

# 해수온도차발전 적용성 확대를 위한 플랜트 성능평가 실험 Plant Performance Evaluation Experiment to Expand the Applicability of Ocean Thermal Energy Conversion

문정현\* · 이호생\*\* · 임승택\*\*\* · 서종범\*\*\*\* · 김현주\*\*†  
Jung-Hyun Moon\*, Ho-saeng Lee\*\*, Seung-Taek Lim\*\*\*,  
Jong-Beom Seo\*\*\* and Hyeon-Ju Kim\*\*†

(Received 9 September 2020, Revision received 15 October 2020, Accepted 16 October 2020)

**Abstract :** Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC) is an eco-friendly power generation cycle that generates electricity through temperature difference between surface water and deep water, and research is actively conducted to replace the fossil fuel power generation cycle. In this study, for the construction of a scenario for automatic control of OTEC plant, the performance changes of the plant according to changes in surface water temperature were conducted through simulation and experiments. According to the change in surface water temperature, the simulation confirmed that the power generation amount was reduced by 74% and the cycle efficiency by 69%. In the experiment, it was confirmed that the power generation amount decreased by 62% and the efficiency decreased by 42% as the surface water temperature decreased. In order to reduce the difference in results between the actual experiment and the simulation, it is necessary to apply the specifications and performance of the main element devices used in the experiment to the simulation.

**Key Words :** OTEC, Performance analysis, Surface water temperature, Pilot experiment, Comparative study

## 1. 서 론

18세기 산업혁명 이후 화석연료의 사용은 점진적으로 증가해 왔으며, 이에 따라 온실가스의 배

출 또한 꾸준히 증가하였다. 20세기 들어 지구온난화 문제가 한 국가에 국한되지 않은 전 세계적인 문제가 됨에 따라 선진국을 중심으로 이산화탄소 등 여섯 종류의 온실가스의 배출을 감축하

\*\*† 김현주(ORCID:https://orcid.org/0000-0002-4986-8914) : 책임연구원, 선박해양플랜트연구소 해수에너지연구센터  
E-mail : hyeonju@kriso.re.kr, Tel : 042-866-3701  
\*문정현(ORCID:https://orcid.org/0000-0002-5247-1029) : 기술원, 선박해양플랜트연구소 해수에너지연구센터  
\*\*이호생(ORCID:https://orcid.org/0000-0003-3042-5889) : 책임연구원, 선박해양플랜트연구소 해수에너지연구센터  
\*\*\*임승택(ORCID:https://orcid.org/0000-0001-6889-9698) : 시험연구원, 선박해양플랜트연구소 해수에너지연구센터  
\*\*\*\*서종범(ORCID:https://orcid.org/0000-0003-1411-8491) : 선임기술원, 선박해양플랜트연구소 해수에너지연구센터

\*\*† 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.  
E-mail : hyeonju@kriso.re.kr, Tel : 042-866-3701  
\*Jung-Hyun Moon(ORCID:https://orcid.org/0000-0002-5247-1029) : Junior 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.  
\*\*\*Seung-Taek Lim(ORCID:https://orcid.org/0000-0001-6889-9698) : Researcher, Seawater Energy Plant Research Center/Korea Research Institute of Ship & Ocean Engineering.  
\*\*\*\*Jong-Beom Seo(ORCID:https://orcid.org/0000-0003-1411-8491) : Senior Engineer, Seawater Energy Plant Research Center/Korea Research Institute of Ship & Ocean Engineering.

기로 한 교토의정서가 1997년 채택되었으며 2005년부터 발효되었다. 교토의정서는 2020년 만료 예정인데, 이를 대체하기 위해 파리기후변화협약(Paris Climate Change Accord)은 2021년 1월부터 적용될 예정이며, 지구 평균 기온 상승을 2°C 보다 상당히 낮은 수준으로 유지하기 위해 참여 국가가 제출한 자발적 감축목표 달성하여야 하고, 5년마다 상향된 목표를 제출하도록 하였다. 한국은 세계 7위의 온실가스 배출 국가이며, 2030년까지 전망치 대비 37%의 온실가스 감축을 목표로 파리기후변화협약에 동참하고 있다.<sup>1)</sup>

온실가스 감축을 위해 해수온도차를 이용하여 전기를 생산하는 OTEC에 대한 연구가 미국, 프랑스, 한국, 일본 등 여러 국가에서 진행되고 있다.

