

海洋溫度差, 波力發電플랜트의 R & D와 그 動向

人間에게 에너지는 물이나 空氣와 더불어 不可欠의 하나이다. 사람의 生命이라고도 할 수 있는 에너지를 우리나라는 거의 外國에 의존하고 있다. 더구나 그 중의 대부분을 中東의 石油에 의존하고 있다. 현재는 世界적 경제가 저조하기 때문에 石油事情이 약간 好轉되고 있으나 世界적으로 政治不安이 발생하거나 경제사정이 回復되면 에너지事情이 다시 惡化될 것은 明若觀火한 사실이다.

또한 長期的인 면에서도 언제까지나 에너지를 우리놈이나 石油에 의존할 수는 없다. 우리놈이나 石油을 대신할 에너지를 빨리 開發해야 된다는 것은 중요한 과제이다.

여기서 바다쪽으로 눈을 돌려볼 때 바다 에너지 중에서 가장 손쉽고 또한 저렴하게 多量으로 利用할 수 있는 것이 海洋溫度差發電과 波力發電이다. 따라서 그 發電의 原理와 最近의 開發現狀 및 장차의 展望에 대하여 설명하기로 한다.

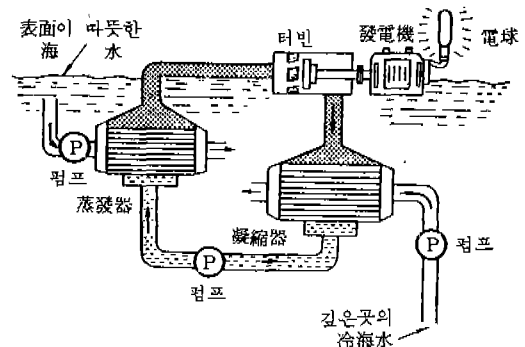
1. 海洋溫度差發電의 原理

海水의 上下方向의 溫度分布를 測定해 보면 上層部는 20~30℃, 表面에서 약 700m 깊은 곳은 2~7℃이다.

海洋溫度差發電에서는 이 海洋의 上下의 海水를 利用하여 전기에너지를 얻는 시스템이다. 이 發電 시스템의 原理를 그림 1에 들었다.

蒸發器에 作動流体인 液体암모니아를 作動流体펌프로 送輸한다. 液体암모니아는 증발기에서 上層海水(溫海水라고 한다)로 加熱되어 증발한다. 증발된 암모니아蒸氣는 터빈으로 들어가 터빈을 회전시킨다. 터빈이 回轉하면 터빈에 연결된 증발기가 回轉하여 발생한다. 한편 터빈을 통과한 암모니아의 蒸氣는 凝縮器에 들어가 거기서 차가운 深層海水(冷海水)에 의하여 液化된 液体암모니아가 된다. 이 液体암모니아를 作動流体펌프로 증발기로 다시 보낸다. 이것을 반복하면 石油나 石炭, 우리놈을 사용하지 않고 海水만으로 發電할 수가 있다.

또한 海洋溫度差發電의 구조에 대해서는 그림 1



〈그림-1〉 海洋溫度差發電의 原理

이외에도 몇가지의 방법이 제안되고 있다.

이 海洋溫度差發電을 英語로는 OTEC (Ocean Thermal Energy Conversion 오텍)이라고 한다.

이 發電方式은 原理 그 자체는 간단하며 火力發電이나 原子力發電과 같다. 이 發電方式은 無公害이고 再生할 수 있는 에너지源이고 또한 비교적 값이 저렴하다는 점에서 최근에 특히 관심이 모아지고 있다.

2. 海洋溫度差發電의 開發小史

海洋溫度差發電의 歷史는 오래 되었으며 지금으로부터 약 100년 전인 1881년에 프랑스의 드 알종발이 고안한 것이다. 그 후 현재까지 많은 연구가 추진되었다. 그 중에서 중요한 것만을 列擧하면 다음과 같다.

