

외부화염에 의한 고무코드의 단락화재 및 비산특성

최충석, 송길목, 김동욱, 김동우, 김영석
한국전기안전공사 부설 전기안전연구원

The Scattering Characteristics and Short-circuit Fire of Rubber Cords According to External Flame

C.S. Choi, K.M. Shong, D.O. Kim, D.W. Kim, Y.S. Kim
Electrical Safety Research Institute attached to KESCO

1. 서론

산업의 발달, 다양한 전기기구의 보편화 등 우리 일상생활에서 전기는 없어서는 안 될 중요한 역할을 하고 있지만, 전기화재에 대한 인명 및 재산적 손실피해도 점차 대형화되어 가고 있다. 전기화재는 우리나라 전체 화재사고 중 약 30[%]정도를 점유하고 있으며, 그 중에서도 단락에 의한 화재가 78[%]를 차지하고 있다[1-4].

300V 이하의 저압용 기기에 사용되는 일체형 코드의 전기화재는 접촉 불량, 기계적 충격, 전기적 피로 등과 부주의한 사용, 외부화염 등에 의해 화재가 발생하고 있으며, 이에 대한 화재 원인분석과 예방대책이 필요한 실정이다.

일체형 코드 중에서 고무코드(rubber cords)는 도체와 절연체 그리고 쉬이즈(Sheath)로 구성되어 있으며, 300V 이하의 옥내 이동용 소형 전기기구에 사용된다. 또한 충격, 마찰, 굴곡 등의 기계적 내성이 높고, 내수, 내열, 내산 및 내알카리성 등의 화학적 내성이 우수하여 널리 이용되고 있다.

이런 고무 코드에서 전기화재의 발생은 기본적으로 도체에 흐르는 전류의 발열작용으로서 줄열과 방전에 따른 불꽃에 기인한다. 즉, 전선에 과부하가 발생하여 허용 전류 이상의 높은 전류가 도체에 흘러 줄열에 의해 발생하는 화재와 기계적 피로, 물리적인 힘에 의한 과부하 형태로 화재가 발생한다[5][6].

또한 단락 및 외부 화염에 의한 전기화재는 주변 가연물의 유무에 의해 용융망울의 비산 등으로 일반화재로 이어지고 주변 가연물과 전기기구들이 모두 탄화되기 때문에 용융망울에 의한 원인분석이 어렵다. 따라서 전기화재 원인 분석은 주변 상황 및 금속현미경과 같은 분석기구를 이용하며, 벽면 모델과 같은 재현모델을 선정하여 화염 패턴을 분석하고 예방대책을 강구하고 있다.

따라서 본 실험은 300V 이하의 옥내용 저압기기에 사용되고 있는 고무코드의 단락화재

특성과 화재 원인분석 및 예방을 위해 벽면 모델을 설정하여 인위적으로 외부화염을 인가하여 전기화재로 이어지는 과정을 분석하였다. 일체형 코드의 단락 시 화재 진행과정과 확산 패턴을 고속카메라 이미지 시스템을 이용하여 측정하였으며, 실체현미경과 절연재료 분석기 등에 의해 원인을 분석하였다.

2. 실험장치 및 방법

그림 1에 실험에 사용된 벽면 모델의 개략도를 나타낸다. 벽면의 구성은 가로, 세로 각각 1800[mm], 1500[mm]의 철 구조로 한 후, 가로 600[mm], 세로 300[mm]의 베이크라이트를 각각 부착하여 구성하였다. 콘센트는 수평구조의 실험을 위하여 바닥 면에서 30[cm] 높은 위치에 부착하였다. 제어부에서는 배선용 차단기(MCCB), 커브나이프스위치(CKS), 누전차단기(RCD)를 순차적으로 설치하였으며, 화재 진전 및 단락 현상을 고속카메라 이미지 시스템(HG-100K, REDLAKE, USA)로 취득하였다.

