

1-D 시뮬레이션을 이용한 4톤급 지게차 엔진 열전달 분석

조원규^{*1)} · 강승우¹⁾ · 배충식¹⁾

한국과학기술원 기계공학과¹⁾

Analysis of engine heat transfer in 4-ton class forklift using 1-D simulation

Wonkyu Cho^{*1)} · Seungwoo Kang¹⁾ · Choongsik Bae¹⁾

Department of Mechanical Engineering, Kora Advanced Institute of Science and Technology¹⁾

Key words : Diesel engine(디젤 엔진), Forklift(지게차), Heat transfer(열전달), 1-D simulation(1-D 시뮬레이션), Engine simulation(엔진 시뮬레이션), Engine room thermal management system(엔진룸 열관리 시스템)

* 조원규, E-mail: chowk17@kaist.ac.kr

엔진 열전달은 엔진 연소 과정에서 발생한 열이 엔진 표면으로 빠져나가는 것을 말하며, 결과적으로 시스템 효율과 밀접한 관련이 있다. 엔진 연소 이후 실린더 내 표면으로 전달된 열은 엔진의 냉각수 및 표면으로 전달되어 엔진룸 내에서 열원으로 작용한다. 이 때문에 엔진룸 총합 열관리를 위해서는 엔진 열전달 분석이 필요하다. 또한, 엔진의 주변 온도, 냉각수 온도 및 열전달은 흡기의 온도 및 배기 재순환 가스 온도, 마찰력 등에 영향을 끼치고, 결국 엔진의 구동 효율 및 내구성에 영향을 미치기 때문에 총합적인 관리가 필요하다. 특히, 지게차와 같은 건설기계의 엔진룸은 좁은 공간에 엔진 및 유압기기 등 고발열 부품들이 밀집되어 있어서 방열 문제로 인해 성능 저하와 고장 등이 발생하고 있다. 하지만 현재까지 엔진룸 방열 설계에 대한 체계적인 프로세스가 정립되지 않아 방열 문제에 대한 정확한 원인 분석과 해결방안 모색이 어려운 실정이다.

엔진에서 연료의 연소로 발생한 에너지의 일부는 출력을 생산해내고, 그 이외 열은 냉각수, 배기가스, 배기관, 엔진 블록 등으로 빠져나간다. 일반적으로 엔진의 연료에서 나오는 열은 출력으로 36%, 냉각수로 25%, 배기가스로 30%, 나머지는 엔진 블록에서 외기로 방출되는 것으로 알려져 있다. 엔진을 저온에서 운전할 경우, 일산화탄소, 탄화수소, 질소산화물, 입자상 물질 등의 배출이 늘어나 후처리 장치의 부담이 커지고, 반대로 고온에서 운전될 경우 냉각 계통 구동 부하로 동력이 손실되어 표준운전온도에서의 운전은 중요한 이슈로 부각되고 있다.

따라서 본 연구에서는 4톤급 지게차의 엔진을 1-D 시뮬레이션 프로그램인 WAVE를 이용하여 모델링하고, 대상 엔진에서 부하 및 엔진속도 별 발생하는 열의 전달을 분석하고자 한다. 이를 통해 열 배출 요구량에 따른 4톤급 지게차의 팬 및 라이데이터 등 냉각시스템의 성능을 평가하고 개선하는데 필요한 데이터베이스 제공을 할 수 있고, 최종적으로는 엔진룸 총합 열관리 프로세스 정립에 기여할 것으로 기대한다.

본 연구에서는 4톤급 지게차에 적용할 KUBOTA사 V3800-TIE4 4기통 3.8L 디젤 엔진을 모사하고 발열 및 에너지 유동 분석을 위하여, Ricardo사 WAVE를 이용하여 1-D 엔진 모델을 구축하였다. 디젤 엔진 모델의 매니폴드 및 덕트 형상은 동일 규모의 상용 디젤 엔진의 기본적인 형상을 적용하였으며, 흡기 가압을 위한 터보차저와 배기 재순환 장치, 배기 후처리 장치 등도 장착하였다. 대상 엔진의 성능 및 리그 시험 결과를 토대로 시뮬레이션의 엔진 모델을 수정 및 보완하여 시뮬레이션 결과의 정확도를 개선하였다. 시뮬레이션 결과와 실제 엔진의 성능 및 리그 시험과 비교하였을 때, 최대 제동출력, 제동 토크, 제동연료소비율, 흡입 공기량 및 배기가스 온도에서의 최대 오차는 2% 내외였으며, 엔진 발열

및 에너지 유동 분석을 진행하기에 적합한 수준으로 판단하였다.

본 1-D 엔진 모델을 이용하여 엔진 내 발열 에너지, 엔진 내 냉각수와 엔진 오일로의 열전달을 분석하였고, 엔진 연소와 냉각, 배기에 따른 열평형 분석을 수행하였다. 또한 부하별 냉각수와 엔진 오일로의 열전달을 분석하였다. 이를 통해 기존 엔진 냉각 효과에 따른 발열 및 에너지 유동에 대한 데이터베이스를 구축하였다. 각종 엔진 냉각시스템 부품이 엔진의 성능에 미치는 영향을 판별할 수 있는 엔진 시뮬레이션 모델이 구축되었기 때문에 향후 개선될 엔진 냉각시스템 부품 적용에 따른 효과를 엔진 시뮬레이션을 통해 미리 예측할 수 있을 것이다.

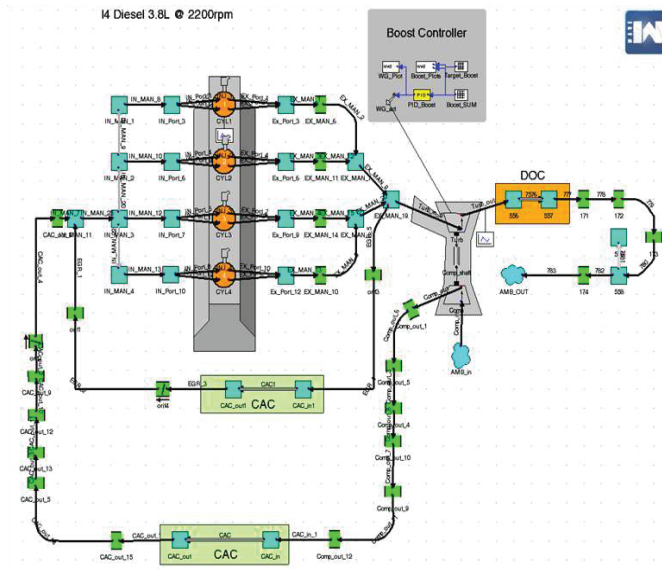


Figure 1. 1-D 시뮬레이션(WAVE)을 위한 디젤 엔진 모델

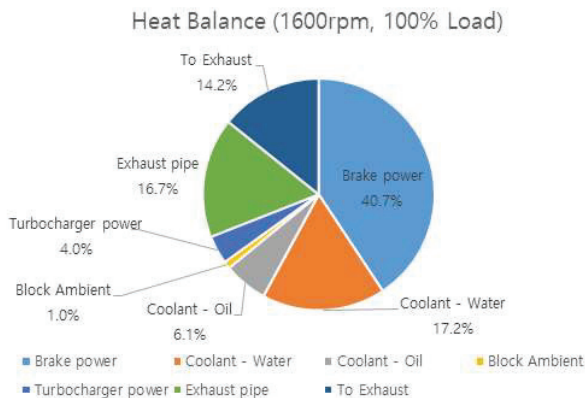


Figure 2. 엔진 연소 및 냉각, 배기에 따른 열평형 분석(1,600rpm, 100%)