

나선형 VI전극 내부에서 아크촬영사진과 아크전압분석을 통한
전극간 비틀림 각도가 아크거동에 미치는 영향 분석

김병철, 박종배*, 박흥태*, 강성화**, 임기조
충북대학교, LS산전 전력연구소*, 충청대학교**

Analysis of influence of twisting angle between contacts on arc behavior
in spiral type VI by analysing arc photographs and arc voltage

Byoung-Chui Kim, Jong-Bae Park*, Hongl-Tae Park*, Seong-Wha Kang**, Kee-Joe Lim
Chungbuk Univ, LS industrial systems R&D center*, ChungCheong Univ**

Abstract - 본 논문에서는 전극간의 비틀림 각도가 아크거동에 미치는 영향을 알아보기 위해 고속카메라를 이용한 아크촬영과 아크전압측정을 동반한 전류차단시험을 실시하였다. 측정결과를 이용한 아크거동 분석결과를 각 모델에 대한 유한요소해석을 통한 로렌츠 힘 계산결과와 결부시켜 비틀림 각도가 아크거동에 미치는 영향을 분석하였다.

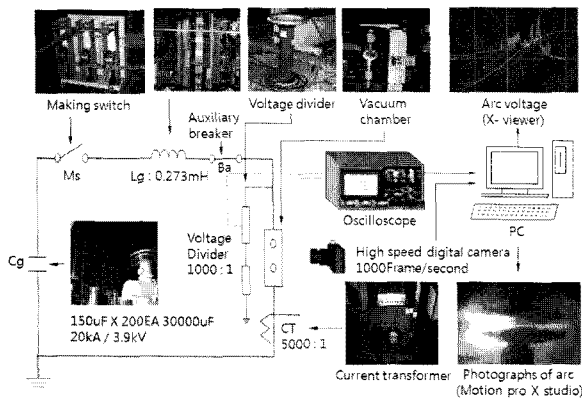
그림 2는 그림 1의 전류원에서 전류가 인가된 시점에서 전류영점 이후의 범위까지의 전압-전류파형을 보여준다. 전극이 분리됨에 따라 아크가 발생하면 인가전압에 아크전압이 더해지게 된다. 따라서 이 더해진 아크전압을 구분하기 위해 연두색의 파선으로 별도로 표시하였다.

1. 서 론

본 논문에서는 횡자계방식 전극구조 중 나선형 전극을 대상으로 아크 컨트롤과 관련된 아크거동을 다루고자 한다. 축자계방식은 상대적으로 차단용량은 크게 가져갈 수 있지만 그 구조가 복잡하여 제조가 쉽지 않고 생산단가가 높으며 복잡한 전극구조로 인해 전류가 흐를 때 열발생량이 많은 단점이 있다. 이에 비해 횡자계방식인 나선형전극은 그 구조가 단순하고 제조단가도 상대적으로 저렴할 뿐만 아니라 전극의 구조상 소형화가 용이하며 그 차단용량도 점진적으로 증가하고 있어 향후 그 개발가치가 크다고 할 수 있다. 일반적으로 아크거동에 미치는 요소들에는 전극의 직경, 실드, 전극의 개극속도, 최종개극거리의 설정, VI용기안의 진공도 등이 있다. 본 논문에서는 그 외에 전극간의 비틀림 각도가 아크거동에 미치는 영향에 대해 알아보았다.

