

IoT 마이크로 보일러에 대한 기초 연구

장성철*

한국폴리텍IV대학 충주캠퍼스 지능형기계과 교수

Basic Study on the IoT Micro Boiler

Sung-Cheol Jang*

Professor, Division of intelligent machine, Korea Polytechnics

요약 본 연구의 개발대상 제품은 선박 및 발전용 EGB(Exhaust Gas Boiler-폐열보일러) 종류로써 디젤 엔진, 가스 엔진, 가스 터빈 등에서 나오는 배기 가스의 여열을 이용하여 물을 가열하여 고온·고압의 증기나 온수를 발생시키는 열회수 장치이다. 발생된 증기나 온수는 선박의 선실 난방 및 온수 시설이나 HFO Heating, 터빈 구동에 필요한 동력원으로 사용된다. 폐열보일러의 원리는 여열을 가진 고온의 배기 가스가 보일러의 Tube를 통과하면서 물을 데우는 역할을 한다. 데워진 물은 스팀 형태로 선실이나 터빈장치로 보내어져 사용하게 되는 구조이다. 본 연구에서는 EGB의 열전달 부품인 관형 튜브를 Plate Tube로 대체하여 열전달 표면을 늘려 효율을 극대화하는데 목표가 있다.

주제어 : 마이크로 보일러, 폐열보일러, 터빈, 열전달

Abstract The product to be developed in this study is a heat recovery device which generates steam or hot water at high temperature and high pressure by heating water using exhaust gas from diesel engine, gas engine, gas turbine, etc. as an exhaust gas boiler off heat boiler(EGB) type for ship and power generation. The steam vapor or the created warm water is used as the power source required for the steerage heating and hot water facility or the HFO heating of the ship, and the turbine drive. The principle of waste heat boilers serves to heat water as high temperature exhaust gas with heat pass through the tube of the boiler. The heated water is a structure that is sent to a cabin or turbine device in the form of steam. In this study, the objective of this study is to maximize the efficiency by increasing the heat transfer surface by replacing the tube which is the heat transfer part of EGB with the plate tube.

Key Words : Micro Boiler, Exhaust Gas Boiler, Turbine, Heat Transfer

1. 서론

본 연구의 개발대상 제품은 선박 및 발전용 EGB(Exhaust Gas Boiler-폐열보일러) 종류로써 디젤 엔진, 가스 엔진, 가스 터빈 등에서 나오는 배기 가스의 여열을 이용하여 물을 가열하여 고온·고압의 증기나 온수를 발생시키는 열회수 장치이다. 발생된 증기나 온수는 선박

의 선실 난방 및 온수 시설이나 HFO Heating, 터빈 구동에 필요한 동력원으로 사용된다. 폐열보일러의 원리는 여열을 가진 고온의 배기가스가 보일러의 Tube를 통과하면서 물을 데우는 역할을 한다. 데워진 물은 스팀 형태로 선실이나 터빈장치로 보내어져 사용하게 되는 구조이다. 선박의 경우 한정된 공간이라는 특성상 보일러의 크기에서 자유롭지 못한 상황으로 보일러의 개발 방향을

본 연구는 지역특화산업육성성과제(S2911403)에 의해 진행된 연구과제이며, 관계자에게 감사함을 전합니다.

*교신저자 : 장성철(jsc@kopo.ac.kr)

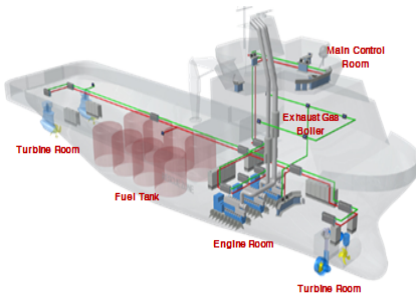
접수일 2021년 11월 19일 수정일 2022년 1월 10일 심사완료일 2022년 1월 13일

효율 증가에 따른 보일러의 크기가 줄어드는 방향으로 연구 개발되어 왔다[1-5].

