

## 해수열펌프-해수온도차발전 복합플랜트의 P2H 섹터커플링 적용성 분석

# Applicability Analysis of P2H Sector Coupling for Seawater Heat Pump-Ocean Thermal Energy Conversion Complex Plant

문정현\* · 지호\*† · 이호생\*\*

Jung-Hyun Moon\*, Ho Ji\*† and Ho-Saeng Lee\*\*

(Received 05 December 2023, Revision received 20 December 2023, Accepted 21 December 2023)

**초록 :** 파리기후협약에서 선진국과 개도국 구분없이 회원국 모두 2020년부터 의무적으로 온실가스 배출 감축 시행을 합의하였으며 각국에서는 온실가스 배출 저감을 위해 신재생에너지의 발전비중을 높이고 있다. 신재생발전 보급증가에 따라 변동성, 간헐성으로 인한 계통불안정, 신재생발전 출력제한 등 다양한 문제가 발생하고 있으며 선진국을 중심으로 섹터커플링 기술을 적용하여 이를 극복하고자 하는 연구가 다수 수행중이다. 본 연구에서는 해수열펌프-온도차발전 복합시스템을 설계하였으며, 신재생발전에 의한 잉여전력을 복합시스템에 공급할 경우 여름철 냉방, 겨울철 난방에 필요한 전력 및 비용 등을 전기히트펌프 냉난방과 비교하였다. 또한 전력 피크 시 저장된 냉-온수를 열침, 열원으로 활용한 온도차발전에서 공급가능한 전력을 산정하였다.

**키워드 :** 해수열펌프, 해수온도차발전, P2H, 섹터커플링, 복합시스템

**Abstract :** In the Paris Climate Agreement, all member countries, regardless of developed or developing countries, agreed to implement mandatory greenhouse gas emissions reductions from 2020, and each country is increasing the share of renewable power generation to reduce greenhouse gas emissions. As the spread of renewable power generation increases, various problems such as system instability due to volatility and intermittency and curtailments of renewable power generation are occurring. So many studies are being conducted to overcome these problems by applying sector coupling technology. In this study, a SWHP (SeaWater Heat Pump) - OTEC (Ocean Thermal Energy Conversion) complex system was designed. when surplus power from renewable power generation was supplied to the complex system, the power and costs required for summer cooling and winter heating were compared with electric heat pump (EHP) cooling and heating. In addition, the power that can be supplied from OTEC using stored cold and hotwater as a heat source and heat sink was calculated during peak.

**Key Words :** SWHP, OTEC, P2H, Sector Coupling, Complex System

\*† 지호(<https://orcid.org/0000-0003-0500-3107>) : 시험연구원, 선박해양플랜트연구소

E-mail : 79hoji@kriso.re.kr, Tel : 033-630-5038

\*문정현(<https://orcid.org/0000-0002-5247-1029>) : 선임기술원, 선박해양플랜트연구소

\*이호생(<https://orcid.org/0000-0003-3042-5889>) : 책임연구원, 선박해양플랜트연구소

\*† Ho Ji(<https://orcid.org/0000-0003-0500-3107>) : Researcher, Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering.

E-mail : 79hoji@kriso.re.kr, Tel : 033-630-5038

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

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

## 1. 서 론

계통에서 신재생 발전의 비중이 증가하며 신재생발전의 간헐성, 변동성에 의한 다양한 문제가 발생되고 있다. CFI(Carbon Free Island) 2030을 목표로 하는 제주도의 2023년 계통에서 신재생발전이 차지하는 비율은 18.31%이며, 제주도 내에서는 전력계통에서 태양광과 풍력 발전량을 수용하지 못해 출력제한이 빈번하게 일어나고 있다.<sup>1)</sup>

유럽에서는 전력과 타 에너지를 연계한 P2X 기술 개발을 통해 잉여전력으로 인한 문제 해결 연구를 진행하고 있다. 특히 잉여전력을 통해 열을 생산하여 보급하는 P2H 섹터커플링 기술을 도입하여 출력제한 문제를 크게 완화하였으며, 전력을 열로 변환하고 필요시 저장된 열을 전력으로 변환하는 사이클에 대한 연구를 다수 진행하였다.

Mohammed 등<sup>2)</sup>은 데이터센터 냉각, 중앙난방을 위한 ORC-HP 복합시스템을 설계하였다. 해당 사이클은 R134a를 냉매로 하는 히트펌프로 데이터센터를 냉각하고, R245fa를 작동유체로 하는 ORC를 복합하였고 히트펌프에 사용되는 전력을 ORC가 충당하고, 히트펌프의 냉매 응축에 사용된 물을 ORC의 응축에 연달아 사용하여 해당 온수를 중앙난방에 사용하는 사이클로 해당 논문에서는 히트펌프와 ORC 복합에 따른 성능을 분석하였다.

