低落差 大容量 水力發電所에 Bulb 型 水車發電機 使用의 檢討(I)

南 廷 一*

1962年 高壓 大電力系統 國際會議에 報告된 佛蘭西人 MMM, Faral, Favez 및 Ruelle의 論文 "L'emploi des Groupes Bulbes Pour L'equipement des Grandes Centrales Hydroelectriques de Basse Chute"의 內容이다.

1. 序 論

急增하는 電力需要(KW 및 KWH)에 보다 經濟的으로 短期間內에 對備하기 爲해서는 水力發電所보다도 먼저 最新式 火力發電所의 建設이라야 하겠다. 그러나 系統需要의 形態와 크기에 對해서 耐用年限을 通한 最經濟的 開發은 火力發電所에만 依存할 수 없으며 水力發電所도 併用되어야만 低廉한 發電單價로서의 需給이 可能하다. 이때 水力의 價値가 火力과의 對比에서 생김은 勿論이다. 그러나 近年에 이르러 最新式 火力은 電力系統의 成長과 더불어 單位容量이 大型化되었을 뿐 아니라 機器의 發達로 因한 效率의 大幅向上에서 KW當 建設費 및 KWH當 發電原價가 低廉케 되어 需要의 base 部分은 異議 없이 最新式 火力으로 하여금 擔當토록 하고 比較的 短時間(約 8時間內外)의 尖頭部分은 水力 或은 老朽 火力으로 하여금 擔當케 되어 있다. 老朽 火力은 新規 火力의 開發에서 생기는 副產 施設로 볼 수 있으므로 Peak 負荷에 對한 供給電源이 不足할 때 水力으로 하여금 메꿀 것이냐 不然이면 新規 火力의 開發로서 생기는 老朽 火力으로 메꿀 것이냐 하는 問題에 歸着된다.

따라서 水力의 價値는 系統에 들어올 最新式 火力의 年間經費(固定費+可變費)와의 比較에서 생길 수 있다. 그리하여 檢討된 水力의 價値(B)가 높은 水力 地點을 于先 開發하는 것이 最經濟的 開發方式이라 믿어지는 바 그러한 檢討에서 有利하다고 判定된 水力 地點은 過히 많지 않다. 그것은 水利條件이 良好한 水力 地點 即 KW當 建設單價가 低廉할 뿐더러 보다 많은 KWH의 發生이 期待되는 水力 地點은 거의 開發되었으며 남어 있는 水力 地點은 大部分이 建設單價가 高騰함을 免치 못하고 있는 것이 現實이다. 特히 10m 內外의 低落差 水力地點은 많이 散在하나 開發價値가 認定되고 있는 地點은 稀少한 까닭에 等閑視해 왔었다. 그러나 土木 및 機械技術의 發達은 如斯한 低落差 水力地點의 經濟的 價値를 漸次로 正當化시키게 되었으며 其開發이 漸增되고 있는 現今이다.

大負荷 中心地인 서울에 가장 가까운 八堂水力地點은 在來式 kaplan 水車의 設置代身에 佛蘭西가 開拓한 Bulb 水車를 設置하므로서 그 經濟的 價値가 他水力地點보다 優位에 있음이 밝혀졌으며 本水力地點의 開發을 契機로 低落差 水力地點에 對한 開發이 高調될 것으로 보며 Bulb 型 水車發電機에 對한 技術的 諸般事項과 經濟的 價値를 紹介하여 讀者의 參考에 資하고저 한다. 後述할 本報告文은 Bulb 型 發電機를 設置한 佛國 最初의 Rance 潮力發電所 計劃과 이의 model로 計劃 되어 稼動된 Saint-Molo의 Bulb 型 發電機에서 얻은 經驗을 中心으로 檢討한 것이다.

2. Bulb 型機의 技術上의 現位置

2.1 槪念의 檢討

Bulb 型機는 水車內로 流入하는 流水가 軸方向으로 作用하며, 同流水의 中心軸은 거의 水平으로 水車 및 發電機의 軸과 一致된다. 또한 水車의 兩方에서 流入이 可能하므로써 在來式 orifice 型과 다른 槪念을 갖게 된다.

