

電氣設備의 故障診斷

(4)



[活線에서도 할 수 있는 絶緣 診斷要領]

1. 머리말

電力設備은 不眠不休의 활약을 하고 있으며 정기적인 정전작업시 이외에는 반드시 운전활동중이다. 電力用 콘덴서는 밤낮의 구별도 없이 100% 부하의 상태이고 變壓器에 대해서는 공장이 가동시에는 80%라도 일요일이나 야간에는 10% 이하의 부하가 된다. 그러나 高壓電力設備의 모든 機器에 電壓은 印加中이며 이 시간은 계속되며 밤낮의 구별은 성립되지 않는다. 가령 輕負荷時에도 단락, 지락사고를 유발하는 위험요인은 존재하며 부하운전시에는 또한 과부하, 缺相 및 熱的과괴의 위험요인이 대기하고 있는 것이다.

停止時가 아니면 발견할 수 없는 故障도 있으나 送電中에만 판명되는 사고요인, 또한 송전해 보지 않고는 판명되지 않는 요인도 많다. 여기서는 活線中에도 실시할 수 있는 절연진단의 방법 및 活線狀態가 아니면 시험할 수 없는 절연

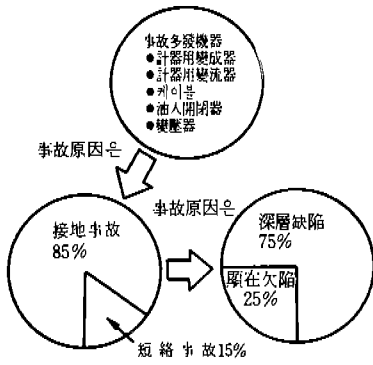
진단법에 대하여 해설하기로 한다.

2. 絶緣診斷의 必要性

電路 및 機器는 전기설비기술기준령에 정해진 接地點 이외에는 모두 절연해야 된다. 그 규정치에 대해서도 기술기준령에 명문화되어 있다. 低壓回路에 대해서는 최저로 유지해야 되는 절연저항치, 高壓 및 特別高壓回路에 대해서는 최저로 확보되어 있어야 하는 절연내력전압과 그 인가시간이 규정되어 있다.

이같은 시험은 매년 정기적으로 실시할 것들의 의무화하고 있는 것은 아니고 또한 시험한 時點에서만 良好하면 되는 것도 아니다. 이 취지는 언제나(운전상태에서) 이 정도의 절연내력이 유지되고 있어야 된다는 것을 규정하고 있는 것이다.

따라서 정기적, 연속적으로 이같은 절연상태를 監視할 必要性이 발생하는 것이다. 더구나 그림1과 같이 전력설비에서의 사고의 80% 이상이 絶緣에 기인한 故障이며 또한 低壓電力設備에서도 누전화재, 감전 등 절연에 기인하는 사



〈그림 1〉 事故分析圖

고가 많으며 전기취급자 이외의 사람들이 직접 기기에 접촉하는 등으로 사고가 발생하며 전력 설비기기의 제조 및 시행방법의 검토와 동시에 活線時의 測定도 포함한 절연진단법의 확립과 신뢰도의 향상이 현장보전 기술자에게 부과된 임무라고 생각된다.

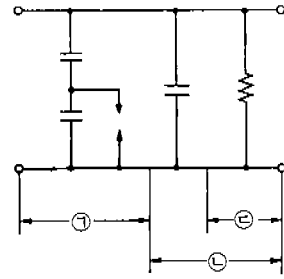
3. 活線狀態에서의 絶緣診斷의 原理

(1) 絶緣不良, 地絡에 의하여 발생하는 回路의 모든 현상을 檢出하는 방법

- (i) 零相電流의 檢출
- (ii) 零相電圧의 檢출
- (iii) 어드선에 흐르는 接地電流의 分析
- (iv) 部分放電현상의 檢출
- (v) 超音波式 방전현상의 檢출
- (vi) 電圧分擔이나 電位分布의 측정
- (vii) 異常振動의 檢출

(2) 外部에서 直流 또는 交流의 다른 信號를 注入하여 測定하는 方法

- (i) 被測定回路에 직류전원을 주입하는 方法
- (ii) 被測定回路에 교류전원을 주입하는 方法 또한 回路條件으로 분류하면
 - (i) 被測定回路에 직접 다른 전원을 주입할 수 있는 경우
 - (ii) 被測定回路 구성을 변경하여 다른 전원을



