

<기술논문>

기어 물림 상태의 타행 주행 저항을 이용한 엔진 운전 조건의 분석

심 범 주^{1,3)} · 박 경 석^{*2)} · 박 준 수³⁾ · 민 병 두³⁾

경희대학교 대학원 기계공학과¹⁾ · 경희대학교 기계공학과²⁾ · 쌍용자동차 기술연구소³⁾

Analysis of Engine Operation Condition by Using Coastdown Test under Gear Engaged Condition

Beomjoo Shim^{1,3)} · Kyoungsuk Park^{*2)} · Junsu Park³⁾ · Byeongdu Min³⁾

¹⁾Graduate School Department of Mechanical Engineering, Kyunghee University, Gyeonggi 446-701, Korea

²⁾Department of Mechanical Engineering, Kyunghee University, Gyeonggi 446-701, Korea

³⁾R&D Center, Ssangyong Motor Company, Chilgoi-dong, Pyungtaek-si, Gyeonggi 459-711, Korea

(Received 20 October 2011 / Revised 1 February 2012 / Accepted 5 March 2012)

Abstract : Conventional method to transform vehicle driving condition to engine operation mode is to use vehicle road load under neutral gear and mechanical efficiency of drivetrain. But this method requires additional measurement of efficiency of drivetrain on a test rig. And this measurement is normally done at fixed speed and thus estimated accuracy of engine operation mode is not considered to be high enough. This study suggests new method to calculate engine operation mode for prescribed driving mode such as NEDC using vehicle coastdown test under gear engaged condition without measurement of mechanical efficiency of drivetrain. Coastdown test was done under neutral and gear engaged condition for comparison and also trial to extract mechanical loss of drivetrain was carried out. Calculated engine torque by conventional and newly suggested method was compared with actually measured torque of a vehicle on a chassis dynamometer during NEDC. Newly suggested method showed slightly higher accuracy of accumulated brake work during NEDC.

Key words : Coastdown test(타행 주행 성능 평가), Gear engaged condition(기어 물림 상태), NEDC(신 유럽 주행 모드), Efficiency of drivetrain(구동계의 동력 전달 효율), Brake work(제동일)

1. 서론

자동차를 차대 동력계를 이용하여 시험하고자 할 때 자동차가 실제 노면을 주행할 때 발생하는 주행 저항력이 차대 동력계상에서 구현 되어야 한다. 이 값을 설정하기 위해서는 실제 차량 조건에서 주행 저항을 측정하여야 하며 그 측정 방법으로 타행 주행 시험(Coastdown Test)이 가장 일반적으로 사용되고 있다.¹⁾ 타행 주행 시험은 풍속, 해발 고도, 실험 차량의 상태 등에 대한 규정된 조건하에서 충분히

긴 일직선의 평탄 도로에서 일정 속도 이상으로 가속한 후에 변속기를 중립으로 놓아 자동차의 관성에 의해서만 주행하면서 감속되는 시간을 측정하여 주행 저항을 산출 한다. 따라서 타행 주행 저항은 도로와 타이어의 마찰에 의한 구름 저항, 실험 차량의 형상과 속도에 의한 공기 저항 그리고 차량 구동계의 기계적인 마찰 저항을 포함하게 되며 구배 저항 및 가속 저항은 포함되지 않는다.²⁾

차량의 타행 주행 저항력이 결정되면 이를 근거로 하여 NEDC와 FTP-75와 같은 주행모드에 따른 엔진의 운전 조건, 즉 엔진 회전수와 토크를 산출할

*Corresponding author, E-mail: ks2507@khu.ac.kr

수 있는데 기존에는 중립 상태의 타행 주행력에 각 기어 단수에서의 동력 전달 효율을 이용하여 각 주행 모드에서의 엔진 운전 조건을 예측 하였다.

그러나 이 방식은 대상(Rig)에서 변속기의 기계 효율을 별도로 측정해야 하며, 대상 조건이기 때문에 실차 조건과는 다소의 차이가 발생하게 된다. 더우기 변속기의 동력 전달 효율은 일반적으로 고정된 회전수에서 측정하기 때문에 과도 운전 조건의 차량 상태에 적용시 높은 정확도를 기대할 수 없다.

