

TEV센서를 이용한 저압배전반에서 직렬아크신호의 검출 Detection of Series Arc Signals by TEV Sensor in Low-voltage Switchboard

박서준*, 황성철*, 왕국명*, 길경석*†

Seo-Jun Park*, Seong-Cheol Hwang*, Guoming Wang*, Gyung-Suk Kil**†

Abstract This paper presents the detection of series arc signals by a transient earth voltage (TEV) sensor in low-voltage switchboard to avoid the electrical fires. A cord-cord and a terminal block-Y terminal were used to simulate typical arc sources in the switchboard. The arc signals were detected using a TEV sensor with a frequency range up to 100 MHz and were acquired by a data acquisition unit. It was revealed that the TEV signal was detected simultaneously with the shoulder of arc current. In addition, the two types of arc faults were detected in the frequency range of 0.5-35 MHz, whereas the peak spectrum of the cord-cord was distributed in 2.5-8 MHz and that of the terminal block-Y terminal was in 0.6-2 MHz.

Keywords : Series arc, Switchboard, TEV sensor, Frequency

초 록 본 논문은 저압배전반에서 발생하는 전기화재를 예방하기 위하여 TEV(Transient Earth Voltage)센서를 이용한 직렬아크검출에 관해 기술하였다. 직렬아크를 생성하기 위해 전선간 및 터미널블록 접속부 2종의 결함을 제작하였다. 100 MHz까지의 주파수성분을 검출할 수 있는 TEV센서를 이용해 아크신호를 측정하여 데이터수집모듈로 신호를 수집하고 이를 분석하였다. 그 결과 직렬아크의 전류파형에서 관측되는 영점지연(Shoulder)구간에 TEV 신호가 검출됨을 확인하였다. 또한 2종의 결함에서 발생된 TEV 신호를 이용해 주파수영역에서 비교한 결과, 모든 결함이 0.5-35 MHz에서 동일하게 분포하였다. 반면에 Peak Spectrum 분석 결과 전선간의 결함에서는 2.5-8 MHz로, 터미널블록 접속부에서는 0.6-2 MHz로 상이한 특성을 보였다.

주요어 : 직렬아크, 배전반, TEV센서, 주파수

1. 서 론

산업·경제의 성장으로 전기수요량이 급증함에 따라 전기화재로 인한 사고도 증가하고 있다. 2015년 국민안전처의 원인별 화재사고 통계치에 따르면 총 44,435건중 전기로 인한 화재사고는 8,989건으로 23%이상을 차지하였다. 특히 아크발생으로 인한 단락과 누전사고는 전기 화재 발생 원인에서 60%이상의 높은 비율을 보였다[1]. 이와 같이 폐쇄적인 공간에서 운행하는 철도차량의 저압배전반에서도 아크로인한 전기화재가 발생될 수 있으며, 인적·물적 손실에 대한 파급효과도 대규모로 확대될 수 있다[2-4].

† 교신저자: 한국해양대학교 공과대학 전자전기정보공학부(kilgs@kmou.ac.kr)

* 한국해양대학교 공과대학 전기전자공학과

아크는 전기기기의 접촉불량 및 절연과괴에 기인하며, 장기간 경과 시 국부적인 과열 및 단락으로 발전되어 전기화재로 이어진다[5]. 현재 차단기 및 퓨즈 등의 보호기기를 통해 전기화재를 예방하고 있지만, 사고 발생 직후 작동되기 때문에 사전에 예측이 불가능하다. 따라서 조기에 아크신호를 검출하여 위험신호를 확인할 수 있는 진단기술이 필요하다[6].

본 논문에서는 TEV(Transient Earth Voltage)센서를 이용하여 직렬아크발생시 방사되는 전자기파를 통해 신호를 검출하였다. 또한 저압배전반에서 발생 가능한 대표적인 2종의 결함을 모의하여 특성을 비교하였다.

2. 본 론

2.1 실험계의 구성

저압배전반의 전선 및 터미널 접속부 불량에 의해 발생하는 직렬아크방전을 모의하기 위하여 Fig. 1과 같이 실험계를 구성하였다. UL 1699의 규정에 따른 아크발생장치를 제작하였으며, 부하저항기를 조절하여 5A의 전류를 통전시켰다. 아크발생지점에서 1m 이격시킨 금속플레이트에 TEV센서를 부착하여 아크로부터 방사되는 전자기파를 검출하였다. 또한 아크의 전류과형과 비교하기 위하여 부하측에 HFCT를 설치하였다. 아크신호는 오실로스코프(5 GS/s)로 측정하였으며, DAQ(Data Acquisition)를 통해 수집하였다.

Fig. 2와 같이 일반적으로 저압배전반에서 발생될 수 있는 전선간 및 터미널블록 접속부 2종의 결함을 제작하여 실험을 수행하였다.

