

선박연료 가열용 250KW급 판형 IoT 전기히터의 기초연구

장성철*

한국폴리텍IV대학 충주캠퍼스 지능형기계과 교수

Basic Study on 250KW-class IoT Electric Heater for Ship Fuel Heating

Sung-Cheol Jang*

Professor, Division of intelligent machine, Korea Polytechnics

요약 국내의 전기히터 제조업체에서는 기존 제품의 효율을 향상시키는 기술 개발에 집중하고 있다. 선박 연료용 전기히터는 그 크기가 크고 소형화/고효율화에 대한 난이도가 높아 아직까지 기술개발을 시도하는 기업은 많지 않은 실정이다. 기존의 전기히터는 선박 엔진 연료의 유동경로가 단조롭기 때문에 가열매체의 열교환 튜브와의 접촉시간이 매우 짧아 가열 효율이 낮은 구조이며, 관형으로 제작되어 있기 때문에 가열효율과 무관하게 부피가 매우 크게 제작되므로 가열장치의 설치공간을 확보해야 한다. 이로 인해 해외 선진사에서 적용하고 있는 판형 전기히터 장치는 내부의 특정 부분이 손상되었을 때 관형 가열기를 모두 분해하여야 하고, 열교환 튜브가 손상된 경우에는 열교환 튜브를 모두 분해해야 하므로 유지와 보수에 어려움이 있다. 본 연구에서는 250kW 용량급 판형 전기히터 가열기를 통해 시간당 10ton의 선박 엔진 연료를 가열할 수 있고, 최대온도를 150℃까지 설정할 수 있는 판형 전기히터에 대한 기초연구를 수행하였다.

주제어 : IoT 전기히터, 소형화/고효율화, 선박연료, 열교환튜브

Abstract Domestic electric heater manufacturers are focusing on technology development to improve the efficiency of existing products. The electric heater for ship fuel is large in size and has high difficulty in miniaturization/high efficiency, so there are not many companies that try to develop technology yet. The existing electric heater has a structure of low heating efficiency because the contact time with the heat exchange tube of the heating medium is very short because the flow path of the ship engine fuel is monotonous. Since it is manufactured in a tubular shape, the volume is very large regardless of the heating efficiency. As a result, the tubular electric heater device applied by overseas advanced companies has difficulty in maintaining and repairing because it is necessary to decompose all tubular heaters when a specific part of the inside is damaged and if the heat exchange tube is damaged, all the heat exchange tubes must be decomposed. In this study, a basic study on plate type electric heaters capable of heating 10 tons of ship engine fuel per hour and setting a maximum temperature of up to 150°C was conducted through a 250kW capacity plate type electric heater.

Key Words : IoT Electric Heater, Miniaturization/High Efficiency, Ship Engine Fuel, Heat Exchange Tube

본 연구는 지역특화산업육성과제(S3007077)에 의해 수행된 과제이며 관계자 여러분께 감사함을 전합니다.

*교신저자 : 장성철(jsc@kopo.ac.kr)

접수일 2021년 7월 19일 수정일 2021년 9월 1일 심사완료일 2021년 9월 4일

1. 서론

국내의 전기히터 제조업체에서는 기존 제품의 효율을 향상시키는 기술 개발에 집중하고 있으나, 선박 연료용 전기히터는 그 크기가 크고 소형화/고효율화에 대한 난이도가 높아 아직까지 기술개발을 시도하는 기업은 많지 않은 실정이다. 기존의 전기히터는 선박 엔진 연료의 유동경로가 단조롭기 때문에 가열매체의 열교환 튜브와의 접촉시간이 매우 짧아 가열 효율이 낮은 구조이며, 관형으로 제작되어 있기 때문에 가열효율과 무관하게 부피가 매우 크게 제작되므로 가열장치의 설치공간을 확보해야 하는 것은 물론 이를 설치하거나 탈거할 때도 어려움이 있다. 이로 인해 해외 선진사에서 적용하고 있는 관형 전기히터 장치는 내부의 특정 부분이 손상되었을 때 관형 가열기를 모두 분해하여야 하고, 열교환 튜브가 손상된 경우에는 열교환 튜브를 모두 분해해야 하므로 유지와 보수에 어려움이 있다[1-5]. 기존의 병커C유 가열용 전기히터 장치는 가열유체에 의해 간접 가열하는 방식이기 때문에 고온가열이 불가능하며, 연소효율을 향상시키기 위해 연료를 고온으로 가열할 필요가 있는 경우라면 종래의 전기히터 장치로는 그 활용성이 떨어지며 그 크기가 현저히 증가하여 협소한 선박엔진 룸에 설치가 거의 불가능한 상황이다.

