

해수온도차발전-히트펌프 복합 사이클의 국내 적용성 검토 Review for Domestic Applicability of OTEC-HP Combined Cycle

문정현* · 임승택**† · 이호생** · 김현주**

Jung-Hyun Moon*, Seung-Taek Lim**†, Ho-Saeng Lee** and Hyeon-Ju Kim**

(Received 08 August 2022, Revision received 18 August 2022, Accepted 18 August 2022)

Abstract : Due to industrialization and urbanization, the energy used by humankind is rapidly increasing, and side effects such as global warming and climate change are appearing. In order to respond to these international problems, research on new and renewable energy is continuously being carried out. In this study, OTEC-Heat pump combined cycle for domestic application was studied.

Electricity was produced by OTEC through the increased surface water temperature and direct cooling using deep water discharge water in the summer were constructed. A heat pump using seawater is at higher temperature than outside air in the winter. In this study, energy cost and carbon dioxide emissions were compared with existing diesel power generation, EHP cooling, and kerosene heating systems. By applying OTEC, it was possible to produce 757.7 MWh of electricity per year, and through direct cooling, it was possible to save 98% of energy compared to EHP and 82% of energy compared to kerosene heating through a seawater heat pump.

Key Words : OTEC, Drained deep seawater, Direct cooling, Seawater heat pump, Domestic applicability

— 기 호 설 명 —

SSW : 표층해수(Surface seawater)

DSW : 심층해수(Deep seawater)

W.F : 작동유체(Working Fluid)

S.W : 해수(Seawater)

Turb : 터빈

Q : 유량 [kg/s]

**† 임승택(ORCID:https://orcid.org/0000-0001-6889-9698) :
시험연구원, 선박해양플랜트연구소 해수에너지연구센터
E-mail : limst@kriso.re.kr, Tel : 033-630-5023

*문정현(ORCID:https://orcid.org/0000-0002-5247-1029) : 선
임기술원, 선박해양플랜트연구소 해수에너지연구센터

**이호생(ORCID:https://orcid.org/0000-0003-3042-5889) :
책임연구원, 선박해양플랜트연구소 해수에너지연구센터

**김현주(ORCID:https://orcid.org/0000-0002-4986-8914) :
책임연구원, 선박해양플랜트연구소 해수에너지연구센터

**† Seung-Taek Lim(ORCID:https://orcid.org/0000-0001-6889-9698)
: Researcher, Seawater Energy Plant Research Center/Korea
Research Institute of Ship & Ocean Engineering.
E-mail : limst@kriso.re.kr, Tel : 033-630-5023

*Jung-Hyun Moon(ORCID:https://orcid.org/0000-0002-5247-1029)
: Senior Engineer, Seawater Energy Plant Research Center/Korea
Research Institute of Ship & Ocean Engineering.

**Ho-Saeng Lee(ORCID:https://orcid.org/0000-0003-3042-5889)
: Principal Researcher, Seawater Energy Plant Research
Center/Korea Research Institute of Ship & Ocean Engineering.

**Hyeon-Ju Kim(ORCID:https://orcid.org/0000-0002-4986-8914)
: Principal Researcher, Seawater Energy Plant Research
Center/Korea Research Institute of Ship & Ocean Engineering.

- H : 양정 [m]
- T : 온도 [°C]
- c_p : 정압비열
- Eva : 증발기
- g : 중력가속도 [m/s^2]
- \dot{m} : 질량유량 [kg/s]

그리스 문자

- ρ : 밀도 [kg/m^3]

하첨자

- i : inlet
- o : outlet
- amb : ambient

1. 서 론

산업화와 도시화로 인류의 사용에너지가 기하급수적으로 증가하고 있다. 2000년대 초반까지 인류 사용에너지의 대부분은 화석연료가 그 기원이며 화석연료의 사용으로 인해 지구온난화, 기후변화, 환경파괴 등 다양한 부작용이 속출하고 있다. 이러한 문제를 완화하기 위해 국제사회의 합의로 2016년 파리기후협약을 체결하였다. 파리기후협약은 기후위기 대응을 위해 온실가스 배출을 줄여 지구의 평균 온도상승을 억제하는 것을 목표로 하고 있다.¹⁾ 한국은 2021년 최종목표로 국내 순배출량을 0으로 하는 2050 탄소중립 시나리오를 발표하였으며 중간목표로 2030년 까지 국가온실가스 감축목표(NDC)를 2018년 대비 40% 감축하는 것으로 결정하였다.²⁾ 목표의 달성을 위해 신재생에너지의 발전 및 사용 비중이 대폭 상향되어야 하나 2020년 기준 국내 총 발전량 대비 신재생 발전량은 7.43%(43,062 GWh)로 탄소중립 목표 달성을 위해 더 활발한 신재생에너지의 보급확산이 필요하다.³⁾

