

UL 1699의 탄화경로 시험방법에 의한 AFCI 성능시험

김종민, 방선배, 김오환
한국전기안전공사 전기안전연구원

Tests of AFCI Using Carbonized Path Arc Test of UL 1699

Chong-Min Kim, Sun-Bae Bang, Oh-hwan, Kim
Electrical Safety Research Institute KESCO

Abstract - UL 1699 규정에서 제시된 다양한 시험방법을 분류하고, 시험방법 중의 하나인 carbonized path arc clearing time test의 시험설비를 구축하였으며, 시험방법 및 절차에 대해 소개하였다. 또한 국내에서 개발되어진 cord 타입 AFCI를 대상으로 시험을 실시하였으며 시험결과 국내에서 개발되어진 cord 타입의 AFCI는 부하전류 3[A]에서도 아크고장을 검출하며 모든 시험전류에서 적합하게 아크를 차단하는 것을 알 수 있었다.

1. 서 론

1976년 국내 KS 4613에 누전차단기 시설 기준이 제정되어 감전사고 예방에는 많은 효과를 얻었지만 전기화재 예방 효과는 이에 부족하여 최근까지 전기화재는 많이 발생하고 있다. 전기화재는 전기에 의한 발열체가 발화원이 되어 발생하는 화재를 말하며, 그 원인 중에는 단락, 지락, 접촉불량 등과 같은 전기사고와 동반하는 아크가 대부분을 차지한다. 이러한 이유로 전기화재를 예방하기 위한 노력이 많은 분야에서 진행되고 있으며 그 중에서는 아크와 관련된 연구들이 최근 들어 활발히 진행되고 있다. 미국에서는 1994년 미국의 주요예방기관인 NFPA(National Fire Protection Association), CPSC(Consumer Protection Safety Commission), UL(Underwriters Laboratories) 등을 주축으로 전기화재의 원인을 규명하기 위하여 합동 조사 연구를 수행한 결과 주택의 전기화재는 40% 이상이 아크고장(arc-fault)으로 인하여 발생한다고 보고되고 있다. 이에 따라 미국에서는 2002년부터는 주택의 침실 부하기기 전원회로에 아크로 인한 전기화재를 방지하기 위해 아크차단기(AFCI : arc fault circuit interrupter) 설치를 규정하였고, 2008년부터는 주택의 침실, 거실, 서재, 현관 등 대부분의 전기회로에 아크차단기를 설치하도록 규정을 강화하였다.[1][2][3] 현재 세계적으로 인정된 AFCI 시험규격은 UL 1699이다. UL 1699는 1992년 2월에 출간되어졌으며 지금도 계속해서 시험방법 및 절차 등이 전기설비의 계속적인 변화로 인한 추가적인 아크 발생 모델을 적용하기 위해 수정·보완되어지고 있다. 국내에서도 AFCI 필요성이 제기되고 있으며 아크관련 아크차단기, 아크경보기, 아크검출장치 등 전기화재를 예방하기 위한 안전장치 개발과 관련하여 많은 연구들이 활발히 진행되어지고 있다. 그 결과 국내 중소기업에서도 cord type AFCI가 개발되어져 UL 규격의 승인을 받은 제품이 출시되어져 있다. 이처럼 국내에서도 아크관련 기술에 많은 관심이 집중되고 있으나 국내환경에 적합한 아크관련 시험방법 및 아크 기준치가 마련되지 않아 혼란스러운 상황이다.

따라서 전기안전연구원에서는 전력산업연구개발 사업의 통해 “안전검사를 위한 아크 모의발생장치 및 표준화 지침 개발 연구”를 수행하고 있으며 전기화재 예방장치(아크차단기, 아크경보기 등)의 성능평가를 위한 아크모의발생장치 및 계측시스템을 구축하고 있다. 본 논문은 이와 같은 사업의 일환으로 UL 1699의 시험방법을 분류하고 국내 중소기업에서 제작되어진 cord AFCI를 이용하여 UL 1699에서 제시하고 있는 carbonized path arc clearing time test를 하고자 한다.

