

## RANCE 潮力發電所稼動 20 年

20 years operation of Rance tidal power station

宋 源 吾\*

### 目 次

- |           |            |
|-----------|------------|
| 1. 序 言    | 5. 附隨效果    |
| 2. 發電所 概要 | 6. 結言 및 提言 |
| 3. 運轉方式   | 參考文獻       |
| 4. 發電實績   |            |

### 1. 序 言

潮汐에너지의 利用은 인류의 오랜 꿈이었다. 이미 몇세기 전부터 潮汐방아는 家內工業工場의 動力源으로 利用되었고, 20세기 중반에는 潮力發電이 開發되기에 이르렀다.

불란서의 Rance 潮力發電所는 1966년 發電開始以來 20년간 계속 稼動되고 있으며, Chausey 島 일대의 대단위 潮力發電開發을 염두에 두고 Prototype 試驗用 潮力發電所로 建設했다고 한다.

Rance 以後 竣工된 潮力發電所로서는 소련의 Kislaya 發電所, 캐나다의 Annapolis 發電所를 들 수 있으나, Rance 發電所보다 훨씬 작은 Pilot Plant 에 불과하다. 그간 세계 각국에서 실시된 潮力發電開發事業은 많았었지만, 아직도 妥當性 檢討段階를 넘어서지 못하고 있다. 主要事業地點은 불란서의 Chausey 島를 위시하여 캐나다의 Fundy 灣, 영국의 Severn 江河口, 소련의 白海, 아르헨티나의 San Jose 灣, 우리나라의 加露林灣

등을 들 수 있으며, 그 개발규모도 Rance 보다 훨씬 커서 새로운 代替에너지源으로서 潮力發電의 比重이 커질 전망이다.

本稿에서는 Rance 潮力發電所의 立地條件, 發電所 概要, 發電所運轉方式, 지난 20년간의 發電實績과 運轉成果를 紹介한다.

### 2. 發電所 概要

Rance 潮力發電所는 불란서 北西쪽 Brittany 地方 St-Malo 港 근처에서 英佛海峽으로 흘러드는 Rance 江 河口에 위치한다(圖 1 참조). 여기에 潮力發電所가 建設되기 직전까지만 해도 이 地方에는 2개의 潮汐방아가 稼動되고 있었으며, 潮力發電開發도 오래 전부터 제안되었다.

1906년 Gaston Boucher 교수는 Rance 江 河口 綜合開發을 위하여 港灣, 橋梁 및 潮力發電所 建設을 提案하였으며, 設備容量은 150kW 發電機 192 基였다. 1921년에는 Boisnier 가 Rance 에 潮力發電所 建設을 提案하였으며, 1943년에