LA. Vega<sup>2)</sup>는 하와이에서 표층수온 26°C와 심층수온 6°C를 기준으로 210 kW급 개방형 OTEC 사이클(OC-OTEC)을 설계하여 실증을 수행하였다. 실증 중 가장 높은 Gross power는 255 kW를, Net power는 103 kW를 기록하였고 0.4L/s의 담수 생산을 성공하였다.

M. Martins 등<sup>3)</sup>은 아프리카 프랑스령의 Reunion 섬에 적용을 위한 파일럿 플랜트의 해석을 수행하였다. 암모니아 사용한 해당 플랜트에서 발전량을 15 kW로 가정하고 계절에 따른 표층수온인 23~28°C와 4.9°C의 심층수온을 적용하여 해석을 수행하였고, 이때의 순출력은 0.3~5.6 kW의 변동이 있었다.

Lee 등<sup>4)</sup>은 R32를 작동유체로 하여, 표층수온 26°C와 심층수온 5°C를 사용하여 20 kW급 OTEC 파일럿 플랜트를 제작·실험하였다. 30분간 정적상태에서 연속 운전 실험 결과, 증발기 출구에서 작동유체의 압력은 15 bar로, 플랜트는 20.49 kW의 Gross power를 나타내었으며 사이클 효율은 2.0%로 계산되었다.

Lim 등<sup>5-6)</sup>은 1 MW급 해수온도차발전플랜트를 대상으로 수온에 따른 PID 제어 및 플랜트성능을 시뮬레이션하였다. 수온 변화에 따른 펌프의 rpm 제어 및 이에 따른 과열도 제어를 통해 실제 플랜트에 적용할 수 있는 제어 알고리즘을 연구하였다. 또한 표층수, 심층수 및 작동유체 유량을 감소

하며 성능변화를 확인하였으며, 유량변화에 따른 동적시뮬레이션을 통해 해수온도차발전의 실행 불가능한 영역의 운전 특성을 파악하였다.

이처럼 OTEC 파일럿 플랜트의 설계에 대한 연구가 각국에서 진행되고 있으나, 온대·열대 지역에서 밤낮, 계절에 상관없이 24시간 가동되는 해수온도차발전의 경우, 상용화 플랜트 운용을 위해서는 자동화 운전 시나리오 및 이에 따른 제어가 필요하다. 이를 위해 각 상황에 따른 시나리오 구성 및 제어 방안이 필요하며, 모든 상황에 대한 제어실험을 실제로 수행할 수 없으므로 시뮬레이션을 통한 시스템 제어 시나리오를 구성하였다.

본 연구에서는 해수온도차발전의 가동률이 좋은 저위도 지역뿐 아니라 계절적 가동이 가능한 중위도 지역에서의 적용성을 살펴보기 위하여 표층수의 온도변화에 따른 발전 특성을 정리해 보고자 한다. 또한 해수온도차발전의 시뮬레이션을 통한 시스템 제어와 실제 실험 간의 차이를 확인하고자 하였다. 이를 위해, 20 kW급 OTEC pilot 플랜트를 대상으로 표층수온 변화에 따른 플랜트 동적 제어 시나리오를 구성하고, Aspen Hysys<sup>7)</sup>를 이용한 제어 시뮬레이션과 실험 간의 비교를 수행하였다.

## 2. 해수온도차발전 운전 시나리오 및 시뮬레이션

### 2.1 시뮬레이션 조건

성능평가 실험을 위한 사전 시뮬레이션을 위해 Table 1과 같이 시뮬레이션 조건을 선정하였다. 실험 대상인 폐쇄순환형 해수온도차발전시스템은 증발기에서 표층수와 열교환된 작동유체는 증발하여 고온·고압상태로 터빈-발전기를 구동한다. 작동유체 증기는 터빈-발전기를 구동하며 압력이 낮아지게 되고, 응축기에서 심층수와 열 교환하며 온도와 압력이 낮아진 액체 상태로 리시버 탱크에 저장된다. 저장된 작동유체는 작동유체 순환펌프에 의해 증발기로 들어가며 사이클을 형성한다. 이 발전 사이클에서 중요한 점은 시스템의 안정성 확보를 위해 과열상태의 기체가 터빈으로 유

