

# 電力케이블 劣化診斷 技術의 動向

한 기 만(\*), 김 동 옥(\*\*)

(\* ) 금성전선 구미연구소장 (\*\* ) 금성전선구미연구소 선임연구원

## THE TREND OF DIAGNOSTIC METHODS FOR POWER CABLE

K. M. HAIN, D. W. KIM

( GOLDSTAR CABLE CO. KUMI RESEARCH INSTITUTE )

### ABSTRACT

In recent years, it is strongly required to supply high quality electrical power without insulation failure in distribution power cables. Therefore the exact measurement and judgment about deterioration degree of cables are essential to increase that supplying reliability.

This paper will introduce various diagnostic methods of off-line and live-line cables also propose the judgement criteria and newly trend of diagnostic technique at present.

### 1. 序 論

오늘날 電力使用이 급증하면서 負荷가 大容量化되는 추세에 따라 電氣 設備가 점차 大規模化 되어가고 있다. 또한 社會는 더욱 高度情報化 時代로 發展되어 가고있어 設備의 事故 및 停電등은 높은 電氣의 依存度를 가진 高度産業社會에 막대한 經濟的 損失 및 障礙를 초래하게 된다. 특히 電力設備 事故중에서도 많은 部分을 차지하고 있는 것은 地中 配電用 CV 電力케이블의 絶緣劣化 事故에 의한 것으로, 受容家에 潤滑한 電力供給 및 事故의 미연 防止를 위해서는 케이블 劣化狀態의 定期的 診斷과 이를 위한 豫防診斷 技術의 開發이 必要로 되고 있다.

여기서는 이와같이 케이블의 劣化診斷을 위해 最近까지 實用化 및 研究 開發되고 있는 國內外的 各種

絶緣 劣化 診斷技術의 動向에 대해 알아보기로 한다.

### 2. 本 論

케이블의 劣化診斷 技術의 설명 이전에 케이블의 絶緣劣化 原因과 그 劣化信號의 形態에 대해 알아본 다음, 劣化診斷 技術의 動向에 대해 논하고자 한다.

#### 2.1 케이블에서의 絶緣劣化

電力케이블의 劣化는 사용되는 環境下의 여러 요인에 의해 重疊되는 複合劣化의 상태에서 발생하는데 그 중에서도 수트리로 대표되는 흡습열화외에 전기적 열화, 열적열화 및 기계적 열화등이 중요한 요인이 되고 있다. < 표-1 > 은 이러한 열화 요인에 의해 열화가 일어날 때, 그 열화 개소 및 과정 그리고 그 때의 열화신호 형태에 대해 알아보았다.

#### 2.2 케이블 劣化診斷 技術

現在까지 電力케이블의 絶緣劣化 診斷 試驗法으로 여러가지가 提案 되어 있는데, 송전을 中斷하고 測定을 행하는 非活線 測定法이 從來부터 活用 되어 오고 있고 最近에는 무정전으로 행하는 活線診斷法이 수년간 현저한 進歩를 이루어 실선로에 사용 및 DATA 축적 중에 있다. 또한 급속히 발달된 컴퓨터와 光技術을 應用하여 케이블을 상시로 하는 自動 監視 시스템과 FUZZY 理論을 利用하여 케이블의 絶緣狀態를 診斷하는 專門家 시스템의 開發도 活潑히 進行되고 있다. 그리고 OF 케이블에 있어서의 劣化 診斷 方法 으로는

