

技師會員을 爲한 理論과 實務

● 安全知識 ●

避雷器의 外部診斷技術

최근의 피뢰기의 주류는 산화아연형이다. 그것은 우수한 전압-전류 비직선특성과 고신뢰성에 기인된다. 그러나 반면에 사용실적이 적다는 것, 산화아연소자의 열화기구가 충분히 해명되어 있지 않다는 등으로 정도가 높은 피뢰기의 외부 진단기술에 대한 관심이 높아져가고 있다. 여기서는 최근의 동향과 적용례를 소개한다.

전압-전류 비직선특성이 우수한 산화아연소자를 특성요소로 하며 갭리스화를 가능케 한 산화아연형 피뢰기는 피뢰기의 제특성의 향상에 크게 기여하여 실용화가 된 이후 10여년에 피뢰기의 주류를 이루게 되었다.

산화아연형 피뢰기는 실용화된 이래로 무보수, 무점검을 전제로 한 신뢰성이 높은 피뢰기라는 평판을 얻고 있다.

그러나 한편으로는 사용면적이 아직 일천하다는 것, 또한 산화아연소자의 열화기구가 해명되어 있지 않다는 점 등을 지적하여 상시에는 계통전압의 스트레스를 받고 또한 거기에 중첩되어 서지 스트레스를 받는 산화아연소자의 고도의 신뢰성 확보라는 점에서 산화아연형 피뢰기의 특성을 상시 감시하는 등 정도가 좋은 그 외부 진단기술에 대한 관심이 높

아가고 있다.

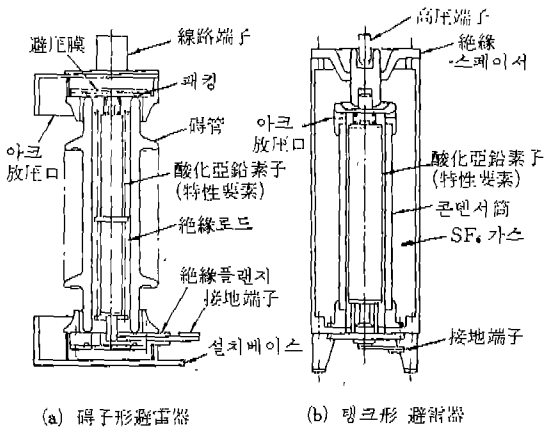
여기서는 전기설비의 더 한층 높은 신뢰성 향상이라는 점에서 피뢰기의 특성을 감시하여 적절하고 또한 효과적인 진단을 하는 기술에 대해서 최근의 동향 및 적용례를 소개한다.

1. 避雷器의 劣化現象과 判定法

현재 발, 변전설비에 사용되고 있는 산화 아연형 피뢰기의 구성의 일례를 그림 1에 들었다.

이 그림과 같이 애자형과 가스 절연개폐장치용의 탱크형으로 2종의 피뢰기로 대별된다.

이들 피뢰기의 외부진단기술로서 다른 기기와 같은 내부 코로나의 점검, X선촬영, 이상음의 해석 등이 있다. 탱크형 피뢰기로 한정시킨다면 가스 압



(그림-1) 酸化亞鉛形 避雷器의 構造圖

력의 감시, 가스 분석 등이 있다.

그러나 피뢰기는 가동부가 없는 靜止機器이기 때문에 앞의 진단항목 중 가스압 감시 이외의 항목은 피뢰기의 설치 당초에 필요에 따라 만일을 위해 실시하는 정도의 진단항목이다.

그림 1과 같이 피뢰기는 특성요소인 산화아연소자와 소자를 지지, 고정시키는 부품이나 소자의 진위분포를 제어하는 콘덴서 등의 부가요소의 2종으로

로 구성되어 있다.

한편 피뢰기를 열화시키는 원인으로서 상규 운전 전압, 서지 전압, 상용 주파 이상전압 등의 전기스트레스와 온도, 습기, 오손 등의 환경요소가 있다.

