

통전중인 도선에서 화재 가능성에 관한 기초 연구

(A Basic Study for the Fire Potentiality in Wire being Applied Electric Current)

지승욱* · 김시국 · 이춘하 · 이광식**

(Seung-Wook Jee · Shi-Kuk Kim · Chun-Ha Lee · Kwang-Sik Lee)

요 약

2006년 우리나라에서 발생한 전기화재 중 63.2[%]는 전기배선에서 단락에 의해 발생되었다. 따라서 전기배선에 의한 화재가능성에 대한 연구가 필요하다.

이에 본 연구에서는 통전중인 도선이 주변 조영재와 접촉할 가능성 및 접촉에 의한 화재가능성에 대하여 연구하였다. 그 결과 도선에 흐르는 전류가 클수록 주변의 조영재와 접촉할 가능성이 높고 특히, 도선의 온도가 도선피복의 발화점을 넘는 경우 도선과 주변 조영재 간에 불꽃을 동반하는 방전이 발생됨으로써, 전기화재 가능성이 더욱 커지는 것을 실험적으로 알 수 있었다.

Abstract

In total electric fire in Korea in 2006, a rate of the electric fire caused of short in electric wire is over 63.2[%]. It is needed to study a fire potentiality in electric wire.

This paper studies contact and fire potentiality between a electric wire and conductors existed around the electric wire. As amplitude of current in electric wire is bigger, as it has higher possibility to contact between a electric wire and conductors existed around the electric wire. In case of temperature of wire is over combustion point of outer sheath, it is appeared to spark discharge between wire and conductors. So the fire potentiality raise up.

Key Words : Electric Fire, Fire Potentiality, Electric Wire, Combustion

1. 서 론

전기화재 점유율은 1985년 이후 30[%]이상을 차지하던 것이 1994년 이후 감소세로 돌아섰고, 2006년에는 29.6[%]를 차지함으로써, 처음으로 20[%]대로 들어섰다. 하지만 여전히 가장 높은 점유율을 차지하고 있으며, 이웃나라 일본보다 2배 이상 높다 [1-2].

* 주저자 : 영남대학교 전기공학과

** 교신저자 : 영남대학교 전기공학과 교수

Tel : 053-810-2486, Fax : 053-810-4767

E-mail : kslee@yu.ac.kr

접수일자 : 2009년 4월 20일

1차심사 : 2009년 4월 27일

심사완료 : 2009년 5월 13일

2006년 전기적인 원인에 의한 화재는 전체 7,957건 중 75[%] 이상이 단락(합선), 과부하, 접촉불량이 원인이 되어 발생하였다. 특히 전기배선의 경우 단락에 의한 화재가 63.2[%], 과부하에 의한 화재가 26.2[%]를 차지하고 있기 때문에, 전기배선에서 화재발생가능성에 대한 다양한 연구가 필요하다[1].

하지만, 우리나라에서 발표된, 전기배선에 의한 화재 가능성에 대한 연구는 용융흔의 육안 및 금속학적 조직분석이 대부분을 차지하며, 통전중인 전선으로부터 발생될 수 있는 화재 가능성에 대한 연구는 매우 미흡하다[3-5].

이에 본 논문에서는 과열된 전선이 주변 조영재와 접촉할 가능성 및 접촉에 의한 화재 가능성에 대하여 연구하였다.

2. 온도에 의한 전선의 신축(伸縮)

가공전선은 장력을 줄이기 위해 약간의 딥(dip)을 두고 가설된다[6]. 딥은 온도가 상승하면 전선이 팽창하기 때문에 증가된다. S[m] 사이에 t[°C]에서의 딥을 D_t[m], 전선의 길이를 L_t[m]라고 하면 이들 사이에는 식 (1)이 성립한다.

$$L_t = S + \frac{8D_t^2}{3S} \quad (1)$$

온도가 변화하여 T [°C]에서의 딥을 D_T [m], 전선의 길이를 L_T [m], 전선의 선팽창계수를 α라고 하면 이들 간에는 식 (2)가 성립한다[7].

$$L_T = L_t + \alpha(T-t)L_t \quad (2)$$

여기서 선팽창 계수 α는 동선의 경우 25 [°C]에서 16.5 [μm/m·K]이다[8].

3. 실험 장치 및 방법

3.1 줄열에 의한 전선의 딥 변화

그림 1은 통전중인 도선에서 발생하는 줄열(Joule's heat)로 인한 도선의 딥변화를 측정하기 위

한 실험장치의 배치도이다.

