

저압직류계통에서 저항성 부하의 차단시 전극형상이 아크에 미치는 영향

신윤성, 김효성

국립공주대학교 전기전자제어공학부

Effect of electrode shape on DC arc discharge on resistive loads in low voltage DC system

Younseong Shin, Hyosung Kim

School of EE and Control Engineering, Kongju National University

ABSTRACT

전력계통에서는 전력의 공급 및 차단을 수행하기 위해 차단기, 개폐기, 소켓-플러그 등의 전극형 개폐 장치를 사용한다. 직류 계통에서는 교류 계통과 달리 전압 및 전류가 교번 현상이 없이 일정하므로 회로의 개방 시 상대적으로 강하고 유지시간이 긴 아크가 발생한다. 현재 전기 화재를 일으키는 원인 중 약 80%가 아크 사고의 원인이며^[1], 저압직류(LVDC) 배전의 전기환경에서는 더욱 큰 문제가 될 수 있을 것으로 예견된다. 아크는 약 1 A 이상의 전류 조건에서 발생할 수 있으며, 이로 인해 장치가 손상되어 신뢰성 있는 동작이 불가능해져 잠재적인 사고 원인이 될 수 있다. 따라서 전극형 개폐기의 아크 발생을 이해하는 것은 저압직류 배전 계통의 신뢰성과 안전을 보장하는 데 매우 중요하다.

본 논문에서는 주택의 저압직류 환경에서 주로 사용하는 두 가지 대표적인 전극인 점접형 전극과 소켓-플러그형 전극에 대하여 전극 형상에 따른 아크 특성을 실험하고 분석한다.

1. 서론

아크는 약 1 A 이상의 전류 조건에서 발생하며, 이로 인해 장치가 손상되고 신뢰성 있는 동작이 불가능해져 잠재적인 사고 원인이 될 수도 있다. 따라서 전극형 개폐기의 아크 발생을 이해하는 것은 저압직류 배전 계통의 신뢰성과 안전을 보장하는 데 매우 중요하다.

본 논문에서는 주택의 저압직류 환경에서 주로 사용하는 두 가지 대표적인 전극인 점접형 전극과 소켓-플러그형 전극에 대하여 아크 발생에 미치는 영향을 실험하고 분석하는 것을 목표로 한다. 전원전압 12.5 V에서 400 V 및 부하전력 50 W에서 1000 W의 다양한 전원 환경에서 실험하여 동일한 아크소호 시간 및 아크소호거리를 유지하는 전압과 전력의 관계를 나타내는 추세식을 도출하여 아크안전운영영역을 제시한다.

2. 실험 조건

실험용 직류전원은 Sorenson 사의 SGI 400/12 직류전원장치를 사용하여 정격 출력 전류 20 A까지 실험하였고 20 A를 넘는 실험 조건에서는 납산 배터리를 사용하였다. 부하전력은 50 W에서 1000 W까지 다양한 실험 조건에서 진행되었다. 가동접점은 Autonix 사의 pmc-1_2HS 컨트롤러와 스텝 모터를 사

용하여 1 pulse 당 20 μ m의 정밀한 동작 및 일정한 개리속도를 구현하였다. 또한 아크릴 재질의 커버를 제작하여 아크 발생 시 공기 유동의 영향을 억제하였다.

표 1 실험 조건 표

Supply Voltage [V]	12.5, 25, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400
Load Power [W]	50, 100, 200, 300, 400, 500, 800, 1000
Opening Speed, V_{Gap} [mm/s]	10
Temperature [°C]	24 $\pm$ 1
Relative Humidity [%]	30 $\pm$ 3

