

주택 전기화재를 예방하는 신기술 아크차단기 (AFCIs, Arc - Fault Circuit Interrupters)(2)

아크사고에 의한 영향을 탐지하고 사고를 완화시키는 기능이 있는 주택 분기회로용 차단기에 대해 기술하고, 전기 배선에서 화재로 인한 손실을 경감하며 주택 전기화재를 예방하기 위한 아크차단기를 소개한다. 또한, 아크차단기에 대한 1999년 미국전기코드(NEC, National Electrical Code)의 요구사항과 아울러 산업체 기준을 검토한 내용을 2회에 걸쳐 게재한다.

4.2 아크차단기에 대한 UL기준

1996년 12월, UL이 참여한 가운데 미국 전기제품 제조자 협회(NEMA, National Electrical Manufacturers Association)의 배선용 차단기에 대한 연구팀이 아크차단기에 대한 기준 초안을 작성하였다. 1997년 가을, 이 기준을 아크차단기에 대한 UL 기준으로 전환하기 위해 UL로 보냈다. UL 1699, 아크차단기에 대한 기준(Standard for Arc-Fault Circuit Breaker)의 초판은 1999년 2월에 발행되었다. 이 기준이 발행되기 전에 아크차단기는 UL 489, 배선용차단기, 배선용스위치 및 차단기 외함에 대한 기준(Standard for Molded-Case Circuit Breakers, Molded-Case Switches, and Circuit-Breaker Enclosures)에 포함되었으며 아크사고에 의한 영향을 완화시키는 것으로 분류되었다.

UL 1699의 초판은 3개 부문으로 나누어져 있으며 이것을 요약하면 다음과 같다.

유효성 시험(Efficacy Test) - 장치는 아크의 특정한 전류값과 조건을 감지하는 탐지기능과 회로를 차단시키는 기능이 있다. 아크의 모의시험에는 다음 2가지 방법이 있다.

- 탄화된 경로법(Carbonized Path Method)은 병렬 도체 사이에 아크가 발생되도록 절연체를 열 분해 시키기 위해 고전압을 이용한다.

- 점접촉 또는 절단법(Point Contact or Guillotine Method)은 날카로운 물체로 병렬 전선을 절단할 때 접촉에 의한 아크를 발생시킨다.

불필요한 트립시험(Unwanted Tripping Test)

- 장치는 불필요한 아크와 유사한 파형을 발생하는 부하에 의한 불필요한 트립을 방지하는 성능이 있어야 한다.
- 돌입 전류(Inrush Current) - 텅스텐 필라멘트 전구와 콘덴서 기동식 전동기와 같은 부하는 초기 기동시 고전류가 필요하다.
- 정상 아크(Normal Operation Arcing) - 일반적으로 위험하지 않은 정상 아크를 발생하는 부하의 예에는 브러시 전동기, 자동온도조절식 전열기구, 벽 스위치, 전원이 투입된 부하의 전원을 차단하는 것이 있다.
- 비정현 파형(Non-sinusoidal Waveform) - 정상 동작 중에 비정현 전류 파형을 발생하는 부하에는 전자식 조광기, 변속 전동공구, 컴퓨터 전원의 투입·개방, 형광등이 있다.
- 간섭 시험(Cross Talk) - 이 시험으로 인접 회로의 아크에 의해서 시험 중인 장치가 트립되지 않은 것을 확인한다.
- 다중 부하(Multiple Load) - 이 시험은 불필요한 트립을 시험하기 위해 비정현파형을 가진 부하의

