

고차단용량 진공인터럽터의 AMF 전극 비교연구

김진수*, 최명준, 류성식, 김익모, 최영찬
현대중공업(주)

Comparison of AMF Contacts for High Interrupting Capacity Vacuum Interrupter

J.S KIM*, M.J CHOI, S.S RYU, I.M KIM, Y.C CHOI
Hyundai Heavy Industries Co., Ltd.

Abstract - As rise the demands for the protection of environment and the compactness of equipments, the movement brisks for replacing the circuit breaker of GIS(Gas Insulated Switchgear) to VI(Vacuum Interrupter). For these reason an increase in the interruption capability of VI is required. To satisfy these requirement, the academic and industrial worlds have been studying extensively for AMF(Axial Magnetic Field) contact, which is effective in interrupting large current over tens of kA, and introduced many kind of AMF contacts. However there are little effort to compare these contacts comprehensively, so it is difficult to choose most suitable shape for user's needs. In this paper, focusing unipolar type contact among various type of AMF contacts, we performed magnetic field analysis for several models designed in same dimension and compared the result and characteristics of each model in order to help deciding the direction for developing profitable VIs for interrupting large current.

하는 것이 보통이며, 4극형의 경우 중심으로부터 반대방향으로 분기된 전류를 다시 돌로 나누어 4개의 자기극성을 생성하도록 하는데, 4극형의 경우 상대적으로 약한 자계를 보완하기 위해 전극 내에 강자성체를 삽입하기도 한다. 그림 1은 대표적인 2극형과 4극형 전극의 예시도이다.

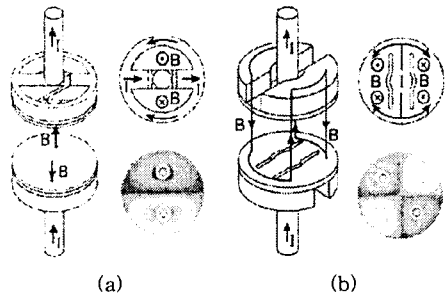
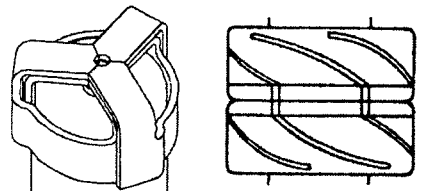


그림 1. 2극형(a) 및 4극형(b) 축자계 전극[2]

단극형 축자계는 한쪽 방향의 원주형 전류성분으로 자계를 생성하는 방식으로서, 외부코일에 의한 방법과 전극코일에 의한 방법이 있으며, 전극코일의 형상에 따라 다양한 종류가 있다. 단극형 축자계는 다극형에 비해 보다 넓은 면적에 걸쳐 고른 축자계 분포를 갖는다는 점에서 유리하여 보다 널리 사용되고 있다. 그림 2는 대표적인 외부코일 방식과 전극코일(슬릿형) 방식을 나타낸다.



(a)외부코일형 (b)전극코일형(슬릿형)

그림 2. 단극형 축자계전극

1. 서 론

진공 인터럽터는 차단성능의 우수, 환경친화성, 편리한 유지보수 등 여러 가지 우수한 성능으로 중저압급에서 널리 사용되고 있다. 이러한 특성으로 점차 그 사용영역이 고전압, 대전류로 확대되어 전압에 있어서는 최근 72kV 이상의 차단기에 적용하는 사례가 등장하고, 100kV 이상까지도 적용하기 위한 연구가 활발히 진행중이며, 전류에 있어서는 200kA까지의 차단시험이 연구된 바 있다[1]. 알려진 바와 같이, 일반적으로 수 kA 이상의 전류를 차단하기 위해서는 전극 사이 공간에 축자계(AMF)를 생성시켜 아크를 확산상태로 전이되도록 유도하는 것이 유리한데, 이 축자계는 외부코일이나 전극의 형상을 적절히 설계하여 생성시킬 수 있다. 이러한 축자계 전극에 대한 많은 연구가 진행되고 있는데, 본 논문에서는 대표적인 몇가지 단극 축자계(unipolar AMF) 전극들에 대한 축자계 특성 및 코일 손실을 비교해 보고자 한다.

