

# 部分放電 測定에 대한 考察

金鎮宇 / 高電圧研究室

## I. 序 論

供試體에서 部分放電이 발생하면 그에 따라 여러가지 현상이 나타나며, 이들 諸 現象은 電氣的인 現象과 非 電氣的인 現象으로 나눌 수 있다. 電氣的 現象으로는 部分放電의 발생에 따른 電流 pulse의 발생을 들 수 있으며, 이로 인해 誘電體 内部에서 電力 損失이 생기고 電磁波가 발생한다. 非 電氣的 現象으로는 部分放電의 발생에 따른 빛, 音響의 발생, 氣스의 발생으로 인한 氣스 壓力의 變化 및 化學的 物質의 異物 質化 등이 있다. 빛의 발생 및 音響의 발생 등은 간단한 裝置를 이용하면 어느 정도까지의 測定은 가능하나 部分放電에 대한 量的인 關係를 구하는 데는 부적합하다. 따라서 絶緣物의 絶緣特性에 대해 보다 정확하고 精밀한 判斷을 위해서는 部分放電의 발생에 따른 電氣的 現象을 측정해야 한다. 이하에 그에 대해 간단히 기술하고자 한다.

## II. 部分放電의 發生

絶緣物에 電壓을 인가하고, 그 印加電壓을 상승시킬 때, 어떤 일정 電壓 이상이 되면 絶緣物에서 부분적으로 放電이 일어나기 시작한다. 이

런 放電을 部分放電이라 부르며, 이때에 두 電極 사이의 貫通絶緣破壞에는 이르지 않는다. 部分放電에는 絶緣物 内部의 void(氣泡)나 異物質에 일어나는 内部放電, 氣體나 液体中에서 絶緣物 表面을 따라 발생하는 沿面放電 및 돌기물이나 導體의 가장자리에서 극히 불평등한 電界에 의해 氣體中으로 방전하는 corona 放電 등이 있다. 沿面放電 및 corona 放電은 視覺的으로도 탐지할 수 있으며 이는 絶緣物 外部條件에 관계되는 것이다. 内部放電은 絶緣物 内部의 상태를 나타내는 것으로 이의 측정이 중요한 문제가 된다. 아래에 絶緣物 内部에서 일어나는 部分放電에 대해 살펴보기로 한다. 絶緣物 内部에서 일어나는 部分放電은 <그림 1>과 같은 等價回路에서 그 放電量을 계산할 수 있다. 電極間에  $v_t$ 인 交流電壓(瞬時值)이 인가되면  $C_g$ 間的 電壓  $v_g$ (瞬時值)는

$$v_g = v_t \frac{C_b}{C_g + C_b} \dots \dots \textcircled{1} \text{로 표시된다. } v_g \text{가}$$

$C_g$ 의 放電電壓  $V_g$ 에 이르면  $C_g$ 間에 放電이 발생하며 放電 후의  $C_g$ 間的 電壓  $v_g'$ 는  $V_g$ 에서  $V_r$ 로 급격히 떨어진다.  $V_r$ 를 殘留電壓이라 부르며, 이때 이 電壓變化에 대응하는 pulse 電流가 발생한다. Pulse電流를  $i_r(t)$ 라고 하면, 그 關係는 <그림 2>와 같이 되며

$$v_g'(t) = V_g \frac{1}{C_g + \frac{C_m C_b}{C_m + C_b}} \int_0^t i_r(t) dt$$

가 된다.

$$v_g'(\infty) = V_r \text{ 이므로}$$

$$V_g - V_r = \frac{1}{C_g + \frac{C_m C_b}{C_m + C_b}} \int_0^\infty i_r(t) dt$$

가 되어

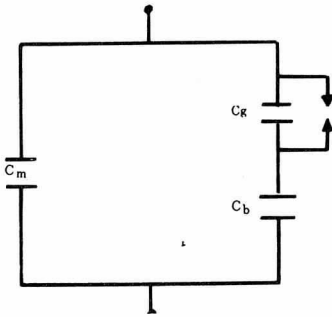
$$\begin{aligned} \text{放電電荷量 } q_r &= \int_0^\infty i_r(t) dt \\ &= (V_g - V_r) \left( C_g + \frac{C_m C_b}{C_m + C_b} \right) \end{aligned}$$

.....② 로 된다.

