

# 저압직류계통에서 저항성 부하의 차단시 습도가 아크에 미치는 영향

신윤성, 김효성

국립공주대학교 전기전자제어공학부

## Effect of relative humidity 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 전류의 교번 현상 없이 일정하므로 회로의 개방 시 상대적으로 강하고 유지시간이 긴 아크가 발생한다. 이로 인해 인체에 위험을 초래하거나 전기설비가 손상되어 신뢰성 있는 동작이 불가능한 상황이 초래될 수 있다. 따라서 전극형 접점의 차단아크를 이해하는 것은 저압직류(LVDC) 배전 계통의 신뢰성과 안전을 보장하는데 매우 중요하다.

본 논문에서는 저압직류 시스템에서 습도에 따른 전극형 접점의 차단아크 특성을 실험하고 분석하는 것을 목표로 한다. 동일한 실내 온도에서 상대 습도를 30%와 70%로 구분하여 습도가 낮은 환경과 높은 환경을 조성하고 각 습도 조건에서 차단아크에 대한 실험을 통하여 차단아크에 미치는 습도의 영향을 분석한다.

를 사용하여 정격 출력 전류 20 A까지 실험하였고, 20 A를 넘는 실험에서는 납산 배터리를 사용하였다. 가동 접점은 Autonix 사의 pmc-1\_2HS 컨트롤러와 스텝핑 모터를 사용하여 1 pulse 당 20 um의 정밀한 동작 및 일정한 개리속도를 구현하였다.

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±1
Relative Humidity [%]	30±3, 70±3

### 1. 서론

전기 아크는 전력 시스템 및 산업 응용 분야에서 흔히 발생하는 현상이다. 기존 교류 시스템에서의 아크 발생과 달리 직류 시스템에서의 아크는 상대적으로 강하며 유지시간이 길어서 전기 화재에 취약하다<sup>[1]</sup>. 따라서 직류차단아크의 특성을 이해하고 그에 따른 대책을 세우는 것은 신뢰성 높은 전력 시스템을 구축하는 데 있어 중요한 요소이다.

본 논문에서는 저압직류(LVDC) 시스템에서 습도에 따른 차단아크 특성을 실험하고 분석하는 것을 목표로 한다. 동일한 실내 온도에서 상대습도를 30%와 70%로 구분하여 습도가 낮은 환경과 높은 환경을 조성하고 각 습도 조건에서 차단아크 특성에 대한 실험을 통하여 아크에 미치는 습도의 영향을 분석한다. 다양한 전압 환경에서 실험하여 동일한 아크소호시간 및 아크소호거리를 유지하는 전압과 전력의 관계를 나타내는 추세식을 도출하여 아크안전운전영역을 제시한다.

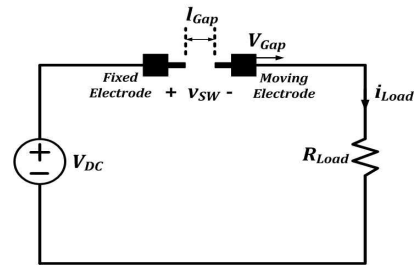


그림 1 아크차단실험 회로도

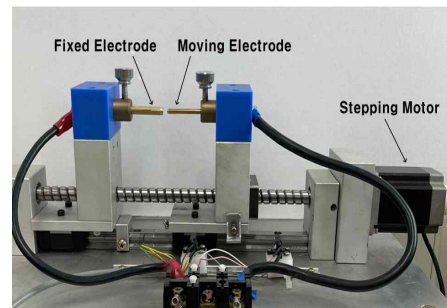


그림 2 아크차단실험 장비

### 2. 실험 조건

실험용 직류전원은 Sorenson 사의 SGI 400/12 직류전원장치

표 1은 실험 조건을 나타낸다. 12.5 V 부터 400 V까지의 다양한 전압전압 조건과 50 W에서 1000 W까지의 다양한 부하

조건에서 차단아크 특성을 실험하였다. 온도는 실험실 내 온도를 조절하여  $24\pm 1^\circ\text{C}$  로 일정하게 유지하며 실험하였다. 실험실의 습도는 계절에 따라 여름엔 70~80%, 겨울엔 20~30%로 유지를 하였으며 본 논문에서는 여름철의 대표 습도를 70%, 겨울철의 대표 습도를 30%로 분류하였다. 실험이 진행되는 동안 제습기와 가습기를 사용하여 실험실의 습도를 일정하게 유지하였다. 아크 발생 시 공기 유동의 영향을 방지하고자 아크릴 재질의 커버를 제작하여 사용하였다.



