

IoT 기술이 접목된 폐열 리사이클 발전용 선박 열교환기의 성능실험

장성철^{1*}, 권민수²

¹한국폴리텍7대학 부산캠퍼스 기계시스템과 교수, ²한국폴리텍3대학 원주캠퍼스 의료공학과 교수

Waste Heat Recycling Power Generation with IoT Technology Performance Test of Marine Heat Exchangers

Sung-Cheol Jang^{1*}, Min-Soo Kwon²

¹Professor, Division of Machine System, Korea Polytechnics

²Professor, Division of Medical Engineering, Korea Polytechnics

요약 기존의 선박용 열교환기는 선박 엔진 연료의 유동경로가 단조롭기 때문에 가열 매체의 열교환 튜브와의 접촉시간이 매우 짧아 가열 효율이 낮은 구조이다. 관형으로 제작되어 있기 때문에 가열 효율과 무관하게 부피가 매우 크게 제작되므로 가열장치의 설치공간을 확보해야 하는 것은 물론 이를 설치하거나 탈거할 때도 어려움이 있다. 본 연구에서 개발하고자 하는 선박용 판형 열교환기는 선박연료를 직접 가열하기 때문에, 과도한 온도상승을 막기 위해 전기 히터블록의 온도 감지 센서를 구성하였다. 감지된 온도가 설정온도 값보다 높을 경우 히터블록으로의 인가 전원을 차단할 수 있는 전원 차단 시스템을 구성하였다. 더불어 판형 열교환기의 가열기를 통해 시간당 10ton의 선박 엔진 연료를 가열할 수 있고, 최대온도를 150°C까지 설정할 수 있도록 하여, 부하변동에 따른 안정성(ORC)이 목표이다. 본 연구에서는 선박용 열교환기에 대한 유동해석에 의한 설계와 제작을 수행하여, 용량, 온도, 압력 등에 대한 성능실험을 수행하였고, 실시간 정보를 제어 패널 및 스마트 폰과 연계되는 IoT기술을 접목하였다.

주제어 : 선박용 열교환기, 폐열 리사이클, 열교환튜브, 사물인터넷, 판형 열교환기

Abstract Conventional marine heat exchangers have a monotonous flow path of marine engine fuel, so the contact time of the heating medium with the heat exchange tube is very short, resulting in low heating efficiency. Since it is made in a tubular shape, it is made in a very large volume regardless of the heating efficiency, so it is necessary to secure the installation space of the heating device, as well as it is difficult to install or remove it. Since the plate heat exchanger for ships to be developed in this study directly heats the marine fuel, the temperature detection sensor of the electric heater block was configured to prevent excessive temperature rise. If the detected temperature is higher than the set temperature value, a power cut-off system is configured to cut off the authorized power to the heater block. In addition, 10 tons of marine engine fuel can be heated per hour through the heater of the plate heat exchanger, and the maximum temperature can be set to 150°C. In this study, we designed and manufactured a heat exchanger for ships, and conducted basic performance experiments on the performance factors such as capacity, temperature, and pressure, and real-time information

Key Words : Marine Heat Exchanger, Waste Heat Recycling, Heat Exchange Tube, IoT, Plate Heat Exchanger

1. 서론

열교환기는 유체의 냉각 또는 유체의 온도를 높이는 난방의 목적으로 서로 다른 유체의 열을 교환할 수 있도록 사용된다. 기존의 열교환기는 선박 엔진 연료의 유동 경로가 단조롭기 때문에 가열 매체의 열교환 튜브와의 접촉시간이 매우 짧아 가열 효율이 낮은 구조이다. 관형으로 제작되어 있기 때문에 가열 효율과 무관하게 부피가 매우 크게 제작되므로 가열장치의 설치공간을 확보해야 하는 것은 물론 이를 설치하거나 탈거할 때도 어려움이 있다[1-5]. 이로 인해 해외 선진사에서 적용하고 있는 관형 열교환 장치는 내부의 특정 부분이 손상되었을 때 관형 가열기를 모두 분해해야 하고, 열교환 튜브가 손상된 경우에는 열교환 튜브를 모두 분해해야 하므로 유지와 보수에 어려움이 있다[6-13]. 본 연구에서 개발하고자 하는 관형 열교환기는 선박연료를 직접 가열하기 때문에, 과도한 온도상승을 막기 위해 히터블록의 온도 감지 센서를 구성하고, 감지된 온도가 설정온도 값보다 높을 경우 히터블록으로의 인가 전원을 차단할 수 있는 전원 차단 시스템을 구성하였다. 더불어 250kW급 관형 열교환기를 통해 시간당 10ton의 선박 엔진 연료를 가열할 수 있고, 최대온도를 150℃까지 설정할 수 있도록 하여 개발 ORC(유기랭킨사이클)의 안정성에 기인하고자 한다. 또한 IoT 기능을 추가하여 인건비 절감 및 선박의 효율적 운행 성능을 증가하고자 한다.

