

이상 탐지 알고리즘을 적용한 전기아크 검출에 관한 연구

류진규, 곽동걸*, 박범수**
 우석대학교, *강원대학교, **㈜글린테크

A Study on the Electric Arc Detection Using Anomaly Detection Algorithm

Jin-Kyu Ryu, Dong-Kurl Kwak*, Bum-Su Park**
 Woosuk University, *Kangwon National University, **Gleantech Co

ABSTRACT

전기를 이용하는 시스템에서 발생하는 아크는 전기적 폭발이 발생할 수 있으며 화재나 인명피해 등 위험을 초래할 수 있다. 본 연구는 이러한 전기화재의 발생을 줄이기 위해 비지도학습 방법인 이상 탐지 알고리즘을 이용하여 전기아크를 감지하는데 목표를 두었다. 기존의 누전차단기와 과전류 차단기는 아크의 발생을 효과적으로 탐지하는데 한계가 존재한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 연구에서는 선로에서 흐르는 전류 신호를 검출하고 파형을 적분화하여 마이컴에서 신호의 샘플링을 수행한다. 그리고 샘플링 된 신호는 데스크탑 환경에서 수신하여 이상 탐지 알고리즘을 통해 전기아크가 발생하였는지 여부를 검출하도록 하였다. 검증을 위한 실험에는 자기식형광등과 백열등을 부하로 한 아크 발생기를 구성하였으며 정상적인 상태의 형광등 노이즈와 아크 발생 시 노이즈에 대한 검출을 비교하였다. 실험 결과 제안된 알고리즘이 기존 방식보다 높은 신뢰도로 전기아크를 감지할 수 있음을 확인하였다.

1. 서 론

전기화재는 다양한 산업 환경과 가정 내 전기 시스템에서 발생할 수 있는 주요 위험 요인 중 하나로 전기아크에 의해 발생하는 경우가 많다. 전기아크는 전기적 폭발이나 방전 현상으로, 고온과 빛을 발생시켜 화재나 폭발의 위험을 초래할 수 있다.

하지만 현재 대부분의 전기설비에는 누전차단기(GFCI)나 배선용차단기(RCBO)를 사용하여 누전과 과부하를 감지하는 방식으로 전기화재를 예방하고 있다. 그러나 이러한 일반적인 차단기는 실제 전기화재의 주요 원인인 아크를 효과적으로 감지하거나 차단하지 못하는 문제가 있다.

미국의 경우에는 전기화재 예방을 위해 아크 차단기(Arc Fault Circuit Interrupter, AFCI)의 설치를 의무화하고 있으며, 이러한 법적 의무화로 인해 전기아크에 기반한 화재 발생률을 크게 줄이고 있다. 반면, 국내에서는 아직 아크 차단기의 설치가 권고사항에 그치고 있어 전기화재 예방을 위한 제도적 장치가 부족한 실정이다.^[1]

한국전력공사의 자료에 따르면 2023년 발생한 전기화재가 8,871건으로 그림 1과 같이 최근 4년간 발생 건수를 비교하였을 때 크게 줄어들지 않고 있는 추세이다. 이는 전기화재의 예방과 관련된 기존 기술 및 제도적 한계로 인해 아크와 같은

최근 4년간 전기화재 건수

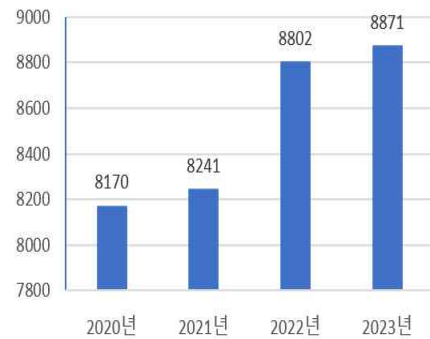


그림 1 최근 4년간 전기화재 건수

Fig. 1 Number of electrical fires in the past four years

전기적 이상을 조기에 감지하지 못하는데 그 원인이 있다고 할 수 있다. 또한 오래된 건축물은 내부와 외부 전기 시설이 노후해져 전기화재 및 사고 발생 확률이 높아졌으며, 1973년부터 2005년까지 32년 동안 전압이 110 V에서 220 V로 승압되었지만, 낡은 건물의 옥내 및 외부 전기 시설은 여전히 기존 설비 그대로 사용되고 있어 사고 발생 위험이 증가하고 있다.

전기아크는 일반적으로 회로의 전류와 전압 변화에서 발생하는 특성을 통해 감지된다. 아크가 발생할 때는 전류가 급격하게 변하거나 불규칙한 형태를 나타내며 이러한 변화를 분석하여 아크 발생 여부를 판단한다. 또다른 일반적인 검출 방법은 주파수 분석을 이용한 방법이다. 전기아크는 고주파 성분을 포함한 불규칙한 신호를 방출하기 때문에 주파수 분석 방법이 널리 사용된다. 이를 위해 웨이블릿 변환이나 신호 처리 기법을 이용하여 주파수 영역에서 파형을 분석하고 아크로 인한 고주파 성분을 검출하는 방식으로 감지를 한다.^[2] 그러나 이러한 기존의 아크감지 방법의 경우 특정 주파수 대역만을 검출하는 방법은 무해성 고주파 노이즈 성분이 방해 요소로 작용하여 검출 신뢰도의 문제점을 야기할 수 있으며 기존의 시중 아크차단기 제품들의 경우 무해성 고주파 노이즈로부터 오동작을 방지하고자 대부분 둔하게 감지되도록 설정되어 실제 화재로 이어질 수 있는 유해한 아크 발생 시 제대로 차단 동작이 되지 않는 문제가 있다. 따라서, 본 연구에서는 비교적 일정한 주기성을 갖는 노이즈 신호와 불규칙적으로 발생하는 아크 신호의 파형 특성을 이용하여 아크를 검출하는 새로운 방법을 제안한다.

