

DC 전원설비 접속부에서의 접촉불량에 의한 발열특성 분석

김향곤*, 문현욱*, 이기연*, 김동우*, 최효상**
 한국전기안전공사 전기안전연구원*, 조선대학교**

Analysis of Thermal Characteristics by Poor Contacts at the Connection Parts of DC Power Appliances

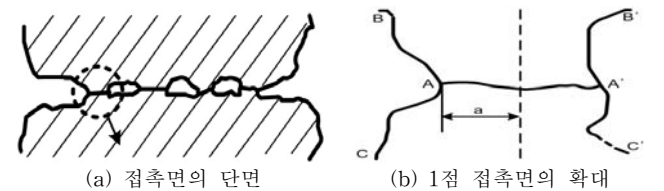
Hyang-Kon Kim*, Hyun-Wook Moon*, Ki-Yeon Lee*, Dong-Woo Kim*, Hyo-Sang Choi**
 Electrical Safety Research Institute(KESCO), Chosun University

Abstract - 본 논문에서는 DC전원설비 접속부에서의 접촉불량에 의한 발열 특성에 대하여 실험, 분석하였으며 사용된 DC 전원설비는 상용 교류전원을 직류전원으로 변환하는 AC/DC 컨버터의 출력전원을 이용하는 LED 가로등 조명설비의 전원 접속부를 대상으로 하였다. 외부의 기계적 진동에 의해 동전선 접속부에 아크와 열이 발생하며 이때 발생한 발열 온도와 열 분포를 측정하였으며 적열부가 형성된 후 25분이 경과하였을 때 최고 842.68℃까지 온도가 상승하였으며 접속부의 접촉전압은 1.5~1.6V, 통전전류는 6.6~6.9A로 약간의 변화만 나타남을 볼 수 있었다. 또한 DC전원에서 동전선 접속부에서의 산화물 생성과 증식 거동에 대하여 분석하였으며 AC전원에서와 유사하게 산화물이 형성되어 성장함을 볼 수 있었다. 이러한 실험과 분석 결과는 향후, DC 전원설비에서의 전기화재 예방을 위한 자료로 활용 가능할 것으로 기대된다.

하게 된다. 금속의 표면은 아무리 평면으로 가공하더라도 그림 1과 같은 요철의 형태를 가진다. 이 때문에 미세 가공한 도체를 서로 접촉시키더라도 완전히 접촉되지 않고 도체 표면의 불룩부도 점접촉하며 전류는 이들 점접촉부분을 통하여 흐르게 된다. 그러나 이들 접촉부분은 가해지는 압력에 따라 접촉면에 탄성변형이나 소성변형이 발생하는 어떤 면을 얻게 된다. 이 접촉면적을 실질접촉면적이라고 하며, 실제로는 이 실질접촉면적을 통하여 전류가 흐르게 된다. 두 도체의 접속부에는 전류의 흐름이 접촉면에만 한정되므로 전류의 통로가 좁아짐에 따른 집중저항(constriction resistance; R_c)과 접촉재료의 산화물, 유화물 등의 화합물이나 흡착가스의 피막을 통하여 발생하는 경계저항(film resistance; R_f)의 합인 접촉저항(contact resistance; R_c)이 존재하게 된다.

1. 서 론

최근 화석에너지의 고갈과 지구환경 문제의 해결을 위한 저탄소 녹색성장을 위한 에너지의 효율적인 이용과 신재생에너지의 개발과 보급에 대한 지원과 관심이 고조되고 있다. 일례로 우리의 생활 환경을 밝게 해주는 조명설비에 있어서도 LED를 이용한 옥내, 옥외 LED 조명설비의 개발이 확산되고 있다. 또한 이와 관련된 제도과 정책적 뒷받침이 이루어지고 있으며 일부의 개발된 제품들은 현장에 설치되어 운용되고 있는 실정이다. 태양열이나 연료전지 등의 발전시스템을 통해 발생하는 전기에너지가 직류이며 일본 등에서는 이러한 직류 전기에너지를 바로 실생활에 적용하기 위한 기술이 개발되고 있으며 국내에서 머지않아 적용될 것으로 생각된다. 전기적 접속부에서의 접촉불량에 대한 발열특성과 전기적 특성에 대한 실험과 분석은 외국[1-3]은 물론 국내[4-5]에서 꾸준히 진행중에 있다.



