

진공 인터럽터의 차폐판이 절연에 미치는 영향의 유한요소해석

A Finite Element Analysis on the Influence of Floating Shield of a Vacuum Interrupter to the Insulation

최승길*, 심재학, 강형부

Seung-Kil Choi, Jae-Hak Shim, Hyung-Boo Kang

Dept. Electrical Engineering, Hanyang University

Abstract

This study should investigate to what extent the electric field of a vacuum interrupter might be influenced by the electric potential of floating arc shield. The electric potentials of floating shield and electric fields of a vacuum interrupter are analysed by a finite element method against variation of gap distances from 1mm to 12mm. The electric potentials of floating shield was increased with the gap distance, which is because the relative position of shield is closer to fixed contact so that the capacitance distribution inside interrupter is varied. The calculated results show that the maximum value of electric field of a vacuum interrupter with floating shield is nearly same to that without shield at shorter gap distance(below 5mm), however at lager gaps a significant increment of electric field is achieved in interrupter with shield compaing with model without shield, which is due to the influence of charged floating shield.

Key words(중요 용어) : Vacuum Interrupter (진공 인터럽터), Floating Shield(부유 차폐판), Finite Element Method(유한요소법)

1. 서 론

진공차단기는 1980년대 국내 교류계통에 적용되기 시작하여 약 20년동안 고신뢰성, 보수점검의 용이, 소형 및 경량등 많은 이점이 입증됨으로서 현재 국내 배전전압급의 개폐장치에 대부분 적용되고 있다. 최근에는 전력계통 부하의 급증으로 인한 차단용량 증가 및 해융합로의 전원설비의 적용등의 필요성이 대두되어 소형 고전압화를 위한 진공 절연의 연구, 차단전류의 중대를 위한 아크 차단현상의 연구[1,2], 대전류차단 방식 및 병렬차단방식에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 특히 전류 차단후 절연 회복시 진공이 갖는 특이한 전류재단(current chopping) 현상에 의해 발생하는 개폐시 전압의 저감을 위해 다양한 전극 재료 개발이 이루어지고 있으며[3], 차단시 발생하는 열적 아크 에너지를 자체의 아크 구동력에 의해 분산 및 억제함으로써 차단용량을 증대시키기 위해 축 또는 반경방향 자계(axial or radial magnetic field)를 발생시키기 위

한 특이 전극구조 및 형상에 대한 연구가 이루어지고 있다[4-6].

일반적으로 진공 인터럽터의 내부에는 전류차단(current interruption)시 발생하는 아크 플라즈마(arc plasma) 영역으로부터 비산하는 금속 증기 및 입자가 절연 용기의 내벽에 응결함으로써 발생하는 절연용기(insulation envelope) 내벽 연면의 절연 성능 저하를 방지하기 위해 금속 재질의 부유 차폐판(floating shield)이 설치되어 있으며[7], 이 차폐판은 전원이 인가되면 등전위면(equipotential surface)을 형성하여 진공 인터럽터의 전계를 집중, 왜곡시키기 때문에 진공 인터럽터의 전위 분포 및 전계를 해석하는 것이 용이하지 않다.

이에 본 연구에서는 2차원 유한요소법(finite element method)에 의한 해석을 기초로 하여 외부 전원이 인가 되지 않는 제 3의 전극, 즉 부유차폐판의 전위 및 전계 해석 방법을 모색하고, 등전위 상태의 부유 차폐판이 있을 경우와 없을 경우의 인터

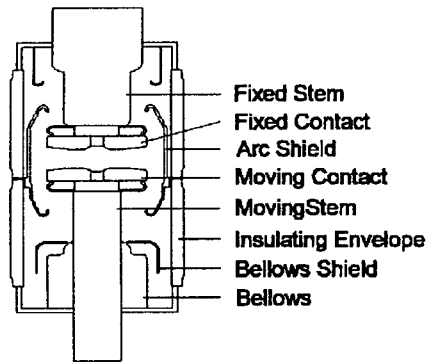


그림 1 진공 인터럽터의구조
Fig. 1 Vacuum interrupter construction

럽터의 전위 분포 및 전계를 각각 비교 해석하여 인터럽터가 정상 개극상태(open state)시 부유 차폐판이 절연(insulation)에 미치는 영향을 검토하였다.

