

# 波力發電에 관한 實驗的 研究

李 成 馥 · 金 勇 成

## Experimental Study on the Generation of Electricity from Wave Energy

Lee Sungbok, Kim Yongsung

### Abstract

It may be troublesome and costly to provide lighthouses on isolated island with electric power or fuels for generating. However, such trouble and cost can be saved by using electric power generated from wave energy. Therefore, the aim of this paper is placed upon such generation of electricity from wave energy.

To sum up the process of the above electricity generation, a steel rectangular pipe with the lower part open is placed under the sea water. It is reasonable to suppose that the space volume of the upper part in the pipe varies with the vertical motion of waves, just as in cylinder of air pump. Therefore, as the surface of waves rises, the compressed air in the upper parts rotates the air turbine linked directly with the upper part of pipe at high speed, and in turn, electricity is generated by rotating the generator coupled with air turbine. When the surface of waves lowers, the air coming from outside the pipe to fill up a vacuum generates electricity by means of rotating air turbine and generator. A battery is charged with electric power generated in this way and used during the night time.

In order to observe the link between the height of waves and generated current, the height of waves must be measured. The float moves vertically with the vertical motion of waves and the brush connected with rod of the float slides on the resistance wire. Thus the writer could measure the height of waves by recording the potential difference between the brush and one end of resistance wire.

AC three phase magneto generator is applicable, and this three phase electrical power being rectified by silicon diode, it is charged in a battery for use at night. But self excited three phase generator was used for this experiment in the dock on the beach in front of our college. By keeping a continuous records of the height of waves and the value of generated current on the recorder, it has been found that the period of waves is 2.5 to 4 seconds and the value of generated current also has a bearing upon the period of waves and the smaller the period of waves becomes, the greater the generated current becomes. Consequently, though the value of generated current with the height of waves is not constant, approximately the following results have been gained through the experiment:

|                         |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Height of Waves [cm]    | 55  | 70  | 80  | 85  | 100 | 115 | 125 | 140 | 150 |
| Generated Current [Amp] | 0.7 | 1.0 | 2.8 | 3.8 | 4.4 | 5.3 | 6.0 | 7.4 | 7.6 |

### 《 目 次 》

- |                 |                  |
|-----------------|------------------|
| I. 序 論          | 5. 自記記錄計         |
| II. 實驗裝置        | III. 實驗目的 및 實驗方法 |
| 1. 空氣壓縮裝置       | 1. 實驗目的          |
| 2. 空氣터어빈 및 附屬裝置 | 2. 實驗位置 및 實驗方法   |
| 3. 發電機 및 레귤레이터  | IV. 結果 및 考察      |
| 4. 波高計          |                  |

## I. 序 論

孤島の燈台에 必要한 電力이나 發電用 燃料을 供給한다는 것은 大端히 성가신 일이며 經費도 많이 들 것이다. 그런데 바다에 恒時 일어나고 있는 波濤의 에너지를 利用해서 發電할 수 있다면 이 電力을 燈台에 供給해 줌으로써 이와 같은 努力과 經費는 節約될 것이다. 이와 같은 波力發電을 하려는 것이 本研究의 目的이다. 日本에서는 浮標 및 孤島燈台를 爲한 波力發電이 開發되었다고 하는데<sup>(1)</sup> 仔細한 研究結果는 公表된 것이 없다.

波力發電方法은 다음과 같이 하였다. 밀이 트인 鋼鐵製의 四角 파이프를 海水中에 넣고 固定시키면 波浪에 依한 海面의 上下運動에 따라 파이프 內의 水面도 上下로 運動을 함으로써 파이프 上部의 空間의 부피가 變하게 되어 마치 空氣펌프의 실린더 內에서 往復運動을 하는 피스톤과 같은 役割을 水面이 하게 된다. 水面이 上昇할 때에는 위의 空間이 좁아짐으로써 壓縮된 空氣가 파이프 上部와 連結된 空氣터빈을 高速으로 回轉시켜 空氣터빈과 直結된 發電機를 돌려 發電하게 하고 水面이 下降할 때에는 水面 上部의 空間에 생기는 眞空을 메우기 爲해서 大氣로부터 들어 오는 空氣가 空氣터빈을 돌려 發電을 하게 한다.

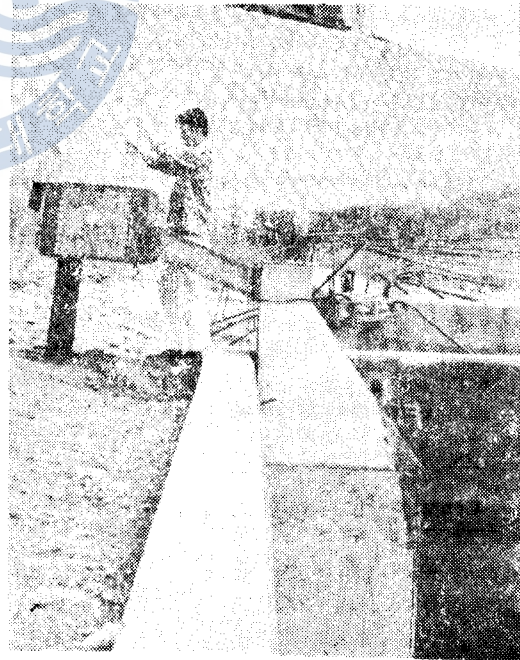
이와 같이 해서 發電된 電力을 蓄電池에 充電하고, 夜間에 燈台에 電力을 供給하도록 한다.

