

고속버스 연비개선 예측에 관한 연구

류 명 석*

현대자동차 연구개발본부

A Prediction Study for Fuel Economy Development in an Express Bus

Myungseok Lyu*

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

(Received 15 March 2006 / Accepted 13 April 2006)

Abstract : A study to get better vehicle fuel economy is described based on an express bus. The approach is based on using a commercial software vehicle simulation to identify the relative efficiency of each of the vehicle systems, such as the engine hardware, engine software calibration, transmission, cooling system and ancillary drives. The simulation-based approach offers a detailed understanding of which vehicle systems are underperforming and by how much the vehicle fuel economy can be improved if those systems are brought up to best-in-class performance. In this way, the optimum vehicle fuel economy can be provided to the vehicle customer. A further benefit is that the simulation requires only a minimum of vehicle testing for initial validation, with all subsequent field test cycles performed in software, thereby reducing development time and cost for the manufacturer.

Key words : Vehicle simulation(차량 시뮬레이션), Commercial vehicle(상용차), Engine calibration(엔진 보정), Fuel economy(연비), Optimisation(최적화)

1. 서 론

우수한 성능 및 내구성을 유지하면서 좀 더 향상된 연비를 가지는 차량을 개발하는 것이 차량 완성업체 연구소의 가장 큰 과제일 것이다. 특히 국내외 환경규제(Emission legislation)가 강화되어 감에 따른 차량 연비에 대한 저해가 예상된다.¹⁾ 따라서 개발 초기 단계부터 연비목표 설정 및 개선항목 선정이 되어야 한다.

본 연구에서는 우선적으로 차량 연비개선을 위한 시스템 구축을 통하여 연비개선 항목 선정 및 개발 차종에 대한 목표 설정을 하였다. 다음에 차량연비에 대한 개선항목 선정 및 개선효과 파악을 위하여

차량 시뮬레이션을 수행하였다. 이들에 대한 검증 및 개발을 위하여 차량시험(주행시험 및 필드시험)을 수행하였다. 이를 통하여 상용차(버스/트럭) 연비 개선 시스템을 구축하였다. 결과적으로 연비개선 항목들의 기여도 분석 및 개선 항목의 실차 연비에 미치는 정량적인 효과를 파악하였다. 이 연구의 차량 확인 시험을 통하여 개발 차종에 대한 연비개선(5%이상)의 결과를 얻었다. 또한 향후 차종개발 시 적용할 수 있는 최적화 프로세스가 구축되어 차종별 연비개발 기간 단축이 기대된다.

본 논문에서는 연비개선 프로세스 연구 중의 시뮬레이션을 통하여 얻은 결과를 바탕으로 작성하였다.

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

2. 연구 내용

연비개발을 위하여 아래와 같은 항목의 연구를 수행하였다.

- 1) 차량 시뮬레이션(Vehicle simulation)
- 2) 차량 주행시험(Proving ground test)
- 3) 차량 필드시험(Real drive test)
- 4) 부대장치 소모동력측정
(Parasitic loss measurement)

우선적으로 대상 차량에 대한 차량 필드 및 주행 시험의 초기 평가가 선행 된다. 이를 통하여 현 차량 수준 및 시뮬레이션 입력 데이터 확보 및 초기 시뮬레이션 검증이 된다. 차량 시뮬레이션을 통하여 연비개선 항목의 기여도 분석을 하였다. 이들 각기 개선 항목에 대한 연비 개선 효과를 얻었다.

2.1 차량시뮬레이션

2.1.1 모델링

본 연구에서는 차량 시뮬레이션을 위해 범용코드(V-SIM)을 사용하였다.²⁻⁵⁾ 시뮬레이션 모델은 차량 부품별로 부분모델(Sub-system model)되어 연결 가능하게 구성되어 있다. 즉 차량 개발 시 각 부품별 변경 항목을 모델링하여 개선 효과를 파악 가능하게 하였다. 본 연구에서 사용된 코드에서는 상용차용으로 대표적인 부분 모델링은 드라이버, 엔진, 변속기, 클러치, 샤프트, 주행 저항, 전기장치, 배기 제어 장치(ECT)등으로 구성 되어 있다(Fig. 1). 이들 모델들은 MATLAB/Simulink에서 코드화되어 응용이 용이하게 수정되어있다. 그러나 좀 더 광범위한 부품 개선 효과를 위해서는 상세 항목별로 개발 모델링을 차량 개발과 함께 추가 할 필요성이 있다.