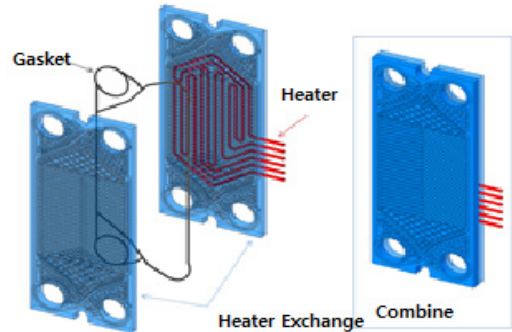
본 연구에서는 250kW 용량급 관형 전기히터 가열기를 통해 시간당 10ton의 선박 엔진 연료를 가열할 수 있고, 최대온도를 150℃까지 설정할 수 있는 관형 전기히터에 대한 기초연구를 수행하였다.

2. 수치해석 모델

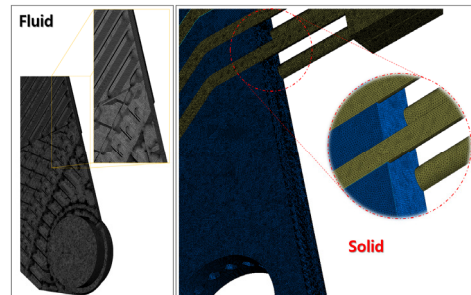
본 연구에서는 컴퓨터 시뮬레이션을 사용하여 관형 전기히터 열교환기에 관한 유동장과 온도장을 수치 해석하였다. 지배 미분방정식들을 이산화하기 위해 유한체적법에 기초하여 격자망을 생성하였다. 열교환기 히팅플레이트의 복잡한 유동패턴과 내부 작동유체인 ISO VG 220 오일의 발열상태를 예측하기 위해 많은 절점과 높은 품질의 격자가 필요하다[6-9]. 그림 1은 알루미늄 관형 전기히터 열교환기에 관한 유한체적법에 기반을 둔 전산열 유동 해석을 위한 격자망을 그림 2에 도시하였다.

그림 3은 해석을 위한 경계조건으로 입구 경계면에 상온 20℃에서 373.27 mm²/s의 점도를 가진 ISO VG 220 오일이 유입되고, 출구 경계면에서 각각 최대

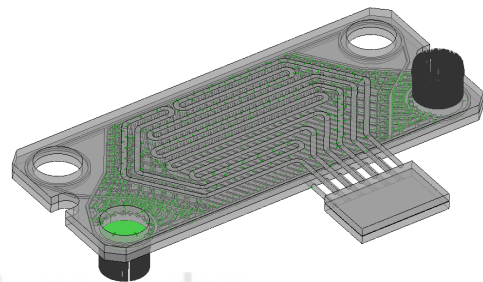
체적유량 2.0 m³/h와 최소 체적유량 1.5 m³/h로 배출되는 상태를 수치해석 하였다. 그림 4에 수치해석에 활용된 작동유체인 ISO VG 220 오일의 온도에 따른 점도값의 변화를 그래프로 나타내었다. 열교환을 위한 전기히트블록의 소비전력 값은 35kW로 설정하여 최대최소 체적유량 조건들에 대한 발열특성들을 검토하였다. 또한, 덕트의 모든 벽면에서는 속도에 대하여 점착조건(No-Slip Condition)과 난류를 고려하기 위하여 벽법칙을 사용하였음 컴퓨터 하드웨어의 성능 한계로 인해 수치 연산에 드는 계산 시간을 줄이기 위하여 1쌍의 히팅 플레이트만을 해석대상으로 하였으며, 정상상태 유동이라 가정하여 작동유체의 흐름특성을 분석하였다[10-15].



