

揚水發電小考

金榮昌*

— 차 례 —

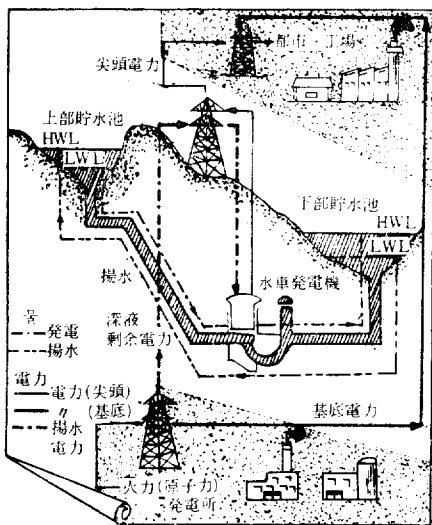
1. 揚水發電의 概念
2. 揚水發電所의 歷史
3. 揚水發電所의 分類
4. 揚水發電所의 計劃
5. 揚水發電所의 運轉
6. 揚水發電所開發의 問題點
7. 우리나라의 揚水發電推進現況
8. 結 言

電力需要의 持續的인 成長과 大容量火力 및 原子力發電을 主軸으로 한 電源構成의 變貌에 對備하여 經濟的이고 安定된 系統運用을 圖謀하려면 尖頭負荷 및 周波數調整電源으로서의 揚水發電은 必然的인 것으로 되고 있다. 이 發電方式은 이미 外國에서는 尙당 범위가 實用化되어 運用되고 있고 우리나라에서도 現 電源開發 計劃에 依하면, 1978년에 400MW의 淸平 揚水, 1979년에 300MW의 三浪津 揚水 發電所 建設을 計劃하고 있으므로 새로운 技術導入이란 點에서 이機會에 本發電方式의 概念 및 一般事項에 對하여 簡單히 記述코자 한다.

1. 揚水發電의 概念

揚水發電이란 물을利用하고 貯水池를 必要로 한다는 點에서는 一般 水力發電과 비슷하다. 그러나 運用方式 및 特性이 水力과 相異하여 貯水池가 上部, 下部 2個이

그림 1 揚水發電 概念圖



야하며 一定量의 물을두貯水池 사이에往復 시키면서 電力을 發生하기도 하고 消費하기도 한다. (그림 1 참조) 그림 2를 어떤 系統의 日間負荷曲線이라하면 深夜와 尖頭사이에는 負荷의 差異가 甚함을 알 수 있다. 한편 이 負荷의 時間的 變化는 電力會社의 立場으로는 加급적 적어서 時間的 變動에 關係없이 一定한 狀態를 維持해 주는 것이 바람직하나 社會活動構造上 이러한 變動은 불가피한 것이다. 따라서 深夜에는 일부 發電設備을 減發하거나 停止해야 하기 때문에 利用率低下로 因한發電所效率의 低下를 招來하므로 短時間 持續되는 尖頭電力의 供給에 알맞은 特定한 電源設備을 갖춰야 한다. 揚水發電은 이러한 需要의 不均衡을 어느정도 平準化시키는데 寄與하고 있다. 즉 그림 2의 斜線으로 表示된 部分과 같이 深夜에는 剩餘電力을 揚水動力으로 使用하여 下部貯水池의 물을 上部貯水池로 揚水함으로써 深夜의 需要를 높여주게 되며 尖頭時間에는 上部貯水池의 물을 放流하면서 尖頭電力을 供給하므로써 全體設備(基底火力)의 利用率을 높인다는 利點을 지니고 있다. 換言하면 利用價値가 낮은 電氣를 利用價値가 높은 電氣로 바꾸어 주고 또 한편으로는 電氣를 必要時에 쓸수있게 저장하는 蓄電池(Storage Battery)

라고도 할 수 있다.