- 1881년 드 알종발(프랑스) 海洋溫度差發電을 考案
- 1926년 크로드(프랑스) 實驗에 착수
- 1933년 크로드 發電船을 建造
- 1964년 앤더슨 海中發電所를 제안
- 1970년 新發電方式調査會(日本)에서 海洋溫度差發電의 研究성과를 조사
- 1974년 선샤인計劃(日本)에서 海洋溫度差 發電의 연구개시
- 1974년 ERDA計劃(美國)에서 개시
- 1974년 第1回 OTEC會議(美國)
- 1977년 佐賀大學(日本)에서 1KW의 發電에 成功
- 1979년 Mini-OTEC(美國) 50KW의 發電成功
- 1980년 佐賀大學(日本)에서 海上實驗
- 1981년 나울共和國에서 120KW의 發電에 成功
- 1982년 德之島(日本)에서 50KW의 發電에 成功

3. 海洋溫度差發電의 研究結果

최근에 계속적으로 海洋溫度差發電의 실험플랜트가 건설되어 실험이 실시되고 있다. 또한 이와 병행하여 蒸發器, 터빈, 凝縮器 등의 構成機器의 개발이나 海洋溫度差發電의 토우틀시스템에 대한 最適設計法의 연구가 進行되고 있다. 그 중 주요사항에 대하여 설명한다.

(1) 作動流体

海洋溫度差發電의 作動流体에는 당초 여러가지가 제안되었다. 그러나 지금까지의 연구에 의하여 암모니아가 가장 우수하다는 것이 명백해졌다. 그러나 암모니아는 有害하고 爆發性이 있으므로 이점에 대해서는 염려하는 사람도 있다. 그런 경우에는 프톤22가 적당하다.

(2) 熱交換器

熱交換器도 당초에는 여러 가지로 많은 것이 제안되었으나 현재는 實用性面에서 상당히 적어졌다. 지금까지의 實驗的 및 理論的 연구에 의하여 플레이트式 蒸發器와 플레이트式 凝縮器가 가장 우수하다는 것이 판명되었다. 플레이트式 蒸發器와 凝縮器를 사용하면 發電플랜트는 극히 小形으로 되며 코스트도 저렴해진다.

그러나 이 플레이트式은 지금까지 大形의 발전소에 사용되었던 실적이 적으므로 오염대책을 염려하는 사람이 있다. 그러나 지금까지의 실험에 의하여 塩素處理와 케펫洗淨을 병용하면 溫海水의 오염도 제거할 수 있다는 것을 알았다.

冷海水側에 대해서는 거의 오염이 발생하지 않는다는 것이 지금까지의 실험에서 명백히 되어 있으므로 오염대책이 필요 없다.

플레이트式 熱交換器 다음으로 우수한 점은 더블 프루데드관을 사용한 鉛直管式 熱交換器이다. 이 타입의 熱交換器는 傳熱性能이 플레이트式과 같은 정도로 우수하다. 그러나 製造코스트가 높다는 것과 플레이트式보다 多量의 海水를 필요로 한다는 것이 難點으로 되어 있다. 또한 傳熱管의 品質檢査가 곤란하다는 것도 難點의 하나이다.

(3) 取水管

取水管은 당초 FRP가 有力하다고 하여 상당히 검토가 되었는데 FRP는 高價이고 부설이 복잡하다는 점에서 최근에는 耐海水고무가 적당한 것으로 되어 있다. 지금까지 나울플랜트나 德之島플랜트의 건설에서 약 1200m와 2600m의 冷海水의 取水管이 부설되었는데 그 비용은 發電플랜트의 비용보다 많이 소요된다고 한다. 그 중 부설경비가 가장 많이 소요된다고 하므로 이 경비를 감소시키는 방법의 개발에 노력하고 있다.

4. 實證플랜트

표 1에 지금까지 제작된 實證플랜트의 시방의 비교를 들었다.

