

가솔린 차량의 각 요소별 연료소모량 분석을 위한 실험적 연구

유정철¹⁾ · 송해박¹⁾ · 이종화¹⁾ · 유재석¹⁾ · 박영무¹⁾ · 박경석²⁾

아주대학교 기계공학부¹⁾ · 금오공과대학교 기계공학부²⁾

An Experimental Study on Breakdown of Fuel Consumption on a Component Basis in a Gasoline Engine Vehicle

Jengcheol Yoo¹⁾ · Haibak Song¹⁾ · Jonghwa Lee¹⁾ · Jaisuk Yoo¹⁾ · Youngmoo Park¹⁾ · Kyungseok Park²⁾

¹⁾Department of Mechanical Engineering, Ajou University, Suwon 442-749, Korea

²⁾Department of Mechanical Engineering, Kumoh National Institute of Technology, 188 Sinpyung-dong, Gu-mi 730-701, Korea

(Received 7 February 2003 / Accepted 4 December 2003)

Abstract : A vehicle fuel economy is one of the most important issues in view of environmental regulation and customer's needs. In order to improve the vehicle fuel economy, great efforts has been carried out on the components bases. However, systematic analysis of vehicle fuel consumption is necessary for the further improvement of vehicle fuel economy. In this paper, a methodology for the breakdown of vehicle fuel consumption was studied and proposed for systematic analysis of the vehicle fuel economy. The energy equation for the vehicle power train was set up for the analysis of the vehicle fuel economy and simplified to be calculated or estimated using the measured data in a vehicle. The amount of fuel that was used in vehicle components under arbitrary driving conditions was quantified.

Key words : Vehicle fuel consumption break-down(차량의 항목별 연료소모량 분석), Vehicle energy flow(차량주행시 에너지흐름), Vehicle fuel consumption estimation model(측정변수에 의한 모델링)

Nomenclature

C, M, V : specific heat, mass, velocity
F, P, T : force, power, torque
 Ω, α : angular velocity, angular acceleration

rad, p : radiator, pumping nodal point

Subscripts

A, CL, DT : aerodynamic, clutch loss, drive-train
E, F, I, RL : engine, friction, inertia, road-load
T, V : total, vehicle
alt, cool, exh, f : alternator, coolant, exhaust, fuel
i, incomb : indicated, incomplete combustion

1. 서론

차량연비는 현재 및 향후 가장 부각되는 개발과제의 하나로 그 중요성이 지속적으로 대두되고 있다. 주행중 차량 연비는 각 요소의 회전관성이 정상상태의 운동에서의 에너지 흐름과 연관되어 있어 정상상태만의 결과를 반영한 시뮬레이션으로 한계가 있으며 엔진을 비롯한 변속기 등의 동력전달장치, 차량의 중량 및 주행저항 등의 각종 인자가 상호 연관되어 있어 차량 시스템으로의 분석이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 실제 차량에서 각 항목별 연료소모량을 분석하기 위하여, 차량 주행시 에너

*To whom correspondence should be addressed.
jlee@ajou.ac.kr

지 흐름을 수식적으로 모델링하고 측정 가능한 인자의 실시간 데이터를 수집하여 분석하였다.

2. 차량에서의 에너지 흐름 및 연비관련 인자 수식적 모델링

수식적 모델링을 위하여 차량 주행시 현상을 차량과 주행부하로 구분하고, 차량은 에너지를 단속할 수 있는 클러치 또는 토크 컨버터를 경계로 엔진과 구동계로 구분하였으며 구동계는 동력전달계와 차륜을 포함하였다. 엔진은 불완전연소에 의한 손실, 냉각수에 의한 열전달, 고온 배기가스에 의한 엔탈피 손실, 펌핑손실, 교류발전기 구동손실, 그리고 비정상 상태 운전시 엔진 관성항목으로 세분화하였다. 수동 변속기 장착 차량의 구동계는 변속기 클러

