

궤도차량용 보조동력장치 엔진룸 내부 온도분포특성에 관한 연구 A Study on Temperature Distribution Characteristic inside Engine Room of the Auxiliary Power Unit for Tracked Vehicle

*이태의¹, #서정세², 박영식³

*T. E. Lee¹, #J. S. Suh(jssuh@gnu.ac.kr)², Y. S. Park³

¹ 경상대학교 기계공학과, ² 경상대학교 기계항공공학부, ³ 한국폴리텍VII대학교 자동차과

Key words : Engine room, Thermal and flow, Numerical analysis, Temperature distribution, Heat transfer

1. 서론

급격한 기후변화에 따라 대형트럭 및 궤도차량 탑승인원들에게 쾌적한 실내환경 제공을 위해서는 냉난방 시스템 장치의 필요성이 필수적으로 대두되고 있으며, 또한 차량 전자화에 따른 전자시스템의 응용확대로 인해 제한된 전기 출력성능 향상과 비상발전을 위한 전력공급원으로서의 기능을 수행하는 새로운 추가적인 시스템 장치가 요구되고 있다. 전술한 장치로는 보조동력장치(Auxiliary Power Unit, 이하 APU)가 있으며, APU는 기술 변화 및 사용자의 요구조건 등에 적합하게 소형경량화, 고효율의 성능이 요구되는 추세에 있다. 고성능 고효율 엔진 사용으로 인하여 필연적으로 야기되는 것은 엔진룸 내부 발열원인, 엔진복사열, 머플러, 발전기표면으로부터 방출되는 온도상승이다. 이러한 온도상승된 공기의 배출이 순조롭지 못하면 엔진의 출력성능 효율저하와¹⁻⁴ 경우에 따라서는 시스템의 내구수명을 단축시킬 수도 있다. 따라서 엔진룸 내의 공기온도 상승을 효율적으로 조절할 수 있는 냉각계통 설계를 위해 엔진룸 내부 온도분포변화 특성을 파악하는 것이 중요한 설계요인이 된다.

따라서 본 연구에서는 궤도차량 및 대형트럭 엔진룸내의 대류 및 열복사를 고려하고, 3 차원 전산해석 기법으로 엔진룸내의 방사율 및 흡입 온도조건변화에 따른 엔진룸 내부 온도분포 특성을 파악하여 본 보조동력장치 엔진룸의 냉각시스템 사양결정 및 설계 DATABASE 를 확보하고자 한다.

2. 해석방법

궤도차량 엔진룸 내부 수치해석을 위해 CATIA 에서 격실 구조물을 모델링하였으며, Pro-surf 를 통해 내부격자를 생성하였다. Fig. 2 는 격실구조물을 해석모델에 적합한 형태로 단순화 시켜 유한체적법(FVM)에 의한 계산모델 단면을 나타낸 것이다. 해석시 유동에 영향을 줄 수 있는 기하학적 특징은 가급적 자세히 모델링하여 오류를 최소화하고자 하였다. APU 엔진룸 내부 열유동을 해석하기 위해서 상용 CFD 코드인 STAR-CD 를 이용하였으며, Inlet 을 통해 유입되는 공기는 이상기체(Ideal gas) 법칙을 따르며, 3 차원 비압축성, 정상상태(Steady state) 유동으로 가정하였다.

해석을 위한 경계조건으로 외부벽면은 단열조건을 적용하였으며, Inlet 의 W 방향 속도 값 변수로는 설계 값인 입구유속의 20%수준인 -4.45 m/s 를 적용하였고, 유입공기 온도는 303K 를 적용하였다. 또한 Outlet 은 대기압 조건을 적용하였다. 엔진룸내 발열체인 엔진 조립체는 단열조건(Case1; adiabatic), 온도변화(Case2; 413K, 423K, 433K, 444K), 엔진 방사율(emission)변화(Case3; 0.1, 0.2, 0.3)에 따른 Case 별 해석을 수행하였다. 수치해석방법으로는 SIMPLE 알고리즘, MARS 기법을 사용하였다.⁴ 또한 난류모

델은 벽함수(wall function)를 적용한 표준 $k-\epsilon$ 고레이놀즈 (high Reynolds number)를 사용하였다. 방사율을 고려한 엔진룸내의 열복사 경계조건으로는 DBM(Discrete Beams Method)을 적용하여 엔진조립체 경계표면 사이에서 복사 열전달 효과를 고려하였다.

엔진의 방사율 및 투과율은 없다고 가정하였으며, 계산에 사용된 격자수는 439,844 개였고, CPU 계산시간은(2.13 GHz) 약 7 시간 소요되었다. 또한 해의 수렴 판단은 전역 표준 잔차(global residual)의 값이 10^{-3} 일 때를 수렴된 것으로 간주하였다. 수치해석을 위한 엔진룸 외부 전체 구조물의 크기는 약 1170(L)×720(H)×750(W)mm 이다.

