

차량 연비 향상을 위한 대형 디젤엔진 차량의 엔진 냉각 및 부대장치 연구

류 명 석*

현대자동차 연구개발본부

Vehicle Fuel Economy Improvement by Studies on the Engine Cooling and Ancillaries System of the Heavy Duty Engine

Myungseok Lyu *

Research & Development Corporate, Hyundai Motor Company, 772-1 Jangdeok-dong,
Whaseong-si, Gyeonggi 445-706, Korea

(Received 24 August 2006 / Accepted 13 January 2007)

Abstract : Recently it is strongly required to develop the better fuel economy as well as basic power performance based on strict emission legislation. This paper focuses on studies of the engine cooling and ancillaries system among fuel economy factors in the developing stage. Firstly through the analysis of the current specifications, it is assessed whether each components may be designed properly, not overdesigned. Secondly, it is predicted how the fuel economy of each components can be improved. Finally the results are confirmed by vehicle field test equipped with the updated components. This study found good agreement between the prediction and the field test on the vehicle fuel economy improvements of the heavy duty engine vehicle with updated components such as engine cooling and ancillaries.

Key words : Vehicle fuel economy(차량연비), Fuel economy sensitivity(연비민감도) , Commercial vehicle(상용차), Cooling system(냉각계), Engine ancillaries system(엔진부대장치), Parasitic loss(소모동력)

1. 서 론

최근 연료비 상승에 따른 연비향상이 차량 완성차 메이카로서는 가장 큰 이슈로 연구되고 있다. 특히 상용차량은 사용자(업주)로부터의 사업 수익성 관점에서 직접적인 정확한 차량 실연비 데이터가 제시되고 있다. 즉 상용차 개발시 경쟁력 확보 측면으로 초기 개발 단계에서부터 연비인자에 대한 검토가 요구된다. 본 논문에서는 연비에 미치는 인자개발 연구 결과중에 성능과 밀접한 차량 냉각계 및 엔진 부대장치에 관련 부분을 바탕으로 작성하였다.¹⁾

차량 선진 메이커들에서는 고성능 엔진의 장착과 환경규제 강화에 맞춘 엔진개발에 따른 엔진 방열량 증대로 차량 냉각계에 관한 많은 연구가 이루어지고 있다.²⁾ 그러나 이들 연구의 대부분이 냉각성능에 주안점을 두고 있다. 즉 차량 연비에 미치는 인자 데이터에 관한 고려가 부족하여, 심지어 연비를 악화시키는 요인으로 나타난다. 즉 엔진 소모동력 저감을 통한 주변장치의 과다설계(Over design)된 것을 최적화하여 성능향상에 따른 연비 악화 최소화 및 연비개선 방안을 도출해 내야한다. 이를 위하여 본 연구에서는 차량개발 단계 초기부터 냉각성능을 만족하면서 차량 연비를 향상시킬 수 있는 차량 냉각계(워터펌프, 팬등) 시스템 설계를 구현하기 위한

*Corresponding author, E-mail: lyums@hyundai-motor.com

연구를 수행하였다. 또한 엔진부대장치 소모동력을 측정하여 차량연비를 최적화 하고자 한다.^{3,4)}

2. 연구 범위

본 논문에서의 고찰된 내용은 다음과 같다.

- 1) 차량냉각계(방열량관점)
 - 냉각계해석(1-D Flowmaster)
 - 차량연비시뮬레이션/필드연비시험
- 2) 엔진부대장치
 - 소모동력측정시험(주행장시험)
 - 차량연비시뮬레이션/필드연비시험

3. 냉각계(Vehicle cooling system)

3.1 시스템 이해

엔진의 냉각은 크게 냉각수흐름 관점에서의 기본 엔진(Fig. 1)내의 고찰과 냉각수로 부터의 방열량 관점에서의 차량 냉각계로 구분될 수 있다. Fig. 2에서와 같이 연비 최적화를 위하여 생성되는 방열량에서 팬 및 워터펌프의 용량을 최적화하여 연비향상을 하고자 한다.