2. 본 론

2.1 UL 1699

UL 1699에서는 AFCI의 적용장소 및 쓰임에 따라 Branch/feeder AFCI, Combination AFCI, Outlet circuit AFCI, Potable AFCI, Cord AFCI로 분류하여 각기 다른 시험방법을 제시하고 있다. Branch/feeder AFCI는 분기회로 배선, 지선배선에 대한 보호를 위하여 분전반 같은 분기회로 또는 지선의 맨 앞단에 설치된다. Combination AFCI는 Outlet circuit AFCI와 Branch/feeder AFCI의 기능을 함께 가지고 있는 AFCI로 시험방법도 제일 많다. Outlet circuit AFCI는 분기회로의 첫 번째 콘센트에 설치되어 부하방향의 분기회로 배선, cord set 및 power cord를 보호하기 위한 목적을 가지고 설치된다. Portable AFCI는 콘센트에 연결할 수 있는 플러그인 장치로서 하나 이상의 콘센트를 제공한다. Cord AFCI는 콘센트에 연결할 수 있는 플러그인 장치로서 하나의 콘센

트만 제공한다. AFCI의 성능시험은 인위적으로 아크를 발생시키고 아크고장을 검출하는 Arc fault detection test가 있으며 일상적인 부하의 동작시 발생하는 유사아크에 AFCI가 동작되지 말아야 하는 Unwanted test가 있다. 그리고 아크와 일상적인 부하의 동작시 발생하는 유사아크가 동시에 발생되었을 경우 아크고장을 검출하는지에 대한 성능시험인 Operation inhibition test로 이루어져 있다.[4]

2.1.1 Arc fault detection test

Arc fault detection test는 시험방법에 따라 (1)carbonized path arc ignition test (2)carbonized path arc interruption test (3) carbonized path arc clearing time test (4) point contact arc test로 분류되어 있다.

(1)carbonized path arc ignition test는 NM-B 케이블을 이용하여 하나의 전선을 절단한 후 절단된 부분에 탄화경로를 인위적으로 만들어 탄화경로에서 발생하는 직렬아크에 의해 AFCI가 동작되는 여부를 시험하는 시험이며 (2)carbonized path arc interruption test는 NM-B 케이블과 SPT-2 전선을 이용하여 시험전선을 완전히 절단한 후 절단된 부분에 탄화경로를 인위적으로 만들어 탄화경로에 의해 발생하는 병렬아크에 대해 AFCI가 동작되는 여부를 판단하는 시험이다. (3)carbonized path arc clearing time test는 SPT-2전선을 이용하여 탄화경로를 만든 후 규정된 시간안에 AFCI가 아크를 차단하는지에 대한 성능시험이다. (4) point contact arc test는 물리적으로 병렬아크를 발생시켜 발생한 아크에 대해 AFCI가 아크를 차단하는가에 대한 시험이다.

2.1.2 Unwanted test

Unwanted test는 전동기 등에서 기동시 발생하는 inrush current에 의한 시험, 일상적인 부하환경에서 발생될 수 있는 normal operation arcing 시험, SMPS 등을 사용함으로 발생하는 비정현파에 대한 non-sinusoidal wave form 시험, 인접회로에서 발생하는 병렬아크에 의한 cross talk 시험, 다중부하에 의해 동시에 발생하는 유사아크에 의한 multiple loads 시험, 램프의 끊어질 때 발생하는 유사아크에 의한 lamp burnout 시험으로 구성되어져 있다.

2.1.3 Operation inhibition test

Operation inhibition test는 AFCI가 유사아크와 아크가 동시에 발생되는 환경에서 AFCI가 제대로 동작되는 여부를 판정하는 masking load에 의한 시험 및 AFCI 앞단에 EMI 필터와 Line impedance에 의해 AFCI의 동작이 방해되었을 경우라도 AFCI가 제대로 동작되는가에 대한 시험으로 구성되어져 있다.

