바다에 포장되어 있는 에너지를 이용하자

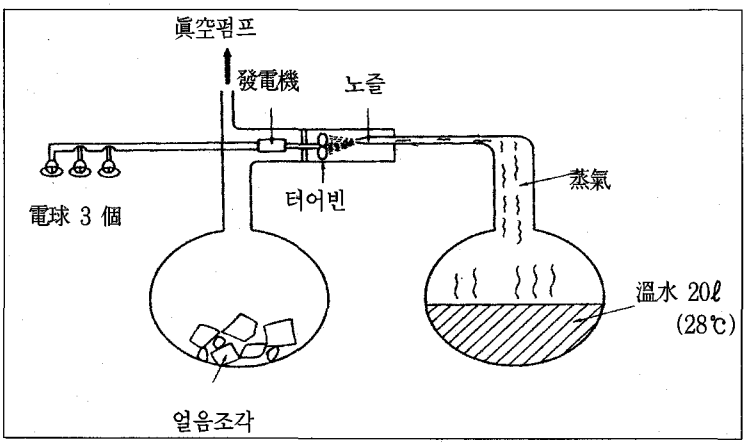
해양의 온도차 발전

崔 榮 博
(水原大 總長, 理博)

해양온도차를 이용한 발전(發電)을 처음 실험한 학자는 크로드(프랑스 파리대교수)와 부슈로(프랑스 전기학회장)로 1926년 11월 15일 프랑스 과학 학사원에서 〈그림 1〉과 같은 작은 실험장치를 만들어 공개적인 실험을 하였다.

먼저 프라스크 2개를 놓고 그 하나에 28℃의 조금 따뜻한 물 20ℓ를 넣고 다른 하나의 프라스크에는 얼음을 넣어 2개의 프라스크를 노즐이 붙은 유리관으로 연결한다.

노즐끝에는 발전용터어빈이 장치되고 작은 발전기가 직결된다. 먼저 프라스크안과 수중의 공기를 진공(眞空)펌프로서 빼내어 압력이 약 0.03기압(atm)까지 내리게 하면 조금 따뜻한 물이 끓어 오르면서 수증기가 발생한다. 수증기는 노즐구(口)에 힘차게 분출되어 터어빈을 회전시키고 그뒤에 얼음위에서 응축되어 물로 뒤돌아간다. 터어빈에 직결된 발전기는 매분 약 5,000회전(rpm)하고 2.5Watt의 3개의 작은 전구를 8~10분사이에 걸쳐 점등한다.



〈그림 1〉 노즐에서 분출된 수증기가 터어빈을 회전시켜 3개의 작은 전구가 점등했다.

미지근한 물의 온도가 18℃로 내려갈때 비등은 정지하고 수증기는 발생하지 않게 되어 발전기도 정지하게 된다. 이것이 근소한 온도차에서 전기를 꺼내는데 성공한 최초의 실험이다. 매우 간단한 것이나 이 실험에 대해 온도차발전은 많은 사람의 관심을 집중시키게 하였다. 실험에서 미지근한 물을 계속 미지근한 상태로 두고 얼음대신에 계속 냉각수로서 차갑게하면 연속해서 발전가능하게 할 수 있다. 이와같이 터어빈을 회전

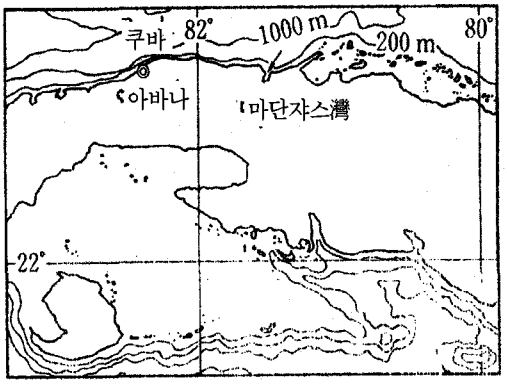
시키는데 물을 사용하고 이를 위해 계속이어서 따뜻한 물을 보내 수증기를 발생시키고 증발기(蒸發機)를 통해서 냉수를 보내서 수증기를 진수(眞水)로 뒤돌여서 음축기(陰縮器)로 버려두는 것이 전호(어항지 통권 제29호)의 개방 싸이클형의 원리이다.

