Transactions of KSAE, Vol. 29, No. 11, pp.1003-1010 (November, 2021)

Check for updates

Copyright © 2021 KSAE / 192-03
pISSN 1225-6382 / eISSN 2234-0149
DOI http://dx.doi.org/10.7467/KSAE.2021.29.11.1003

비포장도로 다목적 운반차량(UTV)의 엔진룸 열 유동 해석

이 선 욱[1] · 윤 정 의[*2] · 한 명 훈[3] · 탁 양 호[4] · 김 창 욱[4]

강원대학교 기계 · 자동차공학과[1] · 강원대학교 기계시스템공학부[2] · 블루플래닛 기술연구소[3] · 대동공업 기술연구소 트렉터팀[4]

Thermal Flow Analysis of Engine Room for Off-road Utility Terrain Vehicle

Seonwook Lee[1] · Jeong-Eui Yun[*2] · Myunghoon Han[3] · Yangho Tak[4] · Changwook Kim[4]

[1]*Department of Mechanical and Automotive Engineering, Kangwon National University, Gangwon 25913, Korea*
[2]*Department of Mechanical System Engineering, Kangwon National University, Gangwon 25913, Korea*
[3]*R&D, Blue Planet Co., Ltd., 28-9 Ssangsongbuk-ro 27beon-gil, Mado-myeon, Hwaseong-si, Gyeonggi 18541, Korea*
[4]*R&D Tractor Team, Daedong Industrial Co., Ltd., 39 Changnyeonggongdan-gil, Changnyeong-eup, Changnyeong-gun, Gyeongnam 50319, Korea*

(Received 19 February 2021 / Revised 23 May 2021 / Accepted 5 July 2021)

Abstract：In this study, an engine room thermal flow analysis of the UTV(Utility Terrain Vehicle), which mainly operated on unpaved roads, was performed. The purpose of this study was to investigate the heat load transmitted to the driver through the passenger seat as a result of the heat generated from the engine. Analysis conditions included the air inhaled into the engine room set in three cases, 50 ºC, 70 ºC, and 90 ºC, as harsh environments during a hot summer were considered. Moreover, the inflow speed of the inhaled air was determined in three cases, 50 km/h, 60 km/h, and 70 km/h, depending on the performance of the vehicle. Under these conditions, the heated air at the upper part of the engine compartment did not cool well because the air inlet area was located below the center of the engine room.

Key words：CFD analysis(전산유체해석), Engine room(엔진룸), Off-road(비 포장도로), Thermal distribution(열 분포), Utility terrain vehicle(다목적 운반차)

1. 서 론

차량의 종류에 따라서 차량을 구성하는 부품들은 다양한 형태나 배치를 보인다. 특히 그 부품들 가운데 엔진 등 발열 부품에서 발생하는 열은 엔진룸의 전체적인 열 유동 형상에 영향을 주고 부품들의 모양이나 위치 또는 엔진룸 전체적인 형상에 따라서 다양한 열 유동 형상이 생겨난다. 일반 승용차의 경우 차량의 엔진룸은 주로 차량의 전면부에 위치하며 이러한 엔진룸의 열 유동 해석은 발열 부품들로 인한 주변 부품들에 미치는 영향을 예측하고 부품들이 작동의 안전성을 보장할 수 있도록 냉각성능을 향상시키는 것을 목적으로 주로 수행되어져 왔다.[1,2] 그러나 본 연구 대상은 비포장도로를 운행하는 다목적 운반차량(UTV)의 엔진룸 열 유동해석으로 사용자가 직접 승차할 승차석 바로 밑에 위치한 좁은 공간에 0.8 L급 2기통 4사이클 가솔린엔진을 중심으로 관련부품이 밀집되게 배치되어 있는 상황에서 주변 환경과 운전조건에 따라 엔진에서 발생하는 열로 인해 승차석을 통해 운전자에게 전달되는 열부하를 규명해 보는 것을 연구의 목적으로 수행하였다. UTV의 엔진룸은 기존의 엔진룸들과는 다르게 승차석 아래에 넓게 포진하고 있고 그 크기도 상대적으로 거대하여 그로 인한 영향을 예상하기 힘들고 사용자에게 불쾌감을 줄 수 있기에 이를 미리 알고 대비해야 한다고 생각하여 이런 연구를 수행하였다. 먼저 본 연구에서는 엔진에서 열이 발생하여 승차석을 통해 전달되고 승차석 부분의 온도가 60 ºC가 넘어서면 불쾌감을 줄 수 있다는 생산업체의 기준을 참고로 주변 환경과 운전조건에 상응하는 공기의 유입 온도 속도 변화를 입력조건으로 엔진룸의 전체적인 열

*Corresponding author, E-mail: jeyun@kangwon.ac.kr
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.

