

# 해양온도차를 이용한 냉난방시스템 및 발전시스템의 현황과 미래전망

오 철 | 한국해양대학교 교수, ohcheol@hhu.ac.kr

해양온도차를 이용한 해수온도차냉난방시스템의 해외사례 및 국내사례를 중심으로 설명하고, 가까운 미래의 신에너지인 해양온도차발전의 원리 및 해외사례를 소개하고자 한다.

21세기는 환경과 에너지의 시대라고 한다. 최근 들어 유가의 불안정, 지구온난화, 기상이변, 오존층 파괴 및 원자력발전소의 사고 등 에너지 및 환경에 대한 세계적인 관심이 높아지고 있다.

특히 세계기후협약은 이제 모든 국가의 기본 정책의 큰 부분을 차지하게 되었다. 이와 더불어 세계는 지금 지속가능한 개발을 위한 노력이 계속되고 있으며, 에너지 절약과 친환경 에너지의 개발은 이제 우리 인류의 현실과 후손에게 물려줄 기술이 되었다.

그리고 최근 온실가스 배출권을 거래하는 탄소시장이 부상하고 있다. 2006년 세계 탄소시장 규모가 301억 달러에 달했고, 2010년에는 1,500억 달러로 2006년 대비 5배 성장할 것으로 전망되고 있으며, 이제는 온실가스 배출권이 새로운 무형의 자원으로 등장하고 있다.

이러한 에너지를 둘러싼 급격한 변화와 더불어, 신·재생에너지는 과도한 초기투자의 장애요인에도 불구하고 화석에너지의 고갈문제와 환경문제에 대한 핵심 해결방안이라는 점에서 선진 각국에서는 신·재생에너지에 대한 과감한 연구개발과 보급정책 등을 추진해오고 있다. 따라서 신·재생에너지개발을 위해서는 막대한 예산이

필요한 실정으로, 우리나라의 경우 정부가 앞으로 많은 예산을 투입할 계획이다.

최근의 유가 불안정, 기후변화협약의 규제 대응 등 신·재생에너지의 중요성이 재인식되면서 에너지공급방식이 중앙공급방식에서 지방 분산화 정책으로 전환하는 시점과 맞물려 환경, 교통, 안보 등을 고려한 지방자원의 활용측면에서도 적극적인 추진이 요망되고 있는 실정이다.

최근의 열 수요 동향은, 민간부문 수요가 눈에 띄게 성장되어 이러한 수요 동향에 대처하기 위해 “쾌적한 생활환경 조성”과 “에너지 절약, 지구환경의 보호”라는 목표를 동시에 만족할 수 있는 온도차에너지의 효과적인 활용이 시급한 과제로 대두되고 있다.

특히, 우리나라와 같이 3면이 바다로 된 지리적 특성과 기존의 시설물을 최대한 활용하여 우리 특성에 적합한 해양온도차에너지를 활용할 수 있는 기술 개발과 이를 위한 제도, 정책적인 검토와 아울러 기술 개발의 전략을 수립하여 추진하는 것이 중요하다고 할 수 있다.

## 해양온도차냉난방시스템 발전동향

해수를 이용한 온도차냉난방시스템은 연안 지역에서만 사용될 수 있는 지역적 제약과 해수라는 특수성으로 인한 재료적 제약 등이 있지만, 해수 열에너지 부존량이 많고 한번 설치되면 그 에너지를 영구적으로 무료로 사용할 수 있다는 장점

이 있다.

따라서 해양온도차 냉난방시스템은 유럽 및 북미를 중심으로 발전되어 왔으며, 최근에는 일본에서도 점차적으로 도입하여 도심 열에너지공급 시스템으로 사용 중이다.

특히, 우리나라는 3면이 바다로 둘러싸인 반도 국가로서, 전국의 해안도시 7개 지역을 해수 이용 가능 지역으로 선정해서 조사한 결과, 해수열에너지의 부존량은 약 27,155 Tcal/year이며, 이용가능 열량은 히트펌프 이용의 경우, 난방은 12,528 Tcal/year, 냉방은 7,757 Tcal/year로 총 20,285 Tcal/year로 산출되었다.



