

진공인터럽터용 다극 종자계전극의 자계분포 특성

김성일*, 박홍태, 안희일
LG산전 전력연구소

The Magnetic Field Characteristics of Multipolar Axial Magnetic Field type Electrodes for Vacuum Interrupter

SUNG-IL KIM*, HONG-TAE PARK, HEE-IL AHN
Electrotechnology R&D Center, LG Industrial Systems

Abstract - This paper describes axial magnetic field characteristics of multipolar axial magnetic field type electrodes for vacuum interrupter used in vacuum circuit breaker. It was distinguished that axial magnetic field distribution in consideration of eddy current effect between electrodes by finite element method. Throughout experiment of magnetic field measurement, confirmed validity of numerica analysis.

1. 서 론

진공차단기는 현재 대전류 차단용으로 폭넓게 사용되고 있는데, 진공차단기 내에서 전기적으로 전류를 차단하는 부분이 바로 진공인터럽터이다. 이 진공인터럽터가 대전류를 차단하는 원리는 크게 두가지로 나눌 수 있는데, 아크주에 수직으로 작용하는 자계에 의해 아크를 원주방향으로 빠르게 회전시키는 횡자계(Radial magnetic field)방식과, 아크와 평행한 자계를 인가하여 아크를 접점 표면에 고르게 확산시켜 안정화시키는 종자계(Axial magnetic field)방식이 바로 그것이다[1-7].

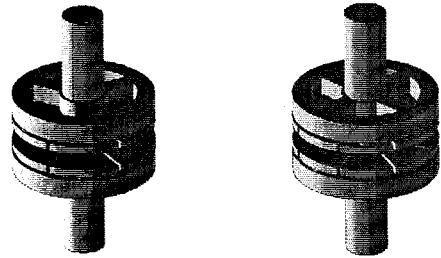
특히 종자계방식은 대전류의 차단에 용이하고, 접점의 소모율이 낮으며 수명이 긴 장점이 있기 때문에 최근에 대용량 전류차단용으로 많이 사용되고 있는 방식이다. 본 논문에서는 이러한 종자계방식의 진공인터럽터를 개발하기 위하여 다극 종자계전극 모델을 구성하여 와전류를 고려한 자계의 수치해석을 실시하였으며, 실제 전극을 제작하고 자계측정실험을 실시하여 해석결과와 비교함으로써, 해석의 타당성을 검증하고, 나아가 개발 전극의 차단성능 향상의 대책을 위한 데이터로 활용하려 한다.

2. 본 론

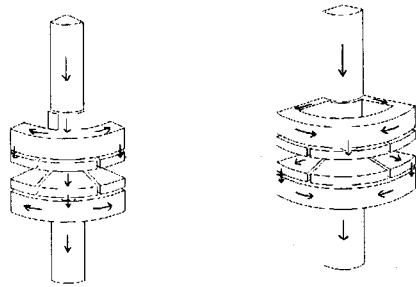
2.1 다극 종자계전극 해석모델

종자계방식 전극은 전극이 만드는 자계의 방향성에 따라서 분류할 수 있는데, 한 방향으로 작용하는 자계를 가지는 것을 단극방식, 전극 중심축을 중심으로 서로 교번되는 방향으로 작용하는 자계를 가지는 것을 다극방식이라 한다. 본 논문에서는 후자인 다극방식 종자계전극 중 6극과 8극을 모델링하여, 그 자계특성을 파악하였다. 그림 1에는 본 연구에 사용된 6극과 8극 종자계 전극의 형상을 나타내었다, 그리고, 그림 2와 그림 3에는 수치해석을 위하여 각각 1/3, 1/4씩 분할한 전극모델에 있어서의 전류의 흐름과 요소분할도를 나타내었다.