〈그림 2〉 絶緣劣化의 等價回路

〈표 1〉 絶緣劣化와 檢出法의 比較

診斷方法	劣化狀況		영역
	吸 濕	보이드클래크	
直流高壓法	○	△	㉡
部分放電法	△	○	㉠
誘電正接法	○	△	㉢
交流電流法	△	○	㉠

주입하는 경우

- (iii) 1對1의 絶緣 트랜스를 통하여 다른 전원을 주입하는 경우

(3) 劣化의 狀態와 檢出方法의 比較

절연열화에는 吸濕劣化, 보이드클래크에 의한 열화 등으로 대별되는데 等價回路의 으로는 그림 2와 같이 분류할 수 있다. ㉠의 범위가 보이드클래크에 의한 部分放電劣化로 부분방전 검출법 적용의 영역이다.

㉡의 범위는 吸濕劣化에 의한 절연저항의 변화영역이며, 직류전압에 의한 直流高壓法의 영역이다. ㉢의 범위는 C와 R의 상관관계이며 誘電正接法 ($\tan \delta$)의 영역이 된다. 종합하면 표 1과 같다.

4. 低壓回路에서의 活線絶緣測定

저압전로의 대부분은 2次一端接地式 電路이며 지락 또는 절연저항의 저하로 인하여 누설전

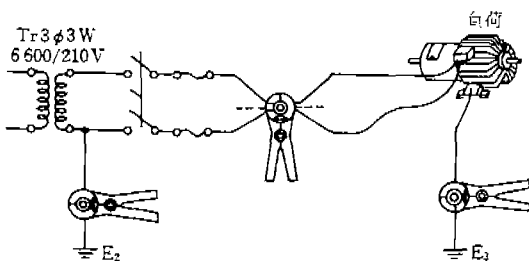
류가 흐른다. 이 누설전류의 검출에 의한 地絡保護가 누전경보기나 누전차단기이다. 이 누전전류를 검출하기 위해서 3線을 동시에 同心圓을 이루는 鐵心에 넣어 1차권선으로 하고 철심에 감은 코일은 2차권선으로 한 零相變流器(ZCT)를 사용한다.

최근 누설전류계라고도 할 수 있는 클램프식 ZCT의 高感度의 것도 출현하여 누전 테스터로서 그 위력을 발휘하고 있다.

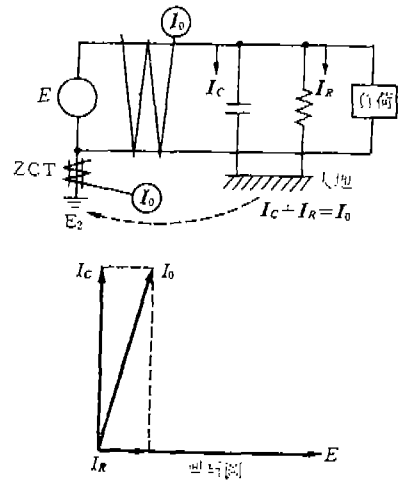
零相變流器(ZCT)의 선정상 주의사항으로서 문제가 되는 것은 ZCT의 殘留特性이며 이것은 鐵心材料, 導體配置, 권선방법, 2차부담 등에 의하여 결정되는 것이며 母線電流가 많을수록 그 영향이 크며, 전동기의 기동전류나 불평형 부하로 된 경우에도 외관상 지락발생과 마찬가지로 ZCT 2차권선에 起電力이 발생하여 誤動作, 誤測定의 원인이 되는 수가 있다. 따라서 그 선정에는 定格 1次電流, 測定範圍 外에 殘留特性에도 충분한 유의를 해야 된다.

(1) 클램프식 ZCT에 의한 새로운 絶緣測定

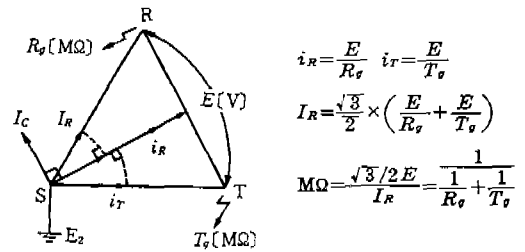
2次一端接地式 電路(Tr2次一端에 제 2종 접지공사를 실시한 회로방식)에는 절연불량부가 없어도 配線, 機器에 의한 浮遊容量에 의한 충전전류가 흘러 사고시에는 지락이나 절연불량으로 인한 누설전류와의 벡터 합이 전류가 되며, 이 合成電流를 검출하는 것이 ZCT이며, 이 전류로 동작하는 것이 누전 차단기이고 누전경보기로서 클램프식 누전전류기도 이 合成 零相電流의 검출을 하는 것이다(그림 3).