## II. 實驗裝置

### 1. 空氣壓縮裝置

空氣壓縮裝置는 第1圖와 같이 도크底面으로부터 54 cm 빼어놓고 1"앵글을 骨格으로 하여 3 mm 鐵板으로 熔接한 一邊의 길이 94 cm의 四角파이프를 세우고 下部는 開放하여 海水가 自由로 出入할 수 있게 하였다. 上部의 높이 188 cm 부터 282 cm까지는 점차 한 쪽으로 鐵板을 좁혀 直角 角錐를 만들어 맨 위는 一邊의 길이가 30 cm 인 4角이 되고 그 위에 플로우트式 安全裝置를 設置하여 이를 거쳐 空氣터빈과 連絡이 된다.

도크의 깊이는 303 cm로 潮汐表<sup>(2)</sup> 및 實測한 結果 最低潮일 때의 海面 높이는 70 cm였고, 最高潮일 때는 226 cm로서 干滿의 差가 156 cm였다. 그 사이에서 波濤가 일어나면 4角파이프 內를 水面이 上下하여 파이프 內로 空氣를 吸引 또는 排出하도록 만들었으며 水面의 上下運動 거리를 50 cm라 하고 波濤의 週期가 3秒인 경우는 每秒  $2 \times 0.5 \times 0.94^2 \times \frac{1}{3} = 0.295 \text{ m}^3$ 의 空氣를 空氣터빈의

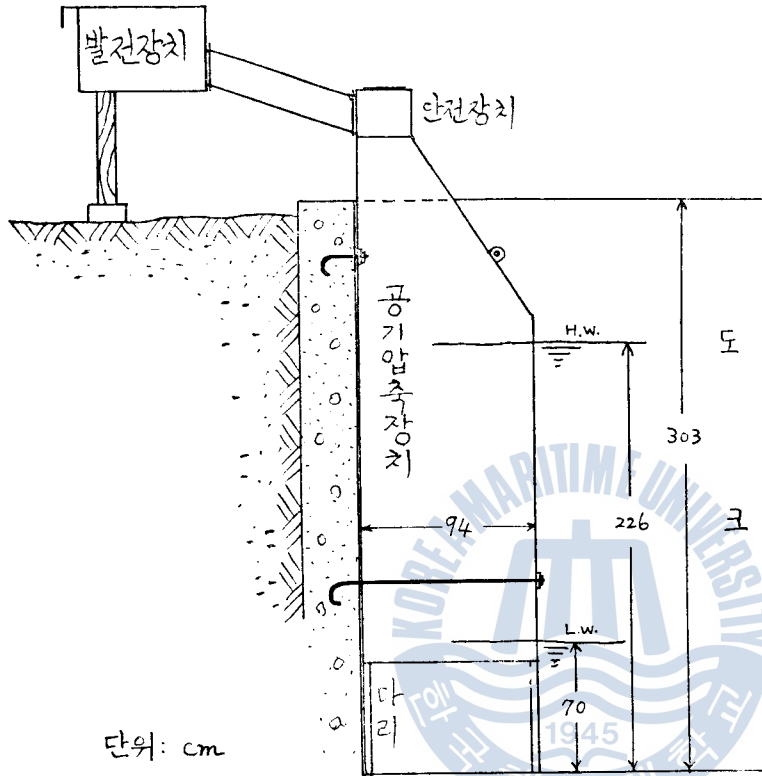


第1圖 實驗裝置外觀圖

(1) Japan in Pictures Vol.11 No.2 1969 Japan in Pictures Corporation p. 12~13.

(2) 1970년 조석표 제1권, 교통부수국 1969.8, p.10, 11, 12.

波力發電에 관한 實驗의 研究



第2圖 實驗裝置 斷面圖

23 cm로 약 30° 위로 공기터어빈 쪽으로 傾斜시켜 만일 플로우트와 플로우트 가이드 사이에서 새들어온 海水가 공기터어빈 케이싱 속으로 들어가기 困難하게 만들었다. 通氣管 兩端은 플랜지로 되어 있어 安全裝置와 공기터어빈 케이싱 사이에 보울트로 죄어진다.

2. 공기터어빈 및 附屬裝置

第3圖에서와 같이 공기터어빈 케이싱은 左右에 벨브박스, bulkhead ⑩을 中心으로 前部에 터어빈入口空氣室, 後部에 터어빈出口空氣室의 4部分으로 區劃되어 있다.

空氣壓縮裝置의 파이프 內에서 水面의 上昇으로 壓縮된 空氣는 플로우트式 安全裝置와 通氣管 ⑪을 거쳐 공기터어빈 케이싱의 右側벨브박스에 있는 고무板製 吸入벨브 ①을 지나 單式衝動터어빈의 固定블레이드 (노즐) ②를 통해 回轉블레이드 ③을 돌리고, 左側 벨브박스의 排出벨브 ⑥을 거쳐 大氣出入口 ⑫로 나가게 된다. 回轉블레이드 ③은 로우터 ④에 固定되어 있으므로 로우터가 돌면 플랜지 커플링으로 連結되어 있는 發電機 ⑤를 驅動하게 된다.

