

선박폐열발전의 폐열을 이용한 흡수식냉동시스템의 선박 적용에 관한 연구

송인웅¹ · 송영욱² · 오철[†]

(Received January 5, 2018 ; Revised February 20, 2018 ; Accepted June 20, 2018)

A study on ship application of absorption refrigeration system using exhaust waste heat of ship's ORC power generation system

In-Ung Song¹ · Young-Uk Song² · Cheol Oh[†]

요약: 본 연구는 선박에서 발생하는 폐열을 이용한 ORC발전시스템에 의한 선박 열효율 향상에서 더 나아가 사용된 배기 가스의 폐열을 한 번 더 사용함으로써 선박의 전반적인 에너지 효율을 추가적으로 개선하고, 온실가스 배출을 절감하는데 목적을 두었다. HYSYS 공정 설계 프로그램을 사용하여 암모니아수를 작동유체로 하는 2중 효용 흡수식 냉동 시스템을 설계하고 임의의 적정 온도, 압력, 유량을 입력한 후 시뮬레이션을 시행한 결과 성능계수 0.48, 냉동능력 185.5kW의 결과를 얻었다. 성능계수에 영향을 주는 세 개의 변수를 선정하여 복합적으로 적용하며 시뮬레이션을 한 결과 최적화 조건에서 성능계수는 0.58로 개선되었고 73kW의 냉동능력을 얻을 수 있었다. 시스템을 통해 얻어진 냉동능력을 LPG 운반선의 BOG 재액화 시스템에 활용한 결과 주어진 조건에서 16.5kW의 에너지 절감을 확인할 수 있었다. 절감 효과는 설정 조건에 따른 것으로 실제 선박시스템에 확대 운용할 경우 더 큰 에너지 절감 효과를 기대할 수 있다. ORC 발전과 비교하여 에너지 효율 개선의 규모가 작은 편이지만, 선박 에너지 효율 개선과 온실가스 감축을 위한 하나의 방법이 될 것으로 기대한다.

주제어: 선박 폐열, 선박 적용, 에너지 절감, 온실가스 감축, 흡수식 냉동시스템

Abstract: In this study, to improve the efficiency after the organic Rankine cycle (ORC) power generation system using exhaust gas waste heat., the Aspen HYSYS process design program was used to design a dual-effect absorption refrigeration system using ammonia-water as working fluid. Simulation results were obtained by inputting arbitrary temperature, pressure, and flow rate, and the result was 0.48 for coefficient of performance (COP) and 185.5 kW for the cooling capacity. Three variables influencing grading factors were selected and applied in combination. Because of the simulation, the COP was improved to 0.58, and a refrigeration capacity of 73 kW was obtained under the optimized condition. As a result of using the refrigeration capacity obtained through the system for the boil-off gas reliquefaction system of the liquid petroleum gas carrier, an energy saving of 16.5 kW was confirmed under given conditions. The reduction effect depends on the setting conditions. If the system is expanded and operated, a larger energy-saving effect can be expected. Although the energy efficiency improvement is smaller than that for ORC power generation, it is expected to be a way to improve ship energy efficiency and greenhouse gas reduction.

Keywords: Absorption refrigeration system, Energy saving, Reduction of GHG, Ship application, waste heat

1. 서론

세계 곳곳에서 다양한 형태의 이상기후가 나타나고 있으며 그로 인해 많은 인명 피해와 경제적 손실이 발생하고 있다. 이러한 이상기후의 주된 원인으로는 지구 온난화가 지목되고 있는데 기후변화에 관한 정부 간 협의체(IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change)의 제5차 평가 종합보고서에서 온실가스 농도와 기타 인위적 강제력의 증가는 '51년부터 '10년에 걸쳐 진행된 지구 전체 표면의 온도

상승과 관계가 있을 가능성이 크다고 보았다. 지구온난화와 온실가스에 대한 경각심이 커지면서 온실가스감축을 위한 국제사회의 노력이 이루어지기 시작했다. 해운분야의 온실가스 감축을 위한 국제적인 노력과 제도마련은 국제해사기구(IMO) 산하 위원회인 해양환경보호위원회(MEPC)를 중심으로 이루어지고 있다. '11년 7월에 있었던 62차 해양환경보호위원회의 결과 해양오염방지협약(MARPOL) 부속서 VI의 개정을 통하여 온실가스 규제와 관련된 선박 에너