Table 1 Simulated condition

Parameter	Value
Initial OTEC gross power (kW)	20
Heat source inlet temperature (°C)	21-29
Heat source mass flow(kg/s)	75
Heat sink inlet temperature (°C)	4.5
Heat sink mass flow(kg/s)	38
LMTD of heat exchanger (°C)	3.5
Over heat temperature (°C)	1.5
Heat source inlet pressure (kPa)	150
Heat sink inlet pressure (kPa)	150
Isentropic turbine efficiency (%)	85
Isentropic pump efficiency (%)	75
Refrigerants mass flow rate (kg/s)	open

입되어야 한다. 터빈에 과열 기체가 아닌 액-기체 혼합상태의 작동유체가 투입될 경우 터빈 블레이드의 파손, 시스템 손상 등 문제가 야기될 수 있으므로 터빈을 이용하는 발전 시스템의 경우 터빈 입구의 과열도를 확보하여야 하며, 본 연구의 해석에서는 열원 온도를 29~21°C까지 감소시킬 때 과열도 1.5°C를 확보하는 조건에서 시뮬레이션을 진행하였다.

각 열교환기에서의 LMTD는 3.5°C로 설정하였으며, 표층수온의 온도변화, 증발기 출구에서의 온도, 압력에 따라 작동유체의 유량이 계산되도록 시뮬레이션을 수행하였다.

Fig. 1은 실험에 사용된 OTEC 사이클로 폐쇄형 OTEC은 터빈, 응축기, 증발기, 작동유체 순환펌프 로 구성된다.

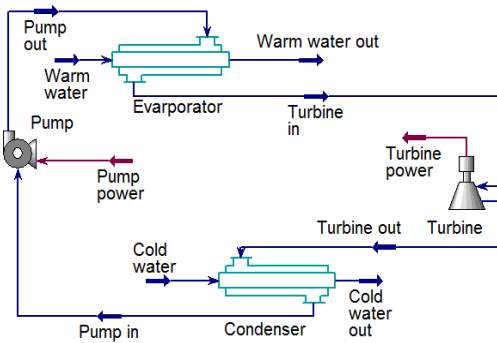


Fig. 1 Schematic of a Closed OTEC

## 2.2 시뮬레이션 결과

Table 2에 표층수온 변화에 따른 사이클의 성능을 나타내었다. 시뮬레이션 결과도출을 위해, 표층수온에 따른 증발기 출구에서의 작동유체 포화온도와 압력을 계산하였으며, 과열도 확보를 위해 포화온도에서 1.5°C의 과열도를 적용하였다. 열원과 열침의 유량, 열교환기 LMTD, 증발기 토출부 및 터빈 후단에서의 작동유체의 상태가 정해져 있었으므로 각 조건에 맞는 작동유체의 유량과 발전량 등이 도출되었다.

Table 2 Operating range according to surface water temperature(Cold water Temperature : 5°C)

Water temperature(°C)	R32 flow rate(kg/s)	Evaporating pressure (kPa)	Evaporating temperature(°C)	Pump power (kW)	Turbine power(kW)	System efficiency(%)
29	1.98	1690	26.07	1.26	20	3.27
28	1.93	1645	25.07	1.12	17.82	3.00
27	1.87	1601	24.07	0.97	15.73	2.72
26	1.81	1558	23.07	0.84	13.7	2.45
25	1.80	1515	22.07	0.73	11.98	2.16
24	1.77	1473	21.07	0.62	10.25	1.88
23	1.75	1432	20.07	0.52	8.54	1.59
22	1.72	1392	19.07	0.42	6.86	1.30
21	1.69	1353	18.07	0.32	5.20	1.0

표층수의 열원온도가 29℃에서 21℃까지 감소함에 따라 작동유체의 유량은 1.98 kg/s에서 1.69 kg/s까지 감소하였으며 터빈에서의 발전량은 20 kW에서 5.2 kW까지 감소하였다.