< 표-1 > 열화요소에 의한 열화과정 및 열화신호

열화요소	열화부위	열화과정	열화신호
열적열화	· 차폐층 파괴 · 절연체 열화	· 과열 → 열산화 → 금속피로 · 과열 → 산화, 분해 → 반응생성물 → 절연상하	· 차폐층 저항 증가 · 절연저항 저하 · 누설전류 증대
습습열화	· 절연체 · 차폐층 부식 · 절연체	· 수분침투 → 수트리 발생 → 진전 → 절연체관통 → 절연파괴 · 수분침투 → 차폐층부식 → 손상 → 강도저하 → 파단 · 차폐층파단 → 파단부절연체발열 → 과열, 노화, 연화 → 절연파괴	· 절연저항 저하 · 누설전류 증대 · tan δ 증대 · 차폐층 저항 증대 · 절연저항 저하 · 부분방전 발생
전기적열화	· 절연체 중 미물, 보이드 부위	· 전계인가 → 국부고전계 → 부분방전 → 전기트리발생 → 절연체 침식 → 절연파괴	· 절연저항 저하 · 부분방전 발생
화학적열화	· 쉬 - 스 · 절연체	· 화학약품 접촉 → 팽윤 → 응해, 균열 → 쉬스층손상 · 화학약품 접촉 → 화학트리발생 → 절연파괴	· 쉬 - 스 저항 저하 · 절연저항 저하 · 누설전류 증대
기계적열화	· 쉬 - 스 · 차폐층, 절연층	· 쉬스부 외력, 충격 → 손상 · 차폐층 주름 → 절연체 손상 → 방전, 과열 → 탄화 → 절연파괴	· 쉬 - 스 저항 저하 · 차폐층 저항 증대 · 절연저항 저하 · 부분방전 발생

유종의 가스를 분석하여 진단을 행하고 있다.

以上에서 언급한 各種 診斷法에 대해 좀더 상세히 알아보면 다음과 같다.

### 2.2.1 非活線 劣化 診斷 技術

從來부터 지금까지 주로 행하여오던 케이블 劣化 診斷法으로 이 技術의 代表的인 方法은 直流漏泄電流法과 tan δ 法으로, 測定되어진 Data 도 많이 蓄積되어 있고 또한 이에 대한 研究도 높은 水準까지 되어 있어 現在는 가장 信賴性이 높은 方法 중의 하나라고 할 수 있다. 이 외에도 部分放電法, 殘留電壓法, 吸收電流法, 殘留電荷法, 電荷減額法 등이 지금까지 活用되고 있는 方法 들이다. 다음은 이들 몇몇 非活線 診斷技術의 特徵에 관한 것이다.

#### 1) 메-가 試驗

最近까지 간략히 現場에서 使用되어오던 試驗法인데 精密度 側面에서 問題가 있다. 또한 劣화된 케이블의 絶緣抵抗 測定 레벨이 10<sup>6</sup> MΩ 以上에서 微弱한 變化로 나타나므로 劣化現象의 早期發見에는 限界가 있다.

#### 2) 直流漏泄電流法

直流漏泄電流法 에 의한 最近의 研究結果, 수트리 成長의 段階의 診斷은 어렵지만 貫通 수트리 存在 시 檢出은 매우 容易한 것으로 判明되었다. 따라서 直流漏泄電流法은 조장이 긴 케이블의 국부적인 劣化 檢出이 容易하며 수트리의 存在 有無의 判斷에 매우 效果의 이다. 또한 이 方法은 누설전류의 절대치뿐만 아니라 그 파형과 성극지수, 棘의 유무등을 관찰함으로써 보다 精確한 측정을 할 수 있다.

#### 3) 誘電正接法

直流漏泄電流法과 並行하여 널리 使用되는 試驗法으로 直流漏泄電流가 국부적인 劣化의 檢出에 容易하다면 誘電正接法은 貫通 수트리가 아닌 廣範圍 한 수트리 存在 의 境遇 檢出이 容易하다. 하지만 大型의 電原供給 장치가 케이블의 정전용량 관계로 必帶하다는 短點이 있다.

#### 4) 部分放電法

部分放電의 測定은 케이블 및 接續部내의 보이드, 外傷, 차폐층의 異常 등을 檢出하는데 效果의 이지만 수트리의 檢出能力은 낮다. 이것은 수트리의 境遇 수 μm 이하의 채널이 形成되어 있어서 部分放電의 發生

이 原理的으로 不可能하기 때문이다. 그리고 現場 適用 測定時 Noise의 除去가 困難하고 감도가 양호한 設備가 필요한 短點이 있다.

5) 殘留電壓法

케이블 絕緣體에 소정의 直流電壓을 인가한 후 電壓을 除去하면 케이블 絕緣體에 充電되었던 電荷는 케이블의 絕緣抵抗을 통해 放電하는데, 이 때 케이블의 絕緣性能이 양호한 境遇 잠시간이 必要하고 나쁜 境遇는 단시간에 放電되므로 電壓인가 및 除去 후 소정의 時間經過 후 殘存되어 있는 電壓을 測定하여 케

이블 絕緣狀態의 良, 不良을 判別하는 試驗法이다.