發電機는 一個의 筒(Bulb) 內에 封入되어 있으며 全機體와 同一한 回轉軸으로 回轉하고 있다. Bulb의 輪廓은 水力學的으로 檢討된 形狀을 갖고 있다. 即 數個의 받침대가 機體를 堅固히 固定시키며, Bulb 內部와 其他 部分과의 必要한 連結 및 通水에 支障이 없게끔 水管內壁에 附着되어 있다. 要略하여 말한다면 Bulb 型機의 두가지 基本 特性은 水流가 軸方向으로 作用하는 點과 發電機를 同流水內에 設置하는 點이다.

그림 1은 Bulb 型機의 構造에 對한 槪略圖이다. Bulb 型機의 電氣, 機械部分은 두가지 主要 特性에 依해 在來型機와 相異하게 된다. 即

① 無效電力 發生의 難點

② 慣性 moment의 不足

따라서 이 두 點은 發電機直徑을 縮小시키게 되는 直接 要因이 되고 있다.

* 韓國電力 企劃部 電源開發課

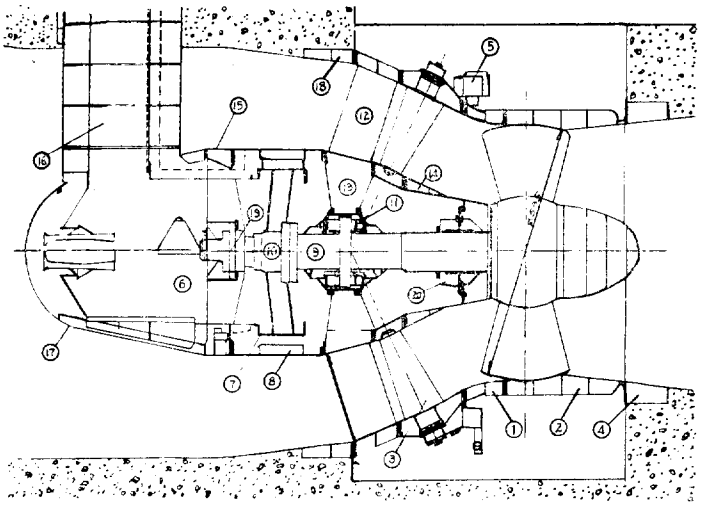

그림 1. Bulb 型水車發電機 槪略圖

① 上流側水車카바링구. ② 下流側水車카바링구. ③ 案內羽根. ④ 下流側셀링구링구.
⑤ 水口操作機具. ⑥ 스켓트. ⑦ 回轉子. ⑧ 固定子. ⑨ 水車軸. ⑩ 發電機軸.
⑪ 推力軸受. ⑫ 前案內羽根. ⑬ ⑫의 支持梁. ⑭ 圓筒카바. ⑮ 牽引링구.
⑯ 出入口. ⑰ 圓錐筒. ⑱ 上流側셀링구링구. ⑲ 發電機軸受. ⑳ 水車軸受.

幾何學的 次元의 縮小에 따르는 慣性 moment 의 値는 自然 減少될 것이며 無效電力 發生에도 多少 差異는 있으나 크게 影響을 주고 있지 않다. 이 問題에 對하여 다음 節에 詳述하고자 한다.