여기서 特記해야 할 것은 揚水發電所는 자체 發電量의 약 1.5배에 該當하는 揚水動力을 消費해야 하므로, 所要動力을 效率이 40% 정도인 大容量 新銳 火力發電所로 부터 受電한다 하더라도 揚水發電所의 效率이 前述

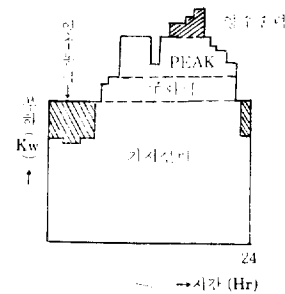


그림 2. 일일부하곡선

*正會員·韓電企劃管理部 電源開發課勤務

한 바와 같이 약 70%(1/1.5)이므로 綜合效率은 대략 28%정도에 불과하여 結果的으로는 低效率火力發電所의 效果와 비슷하다는 것이다. 그러나 深夜電力을 尖頭電力으로 變換시키는 時間的 相對價値는 他尖頭發電方式(水力, Gas Turbine, Peak火力等)의 投資代替效果와 相殺되어야 하므로 揚水發電의 妥當性은 立地나 設備의 技術性에 앞서 우선 電力系統全般에 걸친 綜合經濟性에 根據하게 되는 것이다.

2. 揚水發電所의 歷史

揚水發電이 最初로 運轉된 것은 1892년에 完成된 Swiss의 Lettern發電所이다. 이때는 水車—發電機와 pump—電動機를 別途로 設置한 別置形이었으므로 지금 一般的으로 採擇되고 있는 可逆펌프—터빈 型式과 견주어 볼 때 그간 相當한 技術開發이 이루어졌음을 알 수 있다. 그후 1910년에는 Italy의 Vibon發電所가 建設되어 發電機와 電動機를 共用으로하는 發電方式이 採擇되었으며 1930년에 들어서서는 可逆式 pump—水車가 開發되어 1931年 Italy의 Lago Baiton과 獨逸의 Balden發電所에 이를 使用하기에 이르렀다. 揚水發電所의 經濟性이 顯著하게 向上된 것은 이 可逆式 Pump水車가 實用化되고서 부터이다. 이후 美國에서는 效率이 改善된 pump-turbine이 開發되어 이를 Brazil의 Pedreira, 美國의 Flaiton과 Hiwassee發電所에 採用了다. 한편 容量의 推移를 살펴보면 開發初期에는 10,000 kW 정도의 소규모의 것이었으나 그후 1963년에 完成된 美國의 Taum Sauk發電所에서 175,000kW의 單位機를 帑함을 비롯해서 開發容量도 大型化 되어 가고 있다.

(淸平揚水發電所計劃 : 容量 200,000kW×2臺, 總落差 478m)

3. 揚水發電所의 分類

(a) 自流併用揚水發電所

上部貯水池에 自然流水가 있는것을 말하며 發電에 使用하는 물은 下部貯水池에서 揚水한것과 自流를 합쳐서 利用한다.

(1) 季節揚水型……上部貯水池를 天然湖水 또는 大容量的 貯水池인 地點에 採擇할 수 있는 方式으로 渴水期에 對備 自流以外에 下部貯水池로부터 揚水에 依해서 貯水量을 增加시키는 方式인데 火力比率이 적은 Swiss, Austria等에 많다. 또한 一連의 下流發電所의 出力增加를 期待할 수 있는 경우에는 特別히 有利하다. 또 日間, 週間的 揚水 Cycle을 重疊하여 併用하는 것도 可能하다.

(2) 日間揚水型……어떤 發電所가 系統에서 要求하

는 Peak繼續時間에 對하여 自流만으로 應할 수 없는 경우에는 揚水施設을 設置하여 Off-Peak時에 不足分을 揚水하여 所要 Peak出力을 確保하려는 方式이다.

(b) 純揚水式發電所

上部貯水池에 自流가 전혀 없고 發電에 使用하는 물은 모두 揚水에 依해서 얻는 方式이다.