### 3. 20 kW급 해수온도차발전 실험

#### 3.1 20 kW OTEC 및 실험조건

Fig. 2는 20 kW급 성능실험장치의 3D 모델링 설계도를 나타낸다. 실험 장치는 증발기, 응축기, 2대의 냉매펌프, 유량계, 리시버탱크, 증발기 토출측의 기액분리기, 자동 및 수동 밸브 등으로 구성되어 있다. 리시버 탱크에서 부스터 펌프와 순환 펌프를 통해 토출된 작동유체는 증발기(Evaporator)로 유입되며, 표층수와 열 교환하여 가열된 작동유체는 표층수와 유량을 통해 토출부의 온도와 압력이 결정된다. 증발기에서 토출된 작동유체는 기액분리기를 지나 터빈을 구동하며 압력이 떨어진다. 압력이 떨어진 작동유체는 응축기(Condenser)에서 저온의 심층수와 열 교환하여 액체 상태로 응축된다. 각 주요 요소기기의 흡입부와 토출부에 온도, 압력 센서가 있어 작동유체의 상태를 파악할 수 있으며 펌프의 토출부에 설치된 유량계를 통하여 유량을 측정하였다.

Table 3에는 실험에 사용된 조건을 명시하였다. 작동유체로는 R32가 사용되었고, 시뮬레이션과 마찬가지로 표층수온이 약 31℃에서 20℃까지 점진적으로 낮아졌다. 이 외에 고정적으로 74 kg/s의 표층수 유량, 4.1℃의 심층수온 및 37 kg/s의 심층수 유량이 사용되었다.

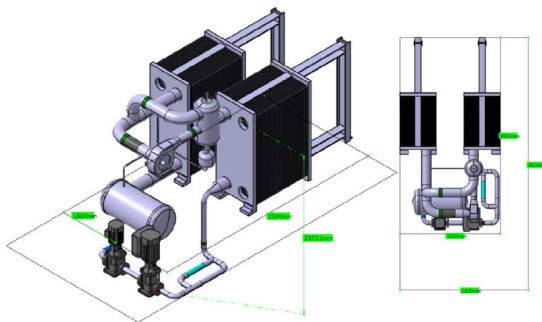


Fig. 2 20 kW OTEC 3D model

Table 3 Experiment condition of OTEC plant

Condition	Value	Unit
Working fluid	R32	-
Surface seawater inlet temp	30.1 - 19.6	℃
Surface seawater flow rate	74	kg/s
Deep seawater inlet temp	4.1	℃
Deep seawater flow rate	37	kg/s

#### 3.2 실험 제어 시나리오

본 연구에서 수행한 실험은 수온 변화에 따른 플랜트의 성능변화를 관찰하기 위한 것이며, 이를 위해 조건 변화에 따른 플랜트의 운전을 달리할 필요가 있다.

실험을 위한 OTEC 플랜트의 제어 시나리오를 작성하여 Fig. 3에 나타내었다. 플랜트 운전 중 표층수온이 감소할 때, 유량은 동일하므로 열교환량이 줄어들게 되며 이에 따라 증발기 토출 작동유체의 온도와 압력이 감소하게 된다. 그 결과 터빈 입구에서 작동유체의 과열도가 줄어들게 되고 작동유체는 포화증기에 가까운 상태가 된다. 표층수온이 더 줄어들어 작동유체가 포화증기가 아닌

