

SSTDR을 이용한 케이블의 접촉 불량 고장 진단

Diagnosis of Poor Contact Fault in the Power Cable Using SSTDR

김택희*·전정채*
(Taek-Hee Kim · Jeong-Chay Jeon)

Abstract - This paper proposes a diagnosis to detecting poor contact fault and fault location. Electrical fire by poor contact fault of power cable occupied a large proportion in the total electrical installations. The proposed method has an object to prevent electrical fault in advance. But detecting poor contact fault is difficult to detect fault type and fault location by using conventional reflectometry due to faults generated intermittently and repeatedly on the time change. Therefore, in this paper poor contact fault and fault conditions were defined. System generating poor contact fault produced for the experimental setup. SSTDR and algorithm of reference signal elimination heighten performance detecting poor contact fault on live power cable. The diagnosis methods of signal process and analysis of reflected signal was proposed for detecting poor contact fault and fault location. The poor contact fault and location had been detected through proposed diagnosis methods. The fault location and error rate of detection were verified detecting accuracy by experiment results.

Key Words : SSTDR, Reflectometry, Time correlation, Reference Elimination, Poor contact fault, Cable, Detecting

1. 서 론

케이블의 고장원인은 부적절한 설치와 물리적, 전기적, 화학적, 환경적 요인 등 다양한 요인에 의해 케이블의 단선(open), 합선(short), 접촉불량(poor contact), 절연열화(insulation damage), 반단선(half disconnection) 등의 고장이 발생하게 된다. 이러한 케이블 및 배선기구 고장으로 인한 화재는 2014년도 국내 전체 전기화재 중 전기설비 유형별 분석 결과 20.6[%] 점유율로 전기설비 중 가장 많은 화재 점유율을 차지하고 있다[1]. 케이블 고장으로 인한 사고는 정전 및 화재로 이어지고 이는 재산피해, 정보손실, 생산차질 등 경제, 사회 및 산업적으로 막대한 피해를 야기하고 있으며, 기술적인 모든 분야에서의 케이블 고장은 경제적인 요소로 이어진다.

따라서 정확한 케이블 고장 원인 판별과 고장 위치 검출은 전력 시스템의 유지 관리의 시간과 노력을 절약하게 되며, 비용 절감 및 2차 사고를 사전 예방하여 인적 및 물적 피해 비용을 줄일 수 있다. 그러므로 주기적 또는 실시간으로 케이블의 신뢰성과 안정성을 위한 고장 검출 진단 기술이 케이블 사고 예방을 위해 절실하게 요구되는 실정이다.

실제 현장에서의 케이블 점검 방법으로는 전력 용량에 적합한

케이블 규격, 시공 상태, 케이블 접촉 단자 조임 상태 등의 케이블 외관검사를 위주로 점검이 실시되며, 케이블의 정밀 진단 방법으로는 부분방전 측정, DC 내전압, AC 탄텔타, VLF(Very-Low Frequency) 내전압 시험 등을 통하여 케이블 정밀진단을 하고 있다. 하지만 진단 시 케이블 손상을 야기할 수 있으며, 현장 환경, 시험 소요시간, 장비의 대형화, 구입비용, 휴대성 등의 문제와 국·내외적 판정기준 및 데이터 부족, 점검자의 경험과 기술력으로 인한 신뢰성 문제 등으로 실제 현장에서 많은 문제점이 발생된다. 이런 문제점을 보완하기 위한 진단 방법으로 최근 반사파 계측법(reflectometry)을 이용한 고압 전력 케이블 및 통신 케이블의 고장 검출 연구가 국내·외적으로 다양한 분야에서 활발히 진행 중에 있으며 선진국에서는 반사파 계측법을 이용한 계측장비 개발에 많은 투자가 이루어지고 있다[2-7].

하지만 현재 케이블 접촉불량 고장을 검출 할 수 있는 방법으로는 접촉 불량 고장으로 인해 발생하는 발열과 아크 현상 등에 의한 케이블의 열화를 감지하는 방법에 의존하고 있다. 그러므로 케이블의 이상 징후가 발생되기 전에 접촉불량 고장을 사전에 검출하여 사고를 예방하는데 어려움이 있으며, 또한 반사파 계측법(reflectometry)을 이용한 고장 검출 방법은 일시적으로 발생하는 단선, 합선 고장과 같은 명확한 고장을 측정하기 위한 기존 측정 방법과 신호분석 방법으로 시간 변화에 따라 반복적 혹은 간헐적으로 발생하는 접촉불량 고장을 진단하기에는 어려움이 있다 [8-9].

따라서 본 논문에서는 케이블 접촉불량 고장 실험을 위하여 해외 논문 및 국제 규격 등을 참고하였으며, 케이블 접촉불량 고장은 케이블의 접속점에서 조임 강도(toque) 저하로 인하여 접속

* Corresponding Author : Electrical safety Research Institute, Korea Electrical Safety Co. Korea

E-mail: cameleon@kesco.or.kr

* Electrical safety Research Institute, Korea Electrical Safety Co. Korea

Received : July 1, 2016; Accepted : July 27, 2016

부위에서 연결과 끊김이 반복되는 간헐적 단선 고장(intermittent open fault)으로 정의하고, 약 8.33[ms] 에서 100[ms]동안 2회 이상의 접촉불량 고장 발생을 조건으로 하며, 이를 통해 접촉불량 발생장치를 제작하고 케이블 접촉불량 고장 검출 실험을 실시하였다[10-11].

본 논문은 케이블 고장 검출 성능 향상을 위해 SSTDR과 인가신호 제거기법 알고리즘을 사용하여 활선 상태에서의 케이블에 인가된 신호가 고장지점에서 반사되어 돌아오는 신호 검출 정확도를 높였으며, 접촉불량 고장 진단을 위한 신호 제어 방법과 신호 분석 방법을 제안하였다. 제안된 방법을 통하여 케이블의 접촉불량 고장을 판별하고, 고장위치와 탐지 오차율의 실험결과를 확인하여 탐지 정확성을 검증하였다.

