

해수온도차발전 배출수 이용 냉장·제빙의 적도지역

적용 검토를 위한 성능비교

Performance Comparison of Refrigeration and Ice Making with OTEC Discharge for Equatorial Application

문정현* · 지호* †

Jung-Hyun Moon* and Ho Ji* †

(Received 04 December 2024, Revision received 18 December 2024, Accepted 19 December 2024)

초록 : 적도지역의 연중 평균 낮 기온이 30℃ 이상, 습도는 60% 이상인 고온다습한 기후로 냉방의 수요가 항상 존재하며, 주식인 생선 등 어류가 쉽게 부패하여 냉장, 제빙의 수요 또한 높으나 고가의 전기에너지 비용 및 설비 부족으로 높은 수요를 만족하기 어려운 상황이다. 이러한 문제 해결을 위해, 해수온도차발전 배출수를 식품 냉장, 제빙에 이용하도록 응축기에서 약 10%의 냉매를 분지하여 효율을 높이는 인터쿨러 적용 냉장-제빙 사이클을 제시하였다. 냉매는 해수온도차발전의 작동유체인 R32를 포함한 6종 냉매에 대해 동일 사이클에서의 냉장과 제빙에 대한 복합 사이클 성능을 비교하였다. 냉장용량은 40 RT(=140 kW), 제빙용량은 20 RT(=70 kW) 부하규모에 대하여 심층수 배출수인 11℃를 적용시 냉장 성적계수는 7.75로 R717이 가장 높게 나타났으며 제빙 성적계수는 2.34로 R410A가 가장 높게 나타났다. 또한 해당 결과를 11℃ 열침 적용 기본사이클과 비교하였으며 연간 전력비용을 추산하였다.

키워드 : 해수냉난방, 냉장, 제빙, 적도, 해수온도차발전 배출수

Abstract : Due to the hot and humid climate in equatorial regions, where the average daytime temperature is over 30℃ and humidity is over 60% throughout the year, the demand for air conditioning is always present. The demand for refrigeration and ice-making is also high due to the easy spoilage of fish and other staple foods, but it is difficult to satisfy the high demand due to the high cost of electric energy and lack of facilities. To solve this problem, an intercooled refrigeration and ice-making cycle that improves efficiency by branching out about 10% of refrigerant from the condenser to use the discharge water from the ocean thermal energy conversion for food refrigeration and ice-making was proposed. The combined cycle performance of refrigeration and ice-making in the same cycle was compared for six refrigerants, including R32, which is the working fluid of ocean thermal energy conversion. For a load of 40 RT (=140 kW) for refrigeration and 20 RT (=70 kW) for ice-making, the refrigeration COP of R717 was the highest at 7.75 and the ice-making COP of R410A was the highest at 2.34 when applying deep water discharge water of 11℃. The results were compared with the basic cycle of 11℃ and 30℃ heat sink, and the annual electricity cost was estimated.

Key Words : Seawater Air Conditioning, Refrigeration, Ice Making, Equatorial, OTEC Discharge

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

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

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

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

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

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

1. 서 론

적도지역 도서국가는 연중 낮 기온 31℃, 습도 60% 등 높은 기온과 습도를 보이고 있으며, 태평양 지역은 전 세계 참치 어획량의 68%를 차지하여 일본, 중국, 한국, 대만 등 다양한 국가 원양어선의 주요 어장이자 정작 태평양 도서국가는 높은 전력 비용과 냉장, 냉동, 제빙 등 설비 부족으로 참치의 보관이 어려워 당일 어획량을 당일 소비해야 하는 실정이다.¹⁾

특히 적도지역 도서국가인 키리바시는 국토 대부분이 섬으로 이루어져 육지 영토의 면적은 약 811 km²로 국토 면적으로는 전 세계 186위를 기록하고 있고, 대부분의 토지가 산호모래로 구성되어 있어 농사에 적합한 땅이 아니므로 텃밭의 자급자족을 제외하고 야채의 전량을 수입에 의존한다. 대만 등 다양한 국가에서 자체 식량생산능력 향상을 위한 지원과제를 수행하고 있으나 수확물에 대한 냉장보관 시설이 부족한 실정이다.

