

바다에 포장되어 있는 에너지를 이용하자

해양의 온도차 발전^②

崔榮博
(水原大 總長, 理博)

여러 種의 海洋型 發電所

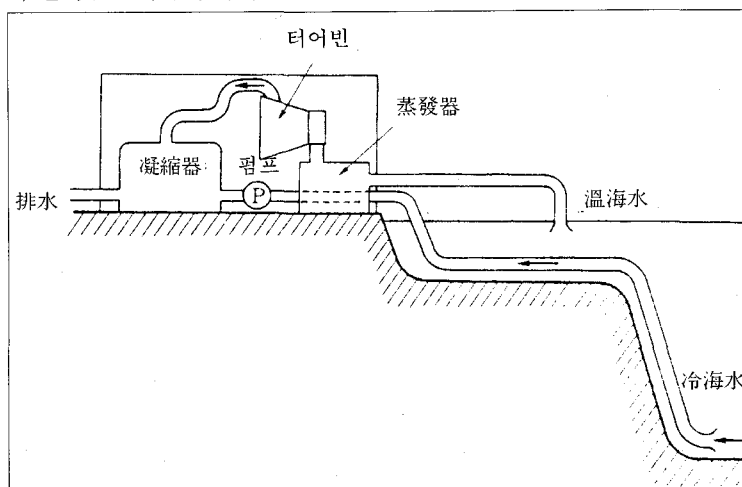
해양온도차 발전은 1881년에 프랑스의 물리학자 “탈스 바알”이 그 원리를 발견하고 1926년에 “크로드”와 “부슈로”가 실험으로 이를 증명한 이후 100년 가까이 실용화를 위해 꾸준한 연구가 계속되어 왔다. 지난 한 때 일부 인사는 정미(正味)의 실제 발전량의 율이 작아 실용화 할 수 없다고 했지만 지금은 모든 전문가들이 그렇지 않다고 생각하게 되었다.

열대지방과 같이 겨울에도 표면의 수온이 내려가지 않는 곳에서는 현재의 기술로서도 충분히 경제적으로 발전할 수 있다한다. 또한 증발기, 응축기, 취수관등이 현재 두드러지게 개량된 까닭이라 한다. 그래서 열대지방에서의

발전은 더욱 값이 싸게 먹히게 되고 더욱 온도차가 작은 바다에서도 실용화가 가능하다 한다.

거기에도 퍼올린 해수도 다른 자원으로 이용함으로써 가장 경제적으로 되었다. 해양 온도차 발전은 육상에 설치하는 것과 해상에 설치하는 것이 있다. “크로드”가 주로 연구한 것은 육상형이다.

육상형은 해수를 펌프로서 육상으로 퍼올리기 위해 취수관이 길게되어 건설비가 커지고 펌프를 가동하는 데 큰 에너지를 소요한다. 이 까닭에 발전비용도 크게되고 정미의 실제 발전량도 적게 된다. 하지만 이 기술은 오랜 역사가 있으므로 그 경험을 살릴 수 있게 되었다. 또한 발전소를 건설해 두면 보수 수리등이



〈그림-6〉 陸上型의 海洋溫度差發展의 原理圖

쉽고 특히 태풍등 기상의 영향을 받기 어려운 장점이 있다. 이와같은 점에서 생각하면 오히려 값이 싸다. 발전에 사용한 물을 다른 것에 사용할 경우는 육상형이 유리하다.

육상발전소 건설 사례를 보면 수심 430m에서 해수를 퍼올리는 데 4km의 취수관을 필요로 하였다 한다.(일본, 아비지안계획)

다음에 발전소를 해상이나 해중에 건설하는 방법이다. 이것은 취수관을 수직으로 내려가게 하므로 관 길이가 짧다. 건설이나 펌프의 동력에 소요되는 비용은 싸게 먹히고 관이 해중에 고정되지 않으므로 손상되는 일도 적고 냉수가 도중에서 따뜻하게 되는 일도 거의 없다. 그래서 그만큼 실제 발전량이 크게 된다. 또한 건설부지도 불필요한 것이 큰 장점이 된다.