<그림 1> 도체의 접촉과 접촉저항

일반적으로 접속부위의 접촉저항의 측정은 접속부 양단에 걸리는 전압과 통전전류의 산술에 의해 저항을 계산한다.

3. 실험 방법

실험에 사용된 직류전원(DC Power Source)은 120W의 LED 가로등에 전원을 인가하기 위해 사용되는 AC/DC 컨버터(PU-2463, MW, Taiwan)로 제원과 외형은 표 1과 같다. 표 1과 같은 AC/DC 컨버터를 이용하여 120W의 LED 가로등기구에 전원을 인가하였으며 그 중간에 터미널블록을 이용하여 컨버터의 출력측과 등기구의 입력측 전선을 접속하였다. 등기구로 인입되는 1선의 전선을 그림 2와 같은 실험장치를 구성하여 DC전원설비 접속부에서의 접촉불량에 의한 발열특성을 실험, 분석하였다. 실험에 사용된 전선은 0.8mm와 1.0mm의 동전선으로 그림 3과 같이 두 전선을 상호 직렬로 접촉하여 외부에서 접속부에 기계적 진동을 인가하는 방식으로 실험을 수행하였다.

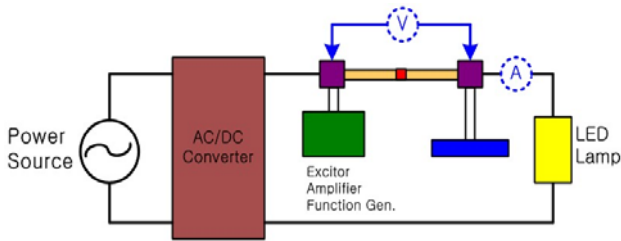
2. 이론적 배경

본 연구에서는 DC전원을 이용한 다양한 전기기기나 전기제품들이 개발, 보급에 맞춰 이러한 직류전원을 이용한 전기설비에서의 전기화재 위험성의 규명과 이를 예방하기 위한 대책을 수립의 일환으로 DC 전원설비 접속부에서의 접촉불량에 의한 발열 특성에 대하여 실험, 분석하였다. 실험에 사용된 DC전원설비는 교류 상용전원을 직류전원으로 변환하는 컨버터와 이에 접속되는 옥외용 LED 가로등설비를 대상으로 하였으며 컨버터와 가로등 전선 사이의 전기적 접속부에 기계적 진동을 인가하여 접촉불량을 유발하였다. 이때의 전기적 접속부에서의 발열온도와 온도분포, 접속부를 중심으로 한 전기적 특성 변화, 접속부에서의 산화물의 형성과 성장 특성 등에 대하여 실험, 분석하였다. 연구결과는 DC 전원설비의 전기안전성 확보를 위한 자료로 활용 가능할 것으로 기대된다.

외부의 기계적 진동은 Sweep Function Generator(8205A, Korea)와 Power Amplifier(EA42, Eliezer, Korea)를 이용하여 진동주파수와 진동의 크기를 조절하였으며 가진기(Excitor)에 인가하여 동전선의 접속부에서 스파크가 발생할 수 있도록 하였다. 실험을 통하여 접촉불량에 의한 동전선의 접속부에서 적열부 형성으로부터 시간의 경과에 따른 접촉불량부의 접촉전압과 통전전류의 변화를 전압·전류측정기(337, Fluke, Thailand)를 이용하여 측정하였으며 AC 전원입력부의 전원변화는 누설전류계(3263, Hioki, Japan)를 이용하여 측정하였다. 또한, 적외선열화상 진단장비(TVS-8500, AVIO, Japan)를 이용하여 열 분포를 측정 분석하였으며 시간의 경과에 따른 접촉불량부에서의 산화물의 성장 길이와 성장 특성을 버니어캘리퍼스를 이용하여 측정, 분석하였다.

