

전기화재 방지를 위한 AFCI 알고리즘 설계

반기종, 최성대, 남문현, 김낙교
건국대학교 전기공학과

AFCI algorithm design for electrical fire protection

Gi-Jong Ban, Sung-Dai Choi, Moon Hyun Nam, Lark Kyo Kim
Department of Electrical Engineering, Konkuk Uni.

Abstract - Arc Fault is an electric discharge which is occurred in two opposite electrode. In this paper, AFCI(arc fault circuit interrupter) is designed for the interruption of arc fault current which is occurred in the local electric network. This arc is one of the main causes of electric fire. Arc fault in electrical network has the characteristics of low current, high impedance and high frequency. Conventional interrupter does not have the arc current interrupt function. Hence, Arc fault circuit interrupter controller is designed for the interruption of arc fault current which has the modified arc characteristics.

1. 서 론

최근까지 전기환경에서 발생하는 전기화재의 주요 원인은 누전으로 밝혀져 왔으나, 미국의 CPSC에서 조사결과를 보면 아크고장에 의한 전기화재가 전체 전기화재의 40%를 차지한다고 발표하였다. 따라서 이러한 아크고장현상을 검출하고 차단할 수 있는 장치의 필요성이 대두되었다. 일반적으로 아크현상은 전기를 사용하는 환경에서는 항상 존재하며 전기 배선이 사람의 눈으로 보기 어려운 벽 등에 설치 되므로 부식, 탄화 현상등에 의한 아크 현상의 경우 검출하기 어려운 실정이다. 또한, 기존 누전차단 형태의 차단기들의 경우에는 아크에 의해 발생하는 누설전류는 매우 작기 때문에 누설전류를 검출 할 수 없다. 그러므로 기존의 차단기들이 있음에도 불구하고 많은 전기 화재가 발생하고 있다[1][2]. 미국에서는 아크에 대한 위험성을 인식하고 2002년부터 침실과 욕실이 많은 곳에서는 우선적으로 AFCI를 설치하도록 하였고, 2005년부터는 전기기기에 사용하는 코드에 AFCI를 설치하도록 규정하고 있다[3]-[5]. 국내에서는 현재까지 이러한 규정자체가 없는 실정이며 국내에서도 차츰 아크에 대한 인식이 커져 가고 있다.

본 논문에서는 우리의 실생활과 연관이 깊고 인적 또는 재산상의 많은 피해를 주는 전기 화재를 방지하고자 AFCI 알고리즘을 설계하고 차단 장치를 구성하였으며, UL규정에 의한 아크고장에 대한 규격시험을 통하여 설계한 AFCI 알고리즘의 성능을 확인하였다.

2. 본 론

2.1 아크의 물리적 특성

가정의 옥내 배선의 배선에 사용되는 절연체는 유기체로 되어 있기 때문에 오랜 시간이 경과하면 절연성이 낮아지고 가열에 의해 탄화되는 성질을 갖고 있기 때문에 도전성을 띄게 된다.

이러한 장소에 전압이 걸리면 낮은 전류가 발생하고 이 전류에 의해 국부적으로 발열현상이 발생하여 탄화되는 성질을 갖는다. 이 탄화 현상이 점차적으로 증가하고 탄화부분에는 발열과 누전으로 인하여 화재의 원인이 된다. 이런 탄화 현상은 단락, 아크, 접촉과열 등의 현상이 발생할 경우에도 생성된다. 이때의 탄화물의 저항은 수 Ω에서 수백 Ω 정도로 도전성을 갖는다. 특히 전기에 의한 탄화는 다른 조건에 의한 탄화보다 절연성이 떨어진다.

실제 발생하는 아크를 살펴보면 그림 1은 전원이 연결된 상태에서 백열전구를 소켓에 돌려서 연결할 때 발생하는 전류 특성으로 일정한 규칙성이 없으며 주파수 또한 일정하지 않다. 과도상태의 전류는 정상상태일 때의 전류보다 크게 나타난다.

그림 2는 백열전구의 전선이 느슨하게 연결 된 상태에서 발생하는 전류 파형을 보여준다. 그림에서 불규칙하게 전류가 흐르는 것을 볼 수 있다.

그림 3은 백열전등이 소손될 때 발생하는 전류 파형으로 램프의 소손에 의하여 과도 전류가 정상전류의 300%까지 흐른다. 그림 3은 가정에서 사용하는 컴퓨터의 파워서플라이(SMPS : Switching Mode Power Supply)의 전류 파형으로 아크 파형과 유사한 형태를 갖는다.