Staub 등<sup>3)</sup>은 폐열 이용 ORC의 낮은 엑서지 극복을 위해 히트펌프를 복합한 사이클을 구상하였다. 해당 논문에서는 신재생발전 초과 발전량을 히트펌프로 공급하여 100℃ 폐열을 140℃로 승온하여 저장 후 ORC 가동을 통해 전력을 공급하는 사이클을 고안하였으며, 이 과정에서 히트펌프, ORC 사이클의 설계요인 도출과 핵심장치의 스펙 등을 도출하였다. 이를 통해 복합시스템의 P2P (Power to power) 효율이 50%에서 70% 이상으로 상승하였다.

Moon 등<sup>4)</sup>은 동해에 여름철 해수온도차발전과 심층수 배출수를 이용한 직접냉방, 겨울철 히트펌프를 이용한 난방공급을 목적으로 하는 해수온도차발전-히트펌프 복합사이클을 해석하여 온도차 발전에 의한 발전량, 탄소배출저감량을 분석하였으

며 직접냉방과 해수히트펌프를 통한 냉난방 비용 절감액 등을 분석하였다.<sup>2)</sup>

본 연구에서는 제주지역의 신재생발전에 의한 잉여전력을 해수열펌프-온도차발전 복합시스템에 적용하여 냉·온수를 생산하는 냉난방과 피크부하시 생산된 냉·온수를 이용한 온도차발전에 대한 연구를 수행하였다. 잉여전력, 해수히트펌프를 이용한 냉난방과 전기히트펌프의 사용 전력량, 전력비용, 탄소배출 저감량 등을 비교하였으며, 저장된 냉·온수를 활용한 온도차발전량 등을 도출하였다.

## 2. 해수열펌프-온도차발전 복합시스템

Fig. 1은 본 연구에서 이용한 해수열펌프-온도차발전 복합시스템의 개념도이다. 복합시스템에서 해수는 표층수 또는 중층수를 취수하여 필요에 의해 사용한다.

여름철 냉방의 경우 중층수를 취수하여 냉매의 응축에 이용하고 신재생발전 잉여전력을 압축기에 투입하여 3.5℃의 냉수를 만들어 축열조에 저장 후 이를 냉방에 활용한다. 에너지 피크 시 생산·저장된 냉수를 열침으로, 표층수 취수관에서 취수된 표층수를 열원으로 사용한 온도차발전으로 전력을 생산하여 계통에 전력을 공급한다.

겨울철 난방의 경우 표층수를 취수하여 냉매의 증발에 이용하고 신재생발전 잉여전력을 압축기에 투입하여 45℃의 온수를 만들어 축열조에 저장 후 이를 난방에 활용한다. 에너지 피크 시 생산·저장된 온수를 열원으로, 중층수를 열침으로 사용한 온도차발전으로 전력을 생산하여 계통에 전력을 공급한다.

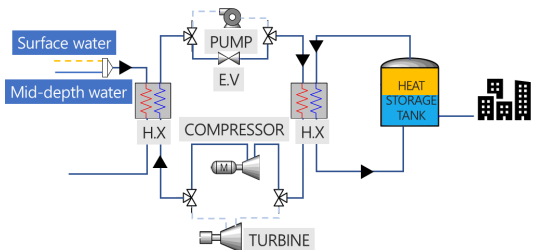


Fig. 1 Concept of SWHP-OTEC complex system

본 연구에 사용된 복합시스템의 장점은 해수열 펌프와 온도차발전의 핵심부품인 취수관, 열교환기, 냉매 등을 공유함으로써 해수 이용 시스템의 높은 초기투자비용을 감소시켜 경제성이 향상되고 낮은 설비 이용율을 높여 운영유지비를 줄일 수 있다는 점이다.

### 3. 해수열펌프 이용 냉난방 비교

본 연구에서는 제주도 에너지 다소비 건물 3위인 제주공항 냉난방을 해당 복합시스템으로 공급시 필요 전력량, 에너지 공급 비용, 이산화탄소 배출량 등을 분석, 비교하였다.

제주공항은 2021 제주도 에너지 다소비 건물 최종자료 기준 에너지 다소비 건물 3위로 연간 66,849 MWh의 에너지를 소비하는 것으로 확인되었다. 에너지 소비량 중 냉난방에 대한 비율은 확인되지 않았으며, Sergio 등<sup>5)</sup>이 공항의 에너지 소비패턴 분석에서 Save Ballesteros-Santander 공항의 연간 에너지 소비량 중 30.58%를 냉난방에 사용된다고 분석한 내용을 차용하여, 제주공항이 연간 20,442 MWh를 냉난방에 사용한다고 가정하였다. 또한 해당 논문에서는 공항의 냉난방 운전 시간을 하루 평균 9.1시간으로 가정하였으며, 본 논문의 해석에도 동일한 기준을 적용하였다.