[†] Corresponding Author (ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2188-7291>): Division of Marine Engineering, Korea Maritime and Ocean University, 727, Taejong-ro, Yeongdo-gu, Busan 49112, Korea, E-mail: ohcheol@kmou.ac.kr, Tel: 051-410-4268

1 Division of Education, Busna National Maritime High School, Inung Song, E-mail: siu0224@naver.com, Tel: 051-410-2110

2 Division of Technical Sales, Pentatech Co.,Ltd., Younguk Song, E-mail: benedictsong72@gmail.com, Tel: 051-403-1245

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

지효율규정이 신설되었다. ‘15년 12월, 파리에서 개최된 당사국총회(COP 21)결과 ‘20년 이후 전 지구적인 온실가스 감축을 위한 신 기후체제가 출범하였다.[1]-[5]

선박의 온실가스 배출을 감축하기 위한 방법으로 선체 저항 개선, 추진효율 개선, 터보차저 컷 오프 시스템 등의 다양한 친환경 기술이 존재한다. 폐열회수시스템(WHRS)은 선박의 폐열을 활용한 효율 개선 시스템으로 다른 기술에 비해 높은 수준의 효율 개선을 보여준다. 「선박폐열 및 해수온도차를 이용한 ORC 발전시스템에 의한 선박 열효율 향상에 관한 연구」를 통하여 배기가스와 냉각수 폐열을 이용한 ORC 발전시스템은 각각 1,900kW급, 650kW급의 발전 출력을 얻을 수 있었다. 이러한 결과는 종합적으로 연료 소모량의 감소와 온실가스 배출의 절감으로 이어진다.[6]-[10]

본 연구는 선박에서 ORC 발전 시스템을 구동하는데 사용하고 배출된 배기가스의 폐열을 한 번 더 활용하여 선박의 효율 증대와 온실가스 절감 효과를 한 층 더 높일 수 있는 방안으로, 선박에서의 공기조화 및 냉동 시스템을 흡수식으로 운용하여 배기가스의 폐열을 한 번 더 활용하여 선박에서의 에너지효율을 극대화하기 위한 연구를 진행하였다.

2. 흡수식 냉동시스템 설계

2.1 시스템 설계

흡수식 냉동 시스템의 설계를 위하여 HYSYS프로그램을 활용하여 암모니아수를 작동유체로 사용하는 2중 효율 흡수식 냉동시스템을 Figure 1과 같이 구성하였다. 시뮬레이션 프로그램은 「선박폐열 및 해수온도차를 이용한 ORC 발전시스템에 의한 선박 열효율 향상에 관한 연구」에서 신뢰성을 이미 확인하였다. 시스템의 주요 구성요소는 발생기, 응축기, 증발기 및 흡수기이며, 발생기는 냉동 시스템의 효율 개선을 고려하여 1단과 2단으로 구성하였다. 배기가스는 1단에만 공급하도록 설계하였다. 그 밖에도 냉매이송펌프, 팽창밸브, 분리장치, 정류장치, 유량제어장치, 혼합장치와 같은 기타 장치로 시스템이 구성되어 있다. 시스템의 각 구성요소는 스트림을 통해 연결되고 두 개의 숫자로 조합된다. 스트림의 앞 번호는 1, 2, 3으로 구성되고, 각각 39.1%의 암모니아수용액, 99.7%의 암모니아용액, 암모니아수희용액의 흐름에 해당한다. 설계된 시스템에서 작동유체인 암모니아수용액은 펌프 측으로 공급된 후 발생기, 응축기, 증발기, 흡수기를 거치며 다시 펌프로 공급된다. 배기가스는 열원으로 발생기 1단에 공급되어 시스템에 에너지를 공급하고 배출된다. 응축기와 흡수기는 해수로 냉각하였다. 각 유체의 온도, 압력, 유량을 Table 1과 같이 설정하여 시뮬레이션을 진행하였다.

한편, 유동이 큰 선박에 설치되는 흡수식 냉동 시스템은 증발기와 흡수기의 섬프 커버(Sump Cover)를 설치하는 것으로 가정하였다. 이 경우 증발기와 흡수기의 유체가 유동에 의해 상호 넘치거나 침입하는 것을 방지할 수 있게 된다.[11]

Table 1: Temperature, pressure, and flow rate of fluid

Division	Temp. [°C]	Press. [kPa]	Flow rate [kg/h]
NH ₃ /H ₂ O	40	370	5,000
Exhaust gas	150	120	500,000
Sea water	20	300	20,000

