

직류급전시스템의 아크 특성 분석

최수경, 권완성, 이영진, 반충환, 최규하
건국대학교

Analysis of Arc Characteristics in DC Distribution System

Su-Kyung Choi, Wan-Sung Kwon, Young-Jin Lee, Chung-Hwan Ban, Gyu-Ha Choe
Konkuk University

ABSTRACT

21C 정보화 사회를 맞이하여 디지털 부하의 사용이 급격히 증가하고 있다. 뿐만 아니라 친환경 녹색성장의 일환으로 풍력, 연료전지, 태양광과 같은 신재생 에너지를 이용한 발전 시스템도 증가 하고 있다. 이에 따라 교류에 비하여 신뢰도가 높고, 저손실의 전원 시스템을 구축할 수 있는 직류급전시스템의 필요성이 부각되고 있다. 직류급전시스템에 있어 효율성, 신뢰성, 전송능력 등이 고려되어야 하지만 직류 배전의 상용화를 위해서는 직류 전용 보호차단기 등을 개발하여 보급하여야 한다.

미국의 통계에 따르면 아크사고는 전기화재의 큰 요인으로 꼽히고 있다. 이미 교류 아크의 검출 알고리즘이 다방면으로 연구되어 아크차단기(AFCI)가 개발되었으며 미국의 경우 AFCI 사용을 법제화 하고 있다. 따라서 직류급전시스템에서의 아크 검출을 위해 직류 아크의 특성을 분석한다.

1. 서 론

미국 유럽 등 선진국은 2003년부터 스마트 그리드 개발을 진행하여 노후화된 설비를 교체하고 CO₂를 줄이는 사업을 적극 추진하고 있다. 현재 우리나라도 녹색성장 산업과 스마트그리드 개발을 적극 추진 중이다. 이에 따라 신재생 에너지를 통해 발전한 전기에너지를 효율적으로 사용할 수 있는 직류급전시스템 역시 활발히 연구되고 있다. 직류급전시스템에 있어서 효율성 향상 역시 중요한 과제이지만, 그와 동시에 안전성 확보 또한 필수적이다.

아크사고는 미국의 전기화재 원인 중 80%를 차지한다. 이에 미국에서는 아크검출장치인 AFCI 사용을 법제화 하는 등 적극적인 대처를 하고 있다. 아크는 전선의 노후 및 외부적 충격 등에 의해 절연이 파괴되었을 때 주로 발생된다. 따라서 직류급전시스템에서도 교류급전시스템과 마찬가지로 아크사고는 발생 할 수 있다.

본 논문에서 모의 아크 발생은 손상된 전선에서의 아크를 재현하고자 국내 가정에서 주로 사용하는 VCTFK code에 칼집을 내고 5초간 6700[V]의 전압을 인가하여 생성한 탄화경로를 이용한다. 정류기를 통해 변환되어진 직류전원을 이용해 진행된 실험을 통해 상용 직류 전압으로 적합하다고 검증된 110[V], 220[V] 전압이 인가되는 직류급전회로에서의 아크전압과 전류의 파형 특성에 대해 분석하고, 교류아크와 직류아크의 차이를 비교한다.

2. 아크의 특성

2.1 탄화경로에 의한 교류 아크

VCTFK code (2C*1.25mm²)를 20cm 자른 뒤 도선의 중앙을 길이 방향과 수직으로 내부 두 가닥의 전선이 피복만 잘리도록 칼집을 내고 검정 전기테이프와 유리섬유테이프로 감싼다. 도선의 내부 두 가닥의 전선에 5초간 6700[V]의 전압을 인가하여 탄화경로를 생성한다. 생성된 탄화경로는 5[kΩ] 이하의 저항성분을 가지며 회로에 연결 시 아크를 발생시키게 된다.