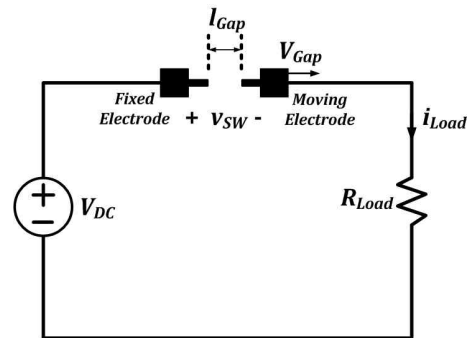


그림 1 아크차단실험 회로도

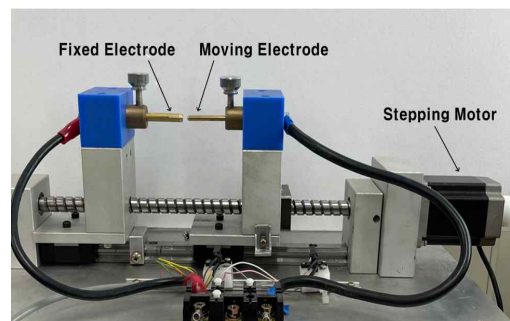


그림 2 아크차단실험 장비



a) 접점형 전극 b) 소켓-플러그형 전극
그림 3 전극의 형상

표 1은 실험 조건을 나타낸다. 실험실 내 온도를 조절하여 $24 \pm 1^\circ\text{C}$ 로 일정하게 유지하며 실험하였고 습도는 $30 \pm 3\%$ 로 일정하게 유지하며 실험하였다.

그림 1은 본 실험에 사용된 아크차단실험 회로도이다. 아크 차단 실험장비는 그림 2와 같이 이동 전극, 고정 전극과 스텝 모터 및 구동장치로 구성되며 전원전압과 순수한 저항 부하 사이에 직렬로 접점을 배치하여 실험을 진행하였다. 그림 3의 접점형 전극의 몸통 부분은 구리로 이루어져 있고 접점은 Aw-18 메탈클래드로 이루어져 있다. 그림 3의 소켓과 플러그형 전극은 실린더 모양의 구조로 모두 황동으로 이루어져 있다. 이는 수용가에서 일반적으로 사용하는 소켓-플러그를 모사하기 위해 사용되었다. 실험은 위 2가지의 전극에 대하여 동일한 실험 환경에서 진행하였다.

3. 실험 결과

그림 4는 전원전압 300 V 조건에서 각 부하전력에 따른 아크 평균 소호거리 그래프이다. 그래프에서 부하전력이 증가함에 따라 아크소호거리도 증가한다. 그림 5는 부하전력 1000 W 조건에서 각 전원전압에 따른 아크소호거리를 나타낸 것으로 이는 같은 부하전력 조건에서도 전원전압의 증가의 따라 아크소호거리가 증가함을 나타낸다. 위 두 그림 모두 접점형 전극보다 소켓-플러그형 전극이 아크소호거리가 더 긴 것으로 나타난다.

