

유사아크부하의 직렬아크신호 분석 및 검출 알고리즘에 관한 연구

(A Study of Detection Algorithms and Analysis Series Arc of Quasi-arc Load)

임종웅* · 주재연 · 강경필 · 방선배 · 최규하**

(Jong-Ung Lim · Jae-Yeon Ju · Kyoung-Pil Kang · Sun-Bae Bang · Gyu-Ha Choe)

Abstract

This paper proposes new arc algorithm to detect series quasi-arc. This algorithm analyzes odd and even harmonics until 9th using discrete fourier transform (DFT) and detect series arc comparing RMS values of load current. Resistors, lights, dimmer and vacuum cleaner which can be distinguished linearity load and quasi arc load are adopted to perform experiments. This algorithm is confirmed to emulate arc detecting with measuring current data.

Key Words : Series Arc, Quasi-Arc, Arc Detection, Detection Algorithm

1. 서 론

소방 방재청 통계자료에 의하면 주택에서 발생하는 전기 화재는 매년 증가하고 있으며, 이러한 화재의 80% 이상이 아크(arc)로부터 발생한다고 보고하고 있다[1]. 또한 NFPA(National Fire Protection Association), CPSC(Consumer Product Safety Commission), UL(Underwriters Laboratories) 등 해외 연구기관 및 인증기관들도 아크로 인한 화재의 형태와 그 위험성에 관하여 보고하고 있으며, 미국과 캐나다에서는 아크 사고를 예방하기 위한 AFCI(Arc

Fault Circuit Interrupters)를 의무화하고 있다[2-3].

아크는 전기가 흐르는 도전체 및 절연 개체 등의 접촉 불량으로 인하여 접촉부에서 스파크의 형태로 순간적으로 방출하는 에너지로 정의된다[4]. 아크 발생의 주된 원인은 낙후된 전기시설, 반복적인 전선의 접힘 또는 벌레나 동물에 의한 절연 파괴 등이며, 그로 인하여 전극의 부분적인 증발과 절연 개체를 통한 방전이 연속적으로 나타난다. 이러한 아크는 화재 발생 외에도 계통의 전력 품질을 악화시키고 전기기기들의 수명을 저하시키거나 고장을 일으킨다. 게다가 부하단에 전류 제어형 전력전자 기기가 있을 경우 피해가 더욱 악화된다[5].

통상 아크는 크게 3가지 유형으로 구분한다. 전원에 연결된 두 도선 사이에서 발생하는 병렬아크, 선로 내의 특정 지점에서 발생하는 직렬아크, 그리고 한 도선과 접지 또는 중성선 사이에서 나타나는 접지아크가 있다. 이 중 사고전류가 큰 병렬아크와 누설전류를 발생시키는 접지아크는 기존의 과전류 차단기 또는 누

* 주저자 : 건국대학교 대학원 박사과정
** 교신저자 : 건국대학교 전기공학과 교수
* Main author : PhD candidate, Konkuk University
** Corresponding author : Professor of Electrical Engineering, Konkuk University
Tel : 02-450-4109, Fax : 02-447-9186
E-mail : iju1004@konkuk.ac.kr
접수일자 : 2014년 5월 16일
1차심사 : 2014년 5월 24일
심사완료 : 2014년 6월 13일

전차단기를 이용하여 비교적 쉽게 아크사고를 예방할 수 있으나 직렬아크의 경우 사고전류가 정상적인 경우의 부하전류보다 낮게 나타나고, 누설전류를 발생시키지 않기 때문에 앞의 두 경우와 달리 기존의 보호장치를 이용하여 검출하는 것이 불가능하다. 따라서 직렬 아크를 검출하는 것은 아크 사고를 예방하기 위하여 가장 중요한 부분 중 하나이며, 신뢰성 향상을 위한 직렬 아크 검출 방법에 관한 연구들이 진행되고 있다 [6-8].

이러한 아크 검출 방법들은 아크의 물리적 또는 전기적 특성을 이용하는 방법들로 나눌 수 있는데 물리적 검출 방법은 아크사고 시 발생하는 빛을 영상센서를 통하여 검출하는 방법, 고조파의 소음과 열에너지를 통하여 검출하는 방법 등이 있다[9-10]. 한편 전기적 검출방법은 다시 비이상 고주파 검출 방법과 신호처리기법을 이용하는 방법으로 나눌 수 있다. 이 중 고주파 검출 방식은 아크 사고 발생 시 나타나는 고주파 노이즈를 측정하여 아크발생을 검출하는 방식으로 빠르고 신뢰성 있는 결과를 주지만, 측정회로구성이 복잡하고 경년변화에 취약하다는 단점이 있다. 한편 신호처리기법의 경우 부하전류를 실시간으로 측정하며 아크 사고 발생 시 나타나는 전류패턴의 변화를 시간영역 또는 주파수영역에서 검출한다. 이 방법은 고주파 방식들에 비해 오검출률이 다소 높지만 하드웨어 구성이 단순하고 다양한 형태의 아크를 검출할 수 있다는 장점이 있다. 이러한 신호처리기법을 이용하는 방법들은 시간영역에서 아크전류의 영구간(shoulder), 최대값, 그리고 실효치의 변화율을 측정하는 방법 [11-13], 주파수 영역에서 특정 고조파들을 검출하는 방법[14-15], 시간영역과 주파수영역의 특성을 모두 이용할 수 있는 이산웨이블렛을 이용하는 방법 [16-17]들이 연구되어 왔다.

