

技 術 展 望

RANCE 潮力發電所의 運轉成果

宋 源 吾*

目 次

- 1. 序 論
- 2. 發電所 概要
- 3. 發電方式
- 4. 發電方式 比較
- 5. 發電方式的 變遷
- 6. 結 言

1. 序 論

Rance 潮力發電所가 稼動된지도 10餘年이 經過되었다. 施設容量 240MW, 年間發電量 500GWh 程度라면 發電所로서 別로 크다고는 할수는 없다. 그러나 現在 까지 潮力發電 妥當性調査事業이 實施되었던 프랑스의 Chausey Iles, 英國의 Severn 河口, 캐나다의 Fundy 灣 等地的 潮力發電計劃보다도 規模는 훨씬 작지만 아직은 Rance發電所를 凌駕할만한 Rance 潮力發電所는 없다. 이런 면에서 Rance 發電所는 潮力發電所로서는 獨步의 存在이며 그간의 運轉成果는 앞으로 推進될 各國의 潮力發電計劃에 貴重한 參考資料를 提供할 수 있을 것으로 思料된다.

2. 發電所 概要

Rance 發電所는 Rance江 河口 內灣에 位置하여 外

海의 波浪으로부터 잘 保護되고 潮池面積도 適當하여 潮力發電所의 立地로서는 아주 理想的이다. 潮池面積 22km², 平均潮量 184×10⁶m³, 總延長 750m이며, 防潮堤는 Chalibert 暗礁위에 築造되어 地形的인 特性을 充分히 잘 利用했다고 할 수 있으며 主要施設은 閘門, 發電機室, 防潮堤 및 水門으로 構成되며 概略의 介紹하면 다음과 같다. (그림1. 參照)

1) 閘門(長 65m×幅 13m); 潮池內 船舶通行用으로서 防潮堤 左側에 位置하고 物動量趨勢를 考慮하여 設計되었으나 出入船舶의 增加趨勢는 豫想보다 커서 繼續問題가 될 것같다. 閘室 上部에는 跳閘橋가 있어 閘門이 使用되지 않을동안 公路와 連結 시켜준다.

2) 發電機室(總延長 390m×幅 13m); 閘門에 隣接하며 單位機容量 10MW, Bulb型水車 24組가 設置되어 있다.

Bulb型水車는 從來의 水直軸 Kaplan型水車의 改良型으로 水平軸이며 Runner의 날개角度를 調整하여 水車의 通水流量을 調節할 수 있고, 逆方向 回轉이 可能하여 複流式 發電 및 揚水를하여 發電方式에 融通性이 있다. Bulb 胴體(長 53m)는 Stay Vane과 4개의 P. S. Bar로서 支持된다.

3) 防潮堤(延長 163m, 低面平均幅 100m); 捨石堤로

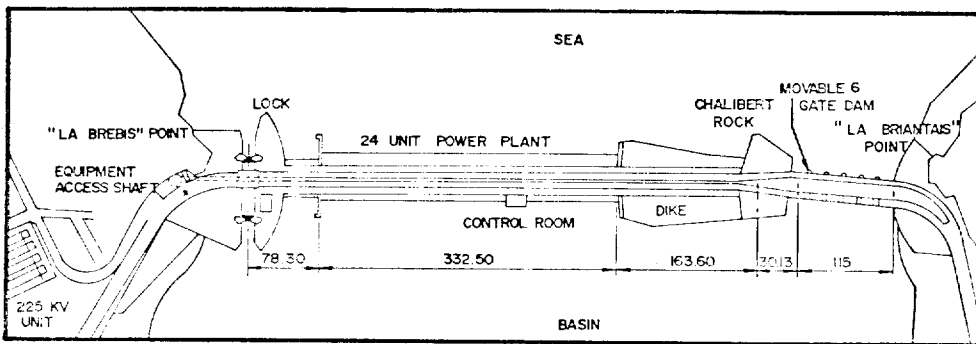


그림 1. Rance 潮力發電所 平面圖

* 正會員 : KIST附設海洋開發 研究所 海洋工學室長

서 Chalibert 暗礁까지 連結되고 防潮堤 中心部에는 遮水壁이 있으며 水門으로 通하는 點檢路는 63kv의 Cable Duct도 兼하고 있다.