3.2 냉각계 연비인자 검토

3.2.1 실주행사이클 분석

Fig. 3은 고속버스에서 실제 주행시의 사용영역을 나타낸다. 실제 주행영역은 80%이상이 1000~1600 rpm을 사용한다. 그러나 냉각성능의 한계를 나타내는 최고 엔진회전수 영역은 0.1%에 불과하는 것으로 보인다. 즉 시스템 설계시 최대 회전수기준

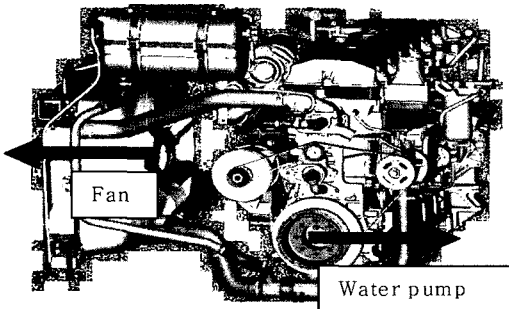


Fig. 1 Engine cooling system

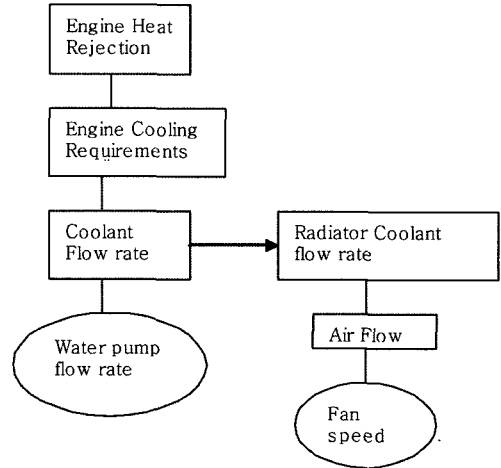


Fig. 2 Understanding of the engine cooling system

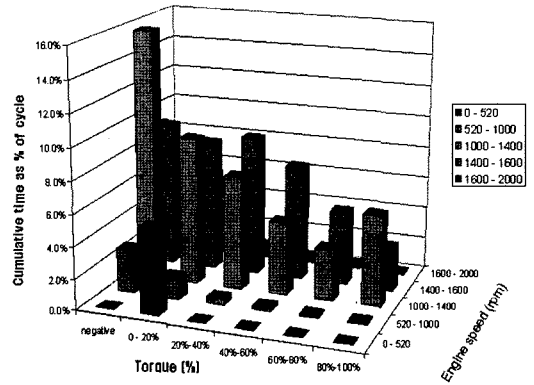


Fig. 3 Analysis of real drive cycles

의 냉각계 설계는 연비 악화의 요인이 되므로 실제 주행 사이클을 고려한 냉각계 설계가 이루어져야 한다.

3.2.2 워터펌프(Water pump) 용량감소

현재 워터펌프 설계 기준 용량이 536 L/min (@1900rpm)로 설정 되어있으나, CFD해석(냉각계 1차원 해석, 범용코드 FLOWMATER사용) 결과는 420L/min가 적정 수준으로 과다 설계(Overdesign)되어 있다. Fig. 4에서는 경쟁사 동급엔진의 워터펌프 용량을 보여주며, 본 엔진의 워터펌프 용량을 20% 정도 감소 시켜 엔진소모동력을 최소화 할 필요가 있음을 나타낸다.

