

72.5kV 20kA 전철용 가스차단기의 압력상승 측정 및 소전류 차단성능해석

송기동, 박경엽, 정진교, 오연호, \*민길식, \*박기엽  
한국전기연구소 스위치기어연구팀, \*LG산전(주) 초고압개발팀

Pressure-Rise Measurement and Analysis of Low Current Interruption Capability of a 72.5kV 20kA Gas Circuit Breaker for Electrical Railway System

K.D. Song, K.Y. Park, J.K.Chong, Y.H. Oh, \*K.S.Min, Ki.Y. Park  
KERI, Switchgear Research Team, \*LG Industrial Systems Co., Ltd.

**Abstract** - This paper presents the results of the measured pressure-rise and the analyzed results of the cold gas flow-field in a 72.5kV 20kA gas circuit breaker for the electrical railway system. The analysis of cold gas flow field and the calculation of electric field strength have been performed in 3 types of interrupters and the low current interruption capability has been estimated for each of the gas circuit breaker considering the opening speed, the nozzle shape and the stroke length.

퍼스널컴퓨터에서 저장되도록 시스템을 구성하였다. 그림 3은 측정된 파형의 한 예를 보여주고 있으며, 평균개극속도는 약 5.4 %이다.

1. 서 론

가스차단기의 차단성능은 아크 소호가스를 어떻게 효율적으로 이용하는가에 따라 결정된다. 즉, 타력 또는 자력의 압력상승으로 두 아크점점사이에 발생한 아크를 효율적으로 냉각시켜 소호시켜야 하며, 아크소호 후 두 점점사이에 인가되는 과도회복전압(TRV)에 견딜만큼 소호가스의 절연성을 회복해야 한다. 이처럼, 새로운 가스차단기의 개발/개선에 있어서 아크를 소호하기 위한 압력상승은 매우 중요한 설계변수이며 특히, 소호부내의 가스밀도는 가스차단기의 소전류 차단성능에 절대적인 영향을 미치게 된다.

하지만, 차단부내의 압력상승 측정은 차단부내의 복잡한 구조뿐만 아니라 아크열, 유도전압 등에 의해 측정이 매우 어려운 실정이다. 특히, 소호부내의 유동파라미터의 분석은 실험적으로 거의 불가능하며, 해석적으로도 아직까지 완전히 개발되어 있지 않다.

본 논문에서는 72.5kV 20kA 전철용 GIS개발을 위해 설계한 차단부에서 압력상승 측정, 상용 CFD 프로그램을 이용한 유동해석, 전계해석 및 소전류 차단성능 해석 한 결과를 제시한다.

2. 본 론

2.1 차단부내의 압력상승 측정

가스차단기의 압력상승은 차단성능을 결정하는 매우 중요한 변수로 차단기 설계시에 필수적으로 고려해야 한다. 하지만, 압력상승측정은 차단기의 구조가 복잡한 관계로 압력센서 취부가 용이하지 않으며, 특히 유부하시에는 절연성능을 저하시키지 않는 범위내에서 센서를 취부해야 하므로 세심한 주의가 필요하다.

그림 1은 차단부내의 압력센서 취부도를 나타내고 있다. 압력센서는 Piezo type으로 압력측정범위는 0~250 bar이며, 압력센서의 Lead선은 탱크내의 가스압력을 고려하여 특수제작한 BNC connector를 통해 탱크 외부로 인출하였다.

그림 2는 압력, 스트로크(stroke) 및 개극시 점점의 분리시점을 측정하기 위한 전체 측정시스템을 나타내고 있다. 압력센서에서 받아 들여진 신호는 증폭기(Charger AMP)에서 처리되어 오실로스코프를 통해

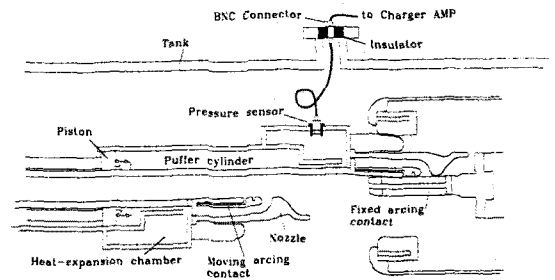


그림 1. 압력센서 취부도.

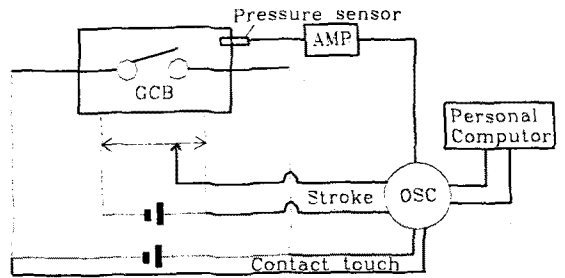


그림 2. 측정시스템 구성도.

