

潮汐, 海流發電플랜트의 R & D와 海外의 動向

지금까지 工業規模로 이용되고 있는 海洋에너지는 潮汐뿐이다. 家庭에서의 製粉用 潮流水車는 1000년이나 이전부터 사용되었으나 潮流, 海流를 公業규모로 이용하기 위한 연구, 개발은 파도나 온도차에 비하여 훨씬 뒤지고 있으며 海中試驗의 단계에도 도달하지 못하고 있다. 發電코스트는 여러 가지의 條件에 지배되므로 일괄적으로는 말할 수 없으나 종래의 發電方法의 코스트보다 약간 높거나 꽤 높은 정도이다.

海流의 成因은 여러 가지인데 주요한 것은 ① 海面에 작용하는 여러 가지의 과정에 따라 海水의 밀도가 변화하여 대규모적인 對流를 일으킨다는 것 ② 海面에 작용하는 바람의 應力에 의하여 海水가 끌려간다는 것이다. ①의 “여러 가지의 과정”이란 海面에 出入하는 放射나 熱에 의하여 水温이 변화하는 것이며 蒸發이나 降水에 의하여 鹽分이 변화하는 것이다. 모두가 根源은 太陽에너지이므로 海流는 주로 太陽에너지에 의하여 驅動되고 있다.

溫度差나 波力에너지나 鹽分差 등도 본래는 太陽에너지인데 潮流, 潮汐은 다르다. 달과 太陽의 引力이 海水를 水平方向으로 당김으로 인한 흐름이 潮流이고 潮流의 収束, 發散에 따라 海面이 上下로 움직이는 것이 潮汐이므로(따라서 때때로 誤解되고 있는데 潮汐은 달과 태양의 上向, 下向의 引力에 의하여 발생하는 것은 아니다). 潮流도 潮汐도 같은 현상인데 모두가 太陽에너지와는 상관이 없다. 여기서는 「溫度差, 波力을 除外한 海洋에너지의 뜻이므로 潮流, 潮汐도 포함시켰다.

1. 潮流, 海流

(1) 그 效率

앞에서 설명한 바와 같이 潮流와 海流는 成因은 달라도 海水의 水平方向의 작용이라는 점에서는 같다. 潮流는 半日 또는 1일의 周期로 방향이나 크기가 변화한다. 新月이나 滿月に 따라 약 14일의 周期도 있고 더 긴 周期도 있다. 潮流와는 달리 海流의 變化는 不規則的이다. 흐름의 길이 방향도 강도도 시종 變化한다.

潮流의 속도는 外洋에서는 고작 0.1m/s인데 沿岸 특히 좁은 물길 등에서는 훨씬 빨라지는 곳이 있다. 英佛海峽이나 北美 東海岸의 일부에서는 10/s를 초과하는 곳도 있다.

海流는 大小 여러가지가 있으며 빠른 海流라고 하면 우선 北美東海岸 먼바다를 흐르는 灣流이고 다음에 日本列島를 따라서 흐르는 黑潮인데 가장 빠른 부분도(瞬間值) 4~5m/s 정도이다. 대체적으로 말하면 海流의 속도의 代表值는 1~2m/s이다. 速度가 2m/s인 경우 그 運動에너지는 0.2m의 落差에서 얻어지는 에너지와 같다.

潮流, 海流의 이용에서는 河川과 같이 죽을 만들어 큰 저수지를 만든다는 것은 생각할 수 없다. 風力利用과 마찬가지로 水車를 사용한다. 이론상의 最大出力 P_m (單位는 W)은

$$P_M = \frac{16}{27} \cdot \rho \cdot V^3 \cdot F$$

가 된다. ρ 는 海水의 密度(kg/m^3), V 는 海水의 速度(m/s), F 는 면적(m^2), $16/27$ 은 Betz 係數이다.

가령 效率를 75%, 水車의 直徑을 60m(現在하는 최대의 水車의 크기), 流速을 2m/s라 하면 出力은 약 5MW가 된다. 같은 크기의 風車를 사용하여 바람에서 5MW를 얻으려면 19m/s의 速度가 필요하다. 이 정도의 強風이 필요해지는 것은 空氣의 密度가 물의 1/800에 불과하기 때문이다.

(2) 風力利用과의 비교

風力利用에 比하여 潮流, 海流利用의 利點은

① 潮流의 變化는 예측할 수 있다. 海流의 變化는 예측이 곤란하나 바람에 比하면 方向과 強度의 變化는 작다. 突風이나 태풍에 상당하는 격심한 變化도 없다.

