

직렬아크 파형 분석 및 검출 알고리즘

권완성, 최수경, 방선배*, 김종민*, 최규하
건국대학교, 한국전기안전공사*

Series Arc Wave Analysis and Detection Algorithm

Wan-Sung Kwon, Su-Kyung Choi, Sun-Bae Bang*, Chong-Min Kim*, Gyu-Ha Choe
Dept. of Electrical Engineering, Konkuk University, KESCO*

ABSTRACT

현재 미국에서는 전기화재를 예방하기 위한 AFCI(Arc Fault Circuit Interrupter) 설치가 법으로 제정되어 보급되고 있으며 이에 대한 기준인 UL1699가 제정되어 있다. 본 논문에서는 UL1699의 규정에 기반한 직렬아크발생장치를 통하여 여러 가정용 부하에서 발생시킨 아크의 전류파형들을 주파수영역과 이산 웨이블릿을 이용하여 분석해보고 그에 따른 검출 알고리즘을 제안하고자 한다.

1. 서 론

전기로 인한 화재의 주요 원인 중 하나는 전기회로에서 발생하는 아크이며, 현재 과부하, 누전, 단락 등의 보호장치인 퓨즈, 배선용차단기, 누전차단기 등이 널리 보급되어 있지만 아크로 인한 전기화재를 예방할 수 없다. 이처럼 다양한 전기화재 사고 중에서 주요 사고 사례 중의 하나가 선로 혹은 전선의 절연 파괴로 일어나는 누전차단기 혹은 과전류차단기가 동작하지 않는 범위의 직렬아크, 스파크 현상이다. 이러한 전기화재의 징후인 아크와 스파크가 발생하는 조건은 주변환경과 설비의 노후 및 절연내력의 약화, 외부적인 충격이나 물리적 요인을 비롯한 다양한 요인으로 인하여 발생되며, 사고가 발생하는 전기적 회로 유형도 다양하다^[1]. 현재 여러 분야에서 아크로 인한 사고를 예방하기 위해 연구가 활발히 진행되고 있으며 여러 가지 아크검출 알고리즘이 제안되고 아크차단기(AFCI)의 개발이 이루어지고 있다. 지금까지 알려진 아크파형의 신호분석 방법은 시간영역, 주파수영역, 이산 웨이블릿 분석 등이 있다. 시간영역을 이용한 방법은 최대치 및 실효치의 변화를 통해 아크를 검출할 수 있으나 저항성 부하 등에서는 그 변화가 미소하여 한계가 있고, 주파수 영역을 이용한 방법은 고조파, 내부고조파의 실효치 및 에너지 등을 통해 아크를 검출하지만 시간의 정보가 없고 스위치 등의 순간적인 켜지 등에서는 정확한 주파수 분석이 어려운 단점이 있다. 이산 웨이블릿을 이용한 방법은 아크파형을 근사계수와 상세계수로 분해하여 최대치 및 실효치의 변화율로 아크를 검출할 수 있으나 파형의 특성에 따라 적합한 분해 레벨과 주파수 범위를 선정해야 하기 때문에 다양한 부하에서 정확히 검출하기에는 어려움이 있다. 아크의 특성상 그 크기나 형태를 정량화하는 것이 쉽지 않고, 무수히 많은 가능성이 존재하기 때문에 모든 상황에서 아크를 판단할 수 있도록 하는 것이 아크검출 알고리즘의 핵심이라고 할 수 있다.

