

# 揚水發電所의 必要性和 高落差, 大量容 펌프·水車의 動向

李 用 植

〈韓國電力(株)第一建設部 機械課長〉

## 1. 概 要

最近 電力需要의 增大와 石油危機에 따라 火力發電所의 燃料 cost의 上昇때문에 先進國에서는 大容量의 原子力發電所의 建設이 增大되고 있으며, 原子力發電의 負荷調節의 亂點 때문에 剩餘發力의 發生이 예상 되는바 이들 剩餘電力의 消化와 發電所의 效率向上, 尖頭電力의 供給上 負荷變動에 對한 速應性이 가장 優秀한 揚水發電所의 考慮는 불가피 하게된다.

揚水發電은 電力의 消費가 가장적은 深夜에 剩餘電力을 動力으로 利用하여 pump로 下部 貯水池에 貯溜 되어 있는 물을 比較의 높은 곳에 자리잡은 上部 貯水池에 揚水한 다음 晝間 또는 夜間의 尖頭負荷時(peak time)나 系統事故때 이 물을 다시 下部 貯水池에 放流하면서 發電하는 尖頭負荷 擔當 發電方式이다. 따라서 揚水發電은 peak 電力 供給뿐 아니라 深夜의 값싼 電力을 消化 시키기 때문에 大容量 基底發電所(火力 및 原子力)의 利用率을 向上 시켜주는 두가지 功을 하게된다.

## 2. 揚水發電所의 種類

揚水發電所에는 水車·發電機와 펌프·電動機를 全部 別個로 設置 하는 別置式, 發電機와 電動機를 겸용하여, 橫軸인 경우 發電 電動機의 兩

側에 水車와 pump, 立軸인 경우는 同軸上의 上部에 發電電動機, 下部에 水車와 pump의 순서로 設置하는 tandem式과, 發電電動機 뿐 아니라 水車 pump도 겸용하여 發電電動機와 水車 pump를 設置하는 pump 水車式의 3方式이 있다.

Tandem 式은 pump 와 水車を 單獨으로 設計가 可能하므로 性能은 最高 良好하며, 負荷調整이 容易하고, 始動停止 및 切換時間이 짧고, 多段式으로 容易하게 揚程을 높일수 있는 利點이 있지만, 機械價格 및 發電所建物の 建設費가 높다.

可逆式 pump 水車式은 機械의 價格面에서는 tandem式에 比해 저렴하지만, 同一 runner로 써 水車 및 pump의 性能을 滿足시키는 設計上의 困難이 있어, 效率는 약간 떨어져지고 振動이 많은 결점외에 單段式의 경우 最高揚程은 700m 程度이다.

## 3. Pump 水車의 種類

Pump 水車는, 反動水車を 逆轉시켜 pump로 使用하는 形式으로서, 構造는 水車와 거의 同一 하지만, pump 特性和 水車特성을 滿足시킬 必要가 있다. 各種 pump 水車 runner의 形式은 다음과 같다.

### 가. Francis Type

Francis 水車와 centrifugal pump에 相當하  
大韓機械學會誌/Vol. 20, No. 3, 1980/201

## □ 解 說

는 것으로 Francis 형 pump 水車가 있다. Francis 水車와 pump 水車의 다른점은 pump의 성능을考慮해야 하기 때문에 runner 直徑은 Francis runner 直徑보다도 30~40% 程度 커지며, 또한 runner blade 數를 6~8枚로 하는 경우가 많다.

### 나. Propeller Type

圓筒形 propeller 水車와 軸流形 pump에 相當하는 것으로 圓筒 propeller pump 水車가 있다. 이것은 또한 圓筒 pump 水車라고도 불려지며 固定羽根과 可動羽根이 있다.

### 다. 斜流形

斜流水車와 斜流 pump에 相當하는 것으로 斜流形 pump 水車(Deriaz pump-turbine)가 있다.

斜流形 水車の 長點은

- ① Runner vane 이 可動(movable) 할 수 있어 效率이 높다.
- ② 揚水量을 調整 할 수 있다.
- ③ 起動時 runner vane 을 全閉시키기 때문에 water depressing 장치가 없다.
- ④ 절체時間이 짧다.

短點은

- ① 構造가 複雜해서 保守, 設置에 注意를 要한다.
- ② 두구속 速度가 높아 thrust가 크므로 回轉數가 같을경우 發電機重量이 增大된다.

## 4. 特 性

揚水發電所는 起動停止가 容易하여 負荷變動에 即應 할 수 있다. 즉, 停止부터 全負荷까지의 運轉時間은 peak 전용화력이 30分, gas turbine 發電所가 20分인데 반하여 揚水發電所는 불과 70~90秒이다.

揚水發電所가 peak 供給力으로서 갖는 特性을 要約하면 다음과 같다.

- ① 負荷變動의 追從性이 優秀
- ② 基底火力의 熱效率向上
- ③ 火力의 起動 停止時의 損失절감
- ④ 豫備力の 運轉경비절감

揚水發電所는 固定費가 저렴하여야 하므로, 上下貯水池中 1개 또는 全部를 天然기설 貯水池를 利用하는 것이 有利하다.

## 5. 必 要 性

基底負荷用 大單位 發電所의 建設에 對해 peak 需要를 어떻게 供給할 것인가에 對한 解決策으로 대두된 것이 揚水發電所이다. 大容量인 火力發電所는 高壓再熱式으로서 起動停止가 容易하지 않고 또 급격한 負荷變動에 對해 速應하지 못하고, 原子力發電所는 負荷調節의 亂點때문에 非尖頭負荷時는 剩餘電力이 發生한다.

