

리플전압을 이용한 병렬아크 사고 감지기 개발

최정규¹, 곽동걸[†]

Development of Parallel Arc Fault Detector Using Ripple Voltage

Jung-Kyu Choi¹ and Dong-Kurl Kwak[†]

Abstract

The major causes of electrical fire in low-voltage distribution lines are classified into short-circuit fault, overload fault, electric leakage, and electric contact failure. The special principal factor of the fire is electric arc or spark accompanied with such electric faults. This paper studies the development of an electric fire prevention system with detection and alarm of that in case of parallel arc fault occurrence in low-voltage distribution lines. The proposed system is designed on algorithm sensing the instantaneous voltage drop of line voltage at arc fault occurrence. The proposed detector has characteristics of high-speed operation responsibility and superior system reliability from composition using a large number of semiconductor devices. A new sensing control method that shows the detection of parallel arc fault is sensed to ripple voltage drop through a diode bridge full-wave rectifier at electrical accident occurrence. Some experimental tests of the proposed system also confirm the practicality and validity of the analytical results.

Key words: Electric fire, Parallel arc fault, Ripple voltage, Short circuit fault, Voltage drop

1. 서 론

과학기술의 발전으로 현대사회는 빠른 속도로 변화하고 있다. 변화의 속도를 가속화시키는 여러 원인 중 전기는 중요한 원인으로 꼽을 수 있지만, 전기를 사용함에 있어서 부주의한 사용, 전기기기의 불량 및 전선 불량으로 인한 전기화재 발생은 늘어나고 있는 추세이다. 국민안전처 국가화재정보센터의 2014년 화재현황 통계에 따르면, 표 1과 같이 전체화재 발생건수의 약 25% 정도가 전기사고로 인한 화재로 분석된다^[1].

화재현황 통계에 따르면 총 화재건수 42,135건 중 부주의로 인한 화재가 21,489건으로 가장 많았으며, 그 다음으로 전기적 요인으로 인한 화재가 9,446건으로 부주의 사고를 제외한 화재 중 전기로 인한 화재가 가장 많이 발생함을 알 수 있다. 또한 전기화재 발화원인별 분

TABLE I
STATISTICS OF THE FIRES PRESENT STATE IN 2014

total	accidental fire sort		natural cause	arson		unidentified
42,135	electricity	9,446	243	real fire	478	3,561
	machinery	4,065				
	chemistry	360				
	gas leakage	168		arson doubt	948	
	traffic accident	511				
	carelessness	21,489				
	others	866				

석에 따르면 표 2와 같이 단락으로 인한 화재사고가 4,798건으로 전체 전기화재의 약 50.8%를 차지함을 알 수 있다^[2]. 표 2의 발화원의 대부분이 전기아크나 스파크를 동반하고 있으며, 이러한 아크나 스파크로 인하여 주변 가연물로 확대되어 전기화재를 일으키는 것으로 분석된다^[3,4].

특히 순간단락이나 압착손상, 층간단락 등에서 많이 발생하는 병렬아크는 높은 아크전류와 불꽃 방전을 동반하여 전기화재의 직접적인 원인으로 분석된다. 본 논문에서는 이러한 병렬아크 사고를 감지하고 경보를 울

Paper number: TKPE-2016-21-5-12

Print ISSN: 1229-2214 Online ISSN: 2288-6281

[†] Corresponding author: dkkwak@kangwon.ac.kr, Graduate School of Disaster Prevention, Kangwon Nat'l University
Tel: +82-33-570-6823 Fax: +82-33-570-6389

¹ Graduate School of Disaster Prevention, Kangwon Nat'l University

Manuscript received Jul. 1, 2016; revised Jul. 29, 2016; accepted Aug. 11, 2016

TABLE II
ANALYSIS RESULTS OF ELECTRICAL FIRES IN 2014

total	short circuit fault	leakage	over current	semi_connector	unidentified	
9,446	contact badness	892	386	926	176	2,397
	insulation flame	2,492				
	pressure injury	568				
	line to line short	96				
	tracking	750				
	others	763				

리는 아크사고 감지기를 개발하여 전기화재로 인한 인명피해와 재산손실을 저감하고자 한다.

제안한 감지기는 기술적으로 아크사고 발생 시 순간전압의 순간적인 전압강하를 감지하는 새로운 감지기법으로 설계되고, 다양한 동작특성 실험을 통하여 그 타당성과 실용성을 입증시킨다.