그러나 전술한 방법들은 유해아크와 유사아크 모두 아크로 규정하여 전원을 차단한다는 단점이 있다. 예를 들어 조명장치의 밝기를 조절하기 위한 조광기, 전동드릴, 그리고 진공 청소기, 브러시를 사용하는 전동부하의 경우 정상동작중 아크가 지속적으로 발생되고 있는데 그 형태가 유해아크 전류와 비슷하여 정상적인 동작임에도 불구하고 AFCI에서는 아크발생 상황

으로 판단하여 전원을 차단하는 사례가 매우 빈번하게 일어나고 있다. 이는 AFCI이용에 큰 제약을 가져오게 되며, 유사아크 부하에서의 아크검출을 불가능하게 하여 계통의 신뢰도에 악영향을 준다.

본 논문에서는 여러 형태의 아크 중에서도 특히 유사아크 부하에 직렬아크가 발생하였을 경우 유해아크를 검출하기 위한 신호처리기반의 검출알고리즘을 제안한다. 이를 위하여 다양한 형태의 유사아크 부하에 모의아크발생장치를 사용, 직렬아크를 임의로 발생시켜 전류데이터를 수집하고 그로부터 직렬아크 발생 시 전류파형의 시간영역과 주파수영역의 분석을 실시하였다. 이로부터 실효치의 변화와 홀수 및 짝수고조파 변화의 특징을 추출하고 시간영역과 주파수영역을 동시에 이용하는 새로운 직렬아크 검출알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘은 Matlab Simulink에서 구현하였고, 대표적 유사아크 부하인 조광기, 진공청소기에서 발생하는 유사직렬아크의 실측데이터를 대상으로 아크검출 실험을 실시하여 그 유효성을 확인하였다.

2. 직렬아크의 정의 및 검출

2.1 직렬아크의 정의

그림 1과 같이 직렬회로에서 부하(load)가 정상동작을 하고 있다가 어떤 원인에 의해 회로의 특정 부분에 직렬아크(⚡)가 발생한다고 가정하자. 전원전압을 v_s , 부하전압을 v_L , 그리고 아크전압을 v_{arc} 라고 한다면 다음과 같이 요약할 수 있다.

- i) 정상동작 시 $v_s = v_L, i_s = i_L$
- ii) 아크발생 시 $v_s = v_{arc} + v_L, i_s = i_L = i_{arc}$ (1)

식 (1)에서 알 수 있듯이, 직렬아크를 검출하기 위한 가장 쉬운 방법은 바로 아크전압 v_{arc} 를 직접 검출하는 것이다. 이를 위해서는 v_s 와 v_L 을 동시에 측정해야한다. 그러나 현실적으로 콘센트에서는 v_L 의 측정이 불가능하고 계통전압 v_s 만 측정할 수 있다. 그러나 계통측 임피던스는 부하임피던스에 비해 극히 작으므로

직렬아크가 발생하더라도 v_s 에는 큰 변화가 나타나지 않는다. 따라서 실용상 직렬아크 검출을 위한 정보는 부하전류 i_{arc} 가 유일하다고 하겠다. 브러시를 갖는 전동기부하의 경우 브러시에 의해 아크가 발생되기 때문에 정상동작을 하고 있는 상태이므로 이를 유해한 아크로 보기 힘들다. 그러나 그림 1과 같이 회로의 어느 부분에서 도선의 균열 등 전기적으로 불완전한 접촉에 의해 발생하는 아크는 실제 화재 등으로 이어질 수 있는 유해한 아크이다. 따라서 전자의 브러시를 갖는 부하와 같이 정상동작의 과정에서 발생하는 아크는 유사아크(quasi-arc), 또 후자의 경우 화재를 유발할 수 있는 아크는 유해아크(hazardous-arc)라고 본 연구에서 각각 정의한다. 그림 2에는 유해아크와 유사아크 파형의 일례를 나타내었다.

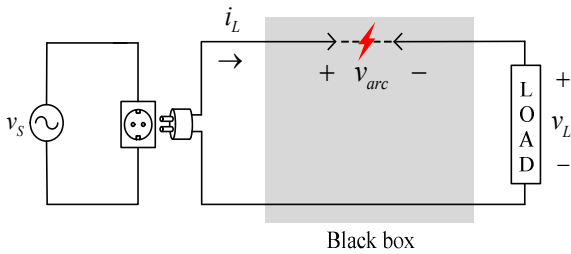
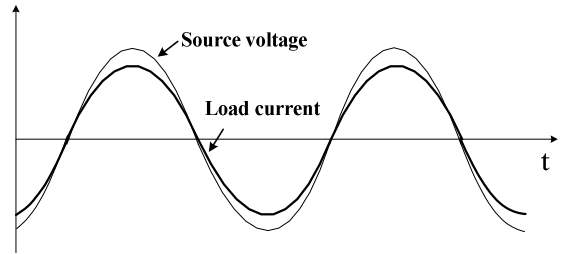
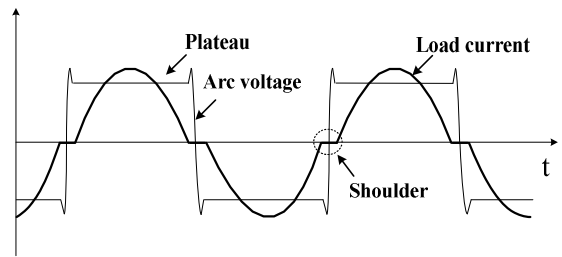


