

전선 직경 변화에 따른 단락 아크 특성에 관한 연구

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

A Study on the Arc Characteristics of Wires During a Short-Circuit by the Diameter

Young-Seok Kim, Kil-Mok Shong, Dong-Ook Kim, Dong-Woo Kim, Chung-Seog Choi
Electrical Safety Research Institute attached to Korea Electrical Safety Corporation

Abstract

In this paper, the arc and flame characteristics of wires were studied during a short-circuit. The short-circuit angle between wires was fixed as 90° and the experiments were conducted on bare copper wires by varying the diameter of wires. The arc and flame patterns were taken by a high speed imaging system. The direction of arc and flame was explained with Lorentz force. After the short-circuit experiment, the shapes of molten wires were analyzed by a stereo microscope. In the results of experiment, the arc and flame of wires showed particular patterns. The flame characteristics by the diameter of wires were analyzed using a HSIS. We could find out the arc characteristics of wires which were different by the diameter.

Key Words : Short-Circuit, Diameter, Electric Wire, Arc, Flame

1. 서 론

최근 경제성장과 산업의 발달에 따라 전기설비 및 전기제품들은 대형화 및 다양화 되어가는 추세이다. 이에 따라 전기관련 사고 발생빈도도 높은 비율을 차지하고 있다. 특히, 전기화재는 총 화재 중 30[%] 이상의 점유율을 차지하고 있어서 이에 대한 원인분석과 더불어 예방대책이 필요한 실정이다. 2002년 통계자료에 의하면, 전체 전기화재 중 단락에 의한 화재가 78[%](8,743건), 과부하에 의한 화재가 7.8[%](869건)를 점유하였다[1]. 단락 사고의 발생원인으로는 전선피복의 자외선, 열, 습윤 등에 의한 절연열화, 시공 및 사용상 부주의에 의한 피복손상 등이 있다[2-5]. 전기화재의 발생원인은 주로 줄열에 의한 것으로 짧은 시간 동안 많은 피해를 발생시킬 수 있다는 문제점을 안고 있다. 또한, 관리 소홀에 의한 화재가 대부분이어서 전기의 안전한 관리가 요구된다.

본 연구에서는 전선의 선간단락시 접촉각도를

90° 로 고정시켰을 때 직경 변화에 따른 순간 단락시 아크 및 화염의 특성을 비교, 분석하였다. 또한, 단락후 전선에 붙어있는 용융망울은 광학현미경에 의해 외형분석을 하였다.

2. 단락전류와 Lorentz force

단락전류는 국제 전기코드(IEC) 60364-434에서도 나와 있듯이 지속시간이 5초 이내에 큰 전류가 전선에 흐르는 것으로 이때 식(1)은 국제전기코드에서 제시한 지속시간을 구하는 식이다.

$$\sqrt{t} = k \times (S/I_b) \quad \text{식(1)}$$

이때 t는 지속시간을 나타내며, k는 상수로서 비닐절연의 동전선은 115, 비닐절연의 알루미늄 전선은 74 등으로 표기하고 있다. 또한, S는 전선의 단면적을 나타낸 것이고 I_b 는 단락전류[A]를 나타낸다. 이때 k값은 전선의 특성을 나타내는 값으로 국제전기코드에서 아직 정의되지 않은 조건으로 단면적 10[mm²]미만의 전선, 5초를 초과하는 단락지

속시간, 타종의 전선접속, 나전선인 경우를 들고 있다.

단락전류가 발생하면 아주 큰 줄열이 발생하는데 Preece의 실험식으로 간단히 나타낼 수 있다.

$$I_s = a \times d^{1.5} \quad \text{식(2)}$$

동선의 경우 a는 80.0이고 알루미늄 전선은 59.3의 계수를 넣어 계산하고 d는 전선의 직경을 나타낸다. 따라서, 같은 동선의 경우 직경이 클수록 단락전류는 더 커지는 것을 알 수 있다.

