

波力發電에 관한 小考

日本國 防衛廳業務隊
益田善雄

I. 머리말

波力發電은 바다의 波濤가 갖는 에너지를 電力으로 바꾸는 것인데 여기서 紹介하려는 것은 大型 波力發電의 構想과 研究의 經過 및 將來의 豫見이다.

바다 위에는 波濤가 存在하는데 그 에너지가 놀랄만큼 크다는 것은 海上에서 生活하는 船員이라면 體験을 통해서 알고있는 事實이다.

波濤는 海面에 부는 바람에 의해서 생기는 海面의 물의 振動運動이며, 海面을 멀리 타고 간다.

이 波濤에너지의 크기를 潮汐과 比較하면 普通 海面에서 12時間에 2.0m의 水面이 上下하는 潮汐의 干滿에 比較하여 波濤는 6秒에 2.0m 程度의 水面이 上下를 반복하며, 單位面積의 海面當으로는 潮汐에 比較하여 12時間과 6秒의 周期比이며, 實로 7,200倍의 에너지密度를 가지고 있다.

波濤에너지는 波高가 Hm , 周期가 T 秒일 때, 幅 $1m$ 당 H^2TKw 의 功馬力이 存在한다. 여기서 $H=2m$, $T=6$ 秒이면 $24Kw$ 이다.

한편, 波濤는 海岸에서 부는 風速에서도 求려지며, 海岸의 風速이 $15m/s$ 일때에는 $247Kw/12ms$ 일 때에는 $59Kw/m$, $10m/S$ 일 때에는 $24Kw/m$ 이라는 노이던의 波濤理論에서 求해진다.

波濤에너지를 電力으로 變換하는 考案이나 研究는

[編輯者 註] 우리가 新聞紙上에서나 이야기로 흔히 들어오던 “波力發電”이란 어떠한 것인가에 대하여 그 原理 및 構造는 어떻게 實際로 利用은 어떻게 하는가에 대하여 日本에서 이 分野研究에 30餘年을 바쳐온 益田善雄氏의 寄稿를 全文 揭載하여 알아보기로 한다. “潮力發電”과 關聯하여 參考가 될 것이다.

現在까지도 各國에서 試圖되고 있으며, 두드러진 것으로는 모나코의 레이니에 Ⅱ世의 實驗등이 있다.

그러나 世界에서 처음으로 成功한 것은 日本이며, 小型 波力發電機는 現在 300個 程度가 使用되고 있다.

第1圖 波力發電浮袋 (Buay)

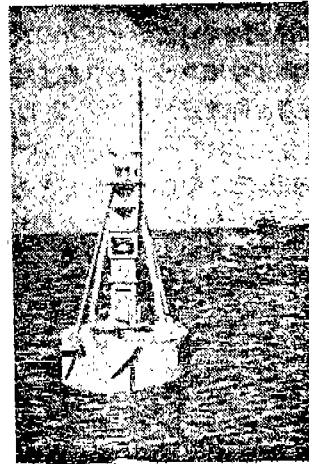
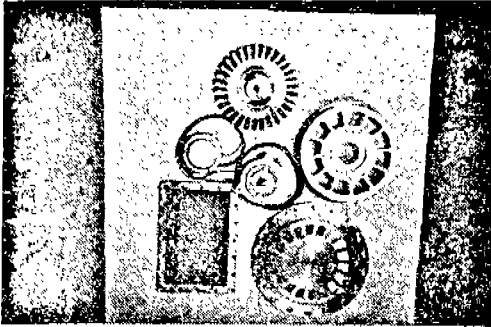


그림 1에 圖示한 것은 부이용 實用例인데 부이中央에 設置한 파이프 위에 空氣터빈을 올려놓았고, 波濤로 인한 中央파이프內의 水面의 上下運動은 空氣의 밀림과 빠짐에 의해서 取出되어 辨을 통하여 空氣터빈을 回轉시켜서 發電한다.

그림 2는 그 部品인데 터빈 動翼, 同노출, 同支持鐵物, 發電機, 整流機 및 辨으로 되어있다.