그 대신에 해상이나 해중에 큰 구조물을 만들어야 한다. 또한 바람이나 파랑(波浪)에 의해 움직이지 않도록 하는 것이 필요하다. 발전된 전기를 보내는 케이블도 필요하게 된다. 실용화하는 데는 앞으로 더 연구가 필요하고 모형을 사용한 수리 실험이 충분히 실시 되어야 한다.

각 나라의 연구소나 기업등이 여러 곳에서 해양형의 온도차발전소의 설비안을 제안하고 있다. 그 중의 하나는 배와같이 해상에 부유하는 건조물중에 발전시스템을 집어넣은 것이다. 이는 대형선과 같은 것으로 조선기술이 응용되므로 기술상으로 어려운 것이 아니다. 하지만 바다에 떠오르고 있는 까닭에 요동이나 손상의 문제가 있고 태풍등으로 거치른 바다에서는 안전성에도 문제가 있으므로 고요한 바다에서의 발전이 적합하다.

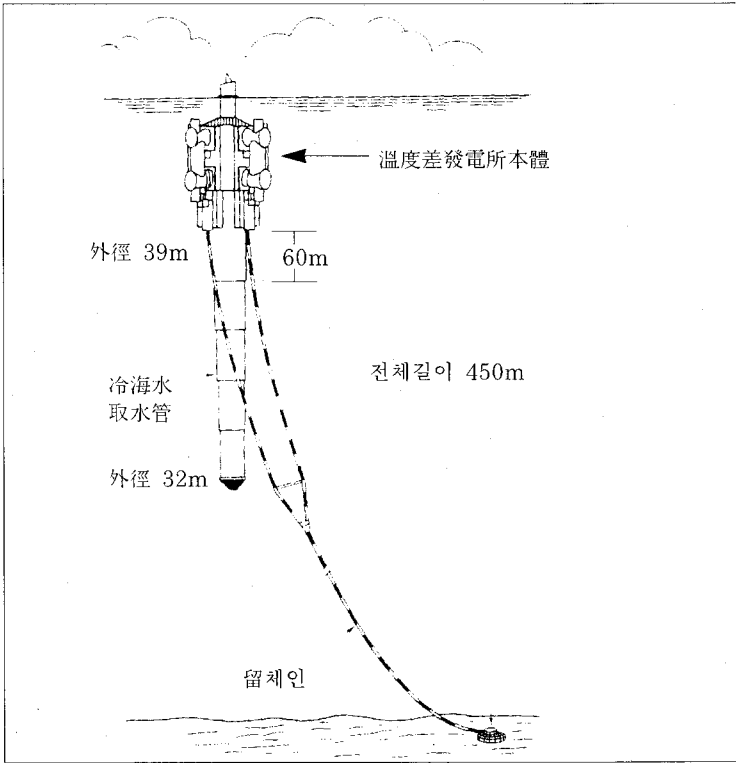
미국의 TRW사가 설계한 것은 대선형이 아니고 원통형이다. 표층의 따뜻한 해수는 동체(胴體)의 망(網)이 있는 부분을 지나 증발기에서 증기로 변화한 후 반대측으로 배출되도록 되어있다. 냉수는 동체의 중앙을 관통하는 관 아래에서 취입되고 터빈을 나온 증기는 냉각된 후 배출된다.

이와 같이 여러 곳에서 사용된 해수를 분출하고 그 분출하는 힘에 의해 발전소 전체의 위치나 자세를 유지한다. 이것을 "Dynamic Positioning"이라하여 해저에 있는 유전을 굴착하는 배의 기술로 개발되어 벌써 사용되고 있다.

해저에 다락집 같은 것을 세우고 그 위에다 발전소를 만드는 방법이 제안되고 있다. 이것도 해저에 유전을 파기위해 건설되는 다락집의 기술을 응용한 것이다. 시설의 일부는 해면에 잠기고 취수관은 다락집의 중앙에 수직으로 장치된다. 현재 수심 300~600m의 곳에 있는 유전에 이 방법으로 굴착되므로 얇은 바다에 온도차 발전소를 건설하는 경우에 이용가능한 것이다.