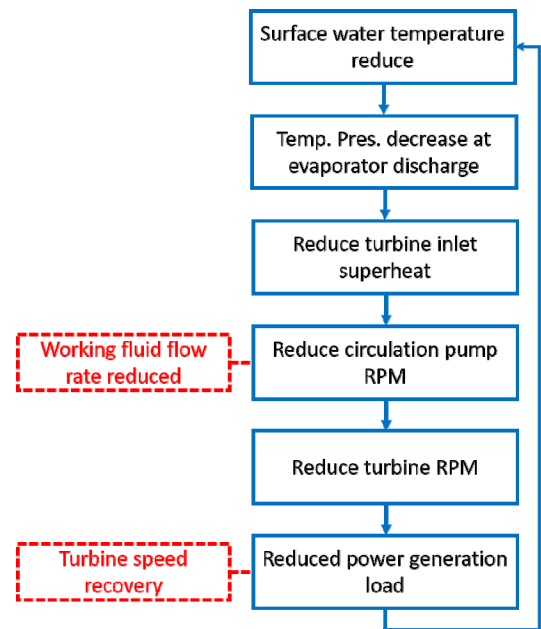


Fig. 3 20 kW OTEC 3D model

액-증기 혼합 상태로 터빈에 유입되면 터빈 블레이드의 파괴 등 심각한 결과를 초래할 수 있으므로 작동유체 순환펌프의 rpm을 줄여 작동유체의 유량을 감소시켜 터빈입구에서의 과열도를 재 확보한다. 20 kW OTEC 파일릿 플랜트는 설치된 온도, 압력센서와 이를 T-S 선도로 구현하는 장치를 통해 실시간으로 터빈 입구의 과열도를 확인 할 수 있다. 펌프 rpm 감소로 인해 터빈을 통과하는 작동유체의 순환량이 줄어들어 따라 동일 발전량에서 터빈의 rpm 또한 줄어든다. 터빈의 효율 확보 및 안정적인 운전을 위해 설계 rpm 부근에서 운전할 필요가 있으며, 본 연구에서는 18,000 rpm의 터빈 회전속도를 유지하고자 하였다. 터빈의 일정 회전수를 확보하기 위해 유량의 감소에 따라 발전부하를 단계적으로 감소하며 터빈의 회전수를 확보하였다.

### 3.3 실험 결과

Fig. 4에는 표층수온이 30.1°C 부터 19.6°C까지 줄어들 때 파일릿 플랜트에서 발생된 전력량(Gross power)을 나타내었다. 그래프에 나타난 것과 같이 발전량은 표층수온이 감소함에 따라 계단식으로 감소하였다. 표층수온이 30.1°C일 때 OTEC 시스템은 19.66 kW의 발전량을 나타내었으나 표층수온이 19.6°C까지 낮아졌을 때 7.46 kW의 발전량을 보였으며 최고점 대비 최저점에서는 62%의 발전량이 감소하였다.