한편 水面이 下降하면 空氣壓縮裝置의 파이프上部에 眞空이 생기므로 이것을 補充하기 위해서 大氣를 ⑫로부터 吸入하여 吸入벨브 ⑦을 거쳐 공기터어빈을 驅動한 후 排出벨브 ⑧을 지나 通氣管 ⑪과 安全裝置를 통해 파이프 上部에 이른다. 이와 같이 水面의 上下에 따라 空氣의 流動方向은 變하지만 공기터어빈을 지나는 空氣流動方向은 언제나 變함이 없어 一定하므로 空氣터어빈은 繼續해서 一定方向으로 回轉하게 된다.

로 보내는 셈이 된다.

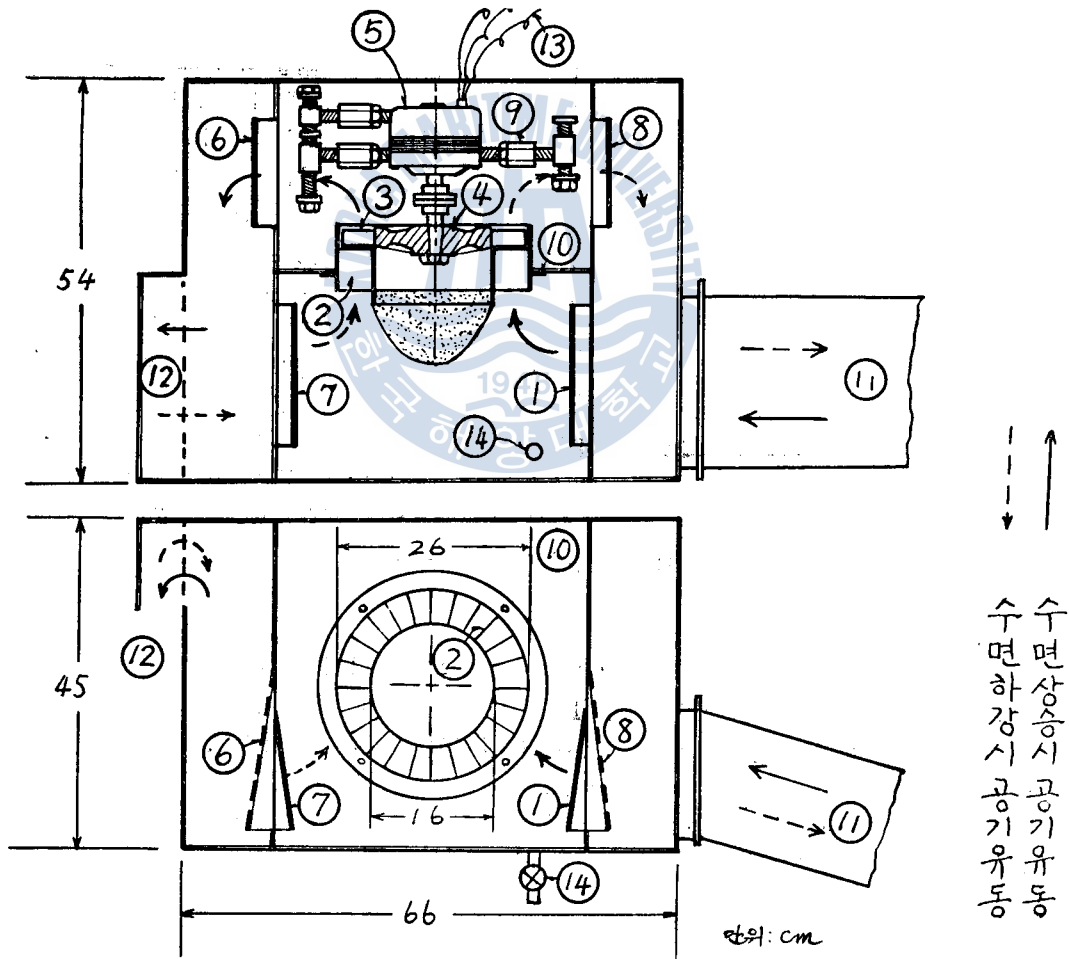
風波가 몹시 심한 경우 海水의 空氣터어빈室에의 浸入을 防止하기 위해서 플로우트式 安全裝置가 있으며 水面이 安全裝置 以上으로 올라오면 플로우트가 浮力에 의해 위로 떠서 플로우트 위에 붙어 있는 고무板이 安全裝置의 上部케이싱과 密着함으로써 플로우트 벨브의 役割을 하여 海水를 遮斷한다. 水面이 下降하면 플로우트 벨브는 그 自重으로 스스로 내려앉아 通路가 다시 열리게 된다. 플로우트는 外徑 25 cm 內徑 10 cm, 높이 15 cm의 中空圓筒形으로 가이드에 의해 垂直으로 움직이며 벨브 리프트는 8 cm이다.