그림 1. 직렬아크 발생 시 전압 및 전류
Fig. 1. Source, arc, load Voltages and current under a series arc generating condition

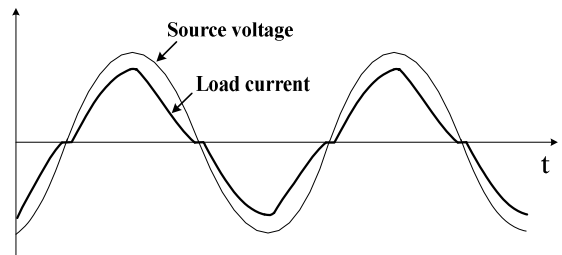
그림 2 (a)는 정상동작(아크가 발생하지 않을 경우) 시 저항부하 회로에서 나타나는 전압 및 전류의 파형을 나타내고 있으며, 그림 2 (b)는 저항부하 회로의 임의의 접속부 등에서 아크가 발생할 경우 전압 및 전류의 파형을 나타내고 있다. 이러한 아크를 전술한 것처럼 유해아크로 규정하고 본 연구에서 검출해야 하는 대상으로 간주한다. 또 그림 2 (c)는 청소기와 같은 유사아크부하가 정상동작을 하고 있을 경우 입력단의 전압 및 전류 파형을 나타내고 있다. 이러한 유사아크 부하는 정상동작하는 과정에서 발생하는 아크이므로 그림 2 (b)의 유해아크와는 확연하게 구분되어야 한다. 이러한 특징은 유사아크와 유해아크를 구분하는 좋은 기준이 되고 있다. 그림 2 (b)와 같이 유해아크 발생시 아크전압의 파형과 아크전류의 파형은 그 고유



(a) 저항부하의 입력 전압, 전류



(b) 아크고장으로 인한 아크전압, 아크전류



(c) 유사아크 부하의 입력 전압, 전류

그림 2. 유해아크 및 유사아크의 전압, 전류
Fig. 2. Voltage and current of Normal arc and quasi-arc

한 파형 형태를 보이는데, 아크 양단 전압의 경우 전반적으로 구형파에 가까운 모양을 갖는다. 전원전압의 피크치 부근에서는 그 크기가 평탄해지는 구간(plateau)을 갖는 반면 영점부근의 양끝이 임펄스 형태로 되는 특징을 갖는다. 반면 아크전류의 경우 아크 전압의 평탄면 구간에서 가장 큰 피크값을 가지며 전압의 영점 부근에는 그 크기가 영이 되는 영구간(shoulder)을 갖는 특징을 보인다. 이러한 영구간은 유해 아크의 경우(그림 (b))는 물론 유사아크의 경우(그림 (c))에서도 발생되고 있을 뿐만 아니라 위상제어에 의해 영구간이 발생하는 조광기의 경우까지도 유사한 현상이 나타나고 있어, 이러한 영구간 발생의 문제로

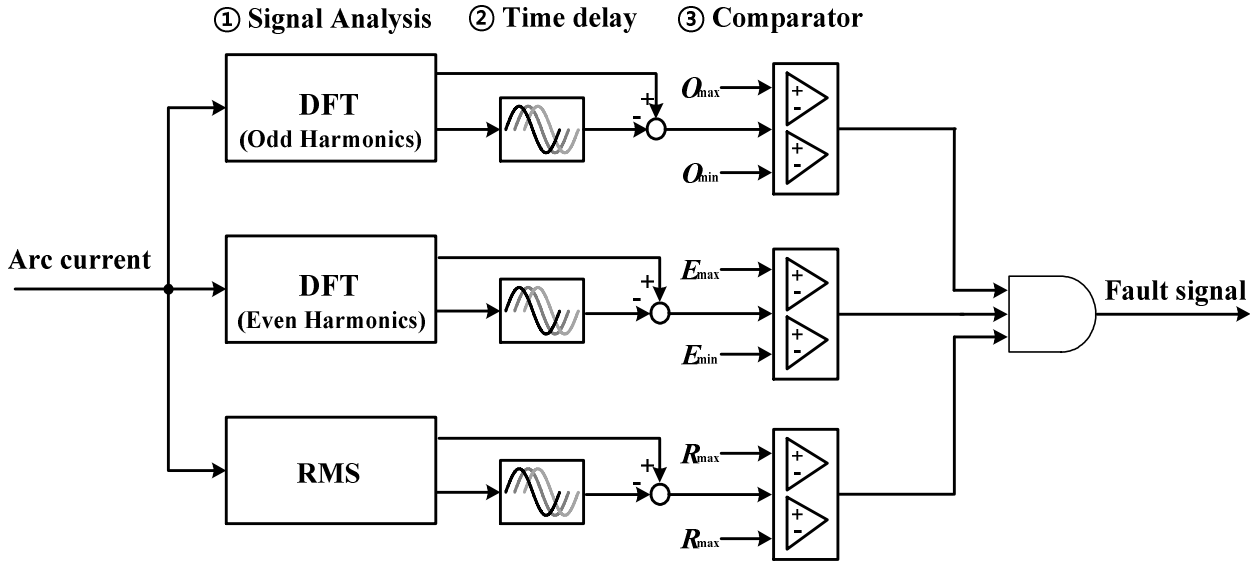


그림 3. 아크검출 알고리즘
Fig. 3. Arc detection algorithm

유사아크 및 유해아크의 구분이 어렵다.

