

수배전반 아크 피해 저감을 위한 초고속 자외선 광검출 시스템 구현

임대식*, 박건우*, 박현수*
(주)케이디파워

Implementation of high-speed UV light detection for the reduction system of arc damage in switchgear panel

Dae-Sik Lim*, Keon-Woo Park*, Hyun-Soo Park*
KD POWER CO., LTD.

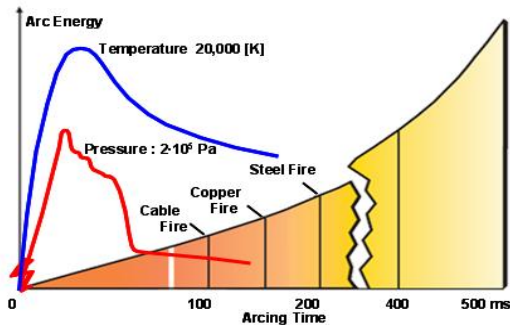
Abstract - 화재 및 인명사고의 약 40% 이상이 아크플래시사고로 인한 원인으로 밝혀지고 있다. 이에 아크 플래시 발생으로 인한 2차 사고 방지가 산업·경제적 측면에서 중요하다고 판단하여 본 연구에서는 초고속 자외선 검출 시스템을 구현하였다.

아크 플래시 신호를 광파이버 포인트 센서 및 광섬유 루프센서를 이용하여 초고속 광검출 및 고속 신호처리 컨트롤러를 이용해 차단기 트립 개시 신호 출력까지 시간을 1.5ms 이내로 출력하는 것을 목표로 하였으며 테스트베드를 통해 구축한 시스템에서 아크 발생 후 소요시간 약 1ms의 트립 개시 신호를 출력하는 초고속 아크 검출 시스템을 개발하였다.

1. 서 론

아크는 밝게 빛나는 플라즈마 형태의 전기 방전을 말한다. 국내 전력 설비 사고 현황을 살펴보면 수배전반 내부에서 노후로 인한 절연 파괴, 조작자의 실수, 곤충 및 동물의 침입 등 많은 이유로 화재 및 폭발 사고들이 발생하고 있으며 수배전반 내부에서 일어나는 사고는 고장 및 사고 발생 시 정전으로 이어져 큰 피해가 발생하고 있음을 알 수 있다. 이로 인해 여러가지 안전대책 및 규정을 준비하고 있으나 그럼에도 불구하고 대다수의 전력 설비가 지하실 및 옥상 등 한정된 공간 내에서 불안정하게 관리되고 있는 실정이다.

아크로 인한 사고는 아크 지속 시간이 길어질수록 수배전반 패널 및 전력기에 심각한 손상을 입게 하고 정전, 화재 등 2차 피해까지 발생하게 한다. 아래 그림 1을 보면 아크 사고 에너지는 아크의 지속시간에 따라 커지며, 피해 사고의 규모를 대략적으로 알 수 있다.



<그림 1> 아크플래시 노출 시간에 따른 사고 유형[1]

그림 1에 따르면 아크 플래시 발생 후 100ms 지속 시 케이블 화재 발생, 150ms 지속 시 전선 내 동선 화재, 200ms 지속 시 수배전반 외함 화재로 이어지며 이러한 2차 피해가 발생하지 않기 위해서는 30~50ms 내 아크 차단이 필요함을 반증한다.[1]

아크로 인한 사고를 줄이기 위해서는 아크 플라즈마의 지속시간 단축이 필수적인 부분이라고 할 수 있기 때문에 미국·유럽 등 선진국에서는 아크 피해 최소를 위해 30여 년 전부터 관련 차단 기술을 개발하고 있으며 아크 사고 최소화를 위해 아크 차단 시간을 줄이는 제품을 출시하고 있다.[2]

이러한 환경에서 아크 플래시 사고의 위험성에 대해 인지하고, 아크 발생 시 아크 차단 시간을 줄이기 위하여 자외선 광검출 센서와 컨트롤러를 통해 아크 검출 및 트립 신호 출력까지 걸리는 시간을 1.5ms 이내로 하는 초고속 아크 검출 시스템을 구축하였다. 또한, 전기설비 작업 시 작업자의 안전사고 발생 위험도를 표시해줌으로서 작업자의 안전에 대한 경각심을 불러 사고를 미연에 방지하고 원격 감시 시스템에서 알람

경보와 함께 휴대전화로 위험성을 알려주도록 하여 사고를 예방할 수 있는 스마트한 제해방지 기술로 시스템을 구현하고자 하였다

2. 본 론

본 연구에서는 수배전반 내 발생하는 아크를 광파이버 포인트 센서와 광섬유 루프 센서를 통해 감지하고, 검출 신호를 고속 신호처리 컨트롤러를 이용하여 계전기 트립코일 신호로 변환하여 Trip 동작 신호를 주는데 까지 걸리는 시간을 1ms 이내로 구현하는 것을 목표로 하였다.