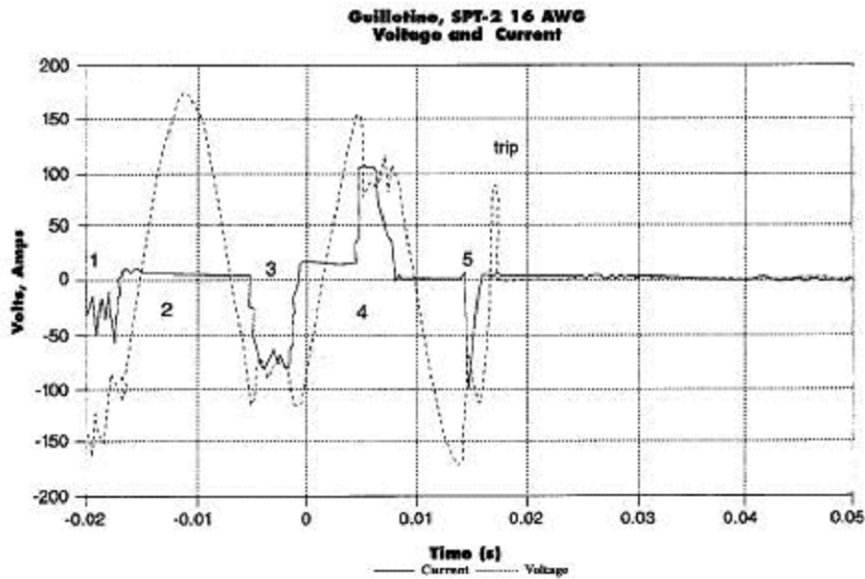


그림 5

다중 결함을 이용한다.

- 전등 단선(Lamp Burnout) - 이 시험은 전등이 단선되었을 때 아크차단기가 불필요하게 트립하지 않는 것을 확인한다.

동작억제 시험(Operation Inhibition Tests) - 장치는 아크 특성을 숨기고, 감쇠시키거나 감출 수 있는 여러 가지 회로와 직렬 또는 병렬로 연결되었을 때 회로를 차단시키고 아크를 탐지할 수 있어야 한다. 3가지 조건은 다음과 같다.

- 아크 감춤(Masking) - 직렬 및 병렬로 연결된 아크가 있는 여러 가지 부하를 이용한다.
- 전자파장애방지 필터(EMI Filter) - 전자파장애방지 필터는 아크를 탐지하는 성능에 영향을 미치는가를 판단하기 위해 분기회로에 설치한다.
- 선 임피던스(Line Impedance) - 특정 주파수에서 에너지를 감쇠시킬 수 있는 선 임피던스에 의해 장치가 트립 되는가를 시험한다.

아크차단기는 UL 1699에 의한 인증을 위해 75가지 이상의 시험을 요구한다. UL 1699에는 UL 943과 유사한 서지보호와 시험에 대한 요구사항도 포함되어 있다.

4.3 미국 소비자제품안전위원회 (CPSC) 시험

미국 소비자제품안전위원회는 1997년 판매용으로 아크차단기를 최초로 생산했을 때 시험을 시작하였다. 처음으로 생산된 아크차단기 샘플은 정격이 120V 단극형 15A 또는 20A 이었다. 시험의 주목적은 정상 부하의 전기신호와 아크사고의 신호를 구별할 수 있는가 및 불필요한 트립이 없는가를 판단하려는 것이다. 미국 소비자제품안전위원회는 아크차단기에 대한 유효성 시험과 불필요한 트립시험을 포함하여 여러 종류의 시험을 실시하였다.

일부 시험은 불필요한 트립(예, 돌입전류시험 또는 과부하시험을 위해 500W 부하가 추가된 상태에서 전력공구를 멈추게 함)을 발생시키는 전기기계기구를 시험하기 위해 기준보다 더 엄격하게 수정되었지만 시험 후 UL 기준안에 요구사항으로 추가되었다. 이러한 시험에 의하여 시험용 파형이 얻어졌고 이를 저장하였다.

그림 5와 그림 6은 미국 소비자제품안전위원회가 수행한 유효성시험에서 기록된 대표적인 “나쁜” 아크의 파형이다. 그림 7~9는 불필요한 트립시험에서 기록된 정상적이거나 “좋은” 아크의 파형이다.

