

波浪과 波力發電所

남반구의 바다 면적은 북반구 바다 면적의 1.3배이므로
17Petawatt를 1.3배하면 22Petawatt가 남반구의 파력이
된다. 따라서 남, 북반구의 그것을 합치면 약40Petawatt가
세계의 파력이 되며 40Petawatt는 세계 에너지 소비량의
4천배에 해당된다.

崔 榮 博 / 水原大 總長 理博

19세기 프랑스 낭만주의파의 대시인이며 유명한 소설가인 비크토르·유고(1802~1885)가 1874년에 발표한 작품 중에 「93년」이 있다. 「93년」은 1793년으로서 프랑스 대혁명을 무대로 한 소설이다. 이 소설에 등장한 인물의 한 사람으로 하여금 다음과 같이 말하게 했다.

“자연을; 이때까지 이것을 무시해온 위대한 자연을 이용하자. 특히 바다의 파랑의 움직임이나 조석의 썰물, 밀물 현상을 보자. 바다란 무엇인가? 이것은 숨겨진 터무니없이 큰 힘이다” 역사는 흘러 1978년에 개최된 유엔 제33

회 총회는 또한 다음과 같은 의미의 결의를 하였다.

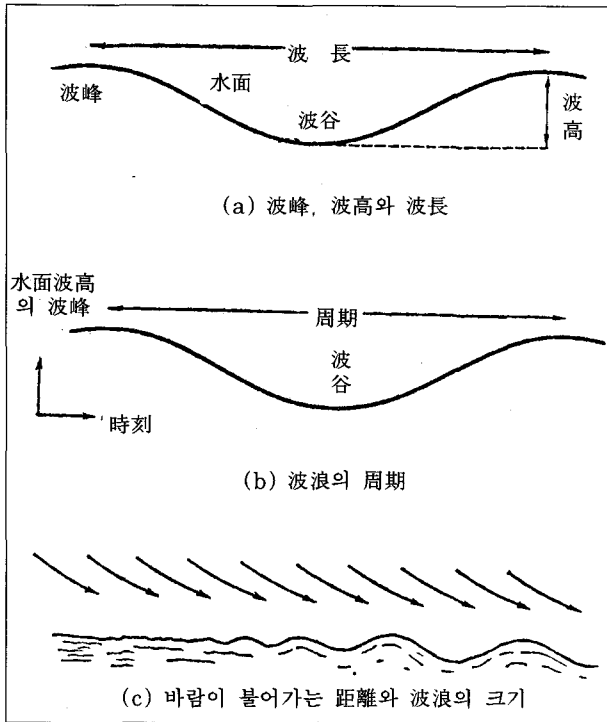
“앞으로의 에너지 수요의 증대 특히 개발도상국에서는 이에 대응하기 위해서는 새로운 그리고 재생 가능한 에너지 자원의 개발이 필요하다.

이 분야의 기술은 최근 눈부신 진보가 있었다. 하지만 실용화를 꾀하는 입장에서는 국제협력이 중요하다. 또한 이들 기술을 선진국부터 개발도상국으로 보급하기 위한 구체적인 대책을 생각해야만 한다.…”

여기서 재생 가능한 에너지 자원이란 석유나 석탄이나 천연가스 등 화석연료는 유능한

에너지로서 사용해도 사용한 분량만큼 뒤로부터 계속 자연적으로 보충되어 상용이 중단되는 일이 없다.

사실 자연 에너지를 이용하면 폐기물(쓰레기)을 배출하지 않은 깨끗한(Clean) 에너지일 뿐만 아니라 자연환경을 보전하는 면에서는 안전한 무공해에너지인 것은 잘 아는 사실이다. 여기서는 1960년에 프랑스 전력이 “랑쓰”강 조석발전소의 건설로서 세계에서 처음으로 조력발전의 본격적 이용에 실현하였기에 여기서는 우선 미래의 무공해 에너지자원인 파력발전을 제시하기로 한다.



<그림 1>

風波, 우너리 및 波力

조석은 달의 인력(引力)이 원인이 되어 해수가 수평방향으로 움직여서 해면의 상하운동이 발생하는 현상이다. 지구는 자전하고 있으므로 지구상의 어느 장소에서 보면 달의 인력은 힘의 크기나 방향이 시간과 함께 변화한다.

따라서 해면이 높게 돌기(突起)된 곳을 파봉(波峯)이라 하고 낮게 오목해진 곳을 파곡(波谷)이라 하여 이들은 모두 시간과 함께 위치를 바꾸어 움직인다.

