

상용차 탑재 대형엔진의 차량연비 개선 연구(II)

류 명 석* · 두 병 만 · 구 영 곤

현대자동차 연구개발본부, 상용디젤엔진개발실

A Study for the Fuel Economy Improvement of a Heavy Duty Engine in Commercial Vehicles(II)

Myungseok Lyu * · Byungmann Doo · Younggon Ku

Commercial Vehicle Division, Research & Development Corporate, Hyundai Motor Company,
772-1 Jangduck-dong, Hwaseong-si, Gyeonggi 445-706, Korea
(Received 18 February 2008 / Accepted 6 May 2008)

Abstract : Recently, studies conducted by our research group, revealed the possibility for reducing BSFC, NOx and PM emissions to meet the Euro 4 & 5 legislations. The main objective of the present study is to get better fuel economy in commercial vehicles by considering real driving conditions. Firstly, in order to improve fuel economy on fields, specifically it is required to analyze the driving pattern and make the representative modes from real field data. Secondly, it is performed to make the engine dynamometer test to optimize the fuel consumption by reflecting on the representative driving modes, based on the Korea 2008 emission legislation equal to the Euro 4. The engine components such as engine calibration, combustion chamber, turbocharger and ancillaries were modified to optimize vehicle fuel economy over a typical customer drive cycle whilst still meeting the exhaust emission restrictions. Finally, these results were confirmed by field testing of vehicle equipped with the updated calibration engine. It was placed the two vehicles together traveling the same route and accomplishing the same amount of stops(back to back), in order to evaluate the fuel consumption in comparison to the current vehicle. Through several repeats such as the engine calibration and field test, we could get 3 % to 7.7 % vehicle fuel economy improvements compared to previous vehicle.

Key words : Vehicle fuel economy(차량 연비), Korea 2008 emission legislations(한국 2008 배기규제), Engine calibration(엔진 매핑), Engine dynamometer test(엔진대상시험), Commercial vehicle(상용차), BSFC(엔진 연료소모량)

1. 서 론

국내의 환경법규 규제 강화에 따라 친환경, 고 연비 차량(Hybrid 등) 개발에 관한 많은 연구가 수행되고 있다. 한편 기존 내연기관인 디젤 차량에 대한 배기규제도 단계별로 지속적으로 강화되고 있다. 이에 현대자동차를 포함한 국내외 차량 메이커의 디젤 부문에서는 국내외 배기규제 법규 (Korea 2010, EPA10, Euro 5/6)를 만족하기 위한 연구 개발이 진

행되고 있다.¹⁻³⁾ 차량 메이카로서는 강화된 배기규제 법규 만족은 기본이고, 고객 만족을 위해서는 특히 최근 고유가로 인한 연료비 증대에 따른 차량연비 향상에 대한 연구^{4,5)}가 중요한 과제가 되고 있다. 본 논문은 신엔진 개발 중에 수행된 차량 연비 개발에 관한 연구이다. 특히 신 대형 엔진(10L) 탑재 차량의 엔진부문 연비개선 인자들에 대한 고찰을 하였다. 상용차량은 승용차와는 달리 배기규제 인증을 엔진 대상에서 받는다.

따라서 엔진개발 단계에서 부터 배기 규제치 뿐

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

만 아니라, 차량 연비개선을 고려한 연비개발이 이루어져야 한다. 역으로 양산 후 연비 개발시에도 엔진 대상에서의 배기 규제치를 고려 할 수밖에 없는 제한이 있다. 본 연구에서는 엔진 개발시 차량연비에 영향을 주는 엔진 부문 인자들을 분석하였다. 각기 인자들에 따른 엔진 대상 시험 및 필드 시험을 병행하여 차량 연비 향상도를 얻을 수 있었다.

2. 실험 방법 및 장치

2.1 실험 방법

본 연구에서는 차량연비에 영향을 주는 엔진 부문의 인자들을 크게 연소,흡배기,마찰력 부분으로 분류하였다. 그리고 Table 1과 같이 연비개선 상세 항목들을 설정하였다. 우선 엔진 대상 시험(Engine dyno test)으로 개선항목에 대한 연비개선 효과 분석을 하였다. 그후 개선된 항목에 대한 설계 변경을 한 후 차량 시험(Field test)을 통하여 연비 개선도를 확인하였다.

