Transactions of KSAE, Vol. 16, No. 6, pp.109-114 (2008)
Copyright © 2008 KSAE
1225-6382/2008/096-15

웜업시 엔진 마찰이 차량 모드 연비에 미치는 영향

임 건 병[1] · 위 효 성[1] · 박 진 일[*1] · 이 종 화[1] · 박 경 석[2]

아주대학교 기계공학부[1] · 금오공과대학교 기계공학부[2]

Effect of Engine Friction on Vehicle Fuel Economy during Warm-up

Gunbyoung Lim[1] · Hyoseong Wi[1] · Jinil Park[*1] · Jonghwa Lee[1] · Kyoungseok Park[2]

[1]*School of Mechanical Engineering, Ajou University, Gyeonggi 442-749, Korea*
[2]*School of Mechanical Engineering, Kumoh National Institute of Technology, Gyeongbuk 730-701, Korea*
(Received 20 February 2008 / Accepted 26 April 2008)

Abstract : An improvement of vehicle fuel economy is one of the most important topic in automotive engineering. Lots of engineers make efforts to achieve 1% of fuel economy improvement. Engine friction is an important factor influencing vehicle fuel economy. This paper focuses on effect of engine friction on vehicle fuel economy during warm-up. A computer simulation is one of the powerful tools in automotive engineering field. Recently Simulation is attempting to virtual experiment not using expensive instruments. It is possible to presuppose fuel economy by changing the characteristic of accessories using CRUISE(vehicle simulation software). In this paper, fuel consumption at each part of the vehicle is analyzed by both of experiment and simulation. The results of fuel economy analysis on experiment substitute for Cruise to calculate fuel economy. The simulation data such as engine speed, brake torque, shift pattern, vehicle speed, fuel consumption level is well correlated to experiment data. In this paper, the change of warm-up time, faster or slower, through simulation is performed. As a result of the fast warm-up, fuel economy is improved up to 1.7%.

Key words : Fuel economy(에너지소비효율), Simulation(시뮬레이션), Accessory(보기류), Engine friction(엔진 마찰), Engine oil warm-up(엔진 오일 웜업)

1. 서 론

자동차의 배기가스 규제가 강화되고 환경오염에 대한 관심이 고조되면서 자동차의 연비에 대한 관심이 증대되고 있다. 또한 고유가시대가 계속되면서 소비자 또한 고효율의 자동차를 선호하는 시대가 되고 있다. 따라서 초저연비의 자동차 개발이 이산화탄소 규제와 더불어 현재 및 향후 가장 부각되는 개발과제의 하나로 크게 대두되고 있다.[1)]

자동차의 연비는 차량이 실제로 도로상을 주행할 때 측정하여 얻는 실 주행 연비와 차량의 인증 시에 측정되는 공인연비로 구분된다. 이 중 공인 연비는 기본적으로 차량과 동력계, 배출가스 분석기, 운전 보조 장치 등의 고가 장비와 드라이버, 장비를 다룰 테크니션 등 인력적인 투자가 필요하다.

한편, 컴퓨터의 급격한 발달로 시뮬레이션에 의한 해석연구가 진행되었고, 최근에는 CRUISE 등과 같은 차량연비해석 프로그램의 개발로 인하여 차량의 연비를 예측할 수 있다. 시뮬레이션을 통한 연비 예측에는 경제적, 시간적인 이득을 얻을 수 있을 뿐 아니라 실차 시험 시 차량의 상태를 바꾸기 힘든 반면 시뮬레이션에서는 각종 엔진과 동력전달계 등의 부품의 특성을 바꾸며 연비를 예측할 수 있다.[2,3)]

*Corresponding author, E-mail: jpark@ajou.ac.kr

차량의 공인 연비 모드 중 FTP-75 Cold Start 모드는 초기 출발 시 냉시동으로 운전하게 되어있다. 냉시동으로 출발되는 차량은 오일 온도에 따라 엔진 마찰에 영향을 미치고 이는 곧 연비에 직결되는 문제이다. 이에 본 논문에서는 차량의 웜업 특성에 따른 엔진 마찰이 연비에 미치는 영향을 살펴보고자 한다.