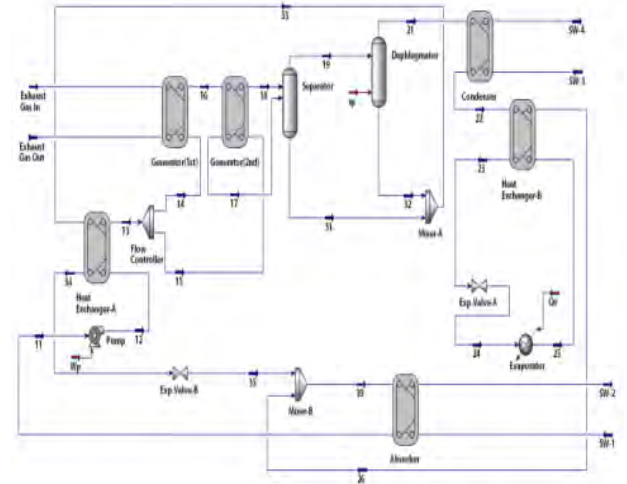


Figure 1: Double-effect absorption refrigeration system(NH₃/H₂O)

2.2 시스템 해석 및 성능

시스템 상의 출입 열량은 열 유량의 차이를 통해서 구할 수 있다. 각각의 열 유량 값은 각각의 엔탈피와 질량유량의 곱에 의해 계산된다.

$$Q = \Delta \text{HeatFlow} \quad (1)$$

$$\text{HeatFlow} = i \cdot \text{MassFlow} \quad (2)$$

상기의 식을 이용하여 펌프의 소요동력, 발생기에서의 공급열량, 응축기에서의 방출열량, 증발기에서의 흡수열량 및 흡수기에서의 방출열량을 계산하면 다음과 같다.

(1) 펌프의 소요동력

$$\begin{aligned} W_p &= HF_{\text{pumpoutlet}(NH_3/H_2O)} - HF_{\text{pumpinlet}(NH_3/H_2O)} \\ &= 10,241.25\text{kJ/h} \end{aligned} \quad (3)$$

(2) 발생기에서의 공급열량

$$Q_g = HF_{\text{exh.gas inlet}} - HF_{\text{exh.gas outlet}} = 1,381,317.8\text{kJ/h} \quad (4)$$

(3) 응축기에서의 방출열량

$$Q_c = HF_{\text{sw outlet}} - HF_{\text{sw inlet}} = 692,103.8\text{kJ/h} \quad (5)$$

(4) 증발기에서의 흡수열량

$$Q_e = HF_{NH_3 \text{ outlet}} - HF_{NH_3 \text{ inlet}} = 667,715.6\text{kJ/h} \quad (6)$$

(5) 흡수기에서의 방출열량

$$Q_a = HF_{swoutlet} - HF_{swinlet} = 984,524.1\text{kJ/h} \quad (7)$$

상기의 계산 결과를 이용하여 설계한 시스템의 냉동능력과 성능계수를 구하면 다음과 같다.

(6) 냉동능력 : $Q_c = 667,715.6\text{kJ/h} = 185.5\text{kW}$ (8)

(7) 성능계수 : $COP_{ref} = \frac{Q_c}{Q_g + W_p} = 0.4798$ (9)

한편, 시스템의 분리 장치와 정류 장치를 지나며 99.7%의 암모니아(NH_3) 가스가 생산되는데 이 과정에서 응축이 이루어지고 382,647kJ/h의 열량이 방출된다. 이것을 통해 시스템의 각 부에서 출입하는 열량이 평형을 이루고 있음을 알 수 있다.

3. 흡수식 냉동시스템의 최적화

앞서 암모니아수를 작동유체로 사용하는 2중 효용 흡수식 냉동 시스템을 설계하고 임의의 적정 온도, 압력 및 유량을 이용하여 시뮬레이션을 시행한 결과 성능계수 0.48, 냉동능력 185.5kW의 결과를 얻었다. 그러나 이러한 결과는 임의의 설정에 대한 것으로 시스템의 최적화를 통해 성능계수를 개선할 필요가 있다. 성능계수를 개선하기 위해 발생기에 공급되는 배기가스 온도, 발생기에 공급되는 작동유체의 유량 및 응축기로 공급되는 냉각해수온도를 변수로 선정하여 각각의 변수가 성능계수에 미치는 영향을 확인하였다. 이러한 변수를 복합적으로 적용하여 가장 우수한 성능계수가 산출되는 최적화 구간을 도출하였으며, 그 결과를 최적화된 시스템의 용량을 설계하였다.