\* 土木技術士(港灣 및 海岸) · 工博 · 韓國科學技術院海洋研究所 第1 研究部長

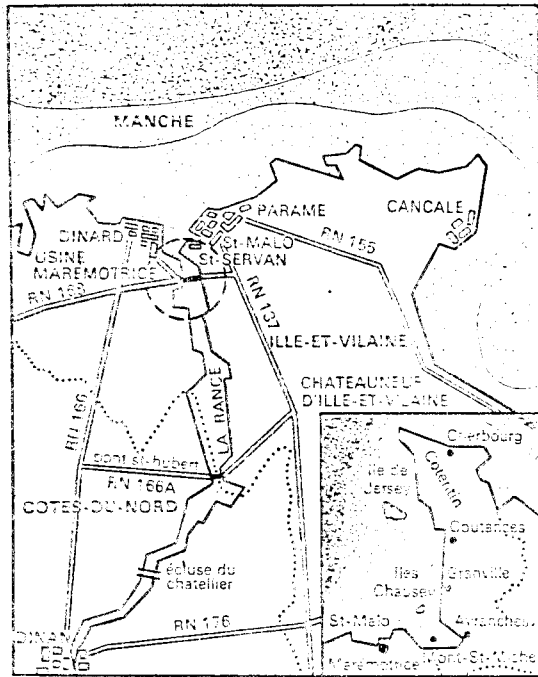


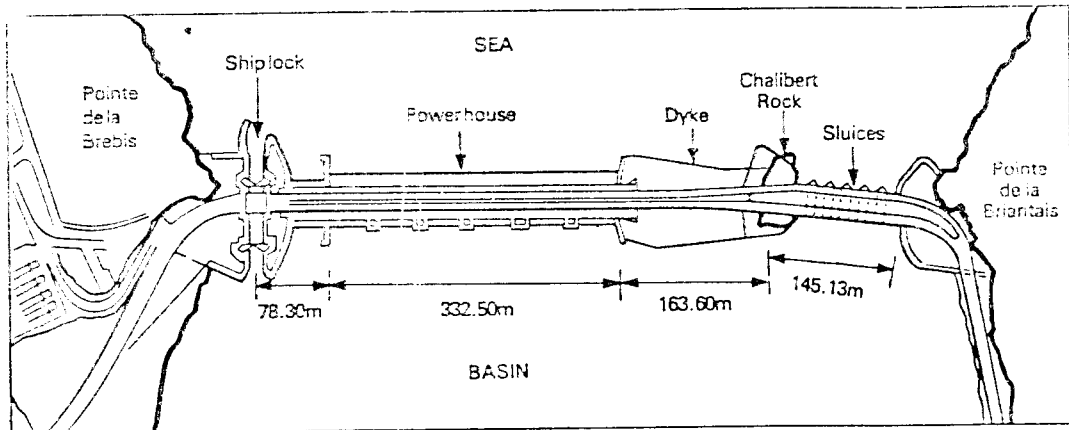
圖 1. Rance 潮力發電所 位置圖

Gibrat 박사는 SEUM 을 조직하여 潮力發電에 대한 본격적인 연구를 착수하여 오늘의 Rance 發電所의 기초를 닦았다. 現在의 Rance 發電所

는 EDF(불란서 電力公社)가 1951년부터 구체적인 發電所 建設計劃을 수립하여 1961년 1월 11일 착공, 1966년 11월 26일 제 1호기가 가동되었으며, 마지막 제24호기의 가동은 1967년 12월 4일이었다. 제 1호기 가동식에는 그 당시 de Gaulle 대통령이 참석하였다.

Rance barrage 축조地點은 大西洋의 波浪으로부터 잘 保護되며, St-Malo 港의 入出港 船舶에도 지장을 주지 않고, Barrage는 Brebis 岬과 Briantais 岬 사이의 직선거리는 750m, 潮池面積(潮力發電 貯水池) 22 km<sup>2</sup>로 潮力發電所로서의 立地條件은 좋은 편이다.

潮力發電所의 主要構造物은 左岸의 Brebis 岬에서 閘門, 發電所本館, 防潮堤, 水門순으로 배치되어 있다(圖 2 참조). 閘門(Shiplock)은 潮池內 船舶出入을 可能하게 하였다. 發電所本館(Power house)(圖 3 참조)은 철근 콘크리트 구조로서 그 속에 10MW Bulb 水車·發電機 24基가 설치되어 있다. Bulb 水車는 水平軸 Kaplan 型으로서 發電機는 兩方向(時計方向 및 反時計方向)으로 회전이 가능하므로 發電 및 揚水가 가능한 Reversible 형이다. 發電所本館과 Chalibert 岩 사이의 防潮堤(Dyke)(圖 4 참조)는 사석제



La Rance tidal barrage scheme

Scheme details		Turbo-generators:	
Estuary width:	750 metres		24 x 10 MW bulb type Kaplan turbines with reverse flow and pumping capability
Basin area:	22 square kilometres	Turbine runner diameter:	5.35 metres
Mean tide:	3.5 metres	rated head:	5.65 metres
Installed generating power:	240 MW	maximum head:	11 metres
		minimum head:	3 metres

