

케이블의 絶緣劣化要因과 保守

大韓電氣協會
電氣技術情報센터 提供

1. 序 言

현재 低壓 케이블은 그 용도에 따라 여러가지 고무, 플라스틱 絶緣材料가 사용되고 있는데, 77kV 이하의 高壓 電力 케이블의 絶緣体에는 架橋 폴리에틸렌이 주로 사용되고 있다. 이는 부설이나 접속공사 또는 保守가 비교적 용이한 등 여러가지 利點이 있어 사용범위가 확대되어 왔기 때문이다.

다만 고무·플라스틱이라는 有機材料는 사용에 따라 劣化해 나가는 것으로서 부설환경 또는 사용조건을 고려해서 선정하여야 하는 것은 물론이고 여러가지 劣化要因을 파악하여 적절한 保守管理를 하여야 한다. 1967年度에 高壓 架橋 폴리에틸렌 絶緣 케이블에서 水 트리(Tree)에 의한 絶緣劣化가 일어나 美國, 日本 등 세계 각국에서 調査·研究가 진행됨으로써 현재는 케이블에 있어서의 대책 및 絶緣劣化 診斷技術의 개발 등 技術面에서의 개량이 진보되어 있다. 케이블 사고는 영향 파급이 크고 또 복구가 용이하지 않은 면도 많으므로 保守 및 絶緣劣化診

斷의 실시에 의해 異常의 早期發見과 적절한 처치가 중요하다.

여기서는 高壓 CV(架橋 폴리에틸렌 絶緣 비닐 시이즈) 케이블을 주로 해서 그 劣化要因 및 劣化診斷法에 대해서 소개하기로 한다.

2. 케이블의 劣化要因과 대책

일반적으로 케이블의 수명은 그것이 정상적인 환경조건에서 사용되는 前提下에서

○溫度-수명특성...絶緣体 材料의 熱劣化特性에서 얻어진다(CV케이블은 90℃ 이하).

○電壓-수명특성...케이블의 長期課電 特性에서 얻어진다(V-T 특성)

로부터 想定되고 있는데 통상 20~30년으로 되어 있다. 그러나 실제 현장에서는 여러가지 劣化要因에 부가되어 想定壽命 이내에 絶緣劣化하여 사고가 발생하게 되는 일이 있으므로 케이블의 事故를 미연에 방지하기 위해서는 케이블의 劣化狀態를 정확히 檢知하여 적절한 처치를 할 필요가 있다.

