

## 국내 지중송전케이블의 고장점 탐지 정확성 제고를 위한 TDR 실증시험

양병모\*, 박진우\*, 김종채\*, 강지원\*, 정재균\*, 문경희\*, 박윤석\*  
한국전력공사\*

### Insulation Coordination on 22.9kV HTS Power Cable for Applying to Real Grid

B.M Yang\*, J.W Park\*, J.C Kim\*, J.W Kang\*, K.H Moon\*, Y.S Park\*  
KEPCO\*

**Abstract** - 국내 전력수요의 지속적인 성장과 더불어 안정적이고 신뢰성있는 전력계통 운영은 매우 중요한 일이다. 1970년대 이후 대도시를 중심으로 지중 송전에 대한 사회적 요구가 커지면서, 매년 국내 전력시스템에서 지중 송전선로 건설 및 운영이 매우 빠르게 진행되어 왔다. 그래서 지중 케이블의 고장으로 인한 사회적 영향 및 과장이 매우 커지고 있는 실정이다. 특히 지중케이블의 특성상 고장복구에 필요한 시간과 돈은 매우 크다고 할 수 있다. 그래서 국내 지중 및 해저 송전선로에서는 신속한 고장복구를 위한 빠르고 정확한 고장점 탐지가 매우 중요하게 되었다. 특히 국내 지중송전선로 시스템에서 채용하고 있는 크로스본딩 시스템은 현재 국내외적으로 고장점 탐지를 위해 사용하고 있는 레이더의 원리를 이용한 TDR(Time Domain Reflectometer) 방법으로는 크로스본딩점에서 발생한 임피던스 변화로 인하여 신속하고 정확한 고장점 탐지에 어려움을 주고 있다. 본 논문에서는 국내 지중송전케이블에서 채용하고 있는 크로스본딩 시스템에서도 TDR을 이용하여 신속 정확한 고장점 탐지를 가능하게 할 수 있는 방법을 제시하고 실제통에서의 실증시험 결과를 보여주고자 한다.

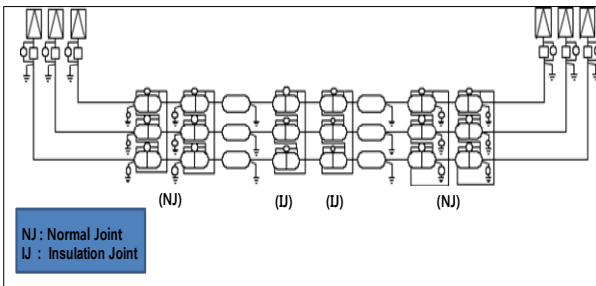
일어나며 지중송전케이블 경우 고장점은 지락사고의 형태로 나타난다. 균일한 임피던스로 되어 있는 케이블 도체에 고장이 발생하면 케이블 도체의 저항에 변화가 생기게 된다. TDR은 펄스발생기에 의해 만들어진 펄스신호를 케이블 도체에 주입하며 도체말단, 고장점과 같은 임피던스 변화점에서 주입 펄스의 반사가 일어나 주입지점까지 되돌아오는 원리를 이용하는 고장점 탐지방법이다. 여기서 펄스의 전송속도에 영향을 미치는 유전율과 반사파의 되돌아오는 시간을 측정하면 정확한 고장점을 측정할 수 있다.

〈표 1〉 지중케이블 고장점 탐지 설비

기기명	구분	목적
Megger	Digital	절연저항 측정
	저압	고장점 개략구간 탐지
TDR	고압 (ARM)	"
	아날로그 (DMB5)	"
머레이루프	디지털 (Shirala)	"
	Route Tracing	케이블 포설 경로 추적
pin-pointing	Digiphone	고장점 상세 위치 탐지
	Magnet sensor	"