조석도 일종의 긴 주기의 파랑으로서 조석파라고 말하기도 한다. 그런데 파력발전, 파력이용이라 하면 조석은 포함되지 않는다.

바람에 의한 풍파와 크게 물결치는 놀인 우너리(Uneri, 국제용어)만에 속한다.

바람이 수면으로 불기시작하면 해면에는 작은 물결 즉, 세파가 발생한다. 파랑에는 <그림 1>에서 보는 바와 같이 파장, 주기, 파고가 있으며 파장을 주기로 나누기 한 값이 파속(Celerity)이라 하며,

파랑이 진행한다는 것은 파의 형이 진행되는 한다는 것으로 물이 움직이는 속력과 다르다. 파랑은 먼 곳까지 전달하는데 이 파랑을 구성하는 물 입자 자신이 먼 곳까지 흘러가는 것이 아니다. 파랑 사이에 있는 떠있는 쓰레기 등을 보면 바로 알 수 있다.

쓰레기는 같은 곳을 왔다갔다 한다. 세파는 파장이 수 cm, 주기는 1sec이하로서 파속은 1sec당 수 10cm이하이다.

<그림 1>(C)에서 보는 바와 같이 바람이 긴거리에 걸쳐서 오히려 긴시간 불기를 계속하면 작은 파는 점차 큰 파로 된다. 파장이나 주기도 길게 되고 파고도 커진다. 충분히 발달되면 파장은 수 10m로 주기는 수 초(sec)로 된다. 이와 같은 상태로 된 파랑을 풍파라고 부른다.

풍파는 느린 것도 매 초 10m정도의 속력으로 진행하나 풍파를 발생시킨 저기압(Lows)이나 불연속전선 또는 태풍등이 이동하는 속력은 이것보다 느린 것이 보통이므로 풍파는 바람이 발생한 해역 즉, 풍역을 얼마만 있어 빠져나간다. 빠져나가도 파는 바로 약하게 되지 않는다.

예컨데 남극해에서는 언제

나 강한 서풍이 불고 있으므로 풍파는 잘 발달한다. 발달한 풍파는 남극해를 빠져나가서 남태평양을 북진해서 적도를 넘어 나아가서는 북태평양을 가로질러서 아라스카해에 도달한다.

풍파는 바람이 불지 않는 해역을 진행하는 사이에 그 파장은 더욱 길게 되어 200m 이상에 미치고 주기는 10sec를 넘는다. 이 파랑을 우너리라 한다.

여름철에 일본에 내습하는 토용파(土用波)는 이것이다. 우너리로서 그 기원은 남태평양상의 태풍이나 2,6,8,9월의 태풍은 그 진행하는 속도보다도 파랑쪽이 더 빠르므로 소위 태풍의 전조(前兆)로서 일본의 해안에 밀어닥친다. 토용이란 토왕(土旺)으로 입하, 입추, 입동, 입춘의 18일간을 말하는데 흔히 여름 토왕을 말한다.

특히 우너리는 여름의 토왕 즉, 토용때부터 특히 두드러지므로 이것을 토용파라고 부른다.

천기예보(天氣豫報)의 제도를 19세기에 처음으로 만든 것은 프랑스이나 이의 동기가 된 것은 크리미아 전쟁(1853~1856)에서 영국과 함께 터어키"에 가담하여 러시

아와 싸운 프랑스의 안리 4세란 군함이 지중해에서 저기압의 내습을 받아 침몰한 사건이다. 제2차 세계대전 이전에도 일본 해군의 구축함이 일본산리구외해에서 연습중에 큰 파랑의 내습으로 함수(艦首)가 부러지는 사고가 발생했다. 특히 튼튼하게 조선된 군함도 파력에 견디지 못하므로 10만t급을 넘는 대형유조선 등이 조난하는 것이 이상스러운 것이 아니다. 미국 오래곤주의 해안에서 20t의 암석이 30m의 높이까지 밖으로 내팽개쳐진 일이 있다. 영국 스코틀랜드 가까운 곳의 파랑은 파고가 커서 유명하다. 1,350t이나 되는 시멘트·블록이 파랑에 의해 파괴되고 없어진 일이 있다. 또한 이것을 보충하기 위해 장치한 2,000t의 블록도 파랑에 의해 없어진 일이 있다.

