

〈논문〉 SAE NO. 2000-03-0047

경사가 포함된 도로의 주행시 실제 주행연비 예측

Estimation of Real Driving Fuel Consumption Rate of a Vehicle When Driving on Road Including Grade

박진호*, 박영일**, 이장무***
Jinho Park, Yeongil Park, Jangmoo Lee

ABSTRACT

To measure the fuel consumption rate of a vehicle, a car is tested on chassis dynamometer following given driving mode. But the fuel consumption rate measured by this method may be somewhat different from that measured in on-road driving conditions. It may be due to not considering road grade in driving modes. In this study, new driving modes which include road grade are proposed, and the simulation program to estimate the real driving fuel consumption rate of a vehicle is developed. On-road car tests to verify the simulation program are carried out and the results of the simulation are analysed and compared with those of the experiments.

주요기술용어 : Fuel Consumption Rate(연료 소비율), Simulation Program(시뮬레이션 프로그램), Driving Mode(주행모드), Road Grade(도로 경사도), Real Driving Fuel Consumption Rate(실제주행연비), On-road Car Test(실차 실험)

Nomenclature

a : horizontal acceleration of vehicle
g : gravity
 θ, ϕ : grade, offset angle
S, h : quantity measured by accelerometer
V, t : vehicle velocity, time
T, F : torque, force

r, A : radius, area
k, C : coefficient
 $\mu, \dot{\omega}$: friction coefficient
I, M : inertia, mass
 ρ : air density
p, $\dot{\omega}$: tire pressure, angular acceleration

Subscripts

H, F, D : Horizontal, Frontal, Drag
V, f, i : Vehicle, friction, step number
R, A, G : Rolling, Air, Gravity

* 회원, 서울대학교 대학원
** 회원, 서울산업대학교 기계설계학과
*** 회원, 서울대학교 기계항공공학부

1. 서론

차량의 연비의 측정을 위해서 각 나라들은 주행모드를 작성하여 사시 동력계의 실험을 통해 연비의 정도를 평가한다.¹⁾ 이 방법은 차량이 완성차가 된 후에 평가를 하는 것으로서 제작 당시에는 기존의 경험과 데이터를 이용하거나 시뮬레이션 프로그램을 사용하기도 한다. 국내의에는 연비를 예측할 수 있는 프로그램이 많이 나와 있으나,^{2,3,4,5)} 많은 예측 프로그램들이 실제 주행연비와 차이를 보인다. 물론 사시 동력계에서 측정된 연비도 실제로 소비자가 운전을 할 시의 연비와 상당히 차이가 있음을 경험으로 알 수 있다. 사용되고 있는 주행모드에 경사에 의한 영향이 포함되어 있지 않은 것을 주원인으로 생각할 수 있다. 그러므로 주행모드에 경사부하에 의한 영향을 포함하면 좀 더 현실에 가까운 연비를 예측할 수 있게 된다. 지금까지의 연비 예측 프로그램들은 주로 현재 제시되고 있는 평지 가정 모드들의 연비를 예측한다. 연비 예측 프로그램에서 경사부하가 포함될 경우, 가속과 감속시가 브레이크로서 구별되지 않는다. 그 이유는 언덕길에 올라갈 때 감속이 될 수도 있고, 내리막길을 내려갈 때 브레이크가 작동하여도 가속이 될 수도 있기 때문이다. 또한 연비 예측 프로그램에서 중요한 것은 엔진의 작동상태와 스로틀 개도를 속도 프로파일만을 갖고 알아내는 것인데, 경사가 포함된 경우 감속시의 엔진상태를 알아내는 방법에 대하여 알려진 것은 드물다. 따라서 실제 연비와 가까운 값을 예측하기 위해서 경사가 포함된 주행모드를 제시하고, 이 주행모드를 추종하면서 연비 측정 실험한 결과와 시뮬레이션에 의한 결과를 비교하여 연비 예측 프로그램을 검증하기로 한다.