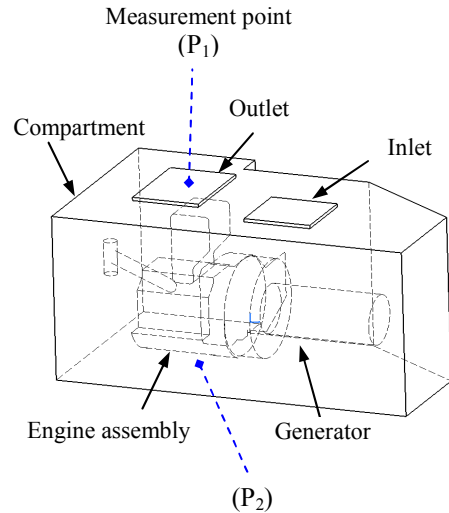


Fig. 1 Analysis model and measurement position of inside the engine room.

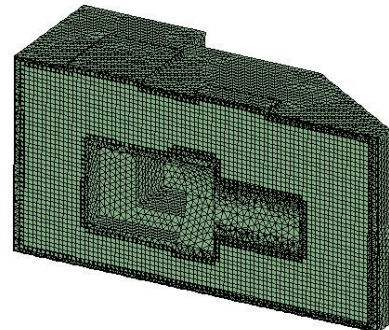


Fig. 2 Computational model section inside engine room.

Table 1 Computational condition

Engine surface	Parameter
Case1	adiabatic
Case2: temperature	413K/423K/433K/444K
Case3: emission	0.1/0.2/0.3

3. 엔진룸 내부 온도분포 해석결과

Fig. 3 은 유입공기온도 303K, 엔진내부 방사열 0.3, 내부벽면온도 423K 일 때, 엔진룸 내부 주요단면부의 3 차원 열유동 해석결과를 나타낸 것이다. 전반적으로 Inlet 부위 주변 온도분포는 약 306.5°C로 낮게 나타났으며, 엔진내부 표면에 방사열과 벽면온도가 적용된 곳은 312.1~313.5°C 정도의 온도분포를 보이고 있다.

Fig. 4 는 엔진룸 내부 방사열 0.1, 벽면온도 423K 일 때의 $x/L_v=0.1$ 에서 Section 별 온도분포 변화를 나타낸 것이다. 그래프에서 확인할 수 있듯이 하부 Section 1 에서 온도가 낮게 나타났으며, 상단부로 갈수록 부력과 혼합대류 영향으로 온도가 상승함을 볼 수 있다. 특히 중심부에서 온도가 양측면에 비해 다소 높게 나타나는 것은 엔진 발열 원의 중심에 위치하기 때문이며, 상부 Section 4 의 유동분포가 불균일한 것은 Outlet 부근과 가장 인접한 곳이기 때문이다. D_h 에의 거리변화에 따라서 온도가 불균일한 분포를 나타내고 있는데, 이는 좌우측 상부벽면에 부딪힌 공기가 Outlet 부분으로 유출되기 때문에 나타나는 현상이다.

Fig. 5 는 엔진표면 온도조건 변화(413K~423K)에 따른 $x/L_h = 0.3$ 에서, 격실상단 부분의 온도분포를 나타낸 것이다. 그림에서 볼 수 있듯이 $D_L = 0\sim 10, 20\sim 30$ mm 부분에서는 온도 조건이 높아질수록 비례하여 온도가 상승하는 경향을 나타냈지만, $D_L = 10\sim 20$ mm 부분인 Inlet 부분은 송풍기에 의한 강제대류의 공기가 유입되고 있어 출구부와 우측면에 비해서 온도조건에 의한 변화가 뚜렷하지 않다.

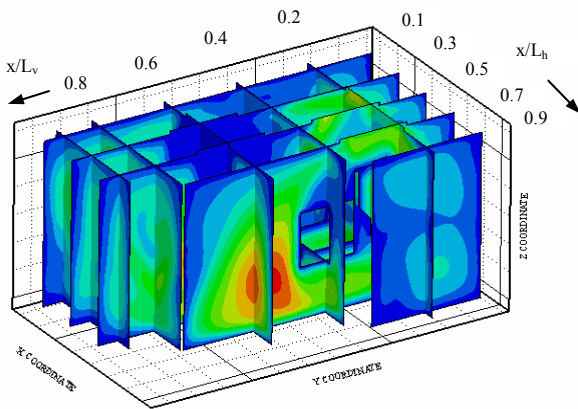


Fig. 3 Analysis results and data acquisition position inside the engine room.