Fig. 2는 기상청에서 측정한 2022년 제주시의 평균 최고기온 그래프이며, 본 연구에서는 평균 최고기온 24℃ 이상 시 냉방 시스템을 가동하는 것으로 가정하였다. Fig. 3은 제주시의 평균 최저기온 그래프이며, 평균 최저기온 18℃ 이하 시 난방 시스템을 가동하는 것으로 가정하였다.

평균 최고기온을 기준으로 냉방은 5~10월 중 137일 가동으로 가정하였으며, 5월 중 평균 최고기온이 24℃ 이상인 일수는 11일, 10월 중 평균 최고기온이 24℃ 이상인 일수는 4일로 5월과 10월은 일부 냉방 가동을, 나머지 6~9월은 모든 일수에 냉방 가동을 가정하였다. 평균 최저기온 기준 난방은 1~4월, 10~12월 중 194일로 가정하였으며 10월 중 평균 최저기온이 18℃ 이하인 일수는 13일로 10월은 일부 난방 가동을, 나머지 11~4월

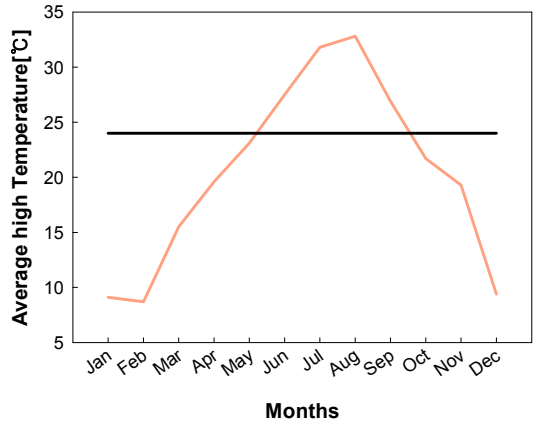


Fig. 2 Average high temperature of Jeju-si

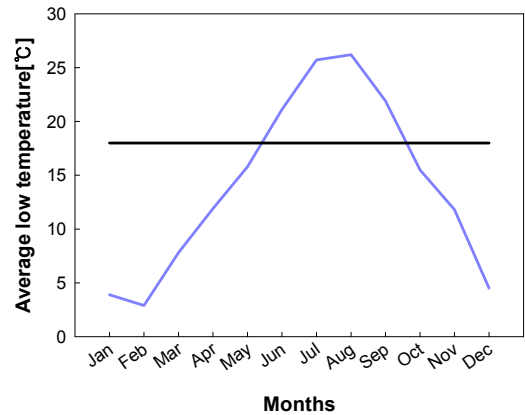


Fig. 3 Average low temperature of Jeju-si

은 모든 일수에 난방 가동을 가정하였다.

앞서 가정한 제주공항 내 연간 20,442 MWh의 냉난방 에너지를 가동 일수 기준으로 냉방에 연간 약 8,500 MWh, 난방에 연간 약 12,000 MWh의 에너지 사용을 가정하여 분석을 진행하였다.

#### 3.1 여름철 냉방 비교

해수열펌프(SWHP)와 전기열펌프(EHP)의 냉방 성능비교를 위해 여름철 월별 냉방용량과 각 시스템의 COP를 산정하였다. 식 (1)은 외기온도에 따른 EHP의 COP를 계산하는 식<sup>6)</sup>으로 식을 통해 냉방이 필요한 월별 EHP의 COP를 산정하였다.

Table 1에 냉방이 필요한 5~10월 평균 최고기온

Table 1 Monthly average cooling COP (EHP)

Month	Average high Temp.	EHP COP
May	26	3.88
Jun	27.5	3.66
Jul	31.8	3.1
Aug	32.8	2.99
Sep	26.9	3.74
Oct	28.7	3.49

및 식 (1)을 통해 산정된 EHP의 COP를 나타내었다. 이를 바탕으로 전체 냉방기간의 평균 COP를 산정하였으며, COP와 압축기 소요동력을 통해 냉방열량을 계산하는 식 (2)에 의해 냉방에 필요한 압축기 소요동력을 산출하였다.

$$COP_{EHP} = 0.0035 T_{amb}^2 - 0.3372 T_{amb} + 10.287 \quad (1)$$

$$Q = COP \times Aw \times 9.1h \times 137d \quad (2)$$

(2)를 통해 EHP의 냉방 필요 압축기 소요동력은 약 2,000 kW로 산정되었으며, Fig. 4는 압축기 소요동력과 월별 COP를 통해 산정된 월 냉방열량이다.