2. 2 無效電力 發生의 制限

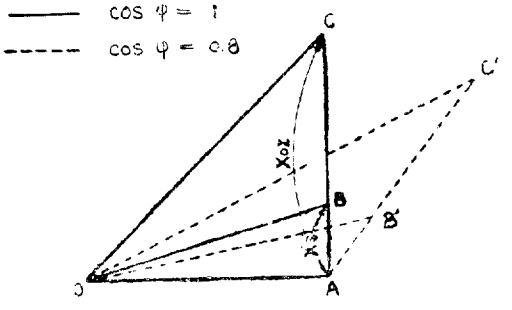

그림 2. Portier 圖(cosφ=1 과 cosφ=0.8)

어떤 一個의 發電機 固定子 및 回轉子 規格이 無效電力 發生에 미치는 影響을 考察해보기 爲해 力率이 cosφ=1에서 cosφ=0.8(그림 2 參照)로 變할 때 一定한 皮相電力(KVA)에 對해 Portier 圖(凸極型, 同期機 vector 圖參考)가 如何히 變하는가를 例로 檢討해 보기로 한다.

于先 固定子의 境遇 鐵材料 容積은 그림 2에서 vector OB(或은 OB')에 依해 表示되는 有効磁束에 比例하며 銅量은 vector AC(或은 $A'C$)에 依해 表示되는 固定子電流에 比例하기 때문에 固定子容積은 大略 다음과 같이 表示할 수 있다.

固定子 容積$\fallingdotseq k_1OB+k_2AC$

回轉子의 境遇 鐵容積은 勵磁電流 OC(或은 OC')에 比例되는 全體 磁束 即 有効磁束 OB(或은 OB')와 漏洩磁束의 和에 關係되며 銅量 亦是 OC(或은 OC')에 比例된다. 따라서 回轉子容積은 다음과 같이 表示할 수 있다.

回轉子容積$\fallingdotseq k_3(OB+k_4OC)+k_5OC$

概略的이나마 以上 두 式에서 無効電力 發生은 固定子 規格에 依한 것 보다도 回轉子規格에 훨씬 크게 關係됨을 判述하여 無効電力 發生費用에 關係되는 基準을 定할 수 있는 利點을 發見할 수 있다.

勿論 이 式은 一般 同期機에 適用될 수 있을 것이며 Bulb 型機가 在來型機와 달리하는 點을 判別하기 爲해서는 固定子 規格은 固定子 漏洩 reactance X_s 가 增加하는 만큼 影響되고, 또한 回轉子規格은 漏洩 reactance X_s 뿐만 아니라 極間 漏洩 permeance 에 比例되는 係數 k_4 의 値에 依해 더욱 複雜하게 關係되는 事實을 檢討해야 한다.

그런데 Bulb 型機의 固定子 漏洩 reactance X_s 値는 小直徑에 따르는 低周邊速度와 强制冷却方式에 依한 出力增加를 꾀하려는 點으로 말미아마 同一 回轉速度의 在來式 發電機의 漏洩 reactance 値보다 約 50~80% 나 크다.

또한 Bulb型 發電機에 있어서 係數 k_4 의 値도 在來型機의 境遇보다 크다. 實際 가장 適合한 極形狀을 決定하기 爲해서는 該當 極規格과 極間隔과의 關係를 檢討해야 한다. **그림 3** 은 極間隔이 各各 20 cm 및 80 cm인 두 境遇의 가장 適合한 極形狀을 表示하고 있다.

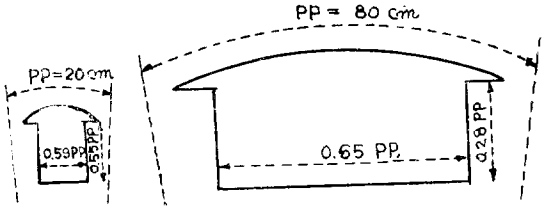

그림 3. 極間隙値(20 cm, 80 cm)에 對한 最適 極形狀

極의 높이는 極間隔에 逆比例하고 係數 k_4 를 갖는 漏洩 permeance 에 對해서도 同一한 現象을 나타내고 있다.

極間隔이 比較的 적은 Bulb 型機의 回轉子 規格은 無効電力 發生 問題로 크게 影響받게 될 것이다.

以上 말한 두가지 點에 依한 各各의 影響은 다른 面에도 미치고 있으나 여기서는 다만 Bulb 型 發電機端에서의 無効電力 發生(KVAR) 費用이 在來型機의 境遇보다 비싸게 드는 理由를 밝혀두고자 한다.