圖 2. Rance 潮力發電所一般配置圖

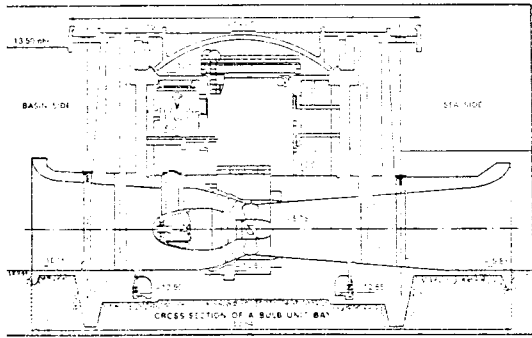
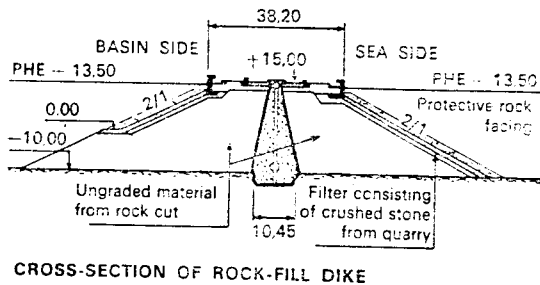


圖 3. 發電所 本館斷面

이며 중앙에 Concrete core가 있어 누수를 방지한다. 水門(Sluice)(圖 5 참조)은 Chalibert 岩과 右岸의 Briantais 岬 사이에 위치하며, 여기에는 6連의 Fixed-roller gate(15×10 m)가 설치되어 있고, 通水容量은 9600m<sup>3</sup>/sec(5m 水頭)이다. 水門은 正方向發電(Direct generation, 潮池→外海)後 潮池排水時(水頭差 1.2m), 逆方向發電(Reverse generation, 外海→潮池)後 潮池充水時(水頭差 1.6m)에 各各 開放된다. 이때 發電水路는 Orifice로서 水門의 기능을 보조하여 潮池의 充水나 排水를 촉진시킨다.



CROSS-SECTION OF ROCK-FILL DIKE

圖 4. 防潮堤 斷面

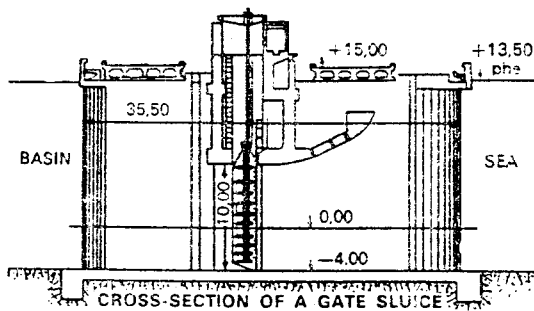


圖 5. 水門斷面

### 3. 發電所 運轉方式

Rance 發電所의 運轉方式에 대한 이론적인 연구는 1943년경부터 시작되어 發電所設計 이전 부터라고 할 수 있다. 초기에 제안되었던 복잡한 방식은 후에 단순화되었고, 조차에 따라 적절한 방식이 선택되었다. Rance 發電所의 潮差는 3.5~13.5m이며, 계절변화는 거의 없지만, 2週期변화는 뚜렷하여 大潮差와 小潮差의 比는 2.5 정도 된다.

Rance 發電所는 單潮池式으로 潮池數가 1個이므로 發電方式은 單流式(潮池→外海)과 複流式(潮池↔外海)으로 나눌 수 있고, 必要에 따라 揚水(1~3m의 低揚程 揚水)도 가능하다. 일반적으로 운전 Cycle은 充水→待機→排水가 계속 반복되며 各 方式마다 실제 발전실적을 인용하여 段階別로 설명하면 다음과 같다.

1) 單流式 發電(1983년 12월 15~16일)(圖 6 참조)

(1) 潮池充水(Basin filling) : Orifice mode로서 發電機는 發電하지 않고, 水門과 함께 개방된다. 이때 揚水도 가능하나, 전력에너지 수요와 양수전후의 에너지 가치 등을 고려하여 결정한다. 揚水時에는 潮池內水位를 높일 수 있으므로 小潮期에 효과가 있다.

(2) 待機(Standing period) : 이것은 전력계통의 전력수요에 따라 융통성 있게 조정한다.

(3) 潮池排水(Basin emptying) : 外海쪽으로 排水하면서 發電하며, 發電水頭가 1.2m 이하가 되면 發電이 中止된다.