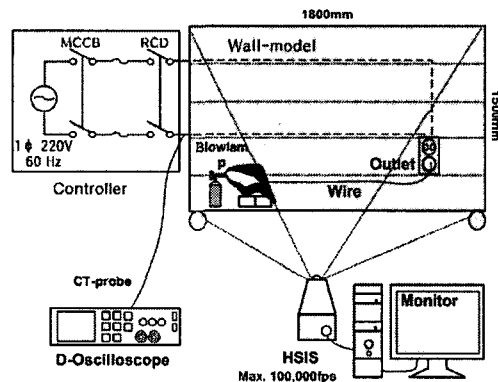


그림 1. 벽면 모델 구성

먼저, 벽면의 콘센트에 고무 코드를 설치하고 전원을 인가하였으며, 토치를 이용하여 고무 코드에 인위적으로 화염을 가하였다. 고무 코드는 220[V], 비접지형 0.75[mm]×2C, 1.25[mm]×2C를 사용하였으며, 외부화염에 의한 단락현상이 용이하도록 코드를 한번 꼬아서 사용하였다. 고무 코드에 화염을 가한 위치는 고무 코드의 길이를 고려하여 콘센트에서 약 80[cm] 떨어진 부분에 화염을 가하였으며, 토치와 고무 코드의 거리는 약 5[cm]로 하였다. 이때 주위환경은 온도 15[°C], 습도 50[%]로 유지하였으며, 무부하 상태에서 실험하였다. 또한 분석은 실체현미경(SV-11, Carlzeiss, Germany), FT-IR(Spectrum GX, Perkin-Elmer, USA) 등을 이용하였다.

3. 실험결과 및 검토

그림 2는 고무코드(0.75[mm]×2C)가 외부화염에 의해 단락되어 나타나는 화염패턴을 나

타낸 것이다. 그림 2(a)에서 고무코드에 토치를 이용하여 화염을 가하게 되면, 고무코드의 피복은 착화된다. 그림 2(b)와 같이 평균 70초 후에는 단락에 의한 섬락이 발생하였으며, 1.25[mm]×2C의 경우는 약 120초 후에 단락이 발생하였다. 그림 2(c)에서는 연속적인 단락과 함께 코드 주변으로 비산되고 용단되는 과정으로 이어졌으며, 이때 제어부의 누전차단기 및 배선용 차단기는 동작하지 않았다. 또한 비산방향은 화염을 가하고 있는 토치 방향으로 많이 비산되었으며 이는 토치를 가하는 쪽의 절연피복이 먼저 소손되어 취약부위가 노출된 것으로 사료된다. 그림 2(d)에서와 같이 용단 된 후에 불꽃은 자연 소화되지 않고 계속 진행되는 형태를 나타내었다.

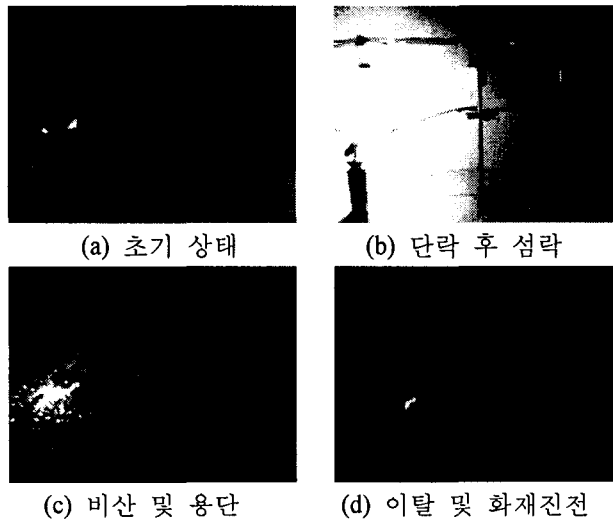


그림 2. 외부화염에 의한 화염패턴(고무코드, 0.75[mm²])

고무코드의 경우는 단락 후 용단이 되었으나 화재가 계속 진전함에 따라 실제 아크에 의한 피해를 감소할 수 있는 조건은 충족시키지만, 화재가 이미 발생한 곳에서는 화재를 지속적으로 유지하는 것을 알 수 있다. 섬락의 크기는 일정하지 않았으나 직경이 약 200[mm]에서 600[mm]인 것으로 계산되었고 비산된 용융망울은 단락되는 지점을 중심으로 반경 200[mm] 주변으로 흩어졌으며 일부는 2,000[mm] 이상 진전되는 것을 확인할 수 있었다.