4) 水門(總延長 115m×幅 35m); 橋脚에 依하여 6個로 나뉘지고 門扉의 크기는 幅 15m, 높이 10m이다. 水門은 潮池와 外海間의 水位差가 水車의 最低發電可能水頭보다 낮을때, 즉 正方向 發電後 潮池水位를 1.2 m 더 낮출 수 있고, 逆方向 發電後 潮池水位를 1.6 m 더 높일 수 있으며 이때에 水車의 通路는 Orifice 로서 充水 및 排水를 하여 水門의 役割을 補助할 수도 있다. 또한 水門도 德리는 潮池의 充水나 排水를 促進시키기 爲해서 發電途中에도 開放되는 수가 있다.

3. 發電方式

任意的 地點에 潮力發電을 計劃할 경우 그 地點에 가장 適切한 發電方式과 이에 附隨되는 事項을 決定하는 데는 여러가지 事項들이 同時에 考慮되어야 하며 潮汐資料는 가장 重要한 要素이다.

一般의 으로 外海의 潮汐의 振幅은 數十cm가 고작 이나 特定한 地點, 例컨대 Cotentin 半島나 Severn 河口 等地에서는 潮汐의 振幅이 增幅되어 Rance, Mont-St Michel灣, Severn河口, Fundy灣, 等地는 潮差가 큰곳으로 널리 알려져 있다. Rance의 平均潮差는 8.5 m이고 最大潮差는 13.5m이며, Rance의 潮汐은 半日週潮型으로 週期는 12時間 25分이며 日潮不等은 극히 적은 편이다. 年中 季節의인 變化는 별로 없으나 潮汐變化는 보름마다 뚜렷하게 反復되며 大潮差(9~13.5m)와 小潮差(3.5~9m)의 比는 2.5 乃至 4.0으로 變化한다.

以上の 資料로 水車의 正格水頭, 發電量 등의 事項을 決定할 수 있다.

1) 潮差와 이에 相應하는 流出量으로 水車의 經濟的인 正格水頭와 正格流出量을 決定할 수 있다. 正格水頭는 大潮差보다 낮기때문에 複流式發電은 보름에 3~4日間, 그리고 그 나머지 기간은 單流式發電이 可能하다. Rance 發電所의 水車의 正格水頭는 5.65m, 正格流出量은 6,600m³/sec로서 여러가지 技術的인 檢討結果 單位機容量 10MW, 發電機 24組가 選定되었다. (正格水頭는 正格出力이 可能한 最小水頭이다.) 正發電正格水頭 5.65m, 逆發電正格水頭 7.0m보다 클때는 最大出力으로, 正格水頭보다 낮을 때는 水車의 最大效率로 運轉하는 것이 바람직하다. 그러나 주어진 時間內에 發電量을 極大化시키기 爲해서는 最大效率와 最大出力사이에서 運轉해야 한다. 이것은 潮力發電의 最適化問題와 直接關聯되고 現在 STOM (Single Tide

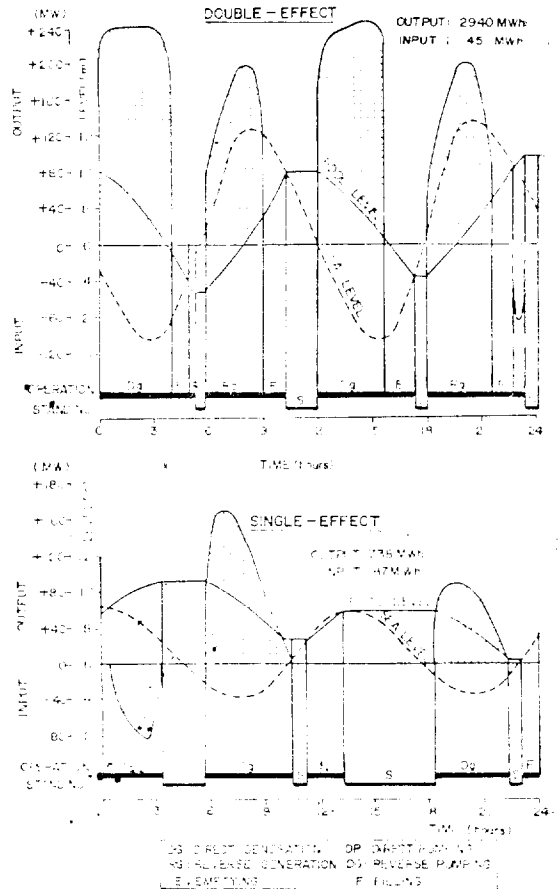


그림 2. 單流式 및 復流式發電比較 (Rance;3)