2) 複流式發電(1983년 9월 13일)(圖 7 참조)

(1) 潮池充水(Basin filling) : 外海潮汐을 이용하여 漲潮時에 潮池를 充水하고, 潮汐과 潮池內水位 간의 水頭差가 1.7m 이하일 때 中止하므로 潮池內水位는 外海潮位보다 낮다. 이때 揚水を 하지 않으면 다음 Cycle에서 發電量이 감소된다. 潮池의 充水는 水門 이외에도 發電水路를 Orifice mode로 하거나 揚水(ΔH=30cm일 때)를 하여 가속시킬 수 있다.

(2) 待機(Standing period) : 單流式과 같다.

(3) 潮池排水(Basin emptying) : 單流式 發電

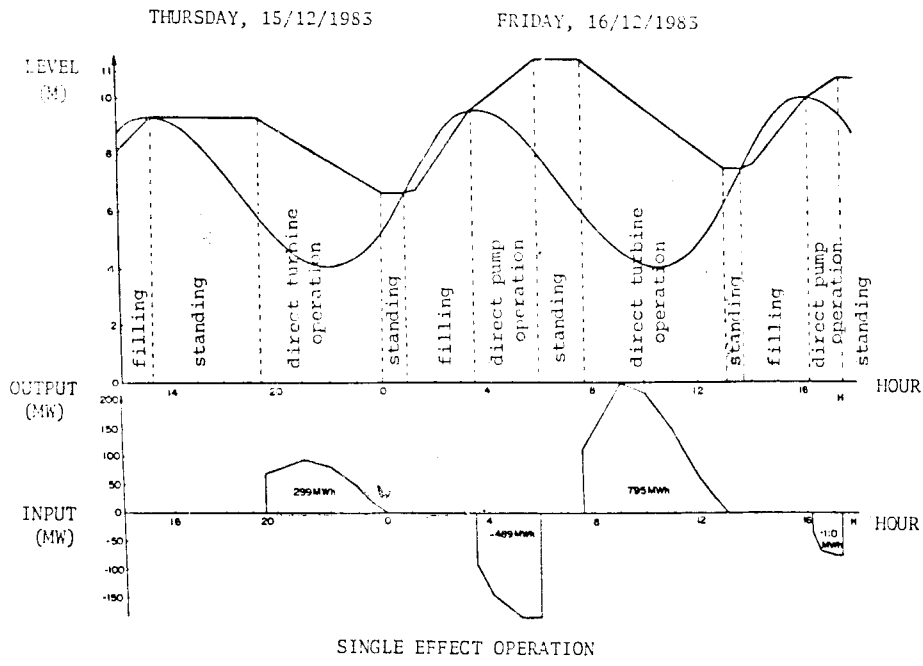


圖 6. 單流式 發電例

TUESDAY, 13/09/1985

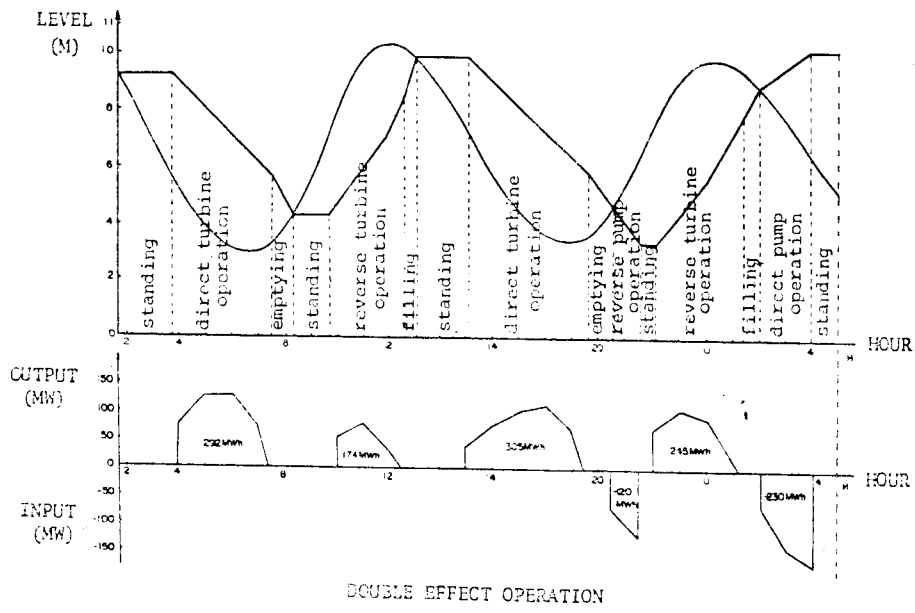


圖 7. 複流式 發電例

後水門과發電機水路를 Orifice mode로 열어排水시킨다. 이 때 다음 Cycle의逆方向發電에有利하도록逆方向揚水를 하여潮池內水位를 낮추면 더 큰出力을 얻을 수 있다.

앞에서 소개한 바와 같이 Rance는單潮池式發電所로서單流式 및 複流式發電이 가능하며, 필요시에는低揚程揚水(1~3m)로發電效率를 높일 수도 있어運轉에 융통성을 기할 수 있다.

