

발전 및 해수담수화를 위한 태양열-해양온도차 복합 시스템에 대한 연구

A Study on the Solar-OTEC Convergence System for Power Generation and Seawater Desalination

박성식* · 김우중* · 김용환** · 전용한*** · 현창해**** · 김남진*†

Park Sung-Seek*, Kim Woo-Joong*, Kim Yong-Hwan**, Jeon Yong-Han***,
Hyun Chang-Hae**** and Kim Nam-Jin*†

(Submit date : 2014. 1. 27., Judgment date : 2014. 2. 4., Publication decide date : 2014. 4. 21.)

Abstract : Ocean thermal energy conversion(OTEC) is a power generation method that utilizes temperature difference between the warm surface seawater and cold deep seawater of ocean. As potential sources of clean-energy supply, Ocean thermal energy conversion(OTEC) power plants' viability has been investigated. Therefore, this paper evaluated the thermodynamic performance of solar-OTEC convergence system for the production with electric power and desalinated water. The comparison analysis of solar-OTEC convergence system performance was carried out as the fluid temperature, saturated temperature difference and pressure of flash evaporator under equivalent conditions. As a results, maximum system efficiency, electric power and fresh water output show at 40, 10, 2.5 kPa of the flash evaporator pressure, respectively. And their respective enhancement ratios were approximately 6.1, 18, 8.6 times higher than that of the base open OTEC system. Also, performance of solar-OTEC system is the highest in the flash evaporator pressure of 10 kPa.

Key Words : 해양온도차발전(OTEC), 태양열(Solar heat), 해수담수화(Seawater desalination), 개방형 시스템(open system), 전력(electric power)

*† 김남진(교신저자) : 제주대학교 에너지공학과
E-mail : jnkim@jejunu.ac.kr Tel : 064-754-3643
*박성식 : 제주대학교 에너지공학과
*김우중 : 제주대학교 에너지공학과
**김용환 : (주) 제스코
***전용한 : 상지영서대학교 소방안전과
****현창해 : 제주관광대학교 메카트로닉스과

**† Kim Nam-Jin(corresponding author) : Department of Nuclear & Energy Engineering, Jeju National University. E-mail : jnkim@jejunu.ac.kr, Tel : 064-754-3643
*Park Sung-Seek : Nuclear & Energy Engineering, Jeju National University
*Kim Woo-Joong : Nuclear & Energy Engineering, Jeju National University
**Kim Yong-Hwan : Jesco co.
***Jeon Yong-Han : Department of Protection and Safety, Sang Gi Young Seo College
****Hyun Chang-Hae : Department of Mechatronics, Cheju Tourism College

1. 서 론

지구표면의 약 71%를 차지하며, 면적이 3억 6,100만 km²로서 지구상 동·식물의 80%가 서식하는 해양은 무한한 자원의 보고이며 경제발전의 원동력이다. 해양은 태양으로부터 매년 37조 kWh의 에너지를 흡수하고 있으며, 이는 현재 인류가 사용하는 전기 용량의 4000배에 달한다. 따라서 해양에너지원은 재생 가능한 에너지 중에서도 에너지 밀도, 규모, 안전성의 관점에서 화석에너지를 대체할 수 있는 차세대 에너지원으로 크게 주목받고 있다. 해양에너지를 이용하는 방법 중의 하나인 해양온도차발전(Ocean Thermal Energy Conversion, OTEC)은 태양으로부터 지구의 바다로 흡수되는 에너지를 이용하는 시스템으로써, 해수면의 온수와 심해저 냉수의 온도차를 이용하여 전기를 생산하는 발전시스템이다. 특히, 해양온도차발전은 해양에너지 중에서도 에너지 규모, 복합이용, 안정성 등에서 가장 유효한 에너지원으로 기대되고 있으며, 100 MW급의 OTEC 발전시스템은 연간 140,000 탄소톤의 CO₂를 저감할 수 있다고 보고되어 많은 연구가 수행되었다.¹⁾