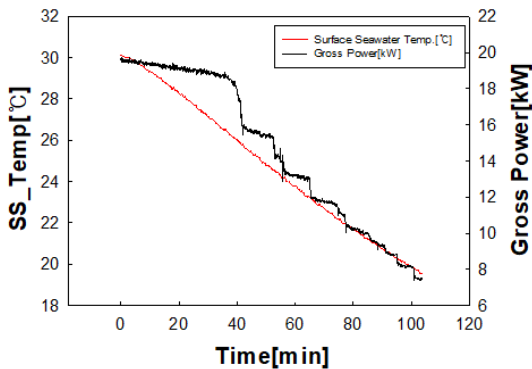


Fig. 4 Gross power according to Surface seawater temperature

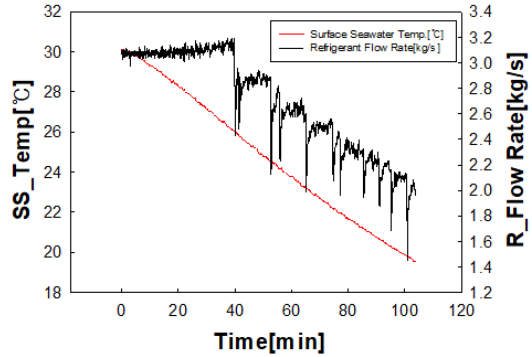


Fig. 5 Change of working fluid flow rate

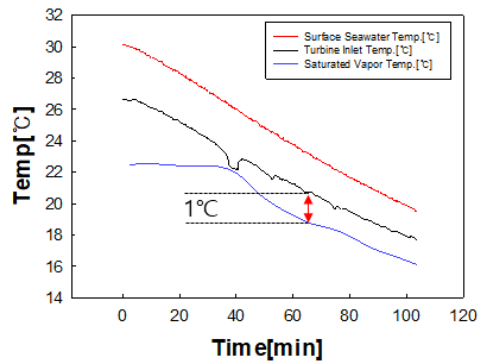


Fig. 6 Turbine inlet and saturation vapor temperature

발전량의 변화는 Fig. 5에 시간과 표층수온에 따른 작동유체 유량 변화와 유사한 형태를 보인다. 파일릿 플랜트 가동 시 3.2의 제어시나리오에 따라 터빈 입구에서의 과열도를 1°C 이상 확보하기 위해 작동유체의 유량을 조절하였다. 최초 유량과 발전량의 급격한 변화는 플랜트 운전 시작 후 2,400초 지점에서 발생하였으며, rpm 변화에 따라 유량이 수직강하한 뒤 안정을 찾는 현상이 발생하는 것을 확인할 수 있다. 작동유체의 유량은 표층수온이 30.1°C일 때 3.07 kg/s에서 표층수온이 19.6°C로 감소하였을 때 1.97 kg/s까지 약 36% 감소하였다.

Fig. 6은 표층수온, 터빈입구에서의 작동유체 온도 및 터빈 입구에서의 압력에 따른 포화증기 온도선을 나타낸 그래프이다. 표층수온이 감소하며 터빈입구에서의 작동유체온도 또한 낮아진다. 터빈 입구에서의 과열도 확보를 위하여 터빈입구

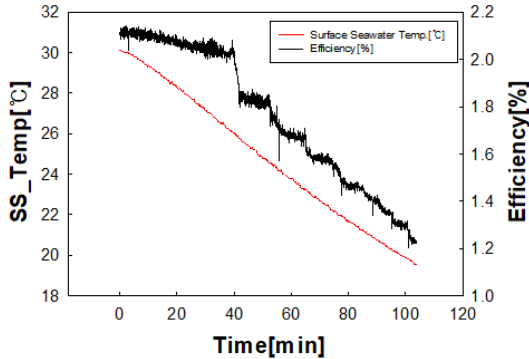


Fig. 7 Efficiency of OTEC system

에서의 작동유체 상태를 지속적으로 확인하였고, 첫 번째 작동유체 펌프 rpm을 조정하여 2,400초 부근에서 헛팅으로 인해 터빈 입구에서의 작동유체 상태가 포화에 가까워졌으나 유량이 정상화 되며 다시 과열도를 확보하였고, 작동유체 펌프의 rpm 조절을 통해 운전이 끝날 때까지 약 1°C의 과열도를 유지하였다.

Fig. 7은 수온변화에 따른 OTEC 시스템의 효율 변화를 나타낸 그래프이다. OTEC 시스템의 효율은 아래의 식으로 계산된다.

$$\eta = \frac{\text{Gross Power}}{\text{Heat exchange amount}(Eva)} = \frac{A_w}{Q_e} \quad (1)$$

수온에 따른 시스템의 효율 그래프의 모양은 발전량과 유사한 경향을 나타낸다. 표층수온 30.1°C에서 시스템의 효율은 2.1%를 나타내었으나 표층수온 19.6°C에서는 1.23%로 약 41.7% 감소하였다. 표층수온 변화에 따라 시스템의 발전량과 증발기에서의 열교환량이 모두 감소하였음에도 효율이 낮아진 것은 발전기에서의 발전량 감소는 약 62%로 약 35% 감소한 증발열량에 비해 월등히 감소량이 크기 때문이다.

### 3.4 시뮬레이션 및 실험 결과 비교

시뮬레이션에서 표층수온이 29°C에서 21°C로 낮아질 때 20 kW에서 5.2 kW로 74% 낮아진 발전량을 보였고, 3.27%에서 1.0%로 약 69% 낮아진 효율을 나타내었다. 실제 운전 실험에서는 표층수