2.2 Carbonized path arc clearing time test

2.2.1 시험환경 및 방법

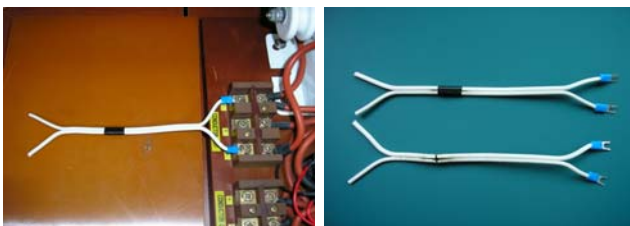
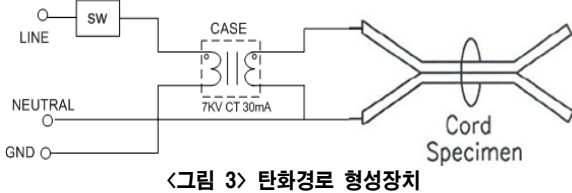
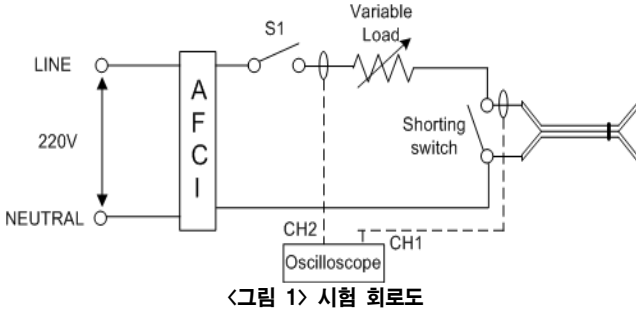
Carbonized path arc clearing time test는 탄화경로에 의해 아크가 발생되었을 경우 AFCI가 규정된 시간안에 아크고장을 차단하는가에 대한 시험방법이다. UL 1699에서는 AFCI 정격에 따라 표 1과 같이 차단시간을 규정하고 있다.

<표 1> Arc test clearing times

Test current	15A AFCI	20A AFCI	30A AFCI
5	1 s	1 s	1 s
10	0.4 s	0.4 s	0.4 s
Rated current	0.28 s	0.20 s	0.14 s
150% Rated current	0.16 s ^a 0.19 s ^b	0.11 s ^a 0.14 s ^b	0.1 s

Carbonized path arc clearing time test는 combination AFCI, outlet

circuit AFCI, portable AFCI, Cord AFCI만 시험을 실시하도록 되어 있으며 시험회로는 그림 1과 같이 구성하였다. variable load는 순수한 저항부하를 이용하여 시험전류를 제한 할 수 있게 되어 있다. 시험전선인 SPT-2(16 AWG)(1.3mm)를 그림 2와 같은 만들고 시험전선의 벌어진 한쪽 끝의 2인치 되는 지점에 시험전선의 도체까지 절연피복을 자른 후에 잘린 지점을 PVC테이프로 2번 감고 광테이프로 2번을 감아 둔다. 그리고 최소 7[kV] 전압으로 시험전선에 10초 또는 연기가 멈출때까지 인가하여 잘린 부분에 탄화경로가 형성될 수 있도록 한다. 그림 3은 잘린 부분에 탄화경로가 형성될 수 있도록 만든 시험장치이며 그림 4는 탄화경로 형성장치를 통해 만들어진 시험전선 샘플이다. UL 1699에서 시험전선의 탄화경로 형성은 100W 백열전구에 0.3[A]의 전류가 흐르면 형성된 것으로 규정되어 있다. 먼저 S1 switch와 shorting switch를 on시킨 상태에서 시험전류를 variable load를 통해 조정하고 S1 switch를 off시킨 후 표 1과 같은 조건에서 AFCI가 시간내에 트립되는지의 여부를 판정하도록 되어 있다. 시험은 3회 반복하여 실시하도록 규정되어져 있다.



2.2.2 시험결과

국내에서 개발되어진 cord AFCI, 15[A]를 대상으로 carbonized path arc clearing time test를 실시하였다. 측정은 오실로스코프 TDS 7104를 이용하여 측정하였다. CH1은 그림 1처럼 탄화경로로 흐르는 전류를 측정하였고, CH2는 부하전류를 측정하였다. UL 1699에서는 부하전류 5[A]이상에서 발생하는 아크고장시 아크고장을 검출하여 차단하도록 규정되어 있으며 시험전류의 크기에 따라 차단시간이 표 1과 같이 규정되어 있다.

시험결과 시험전류 1[A]와 2[A]에는 그림 5의 (a), (b)처럼 아크고장이 발생되어도 AFCI는 동작되지 않아 아크고장이 지속되고 있는 것을 알 수 있었다. 그림 5의 (c)는 UL 1699의 규정된 시험전류보다 작은 시험전류인 3[A]에도 AFCI가 아크고장을 검출하여 2주기(0.03초)만에 동작되어 아크고장을 차단하는 것을 볼 수 있다. 그림 5의 (d)는 시험전류 5.3[A]에서 한주기만(0.025초)만에 AFCI가 동작되어 아크고장을 차단하였으며, 그림 5의 (e)는 시험전류 6.8[A]에서도 한주기만(0.025초)만에 AFCI가 동작되어 아크고장을 차단하는 것을 알 수 있었다. 그림 5의 (f)는 시험전류 8.4[A]에서 한주기(0.017초)만에 아크고장을 검출하여 AFCI가 동작되는 파형이다. 시험용 cord AFCI는 아크발생시 모든 시

험전류에 따라 적합하게 아크를 차단하는 것을 알 수 있었다.