2. 본 론

2.1 축자계 전극의 종류

축자계를 생성하기 위한 전극은 전극사이의 자기극수(number of magnetic polarity)에 따라 단극형(unipolar), 2극형(bipolar), 4극형(quadrupolar)로 나눌 수 있으며, 축자계를 생성하는 방법은 크게 코일(전류경로가 되는 전극 도체부의 형상에 의한 것과, 강자성체를 병행 이용하는 것으로 나누어진다. 2극형은 전류경로를 돌로 분기되는 코일형상을 도입하여 각 전류가 반대방향(ccw & cw)으로 흐르게 하여 서로 다른 극성의 축자계를 형성

2.2 대상모델

표 1. 해석모델

| 번호 | 구분 | 전류 분기수 | 분기당 유효 회전각 |
|------|---------------|--------|-------------|
| I | slit 형 | 6 | 약 110° |
| II | double slit 형 | 6 | 약 85 ~ 120° |
| III | 1-arm 형 | 1 | 약 330° |
| IV | 2-arm 형 | 2 | 약 160° |
| V | 3-arm 형 | 3 | 약 105° |
| VI | 4-arm 형 | 4 | 약 78° |
| VII | 3-leg 형 | 3 | 약 103° |
| VIII | 4-leg 형 | 4 | 약 77° |
| IX | double leg 형 | 3 | 약 103° |

본 연구에서는 단극 축자계를 생성하는 방식중에서 전극코일형에 초점을 맞추어, 같은 직경 및 높이로 설계한 여러 모델에 대해 자계해석을 수행하였다. 해석모델은 슬릿형을 포함하여 모두 9개이며 표 1에 나타내었다. 참고로 arm형 및 leg형이란 명칭은 반경방향 도체부의 유무에 따라 임의로 구분한 것이다. 형상에 대한 이해를 돕기 위해 그림 3에 전극도체부(contact base)의 단면도 혹은 입체도로 나타내었다.

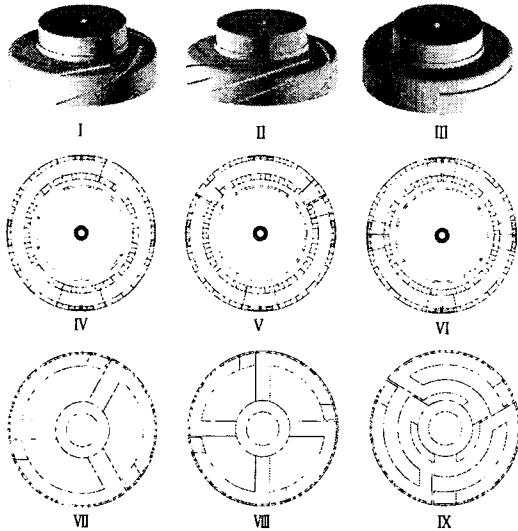


그림 3. 해석모델 전극의 외형도 및 단면도

모델 I은 slit형으로 slit의 기울기 및 절단 깊이에 따라 전류 회전각도를 조절할 수 있으나, 직경 및 높이에 따라 기울기가 제한되므로 전류 회전각도를 무한히 높일 수는 없다. 모델 II는 모델 I의 제한을 극복하기 위해 전극 중간까지 slit을 만들고, 상부 slit과 교차되게 하부 slit을 배치하여 축자계를 보강하고자 하는 모델로 'M'사에서 제안한 것이다. 모델 III은 모델 I과 동일한 전극(contact base)을 사용하여 완전한 원주성분 전류를 형성하도록 설계한 것이며, 모델 IV~VI은 이 원주성분 전류를 각각 2등분, 3등분, 4등분 되도록 분할한 것이다. 본 논문에서는 모델 III~VI를 arm형이라 칭하며 다음에 언급하는 leg형의 반경방향 도체에 의한 부정적 영향을 최소화 하기 위한 설계이다. 모델 VII 및 모델 VIII은 일반적으로 leg형이라 칭하며, 중심에서 둘레에 이르는 반경방향 도체를 사용한 것이 특징이다. 모델 IX는 접점 중심부는 소전류 차단, 그 둘레는 대전류 차단에 적합하도록 중심부의 축자계를 약화시켜 대전류 차단시 확산아크가 접점 중심부가 아닌 그 주변에 형성되도록 'T'사에서 제안한 모델이다.

2.3 해석결과

본 연구에서는 동일한 전류입력에 대한 자계해석을 수행하였으며, 각 모델별 전극면에서의 축자계 분포는 그림 4에 나타내었다.

