

# 電氣設備의 故障診斷

## 25. CV 케이블의 새로운 故障診斷技術

### 1. 머리말

CV 케이블은 현재 送配電 케이블의 중심이 되는 케이블로서 電壓은 물론이고 최근에는 特高壓 用에 이르기까지 사용하게 되었는데 사용량의 증가에 따라 워터트리 사고 등 케이블 고장도 무시할 수 없게 되었다. 원래 CV 케이블은 종래의 종이 케이블에 비해 취급 보수가 용이하다는 이점을 가지고 있으나 케이블 시설은 한 번 사고를 일으키면 정전이라는 큰 재해가 야기되기 때문에 정기적인 점검, 열화진단에 의해 사고를 미연에 방지하는 노력이 요망된다. 여기서는 주로 3~6 kV용 CV 케이블을 대상으로 그 보수기술으로서의 고장진단(열화진단, 고장점발견법)을 설명한다.

### 2. CV 케이블 열화의 종류

일반적으로 케이블 수명은 케이블이 정상인 환경하에 사용되는 것을 전제로 통상 20~30년 정도로 생각하고 있다. 그러나 현실적으로는 이 수명 이내에 열화, 절연파괴에 이르는 일이 종종 있다. 이러한 열화를 분류해 보면

- (i) 열에 의한 열화
- (ii) 異常電壓에 의한 열화
- (iii) 기름 또는 약품에 의한 열화

- (iv) 물에 의한 열화
- (v) 기계적 외력에 의한 열화
- (vi) 鹽分이나 汚損에 의한 열화
- (vii) 動物害에 의한 열화
- (viii) 기타 시공, 제조불량에 의한 열화

등이 있다. 이 중에서 CV 케이블의 劣化로 특히 알아 두어야 할 것으로, 약품에 의한 化學트리 열화와 물에 의한 워터트리 열화에 대해 설명한다.

#### (1) 化學트리 劣化

##### (a) 化學트리와 그 발생원인

化學트리는 黃化物을 함유한 공장 폐액이나 지하수에 의해 汚損된 土砂속에 매설된 케이블과 특수한 黃化物의 영향을 받기 쉬운 환경에 있는 케이블의 시즈 및 절연체를 투과해 온 黃化物이 全導體와 반응해서 黃化銅을 생성하고 절연체 속에 析出成長하는 것이다. 化學트리 열화된 케이블의 단면은 導體側에서 흑색의 樹枝狀物質이 절연체 속으로 伸展되어 있으며 최종적으로는 절연과 괴된다.

일반적으로 Cu, Sn과 반응해서 생성되는 腐食生成物으로서의 과거의 금속화학연구 데이터에 의하면

- 적색물질...Cu<sub>2</sub>O
- 흑색물질...CuO, CuS, Cu<sub>2</sub>S, SnS, CuBr<sub>2</sub>

등이 있다. 한편 절연체를 침식하고 있는 흑색물질은 X선 마이크로 애널라이저에 의해 분석한 결과에서 Cu, S의 존재가 확인됐다. 또 다른 試料의 분석에서는 Sn의 존재도 확인되고 있어 흑색수지상물질의 성분은  $Cu_2O$ ,  $CuO$ ,  $CuS$ ,  $Cu_2S$ ,  $SnS$  등이라고 판단된다. 이러한 현상을 化學트리라고 하며 電氣트리 또는 워터트리와 구분하고 있다. 化學트리는 黃化物이 존재하면 케이블이 無課電일 때도 발생한다. 더욱이 化學트리는 銅트리 또는 Sulfide Tree라고 부르기도 한다.

(b) 化學트리 발생 케이블의 특성

化學트리는 앞에서 말한 바와 같이 黃化銅 등이 절연체 속에 트리 모양으로 析出되며, 케이블의 특성변화는 주로 절연특성 저하로 나타난다. 즉,

- 誘電正接( $\tan \delta$ )의 증가
- 각종 耐電壓值의 저하
- 절연저항의 저하
- 直流漏洩電流의 증가

등과 같은 현상을 일으키며 드디어는 절연파괴되는데 化學트리 진전도와 절연특성의 관계에 대해 아직 명확한 데이터가 없다. 또 遮蔽銅 데이프도 道體와 同一하게 부식한다.

(2) 워터트리 열화

(a) 워터트리와 그 발생 원인

워터트리는 CV 케이블 속에 물이 침입하여 電界下에서 電極不整部分으로부터 트리를 형성하는 현상이다. 워터트리는 그 발생기점에 따라 이를 다음과 같이 분류하는 경우가 있다.

(i) 內導(水)트리

케이블의 내부 半導電層이 테이프인 경우는 테이프 테두리, 끝머리 등이 고르지 못한 부분에서 트리가 발생되기 쉽다. 내부 半導體層을 押出構造로 했을 경우(최근은 이러한 타입의 케이블이 많다)에는 트리발생이 거의 없지만 그래도 押出 콤파운드 속의 異物이 절연체와의 界面에 나와 있

을 때는 그곳에서 트리가 발생하는 일이 있다.

(ii) 보우타이트리

절연체 속의 異物이나 보이드를 기점으로 하는 것으로, 그 모양이 보우타이(Bow-tie)와 닮아 이러한 명칭이 붙었다.

(iii) 外導(水)트리

케이블의 외부 半導電層을 기점으로 하는 트리이다.

이상 세 종류의 워터(水)트리중에서 지금까지 주로 사고원인이 되고 있는 것은 內導트리이며, 기타 트리에 의한 사고는 內導트리에 의한 사고에 비해 극히 드물다. 워터트리에 대해 현재까지 많이 연구되어 현상적으로 명백해진 것을 간추리면 다음과 같다.