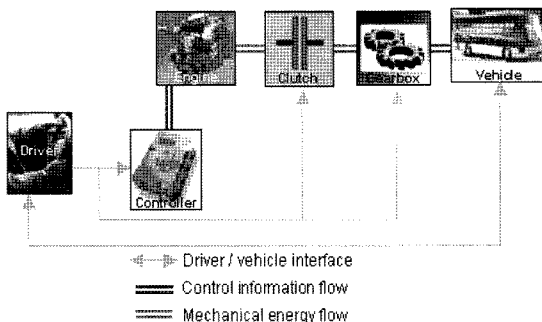


Fig. 1 Commercial vehicle model

2.1.2 시뮬레이션 검증

연비 필드시험(Field test)결과를 통하여 차량 시뮬레이션 결과를 비교하여 본 연구에서 구성한 모델링을 검증하였다. 차량 개발 및 필드 연비 측정 시 사용되는 동일 구간에 대한 차량 시험에서 차량속도(vehicle speed), 엔진회전속도(engine speed), 연료량(Fuel flow rate), 가속계(accelerator pedal actuation) 등을 측정하였다. Fig. 2에서 보여주는 바와 같이 연비 측정치와 시뮬레이션 예측치가 0.3% 오차 이내로 잘 일치하고 있음을 보여 주고 있다.

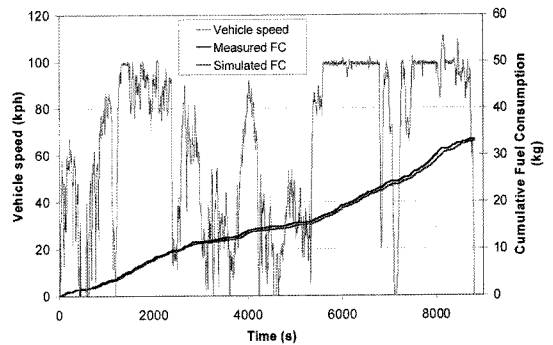


Fig. 2 Model validation

2.2 실주행 사이클

차량시뮬레이션은 Fig. 3과 같이 실주행 사이클의 필드시험 및 고객 차량에서 측정된 데이터를 사용한다. 또한 EUDC와 같이 설정 되어진 주행 사이클도 활용할 수 있으나, 앞에서 언급한 실 주행사이클에서의 연비 측정이 고객 연비 예측에 바람직하다.

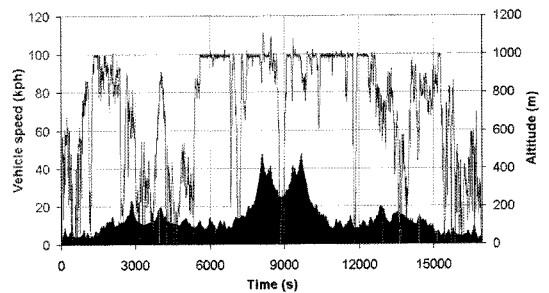


Fig. 3 Customer drive cycle data

3. 연비개선 항목 및 민감도

차량 시뮬레이션(V-SIM)을 통하여 연료소모 호

름도, 부분별 연비향상 민감도 및 연비 주요 인자를 분석하였다.

3.1 차량 연료 소비 흐름도

Fig. 3의 주행 조건에서의 차량시뮬레이션을 통하여 Fig. 4에서와 같이 각 부분별로 연료 소비 흐름도를 분석하였다. Table 1은 전체 연료에너지(231KW)에 대하여 열손실율을 나타낸다. 엔진과 공기저항에 대한 연료 소모율이 각기 63.1%, 23.2%로 가장 큰 손실을 보여준다.

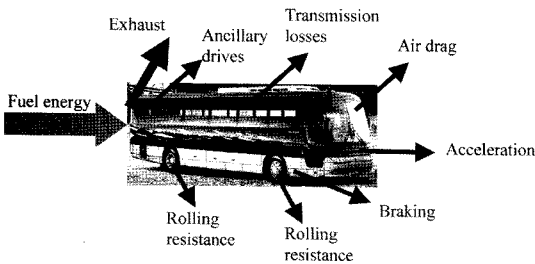


Fig. 4 Diagram of fuel energy flows

Table 1 Fuel energy flow analysis

열손실 항목	에너지 (Kw)	분배율 (%)
Engine loss	145.7	63.1
Ancillary loss	5	2.2
Transmission loss	4	1.7
Rolling friction loss	22.6	9.8
Aerodynamic loss	53.6	23.2

3.2 연비인자 민감도(Sensitivity)

