

아크전류와 아크회로차단기(AFCI)성능에 관한 연구

\* 문 식, 안상필, 김응식, 김천연  
한국전기연구원, 호서대학교, 휴먼엘텍(주)

A study on Characteristics Arc Current and performance of Arc-Fault Circuit Interrupter(AFCI)

\* Sik Moon, Sang-Pil Ahn, Eung-Sik Kim, Cheon-Youn Kim  
KERI, Hoseo University, Human Eltech Inc.

1. 서 론

전기 회로계에는 여러 가지 아크성 신호가 혼재한다. 일반적으로 아날로그회로를 이용하여 아크전류 신호를 검출 할 때는 일회성 아크, 아크유사 신호 및 전기 화재의 원인이 될 수 있는 아크신호 등을 구분하기가 쉽지 않다. 따라서 아크전류를 검출하기 위해서는 아크전류와 혼동되는 많은 신호들을 분석할 필요가 있다.

아크 전류는 line 및 neutral 사이에서 발생하는 parallel arc, line이 단선 되거나 전기 기구에 느슨하게 연결되어 있는 경우에 다수 발생하는 serial arc, neutral 과 ground 사이에서 발생하는 ground arc로 구분한다.

2. 본 론

2.1 직렬 아크 전류 (Serial Arc Current)

부하와 직렬로 연결된 도체 사이에서 발생하는 직렬아크(접착아크)로서, 직렬아크가 발생할 경우 케이블 구성하는 도선은 절연체로 분리되고 둘러싸여 있어서 절연된다. 가전제품의 전기코드를 과도하게 구부리거나, 문틀에 끼거나 의자 등에 눌러서 그 부위에서 도체가 끊어지거나, 파열 되었을 때 아크가 발생하면 케이블에 흐르는 전류의 크기에 따라 다르지만 극부적으로 많은 열이 발생하고, 아크발생지점에 인접한 절연체가 파열되거나 탄화될 정도로 열이 계속 발생하면 화재가 발생하게 된다. 이와 같은 직렬아크회로도에는 Fig 2. 과 같고 전압과 전류아크 발생시 합성시킨 파형은 Fig 1. 과 같다.

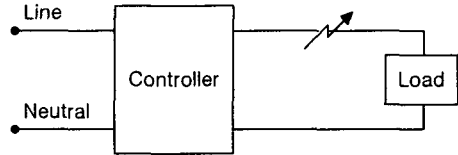


Fig 2. Circuit Configuration of Serial Arc

직렬 아크회로도에서 부하가 저항부하 일때의 정상전류와 아크전류의 파형은 Fig 3. 와 같고, 1은 아크현상의 파형이고 2는 정상전류 파형이다.

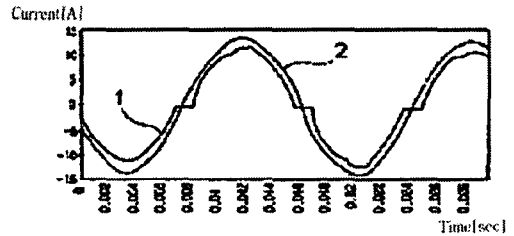


Fig 3. Waveform of steady-state current and arc current with resistive load

일반적으로 나타날 수 있는 형태의 아크 파형으로, 직렬로 연결된 전기 도선에 저항 부하를 연결하고 아크 발생기에 의해 아크 전류를 발생시켰을 때 나타나는 파형이다. 아크 전류는 정상 파형이 일그러지는 점에서 발생한다. 이때를 shoulder라고 하며 이 shoulder가 발생하는 점에서 아크가 발생한다.

2.2 병렬아크전류 (Parrel Arc Current)

도선선 사이에서 발생하는 병렬아크(라인아크)즉 서로 반대극성의 두개 도체 사이에 방전이 발생한 경우로서 케이블에 흐르는 전류의 크기에 따라 다를 수 있지만, 극부적으로 많은 열이 발생할 수 있다. 열로 인해 내부절연체가 열화되거나 손상이 발생되면 상·하부 도체사이에 아크가 발생하게 된다. 따라서 내부절연체의 열화와 손상 또는 과도한 직광선에 노출이 배선시스템에 영향을 주는 라이팅 스트라이크 (Lighting Strike)에 의하여 탄화됨으로서 나타날 수도 있고, 의자, 문 등 가구류에 눌러 케이블확장 코드 부분이 절단되는 기계적 작용에 의하여 발생할 수 있는데 이것을 병렬아크 전류라고 한다.