- (i) 워터트리는 물과 電界와의 공존하에 일어난다.
- (ii) 워터트리는 직경 수  $\mu m$  이하의 물이 가득 찬 보이드의 모임이다.
- (iii) 워터트리는 비교적 얇은 電界에서도 발생한다.
- (iv) 워터트리는 절연물 속의 異物, 보이드, 導電層의 不整部 등 局部高電界가 생기는 곳을 기점으로 한다.
- (v) 워터트리는 直流보다 交流電界에서 발생하기 쉽고 高周波에서는 촉진된다.
- (vi) 워터트리는 고온일 때 발생하기 쉽다.
- (vii) 워터트리 발생부에서는 기계의 일그러짐이 발생하고 있다.

워터트리 발생진전의 메카니즘에 대해서는 아직 통일된 이론이 없지만 上記한 바와 같은 현상을 기초로 한두, 세 가지의 대표적인 說을 소개하면

- (i) 맥스웰 응력에 의해 절연체에 크랙이 생겨 워터트리가 발생 진전한다.
- (ii) 誘電泳動現象으로 절연체 속에 물이 들어가 誘電加熱 또는 ジュール에 의해 발생 진전한다.
- (iii) 電界에 의한 물의 凝集機構이라고 하는 열역학적인 說

등이 있다. 이와 같이 워터트리의 메카니즘에 대해 여러가지 의견이 제안되고 아직 통일이론이 서지 않는 것은 워터트리의 발생진전이 지극히 복잡하고 마이크로 한 현상이라는 것에 기인하고 있다.

(b) 워터트리 발생 케이블의 특성

워터트리는 상술한 바와 같이 절연체 속에 물이 채워진 트리 모양의 보이드의 모임이므로 이에 의한 케이블 특성의 변화는 化學트리와 같이 절연특성의 저하로 나타난다. 이들의 특성변화는 워터트리 열화진단의 길잡이가 되는 것이며, 그 상세한 것에 대해서는 4.에서 설명한다.

3. 일상점검

<표 1> CV 케이블의 주된 劣化原因

劣化의 要因	劣化의 양상	主要原因
熱	· 硬化→크랙 · 軟化→變化 · 膨脹→차폐 동태이프의 절단	· 過大負荷電流 · 주위온도의 이상 고온 (예: 高溫管의 接近)
異常電壓	· 절연 또는 시즈의 파괴	· 外電의 侵入 · 關閉서지의 侵入
기름 또는 약품	· 硬化→크랙 · 膨潤 溶解 · 化學트리	· 有機溶劑+기름과의 접촉 · 黃化物을 함유한 물과의 접촉
	· 도체나 차폐의 녹, 변색 · 介在物테이프의 부식 · 워터트리	· 시즈外傷部케이블 로부터 포실시 단말·접속부 물침입
機械的 外力	· 크랙 · 변형, 주름	· 과도의 구부림 · 과도한 하중 · 포실시의 장력과대
塩 分	· 단말부에 크래킹 발생	· 단말부 표면 리크에 의한 트래킹 발생
汚 損	· 살밭이 分岐管 크랙	· 오존 柴外線 材質不良
動物糞	· 시즈에 구멍	· 쥐 · 흰개미
기타 시공불량	· 단지부의 발열 · 시즈표면 트래킹	· 조임불량, 압축불량 · 접지누락, 접지선 단선

CV 케이블 열화의 개념에 대하여 설명했는데 현장에 있어서는 여러 가지의 劣化가 복잡하게 얽혀 발생하는 일이 많다. 따라서 개개의 열화 요인과 그 구체적인 열화 양상, 주요 원인을 충분히 이해해 두는 것이 日常點檢은 물론이려니와 정기적인 열화진단을 하는 경우에도 중요하다. 이것을 간추리면 표 1 과 같다.

일상점검은 통상 課電下에서 하므로 단말부나 전기 기기류에 너무 근접하지 말고 케이블 포실 루트를 따라 눈으로 점검한다. 눈점검의 요령은 표 2에 예시하였는데 표 1의 열화전반을 머릿속에 넣고 점검해야 된다.

4. 열화진단방법

케이블의 열화정도를 평가하려면 먼저 열화의 양상을 정확히 검출해야 한다. 이를 위한 시험방법으로는 3.에서 설명한 일상점검외에 해당 케이블을 철거하고 조사하는 방법도 있으나 여기서는 케이블을 포설장소에서 절연시키지 않도록 열화진단하는 방법을 주로 워터트리를 대상으로 하여 설명한다.

(1) 워터트리 발생 케이블의 특성변화

워터트리 열화를 진단하려면 워터트리가 발생했을 때 케이블이 어떤 특성을 나타내는가를 미리 파악해 둘 필요가 있다.

(a) tan δ와 워터트리의 관계

그림 1은 半導電性 테이프를 내부 半導電層으로 가진 6kV CV 케이블에 생긴 워터트리의 길이와 tan δ의 관계를 나타낸 것이다. 이보다 워터트리의 길이가 길어지면 케이블의 tan δ가 증가하게 된다. 예컨대 tan δ가 1%일 때는 워터트리는 절연체의 50% 정도까지 성장할 가능성이 있다는 것을 나타내고 있다. 또 그림 2는 철거 케이블의 워터트리數와 tan δ의 관계를 표시한 것으로, 워터트리의 길이와의 관계와 같이 트리 발생수가

