

발전소 복수기 배열회수 해양온도차 발전설비 적용타당성 검토

정 훈*, 김경열, 허균영

Feasibility Study on Modified OTEC (Ocean Thermal Energy Conversion) by Plant Condenser Heat Recovery

Hoon Jung*, Kyung-yol Kim and Gyunyoung Heo

Abstract

The concept of Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC) is simple and various types of OTEC have been proposed and tried. However the location of OTEC is limited because OTEC requires 20°C of temperature difference as a minimum, so most of OTEC plants were constructed and experimented in tropical oceans. To solve this we proposed the modified OTEC which uses condenser discharged thermal energy of existing fossil or nuclear power plants. We call this system CTEC (Condenser Thermal Energy Conversion) as this system directly uses 32°C partially saturated steam in condenser instead of 20~25°C surface sea water as heat source. Increased temperature difference can improve thermal efficiency of Rankine cycle, but CTEC should be located near existing plant condenser and the length of cold water pipe between CTEC and deep cold sea water also increase. So friction loss also increases. Calculated result shows the change of efficiency, pumping power, net power and other parameters of modeled 7.9 MW CTEC at given condition. The calculated efficiency of CTEC is little larger than that of typical OTEC as expected. By proper location and optimization, CTEC could be considered another competitive renewable energy system.

Key words

OTEC(해양온도차발전), DTEC(배열이용온도차발전), CTEC(복수기배열이용온도차발전), Condenser(복수기), Heat Recovery(열회수), Working Fluid(작동유체, 냉매), Energy Balance(에너지 평형)

(접수일 2010. 8. 16, 수정일 2010. 10. 1, 게재확정일 2010. 10. 1)

* 한전 전력연구원 녹색성장 연구소

■ E-mail : power77@kepri.re.kr ■ Tel : (042)865-5374 ■ Fax : (042)865-5202

Nomenclature

W : Power, kW or MW
 P : Pressure, kPa
 t : Temperature, °C
 m : Flow, kg/s

subscrip

CC OTEC : Colsed Cycle OTEC
 OC OTEC : Open Cycle OTEC
 CWP : Cold Water Pipe

1. 서론

지구상의 전 바다가 태양으로부터 흡수하는 에너지는 전 인류가 사용하는 에너지의 4,000배 정도가 된다. 즉, 이 에너지의 0.1%만 유용한 에너지로 전환할 수 있다면 우리가 필요로 하는 에너지를 모두 충족하고도 남게 된다. 이러한 관점에서 해양에너지를 이용하려는 시도가 과거로부터 많이 있어왔지만 실제 그 기술적 타당성이나 경제적 타당성이 입증되어 활발히 적용되고 있는 것은 많지 않다. 본 연구에서는 막대한 양의 에너지원으로서 과거 100 여 년간 시도되었던 OTEC(Ocean Thermal Energy Conversion : 해양온도차 발전)을 살펴보고 국내에서 적용 타당성에 대해 검토한다. OTEC의 경우 최소한 20°C 이상의 온도차를 요구하기 때문에 대부분의 경우 적도 인근 해역에서 실증시험이 수행되어 왔으며, 근래 MW 규모의 OTEC을 계획하고 있는 국외의 경우도 적도 인근을 그 대상으로 하고 있다. 이를 해결하기 위해 일본에서는 발전소 온배수를 이용한 DTEC(Discharged Thermal Energy Conversion)이 시도되었으나 아직 상용화를 위한 성과를 보이지 않고 있다. 한편, 3면이 바다로 둘러싸여 해양에너지 분야 기술 개발에 유리한 조건을 갖춘 우리나라의 경우 냉난방 에너지 활용에 대한 연구 외 OTEC에 대해 본격적인 연구가 많지 않은 상황이며 최근 정부의 신재생 에너지 보급 및 확대 정책에 힘입어 관련 분야 연구가 시작되고 있다.

