

접촉압력에 따른 전선 연결기구의 열 특성 변화

김향곤, 송길목, 김형래, 김동욱, 김동우, 최충석

한국전기안전공사부설 전기안전시험연구원

Thermal Characteristics Variations of Electric Wire Connecting Device according to Contact Pressure

Hyang-Kon Kim, Kil-Mok Shong, Hyung-Rae Kim, Dong-Ook Kim, Dong-Woo Kim, and Chung-Seog Choi

ESLRI attached to KESCO

1. 서론

산업사회의 급격한 발전에 따라 전기에너지 사용이 증가하고 있으며 이에 따라 대용량의 전기설비가 요구되고 있다. 이들 전기설비 내에는 전선과 전선의 접속이나 전선과 기기단자의 접속 등 다수의 전기적 접속부가 존재한다. 전선의 접속방식으로는 가열에 의한 방식과 기계적 압력에 의한 접속방식으로 나눌 수 있는데 일반 가정에서 과부하나 누전에 의한 전기재해를 예방하기 위해 사용하는 저압용 배선용 차단기나 누전차단기 단자의 전선접속은 볼트를 사용한 기계적 압력방식이 주로 사용되고 있다. 기계적 압력에 의한 접속방식은 작업시에 가한 압력에 의한 잔류응력으로 접속이 유지되기 때문에 일단 잔류응력이 없어지면 접속품질이 현저하게 저하되어 국부적인 발열현상이 발생하고 이로 인해 전기재해를 유발하게 된다.^{1,2)}

한국산업규격에는 저압용 차단기의 단자나사 지름에 따라 조임토크가 규정되어 있으나 이에 맞는 조임토크로 전선을 접속하는 경우는 매우 드물어 접촉불량에 의한 전기화재의 발생위험이 높다. 일본 등 외국에서는 차단기 단자 등 전기적 접속부에서의 접촉압력에 따른 발열현상과 이로 인한 화재위험성에 대하여 꾸준한 연구가 진행되고 있으나^{3~5)} 국내에서는 제한적인 연구가 이루어지고 있다.

본 연구에서는 저압용 누전차단기 단자에서의 접촉압력에 따른 발열특성과 화재위험성을 규명하고자 접촉압력 변화에 따른 단자의 발열상황과 차단기 단자부근 절연물의 온도변화를 해석하였으며, 정상상태의 단자와 접촉불량이 발생한 단자의 외형을 비교하였다. 또한, 차단기 단자와 전선사이, 단자 내부도체와 전선사이에서 접촉불량이 발생했을 때 전압과 전류의 파형변화와 접촉면에서의 산화물 증식특성, 발열온도 등을 분석하였다.

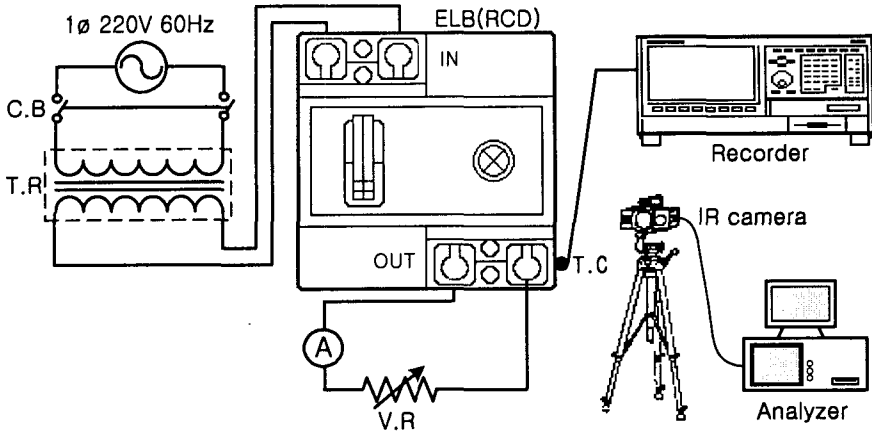


그림 1. 실험장치 개략도.

