

# 지게차 엔진룸 및 열관리 시스템 설계 방안

## Engineering Design of Engine Room and Heat Management System for Forklift

이승엽

Seung Yeop Lee

### 1. 서 론

건설기계 엔진 룸은 좁은 공간에 엔진 및 유압기 등 고발열 부품들이 밀집되어 있어 발열 문제로 인한 성능 저하와 내구 문제 등이 발생하고 있으며, 현재까지 엔진룸 방열 설계에 대한 체계적인 설계 프로세스가 정립되지 않아 이에 대한 정확한 원인 분석과 해결 방안 모색이 어렵다. 한편, 주행풍의 직접적인 영향과 활용 모색이 어려운 건설기계 열관리 시스템은 대부분 냉각 팬에 의존하고 있으며, 이물질의 발생이 많고 고농도의 먼지가 유입되는 작업 환경을 고려한 열교환기의 설계 및 장착이 제안되는 경우가 많다. 또한, 배기규제 만족을 위한 후처리 시스템이 추가로 장착되어 발열 문제는 더욱 심각해 질 것으로 예상되며 방열을 위한 냉각 팬의 성능 향상은 소음 증가를 유발함으로써 방열 및 소음에 대한 최적화 기술 개발이 요구된다.

이에 건설기계가 갖는 방열 문제를 해결하고 엔진룸 레이아웃의 설계 개선과 최적화를 위하여 주요 부품의 작동 조건에 따른 온도 민감도 분석이 요구된다. 본 소고에서는 디젤 엔진이 장착된 4톤급 지게차를 대상으로 히트밸런스 성능평가와 이의 데이터를 기반으로 부품별 발열 기여도 분석을 통한 문제점 분석 및 1D 플랫폼 모델링을 진행하였다.

### 2. 지게차의 열관리 시스템

건설장비의 열교환기 장착 방법은 크게 병렬식 구조와 적층식 구조가 적용되고 있으나 유동 저항을 최소화하고 열교환기 전면으로 유입되는 풍량과 풍속의 균일도(Uniformity)를 높여 열전달 효율을 향상시키기 위하여 적층식 구조를 채택하는 경우가 많다. 대상 지게차의 열관리 시스템은 Fig. 1과 같이 벨트 직결식 냉각 팬이 장착되어 있으며 냉각 팬 구동에 의한 유동은 엔진 룸에서 슈라우드를 감싸진 열교환기를 거쳐 카운터 웨이트 후면 개구부로

배출된다. 적층식 구조를 갖는 열교환기는 라디에이터가 중심부에 배치되어 가장 넓은 면적을 차지하며 가장 높은 유입 온도를 나타내는 차지 에어 쿨러는 상부, 트랜스미션 오일 쿨러가 하부에 위치하고 있다.

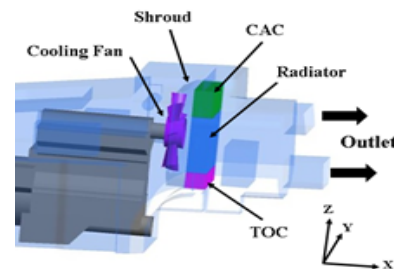


Fig. 1 Schematic of Thermal Management System for Forklift



Fig. 2 Engine Room of a Typical Medium to Small Class Forklift

#### 2.1 장착 열교환기 구성 및 구조 검토

중/소형 지게차의 대부분은 운전자 시트 프레임 하부가 엔진 룸으로 이루어져 엔진, 트랜스미션, 액슬, 유압 펌프 및 MCV(Main Control Valve)가 위치하고 있으며 건설장비 특성상 외력 균형을 위한 카운터 웨이트(Counter Weight)가 장착됨에 따라 열교환기 구성을 위한 공간이 매우 협소하다. 또한, 엔진 및 유압 부품의 장착 위치 및 샤시 프레임 구조에 의해 각 열교환기로의 입/출구 포트가 일정 조건하에 구속되어짐에 따라 열관리 시스템의 설계 자유도는 극히 제한된 실정이다.