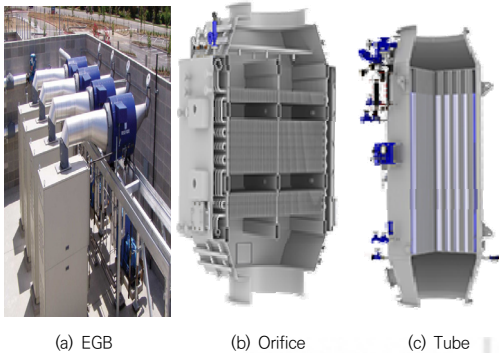
본 연구에서는 EGB의 열전달 부품인 관형 튜브를 Plate Tube로 대체하여 열전달 표면을 늘려 효율을 극대화하는데 목표가 있다.

2. 폐열 보일러의 연구동향

Fig. 1은 선박에서의 폐열보일러에 대한 작동원리를 나타낸 그림이다. Fig. 2는 기존 보일러 제품에 대한 연구동향을 나타낸 것이다. 보일러의 열전달 방식은 각 업체마다 고유의 방식이 존재하고 있으며, 다양한 방법으로 연구개발을 진행해 왔으며, 특히 열효율을 늘리기 위하여 오리피스 구조, 판형 구조 등 다양한 형태로 개발이 이루어지고 있다. 해외 기업인 A사에서는 이미 소형 보일러 개발을 진행중에 있으며, 일부 소형 제품의 경우 육상플랜트에 적용하고 있는 실정이다. 앞으로 보일러의 개발은 소형화 및 열효율 증가에 필요한 방향으로 진행되고 있으며 국내에서도 이에 따른 연구개발이 시급한 실정이다.

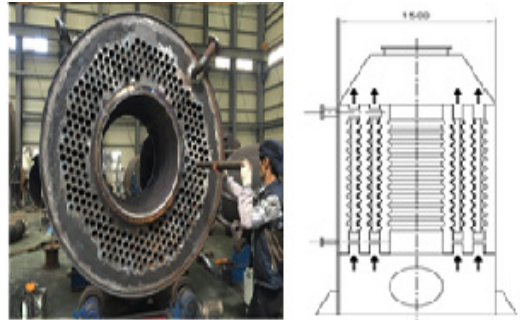


[Fig. 1] Principle of EGB



[Fig. 2] Existing product

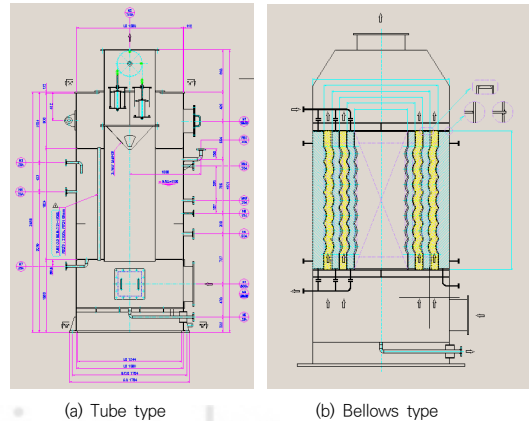
Fig. 3은 기존 관형(파이프) 방식과 개발방식인 벨로우즈 방식을 나타낸 것이다. 제작 완료시 기존 제품에 비하여 크기는 30% 이상 열효율은 3% 이상 증가할 것으로 예상된다. 제품의 성공적인 개발을 위해서는 Tube 형상이 원형관에서 Plate 형상으로 바뀌더라도 충분한 강도와 구조적 안정성을 보장할 수 있음을 확인해야 하며 이를 위한 기초 연구가 필수적으로 행해져야 한다.