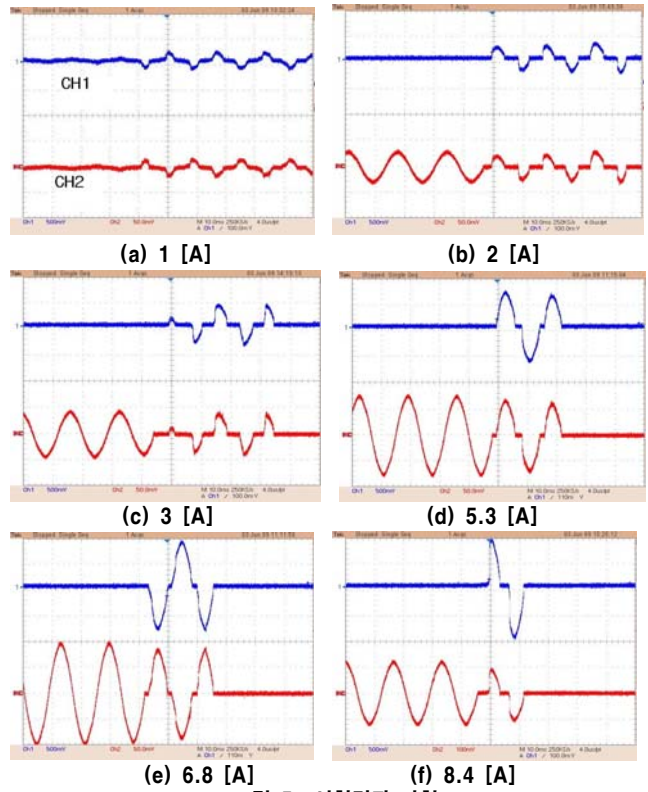
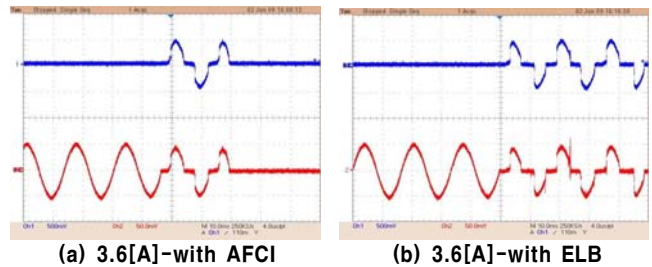


그림 6은 AFCI와 누전차단기의 비교시험 결과이다. 부하전류 3.6[A]인 경우 AFCI는 한주기 반(0.025초)만에 아크고장을 차단하는 것을 볼 수 있었으나 누전차단기가 설치되어 있는 시험에서는 그림 6의 (b)처럼 아크고장이 지속되어도 누전차단기는 아크고장을 차단하지 못해 지속적으로 아크고장이 발생되었으며 이로 인해 시험전선이 발화되었다.



3. 결 론

본 연구에서는 UL 1699 규정에서 제시된 다양한 시험방법을 분류하고, 시험방법 중의 하나인 carbonized path arc clearing time test의 시험설비를 구축하였으며, 시험방법 및 절차에 대해 소개하였다. 또한 누전차단기와 AFCI의 비교실험을 통해 누전차단기는 아크고장을 검출하지 못하여 시험전선이 발화되는 것을 확인하였다. 그리고 국내에서 개발되어진 cord 타입 AFCI를 대상으로 시험을 실시하였으며, 시험결과 국내에서 개발되어진 cord 타입의 AFCI는 부하전류 3[A]에서도 아크고장을 검출하는 것으로 시험되어졌으며, 모든 시험전류에서 적합하게 아크를 차단하는 것을 알 수 있었다.

[참 고 문 헌]

- [1] 방선배, "이산 웨이블렛 변환의 근사계수를 이용한 직렬아크고장 전류 분석방법", 강원대학교 대학원 전기공학과, 2009년
- [2] 반기중, "아크 전류 차단을 위한 제어기 설계", 전자공회 논문지 Vol. 40, No 1, 2003년
- [3] hetko. com, "아크화재차단기(AFCI)의 필요성", 2009
- [4] UL 1699