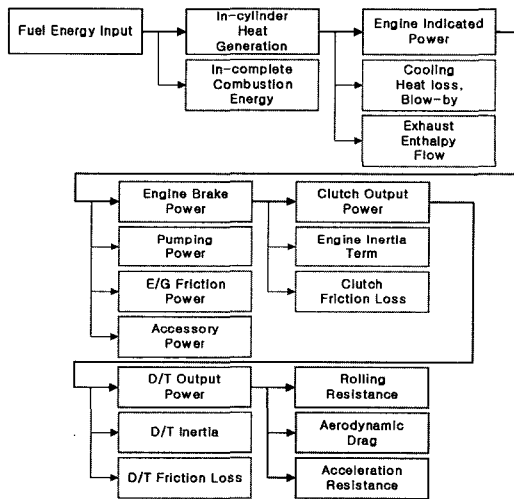


Fig. 1 In/out energy(or power) flow diagram for a vehicle

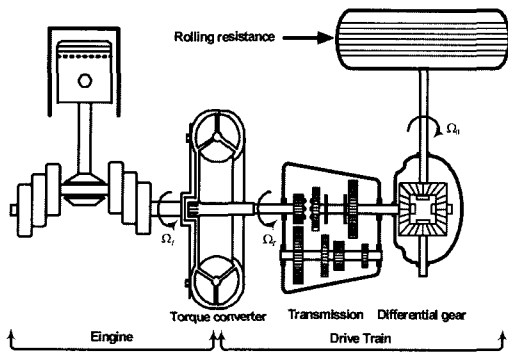


Fig. 2 Schematic diagram of vehicle powertrain

치 손실, 구동계 마찰손실, 구동계 관성항목 등으로 구분하였다. 자동변속기 장착 차량의 구동계는 토크 컨버터 손실과 댐퍼 클러치 손실이 포함된다. 아울러 주행저항은 구름저항과 공기저항을 하나의 항으로 표현한 Road Load와 차량 가속저항으로 구분하였다.

$$\dot{m}_f Q_{LHV,f} = \dot{Q}_{incomb} + \dot{Q}_{cool} + \dot{Q}_{exh} + P_p + P_{EF} + P_{alt} + P_{EI} + P_{CL} + P_{DTF} + P_{DTI} + P_{RL} + P_A + P_{VI} + \dot{Q}_{etc} \quad (1)$$

2.1 엔진

엔진은 불완전연소, 엔진 냉각, 배기가스 손실, 펌핑손실, 엔진 마찰, 그리고 교류 발전기에 의한 손실로 나뉜다. 또한 엔진이 비정상상태로 운전시 엔진의 관성항목이 포함된다.

엔진에 유입된 연료의 총 방출열량은 연소와 불완전연소에 의한 항목으로 나눌 수 있다.

$$\dot{m}_f Q_{LHV,f} = \dot{Q}_{comb} + \dot{Q}_{incomb} \quad (2)$$

2.1.1 불완전 연소에 의한 손실

불완전 연소 생성물 성분으로 불완전연소의 정도를 다음과 같이 정의한다.¹⁾

$$1 - \eta_c = \frac{\sum x_i Q_{LHV,i}}{Q_{LHV,f} / (1 + A/F)} \quad (3)$$

여기서 x_i 는 각각 일산화탄소(CO), 수소(H₂), 그리고 미연탄화수소(HC) 질량분율이며, $Q_{LHV,i}$ 는 각 성분의 저위발열량이다. 연소효율은 배기가스 조성에 대한 정보가 있어야 하며, 배기가스 조성은 당량비에 따라 달라진다. 배기가스 조성을 사이클별로 측정하는 것은 불가능하므로 당량비에 따라 모델링하였다.¹⁾ 연비분석 대상차량의 연소효율이 구해지면 식 (4)으로부터 불완전연소에 의한 손실 열량을 구하고, 이에 소모된 연료는 식 (5)와 같이 구한다.

$$\dot{Q}_{incomb} = (1 - \eta_c) \dot{m}_f Q_{LHV,f} \quad (4)$$

$$m_{incomb} = \frac{1}{Q_{LHV,f}} \int_0^T \dot{Q}_{incomb} dt \quad (5)$$

한편 연료가 연소에 의해 방출한 에너지는 도시 동력, 열전달에 의한 손실, 그리고 배기가스의 엔탈

피손실로 세분화할 수 있다.

$$\dot{Q}_{comb} = P_i + \dot{Q}_{cool} + \dot{Q}_{exh} + \dot{Q}_{etc} \quad (6)$$

2.1.2 엔진 냉각에 의한 손실

냉각에 의한 열손실은 라디에이터를 통과하는 유량과 엔진의 입·출구 온도차로 구한 \dot{Q}_{cool} 로 간략화한다.

$$\dot{Q}_{cool} = \dot{m}_{rad} C_{EGC} \Delta T \quad (7)$$

$$m_{cool} = \frac{1}{Q_{LHV,f}} \int_0^T \dot{Q}_{cool} dt \quad (8)$$

여기서 C_{EGC} 는 에틸렌 글리콜과 물의 혼합물에 대한 비열이다.

실린더블록/헤드에서 강제대류에 의한 열전달과 스로틀밸브를 통과하는 냉각수에 의한 손실은 기타 열손실 (\dot{Q}_{etc})로 정의한다.