이러한 문제해결을 위해 본 논문에서는 적도지역 적용을 위한 냉장, 제빙 사이클을 개발하여 다양한 냉매에 대한 성능을 분석하였다. 특히 냉장과 제빙을 위해 해수온도차발전의 배출수를 열원으로 적용하였다. 적도지역은 연중 30℃의 높은 표층수온과 수심 1,000 m에서 5℃의 심층수를 얻을 수 있어 신재생에너지인 해수온도차발전의 적용이 용이한 지역으로, 본 연구에서는 적도 도서국가에 해수온도차발전 적용을 가정하여 배출수를 이용한 냉장, 제빙에 관한 연구를 수행하였다.

해수의 에너지를 이용한 냉방 방법인 해수냉난방에 대해서는 다양한 국가에서 연구가 진행되었고 이미 상용화된 사례가 다수 있다. 냉장-제빙 시스템은 기본적으로 해수를 열원으로 한 냉방 시스템과 유사하며 해당 연구 사례를 통해 냉장-제빙 방안에 대해 검토하였다.

일본 후쿠오카의 Seaside Momochi 지구는 1993년부터 3,000 RT급 해수히트펌프 3대를 이용하여 냉난방을 수행하였다. 2012, 2013, 2015년 평균적으로 냉열 1.88×10⁵ GJ/year, 온열 3.49×10⁴ GJ/year 부하를 담당하였다.²⁾

국내에서는 선박해양플랜트연구소에서 2011년 60 RT급 탠덤 해수히트펌프를 이용하여 해수에너지연구센터의 연구개발동, 전시홍보관의 냉난방을 담당하였다. Lee 등은 해양심층수를 이용한 직접냉방과 기존 냉방을 비교하였으며, 직접냉방의 경우, 기존 냉방 대비 소요전력을 83.5% 절감할 수 있는 것을 확인하였다.³⁾

Park 등은 빙상경기장에 해수열원을 적용할 경우, 설비 시스템, 해수열원 적용방안을 검토하였으며, 이에 대한 경제성 평가를 수행하였다. 빙상경기장의 특성상 링크와 관람석으로 나뉘어 링크에 적용 가능한 빙면층 냉각 코일, 하부층 코일을 검토하였으며, 경제성 분석 결과, 해수열원 적용 빙상경기장은 4.5년의 회수년도를 가지며 20년간 가동 시 기존 대비 12.6%의 절감율을 나타내었다.⁴⁾

Moon 등은 동일한 취수 시스템으로 해수온도차발전과 해수냉난방을 수행하는 OTEC-HP(Ocean Thermal Energy Conversion - Heat Pump) 시스템을 개발하였으며, 여름철 해수온도차 발전을 통한 전력생산, 심층수 배출수를 이용한 직접냉방, 겨울철 표층수를 이용한 난방 적용성을 검토하였고, 국내 적용을 가정하여 연간 누적발전량 757.7 MWh와 심층수 직접냉방 이용 EHP(Electric Heat Pump) 대비 1.3억 원 에너지 비용 절감, 겨울철 등유보일러 대비 6.8억 원의 비용 절감을 도출하였다.⁵⁾

본 연구에서는 적도지역에 적용하기 위해 인티쿨러를 적용한 냉장-제빙 사이클을 제시하였다. 해당 사이클은 냉장 창고를 가정하여 과채류 보관을 위한 140 kW의 냉장과 70 kW의 제빙 공급을 가정하였으며, 해당 시스템 분석을 통해 해수온도차발전 배출수를 적용한 적도지역의 냉장-제빙 복합사이클 적용성을 검토하고자 하였다.

2. 적도지역 환경 및 조건

해석을 위해 적도부근 태평양도서국가인 키리바시를 적용지로 가정하였다. Fig. 1은 키리바시의 수도섬인 타라와이며, 타라와는 위도 1.5도의 적

도상에 위치한 국가로 열대 해양성 기후에 속하여 연중 계절의 구분이 없다. 연 평균 낮에는 31℃ 밤에는 26℃의 고온 기후를 보이며, 기온과 달리 이슬점은 기온이 떨어져도 천천히 내려가기 때문에 타라와 지역은 일몰 이후 기온이 떨어지더라도 연중 높은 습도로 밤과 낮에 관계없이 후덥지근한 기후를 보인다. 타라와는 태평양 대양의 한 가운데 위치하며, 키리바시의 표층수온은 연중 변화가 있으나 28~29℃로 그 변화가 크지 않다.