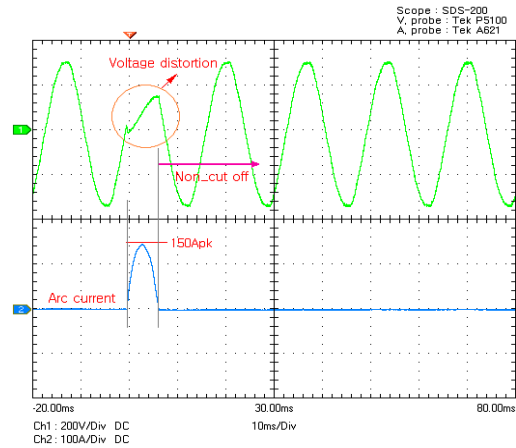
2. 아크사고 감지기 회로 토폴로지 설계

국내에서는 전기화재 예방의 목적으로 단락 및 누전사고를 예방하기 위하여 과부하검용 누전차단기를 사용하고 있다. 그러나 이 누전차단기는 아크사고가 발생할 경우 차단기의 신뢰성에 문제를 가지고 있다. 그 이유는 한국산업표준(KSC 4613)에서 정격차단시간을 30ms이하로 지정하고 있어 아크나 스파크 처럼 짧은 주기를 가지고 있는 이상신호가 입력되면 이 신호를 감지하지 못하기 때문이다^[3]. 그림 1은 과부하검용 누전차단기의 동작성능을 분석하기 위한 실험 특성파형을 보인다. 순간 단락사고에 의해 아크전류는 최대치 150A 및 195A의 매우 큰 전류가 흘렀으나 차단기는 동작하지 않는 것을 나타낸다^[4]. 또한 이 때 순간전압 파형은 전압감쇠를 동반한 왜형과 형태를 가지는 것을 알 수 있다.

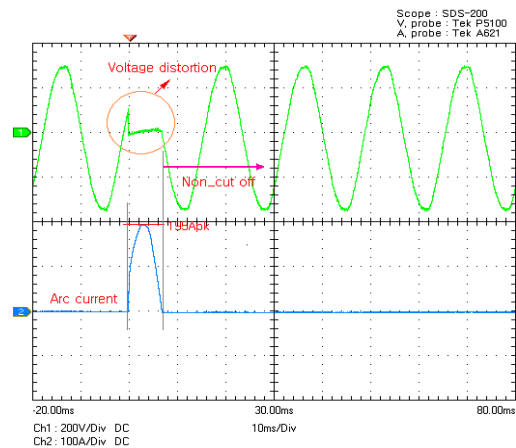
이러한 전압파형의 왜곡된 현상은 병렬아크 사고 발생 시 나타나는 일반적인 형태라 할 수 있다. 또한 전기화재는 하나의 불꽃방전(스파크, spark)에서 보다는 연속적인 불꽃방전(트래킹, tracking)에서 발생하는 경우가 대다수로서, 초기 하나의 아크전류가 감지되었을 때 계통을 보호하여 전기화재를 예방하는 제어장치의 필요성이 중요한 것으로 인식된다.

본 논문에서는 이러한 아크사고 발생 시에 나타나는 전압 왜형파를 신속히 감지하고 경보를 알리는 고속응, 고신뢰성의 감지제어 장치를 개발하고자 한다. 저압배선 선로에서 병렬아크 사고에 대한 제안한 감지 제어회로 구성을 그림 2에 나타낸다.

회로구성은 배선선로 L₁, L₂에 서지(surge) 보호용 베리스터(varistor) V₁이 연결되고 직류전원 공급을 위한 정류용 브릿지 다이오드 D₁~D₄, 리플 감쇠용 커패시터



(a) Case 1



(b) Case 2

Fig. 1. Operation performance waveforms of arc faults.

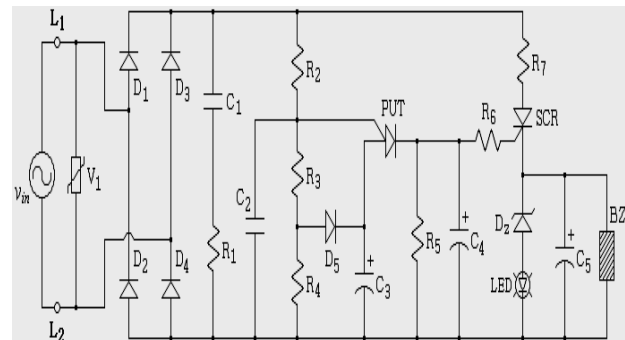


Fig. 2. Proposed detection circuit for parallel arc fault.

C₁과 저항 R₁, 그리고 분압용 저항 R₂, R₃, R₄, 아크사고 감지 동작스위치 PNT, PNT 구동용 커패시터 C₂와 C₃, 커패시터 C₃의 방전 방지용 다이오드 D₅, 개폐 서지 및 외란 오동작 방지용 적분기 R₅와 C₄, 경보기 구동용 스위치 SCR, SCR 민감도 조정용 제너다이오드 D₂, 사고발생 경보용 표시등 LED와 경보기 BZ, 그리고 전류제한용 저항 등으로 구성된다.