2. 시뮬레이션 모델

차량 모드 연비 시험분석결과와 엔진 및 동력전달계 단품의 특성을 상용프로그램인 CRUISE (AVL사)에 적용하여 차량을 모델링 하였다. Photo. 1은 이번 연구에 사용된 CRUISE 상의 기본 모델이다. 실제 시험차량이 A/T, 전륜 구동이기 때문에 자동변속기 전륜 구동 모델을 채택하였다. 엔진에서 발생시킨 토크는 토크컨버터를 거쳐 변속기를 지나고 다시 최종감속기와 차동장치를 지나 차륜에 전달되는 동력전달과정을 거친다. 차륜에 전달된 토크는 주행저항에 따라 차량을 운전시키게 된다.[4-6]

엔진부의 모델링은 엔진의 전부하특성, 무부하특성, 연료소비율, 엔진 온도의 웜업 특성 등을 특성맵으로 사용하여 모델링 하였다. 또한 엔진이 냉시동시 연비에 미치는 온도의 영향을 고려하기 위하여 냉시동 모델을 추가하여 모델링 하였다. 엔진 오일온도와 엔진 총마찰을 측정하여 본 결과 동일한 엔진 회전속도에서 엔진오일이 상온(25°C)일 때보다 완전히 웜업(100°C)이 될 때 엔진 총마찰이 감소하게 된다. 이를 바탕으로 엔진 오일온도에 대한 엔진 총마찰을 일반화된 상관관계로 나타내기 위하여 식 (1)과 같이 냉시동 보정계수(C.F.)를 정의하였다.

$$C.F. = \frac{T_{TFt(c)-n(N)}}{T_{TF\,100(c)-n(N)}} \tag{1}$$

여기서 $T_{TFt(c)-n(N)}$는 엔진 회전속도n(rpm)에서 엔진 오일온도 t(°C)일 때의 엔진 총 마찰을 의미하며, 보정계수(C.F.)는 엔진 오일온도 100(°C)를 기준으로 동일 엔진 회전속도에 대한 각 온도에서서의 엔진 총 마찰의 비로 나타낸 것이다. Fig. 1은 선행실험을 통하여 취득한 엔진 총 마찰 온도 보정계수를 나타낸 것이다. 이 같은 엔진 총 마찰의 보정계수를

