

FEM 해석을 통한 Spiral type 진공인터럽터의 전극형상에 따른 아크구동력 비교

김병철, 윤재훈, 허준, 강성화*, 임기조
충북대학교, 충청대학*

Analysis of arc driving force for 3 petal and 4petal
of spiral type vacuum interrupter by FEM analysis

Byoung-Chul KIM, Jae-Hun YOON, Jun HOE, Seong-Hwa KANG*, Kee-Joe LIM
Chungbuk University, Chungcheong college*

Abstract - In this paper we calculated and compared the arc driving force of two spiral-type vacuum interrupter electrode models which have 3petals and 4petals respectively by means of commercial finite element method software Maxwell 3D. As a result we can find that the more petals the electrode has, the stronger arc driving force was generated. This simulation method can contribute to optimization of spiral-type electrode designs in a view of arc driving force.

1. 서 론

현재 온실가스에 의한 지구온난화가 환경문제로 대두되고 있는 가운데 온실가스 중의 하나인 SF6가스의 저감을 위하여 SF6가스를 이용한 가스차단기(GCB)의 대안으로 VCB가 급부상하고 있다. 이 VCB의 중요부인 Vacuum interrupter(VI)는 아크소호방식에 따라 축자계방식(AMF)과 횡자계방식(RMF)으로 나뉜다. 특히 횡자계방식은 AMF에 비해 핀치효과에 의한 아크(contract arc)의 반경이 크고 단일 아크이기 때문에 아크가 전극 표면상에서 일정시간동안 고정되어 머무르게 되면 이때 고온의 아크(constricted arc)에 의해 전극표면이 녹는 등의 손상이 발생하게 된다. 따라서 횡자계방식에서는 고온의 아크에 의한 전극표면의 손상을 최소화하기 위해 로렌츠 힘에 의해 아크를 한 곳에 머무르지 못하도록 구동시키게 된다. 본 논문에서는 상용 유한요소해석 소프트웨어인 Maxwell 3D를 사용하여 전극상의 petal수가 3개일 때와 4개일 경우의 아크구동력을 계산하여 비교분석하여 petal수가 아크구동력에 미치는 영향을 파악하고자 하였다.

2. 본 론

2.1 관련이론

전하량이 q이고 입자의 속도가 v인 단일 전하 캐리어는 자속밀도가 B인 자계내에서 로렌츠 힘(Lorentz force)에 의해 힘을 받는데 그 힘은 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$d\vec{F} = q \cdot (\vec{v} \times d\vec{B}) \quad (1)$$

$$\vec{F} = I \cdot (\vec{L} \times \vec{B}) \quad (2)$$

이런 식으로 Magnetic flux density B와 current I에 의해 작용하는 로렌츠 힘(Lorentz force)으로 핀치효과에 의해 수축된 아크를 구동시켜 접점전극 표면의 과열에 의한 손상을 최소화할 수 있다.

2.2 3차원 유한요소 해석 모델

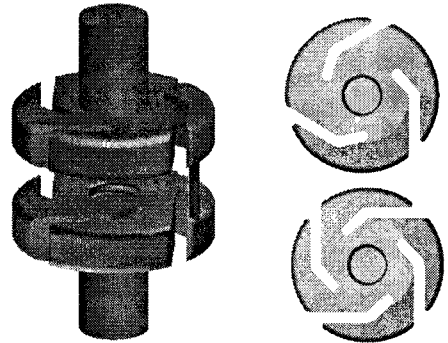


그림 1. 해석에 사용된 모델

표 1. 모델 각 부분의 재료속성

재료명	도전율[S/m]	비투자율
Arc cylinder	2000	1
Contact electrode	1.8×10^7	1
Conducting rod	5.8×10^7	1
Vacuum	0	1

본 논문에서 사용한 모델은 동일한 직경의 전극에 petal 사이의 slot의 사이즈를 동일하게 고정시키고 petal 수만 각각 3개와 4개인 Spiral type 전극을 모델링을 하였다. 전극의 직경은 44.5mm이며 아크주(arc cylinder)의 직경은 1.2mm로 하였다. 물론 아크주의 형태는 정확하게 원통형은 아니지만 모델의 단순화를 위하여 원통형으로 모델링을 하였다. 이는 두 개의 모델에 대하여 전극 표면상에 임의의 4지점에 아크를 위치시켜 그 위치에서 받는 힘의 크기와 방향을 계산하여 비교하기 위함이다.