空氣터어빈에의 通氣管은 길이 70 cm, 斷面은 17 cm ×

論 文 集

흡입밸브 ①과 ⑦의 크기는 16 cm×19 cm 이고, 배출밸브 ⑥과 ⑧의 크기는 20 cm×14 cm 인 2mm 두께의 고무板으로 內面에 이보다 넓이가 적고 얇은 鐵板을 붙여 밸브가 시이트에 密着 하였을 때 空氣壓에 의해 고무板이 휘어 氣密이 不良해 지는 것을 防止하였다.

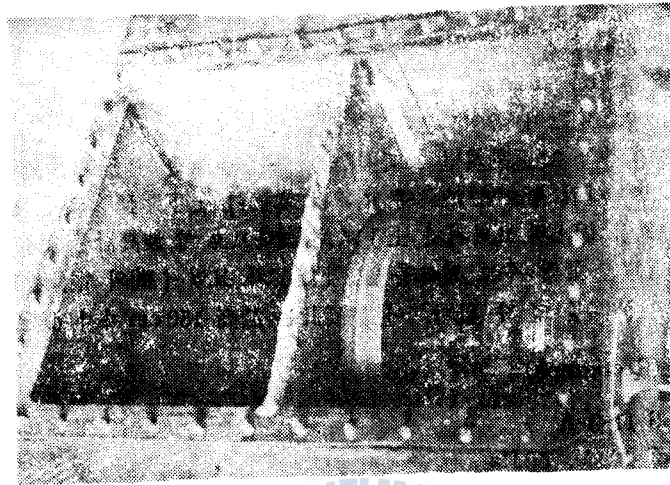
空氣터어빈의 노즐은 外徑 26 cm, 內徑 16 cm 인 環圓通路에 設置되어 있고 노즐 數는 19이며 convergent 노즐로서 노즐을 나올 때의 空氣速度를 빠르게 한다. 노즐板의 中心部에는 流線形의 cone 을 設置하여 空氣터어빈에의 空氣流動을 圓滑하게 한다. 回轉블레이드는 노즐와의 軸方向의 틈이 1 mm, 圓周方向의 틈이 1 mm 이고 블레이드 數는 31이다. ⑨는 發電機 및 空氣터어빈 로우터의 中心調整裝置(turn backle)로서 3組가 있다. ⑬은 發電機에서 나오는 導線이다. ⑭는 드레인 밸브로서 때때로 터어빈室內에 고이는 물을 排除하는데 쓰인다.



① 흡입밸브 ② 固定블레이드(air turbine): 노즐 ③ 回轉블레이드(air turbine) ④ 로우터(air turbine)  
 ⑤ 發電機 ⑥ 排出밸브 ⑦ 흡입밸브 ⑧ 排出밸브 ⑨ turn backle ⑩ bulkhead ⑪ 通氣管 ⑫ 大氣  
 出入口 ⑬ 發電機出力導線 ⑭ 드레인 밸브

第 3 圖 空氣터어빈 및 附屬裝置 斷面圖

波力發電에 관한 實驗的 研究



第4圖 空氣터어빈室內部

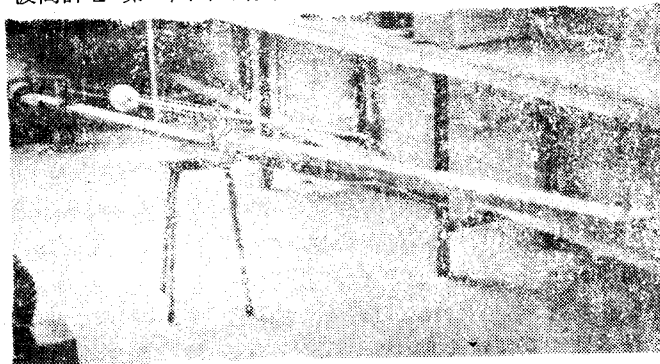
3. 發電機 및 레귤레이터

發電機는 交流發電機가 直流發電機보다 크기가 작고 가벼우며 整流子가 없으므로 廻轉範圍를 넓게 할 수 있으며, 실리콘 다이오드에 依해서 整流하면 低速廻轉時에도 蓄電池의 充電性能이 좋다. 그리고 出力이 100 W 以下의 小型發電機로도 充分하므로 勵磁損을 없애기 爲해서는 永久磁石을 廻轉界磁로 한 磁石發電機가 適合하나 永久磁石廻轉子는 텅스텐鋼 또는 크롬鋼 등의 工作이 困難하여 이를 製作하지 못하고 市中에서 自動車用 三相交流發電機를 求하여 實驗을 하였다. 이 發電機는 內部에 실리콘 다이오드가 들어 있으며 直流 12V 를 얻을 수 있다.