複流式運轉은水頭損失이 커서大潮期 3~4일간만 실시되고, 나머지 기간은單流式運轉을 한다.發電所運轉時에는수시로 변하는水頭變動에 대처해야 하므로流量과效率를 고려하여出力을極大化시킨다.潮差에 따른出力變動으로大潮와小潮期の出力 및發電時間의變動폭이 크다. 즉圖 8은潮差가 11m와 5m일 때의出力과運轉方式으로서出力比 약 4배,大潮期에는 6배까지도 되며,水頭比는小潮의 3배,發電時間은 2배 정도 길어진다. 특히潮差가 11m 이상되면複流式的出力이 현저하게 증가된다.

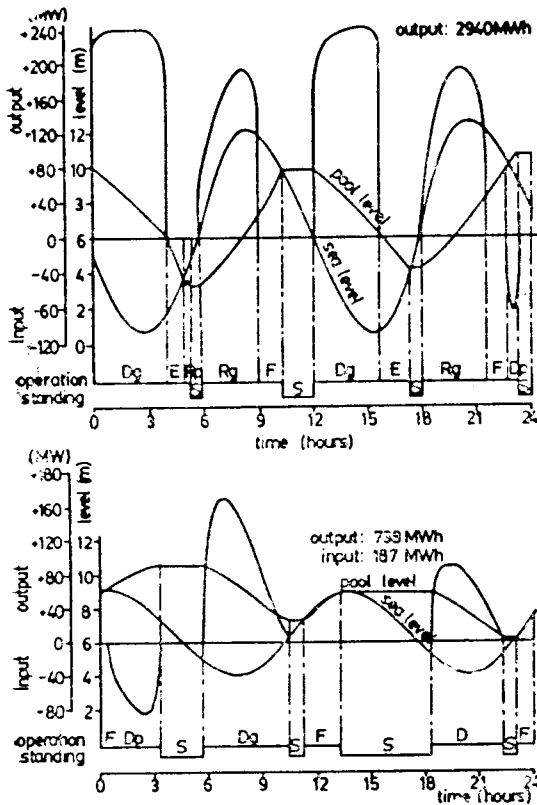


圖 8. Rance 潮力發電所 發電方式比較 (複流式, 單流式)

大潮期水頭는水車定格水頭보다 커서發電機의出力制限 때문에揚水의 매력은 없다.

Rance發電所의運轉方式은 주로潮差에 따라 결정되며, 다음事項을 고려하고 있다.

1) 大潮期(潮差 11 m 以上)運轉:發電水頭가 충분하므로複流式이 유리하다.

2) 中潮期(潮差 7~11m)運轉:逆方向發電 또는揚水를 고려하며發電時間은 연장되지만, 전체發電量은 빠져봐야 한다.

3) 小潮期(7m 以下)運轉:揚水는出力과 에너지價値를增加시킬 수 있으므로有利하다.

4) 逆方向揚水는逆方向發電과 연관시키는 것이有利하다.

일반적으로出力의極大化를 위해서潮差가 11m 이상이면正方向 또는逆方向發電(非揚水)을 하고, 그 이하이면적당량의揚水를 하면서正方向發電을 한다.

