

저압차단기 기중아크의 압력파에 의한 거동 변화 연구

송태현*, 권중록*, 곽철희*, 권기정*
(주)현대중공업*

A Study of Change of Air-arc Behavior due to Pressure Waves in Low Voltage Circuit Breakers

T.H.Song*, J.L.Kwon*, C.H.Kwak*, K.J.Kwon*
Hyundai Heavy Industries Co., Ltd.

Abstract - MCCB와 같은 저압차단기는 접점사이에서 발생한 아크를 금속의 소호그리드로 유입하여 아크를 소호하게 된다. 일반적으로 고장 전류 차단시에 저압차단기에서 발생한 아크는 고압고열이므로 아크에너지에 의해 소호부의 압력이 크게 상승하게 되며 압력에 의해 아크의 거동은 큰 영향을 받게 되므로 아크 구동력의 증가를 위해서는 압력에 의해 아크거동이 어떠한 영향을 받는지에 대한 정보가 필요하다. 본 연구에서는 압력파의 영향을 명확하게 하고 다른 요소에 의한 영향을 배제하여 압력파와 아크거동간의 상호작용만을 실험하기 위해 시험용 소호부를 고안하여 시험용 소호부에서 아크의 압력과 거동을 측정·분석하여 아크거동과 압력파의 관계를 연구하였다.

1. 서 론

선로에서 고장이 발생하면 차단기가 고장전류를 차단하기 위해서 접점이 개리되고 차단기 소호부의 접점에서는 아크가 발생한다. 일반적으로 MCCB와 같은 저압차단기는 발생된 아크를 신장분할·냉각함으로써 차단책무를 완료한다.[1] 즉 발생된 아크를 신속하게 신장시키고, 아크의 분할을 위해 소호부 내에 설치된 금속그리드쪽으로 아크를 구동시켜 아크 분할에 의한 전압강하를 증대시키고, 그리드 및 소호재료를 이용하여 아크를 냉각시켜 고장전류를 차단한다. 따라서 신속하게 아크를 소호하기 위해서는 아크를 소호그리드로 유입하여 유지하는 것이 매우 중요하다. 아크를 소호그리드로 구동하는 힘은 자성체인 소호그리드에 의해 발생한 로렌츠힘에 의한 것이므로 지금까지는 아크의 구동력을 증대시키기 위해서 주로 소호그리드의 형상 등에 연구의 초점이 맞추어져 있었다.

그러나 MCCB와 같은 저압차단기는 소호부의 체적이 매우 작고 발생된 아크의 에너지는 매우 크기 때문에 아크에 의해 큰 압력이 발생하고 아크의 거동은 압력에 많은 영향을 받는다고 알려져 있다.[2] 따라서 본 연구에서는 압력파의 영향을 명확하게 하고 다른 요소에 의한 영향을 배제하여 압력파와 아크 거동간의 상호작용만을 실험하기 위해 시험용 소호부를 고안하였으며, 시험용 소호부에서 아크의 압력과 거동을 측정·분석하여 아크 발생시에 초음속 유동이 발생하고 이로 인하여 아크 거동이 어떻게 변화하는지를 연구하였다.

2. 본 론

2.1 시험 장비

그림 1에는 개략적인 시험용 소호부가 나와 있다. 압력파의 영향을 명확하게 하고 다른 요소에 의한 영향을 배제하여 압력파와 아크거동간의 상호작용만을 실험할 수 있는 시험용 소호부를 고안하여 이 시험용 소호부에서 아크가 발생되도록 하였다. 전극 사이에 극세동선을 연결하고 극세동선에 큰 전류를 흐르게 하여 절연파괴가 발생하도록 하여 아크를 발생시켰으며 발생된 아크는 도체에 발생된 자계에 구동되어 이동을 하게 된다. 도체가 소호부의 끝까지 연장되어 아크가 도체를 타고 소호부의 끝까지 구동되도록 하였다. 그리고 아크 이동방향의 소호부 끝에 압력센서를 설치하여 소호부에서 아크에 의해 발생한 압력을 측정하였다. 또한 소호부의 전면부를 투명하게 제작하여 소호부에 발생한 아크의 거동을 고속 카메라로 촬영할 수 있도록 하였다. 단락시험 조건은 전압은 220[V]이고 전류는 10[kA]에서 실시하였다.

