

# 波力의 利用

## 波力發電裝置

崔 榮 博 / 水原大學校 總長 · 理博

세계에서 파랑에너지의 혜택을 가장 많이 받고 있는 나라는 영국이다.

영국 에너지부의 조사에 의하면 1m당 40~70kw이다. 영국의 해안에 도달하는 파랑 에너지는 한해에 0.5pw (Petawatt)시로서 현재의 전력생산량의 2배 이상 된다. 파랑 에너지를 전기로 변화시킬 때의 효율을 1/4로 해도 영국 전력수요의 1/2이상은 공급조달하는 셈이 된다. 영국에서는 냉방장치가 거의 필요가 없으므로 전력수요는 여름에는 낮고 겨울에 높다. 한편, 파랑을 만드는 바람은 여름에 약하고 겨울에는 강하므로 파랑에너지는 여름에는 적고 겨울에 많

게 되어 알맞다.

미국은 남북으로 긴 해안선으로 태평양과 대서양에 접해 있으므로 파랑에너지량은 장소에 따라 매우 다르다.

미국 해안에 있어서 파랑에너지의 변화를 보면 연간을 통해 가장 큰값을 취하는 곳은 와싱턴주, 오래곶주 외해(外海)로서 연평균 값은 1m당

11.5kw로 되며 연변화의 폭도 가장 크고 최소값 5kw(8월)와 최대값 16kw(12월)의 비는 1:3이상으로 된다.

한편 세계 각국을 보면 1:3이란 오히려 작다. 태평양과 대서양 등의 8개 관측점을 선정하고 4계절의 에너지량을 표시 한 것이 <표 1>이다. 북태평양에서는 1m당의 최소값

<표 1> 大洋 8개 觀測點의 1m당의 波力(kw)

	5月	8月	11月	2月	平均
北 大 西 洋	30	40	30	30	32.5
中 央 大 西 洋	30	22	50	40	35.5
카 리 브 海	3	3	21	30	14.3
西 인 도 洋	3	30	3	3	9.8
東 인 도 洋	3	30	3	3	9.8
東 太 平 洋	3	3	12	12	7.5
中 央 太 平 洋	13	3	22	13	12.8
北 太 平 洋	30	3	60	30	30.8

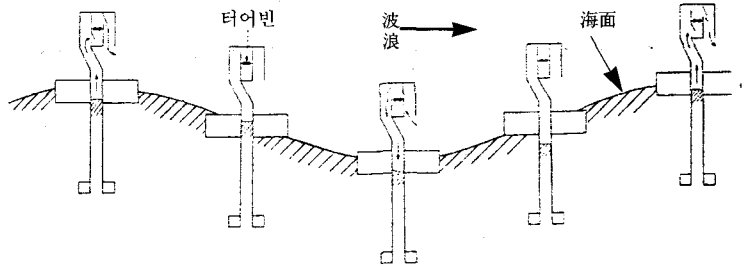
은 3kw, 최대값은 60kw로서 1:20의 크기가 된다. 파랑에 너지는 특히 계절에 따라 크게 변화한다.

▲ 波力發電裝置

파랑이 밀려왔다가 밀려나가는 현상의 반복에 의해 해면이 높게되고 다시 낮아지는 모습을 보면서 이와 같은 해면상하운동을 동력(動力)으로 사용할 수 없느냐고 생각하는 것은 당연한 귀결이며 지난 19세기부터 여러 고안이 나왔다.

파력(波力)이용에 대하여 1856년부터 1973년까지 영국에 등록된 특허의 수는 340건이다. 일본에도 1, 2차의 세계적 석유파동 이후 파랑에너지에 대한 관심이 높아지고 1973년부터 1980년까지 250건의 특허 신청이 나왔다. 하지만 최근까지 실용화된 것은 소규모의 장치 뿐이다. 옛부터 사용된 것은 안개피리(霧笛)이다. 부표(浮標) 즉, 브이(buoy)에 장치해서 파랑에너지를 음(音)에너지로 변화시켜 기적을 울리면서 선박 항행의 안전을 도모한다.