여기서, 負荷變動의 速應할 수 있고 剩餘電力을 消化할 수 있는 peak 負荷 分擔發電所의 建設이 必要하게 된다.

여기서, 揚水發電所는 非 peak 時의 剩餘電力을 揚水動力 資源으로 利用하여 夜間負荷를 上昇시키므로 火力發電所의 熱損失을 減少시키고 運轉費用을 절감한다.

Peak 供給源으로 使用하고 있는것은 다음과 같은 것이 있다.

- ① Gas turbine plant
- ② Diesel engine plant

이 중 gas turbine 發電所는 그 單位容量(10~50Mw) 이 작아서 系統의 peak 供給力으로는 不適當하다.

또한 diesel engine 발전소도 最大規模가 5~6 Mw 程度로 작아서 非常用 豫備電源으로는 使用이 可能하나 큰 系統의 peak 供給力으로는 期待하기 困難하다. 따라서 揚水發電所가 特性面에서 가장 有利하다는 것을 알 수 있다.

## 6. 高落差, 大容量 pump 水車の 動向

Peak 負荷時의 電力供給과 豫備力 確保때문에

建設되는 揚水發電所는 經濟的인 見地에서 점점 高落差化, 大容量化하는 傾向이 있다.

一般的으로 高落差 大容量 pump 水車는 높은 水壓 및 高速度에 依한 靜的應力이 높을뿐 아니라 運轉狀態의 빈번한 變化나 높은 水壓 脈動에 依해서 일어나는 교번應力도 높아 强度的으로 加혹한 영향이 미친다.

한편, 構造의 强度的 要求 때문에 runner, guide vane, stay vane 等の 두께를 두껍게 하면 水力損失에 依해 効率의 底下, 振動, 騒音의 發生 및 cavitation이 發生한다.

이의 構造强度和, 水力性能의 二律背反的인 要求를 잘 調和하여 高性能, 信賴性이 높은 高落差 pump 水車を 開發하는 것은 從來의 模型 試驗을 中心으로 하는 것으로는 거의 不可能하다.

그래서 數年前부터 有限要素法에 依한 靜的 및 動的 強度計算의 技術確立과 흐름의 解析 (flow analysis)과 水力設計에 對하여 電算技術이 開發되었고, 製造技術의 向上과 더불어 高落差 大容量 pump 水車が 開發되고 있다.

### 가. Runner

大形 runner의 製作은 鑄鋼素材의 製造能力 輸送의 限界 때문에 runner의 分割이 問題되고 있지만 最近에는 現地에서 溶接組立하여 設置되는 경우도 있다. runner는 溶接性이 優秀하고 cavitation을 防止하기 爲하여 Cr-Xi stainless 鑄鋼製가 使用된다.

Runner vane 加工의 特徵은 runner vane의 曲面의 形狀, 寸法의 加工精度를 向上 시키기 爲해 電子計算機를 利用하여 曲面을 加工한다.

### 나. Spiral casing과 stay ring.

水車 casing을 分割 輸送하고, 現地溶接에 依하여 組立하는 것은 輸送과 handling의 問題를 解決하고 重量輕減도 되어 一般化 되고 있다.

最近 점점 增大되는 大容量 水車에는 60 kg/mm<sup>2</sup>의 高張力 鋼板이 考慮되고 있지만 高

落差 大容量 pump 水車 및 大容量化 水車는 80 kg/mm<sup>2</sup>의 高張力 鋼板을 使用, 鋼板의 두께를 작게하여 重量輕減과 現地溶接作業量을 축소 시키고 있다.

### 다. Guide vane.

Guide vane은 runner의 材質과 같이 高Ni-Cr stainless 鑄鋼製가 使用되며 運轉條件에 對하여 水力性能, 應力解析, 疲勞強度의 檢討를 行하여 最適形狀이 採用된다.

### 라. Magnetic thrust bearing

Magnetic thrust bearing을 thrust bearing과 함께 rotating parts를 지지하고 있으며 이는 thrust load를 減少시키기 爲함이다.

Rotating parts 荷重의 大部分을 magnetic thrust bearing이 지지하므로 thrust bearing이 받는 荷重은 현저히 減少된다.

즉, Magnetic thrust bearing을 動作 시키기 爲하여 소모되는 勵磁電流 보다도 더 많은 電力을 얻을 수 있다.

同時에, 効率增大와 bearing 溫度上昇을 減少시키며, 揚水 mode 或은 發電 mode의 起動時 현저한 starting torqus를 減少시킨다.

Rotating speed 360 rpm, mechanical thrust bearing 荷重이 260~760 Tons일 경우 magnetic thrust bearing 效果는 아래와 같다.

|   | Without Magnetic thrust Bearing | With Magnetic thrust Bearing | Effect by Magnetic thrust Bearing |
|---|---------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| Thrust load(Ton)                            | 760                             | 260                          |                                   |
| Max. Metal temp. (°C)                       | 75.5                            | 60.5                         | -15°C                             |
| Max. Oil film temp. (°C)                    | 76.5                            | 61                           | -15.5°C                           |
| Max. Oil film pressure (kg/m <sup>2</sup> ) | 91                              | 22                           | -69 kg/m <sup>2</sup>             |
| Min. Oil film thick. (μ)                    | 80                              | 195                          | +115μ                             |
| Thrust Bearing loss (kw)                    | 1,438                           | 1,104                        | -334kw                            |
| Magnetic thrust bearing                     | 0                               | 11                           | +11kw                             |