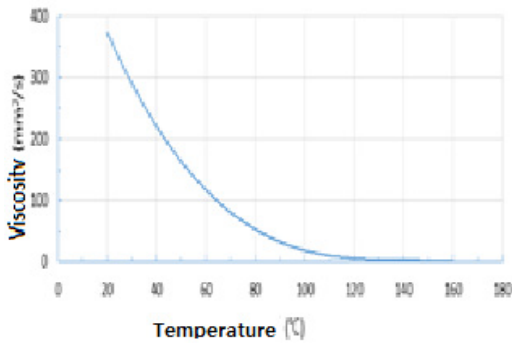
[Fig. 1] Plate type heat exchanger outline



[Fig. 2] Finite volume model



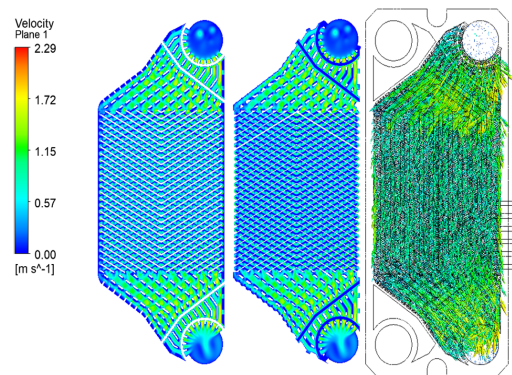
[Fig. 3] Boundary Conditions for Heat Flow



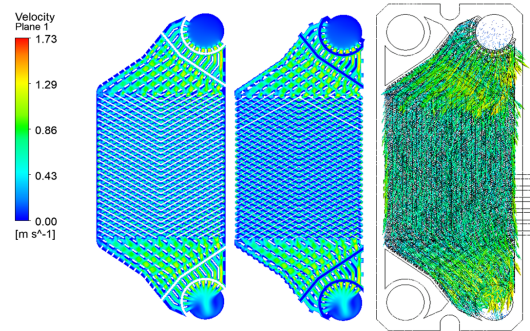
[Fig. 4] Viscosity of working fluid ISO VG 220

3. 해석 결과 및 분석

본 연구의 해석대상 모델인 알루미늄 판형 전기히터 열교환기에 대하여 속도벡터 분포도를 그림 5와 6에 나타내었다. 포트홀을 통해 유입된 작동유체 오일이 히팅 플레이트의 유체분배부를 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. CASE-1의 최대 유속은 2.29m/s이고 CASE-2의 경우 최대 유속은 1.73m/s로 포트홀 근방에서 발생함을 볼 수 있음. 이처럼 전산열유동해석으로부터 작동유체의 유동흐름 특성을 분석한 결과, 유체분배부에서 전열부로 균등하게 오일이 분배되고, 데드존이 발생하지 않으므로 작동 오일의 흐름에는 문제가 없을 것으로 판단 되어진다.

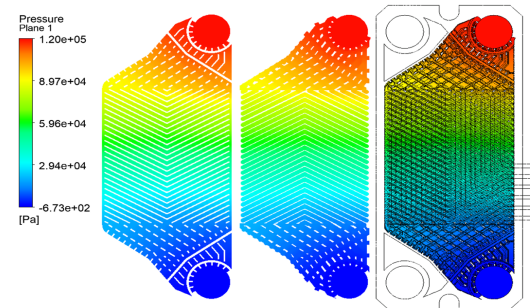


[Fig. 5] Velocity distribution(CASE-1)

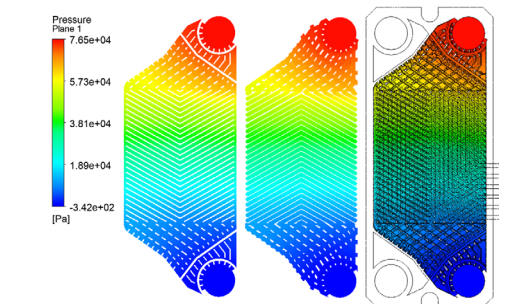


[Fig. 6] Velocity distribution(CASE-2)