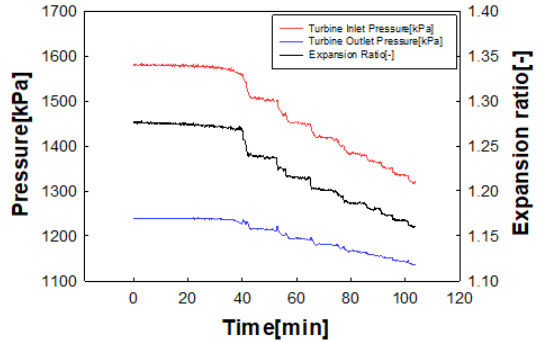


Fig. 8 Turbine inlet & outlet pressure

온 감소에 따라 발전량은 약 62%, 효율은 약 42%로 낮아져 시뮬레이션 결과보다 더 감소하는 경향을 보였다. 이는 Fig. 8에 나타난 수온 변화 시 터빈 전·후단의 압력 변화 및 팽창 비율과 연관이 있다. 시뮬레이션에서는 터빈 후단의 압력을 고정해 놓지만 운전 실험에서는 터빈 후단의 압력이 전단의 압력과 유사하게 변동하였다. 따라서, 터빈 후단의 압력을 고정한 시뮬레이션 압력비보다 실제 운전 시 압력비가 완만하게 감소하는 경향을 보였다. 그 결과, 실제 운전실험에서는 시뮬레이션 대비 발전량과 효율이 적게 감소하였다.

또한 열원과 열침 온도, 유량이 고정된 상태에서 실제 실험과 시뮬레이션상의 작동유체 유량 차이가 나는데, 시뮬레이션 상에서는 열교환기의 LMTD만 설정되어 있으나 실제 파일럿 플랜트에 적용된 열교환기와 전열면적 등에서 차이가 있기 때문에 발생한 결과로 추측된다. 후후 시뮬레이션에서는 파일럿 플랜트에 사용된 열교환기, 터빈 등 주요기기의 제원, 성능 등을 근사시켜 적용할 필요가 있을 것이다.

Fig. 9에는 시뮬레이션 결과로 나타난 수온에 따른 증발온도, 증발압력, 발전량을 나타내었다. 시뮬레이션 결과에 따르면 해수온도변화에 따른 증발압력변화의 비는 42.125 kPa/°C이다. 또한 발전 출력과 증발온도는 각각 1.85 kW/°C와 1°C/°C이다.

반면 파일럿 플랜트의 운전실험 결과를 통해 얻어진 해수온도변화에 따른 증발압력의 비는 27.43 kPa/°C이며, 출력과 증발온도는 각각 1.267 kW/°C와 0.858°C/°C로 나타났다.

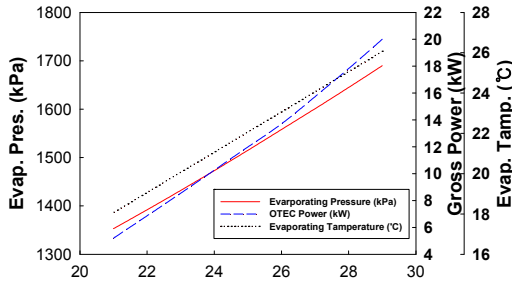


Fig. 9 Simulation result

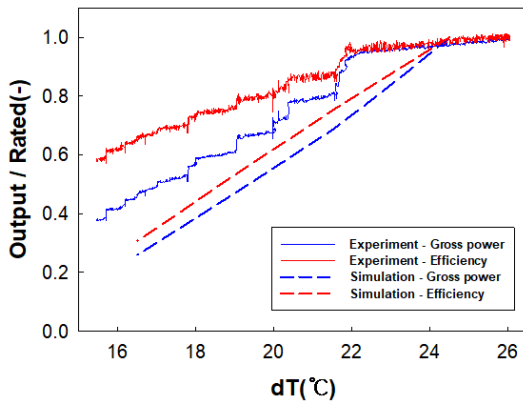


Fig. 10 Comparison of output and efficiency against rating

시뮬레이션 결과에 비해 운전실험 결과는 압력 감소율이 약 34.9% 낮으며, 출력 변화는 17.1%, 증발온도 변화는 약 14.2% 작게 나타났다.

Fig. 10은 온도차에 따른 발전량과 효율의 정격 대비 출력을 나타낸 그림이다. 실험과 시뮬레이션의 비교를 위해 하나의 그래프로 나타내었다. 발전량/효율의 경향은 유사하게 나타났으나 시뮬레이션보다 실험에서 발전량과 효율 두 값 모두가 크게 나타났다. 이는 수온이 감소함에 따라 터빈 후단의 선형적인 압력감소와 증발기의 LMTD 감소가 시뮬레이션에 반영되지 않았기 때문으로 판단된다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 해수온도차발전 플랜트의 적용성 확대를 위하여 단위 장치의 운전 조건별 출

력 및 효율 특성을 분석하고, 최적 운전제어 기초자료를 확보하고자 하였다. 이를 위해, 온도차에 따른 발전 성능 변화를 시뮬레이션 및 운전 실험으로 평가하여 표층수온의 변화에 따른 플랜트의 성능변화 특성을 아래와 같이 파악할 수 있었다.