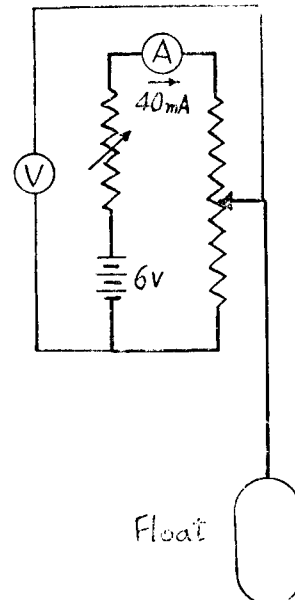
이 發電機는 空氣터어빈에 依해서 運轉되는데 이 空氣터어빈은 波濤의 大小에 依해서 廻轉速度가 달라지며 따라서 發電機의 發生電壓도 變動이 甚하므로 發生電壓이 過大할 때의 過充電을 防止하기 爲하여 레귤레이터가 必要하다. 發電機, 整流器 및 레귤레이터의 結線圖는 第8圖와 같다.

4. 波高計

波高計는 第5圖의 寫眞과 같이 鐵製臺 위에 길이 480 cm



第5圖 波高計 外觀(옆으로 누운 모양)



第6圖 波高計 結線圖

의 3" 앵글을 2개 합쳐 熔接해서 세우고 그 앵글 面 上部에 抵抗線으로서 直徑 0.8 mm의 니크롬線(電氣抵抗은 2.5 $\Omega$ /m) 180 cm를 끌고, 下部에는 플로우트의 가이드裝置(길이 180 cm)를 했다. 그리고 直徑 1 cm 되는 中空 알루미늄 棒의 下端에 플로우트를 붙이고 上端에 브러시를 裝置하였으며 플로우트가 上下로 運動하면 브러시는 니크롬 線上을 上下로 滑動하도록 되어 있다.

이 波高計를 水中에 세워 놓으면 波濤에 依해서 水面이 上下運動할적에 플로우트가 上下運動을 하고 따라서 니크롬 線上의 브러시가 上下로 滑動하므로 이 波高計를 第6圖와 같이 結線하여 니크롬 線에 一定電流를 通해 주고 니크롬 線 下端部와 브러시 間의 電位差變動을 繼續해서 測定하면 그때 그때의 波高를 알 수 있다. 이 波高計는 波高 150 cm까지 測定할 수 있다.

### 5. 自記記錄計(Rectigraph)

|             |   |
|-------------|---|
| Type        | 8 S 11-3-A  |
| Power       | AC 100 V, 60 Hz   |
| Speed Range | 2, 4, 10, 20, 50, 100, 250, 500 mm/sec.<br>2, 4, 10, 20, 50, 100, 250, 500 mm/min.        |
| Input Range | 2.5, 5, 10, 25, 50, 100, 250, 500, 1000 mV/cm.<br>0.5, 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200 V/cm |
| Channel     | 4   |
| Maker       | SAN-EI INSTRUMENT Co, LTD.  |

## Ⅲ. 實 驗 方 法

### 1. 實 驗 目 的

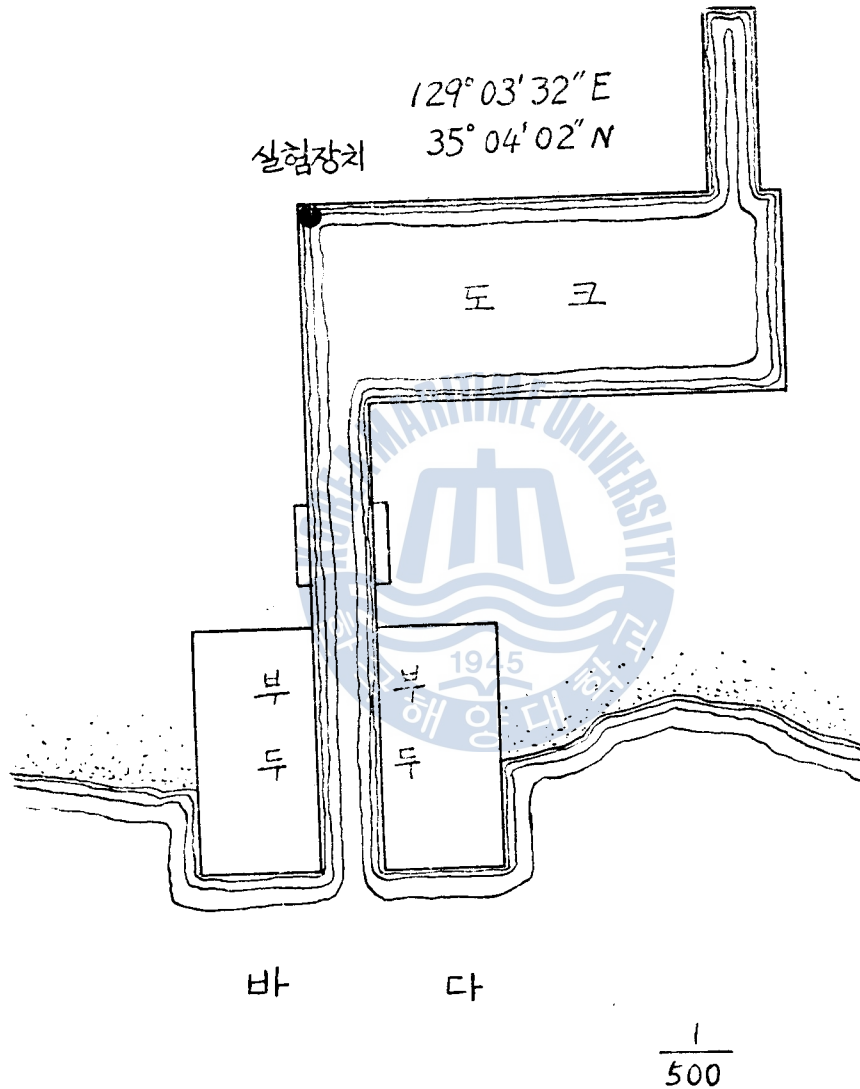
本實驗의 目的은 波力에 依해서 어느 程度의 發電이 可能하며 또 波濤와 發電量과의 關係를 求하기 爲하여 同一地點에 波高計와 發電裝置를 設置하고 波高와 發電量과의 變化量을 各種 波濤條件에 따라서 連續測定하려는 것이다.