2.1.3 배기가스 엔탈피에 의한 손실

고온의 배기가스가 가진 에너지량은 이상기체로 가정할 경우 다음과 같이 정리된다.

$$\dot{Q}_{exh} = \dot{m}_{exh} (C_{p,exh} \bar{T}_{exh} - C_{p,exh} 298K T_{298K}) \quad (9)$$

C_{exh} 은 불완전 연소에 의한 손실에서 구한 배기가스 조성을 근거로 구하였다.¹⁾

$$m_{exh} = \frac{1}{Q_{LHV}} \int_0^T \dot{Q}_{exh} dt \quad (10)$$

2.1.4 도시동력 및 펌핑 손실

식 (6)으로부터 도시동력은 제동마력, 엔진마찰 손실동력, 펌핑 손실동력 그리고 보기류 손실동력으로 세분화할 수 있다. P_i 와 P_p 은 다음과 같이 정리되며 실린더 압력으로부터 구한다.

$$P_i = \frac{\Omega_E}{n_R} \int_{n_1}^{n_2} p_{cyl} dV \quad (11)$$

$$P_p = \frac{\Omega_E}{n_R} \int_{n_2}^{n_1} p_{cyl} dV \quad (12)$$

여기서 n_1 과 n_2 는 각각 흡기과정과 배기과정시의 하사점, n_R 은 실린더당 1사이클의 동력행정에 대한 크랭크 회전수를 의미한다. 신기의 흡입과 배

기가스의 배출에 따른 펌핑에 사용된 연료는 다음 식으로부터 구한다.

$$m_p = \frac{1}{Q_{LHV,f}} \int_0^T P_p dt \quad (13)$$

2.1.5 교류 발전기에 의한 손실

발전기는 회전수에 관계없이 일정한 발전동력을 발생시켜야 하므로 발전기의 구동토크는 회전속도에 반비례한다.

$$T_{alt} = \left(\frac{iV}{\Omega_{alt} \eta_{alt}} \right) \quad (14)$$

$$m_{alt} = \frac{1}{Q_{LHV,f}} \int_0^T T_{alt} \Omega_{alt} dt \quad (15)$$

2.1.6 엔진 마찰 손실

본 논문에서는 크랭크축, 벨트트레인, 피스톤부와 같이 윤활과 유체역학적인 관점에서 해석되는 마찰과 냉각수 펌프, 오일 펌프 등의 부속장치 구동시 동반되는 부가적인 마찰손실을 통합하여 엔진 마찰이라 정의하였다.

가솔린엔진에 대하여 엔진 마찰, 보기류 구동손실, 그리고 펌핑손실을 모두 포함한 총 마찰을 부하에 관계없이 엔진 회전속도의 함수로 표현할 수 있다.²⁾ 이를 근거로 차량의 변속기 ‘중립’ 상태에서 엔진 회전속도를 변화시켜 연소에 의해 발생된 토크를 측정하여 엔진 총 마찰을 구한다.

$$T_i - T_{TF} = 0 \quad (16)$$

따라서, T_{alt} , T_p 를 측정하여 식 (17)에서 엔진마찰토크를 구하고 식 (18)과 같이 엔진마찰에 소비된 연료를 구한다.

$$T_{TF} = T_p + T_{alt} + T_{EF} \quad (17)$$

$$m_{EF} = \frac{1}{Q_{LHV}} \int_0^T (T_{EF} \Omega_E) dt \quad (18)$$

2.1.7 엔진 관성력

정상상태일 경우 엔진토크는 마찰로 일부 소실되고 나머지가 차륜으로 전달되어 구동력을 얻게 된다. 그러나 과도상태일 경우는 회전부의 질량관성 모멘트에 의한 관성항의 손실분이 발생한다. 실 차량에서 엔진, 보기류, 엔진 구동축의 관성을 집중 질

량으로 고려하여 I_E 라 하면 관성항목에 의한 동력과 이에 소비된 연료는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{EI} = I_E \alpha_E \Omega_E \quad (19)$$

$$m_{EI} = \frac{1}{Q_{LHV,f}} \int_0^T P_{EI} dt \quad (20)$$

2.2 구동계

2.2.1 토크 컨버터 손실(A/T 장착 차량)

엔진에서 임펠러축에 전달된 토크는 유체 커플링점까지는 증배된 토크가 터빈축에 전달되나, 유체 커플링점 이상에서 토크 컨버터는 유체 커플링 역할만을 하여 토크 증배 현상없이 1:1로 전달된다. 그러나 동력전달 측면에서 보면 토크 컨버터 전 영역에서의 동력전달 효율은 100%에 미치지 못한다. 이러한 P_{TCL} 을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{TCL} = P_I - P_T = T_I \Omega_I - T_T \Omega_T \quad (21)$$

여기서, P_I 는 임펠러동력, P_T 는 터빈동력, T_I 는 임펠러 토크, T_T 는 터빈토크이다.

