

小溪谷發電所

李 在 淑

緒 論

電氣關係週聞紙의 記事에 依하면 今年度 小溪谷電源開發資金으로 二千萬圓을 確保한 商工部에서는 同資金受惠者인 各道에다 各其 自己管轄地域에 3個候補地를 選定하여 報告할 것을 通告하는 한편 同報告가 提出되는데로 곧 技術者를 派遣하여 該當地點의 立地條件을 嚴密히 檢討한 後 適當하다고 認定하면 곧 資金을 令達하여 着工케할 것이라는 것인데 이 計劃은 一個地點의 發電設備容量을 10kw 程度의 極히 작은 것을 目標로 하고 있어 現下 電力飢饉에 對해서는 別로 效果가 없다고 할수 있으나 1,000kw 程度出力의 小溪谷發電計劃은 이러한 點을 떠나서 下記와 如한 意義가 있다고 볼수 있다.

1) 無爲로 흐르는 水力資源을 그 規模는 작지만 有益하게 利用한다는 點이다. 즉 10kw 發電機 5臺의 利用率을 50%로 假定하면 年間 發電量은 21萬8千kWh가 되고, 配電料金을 kWh當 25圓으로 보면, 年政入은 約 5百40萬圓에 達하는 結果가 되니 이 電力은 左右間 韓國에 도움이 될 것이다.

2) 自然美化에 큰 役割을 할 것이다. 즉 韓國의 地理 및 氣候는 世界에 자랑할 수 있는 程度로 아름답고 各地에 有名한 寺刹 古跡, 其他 名勝地 등이 많은데 이들 隣近地域에 있는 小水力電源을 開發하여 電氣를 供給使用케 하면 自然의 美는 人工의 精巧를 얻어 한層 美化될 것이다.

3) 鑛山 또는 炭鑛의 小規模自家用發電所로서 活躍할 可能性이 많다.

즉 鑛山이나 炭鑛은 交通이 不便한 小嶽地帶에 位置하고 있는 傾向이 많은데 그 隣近에는 利用할 수 있는 小水力地點을 容易하게 發見할 수 있으리라 推測되고 한편 坑內에서 排水한 물을 利用하여 發電할 수 있는 個所도 있으리라고 생각되는데 本計劃은 이러한 方式의 實現에 있

어 그 基礎研究에 有益할 것이다.

4) 國產電機器製作發展에 有益하다.

小水力發電所는 그 出力이 적어 따라서 그 機器가 小型이고 또 誘導發電機를 使用하여 調速機等設置하지 않은 全自動式發電所로 하는 境遇가 많아 在來式發電所에 比하여 簡單함으로 南韓의 電機製作所에서 將次 이러한 機器를 比較的 容易하게 製作할 수 있다는 것이 考慮되는 바이다. 따라서 이러한 길을 밟으므로써 將次的 電機器의 自給自足이라는 큰 希望에 많은 影響이 있으리라 點이다.

以上の 理由로서 筆者는 南韓에 存在하고있는 有利한 小水力電源이 한時라도 빠른 時日內에 開發될 것을 願하여 마지 않은 바이다.

過去에 있어 小水力地點이 等閑視되어 온 것은 大規模地點에 比較하여 發電原價가 大端히 비싸다는데 그 理由가 있었다. 그러나 時日이 經過함에 따라 機械 및 電氣部門에 있어 顯著하게 發達한 近代技術은 小水力開發이 無條件 經濟的으로 收支가 맞지 않는다는 觀念에 큰 變化를 가져오게 하였다. 즉 現行電氣料金面으로 보아 收支打算이 맞는 境遇도 있다는 것이다.

外國에서는 큰 水力地點은 거의 開發되어 水力資源의 枯竭로 因하여 小水力地點開發에 關心을 가져오게 되어 現在 歐羅巴 各國에서는 많은 小水力發電所가 建設되어 왔고 또 將次 開發될 豫定에 있다. 그러나 現南韓에 있어서는 이 小水力發電所가 그 建設費總額이 比較的 적고 收支가 맞으므로써 自家資金으로 建設할 可能性이 많다는데 妙味가 있다. 過去 南韓 各地에 施設한 小水力發電所는 그 容量이 너무나 極小함으로 그 容量을 1,000kw 前後로 引下할 것이 希望된다. 그리고 既設小水力發電所에서 여러 가지 事故 즉 車軸의 折斷, 水車翼의 破損, 軸受의 過熱 등이 있었다는 것을 들었고 또 甚지어 그 計劃 自體가 理論에 맞지 않아 自然 Energy의 數分의 一 밖에 利用 못하고 있다는 例도 있

다. 本文은 이러한 計劃 및 設計에 多少라도 參考가 될가하여 起草한 것이다.

小水力發電所의 種類

有効落差를 H_m , 使用水量을 $Q \text{ m}^3/\text{sec}$ 그리고發電機 및 水車能率을 η_G 및 η_T 라 하면 水力發電所의 出力(kw)은

$$\text{出力(kw)} = 9.8 \eta_G \eta_T H Q$$

로 表示되는 것은 이 方面에 從事하는 關係者는 다 잘 아는 事實이다.

小水力發電所의 成立條件으로서는 上記公式로부터 下記와 如히 區分할 수 있다.

(1) 有効落差는 比較的 높으나 그 使用水量이 작은 境遇.

(2) 使用水量은 比較的 많으나 그 有効落差가 大端히 낮은 境遇.

(3) 使用水量 및 有効落差가 다 같이 比較的 작은 境遇.

(4) 水車 및 發電機의 能率이 낮은 境遇.

以上과 如히 4種類를 考慮할 수 있는데 (4)의 境遇는 皮上的으로 成立될 뿐이고 現實面과는 距離가 먼關係로 이 境遇는 檢討對象이 되지 않을 것이다.

本文 題目에는 從來의 直感を 살리기 爲하여 本文 題目에는 小溪谷發電所라는 單語를 그대로 踏襲하여 使用하였으나 (2)에 境遇에 있어 外國의 實例를 보아서는 山嶽地帶와는 因緣이 먼 平地에 많이 建設되고 있음으로 原則的으로는 小水力發電所라 함이 適合하다고 생각된다.

小水力發電所에 使用되는 水車種類는 在來의 大容量水力發電所의 그것과는 大端히 다르지 않은가 하는 感이 드나 實地에 있어서는 別差異가 없고 그 有効落差에 따라 使用할 水車種類가 달라진다.

즉 小水力發電所에 있어서는 有効落差 100 米以上에는 Pelton 水車が 28~500 米까지에는 Francis 水車が 그리고 7~80 米까지에는 Kaplan 水車 또는 固定翼 propeller 水車が 使用된다.

上記에서 水車使用範圍가 重疊되는 區間(第一圖參照)은 兩者에 對한 發電所設計를 한 다음 그 經濟的 價値를 比較하여 決定할 問題이나 原則的으로 水車速度를 높이 擇할 수 있는 側이 有利하다.