2.2 실험 장치(엔진)

본 연구에서의 신엔진은 상용차 탑재 대형엔진(Heavy duty engine)으로 배기량이 10L이며, 엔진형식은 직렬6기통이다. 연료 분사계는 EUI(Electric unit injection) 시스템으로 최대 분사압 포텐셜이 약 2500bar까지 가능하다. 최고출력은 약 420PS, 최대토크는 약 206kgm 이다. 한국 2008년 규제(Euro4수준, NOx = 3.5 g/kwh, PM=0.02g/kwh)에 맞춰 개발된

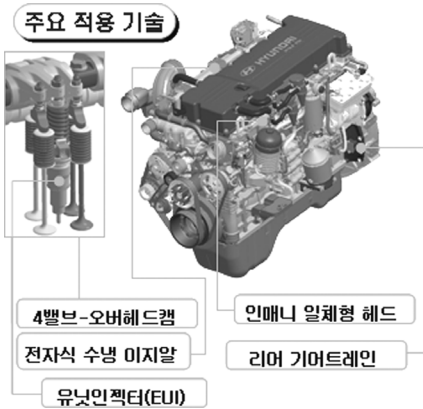


Fig. 1 The new engine configurations

친환경 신엔진이다. 시내 및 고속버스, 덤프트럭 등에 탑재된다. Fig. 1은 신엔진의 형상 및 적용된 주요 기술이 나타나 있다.

3. 연구결과

Table 1의 연비개선 인자들에 대한 연구 내용을 서술하고자 한다.

Table 1 Engine items for the vehicle fuel Economy improvement

항목	세부사항	
연소	엔진 매핑	실주행 모드 분석 - 주사용영역 고려/회피 매핑적용 - Dual power 적용 - 가감속고려 모드선정 - Pilot 분사
	연소실	연소실 형상
흡배기	터보차저	터빈 효율 증대
마찰력	보기류	오일/워터펌프용량축소

3.1 엔진매핑

3.1.1 실 주행 모드 분석

기본적으로 엔진 매핑은 배출가스(NOx, PM)량과 연비량의 상호 보완(Trade off)에 의하여 구한다. 즉 ESC(European steady cycle) 포인트들에서는 배출가스 규제에 맞게 그외 영역에서는 연비 관점에서 구한다. 특히 본 연구에서는 Fig. 2와 같이 차종별/노선별로 실 구간 영역을 측정하여 그 부분들에서는 연비를 최대한 고려하였다. 즉 실차 구간 영역에서

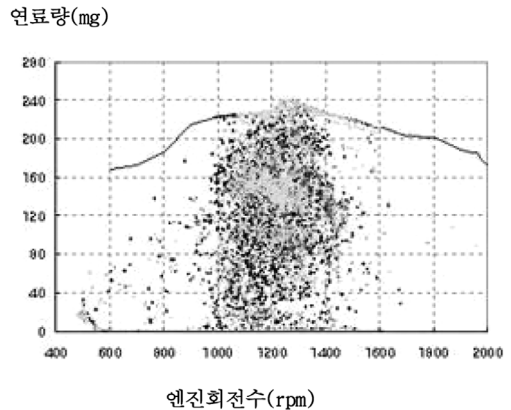


Fig. 2 Real driving cycle -15ton-dump truck

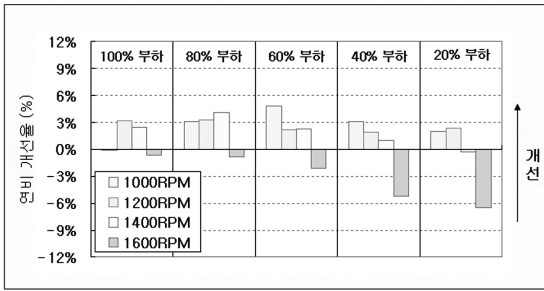


Fig. 3 Fuel economy improvements on the engine dyno test

차량 연비를 개선하였다. 따라서 실차 구간 영역과 배출가스 인증(ESC,ETC) 영역을 회피 하는 전략을 사용하였다. Fig. 3은 엔진대상에서 주사용 및 배출가스 영역 고려한 회피 매핑의 연비 개선율을 보여 주고 있다. 그 결과 실차 주행모드 기준 2.0%의 연비 개선을 얻었다.

