

가연물 특성에 따른 저압용 차단기의 스위치 아크에 의한 화재특성

김동우, 이기연, 김동욱, 김항곤, 최충석
한국전기안전공사 전기안전연구원

Fire Characteristics of Circuit Breakers for Low Voltage during Switching Arcs according to the Characteristics of Combustibles

Dong-Woo Kim, Ki-Yeon Lee, Dong-Ook Kim, Hyang-Kon Kim, Chung-Seog Choi

Abstract - In this paper, the fire characteristics of circuit breakers for low voltage during switching arcs were analyzed according to the characteristics of combustible materials. Arc dispersion and ignition process were taken by high speed imaging system and digital camera. In this experiment, four resistors were connected as loads. To discover the fire characteristics of circuit breakers by combustible materials, ethanol and cotton were installed as combustibles near contacts respectively. In case of ethanol, fire broke out near the contacts while switch was turned on and turned off. Whereas, in case of cotton, fire broke out near deteriorated contacts while switch was turned off.

1. 서 론

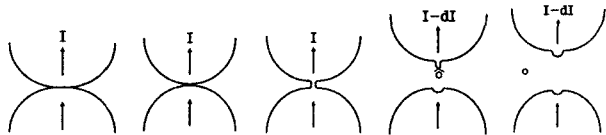
접점의 접속방법에서 스위치 기어류에 가장 많이 적용되는 것은 스프링에 의한 접속이다. 장점으로는 쉽게 전기에너지를 공급하거나 차단이 가능하다는 데 있다. 그러나 스프링의 역할, 이물질, 산화, 부식 등에 의해 접점이 불완전하게 되면 아크발생이 쉬워져 주변가연물에 착화될 가능성이 높다[1-3]. 차단기나 스위치는 On-Off시 아크가 일어나고, 특히 회로 중에 전동기 등의 인덕티브 부하가 포함될 때는 과도현상에 의한 전압상승으로 더욱 커지게 된다. 일반적으로 스위치를 Off할 때의 아크가 스위치 On할 때의 아크보다 더 크다. 또한 백열전등도 유리가 파손되면 필라멘트가 노출되어 아크와 같은 위험성이 있다. 차단기나 스위치도 오랜 기간 사용하면 구동 용수철의 열화, 손잡이나 이동부의 파손, 접점부의 마모, 접점부의 산화, 유황 등 다른 물질과 화학반응 등에 의해 접촉불량 및 접점열화로 이어질 수 있다. 이때 발생하는 아크나 스파크는 크기가 지속시간이 크며, 주변에 가연성 가스나 인화성 액체의 증기, 미세한 곡분, 탄가루 등이 있는 곳에서 폭발 및 발화될 수 있다[4-6].

본 논문에서는 누전차단기의 스위치 On-Off시 아크발생 메커니즘을 분석하였으며, 가연성 액체의 종류 및 화학적 특성을 분석하고, 에탄올과 탈지면에 노출된 누전차단기 접점의 스위칭 아크에 의한 화재 및 폭발 특성을 각각 분석하였다. 이러한 실험과 분석 결과를 통하여 전기재해 예방과 전기제품의 성능 개선에 도움을 줄 것으로 판단된다.

2. 본 론

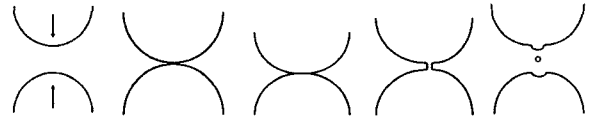
2.1 스위치 On-Off시 아크발생 메커니즘

<그림 1>과 같이 전류가 흐르고 있는 두 접점이 떨어지려고 할 때, 전류는 극히 좁은 영역에만 집중해서 흐르게 된다. 떨어지려는 마지막 시점에서 전류밀도는 극부적으로 접점을 용융시키기에 충분한 에너지를 가지며, 이 에너지에 의하여 접점 사이에 용융 가교가 생기게 되어, 접점 간에 파열이 생기고 아크가 형성된다. 이러한 아크에 의해 용융이 발생되고, 금속이 이동하게 된다. 금속의 질량감소와 접점의 손상은 모터 스타터와 제어접점과 같이 스위칭 반복회수가 많은 경우에 있어서 중요한 인자가 된다.