앞에서 기술한 구성요소와 열화원인과의 관련을 그림 2에 들었다. 피뢰기의 열화는 그 누설전류의 증가라는 현상으로 귀착된다. 따라서 상규 운전 전압에서 상시 감시할 수 있는 피뢰기의 누설전류를 관리하는 것이 가장 효과적인 피뢰기의 외부 진단 기술이다.

피뢰기의 열화현상 중 우선 산화아연소자에 대하여 설명한다.

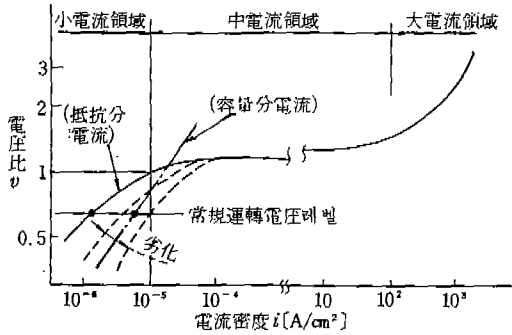
산화아연소자는 그 우수한 전압-전류 비직선특성 때문에 갭레스 피뢰기를 가능케 하여 피뢰기의 여러가지 특성을 향상시켰다.

반면에 그림 3과 같이 직렬 갭이 없기 때문에 상규 운전전압 레벨이 직접 산화아연소자에 가해져 소자에 상시 약간의 누설전류가 흐른다. 이 전류는 용량분과 저항분 전류로 구성되어 있다.

소자가 열화되면 그 $v-i$ 특성은 이 그림의 점선과 같이 저하되어 저항분 전류가 증가되는데 용량분 전류는 소자의 열화의 영향을 거의 받지 않는

劣化原因	劣化를 받는 장소			劣化現象			
	附加要素	—	酸化亞鉛素子	不良現象	外部에의信號	最終結果	
電氣스트레스	過負荷		素子			熱暴走	
	과전 및 서지電壓		素子	低電流領域의抵抗値低下	運轉電壓에서抵抗分電流增加		避雷器 누설전류 증가
電氣스트레스 이외의劣化要因	電位分擔制御用 콘덴서	電位分擔의 무관	素子		素子 이외의 요소에 흐르는電流增加	絶緣不良	
		碍子の汚損					
	溫度·濕氣 등의 환경조건	絶緣支持의 劣化					絶緣抵抗의 低下
		放電裝置 氣密要素	氣密不良 吸濕	素子			

(그림-2) 酸化亞鉛形 避雷器의 劣化現象의 흐름



〈그림-3〉 酸化亞鉛素子の $v-i$ 특성

다.

이 저항분 전류의 증가가 소자를 발열시켜 최종적으로 피뢰기의 열폭주, 지락사고를 야기시킨다. 이 때문에 피뢰기의 와트로스, 또는 저항분 전류를 측정하는 것이 산화아연소자의 열화를 검출하는 유효한 수단이 된다. 이 중 저항분 전류검출장치가 현재 주로 개발되고 있다.

한편 산화아연형 피뢰기의 부가요소의 열화에 대해서는 종래보다 충분히 검토되고 대책도 강구되고 있다. 그러나 피할 수 없는 경시열화나 불측의 책무에 의하여 불량상태가 발생하는 수도 있다.

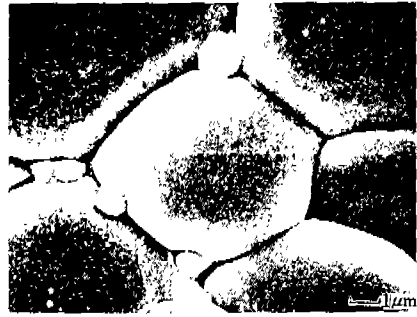
부가요소의 열화에 의한 불량은 직접 그 절연저항을 저하시켜 피뢰기의 누설전류를 증가시키는 경우와 산화아연소자에 영향을 미쳐 저항분 전류를 증가시키는 수가 있다.

특히 避壓膜 주변의 부품은 기능상 열화가 용이한 것이 많다. 가령 패키징 등의 고무류가 열화하면 기밀불량, 흡습이 발생하고 산화아연소자의 측면이나 절연 로드 등의 절연저항을 저하시켜 피뢰기의 누설전류가 증가된다.