### 2. 實 驗 位 置 및 實 驗 方 法

上記 實 驗 目 的을 爲하여 波高計와 發電裝置를 韓國海洋大學 앞에 있는 도크(緯度 35°04'02" N., 經度 129°03'32"E)에 設置하고 實 驗을 하였으며 도크의 模樣 및 도크內의 實 驗 裝置 位置는 第7圖와 같다.

波高 및 그 變化狀態를 測定하기 爲해서는 波高計로서 各種 波濤에 依한 水面의 上下運動을 電位差變動으로 나타내어 測定하였다. 即 波高計를 第6圖와 같이 結線하여 6V 電源에서 니크롬 線에 供給되는 電流를 加減抵抗器에 依해서 40 mA로 되게 調整을 하고 니크롬線 下端部와 브러시 間의 電位差를 繼續해서 自記記錄計의 1番チャンネル에 記錄을 했다. 니크롬線의 抵抗은 1 m當 2.5 $\Omega$ 이므로 1 m의 波高는 2.5 $\times$ 0.04=0.1 V의 電位差變動으로 나타나며 自記記錄計의 入力를 50 mV/cm로 調整을 하니 波高 50 cm가 記錄紙上에 1 cm로 記錄되었다.

發電實驗은 發電機를 空氣터어빈에 依해서 驅動시키고 發電機, 整流器, 레귤레이터 및 蓄電池(12 V, 100 AH)를 第8圖와 같이 結線하여 發電電流回路에 連結된 電流計의 兩端에 나타나는 電位差를 自記記錄計의 2番チャンネル에 記錄했다. 2番チャンネル은 25 mV/cm로 調整을 하니 發電電流

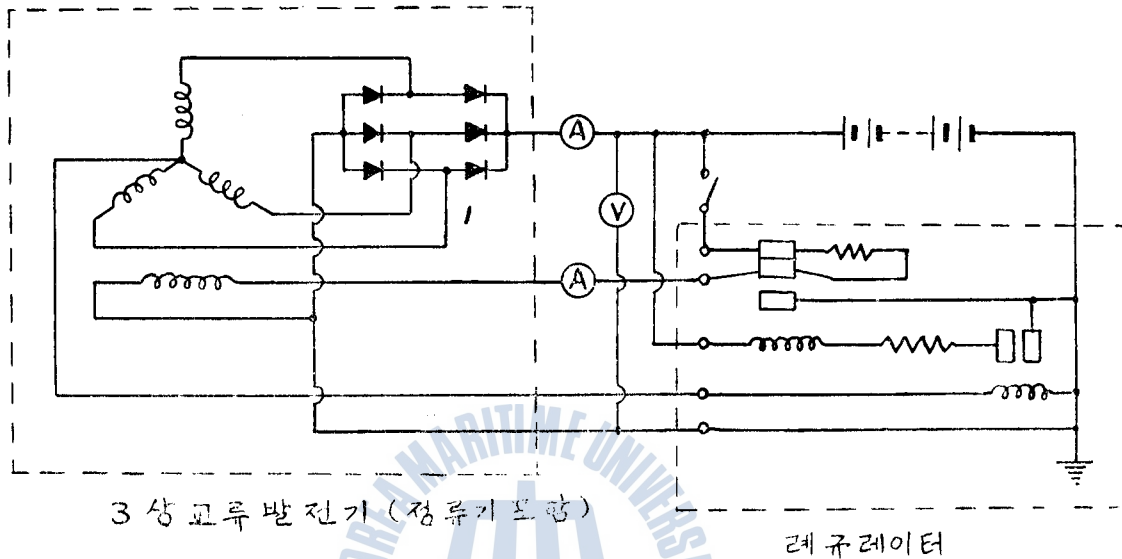


第7圖 實驗位置圖

2 A가 記錄紙上에 9 mm로 記錄되었다.

界磁電流의 記錄도 發電電流의 記錄과 같은 方法에 依해서 3番찬넬의 記錄紙上에 2 A가 9 mm로 記錄되었다.

蓄電池端子電壓도 4番찬넬의 入力에 넣어 記錄을 하였는데 이 찬넬은 5 V/cm로 調整을 해 놓으니 記錄紙上에 5 V가 1 cm로 記錄되었다.



