

# 전압파형 해석을 통한 전원코드의 접촉불량 특성에 관한 연구

김항곤 · 김동욱 · 김영석 · 최충석  
전기안전연구원(한국전기안전공사 부설)

## 1. 서론

옥내에서 사용하는 300V 이하의 소형전기기구의 전원선으로 사용되는 비닐코드는 가요성 및 절연성이 우수하며 구조는 연동선을 꼬아 합친 것 위에 절연체(PVC)로 절연한 것이다. 비닐코드에서의 화재발생 부위는 플러그 부분, 연장코드 부분, 연장코드와 부하기구의 접속부 부분에서 발생하며, 화재 원인은 접속 및 접촉불량, 반단선, 방열불량에 의한 전선과열, 플러그 몸체 및 피복 절연물의 절연열화, 과전류(과부하) 등에 의해 선간단락이나 지락사고 등으로 화재가 발생한다<sup>1)</sup>. 일본, 미국 등 외국에서는 전선 접속부에서의 접촉불량에 의한 발열 메커니즘, 절연물의 열화 패턴분석 및 화재 위험성에 대한 연구를 진행 중에 있으며<sup>2~4)</sup> 우리나라에서도 도체 접속부에서의 접촉불량에 대한 연구가 수년전부터 체계적으로 진행 중에 있다<sup>5~7)</sup>.

본 연구에서는 비닐코드 접속부에서 접촉불량에 의한 비닐코드 절연물의 열화 특성과 부하용량 및 시간경과에 따른 접촉불량부의 전압, 전류, 전력파형 변화를 분석하였으며, 접촉 도체의 외형 및 표면구조 변화를 비교, 분석하였다. 본 실험 및 분석결과를 바탕으로 전기재해 예방 및 원인분석에 많은 도움을 줄 것으로 기대한다.

## 2. 실험방법

전원코드의 접촉불량에 의한 제특성을 해석하기 위하여 그림 1과 같은 실험장치를 제작하였다. 실험에 사용한 전원코드는 220V 일체형 비닐코드(VCFTK, 0.75mm<sup>2</sup>× 2C)로 전압조정기(10KVA, Daelim, Korea)를 이용하여 220V의 상용전압을 인가하였으며 220V 전등부하를 200~1,000W까지 200W 단위로 증가시키면서 정밀전력분석계(3030A, BMI, USA)와 오실로스코프(TDS-3052, Tektronics, USA)를 이용하여 접촉불량부의 전기적 특성을 측정, 분석하였다. 또한, 접촉불량 진행시 전원코드의 열화상황과 접촉 도체의 외형과 표면구조를 실체현미경(SV-11, Carlzeiss, Germany)과 SEM(JSM-6400, JEOL, Japan)으로 분석하였다. 전원코드는 멀티탭에 접속하였으며 접촉불량 테스트 장치(AG-10, KESCO, Korea)의 바이브레이터를 이용하여 접속부에서의 접촉불량을 유도하였다.

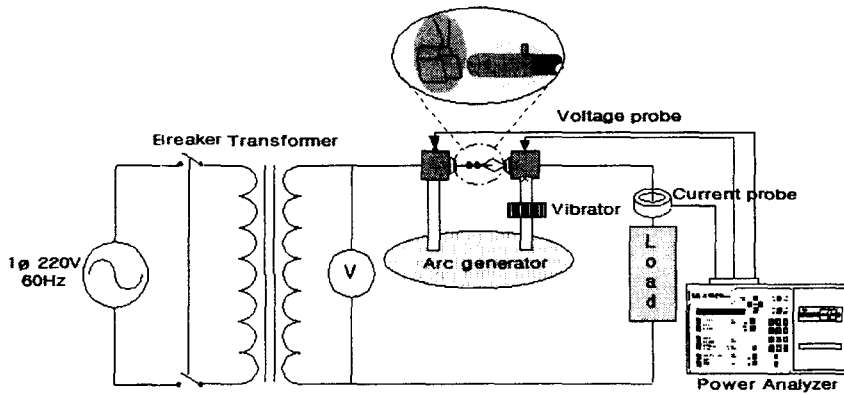


그림 1. 전원코드의 접촉불량 실험회로

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 부하에 따른 전기적 파형 변화 분석

그림 2는 일체형 비닐코드의 플러그 핀과 멀티탭 핀반이 접속부에서 접촉불량이 발생했을 때 부하용량 변화에 따른 접속부의 전압, 전류, 전력 등의 파형변화를 정밀전력 분석계를 이용하여 측정하였으며 측정된 데이터를 비교, 분석한 것이다.