1979년 하와이 keahole point에서 최초로 50 kW급 폐쇄형 Mini-OTEC 시스템 실험에 성공하여 18 kW의 순수출력을 생산하였고, 1994년에는 Natural Energy Laboratory of Hawaii Authority(NELHA)에서 210 kW급 육상형 개방순환식 OTEC 시스템 실험에 성공하였다.²⁾ 또한 일본의 사가대학에서는 R22와 암모니아를 작동유체로 사용하는 75 kW급의 OTEC 시스템을 구축하여 지속적으로 OTEC 시스템에 대한 연구를 수행해오고 있으며, Uehara H.는 Uehara 사이클을 개발하여 OTEC 시스템의 효율을 향상시켰다.³⁾ 하

지만 OTEC 시스템의 최대 단점인 높은 초기투자비용과 낮은 효율로 인하여 아직까지 시스템의 상업화가 이루어지지 못하고 있다. 따라서 최근에는 태양열 또는 폐열을 이용하여 OTEC 시스템의 효율을 증가시키고자 하는 연구가 수행되고 있다. Straatman P.J.T et al.은 hybrid ocean thermal energy conversion-offshore solar pond(OTEC-OSP) 시스템을 제안하고, 기존 OTEC 시스템과의 비교연구를 통하여 OTEC-OSP 시스템은 기존의 OTEC 시스템보다 약 4배 정도의 효율을 높일 수 있다고 보고하였다.⁴⁾ 또한 Yamada N. et al.은 태양열을 이용한 solar-boosted OTEC 시스템과 기존 폐쇄형 OTEC 시스템의 시뮬레이션을 비교를 통하여 solar-boosted OTEC 시스템의 열효율이 기존 폐쇄형 OTEC 시스템보다 1.5배 정도 높다고 보고하였다.⁵⁾

하지만 태양열이나 폐열을 열원으로 하는 여러 가지 복합 OTEC 시스템 중에서도 냉매를 사용하는 다른 시스템과는 달리 해수자체를 작동유체로 사용하기 때문에 보다 환경 친화적이며, 전력생산과 담수생산을 동시에 할 수 있는 개방형 OTEC 시스템에 관한 연구는 미미한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 다른 OTEC 시스템에 비하여 상대적으로 낮은 효율을 가지고 있는 기존 개방형 OTEC 시스템의 문제점을 극복하고, 발전과 해수 담수화를 동시에 할 수 있는 태양열-개방형 OTEC 복합 시스템의 성능을 비교분석하고자 한다.

2. 태양열-OTEC 복합 시스템

2.1 개방형 OTEC 시스템

OTEC 시스템의 종류에는 폐쇄형, 개방형, 재생식, 칼리나, 혼합형 등이 있다. 이 중 개방형 OTEC 시스템은 다른 OTEC 시스템과는

달리 해수자체를 작동유체로 사용한다. Fig. 1 과 같이 개방형 OTEC 시스템은 기화기(Flash evaporator), 터빈, 발전기, 응축기로 구성되어 있으며, 작동유체를 순화시킬 필요가 없기 때문에 순환펌프는 구성되지 않는다. 또한 시스템에서 열교환기가 차지하는 비중이 다른 OTEC 시스템보다 작기 때문에 시스템의 초기투자비용을 큰 폭으로 감소시킬 수 있다. 따뜻한 표층수가 매우 낮은 압력으로 유지되는 기화기로 유입되면, 순간적으로 기화하여 터빈과 발전기를 구동시키고 응축기를 통하여 응축된다. 응축기에서 응축된 물은 담수저장 탱크로 이동하게 되며, 본 연구에서는 담수생산을 고려하기 위하여 응축기의 열교환 방식을 직접접촉열교환 방식이 아닌 간접접촉열교환 방식으로 채택하였다. 개방형 OTEC 시스템의 경우 해수를 작동유체로 사용하기 때문에 해수 내에 녹아있던 수소, 산소 등의 가스가 기화기 내의 저압으로 인하여 증발과 동시에 발생하게 된다. 이러한 가스는 시스템의 효율에 악영향을 미치기 때문에 불응축가스(non-condensable gas, NCG)라고 하며 반드시 제거해야 한다. 불응축가스를 제거하는데 필요한 동력은 시스템 전체출력의 10% 정도 인 것으로 보고되어 있다.⁶⁾