발전소의 대부분은 해중에 가라앉히는 잠수형이다. 잠수형으로 하면 만일 태풍이 내습해서 바다가 거칠어져도 발전소의 위치를 유지하기 쉽고 안전하다고 한다. 하지만 건설비가 고가이고 발전소의 유지관리가 어려운 결점이 있다. <그림-7>는 미국의 록히드사가 설계한 것으로 무게 1만톤의 발전기를 4대 거치하여 16만kW의 발전능력을 가진다.

26만톤의 콘크리트체로서 취수관을 제거한 높이가 약 180m, 해상으로 나오는 부분이 18m, 가장 굵은 부분의 직경은 74m이다. 냉수의 취수관도 콘크리트체이고 무게는 35톤이다. 신축(伸縮)가능하도록 되어 있어서 가장



〈그림-7〉 미국록키드사가 設計한 潛水型 溫度差發展

길게 하면 300m가 된다. 그 대로 두면 바람이나 해류로 인해 흘러가게 되므로 강철 체인으로서 해저에 연결하는데 이 체인의 무게가 2,600톤이다.

일본에서는 1978년에 설계된 잠수형이 있는데 이것은 해류의 영향을 받지 않도록 하기 위해 전체를 유선형으로 하였다.

아직 해양온도차 발전을 실험이 아니고 실용화해서 보통으로 사용한 나라는 없다. 일본의 “선·샤인” 계획때 전문가

들의 회합에서 해양온도차 발전의 비용에 대한 계산 예가 있다. 여기서는 암모니아를 작동유체로 한 2만5,000kW의 발전기 4대에서 10만kW을 발전하는 계산으로 되어 있다.

1976~78년에 걸쳐 일본 가고시마현 오오스미섬 외해나 도야마현에 건설한다면 해수온도 26~28℃에서 심층의 냉수온도는 0.75~7℃이다.

10만 kW 중 발전을 위해 17~26%의 전력이 사용되므로 정미발전량은 7.4~8.3만 kW이며 이 계획에서 발전소

건설비용은 대체로 440~560 억원이라 한다.

비용 전체의 40%가 증발기와 응축기에 소요되고 터빈·발전기·펌프는 30%, 해양구조물·위치유지설비에 17%, 냉수 취수 배관설비에 7%, 기타에 5%정도의 배분이다. 이는 건설재료로서 “치타늄”이라 하는 고가의 금속을 사용하는 까닭에 비싸다. 앞으로 부품등이 공장에서 많이 만들어지고 재료도 알미늄으로 사용할 수 있도록 하는 기술발전이면 싸게 건설 될 것이라 한다. 미국이나 유럽에서의 계산결과도 대체로 이와 비슷하다고 한다.

해양형 발전소는 1kW의 전기가 1시간당 120~130원 정도로 생산되는 것이 되며 이것을 20km의 송전선으로 육상에 보내는 비용은 6.6원이 된다.

해양온도차 발전소의 건설비는 다른 발전소에 비해 약간 고가이나 연료비가 불필요하다. 대체로 원자력발전소 건설비가 출력 1kW당 900달러(1977년), 석탄화력이 720달러로 볼 때 해양온도차발전의 그것은 1,500~2,500달러범위라고 추정된다. (여기에는 해양발전소에서 40km 송전비용이 포함되고 있다. 2천년대의 석탄가격이 현재가격으로

고정되어도 해양온도차 발전이 석탄 화력발전의 전기 가격보다 싸게 된다. 원자력 발전의 연료인 우라늄(U)의 가격이 0.8%정도 상승해도 역시 온도차 발전의 전기 가격이 싸게 된다.

여기에서 석탄·석유·원자력 발전은 공해에너지로서 환경보전, 폐기물 처리처분에 매우 많은 비용이 필요하게 되므로 해양온도차 발전은 2천 년대에 있어서 무공해 에너지, 그린 에너지로서 전망이 밝다.