계절의 변화에 따라 해양의 표층수 온도 변화가 비교적 큰 우리나라와 같은 중위도 지역에서 OTEC 설비를 적용하는 것은 사실상 경제성을 확보하기 곤란하다. 동해안의 경우 위도에 따라 다르지만 여름철에 25°C 부근까지 온도가 상승하는 표층수는 겨울철에 10°C까지 낮아져서 설비이용률이 현저히 떨어지므로 온도차 발전의 경제성을 확보하기 어렵기 때문이다. 경제성 향상을 위해 Open Cycle OTEC나 Hybrid 방식의 OTEC를 시도하는 경우도 있으나 이 경우에도 국내 여건에서는 경제성을 확보하기 어렵다. 따라서 본 연구에서는 연중 32°C의 일정한 온도를 유지하는 기존 발전소 복수기 배열을 활용하여 이를 Closed Cycle 방식의 해양온도차 발전에 적용하는 경우에 대해 기술적 타당성을 검토해본다.

2. OTEC 설비 기본 구성

2.1 OTEC의 원리

OTEC 발전 시스템의 원리는 일반 발전소의 가동 원리와 같다. 지역에 따라 다르지만 Fig. 1에서 보는 바와 같이 열대 부근의 바다는 태양열로 데워진 해수면과 수심 600~1,000m의 바닷물 사이에 20°C 이상 온도차가 있는 지역이 존재한다. 이러한 온도차를 이용하여 상대적으로 온도가 높은 바닷물로 끓는점이 낮은 암모니아나 프레온을 증기로 만들고, 이 증기의 힘으로 터빈을 돌려 발전한다. 터빈을 돌리고 난 증기는 심해의 찬 바닷물로 냉각, 응축시킨 후 다시 액체로 만들어 계속 순환시켜 사용한다.

이러한 OTEC 발전설비는 크게 두 종류로 나눌 수 있는데, 첫 번째는 비등점이 낮은 작동유체를 이용하여 폐회로를 순환시키는 Closed Cycle OTEC이며, 두 번째는 해양 표층수를 증발시켜 터빈을 돌리고 난 후 이를 다시 생활용수로 사용하기 위해 담수화하는 Open Cycle OTEC(Fig. 3)이다. Fig. 2는 전형적인 Closed Cycle OTEC의 구성을 보여준다. Closed Cycle OTEC은 다음과 같은 Process로 구성된다.

- 터빈을 통과한 작동유체는 응축기로 유입
- 응축기에 도달한 작동유체는 낮은 온도의 해수와 열 교환하여 액체 상태로 응축
- 액화된 작동유체를 증발기로 Pumping
- 증발기에 도착한 액체 암모니아는 표층부의 따뜻한 해

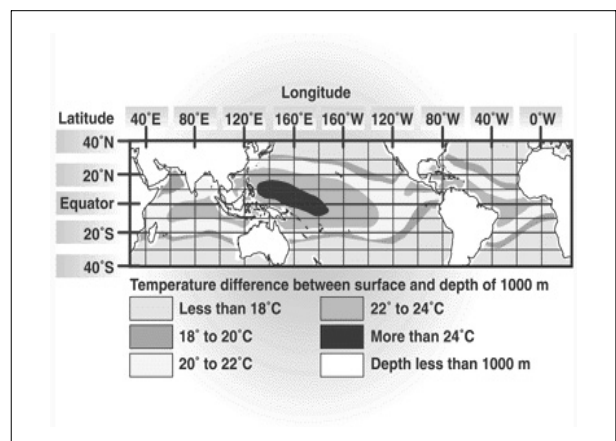


Fig. 1 Surface Sea Water Heating by the Sun (NREL:National Renewable Energy Laboratory)