(a)는 200W일 때로 접촉불량 부위에서의 소비전력은 7.845W였으며 반주기 마다 파형의 크기에 차이가 나타났다. 전류파형은 정현파형을 나타내고 있으나 전압파형은 + 주기로 바뀔 때마다 피크가 튀는 것을 볼 수 있었다. 이때의 접촉전압은 9.8V였다. 실험이 진행되는 동안 접속부에서는 산화물이 지속적으로 생성, 성장하였다.

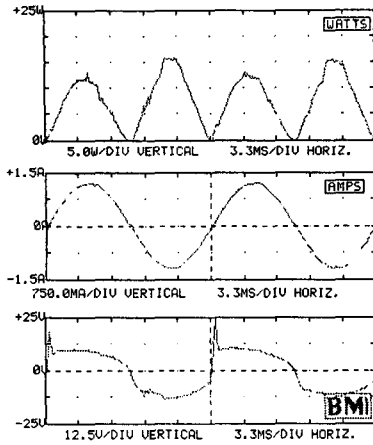
(b)는 400W일 때로 접촉불량 부위의 소비전력은 12.15W로 나타났으며 전류파형은 정현파형을 계속 유지했으나 전압파형은 반주기 시작마다 피크가 튀는 것을 알 수 있었다. 접촉전압은 7.4V였으며 실험이 진행되는 동안 접속부에서 산화물이 계속 성장하였다.

(c)는 600W일 때로 접촉불량 부위에서의 소비전력은 11.19W를 나타냈으며, 전압파형은 구형파로 접촉전압은 4.7V였다. 접속부에서는 산화물이 계속 성장하였다.

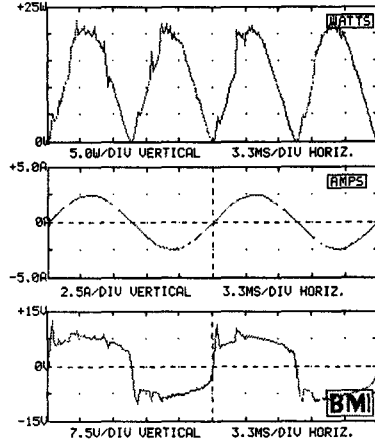
(d)는 800W일 때로 접촉불량부의 소비전력은 15.94W였으며 전압파형은 구형파의 형태를 나타냈으며 주기가 바뀔 때 피크가 튀는 것을 확인할 수 있었다. 접촉전압은 5.1V를 나타냈다. 접속부에서는 산화물의 성장함과 동시에 약간의 비산현상이 나타났다.

(e)는 1,000W일 때로 접촉불량부에서의 소비전력은 17.22W였으며, 전압파형에는 많은 변화가 있음을 알 수 있다. 실험이 진행되는 동안 산화물이 지속적으로 성장하였다.

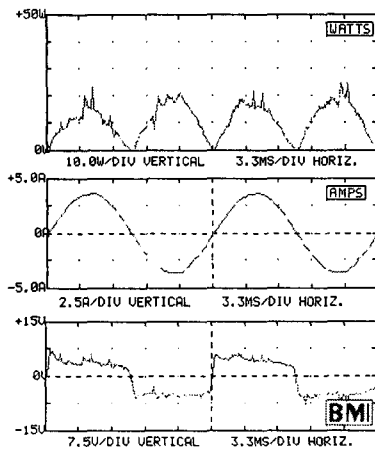
이상에서의 접속부에서 접촉불량이 진행되는 동안의 나타나는 특이한 전압파형을 검출하여 전기설비의 진단에 응용이 가능하며 이를 통해 전기재해를 조기에 예방할 수 있을 것으로 기대한다.