2.3 해석 방법

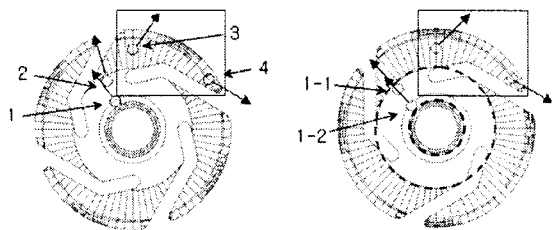


그림 2. 모델별 아크위치(black arrow)와 위치별 아크구동력방향(red and green arrow : net value)

그림2와 같이 모델별로 동일한 아크의 위치 4개(red arrow)를 선정하여 아크구동력을 계산하여 그 결과를 힘의 방향과 함께 나타내었다. 아크위치1,2는 모델별로 각각 두 전극의 접촉부(그림2에서 파란색 사선내의 범위)에서 페탈목의 중간부분 중 방사상으로 안쪽(1)과 바깥쪽(2)이며 페탈 끝부분에서 페탈의 목부분까지 동일한 형상(그림2의 박스친 부분)을 하고 있는데 여기에 아크 위치3,4를 동일한 위치에 위치시켜 아크구동력의 방향과 크기를 비교하였다. 또한 각 모델별로 mesh수를 늘려가며 Lorentz force를 계산하였으며 그 값이 수렴(saturation)되는 값에서 각각의 경우에서 힘을 데이터로 사용함으로써 신뢰성을 얻을 수 있었다.

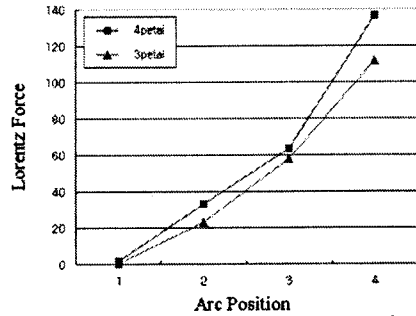


그림 4. 아크위치별 아크구동력 비교 그래프

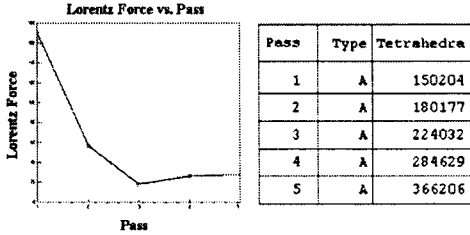


그림 3. mesh수 증가에 따른 Lorentz force saturation과 정의 한 예(pass : 단계별 mesh수 증가를 의미)

사고전류는 25kA로 선정하였다. 아크의 소호시간(arcing time)은 전류파형의 반주기내의 범위를 갖는데 그 범위내에 존재하는 두 전극이 떨어지는 시점부터 전류영점까지의 시간이므로 이 시간동안 전류의 방향은 한 방향이다. 이때 25kA는 전류의 실효치(root mean square)로써 전류최대값(current peak value)을 의미한다.

전류차단시 전극이 벌어지면 아크주가 특히 접촉부의 안쪽부분에서 발생하여 바깥부분으로 구동된다는 점을 감안하면 구동력이 어느 부분보다도 작은 1번 위치에서의 이 위치의 구동력향상이 관건이라고 하겠다. 그리고 아크위치 1,2번 같은 경우 접촉면의 범위 내에 존재하기 때문에 아크발생지점으로서 아크주로 모델링을 할 수 있으나 아크위치 3,4번 같은 경우는 아크가 구동력에 의해 바깥쪽으로 이동할 때의 위치이므로 실질적인 아크관찰을 참고로 할 필요가 있다고 판단되지만 앞부분에서 언급했듯이 모델링의 단순화와 그 힘의 경향분석을 위해 원통형으로 모델링을 했다는 것을 다시 한 번 강조한다.

