

# 케이블 고장 종류 및 위치 추정 기술

유재근\*, 전정채\*, 김택희\*  
 \*한국전기안전공사 부설 전기안전연구원

## The estimation techniques of cable fault type and location

Jae Geun, Yoo\*, Jeong Chay, Jeon\*, Taek Hee, Kim\*  
 \* Korea Electrical Safety Corporation

### ABSTRACT

본 논문은 전기화재 통계를 분석하여 케이블 배선 관련 사고 위험성을 분석하였으며, 케이블 고장을 진단하는 상용화 기술을 정리하고, 최근 새롭게 제시되고 있는 케이블 고장 및 위치를 추정하는 신규기술 동향에 대하여 분석하였다.

### 1. 서 론

케이블 배선 시스템(케이블, 커넥터, 보호 장치 등)은 빌딩, 공장, 원자력, 자동차, 선박, 항공기, 태양광, 풍력 등의 산업 및 생활 영역까지 모든 분야에서 사용되고 있으며, 점점 더 복잡해지고 있다.

케이블 배선 시스템의 결함(합선, 접촉불량, 반단선, 단선 등)은 전력, 산업 전반의 전기/전자 설비의 중요한 기능을 상실하게 하거나, 시스템의 운용 장애, 정전, 화재 발생 및 정보손실, 재산피해, 생산차질 등 막대한 피해가 발생하게 되고 공공의 안전(또는 사회 불안 야기)을 위협할 수 있다.

소방방재청 및 한국전기안전공사의 2013년 전기화재 통계에 따르면 전기화재의 42 ~ 71[%]가 케이블 배선과 관련이 있으며, 케이블에 의한 사고는 매년 유사한 경향을 보이고 있다. 따라서 전기장치, 설비 등에 반드시 사용하고 있는 케이블의 고장 종류와 위치를 초기에 검출하고 사고 이전에 대처할 수 있다면 귀중한 인명과 재산 피해를 유발하는 전기화재 및 설비 등의 사고는 대폭 감소될 수 있다.

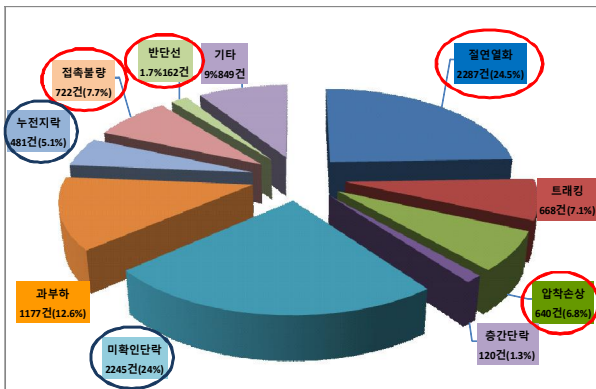


그림 1 2013년 전기화재 발화 형태 또는 원인  
 Fig. 1 2013 statistics of electrical fire

### 2. 본 론

#### 2.1 케이블 고장 진단 기술 개요

케이블 배선 시스템은 부적절한 설치, 사용 환경(기계적, 화학적 및 전기적 문제 열, 수분, 진동, 스트레스 등), 사용 시간에 따라 절연열화, 접촉/접속 불량, 반단선, 절연과피, 합선 등의 결함 현상이 발생하고 이로 인해 설비의 동작불능, 고장, 화재사고 등이 발생하게 된다.

따라서, 케이블 결함의 주요 원인에 대한 검출과 이에 대한 위치 추적기술에 대한 기술 개발이 된다면, 대부분의 케이블 사고를 예방할 수 있다. 이러한 이유로 미국, 독일, 일본 등에서는 기술의 차별화를 위한 기술개발 투자가 이루어지고 있고 다양한 형태의 계측기 및 시험기를 개발하여 판매하고 있으나 국내에서는 대부분 수입에 의존하고 있는 실정이다.

현재 사용하고 있는 케이블 결함 진단 및 위치 검출 기술은 표 1과 같으며, 기술하고자 하는 TDR 방법은 펄스 레이다(pulse radar) 방식에 포괄적으로 포함된다.

표 1 케이블 고장 진단 방법  
 Table 1 The diagnostic technique of cable fault

방법	원리	문제점
절연저항측정	정전상태에서 직류전압 인가 후 누설전류에 의한 절연저항값 환산	고장위치 판별 없음 초기결함 진단 없음 케이블 손상 우려 정전상태에서 판별
음향 검출	케이블 결함시 방전에 의한 초음파 또는 가청주파수 영역을 측정	사람에 의존 정확한 판정이 곤란 적용에 한계
부분방전 측정	케이블 결함의 방전 현상을 측정	고장위치 판별 없음
머레이 루프 (murray Loop)	휘스톤브리지법 이용 고장점 거리 계산	초기결함 검출 불가 반단선, 접촉불량 등 검출 불가
펄스 레이다 (pulse radar)	pulse 전압을 인가 후, 반사파를 분석으로 고장 거리 계산	현재 정전상태에서 판별 케이블 VOP(Velocity of Propagation) 필요