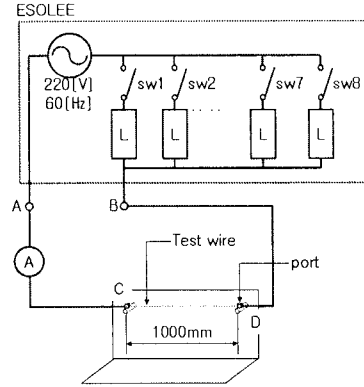


그림 1. 줄열로 인한 딥 변화를 측정하기 위한 실험장치 배치도

Fig. 1. Experimental setup diagram to measure change of dips by Joule's heat.

그림 1에서 ESOLEE(electric short and over load experimental equipment, (주)필립교역, ES&OL-20)는 단락·과부하 시험장치로서 220[V], 60[Hz]의 교류전원과 스위치(sw1, sw2, ..., sw8)가 연결된 부하(L) 8개가 서로 병렬로 접속되어 있다. 스위치를 개폐함으로써 부하전류를 조절할 수 있으며, 전원과 부하사이에 만들어진 단자 A와 B에 전선시료(test wire)를 연결하여 딥을 측정할 수 있다.

전선시료는 절연성이 높고, 고온에 강한 폴리우레탄(발화점이 510[°C]이다[9].)으로 도포된 0.5[mm]에 나멜선을 사용하였으며, 상온에서 딥이 0[mm]가 되게 거리가 1,000[mm]인 두 단자(port) C와 D에 접속하였다.

실험은 20[°C]에서 그림 1과 같이 전선시료를 연결하고, sw1부터 sw8을 이용하여 부하의 수(1개, 2개, 3개, 4개 및 5개)를 정한 후, 전원을 투입함으로써 진행되었다.

딥은 두 단자 C와 D 사이를 카메라(Canon 450D, EF-S 18-55[mm])로 촬영한 후 사진 판독을 통해 측정되었으며, 전류값은 교류 전류계(Yokogawa사, AC V/A meter 2014) A를 통해 측정하였고, 열화상 카메라(FLUKE사, Ti45)를 이용하여 전선시료의 온도를 측정하였다.

딥과 전류값 측정은 ESOLEE에 전원을 투입한 후

통전중인 도선에서 화재 가능성에 관한 기초 연구

부터 60[s]까지는 3[s] 간격으로 측정하였고, 그 이후에는 1[min] 간격으로 10[min]까지 측정하였다.

3.2 줄열로 인한 도선과 조영재간의 누전가능성

전류가 흐르는 도선은 줄열로 인해 길이가 증가함으로써 주변의 조영재와 서로 접촉될 수 있다. 특히, 도선에서 발생하는 열이 도선 피복의 발화점을 초과하게 되면 피복이 연소된 도선과 주변 조영재 사이에 누전이 발생할 수 있다. 이를 알아보기 위해 그림 2와 같이 실험장치를 구성한 후, 누전 여부를 실험하였다.

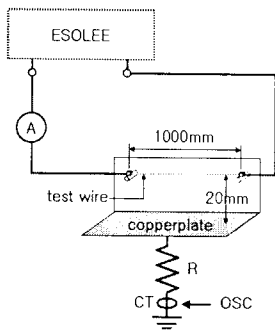


그림 2. 실험 장치 배치도
Fig. 2. Experimental setup diagram

그림 1과 동일하게 실험장치를 구성한 후, 전선시료로부터 20[mm] 아래에 접지한 동판을 설치하고, 누전 여부를 알아보기 위해 오실로스코프(OSC, Tektronix, TDS2022B)와 전류프로브(CT, Tektronix, TCPA300 Amplifiers & TCP300)를 설치한 것이 그림 2이다. ESOLEE에서 부하의 수를 정하고 전원을 투입한 후, 10[분] 동안 그림 2의 CT로부터 누전 여부를 측정하였다.

4. 실험 결과 및 고찰

4.1 줄열에 의한 전선의 덩 변화

그림 3, 4 및 5는 그림 1의 실험에서 각각 전류, 덩, 전선시료의 길이를 측정하는 것이다.

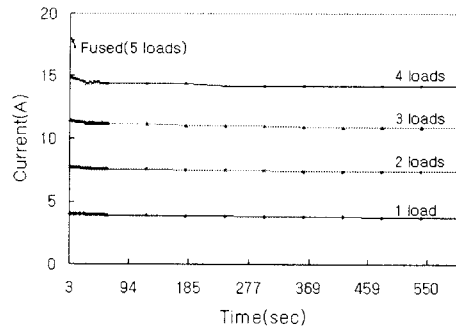


그림 3. 시간에 대한 전류의 변화
Fig. 3. Currents versus time laps

전류의 경우 부하의 수에 관계없이 시간에 대하여 초기에는 전류값이 감소하다가 일정한 값을 유지하고 있다. 다만, 부하의 수가 5개인 경우(5 loads)에는 10[s]를 전후하여 전선시료가 녹으면서 단선되었기 때문에 단선되기 직전까지 측정할 값을 나타내었다.