3.2.3 팬 소모동력 저감

Fig. 5는 엔진으로부터 냉각수로 방열되는 열량

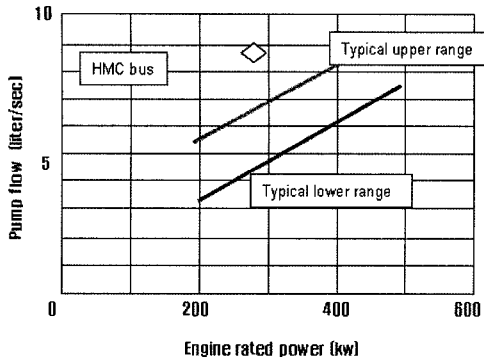


Fig. 4 Illustrations of the water pump flow rate

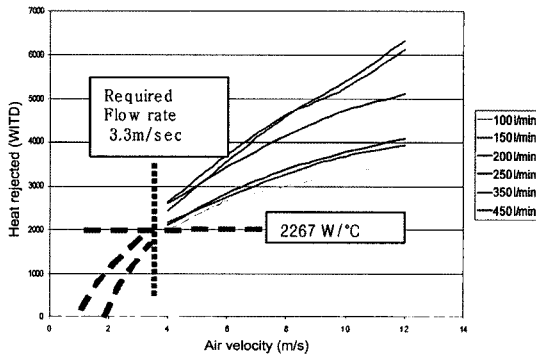


Fig. 5 Estimating Air flow velocity from Radiator Performance

(heat transfer rate to coolant)을 나타낸다.⁵⁾

여기서 방열량

$$Q = HA\Delta T$$

(1)

Table 1 Current fan power vs engine rpm

fanspeed	EngRpm	%Torque					
		Negative	0-20%	20-40%	40-60%	60-80%	80-100%
633	0-520	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7
1218	520-1000	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
1705	1000-1400	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2
1948	1400-1600	16.7	16.7	16.7	16.7	16.7	16.7
2314	1600-2000	23.1	23.1	23.1	23.1	23.1	23.1

Table 2 Results of fan power reduction

EngRpm	%Torque					
	Negative	0-20%	20-40%	40-60%	60-80%	80-100%
0-520	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
520-1000	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
1000-1400	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
1400-1600	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7
1600-2000	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9

H : heat transfer coefficient

A : surface area of contact

dT: temperature difference between surfaces (radiator coolant inlet temperature cooling air inlet temperature)

식 (1)을 다시 표현을 $Q / dT (W/^{\circ}C) = 2267 W/^{\circ}C$ 이다. Fig. 6에서 워터펌프용량 100~ 450 L/min에서 라디에이터 전단면 풍속이 4~12m/sec가 요구된다 (단 품 그시험결과). 또한 Fig. 6에서 방열량(2267 W/^{\circ}C)에 대한 라디에이터 전단면 평균 풍속(3.3 m/sec)을 구할 수 있다. 즉 라디에이터 단면적(0.606m²)을 고려할때 요구 풍량은 2 m³/sec로 산출된다. 즉 현재의 사용영역은 적은 풍량에 많은 동력(Power)이 소모되게 설계되어 있으므로, Fig. 6과 같이 개선되어야

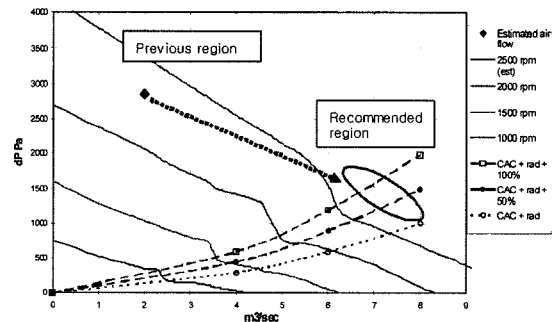


Fig. 6 Fan pressure rise vs volumetric flow for varying fan speed

한다. Fig. 6에서 보면 라디에이터, 인터쿨러 및 기타 소모동력을 감안하더라도 많은 소모동력이 소비되어 연비 저하에 기인하고 있다. 현재의 팬 동력과 감소 가능한 팬 소모동력을 영역별로 나타내었다.

4. 엔진부대장치(Engine ancillaries)

우선 엔진부대장치(engine ancillaries) 소모동력(Parasitic loss)을 개선 하여, 차량연비 향상 가능성을 예측한다. 다음은 실차 필드시험을 통하여 검증하였다.

여기서 엔진부대장치(engine ancillaries)는 다음과 같다.