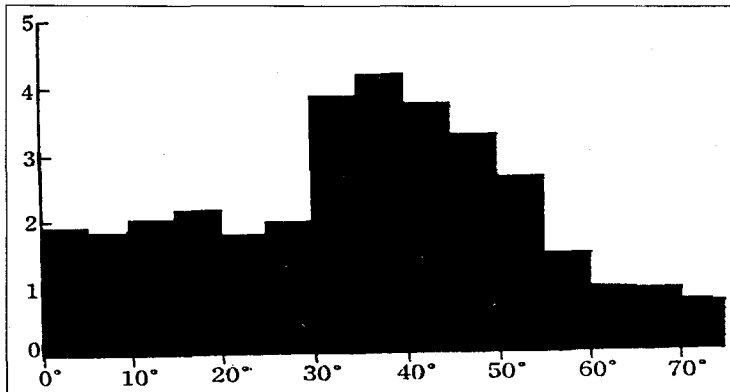
1파장에 포함되는 파랑 에너지량은 파고의 제곱(자승)에 비례한다. 파고 5m의 파랑은 1m 파랑의 25배의 에너지를 가지고 있다. 그런데 에너지 이용이라든가 파력발전이라 할때 에너지는 이것이 아니다. 어느 장소에 1sec사이에 얼마 정도의 에너지가 유입해 오는가 하는 것이 중요하다.

조석 발전에서는 조차만에 중요한 것이 아니고 그 조차 즉, 낙차 아래에서 어느 정도의 해수가 낙차되는가가 중요한 것과 마찬가지로이다.

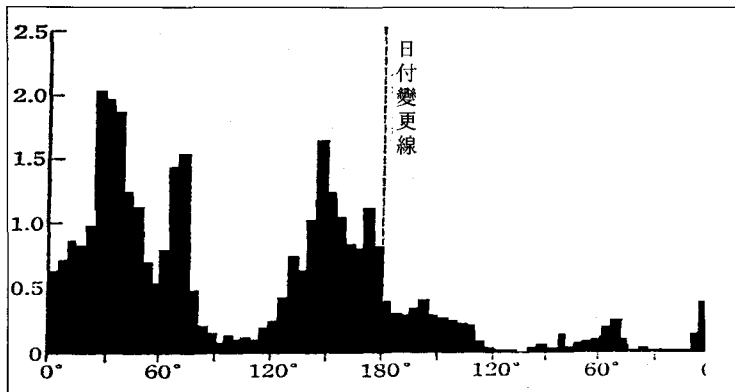
파랑 에너지도 운반되는 속력은 파장에 의해 다르나 파형이 진행하는 속력이 같거나, 느린 경우에도 이의 1/2이다. 우리들이 이용코져 하는 에너지량은 파랑 에너지에 파속을 곱한 것이다. 크기는 보통 왓트로서 표시한다.

波力과 風力

태양으로 부터 지구에 도달하는 에너지의 1/100정도가 바람의 에너지가 된다. 바람이 불어서 파랑이 발생하므로 바람 에너지의 일부는 파랑 에너지로 바뀌어진다. 그래서 에너지가 바람중에 머무르고 있는 사이에 풍력으로 이용하는 것이 좋은지 아니면 에너지가 파랑으로 이동해서 그때부터 파력의 이용으로 하는 것이 좋은지 생각해 보기로 한다. 발전소의 출력은 계획한 바 그대로 바꾸는 것이 가장 좋지만 자연에너지를 이용하는 발전소도 (펌프를 사용하는 조석발전소는 별도로 하고)화력 발전소에서는 그렇게 할 수 없다. 그래서 최소한



〈그림 2〉 北半球의 波力의 緯度分布 1975年10月2日.
클리니치標準時 正午



〈그림 3〉 北半球의 波力 經度分布 1975年10月2日.
클리니치標準時 正午

거의 일정한 출력이 요망된다. 출력은 낮에는 크고 밤에는 작은 형이 알맞으나 아무렇게나 되는 일정하지 않은 형은 취급하기가 어렵다.

출력의 폭을 작게 하는 장치나 전력을 저장해 두는 장치가 필요하게 되는 까닭이다. 이것은 자연 에너지 이용에 있어서 공통적인 약점이다. 태양열 온수기는 비나 흐

린 날에는 사용할 수 없는 데다 다음 날이 비인지 구름인지를 정확하게 예보하는 것도 어렵다. 이 점이 파랑에너지는 바다의 에너지중에서 가장 취급하기 어려운 에너지이다. 조석현상도 시각에 따라 변화하지만 그 변화는 정확하게 예보가능하다. 온도차 발전은 일변화(日變化)나 연변화(年變化)도 작고 변화의 크기도

어느 정도 예상할 수 있다.

파랑은 사정이 매우 다르다. 파랑은 바람이 부는 방식에 따르며 거기에다 바람은 강도나 방향도 매우 변화무쌍이며 해상에서는 특히 예보하기가 어렵다.