2. 본 론

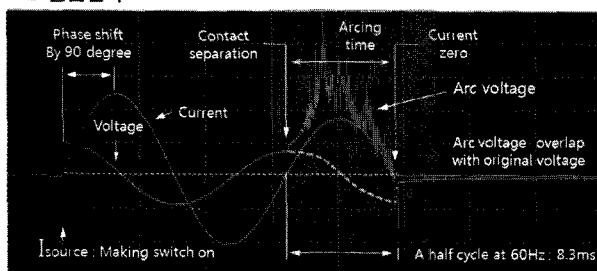
2.1 실험



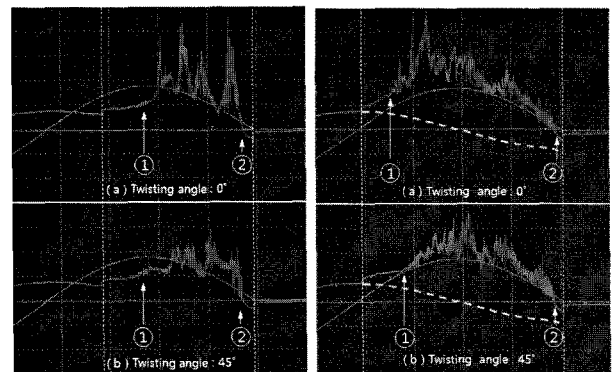
〈그림 1〉 등가회로 구성도

그림 1에 실험에 사용된 장비들을 등가회로도 나타내었다. 단, 아크촬영이 용이하도록 VI내부의 실드는 설치하지 않고 아크로부터 진공 챔버의 내벽보호를 위해 메쉬(mesh)를 설치하였다.

2.2 실험결과



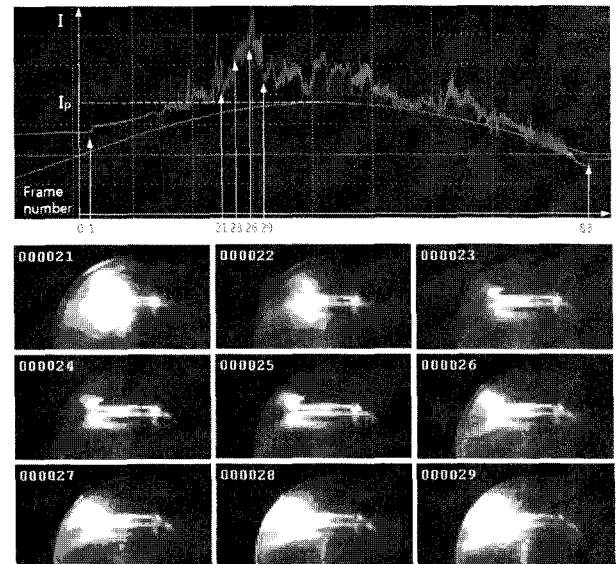
〈그림 2〉 전류인가시점에서 전류영점 이후까지의 전류-전압파형



(a) 아크지속시간 : 6.2ms

(a) 아크지속시간 : 8.2ms

〈그림 3〉 비틀림 각도가 0° 일 때와 45° 일 때의 아크전압파형

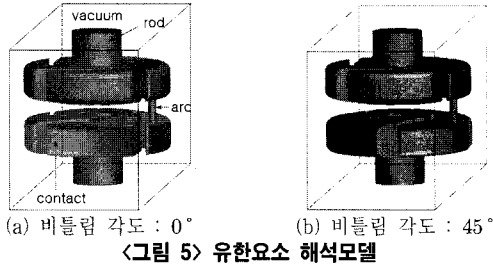


〈그림 4〉 입력전류가 31.5kA 비틀림 각도가 0° 일 때 아크지속시간이 8.2ms일 때의 아크전압과 아크촬영 사진

그림 3에서 ①은 전극분리와 동시에 발생한 아크가 움직이기 시작하는 시점이고, ②는 아크가 확산단계로 전환되는 시점을 나타낸다. 그림 3으로부터 동일한 아크지속시간조건에서 비틀림 각도가 0° 일 때가 45° 일 때보다 전압의 최대값이 더 컸다. 이는 아크지속시간이 8.2ms이고 비틀림각도가 0° 일 경우만 고려해보면 아크전압이 큰 23에서 26번 사진에서 아크가 언뜻 보기에는 끊겨 있는 것처럼 보일 정도로 연결상태가 좋지 않다(그림 4). 따라서 상대적으로 전류가 잘 흐르지 못하게 되어 아크저항이 커졌고 이와 비례하여 아크전압이 커짐을 알 수 있다. 이로부터 비틀림 각도가 0° 인 경우가 45° 인 경우보다 아크연결 상태가 더 좋지 않아 아크전압이 큰을 짐작할 수 있다.