< 표 2 > 劣點檢 要領

열화의 종류	재 료	주의를 요하며, 사용하지 않는 쪽이 바람직한 상태	위험해서 사용하지 못할 상태
열에 의한 열화	비닐	硬化됐다. 퇴색됐다.	屈曲이 곤란한 정도로 단단해졌다. 常溫程度에서도 꺾거나 구부러는 각도가 작으면 갈라진다.
	폴리에틸렌		물렁해졌다. 屈曲하면 갈라진다.
화학약품(유용제, 무기약품)에 의한 열화	비닐	硬化됐다. 물렁해졌다. 용해됐다. 끈적끈적하다.	屈曲이 곤란할 정도로 단단해졌다. 常溫程度에서도 꺾거나 구부러졌을 때 갈라진다. 손가락으로 눌릴 정도로 물렁하다. 두께의 1/3 이상 용해됐다.
	폴리에틸렌	물렁해졌다. 용해됐다. 膨潤해졌다.	屈曲할 때 갈라진다. 全體에 膨潤해졌다. 두께의 1/3 이상 용해됐다.
흰개미, 개미, 동물해(쥐, 곤충 등)에 의한 열화	비닐 폴리에틸렌	微細孔이 뚫려 있다. 菌絲가 피고 있다. 蝕孔이 있다. 지난 흔적이 다수 있다. 먹은 자국이 있다(곤충에 의한 것은 확대해 보면 알 수 있다). 表面이 더러워졌다.	구멍 또는 먹은 자국이 두께의 2/3 이상의 깊이에 이르렀다. (시즈)
자연환경(햇빛, 오존)에 의한 열화	비닐	硬化됐다. 퇴색됐다.	熱에 의한 劣化和 같다.
	폴리에틸렌	갈라졌다.	갈라진 것이 두께의 1/3 이상 깊이에 이르렀다. 屈曲되면 갈라짐이 점점 깊어진다.
기타(외상)	비닐 폴리에틸렌	구멍이 뚫렸다. 벤자국이 있다. 갈라진 금이 있다. 뭉그러졌다.	구멍이 시즈를 관통했다. 外徑의 20% 이상 뭉그러졌다.

늘면  $\tan \delta$ 도 증가하는 것을 가리키고 있다. 다만, 이들의 그림에서 알 수 있듯이  $\tan \delta$ 와 워터트리의 관계는 상당한 차이가 있는 것에 주의해야 한다. 이 차이는 워터트리 부분의 水分量의 差, 케이블 길이 방향에서의 워터트리 발생 정도의 차이와 케이블 차폐층의 健全性 등에 의한 것으로 생각되며 열화판정에 있어서는 이 정도의 차이는 있을 수 있다고 생각해야 한다.  $\tan \delta$ 는 이런 차이는 있지만 다른 특성에 비하면 비교적 작은 워터트리일지라도  $\tan \delta$ 의 증가로서 캐치할 수 있는 경우가 많다.

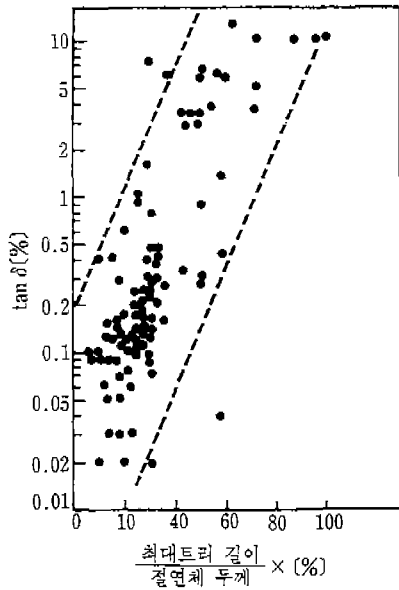
(b) 絶緣抵抗과 워터트리의 관계

그림 3은 워터트리의 길이와 絶緣抵抗과의 관

계를 나타낸 것이다. 이것에서  $\tan \delta$ 만큼은 아니지만 絶緣抵抗도 워터트리 길이와 상관이 있는 것을 알 수 있다. 일반적으로 架橋 폴리에틸렌의 體積固有抵抗은 크며, 워터트리가 발생하지 않은 CV 케이블에서의 절연저항은 그림 4의 영역에 있고 따라서 그림 3과 같이 絶緣抵抗이 저하되고 있는 것은 워터트리에 기인하는 것으로 생각해도 된다.

(c) 破壞電壓과 워터트리의 관계

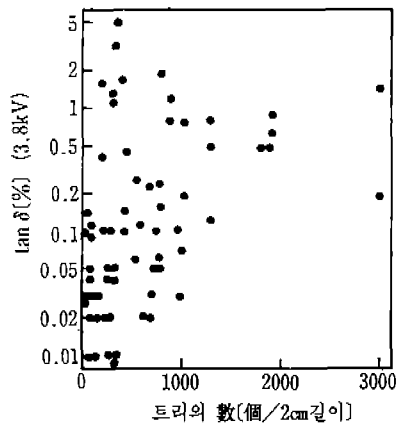
그림 5에 워터트리의 길이와 破壞電壓의 관계를 든다. 이것에서 알 수 있듯이 워터트리가 길어짐에 따라 交流破壞電壓이 저하된다. 한편 그림 6은  $\tan \delta$ 와 交流破壞電壓과의 관계를 나타내는 것



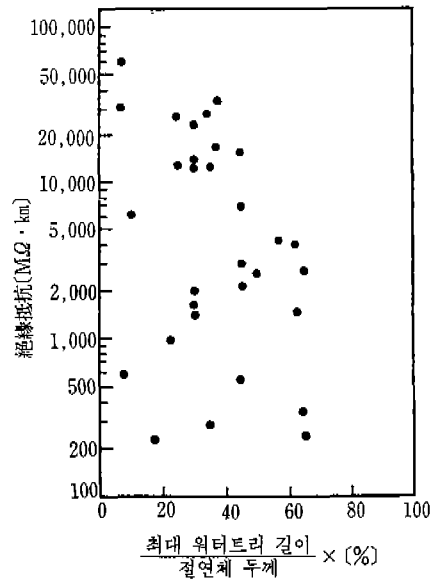
케이블 : 3.3, 6.6kV T-T형 CV 實使用後撤去品  
 測定電壓 : 1.9kV(3.3kV케이블)  
 3.8kV(6.6kV케이블)

<그림 1> 워터트리 길이와 tan δ의 關係

이며 tan δ가 커지면 破壞電壓은 저하하는 경향이 있다. 또 그림 7은 다른 문헌에서 인용한 tan δ와 交流破壞電壓의 關係를 나타낸 것으로, 어느 것이나 tan δ가 5%일 때 交流破壞電界는 2~2.5kV/mm로 되어 있다. 또 그림 8은 絶緣抵抗과 交流破