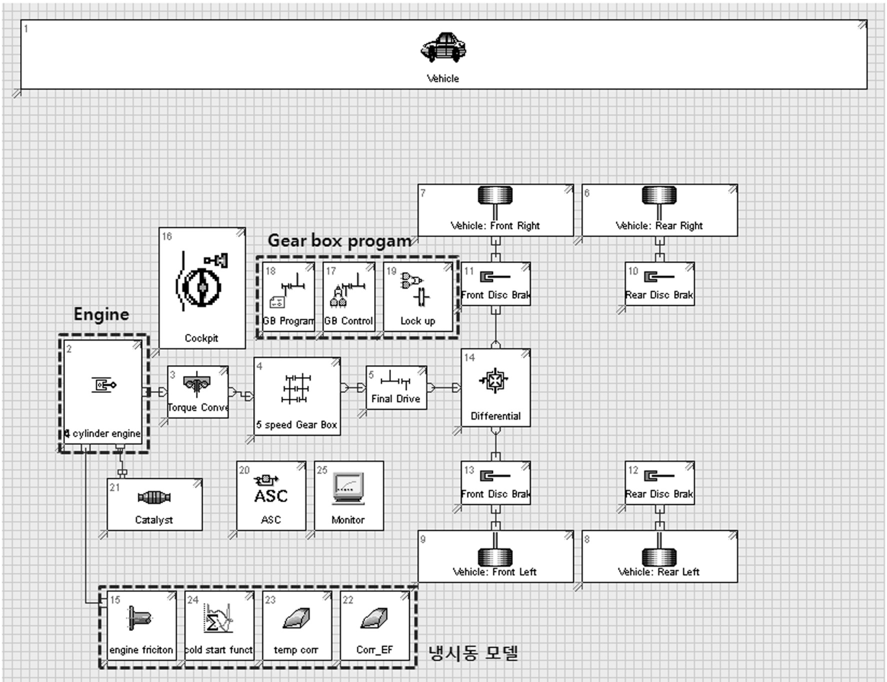

Photo. 1 Cruise model of automatic transmission front wheel drive vehicle

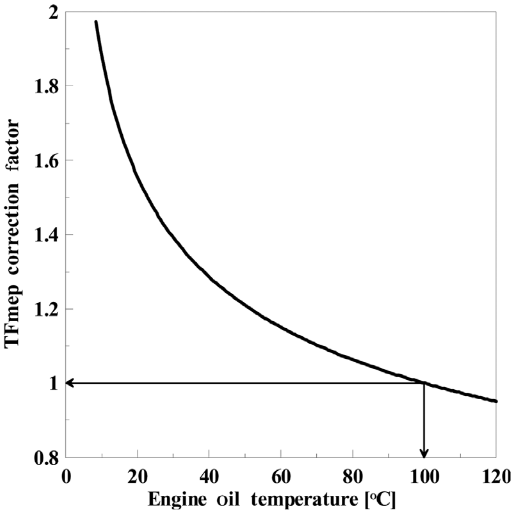

Fig. 1 Correction factor of engine total friction according to the engine oil

FTP-75모드 주행에 따른 엔진 총 마찰에 보상을 해 주어 냉시동 특성으로 맞출 수 있었다.

변속 과정은 gear box program에서 부하에 따른 상단으로의 변속(upshift)과 하단으로의 변속(down-shift)속도를 정의해 주어 엔진부하에 따라 변속이 되도록 해주었다. 또한 Lock-up 클러치의 제어 설정을 위하여 clutch control 모듈을 사용하였다. Lock-up 클러치는 실제 치량의 FTP-75모드 주행 시 변속단 5단에서만 직결이 되므로 그에 맞게 모델링 하였다.

시뮬레이션의 엔진 회전속도, 제동토크, 차속, 변속 패턴, 연료소비량 등의 특성이 차량의 모드 주행 시험 결과와 일치하도록 모델링을 한 다음 이를 바탕으로 FTP-75모드의 웜업 구간인 Phase 1, 2에 대하여 오일 온도에 따라 엔진 마찰이 에너지소비효율에 어떤 영향을 미치는지 알아보았다.

3. 결과 및 고찰

3.1 실차 연비 모드 주행 시험과 시뮬레이션 모델의 결과 비교

실험에 사용한 차량은 2500(cc), 가솔린 엔진과 자동변속기가 장착된 차량이며, 공차중량은 1450(kg), 엔진은 L6 24밸브 DOHC이다. 엔진에서 발생되는 동력을 측정하기 위하여 각각의 실린더에 압력센서를 설치하였고 측정된 압력에 대한 전하량은 전하증폭기를 이용하여 증폭하였다. 1° 단위의 중공축 엔코더를 장착하여 엔진 회전속도를 측정하였으며 토크 컨버터의 터빈축 회전속도는 TCU의 펄스 신호를 이용하였다.

차량에서의 모든 실험은 교류 발전기에서 사용되는 구동력을 제외하고 보기류 구동에 의한 손실을 억제하기 위하여 에어컨 파워 오프, 파워 스티어링 오프상태를 유지하여 수행하였다. 엔진의 총 마찰 토크 실험은 기어를 P(Parking)위치에 두고, 가속페달을 일정하게 밟아 엔진 회전속도를 일정하게 유지시킨 상태에서 도시평균유효압력, 펌핑유효압력, 교류발전기 전류를 측정하여 선행연구자가 세운 식들을 적용한다. 이러한 실험을 각각 다른 엔진 회전속도에서 반복 실험한다. 엔진의 질량관성모멘트 실험은 기어를 P(Parking)위치에 두고 엔진 각가속도를 일정하게 가속페달을 변화시키면서 실험한다.

구동계의 마찰토크를 구하기 위하여 차륜에 부하가 없도록 차륜을 지면에서 분리시킨다. 이 상태에서 각각의 기어단수에서 엔진 회전속도와 차륜속도가 일정한 상태가 되도록 가속페달을 조절하여 도시평균유효압력, 펌핑유효압력, 교류발전기 전류, 배터리 전압, 터빈 회전속도, 차륜 회전속도를 측정하여 구동계의 마찰토크를 계산한다. 이를 각각의 회전속도와 기어단수에 대하여 반복 실험한다. 이상의 선행실험을 바탕으로 LA 시가지 주행을 모사한 FTP-75모드를 주행하였다.

시뮬레이션 모델의 타당성을 검증하기 위하여 FTP-75 모드에서 실차 연비 모드 주행시험과 시뮬레이션 모델의 결과와 비교해 보았다. 차속과 변속시점이 Fig. 2에서 보듯이 거의 일치함을 알 수 있다.