② 水車의 回轉이 느리기 때문에 회전부의 마모가 적다.

③ 翼車를 넓게 하면 두께를 부여하지 않으면 自体重量을 지지할 수가 없는데 水車는 水中에서 큰 浮力을 받아 가벼워지므로 재료가 적게 들고 설계도 용이하다.

그러나 不利한 점도 있다.

① 水車를 海面의 浮體에서 매달아도 海底에 固定시켜도 設置와 보수면에서 風車보다 훨씬 어렵다.

② 부식과 海中生物에 의한 오손을 피할 수가 없다.

③ 生産된 電力을 陸上으로 보내는 費用이 많이 소요된다.

(3) 海外動向

潮流를 利用하여 水車를 돌려 穀物을 제분하는 家內工業規模의 이용은 古文書에 의하면 이미 11세기 에 유럽에서 실시되었다. 아마도 그 이전에도 潮流 水車는 사용되고 있었을 것이다. 후에는 제분 뿐만 아니라 製氷에도 사용이 되었는데 發電機와 送電技

術의 발달에 따라 19세기말까지에는 거의 자취를 감추어 버렸다.

1956년에 프랑스는 「바다의 에너지」라는 大 研究 集會를 개최하여 바다의 여러 가지 에너지利用을 논의하고 있다. 그 중에서 潮流, 海流는 바람보다도 유망할지도 모른다는 說이 나왔다. 그러나 그 후에는 프랑스보다도 미국에서 적극적인 움직임을 보였다.

제 1차 석유위기 직후 1974년에 美國의 油井經營者 맥아더(Mac Arther)는 代替에너지源의 하나로 潮流를 고려하는 研究會를 개최했다. 이 集會에서는 프로펠러(인펠러)나 로터뿐만 아니라 파라셋狀의 장치(그림 1)도 소개되고 있다. 이 장치는 河川에서 의 시험에는 성공했는데 바다에서도 성공했다는 보고는 없다.

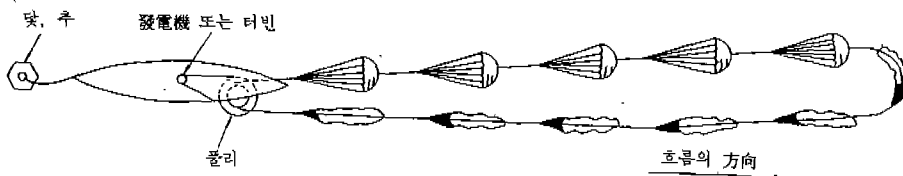
河川과 같이 물이 정연하게 흐르면 그림 1과 같이 깨끗한 형태가 되겠지만 흐름의 空間, 時間變化가 큰 바다에서는 비틀어지거나 얽혀버릴 위험성이 크다.

(4) 코리올리計劃

코리올리(1792-1843)는 地球가 自轉함으로써 발생하는 外觀上의 힘(코리올리의 힘)을 상세히 논술한 프랑스의 數學者이다. 潮流나 黑潮에는 이 힘이 깊이 관여되고 있으므로 에너지省(미국)이 潮流의 이용을 도모하기 위해 1978년에 발족시킨 계획명이 다.

直徑 170m의 터빈 242개를 30[km]×60[km]의 넓이에 걸쳐 배치한다. 터빈은 海底에서 나와 있는 係留索에 依하여 海面直下로 지지된다. 總發電能力은 10GW가 된다. 流速의 변동을 고려하여 가동율을 낮게 추정해도 建設, 運轉, 보수비를 포함하여 1KW當 4센트 정도밖에 안 된다. 原子力 發電에서는 5.6센트이다.

日本에서는 科學技術廳이 중심이 되어 潮流, 海流의 觀測, 利用을 했을 때의 환경變化, 로터의 특성 몇개 海域의 입지조건의 조사 등을 추진하고 있다.



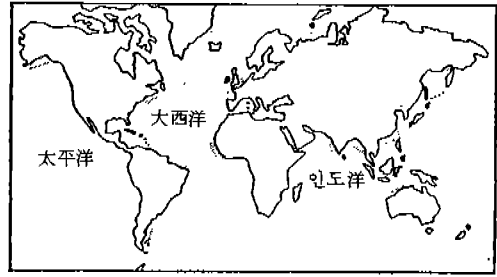
(그림-1) 위에서 본 파라셋方式

그러나 海流의 세밀한 구조도 아직 잘 알려져 있지 않고 係留法 등에도 未解決의 문제가 남아 있어 세계적으로 앞으로 數年 이내에 대규모적인 실제 실험의 예정은 없는 것 같다.