6) 超低周波法

試驗電原으로 超低周波 ( 0.1 Hz 정현파 )를 利用하여 部分放電, 정전용량을 측정하여 絕緣狀態를 判別하는 方法이다. 이것은 外部로부터의 誘導와 雜音의 影響등이 쉽게 區別이 되어 이들의 除去가 容易하며 誘電損, 部分放電의 發生頻도가 작아 絕緣體에 끼치는 損傷이 작다.

以上에서의 非活線 測定法の 現況을 簡略히 다음 < 표-2 > 에 整理해 놓았다.

< 표-2 > 非活線 劣化診斷 技術의 現況

診斷 電壓	測定法	檢出原理	實用現況	判定基準 *		
				양호	要主意	불량
직류	絕緣抵抗법 ( 메-가 법 )	絕緣抵抗의 저하	· 널리 使用 · 使用實績 많음	2,000 MΩ ↑	2,000 ~ 1,000MΩ	1,000 MΩ ↓
	直流漏泄電流法			0.1 μA ↓	0.1 ~ 1 μA	1 μA ↑
	放電吸收電流法	誘電緩和特性變化	· 一部에서 採用되고 있음  · 開發 試驗 중	DATA 蓄積 중		
	殘留電壓法					
	殘留電荷法					
교류	誘電正接法 ( tan δ 法 )	誘電緩和特性變化	· 널리 使用 · 使用實績 많음	0.1 ~ 0.5 %	0.5 ~ 5 %	5 % 以上
	部分放電法	部分放電 發生				

\* 6.6 kV CV Cable 의 경우이며 km 당의 값이다.

2.2.2 活線 劣化診斷 技術

活線狀態에서 케이블의 劣化診斷을 행하는 方法으로는 直流成分法과 直流重疊法 그리고 輻선 tan δ 法이 있고 또한 이들의 結果를 復合的으로 活用하여 判定을 행하는 復合判定法이 있다. 그리고 最近 開發되고 있는 方法으로는 接地線 電流法, 脈動 電流法, 低周波 重疊法 등 이이다.

1) 直流成分法

케이블의 絕緣體에 交流電壓을 인가시, 수트리가 存在하면 이의 整流 作用에 의해 直流成分이 發生하는 것을 이용하여, 運轉中の 接地線으로부터 이러한 직류 성분을 檢出하여 劣化診斷을 행하는 方法이다. 그

러나 수 nA 정도의 微小電流를 관측해야 하므로 高精密의 측정기기가 필요하다.

2) 直流重疊法

通電中の 케이블에 GPT(接地形 計機用 變壓器)를 연결하고 그의 中性點을 통해 直流 50 V 정도를 인가, 케이블 絕緣體를 관통하여 차폐층으로 흐르는 直流漏泄電流를 고감도 전류계로 測定해 絕緣抵抗值로 나타내는 方法이다. 그러나 直流重疊에 의한 다른 기기로서의 影響에 대한 주의를 기울여야 한다.

3) 活線 tan δ 法

케이블 絕緣體 中에 수트리가 多數 發生되면 誘電正接이 增加하는 것을 利用하여 케이블에 인가되어진 電壓을 분압기로 測定하고, 充電電流 ( 집지선전류 )

는 CT를 사용하여 電壓信號와 電流信號의 위상차로부터  $\tan \delta$  를 測定하는 方法이다.

4) 低周波 重疊法

配電線 케이블에 低周波 電壓을 重疊하여 케이블

接地線으로 흐르는 低周波成分의 電流量 檢査하는 方法으로 보통 0.1 Hz ~ 7.5 Hz 程度를 利用하고 있다.

以上에서의 活線 測定法의 現況을 다음 < 표-3 >

에 簡略히 整理해 놓았다.