엔진 회전속도와 제동토크를 실험과 시뮬레이션으로 비교한 결과 Fig. 3에서 보듯이 거의 일치함을 볼 수 있다.

Fig. 4는 연료 소모량을 FTP-75모드 각 Phase 별로 실험과 시뮬레이션으로 비교한 것으로 연료 소비량이 정확하게 맞는 것을 확인 할 수 있다.

3.2 엔진 웜업시 오일온도에 따른 엔진 마찰이 연비에 미치는 영향

차량의 모드연비 시험 결과 Phase1 종료 시점인 516초에 오일 온도가 72.4°C에 도달하였다. 이를 기

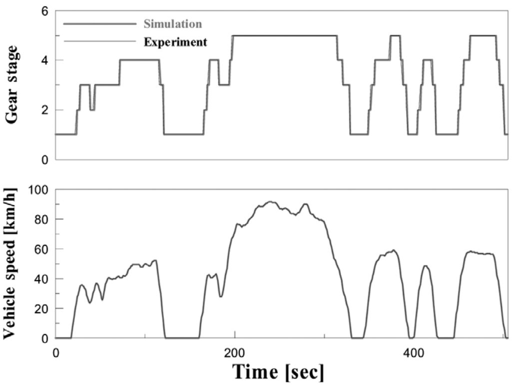

Fig. 2 Comparison of vehicle speed and gear shift

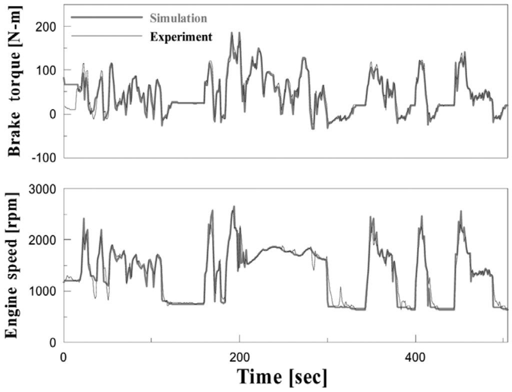

Fig. 3 Comparison of engine speed and brake torque

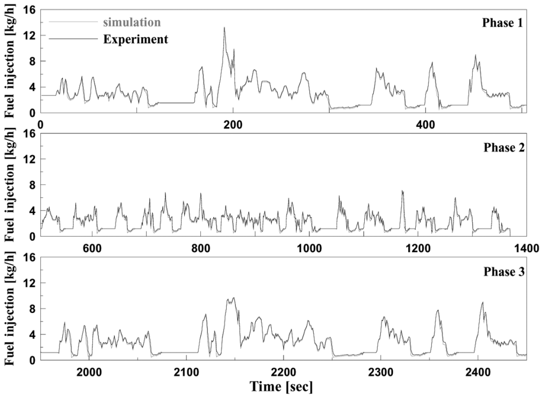

Fig. 4 Comparison of fuel consumption

준으로 72.4°C 도달시간을 516초를 기준으로 20%(413초), 40%(310초), 60%(206초), 80%(103초)로 빨리 웜업이 이루어지도록 웜업 특성 선도를 나타내었다. 이와 반대로 20%(619초), 40%(722초), 60%

