

# 電力 케이블 絶緣診断技術

The Biagnosis Technic of The  
Power Cable Insulation Ability

곽준근

한국전력공사 지중선사업처 보수부장

## 1. 케이블 진단

電力 케이블을 보다 效率的으로 使用키 爲하여 여러가지를 檢討할 것이 있으나 그 중에서 우선 한두가지 사항을 알아보기로 하면 여러 형태의 原因에 依하여 絶緣劣化하는데, 이 劣化 原因을 찾아 보고 적절히 相應되는 對策을 强구함으로써 長期的으로 使用可能하다고 보고, 또 使用中인 케이블도 어떤 形態原因에 依하여 故障이 發生할 때 復舊時間이 장기간 所要하고 電力供給 中斷이 생기므로 빨리 사고점을 탐지하는 것이 事故復舊에 가장 중요한 要因이 되므로 測定에 對하여 몇 가지를 記述하고자 한다.

케이블 보수 목적은 케이블을 正常狀態로 유지하고 事故를 未然에 방지하여 보다 장기적으로 使用하는데 있으며 電力 케이블은 주로 地中에 埋設되어 있어 劣化가 發見되면 적절한 方法으로 處理할 필요가 있다.

케이블의 劣化와 그 對策 및 사고점 檢査方法에 對하여 알아 보기로 한다.

## 2. 劣化의 種類와 對策

- (1) 熱에 依한 劣化
- (2) 異常電壓에 依한 劣化
- (3) 化學藥品에 依한 劣化
- (4) 侵水에 依한 劣化
- (5) 動物의 侵害에 依한 劣化
- (6) 鹽害, 汚損에 依한 劣化
- (7) 自然環境에 依한 劣化
- (8) 其他

### 가. 熱에 依한 劣化對策

電線 케이블의 絶緣被覆材料는 有機物이 大部分이다. 有機物에 熱을 加하면 分解하거나 酸素와 酸化하여 劣化한다. 이때 溫度는 위에 말한 現象을 도와주고 있다. 一般的으로 다음 식으로

쓰여진다.

$$\log t = \frac{A}{T} + B$$

t: 수명

A, B: 어떤 定數

T: 절대온도

상기 식에서 溫度가 높으면 수명은 指數函數的으로 급속히 단축되기 때문에 케이블의 許容溫度 以下에서 使用하는 것은 삼가해야 한다. 그리고 케이블을 여러條 布設할 때 주위온도가 높은 장소에서 使用하면 適正한 低減率을 승한 電流를 使用할 필요가 있다.

주위온도가 높은 경우는 이에 對應하는 耐熱性的의 재료를 使用하여야 한다.

#### 나. 異常電壓에 의한 劣化對策

개폐 서지 (Surge), 雷, 기타 사고시 異常電壓이 케이블에 加해질 때 케이블의 絶緣耐力 以上의 高電壓이 印加될 때 絶緣破壞가 직접 일어나거나 破壞가 일어나지 않아도 異常電壓時 코로나에 의한 손상을 받아 絶緣耐力이 低下되어 케이블의 수명이 단축된다. 또 임펄스 (Impulse) 가 반복적으로 印加하면 서서히 破壞電壓이 低下하는 것을 알 수 있다.

아 물론 異常電壓이 侵入하면 위험스러우므로 L.A 등 保護裝置를 설치할 필요가 있다.

#### 다. 化學藥品에 의한 劣化와 對策

케이블 被覆材料는 有機材料, 金屬재료는 酸, 알칼리, 油, 有機溶劑가 침입한다. 鉛被케이블의 鉛은 油, 有機溶劑가 侵入, 硫化水素酸, Al 被覆은 酸, 알칼리 侵入의 경우 일반적으로 有機材料는 비교적 알칼리에 對하여 강하고 비닐은 알칼리에 對하여 약하다.

아 물론 케이블에 對하여 (布設한 케이블) 약품의 侵入은 注意를 要한다.