이때 크로드는 기자들의 회견에서 온도차 발전을 실용화하는 전망에 대하여 다음과 같이 말하였다.

"열대의 바다수면의 온도는 거의 26~30℃로서 그 변동은 연간 3℃이내이다. 한편 해수면에서 1,000m수심인 곳의 해수는 매우차고 1년중 4~5℃이다. 이 양측의 해수를 사용해서 온도차 발전을 하면 수증기를 사용한다해도 75%의 효율즉, 사용하는 에너지가 전기로 되는 비율을 가진 터어빈을 만들 수 있으므로 해수면 바다물과 심층해수를 1초사이에 각각 1000t씩 사용하면 10만Kw의 발전이 가능하다.

이는 건설비면에서 가장 싸게 건설되는 수력발전소보다도 적은 비용이다"라고 하였다. 여기서 10만Kw란 1초사이에 있어서의 의미란 말이다. 크로드의 희망에 찬 말에 대해 그당시 영국이나 미국의 신문·잡지는 너무 말이 과장되었다고 비판하였다.

이에대해 크로드는 자기재산을 사용해서 실용화를 위해 실험을 계속하고 드디어 1929년에 쿠바의 아바나(Havane)근처의 마단쟈스만(灣)을 실험장소로 선정하고 직경 1.6m, 길이 2㎞의 관을 사용해서 수심 700m의 지점에서 해수를 퍼올리고져 하였으나 계속해서 관에 문제가 발생해 물이 올라오지 않아 처음 실험은 실패하였다. 하지만 실험을 중단하지 않고 계속해서 실제로 14℃의 온도차를 이용하고 10일간에 22Kw의 발전에 성공하였다. 근소한 발전량이지만 크로드는 매우 감격하여 "이 22Kw는 인류가 미래에 에너지의 결핍에 고통을 받지 않을 것이라는 것을 증명하였다"라고 하였다.

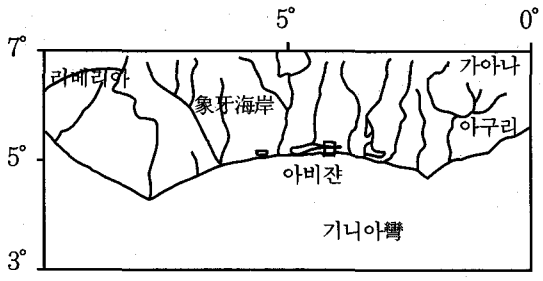


〈그림 2〉 마단쟈스만은 거의 북위23° 부근이다.

이 실험에서 크로드는 해양의 온도차 발전에서는 취수관(取水管)을 부설하는 것과 그 관리가 매우 중요하다는 것을 실감하였다 한다. 여기서 특히 취수관의 단열(斷熱)이 불충분해서 데우기가 쉬우며 심층에서 냉수를 퍼올리는 경우에 수온이 생각보다 쉽게 올라가는 것을 알았다. 나아가서는 해수에서는 CO_2등의 기체가 녹아 들어가는데 이것이 증발기 중에 나와서 저기압을 유지하기가 어렵게 되는 문제가 있는 것을 명백하게 알게 되었다. 관에 대한 문제를 해결하기 위해 크로드는 육상에서의 발전을 단념하고 해상에서의 발전방향으로 바꾸게 되었다. 이 까닭에 1933년에 1만톤급의 화물선 도우니시호를 개조한 온도차 발전선을 건조하여 브라질에서 실험하게 되었다.

여기서도 바닥이 거칠어서 취수관의 조정이 불가능하게 되어 배까지 침몰하였다.