동일 냉방 공급을 비교하기 위해 SWHP의 성능을 분석하였다. 성능 분석을 위해 제주 해협에서 관측된 월별 중층 저온수의 수온<sup>7)</sup>을 사용하여 SWHP의 냉방 성능을 분석하였다. Table 2는 SWHP를 이용한 냉방성능 분석 조건이다. 3.5℃의 냉수 생산 및 저장을 위해 16~17℃의 중층수를

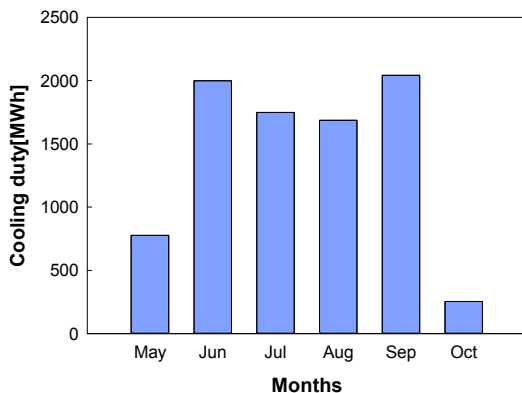


Fig. 4 Monthly cooling load

Table 2 Parameter of SWHP (Cooling)

Parameter	Value	Unit
Refrigerant	R717	-
Seawater temperature	16, 17	℃
Target water temperature	3.5	℃
Evaporator min. approach	3	℃
Compressor efficiency	75	%
Cooling capacity	2,000	RT

Table 3 Monthly average cooling COP (SWHP)

Month	Mid-depth water Temp.	SWHP COP
May	16	9.51
Jun	17	9.01
Jul	17	9.01
Aug	17	9.01
Sep	16	9.51
Oct	16	9.51

사용하여 성능을 분석하였다. 작동유체는 히트펌프와 온도차발전의 공유 사용을 고려하여 암모니아로 결정하였다.

증발기에서의 Minimum approach는 3℃로 가정하였고, 압축기 효율은 75%로 가정하였다. 해당 조건에서 수온에 따른 SWHP의 COP는 9.01~9.51로 산출되었다. 식 (2)에서 동일 냉방열량을 SWHP의 COP로 계산한 SWHP의 필요 압축기 소요동력은 약 760 kW로 산정되었다. Table 3에는 월별 중층수온과 이에 따른 SWHP의 COP를 나타내었다.

Fig. 5에는 EHP와 SWHP로 Fig. 4에 나타난 월별 냉방부하를 담당하였을 때 압축기 전력 소모량을 나타내었다. 월별 EHP와 SWHP의 COP 차이에 의해 압축기에서의 사용 전력량이 다르게 나타났다으며, EHP는 SWHP에 비해 최소 2.4배에서 최대 3.0배 소요전력이 높게 나타났다.

Fig. 6은 EHP와 SWHP를 통한 냉방공급에 필요한 비용을 비교하였다. 그래프에서는 Fig. 5의 전력소요량 대비 EHP와 SWHP의 냉방 비용의 차이가 크게 나타난 것을 확인할 수 있다. 이는 SWHP는 잉여전력을 이용한 냉수의 축열조 저장을 가정하였으므로 심야전력 비용을 기준으로, EHP는 일반용 전력비용을 기준으로 계산하였으므로 차이가 크게 나타났다.