- 1) 에어컨디션
(Air conditioning compressor)
- 2) 알터네이타 (Alternator)
- 3) 에어컴프레서 (Air compressor)
- 4) 워터펌프 (Water pump)
- 5) 파워스티어링펌프
(Power steering pump)

4.1 측정장치 및 방법

엔진 부대장치 소모동력 측정을 위해서 구동축에 스테레인 게이지(Strain gauges)를 부착하였다. 스트



(a)High Speed Slip Ring (b)Strain-gauge (c) Amplifier
Photo. 1 Measuring instruments

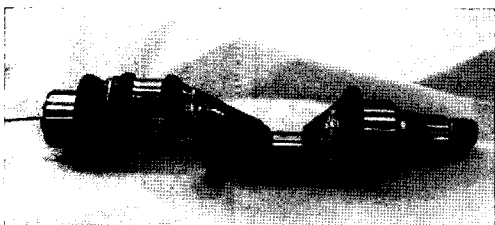


Photo. 2 Detailed application of instrumentation to components

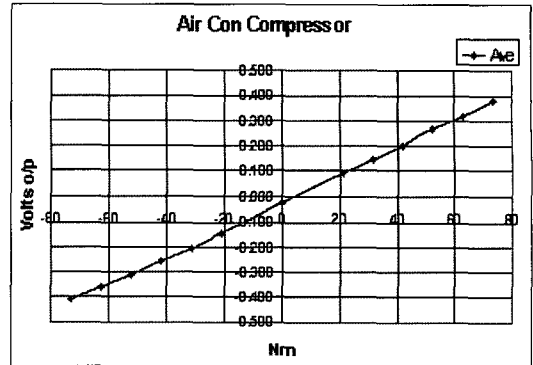


Fig. 7 Example diagram and tables of aircon compressor calibration curve

레인게이지 신호를 전달하는 케이블에 의해 각 부품으로부터 신호 확대기(amplifier)까지 효과적으로 전달되게 구성하였다(Photo.1,2). Fig. 7은 신호 전달(signal voltage)과 토크와의 보정(Calibration) 결과를 보여준다.

4.2 엔진 부대장치 차량시험

차량시험은 정차(Car park), 주행장(Proving ground) 및 필드(Field) 시험으로 나누어 수행되었다. Fig. 8(a),(b)는 워터펌프 및 알터네이타 구동력은 엔진 회전 속도에 비례함을 보여준다.

에어컨디션닝 컴프레서(air conditioning compressor)는 부대장치 중 가장 큰 구동력(70Nm)을 소모하고 있다(Fig. 8(c)). 즉 이 부품에 의한 연비기여도가 예상되며, 클러치 연결을 끊어 미 사용시에는 10Nm 정도의 소모동력을 절감할 수 있다. 만일 구동축으로부터 직접 측정하지 않으면, 적은양의 동력 변화는 감지하기가 어렵다. 엔진 부대장치의 소모동력은 비록 작지만 차량 작동의 대부분 영역에 존재한다. 따라서 1년간 연비 저감도를 보면 크게 작용한다고 볼 수 있다. 차량정차 시험은 최대 115bar 펌프 압력과 구동력(56Nm)을 가진다. 그러나 필드시험에서 파워 스티어링 (Power steering)는 Fig. 8(d)와 같이 11.2Nm 를 평균으로 분포한다.

특히 에어컴프레서는 주요 소모동력원이며, 일반적으로, 고속도로에서 10%, 5% 정도 각기 사용된다(Fig. 8(e)).