〈그림 3〉 漏洩電流 및 카츠메가 測定點



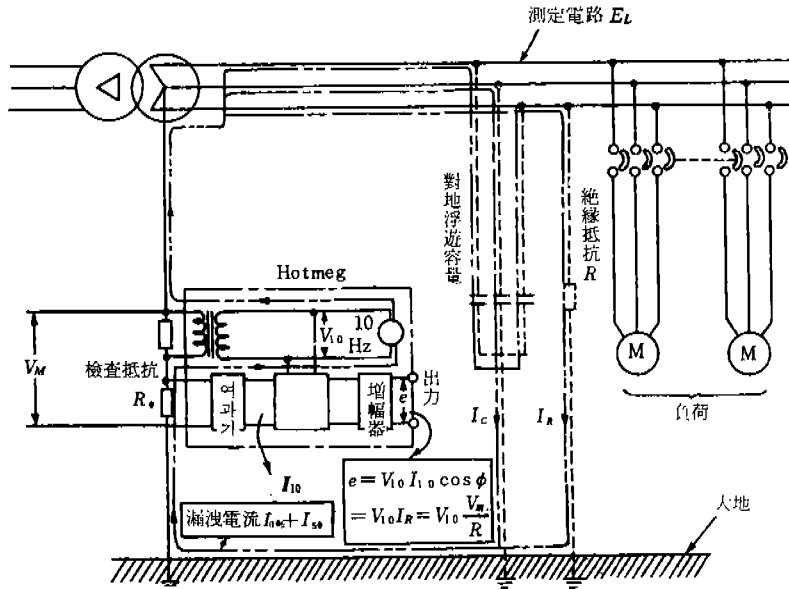
〈그림 4〉 漏洩電流의 벡터圖와 1φ2W의 測定原理



〈그림 5〉 3φ3W 測定 벡터圖와 計算式

그림 4의 벡터에 있어서 IR만은 I0 중에서 재검출하는 방법이다. Ic가 흐르지 않도록 회로를 구성하고 ZCT에서는 I0 = IR로서 절연측정하는 방법이 고안되고 있다.

하나의 예로서 日本精密計測製의 카츠메가라는 제품이 있다. 원리는 ① 클램프식 ZCT(32mm φ)에서 영상전류의 절대치(I0)를 검출하고 ② 基準電圧을 인부트하여(1φ2W 3W는 線間電壓, 3φ3W는 接地相 S와 R-T間의 中點의 전압), ③ 2V와 I0와의 位相에서 Ig에서 절연저항 MΩ이 측정되는 것이다. 그림 5는 3φ3W의 기준전압과 측정원리이다. 이와 같이 누설전류의 크기뿐만 아니라 熱이 되는 유효 누설전류 IR 및 絶緣抵抗까지 측정하는 活線絶緣抵抗 測定裝置이다.



〈그림 6〉 富士電機製 Hotmeg의 測定原理

(2) 外部에서 測定信號를 注入하여 연속 측정 하는 방법

그림 6은 Hotmeg의 측정원리도이며 接地式 電路에 10V10Hz의 測定信號를 주입하여 절연저항을 측정하는 방법이다.

그림 7은 메그모니터의 測定圖이며 非接地式 電路에 직류 20V의 측정용 신호를 주입하여 절

연저항을 측정하는 방법이다.

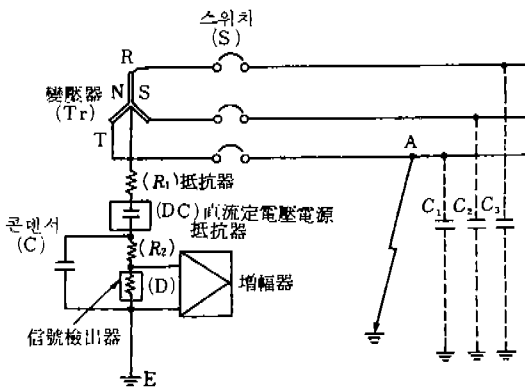
이같은 방법은 원칙적으로는 뱅크一括測定이며 信號用 電源이 필요한데 高感度로 절연저항을 측정할 수가 있고 측정용 신호가 주입되어 있으므로 系統條件에 제약을 받지 않는다는 큰利點이 있다.