<그림 2> 워터트리類와 tan δ의 關係



케이블 : 3.3, 6.6kV T-T형 CV 實使用後撤去品  
 測定電壓 : 3~5kV(3.3kV 케이블)  
 6~10kV(6.6kV 케이블)

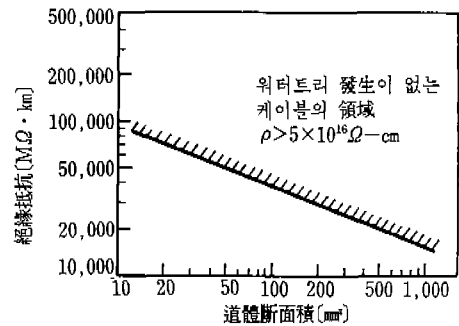
<그림 3> 워터트리의 길이와 絶緣抵抗의 關係

壞電壓과의 關係를 나타낸 것이다. 絶緣抵抗이 1000MΩ·km 정도를 넘기면 電流破壞電界가 2 kV/mm 정도까지 저하되는 것을 나타내고 있다.

## (2) 열화진단방법

### (a) 絶緣抵抗法 (메거 측정)

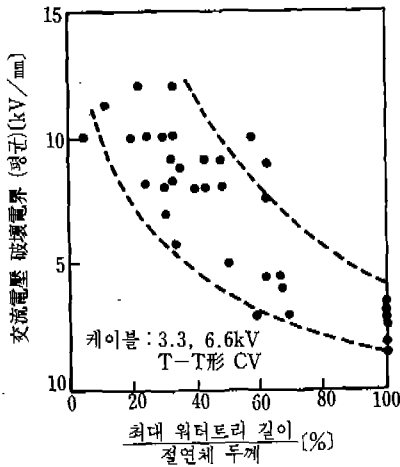
#### (i) 측정실시요령



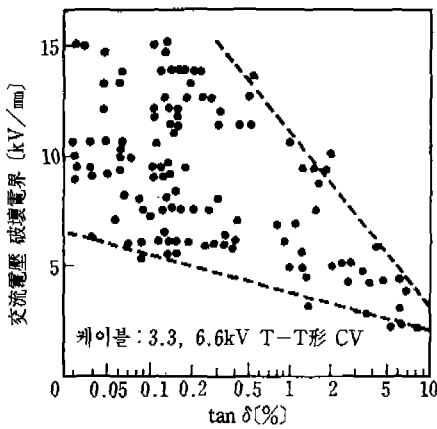
<그림 4> 워터트리가 發生하지 않은 3.6kV 케이블의 絶緣抵抗

절연체의 絶緣抵抗은 도체와 차폐층간에서 1,000V 또는 2,000V 메거로 측정한다. 시즈의 絶緣抵抗측정은 500V 또는 1000V 메거로 측정한다. 측정시의 주의점은 다음과 같다.

- 碼子나 다른 기기를 분리하고 케이블 단독으로 측정할 것.
- 단말부 표면에서의 漏洩電流가 없도록 잘 소제하고 필요하면 방해물을 제거할 것



<그림 5> 워터트리의 길이와 交流破壊電壓의 關係



<그림 6> 워터트리發生 케이블의 tan δ와 交流破壊電壓의 關係

- 특히 線路가 길 때는 充電하여 값이 일정할 때까지 기다린다.
- 측정시의 온도, 일기를 기록해 둘 것

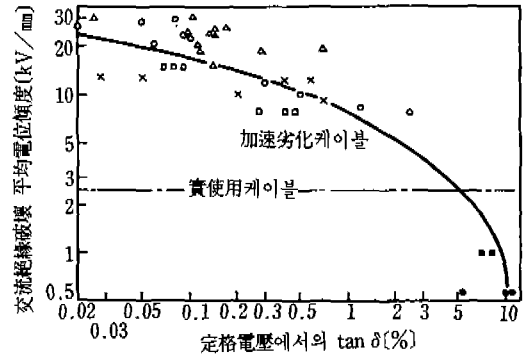
(ii) 判定기준

判定기준은 표 3과 같다. 이 방법은 가장 간편하고 실시하기 쉬우나 測定電壓이 낮고 메거의 測定精度에 난점이 있기 때문에 후술하는 直流漏洩電流法이나 誘電正接測定法 등에 비해 신뢰도가 낮다.

그리고 정기적으로 측정하여 經年變化에 따라 판단하는 것도 중요하다.

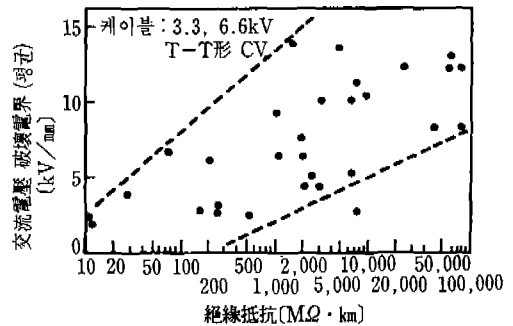
(b) 耐電壓法

이 방법은 일반적으로 케이블을 신설하거나 이



課電壓(kV/mm) : ×1.7 □0.95 ■0.95  
△5.0 ○3.8 ●0.54

<그림 7> tan δ와 破壊電壓의 關係



<그림 8> 워터트리發生 케이블의 絶緣抵抗과 交流破壊電壓의 關係

<표 3> 메거 測定에 의한 劣化判定

	CV케이블	판 정
절연체	500M $\Omega$ -line이하	危險, 端末部點檢을 하여 再測 또는 기타 방법으로 調査  필요
	500~2,000M $\Omega$ -line	要注意, 端末部點檢을 하여 再測 또는 半年~1년후의 再測이  필요
	2,000M $\Omega$ -line이상	次回定期檢査까지 그대로  사용  가능
시즈	0.5~1M $\Omega$ -line이하	시즈 破損의 可能性이  있고  調査修復處置를  할  必要가  있을
	1M $\Omega$ -line이상	次回定期檢査까지 그대로  사용  가능

실했을 경우의 시험으로 적용되고 있는데, 케이블의 신뢰도 체크로서 유효하다.

