 차단기의 내부에 설치된 3개의 small-gap의 방전특성을 측정하기 위한 시험설비의 전경을 보여준다.

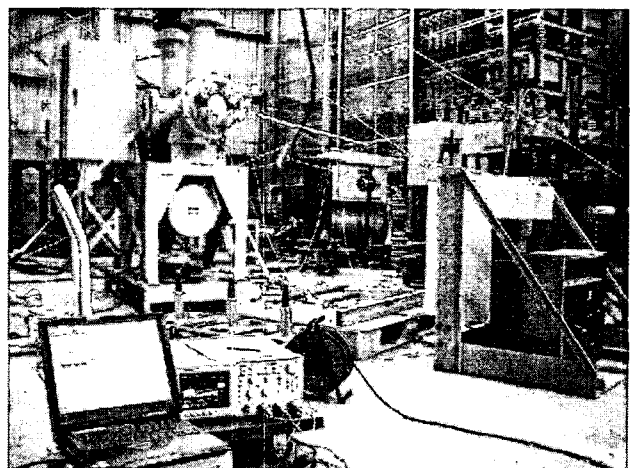


그림 6 열가스 속도측정을 위한 시험설비의 전경  
Fig. 6 Configuration for hot gas velocity measurement

간이합성시험설비의 전류원 커패시터의 충전전압을 4.5kV로 충전하고, 차단기의 아크접점 사이에 발생하는 아크시간(차단시점을 기준으로)을 9.0ms로 설정하여 특성시험을 수행한 시험결과는 그림 7과 같다. 시험전류의 크기는 36.4-32.0-26.0[kA<sub>rms</sub>]로 감소하고 있으며 그림 3의 해석결과와 잘 일

치하고 있음을 알 수 있다.

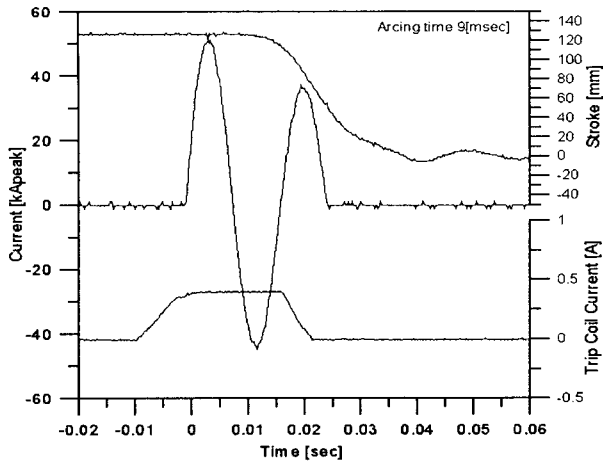


그림 7 측정결과에의 예 (아크시간 9.0[ms])  
 Fig. 7 Measured result ( arcing time 9.0[ms] )

그림 7과 같은 시험전류 및 아크시간의 조건에서 발생한 열가스는 노즐을 통하여 외부로 방출되면서 차단기 내부에 설치된 3개의 small-gap의 방전조건을 변화시키게 된다. 이때의 측정결과를 그림 8에 나타내었다.

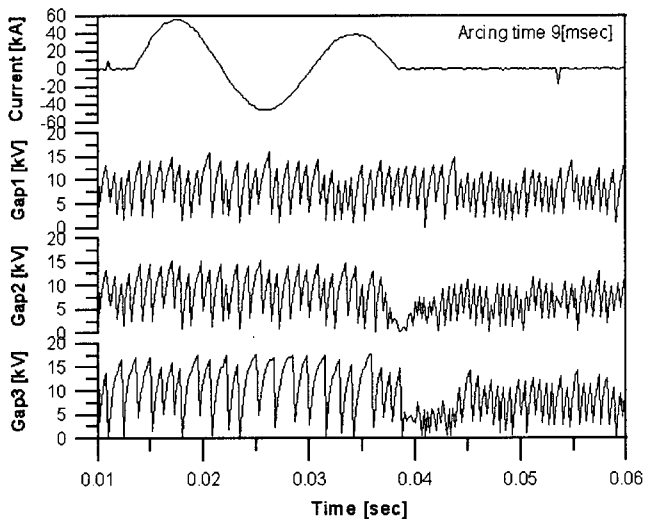


그림 8 small-gap에서의 방전전압 파형  
 Fig. 8 Flashover voltage of 3 small-gaps

Gap1에서의 방전전압은 시험전류의 차단이 진행되는 동안 전혀 변화가 없음을 볼 수 있다. 다음으로 Gap2의 변화를 시험전류의 아크시간 9.0[ms]와 비교하면 아크점점이 분리된 후 8.2[ms]이후에 열가스가 통과하면서 전극의 방전조건을 변화시켰음을 볼 수 있다. 열가스에 의하여 Gap2의 방전전압이 변한 후 약 1.3[ms]지나서 Gap3의 방전전압이 변화되었음을 볼 수 있다. Gap2를 통과한 열가스가 Gap3를 통과했다고 결정하기 어렵기 때문에 정확한 속도의 값을 얻을 수는 없다. 하지만 Gap2, Gap3의 시험결과로부터 가스 차단기가 시험전류를 차단하는 동안에 발생하는 열가스는 근사적으로 38.5[m/s]( 50[mm]/1.3[ms] )의 속도로 이동하였음

을 알 수 있다.

시험전류의 크기 및 아크시간을 바꾸어 가면서 특성시험을 수행한 결과로부터 아크점점이 분리한 후부터 Gap1, Gap2, Gap3의 방전전압이 변화되기 시작하는 시간을 표 1에 정리하였다.