2. 해석 모델

그림 1은 진공 인터럽터(vacuum interrupter)의 내부 구조로서 가스가 배기된 절연용기(insulating envelope)내에 고정 접점(fixed contact), 가동 접점(moving contact) 및 아크 차폐판(arc shield)등으로 구성되어 있다.

절연성능(insulation capacity)과 기밀성능(sealing capacity)을 동시에 만족시키는 것이 요구되는 진공 용기에는 알루미늄 세라믹이 재료로 사용되고 있으며, 용기 내부의 압력은 약 10^{-6} [torr] 정도의 고진공 상태를 유지하도록 되어 있다. 전극 및 접점은 충분한 탈가스 처리후 용기내에 장착되며, 가동 접점은 금속 벨로우즈(bellows)와 연결되어 진공을 유지하면서 접점의 개폐 동작이 가능하도록 설계되어 있다. 스테인레스강 재료의 아크 차폐판은 전류 차단시 발생하는 금속 증기의 절연 용기 부착에 의한 절연 성능의 저하를 방지하고자 설치되며, 벨로우즈 차폐판(bellows shield) 또한 금속 증기로부터 벨로우즈를 보호하기 위해 사용된다.

본 연구에서는 접점이 개극 상태에서 전압이 인가된 경우에 아크차폐판(arc shield)이 진공 인터럽터 내부의 절연 특성(insulation characteristics)에 미치는 영향을 검토하고자 부유차폐판이 있을 경우와 없을 경우의 두가지 해석모델에 대해 접점 간극(gap distance)를 변화시키면서 유한요소해석을 적용하였다.

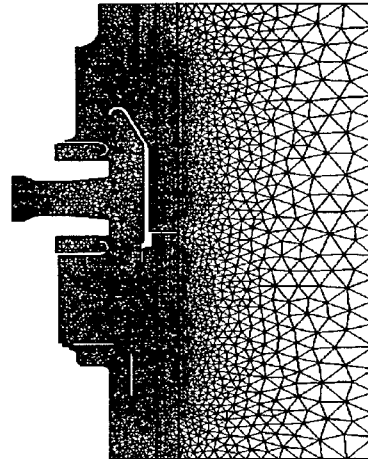


그림 2 유한요소분할도(요소수: 9697 개)
Fig. 2 Finite elements discretization

그림 2는 진공 인터럽터의 간극(gap distance)이 12mm, 요소수가 9697개일 경우의 요소분할도이다.

3. 해석 및 고찰

3.1 부유 차폐판의 전위에 대한 시뮬레이션

서론에서 언급하였듯이 대전류 차단시 아크에너지에 발생하는 금속 증기의 영향에 의한 절연 성능 저하를 방지하고자 진공 인터럽터의 내부에 설치되어 있는 아크 차폐판(arc shield)은 금속 재료로 되어 있으며, 전원 또는 접지와 연결되지 않은 부유 상태(floating state)에 있어 주전극과 접지전극 사이의 제 3의 전극(third electrode)의 작용을 한다. 따라서 주전극과 차폐판, 차폐판과 접지전극사이에는 차폐판의 위치 및 형상에 의해 결정되는 정전용량(capacitance)이 존재함으로써 용량 분압 효과에 의해 아크 차폐판에는 일정한 전위가 유지된다. 이러한 부유 아크 차폐판의 전위는 진공 인터럽터 내부의 전위 분포를 변화시킴으로서 전계 집중을 야기하므로 진공 인터럽터 설계시 그 전위값을 예측하는 것이 절대적으로 필요하게 된다.

그림 3에 진공인터럽터의 고정접점에 95kV를 인가하고 가동접점을 접지전위로 하여, 접점 간극을 1mm에서 12mm까지 변화시켰을 때 부유 차폐판에 유지되는 전위를 나타내었다.