Optimisation Model)과 OCDPM (One Cycle Cynamic Programming Model) 등의 最適化 Model이 英國, 캐나다에서 開發되어 있고 우리나라에도 導入使用될 바 있다.

2) 大潮期와 小潮期의 發電量의 差가 顯著하며 그림 2는 Rance에서 潮差 11m때 複流式으로 潮差 5m때 單流式으로 發電할 경우에 對한 發電量을 보여준 것이다. 이때 複流式과 單流式發電量의 比는 約 4배, 發電可能水頭比는 3배, 發電時間은 2배, 揚水를 하지않을 때는 發電量의 比가 6배나 差異가 난다.

潮力發電의 出力은 달의 週期를 따르며 間歇的이어서 潮力發電으로 既存 他發電所의 稼動을 中止시키고 燃料費를 節減시킬 수 있으나 그 燃料費節減額이 初期投資費와 比較하기에는 油價의 上昇推勢를 좀더 觀望해야 할 것이다. 發電方式을 決定할 때 固定出力을 目標로 하는 從來의 水力發電에 比해 어려운 點은 물을 貯水하는 것보다는 時間에 맞추어서 水頭를 適切히 利用해야 하는 데 있다. 潮力發電이 揚水發電과 同時에

系統의 일부로考慮될 때 潮差에 따라 繼續으로發電되는 에너지도 系統에 Firm Energy를供給할 수 있다. 그 一例로서 프랑스에서는 揚水發電도 尖頭負荷를 充足시킬 수 없으며 이들 發電所는 日負荷率이 지금보다 낮은 2次世界大戰 前後하여 設計되었던 것들이다. 즉 20餘年間 揚水發電 設備容量은 系統負荷에 미치지 못했다. 따라서 Rance 發電所의 午前 8時와 午後 10時 사이의 平均容量(設備容量의 約 1/4)은 系統의 Firm Power와 같은 量으로 增加하는 것으로 看做될 수 있다. 다시말하면 Firm Power로 發電하는 潮力發電은 마치 水力發電에서 貯水池에 流入水量이 增加하는 것으로 看做할 수 있다. 이것은 Fundy灣과 같이 MIS(Maritime Integrated System)와 連結된 電力市場에 潮力發電計劃을 Simulated Integration 한 結果 潮力發電量의 1/10에 相當하는 施設容量을 發電設備擴張計劃에서 들일 수 있다는 結論을 얻었다. 따라서 Fundy報告書와 같이 潮力發電의 經濟性을 論할 때 他發電과 項目別로 對比할 수가 없으며 그러한 比較는 既存에너지와 代替에너지 등의 代案을 包含하는 全體電力系統을 考慮해야 할 必要가 있다.

4. 發電方式 比較

潮力發電方式은 潮池數에 따라 單潮池式과 複潮池式으로 大別할 수 있다. Rance는 單潮池式發電所이며 單流式과 複流式發電을 할 수 있으며, 각 方式마다 揚水を 하여 發電量의 增加나 發電時間의 延長이 可能하다. 上記의 發電方式을 概略으로 紹介하면 다음과 같다.

1) 單潮池 單流式發電(一方向發電)은 單潮池에서 漲潮時나 落潮時 中 어느 한번만 發電에 利用하는 方式이며, 揚水是 어느 경우나 可能하며 潮池의 水位를 增減시킬 수도 있다. 즉 漲潮時에 發電하고자 할 때는 潮池水位를 더 낮추고 落潮時에 發電하고자 할 때는 潮池水位를 더 높여 준다. 그러나 同一水量을 揚水해도 潮池水位 對 潮池面積의 差異때문에 後者의 方法이 더 有利하며 單流式은 一般으로 落潮時에 發電하는 것이 通例이다.