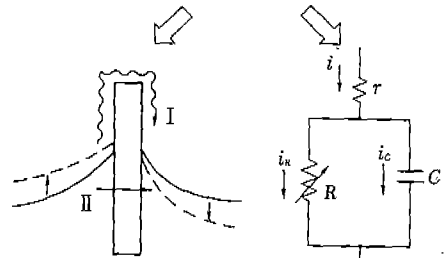
이 부가요소의 절연저항이 저하되었을 경우 그것은 메가 측정 등으로 용이하게 검출할 수 있는데 상시에는 감시할 수 없으며 측정시마다 피뢰기를 제동에서 절리시켜야 된다. 이 점에서도 상규 운전전압하에서도 상시 감시할 수 있는 피뢰기의 누설전류를 관리하는 것이 유효한 외부 진단기술이라고 하겠다.

피뢰기의 누설전류 검출기술에 대하여 설명하기 전에 산화아연소자의 열화현상에 대하여 설명한다.

우선 소자의 미세구조, 도전기구, 등가회로 등에 대하여 그림 4에 따라 설명한다.



(a) 微細構造



(注) 粒界層
 —: 과전前的 에너지밴드
 ...: 과전後的 에너지밴드
 I: 에너지소트現象
 II: 터널現象
 (注) r : ZnO 結晶粒子的 抵抗
 R : 粒界層의 抵抗
 C : 粒界層의 容電
 i : 全電流
 i_c : 抵抗分電流
 i_n : 容積分電流

〈그림-4〉 酸化亞鉛素子の 微細構造

(1) 微細構造

그림 4 (a)에 산화아연소자의 전자현미경 사진을 들었다. 큰 산화아연의 결정의 돌레를 고저항의 粒界層이 둘러싸고 있는 것을 알 수 있다.

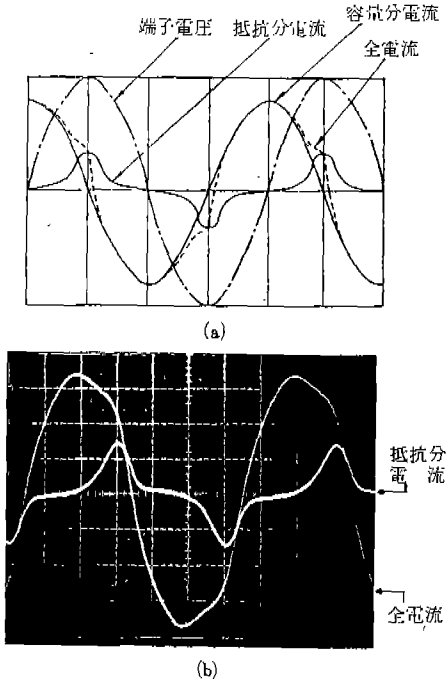
(2) 導電機構

입계층은 그림 4 (b)에 든 에너지밴드모델로 표시할 수가 있다. 입계층의 양측에 쇼트키밸리어가 형성되어 상규 운전전압 정도의 저 전류영역(그림 3 참조)에서는 이 밸리어를 熱電子가 뛰어 넘음으로써 작은 저항분 전류가 흐른다.

(3) 等價回路

입계층은 유도체로서 취급할 수 있기 때문에 산화아연소자의 등가회로는 그림 4 (c)와 같이 표시된다.

그림 5 (a), (b)에 상규 운전전압 레벨의 전압에



〈그림-5〉 酸化亞鉛素子の 누설전류

서 산화아연소자에 흐르는 전류파형의 일례를 들었다. 대부분이 용량성의 앞선 전류로 열전자에 의한 저항분 전류의 비율은 근소한 것이다.