(표 1) CV케이블의 主要劣化要因과 그 대책

劣化要因	양상	主要原因	對策
電氣的	<ul style="list-style-type: none"> ○부분방전→絶緣劣化→파괴 ○트래킹…表面리크→炭化燒損破壞 ○異常電壓…시스, 절연체 파괴 	<ul style="list-style-type: none"> ○外傷·과도한 屈曲에 의해 차폐층이나 半導體層의 變形, 파손 ○차폐접지누락, 접지선단선, 차폐층 절단 ○塩分汚損에 의해 端末部표면트래킹 ○外電, 개폐서지의 침입 ○同一系統外 회선의 地絡이나 短絡 事故의 영향 	<ul style="list-style-type: none"> ○부설방법의 확실화, 허용굴곡반경이나 부설장력 체크 ○接地상황체크, 차폐층의 導通, 루프抵抗체크 ○耐트래킹성 테이프의 사용, 애자형 내열해 단말의 사용 ○피뢰기, 서지어브소서 부착 ○운전재개전의 絶緣체크
物理的	<ul style="list-style-type: none"> ○高温…軟化→變形, 導體 신장이동 硬化→균열발생 ○低温…균열발생 	<ul style="list-style-type: none"> ○許容電流이상의 過電(多線부설, 주위온도에 의한 전류저감률의 검토 누락, 屋內피트部에의 川砂通填) ○過電流 通電 ○굴뚝, 蒸電管등 高温物과의 근접 ○低温에 있어서의 과도한 굴곡이나 충격 	<ul style="list-style-type: none"> ○許容電流值체크, 케이블사이즈업 분리부설로 개선 ○과전류릴레이등의 보호방식 체크 ○부설루트개선, 耐熱케이블사용 ○耐寒성케이블使用(재료선정)
(電氣的 + 物理的)	<ul style="list-style-type: none"> ○水트리→絶緣劣化→파괴 ·차폐층이나 導體에 녹發生 ·布테이프나 개재물습수 부식 ·高温水, 증기에서는 시스팽윤, 파열 	<ul style="list-style-type: none"> ○케이블보관이나 부설시 端部로 부터의 侵水 ○시스外傷部로부터의 侵水 ○端末이나 접속처리부로부터의 侵水 	<ul style="list-style-type: none"> ○端末防水캡의 체크 ○부설방법의 확실화, 시스絶緣抵抗체크→修理 ○鉛라미네이트시스등 遮水構造 케이블의 사용 ○内外半導體層 押出構造의 케이블 사용 ○空中래크, 架空부설
化學的	<ul style="list-style-type: none"> ○膨潤→파괴, 색비닐의 黑變 ○硬化→균열발생 ○溶解 ○化學的트리→絶緣低下→파괴 	<ul style="list-style-type: none"> ○기름, 유기성약액과의 접촉, 浸潤 ○高温의 벤젠, 토르엔, 키시렌과의 접촉 ○SO₂, H₂S등을 포함한 물, 가스와의 접촉 	<ul style="list-style-type: none"> ○케이블루트로의 기름, 약품의 침입 방지, 부설루트 검토 ○鉛라미네이트나 鉛시스블이등 耐油, 耐藥品성케이블의 사용 ○空中래크, 가공부설
機械的	<ul style="list-style-type: none"> ○시스, 차폐층, 半導體層 절연체의 變形, 상처, 균열 ○시스의 부분적 溶蝕, 侵水 녹, 부식, 部分放電 트래킹, 水트리→절연열화→파괴 ○케이블切斷 	<ul style="list-style-type: none"> ○보관중, 부설중, 부설교환시의 重擔物 落下, 돌기물존재 등에 의한 外傷, 과도한 굴곡이나 꼬임. ○溶接 찌꺼기의 落下 ○부설후 굴삭기나 못으로 인한 外傷 	<ul style="list-style-type: none"> ○保管, 부설방법의 확실화 ○시스絶緣抵抗체크→수리 ○용접작업시耐炎시트등에 의한 케이블의 방호 처치 ○케이블매설표식의설치
動物害	<ul style="list-style-type: none"> ○시스絶緣體의 결함→절연 파괴 	<ul style="list-style-type: none"> ○백개미로 인한 피해 ○쥐로인한 피해 	<ul style="list-style-type: none"> ○防蟻케이블(나일론→12피복)의 사용 ○메탈플렉스나簡易鋼帶등 금속개장 케이블의 사용
	<ul style="list-style-type: none"> ○端末部 파괴 ○接續部發熱→용단 	<ul style="list-style-type: none"> ○차폐하반도전층의 접속누락, 스트레스콘部 不備 	<ul style="list-style-type: none"> ○공사, 시공의 확실화

劣化要因		主要原因	對策
기타施行不良(端末, 接續, 接地)	○端末部에서 侵水→水트리劣化 ○시스表面트래킹→炭化 燒損과괴	○導体和 슬리브, 端子接觸不良(압착이나 압축부족) ○端子部 防水처리 不備 ○차폐접지누락, 접지선단선, 차폐층 절단	○接地상황체크, 차폐층의 導通, 루프抵抗체크

CV케이블의 주요 劣化要因과 그 대책을 표 1에 든다. 특히 이 중에서도 事故例가 많아지고 있는 水트리(Tree)에 대한 대책은 중요하다. 水트리의 發生, 伸張에 대해서는 아직도 여러가지 說이 있으며 未解明 부분이 많다. 水 트리는 부설환경에 따라 발생하는 케이스가 많으며, 물과 電界가 공존하는 상태에서 導體上 半導電層(內導)上에서 발생하는 內導 트리(Tree), 絶緣体上 半導電層(外導)上에서 발생하는 外導트리 및 絶緣体内的 異物이나 보이드에서 발생하는 보우타이트리(Bow Tie Tree)의 3종류로 분류된다. 高壓 CV 케이블의 水 트리 대책으로는 주로 (1)內·外導 트리 대책으로서의 內導·外導의 平滑化를 도모한 內外導 押出 타입의 케이블(E-E형), (2)水 트리 발생의 一因인 물의 침입을 방지하는 簡易遮水層(金屬箔-플라스틱 라미네이트 테이프 피복)을 시설하는 두가지이다.