또한 위의 식은 토크 컨버터의 $TR(=T_T/T_I)$ 과 $SR(=\Omega_T/\Omega_I)$ 의 함수로 재정리할 수 있다.

$$P_{TCL} = T_I \Omega_I (1 - SR \cdot TR) \quad (22)$$

$$m_{TCL} = \frac{1}{Q_{LHV,f}} \int_0^T P_{TCL} dt \quad (23)$$

2.2.2 댐퍼 클러치 손실(A/T 장착 차량)

댐퍼 클러치 작동 초기에 엔진의 토크맥동을 감소시키기 위해 낮은 속도차에서 약간의 미끄럼을 허용하도록 Slip제어하고 있다. 이때 댐퍼 클러치 작동시작부터 완전히 체결되는 동안 소모된 연료를 T_{DCL} 이라 정의한다.

댐퍼 클러치는 엔진의 속도가 변하면서 발생하며 토크 컨버터 임펠러축 토크는 유체 커플링에 의한 전달과 댐퍼 클러치를 통하여 전달되므로 다음과 같은 표현되고, 이때 T_I 는 식(25)로 나타내었다.

$$T_i - T_b - T_{ah} - T_{EF} - I_E \alpha_E = T_I + T_{DCL} \quad (24)$$

$$T_I = C_F \Omega_I^2 \quad (25)$$

식(24)와 식(25)로부터 T_{DCL} 를 구하고 측정된 임펠러축과 터빈축의 회전속도차로부터 댐퍼클러치가 작동하는 기간 동안의 손실동력을 구할 수 있다.

$$P_{DCL} = T_{DCL}(\Omega_I - \Omega_T) \quad (26)$$

$$m_{DCL} = \frac{1}{Q_{LHV,f}} \int_0^T P_{DCL} dt \quad (27)$$

2.2.3 클러치 손실

자동변속기 탑재 차량의 경우 터빈과 유성치차 사이에 존재하는 각종 브레이크와 다판 클러치에 의한 손실을 의미한다. 토크 컨버터의 터빈속도와 구동계의 속도차로 인하여 발생하며, 변속이 완료된 상태에서는 각 부분들이 슬립이 없이 회전한다는 가정 하에서 구할 수 있다. 반면에 수동변속기 차량의 경우는 동력을 단속하는 클러치 양단의 회전속도의 차이로부터 구한다.

$$P_{CL} = T_{CL}(\Omega_T - \Omega_{DT}) \quad (28)$$

여기서, $T_{CL} = T_T$ for A/T

$$P_{CL} = T_{CL}(\Omega_E - \Omega_{DT}) \quad \text{for M/T} \quad (29)$$

$$m_{CL} = \frac{1}{Q_{LHV}} \int_0^T P_{CL} dt \quad (30)$$

2.2.4 구동계 마찰 손실

자동변속기 토크 컨버터 터빈축, 수동변속기 클러치 출력축에서 나온 동력은 변속기와 종감속기어에 의한 마찰 손실이 발생하며, 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$P_{DTF} = T_{DTF} \Omega_{DT} \quad (31)$$

$$m_{DTF} = \frac{1}{Q_{LHV,f}} \int_0^T P_{DTF} dt \quad (32)$$

2.2.5 구동계 관성력

구동계는 엔진과 같이 과도상태의 경우 회전부의 질량관성모멘트에 의한 관성항의 손실분이 발생한다. 구동계 각 요소를 집중질량으로 고려하여 I_{DT} 라 하고, 차륜을 지면과 분리하여 무부하상태에서 각단에 따라 선행실험을 한다. 구동계 관성력에 의해 소비된 연료는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P_{DTI} = I_{DT} \alpha_w \Omega_w \quad (33)$$

$$m_{DTI} = \frac{1}{Q_{LHV,f}} \int_0^T P_{DTI} dt \quad (34)$$

2.3 차량 주행부하

2.3.1 Road Load

본 논문은 구름저항과 공기저항을 포함하여 하나의 항으로 처리하였으며 실험으로부터 계수를 구하여 이를 이용하였다.

$$F_{RL} = C_0 + C_1 V + C_2 V^2 \quad (35)$$

$$m_{RL} = \frac{1}{Q_{LHV,f}} \int_0^T (F_{RL} V) dt \quad (36)$$

2.3.2 가속 저항

차량 가속 및 감속시 발생하는 관성저항으로 감속시에는 가속시에 측정되었던 차량의 운동에너지가 다시 환원되므로 이 경우에는 이에 소비된 연료는 구하지 않는다. 가속도 a_v 로 가속시 관성력은 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$F_{VI} = M_V a_v \quad (37)$$

$$m_{VI} = \frac{1}{Q_{LHV,f}} M_V \int_0^T (a_v V) dt \quad (38)$$

3. 차량 연비 기여도 실험적 분석

차량의 매순간 연료 소모량을 측정하기 위해 연료분사 기간, 공급전압, 연료분사압, 연료온도에 따른 분사량 변화에 관한 선행실험을 수행하고, 차량의 인젝터 구동펄스를 측정하였으며, 진술한 수식적 모델링을 적용하여 차량 각부의 소모된 연료량을 파악, 분석하였다.