2015년 외교부 양자경제외교총괄과의 발표에 따르면, 타라와는 주요 전력 생산수단으로 디젤발전을 이용하고 있으며, 일부 태양광 발전을 사용하고 있다. 키리바시 인구의 64%만이 전력공급을 받고 있으며, 44%는 전력망(Grid), 17%는 태양광, 3%는 도서위원회(Island Council)로부터 전력을 공급받고 있다. 현재 타라와는 5.4 MW 규모의 디젤발전기와 900 kW급 태양광 발전소가 설치되어 있으며 에너지 비용은 0.42~0.73 USD/kWh로 지역과 상황에 따라 변동폭이 크다.

2017년 UNDP에서 발간한 보고서에 따르면, 키리바시 수도섬인 타라와 가구 중 8%가 냉장고를 보유하고 있어 대부분의 인구가 냉장·냉동 시설 설비 사용을 하지 못하는 것으로 나타났으며, 조사된 가구 중 27%의 냉동고에서 도어 씰링(Sealing)

이 불량인 것으로 조사되었다⁶⁾.



Fig. 1 Map of Tarawa, Kiribati

이처럼 키리바시 타라와는 해수온도차발전과 배출수를 이용한 냉장, 제빙을 이용하기 용이한 조건과 수요가 있음에도 불구하고 시설의 공급 부족으로 인해 현지 사용이 제한되고 있는 실정이다.

3. 냉장-제빙 사이클 성능 분석

3.1 해수 냉방·제빙 복합 사이클

Fig. 2는 본 연구에 사용된 해수 냉방-제빙 복합사이클 하나의 사이클로 냉방과 제빙을 동시에 수행할 수 있도록 사이클을 구성하였다.

본 복합 사이클은 해수온도차발전 심층수의 배출수를 응축수로 사용한다. 응축기를 지난 냉매는 두 갈래로 분지되어 일부는 인터쿨러의 팽창밸브로 유입되어 온도와 압력이 떨어져 인터쿨러 열교환기에서 나머지 분지된 냉매와 열교환되며, 인터쿨러 압축기로 유입되어 압축된 뒤 다시 응축기로 유입된다. 인터쿨러 열교환기를 통과한 나머지 냉매는 분배기에서 분배되어 각각 냉장, 제빙을 위해 팽창밸브를 지나 각 열교환기로 유입된다.

냉장용 증발기에서는 냉장창고의 열을 흡수하여 냉장을 수행하며, 냉장창고의 FCU는 5℃의 공기를 흡입하여 0℃로 온도를 낮추어 냉장에 사용한다. 냉장을 수행한 냉매는 냉장 압축기에서 압축된 뒤 응축기로 유입된다.

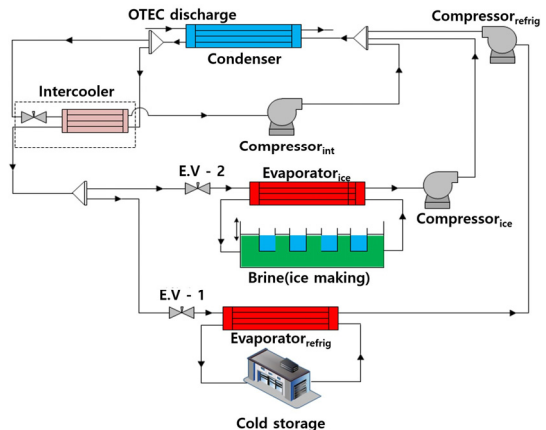


Fig. 2 Schematic of refrigeration-ice making cycle

제빙용 증발기는 제빙에 사용되는 브라인을 냉각 한다. 냉매는 -15℃ 브라인을 -20℃로 냉각한 뒤 제빙 압축기에서 압축되어 응축기로 유입된다.