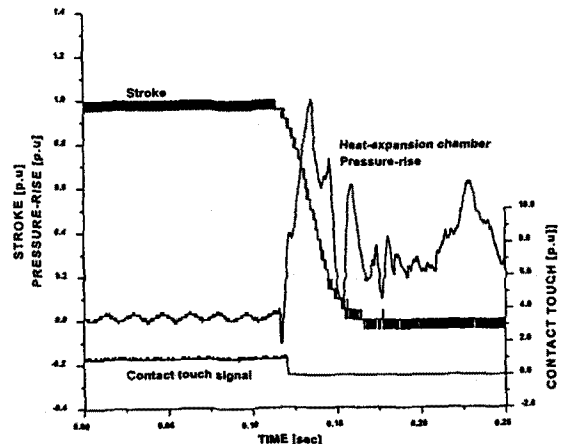


그림 3. 압력상승, 스트로크, 점점분리 파형 측정 예.

## 2.2 차단부 냉가스 유동해석

차단부내의 유동해석은 크게 냉가스 유동해석과 열가스 유동해석으로 나누어지며, 냉가스 유동해석의 결과는 주로 소전류 차단성능을 평가하는 데, 열가스 유동해석의 결과는 대전류 차단성능을 평가하는 데 주로 사용된다.

차단부내의 유동해석은 1993년부터 국내에서 연구되기 시작하여 현재에는 냉가스 및 열가스 유동해석 프로그램을 개발하는 단계에 있으며, 상용 CFD 프로그램을 적용하는 방법도 개발되어 있다. 본 연구에서는 모델 차단부내의 냉가스 유동해석을 위해 상용 CFD 프로그램을 이용하였으며, 해석방법과 적용방법은 참고문헌 1에 언급하고 있다.

그림 4는 모델차단기 A에서의 소호부내 압력분포를 나타내고 있다.



※ 스트로크 94 mm, Max. Pressure 5.2 bar

그림 4. 모델차단기 A 소호부내의 압력분포도의 예.

그림 5는 모델차단기 A의 압력측정치와 계산결과를 비교하고 있다.

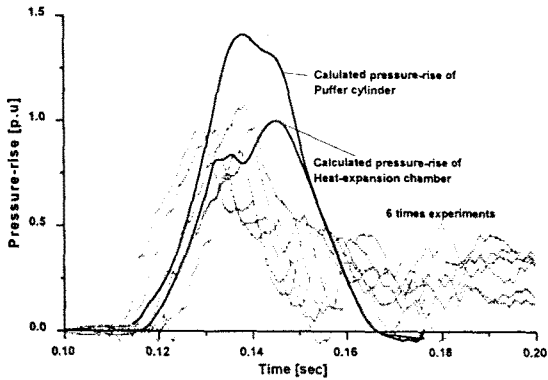


그림 5. 모델차단기 A의 열팽창실 압력상승의 비교.

그림 5에서 팽창실 압력상승에 대한 계산결과와 실험치는 거의 일치하고 있다. 따라서, 차단부의 구조상 센서취부가 어려운 파퍼실린더의 압력상승도 계산결과와 일치하는 것으로 예상된다. 6번의 압력측정실험에서 압력상승 시작점과 최대 압력상승에 있어서 약간의 차이를 보이는 것은 조작기의 조작압력을 조절할 때, 일정한 압력으로 동작시키지 못했기 때문인 것으로 판단된다.

그림 6은 각각의 모델차단기에서 계산된 파퍼실린더의 압력상승과 열팽창실의 압력상승을 비교하고 있다. 모델차단기의 평균개극속도는 A의 경우 약 5.4%, B의 경우 약 4.9%, C의 경우 6.0%이다. 스트로크길이는 A의 경우 180mm, B, C의 경우 130mm이다. 모델차단기 B의 경우 모델차단기 A를 기준으로 스트로크 길이가 축소됨에 따라 파퍼실린더 용적이 감소하였고, 또한 개극속도도 저하되었다. 그 결과로 모델차단기 B의 파퍼실린더 압력상승은 현저히 낮은 값을 보이고 있다. 소전류 차단성능시험에서 성능이 확인된 모델차단기 A와 동일한 압력상승을 갖기 위해서는 개극속도가 최소 6.0%이상이어야 된다는 것을 모델차단기 C의 계산결과로부터 얻을 수 있었다.