본 연구에서는 주행 중에 경사를 구하는 알고리즘에 대한 고찰과 함께 경사가 포함된 주행모드를 제시하기로 한다. 이를 위하여 직류성분을 측정할 수 있는 상용 가속도계 및 필터 회로를 이용하여 실차에서 실험을 통해 경사를 추출하

고, 또한 차량의 변속제어기로부터 차량속도를 받아 주행모드를 작성하기로 한다. 현재 우리나라에서 연비평가의 기준이 되는 FTP-75모드와 제시된 모드를 비교/평가한다.

경사가 포함되었을 때의 연비 예측 프로그램 알고리즘을 제시하고, 프로그램을 작성하여 현재 사용되고 있는 FTP-75 주행모드와 제시된 경사가 포함된 주행모드에 대해 시뮬레이션을 수행한다. 시뮬레이션 프로그램은 C++환경에서 윈도우용으로 제작하여 사용자가 쓰기 편리하게 작성한다. 마지막으로 대상차량을 선정해 엔진속도, 터빈속도, 차량속도, 스로틀 개도, 브레이크, 경사도, 연료소비율 등을 측정해 시뮬레이션 결과와 비교하고, 시뮬레이션 프로그램과 경사가 포함된 주행모드의 타당성을 검증하기로 한다.

2. 경사 측정 알고리즘

경사를 추정하는 알고리즘은 지금까지 많이 연구되어 왔다. 자동변속기 장착 차량의 터빈 속도나 가속도, 또는 터빈 토크등을 계산하여 이를 이용하여 경사를 추정하거나, 온도, 스로틀등을 이용하여 경사를 추정하는 방법들이 있다.⁶⁾ 또한 실제로 경사를 측정하는 방법으로는 많은 특허가 출원되었으며, 실제 제품도 상용으로 나와 있고, 현재도 지속적으로 연구되고 있다. 그러나, 현재 상용으로 판매되고 있는 것도 대부분이 G센서(중력가속도 측정 센서)로서 차량의 가속도가 없을 경우에는 경사측정이 상당히 용이하지만, 차량이 가감속하여 가속도가 있을 때에는 경사도를 측정하기가 난해하다. 그 이유는, 경사라는 것이 중력가속도에 의해 나타나는 물리량이기 때문에 차량의 가속도와 합해져서 벡터의 합으로 표현되기 때문이다. 본 연구에서는 실차에 직접 장착하여 경사를 측정해야 하기 때문에 센서를 통해 측정하는 방법을 사용하였다. 센서를 장착하여 사용하는 방법에는 기존의 여러 특허로서 제시되어 있는데, 이 특허들은 기본적으로 차량안에 2축 이상을 설정하고 힙 또는 가속도 또는 변형량 등의

같은 종류의 물리량을 측정함으로써 차량 가속도와 중력가속도를 분리해 낸다. 사용하는 물리량과 방법에 따라서 특허가 분리되어 있을 뿐 기본적인 알고리즘은 동일한 것을 사용하고 있다.^{7,8,9)} 그러나, 이러한 특허들을 실제 적용하기에는 다음과 같은 문제점이 있다.

차량 안에서 좌표계를 설정하는 경우, 오르막 길인지 내리막길인지를 판별할 수 없다. Fig. 1처럼 차량에 부착된 좌표계를 i, j 좌표계라고 하면, 차량의 가속도와 중력가속도는 다음과 같이 표시할 수 있다.

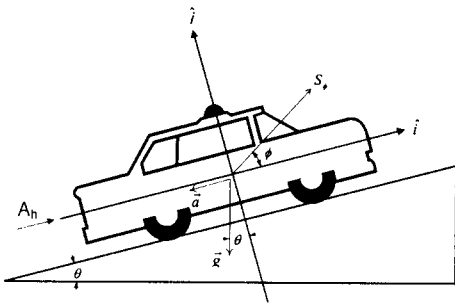


Fig. 1 Coordinate adhering to vehicle

$$\vec{a} = -a\hat{i} \tag{1}$$

$$\vec{g} = -g\sin\theta\hat{i} - g\cos\theta\hat{j} \tag{2}$$

위의 식에서 g 값만을 알 수 있고 나머지 물리량은 미지수이다. 가속도를 측정하는 센서를 차량 좌표계에 대하여 임의의 방향인 ϕ 만큼 오프셋시켜서 장착했다고 하면, 센서에서 측정하는 가속도량은 식(3)과 같이 된다.

