

저압용 전원선의 접촉불량에 따른 열적 특성에 관한 연구

김향곤*, 최충석*, 김동욱*, 정헌상**
 *전기안전연구원(한국전기안전공사 부설), **조선대학교 전기공학과

A study on the thermal characteristics of power cord sets for low voltage according to poor contacts

Kim, Hyang-Kon*, Choi, Chung-Seog*, Kim, Dong-Ook*, Chung, Hun-Sang**
 *Electrical Safety Research Institute, **Chosun Univ.

Abstract - PVC insulated flexible cords are widely used as power cord sets in household electric appliances for low voltage. In this paper, we studied the thermal characteristics of power cord sets according to poor contacts between a receptacle and plug pins. In the results of experiments, poor contacts generated heat and ignited the combustibles. And the heat was transmitted to the plug body. While poor contacts were continuing, the electrical waveforms changed. Electrical accidents could be prevented by analyzing these waveforms.

1. 서 론

저압용 전기제품의 전원선으로 일체형 비닐코드가 주로 사용되고 있다. 비닐코드 전원선의 열화원인으로 과전류, 단락, 소선 단선에 의한 저항증가, 방열 불량, 절연물의 절연과피, 접촉불량에 의한 발열 등을 들 수 있다[1]. 일본 등 외국에서는 전원선에 의한 화재에 대해 연구가 꾸준히 진행되고 있으며 연구 결과를 바탕으로 제품의 품질 향상 및 안전대책 등을 강구하고 있다[2]~[4]. 국내에서도 이에 대한 연구가 진행중에 있으며[5]~[8], 2001년 7월부터 제조물책임법(PL법)이 시행됨에 따라 기업들의 관심을 받고 있다.

본 논문에서는 비닐코드 전원선의 접촉불량에 따른 열 특성을 밝히기 위하여 접촉불량에 의한 발열이 발화로 이어지는 과정과 플러그 절연물의 열화진행 상태 및 접촉전선 피복의 열화과정을 실험, 분석하였다. 또한, 시간경과에 따른 도체 접속부에서의 전기적 특성 변화와 접속부 도체의 외형과 표면구조 변화를 분석하였다. 이상의 실험과 분석결과는 저압용 전원선의 접촉불량에 의한 전기제해 예방 및 원인규명에 많은 도움을 줄 것으로 기대한다.

2. 실험방법

저압용 전원선의 접촉불량에 따른 열화 특성을 실험하기 위하여 그림 1과 같은 실험회로를 구성하였다.

실험에는 220V 일체형 코드(VCTFK 0.75mm²×2C, 7A)를 사용하였으며 실험전압은 단상 220V 60Hz로 전압조정기(10KVA, Daelim, Korea)를 이용하여 전압을 설정하였다. 부하에 따른 영향을 분석하기 위하여 220V용 100W 전등부하를 사용하여 200W, 400W, 600W, 800W, 1,000W까지 5단계로 나누어 각각 2시간 동안 진행하였다. 전원선 접속부에서의 접촉불량 실험은 별도의 실험장치(AG-10, KESCO, Korea)를 제작하였으며 진동자(바이브레이터)를 3000rpm으로 진동시켜 접속부에서 접촉불량이 발생할 수 있도록 하였다.

시간경과에 따른 전압, 전류, 전력파형 변화는 정밀전력분석계(3030A, BMI, USA)를 이용하여 분석하였으

며, 도체의 외형과 표면구조 변화는 실체현미경(SV-11, Carlzeiss, Germany)과 SEM(JSM-6400, JEOL, Japan)을 이용하여 분석하였다.

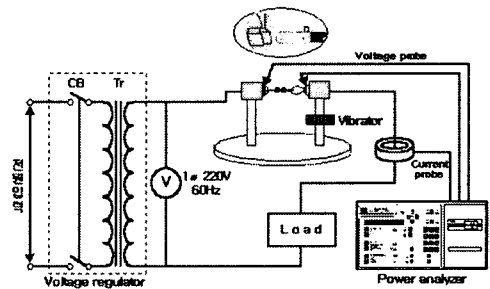


그림 1. 저압용 전원선의 접촉불량 실험회로

3. 결과 및 고찰

3.1 발열에 의한 가연물 착화

그림 2는 콘센트 칼받이와 코드 플러그 핀(blade) 사이에서 가연성물질(탈지면)이 존재할 경우 접촉불량시 발생한 열과 스파크에 의해 가연물이 착화 가능한가를 실험한 것으로, 실험결과 접촉불량에 의해 발생한 열에 의해 충분히 착화 가능함을 알 수 있었다.

