

이동격자를 이용한 초고압 차단기 유동해석

민병수*, 박일석**

CFD Analysis of Gas Insulated Switchgear with Moving Grid

B. S. Min*, I. S. Park**

Key Words : CFD(전산유체역학), Gas Insulated Switchgear(초고압 차단기), Moving Grid(이동격자)

Abstract

To develop and improve a GIS(Gas Insulated Switchgear), the prediction of the pressure in puffer cylinder and the flow between the nozzle and the moving electrode within GIS is very important. The leading companies in GIS business issue the results of the study of flow within GIS including arc plasma. In this study, the characteristics of the flow of the GIS developed by HHI(Hyundai Heavy Industries Co. Ltd.) was investigated. To simulate the compressible flow of GIS, the CFX, a commercial CFD code, was used. With moving grid method, the movement of piston and electrode was simulated. The moving grid method was superior to the method of varying the property of cells to move an obstacle, in stability and convergence of solution. The calculated maximum pressure within the puffer cylinder was matched with experimental data within 5% error. The oscillation of pressure in GIS after the movement of electrode was well predicted.

1. 서론

가스절연개폐장치(GIS: Gas Insulated Switchgear)는 차단기, 단로기, 접지개폐기, 변류기 등 변압기를 제외한 대부분의 전력 기기를 금속탱크로 밀폐시킨 변전시스템으로 기중절연 변전소에 비하여 규모를 축소시킬 수 있어 설치면적이 작게 소요된다. 뿐만 아니라 각종기기를 외부와 차단시켜 안전한 환경에서 동작시킴으로써 고장이 발생할 확률을 크게 줄여 신뢰성을 향상시키고 있다. 또한 GIS는 환경 친화적으로 제작이 가능하여 도심지와 같이 전자파 문제에 민감하고 설치면적이 협소한 곳에 적합하다. 가스차단기의 경우 소호 가스를 효율적으로 이용하는가에 따라 차단기의 차단능력이 결정되므로, 차단과정에 있어서 실린더 내의 압력상승뿐만 아니라 소호부내에서의 가스유동을 면밀히 관찰할 필요가 있다. 새로운 형태의 가스차단기를 개발하거나 기존 차단기의 성능개선을 위해서는 유동해석기술은 반드시 확보해야만 하는 기술이다.

본 연구에서는 상용 전산유체역학 (CFD: Computational Fluid Dynamics) 코드인 CFX를 이용하여 초고압 차단기 아크 해석을 위한 기초적인 사항인 냉가스에서의 유동해석과 전계해석을 수행했다. 이러한 연구는 향후 GIS의 아크를 해석하기 위해 반드시 확보해야 하는 기술이다.

GIS내에서 이동하는 부분과 실제 계산에서 이동하는 부분은 정확히 반대이다. 실제 이동하는 부분이 복잡하기 때문에 계산에서는 형상이 간단한 부분을 이동하면서 계산을 수행한다. 본 연구에서는 물체의 이동을 모사하기 위하여 CFX 코드의

User-Subroutine을 사용하여 비정상상태에서 격자를 이동시키면서 해석했다. 현재 국내에서 GIS내의 물체이동을 위하여 주로 적용되고 있는 계산 셀(cell)의 속성을 변화시키는 방법(FLIC: Fluid In Cell)에 비하여 이동격자법은 해석에 적용하기 위한 과정은 복잡하지만 계산 결과는 셀의 속성 변화법 보다 더 정확하다고 일반적으로 알려져 있다. 본 연구의 초기에 물체의 이동을 모사하기 위하여 CFX코드를 이용하여 셀의 속성을 변화시켰지만 계산의 수렴성과 정확도가 만족스럽지 못하여 연구를 진행하면서 이동격자법으로 해석방법을 변경하였다.

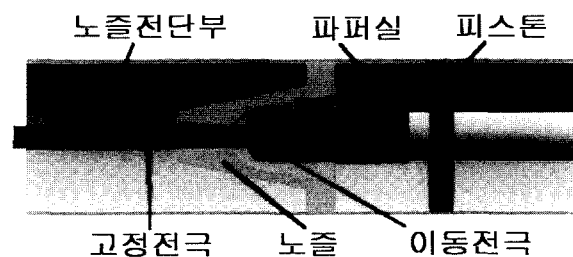


그림 1 해석용 GIS의 계략도

2. 전산모사방법

2.1 유동장 모델링

차단기내에서 유동은 그림 1에서 실린더가 이동하면서 SF₆ 가스를 압축하고 압축된 SF₆ 가스를 이용하여 소호하는 방식이다. 계산에서는 실제 동작원리와는 반대로 고정전극과 피스톤이 이동하면서 SF₆ 가스를 압축하게 된다. 해석영역은 2차원 축대

* 현대중공업(주) 산업기술연구소, ickubkk@hanmir.com

** 현대중공업(주) 산업기술연구소, einstein@hhi.ac.kr

칭으로 한정하였으며, 전체 차단부중에서 유동의 변화가 차단성능에 영향을 미치는 부분만 계산영역으로 제한하였다. 결과에서 언급하겠지만 계산영역의 크기에 따라 차단부내에서 압력변동이 달라진다. 차단부 내에서 유동은 SF₆ 가스가 압력에 의하여 밀도가 변하는 압축성 유동이므로 냉가스 해석에서는 이상기체 상태 방정식을 적용하였으며, 해석 방법은 CFX 코드내의 압축성 유동해석식을 이용했으며 해석식은 일반적인 상용 CFD 코드에서 이용하는 해석식과 동일하다.