이것보다 약간 큰 장치로서 일본 해양과학기술센터가 고안해서 실용화한 소형발전장치가 있다. 1966년에 일본 해상방위청이 항로표지용 부표



<그림 1> 波浪發電의 原理

에 불을 켜는데 있어서 등대불 전원으로 이 장치를 이용하였다. 예컨대 일본 동경만 입구의 등대용 파력 발전장치로서 설치되었다. 그 이후 이와같은 종류의 장치를 구비한 부표가 수백개나 사용되었는데 출력은 100W 이하이다. 한편 바다의 파랑은 연중 끊임없이 발생하므로 이 파랑의 힘을 이용한 파력발전장치가 고안되어 실용화되었다.

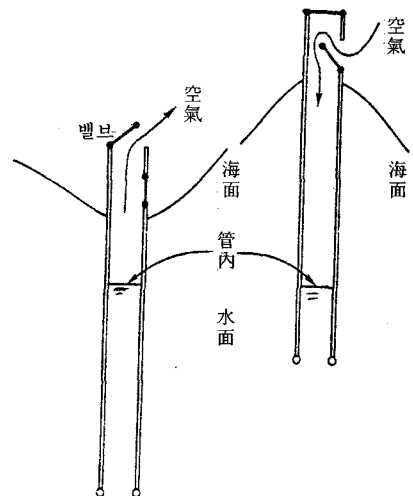
<그림 1>은 파랑발전의 원리를 나타낸 것이다.

해면의 상하운동으로 파이프내의 공기를 압축해서 터어빈을 회전시키는 것이다.

중간에 파이프를 붙인 부표 즉, 브이를 해상에 띄우면 브이는 파랑과 함께 상하운동을 하는데 파이프내의 해수면은 파랑에 영향을 받지 않고 거의 같은 위치에서 멈춘다.

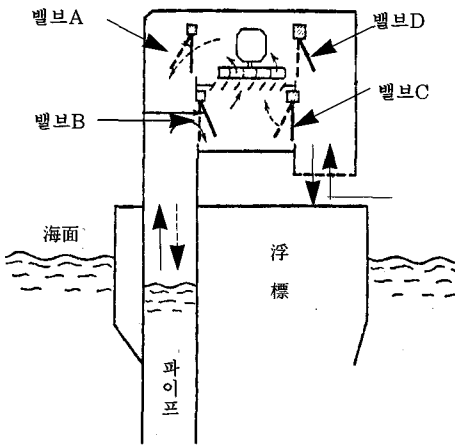
따라서 파이프내의 공기는 압축되고 그 압력으로 터어빈을 회전시키고 발전을 한다. <그림 2>에서 보는 바와 같이 파이프하단은 열려있다.

파랑발전장치는 전치(全治)식에 비하면 보수가 간편하고 무공해 전원인 점이 큰 장점이다. <그림 2>는 2개 밸브 방식 공기터어빈의 파력발전장치로서 부표는 해면과 함께 상하운동을 반복하는데 파이프내의



<그림 2> 2개 밸브 方式의 波力發電裝置

해수면은 파랑의 영향을 별로 받지 않고 언제나 대체로 같은 높이에 멈춰있다. 이 때문에 부표가 파곡(波谷)에 들어가면 관내의 해수위는 밀려올라 가게 되고 파이프내의 공기는 압축되어 터빈을 회전시키고 부표 밖으로 나간다. 다음에 부표가 파봉(波峯)으로 밀려 올라가면 파이프내의 공간은 넓게 되어 압력이 내려가므로



〈그림 3〉 4개 밸브 방식의 波力發電裝置

밸브가 열려서 바깥공기가 파이프내로 유입된다. 부표가 다시 파곡으로 침하하면 압축되어 터빈을 회전시킨다. 공기의 출구와 입구에 각각 1개 밸브가 있으므로 2매밸브방식이라고 한다.