(i) 측정실시요령

交流 또는 直流電壓을 도체와 차폐층간에 10분간 인가한다. 인가전압의 선정은 케이블의 열화 정도에 따라 다음 사항을 유의하여 선택할 필요가 있다.

- 電氣設備技術基準에서는 표 4와 같이 정하고 있다.
- 너무 높은 試驗電壓을 몇 번이고 印加하면 오히려 絶緣劣化를 촉진하여 경우에 따라서 絶緣破壞되는 일도 있다.

그러므로 이 방법은 試驗電壓을 얼마로 하느냐

가 어려우나 기설 케이블에서는 표 4보다는 낮게, 또 사용전압보다 높게 한다는 뜻에서 표 4의 1/2정도 直流電壓을 인가하는 일이 많다.

(ii) 판정기준

絶緣破壞되지 않을 것.

(c) 直流漏洩電流法

이 방법은 지금까지 소개한 방법에 비해 각종 기재의 준비가 필요하며 측정시간이 걸리는 등 복잡해지지만 신뢰도가 높은 효과적인 방법이다.

(i) 측정실시요령

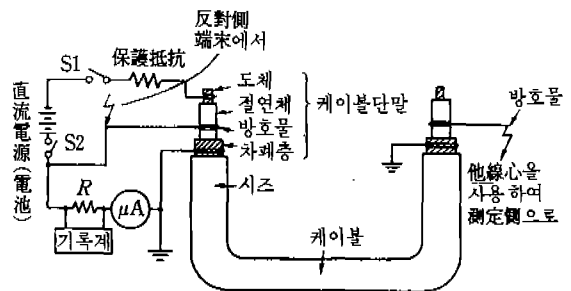
도체와 차폐층간에 그림 9와 같은 회로로 直流電壓을 인가하고 이때의 漏洩電流를 기록계를 사용해서 연속적으로 기록한다. 印加電壓의 선정은 여러 가지를 생각할 수 있으나 高壓케이블의 경우 현장에서의 적용성을 생각할 때 3~10kV 정도가 좋다.

측정은 다음과 같은 점을 주의하여야 된다.

- 碍子나 다른 기기를 분리하고 케이블 단독으로 측정한다.
- 단말부의 表面漏洩電流가 없도록 잘 소제하고 방호물을 제거한다.
- 안정된 측정을 하기 위해 直流電源으로는 안정된 電源을 사용한다. 電池를 사용하는 것이 좋다.
- 電池는 대지에서 충분히 절연된 위치에 둔다.
- 측정회로에 사람이 접촉해서는 안된다.
- 측정하는 케이블의 단말 부근에서 트랜시

<표 4> 耐壓試驗電壓

공칭전압(V)	시 험 전 압 (kV)	
3,300	AC 5.2	DC 10.4
6,600	10.4	20.7
11,000	14.4	28.8
22,000	28.8	57.5
33,000	43.1	86.2



<그림 9> 直流漏洩電流法の 結果

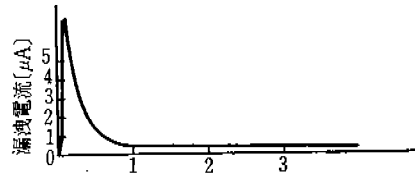
<표 5> 워터트리 판정기준

항 목	랭크	기 준	판 정
주 1) tan δ	a	0.2% 미만	· 건전
	b	0.2% 이상 5% 미만	· 워터트리 발생
	c	5% 이상	· 워터트리 발생 상당히 진행 · 耐壓 지극히 저하
주 2) 絶緣抵抗	a	10,000MΩ·km 이상	· 건전
	b	10,000MΩ·km 이상 10,000MΩ·km 미만	· 貫通워터트리 존재
	c	1,000MΩ·km 미만 또는 異常電流波形 주 3)	· 貫通워터트리數 상당히 증가 · 耐壓 지극히 저하
綜合判定	A	모두 a	· 건전
	B	ab, ba, bb	· 要注意 ·  측정빈도 높일 것
	C	어느쪽이든 c	· 불량 · 조금씩 교체를 고려

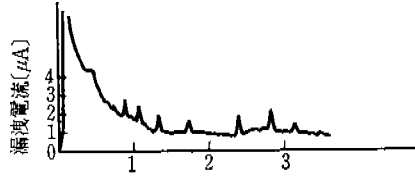
주 1) 1.9kV(3.3kV 케이블) 3.8kV(6.6kV 케이블)의 商用周波電壓을 인가하여 측정)

주 2) 2~5kV(3.3kV 케이블), 6~10(6.6kV 케이블)의 적당한 直流電壓을 인가(도체측 負極性)하여 漏洩電流를 10분간 기록

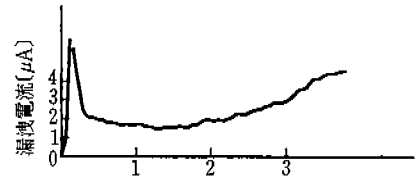
주 3) 키크 현상 또는 電流증가 경향 등



(a) 正常的 特性



(b) 키크이 있는 경우



(c) 增加傾向이 있는 경우

<그림 10> 直流漏洩電流의 차트

버 등의 발생기기를 사용하지 않는다. 誘導를 키크現象으로 잘못 보는 일이 있다.

· 측정시의 온도, 일기를 기록한다.