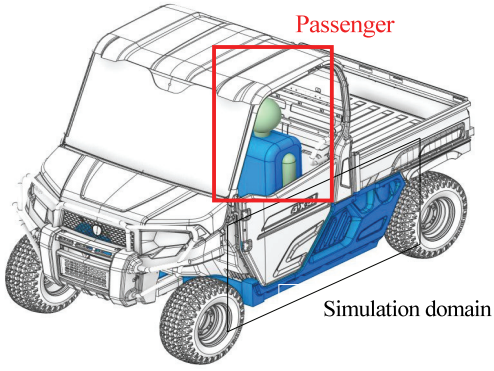
유동 해석을 수행하였다. 최종적으로는 이러한 열 유동 해석을 통해 운전조건 변화에 따른 현재의 엔진룸 형상이 가지고 있는 열 유동 특성 규명을 수행하였다.

2. 수치해석 방법

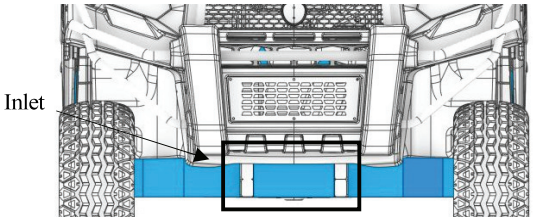
본 연구에서는 Fig. 1과 같이 탑승자가 앉아있는 차량의 운전석 아래와 뒤쪽에 짐을 싣는 적재함의 아래 부분 전체로 구성된 엔진룸을 대상으로 열 유동해석을 수행하였다. 엔진룸의 전체 유동은 차량 전면부의 그릴을 통과한 외부공기가 라디에이터를 거쳐 가열된 후 차량 아래쪽에 위치한 Inlet으로 유도하도록 설계된 프레임에 부딪혀 엔진룸에 유입된다. Fig. 2는 엔진이 포함된 열 유동 해석영역을 보여주는 그림이다. Fig. 1의 차량 전면부의 그릴을 통해 유입되는 공기는 그릴 뒤쪽에 위치한 라디에이터를 지난 후 Fig. 2에서 보여주고 있는 유동장의 전면부에 위치한 덕트 형상의 입구로 들어오게 된다. 해석 대상 차량의 경우 비포장도로를 주로 운행하기 때문에 그릴이 있는 앞쪽 부위와 엔진룸을 형성하는 뒤쪽 부위는 흙먼지 등으로부터 엔진 등을 보호하기 위해 Fig. 2에서 보여주는 것처럼 그림의 입구 쪽으로 흡입공기만 유입되도록 구성되어져 있다. 이렇게 엔진룸으로 유입되는 공기는 그림의 화살표로 표시된 경로처럼 유동장내의 프레임과 부품들을 거쳐 좌, 우측 및 후면부의 배출구를 통해 밖으로 빠져나가게 된다. 해석과정에서는 이러한 실제 형상을 최대한 사실적으로 반영하여 입구와 출구를 제외한 다른 면들은 전부 막혔다고 가정하고 유동장을 구성하였다. 유동장을 구성하는 과정에 있어 엔진룸 내 일부형상들은 ANSYS SpaceClaim을 이용하여 해석에 영향을 주지 않는 범위 내에서 단순화 하는 과정을 거쳤으며 그릴 및 라디에이터가 위치한 엔진 룸 앞쪽부분은 엔진룸을 구성하는 격막에 의해 분리되어져 있어 해석에서 제외하였다.

엔진룸 열 유동 해석은 상용유동해석 프로그램인 ANSYS CFX를 사용하였으며, 난류 모델은 Ansys사가 추천하고 있는 경계층 해석에 적합한 k-ω 모델과 자유류 해석에 적합한 k-ε 모델이 결합된 SST(Shear Stress Transport)모델을 사용하였다.[3)]

Fig. 3은 엔진룸 해석을 위해 구성한 해석격자의 모습을 보여주고 있다. 첫 번째 사진은 두 번째 사진 위치인 Fig. 2의 B-B단면 해석격자를 보여주는 사진이다. 측면에 존재하는 배출구는 (a)와 같은 형상을 하고 있다. (a) 사진은 Side outlet 위치의 해석격자를 보여주고, (b) 사진처럼 복잡한 형상의 엔진룸을 잘 표현하기 위해 사면체 격자를 주로 사용하였으며, 벽면에는 3층의 프리즘 형태의 격자를 삽입하여 y+ 값이 100이하가 되도록 전