각각의 장점과 결점을 비교하면

(i) 누설전류의 검출은 接地相電格(제 2종 접지)의 절연이나 누설전류를 측정할 수 없다(어느 것이든 있으므로 地絡이 되어도 회로의 누설전류가 되지 않는다). 그러나 外部에서 信號를 印加하면 接地相電路도 포함한 절연관리를 할 수 있다.

(ii) 外部信號에 의한 방법은 각 뱅크마다 信號를 印加해야 되며 모터 각각의 절연상태에 대한 측정은 할 수 없다. 누설전류의 測定法은 뱅크에 관계없이 이동하면서 각각의 機器에 대해서도, 또한 一括으로도 절연관리를 할 수 있다.

이 두 가지가 포인트가 되며 設備狀況에 따라 각 방법에 대하여 검토해야 된다.



〈그림 7〉 三菱電機製 메그모니터 測定原理

5. 高圧回路에서의 活線絶緣測定

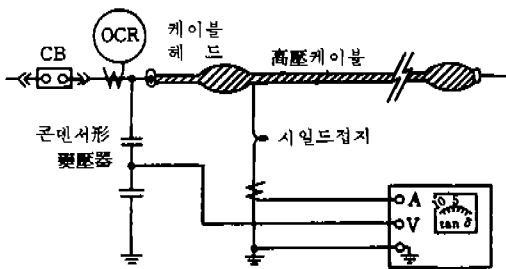
고압회로는 非接地式 電路이며 지락이나 절연 열화에 의하여 발생하는 영상전류는 地絡點 절연저항 외에 그 회로전체에 回路定數(對地靜電容량, GPT 제한저항)에 의하여 그 크기가 변화하므로 지락점 검출 저항과 접지계전기의 感度와의 상관관계는 없다고 할 수도 있다. 이 零相電流나 零相電壓을 GPT 또는 ZPC 등으로 검출하여 차단경보를 하는 보호 시스템의 확인으로 人工接地試驗의 실시는 반드시 한번은 실시해 두어야 되는 시험의 하나이다.

(1) 單心 케이블의 誘電體 損失의 測定

카츠메가의 原理의 응용으로 活線에서 케이블의 $\tan\delta$ 를 측정할 수 있다. 그림 8이 원리도이며, 케이블 실드線에 흐르는 전류와 對地電壓과 同相分電流와의 비교로 $\tan\delta$ 를 구할 수 있다. 단, 이 경우에 케이블은 單心 케이블 (트리플렉스도 포함)이며 실드는 1點接地라는 조건이 필요하다. 또한 3心 케이블에 대해서도 1心씩 단독접지가 되는 공사방법을 사용하면 각상마다 케이블의 $\tan\delta$ 가 管理測定이 된다.

(2) 電位分布에서의 劣化碍子の 檢出

애자는 외관상 분명하게 손상을 받고 있는 경우의 발견은 용이한데 自然劣化나 외관상의 異常이 없는 것에 대해서는 停電에 의한 각종 진단에서도 검출 발견이 곤란하다.



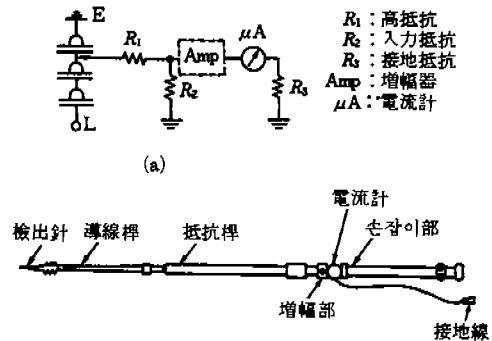
〈그림 8〉 汚線絶緣 ($\tan\delta$) 管理裝置
基本回路 構成圖

이 경우에는 活線으로 불량애자의 검출을 함으로써 劣化判定을 정확하게 할 수 있다. 검출 방법 및 기구에는 각종이 있는데 그림 9는 分擔電位에 비례하는 누설전류에서 판정하는 것이다.