세계적으로 해양에너지는 부존 잠재량이 연간 전력생산량의 4배에 이를 정도로 풍부하며 고갈

위험이 전혀 없고 환경오염 문제가 상대적으로 적은 무공해 청정에너지로 가치가 높다.⁴⁾ 특히 해수열에너지는 계절변동이 적은 자연에너지로 발전 및 냉난방이 가능하여 3면이 바다로 둘러 쌓여 있고 해안선 1 km 이내에 주거지역이 밀집된 국내에 사용하면 큰 효과를 거둘 수 있다.⁵⁾

해수열을 이용하여 해수냉난방을 적용하기 위한 다양한 연구가 수행되었다. Lee 등⁶⁾은 60 RT급 해수냉난방 시스템에 표층수, 심층수, 지하해수 등 해수를 이용한 해수냉난방 시스템을 적용하여 기존의 전기 냉방, 보일러 난방과 비교하였으며, 해수 직접 냉방을 통해 기존 냉방 대비 75.6% 에너지 절감, 지하해수를 이용한 히트펌프 난방을 통해 보일러 난방 대비 46.7%의 TOE 절감하였다. Kim 등⁷⁾은 몬테카를로 시뮬레이션을 활용하여 해수온도차 에너지 이용 냉난방 사업 확대를 위한 경제성 분석을 수행하였다. 해당 연구에서 삼척 솔비치와 해남 금오수산에 적용된 해수냉난방 시스템을 기준으로 순현재가치, 내부수익률, 민감도 분석을 수행하였다.

해수온도차발전과 관련하여 Moon 등⁸⁾은 해수온도차발전 플랜트 적용성 확대를 위해 표층수온 변화에 따른 시스템 성능을 시뮬레이션과 비교하였다. 열원 온도를 30°C에서 20°C로 감소시키며 시스템 성능을 분석한 운전실험에서 발전량은 62%, 효율은 42% 감소하는 경향을 보였으며, 다양한 열원온도에 대한 성능을 분석하여 아열대뿐 아니라 중위도 지방에서의 적용성을 평가할 수 있도록 하였다. Lim 등⁹⁾은 해수온도차발전 상용화를 위한 적용지의 전력비용, 열원 조건과 적용하고자 하는 설비의 용량을 비교하여 경제성을 검토하였다. 해당 연구에서 열원 온도와 전력 구매비용이 높은 키리바시에서는 높은 경제성을 보였으나 그 외 지역에서는 향후 기술개발을 통한 초기투자비용 감소 시 적용이 가능할 것으로 판단되었다.

본 연구에서는 해수히트펌프와 해수온도차발전을 결합한 OTEC(Ocean Thermal Energy Conversion)-HP(Heat pump) 복합시스템을 분석하였다. 여름철만 가동이 가능한 OTEC과 여름철 냉방, 겨울철 난방이 모두 필요한 국내 특성을 이용한 시스템

의 결합을 통해 낮은 가동율을 극복할 수 있는지 검토하였다. 먼저 도서지역 적용을 고려한 OTEC 사이클과 디젤 발전기의 비용, 이산화탄소 배출량 등을 비교하였으며, 여름철 OTEC 배출수를 이용한 직접냉방, 겨울철 해수히트펌프를 이용한 난방 시스템의 운영비용, 탄소배출량, 사용효율 등을 전기냉방, 등유난방과 각각 비교하였다.

2. 해수온도차발전(OTEC)

2.1 해수온도차발전 해석조건

Fig. 1에 본 연구에서 사용된 복합시스템의 OTEC 부분을 나타내었다. 해수온도차발전과 해수 냉난방은 모두 증발기, 응축기 두 개의 열교환기를 필요로 하며 작동유체/냉매가 필요하다. OTEC-HP 복합시스템은 증발기, 응축기, 냉매를 공유하는 시스템이며, 계절적으로 운영 기간이 겹치지 않아 해당 부품의 공유가 가능하다.