#### 라. 浸水에 의한 劣化 및 對策

시즈 (Sheath), 金屬被覆에 外傷을 받아 絶緣体内에 浸水하거나 屋外端末部 處理가 미약하여 케이블 導體에 물이 侵入하게 되면 케이블 絶緣

특성이 약화되고 따라서 絶緣耐力을 저하시켜 사고가 발생한다. 즉 絶緣体内部에 浸水하면 絶緣特性이 低下하여 케이블의 수명이 단축되고 또 시즈에 浸水할 때, 차폐층의 腐蝕의 原因이 되고 部分的으로 電界集中으로 金屬 이온이 絶緣体에 퍼지는 原因이 되므로 注意를 要한다.

#### 마. 動物의 侵害에 의한 劣化對策

최근 백겨미, 불개미에 의한 사고가 나는 경우를 외국 사고 사례에서 찾아볼 수 있다. 개미의 이(齒)로 케이블의 外被를 齧아먹는데 銅帶 外裝은 하여 보호할 필요가 있어 設計時 참조하여야 하고 케이블 布設地에 불개미, 백개미의 生息地가 있을 때 驅除藥品을 使用하여야 한다. 개미, 곤충의 齒에 의한 사고에 주의를 要한다.

#### 바. 塩害汚損에 의한 劣化對策

海岸 근처 屋外使用 케이블은 헤드(C/H) 애자관 또는 고무에 塩分이 附着하여 電路가 형성되어 어스 (Earth) 現象이 發生한다.

塩分 附着時 表面抵抗이 低下하면 누설전류가 흐르고 이 熱에 依하여 部分的으로 건조되어 불꽃 放電이 생긴다. 이러한 문제점을 해결키 爲 하여는 수시로 세척을 行하여야 한다.

#### 사. 自然環境에 의한 열화對策

光, 紫外線, 酸素 등으로 劣化되는데 케이블 헤드의 被覆材料는 紫外線에 약하다. 그래서 폴리에틸렌에 적당한 카본을 넣으면 良好한 耐熱性이 있다. 赤, 靑色을 着色한 폴리에틸렌은 紫外線은 이 物質의 分子가 연결한 것을 切斷시켜 균열이 발생한다. 그리하여 靑색으로 着色한 폴리에틸렌을 使用하는 것이 좋다.

#### 아. 其他 劣化原因의 對策

케이블은 대단히 미세한 屈曲이 되어 있고 또 케이블 구조물은 스트레스가 加해지는 상태로 使用하여 絶緣耐力이 低下한다. 또 구조물 간에 空隙이 생겨 코로나 發生原因이 된다.

그래서 케이블을 과도하게 屈曲시키는 것은 可勿히 避하도록 하여야 한다. 그리하여 케이블의

布設時 許容曲率을 屈曲시키는 것은 대단히 중요하다.

또 케이블 布設 루트에 異常이 없는지 접속상 케이블의 溫度 등 異常有無을 감지하고 異狀音 發生이 있는지 注意를 할 필요가 있다. 공사로 인한 外傷發生 위험이 있는지 注意를 貰한다.

### 3. 劣化診斷을 爲한 電氣的 測定

一般的으로 劣化診斷을 하는 方法으로 絶緣測定法을 말할 수 있다.

#### 가. 메거 測定

(1) 絶緣체의 絶緣抵抗

導體와 遮蔽層間 1,000V ~ 2,000V 메거 (Megger) 測定한다.

(2) 시즈 (防蝕層)의 絶緣抵抗

차폐층이 있는 金屬 시즈와 大地間에 500V ~ 1,000V 메거 測定한다.

(3) 測定時 注意點

(가) 애자 기타 機器를 分離, 케이블 단독으로 測定한다.

(나) 端末部 表面에 누설전류가 發生하지 않도록 청소를 청결히 할 것.

(다) 充電時間을 一定시간 유지 (通常 1分)

(라) 測定時 溫度, 氣候 記錄

#### 나. 判定基準

測定電壓이 낮아 메거 測定度가 다소 난점이 있으나 직류누설 電流法, 誘電正接 測定法이 있다.

定期的으로 測定하여 經年變化를 그래프化 하여 數値로 판단하는 것이 중요하다.