< 표-3 > 活線 劣化診斷 技術의 現況

측정법	검출원리	실용현황	판정기준*		
			양호	要注意	불량
直流成分法	· 수트리 발생시 直流成分, 맥 등의 발생	· 現在 試驗에 使用 중 또는 現場 檢定試驗 중	1 nA ↓		100 nA ↑
直流重疊法	· 수트리 발생시 直流成分 발생 · 絶緣抵抗저하	· 現在 試驗에 使用 중 · 撤去 케이블에서 DATA 蓄積 중	10 ~ 10 MΩ ↑		2x10 ~ 10 MΩ
誘電正接法	· 誘電緩和 特性 變化 ( 絶緣抵抗 저하 包含 )	· 現場檢定 試驗 중	0.1 % ↓		5 % ↑
接地線電流法		· 最近 提案 開發 中에 있음 · 實驗室 DATA 蓄積 중	—		
低周波重疊法					
脈動檢出法					
復合判定法	· 誘電緩和 및 直流成分	· 實驗室 내 DATA 蓄積 중 · 現場 檢定 實驗 중	( 暫定 ) 0.1% ↓ 이며 0.5nA ↓		0.15 % 以上이며 30 nA ↑

\* 6.6 kV CV Cable 의 경우이며 km 당의 값이다.

以上에서와 같은 活線狀態에서의 케이블 劣化狀態 測定에는 아직까지 몇가지 문제점이 補完되어야 하는 면이 있다. 예를들면 실제 測定시 運轉 중 케이블 차폐층의 접지선을 끊어 측정기를 連結하여 試驗을 할 때, 試驗케이블 以外의 電氣器機 및 外來雜音의 影響으로 測定 程度가 저하하는 등의 問題점이 있고 또한 測定回路상으로 흐르는 迷走電流를 없애는 것도 向後의 活線 診斷의 精密度를 높이는 研究 課題의 하나가 되고 있다. 그리고 測定 回路의 구성상 몇가지 活線 測定법은 케이블 시스템이 다중접지로 되어있는 境遇 適用이 어려운 境遇도 있어 포설 시스템에 拘限받지 않고 어떤 境遇이든 適用할 수 있는 診斷시스템의 研究도 必要한 狀況이다.

2.2.3 OF 케이블의 劣化診斷 技術

OF 케이블의 경우, 케이블 뿐만 아니라 接續部 와

端末 등이 完全히 絶緣油 로서 채워져 給油 시스템에 의해 加壓이 되고 있기 때문에 基本的으로 劣化가 일어나기가 어려운 構造로 되어 있다. 그래서 OF 케이블의 劣化診斷에 있어서는 系統上의 유압을 감시하는 등의 日常的인 點檢과 特別히 要求되는 線路의 絶緣油를 採取하여 分析하는 方法들이 있다.

1) 油壓의 監視

OF 케이블에 있어서 유압의 監視는 漏油의 與否 및 유압의 크기 등으로 區分이 되며 通商 警報裝置가 設置되어 있어 定期的인 巡察에 의해 點檢되고 있다.

2) 絶緣油의 分析

絶緣油의 調査로는 絶緣油내의 가스 分析, 絶緣油의 特性調査 등이 있는데 가스 分析에 있어서는 絶緣油가 酸化劣化, 熱劣化, 과전 劣化된 境遇 가스가 分解되면서 서로 다른 特性의 가스를 生成시킨다. 이

生成된 가스는 絶緣油 중에 溶解되어 이의 추출 分析으로 劣化의 原因, 程度 및 絶緣劣化의 位置까지도 推定이 可能하다. 그리고 OF 케이블에 外傷, 누유 및 水分등의 侵入이 있는 境遇, 케이블의  $\tan \delta$ 의 増大 및 絶緣抵抗의 저하와 絶緣 破壞 強度의 저하가 있게 된다. 또한 연공 작업시 過熱 및 運轉중의 극부적 異常高溫으로 인해 絶緣油가 劣化되는 경우도 있다. 따라서 OF 케이블 線路에서 絶緣油를 샘플링하여 誘電正接, 體積 抵抗率, 水分 含有量과 絶緣破壞 試驗 그리고 가스分析 등을 통해 診斷을 行하여 오고 있다.