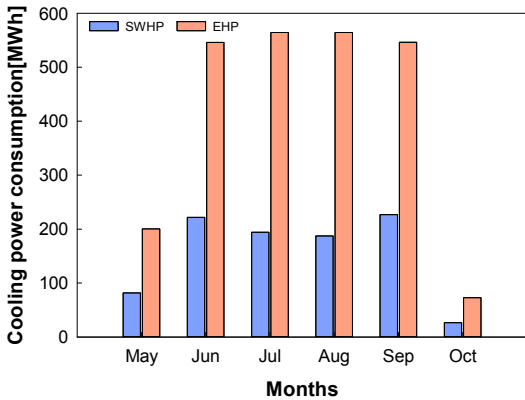


Fig. 5 Comparison of cooling power consumption

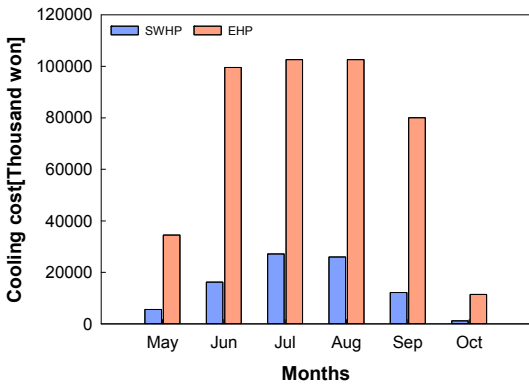


Fig. 6 Comparison of cooling cost

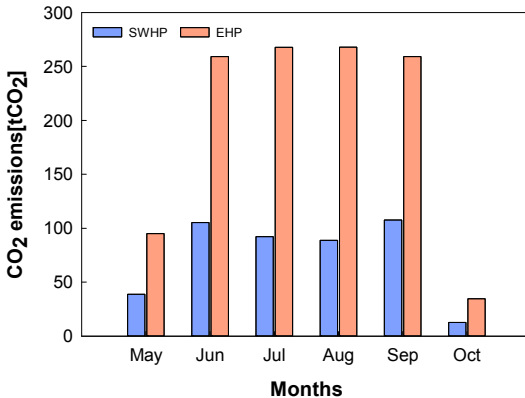


Fig. 7 Comparison of cooling CO<sub>2</sub> emissions

Fig. 7은 EHP와 SWHP의 동일 냉방 수행에 대한 CO<sub>2</sub> 배출량을 비교한 그래프이다. 식 (3)은 탄

Table 4 Monthly average heating COP (EHP)

Month	Average high Temp.	EHP COP
Jan	3.9	4.35
Feb	2.9	4.26
Mar	7.8	4.74
Apr	11.9	5.23
Oct	13.6	5.45
Nov	11.8	5.23
Dec	4.5	4.4

소배출량 계산에 사용된 식이다. 탄소배출량(CE, Carbon emission)는 전력 소비량(Econsumption)과 탄소배출계수(Carbon emission coefficient)의 곱으로 계산되며, 전력소비의 경우 탄소배출계수는 0.4747tCO<sub>2</sub>/MWh이다.

$$CE = E_{consumption} \times CE_{coef} \quad (3)$$

냉방기간 동안 SWHP는 445tCO<sub>2</sub>를 배출하였으며 EHP는 1,183tCO<sub>2</sub>를 배출하여 SWHP는 EHP 대비 약 62%의 이산화탄소 배출을 저감하는 것으로 계산되었다.

### 3.2 겨울철 난방 비교

냉방과 마찬가지로 겨울철 월별 난방용량과 EHP, SWHP의 COP를 산정하였다. 요냉방기간의 평균 최저기온과 식 (1)을 통해 EHP의 난방 COP를 산정하였으며, 이를 Table 4에 나타내었다. 또한 평균 난방 COP와 식 (2)를 통해 EHP의 압축기 소요동력을 계산하였으며, EHP의 난방 소요동력은 1,450 kW로 계산되었다. Fig. 8에는 EHP 압축기 소요동력과 평균 COP로 계산된 월별 필요 난방열량을 나타내었다.

SWHP로 동일 난방 공급을 비교하기 위해 SWHP의 성능을 분석하였다. Table 5는 SWHP의 난방성능 분석을 위해 사용된 사이클 해석 조건이다. 냉방과 마찬가지로 암모니아를 사용하였으며, 난방 공급을 위해 45℃의 온수를 생산하는 것을 가정하여 사이클을 분석하였다. 증발기에서의 Minimum approach는 3℃로 가정하였으며, 압축기 효율은 75%로 가정하였다. 난방 성능 분석을 위해 2022년 제주시 인근에서 관측된 표층수온을

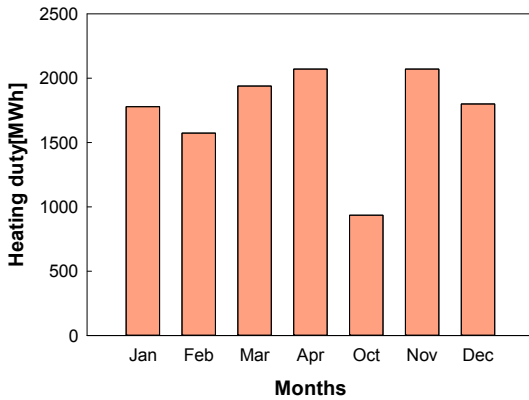


Fig. 8 Monthly heating load

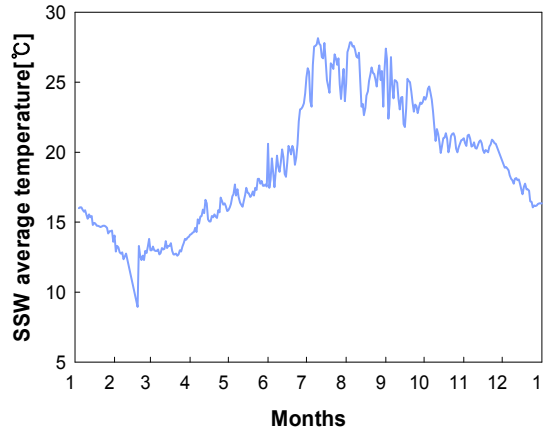


Fig. 9 Surface water average temperature

Table 5 Parameter of SWHP(Heating)