그림4 a 는 出力 20 MW~30 MW, 速度 80~100 rpm 인 Bulb 型機와 在來型機에 對해 發電機 力率 變化에 따르는 單位機當의 價格變化를 表示하고 있으며 **그림 4 b** 는 이들 두 型式 機械의 力率에 따르는 損失電力의 變化를 表示하고 있다.

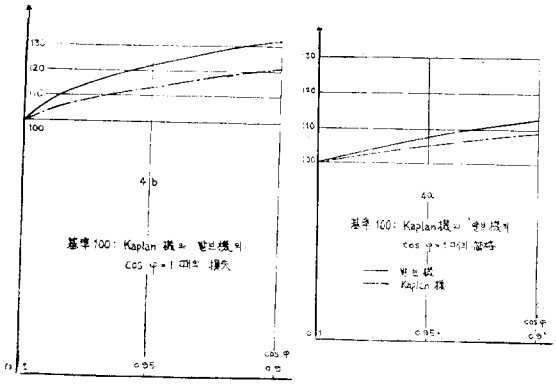

그림 4. Kaplan 機와 Bulb 機의 力率에 依한 損失 및 機械價格의 變化

2. 3 慣性 moment 의 不足

流水中에 設置될 Bulb 모양의 防水筒內에 發電機를 投入시켜야 되기 때문에 可能한 限 最小 直徑의 것이 要望된다. 또한 强制通風方式으로 KW 當 重量을 減小시킴에 따라 發電機의 慣性 moment 는 極히 弱小하게 된다.

發電機의 單位慣性定數

$$\frac{Iw^2}{\mathrm{KW}}\ (\text{秒}) \quad \left(\begin{matrix} I : \text{慣性 :moment} \\ \mathrm{KW}: \text{定格出力} \end{matrix}\right)$$

가 0.8~1.0 秒 範圍이므로 全機械의 定數는 1.5~2.0 秒 程度로 될 것이다. 따라서 이들 値를 同容量의 在來式機에서 흔히 얻어지는 5~7 秒의 單位慣性 定數値에 接近시켜야 될 것이다.

發電機의 單位慣性定數를 增加시키기 爲한 一方法으로 水車와 發電機間에 速度變成裝置의 設置를 生覺할 수 있을 것이다.

實際 檢討 結果 萬一 發電機의 過速制限裝置를 附加치 않으면 發電機는 無拘束速度狀態에 견디도록 그의 直徑을 매우 縮少시켜야 되고 그렇게 되면 單位慣性定數는 그만큼 增加되지 않게 된다. 補助裝置를 設定하지 않고서도 本來規格의 發電機에 對해 單位慣性定數를 3 秒까지 到達시키고 있다.

一面 速度變成裝置의 使用으로 設備는 複雜하게 되며 運轉中 機體의 耐久力을 減少시킬 憂慮도 있다.

2. 4 單位機 容量의 變革

電氣發生 機械材料의 變革에 따라 Bulb 型機의 單位機 容量 增加도 變遷되고 있다. 15 MVA 容量의 Bulb 型發電機가 1958 年 以後 Argentat 에서 稼動되고 있으나 20 MVA 및 35 MVA 單位機의 研究도 實際 完了되고 있으며 如斯한 容量의 單位機 設置도 그의 規格面에서나 그의 技術面에서 조금도 의람된 例가 되지 않을 것이다.

冷却 媒質로서 壓縮空氣를 使用하면 補助通風機의 動

力을 減少시킬 수 있고 따라서 實際 發電機 出力을 增加시킬 수 있다.

單位機 出力을 增加하려면 다음과 같은 點들이 問題視될 것이다.

輸送問題 : Bulb 型 發電機의 固定子는 現在까지 單一部分으로 製作되었으며 道路上으로 輸送될 수 있도록 最大 直徑이 5 m로 되어 있다. 따라서 이 規格을 超過하면 數個部分으로 나누어질 固定子의 製作問題 및 이의 輸送問題가 따르게 될 것이다.

