

# 직렬아크 파형특성을 이용한 DC 선로 아크검출에 관한 연구

정민상, 곽동걸\*, 최승민\*, 강효진\*\*, 백원중\*\*\*  
 (주)에너지엔지, \*강원대학교, \*\*㈜지티에이컴, \*\*\*(주)화이온방재

## A Study on Arc Detection in DC Power Line Using Series Arc Waveforms Characteristics

Min-Sang Jung, Dong-Kurl Kwak\*, Seung-Min Choi\*, Hyo-Jin Kang\*\*, Won-Jong Baek\*\*\*  
 ENER E.N.G Co., \*Kangwon National University, \*\*GTACOM Co., \*\*\*Fire Prevention Co.

### ABSTRACT

It is very high that the proportion of fires caused by electrical factors in Korea. In particular, fires caused by arc faults account for most of the total electric fire. However, the prevention of arc faults is insufficient in Korea. This paper proposes a new arc detection device using series arc waveforms characteristics in DC power line. The proposed arc detector has an algorithm that takes advantage of the intermittent occurrence of arc waveforms in the event of an arc fault. Therefore, arc fault signals are repeatedly counted, harmless noise signals are ignored by unifying them into one signal. As a result, it has the feature of preventing malfunction of the arc detection device.

### 1. 서 론

우리가 사용하는 전기설비에는 많은 DC 전로가 존재한다. 전기제품을 높은 효율로 사용하기 위해 AC를 DC를 변환하여 전기설비를 운용한다. 신재생에너지인 태양광발전설비와 에너지저장장치(ESS : Energy Storage System) 및 전기자동차 등 DC 전원으로 운용되는 전기시설물은 지속적으로 증가하는 추세이다. 또한 산업현장의 경우 AC 모터 대비 장점이 많은 DC 모터를 적용하는 추세이다. 그러나 DC 전로에 아크사고 발생 시 이를 감지하거나 제어할 방법이 현재는 미흡한 실정으로 연구개발의 필요성이 시급한 실정이다. 또한, 기존의 아크차단기의 경우도 신뢰있는 동작성능을 보장하지 못하며, 노이즈와 아크사고를 판단하지 않고 동작하여 사고아크에 대한 오동작을 빈번히 발생시키는 문제점을 가지고 있다.

이에 본 논문은 DC 선로에서 발생하는 아크사고를 정확히 검출하기 위하여, 직렬아크의 파형특성을 이용한 알고리즘으로 사고아크와 노이즈를 구분하는 원리를 제안한다. 아크발생 시 아크신호들은 간헐적으로 나타남을 알 수 있고, 무해성의 노이즈 신호들은 주기적으로 발생하는 특징이 있다. 본 논문에서 제안하는 아크감지 기법은 이렇게 간헐적으로 나타나는 아크신호들은 매회 카운터되어 설정값 이상으로 카운팅되면 아크사고로 판별하고, 주기적인 노이즈 신호들은 하나의 신호로 단일화하여 카운팅되어 아크사고로부터 무시되는 원리를 가진다.

제안한 아크감지 장치는 정밀성과 신뢰성이 우수하여 전기 화재 및 재산피해 예방에 그 효과가 기대된다.

### 2. DC 선로 아크사고 분석

#### 2.1 DC 직렬아크 사고

DC 선로의 아크사고는 선로압착, 접촉불량, 시공불량 노후에 의한 소손, 외부충격 등 다양한 형태로 일어난다<sup>[1]</sup>.

그림 1은 태양광발전설비 접속반 내부에서 발생한 사고의 일례이다. 퓨즈 홀더와 DC 간선의 접속불량으로 인해 발생한 사고로 추정하고 있다.



그림 1 접촉불량으로 인한 DC 접속반 화재  
 Fig. 1 DC connection panel fire due to Contact Badness Faults

퓨즈 홀더와 DC 간선 사이 접속점 접촉불량에 의해 20,000℃ 이상의 발열을 동반하는 사고아크가 발생하여 선로가 발화된 사고이다. 철제 외함으로 제작된 접속반 내부의 사고라 주위에 발화물질이 없어 화재로 이어지진 않았지만, 태양광발전이 중지되어 그에 따른 큰 손실이 발생하였다.