## 1. 서 론

요즘 국내에서는 전력수요의 지속적인 성장과 더불어 친환경적인 사회적인 요구로 인하여 대도시를 중심으로 지중케이블 건설 및 운영이 급속하게 증가하고 있다. 그래서 이에 따른 지중케이블에 대한 고장점 탐지 방법 및 기술에 대한 필요성이 끊임없이 요구되고 있다. 이 논문에서는 고장점 탐지를 위하여 널리 적용하는 방법인 레이더 원리의 진행과 이론을 이용한 TDR 방법을 국내 지중송전케이블에서 적용되고 있는 크로스본딩 시스템에서도 측정 가능할 수 있도록 국내 지중케이블에 적합한 측정방법과 더불어 실제통에서의 실증시험을 통한 결과를 제시하고자 한다. 일반적으로 그림 1에서 보듯이 지중송전케이블에서는 접속함과 더불어 적정지점에 전력손실 저감을 위하여 3상 시스템을 접속함에 따라 크로스본딩하여 운영하고 있다.

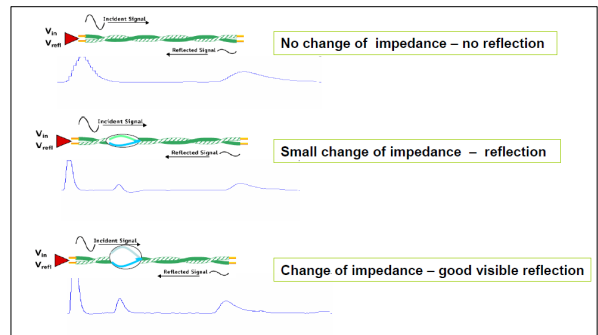


〈그림 1〉 국내 크로스 본딩된 지중송전케이블 1경간 구조

현재 지중케이블 고장점 탐지에 널리 사용되고 있는 설비는 표 1에서 보듯이 각 목적에 따라 적용하여 운영되고 있다. 지금까지 국내에서 지중 및 해저케이블의 고장점 탐지 경험으로는 고장점 탐지 설비의 신뢰성 및 안정성과 실제 전력계통에서 일어나고 있는 지중케이블 사고지점의 고장 형태를 고려하면 국내외적으로 고장탐 탐지로 TDR을 가장 널리 사용하고 있다고 할 수 있다.

TDR은 레이더의 원리를 이용한 것으로 레이더에서 비행기 추적을 위해 하늘에 전파를 발사해 비행기로부터 반사되는 전파를 감지하여 반사파 도달시간을 측정하여 비행기의 거리를 측정하는 것과 마찬가지로 케이블에 펄스를 주입한 후 반사파의 도달시간을 측정하여 고장점까지의 거리를 측정한다. 케이블에서는 임피던스 변화점에서 펄스신호의 반사가

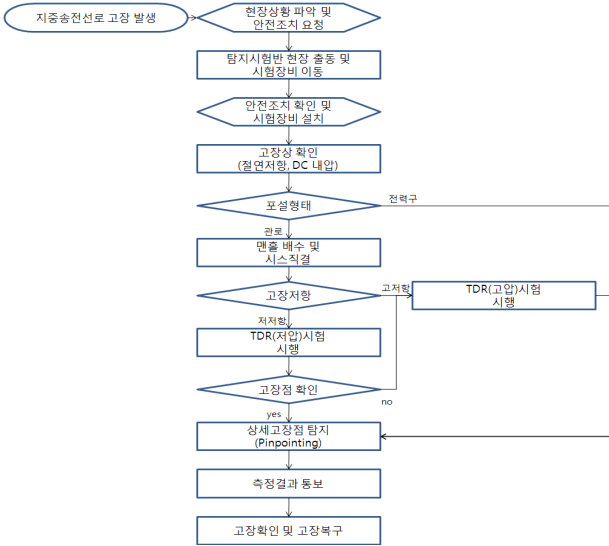
TDR 시험은 모니터화면에서 반사파의 파형을 시각적으로 탐지한 후 고장점을 측정하기 때문에 반사파가 충분히 인지가 가능할 정도의 신호가 되어야 한다. 즉, 반사파의 파형이 작아 인지가 어려울 때에는 고장점탐지가 어려우며 신호가 없을 경우에는 고장점탐지가 불가능하다. 케이블에 주입된 펄스의 반사파는 케이블 도체의 임피던스와 고장점에서의 임피던스의 차이에 따라 달라진다. 즉, 그림 2의 세 번째 그림처럼 임피던스의 차이가 큰 고장일 경우에는 반사파의 파형이 충분히 분별 가능하지만, 첫 번째 그림처럼 임피던스의 차이가 작을 경우에는 고장점의 탐지가 어렵고, 첫 번째 그림처럼 임피던스의 변화가 없을 경우에는 TDR을 이용할 수 없다. 그래서 국내 지중케이블에 적용하고 크로스본딩 시스템인 경우 사고지점이 아님에도 불구하고 도체와 시스템의 임피던스의 변화가 발생하기 때문에 TDR 시험시 큰 반사파가 발생되어 실제로 고장점에서 발생하는 반사파를 약화시키기 때문에 TDR 시험이 불가능하다. 본 논문에서 제안하고 있는 방법은 시험시간 단축 및 측정 용이성을 위하여 크로스본딩점을 해제하지 않고 시스템을 바로 직결하여 TDR 시험을 시행하는 것을 제안한다.



