

아크차단기(Arc-Fault Circuit Interrupter)의 시험규격 및 적용

안상필*, 문식
한국전기연구원

김철환
성균관대학교

Application of Test Standard for Arc-Fault Circuit Interrupter

Sang-Pil, AHN*, Sik MOON
Korea Electrotechnology Research Institute

Chul-Hwan, KIM
Sungkyunkwan University

Abstract - 아크차단기(Arc-Fault Circuit Interrupter: AFCI)는 주택의 배선회로에서 아크가 발생하였을 경우 위험한 아크를 검출하여 차단하는 기능을 지니고 있다. 미국에서는 1993년부터 AFCI를 개발하기 시작하여 1997년 후반에 최초의 상업용 AFCI 제품을 출시하였다. 또한 UL(Underwriters Laboratories Inc.)에서는 1999년 2월에 AFCI에 대한 최초의 제품규격인 UL1699를 출간하였다[1-5].

본 논문에서는 AFCI에 대한 유일한 시험규격인 UL1699를 정리해 보고, 특히 AFCI의 고유기능인 아크검출기능을 시험할 수 있는 시험항목과 AFCI의 분류별 시험항목을 분석하였다.

1. 서 론

아크차단기(Arc-Fault Circuit Interrupter: AFCI)는 주택의 배선회로에서 아크가 발생하였을 경우 위험한 아크를 검출하여 차단하는 기능을 지니고 있다. 이러한 탁월한 기능으로 인하여 미국에서는 2002년부터 신규 주택의 침실에는 의무적으로 AFCI를 설치하는 조항이 미국 NEC(National Electrical Code -미국전기설비 기준)에 법제화되었다[1,2].

현재 세계적으로 인정된 AFCI 시험규격은 UL1699이다. 미국에서는 1993년부터 AFCI에 대한 프로토타입이 개발되었으며, UL(Underwriters Laboratories Inc.)에서는 AFCI에 대한 아크검출 성능을 평가하기 위한 시험항목 검토를 시작하였다. 몇 년의 실증 현장시험과 부분적인 설계변경으로 1997년 후반에 최초의 상업용 AFCI 제품이 출시되었으며, 1999년 2월에 AFCI에 대한 시험규격인 UL1699가 출간되었다[3-5].

AFCI는 국내에도 적용할 필요성이 제기되고 있으나, AFCI 제품개발 및 적용이 현실적으로 미비한 상태여서 검토가 많이 필요한 실정이다. 따라서 본 논문에서는 아직까지 국내에 적용이 안되고 있는 AFCI의 시험규격에 대해 정리를 하고, 아크검출 성능에 관련된 시험항목을 분석하였다. 특히 AFCI의 제품 분류에 따라 적용할 수 있는 시험항목을 구분하여 향후 AFCI 제품을 개발하는 업체의 설계 및 기술개발에 도움이 되고자 한다.

2. 아크 분류

아크란 절연체 사이의 전기적인 방전으로서 이 때 두 절연체 사이에는 수천 도(℃)에 가까운 주열이 발생하게 된다. 일반적으로 아크는 다음과 같이 두가지로 분류될 수 있다.

① 비접촉성 아크(non-contact arc)는 아크가 발생하는 도체사이에서 직접적으로 물리적인 접촉에 상관없이 발생한다. 절연되어 있는 도체사이에서 발생하는 아크는 도체의 종류, 기하학적 위치, 절연물 등에 의해 영향을 받는다.

② 접촉성 아크(contact arc)는 아크가 발생하는

도체사이나 전극사이의 직·간접적인 물리적 접촉에 의해 발생한다. 이러한 아크는 보통 차단기를 개로하거나 폐로할 때 발생하는 아크를 말한다.

또한 아크발생 환경에 따라서 ① 직렬아크(serial arc)와 ② 병렬아크(parallel arc) 두가지로 분류할 수 있다. 직렬아크는 부하에 직렬로 연결된 선로가 끊어지면서 발생한다. 예를 들어 가전제품의 전기코드를 과도하게 구부리면 그 부분에서 도체가 끊어지면서 직렬아크가 발생할 수 있다. 따라서 직렬아크는 가전제품에 연결되어 흐르는 부하전류 크기 정도로 전류가 제한된다.

병렬아크는 서로 반대극성의 두개 도체사이에서 방전이 발생할 때 발생하는 아크이다. 예를 들면 검정색 도체와 흰 도체사이 또는 선로도체와 접지도체사이를 뜻한다. 병렬아크는 회로의 고장전류로 인하여 비교적 높은 전류를 발생시키게 된다. 병렬아크에서 선로도체와 접지도체 또는 접지와 방전되어 발생하는 아크를 접지아크(ground arc)라고도 한다. 이러한 아크는 일반적으로 햇빛, 뜨거운 공기, 난방기구 등에 장기간 노출되거나 과부하에 의한 지속적인 열화 등에 의한 절연의 자연적인 노화로 인한 절연 파괴 등의 다양한 원인으로 인해 전선의 절연이 탄화되어(carbonized) 발생하게 된다.