[그림 1] 일본 후쿠오카 집단냉난방 지역

본 원고에서는 이와 같은 해수열에너지의 활용을 위해 적용되는 해양온도차냉난방시스템 기술에 대하여 해외사례와 한국해양대학교 국제교류협력회관에 설치된 시설을 중심으로 소개하고자 한다.

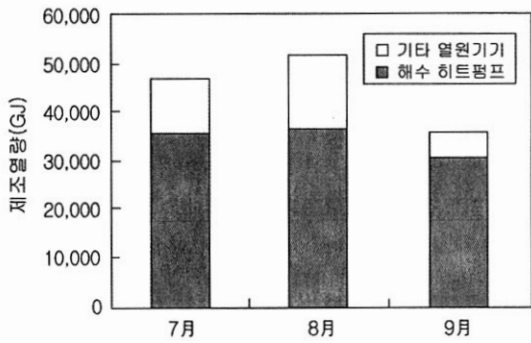
### 일본 후쿠오카 모모치지역

일본 후쿠오카시 서부에 위치하고 있는 모모치구는 그림 1에 나타난 바와 같이 하카타(博多)만을 끼고 있는 해안지역이고, 상업·업무·문화 기능이 고도로 집적해 있는 지역이다. 서일본환경에너지(주)는 이 지역의 열공급에서 해수를 열원으로 한 축열식 열펌프시스템의 채용에 의한 에너지절약형 시스템의 구축, 해수열원 열펌프와 흡수냉온수기의 조합에 의한 에너지의 최대 활용을 가능하게 하였다. 모모치지구는 전력회사(큐슈전력), 가스회사(서부가스), 지방자치단체(후쿠오카시)가 공동으로 출자하여 설립한 서일본환경에너지(주)에서 1993년 4월부터 열공급사업을 개시하였다.

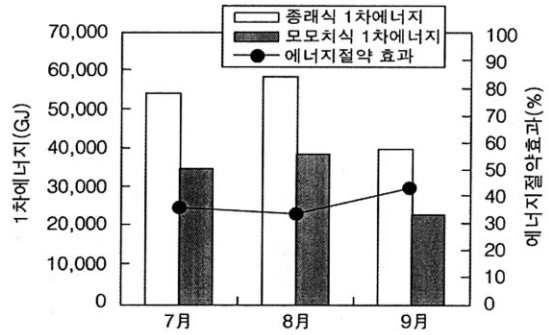
표 1은 설비의 개요를 나타낸 것이다. 열공급플랜트는 제1열원센터와 제2열원센터의 2개소이며, 해수를 열원으로 하는 플랜트는 제1열원센터

<표 1> 일본 모모치지구의 설비개요

항 목	내 용	
공급매체	송수온도	
	냉수	6℃
	온수	47℃
열원설비	22,000 RT : 해수열원히트펌프 외(전기) + 흡수냉온수기(가스)	
지역냉방배관	관 경	900 A - 200 A
	총연장(왕복)	냉수관 3,488 m, 온수관 3,488 m, 합계 6, 976 m
열원센터	제1열원센터	해수열원히트펌프 3,000 RT × 3대 급탕히트펌프 3,000 RT × 2대
	제2열원 센터	전동터보병동기(열회수형) - 500 RT × 1대, 1,500RT × 1대 가스흡수냉온수기 - 500 RT × 1대, 1,500RT × 3대 잠열축열장치 185 m³ × 3기



[그림 2] 하계운전 실적



[그림 3] 에너지절약효과

에, 건물의 배열을 회수하는 플랜트는 제2열원센터에 설치되어 있다. 또한 중앙감시실은 제2열원센터에 설치되어 있다. 제1열원센터는 제2열원센터로부터 원격제어되고 있다. 열원설비는 해수열원 열펌프를 기본으로 하고, 열회수형 전동터보냉동기와 가스흡수식 냉온수기를 조합한 시스템으로 되어 있다. 축열탱크로는 빙축열탱크(STL) 185 m<sup>3</sup>×3기(계 555 m<sup>3</sup>), 냉온수축열탱크(계절전환형) 4,000 m<sup>3</sup> 및 냉수탱크 1,900 m<sup>3</sup>을 설치하고 있고, 열원기기 설비용량의 저감, 야간전력 활용에 의한 코스트 저감·전력부하 평준화에 기여하고 있다. 지역배관은 냉수관, 온수관 4관 매설방식이며, 공급온도는 냉수 6°C, 환수 12°C, 온수공급 47°C, 환수 40°C로 설정되어 있다.

