

파퍼실린더 직경이 초고압 GCB의 열적 차단성능에 미치는 영향

오연호, 송기동, 최영길, 이병운, 박경엽, 신영준
한국전기연구소

Influence of Diameter of Puffer Cylinder on Thermal Interruption Capability of EHV GCB

Y.H.Oh, K.Y.Park, Y.J.Shin, K.D.Song, Y.K.Choi
Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract - This paper presents the pressure-rise of the puffer cylinder in a model gas circuit breaker and the analyzed results of thermal interruption capability in SLF(short line fault) to the diameter of the puffer cylinder. This paper can be applied to the design of the EHV interrupter.

1. 서 론

계통에 고장이 발생할 경우, 계통과 주변의 주요 전력 기기를 보호하기 위해서는 차단기에 의해 고장전류를 차단해야 한다. 차단기는 차단 과정에서 발생하는 아크를 소호시키고, 아크소호 후에 걸리는 과도회복전압(TRV: Transient Recovery Voltage)을 견뎌내어야만 비로소 차단에 성공하게 된다. 그런데 근거리선로고장(SLF: Short Line Fault)이 발생한 경우는 수십 kA에 달하는 고장전류를 차단해야 하므로 차단기의 개로동작시 아크점점간에 강력한 아크가 발생하게 되어 노즐과 아크점점 등을 용삭시킬 뿐만 아니라 아크 소호후에도 아크에 의해 가열된 가스의 절연특성이 낮아지게 된다. 또한 SLF의 특성상 상승률이 매우 높은 과도회복전압이 극간에 걸리게 되므로 아크가 재접촉되어 차단에 실패할 가능성이 높아지게 된다. 따라서 대전류를 차단하기 위해서는 압력상승이 우수한 소호메카니즘을 채용한 방식의 차단기가 요구되는데, 현재 초고압급에는 그림 1에 보인 바와 같은 SF6가스를 소호매체로 이용하는 파퍼형 가스차단기가 주로 이용되고 있다.

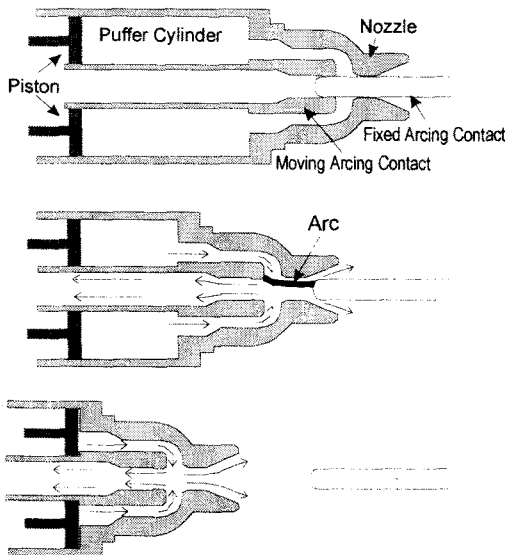


그림 1. 파퍼형 가스차단기의 동작원리

차단기가 고장전류를 차단할 경우 점점간에는 아크가 발생하며 이때 파퍼실린더내의 가스는 피스톤에 의해 압축되고 압축된 가스는 아크에 분사되어 아크를 소호하게 된다. 그러므로 파퍼실린더내의 압력상승은 아크소호와 밀접한 관계가 있으며, 아크소호 후에는 극간의 열가스 냉각과 절연성능에 절대적인 영향을 미치게 되므로 가스 차단기의 차단성능을 좌우하는 중요한 설계요소이다.

파퍼실린더내의 압력상승을 증대시키기 위한 방법으로는 파퍼실린더의 용적을 증가시키는 것과 개극속도를 증가시키는 것을 들 수 있다. 그런데 위의 두 방법은 조작성과 밀접한 관계가 있으므로 차단기의 소호·경량화 추세에 따라 저조작력으로 최대의 압력상승을 기대할 수 있는 최적의 설계변수를 구하는 것이 중요하다.

본 논문에서는 파퍼실린더의 직경을 설계변수로 하여 직경의 변경에 따른 유부하시의 파퍼실린더의 압력상승을 비교·검토하고, SLF의 열적차단성능에 대한 해석결과를 제시한다.

2. 본 론

2.1 차단기의 열적 차단성능

차단기가 고장전류를 차단하기 위해 개로동작을 하게 되면, 두 아크점점 사이에는 아크가 발생하게 된다. 차단기가 차단에 성공하기 위해서는 일차적으로 이 아크를 소호해야 하며, 이차적으로는 고장전류 차단후 극간에 인가되는 과도회복전압을 견뎌야만 한다.