〈그림 2〉 임피던스 변화에 따른 TDR 반사특성

## 2. 본 문

국내 지중케이블의 고장점 탐지 정확도 제고를 위하여 국내 지중송전선로의 포설형태인 관로와 전력구에 따른 고장점 탐지를 분리하고 고장지점의 고장상태 저항에 따른 고장점 탐지 방법을 그림 3과 같이 제안하고, 실제통에서 실증시험을 통한 최적의 고장점 탐지 방법을 제안하고자 하였다.



<그림 3> 지중송전케이블의 고장점 탐지 절차 제안

실증시험 기간은 2011년 2월부터 3월까지 시행하였으며, 시험대상 선로는 실제 지중송전케이블을 이용하여 아래와 같이 시행하였다.

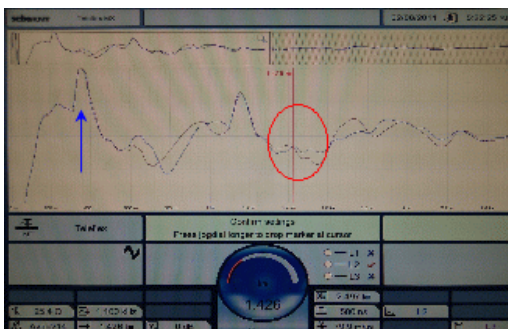
- 가. 66kV 신안 지중 T/L(운휴설비) 실증시험
- 나. 154kV 학익-연수 #1 T/L(설비이설) 실증시험
- 다. KEPCO PT Center(고장) 154kV 지중T/L(철거설비) 실증시험

### 2.1 TDR(Time Domain Reflectometer) 저압 실증시험

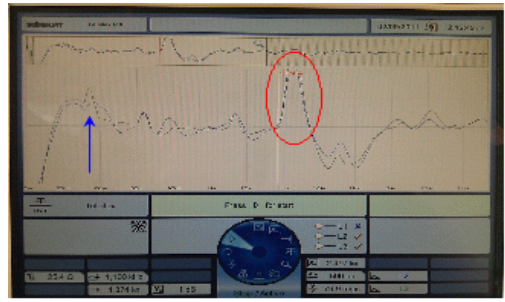
지중송전케이블 접속함에서 적용하고 있는 크로스분당과 시스직결 상태에 따른 TDR 파형을 비교하기 위하여 실증선로에서 한국전력공사에서 보유하고 있는 고장점 탐지 차량의 TDR 장비(독일 SEBA KMT사)를 이용하였고 크로스분당 직결은 그림 4에서 보듯이 공사 및 제작 편리성을 고려하여 편조선을 이용하였다. 그림 5, 6은 실증선로에서 크로스분당 시스템에서 시스직결의 영향 및 결과를 직접 TDR 측정을 통하여 비교하였다.