海岸溫度差가 安定한 事由

해양온도차 발전은 바다의 심층에 언제나 냉수가 있다는 것에서 무한정이라고 말할 수 있는 에너지를 꺼낼 수 있다.

바다에서는 태양빛이 강하게 쬐인다. 이 빛은 해면과 그 주변의 물을 따뜻하게 하므로 얇은 천해의 수온이 상승한다. 열은 높은 쪽에서 낮은 쪽으로 전도하므로 점진적으로 바닥쪽도 따뜻해 질 것이다. 하지만 해수는 열의 전도방식이 매우 늦어서 수심 1m를 전도하는데 1년에서 7년간의 시간이 소요된다고 한다. 하지만 목욕탕의 물을 휘저으면 전체의 온도가 같게

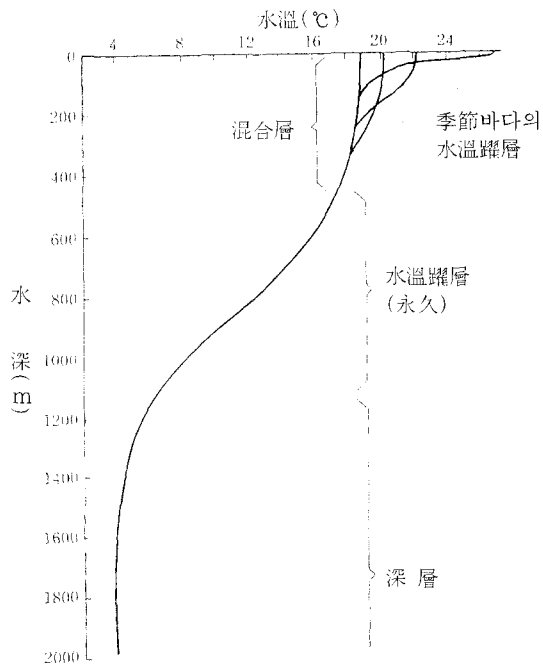
되는 것같이 해수도 휘저게 되면 열이 전도된다. 이것을 교란이라 말하는데 해수는 횡방향으로 흐르는 운동에 비해 교란과 같이 종방향의 운동은 매우 작고 이에 의해 열이 깊은 곳까지 전도하는 데는 굉장한 시간이 걸리게 되고 만다.

윗쪽의 열이 아래쪽으로 비교적 빨리 전도하는 것은 해수의 대류나 난류가 생기게 될 때이다. 대류는 겨울 밤에 윗쪽의 해수가 냉각되고 보다 따뜻한 아랫쪽 해수와 교차할 때 발생하며 난류는 파랑이나 흐름에 수반해서 발생하는 것

이 거의 대부분이며 모두 매우 얇은 곳에서만 발생한다.

그 사유를 조사해 보면 해면에서 수심 100m정도까지의 해수온도는 높고 어느 곳이나 별로 변화가 없다. 여기서 1,000m에 걸쳐서는 급하게 내려가서 그 이상 깊어지면 4~6℃의 저온이 계속된다.

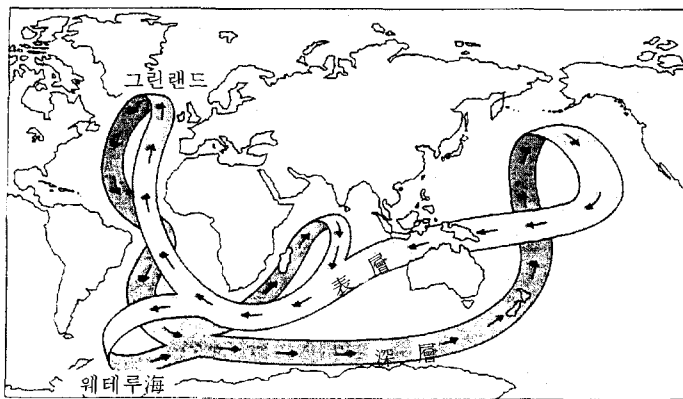
결국 해저에는 거대한 냉수의 덩어리가 무겁게 자리잡고 있어서 그 위에 두께가 100m의 얇은 고온의 층이 부유되고 있는 것과 같다. 이 얇은 표층의 수온은 특히 열대에서 높고 심층과의 온도차는 20~25℃정도 된다.