이 방식에서는 파곡이 통과되지 않으면 터빈이 회전하므로 〈그림 3〉과 같이 4개의

밸브를 사용하면 부표가 밀려 올라갈 때에 터빈을 회전시키는 것이 가능하다. 부표가 파곡으로 낙하하면 파이프내의 공기는 압축되어 밸브 B부터 터빈실로 들어가고 터빈을 회전시켜서 밸브 D를 지나 바깥으로 나온다. 부표가 밀려 올라갈 때에는 파이프내의 압력이 내려가므로 외기(外氣)는 밸브 C에서 터빈실로 들어가서 터빈을 회전시키고 밸브 A를 지나 파이프내로 들어간다.

다음에 해면에 띄우는 것만이 아니고 해안에 고정하는 방식인 고정식공기터빈이 있다.

21세기초 프랑스인 프쇼프라세크는 〈그림 4〉에서 보는 바와 같이 11kw의 파력발전소를 만들고 가까

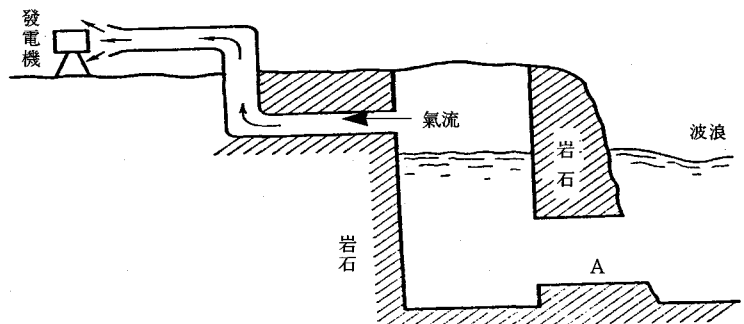
운 해안가의 자가 발전실에서 전력을 생산하였다.

암석을 도려내어 터널을 파고 해수를 수직구덩이로 도입하였다. 수직구덩이 안의 수위는 해안으로 밀려오는 파랑에 의해서 높게 되거나 낮게 된다. 이것을 이용해서 공기의 흐름을 만들고 발전기를 회전한다. 이것만으로는 바다가 고요하게 될때는 정전이 되므로 축전지를 구비해 둔다. 이 발전소의 장점은

1) 해수와 접촉하는 기계가 전혀 없으므로 해수에 의한 부식우려가 거의 없어서 유지관리가 쉬우므로 발전소 전체의 오랜 유지가 가능하다.

2) 쓰레기나 해조(海藻) 등이 수직구덩이로 들어와도 지장이 없다. 단, 수면에 떠 있을 뿐 어느 곳도 막히게 하지 않는다.

3) 바람이나 파랑이 매우 강해도 두터운 암석벽으로 되



〈그림 4〉 프쇼 프라세크 發電所

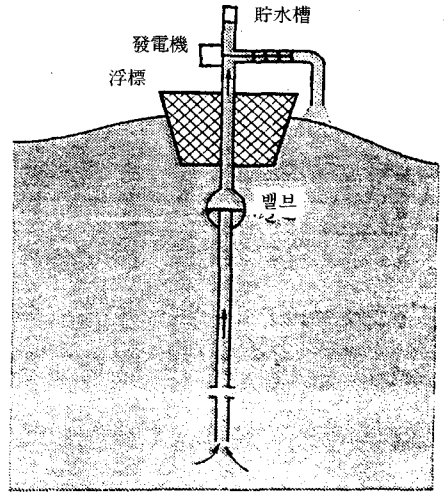
어 있어 단단하다.

이와같은 발전소를 방파제의 한 부분으로 만드는 안이 검토되어 있다. <그림 5>는 한 예로서 B와 C 부분의 곡선을 연구해서 풍파나 우네리(Uneri)에 대해 물이 공명(共鳴)하지 않도록 하고 있다.