전선을 용융시켜 단선시키는 단락전류의 크기에 비례하여 작용하는 로렌츠(Lorentz) 힘은 단락전류가 클수록 작용하는 힘은 더욱 커지게 된다. 식(3)은 로렌츠 힘을 수식으로 나타낸 것으로 단락시에는 급격한 에너지의 방출에 의해 섬광과 함께 폭발이 일어난다. 이때 작용하는 힘의 크기 및 화염의 비산방향은 로렌츠힘에 의해 전류와 자계에 동시에 수직인 방향으로 작용한다. 그림 1은 전선에서의 단락과 아크에 의한 비산을 나타낸 것이다. 내부저항이 아주 작은 전선의 경우 직경이 작은 부분에서 높은 전류에 의해 줄열이 발생하고 아주 짧은 시간이 지난 후 용단전류(fusing current)에 의해 전선이 아크를 발생하며, 단선되어 진다. 이때 용융망울(bead)과 화염은 로렌츠의 힘에 의해

일정한 방향으로 진전하게 된다.

식(3)은 로렌츠 힘에 대한 것으로 그림 1의 내용을 수식화한 것이다.

$$F = -i \int B \times dl \quad \text{식(3)}$$

2. 실험방법

단락에 의해 화재로 진전되는 요인은 섬광의 크기, 입자의 비산거리, 단락 접촉각도, 전선의 굵기, 부하의 크기 등 다양한 조건에 의해 결정된다. 위의 조건 중 본 연구에서는 전선의 직경을 변화시켰으며, 이에 따른 단락실험 회로를 그림1에 나타내었다. 실험에 사용된 단락 및 과부하 실험장치(ES&OL-20, KESCO, KOREA)는 1φ 220V 60Hz의 전원을 사용하였으며, 전선 a-a'와 전선 b-b'의 접촉각도를 90°로 고정시켜서 실험하였다. 실험에 사용된 전선으로는 직경 0.18[mm], 0.26[mm], 0.32[mm], 길이 100[mm]의 나전선이 사용되었다. 실험시 부하측 조건은 스위치 S₂를 닫아서 55[ohm]의 부하저항로 하였으며, 단락과정은 고속카메라(High Speed Imaging System, HG-100K, Redlake, USA)를 이용하여 초당 10,000프레임으로 화염의 비산패턴을 촬영하였다. 선간 단락 실험 후 발생한 전선의 외형을 실체현미경(SV-11, Carlzeiss, Germany)으로 분석하였다.

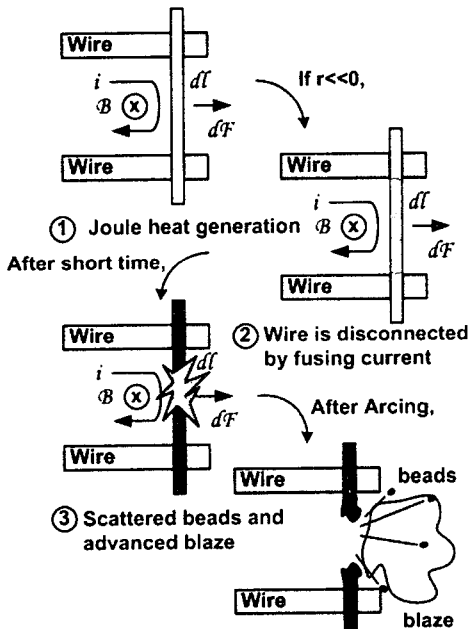


그림 1. 단락전류에 의한 화염발생 과정

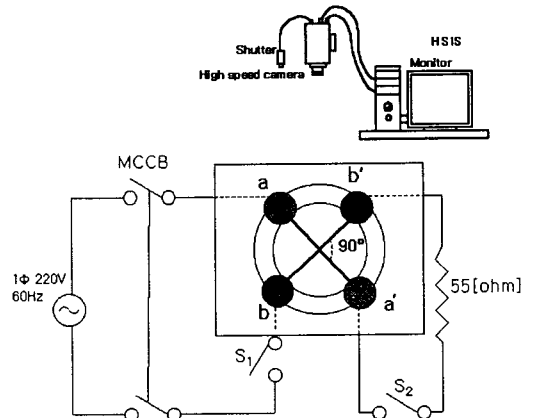


그림 2. 전선의 순간단락 실험회로

3. 결과 및 고찰

3.1 전선직경에 따른 화염 및 아크 특성

그림 2~4는 선간 접촉각도를 90°로 고정시키고 전선의 굵기변화에 따른 단락과정을 고속카메

라로 촬영한 사진이다.

