

자동차용 라디에이터 열유동 특성에 관한 수치해석

강창원*, 김태준*, 이치우**,#

*경남과학기술대학교 대학원, **경남과학기술대학교 자동차공학과

Numerical Analysis on the Characteristics of Thermal Flow in an Automobile Radiator

Chang Won Kang*, Tae Joon Kim*, Chi Woo Lee**,#

*Gyeongnam National University of Science and Technology, Graduate School

**Gyeongnam National University of Science and Technology, Department of Automotive Engineering

(Received 20 March 2019; received in revised form 21 March 2019; accepted 06 April 2019)

ABSTRACT

The purpose of this study was to numerically analyze the heat flow characteristics of an automotive radiator. Heat flow analyses were conducted on the cooling water and outdoor air of the radiator, as well as the temperature distribution of the cooling water after heat transfer. The results of the study revealed that neither heat transfer nor radiator volume was affected by the position of the inlet of cooling water. However, temperature distribution was affected by the position of both the inlet and outlet. In case of heat transfer, three models underwent about 158 kW of heat transfer. The difference in cooling water temperature was about 10 °C. In case of pressure drop, the core external air side was reduced to about 1,375 Pa, and the internal cooling water side about 14,570 Pa.

Key Words : Radiator(방열기), Numerical Analysis(수치해석), Heat Transfer(열전달)

1. 서 론

현재 자동차는 고연비 고성능에 대한 연구가 지속적으로 이루어지고 있으며, 특히 최근에는 다운사이징을 통한 자동차 엔진에 대한 효율을 극대화 시키려는 노력이 지속되고 있다. 현재 자동차의 경우 대부분 내연기관을 사용하고 있는 현실에

서 내연기관의 연소효율에 맞추어 엔진온도를 적절하게 관리할 필요가 있다. 특히 자동차에서 적용되는 내연기관의 경우 대부분 수냉식을 채택하고 있기 때문에 냉각수 온도를 적절히 관리하는 것이 매우 중요하다.

자동차의 라디에이터는 내연기관이 운전할 때 적정한 온도를 유지하면서 정상상태의 연소를 유지하고, 엔진 윤활유의 온도를 적절히 관리함으로써 적정 점도를 유지하여 기계적 마멸을 방지하고, 윤활을 극대화 시켜 기계적 마찰을 억제할 수 있도록 적정온도로 유지시켜주는 중요한 구성요소이다.

Corresponding Author : leecw@gntech.ac.kr

Tel: +82-55-751-3649, Fax: +82-55-751-3643

현재 연소효율을 높이기 위한 다양하고, 정밀한 연료분사제어 등을 통해 내연기관의 성능이 향상되고 있으며, 연소효율 향상에 따른 방열성능 향상에 많은 연구가 진행되고 있다. 특히, 방열부하에 따른 라디에이터 설계기술이나 냉각수 자체의 성능을 향상시켜 방열성능을 극대화 시키려는 노력이 진행 중에 있다.^[1-3]

일반적으로 자동차 라디에이터는 부동액이라는 에틸렌 글리콜을 함유한 냉각수를 사용하여 엔진에서 발생하는 열을 흡수하여 라디에이터를 통해 방출한 뒤 다시 엔진으로 유입되는 과정을 반복하게 된다. 따라서 방열되는 효율이 높은 라디에이터에 대한 요구가 지속적으로 발생하고 있다.

본 연구는 자동차용 라디에이터에 대한 방열성능을 수치해석을 통해 확인하고자 한다.

2. 수치해석방법

2.1 수치해석모델

본 연구에서는 라디에이터 내부 및 외부에 흐르는 유동을 3차원 정상상태 난류유동으로 가정하였고, 라디에이터에서 온도 및 속도분포와 압력산출을 위해 지배방정식으로 연속방정식, 운동량 방정식, 에너지방정식이 적용되었다. 난류모델은 k-ε 모델을 적용하였다.