그림 4는 One Class SVM 모델을 이용하여 발생하는 지연 시간을 확인한 그림이다. 모델의 학습 시작부터 추론까지 걸리는 시간을 측정하였으며, 각 주기별로 약 6 ms 내외의 추론 시간이 소요되었고, 10주기에 대해 9회 비교하고 아크 경보 LED 신호 전달 까지 평균 80 ms의 시간이 소요되는 것을 확인하였다.

3.3 실험결과 및 고찰

적분기를 이용할 경우 아크 발생 시 매우 짧은 시간 순간적으로 발생하는 고주파 신호를 읽는데 용이해지며, 이러한 연산 증폭기를 사용한 파형의 적분은 여러 가지 장점이 있음을 확인할 수 있었다. 우선 입력 파형의 전체적인 변화를 빠르게 파악할 수 있게 되며, 파형을 적분하면 순간적으로 첨예하게 발생하는 값들이 평균값으로 변환되어 파형이 비교적 연속적이고 완만해짐을 확인할 수 있었다. 특히 마이컴을 이용하여 아날로그 신호를 처리하는 것은 샘플링 속도의 한계가 있고, 순간적으로 발생하고 지나가는 고주파 성분을 읽으려면 샘플링 주기가 더욱 빨라야 한다. 적분기를 이용하여 이러한 문제를 개선할 수 있었고 적분된 파형은 마이컴의 아날로그 포트로 입력되어 파형 데이터셋을 수집하는 과정을 수행하였다.

부하별로 백열등의 경우 평균 약 85 ms가 소요되었고, 형광등의 경우 88 ms가 소요되었으며, 각 부하별 아크감지 실험을 5회씩 실시 결과 모두 아크를 검출함을 확인하였다.

4. 결론

전기를 이용하는 시스템에서 발생하는 아크는 전기적 폭발이나 방전으로 화재나 장비 손상 등의 위험을 초래할 수 있다. 또한 전기화재 원인 중에서도 대부분을 차지하지만 기존의 누전 및 과부하를 감지하는 차단기들은 아크와 스파크에 대한 차단 능력이 부족한 실정이다. 그리고 아크와 스파크로 인한 화재를 예방할 수 있는 아크차단기가 기존에도 상용화되어 판매되고 있지만 특정 조건이나 노이즈 환경에서 제대로된 감지를 하지 못하는 경우가 많다. 이는 기존에 제품화된 아크차단기들이 단순히 zero crossing 부분의 파형분석이나 사고아크성 노이즈 펄스 수를 카운팅하여 임계치를 넘을 경우 아크로 감지하는 방식이 대부분인 것으로, 이로 인해 자기식 형광등에서 발생하는 노이즈나 SMPS 등의 스위칭 노이즈에 대해서도 아크로 오검출하는 사례가 존재한다.

본 연구에서는 이러한 문제를 해결하고자 적분기회로를 구성하여 아크 및 노이즈의 전처리를 수행하고 무선 네트워크를 지원하는 마이컴을 이용하여 머신러닝 기반의 아크 검출이 가능하도록 하였다.

이러한 연구를 통해 일반적으로 사용되고 있는 RCBO 등을 통해 차단할 수 없는 아크에 대해 적용성있는 회로를 개발할 수 있었고, 기존에 개발되어 판매되고 있는 아크감지기보다 정밀하게 아크를 검출할 수 있음을 확인하였다.

향후 연구에서는 제안한 회로를 일체화 및 소형화 시켜 실용화한다면 적은 비용으로도 전기화재를 예방하여 인명 및 재산 피해를 크게 줄여 안전한 전기 환경을 만드는 데 기여할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 본 연구에서는 기본적인 One Class SVM 라이브러리를 이용하여 구성한 모델을 통해 아크 발생 여부를 탐지하도록 하였으나 직렬아크 발생 특성에 맞는 인공지능 모델을 새롭게 개발하여 적용한다면 좀 더 높은 속

성과 정밀한 아크 탐지가 가능할 것으로 기대된다.

본 연구는 중소벤처기업부의 2024년도 창업성장기술개발 사업의 지원에 의한 연구임 [RS-2024-00468241].

참 고 문 헌

- [1] Dong-Kurl Kwak, Min-Sang Jung, Won-Jong Baek, and Jin-Kyu Ryu, A Study on an Arc Detection Device by Noise Learning Algorithm, The Transactions of The Korean Institute of Electrical Engineers, Vol. 72, No. 10, pp. 1306-1314, 2023.
- [2] Chan-Woong Park and Woo-Cheol Lee, Study on Arc Detection Based on Frequency Analysis with Goertzel Algorithm, The Transactions of The Korean Institute of Electrical Engineers, Vol. 73, No. 1, pp. 122-128, 2024.