2.2 태양열-개방형 OTEC 시스템

Fig. 2는 본 연구에서 제안한 태양열-개방형 OTEC 시스템의 개략도이다. 시스템은 태양열 집열기, 축열조, 순환펌프, 기화기, 터빈, 발전기, 응축기로 구성되어 있다. 태양열 집열기에 의하여 가열된 작동유체는 축열조로 이동하게 되고, 기화기 내에서 해수와 열교환을 한 뒤 순환펌프에 의해 다시 태양열 집열기로 이동하게 된다. 기화기 내로 유입되는 해수는 축열조 유체와의 열교환을 통하여 바로 증발

하게 되며, 증발된 증기는 터빈을 작동시켜 발전한 후 응축기로 이동하여 담수화 처리된다. 이와 같은 태양열-개방형 OTEC 시스템은 전력과 담수생산을 동시에 할 수 있으나 발전터빈의 입·출구 압력차가 매우 작아 다른 OTEC 시스템보다 낮은 효율을 가지고 있는 기존 개방형 OTEC 시스템의 단점을 보완할 수 있다.

3. 시스템 해석방법

본 연구에서는 각 시스템에 대한 성능을 동일한 조건에서 비교분석하기 위하여 기화기의 증발용량을 150 kW로 일정하다고 가정하였다. 그리고 기화기의 총괄열전달계수와 전열면적의 곱인 UA, 기화기와 응축기에서의 해수 질량유량, 터빈 효율, 기화기 유입 유체온도, 심층수 온도를 Table 1과 같은 조건에서 모사하였으며, 태양열을 이용하는 태양열-개방형

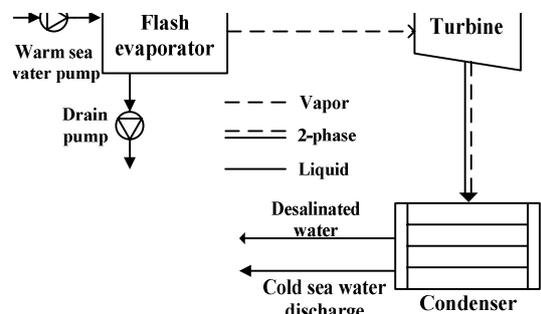


Fig. 1 Schematic diagram of open OTEC system.

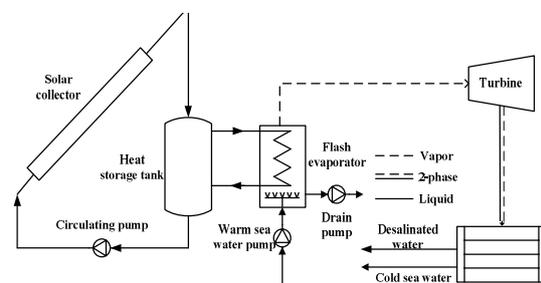


Fig. 2 Schematic diagram of solar-open OTEC system.

OTEC 시스템의 경우 기화기 유체온도를 60 - 80°C, 기화기 압력을 2.5 - 40 kPa로 변화시키면서 시스템을 성능을 계산하였다. 또한 작동유체마다 증발잠열이 다르기 때문에 터빈의 체적유량은 변하는 것으로 가정하였으며, 각각의 시스템을 해석하는데 있어 터빈의 등엔트로피 효율은 90%로 동일하게 적용하였다. 개방형 OTEC 시스템의 성능을 정확하게 해석하고 계산하기 위하여 기화기와 응축기에 적절한 열전달 방정식을 적용하는 것은 매우 중요하다. 따라서 본 연구에서는 기화기와 응축기의 열전달 효율을 대수평균온도차(Log Mean Temperature Difference, LMTD)로 정의하였다. 증발용량이 일정하다고 가정하였으므로 UA는 상수가 되며, 해석의 단순성을 위하여 압력강하는 무시하였다. 시스템의 열전달 해석을 위하여 기화기는 과냉영역, 2상영역, 과열영역의 세 부분으로 나누었으며, 응축기는 과냉영역과 2상영역의 두 부분으로 나누어 계산하였다. UA 값과 LMTD 값을 정의한 경우 유체사이의 열교환은 식 (1), (2), (3), (4)로 나타낼 수 있다.⁷⁾

$$UA_e = UA_{sube} + UA_{tpe} + UA_{supe} \quad (1)$$

$$\frac{1}{LMTD_e} = \frac{f_{sube}}{LMTD_{sube}} + \frac{(1-f_{sube}-f_{supe})}{LMTD_{tpe}} + \frac{f_{supe}}{LMTD_{supe}} \quad (2)$$

$$UA_c = UA_{subc} + UA_{tpc} \quad (3)$$

$$\frac{1}{LMTD_c} = \frac{f_{subc}}{LMTD_{subc}} + \frac{(1-f_{tpc})}{LMTD_{tpc}} \quad (4)$$