#### 다. 耐電壓法

케이블을 시험하여 信賴度 결정에 有效하다. 直流電壓을 도체와 차폐층간에 10分間 加함.

#### 라. 직류 누설전류법

도체와 차폐층간에 直流電壓 印加時 이 때 누설전류를 測定한다. 누설전류치를 一定시간 (10

### ○Megger 測定으로 劣化判定 (例)

	CV케이블	判 定
絶緣体	500HΩ 以下	위험 : 단말부점검요 재측정 기타방법 조사 요
	500~2,000MΩ	주의 : 단말부점검요 반년 1년후 재측정요
	2,000以上	使用可 : 차기점검
시즈	0.5~1MΩ 以上	시즈 破損 可能性 : 調査 要
	1MΩ 以上	使用可 : 차기 조사 요

\* 주 MΩ - km 환산

$$M\Omega - km = \text{測定值 (M}\Omega) \times \frac{\text{測定케이블길이}}{1,000}$$

### ○耐電壓時 DC 耐電壓

公稱電壓 (V)	印加電壓 (KV)
3,300	D. C 10.4
11,000	28.8
22,000	57.5

공칭선압 (V)	比較點非安地方式 (KV)	比較點非安地方法 (KV)
66,000	D. C 152	D. C 173
154,000	D. C 354	D. C 403

\* 判定기준

絶緣破壞가 없을 것.

分) 연속 기록할 것.

(1) 측정시 注意點

(가) 애자등 단말부 表面에 누설전류가 흐르지 않도록 청소를 깨끗이 한다.

(나) 安定시킨후 누설전류 측정을 行한다.

(다) 測定回路가 사람에 닿지 않도록 한다.

(라) 測定時 溫度, 氣候, 記錄 철저히 요.

#### 마. 判定基準

10分間 測定. 이때 누설전류의 絶對值 (이때 絶緣抵抗 值를 구함)

時間特性 (成極指數), 電壓특성 (弱點比) 으로

劣化判定을 행한다.

누설전류 絶對値를 구하여 절연저항치로 判定基準은 다음과 같다.

CV 케이블	判定
1,000MΩ-km 以下	위험
1,000~10,000MΩ-km	요주의
10,000MΩ-km 以上	계속사용가능

#### 4. 케이블 故障點 探知

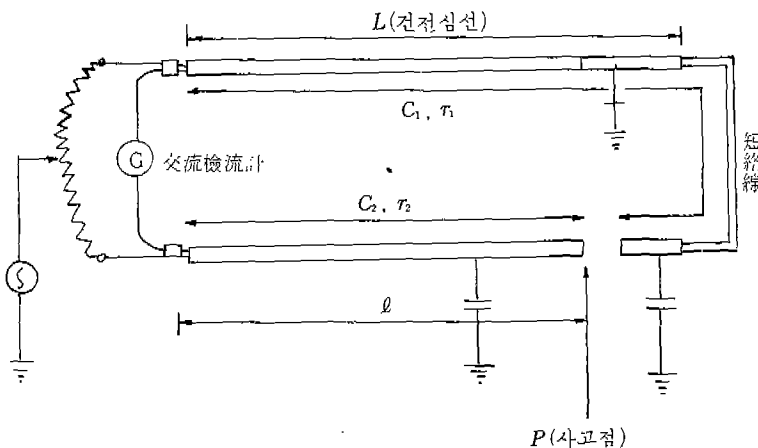
##### 가. 케이블 사고의 形態

케이블 사고의 形態는 다음과 같으며 絶緣이 양호한 상태로 운전되어야 하나 障害形態에 따라 區分된다.

- (1) 도체~차폐間: 절연 본체의 電氣破壞
- (2) 차폐~어스間: 防蝕層의 절연불량
- (3) 도체~어스間: 차폐층 없는 케이블의 절연 불량

- (4) 도체~도체間: 절연본체의 電氣破壞
- (5) 도체 斷線: 절연본체의 電氣破壞

※(2)의 경우는 使用可能하나 절연 본체를 보 호하고 있는 방식층이 局所的으로 성능을 잃게 되면 외부로부터 케이블 內에 直接 이물질이



〈그림 1〉

侵入하므로 修理를 하여야 한다.

