

가스유동해석을 통한 복합소호 아크챔버의 압축-팽창 과정 분석

이종철*, 김우영**

강릉원주대학교 기계자동차공학부*, 강릉원주대학교대학원 자동차공학과**

Investigation of the Compression-Decompression Process in a PASB Chamber with Gas Flow Simulation

Jong-Chul Lee*, Woo-Young Kim**

Kangnung-Wonju National University*, Graduate School of Kangnung-Wonju National University**

Abstract - In this study, we predicted the thermal breakdown of high-voltage interrupter with the characteristics of thermal plasmas such as temperature, pressure and concentration of the ablated material by using a commercial CFD program. The results showed that the pressure build-up inside the chamber was proportional to the magnitude of arcing current because the quantities of heat energy and ablated mass also increase together with the current during the compression process. And during the decompression process, the reverse flow was not coincided with the magnitude of the applied current due to the compressibility of the gas through backflow channel. The present method is expected to be useful for the design of guideline and interruption capacity on the thermal breakdown of a PASB chamber.

2. 본 론

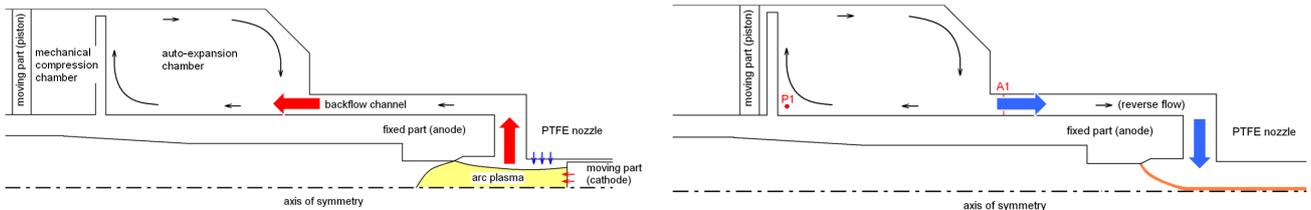
그림 1에 복합소호 아크챔버의 압축-팽창 과정을 간략화 하여 나타내었다. 복합소호 아크챔버는 피스톤에 의한 기계적 압축챔버 (mechanical compression chamber)와 아크에너지에 의한 자력팽창챔버 (auto-expansion chamber) 2개로 구성되어 있으며, 기계적 압축에 의한 압력 상승은 주로 소전류 차단에 주로 사용되고 자력팽창에 의한 압력 상승은 대전류 차단에 주요 역할을 담당하도록 설계된다. 본 논문은 그림 2에 나타낸바와 같은 대전류 차단과정에 주안점을 두었기 때문에 기계적 압축챔버에서 자력팽창챔버로의 흐름에 관해서는 논의에서 제외하도록 한다. 대전류 구간에서는 접점 사이에서 발생된 고온의 아크 플라즈마에 의하여 가열된 SF₆가스와 PTFE 용삭가스의 혼합가스가 유동채널을 통하여 팽창실로 유입된다 (그림 1 (左.)) 따라서 팽창실의 압력과 온도는 상승하게 된다. 전류영점에 가까워지면 접점 사이 영역의 압력에너지가 팽창실의 압력에너지보다 작아지게 되면서 팽창실에서 아크영역으로의 유동방향 전환이 발생되는데 이것이 아크소호력으로 사용되게 된다 (그림 1(右)).

SF₆ 아크 플라즈마 및 관련 열유동장 해석을 위해서는 전자기력이 아크 플라즈마의 운동특성을 좌우하기 때문에 Navier-Stokes 방정식 및 Maxwell 방정식을 연계할 수 있는 방법이 요구된다. 본 연구에서는 그림 3에 나타낸바와 같이 상용 CFD 코드인 PHOENICS를 이용하여 보존형 Navier-Stokes 방정식을 계산하는 도중에 라플라스 방정식 형태의 정전위 포텐셜을 추가적으로 계산함으로써 전류밀도, 아크저항, 전계분포, 주울열 등을 구하였다. 또한 이들 결과를 운동량 및 에너지 방정식의 생성항으로 결합하여 아크 플라즈마를 위한 로렌츠힘과 주울열로 구성하였다 [2].

