B-04

누전차단기 접속부의 스위칭에 따른 아크 비산 특성

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

The arc Dispersion Characteristics by the Switching of RCD Connecting Parts

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

1. 서론

최근 전기설비의 대용량화와 전기제품이 다양화됨에 따라 전기재해에 의한 인명 및 재산 피해도 증가하고 있다. 특히 전기화재의 경우 전체화재의 약 30[%]로 가장 높은 비율을 차지하고 있다. 전기화재 발생원인의 경우 단락, 과부하, 누전, 접촉불량 등 다양한 형태로 나타나고 있으며 선진국에 비해 원인 분석이나 이론적 정립은 미미한 실정이다[1-3]. 전기설비 내에는 전선과 전선의 접속이나 전선과 기기단자의 접속 등 다수의 전기적 접속부가 존재한다. 누전차단기나 배선용차단기 단자의 접속방식은 볼트를 사용한 기계적 압력방식이 주로 사용되고 있으나 접속부의 접속력이 저하되거나 환경적 요인에 의하여 열화되면 국부적인 발열이 발생하고 이로인해 전기재해를 유발하게 된다. 또한 차단기의 스위칭 접점부분이 열화 되었을 경우 발생한 아크에 의해 주변의 가연물로 착화될 가능성이 높아진다[4-7].

본 연구에서는 누전차단기의 스위칭시 접점의 아크발생 특성을 해석하고 아크발생에 의해 화재로 이어지는 과정을 고속카메라를 이용하여 분석하였다.

2. 실험방법

누전차단기의 스위치 ON/OFF시 접점의 아크 발생 및 화재확산 패턴 분석을 위해 그림 1과 같이 실험장치를 구성하였다. 실험에 사용된 누전차단기는 정격전압 110/220[V], 정격전류 30[A], 정격감도전류 30[mA], 단상 2선식의 누전·과부하 겸용이며, 1φ 220[V]의 60[Hz]의 전원을 사용하였다. 실험시 부하측 조건은 전구부하 1개(220V, 60W)와 전열부하 2개(220V, 950W)를 병렬로 연결하였으며, 누전차단기의 스위칭시 아크의 비산과정 및 인접가연물로의 착화과정은 고속카메라(High Speed Imaging System, HG-100K, redlake, USA)를 이용하여 10,000[frames/sec]으로 촬영하였다. 또한 염수에 의해 열화된 누전차단기와 비교분석하였다.

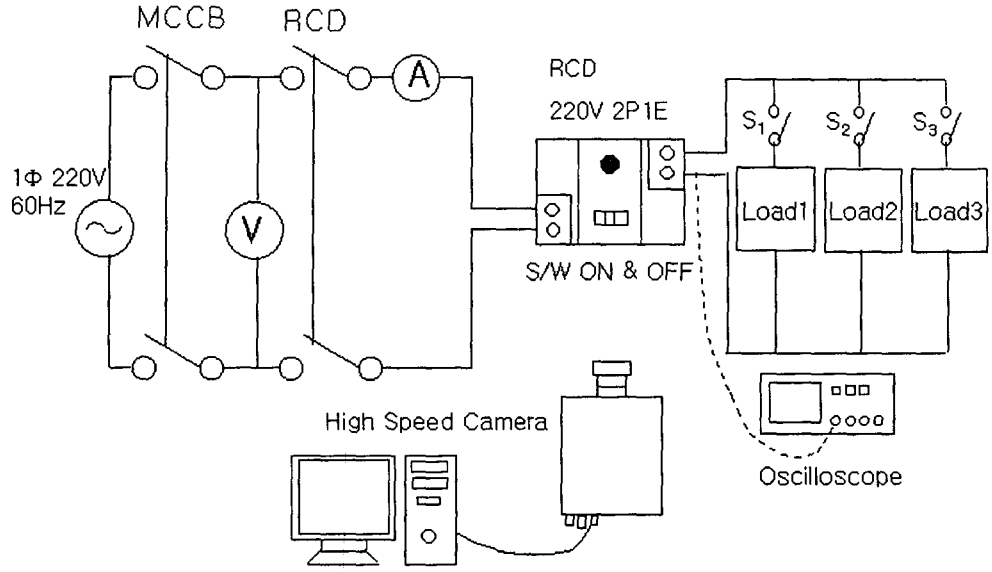
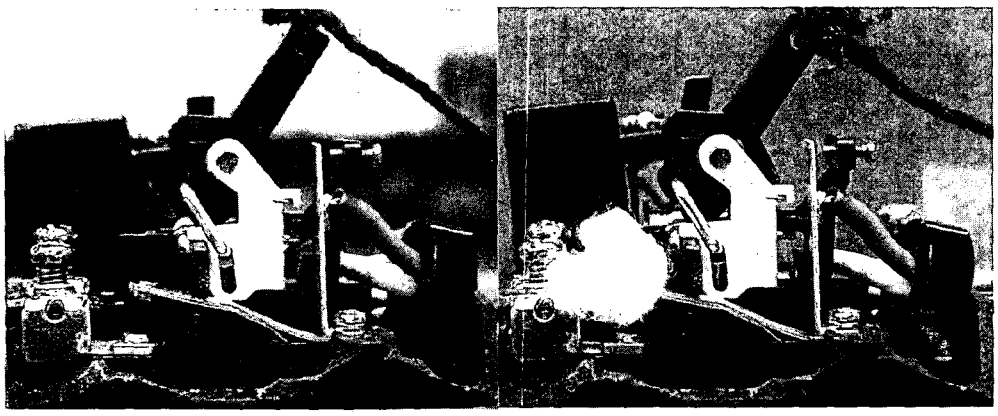