본 연구의 핵심장치인 인터쿨러는 응축기에서 토출된 냉매의 일부만 사용하여 나머지 냉매를 과냉각 시켜 냉각용량 증가, 동일압축 대비 냉각 효율을 높이는 역할을 한다.

3.2 해수 냉장·제빙 복합 사이클 해석 조건

Table 1에는 냉장, Table 2에는 제빙 사이클 해석조건을 각각 나타내었다. 냉매는 해수온도차발전에 사용되는 R32를 포함한 6종 냉매를 사용하였다. 냉장 사용처에서는 5℃의 공기를 흡입하여 0℃로 냉각한 뒤 방출하며, 이때 증발기에서 냉매 증발온도는 -4℃이다. 제빙의 경우, -15℃로 유입된 브라인을 -20℃로 냉각하는 사이클에 대해 성능분석을 수행하였으며 제빙 증발기에서 증발온도는 -35℃이다. 냉장, 제빙 사이클의 열침으로는 키리바시에 해수온도차발전(OTEC)의 적용을 가정하여 배출수온인 11℃를 적용하였다. 냉장과 제빙 용량은 냉장 40 RT(=140 kW), 제빙은 하루 약 10

ton의 얼음을 생산할 수 있는 20 RT(=70 kW)로 가정하여 시뮬레이션을 수행하였다.

Fig. 3은 냉장-제빙 사이클을 Aspen Hysys로 구현한 모습이며, Fig. 4는 P-h 선도에 각 지점에서의 냉매 상태를 나타내었다.

냉장-제빙 사이클의 성능분석을 위한 계산식은 아래의 식을 사용하였다.

인터쿨러로 유입되는 냉매 유량을 \dot{m}_{int} 라고 했을 때, 인터쿨러 압축기의 일량은 아래와 같다.

$$A_{wc, int} = \dot{m}_{int}(h_{15} - h_{14}) \quad (1)$$

냉장을 위한 냉매 유량이 $\dot{m}_{refrigerant}$ 일 때 냉장 증발열량 및 냉장 압축기의 일량은 아래와 같다.

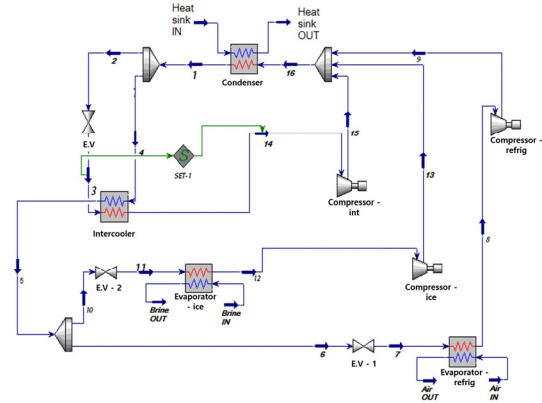


Fig. 3 Cooling-ice making cycle with Intercooler

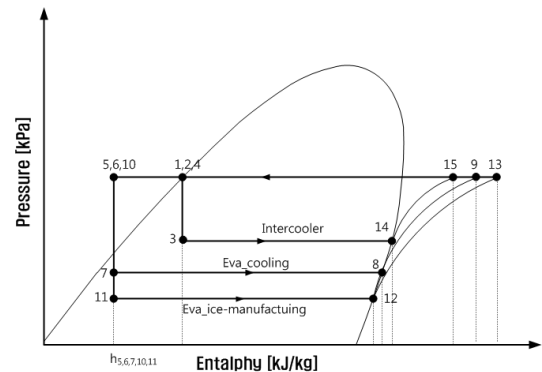


Fig. 4 P-h diagram of refrigeration-ice making cycle

Table 1 Analysis condition of refrigeration cycle

Parameter	Value	Unit
Refrigerant	R32, R134A, R152A, R410A, R600A, R717	
Heat sink temperature	11	℃
Evaporation temperature	-4	℃
By-pass mass flow ratio to intercooler	8	%
Cooling capacity	140	kW