해수온도차발전의 구동원리는 다음과 같다. 표층수와 열교환되며, 고온고압의 기체상태가 된 작동유체가 터빈을 돌려 전기를 만들고, 응축기로 유입되어 심층수와 열교환하여 저온저압의 액체

Table 1 Parameter of OTEC system

Parameter	Value	Unit
Working fluid	Ammonia	-
SSW temperature	20-25	°C
DSW temperature	3	°C
Efficiency of Turbine	85	%
Efficiency of Pumps	75	%
SSW mass flow	1,850	kg/s
DSW mass flow	1,550	kg/s
SSW pump head	5.5	m
DSW pump head	8.5	m
HXs minimum approach	2	°C

상태가 된다. 액체상태의 작동유체는 저장탱크에 모이게 되고 작동유체 펌프에 의해 다시 증발기로 유입되며 사이클을 형성한다.

Table 1은 OTEC-HP 복합시스템 중 OTEC 플랜트의 시뮬레이션 조건이다. 국내 적용을 위해 2019~2020년 울릉도 표층수온 데이터를 사용하였으며 심층수온은 3°C로 가정하였다. 최소한의 유의미한 발전량을 나타내는 표층수온 20°C 이상을 나타내는 6월 21일부터 10월 19일까지 약 120일을 가동기간으로 가정하였다. 작동유체는 암모니아를 사용하였으며, 표층수와 심층수 유량은 선박 해양플랜트연구소의 1 MW급 해수온도차발전 실증플랜트 구동에 필요한 유량을 적용하였다.

OTEC의 성능분석을 위해 증발기에서 작동유체가 흡수한 열량, 터빈의 발전량, 작동유체, 해수펌프에서의 소요동력이 필요하다. 식 (1) ~ (5)는 본 연구에 사용된 계산식이다.

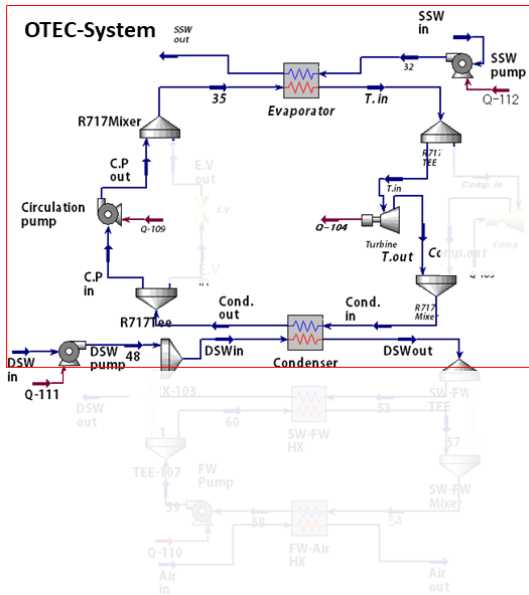


Fig. 1 OTEC part of complex system

$$\begin{aligned} \text{Eva. duty [kW]} &= \dot{m}_{WF}(h_{o,eva} - h_{i,eva}) \\ &= \dot{m}_{SW}cp(T_{i,eva} - T_{o,eva}) \end{aligned} \quad (1)$$

$$\text{Gross power [kW]} = \dot{m}_{WF}(h_{i,Turb} - h_{o,Turb}) \quad (2)$$

$$\text{Pumping power [kW]} = \rho g QH \quad (3)$$

$$\text{Net power [kW]} = \text{Gross power} - \text{Pumping power} \quad (4)$$

$$\text{Efficiency}[\%] = \frac{\text{Net power}[\text{kW}]}{\text{Eva.duty}[\text{kW}]} \quad (5)$$

해수온도차발전에는 표층수펌프, 심층수펌프, 작동유체펌프 총 3대의 펌프가 사용되며 식 (4)에 순출력을 계산하기 위해 위 3대 펌프에서 소모하는 동력의 합을 터빈 출력에서 제외한다.

2.2 해수온도차발전 국내적용 검토

Fig. 2는 OTEC 가동이 가능한 6월 21일부터 10월 19일까지의 표층수온과 그에 따른 OTEC의 터빈출력, 순출력을 나타낸 그래프이다. 표층수온 20℃에서 터빈 출력은 411.8 kW, 펌프 소요동력을 제외한 순출력은 108.6 kW를 나타내었으며, 이때의 기생부하는 터빈출력의 73%로 매우 높게 나타났다. 표층수온 25℃에서 터빈출력 766 kW, 순출력 458 kW, 기생부하 40%로, 표층수온 20℃ 대비 낮은 기생부하를 나타내었다.