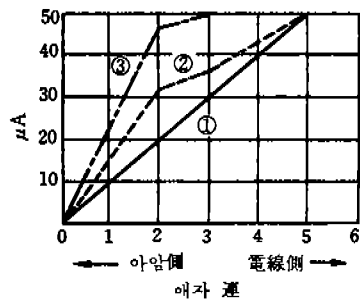
그림 10은 250mm 현수애자의 측정결과로 그래프의 曲折에 의하여 불량애자를 명확히 검출할 수 있다. 단, 편애자인 경우에는 각 층의 靜電容량이 다르므로 건전해도 직선이 되지 않으므로 표준 패턴과의 비교를 한다(그림 11).

(3) 部分放電現象의 檢出에 의한 絶緣劣化의 豫知發見

저압회로에서는 나타나지 않았던 코로나 放電

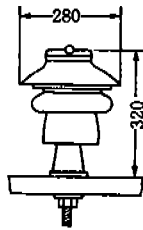
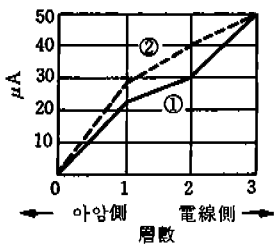


〈그림 9〉 原理 및 構造圖



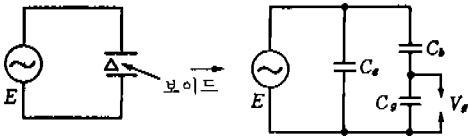
- ① 健全애자
- ② 電線側부터 3段째가 不良애자(30M Ω)
- ③ 不良애자로부터 아암에 이르기까지 再調整하여 擴大한 것.

〈그림 10〉 縣垂碍子(5連) 不良檢出 測定結果



① 健全애자 ② 第1層에不良 (150MΩ)

(그림 11) 핀 碍子 不良 檢出結果



E : 對地電位
 C_a : 케이블의 對地靜電容量 (보이드와 並列인 健全部分의)
 C_b : 보이드에 直列로 들어가는 靜電容量
 C_g : 보이드의 靜電容量
 V_g : 보이드의 放電電壓

(그림 12) 部分放電 劣化

검출에 의한 절연열화의 豫知發見이 중요하다.

(a) 部分放電檢出法の 原理 고전압이 인가되어 있는 電力機器에 절연상의 결함이 있는 경우에는 그림 12와 같은 等價回路가 되며, 보이드의 靜電容量 C_g 는 보이드를 끼고 있는 절연물에 의한 정전용량 C_b 보다 훨씬 작다. 따라서 電壓分擔과 정전용량은 반비례하기 때문에 C_g 에 高電壓이 인가되게 되며 방전전압 V_g 에 상당하는 갭에서 방전을 반복하게 되고 부분 방전 즉 코로나 放電이 발생한다.

數式으로 구하면

$$V_g = \frac{C_b}{C_b + C_g} \times E \quad \therefore C_a \gg C_b$$

$$Q = \frac{C_a \times C_b}{C_a + C_b} \times V_g \approx V_g \times C_b \quad C_a \gg C_g$$

이 방전으로 발생하는 전압변화 E_q 는

$$E_q = \frac{C_b}{C_a + C_b} \times V_g \approx \frac{C_b}{C_a} \times V_g = \frac{Q}{C_a}$$

이 전압변화 E_q 를 검출하면 放電電荷量이 검출된다. 그러나 측정할 때마다 被診斷回路 및 試驗 세트의 구성으로 방전전하량과 E_q 의 눈금교정을 해야 된다.

부분방전 검출법의 최대의 문제점은 S/N比에서 어떻게 노이즈에 대처할 수 있는지에 대한 것이다. 이 노이즈 대책과 檢出帶域의 선택에 의하여 각종의 測定器가 개발되고 있다.