2. SSTDR 및 인가신호제거 기법

2.1 SSTDR

반사파 계측법(reflectometry) 중 노이즈 환경에 강하고 고장위치 검출 성능이 우수한 것으로 알려진 STDR(Sequence Time-Domain Reflectometry), SSTDR(Spread spectrum Time-Domain Reflectometry) 알고리즘은 디지털 통신에 사용되는 대역확산 기술을 응용하여 케이블에 인가되는 신호로 수열을 사용하므로 기존 TDR(Time-Domain Reflectometry)에서 발생하는 신호 감쇄와 노이즈 문제를 해결하였으며, 활선 상태의 케이블 고장 검출 시 파형의 왜곡으로 인하여 구형파 형태의 인가신호를 사용하는 STDR 보다 정현파 형태의 인가신호를 사용하는 SSTDR이 더 유리한 것으로 나타났다[3-4].

SSTDR은 그림 1과 같이 자기상관(auto-correlation) 성질이 좋은 의사 잡음 수열(Pseudo-Noise sequence: PN 수열)을 정현파 신호(Sinusoidal signal)로 변조(modulation)하여 케이블에 인가하고, 고장 지점에서 반사되어 되돌아오는 신호와의 상호 상관(Cross-correlation)을 통해 상관계수의 최댓값을 계산하고 최댓값간의 시간차를 통하여 고장위치를 검출하며, 반사 신호의 위상을 분석하여 단선, 합선 등의 고장 종류를 판별한다[12].

SSTDR에서 길이가 N 인 수열 $\mathbf{c} = [c_0, c_1, \dots, c_{N-1}]$, $c_i \in \{-1, 1\}$

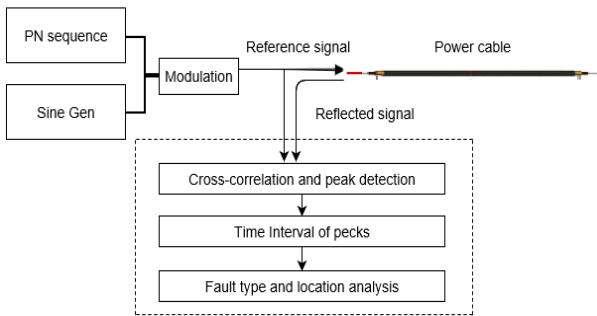


그림 1 SSTDR 기법의 원리
Fig. 1 The principle of SSTDR

을 사용한 인가신호 $s(t)$ 는 다음 식 [1]과 같이 의사 잡음 신호와 캐리어 신호의 곱에 의해 만들어 진다[2-4].

$$s(t) = \sum_{n=0}^{N-1} c_n p_{T_c}(t - nT_c) \quad [1]$$

그리고 식 [2]에서 P_{T_c} 는 정현파 신호이다.

$$p_{T_c}(t) = \begin{cases} \cos(2\pi f_c t), & 0 \leq t < T_c, f_c = \frac{1}{T_c} \\ 0, & \text{그 밖} \end{cases} \quad [2]$$

여기서, T_c 는 1 또는 -1 값을 갖는 PN수열의 칩구간(chip duration)이며, f_c 는 반송파의 주파수이다.

식 [1]의 신호를 케이블에 인가하게 되면 케이블의 특성 임피던스 변화 지점에서 일정한 시간 지연 후에 반사가 발생하게 된다. 반사된 신호 $r(t)$ 는 케이블 시험환경에 따라 보통 노이즈를 포함하게 되며 식 [3]과 같이 쓸 수 있다.

$$r(t) = \sum_{n=0}^{N-1} a_k s(t - T_k) + g(t) \quad [3]$$

여기서, a_k 는 인가신호에 대한 반사신호 $a_k s(t - T_k)$ 의 크기이며, T_k 는 인가신호가 케이블에 인가되어 고장 위치에서 반사되어 돌아오는 시간이며 $g(t)$ 는 노이즈 신호이다.

다음으로 식 [4]와 같이 인가신호 $s(t)$ 를 시간 τ 만큼 이동(shifting)하여 반사신호 $r(t)$ 와의 시간 상호 상관분석을 실시하고 상관 계수의 최댓값을 구하게 된다. 그리고 인가 신호와 반사 신호의 상관계수의 최댓값들의 차이에 의해 신호가 인가되어 고장 지점에서 반사되어 되돌아오는데 걸리는 시간을 구하고 식 [5]를 이용하여 케이블의 고장 위치를 계산하게 된다.

$$C_{time, sr}(\tau) = \frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} s(t)r(t-\tau)dt \quad [4]$$

$$d = \frac{v_p \times \tau_D}{2} \quad [5]$$

여기서, T_s 는 기준신호 $s(t)$ 의 시간 폭, 즉 주기를 의미하며, v_p 는 전력 케이블에 인가되는 신호의 전파속도(Velocity of Propagation : VOP)를 의미하고 τ_D 는 케이블에 신호가 인가된 지점부터 고장 지점에서 반사되어 되돌아오기까지 걸린 시간이다.

따라서 인가신호와 반사신호의 상관계수의 최댓값들의 차이에 의해 신호가 인가되어 고장 지점에서 반사되어 되돌아오는데 걸리는 시간을 구하고 식 [5]를 이용하여 케이블 고장 위치까지의 거리 d 를 계산한다[13].