이밖에 燈臺用이나 海上타워用으로서도 實用되고 있는데 한결같이 空氣터빈方式이며, 이 方式이 바다의 苛酷한 使用條件中에서 無故障이며 壽命도 상당히 길어야 한다. 波力發電은 獨立電源으로서의 信賴性이 있어야 하며, 가장 긴 것으로는 使用期間이 13年을 超過하며, 지금도 實用中에 있는 實例를 證明하고 있다.

第2圖 波力發電機의構成部品



부이나燈臺 등과 같이小容量에서의實績을大型化하면大電力源은되지 않지만에너지危機를부르짖는 요즘음波濤는우리나라나世界の에너지問題解決에이바지할수없는것일까? 할래 분명히波力發電은가까운將來에大型電源으로서도이바지할수있는날이올것이라고생각된다.

지금부터26年前,日本에서最初の波力發電實驗을實施한以來그研究의目標은島嶼의發源이나日本本土의電力源으로서波力發電을利用하려는것이였다. 大波가 가진 에너지는豫想外로 큰 것이며, 海岸의 겨울바다를 알고있는 사람은 검은 구름으로 덮힌 海岸에서強力한 바람과 아울러 밀려오는 大波는 다른自然力에 比하여 에너지密度가 큰 自然力이며, 이것을 利用하여 커다란 電力을 얻을 可能性을 간직한 에너지라는 것을 理解하게 될 것이다.

그러나 이 波力發電의 開發이 日本의 獨自의인 技術로서 發達하여 外國에는 같은 種類의 研究가 比較的 적은 것이기는 하지만 波力發電의 大型化 可能性에 대하여 疑問을 갖는 사람도 많고, 大型 프로젝트로서 採用되는 데에 어떠한 障害가 많다.

日本은 섬나라이므로 기다란 12,985Km의 外海에 面하는 海岸線이 있고, 年間平均 10MW로서 日本의 퍼크發電 總出力의 約 25倍의 에너지가 分布하고 있다.

그리고 日本은 世界最大의 造船國이므로 大型 海上 構造物을 製作할 수 있는 커다란 技術을 가지고 있다.

今後 研究에 의하여 300個에 達하는 小型波力發電이 13年間을 超廻하는 使用實績과 日本造船의 技術力을 組合할 것 같으면 波力發電의 大型化는 可能할 것이다.

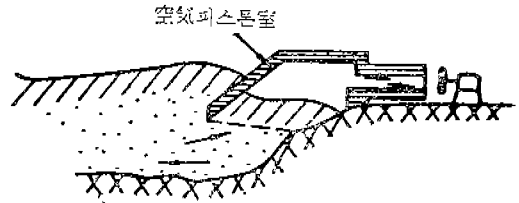
그리고 그것은 겨울철 東海의 大波 에너지로부터 大電力을 얻을과 同時에 海岸防災, 沿岸漁業의 發展 등 에 이바지할 수가 있을 것이다.

II. 波力發電의 原理

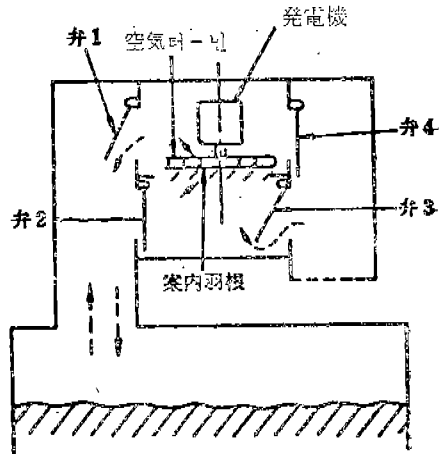
大型 波力發電으로서 생각되는 方式으로는 海岸固定方式和 浮遊方式이 있다.