본 연구에서는 선박용 열교환기에 대한 유동해석에 의한 설계와 제작을 수행하여, 이에 대한 용량, 온도, 압력 등에 대한 성능실험을 수행하였고, 실시간 정보를 제어 패널 및 스마트 폰과 연계되는 IoT기술을 접목하였다.

2. 국내외 관련기술 현황

Fig. 1과 같이 국내의 열교환기 제조업체에서는 종래의 시스템의 효율을 향상시키는 기술 개발에 집중하고 있으나, 선박 연료용 열교환기는 그 크기가 크고 소형화/고효율화에 대한 난이도가 높아 아직까지 기술개발을 시도하는 기업은 많지 않은 실정이다.

Fig. 2와 같이 국외의 경우, 스웨덴의 Alfa-Laval 및 프랑스의 GEA-BTT 등에서 둥근 관형의 벙커 C유 열교환기를 생산하고 있다. 그러나 부피가 클 뿐만 아니라 크기 대비 효율이 떨어지므로 소형, 경량화를 통한 고효율 정밀제어를 실현하기 위한 장치의 개발 필요성이 제기되



[Fig. 1] Domestic manufacturers

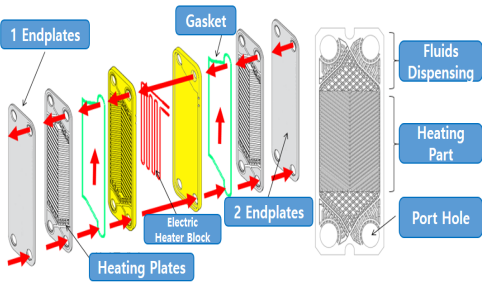


[Fig. 2] Overseas Advanced Company

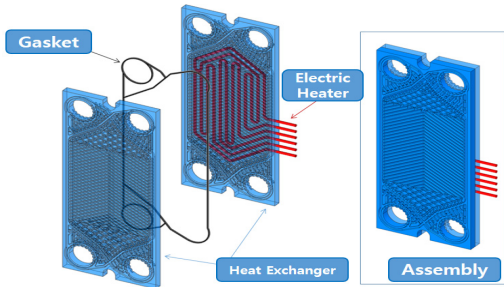
고 있지만 현재까지 상용화하지 못하고 있는 실정이다. 이러한 기존의 열교환 장치는 가열유체에 의해 간접 가열하는 방식이 기 때문에 고온가열이 불가능한 것으로 파악된다. 연소효율을 향상시키기 위해 연료를 고온으로 가열할 필요가 있는 경우라면 기존의 열교환 장치로는 그 활용성이 떨어지며 그 크기가 현저히 증가하여 협소한 선박엔진룸에 설치가 거의 불가능한 상황이다.