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j u_i) = \frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_i} + S_u \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho_j k) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} + u_t G - \sigma \epsilon \quad (3)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j \epsilon) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} + \frac{\epsilon}{k} (C_1 \mu_t G - C_2 \rho \epsilon) \quad (4)$$

$$\frac{\partial(\rho u_i T)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\mu}{Pr} + \frac{\mu_t}{Pr_t} \right) \frac{\partial T}{\partial x_i} + S_T \quad (5)$$

본 연구에 사용된 연속 방정식은 식(1)과 같이 나타낼 수 있으며, 운동량 방정식은 식(2)와 같이 나타낼 수 있다. 난류에너지 방정식은 식(3)과 같이 나타낼 수 있으며, 난류에너지 소산방정식은 식(4)와 같이 나타낼 수 있다. 또한, 에너지 방정식은 식(5)와 같이 나타낼 수 있다.

수치기법으로는 지배방정식에서 압력과 속도의 연결은 SIMPLE(Semi-Implicit Method for Pressure Linked Equations)에 따른 Segregate Flow 알고리즘이 적용되었으며, 해석결과를 취득하기 위한 수치해석의 환경은 정상상태에서 반복 계산 시 종속변수들의 수렴관정을 잔차 값이 10⁻³이하에 도달하면 수렴한 것으로 판단하였다.

2.2 수치해석대상

본 연구에 적용되는 라디에이터는 Fig. 1과 같은 형상을 나타내고 있으며, 냉각수 유입구와 유출구의 위치에 따른 수치해석 변수를 선정하였다.

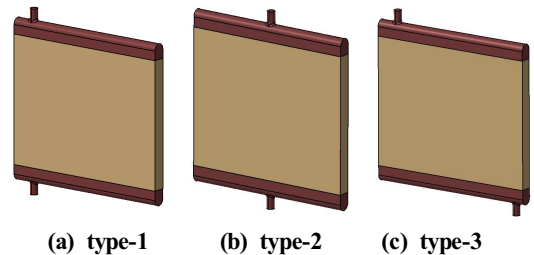


Fig. 1 Parameter of numerical analysis

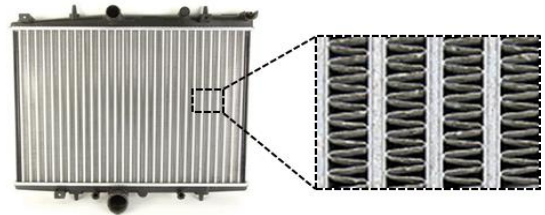


Fig. 2 Configuration of radiator core for automobile

2.2 라디에이터 수학적 모델링

일반적으로 Fig. 2와 같이 라디에이터의 경우 공기가 지나가는 통로를 모두 모델링하여 수치해석을 수행하지 않고, 라디에이터 코어 부분의 경우 다공성 물체로 가정하여 모델링되고 있다. 따라서 라디에이터의 코어에 대한 배압 증가를 구현하기 위해서 일반적으로 다음 식(1)과 같은 압력 증가 항을 많이 사용하고 있다.^(5,6)

$$-K_i u_i = \frac{\partial p}{\partial \xi_i} \quad (1)$$

여기서 ξ_i ($i=1,2,3$)은 유동방향, K_i 는 투과율, u_i 는 ξ_i 에서의 면적속도, 투과율 K_i 는 식(2)와 같은 형태의 면적속도 크기의 함수로 나타낼 수 있다.

$$K_i = \alpha_i |\bar{v}| + \beta \quad (2)$$

라디에이터 내부에서의 유동은 길이방향에 대하여 작용하고 나머지 방향에 대해서는 작용하지 않는다. 따라서 ξ_i 는 작동유체의 배출방향인 x_i 로 나타낼 수 있다. 따라서 위의 식(2)을 식(1)에 대입하여 정리하면 식(3)과 같이 코어 내에서의 압력강하를 나타낼 수 있다.

$$\frac{dp}{dx_i} = -(\alpha_i |\bar{v}| + \beta) u_i \quad (3)$$

위의 식(3)은 라디에이터의 배압의 증가가 유속에 비례하는 항과, 유속의 제곱에 비례하는 항으로 나누어지게 된다. 따라서 본 연구서는 외기가 라디에이터 코어를 통과할 경우 1차측 투과계수 $\alpha = 90[\text{kg/m}^4]$ 와 2차측 투과계수 $\beta = 450[\text{kg/m}^3\text{s}]$ 을 설정하였고, 라디에이터 내부 냉각수가 지나가는 코어의 경우 1차측 투과계수 $\alpha = 2e^6[\text{kg/m}^4]$ 와 2차측 투과계수 $\beta = 55,000[\text{kg/m}^3\text{s}]$ 로 가정하였다.