〈그림-8〉 海洋에 있어서 水深과 水溫의 關係. (水深 200m까지의 表層에서 季節이나 海域에 따라 크게 變動한다.)

이곳보다 북쪽이나 남쪽에서는 계절에 따라 표층 수온이 변화하므로 온도차는 여름에 크고 겨울에는 작게 된다(그림-8 참조). 종 방향으로 열이 전도되기가 어렵다 하지만 충분한 시간이 지나면 상당한 열이 심층으로 전도되어 간다. 이와 같다면 열대의 심층수 온도는 시간의 경과와 함께 점차 높게 되어 갈 것이다. 하지만 지금까지 충분한 시간이 있음에도 불구하고 실제로는 그렇게 되지 않고 있다. 그러므로 옛부터 지금까지 심층의 물은 언제나 저온이라고 말하게 된다. 여기에는 심층으로의 열전도를 차단하는 어떠한 구조가 있을 것이다.

이 구조가 지구의 바다전체에서 발생하는 대규모의 대류로 생각된다.



〈그림-9〉 黑色帶는 深層, 非黑色帶는 表層의 흐름을 나타냄. 그린란드外海나 웨테루해의 深層까지 내려간 海水는 인도洋이나 太平洋에서 湧昇해간다.

위도가 높은 한냉지방의 해면이 냉각되어 해수의 온도가 낮게 되면 무겁게 된다. 이 무겁게 된 해수는 점차 심층으로 가라앉고 열대 등 세계 중의 심해로 퍼지게 된다. 이것이 점차 표층의 열로 따뜻해져서 결국은 표층으로 나오는 것과 같은 움직임이다. 이 움직임은 〈그림-9〉와 같다.

그림에서는 심층으로 가라앉은 무거운 물이 되는 곳을 염분의 농도가 큰 대서양의 그린란드(Greenland)의 외해와 남극의 웨테루해로 되어 있다.

북대서양과 북태평양을 비교하면 북대서양쪽이 조금 염분의 농도가 크며 이것은 북태평양쪽이 강우가 많아 해수로 얽게 되는 까닭이라고 말하고 있다. 북대서양과 북태평양이 동시에 한냉해지면 북

대서양의 해수가 염분이 농한 만큼 무겁게 되고 여기서부터 심층으로 가라앉게 된다.

북대서양에서 가라앉은 해수는 심층을 서서히 흐르게 되어 남극해에 도달하고 여기서 웨테루해에서 가라앉은 해수와 함께되어 나아가서는 인도양이나 태평양까지 흐르고 있다.

그린란드에서 가라앉은 해수가 남극해에 도달하는데까지는 약 2천년, 그리고 남극해를 돌아가면서 태평양이나 인도양에 들어가고 하루에 1cm의 속도로 위로 올라가(湧昇) 흩어지는데 이것 역시 2천년 소요된다. 이와같이 그린란드와 남극해를 발원으로 하는 한냉수가 표층에서 심층으로 전도되는 따뜻함을 억제하고 있으므로 오랜세월이 경과해도 심층의 수온은 거의 변함이 없다고 생각되고 있다.

그린란드와 남극해에서 가라앉는 해수량은 1초 사이에 약 40 메가톤(1메가톤은 100만톤)이라 하며 우리나라 동해나 태평양의 일본열도를 따라서 흐르는 구로시호(黒潮)가 운반하는 해수와 거의 같은 막대한 양이다. 심층의 흐름만으로서 해수가 인도양이나 태평양에만 모이게 되므로 용승한 해수는 대서양으로 흐르고 다시 냉각되어 가라앉고 만다. ㉞