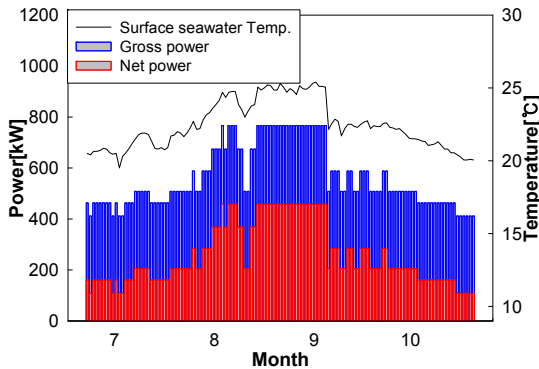


Fig. 2 OTEC gross power and SSW Temp

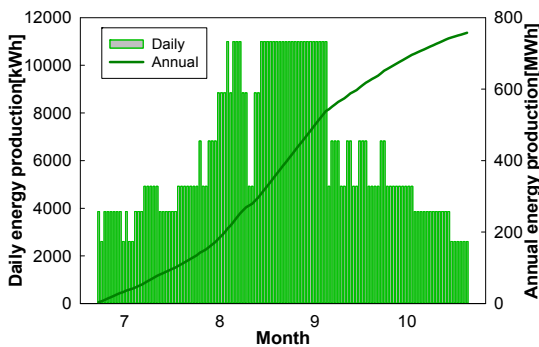


Fig. 3 OTEC daily & monthly power production

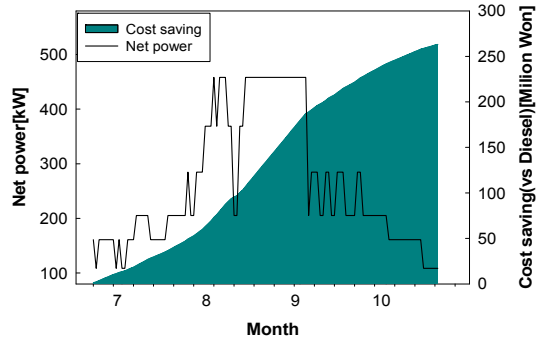


Fig. 4 Cost reduction compared diesel generator

24시간 발전 가능한 OTEC의 특성상 순출력 기준 발전 기간 동안 OTEC 플랜트의 1일 최소 발전량은 2,606 kWh, 최대 발전량은 10,994 kWh를 나타내었다. 발전 가능한 120일 동안 누적 발전량은 757.7 MWh로 계산되었다.

2.3 에너지 비용 및 탄소배출 저감 비교

OTEC-HP의 적용지로 가정한 울릉도는 디젤발전의 비율이 높으므로 발전기간 동안의 총 발전량을 MAN사의 1 MW급 디젤발전기(BNA-1000)와 비교하였다. 해당 디젤발전기의 경우 시간당 248 l의 경유를 사용하므로 OTEC 순출력과 동일한 총 757.7 MWh 발전을 위해 총 187,910 l의 연료를 필요로 한다. 이를 비용으로 환산 시 OTEC의 운용을 통해 리터당 경유 1,400원 기준 연간 263백만 원의 에너지 생산 비용 절감이 가능하다. OTEC 적용을 통해 디젤발전 대비 저감 가능한 이산화탄소 배출량은 한국에너지공단 고시 기준으로 연간 약 488tCO₂로 계산되었다.

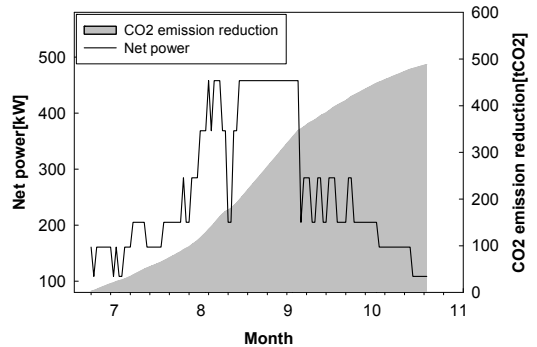


Fig. 5 CO₂ emission reduction compared diesel generator

3. OTEC 배출수 이용 직접냉방

3.1 직접냉방 해석조건

Fig. 6은 해수온도차발전의 심층수 배출수를 이용한 직접냉방 시스템의 개략도이다. 해수온도차발전의 열침으로 사용된 후 배출된 심층수는 여전히 저온성을 띠고 있으므로 건물 내부를 순환하는 담수와 열교환 후 직접 냉방이 가능하다. 2019년과 2020년 평균 외기 최대 기온이 24℃를 넘는 6월 1일부터 9월 30일까지 122일을 냉방 가동기간으로 가정하였다.