차단기가 차단을 시도하는 전류영역에서 두 점점간의 아크의 도전성이 낮아지면 이 시점에서 아크는 소호된다. 아크가 소호된 후에 차단기 극간에는 과도회복전압이 인가되어 오는데 특히 근거리 선로고장(SLF: Short Line Fault)의 경우 상승률이 매우 큰 과도회복전압이 인가되기 시작한다. 결국 아크 소호후 극간에는 고온의 열가스가 충만한 상태에서 높은 상승률의 과도회복전압이 인가되고 잔류하는 아크의 도전성이 높아 극간에 회복된 절연내력치가 충분하지 못하면, 아크는 극간에 재점화하고 차단기는 전류차단에 실패하게 된다(그림 2.(a)). 반대로 전류영역후 차단기의 극간에 잔류하는 아크의 도전성이 충분히 저하하여 극간에 회복된 절연내력치가 과도회복전압치보다 크면 차단기는 전류차단에 성공하게 된다(그림 2.(b)).

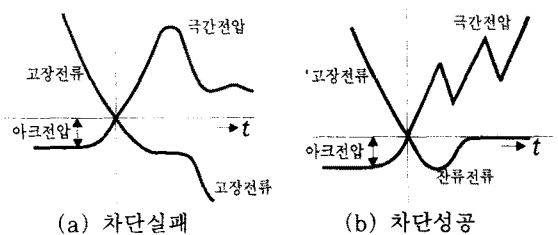


그림 2. SLF에서의 전류차단

그러므로 SLF 차단시에는 아크 소호후 차단기의 극간에 존재하는 열가스를 효율적으로 배출시키는 것이 중요하며, 이를 위해 파퍼실린더의 직경을 키우거나, 개극속도를 증가시켜 파퍼실린더의 압력을 높게 유지하는 것이 바람직하다.

2.2 파퍼실린더내의 압력상승 해석

파퍼실린더의 직경변화에 따른 압력상승을 검토하기 위해 FLIC법[1]을 이용한 유동해석 프로그램을 개발하였으며[2,3,4], 그 흐름도를 그림 3에 나타내 보였다.

본 프로그램에서는 아크해석시 아크에 의한 노출분쇄 효과와 방사에 의한 에너지전달만을 고려하여 단순화하였으며, 아크소호후 전류영점에서 열적차단성능을 해석하였다.

차단기의 개극속도는 일정하게 유지하고, 파퍼실린더의 직경변화를 변경시킨 경우, 직경변화에 따른 파퍼실린더내의 압력상승을 계산한 결과가 그림 4에 나타나 있다. 여기서 고장전류는 40kA이며, 압력값 1.0(p.u.)는 파퍼실린더내의 최소 압력값을 나타낸다. 또한 파퍼실린더의 직경 1.0(p.u.)는 계산한 직경의 최소치를 나타낸다. 그림에서 직경 1.0(p.u.)일 때 파퍼실린더내 압력 최대값은 3.85(p.u.)이며 직경이 커질수록 압력상승 최대값도 커지며 압력상승 초기부분에 비해 말기부분의 변화폭이 커짐을 알 수 있다.

차단기가 전류영점에서 아크를 소호한 후 극간에 인가되어 오는 높은 상승물의 과도회복전압을 견뎌내기 위해서는 전류영점시 파퍼실린더의 압력상승이 매우 중요하다.

그림 5에는 차단기의 접점이 분리하기 시작하여 아킹타임 9(ms)에서 전류영점에 도달한 경우 파퍼실린더 직경변화에 따른 전류영점시의 파퍼실린더의 압력값을 나타내었다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 파퍼실린더의 직경이 증가할수록 전류영점시의 파퍼실린더 압력도 거의 선형적으로 증가해 가는 것을 볼 수 있다.