하계의 운전실적을 그림 2에 나타내었다. 7월 ~ 9월의 냉열 운전실적에서는 효율이 좋은 해수열원 열펌프가 베이스 운전기기로 활용되었고, 이 기간에 모모치지구의 전 냉열수요량의 약 80%를

공급하고 있다. 또 그림 3은 에너지절약효과를 나타낸 것으로 해수열원 열펌프를 사용함으로써 약 40%의 에너지절약 효과를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

해수열에너지이용시스템에 의한 에너지절약효과는 표 2에 나타난 바와 같이 종래 방식(보일러 + 흡수식 냉동기)과 비교하여 201,000GJ/년, 약 41%의 저감이 예상된다. 또한 표 3에 나타난 바와 같이 환경부하도 종래 방식과 비교하여 CO<sub>2</sub> 및 NO<sub>x</sub>의 배출량은 50% 이상 저감되어, 해수 해수열에너지를 이용한 결과는 매우 크다고 말할 수 있다.

그림 4는 해수열원 해수히트펌프를 나타낸 것으로 용량은 3,000 RT이며, 내부에는 공효율의 판형 열교환기를 이용하였다. 판형열교환기를 이용함으로써 장치로 인한 공간을 최소화 하였다. 그림 5는 해수온도차냉난방시스템의 제어설비로 모든 기계의 시동, 정지 및 밸브 등을 원격제어하는

<표 2> 일본 모모치지구의 해수열 이용효과

시스템	투입 에너지량	비고
종래 방식 (보일러 + 흡수식냉동기)	486,000 GJ/년 (116,000 Gcal/년)	
모모치지구 열원방식	285,000 GJ/년 (68,000 Gcal/년)	
차이(에너지절약 효과)	201,000 GJ/년 (48,000 Gcal/년) → 약 41%	중유 환산 약 5,150 kℓ

<표 3> 일본 모모치지구의 환경부하 저감효과

시스템	발생량	발생비율(%)
종래 방식 (보일러 + 흡수식 냉동기)	CO <sub>2</sub> 22.1 (천T/년) NO <sub>x</sub> 21.6 (T/년)	100 100
모모치지구 열원방식	CO <sub>2</sub> 11.0 (천T/년) NO <sub>x</sub> 9.1 (T/년)	50 42
차이(에너지절약 효과)	CO <sub>2</sub> 11.1 (천T/년) NO <sub>x</sub> 12.5 (T/년)	(50) (58)



[그림 4] 해수열원 해수히트펌프

시스템으로 구성되었다. 기계실은 건물의 지하 4층에 위치하고 있다. 취수배관의 직경은  $\Phi 1.0$  m이며, 유량은  $2,600 \text{ m}^3/\text{hr}$ 이다. 입출구의 직경을 달리하여 취수를 위한 동력소비량을 최소화한 설비이다. 또한 취수구와 방출구의 위치를 다르게 하여 방출수에 대한 영향이 없도록 하였다.

### 국내 설치 사례

한국해양대학교는 아치섬이라는 섬에 위치하고 있어 학교 캠퍼스 전체가 해수를 이용할 수 있는 좋은 지리적 여건을 갖추고 있다. 그림 6은 2009년도 해양온도차냉난방설비를 설치한 한국해양대학교 국제교류협력회관 건물을 나타내며, 표 4



[그림 6] 국제교류협력회관 전경



[그림 5] 해양온도차냉난방 자동제어설비

에 건물의 개요를 나타냈다.

그림 7은 취수배관의 설치과정을 나타낸다. 취수배관으로는 고밀도 폴리에틸렌(HDPE)을 사용하였으며, 취수배관의 직경은  $\Phi 300$  mm이다.