Table 2 Analysis condition of ice making cycle

Parameter	Value	Unit
Refrigerant	R32, R134A, R152A, R410A, R600A, R717	
Heat sink temperature	11	℃
Evaporation temperature	-35	℃
By-pass mass flow ratio to intercooler	8	%
Coling capacity	70	kW

$$Q_{e,refrig} = \dot{m}_{refrig}(h_8 - h_7) \quad (2)$$

$$A_{wc,refrig} = \dot{m}_{refrig}(h_9 - h_8) \quad (3)$$

따라서 냉장성적계수(COPrefrig)는 아래와 같다.

$$\begin{aligned} COP_{refrig} &= \frac{Q_{e,refrig}}{A_{wc,refrig}} \\ &= \frac{\dot{m}_{refrig}(h_8 - h_7)}{\dot{m}_{refrig}(h_9 - h_8)} = \frac{h_8 - h_7}{h_9 - h_8} \end{aligned} \quad (4)$$

제빙을 위한 냉매 유량이 \dot{m}_{ice} 일 때 제빙 열교환기의 증발열량 및 제빙 압축기의 일량은 아래와 같다.

$$Q_{e,ice} = \dot{m}_{ice}(h_{12} - h_{11}) \quad (5)$$

$$A_{wc,ice} = \dot{m}_{ice}(h_{13} - h_{12}) \quad (6)$$

인터쿨러 측 분지 냉매를 위한 압축기 일량은 제빙 사이클의 성적계수 계산 시 함께 산정되며, 따라서 제빙 성적계수는 아래와 같다.

$$\begin{aligned} COP_{ice} &= \frac{Q_{e,ice}}{A_{wc,int} + A_{wc,ice}} \\ &= \frac{\dot{m}_{ice}(h_{12} - h_{11})}{\dot{m}_{int}(h_{15} - h_{14}) + \dot{m}_{ice}(h_{13} - h_{12})} \end{aligned} \quad (7)$$

냉방-제빙 사이클 전체 COPtotal는 각 냉동능력을 나타내는 증발열량의 합을 각 압축기 일량의 합으로 나눈 값이며 아래와 같다.

$$\begin{aligned} COP_{total} &= \frac{Q_{e,refrig} + Q_{e,ice}}{A_{wc,int} + A_{wc,refrig} + A_{wc,ice}} \\ &= \frac{\dot{m}_{refrig}(h_8 - h_7) + \dot{m}_{ice}(h_{12} - h_{11})}{\dot{m}_{int}(h_{15} - h_{14}) + \dot{m}_{refrig}(h_9 - h_8) + \dot{m}_{ice}(h_{13} - h_{12})} \end{aligned} \quad (8)$$

3.3 해수 냉장 · 제빙 복합 사이클 성능 분석

3.2에 제시된 수식을 통해 해수온도차발전 심층수 배출수온 11℃를 열침으로 사용했을 때 냉매에 따른 성능은 Table 3~8과 같다.

140 kW의 동일 냉장을 위해 암모니아가 가장 적은 압축일량인 18.06 kW를 사용하여 7.75로 가장 높은 냉장 COP를 나타내었으며, R600A는 7.07로 가장 낮은 냉장 COP를 나타내었다.

70 kW의 동일 제빙을 위해 R410A가 2.34로 가장 높은 제빙 COP를 나타내었으며, R600A는 2.15로 가장 낮은 COP를 나타내었다.

Table 3 Performance of complex cycle with intercooler (R32)

Parameter	Value	Unit
Refrigerant	R32	-
Heat sink temperature	11	℃
Refrigeration capacity	140	kW
Refrigeration compressor work	19.00	kW
Refrigeration refrigerant mass flow	0.45	kg/s
Refrigeration COP	7.37	-
Ice making capacity	70	kW
Ice making compressor work	28.77	kW
Ice making refrigerant mass flow	0.24	kg/s
COP	2.30	-
Intercooler compressor work	1.71	kW
Total COP	4.25	-

Table 4 Performance of complex cycle with intercooler (R134a)

Parameter	Value	Unit
Refrigerant	R134a	-
Heat sink temperature	11	℃
Refrigeration capacity	140	kW
Refrigeration compressor work	19.12	kW
Refrigeration refrigerant mass flow	0.76	kg/s
Refrigeration COP	7.33	-
Ice making capacity	70	kW
Ice making compressor work	29.57	kW
Ice making refrigerant mass flow	0.43	kg/s
COP	2.29	-
Intercooler compressor work	1.23	kW
Total COP	4.22	-

본 복합사이클은 하나의 사이클로 냉장과 제빙을 동시에 수행하므로 복합 COP를 계산하였으며, R152A가 냉장과 제빙에서 각각 우수한 성능을 나타내며 복합 COP 4.3으로 가장 높은 성능을 나타내었다.