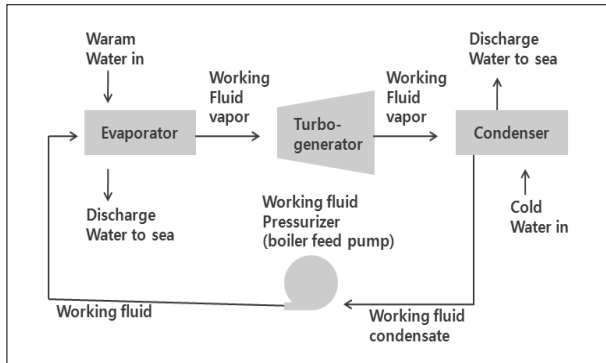


Fig. 2 Closed Cycle OTEC

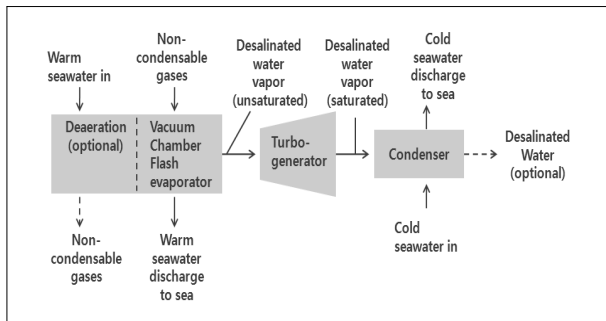


Fig. 3 Open Cycle OTEC

수와 열교환후 팽창하여 높은 압력의 가스로 상 변환
- 높은 압력으로 가스화한 암모니아가 터빈을 통과하며 가동

결국 이 Cycle은 물을 작동 유체로 이용하여 연료 연소에 의해 증발된 증기로 터빈을 돌리는 일반적인 발전플랜트와 기본적으로 같은 Rankine Cycle이며, 두 Cycle의 차이점은 연료를 연소하여 고온 열원을 얻는 것이 전통적인 Rankine Cycle인데 비해 OTEC의 경우에는 상대적으로 따뜻한 표층 해수를 고온열원으로 이용한다는 것뿐이다. 이를 위해 작동 유체는 20℃ 정도의 작은 온도차와 압력변화에서 비등 및 응축의 상변화(相變化)가 쉽게 일어나고 열전달 성능이 좋아야 하며 터빈회전을 위한 충분한 모멘텀을 줄 수가 있어야 하므로 동작물질로 주로 암모니아, 프로판, 프레온, 프로판-부탄 화합물 등이 이용되고 있다.

2.2 OTEC의 특징

해양에서 온도차를 이용하여 에너지를 얻으려는 생각은 100

년 이상 되었으며 이것이 실용화되면 가장 큰 재생에너지원이 얻어지는 셈이지만, 열역학적으로 보면 온도차가 클수록 에너지를 얻기가 쉬운 Carnot Cycle의 특징 때문에 해양의 크지 않은 온도차를 이용하여 에너지를 뽑아내는 것이 기술적으로 쉽지 않다. 이로 인해 적어도 20℃이상의 온도차를 요구하는 OTEC 적용이 타당한 곳은 열대지방 부근에 국한되어, 이것이 국내에서 OTEC 관련 연구가 활발하지 않은 이유이다. 국내에서는 저온을 얻을 수 있는 동해안이 가능성이 있는 것으로 판단되며 포항 앞 바다 또는 고리원자력, 울진원자력 부근이 후보지로 가능할 것으로 예상된다. OTEC의 특징을 정리하면 다음과 같다⁽⁶⁾.

- 무한한 에너지원의 이용(연료비 없음)
- 낮은 발전 효율(Gross 4~5%, Net 2~3%)
- 필요에 따라 심층수를 다양하게 활용
- 최소 온도차 20℃ 정도로 입지조건 제한
- 장거리 심층수 파이프(건설비 증가요인)
- 낮은 구조물 신뢰성(해상에 설치하는 경우)
- 높은 초기 설비 투자비(높은 건설비)

3. OTEC 구성 변경

3.1 DTEC(Discharged Thermal Energy Conversion)

OTEC의 경우 최소 20℃ 정도의 온도차가 있어야 적용 타당성이 있는 것으로 알려져 있다. 그것은 얻을 수 있는 동력이 온도차에 비례하는 Carnot Cycle의 특징으로 인한 것이며, 작동유체를 응축시키기 위하여 심층수를 취수(Pumping)하는데 소요되는 동력과 작동유체를 증발시키기 위해 표층수를 취수(Pumping)하는데 소요되는 동력이 발전량의 70%에 육박하는 특징에 기인하는 것이다. Fig. 4에서 보는 바와 같이 온도차가 14℃인 경우 발전량은 취수(Pumping) 동력과 비슷해지므로 발전에 필요한 최소 온도차는 14℃ 이상임을 알 수 있다⁽¹⁾.