過渡 reactance의 增加 : 이 點은 單位機 出力 增加에 있어 主要問題가 되고 있으며 單位機 出力增加는 보다 高壓의 壓縮空氣나 或은 液體를 利用하여 改善할 수 있으나 結果的으로 過渡 reactance의 値가 系統安定度에 支障을 超來할 範圍까지 到達하게 된다.

以上과 같이 여러가지 制約點을 參酌하여 單位機 容量을 20~40 MVA로 擇하고 있으며 實際는 50 MVA 容量 以上에서 問題가 惹起되고 있다.

3. 低落差 大容量發電所에 Bulb 型 水車發電機 設置의 經濟的 檢討

Propeller 및 kaplan 型 水車라 하면 軸方向 流水에 依하여 回轉하는 水車型式이라 하겠다. 따라서 Bulb 型機의 適用限界는 水車製作技術의 進步와 使用水量面을 參酌하게 되면 數 m로 부터 10餘 m에 이르는 低落差 地點으로 될 것이다. 特히 全工事費의 40~65 %나 되는 機器施設費 및 土木工事費의 節約을 가져오자면 水車機械의 槪念上의 發展은 特히 低落差의 境遇에 興味있게 되었다.

潮力發電所의 境遇 Bulb 型式의 適用 可能性은 特히 硬固한 地盤이라야만 크게 有利하게 된다. 實際 潮力을 最大로 利用하기 爲해서는 Bulb 型機는 다음의 여섯가지 技能을 가져야 한다.

① 潮池에서 바다로의 터빈 作用
② 바다에서 潮池로의 터빈 作用
③ 潮池에서 바다로의 펌푸 作用
④ 바다에서 潮池로의 펌푸 作用
⑤ 潮池에서 바다로의 自由流路形成
⑥ 바다에서 潮池로의 自由流路形成

Rance 潮力發電所의 適用例는 이 모두가 考慮되어 있으며 機械의 主要特性을 보면 다음과 같다.

水車回轉數;	93 rpm
水車直徑;	5.35 m
發電機出力;	10 MW
發電機電壓;	3.5 KV
發電機力率;	$(\cos\varphi)=1$

Bulb 機의 이와같은 水力學的 多樣性은 單一方向으로의 터빈 作用만이 豫想되는 一般的인 河川이나 江流에 設置되는 在來式 設備에는 흔히 適用되고 있지 않으며 따라서 Bulb 型機가 在來型機에 比해 經濟性面에 있어 競爭이 될 수 있는가를 檢討해야 한다.

이의 實例를 들어 다음에 그 重要 結果를 表示하고자 한다. 여기서 勿論 Bulb型機의 使用이 低落差 大容量 發電所에는 有利함을 보여 주고 있으며 한편 發電所 建物의 規格도 Bulb 型機일 境遇 在來의 竪軸機의 境遇와는 달리 많은 修正이 따르게 된다.

萬一 同一 落差의 地點에 水車 直徑이 D_1인 在來型機 N_1臺를 設置하는 境遇와 水車直徑이 D_2인 Bulb 型機 N_2臺를 設置할 수 있는 境遇를 假想한 때 發電所建物의 主要 規格은 두 境遇 各各 다음과 같이 된다.

	在來型機	Bulb 型機
길이	$3.5\times N_1\times D_1$	$2.5\times N_2\times D_2$
幅(入口壁에서 吸出口까지)	$8.5\times D_1$	$9\times D_2$
높 이	$7.5\times D_1$	$4.5\times D_2$
容 積	$\simeq 223\,N_1D_1^3$	$\simeq 103\,N_2D_2^3$

兩境遇 모두 使用水量이 같게 될 것이므로 우선 近似値로 $N_1D_1^2=N_2D_2^2$ 를 얻게 된다. 따라서 發電所 建物의 容積比는

$$\frac{\text{Bulb型機의 發電所}}{\text{在來型機의 發電所}}=\frac{103\,D_2}{223\,D_1}$$

와 같이 된다.