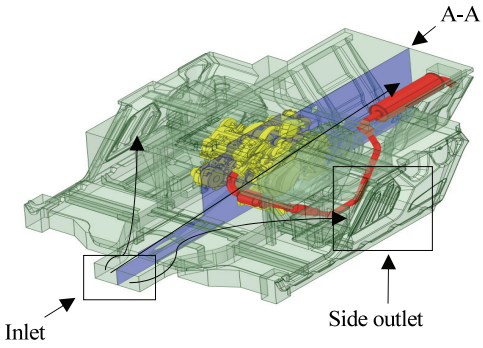


(a) Passenger and simulation domain location

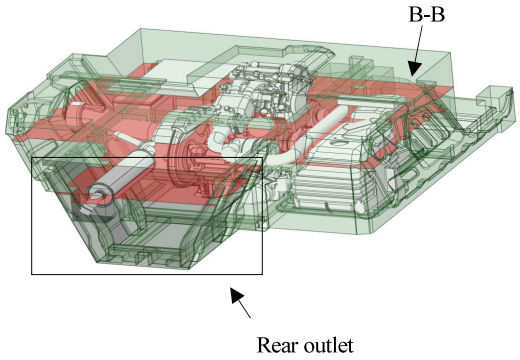


(b) Air inlet area location

Fig. 1 Target vehicle geometry and engine room

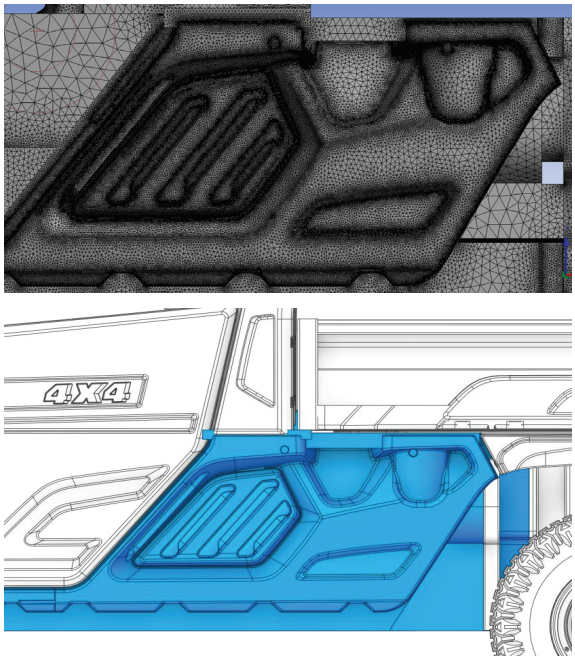


(a) Inlet, side outlet and A-A plane location

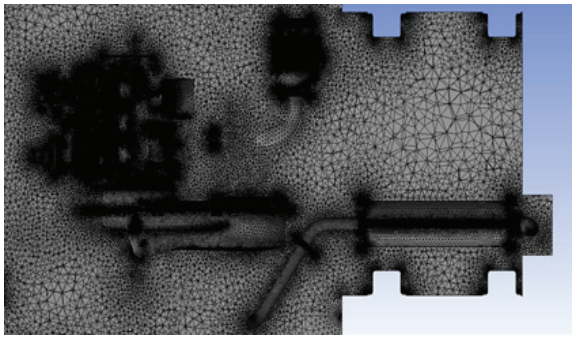


(b) Rear outlet and B-B plane location

Fig. 2 Air inlet and outlet locations in engine room



(a) External part mesh



(b) Internal part mesh

Fig. 3 Grid construction for engine room analysis

Table 1 CFD model and boundary conditions

Items	Conditions
Fluid	Air ideal gas
No. of mesh	90,171,695
Domain	Stator
Boundary condition	Temperature = 50 ℃, 70 ℃, 90 ℃ Pressure = 1 atm
Air speed	50 km/h, 60 km/h, 70 km/h
Turbulence model	SST(Shear Stress Transport)
Engine surface temperature	100 ℃
Zero exhaust	251 ℃
First exhaust	174 ℃
Second exhaust	150 ℃
Third exhaust	119 ℃