3. AFCI 제품 분류

현재 AFCI(Arc-Fault Circuit Interrupter)에 대해서는 UL1699에 따르면 6가지의 다른 제품 카테고리 가 있다. 이 각각의 장치는 각각 다른 적용방법 및 다른 관점의 분기회로와 확장 배선의 보호방식을 가지고 있다. 그림 1은 주택의 침실에 설치될 수 있는 전형적인 분기회로를 나타내고 있다.

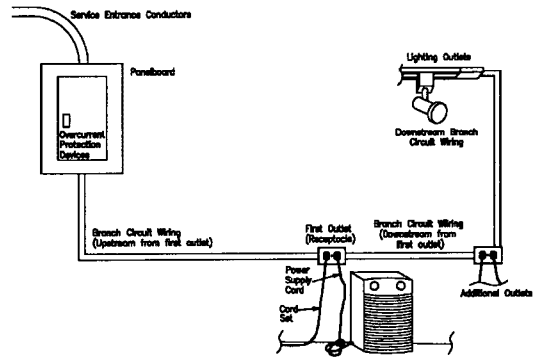


그림 1. 전형적인 분기회로

UL1699에서 AFCI의 최상위 카테고리(main category)의 CCN(Category Control Number)는 AVYI이고 이 분류에 대한 정의는 AFCI의 중요한 기능을 잘 나타내고 있다. 하위 카테고리는 다음과 같이 6가지의 카테고리로 나눌 수 있다.

표 1. UL1699의 아크검출시험항목

UL1699 아크사고시험		Branch/ Feeder	Combi- nation	Outlet circuit	Outlet branch circuit	Portable, Cord
56.2 Carbonized Path Arc Ignition Test (탄화경로 아크인화 시험)	NM-B	X	X		X'	
	NM-B w/o GND				X'	
56.3 Carbonized Path Arc Interruption Test (탄화경로 아크차단 시험)	SPT-2	X	X		X	
	NM-B	X	X		X	
56.4 Carbonized Path Arc Clearing Time Test (탄화경로 아크제거시간 시험)	SPT-2		X	X	X	X
	NM-B				X'	
56.5 Point Contact Arcing Test (포인트 접촉아크 시험)	SPT-2	X	X	X	X	X
	NM-B	X	X		X	

주) X: 시험은 규정된 코드와 케이블의 견본으로 실시되어야 함
 X': 아크시험은 선로전원측(upstream) 배선에 대해서도 추가 실시할 것

(1) Branch/Feeder(분기/지선) AFCI - AVZQ¹⁾

이 장치는 바람직하지 않은 아크의 영향에 대해서 분기회로 배선, 지선 배선, 또는 둘 다에 대한 보호를 위하여 분전반(panelboard) 같은 분기회로 또는 지선의 맨 앞단(origin)에 설치된다. 이 장치는 또한 분기회로의 확장 배선에 대해 제한적인 보호방식을 제공한다.(예를 들면 cord sets 및 power supply cords) 이것은 회로차단기 형태의 장치이거나 또는 분전반 근처 또는 안에 탑재된 자신의 엔클로저 안에 있는 장치이다.

(2) Outlet Circuit(콘센트 회로) AFCI - AWCG

이 장치는 바람직하지 않은 아크의 영향에 대해서 콘센트에 연결되어 있는 cord sets 및 power supply cords에 대한 보호를 위하여 콘센트 박스(outlet box) 같은 분기회로 콘센트에 설치된다. 이 장치는 콘센트(리셉터클)의 부하방향(downstream)에 연결된 cord sets 및 power supply cords의 지선을 통한(feed-through) 보호를 제공한다.

(3) Combination(조합) AFCI - AWAH

이 장치는 Branch/Feeder AFCI와 Outlet Circuit AFCI 양쪽의 요구사항을 모두 만족하는 AFCI를 가리킨다. 이 장치는 부하방향의 분기회로 배선, cord sets 및 power supply cords를 보호하기 위한 목적이다.

(4) Outlet Branch Circuit(조합분기회로) AFCI - AWBZ

이 장치는 분기회로의 첫 번째 콘센트로서 설치된다. 이 장치는 바람직하지 않은 아크의 영향에 대해서 부하방향의 분기회로 배선, cord sets 및 power supply cords를 보호하기 위한 목적을 가지고 있으며, 추가적으로 선로전원방향(upstream) 분기회로 배선에 대한 보호를 제공한다.