海岸固定方式……그림 3과 같이 海岸에 밑面을 開放

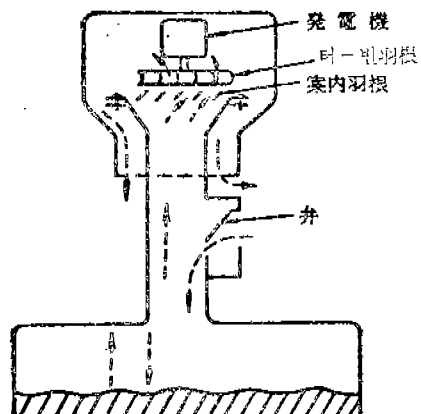
第3圖 海岸固定式波力發電機



第4圖 4枚弁機構



第5圖 1枚弁機構



한 공기피스톤실을 固定시키면 波濤의 上下運動에 의하여 空氣피스톤室內의 空氣가 밀렸다가 빠진다. 이 空氣는 辨을 통해서 空氣터어빈에 誘導되어 터어빈을 回轉시킨다.

그림 4에는 空氣의 往復氣流를 同一方向流로 하는 4枚의 辨을, 그림 5는 한 面만을 使用하는 1枚辨을 圖示한다.

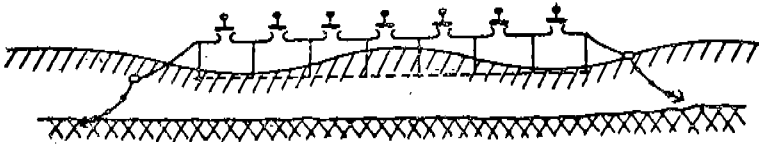
現在 이 4枚辨이나 1枚辨이나 모두 實用化되고 있으며, 出力은 다같이 別差가 없다.

浮遊方式……그림 6과 같이 기다란 부이를 만들고 多數의 空氣피스톤室을 設置하면 波濤로 인한 押入이 相互 反對가 되어 부이는 움직이지 않아도 反力이 때 있는체로 잡힌다.

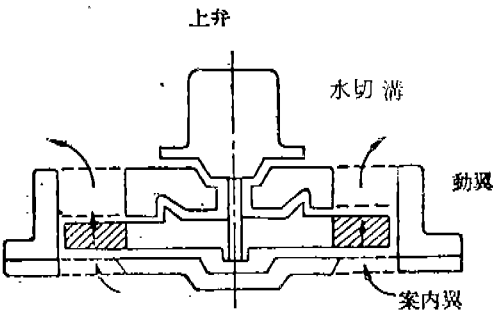
그리고 극히 기다란 부이로 하면 波濤로 인한 水平方向의 움직임도 적고, 波濤에 대하여 움직이지 않게 된다.

이 浮遊式은 發電과 波濤멈춤의 2重效果를 갖는다. 空氣터어빈과 發電機는 空氣피스톤室 위에 1個씩 두던가 또는 2個의 空氣피스톤室에 대하여 1個로 하고 1個의 室은 波濤의 押入運動만을, 다른 방은 引出運動만을 取하는 2枚辨式으로 한다. (2枚辨式이 經濟性이 크다)

第8圖 1 波長浮遊型波力發電機



第7圖 空氣터어빈



空氣터어빈은 그림 7과 같이 發電機를 下向으로 두고, 터어빈의 動翼에 水切溝를 設置하여 터어빈 回轉에 의하여 水分을 끊고 발전기나 軸部에의 海水浸入을 防止한다.

○ 海岸固定方式의 研究經過 ○

海岸固定方式에 대한 研究은 1961년부터 1963년까지 3個年에 걸친 테스트에서 0.6Kw까지를 얻을 수 있었다.

1963년부터 1964년에는 外洋波에 대한 테스트를 하였다.

이 成果를 살려서 燈臺用 海岸固定式 波力發電機가 1966년부터 現在까지 運轉하고 있다. 이 發電機에서 固定파이프의 直徑은 0.8m이며, 發電出力은 最大 130W이며, 年平均 20W 程度이다.

그後 日本 大阪에서의 萬國博覽會에서 大型 固定式 波力發電機의 展示를 하게되어 이를 위한 研究가 防衛廳에서 行해지게 되었다.

그림 8과 같이 幅 3.3m의 水槽 一端에 상자型 空氣피스톤室을 固定시키고 그 위에 空氣터어빈型 波力發電機를 놓고 테스트를 反復하였으나 波濤馬力은 空氣피스톤室에 의하여 效率를 空氣出力으로 바뀐다. 그 變換效率은 約 70%는 可能하다고 測定되었다.