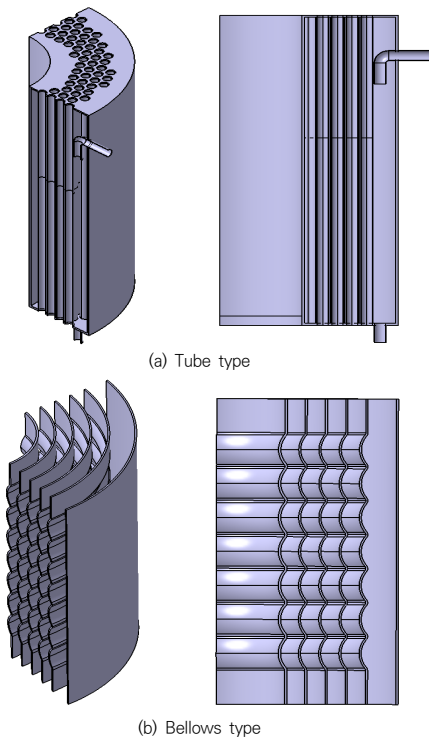
[Fig. 3] Tube(preexisting) VS. Bellows (development)

3. 열전달 설계 모델 및 경계조건

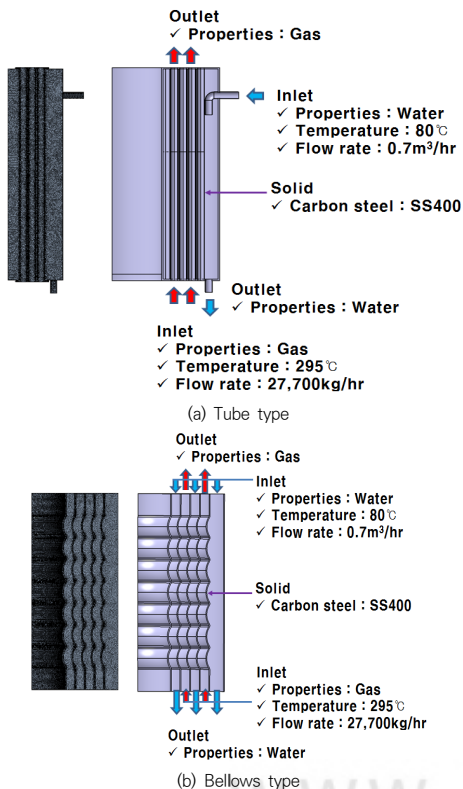
기존 관형 보일러 타입과 벨로우즈 타입의 보일러가 설치된 형상은 Fig. 4와 같이 나타낼 수 있다. 본 연구에서는 보일러 전체에 대한 열전달 해석보다 열교환기에 국한하여 수치해석을 진행하고자 한다. 따라서 Fig. 5와 같이 열교환기 부분만 별도로 모델링을 수행하여 수치해석을 진행하였다. 보일러 내부에 대한 열전달 해석을 수행하기 위하여 적절한 경계조건이 필요하다. 본 연구에서는 Fig. 6과 같이 경계조건을 부여하였다. 두 모델 모두 동일한 조건의 경계조건을 부여하여 서로 비교하고자 한다.



[Fig. 4] Heat Exchange types



[Fig. 5] Comparison of internal forms of boiler

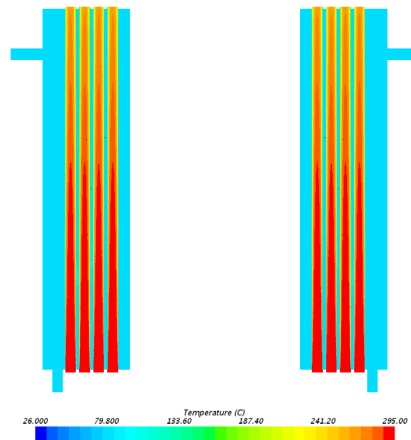


[Fig. 6] internal boundary condition

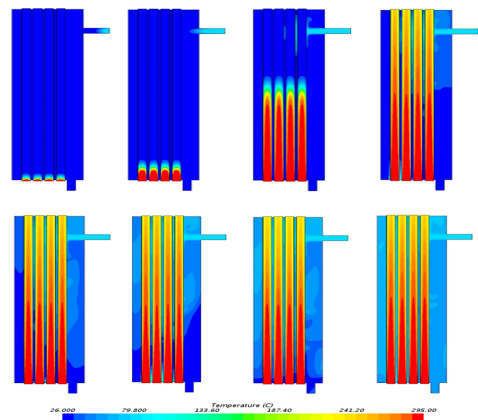
4. 해석결과

Fig. 7은 관형 보일러 타입의 온도분포를 나타내고 있다. 그림과 같이 배기가스의 경우 고온의 온도분포를 나타내고 있음을 확인할 수 있었다. 관형 열교환기 타입의 경우 작동유체인 물의 진행방향이 상부에 유입되어 원통 주위로 확산되어 하부로 이동하면서 빠져나가는 구조로 설계되어 있음을 확인할 수 있었다.