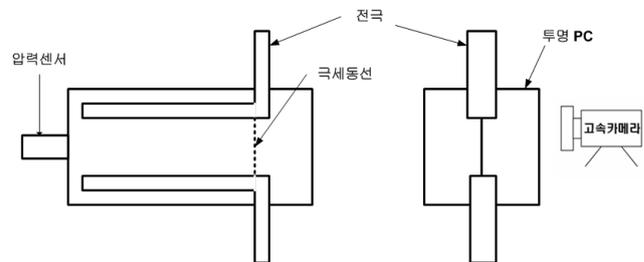
2.2 아크 거동 측정 및 분석

그림 2는 아킹 타임 5.8[ms]일 때 시험용 소호부내에서의 고속촬영한 아크의 거동을 시간별로 표시한 것이다. 아크는 시험용 소호부의 끝

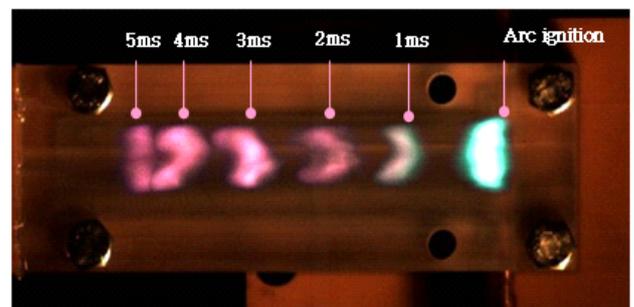
쪽으로 갈수록 이동거리가 감소하고 있음을 알 수 있다. 아크의 이동은 도체에 흐르고 있는 전류에 의해 발생한 자계와 아크에 흐르는 전류에 의해 발생하는 로렌츠힘에 의해 구동되게 된다. 로렌츠 힘은 아크가 전극의 끝쪽으로 이동하여도 동일한 힘으로 작용하므로 아크의 이동속도가 감소한 것은 로렌츠힘이 감소하였기 때문이 아니다. 또한 로렌츠힘에 의해 아크 중심부가 가장 큰 힘을 받게 되므로 이동시 아크의 형태는 왼쪽, 즉 이동방향으로 불룩한 호의 형상을 하고 있어야 하나 실제 촬영한 아크는 그 반대의 형상을 하고 있다. 이것으로부터 아크의 거동은 로렌츠힘만이 아니고 다른 요소, 즉 압력에 의해 영향받는다는 것을 시각적으로 확인할 수 있었다.

아크의 특성을 세밀하게 분석하기 위한 아크전압/전류와 압력을 측정 한 결과가 그림 3에 나와 있다. 이 그래프로부터 아크가 발생한 후 압력은 약 0.44[ms] 후에 압력센서에 전달되었다는 것을 알 수 있다. 이 때 시험용 소호부 내부의 길이가 200[mm]이므로 이것으로부터 압력파의 속도를 계산해 보면 약 454.55[m/s]이다. 이것은 마하수 1.34에 해당하는 속도로서 마하수가 1보다 크게 되면 초음속 유동이 발생하고 이에 따라 충격파가 발생하게 된다.