그림 1. 누전차단기 스위칭아크 실험 장치구성

3. 실험결과 및 고찰

그림 2는 실험에 사용된 누전차단기 내부의 측면사진이며, 스위칭시 아크의 특성 및 인접가연물로의 화재확산 과정을 그림 3, 4 및 6, 7에 나타냈다.



(a) 정상상태(OFF) (b) 인접가연물(OFF)

그림 2. 누전차단기 측면사진

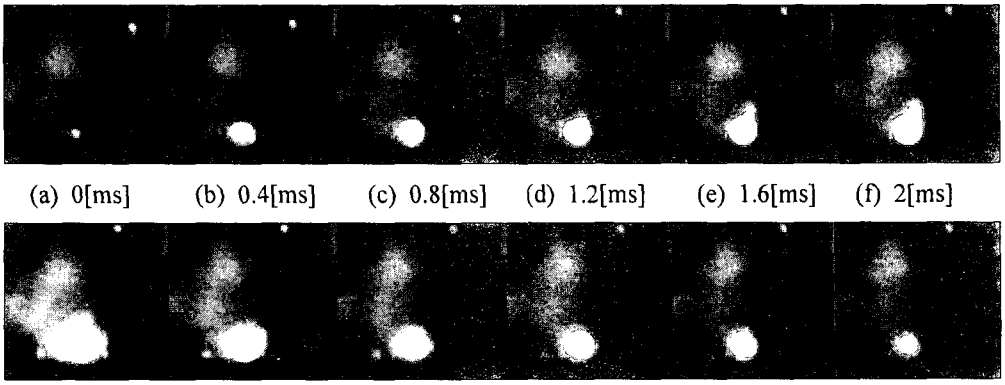
그림 3은 정상 누전차단기의 스위치 OFF시 아크의 생성 및 소멸과정을 고속카메라로 촬영한 사진이다. 그림 3(a)는 스위치 OFF후 아크가 발생하기 시작했을 때의 사진이며, 그림 3(b)~3(e)는 각각 0.4[ms]의 간격으로 전극간 접점이 벌어짐에 따른 아크 특성을 나

타내고 있다. 그림 3(f)에서는 아크가 점차 소멸되어가고 있음을 나타내고 있다. 아크가 최초 형성이 되어 완전히 소멸되기까지 총 2.3[ms]가 소요됨을 확인하였다.

(a) 0[ms] (b) 0.4[ms] (c) 0.8[ms] (d) 1.2[ms] (e) 1.6[ms] (f) 2[ms]

그림 3. 스위치 OFF시 정상 누전차단기의 아크특성

그림 4는 정상 누전차단기의 스위치 OFF시 주변에 인접가연물(탈지면)이 있을 경우 아크특성을 나타낸 것이다. 스위치 OFF후 착화에너지의 감소로 탈지면에 화염이 착화되지 못하고 아크가 점차 소멸되었다.