萬一 機械 臺數와 水車直徑이 同一하다면 Bulb型機의 發電所 建物은 在來型機의 境遇에 比해 大略 50% 程度의 容積을 占有케 된다.

또한 두 境遇建物의 標高도 달라지며 이는 空洞現象(cavitation)의 理由에서 水車가 位置하는 標高가 放水位에 關係되기 때문이다.

在來機의 境遇 Bulb 型機의 境遇보다 水車는 建物內에서 보다 높이 位置하며, 따라서 建物은 더 補强되고 基礎는 더욱 硬固하게 해야 된다. 事實 工事費 所要는 掘鑿할 基礎 地盤에 따라 多寡가 決定된다.

이의 例로서

8.65 m의 落差에 容量 80 MW의 發電所

11.10 m의 落差에 容量 140 MW의 發電所

의 두 境遇에 對해 檢討된 結果를 보면 Bulb 型機의 使用으로 發電所 土木工事에 있어 各各 20% 및 30%의 經費 節約을 期할 수 있었다. 如斯한 土木工事費面의 節約은 또한 電氣機械費用의 減少도 隨伴하고 있다. 그림 5는 다음의 두 境遇를 假定하여 使用水量이 1.400 m^3/s인 發電所에 對해 落差變化에 따르는 電氣機械施設費의 變化傾向을 表示하고 있다.

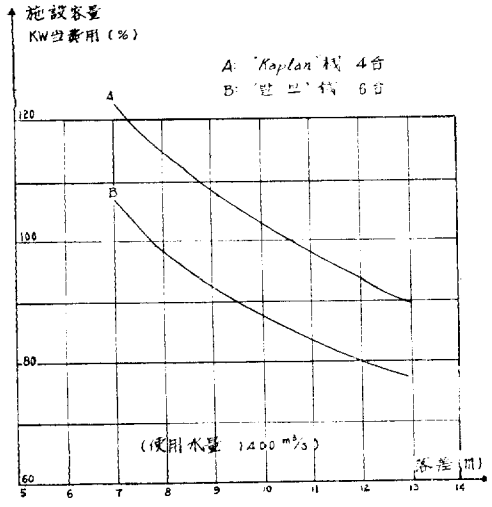

그림 5. Kaplan機와 Bulb機의 落差에 따르는 電氣機械費의 變化

A; 4臺의 在來機를 設置하는 境遇,

B; 6臺의 Bulb 型機를 設置하는 境遇,

勿論 이 傾向은 發電所 建物容積 比較計算에 同一하게 適用될 수는 없으나 이미 建物面에서도 Bulb型이 有利함을 發見했고 萬一 在來型機의 境遇 單位容量을 減少시킨다면 機械價格의 增加가 不可避할 것이기 때문에 **그림 5**의 曲線은 Bulb 型機를 使用하는 境遇가 經濟的 利得이 훨씬 顯著함을 表示하고 있다.

한편 Bulb 型機의 境遇 效率은 在來型機보다 1% 以上 良好하게 할 수 있다. 結局 Bulb 型機의 使用으로 얻어지는 全工事費(土木工事費+電氣機械施設費)面의 節約은 위에 든 例의 두 境遇(A,B)에서 各各 15% 및 16%로 되고 있다.

이와 같은 工事費 節約의 利得과 良好한 效率이 Bulb 型機 設置 發電所 運轉面에 어느 程度 關係되고 있는지의 如否를 檢討해야 할 것이며 이는 다음 節의 論議 對象으로 하겠다.

4. 運轉上의 問題點

4. 1 大容量 系統에 Bulb型機 使用으로 생기는 問題點

Bulb 型機 使用으로 因한 特殊問題點은 第二節에서 말한 두가지 主要特性 即 無效電力 發生의 難點 및 慣性 moment 不足에 關係되고 있다.