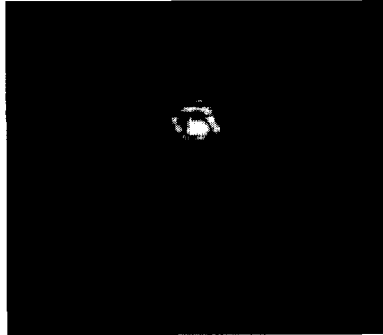
2. 실험 방법

저압용 차단기 단자의 접촉압력에 따른 발열 특성과 화재위험성을 밝히기 위하여 그림 1과 같은 실험장치를 제작하였다. 실험에 사용한 차단기는 누전·과부하 보호 겸용의 누전 차단기(1 ϕ 220V 30A)를 사용하였으며, 차단기의 전원측과 부하측에 IV 2.0mm를 접속하였다. 실험전원으로는 1 ϕ 220V 60Hz를 사용하였으며 가변저항(V.R.)을 이용하여 부하전류를 조절하였다. 전원측 양쪽단자와 부하측의 좌측단자는 토크드라이버(FDS2-S, Tohnichi, Japan)를 이용하여 단자나사의 지름에 따라 KS에 규정된 접촉압력으로 접속하였으며, 부하측의 우측단자는 접촉압력 변화에 따른 단자의 발열특성을 관측하기 위하여 조임토크를 가변시켰다. 부하측 우측단자에서의 발열상황은 적외선열화상진단장비(IQ325, FL-IR, USA)를 이용하여 해석하였으며, 접촉불량 단자부근 절연물의 온도변화를 측정하기 위하여 차단기 부하측 우측단자에 그림 1과 같이 열전대(Thermocouple, J-type)를 부착시키고 기록계(AR1100A, Yokagawa, Japan)를 이용하여 온도를 기록하였다. 또한, 실체현미경(SV-11, Carlzeiss, Germany)을 이용하여 정상단자와 접촉불량이 발생한 단자의 외형을 비교하였으며, 정밀전력분석계(3030A, BMI, USA)와 적외선카메라(TR-630, Minolta, Japan)를 이용하여 단자와 전선 사이, 단자 내부도체와 전선 사이에서 접촉불량이 발생했을 때 전압과 전류의 파형변화와 발열온도를 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 차단기 단자의 발열특성

그림 2의 (a)는 3A의 부하전류에서 차단기 단자의 접속전선에 접촉압력이 가해지지 않았을 때(0 gf·cm)의 발열상황을 적외선열화상진단장비로 측정한 것으로 중앙부분이 180°C 이상 발열하였다. 이와 같이 고온으로 단자가 발열하게 되면 단자부근의 절연물이 탄화하게 된다. (b)는 정상상태의 단자 외형으로 흰색을 띠고 있으며 약간의 광택이 보인다. (c)는



(a) 발열상황



(b) 정상단자



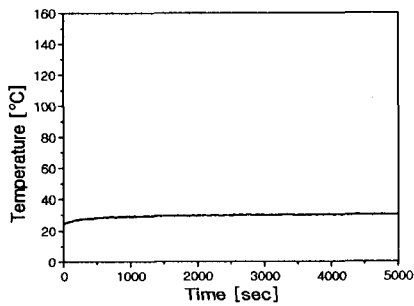
(c) 접촉불량단자

그림 2. 차단기 단자의 발열상황 및 외형 비교.

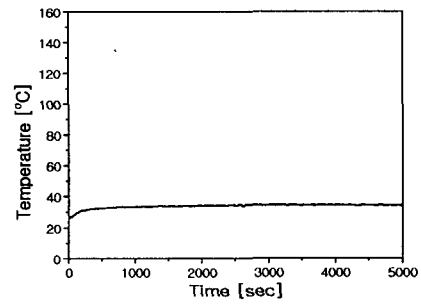
접촉불량이 발생한 단자로 표면에 산화피막이 형성되어 흑회색을 띄며 광택은 보이지 않았다.