2.2 인가신호 제거 기법

기존의 SSTDR을 이용한 케이블 고장 검출을 측정된 결과 그림 2 (a)와 같이 합선과 같은 명확한 고장은 반사신호 상관값이

크므로 고장 위치 검출이 가능하였으며, 그림 2 (b)와 같은 접촉 불량 고장의 경우 반사 신호의 상관값이 크지 않아 고장 위치 판별이 어렵다. 따라서 본 연구에서는 케이블 접촉불량 고장 검출 성능 향상을 위한 방법으로 인가신호 제거 기법의 알고리즘을 이용하였다.

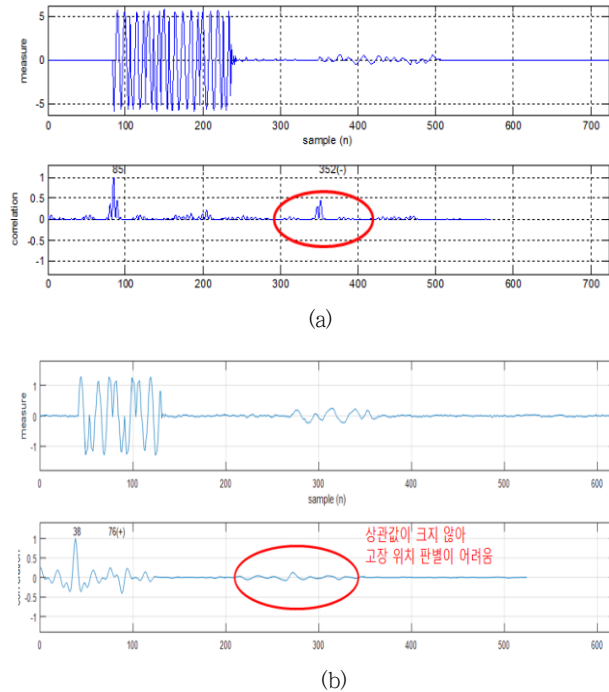


그림 2. 기존 SSTDR을 이용한 케이블 고장 검출
(a) 합선고장 (b) 접촉불량 고장
Fig. 2 Detecting cable fault using the existing SSTDR
(a) short fault (b) poor contact fault

인가신호제거 기법은 SSTDR을 통하여 인가신호를 케이블에 인가한 뒤, 인가신호의 최댓값 지점을 먼저 구하고, 인가신호를 제거한 후 고장 지점에서 반사되어 되돌아오는 신호의 시간 상관분석(Time-correlation)을 통하여 반사신호의 최댓값 지점을 검출하여 계산하고 최댓값 간의 시간차와 위상을 검출하여 고장 위치와 고장유형을 판별한다[9].

제안된 방법은 그림 3에서와 같은 순서로 진행된다. 첫 번째 Time-correlation(시간 상호 상관분석)단계에서 식 [4]를 이용하여 인가신호의 최댓값의 위치 τ_1 를 찾아 인가신호의 최댓값 지점을 구한다. Reference Elimination(인가신호제거) 단계에서 반사된 신호 $r(t)$ 로부터 인가신호 $s(t)$ 를 제거하여 $b(t) = r(t) - s(t - \tau_1)$ 를 만들고, 두 번째 Time-correlation(시간 상호 상관분석) 단계에서 식 [6]을 이용하여 $b(t)$ 와 $s(t)$ 의 시간 상호 상관분석을 실시하여 반사된 신호의 상관계수 최댓값 τ_2 를 찾는다. 인가신호가 제거된 고장점 반사파 신호는 정규화 효과로 인해 상관계수 최댓값이 1에 가까워 고장 구분이 명확해지고, 측정오차가 작아지는

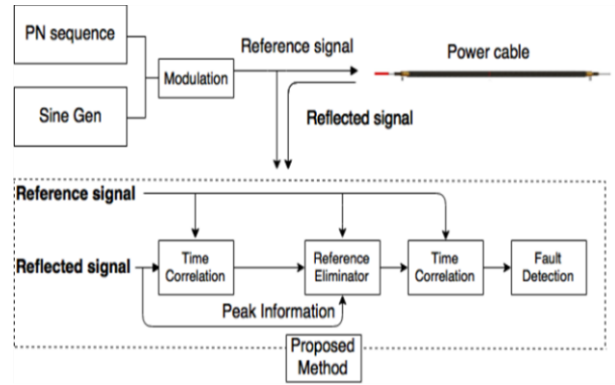


그림 3 인가신호 제거 기법
Fig. 3 Technique of Reference Signal Elimination

효과를 볼 수 있다.

$$C_{time, sr}(\tau) = \frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} s(t)b(t-\tau)dt \quad [6]$$

마지막으로 Fault Detection 단계에서 인가신호와 반사신호 상관계수 최댓값간의 시간 차이 $\tau_D = \tau_2 - \tau_1$ 를 계산하고, 케이블 고장위치까지의 거리를 식 [5]를 이용하여 계산하게 된다.

3. 실험 및 결과

3.1 접촉불량 고장 검출 실험 방법

SSTDR을 기반으로 한 케이블 접촉불량 고장 검출 실험을 위해 그림 4에서와 같이 National Instrument사의 PXI(PCI eXtensions for Instrumentation) 타입의 임의파형 발생장치(Arbitrary Waveform Generation : AWG)와 디지털 오실로스코프(Digital Oscilloscope) 그리고 제어용 PC(Personal Computer)로 구성된 시스템을 구축하였다. 실험에 사용된 임의파형 발생장치는 16 bits 해상도와 200 MS/s 샘플링 속도를 지원하며 디지털 오실로스코프는 5 GS/s 샘플링 속도와 1.5 GHz 대역폭을 갖는다. 제어용 PC에서 임의파형 발생장치와 디지털 오실로스코프를 제어하고 신호를 송수신하기 위한 프로그램을 Labview를 이용하여 개발하였고 취득된 데이터 측정 및 신호분석에 Matlab을 이용하였다.