Parameter	Value	Unit
Refrigerant	R717	-
Target water temperature	45	°C
Evaporator min. approach	3	°C
Compressor efficiency	75	%
Heating capacity	2,000	RT

Table 6 Monthly average heating COP(SWHP)

Month	Surface water Temp.	SWHP COP
Jan	15.0	6.57
Feb	12.7	6.14
Mar	13.2	6.23
Apr	15.5	6.67
Oct	20.7	7.95
Nov	20.5	7.89
Dec	17.4	7.01

기준으로 SWHP의 COP를 산정하였다. Fig. 9는 2022년 제주시 인근 표층수온 관측자료이며 Table 6은 SWHP의 난방 성능 분석에 사용된 평균 표층수온과 이를 바탕으로 계산된 SWHP의 월별 COP이다.

Fig. 10에는 EHP와 SWHP를 통해 Fig. 8의 월별 난방부하를 담당하였을 때 압축기에서의 전력소모량을 나타내었다. EHP는 SWHP 대비 1.2~1.6배 높은 전력 소모량을 나타내었다.

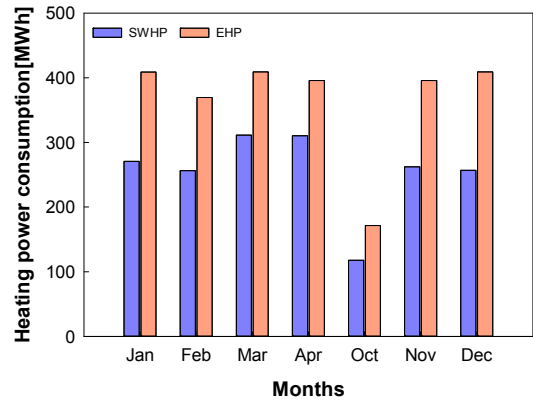


Fig. 10 Comparison of heating power consumption

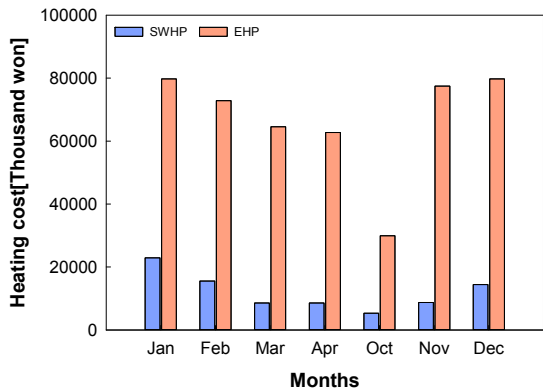


Fig. 11 Comparison of heating cost

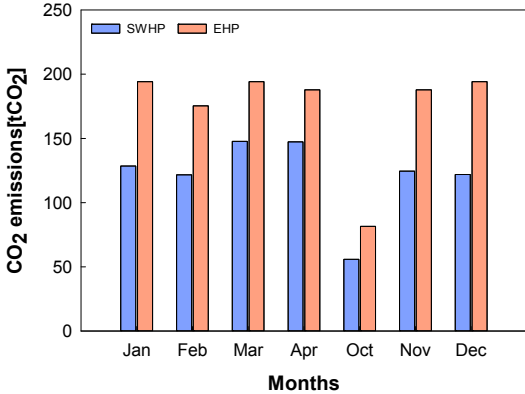


Fig. 12 Comparison of heating CO<sub>2</sub> emissions

Fig. 11은 EHP와 SWHP의 동일 난방공급을 위해 필요한 비용을 비교하였다. 난방공급과 마찬가지로 SWHP는 축열조와 잉여전력을 이용하므로 전력비용을 심야전력 기준으로 계산하였고 EHP는 일반용 전력을 기준으로 계산하였으므로 두 시스템의 난방비용의 차이가 크게 나타났다.

Fig. 12는 EHP와 SWHP의 동일 난방 수행에 대한 CO<sub>2</sub> 배출량을 비교한 그래프이다. 난방기간 동안 EHP는 1,215tCO<sub>2</sub>를 배출하였으며, SWHP는 847tCO<sub>2</sub>를 배출하여 EHP 대비 약 30%의 이산화탄소 배출을 저감하는 것으로 계산되었다.