2. 潮 汐

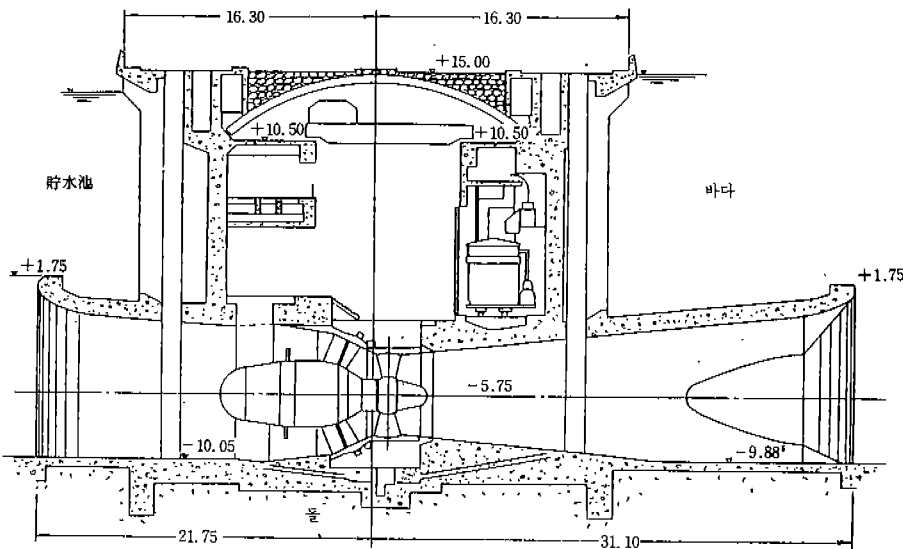
(1) 原理와 특징

滿潮時에 저수지에 海水를 채우고 干潮時에는 바다에 버린다. 이 때에 터빈을 돌린다. 海水가 貯水池에 流入될 때에도 터빈을 돌려도 된다. 原理는 간단한데 오래동안 實用이 되지 않은 것은 潮汐이 주로 달의 運行에 의하여 지배되고 있는데 반하여 生活은 太陽의 運行에 의존하고 있기 때문에 潮汐에서의 出力과 우리들의 에너지需要와의 사이에 時間이 맞지 않기 때문이다. 이것을 해소하는 방법의 하나는 貯水池를 하나뿐만 아니라 複數로 하여 각각을 水門으로 연결하는 것이다(複貯水池方式). 水門의 조작이 복잡하고 또한 넓은 저수지가 필요해진다. 또 하나의 方法은 펌프를 사용하는 것이다. 滿潮時에 펌프를 작동시켜 海水를 끌어 올려 저수지의 水位를 더욱 높게 하거나 干潮時에 저수지의 海水를 길어내어 그 水位를 더욱 낮게 한다. 펌프조작과 水門의 개폐를 적당히 조절하면 出力을 임의로 制御할 수 있다. 펌프를 사용한다는 점에서는 揚水發電과 비슷한데 사실은 상당히 다르다. 揚水



(그림-2) 平均潮差가 3 km를 넘는 곳

發電에서는 펌프로 길어 올린 높이가 落差가 된다. 펌프式 潮汐發電에서는 海水를 길어 올린 후 海面이 낮아지는 것을 기다려 海水를 落下시키면 펌프가 소비한 전력 이상의 電力을 얻을 수가 있다. 즉 큰 저수지와 큰 펌프를 사용하면 出力은 얼마든지 증가하는데 현실적으로는 저수지의 建設費를 고려해야 되므로 潮差(滿潮와 干潮에서의 海面의 高度의 差)가 큰 곳이 適地가 된다(그림 2). 또한 짧은 堤防에서 넓은 저수지가 가능하다는 것. 海底는 굳은 岩盤이 바람직하다. 立地條件이 까다롭기 때문에 어디든지 가능하다고 할 수는 없어도 潮汐은 1년 앞까지도 정확히 豫想할 수 있다는 것, 出力의 日平均値는 어느날의 값을 보아도 크게 차이가 없다는 것, 月平均値의 月月變化는 더욱 작다는 것, 水力發電用의 貯水池와는 달리 본래 물이 있던 곳에 저수지를 건설하는 것이므로 環境에 대한 影響이 작다는 것, 住居 철거의 必要性이 없다는 것등



(그림-3) 랑스川 發電所의 断面圖 (數字的 單位는 미터)

의 장점을 가지고 있다.