그림 5는 SPT-2 AWG No.16(1.3mm²) 전선을 이

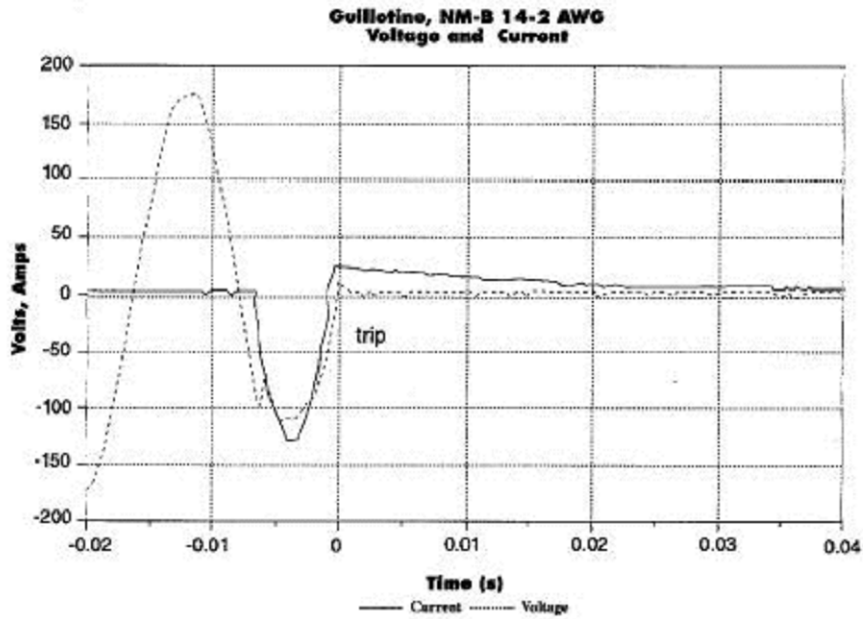


그림 6

용한 절단시험에서 기록된 병렬 아크의 파형이다. 절단기에 의해서 상전선과 중성선을 단락시켰을 때 일부 1/2 사이클 1, 3, 4와 5 동안 고장전류를 이용할 수 있을 정도로 아크가 발생하였다. “나쁜” 아크의 파형은 불연속적이고 1/2 사이클이 연속적일 수 없다. 1/2 사이클 3, 4와 5의 아크는 최고 70A를 초과하였고 아크차단기가 트립되었다.

그림 6은 접지선이 있는 NM-B 14-2 AWG 전선

에 대한 절단기 시험의 결과이다. 이 케이블은 요즘 주택에 시공하는 가장 일반적인 케이블이다. 이 시험에서 아크차단기는 SPT-2 케이블에서 상전선과 중성선의 단락사고 보다 더 빠르게 트립된다는 것이 밝혀졌다. 이것은 아크차단기에 지락사고를 탐지하기