3. 설계 및 제작

본 연구에서 개발하고자 하는 열교환기는 Fig. 3과 같이 구성된 고효율 관형 전기히터 장치이다. 이러한 열교환기의 히팅플레이트는 유체가 들어오고, 나가는 포트홀, 유입된 작동유체 오일을 전열부로 고르게 분배시켜주는 유체분배부, 실질적인 열교환이 일어나는 전열부로 나누어진다. 전열부의 면상에 요철부를 형성하여 오일의 유동흐름이 와류를 형성하여 더욱더 효과적으로 가열될 수 있도록 설계되어 있으며, 히팅플레이트에서는 구조적 안정성과 관계되는 부분의 설계와 함께 유체 분배부의 설계가 매우 중요하다. 만일 유체분배에 문제가 있을 시에는 전열부 전체로 유체가 고르게 흐르지 못하고, 일부 구간에서는 작동유체가 흐르지 않는 데드존(dead zone)이 발생하기도 한다. 알루미늄 관형 열교환기의 유류에 대한 흐름 특성뿐만 아니라 열교환 특성을 검토하기 위해 Fig. 4와 같이 1개의 히팅플레이트만을 해석대상으로 선정하여 수치해석에 소요되는 계산 시간을 줄이고자 하였다.



[Fig. 3] Plate Heat Exchanger



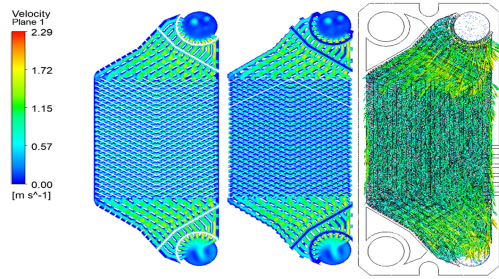
[Fig. 4] Plate heat exchanger schematic

본 연구의 해석대상 모델인 알루미늄 판형 전기히터 열교환기에 대하여 표 1에 나타낸 바와 같이 작동유체 ISO VG 220 오일의 최대와 최소 체적유량 조건과 전기 히터블록의 35kW 소비전력에 대한 전산열유동해석을 수행하였다. 표 1은 판형 전기히터의 2가지 사용조건에 관한 체적유량 값과 소비전력 값을 나타낸 것이다.

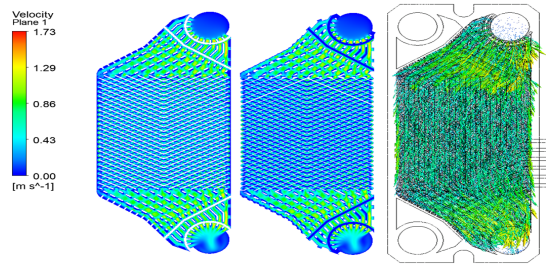
<Table 1> Flow rate and electric power

Conditions	Flow Rate (ISO VG220)	Electric Power
CASE-1	2.0 m ³ /h	35 kW
CASE-2	1.5 m ³ /h	35 kW

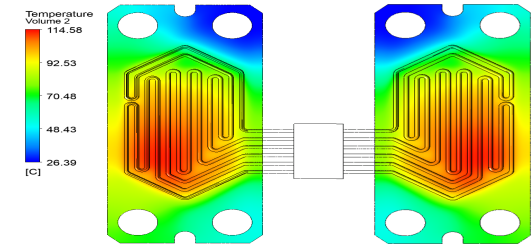
본 연구의 해석대상 모델인 알루미늄 판형 전기히터 열교환기에 대하여 표 1에서와같이 2가지의 경계조건에 대한 속도벡터 분포도를 Fig. 5와 6에 나타내었다. 포트홀을 통해 유입된 작동유체 오일이 히팅플레이트의 유체 분배부를 통해 대각선방향으로 균등하게 분배되어 전열부 내로 유입되고 있는 것을 볼 수 있다. 전열부 영역에서 작동유체 오일이 흐르지 않는 데드존은 존재하지 않는 것을 확인할 수 있다.



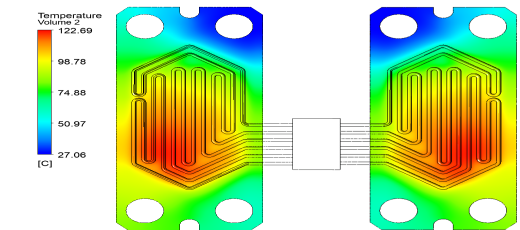
[Fig. 5] Velocity distribution for CASE-1



