

Self-blast형 SF₆ 가스 차단기의 노즐용삭 분석

정영우*, 배재운, 안희섭, 최종웅, 오일성
LS산전(주) 전력연구소

Analysis on the Mass Loss in Self-blast type SF₆ Gas Circuit Breaker

Young-Woo Jeong*, C. Y. Bae, H. S. Ahn, J. W. Choi, I. S. Oh
LS Industrial Systems, Electrotechnology R&D Center

Abstract - In our study, the PTFE nozzle ablation in the high-voltage self-blast type SF₆ gas circuit breaker was investigated. The test circuit breaker has the structure that the pin electrode is moving and the pressure reservoir volume and the dimension is almost same as commercial 145kV 40kA circuit breaker for similar result in real circuit breaker. The variation of current and arcing time was the range of 36kA_{rms}(symmetry) - 40kA_{rms}(asymmetry) and 10-16 ms. From the measured data, the tendency of the mass loss of the nozzle to current load and arc energy was estimated. In this process, the distance from the arc to nozzle(PTFE) surface, area which was exposed to arc and stroke contour was considered. These results will be used to enhance the accuracy of the computational fluid dynamics analysis in circuit breaker and estimate the residual life time of a circuit breaker.

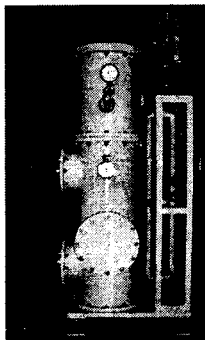
1. 서 론

최신의 많은 SF₆ 가스차단기는 스프링 조작기등을 이용하는 저조작력 조작기를 사용하고 있으며, 이때 차단부에서 아크에너지에 의해서 노즐이 용삭되어 발생하는 압력을 다시 아크 소호에 이용하는 기술(self-blast)이 필수적이다. 최근에는 국내에서도 이러한 차단기의 개발이 활발하게 진행되고 있다. Self-blast형 차단기에서 아크에너지, current load, 아킹시간, 형상 등의 요소와 노즐용삭의 관계를 잘 이해하는 것은 매우 중요하며, 이러한 정보는 자사제품에 적용되는 유동해석의 정확성을 높여주고, 차단기에 인가된 전기적인 스트레스와 차단기의 수명과의 관계를 예측하는 분야에 사용될 수 있다.

2. 본 론

2.1 실험용 차단기

실험을 위해서 차단부의 구조가 상용 차단기와 최대한 유사하면서, 작은 조작력으로 구동할 수 있고 반복 실험을 위한 시료교체가 용이한 구조의 실험용 차단기를 제작하였다. 이 차단기는 pin 전극이 구동되고, 팽창실과 노즐 및 전극은 고정시킨 구조를 가지고 있으며, 아크 주변에 있는 부품은 최대한 실제 차단기의 형상 및 차단 메커니즘이 동일하도록 구성하였다. 따라서 실험을 통해 얻은 결과는 실제 차단기의 노즐용삭에 대한 경향으로 추정될 수 있다.

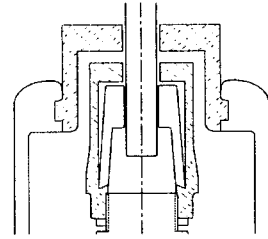


<그림 1> 실험용 차단기

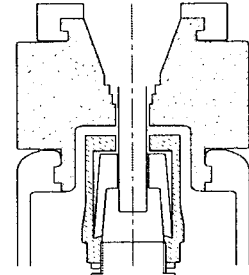
실험용 차단기는 그림. 2 및 그림. 3과 같은 구조의 노즐에 대해서 실험을 실시하여 노즐 용삭량을 측정하였고, 챔버의 압력은 5 [bar](계기압)로 충전하였다. 접점의 이동 속도는 약 3 m/s이고, 노즐은 미소 첨가물을 혼합한 PTFE이다.