위해서 30mA 지락전류 검출기가 내장되어 있기 때문이다. 절단기는 상전선과 중성선 사이에 있는 접지용

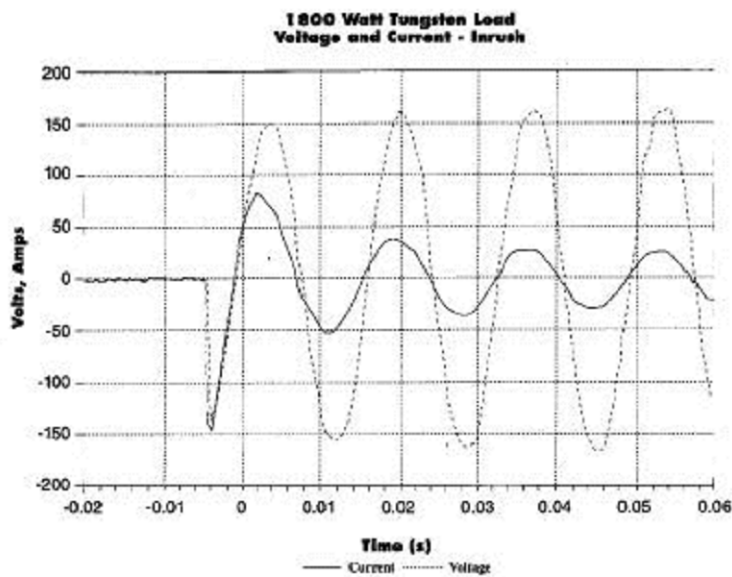


그림 7

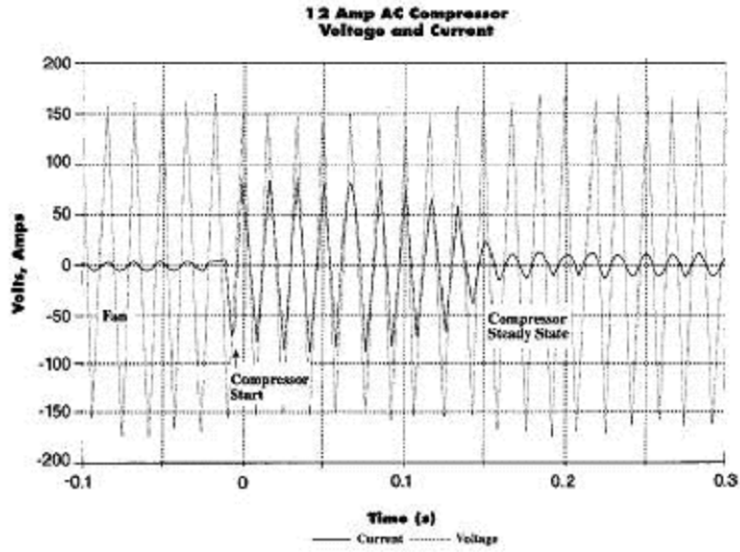


그림 8

나전선에 지락사고를 발생시킨다. 대부분 경우 상전선이나 중성선의 고장은 접지선에서 고장이 발생한 후에 일어난다. 아크차단기는 첫 번째 1/3 사이클 후에 트립되었다. 그림 5와 그림 6에 나타난 위험할 가능성이 있는 전류는 재래식 회로차단기를 트립시키지 않을 것이다.

그림 7은 1800W 텅스텐 필라멘트 전등부하의 돌입전류를 나타낸다. 대표적인 전등의 돌입전류는 정

상상태 전류보다 10-15배 이상 크고, 전류를 최고전압 근처에서 스위칭할 때와 전구가 차가울 때 더 크다. 이러한 경우에 150A 최고전류는 1800W 부하로 측정하였다. 아크차단기는 불필요한 트립이 없었다.

그림 8은 실효전류가 12A 인 공기조화기의 전류 파형이다. 전류는 처음에 송풍기에만 전력이 투입되어서 감소한다. 컴프레서가 동작할 때 전류는 약 0.15초 동안 최고전류 80A로 상승한다. 돌입전류는 정상

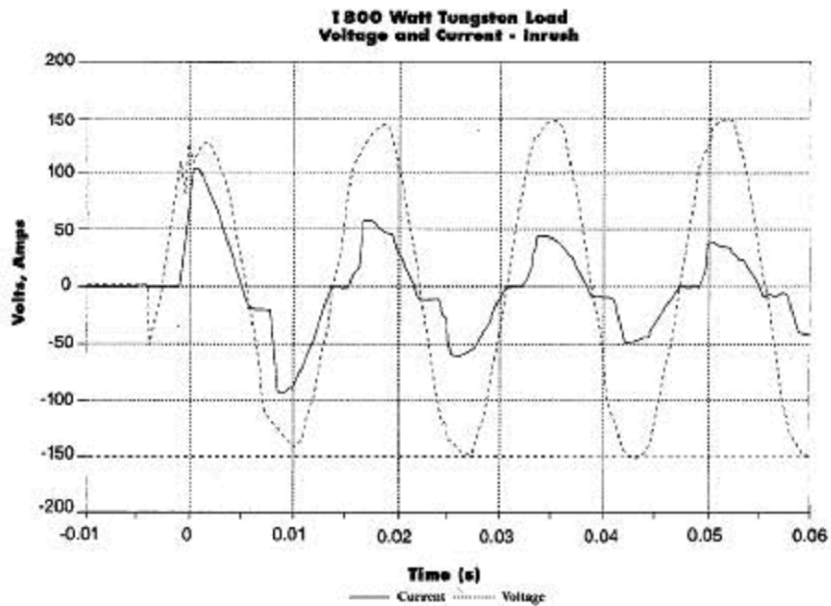


그림 9

상태 전류의 약 5배에 달한다. 아크차단기는 불필요한 트립이 없었다.