이 까닭에 외파(外波)의 높이가 1m만 되어도 T는 그 이상의 폭으로 수위가 변화하므로 공기는 강하게 압축되어 빠른 기류가 발생한다. 부표를 사용하는 예를 설명할 때 파이프 중의 수위는 외파의 영향은 거의 받지 않고 언제나 거의 같은 높이에 있다고 말하였다. 하지만 <그림 4>나 <그림 5>에서는 파이프(수직구덩이)중과 수위는 외측의 파랑과 함께 변화한다. 이 차이는 파이프의 굵기나 파이프로 해수를 도입하는 도수로 <그림 4>의 A나 <그림 5>의 T의 길이와 굵기의

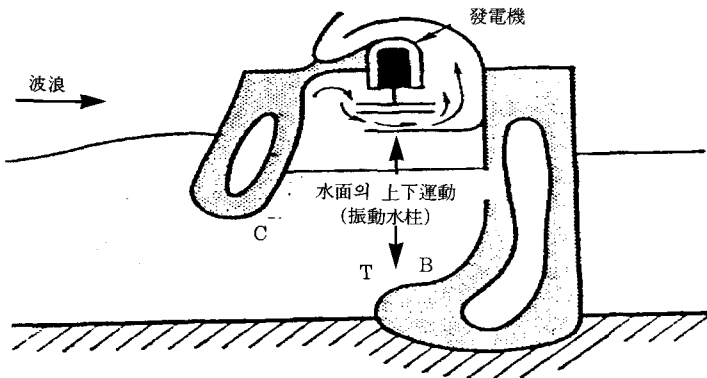
차이에 의해 생긴다. 도수로가 길고 가늘다면 조석(潮汐)과 같이 12hr, 24hr 등의 긴 주기로서 변화하는 파랑은 빠져나갈 수 있으나 수 초 내지 수 십초라 하는 짧은 주기의 파랑이나 풍파나 우네리는 빠져나갈 수가 없다.

해면의 상하운동을 이용하는 장치는 여러가지가 있다. 그 하나가 파랑펌프이다. <그림 6>과 같이 긴 파이프에 부표를 장치해서 띄운다. 공기터어빈의 경우와 같고 부표가 파곡으로 낙하하면 파이프내의 해수는 파이프에 대해서는 위로 흐르고 수위를 높게 한다. 부표가 파봉으로 밀려 높아지면 파이프내의 물은 아래로 움직이고 수위는 내려갈 것이지만



<그림 6> 波浪펌프

이때 밸브가 닫히는 까닭에 물은 아래로 흘러갈 수 없고, 수위는 내려가지 않고 높은 그대로이다. 다음에 부표가 파곡으로 낙하하면 다시 아래부터 물이 상승해서 수위는 다시 높게 된다. 이와같이 해서 높은 위치에 있는 저수조로 해수를 퍼올리고 낙차를 이용해서 발전을 한다. 시험의 결과에 의하면 길이 61m의 파이프를 사용하는 경우 1.8m 높이의 파랑에서 17m의 낙차가 얻어진다. 파이프의 길이가 92m이면 37m의 낙차가 얻어진다. 장치를 개량하면 파랑에너지의 30% 정도를 얻을 수 있다 (효율이 30%). 길이 153m, 직경 0.9m의 파이프를 무역풍대에 놓으면 50kw의 출력이 기대된다. <그림 7>과 같이



<그림 5> 沿岸波力發電所 의한 案

‘소루다 집오리’라 부르는 캠 운동이 있는데 이는 공기 터어 빈이나 파랑펌프 모두 파랑의 상하운동을 이용하는 장치이나 수평운동을 이용하는 장치도 만들수 있다. 여러 안이 있으나 에딘바라대학의 소루다가 1974년에 발표한 캠이 높은 효율이 있어서 특히 알려져 있다.

파랑이 오면 G를 중심으로 해서 좌우로 목흔들기 운동을 한다. 캠형태로 연구되어 특정한 주기의 파랑에 대해서 그 에너지의 90%를 흡수한다. 특정의 주기에서 빗나간 파랑에서도 전술한 바와 같이 50% 정도의 높은 효율을 나타낸다. 캠의 움직임이 집오리를 연상시키기에 소루다의 집오리라든가 집오리의 꾸벅꾸벅하기란 이름으로 불리지고 있다. 캠이 파랑에너지를 효율성있게 잘 빼내는 장치로서 큰 기대를 하고 있으며 실내실험이나 이론해석이 계속되고 있다. 그런데 이와같은 좋은 여러 평판이 높은 데도 불구하고 해상에서 시험이 좀처럼 시작되지 않는 것은 다음과 같은 난점에 의한 것이라고 본다.