2.4 해석결과

아크구동력은 벡터값이므로 단순 스칼라량으로 이를 설명하기에는 부족하다. 따라서 아크구동력의 방향은 그림2에 같이 나타내었다. 이 값은 아크주의 세로방향의 각 부분에서 아크에 작용하는 힘은 각각 그 방향과 크기가 다르다. 즉 이 값은 이 모든 힘들을 더한 총힘(net force)을 나타내므로 이 힘은 아크주가 전체적으로 받는 힘을 나타내므로 그 크기는 그림4와 같이 그래프로 나타내었다. 또한 그림5에서 아크 각 부분에서의 받는 힘의 한 예를 나타내었다.

3. 결 론

본 논문에서는 Spiral type의 횡자계(RMF)방식의 진공인터럽터 전극을 페탈(petal)수에 따라 아크구동력을 계산하고자하는 몇몇 아크위치를 선정하여 그 힘을 계산 및 비교분석하였다. 그 결과 각 부분에서의 총 힘(net force)의 방향은 큰 차이가 없었다. 이 차이는 페탈과 전극 몸통과의 전류통로의 크기의 차이에 의한 것으로 생각된다. 다만 그 크기는 전체적으로 4페탈인 경우가 3페탈인 경우보다 아크구동력이 더 컸다.

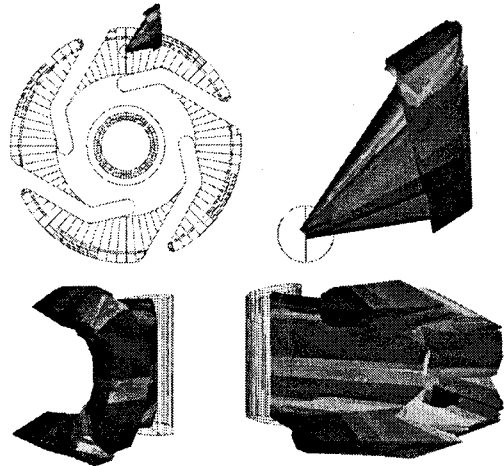


그림 5. 원통형 아크주의 중심축에 작용하는 힘

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 대학전력연구센터 지원사업의 지원으로 이루어 졌으며, 이에 관계자 분들께 감사드립니다.

[참 고 문 헌]

- [1] EDGAR DULLNI, "Motion of High-Current Arcs on Spiral-Type contacts", IEEE Transactions on plasma science, Vol. 17, NO.6, 1989
- [2] Edgar Dullini, Ekkehard Schade, Wenkai Shang, "VACUUM ARCS DRIVEN BY CROSS-MAGNETIC FIELDS(RMF)", XXth ISDEIV-Tours, December 2002
- [3] E. Schade, E. Dullni, "Recovery of Breakdown Strength of a Vacuum Interrupter After Extinction of High Currents", IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. Vol.9, No.2, April 2002
- [4] M. Bruce Schulman, "The Behavior of Vacuum Arcs Between Spiral Contacts with Small Gaps", IEEE Transactions on plasma science, Vol.23, No.6, December 1995
- [5] M. Bruce Schulman, "Separation of Spiral Contacts and the Motion of Vacuum Arcs at High AC Currents", IEEE Transactions on plasma science, Vol.21, October 1993
- [6] Xiu Shixin, Pang Lei, Wang jimei, Lin jianfei, He Guang li, "Analysis of Axial Magnetic field electrode applied to high voltage Vacuum Interrupters", XXIIInd Int.Symp. on Discharges and Electrical Insulation in Vacuum-Matsue-2006
- [7] Wilfried Haas and Werner Hartmann, "Investigation of Arc Roots of Constricted High Current Vacuum Arcs", IEEE Transactions on plasma science, Vol.27, NO. 4, August 1999.