2. 직렬아크의 특성 및 파형분석

2.1 직렬아크의 특성

아크란 전극의 부분적인 증발에 의해 수반되는 절연 개체를 통한 전기의 지속적인 빛의 방출로 정의된다^[2]. 직렬아크는 부하와 직렬로 연결된 도선 사이에서 발생하는 접촉성 아크로서 명확하게 정의할 수는 없지만 순간적인 임펄스 파형이 크며 다양한 형태의 주파수 중에서도 고주파에 의해 고열을 발생시킬 수 있으므로 전선의 열화에 큰 영향을 미치며 전압과 전류 레벨에서 높은 주파수의 잡음을 볼 수 있고 아크에 걸친 전압 강하가 존재한다. 전형적인 직렬아크의 파형은 그림 1과 같이 나타나며 전압파형은 직사각형의 형태를 띠고 전류파형은 거의 평탄한 0전류 구간(shoulder영역)이 생기는 것을 볼 수 있다.

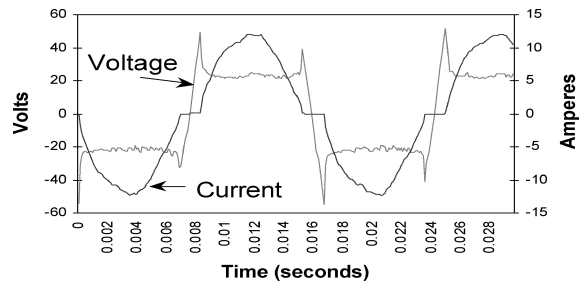


그림 1 직렬아크 전압·전류의 파형
Fig. 1 Series arc characteristics

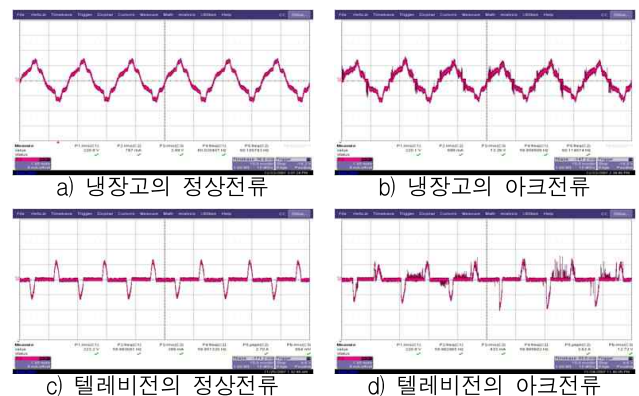


그림 2 냉장고/텔레비전의 아크전류
Fig. 2 Arc Current for Refrigerator/Television

2.2 주파수변환(FFT) 분석

컴퓨터, 백열전구, 냉장고, 텔레비전 등 4개의 가정용 부하의 전원선에서 직렬아크를 발생시켜 그 전류파형을 분석해 보았다. 아크가 지속적으로 발생할 때 6주기를 샘플링하여 데이터를 수집하고 이를 이용하여 FFT분석을 하였다. 6주기부터 한 주기씩 줄여가며 고조파의 형태와 크기를 알아보고, 이것은 아크검출의 관점에서 볼 때 검출시간 단축의 의미로 볼 수 있다. 4개의 부하중 냉장고와 텔레비전의 전원선에서 발생한 아크전류의 주기별 FFT를 그림 3와 4에 나타내었다.