진공인터럽터의 차폐판의 전위는 그림 3에서와 같이 접점간극이 길어지면 같이 증가하는 양상을

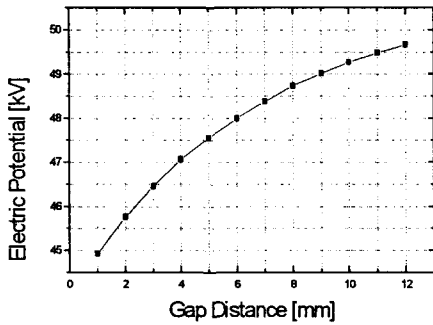


그림 3 접점 간극에 대한 부유차폐판의 전위
 Fig. 3 Electric potential of floating arc shield versus gap distance

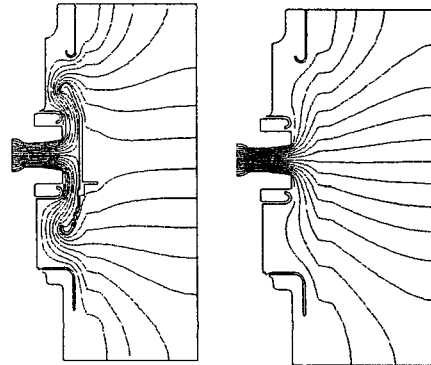
보인다. 이는 진공 인터럽터의 구조상 차폐판이 절연용기에 고정되어 있어 접점 간극이 증가하게 되면 차폐판의 위치가 고전압측인 고정접점에 상대적으로 가까워지게 되어 정전용량에 따른 분압 특성이 변화하기 때문으로 고려된다.

시뮬레이션 결과 얻어진 부유 차폐판의 전위는 접점 간극이 1mm인 경우 44.92[kV], 12mm인 경우 49.67[kV]로 전위값의 차이가 11[%] 정도로 상당히 큰 차이를 보였으며, 접점 간극에 따라 부유 차폐판에 인가 전압의 약 47~52[%] 정도의 고전압이 유기됨을 확인할 수 있다. 따라서 부유 차폐판이 진공 인터럽터의 전계에 큰 영향을 미치고 있음을 확인할 수 있다.

3.2 차폐판이 전계에 미치는 영향에 대한 시뮬레이션

전절에서 살펴본 바와 같이 진공 인터럽터 내부의 부유 차폐판에는 인가 전압의 약 50[%] 정도의 큰 전압이 유기되어 인터럽터 내부 전계 분포를 왜곡(distortion)시킬 가능성이 있다. 따라서 본 연구에서는 부유 차폐판이 있는 경우와 없는 경우에 있어서 각각 뇌충격전압(lightning impulse voltage)의 파고치가 인가된 상태에서 접점 간극의 변화에 따른 인터럽터 내부의 전위분포 및 최대 전계에 대한 유한요소 해석을 수행하였다.

그림 4는 진공 인터럽터의 접점 간극이 11mm인 경우에 있어서 부유 차폐판이 있을 경우와 없을 경우의 전위 분포를 나타낸 것으로, 부유 차폐판이 없



(a) model w. shield (b) model w/o shield

그림 4. 접점 간극이 11mm일 때의 전위분포
 Fig. 4 Potential distribution at 11mm gap

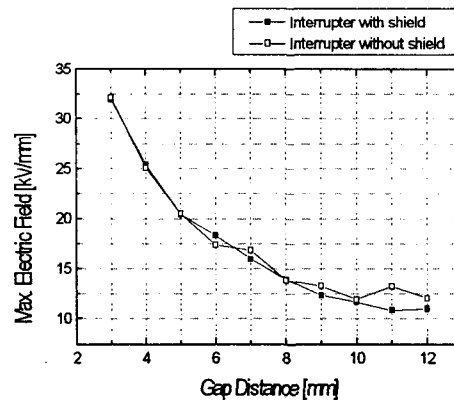


그림 5. 접점 간극에 대한 최대 전계
 Fig. 5 Max. electric field versus gap distance

을 경우에는 주접점 간극 사이의 등전위 분포(equipotential distribution)가 밀하게 되어이 영역에서 전계 집중(electric field concentration)이 이루어지는데 반해, 부유 차폐판이 있을 경우에는 주접점 간극 외에도 부유 차폐판과 전원인가측 및 부유 차폐판과 접지 전극측에도 상당히 조밀한 전위분포가 형성되어 상당한 전계집중이 형성된다. 이는 등전위면을 이루는 부유 차폐판의 영향때문으로 전류 차단시 발생하는 금속 증기의 응착을 통해 인터럽터 내부의 절연 성능 저하를 방지하기 위해 사용되는 금속 차폐판의 본연의 목적에 반해,

정상 개극상태에서는 오히려 전계집중에 의해 절연 성능의 저하를 유발할 가능성이 있음을 보여준다.

그림 5는 점점 간극 변화에 대한 차폐판이 있는 경우와 없는 경우 진공 인터럽터 내부의 최대전계 값을 비교한 것이다.