Table 5 Performance of complex cycle with intercooler (R152a)

Parameter	Value	Unit
Refrigerant	R134a	-
Heat sink temperature	11	℃
Refrigeration capacity	140	kW
Refrigeration compressor work	18.3	kW
Refrigeration refrigerant mass flow	0.48	kg/s
Refrigeration COP	7.65	-
Ice making capacity	70	kW
Ice making compressor work	29	kW
Ice making refrigerant mass flow	0.27	kg/s
COP	2.3	-
Intercooler compressor work	1.54	kW
Total COP	4.3	-

Table 6 Performance of complex cycle with intercooler (R410a)

Parameter	Value	Unit
Refrigerant	R410a	-
Heat sink temperature	11	℃
Refrigeration capacity	140	kW
Refrigeration compressor work	19.04	kW
Refrigeration refrigerant mass flow	0.67	kg/s
Refrigeration COP	7.36	-
Ice making capacity	70	kW
Ice making compressor work	29.02	kW
Ice making refrigerant mass flow	0.37	kg/s
COP	2.34	-
Intercooler compressor work	1.05	kW
Total COP	4.28	-

Table 7 Performance of complex cycle with intercooler (R600a)

Parameter	Value	Unit
Refrigerant	R600a	-
Heat sink temperature	11	℃
Refrigeration capacity	140	kW
Refrigeration compressor work	19.82	kW
Refrigeration refrigerant mass flow	0.43	kg/s
Refrigeration COP	7.07	-
Ice making capacity	70	kW
Ice making compressor work	31.14	kW
Ice making refrigerant mass flow	0.25	kg/s
COP	2.15	-
Intercooler compressor work	1.45	kW
Total COP	4.01	-

Table 8 Performance of complex cycle with intercooler (R717)

Parameter	Value	Unit
Refrigerant	R717	-
Heat sink temperature	11	℃
Refrigeration capacity	140	kW
Refrigeration compressor work	18.06	kW
Refrigeration refrigerant mass flow	0.11	kg/s
Refrigeration COP	7.75	-
Ice making capacity	70	kW
Ice making compressor work	29.03	kW
Ice making refrigerant mass flow	0.06	kg/s
COP	2.2	-
Intercooler compressor work	3	kW
Total COP	4.2	-

Fig. 5는 작동유체별 통합 COP, Fig. 6과 7은 각각 냉장과 제빙 COP를 나타내었다.