1) 집오리의 외형은 그림에서 보는 바와 같이 이상한 형태로 효율은 높으나 만들기가 어렵다.

2) 내부구조는 외형보다도 더 복잡하다.

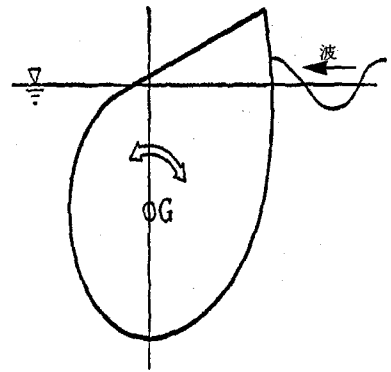
3) 몇개의 집오리를 배열해서 사용하므로 전체가 매우 무겁게 된다.

4) 집오리는 언제나 파랑이 오는 방향을 향해서 있어야 한다. 파랑이 오는 방향은 변화하기 쉽다. 거대한 탱커와 같은 크고 무거운 장치의 향(向)을 파랑변화에 의해서 간단하게 변경할 수 있는가 등이다.

### ▲ 뗏목과 연직벽

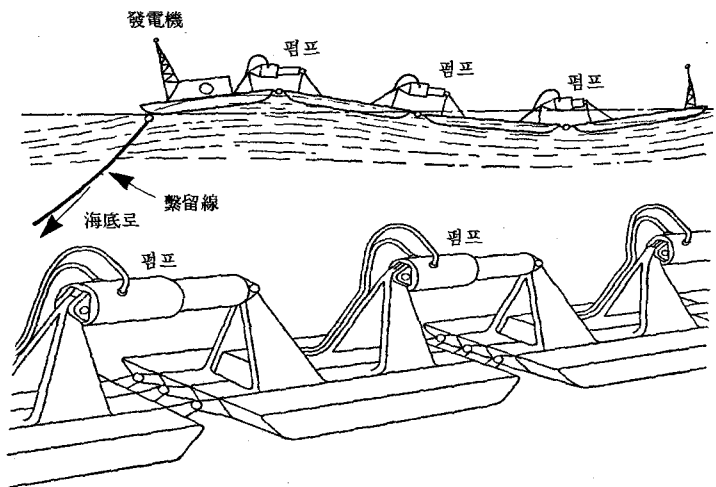
영국의 크리스트화·코크레루는 1972년에 「코크레루의 뗏목」이라 부른 안을 발표했다.

〈그림 7〉에서 보는 바와 같이 몇개의 부표를 관절의 이음



〈그림 7〉 소루다의 집오리(캠)

매와 같은 물건으로 연결해서 파랑진행 방향으로 나란하게 되도록 연결시킨다. 파봉, 파곡, 파복부(波腹部)에 위치하는 부표는 각각 다른 운동을 하므로 관절 이음매부의 피스톤은 펴지거나 줄어지거나 한다. 이 피스톤의 움직임으로 펌프를 일하게 하는 것이 그



〈그림 8〉 코크레루의 뗏목

원리이다.

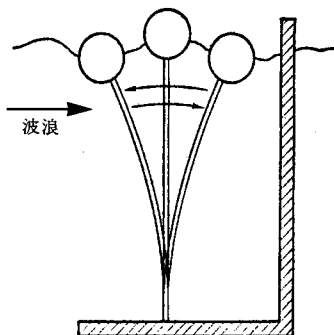
파장에 대해서 부표가 매우 작으면, 인접하는 부표는 같이 움직여서 피스톤의 신축은 없다.