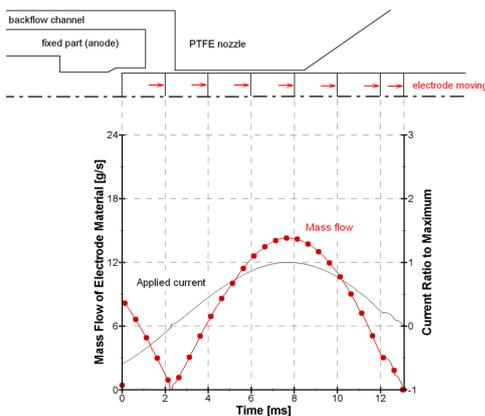
1. 서 론

SF₆ 가스차단기의 아크이력 (arcing history)을 고찰하기 위한 실험적 연구는 금전적 비용과 공간적 여유를 크게 요구하기 때문에 이에 관한 해석적 방법을 구축하고자 하는 연구가 많이 수행되었다 [1,2]. 하지만 디지털 및 컴팩트화로 인한 차단방식의 변화가 요구됨에 따라 새로운 차단방식에서의 차단이력에 관련된 이론 및 물리적 현상 확립이 명확하지 못한 실정이다.

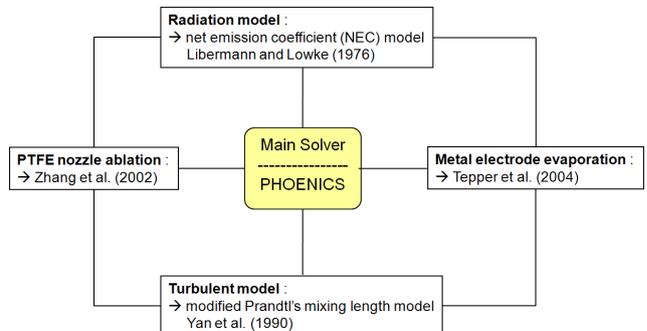
본 연구에서는 현재 개발연구가 활발한 복합소호 (Puffer-Assisted Self-Blast, PASB) 아크챔버에서 발생하는 차단이력을 파악하고자 고온의 플라즈마에 의한 주변 부품 (PTFE 노즐, 급속 전극)의 용삭 및 용손 발생을 추가하여 해석하였고, 열유동장 결과분석을 통하여 물리적 현상과 열적 차단 능력을 예측할 수 있는 가능성을 확보하고자 한다.



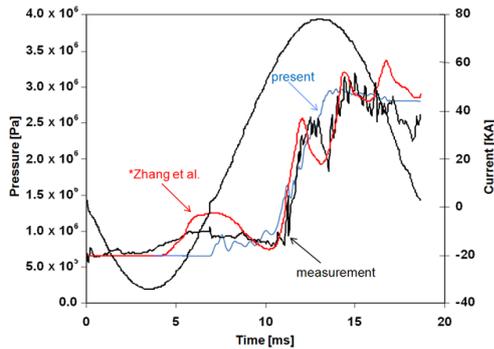
〈그림 1〉 복합소호 아크챔버의 압축-팽창 과정 개략도 (左:압축과정(대전류구간), 右:팽창과정(전류영점구간))