계산 시작 초기에 계산 영역 전체는 동일한 압력이 주어지며, 계산이 시작되면 피스톤의 이동에 의해 유동이 형성된다.

2.2 이동격자

계산 시작 시간으로부터 계산이 진행되면서 피스톤이 왼쪽으로 이동하고, 이에 따른 격자의 변형된 모습을 그림 2에서 확인할 수 있다.

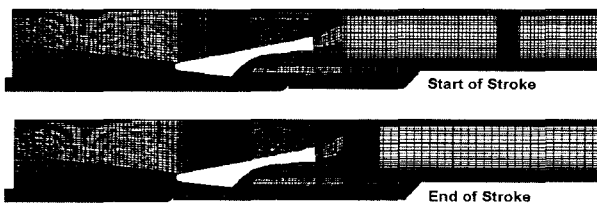


그림 2 계산 격자가 변형된 계략도

움직이는 경계를 포함한 유동 해석 방법은 전통적인 VOF(Volume Of Fluid)와 MAC(Marker And Cell), FLIC(FLuid In Cell) 등의 방법이 있으나 이들 방법은 고정된 격자를 이용함으로써 미세한 경계의 움직임에 대한 엄밀한 경계조건의 적용에 한계가 있으며, 이를 개선하기 위해 셀의 경계에 정확히 일치시켜서 경계를 이동시킬 경우에는 비정상 해석의 정밀도를 위해 요구되어지는 적절한 time step을 유지하기 위해서 너무 많은 수의 격자가 필요하게 되는 경우가 빈번하다. 본 연구에서는 이동격자법을 적용함으로써 경계조건을 엄밀히 부여했으며, 비교적 적은 수의 격자를 이용하여 time step 의존도가 없는 작은 시간 간격으로 해석을 수행하였다.

3. 결과

3.1 난류모델에 의한 압력 변화

그림 3에서 난류모델에 따른 파파실 압력변화와 실험치를 비교하였다. 청색선이 2-Eqn. 난류모델(표준 $k-\epsilon$ 모델)이고 적색선이 1-Eqn. 난류모델인데 1-Eqn. 모델이 실험치인 녹색 점선과 더 근접함을 확인할 수 있다. 현재까지 수행한 해석에서는 일반적으로 정확도가 떨어지는 것으로 알려진 1-Eqn.모델이 더 실험치에 근접했으며 수렴성 또한 2-Eqn. 모델 보다 우수했다.

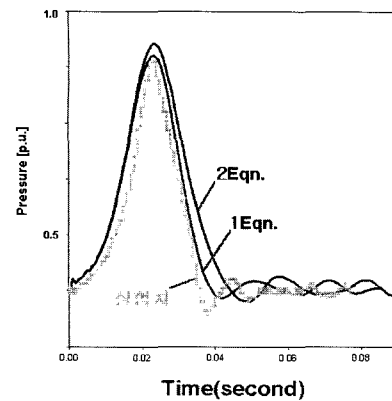


그림 3 난류모델에 따른 압력비교

3.1 노즐 전단부 계산 체적에 따른 압력 특성

그림 4에 노즐 전단부(그림 1참조) 계산체적의 크기에 따른 파파실 압력 변화를 제시했다. 계산 체적이 증가한 경우가 자색인데 압력의 요동이 크게 나타남을 확인할 수 있다. 그림 3에서 0.04초 지점에서 계산 오차는 계산체적을 증가시킴으로서 줄일 수 있음을 알 수 있다. 향후 연구에서 계산영역을 선정할 경우에 충분히 심사숙고해야 할 것으로 판단된다.

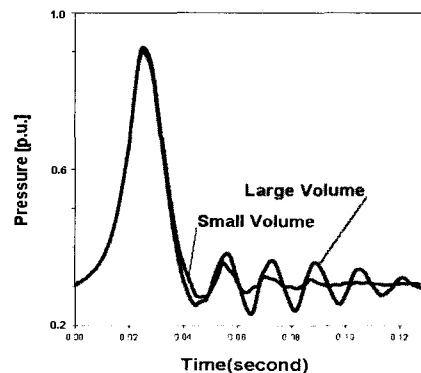


그림 4 노즐전단부 계산 체적에 따른 압력

3. 결론

GIS내에서 이동하는 피스톤과 전극을 이동격자법을 이용하여 성공적으로 모사했다. 이러한 이동격자법을 이용한 계산을 통하여 비교적 적은 수의 격자로 정밀한 계산을 수행하였고, 압력은 실험치와 5%이내에서 정확하게 예측할 수 있었다. 난류 모델에 따른 테스트를 실시하였으며, 노즐 전단부 해석 체적에 따라 최고압의 진동 패턴이 변하기 때문에 계산 체적의 선정시 유의해야 함을 알 수 있었다.

[참 고 문 헌]

- [1] Ph. Riviere, J. Quantitative spectroscopy & Radiative Transfer, Vol. 73, pp. 91-110, 2002.
- [2] X. D. Zhang, J. Y. Trepanier and R. Camarero. Comp. Fluid Dyn., Vol. 2, pp. 41-64, 1994.
- [3] "초고압 전력기기 기초 설계기술 개발", 산업자원부, 2000.9.