국내의 경우 이 정도의 온도차는 하절기에만 존재하며 나머지 계절에는 최소온도차(14℃)보다 적게 유지되므로 기본적인 OTEC Cycle을 적용하는 것은 타당하지 않다. 우리나라와 위도가 비슷한 일본의 경우 이를 극복하기 위해 발전소를

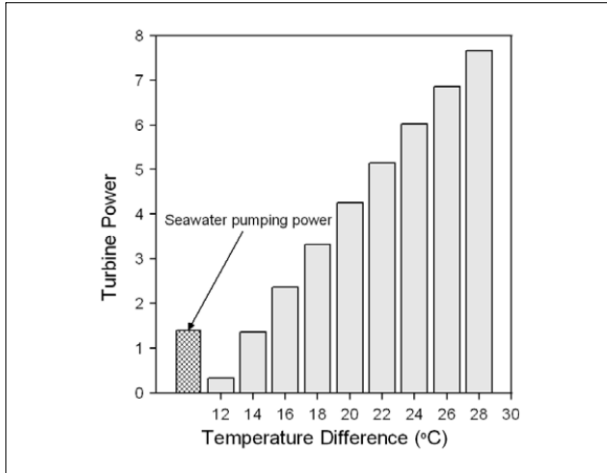


Fig. 4 Turbine Power vs. Temperature Difference

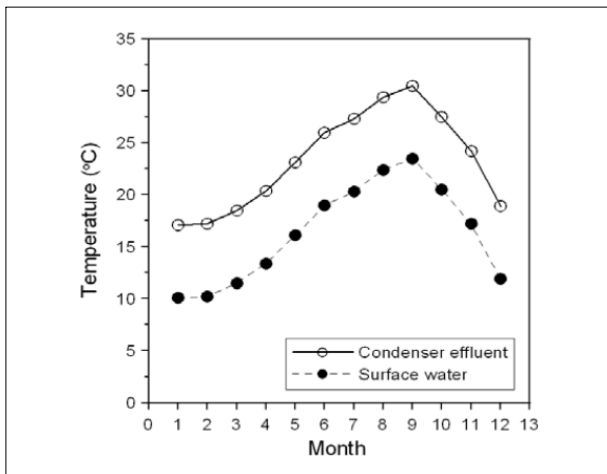


Fig. 5 Condenser In/Out Temperature

비슷한 다양한 산업설비의 배열을 이용하여 온도차를 크게 함으로써 온도차 발전의 효율을 높이려는 시도가 있었다. 산업 설비의 종류에 따라 버려지는 배열 온도가 다르지만, 상대적으로 많은 양의 열에너지를 배출하는 발전설비의 경우 냉각수의 온도가 상승하므로 이를 이용하면 기존 OTEC 보다 더 많은 발전량을 얻을 수 있다. Fig. 5는 월성 원자력의 월별 온배수 온도를 나타내며 계절별로 약간의 차이는 있으나 약 7°C 정도 더 높은 온도를 얻을 수 있음을 보여준다⁽¹⁾.

3.2 DTEC의 특징

DTEC은 온도차를 크게 함으로써 더 높은 효율 달성이 가

능하며 이로 인해 경제성 향상을 기대할 수 있다. 전형적인 OTEC의 경우 20°C 내외의 온도차로부터 5%(Net 2.5%) 정도의 발전 효율을 나타내는 것이 비해 DTEC을 적용하면 25~27°C 온도차로부터 7%(Net 3~4%) 효율을 얻을 수 있을 것으로 기대된다. 그러나 DTEC 역시 우리나라와 같은 중위도 지역에서는 계절적 온도 변화에 의해 봄과 가을에 출력이 급격하게 감소하며 겨울에는 발전이 불가능하므로 설비이용률이 저하되어 경제성을 확보하기 어렵다.

3.3 CTEC 검토

본 연구에서는 OTEC과 DTEC의 한계를 극복하기 위하여 온도차를 더욱 증가시키고 계절적인 온도변화가 없는 CTEC (Condenser Thermal Energy Conversion) 방식의 온도차 발전에 대한 타당성을 검토한다. 기존 발전소 복수기는 다량의 해수로 터빈 배기증기를 냉각, 응축시키는데 이 과정에서 막대한 양의 열에너지가 해양으로 배출된다. 500MWe 발전소의 경우 약 580MW의 열에너지를 해양으로 배출하며⁽⁸⁾, 이러한 발전소 온배수는 주변 해양 생태계에 영향을 주어 민원이 발생되기도 한다.

해양 표층수를 열원으로 이용하는 OTEC이나 온배수를 열원으로 이용하는 일반적인 DTEC과 달리, CTEC은 기존 발전소 복수기의 터빈 배기증기를 직접 열원으로 이용한다. 넓은 의미에서 본다면 CTEC은 DTEC의 범주에 포함될 수 있다.