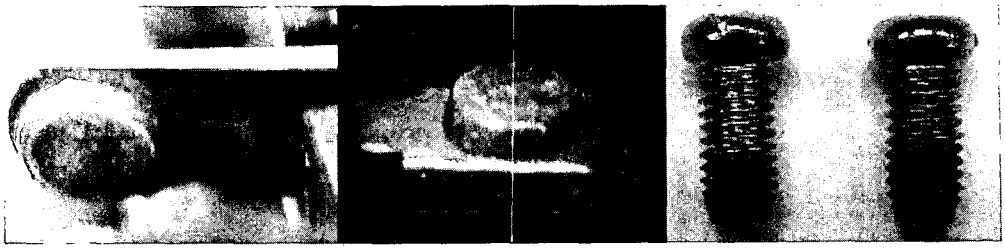


(a) 0[ms] (b) 0.4[ms] (c) 0.8[ms] (d) 1.2[ms] (e) 1.6[ms] (f) 2[ms]

(g) 2.4[ms] (h) 2.8[ms] (i) 3.2[ms] (j) 3.6[ms] (k) 4.0[ms] (l) 4.4[ms]

그림 4. 스위칭 OFF시 정상 누전차단기의 아크특성(인접가연물: 탈지면)

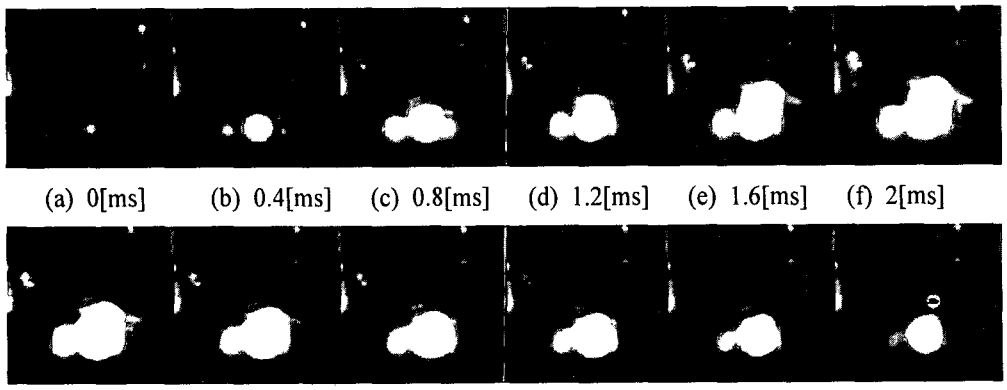
그림 5는 누전차단기의 상부에 염수를 주입하고 일정시간이 지난 후 열화된 접점과 나사를 나타내고 있다. 접점부는 매끄럽지 못하고 일부 손상되었으며 나사부분도 하단부가 녹이 슬어 있는 것을 확인할 수 있다.



(a) 접점(상부) (b) 접점(하부) (c) 나사

그림 5. 염수에 의해 열화된 누전차단기의 접점부와 나사

그림 6는 그림 5의 조건에 의해 열화된 누전차단기의 스위치 OFF시 아크의 생성과 소멸과정을 촬영한 사진이다. 그림 6(a)는 스위칭 OFF후 아크발생 시작점의 사진이며, 그림 6(b)~6(l)은 각각 0.4[ms]의 간격으로 전극간 접점이 벌어짐에 따른 아크의 특성을 나타내고 있다. 아크가 최초 형성이 되어 완전히 소멸될 때까지 총 5.6[ms]가 소요되었다. 그림 3에 나타난 정상 누전차단기의 아크 특성과 비교해 볼 때 열화된 누전차단기는 아크의 비산범위가 훨씬 컸으며 아크의 지속시간도 3.3[ms]동안 더 지속되었다.



(a) 0[ms] (b) 0.4[ms] (c) 0.8[ms] (d) 1.2[ms] (e) 1.6[ms] (f) 2[ms]

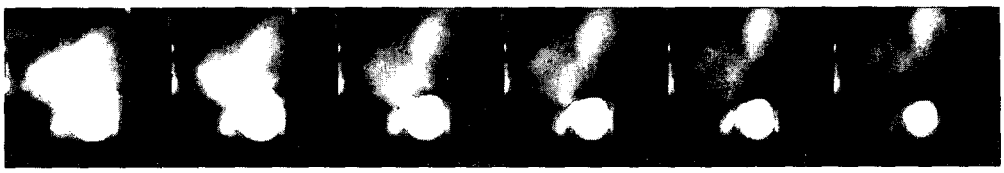
(g) 2.4[ms] (h) 2.8[ms] (i) 3.2[ms] (j) 3.6[ms] (k) 4.0[ms] (l) 4.4[ms]