##### 나. 사고점 측정

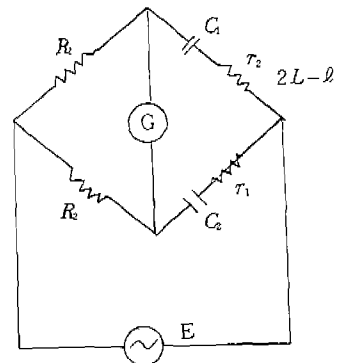
단선 및 지락사고 측정은 直列抵抗브리지 (Bridge) 法의 原理로 測定. 回路例는 다음 그림 2 와 같다.

위에서 말한 斷線事故가 있을 때 그림에서 보 는 바와 같이 케이블 絶緣體의 等價回路는 絶緣體의 靜電容량과 정전용량에 直列로 抵抗이 들어가기 때문에 브리지의 平衡狀態을 測定한 후 抵抗  $R_1$ ,  $R_2$  와 케이블 心線과 遮蔽金屬間 정전용량  $C_1$ ,  $C_2$ . 이때  $C_1$ ,  $C_2$  에 直列로 들어가는 抵抗分  $r_1$ ,  $r_2$  間에 (1), (2), (3) 式이 成立한다.

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{C_2}{C_1} \quad (1)$$

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{r_1}{r_2} = \frac{C_2}{C_1} \quad (2)$$

$$W C_1 r_1 = W C_2 r_2 \quad (3)$$



- L : 케이블의 全長
  - l : 故障點까지의 길이
  - $C_1$  :  $2L-l$  의 靜電容량
  - $C_2$  : l 의 정전용량
  - $r_1$  :  $C_1$  에 直列로 연결한 케이블 절연체의 等價抵抗
  - $r_2$  :  $C_2$  에 直列로 연결한 케이블 절연체의 等價抵抗
- (1線斷線事故의 測定回路)

〈그림 2〉

(3)식은 케이블의  $\tan \alpha$ 로 나타난다.

健全心線, 事故心線의 절연체가 同一하므로 平衡條件이 成立한다.

断線事故 測定에 (1)式에서  $C_1, C_2$ 는 케이블의 同一構造일 때 길이에 比例하므로 (1)式을 다음으로 變換하면

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{l}{2L-l} \quad \therefore l = \frac{R_1}{R_1 + R_2} 2L \quad (4)$$

$l$ 은 事故點 까지의 距離를 測定한 것이다.

高壓 브리지形 케이블 事故點 測定器로 Murray loop式 HB-10(型式)外 Seek-x 등 여러 型式이 있다(그림 3 참고).

#### 다. 앞으로의 測定技術 전망

海外에서 實用化되고 있는 事故點 檢出에 對하여 소개하면 다음과 같다.

##### (1) 광자계 센서를 利用한 電力 케이블 事故구간 檢출 시스템

電力 케이블 事故구간을 수시로 檢출하는데 適切한 事故처리를 하기 위한 事故구간 檢출을 하는 한 수단으로 종래 방식에서는 전자유도 시즈 서지(Sheath Surge)의 영향을 받기 쉬우므로 광기술을 도입하여 문제점을 해결코자 다음 시스템을 活用하는 것이 實用化되고 있다.

##### (2) 시스템의 구성과 기능

###### (가) 광자계 센서

파라데이 효과(광의 편파면이 자계에 對하여 비례하여 회전하는 현상)를 응용한 것으로 광기능 재료 비스코스, 실리콘 오キサ이드(BSO) 단결정을 쓴 것이 있다.