2) 單潮池 複流式發電(二方向發電)은 落潮時에 外海에서 潮池로 漲潮時에 潮池에서 外海로 兩方向으로 各各發電하는 方式이다. 停潮後 揚水を하면 潮池水位를 普通水位 以上 높일 수도 있다. 大潮期에는 潮池水位가 一般으로 上昇하기 때문에 그 排水로 因한 潮池水位를 充分히 낮추기 爲해서 水位上昇을 制限해야 할 必要가 있는데 높은 水頭에서는 發電機의 流出量이 減少되기 때문이다.

한편 小潮期에는 揚水하지 않고서는 一般으로 可用水頭가 줄어들어 全體效率은 떨어지기 때문이다. 이와 같이 揚水에 依한 潮池水位의 增加는 Rance에서는 1.25m程度로 制限되고 있다. 이와 비슷하게 正方向發電後 逆方向揚水を 하여 逆方向發電을 爲한 水頭를 增加시키기 爲하여 潮池水位를 더 낮추는 수도 있다. 通常發電可能水頭는 潮差보다 낮지만 揚水時는 例外이다.

上記의 發電方式들을 比較하면 單潮池 單流式이 複流式보다 發電量이 크므로 揚水發電과 並行運轉될 때 나 커다란 系統負荷網의 일부로 運用될 때 有利하다.

한편 複流式은 發電時間을 延長시킬 수 있는 長點이 있으나 可用水頭의 損失때문에 年間總發電量은 單流式으로 揚水할때보다 낮다. 그렇지만 Rance에서는 11m 以上의 大潮差에서는 複流式이 더 有利하다. 例컨데 12m 潮差의 경우 複流式의 發電量은 2,780MWh인데 對해 單流式은 2,450MWh이다. 이러한 傾向은 우리나라 牙山灣內側에서도 同一하며 그 分歧點은 8.2m로, 大潮期에는 複流式이 有利하나 年間潮差發生頻度를 考慮하면 年間發電量은 單流式이 약간 有利하며 揚水を 할 경우 發電量을 增加시킬 수 있다는 結果를 보여주고 있다(그림 3. 參照).

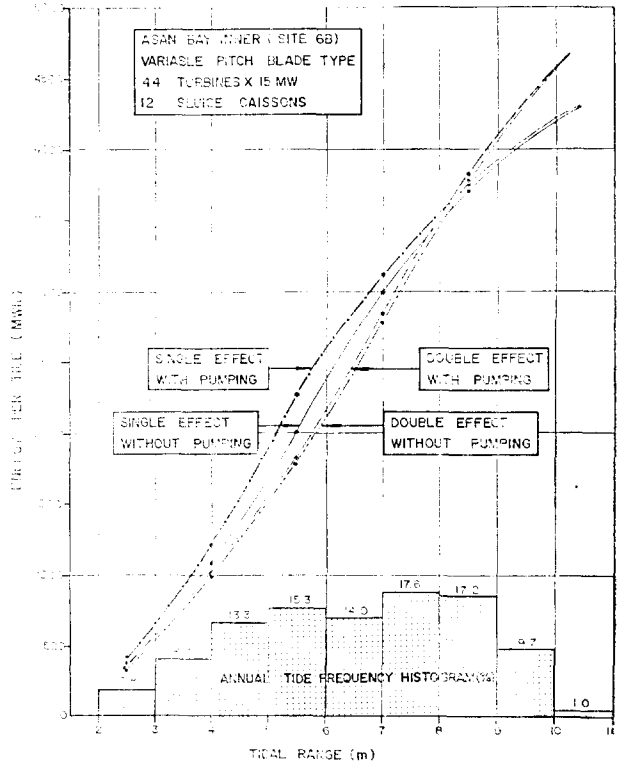


그림 3. 發電方式比較(牙山灣內側)

表 1. 年度別 稼働實積

	1968	1971	1972	1973	1974	1975 Actual	1975 Suppo- sed	1976	1977
Gross output (GWh)	426	509.5	560	567.5	606	524		444.5	462
Input (GWh)	24.5	42	59.5	62	91	35.5	62	—	—
Plant consumption (GWh)	7.5	8.5	8.5	8.5	8	7		6.5	6.5
Net output (GWh)	394	459	492	497	507	481.5	571	438	455.5
Availability factor (%)	77	94	93.9	95.2	95.5	85.75		72.2	75
Assumed net output with a 95% availability factor (GWh)				497	507	510	509	480	480
Pumping gains (GWh)	44	74	108	112	120	47	112	—	—
Net output without pumping gains (GWh)				385	387		497	480	480
Number of hours in reverse generation (h)				800	500		278	—	—

5. 發電方式의 變遷

Rance 發電所의 發電方式의 變遷은 다음 3期로 區分할 수 있다(表 1 參照).