(1) 季節揚水型……上部貯水池의 天然湖水를 利用하여 豐水期에 揚水하여 渴水期에 補給用으로 利用하는 方式이며 純揚水式으로는 드물지만 一連의 下流發電所가 있는 경우에는 有利하다.

(2) 日間揚水型……純揚水式의 大部分은 이 方式으로서 獨逸 英國 등 火力比率이 높은나라에서 深夜 또는 週末의 剩餘電力을 價値가 높은 平日의 Peak時에 尖頭電力으로 利用하기 위한 方法이다. 系統의 火力構成比率이 높아짐에 따라 이 方式의 採用이 많아져 가고 있으며 性格上 大容量的 發電所가 많다. 이 方式은 貯水容量을 적게 할 수 있으므로 地點選定에 自由度가 많으며 따라서 揚水發電所가 지녀야할 低廉한 建設費로써 그 妥當性을 살릴수 있으며 送電經費도 節減할수 있게 되어 經濟性面에서 有利하다고 알려져 있다.

(c) 海水揚水發電所

海岸附近에 標高가 높은 上部貯水池를 設置할 수 있는 地形이 있으면 下部貯水池로써 바다를 利用하는 方式으로서 海水에 依한 機器의 腐蝕, 上部貯水池에서의 海水의 浸透에 依한 障害가 解決될 수 있다면 有利한 發電方式이 될 수 있다.

4. 揚水發電所의 計劃

一般水力에서 考慮되는 것 외에 다음과 같은 點에 留意하여 計劃한다.

(a) 地點……各己의 流域面積에 關係없이 上部貯水池와 下部貯水池가 가깝을수록, 또한 그 落差가 큰 地點일수록 有利하다. 水路損失은 二重으로 되기 때문에 水路가 짧은 것이 要求된다. 揚水發電所는 短時間의 Peak供給을이기 때문에 特別히 kW當 建設費가 低廉한 것이 第一의 조건이 된다. 揚水用 動力의 受電을 考慮해서 送電損失面에서 需要地에서 가까운 것이 좋으나 原子力發電所 近處의 地點을 求하는 것도 系統運用上 有利한 點이 많다. 貯水池의 容量은 日間揚水型의 경우라도 週間運用을 考慮해서 5~7時間의 Peak Load繼續運轉이 充分하도록 한다. 더욱이 運轉豫備力으로서의 價値를 重視할 경우는 보다 大容量으로 하는 경우가 있다. 季節揚水型의 경우는 流域變更의 可能性을 考慮하고 既設 貯水池나 調整池式 發電所를 組合해서 下流發電所의 出力增加, 日間 揚水 Cycle의 併用등을

검토해서 地點을 選定한다.

(b) 經濟性

揚水發電은 個別地點 評價에 앞서 電力 系統에서 抱容할 수 있는 妥當容量의 테두리가 정해진다.

一般的으로 投入比率을 決定하는 主要 要素로는 需要特性(크기 및 負荷率), 發電力 構成, 燃料費 單價 및 揚水發電所 建設單價 등이 있는데 우리나라의 경우 系統需要 5,000MW時 設備容量(可能出力 基準) 6,300MW(豫備率 약25%)을 保有할 78年 경에는 대개 設備容量의 5%내지 10%線으로 算出되고 있다. 여기서는 물론 揚水發電 以外에 既存 및 計劃中의 水力, Gas Turbine, Diesel 및 老朽火力등의 一定한 發電計劃을 前提하여 檢討되었다. 이렇게 얻어진 妥當 投入比率로 주어지는 揚水發電의 所要量은 여러 計劃地點의 適定 組合으로써 充足되어야 하며 個別計劃地點은 立地條件에 따라 最大開發規模 및 工事費가 決定되며 最適投入容量의 最終評價는 水力發電 評價方左의 하나로 使用되는 B/C(Benefit to Cost Ratio)方式이 널리 採擇되고 있다. 이 方式은 經濟性 評價의 尺度로써 標準火力(例: 油全燒火力 300MW)를 取하여 이것과 個別地點을 比較하는 것이다. 즉 需要成長의 増分量을 火力으로 充足시키는 경우와 이를 水力(또는 揚水)으로 代替시킬 때를 比較하는 것으로 火力發電의 建設費節減(kW Value)과 燃料費節減(KWh Value)을 合한 火力經費의 節減值를 代替水力(또는 揚水)의 便益(Benefit)으로 하고 이를 水力自體의 費用(Cost)과 比較하는 評價法이다. 이는 個別水力(揚水) 地點의 相互優劣를 比較함과 同時에 對 標準火力의 優劣 比較에도 쓰인다.