그림 4에서의 실험대상 케이블은 저압 (600V) 이하 옥내, 저중 케이블에서 사용빈도가 가장 높은 FR-CV 케이블 중 CV 2c6sq 케이블을 대상으로 선정하였으며, 케이블에 신호를 송수신하기 위한 신호선으로 T-connector를 사용하는 1.33[m] 길이의 RG 58 케이블을 사용하였고, 케이블의 접촉불량 고장을 발생시키기 위한 장치를 그림 5와 같이 설계 및 제작하였으며, 접촉불량 발생장치를 통해 케이블에 접촉불량 고장을 발생시켜 활선(Live line)에서의 무부하 상태에서 케이블 접촉불량 고장 검출을

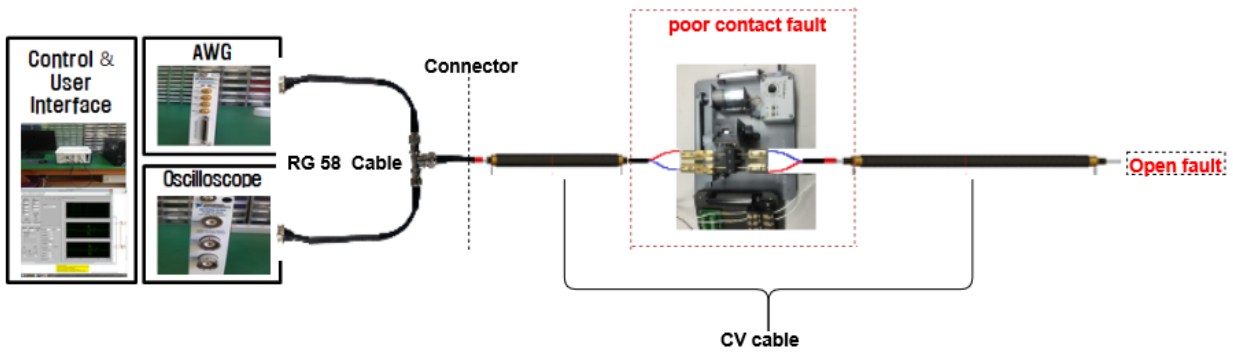


그림 4 접촉불량 고장 검출 실험 시스템 구성
 Fig. 4 Configuration of test system for detecting poor contact fault

위한 실험 구성을 하였다.

본 논문에서 앞서 정의한 접촉불량(접속 연결이 반복되는 간헐적 단선) 고장에 대한 실험을 위해, 케이블과 접촉부의 접촉불량 고장을 일정시간 동안 반복적으로 발생시키기 위한 접촉불량 고장 발생장치를 그림 5와 같이 제작하였다.

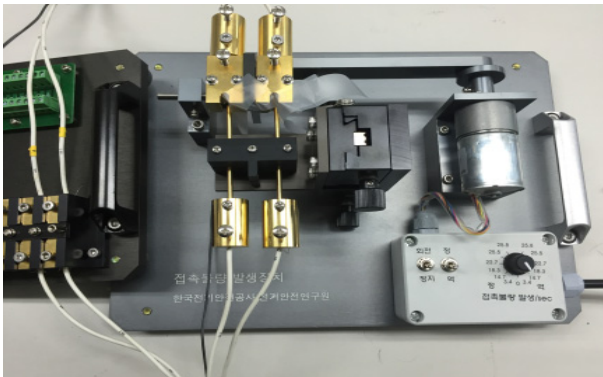
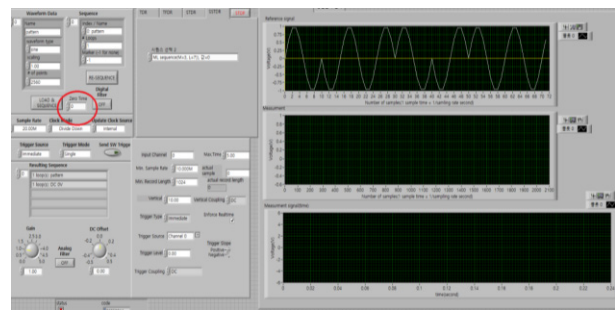


그림 5 접촉불량 고장 발생장치
 Fig. 5 Poor contact fault generator

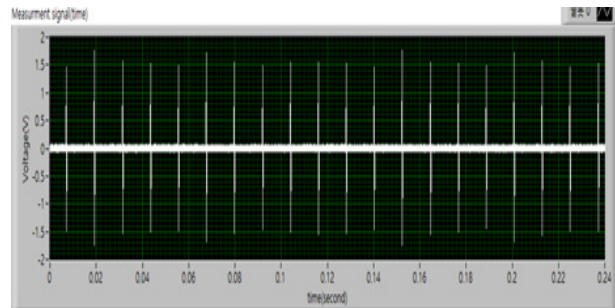
활선상태에서 케이블 접촉불량 고장 검출하기 위해 LabView 프로그램을 통하여 그림 6 (a)와 같이 인가신호 간 딜레이 타임(zero time)과 신호 취득 시간을 설정하고 일정시간 동안 연속적으로 신호를 발생시키고 제어 할 수 있는 기능과 그림 6 (b)와 같이 일정시간 동안 연속적인 측정을 통해 취득된 파형을 데이터화 하여 저장 할 수 있도록 개발 하였다.

