

Water Rheostat의 設計 및 理論

安 再 榮

1. 序 論

本論에서 記述코저하는 water rheostat 에 對하여서는 普通 發電所나 또는 變電所落成試驗에 있어 一般的으로 흔히 使用하고 있으나 實務者들이 往往 이에 對한 確實한 理解가 없는듯, 이에 對한 質問을 받은바 있음으로 이에 設計 및 取扱方法을 詳述하여 將次電源開發 五個年計劃에 依據하여 續續, 建設되는 發電所나 또는 變電所負荷試驗時 會員諸位의 參考가 되었으면 筆者의 더 없는 期待라고 生覺합니다.

2. 抵抗計算式

Ohm 의 法則은 金屬導體에서는 勿論 一般的으로 電解液에서도 適用할 수가 있으나, 無限大한 電解液중에 投浸한 電極間에 電壓을 附加하였을 時는 流線의 場이 形成되는 것으로 思慮함, 이際의 電流分布는 마치 電界內에 있는 電力線의 分布와 같은故로 電界內의 Faraday tube 와 비슷한 流管을 假定하여 抵抗과 靜電容量과의 數值的 關係로부터 water rheostat 의 電極間의 抵抗을 計算할가 쉽다.

但 ① 電解槽는 無限大 한것.

② 電解液의 固有抵抗은 一定한 것임.

③ 電流는 連續的으로 一定할것.

只今 平行板 空氣蓋電器에 있어서 平行板의 面積을 A , 空氣間隙의 厚度를 l 라고하면 空氣의 例를 들어 誘電率 $K=1$ 임으로 其의 靜電容量 C 는 次式에 있어서

$$C = \frac{A}{4\pi l} [\mu F] \dots\dots\dots(1)$$

然이나 切斷面積 A , 길이 l , 固有抵抗 ρ 인 金屬導體의 抵抗 R 은

$$R = \rho \frac{l}{A} [\Omega] \dots\dots\dots(2)$$

이와 같이 計算되는것임. (1)式을 變形하면

$$\frac{1}{4\pi C} = \frac{l}{A} \dots\dots\dots(3)$$

(3)式의 $\frac{l}{A}$ 值를 (2)式에 代人하면

$$R = \rho \frac{1}{4\pi C} \dots\dots\dots(4)$$

即 (4)式은 抵抗과 靜電容量과의 數值的 關係를 指示하는것으로서, 이로서, 이는 導本問의 靜電容量을 知悉하여 其의 電氣抵抗을 計算하는 것임.

但 (4)式의 適用範圍는 電流分布가 電力線의 分布와 相似된때만 에 限한다.

一般的으로 平衡三相三線式送電線에 있어 一相 即 各線의 大地에 對한 靜電容量 C 는

$$C = \frac{l}{2 \log \frac{2D}{d}}$$

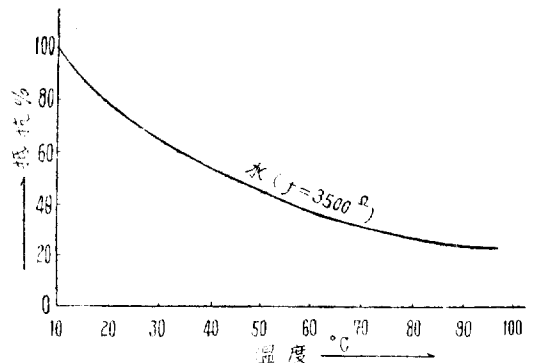
로 表示됨으로 抵抗 R 의 値는 (4)式에 있어

$$R = \frac{\rho}{4\pi C} = \frac{\rho}{4\pi \times \frac{l}{2 \log \frac{2D}{d}}} = \frac{\rho}{2\pi l} \log_{10} \frac{2D}{d}$$

$$= \frac{\rho}{2.73l} \log_{10} \frac{2D}{d} [\Omega] \dots\dots\dots(5)$$

로 計算됨.

一般的으로 電解液은 溫度에 依하여 抵抗値의 變化가 있는것은 別 第1圖와 같은 曲線에서 잘 알수가 있음.



第1圖 「물」의 溫度와 抵抗關係

故로 water rheostat 에 있어서 負荷가 結여있는 동안 「물」의 溫度가 上昇하는 故로 抵抗은 溫度上昇과 더불어 減少하오니 設計에 있어서도 溫度上昇과 抵抗과의 變化를 考慮치 아니하면 큰 miss 가 發生한다.

實際 water rheostat 에 使用한 「물」의 固有抵抗 ρ 의 値는 25°C 에 있어서 約 4,000 $\Omega s/cm^3$ 이며 大體로 2,500—5,000 $\Omega s/cm^3$ 程度임.