여기서, 하첨자 e, c, sub, sup, tp 는 각각 증발기, 응축기, 과냉도, 과열도, 2상을 나타내

며, f 는 열교환기 전체의 열량에 대한 과냉, 2상 그리고 과열부분의 열량비를 나타낸다. 또한 Fig. 3과 같은 기화기는 여러 가지 OTEC 시스템 중에서도 개방형과 혼합형 OTEC 시스템에만 사용되는 중요한자이다. 기화기는 해수를 기화시키는 메커니즘에 따라 open channel flow, falling films, falling jets, vertical spouts 등으로 분류할 수 있으며, 본 연구에서는 모든 메커니즘에 적용할 수 있는 가장 일반적인 방법을 사용하여 기화기를 모델링 하였다. 그리고 기화기에서 적용한 에너지 방정식은 식 (5), (6)과 같으며, 이를 정리한 식 (7)을 이용하면 기화기 내에서 증발하는 수증기의 양 \dot{m}_2 을 도출할 수 있고, 이는 곧 시스템에서 생산되는 담수량을 나타낸다.⁸⁾

$$\dot{m}_1 h_1 = \dot{m}_2 h_2 + \dot{m}_3 h_3 \quad (5)$$

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 + \dot{m}_3 \quad (6)$$

Table 1 System operating conditions.

기본 개방형 OTEC 시스템	기화기 유체온도 (°C)	28
	심층수 입구온도 (°C)	4
	기화기 효율	0.85
	기화기 압력 (kPa)	2.5
	응축기의 LMTD (°C)	2.5
	등엔트로피 터빈효율 (%)	90
	기화기의 증발용량 (kW)	150
	기화기 질량유량 (kg/s)	6.16
	심층수 질량유량 (kg/s)	5.98
	태양열-개방형 OTEC 시스템	기화기 유체온도 (°C)
기화기 압력 (kPa)		2.5, 5, 10, 15, 25, 30, 35, 40

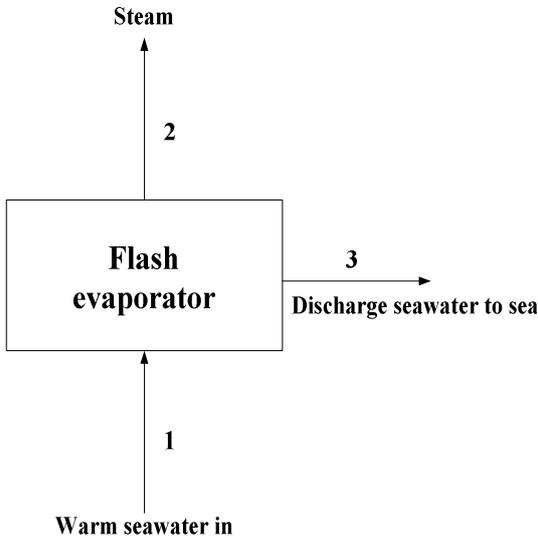


Fig. 3 Conceptual diagram of flash evaporator.

$$m_2 = \frac{m_1 C_p (T_1 - T_3)}{H_{fg} - C_p (T_3 - T_E)} \quad (7)$$

본 연구에서는 개방형 OTEC 시스템의 효율을 기화기에서 발생하는 불응축가스를 제거하기 위한 동력을 고려하여 시스템 효율 η_{sys} 로 정의하였으며, 효율을 계산하기 위한 계산식은 다음과 같다.

$$\eta_{sys} = \dot{W}_{net} / \dot{Q}_E \quad (8)$$

$$\dot{W}_{net} = \dot{W}_T - \dot{W}_{P_{total}} \quad (9)$$

$$\dot{W}_{P_{total}} = \dot{W}_{wp} + \dot{W}_{cp} + \dot{W}_{p, NCG} \quad (10)$$

$$\dot{W}_{p, NCG} = 0.1 \cdot \dot{W}_T \quad (11)$$

여기서 \dot{Q}_E , \dot{W}_{net} , \dot{W}_T , $\dot{W}_{P_{total}}$, \dot{W}_{wp} , \dot{W}_{cp} ,

$\dot{W}_{p, NCG}$ 는 각각 기화기 증발열량, net power, 터빈동력, 전체 펌프동력, 표층수 공급펌프동력, 심층수 공급펌프동력, 불응축가스 제거동력을 나타낸다. 본 연구에서는 이와 같은 방법으로 기존 개방형 OTEC 시스템과 태양열-개방형 OTEC 시스템의 효율, 발전량, 담수생산량을 기화기에 유입되는 해수의 온도와 포화온도차, 기화기 압력에 따라 비교분석하였다.