2.2 유사아크 부하에 대한 특징분석

유사아크 부하는 UL1699에서 “unwanted trip test”에 사용되는 시험부하를 의미한다. 이 실험은 유사아크 부하가 동작할 때 아크차단기가 이를 사고로 인식하여 차단(trip)되는 것을 확인하는 실험으로 각 실험에 사용되는 부하로는 조광기, 진동부하와 같은 변속 공구 등이 있다[3]. 이 부하들은 그림 2 (c)와 같이 정상적인 동작에서 유해아크와 비슷한 전류형태를 가진다. 유사아크부하의 전류 파형을 살펴보면 영전류 구간이 발생하는 것을 확인할 수 있다. 이로 인해 유사아크 부하가 동작하는 경우 부하가 정상적으로 동작함에도 불구하고 아크 검출기는 아크가 발생한 것으로 인식하고 부하를 차단하므로 오동작의 원인이 된다. 따라서 유사아크 부하와 실제 직렬아크를 구별하는 성능은 아크검출 알고리즘의 성능평가에 중요한 지표가 된다. 때문에 유사아크 부하의 검출 신뢰성을 높이기 위해 시간영역 및 주파수 영역에서 많은 알고리즘에 대한 연구가 진행되고 있다[11-15].

3. 제안하는 직렬아크 검출 알고리즘

유사아크부하가 동작하는 경우 부하전류는 유해아크와 매우 흡사한 형태를 가진다. 두 파형 모두 영구간이 발생하고 파형이 왜곡되는 것으로 보아 고조파 성분이 변화하는 것을 알 수 있다.

유해 직렬아크의 경우 전류의 실효치가 감소하는 특징을 가지게 되는데, 실제 유사아크 부하는 정상적인 동작에서는 실효치의 변화가 거의 없다. 따라서 유사아크와 직렬아크를 분석하는 변수로 부하전류의 실효치, 홀수 및 짝수 고조파를 사용한다. 본 논문에서는 고조파 분석을 위한 주파수 영역의 DFT 방식과 시간영역에서 부하전류의 RMS 증감을 비교하여 검출하는 알고리즘을 제안하고자 한다.

3.1 DFT

이산푸리에 변환(DFT, Discrete Fourier Transform)은 비주기적으로 발생하는 신호를 푸리에 급수에 의해 시간영역에서 주파수영역으로 변환한다. 주로 디지털 신호의 지연과 같은 이산 신호를 분석하는

데 널리 사용되고 있다. 일반적으로 N개의 표본을 이산 푸리에 변환계수라 하며, DFT계수 $s(n)$ 은 N점의 급수이다. N점의 디지털 신호의 DFT를 정리하면 식 (2)와 같이 나타난다[18-19].

$$S(n) = \sum_{n=0}^{N-1} s(n)e^{-\frac{2j\omega t}{N}n}, \quad (0 \leq n \leq N-1) \quad (2)$$

식 (2)에서 반복하는 주기의 수에 해당하는 N의 값이 증가할수록 연산에 사용되는 데이터의 양이 증가하기 때문에 이를 제한하여 처리 속도를 향상시킬 필요가 있다. 따라서 본 논문에서 제안하는 알고리즘에서는 홀수 및 짝수 고조파를 각각 4차($h_2 \sim h_9$)까지로 제한하고 이산 푸리에 변환을 수행한다.

3.2 유사직렬아크 검출 알고리즘

그림 3은 본 논문에서 제안하는 유사아크부하에서 발생하는 직렬아크 검출을 위한 알고리즘을 나타낸다. 실제로 아크차단기는 부하와 배선 보호를 위하여 전원측에 설치되기 때문에 제안된 알고리즘에서는 전원 전류를 분석하여 아크사고 발생 유무를 검출한다. 이 때 홀수 고조파, 짝수 고조파 및 실효치의 크기를 검출기준으로 사용한다. 알고리즘 동작을 살펴보면 일정 주기에 포함된 3, 5, 7, 9 홀수 고조파의 합과 2, 4, 6, 8 짝수 고조파의 합을 식 (3), 식 (4)를 이용하여 얻는다.

$$h_{odd} = \sum_{n=1}^4 h_{2n+1} = h_3 + h_5 + h_7 + h_9 \quad (3)$$

$$h_{even} = \sum_{n=1}^4 h_{2n} = h_2 + h_4 + h_6 + h_8 \quad (4)$$

여기서 주기는 상용 주파수인 1/60Hz를 사용하였다. 식 (3), (4)은 고조파의 평균값을 2주기 전의 평균값과 비교하여 아크검출 최대값에 도달하면 1로 출력을 하게 된다. 마찬가지로 짝수 고조파 역시 홀수 고조파와 같은 방식으로 연산된다. 마지막으로 실효치는 부하전류를 검출받아 2주기전 값과 비교하여 10% 이상

차이가 나게 되면 1로 출력을 하게 된다. 따라서 모든 검출 변수(실효치, 홀수 및 짝수 고조파)의 출력이 1로 검출되면 아크로서 최종 결정하게 된다. 2주기 지연(delay)하여 비교하는 이유는 아크가 발생하게 되면 1주기 동안은 일반적인 아크파형이 되기 전에 과도상태를 거치기 때문에 아크를 검출하는 정확성이 떨어지므로, 제안하는 알고리즘에서는 2주기 지연하는 것을 기준으로 결정하였다.

