

## 44V AC 및 DC 전원에서 직렬아크에 의한 전선 접속부에서의 산화물 성장 특성

김향곤\*, 길형준\*, 김동욱\*, 김동우\*, 최효상\*\*  
 한국전기안전공사 전기안전연구원\*, 조선대학교\*\*

### Copper Oxide Growing Properties by Series Arc at the Contacts of Wires in 44V AC and DC

Hyang-Kon Kim\*, Hyoung-Jun Gil\*, Dong-Ook Kim\*, Dong-Woo Kim\*, Hyo-Sang Choi\*\*  
 Electrical Safety Research Institute(subsidiary of KESCO)\*, Chosun University\*\*

**Abstract** - 본 논문에서는 44V AC 및 DC전원에서 직렬아크에 의한 전선 접속부에서의 산화물 성장 특성에 대하여 실험, 분석하였다. 실험에 사용된 전선은 동전선과 황동선으로 각각 지름 1.0mm를 사용하였으며, 교류의 경우 3가지 접속조건, 직류의 경우 4가지의 접속 조건으로 하여 전선 접속면에서 직렬아크가 발생하였을 때 2A, 3A, 4A의 전류에서 산화물의 성장 특성과 접촉면 양단의 전압강하 변화, 산화물의 성장 길이 및 방향, 온도 분포 등에 대하여 분석하였다. 실험, 분석결과, 동전선과 동전선의 접속에서 가장 산화물의 성장이 잘 이루어짐을 볼 수 있었으며, 교류에서는 접속면을 중심으로 좌우로, 직류에서는 접속면을 중심으로 +극(양극) 방향으로만 산화물이 성장함을 볼 수 있었다. 본 연구 결과는 AC 및 DC 전원에서의 전기안전을 위한 기술 자료로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

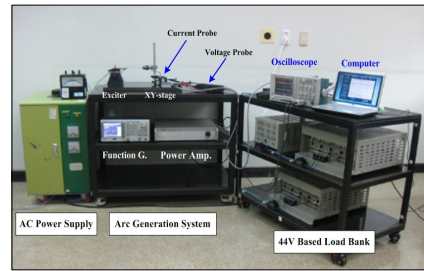
## 1. 서 론

지탄소 녹색성장과 환경오염의 저감을 위하여 자동차 산업분야에서도 기술 개발이 이루어지고 있다. 전기자동차, 하이브리드자동차, 플러그인 하이브리드자동차, 수소연료전지자동차 등 친환경자동차가 개발되고 일부 자동차는 일반인을 대상으로 보급되고 있다. 우리나라뿐만 아니라 세계 각국에서는 이러한 친환경자동차의 개발과 더불어 자동차의 안전 확보를 위한 기준 개발에도 힘쓰고 있으며 전기안전 측면에서는 충전부의 직접 접촉에 대한 보호와 노출도전부의 간접 접촉에 의한 보호에 관심이 맞춰 기준을 제정하고 있다. 세부적으로는 충전부 접촉을 막기 위한 외함이나 격벽의 설치, 노출도전부 누전되었을 때의 인체 안전을 확보하기 위하여 고전압 단자와 노출도전부간에 일정한 절연을 확보하는 방법과 노출도전부 간에 전기적 연속성을 확보하는 것을 검토하고 있다. 또한, 과전류에 의한 사고의 예방을 위하여 보호장치(퓨즈, 차단장치 등)의 설치를 검토하고 있다[1].

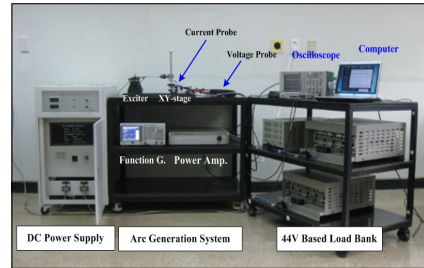
본 논문에서는 AC와 DC 44V에서 전기적 접속부에서 직렬아크가 발생하였을 때의 산화물의 성장 과정, 접촉불량 부위 양단의 전압강하, 전기적 특성, 열적 특성, 동산화물의 성장 특성에 대하여 실험, 분석하였다. 연구결과는 AC 및 DC 전원에서의 직렬아크에 대한 사고 위험성과 전기안전성 검증에 도움을 줄 수 있을 것으로 기대한다.