체를 구성하였다.[4] 해석조건으로 엔진룸을 통하여 흡입되는 공기는 더운 여름철 열악한 환경을 고려하여 50 ℃, 70 ℃, 90 ℃ 3가지의 경우로 정하였으며, 흡입되는 공기의 유입속도는 해석 대상 차량이 최대 70 km/h로 달릴 수 있어 차량의 성능을 고려하여 50 km/h, 60 km/h, 70 km/h 3가지의 경우로 정하였다. 이들 차량속도와 유입온도 조건으로 구성할 수 있는 총 9가지 조건에 대해 이전 여러 연구에서 발표한 자료를 참조하여 차량제조사에서 제공한 전 부하 조건에서의 엔진 및 배기부품의 표면 온도 값을 경계조건으로 해석을 수행하였다.[5,6] 엔진룸에서 가장 큰 열원이 되는 배기 파이프의 경우 표면온도가 파이프라인을 따라 연속적으로 바뀌기 때문에 온도를 설정하기가 어려워서 파이프의 꺾이는 부분을 기준으로 엔진에서부터 처음으로 꺾이는 부분 이전까지를 Zero exhaust, 두 번째로 꺾이는 부분 이전까지를 First exhaust, 세 번째 전까지를 Second exhaust, 나머지 부분을 Third exhaust로 나누어 총 4구역으로 경계조건을 주었다. 온도 조건은 Table 1에 나타나 있으며 엔진은 Fig. 2에 노란색 부품이며 파이프라인은 붉은색 부품이다. 그리고 그 외의 다른 부품들은 단열로 설정한 후 해석을 수행하였다. 비압축성 유동으로 해석하였으며 총 계산 격자는 Table 1에 나타나 있으며 수렴 조건으로는 RMS를 사용하고 1×10^{-4}를 만족하도록 하였으며 Conservation target은 0.01로 설정하여 계산을 수행하였다.

3. 해석 결과 및 고찰

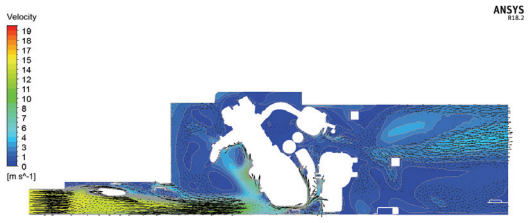
해석결과를 확인하기에 앞서 격자의 비 독립성 확인(Mesh Independency Test)을 통해 해석 격자와 결과 사이의 독립성을 확인해 보았다. 테스트 결과는 Table 2에서 보이듯 해석 격자수가 달라지더라도 Monitoring Point인 좌석의 평균 온도는 격자수와 독립적인 결과를 가짐을 알 수 있다. Fig. 4는 흡입공기의 속도 변화가 엔진룸 유동에 미치는 영향을 알아보기 위해 흡입되는 공기의 온도를 90 ℃로 고정한 후 속도만을 바꾸었을 때 Fig. 2

Table 2 Mesh-Independency and computational time

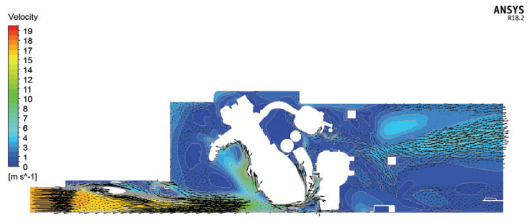
Size factor in mesh size tab	Total element size	Computational time	Iteration	Seat surface average temperature
65	107,428,711	32 [hr]	600	95.23 [℃]
80	90,171,695	29 [hr]	600	95.13 [℃]
100	73,650,196	21 [hr]	600	95.16 [℃]
110	66,205,610	17 [hr]	600	95.17 [℃]
120	60,972,975	17 [hr]	600	95.26 [℃]
160	44,401,414	12 [hr]	600	95.00 [℃]

의 단면 A-A, B-B 에서의 속도벡터를 보여주고 있다. 벡터의 방향과 길이를 통해 유체의 이동경로와 속도를 예상해 볼 수 있다. 엔진룸내로 공기를 유입해주는 덕트 입구가 엔진룸 아래쪽에 위치하기 때문에 흡입되는 공기의 대부분이 엔진룸의 하단에서 흐르게 된다. 엔진의 하단부는 벡터의 크기를 통해서도 알 수 있듯이 유입되는 공기의 양이 많아 냉각이 잘 될 것으로 예상된다. 이와 달리 운전석 의자가 있는 엔진 상층부 쪽으로 흐르는 공기는 흐름이 부족하여 흡입공기에 의한 이 부분의 냉각을 크게 기대할 수 없다는 것을 확인할 수 있다. 흡입공기의 속도에 따라서 단면 A-A 및 B-B 에서의 벡터의 길이가 조금은 다르지만 전체적인 속도 벡터의 분포가 크게 달라지지 않기 때문에 주어진 운전 조건범위의 변화로 인한 엔진 룸내 온도분포의 변화는 크기 않을 것이라 예상된다.