히팅플레이트로 유입되는 체적유량과 전기히터블록의 소비전력량에 따라 입구와 출구 포트홀 사이의 압력강하 값이 다르므로 그림 7과 8에 각 경우에 대한 압력분포도를 나타내었다. CASE-1의 압력강하 값은 약 1.2bar로 예측되었고, CASE-2의 압력강하 값은 0.77bar로 계산 되었음. 이러한 결과는 알루미늄 히팅플레이트의 구조적 안전성 확보를 위한 최대허용 압력 15bar에 비해 상당히 작은 값으로 히팅플레이트의 변형 또는 파손 등에 전혀 문제가 없을 것으로 판단된다.

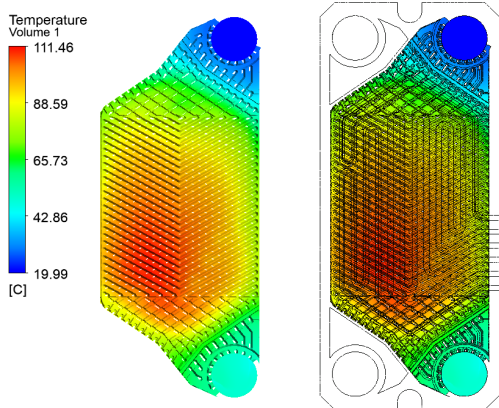


[Fig. 7] Pressure distribution(CASE-1)

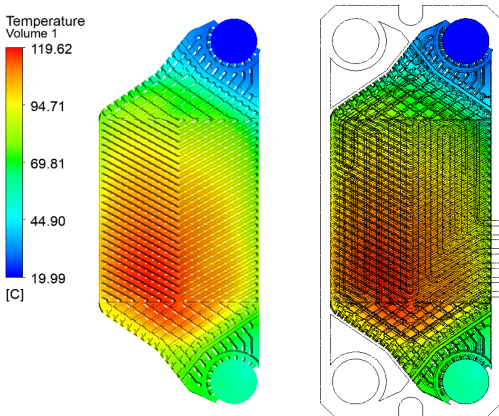


[Fig. 8] Pressure distribution(CASE-2)

그림 9와 10에 각 경계조건에 대한 히팅플레이트 내부의 유로 표면에서의 발열상태를 나타내었다. 두 결과에서 전기히터블록의 열선들이 히팅플레이트로 들어가고 나오는 지점 부근에서 발열이 높게 나타남을 확인할 수 있다. CASE-1의 경우에는 유체와 접촉하는 유로 표면의 최대온도는 약 111.5℃까지 상승할 것으로 예측되었고, CASE-2의 경우에는 약 120℃만큼 상승할 것으로 계산되었다.

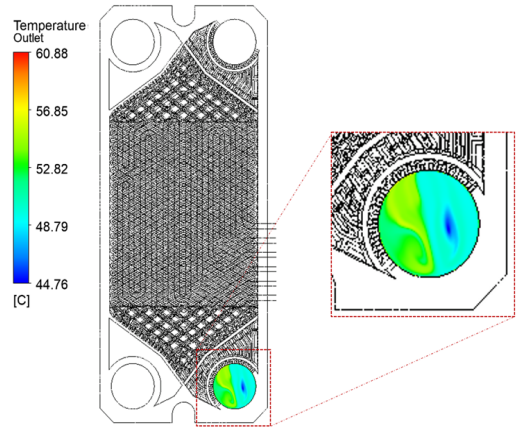


[Fig. 9] Temperature distribution(CASE-1)