3. 케이블의 保守 및 絶緣劣化診斷法

케이블은 여러가지 환경하에 부설되며 오랜 기간 많은 劣化要因을 만나게 되어 이것이 단독 또는 중복되어 케이블劣化가 진행되어 나간다.

복잡한 劣化機構의 규명이나 진단기술의 확립이 부족되어 케이블의 열화상태를 정확하게 판정하기는 어렵지만 현상의 保守點檢技術 및 절연열화 진단법을 이용함으로써 異常의 조기발견, 절연과괴사고의 미연방지, 계획적인 케이블의 갱신계획도 가능하다.

현재는 水 트리에 대한 絶緣劣化診斷이 중요한 포인트가 되고 있으며 水 트리를 검출하는데

있어서 그 現象을 알아 두는 일이 중요한데 그것을 그림 1에 든다.

劣化診斷方法에는 여러가지가 있지만 이 중에서 장치의 汎用性이나 測定技術·精密度 등과 같은 문제때문에 自家用 現場에서는 이용하기 어려운 것도 있는데, 이에 대해서는 생략하기로 하고 비교적 용이하고 실제로 多用 되고 있는 것을 소개한다.

3.1 外視의 點檢法

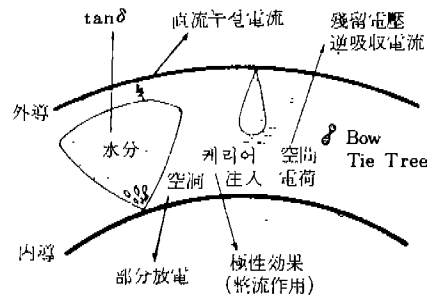
이것은 눈으로 보고서 실시하는 것으로서 日常 또는 定期的인 순시로 하는 방법인데 표 1을 참고하기 바란다.

3.2 絶緣劣化 診斷法

여기서는 絶緣抵抗 測定法과 直流漏洩電流 測定法의 병용 또는 정전시간을 얻을 수 없는 경우의 活線下 絶緣劣化진단법을 권한다.

(1) 絶緣抵抗 測定法

통칭 메가 측정법이라고 호칭되는 방법이다. 간편하긴 하지만 多用되고 있는 1,000V 메가는 測定精密度에 난점이 있어서 1차 판정의 기준



〈그림 1〉 水트리 發生場所와 그 現象

〈표 2〉 메가에 의한 判定基準

	C V케 이 블	判 定
絶 緣 体	500M Ω -line 以下	[危險] 端末部를 點檢하여 再測, 동일하면 즉시 交替考慮
	500~2,000M Ω -line	[要注意] 端末部를 點檢하여 再測, 동일하면 D. C漏洩電流에 의한 劣化診斷을 한다.
	2,000M Ω -line 以上	[斷續使用可] 次回 定期檢査까지 使用 OK
시 스	1M Ω -line 未滿	[要處置] 시스破損의 可能性이 있어 調査修復處置를 할 필요가 있다.
	1M Ω -line 以上	[斷續使用可] 次回 定期檢査까지 使用 OK

으로 하여야 한다.

그리고 현재는 5~10kV 급의 高電壓의 것도 시판되고 있는데 이를 사용하면 상당한 精密度의 향상이 기대된다. 메가에 의한 判定 기준예를 표 2에 든다

(2) 直流 漏洩電流 測定法

電壓 안정성이 우수한 직류 고전압을 도체와 차폐층간에 印加하여 누설전류의 시간적 변화를 측정, 下記 指標로 劣化判定을 하는 방법이다.

(가) 漏洩電流(μA) = 인가시간중의 최종전류치

(나) 漏洩電流(μA/km) = $\frac{\text{누설전류}(\mu A)}{\text{선로공장}(m)} \times 1,000$

(다) 絶緣抵抗(MΩ) = $\frac{\text{인가전압}(V)}{\text{누설전류}(\mu A)}$

(라) 絶緣抵抗(MΩ - km) = $\frac{\text{인가전압}(V)}{\text{누설전류}(\mu A)} \times \frac{\text{선로공장}(m)}{1,000}$

(마) 成極指數 = $\frac{\text{전압인가 1분 후의 전류치}}{\text{전압인가 후 규정시간 또는 최종전류치}} \geq 1$

(바) 弱點比 = $\frac{\text{제 1스텝 전압의 절연저항}}{\text{제 2스텝 전압의 절연저항}} < 3 \sim 5$

(사) 不平衡率 = $\frac{\text{각상누설전류의 최대치} - \text{최소치}}{\text{삼상누설전류의 평균치}} \times 100\% (< 200\%)$

(아) 킥 현상...누설전류-시간특성으로 電流가 상하 급변동하는 것으로서 크기나 發生數를 조사한다.