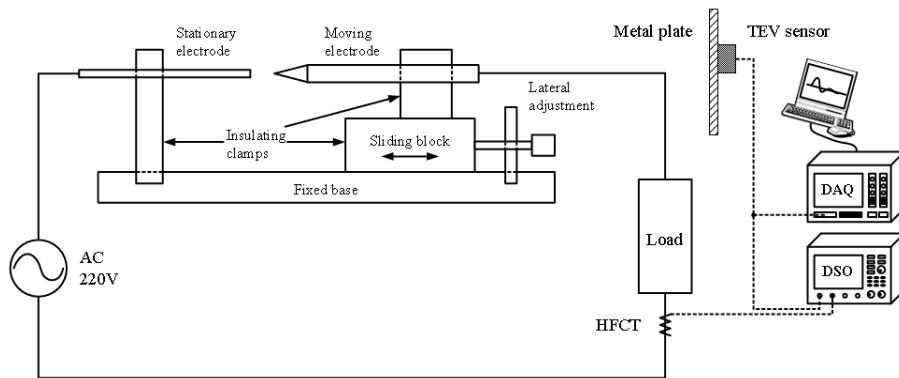


Fig. 1 Experimental setup



(a) Cord-cord

(b) Terminal block-Y terminal

Fig. 2 Arc sources

2.2 결과 및 분석

일반적으로 직렬아크의 전류파형은 방전의 개시 및 소멸로 인하여 영점부근에서 약 200-300 μ s의 영점지연(Shoulder) 현상이 발생한다[7,8]. Fig. 3은 아크발생에 의한 전류(노란색) 및 TEV 신호(파란색) 파형이다. HFCT를 통해 전류파형을 측정된 결과 0-40 ms 구간에서 영점지연 현상이 나타남을 알 수 있다. 동일한 조건에서 TEV센서를 이용해 아크에 의한 전자기파를 검출한 결과, 영점지연 현상이 나타난 구간에서 TEV 신호가 측정되었다. 따라서 TEV센서를 통해 충분히 아크검출이 가능함을 확인하였다.

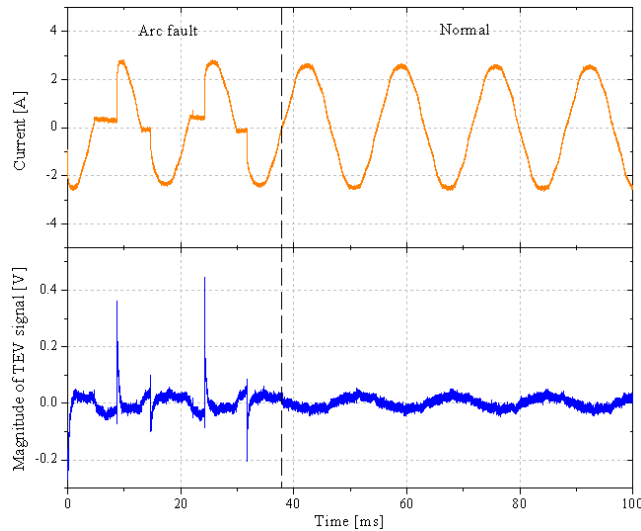


Fig. 3 Current and TEV signal of arc fault

시간영역에서는 결함에 따른 아크신호의 특성을 판단하기 어렵기 때문에 FFT(Fast Fourier Transform)를 이용해 주파수영역에서 분석하였다. Fig. 4는 전선간의 결함에서 발생하는 TEV 신호의 시간 및 주파수영역을 나타내었다. 주파수영역의 그래프는 log-scale 및 상대크기로 표현하였다. 분석 결과 주파수 0.5-35 MHz 영역에서 분포하였으며, 3.96 MHz에서 가장 높은 신호크기를 보였다. Peak spectrum으로 분석하였을 때 2.52-7.98 MHz에서 분포하는 특성을 보였다.

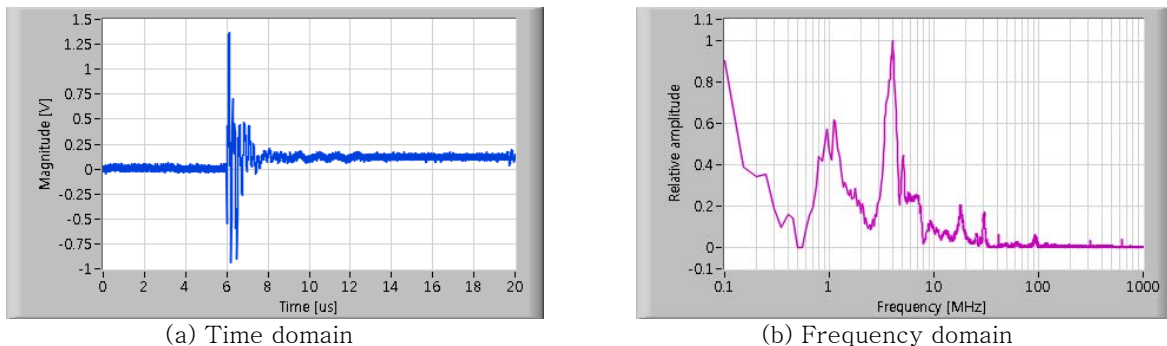


Fig. 4 TEV signal of cord-cord

Fig. 5는 터미널블록 접속부에서 발생하는 TEV 신호의 시간 및 주파수영역에 대한 결과이다. 분석 결과 전선간 결함과 동일하게 주파수 0.5-35 MHz영역에서 분포하였고, 0.87 MHz에서 가장 높은 신호크기를 보였다. Peak spectrum의 경우 0.55-2.06 MHz에서 분포하는 특성을 보였다.