(c) 揚水發電과 綜合效率

揚水發電의 綜合效率은 發電 電力量과 이것에 對應하는 揚水 電力量의 比로서 60~70%에 지나지 않는다 그러나 季節揚水의 경우에는 下流發電所의 發電量을 合할수 있과 때문에 特히 向上되는 수도 있다.

揚水發電의 過程別 損失內譯表

區分	設備損失(%)	區分	設備損失(%)
揚水時	變壓器 0.5	發電時	水壓管 2.0
	電動機 2.5		水車 10.0
	Pump 11.0		發電機 2.5
	水壓管 2.0		變壓器 0.5

綜合效率 約 72%(送發損失除外)

※ 損失評價順序: 揚水時變壓器→發電時變壓器

發電電動機를 使用하는 경우 發電出力과 受電電力

은 대체로 같이 取하기 때문에 다음과 같은 관계가 있다.

$$T_1/T_2 = \eta$$

여기서 T_1 : 發電時間

T_2 : 揚水時間

η : 揚水發電綜合效率

또 發電-揚水 1Cycle에 있어서의 Merit(Won)는

$$V = P \cdot T_1 \cdot (a_1 - a_2 / \eta)$$

여기서 P: 發電電力(=受電入力) (kW)

a_1 : 發電時 系統의 電力量單價 (Won/1kwh)

a_2 : 揚水時系統의 電力量單價 (Won/kwh)

(d) 揚水發電所의 機械型式

(가) 別置式 (發電機-水車, 電動機-Pump)

發電用 Unit와 揚水用 Unit를 別個로 設置하는 方式인데 初期의 揚水發電所는 이 型式이었다.

水車 및 Pump의 出力, 回轉速度를 제각기 最適值로 選擇할 수 있어서 機器效率은 좋지만 建設費가 높아진다.

(나) Tandem式(立軸型: 發電電動機-水車-Pump.

橫軸型 水車-發電電動機-Pump)

發電機와 電動機를 共用으로하고 이것과 同軸에 양쪽에 Pump와 水車を 각각 直結하는 方式이며 別置型에 비해 經濟的이다. 發電의 경우에는 Pump가 無負荷運轉이 된다. 따라서 無負荷機가 水面以下에 회전할 때 생기는 空轉損失을 輕減하기 위해 Runner에 닿는 물을 押下시키는 장치를 갖는다. 立軸의 경우 最下部에 位置하는 Pump는 發電時에는 Coupling에 依해 離脫되도록 해놓고 發電-揚水の 切換時間이 極히 짧은 것이 要求될 경우에는 運轉時 切換可能한 Hydraulic Coupling을 쓰는 경우도 있다.

水車와 Pump는 제각기 構造를 獨立해서 設計할 수 있기 때문에 機器自體의 效率은 좋지만 現在는 可逆式의 技術의 採擇이 어려운 高落差 領域일수록 經濟的으로 有利하게 된다.

(다) 可逆式(發電機·電動機-Pump-turbine)

發電電動機만 共用하는 것이 아니고 水車와 Pump도 共用하는 方式으로 揚水와 發電에는 回轉方向이 反對로 된다.