3.1 실험장치 및 방법

3.1.1 실험 장치

Fig. 3은 측정항목에 대한 개략도를 나타낸 것이며 대상 차량은 배기량 1500cc, SOHC 가솔린 엔진 및 자동변속기를 장착하였다. 엔진 회전속도와 imep 측정을 위하여 1° 단위 엔코더를 장착하였으

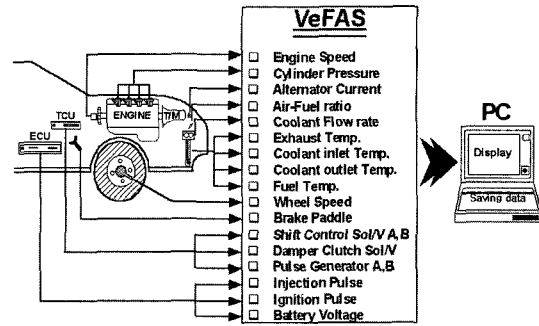


Fig. 3 Schematic diagram of data measurements

며 실린더 압력 측정을 위하여 스파크 플러그형 압력센서를 장착하고 전하 증폭기를 사용하여 증폭하였다. 냉각수 유량 측정을 위하여 라디에이터 출구단에 터빈 유량계를 장착하였으며, 라디에이터 입구단과 출구단의 온도는 T-type 열전대를 설치하였다. 차속은 차륜에 엔코더를 설치하였으며, 교류발전기의 발전전류는 별도의 전류센서를 출력 단자에 설치하였다. K-type 열전대와 광역 산소센서를 배기 매니폴드에 설치하여 배기가스 손실과 공연비의 측정에 이용하였다. 배기가스유량은 공연비와 연료분사량으로 계산한다. 마지막으로 기타 분석을 위하여 필요한 엔진 정보와 변속기 정보는 ECU와 TCU의 신호를 추출하였다.

3.1.2 실험 방법

실험은 교류 발전기에서 사용되는 구동력을 제외하고 보기류 구동으로 손실되는 것을 억제하기 위하여 에어컨과 파워 스티어링은 오프 상태를 유지하여 수행하였다. 엔진의 총마찰 토크 및 관성 모멘트의 측정과 구동계의 마찰토크 및 관성 모멘트의 측정은 정상상태와 과도상태시 엔진과 구동계의 토크 전달현상을 이용하여 참고문헌¹¹⁾이 수행한 방법을 이용하였으며, 엔진에서 발생된 토크는 실린더 압력을 측정하여 계산한 imep로부터 구하였으며, 계측된 각 신호들은 Fig. 5와 같이 각 항목들을 구하는데 사용하였다.

3.2 연비기여도 분석 실험 결과

3.2.1 각 요소별 연비 기여도 분석

Fig. 4와 같이 가속, 정속 및 감속으로 이루어진 임의의 주행 패턴으로 차량을 주행하는 동안 차량 각

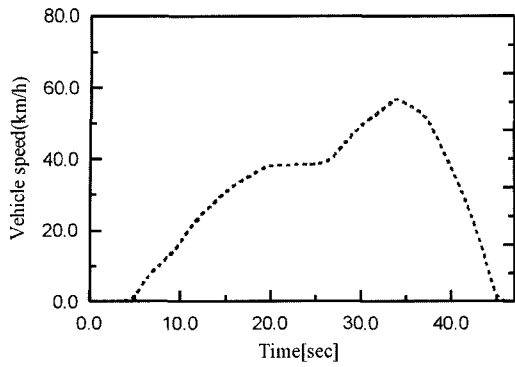


Fig. 4 An arbitrary driving mode

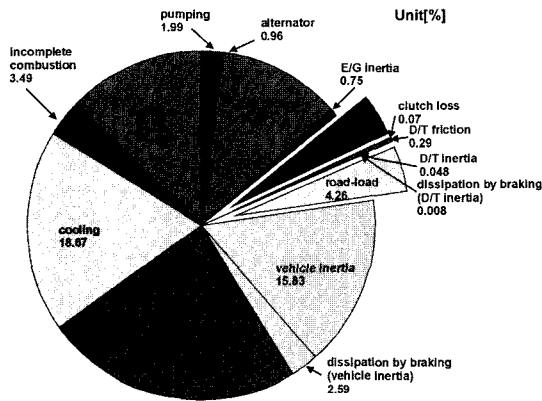


Fig. 5 Break down of fuel consumption for the experimental driving pattern

요소별 연비 기여도를 분석하였다. 전체 주행기간 동안 각 요소별 연비 기여도는 Fig. 5와 같으며 주요 항목별 연료 소비패턴은 다음과 같다.