但 R =電極과 中性點間의 抵抗 $[\Omega]$

ρ =「물」의 固有抵抗 $[\Omega]$

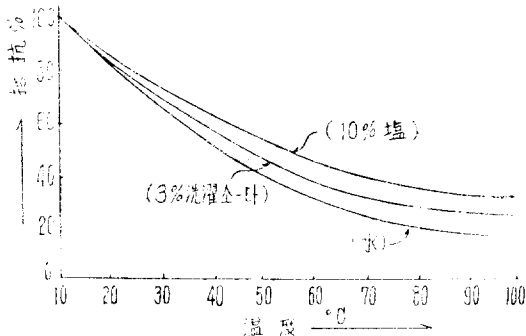
l =電極이 水中에 浸漬한 길이 $[\text{cm}]$

D =電極의 中心間의 距離 $[\text{cm}]$

d =電極의 外徑 $[\text{cm}]$.

3. 「물」의 溶液溫度와 抵抗과의 關係

「물」의 溶液特性으로서 特別 注意하여야 할것은 溫度에 依한 抵抗의 變化이다. 第2圖는 鹽 洗濯소—다 及 물 等 세가지 種類에 對하여 記錄하였지만 다른 「물」의 溶液도 大略 同一한 曲線이 된다.



第2圖 水溶液溫度—抵抗特性曲線

이 曲線에서 이는다와같이 常溫 即 25°C 程度의 「물」 溶液이 100°C 假量이 되면 其의 抵抗値는 約 1/3 程度로 減少한다.

이에 對한 取扱實例로서 現在 壓延roll 原動機에 1,200 HP 高壓 winding type induction motor 를 運轉하고 있으며 slip regulation 方法으로 water rheostat 를 使用中이며 그 容積은 3,600 cm³ 임.

恒常 誘導電動機의 二次電壓이 20—50 V 以下 및 starting current 가 200 amp 以下로 damping 하기 爲하여 每時間마다 電解溶液의 溫度를 測定함은 勿論 二次電壓을 測定하며, 電壓에 따라 「물」의 補充과 炭酸소—다를 溶解하여 주어야 함.

當初의 溶解에 있어서는 容積 3,600 cm³ 에 對하여 炭酸소—다 約 35 kg 을 投入하면 適當하였으며 「물」은 될 수록 純水가 좋다 함은 論할 餘地조차 없으며 特別 30°C 內外에서는 別로 問題가 없되나 其 以上 50°C 以上 溫度가 上昇하면 抵抗이 半減되며 speed 가 늦어서 作業에 莫大한 支障을 招來함으로 water rheostat 內에다 內徑 32 mm pipe 의 coil 을 製作하여 pipe 內部에 冷水를 通하며 電解液의 溫度降下에 努力하여 成果를 擧揚하고 있음.

水力發電所에 있어서는 放水路를 利用하면 比較的 容易하게 水溫의 變化를 막을수 있으리라고 生覺됨.

4. 電流의 計算과 電流密度

Rheostat 를 對稱平衡三相電源에 接續하였을 時 其의 線間電壓을 V 볼트(實効值)라 하면

$$I = \frac{V}{\sqrt{3}} \times \frac{1}{R}$$

$$I = \frac{V}{\sqrt{3}} \times \frac{2.73l}{\rho \log_{10} \frac{2D}{d}} \text{ [amp]} \dots (6)$$

上式中 R 은 各電極의 抵抗 (5式)의 值임.

故로 電極의 最少面積을 決定함에 必要한 電流密度의 値는 가장 重要한것으로서 最少限度를 超過하면 電極에 弧光이 發生하며 短絡의 原因이 됨으로 因하여 運轉이 不安定하여짐을 免치 못할.

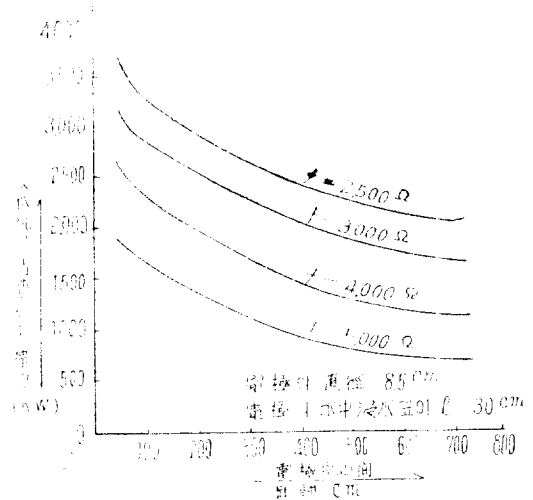
이 電流密度의 値는 0.2~0.4 amp/cm² 以下로 決定함에 理想的이며 電流密度는 「물」의 溫度上昇과 同時에 「물」의 抵抗減少로 急激이 上昇하는 故로 電流密度가 過大하면 電極의 周圍表面에 氣泡을 發生케하여, 즉, 물캐미(渦卷)가 生겨 弧光이 發하여 負荷가 變動되며 不安定하여지는 것이다.