3.2 케이블 고장 위치 계산

케이블의 고장 위치 검출하기 위하여 케이블의 전파속도 VOP (Velocity of Propagation)을 알아야 한다. 케이블의 전파속도를 측정하기 위해서는 대상 케이블에 기준 신호(펄스)를 인가하고 반사되는 신호(펄스)의 검출시간을 측정하고 실제 계측장비에서 실험 케이블까지 연결되는 인가선(RG 58 cable)의 거리 1.33[m]를 제외하 아래 식 [7]과 같이 계산한다. 본 연구의 실험 케이



(a)



(b)

그림 6 접촉불량 고장 검출 제어 및 데이터 수집 프로그램

(a) 신호 제어 프로그램 (b) 취득 신호

Fig. 6 Control and data acquisition program for signal of Poor contact fault

(a) signal control program (b) acquired signal

블 CV 2c6sq 케이블의 VOP 측정된 결과 $1.905 \times 10^8 m/s$ 로 나타났다.

$$D = \frac{V_p \times (\text{샘플차이}) / \text{표본화율}}{2} - 1.33 [m] \quad [7]$$

식 [7]에서 V_p 는 전파속도(VOP)이고, D 는 케이블 길이이며 샘플차이 즉, 반사신호의 검출 지점 샘플과 인가신호의 검출 지점 샘플과의 차이를 말하며, 표본화율은 임의파형 발생장치

(AWG)에서 신호 발생 시 설정되는 샘플링 속도(sampling rate)를 말한다.

이러한 일련의 고장 판단과 고장 거리계산은 알고리즘을 S/W로 구현 시, 자동으로 고장 종류 판단과 거리 계산을 하여 그래프 하단에 표시하도록 하였다.

3.3 실험 조건

활선상태에서 각각의 길이가 다른 2개의 FR-CV 2c6sq 케이블을 전반부와 후반부로 분류하여 접촉불량 발생장치의 접속부에 연결하고 접촉불량 고장 발생장치를 이용하여 접촉 불량을 1초 25.8회(즉, 38.8[ms]당 1회) 반복적으로 발생시켰다.

계측장비는 개발된 그림 6의 LabView 프로그램을 이용하여 인가신호 간 딜레이 타임과 신호 취득 시간을 6[ms] 당 1회 신호를 연속으로 인가하여 0.12초 동안 20 PRI(Pulse Repetition Interval) 신호를 취득 하였으며, 취득 된 데이터는 프로그램 (MATLAB)에서 신호분석을 통하여 인가신호와 반사신호의 최댓값 지점을 검출하여 계산하고 최댓값 간의 시간차와 위상을 검출하여 고장 위치와 고장유형을 판별한다. 케이블 활선 상태에서 SSTDR을 이용한 케이블 접촉불량 고장 검출 실험을 위한 조건은 아래 표 1과 같다.

표 1 접촉불량 고장 실험 조건

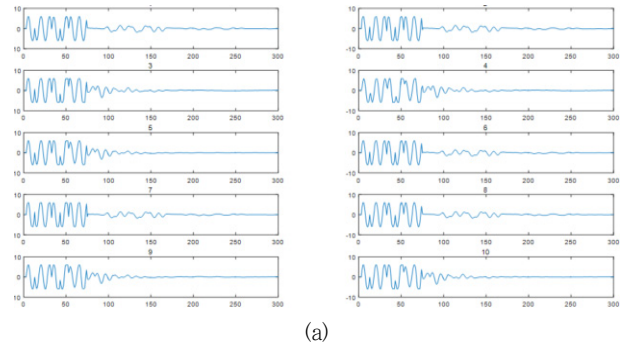
Table 1 Experimental conditions of Poor contact fault

실험 조건		데이터 측정 조건	
날씨 (온도/습도)	24.5 c° / 55%	접촉불량 발생 횟수(시간)	25.8회/sec (38.8 ms)
케이블 종류	CV 2c6sq	데이터 획득 시간	0.12 sec
표본화율	50 MS/s	데이터 주기 (PRI)	20 PRI
수열 종류	M=3(L=7)	알고리즘	인가신호제거 기법
인가전압	5 V	인가선 길이	1.3 m

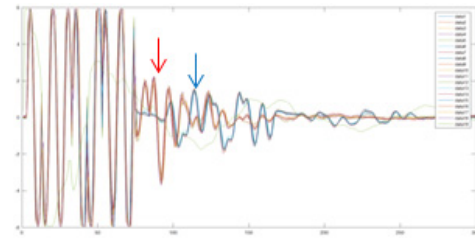
케이블 접촉불량 고장 위치는 접촉불량 발생장치를 케이블 중간에 연결하여 접촉불량 고장 위치를 선정하였다. 예를 들어 표 2에서 CV 2c6sq 60m + 120m = 180m의 경우는 60m 지점에서 접촉불량 발생장치를 통하여 접촉불량 고장이 발생되며, 이후 120m 케이블을 연결하여 총 180m 지점에서 단선고장이 발생된다. 따라서 알고리즘을 적용한 신호분석과 고장 자동판별 프로그램을 통하여 60m 지점에서 접촉불량 고장, 180m 지점에서 단선고장을 검출할 수 있다.

3.4 실험 결과 및 고찰

활선에서 CV 케이블 접촉불량 고장 검출 실험을 통해 획득된 신호를 그림 7 (a)에서와 같이 각각의 신호들의 신호 패턴을 파악하고, (b) 에서와 같이 신호를 중첩시켜 2개 이상 복합고장(접촉불량 고장, 단선고장)의 고장 유형을 판별 할 수 있었다.



(a)



(b)

그림 7 데이터 취득 및 신호 분석

(a) 취득신호 (b) 고장 유형 별 신호

Fig. 7 Data acquisition and signal analysis

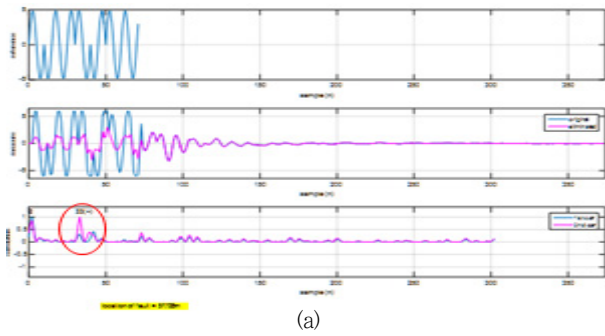
(a) acquired signal (b) signal of fault type.