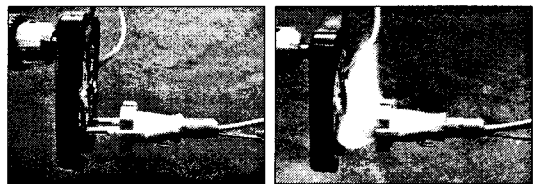
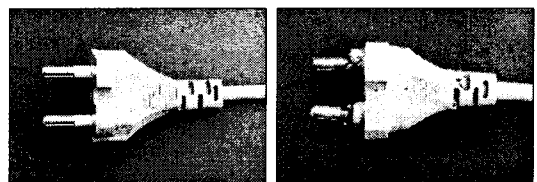


그림 2. 접촉불량에 의한 가연물의 착화

그림 3은 그림 1과 같은 실험회로에서 콘센트 칼받이와 플러그 핀 접속부에서 접촉불량이 발생하여 1시간이 경과한 때의 플러그 몸체의 열화 상태를 정상 의 것과 비교한 것이다. 열화된 플러그에서는 발생한 열이 플러그의 금속핀을 통하여 플러그 몸체로 전달되어 핀 지지절연물이 심하게 용융, 탄화됨을 볼 수 있었다.



(a) 정상상태 (b) 열화상태
 그림 3. 접촉불량에 의한 전원선의 외형비교

3.2 접속전선의 열열화 진행 과정

그림 4는 접속불량에 의해 발생한 열에 의해 접속전선 피복이 시간경과에 따라 열화되는 과정을 나타낸 것으로 부하는 600W이다.

(a)는 정상상태이며 (b)는 10분 경과된 때로 접속부에서부터 전선피복이 수축되면서 용융되고 있다.

(c)와 (d)는 각각 20분, 40분이 경과된 때로 (b)와 유사한 특징을 보이며 전선피복의 수축이 증가함을 볼 수 있다.

(e)와 (f)는 각각 60분, 80분이 경과된 때로 피복이 용융되고 검게 변색되었으며 피복에 작은 기포가 생성됨을 볼 수 있다.

(g)와 (h)는 각각 100분, 120분이 경과한 때로 시간이 경과함에 따라 피복이 심하게 부풀어 오르고 용융됨을 볼 수 있다.

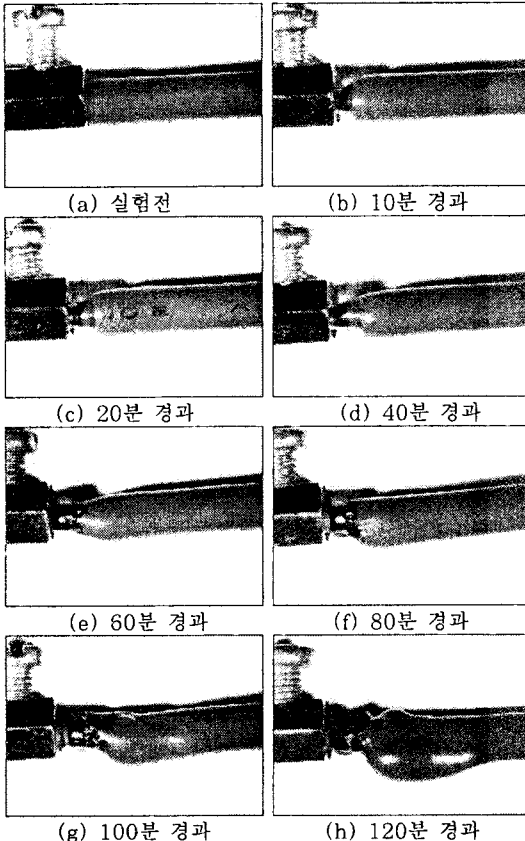


그림 4. 시간에 따른 접속전선 피복의 열화(600W)

3.3 접속불량 부분의 전기적 특성 분석

전원선 플러그 핀과 멀티탭 칼반이와의 접속부에서 접속불량이 발생했을 때 부하 변화에 따른 접속부의 전압, 전류, 전력 등의 파형변화와 접속부 도체의 외형과 표면구조 변화 등을 실험, 분석하였다.

그림 5는 220V 200W 전등부하에서 2시간 동안의 전압(V), 전류(A), 전력(P) 파형 변화를 나타낸 것이다.