$$S_\phi = -a\cos\phi - g\sin(\theta + \phi) \tag{3}$$

이것을 임의의 ϕ 두 값 이상에 대하여 측정하면 다음과 같이 식 (4), (5)가 된다.

$$S_{\phi_1} = -a\cos\phi_1 - g\sin(\theta + \phi_1) = h_1 \tag{4}$$

$$S_{\phi_2} = -a\cos\phi_2 - g\sin(\theta + \phi_2) = h_2 \tag{5}$$

a 에 관해 정리를 한 후 a 를 소거하고, sine법칙을 사용하여 정리하면 다음과 같이 된다.

$$h_1\cos\phi_2 - h_2\cos\phi_1 = g(\cos\phi_1\sin\phi_2 - \cos\phi_2\sin\phi_1)\cos\theta \tag{6}$$

식(6)을 \cos 에 관하여 정리하면, 식(7)이 된다.

$$\cos\theta = \frac{h_1\cos\phi_2 - h_2\cos\phi_1}{g\sin(\phi_1 - \phi_2)} \tag{7}$$

따라서 임의의 방향으로 여러개를 장착하여도 결과는 \cos 값만이 얻어지게 된다. 이것의 해는 (a_1, θ) 또는 $(a_2, -\theta)$ 라는 두가지가 항상 나타나게 된다. 여기서 a_1 과 a_2 는 식(4)(또는 (5))에서 θ 의 양의 값과 음의 값에 대한 해이다. 두 해 중 어느 것이 진짜 해인지는 알 수 없다. 따라서 경사의 부호를 판별할 수 없다. 이것은 가속도에만 해당되는 것이 아니라 가속도가 포함된 물리량(즉, 힘이거나 토크)에 대해서도 마찬가지이다.

앞에서 설명한 방법들을 구현하기 위해서는 차량의 상하 방향 진동을 고려해야 하는데, 이의 영향이 \cos 값에 상당한 영향을 미치므로 경사가 0도 근처에서 해상도가 떨어진다.

따라서 \cos 을 이용하여 경사값을 구하기는 난해하므로, 본 논문에서는 하나의 가속도계와 휠 각속도를 미분한 의사 가속도(pseudo-acceleration)를 사용하여 \sin 값으로서 경사도를 추출한다. 차량과 수평으로 장착된 가속도계는 위의 Fig. 1과 같이 차량 가속도와 중력 가속도의 \sin 성분을 측정하게 된다. 따라서 차량 가속도를 휠에서 측정된 각속도를 미분하여 의사 가속도로 가정하면, 경사를 \sin 값으로 계산할 수 있다. 이렇게 측정된 경사값은 의사 가속도의 정확도와 가속도계의 해상도에 따라서 영향을 많이 받지만, 경사도가 급격하게 자주 변하지 않기 때문에 필터링함으로써 실제에 가까운 경사도를 얻을 수 있다. 식(8)은 경사도의 \sin 식을 나타낸다.

$$\sin\theta = S_H - a_{pseudo} \tag{8}$$

3. 연비 평가 시뮬레이션 프로그램

3.1 개요

연비 평가 시뮬레이션 프로그램은 Assanis, Stockton, 조한상, Eichlseder등^{2,10,11,12)} 외에도 여러 연구들이 진행되었고, Ricardo사등 여러 회사에서도 프로그램을 제시하고 있다. 이러한 프로그램들은 필요한 구동토크를 먼저 계산하고, 차 바퀴로부터 계산을 시작하여 변속기어열을 지나 엔진의 상태를 계산함으로써 연비를 계산하게 된다. 이렇게 계산을 할 경우에는 가속시에는 스톱들을 구함으로서 엔진의 상태가 결정되지만, 감속시에는 운전자의 브레이크량에 따라서 엔진의 상태가 변할 수 있기 때문에 위의 방법을 사용시에는 한계가 있다. 이를 극복하기 위해서 운전 제어 모델을 첨가해서 프로그램을 작성해야 하지만,¹³⁾ 이를 위해서는 많은 데이터가 필요하고 또한 데이터의 신빙성에 의문이 있기 때문에 일반적으로 사용하기에는 적합하지 않다. 따라서, 제어 이론이 들어가지 않은 일반적인 엔진과 차량의 데이터만으로 연비를 계산하는 알고리즘이 필요하다.