## 2.2.5 絶緣劣化 自動監視 診斷과 Expert 시스템

最近에는 高壓 케이블의 絶緣 診斷 DATA의 處理를 完全 自動화하여 診斷을 行하는 方法이 活用되고 있는데 이는 常時로 케이블 運轉 狀態를 監視하고 이상發生시 警告 등으로 이상을 通知하고 또한 정규 診斷時 생기는 人力 및 其他 資源의 消費를 줄이는 새로운 應用技術이다. 이는 케이블의 各種 狀態를 測定 計測 器機에서 일정한 週기로 여러 測定 項目에 대해 自動 測定을 行하고 이의 結果를 광화이버를 통해 上位시스템 또는 中央의 制御室 컴퓨터로 傳送하여 DATA의 記錄과 評價 등을 하여 事故의 豫測 및 事故防止를 하는 것이다. 또한 케이블의 絶緣劣化診斷을 통한 判定의 기준은 劣化現象의 要因에 의해 複雜하고 포설 環境, 製造形式에 의해서도 左右되어 명확한 基準이 確立되어 있지 않다. 따라서 現在에는 각 分野의 診斷 專門家の 經驗과 獨者的인 判定基準에 根據하여 判定을 하고 있는 現況이다.

그러나 最近 專門技術者 및 現場經驗이 풍부한 熟練者의 확보가 어려워지기 때문에 이 分野에서도 專門家 시스템 ( Expert System )의 有效性이 確인되어 急速度로 實用化되고 있다. 그리고 여기에서 증래에 判定基準의 境界部近에서 判斷이 명확히 區分되는 短點을 보완하여 요즘은 각 測定項目의 判定 境界 전후 값의 여유치를 考慮하여 케이블 狀態를 판정하는 FUZZY 理論을 도입하고 있다. 이 시스템의 實行 結果 專門技術者의 診斷結果와 상당히 一致하고 있음이 報告되어지고 있다.

## 3. 結 語

### 3.1 劣化診斷 技術의 現況

非活線 劣化診斷 方法이 現在까지 많은 DATA의 蓄積과 함께 信賴性이 높은 技術로 活用되고 있으며 代表的인 것으로 直流漏泄 電流法과 誘電正接法이 있다. 그리고 最近 정전을 하지 않고 行하는 活線上의 劣化診斷 技術 중에 直流成分法, 直流重疊法 등의 技術은 應用化 되고 있고, 이 외에도 몇몇 技術은 활발한 연구와 함께 實驗室的으로 Data의 蓄積 중에 있다. 또한 最近에는 컴퓨터 技術, 光技術을 이용한 자동감시 시스템과 FUZZY 理論을 導入한 專門家 시스템이 活潑히 開發되고 있다. OF 케이블의 경우 相對的으로 劣化事故가 작아 보통 진단이 必要的한 경우 絶緣油의 分析등을 통한 진단을 行하고 있다.

### 3.2 今後의 展望과 課題

今後로의 케이블 劣化診斷 技術의 展望은 線路를 정전하지 않고 診斷을 行하는 活線劣化診斷 方法으로 꾸준한 發展이 豫想되며 또한 새롭게 開發되어 오는 各 種 센서技術과 컴퓨터를 이용한 精確한 計測 技術의 確立으로 연구가 進行되리라 展望된다. 그리고 앞으로의 課題로서 劣化 判定基準의 精密度 向上, 測定 器機의 高感度化 그리고 統計的 DATA 處理 技術을 應用하여 측정되어진 케이블의 殘存 壽命을 정확히 豫測하는 技術도 필수불가결한 解決要素가 되고 있다.

## 4. 參考文獻

- 1) 配電線における 設備診斷 技術 ; 新原孝, OIM, 1989年 6月號, p 65
- 2) 高壓 케이블의 絶緣劣化 診斷 테크닉 ; 電氣計算, 1990年 10月號, p 61
- 3) 高壓 CV 케이블의 活線診斷法의 檢討 ; 角日美伯, 電氣學會 全國大會, 1991, No 143
- 4) Diagnostic method for Power cable insulation ; K.Soma, IEEE Trans. Vol EI-21, No 6, Dec. 1986
- 5) 直流成分電流 檢出方式による 活線 케이블 劣化 診斷의 適用 ; 伊賀淳, OIM, 1988年 2月號, p 47
- 6) ファゾ-推論による CV 케이블 絶緣診斷エキスパート 시스템 ; 金吉喜代治 電氣學會 論文, 111卷 6號, 1992年, p 539
- 7) 光ファイバを用いた 電力設備 診斷 ; 中村 兆, OIM, 1991年 4月, p 28