部分放電에 의한  $C_g$ 間的 電壓 變化는 絶緣物의 電極間에  $\Delta V$ 되는 電壓 變化를 일으키며

$$\Delta V = (V_g - V_r) \frac{C_b}{C_m + C_b} \dots\dots ③ \text{ 로 표시 된}$$

다.



$C_R$ : 絶緣物 内部에 포함된 放電 gap(예를 들면 void등)의 capacitance

$C_b$ :  $C_R$ 와 직렬로 간주되는 絶緣物의 合成capacitance

$C_m$ :  $C_g, C_b$  이외의 絶緣物의 capacitance

<그림 1> 絶緣物의 等価回路

式② 및 ③ 에 의해

$$\Delta V = \frac{C_b}{C_g C_m + C_g C_b + C_m C_b} \cdot q_r \dots ④$$

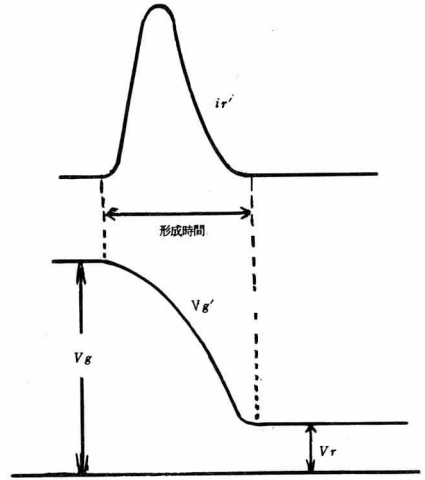
가 되며,  $q_r$  대신  $q = \frac{C_b}{C_g + C_b} q_r$ 로 표시되는  $q$ 를 이용하면,

$$\Delta V = \frac{C_g + C_b}{C_g C_m + C_g C_b + C_m C_b} \cdot q \dots ⑤ \text{ 로 표}$$

시된다.

$$\text{絶緣物의 全体 抵抗은 } C_a = C_m + \frac{C_g C_b}{C_g + C_b} \text{ 이}$$

므로 결국  $\Delta V = \frac{q}{C_a}$ 가 된다. 즉 絶緣物의 電極間에서 보면  $q$ 의 電荷가 放電하는 것과 같이  $\Delta V$ 의 電壓變化가 생기는 것처럼 보인다. 이  $q$ 를 걸보기 電荷(Apparent charge)라고 하며 실제의 測定에 있어서  $\Delta V$ 와  $C_a$ 의 測定은 가능하여  $q$ 를 구할 수 있으나  $q_r$ 의 값은 구할 수 없다.



<그림 2> 放電電流와  $C_g$ 間的 電壓의 時間變化

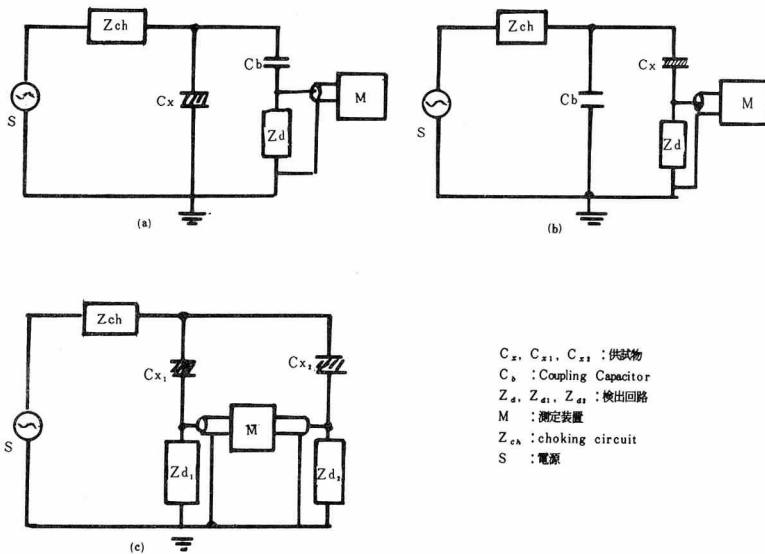
### Ⅲ. 測定回路

#### 1. 基本回路

部分放電 pulse를 측정하는 대표적인 基本回路는 대략 3 가지로 나타낼 수 있으며, 그 回路는 <그림 3>과 같다. 回路의 選擇은 供試體의 接地 與否와 外部 雜音의 影響이 어느 정도이냐에 따라 적절히 행해져야 한다. 回路(a)는 回路를 구성하기가 간단하나 供試體가 電源의 高壓側과 接地側 사이에 직접 연결되어 있어 外部 雜音의 影響을 받기가 쉬우며 部分放電 pulse가 電源側을 통해 방전하기 때문에 電源側과 檢出部 사이에 choking circuit를 삽입할 필요가 있다. 回路(b)는 檢出素子가 供試體의 接地側에 연결되어 供試體의 低壓側은 大地로 부터 絶緣되어 있다. 이 回路는 外部 雜音의 影響을 적게