〈표-1〉 實用化 플랜트의 시범 比較

	나울플랜트	德之島플랜트	Mini-OTEC
發電所方式	陸上設置形	陸上設置形	洋上마지形
定格出力	100kW	50kW	50kW
發電方式	클로즈사이클	클로즈사이클	클로즈사이클
溫水溫度	29.8℃	40.5℃ (더첼의 溫排水)	26.1℃
冷水溫度	7.8℃	12℃	5.67℃
作動流体	플론 22 프	암모니아	암모니아
蒸發器	水平프루테드管形	플레이트式	플레이트式
凝縮器	鉛直 프루테드管形	水平平滑管形	플레이트式
터빈	軸流形	伏流形	
터빈回轉數	3,600rpm	24,800rpm	
取水管	L=950[m], 深度560[m], D=0.7[m], 硬質폴리에틸렌	L=2,300[m], 深度 370[m], D=0.6[m], 폴리에틸렌	L=645[m], 深度 651[m] D=0.61[m], 폴리에틸렌
設計所內動力	90kW ($Wp=43.5$ [kW], $Wfp=16.5$ [kW], $Wwp=30$ [kW])	17kW ($Wp=14.5.5$ [kW], $Wfp=2.5$ [kW])	32.3kW ($Wp=17$ [kW], $Wwp=9.4$ [kW], $Wfp=6.0$ [kW])
現狀	1982年10월에 撤收	運轉中	1979年11月16日撤去

5. 海洋溫度差發電과 純出力과 앞으로의 計劃

海洋溫度差發電에서는 多量の 海水를 이용해야 되므로 이를 위해 펌프를 作動시키는 電力이 상당히 많이 필요하다. 따라서 펌프動力을 적게 하기 위해서는 溫海水와 冷海水의 量을 적게 하는 것이 좋다. 표 2에 發電시스템의 比較를 들었다. 표 2와 같이 純出力(發電端出力-所內動力)은 發電端 出力의 약 70%가 된다. 이 값은 出力이 100KW 이상이면 거의 같은 정도가 된다.

海洋溫度差發電은 지금까지의 연구에 의하여 大形에서는 石炭火力과 小形에서는 디젤發電과 같은 정도이거나 그 이하의 發電單價로 할 수 있다고 計算되고 있다. 현재 하와이에서 4萬KW, 인도에서 1500KW, 타히티에서 5000KW의 海洋溫度差發電을 건설할 준비가 추진되고 있다.

6. 波力의 에너지

파도는 물이 上下 및 前後로 진동하는 운동이며

바람의 에너지가 전달되는 것이므로 太陽 에너지의 變形이라고 볼 수 있다. 그런데 海岸에 밀려오는 파도는 어느 정도의 에너지를 가지고 있는 것일까 波高를 H [m], 周期를 T [s]라 하면 幅 1m當의 波力은 $P=H^2T$ [KW/m]로 계산된다. 실제로는 波高 周期가 일정하지 않고 시시각각으로 變化하므로 年 平均을 하면 日本海岸에서 10~15KW/m, 太平洋岸에서 10~12KW/m, 太平洋의 外海上에서는 80~100 KW/m의 波力에너지가 존재한다.

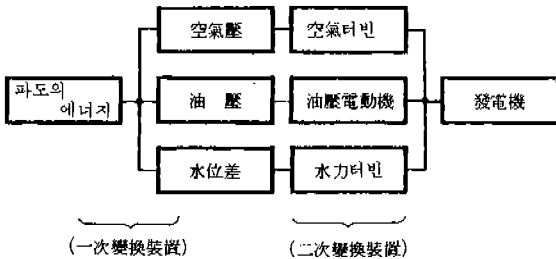
7. 波力發電方式

파도의 力學的 에너지를 電氣에너지로 變換하는 방법은 대체로 그림 2와 같은 方式으로 분류된다. 1次變換裝置에 의하여 일단 波力에너지를 空氣壓, 油壓 또는 水位差로 變換하고 2次變換裝置인 空氣 터빈, 油壓電動機 또는 水力터빈에 의하여 각각 發電機를 돌린다. 空氣壓式은 그림 3 (a)와 같이 파도의 上下運動에 의하여 실린더內에 왕복 공기류를 발생시켜 空氣터빈을 구동한다. 往復流를 한 方向으로 整流하기 위한 밸브가 있다. 油壓式의 일례는 그림 3 (b)의 맷목形으로 힌지로 결합된 複數의 맷목