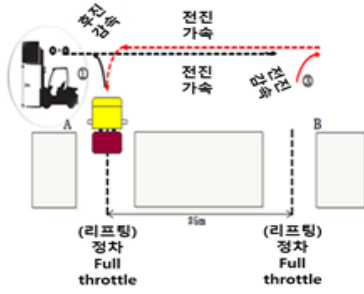


Fig. 3 Perkins Test Cycle

2.2 지게차 히트 밸런스 성능 평가

대상 지게차의 주요 발열부 민감도 및 열교환기의 냉각 성능을 평가하기 위하여 Perkins Cycle로서 Fig. 3과 같이 평탄한 지형에서 주행거리 25m, 포크 인양 높이 3m, 최대 인양 하중 70% 조건에서 장비의 온도 포화 시점까지 반복 수행하였다.

한편, 지게차에 장착된 열교환기의 포트 입/출구, 오일 섬프, 엔진 흡기, 냉각 팬 업/다운 스트림 등 부품 및 주요 위치에 온도/유량계를 장착하고 CAN 데이터와 함께 실시간으로 측정, 데이터를 수집하였다.

Fig. 4는 대상 지게차에 장착된 주요 열교환기인 라디에이터, 트랜스미션 오일 쿨러, 유압 오일 쿨러의 방열량을 분석한 결과이다. 상기 시험을 통하여 장비 구동과 함께 지속적인 온도 상승을 나타내는 것은 유압 오일과 액슬 오일로 확인하였으며 오일 쿨러의 설계치를 벗어나 포트 입/출구 온도의 역전 현상이 발생하였다. 열 피로에 따른 운행 및 내구 수명을 고려하였을 때 시급히 개선해야할 사안으로 나타났다.

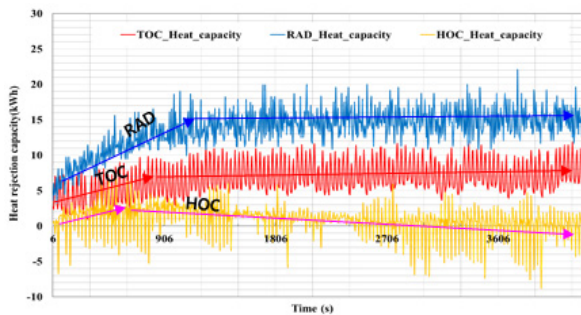


Fig. 4 Profiles of Heat Release Rate under Heat Balance

대상 지게차와 선진사 지게차의 온도 포화 시점에서의 엔진룸 내 위치별 온도를 비교하여 Fig. 5에 나타냈으며 지게차 특성상 주행과 인양 작업이 복합적으로 이루어지며 이에 따른 엔진룸 내 위치별

온도를 비교하여 Fig. 6에 나타냈다. 이를 통하여 신기 유입 개구부의 위치와 언더 커버의 적용 방안 그리고 주요 발열 부품의 배치 구조 등을 고려하는 기초 자료가 개발에 활용되었다.

2.3 열관리 개선 부품 영향 비교

열교환기를 거친 뜨거운 공기가 카운터 웨이트 후면 개구부로 원활히 배출되도록 열교환기 좌우측 스크린 장착, 배기후처리장치의 복사 열전달을 차단하기 위한 인슐레이터를 설치하였다. 기존 대비 스크린을 장착한 경우, 라디에이터의 성능은 약 1.9%, 차지 에어 쿨러의 성능은 8.6%, 인슐레이터를 장착한 경우, 라디에이터의 성능은 약 2.2%, 차지 에어 쿨러의 성능은 8.5% 향상되었다.