이 저항분 전류는 다음 식으로 표시된다.

$$i = i_0 \exp\left\{-\frac{(\phi - \beta E^{1/2})}{kT}\right\} \quad (1)$$

$$\beta = (e^3 / 4 \pi \epsilon_0 \epsilon)^{1/2} \quad (2)$$

단 ϕ : 쇼트키벨리어의 포텐셜, E : 벨리어에 가해지는 전계 (인가전압), k : 볼츠매定數, T : 소자의 절대온도, e : 전하, ϵ_0 : 진공 중의 유전율, ϵ : 입체층의 물질의 유전율

(1)식과 같이 저항분 전류 i 는 쇼트키벨리어에 가해지는 전계 E 와 온도 T 의 함수이다. 이 식에서 상규 운전전압 (E : 일정치)에서 소자가 열화하여 저항분 전류 i 가 증가하는 것은 쇼트키벨리어의 포텐셜 ϕ 가 저하되는 것을 의미한다.

ϕ 를 저하시키는 원인으로서 가장 영향이 큰 것은 교류과전이고 다음이 雷서지, 개폐 서지의 순서라 것이 확인되고 있다. 개폐 서지는 피뢰기의 열안정성을 검토할 때에 중요한 요소가 되는데 개폐 서지에 의한 피뢰기의 열화는 매우 적다는 것이 일반적으로 알려져 있다.

산화아연소자의 열화가 진행되면 저항분 전류가 증가하여 최종적으로 피뢰기는 열폭주, 지락사고로 이른다.

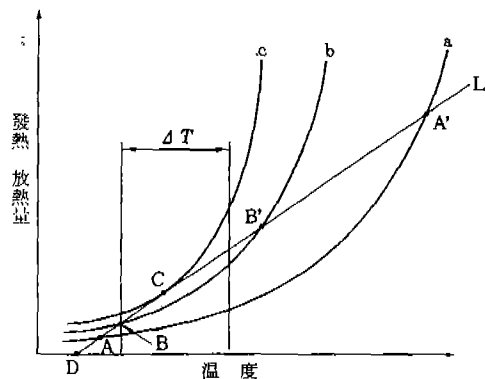
이 산화아연소자의 열화와 피뢰기의 열폭주의 관련에 대하여 그림 6에 따라 설명한다.

(1)식과 같이 소자의 $v-i$ 특성은 온도 의존성이 있으며 상규 운전전압에서의 전기입력에 의한 소자의 발열량은 곡선 a에 표시된 바와 같이 온도에 대하여 지수함수적으로 증가한다. 한편 소자로부터의 방열은 피뢰기의 구조와 주위조건에 따라 결정되며 직선 L과 같이 된다. 즉 주위온도 D와 소자온도와 의 차에 대체로 비례한다.

곡선과 직선과의 교점의 온도를 A, A'라 하면 소자가 에너지를 흡수하여 그 온도가 상승한 경우에도 A'의 온도 이하이면 소자온도는 A에 귀착된다. 그러나 소자가 과대한 에너지를 흡수하여 그 온도가 A'를 초과하면 방열이 방열을 상회하여 피뢰기는 열폭주에 이르게 된다.

소자가 열화하면 쇼트키벨리어의 포텐셜이 낮아져 같은 전압, 온도의 조건에서도 발열량이 증가하여 곡선 a가 b로 변화하여 평형온도가 B로 높아진다. 교점 A에서 B로의 변화는 소자의 열화에 의한 저항분 전류의 증가에 의한 것이다. 또한 열화가 진행되어 방열직선 L과 방열곡선과의 교점이 없어질 때까지 곡선 b가 변화하여 곡선 C에 이르면 상규 운전전압의 과전반으로 피뢰기는 열폭주한다.

따라서 피뢰기의 저항분 누설전류를 상시 감시하



(注) a : 정상적인 酸化亞鉛素子の 發熱特性
 b, c : 劣화된 酸化亞鉛素子の 發熱特性
 L : 避雷器容量의 放熱特性
 ΔT : 에너지吸取에 의한 素子の 溫度上昇

〈그림-6〉 酸化亞鉛形 避雷器의 熱安定性 特性

고 열평형 상태에서의 그 값을 관리하는 것이 피뢰기의 보수 점검상 매우 유효하다.

즉 상정할 수 있는 책무의 에너지 흡수로 소자온도가 ΔT 상승해도 열평형상태로 복귀할 수 있는 특성을 나타내는 곡선 b의 상태로 피뢰기를 관리하는 것이 유효하다.