본 연구에서는 변속기의 동력 전달 효율을 이용하지 않고 타행 시험을 중립 상태 및 각 기어 단수에서 수행함으로써 실제 차량 상태에서 구동계의 기계 저항을 측정하고 이를 이용하여 엔진 운전 조건을 산출하는 연구를 시도하였다. 2,000cc급의 디젤 엔진이 적용된 6단 수동 변속기 차량을 이용하여 상기한 방법으로 NEDC 구간에서의 엔진 운전 조건을 산출하였으며, 차량 동력계상에서 엔진 운전 조건을 측정하여 종래의 방식과 본 연구에서 제시한 방식의 정확도를 비교 하였다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 실험 장치

2L급 디젤 기관이 장착된 6단 수동 변속기 적용의 소형 SUV 차량을 사용하였으며, 차량의 길들이기 상태, 타이어의 마모 상태, 차량 중량 등의 실험 차량 조건 및 시험 조건은 환경부 고시 ‘제작 자동차 배출 허용 기준 및 소음 허용 기준의 검사 방법 및 절차에 관한 규정³⁾에 따라서 타이어의 트레드는 초기 상태 대비 50~90%, 차량은 3,000km 이상 길들이기 수행 후 공차 중량(CVW)을 기준 중량으로 하여 바람이 없는 야간에 실험을 진행하였다. Table 1에 본 연구에 사용된 차량 및 엔진의 사양을 나타내었다.

엔진의 흡배기 시스템은 기어 물림 상태에서의 타행 주행 성능 평가시에 흡배기 펌핑 손실(Pumping Loss)에 영향을 주어 결과적으로 타행 주행 성능에 영향을 미치기 때문에 이로 인한 영향을 배제하기 위하여 펌핑 손실을 가능한 한 배제 시킨 상태에서 실험을 수행하였다. Fig. 1은 본 연구의 실험을 진행한 전라도 소재 방조제의 실험 도로 위치와 실험 도로를 나타낸다.

Table 1 Specification of test engine & vehicle

Vehicle	Vehicle category	LDT N1 CL3
	Weight (CVW)	1,650 kg
	Gear box	6 speed manual
	Production year	2010
Engine	Displacement / Cyl. No	2,000 cc / 4 cyl
	Valve no.	4 valves / cyl
	Fuel injection system	Common rail
	Emission capability	EU-5



Fig. 1 Location and road for coastdown test

2.2 실험 방법

중립 상태에서의 차량의 타행 주행 성능은 타이어의 트레드 상태, 노면상태, 대기 온도, 밀도, 습도, 바람의 방향 및 속도 등에 의해서 영향을 받지만 기어가 물린 상태에서의 타행 주행 성능은 엔진의 기계적 마찰일(Friction Work) 및 흡배기 펌핑 일(Pumping Work)에 의해서도 추가적으로 영향을 받게 된다. 따라서 본 연구에서는 엔진 마찰에 의한 편차를 줄이기 위하여 윤활유는 신품 상태로 하였으며 전기 부하에 의한 엔진 마찰일의 변화를 제거하기 위하여 타행 성능 측정 중에는 교류 발전기의 작동을 중지시킨 상태에서 평가 하였다.

여기에 흡배기 저항에 의한 영향을 배제하기 위하여 공기 여과기는 신품 상태, 인테이크 스로틀 밸브, 스윙 콘트롤 밸브 및 가변 터보(VGT) 베인의 위치는 전개 상태(Full Open) 그리고 EGR 및 EGR 바이패스 밸브는 전폐(Full Close) 상태로 하였다.

또한 터보차저 후단의 매연 포집 필터 내에 포집된 매연의 양에 따라서 배기 펌핑 일의 변화가 생길 수 있기 때문에 포집된 매연의 양은 강제 재생을 통

하여 항상 포집된 매연이 없는 상태에서 실험을 진행 하였다.

종래의 방식인 중립 상태의 타행 주행 성능은 차속을 125km/h 이상으로 가속하여 안정화 시킨 후에 중립으로 타행하여 15km/h 이하로 감속될 때까지의 시간 및 차속을 측정하였다.