Table 2는 해수온도차발전 배출수를 이용한 직접냉방 시스템 해석 시뮬레이션 조건이다. 앞서 OTEC 가동기간은 6월 21일부터 가정하였기 때문에 약 20일은 심층수 취수펌프를 가동하여 배출수가 아닌 3℃의 심층수를 바로 사용한다고 가정하였다. OTEC 가동기간 동안에는 표층수온 변화에 의해 심층수 토출온도가 6.6~8.8℃로 변동이 있으며, 이를 적용하였다. 또한 건물 냉방을 위한 담수는 14℃로 열교환기로 유입되어 해수와 열교환 뒤 10℃로 토출되며, 건물 내에서 외기는 냉방을 위해 23℃로 유입되어 18℃로 토출되는 것을 가정하였다. 냉방 용량은 1 MW OTEC 응축기 1대 분량의 열교환량인 1,300 RT로 가정하였다.

Table 2 Parameter of direct cooling system

Parameter	Value	Unit
DSW discharge temperature	6.6-8.8	℃
Fresh water inlet temperature	14	℃
Fresh water outlet temperature	10	℃
Air inlet temperature	23	℃
Air outlet temperature	18	℃
Cooling capacity	1,300	RT

직접냉방에 필요한 심층수의 취수동력은 OTEC이 가동되지 않은 6월 1일부터 20일까지는 취수 펌프의 소요동력을 포함하였으며, OTEC이 가동되는 동안에는 취수동력은 OTEC 기생부하에 포함되므로 직접냉방의 소요전력에서는 제외하였다. 직접냉방의 성능비교를 위해 EHP(Electric Heat Pump)의 소요동력을 계산하였다. EHP의 COP는 아래 식 (7)¹⁰과 같이 계산되었으며, 계산된 COP를 기준으로 동일 냉방 수행 시 압축기 소요동력을 역산하였다.

$$COP_{EHP} = 0.0035 T_{amb}^2 - 0.3372 T_{amb} + 10.287 \quad (7)$$

3.2 직접냉방 적용 검토 및 EHP 비교

Fig. 7은 냉방기간동안 외기에 따른 OTEC 배출수를 이용한 직접냉방과 EHP를 이용한 냉방의 소요동력, 전력소요량 등을 나타낸 그래프이다.

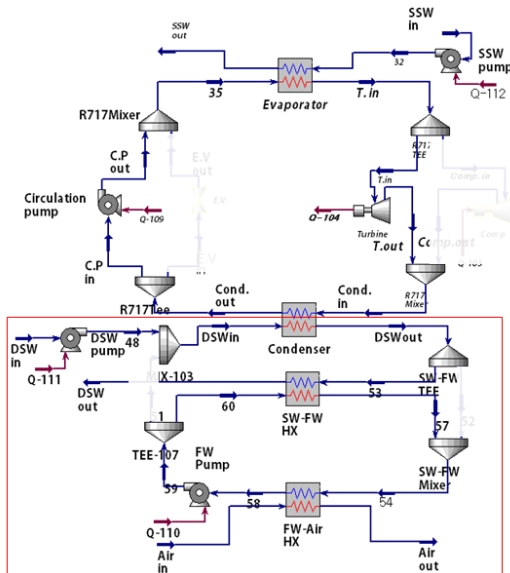


Fig. 6 Direct cooling part of complex system

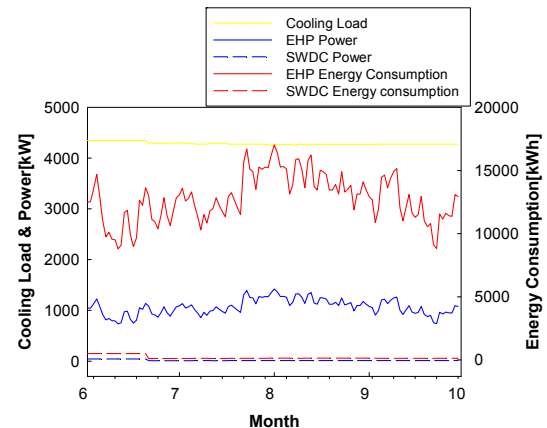


Fig. 7 Comparison of SWDC & EHP

냉방기간인 6월 1일부터 9월 30일까지 20일간 심층수 취수펌프 소요동력을 포함하여 심층수 배출수와 열교환된 담수를 건물로 순환하는 순환펌프의 소요전력 합은 23,025 kWh로 계산되었다. EHP의 경우, 냉방기간동안 압축기 소요동력을 계산하였으며, 외기에 따라 압축기 소요동력은 750~1,400 kW로 변동하는 모습을 보였다. 동일한 부하의 냉방 수행 시 EHP는 약 1,547,914 kWh의 전력이 소요되었다.

