

유부하시의 열팽창분사식 소호부내의 상승압력

박경엽^o 송기동 신영준 장기찬 김귀식^{*} 김진기^{*}
 한국전기연구소 개폐장치연구팀
^{*} : 진광(주) 기술연구소

Pressure Rise in the Thermal Expansion Chamber With Arc

K.Y.Park^o K.D.Song Y.J.Shin K.C.Chang K.S.Kim^{*} J.K.Kim^{*}
 Korea Electrotechnology Research Institute
^{*} : Jin Kwang Corporation

Abstract

The interrupting capability of gas circuit breakers (GCB) are critically dependent on the pressure rise of the puffer cylinder or the thermal expansion chamber at current zero. Therefore it's very useful for the designers to know the pressure rise there at the design stage. Much effort has been done to predict the pressure rise in the puffer cylinder or the thermal expansion chamber in no-load condition. Thus, we now calculate it with reasonable accuracy with the simple programs coded by ourselves or with the commercial CFD packages. However, it has been still difficult problem to calculate it under the existence of arc. In this paper, we propose a method which can be used to predict the pressure rise in the thermal expansion chamber of thermal expansion type GCB. The method has been applied to the 25.8kV 25kA thermal expansion type model GCB and the calculated results have been compared with those from experiment.

1. 서론

최근 들어 전 세계적으로 배전급차단기는 진공차단기에서 가스 차단기(GCB)로 대체되고 있는 추세에 있다. 이것은 1980년대 이후에 수행된 집중적인 연구개발 결과로 인하여, 배전급 GCB가 성능, 가격, 중량 및 크기 등에 있어서 진공차단기에 대한 경쟁력을 가지게 되었으며 개폐싸이징이 작아서 특히 유도성부하인 경우 널리 채용되고 있기 때문이다. 현재 배전급 GCB 중에서 아크의 열에너지를 이용하여 SF₆ 가스의 분사압력을 얻고 있는 열팽창분사식이 가장 각광을 받고 있으며, 이 방식의 고장전류에 대한 차단능력은 전류0점에서의 열팽창실의 상승압력에 크게 좌우된다. 따라서 아크가 존재하는 경우의 열팽창실내의 상승압력을 정확하게 계산하는 것은 소호부 설계를 위해 필수적이다.

본 논문에서는 아크에 대한 모델링을 통하여 유부하시의 열팽창실내의 상승압력을 계산하는 과정 및 결과를 제시하며, 아울러 이 계산결과를 25.8kV 25kA 모델차단부에 대한 단락시험시에 측정된 열팽창실내의 상승압력과 비교분석한다.

2. 열팽창실내의 상승압력 계산

그림 1에 25.8kV급 열팽창분사식 가스차단기를 위한 소호부의 구조를 나타낸다. 이 팽창실에서는 가동전극이 노즐목을 빠져나오기 전까지는 물론 그 이후에도 차단전류가 큰 순시에는 아크열에 의해 충전된 SF₆ 가스가 가열된다. 따라서 가스온도가 상승하고 압력 또한 상승한다. 가동전극이 노즐목을 완전히 빠져나온

후에 차단전류가 작아지면, 팽창실내의 고압의 가스가 극간에 존재하고 있는 아크에 고속으로 분사되어 이 아크를 냉각시켜서 소호한다. 그림 1은 노즐방향으로만 가스를 분사하는 단일유동형이지만, 류보형인 고정전극의 내부로도 가스를 분사하는 이중유동형도 고려되고 있다. 열팽창실의 상승압력의 크기는 차단능능에 큰 영향을 미치므로 다양한 구조 및 용적을 가진 열팽창실의 상승압력을 계산에 의해 구할 수 있으면 차단부의 설계 시에 큰 도움이 될 것이다.

압력 P를 계산하는 기본식은 기체의 상태방정식이다. 즉,

$$P = \rho RT \quad (1)$$

여기서 P는 열팽창실내의 압력, R은 SF₆가스의 가스상수(56.9 J/(kg·K)), T[K]는 열팽창실내의 가스온도이다.

상기 상태방정식 (1)은 일반적으로 많이 사용되고 있으나 아크에 의해 열팽창실내의 SF₆ 가스온도가 상승하고 (아크자세: 20000 - 25000 K, 팽창실내의 평균가스온도: 500 - 2000K) 상승압력이 커지면 이상기체에 적용되는 식 (1)은 실제 측정치와 상당한 차이를 나타내게 된다[1]. 따라서 이러한 조건하에서는 다양한 다른 상태방정식들을 사용하고 있으며, 본 연구에서는 SF₆ 가스에 대한 실험결과를 기초로 유도한 Martin Hou[2]의 상태방정식을 사용하였다. 참고로 압력 15기압 부근에서, 같은 밀도에 대해, 식 (1)을 이용한 결과에 비해 Martin Hou의 상태방정식을 이용하면 압력이 20% 정도 감소한다. 이것은 압력의 계산치가 실제 측정치에 비해 대체로 큰 사실을 고려할 때에 Martin Hou의 상태방정식이 SF₆ 가스의 관련된 해석에는 식 (1)에 비해 보다 유용함을 입증하고 있다. 참고로 Martin Hou의 상태방정식을 소개하면 다음과 같다.

$$P = \sum_{i=1}^5 \frac{A_i + B_i T + C_i \exp(-k^* T/T_c)}{(v-b)^i} \quad (2)$$

여기서 P[bar]는 압력, v[cm³/g]는 비용적, T[K]는 절대온도, k=6.88032, T_c=318.8°K, b=0.3273673 이며 A_i, B_i, C_i의 값들은 다음 표 1과 같다.