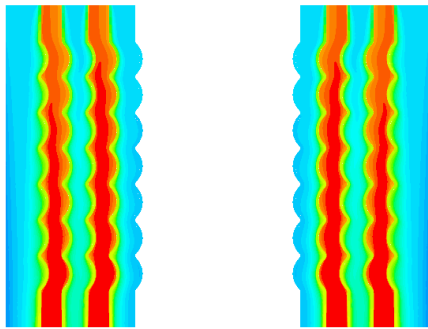
Fig. 8은 관형 보일러 타입에서 배기가스와 물이 각각 진행될 때 열전달되는 과정을 나타내고 있다. 그림에서 보는 것과 같이 고온의 배기가스와 저온의 물이 각각 입구에서 유입되어 진행되는 과정을 확인할 수 있었다.



[Fig. 7] Temperature distribution of tube shape



[Fig. 8] Tube type heat transfer

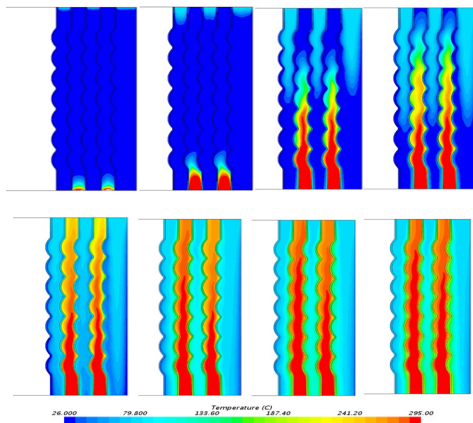


Temperature (C) 26.000 79.800 133.60 187.40 241.20 295.00

[Fig. 9] Temperature distribution of bellows shape

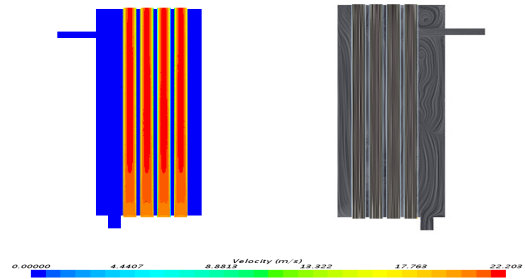
Fig. 9는 벨로우즈 타입의 경우 물이 상부에서 수직으로 이동하여 하부로 빠져나가는 구조로 되어 있다. 따라서 전반적으로 온도분포를 살펴보면 벨로우즈 타입의 경우 교차되는 방식이기 때문에 물의 온도 분포가 단층을 가지고 있는 것을 확인할 수 있었다. 반면 관형 열교환기의 경우 내부에서 순환하기 때문에 전체적으로 온도분포가 골고루 퍼져 있는 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 10은 벨로우즈 열교환기 타입의 열전달과정을 나타내고 있다. 그림에서 보는 것과 같이 서로 반대방향에서 교차하여 유동이 진행되고 있음을 확인할 수 있었고, 입구에서 진행되는 고온의 배기가스가 가장 높은 온도분포를 나타내고 있음을 확인할 수 있었다. 또한 벨로우즈 타입의 경우 물의 진행방향이 서로 교차하고 있기 때문에 관형 타입에 열전달이 다소 양호하게 작용하여 열전달이 촉진되고 있는 것을 확인할 수 있었다.