Fig. 3은 수치해석에 필요한 기본적인 경계조건을 나타내고 있으며, 라디에이터의 경우 냉각수 통로와 대기공기의 통로가 동시에 존재하기 때문에

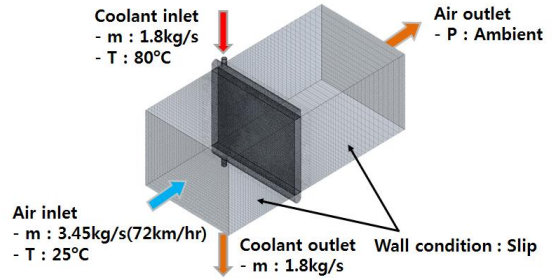


Fig. 3 Boundary conditions

에 유동진행방향에 따른 각각의 압력투과계수를 설정하였다.

3. 수치해석 결과 및 분석

Fig. 4는 라디에이터에서 냉각수가 지나가는 영역에서의 온도분포를 나타내고 있다. 그림에서 보는 것과 같이 (a) type-1의 경우 냉각수 입구와 출구가 좌측에 설치되어 동일선상에서 유입되어 빠져나가는 구조로 되어있다. 따라서 온도분포를 살펴보면 좌측 부분에 치우쳐 하강하는 것으로 나타났다. (b) type-2의 경우 중앙상부에서 유입되어 중앙하부로 빠져나가는 구조이기 때문에 좌우 동일한 열유동 분포를 지니고 있음을 확인할 수 있었고, type-1에 비해 라디에이터 하부에서 열전달이 상대적으로 둔화되는 것을 확인할 수 있었다. (c) type-3의 경우 상부 좌측에서 유입되어 하부 우측으로 빠져나가는 구조로 되어 있으며, 그림에서 보는 것과 같이 상부의 경우 유입부 위치에서 type-1과 유사한 형태로 열유동이 형성되다가 우측 출구 방향의 영향으로 인해 온도분포가 상대적으로 중앙부위로 분포되는 것을 확인할 수 있었다.

전반적으로 열전달량을 확인한 결과 3가지 모델에서 약 158kW의 열전달이 이루어졌고, 냉각수 온도차는 약 10°C 정도 발생함을 알 수 있었다.

Fig. 5는 압력분포를 나타내고 있으며, 그림에서 보는 것과 같이 라디에이터 상부의 경우 (a) type-1과 (c) type-3의 경우 좌측에서 유입되기 때문에 좌측 상단부의 라디에이터 코어의 영향으로 인해 압력이 증가되는 것을 확인할 수 있었다.