기어 물림 상태의 타행 주행 성능은 NEDC 주행 중 각 기어별로 규정된 속도를 포함 할 수 있도록 최저 및 최고 속도를 설정하여 타행 성능을 측정 하였으며 이때 저단 기어(1단과 2단) 상태의 타행 주행 성능 측정 시에는 각 기어 단수별로 최저 차속으로 유지되는 크리핑(Creeping) 현상을 막기 위하여 엔진 제어기의 관련 기능을 삭제하고 평가하였다.

Table 2는 NEDC 주행중 100km/h 이상의 차속에서 6단 기어를 사용하는 조건으로 규정된 각 기어 단수별 차속을 UDC(Urban Driving Cycle)와 EUDC(Extra Urban Driving Cycle) 구간에서 정속, 가속, 감속에 따른 차속을 나타낸다.

상기한 방법으로 중립 및 각 기어 단수에서의 타행 주행 성능을 각 20회 이상 측정하여 통계적 오차를 줄였으며 중립 상태와 기어 물림 상태에서의 타행 주행 성능을 비교 하였다.

아울러 엔진 운전 조건을 산출하기 위하여 기존의 방식인 중립 상태의 타행 주행 성능에 구동계의 기계 효율을 적용한 방식으로 엔진의 요구 제동 토크와 엔진 회전수를 산출하였으며, 본 연구에서 제시하는 기어 물림 상태의 타행 성능을 이용하여 산출하여 상호 비교하였다. 또한 실차를 이용하여 차대 동력계에서 NEDC 구간 동안의 제동 토크와 엔진 회전수를 측정하여 상기한 두 가지 방식의 정확도를 평가하였다.

Table 2 Assigned vehicle speed for each gear of NEDC

Gear	UDC[km/h]		EUDC[km/h]	
	정/가속	감속	정/가속	감속
1	0-15	15-10	0-15	-
2	15-35	35-10	15-35	-
3	35-50	50-35	35-50	-
4	-	-	50-70	60-50
5	-	-	70-100	70-60
6	-	-	100-120	120-50

3. 실험 결과

중립 상태의 타행 중 차량에 작용되는 각종 항력은 타이어와 노면에서 발생하는 구름 저항(DR), 구동계에서 발생하는 기계 저항(DM), 차량의 형상과 차속에 의해서 결정되는 공기 저항(DA)으로 구분할 수 있다. 이 항력들에 의해서 타행 중인 차량은 감속되어 정지하게 된다. 이 경우의 자동차의 운동 방정식은 뉴턴의 제2법칙에 의해서 아래와 같이 표현할 수 있다.⁴⁾

$$-\frac{W}{g}(1+f)\frac{dV}{dt} = D_r + D_m + D_a \quad (1)$$

여기서

$$f = \frac{(nI_w + I_d)g}{WR^2}$$

- n : Number of wheel
- I_w : Inertia moment of a wheel
- I_d : Inertia moment of drivetrain
- R : Rolling radius of tire
- W : Vehicle weight

위의 식 (1)에 의한 주행 저항력은 아래의 식 (2)로 표현되는 속도의 함수로 얻어지며 도로 주행 저항계수 a, b, c 를 차대 동력계에 입력하여 도로 주행 저항을 재현하게 된다.⁵⁾

$$F_{RL} = a + bV + cV^2 \quad (2)$$

여기서,

$$a, b, c : \text{Coefficient (N, N/[km/h], N/[km/h]^2)}$$

NEDC 구간에서의 차량 주행 조건을 엔진 운전 조건, 즉 엔진 회전수와 제동 토크로 산출하기 위해서는 차속과 각 기어 단수에서의 감속비 및 타이어의 동하중 반경을 이용하여 엔진 회전수를 산출할 수 있고, 위의 (2)식에 의해서 산출된 주행 저항력에 규정된 가속도와 시험 차량의 중량을 적용하여 가속 저항력을 추가한 후에 타이어의 동반경 및 감속비를 적용하면 규정된 차속으로 주행 하기위한 엔진 제동 토크를 산출할 수 있다.^{6,7)}

우선, 엔진의 회전수는 아래의 식 (3)에 의해서 산출 하였으며, 변속중에 발생할 수 있는 클러치 슬립은 없는 것으로 가정하였다.

$$N_e = \frac{V \cdot R_g \cdot R_a}{\pi \cdot R} \cdot c \quad (3)$$

여기서,

- R_g : Gear ratio
- R_a : Axle ratio
- c : Constant

엔진의 제동 토크는 중립 상태에서의 주행 저항력에 구동계의 효율을 적용하는 기존의 방식과 기어 물림 상태에서의 주행 저항력을 직접 적용하는 방식을 이용하여 산출하였고, 각각의 경우를 식 (4) 와 (5)에 나타내었다.