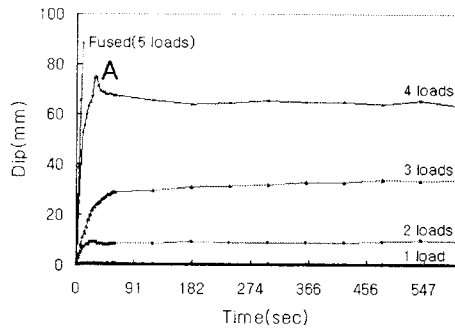


그림 4. 시간에 따른 전선시료의 덩
Fig. 4. Dip of test wire versus time laps

덩 또한 부하의 수에 관계없이 전원 투입 직후 급격히 증가하다가 점차 일정한 값으로 안정화되고 있다.

그림 5는 그림 4의 덩으로부터 식 (1)을 이용하여 구한 전선시료의 길이이다.

대체로 ESOLEE에 전원을 투입하고 30[s]까지는 변화가 크고, 1[min]이 지나면서 점차 안정화되기 시작했다. 비교적 변화가 큰 부하 수 3과 4의 경우, 그림 2를 보면 0에서 30[s] 사이에서 전류의 감소가 크고, 그림 5를 보면 0에서 30[s] 사이에서 전선시료의

길이 증가가 뚜렷한 반면, 1[min]을 지나면서, 전류 값이나 전선시료의 길이에 변화가 점차 적어짐을 볼 수 있다.

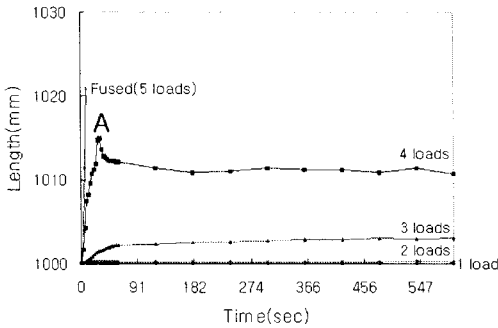


그림 5. 전선시료의 길이변화

Fig. 5. Length of test wire versus time laps

표 1은 전선시료의 온도를 열화상카메라를 이용하여 직접 측정 한 값이다. ESOEEL에 전원을 투입한 후, 1분부터 10분까지 1분 간격으로 전선시료의 최고온도를 10회 측정하여 평균한 값이다.

표 1. 열화상카메라로 측정한 전선시료의 온도

Table 1. Measured temperature of test wire by thermal imager.

부하 수	1	2	3	4	5
전선시료의 온도(℃)	24.0	39.7	222.4	측정 불가	측정 불가

부하의 수가 4 및 5개인 경우의 측정값들은 열화상 카메라의 온도측정 범위인 -20~650[℃]를 초과하기 때문에 표 1에서 제외하였다.

식 (2)를 온도 T에 대하여 정리하면 식 (3)과 같다.

$$T = t + \frac{L_r - L_i}{\alpha L_i} \quad (3)$$

식 (3)에 그림 5의 값을 대입하여 구한 전선시료의 온도는 그림 6과 같다.

부하의 수에 관계없이 일정시간까지는 온도가 상승하지만 그 이후에는 일정 수준을 유지하고 있다. 이는 전류로 인한 줄열이 전선시료의 저항을 증가시

켜 스스로를 줄임으로써 방출되는 열과 평형을 이루기 때문이다.

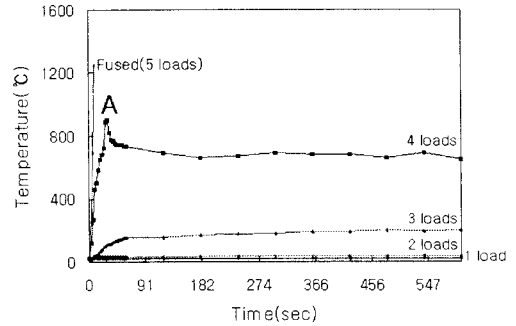


그림 6. 그림 5로부터 구한 전선시료의 온도

Fig. 6. Calculated temperature of test wire from Fig. 5

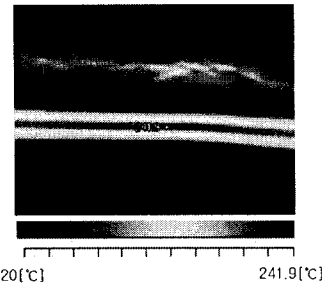


그림 7. 열화상카메라로 측정한 전선시료의 온도 예 (부하 수=3)

Fig. 7. Measured temperature of test wire by thermal imager.