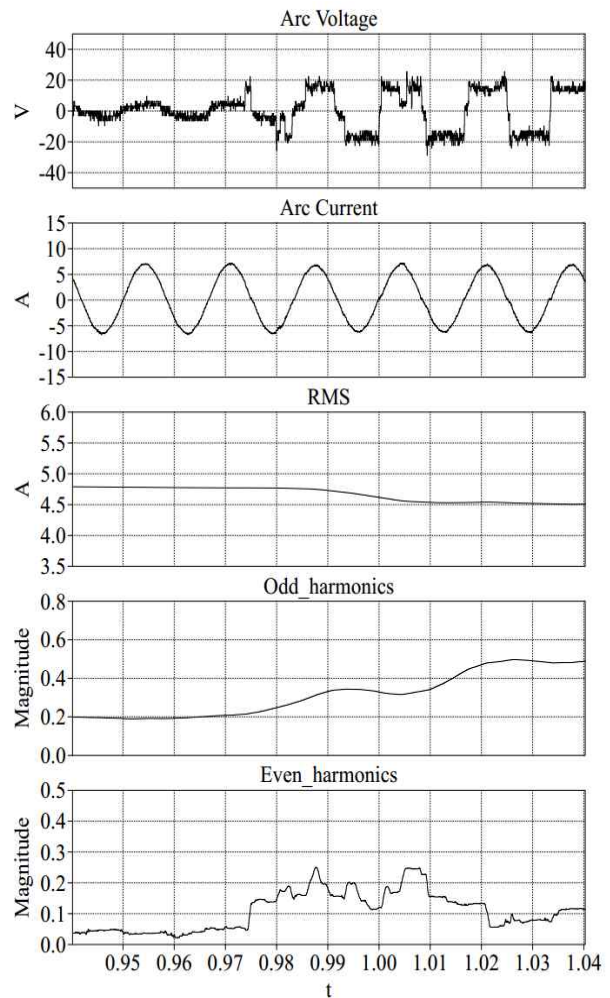


그림 4. 아크발생 시 아크검출 항목의 변화
Fig. 4. Variation of parameters under arc state

일반적으로 직렬아크가 발생하게 되면 그림 4와 같이 나타난다. 아크전압은 파형의 양끝단은 뾰족하고 양의 구간과 음의 구간의 중심부는 파형의 순시변화

가 거의 일어나지 않는 평탄한 구간을 가진다.

부하전류는 아크가 발생한 시점부터 영전류 구간을 갖는다. 전류의 실효치(RMS)는 아크가 하나의 저항으로 증가화되기 때문에 아크 발생시점 이후부터 전류의 실효치가 감소하는 특성을 보인다. 흡수 고조파는 정상상태에서부터 아크 발생하는 시점까지 크기가 0.2에서 0.3으로 약 150% 증가를 보이며, 짝수 고조파는 아크가 발생한 시점 이후 약 0.05에서 아크가 발생한 이후 최대 0.25까지 500% 증가를 보인다.

제안하는 알고리즘은 아크사고 발생 시 부하전류 실효치의 감소, 흡수 및 짝수 고조파가 증가하는 특징을 이용하여 특히, 유사아크에 대해 더욱 강인한 검출특성을 지니게 된다. 다시 말해 실효치는 10% 이하로 감소하고 흡수 및 짝수 고조파 성분은 기본과 대비 5% 이상으로 증가하는 세 가지 조건을 모두 만족하는 경우를 직렬아크 발생조건으로 간주한다. 때문에 유사아크 부하가 정상동작시 고조파의 변화가 발생하나 실효치의 감소가 발생하지 않는 경우는 아크로 인식하지 않으므로 차단기의 오동작을 방지할 수 있다.

4. 실험

4.1 실험 환경

가정용 주택의 배선 등에서 직렬아크가 발생한 경우 아크차단기의 동작을 실험적으로 알아보기 위하여 UL1699에서는 아크차단기의 시험 규격과 실험적으로 아크를 발생시키기 위해 사용되는 모의아크 발생장치에 대한 규격을 제시하고 있다. 그림 5는 실험에 사용되는 모의아크 발생장치를 나타낸다.

모의아크 발생장치는 고정전극(stationary electrode), 이동전극(moving electrode) 및 간극조절부(lateral adjustment) 등으로 구성된다. 고정전극은 구리봉을 사용하며 지름15mm, 길이200mm이다. 이동전극은 탄소-흑연봉을 사용하며 지름 10mm, 길이 150mm이다. 간극조절부는 이동전극을 미세하게 움직이면서 회로를 분리시켜 직렬아크를 발생하게 함으로써 실제 회

로에서 단선 등으로 인해 직렬아크가 발생하게 되는 조건을 유사하게 만든다. 아크전압은 이동전극과 고정전극 사이에서 측정하였고, 동일한 조건에서 아크를 생성하기 위해 1회 실험 후 이동전극의 표면을 깨끗한 상태로 유지하여 실험을 진행하였다. 표 1은 실험에 사용된 모의아크 발생장치의 규격과 더불어 직렬아크 검증에 사용되는 부하의 종류를 나타내고 있다. 실험에 사용되는 부하는 선형성 부하를 나타내는 저항, 형광등을 사용하였고 유사아크 부하로는 UL1699의 ‘unwanted tripping test’에 나오는 대표적인 부하인 조광기, 청소기를 사용하였다. 실험에 사용되는 회로는 그림 5와 같이 계통전원과 직렬로 연결되며 부하와 전압원 사이에 모의아크 발생장치를 설치하고 간극조절부를 조정하여 직렬아크를 발생하도록 구성하였다.