기어 물림 상태에서 타행 주행 저항에는 엔진 마찰에 의한 저항력이 포함되어있기 때문에 엔진 마찰에 의한 저항력을 제외하고 산출 하여야한다.⁷⁾ 따라서 본 연구에서는 2.2절에서 기술한 바와 같이 엔진 마찰 및 흡배기 펌핑 손실은 차량 상태와 동일한 조건으로 대상에서 미리 측정된 엔진 마찰 토크를 각 기어 단수에서의 타행 주행 저항력으로 환산하여 제거하였다. 또한 감속 구간에서 엔진과 구동계 간의 슬립은 없는 것으로 가정하였으며, 이때 감속 시 연료 차단 (Deceleration Fuel Cut)을 감안하여 엔진의 외부일이 없는 운전 조건 즉, 제동 토크는 0으로 간주하였다.^{8,9)}

$$T_e = \frac{R \cdot \left\{ F_{RLn} + \frac{W}{g} \left(\frac{dV}{dt} \right) \right\}}{R_f \cdot \eta_f} \quad (4)$$

여기서,

- F_{RLn} : Road load under neutral gear
- R_f : Final drive ratio
- η_f : Mechanical efficiency of drivetrain

$$T_e = \frac{R \cdot \left\{ (F_{RLi} - F_{eg}) + \frac{W}{g} \left(\frac{dV}{dt} \right) \right\}}{R_f} \quad (5)$$

$$F_{eg} = T_f \cdot R_f \cdot R^{-1}$$

여기서,

- F_{RLi} : Road load under gear i
- F_{eg} : Resistant force by engine friction
- T_f : Friction torque of engine

Fig. 2는 엔진 마찰에 의한 영향을 제거하지 않은 상태에서의 각 기어 단수에서의 주행 저항력을 나타낸다. 저단 기어일수록 높은 주행 저항을 보이는데, 이는 운전 영역의 차속이 낮더라도 저단 기어에서는 기어비가 높기 때문에 엔진 회전수와 이에 따른 엔진 마찰이 높고 또한 높은 기어비로 인하여 최종적으로 엔진 마찰에 의한 주행 저항력이 높기 때문인 것으로 판단된다.

Fig. 3은 기어 물림 상태에서 측정된 타행 주행 저항력에서 엔진 마찰에 의한 저항력을 제거한 상태의 주행 저항을 나타낸다. 중립 상태의 주행 저항 대비 큰 차이는 보이지 않는데, 이는 통상의 수동 변속