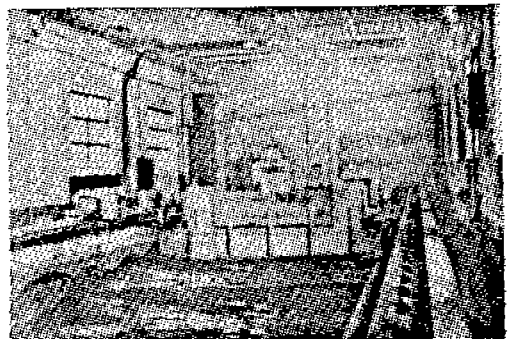
한편 空氣出力으로부터 發電出力으로의 變換效率은 約 40%이며, 綜合해서 波濤馬力의 28% 程度가 電力으로 바뀐다고 結論되었다.

여기서 波高가 2m, 周期가 6秒일 때에는 海岸線의 幅 1m에 대하여 25Kw의 波濤馬力이 있으며, 그 28%로서 幅 1m에 대하여 7Kw는 發電이 可能하다.

그리고 空氣피스톤室 1平方m當 1Kw는 發電할 수 있다고 推定되었다.

이 大阪萬國博覽會에서의 展示는 將來島嶼의 電力源으로서 波力發電을 使用한다는 構想의 展示이며, 造波된 물결로 發電되었다. 이것의 最大 發電出力은 波高 80cm에서 0.5Kw였다.

第8圖 防衛庁第1研究所의 水槽로 테스트中의 狀況

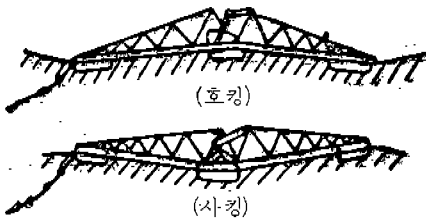


그後 電機工業會의 新發電 研究에서도 取扱되어 亞 灣岸에서도 테스트되었다.

이때의 테스트는 灣岸의 바위에 火焰세프트를 使用 하여 바위에 구멍을 뚫고, 그곳에 空氣피스톤室을 固定시키는 테스트나 大波로 發電部가 水沒되더라도 空氣가 發電部 附近에 모여서 海水의 浸入을 防止하도록 帽子커버를 設置하는 등에 대한 研究가 約 1年半에 걸쳐 테스트되었다.

그後 이 構想은 오키나와電力에서 技術關係에 對한 注目을 하게되어 오키나와의 高嶺電源으로서 그 可能性이 追求되고 있다.

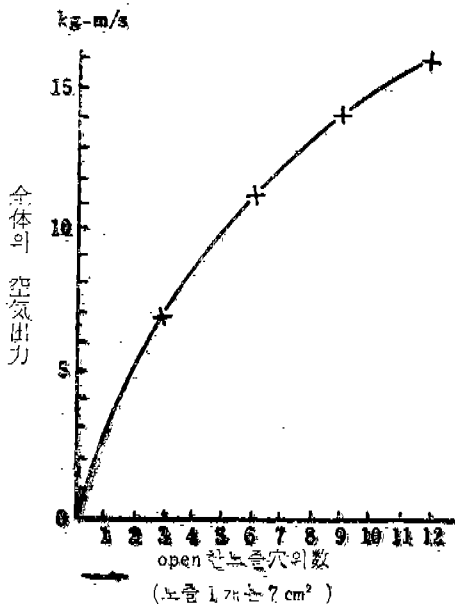
第9圖 3 浮體形波力發電機



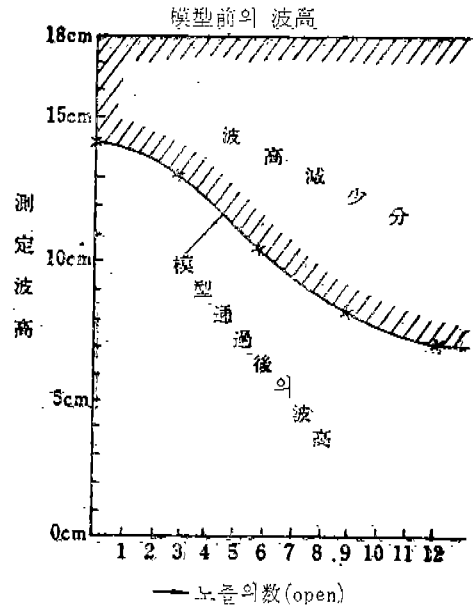
Ⅲ. 浮遊方式의 研究經過

浮遊式의 研究은 1947年 玄海灘에서 行한 3浮體型 波力發電機(그림 10)의 實驗에서 始作된다.