Fig. 6에서 보는 바와 같이 기존 발전소 복수기 튜브 내로 해수가 아닌, 온도차 발전 Cycle의 작동유체가 직접 통과하

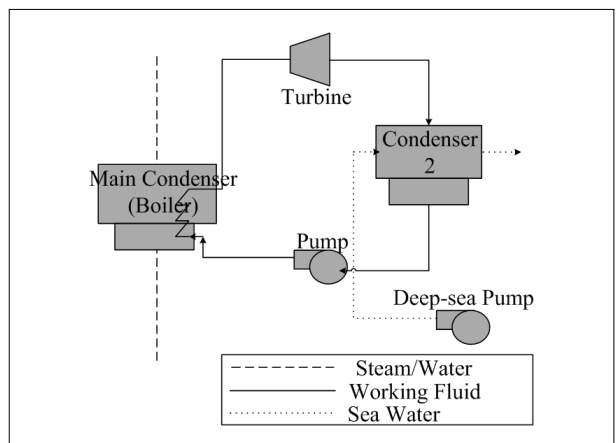


Fig. 6 Schematic of CTEC

면서 기존 발전소 복수기 내 증기는 냉각, 응축되고 온도차 발전 Cycle의 작동유체는 가열, 증발되어 터빈으로 유입된다. 이러한 CTEC 구성은 기존의 OTEC이나 DTEC에 비해 보다 높은 온도차를 얻을 수 있는데 대부분의 발전소 터빈 배기 증기는 32°C 정도로서 해양 표층수나 발전소 온배수보다 높은 온도를 유지하기 때문이다⁽⁸⁾. 또 하나의 큰 차이는 터빈 배기증기는 기존 발전소가 운전되는 한, 계절의 변화에 관계 없이 항상 일정한 온도(32°C)를 유지하므로 하부의 온도차 발전 Cycle은 연중 균일한 발전출력을 얻을 수 있다는 것이다. 이로 인해 하부의 온도차 발전 Cycle은 설비이용률이 기존 발전소의 설비이용률(화력 70~80%, 원자력 80~90%, 2007.10, 일본 전기협회보)과 거의 동등한 수준을 유지하게 되므로 경제성을 획기적으로 향상시킬 수 있을 것으로 예상된다.

3.4 CTEC Modeling

Fig. 6과 같이 구성하는 경우, 기존 발전소 복수기의 막대한 열에너지를 전량 흡수하여 많은 양의 발전량을 얻을 수 있으나 이 경우 하부 Cycle의 규모가 거대해져서 실제 적용하는 것이 쉽지 않다. 또한 이 두 Cycle은 복합적으로 연결되어 있으므로 상부 Cycle과 하부 Cycle 중 어느 하나라도 정지하게 되면 다른 Cycle도 함께 정지가 되어야 한다. 따라서 적당한 규모의 하부 Cycle을 구성하고 여기에 필요한 만큼의 열에너지를 필요한 만큼 공급할 수 있도록 제어하고, 유사시 하부 Cycle을 정지해야 하는 경우에도 상부 Cycle을 독립적으로 운전할 수 있도록 하기 위해서는 Fig. 7과 같이 하부 Cycle의 증발기를 별도로 구성하고 경우에 따라 상부 Cycle과 하부 Cycle을 분리 또는 독립 운전할 수 있도록 하여야 한다.

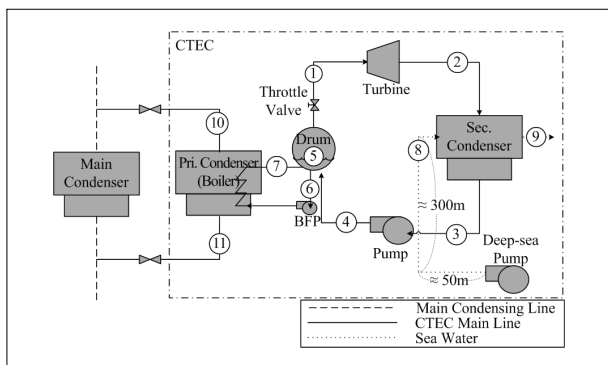


Fig. 7 Schematic of CTEC with Separated Condenser

3.5 Energy Balance

CTEC의 모델링을 위해 고려해야 할 주요 기기는 Primary Condenser, Secondary Condenser, Drum, Turbine, Pump, Deep-sea Pump로 총 6개로 구성되어있다. 이중 Primary Condenser, Second Condenser, Drum은 열교환기이며 나머지 설비는 Turbine, Pump로 종류를 나눌 수 있다.