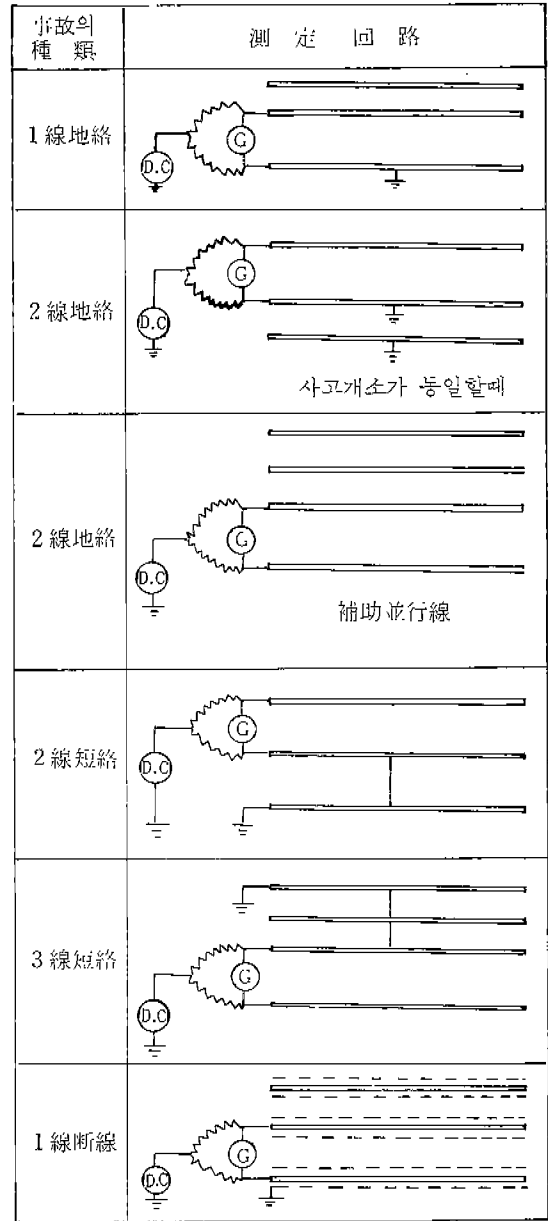
이 센서(Sensor)를 감시구간의 양단에 취부하여 도체 전류를 檢출한다.

###### (나) 광-전기(E/O O/E)변환기

센서에 광을 보낼과 함께 센서를 통과시킨 광으로부터 도체전류에 비례한 신호를 발생시켜 전기신호로 출력시킨다.

###### (다) 판별기

감시구간에서의 사고에 있어서는 양센서의 電流方向이 같게 되고 구간내에서의 사고에 있어



〈그림 3〉 各種 事故의 測定回路例

서는 역방향이 되는(위 상각차  $180^\circ$ ) 것으로 부터 양 센서에서 檢출된 도체전류 파형의 위상을 비교하여 구간내에서의 사고를 檢출한다.

##### (3) 시스템의 특징

(가) 신뢰성이 높다: 전송선은 광 케이블에

있어 전자유도를 받지 않는다.

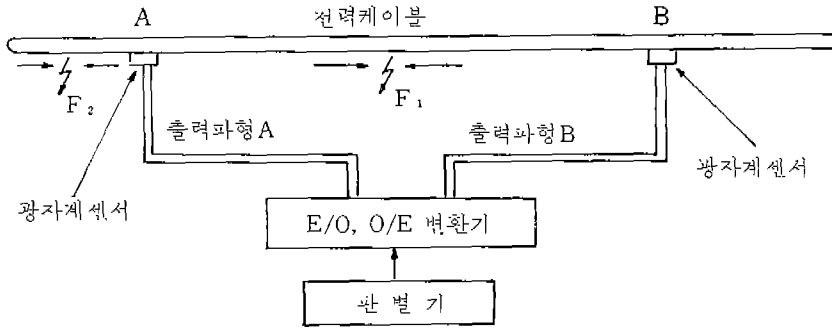
또한 이 광 케이블은 絶緣物로서 전력 케이블 시즈에 고전압 서지가 진입하여도 전송선에는 전달하지 않는다.

(나) 센서가 소형 경량이기 때문에 현장에서

적용하기가 쉽다.

이러한 특징을 갖고 있는 본 시스템은 OF, CV 케이블에도 유효하게 사용되는 것인데 급후 전력계통에 널리 적용될 것으로 기대되고 있다.