(iii) 판정기준

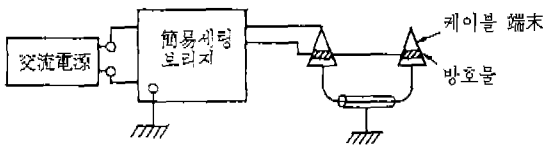
측정은 5~10분간 실시하며 이 때의 漏洩電流 絶對直(이것으로 絶緣抵抗을 계산한다), 시간특성

(키크 현상 증가 경향의 유무) 등으로 열화를 판단한다.

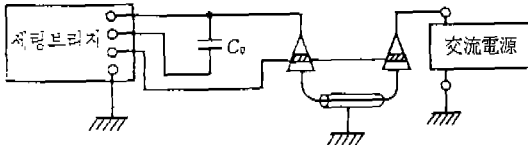
漏洩電流의 절대치로 구한 絶緣抵抗値에 의한 기정기준은 표 5와 같다. 그림 10에 대표적인 예를 들었는데, 그림의 (b), (c)와 같이 키크 현상이나 증가경향을 나타낼 경우는 열화가 진행되고 있을 가능성이 크다.

## 電氣安全은 정리·정돈부터





(a) 簡易 세리브리지 法



(b) 세리브리지 法

<그림 11> 誘電正接測定回路

(d) 誘電正接 ( $\tan \delta$ ) 側定法

이 방식은 도체와 차폐층간에 그림 11과 같이 交流電壓을 인가하여 간이 세리브리지로  $\tan \delta$ 를 측정하는 것인데, 현장에서 精度높은 측정을 하기는 어렵다. 그러나 CV 케이블에 있어서는 워터트리의 결출법으로  $\tan \delta$  측정이 유효하다. 印加電壓은 상시사용 對地電壓 정도가 적당하다. 판정기준은 표 5와 같으며, 정기적인 측정을 하여 그 증가 경향과 더불어 급격한 특성변화를 일으켰을 때의 값 등도 고려해서 판단하는 것이 바람직스럽다.

(e) 部分放電側定法

이 방법은 주로 商用周波交流使用電壓 또는 그 波高値에 상당하는 直流電壓을 도체와 차폐층간에 인가하여 절연체 속의 部分放電을 검출해서 (部分放電開始電壓, 放電電荷量, 部分放電 발생 빈도를 측정한다) 열화판정을 하는 것으로 최근 여러가지가 검토되고 있기는 하지만 다른 회선이나 기기로부터의 誘導雜音을 없애는 것이 어렵고 대형 정밀측정기가 필요하기 때문에 별로 보급되지 않고 있다.

(3) 새로운 劣化診斷法

워터트리 劣化診斷法으로 종래부터 사용되고 있는  $\tan \delta$  및 絕緣抵抗 측정 외에 최근 워터트리

劣化 케이블의 절연진단법으로 새로운 방법이 제안되고 있다. 그 하나는 誘導에 의한 오차를 될 수 있는 대로 작게 하고 또 電源容量問題를 해결하기 위해 超抵周波로  $\tan \delta$ 를 측정하려고 하는 것이며, 그 외에 케이블 절연체의 吸收電流를 측정하여 그 크기의 大, 小로 전전 케이블과 워터트리劣化 케이블을 판별하려고 하는 시도가 있다. 또 接地하여 放電시키고 그후 도체를 뜬 상태로 방치해 두면 도체에 電壓이 나타나는 현상을 이용한 것으로 이 殘留電荷의 大, 小로 劣化의 정도를 판별하려는 것이 있다. 이들 방법도 實驗室的으로 상당한 성과를 올리고 있는 것 같으나 劣化와의 관계를 표시하는 데이터도 적고 또 현장 적용에 있어서도 여러 가지 문제들이 예상되므로 금후의 검토가 기대되고 있다. 또한 시즈의 絕緣抵抗을 선로정전없이 측정감시하는 장치가 최근 실용화되기 시작한 것과 같이 운전상태에서 진단할 수 있는 방법도 금후 개발되어야 할 것이다.

5. 事故點 檢出方法

사고발생시에는 조기에 공장점을 標定하여 복구에 요하는 시간을 최소한으로 줄일 필요가 있다. 여기서는 각종 地中 케이블의 고장점 검출법과 사고상태에의 적응성 및 문제점에 대하여 설명한다.

(1) 사고상태의 파악

지중 케이블의 절연사고는 다양하지만 대별하면 地絡, 短絡, 斷線事故 및 이들의 복합사고로 나누어진다. 다시 이들은 單相, 2相, 3相事故로 분류된다. 또 사고점의 抵抗値, 高電壓印加時 사고점의 放電狀態 등의 파악도 중요하고 다음 사고상태의 확인에서 이들을 정확하게 추정하여 다음에 실시하는 사고점 측정법의 선정을 잘못하지 않도록 해야 한다.

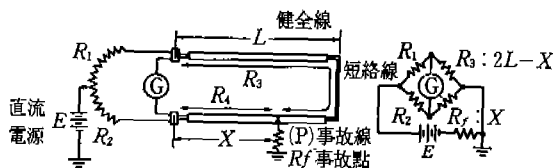
사고상태의 확인시험은 먼저 사고 케이블의 양

단에서 메거와 테스터로 各心線-大地間 및 各心線間의 絕緣抵抗, 사고점 抵抗을 측정한다. 이어서 3線心을 1端에서 短絡하고 他端에서 테스터로 導電試驗을 한다. 이와 같이 메거와 테스터를 사용하는 것은 메거는 高抵抗值 측정에 뛰어난 반면 수천Ω 정도 이하의 측정은 불가능하고 테스터는 반대로 抵抗值 측정에 적합하기 때문이다.

예컨대 導通試驗을 메거만으로 하면 斷線, 地絡의 동시사고로 心線間抵抗이 낮을 경우는 斷線 사고임을 모르고 마이레루프법을 채택하는 일이 있다.