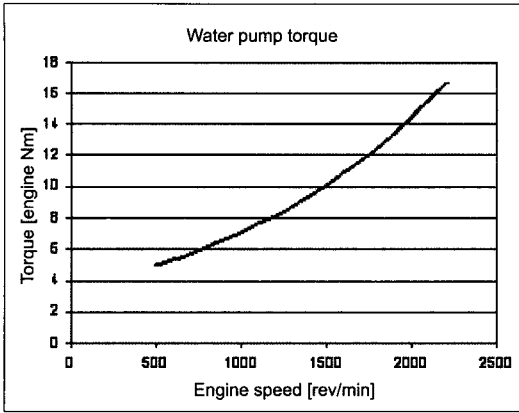


Fig. 8 (a) Water pump torque

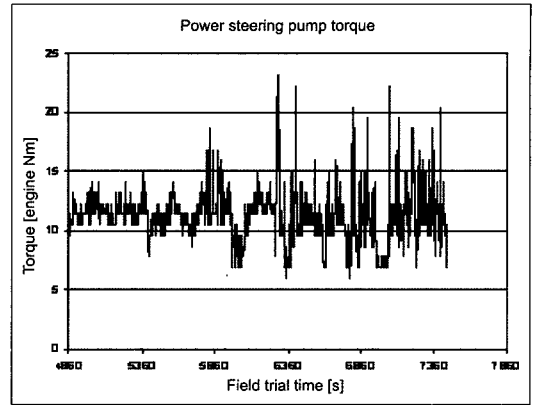


Fig. 8 (d) Power steering pump torque

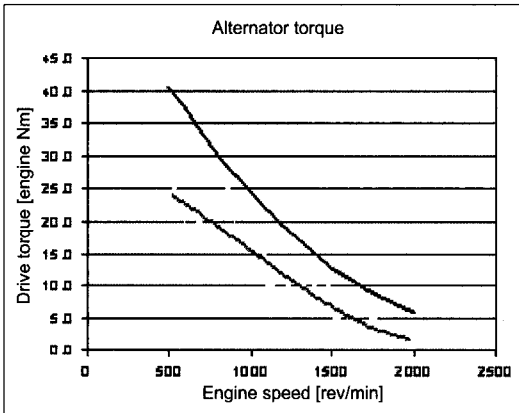


Fig. 8 (b) Alternator torque

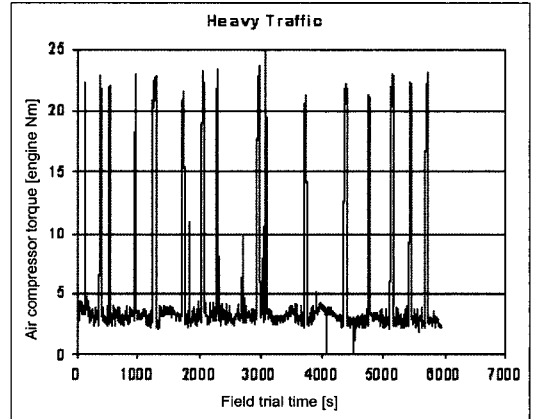


Fig. 8 (e) Air compressor torque

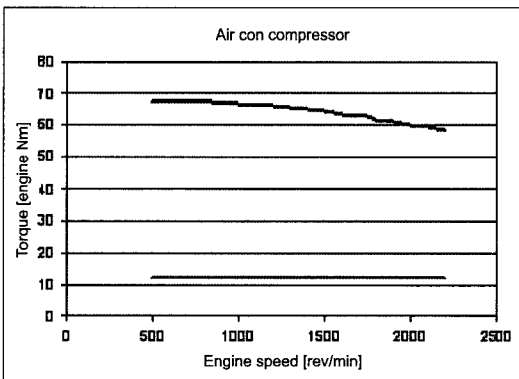


Fig. 8 (c) Air con compressor torque

5. 차량 연비 시뮬레이션 결과 (냉각계 및 엔진 부대장치)

기존 고속버스(에어로버스)에 엔진(160kgm) 토 크업 및 변속기(ZF 6단) 적용한 차량을 기본 제원으

로 하였다. 이 차량에 주행장 코스트 다운(Coast down) 시험 데이터를 이용하여 차량 시뮬레이션 (V-SIM)을 수행하여 각 부품들의 효율 변경(소모동력저감)에 대한 연비효과를 파악하고자 한다.

워터펌프는 용량감소(536L/min-420L/min)로 인하여 연비향상은 0.4% 정도이며, 팬의 사용영역을 효율적으로 조정시(매그네틱 팬클러치 사용등) 10%까지 연비 개선 효과를 볼 수 있다.