(a) 정상상태 (b) 과전류발생 (c) 부분용융 (d) 초기아크발생 (e) 아크지속
〈그림 1〉 스위치 Off시 접점의 아크발생 과정

<그림 2>는 두 접점이 불을 때 탄성에 의해 발생하는 아크발생 과정을 나타내고 있다. 접점이 접속을 시작한 후 탄성에 의해 떨어질 때 극부적으로 접점을 용융시킨 후, 이 열에 의해 접점간 파열과 함께 아크가 형성된다.



(a) 접점접점 (b) 접점접촉시작 (c) 폐로구성 (d) 부분용융 (e) 아크형성

〈그림 2〉 스위치 On시 탄성에 의한 접점의 아크발생과정

2.2 가연물의 화학적 특성과 최소착화에너지

가연성 기체가 공기와 혼합하여 연소범위 내에 있을 경우 발화원에 따라 쉽게 인화되고 연소·폭발한다. 인화점이 대기온도 이하인 가연성 액체는 물론 대기온도 이상인 것도 가열된 상태일 경우 인화 위험성이 있다. <표 1>과 <표 2>는 가연물의 화학적 특성과 가연성 혼합기체의 최소착화에너지를 나타낸 것이다[7-9].

〈표 1〉 각종 가연물의 화학적 특성

물 질	인화점 (t)	발화점 (t)	연소·폭발한계(%)		비 중 (물=1)	수용성
			하 한	상 한		
취발유	-43	300	1.4	7.6	0.75	불
프로판		467	2.2	9.5		불
부탄	-60	430	1.9	8.5	0.599	난
메탄		54	5.3	14		불
일산화탄소		651	12.5	74		용
에틸알콜	13	423	4.7	19.0	0.79	용
메틸알콜	11	464	7.3	36	0.792	용
수소		585	4.0	75		난
에틸에테르	-45	280	1.9	48	0.71	난
에틸렌		450	3.1	32		용
옥탄(정)	16	232	1.0	3.2	0.706	불
옥탄	-12	530	1.1	6.0	0.751	불
에탄		510	3.0	12.5		불
공기름	282	445			0.935	불
유채기름	163	446			0.915	불
돼지기름	184	343			< 1	불

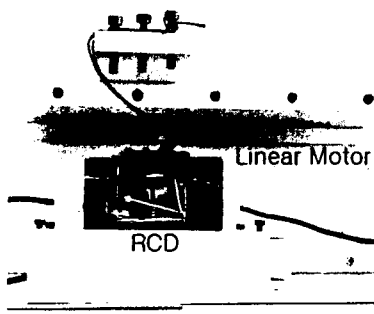
〈표 2〉 가연성 혼합기체의 최소착화에너지(MIE)

증기 · 가스명	MIE[mJ]	증기 · 가스명	MIE[mJ]
메 탄	0.47	메틸 · 에틸 · 케톤	0.68
에 탄	0.286	아 세 톤	1.15
프 로 판	0.305	초산메틸	0.40
아세틸렌	0.02	초산에틸	1.42
에 틸 렌	0.096	초산비닐	0.70
프로필렌	0.282	벤 젠	0.55
메 탄 을	0.215	산화에틸렌	0.087

2.3 실험장치 구성 및 방법

<그림 3>은 유류 등의 가연성 물질에 노출된 조건에서 스위칭에 의해 화재로 진전되는 과정을 실험하기 위한 장치이다. 실험장치는 리니어모터를 이용하였으며, 실험에 사용된 차단기는 정격전압 220[V], 정격전류 30[A], 정격감도전류 30[mA], 단상 2선식의 누전차단기를 사용하였다. 실험시 전원으로서는 단상 220[V] 60[Hz]의 전원을 사용하였으며, 부하로는 50[Ω]의 저항 부하 4개를 직렬로 연결하였다. 스위치의 On-Off 속도는 KS C 4613과 KS C 8321을 참고하여 분당 6회로 설정하였으며, 주변 환경은 온도 18±3 [°C], 습도는 40±5[%]의 분위기에서 실험하였다. 가연성 물질에 노출된 조건을 모의하기 위하여 누전차단기 내부를 절개한 후 내부에 에탄올을 분무한 후, 스위치 On-Off시 화재 및 폭발특성을 실험, 분석하였다. 또한 이때

의 특성을 가연성 물질이 탈지면인 경우와 비교하였다.