해수열원히트펌프는 해양온도차냉난방시스템에

<표 4> 해수열원 히트펌프 특성

	국제교류협력회관
설치위치	한국해양대학교
열교환기 형식	판형열교환기
냉동능력	75 RT
냉/온수조건	20 → 10°C/12 → 50°C
해수유량	60 m <sup>3</sup> /h
성능계수(냉방/난방)	5.6/5.0



[그림 7] 취수배관 설치과정



[그림 8] 해수열원 해수히트펌프



[그림 9] 해수취수용 진공탱크

서 가장 핵심이 되는 기술이다. 히트펌프는 종래에는 원통다관식(shell & tube)을 사용하였으나, 개발된 제품은 판형(plate type)을 사용함으로써 효율을 대폭 증가시킨 구조이다. 그림 8은 히트펌프의 전경사진을 나타낸 것이다.

진공탱크의 재질은 STS304로 하고 희생양극방식의 부식방지 방식을 선택하였다. 또한 취수방식은 탱크내부에 심정펌프를 설치하고 내부를 완전 밀폐하여 해수저장탱크로 해수를 공급하면 진공압력에 자동으로 해수가 유입되는 방식을 채택하여 취수에 따른 전력소모량을 최소로 하는 구조로 하였다. 그림 9는 진공탱크의 전경사진이다.

해양온도차냉난방시스템 모니터링 및 운영최적화 기술은 해양온도차냉난방시스템에서 가장 핵심이 되는 기술 중의 하나이다. 원격제어시스템에 의한 해수 입출구 온도 및 유량파악, 에너지사용량 실시간 모니터링 후 RTU 에너지관리공단 서버로 전송하는 기능을 확립하였다. 또한 학내 기계실 컴퓨터의 사무실 컴퓨터에서 모니터링 및 원격제어 기능을 추가하여 관리자가 실시간 가동상태 파악하도록 하여 관리기능을 극대화하였다. 그림 10은 제어시스템의 모니터를 나타낸 것이다.

그림 11과 12에는 한국해양대학교에 설치된 해양온도차냉난방시스템의 운전실적을 나타낸 것으로 대기온도와 해수온도와의 차가 10℃를 기준으로 하였을 경우 에너지절감효과가 약 54% (COP = 평균 5.2)로 일본의 경우와 비교하여 매우 높은 고효율시스템임을 알 수 있다.

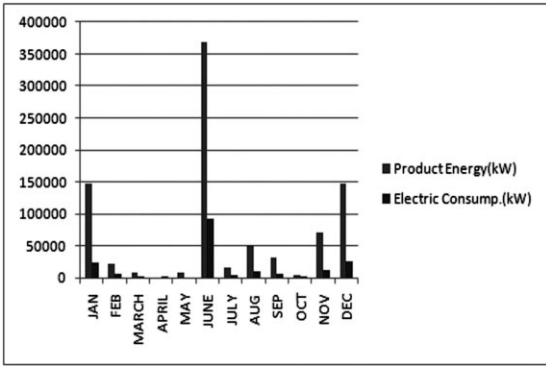


[그림 10] 모니터링 시스템

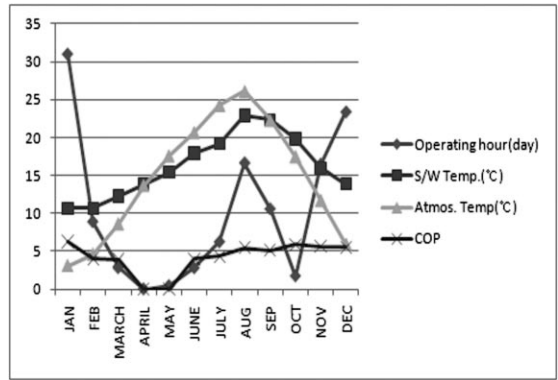
## 해양온도차발전시스템 발전동향

### 해양온도차발전시스템의 개요

해양온도차에너지발전은 수심에 따른 바닷물의 온도차를 이용하여 에너지를 취득하는 기술이다. 열대해역에서 해면의 해수 온도는 흔히 20℃를 넘으나 해면으로부터 500 ~ 1000 m 정도 깊이의 심해에서는 4℃로 거의 일정하다(그림 13 참