이 方式은 建設費가 가장 저렴하다. 요즘 Pump-水車의 設計技術이 發展되어 最近의 揚水 發電所는 設備의 單純化에 따른 建設費의 低下, 運轉에 對한 信賴度의 向上, 揚水-發電의 轉換의 迅速性を 圖謀하기 爲하여 大部分은 이 方式을 採擇하고 있다. Pump-turbine은 落差範圍에 따라 50~500m에는 Francis形, 20~150

m.에는 斜流形, 20m以下에는 軸流形이 利用된다.

또한 落差變動이 큰 揚水 發電所에서는 二速度方式의 採擇이 經濟性이 좋을 경우가 있다. 즉 Pump 運轉時(특히 高揚程時)에는 高回轉速度로 運轉하고, 水車 運轉時나 低揚程의 Pump運轉時에는 低速度로 運轉하면 綜合效率이 좋아진다. 그러나 發電電動機로는 二速度를 요구위한 構造는 簡單하지 않다.

5. 揚水發電所의 運轉

(1) 揚水發電所의 一般의인 特性

(가) 揚水發電所는 外見上으로는 水力發電所와 비슷하나 供給力의 觀點에서는 速應性있는 低能率 火力이라고 볼 수 있다. 揚水發電은 起動에서 全出力까지 不過 數分정도 밖에 所要되지 않고 또 負荷變動時의 出力追從性도 火力發電보다 優秀하므로 系統 運用上으로는 一般水力和 同類로 取扱되나, 揚水動力(燃料費)이 必要하다는 點에서는 火力發電所와 비슷하다.

(나) 揚水發電所는 貯水池 容量에 依해 運轉時間의 制限을 받는다.

揚水發電所의 貯水池 容量은 揚水發電의 經濟性을 크게 좌우하는 要素이므로 이에 限界가 있다. 또한 日間調整池式揚水發電所에서는 peak時에 使用할 물을 深夜에 揚水해야 하는 바, 이 揚水時間은 輕負荷時의 系統의 増分出力(火力)과의 關係때문에 通常 深夜 8時間정도에 限定되므로 發電時는 最大出力으로 5時間정도가 運轉의 限界라 볼 수 있다.

(다) 揚水發電은 一般水力和 같이 河川流量등의 制限을 받지 않으므로 運用의 自由도와 確實性이 높다.

揚水發電은 供給力이 不足될때는 揚水を 하지않고 必要時에는 다소 原價가 높은 火力의 餘力을 動力으로 利用할 수 있으므로 系統運用面에서 融通性을 크게 保有하게 된다.

(2) 電力需給 및 運用上의 特性

前述한 바와같이 揚水發電은 低效率 火力和 貯水池 水力, 兩者의 特性을 겸하고 있으나 이들에게 없는 揚水運轉이란 點을 가지고 있으며 電力需給과 系統運用面에서는 다음과 같은 役割을 한다.

(가) 運轉 豫備力에 依한 信賴度向上

揚水發電은 起動과 負荷 速應性이 빠르므로 事故 또는 負荷의 急變時에 需給均衡을 維持할 수 있으므로 運轉豫備力으로 活用된다. 예를 들면 揚水運轉時 大容量火力의 脫落으로 因한 系統動搖가 發生하면 揚水負荷遮斷에 依한 供給力 恢復으로 系統保護가 可能하며 또한 이에 發電側으로 迅速히 轉換하면 發電所 容量이 二倍에 해당하는 電力을 供給하는 結果가 된다. 또한

系統에 並入된채 電動機運轉을 하는 motoring方式을 採擇하면 瞬動豫備力으로서의 速應性과 確實性을 期待할 수 있다. 이 motoring狀態에서 全出力까지의 所要時間은 水路系에 지장이 없다면 각 2分 정도이다.

(나) 負荷追從 運轉에 依한 周波數制御

日間の 負荷上昇時에 負荷 追從用 供給力으로 使用하면 系統周波數를 規定値로 維持할 수 있다.