3.1 발생기에 공급되는 배기가스 온도의 영향

기준에 설계한 시스템에서는 발생기 1단에서 공급되는 배기가스의 온도 150°C로 설정하여 시뮬레이션을 진행하였다. Figure 2는 앞에서 기술한 시스템과 동일한 조건하에서 발생기에 공급되는 유량을 일정하게 하였을 때 배기가스의 온도가 성능계수에 미치는 영향을 나타낸다. 배기가스 공급온도는 130°C, 140°C, 150°C, 160°C, 170°C로 변화시켰으며, 배기가스의 온도가 낮을수록 성능계수가 증가함을 알 수 있다. 이는 발생기에 공급되는 열량이 증가하는 것이기 때문에 상대적으로 성능계수는 감소하는 것이고, 공급되는 배기가스의 온도가 130°C일 때, 설계된 냉동 시스템은 128kW의 냉동능력을 갖으며 성능계수가 0.54로 가장 우수한 것으로 확인되었다.

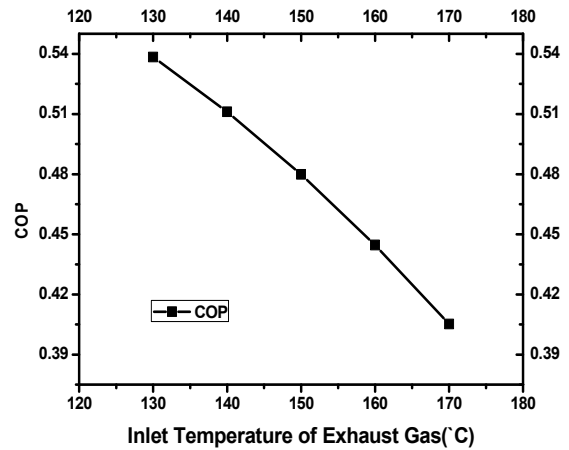


Figure 2: Relation of COP with exhaust gas temperature

3.2 발생기에 공급되는 작동유체의 유량에 따른 영향

기준에 설계한 시스템에서는 발생기 1단과 2단으로 공급되는 암모니아수용액의 유량을 2,500kg/h로 동일하게 설정하여 시뮬레이션을 진행하였다. Figure 3은 발생기 1단에 공급되는 암모니아수용액의 유량이 성능계수에 미치는 영향을 나타내며, 유량은 각각 1,000kg/h, 2,000kg/h, 3,000kg/h, 4,000kg/h로 변화시켜 시뮬레이션을 수행하였다.

발생기에 공급되는 암모니아수의 유량이 증가함에 따라 성능계수는 급격히 감소함을 알 수 있다. 이는 발생기에 공급되는 유량이 증가할수록 발생기의 공급열량이 증가하게 되어 성능계수는 작아진다. 그 결과 발생기 1단에 공급되는 유량이 1,000kg/h일 때, 설계된 냉동시스템은 116kW의 냉동능력을 갖으며 성능계수가 0.54로 가장 우수함을 알 수 있다.

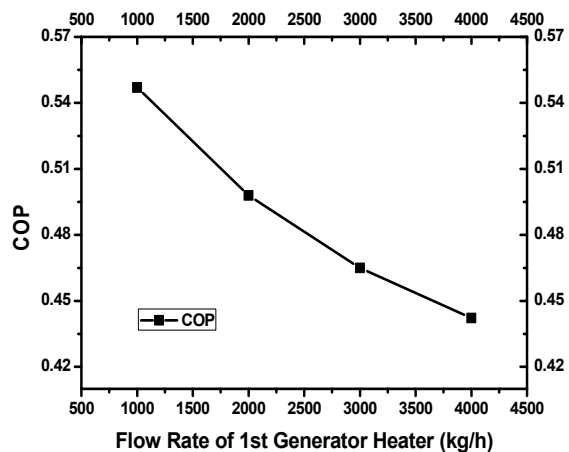


Figure 3: Relation of COP with flow rate of 1st Gen. HTR

3.3 응축기로 공급되는 냉각해수온도의 영향

Figure 4는 응축기에 유입된 냉매를 냉각시키는 냉각해수 온도의 변화가 성능계수에 미치는 영향을 나타낸다. 냉각해수 공급 온도는 각각 10℃, 20℃, 30℃로 변화시켰다. 응축기에 공급되는 해수온도가 낮을수록 성능계수가 크게 증가함을 알 수 있다. 이는 냉각해수온도가 낮을수록 냉매의 과냉각도가 커져 냉동효과가 증가하기 때문이다. 성능계수는 냉각해수온도가 10℃일 때 설계된 냉동시스템의 냉동능력은 188.8kW이며, 성능계수가 0.49로 가장 우수함을 알 수 있다.