[그림 11] 해수온도차냉난방시스템의 전력소모량 및 생산열량



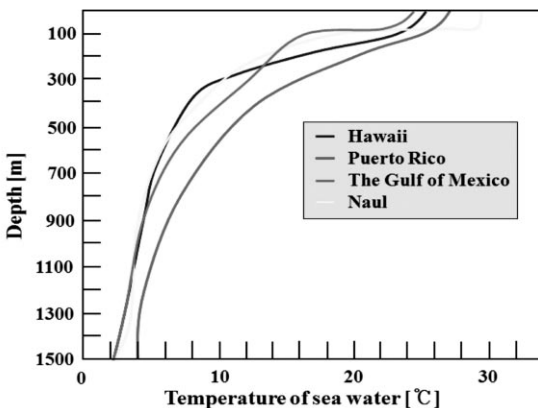
[그림 12] 계절별 해수온도차냉난방시스템 운전시간, 성능계수, 해수온도 및 대기온도 분포도

조). 이와 같은 표층수와 심층수의 온도차를 이용하여 작동유체를 증발시켜 터빈을 구동하여 전력을 얻고 다시 작동유체를 응축하는 방식으로 발전하는 기술을 해양온도차발전(OTEC: Ocean Thermal Energy Conversion)이라 한다.

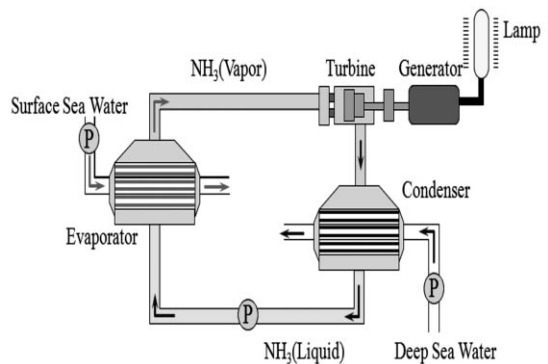
해양온도차발전시스템은 작동유체로 저온 비등 냉매를 사용하는 폐순환시스템(Closed-Cycle System)과 저압의 증발기를 이용하여 온수 자체를 작동유체로 사용하는 개방순환시스템(Open-Cycle System)으로 구분되며, 혼합순환 시스템(Hybrid-Cycle System)이 사용되기도 한다. 그림 14는 폐순환시스템을 나타내며 작동원리는 다음과 같다. 해수 표층의 온수가 증발기에 유입

되면 열교환기를 통해 열전달이 발생하며 이 때 비등을 통해 작동 증기가 생성된다. 이 생성된 증기가 터빈을 회전시켜 전력을 생산하는 시스템이다. 터빈을 통과한 증기는 해저로부터 취수된 심층 냉수에 의해 응축기에서 응축액으로 바뀌며 다시 재순환된다. 폐순환 시스템은 과정이 단순하여 전력 생산만을 목적으로 하는 경우 보다 실용적이다. 전력전환 효율은 약 5% 정도이며, 펌프 효율 등을 포함한 전체 시스템 효율은 약 2.5% 정도이고, 플랜트 설비 단가가 저렴한 장점이 있다.

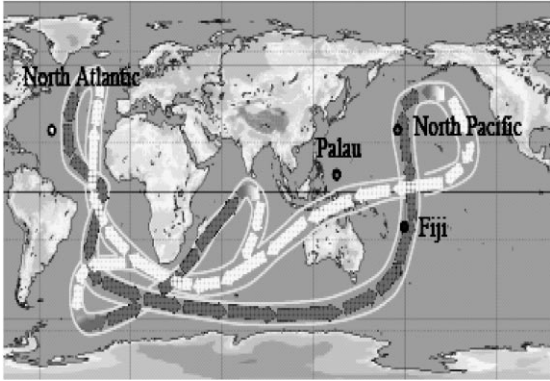
그림 15는 냉해수의 흐름을 나타내며, 지리적 여건에 따라 해양온도차발전이 가능한 지역은 남