過去에 建設된 水力發電所의 水車는 그 翼裏面에 眞空으로 因하여 發生하는 腐蝕 即 Capitation 關係로 比較的 그 速度를 높이 잡지 못하였으나 最近에는 材料工學의 發達과 水車製作技術의 發達로 因하여 Francis 水車が Pelton 水車使用範圍內에 그리고 Kaplan 水車が Francis 水車使用範圍內에 많이 浸入하게 되었다. 即 水車의 使用速度가 過去의 同型의 그것보다 높이 採擇할 수 있게 되었다.

發電所建設費와 落差

水力發電所建設에 있어 kw 當建設費는 그 地點의 規模가 클수록 廉價이고, 따라서 그 發電原價도 싸진다는 것은 各種產業工場施設을 할 때에 成立되는 傾向과 같다. 따라서 小水力發電所에 있어서도 그 容量이 클수록 建設單價가 廉價이며 또 그 興件이 許容되는 範圍內에서 水車發電機臺數를 줄이는 것이 有利하다.

이러한 實例를 從前 韓國에 建設된 큰 發電所에서 求하면 設備容量 70 萬 kw 를 가진 水豊發電所는 建設備單價가 165 \$ 이고 같은 時期에 着手되고 竣功한 華川(當時 108,000 kw 目標) 및 淸平發電所(40,000 kw) 의 平均建設費單價는 3 倍以上인 約 500 \$ 였다. 이 建設費單價의 差異는 그 建設에 從事한 技術陣容의 能力差異에도 原因이 있다고 認定되나 根本的要素는 水豊의 施設容量이 華川 및 淸平의 그것보다 越等 크다는 데 있다.

此外 水力發電所建設에 있어 興味있는 것은 그 發電所의 有効落差가 높을수록 그 建設費單價가 싸진다는 點이다. 即 小水力發電所에 있어서도 그 有効落差가 높은 地點이 原則的으로 有利하다는 것이다. 大體로 建設費單價는 有効落差(H)의 平方根에 正比例한다.

1939 년에 完成된 虛川江系發電所群은 第一부터 第四發電所까지 總有効落差가 930 米에 達하는데 그 建設費單價는 261 \$ 였다.

이 關係를 佛蘭西에서 이미 建設한 發電所에서 求하면 Pelton 水車使用의 發電所建設費單價는 200 \$, Francis 水車使用의 것은 300 \$, 그리고 Kaplan 水車使用의 것은 360 \$ 이다.

그러나 上記의 原則을 벗어나 그 出力이 낮고 또 그 有効落差가 작음에도 불구하고 低落差小

水力發電所가 經濟的으로 成立이 되는 境遇가 있는데 그것은 既往에 設置한 水運關係의 堰堤 등을 利用할 수 있는 地點에 水車發電機軸을 水流와 平行하도록 設置하고 發電機는 非同期機인 誘導發電機를 採擇하여 이것을 水中에다 두고 發電機의 速度調整은 電氣的으로 連結된 既設發送電系統이 擔當하도록 하여 無人全自動式發電所를 建設할 수 있는 境遇이다.

小水力發電所에 對한 立地條件

韓國은 平野地帶에 比하여 山嶽地帶가 大端히 많고 夏季 7.8 및 9月은 雨期이며 또 春季에는 解氷으로 因한 河川水量의 增加를 考慮하면 2米 以上の 落差와 그리고 小水力發電에 必要한 用水를 確保할 수 있는 地點은 相當한 數에 達할 것이 豫測된다. 地理的으로 보아 有利한 地點은

- 1) 寶城江 및 雲岩發電所 等 既設發電所에서 放出되는 用水를 再次利用할 수 있는 地帶.
- 2) 灌溉用貯水池에서 流出되는 用水를 利用할 수 있는 地點.
- 3) 在來式 木造水車가 設置되어 現在水力을 利用하고 있는 地點.
- 4) 森林이 좋은 山間溪谷에 따라 水流가 豊富한 地帶.
- 5) 近接하여 흐르는 二河川에 있어 兩者의 標高差가 많은 地點.

을 例舉할 수 있다.

誘導發電機를 使用할 豫定인 小水力發電所는 既設配電網하고 距離的으로 가깝수록 有利하다. 즉 誘導發電機使用小水力發電所는 同期機使用發電所에 比하면 勵磁機 및 調速機가 必要 없는 代身에 既設配電網에서 無効電力의 供給을 받아야 된다는데 그 原因이 있다.

電力의 使用方面으로 보아서는 小水力發電所 附近에 集團部落, 製材所, 精米所, 鑛山 또는 電氣化學工場이 있어 配電設備에 經費가 많이 들지 않고 또 그 負荷率이 좋은 地點이 適地라 하겠다.

小水力發電所設計

落差 및 河川水量에 있어 小水力發電所의 建設이 適合하다고 認定되었을 境遇 이 落差와 利用水量을 精密하게 測定하여야 된다. 總落差測

定에는 水準器(Level)가 使用되고, 流量測定에는 미리 測量한 流水斷面積에다 流水의 平均速度를 곱한 것으로서 算出되는데 流水平均速度를 求하는데는 流速計測法(Current Meter Method)浮子測法(Float Method), 堰測法(Weir Method) 또는 公式測法(Velocity Formula Method)이 使用된다. 以上으로서 落差 및 利用水量이 確定되면 水路 및 水壓鐵管의 크기 水車發電機의 樣式 및 其他 施設을 設計할 수 있다.

土木施設:—

堰堤, 水力發電에 있어서는 그 樣式的 如何를 莫論하고 堰堤가 大體로 必要하다 우리가 利用할 수 있는 것은 土堰堤, 石造 또는 Concrete의 重力堰堤 또는 concrete Arch Dam을 構想할 수 있다. 여기에서는 外國서 많이 使用되는 Arch Dam 計算觀念에 對하여 說明하고자 한다. Arch Dam이 낮은 境遇에는 圓筒公式를 使用할 수 있다. 即 水壓鐵管의 強度計算에 使用되는 公式와 相通한다.

$$t = 0.1 \times \frac{W_0 h r_1}{\sigma_0}$$

| | |
|---------------------------|--------------------|
| t; Arch의 두께, | m |
| W ₀ ; 물의 單位重量, | ton/m ³ |
| h; Arch 높이 | m |
| r ₁ ; Arch의 半徑 | m |
| σ ₀ ; 許容應力 | kg/cm ² |

이 公式은 大規模 Arch Dam의 斷面推定用으로 使用된다. 그러나 大規模 Arch Dam의 計算에는 試算荷重法이 使用된다.

Arch Dam에서 許容되는 壓縮力은 最高 45 kg/cm² 引張應力은 重力 Dam에서는 全然許容되지 않으나, Arch Dam에서는 4 kg/cm²이다.

