

해저케이블 고장점탐지기술 가이드라인 제시

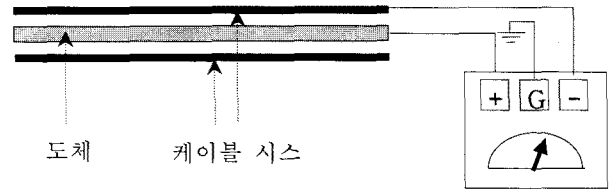
박준우, 양병모, 최경규  
한국전력공사 전력연구원

Fault Location Guideline for Deep Sea Submarine Cable

Jun-woo Park, Byung-Mo Yang, Kyoung-Kyu Choi  
Korea Electric Power Corporation / Korea Electric Power Research Institute

**Abstract** - 해저케이블의 고장은 aging, 부식, 과부하, 과도전압, 기계적인 영향에 의해서 고장이 발생하며 이 중 선박앵커에 의한 외부절연체 파괴로 인한 고장의 가능성이 가장 높다. 특히, 제주-해남간 해저케이블은 고장발생시 경제적, 사회적으로 미치는 영향이 크기 때문에 유사시에 대비한 고장점탐지 기술확보가 매우 중요하다. 본 논문에서는 해저케이블 고장발생시 케이블고장확인 및 고장점탐지 기술에 대한 가이드라인을 제시하고자 한다.

차단기를 개방한 상태에서 이뤄지며 <그림 2>와 같이 매거의 단자와 도체, 시스부를 각각 연결한다.



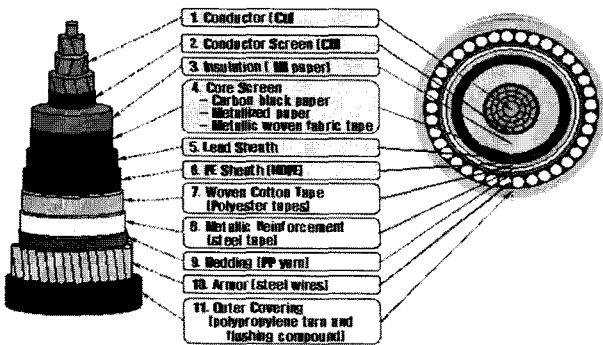
<그림 2> 절연저항 측정을 위한 회로결선

1. 서 론

제주-해남간 HVDC해저케이블은 제주도 전력계통의 중요한 부분을 차지하고 있기 때문에 안정적인 전력공급이 중요하며 고장시 복구체제 확립을 통한 계통의 안정성확보 또한 중요하다. 하지만, 인근 양식장과 어선의 운행이 많아 사고의 위험성이 높아 이에 대한 예방 대책 및 유사시 복구 시스템의 확립이 중요하다. 해저케이블은 고장발생시 신속한 복구가 이루어져야 하며, 고장복구를 위해 가장 먼저 수행되어야 하는 과정이 바로 고장점 탐지이다. 해저케이블의 경우 고장 발생시 육안으로는 고장점 탐지가 어렵기 때문에 고장점을 찾기 위한 여러 가지 방법들이 개발되어 사용되고 있다. 케이블고장이 발생하면 전기적인 시험을 통해 케이블고장 여부에 대한 확인이 이루어져야 한다. 전기적인 시험을 통해 케이블 절연과피에 의한 고장이 확인되면 절연과피점을 찾기 위한 탐지시험을 시행하게 된다. 케이블 절연체손상에 의한 사고는 지락사고이며 이 부분의 대지저항 또는 매우 낮기 때문에 이러한 전기적인 특성을 이용하여 시험을 진행한다. 고장점탐지는 개략구간 탐지 및 상세구간 탐지 순서로 진행하게 되며 각 단계별로 적합한 시험방법을 채택해 진행하게 된다.

2.1.2 내압시험을 통한 고장확인

케이블케 고장확인을 위한 유효한 방법으로 내압시험방법이 있다. 이는 해저케이블의 도체와 시스부분에 DC전압을 인가하여 누설전류를 측정하는 방법으로 진행된다. 신설케이블의 초기내압 시험은 1.5U<sub>0</sub> 까지 가압하지만, 기사용케이블의 경우에는 경년열화를 감안해 시험전압을 결정한다. 내압시험을 위한 회로는 <그림 3>과 같이 구성하며 내압시험이 끝난후에는 도체에 잔류전하가 남아있기 때문에 충분히 방전을 시킨 후에 접지를 시행한다.