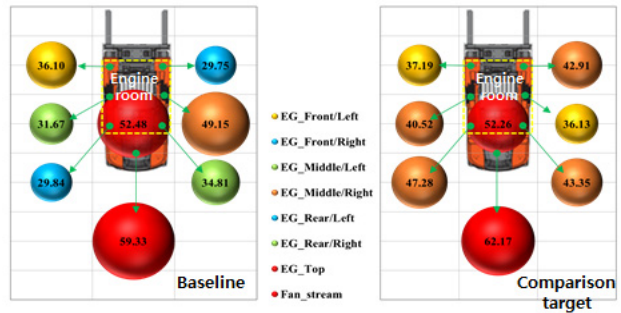


Fig. 5 Comparison of Saturation Temperatures in Engine Rooms

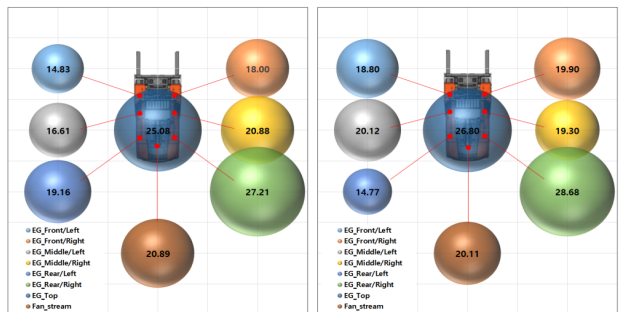


Fig. 6 Comparison of Saturation Temperatures according to Test modes (left: drive mode, right: lift mode)

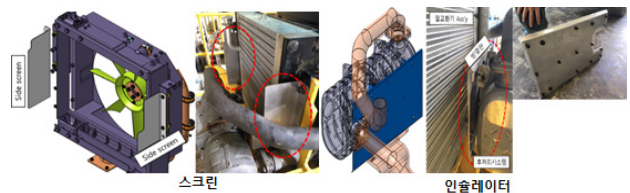


Fig. 7 Performance Effect of Revised Components

이로써 개구부로의 후류 유동 개선을 위한 벤트 라인 형상 설계 및 배기후처리 시스템의 최적화된 배치 구조, 인슐레이터의 장착 방안의 검토가 요구됨을 확인하였다.

2.4 지게차 열관리 시스템 1D 플랫폼 모델링

히트 밸런스 성능 평가를 통한 실차 시험 기반의 차량 사양 및 CAN 데이터를 취득하여 엔진 부하 조건에 따른 주요 발열원의 열량을 유추, 열교환기의 방열량을 산정하였다.

또한, 각 건설장비의 작동환경이 갖는 최적의 열관리 요구치가 있음에 따라 이에 대한 조건을 바탕으로 열관리 시스템의 대안이 마련되어야 할 것이다.

Fig. 8과 같이 산정된 방열량으로서 지게차 열관리 요구치를 마련하고 Perkins Cycle을 1D 모델링에 적용하기 위한 정규화가 요구된다.

현재, 실차에서 얻어진 데이터를 바탕으로 환경 변수를 설정하고 있으며 경계 조건을 확립하고 Fig. 9와 같이 시험 데이터와 1D 모델 해석 데이터를 비교, 매칭 중에 있으며 향후 타 건설장비에 적용 가능한 플랫폼을 구성할 계획에 있다.

Table 1 Thermal management demand from powertrains for optimum performance

	Approximately Condition
Powertrain operation	Engine : Optimum Temp., 80~90℃ Axle/Transmission : Optimum Temp., 90~100℃ Hydraulic : Optimum Temp., 70~80℃
Thermal load	Aftertreatment : High temp. require, 250℃< Fuel : Optimum temp. 7~25℃ Oil : High pulsation press. EGR cooler, Turbocharger, Intercooler, and etc.
Energy demand	Heating : Low Cooling : Most pars depend on cooling fan
Environment	Thermal protection Vehicle packaging (Vibration and Noise) Air path