그림 3은 이탈 후, 화염이 진행되고 있는 고무 코드를 근접 촬영한 것이다. 고무 코드는 화염이 가해진 이후 플러그에 근접될 때까지 소화되지 않고 지속적으로 화염이 타 들어가는 것을 확인할 수 있었으며, 표면은 탄화되고 크랙(crack)이 발생하였다.

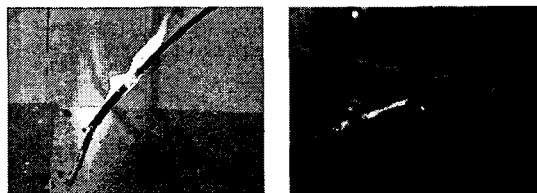


그림 3. 용단 된 후, 고무 코드의 화재 진행

그림 4는 외부화염에 의해 단락된 고무 코드(0.75[mm²]×2C)의 외형을 나타낸 것이다. 그림에서 좌측은 전원측 부분으로 두 전선이 용단되어 있고 도체를 둘러싸고 있는 고무는 탄화되어 쉽게 떨어져 나갔다. 우측은 부하 측 부분으로 용융망울이 연선의 일부에 있는 것을 확인할 수 있다. 또한 피복은 열이 상승하여 전원 측 부분이 더 많이 탄화된 것을 알 수 있다.

외부화염의 인가시간에 따른 고무코드의 탄화사진을 그림 5에 나타낸다.

그림 5(a)는 20[sec] 동안 외부화염을 가하였을 때, 고무코드의 피복이 탄화된 것을 보여주는 것으로 탄화된 표면에 크랙(crack)이 많은 것을 알 수 있다. 그림5(b)의 경우 내부의 두 전선에는 화염에 대한 영향이 거의 나타나지 않았다. 그림 5(c)에 70[sec] 동안 외부화염을 가하였을 때는 표면은 거의 탄화되었으며, 그림 5(d)와 같이 내부의 두 전선은 거의 탄화되지 않고 약간 부풀어 있는 것을 알 수 있다. 고무 코드의 화학구조는 이소프렌의 중합체로서 분자간 인력이 약하고 결정성이 낮으며 분자간의 가교반응이 용이하다는 특징이 있다. 따라서 외부화염을 가하게 되면 0.75[mm²]의 고무 코드 표면은 탄화되지만 코드 속의 무기질 충전제에 의해 내부 전선으로의 열 전달이 쉽지 않아 많은 시간이 소요되었으며, 중력에 따른 하중으로 단락이 발생하는 것으로 생각된다.

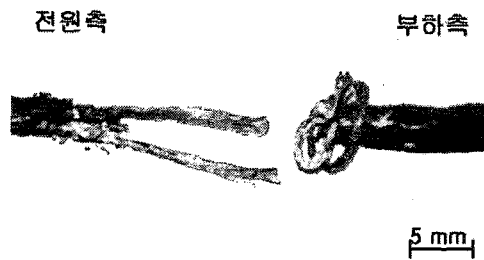


그림 4. 단락된 고무코드(0.75[mm²]×2C)의 외형

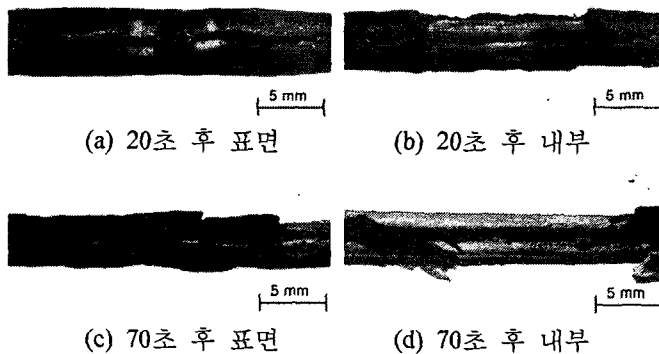


그림 5. 시간에 따른 고무코드(0.75[mm²]×2C)의 소손

그림 6은 고무 코드의 흠광피크를 나타낸다. 고무코드의 표면과 내부의 흠광피크는 약간 다른 것을 알 수 있고, 정상상태와 탄화된 후의 흠광피크 차이가 크게 나타나지 않았

다. 그림 6 (a)의 정상상태 표면의 1594.41[cm-1]에서 흡광피크가 나타나지만, 그림 6 (b)의 탄화 된 후의 표면에서는 이 부분의 피크가 나타나지 않았다. 그림 6 (c)의 정상상태 내부전선의 흡광피크에서는 1461.92[cm-1]에서 피크가 나타나지만, 그림 6 (d)의 탄화된 후의 내부전선에서는 이 부분에 피크가 나타나지 않았다.