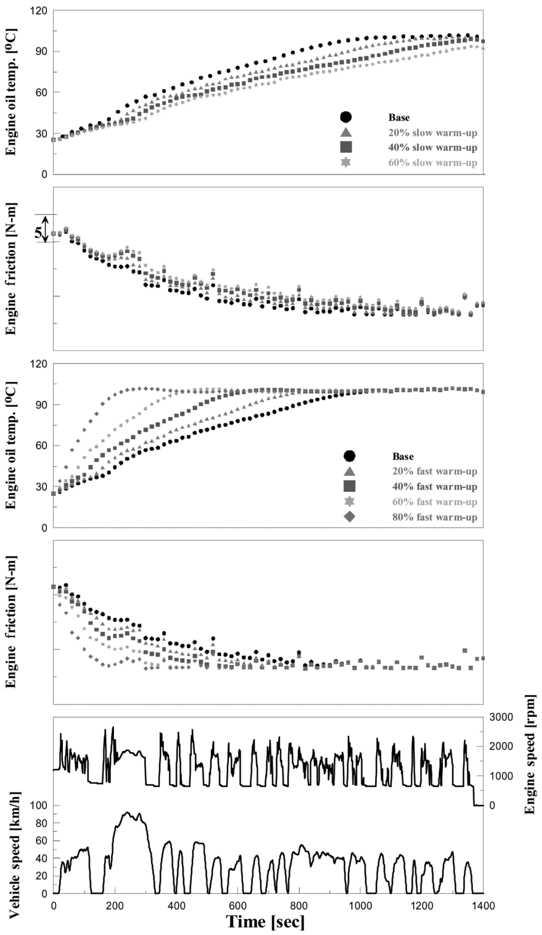

Fig. 5 Comparison of engine friction according to oil temperature

(826초)로 나누어 웜업 특성을 느리게 하여 모델링에 오일 온도의 변화를 주어 시뮬레이션을 해보았다.

FTP-75모드 주행시의 오일 온도를 차량 시험 결과를 토대로 빠르게 웜업시킨 결과 Fig. 5에서 보듯이 엔진 마찰이 감소하는 것을 알 수 있었다. 이는 엔진 오일의 점성이 빨리 낮아지면서 기인한 결과라 할 수 있겠다. 이와 달리 오일의 온도를 느리게 웜업 시킨 결과 엔진 마찰이 증가하였다.

시뮬레이션의 결과에서 알 수 있듯이 웜업이 빨리 이루어질수록 엔진 마찰이 감소하는 것을 알 수 있었다. Table 1은 오일 온도의 변화에 따른 연비차이를 비율로 나타내었다. 기준 시간에서 20%의 시간을 단축한 결과 0.3%의 연비 향상을 얻을 수 있었

Table 1 Comparison of fuel economy difference ratio according to oil temperature

90°C 도달시간 (sec)	연비 향상(%)
160	1.7
319	1
479	0.6
638	0.3
798 (기준값)	-
958	-0.3
1118	-0.5
1277	-1

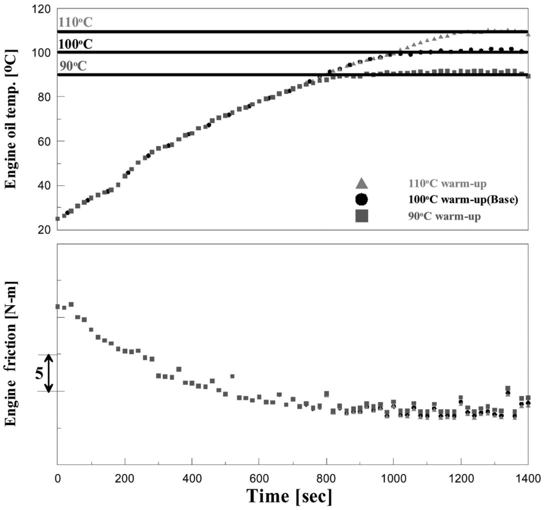

Fig. 6 Comparison of engine friction according to warm-up temperature

으며 최대 80%의 시간을 단축한 결과 1.7%의 연비 증대 효과를 볼 수 있었다. Fig. 1에서 알 수 있듯이 저온에서 보정계수(C.F.)의 변화량이 고온보다 크기 때문에 저온에서의 웜업 시간을 줄이면 엔진 마찰의 감소로 인한 에너지소비효율의 증대 효과를 볼 수 있었다. 반대로 웜업 시간을 기준시간보다 20%로 지연시켰을 경우 엔진 마찰의 증가로 인한 0.3%의 연비감소가 있었으며 최대 60%로 지연시킨 경우 1%의 연비감소의 결과가 나온 것을 확인할 수 있었다.

모드 주행 시 완전히 웜업이 되는 시점의 엔진 오일의 온도를 조정하여 시뮬레이션을 하였다. 실차의 시험 시 100°C에서 웜업이 이루어지므로 이를 기준으로 90°C와 110°C에서 웜업이 이루어지도록 시뮬레이션을 한 결과, Fig. 6에서 보듯이 온도의 변화에 따른 엔진 마찰의 변화량이 크지 않은 것을 확인할 수 있었다. 이는 Fig. 1의 오일 온도에 따른 엔진 총 마찰의 보정계수(C.F.)에서 알 수 있듯이 저온에서는 온도 변화에 따른 보정계수(C.F.)의 변화량이 크지만 100°C부근의 고온에서는 변화량이 작아 온도 변화에 따른 엔진 마찰의 영향이 크지 않기 때문이다. Table 2는 온도별 연비차이비율을 나타낸 것으로 웜업이 되는 시점의 온도를 변화함에 따른 연비개선의 효과가 거의 없는 것을 확인할 수 있었다.