4. 결 과

4.1 유체온도와 포화온도차에 따른 성능비교

Fig. 4는 Table 1의 조건을 이용한 기존 개방형 OTEC 사이클의 T-s 선도를 나타낸다. 28 °C의 해수가 기화기 내에서 증발하여 포화온도인 21.08 °C로 터빈을 작동시키고 응축기로 이동하여 담수화 처리되게 된다. 기존 개방형 OTEC 사이클의 시스템 효율은 2.51%, 발전량은 3.76 kW, 담수량은 3.71 L/min으로 계산되었다.

Fig. 5는 태양열-개방형 OTEC 시스템의 기화기 유체온도를 60, 65, 70, 75, 80°C로 하고 그 각각에 대하여 포화온도차를 5, 10, 15°C로 하여 각각의 시스템 효율을 비교하여 나타낸 그래프이다. 그림을 보면 알 수 있듯이 유체의 포화온도차가 증가할수록 태양열-개방형 OTEC 시스템 효율은 감소함을 알 수 있으며, 이와 같은 이유는 포화온도차가 증가할수록 \dot{Q}_E 이 크게 증가하기 때문인 것으로 판단된다. 그리고 유체온도 80 °C, 포화온도차 5 °C에서 가장 높은 시스템 효율을 나타내었으며, 이 때의 효율은 기존의 개방형 OTEC 시스템보다 약 6.1배 높음을 알 수 있었다.

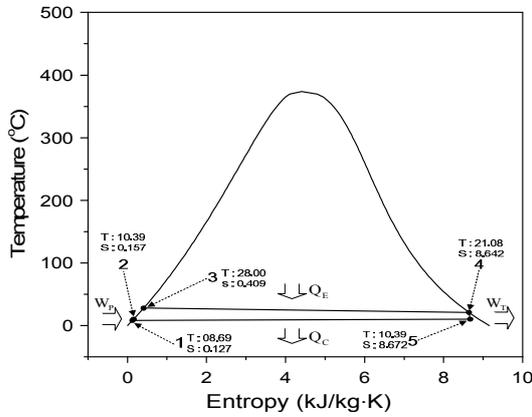


Fig. 4 T-s diagram of base open OTEC system.

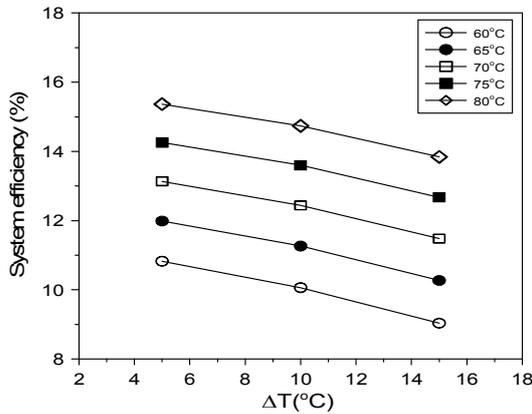


Fig. 5 Solar-open OTEC system efficiency as a function of the saturation temperature difference.

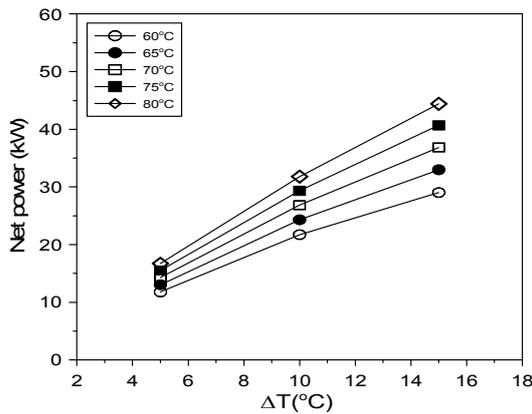


Fig. 6 Solar-open OTEC system net power as a function of the saturation temperature difference.