〈표-2〉 發電시스템의 比較(100MW 發電端出力)

	플레이트式熱交換器를 사용한 경우		더블프루테드管式을 사용한 경우
	암모니아	프론 22	암모니아
作動流体	암모니아	프론 22	암모니아
溫海水入口溫度 [°C]	28	28	28
冷海水入口溫度 [°C]	7	7	7
랭킹 效率	3.27	3.12	3.30
蒸發器傳熱面積×10 ⁵ [m ²]	2.41	3.07	3.03
凝縮器傳熱面積×10 ⁴ [m ²]	3.01	4.02	3.05
送電端出力 [MW]	70.1	66.8	69.7
溫海水펌프動力 [MW]	11.8	10.5	10.2
冷海水펌프動力 [MW]	15.8	15.8	17.7
作動流体펌프動力 [MW]	2.3	6.9	2.4
溫海水流量 [톤/s]	259.0	285.0	403.9
冷海水流量 [톤/s]	266.7	317.0	323.0
作動流体流量 [톤/s]	3.0	19.1	3.0
蒸發器側壓力損失合計 [kPa]	36.4	29.4	20.1
凝縮器側壓力損失合計 [kPa]	47.5	39.8	43.7
蒸發器熱通過係數 [W/m ² K]	3,992	2,762	3,073
凝縮器熱通過係數 [W/m ² K]	3,577	2,475	2,933
最適溫海水流速 [m/s]	0.72	0.63	2.1
最適冷海水流速 [m/s]	0.64	0.55	2.0
純發電當總傳熱面積 [m ² /kW]	7.74	10.62	8.73
傳熱面材質	티 탄	티 탄	티 탄

각국에서 考案되고 있다.



〈그림-2〉 波力發電方式의 分類

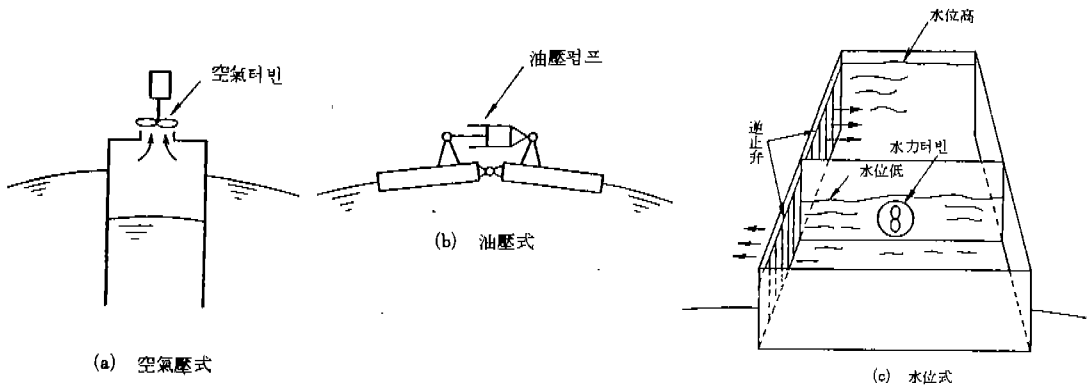
의 相對運動에 의하여 油壓펌프로 구동한다. 水位差方式의 예는 그림 3 (c)의 整流形式로 과도의 운동에 의하여 저수지의 2개소의 逆上升을 교대로 작동시켜 저수지에 水位差를 만들어 水力터빈을 돌리는 것이다. 이같은 방식은 배와 같은 浮體 또는 海岸 또는 海低固定의 양쪽에 사용된다. 이상은 일레이며 일일이 열거할 수 없을 정도로 많은 형식이