## 2.2 TDR 방식의 케이블 진단 고장기술 동향

국내의 경우, 케이블사고 및 안전사고 예방을 위해 아크, 누전 등에 대한 발생을 감지, 감시하는 기술은 개발되고 있으나 사고 원인의 종류 및 위치 판별을 검출/분석해주는 기술의 개발은 아직 미비한 것으로 분석 되었다. 전력케이블의 고장위치 검출 기술은 이제 개발이 시작되는 단계로 기술수준이 낮은 상태이며, 일부 정부출연 과제를 통해 케이블의 절연열화를 진단하거나 고장점을 검출하는 기술은 기존 복합 장비(계측기 및 시험기)를 이용하여 시스템을 구축하는 형태로 개발이 진행되어 제품화가 단계에는 도달하지 못했다. 연세대학교 박진배 교수팀에서는 계측기/시험기를 이용하여 시스템 구축을 실시하여 주입신호의 도출에 의한 시간 주파수 분석법을 연구하고 있으며, 한전전력연구원, 한국원자력연구원, 전기연구원 등의 연구기관에서는 세계 선진 계측기 기업들 장비를 도입하여 국내에 적용하여 시험하고 문제점을 해결하는 노력을 기울이고 있다. (주)나노트로닉스는 통신용 케이블에 대해 유일하게 TDR(time domain reflectometry) 방식을 이용하여 사선 상태에서 고장 검출 계측기를 개발하여 판매하고 있는 것으로 나타났다.

국외의 경우, 고장위치 검출기술은 원천기술(신호주입 및 반사법 등)을 다양하게 응용하여 여러 가지 산업분야로 발전되고 있다. 독일의 Seba KMT, 영국의 Megger사 등에서 전력 및 통신 케이블에 대한 TDR 기반 배선 결함 진단장치를 상용화하였고 세계 기술을 선도하고 있으나 대부분 정전 상태에서 진단하는 형태로 분석되었다. 항공기, 선박, 자동차 산업 등에서도 고장위치를 검출하기 위한 기술은 지속적으로 개발되고 있으며 최근 전원 공급 중(활선 상태)에서의 고장위치 검출기술에 대한 연구도 이루어지고 있으며, 특히, 미국 유타 대학의 Cynthia Furse 교수 등은 1998년부터 NAVAIR과 USAF자금을 지원받아 "Smart Wiring Program"을 통해 무정전(활선) 상태의 전선 고장 검출 기술을 개발하고 있다. 2003년 이후부터 Live Wire Test Labs, Inc.을 설립하여 진보된 케이블 고장 검출 기술을 개발하고 있으며, Spin Off 기업으로 Livewire사를 설립하였고 SSTDR 기반의 케이블 고장 검출 계측기, 신호검출용 IC 등의 케이블을 고장검출 제품을 생산 및 판매하고 있다. 독일의 SebaKMT는 가장 대표적인 케이블 고장 위치 검출 장치 개발/판매 기업으로 다양한 종류의 계측기(오차 ±1%)를 판매하고 있다. 영국은 전력분야 계측기의 가장 대표적인 기업으로 Megger사가 있으며 여기에서 다양한 절연저항 측정기, TDR을 이용한 다양한 케이블 고장점 검출 계측기를 시리즈 형태로 제작하여 전세계적으로 판매하고 있으며, 가격은 100여 만원에서 수천만원까지의 제품이 다양하게 있다. 일본 Fluke에서는 통신/전력관련 케이블 고장 검출 장치를 제작하여 판매하고 있다. 인도, 중국 등에서도 사선 상태에서 사용하는 케이블 고장 검출 계측기를 제작/판매하고 있으나 다소 수준이 떨어지고 있는 것으로 파악되고 있다.

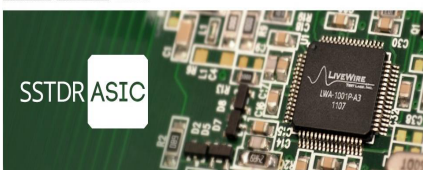


그림 2 Livewire의 ASIC을 이용한 SSTDR  
Fig. 2 ASIC using SSTDR of Livewire



그림 3 국내 제품(나노트로닉스)  
Fig. 3 A local product(nano-tronix)



(a) sebaKMT 제품



(b) Megger TDR 100, TDR 2000



(c) Fluke

그림 3 국외 제품  
Fig. 3 A outside product

## 3. 결론

케이블 고장의 위험성을 사전에 감지할 수 있고, 정전/무정전 상태에서 고장의 종류와 위치를 추정할 수 있는 가장 진보된 기술은 TDR로 분석된다. 그러나 TDR의 단점은 반사 파형의 분석하기 위해 경험이 많은 숙련된 전문능력이 필요하며, 배선에 분기점이 있는 경우에 반사파의 분석이 어려운 단점이 있다. 따라서, TDR 방식의 계측기가 현장에서 활용되기 위해서는 반사파 분석방법의 개선, 활선상태에서 사용, 분기점이 있는 경우에 적용가능한 다양한 기술개선이 요구된다.