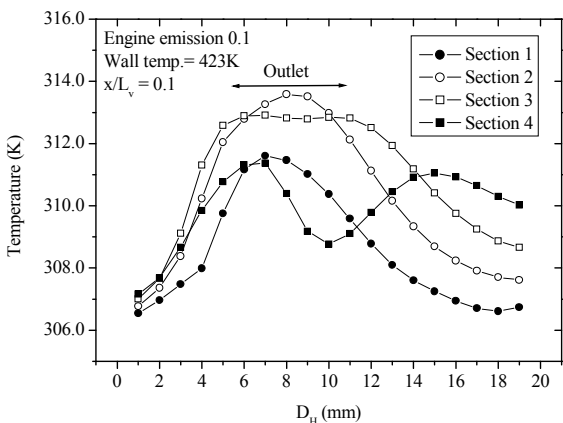


Fig. 4 Comparison of with section at engine emission 0.1 and the wall temperature 423K ($x/L_v=0.1$).

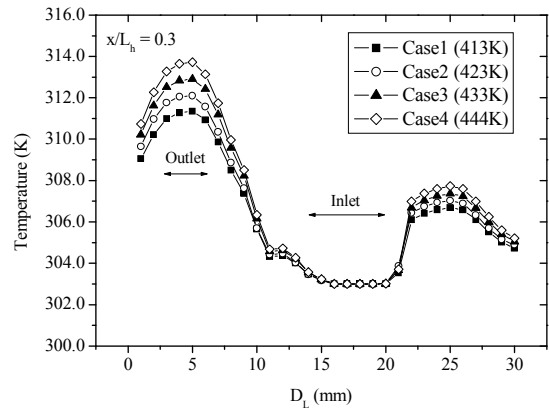


Fig. 5 Comparison of the temperature distribution at up section ($x/L_h=0.3$).

따라서 격실 엔진표면온도 조건변화에서는 출구부근 ($D_L=0\sim 10$), Inlet 부근, 우측부근($D_L=20\sim 30$)에서 전체평균 온도를 계산하면 각각 310.4°C, 305.8°C, 303.7°C로, 출구측이 가장 높게 나타났다. 그림에서 볼 수 있듯이 우측부근인 발전기가 장착된 부분에서 공기가 일부 정체됨으로 냉각팬 설치시 이를 고려한 설계가 필요할 것으로 판단된다.

4. 결론

보조동력장치용 엔진룸내부 온도분포를 파악하기 엔진표면온도 및 방사열을 고려한 3 차원 전산해석을 통한 해석 결과 엔진룸 내부 열유동 형태와 온도변화에 따른 주요 단면부의설계 DATA 를 획득하였으며, 결론은 다음과 같다.

- 1) 엔진표면온도 조건변화에서는 출구 부근($D_L=0\sim 10$), Inlet 부근($D_L=10\sim 20$), 우측부근($D_L=20\sim 30$)에서 전체평균 온도는 각각 310.4°C, 305.8°C, 303.7°C로 나타나 출구측이 가장 높게 나타났다. 또한, 발전기가 장착되는 우측 부분에서 일부의 공기가 정체되는 것으로 나타나 냉각팬 부착 위치 선정시 정체가 최소화 되는 위치를 고려하여 추가적인 설계개선이 필요할 것으로 판단된다.
- 2) 엔진룸 상부 단면에서의 Section 별($x/L_h = 0.2\sim 0.8$) 온도분포 변화에서는 전영역에 걸쳐 온도가 413K 에서 443K 로 상승함에 따라 증가되는 것으로 나타났다. $x/L_h = 0.6$, 구간 $D_L=16\sim 30$ mm 부근에서는 온도 변화에 따른 변화가 불균일하게 나타났으며, 이는 Inlet 부에 근접한 곳으로 강제대류에 의한 유동형태 변화로 인한 것으로 사료된다.

후기

본 연구는 지역산업기술개발사업 (과제번호: 70001205) 과제연구결과의 일부이며, 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. M. S. Lyu, E. J. Lee, Y. G. Ku, "The Numerical Study of the Effect of Car Front Opening Area on the Mean Flow in Engine Room," SAE, Vol. 4, No.2, pp. 158 - 165, 1996.
2. Nobuhiro Katoh et al., "Numerical Simulation on the Three Dimensional Flow and Heat Transfer in the Engine Compartment," SAE 910306, 1991.
3. K.T.Oh, J.H.Kim, et al., "Automobile Underhood Thermal and Air Flow Simulation using CFD," KSCF Vol. 12, No.1, pp. 22 - 27, 2007.
4. STAR-CD Manuals 3.24, Computational Dynamics, CD-adapco.