표 3은 제안한 병렬아크 사고 감지기의 주요 회로 정수값을 나타낸다.

TABLE III
PRINCIPAL CIRCUIT PARAMETERS

Capacitor C_1	0.33 μ F/450V	Resistor R_4	20k Ω
Resistor R_1	2M Ω	Capacitor C_3	1 μ F / 50V
Capacitor C_2	0.22 μ F/450V	PUT	40V, 0.3W
Resistor R_2	1M Ω	SCR	60V, 1A
Resistor R_3	200k Ω	Diode D_Z	$V_Z=10V$, 5W

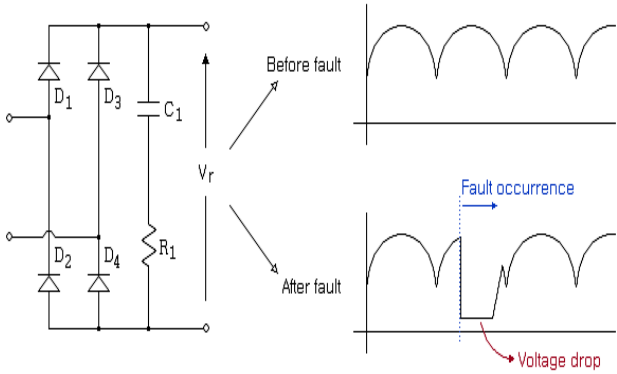


Fig. 3. Detection circuit part of arc fault.

제안한 아크감지기의 동작원리를 살펴보면, 먼저 정상 상태에서는 저항($R_2 \sim R_4$)의 분압전압에 의해 커패시터 C_2 의 충전전압이 커패시터 C_3 의 전압보다 크게 되어 스위치 PUT는 오프상태로써 감지기는 대기모드를 유지한다. 그러나 배선선로에서 병렬아크 사고가 발생할 경우 제안한 감지기는 3개의 동작모드로 구분되어 실행된다.

<모드 1> 아크사고 감지 모드

모드 1은 아크사고 발생 시 선간전압의 감쇠에 따른 [그림 1. 참조] 전파 정류기($D_1 \sim D_4$)의 출력부 리플전압은 그림 3과 같이 전압강하를 일으킨다.

<모드 2> 리플전압 강하 감지 모드

모드 2는 리플전압의 강하로 인한 커패시터 C_2 의 전압이 커패시터 C_3 의 전압보다 적게 되어 스위치 PUT는 턴-온 된다. 즉 선간전압의 강하에 따른 PUT의 아노드(anode) 전압이 게이트(gate) 전압보다 높게 되어 PUT를 온(on)시킨다.

<모드 3> 아크사고 경고 모드

모드 3은 PUT의 동작으로 인해 스위치 SCR이 턴-온 되어 경고 표시등 LED와 경고 부저 BZ를 동작시키는 모드이다. 또한 외부 유도성 부하의 개폐시나 뇌임펄스성 서지 등으로 인해 SCR의 오동작을 방지하기 위하여 RC적분 시지연 회로가 구성된다. 또한 순간적인 리플전압의 강하에 의한 SCR의 민감한 동작을 방지하기 위해 제너다이오드를 SCR과 직렬로 연결하였다.

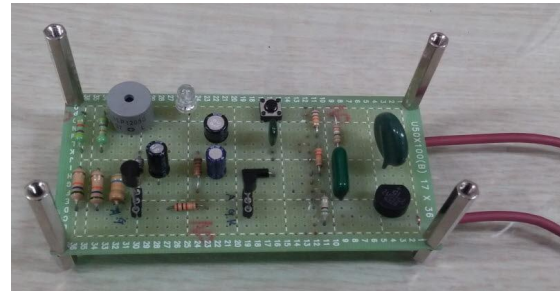
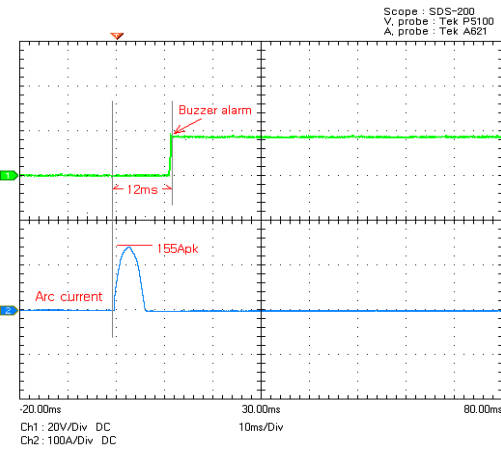
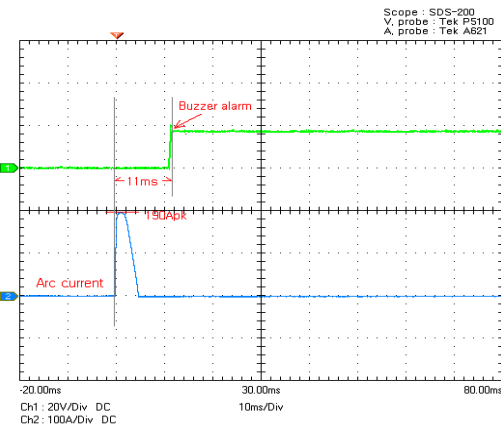


Fig. 4. Photograph of manufactured arc detector.