3.2 차단기 단자부근 절연물의 온도변화

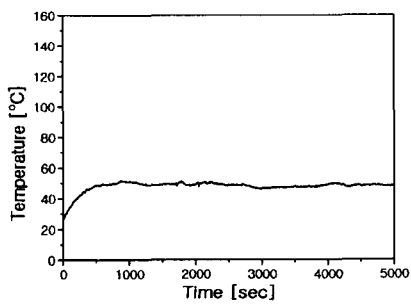
그림 3은 3A 전류가 흐르고 있을 때 접촉압력 변화에 따른 차단기 부하측 우측단자 부근 절연물의 온도변화를 열전대와 기록계를 이용하여 5000sec동안 측정된 것이다. (a)는 200



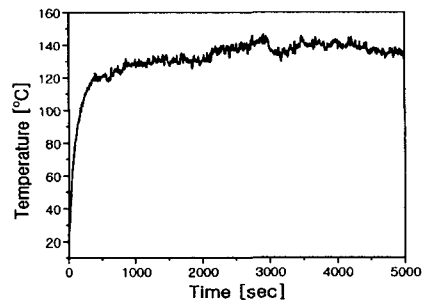
(a) 200gf · cm



(b) 100gf · cm



(c) 50gf · cm



(d) 0gf · cm

그림 3. 차단기 단자 외부절연물의 온도변화.

gf · cm일 때의 온도변화로 30.5°C까지 상승하였으며 (b)는 100gf · cm일 때의 온도변화로 34.9°C까지 상승하였다. (c)는 50gf · cm일 때의 온도변화로 51.5°C까지 온도가 상승하였으며, (d)는 단자와 전선 사이에 접촉압력이 가해지지 않았을 때(0gf · cm)의 온도변화로 급격하게 온도가 상승하여 158.8°C를 나타냈다. 접촉불량이 진행되는 동안 단자 내부에서 미세한 불꽃과 반복적인 소리가 발생하였다.

3.3 접촉불량 진행시 전압과 전류의 파형변화

그림 4는 차단기 단자와 전선사이, 단자 내부도체와 전선사이에서 접촉불량이 발생할 때 전압과 전류파형 변화, 접촉면에서의 산화물 증식특성, 발열온도 등을 분석하기 위한 실험 장치이다. 그림 5의 (a)와 (b)는 차단기 단자와 전선, 단자 내부도체와 전선의 접촉상태를 나타낸 것으로 두 도체의 접촉면에서 접촉불량이 발생하도록 진동자(vibrator)를 이용하였으며, 접촉불량 진행시 접촉면에서의 산화물 증식특성을 관찰하였다.

그림 6은 그림 5의 (a)와 같이 차단기 단자와 전선 사이에서 접촉불량이 발생했을 때 그림 4의 A-B 사이의 전압과 전류의 파형변화를 나타낸 것이다. (a)는 단자와 전선을 서로 접촉했을 때로 전류(Irms)는 2.10A의 정현파가 나타났으며 전압(Vrms)은 0.3V의 미세한 펄스 파가 나타났다. (b)는 접촉면에서 황색불꽃이 나타날 때로 전류는 2.04A의 정현파가 나타났으며 전압은 2.6V의 구형파가 나타났다. 단자와 전선 접촉면에서의 산화물 증식현상은 없었으며 차단기 단자에는 진동시 발생한 스파크로 침식흔적만이 나타났다.