2. 酸化亞鉛形 避雷器의 抵抗分

(누설) 電流 檢出技術

현재는 아직 피뢰기의 순(누선)전류를 측정하는 것이 산화아연형 피뢰기의 외부 진단기술의 주류이다.

산화아연소자의 열화가 어느 정도 진행된 시점에서 순電流 중 저항분 전류가 점하는 비율이 커져 전전류를 측정함으로써 용이하게 피뢰기의 이상 진단이 가능하다. 따라서 감도면에서는 떨어지는데 중래의 측정기술을 그대로 사용할 수 있으며 측정오차가 적고 용이하게 측정할 수 있는 전전류의 관리가 피뢰기의 외부 진단기술로서 널리 보급되고 있다.

한편 최근의 엘렉트로닉스 기술의 발달로 근소한 비율의 저항분 전류를 전전류 속에서 검출하는 기술이 여러 가지로 개발되어 실용화되고 있다.

초기의 산화아연소자의 열화를 조속히 검출하여 피뢰기의 열폭주의 발생을 예측하고 그것을 미연에 방지하기 위해서는 그 저항분 전류를 관리하는 것이 가장 유효하며 고정도의 피뢰기의 외부 진단기술이라는 것은 앞에서 해설한 바와 같다.

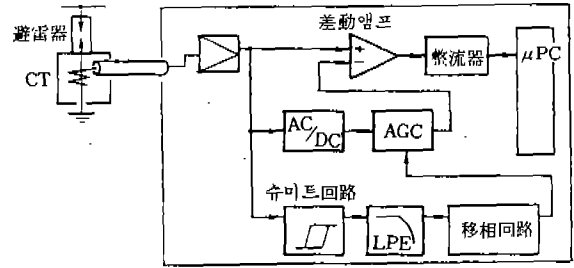
다음에 실용화되고 있는 저항분 전류검출법을 소개한다.

(1) 自己 cancel 方式

피뢰기의 전전류에서 자동적으로 캔슬波를 만들어 전전류와의 차동에 의하여 저항분 전류를 얻는다. 그림 7에 따라 해설한다.

CT로 검출한 전전류의 신호를 증폭하여 그 영점에서 반전하는 구형파신호를 슈미트 회로에서 발생시키고 여기서 상용 주파성분을 추출하고 또한 용량분 전류에서의 지연을 이상회로로 보정한다.

이 신호의 파고치를 전전류의 거기에 합쳐서 얻어진 캔슬波를 全電流波에서 차감하여 저항분 전류를 얻는다.



(注) LPF: 로우패스필터
AGC: 오토게인콘트롤앰프
μPC: 마이크로프로세서

(그림-7) 抵抗分電流測定블록圖

이와 같이 얻어진 저항분 전류의 파고치를 마이크로 프로세서에 의하여 소정의 알고리즘에 의거하여 이상진단을 한다.

이 방법은 PT/PD 등에서의 보조신호가 필요없다는 것, 또한 센서로서 CT를 사용하고 있기 때문에 안전하고 耐서지性이 우수하다는 등의 장점이 있다.

(2) 同期 整流 方式

피뢰기의 전전류를 저항검출하여 밴드, 버스, 필터를 통하여 기본파성분을 얻고 PT/PD 등으로 얻은 전압신호로 동기정류 여파, 직류로 변환, 증폭하여 저항분 전류신호를 얻는다.

이 방법은 계통의 고조파의 영향을 받지 않고 측정오차가 적다는 등의 장점이 있다.