Temperature (C) 26.000 79.800 133.60 187.40 241.20 295.00

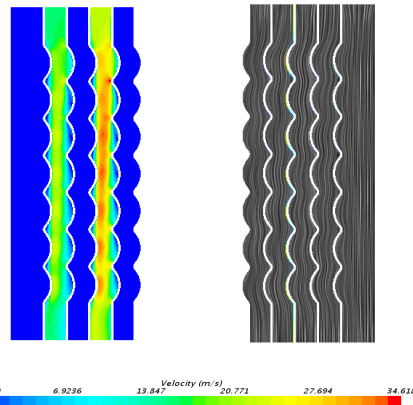
[Fig. 10] Bellows type heat transfer



Velocity (m/s) 0.00000 4.4407 8.8814 13.322 17.763 22.204

[Fig. 11] Velocity distribution of tube shape

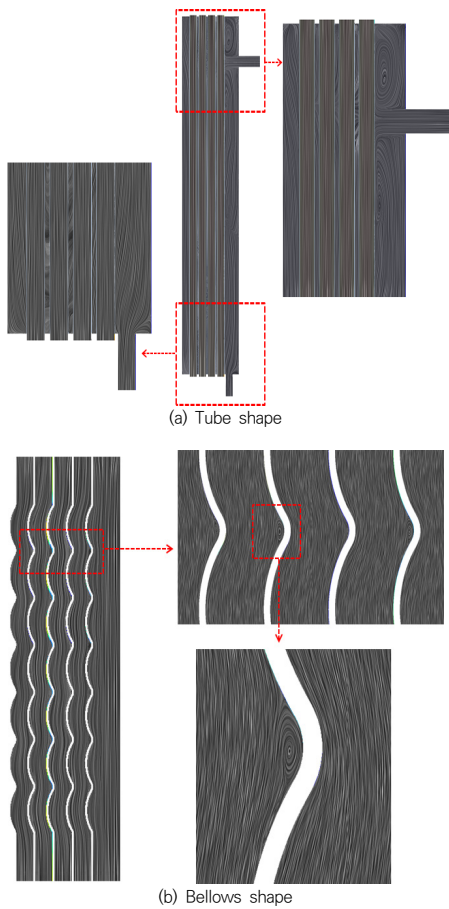
Fig. 11은 관형 열교환기 타입의 내부 속도분포와 유선분포를 나타내고 있다. 그림에서 보는 것과 같이 배기가스 내부 배관의 경우 유동의 흐름이 일정하게 하부에서 상부로 이동하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 배기가스와 공급되는 물의 속도차가 크기 때문에 속도차가 극명하게 차이가 발생함을 확인할 수 있었다. 유선분포의 경우 배기가스가 통과하는 배관 내부에서는 일정하게 난류의 영향이 없이 지나가고 있는 것을 확인할 수 있었고, 물의 경우 측면에서 공급되기 때문에 배관과 부딪치는 유동이 발생하고 탱크 내부에서 순환하기 때문에 유동이 복잡하게 발생하고 있는 것을 확인할 수 있었다.



Velocity (m/s) 0.00000 6.9236 13.847 20.771 27.694 34.618

[Fig. 12] 2Velocity distribution of bellows shape

Fig. 12는 벨로우즈형 열교환기 타입의 내부 속도분포와 유선분포를 나타내고 있다. 그림에서 보는 것과 같이 배관 형상이 벨로우즈 타입으로 설계되었기 때문에 관형 열교환기 타입에 비해 배기가스가 지나갈 때 유동저항이 일부 발생하고 있었고, 정체되는 영역이 존재하는 것을 확인할 수 있었다. 유선분포의 경우 전반적으로 난류에 의한 영향이 적은 것으로 보여지고 있으며, 특히 물의 경우 관형 열교환기 타입에 비해 유선분포가 안정적으로 유지되고 있음을 확인할 수 있었다.