Fig. 6은 태양열-개방형 OTEC 시스템의 기화기 유체온도를 60, 65, 70, 75, 80 °C로 하고 그 각각에 대하여 포화온도차를 5, 10, 15°C로 하여 시스템의 출력을 비교하여 나타낸 그래프이다. 그림을 보면 알 수 있듯이 기화기 유체온도와 포화온도차가 증가할수록 시스템의 출력은 선형적으로 증가함을 확인할 수 있다. 특히, 유체온도 80°C, 포화온도차 15°C에서의 시스템 출력은 약 44.4 kW로 기존 개방형 OTEC 시스템보다 약 12배정도 높은 출력을 나타냄을 확인하였다.

Fig. 7은 태양열-개방형 OTEC 시스템의 기화기 유체온도와 포화온도차에 따른 시스템의 해수담수량을 비교하여 나타낸 그래프이다. 유체의 포화온도차가 증가할수록 유체의 증발량 즉, 담수량은 선형적으로 증가함을 알 수 있으며, 이는 시스템 출력 증가에 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. 또한 포화온도차가 동일할 경우에 기화기 유체온도 변화는 담수 생산량에 큰 영향을 미치지 못한다는 것을 알 수 있다.

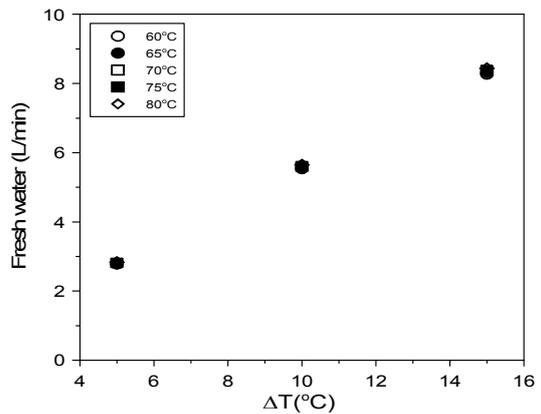


Fig. 7 Fresh water production as a function of the saturated temperature difference.

4.2 기화기 압력에 따른 성능비교

본 연구에서는 기화기 유체온도를 80 °C로

일정하게 유지시키고, 기화기의 압력을 2.5, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 kPa로 변화시키면서 태양열-개방형 OTEC 시스템의 성능을 기존 개방형 OTEC 시스템의 성능과 비교분석하였다.

Fig. 8은 기존 개방형 OTEC 시스템과 태양열-개방형 OTEC 시스템의 시스템 효율을 기화기 압력 변화에 따라 비교하여 나타낸 그래프이다. 그림을 보면 알 수 있듯이 기화기 압력이 증가할수록 시스템 효율을 크게 증가함을 확인할 수 있으며, 이와 같은 실험결과는 기존의 개방형 OTEC 시스템을 이용할 때보다 태양열-개방형 OTEC 시스템을 이용할 경우에 시스템의 효율을 획기적으로 향상시킬 수 있다는 것을 나타낸다. 또한 기화기 압력이 40 kPa일 때 15.39%의 시스템 효율을 나타내었으며, 이는 기존 OTEC 시스템보다 약 6.1배 높은 효율임을 확인하였다.

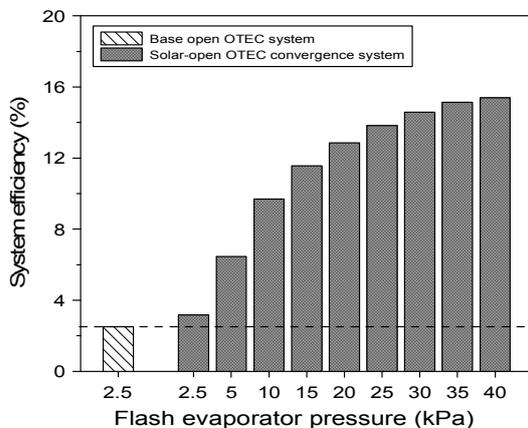


Fig. 8 Comparison of the system efficiency as a function of the flash evaporator pressure.