열화상카메라를 이용하여 측정이 가능했던 부하 1, 2, 3 영역의 값들을 표 1과 비교해 보면 열화상카메라로 측정 한 값이 그림 6의 값보다 10~20[%] 정도 높다. 이는 전선시료의 온도분포에 차이가 있었지만 열화상카메라로 측정할 경우 이 중에서 가장 높은 지점의 온도를 측정했기 때문인 것으로 사료된다.

그림 7은 열화상카메라로 전선시료의 온도를 측정 한 예이다. 전선시료에 대하여 부위별로 온도차가 있음을 알 수 있다.

그림 4부터 6에서 부하의 수가 4개인 경우, 30[ms]를 전후하여 'A' 부분과 같이 일시적으로 급변하는 영역이 나타나고 있다.

통전중인 도선에서 화재 가능성에 관한 기초 연구

그림 8은 부하수 4개인 경우에 대하여 전원 투입 후 30[s]를 전후하여 촬영한 전선시료의 모습이다.

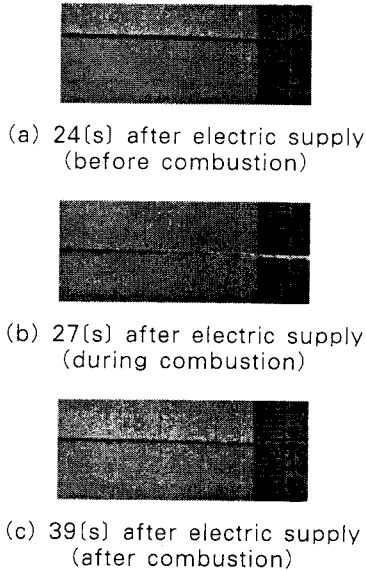


그림 8. 전선시료 표면의 모습(부하 수=3)
Fig. 8. Surface image of test wire

그림 8 (a)는 전선시료에 변화가 나타나기 전의 모습을 보여주고 있으며, (c)는 변화가 나타난 후의 모습을 보여주고 있다. 그림 8 (b)는 전선시료에 나타나는 변화로 빛이 발생하는 것을 보여준다. 이때 전선시료의 온도는 그림 6의 'A' 부분에 해당하며 열도 함께 동반되는 것을 알 수 있다. 즉, 그림 8 (b)는 빛과 열을 동반하는 급격한 산화반응인 연소가 전선시료의 피복재인 폴리우레탄에 발생하는 것으로 판단된다. 이는 연소반응이 끝난 그림 8 (c)에서 전선시료의 굵기가 연소반응 전인 (a)에 비해 가늘어진 것을 통해서도 확인이 가능하다.

즉 도선피복의 연소에 의해 일시적이지만 전선시료의 온도를 더욱 높임으로써 덩과 전선시료의 길이를 더욱 증가시켰던 것으로 사료된다.

4.2 줄열로 인한 도선과 조영재간의 누전가능성

그림 2의 실험으로부터 부하의 수가 1개 또는 2개

일 때는 전선시료와 구리판이 서로 접촉하지 못해 누전은 발생하지 않았다. 부하 수가 3개일 경우에는 전선시료가 구리판과 충분히 접촉하였지만 에나멜이 전선시료와 구리판 사이에서 절연내력을 유지함으로써 누전은 발생하지 않았다.

부하 수가 4개일 경우 ESOEEL에 전원을 투입한 후, 불과 1분 이내에 누전이 발생되었으며, 부하 수가 5개일 경우 십 수초 내에 누전이 발생되었다.

이때의 누전은 불꽃을 동반한 방전으로 시작되었으며, 발생된 불꽃은 1[m] 이상 비산하는 경우도 많았다.

그림 9는 부하 수 4개일 때, 그림 2의 실험을 수행하면서 얻은 전원전압 및 전선시료와 구리판 사이에서 발생하는 누전에 의한 전류파형을 보여준다.

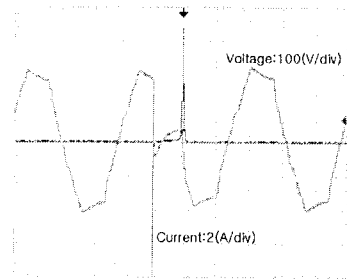


그림 9. 전선 시료와 구리판 사이의 누전에 의한 전류 파형(부하 수=4)
Fig. 9. Current wave forms by leakage between test wire and copper plate

누전으로 인해 매우 큰 전류펄스를 볼 수 있다.