36kA_{rms}의 대칭전류는 LC공진을 이용한 간이합성설비를 통해서 인가하였고, 40kA_{rms}의 비대칭전류는 단락발전기를 통해서 인가하였다. 각 실험마다 아크전압, 전류, 스트로크, 압력을 측정하였고, 한 번의 실험이 끝난 후에는 차단기를 해체하여 노즐의 질량을 1/1,000 [g] 단위로 측정하였다. 아크전압은 capacitive 분압기를 통해 측정하였고, 전류는 CT와 Rogowski Coil로써 측정하였으며, 압력은 piezoelectric transducer로, 스트로크는 rotational

potentiometer로 측정하였다.

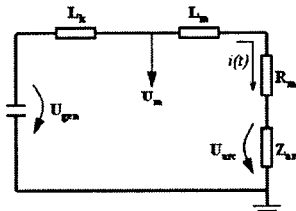


<그림 2> 직각 노즐



<그림 3> 직각 적층형 노즐

2.2 시험 회로 및 수치적 data처리



<그림 4> 시험회로 및 측정신호 성분

그림. 4와 같은 시험회로를 이용하여 단락실험을 진행할 때 실험용 차단기 양단에서 측정된 전압은 아크 전압과 단락전류와 회로 임피던스에 의한 전압강하 성분의 합이 된다. 따라서 정확한 아크전압을 알기 위해서는 전압강하 성분을 계산하여 빼주어야 한다. 이때의 관계식은 식. 1과 같다.

$$U_{arc} = U_m - L_m \frac{di}{dt} - R_m \cdot i \quad \text{〈식 1〉}$$

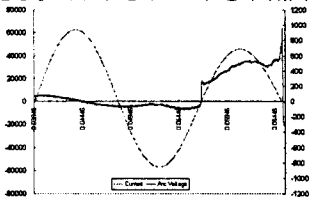
임피던스 값 L_m과 R_m은 접점이 분리되기 전의 아크전압 값이 "0"이 되는 값으로 반복을 통해서 찾아내었다. 전형적인 임피던스 값은 L_m=0.2 - 1.5 uH, R_m = 0.1 - 2.2 mΩ이다.[2] 본 실험에서는 대략 L_m = 3 uH, R_m = 0.35 mΩ의 값이 찾아졌다.

그림. 5와 그림. 6은 분압기에서 측정된 전압 파형과 임피던스에 의한 전압강하 성분을 제거한 파형을 보여준다. 이러한 보정을 통하여서 정밀한 아킹타임을 확인할 수 있고, 노즐 용삭량과 아크에너지와의 관계를 정확하게 계산할 수 있었다.

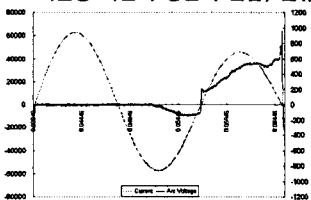
2.3 시험 결과

노즐 용삭량에 대한 data는 두 가지의 노즐 구조에 대하여 반복 실험하여 얻었다. 1차로 그림. 2의 직각형 노즐에 대해서 36kArms의 전류를 아킹시간 10-16 ms로 4회 차단하고 노즐 및 접점을 교체하는 일련의 시험을 2회 반복하였다. 이때 노즐 용삭량은 한번의 단락 시험 후 탱크를 해체하여 노즐의 질량을 측정하여 기록하였다. 2차로 그림. 3과 같이 내경이 다른 여러개의 도우넛 모양의 디스크 노즐을 적용하여 노즐 변경에 따른 용삭량을 알 수 있는 노즐 구조를 이용하여 시험하였다. 동일하게 36kArms의 전류를

아킹 시간 10-16 ms로 3회 차단하고 노즐 및 접점을 교체하였으며, 이때는 1차 시험에서 한 시료로써 차단시험을 누적할 때 경향의 변화가 없음을 확인하고 3회를 연이어 차단시험하고 탱크를 해체하여 노즐의 질량을 측정하였다. 그리고 마지막으로 40kA 정격 차단기의 T100a에 해당하는 전류를 단락발전기를 이용하여 인가하고 차단하여 노즐의 용삭량을 측정하였다. 이때 직류 성분은 약 50%였으며 이를 통해서 순간적으로 큰 전류가 흘렀을 때의 노즐 용삭의 선형성 여부를 알아보고자 실시하였다.