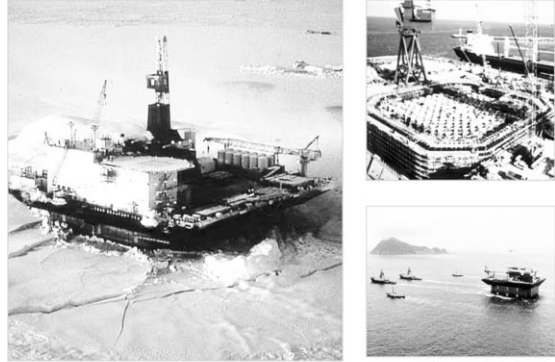
[그림 13] 수심에 따른 해수온도 분포도



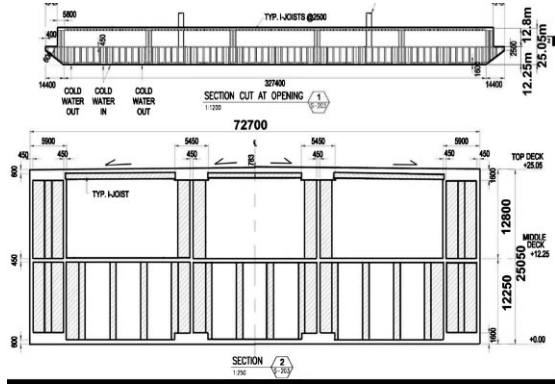
[그림 14] OTEC 폐회로시스템



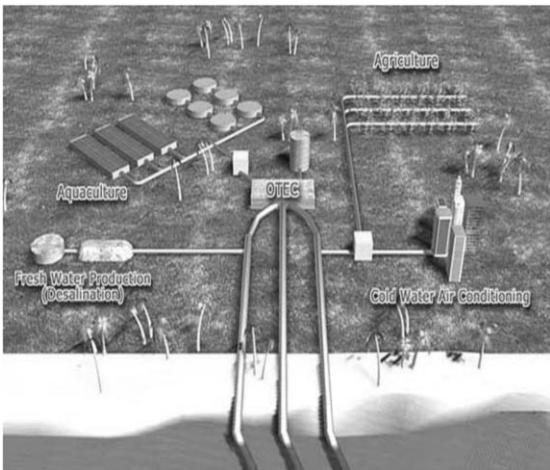
[그림 15] 심층수 흐름도



[그림 16] 부유식 플랫폼



[그림 17] 100 MW OTEC FLOATING PLATFORM






[그림 18] 다목적 OTEC시스템(복합플랜트로 전환)

태평양 연안국가와 인도 등이 유리하다. 현재 우리나라는 남태평양 연안국인 피지와 공동으로 해양온도차발전의 가능한 적지조사를 수행하고 있다.

해양온도차발전시스템은 주로 강재의 부유식 플랫폼으로 주로 건설이 진행되어 왔다. 그러나 근래에는 콘크리트 플랫폼으로 극한 환경을 극복하는 추세이다(그림 16, 17 참조). 또한 해양온도차발전뿐만 아니라 양식산업, 담수화설비, 냉난방설비 및 수소산업 등 다목적 복합 플랜트로 전환되고 있는 실정이다(그림 18 참조).

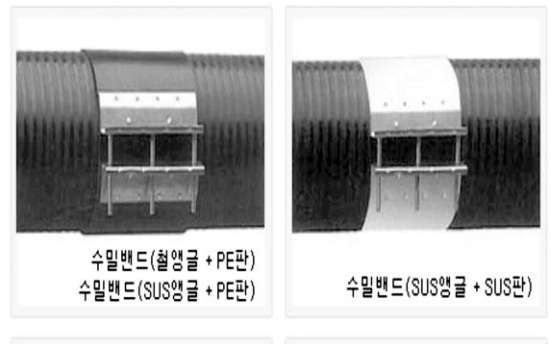
심층수 취수시설의 입지조건은 취수 심도 200 m 이상으로 해안에서 10 km 이내를 한계로 하여, 취수 가능한 해저지형을 가지는 것이 조건으로

구 분	Reel관 부설법(Reel Barge공법)	부설선법(Lay Barge공법)	해저예항법(Bottom Pulling공법)
공법 모식도			
공법 개요	Reel Barge에 미리 제작 연결된 pipe string을 선적하여 해상쪽으로 운항하면서 pipe를 해저에 laying하는 공법	Lay Barge 선상에서 해저관과 단관을 연결해 하면서 작업선을 이동시켜 관로를 침설시키는 방법	해상에 pipeline를 부력탱크를 달아 물위에 띄운 상태에서 pipeline를 해저면에 가라앉히는 방법

[그림 19] 취수배관의 설치공법



[그림 20] 심해 파이프라인 부설



[그림 21] HDPE관 접속방법

되어있으므로 지상조사, 해상조건, 사회 환경조건 등 제반 조건을 분석하는 것이 바람직하다.