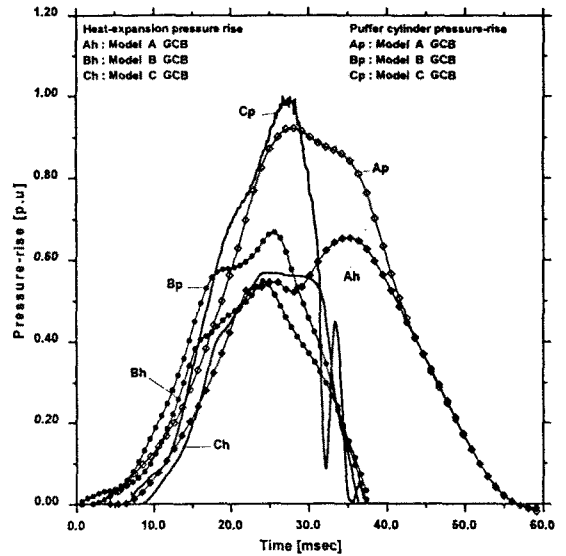


그림 6. 각 모델차단기에서 압력상승의 비교(계산치).

## 2.3 차단부 전계해석

차단부내의 절연검증을 위해 전계해석을 수행하였다. 특히, 소호부내에서 고정아크접점은 절연성능면에서 가장 불리하므로 스트로크에 따른 전계해석 결과는 소전류 차단성능을 평가하는 데 중요한 변수로 작용한다[참고문헌 2].

본 연구에서는 소호부 극간의 전계강도를 상용 프로그램을 이용하여 계산하였으며, 그림 7은 고정아크접점이 노출됨을 빠져나가는 시점인 스트로크 74mm에서 모델차단기 B의 등전위분포도의 한 예를 나타내고 있다.

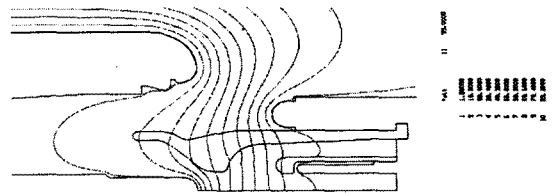


그림 7. 모델차단기 B의 등전위분포도(stroke 74 mm).

## 2.4 소전류 차단성능(극간 절연회복특성) 평가

일반적으로 차단기는 BTF(Bus Terminal Fault) 및 SLF(Short Line Fault)와 같은 대전류 차단성능과 장거리 송전선로, 케이블, 콘덴서 뱅크 등을 개로할 때 일어날 수 있는 진상소전류 차단과 같은 소전류 차단성능을 동시에 보유해야 한다. 대부분의 차단기는 부하전류나 고장전류를 차단할 때, 첫 전류영점에서 차단하지 못하고 점점간격이 충분히 확보된 후에야 성공적으로 아크를 소호하지만, 진상소전류와 같이 극히 작은 전류는 점점이 개리한 뒤 곧 차단될 수 있다. 이 경우에는 극간에 충분한 이격거리가 확보되지 않은 상태에서 계통전압 최대치의 약 2배에 가까운 전압(차단후 0.5사이클이 경과한 시점에서)이 극간에 인가되어 재점화가 일어날 가능성이 증가하게 된다. 재점화가 일어난 후 전류를 차단하게 되면, 이론적으로 전압이 점차 상승하여 외부에서 섬락이 일어나거나 콘덴서가 파괴되는 일이 발생한다. 따라서, 진상소전류 차단성능은 극간의 절연회복능력 및 밀접한 관계가 있으며, 극간의 절연회복능력은 극간의 가스밀도와 전계강도에 의해 결정되는 식(1)의 섬

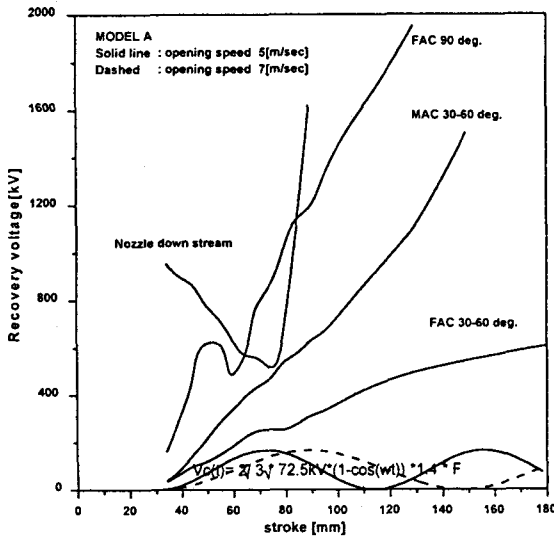
락전압으로 평가할 수 있다[참고문헌 3].