慣性 moment 는 速度 調整 및 動態 安定度(dynamic stability)의 두가지 問題와 關聯시켜 檢討하여야 한다.

以下 이 세가지 境遇에 對하여 檢討하기로 한다.

4. 1.1 無效電力 發生의 問題點

第二節에서 Bulb 型機의 境遇가 無效電力 發生面에서 在來型機의 境遇보다 高價임을 알았다. 따라서 이 內容을 綜合 工事費明細書에 挿入시키기 爲해서는 Bulb型機 使用으로 惹起되는 追加費用을 算出해야 한다. 無效電力 發生 問題는 結局 다음과 같이 檢討되게 된다.

研究 結果로 얻어진 어떤 特定値의 力率로 供給되는 負荷가 있을 境遇 設置費뿐 아니라 運轉費(主로 損失電力)를 綜合 參酌하여, 여러가지 可能한 補償方法(發電機, 同期調相機, 靜電蓄電器等)中에서 가장 適切하게 經濟的 無效電力 配分을 決定함이 重要하며 또한 使用될 發電機의 型式에 따라 이 配分問題는 相異하게 될 것이므로 이의 經濟的인 比較問題는 여러가지 解決方法中에서 無效電力 發生에 所要되는 總經費를 算出하여 그 差를 求하므로써 이루어지는 것이다.

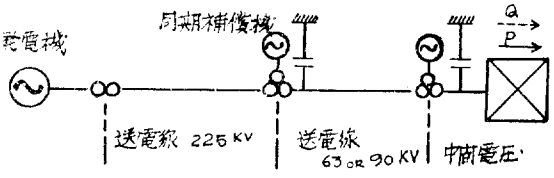

그림 6. 無效電力 發生 試驗回路

그림 6은 이의 一例로서 利用되었던 系統으로서, 63 KV 送電線(或은 90 KV)과 一端에 例의 發電機가 連結된 超高壓 225 KV(或은 380 KV) 送電線의 連結로 構成된 供給 回路이다.

여기서 檢討된 基準은 두가지 異種 電壓線의 各 容量에 關係된다. 주어진 例의 供給系統의 輸郎는 같기 爲해 萬一 發電所에 依해 發生된 無效電力의 値를 固定시킨다면 電力系 管理上 必要한 無效電力의 補充을 爲하여 設置될 가장 經濟的인 補償方法의 形態와 重要性을 發見할 수 있을 것이다.

이어서 이러한 最適의 系統構成에 對한 總經費(系統補償施設投資費+系統損失經費)는 算出될 것이니, 이 和를 **系統經費**라 부르며 C_r로 表示하기로 한다.

萬一 只今 같은 形態의 系統에, 發電所에 依해 發生되는 無效電力의 다른 値에 對해 同一한 計算方法을 取한다면 우리는 發電所端에서의 無效電力에 對한 系統經費의 關係曲線 $C_r=f(Q_M)$를 追跡할 수 있을 것이다. 또한 이 曲線으로부터 各種 Q_M의 値에 對하여 Q_M의 1 MVAR의 變化에 따르는 系統經費의 變化 ΔC_r를 計算할 수 있으며 이는 $\Delta C_r=f(Q_M)$의 曲線으로 表示될 것이다. 이 變數 ΔC_r는 此後 **限界系統經費**라 부르기로 한다.

그림 7에는 佛蘭西內에 存在하는 거의 大多數의 系統

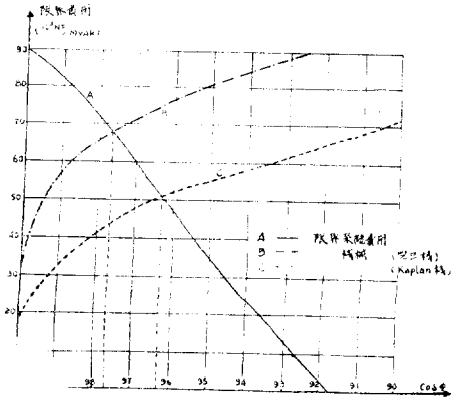

그림 7. 發電所 力率에 對한 系統 및 機械限界 費用曲線

形態에 適用할 수 있는 曲線 $\Delta C_r = f(\cos\phi)$ (A)가 表示되어 있다.