3.1.2. 듀얼파워(Dual power)

연비 개선을 위하여 큰 힘이 필요하지 않는 구간에서 전부하 연료량을 25% 줄여서 운행한다. 즉 구간에 따라 두개의 토크를 사용하도록 한다. Fig. 4는 실제 사용 영역과 듀얼 파워를 엔진 대상에서 나타낸 것이다. 그 결과 Fig. 5는 부하별 엔진대상 연비 개선율을 나타내고 있다. 이에 따라 약 1.0%의 실차 연비 개선 효과를 얻을 수 있었다.

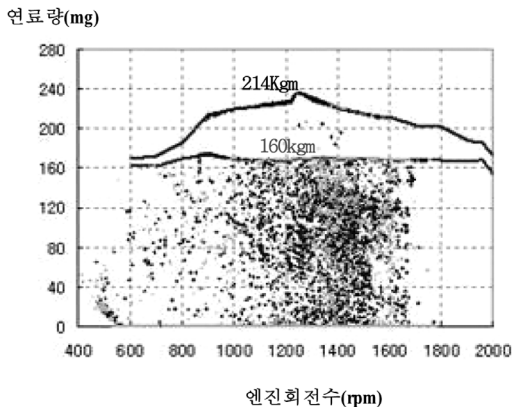


Fig. 4 Specifications for dual power

3.1.3 가감속 고려 모드 선정

Fig. 6의 빨간색 선은 시내버스의 실주행 사이클 운행 노선을 나타낸다. 또한 검은색은 탑재 엔진의

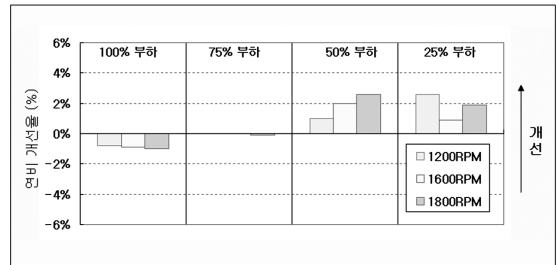


Fig. 5 Fuel economy improvements on the engine dyno test

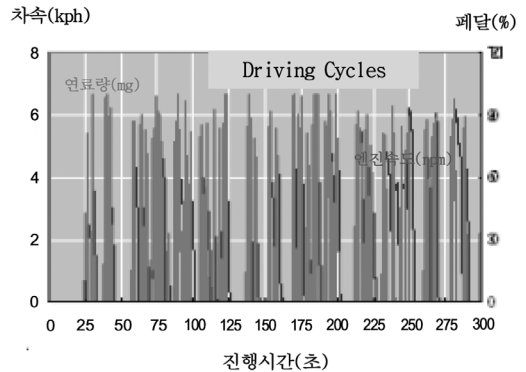


Fig. 6 The real driving cycles of a city bus

속도를 표시하고 있다. 본 연구에서는 가감속 모드를 엔진 대상에 선정하여 분사압 및 분사시기를 재조정하여 연비 개선을 하였다. Fig. 7은 상기 조건의 엔진 대상에서의 모드를 나타내고 있다. 또한 연비 개선을 위한 전영역 분사압/분사시기를 재조정 하여 개선 후의 결과를 보여준다. 각 모드별 2.5 ~ 4.3% 연비 개선을 얻었다.

3.1.4. Pilot 분사 적용

대형엔진(H엔진)의 저속영역 토크 저감 및 연료량 최적화를 위해 다단분사(Pilot분사)를 적용하였다. Fig. 8은 배출가스 영역과 파일럿 분사 영역을 표시하고 있다. Fig. 9와 Fig. 10은 각기 토크 및 연료량을 최적화 한 결과를 보여준다. 약 1.5%의 연비 개선 효과를 얻었다.

3.2 연소실

강화된 2008 국내 배기규제(Euro 4 수준) 만족 및 연비 향상을 위한 상용차 탑재 대형엔진(Heavy duty engine) 연소실을 연소 해석을 통하여 개발하였다.