導水路:—

開放水路의 斷面과 勾配; 水路式發電所의 水路斷面은 勾配 즉 물의 流速를 參照하여 定해지는 것이다. 特히 流量이 작고 施工面에서 斷面の 最少限度가 定해지는 以外는 一般的으로 經濟的勾配가 定해지고 이에 따라 斷面の 크기가 決定된다. 즉 一定流量에 對하여 勾配가 急하면 水路의 斷面은 작아 그 工費가 減少될 수 있으나 落差의 損失이 크져 發電力이 減少되는 理由로 經濟的이 아니다. 따라서 이 問題에 對하여 理論的으로 檢討決定하여야 되나 一般的으로

로는水路의流速이 1.5~3.0 m/sec 程度가適當하다. 따라서流速은 이程度가 되도록適當한勾配가定해진다. 大略小水量의水路에서는勾配가 1/1,000 以下로 되어 있는 것도 있으나一般적으로 1/1,000 이 제일 많고大水量의 것은 1/1,500~1/2,000 이採用된다. 勾配가定해지면, 計劃使用水量부터通水斷面을求하고,水路의斷面을定할 수 있다. 이境遇最終流速은 Manning 公式에依하여一般적으로決定된다.

$$V = C \sqrt{RI} \quad C = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}}$$

따라서 $V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} I^{\frac{3}{2}}$

I: 水面勾配,

R: 徑深(hydraulic mean depth)

n; 粗度係數(Coefficient of Roughness)

n의 값은

- 鋼管: 0.011~0.014
- concrete 水路: 0.013~0.016
- 無卷隧道: 0.030~0.045
- 自然河川: 0.030~0.050 이다.

壓力水路;—

壓力水路의斷面과勾配:

發電所에貯水池, 調整池가 있을境遇에는壓力水路를設置하고, 負荷에應하여流量을調整할 수 있도록 한다. 壓力水路는普通圓形 concrete 卷立隧道가使用되고, 流速은水路의勾配하고는關係없고, 動水勾配에左右된다. 즉斷面 및 粗度が同等한直線壓力水路를一定流量이흐를 때에는

$$Q = Av, \quad v = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}}$$

이며, I는動水勾配(Hydraulic Gradient)이며, 水路의勾配와는關係없고, n, R는開放水路의數가同一한 것이다. 따라서水路勾配로서는無壓水路에比하여急勾配이다. 流速은 2.5~3.5 m로하고, 斷面은簡單히 $A = Q/v$ 로서定한다.

調壓水池

貯水池, 調整池가 있는發電所에서, 壓力水路를使用하고, 貯水池利用水深에該當하는落差도利用하는따문에水槽水深은自然히 커진다. 萬若水路가 어느程度 길고, 水槽가 없으면水車急停止時水槌作用(Water Hammering)에依하

여, 鐵管과隧道內에異常壓力을誘起한다. 이壓力上昇을防止하고, 發電所負荷의急變時水量의調節을할目的으로水槽를設置한다. 이水槽가있으면負荷急斷時壓力波는水槽水面에서反射하고鐵管內 또는隧道內에壓力上昇이있고, 또負荷急增時, 水槽內의水量이瞬間적으로應하여鐵管內에 많은壓力低下가發生되지않는다.

水壓管(Peustock)

水槽부터, 發電所의水車까지給水하는水壓管은可能하면, 勾配가急하고, 地質이良好한地帶 즉 산등(山脊)을選擇하는境遇가 많다. 負荷가急斷되는 또는急增하는境遇에管內의물이急히減速 또는加速되는 때문에管內의壓力이急上昇 또는急降下하여發生하는水衝壓은約千米의速度로上方에傳波하는一種의減衰振動이고數十回 되풀이한 다음에消滅한다. 管의全長을 L라하고, 壓力波의速度를 v_p 라하면水車 Guide Vane의閉塞時間 T가 $2L/v_p$ 보다작을 때에는水衝壓이極히 크다. 즉閉塞前의管內流速을 v 라하면

$$h = \frac{v_g}{g} \cdot v \approx \frac{1000}{9.8} v \approx 1000 v$$

가 되어鐵管을破裂할念慮가 있다. 따라서 guide vane의閉塞時間은 $2L/v_p$ 보다길게한다. 一般적으로 guide vane 直背의水壓上昇은 Allievi 公式에依하여算出한다.

$$h = \frac{NH}{2} \pm \frac{H}{2} \sqrt{N^2 + 4N}$$

$$N = \left(\frac{Lv}{gTH} \right)^2$$

여기서 H는 guide vane 上流의靜水頭이다. 水壓管의設計水壓은 이水衝壓에靜水壓을加한것을採擇한다.

水壓管內의流速은 2.5~4.0 m/sec 程度이나, 高落差에서는下部에갈수록管徑이작아져서流速도 커진다. 水壓管의 두께는下式에依하여計算된다. 水衝壓을加算한最大水壓에對하여, 普通安全率 4로定하고, 腐蝕에對하여서는 1~2 mm의餘裕를둔다.

$$t = 0.05 \frac{hd}{6. \phi}$$

여기서 t: 管두께 cm

h: 最大水頭 m

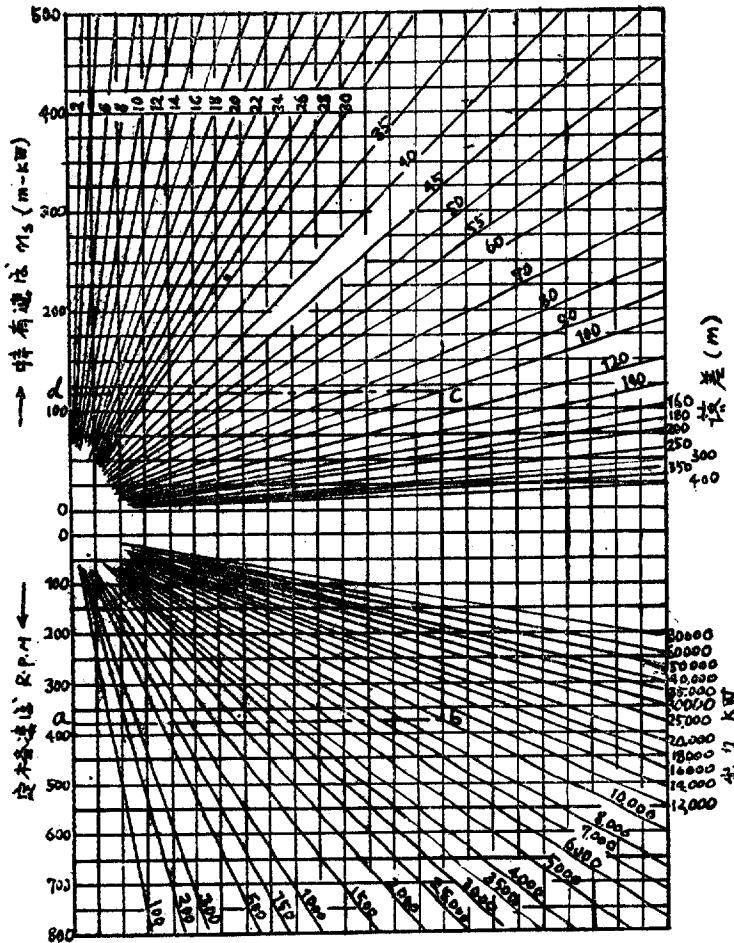
D: 管의 直徑 cm
 σ : 管材의 引張許容應力 kg/cm²
 ϕ : 接合效率 90% 이다.