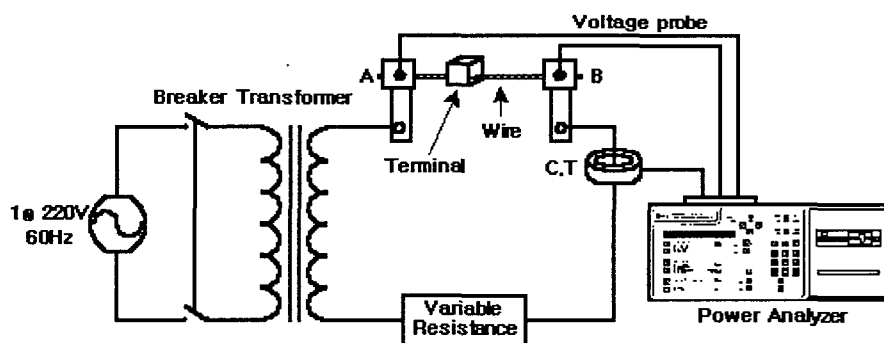
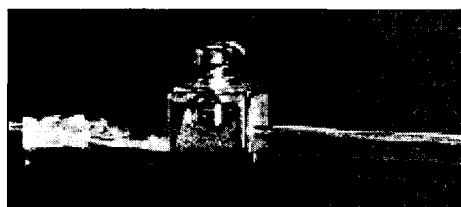
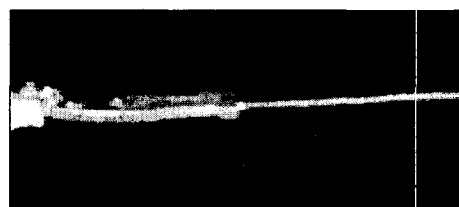


그림 4. 차단기 단자와 전선에서의 전압 · 전류파형 측정회로.



(a) 차단기 단자와 전선



(b) 단자 내부도체와 전선

그림 5. 차단기 단자와 전선의 접촉상태.

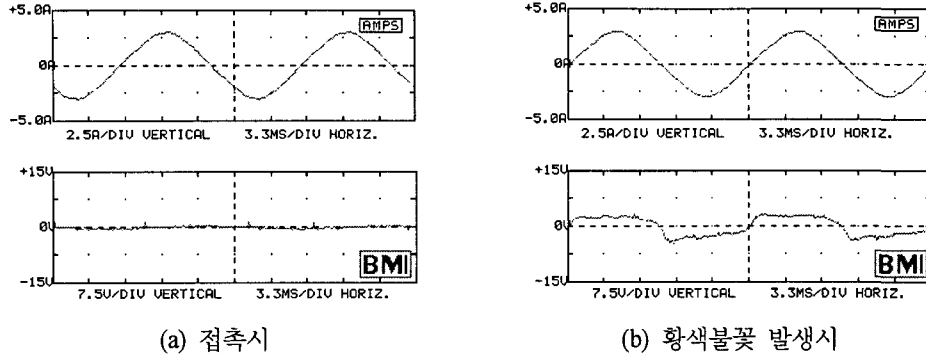


그림 6. 차단기 단자와 접속전선에서의 전압·전류 파형.

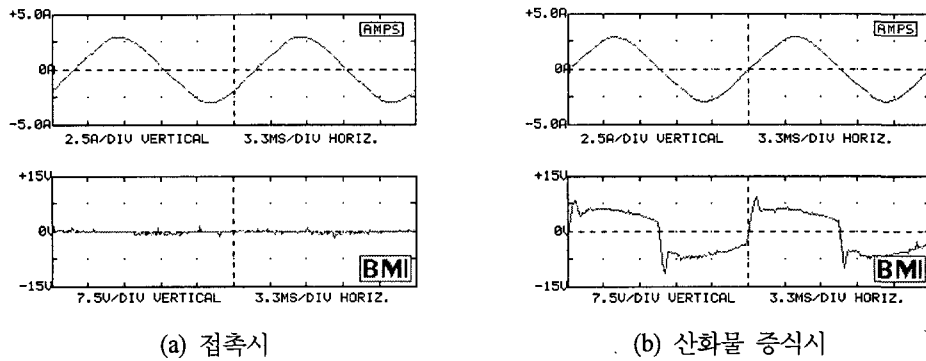


그림 7. 단자 내부도체와 접속전선에서의 전압·전류 파형.