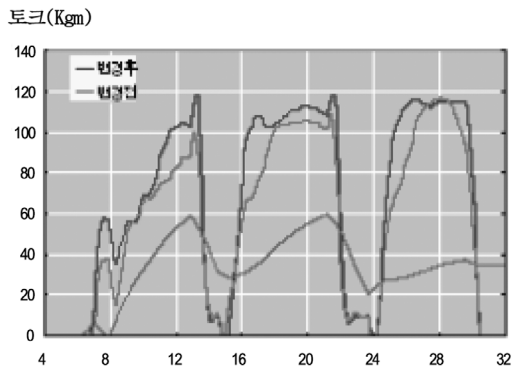


Fig. 7(a) Mode 1- the real driving cycles in a city bus

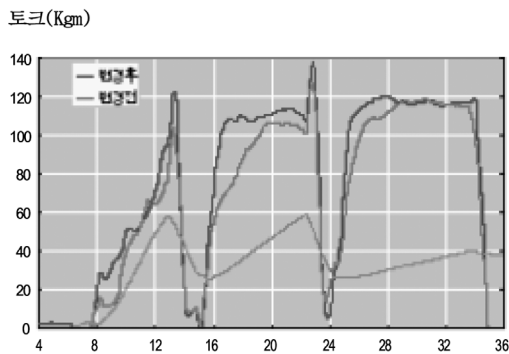


Fig. 7(b) Mode 2- the real driving cycles in a city bus

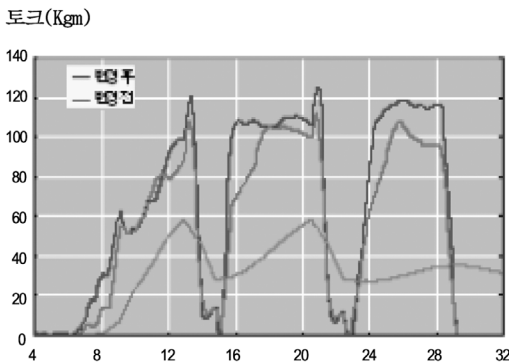


Fig. 7(c) Mode 3- the real driving cycles in a city bus

이를 위한 최적 연소실 형상을 구하고, 전영역에 걸쳐 분사시기 및 분사각 최적화를 하였다.

3.3 터보차저 터빈 효율 개선

터빈 단면적을 축소(사양: 8.5T->7.0T)하여 저속 구간 토크를 9% 정도 향상 하였다. 또한 전영역에서

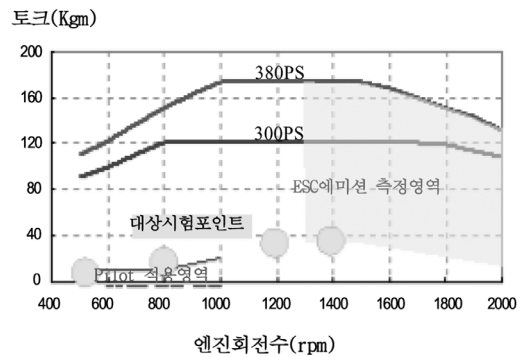


Fig. 8 The region for the pilot injection and the ESC emission measurements

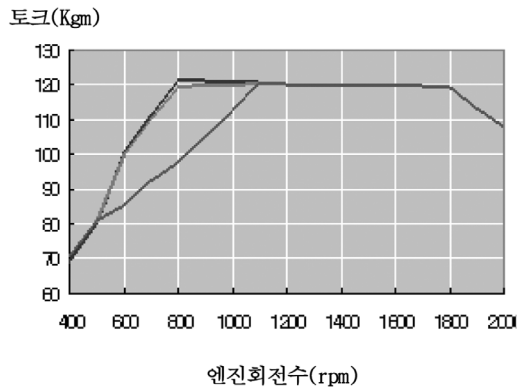


Fig. 9 Optimization of the torque

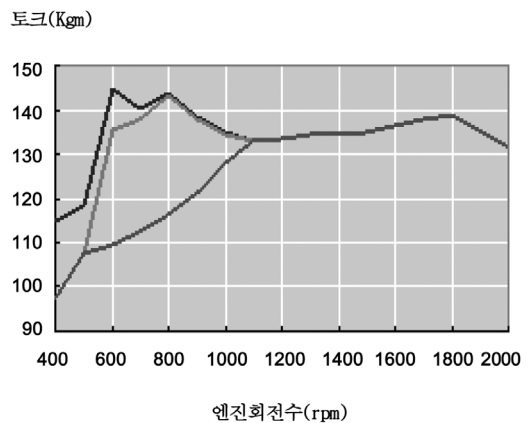


Fig. 10 Optimization of the fuel rate

Smoke 양도 줄일 수 있었다(Fig. 11). Fig. 12에서 보면 단면적 축소 사양(7.0T)은 응답성이 유리하다. 또한 단면적 축소로 인한 EGR을 증가로 연비가 1% 정도 향상됨을 얻을 수 있었다.