第10圖 全體의 空氣出力



第11圖 波馬力吸收에 依한 波高의 減少



海上構造物로 大波의 強力한 破壞力을 피하려면 灣岸에 튼튼하게 固定하던가 自由롭게 떠워서 波濤의 힘을 避하는가와 두 가지 方法이 있다. 浮遊型은 後者이며 半波長 間隔에 놓여진 세계의 浮體의 相對上下動에 의하여 發電하는 것이며 200W 程度 發電시킨 後에 中止되었다.

1965년에는 防衛廳의 水槽에서 浮防波堤를 目標로 한 浮遊型의 테스트가 이루어졌다.

이 테스트는 大型波力發電의 可能性을 提示하는 基礎가 되므로 詳細하게 紹介하겠다.

模型은 幅 1m, 길이 6m, 깊이 0.55m인 상자를 8개의 방으로 칸막고, 下面은 물결에 對하여 열리고, 上面에 多數空氣의 노즐구멍을 뚫어놓은 것을 폭 3.3m의 水槽에 띄우고, 一端에서 물결을 일으켜서 波高의 減少와 空氣의 出力을 測定하였다.

여기서 波高가 18cm, 波周期 1.7秒, 波長 4.4m의 물결을 이 浮遊型 模型에 대었을 때

○ 波馬力은 電氣出力으로서 노즐을 통하여 消耗되었으나 노즐을 全部 닫았을 때에는 電氣出力은 적으며 노즐 1個와 面積이 7cm²되는 것을 여는데에 따라서 電氣出力은 增加하고, 노즐구멍 12個를 열었을 때 16kg-m/s의 電氣出力이 그림 10과 같이 얻어졌다.

○ 이와같이 波動力을 電氣出力으로서 吸收하면 模型

通過後의 波는 波高가 크게 減少된다. 그림 11에 도시하는 바와 같이 노즐을 전부 닫았을 때 電氣出力이 적으며, 後方波高는 15cm이며, 元來의 波에 대하여 3cm가 내려갈 뿐이다. 그러나 노즐구멍을 열고, 공기출력을 소모시키면 後方波高는 7cm이며, 元來의 波에 대하여 11cm나 내려간다.

○ 이 幅 3.3m의 水槽의 波가 갖는 馬力은 23kg m/s이며, 노즐을 닫고, 電氣出力을 使用하지 않을 때에는 40%가 反射하고 60%가 通過해 간다.

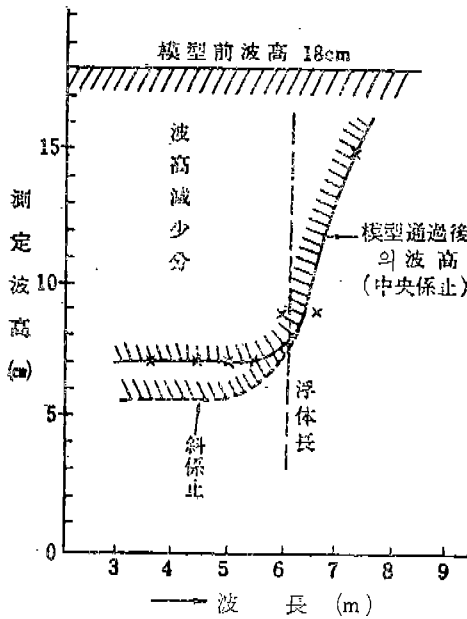
노즐을 열고 電氣動力을 吸收할 때에는 24%가 反射하고, 70%가 電氣動力으로서 吸收되며, 16%가 通過한다.

○ 波長이 浮體의 길이 以下의 波動力은 잘 吸收하는데 보다 기다란 波는 通過한다.