Fig. 5부터 Fig. 7까지의 그림은 동일한 흡입공기의 속도 조건에서 흡기공기의 온도를 바꾸었을 때 엔진 룸 내의 온도분포를 보여준다. Fig. 4를 통해 예상할 수 있듯이 입구 주변을 포함한 엔진룸 하단부는 빠른 흡입공기의 속도로 인해 열확산이 잘되지만 상층부는 부족한 공

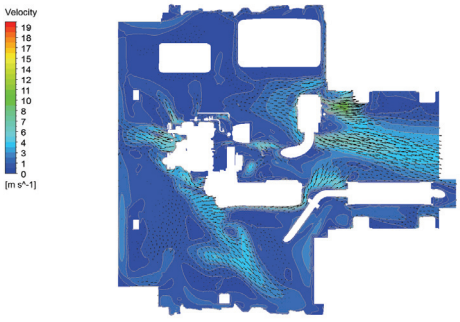


(a) Section A-A (Air vel = 50 km/h, Tem = 90 °C)

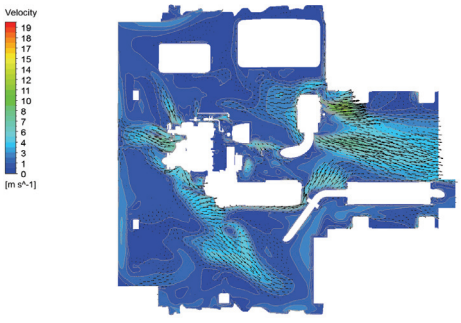


(b) Section A-A (Air velocity=60 km/h, Tem = 90 °C)

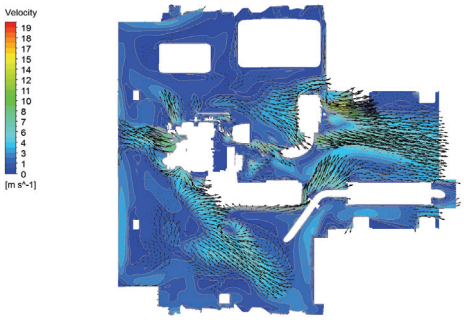
(c) Section A-A (Air velocity=70 km/h, Tem = 90 °C)



(d) Section B-B (Air velocity=50 km/h, Tem = 90 °C)



(e) Section B-B (Air velocity=60 km/h, Tem = 90 °C)

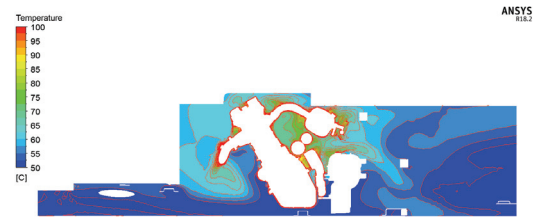


(f) Section B-B (Air velocity=70 km/h, Tem = 90 °C)

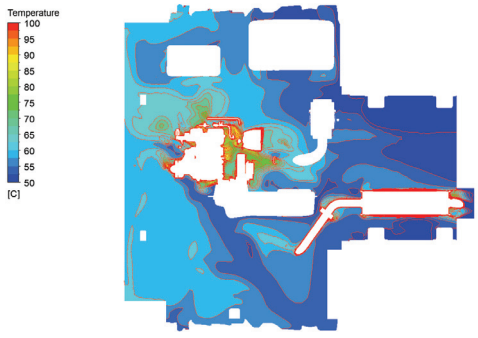
Fig. 4 Variation in engine room velocity vectors distribution in section A-A and B-B

기 유동으로 인해 열확산이 어렵다는 것을 확인할 수 있다. 이러한 이유로 단면 A-A의 온도분포를 살펴보면 엔진룸 하층부의 온도는 흡입되는 공기의 온도와 유사한 값을 가진다는 것을 알 수 있으며, 뜨거운 엔진 주변의 열은 여전히 상층부에 머물러 하층부에 비해 상대적으로 높은 온도분포를 형성하고 있다. 그리고 단면 B-B를 살펴보면 엔진주변과 배기시스템 주변의 공기유동이 나쁜 영역에서 상대적으로 높은 온도분포를 보여 주고 있음을 확인할 수 있다. 전체적으로 엔진 룸 내 평균온도는 흡입공기 온도에 비례하여 증가하지만 전체적인 온도분포는 크게 변하지 않는다는 것을 알 수 있다.