Primary Condenser, Secondary Condenser 및 Drum은 열 교환기로서 정확한 계산을 위해서는 열전달 측면에서도 봐야 하지만 CTEC의 개념적 설계에 따른 간이 계산을 위해 열역학적 측면만을 계산하였다. 열 교환기에서 열역학적 측면은 쉘 측과 튜브 측의 에너지의 평형을 이루어야 하므로 식 (1)과 같은 지배방정식이 필요하다.

$$\dot{m}_t(h_{to} - h_{ti}) = \dot{m}_s(h_{si} - h_{so}) \quad (1)$$

Turbine의 열역학적 평형 식은 식 (2)와 같고 효율 식은 식 (3)과 같다. 식 (3)에서 h_i 는 터빈 입구부분의 엔탈피이고 h_e 는 isentropic일 때의 출구 엔탈피이며, h_{act} 는 실제 출구 엔탈피이다. 터빈 효율은 터빈 입구에서 엔탈피와 isentropic일 때의 출구 엔탈피 차와 터빈 입구 엔탈피와 실제 출구 엔탈피 차의 비로 이루어지므로,

$$\dot{m}(h_t - h_{act}) = W \quad (2)$$

$$\eta = \frac{h_t - h_{act}}{h_t - h_i} \quad (3)$$

Pump에서 효율은 식 (4)로써 Δp 는 펌프로 인한 압력 상승률이고, Δh 는 엔탈피 상승률 \bar{v} 는 펌프 입구 측과 출구 측의 평균 비체적이다. 식 (5)는 펌프구동에 필요한 전기량을 구하는 식으로 P_m 은 펌프구동에 필요한 전기량, w 는 펌프의 유량, η_{mot} 는 전기 모터 효율, η_{pmp} 펌프의 효율, η_{link} 는 모터에서 펌프로 가는 linkage 효율이다.

$$\eta_{pmp} = \frac{\bar{v} \Delta p}{\Delta h} \quad (4)$$

$$P_m = \frac{w \bar{v} \Delta p}{\eta_{mot} \eta_{link} \eta_{pmp}} \quad (5)$$

CTEC 사이클의 Gross 효율은 식 (6)로써 기본적인 Rankine

사이클의 효율을 구하는 식과 동일하다. 식 (7)은 Net 효율로써 CTEC 사이클을 구동하는데 필요한 펌프구동 전기량을 감안한 효율이다. 식 (8)의 W_{dp} 는 심해펌프 구동전력, W_p 는 CTEC 사이클 펌프의 구동전력, W_{bfp} 는 BFP의 구동전력이다.

$$\eta_{gross} = \frac{W_{gross}}{Q} \quad (6)$$

$$\eta_{net} = \frac{W_{\neq t}}{Q} \quad (7)$$

$$W_{net} = W_{gross} - W_{dp} - W_p - W_{bfp} \quad (8)$$

4. 결과(CTEC 발전량 및 효율)

유사한 용량의 OTEC 발전소와의 비교를 위하여 참고문헌 [5]에서 제시된 것과 유사한 운전 조건에서 작동되는 CTEC 발전소를 시뮬레이션 하였다. 작동유체로는 암모니아를 채택 하였으며, 주요 회전기기의 효율은 참조발전소와 동일 또는 보수적으로 다소 적은 값으로 가정하였다. 참조 발전소와 Gross 출력을 일치시키기 위하여 7.9MWe의 전기출력을 발생시킬 수 있는 암모니아 유량을 계산하였다. 주발전소의 복

수기 온도가 일반 해수 온도보다는 높은 관계로 암모니아의 작동 압력을 참조 발전소보다 높일 수 있어, Cycle을 유동하는 암모니아 유량이 적게 계산되었다. 참조발전소에 비해 표층 해수를 유동시키기 위한 펌프가 필요 없고, 유량이 적어진 암모니아를 이송시키기 위한 급수 펌프 역시 용량이 작아지므로, 전력소모가 감소하였다.