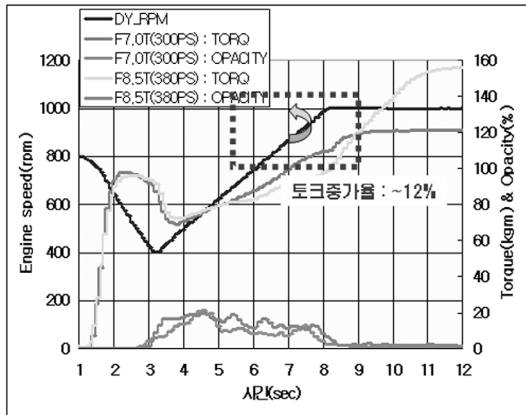


Fig. 11 Torque increase with varying the turbine wheel(from 8.5T to 7.0T)

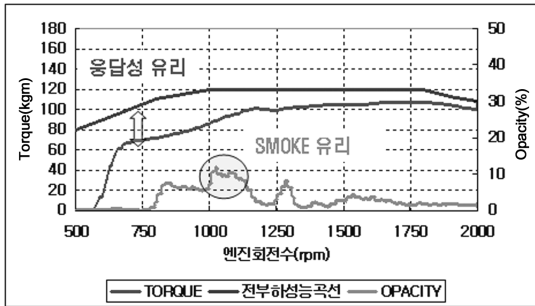


Fig. 12(a) 300 PS- Torque variations and response with varing engine rpm

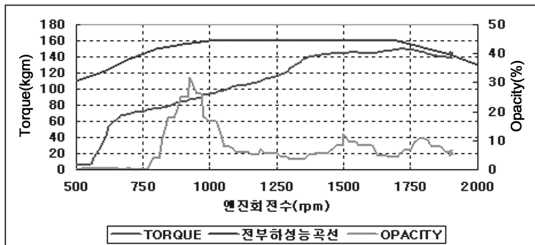


Fig. 12(b) 380 PS- Torque variations and response with varing engine rpm

3.4 마찰력 감소

연비 향상을 위해서 구동부품 및 보기류의 마찰력을 저감을 수행하였다. 첫번째로 워터펌프와 오일펌프의 용량을 축소하였다. Table 2는 시내버스 탑재 엔진의 축소 사양을 보여준다. 결과적으로 전마찰 4.1% 축소를 통한 연비 2% 개선 효과를 얻었다.

Table 2 Specifications of water -pump and oil-pump in a city bus engine

사양	출력 (PS)	오일펌프 (ℓ/min)	워터펌프 폴리비
현사양	300	150(32T)	1.64
저감사양	300	130(26T)	1.47

4. 결론

2008년 국내 배출가스 규제(Euro 4 수준)에 부합된 신엔진 개발시 차량 연비개선에 관한 연구를 수행하였다.

- 1) 차량연비 향상에 엔진부문 주요 인자들을 차량 주행모드를 고려하여 분석하였다.
- 2) 신엔진 개발 초기의 엔진 매핑에 실차 운전 조건을 고려하여 연비개발을 해야 한다.
- 3) 본 연구에서 적용한 연비 개선항목 들에 대하여, 각각 1.0%~3.0%의 항목별 연비 개선 효과를 얻었다. 신엔진 탑재 차종별로는 3.0%~7.7%의 연비 효과를 얻었다.

References

- 1) M. S. Lyu, B. M. Doo and Y. G. Ku, "A Study for the Fuel Economy Improvement of a Heavy Duty Engine in Commercial Vehicles(I)," Fall Conference Proceedings, Vol.I, KSAE, pp.181-186, 2007.
- 2) M. S. Lyu, B. M. Doo and Y. G. Ku, "A Study of Vehicle Fuel Economy Improvement Potential by Optimization of the Cooling and Ancillary Systems of a Heavy Duty Engine," SAE 2007-01-1772, 2007.
- 3) M. S. Lyu, "Optimization on Vehicle Fuel Consumption in a Highway Bus using Vehicle Simulation," Int. J. Automotive Technology, Vol.7, No.7, pp.841-846, 2006.
- 4) M. B. Berry, "A New Approach to Improving Fuel Economy and Performance Prediction through Coupled Thermal System Simulation," SAE 2002-01-1208, 2002.
- 5) D. T. Hountalas, "Potential Benefits in Heavy Duty Diesel Engine Performance and Emissions," SAE 2006-01-0081, 2006.