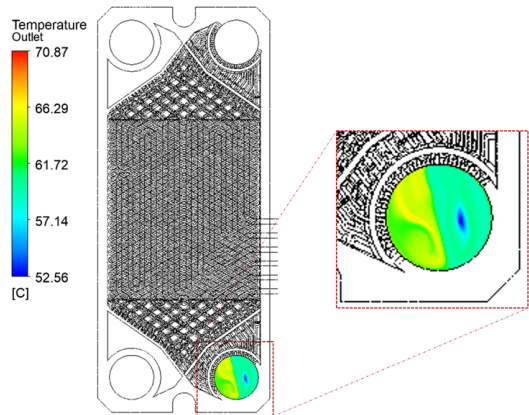


[Fig. 10] Temperature distribution(CASE-2)

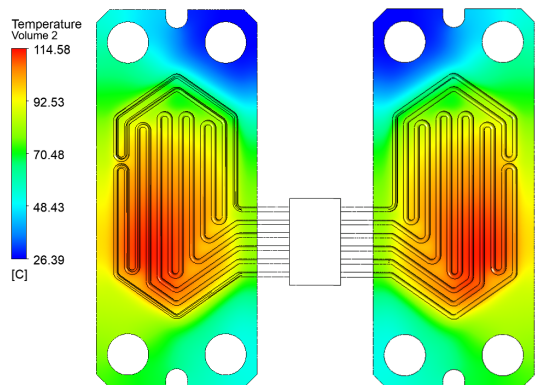
그림 11과 12는 각 경우에 대한 출구 포트홀 단면의 온도분포 상태를 나타내었다. CASE-1은 최대온도는 약 61℃이고 최소온도는 약 45℃가 될 것으로 예측되었다. CASE-2는 최대온도가 약 71℃이고, 최소온도는 약 53℃로 계산되었다. CASE-2의 경우가 CASE-1 보다 발열상태가 높은 것은 작동유체 오일의 유속이 CASE-1보다 작으므로 히팅블록으로부터 열에너지를 공급받을 수 있는 체류 시간이 길어지기 때문이다.



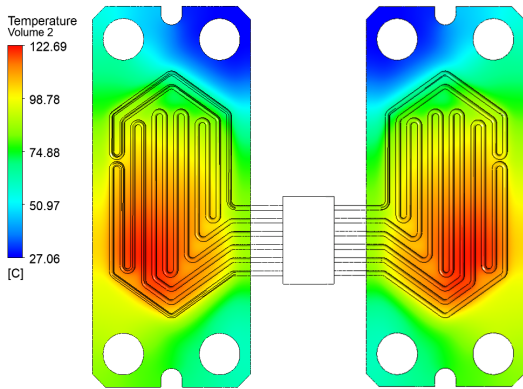
[Fig. 11] Outlet temperature distribution(CASE-1)



[Fig. 12] Outlet temperature distribution(CASE-2)



[Fig. 13] Temperature distribution of heating plate (CASE-1)



[Fig. 14] Temperature distribution of heating plate (CASE-2)

그림 13과 14에 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.

4. 결론

본 연구에서는 주어진 유량과 히트블록의 소비전력 사용조건 하에서 히팅플레이트의 유체분배부에 대한 유동 특성을 평가하고, 입력단과 출력단 사이의 압력강하 값을 예측하며, 판형 전기히터의 열교환기 성능에 관한 발열 특성을 검토하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

히팅 플레이트의 최대최소 체적유량 조건에서 포팅홀의 유입구로 흘러들어온 작동유체 오일이 유체분배부를 통해 전열부로 고르게 흘러가는지를 검토하여 주어진 경계조건에서 유입 포팅홀로 흘러들어온 ISO VG220 오일은 유체분배부를 통해 전열부 전체로 고르게 흘러감을 확인하였다. 히팅플레이트 유로 내에 작동유체가 흐르지 않아 열교환 효율을 많이 감소시킬 수 있는 데드존이 발생하지 않는 것을 확인하였다. 최대 체적유량인 2.0m³/h과 전기히트블록의 소비전력인 35kW 조건 하에서 작동유체 오일이 허용 압력손실 15bar를 초과하지 않는 범위에서 히팅플레이트의 유로를 흘러감을 확인하였고, 이러한 결과는 알루미늄 히팅플레이트의 구조적 안전성 확보를 위한 최대허용 압력 15bar에 비해 상당히 작은 값으로 히팅플레이트의 구조 변형이나 파손 등에 전혀 문제가 없을 것으로 판단된다. 최소 체적유량 1.5 m³/h와 소비

전력 35kW의 사용조건 하에서 알루미늄 소재의 히팅플레이트에서 최대 발열이 약 123℃로 예측됨에 따라 허용 최대온도 값인 160℃ 보다 약 37℃ 만큼의 여유를 확보하고 있음을 확인하였다.