5. Water Rheostat 의 容量計算

Water rheostat 의 power factor 는 100%라고 思考됨으로 因하여 抵抗에 消費되는 電力 W 는

$$W = \sqrt{3} VI \cos \phi = \sqrt{3} VI$$

$$= \frac{2.73}{1.000} \times \frac{l}{\rho \log_{10} \frac{2D}{d}} V^2 \text{ [kW]} \dots (7)$$

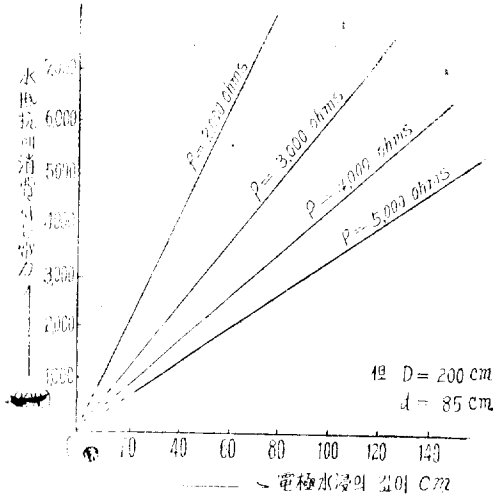


第3圖 三相電壓 11,000 V 의 時

(7)式에서 明白히 「물」의 固有抵抗 ρ 及 電極間의 間隔 및 電極外徑과의 關係及 여기에 電極의 浸水部分의 長이에 依하며, water rheostat 에 消費하는 電力은 第

4圖에 記述한 것과 같이 變化함은 事實이다. 第3圖는 電極의 直徑及 電極의 水中 浸水部分의 길이 l 을 一定히 두고 電極의 中心間의 距離 D 를 變化하였을 時 水抵抗에 消費되는 電力 kW를 各種 固有抵抗의 물에 對한 記錄이다.

第4圖는 電極中心間의 距離 D 及 電極의 直徑 d 를 一定하게 하고 電極의 水中 浸水部分의 길이 l 을 變化하였을 時 各種의 ρ 에 對한 水抵抗에 消費되는 電力 kW의 變化를 記錄한 것임.

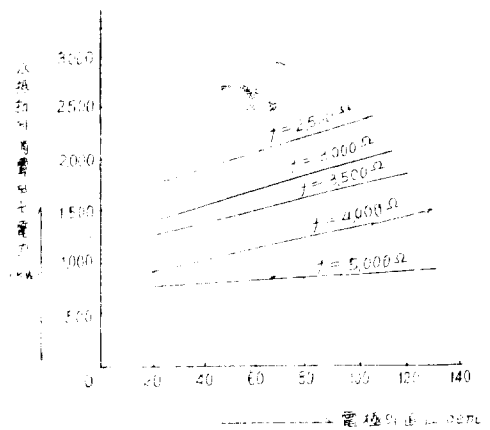


第4圖 三相電壓 11,000 V의 時

第5圖는 電極中心間의 距離 D 及 電極의 水中 浸水部分의 길이 l 을 一定히 하고 電極의 直徑 d 를 變化하였을 時 各種 固有抵抗을 가진 「물」에 對하여 記錄한 것이다.

이것으로 water rheostat의 capacity에 關係되는 特性은 明白히 들어났다.

그러면 設計에 있어서 必要한 負荷 kW及 電壓을 알 지되면 電極의 電流密度는 0.2~0.4 amp/cm²의 中間 值를 取하고 電極의 直徑 d 를 決定하고 電壓의 高低에



第5圖 三相電壓 11,000 V의 時

依하여 電極中心間의 距離 D 를 危險치 않은 適當한 範圍內에서 選定하며 (7)式에 依하여 計算하면 容量 kW를 決定할수 있을 것이다.

Water rheostat의 容量은 大體로 電壓에 依하여 左右되지만 5,000 kW乃至 10,000 kW程度가 適當하다고 思慮됨.

上述한바와같이 電流密度를 크게하고 電極 中心間의 距離 D 를 짧게 設計하면 電極間에 弧光이 莫甚하게 發生하며 弧光短絡發生의 憂慮가 있음.

Water rheostat의 容量은 實際試驗에 있어 (7)式에 依하여 計算한 結果를 가지고 製作한것이 가장 正確함을 經驗하였음.

따라 注意하여야 할 問題의 한가지는 water rheostat에 load가 결여있을 동안은 溫度가 上昇되는 故로 第1圖나 第2圖에서 보는바와 같이 水抵抗이 減少하는 故로 溫度上昇에 따라 消費電力 kW가 增加됨을 깊이 考慮치 아니하면 안되는 것이다.

以上 簡單히 water rheostat에 對한 設計에 必要되는 一般理論을 論述하였으나 不足한 點을 널리 理解하여주시고 先輩諸賢의 叱正을 바라는 바이다.

(西紀1963年6月26日接受)