1) 열침 온도 및 유량, 열원 유량을 고정된 상태에서 열원 온도를 29°C에서 21°C로 강하시키며 시뮬레이션한 결과, 발전량(Gross power)은 74%, 사이클 효율은 69% 감소하였다.

2) 동일 조건의 파일럿 플랜트 운전실험에서 열원온도를 30°C에서 20°C로 감소시키면 발전량은 62%, 효율은 42% 감소하는 경향을 보였다.

3) 시뮬레이션에서는 표층수온에 관계없이 터빈 후단의 압력을 고정하였으나, 실제 실험 시 터빈 전단의 압력이 감소하면 터빈 후단의 압력도 감소하여 시뮬레이션 대비 팽창비의 변화가 크지 않아 발전량의 감소가 시뮬레이션 결과에 비해 크지 않았다. 따라서 효율의 감소 또한 시뮬레이션 대비 적게 나타났다.

4) 시뮬레이션에서 1°C의 열원 수온 변화에 따라 증발압력은 42.125 kPa, 발전출력은 1.85 kW, 증발온도는 1°C 변동이 있었으며, 플랜트 운전 실험에서는 1°C의 수온변화에 대해 증발압력은 27.43 kPa, 출력은 1.267 kW, 증발온도는 0.858°C의 변동을 보였다.

5) 플랜트 운전과 시뮬레이션 간의 성능 차이를 줄이기 위해서는 터빈 후단의 압력뿐 아니라 열교환기, 작동유체 펌프, 터빈-발전기 등 주요 장비의 상세 제원 및 성능을 입력해야 할 것으로 보인다.

6) 향후, 이를 바탕으로 위도별 온도차에 따른 발전 플랜트의 연간 출력 및 효율을 산출할 수 있을 것이며, 아열대뿐 아니라 중위도 지방에서의 적용성을 평가해 나갈 수 있을 것이다.

#### 후 기

본 논문은 해양수산부의 국가 R&D 사업인 “1 MW급 해수온도차발전 실증플랜트 개발(5/6)(PMS4320)”에 의해 수행되었습니다.

## Author contributions

J. H. Moon; Formal analysis, Investigation, Writing-original draft. H. S. Lee; Conceptualization, Project administration, Data curation. S. T. Lim; Data curation, Resources, J. B. Seo; Turbine related analysis, Input condition correction, H. J. Kim; Writing-review & editing, Project administration, Supervision.

## 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. L. A. Vega, 2012, "Ocean Thermal Energy Conversion", The Encyclopedia of Sustainability Science and Technology, pp. 7296-7328 ([https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0851-3\\_695](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0851-3_695))
3. M. Martins, F. Sinama and F. Lucas, 2013, "Equivalent Gibbs Systems for Modelling an Onshore OTEC Experimental Plant on Reunion Island", International Journal of Energy Research, Vol. 37, No. 1, pp. 1112-1121. (<https://doi.org/10.1002/er.2911>)
4. H. S. Lee, S. W. Cha, Y. G. Jung, H. J. Kim and B. S. Choi, 2014, "Design and Experiment of the 20kW OTEC Plant", The Korean Society for Marine Environment & Energy, Vol. 1, No. 1, pp. 2448-2452.
5. S. T. Lim, H. S. Lee and H. J. Kim, 2020, "Dynamic Simulation of System Performance Change by PID Automatic Control of Ocean Thermal Energy Conversion", Journal of Marine Science and Engineering, Vol. 8, No. 1, pp. 1-15. (<https://doi.org/10.3390/jmse8010059>)
6. S. T. Lim, H. J. Kim and H. S. Lee, 2019, "Dynamic Simulation of System Performance Change of MW-class OTEC according to Seawater Flow Rate", The Korean Society For Power System Engineering, Vol. 23, No. 1, pp. 48-56. (<https://doi.org/10.9726/kspse.2019.23.1.048>)
7. Aspen HYSYS, Aspen Technology Inc.