(3) cancel 方式

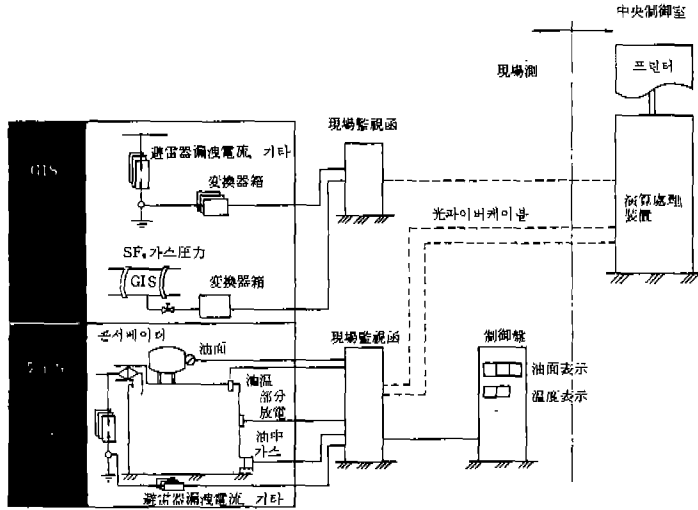
CT로 검출한 전전류파 신호에 PT/PD 등에서 얻은 전압신호를 미분하여 발생한 캔슬波를 차동시켜 저항분 전류를 얻는다.

이 방법에는 저항분 전류파형이 정확히 얻어지고 또한 전압과 승산하여 와트소스를 얻을 수 있는 장점이 있다.

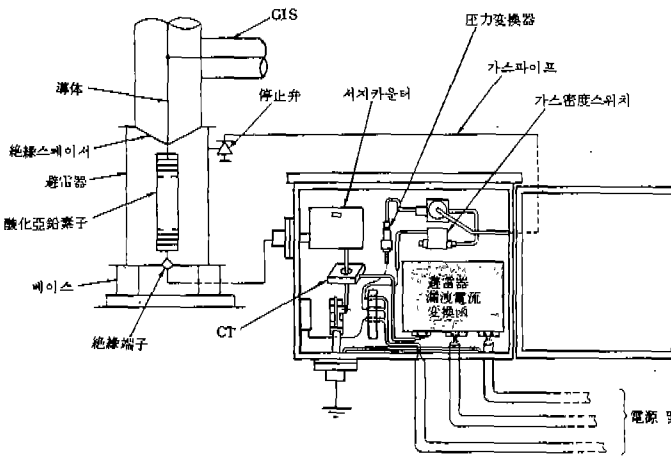
(4) 第 3 高調波 方式

CT로 검출한 전전류 중 기본파의 다음에 저항분 전류에 많이 포함되는 제 3 고조파를 밴드, 패스, 필터로 검출하여 함수조사회로에서 리니어라이즈, 또한 증폭하여 저항분 전류의 신호를 얻는다.

이 방법은 보조신호가 필요 없다는 것 또한 일반적으로 계통의 제 3 고조파는 변압기 3차에서 단락



〈그림-8〉自動監視 시스템의
全体構成 (GIS / 変圧器)



〈그림-9〉避雷器의
信號變換器函

되어 매우 적기 때문에 오차를 거의 포함하지 않은 저항분 전류의 신호를 얻을 수 있는 장점이 있다.

3. 適用例

그림 8에 변전소의 자동감시 시스템의 일례를 들었다.

엘렉트로닉스 기술의 발달, 광파이버나 각종 센서가 개발, 실용화되어 자 기기의 외부 진단, 제어 기술이 시스템화, 자동화되었다.

그림 9에 탱크形 피뢰기의 신호변환기함의 구성의 일례를 들었다. 피뢰기의 누설전류, 가스 밀도 검출 장치와 피뢰기 동작회수를 기록하는 서지카운터로 구성되어 있다.

피뢰기의 저항분 전류측정기술은 이상과 같이 시

스템의 한 요소로서 전기설비의 신뢰성 향상에 공헌하고 있다.

서지카운터에 대해서도 피뢰기의 방전전류파고치 그 발생시각 등의 동작상황도 자동적으로 기록되는 장치가 개발, 실용화되고 있다.

4. 앞으로의 課題

피뢰기의 특성을 상시 측정하여 관리가 가능해진 최근의 외부 진단기술의 발달은 보수, 점검 기술의 고정도화, 그 작업의 간소화를 위하여 전기설비의 신뢰성 향상에 크게 공헌하고 있다. 따라서 앞으로는 미터의 측정 등에 의한 장치의 더 한층의 신뢰성 향상을 기하는 동시에 진단 알고리즘에 충실해야 될 것이다. *