회로의 구성은 Fig 4. 과 같다.

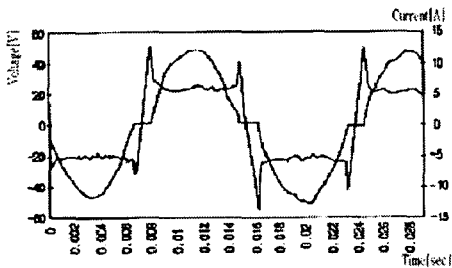


Fig 1. Waveform of serial arc voltage and arc current with resistive load

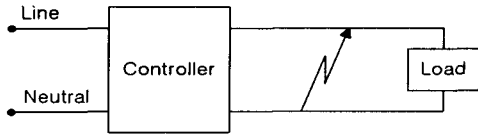


Fig 4. Circuit Configuration of parallel arc

병렬아크전류에 의한 라인간 교류전압이 왜곡되는 것을 나타내는 것이 Fig 3. 와 같고 아크전류가 불연속적으로 발생함으로써 라인전압이 시료치(RMS)가 감소되고 상대적으로 주울열이 증가하게 된다.

따라서 아크신호는 라인전압에 중첩되게 되는데 주파수 스펙트럼분석기를 이용하여 아크전류를 분석해 보면 파형내부에 고조파 또는 오버톤(Over Tone)은 몇GHz까지 주파수가 확장되는 것을 알 수 있다.

Fig 5 은 두 개의 도선에서 발생하는 아크를 접지와 line과 neutral 두 도선중 하나와의 결합에 의해 발생하는 아크를 나타낸다.

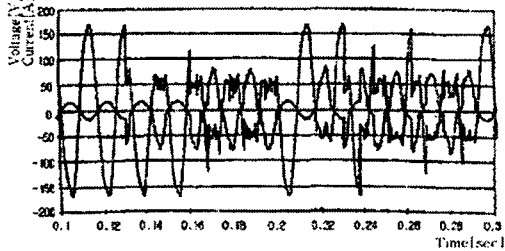


Fig 5. The waveform of distorted alternating voltage between line by the effect of arc current

아크결합을 검출하여 이를 차단하는 것에 있어서 가장 큰 문제점은 실제로 아크결합이 발생하지 않은 경우에도 아크결합보호용 차단기에서 아크결합으로 판정하는 오동작을 일으켜서 차단기로 하여금 전원으로 부터 배선시스템을 차단시키는 것이 목적이다. 이러한 현상은 아크전류와 아크전압이 일반적으로 정형파가 아니며 아크종류에 따라 여러 가지 형태의 전압 및 전류파형이 발생하는 것을 볼 수 있다.

아크전압과 아크전류는 가정용선풍기, 드라이기 등 전기모터를 이용하는 가전제품 등 각종 전기를 기동하는 경우에 발생하는 필스와 유사한 특성을 가지고 있기 때문이다.

### 3 전기기기의 기본파형

전기회로에는 여러 가지 아크신호가 많이 존재하고 있다. AFCI는 전기화재의 원인 될 수 있는 아크신호를 구분하여 분석할 수 있어야 한다. 따라서 일반적으로 가정에서 흔히 사용될 수 있는 아크 발생 파형을 Free Pass(통과)시켜야 한다. 아래의 그림들은 가전기기중 다리미, 드릴의 동작이 시작될 때 전압과 전류파형을 측정 한 것이다.