Fig. 8, 9는 각각 전기냉방 대신 심층수 배출수의 직접냉방을 사용하였을 때 에너지 비용 절감량과 이산화탄소 배출 저감량을 나타낸 그래프이다. 배출수 이용 직접냉방을 통해 EHP 대비 1,524,889 kWh의 에너지를 저감하였다. 일반 전기요금인 kWh당 88.3원을 가정하였을 때 비용적으로는 135백만 원을 절감할 수 있었으며, 전력소요량 기준 이산화탄소 배출량을 계산하였을 시 총 706t

CO₂의 저감이 가능하였다. 특히 직접냉방 운영기간이 OTEC 운영기간과 겹치며 취수비용을 크게 절감할 수 있어 약 98%의 에너지를 절감할 수 있었다.

4. 해수히트펌프 난방

4.1 해수히트펌프(SWHP) 해석조건

Fig. 10은 해수히트펌프를 이용한 난방시스템의 개략도이다. 여름철 해수온도차발전과 직접냉방을 가동한 후 겨울에 배관 밸브조정을 통해 사이클을 히트펌프로 운전한다. 난방을 위해 표층수를 취수하여 작동유체인 암모니아를 증발시키고, 압축기에서 고온고압으로 압축한 뒤 응축기에서 방열하며 건물 난방을 수행한다. 여름철 심층수가 유입되었던 열교환기는 담수 세척 뒤 난방을 위한 담수 순환배관을 이용한다.

Table 3은 해수히트펌프를 이용한 난방 시뮬레이션의 조건이다. 난방기간은 11월부터 4월까지 1일 12시간을 가정하였다. 난방기간 동안 표층수는

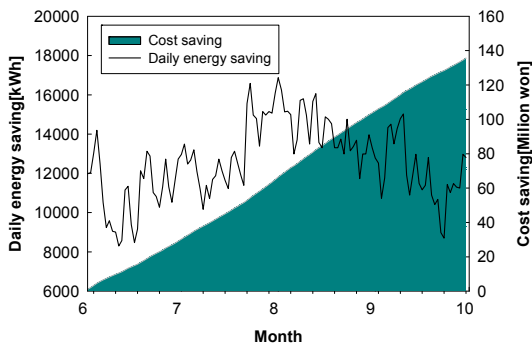


Fig. 8 Cost reduction compared EHP

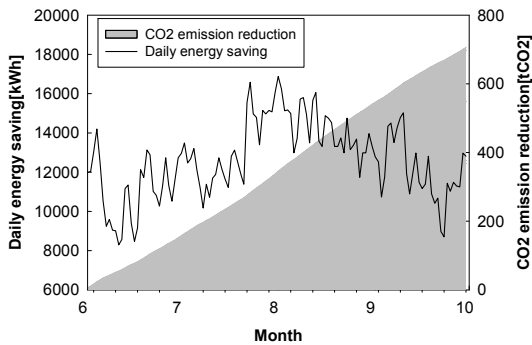


Fig. 9 CO₂ emission reduction compared EHP

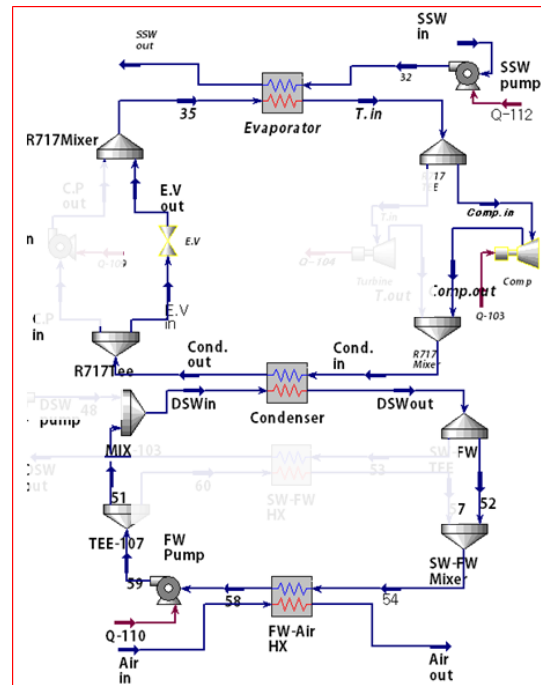


Fig. 10 SWHP part of complex system

Table 3 Parameter of SWHP (Seawater Heat Pump)