하지만 그는 다시 1940년에 재차 도전을 하였다. 이것이 아비쟌 계획이다. 아비쟌은 아

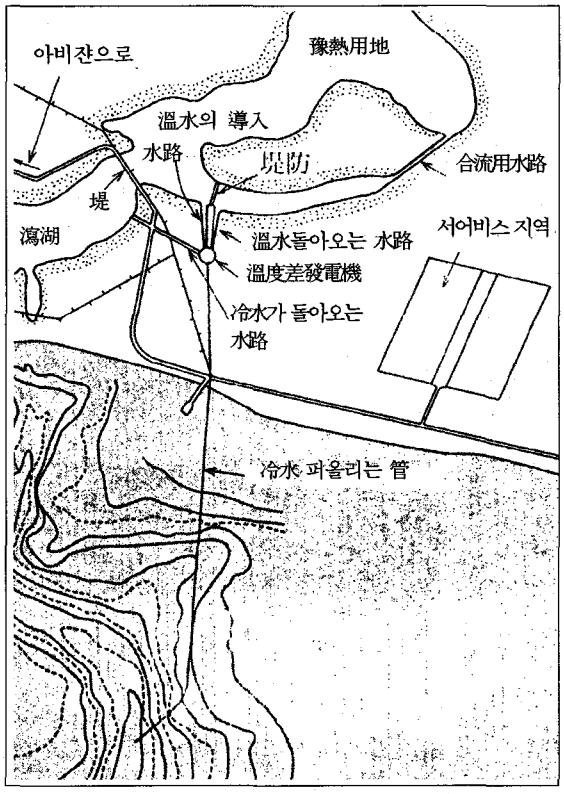


프리카의 상아(象牙)해안의 수도로서 인구가 10수만인이다.

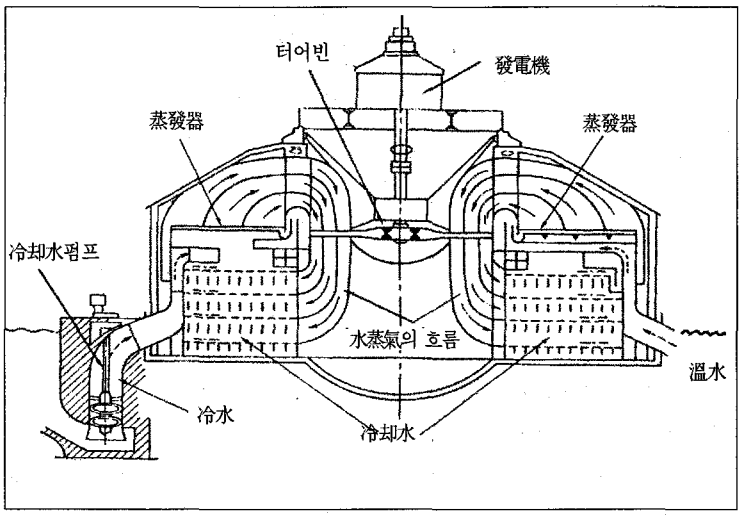
이 주변은 산림을 벌채해서 개척한 농지로서 부근의 바다는 해안에서 외해로 향해 갑자기 깊어져서 심층수를 얻기가 쉽다. 거기에다 파랑이 잔잔하고 해수의 표층 수온이 30℃로서 실험에 매우 적당하였다.

이 계획에서는 처음에는 육지와 깊은 바다를 연결하는 터널을 파서 냉수를 퍼기로 하였다. 이렇게하면 해중에서 요동하는 불안정한 취수관을 사용하지 않아도 된다. 획기적인 구상이었으나 위험한 공상인데다 너무도 공사비가 많이 소요되어 체념할 수 밖에 없었다. 처음은 4만Kw를 예측하였으나 1.5만Kw로 변경했다.

430m의 깊이에서 취수관으로 냉수를 취하고져 했다. 여기에는 4㎞ 길이의 관이 필요하기에 취수관은 금속관을 단단한 고무제의 접착관으로 연결하고 특별한 부표(浮標)를 사용해서 해중에 지탱하고져 생각하였다. 목표인 1.5만Kw의 전기를 얻는데는 30℃의 표층수를 매초당 42t, 8℃의 심층수



〈그림 3〉 西아프리카 南部의 나라 코오트지보알의 首都 아비잔. 거의 北緯6° 西經4°에 가깝다.