(2) 랑스川 潮汐發電所

랑스川은 프랑스의 北西部 브르타뉴地方을 北으로 흘러 산 마르灣으로 흐르는 길이 100km 정도의 강이다. 이 河口의 제방을 구축하여 세계 최초의 潮汐發電所를 건설하기로 결정된 것이 1960年, 起工이 1961年, 1966년에 운전이 시작되어 약 1年 후에 정상운전으로 들어 갔다.

그림 3 과 같이 카프랑水車*를 비치한 1MW 發電機가 24基 설치되어 있다. 年間 發電量은 당시의 프랑스의 發電量의 약 1%에 해당되는 544GWh 로서 그 내역은

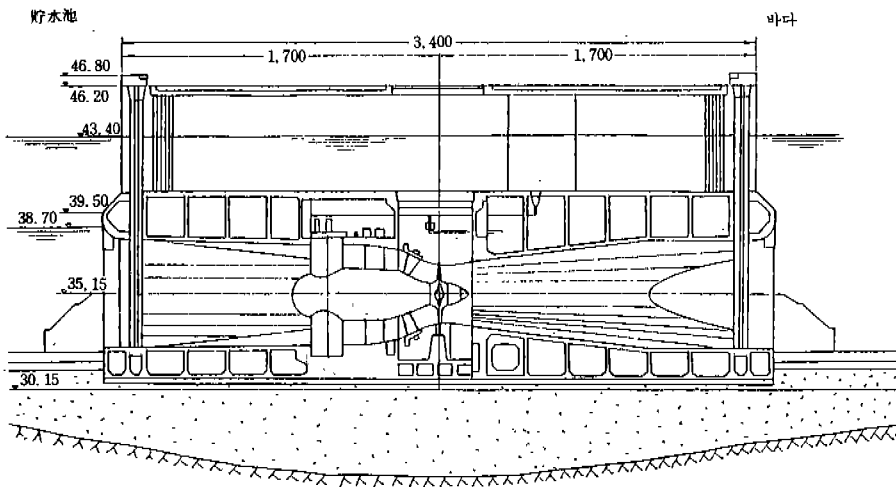
海水가 저수지에서 바다로 떨어질 때 537GWh
 海水가 바다에서 저수지로 流入될 때 71.5GWh
 펌프가 소비하는 電力 64.5GWh

로 되어 있다.

英佛海峽에는 潮差가 10m를 넘는 곳이 적지 않은데 소련도 潮汐에너지에 유리한 나라이다. 물만스크에서 약 1,000km 떨어진 키스라야灣에 400KW의 小形 發電所(그림 4)를 건설할 것을 1962년에 결정이 되고 1968년에 건설이 완료되어 운전이 시작되었다. 키스라야灣에서의 潮差는 1.3m~4m 정도이다. 물만스크나 그 부근의 潮差는 10m나 되는데 키스라야灣이 선택된 것은 짧은 제방으로 큰 저수지를 만들 수 있다는 利點이 있었기 때문이다.

이 地方은 氣象條件이 혹한으로 大土木工事에는 적합하지 않기 때문에 물만스크의 乾둑을 사용한 프레하브方式으로 部品이 만들어지고 現地로 曳航되어 가라 앉혔다. 이 방식으로 工費를 현저하게 절감시킬 수가 있었다고 한다.

* 1912年頃に 오스트레일리아의 카프랑이 實用化한 可動날개 프로펠러水車, 물을 유도하는 안내날개와 發電機를 돌리는 回轉날개의 角度가 자동적으로 변화하는 水車.



(그림-4) 키스라야 만 發電所의 단면도 (숫자의 單位는 미터)

(3) 서제島 大發電所案

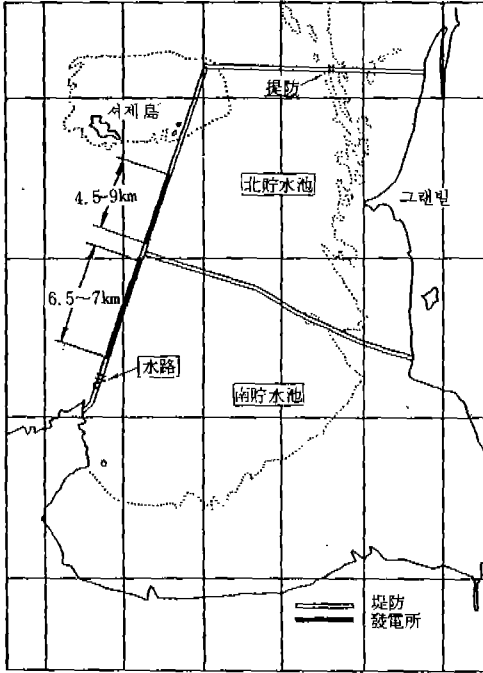
潮汐뿐만 아니라 波力이나 溫度差등 다른 海洋에너지도 포함하여 工業規模에서의 利用이 되고 있는 것은 랑스川과 키스라야灣의 발전소뿐인데 랑스川은 원래는 몬 산 미셀灣에서 서제島를 포함한 大發電所 건설의 예비시험의 성격을 띠고 있다.