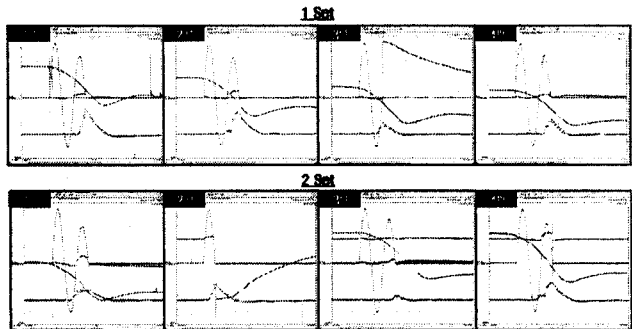


〈그림 5〉 시험용 차단기 양단의 전압, 전류 파형

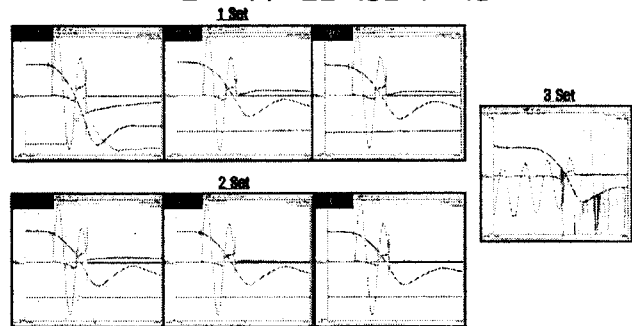


〈그림 6〉 임피던스에 의한 전압강하분을 제거한 파형

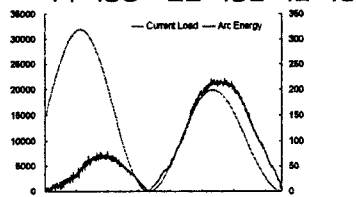
압력, 스트로크 특성도 각 시험마다 함께 측정하였으며, 1차 시험에서는 차단기에 인가된 전기적 스트레스에 대한 노즐의 용삭량을 전체적으로 계산하여 노즐의 용삭량이 어떤 요소에 주로 영향을 받는지를 파악하였으며, 2차 시험에서는 스트로크 측정치를 이용하여 각 디스크 노즐 별로 아크에 노출된 기간 만큼만 전기적 스트레스를 합산하여 단위 면적, 단위 전기적 스트레스에 대한 노즐 용삭량을 수치적으로 도출하였다. 이러한 data는 자사의 초고압 차단기 개발시 전산 아크유동해석의 입력으로 활용되어 해석의 정밀도를 높여 설계의 신뢰도를 높일 것으로 예상된다.



〈그림 7〉 직각 노즐을 적용한 시험 파형



〈그림 8〉 직각 적층형 노즐을 적용한 시험 파형

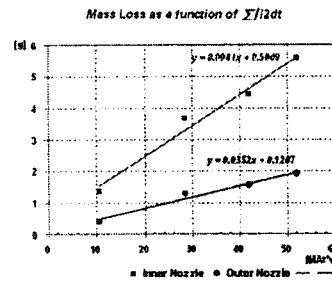


〈그림 9〉 아킹 시간동안 아크에너지와 current load 비교 예

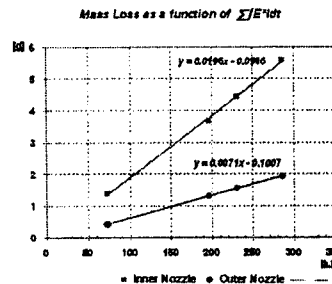
2.4 결과 분석

모든 실험에 대하여 아킹 시간에 대한 아크에너지와 current load (I^2dt) [2]의 값을 계산하고 노즐 용삭량과의 관계를 그래프로 도출하였다. 선형성을 보기 위하여 누적된 전기적 스트레스와 누적된 노즐 용삭량으로서

그래프를 산출하였다.