받으며, coupling capacitor  $C_b$ 의 값이 供試體의 capacitance  $C_x$ 의 값보다 매우 큰 경우 外部 雜音은 供試體를 통해서 거의 흐르지 않으며, 대부분 coupling capacitor 쪽으로 유입된다. 즉 供試體에 유입되는 外部 雜音의 영향은  $C_x/C_b$ 의 비율로 줄어든다. 그러나  $C_x$ 가  $C_b$ 와 같은 값인 경우에는 外部 雜音의 영향을 피하기 위해 회로(c)와 같은 平衡 檢出 回路를 사용한다. 이는 동일한 두개의 供試體를 사용하여야 하며, 電源側의 雜音이나 stray capacitance의 영향을 받지 않는 利點이 있다. 그러나 部分放電 pulse가 발생하였을 때 두개의 供試體 中 어느쪽에서 발생하였는지 판단하기가 곤란하므로, 두개의 供試體 中 하나는 discharge free로 하던지 또는 다시 한번 시험을 행할 필요가 있다. 회로(a) 및 (b)에서  $C_b$ 의 選擇은 회로에 사용되는 檢出 素子 및 測定에 필요한 感度에 맞도록 행해져야 한다. 測定計器의 入力回路는

既選定된 周波數帶에서 部分放電 pulse에 대해 同調回路로 해야 할 경우가 있는데 이 때는  $C_b$ 가 同調回路의 一部로서 同調 條件에 맞도록 선정되어야 한다. 일반적으로 試驗室內에서 部分放電 測定을 행할 경우에는 電源으로부터의 高調波 등의 雜音을 막고 部分放電 pulse가 電源側으로 流出하는 것을 막기 위해 line filter 및 line choke 등을 사용하며, 外部 雜音의 影響을 배제하기 위해서는 試驗室을 遮蔽된 방으로 하는 것이 가장 이상적이다. 특히 회로를 구성할 경우, 주의해야 할 점은 供試體의 端子 條件으로 電壓 印加線과 供試體의 接續 및 檢出 素子와 供試體 또는 coupling capacitor와의 接續으로 이곳에서 氣中 corona가 생기지 않도록 해야 한다. 또 주위에 金屬 浮遊物이 있을 경우에도 高壓側과 이 金屬 浮遊物 사이에 stray capacitance가 존재하여 外部 雜音이 발생하므로 주위를 깨끗이 할 필요가 있다.



〈그림 3〉 基本 測定 回路

## 2. 檢出 回路

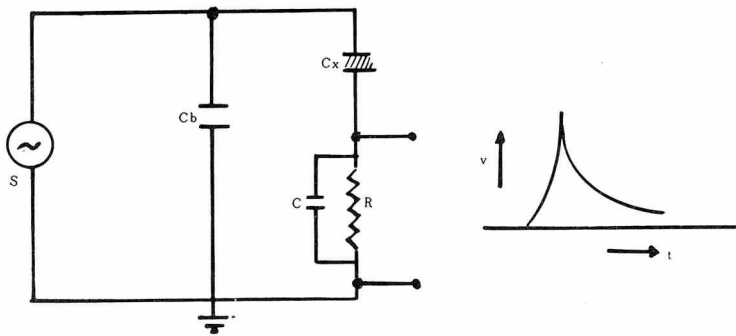
檢出 回路로는 抵抗, capacitance, inductance가 單獨 또는 組合으로 사용된다. 檢出 回路는 그 接續 位置 및 사용하는 素子에 따라 部分放電 pulse 測定의 感度(Sensitivity) 및 分解

能(Resolution)이 달라진다. 供試體에서 部分放電이 발생하면 放電 電流 pulse가 回路內에 흐르게 되며, 이를 檢出 回路에서 電壓 pulse로 바꾸어 測定裝置를 통해 增幅 觀察하게 되는 것이다. 測定の 感度는 어느 정도의 적은 pulse가