水車種類의 選定

發電地點의 出力 및 落差가 決定되면 어떤 種類의 水車를 使用하여야 하는지 즉 그 特有速度를 定할 수 있다. 이 特有速度라 함은 어떤 水車를 考慮하여, 이것과 相似形이나, 單只 그 크기를 縮小하여, 單位落差에서 單位出力을 낼 수 있는 小水車를 生覺하고 能率이 最高인 境遇의 回轉數 n_s 를 그 水車의 特有速度라 하며, 어떤 水車의 回轉數를 n , 特有速度를 n_s 라하면 兩者의 關係는

$$n_s = n \frac{P^{1/2}}{H^{3/2}} \dots \dots \dots (1)$$

여기서 P는 定格出力이고, H는 定格落差이

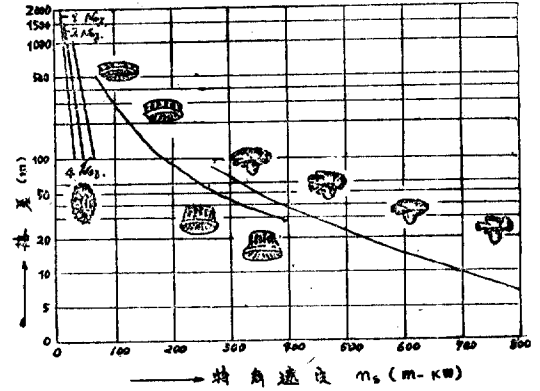


수차圖 特有速度線圖

제2도 特有速度線圖

다. 特有速度를 比較하면 그 水車의 速度, 出力, 落差에 對한 特性을 알 수 있다.

이 特有速度와 落差의 相互關係를 表示한 특일서 最近發表한 圖表한 圖表를 第1圖에 掲載



제1도

한다.

水車의 回轉數를 決定하는 데 있어서는 落差에 따라 採擇할 水車의 特有速度를 決定하고 (即, Pelton 水車에 對

水車發電機의 標準速度

第1表

| 速 度 RPM | | 磁極數 |
|---------|-------|-----|
| 50~ | 60~ | |
| 1,000 | 1,200 | 6 |
| 750 | 900 | 8 |
| 600 | 720 | 10 |
| 500 | 600 | 12 |
| ※ 428.5 | 514 | 14 |
| 375 | 450 | 16 |
| ※ 333 | 400 | 18 |
| 300 | 360 | 20 |
| 250 | 300 | 24 |
| ※ 214 | 257 | 28 |
| 187.5 | 225 | 32 |
| ※ 167 | 200 | 36 |
| 150 | 180 | 40 |
| 125 | 150 | 48 |
| ※ 107 | 128.5 | 56 |
| 93.8 | 112.5 | 64 |
| ※ 83.3 | 100 | 72 |
| 75 | 90 | 80 |
| ※ 68.2 | 82 | 88 |

(※印은 可能限 避할것)

하여, 20~70, Francis 수차에 대하여 80~400, 그리고 Kaplan 수차에 대하여서는 26~300) 다음에는 (1)식에 의하여 그 사용속도를 계산하여도 좋으나, 第2圖에 의하여 判斷하는 것이 簡便하다. 이 수차의 속도는 또 사용되는 發電機의 磁極數와 周波數에 따라 最終決定이 내려진다. (第1表參照)

水車 Runner의 크기는 下記式으로서 定해진다. 이 式에서 最高能率을 얻을 수 있는 K의 값은 普通 Pelton 수차에서 0.42~0.47 Francis 수차에서는 0.55~0.9 Kaplan 수차에서는 1.50~3.00이다.

$$U = K \sqrt{2gH} \dots\dots\dots (2)$$

$$D = \frac{60 k_1 \sqrt{2gH}}{\pi n} = \frac{84.577 k_1 \sqrt{H}}{n} \dots\dots\dots (3)$$

- 여기서 U: runner 周邊速度 m/s
 D: runner 入口直徑 m
 H: 有效落差 m
 n: 定格速度 rpm
 g: 地球加速度 9.8 m/s²
 K: 周速係數

D는, Francis 수차에서는 runner 入口中央部の 直徑, pelton 수차에서는 runner 節圓의 直徑을 採擇한다.

水車軸크기를 決定하는데는 下記 公式이 使用된다.

(가) 傳動軸은 振力(Torque)外에 彎曲力도 받지만 普通은 振力만 받은 것으로서 좀 餘裕 있게 設計한다. N을 傳動馬力數, n을 1分間의 回轉數라하면, 強度面으로본 軸의 直徑(d)은

$$d = \sqrt{\frac{365,000}{f_s} \times \frac{N}{n}} = k \sqrt{\frac{N}{n}} \text{ cm}$$

이다.

k는 剪斷內力 f_s에 따라 아래와 같이 變化한다.

| | | | | | |
|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| f _s | 130 | 210 | 270 | 360 | 500 |
| k | 14 | 12 | 11 | 10 | 9 |

(나) 傳導軸은 適當한 強度를 가지는 同時에 適當한 剛度를 가져야 된다. 普通軸의 길이 1米에 대하여 0.25度の 振度를 採擇한다. 軸材料의 橫彈性係數를 80,000 kg/cm²의 鍛鋼이 라하면 軸直徑 (d₂)는

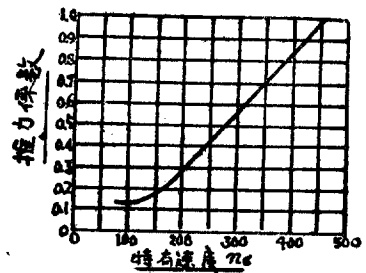
$$d_2 = 12 \sqrt[4]{\frac{N}{n}} \text{ cm로 表示할 수 있다.}$$

即 傳導軸의 設計에 있어서는 上記 (가) (나)의 두 條件을 다 滿足하여야 된다.

水車 thrust bearing 에 및 이는 推力;
 水車 thrust bearing 에는 水車 runner 에 水壓이 加해짐으로 因하여 軸方向으로 推力이 發生하는데 이 크기는 다음式에 의하여 決定되고 따라서 thrust bearing 는 이 推力에 對하여 견디어야 한다.

$$T = \frac{k\pi D^2 H}{40}$$

- 여기서 T: 推力 kgr
 K: 推力係數 第3圖參照
 D: runner 入口의 直徑 cm
 H: 落差 m



제 3 도

吸出管(Draft tube)
 Pelton 수차에서는 Nozzle의 先端부터 放水面까지의 높이차는 損失落差가 되나, 그 落差가 높음으로 因하여 이 程度의 落差의 損失은 別問題가 안되나, Francis 또는 Kaplan 수차에서는 Runner의 出口부터, 放水面까지의 높이를 有効하게 利用한다는 것은 極히 重要하다. 따라서 Runner의 出口에 吸出管을 施設하고, 水車出口부터 放水面까지 連結한다.