2.1.1 교류 아크의 특성

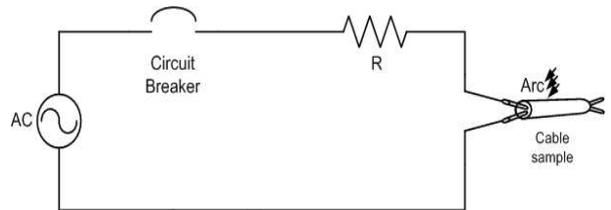


그림 1 탄화경로에 의한 교류 아크 생성 시험
Fig. 1 AC Arc making test by carbonized path

그림 1의 회로와 같이 구성하고 전원은 교류 220[V], 저항은 200[Ω]의 무유도 저항을 사용하였다. 전원 인가 시 탄화경로에 의해 견본 도선에서 아크가 발생한다. 생성된 모의 아크의 파형은 그림 2와 같다.

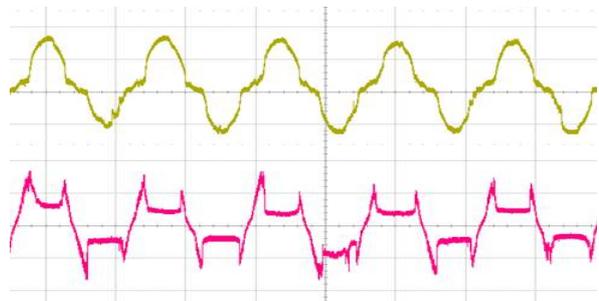


그림 2 탄화경로에 의한 교류 아크전류(상)와 아크전압(하)
Fig. 2 AC Arc current(up) and voltage(down) by carbonized path

저항성 부하에서 교류 직렬아크의 물리적 특성은 국부적인 발열과 발화, 빛을 보인다는 것이다. 아크 전류는 솔더가 발생하고 홀수차수 고조파 성분이 커진다. 아크전압은 그 파형이 구형파에 가까우며 선로 전압의 실효치는 감소한다.

1.2 탄화경로에 의한 직류급전시스템에서의 아크

상용전원이 교류이므로 직류급전시스템에서는 정류기를 통해 직류전원을 부하에 공급한다. 저항성 부하에 직류 110[V]와 220[V]를 인가하기 위해 그림 3과 같이 회로를 구성하였다. 슬라이더로 전압 값을 조정하였으며 35[Ω]의 무유도 저항, 커패시터는 6800[uF] 두 개를 병렬 연결했다.

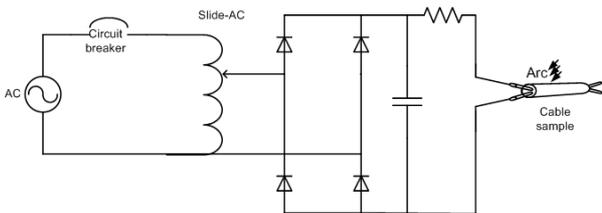


그림 3 탄화경로에 의한 직류 아크 생성 시험
Fig. 3 DC Arc making test by carbonized path

1.2.1 직류 아크의 특성

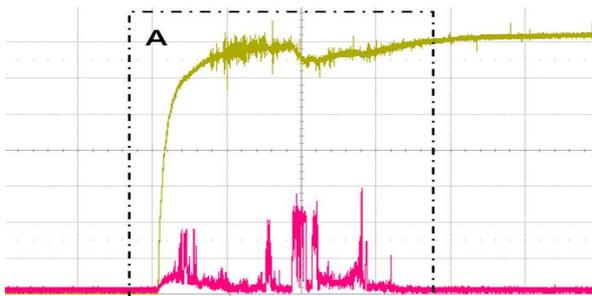


그림 4 탄화경로에 의한 직류 아크전압(상)과 아크전류(하)
Fig. 4 DC Arc voltage(up) and current(down) by carbonized path