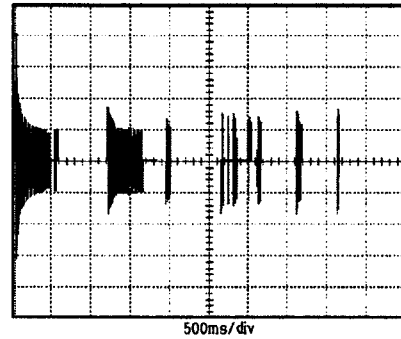


그림 1 전등을 연결 할 때의 특성(스위치 on)
Fig. 1 A light bulb being screwed into the socket with the power switch on

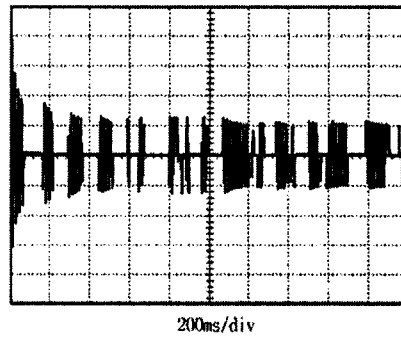


그림 2 느슨하게 연결된 단자에서의 전류파형
Fig. 2 A loose wire at one terminal of a light bulb

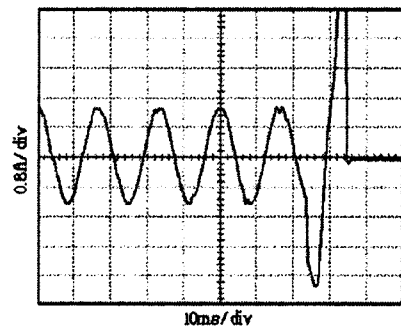


그림 3 100W 백열전등의 램프 소손에 의한 전류파형
Fig. 3 Current of 100W incandescent lamp burned out

2.2 아크고장 모델링

아크전류에 대한 해석을 위하여 아크전류를 모델링하는 방법은 여러 가지가 있다. 각 모델링 방법에 따른 특성이 다르며, 불규칙하게 발생하는 아크전류를 모델링하기는 어려운 점이 많이 있다. 이 절에서는 아크전류에 대한 모델링 기법을 소개한다.

아크 저항은 일정하지 않기 때문에 영전류 부근의 아크 저항을 계산하기 위하여 과도 아크 전류와 전압을 이용한 미분방정식 형태의 수학적 모델로 표현할 수 있다. 아크 방정식의 해를 구하기 위해서는 아크를 단순한 전기회로 요소로 취급하고 논리적으로 영향이 적은 요소는 무시한다.

동적 아크 모델을 간략하게 나타내기 위한 기본 개념은 전기적인 컨덕턴스 G의 관계를 갖는 아크 내에 축적된 에너지 Q로 가정한다.

$$G = F(Q) = F \left[\int (W - N) dt \right] \quad (1)$$

(W : 입력 전력, N : 전력손실)
이 축적된 에너지는 아크의 열적 관성을 설명하고 아크 컨덕턴스 G의 변화를 제한한다. 식 (1)을 미분 방정식 형태로 변형하면 식 (2)와 같다.

$$\frac{dG}{dt} = (W - N) \frac{dF(Q)}{dQ} \quad (2)$$

2.3 아크고장회로 차단 알고리즘

아크 검출 센서에서 아크 전류를 검출하고 센서에 선트저항을 달아서 전압형태로 출력한다. 이 전압을 일정한 레벨로 제한하고 아크 판단을 위한 기준 전압과 비교 한다. 아크전압은 기준 전압보다 크게 설정하고 기준전압보다 아크 전압이 크면 아크가 발생하였음을 판단한다. 아크신호가 발생하면 아크의 지속시간을 판단하고 0.5sec 내에 아크 신호가 4-8개의 반파가 지속하는지 판단한다.

즉, $t_{arc} \leq 500[ms]$ 이고 $4 \leq I_{half} \leq 8$ 일 경우에 아크를 차단할 수 있도록 한다[6],[7].

주어진 시간에 4-8개의 반파가 존재하면 아크로 인식하고 부하전류를 차단한다. 부하의 차단은 아크전압이 영점이 되는 점에서 발생한다.

즉 I_{trip} 은 $I_{arc=0}$ 이 되는 점에서 부하를 차단한다.

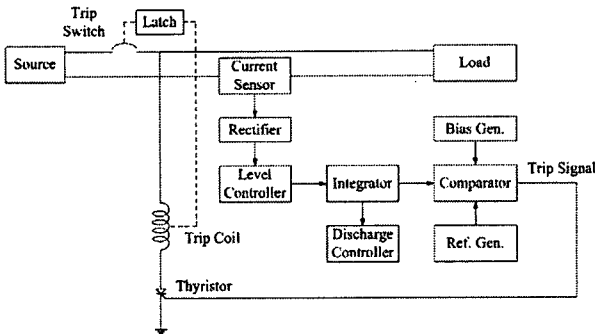


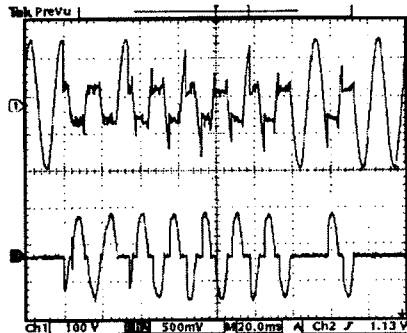
그림 4 과부하 검출 알고리즘
Fig. 4 Overload detection algorithm