부표가 파장에 비해 매우 큰 경우도 그렇게 된다. 파장의 1/4의 길이가 가장 좋다. 폭도 그 정도가 좋다. 파장은 100m에서 200m 정도의 것이 많으므로 1개의 부표 크기는 25~50m의 직사각형으로 된다.

원리나 구조도 간단하나 결점도 많다.

1) 연결부는 해중에 침수되거나 공중으로 노출되는 상태를 반복한다. 이와같은 상태의 금속은 해수에 언제나 침수되어 있는 금속에 비해 손상이 심하다.

2) 집오리와 같으며 파랑의 방향이 바뀌어지면 장치전체의 방향은 바뀌어야 한다. 1



〈그림 9〉鉛直의 壁

회전(360°)과 2회전하는 경우도 있을 수 있다. 육상과 송전선으로 연결될 때는 송전선이 뒤틀린다. 뗏목을 해저에 잡아메어 두고 있는 계류선도 비틀어지므로 송전선이나 계류선에 특별한 연구가 필요하다.

3) 부표는 크고 무거우므로 관절의 이음매에는 매우 큰 힘이 작용한다.

다음 〈그림 9〉에서 보는 바와 같이 연직벽 2개를 세운다. 파랑은 좌에서 진행해 온다. 좌측의 벽은 진행해 오는 파랑을 될 수 있는대로 흐트러지지 않도록 움직이기 쉬운 구조로 해 둔다. 파랑은 벽사이로 들어가고 다음에 우측의 벽에 충돌한다. 이벽은 파랑을 잘 반사하는 부동의 단단한 벽이다. 반사된 파랑의 에너지는 좌측의 벽을 동요시킨다. 이 움직임이 피스톤을 통해 발전기로 전달된다. 2매의 벽사이간격은 파장의 1/4에서 매우 빗나가 있어도 효율은 별로 나쁘게 되지 않는다. 고안자의 이름을 취해서 “튼키비스트”의 벽이라고 부르는 이 장치는 다음과 같은 문제점이 있다.

1) 2매의 벽이 20m이상이나 떨어져 있으므로 피스톤이나 지주(支柱) 등의 배치가 복잡하게 된다.

2) 피스톤이나 관절의 이음

부등 움직이는 부분의 해수를 뒤집어 서서 손상하기 쉽다.

3) 집오리나 뗏목과 같이 벽이 파랑방향으로 직각이 되게 하므로 장치 전체를 회전시키지 않으면 안된다.

4) 우측의 벽이 파랑을 잘 반사하기 위해서는 벽은 무겁고 강고(強固)해야 한다.

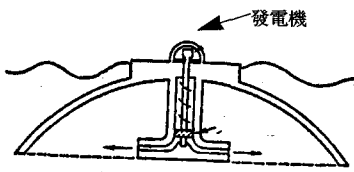
파랑의 수평방향 움직임을 이용하는 장치에 있어서 공통적인 약점은 장치를 언제나 파랑이 진행오는 방향으로 돌리지 않으면 효율이 떨어지고 만다. 〈그림 2〉, 〈그림 3〉과 같이 파랑의 상하운동을 이용하는 장치에서는 파랑은 어떤 방향에서 와도 좋지만 큰 출력을 얻기가 어렵다.

그래서 파랑의 방향에 관계없이 megawatt급의 출력이 기대되는 장치로 고안된 것이 〈그림 10〉과 같은 환초(環礁)담이다.

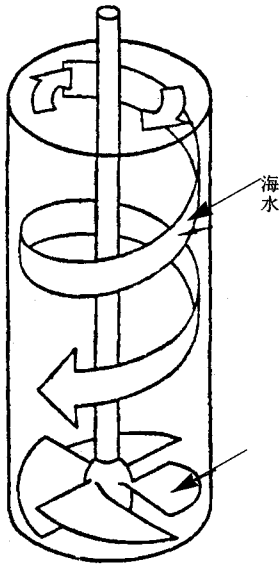
### ▲ 環礁담

직경이 수 10m에서 100m 정도의 반구형으로 된 지붕을 만들고 바다에 띄운다. 이 반구형 지붕은 인공적인 바닷가의 해변이다. 파랑이 지붕에 다다르면 수심은 얇게 되므로 파랑은 높게 된다.