표 1. 실험 조건
Table 1. Experimental conditions

Type	Value
Voltage source	220V
Lateral adjustment	1~3mm
Stationary electrode	Copper
Stationary electrode diameter / length	15mm / 200mm
Moving electrode	Carbon-graphite
Moving electrode diameter / length	10mm / 150mm
Load	Resistor, Dimmer, Light, Vacuum cleaner

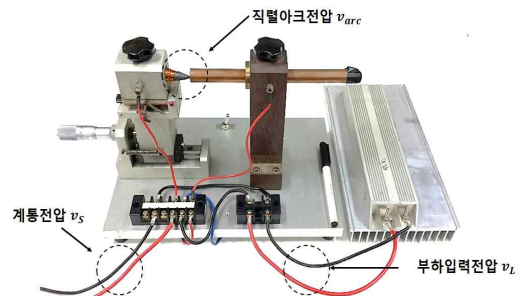


그림 5. 모의아크 발생 장치
Fig. 5. Arc generator

4.2 실험결과 및 분석

본 논문에서 설계한 유사직렬아크 검출 알고리즘의 성능을 검증하기 위해 그림 6과 같이 Matlab simulink 를 이용하여 시뮬레이션 회로를 구성하였다. 입력 데이터는 그림 5의 실험장치로 측정된 부하전류의 실측 데이터를 사용하였고, 알고리즘의 신뢰성을 높이기 위해 부하당 20회씩 반복 실험하였다.

4.2.1 순저항부하

그림 7 (a)는 대표적인 선형부하에서 직렬아크가 발생했을 때의 아크 전압과 부하 전류를 나타낸다. 아크 전압을 보면 t=1.00s 시점에 직렬아크가 발생하는 것을 알 수 있다. 아크발생 시점을 전후하여 부하전류는 60Hz의 정현파를 가지다가 아크발생 이후 직렬아크 특징인 영구간이 나타난다.

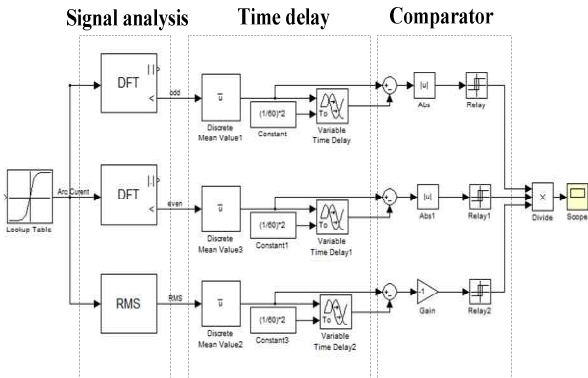


그림 6. 시뮬레이션 회로도
Fig. 6. The schematic of the simulation

4.2.2 형광등

그림 7 (b)는 형광등 부하에서 직렬아크가 발생했을 때의 아크 전압과 부하 전류를 나타낸다. 선형성 부하이므로 t=1.00s 이전에는 60Hz의 정현파의 전류가 나타나며, 아크가 발생한 직후 아크 전압 및 아크전류의 왜곡된 파형이 나타난다. 아크전압은 아크가 발생한 이후 최대 200V까지 증가하며, 아크전압의 특징인 평탄면이 나타나는 것을 볼 수 있다. 부하전류의 경우 아크가 발생한 직후 약 40%의 실효치 감소를 보이며, 영구간이 발생한다.

4.2.3 조광기

그림 7 (c)은 조광기에서 직렬아크가 발생했을 때의 아크 전압과 부하 전류를 나타낸다. 조광기는 유사아크 부하에 해당하므로 정상적인 동작의 부하전류에서도 영구간이 발생한다. t=1.00s 전후로 아크 전압은 0V에서 최대 220V까지 상승하며 스파이크 성 모양을 가진다. 부하전류의 실효치는 아크가 발생한 이후 약 10% 감소한다. 조광기의 경우 대표적인 유사부하로 일반적인 주파수 분석만으로 정상상태와 아크상태를 구분하기가 어려워 오검출률이 높은 부하로 알려져 있다. 제안하는 알고리즘은 주파수 분석 및 전류의 실효치 즉, 시간영역과 주파수 영역을 동시에 보기 때문에 유사아크에 대하여 높은 검출률을 가진다.

4.2.4 청소기

그림 7 (d)는 진공청소기에서 직렬아크가 발생했을 때의 아크 전압과 부하 전류를 나타낸다. 진공청소기 역시 조광기와 마찬가지로 대표적인 유사아크부하 중 하나이다. 정상적인 동작에서도 영전류 구간이 생기기 때문에 직렬아크를 검출하는데 어려움이 있다. 진공청소기의 경우 아크 발생시 다른 유사아크 부하보다 상대적으로 파형에 노이즈가 발생하므로 짝수고조파가 다른 부하에 비해 상대적으로 많이 발생하는 것을 알 수 있다.

표 2는 4개의 부하에 대하여 각각 20회씩 반복한 실험 데이터를 나타낸다. 선형성 부하인 저항과 형광등의 경우 92.5%(40/37) 검출률을, 유사아크부하인 조광기와 청소기의 경우 95%(40/38)의 높은 검출률을 가진다. 또한 유사아크의 부하인 조광기에서는 단 한건의 오차없이 모든 직렬아크를 검출하였는데, 조광기의 경우 가장 오검출률이 높은 부하로 알려져 있다. 그 이유는 조광기는 밝기 조절 시 점도각 제어를 하게 되는데, 이 때 실효치의 감소와 고조파가 증가하여 아크검출이 어렵기 때문이다. 본 논문에서는 밝기가 고정된 상태의 조광기 파형을 분석하였기 때문에 실험에서 발생한 모든 직렬아크를 검출한 것으로 추측된다.