<표 1> AC/DC 컨버터의 제원

| 구 분 | 전 압 | 전 류 | 주 파 수 | 외 형 |
|--------|------------|------|---------|-----|
| Input | 100 ~ 240V | 2A | 50/60Hz | |
| Output | 24V | 6.3A | - | |



〈그림 2〉 DC 전원설비에서의 접촉불량 실험장치 구성

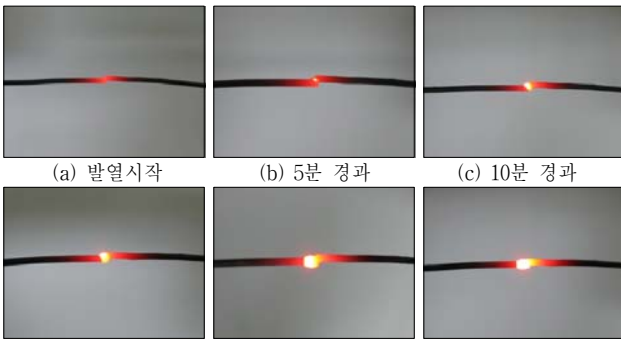


(a) 동전선의 접속 및 기계적 진동 (b) 컨버터 및 LED 등기구

〈그림 3〉 동전선의 접속 및 실험용 부하의 점등 모습

4. 결과 및 고찰

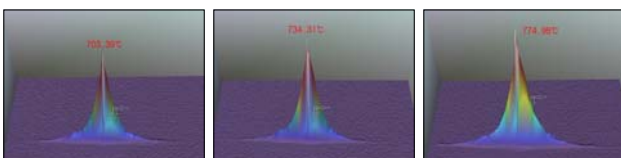
그림 4는 120W LED 가로등 부하의 1선의 전원선과 직렬로 접속된 동전선(0.8mm) 상호간에 외부의 기계적 진동이 인가되어 직렬아크가 발생하였을 때 접속된 전선의 접촉과 단선의 반복에 의한 산화와 접촉저항의 증가로 국부적인 발열이 발생하며 동전선의 접속부를 중심으로 적열부(glowing part)가 형성되고 시간이 경과함에 따라 성장함을 볼 수 있었다. 전압, 전류 등 전기적 특성에 있어 AC/DC 컨버터 1차측 전압은 단상의 220V 상용전압으로 측정되었으며, 전류는 부하단이 개방되었을 때 65mA, 부하단이 폐로되었을 때 735mA로 나타났다. 또한, AC/DC 컨버터의 2차측 DC 전압은 24.0~24.1V이며 이중 동전선의 접속부 양단의 초기 접촉전압과 통전전류는 1.3V와 6.2A였으며 시간 경과에 따라 접촉전압은 1.5~1.6V, 통전전류는 6.6~6.9A로 계속되어 초기보다 약간 증가함을 알 수 있었다. 또한 시간의 경과에 따라 AC/DC 컨버터 1차측의 전류도 점차 증가하여 793mA~804mA까지 계속됨을 볼 수 있었다. 이는 접촉불량에 의한 미소한 저항의 증가로 인하여 AC/DC 컨버터의 1차와 2차측에 흐르는 전류가 증가한 것으로 사료된다.



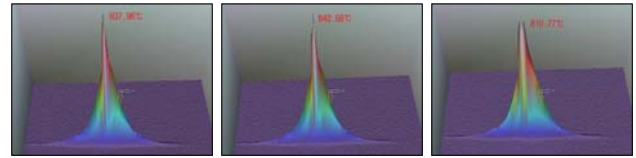
(a) 발열시작 (b) 5분 경과 (c) 10분 경과 (d) 15분 경과 (e) 20분 경과 (f) 25분 경과

〈그림 4〉 시간 경과에 따른 동전선 접속부의 발열 상황

그림 5는 그림 4의 열 분포를 적외선열화상진단장비를 이용하여 시간 경과에 따른 동전선(0.8mm) 접속부에서의 발열 분포를 3차원으로 나타낸 것이다. 그림 5(a)는 접속부에서 이상발열이 급속하게 발생하기 시작한 단계로 700℃ 이상으로 국부 발열이 발생함을 볼 수 있다. 그림 5(c)의 10분이 경과한 때에는 약 775℃의 열이 발생함을 볼 수 있으며 그림 5(e)와 같이 20분이 경과한 때에는 840℃ 이상으로 열이 발생함을 알 수 있다. 이렇게 국부적인 열이 발생하고 있는 동안에도 부하의 동작에는 이상변화가 발생하지 않았으며 차단장치도 동작하지 않았다.