그림 2 직렬아크로 인한 DC 선로 소손  
 Fig. 2 DC Line damage due to series arc

그림 2는 태양광 모듈 간선의 접속제인 MC-4커넥터에서 직렬아크 발생으로 커넥터가 소손된 사고이다. 이 사고는 시공불량 또는 외부 충격으로 인해 발생한 사고로써, 접속재가 소손되면서 내부 접속부의 공극이 발생, 고온의 직렬아크가 커넥터를 녹여 선로가 단선된 사고이다. 위와 같은 아크사고들은 단락사고와 같이 즉각적인 소손이 발생하지 않고, 접속 및 접속 불량에 의한 지속적인 사고아크 발생 후 발화 한계에 다다랐을 때 소손 되는 특징을 가지고 있다<sup>[2]</sup>. 또한 이러한 직렬아크들은 병렬아크와 달리 아크신호들이 간헐적이고 불규칙하게 발생하는 특징을 가진다. 본 논문에서는 이러한 아크신호의 파형 특징을 이용하여 사고아크를 감지하는 회로를 제안하고자 한다.

### 2.2 DC 선로 노이즈와 직렬아크 파형특성

기존 국내외에서 개발되어 사용되는 전기아크 검출기와 아크차단기는 아크 트래킹의 펄스 수와 아크의 진폭을 감지하여 아크의 발생을 검출하는 방식과 아크의 특정한 주파수 스펙트럼을 분석하여 아크의 발생을 검출하는 방식이 주로 사용된다<sup>[3]</sup>. 이는 전기 수용가에서 사고아크와 주파수 특성이 유사한 비위험성 노이즈가 발생할 경우 검출의 오동작으로 인한 신뢰성의 저하를 야기한다.

본 논문에서는 이러한 문제점의 개선을 위해 비위험성 노이즈와 사고아크를 구분하여 사고아크의 발생을 검출하는 아크검출장치 회로 토폴로지를 제안한다.

일반적인 노이즈는 특정 주파수대를 기준으로 크기와 발생 주기가 비교적 규칙적으로 나타나는 특성을 보인다. 이에 비해 아크사고는 크기와 발생 주기가 매우 불규칙하며 다양한 대역대의 주파수 값을 가진다<sup>[4]</sup>. 이러한 특성을 이용하여 제안한 사고아크 검출장치는 이렇게 간헐적으로 나타나는 아크신호들은 매회 카운터하여 설정값 이상으로 카운팅되면 아크사고로 판별하고, 주기적인 무해성 노이즈 신호들은 하나의 신호로 단일화시켜 소수로 카운팅하여 아크사고가 아닌 것으로 분류되어, 비위험성 노이즈에 의한 아크사고 오동작을 방지한다.

### 3. DC 선로 아크검출 회로 토폴로지

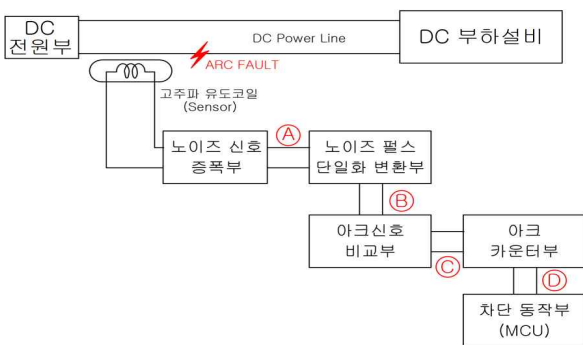


그림 3 제안한 DC 선로 아크검출 회로 토폴로지  
Fig. 3 Proposed DC line arc detection circuit topology

그림 3은 본 논문에서 제안한 DC 선로 아크검출 장치의 구성을 나타낸 블록도이다. 제안한 DC 선로 아크검출 장치는 유도코일과 노이즈 신호 증폭부를 통해 선로에서 발생한 노이즈를 검출한다. 유도코일은 기존 선로의 변형 없이 선로에 인접하게 설치하는 것으로 노이즈를 검출할 수 있는 장점이 있다.

검출된 노이즈는 노이즈 펄스 단일화 변환부에서 사고아크

와 비위험성 노이즈를 구분한다. 사고아크로 구분된 노이즈신호는 아크신호 비교부와 아크 카운터부의 출력에 의해 아크사고의 발생여부를 판단하는 원리를 가진다.