2.1 장치구성

아크 플래시 검출 장치는 아래 그림2와 같이 크게 고속 아크 검출 센서와 고속 신호처리 컨트롤러로 구성된다.



<그림 2> 아크플래시 검출 장치 구성

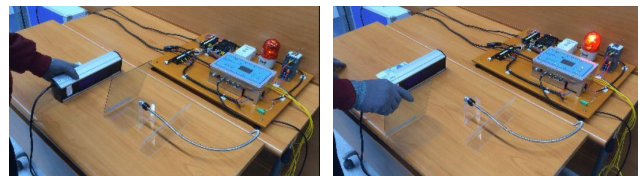
2.1.1 고속 검출 센서

아크 검출을 위한 센서의 경우 광파이버 포인트 센서, 광섬유 루프센서로 구성되며, 아크 발생 시 수반되는 광 에너지의 자외선 영역, 또는 가시영역 중 450nm~1,200nm 파장 대역에 형성된 아크의 광세기를 검출할 수 있도록 설계하여 빛에 의한 오류를 줄이고 정확한 아크 데이터만을 검출할 수 있도록 설계하였다.

포인트 센서의 경우 365nm미만의 자외선 투과 및 가시광선 비(非)투과를 위한 자외선 필터를 적용한 광센서로 광과장 영역 중 자외선 영역대의 빛을 빠르게 검출할 수 있도록 하였으며, 아크 플래시가 발생하는 주요 지점을 집중 감시하는 역할을 수행한다.

루프센서는 360° 각도로 아크 검출이 가능하며 아크 검출이 필요한 전기설비에 맞게 길이를 구성하여 설치가 가능해 검출 범위 조정이 가능하다.

또한, 센서는 검출할 광 에너지의 검출 세기를 현장 환경에 맞게 수동으로 조정이 되는 기능을 내장하여 아크의 검출 강도를 조절할 수 있다. 또한 검출 센서의 경우 자외선 검출 성능 확인을 위해 자외선 차단 필터를 이용한 테스트베드를 구축하여 아래 그림 3의 실험을 진행하였다.

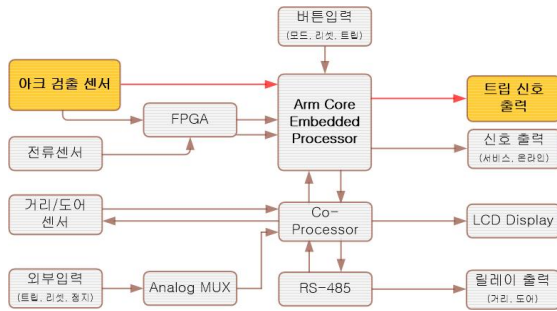


<그림 3> 자외선 검출 센서 테스트

그림 3의 실험은 자외선 차단율 99%의 L사 자외선 차단 필터를 사용하여 자외선 필터 유무에 따라 센서의 동작 실험을 통해 자외선 센서 검출 신호 출력력을 확인하였다.

2.1.2 고속 신호처리 컨트롤러

아크를 신속히 감지하는 것만큼 고속 신호처리를 통하여 사고를 판단하고 차단기 트립신호를 정확히 출력하는 것도 중요하다. 감지 이후 고속 신호처리 컨트롤러가 사고로 오판하여 차단기 트립 신호를 출력할 경우 계통 운용에 마비가 오게 되므로 매우 큰 손실 및 사고가 발생할 수 있다. 따라서 이러한 오동작을 줄이고 제품의 신뢰성을 향상시키기 위하여 설치 단위에 최적화할 수 있는 제어 알고리즘과 감지 단계에서의 광검출 범위 설정, 데이터를 통한 아크 발생 판단 등을 연산하고 고속 출력에 의한 신뢰성 확보를 위하여 최적화된 알고리즘을 구현하였다. 다음 그림 4는 대략적인 시스템 알고리즘 블록 다이어그램이다.



〈그림 4〉 아크 검출 알고리즘 블록 다이어그램

본 구성 시스템의 컨트롤러는 아크플래시를 검출하는 광파이버 센서가 최대 6개 장착되며, 1.5 ms 안에 아크를 감지하여, 차단기를 트립시키는 신호를 발생한다.

컨트롤러는 10,000Lux~40,000Lux의 설정범위를 가지며 전면에 검출 아크의 세기를 조절할 수 있는 기능이 있어 10klux~40klux사이의 광검출 세기의 동작 조절이 가능하다. 연구에서의 시스템은 아크 검출에서부터 컨트롤러에서 트립 신호를 출력하는 시간을 줄여 아크 트립 시간을 줄이는데 목적이 있으므로 트립 개시 신호 발생까지 1ms 이내로 할 수 있는 고속 H/W 구조를 설계하였다.