3. 결 론

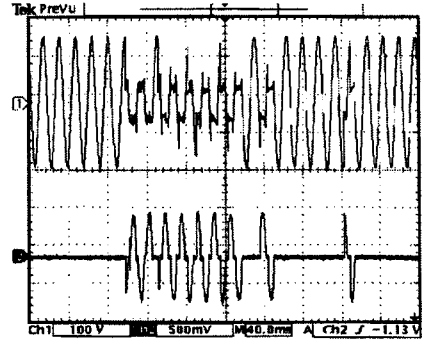
본 논문에서는 AFCI 알고리즘을 설계하고 아크고장전류에 대한 부하실험을 실시하였다. 일반차단기와 AFCI에 아크고장전류를 인가하고 부하의 차단 성능을 확인하였다. 그림 5는 일반차단기에 아크고장전류를 인가했을 경우에 나타나는 전압 전류 파형이다. 17-19개의 반파의 아크고장전류와 아크고장전류의 지속시간은 150ms-240ms로 나타났으며 이경우에 아크고장전류를 차단시키지 못했다.

AFCI를 설계하고 아크고장전류를 인가하였을 경우에 나타나는 파형을 그림 6에 나타내었다. 그림에서 아크고장전류의 반파 수는 4-7개로 나타났으며 아크고장전류의 지속시간은 48ms-81ms로 나타났다. 이경우에는 부하전류를 알고리즘에서 제시한 4-8개의 반파 이내에 아크고장전류를 차단하였다.

표 1에는 일반차단기와 AFCI의 아크고장전류 인가시험에 대한 실험결과를 나타낸다. 설계한 AFCI는 표와 같이 우수한 성능을 나타냈으며 점차적으로 고압에도 사용할 수 있도록 할 수 있을 것이다. 또한 현재는 교류전압에 대해서 설계하였으나 직류전압에 대해서도 적용할 수 있을 것이다.

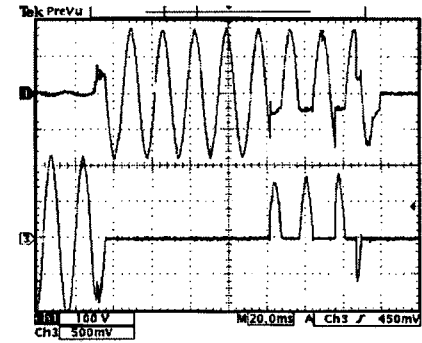


(a)

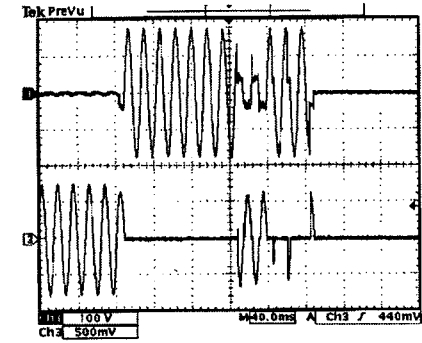


(b)

그림 5 일반차단기에 의한 아크시험
Fig. 5 Arc test of conventional interrupter



(a)



(b)

그림 6 아크고장회로 차단기에 의한 아크시험
Fig. 6 Arc test of AFCI

표 1. 실험 결과

Test no.	반파 개수	아크 지속시간	부하차단
5a	17	150ms	x
5b	19	240ms	x
6a	7	48ms	o
6b	7	81ms	o

[참 고 문 헌]

- [1] 소방방재본부, "행정정보공개 보고서", 2003.
- [2] 장정곤, "전기화재 감지기법 연구 (A Study on the Outbreak of Fire Phenomenon by Deterioration for an Organic Insulated Material)" 한국전기안전공사 전기안전시험 연구원 12월, 1998.
- [3] David Dini, "Arc Fault Circuit Interrupter", 2002.
- [4] G. Gregory, " A Brief on the Arc Fault Circuit Interrupter", 1999.
- [5] D. Dini, "Arc Fault Circuit Interrupters", IAEI News, Oct. 2001.
- [6] Jeong-Wan Kim, Cheon-Youn Kim, Dong-Sub Kim, Gi-Jong Ban "Device and method for detecting arc fault", United States patent, No. US6,556,397 B2 Apr. 29, 2003.
- [7] 김천연, 반기중, 김동섭, "아크 고장 검출 장치", 대한민국특허청, No. 10-0434664, 2004. 5. 25.