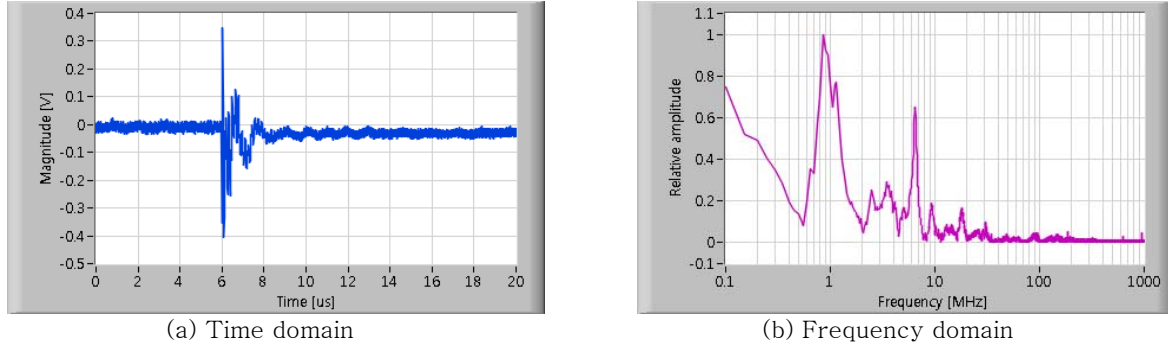


Fig. 5 TEV signal of terminal block-Y terminal

Table 1은 전선간 및 터미널블록 접속부 2종의 결함에 대한 TEV 신호의 주파수성분을 비교한 것이다. 결함 모두 0.5-35 MHz영역에서 동일하게 분포하는 특성을 보였다. 반면에 Peak spectrum 분석 결과, 전선간의 결함은 2.52-7.98 MHz이며, 터미널블록 접속부 결함의 경우 0.55-2.06 MHz로 상이한 특성을 보였다.

Table 1 Frequency range of TEV signal

Arc fault	Frequency range (MHz)	
	Full	Peak spectrum
Cord-cord	0.5-35	2.52-7.98
Terminal block-Y terminal	0.5-35	0.55-2.06

3. 결론

본 논문에서는 저압배전반에서 발생할 수 있는 전기화재를 예방하기 위해 TEV 센서를 이용해 직렬아크를 검출하고, 제작된 결함계를 통해 TEV 신호를 분석 및 비교하였다. 직렬아크의 전류파형에 나타나는 영점지연 구간에서 TEV 신호가 측정되었으며, 이로 인해 아크발생 유무를 충분히 판단할 수 있었다. 또한 전선간 및 터미널블록 접속부 2종의 결함에 대해 TEV 신호를 분석한 결과, 2종 모두 주파수 0.5-35 MHz 구간에서 분포하였다. 반면에 Peak spectrum으로 분석한 결과 전선간의 경우 2.52-7.98 MHz에서, 터미널블록 접속부의 경우 0.55-2.06 MHz로 상이한 특성을 보였다.

후 기

본 연구는 2015년도 미래창조과학부의 재원으로 연구개발특구진흥재단의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (2015BSI1051)

참고문헌

- [1] Ministry of Public Safety and Security (2015) Fire statistical yearbook.
- [2] H.K. Ji, C.Y. Park, G.S. Kil, I.K. Kim, et al. (2008) Detection of series arc signal in low-voltage systems, *Spring Conference of the Korean Society for Railway*, pp. 314-318.
- [3] G.S. Kil, H.K. Ji, D.W. Park, I.K. Kim, et al. (2008) Detection method of series arc signal, *Journal of the Korean Society for Railway*, 11(5), pp. 477-481.
- [4] W.S. Kwon, S.K. Choi, S.B. Bang, C.M. Kim, et al. (2009) Series arc wave analysis and detection algorithm, *Autumn Conference of the Korean institute of Power Electronics*, pp. 240-242.
- [5] G.D. Gregory, G.W. Scott (1988) The arc-fault circuit interrupter, an emerging, *IEEE Transactions on Industry Applications*, 34(5), pp. 928-933.
- [6] C.E. Restrepo (2007) Arc fault detection and discrimination methods, *Proceedings of the 53rd IEEE Holm Conference on Electrical Contacts*, pp. 115-122.
- [7] G.D. Gregory, K. Wong, R.F. Dvorak (2004) More about arc-fault circuit interrupters, *IEEE Transactions on Industry Application*, 40(4), pp. 1306-1313.
- [8] D.W. Park, I.K. Kim, S.Y. Choi, G.S. Kil (2008) Detection algorithm of series arc for electrical fire prediction, *International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis*, pp. 716-719.