潮力發電所의運轉은 주로潮差에 따르지만, 에너지價値(Value),晝間에는船舶航行을 위한潮池內水位維持 등의變數에 따라 결정되며 구체적으로潮池水位,潮位,稼動水門數,流量,稼動發電機臺數,揚水電力 등을 들 수 있다.

#### 4. 發電實績

Rance發電所의發電實績은試驗稼動期(1966~67년),正常稼動期(1968~74년),發電機 Overhaul 期(1975~82년) 및 正常稼動期(82년 이후)로 나눠서 생각할 수 있다. 1975년 1월~1982년 5월 사이에 실시된 대대적인 유지보수 및 수리 작업 때문에發電實績에 대한 단정적인 결론을 도출하기는 어렵다.

또한 이 기간에 있었던 에너지 파동으로 에너지 가격의 변동은發電所의 운전방식에도 영향을 주었다.

水車製作者의示方書는正方向發電(DT)과揚水(DP)를 권장하고 있다. 1980년 이전 수년간揚水가 3% 以下였던 것은 불가피했지만 의도적인 점도 있다. 현재는發電所稼動時間의 18~20%나 되며, 24基에 대해 연간 약 28,000시간으로 무시할 수 없다.正方向發電(DT)은 약 60%로서 약 93,000시간이나 된다. 그러나逆方



기의 Overhaul 때문에 감소되었다가 1982년부터 다시 600 GWh를 넘어서고 있다. 여기서發電所 소내 소비 및 양수용 전력을 빼면 450~500 GWh 정도이다(圖 9 참조). 1983~84년도의 이용율이 97%나 되어 1976~82년도의 71~94%와 대조적이다.

Rance發電所의 연간 경비의 구성은 表 2와 같다. 여기서 주목할 점은 자본비용과 감가상각비가 전체의 78%를 차지하고, 운전비는 22%로서 비중이 낮다는 것이다. 潮力發電에서는 연료비의 부담이 없는 대신에 자본비의 비중이 커서 민간회사 주도형의 사업추진은 정부의 정책적인 지원이 없는 한 어렵게 되어 있다.

表 2 Rance發電所 年間發電經費 構成比(%)

항 목	백분율(%)
운전비(Running Cost)	
1) 인건비(50명 기준)	3.3
2) 유지 보수비	6.2
3) 세 금	6.6
4) 계 잡 비	2.6
5) 경상비(Overhead)	3.3
	계 22.0
분할 상환금(Amortization)	
1) 자 본 비	58.5
2) 감가상각비	19.5
	계 78.0

### 5. 附隨效果

Rance發電所稼動에 따른附隨效果는 다음과 같다.

1) Bulb水車·發電機의 設計 및 運轉技術을 蓄積할 수 있으며, 潮力發電機로서 Bulb의 위치가 확고해졌다.

2) 器機의 海水防蝕技術分野에도 상당한 發展이 있었다.

3) 發電所 주변해역에서의 最大潮位가 13.5 m에서 12.8 m로 낮아진 반면 最低潮位는 中전보다 높아졌다.

4) 閘門 때문에 선박출입에 다소 불편을 주지만, 발전소 건설 이후 潮流의 流速減少는 中전보다 船舶航海를 容易하게 했다.

5) 發電所 上部를 通過하는 4車線公道는 St-Malo와 Dinard 간의 自動車 走行距離를 40 km에서 7 km로 단축시켰다.

6) Rance發電所는 세계 最大의 商用潮力發電所이므로 觀光名所로서 매년 약 20萬명 이상의 觀光 客들이 다녀간다.

한편 不利한 效果도 없는 것은 아니다.

1) 發電所와 水門 上·下流 근처에서 發生하는 渦流現象으로 船舶航行禁止海域이 설정되어 있다.

2) 發電所의 갑작스런 稼動中止 때문에 上·下流에 예기치 않은 Surge가 發生한다. 이 現象은 Computer로서 緊急水門操作이나 水車회전속도 調整으로 矯正되기도 한다.