이 吸出管의 利用水頭는 理論面으로 보아서는 最高大氣壓에 該當하는 것이나, 標高, 損失水頭 및 Cavitation等 關係로 實地利用할 수 있는 吸出高는 8m가 限度이다.

發電機:—
 普通發電所에서는 同期發電機를 使用하며 그 回轉數는 同期速度 즉 $n = \frac{120f}{p}$ 에 固定되어 있는 것이다. 따라서 一定한 水車回轉速度를 維持하기 爲하여, 水車附帶施設로서 複雜하고, 精密한 調速機가 必要한데, 最近 外國에 있는 小水力

發電所에서는 非同期誘導發電機를 使用하고 있어, 調速機 및 勵磁機가 必要없다. 그러나 이發電機는 既設의 큰 電力系統하고, 並行運轉을 하여야 된다. 이發電機의 構造는 多相誘導電動機와 같으며, 즉 固定子를 交流電源에 接續하고 그 回轉子를 同期速度以上으로 回轉하는 것이며 Slip는 負가 되고, 回轉子捲線은 誘導電動機의 境遇와는 反對方向으로 界磁束을 끊고, 그 誘起電壓 및 電流의 方向이 界磁束에 對하여 反對가 되고, 二次電流에 依한 回轉力의 方向이 回轉子의 回轉方向과 相反하는 現象임으로 他原動機로부터의 機械的入力은 電氣的 出力으로 變하여 固定子에서 나오게 된다. 回轉子는 籠形이나, 捲線型이나 關係 없다. 또 同期發電機와 如히 勵磁에 直流을 使用하지 않음으로 勵磁機가 必要없어 機械的으로나, 電氣的으로나 大端히 簡便하여진다.

以上 大體로 水力發電所에 使用되는 主要施設 및 機器에 對하여 說明하였으며, 此外 여러가지 必要한 事項이 있으나, 이것은 單 機會에 밀고, 다음에는 佛蘭西에서 使用하고 있는 小水力發電所(micro centrale)에 對하여 言及하고자 한다. 本文을 起草할 始初에는 出力千kw 前後의 Pelton 水車 또는 Francis 水車を 使用한 發電所地點을 選擇하여, 大略上記한 設計方法에 따라, 計算을 하여, 本文에 表示할 意慾을 가졌으나, 時間的 餘裕가 없어 省略한다.

低落差小水力發電所

從來에 있어 落差가 15米以下의 水力地點은 그 機器가 大形이고, 土木工事費가 比較的 많아

지는 關係로 經濟的 打算이 맞이 않아 等閑視되어 왔으나 新型的 tubuler型 水力機器의 發達로 因하여 經濟的으로 開發이 可能하게 되었다. 이發電機方式은 西歐에서 發達하여온것이며, 1936年에 最初의 것이 製作되고, 그 後 많은 研究가 있어 長足の 進歩 하였다.

低落差地點에는 Kaplan 水車が 適當하며 普通 建物面積을 縮少하기 爲하여 堅軸이 採用되어 왔으나, 落差가 낮아질에 따라 流速을 작게 잡아야 되는 關係로 機器가 커지고 그 建物도 큰 것이 必要하였다.

그리고 流路 Spiral casing 水車 및 吸出管 등에서 發生한 損失이 有效落差에 對하여 그 比重이 커짐으로 이 損失을 輕減하기 爲하여, 물을 軸方向에 따라 흐르게 하는 水車が 考案되었다. 이것은 流路의 模樣이 簡單하고, 損失도 작아졌다. 그리고 그 能率을 一層 올리기 爲하여 發電機를 防水覆中에 넣어 水中에 施設하여 吸出管의 屈曲部가 없도록 하였다.

以上이 tubuler 水車發電機의 發達經緯인데, 그 長點을 一括하면 如下하다.

- 1) 水車入口부터 吸出管出口까지의 流路에 있어 急한 屈曲部가 없는 關係로 그 損失이 작고 効率이 좋다.
- 2) 建物面積을 縮少할 수 있다. 境遇에 따라서는 建物を 省略할 수도 있어 建設費가 작다.
- 3) 建物 또는 機器全體가 水中에 浸水되어도 支障이 없음으로 大量의 물을 排水할 수 있다.
- 4) 組立時間이 大端이 짧다, 小容量의 것은 工場에서 組立한채 現場으로 輸送할 수 있다.
- 5) 水車位置가 낮아 Copitation의 念慮가 없다.

第二表

| 國名 | 發電所名 | 河川名 | 水車要項 | | | | | 建設年度 | 製作者 | |
|--------|------------------|----------|------|--------|----------------------|-------|---------|---------|-----------|---------------------|
| | | | 臺數 | 落差 (m) | 流量 m ³ /s | 出力 kw | 回轉數 rpm | | | 增速比 |
| France | Marcillac | | 5 | 2.07 | 4.8 | 5×107 | 254 | R=0.825 | 2,000,000 | Neyrpic |
| " | La Caillade | | 4 | 2.80 | 5.0 | 4×155 | 257 | R=0.82 | 1,800,000 | 1957-7-2 Neyrpic |
| " | Malet | La Balsa | 1 | 2.11 | 6.2 | 57 | 750 | 0.57 | 302,000 | 1954-12 Neyrpic |
| " | La Maignan-nerie | 同左 | 2 | 1.95 | 4.5 | 54 | 225 | 0.82 | 2×348,000 | 1954-4- Neyrpic |
| " | Rethel | L'aigne | 2 | 2.80 | 9.0 | 2×200 | 180 | | 2,000,000 | 1956 |
| Poland | Rostin | Persante | 2 | 3.75 | 6.3 | 200 | 258 | 1 | 1935~1936 | EW |