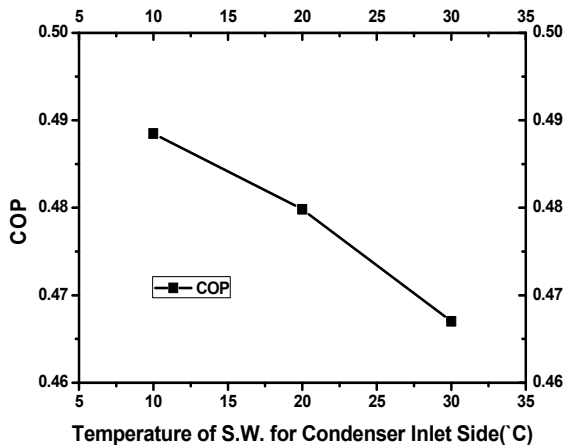


Figure 4: Relation of COP with S. W temperature

3.4 최적화를 위한 시뮬레이션

전술에서 발생기에 공급되는 배기가스 온도, 발생기에 공급되는 암모니아수의 유량 및 응축기에 공급되는 냉각해수의 온도가 성능계수에 미치는 영향에 대하여 평가를 수행하였다. 최적화를 위하여 세 개의 매개변수를 복합적으로 적용하여 가장 우수한 성능계수가 나오는 최적화 조건을 구하였다. 매개변수를 복합적으로 적용하여 60개의 설정 조건을 형성한 후 시뮬레이션을 통하여 설정 조건에 따른 발생기의 공급 열량, 증발기의 흡수 열량 및 펌프의 소요 동력을 산출하여 최적화시스템의 냉동능력과 성능계수를 산출하였다.

Figure 5 ~ Figure 7은 발생기에 공급되는 배기가스온도와 발생기 1단에 공급되는 암모니아수용액의 질량유량이 성능계수에 미치는 영향을 응축기에 공급되는 냉각해수온도를 변화시켰을 때의 결과를 각각 나타낸다. 전반적으로 발생기에 공급되는 배기가스온도가 낮을수록, 질량유량이 적을수록 발생기의 공급 열량이 감소하였지만 증발기의 흡수열량이 더 적은 비율로 감소함에 따라 성능계수는 증가하는 결과를 얻게 되었다.

Figure 5 ~ Figure 7을 종합적으로 판단하였을 때 발생기에 공급되는 배기가스온도 130℃, 발생기 1단으로의 공급 유량 1,000kg/h, 응축기에 공급되는 냉각해수온도 10℃인 조건에서 성능계수가 가장 우수함을 알 수 있다.

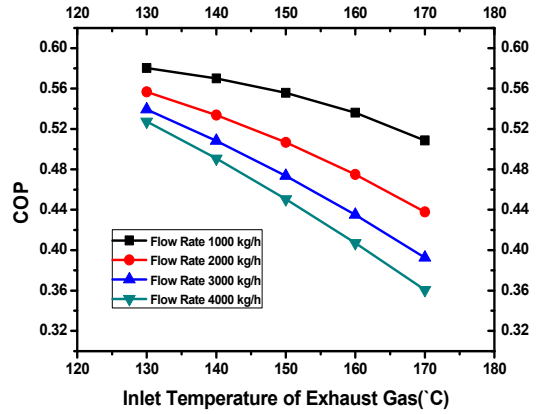


Figure 5: Relation of COP with exhaust gas temp and flow rate (at S.W temperature 10°C)

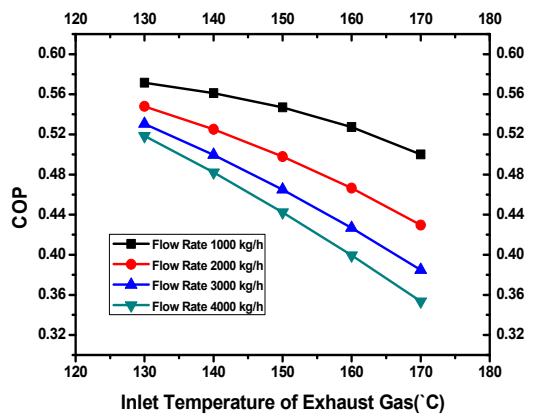


Figure 6: Relation of COP with exhaust gas temp and flow rate (at S.W temperature 20°C)