8. 各國의 波力發電開發의 狀況

에너지危機가 발생한 이래 代替에너지開發의 일환으로서 波力發電의 연구가 주로 適地인 北유럽의 諸國에서 개시되었다. 主要國의 狀況은 다음과 같다

(1) 英國

1975년부터 研究, 開發이 시작된 北西海岸의 年平均 波力은 70KW/m로 好條件이므로 國家프로젝트로서 7年間에 49억원이 支出되는 등 強力한 연구 개발이 추진되었다. 英國의 특징은 많은 方式을 기초부터 병행하여 검토한 결과 最良의 것을 선택하는 점에 있다. 主要方式은 NEL 空氣터빈方式, 랭커스터백식(이상 空氣壓式), 브리스틀실린더식, 슬터컴식, 쿡카엘레프트식(이상 油壓式) 등이 있다



〈그림-3〉各方式의 代表例

主流는 터빈式이다.

(2) 노르웨이

北大西洋에 면하고 있어 波力은 33~46KW/m 로 크다. 6년간에 27억원을 投資하여 20萬KW의 波力發電所를 목표로 하고 있다. 主要方式은 포인터브소버式(浮体の 上下動에 의하여 움직이는 피스톤이 水壓을 발생하여 펌프水車를 돌린다). 波렌즈式(파도를 導波板에 의하여 1點에 모아 저수지의 水位를 높인다). 海底固定 空氣터빈 등이 개발되고 있다.

(3) 스웨덴

1976년부터 연구를 개시하여 5년간에 약 1.5 억 원을 投入했다. 발트海의 離島用 發電을 목표로 波力觀測, 振動브이方式의 연구, 波力發電코스트의 推定 등을 노르웨이와 공동으로 실시하고 있다.

(4) 美國

全世界의 波力에너지의 조사 등 광범위에 걸

친 검토를 하고 있다. 각종 發電裝置의 理論解析을 하고 無弁式 空氣터빈의 開發, 댐 아틀式(水位差式)의 연구 등을 추진하고 있다.

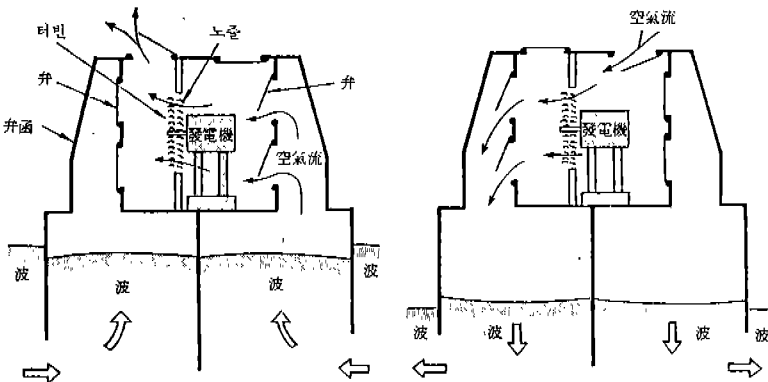
(5) 기 타

아일랜드, 캐나다, 프랑스등도 관심을 가지고 研究를 하고 있다.

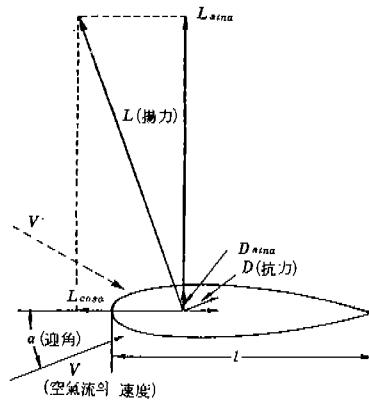
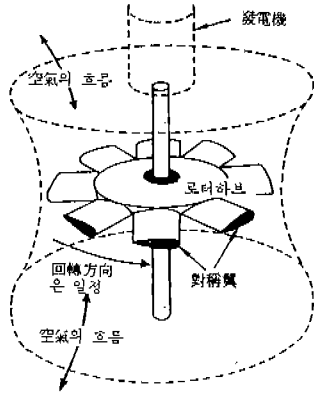
9. 日本의 波力發電의 開發狀況

波力發電을 최초로 實用化한 것은 日本이며 燈標브이用 電源으로서 1965년 이래로 數100台가 사용되고 있다. 이것은 空氣터빈方式으로 出力 60W 級의 것인데 耐久性 등도 實證되고 있다.