이 方法은 停電時間이 어느 정도 필요하고 또 測定에 소요되는 費用도 상당히 들게 되므로 每年 모든 케이블을 측정하기는 어렵다. 부설후 5년 전후에 첫번째 측정을 하고 그후의 측정빈도는 側定 테이터를 베이스로 1~3년 마다 실시해 나가면 된다.

測定回路에는 두가지가 있으며 그것을 그림 2에 든다. A회로는 시스 絶緣이 나쁜 경우(1MΩ 미만) 또는 外部誘導의 영향을 받는 경우에, B회로는 그 以外時에 사용한다.

測定電壓의 선정은 絶緣체를 열화시키는 일없이 또 열화상태를 알 필요가 있어 어렵지만 6.6kV CV케이블의 경우 우선 제 1스텝으로 하여 DC 6kV로 양호하면 제 2스텝인 DC 10kV로 나가는 것이 일반적이다. 그리고 부설 연수가 상당히 경과한 것에 대해서는 電壓을 고려할 필요가 있다.

測定순서의 개요는 다음과 같다.

(가) 케이블을 단독으로 하고 차폐층을 대지에서 띄워 端末部를 깨끗이 하고서 가드를 취한다.

(나) 메가로 絶緣体·시스의 절연을 측정, 測定回路를 결정한다.

(다) 스위치는 개방상태로 회로를 결선한다.

(라) 충분히 안전을 확인하고 측정전압을 인가, 측정한다. 이때 일기, 온도, 습도도 기록한다.

(마) 측정이 종료되면 導體를 접지하여 電荷를 제거하고 메가로 재차 체크한 후 가드를 제거, 원상태로 복귀시킨다.

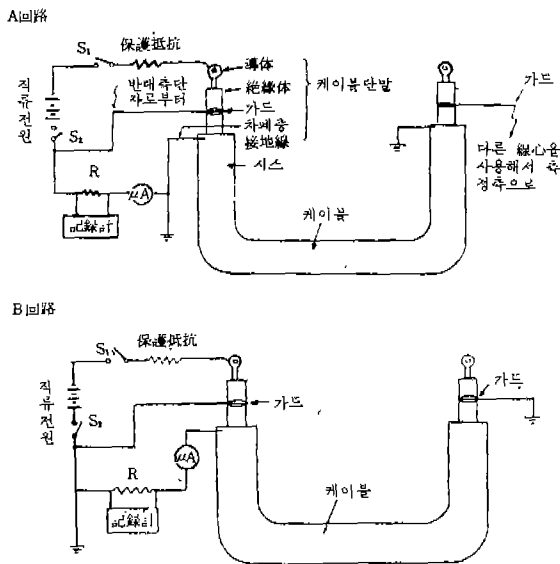
測定結果의 판정은 누설전류 차트의 波形과 測定値에 의해 판정한다. 또한 케이블 길이가 짧은 경우(100m 미만)는 측정된 절대치로 판정한다. 차트의 예를 그림 3에, 判定基準例를 표 3에 든다.

(3) 活線下 絶緣劣化 診斷法

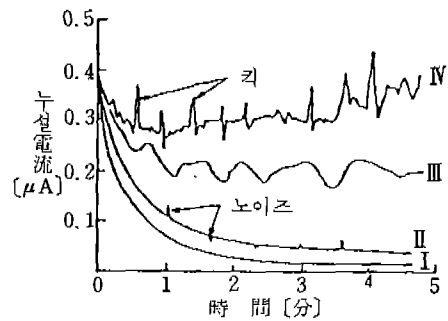
“停電하지 않아도 活線下(운전중)에서 절연진단을 할 수 있다면”하는 희망이 오래 전부터 있었다. 이렇게 되면 언제건 測定이 가능해지고 効果的인 보존이 실현되기 때문이다. 여기서는 직류전압 증첩법과 直流成分法에 대해서 설명한다.