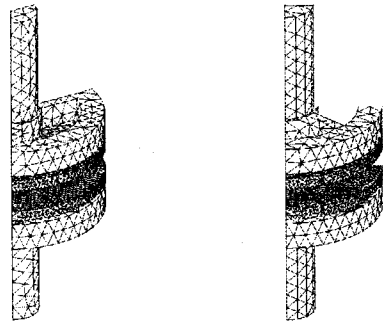
그림 1의 각 다극 종자계전극 모델은 전류의 입출을 위한 전극봉과 종자계를 만들기위한 코일전극, 코일전극과 접촉자 사이의 기계적 강도 보강을 위한 지지판, 그리고 전류차단시 아크가 직접적으로 닿는 부분인 접촉자로 구성되어 있다. 그리고, 접촉자에는 주전류가 만드는 자계에 의해 발생하는 와전류를 감소시키기 위하여 슬릿을 각각 극수와 동일하게 주었다. 표 1에 각부의 치수와 물질특성을 나타내었다.



(a) 6극 종자계전극 모델 (b) 8극 종자계전극 모델
그림 1. 다극 종자계 전극 모델



(a) 6극 종자계전극 모델 (b) 8극 종자계전극 모델
그림 2. 다극 전극에서의 전류의 흐름



(a) 6극 전극 요소분할도 (b) 8극 전극 요소분할도
그림 3. 다극 전극 해석모델의 요소분할도

그림 2는 각 전극에 있어서의 전류의 흐름을 나타내고 있는데, 상부전극과 하부전극의 코일에서 전류의 흐름이 동일함을 알 수 있다. 따라서, 상하 코일전극의 동일한 전류의 흐름에 의해 전극 사이에 종자계가 발생하게 되는 것이다. 그림 3의 요소분할도는 진공영역을 제외한 부분의 요소분할도로서, 접촉자 사이에는 직경 10mm의 아크를 모의하였다.

표 1. 부품별 물질특성

재료명	도전율	비투자율	치수
전극봉	Cu	5.8E7	1 R13× 50.0
코일전극	Cu	5.8E7	1 R45× 12.0
지지판	SUS	1.1E6	1 R32× 3.65
접촉자	CuCr2	2.2E7	1 R45× 5.00
아크	ARC	2.8E3	1 R5 × 10.0

2.2 해석방법 및 결과

2.2.1. 해석원리

와전류를 고려한 자체해석은 AC전류와 (경계조건에 따라 표시되는) 외부 시변자계에 의해 자계를 계산한다. 초기에 계산되어지는 양은 자계강도 H이고, 전류밀도 J 나 자속밀도 B는 이 자계강도 H에 의해 자동으로 계산 된다. 또, 힘, 에너지, 손실, 임피던스와 같은 값들은 이러한 기본적인 계들의 값으로부터 구해지는 값들이다. 자체는 아래와 같은 형태로 가정할 수 있다.

$$H(x, y, z, t) = H(x, y, z) \cos(\omega t + \theta(x, y, z))$$

여기서, H(x,y,z)는 공간의 각 점에서 크기와 방향을 갖는 벡터량, ω는 주파수이며 θ(x,y,z)는 ωt = 0에서 최대값을 가지는 코사인 파형의 변화량이다. 모든 값들은 같은 주파수를 가지므로 시변 자체는 페이저로 저장된다.

해석모델의 특성에 맞게 AC전류원과 경계조건을 주면 아래와 같은 식을 이용하여 계산되어진다.

$$\nabla \times H = J + \frac{\partial}{\partial t} \epsilon E$$

$$\nabla \times E = \frac{\partial B}{\partial t}$$

여기서

H : 자체

J : 전류밀도, 전류밀도 J는 유도전계 E와 J = σE의 관계가 있다

E : 유도전계

B : 자속밀도, B = μrμ0H의 관계를 이용하여 계산됨

μr : 비투자율

μ0 : 자유공간의 투자율

자체는 아래 수식에 의한 깊이(skin depth) 만큼 투과가 가능하다.