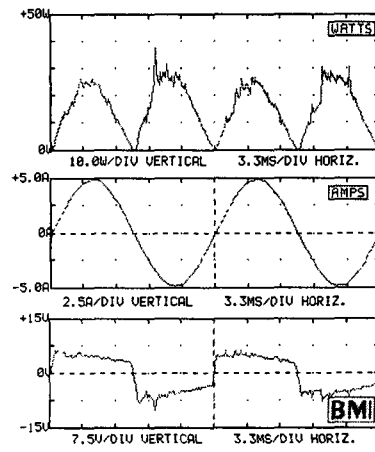
(a) 200W



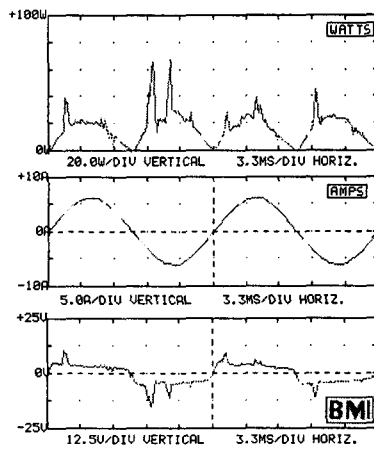
(b) 400W



(c) 600W



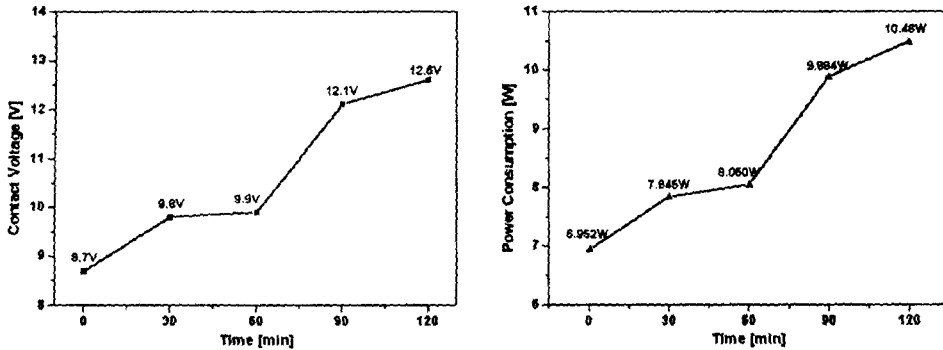
(d) 800W



(e) 1,000W

그림 2. 부하용량에 따른 전기적 파형 변화 비교(실험진행 30분 경과시)

그림 3은 220W에서의 시간의 경과에 따른 접촉전압과 소비전력의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 시간이 경과함에 따라 지속적으로 접촉전압과 소비전력이 증가함을 알 수 있다.



(a) 접촉전압-시간

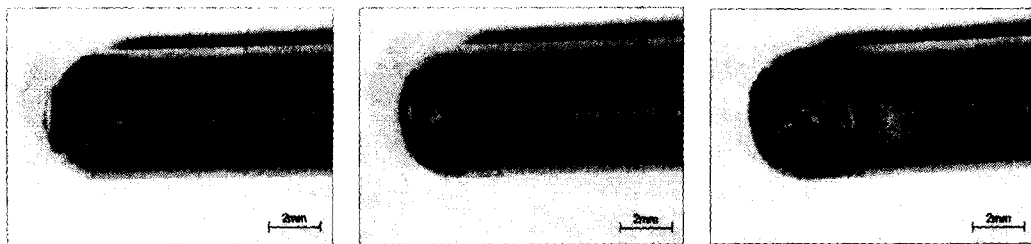
(b) 소비전력-시간

그림 3. 200W에서 시간경과에 따른 접촉전압과 소비전력의 변화

### 3.2 부하에 따른 접촉도체의 외형 및 표면구조 변화 분석

그림 4는 실험 후 일체형 코드 플러그 핀의 외형변화를 실체현미경을 이용하여 확대, 분석한 것이다.

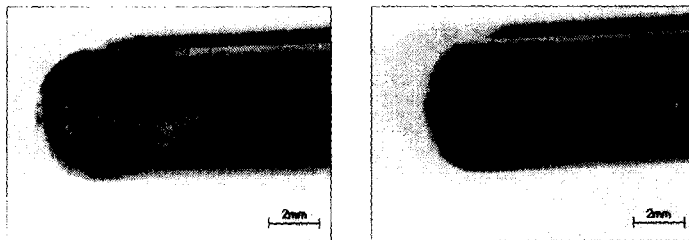
(a)는 200W일 때로 플러그 끝부분이 접촉불량시 발생한 높은 열과 스파크에 의해 침식되었으며 (b)는 400W일 때로 접촉불량이 발생한 부분이 산화되었으며 산화되지 않은 부분과의 경계가 뚜렷하게 나타난다. (c)는 600W일 때로 접촉불량시 발생한 열과 스파크에 의한 둥근 형태의 용융흔들이 표면에 부착되었으며 (d)는 800W일 때로 600W에서와 유사한 특징을 보인다. (e)는 1,000W일 때로 접촉불량시 발생한 열과 스파크에 의해 심하게 용융되었다.



(a) 200W

(b) 400W

(c) 600W



(d) 800W

(e) 1,000W

그림 4. 부하용량에 따른 플러그 핀의 외형변화

그림 5는 플러그 핀과 접촉한 멀티탭 핀받이의 표면구조를 주사전자현미경(SEM)을 이용하여 분석한 것이다.

(a)는 200W일 때로 둥근 형태의 용융흔을 볼 수 있으며 (b)는 400W일 때로 플러그 핀과 맞닿은 부분으로 높은 열과 스파크에 의해 용융흔이 형성되었다. (c)는 600W일 때로 접촉불량시 발생한 열과 스파크에 의해 용융됨을 볼 수 있다. (d)와 (e)는 800W와 1,000W일 때로 접촉불량시 발생한 열과 스파크에 의해 심하게 용융되었다.