해수 쪽에 위치한 복수기의 계산에서는 심층수의 취수 길이 1km, 직경 2.8m의 플라스틱 배관을 가정하였으며, 해수가 이동하는 동안 외부로의 열전달은 무시하였다. 심층수를 끌어올리는 과정에서 발생하는 대형 배관 마찰 손실을 고려하였으며, 해수의 이송을 고려하여 복수기에는 티타늄 배관을 사용하였다. 심층수의 온도와 복수기에서의 방출 온도는 참조발전소와 동일하게 가정하였다. 해수측 복수기를 흐르는 유동에 의한 압력 강하를 고려하여 설계된 배관의 규격과 개수는 참조발전소의 자료가 부족하여 직접적인 비교는 어려웠다. 하지만 일반 대형 발전소의 배관 규격과 비교하였을 때, 상대적으로 작은 해수와 암모니아의 온도 차이와 열전달 계수를 고려한다면 적절한 수준임을 확인할 수 있었다. 해수 이송 펌프는 대량의 유동을 담당해야 하므로 발전소 내에서 가장 큰 펌프 출력을 요구하는데, 배관 설계를 통해 1.2MW가 되도록 하였다.

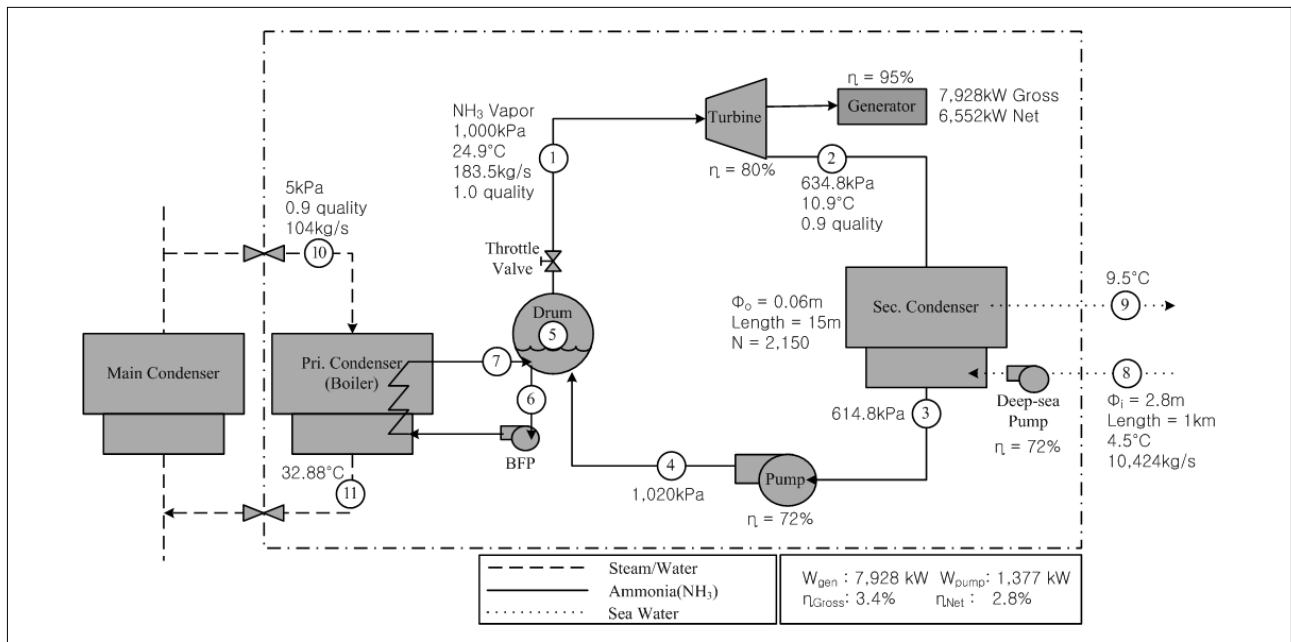


Fig. 8 Heat and Mass Balance of 7.9 MWe CTEC

표 1. 주요 구간별 데이터값

	P (kPa)	T ($^{\circ}C$)	\dot{w} (kg/s)	비 고
1	1,000	24.9	183.5	$q = 1$
2	634.8	10.9	183.5	$q = 0.9$
3	614.8	9.974	183.5	
4	1,020	10.11	183.5	
5	-	-	-	
6	1,000	10.11	183.5	
7	1,000	24.89	183.5	
8	100	4.5	10,424	$\phi_i = 2.8m$
9	100	9.5	10,424	
10	5	32.88	104	
11	5	32.88	104	