[Fig. 6] Velocity distribution for CASE-2

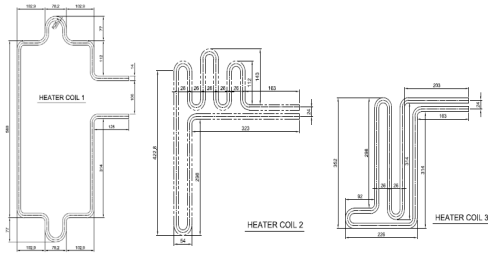


[Fig. 7] Temperature distribution for CASE-1

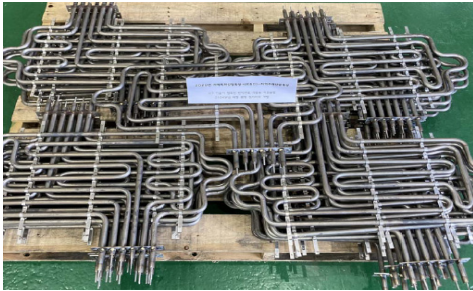


[Fig. 8] Temperature distribution for CASE-2

Fig. 7과 8에 각각의 알루미늄 판형 히팅플레이트의 발열상태도를 나타내었다. 최대 발열온도는 약 115℃와 123℃가 될 것으로 예측되었다. 이러한 결과는 허용 최대온도 값인 160℃ 이하보다 약 37℃ 만큼 여유가 있음을 확인할 수 있다.



[Fig. 9] Heating coil design



[Fig. 10] Internal heating coil fabrication

판형전기히터 블록의 내부 히팅코일의 형상 및 용량을 결정하고, 시제품을 제작하였다. 발열체는 Austenite계 스테인레스 스틸 종류인 ASTM A304의 $\varnothing 14$ Tube이고, 내부 결선에는 Ni-10SQ를 삽입하여 직선과 곡선이 결합된 형상으로 성형하였고, 내부전선은 600V TFR-CV 4C 10SQ를 적용하여 설계하였다. 히터코일은 총 3개의 코일이 한 세트가 되도록 설계하였다. Fig. 9는 히터 설계 도면을 나타낸 것이고, Fig. 10은 히팅코일의 설계 도면에 의해 히팅 코일 시제품을 제작한 사진을 타나낸 것이다.

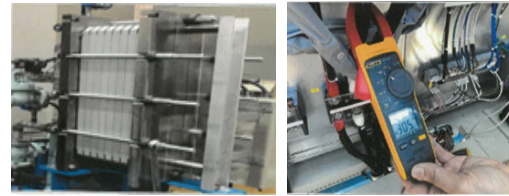
4. 성능 테스트

Fig. 11 (a)는 전기용량시험 결과를 나타낸 것이다. 대형판형전기히터가 가동 되었을 때, 소요되는 전기용량을 확인하였다. 장비를 190시간 이상 가동하였을때 가동 여부를 확인하였고, 성능시험결과 254kW로 측정되어 목표치인 250kW를 달성하였다. Fig. 11 (b)는 가열용량 시험 결과 전기히터로 들어가는 윤활유의 유량을 통해 확인 하였다. 시험전 유량 0.0 m³/hr, 시험종료(150 $^{\circ}$ C) 시 유량 11.38 m³/hr로 측정되어 목표인 10m³/hr이상 달성하였다. Fig. 11 (c)는 최대온도시험 결과 히터를 통해 나오는 윤활유의 온도 측정을 통해 최대온도를 확인 하였다. 시험시작 온도 16.2 $^{\circ}$ C, 시험종료 온도 152.6 $^{\circ}$ C

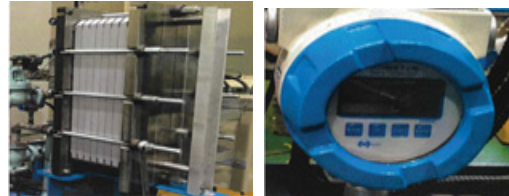
로 측정되어, 목표치인 150 $^{\circ}$ C 이상 달성하였다. Fig. 11 (d)는 최대압력시험 결과 전기히터로 들어가는 윤활유의 압력 측정을 통해 최대압력을 확인하였다. 시험전 압력 0.0 bar, 시험시작 압력 10.38 bar로 측정되어, 목표치인 10bar 이상을 달성하였다.