1974년부터는 大出力波力發電의 필요성이 높아져 海洋科學技術센터를 중심으로 開發, 研究가 시작되었다. 實驗船으로서 길이 80m, 幅 12m의 「海明」이 建造되었고 1978, 1979年度의 2年間에 걸쳐 海上에서 여러 가지의 시험이 실시되었다. 이 연구는 國際에너지機關(IEA)의 共同 開發프로젝트로서 英國



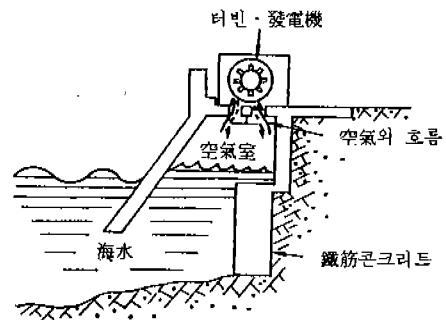
〈그림-4〉
「海明」의 波力發電裝置



〈그림-5〉
웰스터빈의 原理

美國, 캐나다, 아일랜드의 參加下에 실시되었다. 「海明」에서는 空氣壓方式이 채용되었고 船腹에 分割된 空氣室에 각각 各國의 空氣터빈 合計 8基가 설치되어 테스트되었고 系統에의 送電도 되었다. 그림 4에 日本의 波力發電裝置를 들었다. 이 空氣터빈은 보통의 反動터빈이므로 往復流를 整流하기 위해 多數의 弁이 있다. 이 實海域實驗에 의하여 空氣室, 터빈 및 發電機의 性能 외에 保留, 船體의 動搖 등도 포함하여 많은 귀중한 데이터를 얻을 수가 있었다. 試驗中 整流弁이 破損된 점으로 미루어 無弁式 터빈에의 要望이 높아져 英國에서 발명된 웰즈터빈이 「海明」에서 豫備테스트되었다. 이 터빈은 그림 5와 같이 上下對稱形의 翼形이 円周上에 배열되어 있으므로 空氣流가 어느 方向으로 와도 날개車를 항상 한쪽 方向으로 전환시키는 힘 $L \sin \alpha$ 가 작용한다. 따라서 整流弁을 부착할 필요가 없고 장치가 단순해지고 메인テナンス 프리가 특히 요구되는 波力터빈에 最適이며 有望視되고 있다. 웰즈터빈의 設計法에 대해서는 상세한 연구가 진행되어 최근에 山形縣 靜岡市에서 沿岸固定式 웰즈터빈 發電裝置의 實地테스트가 실시되었다. 이것은 날개 直徑 1.25m, 回轉數 3000rpm, 定格出力 40KW의 方向으로 新技術開發事業團이 離島用이나 防波堤 이용을 위해 개발한 것이다. 터빈은 軸스러스트를 相殺하기 위해 橫軸터빈形으로 하고 發電機의 兩軸端에 터빈 날개가 붙어 있다. 그림 6에 發電裝置의 개략도를 들었다. 年平均 10~16KW의 出力이 豫想되고 있다.

이상 주로 空氣壓方式에 대하여 설명했는데 日本에서는 이밖에 여러가지 형식의 것 및 1次 變換裝



〈그림-6〉 沿岸固定形 波力發電裝置의 개략

置의 기초적 연구 등 각 方面에서 많은 연구가 추진되고 있다.

海洋濕度差發電도 波力發電도 최근 10年間에 비약적으로 발달했다. 모두가 小規模이나 實用化되고 있다. 그러나 이들을 더욱 大形化하여 저렴하게 建設하려면 아직도 개발해야 될 점이 많다. 또한 發電플랜트의 耐久性이나 出力의 安定化를 위한 最適制御 등에 대하여 적극적인 개발이 필요하다. 앞으로의 개발에 기대가 크다고 하겠다. *