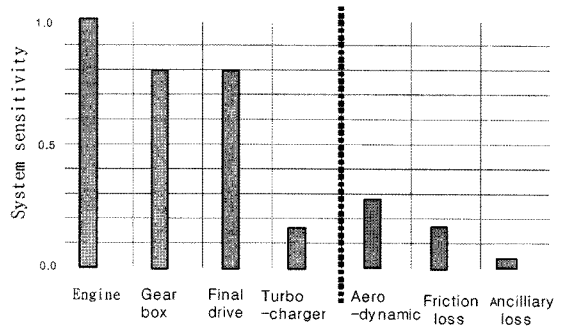
연비 인자별 기여도를 차량 시뮬레이션을 통하여 예측하였다(Fig. 7). 즉 각기 인자별 효율 향상 시 차량 연비 개선의 민감도를 나타낸다. 인자별 1% 효율 향상 시에 엔진, 기어박스, 리어액슬은 차량 연비 1% 향상되나, 터보차저는 0.2% 정도이다. 특히 부대장치(Ancillary)류는 0.05% 정도로 차량연비에 미치는 영향이 미비하다.

4. 주요 인자별 결과

Table 2와 Table 3에서 나타난 바와 같이 차량의 연비 주요인자 변화에 따른 연비 개선효과를 시뮬

레이션을 통하여 고찰하였다. 여기서 주요 인자는 연비 엔진맵, 차량변속기 및 기어비, 공기저항, 구름저항, 부대장치 소모동력, 중량(GVW)등이다.⁶⁾

Table 2 Tabulated results for different powertrain



4.1 파워트레인 부문

Table 3에서 보면 파워트레인(엔진 및 변속기)에 대한 연비 개선 신사양(CASE 5)을 구성하여 차량연비 개선 효과를 4.2% 까지 예측하였다.

Table 3 Tabulated results for different powertrain

항목	시뮬레이션 CASE				
	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5
연사양 (148kg.m)	○		○	○	
토크향상(160kg.m)		○			○
기본[5단, FD=3.15]	○	○			
기본[5단, FD=2.93]			○		
신[6단 FD=3.15]				○	
신[6단 FD=2.93]	○				○
연사양 대비 연비 향상	0.0%	1.0%	1.2%	1.9%	4.2%

엔진매핑 최적화 R/Axle T/M 신사양
 기어박스

4.1.1 엔진토크변화(148kgm->160kgm)

Fig. 5에서와 같이 엔진토크 향상(148kgm -> 160kgm)에 따른 연비악화를 억제하기 위하여 주행 사이클 및 환경규제 영역을 고려한 엔진맵 최적화를 하였다. Table 3에서 보면 차량연비 1.0% 정도의 향상을 예측하였다(CASE 2).

4.1.2 신변속기 적용 및 기어비 변화

CASE 3의 기어비감소(3.15->2.92)에 따른 연개선 효과는 최대 1.2%까지 예측할 수 있다.

신변속기 적용(CASE 4)에 따른 연비 향상을 효과를 1.9%까지 기대된다.

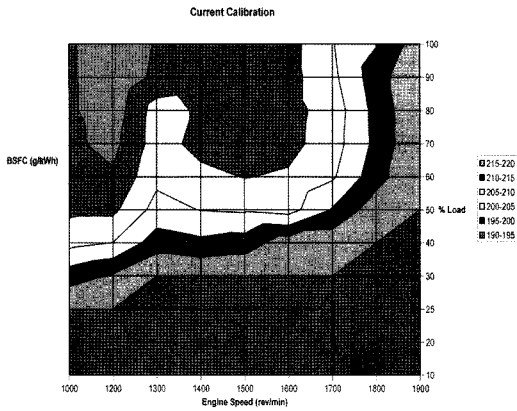


Fig. 5(a) Current engine calibration map

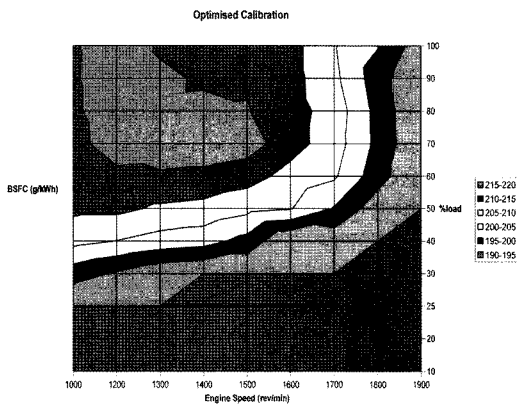


Fig. 5(b) Optimized engine calibration map

4.2 차량부분

차량의 주요 연비 인자인 공기저항, 구름저항, 엔진부대장치 소모동력 변화, 중량(GVW)에 따른 변화를 신 파워트레인 변화 사양 대비 연비 개선 효과를 고찰 하였다.

(1) 공기저항 및 구름저항 변화

신파워트레인 사양에 대한 공기저항을 10~15% 까지 변화 시킨 결과 차량연비가 2.8 ~ 7.0% 까지 개선됨을 알 수 있다. 구름저항의 변화에 대하여 1.6~4.0%까지 개선 효과를 볼 수 있다. 이상과 같이 두 인자는 차량연비 개선에 주요 인자임을 알 수 있다.

Table 4 Tabulated results for vehicle conditions

항목	CASE 5	CASE 6	CASE 7	CASE 8	CASE 9	CASE 10	CASE 11	CASE 12
토크양생(160kg.m)	○	○	○	○	○	○	○	○
신(8단 FD-2.93)	○	○	○	○	○	○	○	○
기준 공기저항 f2 term	○							
-10%		○						
-25%			○					
기준 구름저항 f0 term	○	○	○			○	○	○
-10%				○				
-25%					○			
기준 부대장치 소모동력	○	○	○	○	○			
-10%						○		
-25%							○	
GVW= 14700kg = 14480kg	○	○	○	○	○	○	○	○
신사양 대비 연비향상	0.0%	2.8%	7.0%	1.6%	4.0%	0.4%	0.9%	0.5%
신사양		10%	20%	10%	25%	10%	25%	220kg
		공기저항감소	구름저항감소	부대장치감소	GVW감소			

(2) 엔진 부대장치 소모동력

엔진 부대장치 소모동력은 25%까지 변화 시켜도 0.9% 정도의 연비 개선 효과를 나타내고 있다.

(3) 차량중량(GVW)

차량 중량을 1.5%(220Kg)정도 변화 시켜보면 약 0.5% 정도 차량연비 개선 효과를 보여준다.

4.3 차량시험 확인결과

연비개선 주요인자 항목의 개선 효과에 대한 시물레이션에서 예측한 결과를 필드시험(남양-제천 구간)치와 비교하였다(Table 5). Fig. 2에서 초기 모델 검증에서 좋은 일치를 보인 것과 같이 개선 효과에 대한 예측도 좋은 일치를 얻었다. 즉 차량 연비 개발 시 시물레이션으로 연비 예측 후 개선이 가능하여 시험 샘플 수 및 개발기간 단축이 가능함을 알 수 있다. 그러나 전 연비 항목에 대한 검증에 대한 연구가 지속적으로 수행되어야 한다.

Table 5 Comparisons between simulation and field test

항목	시물레이션	차량 시험 결과
엔진맵핑 최적화	1.0%	0.9%
신 T/M 적용	1.9%	2.0%
R/AXLE 기어비(FD비) 조정	1.2%	1.1%
공력 개선 (2.5%)	0.7%	0.6%
타이어 구름저항 저감(5%)	0.8%	0.7%
합계	5.6%	5.3%

5. 결론

차량연비 시뮬레이션을 통하여 주요 연비인자 변화에 따른 차량연비 개선 효과를 예측하였으며, 필드 시험치와 비교하였다.

- 1) 신 파워트레인 (엔진맵, 변속기, 기어비) 조합에 따른 연비 개선 효과를 4.2%까지 예측된다.
- 2) 차량부문 연비 인자인 공기저항, 구름저항, 엔진 부대장치, 중량 등의 변화에 따른 차량 연비 개선 포텐셜을 고찰하였다.
- 3) 본 연구의 차량 시뮬레이션 연비개선 모델 및 주요 인자 개선 효과에 대한 시험치와의 좋은 일치를 얻었다.

References

- 1) S. Whelan, "Commercial vehicle Technology to Meet the Market and Legislative Requirements of 2010 to 2015," 4th Advanced Diesel Engine Technology Symposium, 2004.
- 2) R. P. G. Heath and C. Y. Mo, "A Modular Approach to Powertrain Modeling for the Prediction of Vehicle Performance, Economy and Emissions," SAE 960427, 1996.
- 3) F. Berard, A. Cotta and J. Stokes, "An Integrated Powertain (IPT) Model Stage One," SAE 2000-01-0864, 2000.
- 4) P. Brown, J. Stokes, R. H. Thring and F. Bearald, "A Simulation Tool for the Evaluation of High Efficiencies Vehicle Concept," 1st Ricardo International Conference, pp.23-32, 2000.
- 5) P. M. Fussey and C. L. Goodfellow, "An Integrated Powertain (IPT) Model Stage Two," SAE 2001-01-0938, 2001.
- 6) 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.