#### 4. 온도차발전 이용 전력생산

덕 커브(Duck curve)란 신재생에너지 중 특히 태양광 발전 비중이 큰 계통에서 일출에서 일몰 사이인 낮 시간에 순 부하가 급감하며 나타나는 부하곡선을 오리 모양으로 상징화한 것으로, 일몰 후 저녁 피크부하가 발생하게 되며 석탄 화력, 원자력 발전 등 단기 가동이 불가능한 발전원을 대신할 추가적인 발전설비의 투자 등 전력망의 안정적인 운영을 위한 비용이 증가하게 된다.

해수열펌프-온도차발전 복합시스템을 적용할 경우 낮 시간 잉여전력으로 생산·저장해 둔 냉수·온수를 열침 또는 열원으로 이용하여 일몰시간 피크부하를 일부 완화할 수 있다. 온도차발전의 경우 화력·원자력 발전과 달리 가동시간이 짧아

피크부하 완화에 적합하다.

Table 7에는 온도차발전 사이클 해석 조건을, Fig. 13과 Table 8에 온도차발전 가동을 위한 열원, 열침 조건과 해수열펌프의 용량을 기준으로 산정된 발전 용량을 나타내었다. 작동유체는 히트펌프와 공유를 위해 암모니아로 선정하였고, 터빈 효율은 80%로, 열교환기의 Minimum approach는 3℃로 설정하였다. 여름철은 Fig. 9의 표준수온을 월별로 평균을 내어 이를 열원으로, 냉방을 위해 생산·저장해 둔 3.5℃ 냉수를 열침으로 가정하여 발전량을 산정하였으며, 겨울철은 난방을 위해 생산된 45℃의 온수를 열원으로, 15~16℃의 중층수를 열침으로 가정하여 발전량을 산정하였다.

여름철의 경우 겨울철에 비해 열원과 열침의 온도차이가 줄어들게 되어 발전량이 절반 이하로 떨어지는 모습을 보였으며, 수온의 변동이 없는 겨울철에 온도차발전을 통해 안정적인 전력의 생산이 가능할 것으로 보인다.

Table 7 Parameter of OTEC

Parameter	Value	Unit
Refrigerant	R717	-
Efficiency of turbine	80	%
Turbine inlet dryness	1	-
Heat exchanger min. approach	3	℃

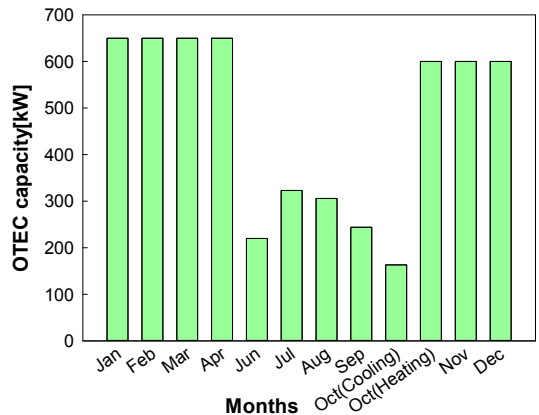


Fig. 13 Monthly OTEC capacity

Table 8 Monthly average cooling COP (SWHP)

Month	Heat source temp. (°C)	Heat sink temp. (°C)	Capacity (kW)
Jan	45	15	650
Feb	45	15	650
Mar	45	15	650
Apr	45	15	650
Jun	23.2	3.5	220
Jul	26.0	3.5	323
Aug	25.7	3.5	306
Sep	23.9	3.5	244
Oct (Cooling)	21.6	3.5	163
Oct (Heating)	45	16	600
Nov	45	16	600
Dec	45	16	600

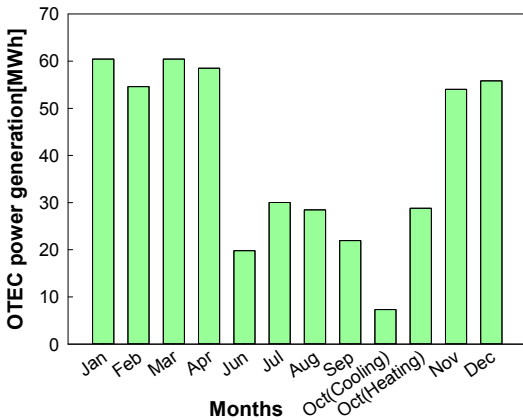


Fig. 14 Annual OTEC power generation

Fig. 14는 온도차발전을 통한 월별 전력 생산량을 표시한 그래프이다. 온도차발전은 5월을 제외하고 매일 피크시간에 하루 3시간 가동하는 것을 가정하였다.

$$Annual\ OTEC\ power\ generation = \sum_{m=1}^{12} OTEC\ capacity_m \times \frac{3h}{day} \times \frac{x\ day}{month_m} \quad (4)$$

식 (4)는 온도차발전 운전을 통한 연간 적산전

력 산정식이며, 온도차발전 가동을 통해 연간 약 480 MWh의 전력을 계통에 공급할 수 있는 것으로 계산되었다.