표 1 Martin Hou 상태방정식의 계수 값

i	A _i	B _i	C _i
1	0.0	0.56926	0.0
2	-499.04	0.54854	-23759.0
3	412.45	-0.334	28196.0
4	-161.29	0.0	0.0
5	-0.4899	0.10942	-3082.7

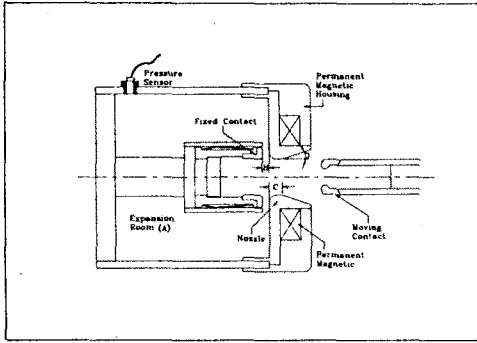


그림 1 25.8kV 25kA 열팽창분사식 소호부

아크에 의해 열팽창실의 가스가 팽창될 때, 아크에 의한 주입 에너지로부터 SF₆가스의 분사에 의한 에너지손실분을 뺀 에너지가 온도상승에 기여하는 것으로 하면 팽창실내의 온도상승분 ΔT는

$$\Delta T = \frac{v_a i_a \Delta t - h q \Delta t}{c_v \rho V} \quad (3)$$

여기서 v_a는 노즐중의 아크전압, i_a는 아크전류, Δt는 미소시간, h는 팽창실내의 가스의 엔탈피, q는 단위시간당의 누설가스의 유량, c_v는 가스의 정적비열, V는 팽창실의 용적이다.

노즐로부터 가스가 분사될 경우, Δt시간 후에 팽창실내의 가스밀도는

$$\rho(t + \Delta t) = \frac{\rho(t)V - q(t)\Delta t}{V} \quad (4)$$

여기서 가스유량 q는 아크중의 유량(호심부 및 고온가스 쉬스부)과 아크를 둘러싸는 저온가스(냉가스)의 유량의 합이며 q는 참고 문헌 [3]에서 사용한 방법을 적용하였다.

한편 온도에 대한 SF₆가스의 기체정수와 정적비열의 변화를 그림 2에 나타낸다. 이들 값을 미리 data file로 만들어 두고 필요시에 해당 온도에 대한 값을 보간법(Interpolation method)에 의해 구해서 사용한다.

3. 결과 및 검토사항

3.1 측정방법

열팽창실의 상승압력은 스위스 Kistler사의 Type 610A 센서 및 Type 5011 Charger Amplifier를 이용하였으며 그림 3은 팽창실에 부착된 센서를 보여주고 있다. 한편 아크전압은 damped capacitive voltage divider (Haefely사, RCR Type, BIL=600kV)를 사용하여 측정하였으며, 스트로크 곡선은 조작기 축에 취부된 가변저항의 저항치 변화를 측정함으로써 구하였다.

3.2 결과 및 검토사항

상기 2절에서 제시한 열팽창실 내부의 상승압력 계산방법을 당 팀과 (주)진광에서 개발 중인 25.8kV 25kA 열팽창분사식 모델 소호부에 적용하여 팽창실내의 상승압력(그림 4)과 상승온도(그림 5)를 계산하였다. 이 때의 단락전류는 약 22.5kA였으며 열팽창실내의 상승압력의 최대치는 계산치가 약 4.1bar 측정치는 약 3.3 bar, 열팽창실의 온도는 약 700K까지 상승하였다. 그림 4에서 계산압력의 최대치가 측정압력의 최대치에 비해 약 17% 정도 높게 나왔으나, 계산치 및 측정치의 압력파형은 초기 상승시점부터 차단전류가 마지막 반파 최대치에 이르기까지 상당히 잘 일치하고 있음을 보여주고 있다. 그림 4에서 차단전류의 마지막 반파 최대치 이후에 P_c와 P_m의 차가 다소 커진 것은 계산치가 측정치에 비해 아크전압의 증가에 대해 보다 큰 영향을 받았기 때문

로 판단된다. 그러나 현재로서는 600kV급 RCR 분압기로 측정된, 평균치가 118V 정도인 아크전압의 정확도에 대한 신빙성에 다소 의문이 있으므로 정확한 원인분석이 어려운 실정이다. 실제로 본 계산에서 아크전압은 실제 측정치(평균값: 118.2V)의 30%를 사용하였으며 이는 측정압력의 파형과 가장 유사한 계산압력의 파형을 얻을 수 있었던 값으로 큰 의미는 없다. 아크전압은 차단기의 정격, 소호방식, 차단전류에 따라 다르므로 가능하면 정확한 실측치를 조사하여 입력하는 것이 좋다. 그러나 단락시험을 실시하기 이전 단계에서는 아크전압치를 유사한 실험결과를 참고로 하여 추정하여 사용할 수밖에 없다. 참고로 84kV 31.5kA 파피형 OCB의 경우 고정아크점점이 노즐목을 빠져나가기 전에는 30-40V, 빠져나간 후에는 60-70V를 사용한 예[3]가 있다.