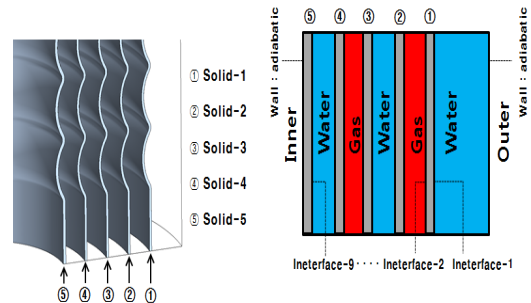


[Fig. 13] Expansion of place turbulence

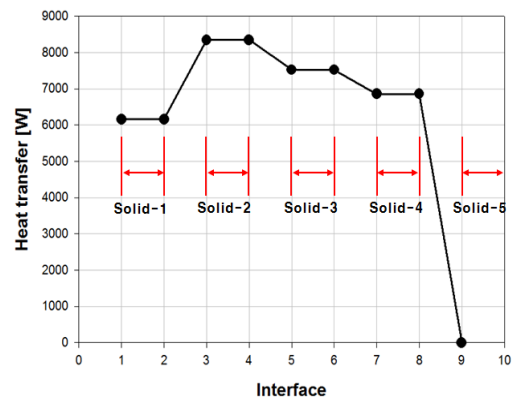
Fig. 13은 관형 열교환기 타입과 벨로우즈 열교환기 타입에서 내부 유동장의 난류 영향을 받는 곳에 대하여 보다 확대하여 비교하였다. 관형 열교환기의 타입의 경우 물의 탱크로 유입될 때 배기가스가 지나가는 배관과 부딪치게 되고, 이로 인해 물의 유동방향이 일부가 상하로 나누어져 진행되고 있음을 확인할 수 있었다. 이때 난류의 영향이 발생하여 Vortex가 생성되는 것을 알 수 있었다. 또한 배관사이로 빠져나간 유동은 탱크 주위를 감싸고 출구쪽인 하부로 이동하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 출구인 하부에서는 탱크 내부를 감싸고 유동이 형성되어 출구로 빠져나가는 것을 확인할 수 있었다. 벨로우즈 열교환기 타입의 경우 전반적으로 유선분포가 매끄럽게 형성하고 있는 것을 할 수 있으나 벨로우즈 형상에 의한 유동저항이 발생하는 부분이 발생하였다. 그림에서 보는 것과 같이 확대된 영역에서 보면 유동이 간헐적으로 Vortex 구간이 확인된다. 이 영역에서 유동이 간헐적으로 되어 유동저항을 유발하게 됨에 따라 좌우 속도

편차가 발생하게 된다.

Fig. 14는 벨로우즈 열교환기 타입의 경우 고체영역에서 기체인 배기가스와 액체인 물과 직접적으로 열전달이 발생하는 표면을 Interface라고 지정하고 각각의 고체 영역 양단의 표면에 대한 Interface 번호를 지정하는 것이다. 따라서 이 번호에 따라 고체의 열전달량을 확인할 수 있다.



[Fig. 14] Solid region and fluid region of bellows



[Fig. 15] Distribution of heat Transfer rate in bellows interface

Fig. 15는 벨로우즈 열교환기 타입의 경우 각 고체 바깥 표면에서의 열전달량 분포를 나타내고 있다. 그림에서 보는 것과 같이 9번 Interface의 경우 맨 중심쪽에 설치된 벨로우즈 배관으로서 안쪽에는 온도기울기가 0인 Adiabatic 조건을 부여하였기 때문에 열전달 값이 0로 나타남을 확인할 수 있었다. 그 외 다른 고체영역에서 유체 영역과 열전달이 발생함을 확인할 수 있었다. 맨 가장자리에 위치한 Solid-1의 양 벽면에서 열전달량이 약 6,000W 정도 발생함을 확인할 수 있었다. 이는 맨 가장자리 액체인 물이 지나가면 벽면을 Adiabatic으로 경계조건을 부여하였기 때문에 다소 낮은 열전달량을 나타내고 있었다. 반

면 Solid-2에서 Solid-4까지는 다소 높은 열전달량을 나타내고 있다. 특히, Solid-2의 경우 약 8,300W로 가장 높은 열전달량을 나타내고 있다. 는데 이것은 [그림-14]에서 보는 것과 같이 양쪽에 고온 배기가스가 지나가고 중간에 액체인 물이 지나가기 때문에 다른 고체영역에 비해 열전달이 촉진되었기 때문으로 판단된다.