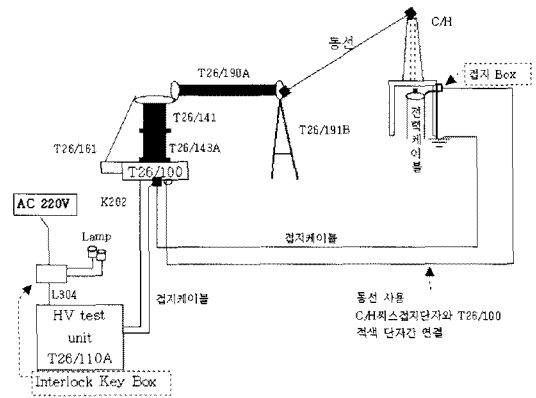
<그림 1> 해저케이블의 구조

2. 본 론

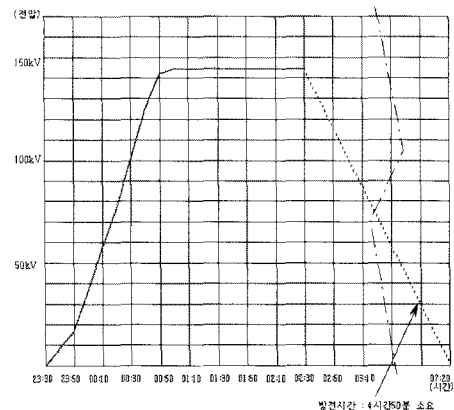
2.1 케이블 고장확인 시험

2.1.1 절연저항 측정

해저케이블의 절연저항측정은 5,000kV 메거를 이용하여 시행한다. 케이블의 길이가 10km인 장거리 선로이기 때문에 시험시 도체부 충전에 장시간이 소요된다. 건전케이블은 절연저항 측정시 10가 되나 절연과피가 일어난 고장 케이블은 이 보다는 훨씬 작은 저항이 측정되며 이 때 측정되는 절연저항은 고장에 따라 차이가 난다. 절연저항 측정을 위한 회로결선은 케이블과 연결된



<그림 3> 내압시험 결선도



<그림 4> 내압시험 결과 그래프

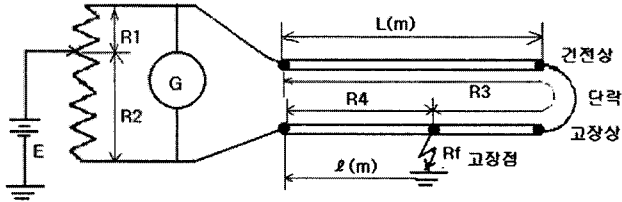
<그림 4>는 2008년 5월 27일 시행한 해저케이블의 내압시험 결과 그래프로 케이블과 현장여건을 고려해 140kV까지 시험을 진행하였다.

## 2.2 개략구간 탐지시험

개략구간 탐지시험은 고장점 탐지의 최종단계인 Pin Pointing의 범위를 좁혀주어 고장점탐지에 대한 효율성을 높여준다. 시험은 머레이루프와 TDR(Time Domain Reflectometer)를 병행하여 시행하며 시험오차를 줄이기 위해 반복시험을 통해 정확도를 높인다.

### 2.2.1 머레이루프 시험

휘스톤브릿지의 원리를 이용한 머레이루프 시험법은 회로구성이 간단하고 조작이 용이하나 회로구성을 위한 건전선로의 휴전이 수반되어야 하는 단점이 있다. <그림 5>와 같이 구성된 회로에서 검류계(G)의 자침이 영점이 되도록 가변저항을 조절하면  $R_2/R_1=R_4/R_3$ 이 성립되고  $R_3=p(2L-\ell)/A$ ,  $R_4=p\ell/A$  이므로  $\ell=2R_2L/(R_1+R_2)$ 가 된다. ( $p$ :케이블도체 고유저항, A:단면적, L:케이블길이,  $\ell$ :고장점까지의 거리)

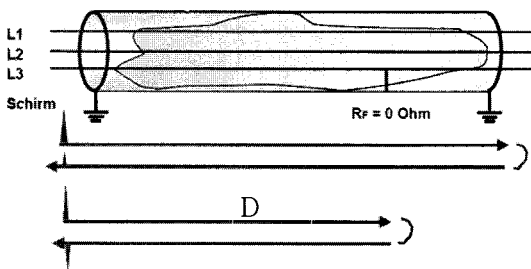


<그림 5> 머레이루프법

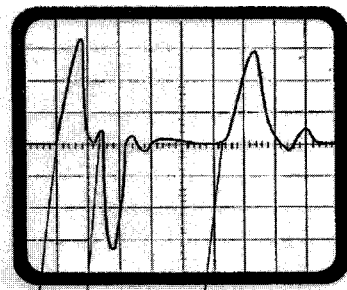
### 2.2.2 TDR(Time Domain Reflectometer)