- 엔진 냉각에 의한 손실

엔진 냉각에 의한 손실은 라디에이터 입구 및 출구단 냉각수 온도와 냉각수 유량의 함수로 되어 있다. 냉각수 펌프 회전속도는 엔진 회전속도와 같으므로 냉각수 유량의 증감은 엔진 회전속도와 관련되어 있으며 부가적으로 써모스텝의 작동과 관련 있다. Fig. 6은 엔진냉각에 의한 손실을 나타낸다. Cycle time은 엔진의 한 사이클의 시간을 나타낸다.

- 배기가스 손실

배기가스 손실은 가스의 온도와 유량에 관계되며, 분사된 연료량이 많을수록 온도는 증가하고 유량 또한 증가한다. 따라서 엔진의 부하 증가시 연료 분사량이 증가하므로 가스 온도와 유량의 증가를

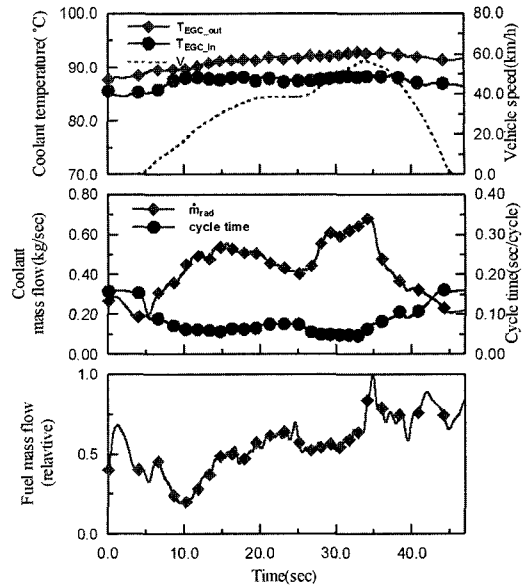


Fig. 6 Fuel consumption due to the cooling loss

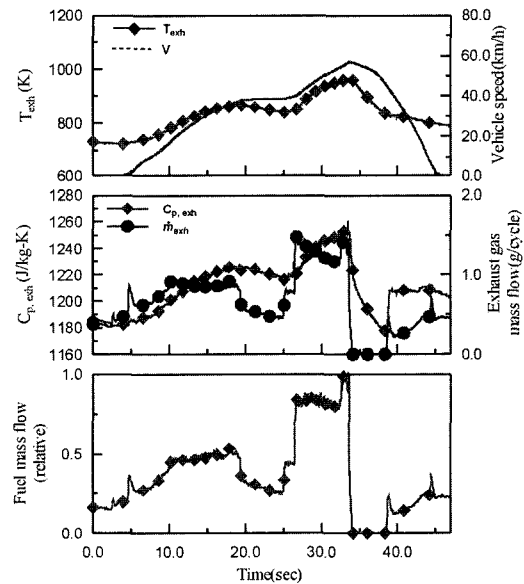


Fig. 7 Fuel consumption due to the exhaust gas enthalpy flow

볼 수 있고, 감속시 Fuel-cut이 발생하므로 손실량이 없는 것을 확인할 수 있다.

- 엔진마찰 손실

펌핑손실을 포함한 엔진 총마찰은 엔진부하에 따라 거의 일정한 값을 갖게 되므로 엔진 속도만의 함수로 표현할 수 있다.

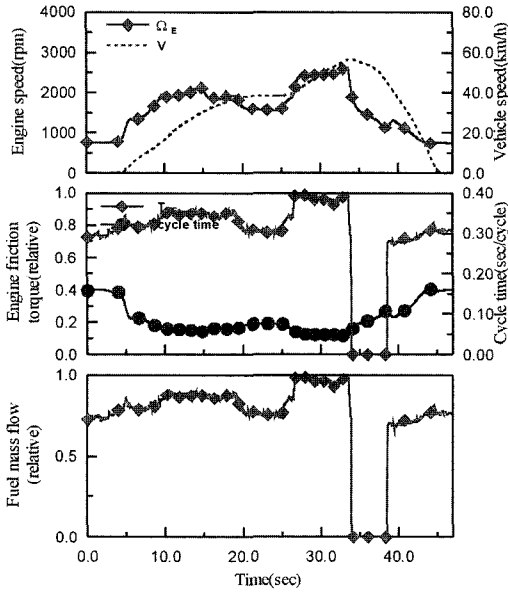


Fig. 8 Fuel consumption due to the engine friction

Fig. 8은 엔진 회전속도와 연동하여 마찰의 증감을 반복하나 엔진의 부하에 대한 영향도 있기 때문에 엔진 회전속도가 증가하여도 엔진 마찰은 감소하는 경우도 있다.