표 2. 온도차 발전방식별 특성 비교

구분	OTEC	DTEC	CTEC
온도차($^{\circ}C$)	20	25	29
예상 효율(%)	2-3	3-4	4-5
펌핑 동력비	0.7	0.5	0.3
상대 건설비	1	0.9	0.7
신뢰성	소	중	대
예상 설비이용률(%)	20 이하	40 이하	70~80

계산 결과를 보면, Gross 효율은 3.4%이며, 총 펌프 동력을 감안한 Net 효율은 2.8%로 분석되었다. 이는 유사한 운전 조건에서 운영되는 참조발전소의 Net 효율이 2.2%인 것에 비하여 높은 수치임을 알 수 있으며, 이용률을 감안하다면 경제성이 더욱 향상될 것으로 기대할 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 기존에 제시된 DTEC, OTEC 발전소의 개념을 국내 실정에 맞도록 수정한 CTEC 발전소에 대한 열성능 분석을 수행하였다.

CTEC 발전소의 가장 큰 장점은 증가된 온도차로 인한 증

가된 효율과 연중 지속적으로 가동할 수 있는 높은 이용률이며, 비슷한 운전조건에서 운영되는 타 온도차 발전소에 비하여 다소 높은 효율을 갖는다는 것을 확인하였다. 또한 CTEC 발전소가 연결되는 발전소 측면에서는 여름철에도 부족한 냉각수원을 확보할 수 있으므로 안정적인 출력을 유지할 수 있고, 해양으로 방출되는 폐열의 양을 줄이게 되므로 환경적 측면에서도 유리할 것으로 예상된다. 추가적인 경제성 분석을 통해 타 발전설비와의 경쟁력 분석 및 타당성 확인을 계속 진행할 예정이다.

References

- [1] 김남진 등, 2007, "원자력발전소 온배수를 이용한 해양온도차 발전 사이클 해석", Journal of Korean Solar Energy Society, Vol. 27, No. 3, pp. 37-44.
- [2] 김정봉 등, 2003, "해양 심층수 개발 및 활용을 위한 법제화 검토 연구", 한국해양 수산개발원, p. 30.
- [3] 김현주, 2002, "해양 심층수의 안정성 조사 및 분석", 한국해양연구원.
- [4] 김복기 외, 2001, "2000년 동해 연안정점 해양조사, 동해수 연 해양자원조사보고", pp. 22-27.
- [5] Vega, 2002/2003, "Ocean Thermal Energy Conversion Primer", Marine Technology Society Journal, Vol. 6, No. 4, Winter, pp. 25-35.
- [6] Suh et al. 1998, "A basic study on site selection of ocean thermal energy conversion plant in adjacent seas of the Korean peninsula (1)", Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies, 1(2), pp. 44-55.
- [7] Suh et al. 1999, "A property analysis on spatial distribution of sea water temperature difference for site selection of ocean thermal energy conversion plant", J. of the Korea Society for Energy Engineering, 8(4), pp. 567-575.
- [8] 홍은기, 김태형, 2005, "태안화력 제 4호기 계획예방정비 전정밀 열성능진단 결과 보고서", 전력연구원, pp. 35-50, 109-116, 127-135.

정 훈



1988년 연세대학교 기계공학과 공학사
2002년 연세대학교 기계공학과 공학석사

현재 한전 전력연구원 녹색성장연구소 선임연구원
(E-mail : power77@kepri.re.kr)

김 경 열



1995년 한남대학교 토목공학과 공학사
2003년 충남대학교 토목공학과 공학석사

현재 한전 전력연구원 녹색성장연구소 선임연구원
(E-mail : patric@kepri.re.kr)

허 균 영



1997년 KAIST 원자력공학과 공학사
1999년 KAIST 원자력공학과 공학석사
2004년 KAIST 원자력및양자공학과 공학박사

현재 경희대학교 원자력공학과 조교수
(E-mail : gheo@khu.ac.kr)