

CFD를 이용한 C-GIS의 열해석

안희섭, 홍두영, 이한신, 김영근, 오일성
LG산전(주) 전력연구소

Thermal Analysis using CFD of Cubicle type Gas Insulated Switchgear

Heui-Sub Ahn, Doo-Young Hong, Han-Shin Lee, Young-Geun Kim, Il-Sung Oh
Electrotechnology R&D Center, LG Industrial Systems

Abstract - In this paper, thermal analysis of Cubicle type Gas Insulated Switchgear(C-GIS) was investigated through experiments and numerical analysis. To predict 3-dimensional temperature and velocity distribution, the commercial package was used. Although some assumptions and simplifications were introduced to simulate the model, results from the computational model were in good agreement with actual temperature rise measurements obtained from experiments.

수치해석의 결과와 비교하기 위해 자사제품의 C-GIS

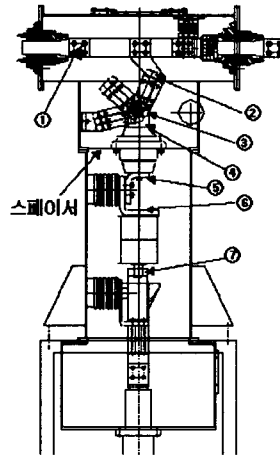


Fig. 1 Schematic Diagram of C-GIS

1. 서 론

중전압(medium-voltage) 스위치기어(Switchgear, 개폐장치)는 산업분야에서 전력분야에 걸쳐 매우 광범위한 영역에 다양한 형태로 적용되고 있다. 고도 정보화 사회에 있어서는 안정적인 전력공급이 요구되며, 그 중에서 중전압 스위치기어의 중요성은 점점 높아지고, 기술의 고도화를 배경으로 장치·기기는 소형·고 신뢰도화, 경제성의 향상이 도모되고 있다. 또한 중전압 스위치기어는 사람이 접근하기 쉬운 설비이기 때문에 조작성, 안정성, 환경조화성 등에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다.

현재 중전압 스위치기어의 정격전류는 점차 높아지고 있는 추세이며 이와 반대로 제품의 크기는 작아지고 있다. 축소화가 진행되면서 장치내부에서 발생하는 열의 처리가 커다란 문제점으로 대두되고 있다. 내부에서 발생하는 열을 충분히 외부로 방열하지 못하면 스위치기어 본체 및 수납기기의 열화를 앞당길 뿐만 아니라 중대한 사고의 요인이 된다. 도체의 과열은 절연파괴, 방전, 단락·지락 사고라는 커다란 사고로 연결되며, 이에 따라 관련된 국제규격에서는 기기내의 각 부분의 온도상승치를 제한하고 있다. 대표적으로 IEC에서는 도체접속부와 접촉부의 온도를 115℃, 105℃로 각각 규제하고 있으며 또한 주위온도와의 차이를 각각 75℃, 65℃로 규제하고 있다.

C-GIS(Cubicle type Gas Insulated Switchgear)는 SF6가스로 충전된 금속 용기내부에 차단기와 단로기 및 전류를 통전하는 도체로 구성되어 있다. 차단기와 단로기의 접촉저항에 의한 발열과 도체의 주열에 의해 내부의 온도가 상승한다. 대용량화에 의해 발열량이 점점 증가하므로 냉각의 최적화가 설계에 있어 중요한 요소가 되며 이러한 설계방법의 일환으로 열·유동 수치해석의 적용에 대하여 연구를 하였다. CFD(Computational Fluid Dynamics)를 통해 C-GIS내부의 속도 및 온도 분포를 예측할 수 있다면 제품설계시간, 실험시간, 실험비용 등을 줄일 수 있으므로 많은 효과를 얻을 수 있다.

를 대상으로 하여 온도상승실험을 실시하였다. 인가된 전류는 2000A이며, 금속용기 내부에 충전된 가스는 각각공기와 SF6를 사용하여 내부가스에 따른 온도상승의 변화를 실험하였다. 금속용기 내부에 충전된 가스의 압력은 1기압(절대압력)이며 SF6가스를 사용 시에는 금속용기내부를 진공상태로 만든 후 가스를 주입하였다.

그림 1은 실험에 사용한 C-GIS의 내부를 도시한 것이다. 상부의 단로기·하부의 차단기는 각각 분리된 금속용기내부에 수납되며 스페이서로 연결되어 있다.

그림에 나타난 번호는 도체부의 온도측정위치를 나타내며 T-type의 열전대를 사용하였다. 단로기와 차단부의 접촉부의 전기접촉저항은 접촉저항기를 사용하여 가스를 주입하기 전에 측정하여 해석 시 열원으로 사용하였다. IEC-60694 규격에 의거하여 실험을 하였으며 1시간에 1[℃]이상의 온도변화가 없을 때 정상상태에 도달 한 것으로 판단하였다[1].