그림 9는 트라이악 조광기가 설치된 500W 할로겐 전등 3개에 대한 전류를 나타낸다. 이 전등은 단일 스위치로 제어되었고 3/4 전력으로 설정되었다. 각 전구는 일부 1/2 사이클 동안에 전류를 스위칭하는 트라이악으로 제어되기 때문에 전류 파형은 비정현파이다. 전류의 위상은 조광스위치의 설정값에 따라 지연된다. 초기 최고돌입전류 120A는 전구를 점등시켰을 때 측정되었다. 아크차단기는 불필요한 트립이 없었다.

미국 소비자제품안전위원회는 제조자가 서로 다른 여러 개의 아크차단기에 대하여 4가지 유효성 시험을 실시하였다. 또한 25가지 불필요한 트립시험도 실시하였으며 아크차단기는 모두 합격하였다.

미국 소비자제품안전위원회의 시험으로 아크차단기는 인접 전선의 단락과 절연체의 탄화에 의해서 “나쁜” 아크를 모의 시험하였을 때 트립되는 것이 증명되었다. 이와 더불어 아크차단기 회로는 불필요한 트립이 없이 “좋은” 아크 또는 주택의 정상 부하를 구별할 수 있었다. 아크차단기는 기타 회로와 기존 주택에 추가 보호용으로 설치할 수 있다. 특히 배전설비가 노화되고 열화된 주택은 아크차단기로 추가 보호함으로써 많은 이점이 있다. 아크차단기는 기존 분기회로의 전선을 사용하면서 분전반을 추가하거나 개수할 때마다 설치를 고려하여야 한다.

5. 누전차단기 (Ground-Fault Circuit Interrupters)

아크차단기는 누전차단기와 혼동하지 않아야 한다. 누전차단기는 감전사고로부터 사람을 보호하기 위한 것이지만, 아크차단기는 아크사고로 인한 화재를 예방하는 것이다. 누전차단기도 아크와 기타 지락사고를 탐지함으로써 전기화재의 일부를 방지할 수도 있지만 화재를 발생할 수 있는 선간 아크사고는 탐지할 수 없다.

미국전기코드(NEC, National Electrical Code)는 옥외; 목욕실, 차고, 주방, 은폐된 공간과 지하실; 수영장 인접 지역과 같은 특정 장소에 위치한 리셉터클에 누전차단기를 설치할 것을 요구하고 있다. 누전차단기와 아크차단기 겸용 차단기는 누전차단용으로 NEC 요구사항을 만족시키는데 사용할 수 있다.

6. 맺는 말

매년 주택 전기배선에서 40,000건 이상의 화재가 발생하였으며 아크사고는 전기배선 화재의 주요 원인 중 하나이다. 주택 전기화재를 감소시키기 위하여 미국 소비자제품안전위원회는 전기화재를 발생시킬 수 있는 조건을 탐지 및 감시할 수 있는 신기술 개발을 후원하였다. UL에서 수행한 연구에 의해서 재래식 회로차단기와 결합되는 아크차단기가 개발되었다. 아크차단기는 불필요한 트립이 없이 아크사고의 영향을 완화시키는 보호기능이 있다.

1999 미국전기코드는 2002년부터 침실 분기회로에 아크차단기의 설치를 요구할 예정이다. 미국전기코드 요구사항은 신축 주택에만 적용하지만 아크차단기는 기존 주택에도 설치할 수 있다. 특히 배전설비가 노화되고 열화된 주택은 아크차단기로 추가 보호함으로써 많은 이점이 있을 수 있다. 📍

— Fire Technology(2000.8)

— 번역: 총무부 과장 이상현