또한 파랑은 얇은 쪽으로 구부러지는 성질이 있으므로



〈그림 10〉環礁댐



〈그림 11〉海水는 맬돌이가 되어  
落下함

파랑은 지붕중심을 향해서 옆으로 모여든다.

반구형의 중앙에 직경이 10m인 원통을 두고 해수를 그 원통으로 유도한다. 해수는 원통안으로 낙하하고 터빈을 회전시킨다(그림 10). 바다에서 실시시험은 아직 시행되지 않았으나 모형실험의 결과는 좋다.

### ▲ 퍼올리는 방식(汲上方

式)

환초댐과 같은 해안에 자치한 것이 퍼올리는 방식으로 〈그림 12〉와 같이 폭이 꺾쇠형으로 좁게 되면서 길어도 얇게 되어가는 수로에 파랑을 가두면 환초댐의 경우와 가로폭이 좁게 되는 것과 수심이 얇게 되는 효과가 겹치게 되어 파랑은 깊숙한 곳으로 진행함에 따라 높아진다. 이것을 이용해서 저수지에 해수를 퍼올린다. 이것만으로 저수지의 수위를 4~5m 높일 수 있다. 저수지에서 바다로 물을 낙하할 때의 낙차를 이용한다. 약간 외해(外海)에 인공의 암초를 설치하는 안도 있다. 암초에서는 수심이 얇게 되므로 파랑은 역시 높게 된다.

암초의 형이나 크기를 적당하게 선정하면 파랑에너지를 크게 할 수 있다.

또한 〈그림 13〉과 같이 연직단면을 가진 공명(共鳴) 우물도 생각할 수 있다. 우물의 내부는 외부와 해면 아래에서 연결되어 있으므로 외부의 해면이 상하로 움직이면 내부의 해면도 상하로 움직인다.

아무런 굴리도 없으면 그 움직이는 폭은 고작해서 외부의 해면의 움직인 폭②에 지나지 않으나 우물의 내벽이 뒤로 젖혀지는 정도를 교묘하게 선

정하면 어느 특정의 주기를 가진 파랑에 대해 우물이 공명기(共鳴器)로 작용해서 내부에서의 상하운동 폭③은 외부의 수배로 된다. 이것을 이용해서 저수지로 물을 퍼올린다.

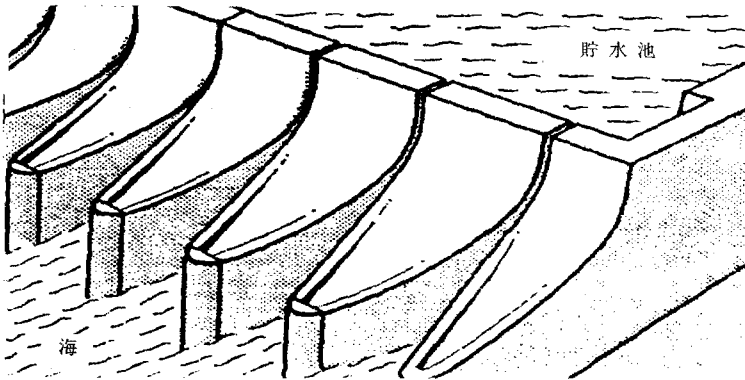
우물에 뚜껑을 해서 내부공기를 압축하면 〈그림 5〉와 같은 형으로 된다. 범종의 형을 한 용기의 입에 아코디언과 같은 주름상자를 장치하고 해중으로 가라앉힌다. 수압변화에 따라서 주름상자는 왕복운동을 반복하여 이것을 동력으로 바꾼다.

파력을 이용하는 여러 고안이나 특허가 있지만 아직 바다에서 실용화 단계에 있는 것은 매우 적다.