또한 노이즈 펄스 단일화 변환부에서는 비교적 규칙적으로 발생하는 비위험성 노이즈신호를 저항과 커패시터를 이용한 적분기를 통해 신호를 단일화하여 아크 카운터부에서 카운팅되지 않도록 한다. 이는 불규칙한 특성을 가지는 사고아크 신호만을 카운팅하며 아크 카운터부에서 아크사고를 판단할 수 있도록 한다. 그림 3 토폴로지의 (A), (B), (C), (D)는 아크검출 실험 및 동작특성의 오실로스코프 측정 위치이다.

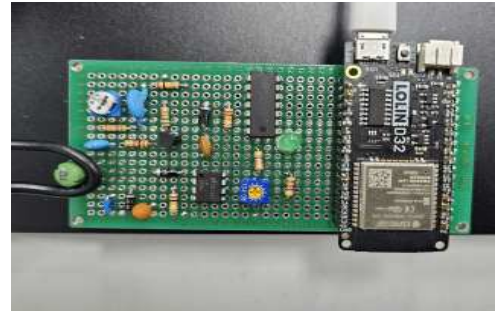


그림 4 제안한 아크검출장치 PCB 외형 사진  
Fig. 4 PCB External photograph of proposed arc detector

그림 4는 DC 선로 아크검출장치 PCB 외형도이다. 아날로그와 디지털 소자를 이용하여 속응성이 우수하며 소형으로 제작되는 장점이 있다. 그리고 마이컴(Micom)을 이용하여 사고아크 검출의 정밀성과 신뢰성을 높이고, 유무선 통신방식을 이용하여 원격 알람시스템의 구축이 가능한 특징이 주어진다.

### 4. 실험결과 및 검토

그림 5는 노이즈 펄스 단일화 변환부의 파형으로 크기가 규칙적이며 발생이 주기적인 노이즈 파형(A)이 입력 되었을 때, 이를 하나의 펄스로 단일화하여 출력되는 파형(B)이다. 이는 규칙적으로 발생하는 노이즈 신호의 발생 시 한 개의 펄스신호로 출력되며, 이는 상기의 이론적 해석에서 서술한 것과 같이 제안한 아크검출 장치에서 비위험성 노이즈로 인해 발생하는 오동작을 방지하기 위한 특성을 나타낸다.

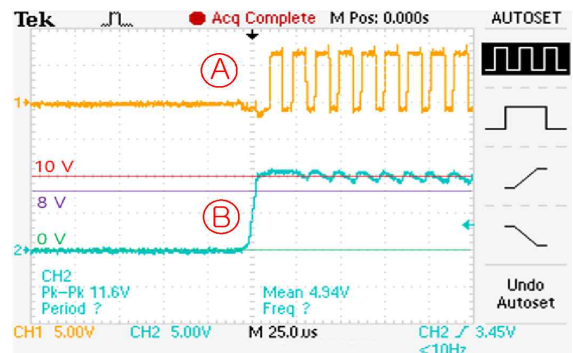


그림 5 노이즈 펄스 단일화 파형  
Fig. 5 Unification waveform of noise pulses

그림 6은 아크사고 발생 시 나타나는 동작특성 파형으로서 노이즈 펄스 단일화 변환부에 사고아크 신호(A)가 입력되었을

때 출력되는 전압파형(㉑)을 나타낸다. 이는 반복적인 특성을 가지는 비위험성 노이즈는 하나의 펄스로 단일화시켜 개수가 제한되는 반면 비정기적인 특성을 가지는 사고아크 신호는 다수가 발생하여 통상적인 노이즈신호와 사고아크 신호를 구분하여 검출됨을 알 수 있다.