5. 결론

관형 보일러 타입의 온도분포는 진행방향에 따라 물과의 열전달을 통해 배기가스는 서서히 냉각되고 있는 것을 알 수 있었고, 작동유체인 물의 진행방향이 상부에 유입되어 원통주위로 확산되어 하부로 이동하면서 빠져나가는 구조로 설계되어 있음을 확인할 수 있었다.

벨로우즈 타입의 경우 물이 상부에서 수직으로 이동하여 하부로 빠져나가는 구조로 되어 있어, 교차되는 방식이기 때문에 물의 온도 분포가 단층을 가지고 있는 것을 확인할 수 있었고, 관형 열교환기의 경우 내부에서 순환하기 때문에 전체적으로 온도분포가 골고루 퍼져있는 것을 확인할 수 있었다.

벨로우즈 열교환기 타입의 열전달과정은 서로 반대방향에서 교차하여 유동이 진행 되고 있음을 확인할 수 있었고, 입구에서 진행되는 고온의 배기가스가 가장 높은 온도분포를 나타내고 있음을 알 수 있다.

관형 열교환기의 타입의 경우 물의 탱크로 유입될 때 배기가스가 지나가는 배관과 부딪치게 되고, 이로인해 물의 유동방향이 일부가 상하로 나누어져 진행되고 있음을 확인할 수 있었고, 난류의 영향이 발생하여 Vortex가 생성되는 것을 알 수 있었다.

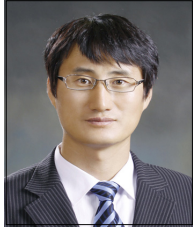
Solid-1의 양 벽면에서 열전달량이 약 6,000W정도 발생함을 확인할 수 있었다. 이것은 맨 가장자리 액체인 물이 지나가면 벽면을 Adiabatic으로 경계조건을 부여하였기 때문에 다소 낮은 열전달량을 나타내고 있었다. 반면 Solid-2에서 Solid-4까지는 다소 높은 열전달량을 나타내고 있다.

REFERENCES

- [1] Rota, R., Antos, D., Zanoelo, E. F., and Morbidelli, M., "Experimental and modeling analysis of the NOx OUT process", Chem. Eng. Sci., 57, pp.27-38, 2002.
- [2] Schaber, P. M., Colson, J., Higgins, S., Dietz, E., Thielen, D., Anspaci, B., and Brauer, J., "Study of the urea thermal decomposition (pyrolysis) reaction and importance to cyanuric acid production", Am. Lab., pp.13-21, 1999.
- [3] Jang, S. C., Han, S. M., Lee, C. K., & Jung H. C., "FSI Analysis of Pneumatic Actuator", KSPSE Spring Conference, pp.81-83, 2016.
- [4] Menter, F. and Esch, T., "Elements of Industrial Heat Transfer Predictions," 16th Bazilian Congress of Mechanical Engineering (COBEM), Uberlandia, Brazil, 2001.
- [5] D. C. Wilcox, "Turbulence modeling for CFD, DCW industries", Inc. La Canada, CA, 1993.
- [6] Launder, B. E. and Spalding, D. B., "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] Jang, S. C., Han, S. M., Lee, C. K., & Jung H. C., "FSI Analysis of Pneumatic Actuator", KSPSE Spring Conference, pp.81-83, 2016.
- [11] Jang, S. C., Cho, H. D., and Kim, N. K., "Development of Gear Type Vane Damper Change Link Type in FD Fan", "KSMTE, Vol.13, No.1, pp.104~109, 2000.
- [12] Jang, S. C., Han, S. H., and Kim, J. W., "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.
- [13] Yi, C. S., Hong, J. K., Suh, J. S., Shin, Y. I. and Park, Y. S., 2009, "Effect of Cutoff Angle on the Flow Characteristic of Turbo-Fan", Conference Proceedings of KSME Spring Annual Meeting(KSME09TE068), pp.311~318, 2015.
- [14] 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,
- [15] Choong Hyun Kim, Hyo Sok Ahn and Tae Hyong Chong, 2003, "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.

장 성 철(Sung-Cheol Jang)

[정회원]



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

<관심분야>

사물인터넷, 공유압자동화회로설계, 조선해양플랜트, 밸브
IoT 제어