그림 19는 취수배관의 설치공법을 나타낸 것으로 Reel관 부설법, 부설공법, 해저예항법 등이 있다.

그림 20은 심해파이프라인 부설공사 사진을 나타내며, 대용량 설비이다. 그림 21은 HDPE관 접속방법에 대한 그림으로 취수배관 설치 시 인장재의 보강 및 해저면의 기복이 심한 경우에 주로 사용되는 방법이다. 그림 22는 해저면에 평탄한 지역에 주로 사용되는 강관으로서 강성은 우수하나 방식처리가 필요한 단점이 있다.

그림 23은 1 MW급 해양온도차발전설비에 설치된 취수배관 계통도를 나타내며, 인도에 설치되어 전력을 생산중이며, 인도정부는 추가설치를 진행 중이다.

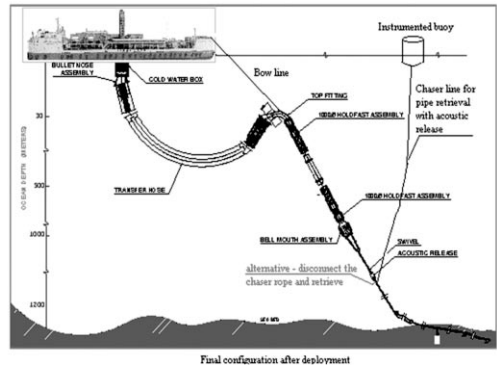
### 해양온도차발전시스템의 응용분야

해양온도차발전시스템은 효율이 낮은 실정이다. 그러나 원자력발전소 등의 냉각수의 열을 활용할 경우 효율을 많이 높일 수 있다. 이러한 단점을 보완하고 경제성을 높이기 위해 해수담수화, 양식산업, 수소분리, 리튬 등의 광물질을 회수하는 산업에 응용되고 있다(그림 24 참조).

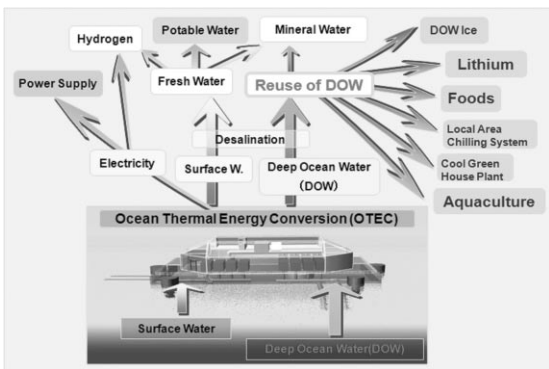




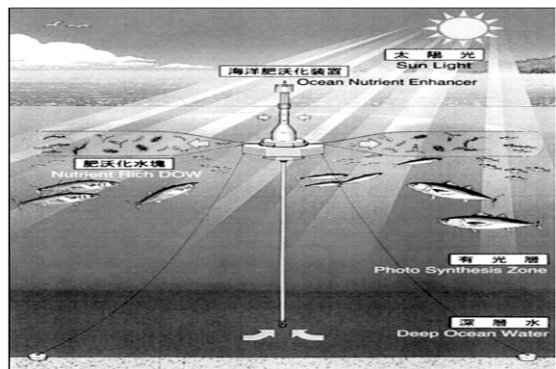
[그림 22] 강관 취수배관



[그림 23] 1 MW급 OTEC설비 취수배관



[그림 24] OTEC설비 응용분야



[그림 25] 대양에서의 양식산업





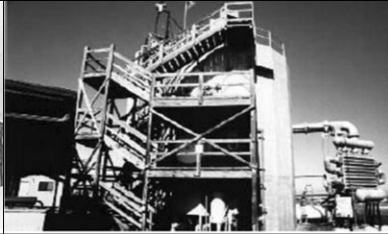



[그림 26] 담수화 플랜트(1,000 ton/day)