〈그림 10〉

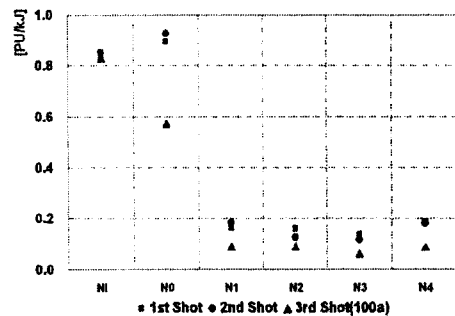


〈그림 11〉

직각 노즐을 사용한 실험 결과를 그림 10과 그림 11에 보였다. 노즐 용삭과 current load의 선형성이 아크 에너지의 경우보다 더 뚜렷하다고 보고하는 일부 논문이 있으나 [2] 본 연구에서는 주 노즐, 보조 노즐 모두 노즐 용삭과 아크 에너지의 선형성이 매우 뚜렷함을 알 수 있었다.

다음으로는 직각 적층형 노즐에 대해서 아크 에너지와 노즐 용삭량의 관계를 도출하였다. 편의상 보조 노즐을 N1, 주 노즐을 N0, 그리고 그 위에 도우넛 형태의 적층 노즐을 아래로부터 차례로 N1, N2, N3, N4로 표기하였다. 그림 12는 아크 에너지와 노즐 용삭량의 관계 그래프이다.

Mass Loss as a function of $I^2E^{1/4}dt$ for different Length & Radius



〈그림 12〉 직각 적층형 노즐과 아크 에너지의 관계

3. 결 론

실제 초고압 SF6 가스 차단기의 노즐용삭량과 가장 가까운 값을 얻기 위하여 아크 주위의 형상을 실제 145kV 40kA 차단기와 거의 같도록 시험용 차단기를 제작하여 시험하였고, 정확한 전기적 스트레스를 구하기 위하여 임피던스에 의한 전압강하 성분을 제거하고 노즐 용삭량과의 관계를 도출하였다. 아크 복사에 의한 정확한 용삭량 측정을 위해서 노즐을 아크에 평행 또는 직각인 형태로 제작하였고, 반경에 따른 용삭량의 관계를 얻고자 적층형 노즐을 적용하였다. 노즐 용삭량과 current load [2] 및 아크 에너지와의 관계를 분석한 결과, 아크 에너지가 노즐 용삭과 매우 선형적인 관계를 가짐을 확인하였고, 스트로크를 고려하여 실제 노즐이 노출된 아크 에너지와 노즐 용삭량의 관계를 정량적으로 도출하였다.

실험 결과, 노즐용삭량은 반경에 반비례하나 그 정도가 낮은 편이고 노즐이 아크에 노출되는 면적에 크게 영향을 받음을 확인하였다. 100a 전류를 인가한 경우 N0 노즐이 다른 경향을 보이지만 나머지 노즐은 유사한 경향을 보였다.

[참 고 문 헌]

- [1] Seeger M. et al, "Experimental investigation on PTFE ablation in high voltage circuit breakers", Symposium on Physics of Switching Arc, 16th, 2005
- [2] Walter Holaus et. al., "Analysis of short-circuit test data for contact erosion in high-voltage circuit-breakers", CIGRE International Colloquium, paper 07, 7-12, 2003
- [3] Kurt Lehmann et. al., "A novel arcing monitoring system for SF6 circuit breakers", CIGRE, 13-301, 2002