- 엔진 관성력

엔진 회전속도는 가속초기 급격히 증가하였다가 차량이 정속일 때 감소하는 경향을 보인다. 이것은 가속시 엔진 각 요소들의 회전체의 회전관성력과 차량 관성력으로 인하여 차량이 정속을 유지하는데 보다 적은 연료가 필요하게 되며 결과적으로 엔진의 속도를 감소시키게 된다.

- 토크 컨버터 손실

Fig. 10은 토크 컨버터 입력축 동력과 출력축 동력차로 인한 연료소모를 나타낸다. 차량이 가속되면서 기어변속이 일어나는 순간 터빈 회전속도는 순간적으로 감소하였다가 변속이 완료되면 차량 속도의 증가에 따라 증가하게 된다.

- Road Load 손실

차량의 도로 주행 부하는 차량 속도의 함수 이므로 차속의 증가에 따라 증가하다가 감속시 감소하는 경향을 나타내며, 연비 또한 이에 따라 증감을 반복하게 된다.

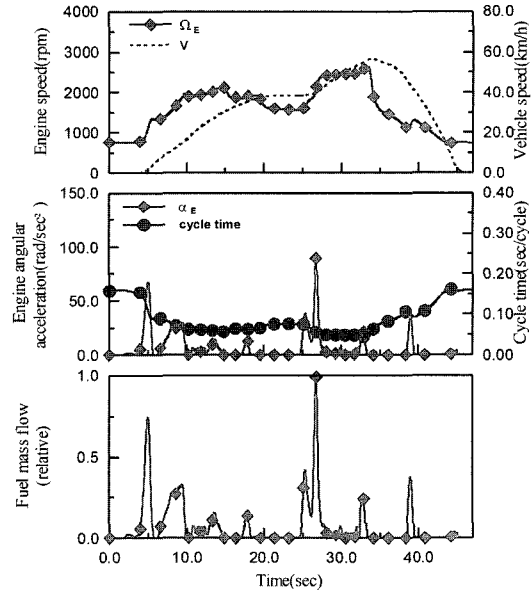


Fig. 9 Fuel consumption due to the engine inertia

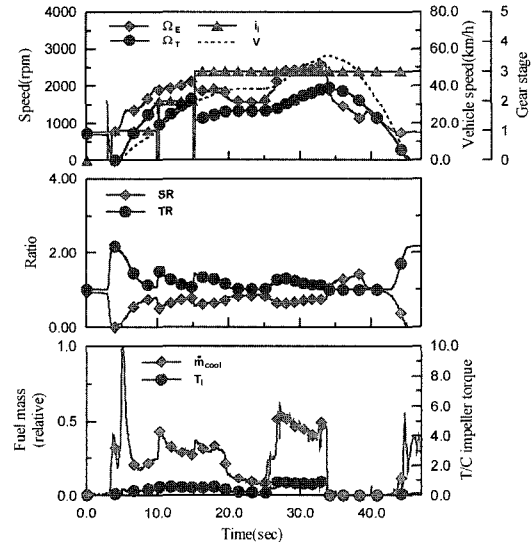


Fig. 10 Fuel consumption due to the torque converter loss

- 차량 가속저항

차량의 가속저항은 차량 무게, 차량 가속도, 그리고 차속에 지배되며 차량의 무게는 다른 요소보다 대단히 크기 때문에 분사된 연료중 많은 양이 차량 가속도에 사용된다. 차량 관성력은 차량 감속시에 다시 환원되는 에너지이므로 이를 손실항목으로 구분하기에는 무리가 있으나, Fig. 4와 같이 이 항목 중