(다) 시스템 구성과 동작원리



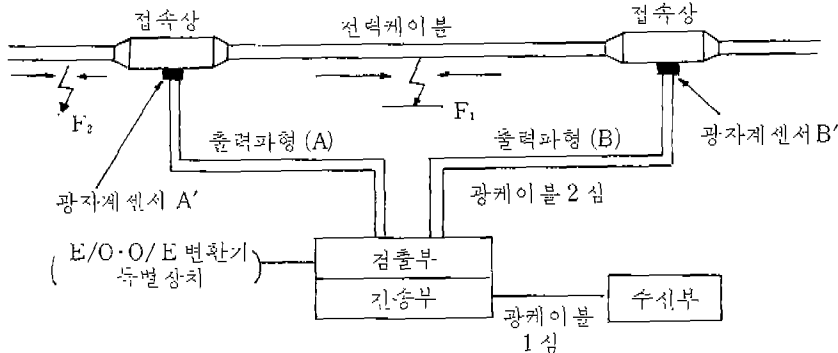
항 목	A, B간에서의 사고 (F <sub>1</sub> )	A, B간이외의 사고 (F <sub>2</sub> )
A, B의 광자계 Sensor의 출력 파형 (AB)		
판별기 출력		

(라) 동작 원리

본 시스템은 광자계 센서, 광 케이블, E/O O/E 변환기, 판별장치(시스템 구성에 따라서는 전송부, 수신부)로 구성되어 있다.

감시구간의 양단에 설치한 센서에 의해 도체 전류를 검출하여 그 방향(위상차)을 판별함에 따라 구간내에의 사고를 검출한다.

항목	A, B 간에서의 사고 (F)	A, B 간이외에서의 사고 (F)
A, B의 광자계 센서의 출력 파형 (A, B)		
A, B의 광자계 센서의 출력 파형의 차 (A, B)		
전송부 출력신호		
수신부 정보램프		



(마) 광자계 센서

자기 광학재료에 외부로부터 자계를 가하여 자계와 같은 방향에 광을 투과시킴으로써 자기 광학재료를 통과중 편파면이 회전하는 현상이 일어나는데 이것은 파라데이 효과라 한다.

광자계 센서는 파라데이 효과를 응용한 것으로 구성되어 있다.

자계의 세기와 회전각  $\theta$  간에는

$$\theta = VD \cdot H \cdot I$$

여기에서  $H$  : 인가한 자계의 세기

$I$  : 자계중의 재료의 길이

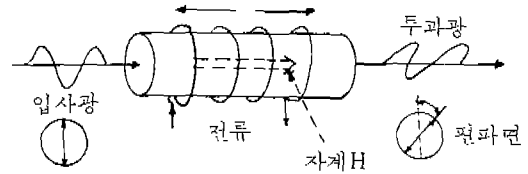
$VD$  : Verdet 정수

의 관계가 있다. 이것을 이용하여 자계측정이 된다.

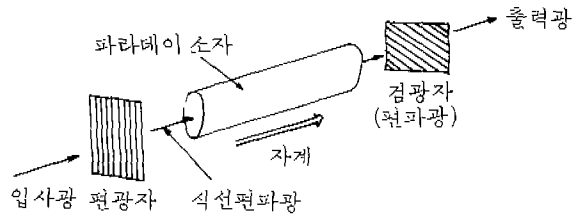
또한 Verdet정수는 물질에 따라 결정되는 파라데이 효과의 크기를 표시하는 정수이다.

(바) E/O, O/E 변환기

E/O, O/E 변환기는 유닛으로 구성되어 있다. 첫번째의 센서에 첫번째의 유닛이 대응한다. 센서를 통과한 광신호는 직류분과 교류분이 포함되어 있고 이 직류분이 상시 일정한 경우 LED



▲ 파라데이 효과



▲ 파라데이 효과에 따른 자계 센서 원리도

의 발광램프(LED 전류)를 콘트롤하고 있다. 이 LED 전류를 모니터하여 이 레벨 이상되므로 경보를 발생하는 것인데 광 피더의 단선(로스 증가)등의 이상을 자동적으로 검출하게 된다.