프랑스電力(會社)의 案은 그림 5와 같이 길이 36km의 堤防에 의하여 넓이 700km²의 貯水池를 만든다. 400MW의 發電機를 300基 설치하고 年間 發電量은

27TWh=10¹²Wh)가 된다. 貯水池를 南北으로 2分하는 제방은 工事用이고 發電能力을 半分만 사용할 때를 위한 것이기도 하다.

다른 案은 複貯水池方式이다. 각각의 저수지는 1100km²의 넓이이고 堤防의 길이는 100km이다. 設備能力은 6GW, 年間 發電量은 34TWh라고 한다.

이 정도로 큰 發電所를 건설하여 潮汐에너지를 吸收하면 주위의 潮汐에 영향을 미치는 것은 당연하며 발전소 가동 후의 潮差는 數10cm 낮아지게 된다. 貯水池는 魚貝類의 增養殖에 사용할 수 있고 海岸



(그림-5) 프랑스電力의 1案

에서 멀리 떨어진 제방을 이용하여 原子力發電所나 폐기물 처리장 등 住民에게 혐오의 대상이 되는 시설을 안할 수도 있다. 海岸에서 멀기 때문에 自然의 景觀을 심하게 손상시키지도 않는다.

大發電所 建設案은 한 때는 등한시되어 왔으나 石油危機가 제기로 되어 재검토가 시작되었다. 그러나 격심한 潮流 속에서 이 정도의 大工事を 성공시키는 기술이 確立되어 있지 않다는 것. 建設費가 방대하다는 등의 이유로 가까운 장래에는 實現될 가능성이 없는 것 같다.

영국, 캐나다, 미국, 한국, 아르헨티나, 오스트레일리아 그리고 아마도 中共이나 소련에서 數 100 MW급에서 GW급의 발전소안이 연구되고 있다. 中共에서는 작은 潮汐發電所가 현재도 산재하여 총계 8 MW 정도가 된다고 한다.

發電코스트는 다음과 같다. 랑스川發電所는 1kWh 당 運轉(인건비, 수리비, 세금 등)에 0.3센트, 전설비의 償却에 1.7센트, 합계 2센트가 된다. 전설비는 설비능력 1kW에 대하여 400달러이다.

프랑스나 다른 나라들의 計劃에서는 전설비는 1kW당 800달러~3500달러, 1kWh당은 2.5센트~11센트로 되어 있다. 보통 1970年代 중반에 미국에서 운전되고 있던 발전소에 대하여 계산하면 원자력도 포함하여 1kWh당 0.38센트~1.5센트로 되고 있어 潮汐發電보다 상당히 싼데 이 數字는 石油나 우라늄의 값의 앞으로의 추이나 放射性 廢棄物의 처리 방법에 따라서 갑자기 커질 수도 있는 不安定한 數字이다.

*

<101 페이지에서 계속>

- 나. 강사위촉 및 원고 의뢰
- 다. 산업체 전학제책
- 4. 전기보안담당자 선·해임제도개선건의 보충자료작성
 - 가. 설문서작성및 발송: 각지부및 전기기사(1000부)
 - 나. " " 접수및 분석: 450부
 - 다. 보충자료접수: 전남, 충북, 충남지부.
- 5. 전기의 날 기념행사
 - 가. 진행위원위촉
 - 나. 동원세부계획작성
- 6. 전기사용합리화
 - 가. 우수사례응모업체원고검토및 표창상신(총12건)
 - 나. "전기와 에너지절약" 책자발간
- 7. 안전관리
 - 가. 화재 사고조사: 중구을지로 4가(중부경찰서의뢰)
 - 나. 자가용업체점검

- 성육산업
- 오토론(주)
- 다. 절연유시험
 - 유진A, P, T 3건
 - 청구화공 1건
- 8. '85과학화사업계획작성

▣ 자료입수현황 ▣

- 단행본: 34권
- 정간물: 국내 - 89권
- 일본 - 42권
- 구미 - 7권
- 기 타: 32종

*