Table 2 Comparison of fuel economy difference ratio according to warm-up temperature

웜업 후 온도 (°C)	연비 향상(km/L)
90	-0.2
100	-
110	0.1

4. 결 론

엔진 웜업시 오일온도에 따른 엔진 마찰이 차량 모드 연비에 미치는 영향을 위한 본 연구에서 실험과 시뮬레이션을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 상용 연비 예측 프로그램인 CRUISE(AVL사)를 이용하여 실차 모델을 개발하기 위한 시뮬레이션을 수행하였다. 이를 위하여 기본 모델인 자동변속기 전륜 구동 모델을 사용하였고, 실차의 주행시험 결과를 토대로 하였다. 엔진부에서 전부하특성, 무부하특성, 연료소비율, 엔진온도의 웜업 특성을 고려하여 모델링 하였으며 냉시동시 연비에 미치는 온도의 영향을 고려하기 위한 냉시동 모델을 추가하였다.
2) 시뮬레이션을 통해 실차의 연비모드 주행 시험과 비교한 결과 차속, 변속패턴, 엔진 회전속도, 제동토크, 연료소모량 등이 정확히 일치하는 결과를 가졌다.
3) 차량의 웜업 특성을 살펴보기 위하여 Phase1 종료 시점인 516초를 기준으로 시간을 20%씩 빠르게 하거나 느리게 하여 차량의 오일 온도의 웜업 특성을 바꾸어 주었다. 결과로 웜업 속도를 빠르게 하였을 경우 온도 상승으로 인한 엔진오일의 점성이 작아짐에 따라 엔진 마찰이 줄어 시간을

80%까지 줄였을 경우 최대 1.7%의 연비향상 효과를 얻었다. 또한 웜업 속도를 느리게 하였을 경우에는 엔진 마찰이 늘어 시간을 최대 60%까지 지연시켰을 경우 1%의 연비가 나쁘게 나왔다.

4) 웜업이 충분히 이루어진 엔진 오일의 온도에 따른 연비의 효과를 알아보기 위하여 100°C의 기준온도에서 90°C와 110°C의 웜업 온도를 적용하여 시뮬레이션을 하였다. 100°C부근의 고온에서 보정계수(C.F.)의 변화량이 작은 만큼 온도에 따른 엔진 마찰의 영향이 크지 않아 에너지소비효율 개선에 큰 효과가 없음을 알 수 있었다.

실제 차량의 모드 연비와 엔진 웜업시 오일온도에 따른 엔진 마찰이 차량 모드 연비에 미치는 영향을 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 예측할 수 있었고, 이를 활용하여 손쉽게 차량의 웜업 특성을 바꾸어 주면서 그에 따른 결과를 알아 볼 수 있었다. 웜업 특성에 대한 결과를 통하여 차량의 열관리의 중요성에 대해 인식할 수 있었다. 앞으로 차량 동력전달계통의 전부품에 걸쳐 최상의 연비를 달성하기 위한 열관리 시스템 및 제어기 개발이 필요할 것으로 판단된다.

후 기

"본 연구는 산업자원부 주관 자동차기반기술사업의 지원으로 수행되었습니다. 이에 관계자 여러분께 감사드립니다."

References

1) J. C. Yoo, H. B. Song, J. H. Lee, J. S. Yoo, Y. M. Park and K. S. Park, "An Experimental Study on Breakdown of Fuel Consumption on a Component Basis in Gasoline Engine Vehicle," Transactions of KSAE Vol.12, No.1, pp.153-161, 2004.
2) H. Yoshiharu, F. Mizuho and K. Yoichi, "Computer Simulation of Vehicle Fuel Economy and Performance," SAE 860364, 1986.
3) F. An and M. Ross, "A Model of fuel Economy and Driving Patterns," SAE 930328, 1993.
4) K. Lorenz and K. Peterrenins, "Fuel Economy and Performance? Effects on Power Transmission," C13/84, IMechE, 1984.
5) T. R. Stockton, Fuel Economy in Road Vehicles Powered by Spark Ignition Engines, Plenum Press, New York, pp.393-418, 1984.
6) S. Tseregounis, M. McMillan and R. Olree, "Engine Oil Effect of Engine Assembly Mass on Engine Friction and Vehicle Fuel Economy," SAE 982502, 1998.