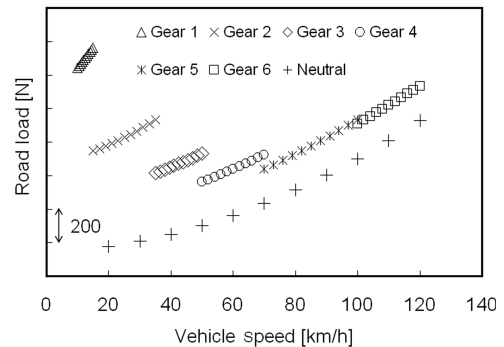


Fig. 2 Measured road load with engine friction

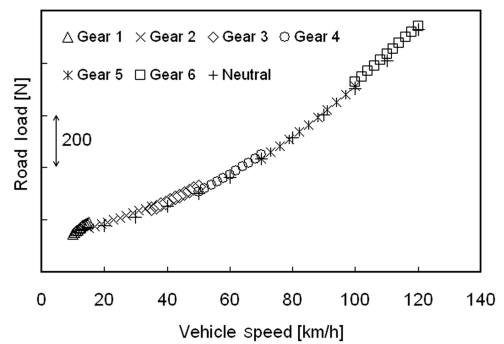


Fig. 3 Measured road load without engine friction

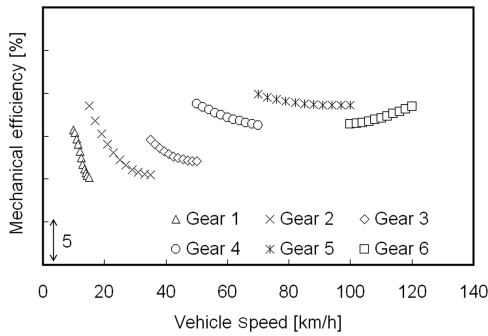


Fig. 4 Measured mechanical efficiency of drivetrain

기의 동력 전달 효율이 1에 가까운 수준으로 높기 때문인 것으로 사료된다. 그러나 이 결과를 이용하면 중립 상태에서의 주행 저항 측정값에 차량 상태가 아닌 대상에서 측정한 각 기어에서의 동력 전달 효율을 적용하여 엔진의 토크를 산출하는 종래 방식 대비 보다 정밀한 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

Fig. 4는 기어 중립 상태에서 측정한 타행 주행 성능과 각 단수에서의 기어 물림 상태에서 측정한 타행 주행 성능을 비교하여 산출한 구동계의 동력 전달 효율을 나타낸다. 전 기어단수에서 90~100% 수준의 효율을 보였으며 전반적으로 저단 기어일수록 효율이 낮고 고단일수록 높은 효율을 보이는 일반적인 경향이 확인되었다.

식 (4)와 (5)를 이용하여 NEDC 구간에서의 엔진 제동 토크를 산출하여 Fig. 5에 나타내었다. Case 1은 중립 상태에서 측정한 주행 저항에 구동계의 동력 전달 효율을 적용하여 산출한 결과이며, Case 2는 본 연구에서 제시한 기어 물림 상태에서의 주행 저항을 측정하여 산출한 결과를 나타낸다.

UDC (Urban Driving Cycle) 및 EUDC (Extra Urban Driving Cycle) 구간에서의 제동 토크는 큰 차이를 보이지 않으나 50km/h 이상의 중속 및 고속 구간에서는 Fig. 4에서와 같이 최대 8 Nm 수준의 차이를 보이는 것으로 확인되었다.

Fig. 6은 NEDC 모드에서 시험 차량의 운전 조건을 엔진 회전수와 엔진의 요구 제동 토크를 산출한 후에 시간에 따라 적산하여 모드 운행 동안의 총 누적 제동일의 비교를 나타낸다. 누적 제동일 역시 주로 고속 모드인 EUDC 구간에서 Case 2가 높은 값을

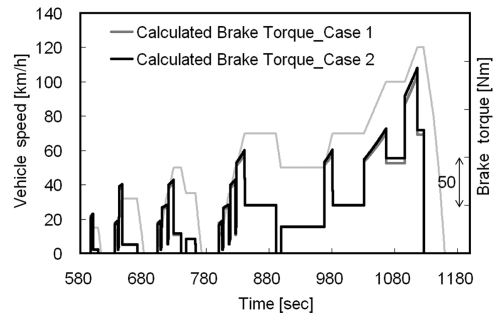


Fig. 5 Comparison of calculated brake torque

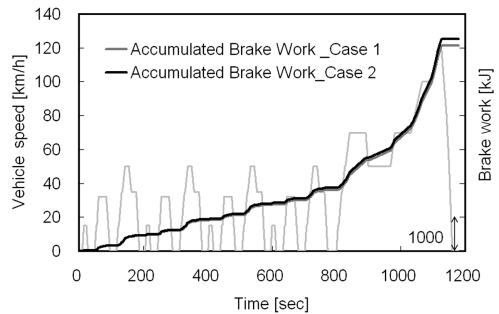


Fig. 6 Comparison of accumulated brake work

보였으며 Case 1 대비 3.1% 높은 것으로 확인되었다.

각 경우의 정확도를 평가하기 위하여 실차를 이용하여 차대 동력계에서 NEDC 구간 동안의 엔진 회전수와 제동 토크를 측정하였다. 이때 냉각수 온도에 따른 도시 토크의 영향성을 최소화하기 위하여 차량 상태는 워업된 상태에서 측정하였다.