## 2. 실험방법

그림 1은 AC와 DC 44V에서의 직렬아크에 의한 산화물의 성장 특성을 실험, 분석하기 위한 실험장치의 구성을 나타낸 것이다. 그림 1(a) AC 44A 기반 직렬아크 실험장치의 구성을 나타낸 것으로 실험전원의 공급을 위하여 교류 전압조정기(0~500V, 10kW, Daelim electric, Korea)와 부하장치(load bank)로 구성되어 있다. 그림 1(b)은 DC 44V 기반 직렬아크 실험장치 구성을 나타낸 것으로 실험전원의 공급을 위한 DC Power Supply(120-17A, Seoheung, Korea)와 부하장치(load bank)로 구성되어 있다. 부하장치는 44Ω(1개)와 22Ω(2개)로 구성되어 있으며, 각각의 부하를 ON/OFF하여 부하전류를 조정하였다. 전선 접속부에서의 직렬아크는 직렬아크 발생장치(SAGS)를 이용하였으며 발생장치의 진동축(exciter)과 고정축(XY-stage)에 각각의 실험전선을 고정하였다. 실험에 사용된 전선도체는 동전선과 황동선으로 지름은 1mm이며, 길이는 6cm이다. 실험이 진행되는 동안의 전기적 특성은 오실로스코프(TDS 3052, Tektronix, USA)와 전압프로브(differential probe, P5205, Tektronix, USA), 전류 프로브(TCP 202, Tektronix, USA)를 이용하여 실험전선 접속부 양단의 전압과 회로의 전류를 측정하였다. 접속부에서 발생하는 열은 적외선 열화상 진단장비(TI45-FT, Fluke, USA)를 이용하여 측정, 분석하였다. 산화물의 성장특성 실험은 증식계시로부터 90분 동안 진행하였다. 실험 후 접속도체의 외형 변화를 실체현미경(EGVM-452M, EG Tech, Korea)를 이용하여 분석하였다[2, 3].



(a) AC 44V 기반 직렬아크 실험장치



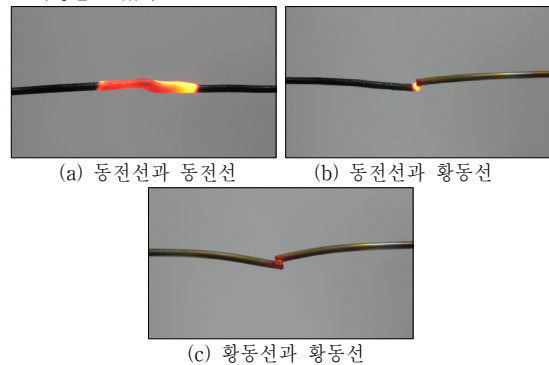
b) DC 44V 기반 직렬아크 실험장치  
 <그림 1> 직렬아크 실험장치의 구성

실험전선의 조합은 교류의 경우, 동전선과 동전선, 동전선과 황동선, 황동선과 황동선 3가지 조건으로 하였으며, 직류의 경우, 동전선(+극)과 동전선(-극), 동전선(+극)과 황동선(-극), 황동선(+극)과 동전선(-극), 황동선(+극)과 황동선(-극)의 4가지 조건으로 하였다.

## 3. 결과 및 고찰

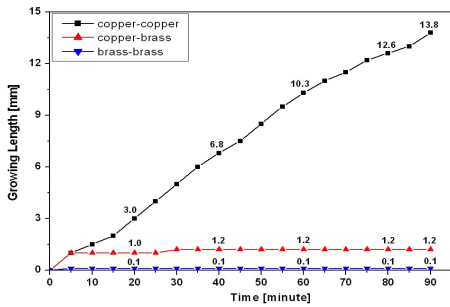
### 3.1 AC에서의 산화물 성장 특성

그림 2는 AC 44V 2A에서의 산화물 성장과정을 나타낸 것으로 동전선과 동전선의 접속에서 가장 활발한 산화물 성장을 나타냈으며, 접속점을 중심으로 좌우로 산화물이 성장함을 확인할 수 있었다. 동전선과 황동선의 접속의 경우, 접속면에 약간의 산화물이 생성되었으나 산화물의 성장속도는 매우 느리게 진행되었다. 또한, 황동선과 황동선의 접속에서는 접속면의 황동선 선단이 적멸하였으며, 산화물의 성장은 거의 진행되지 않는 특징을 보였다.