그림 3 소켓-플러그형 전극

그림 1은 본 실험에 사용된 아크차단실험의 회로도이다. 전원전압과 순수한 저항 부하 사이에 고정 전극과 이동 전극을 배치하여 전극의 접촉과 분리를 모사한다. 그림 2는 실제 실험에 사용된 실험 장비 사진이다. 그림에서 왼쪽부터 (+)단자에 연결된 고정 소켓 전극, (-)단자에 연결된 이동 플러그 전극, 이동 플러그 전극을 움직이는 스테핑 모터 및 구동장치로 이뤄진다. 접점은 일반 수용가에서 주로 사용하는 소켓-플러그형 전극으로 실험하였다. 스테핑 모터는 PC에 연결해 개리속도  $V_{\text{Gap}}$ 을 10 mm/s로 설정하여 실험하였다. 이 때 10 mm/s는 노약자나 어린이 등이 소켓을 뽑을 때를 고려하여 가장 낮은 속도로 설정하였다.

### 3. 실험 결과

그림 4는 전원전압 50 V 조건에서 전력에 따른 습도별 10회 평균 아크소호거리 그래프이다. 부하전력의 증가에 따라 아크소호거리가 증가하는 것을 볼 수 있다. 그림 5는 부하전력 1000 W 조건에서 각 전원전압에 따른 아크소호거리를 나타낸 것으로, 같은 부하전력 조건에서도 전원전압의 증가에 따라 아크소호거리가 증가함을 나타낸다. 두 실험 그래프에서 상대습도 30% 조건이 상대습도 70%에 비해 아크소호거리가 더 길어지는 것을 볼 수 있다.

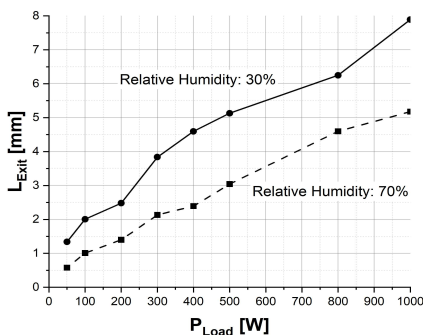


그림 4 전력에 따른 습도별 아크소호거리 그래프; 전원전압: 50 V

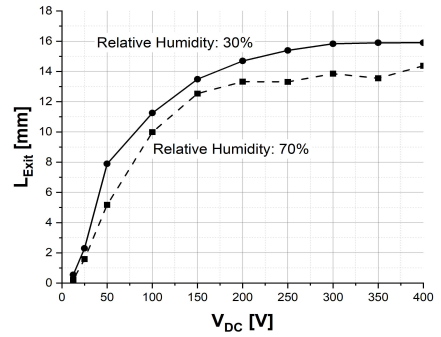


그림 5 전압에 따른 습도별 아크소호거리 그래프; 부하전력 1000 W

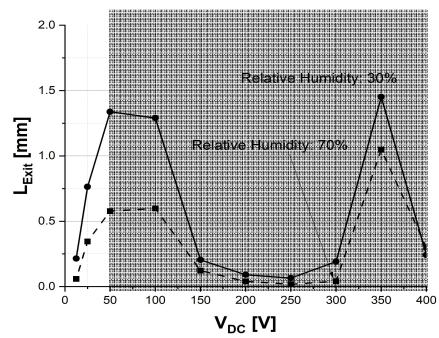


그림 6 아크소호거리 비교 그래프; 부하전력 50 W

한편, 그림 6에 보이는 것처럼 부하전력이 50 W로 낮은 조건에서 전원전압이 50 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 7과 그림 8은 글로우 방전 영역을 제외하고 소켓-플러그형 전극의 아크소호거리를 3D 그래프로 표현한 것이다. 전반적으로 상대습도 30% 조건에서 아크소호거리 3D 그래프의 체적이 상대습도 70% 조건의 아크소호거리 3D 그래프보다 크다. 이는 같은 전원전압, 부하전력 조건에서 상대습도 30% 조건의 아크소호거리가 상대습도 70% 조건의 아크소호거리보다 길다는 것을 의미한다.