(가) 직류전압 증첩법

活線下絶緣監視裝置(OLCM)로서 최초로 實用化된 것으로, 測定原理는 케이블이 접속되어 있는 高压母線에 GPT(접지용 변압기) 中性點을 통해 DC 50V의 직류전압을 印加, 케이블의 차폐는 콘덴서를 통한 접지로 하고 直流的으로는



<그림 2> 直流漏洩電流 測定回路



I : 正常케이블
 II : 正常케이블로 測定時 노이즈가 있는 경우
 III : 누설電流의 絶對値가 큰 劣化 케이블
 IV : 누설電流의 上昇傾向, 洩現象이 보이는 劣化케이블

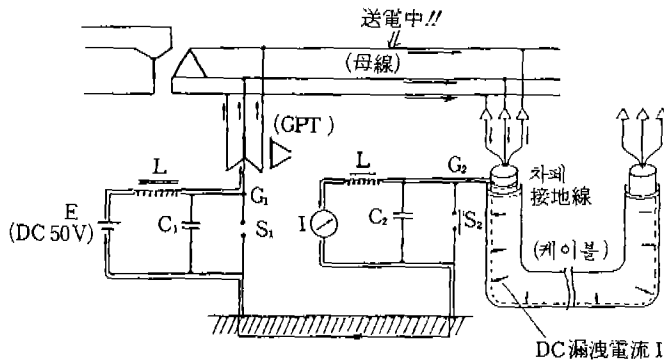
<그림 3> 누설電流-時間特性的 例圖

<표 3> CV케이블의 判定基準

換算한 絶緣抵抗值 (MΩ-km)	判 定
1,000 未満	危險 端末部를 點檢하여 再測, 케이블교환
1,000~10,000	要注意 端末部를 點檢하여 再測, 半年 또는 1年後의 再測이 필요
10,000 以上	繼續使用 OK

〈표 4〉 測定値에 대한 評價 및 케이블處置 (CV케이블)

測定對象	測定值	評價	케이블處置
本体絶緣抵抗 Ri	1,000MΩ 以上	良好	使用繼續
	1,000MΩ 未滿 100MΩ 以上	輕注意	警戒下에 使用繼續
	100MΩ 未滿 10MΩ 以上	中注意	警戒下에 使用繼續 交替準備
	10MΩ 未滿	重注意	케이블 즉시 交替
시스絶緣抵抗 Rs	1,000KΩ 以上 1,000KΩ 未滿	良好 不良	使用繼續 上同, 단, 不良箇所 로커라이즈 修理



〈그림 4〉 直流重疊法에 의한 測定回路

대지에서 띄운 상태로 한다.

여기서 케이블의 절연체를 통해서 차폐에 나타난 직류 누설전류를 측정하는 것이다. 이 회로도를 그림 4에 든다.

本裝置는 掘置式인데, 이 밖에 點在하는 케이블 측정에 편리한 휴대용 장치(P-OLCM)도 실용화되고 있다. 케이블의 絶緣体만이나 시스 絶緣 및 고압모선계 전체의 절연저항도 측정할 수가 있다. 活線下에서 측정한 경우 절연저항치가 낮아지고 있으며 判定基準은 표 4에 의하고 있다.

(나) 直流成分法

水 트리 劣화된 CV케이블에 있어서는 그 極性效果(整流作用)에 의해 미소한 直流成分이 발생, 케이블 차폐층을 통해 接地電流로서 흐른다. 이 직류성분을 측정하여 絶緣劣化診斷을 하는

방법이다. 測定回路의으로는 직류전압 측정법의 경우의 印加電壓을 0으로 한 회로와 개략 동일하다.

4. 結 論

CV케이블을 主体로 하여 그 劣化要因 및 自家用 現場에서의 保守管理를 중심으로 소개하였는데, 케이블의 劣化診斷의 중요성과 케이블 事故의 미연방지의 필요성에 관해서도 설명하였다.

기본적으로는 케이블 선정에 있어서 부설환경 등을 충분히 고려하여 바르게 선정하여야 한다.

또 既設 케이블에 관해서는 계획적인 劣化診斷을 실시하여 사전 관리를 함으로써 事故를 미연방지하여 電氣設備의 信賴性 向上이 도모되기를 바란다.