Rader의 원리를 이용한 고장탐지방법으로 TDR이 있다. TDR 고장케이블에 펄스신호를 주입하여 임피던스 변화점에서 반사되어 돌아오는 펄스를 시간차를 측정하는 방법으로 개략구간 탐지에 유효한 방법이다. 절연체 구성물질의 유전율에 따라 펄스의 속도가 달라지기 때문에 절연체의 유전율을 계산에 의하여 구하거나 케이블이 설치된 상태에서 TDR 시험을 시행하여 전송속도를 구하여야 한다. 해저케이블로 사용되고 있는 MI케이블은 전송속도를 70.5m/us로 간주하며 정확도를 높이기 위해서는 케이블이 처음 설치될 때 TDR을 이용해서 전송속도를 구하는 것이 좋다. 고장점까지의 거리는  $D=vt/2$ 의 식에 의하여 구한다.

( $v=c/\sqrt{\epsilon}$ ,  $v$ :전송속도,  $c=3 \times 10^8$  m/s,  $D$ =고장점까지의 거리,  $t$ =입사 및 반사파의 측정시간차)



<그림 6> TDR을 이용한 고장탐지



<그림 7> TDR 스크린 화면

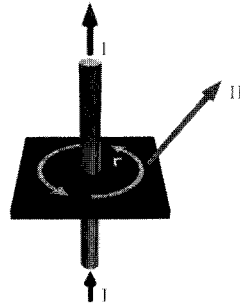
(1:펄스 입력점, 2:지락고장점, 3:케이블 끝단 반사점)

지락사고와 같이 임피던스가 낮아지는 지점에서는 부반사가 일어나고 케이블 끝단이 개방된 곳과 같이 임피던스가 증가되는 곳에서는 정반사가 일어난다.

## 2.3 상세구간 탐지시험

### 2.2.2 씨칭코일을 이용한 상세구간 탐지

씨칭코일을 이용한 상세구간 탐지시험은 <그림 8>과 같이 플레밍의 오른손 법칙을 이용한 것으로 케이블에 시험전류를 흘려 이때 발생하는 자계의 변화를 검출하는 것으로 고장점의 직접검출이 가능하다.



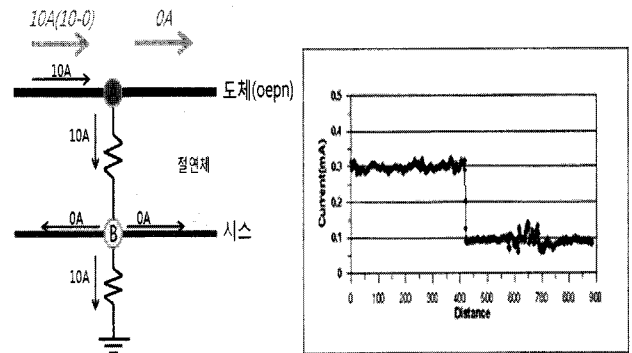
$$H = I / 2\pi r [AT/m]$$

$$B = \mu H = \mu I / 2\pi r$$

$$= 4\pi \times 10^{-7} \times I / 2\pi r = 200I / r [nT]$$

<그림 8> 플레밍의 오른손법칙

<그림 9>과 같이 차단기를 개방한 상태에서 케이블에 시험전류를 주입하면 고장점에서 전류가 대지로 흘러 고장점 전,후에 변곡점이 생기게 되는데 이 변곡점이 바로 고장점이다. 고장점에서의 저항이 고저항 지락이 발생하는 경우 고장점 전후에서의 전류차가 작아 변곡점을 찾기 힘들데 이런 경우에는 버닝(Burning)을 통해 고장점의 저항을 낮추는 방법을 사용하기도 한다.



<그림 9> 씨칭코일을 이용한 고장점탐지

## 3. 결 론

해저케이블의 고장점탐지 방법은 육상 케이블들의 경우와 비슷하나 장거리 선로인 경우가 많아 고도의 측정방법이 요구된다. 특히, 고장시 신속하고 정확한 고장점탐지가 필수이며 이를 위해 고장점 탐지에 필요한 케이블시스템에 대한 충분한 이해와 이론적인 검토와 필요하다. 고장점탐지는 고장유무 확인시험, 개략구간 탐지, 상세구간 탐지의 순서로 진행하며 각 단계마다 필요한 시험을 설정해 놓고 시행하고 있다. 앞에서 살펴본 바와 같이 한전에서는 HVDC 해저케이블 고장점 탐지를 위한 가이드라인을 통해 최적의 고장점 탐지시스템 구축을 해 놓고 있다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 지중송전 케이블 시스템, 한국전력공사
- [2] Seminar 2007, SEBAKMT
- [3] 제주-해남간 HVDC#2T T/L 케이블 고장시험 보고서, 서울전력관리처
- [4] Innovatum Ultra system Operation & Technical Manual
- [5] Power Cables, KEMA