따라서 파랑의 에너지는 일정하지 않으며 그 변화는 예측하기가 어렵다. 하지만 파랑 에너지는 바람에 비한다면 좋은 편이다. 공기와 물은 물리적 성질이 매우 다르다. 물에 비해 공기는 가볍고 따뜻해지기 쉽고 차가워지기 쉬우며 열에 따라 팽창하기 쉽고 수축하기가 쉽다. 또한 압력이 작용할 때의 체적변화도 크다.

이와같은 성질의 다음에 따르는 것이 원인이 되어 대기와 바다에서는 운동의 모습이 다르게 된다. 바람의 속력이 매초 10m를 초과하는 것은 어디에서나 두문 것이 아니나 바다에서는 매초당 1m보다도 빠른 흐름은 바다 전체에서 보면 극히 좁은 해역 즉, 강한 해류가 흐르는 곳 밖에 없다. 또한 해류는 강도나 방향이 시각에 따라 수시로 변화하지만 바람과 같이 크게 변화하지 않는다. 바람은 파랑을 발생시킨다. 하지만 여기서 공기와 물의 성질이 다르므로

바람이 불기 시작했다해서 바로 큰 파랑이 형성되는 것도 아니고 바람이 부는 것이 멈췄다고 해서 바로 파랑이 소실되는 것은 아니다. 어떤 시각에서 파랑의 파고나 크기는 그 순간의 바람의 취송(吹送) 방식에 따라 형성되는 것이 아니고 그 하루 앞서서 혹은 12시간 전부터 바람의 작용이나 그 누적에 따라 결정된다. 지난 12시간 사이의 바람이 특히 강할 때도 있을 수 있고 특히 약할 때도 있을 것이다. 하지만 이와같이 일정치 않다 해서 파랑 에너지가 일정치 않는 형으로는 되지 않는다.

풍력의 12시간 사이(半日)의 합계만이 중요하다.

바꾸어 말하면 바람 에너지의 울퉁불퉁한 형을 평평하게 하고자하는 성질을 파랑은 가지고 있다. 그래서 출력을 될 수 있는대로 일정하게 보전하는 의미에서 해상에서의 바람 에너지를 이용하는 것보다는 파랑 에너지로 바꾼 뒤에 이용하는 것이 좋다는 것이 된다.

波力の分布

특정한 시각에 세계의 파랑 에너지를 합계하면 날에 따라, 시각에 따라 다르나 대체

로 $1 \text{ exajoule} = 10^{18} \text{ joule}$ 정도이다. (1g의 해수가 매초 4.7 m의 속력으로 움직일 때의 운동에너지는 0.01joule, 30Watt의 형광등이라 하면 1초사이에 30joule의 비율로 전기를 소비하는 전등의 의미이다. 1Calorie의 열량은 4.2joule이다.)

인류가 매초 사용하고 있는 에너지의 10만배로 된다. 1일은 86,400초이므로 하루의 에너지 소비량과 거의 같다. <그림 2, 3>은 북반구의 바다를 위도, 경도에 따라 그 파력이 어떻게 분포하고 있는가를 그린 것이다. 가장 큰 값 ($2 \text{ Petawatt} = 10^{15} \text{ watt}$ 이상)은 서경 30도와 35도 사이에 있다. 동반구(동경 0도에서 180도까지)의 파력이 서반구에 비하면 매우 작은 것은 아시아대륙이 크게 확대해서 바다가 좁게 된 까닭이다.

눈에 띄는 경향으로서는 서경 35도 근처를 중심으로 한 큰 산과 서경 150도 근처(태평양의 중앙)을 중심으로하는 낮은 산이다. 위도별로는 북위 35도부터 40도까지가 가장 크다. 이 위도에서 부는 강한 서풍(편서풍)의 결과이다.

경도별 분포에 비하면 큰 변화가 없는 것은 북위 15도에서 20도 근처에 1년중 남쪽

으로 편기하는 돈풍(무역풍)이 불고 있는 까닭이다.

북반구 전체의 파력을 구하면 17Petawatt($1 \text{ Petawatt} = 10^{15} \text{ watt}$)가 된다.

남반구의 바다 면적은 북반구 바다 면적의 1.3배이므로 17Petawatt를 1.3배하면 22Petawatt가 남반구의 파력이 된다. 따라서 남, 북반구의 그것을 합치면 약 40Petawatt가 세계의 파력이 되며 40Petawatt는 세계 에너지 소비량의 4천배에 해당된다.