## (2) 高壓 브리지法(마이레루프法)

高壓 브리지法은 케이블 사고의 대부분이 1線 또는 2線地絡이라는 점에서 가장 널리 채택되고 있는 측정법이다. 측정원리는 휘트스톤 브리지법의 원리를 응용한 것으로, 回路例는 그림 12와 같다. 그림의 直流電源은 보통 數백V 이하 또는 數천V 이상이 사용되는데, 전자를 低壓 마이레루프, 후자를 高壓 브리지(高壓 마이레루프)라고 부른다. 그리고 高抵抗地絡事故가 많은 고압 케이블 측정에는 후자가 사용되고 있다. 또 直流電源은 최대 使用電壓에서 케이블 사고점이 0Ω로 地絡해도 일정 전류(예컨대 50A 이하)만 흐르는 電流制限回路를 가지고 있어야 한다. 檢流計는 최근에는 대부분 트랜지스터 증폭형이 사용되고 있으며, 다시 高壓 브리지의 예에서는 케이블 사고점의 放電에 수반하여 高壓 서지 흡수기, 低域通過濾波回路 등이 삽입되어 있다. 브리지의 평형조건은



<그림 12> 高壓브리지(마이레루프)法의 回路

케이블 도체의 재질과 치수가 건전선과 사고선이 동일할 때의 道體抵抗  $R_1, R_2$ 의 비율로써 近端에서 사고점까지의 거리를 측정할 수 있다.

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{2L-x}{x}$$

$$\therefore x = \frac{R_1}{R_1+R_2} \cdot 2L$$

다만,  $R_1, R_2$ : 測定邊抵抗(Ω)

$L$ : 케이블 巨長

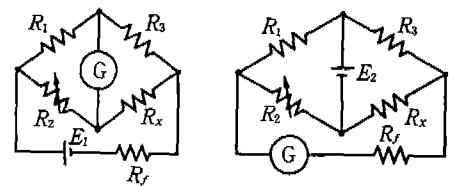
$x$ : 단말에서 사고점까지의 거리(m)

그리고 케이블 巨長이 精確한 限오차 1% 이하의 精度로 사고점을 측정할 수 있어 다른 측정법에 비해 精度도 높고 조작이 간편한 것이 특징이다.

## (3) 逆브리지法

### (인버티드브리지 SEEK-X)

인버티드브리지란 종래의 마이레루프브리지의 檢流計와 電源의 삽입위치를 바꾼 것으로 평형조건은 변함이 없다(그림 13 참조). 종래의 마이레루프브리지에 있어서는 감도 좋은 측정을 위해 電源( $E_1$ )에서 고장점 抵抗( $R_f$ )를 통하여 브리지에 공급하는 電流  $I_1$ 은 적어도 20~100mA가 필요하다. 그러면 고장점 抵抗  $R_f$ 에 그와 같은 電流를 흘리려면  $E_1 = I_1 R_f$ 인 電壓의 電源이 필요하며,  $R_f$ 를 예컨대 100kΩ라고 하면  $E_1$ 은 적어도



(a) 마이레루프브리지

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_x}$$

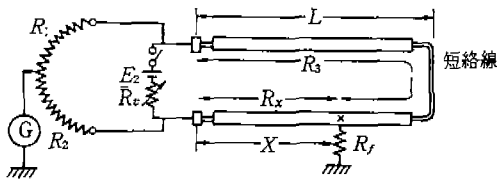
$$R_x = \frac{R_2}{R_1} \cdot R_3$$

(b) 인버티드 브리지

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_x}$$

$$R_x = \frac{R_2}{R_1} \cdot R_3$$

<그림 13> 인버티드브리지法의 밸런스



<그림 14> 인버티드브리지의 測定回路

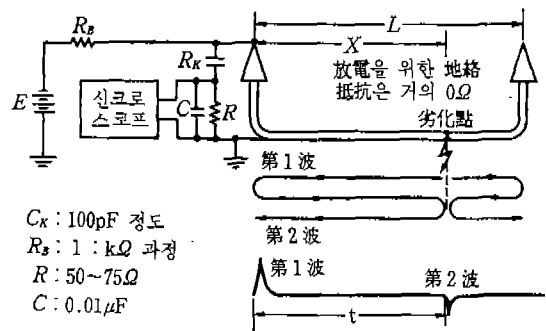
2,000V의 電壓이 요구된다. 이만큼의 電壓을 준비하기 위해 고가이고 소모되기 쉬운 500V의 乾電池를 몇 개 直列로 접속하거나 100V 電源에서 昇壓整流하는 高壓電源이 필요하므로 각각 어려운 문제가 있고 더욱이 측정자는 감전의 위험에 놓이게 되는 결점이 있다. 인버티드 타입의 브리지에서는 電源( $E_2$ )으로 高電壓을 준비할 필요가 없고 1.5V의 乾電池 또는 2V의 蓄電池 유닛 1개의 電壓으로 충분하다. 그보다도 電源으로부터의 출력력을 낮은 값의 도체로 이루어지는 루프회로 抵抗 및 比例抵抗邊으로 短絡하는 것과 같은 것이므로 大電流容量은 필요하나 高電壓을 준비할 필요는 전혀 없고 유닛 1개의 電壓으로서도 電流를 억제하기 위해 그림 14와 같이 電流調整用 抵抗  $R_7$ 를 필요로 할 정도이다. SEEK-X는  $E_2$ 로서 平角 3號 乾電池 1개를 사용하고 있다. 이것으로 出力電流  $I_2$ 는 최대 10A 이상을 흘릴 수 있으며 감전염려는 전혀 없다.

測定感度は 인버티드브리지에서는 電源電壓值는 수백분의 1 또는 수천분의 1로 떨어지고 있으나 대신 브리지에 흘리는 電流(고장점에 흘리는 電流는 아니다)는 수백배 또는 수천배로 되어 있기 때문에 종래의 마아레브리지에 비해 감도가 떨어지는 일은 없다. 반대로 檢流計의 電流感도가 높고 內部抵抗이 높은 것을 사용할 수 있는 것과 종래 마아레브리지에서 고장점 抵抗值가 높을 경우는 所要電壓이 너무 높아 소망스러운 電流值를 흘리지 않거나 또는 흘릴 수 없었던 경우가 많았기 때문에 인버티드타입 브리지쪽이 측정 감도가 높다. 즉, 高抵抗의 고장점 標定이 작은 오차로 실시 가능해진다.