4. 결론

외부화염에 의한 고무코드의 단락화재 및 비산 특성을 연구하였다. 고무코드의 화염패턴은 단락, 섬락, 용융망을 비산 그리고 용단의 순서로 진행되었다. 단락에 따른 용융망은 전선 주변으로 비산되고 비산된 용융망은 단락되는 지점을 중심으로 반경 200[mm] 주변으로 흩어졌으며 일부는 2,000[mm] 이상 진전되는 것을 확인할 수 있었다. 또한 고무코드의 경우는 자연소화 되지 않고 화재가 계속 진전되는 것을 알 수 있었다.

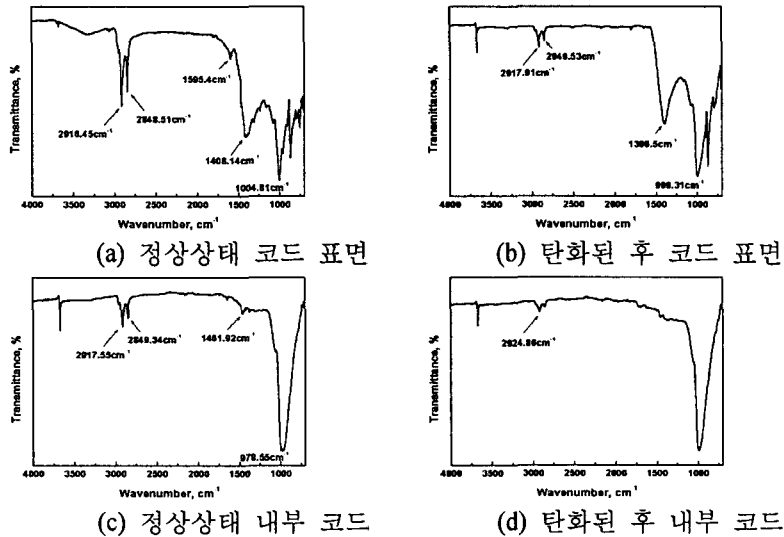


그림 6. 고무 코드의 흡광피크

외부화염에 의한 고무코드의 단락되는 시간은 전선의 굵기에 따라 선형관계가 있음을 확인하였으며, 고무코드는 무기질 충전제 및 화학적 구조에 의해 내부 전선으로의 열 전달이 쉽지 않아 단락까지의 시간이 많이 소요됨을 알 수 있었다.

벽면모델을 이용하여 발생한 고무코드의 화재 패턴을 정량적으로 분석이 가능하였으며, 전기화재의 원인분석 및 예방에 크게 도움에 될 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부(MOCIE) 전력산업기반기금의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] 최충석, “전기화재공학”, 동화기술, 2000.
- [2] Chung-Seog Choi, “The analysis of dendrite structure of electric wire melted by fusing current“, 2003 J-K Joint Symp. on ED&HVE, pp.145-148, 2003
- [3] V. Babrauskas, “Fires due to Electric Arcing: Can 'Cause' Beads be Distinguished from 'Victim' Beads by Physical or Chemical Testing”, Fire and Materials, pp.189-201, 2003
- [4] 한국전기안전공사, “전기재해 통계분석”, pp.10~50, 2003.
- [5] Sheera knecht et al, “Fusing Current of Short Aluminum Bond Wire”, 1996 InterSociety Conference on Thermal Phenomena, pp.329-333, 1996.
- [6] E. Cadirli, N. Marasli, B. Bayender and M. Gunduz, “Investigation of the structure parameters according to the solidification parameters for pivalic acid”, Material science, Vol.34, pp.5533-5541, 1999