가. 稼働以後 1971년까지

나. 1972~75年 7月까지

다. 1975年 7月—現在까지

1) 稼働以後부터 1971년까지는 利用率을 94%까지 增加시켰으며 揚水는 別로 하지않았다. 따라서 에너지 損失量은 總可能發電量의 1乃至 2% 程度였다. 揚水를 制限한 理由로서는 Brittany地方의 送電網容量의 不足에 起因했기 때문이었다.

따라서 揚水에 使用할 수 있는 電力은 制限되었으며 1971年 以後 送電事情이 緩和되어 揚水增加를 期할 수 있게 되었으며 發電所 運轉員들도 차츰 揚水에 對한 認識을 새로이 할 수 있게 되었다.

2) 1972年~75年 7月까지는 發電方式 面에서 揚水用 電力은 40GWh에서 90GWh까지 增加되었으나 複流式發電은 減少되었다.

正方向揚水는 效率의이며 年間 揚水電力 75GWh에 對해 그 效力은 150~180%程度이다. 그 理由는 揚水位는 平均 1.25m이나 發電水頭는 約 4m에서 實施되어 揚水와 水車效率을 考慮한다면 結果의으로 全體效率은 約 1.65가 된다.

3) 1975年 7月부터 現在까지의 Rance 發電所의 發電方式에는 큰 變化가 생겼다.

1975年 初에 發電機에 問題點이 發見되었다. 發電機의 Dovetail Wedge로 連結되는 軸의 케이싱固定이 每日 反復되는 非同週期性 始動에 걸리는 應力에 弱하다는 것이 判明되었다. 이 調査는 24個의 모든 發電機를 分解해야하며 2年半前에 始作했는데도 아직 甞던

걸릴것 같다. 現在 臨時修理를하여 6年間 利用率을 75~85%로 維持하기로 하고 있다.

또한 이 期間동안 非同週期始動으로 因한 應力에 對한 破損을 防止하기 爲해서 揚水單流式發電만 考慮되고 있다.

上記의 檢討結果에 따라 單潮池式發電 指針은 다음과 같이 要約될 수 있다.

潮差가 11m 以上時(大潮期)에는 複流式이 有利하며 潮差가 7~11m일 때는 複流式에 揚水를 考慮한다. 勿論 複流式에는 에너지損失이 따른다. 潮差가 7m 以下時(小潮期)에는 發電單價와 電力料金を 比較하여 利得이 있는限 揚水를 하는게 좋다. 한편 發電量의 極大化만 目標로한다면 潮差가 11m以下 時에는 單流式發電에 揚水를 考慮하고 11m以上時에는 複流式發電에 揚水를 考慮하지 않는게 바람직하다.

6. 結 言

Rance 發電所의 運轉成果는 發電自體뿐이라고만 할 수는 없을 것 같다. 低落車用으로 開發된 Bulb水車는 潮力發電機器로서 그 性能이 確認되었으며 設計面에서도 새로운 問題點을 提示했으며, 海水放蝕面에서도 相當한 技術的인 進展이 있었다. 또한 發電所의 運轉은 潮洶體系에도 影響을 미쳐 最大潮差를 13.5m에서 12.8m로 減少시켰으며, 河口堰체절로 因한 潮流의 流速減少는 灣內部の 船舶出入을 容易하게 하였고, 發電所上의 公路는 St Malo와 Dinard間의 自動車 走行距離를 40km에서 7km로 줄일수 있었고, 發電所는 年 20萬의 觀光客이 다니가는 觀光名所化된것 等등의 波及效果도 컸었다.

本稿를 끝맺기 前에 今日的 Rance發電所가 있기까지
(p.21에 계속)