(다) 火力의 起動, 停止回數의 輕減 火力의 頻繁한 起動, 停止는 經濟的 損失일 뿐더러, 機器의 壽命減少 給電操作上의 煩雜等등을 隨伴하므로 起動停止가 容易한 揚水發電을 尖頭供給用으로 使用하면 火力의 起動 停止回數를 줄일 수 있다. 또한 豐水期에는 火力發電所를 最低負荷로 運轉(起動, 停止頻繁)하여야되나 揚水發電으로 이를 防止할 수 있다.

(라) 大容量 火力의 運轉效率向上

深夜의 揚水運轉은 深夜負荷를 增加시켜 주므로 大容量火力의 出力制限을 緩和시킬 수 있으며 經濟性 向上을 圖謀할 수 있다.

(마) 系統電壓을 維持하기 위한 無効電力의 供給

揚水發電은 대부분 容量이 크고 比較的 需要地에 가깝게 位置하게 된다. 따라서 揚水發電所에 依한 無効電力의 供給 및 吸收는 遠方의 水力이나 小容量의 調相設備에 比해 系統의 電壓制御面에서 아주 效果를 發揮할 수 있다.

(3) 揚水 起動方式

揚水發電所의 起動方式 選定은 機能과 經濟性에서 重要한 意味를 갖는 것이므로 各起動方式의 原理를 간단히 說明한다. 起動方式으로 採用되는 것은 다음과 같다.

- 制動卷線 起動方式 ○ 同期 起動方式
- 低周波 起動方式 ○ 直結電動機 起重方式
- Thyristor 起動方式 ○ 混合方式

(가) 制動卷線 起動方式

停止中の 發電電動機의 電機子를 直接電源에 接續하고 回轉子의 制動卷線을 利用하여 誘導電動機의 原理에 따라 自己起動하여 加速하는 方式이다.

發電電動機의 回轉速度가 同期速度에 가까와지고 Slip가 약 1%로 되었을 때 勵磁機를 勵磁하여 系統에 同期시키는 方式이다. 이 方式은 起動電流가 커서 系統에 미치는 動搖가 크다는 缺點이 있는 반면 起動用 附屬設備가 必要하지 않다는 長點이 있다.

(나) 同期 起動方式

2臺以上の Unit中 두 臺를 擇하여 其中 한대를 發電機로 運轉시켜 이와 揚水할 電動機를 停止時

에 電氣의 으로 結合하여 兩機에 適當한 勵磁電流을 흘려 發電機를 水車起動하는 方式이다. 이때 發電機는 極히 낮은 周波數의 電力을 發生하고 이것이 兩機를 結合한 電氣回路를 통해 電動機에 傳達되어 電動機와 發電機는 同期起動되어 加速된다.

이 方式으로는 水車의 Guide Vane의 開度調整에 따른 速度調整이 行해 지기 때문에 加速이 圓滑하게 되고 또 定格回轉速度에 이르렀을 때 系統에 並入한다.

電力系統에 미치는 動搖는 거의 없으나 起動用으로 利用 가능한 發電機가 있을 경우에만 可能하며 低周波域에 있어서의 保護裝置에 對한 特別한 考慮가 必要하며 起動用 發電機 및 發電電動機를 同時에 制御할 領 Control Sequence가 複雜해진다.

(다) 低周波 起動方式

이 方式은 制動捲線 方式과 同期 起動方式을 混合한 起動方式이다. 起動用 發電機를 水車에 의해 定格 回轉速度의 約 80%까지 加速하여 端子電壓이 60~70% 정도가 되도록 運轉하여 놓고 여기에 電動機를 接續한다. 電動機는 制動捲線 起動과 같은 誘導電動機의 原理로 起動하고 加速한다. 한편 發電機는 減速되고 兩機의 回轉速度가 거의 同一하게 되었을 때 電動機를 勵磁시켜 同期化시킨다. 이후는 發電機의 水車 Guide vane을 열어 兩機를 加速시킨다. 이렇게 하여 系統에 並列시킨 후 起動用 發電機는 分離된다. 이 方法은 系統에 미치는 影響은 거의 없으나 制御 Sequence가 複雜해진다.