Fig. 9는 엔진 부대 장치들의 소모동력 비율을 보여주는 데, 에어컨이 가장 많은 동력을 소비하고 있음을 보여준다. Fig. 10은 부대 장치 각기 부품 소모동력 개선에 따라 연비개선 민감도를 나타내며 (0.01~ 0.03), 실제 차량연비 향상에 기여 할 수 있는 가능성이 거의 없음을 볼 수 있다. 또한 이들 연비 시뮬레이션에 의한 예측과 개선된 사양 탑재 차량

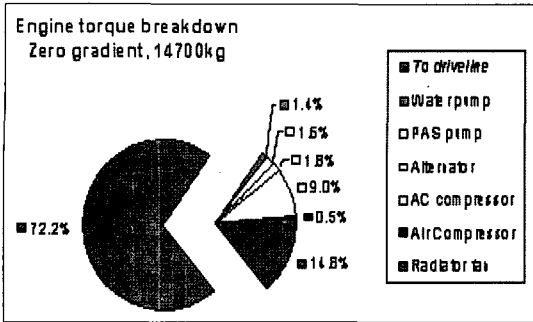


Fig. 9 Engine torque breakdown

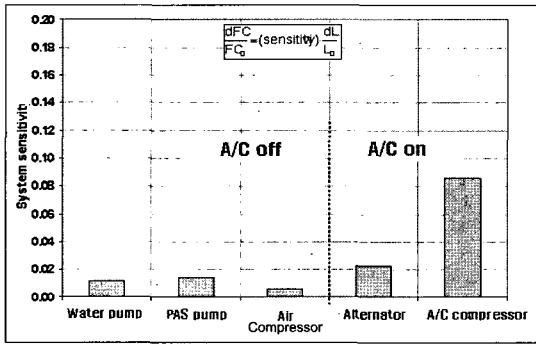


Fig. 10 Sensitivity of vehicle fuel economy

필드시험 결과는 0.2%이내 오차 범위에서 좋은 일치를 보여준다.

6. 결론

본 논문에서는 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 워터펌프 용량 축소에 의한 차량연비 향상은 0.4%로 예측된다.
- 2) 팬의 작동영역을 실 주행 사이클을 고려하여 변경할 시에 기대되는 연비상승은 10%까지 포텐셜을 가진다. 그러나 하드웨어 적용(마 그네틱

팬클러치)시 내구성 및 소음문제를 고려하여 4~5%의 연비향상 목표를 설정 할 수 있다.

- 3) 엔진 부대장치들의 단품 소모동력 저감을 통한 연비 민감도를 제시하였다. 실제 연비 민감도 (Fuel economy sensitivity)가 낮은 정도(0.01~-0.05)를 가지므로, 표준화된 설계 기준에 의해 설정된 부대장치 부품들의 연비 향상을 위해서는 많은 소모동력(Parasitic loss) 저감이 요구된다.
- 4) 연비 시뮬레이션에 의한 예측과 개선된 사양 탑재 차량 필드시험 결과는 0.2%이내 오차 범위에서 좋은 일치를 보여준다.

References

- 1) M. S. Lyu and B. Rogers, "Study for Better Fuel Economy in a Commercial Vehicle Using Vehicle Simulation," SAE 2006-01-1237, 2006.
- 2) A. Berry and M. Blissett, "A New Approach to Improving Fuel Economy and Performance Prediction through Coupled Thermal System Simulation," SAE 2002-01-1208, 2002.
- 3) B. Rogers, Fuel Consumption Study in a HMC Express Bus, Final Report, Ricardo Consulting Engineers, 2005.
- 4) M. S. Lyu and J. H. Kang, "A Study for the Determination of Engine Test Key Mode to Predict Vehicle Dual Consumption 7 Emissions," Transactions of KSAE, Vol.9, No.4, pp.62-68, 2001.
- 5) F. Berard, A. Cotta and J. Stokes, "An Integrated Powertrain (IPT) Model Stage One," SAE 2000-01-0864, 2000.