지 측정 가능한가를 나타내는 것으로, 檢出 回路에서 뿐만 아니라 測定 裝置의 특성에도 관련이 있다. 또 分解能이란 time base 상에 나타난 部分放電 pulse를 분석하기 위해 개개의 pulse를 분리 측정할 수 있는 pulse의 數를 나타내는 것으로 역시 檢出 回路 뿐만 아니라 測定 裝置의 특성에도 많은 관계가 있다. 대체적으로 檢出回路가 R (Resistance) 形인 경우에는 檢出 pulse 波形이 供試体에서 발생한 部分放電 pulse 波形에 가까우므로 部分放電의 성질을 조사하기에 적합하나 供試体的 capacitance가 적을 경우에는 檢出 pulse의 폭이 작아 측정하기 어려운 점이 있다. 이러한 점을 보완하기 위해 R과 並列로 C (Capacitance)를 접속하면 필요한 pulse幅을 얻을 수 있으나 檢出 感度が 낮아지는 결점도 있다. 또 R形 檢出 回路는 供試体

의 充電 電流가 檢出 回路에 흐르면 높은 交流 電壓이 檢出端에 나타나므로 주의해야 한다. L (Inductance) 形은 impedance가 周波數에 비례하여 커지므로 供試体的 充電 電流에는 低 impedance로 작용하고 部分放電 pulse에 대해서는 高 impedance로 작용하여, 供試体的 充電 電流에 의한 영향을 받지 않으며 部分放電 pulse의 檢出 感度が 높다. 그러나 檢出 pulse의 波形이 진동하므로 部分放電의 성질을 조사하기에는 R形에 비해 적합하지 않는 缺點이 있다. 보통 L形은 R 및 C와 組合으로 사용하여 檢出 pulse의 振動을 줄이고 檢出 回路를 同調시켜 檢出 感度を 높일 수 있다. 아래에 RC形 및 LRC形 檢出 回路에서 檢出된 檢出 pulse의 波形을 살펴 보기로 한다.

가. RC形 檢出의 경우



〈그림 4〉 RC 回路에서의 pulse response

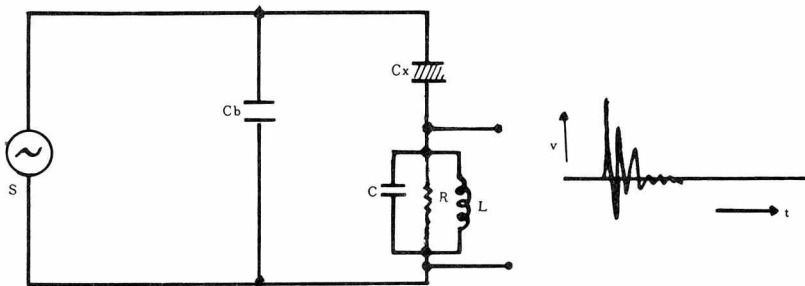
RC回路에서는 檢出 pulse가 〈그림 4〉와 같이 되며 RC回路에 나타난 電壓 pulse는

$$V = \frac{q}{(1 + \frac{C}{C_b}) C_x + C} \cdot e^{(-t/RK)} \dots\dots ⑥$$

로 표시된다. 여기서 q는 部分放電 電荷量을 말하며

$$K = \frac{C_x C_b}{C_x + C_b} + C \dots\dots ⑦ \text{ 이다.}$$

나. LCR形 檢出의 경우



〈그림 5〉 LCR 回路에서의 pulse response

LCR 회로에서는 檢出 pulse의 波高値는 RC 회로에서와 같으나 檢出 pulse의 모양은(그림5)에서와 같이 振動形이 되며, 이 때의 電壓 pulse는

$$V = \frac{q}{(1 + \frac{C}{Cb})Cx + C} \cdot e^{(-t/2RK)} \cdot \cos wt \cdot \text{⑧}$$

로 표시된다. K는 式⑥에서와 같은 값이며

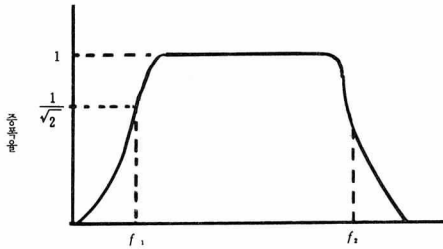
$$W = \sqrt{\frac{1}{LK} - \frac{1}{4R^2K^2}}$$

式 ⑥ 및 ⑧에서 보는 바와 같이 檢出 pulse의

波高値는 部分放電 電荷量 q에 비례하고 R에는 무관한 값이 된다. 그러나 R이 적으면 time constant RK의 값이 적어지기 때문에 檢出 pulse의 모양이 급격해져서 측정하기가 곤란하다.