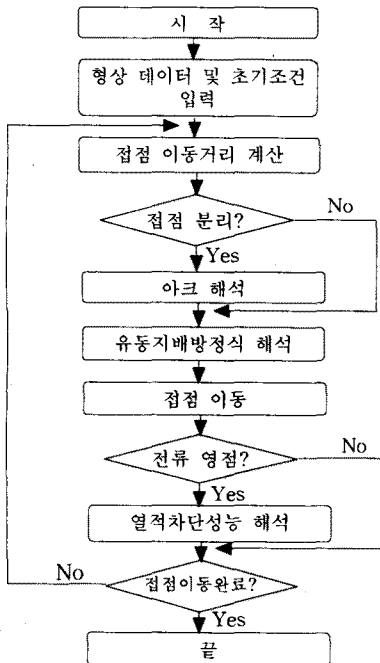


그림 3. 전체 해석 흐름도

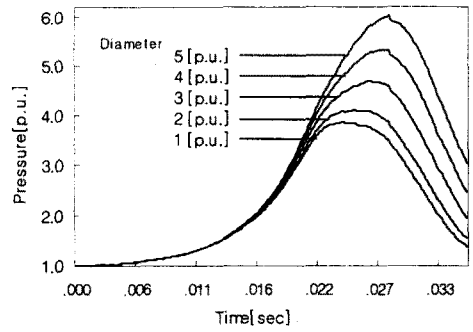


그림 4. 파퍼실린더 직경변화에 따른 압력상승

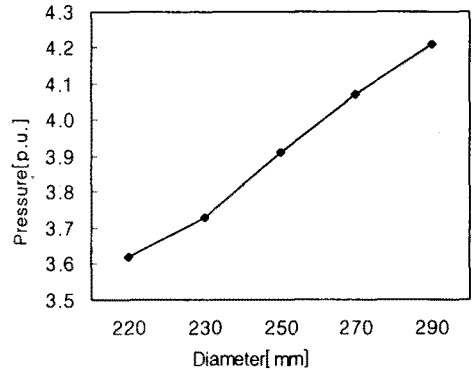


그림 5. 파퍼실린더 직경변화에 따른 전류영점에서의 파퍼실린더 압력

또한 그림 6과 그림 7에는 접점 분리 후 아킹타임 17(ms)에서 전류를 차단한 경우의 전류크기, 아크전압, 아크온도, 아크반경을 각각 나타내고 있다.

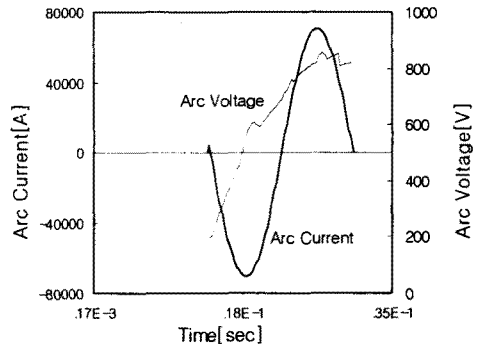


그림 6. 시간에 따른 아크전류 및 아크전압변화

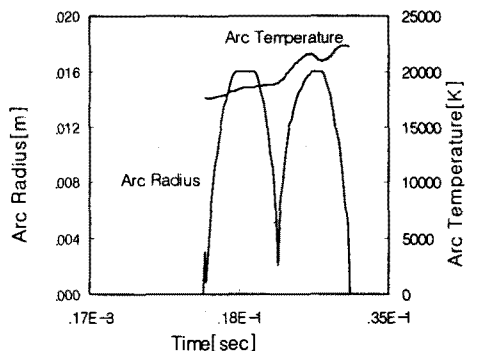


그림 7. 시간에 따른 아크온도 및 아크반경 변화

2.2 열적차단성능 해석 및 결과 검토

SLF차단시에는 전류영점에서 아크를 소호한 후 열가스가 극간에 존재하는 상태에서 곧바로 상승률이 높은 과도회복전압이 인가되므로, 정확한 차단성능평가를 위해서는 전류영점 부근에서의 파퍼실 압력과 잔류아크에 의한 발열량을 계산하여, 극간의 절연내력치가 과도회복전압에 견딜 수 있는지를 파악해야 한다.

본 연구에서는 기개발된 프로그램을 이용하여 전류영점에서의 파퍼실 압력을 구하고, 이러한 조건하에서 잔류아크에 의한 온도상승분을 계산하여 전류영점에서의 열적차단성능을 평가하였다. 극간의 열적차단성능 해석을 위한 차단부내 SF6 가스의 특성자료는 L.S Frost & R.W Liebermann[5]의 자료를 이용하였으며, 다음의 열역학 방정식을 전개하였다.

$$C_p \rho \frac{dT}{dt} = JE + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (rk_T \frac{\partial T}{\partial r})$$

여기서, C_p : 정압비열, ρ : 밀도, K_T : 열전도도
 J : 전류밀도, E : 전계의 세기, T : 온도

이상의 내용을 토대로, 점점분리 후 아킹타임이 13(ms)일 때의 차단기의 열적차단성능을 그림 7에 나타내었다. 이 경우 고장전류는 63(kA)이며 임계 과도회복전압 상승률(Critical dV/dt)은 3.027(p.u.)로서 과도회복전압 상승률이 임계값보다 높을 경우 해석상으로 차단에 실패하게 됨을 알 수 있다.