Fig. 9는 태양열-개방형 OTEC 시스템의 출력을 기화기 압력 2.5 - 40 kPa에 따라 나타내고, 기존 개방형 OTEC 시스템의 출력과 비교하여 나타낸 그래프이다. 태양열-개방형 OTEC 시스템의 출력은 기화기 압력 2.5 - 10 kPa까지 증가하다가 10 kPa을 기점으로 다시

감소하였으며, 출력이 가장 높은 기화기 압력은 10 kPa로 기존 개방형 OTEC 시스템의 출력보다 약 18배 높음을 알 수 있었다. 이와 같은 결과는 기화기 내에서 증발하는 수증기의 양 \dot{m}_2 와 터빈 입·출구 엔탈피의 차가 기화기 압력에 따라 달라지기 때문인 것으로 판단되며, 기화기 압력 10 kPa일 때, \dot{m}_2 와 터빈 입·출구 엔탈피의 차가 최적이 된다는 것을 나타낸다.

Fig. 10은 태양열-개방형 OTEC 시스템에서 생산되는 담수량을 기화기 압력에 따라 나타내고, 기존 개방형 OTEC 시스템의 담수생산량과 비교하여 나타낸 그래프이다. 그림을 보면 알 수 있듯이 태양열-개방형 OTEC 시스템의 담수생산량은 기화기 압력이 증가할수록 감소한다는 것을 알 수 있으며, 이는 기화기 압력이 높아질수록 유체의 포화온도차가 감소하기 때문인 것으로 사료된다. 또한 생산되는 담수량은 기화기 압력 2.5 kPa에서 가장 높음을 보이고 있으며, 이 때의 담수생산량은 32.05 L/min으로 기존 개방형 OTEC 시스템의 담수생산량보다 약 8.6배 높음을 알 수 있었다.

Fig. 11은 기존 개방형 OTEC 시스템 대비 태양열-개방형 OTEC 시스템의 효율, 출력, 담수생산량 증가율을 기화기 압력에 따라 비교하여 나타낸 그래프이다. 앞서 설명하였듯이 증가되는 효율과 출력, 담수생산량은 각각 기화기 압력 40, 10, 2.5 kPa에서 가장 높음을 나타내었다. 하지만 OTEC 시스템의 성능을 나타내는 3가지 중요 요소들의 증가율 곡선을 서로 비교했을 때 담수생산량 증가율 곡선은 기화기 압력이 증가할수록 감소하고 있으나 시스템 효율 증가율 곡선은 기화기 압력 10 kPa을 기점으로 완만해지고 있으며, 이는 효율이 증가되는 정도가 기화기 압력이 증가함에 따라 점점 줄어든다는 것을 나타낸다. 시스템 출력 증가율 또한 기화기 압력 10 kPa을 기점으로

40 kPa까지 감소함을 나타내고 있다. 따라서 시스템 효율, 출력, 담수생산량을 고려했을 때 10 kPa의 기화기 압력에서 시스템이 최적의 성능을 나타낸다는 것을 확인할 수 있었다.

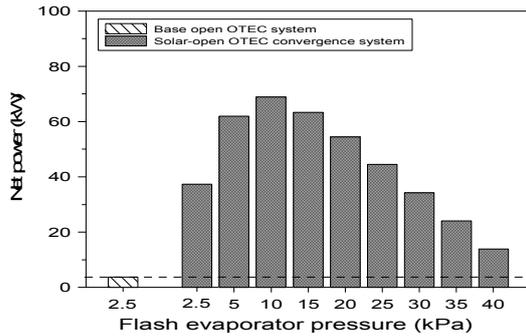


Fig. 9 Comparison of the net power as a function of the flash evaporator pressure.

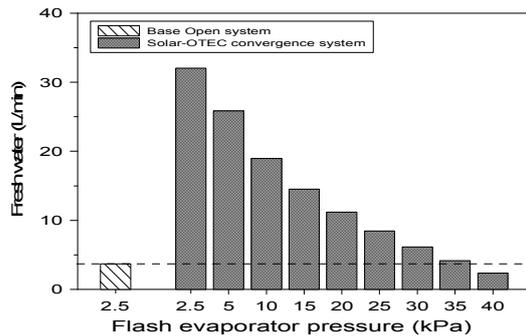


Fig. 10 Comparison of the fresh water production as a function of the flash evaporator pressure.