(a) Case 1



(b) Case 2

Fig. 5. Performance waveforms of proposed arc detector.

3. 제안한 아크감지기 동작특성 실험

제안한 병렬아크 사고 감지기의 이론적 타당성과 실용성을 입증하기 위해 동작특성 실험을 실행하였다. 병렬아크 발생은 탄소저항(6.8 k Ω /0.25 W)을 연결시켜 저항소자의 파손에 의한 순간적인 불꽃방전을 이용하였다. 그림 4는 제작한 병렬아크 사고 감지기의 PCB 외형도를 보인다. 회로구성이 간단하여 소형경량으로 제작되고 설치의 용이한 장점이 있다.

그림 5는 병렬아크 사고에 의한 제안한 아크감지기의 동작특성 실험파형을 나타낸다. 병렬아크 사고에 대해 제안한 아크감지기는 아크사고 시에 나타나는 왜곡된

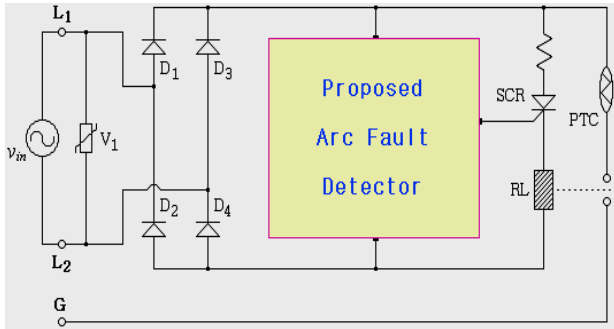


Fig. 6. Configuration for power line cut-off of arc fault.

전압 파형의 감쇠된 전압을 감지하여 경보를 알리는 제어기법을 가졌다. 동작 파형에서와 같이 아크전류 150A 이상에서 감지기의 동작은 약 12ms 이하의 우수한 속응성을 보였다.

제안한 아크감지기를 저압배선 선로계통에 적용하여 아크사고 발생 시 차단기를 동작시키는 원리는 그림 6과 같은 회로로 설계하여 구축할 수 있다. 이는 누전사고에 우수한 특성을 가진 기존 분전반의 누전차단기를 활용하는 기법으로, 아크사고 시 강제적인 단락 접지(G) 누전전류를 발생시켜 누전차단기를 트립시키게 된다.

회로구성은 제안한 아크감지기(그림 2)에 사용된 부저를 릴레이 RL로 대체시켜, 아크사고 시 SCR과 RL의 동작에 의한 강제적인 누전사고를 일으키는 구조로 설계된다. 여기서 PTC 서미스터는 강제적인 단락에 의한 누전전류의 상승을 억제하기 위해 사용되었다.

4. 결 론

저압배선 선로에서 전기화재의 주요 요인인 아크사고를 예방하기 위해 본 논문에서는 병렬아크 사고 감지기를 개발하여 실용성을 입증하였다. 제안한 감지기는 아크사고 시 선간전압의 순간적인 전압강하를 감지하는 알고리즘으로 설계되었으며, 반도체 소자들을 이용한 회로구성으로 감지기의 동작 속응성이 검증되었다. 또한 제작된 감지기는 소형으로 제작이 가능하여 설치의 용이한 장점이 주어졌다.

- 본 논문은 2015년도 강원대학교 대학회계 학술연구 조성비로 연구하였음 (관리번호-201510141)
- 본 연구는 중소기업청에서 지원하는 2015년도 산학연협력기술개발사업(No. C0333385)의 연구수행으로 인한 결과물임

References

- [1] MPSS_NFIC, "Fire present state statistics," 2014.
- [2] KESCO, "Electric disaster statistics analyses," 2014.
- [3] K. W. Kang, M. O. Yoon, S. H. Gu, and Y. J. Song, "A study on the reliability improvement plan on electric leakage & ground fault of low-voltage electrical line," *Journal of Korea Institute of Fire Sci. & Eng.*, Vol. 25, No. 6, pp. 136-145, 2011.
- [4] D. K. Kwak, "Development of RCD auxiliary trip device by using high precision current sensor," *Trans. of KIEE*, Vol. 58, No. 8, pp. 1532-1537, 2009.