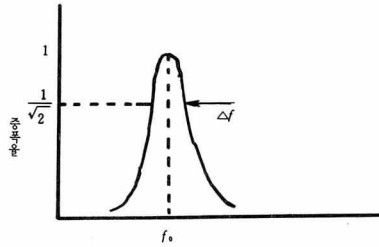
### 3. 增幅回路

增幅回路는 檢出된 電壓 pulse를 증폭하여 指示回路에 나타내어 관측할 수 있도록하기 위한 것으로 周波數 特性에 따라 다음과 같이 대별된다.



(a) 広帯域 및 低周波 增幅回路

f<sub>1</sub>: 十 KHz  
f<sub>2</sub>: 十 MHz (広帯域)  
100 ~ 200 KHz (低周波)



(b) 同調增幅回路

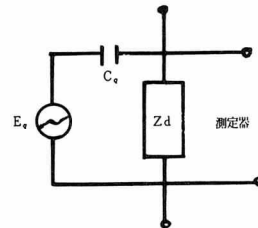
f<sub>0</sub>: 200 ~ 1,000 KHz  
Δf: 약 10KHz (狹帯域)  
약 100KHz (中帯域)

(그림 6) 增幅回路의 周波數 特性

広帯域 增幅回路는 周波數 帶域幅이 넓어 檢出 pulse의 波形은 찌그러짐 없이 충실히 증폭되나 放送波 등 기타 外部 雜音의 영향을 받기 쉬우며, 同調增幅回路는 周波數 帶域幅이 좁아 增幅利得 (Amplifier gain)을 높일 수 있으며 外部 雜音의 영향을 적게 받으나 그 出力 波形은 포물선에 가까운 pulse로 pulse의 分解能이 낮다. 라디오 障礙 電壓 測定器 (Radio interference voltage meter)는 同調增幅回路의 狹帯域 방식에 속한다. 低周波 增幅回路는 低周波 成分만을 증폭하는 방식으로 檢出 pulse를 積分 增幅하며, 이는 広帯域 增幅回路에 비해 增幅 pulse의 폭이 넓고 外部 雜音의 영향은 적게 받으나 pulse 分解能은 약간 떨어진다.

이 방식의 하나로 ERA (Electrical Research Association, England)에서 개발된 방식이 있다. 이 방식은 試驗 電壓 周波數를 타원형 time base로 나타내고 그 위에 나타나는 積分

增幅된 部分放電 pulse를 관찰하는 방식이다. 校正 pulse 發生器를 (그림7)과 같이 檢出 素子の 兩端에 연결하여 檢출된 部分放電 pulse의 電荷量을 既知의 校正 pulse 電荷量과 비교 측정할 수 있으며 校正 pulse의 電荷量은 E<sub>q</sub>·C<sub>q</sub>로 계산된다.



E<sub>0</sub>: step voltage generator

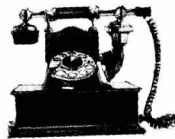
(그림 7) 校正 pulse 發生器 (Calibration pulse generator)

#### IV. 結 論

이상에서 部分放電 測定에 관한 基本回路 및 그에 따른 檢出 回路, 增幅 回路에 대하여 설명하였다. 주지하는 바와 같이 部分放電 測定은 高電圧 測定分野에 있어서 매우 중요한 위치와 첨단기술로 간주되고 있다. 電氣機器類 및 cable의 經年 變化에 따른 絶緣熱化를 미연에 방지함은 물론 제품의 品質向上과 絶緣 材料의 개발에도 많이 이용되고 있다. 先進国에서는 이에 대한 활발한 연구를 수행중에 있으나 아직 우리나라는 이 分野에 관한 연구가 미진한 상태로 이에 대한 활발한 연구가 수행되어야 할 것이다.

#### 参 考 文 献

1. NEMA CP-P2
2. IEEE Std. 454-1973
3. IEC Pub. 270-1968
4. 絶緣試驗法 hand book  
日本 電氣学会, 1980 pp230~273
5. Kreuger F. H., Discharge Detection in High Voltage Equipment, London, Temple Press Books Ltd. 1964
6. Partial Discharge Detector, Type ERA-5 Manual



○ 불평 불만 하기전에 내자신을 돌아보자.