그림 8은 CV 2c6sq 60m 케이블과 120m 케이블을 접촉불량 고장 발생장치에 연결하여 60m 지점에서 접촉불량 고장을 발생시키고 180m 지점에서 단선 고장을 발생시켜 실험한 결과이다. 접촉불량 고장 검출 결과는 그림 8 (a)와 같이 57.73m로 계산되었고, 오차율은 3.73%로 나타났으며 MATLAB 프로그램에서 아래 식 [8]을 이용한 고장 거리와 식 [9]을 이용한 오차율을 자동으로 계산하게 된다. 180m 지점 단선의 경우는 그림 8 (b)와 같이 177.17m 단선고장, 오차율 1.57%로 계산되었다.

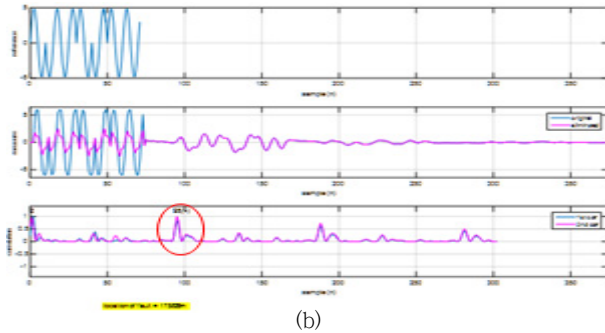
$$D = \frac{(1.905 \times 10^8) \times \{(33-2)/50 \times 10^6\}}{2} - 1.33 = 57.76[m] \quad (8)$$

$$\text{오차율} [\%] = \frac{60 - 57.76}{60} \times 100 = 3.73 \% \quad (9)$$

이상 실험에서 일정 시간(0.12 sec)동안 취득한 20개 파형의 최소 탐지 고장 위치 및 탐지 오차율의 결과를 아래 표 2에 나타내었다. 그 결과 본 연구에서 제안한 SSTDR은 케이블에 인가되는 수열의 길이가 길어 비교적 짧은 거리 케이블(60m)의 실험 그림 8 (a), 9 (a)에서와 같이 인가 신호와 반사 신호가 중첩되는 걸 알 수 있으며, 이로 인하여 고장 위치 탐지 오차율이 비교적 높은 결과가 나왔다. 하지만 일정길이 이상의 케이블 실험에서는 매우 낮은 오차율을 나타낸다. 케이블 고장 위치 측정 오차의 원인으로서는 신호를 인가하기 위한 1.33[m] 길이의 신호선(RG 58)의 VOP 고려하지 않은 점, 낮은 표본화율(sampling rate)을 사용 등의 다양한 요인이 존재할 수 있다.



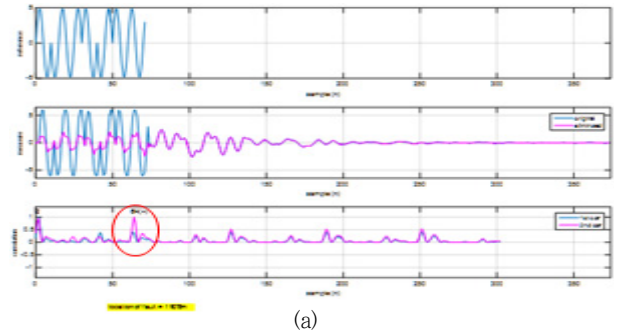
(a)



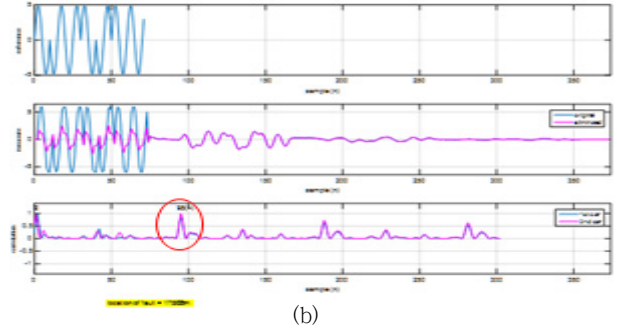
(b)

그림 8 CV 2c6sq 60m + 120m 케이블 접속
(a) 접촉불량 고장 (b) 단선 고장

Fig. 8 Experimental results for Poor contact fault
(a) poor contact fault (b) open fault



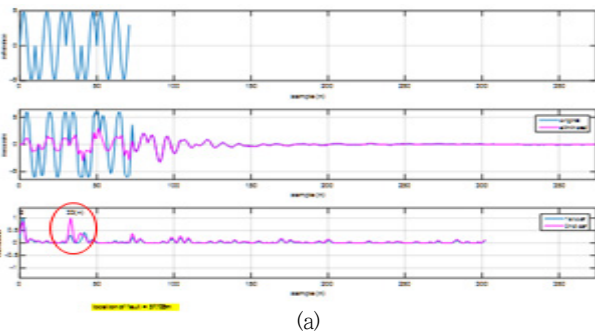
(a)



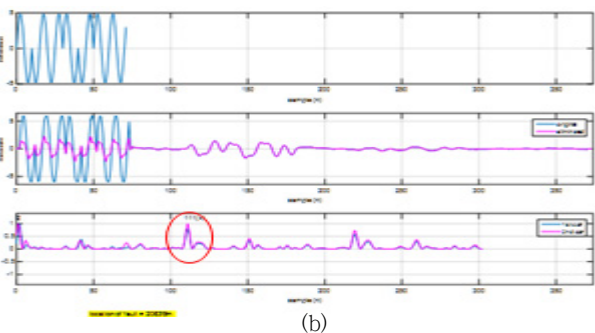
(b)

그림 10 CV 2c6sq 120m + 60m 케이블 접속
(a) 접촉불량고장 (b) 단선 고장

Fig. 10 Experimental results for Poor contact fault
(a) poor contact fault (b) open fault