3상 교류발전기 (정류기 포함)

레귤레이터

第8圖 充電回路圖

#### IV. 結果 및 考察

以上과 같이 實驗을 하여 그 結果를 自記記錄計에 記錄한 것 中 그 一部分이 圖表 1과 圖表 2에 圖示되어 있다. 圖表 1은 記錄紙의 移動速度를 100 mm/min로 하고 4分間 記錄한 것이며, 圖表 2는 記錄紙의 移動速度를 50 mm/min로 하고 8分間 記錄한 것이다.

이 圖表를 보면 알 수 있는 바와 같이 發電電流가 8 A 일 때는 勵磁電流가 2.6 A 이므로 蓄電池는 5.4 A 로 充電이 되고 있지만, 發電電流가 2 A 以下일 때에는 充電이 안되고 發電機의 界磁電流 2 A 를 供給하기 爲하여 蓄電池는 無益하게 放電만 하고 있다. 그러므로 이와 같은 無益한 蓄電池의 放電을 防止하기 爲해서는 發電機가 界磁電流를 必要로 하지 않는 磁石發電機를 使用해야 하는데 前述한 바와 같이 磁石發電機의 製作이 困難하여 不得已 電磁石을 界磁로 한 自勵式 三相交流 發電機를 使用하였다. 그러나 磁石發電機를 使用하면 發電機의 誘導電壓이 12 V 以下일 때에도 蓄電池는 放電되는 일이 없고 發電機의 發生電壓이 12 V 以上으로 높아졌을 때에는 發電電流는 全部 充電電流로 될 것이다.

다음에 波濤와 發電電流와의 關係를 分析해 보면 水面이 最高로 올라왔을 때 發電電流는 最大로 되고, 水面이 내려감에 따라서 發電電流는 減少하며 水面이 中間位置에 왔을 때 發電電流는 零으로 되고, 水面이 中間位置에서 더 내려가기 始作하면 發電電流는 다시 上昇하며 水面이 最低로 되었을 때에 發電電流는 다시 最大로 된다는 것을 알 수 있다.

이 發電機를 實驗室에서 廻轉시켜 보니 700 rpm 에서부터 發電電流가 通하기 始作하여 1050 rpm 時에 發電電流는 7 A 로 되고 1100 rpm 時에 8 A 의 發電電流가 通함을 알았다. 圖表 1의 가로軸上 3.7~3.8 分 사이에 있어서 約 1 秒間에 水面이 125 cm 上昇하고 發電電流는 8 A 로



波力發電에 관한 實驗的 研究

되었으니 이 때의 發電機 廻轉數는 約 1100 rpm 이다. 이것이 다음 3 秒 사이에 水面이 140 cm 下降하며 이때 水面이 中間位置까지 下降하는 동안 發電電流는 減少하여 零으로 되므로 發電機의 廻轉數는 約 1.5 秒 사이에 約 1100 rpm 에서 700 rpm 以下로 떨어졌다는 것을 알 수 있다. 水面이 中間位置에서 더 下降하여 最低까지 내려가는 동안에는 發電電流는 다시 上昇하여 7.4 A 까지 上昇하니 이 때의 發電機의 廻轉數는 約 1.5 秒 사이에 700 rpm 以下에서 約 1030rpm 으로 上昇했다는 것을 알 수 있다.

以上과 같이 廻轉數의 變動이甚한 것은, 터빈의 入口側 空氣室과 出口側 空氣室과의 空氣壓力差에 依해서 廻轉하고 있으며, 이 空氣壓力差가 波動的 1 週期(2.5~4.0 秒) 동안에 2 回씩 週期的으로 甚한 變動을 하고 있기 때문이다. 이 空氣壓力差가 最大值에서 最小值까지 減少하는데 要하는 時間은 最大일 때 約 1.5 秒로 되므로 이 時間동안만 上記한 空氣壓力差가 減少하더라도 터빈의 廻轉數가 거의 減少되지 않게끔 廻轉子의 慣性을 크게 만들어 주면 上記한 空氣壓力差가 最大值에서 最小值까지 減少했다가 다시 最大值까지 上昇하는 동안에 터빈의 速度變動은 거의 없을 것이다. 따라서 圖表 1의 가로軸上 3.7~3.8 分 사이에 있어서 水面이 140 cm 下降하는 사이에 發電電流는 거의 變動이 없이 約 8 A 程度를 維持할 것이며 發電機의 平均出力은 相當히 增大될 것이다.

앞서 말한 바와 같이 圖表 1의 가로軸上 3.7~3.8 分 사이에 있어서 約 1 秒 사이에 水面이 125 cm 上昇하여 發電電流는 8 A 가 通했는데 그 다음 瞬間에 水面이 125 cm 보다 많은 140 cm 가 下降하였는데도 發電電流는 8 A 보다 적은 7.4 A 가 通한 것은 時間이 約 3 秒나 걸렸기 때문이다. 卽 같은 波高에 對해서도 波濤의 週期가 작을수록 發電電流는 커진다는 것을 알 수 있다.

圖表1에서 波濤의 週期는 2.5~4.0 秒임을 알 수 있으며 따라서 波高에 對한 發電電流는 一定하지 않지만 波高에 對한 發電電流, 界磁電流 및 蓄電池端子電壓은 大略 表 1과 같이 되었다.