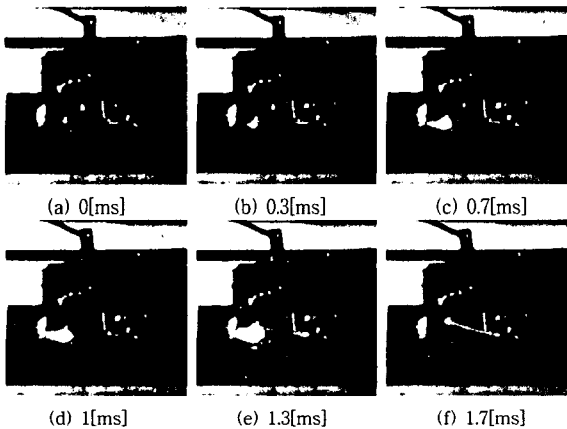


<그림 3> 스위칭 아크에 의한 화재위험성 실험장치 구성도

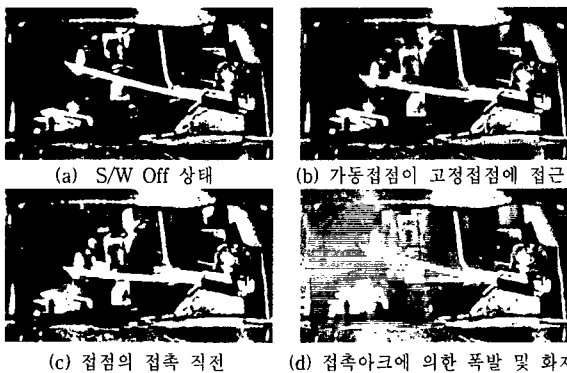
2.4 실험결과 및 고찰

일반적으로 차단기의 아크는 스위치를 Off할 때 스위치 On할 때 보다 아크의 비산범위 및 지속시간이 길어서 가연성 물질을 착화시키기 쉽다. 그러나 스위치 On할 때의 경우도 주변여건에 따라 폭발 및 착화로 이어질 수 있다.

<그림 4>와 <그림 5>는 누전차단기 접점주변에 분무기로 가연성 물질(에탄올)을 분사한 후 스위치를 Off에서 스위치 On시 아크발생 과정을 고속카메라와 일반카메라로 촬영한 사진이다. 스위치 Off상태에서 스위치 On하였을 때, 두 접점이 접촉하면서 작은 폭발음과 함께 가연성 물질이 착화되었다(<그림 4>(b)~(e), <그림 5>(c)~(d)). 또한, 누전차단기는 이때의 전류에 의해 트립되었다(<그림 4>(f), <그림 5>(d)).

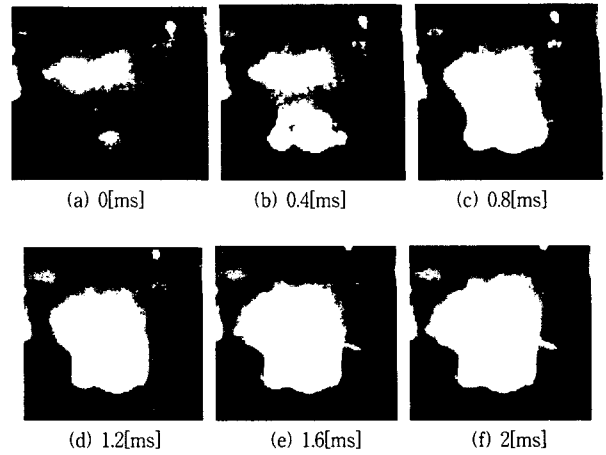


<그림 4> 스위치 Off→On시 아크특성(에탄올 분무 후, 고속카메라촬영)



<그림 5> 스위치 Off→On시 아크특성(에탄올 분무 후, 일반카메라촬영)

<그림 6>은 염수에 의해 열화된 누전차단기의 스위치 Off시 주변에 인접가연물(탈지면)이 있을 경우 아크와 착화특성을 고속카메라로 촬영한 것이다. 정상누전차단기는 스위치 On에서 Off후 또는, Off에서 On후 착화에너지를 감소로 탈지면에 착화되지 못하였으나, 열화된 누전차단기는 On에서 Off시킨 경우 <그림 6>에 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.