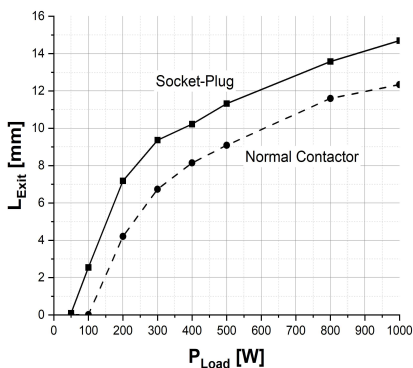


그림 4 전원전압 300V 조건에서 접점의 형상에 따른 평균 아크소호거리 비교 그래프

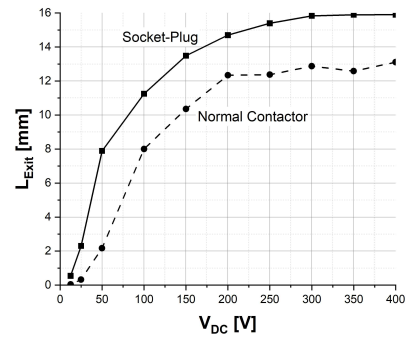


그림 5 부하전력 1000W 조건에서 접점의 형상에 따른 평균 아크소호거리 비교 그래프

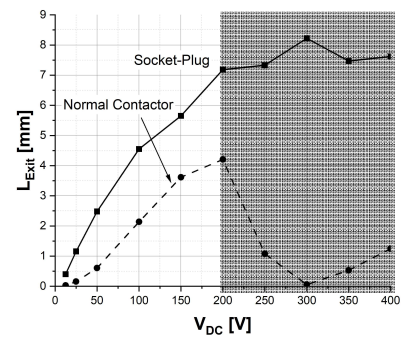


그림 6 아크소호거리 비교 그래프; 200W 조건에서 글로우 방전을 포함한 경우

한편, 그림 6에 보이는 것처럼 부하전력이 200 W로 낮은 조건에서 전원전압이 200 V 이상 증가하는 경우는 부하전류가 1A 이하로 되면서 전기 방전은 글로우 방전의 형태가 된다. 글로우 방전은 아크방전과 달리 방전의 세기가 약하고 비파괴적이어서 아크 사고와 연관성이 적으므로 본 논문에서는 분석대상에서 제외하기로 한다.

그림 6과 그림 7은 글로우 방전 영역을 제외하고 두 가지 전극의 아크소호거리를 3D 그래프로 표현한 것이다. 전반적으로 소켓-플러그형 전극의 아크소호거리 3D 그래프의 체적이 접점형 전극의 아크소호거리 3D 그래프보다 크다. 이는 같은 전원전압, 부하전력 조건에서 소켓-플러그형 전극의 아크소호거리가 접점형 전극의 아크소호거리보다 길다는 것을 의미한다.

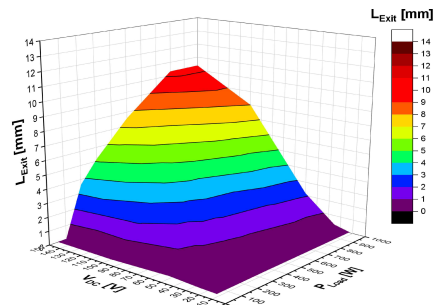


그림 7 전원전압 150V 이하에서 분석한 접점형 전극의 아크소호거리 3D 그래프

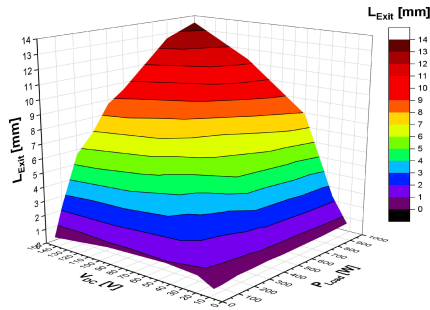
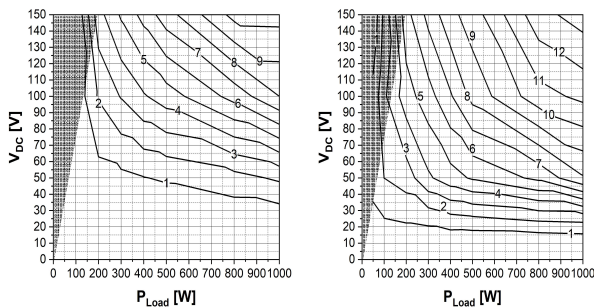


그림 8 전원전압 150V 이하에서 분석한 소켓-플러그형 전극의 아크소호거리 3D 그래프

4. 아크안전운전영역

그림 9는 그림 7과 그림 8의 등고선을 추출하여 2D로 그린 그래프이다. 이를 통해 아크소호거리에 따른 전원전압과 부하전력의 경계선을 확보할 수 있다. 아크안전운전영역이란 아크소호거리를 기준으로 아크방전에 대해 안전 또는 불안전을 판단할 수 있는 기준이다^[2].