이는 로렌츠 힘과 결부시켜 설명이 가능하다는 판단 하에 유한요소 해석을 통하여 로렌츠 힘을 계산하여 실험결과를 설명하고자 하였다.

2.2 유한요소 해석



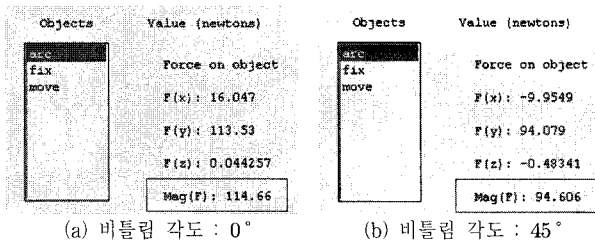
〈그림 5〉 유한요소 해석모델

본 해석은 유한요소해석 프로그램인 Maxwell 3D를 사용하여 그림 4와 같이 비틀림 각도만 각각 0°, 45°로 다르게 설정하고 고정전극을 기준으로 페달 끝부분에 아크를 고정시켜 로렌츠 힘을 구하였다. 이 때 전극의 직경은 45mm 극간거리는 4mm로 고정시키고 아크직경은 1.2mm로 하여 25kA의 전류를 인가했으며 모델 각 부분의 물성치는 표 1에 나타내었다. 물론 아크가 유체이므로 형상이 일정하지 않지만 본 해석에서는 아크가 완전한 원통이라고 가정하고 모델을 단순화시켜 로렌츠 힘을 계산하였다. 모델의 단순화와 실제 시료와 모델간의 물성치의 차이, 그리고 아크구동과 관련된 다른 파라미터들을 고려하지 않은 점 등의 요인으로 실험을 통한 측정값과는 차이는 있겠지만 비틀림 각도를 제외한 다른 조건들은 모두 일치시켰기 때문에 순수 비틀림 각도가 로렌츠 힘에 미치는 영향을 유한요소해석을 통한 계산결과와의 차이를 통하여 그 영향의 확인이 가능하다고 판단하였다. 표 1에 해석에 사용된 모델 각 구성요소의 물성치를 나타내었다.

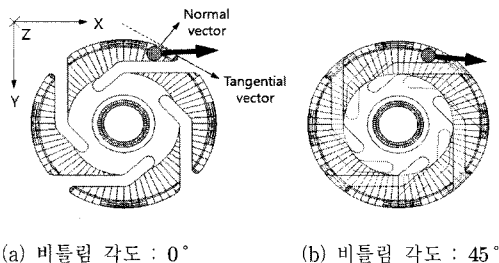
〈표 1〉 모델 각 부분에 적용한 물성치

모델구성요소	재료명	σ [S/m]	μ_r [H/m]
Arc	arc	2000	1
Contact	CuCr50	1.8×10^7	1
Rod	copper	5.8×10^7	1
Vacuum	vacuum	0	1