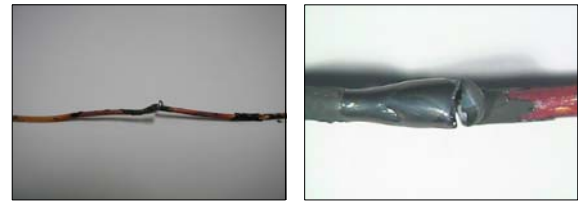
(a) 이상발열 (b) 5분 경과 (c) 10분 경과



(d) 15분 경과 (e) 20분 경과 (f) 25분 경과

〈그림 5〉 시간 경과에 따른 접속부의 발열 특성(3D)

그림 6은 실험 후 동전선 접속부의 변형모습을 나타낸 것으로 그림 6(a)와 같이 동전선 접속부에 발생한 열에 의해 동전선 표면이 산화되고 그림 6(b)와 같이 접속부에는 산화물이 생성됨을 볼 수 있었다. 생성된 산화물은 산화동으로 상온에서는 높은 저항을 갖으나 온도가 상승함에 따라 저항이 낮아지는 부온도특성(NTC)을 갖고 있다. 전기가 통전되는 상황에서는 실험에서와 같이 발열하기 때문에 전류를 제한하지 않지만 전원이 차단되어 온도가 낮아진 경우에는 큰 저항을 갖게 되어 전류의 흐름을 제한하게 된다.



(a) 실험 후의 동전선 외형 (b) 성장한 동산화물 확대(×8)

〈그림 6〉 동전선의 외형 및 성장한 산화물의 실제 분석

5. 결 론

이상과 같이 DC전원설비의 전기적 접속부에서의 접촉불량에 의한 발열특성을 실험, 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. DC 전원에서도 전기적 접속부에서의 기계적 진동에 의한 아크에 의해 산화물이 생성되고, 증식됨을 확인할 수 있었다.
2. DC전원에 있어 동전선의 접속부에서의 기계적 진동에 의해 800℃ 이상으로 국부발열이 발생함을 알 수 있었으며 이러한 열에 의해 전기 기기나 제품의 손상은 물론 전기화재의 위험성이 있다.
3. 부하와 직렬로 접속된 상태로 이상발열이 발생함에 따라 기존의 회로보호용 차단기(MCCB 등)로는 보호할 수 없음을 확인할 수 있었으며 산화물이 성장함에 따라 AC측과 DC측의 전류가 약간 상승됨을 알 수 있었다.

위와 같이 단지 접속부나 전선 접속부 등 직렬로 접속되는 부분에서의 이상발열에 의한 화재 등 전기화재의 예방을 위한 지속적인 연구와 기술개발 등 대책 개발이 요구된다.

본 논문은 지식경제부에서 시행하는 전력산업연구개발사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

[참 고 문 헌]

- [1] John J. shea, "Glowing Contact Physics", IEEE, pp.48-57, 2006.
- [2] R.Spyker, D.L.Schweickart, J.C.Horwath, L.C.Walko, D.Grosjean, "An Evaluation of Diagnostic Techniques Relevant to Arcing Fault Current Interrupters for Direct Current Power Systems in Future Aircraft", IEEE, pp.146-150, 2005.
- [3] S.Arunachalam, B.Diong, "A Parametric Model Approach to Arc Fault Detection for DC and Ac Power Systems", IEEE, pp.2249-2255, 2006.
- [4] 김향곤, 최충석, 김동욱, 최효상, "비닐절연전선의 산화물 성장 특성과 화재조사에의 적용", 대한전기학회 논문지, 56P권, 1호, pp.37-44, 2007.
- [5] 최충석, 김향곤, 김동욱, 김동우, "직렬아크에 따른 도체의 산화물 증식 및 전압 파형 분석", 대한전기학회 논문지, Vol.55P No.3, pp.146-152, 2006.
- [6] IEC 60943, Guidance concerning the permissible temperature rise for parts of electrical equipment, in particular for terminals, 1998.