주행모드에 경사가 포함될 경우에는 프로그램에서 고려되어야 할 사항이 몇 가지 존재하게 된다. 기존의 주행모드는 속도 프로파일에 의해서만 차량의 상태(엔진, 스톱들)를 파악할 수 있지만,¹⁴⁾ 경사가 포함된 모드의 경우에는 속도 프로파일로는 차량의 상태를 파악할 수 없다. 그 이유는 속도 프로파일이 가속구간이더라도, 내리막 길이기 때문에 브레이크를 밟고 있는 경우가 존재하기 때문이다. 다시 설명하면, 속도 프로파일과 경사 프로파일이 동시에 주어졌을 경우 구동토크를 구한다 하더라도 운전자가 브레이크를 어느 정도 작동하였는가에 따라서 엔진의 상태가 달라지게 되는 것이다.

가속할 경우는 기존의 알고리즘을 그대로 사용하였으나, 등속이나 감속의 경우에는 기존의 프로그램들은 보통 세가지 상태로 나누어서 연비를 계산하고 있다. 엔진 제어기의 종류에 따라서 (1)

연료를 차단하는 경우 (2) 공회전 회전수의 연료 소비율로 계산하는 경우 (3) 엔진의 회전수를 계산하여 그 때의 연료소비율을 계산하는 경우로 나뉠 수 있다. 본 연구에서는 모든 차량의 상태변수를 시뮬레이션하여 연비를 예측하기 때문에 엔진의 회전수를 계산하여 그 때의 연비를 계산하는 방식을 채택하고 있다.

3.2 알고리즘

기본적인 알고리즘은 기존의 프로그램과 유사하며,^{2,12)} 본 연구에서 추가된 부분에 대하여 주로 자세하게 설명한다. 본 논문에서 개발한 프로그램은 가속과 감속이 기준이 되는 것이 아니라, 스톱들로 제어를 하느냐 아니면 브레이크로 제어를 하느냐로 나뉘어 지게 된다. 왜냐하면, 경사가 포함되어 있기 때문에 감속하여도 스톱들이 있는 경우(오르막길)가 있고, 가속하여도 브레이크를 작동하는 경우(내리막길)가 존재하기 때문이다.

속도와 경사가 프로파일로 제시된 주행모드가 입력으로 제시되면, 차량의 중요한 상태변수(엔진 속도, 터빈 속도, 스톱들 개도 등)를 계산해 내는 알고리즘이다.

3.2.1 스톱들로 제어 가능한 영역

스톱들로 제어가 가능한 영역은 다음과 같은 절차로 계산을 수행한다.

1) 경사가 포함된 주행사이클에서 요구되는 가속도를 차량 속도 프로파일로부터 다음과 같이 계산한다

$$a_{required} = \frac{V_{i+1} - V_i}{\Delta t} \quad (10)$$

2) 경사도에 의한 영향을 포함하여 다음 식으로부터 주행저항을 계산한다.

$$T_V = r_{tire} (F_R + F_A + F_G) \quad (11)$$

$$F_R = \mu_f M + \frac{M}{p} (k_c V + k_e V^2) \quad (12)$$

$$F_A = \frac{1}{2} \rho A_F C_D V^2 \quad (13)$$

$$F_G = Mg \sin \theta \quad (14)$$

3) 위의 계산된 결과에 의하여 요구되는 출력축 토크를 계산한다.

$$\dot{\omega}_V = \frac{a_{required}}{r_{tire}} \quad (15)$$

$$T_{OUT} = I_V \dot{\omega}_V + T_V \quad (16)$$

4) 현재의 단수를 가정을 한 뒤, 기어박스를 지나서 토크 컨버터의 터빈에 작용하는 토크를 계산한다. 또한 기어비에 의하여 정확한 터빈의 속도가 계산된다.