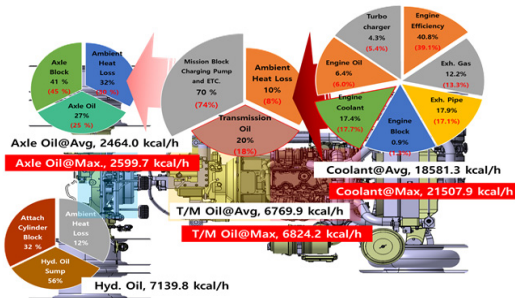


Fig. 8 Required Heat Dissipations by Heat Source

Table 2 Design of TMS system architecture

TMS related contents	DoE Technique (Optimization Technique)		Mst Effective and Minimum Energy Usage
	Varying Size & Design (Parameters, dimensions, layout)	System thermal effectivity	
Water pump Oil pump (Coolant, Oil)	Varying Actuator and Cylinder (Parameters, rpm, position, pressure)	System COP (Cooling effect vs. Total power)	Mst Effective and Minimum Energy Usage
Inlet grille, Screen, Undercover (Air path)			
Cooling fan (forced air)			
Other hydraulic and electric parts (Actuator, Cylinder, and etc.)			

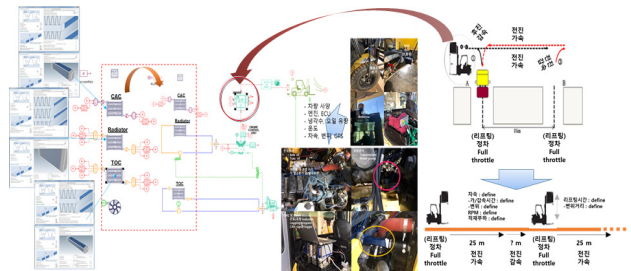


Fig. 9 1-D Platform Model based on Actual Vehicle Data for Thermal Management System

2.5 수랭식 열교환기의 적용 검토

상대적으로 공기보다 열용량이 높은 냉각수를 이용한 수랭식 오일 쿨러 적용 방안을 검토하였으며 워터 펌프, 차지 펌프 등 기존 시스템에서 추가적인 부하 손실을 줄이기 위한 레이아웃을 실차에 구성하였다.

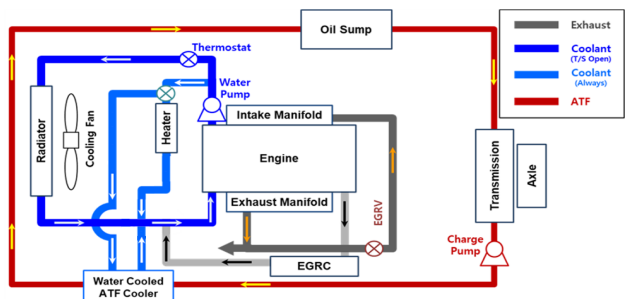


Fig. 10 Application of Water-cooled Oil Cooler for Forklift

한편, 히트 밸런스 성능 평가 수행 중 오일 온도가 급상승하여 시험을 마치지 못하였지만 이의 원인 분석이 이루어짐에 따라 건설장비용 수랭식 오일 쿨러를 적용하기 위한 재검토 방안이 마련, 추가적인 라인 및 부품 장착 없이 현재의 레이아웃을 기반으로 최적의 열관리 시스템을 구성하는 연구를 진행 중에 있다.

[저자 소개]



이승엽

E-mail : sylee@koceti.re.kr

Tel : 063-447-2518

2012년 전북대학교 항공우주공학과 석사 졸업. 2012년~2014년 자동차부품연구원 연구원. 2014년~현재 건설 기계부품연구원 선임연구원. 엔진 연소 및

배기 후처리 시스템 해석 기술, 상변화 해석 기술, 등의 열유체 해석 및 시스템 설계 연구에 종사. 한국자동차공학회 회원, 공학석사