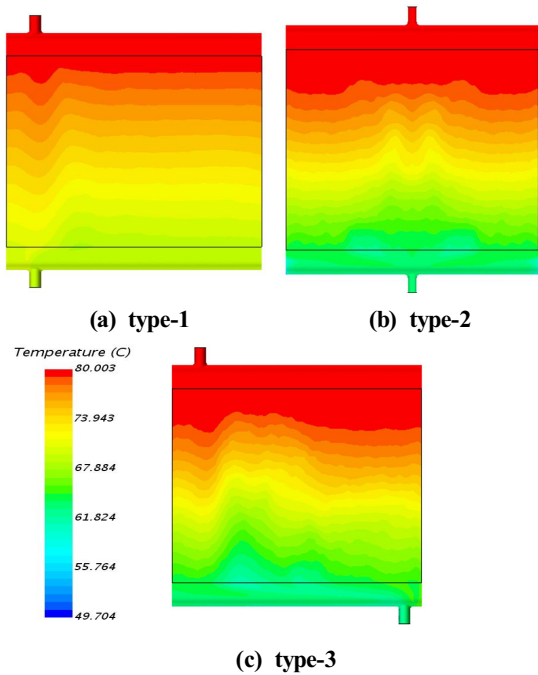


Fig. 4 Results of temperature contour

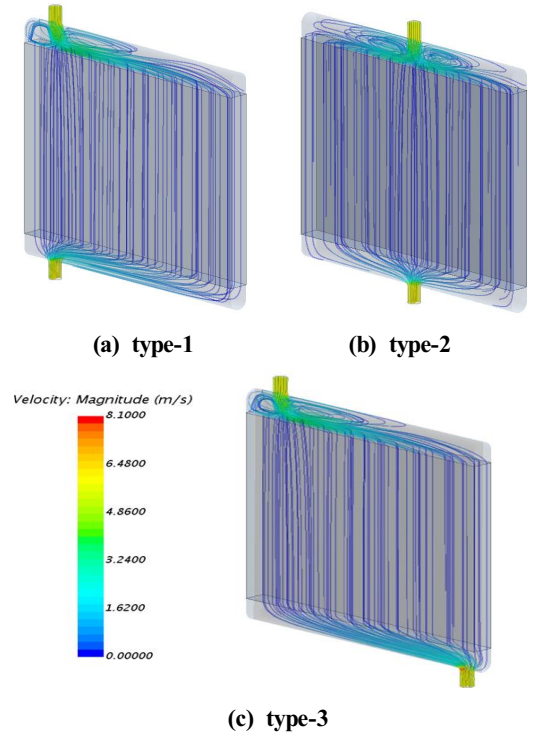


Fig. 6 Results of stream line in radiator

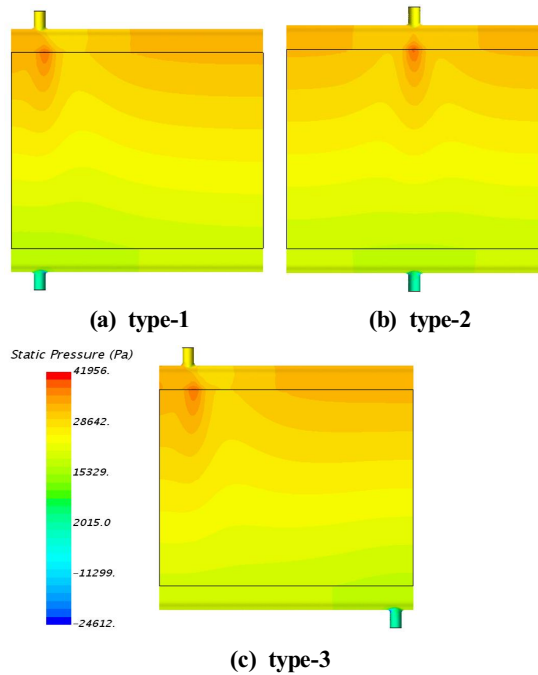


Fig. 5 Results of static pressure contour

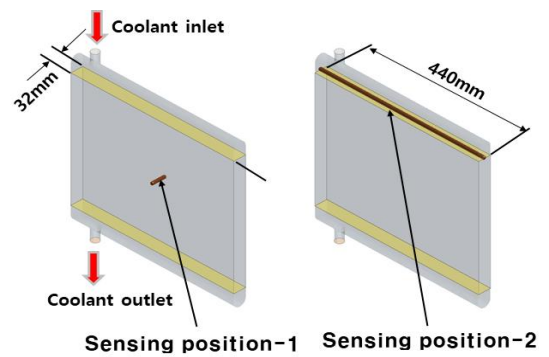


Fig. 7 Sensing positions in radiator

또한 (b) type-2의 경우 중앙에서 유입되어 중앙으로 빠져나가기 때문에 상부 코어 중앙부에서 압력이 가장 높게 발생함을 확인할 수 있었다. 따라서 본 연구에서 적용된 라디에이터 코어에서 작용하는 압력투과 계수의 영향으로 인해 유동저항이 발