이 曲線에서 例를 들어 發電端에서 力率($\cos\phi$) 1로부터 無効電力을 1 MVAR 增加시킨다면 系統經費는 $89\times10^3\,NF$ (1 S≒4.9 NF)로부터 減小될 것이다. 反對로 萬一 力率이 0.916 아라면 發電端에서의 無效電力의 새로운 增加는 系統上에 如何한 經費節約도 招來하지 않을 것이다.(大體로 이 點에서 無效電力 搬送에 起因하는 損失增加에 對한 費用은 同系統上에 設置될 蓄電器容量의 減小로 가져오는 費用節約과 같게 된다) 그러하여 가장 適合한 發電所의 力率値를 決定하기 爲해서는 力率의 變化에 따르는 發電所 費用을 檢討하여야 한다.

더욱 嚴密히 말해서 發電端에서 無效電力이 1 MVAR 變할 때의 發電所經費(投資費+運轉費)의 變化 即 ΔC_m을 限界機械費用이라 부른다면 가장 經濟的인 値는 다음과 같은 $\cos\phi_o$의 値로 얻어질 것이다.

$$\Delta C_r(\cos\phi_o) = -\Delta C_m(\cos\phi_o)$$

限界機械費用 ΔC_m는 **그림 4** *a* 및 **4** *b* 의 曲線으로 부터 容易하게 算出될 수 있다. 따라서 **그림 7**의 曲線 B는 80~100 rpm의 回轉速度를 갖는 20~30 MW 容量의 Bulb 型機에 對한 限界機械費用을 表示해주고 또한 曲線 *C*는 앞서 考慮한 Bulb 型機 代身에 kaplan 機의 設置가 可能한 境遇 이의 '限界機械費用'을 나타내고 있다.

曲線 A,B의 交點 및 曲線 A,C의 交點은 各各 두 境遇의 가장 適合한 力率値를 表示하며 다음과 같은 値로 된다.

Bulb型機의 境遇 $\cos\phi_o = 0.976$

在來型機의 境遇 $\cos\phi_o = 0.963$

따라서 Bulb型機의 使用으로 發電端에서는 보다 高力率로 運轉하게 되고 系統上에는 보다 많은 補償施設을 設置하여야 한다.

系統經費의 增加를 檢討하기 爲해, 力率을 增加시켜 發電機 無效電力 發生을 減少시키는데 所要된 費用을 計算해서 '限界系統費用' 曲線 A를 利用할 수 있다.

結局 發電所 綜合工事費明細書에서는 力率이 0.963인 在來型機와 KW 當 3.80 NF을 加算한 力率 0.976인 Bulb 型機間의 工事費를 比較해야할 것이다. 一般的으로 無效電力發生이 困難할 Bulb 型機 設置에 따르는 追加費用은 第三節에서 얻은 經費節約에 比해 매우 적으므로 Bulb 型機 使用이 經濟的으로 有利함이 確實하다. 以上 經濟的 觀點에서만 一方的으로 問題點을 考察하였다.

特殊境遇를 除外하고는 經濟的 觀點만으로 合理的인 檢討를 할 수 있지만 超高壓系統에 連結되는 水力發電機의 無效電力 發生能力은 系統硏究에 있어 必要系統電壓維持任務를 떠나 生覺할 때 恒常 적게 考慮되게 된다.

또한 過熱補償費用의 一定한 負擔限度內에서 發電機 無效電力을 規定値 以上으로 增加시키는 것은 絕對 不可能한 것은 아니며 그러므로써 機械의 壽命을 減少시키거나 系統에서 일어나가 突發狀態를 감당할 수 없는 것은 아니다. (繼續)

(1964年 11月 4日 接受)