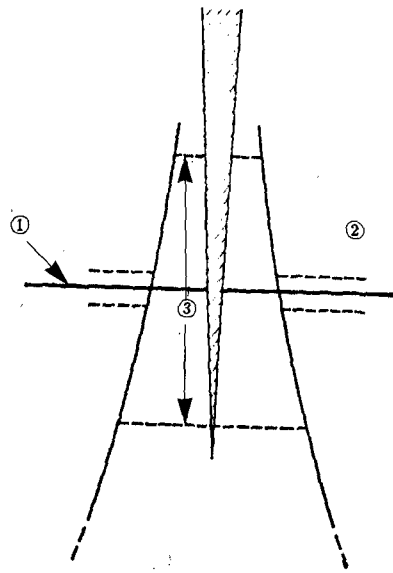
다만, 일본 해양과학센터에서 소형 부표로서 항로표지나 양식등 수산업, 항만공사에 넓게 사용하는 공기터어빈 방식이 있는데 이 방식을 대형화한 것이 〈그림 14〉와 같은 연안 고정식 발전 장치이다. 높이 6m, 폭 8m, 길이 7m로 발전기의 출력은 40kw로 현재 방파제에 도입시켜 이도(離島)의 해안에서 사용되고 있다.

파력이용은 영국, 미국, 노르웨이, 일본 등에서 연구되고 있다.

### ▲ 環境에 대한 影響



〈그림 12〉 퍼올리는 방식



〈그림 13〉 共鳴우물

파력발전은 조력발전과 같이 폐기물이 없는 무공해에너지이고 화학물질을 사용하지 않으므로 해양수질오염이 없는 클린에너지이다.

파력발전은 파랑의 에너지로 흡수하므로 발전장치의 뒤측에서의 파랑은 약화된다. 만일 에너지가 모두가 흡수된다면 파랑은 소실되고 만다.

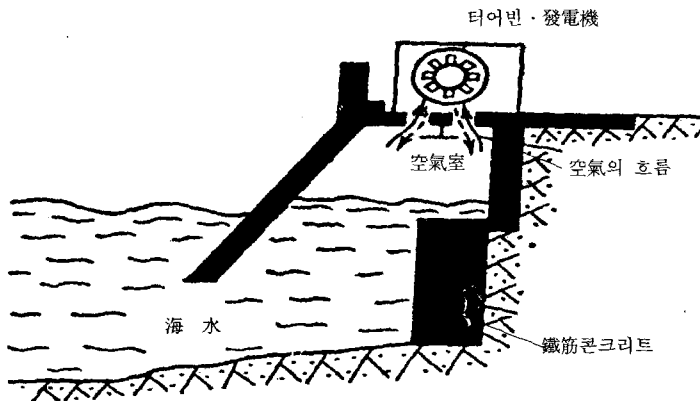
결국 발전장치는 소파제, 방파제로서의 역할도

하게 된다. 해안이 파랑에 의해 분리되는 곳에서는 해안을 보호한다.

하지만 파랑이 약해지면 해수의 움직임이 약하게 되고 표사의 움직임이 변화하며 어느 곳에 얇은 여울이 형성되고 3각주(Delta)가 조성되기도 한다. 해수는 상하방향으로 혼합하기가 어렵게 되며 대기에서 해면을 통해 해수에 용해한 산소(O<sub>2</sub>)는 하층으로 도달하기가 어렵다. 생물의 종류나 서식하는 방식에 변화가 생긴다.

우리나라는 삼면이 바다로 어장이 많고 파력발전, 조석발전 등 어업이외의 목적으로 바다를 사용하는데 있어서 어업과 경합될 운명에 있다. 하지만 해중에 큰 물체가 거치게 되면 고기가 모이는 것이 보통이므로 파력발전장치 주위는 좋은 어장이 될 것이라고 본다.

선박의 항행에 있어서 지장이 될 수도 있다. 또한 파력만이 아니고 해안이나 해안 가까운 곳에는 바다의 에너지가 바람의 에너지를 꺼내는 장치를 설정하면 자연의 경관을 깨뜨리는 위험이 있다. 즉, 자연경관의 오염이다. ☹



〈그림 14〉 沿岸固定式發電裝置 예