(5) Portable(휴대형) AFCI - AWDO

이 장치는 콘센트(receptacle 또는 outlet)에 연결할 수 있는 플러그-인 장치로서 하나 이상의 콘센트에도 제공한다. 이 장치는 바람직하지 않은 아크의 영향에 대해서 연결된 cord sets 및 power supply cords를 보호하기 위한 목적이다.

(6) Cord(코드형) AFCI AFI - AWAY

이 장치는 receptacle outlet에 연결할 수 있는 플러그-인 장치로서, 바람직하지 않은 아크의 영향에 대해서 콘센트에 연결된 power supply cords를 보호하기 위한 목적이다. 이 장치에는 부가적인(추가적인) 콘센트가 없다.

4. UL 1699 개요

4.1 전체 시험항목

UL1699의 첫 판은 1999년 2. 26일이고, 현재 개정판은 2000년 12월 1일 날짜로 되어 있다. 전체 규격의 내용은 크게 「①서론, ②구조, ③성능, ④정격, ⑤마킹」으로 구성되어 있다. ①서론에는 적용범위, 용어정의 및 참고문헌이 있으며, ②구조에는 각 제품 카테고리별로 제조시 중요한 치수 및 중량들이 기록되어 있다. ③성능에서 구체적인 시험항목 및 기준이 나열이 되는 데 본 논문에서 모든 항목을 열거하기는 어렵지만 크게 분류하면 재료 및 내환경시험, 아크검출시험, 절연시험, 전자기적합성(EMC)시험, 그 외 내구성 및 단락시험 등이 있으며 회로차단기임에도 분진시험(Dust test)항목이 포함되어 있음이 눈여겨 볼만하다. ④정격과 ⑤마킹에는 제품의 정격 및 제품정보에 대한 표시사항이 규정되어 있다.

4.2 아크검출 시험항목

AFCI를 평가하기 위해 사용되는 기본 규격은 UL1699이다. 이 장치의 성능요건은 이 규격의 56항에 규정된 네가지 다른 형태의 아크사고검출시험을 포함한다. 표 1은 이 시험들을 나타내고 있고, 다양한 형태의 AFCI가 회로의 다양한 범위를 보호하는 정도 및 범위에 따라 이러한 시험에 어떻게 적용되는지를 설명해 주고 있다.

탄화경로시험(Carbonized Path test)은 모두 비접촉아크시험으로 2절에서 분류한 기준으로는 직렬아크에 해당이 된다. 탄화에 의한 아크는 5A~30A의 범위에서 지속적으로 선로의 배선에 탄화(열화)현상을 일으켜 표시나지 않게 발전하기 때문에 수명을 단축시키고 발화로 이어질 수 있다. 따라서 직접적인 물리적 접촉에 의한

1) Category Control Number(CCN)

접촉아크보다도 그 위험성이 더 많고 발생률이 더 높을 것으로 판단되고 있다. 그러한 이유 때문에 UL1699에 도 물리적 외부영향에 의한 병렬아크를 시험하는 포인트 접촉아크(Point Contact Arc)시험 보다 탄화경로시험에 의한 아크시험을 더 많이 요구하고 있는 실정이며 시험규격 또한 더 복잡하다.

56.2항 Carbonized Path Arc Ignition Test (탄화경로 아크인화 시험)

이 시험은 절연체와 도체를 직렬로 자른 NM-B 케이블을 가지고 수행되는 비접촉(non-contact) 아크시험이다. 시험은 5A, 10A, 정격전류, 정격전류의 150%의 아크전류로 수행이 된다. 합격기준은 cotton fire indicator의 인화 전에 부하로부터 회로를 차단해야 한다.

56.3항 Carbonized Path Arc Interruption Test (탄화경로 아크차단 시험)

이 시험은 NM-B 케이블과 병렬로 절연체를 자른 SPT-2 flexible cord를 가지고 수행되는 비접촉(non-contact) 아크시험이다. 시험은 75A, 100A의 아크전류로 수행이 된다. 합격기준은 0.5초 주기 안에 8과 1/2 사이클의 아크가 발생하면 아크사고를 제거하여야 한다.

56.4항 Carbonized Path Arc Clearing Time Test (탄화경로 아크제거시간 시험)

이 시험은 SPT-2 flexible cord와 NM-B 케이블을 가지고 수행되는 비접촉(non-contact) 아크시험이다. 시험을 위하여 병렬로 절연체를 자른다. 그러나 시험전류는 직렬(부하) 전류값으로 제한한다. 시험은 5A, 10A, 정격전류, 정격전류의 150%의 아크전류로 수행이 된다. 합격기준은 아크사고를 지정된 시간 내에 제거해야 하는데, 그 범위는 5A에서 1초부터 정격전류의 150%에서는 200msec 미만이다.