Parameter	Value	Unit
SSW temperature	12.1~16.8	℃
Fresh water inlet temperature	40	℃
Fresh water outlet temperature	45	℃
Air inlet temperature	23	℃
Air outlet temperature	30	℃
Cooling capacity	1,300	RT

은 12.1~16.8℃로 변동이 있었으며, 난방기간 동안 압축기, 해수 및 순환펌프 소요동력을 기반으로 전력소모량을 산정하였다. 해석 결과를 동일한 난방 시 등유보일러와 에너지 비용 및 이산화탄소 배출량을 비교하였다.

4.2 해수히트펌프 적용검토 및 등유난방 비교

Fig. 11은 난방기간 동안 외기, 해수온도와 해수히트펌프, 등유난방의 에너지소비량을 비교한 표이다. 난방기간 동안에는 해수 온도가 외기보다 최대 1.2℃에서 최대 6.7℃ 높게 나타났다. 해수히트펌프에서는 압축기, 표층수 취수펌프, 담수 순환펌프가 난방기간 동안 총 1625.3 MWh의 전력을 소모하였다. 에너지 소모량 및 이산화탄소 배출량 비교를 위해 동일한 난방을 등유보일러로 가정하였다. 보일러 등유는 1 l당 10.4 kWh의 발

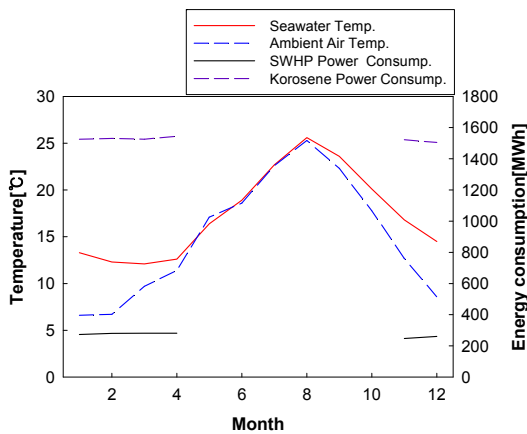


Fig. 11 Monthly Comparison of SWHP & Korosene

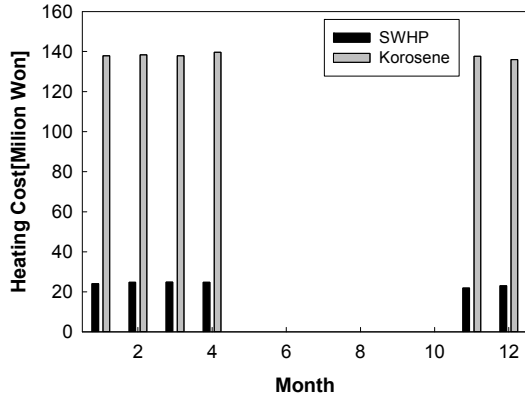


Fig. 12 Cost reduction compared Korosene

열량을 가지며, 환산 시 동일 난방을 위해 880,130 l의 보일러 등유를 필요로 하였으며, 이를 발열량으로 환산 시 약 9,153.4 MWh로 계산된다.

Fig. 12, 13은 SWHP와 등유의 에너지 비용 및 이산화탄소 배출량을 비교한 그래프이다. 난방기간 발열량 기준으로 비교 시 해수히트펌프는 등유 대비 7,528 MWh의 에너지를 저감하였으며, 전기요금 kWh당 88.3원, 등유 1 l당 940원 가정 시 약 683백만 원의 난방요금을 절감할 수 있었다. 전력소요량과 등유 소요량을 기준으로 이산화탄소 배출저감량을 비교하였을 때 해수히트펌프는 746.7tCO₂, 등유는 4,205tCO₂ 배출로 총 3,458tCO₂ 저감이 가능하였다.