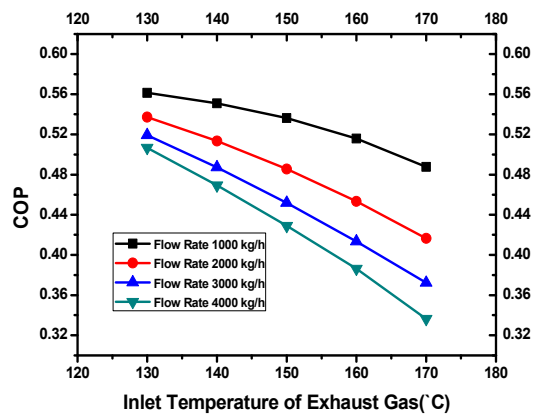


Figure 7: Relation of COP with exhaust gas temp and flow rate (at S.W temperature 30°C)

3.5 최적화된 시스템의 용량 확대

시스템의 최적화 과정을 통하여 최적화 조건에서 성능계수가 0.58까지 개선되는 것을 확인하였으나, 최적화 과정을 거치며 시스템의 냉동능력은 73kW로 감소하였다. 냉동능력의 향상을 위해 작동유체인 암모니아수용액의 총 유량을 기존의 5,000kg/h에서 10,000kg/h까지 증가시킨 후 시뮬레

이션을 수행하였다. 최적화된 시스템과 동일한 조건이 되도록 발생기 1단 측에 2,000kg/h의 암모니아수용액을 공급하고 배기가스의 공급온도는 130℃ 및 냉각해수온도 10℃로 유지하였다. 시뮬레이션 결과, 성능계수는 0.58로 거의 동일하게 유지됐고, 냉동능력은 123.9kW로 증가하였다. Figure 8과 Figure 9는 확대 적용 전후의 성능계수와 냉동능력의 변화를 나타낸다.

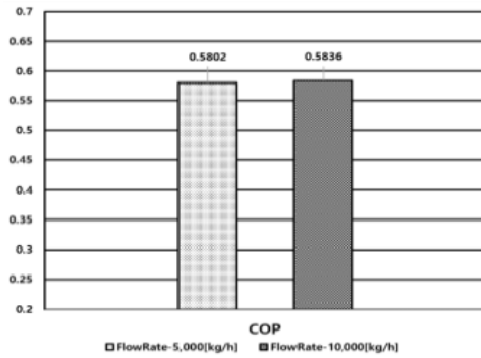


Figure 8: Comparison of COP

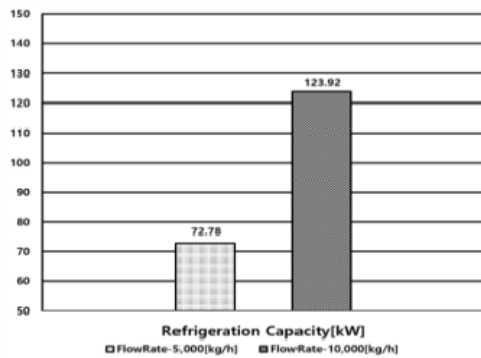


Figure 9: Comparison of refrigeration capacity

4. 배기가스 폐열을 이용한 흡수식 냉동시스템의 선박 적용

4.1 LPG 운반선의 BOG 재액화시스템에 적용

LPG 운반선의 경우 운반 과정에서 화물 탱크로부터 BOG가 발생하기 때문에 재액화시스템을 설치하여 BOG를 재액화한다. 대부분의 재액화시스템에서 BOG를 다시 액체 상태로 만들기 위한 냉각제로 해수가 사용된다. 해수의 온도는 보통 20~30℃ 내외로 BOG보다 온도가 높기 때문에 BOG를 가압한 후 열 교환이 이루어지도록 하고 있다. 이렇게 BOG를 가압하기 위해서 압축기를 사용하는데 이때 전기 에너지를 소모하게 된다. 앞에서 설계한 흡수식 냉동시스템은 증발기에 공급되는 암모니아의 온도가 -3.5℃ 가량으로 이를 활용하여 BOG를 냉각한다면 압축기를 이용해서 더 낮은 압력으로 BOG를 가압해도 되기 때문에 전기 에너지를 절약할 수 있을 것으로 기대하였다.

선박에서 사용되고 있는 실제 재액화시스템은 더 많은 구성 요소를 갖추고 있으나 압축기의 소요 동력만을 비교

하였으며, 그 시스템을 Figure 10과 Figure 11에 나타내었다. 그림에서 화물 탱크로부터 발생한 BOG는 압축기를 통해 가압된 후 열교환기에 보내져 냉각과정을 거치며 액화된다. 각 유체의 온도, 압력, 유량을 Table 2와 같이 설정하여 시뮬레이션을 진행하였다.