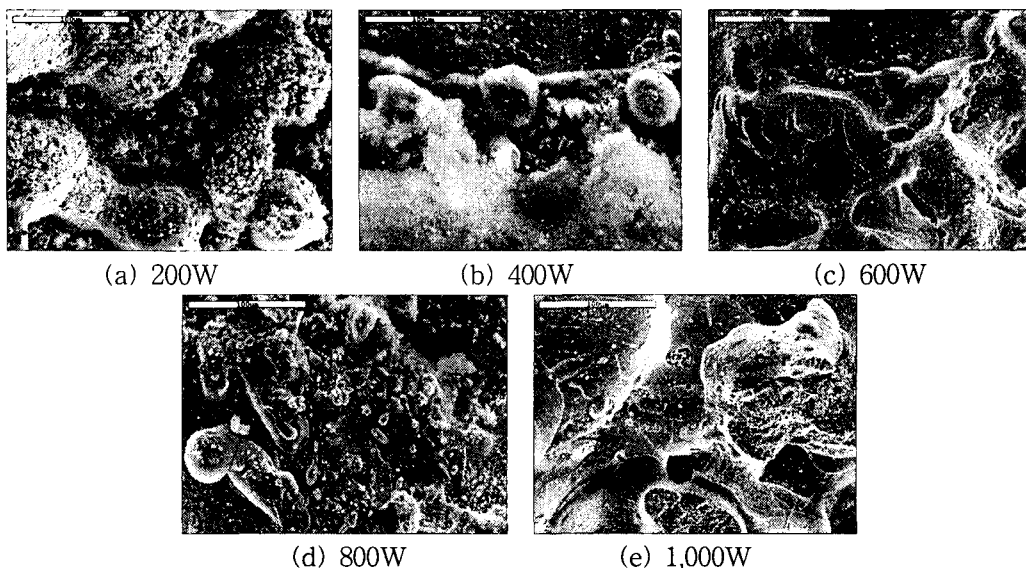


그림 5. 멀티탭 핀받이의 표면구조 분석

#### 4. 결 론

이상과 같이 비닐코드 접속부에서의 접촉불량에 의한 전기적 특성과 접촉도체의 외형, 표면구조 등을 분석하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 시간경과에 따른 전기적 파형을 접촉전압과 소비전력의 측면에서 분석한 결과, 부하용량이 작을 때에는 시간 경과에 따라 소비전력과 접촉전압이 지속적으로 증가하였으나 부하용량이 클 때에는 시간의 경과에 따라 소비전력과 접촉전압의 크기에 변동이 있었다.

2) 실험이 진행되는 동안 접속부에서는 적열로 및 산화물이 성장하였으며 800W와 1,000W에서는 접촉면에서 약한 비산현상이 발생하였다. 전류파형은 일정한 정현파형을 나타냈으나 전압파형은 주기가 바뀔 때마다 피크가 튀는 것을 볼 수 있었으며 부하용량이 증가할수록 구형파의 형태를 나타냈다.

3) 접촉도체의 외형과 표면구조를 분석 결과, 부하용량이 커짐에 따라 플러그 핀에 나타나는 용융흔적이 달라짐을 알 수 있었으며 침식형태에서 점차 둥근 형태의 용융흔으로 변함을 알 수 있었으며, 멀티탭 핀받이도 높은 열과 스파크에 의해 심하게 표면이 용융, 변형됨을 알 수 있었다.

## 감사의 글

본 연구는 산업자원부 전력산업기반기금의 지원으로 수행되었습니다.

## 참고문헌

- [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”, 日本火學會論文誌, Vol.46 No.2, pp.1~5, 1996.
- [3] 製品評價技術ヒンター北關東支所, “電線の熔融痕に関する一考察”, 日本火災學會論文集, Vol.48 No.1, pp34~37, 1998.
- [4] 三木康生 외 2, “電氣接點の集中抵抗について”, 日本 電氣學會論文誌 A, Vol.89 No.1, pp.151, 1974
- [5] 최충석 외 4, “전선접속부 생성물 분석에 의한 전기화재 판정”, 한국법과학회 춘계 학술대회, pp.134~142
- [6] 김향곤 외 5, “접촉압력에 따른 전선 연결기구의 열 특성 변화”, 한국화재소방학회 춘계학술대회, pp.127~132, 2002.5
- [7] 김향곤, “저압용 차단기 단자나사의 조임토크에 따른 발열 특성”, 대한전기학회 하계학술대회, pp.11~13, 2001.7