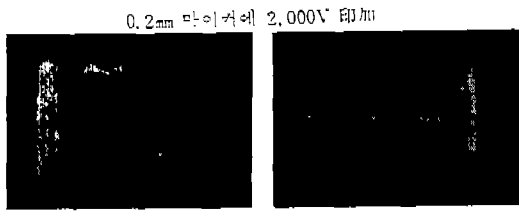
여기서는 특별한 측정장치를 사용하지 않고 현장에서 용이하게 部分放電의 유무를 싱크로스코프 등과 하이패스필터 및 增幅器와 함께 구성함으로써 검출할 수 있는 방법에 대하여 해설하기로 한다. 波形에 의한 分析이 노이즈와 시그널의 식별에 효과가 있다. 단, 이 波形分析은 장기간의 경험과 기술력이 필요한데 活線에서의 진단은 정전시의 진단의 가늠이 되기도 하고 정전작업 계획의 기본이 되는 것이다. 停電時間은 제한이 되어 있고 무엇에 포인트를 맞춘 작업공정으로 할 것인지는 活線시의 진단시험으로 결정할 수 있는 것이다.

(b) 部分放電 檢出法の 判定方法 판정의 기준이 되는 것은

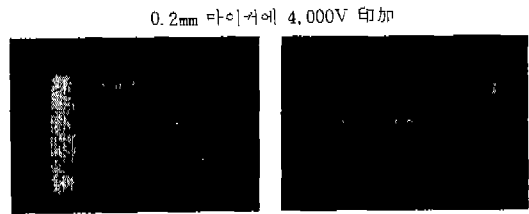
- (i) 放電開始電壓 [V]
- (ii) 放電消滅電壓 [V]
- (iii) 放電電荷量 [pC]
- (iv) 발생빈도 [pps]
- (v) 발생위상각

등의 검출 포인트가 있는데 活線에서의 진단이고 印加電壓은 線間電壓의 $1/\sqrt{3}$ 이므로 부분방전

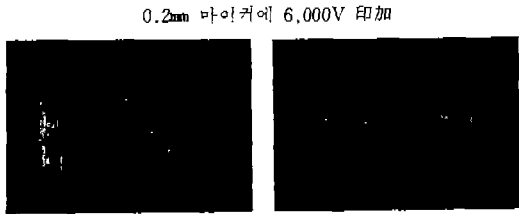




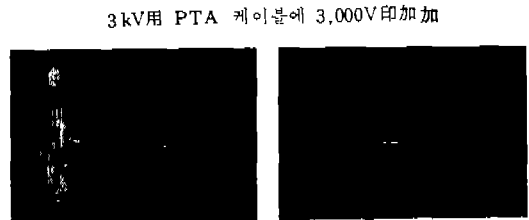
僅少코로나가 發生하고 있지만 支障없다.



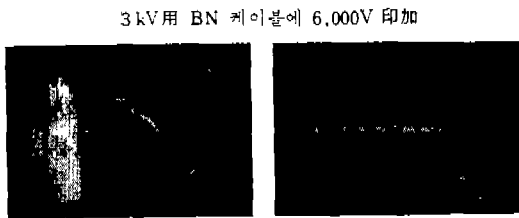
普通의 絶緣物이면 早急히 処置를 강구해야 된다.



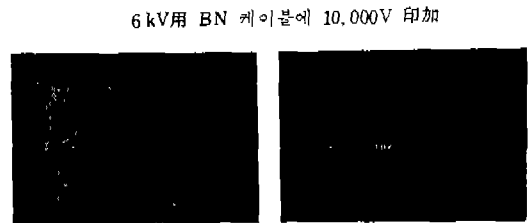
破 壞 直 前



破 壞 直 前

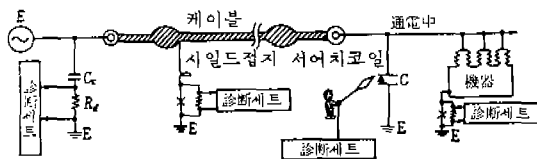


危 險 한 狀 態



危 險 한 狀 態

〈그림 13〉 絶緣不良의 波形例



E : 線間電壓의 $\frac{1}{\sqrt{3}}$ (對地電壓) R_d : 檢出抵抗 E : 接地點
 \times 표 : 開放點 C_c : 結合콘덴서 C : 被診斷物

〈그림 14〉 活線 部分放電 檢出의 各 方法

현상이 있는지 여부의 판단으로 충분하다고 생각된다.

放電이 있을 것 같으면 별도로 정밀진단의 필요성도 있고 진단방법도 실시할 수 있는 방법은 가능한 한 실시하여 각각의 결과를 종합적으로 판단해야 된다.