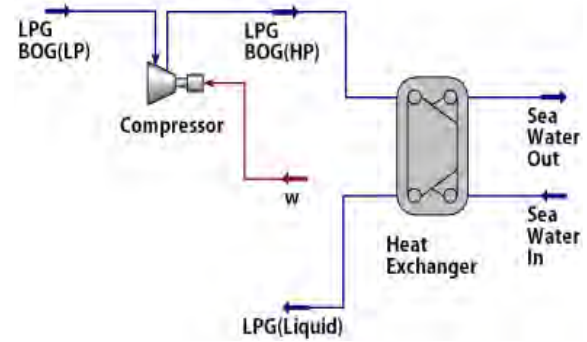


Figure 10: Re-liquefaction system with sea water

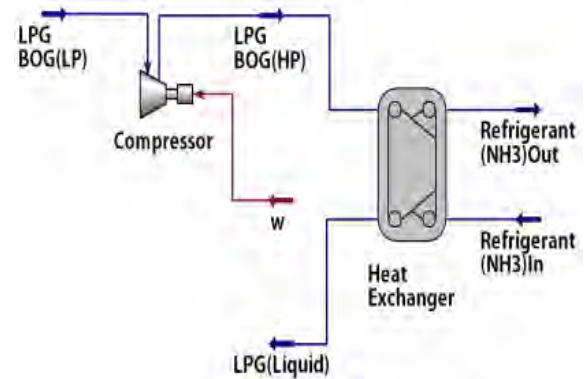


Figure 11: Re-liquefaction system with refrigerant (NH₃)

Table 2: Temperature, pressure, and flow rate of fluid

Division	Temp. [°C]	Press. [kPa]	Flow rate [m ³ /day]/[kg/h]
BOG (Butane, 100%)	4.18	120	100[m ³ /day]
Sea water	10	300	20,000[kg/h]
NH ₃	-3.5	370	1414[kg/h]

4.2 시뮬레이션을 통한 전력 소비량 비교

해수를 사용하여 냉각하는 경우, LPG의 BOG가 열교환기를 거쳐 액화되기 위해서는 최소 322kPa까지 가압을 해야 하며 이 과정에서 압축일로 34.6kW의 전력이 소요된다. 암모니아를 사용하여 냉각하는 경우에는 LPG의 BOG가 열교환기를 거쳐 액화되기 위해서는 최소 202kPa까지 가압을 해야 하며 이 과정에서 압축일로 18.1kW의 전력이 소요된다.

시뮬레이션을 통해 해수를 사용하여 냉각할 때보다 암모니아 냉매를 사용하여 냉각하면 압축기의 압축 압력이 낮아지고 그에 따라 압축기의 소요 동력이 감소하는 것을 알 수 있다. 결과적으로 주어진 설정 조건에서 16.5kW에 해당하는 에너지가 절감됨을 알 수 있으며, 액화에 소요되는 압축기

소요 동력을 기준으로 약 47.7%의 효율을 개선할 수 있었다. Figure 12와 Figure 13은 상기 설명한 결과를 각각 나타낸다.

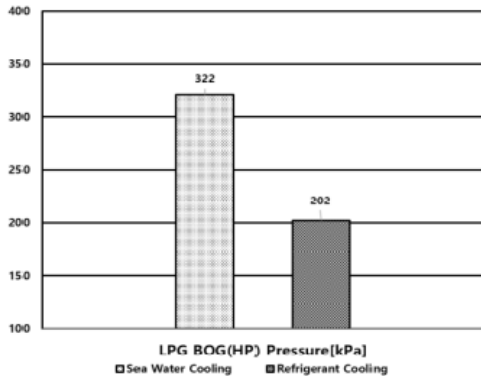


Figure 12: Comparison of BOG pressure

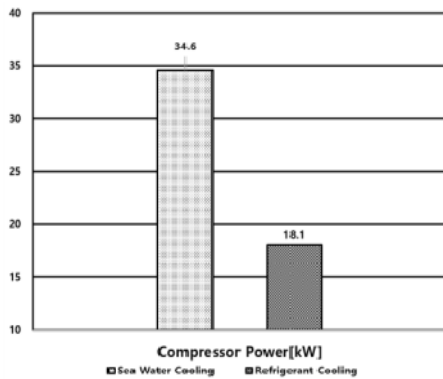


Figure 13: Comparison of compressor power

5. 결 론

본 연구에서는 선박의 에너지효율 개선을 통해 온실가스 배출을 절감하기 위한 방안으로 선박에서 발생하는 배기가스의 폐열을 폐열발전에서 사용 후 버려지는 2차 폐열을 활용한 흡수식 냉동 시스템 설계와 더불어 최적화 및 선박에 적용하기 위한 연구를 시뮬레이션을 통하여 수행하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