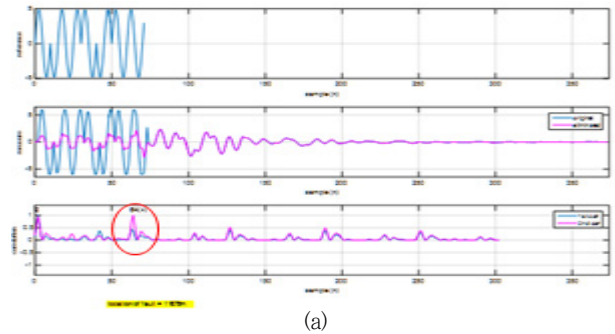
(a)



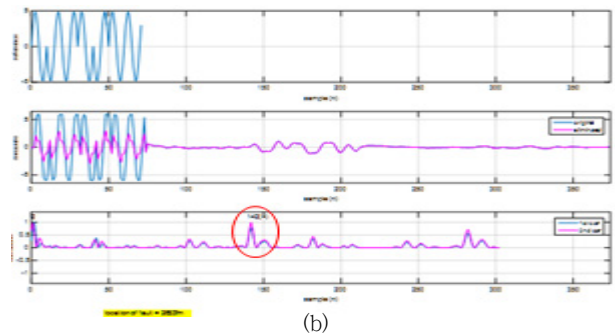
(b)

그림 9 CV 2c6sq 60m + 150m 케이블 접속
(a) 접촉불량고장 (b) 단선 고장

Fig. 9 Experimental results for Poor contact fault
(a) poor contact fault (b) open fault



(a)



(b)

그림 11 CV 2c6sq 120m + 150m 케이블 접속
(a) 접촉불량고장 (b) 단선 고장

Fig. 11 Experimental results for Poor contact fault
(a) poor contact fault (b) open fault

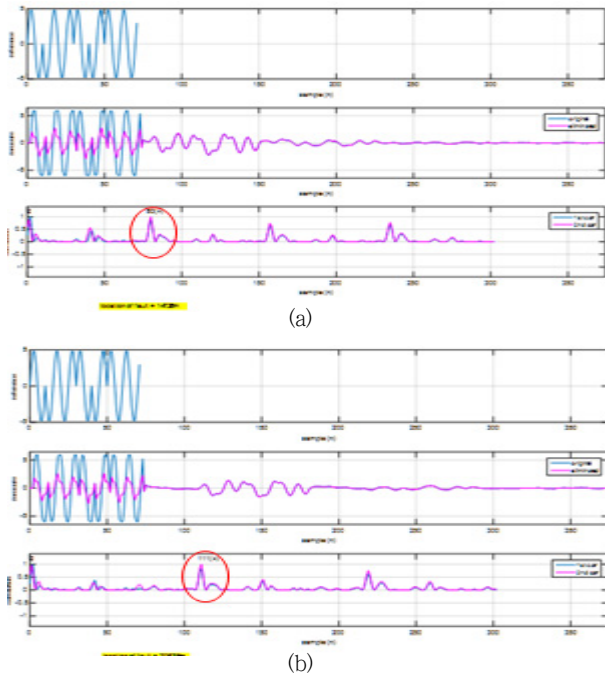


그림 12 CV 2c6sq 150m + 60m 케이블 접속
(a) 접촉불량고장 (b) 단선 고장

Fig. 12 Experimental results for Poor contact fault
(a) poor contact fault (b) open fault

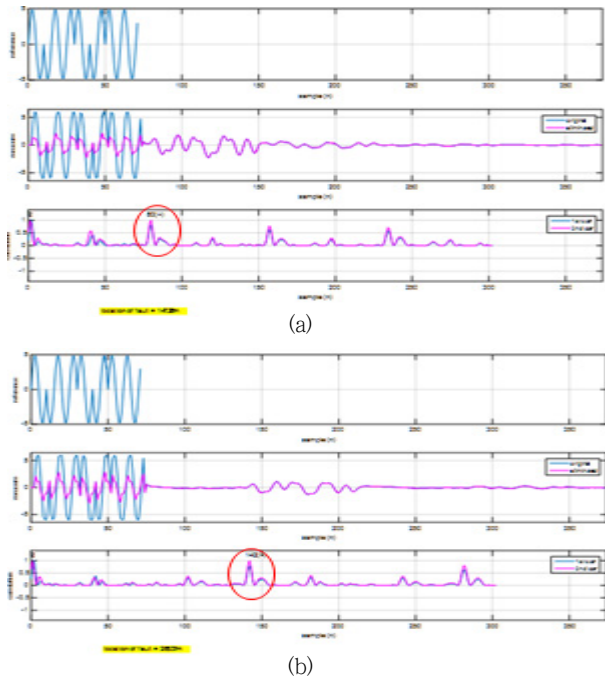


그림 13 CV 2c6sq 150m + 120m 케이블 접속
(a) 접촉불량고장 (b) 단선 고장

Fig. 13 Experimental results for Poor contact fault
(a) poor contact fault (b) open fault

표 2 접촉불량 고장 검출 오차율[%]

Table 2 Error rate for Poor contact fault

고장위치: [m], 오차율: [%]

접촉불량 고장 + 단선 고장	접촉불량 고장		단선고장	
	TFC-Re		TFC-Re	
	고장위치	오차율	고장위치	오차율
- CV 2c6sq 60m + 120m = 180m	57.73	3.78	175.84	1.26
- CV 2c6sq 60m + 150m = 210m	57.73	3.78	206.32	1.75
- CV 2c6sq 120m + 60m = 180m	118.69	1.09	177.74	1.26
- CV 2c6sq 120m + 150m = 270m	118.69	1.09	265.37	1.71
- CV 2c6sq 150m + 60m = 210m	147.26	1.83	206.32	1.75
- CV 2c6sq 150m + 120m = 270m	147.26	1.83	265.37	1.71