SEEK-X에서는  $1M\Omega$ 의 고장점 抵抗이라도 比例邊의 판독치  $\pm 1\%$ 의 차로 檢流計 지침의 좌우 움직임의 변화를 확인할 수 있으므로 종래의 상식 이상의 감도를 가지고 있다고 할 수 있다.

#### (4) 펄스레이더法

고압 케이블 사고의 특징으로 케이블의 절연성이 높아 非接地系가 많기 때문에 케이블이 절연 파괴되도 地絡電流가 적어 劣化點의 소손이 적고 再送電이 가능해지는 일이 많다. 그리고 絕緣抵抗은 메거치로 수백 $M\Omega$ 으로도 특별한 이상이 없을 경우가 많다. 그러나 반년 또는 수개월에 한 번 정도로, 비가 내리면 地絡이 일어나는 등과 같은 처리가 곤란한 경우가 생기기도 한다. 방전검출형 펄스레이더는 이와 같은 劣化에 효과적인 측정법으로, 측정회로는 그림 15와 같다. 그림내의 直流 高壓發生器의 電壓을 서서히 승압하여 劣化點에서 일시적으로 절연파괴가 일어나 불꽃방전이 발생하면 이때 劣化點으로부터 印加電壓과 逆極性의 高壓進行波 펄스가 케이블 속을 일정속도로 진행한다. 그리고 劣化點과 케이블 단말 사이를 왕복 傳搬한다. 따라서 이 펄스의 傳搬時間에서



$C_x$ : 100pF 정도  
 $R_5$ : 1 : k $\Omega$  과정  
 $R$ : 50~75 $\Omega$   
 $C$ : 0.01 $\mu F$

$$X = \frac{v \cdot t}{2}$$

$X$ : 事故點까지의 거리(m)  
 $v$ : 케이블 중의 펄스傳搬速度 (m/ $\mu s$ )  
 $t$ : 第 1 波와 第 2 波의 時間差( $\mu s$ )

<그림 15> 放電檢出形 펄스레이더의 回路

<표 6> 事故狀態와 各測定法の 適性(3相 케이블의 경우)

事故內容	接 地 抵 抗 과 放 電 電 壓 值		
	低抵抗事故 (數 kΩ이하)	高 抵 抗 事 故 (數 MΩ 이상)	
		放 電 電 壓 4~5 kV	放 電 電 壓 10 kV 이하
1 線 接 地	低壓마아레루프法 高壓 브리지法	低壓마아레루프法(燒成해서 抵抗을 낮춘다). 高壓 브리지法, 逆 브리지法, 放電檢出 펄스레이더法	※高壓 브리지法(燒成後) 放電檢出形 펄스레이더法 逆브리지法
2 線 接 地	〃	〃	〃
3線 接地	並行回線 있음	〃	〃
	並行回線 없음	低壓 펄스레이더法(100Ω 이하)	放電檢出形 펄스레이더法
2 線 短 絡	低壓 마아레루프法 高壓 브리지法	高壓 브리지法 逆브리지法	※高壓 브리지法(燒成後) 逆브리지法
3 線 短 絡	低壓 펄스레이더法(100Ω 이하) 放電檢出形 펄스레이더法	放電檢出形 펄스레이더法	放電檢出形 펄스레이더法
斷 線	低壓 펄스레이더法	交流 브리지法 直讀靜電容量計法 低壓 펄스레이더法	交流 브리지法 直讀靜電容量計法 低壓 펄스레이더法

※ 표의 燒成은 불가능하거나 장시간을 요하는 일이 많으므로 주의

다음 식으로 劣化點까지의 距離를 측정할 수 있게 된다.

$$X = \frac{v \cdot t}{2}$$

다만 X : 測定端에서 劣化點까지의 距離(m)

v : 케이블내의 펄스 傳搬速度(m/μs)

(CV 케이블로 170m/μs 정도)

t : 第1波와 第2波 펄스의 시간차(μs)

그리고 그림 15에서 直流電源 E 대신 펄스 발진기를 사용하면 같은 波形이 얻어져서(다만, 이 경우는 발진펄스가 第1波, 사고점으로부터의 반사가 第2波가 된다) 같은 式으로 사고점까지의 距離를 구할 수 있으며, 이것을 低壓 펄스레이더라고도 한다. 低壓 펄스레이더는 사고점이 완전히 燒成되어 接地抵抗이 낮아져 있어 放電檢出形 펄스레이더의 高壓電源을 인가할 수 없을 경우에 사용한다.

### (5) 靜電容量法

靜電容量法은 단선사고 측정에 오래전부터 사

용되어 온 방법으로, 事故相의 近端에서 사고점까지의 道體—大地間의 靜電容量과 건전상의 그것 또는 遠端에서 사고점까지의 靜電容量을 측정 비교하는 것이다. 대표적인 측정기로서는 각종의 交換 브리지, 直讀靜電容量計가 사용되고 있다.

### (6) 각종 檢출방법의 適用性

이상에서 말한 각종 사고점 檢출방법의 適用性을 간추리면 표6과 같다.

## 6. 맺음말

CV 케이블의 보수와 고장진단기술에 대해 기술하였다. 앞에서 말한 바와 같이 케이블의 劣化는 실제로는 여러 가지 요인이 복잡하게 얽혀 있으며 진단법, 고장점 檢출법에 있어서 이것 하나만 만사 OK라는 경우는 없다. 따라서 실제로는 이상 소개한 것을 기초로 해서 종합적으로 판단해 나가야 될 것이다.

☞ 다음 호에 계속