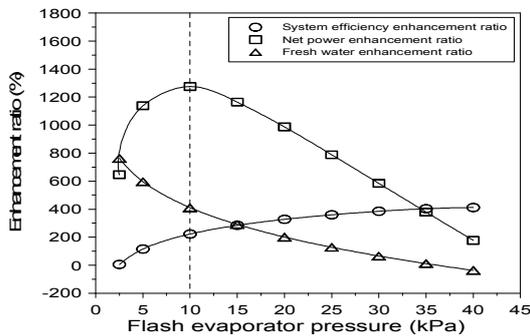


Fig. 11 System efficiency, net power and fresh water enhancement ratio as a function of the flash evaporator pressure.

5. 결 론

본 연구에서는 유체온도와 포화온도차, 기화기 압력 변화에 따른 태양열-개방형 OTEC 시스템의 성능을 비교분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 태양열-개방형 OTEC 시스템의 효율과 출력을 기화기 유체온도와 포화온도차에 따라 비교분석한 결과 유체의 포화온도차가 증가함에 따라 태양열-개방형 OTEC 시스템 효율은 감소하며, 유체온도와 포화온도차가 증가할수록 시스템의 출력은 선형적으로 향상됨을 확인할 수 있었다.
- (2) 태양열-개방형 OTEC 시스템에서 포화온도차가 증가할수록 유체의 증발량 즉, 복합 시스템에서 생산되는 담수량은 선형적으로 증가하며, 포화온도차가 동일할 경우에는 기화기 유체온도 변화는 담수 생산량에 큰 영향을 미치지 못한다는 것을 알 수 있었다.
- (3) 기존 개방형 OTEC 시스템과 태양열-개방형 OTEC 시스템의 시스템 효율과 출력, 담수생산량을 기화기 압력 변화에 따라 비교한 결과 효율과 출력, 담수생산량은 각각 기화기 압력 40, 10, 2.5 kPa에서 가장 높음을 나타내었으며, 기존 개방형 OTEC 시스템보다 각각 6.1배, 18배, 8.6배 높음을 알 수 있었다.
- (4) 태양열-개방형 OTEC 시스템의 시스템 효율, 출력, 담수생산량 증가율을 비교분석한 결과 기화기 압력 10 kPa에서 시스템이 최적의 성능을 나타낸다는 것을 확인할 수 있었다.

후 기

이 논문은 2013년도 교육부의 지원을 받아 수행된 산학협력 선도대학(LINC) 육성사업과 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임.
(NO. 2013-C-7210-010103, No. 2013M2B2A9A03051391)

참 고 문 헌

1. Tahara. K., Horiuchi. K., Kojima. T. and Inaba. A., Ocean thermal energy conversion (OTEC) system as a countermeasure for CO2 problem-Energy balance and CO2 reduction potential, Energy conv.&Mgmt., Vol. 36, No. 6-9, pp. 857-860, 1995.
2. Magesh. R., OTEC thchnology-a world of clean energy and water, Proceedings of the World Congress on Engineering, WCE, London, U.K., 2010.
3. Uehara. H., The Experimental research on ocean thermal energy conversion using the Uehara cycle, Proceeding of the International OTEC/DOWA Conference, pp. 132-141, 1999.
4. Straatman. P.J.T, Sark. W.G.J.H.M.V., A new hybrid ocean thermal energy conversion-offshore solar pond(OTEC-OSP) design: A cost optimization approach, Solar Energy, Vol. 82, pp. 520-527, 2008.
5. Yamada. N., Hoshi A., Ikegami. Y., Performance simulation of solar-boosted ocean thermal energy conversion plant, Renewable Energy, Vol. 34, pp. 1752-1758, 2009.
6. Penny. T., Bharathan, D., Althof. J., Parsons. B., Open-Cycle Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC) Research: Progress Summary and a Design Study, ASME Paper, 84-WA/Sol-26, 1984.
7. Shin. S.H., Jung. D.S., Kim. C.B., Seo. T.B., Analysis of a simple Rankine cycle and regenerative Ranline cycle for OTEC application, Proceedings of the Int. OTEC/ DOWA conference, pp. 142~151, 1999.
8. Park. S.S., Kim. N.J., Study on OTEC for the production of electric power and desalinated water, Journal of KSES, Vol. 30, No. 3, pp. 124-130, 2010.