3. 수치해석

C-GIS의 금속용기 내부의 열적 특성을 파악하기 위해서는 자연대류에 의한 내부가스의 유동, 도체간의 전도에 의한 열전달, 도체와 가스와의 대류 열전달을 동시에 해석하여야 정확한 해를 구할 수 있다. 본 연구에서는 상용프로그램인 ICEPAK을 사용하여 유동 및 열전달 문제를 3차원으로 해석하였다.

자연대류는 식(1)과 같이 Boussinesq approximation를 사용하여 운동량방정식의 생성항으로 나타내었다[2].

$$(\rho - \rho_0)g = -\rho_0\beta(T - T_0)g \quad (1)$$

2. 온도상승 실험

여기서 ρ_0, T_0 는 기준밀도와 온도를 나타내며 β 는 열 팽창계수를 나타낸다.

차단기와 단로기의 접촉부에서 발생하는 열접촉저항 (thermal contact resistance)는 참고문헌[3]에 제시된 식을 사용하였다. 도체에 전류가 흐를 때 저항에 의해 발생하는 열량은 주열(Joule heating)에 의해 계산을 하였다. 도체의 온도 변화에 의한 저항의 변화를 고려하기 위해 저항은 다음 식을 사용하여 계산하였다[4].

$$R = \rho_e [1 + C(T - T_m)] \frac{L}{A} \quad [2]$$

여기서, ρ_e : electrical resistivity

C : temperature coeff. of electrical resistance

일반적으로 도체로 많이 사용되는 구리나 알루미늄은 표면의 열복사 방사율이 아주 작기 때문에 본 연구에서는 복사에 의한 열전달은 고려하지 않았다. 또한 해석영역은 급속용기의 외부표면과 외부공기와의 열전달을 고려할 수 있게 충분히 넓게 하였으며 이러한 방법은 대류 열전달계수를 예측함으로써 생기는 열전달량의 차이를 최소화 할 수 있는 적합한 방법이다.

4. 결과 및 고찰

4.1 실험결과

그림 2는 내부기체를 SF₆가스와 공기로 사용했을 때 각 측정부위의 온도를 나타낸 것이다. 각 부위의 온도는 최고온도를 나타내는 6번 위치에서 SF₆가스를 사용했을 때의 온도를 기준으로 하여 무차원화하여 나타내었다.

가스의 종류에 따라 내부도체의 온도가 약 20%정도 차이가 남을 알 수 있고 이러한 현상은 내부기체의 고유한 열용량의 차이에 의해 발생한다. 열용량은 밀도 [kg/m^3]과 정압비열 [$J/(kg \cdot K)$]의 곱으로 나타내며 단위는 [$J/(m^3 \cdot K)$]이다. 물리적으로는 단위체적의 물체를 1°C상승시키기 위해 필요한 열량을 의미하며, 열에너지를 저장하는 능력을 표시한다. 전기적으로는 캐패시터와 비슷한 의미를 지니고 있다.

표 1은 대기압, 단위체적에서 SF₆가스와 공기의 열용량을 비교한 것이다. SF₆가스의 열용량이 공기의 열용량보다 약 2.6배정도 높음을 알 수 있으며 이러한 차이로 인해 주발열원인 도체로부터 내부 가스로 전달되는 열량이 공기보다는 SF₆가스인 경우에 더 많고 이로써 도체의 온도는 공기를 사용했을 때보다 더욱 낮아지게 된다. 또 내부의 충전압력이 높아질수록 밀도가 더욱 높아지므로 이러한 차이는 더욱 더 두드러지게 나타나게 된다.

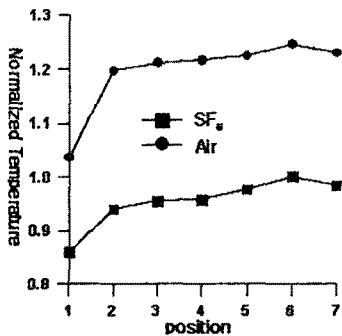


Fig. 2 Experimental Results

Table 1. Comparison of Heat Capacity

기체	밀도 [kg/m^3]	비열 [$J/(kg \cdot K)$]	열용량 [$J/(m^3 \cdot K)$]
Air	1.4133	1055.4	1491.6
SF ₆	5.95	655	3897.3

4.2 해석결과

그림 (3)과 (4)에 내부가스의 종류에 따라 해석결과를 실험과 비교하여 나타내었다. 해석결과와 실험결과가 잘 일치하고 있음을 알 수 있고 각각의 경우에 대한 온도차이와 상대오차를 표 2에 나타내었다.