2.2 유한요소 해석 결과



(a) 비틀림 각도 : 0° (b) 비틀림 각도 : 45°

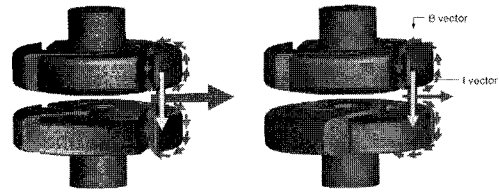


(a) 비틀림 각도 : 0° (b) 비틀림 각도 : 45°

〈그림 6〉 로렌츠 힘 계산 결과

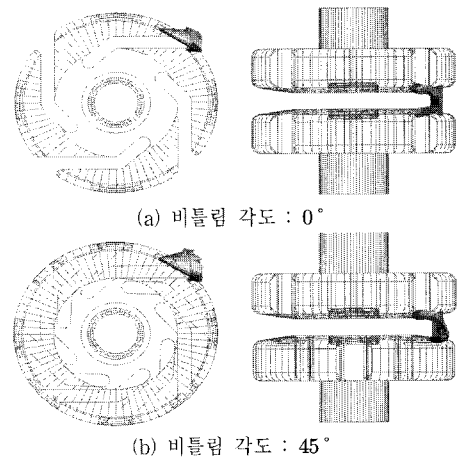
그림 5는 아크가 받는 로렌츠 힘의 계산결과를 나타낸다. 로렌츠 힘은 3차원의 벡터량이므로 그 방향은 그림으로 다시 나타내었으며 z성분은 너무 작아서 무시하였다. 로렌츠 힘 계산결과로부터 전극간의 비틀림 각도가 0°일 때가 45°일 때보다 힘의 크기도 더 클 뿐만 아니라 힘의 방향도 상대적으로 전극의 접선에 수직인 방향에 가까워 이 경우 힘의 크기도 더 크고 그 방향 또한 바깥방향으로 향하고 있어 아크가 회전할 때 전극바깥으로 치우칠 가능성이 더 크게 된다. 이렇게 아크가 회전할 때 전극의 중심부에서 바깥방향으로 치우치게 되면 아크가 전류가 두 전극사이를 이어주는 전류의 통로라는 점에서 저항이 커질 수밖에 없다.

로렌츠 힘의 크기차이의 원인을 분석하면 다음과 같다. 그림 7로부터 전극간의 비틀림 각도가 0°일 때가 45°일 때보다 전극 형상을 따라 흐르는 전류에 의한 전극 간에 형성되는 자계의 중첩이 더 잘되어 더 큰 자계가 생김을 알 수 있다. 이는 다시 자속밀도에 영향을 끼쳐 결국 로렌츠 힘($F_{\text{로렌츠}} = J \times B$)에 영향을 준 것으로 판단된다.



(a) 비틀림 각도 : 0° (b) 비틀림 각도 : 45°
〈그림 7〉 아크와 전극을 따라 흐르는 전류에 의한 자계의 중첩

로렌츠 힘의 방향차이의 원인을 분석하면 다음과 같다. 힘의 방향은 계산결과를 Maxwell 3D의 post-processing 모듈에 탑재된 calculator를 이용하여 축방향의 아크에 작용하는 힘을 세분화하여 아크의 각 부분이 받는 힘을 3차원 벡터로 나타내었다. 그 결과는 다음과 같다.



(a) 비틀림 각도 : 0° (b) 비틀림 각도 : 45°

〈그림 8〉 아크의 각 부분에 작용하는 로렌츠 힘

이 모든 힘들은 동시에 작용하기 때문에 벡터합성법을 이용하면 아크전체가 받는 총 힘(Net force)을 알 수 있다. 이 총 힘의 값과 방향이 그림 5에 나와 있다. 결국 로렌츠 힘의 방향의 차이는 아크의 길이방향을 세분화한 각각의 힘들이 전극간의 비틀림 각도의 영향을 받아 그 방향이 달라졌기 때문인 것으로 판단된다.

3. 결 론

본 논문에서는 전극간의 비틀림 각도가 아크구동에 미치는 영향을 알아보기 위해 고속카메라를 이용한 아크촬영과 아크전압측정을 동반한 전류차단시험을 실시하였다. 이로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 전극간 비틀림 각도가 0°일 때 45°일 때보다 아크전압이 더 컸으며 이는 아크촬영사진과의 동시분석을 통하여 전극간 비틀림 각도가 0°일 때가 45°일 때보다 두 전극을 전기적으로 연결하는 아크의 연결상태가 좋지 않았다는 점에서 아크저항과 관련됨을 알았다.

둘째, 첫 번째 결론에서 언급한 아크저항의 차는 로렌츠 힘의 차이에서 비롯된 것이라 판단이 되어 유한요소해석을 통하여 로렌츠 힘을 계산해 본 결과 그 힘의 방향과 크기분석을 통하여 비틀림 각도를 다르게 적용한 두 전극배치의 경우에서의 아크저항의 차는 로렌츠 힘의 영향을 받았음을 알 수가 있었다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 대학전력연구센터 지원사업의 지원으로 이루어졌으며, 이에 관계자분들께 감사드립니다.

〈참 고 문 헌〉

- [1] Paul G. Slade, "The Vacuum Interrupter : Theory, Design, and Application"
- [2] Van Lanen, "The current interruption process in vacuum : analysis of the currents and voltages of current-zero measurements"