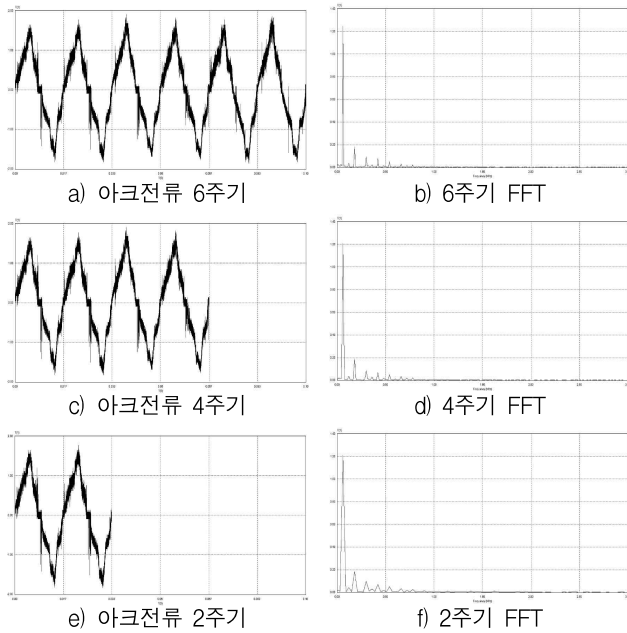


그림 3 냉장고 아크전류의 FFT
Fig. 3 FFT of Refrigerator Arc Current

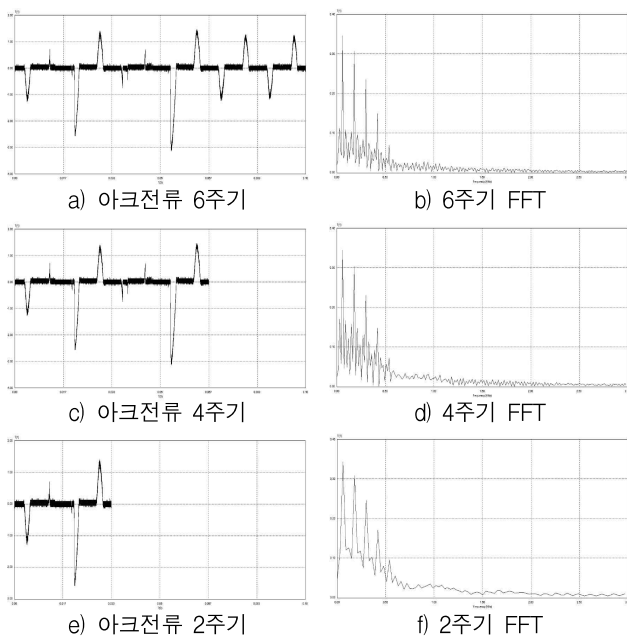


그림 4 텔레비전 아크전류의 FFT
Fig. 4 FFT of Television Arc Current

2.3 이산 웨이블릿(Wavelet) 분석

이산 웨이블릿 변환을 이용한 분석방법은 임의의 모웨이블렛(mother wavelet) 함수를 사용하고 일정 레벨까지 분해하여 아크로 인한 써지성 파형과 잡음을 제거하고 정상전류와 아크전류의 차이를 비교하는 방법이다. 본 논문에서는 모웨이블렛을 daubechies4로 하고 분해레벨은 4로 선정하였다. 앞의 방법과 같이 냉장고와 텔레비전이 적용된 상황에서 발생한 아크전류를 웨이블릿 방식으로 분석하면 그림 5, 6과 같이 나타난다.