그림 3은 전선 직경이 0.18[mm]인 경우로서, 그림 3(a)는 선간단락의 시작점을 나타내고 있다. 그림 3(b)는 단락 시작후 폭발이 일어나기 직전으로 섬광이 발생하기 시작하고 있으며, 그림 3(a)로부터 0.5[ms]가 경과 되었을 때의 사진이다. 그림 3(c)는 섬광과 폭발이 일어난 후로서 강한 불빛이 관측되었다. 그림 3(d)는 전단계보다 불빛이 약간 소멸되면서 강한 화염을 나타내고 있다. 그림 3(e)는 화염이 일부 부하측으로 이동되는 것을 나타내고 있으며, 그림 3(f)는 단락시작 후 22[ms]가 경과된 시점으로 화염이 아직 중앙에 남아있는 것을 나타내고 있다. 단락이 그림 2(a)에서 시작된 후, 화염이 완전히 사라지기까지 56.6[ms]가 소요되었다.

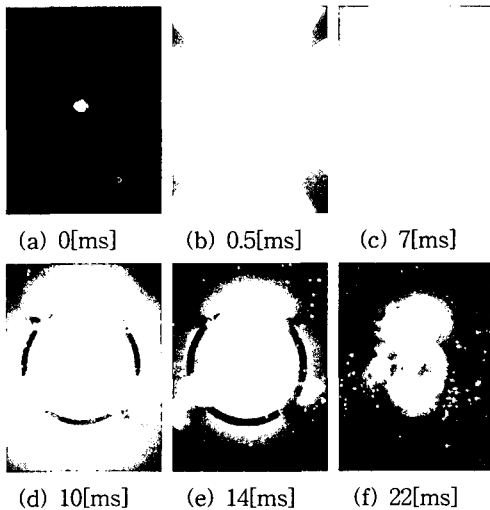


그림 3. 전선의 단락과정(직경 0.18[mm])

그림 4는 전선 직경이 0.26[mm]인 전선의 단락 과정을 나타내고 있다. 그림 4(a)는 선간단락의 시작점을 나타내고 있다. 그림 4(b)는 그림 3(b)와 마찬가지로 단락 시작후 폭발이 일어나기 직전으로 섬광이 발생하기 시작하고 있다. 그림 4(c)는 섬광과 폭발이 일어난 후로서 화염이 관측되었으며 불꽃 파편들이 비산되었다. 그림 4(d)는 화염이 일부 부하측으로 이동되는 것을 나타내고 있다. 그림 4(e)는 화염과 불꽃파편들이 사라져가고 있음을 나타내고 있다. 그림 4(f)는 전단계의 소멸과정이 더 진전된 모습을 나타내고 있다. 그림 3과 비교해 보

았을 때, 화염 및 불꽃파편들의 이동이 더 급속히 이루어졌음을 알 수 있다.

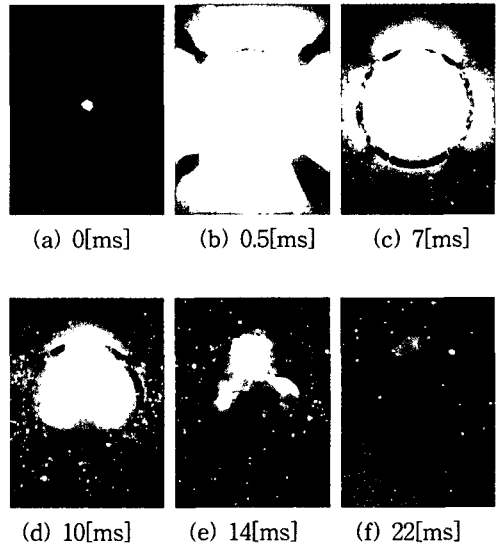


그림 4. 전선의 단락과정(직경 0.26[mm])

그림 5는 전선의 직경이 0.32[mm]인 전선의 단락과정을 나타내고 있다. 그림 5(a)는 선간단락의 시작점을 나타내고 있다. 그림 5(b)는 단락 시작후 폭발이 일어나기 직전으로 섬광이 발생하기 시작하고 있다. 그림 5(c)는 단락 폭발후 화염이 부하측으로 이동하고 있음을 나타내고 있다. 그림 5(d)는 그림 5(c)와 유사한 패턴을 나타내고 있으며,