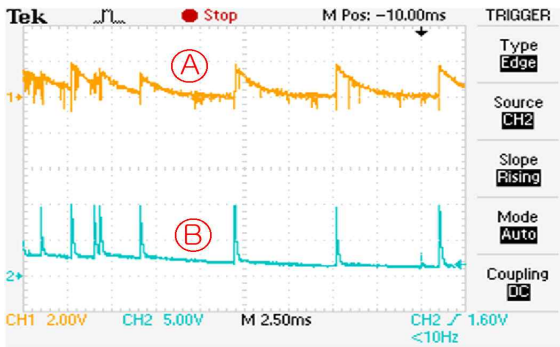


그림 6 사고아크 신호 파형  
Fig. 6 Arc fault signal waveforms

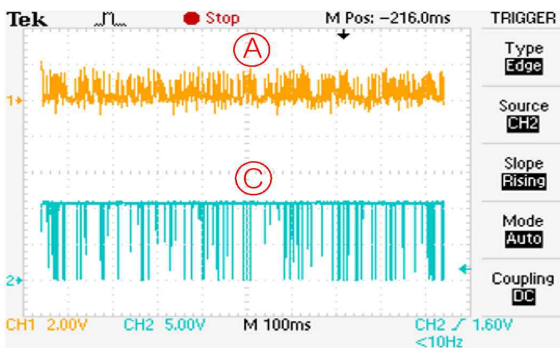


그림 7 아크신호 비교부 전압파형  
Fig. 7 Voltage waveforms of arc signal comparison part

그림 7은 사고아크의 발생에 따라 유도코일과 노이즈 신호 증폭부에서 인가되는 전압파형(㉑)과 아크신호 비교부에서 출력되는 동작특성 파형(㉒)을 나타낸다. 이들은 후단의 아크 카운터부에 사고아크로 카운팅 된다.

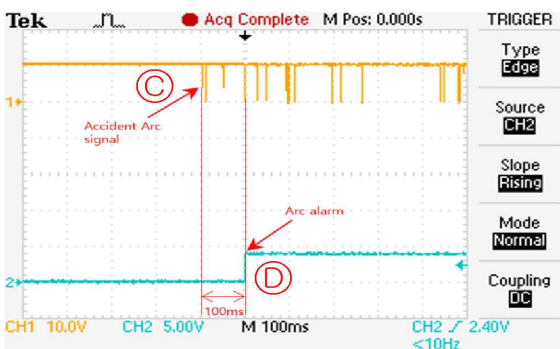


그림 8 아크사고 검출 파형  
Fig. 8 Arc accident detection waveform

그림 8은 사고아크의 발생 시 아크신호 비교부에서 출력되는 전압파형(㉑)과 아크 카운터부의 설정된 카운팅 이상에서 아크사고 알람을 위한 마이컴 출력파형(㉒)을 나타낸다.

제안한 아크검출장치는 다양한 부하조건에서의 실험을 통해

최대 180 ms이내에서 아크사고를 검출하는 동작특성을 보였다.

## 5. 결론

본 논문에서는 DC 선로의 아크검출장치에 대한 새로운 아크검출 회로 토폴로지를 제안하였다. 제안한 아크검출 회로는 DC 배선선로에 발생하는 각종 노이즈 신호를 검출하여 증폭하고 단일화하여 아크사고를 검출하는 알고리즘으로서, DC 선로에서 발생하는 아크사고를 신속하고 정확하게 검출할 수 있음을 확인하였다. 그리고 제안한 아크감지기는 직렬아크 파형특성을 고려하여 통상적으로 발생하는 비위험성 노이즈와 사고아크를 구분하여 검출하므로 노이즈로 인한 감지기의 오동작을 방지하는 특징이 주어졌으며, 또한 노이즈 검출은 고주파 유도코일을 통하여 검출하므로 설비의 정진 및 변경 없이 시설함으로써 설치의 용이함이 주어졌다. 다양한 부하조건에서의 실험을 통해 최대 180 ms이내에서 아크사고를 검출하는 동작특성을 가졌다.

본 논문은 행정안전부의 재난관리(방재안전분야) 전문인력 양성사업의 지원을 받아 제작되었음.

## 참고 문헌

- [1] Wan-Su Kim, and Kwang-Muk Park, "DC Arc Characteristics Analysis according to UL1699B Test Standard of the Status", Current Photovoltaic Research, Vol. 11, No. 4, pp. 118-123, 2023.
- [2] Kheongyong Park, et al., "A Study on the Installation of the Arc-Fault Circuit Interrupters for Preventing Electric Fires", Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, Vol. 36 No. 6, pp. 1-8, 2007.
- [3] Yong-Jung Kim, Hyosung Kim, "Voltage-Power Area for Arc-safe Operation of Electric Contacts in Low Voltage DC systems", The Transactions of the Korean Institute of Power Electronics, Vol. 28 No. 4, pp. 249-254, 2023.
- [4] Chan-Gi Cho, et al., "Arc Detection Performance and Processing Speed Improvement of Discrete Wavelet Transform Algorithm for Photovoltaic Series Arc Fault Detector", The Transactions of the Korean Institute of Power Electronics, Vol. 26 No. 1, pp. 32-37, 2021.