| | | | | | | | | | | |
|--------|-------------------|-----------------|-----|-----------|--------------|-------------------|----------------|------|-----------|--------------------|
| Deutch | Iller | Iller | 4×4 | 8.07~9.2 | 25 | 1,490 | 2143.~250 | 1 | 1937~1951 | " |
| " | Lech | Lech | 6×9 | 8.25 | 20 | 1,160 | 214.3 | 1 | 1941~1950 | " |
| 오수트리 | Saalach | Saalach | 3 | 8.45 | 2×20 1×15 | 2×1350 1×1,000 | 214.3 | 1 | 1940~1951 | " |
| France | Castet | Oosau | 2 | 7.50 | 12.5 | 820 | 254 | 1 | 1953 | Neyrpic |
| Deutch | Ooberghau- oen | Agger | 1 | 7.25 | 6.5 | 400 | 312 | 3.25 | 1956 | EW |
| " | Bürgleu | Thur | 1 | 2.71~3.06 | 6.0 | 368~441 | 113 | 8.86 | 1956 | " |
| France | Cambeyrac | Truyere | 1 | 10.75 | | 9,400 | | | 1956 | Neyrpic |
| Deutch | Wolofeld | Nins- Mosel | 1 | 2.6 | 3.5 | 105 | 220 | 4.55 | | Maier |
| " | Trier | Mosel | 4 | 7.2~2.0 | 30~100 | | 78 | 9.6 | 1956 | EW |
| France | Argentat | Dordogne | 1 | 12~16.5 | 100 | 14,300 | 150 | 1 | 1056 | Neyrpic |
| Deutch | Sylvenstein | Isar | 1 | 12.4~40 | 5~12.5 | 2,800 | 450 | 2.22 | 1957 | JWV |
| " | Reutte | Lech | 1 | 6.07 | 24.0 | 1,210 | 165 | 6.07 | 1957 | EW |
| " | Rhumemühle | Rhume- Leine | 1 | 3.8 | 15.4 | 634 | 176 | 4.26 | 1957 | JMV |
| France | Wasrineau | | 4 | 4.5 | | 1,500 | 100 | | | Neyrpic |
| " | Lagarde | | 4 | 2.5 | | 186 | 176.5 | | | " |
| USA | | | 1 | 10.2 | | 1,800 | (4,160) 230 | | 1949 | Allis chal mers |
| | | | 1 | 6.0 | | 100 | (4,800) 514 | | | |

現在 西歐一帶에 이러한 小水力發電所가 相當히 많은데, 그 代表的 tubeler 水車使用發電所의 例를 들면 第2表와 같다,

佛蘭西에 있는 低落差小水力發電所

佛國中央地帶를 흐르는 l'isle 江에는 船運을 便利하기 爲하여 其他 河川과 같이 江에 따라 各處에 堰堤를 築造하고, 一定한 水深을 維持하고 있는데 江물은 이 堰堤를 溢流하여 無爲로 흘렀다, 溢流하는 이물을 有効하게 使用하기 爲하여 既設堰堤의 一隅에다 小水力發電所(佛語 Micro centrale)를 建設하였다. 利用할 수 있는 落差는 2.8米이고, 使用水量은 每秒 5立方米이며, 使用發電機는 誘導型이고, 그 出力은 5×107 kw 이고 年間發電量은 2,000 MWH 이며, 220 v로 發電하여, 15 kv 配電線에 送電하게 되는 것이며, 이 發電所는 全自動으로 運轉되는 無人發電所이다.

本發電所의 諸資料 그 運轉方法에 對하여 記述하고자 한다.

1. 諸資料

A. 水理

流域面積 3,455 km²

平均流下量 38 m³
 5 m³/sec/1,000 日 350 日
 10 m³/sec/1,000 日 310 日
 15 m³/sec/1,000 日 270 日
 20 m³/sec/1,000 日 230 日

B. 發電量

最高落差 2.07 m
 年間發電量 2,000 MWH
 運轉開始日 1957年7月
 Tubeler 式水中 Unit System 5臺
 配電電壓 15 kv

C. 水車

水量 4.8 m³/sec
 有効出力 107 HP
 回轉數 254 rpm
 Runner 直徑 1.12 m
 翼取材部軸直徑 0.47 m
 Runner 翼數 4
 水車重量 1,595 kgr
 取水 및 吸出管部重量 4,241 kgr
 能率 0.825
 案內 및 水車翼 固定

| | |
|------------------------------------|---------------------|
| 製作所 | Neyrpic |
| 發電機：— | |
| 型式 | NFH |
| 極數 | 24 |
| 相間電壓 | 220 v |
| 周波數 | 50 |
| 出力 | 75 kw (109 KVA) |
| 必要無效電力 | 74.5 kvar |
| 無負荷速度 | 250 rpm |
| 負荷時速度 | 254 " |
| 全出力時能率 | 0.866 |
| " p.f | 0.675 |
| 發電機外徑 | 0.875 m |
| 重量 (bearing 油不包含) | 1.580 kg |
| 軸受油 | 400 l |
| 製作所 | Alsthom |
| 土木關係：— | |
| 250 kgr/cm ² 이 concrete | 87 m ³ |
| 350 " | 286 m ³ |
| 400 " | 358 m ³ |
| 合計 | 731 m ³ |
| 型枠組 | 866 m ² |
| 特種型枠組 | 270 m ² |
| 鐵筋網面積 | 625 m ² |
| 鐵筋 | 40 tons |
| 畜運搬 | 1933 m ³ |

働作機能

各 Unit 는 그兩端이 取水口와 放水口에 連結되어 있는 Siphon 속에 設置되어 있다. (第4圖 參照) 起動時 Siphon 注水는 共用 電氣 Pump 에 依하여 實現되며 Siphon 內空氣는 電氣辨을 通하여 拔出되는 것이다.

運轉中止는 電氣辨을 通하여 Siphon 上部에 空氣를 供給함으로써 達成된다.

各機의 起動 및 運轉中止는 取水口水位에 左右된다. 이 小水力發電所는 그 動作에 있어 下記 二條件이 具備되어야 한다.

- 1) 外部送電網으로부터 無效電力을 받아야 된다.
- 2) 導水口水位가 充分히 높아야 된다.

發電機에 吸收되는 無效電力은 發電機端子에 並列로 連結된 各 80 KVA 의 靜電容量群에 依하여 補償된다.

發電機는 15 KV 配電線에 109 KVA 15,000v/127~220 V 의 變壓器를 通하여 連結된다.

起動方法

各機에 한個式 附隨되는 浮子가 導水口附近에 設置되고 이것이 遮斷器를 働作시킨다. 各機의 遮斷器는 水位標高에 따라 投入되도록 調整되어 있다. (第5圖 參照)

第一號機에 있어 浮子 10에 依하여 遮斷器가 投入되면 Relay 22 및 23의 接觸子가 閉路하고, 運轉中止用 24의 電氣辨이 空氣疎通을 막고 始動用 26 電氣辨이 空氣拔出用 pump 8를 働作시킨다. 따라서 Siphon 內部的 空氣가 稀薄하여짐에 따라 물은 올라오고 水車가 起動하게 된다. 速度가 同期에 達할 때에는, Siphon 上部에 適當한 높이에 設置한 流水點檢電極 28에 물이 接觸하여 遮斷器 29가 自動投入되고 靜電容量이 回路에 들어오게 된다. (起動後 約 75 秒補) 29의 補助接觸子가 始働用電氣辨 26의 電氣를 끊어 空氣拔出用 Pump 는 運轉中止하게 된다.

第 2, 3, 4 및 5 號機는 各自의 浮子와 連絡되는 遮斷器에 依하여 第 1 號機에서 說明한바와 如히 繼續해서 運轉에 들어가게 된다.