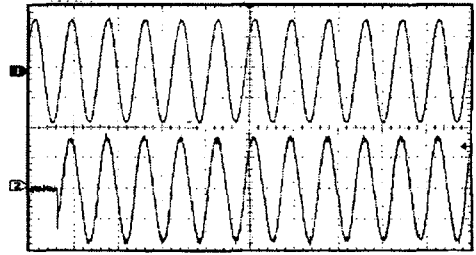


Fig 6. waveform of Voltage(1) and Current(2) in the case of Iron starting

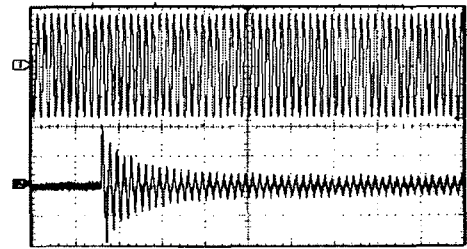


Fig 7. waveform of Voltage(1) and Current(2) in the case of drill starting

### 4. 시험결과

일상생활에 사용 되는 배선용 차단기를 사용하여 두 전극사이에 전압과 전류 아크가 발생하는 지점에서 전압과 형이 일그러짐이 발생하는 것을 알 수 있듯이 Fig 8에 나타난 것처럼, Arc 전류가 발생한 시간 약 432ms 동안 아크가 발생한 것을 검출한 파형으로서 좀더 많은 시간 동안에 연속적으로 아크를 발생하였는데 차단기는 차단되지 않은 것을 알 수 있고, 전류가 차단되지 않으므로 전압이 계속해서 인가되어 있는 상태를 나타낸다.

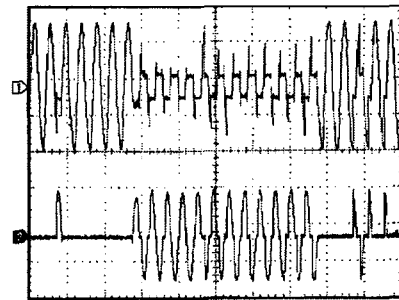


Fig 8. Voltage and Current waveform of before AFCI install

위 그림현상이 지속적으로 발생하는 현상을 아크발생장치를 사용하여 강제로 아크를 양극에서 발생시켜 대전시키면 매우 높은 고열이 발생하여 양극의 끝부분이 가열되는 것을 관찰 할 수 있었다. 실제의 현상을 나타낸 것이 Fig 9. 이고 화재가 발생할 수 있는 주요인 존재하고 있다는 의미 하는 것이다.

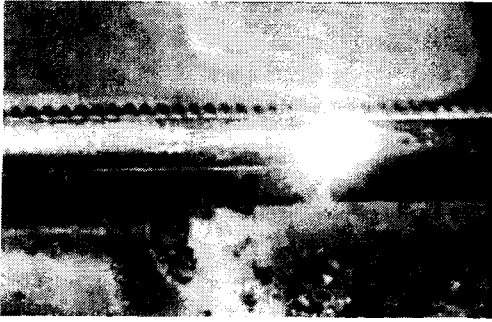


Fig 9. Arc phenomenon by Arc Generator

Fig 10.는 같은 회로 구성에서 일반차단기를 제거하고 AFCI를 설치한 후에 같은 시험조건으로 시험했을 때 검출된 전압, 전류파형이다.

Arc 전류가 발생하기 시작하여 32ms만에 전압, 전류가 차단되는 것을 알 수 있다. 150 [A] 전류에서 Arc를 발생시켰을 때 0.5sec이내에 전류가 차단되었다.

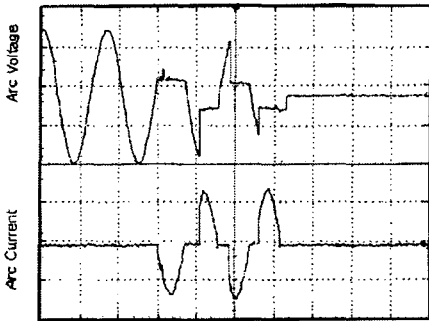


Fig 10. Voltage and Current waveform of after AFCI installed

UL1699 규격에서는 Arc 파형이 8개의 반파가 발생하기 이전에 차단할 수 있도록 규정되어있다.

아래의 Fig 11. 은 아크회로차단기(AFCI)가 일상생활의 전원상태가 정상으로 나타낼 때의 사진이다.