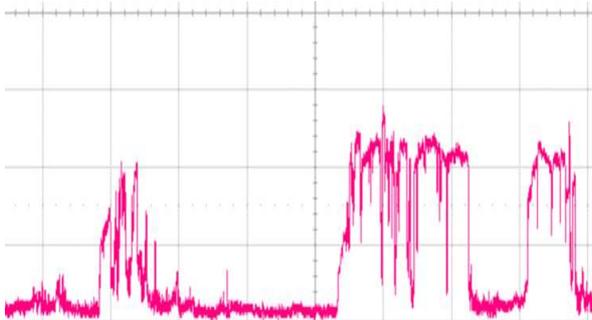


그림 5 탄화경로에 의한 직류 아크전류 특성
Fig. 5 DC Arc current characteristic by carbonized path

그림 4의 A영역은 탄화경로에 직류 100[V]가 인가되었을 때 발생하는 아크 파형이다. 아크 발생시간은 2초 이다. 탄화경로가 전압인가 2초 이후에 소멸되면서 개방회로가 되었음을 확인할 수 있다. 실험을 통해 확인한 저항성 부하에서 직류 직렬 아크의 물리적 특성은 국부적인 발열과 발화와 동시에 정상전

압의 20% 이상의 전압변동이 지속된다는 것이다. 아크전류 역시 3[A] 정도의 변동이 집중적으로 발생했다.

그림 5의 직류급전시스템에서의 직류 아크 전류의 특성에서 교류아크에서 발생하는 확연한 솔더는 볼 수 없으나 교류 아크의 솔더와 마찬가지로 전류 값이 낮아지는 구간이 있음을 확인했다.

1.2.2 직류 아크의 방전에너지

아크고장 전력량 계산을 통해 일반 노이즈와 아크의 차이가 확연히 나타난다. 식 (1)~(3)을 통해 교류 아크와 직류 아크의 방전 에너지를 계산할 수 있다. V_a 와 I_a 는 아크 전압과 전류, E_a 는 아크방전 에너지를 나타내고 아크방전에너지는 아크전류와 전압의 시간 적분으로 구한다. T_d 는 아크사고 시간이다.

$$E_a = \int_{t_1}^{t_2} V_a \cdot I_a dt \quad (1)$$

$$I_a = \frac{V_{IN} - V_a}{R} \quad (2)$$

$$T_d = t_2 - t_1 \quad (3)$$

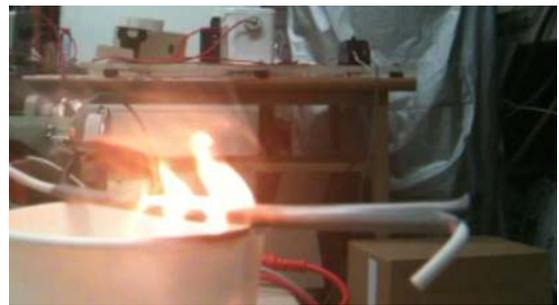


그림 6 직류 아크사고에 의한 발화
Fig. 6 ignition by DC Arc fault

3. 결론

본 논문에서 탄화경로를 이용한 모의 아크 발생을 통해 직류급전회로에서의 아크전압과 전류의 파형 특성에 대해 분석하고, 교류아크와 직류아크의 차이를 비교했다. 전기회로에서는 직류아크와 유사한 신호가 존재한다. 하지만 직류아크는 일반적인 노이즈와는 달리 짧은 시간에 큰 에너지를 동반하면서 그림 6과 같은 전기화재를 발생시키기도 한다. 향후 직류 아크 검출 알고리즘을 개발하여 차단 시스템을 구현에 대한 연구도 진행되어야 할 것이다.

이 논문은 지식경제부 지식경제 기술혁신 사업의 지원에 의하여 연구되었음.

참고 문헌

- [1] 반기중, “아크 검출 알고리즘을 이용한 새로운 차단 시스템에 관한 연구”, 건국대학교 대학원, 전기공학과, 2006, 6.
- [2] Underwriters Laboratories Inc. UL1699, “Arc-Fault Circuit Interrupters”, May, 2003.
- [3] 이영진, “개선된 PFC정류기를 적용한 직류 급전시스템”, 한국조명·전기설비학회 2010 춘계학술대회 논문집, 2010, 5