이상의 결과로부터 도선의 온도가 도선피복의 발화점보다 높게 되면 도선과 주변 조영재 사이가 접촉되고, 도선 피복이 연소되면서 전로가 형성되어 방전이 발생할 수 있다. 특히 이 때 생성되는 불꽃이나 방전열에 의해 충분히 화재로 이어질 수 있을 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 논문은 과전류로 인해 전선의 길이가 증가하여 주변의 조영재와 접촉하며, 줄열로 인해 전선피복이 녹아 전선과 주변 조영재가 접촉함으로써 발생할 수 있는 화재 가능성에 대하여 실험적으로 연구하였다.

이로부터 아래와 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 도선에 흐르는 전류가 클수록 도선의 길이와 온도는 증가한다. 특히, 도선의 온도가 도선피복의 발화점을 넘게 되면, 도선피복이 연소되면서 일시적으로 온도는 더욱 증가되었다.

즉, 도선 주변에 있는 조영재의 발화점이 도선에서 발생하는 줄열보다 높아도, 이 줄열에 의해 도선 피복이 발화하면서 도선의 온도는 조영재의 발화점보다 높아질 수 있어 화재의 가능성을 가지게 된다. 0.5[mm] 에나멜 도선의 경우 도선 피복의 발화로 줄열에 의한 온도보다 약 220[°C]가 더 상승되었다.

둘째, 도선의 길이 증가는 도선 상호간 또는 도선과 주변 조영재 간의 접촉을 유발하며, 도선의 온도 증가는 도선피복을 열화시키고, 연소시킴으로써 도선과 조영재 사이를 전기적으로 연결시켜 불꽃을 동반하는 방전을 유발한다. 즉, 도선의 줄열이 주변 조영재의 발화점 보다 낮아도 도선 피복을 손상시켜 방전을 발생시킴으로써 전기화재 가능성을 더욱 증가시켰다.

이상 도선에 흐르는 전류로 인해 발생될 수 있는 전기화재 발생 가능성에 대한 기초연구는 저압육내 배선에서 전기화재 발생 메카니즘을 규명하고, 이를 방지하기 위한 연구의 기초자료로 활용이 가능할 것이다.

References

- [1] 한국전기안전공사,(www.kesco.net), “전기제해통계보고서(2006년도 통계분석보고서)”, 2007.
- [2] 이춘하 외, “전기화재공학”, 동화기술, pp.87-136, 2004.
- [3] 한국전기안전공사, “전기화재 원인분석 및 예방대책 연구”, 1994.

- [4] 한국전기안전공사, “배선기구 탄화 및 발열에 의한 전기화재 위험성 연구”, 1996.
- [5] 박용환, 양승용, “단면결합 전선에서의 화재발생 메카니즘 연구”, 2001년도 한국화재·소방학회추계학술논문발표회, pp.61-67, 2001.
- [6] 송길영, “최신 송배전공학”, 동일출판사, pp. 48-56, 2005.
- [7] 이동인 외, “전력공학(II) 송·배전편”, 동명사, pp. 38-40, 1979.
- [8] 위키백과, “<http://ko.wikipedia.org>”, 2009.
- [9] 이춘하 외, “방폭시험평가 방안에 관한 연구(II)”, 한국기계연구소, UCE614,838, 1991.

◆ 저자소개 ◆

지승욱 (池昇昱)

1971년 12월 27일생. 1995년 영남대 전기공학과 졸업. 2005년 동 대학원 졸업(박사). 현재 호서대학교 소방방재학과 출강.

김시국 (金時國)

1981년 3월 24일생. 2007년 호서대 소방학과 졸업. 2007년 동 대학원 졸업(석사). 현재 동 대학원 박사과정.

이춘하 (李春夏)

1953년 10월 20일생. 1979년 영남대 전기공학과 졸업. 1995년 동 대학원 졸업(박사). 1985~1994년 한국기계연구원 실장. 2005~2006년 미국 Worcester 공과대학 객원교수. 2006~2008년 전국대학 소방학과 교수협의회 회장. 현재 방폭기술연구회 회장. 호서대 소방방재학과 교수.

이광식 (李廣植)

1948년 10월 20일생. 1971년 영남대 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 졸업(박사). 1988~1989년 Nagoya Institute of Technology 초빙교수. 대한전기학회 방전고전압연구회 간사장 역임. 영남대학교 산업대학원장 역임. 현재 본 학회 회장. 영남대 공대 전기공학과 교수.