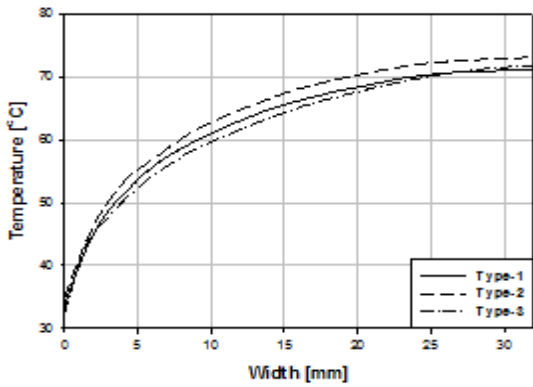


Fig. 8 Comparison of temperature distributions at sensing position-1

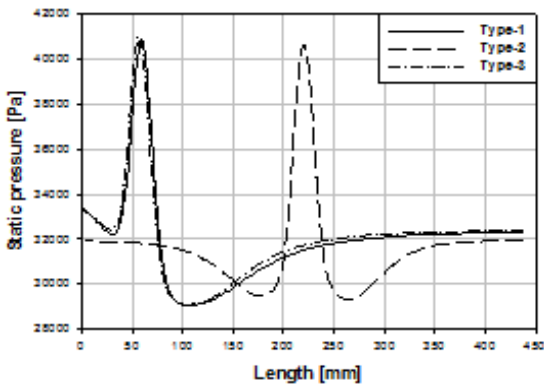


Fig. 9 Comparison of static pressure distributions at center line in sensing position-2

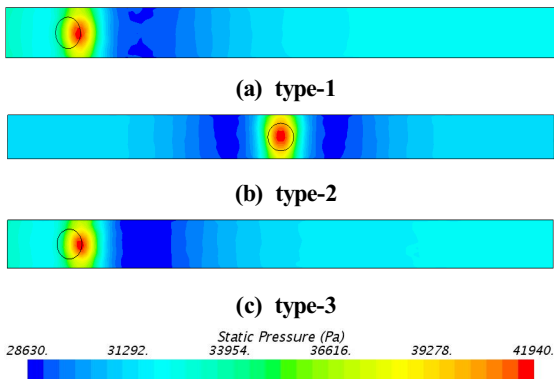


Fig. 10 Results of static pressure distributions at radiator core inlet surface

생하고 있는 것을 확인할 수 있었다.

종합적으로 3가지 모델에 대한 압력강하의 경우 코어 외부공기 쪽은 약 1,375Pa, 내부 냉각수 쪽은 약 14,570Pa 정도가 발생함을 확인할 수 있었다.

Fig. 6은 라디에이터 내부를 지나가는 유선분포를 나타내고 있다. 그림에서 보는 것과 같이 라디에이터 상부 코어로 진입하기 전에 유동저항에 의해 복잡한 유동장이 발생하는 것을 확인할 수 있었고, 출구지점에서는 유동이 상부에 비해 매끄럽게 빠져나가는 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 7은 라디에이터 내부에서 온도분포를 확인하기 위하여 센서의 위치를 나타낸 것이다. Sensing position-1의 경우 라디에이터 중심부에서 외기 공기가 유입되는 지점과 빠져나가는 지점이 고, Sensing position-2의 경우 라디에이터 상부 지점에 코어로 유입되는 지점의 길이방향으로 데이터 취득한 위치를 나타내고 있다.

Fig. 8은 Sensing position-1에 대한 온도분포를 비교한 것이다. 그림에서 보는 것과 같이 거의 유사한 온도분포를 나타내고 있으며, 전반적으로 Type-2가 다소 온도가 높게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 또한 라디에이터 코어를 지나감에 따라 온도가 상승하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 라디에이터에 외기가 유입될 때 낮은 온도에서 유입되어 라디에이터를 통과하면서 냉각수와 열교환이 발생하여 빠져나갈 때는 온도가 높게 나타나는 것을 알 수 있었다. 여기서 Type-3의 경우 온도가 상대적으로 가장 낮게 나타남에 따라 열전달이 보다 촉진된 것을 알 수 있었고, 라디에이터 코어를 빠져나가면서 Type-1과 거의 유사하거나 소폭 상승된 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 9는 Sensing position-2에 대한 온도분포를 나타내고 있으며, 라디에이터 코어로 냉각수가 통과하는 지점이다. 따라서 Type별로 코어 입구에서 압력변화가 발생함을 알 수 있었다. Type-1과 Type-2의 경우 냉각수 유입위치가 동일하기 때문에 거의 유사한 압력분포를 나타내고 있었고, Type-2의 경우 중앙에 냉각수 유입위치가 설치되어 있기 때문에 중심부에 압력이 가장 높게 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

이를 Fig. 10을 살펴보면 입구주위에서 압력이

가장 높게 나타나다가 가장자리 쪽으로 이동하면서 압력이 급하강한 후 다시 서서히 압력이 증가되는 것을 확인할 수 있었다. 이는 가장자리 벽면 부위에서 코어 입구쪽에서 유동저항에 의해 압력이 유지됨에 따라 정체가 발생하기 때문인 것으로 판단된다.