그림 7은 그림 5의 (b)와 같이 단자 내부도체와 전선사이에서 접촉불량이 발생했을 때 그림 4의 A-B 사이의 전압과 전류의 파형변화를 나타낸 것이다. (a)는 단자 내부도체와 전선을 접촉했을 때 전류는 2.06A의 정현파가 나타났으며, 전압은 0.4V의 미세한 펄스파가 나타났다. (b)는 접촉면에서 산화물이 증식될 때 전류는 2.02A의 정현파가 나타났으며 전압은 5.9V의 펄스형태의 구형파가 나타났다. 이때의 발열온도를 적외선카메라로 측정한 결과(ϵ : 1.0), 869°C를 나타내 주위에 가연물이 접촉하고 있을 경우에는 전기재해가 발생할 위험이 높음을 알 수 있다.

4. 결론

저압용 누전차단기 단자의 접촉압력에 따른 발열 특성을 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 차단기 단자의 발열상황을 분석한 결과, 접촉압력이 작아질수록 단자에서의 발열온도가 현저하게 상승하였으며, 0gf·cm, 3A전류에서는 180°C 이상을 나타냈다.

2) 단자 외부 절연물의 온도변화를 분석한 결과, 접촉압력이 작아질수록 온도가 급격히 상승하여 0gf·cm 3A에서는 158.8°C까지 올라갔다. 접촉불량 진행시 단자부분에서 미세한 불꽃과 반복적인 소리가 발생하였다.

3) 정상상태의 단자와 접촉불량이 발생한 단자의 외형을 비교한 결과, 정상단자는 흰색으로 광택을 띠었으나, 접촉불량 단자는 표면에 산화피막이 형성되어 흑회색을 띠었으며 광택도 보이지 않았다.

4) 차단기 단자와 전선사이에서 접촉불량이 진행되는 동안 전압과 전류의 파형 변화를 분석한 결과, 전류는 정현파를 나타냈으며 전압은 접촉시는 펄스파형이, 황색불꽃 발생시는 구형파가 나타났다. 차단기 단자와 전선 접촉면에서의 산화물 증식은 일어나지 않았으며, 단자에는 스파크에 의한 침식흔적을 보였다.

5) 단자 내부도체와 전선사이에서 접촉불량이 진행되는 동안 전압과 전류의 파형변화를 분석한 결과, 전류는 정현파를 나타냈으며, 전압은 접촉시는 펄스파형이, 산화물이 증식될 때는 펄스형태의 구형파가 나타났고 접촉면에서 산화물의 증식이 순조롭게 진행되었다. 이때의 발열온도를 측정된 결과, 869°C를 나타내 전기재해의 위험이 매우 높음을 알 수 있었다.

이상과 같은 실험과 분석결과를 바탕으로 접촉압력 변화에 따른 전선 연결기구의 발열특성과 화재위험성을 규명할 수 있었으며, 연구결과가 전기재해 예방에 기여할 수 있기를 기대한다.

본 연구는 산업자원부 전력산업기반기금에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 최충석 외 4, “전선접속부 생성물 분석에 의한 전기화재 판정”, 한국법과학회 춘계학술대회, 2001. 5.25~26, pp. 134-142.
2. 김향곤 외 4, “저압용 차단기 단자나사의 조임토크에 따른 발열특성”, 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 2001. 7.19~20, pp. 11-13.
3. 原 英喜 외 1, “一般家庭における低壓遮斷器接點の接觸抵抗とジュール熱,” J. IEIE Jan, Vol. 21, No. 122, pp. 1031-1032.
4. 東京消防廳消防科學研究室, “漏電遮斷器等の電線接續部からの出火防止する研究,” フユスク, 2001.10, pp. 46-50.
5. Jarle sletbak, Roar Kristensen, Hakon Sundklakk, Gunnar Navik and Magne Runde, “Glowing Contact Areas in Loose Copper Wire Connections,” IEEE Trans. Comp., Hybrids, Manuf. Technol., Vol. 15, no. 3, June. 1992, pp. 322-327.