5) 계산된 터빈 토크와 터빈 속도로부터 토크 컨버터의 펌프 속도 및 펌프 토크를 계산한다. 반복 루프를 통하여 계산이 수행되는데, 매칭되는 지점을 찾아내면, 예제서리 손실을 포함하여 엔진토크를 구한 뒤, 구한 엔진 속도와 토크로부터 스로틀 개도를 찾아낸다.

6) 찾아낸 스로틀 개도와 차량속도로부터 변속 알고리즘에서 현재의 가정한 단수가 맞는지를 확인하고, 만약에 단수가 맞지 않으면, 변속을 한 후 앞의 알고리즘을 반복한다.

3.2.2 브레이크로 제어 가능한 영역

만약에 매칭되는 지점이 나타나지 않으면, 스로틀로 제어할 수 없는 영역이기 때문에 브레이크로 제어를 하거나 아니면 코스팅(coasting, 엑셀과 브레이크를 모두 작동하지 아니하고, 주행하는 경우) 중이다. 브레이크가 작동중인지 아니면 코스팅 중인지는 차량의 성능에 따라서 결정이 되므로 계산에 의해서 결정이 되게 된다. 앞 절에서 계산한 출력축 토크가 브레이크 토크와 합쳐져서 미지수가 된다. 브레이크 토크를 구할 수 없기 때문에 터빈 토크를 구할 수 없게 되는 것이다. 수동 변속기 경우는 클러치가 결합되어

있어 엔진의 속도를 알 수 있으므로 계산이 가능하지만, 자동변속기의 경우는 토크 컨버터의 양단에서 알려진 변수는 터빈 속도뿐이므로 상태변수 값을 계산할 수가 없다.

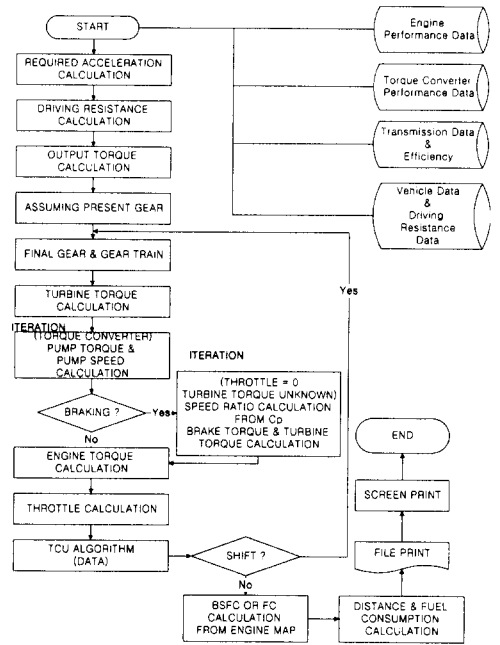


Fig. 2 Flowchart of simulation program

따라서 이 경우에는 다른 방법으로 계산을 수행하여야 한다.

1) 이 때에는 브레이크가 작동(코스팅 중에는 브레이크 토크가 0이다.)하기 때문에 스로틀 개도는 0이 되고, 엔진의 속도에 따라서 연료소비율이 정해진다. 여기서 알 수 있는 변수는 스로틀 개도와 터빈 속도이며, 엔진 속도를 가정하여 토크 컨버터의 용량계수식과 엔진의 성능곡선과의 값을 비교하는 반복 루프를 통해 터빈 토크와 펌프 속도를 계산한다.

2) 계산된 터빈토크로부터 역으로 계산하여 브레이크 토크를 얻어 낸다.

3) 엔진의 가용영역 안에서 엔진속도가 계산되어지면, 최종적으로 엔진의 속도와 스로틀개도로부터 연료소비율이 계산되어지고, 거리와 연비가 계산된다. