Transactions of KSAE, Vol. 16, No. 5, pp.44-48 (2008)

Copyright Ⓒ 2008 KSAE
1225-6382/2008/095-07

＜기술논문＞

상용차 탑재 대형엔진의 차량연비 개선 연구(I)

류 명 석* · 두 병 만 · 구 영 곤

현대자동차 연구개발본부, 상용디젤엔진개발실

A Study of the Fuel Economy Improvement of a Heavy Duty in Commercial Vehicle(I)

Myungseok Lyu* · Byungmann Doo · Younggon Ku

Commercial Vehicle Division, Research & Development Corporate, Hyundai Motor Company, 772-1 Jangdeok-dong, Hwaseong-si, Gyeonggi 445-706, Korea

(Received 4 October 2007 / Accepted 14 April 2007)

Abstract : This paper describes on studies of the heavy duty engine calibration for better fuel economy based on real driving conditions. Using testbed validated software simulation of the engine and turbocharger system, an alternative turbocharger specification, with potential to improve fuel economy was identified. Secondly, the engine calibration was modified to optimize vehicle fuel economy over a typical customer drive cycle whilst still meeting the steady-state (testbed) emissions legislation. These results were confirmed by field testing of a vehicle equipped with the updated specifications. This study found good agreements between the prediction and the field test on the vehicle fuel economy improvements of the express bus with updated calibration and turbocharger.

Key words : Vehicle fuel economy(차량연비), Fuel economy sensitivity(연비민감도), Commercial vehicle(상용차), Turbocharge optimization(터보최적화), Heavy duty engine(대형디젤엔진)

1. 서 론

최근 자동차회사에서 연비개선에 대한 연구가 고객 만족 차원에서 가장 중요한 개발 과제가 되고 있다. 특히 상용차(버스/트럭)는 사용주(업주)로부터의 사업 수익성 관점에서 직접적인 정확한 차량 실연비 데이타가 제시되고 있다. 즉 상용차 개발시 경쟁력 확보 측면으로 초기 개발 단계부터 연비인자에 대한 검토가 요구된다.[1-3] 또한 상용차는 승용차와는 달리 배기규제 인증을 엔진 대상에서 받는다. 따라서 엔진 개발 단계부터 배기규제치 뿐만 아니라, 차량 연비 개선을 고려한 연비 개발이 수행되어야 한다. 또한 양산 후 연비 개선시에도 엔진 대상에서의 배기 규제치를 고려할 수 밖에 없는 제한이 있다. 본 논문에서는 상용차 연비에 미치는 인자 개발 연구 중에 엔진 매핑 및 터보차져 인자에 관한 결과에 주안점을 두었다.[4] 본 연구에서는 우선적으로 엔진 및 터보차져에 관한 최적 성능을 위해 시뮬레이션(WAVE)을 수행 하였다.[5,6] 연비 개선을 위한 엔진 매핑 및 터보차져 개선안에 대해 성능 시뮬레이션을 한후, 연비 시뮬레이션(V-SIM)을 통한 차량 연비를 예측 하였다. 또한 이들 결과를 엔진 대상 및 차량 필드 시험에서 검증(Validation) 하였다.

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

2. 연구 범위

차량연비 개선을 위해서 엔진부문에서 수행한 항목들은 다음과 같다.

(1) 엔진매핑 개선 및 최적화
- 엔진대상시험(Engine dynometer test)
  배기규제치 확인, 엔진연비개발
- 해석(WAVE, V-SIM)
  최적성능 확인,차량연비 예측 및 개발
- 차량 필드시험(남양-제천간 고속도로)
  차량연비 검증

(2) 터보차져 최적화
- 해석(WAVE, V-SIM)
  터보차져개선안,차량연비예측 및 개발
- 엔진대상시험
  엔진성능 및 배기규제치 확인
- 차량 필드시험(남양-제천간 고속도로)
  차량연비 검증

3. 연구 내용 및 결과

3.1 엔진 최적화(Engine optimization)

연비 향상을 위해 연료분사시기 맵을 최적화한다. 본 연구에서는 엔진에 관한 다음과 같은 단계를 수행하였다. 우선 차량 가속 성능을 향상시키기 위하여 토크를 148kgm에서 160kgm로 향상시킨다(Fig. 1). 이를 통하여 특히 차량의 출발 성능을 개선할 수 있었다. 다음은 6단 신 트랜스미션을 사용하고, 최종기어비(Final gear ratio)를 3.13에서 2.93으로 낮추었다. 6단 신 트랜스미션은 효율을 2.0%정도 향상 개발되었다. 최종적으로는 실 주행 조건을 고려한다. 차량 시뮬레이션(V-SIM) 및 DoE(Design of experiment)기법에 의해 주요 엔진시험모드(Key engine test points)를 선정한다(Fig. 2(a),(b)). 그 주요 시험 모드들에서 최적 연비를 얻기 위한 연료 분사시기를 구한다.

실차 연비 필드시험은 남양 현대자동차에서 영동고속도로 제천 구간 왕복이다. Fig. 3은 시간에 따른 차속 변화를 보여준다. 또한 측정된 연료소모량과 차량시뮬레이션(V-SIM)으로 예측된 양이 0.2% 오차 이내로 일치함이 나타나 있다. ESC(European

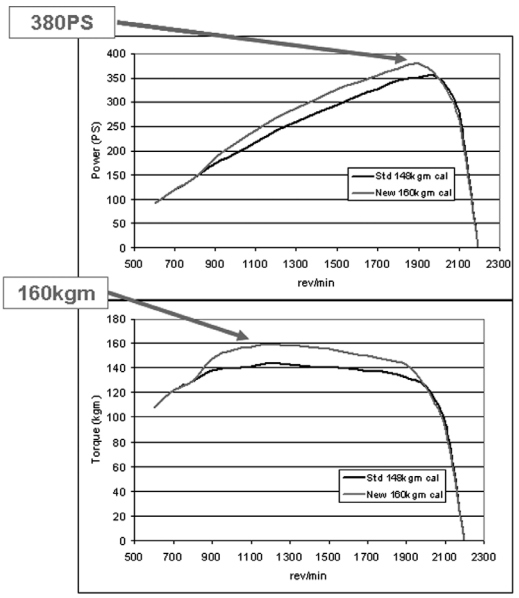


Fig. 1 Uprated power torque

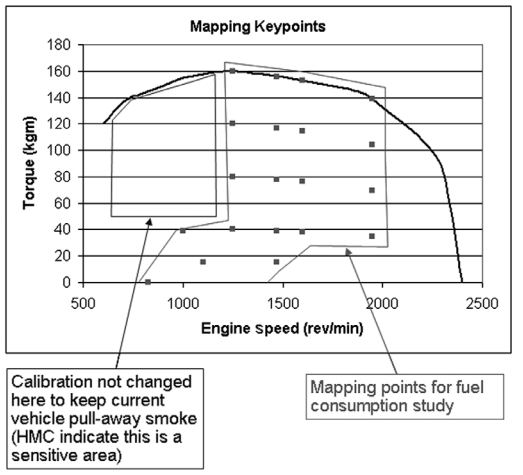


Fig. 2 (a) Mapping key points

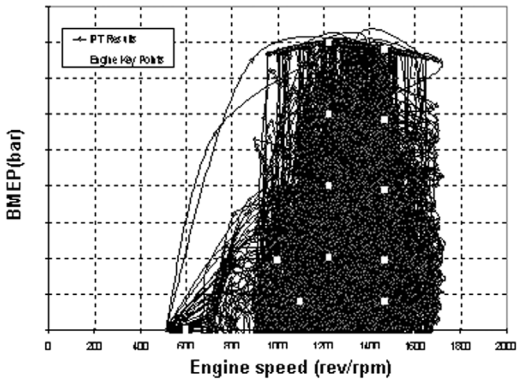


Fig. 2 (b) Vehicle fuel consumption weightings based on field trial test

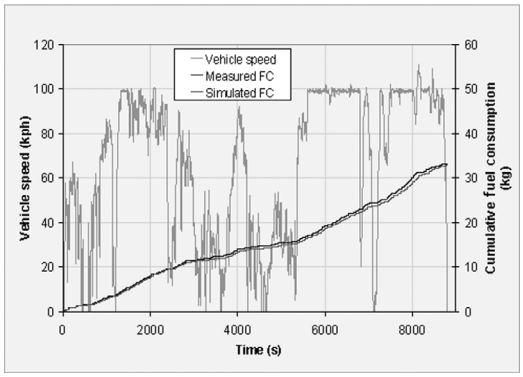
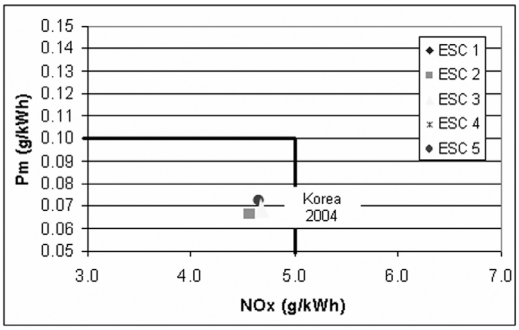
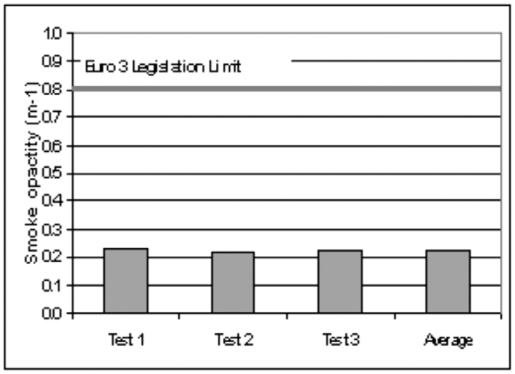


Fig. 3 Vehicle speed variations in the field test



(a) ESC



(b) ELR

Fig. 4 Baseline test results

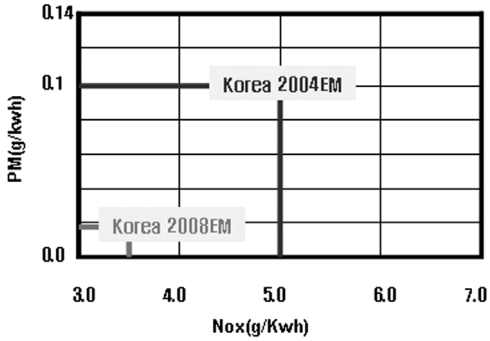
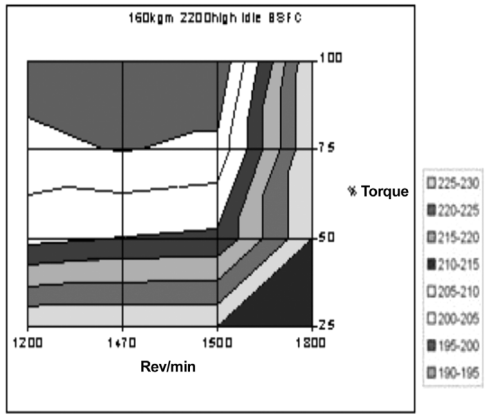
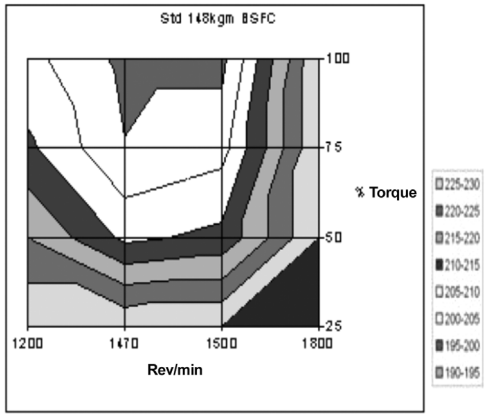


Fig. 5 Compariosn of emission legislations (Korea 2004 & 2008)



(a) 160kgm



(b) 148kgm

Fig. 6 BSFC map

steady cycle)에 의한 기본 시험(Baseline test)결과는 Fig. 4(a) 배기 규제치를 만족하도록 하였다. Fig. 4(b)는 Smoke opacity에서 측정된 양으로 규제치를 충분히 만족하고 있다. Fig. 5는 배기 규제치 Korea 2004 (Euro3)과 Korea2008(Euro4)의 비교를 보여준다. Fig. 6(a) 및 Fig. 6(b)는 기본엔진(148kgm) 대비 토크를 160kgm로 향상 시킨 엔진들의 각기 연료소모(BSFC) 맵을 보여 주고 있다. 향상된 BSFC 맵에 의해 토크가 향상되었음에도 1.0% 정도의 차량연비

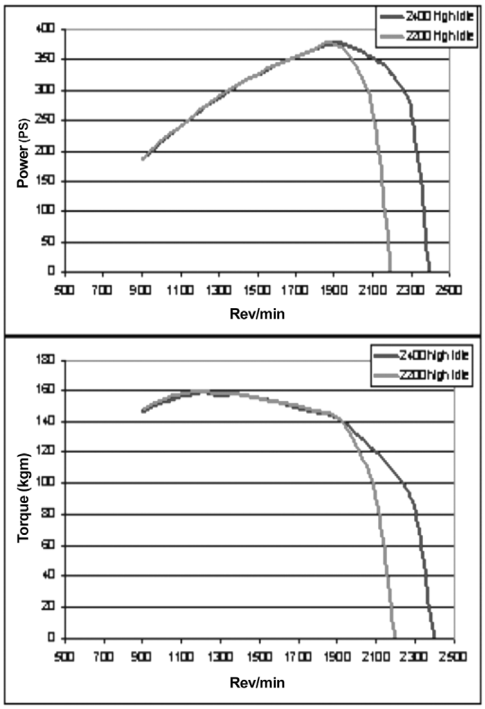


Fig. 7 Torque shape investigation

향상 결과를 얻을 수 있었다. 본 연구에서는 최대 엔진회전수를 ESC 규제 영역을 고려하여 2400rpm과 2200rpm인 경우의 토크를 형성하였다(Fig. 7). 최대 회전수가 2400rpm인 경우가 엔진 맵 상에서 연비가 약간 우세하게 튜닝될 수가 있었다. 그러나 냉각(방열량) 관점에서는 좀더 고찰 할 필요성이 있다.

3.2 터보차져 최적화 (Turbocharger optimization)

본 연구에서는 WAVE 해석을 통하여 최적 엔진 성능 및 연비에 대한 터보차져 사양을 구하였다. 그 후 차량연비 시뮬레이션(VSIM)을 통하여 차량 연비를 예측하였다. 앞에서의 Fig. 3의 차량 시뮬레이션 검증과 같이, WAVE 시뮬레이션의 결과도 모든 물성치에서 시험 데이타와 잘 일치 하고 있는 것을 검증하였다(Fig. 8). Fig. 9는 17 가지 터보사양(컴프레서 및 터빈형상 변경) 사양에 대한 WAVE 시뮬레이션을 하였다. 그결과 Fig. 8에서 보면, 현사양(Build 1) 대비 Build 9~Build 14의 우수한 사양으로 나타나 있다. 그러나 이들의 사양의 특수성(Holset

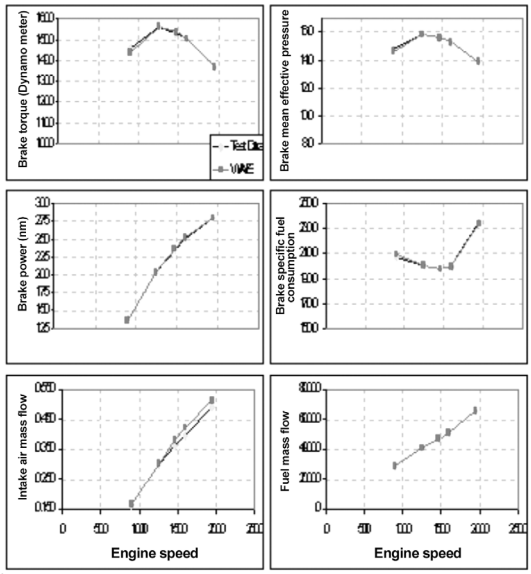


Fig. 8 Ilustrations of good match between test data and WAVE simulation

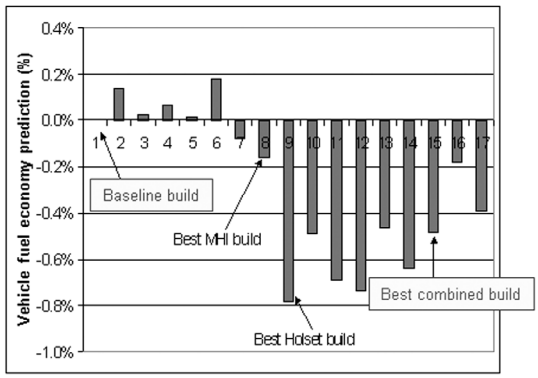
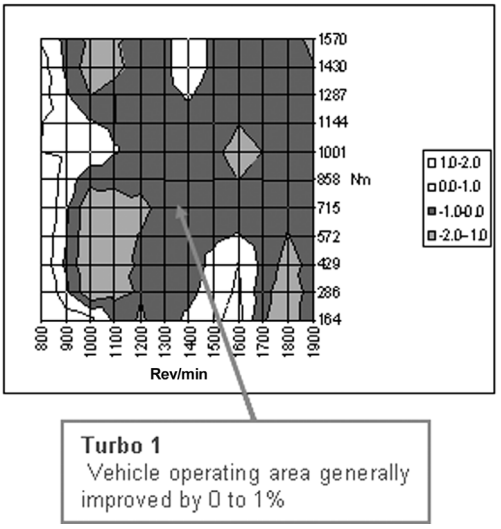


Fig. 9 Vehicle fuel consumption predictions with turbocharger specifications

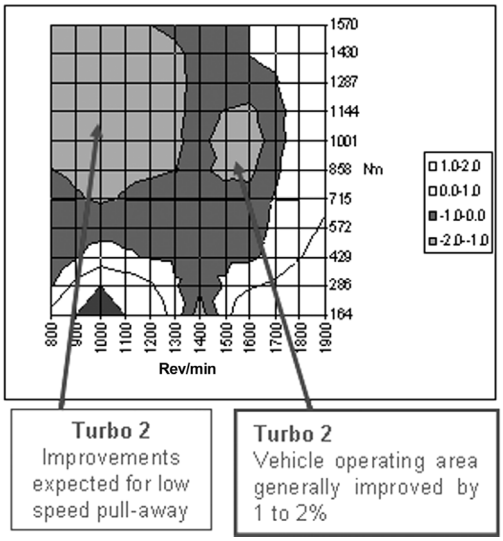
사양으로 RCC compressor type)양산 시점등의 문제로 인하여 Build 15의 사양으로 선정하였다. 기본 사양 대비 0.5%의 차량 연비 예측이 나타났으며, 엔진 시험 및 필드시험을 통하여 좋은 일치를 얻었다.

본 연구에서는 현사양 및 선택된 변경사양(Build 15)에 대하여 재차 엔진 매핑을 최적화 하여 추가 엔진 연비맵 향상 및 차량 연비 향상을 얻었다. Fig. 10(a)는 이들 기본적 터보사양(Turbo 1)에 대한 엔진 매핑 개선을 통하여 연비 향상을 시킨 결과이다. 즉 주사용 영역에서 연비 향상도 0~1%를 얻었다. Fig.

10(b)는 터보차져 변경 최적사양(Turbo 2-Build 15)에 대한 엔진 맵의 연비 향상도를 보여준다. 개선사양 연비 맵 향상도에서 보면, 주사용영역(1400rpm~1500rpm) 뿐만 아니라, 저속 영역에서 연비 향상도(1-2%) 범위가 확대되어 있는 것을 알 수 있다. 이들 향상된 연비맵으로 최종적인 차량 시뮬레이션 결과로 현사양(Turbo1) 0.8% 및 개선 사양(Turbo 2) 1.1%의 차량연비 향상 예측 결과를 얻었다.



(a) Baseline (Turbo 1)



(b) Turbo 2 (Build15)

Fig. 10 BSFCmap

4. 결 론

1) 실차 주행조건을 고려한 엔진 시험 모드를 선정하였다. 차량연비 예측 시뮬레이션은 필드시험 결과와 0.2% 오차 범위내에 좋은 일치를 이루었다.
2) 차량 필드시험 결과 연비 향상 최대 2.0%를 얻었다. 그 결과는 다음과 같은 연구를 통한 최종 결과이다.
   (a) 가속성능 향상을 위한 엔진토크를 향상시에도 실차 주행 조건 영역 부분을 최적화하여 1.0% 차량연비 향상을 얻었다.
   (b) 터보차져 현사양 및 변경사양에 대하여 연비 향상도를 각기 0.8%, 1.1%가 예측 되었다.

References

1) M. S. Lyu and Ben, 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, 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.
5) M. S. Lyu and J. W. 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.
6) F. Berard, A. Cotta, J. Stokes, “An integrated Powertain (IPT) Model Stage One,” SAE 2000-01-0864, 2000.