<그림 4> 크로스분당지점에서 직결 편조선



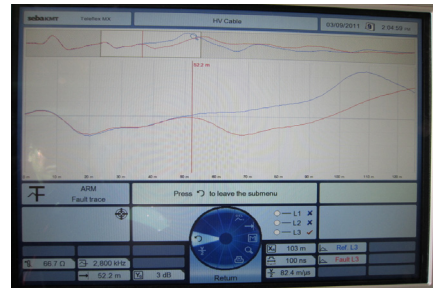
<그림 5> 크로스분당된 TDR 파형



<그림 6> 크로스분당지점에서 직결한 TDR 파형

### 2.1 TDR(Time Domain Reflectometer) 고압 실증시험

지중송전케이블의 고장점 탐지를 하게 되면, 고장점과 관련된 부분의 케이블은 교체하여 다시 연결하여 재사용하기 때문에 고장점 탐지시 인가되는 전압과 전류는 최소한의 스트레스를 주는 방법으로 결정되어야 한다. 그러나 현장에서 발생하는 고장은 주로 저압의 인가로 고장점의 변이점을 찾을 수 있는 고장점 저항이 완전 지락으로 인한 저저항이 아니라 고저항 고장이 주로 발생된다. 그래서 고저항 저항에 대한 TDR 측정을 위해서 제시되고 있는 방법이 TDR 고압방식으로 얘기할 수 있는데 DC 고압을 이용하여 절연파괴 전압을 인지한 상태에서 절연파괴전압보다 약간 큰 썬지 전압을 인가하여 고장점에서 절연파괴로 인하여 완전지락을 인위적으로 만들고 그때 TDR 측정을 하는 방법이다. SEBA에서는 Surge Arc Reflection 시험이라고 부르고 있다. 그림 7은 고장점 저항이 고저항으로 TDR 저압으로 파형의 변이점을 찾지 못했지만 TDR 고압방식으로 인가하여 고장점에서 정확히 고장점을 찾을 수 있음을 보여주고 있다.



<그림 7> TDR 저압(파란)과 고압(빨강) 파형

해외 지중케이블의 고장점 탐지는 장비업체인 독일 Seba KMT(사), 오스트리아 BAUR(사)가 운영기술도 함께 주도하고 있으며, 세계 최고 케이블 제작사인 Prysmian에서는 유지보수 측면에서 고장점 탐지 업무를 직접 수행하고 있다. 미국, 일본, 유럽 등 선진국에서는 고장케이블에 대한 고장점 탐지 운영경험이 많으며, 현재 주로 사용하고 있는 고장점 탐지 방법은 TDR(저압, 고압)과 메레이루프를 사용하며 음향 및 자계센서를 이용하여 고장점 상세 위치를 탐지하는 방식으로 이루어진다.

## 3. 결 론

본 논문에서는 지중송전케이블의 접속함에서 적용하고 있는 크로스분당 시스템으로 인한 TDR 시험에 대한 해결방안으로 시간과 돈이 많이 드는 크로스분당 해체보다는 시스 직결을 통한 TDR 시험이 오히려 고장점 탐지에 용이하다는 것을 제안하고 있다. 또한 실제통의 실증시험을 통한 고장점 탐지 방법의 유효성을 증명하였으며, 해저케이블을 포함한 지중케이블에서 고장이 발생하게 되면 고장점 탐지절차를 해수, 직매, 관로, 전력구에 대한 포설형태별 그리고 고장점 저항크기에 따른 TDR 인가전압의 저압방식과 고압방식을 제안하고자 한다. 향후, 지중송전케이블 고장발생시 신속 정확한 고장점 탐지가 가능하리라고 판단된다.

### [참 고 문 헌]

- [1] M.H. Li., Research on Surge Arc Prolongation Device for Power Cable Fault Location, IEEE PES conference, 2005: p38-41
- [2] IEEE Guide for Fault-Locating Techniques on Shielded Power Cable Systems, IEEE PES, IEEE Std. 1234-2007
- [3] BAUR, Cable Fault Location, practical experience 2005