이것은 그림 12의 테스트가 잘 보여주고 있으며, 부이의 길이 6m를 경계로 해서 浪波效果가 急激히 減少된다.

○ 保留力을 測定한 結果, 극히 작은 것을 알았다.

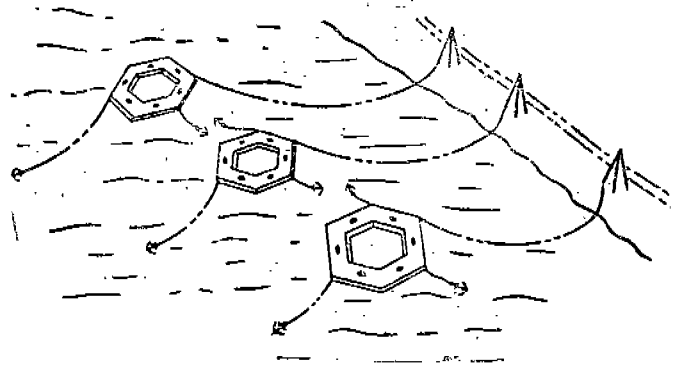
第12圖 波長對波高減少



浮遊型에 대한 水槽테스트는 그後에도 이루어져, 링型의 大型 波力發展의 構想이 생겼다.

大型波力發電兼 浮防波堤의 構想

第13圖 大型波力發電부이의構想



水槽테스트에서는 從長의 부이가 主로 테스트되었는데 이것은 도우너즈型의 링型으로 하면 어떨까, 이 構想은 日本이 자랑하는 造船力을 使用하여 直徑 120m의 링型 부이를 만들려는 생각이다.

부이의 形狀은 波壓力이나 흐름의 抵抗力을 극도로 적게하기 위하여 지스크型의 形狀이 가장 적합하다.

여기서 美國이 海津觀測이나 沿岸의 燈標에 實用하고 있는 直徑 12m, 무게 100톤의 Moon Star 부이가 이 지스크型인데 그 流體抵抗力이나 波壓이 극히 적은 것으로 알려져 있다(風速 40m일 때 係留力은 0.5톤으로 測定되고 있다).

좀더 커다란 Moon Star 타입을 만드는 것이 이 構想인데, 大波를 이겨내려는 大型부이로 하던 制御는 대단히 容易하다.

東海는 바다의 넓이가 좁기 때문에 일어나는 波濤의 波長도 120m 程度가 最大이며, 이 試案에서는 부이의 直徑을 120m로 한다.

여기서 浮體를 外徑 120m, 內徑 70m의 8角形 도우너즈型으로 하고, 높이를 5m로 하여 두께 12mm의 鐵板으로 만들면 全重量이 2,000톤 程度가 된다.

이 大型 부이中에는 3,700m² 程度의 電氣피스톤式을 設置하는 것은 可能하며, 普通의 時化에서 m²當 1Kw로 하면 出力은 3,000Kw로 年間 5,000時間으로 하여 1,500Kw時를 目標値로 해서 올리는 것은 可能할 것이다.

發電方式의 總部에 대해서는 未研究分野도 많으나 波力發電의 出力變動問題를 없애려면 陸上의 電源과 連携하여 發電機를 市販中인 100Kw 程度의 誘導發電機를 電氣터빈으로 同期速度보다 高速으로 回轉시켜서 出力을 逆送하는 誘導發電方式을 考慮하고 있다.

이 방식은 南米에서 風力發電에 使用되고 있으나 波

濤의 變動性에 대한 有効한 對策이더, 또 波力發電機의 價格抵減에 도움이 된다.

電氣터어빈은 直徑 1.5m~2m의 風車狀의 것이며, 2枚辦方式으로 하고, 2個의 電氣피스톤室에 대하여 1set를 필요로 한다.

이 大型 부이를 係留하는 것은 충분히 可能하다고 豫想하고 있다. 특히 지스바型으로 波濤가 닿는 面이 斜面으로 되어있을 것과 이 부이와 같이 커다란 水質量이 하나의 反力으로서 부이에 安全性을 增加시킨다.