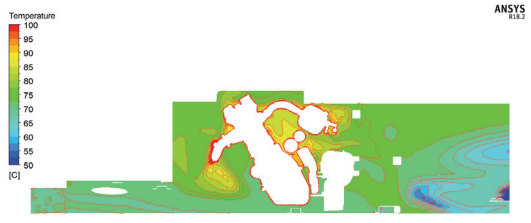
Fig. 8은 흡입 공기 온도 50 ℃ 속도 70 km/h에서 엔진룸의 표면 온도를 계산한 결과를 보여준다. 그리고 그림에서 점선 박스로 그려진 부분이 UTV의 사용자가 탑승하는 승차석이다. 승차석의 온도가 60 ℃ 이상이 될 경우 그곳에 앉는 사용자에게 더운 여름 날 불편함을 느끼



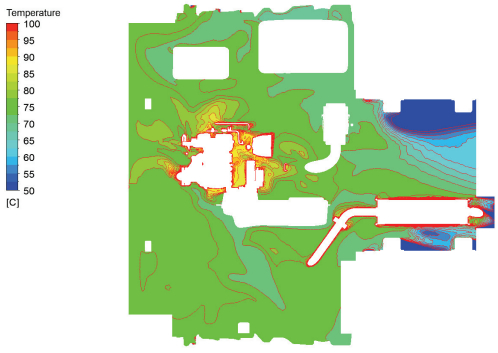
(a) Section A-A (Air vel = 50 km/h, Tem = 50 ℃)



(d) Section B-B (Air velocity=50 km/h, Tem = 50 ℃)

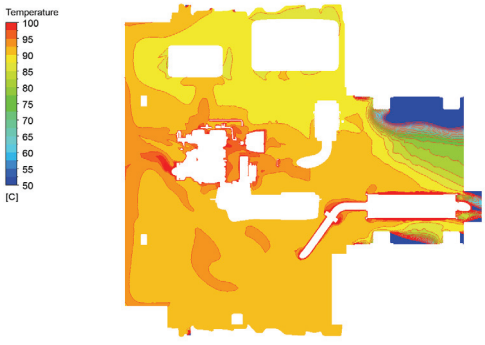


(b) Section A-A (Air vel = 50 km/h, Tem = 70 ℃)



(e) Section B-B (Air velocity=50 km/h, Tem = 70 ℃)

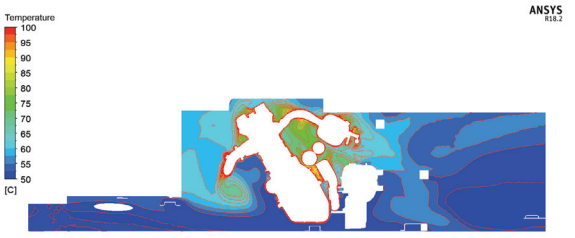
(c) Section A-A (Air vel = 50 km/h, Tem = 90 ℃)



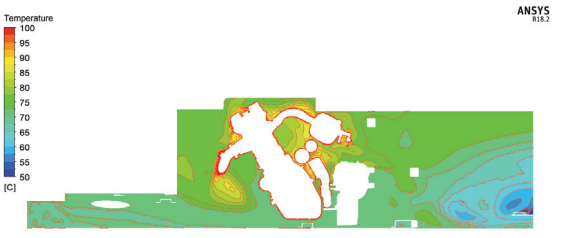
(f) Section B-B (Air velocity=50 km/h, Tem = 90 ℃)

Fig. 5 Variation in engine room temperature distribution in section A-A and B-B due to changes in intake air temperature

게 된다는 차량 생산업체의 기준을 참고하여 해석 조건 중 흡입공기온도 50 ℃ 속도 70 km/h에서 계산한 표면온도 결과를 살펴보면 승차석의 상당부분이 60 ℃ 전 후의 값을 가지고 있음을 확인할 수 있다. 최악의 조건인 90 ℃ 속도 70 km/h에서는 표면의 평균온도가 95 ℃에 육박하였다. 흡입공기의 유속 및 온도가 바뀌어도 거의 비슷한 결과를 보였다. 이러한 원인은 Fig. 4에서 확인 할 수 있듯이 흡입공기로 인한 엔진룸 내 유동의 대부분은 유동장 하단부를 통해 움직이고 있으며 엔진에서 발생하는 뜨거운 열이 승차석 위쪽으로 올라갈 경우 이를 밖으로 밀어내 주는 유로가 구성되어져 있지 않기 때문이다. Fig. 9는 유선을 그려놓은 그림이다. 그림을 살펴보면 흡입되는 공기의 주요흐름이 엔진을 중심으로 좌우 및 상단부에 걸쳐서 움직이면서 냉각을 시켜줘야 하는데 그