예를 들어 그림 9 b)에서 아크소호거리가 10mm 이내인 전원전압과 부하전력의 조건은 전원전압 150 V에서는 부하 전력 550 W 이하, 전원전압 80 V인 경우 부하 전력 1000 W 이하인 것을 알 수 있다. 이를 통하여 소켓-플러그나 개폐기의 차단 시 발생하는 아크 방전이 위험을 초래하지 않는 안전한 운전 영역을 확보할 수 있다.



a) 점전형 전극 b) 소켓-플러그형 전극
그림 9 아크소호거리 등고선 그래프

실험 데이터에 대하여 추세식을 수립하여 아크안전운전영역을 도출해낼 수 있다. 예를 들어, 식(2)는 점전형 전극에 대한 4 mm의 아크소호거리를 보장하는 아크안전운전영역 경계식이고, 식(3)는 소켓-플러그형 전극에 대한 4 mm의 아크소호거리를 보장하는 아크안전운전영역 경계식이다.

$$V_{DC} = \frac{4000}{(P_{Load} - 60)^{0.7}} + 40 \quad (2)$$

$$V_{DC} = \frac{1500}{(P_{Load} - 120)^{0.7}} + 15 \quad (3)$$

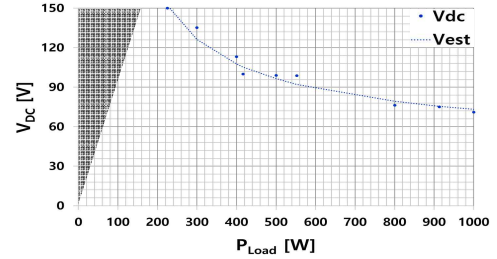


그림 10 점전형 전극 $L_{exit} = 4$ mm 아크안전운전영역 추세선

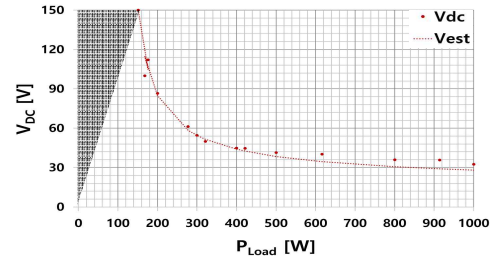


그림 11 소켓-플러그형 전극 $L_{exit} = 4$ mm 아크안전운전영역 추세선

그림 10과 그림 11는 아크소호거리 4 mm 조건에서 추출한 아크안전운전영역 경계선의 실험값과 추세선 그래프를 보여준다. 그림에서 점으로 표현한 것이 실험값이고 점선으로 표현한 것이 추세선이다. 같은 전압, 전력 조건에서 소켓-플러그형 전극의 아크안전운전영역이 점전형 전극에 비해 확연히 좁아지는 것을 알 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 점전형 전극과 소켓-플러그형 전극에 대하여 아크소호거리를 실험하고 특성을 분석하였다. 실험데이터를 3D 그래프로 분석하였을 때 동일한 실험 조건에서 소켓-플러그형 전극이 점전형 전극에 비해 아크소호거리가 길다는 것을 확인하였다. 이는 소켓 전극의 날카로운 엣지 형태가 전계강도를 높여서 아크의 지속시간을 늘이는 것으로 판단된다. 본 연구의 결과는 주택에서 주로 사용되는 전기 설비인 전등 스위치나 소켓-아울렛의 안전한 운용에 기여할 것으로 사료된다.

이 논문은 2022년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술평가관리원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. RS-2022-00144404, 친환경선박 핵심기술 국제표준화).

참 고 문 헌

- [1] O. J. Kwon, "Improvement of Electrical Fires Causes Classification in the National Fire Classification System", (Master's Thesis, Chungbuk National University, 2017), 73.
- [2] Y. J. Kim and H. S. Kim, "Arc Safe Operation Area of Low Voltage DC System", IEEE 4th International Conference, 2021, September.