그림에서 보듯이 진공 인터럽터의 점점 간극이 5mm 이하로 짧을 경우 최대 전계는 차폐판의 유무에 무관하게 거의 동일한 값을 보이는 반면, 그 이상의 간극에서는 차폐판이 있을 경우의 최대전계값이 없을 경우에 비해 최대 20[%] 이상의 큰 값을 가짐을 알 수 있다. 이와 같은 양상을 보이는 이유는 점점 간극이 짧을 경우에는 최대전계는 인터럽터의 주접점 사이에 분포하기 때문에 차폐판에 의한 전계 왜곡의 영향이 미미하기 때문이며, 점점 간극이 클 경우에는 차폐판의 전위 상승에 의한 전계 왜곡의 정도가 심화되기 때문인 것으로 생각된다.

따라서 진공 인터럽터의 절연 성능은 점점 간극이 짧을 경우에는 주로 주접점의 형상 및 구조에 의존하여 결정되는데 반해, 점점 간격이 길 경우에는 주접점뿐만 아니라 제 3의 전극, 즉 부유차폐판에 의해서도 상당한 제한을 받음을 알 수 있다. 그러므로 부유 아크 차폐판 구조를 가지는 진공 인터럽터에 있어 점점 간극의 증대에 의해 절연 성능을 향상시키고자 할 때에는 부유 차폐판이 결정적인 제한 요소로 작용할 수 있음을 확인할 수 있다.

4. 결 론

진공 인터럽터가 정상 개극 상태시 부유 아크 차폐판이 절연에 미치는 영향을 해석하는데 목적을 둔 본 연구에서는 유한요소법을 도입하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 진공 인터럽터가 개극상태일 때 부유 상태에 있는 아크 차폐판에는 인가 전압의 약 50% 정도의 큰 전위가 유기되며, 전위값은 차폐판의 주접점에 대한 상대적 위치에 따라 변화한다.
- (2) 진공 인터럽터의 점점 간극이 짧을 경우 최대전계는 주접점 사이에서 형성되어 부유 차폐판이 인터럽터의 절연 성능에 미치는 영향이 미미하나, 길 경우에는 차폐판과 전원측 및 차폐판과 접지 전극측간에 상당히 큰 전계집중이 발생한다.
- (3) 부유 차폐판 구조를 갖는 진공 인터럽터는 없는 경우보다 최대 20%이상의 큰 최대 전계값을 가져 부유 차폐판이 인터럽터의 절연

성능을 저하시키는 요인으로 작용함을 알 수 있다.

본 연구에서 검토된 부유 전극이 포함된 계에 대한 전위 분포 및 전계의 2차원 유한요소 해석 방법은 정전 분배 절연물(capacitive graded insulator), 정전콘덴서 등의 유사한 분야의 해석 연구에도 적용 가능할 것으로 사료된다.

본 연구는 한국전력공사의 연구비 지원에 의해 기초전력공동연구소 주관으로 수행된 과제결과의 일부임.(관리번호 : 98-075)

참 고 문 헌

- [1] M. Binnendijk, et al, "High-current interruption in vacuum circuit breakers" *IEEE. Trans. Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 4, pp. 836-840, 1997
- [2] K. Yokokura, et al, "Capacitor switching capability of vacuum interrupter with CuW contact material," *IEEE. Trans. Power Deverly*, vol. 10, pp. 804-810, 1995
- [3] E. Kaneko, et al, "Possibility of high current interruption of vaciim interrupter with low surge contact material : improved Ag-Wc" *IEEE. Trans. Power Deverly*, vol. 10, pp. 797-803, 1995
- [4] Ruben D. Garzon, "High voltage circuit breakers : design and applications" *Marcel Dekker, Inc.*, 1997
- [5] Kenji Watanabe, et al, "Technical progress of axial magnetic field vacuum interrupters", *IEEE. Trans. Plasma Science*, vol. 25, pp. 609-616, 1997
- [6] K. Nitta, et al, "Three-dimensional magnetic field analysis of electrodes for VCBs" *IEEE. Trans. Power Deverly*, vol. 12, pp. 1520-1525, 1997
- [7] W. WIDL, "The influence of the shield on the breakdown behavior of vacuum interrupter", *Proceedings of the IXth International Symposium on Discharges and Electrical Insulation in Vacuum*, pp. 155-160, 1981