그림 6. 염수에 의해 열화된 누전차단기의 스위치 OFF시 아크특성

그림 7은 염수에 의해 열화된 누전차단기의 스위치 OFF시 주변에 인접가연물(탈지면)이 있을 경우 아크특성을 나타낸 것이다. 정상누전차단기(그림 4)는 스위치 OFF후 착화에너지의 감소로 탈지면에 착화되지 못하였으나, 열화된 누전차단기는 그림 7에 나타난 바와 같이 탈지면에 착화되었다. 이는 누전차단기의 접점이 수분이나 먼지가 많이 쌓인 곳에 노출되었을 경우 열화가 가속되어 스위칭 아크로 인해 화재로 확산될 가능성이 있음을 나타내고 있다. 또한 차단기 내부부품 중 손잡이, 전자회로부, 전선피복 등은 불에 잘 타는 재질로 되어 있어 스위칭 아크 등에 의한 2차 화재로 확산될 수 있기 때문에 이들

부품들에 대한 난연화가 필요한 실정이다.

(a) 0[ms] (b) 0.4[ms] (c) 0.8[ms] (d) 1.2[ms] (e) 1.6[ms] (f) 2[ms]



(g) 2.4[ms] (h) 2.8[ms] (i) 3.2[ms] (j) 3.6[ms] (k) 4[ms] (l) 4.4[ms]

그림 7. 스위치 OFF시 열화된 누전차단기의 아크특성 및 착화(인접가연물: 탈지면)

4. 결론

이상과 같이 누전차단기 접점의 스위칭에 따른 아크비산 특성 및 화재확산 패턴 분석 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 누전차단기의 OFF에서 ON으로의 스위칭시 아크는 거의 관측되지 않았으나 ON에서 OFF로 스위칭시 아크는 뚜렷이 관측되었다. 정상누전차단기의 경우 ON에서 OFF로 스위칭시 아크는 약 2.3[ms]간 관측되었다.
(2) 염수에 의해 열화된 누전차단기의 경우 OFF에서 ON으로 스위칭시 아크는 약 5.6[ms]간 관측되어, 정상 누전차단기보다 3.3[ms]간 아크가 더 지속되었으며, 아크의 방사면적이 정상 누전차단기의 경우보다 더 컸다.
(3) 정상누전차단기와 열화된 누전차단기의 스위칭 동작 반복 후 접점부분에 대한 분석 결과 열화된 누전차단기에서 아크로 손상된 흔적이 더 많았다.
(4) 재현실험 결과, 열화된 누전차단기의 경우 인접가연물(탈지면)이 있을 때 아크에 의해 착화되었으나, 정상 누전차단기의 경우 아크에 의해 인접가연물이 착화되지 않았다.
(5) 차단기 내부부품들은 불에 잘 타는 재질로 가혹한 조건하에서 차단기가 열화되었을 경우 아크에 의한 화재 확산 가능성이 있으므로 이들 부품들에 대한 난연화가 요구된다.

누전차단기 접속부의 스위칭에 따른 아크의 크기, 지속시간 및 인접가연물로의 화재확산 특성을 분석하였으며, 향후 본 연구결과와 더불어 차단기가 정상인 경우 스위칭시 전

기적 파형과 차단기가 열화된 경우 스위칭시 전기적 파형을 아크 크기 및 지속시간과의 상관관계를 해석하여 전기재해를 방지하는 보호장치 개발에 적용이 가능할 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부(MOCIE) 전력산업기반기금의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. 최충석 외 5, "전기화재공학", 동화기술, 2004.
2. 한국전기안전공사, "전기재해 통계분석", pp7～12, 2003.
3. Chung-Seog Choi, et al, "The Analysis of Dendrite Structure of Electric Wire Melted by Fusing Current", 2003 J-K Symp. on ED and HVE, pp145～148, 2003.
4. Ming Sun, et. al, "Lifetime Resistance Model of Bare Metal Electrical Contacts", IEEE Tran. on advanced packaging, VOL. 22, NO. 1, Feb., pp 60～67, 1999.
5. J.H. Dymond, Nick Stranges and Karim Younsi and John E. Hayward, "Stator Winding Failures: Contamination, Surface Discharge, Tracking", IEEE Tran. Industry Applications, VOL. 38, NO. 2, pp.577-583, March/April 2002.
6. H. Nakano, "Consideration of Fire Cause from Electrical Wiring", Japan Association for Fire Sci. & Eng., Vol. 46, No. 2, pp1-5, 1996.
7. Roland S. Timsit, "A Possible Degeneration Mechanism in Stationary Electrical Contacts", IEEE Tran. on Components, Hybrids, and Manufacturing Technology, VOL. 13, NO. 1, March, pp 65～68, 1990.