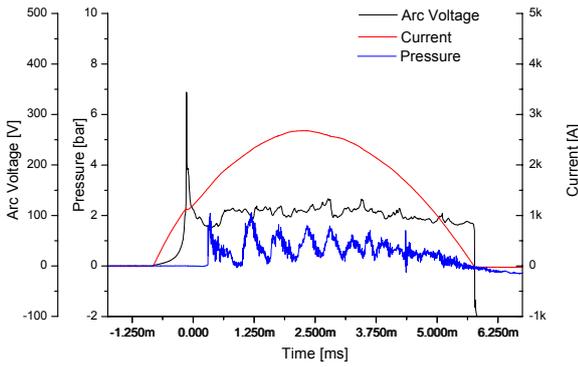
측정된 압력은 계속적으로 급락과 급등이 나타나는 심한 동요(fluctuation)이 발생하였다. 아크전압도 미소한 등락이 계속적으로 나타나고 있다. 이와 같은 fluctuation이 발생한 원인을 알아보기 위해 고속 촬영한 아크거동과 압력을 함께 비교 및 분석하였다.



<그림 1> 시험용 소호부 개략도



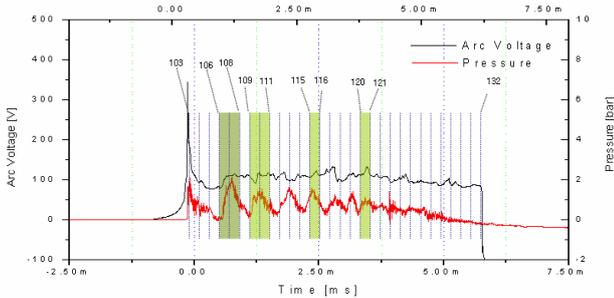
<그림 2> 시간별 아크 거동



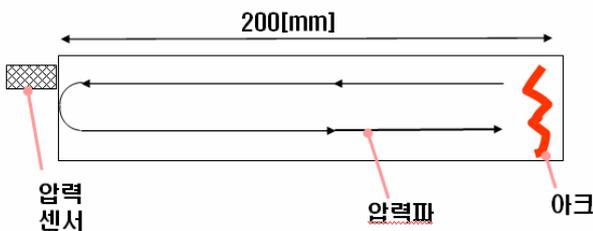
〈그림 3〉 아크 전압/전류 파형과 압력

이때 실제로는 아크가 발생하면 압력이 동시에 발생하지만 압력센서가 아크와 떨어져있기 때문에 압력이 압력센서에 도달하는 순간까지의 시간차가 발생하여 압력이 아크 발생 순간보다 늦게 측정되는 것이므로 압력에 의한 아크거동의 영향을 정확하게 분석하기 위해 아크전압과 압력파형이 발생한 시점을 그림 4와 같이 일치시켰다. 또한 각 시간에서의 아크 거동 특성을 확인하기 위해 고속촬영의 각 frame에 해당하는 구간도 함께 그림 4에 나타내었다. 아크거동을 고속촬영한 사진도 그림 6에 나타내었다.