첫째問題는 送電線이다. 그러나 앞으로의 研究에 따라서 이에 대한 解決方法을 찾아낼 수 있을 것으로 생각된다.

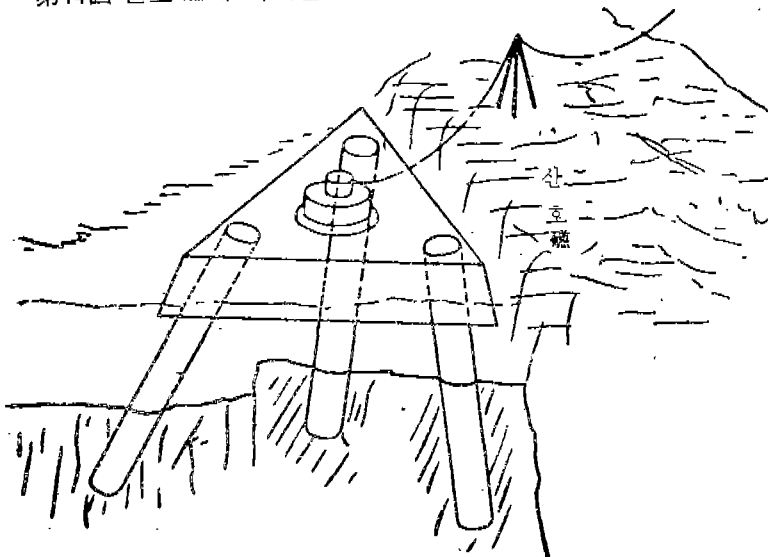
이 大型 波力發電 象 浮防波堤를 造船所에서 建造하여 現場까지 曳航하여 敷設하는 것으로 해서 建造費를 推定해 보면 다음과 같다.

- 浮體의 建造費 2,000t×50萬원/t=5億圓
- 發電機, 터어빈, 辦 등의 製作費
3,000Kw×10萬원/Kw=1.5億圓
- 海面敷設費(電線包含).....1.5億圓
總計 8億圓

發電出力을 3,000KW로 하면 KW當 26萬圓, 年間發電量을 1,500KW·時로 假定하고, 年間維持費를 1個當 2,000百圓으로 본다. 그리고 이 裝置의 壽命을 15年으로 假定하면 電力原價는 다음과 같이 된다.

- 建造費原價 8億圓÷(1,500萬Kw·時×15)

第14圖 산호礁에 파서불린 리구式海岸固定型波力發電機



$$=2.1\text{圓}/\text{Kw}\cdot\text{時}$$

- 維持費 0.2億圓÷1,500Kw·時=1.3圓/Kw·時
- 金利 8億圓×0.05÷1,500萬Kw·時
=2.7圓/Kw·時

$$\text{合計豫想電力原價}=4.2\text{圓}/\text{Kw}\cdot\text{時}$$

이 大型 波力發電 象 浮防波堤가 發電 以外의 消波나 漁業資源 增加에 커다란 效果가 있는 것은 明白하며, 海岸의 綜合開發을 圖謀할 수 있을 것이다.

그리고 豫想電力 原價에 대해서는 今後의 改良에 의하여 比한층 安값으로 製作될 수 있는 可能性도 있는 것이다.

海岸固定式 波力發電機의 構想

이 研究의 內容에 대해서는 오기나와 海洋萬國博覽會의 展示를 위하여 日本의 竹中研究所에 의하여 研究된 리구方式의 海岸固定 波力發電機에 대하여 설명하겠다. 오기나와 以南에 있는 太平洋上에는 數많은 島嶼가 있으며, 그 島嶼들은 한결같이 電力供給에 苦戰하고 있다.

그리고 海岸線은 珊瑚礁가 많다.

이 方式은 그림 14와 같이 三脚의 리구로서 海岸의 珊瑚礁에 리구用 구멍을 드릴때 두었다가 造船所에서 製作한 리구를 運搬해다가 세워서 海岸에 固定시킨다는 案인데 空氣피스톤室은 三角形으로 되어서 波濤의 壓力을 극히 적게하려고 考慮하고 있다.

이것은 元來 오기나와의 海岸萬國博覽會用으로서 構想된 것인데 리구方式을 採用한 것은 재미있는 案이다.