Fig. 12 (a)는 IoT Test(통신속도)를 위해 휴대폰을 활용한 장비의 원격제어 시 네트워크 속도를 측정하였을 때, 144mbps로 측정되어 목표치인 30mbps 이상을 달성하였다. Fig. 12 (b)는 IoT Test(온도제어)를 위해 휴대폰을 활용한 장비의 원격제어시 온도 및 장비 설정 가능함을 확인하였다. Fig. 12 (c)는 IoT Test(온도센서 내구성)을 위해 전기히터 가동시 카운터 되는 계기판의 시간을 체크하였다. KTR 입회 시험 시작 후, 3개월 동안 연속으로 가동하였으며, 온도센서의 고장 등의 문제는 발생하지 않았다. 전기히터 가동 시간을 확인하였을 때, 2213.9hr로서 목표치인 2,190hr 이상을 달성하였다.

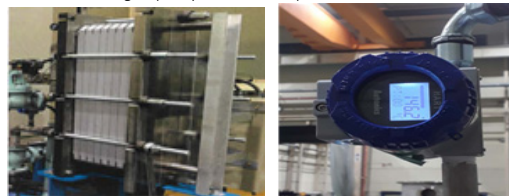
표 2에 성능시험에 대한 결과값을 정리하여 나타내었다.



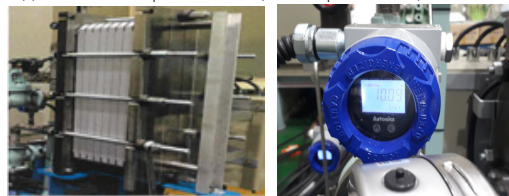
(a) Electric capacitive(254kW performance)-KTR Test



(b) Heating capacity(11.38m³/hr performance)-KTR Test



(c) Maximum temperature of oil(152.6 $^{\circ}$ C performance)-KTR Test



(d) Maximum operating pressure(10bar performance)-KTR Test

[Fig. 11] Performance Testing



(a) IoT Communication Speed(144Mbps performance)-KTR Test



(b) IoT Temperature Control(suitability)-KTR Test



(c) IoT Temperature sensor durability(2,213.9hr performance)-KTR Test

[Fig. 12] IoT performance testing

<Table 2> Test results

Test Items	Unit	Objective	Results	
Electric Capacitive	kW	250	254	
Heating capacity	ton/hr	10	11.38	
Maximum Temperature	℃	150±5	152.6	
Maximum Pressure	bar	10	1.38	
IoT Test	Communication Speed	Mbps	30	144
	Temperature Control	Yes/No	cloud	Yes
	Temperature sensor durability	Hour	2,190hour (6hrX365day)	2213.9

5. 결론

본 연구에서는 선박용 열교환기에 대한 유동해석에 의한 설계와 제작을 수행하여, 이에 대한 용량, 온도, 압력 등에 대한 성능실험을 수행하였고, 실시간 정보를 제어 패널 및 스마트폰과 연계되는 IoT기술을 접목하여 다음과 같은 결론을 내렸다.

전기용량성능시험결과 254kW로 측정되어 목표치인 250kW를 달성하였고, 가열용량시험결과 유량 11.38 m³/hr로 측정되어 10m³/hr 이상 달성하였다.

최대온도시험 결과 히터를 통해 나오는 윤활유의 온도

측정이 시험종료 152.6℃로 측정되어, 목표치인 150℃ 이상 달성하였고, 최대압력시험 결과 10.38 bar로 측정되어, 목표치인 10bar 이상을 달성하였다.

IoT Test(통신속도)를 위해 휴대폰을 활용한 장비의 원격제어시 네트워크 속도를 측정하였을 때, 144Mbps로 측정되어 30Mbps 이상을 달성하였고, IoT Test(온도센서 내구성)을 위해 전기히터 가동시 카운터 되는 계기판의 시간을 체크한 결과 2213.9hr로서 목표치인 2,190hr 이상을 달성하였다.