담수화된 심층수는 식품, 화장품, 음료 등의 제조산업에 활용되고 있으며, 고급화되는 시장전략에 따라 급성장할 것으로 예측된다. 그림 25는 심

층해수를 이용한 양식장 구조를 나타낸 사진이며, 그림 26은 일일생산량 1,000톤/일의 플랜트 설비이다. 담수의 생산방식은 역삼투압방식을 주로 사용한다.

### 국외 설치 사례

그림 27은 1979년 Mini-OTEC의 Net Power 15 kW로 시작하여 Net power 4 MW까지의 OTEC 설비를 각각 나타낸다. 미국이 먼저 개발을 시작하였지만, 대형화 설비는 일본을 중심으로 개발되었다. 해양온도차발전설비의 출력 증가는 사용 작동유체인 냉매의 가열기와 냉각기의 효율증가가 크게 기여하였다.

		
Mini-OTEC plant(15 kW) at Keahole point, Hawaii, in 1979	Net power(30 kW) at Nauru point, Hawaii, in 1982-84	Net power(210 kW) at Hawaii, in 1993
		
Net power(75 kW) at Japan, in 1985 ~	Net power(1 MW) at Indian, in 2003(Japan)	Net power 4 MW at Japan, in 2005

[그림 27] 해양온도차발전설비의 발전 동향

### 해외 시장예측 및 발전 전망

석유 등 화석연료 사용의 국제적 규제 강화에 대비하고, 지구환경 보존 등의 사회적 책임을 다하기 위한 청정한 재생에너지 개발의 필요성이 강조되고 있고, 그에 따라 앞으로 해양에너지 시장 규모가 급격히 성장할 것으로 전망된다.

Greentech Media(2008)은 'Forecasting the Future of Ocean Power' 라는 보고서에서 현재 세계 해양에너지 시설용량은 10 MW에 불과하지만 2015년에는 1 GW까지 확장될 것이며 시장규모도 5억달러에 이를 것으로 전망하였다. Frost & Sullivan(2008)의 향후 10년 에너지 전망 보고서에 따르면, 앞으로 해양에너지 기술을 꾸준히 지원 개발해나간다면, 2020년까지 EU 국가를 통틀어 약 3 GW 규모의 발전시설을 확보할 수 있을 것으로 전망하였다.

해양온도차 발전설비는 미국을 중심으로 시작되었으나, 사업화는 일본이 먼저 시작하였으며, 현재 인도에 소용량인 설비(1 MW급)의 상업화에 성공하였으나, 해양온도차발전설비는 시작 단계

이기 때문에 전 세계를 대상으로 하는 사업화의 가능성은 매우 크다고 볼 수 있다. 경제적인 효과를 국내에 한정시키지 않고 일본의 경우와 같이 해외의 수출을 대상으로 하면 경제적인 효과는 매우 클 것으로 생각된다.

### 참고문헌

1. NEDO (新エネルギー・産業技術総合開発機構), 1998, 未利用エネルギー活用ガイドブック.
2. 한국에너지기술연구원, 2005, 미활용에너지 네트워크 실증사업 최적화 연구, 최종보고서 (이산화탄소 저감 및 처리 기술개발 사업, 과학기술부).
3. 東京都市サービス株式会社, 2009, 未利用エネルギー活用地域熱供給システム-箱崎地區(パンフレット).
4. 關西エネルギー開発株式会社, 2009, 未利用エネルギー-河川水の温度差エネルギー活用による地域熱供給システム(パンフレット).



5. Uehara, H., 1982. "Research and development on ocean thermal energy conversion in Japan." Proc. 17th IECEC Conf., American Inst. of Chemical Engineers, 4.

6. Greentech Media(2008), Forecasting the Future of Ocean Power

7. Frost & Sullivan(2008), 향후 10년 에너지 전망 보고서 