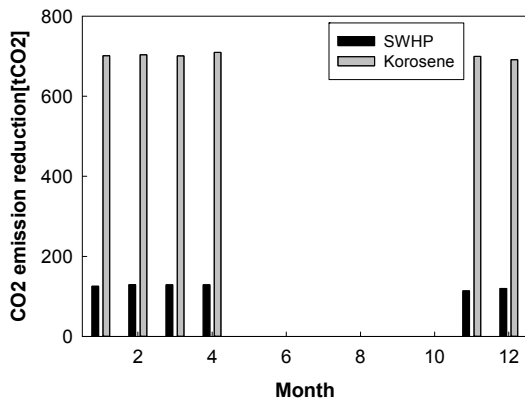


Fig. 13 CO₂ emission reduction compared Korosene

5. 결 론

본 연구에서는 해수온도차발전과 히트펌프를 결합한 OTEC-HP 복합시스템의 울릉도 적용을 가정하여 가능성을 검토하였으며, 기존의 발전, 냉난방 시스템과 비교하였다.

해수온도차발전 울릉도 적용 시 연간 757 MWh의 전력생산이 가능하였고, 디젤발전과 비교하였을 때 전력생산을 위해 연간 3억 8천만 원의 비용 절감과 670tCO₂의 저감이 가능하였다. 여름철 해수온도차발전의 심층수 배출수를 적용한 직접냉방은 EHP 대비 1억 3천만 원의 에너지 비용 절감과 700tCO₂ 절감이 가능하였다. 겨울철 해수히트펌프 적용 시 등유보일러 대비 6억 8천만 원의 비용 절감과 3,400tCO₂ 저감이 가능하였다.

결과적으로 OTEC-HP 시스템 적용으로 연간 약 12억 원의 에너지 비용 절감과 4,800tCO₂ 절감이 가능하였다.

후 기

본 논문은 해양수산부의 국가 R&D 사업인 ‘1MW급 해수온도차발전 실증플랜트 개발(6/6)(PMS4730)’에 의해 수행되었습니다.

Author contributions

J. H. Moon; Formal analysis, Investigation, Writing-original draft. H. S. Lee; Conceptualization, Project administration, H. J. Kim; Writing-review & editing, S. T. Lim; Conceptualization, Methodology, Validation.

References

1. K. S. Ryu, S. K. Jung and S. H. Lee, 2019, "Paris Agreement", The Society of Naval Architects of Korea, Vol. 56, No. 4, pp. 25-29.
2. D. Y. Ko, 2021, "Evaluation of Korea's Mid- and Long-Term Greenhouse Gas Mitigation Targets: Meta-Analysis of Burden Sharing Vased

- on Equity", The Korean Society of Climate Change Research, Vol. 12, No. 5-1, p. 493-504 (<https://doi.org/10.15531/KSCCR.2021.12.5.493>)
3. 2021, "2020 New&Renewable Energy Supply Statistics", Korea Energy Agency
4. S. W. Choi, Y. N. Park, J. M. Lee, J. H. Nam and K. S. Park, 2017, KMI Trend Analysis, Vol. 41, No. 8, pp. 1-23
5. K. C. Jang, 2012, "Heating and Cooling System Application Technology Using Seawater Heat", The Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engineers of Korea, Vol. 41, No. 9, pp. 12-25.
6. H. S. Lee, D. H. Jung and H. J. Kim, 2012, "An Experimental Study for Performance Characteristics of 60RT Seawater Air-Conditioning System", The Society of Naval Architects of Korea, Vol. 1, No. 1, pp. 1670-1675.
7. J. Y. Kim and H. J. Kim, 2019, "Probabilistic Feasibility of Ocean Thermal Energy Use for Air-Conditioning and Heating System", Journal of The Korean Society of Mineral and Energy Resources Engineers, Vol. 56, No. 1, pp. 62-72. (<https://doi.org/10.32390/ksmer.2019.56.1.062>)
8. J. H. Moon, H. S. Lee, S. T. Lim, J. B. Seo, H. J. Kim, Y. Kim and H. J. Kim, 2020, "Plant Performance Evaluation Experiment to Expand the Applicability of Ocean Thermal Energy Conversion", Journal of Power System Engineering, Vol. 24, No. 5, pp. 78-85. (<https://doi.org/10.9726/kspse.2020.24.5.078>)
9. S. T. Lim, H. S. Lee, J. H. Moon and H. J. Kim, 2020, "Simulation of Regional Economic Analysis of Closed Cycle OTEC for Empirical Application", Journal of Power System Engineering, Vol. 24, No. 2, pp. 73-82. (<https://doi.org/10.9726/kspse.2020.24.2.073>)
10. R. Porumb, B. Porumb and B. Alan, 2016, "Baseline Evaluation of Potential to Use Solar Radiation in Air Conditioning Applications", Energy Procedia, Vol. 85, pp. 442-451. (<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.12.225>)