표 1 시험전류 및 small-gap의 동작시간  
 Table 1 Current magnitude & small-gap's acting time

시험전류[kArms]			아크시간 [msec]	동작시간[msec]		
1차	2차	3차		Gap1	Gap2	Gap3
36.4	31.9	26.0	09.0	-	7.8	9.1
36.8	31.9	25.1	11.0	7.6	8.1	10.5
36.4	31.0	24.2	13.0	11.0	7.9	9.2
37.3	31.0	22.0	14.5	11.5	8.6	10.2

Gap2와 Gap3의 측정결과로부터 아크시간에 따른 열가스의 이동속도를 정리하면 그림 9와 같다.

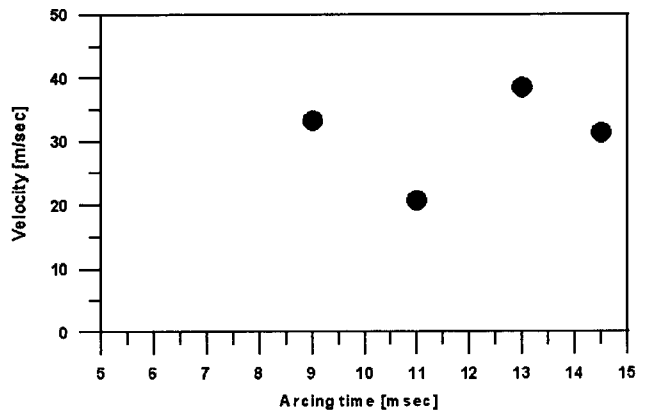


그림 9 아크시간에 따른 열가스 이동속도  
 Fig. 9 Hot gas velocity and arcing time

시험전류의 차단시점이 되는 3차 루프에서의 전류의 크기는 평균적으로 24.3[kA<sub>rms</sub>]가 되며, 아크시간이 9-15[ms]인 범위에서 열가스는 평균적으로 31[m/s]로 속도로 이동하고 있음을 알 수 있다.

### 3. 결 론

가스차단기가 시험전류를 차단하는 동안에 발생하는 열가스의 이동속도를 측정하기 위하여 small-gap 측정시스템을 이용하였다. 시험전류는 간이합성시험설비의 전류원 회로를 이용하여 공급하였으며, small-gap 측정시스템은 전압원 회로를 변형하여 구성하였다. 3개의 small-gap Gap1, Gap2, Gap3를 가스차단기의 내부에 설치하였으며, 시험전류를 차단하는 동안 small-gap에서의 방전전압의 변화를 측정하였다. 이들 방전전압의 변화로부터 열가스의 이동속도를 근사적으로 측정하였다. 시험전류의 크기가 평균적으로 24.3[kA<sub>rms</sub>]이고 아크시간이 9-15[ms]인 영역에서 열가스는 평균적으로 31[m/s]로 이동하고 있음을 알 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] 정진교, 김홍규, 송기동, 이우영, 박경엽 " SF<sub>6</sub> 가스차단기에서 가스 속도측정을 위한 Small-Gap 측정시스템에 관한 연구", 전기학회논문지 54B권 3호 2005년 3월
- [2] 박경엽, 신영준, 장기찬, 정진교, 최영길, " LC공진회로를 이용한 단락시험의 등가성에 관한 연구" 한국전기연구소 Oct. 1996.
- [3] T. Yoshizumi, "Hot Gas Flow Analysis IN SF<sub>6</sub> Gas Circuit Breaker During The Short Circuit Interruption", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 4, No. 3, pp. 1757-1763, July 1989.
- [4] G.J. Cliteur, "Calculation of the Uniform Breakdown Field Strength of SF<sub>6</sub> Gas", IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 5, No. 6, pp. 843-849, December 1998.
- [5] Toshiyuki Uchii, "Effects of Hot SF<sub>6</sub> on Post-Arc Circuit Breaker Design", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 19, No. 1, pp. 124-130, January 2004.
- [6] M. Okamoto, "COMPUTER SIMULATION PHENOMENA ASSOCIATED WITH HOT GAS IN PUFFER-TYPE GAS CIRCUIT BREAKER", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 6, No. 2, pp. 833-839, April 1991.
- [7] Yasushi Hayashi, "Investigation of Hot-Gas Flow in SF<sub>6</sub> Gas Circuit Breakers" IEE of Japan Power & Energy'95, pp269-274,
- [8] Yasushi Hayashi, "Diffusion Process of Hot-Gas Flow During the Short Circuit Current Interruption of SF<sub>6</sub> Gas Circuit Breaker", GD95, I pp390-393, Sep. 1995



송기동 (宋基東)

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



박경엽 (朴敬燁)

1957년생. 1979년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1993년 영국 Liverpool 대학 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 현재 한국전기연구원 신전력기기연구그룹 그룹장(책임연구원)  
E-mail : kypark@keri.re.kr



홍정표 (洪正杓)

1959년 4월 17일생. 1983년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1985년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1995년 동 대학원 전기학과 졸업(공학박사). 현재 창원대 공대 전기공학과 부교수  
E-mail : jphong@sarim.changwon.ac.kr

저 자 소 개



정진교 (鄭鎭敎)

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



김홍규 (金烘桂)

1969년생. 1995년 서울대 공대 전기공학과 졸업(학사). 1997년 서울대 대학원 전기공학부 졸업(석사). 2001년 서울대 대학원 전기공학부 졸업(공학박사). 현재 한국전기연구원 신전력기기연구그룹 선임연구원.  
E-mail : kimhk@keri.re.kr