어떠한 案이거나 100Kw 程度의 유니트를 多數 使用하므로써 커다란 出力을 낸다는 생각인데 珊瑚礁에는 구멍을 파기가 容易하기 때문에 工事法으로 確定된다면 經濟性이 있겠다. 이밖에 외판 島嶼에서는 揚水式과 組合하는 것도 이 구름에서는 研究하고 있다.

研究發展을 위한 必要한 措置

技術立國이라는 日本이기는 하지만 國內技術의 育成이 實로 困難한 環境에 있는 것이 오늘날 日本의 實情이다.

에너지危機를 맞아 새로운

에너지원에 눈을 돌려 왔다.

家로서도 研究助成 施設이 強力히 이루어지고 있는 것
우리는 波浪에너지도 다른 에너지원에 比하여 優秀
할 망정 뒤떨어지지 않는 資源으로서의 有利性이 있다
고 斷言한다.

우리는 먼저 이것을 太陽에너지와 比較해 보고 싶
다.

에너지의 密度는 太陽光이 1平方m당 1Kw(平均으로
0.15Kw)인데 對하여 海岸으로 밀려오는 波濤는 幅
1m의 海岸線에 60Kw~10Kw의 에너지密度이며, 約
5m幅의 空氣피스톤室에서 完全히 吸收되므로 1平方m
당 12Kw~2Kw의 에너지分布密度이므로 波濤側이 몇
배나 더 크다.

다음에는 利用에 있어서의 土地問題이다. 日本은 섬
나라이기 때문에 土地의 入手가 대단히 어렵다. 그러
나 海岸線은 全部가 國有地이며, 土地의 取得은 漁業
과의 關係만 考慮된다면 可能하다.

海面과 海岸은 日本의 새로운 에너지供給의 面積으
로서 充分히 考慮할 價値가 있다.

바다에서 살아온 漁業은 波濤로 인하여 生命을 喪失
할 危險이 있으며, 大波가 밀리는 거친 海岸은 未利用
인체로 남아 있다. 波濤에너지의 制御와 그에 대한 利用
은 國家의 施策으로서 採用하는데에 充分한 資格을
갖춘 自然에너지이다.

우리는 이 研究를 26年間 계속해왔다. 이것을 始作
한 第2次 大戰直後에도 오늘날과 마찬가지로 에너지의

研究가 盛大하였으며, 特別히 風力發電의 研究가 國家의
補助를 받아 各地에서 이루어지고 있었다.

波力發電을 風力發電과 比較해 보면 波力에너지가
風力에너지의 調形이기는 하지만 에너지의 密度는 波
濤側이 크다는 것을 알 수 있다. 이것은 커다란 물의
質量과 그 深이가 에너지를 蓄積하고 있기 때문이다.

이것을 쓰고 있는 동안에 핀란드의 헬싱키工科大学
ROLF, Törnkvist博士가 20Kw의 波力發電에 成功하여
1,000Kw의 開發을 目標로 하고 있다는 便紙를 받고
親近한 緣은 기쁨을 느꼈다.

이 博士의 研究內容에 대해서는 아직 듣지 못하였으
나 水稻波로 20Kw發電에 成功하였다는 것은 커다란
業績이다.

이밖에 海外의 研究를 調査함과 아울러 日本에 있어
서的小型 波力發電機의 13년에 걸친 實驗經驗을 살려
서 適當한 機關에서 이 研究를 推進시킨다면 바다의
波濤도 有望한 에너지源으로서 日本의 에너지自給에
貢獻하고 또 國內技術로서 國外로 進出할 수 있을 것
이다(現在의 小型 波力發電機도 約 50個 程度輸出價値
이 있다).

海洋에너지는 흐르면서 움직이는 海洋이 갖는 에너
지이면 그중에서도 波浪은 가장 利用하기 쉽고, 또 利
用함으로써 많은 産業分野와 國土의 綜合的인 利用에
이러지한다. 특히 이 에너지利用이 無公害를 目標로
할 수 있다는 것과 漁業과의 競合없이 共存共營의 效
果를 갖는다는 것에 着眼하여야 할 것이다.