그림 8에는 고장전류 크기가 50kA 일때의 파퍼실린더의 직경에 따른 임계 dV/dt를 나타내고 있다. 파퍼실린더의 직경이 커짐에 따라 임계 dV/dt도 지속적으로 높아지고 있으며, 아킹시간이 긴 영역에서 다시 그 상승률이 떨어지고 있다. 이는 이미 개극동작의 완료시점에 이르러 파퍼실의 압력이 감소하고 있기 때문에 그 소호력이 떨어졌기 때문이다. 그림에서 파퍼실린더 직경 3p.u.까지는 기준 규격치의 임계 dV/dt에 도달하지 못하므로 해석모델의 파퍼실린더 직경이 최소 4p.u. 이상이 되어야 한다는 것을 알 수 있다.

파퍼실린더 직경의 증가는 임계 dV/dt의 값을 증가시키지만 동시에 조작기의 조작력에 주어지는 부담은 훨씬 크므로 주의하지 않으면 안된다. 따라서, 조작기의 조작력이 허용하는 범위내에서 파퍼실린더의 직경을 최적화하는데 본 연구결과를 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

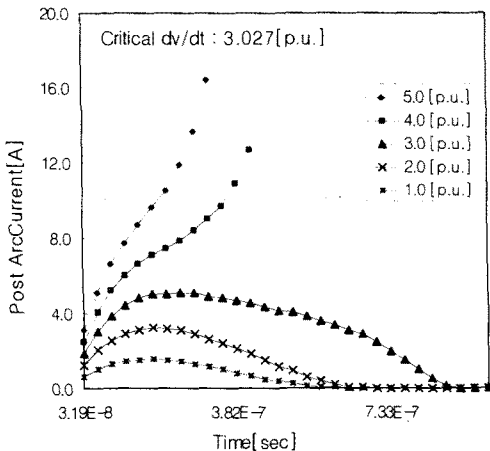


그림 7. 임계 과도회복전압(고장전류 63kA)

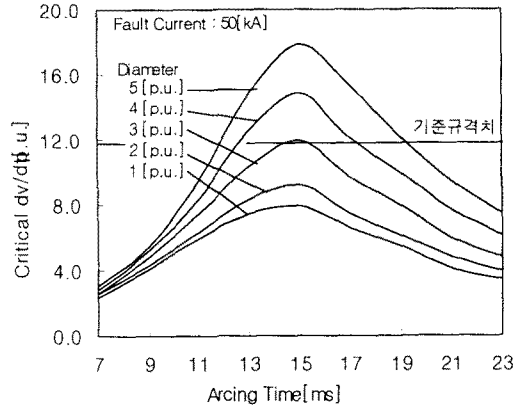


그림 8. 직경변경에 따른 임계 과도회복전압 상승률

3. 결 론

- 1) 자체 개발한 프로그램을 이용하여 유부하시 파퍼실린더의 직경에 따른 파퍼실린더의 압력상승을 계산하였다
 - 2) 아크해석을 통하여 주요 아크 변수를 산출하고, 전류영점에서의 파퍼실 압력상승값을 구하였다.
 - 3) 아크소호 후 전류영점에서의 열적 차단성능을 파퍼실린더의 직경에 따라 파악하였다.
- 본 연구의 결과로부터, 파퍼형 차단기의 파퍼실린더 직경을 결정하는 경우에 유용한 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

(참 고 문 헌)

- [1] Richard A. Gentry, Robert E. Martin, and Bart J. Daly, "An Eulerian Differencing method for Unsteady Compressible Flow Problems", J.COMPT.Phys.,1,pp87-118, 1966
- [2] 송기동, 신영준, 박경엽, 최영길 외, "파퍼형 GIS/GCB의 유동특성 해석", 대한전기학회 하계학술대회 논문집 C, pp1512 - 1516, 94.7.
- [3] 최영길, 송기동, 신영준, 박경엽, "파퍼식 차단부의 냉가스 유동해석기법에 관한 연구", 97 대한전기학회 하계학술대회 논문집 A, pp104-108, 1997
- [4] 송기동, 장기찬, 최영길, 정진교 외, "800kV 차단부내의 상승압력 측정과 냉가스 유동해석", 대한전기학회, 1995년도, 추계학술대회 논문집, pp256-258, 11월 1995년
- [5] L.S Frost and R.W Liebermann "Composition and transport properties of SF6 and their use in a simplified enthalpy flow arc model", Proc. IEEE, 59(4), pp474-485, 1971