내부기체가 SF₆가스인 경우의 상대오차는 약 6%이며, 공기인 경우는 약 4%정도이다.

Table 2. Error Comparison with Experiment

내부가스	최대온도차(°C)	최대상대오차[%]
SF ₆	4.5	6.0
Air	3.7	4.0

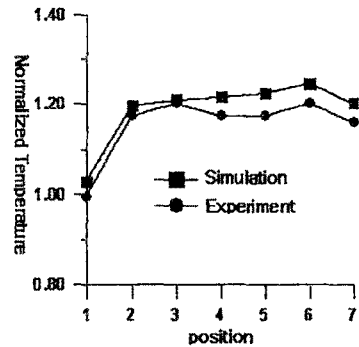


Fig. 3 Comparison of Temperature(Air)

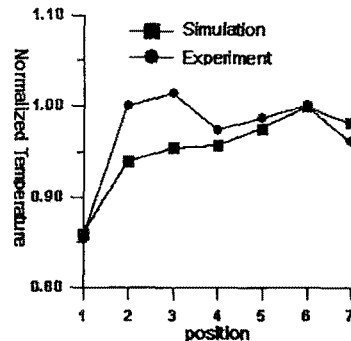


Fig. 4 Comparison of Temperature(SF₆)

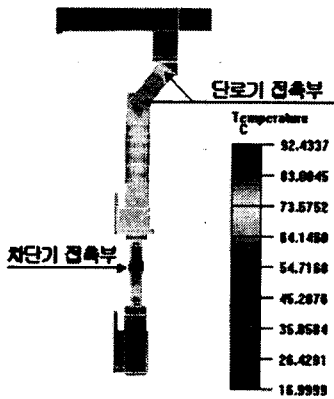


Fig. 5 Temperature Distribution

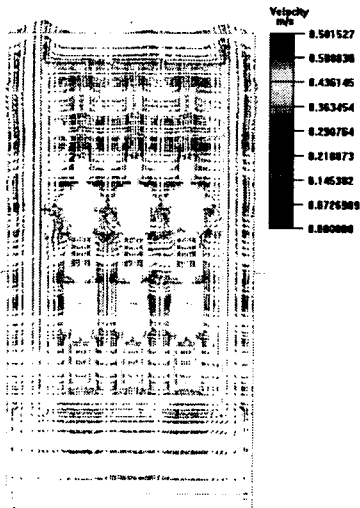


Fig. 6 Velocity Distribution

그림 5와 6은 내부도체의 온도분포와 C-GIS내부의 전체적인 속도분포를 보여준다. 도체의 온도분포는 C-GIS 구성 요소 중 ON-OFF 동작을 하는 차단기와 단로기의 접촉부에서 가장 높은 것을 알 수 있고 전체적으로 단로기와 차단부 사이에 열이 많이 집중되어 있다. 또한 C-GIS내부의 유동속도는 약 0.5m/s정도이며 자연대류에 의해 발생하는 유동이므로 그다지 속도가 높지 않음을 알 수 있다. 이러한 저속의 유동은 내부도체의 온도를 감소하기 위해 방열핀을 사용했을 때 방열핀의 성능이 제대로 발휘되지 못하게 하는 요인이 되기도 한다..

5. 결 론

C-GIS의 열설계방법으로 상용프로그램인 ICEPAK을 이용하여 3차원 유동 및 열전달을 해석하여 다음과 결론을 얻었다.

1. 온도상승 실험결과와 비교하였을 때 최대상대오차가 약 6%정도이며 이로써 해석에 적용한 모델은 C-GIS의 열 및 유동특성을 연구하는 데 타당한 것으로 판단되며, 열적설계방법으로 사용이 가능함을 알 수 있었다.

2. 실험에 사용한 정격전류(2000A)에서 내부가스를 공기와 SF₆가스를 사용했을 때 온도차이는 약 20%이상의 차이가 나며 이는 가스종류에 따라 열용량 (Volumetric Heat Capacity)이 다르기 때문이다.

3. 온도가 가장 높은 곳은 차단기와 단로기의 접촉부이며, 그 사이에 열이 많이 집중되어 전체적으로 온도가 높다. 향후 이러한 열집중 부위의 온도상승을 억제할 수 있는 방법에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

(참 고 문 헌)

- [1] IEC-60943., "Guidance concerning the permissible temperature rise for parts of electrical equipment, in particular terminals", 2th Edition, 1998
- [2] Incropera, F. P., DeWitt, D. P., "Fundamentals of Heat and Mass Transfer", 1996
- [3] Lraus, A. D., Bar-Cohen, A., "Therml analysis and Control Electric Equipment", pp:199-214, 1983
- [4] Holm, R., "Electric Contacts", 4th Edition, 1967