表 1. 各種 波高에 對한 發電電流, 界磁電流, 端子電壓

| 波 高 [cm] | 55   | 70   | 80   | 85   | 100  | 115  | 125  | 140  | 150  |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 發電電流 [A] | 0.7  | 1.0  | 2.8  | 3.8  | 4.4  | 5.3  | 6.0  | 7.4  | 7.6  |
| 界磁電流 [A] | 2.1  | 2.1  | 2.3  | 2.4  | 2.4  | 2.4  | 2.5  | 2.6  | 2.6  |
| 端子電壓 [V] | 12.1 | 12.2 | 12.4 | 12.5 | 12.5 | 12.5 | 12.6 | 12.6 | 12.6 |

以上과 같은 實驗的 研究에 依하여 孤島燈台에는 波力發電으로 電力을 供給할 수 있으며 孤島燈台을 波力發電式으로 代替함으로써 많은 經費와 努力을 덜 수 있다는 것을 알 수 있다.



(17:55 ~ 17:59)

波 100  
50

高 0  
(cm) 50

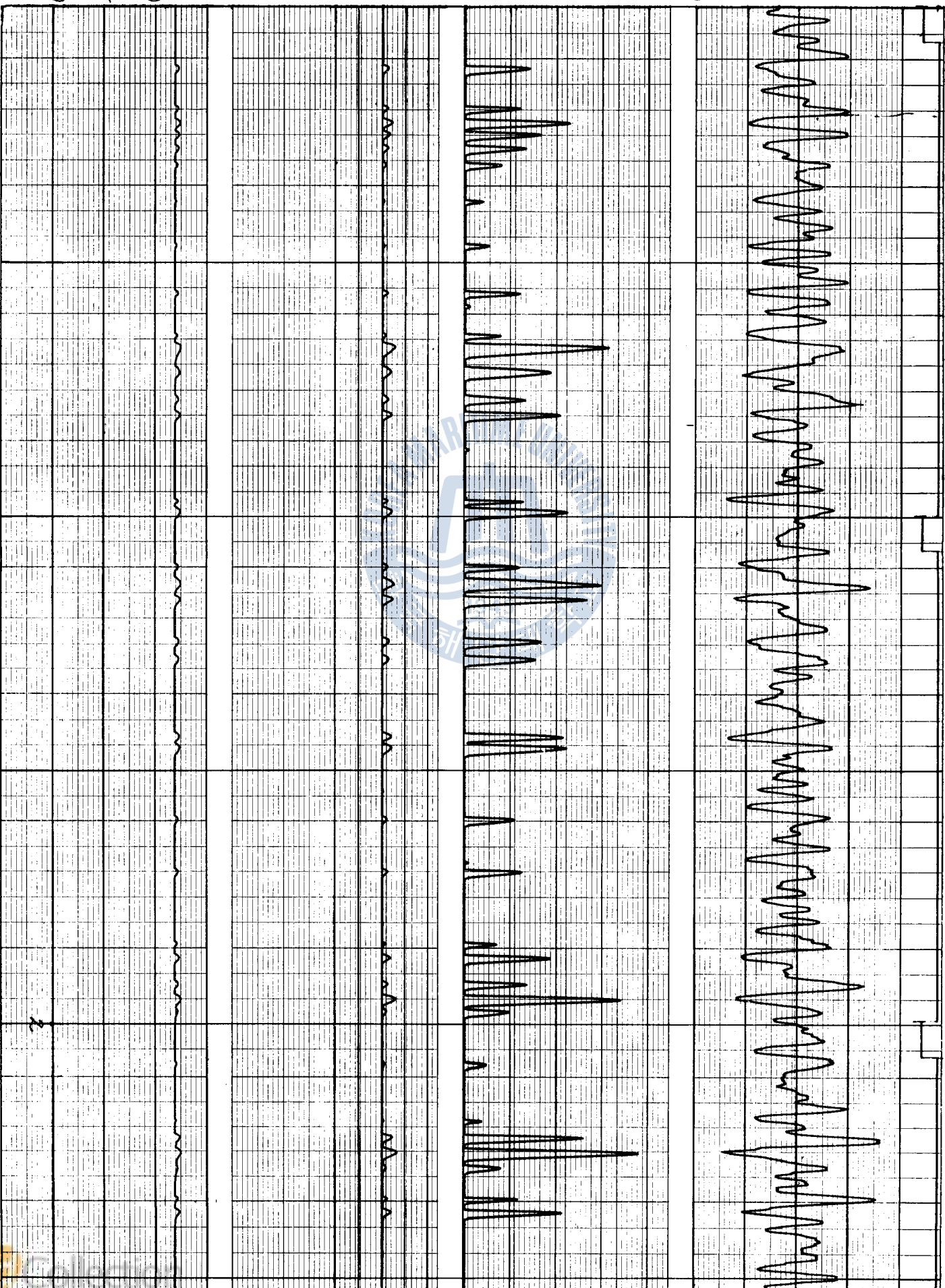
100

卷繞電流 (A)

界磁電流 (A)

端子電圧 (V)

15  
10  
5  
0



0.5

時間 (分)

1

1.5

2

2.5