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega \sigma \mu_0 \mu_r}}$$

ω : 각주파수, 2πf와 같다

σ : 도체의 도전율

μr : 비투자율

μ0 : 자유공간의 투자율, 4π × 10⁻⁷Wb/Am과 같음

전류는 도체의 표면에 거의 집중되므로, skin depth를 지나면 급격히 감소한다. 위의 식에서와 같이, skin depth는 주파수가 증가함에 따라 작아진다.

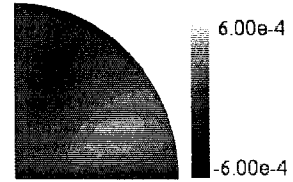
2.2.2 해석결과

해석모델에 200Arms의 사인 반파를 입력하였다. 그림 4는 전류피크에서, 상하 전극 사이의 축방향 자속밀도분포를 나타낸다. 축방향 자속밀도가 강하게 나타나는 영역은 접촉자에 슬릿이 있는 영역이며, 명함의 차이는 자속의 방향이 서로 반대임을 의미한다. 그림 5는 입력전류 및 시간의 변화에 따른 축방향 자속밀도의 변화를 나타낸다. 여기서, 전류피크에서 두 해석모델 모두 최대값

을 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 이는 단극 또는 슬릿이 없는 경우에 발생하는 위상차가 슬릿을 가지는 다극전극에서는 발생하지 않음을 확인시켜 주었다.



(a) 6극 중자계전극의 자속밀도분포



(b) 8극 중자계전극의 자속밀도분포

그림 4. 전류피크시 아크중심에서의 축방향 자속밀도분포

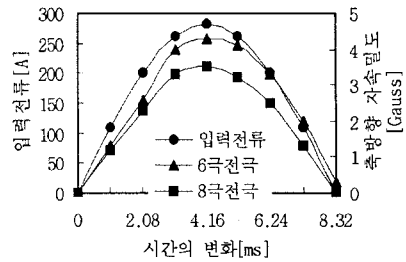
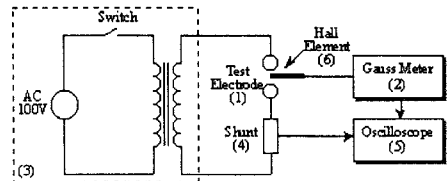


그림 5. 입력전류파형 및 시간의 변화에 따른 축방향 자속밀도의 변화

2.2.3 실험 및 해석결과의 비교

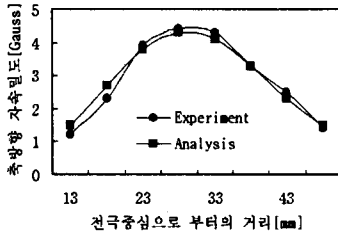
그림 6은 다극 중자계방식 전극의 축방향 자속밀도 분포 및 그 크기 측정을 위한 시험설비의 배치도이다. 여기서 입력전류는 단상 60Hz, 200Arms이며, 상하 전극은 특별히 고안된 고정대에 고정시키고, 상하 접촉자 사이에 전류의 흐름을 위하여 직경 10mm의 동봉을 삽입하였다. 축방향 자체의 측정은 홀센서가 부착되어 있는 프로브를 가우스메타에 연결하여 측정하고, 오실로스코프로 시간의 변화에 따른 데이터를 확인하였다.



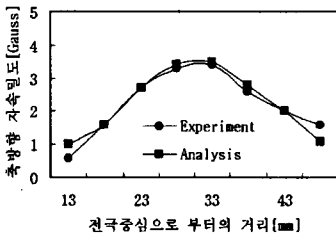
- (1) 다극 중자계형 전극
- (2) 자체측정을 위한 Gauss Meter
- (3) 전류전원 장치
- (4) 전류 측정을 위한 Shunt
- (5) 오실로 스코프
- (6) 축방향 자체의 측정을 위한 홀센서