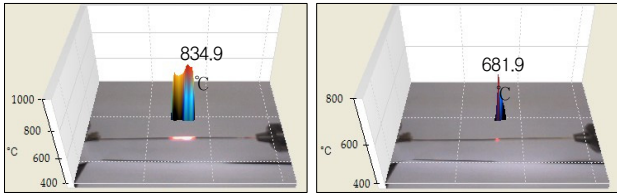
(a) 동전선과 동전선 (b) 동전선과 황동선 (c) 황동선과 황동선  
 <그림 2> AC 44V 2A에서의 산화물 성장 특성

그림 3은 AC 44V 2A에서의 시간경과에 따른 산화물의 성장 특성을 나타낸 것이다. 실험결과, 동전선과 동전선의 접속이 가장 활발한 성장을 나타냈으며 901ns 경과시 13.8mm(약 1.5mm/min)가 성장하였다. 그러나 동전선과 황동선, 황동선과 황동선의 접속에서는 산화물의 성장이 매우 더디거나 거의 성장하지 않음을 알 수 있었다.



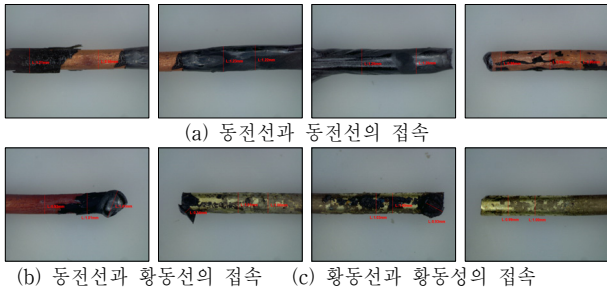
〈그림 3〉 AC 44V 2A에서 시간에 따른 산화물 성장

그림 4는 AC 44V 2A에서 전선 접속부에서의 온도 분포를 나타낸 것으로 산화물의 성장 과정 및 접촉면에서의 저항 변화 등에 따라 발열 온도에 차이가 있으며 산화물의 성장 길이에 따라 온도 분포 범위가 차이를 보이며 동일 시료 내에서도 온도 편차가 있음을 확인할 수 있다.



(a) 동전선과 동전선 (b) 동전선과 황동선  
〈그림 4〉 AC 44V 2A에서의 온도 분포 분석

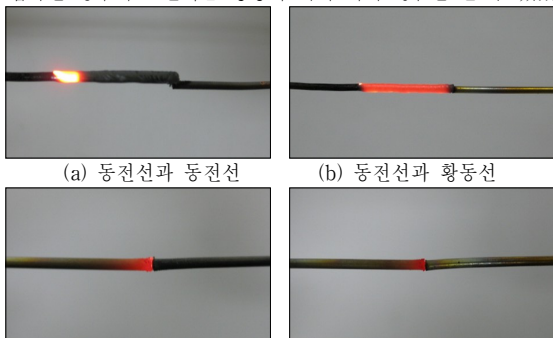
그림 5는 AC 44V 2A에서 생성된 산화물의 외형으로 동전선과 동전선의 접속에서는 산화물이 접촉면을 중심으로 좌우로 성장하였으며, 동전선은 접촉면에서의 급격한 발열에 의해 겹겹이 산화되고 박리되었다. 동전선과 황동선, 황동선과 황동선의 접속에서도 접촉면에서의 발열에 의해 산화와 열 변형이 발생하였다.



(a) 동전선과 동전선의 접속 (b) 동전선과 황동선의 접속 (c) 황동선과 황동선의 접속  
〈그림 5〉 AC 44V 2A에서 생성된 산화물의 외형

### 3.2 DC 44V에서의 산화물 성장 특성

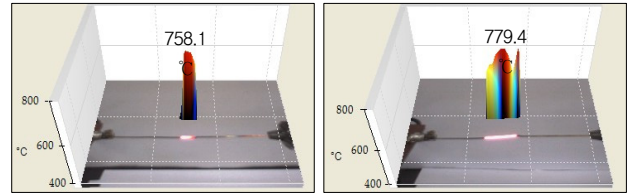
그림 6은 AC 44V 2A에서의 산화물 성장 특성으로 +극에 동전선을 접속한 경우, 산화물의 진행 방향은 +극으로만 진행되었다. 반면에 황동선을 접속한 경우에는 산화물 성장이 거의 되지 않음을 볼 수 있었다.