Case 1의 방식으로 산출된 누적 제동일은 실차 측정 대비 91.3% 수준, Case 2는 94.1% 수준으로 정확도 측면에서 Case 2의 방식이 2.8% 수준의 정확도 향상 효과가 있는 것으로 확인되었다.

4. 결론

본 연구에서는 중립 상태에서 측정한 타행 주행 저항과 대상에서 측정한 구동계의 동력 전달 효율을 이용하여 엔진의 출력을 산출하는 종래의 방식과는 달리 기어 물림 상태에서 측정한 타행 주행 성능을 이용하여 엔진 출력을 산출하는 연구를 시도한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 기어 중립 상태에서 측정한 타행 주행 성능과 구동계의 동력 전달 효율을 이용하여 엔진 출력을

산정하는 종래의 방식은 구동계의 동력 전달 효율을 별도로 측정해야하고, 차량 상태가 아닌 대상에서 측정하는 것이 일반적이며, 광범위한 회전수에서 측정이 난이하기 때문에 엔진 출력 산정의 정확도에 한계가 있는 것으로 사료된다.

- 2) 기어 물림 상태에서 측정된 타행 주행 성능은 구동계의 저항 뿐 아니라 엔진의 마찰 및 흡배기 저항에 의한 마찰이 포함되기 때문에 측정 시에는 엔진의 마찰 및 흡배기 저항에 의한 영향을 배제하기 위한 조치가 필요하다.
- 3) 기어 물림 상태에서 측정된 타행 성능을 이용하여 산출한 엔진 출력의 정확도는 종래의 방식 대비 2.7% 수준의 정확도가 향상되는 것으로 확인되었다. 이는 차량 상태에서 측정된 구동계의 마찰 손실이 직접 적용 되었으며, 광범위한 차속에 따른 구동계의 마찰 손실이 감안된 결과로 사료된다.
- 4) 기어 물림 상태에서 인테이크 스로틀, 가변 터보 베인, 인테이크 스윙 밸브 등 기관의 흡배기 관련 부품의 개도량을 변경하면서 타행 주행 성능을 측정하면 상기 부품에 의한 흡배기 펌핑 손실을 간접적으로 측정할 수 있을 것으로 판단된다.

References

- 1) K. Kim, H. Kwon, H. Lee, J. Lim and Y. Sin, "Consideration on the Road Load Measurement Standards of Vehicle," KSAE07-F0095, pp. 592-597, 2007.
- 2) S. Kim, S.-K. Shin and K.-Y. Kim, "Study on the Vehicle Road-load Affecting Factors," Spring Conference Proceedings, KSAE, KSAE08-S0133, pp.803-809, 2008.
- 3) Korean Ministry of Environment, 제작 자동차 배출 허용 기준, 소음 허용 기준의 검사 방법 및 절차에 관한 규정, Notification, No.2008-110, 2008.
- 4) N. K. Hur, I. K. Ahn and V. A. Petrushov, "High-accuracy Coastdown Test Method by Distance-time Measurement," Transactions of KSAE, Vol.3, No.2, pp.51-61, 1995.
- 5) W. Rha, "A Study on Calculation of Engine Torque for Automotive," Transactions of KSAE, Vol.11, No.4, pp.211-219, 2003.
- 6) B. H. Wang, Y. G. Luo and J. W. Zhang, "Simulation of City Bus Performance on Actual Urban Driving Cycle in China," Int. J. Automotive Technology, Vol.9, No.4, pp.501-507, 2008.
- 7) G. Lim, H. Wi, J. Park, J. Lee and K. Park, "Effect of Engine Friction on Vehicle Fuel Economy during Warm-up," Transactions of KSAE, Vol.16, No.6, pp.109-114, 2008.
- 8) M. G. Choi and S. H. Chung, "A Study on the Characteristics of Fuel Consumption Rate according to the Change of Acceleration Patterns in EEC Mode," Fall Conference Proceedings, KSAE, pp.3-8, 2004.
- 9) J. B. Heywood, Internal Combustion Engine Fundamentals, McGraw Hill, New York, pp.161-163, 1988.