REFERENCES

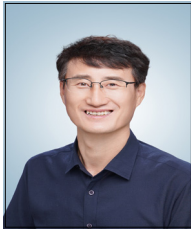
- [1] S. C. Jang, "Basic Study on 250KW-Class IoT Electric Heater for Ship Fuel Heating", KIOTS, Vol. 7. No. 3, pp.63-68, 2021.
- [2] S. C. Jang, "Basic Study on the IoT Micro Boiler", KIOTS, Vol. 8. No. 1, pp.23-29, 2022.
- [3] S. C. Jang, S. M. Han, C. K. Lee, & H. C. Jung, "FSI Analysis of Pneumatic Actuator", KSPSE Spring Conference, pp.81-83, 2016.
- [4] F. Mente and T. Esch, "Elements of Industrial Heat Transfer Predictions," 16th Brazilian Congress of Mechanical Engineering (COBEM), Uberlandia, Brazil, 2001.
- [5] D. C. Wilcox, "Turbulence modeling for CFD, DCW industries", Inc. La Canada, CA, 1993.
- [6] B. E. Launder, and D. B. Spalding, "The Numerical Computational of Turbulence Flows", Computational methods in applied mechanics and engineering, Vol.3, pp.269-289, 1972.
- [7] K. Keller, "Low cost, High Performance, High Volume Heatsinks", in Proc.Electronics Manufacturing Technology Symposium, pp. 113-118, 1998.
- [8] S. Narasimhan and J. Majdalani, "Characterization of compact heat sink models in natural convection", IEEE Trans. Components and Packaging Technologies, Vol. 25, Issue 1, pp.78-86, March 2002.
- [9] S. P. Watson and B. G. Sammakia, "The thermal performance of a chip scale package array with simple block and plate heat sinks", in Proc. Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems Conf, pp. 276284, 2002.
- [10] S. C. Jang, H. D. Cho and N. K. Kim, "Development of Gear Type Vane Damper Change Link Type in FD Fan", "KSMTE, Vol. 13, No. 1, pp.104~109, 2000.
- [11] S. C. Jang, S. H. Han and J. W. Kim, "A Study on Performance Improvement of Gear Type Vane Damper in FD Fan(Productivity Increases & Construction Improvement)" KSMTE J. Vol. 19, No.1, pp.134~139,

2010.

- [12] P. M., Schaber, J. Colson, S. Higgins, E. Dietz, D. Thielen, B. Anspacj and J. Brauer, "Study of the urea thermal decomposition(pyrolysis) reaction and importance to cyanuric acid production", m. Lab., 13-21, 1999.
- [13] P. J. Witt, C. G. Solnordal, L. J. Mittoni, S. Finn, J. Pluta, "Optimising the Design of Fume Extraction Hoods Using a Combination of Engineering and CFD Modelling", Applied Mathematical Modelling, Vol. 30, No.11, pp.1167-1179, 2006.
- [14] C. H. Kim, H. S. Ahn and T. H. Chong, "On a Method for the Durability Enhancement of Plastic Spur Gear Using Finite Element Analysis", Transactions of the KSME A, Vol. 27, No. 2, pp.223-230, 2006.
- [15] KS, Testing Methods for Industrial Fans, KSB 6311, KSSN, Korea, 2006.

장 성 철(Sung-Cheol Jang)

[정회원]



- 2004년 2월 : 경남대학교 대학원 기계공학과(공학박사)
- 2005년 3월 ~ 2009년 7월 : 삼원중공업(주) 기술연구소 연구 소장/상무이사
- 2015년 1월 ~ 현재 : 한국폴리텍 VII대학 부산캠퍼스 기계시스템과, 교수

<관심분야>

사물인터넷, A-IoT 설비보전, 공유압자동화회로설계, 조선 해양플랜트,

권 민 수(Min-Soo Kwon)

[정회원]



- 2014년 2월 : 한국교통대학교 대학원 컴퓨터공학과(공학박사)
- 2005년 1월 ~ 2020년 1월 : 한국폴리텍4대학 충주캠퍼스 교학처장
- 2020년 1월 ~ 현재 : 한국폴리텍 III대학 원주캠퍼스 의료공학과, 교수

<관심분야>

인공지능, 사물인터넷, 의료기기, 미세면지저감