(a) 동전선과 동전선 (b) 동전선과 황동선 (c) 황동선과 동전선 (d) 황동선과 황동선  
〈그림 6〉 DC 44V 2A에서의 산화물 성장 특성

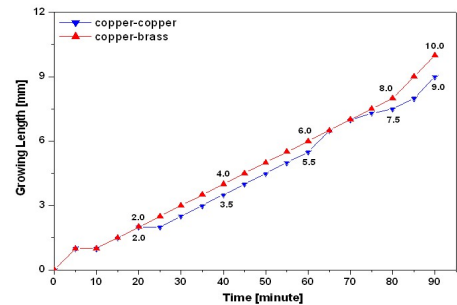
그림 7은 DC 44V 3A에서의 전선 접속부에서의 온도 분포를 나타낸

것으로 +극에 동전선을 접속한 경우에는 750°C 이상으로 국부적인 발열이 발생함을 볼 수 있다. 산화물의 성장 길이에 따라 국부발열 영역에 차이가 있으며, 동일 산화물에서도 온도분포가 다를 수 있다. 이는 산화물 내의 저항 분포가 다르기 때문으로 판단된다.



(a) 동전선과 동전선 (b) 동전선과 황동선  
〈그림 7〉 DC 44V 3A에서의 온도 분포 분석

그림 8은 DC 44V 3A에서 동전선과 동전선, 동전선(+극)과 황동선(-)의 접속에서 시간경과에 따른 산화물의 성장 길이를 나타낸 것이다. 90분 경과시 동전선과 동전선의 접속에서는 10.0mm(1.0mm/min), 동전선과 황동선의 접속에서는 9.0mm(1.11mm/min)를 나타냈으며 -극에 황동선을 접속한 경우가 더 빠르게 산화물이 성장함을 볼 수 있다.



〈그림 8〉 DC 44V 3A에서 시간에 따른 산화물 성장

## 4. 결 론

이상과 같이 AC 및 DC 44V에서의 직렬아크에 의한 동산화물의 성장 특성에 대하여 실험, 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 직렬아크에 의한 산화물 성장 특성을 분석한 결과, 2A의 전류에서 가장 빠른 성장 특성을 보였으며, 교류전원에서는 접촉점을 중심으로 좌우로 성장하는 반면, 직류전원에서는 +극으로만 산화물이 성장함을 확인할 수 있었다.
- 2) 직렬아크 발생부위 양단의 전기적 특성을 분석한 결과, 산화물이 성장하는 동안 교류 전원에서는 전압파형에서 산화물의 성장에 따른 특이 파형이 나타났으나 직류 전원에서는 전압강하의 크기만 변하는 것을 볼 수 있었다.
- 3) 직렬아크 발생 부위의 온도 분포를 분석한 결과, 국부적인 발열이 관측되었으며, 산화물의 성장에 따라 넓은 영역과 좁은 영역에서의 온도 분포를 보였다. 또한, 동일한 산화물 내에서도 발열온도에 편차가 있음을 확인할 수 있었으며, 이는 산화물 내 저항의 차이인 것으로 판단된다.
- 4) 직렬아크에 의한 산화물의 성장 특성을 분석한 결과, 전원의 종류, 부하전류의 크기, 접촉도체의 조합 등에 따라 차이가 있음을 확인할 수 있었으며, 10mm 전선에 있어 2A의 전류에서 가장 활발한 성장 특성을 보였으며, 전류가 증가함에 따라 성장속도가 줄어드는 것을 볼 수 있었다.

본 연구는 국토해양부 및 한국건설교통기술평가원의 교통체계효율화사업의 연구비지원(07교통체계-미래02)에 의해 수행되었습니다.

### [참 고 문 헌]

[1] ECE/TRANS/WP.29, "Proposal for the 01 series of amendments to Regulation No. 100", 2010  
 [2] 김향곤 외 4명 "전기기기용 비닐절연전선에서의 직렬 아크에 의한 열화 특성 분석", 한국전기전자재료학회 하계학술대회, pp.234-235, 2006  
 [3] 김향곤, 김동우, 이기연, 문현욱, 최효상, "44V DC 전원에서의 직렬아크에 의한 동산화물의 성장 특성 분석", 대한전기학회 춘계학술대회, pp.13-15, 2011