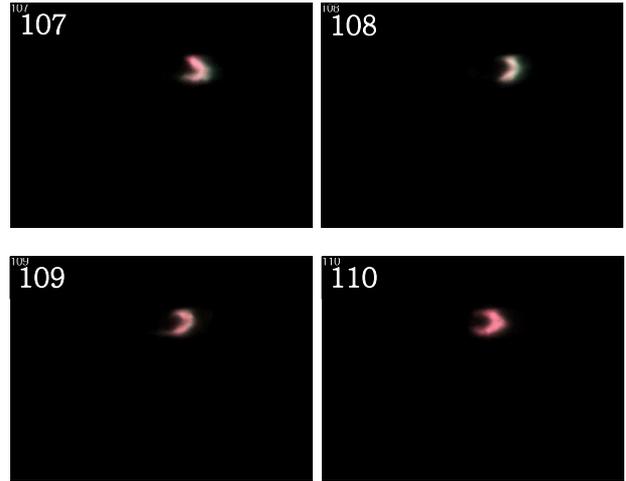
그림 4에서 녹색으로 표시한 frame구간은 아크가 로렌츠힘이 작용하는 방향과 반대방향으로 이동(back-motion)하거나 정체가 되어 있는 구간이다. 그리고 이처럼 아크 거동의 back-motion 또는 정체가 발생한 때는 그림 4에 나타난 것과 같이 압력이 높은 때와 정확하게 일치한다. 이와 같은 현상이 발생한 이유는 arc ignition시에 발생한 압력파는 초음속 유동으로 아크의 구동속도보다 훨씬 빠르므로 아크보다 먼저 소호그리드의 왼쪽 끝벽(압력센서 취부 위치)에 도달하게 된다. 벽에 도달한 압력파는 반사하게 되어 아크방향으로 전파되게 되고 결국 아크와 충돌하게 된다. 이처럼 아크 거동이 매우 강한 반사파에 의해 방해 받게 되어 아크가 back-motion 되거나 정체가 된다. 이것은 그림 5에 간략하게 도식적으로 나타내었다. 그림 6은 아크가 반사된 압력파와 충돌하게 되어 아크가 back-motion 또는 정체된 순간의 고속촬영 사진이다. 아크의 형상이 압력파에 의해 방해를 받아서 아크가 진행방향과 반대방향으로 휘어져 있는 것을 확인할 수 있다.



〈그림 4〉 아크 전압 파형과 압력



〈그림 5〉 압력파의 반사



〈그림 6〉 아크 형상 고속 촬영 사진

반사된 압력파가 아크 거동을 방해한다는 것을 앞에서 아크전압, 압력파형 그리고 고속촬영 사진으로부터 확인하였다. 이번에는 압력파가 아크에 도달한 시간을 분석하여 다시 한번 압력파가 아크 거동에 영향을 준다는 것을 확인하여 보았다. 시험용 소호부에서 발생한 압력파는 센서 취부 위치(시험용 소호부의 왼쪽 끝)에 도달했을 때 압력이 가장 높고 반사된 후 아크에 도달했을 때 압력이 가장 낮게 될 것이다. 따라서 앞에서 구한 압력파의 속도(454[m/s])와 고속촬영으로부터 얻어낸 아크 위치 정보로부터 아크 도착시간을 계산할 수 있다. 표 1에 나와 있는 것처럼 계산값과 측정값이 잘 일치함을 볼 수 있다.

〈표 1〉 압력파 도달 시간 비교

	측정값[s]	계산값[s]
1st	0.0009	0.00088
2nd	0.0015	0.00146

3. 결 론

앞에서 나타낸 것과 같이 아크 발생에 따른 압력, 특히 압력의 반사파에 의해 아크의 거동은 많은 영향을 받게 된다. 특히 MCCB와 같은 저압차단기는 소호부의 체적이 작은 반면 아크에너지는 매우 크기 때문에 아크 발생시에 발생하는 압력이 매우 크며 따라서 아크의 거동이 압력에 많은 영향을 크게 받을 수밖에 없다. 만약 소호부에서 발생한 압력이 배출구를 통해 적절히 빠져나가지 못하고 반사되어 아크방향으로 전파되던 소호그리드에 유입되었던 아크가 반사파의 영향으로 소호그리드 밖으로 빠져 나오게 되고 이로 인해 아크전압의 급락이 발생하며 결과적으로는 차단에 실패할 수도 있다. 그러므로 저압차단기 소호부 설계에 있어서 전자기력에 의한 아크 거동뿐만 아니라 발생된 압력이 아크쪽으로 반사되지 않도록 배출구 및 물드형상을 설계하는 것도 매우 중요하다.

[참 고 문 헌]

- [1] Pierre Schueller, "LV breaking by current limitation", Cahier Technique Merlin Gerin n163, 1994
- [2] Manfred Lindmayer, Joachim Paulke, "Arc Motion and Pressure Formation in Low Voltage switchgear", IEEE Trans. CPMT, p17-26, 1996