56.5항 Point Contact Arcing Test (포인트 접촉아크 시험)

이 시험은 NM-B 케이블과 병렬로 절연체를 자른 SPT-2 flexible cord를 가지고 수행되는 접촉(contact) 아크시험이다. 시험은 75A에서부터 500A까지의 아크전류에서 수행된다. 합격기준은 0.5초 주기 안에 8과 1/2 사이클의 아크가 발생하면 아크사고를 제거하여야 한다.

4.3 오동작 시험(Unwanted tripping tests)

이 시험에서 비정상적인 아크(아크사고와 유사한 아크)를 발생시키기 위해서 그러한 장비 또는 부하조건과 함께 시험이 진행되어야 한다. 각 조건에서 여러가지 시험이 필요한 여섯 종류의 부하 조건이 있다.

(1) 부하조건 I - 돌입전류(Inrush current)

초기과도치가 높게 발생할 때 나타나는 현상이다. 텅스텐 필라멘트 램프와 커패시터 모터 기동기의 여러가지 조합이 시험용 부하로 사용된다.

(2) 부하조건 II - 정상동작아크(Operation arc)

정상적으로 발생하는 아크를 말한다. 브러시 모터, 가열가전기구 부하로 열-정적(熱-靜的-thermostatically)으로 제어되는 접점, 램프 부하를 지닌 벽스위치 등이 시험조건이다.

(3) 부하조건 III - 비사인파형 (Non-sinusoidal waveform)

이러한 특별한 부하파형은 전자램프 조광기(dimmer), 전자적 가변 작업장비, 컴퓨터 SMPS(switching mode power supply) 및 형광램프 등으로 구성된다.

(4) 부하조건 IV - 혼선(Cross talk)

몇몇 회로구성에서 인접회로에서 아크가 발생하였을 때 피시품이 동작을 안하는 능력을 확인하기 위한 시험이다.

(5) 부하조건 V - 다중부하(Multiple loads)

이 조건에서는 피시품 정격의 100%까지 분기회로에 부하를 연결하고 비사인파형 시험이 반복한다.

(6) 부하조건 VI - 램프소손(Lamp burnout)

부하상태에서 가혹하게 시험된 피시품을 사용하여 벽스위치와 가변속도 작업장비들을 가지고 다시 시험한다.

4.4 동작억제 시험(Operation inhibition tests)

이 시험은 다른 부하의 연결이나 아크신호를 감소, 숨김, 속이는 회로 조건에서 비정상적인 아크를 구별할 수 있는 지 여부를 평가하기 위한 시험이다.

(1) 마스크시험(Tests for masking)

오동작시험으로부터 선택된 부하가 직렬로 연결이 되고, 부수적인 부하와 아크가 병렬로 연결된다. 피시품은 정확히 아크를 검출하고 회로를 차단하여야 한다.

(2) EMI 필터 시험(EMI filter tests)

피시품은 직렬로 아크를 연결하고 지정된 대량의 필터가 병렬로 연결되어 있을 때도 정확히 아크를 검출하여야 한다.

(3) 선로임피던스 시험(Line impedance tests)

아크신호를 감소시키는 몇몇의 회로구성에서 발생하는 아크도 정확히 검출하여야 한다.

5. 결 론

본 논문에서는 분기회로에서 발생할 수 있는 아크를 발생원인 및 환경에 따라 분류하였다. 또한 AFCI 제품에 대한 카테고리화 정리하였고, 특히 아크검출시험항목에 대한 정의 및 방법을 상세히 소개하였다. 국내에서 AFCI의 개발은 초보단계이지만 대기업들의 참여가 점점 늘어나는 추세이므로 본 논문의 내용은 AFCI를 개발하려는 기업들에 유용한 정보를 제공해줄 수 있다.

추가적으로 AFCI의 주요기능 중 오동작 시험(Unwanted tripping tests)과 동작억제시험(Operation inhibition tests)에 대한 방법도 서술하였다. 왜냐하면 아크검출시험(Arc-fault detection tests)을 포함하여 세가지의 시험이 UL1699의 가장 중요한 성능시험항목이기 때문이다.

[참고 문헌]

- [1] G. Gregory, "A Brief on the Arc-Fault Circuit Interrupter", 1999
- [2] D. Dini, "Arc-Fault Circuit Interrupters", IAEI News, Oct. 2001
- [3] "UL 1699: Arc-Fault Circuit Interrupters", Underwriters Laboratory Inc., Dec. 2000
- [4] "Arc-Fault Circuit Interrupters(AFCIs)-Type and Performance Considerations", Underwriters Laboratory Inc., 2001
- [5] "Arc-Fault Testing and Arc-Fault Scenarios", Underwriters Laboratory Inc., 2002