水位가 높을 時에 發電中止하고 即時로 起働할 때에는 5 機器의 浮子連絡遮斷器를 殆半同時에 閉路하는 時에 있는데 이러한 境遇에는 時間調整을 할 수 있는 Relay 22에 依하여 各機間 約 2 秒의 時間差를 두고 順次的으로 起動된다.

運轉中止：—

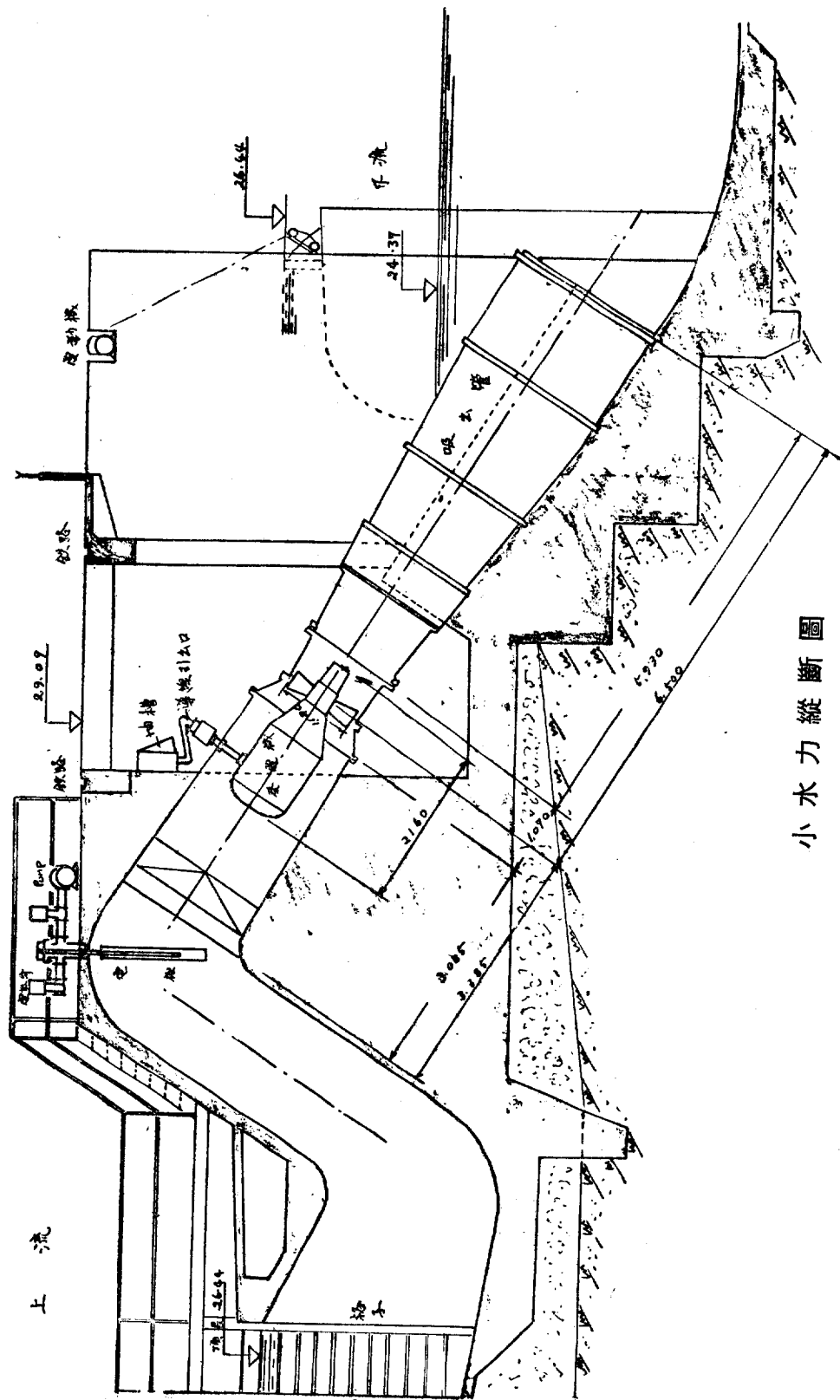
이것은 取水口水位의 低下에 依하여 惹起된다. 各機는 水位低下에 따라 順次的으로 또는 同時에 運轉中止되는데 그 順序는 浮子 10 하고 連絡된 遮斷器가 開放되면, 22 및 23 Relay 에 對한 電源이 끊기어 運轉中止用 電氣辨이 열리고, 空氣가 Siphon 속에 들어와 機器는 서게 된다.

保護裝置：—

發電機保護는 過電壓 및 低電壓에 對하여 Relay RV₃에, 速度上昇에는 RF₂ (4)에, 速度低下에는 RF₂(5) 接地에 對하여서는 BT₂(45) 및 RP₁(46)에 依하여 그 目的을 達成한다.