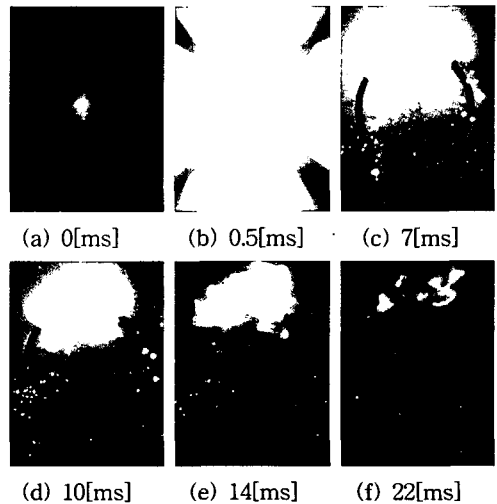


그림 5. 전선의 단락과정(직경 0.32[mm])

그림 5(e)는 화염이 부하측으로 거의 이동하였음을 나타내고 있다.

그림 5(f)는 화염과 불꽃파편들이 점차 사라져가고 있음을 나타내고 있다. 그림 3, 4와 비교해 보았을 때, 화염과 불꽃파편들은 급속히 이동되었다.

3.2 전선의 외형분석

그림 5는 단락실험 후 수거한 전선에 대해 직경변화에 따른 외형을 전원측과 부하측으로 구분하여 실체현미경으로 확대 분석한 사진이다. 분석결과, 일반적으로 전원측의 용융전선의 색이 부하측 전선에 비해 밝은 빛깔을 나타내었다. 반면, 부하측 전선은 전체적으로 검게 그을리고 암갈색을 띄는 경우가 많았다.

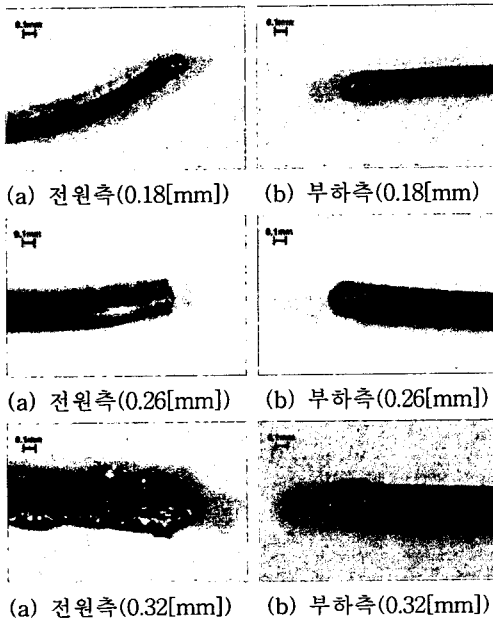


그림 6. 직경변화에 따른 용융전선 외형

4. 결 론

전선의 직경변화에 따른 순간단락 특성을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 아크가 발생하기 시작하여 아주 밝은 섬광으로 진전된 후 폭발하여 화염과 입자가 이동하며

소멸되는 것을 확인할 수 있었다. 또한 화염은 전원측에서 부하측으로 이동하였다.

2) 전선의 직경이 커질수록, 단락시 발생한 화염이 부하측으로 이동되는 현상이 뚜렷이 관측되었고 화염 및 불꽃 파편들이 급속히 이동하였다.

3) 단락후 용융된 전선을 분석한 결과, 전원측은 밝은 빛깔을 나타낸 반면, 부하측 전선은 전체적으로 검게 그을리고 암갈색을 띄는 경우가 많았다.

전선의 직경변화에 따라 순간단락 발생시 아크 및 화염의 특성을 분석하였으며, 향후 부하의 크기, 단락시 접촉상태, 전선의 종류 등 다양한 조건의 단락실험 및 분석으로 단락현상의 원인규명에 기여할 것으로 기대한다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부 전력산업기반기금의 지원으로 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] 한국전기안전공사, "전기재해 통계분석", pp7~12, 2003.
- [2] 최충석 외 5, "전기화재공학", 동화기술, 2004.
- [3] Chung-Seog Choi, et. al, "The Scattering Patterns Analysis of Particles by Varying Short-Circuit Angles between Electric Wires", Fire Science & Technology 2004, pp717~722, 2004.
- [4] William H. HAYT, "Engineering Electromagnetics", 5th edition, pp. 265-271, 1989.
- [5] H. Nakano, "Consideration of Fire Cause from Electrical Wiring", Japan Association for Fire Sci. & Eng., Vol.46, No.2, pp1-5, 1996.