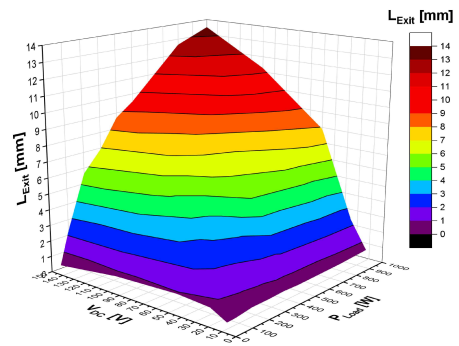


그림 7 공급 전압 150V 이하에서 분석한 접점형 전극의 아크소호거리 3D 그래프; 상대 습도 30%

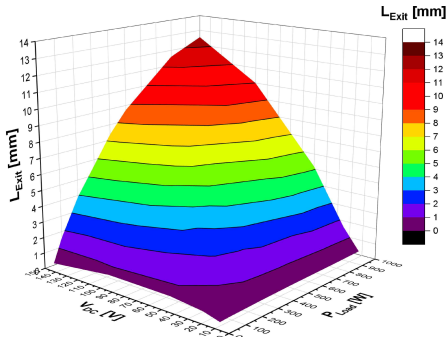
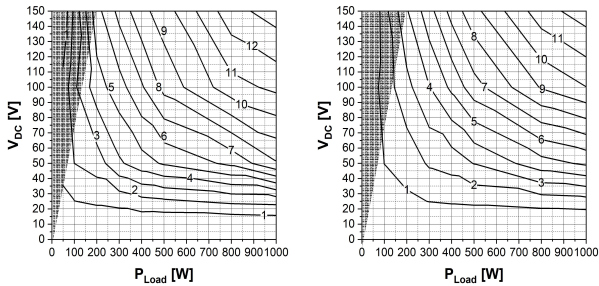


그림 8 공급 전압 150V 이하에서 분석한 점접형 전극의 아크소호거리 3D 그래프; 상대 습도 70%

#### 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<sup>[2]</sup>.

예를 들어 그림 9 a)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.

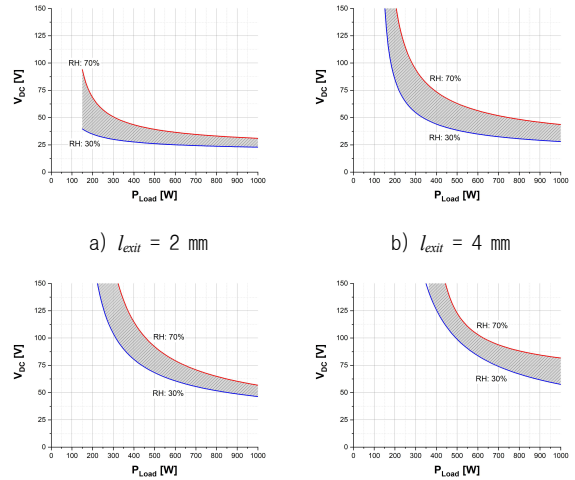


a) 상대습도 30%      b) 상대습도 70%  
그림 9 아크소호거리 등고선 그래프

실험 데이터에 대하여 추세식을 수립하여 아크안전운전영역을 도출해낼 수 있다. 예를 들어, 식(2)는 상대습도 30%에서 2 mm의 아크소호거리를 보장하는 전원전압과 부하전력의 관계를 표현하는 아크안전운전영역 경계식이고, 식(3)은 상대습도 70%에서 2 mm의 아크소호거리를 보장하는 아크안전운전영역 경계식이다.

$$V_{DC} = \frac{600}{(P_{Load} - 35)^{0.7}} + 18 \quad (2)$$

$$V_{DC} = \frac{1300}{(P_{Load} - 90)^{0.7}} + 20 \quad (3)$$



c)  $l_{Exit} = 6 \text{ mm}$       d)  $l_{Exit} = 8 \text{ mm}$   
그림 10 아크소호거리별 추세선에 따른 아크안전운전영역의 차이

그림 10은 습도 30%와 70% 조건에서 동일한 아크소호거리를 보장하는 아크안전운전영역 경계선을 비교한 것이다. 습도 30% 조건의 아크안전운전영역이 습도 70% 조건에 비해 더 좁아짐을 알 수 있다.

#### 5. 결론

본 논문에서는 상대습도 30%와 상대습도 70%의 두 가지 조건에 대하여 아크소호거리 특성을 실험하고 분석하였다. 또한 부하에 흐르는 전류를 차단했을 때 전극에서 발생하는 전기 방전 현상 중 글로우 방전의 카오틱(Chaotic)한 성질이 두드러짐을 확인하였다. 실험 결과를 3D 그래프로 분석하여 습도가 낮은 조건에서 아크소호거리가 길어지는 것을 확인하였다. 또한 등고선 그래프의 분석을 통하여 추세식을 수립하여 다양한 전원전압과 부하전력의 경우에 대한 아크안전운전영역을 예측할 수 있도록 하였다. 본 연구의 결과는 주택용 저압직류 배전 시스템에서 주로 사용되는 소켓-플러그형 전극의 안전한 사용을 보장하는 기준을 제공하는 데 기여할 것으로 기대된다.

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

#### 참고 문헌

- [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.