TFC_Re : Time-Frequency Correlation+Reference Elimination

5. 결 론

본 연구에서는 케이블 접촉불량 고장을 사전에 감지하여 고장 종류와 고장 위치를 진단하는 방법을 제안했으며, 케이블의 접촉 불량 고장 실험을 위해 접촉불량 발생장치를 개발하여 실험을 구현하였다. 특히 접촉불량 고장은 시간 변화에 따라 반복적 혹은 간헐적으로 발생하는 고장으로 일시적인 발생하는 단선, 합선과 같은 명확한 고장을 측정하기 위한 기존 측정 방법과 신호 분석 방법으로 고장을 판별하기가 어려운 문제점이 있다. 이런 문제점을 해결하기 위하여 접촉불량 고장을 판별하고 고장 위치를 검출하기 위한 신호 제어 방법과 분석 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 케이블 접촉불량 고장 검출 실험을 통해 검증하였다. 실험 결과, SSTDR의 수열의 길이가 긴 특징으로 인하여 짧은 케이블의 접촉불량 검출 시 인가신호와 반사신호가 중첩되는 현상을 알 수 있었으며, 고장위치 탐지 오차율이 3.78[%] 비교적 높은 오차율이 발생하였다. 반면 일정 길이 이상의 케이블에서는 탐지 오차율 2[%] 이하의 매우 정확한 검출이 가능하다는 것을 알 수 있었다. 따라서 본 연구에서 제안된 케이블 접촉불량 고장 검출을 위한 신호 제어 및 분석 방법을 통하여 기존에 검출이 어려웠던 접촉불량 고장을 명확히 판별하고, 정확한 고장위치를 진단할 수 있을 것으로 판단된다. 향후에는 다양한 수열을 적용하여 최적의 인가신호를 개발하여 가까운 고장 거리의 측정 오차를 최소화하는 연구를 진행하여 보다 다양한 고장과 환경에서의 케이블 고장 진단 방법을 개발하고자 한다.

감사의 글

본 연구는 2013년도 민·군겸용기술사업(Dual Use Technology Program)의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

References

[1] Korea Electrical Safety Corporation, "A Statistical Analysis on the Electrical Accident", 2014

[2] Paul Smith, "Spread spectrum time domain reflectometry", Ph. D. dissertation, Dept. Elect. Comput.Eng., Utah Univ., Logan, 2003

[3] P. Smith, C. Furse, and J. Gunther, "Analysis of spread spectrum time domain reflectometry for wire fault location", IEEE Sensors J., Vol. 5, No. 6, pp. 1469-1478, Dec. 2005.

[4] Cynthia Furse, Paul Smith, Mehdi Safavi and Chet Lo, "Feasibility of Spread Spectrum Sensors for Location of Arcs on Live Wires", IEEE Sensors Journal, Vol. 5, No. 6, pp. 1445-1450, Dec. 2005.

[5] Jin-man Kim, Bong-Hyuk Choi, Jin-woo Jo, Won-bum Jo, "Low-cost CAP-type TDR Exploration Techniques for Leak Detection", KSCE, Vol. 33, No. 4, pp. 1479-1487 July 2013.

[6] Cae-Kyun Jung, Jun-woo Park, Kyung-hee Mun, Byung-mo Yang, Ji-won Kang, "Validation of Propagation Velocity through TDR Test in HVDC Submarine Cables", KIEE, Vol. 58, No. 10, pp. 1888-1894, Oct 2009.

[7] Chun-gu Lee, Tae-sung Yun, Jin-bae Park, "Localization of Concentric Neutrals Corrosion on Live Underground Power Cable Based on Time-Frequency Domain Reflectometry", KIEE, Vol. 62, No. 2, pp. 239-245, Feb 2013.

[8] Jeong-chay Jeon, Taek-hee Kim, Jae-Geun Yoo, "Fault Detection of Low-voltage Cable using Time-Frequency Correlation in SSTDR", KIEE, Vol. 64, No. 3, pp. 498-504, March 2015

[9] Jeong-chay Jeon, Taek-hee Kim, "Cable Fault Detection Improvement of STDR Using Reference Signal Elimination", KAIS, Vol. 17, No. 3, pp. 450-456, March, 2016

[10] IEEE Standards Board, IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality, IEEE Std 1159-1995, pp.4-16, June 14, 1995

[11] Cynthia Furse, Paul Smith, "Spread Spectrum Time Domain Reflectometry for Locating Intermittent Faults", IEEE SENSORS JOURNAL, Vol. 5, No. 6, DECEMBER 2005

[12] Taek-hee Kim, Jeong-chay Jeon, Jae-geun Yoo, "Performance Improvement of STDR using the Removal of a Reference Signal", KIEE Summer Conference, pp. 1527-1528, July 2015

[13] Chirag R. Sharma, Cynthia Furse and Reid R. Harrison, "Low-Power STDR CMOS Sensor for Location Faults in Aging Aircraft Wiring", IEEE Sensors Journal, Vol.7, No.1, pp. 43-50, Jan. 2007

저 자 소 개



김택희(Taek-Hee Kim)

2003년 2월 원광대학교 전기공학과 졸업.
 2016년 2월 전북대학교 IT응용시스템공학과 졸업(석사).
 현재 한국전기안전공사 전기안전연구원 주임 연구원
 E-mail : taki@kesco.or.kr



전정채(Jeong-Chay Jeon)

1997년 2월 원광대학교 전기공학과 졸업.
 1999년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(석사).
 2015년 8월 동 대학원 전기공학과 졸업(박사)
 현재 한국전기안전공사 전기안전연구원 책임 연구원
 E-mail : cameleon@kesco.or.kr