(라) 直結 電動機 起動方式

電動機와 直結한 起動電動機에 依해 電力系統으로부터 電力을 供給받아 起動, 加速시키고 起動用 電動機의 速度制御에 따라 Speed Matching을 하여 系統에 並列하는 方法이다. 起動用 電動機로서는 捲線形 誘導電動機가 使用되고 同期速度는 主機의 定格速度보다 높게 定한다.

起動用 電動機의 速度制御는 2次回路에 設置된 液體 抵抗機로써 行하고 起動, 加速時에는 一次電流를 一定히 하는 定出力 torque制御를 하여 系統에 並列시킨다.

이 方式은 小容量으로부터 大容量까지 널리 사용할 수 있다.

(마) Thyrister 起動方式

停止中의 發電 電動機에 미리 勵磁를 시켜놓고 Converter 및 Inverter를 組合한 Thyrister變換器에 依하여 電動機의 回轉子 磁極位置에 對應한 電流를 供給해 起動하는 方式이다.

加速은 回轉子 位置 檢出器에 依한 thyrister gate

control을 하여 磁極位置에 對應한 電氣子電流를 逐次 供給하여 加速시킨다.

이 方式은 電力用 thyrister技術開發에 따라 靜止形 起動裝置라는 點에 注目을 받게 되었다.

(바) 混合方式

이 方式은 同期 起動方式 또는 低周波 起動方式과 直結電動 起動方式등의 長點을 살리기 위한 混合起動方式으로서 2臺 이상의 發電電動機를 갖는 發電所에 있어서 自己起動 可能한 發電電動機를 發電機로 해서 電動機를 起動시키고 최후에 自己스스로 起動하여 發電所 全體 主機를 起動完了시키는 方式이다.

6. 揚水發電所 開發의 問題點

(가) Dam 問題

중래 開發된 水力地點은 dam을 建設하기 알맞은 地點을 選定하여 建設하게 되나, 揚水發電의 貯水池 容量과 設備規模는 密接한 관계가 있으므로 다소 地質의 으로는 不利하더라도 經濟性이 許諾하는 한 施工하는 경우가 많으므로 dam을 支持하는 岩盤部에 對한 解析에 力點을 두어야 한다. 또한 揚水發電은 固定費가 低廉해야 하므로 concrete가 적게드는 Arch Dam, 및 現地에서 確保되는 資材 (Fill Material)로 充當하는 fill Dam등을 慎重히 考慮해야 한다.

(나) 貯水池 周邊 地勢의 安定問題

上, 下部 貯水池는 發電所容量이 크게 되면 水位變動이 심하게 되고 또한 變動範圍가 크게 되므로 이 때문에 水位低下時의 殘留水壓이 크게 되어 地勢는 安定을 잃어 崩壞될 수도 있게 된다. 이 問題는 事전에 充分히 檢討되어야 한다.

(다) 高落差 大容量 水壓鐵管 問題

落差가 400~500m, 鐵管 1개당 通水量이 150m³/sec 이상의 鐵管이면, 內壓만으로도 管 두께가 100mm 정도가 되는데, 이때 鐵管數를 늘릴 것인지 또는 內壓의 일부를 岩盤에 負擔시킬 것인지에 對한 對策을 講究하여야 한다. 前者는 工事費가 增加하고 後者는 鐵管 두께는 얇게 되는데 비해 外壓저리가 곤란하게 되어 外壓에 對한 좌굴(Buckling)問題가 있다.

(라) 大容量發電所의 問題

落差가 크게 되면 發電所를 水路의 下端(Tail Type)에 設置하는 것은 調壓水櫛의 關係 때문에 不可能하므로 할 수 없이 地下發電所(Head Type)가 된다. 이 경우 一般의 으로 接近路가 길게 되는 바, 主變壓器室도 地下로 놓이게 되어 全掘鑿量도 상당량에 달하므로 특수장비와 技術을 동원해야 하며 工事上隘路가 많게 된다

(p. 51 계속)