그림 6에는 단락시험시에 측정된 열팽창실내의 상승압력, 아크전압 및 전류, 스트로크 곡선을 나타낸다. 아크전압과 압력파형은 이들에 실린 고주파의 노이즈를 제거한 후의 결과이다.

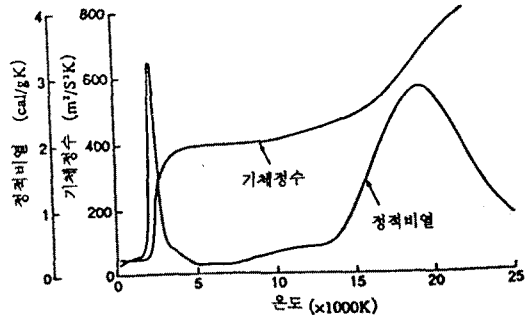


그림 2 온도에 대한 SF₆가스의 기체정수와 정적비열의 변화

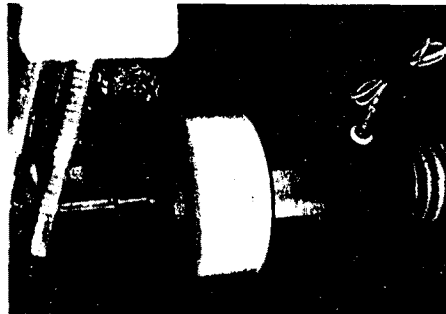


그림 3 팽창실 및 취부된 압력센서

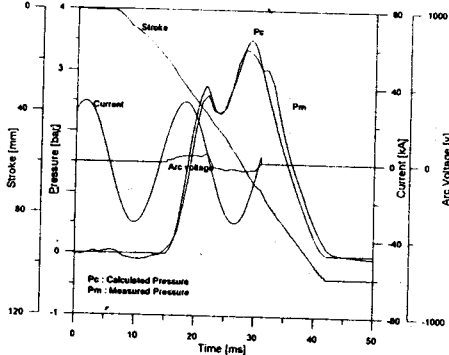


그림 4 열팽창실내의 상승압력

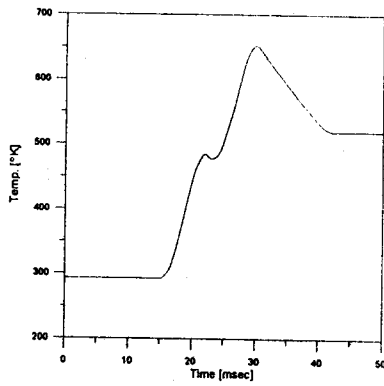


그림 5 열팽창실내의 상승온도(계산치)

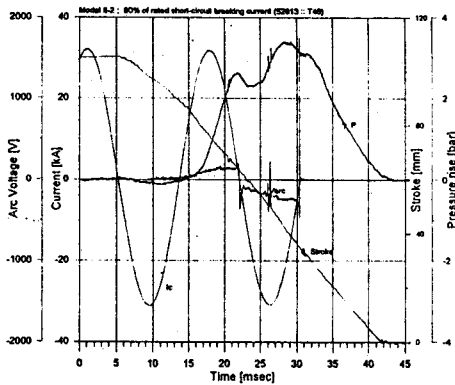


그림 6 상승압력, 아크전압 및 전류, 스트로크 곡선의 측정결과

4. 결론

가스차단기의 경우, 차단능력은 전류차단 순간에 노즐상류장에서부터 아크에 분사되는 가스압력의 크기에 의해 결정된다. 따라서, 가스차단기의 설계 시에 파퍼실린더 또는 열팽창실의 상승압력을 정확하게 계산하는 것은 아주 유용하다. 현재까지 이를 위해 상당한 연구가 진행되어 왔지만 주로 무부하시의 파퍼실린더 내부의 상승압력 계산에 집중되었다.

본 논문에서는 아크 존재시의 열팽창실 내부의 상승압력을 아크모델을 적용함으로써 간편하게 계산할 수 있는 방법을 제시하였다.

상기 결과는 과기처의 출연기관 연구과제 94NB35로 수행한 연구내용 중의 일부입니다.

참고문헌

- [1] 平澤 邦夫, "SF₆가스의非理想性を考慮したノズル流計算" 일본전기관계학회 동해지부연합대회, 1974
- [2] M.H.Mears, et al., "Pressure-Volume-Temperature Behavior of Sulfur Hexafluoride", Allied Chemical Corp.
- [3] H.Mizoguchi et al.: "Interrupting Capability of Gas Circuit Breaker Interrupting Chamber Utilizing Arc Energy", 電學論 B, 113卷 4號, 1993