(a)는 접속부에서 산화물이 생성되기 시작한 때로 접속불량 부분의 소비전력은 6.952W를 나타냈으며 반주기마다 파형의 크기에 차이가 나타났다. 전류파형은 정현파를 나타내고 있으나, 전압파형은 +주기로 바뀔 때 피크가 튀는 것을 볼 수 있었다. 접속부 사이의 접촉전압은 8.7V였다.

(b)는 30분 경과한 때로 접속불량 부분의 소비전력은 7.845W로 약간 증가함을 알 수 있었다. 전압·전류파

형은 (a)와 유사한 특징을 나타냈으며 접속부 사이의 접촉전압은 9.8V를 나타냈다.

(c)는 60분 경과한 때로 접속불량 부분의 소비전력은 8.050W를 나타냈으며, 전류파형에는 변화가 나타나지 않았으나 전압파형은 +주기로 바뀔 때 피크가 튀는 현상이 보이지 않았다. 접속부 사이의 접촉전압은 9.9V였다.

(d)는 90분 경과한 때로 접속불량 부분의 소비전력은 9.884W를 나타냈으며, 전압·전류파형은 (a)와 유사한 특징을 나타냄을 볼 수 있다. 접속부 사이의 접촉전압은 12.1V로 증가했음을 알 수 있다.

(e)는 120분이 경과한 때로 접속불량 부분의 소비전력은 10.48W로 시간에 따라 점차 증가하고 있음을 알 수 있었으며, 전압·전류파형은 (a)와 유사한 같은 특징을 나타냈다. 접속부 사이의 접촉전압은 12.6V로 소비전력과 더불어 증가함을 알 수 있다.

또한, 실험이 진행되는 동안 접속부에서의 산화물이 지속적으로 증식, 성장하였다.

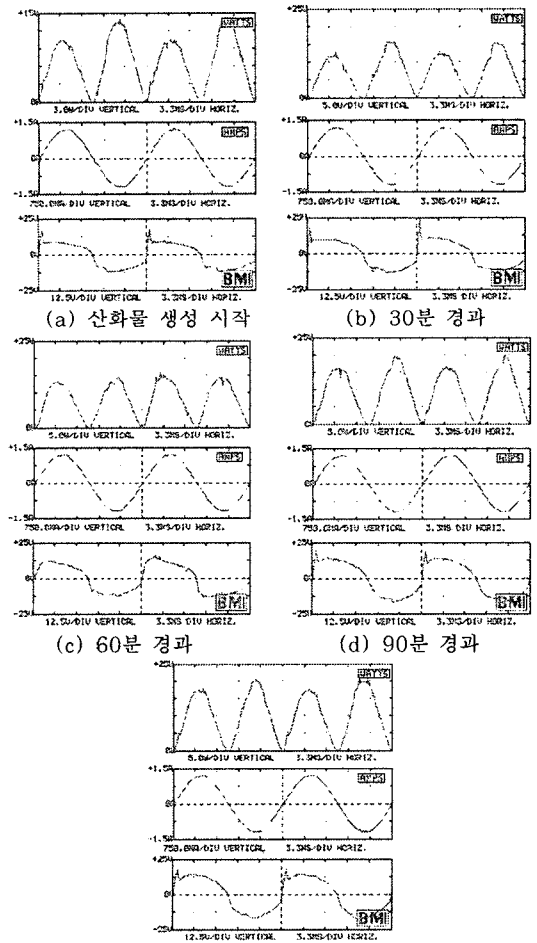


그림 5. 시간에 따른 전기적 특성변화(200W)

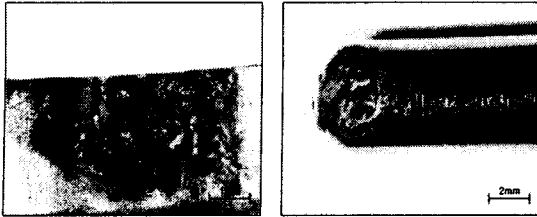
3.4 접속부 도체의 외형 및 표면구조 분석

그림 6은 실험 후 멀티탭 칼반이와 플러그 핀 도체의 외형변화를 실제현미경을 이용하여 분석한 것이다.

(a)는 멀티탭 칼반이로 접속불량시 발생한 아크(스파크)로 도체가 검게 산화되고 심하게 용융되었다.

(b)는 플러그 핀으로 끝부분에 접속불량시 발생한 높

은 열과 아크(스파크)에 의한 침식 흔적을 볼 수 있다.