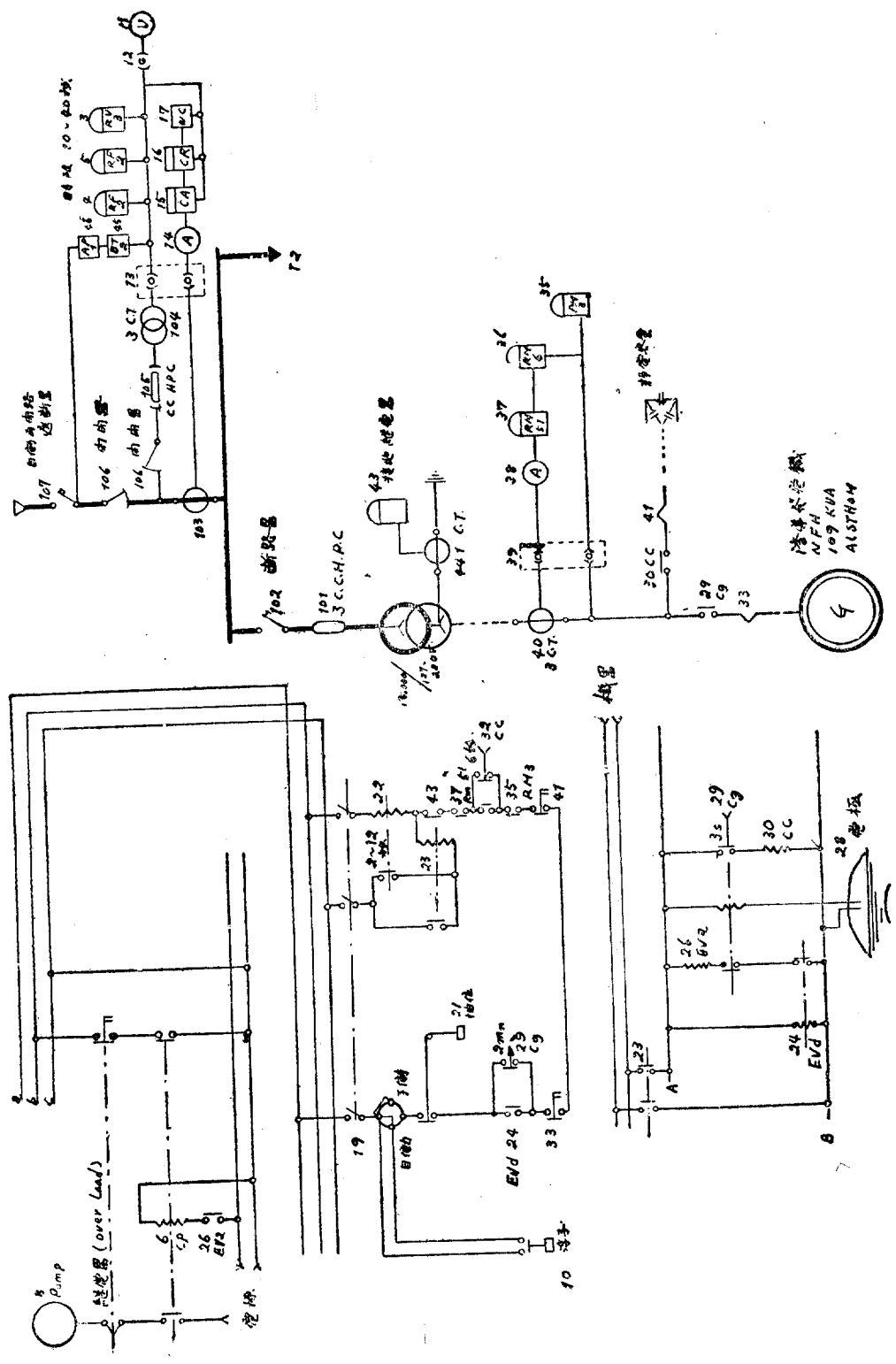
運轉中止는 Relay 22 또는 23에 對한 電源을 遮斷하면 그 目的을 達成한다.

各機에 對한 特種保護裝置는 電壓不均衡에 對하여서는 RM₃(35) 電流不均衡에 對하여서는 RM



小水力縱斷圖

第5圖 小水力發電所結線圖



51(37), 60% 程度の低負荷에 對하여서는, RM 6(36), 接地에는 43, Bearing 油位에는 21, 遮斷器 및 靜電容量에는 33 및 41 이 働作한다. 以上の Relay 가 働作하면, 22 및 23 Relay 의 電源을 遮斷하여 그 機는 運轉中止되는 것이다.

以上으로서 이 Micro Centrale 가 從前의 發電所에 比하여 機械 또는 電氣面에 있어 얼마나 簡便하게 設計되어 있는지 理解할 수 있을 것이다.

小水力發電所의 建設費

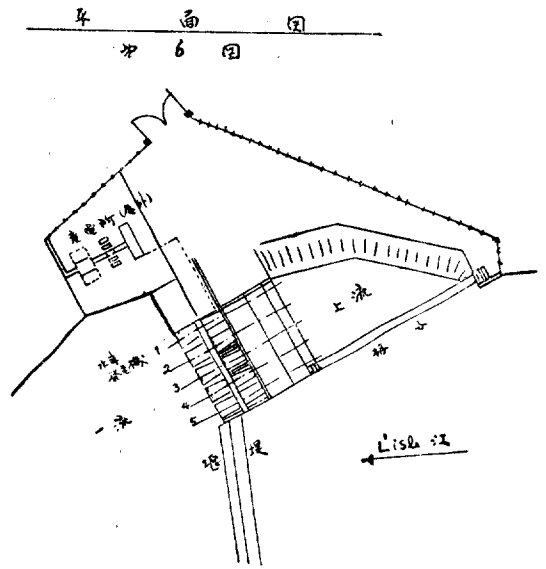
既存堰堤를 利用하여 建設되고, 그 發電機는 誘導型인 것을 例舉한다.

1) 1951 年에 美國 Wisconsin michigan 電力會社에서 完成한 落差 10.2 m, 設備量 1,200 KW 은 建設費가 KW 當 \$ 198 이며 年間 發電量은 12,797,000 KWH 였다.

2) 1952 年 上記電力會社에서 運轉하게 된 落差 6 m 設備容量 100 KW 은 建設費가 KW 當 \$ 247 弗이고 年間發電量 85,000 KWH 이다.

3) 1954 年 佛蘭西 EDF 에서 建設한 14 個所의 低落差發電所(落差 2.76~1.50 m)의 會計設備容量은 1,977 KW 인데 建設備平均은 KW 當 \$ 320 이고 年間合計發電量은 10,878,000 KWH 이다.

參考로 150,000 KW 의 設備容量을 가질 忠州 發電所의 建設費單價는 \$ 490 이고, 年間發電量은 444,000,000 KWH 이다.



結 論

以上으로서 大略小規模水力發電所設計 等に 必要한 主要項目에 對하여 論及하였다고 보며 이 方面에 從事하는 技術者에 多少라도 參考가 되기를 願하는 바이다. 遲遲不進한 우리나라 水力電源開發이 이러한 길을 밟더라도 그 命脈이 維持되어, 近世文明의 精髓라고 할 수 있는 電氣의 惠澤이 山間僻地까지 하루속히 퍼져나갈 것을 願하면서 本文을 끝마치고저 한다.

—56頁續繼—

端히 有利한 것이다.

直流送電設備의 建設費

本施設의 建設費는 總額 \$ 3.8 × 10⁶ 에 達하였다.

| | |
|-------------|--------------------------|
| 兩變電所의 電氣機器 | \$ 1.5 × 10 ⁶ |
| " " " 其他機器 | \$ 1.1 × 10 ⁶ |
| 電纜 | \$ 1.0 × 10 ⁶ |
| 歸還電流에 對한 施設 | \$ 0.1 × 10 ⁶ |
| 通信設備 | \$ 0.1 × 10 ⁶ |

假令陸地에서 130 KV 3 相 架空線을 施設한다면 그 經費는 受電裝置를 包含하여 \$ 1.6 × 10⁶

程度이며 海中에, 直流高壓의 電纜을 使用하는 것은 같은 條件下에서 \$ 2.2 × 10⁶ 가 더 든다는 結論이 나온다. 이 直流高壓의 送電設備가 設置되어 稼働된 다음에는 Golland 섬에 電氣料金は 陸地와 같은 率이 되었으며 그 結果는 KWH 當約 ϕ 2 低下되었다. 그리고 石炭輸入도 每年 4 萬屯이 減少된다는 것이다. 將次 需要增加가 繼續되면 이 施設의 增設이 必要하게 되나 이것은 미리 豫測하여 建物 및 兩變電所容量을 二倍로 設計하였으므로 第一次의 施設費에 比하여 相當히 廉價로 送電容量을 增加할 수 있을 것이다.

— 끝 —