본 연구에서 총 3가지 모델에 대하여 열유동해석을 수행하여 온도분포를 확인한 결과 라디에이터의 크기가 동일한 상태에서 냉각수의 입-출구 위치의 변화에 따른 열전달 분포를 확인해 보면 거의 유사한 결과를 나타냄을 확인할 수 있었다.

열전달량의 경우 3가지 모델에서 약 158kW의 열전달이 이루어졌고, 냉각수 온도차는 약 10℃ 정도 발생함을 알 수 있었다.

4. 결 론

자동차에서 사용되는 라디에이터에 대하여 냉각수와 외기공기와 열전달되어 냉각수 온도분포에 대한 열유동해석을 수행한 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

라디에이터 체적의 변화없이 냉각수 유입구 위치에 따른 열전달량의 차이는 유사하였고, 입-출구의 위치변화에 따른 온도분포의 경향은 차이가 발생하였다.

열전달량의 경우 3가지 모델에서 약 158kW의 열전달이 이루어졌고, 냉각수 온도차는 약 10℃ 정도 발생함을 알 수 있었다. 또한, 압력강하의 경우 코어 외부공기쪽은 약 1,375Pa, 내부 냉각수 쪽은 약 14,570Pa 정도가 발생함을 확인할 수 있었다.

후 기

본 논문은 2018년도 경남과학기술대학교 대학회계 연구비 지원에 의하여 연구되었음

REFERENCES

1. Cho, J. U., Han, M. S., "Thermal Analysis of

Vehicle Radiator," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 8, No. 1, pp. 18-23, 2009.

2. Lee, S. W., Yeom, H. K., Park, K. J., "Performances of Hot Gas Bypass Type Oil Cooler System," Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 26, No. 3, pp.73-80, 2009.

3. Cho, J. U. and Han, M. S., "Analysis of the Air Flow due to the Number of Electric Fan Blades", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 11, No. 1, pp.107-112, 2012.

4. Cho, J. U., Han, M. S., "Air Flow Analysis due to the Configuration of Car Body Radiator Grill", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 12, No. 3, pp.107-112, 2013.

5. Kim, J. M., Cho, H. K., Kim, T. G., Kim, M. S., Kim, Y. S., Kim, Y. N., "A Numerical Study of the Effect of Small Passenger Car's Grille Shape on the Aerodynamic Performance", Transactions of KSAE, Vol. 23, No. 1, pp.74-87, 2015.

6. Kim, D. U., Chung, H. S., Jeong, H. M., Yi, C. S., "An Experimental Study on the Temperature Distribution according to the Heat Sink Height of 30W LED Floodlight", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 16, No. 5, pp. 150-156, 2017.

7. Wang, Z. H., Byun, S.-J., Cho, E.-J., and Kwon, Y.-C., "A Study on Air-side Heat Transfer Characteristics by Arrangement of Wave Heat Exchangers under Winter Condition", J. Korean Soc. Mech. Technol, Vol, 20, No. 1, pp. 62~67, 2018.

8. Lee, W. J., Kim, J. H., Yoon, J. K., "A Study on Heat Flow Characteristics of Forced Convection in a Helical Tube Heat Exchanger using CFD", J. Korean Soc. Mech. Technol, Vol. 20, No. 2, pp.166~173, 2018.

9. Kim, B. H., Lee, C. R., Jung, M. J., Seong, J. E., "A Study on the Cooling Characteristics of Heat Exchanger Filter for Cutting Oil Supplying Device", J. Korean Soc. Mech. Technol, Vol. 20, No. 4, pp.439~445, 2018
10. Hwang, S. W., "A Study on the Performance of Wavy Fin Heat Exchangers for the Special Purpose Vehicle using CFD analysis", J. Korean Soc. Mech. Technol, Vol. 20, No. 5, pp.586~592, 2018
11. Kim, J. M., "Experimental Study of Water Penetration Rate Via Graphene Oxide Membrane According to Driven Pressure Difference", J. Korean Soc. Mech. Technol, Vol. 20, No. 6, pp.858~864, 2018.