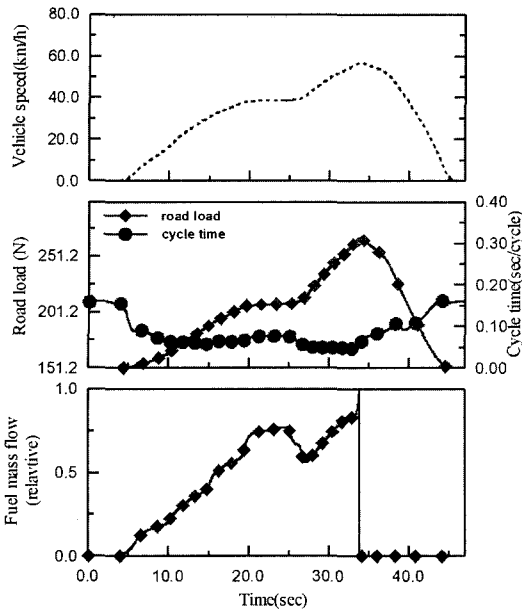


Fig. 11 Fuel consumption due to the road load

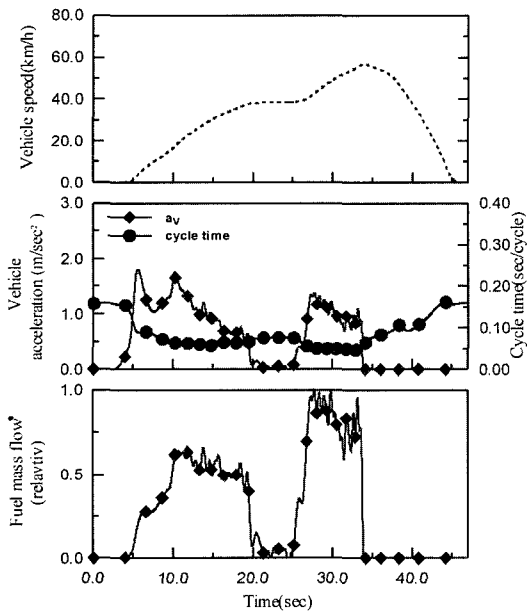


Fig. 12 Fuel consumption due to the vehicle inertia

일부는 브레이크가 작동되면 소멸된다.

4. 결론

주행중인 실제 차량에서 차량 각부의 에너지 흐름 및 사용된 연료를 파악하기 위해 차량의 각종 물

리량을 측정, 분석하였으며 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 1) 주행중인 실제 차량에서, 차량 각부에서 사용된 연료를 파악하기 위하여 측정 가능한 각종 물리량으로 주행시 에너지 흐름을 수식적으로 모델링하였다.
- 2) 임의의 주행 패턴으로 차량을 주행하는 동안 차량 각 요소별 연비 기여도를 분석하여, 배기가스 엔탈피 손실, 엔진냉각 손실, 차량가속 저항, 엔진마찰 손실, Road load, 토크 컨버터 손실, 불완전연소에 의한 손실, 펌핑 손실, 교류발전기 손실, 엔진관성력, Drivetrain 마찰, Drivetrain 관성순으로 연비 기여도를 나타냄을 알 수 있었다.
- 3) 엔진을 포함한 차량의 각종 인자들의 변화가 실제 연료소비에 미치는 영향을 각 항목별로 분석하는 것이 가능하게 되었다.

후 기

본 연구는 현대자동차(주)와 국가지정 연구실 [NRL]의 연구비 지원으로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

References

- 1) J. B. Heywood, Internal Combustion Engine Fundamentals, McGraw Hill, 1988.
- 2) H. B. Song, Y. J. Choi, J. H. Lee, H. S. Cho, N. H. Cho, "An Experimental Study of the Improvement of Driveability in Vehicle Acceleration Mode," Transactions of KSAE, Vol.9, No.1, pp.65- 75, 2001.
- 3) O. Pinkus, D. F Wilcock, "The Role of Tribology in Energy Conservation," Lubrication Engineering, Vol.34, No.11, pp.599-610, 1978.
- 4) S. Ishizawa, "Analysis of HC in Resident Gas and Combustion Efficiency of Spark Ignition Engine," SAE 972939, 1997.
- 5) R. E. Gish, J. D. McCullough, J. B. Retzliff, and H. T. Muller, "Determination of True Engine Friction," SAE Transaction, Vol.66, pp.649-661, 1958.
- 6) J. Stokes, T. H. Lake, R. J. Osborne, "A

- Gasoline Engine Concept for Improved Fuel Economy-The Lean Boost System," SAE 2000-01-2901, 2000.
- 7) F. An, M. Ross, "A Model of Fuel Economy and Driving Patterns," SAE 930328, 1993.
 - 8) Y. Hori, M. Fukuda, Y. Kobayashi, "Computer Simulation of Vehicle of Fuel Economy and Performance," SAE 860364, 1986.
 - 9) Z. Ping, "Development of a Vehicle Fuel Economy and Driving Performance Model for Simulation on a Microcomputer," SAE 912529, 1991.
 - 10) K. Kono, H. Itoh, Nakamura, K. Yoshizawa, M. Osawa, "Torque Converter Clutch Slip Control System," SAE 950672, 1995.
 - 11) H. B. Song, "Modeling and Experiments for the Break-down of Fuel Consumption in a Passenger Car," Ph. D. Thesis Ajou University, 2002.