### 5. 결론

본 연구에서는 해수열펌프-해수온도차발전 복합시스템을 출력제한이 빈번히 발생하는 제주도의 에너지 다소비 건물인 제주공항에 적용하여 전기열펌프와 냉난방 성능을 비교하였으며, 피크부하 시 온도차발전을 통한 전력망 부하 완화 성능을 확인하였다.

약 2,000 RT급 냉난방 시스템 보급을 위한 SWHP와 EHP의 성능을 비교하였으며, 여름철 약 8,500 MWh의 냉방 보급을 위해 SWHP는 938 MWh의 전력을 소모하였고, EHP는 2,493MWh의 전력을 소모하였다. 해당 전력 소모 시 SWHP는 88,419천 원의 비용이 소요되었고, EHP는 430,679천 원의 비용이 소요되었다. 냉방보급 시 SWHP는 445.3tCO<sub>2</sub>의 이산화탄소를 배출하였고, EHP는 1,183.6tCO<sub>2</sub>의 이산화탄소를 배출하였다.

겨울철 12,000 MWh의 난방 보급을 위해 SWHP는 1,785 MWh의 전력을 소모하였고, EHP는 2,560 MWh의 전력을 소모하였다. 해당 전력 소모 시 SWHP는 84,056천 원의 비용이 소요되었고, EHP는 467,080천 원의 비용이 소요되었다. 난방보급 시 SWHP는 847.5tCO<sub>2</sub>의 이산화탄소를 배출하였고, EHP는 1,215.1tCO<sub>2</sub>의 이산화탄소를 배출하였다.

피크부하 완화를 위해 생산된 냉수·온수로 하루 3시간 온도차발전을 가동하였을 때 연간 480 MWh의 발전 전력을 얻을 수 있었다.

본 연구에서는 시스템 운영에 의한 성능만 비교하였으며 초기 투자 비용, 신재생에너지 보조금, REC 등은 고려되지 않아 이를 적용한 상세 분석이 필요할 것으로 생각된다. 또한 향후 탄소중립을 위해 신재생발전 설비의 증가와 이로 인해 발생될 전력망 문제의 해결을 위해 해수열펌프-온도차발전 복합시스템의 P2H 섹터커플링 이용이 필요할 것으로 생각된다.



## 후 기

본 논문은 선박해양플랜트연구소의 주요사업인 “친환경 신담수-초고도농축 복합공정 개발(2/5)”에 의해 수행되었습니다(PES 4803).

## Author contributions

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

## References

1. H. T. Kim, M. H. Myeong, S. H. Kim, 2011, “A Study on the maximum penetration limit of wind power considering output limit of WTGs”, *Journal of the Korean Solar Energy Society*, 31(6), 23-31. (DOI:<https://doi.org/10.7836/kses.2011.31.6.023>)
2. J. Mohammed, Y. Liang and Z. Yu, 2019, “Combined ORC-HP Thermodynamic Cycles for DC Cooling and Waste Heat Recovery for Cental Heating”, *Energy Procedia*, 158, 2046-2051.
3. S. Staub, P. Bazan, K. Braimakis, D. Muller, C. Regensvurger, D. Scharrer, B. Schmitt, D. Steger, R. German, S. Karellas, M. Pruckner, E. Schlucker, S. Will and J. Karl, 2018, “Reversible Heat Pump-Organic Rankine Cycle Systems for the Storage of Renewable Electricity”, *Energies*, 11(6), 1-17. (<https://doi.org/10.3390/en11061352>)
4. J. H. Moon, S. T. Lim, H. S. Lee and H. J. Kim, 2022, “Review for Domestic Applicability of OTEC-HP Combined Cycle”, *Journal of The Korean Society for Power System Engineering*, 26(4), 81-88. (DOI:10.9726/kspse.2022.26.4.081)
5. O. A. Sergio and M. Mario, 2017, “Characterization and Analysis of Energy Demand PATterns in Airports”, *Energies*, 10(119), 1-35. (DOI:10.3390/en10010119)
6. R. Porumb, B. Porumb and M. BĂlan, 2016, “Baseline Evaluation of Potential to Use Solar Radiation in Air Conditioning Applications”, *Energy Procedia*, Vol. 85, 442-451. (<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.12.225>)
7. D. H. Yoo, J. K. Kim and B. J. Choi, 2023, “Distribution and Origin of the Mid-depth Cold Water Pools Observed in the Jeju Strait in the Summer of 2019”, *Journal of Korean Society for Oceanography*, 28(1), 19-40. (<https://doi.org/10.7850/jkso.2023.28.1.019>)