〈그림 4〉 아비잔 計劃에서 開發된 開放싸이클型의 溫度差開發電施設

를 매초당 14t씩 퍼올리지 않으면 안된다. 이 까닭에 물을 퍼올리는 펌프의 동력으로 0.4만Kw, 공기나 해수에서·나오는 기체등을 뽑아내는 탈기기(脫氣器)의 동력으로 0.1만Kw의 전력이 필요하다는 계산이 나왔다.

발전용의 터어빈은 직경이 14.25m, 332rpm으로하는 계획이다. 터어빈을 회전한 수증기가 냉각될때 해수와 혼합하지 않도록해서 하루 1만4000t의 진수를 얻고져 생각했다. 또한 물이 증발해서 농도가 높은 따뜻한 해수에서는 식염(NaCℓ)이나 마그네슘(Mg), 취소(臭素 Br)등을 축출하고 사용한 후의 냉수는 냉방에 사용하는 것을 생각했다. 건설비의 55%는 냉수를 퍼내는데 사용된다.

크로드의 이와같은 계획에 대하여 프랑스 정부는 흥미를 가지고 함께 추진하게 되어 1948년 해양에너지 개발공단이 신설되었다. 여기에서는, 아비잔 계획을 실행하기 위한 연구·개발·조사가 실시되었다. 이들 연구개발은 증발기, 응축기, 탈기기, 취수관, 설계법등 다양한 방면으로 미친다. 그 성과는 크고 심층수의 취수관은 2㎞까지 길어지고, 깊이 300m까지 도달하게 되었다. 하지만 온도차 발전의 건설은 실현되지 못하였다. 그 원인은 1950년대에 와서 값싼 석유를 대량으로 얻을 수 있게 되자 석유에 의한 발전에 비해 해양온도차 발전에는 비용이 너무많이 소요된 까닭이라고 본다.

그래서 아비잔 계획은 1955년에 중단되었다. 이에따라 해양온도차발전의 개발은 한 시기에 거의 완전히 끊어졌다. 크로드는 그 실현을 보지 못하고 이세상을 떠났다.

아비잔 계획이 중지된 이후, 해양 온도차 발전에 도전한 사람은 없었다.

1960년대에 와서 미국의 앤다슨이 다시 온도차 발전에 주목하여 크로드의 일을 처음부터 잘 검토하고 문제점을 정리해서 1964년 8월31일 미국 특허청에 「해수발전계획」의 특허를 신청했다.

다음과 같은 해결법을 고안했다.

첫째는 작동(作動)하는 유체는 물이 아니고 대단한 저압으로 하지 않아도 비등하는 밀도가 큰 물질을 사용하는 것이다. 즉 개방형 싸이클이 아니고 폐쇄형싸이클로 하는 것이다.

둘째는 증발기나 응축기를 작동음체의 압력과 같은 수압의 해중으로 잠기게 하는 것을 생각하였다.

이와같이 하면 끌어 넣어진 해수의 압력과 용기내의 작동유체(기체)의 압력은 같으므로 해수에 녹은 기체는 나오기가 어렵다.

셋째는 발전설비를 해안가까운 해중으로 잠기도록 건설하면 어느정도 해결되는 것을 생각했다. 앤다슨은 이와같은 계획에 의거해서 해양 온도차 발전의 비용과 이에 결정되는 전기의 원가를 계산하였는데 1Kw당 166달러가 된다고 구체적 수치로 명백히 했다. 이후 여러 나라의 원조로서 연구개발이 시작되었다.

1970년에는 일본의 다가노 건조(高野健三)가 쓴 「해양과 에너지」란 책에서 해양온도차 발전의 장점을 아래와같이 열거하였다.

(1) 햇빛(日光)이나 풍력을 등 자연 에너지에 비해 해양 온도차가 가장 안정되어 있다.

(2) 대기(大氣)를 오염시키지 않고 방사성 폐기물도 전혀 없다.

(3) 화력발전과 같이 높은 온도로 할 필요가 없다.

(4) 해수는 지구상에 무한이 있으므로 원료가 결핍될 우려가 없고 원료를 멀리 운

반할 필요가 거의 없다.