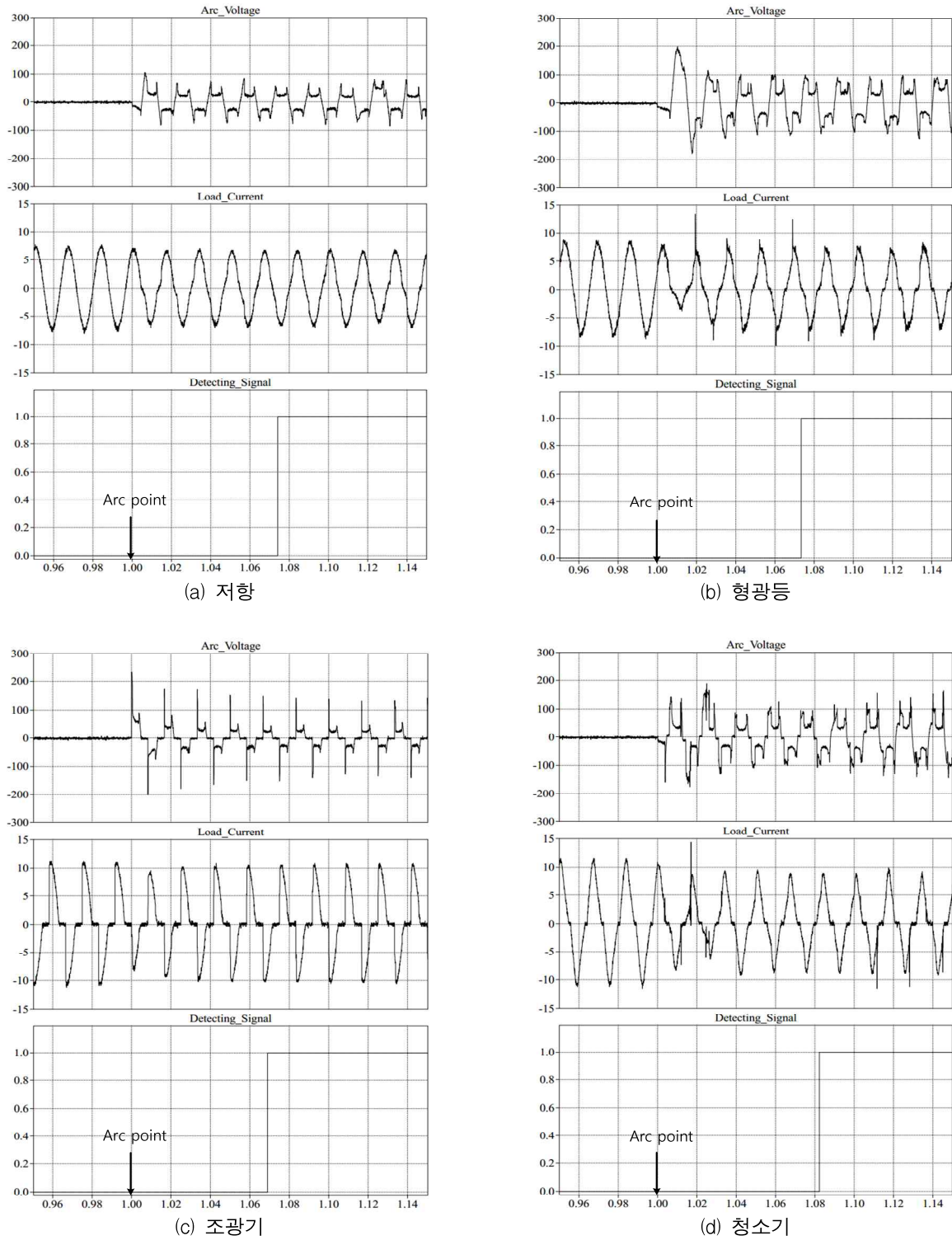


그림 7. 아크고장검출 시뮬레이션 결과 파형
 Fig. 7. Waveforms of arc fault detection simulation

표 2. 아크검출 결과
Table 2. Result of arc detection rate

부하	검출률(%)
저항	90
형광등	95
조광기	100
청소기	90

5. 결 론

본 논문은 유사아크 부하에서 직렬아크가 발생하는 경우 이산 푸리에 변환을 이용하여 아크를 검출하는 방법을 제안하였다. 실험에 사용한 모의아크 발생장치는 UL1699에 제시된 규격에 적합하게 제작되었으며 실험에는 저항, 형광등, 청소기, 조광기 총 4개의 부하를 사용하였다. 제안하는 알고리즘은 이산 푸리에 변환을 이용하여 홀수 및 짝수 고조파의 변화율과 실효치의 감소율을 검출변수로 선택하고 아크가 발생했을 때 위의 세 가지 변수가 기준값(실효치 10%, 고조파 5%)을 초과하면 아크로 검출하였다. 선형성 부하 및 유사아크 부하에 대해 각각 20번씩 실험하였고, 실험결과 93.75%의 높은 검출률을 확인하였다.