### 6. 結言 및 提言

Rance發電所는 이미 제 2차 世界大戰中 戰後에 닥칠 전력부족에 대한 대책으로 계획되었다. 1959년 발전소 건설이 결정되었을 때는 Suez 운하위기(중동 원유의 해상수송로 봉쇄)가 사람들의 기억에서 채 사라지기도 전이었다. 이때쯤 불란서의 에너지 정책결정권자들은 Rance 조력발전소를 건설하여 새로운 대체에너지 및 Clean 에너지 자원을 개발하려는 정책적인 의지 이외에도 정치적인 배려도 있었다. 사실 불란서에서도 Brittany 地方은 개발이 잘 안된 지역으로 이 지방 주민들의 불만이 컸으며, 그 당시 즉각적으로 착수할 수 있는 지역개발사업이라고는 Rance 潮力發電所 建設이 고작이었다. 이 사업은 그때까지만 해도 이미 여러 차례 고려되었지만 경제성 때문에 뒤로 밀렸다.

Rance 발전소가 발전을 개시할 때만 해도 오늘날과는 달리 전체적으로 에너지가격이 저렴했었기 때문에 Rance 조력발전소에 대한 평판이 좋지 못했다. 즉, Rance 발전소가 가동 안 되고 있다, 비경제적이다, de Gaulle 대통령이 불란서의 위신을 높이기 위해서 만든 사업이다, 등등 말이 많았다. 전례없는 실패는 대체적으로 사람들의 기억에서 잘 잊혀지지만, 성공이 이상스럽고 비정상적이거나 사실이 아닌 것처럼 보일 때는 그것을 부정하려는 무엇이 항상 있기 마

련이다.

앞서 기술한 바와 같이 Rance 다음 단계 사업은 Chausey 島 개발이며, Caquot 가 복조지 개발안에 대한 검토를 한 바 있다. 현재 불란서의 EDF 는 대규모 원자력발전소 건설사업(2,900 MW)의 자원조달 문제에 급급하고 있기 때문에 조력사업에 더 신경을 쓸 겨를이 없으며, 계획이 변경될 것 같지도 않다. 그러나 영국의 Severn 潮力開發, 캐나다의 Fundy 灣 潮力事業 등의 潮力發電所 建設이 본격적으로 시작되면 재고될 수도 있을 것이다. Rance 潮力發電所는 代替에너지개발 분야에서 새로운 章을 열었고, 지난 20년간 稼動實績은 他潮力事業에도 귀중한 자료로 활용될 수 있으며, 자료의 교환이 아주 바람직하다.

Rance 에서 볼 수 있듯이 우리 나라 西海岸에 賦存하는 潮力에너지資源도 새로운 에너지資源으로서 큰 몫을 할 수 있음을 알 수 있다. 賦存 에너지資源이 빈약한 우리나라에서 國內 潮力資源開發은 에너지波動때마다 거론되었지만, 아직 확실한 건설계획은 없다. 다만 海洋研究所를 포함한 관련기관에서 사업타당성에 대한 조사·연구가 계속되어 명백을 유지해 왔을 뿐이다.

우리도 大單位 潮力發電을 念頭に 둔다면

Rance 발전소 같은 Pilot plant 를 건설하여 운전 경험을 쌓는 게 아주 바람직하다.

Rance 發電所는 아직도 세계에서 제일 규모가 큰 商業用 潮力發電所로서 獨步的 存在이며, 潮力發電分野의 Pioneer 로서 역사에 길이 남게 될 것이다.

#### 참 고 문 헌

1. Cotillon, J., La Rance tidal power station review and comments, Tidal Power and Estuary Management, Colston Papers No 30 (Ed. R.T. Severn, et al), 1979.
2. Megnint, L., The new design of tidal bulb units based on the experience from the Rance tidal power station and on-the-river bulb unit, Water for Energy, 3rd International Symposium on Wave, Tidal, OTEC and Small Scale Hydroc Energy, BHRA, 1986.
3. Hillairet, P. and G. Weisrock, Concrete benefits from operational tidal power station. Water for Energy, 3rd International Symposium on Wave, Tidal, OTEC and Small Scale Hydroc Energy, BHRA, 1986.