그림 6. 중자계형 전극의 자속밀도 분포 및 크기 측정설비

그림 7에 전류 피크시 6극, 8극 전극의 전극중심에서 원주방향으로의 축방향 자속밀도 분포를 나타내었다. 자속밀도의 크기 및 분포는 실험결과와 해석결과가 거의 동일함을 확인 할 수 있었으며, 8극 전극보다는 6극 전극의 축방향 자속밀도값이 크며, 자속밀도값이 큰 영역이 넓게 분포함을 확인할 수 있었다. 그리고, 단극 및 슬릿이 없는 전극에서 흔히 볼 수 있는 자계와 입력전류와의 위상차는 실험 및 해석에서 모두 나타나지 않았다.



(a) 6극 종자계형 전극



(b) 8극 종자계형 전극

그림 7. 전류피크시 전극중심에서 원주방향으로의 축방향 자속밀도분포

3. 결 론

진공차단기용 다극 종자계형 진공인터럽터 개발을 위한 기초 연구로서, 6극과 8극의 종자계형 진공인터럽터 모델을 선정하여, 수치해석을 통해 축방향 자계의 분포와 크기를 파악하고, 실제 실험을 통한 결과와 비교 검토하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 다극 종자계형 진공인터럽터의 축방향 자속밀도분포는 전극 중심을 기준으로 서로 교번되는 분포를 나타내며, 전극의 중심과 원주쪽에서 낮은 값을 가진다. 따라서, 접촉자 표면의 중심과 원주쪽에서 아크가 개시되지 않도록 전극을 설계할 필요가 있을 것으로 생각된다.
- 2) 단극 및 접점에 슬릿이 없는 전극에서 볼 수 있는 입력전류와 자속밀도 간의 위상차는 6극 및 8극 전극의 자체해석 결과에서는 거의 나타나지 않았다. 따라서, 다극 종자계형 진공인터럽터의 접촉자에 있어서는 슬릿의 영향이 적으므로 슬릿을 제거하여 접촉면적을 증대시킬 수 있을 것으로 생각된다.
- 3) 다극 종자계형 전극의 자속밀도분포 측정실험을 통하여 자속밀도의 분포 및 크기가 해석을 통해 얻어진 데이터와 거의 일치하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 수치해석을 통한 차단성능의 예측이 가능하다는 것을 나타내는 것으로 생각된다.

[참 고 문 헌]

- [1] S. Yanabu, E. Kaneko, E. Okumura, T. Aiyoshi, Novel electrode structure of vacuum interrupter and its practical application, IEEE Power Engineering society Meeting, Minneapolis, 1980
- [2] M. B. Schulman, P. G. Slade, J. V. R. Herberlein, Effect of an axial magnetic field upon the development of the

vacuum arc between opening electric contacts, IEEE Trans. on Components, Hybrids, and Manufacturing Technology, Vol. 16, No. 2, p. 180, 1993

[3] F. Unger-Weber, Wiederverfestigung des Hochstrom Vakuumbogens bei hohen Spannungen. Thesis, Techn. Univ. Braunschweig, Germany, 1988

[4] B. Fenski, M. Lindmayer, Vacuum Interrupters with Axial Field Contacts 3D Finite Element Simulations and Switching Experiments, XVIIth International Symposium on Discharges and Electrical Insulation in Vacuum, Berkeley, California, USA, July 21-26, 1996

[5] S. Yanabu, T. Tsutsumi, K. Yokokura, E. Kaneko, Recent technical developments in high-voltage and high-power vacuum circuit breakers, IEEE Trans. on Plasma Sci., Vol. 17, No. 5, p. 717, 1989

[6] W. G. J. Rondeel, The vacuum arc in an axial magnetic field. J. Phys. D, Appl. Phys., Vol. 8, 1975

[7] Y. Sunada, N. Itoh, S. Yanabu, H. Awaji, H. Okumura and Y. Kanai, Research and Development on 13.8kV 100kA Vacuum Circuit Breaker with Huge Capacity and Frequent Operation, CIGRE, 1986