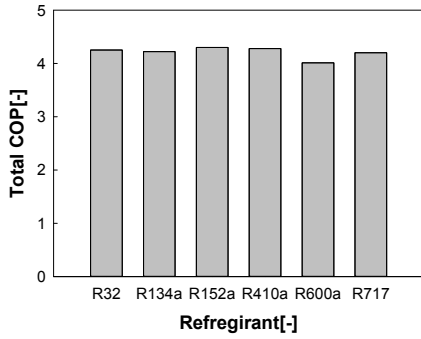


Fig. 5 Total COP by refrigerant

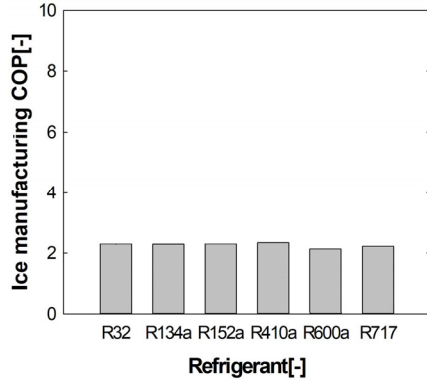


Fig. 7 Ice-making COP

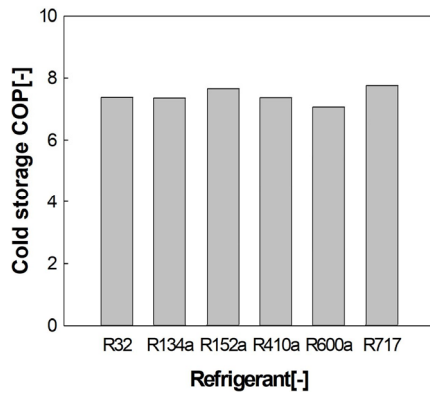


Fig. 6 Refrigeration COP

3.4 기본사이클 대비 성능 비교 및 전력비용 절감 계산

Table 9과 10은 각각 11℃의 해수온도차발전 배출수를 열침으로 적용했을 때 냉장과 제빙 성능을 비교한 표이다. 각 작동유체의 시스템 작동에 필요한 유량, 압축기 일량과 이에 따른 성능계수를 비교하였으며 냉동 부분의 R717을 제외한 나머지 부분에서 기본사이클 대비 성능 향상을 나타내었다. 평균적으로 냉장에서는 기본사이클 대비 9.1%의 성능 향상을 나타내었으며 제빙에서는

Table 9 Performance comparison with basic cycle and complex cycle(Refrigeration)

		R32	R134a	R152a	R410a	R600a	R717
Mass flow rate (kg/s)	Basic cycle	0.49	0.83	0.52	0.73	0.47	0.12
	Complex cycle	0.45	0.76	0.48	0.67	0.43	0.11
Compressor work(kW)	Basic cycle	20.75	21.00	19.97	20.77	21.70	19.72
	Complex cycle	19.00	19.12	18.3	19.04	19.82	18.06
COP(-)	Basic cycle	6.77	6.70	7.01	6.74	6.45	7.13
	Complex cycle	7.37	7.33	7.65	7.36	7.065	7.75
	Improvement(%)	8.86	9.40	9.13	9.20	9.53	8.70

Table 10 Performance comparison with basic cycle and complex cycle (Ice-making)

		R32	R134a	R152a	R410a	R600a	R717
Mass flow rate (kg/s)	Basic cycle	0.28	0.48	0.29	0.40	0.28	0.06
	Complex cycle	0.24	0.43	0.27	0.37	0.25	0.06
Compressor work(kW)	Basic cycle	38.64	32.68	31.88	31.85	34.73	31.62
	Complex cycle	30.48	30.80	30.54	30.07	32.59	32.03
COP(-)	Basic cycle	2.23	2.15	2.20	2.20	2.02	2.22
	Complex cycle	2.30	2.29	2.30	2.34	2.15	2.22
	Improvement(%)	3.14	6.51	4.55	6.36	6.44	0.00

4.5%의 성능 향상을 나타내었다.

아래의 식 (9)와 같이 키리바시 전력 요금을 kWh당 0.7 USD로 가정하고 냉장과 제빙창고를 24시간 가동하였을 때 기본사이클과 인터쿨러 이용 복합사이클의 연간 전력비용을 비교하였다.

$$\begin{aligned} \text{Annual power rate (USD)} & \quad (9) \\ &= \frac{0.7 \text{ USD}}{\text{kWh}} \times \text{Comp. power (kW)} \end{aligned}$$

Fig. 8은 기본사이클과 복합사이클 적용에 따른 연간 냉장, 전력 사용량이다. 식 (9)에 의해 인터쿨러 이용 복합사이클의 연간 냉장 전력 비용은 92,232 USD, 제빙 전력 비용은 153,922 USD로 계산되어 연간 냉장과 제빙을 해 총 246,154 USD가 소요되며, 기본사이클 적용 시 냉장에 100,649 USD, 제빙에 160,675 USD로 총 냉장과 제빙이 261,524 USD가 사용되는 것으로 계산되었다. 인터쿨러 이용 복합사이클 적용 시 연간 15,370 USD의 절감이 가능하며, 공기 또는 표층수를 열침으로 사용하는 사이클과 대비하면 냉장과 제빙 절감 금액은 수 배 이상 차이가 날 것으로 예상된다.