- (1) HYSYS 프로그램을 사용하여 암모니아수용액을 작동유체로 사용하는 2중 효율 흡수식 냉동 시스템을 설계하였으며, 시뮬레이션을 통하여 시스템의 성능계수와 냉동능력을 산출하였다. 임의의 적정 온도, 압력, 유량을 입력하여 시뮬레이션을 시행한 결과 성능계수 0.48, 냉동능력 185.5kW의 값을 얻을 수 있었다.
- (2) 냉동 시스템의 최적화를 위하여 발생기에 공급되는 배기가스의 온도, 발생기에 공급되는 작동유체의 유량, 응축기로 공급되는 해수의 온도를 매개변수로 선정하고 매개변수에 변화를 주어 시뮬레이션을 실시하였다. 시뮬레이션을 통하여 각각의 매개변수가 성능계수에 영향을 미치는 것을 확인하였고 이를 복합 적용하며 최적

화 조건을 구하였다. 발생기에 공급되는 배기가스온도 130℃, 발생기 1단으로 공급되는 유량 1,000kg/h, 응축기에 공급되는 냉각해수온도가 10℃일 때 성능계수가 0.58로 가장 우수했으며 73kW의 냉동 능력을 얻을 수 있었다. 이는 ORC 발전시스템에서 버려지는 폐열을 이용한 것으로 ORC 발전시스템에서 생산되는 발전 출력의 약 3.8%에 해당하는 에너지를 추가로 절감할 수 있음을 알 수 있다.

- (3) 시뮬레이션을 통해 LPG 운반선의 BOG 재액화시스템을 구성하여 냉각과정에서 냉동부하를 활용한 결과, 동일하게 주어진 BOG 발생 조건에서 기존의 해수 냉각 방식과 비교하여 16.5kW에 해당하는 에너지가 절감됨을 알 수 있으며, 액화에 소요되는 압축기 소요 동력을 기준으로 약 47.7%의 효율을 개선할 수 있었다.

References

- [1] Climate Change 2014, Korea Meteorological Administration, 2015 (in Korean).
- [2] R. K. Pachauri and L. A Meyer, Climate Change 2014 : Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC, Geneva, Switzerland, p. 151, 2014.
- [3] Y. C. Lee and H. W. Doo, "A study on the IMO regulations regarding GHG emission from ships and its implementation," Journal of Navigation and Port Research, vol. 35, no. 5 pp. 371-3800, 2011 (in Korean).
- [4] J. M. Lee, Advent of Post-2020 and The desirable response of Korea, Climate Change and Green Growth, vol. 9, 2015 (in Korean).
- [5] H. S. Park and Y. H. Min, A Study on the international regulatory regime in terms of Market-Based Measures to reduce GHGs emission from Ships, Maritime Law Review, vol. 24, 2012 (in Korean).
- [6] G. Y. Park and K. H. Cho, "A study on the change of EEOI before and after modifying bulbous at the large container ship adopting low speed operation," Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 41, no. 1 pp. 15-20, 2017 (in Korean).
- [7] H. S. Park et al., A Study on the Policy for Enlargement Application of Eco-friendly Technology for Korean Ships, Korea Maritime Institute, 2016 (in Korean).
- [8] Turbocharger Cut-off System Benefits Engine Performance, MAN Diesel, 2009.
- [9] B. W. Jung, Waste Heat Recovery System,

Technical/Engineering Review, Korean Register, vol. 1, 2013 (in Korean).

- [10] Y. U. Song, A Study on the Ship's Thermal Efficiency Improvement by the ORC Power Generation System by Temperature Difference between Exhaust Heat and Sea Water, Ph.D. Dissertation, Korea Maritime and Ocean University, Korea, 2013 (in Korean).
- [11] J. S. Ryu, I. S. Hwang, K. I. Park, K. J. Kim, E. K. Kim, J. C. Seo, and H. Jang, "WO2014027795 A1 / ABSORPTION-TYPE REFRIGERATOR," Patent Technology, 1013922120000, April 29, 2014.