<그림 6> 스위치 On→Off시 아크특성(접점열화, 탈지면)

3. 결 론

저압용 차단기의 스위치 On-Off시 아크발생 메커니즘 분석과 가연성 물질의 아크에 의한 화재특성을 분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 전류가 흐르고 있는 두 접점이 떨어지려고 할 때, 전류는 극히 좁은 영역에만 집중해서 흐르게 되어, 전류밀도는 국부적으로 접점을 용융시키기에 충분한 에너지를 가지며, 이 에너지에 의하여 접점 사이에 용융 가교가 생기게 되어, 접점 간에 파열이 생기고 아크가 형성된다.
- (2) 두 접점이 붙을 때, 접점이 접촉을 시작한 후 탄성에 의해 떨어질 때 국부적으로 접점을 용융시킨 후, 이 열에 의해 접점간 파열과 함께 아크가 형성된다. 따라서, 스위치 Off에서 On시 아크를 최소화 하기 위해서는 접촉을 시작한 후 접점간 탄성을 줄여야 한다.
- (3) 누전차단기의 접점이 에탄올에 노출되었을 경우 누전차단기의 화재특성을 분석한 결과, 스위치 Off에서 On하였을 때와 On에서 Off하였을 때 모두 착화하였으며, 특히 스위치 Off에서 On하였을 때 누전차단기는 트립되었다. 가연성 액체의 취급시 인화점이 낮은 물질은 주의가 필요하며, 환기가 불충분한 장소에서 사용하면 화재 등의 위험성이 있으므로 창문 등을 모두 개방하거나 환풍기를 사용하는 등 환기를 철저히 하여야 한다.
- (4) 누전차단기의 접점이 탈지면에 노출되었을 경우 누전차단기의 화재특성을 분석한 결과, 스위치를 Off에서 On하였을 때와 On에서 Off하였을 때 모두 착화하지 않았으며, 접점이 염수에 의해 열화 된 경우 스위치를 On에서 Off하였을 경우만 착화되었다. 이는 저압용 차단기 접점이 수분이나 먼지가 많이 쌓인 곳에 노출되었을 경우 열화가 가속되어 스위칭 아크로 인해 화재로 확산될 가능성이 있음을 나타내고 있다.
- (5) 저압용 차단기 및 스위치 On-Off시 발생하는 아크는 고온이지만 수 [ms] 이내의 극히 짧은 시간동안 지속되기 때문에 착화되기 어려우나 가연물 중 인화점이 상대적으로 높은 물질도 접점이 수분, 분진, 염수 등에 의해 열화된 경우에 있어서는 착화가능성이 높아지게 된다. 따라서 아크의 지속시간 저감대책과 더불어 접점의 열화방지도 스위칭 아크에 의한 화재발생을 줄일 수 있는 중요한 요소로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부 전력산업기반기금의 지원으로 수행되었습니다.

[참 고 문 헌]

- [1] 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
- [2] H. Nakano, "Consideration of Fire Cause from Electrical Wiring", Jap an Association for Fire Sci. & Eng., Vol.46, No.2, pp1-5, 1996
- [3] 김향곤외 6, "옥내용 텀블러 스위치의 화재 메커니즘 해석", 한국법과학회 춘계학술대회논문집, pp. 322~328, 2005
- [4] IEC 60943, "Guidance concerning the permissible temperature rise for parts of electrical equipment, in particular for terminals", 2nd edition, 1998
- [5] Jemaa et al., "Erosion and Contact Resistance Performance of Materials for Sliding Contacts Under Arcing", IEEE Trans. Comp. Packg., Manufact. Technol., Vol. 24, No. 3, pp. 353-357, Sep. 2001
- [6] 인천광역시소방본부, "화재원인조사기법", pp. 321-325, 2003
- [7] 김만우, "화재조사", 신광문화사, pp. 179-201, 2004
- [8] John D. DeHaan, "Kirk's Fire Investigation", fifth edition, Prentice-Hall, pp. 412-418, 2002
- [9] 東京消防廳火災調査研究會, "火災調査技術教本", 東京防災指導協會, pp.34-36, 1987