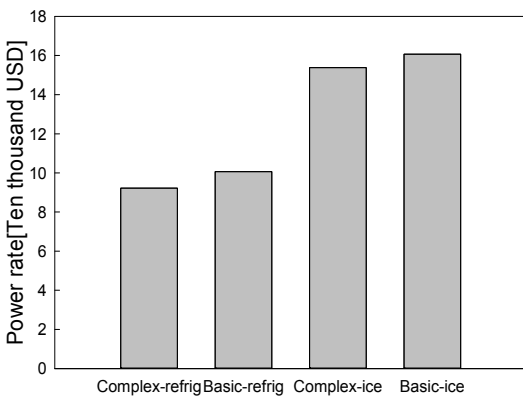


Fig. 8 Comparing power cost

4. 결 론

본 논문에서는 적도지역에 적용을 위한 인터쿨러 이용 냉장-제빙 복합시스템을 개발하여 해수온도차발전의 심층수 배출수를 열침으로 R32를 포

함한 6종 냉매에 대한 성능을 비교하였으며, 각 냉매별 기본사이클과 성능비교 및 연간전력비용을 비교하였다.

해수온도차발전 심층수 배출수인 11℃의 해수를 열침으로 하여 140 kW의 냉장, 70 kW의 제빙을 위한 인터쿨러 적용 복합사이클 적용 시 냉장에서는 R717이 7.75의 가장 높은 COP를 나타내었고, 제빙에서는 R410A가 2.34로 가장 높은 COP를 나타내었다. 냉장과 제빙의 복합 COP는 R152A가 4.3으로 가장 높은 COP를 나타내었다.

인터쿨러 적용 냉장-제빙 복합시스템은 기본 냉장, 제빙 사이클 대비 평균적으로 각각 9.1%, 4.5% 높은 COP를 나타내었으며 복합시스템 이용 시스템은 기본 냉장, 제빙 시스템 대비 연간 15,370 USD의 전력 비용을 절감할 수 있는 것으로 계산되었다.

적도지역에 해수온도차발전을 적용하는 경우, 심층수 배출수를 이용한 냉장-제빙 시스템을 적용하는 것이 경제적으로 유리하며 특히 인터쿨러 적용 냉장-제빙 복합시스템 적용 시 연간 전력비용을 절감할 수 있을 것으로 예상된다.

후 기

본 논문은 선박해양플랜트연구소의 주요사업인 “친환경 신담수-초고도농축 복합공정 개발(3/5)”에 의해 수행되었습니다(PES 5173).

Author contributions

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

References

1. N. Y. Park and Y. S. Kim, 2022, “Strategic Competition Trends and Implications for the Pacific Islands”, Korea Institute for International Economic Policy, 22(7), 1-30.

2. T. Doyama, M. Kondo, H. Imaoka, D. Sumiyoshi, H. Kitayama, J. Lim and Y. Akashi, 2018, “Conduit Pressure Analysis and Renewal Effect of a District Heating and Cooling Plant”, 2019 IOP Conf. Ser.: Ea RTh Environ, 1-7. (DOI:10.1088/1755-1315/238/1/012005)
3. H. S. Lee, D. H. Jung and H. J. Kim, 2012, “An Experimental Study for Performance Characteristics of 60 RT Seawater Air-Conditioning System”, The Korean Society for Marine Environment and Energy, 1670-1675.
4. J. Y. Park, S. Y. Kim, H. S. Lee and H. J. Kim, 2013, “Application and Life Cycle Cost Analysis for Ice-rink using Seawater Heat Source Cooling System”, Journal of the Korean Solar Energy Society, 33(2), 50-55. (<http://dx.doi.org/10.7836/kses.2013.33.2.050>)
5. 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 Power System Engineering, 26(4), 81-88. (DOI:10.9726/kspse.2022.26.4.081)
6. T. L. Jensen, 2017, “Kiribati 2016 Urban Household Electrical Appliances, Lights, and End-use Survey”, UNDP Pacific-Fiji Office, 1-119.