$$V_{bd} = a \frac{\rho^b}{E} \quad (1)$$

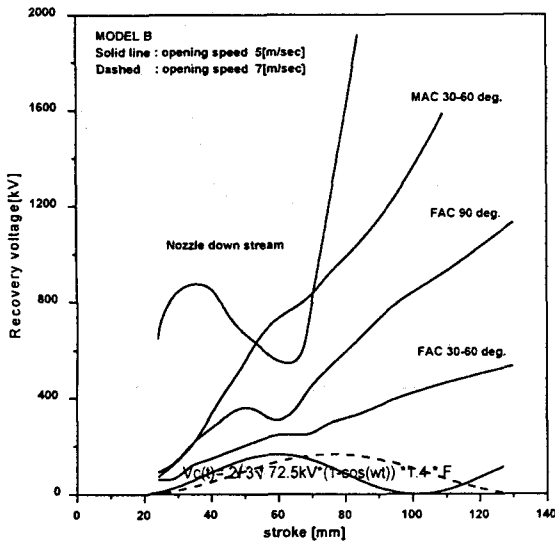
여기서, a, b는 실험상수,  $\rho$ 는 가스밀도(kg/m<sup>3</sup>), E는 전계강도(pu/mm)를 나타낸다.

식(1)을 이용하여 각각의 모델차단부에 대한 극간절연회복특성을 그림 8에 나타내고 있다.

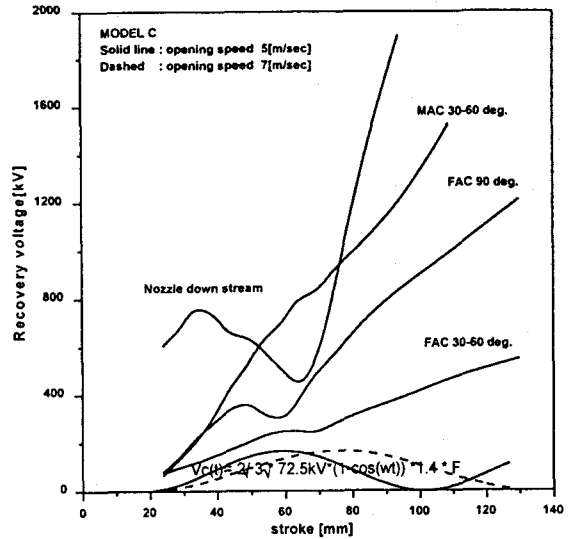
그림 8에서 고정아크점점 30-60도 사이가 절연회복 특성에 있어서 가장 취약하다는 것을 알 수 있다. 하지만, 3가지의 모델 차단부 모두가 소전류 차단성능에는 문제가 없다는 결과를 나타내고 있다. 특히, 실제로 소전류 차단시험을 실시하여 합격판정을 받은 모델차단부 A의 결과는 실험치와 잘 일치하고 있다. 특이한 것은 스트로크 길이가 줄고, 파퍼실린더의 압력상승이 모델차단부 A보다 낮은 모델차단부 B도 소전류 차단성능에 이



(a) 모델 차단기 A의 극간절연회복특성



(b) 모델 차단기 B의 극간절연회복특성



(c) 모델 차단기 C의 극간절연회복특성

그림 8. 각각의 차단기의 극간절연회복특성.

상이 없는 것으로 나타났다. 하지만, 그림 8의 결과를 해석치라는 것을 유념해야 하며, 보다 확실한 차단성능을 확보하기 위해서는 개극속도를 증가시킬 필요가 있다.

### 3. 결 론

본 연구의 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 72.5kV 20kA 전철용 차단기를 제작하여 무부하시 열팽창실의 압력측정을 실시하였다. 또한, 열팽창실의 압력상승은 대전류 차단시에 매우 중요한 파라미터로 작용하므로 유부하시의 압력상승 측정이 수반되어야 한다.
- 2) 3종류의 모델차단부에 대해 유동해석과 전계해석을 수행하고 극간절연회복특성을 파악하기 위한 해석수법을 완성하였다.
- 3) 개극속도와 스트로크 길이를 변화시켜 보다 소형화시킨 모델차단부 B, C에서도 소전류 차단성능에 대해 만족스러운 결과를 얻었다.
- 4) 보다 확실한 차단성능을 확보하기 위해서는 개극속도를 증가시켜야 하며, 향후 조작기 설계시 이 점을 고려하여야 할 것으로 판단된다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 송기동, 박경엽, 신영준 외, "상용 CFD CODE를 이용한 초고압 GCB 냉가스 유동해석", 1998년도 대한전기학회 전기기기연구회 춘계 학술발표회 논문집, pp131~136, 1998.
- [2] 송기동, 박경엽, 신영준 외, "극간절연회복향상을 위한 초고압GCB의 노즐형상설계", 대한전기학회, 추계학술대회 논문집, pp479~489, 1995.
- [3] 신영준, 박경엽, 장기찬, 송기동 외, "800kV 모델차단부의 절연회복특성 (I. 가동주접점과 가동아크점점 사이의 이격거리 변화에 대한 영향분석)", 대한전기학회, 추계종합학술대회 논문집, pp270~273, 1994.