(5) 발전과 동시에 해수에서 진수(眞水)를 얻는 것이며 소금이나 기타 해수에 포함되어 있는 것을 얻을 수 있다.

(6) 퍼올린 물은 냉방이나 난방에 쓸 수가 있다.

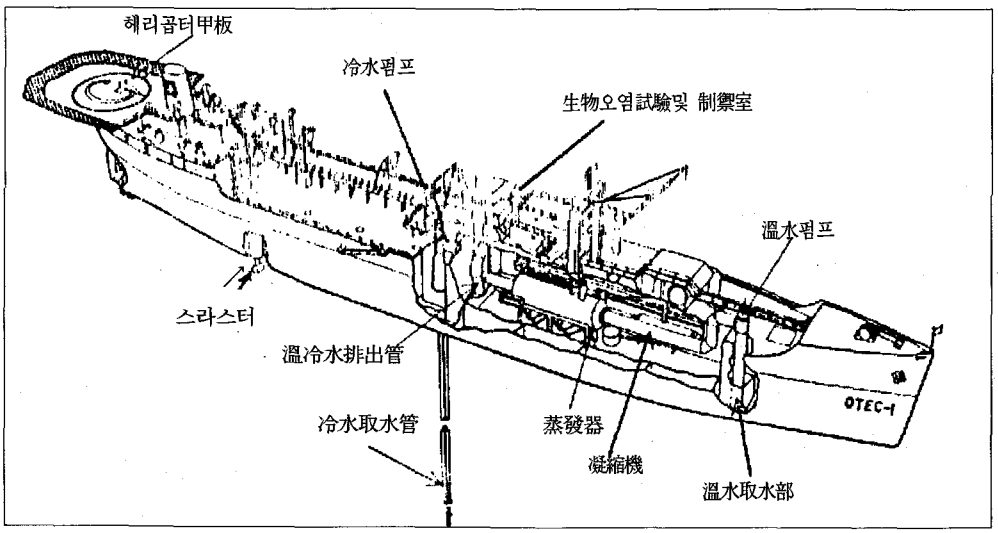
1970년 일본에도 「신 발전방식 종합조사 위원회」라는 기구가 신설되어 화력발전 이외의 신 발전법 조사가 시행되어 온도차 발전도 조사계획되었다.

미국에서는 해양 온도차 발전을 영어로 Ocean Thermal Energy Conversion(해양에너지 변환)이라하여 그 머리 글자를 취하여 오테크(OTEC)라고 부른다.

그때까지의 실험은 기초적인 것으로 1979년 8월부터 11월까지의 미국 하와이섬에서 시행된 미니·오테크(MINI OTEC)라 하는 실험은 펌프용 동력에 사용하는 많은 전기를 발생시키는 것이 목적이었다. 이는 하와이섬 주 정부와 록키드회사 등의 협력에 의한것으로 실험준비 기간 13개월에다 300만달러의 비용으로 게아호레갑(岬) 외해의 수심 1300m인 곳에 길이 37m, 너비10m, 무게268t의 뗴(茂)를 띄웠다. 그 위에 암모니아 를 작동 유체로 하는 발전기를 장치하고 냉수의 취수관은 직경60㎝(내경 57.5㎝)의 포리에티렌제이다.

이것으로 수심 650m인 곳에서 약5℃의 냉수를 매초 150ℓ퍼올려 53.5Kw의 발전에 성공하였다. 물을 퍼올리는 동력등에 35.1Kw의 전력을 사용하였으므로 가감하면 18.5Kw의 전기를 산출한 것이다. 이는 발전기의 출력의 34.5%이다. 하와이주 지사는 이 실험의 성공을 기뻐하고 이는 라이트 형제의 초기비행에 해당하는 것이라고 대통령에게 보고했다.

온도차 발전에서는 시스템을 크게하면새로운 산출 전기 발생율은 크게 되고 10만Kw 정도이면 정밀발전량은 75~80%로 되는 것이다.



〈그림 5〉 OTEC-1에 使用된 改造탱크. 發電裝置는 적제하지 않음