2.2 테스트베드 구축

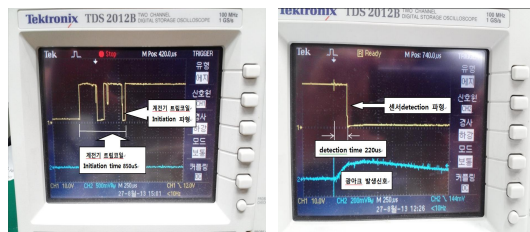
본 시스템의 초고속 검출 성능을 확인하기 위하여 두가지 아크 광원을 통하여 자체시험을 실시하였다.

첫 번째 방법은 광스트로브 발생장치(고휘도 5klux~20klux)를 통한 차단기 동작 신호 검출 테스트이다. 다음 그림 5와 같이 테스트베드 환경을 구축하고 활선 상태에서 광스트로브 동작 시 아크 트립 신호 출력까지의 신호를 출력하고 50ms의 트립시간을 가지는 차단기를 사용하여 각각 단계에서의 지연 시간을 확인하였다.



〈그림 5〉 아크플래시 검출 시스템 테스트베드(광스트로브)

위 그림과 같은 테스트 환경에서 광스트로브 동작 시 오실로스코프를 통해 다음의 결과를 확인하였다.



〈그림 6〉 아크플래시 검출 시스템 측정(광스트로브)

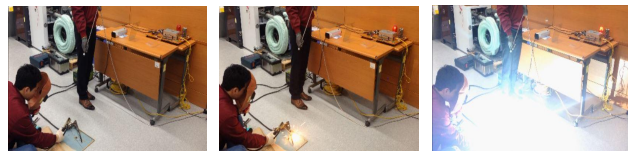
테스트 결과는 다음의 표 1과 같이 확인할 수 있었다.

〈표 1〉 아크플래시 검출 시스템 측정 데이터(광스트로브)

광 세기	10Klux		20Klux	
검출 이격 거리	30cm	60cm	30cm	60cm
센서 아크검출 시간 (detection time)	220us	220us	200us	200us
계전기 트립코일 (initiation time)	850us	850us	790us	790us
검출-트립코일 전 단계의 총소요시간	1.07ms	1.07ms	0.99ms	0.99ms
차단기 트립시간 (CB trip time)	50ms	50ms	50ms	50ms
Total arcing time	51.07ms	51.07ms	50.99ms	50.99ms

위의 표 1과 같이 차단기 트립 시간은 제외하고 아크 발생지점에서 트립 개시 신호 출력까지 약 1ms의 소요시간이 걸림을 확인하였다.

두 번째 방법은 아크 용접기를 이용하여 실제 아크에 대한 반응속도를 확인하였다. 첫 번째 방법과 동일한 환경에서 광스트로브 광원 대신 아크용접 불꽃을 이용한 테스트를 진행하였다.



〈그림 7〉 아크플래시 검출 시스템 테스트베드(아크용접)

위의 그림 7과 같이 실제 아크와 유사한 아크 발생을 위하여 동일 환경 내 광원을 아크 용접기로 아크를 발생시켜 테스트를 진행하여 다음의 측정 결과를 도출하였다.

〈표 2〉 아크플래시 검출 시스템 측정 데이터(아크용접)

검출 이격 거리	30cm	60cm
센서 아크검출 시간 (detection time)	80us	80us
계전기 트립코일 (initiation time)	950us	950us
검출-트립코일 전 단계의 총소요시간	1.03ms	1.03ms

위 두 실험에서 아크 검출을 위한 검출 장치로 광파이버 포인트 센서를 사용하였고, 아크 신호 발생을 통한 모의 실험에서 해외 선진사의 제품 성능과 비교해 성능이 동등 또는 우수한 시스템을 구현하였다

3. 결 론

아크 플래시 사고는 절연불량, 과부하, 자연열화, 작업자의 과실 등의 사유로 다양하게 발생하며 2014년 전기안전공사 전기안전포털시스템 통계자료에 의하면 아크 플래시 원인으로 판단되는 전기사고는 44%에 달하고 있으나 국내에서는 아직 이러한 아크 사고에 대한 안전 설비가 미흡하다 이에 사고 발생 시 최단시간 내에 아크를 차단하여 2차 사고로 이어지지 않도록 하는 아크 플래시 초고속 검출 시스템을 개발하였다. 테스트베드를 통한 자체 시험을 통하여 목표 시간 내에 차단 개시 신호를 출력하는 시스템의 성능을 확인하였다. 향후 국내 전기 산업에 적용(사업화)을 통해 전량 외국에서 수입되고 있는 아크플래시 검출 시스템을 국내 기술 개발을 통한 신제품 개발을 통해 이를 대체할 수 있어 국산화에 크게 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 정영우, "수배전반 보호용 Arc Protection System 개발", 2010년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 2010.7.14.-16
- [2] Wilson, R.A., "Tripping with the Speed of Light : Arc Flash Protection", Protective Relay Engineers, 2007, 226-238, 2007