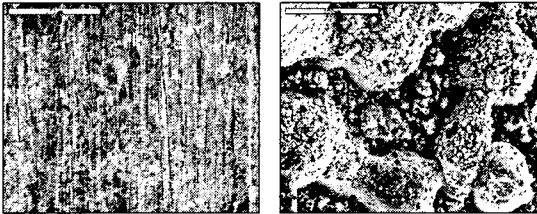


(a) 멀티탭 칼받이 (b) 플러그 핀
그림 6. 접촉도체의 외형 분석(200W)

그림 7은 그림 6(a)을 SEM으로 표면구조 변화를 분석한 것이다.

(a)는 정상상태로 세로 방향으로 신장된 연신구조를 볼 수 있다.

(b)는 접촉불량시 발생한 열과 아크(스파크)에 의해 열화된 멀티탭 내부의 칼받이로 여러 형태의 둥근 용융 흔을 볼 수 있다.



(a) 정상상태 (b) 열화된 칼받이
그림 7. 칼받이 도체의 표면구조 분석(SEM)

4. 결 론

이상과 같이 접촉불량에 의한 저압용 전원선의 열적 특성을 실험, 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 콘센트 칼받이와 전원선 플러그 핀 사이에 가연성 물질(탈지면)이 존재할 경우 접촉불량에 의해 발생한 열과 아크에 의해 충분히 착화될 수 있음을 확인하였다.

2) 접촉불량에 의한 플러그 접연물의 열화특성을 분석한 결과, 접촉부에서 발생한 열이 플러그 핀을 통해 전도되어 핀 주위의 접연물이 용융, 단화됨을 알 수 있었으며, 시간이 경과할수록 확대되어 플러그 몸체의 수지까지 용융되어 외형이 뒤틀리는 변화가 일어났다.

3) 접촉불량 진행 시간에 따른 접속전선 피복의 열화 진행 과정을 분석한 결과, 플러그 핀을 통해 전도된 열이 전선피복으로 이동함을 알 수 있었으며, 플러그 핀 쪽에서부터 점차 열화가 진행되었으며 시간이 경과함에 따라 전선피복이 부풀어 오르고 기포가 생성됨을 알 수 있었다. 이는 전선피복이 과전류나 외부화염에 의해 열화되었을 때 나타나는 특징과 차이가 있음을 알 수 있다.

4) 전원선 플러그 핀과 멀티탭 칼받이 사이의 접촉불량에 따른 전기적 특성과 칼받이와 플러그 핀 도체의 외형과 표면구조를 분석한 결과, 시간이 경과됨에 따라 접촉부에서는 적열로가 형성되고 산화물이 생성되었으며, 800W 이상에서는 약간의 비산현상도 동반하였다. 접속부 사이에서의 소비전력과 접촉전압은 점차 커지고 있었으며, 부하용량에 따라 접촉부에 생성된 용융의 형태에 차이가 있음을 알 수 있었다. 전류파형은 일정한 정현파형을 나타냈으나 전압파형은 접촉불량시 나타나는 일그러진 형태의 특이 파형이 나타났다. 이러한 특이 파형검출을 통한 설비진단으로 전기재해를 조기에 예방할 수 있을 것으로 기대한다.

이상과 같이 접촉불량에 의한 저압용 전원선의 열적 특성에 대해 실험, 분석하였으며 분석결과는 전기재해 감소를 위한 예방대책 및 원인규명에 활용가능 할 것으로 기대한다.

본 연구는 산업자문부 전력산업기반기금의 지원으로 수행되었습니다.

(참 고 문 헌)

- [1] 최충석 외 5, "전기화재공학", 동화기술, pp.185~211, 2001. 8
- [2] 中野弘伸, "電氣配線からの發火原因に関する考察", 日本火災學會誌, Vol.46 No.2, pp.1~5, 1996
- [3] 製品評價技術センター北關東支所, "電線の熔融痕に関する一考察", 日本火災學會, Vol.48 No.1, pp.34~37, 1998
- [4] 三木康生 외 2, "電氣接點の集中抵抗について", 電氣學會論文誌 A, Vol.89 No.1, pp.151, 1974
- [5] 최충석 외 4, "연동선의 아산화동중식 속도와 전류와의 관계", 대한전기학회 하계학술대회, pp.1513~1515, 2000.7
- [6] 최충석 외 4, "전선접속부 생성물 분석에 의한 전기화재 판정", 한국법과학회 춘계학술대회, pp.134~142
- [7] 김향곤 외 5, "접촉압력에 따른 전선 연결기구의 열 특성 변화", 한국화재소방학회 춘계학술대회, pp.127~132, 2002.5
- [8] 김향곤, "저압용 차단기 단자나사의 조임토크에 따른 발열 특성", 대한전기학회 하계학술대회, pp.11~13, 2001. 7