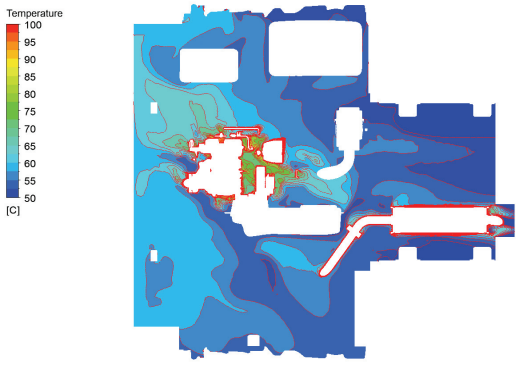


(a) Section A-A (Air vel = 60 km/h, Tem = 50 ℃)

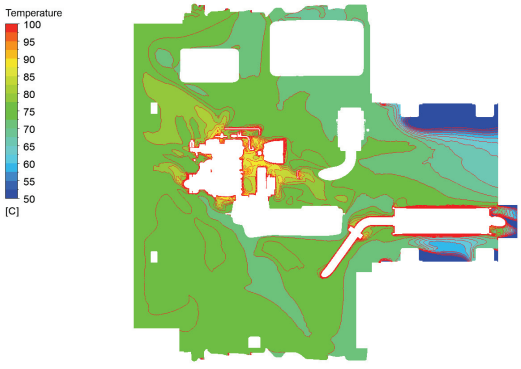


(b) Section A-A (Air vel = 60 km/h, Tem = 70 ℃)

(c) Section A-A (Air vel = 60 km/h, Tem = 90 ℃)



(d) Section B-B (Air velocity=60 km/h, Tem = 50 ℃)

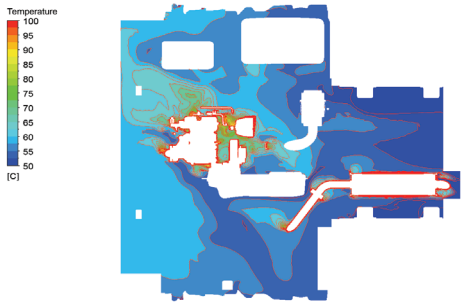


(e) Section B-B (Air velocity=60 km/h, Tem = 70 ℃)

(f) Section B-B (Air velocity=60 km/h, Tem = 90 ℃)

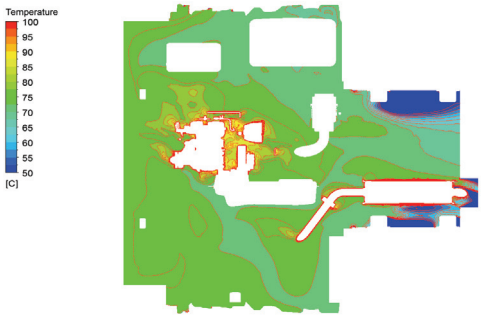
Fig. 6 Variation in engine room temperature distribution in section A-A and B-B due to changes in intake air temperature

(a) Section A-A (Air vel = 70 km/h, Tem = 50 °C)



(d) Section B-B (Air velocity=70 km/h, Tem = 50 °C)

(b) Section A-A (Air vel = 70 km/h, Tem = 70 °C)



(e) Section B-B (Air velocity=70 km/h, Tem = 70 °C)

(c) Section A-A (Air vel = 70 km/h, Tem = 90 °C)

(f) Section B-B (Air velocity=70 km/h, Tem = 90 °C)

Fig. 7 Variation in engine room temperature distribution in section A-A and B-B due to changes in intake air temperature

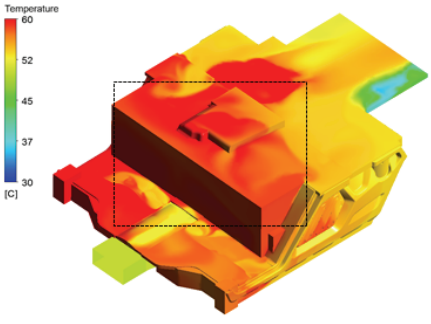


Fig. 8 Engine room surface temperature distribution under conditions of inlet air temperature 50 °C and its velocity 70 km/h. The square box drawn with a dotted line is the driver's seat