그림 13은 HPF를 내장한 診斷判定의 波形例이다.

活線에서의 부분방전 검출의 포인트는 그림 14와 같다.

(a) 接地線에 흐르는 電流의 크기 및 電流波形에 의하여 吸濕 및 放電劣化를 檢出하는 方法

- 케이블 실드 어스
 - 각 機器의 케이스 어스
- (주의사항)

(i) 接地線을 개방하여 검출저항이나 코일을 삽입할 때 어스가 개방되지 않도록 충분히 주의한다.

(ii) 케이블의 兩端接地가 기기 케이스의 앵커 볼트 등에 의한 접지효과가 있는 경우에는 진단

효과에 그 영향을 가미하여 판단한다.

(b) 結合 콘덴서 등을 이용하여 檢出하는 방법

(주의사항)

(i) 結合 콘덴서의 定格電壓, 용량 및 檢出抵抗値에 유의한다.

(ii) 活線作業이고 더구나 高壓部에 콘덴서를 접속하는 것이므로 충분히 주의한다.

(iii) 檢出抵抗이나 어드線이 斷線되지 않도록 보호하는 동시에 절단되었을 경우의 보호에 대해서도 검토해 둔다.

(c) PT나 CT를 이용한 검출법

PT나 CT의 1차권선간의 靜電容量에 의하여 2차측에 나타나는 放電 펄스를 검출한다.

• 현장진단의 실적에서 보면 CT의 검출이 예상밖의 발견 예도 있고 효과적이다.

(주의사항)

(i) 가압적 CT 本体에 가까운 2次端子를 이용한다.

(ii) OCR가 접촉되어 있는 CT가 좋다.

(iii) CT의 2차 접지점 (E_2)에 대해서도 주의한다.

(d) 서치코일에 의한 檢出法

• 부싱의 플랜지部
• 接地線 등이 서치코일을 클램프 또는 접근시켜 측정한다.

(주의사항)

(i) 서치코일의 특성, 형상에 대한 검토

(ii) 高壓充電部에의 근접작업이며 서치코일의 취급에도 주의한다.

(e) 超音波檢出法

部分放電이나 접촉불량으로 인한 放電音을 검출하는 방법

(측정기의 조건)

(i) 어떤 거리에서도 檢出할 수 있는 能力

(ii) 指向特性이 좋을 것

(iii) 小形, 輕量일 것.

(iv) 눈과 귀로 측정할 수 있는 것.

(f) 絶緣油의 가스 分析에 의한 檢出

絶緣油의 가스 分析에 의한 내부열화의 판단

(g) 異常振動 檢出法

振動波의 분석에 의한 異常豫知發見

(4) 高壓回路에 外部에서 測定信號를 注入하는 방법

主變 2차의 接地形 計器用 變壓器(GPT)의 中性點 어드에 전력주파에서 低 임피던스가 되는 C 또는 C와 L의 直列素子로 어드하고 그 사이에 直流信號를 인가하여 變壓器의 일괄적인 절연 관리를 할 수 있다. 이때 電力用 케이블 등에서 실드 어스가 大地間에 직류의 μA 計를 삽입하여 電力周波電流의 바이패스 회로를 구성하면 각 케이블 자체의 절연 측정도 가능해진다. 이것은 다른 기기에도 적용할 수 있다. 즉 印加電壓 E와 직류누설전류 μA 는 $R = \frac{E}{\mu A}$ 가 되며 E는 일정하므로 R 은 쉽게 알 수 있다.

6. 맺음말

絶緣管理와 接地管理는 같은 次元의 것이며 접지점 접지공사를 포함한 접지관리가 충분히 되어 있지 않으면 절연관리가 120% 완전해도 그 효과는 발휘할 수가 없으며 그 반대에 대해서도 마찬가지이다.

活線에서의 절연진단은 系統條件이나 시설조건에 의하여 약간 좌우되는 수도 있으므로 진단 결과에 그 조건도 추가하여 종합적인 관정을 해야 된다. 活線에서의 測定診斷은 앞으로 더욱 그 수요의 증가와 새로운 진단측정기의 개발에 의하여 보다 高精度의 진단이 실시될 것으로 전망된다. 또한 현장 기술자로서는 그것을 능숙하게 사용할 수 있도록 기술연마에 노력해야 될 것이다.