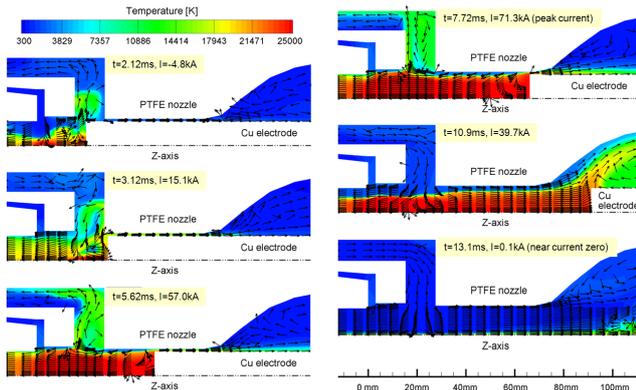
〈그림 2〉 차단과정 중의 이동전극 위치, 전류크기 및 접점재료 용손량



〈그림 3〉 PHOENICS에 결합된 아크플라즈마 모델



〈그림 4〉 자력팽창챔버 압력상승 실험데이터와의 비교 및 검증



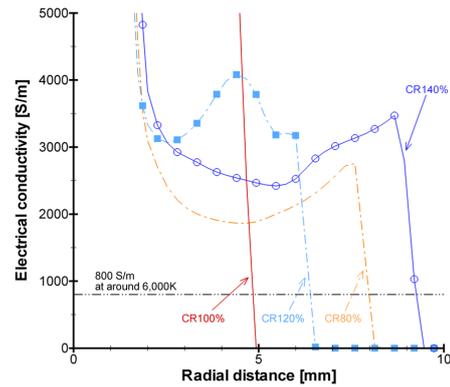
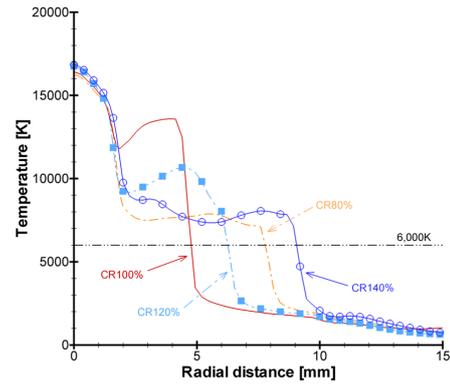
〈그림 5〉 차단이력 구간에 따른 온도분포 및 속도벡터

그림 2와 같은 전류입력과 접점이동에 따른 차단이력을 선행연구 [2]를 통하여 고찰하였다. 그림 4에 나타낸바와 같이 Zhang 등 [1]의 실험 및 해석결과와 비교를 통하여 본 연구의 해석방법 및 결과를 검토하였다. 참고문헌의 차단부 형상을 정확히 동일하게 구현하였다고 볼 수 없기 때문에 정량적 비교가 어렵겠지만 정성적으로 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 아울러 그림 5의 차단이력 구간에 따른 온도분포 및 속도벡터를 확인한 결과, PTFE 노즐목이 폐쇄된 상태에서는 발생된 아크에너지에 의하여 SF₆가스가 가열되고 PTFE 노즐의 용삭가스가 발생되며, 고온의 SF₆+PTFE 혼합가스가 상부 유로를 통하여 자력팽창챔버로 유입됨을 알 수 있다. 또한 노즐목 개방 이후에는 입력전류의 하향곡선과 맞물려 아크영역보다 챔버의 압력이 큰 상태가 되기 때문에 가스유동이 반대로 자력팽창챔버에서 아크영역으로 흐르는 PASB 챔버의 전형적인 유동패턴을 확인하였다.

전류영점 후 열적회복특성을 판단하기 위해서는 전류영점 부근 접점 근방에서의 온도 및 전기전도도 분포 파악을 통해서 이를 열적 단락방전 발생유무와 연관 지을 수 있는 가이드라인 구축이 필요하다. 이를 위하여 3가지 종류의 전류크기 (80%, 100%, 120%)에 관하여 해석을 수행하여 전류영점 부근 이동접점 근처의 반경방향 온도와 전기전도도 분포를 그림 6에 나타내었다. CR100%인 경우에서 잔류아크두께 (기준온도 6,000K [3])가 제일 얇은 (약 5mm) 가장 우수한 냉각효과를 나타내고 있으며, 전류를 다시 흐르게 하는데 결정적 역할을 하는 전기전도도 분포 또한 가장 얇게 존재함을 확인할 수 있다. 이와 같이 본 연구와 같은 수치적 방법은 PASB 챔버의 크기 및 형태에 따른 적합한 차단전류용량을 선정하는데 유용하게 사용될 수 있다.

3. 결 론

본 연구에서는 PASB 챔버에서의 아크이력 및 전류영점 부근 접점 근방에서의 온도 및 전기전도도 분포를 파악하였다. 이를 통하여 본 수치적 방법이 열적 단락방전 발생유무 가이드라인 구축 및 PASB 챔버의 적합한 차단전류용량을 선정하는데 유용하게 사용될 수 있음을 확인하였다. 보다 체계적인 연구를 위해서는 전류영점 이후의 아크-후 전류 (post-arc current) 계산을 통한 해석결과 및 차단실험결과와의 비교가 필요하다.



〈그림 6〉 전류영점 근방에서의 온도 및 전기전도도 반경방향 분포

[후 기]

이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2009-0066578).

[참 고 문 헌]

- [1] Zhang J. L., Yan J. D., Murphy A. B., Hall W. and Fang M. T. C., "Computational Investigation of Arc Behavior in an Auto-expansion Circuit Breaker Contaminated by Ablated Nozzle Vapor", IEEE Trans. on Plasma Sci., Vol. 30, No. 2, pp. 706-719, 2002.
- [2] 이종철, 김운제, "PASB 아크 플라즈마 챔버에서 발생하는 유동 및 물질전달에 관한 연구", 유체기계저널, 제11권, 제4호, pp. 7-13, 2008.
- [3] Ryan H. M. and Jones G. R., SF₆ Switchgear, IEE Power Series 10, Peter Peregrinus Ltd., p. 69, 1989.