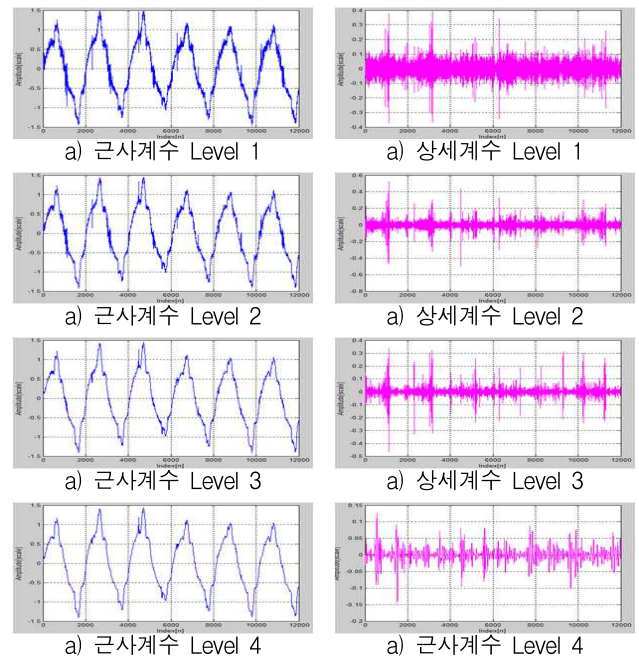


그림 5 냉장고 아크전류의 웨이블릿
Fig. 5 Wavelet of Refrigerator Arc Current

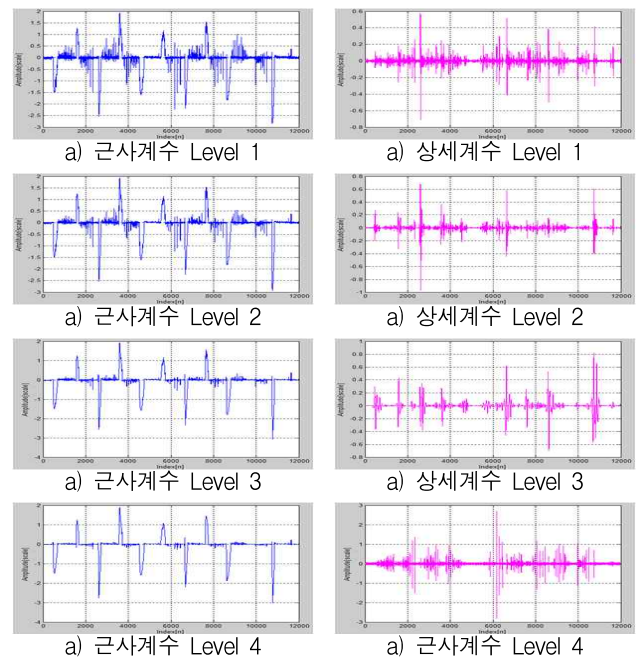


그림 6 텔레비전 아크전류의 웨이블릿
Fig. 6 Wavelet of Television Arc Current

3. 직렬아크 검출 알고리즘

위의 과형분석에는 생략되었지만 백열전구의 경우 냉장고와 같이 아크전류과형이 주기적으로 나타나기 때문에 정상전류와 구분이 어려워 FFT분석을 통한 방법만으로는 아크를 판단할 수 없지만 컴퓨터 및 텔레비전과 같은 역률보상기가 없는 부하의 경우 3~4주기 이상에서는 기본파를 포함한 홀수 고조파 사이에 우수차 고조파가 나타나고 있어 아크를 판단할 수 있는 하나의 기준이 될 수 있다. 그림 5, 6과 같이 레벨 4까지 분해된 아크전류의 근사계수를 이용하여 최대치와 실효치를 와 상계수로 실효치, 최대치, 잡음량, shoulder 유지시간 등의 변화율을 계산하고 정해진 변화율과 비교하여 아크의 발생유무를 판단할 수 있다^[3].

측정된 아크전류를 $x(t)$ 라 하면, 이산 신호 $X[n]$ 은 식 (4)와 같이 정의 될 수 있다.

$$N = T/2 \quad (1)$$

$$0 \leq nT_s \leq N \quad (2)$$

$$t = nT_s \quad (3)$$

$$X[n] = x(nT_s) \quad (4)$$

여기서, N : 샘플링 개수, T : 주기
 n : 상수, T_s : sampling time

각각의 반주기에 대한 정상전류와 아크전류를 정의하면 식 (5), (6)과 같다.

$$X_k[n]_{nor} = x(knT_s)_{nor} = x(t)_{nor} \quad (5)$$

$$X_k[n]_{arc} = x(knT_s)_{arc} = x(t)_{arc} \quad (6)$$

최대치, 실효치, 잡음량, shoulder 유지시간의 변화는 다음과 같이 계산된다.