축자계 분포특성을 보면 모델 I은 전극 중심부에서는 고른 분포를 나타내며, 가장자리로 가며 자속밀도가 약해진다. 모델 II은 모델 I과 유사하지만, 전극 중심부의 자속밀도가 고른 영역이 조금 더 넓은 것을 확인할 수 있다. 모델 III에서는 자속밀도가 전반적으로 고르지만 한쪽의 자속밀도가 높아 비대칭 분포를 보이고 있다. 모델 IV~VI은 전극 중심부를 비롯한 전 영역에서 고른 분포를 보이며, 가장자리 부근에 축자계 세기가 강한 부분

이 대칭적으로 분포되어 있다. 모델 VII 및 모델 VIII은 각각 모델 V 및 모델 VI과 유사한 분포를 나타내지만 자속밀도의 편차가 좀 더 큰 편이다. 마지막으로 모델 IX는 중심부의 자속밀도는 낮고 그 둘레로 자속밀도가 높은 영역이 띠를 형성하여 분포하는 것을 볼 수 있다.

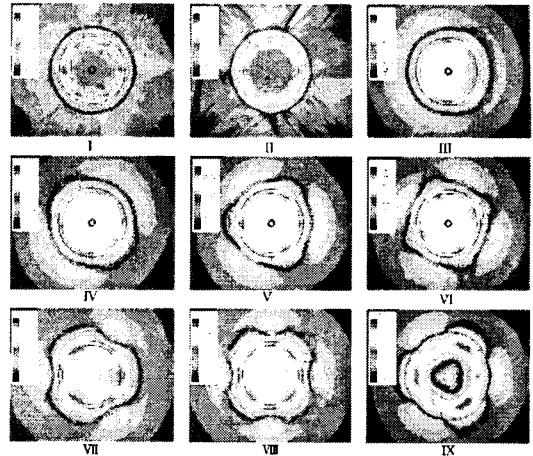


그림 4. 전극표면 축자계 분포

그림 5는 전극표면에서의 축방향 자속밀도의 최대값을 단위전류에 대한 자속밀도로 나타낸 그래프이다. 모델 II double slit형은 설계의도와는 달리 모델 I보다 자속밀도가 약한데, 이는 하부 slit에서 전류 경로가 분할되지만 짧은 경로로 더 많은 전류가 집중되어 나타나는 현상으로 그림 7의 손실 특성에서 이를 확인할 수 있다. 모델 III~VI의 arm형에서는 전체적으로 slit형에 비해 강한 축자계를 형성하며, 최대 자속밀도는 대체로 전류 세그먼트 수에 반비례하다. arm형 및 leg형을 비교하면 arm형이 leg형보다 약 20%정도 높은 것을 볼 수 있는데, 이는 leg형에서는 반경방향 전류성분이 집중되어 있어 이에 따른 축자계의 교란에 따른 것이다. 모델 IX는 내부의 원주형 도체와 외부의 원주형 도체가 서로 반대방향 전류성분을 갖도록 설계한 것이며, 내부 도체의 영향으로 자속밀도 최대값도 모델 VII에 비해 낮다.

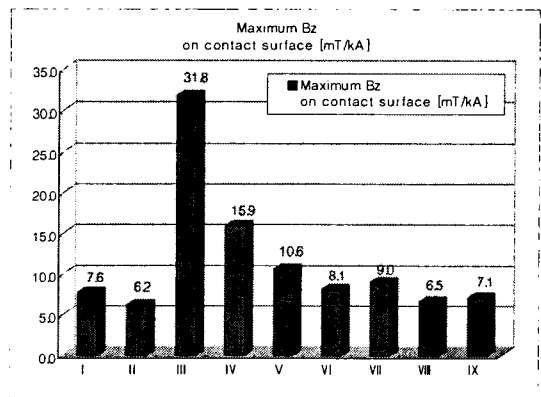


그림 5. 전극표면 축자계 세기 비교

축자계 내에서 대전류 차단시 발생하는 아크는 응축모드에서 과도상태를 거쳐 확산아크로 전이되는데[4], 이때 확산아크로 전이하기엔 효과적인 축자계의 세기는 약 4~5[mT/kA]이다[3][4]. 그림 6은 전극표면에서 축방향 자속밀도가 5[mT/kA]이상인 영역이 전체 전극면에서 차지하는 비를 나타낸 것이다. 축자계 전극에서는 차단

전류가 전극의 넓이에 따라 증가하므로[5], 이 값이 높을수록 확산아크가 분포할 수 있는 영역이 더 넓으므로, 동일한 차단전류에 대해 더 작은 전극을 설계할 수 있다.