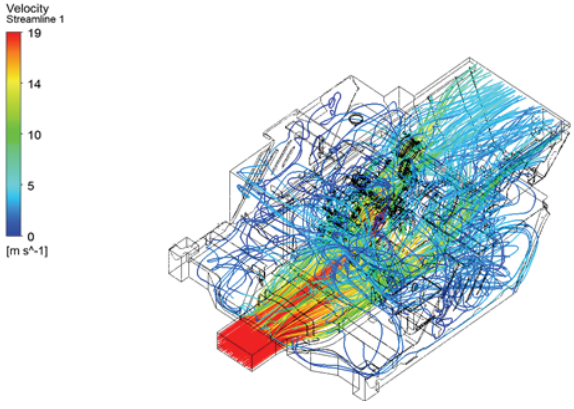


Fig. 9 Velocity stream line in engine room under conditions of inlet air temperature 90 °C and its velocity 70 km/h

렇지 않고 한 번에 후면부로 빠져나가는 모습을 보인다. 이로 인하여 엔진룸 상단부의 공기는 엔진에 의해 가열된 채 그 자리에 머물면서 승차석의 온도를 가열시키기 때문에 승차석 부분이 가장 뜨거운 영역으로 남게 된다는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구는 비포장도로 다목적 운반차량의 엔진룸 열유동해석을 통해 엔진에서 발생하는 열로 인해 승차석을 통해 운전자에게 전달되는 열 부하를 규명해 보는 것을 연구의 목적으로 수행하였다. 이러한 목적으로 수행한 일련의 연구 결과를 통해 다음의 결론을 얻었다.

1) 흡입공기가 유입되는 입구가 엔진룸의 중심부보다 낮은 곳에 위치하기 때문에 공기의 대부분은 엔진룸의 하단부를 지나게 되며 상단부 쪽으로 흐르는 공기 유로가 형성되지 않아 엔진에 의해 가열된 공기는 그 위치에 머물게 되어 엔진 상단부는 냉각이 잘 되지 않는 현상을 보였다.
2) 유입되는 공기의 속도는 엔진룸 하단부의 온도분포에는 어느 정도 영향을 주었으나 엔진룸의 전체적인 온도분포를 변화 시키는 데 크게 영향을 주지 않았고 오히려 흡입공기의 온도가 엔진룸 내 전체적인 온도분포 변화에 영향을 주었다.
3) 주어진 해석 조건하에서 승차석의 표면온도가 60 ℃를 넘어서는 현상을 보였으며 이를 개선할 방법이 필요하다. 승차석의 표면 온도를 낮추기 위한 구조적 변경 적용한 해석을 추가로 진행할 예정이다.

후 기

본 연구는 환경부 Global-Top Project 친환경자동차기술개발사업단의 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

References

1) K. T. Oh, J. H. Kim, S. W. Lee, Y. S. Kim, J. W. Ha and W. K. Kang, “Automobile Underhood Thermal and Air Flow Simulation Using CFD,” Journal of Computational Fluids Engineering, Vol.12, No.1, pp.22-27, 2007.
2) D. R. Lee, “Analysis of the Enhancement of Cooling Efficiency of a Vehicle in the Engine Room,” Journal of Computational Fluids Engineering, Vol.10, No.3, pp.55-62, 2005.
3) J. U. Kim, J. G. Bak, Y. S. Kang, L. S. Cho and J. S. Cho, “A Study on the Numerical Analysis Methodology for Thermal and Flow Characteristics of High Pressure Turbine in Aircraft Gas Turbine Engine,” The KSFM Journal of Fluid Machinery, Vol.17, No.3, pp.46-51, 2014.
4) ANSYS Inc ANSYS CFX-Solver Theory Guide, Release 18.2 2017.
5) J. Dybała, K. Lubikowski, K. Rokicki, P. Szulim and M. Wikary, “Thermal Analyses of Exhaust System on Combustion Engine,” Journal of KONES, Vol.19, No.4, pp.173-178, 2012.
6) P. Merati, C. Davis, K. H. Chen and J. P. Johnson, “Underhood Bouyancy Driven Flow-An Experimental Study,” Journal of Heat Transfer, Vol.133, No.8, 2011.