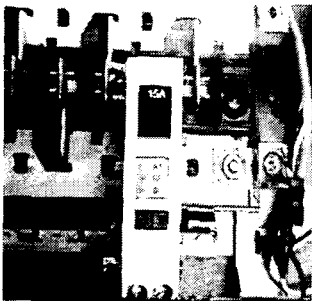


Fig 11. The status before tripping

Fig 12. 은 아크회로차단기(AFCI)가 일상생활의 전원상태가 정상으로 있다가 화재발생의 원인이 되는 아크를 검출하여 트립된 사진이다.

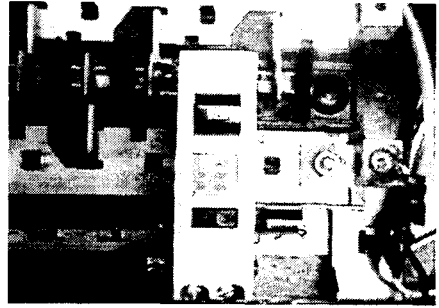


Fig 12 The tripped status by arc generation

## 5. 결 론

전기가 석유·가스 등과 같이 중요한 에너지원이며, 우리의 일상생활에 빠트릴 수 없는 전기이지만 잘못 다뤄지면 이것은 우리가 의도하는 바와는 다르게 영향을 미칠 수 있다는 것을 일깨어 주고 있다.

전기로인해 발생된 화재 중 아크로 인한 화재의 발생률이 높다는 것과 인명과 재산피해가 많은 것을 인식하여 전기아크의 이론적 바탕으로 하여 전기화재를 억제시킬 수 있는 아크 회로차단기[Arc-Fault Circuit Interrupter(AFCI)]의 필요성 따른 역할을 세부적으로 상세히 연구해야 될 것이다.

실험을 통해 각 전기기의 동작이 시작될 때 아크가 발생하는 것을 알게 되었고 연속되는 아크로 인한 화재의 원인이 되는 발화로 화재가 발생하는 것을 확인할 수 있었다.

따라서 아크로 발생하는 화재의 원인을 제어할 수 있는 기기(아크회로차단기)의 기능을 정확히 행할 수 있는 가를 확인할 주요성능에 대한 기술기준이 제정 될 수 있도록 노력해야 될 것이다. 그러므로 전기화재를 예방하고 무고한 생명과 재산을 보호 할수 있다.

참고로 국내에서 AFCI의 개발은 초보단계이지만 중소기업과 대기업들의 관심이 점점 늘어나는 추세이므로 본 논문의 내용은 AFCI를 개발하려는 기업들에 유용한 정보를 제공해줄 수 있다고 생각하고, 대부분 화재시 원인이 불분명할 때 전기로 인한 화재라고 생각하고 발표하는 것은 전기인으로서 참으로 가슴 아픈일이라고 생각되며, 이러한 아픔을 씻기 위해서라도 합리적이고 과학적인 체제로 전기의 불안전한 요소들을 제거하는 노력이 필요하다.

## [참 고 문 헌]

- [1] 미국 전기규정 "National Electrical Code (NEC)210.12, 550.25, 1999
- [2] David Dini "Arc Fault Circuit Interrupter" 2002
- [3] "UL 1699: Arc-Fault Circuit Interrupters", Underwriters Laboratory Inc., Dec. 2000
- [4] "Arc Fault Testing and Arc Fault Scenarios", Underwriters Laboratory Inc. 2002
- [5] George D. Gregory, Gary W.Scott "The Arc Fault Circuit Interrupter, an Emerging Product" IEEE Industry Applications Magazine 7803 4509 6(1998)
- [6] 휴먼일렉(주) 김천연 "아크결함 보호용 차단기 및 이를 구비하는 회로차단기" 대한민국특허청 공개특허공보 공개번호 특2001 0069658 2001.7.25.
- [7] 김용석 외3 "아크회로차단기(AFCI)의 개요 및 국제동향" 대한전기학회 하계학술대회 논문집 B. 2003.7
- [8] 안상필 외2 "아크회로차단기(Arc Fault Circuit Interrupter)의 시험규격 및 적용" 대한전기학회 하계학술대회 논문집 B.2003.7