본 연구는 2013년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다. (No.600601)

References

[1] NEMA, 2012 Statics of Fire Yearbook in Korea National Emergency Management Agency 2012.
 [2] National Electrical Code Handbook, An International Codes and Standards Organization, 2008.
 [3] UL1699 Standard for Arc-fault circuit-interrupters, Underwrites Laboratories Inc., 2008.
 [4] George D. Gregory and Gary W. Scott, "The arc-fault circuit interrupter : an emerging product", IEEE Trans. Ind. Appl., Vol. 34, no. 5, pp. 928-933 Sept./Oct. 1998.
 [5] Hyun-Uk Seo, Gyu-Ha Choe, "Analysis of Arc characteristics in Power Conversion Systems", KIEE, Vol. 27, no. 7, pp. 8-16, Jul., 2013.
 [6] Gi-Jong Ban, Lark-Kyo Kim, "Arc Fault Circuit Interrupter

Design for Electrical Fire Protection", KIEE, Vol. 55, no. 5, pp. 220-225, May, 2006.
 [7] Cjee-Hyun Park, Suk-Myeong Bae, Yong-Bae Lim, Gi-Hyun Kim and Myung-Il Choi, "Research on Characteristics of Arcing Circuit and Evaluation of Societal Cost Caused by AFCI Installation", KIEE, Vol. 21, no. 8, pp. 144~150, Sept., 2007.
 [8] Carlos E. Restrepo, "Arc fault detection and discrimination methods," proceeding of the 53rd Holm Conference of Electrical Contacts, pp. 115-122, 2007.
 [9] Mitsuru Takeuchi, Takayoshi Kubono, "A spectroscopic detecting system for measuring the temperature distribution of silver breaking arc using a CCD color camera," IEEE Trans. Instrum. Meas., Vol. 48, no. 3, pp. 678-683, Jun, 1999.
 [10] Hyun-uk Ha, Sun-sin Han and Jang-myung Lee "Fault detection on transmission : lines using a microphone array and infrared thermal imaging camera," IEEE Trans. Instrum. Meas., Vol. 61, no. 1, pp. 267-275, Jan., 2012.
 [11] Muller Peter et al., "Characteristics of series and parallel low current arc faults in the time and frequency domain," proceeding of the 56th Holm Conference of Electrical Contacts, 2010.
 [12] Robert E. Lee, M. T. Bishop, "Performance testing of the ration ground relay on a four-wire distribution feeder", IEEE Trans. on Power App. Syst., Vol.102(9), pp.2943-2949, Sept. 1983.
 [13] A. F. Sultan, G. W. Swift, and D. J. Fedirchuk, "Detecting arcing downed-wires using fault current flicker and half-cycle asymmetry," IEEE Trans. Power Del. Vol. 9, no. 1, pp. 461-470, Jan. 1994.
 [14] Hong, Cheng, et al. "Short-time fourier transform based analysis to characterization of series arc fault." proceeding of the 2nd International Conference of Power Electronics and Intelligent Transportation System (PEITS), 2009.
 [15] Hong, Cheng, et al. "Series arc fault detection and implementation based on the short-time fourier transform." proceeding of the Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), 2010.
 [16] Sun-Bae Bang, Chong-Yeun Park Mog-Soon Jang and Won-Ho Choi, "Analysis of Series Arc-Fault Signals Using Wavelet Transform from Non-linear Loads", KIEE, Vol. 57, no. 8, pp.1470~1476, Aug. 2008.
 [17] Li, Wen-Jun, and Yuan-Chun Li. "Arc fault detection based on wavelet packet." Proceedings of International Conference Vol. 3. 2005.
 [18] Smith, Craig M., and N. C. Nair. "Comparing discrete wavelet transform (DWT) with discrete fourier transform (DFT) implemented for digital relays." proceeding of the Power Engineering, 2009.
 [19] Sang-Hyeok Lee, Feel-Soon Kang, Sang-Hum Lee, So-Eog Cho, Tae-Won Lee and Sung-Jun Park, "High precise measurement of grid-connected inverter using DFT," KIPE, Vol. 17, no. 2, pp. 93 - 98, Apr, 2012.

◇ 저자소개 ◇



임중웅(林種雄)

1985년 12월 23일생. 2011년 건국대학교 공과대학 전기공학과 졸업. 2013년 동 대학원 공과대학 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 박사과정.



주재연(朱栽演)

1990년 4월 24일생. 2013년 건국대학교 공과대학 전기공학과 졸업. 현재 동 대학원 석사과정.



강경필(康景弼)

1989년 10월 27일생. 2014년 건국대학교 공과대학 전기공학과 졸업. 현재 동 대학원 석사과정.



방선배(方善培)

1968년 5월 18일생. 1994년 명지대학교 전기공학과 졸업. 2002년 강원대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2009년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2003년 ~ 현재 전기안전연구원 책임연구원.



최규하(崔圭夏)

1955년 7월 24일생. 1978년 서울대학교 공과대학 전기공학과 졸업. 1980년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1986년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1987 ~ 1988년 미국 오레곤 주립대학교 전기공학과 Post-Doc. 1998~1999년 버지니아 주립대학교 교환방문교수. 1997~1998년 건국대학교 연구처 처장. 1996년~현재 건국대학교 산업기술연구원 인버터 제어기술 연구센터 소장. 1999년~현재 건국대학교 부설 전력전자 신기술연구센터 소장. 2002~2004년 건국대학교 교무처 처장. 1996년~현재 전기안전공사 전기안전정책 자문위원장. 2007~2008년 전력전자학회 회장 역임. 2012~2013년 건국대학교 부총장 역임. 현재 건국대학교 전기공학과 교수.