$$\text{최대치 } M(k) = \frac{\max |X_k[n]_{arc}|}{\max |X_k[n]_{nor}|} \quad (7)$$

$$\text{실효치 } R(k) = \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=0}^N X_k[n]_{arc}^2}}{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=0}^N X_k[n]_{nor}^2}} \quad (8)$$

$$\text{잡음량 } N(k) = \frac{\sum_{n=0}^N |X_k[n]_{arc} - W_k[n]_{arc}|}{\sum_{n=0}^N |X_k[n]_{nor} - W_k[n]_{nor}|} \quad (9)$$

$$\text{shoulder } S(k) = \frac{\sum_{n=0}^N a_k(n)_{arc}}{\sum_{n=0}^N a_k(n)_{nor}} \quad (10)$$

위에서 구해진 각각의 값에 의해 정상전류와 비교하여 계산된 변화율로 아크를 판단하고 FFT를 이용한 방법과 조합하여 그림 7과 같이 아크검출 알고리즘을 제안하였다.

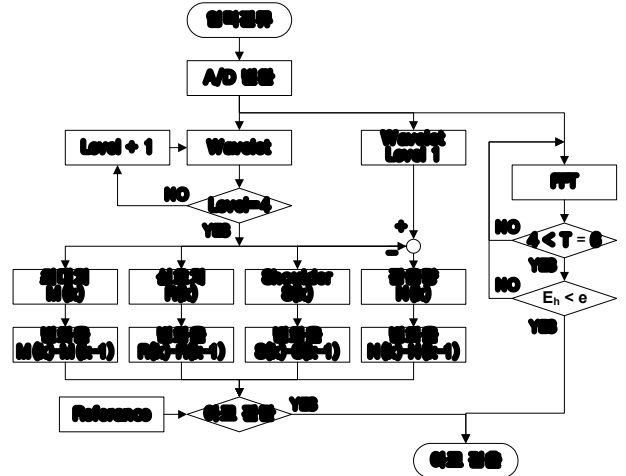


그림 7 아크 검출 알고리즘
 Fig. 7 Arc Detection Algorithm

4. 결 론

본 논문에서는 UL1699에 기반한 직렬아크발생장치에 4개의 가정용 부하를 적용하여 아크를 발생시키고 그 전류과형들을 주파수변환 방식과 이산 웨이블렛 변환방식을 통하여 각 부하에 따른 특성과 변화를 살펴보고 위의 변환방식으로 직렬아크를 검출할 수 있는 알고리즘을 제안하였다

주파수 변환방식은 아크전류과형의 6주기를 샘플링하여 그 데이터를 이용하여 FFT분석을 통해 고조파의 크기를 살펴보았다. 역률보상기가 없는 컴퓨터와 텔레비전의 경우 3~4주기 이상에서 아크검출 가능성이 높게 나타났고 냉장고 및 백열전구에서는 고조파의 변화가 뚜렷하게 나타나지 않았다. 이산 웨이블렛 변환방식에서는 아크전류과형을 레벨 4까지 분해하고 근사계수를 통하여 최대치, 실효치, 잡음량, shoulder 유지시간 등의 변화율을 계산할 수 있도록 하였다.

이산 웨이블렛의 근사계수에서 계산된 변화율에 의한 판단 기준과 주파수변환을 이용한 판단 기준을 조합함으로써 여러 가지 조건과 부하에서 아크검출의 확률을 높이고 다양한 기준으로 아크를 판단함으로써 검출알고리즘의 신뢰성을 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

이 논문은 지식경제부 전력산업기반기금 전력연구개발사업의 지원으로 연구되었음

참 고 문 헌

- [1] 권완성, 최수경, 최종목, 바이스갈랑, 최규하, "UL1699 기반 아크발생장치에 따른 아크유형에 관한 연구", 전력전자학회 하계학술대회, July, 2009.
- [2] George D. Gregory, Gary W. Scott, "The Arc-Fault Circuit Interrupter : An Emerging Product", IEEE Transactions on Industry Applications, VOL. 34, NO. 5, September/October 1998.
- [3] 방선배, "이산 웨이블렛 변환의 근사계수를 이용한 직렬아크고장 전류 분석방법", 강원대학교 대학원 전기공학과, 2009년.