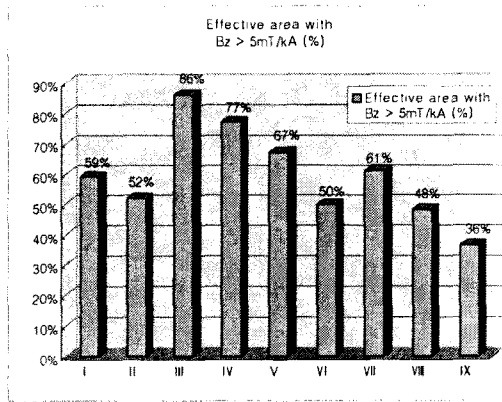


그림 6. 유효 전극 면적($B_z > 5\text{mT/kA}$) 비교

축자계 전극의 적용에 있어 가장 큰 제한요소는 전극에서의 발열이다. 축방향 자속밀도를 높이기 위해서는 원주방향 전류성분을 증대해야 하는데, 이는 전류경로의 증가를 요구하며 이에 따른 저항증가로 줄(Joule) 손실이 증가한다. 이러한 손실을 감소시키기 위해서는 전류를 분기하거나 전류경로의 단면적을 늘려야 하는데, 이는 불가피하게 축자계 세기의 감소를 가져온다. 그림 7은 대상모델들의 전극도체부(contact base)에서의 손실을 비교한 그래프이다. 모델 I 및 II는 전류분기수가 가장 많고, 다른 모델들에 비해 전류경로도 짧아 가장 낮은 손실을 보이고 있다. 특히 모델 II의 손실이 모델 I보다 작은 것은 앞서 언급한 바와 같이 전류경로가 더 짧아진 것을 의미하며, 이로 인해 모델 II의 축자계가 모델 I보다 작아지게 된다. arm형 모델을 보면 손실이 대략 전류분기수의 재공에 비례하여 감소됨을 확인할 수 있고, 전체적으로 축방향 자속밀도가 높을수록 손실 또한 높은 것을 알 수 있다.

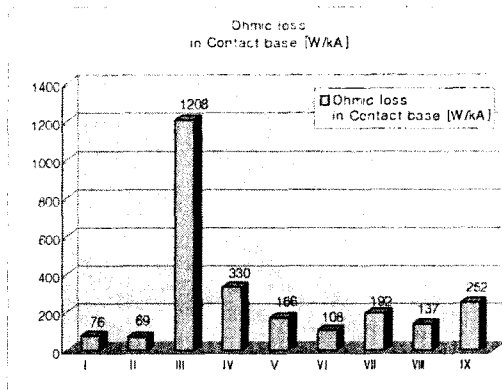


그림 7. 전극코일에서의 손실(ohmic loss) 비교

3. 결 론

본 논문에서는 대표적인 단극 축자계(unipolar AMF) 전극들에 대한 자체해석을 수행하여 전극면에서의 축자계분포 및 손실특성을 살펴보았다. 축자계 세기가 인정한 값 이상인 유효면적을 비교하였으며, 모델별로 전극에서의 손실을 비교하였다. 이상의 결과들은 전극설계

방향에 도움을 주기위한 비교자료로 활용될 수 있을 것이며, 실제 축자계 전극의 설계에 있어서는 손실특성과 자체특성을 고려하여, 차단용량에 적절한 전극형상을 선정해야 하며, 전극 발열량에 따라 필요시 적절한 냉각방안도 모색하여야 한다.

[참 고 문 헌]

- [1] S. Yanabu, E. Kaneko "Research and Development of Axial Magnetic Field Electrode and its Application", in 18th ISDEIV, Eindhoven, The Netherlands, 1998
- [2] M. Lindmayer and F. Unger Weber, "Events associated with the interruption of high voltage vacuum arcs," in Proc. 18th ISDEIV, Paris, France, 1998, pp. 330-334.
- [3] R. Renz "On Criteria of Optimized Application of AMF and RMF Contact Systems in Vacuum Interrupters", in 19th ISDEIV, Xi'an, China 2000, pp.176-179
- [4] Erik D. Taylor, "Transition to the Diffuse Mode for High Current Drawn Arcs in Vacuum With an Axial Magnetic Field", in IEEE Trans. on Plasma Science, 2003
- [5] E. Slamecka "Axial Magnetic Field Vacuum Interrupter, Interrupting current function of electrode area", in 18th ISDEIV, Eindhoven, The Netherlands, pp. 518-521