일본에서 1969년에 새로운 발전 방식의 조사연구가 시작되어 태양에너지나 지열에너지와 함께 해양 이용방식을 조사하고 일본해안에서 파력의 크기를 측정해 바 있다. <표1>의 I은 1970년에 발표한 해로서 파랑이 진행되는 방향으로 직각인 1m당 연평균 106Kw이다.

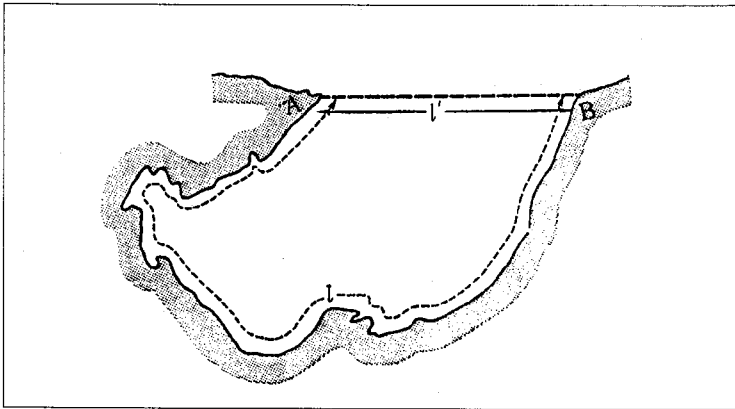
해안선의 길이가 12,985km이면 이것을 곱하면 총파력은 7.38terawatt(10^{12} watt)로 된다. 이 값은 일본의 에너지 소비량을 초과하므로 만약 파랑에너지를 전부 사용한다고 하면 일본이 필요로하는 에너지는 파랑만으로 공급할 수 있는 셈이다. <그림5>에서 만구에서 파를 측정하니 1m당 Wwatt가 되었다고 할 때 만

〈표1〉 일본沿岸의 1m당 波力과 總波力

	平均波力(kW/m)	總波力(Gw=10 ⁹ w)	海岸線(km)
I (1970)	106	1,380	12,985
II (1979)	10	50	5,000
III (1980)	6	31	5,200

주: GW=10⁹W=gigawatt

되고져 한다. 파봉을 연결하는 선 즉, 파봉선(波峯線)은 해안선에 나란하게 되고져 한다. 그 결과로 〈그림6〉과 같이 갭(岬)의 선단에는 파랑이 몰리고 파랑은 높게 되는 것이 보통이다. 일본이나 우리나라에서는 파가 진행하는 방향에 직각인 1m당은 연평균으로 수Kw정도로 보고 있다.〈계속〉㉔

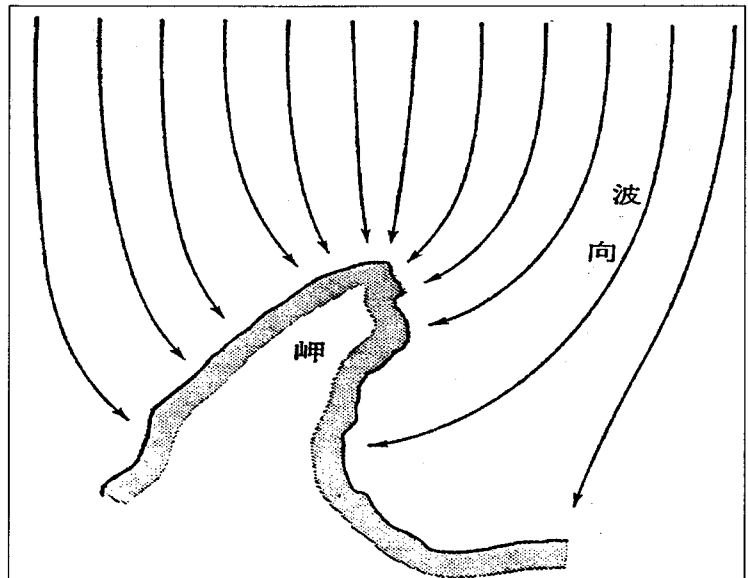


〈그림5〉 海岸線の 길이 1m당의 波力

내 해안에 불어오는 파력을 계산할 때 만내의 해안선 길이 l' 에다 W 를 곱한 것은 바른 값이 못된다.

A와 B를 직선으로 연결한 길이 l 는 해안선의 길이는 아니나 이것을 곱하기 해서 계산한다.

사실 해안에 접근해서 천해(淺海)를 진행하는 파랑의 파력은 깊이의 평방근(平方根)에 비례한다. 얕은 곳에서는 느리고 깊은 곳에서는 빠르다. 이 까닭에 파랑 진행방향은 점차로 해안선에 직각으로



〈그림6〉 波浪은 갭의 先端으로 모이는 傾向이 있다