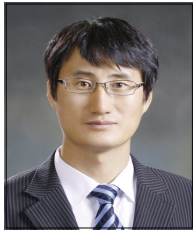
REFERENCES

- [1] R. R., Antos, D. Zanoelo, and M. Morbidelli, "Experimental and modeling analysis of the NOx OUT process", Chem. Eng. SCI., Vol. 57, No. 1, pp. 27-38, 2002.
- [2] P. M. Schaber, J. Colson, S. Dietz, "Study of the urea thermal decomposition (pyrolysis) reaction and importance to cyanuric acid production", Am. Lab., pp. 13-21, 1999.
- [3] W. G. Park, S. C. Jang, S. W. Lee, "Development of SCR Catalyst Unit Integral Duct Burner", KSPSE, 2020 Spring Conference, pp. 67-68, 2020.
- [4] F. Menter and T. Esch, "Elements of Industrial Heat Transfer Predictions," 16th Bazilian Congress of Mechanical Engineering (COBEM), Uberlandia, Brazil. 2001.
- [5] D. W. Lee, K. M Cho, S. H. Lee, "Analysis on Smart Factory in IoT Environment", Journal of The Korea Internet of Things Society, Vol. 5, No. 2, pp.1-6, 2019.
- [6] K. H. Lee, "A Scheme for Information Protection using Blockchain in IoT Environment", Journal of The Korea Internet of Things Society, Vol. 5, No. 2, pp. 33-40, 2019.
- [7] J. H. Lim and K. H. Lee, "Simplified Forensic Analysis Using List of Deleted Files in IoT Environment," Journal of The Korea Internet of Things Society, Vol. 5, No. 1, pp. 35-39, 2019.
- [8] K. H. Lee, "A Scheme on Anomaly Prevention for Systems in IoT Environment", Journal of The Korea Internet of Things Society, Vol. 5, No. 2, pp. 95-101, 2019.
- [9] K. B. Jang, "A study on IoT platform for private electrical facilities management", Journal of The Korea Internet of Things Society, Vol. 5, No. 2, pp. 103-110, 2019.
- [10] D. H. Kim, G.W.Seo, D.J.Jang and H.Kim, "A Study on the development of smart food trash box using IoT technology", Korea Information Science Society Winter Conference, pp.86-88, 2016.
- [11] S. C. Jang, S. M. Han, C. K. Lee, & H. C. Jung "FSI Analysis of Pneumatic Actuator", KSPSE Spring Conference, pp. 81-83, 2016.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] C. S. Yi, J. K. Hong, J. S. Suh, Y. I. Shin, and Y. S. Park, 2009, "Effect of Cutoff Angle on the Flow Characteristic of Turbo-Fan", Conference Proceedings of KSME Spring Annual Meeting(KSME 09TE068), pp. 311-318. 2015.
- [15] B. E. Launde and D. B. Spalding, "The numerical computational of turbulence flows", Computational methods in applied mechanics and engineering, Vol.3, pp.269-289, 2020.

장 성 철(Sung-Cheol Jang)

[정회원]



- 2004년 2월 : 경남대학교 대학원
기계공학과(공학박사)
- 2005년 3월 ~ 2009년 7월 : 삼
원중공업(주) 기술연구소 연구소장
- 2009년 8월 ~ 현재 : 한국폴리텍
IV대학 충주캠퍼스 지능형기계과
교수
- 2019년 1월 ~ 현재 : 한국폴리텍IV대학 충주캠퍼스 교
학처장

<관심분야>

사물인터넷, 공유압자동화회로설계, 조선해양플랜트, 밸브
IoT 제어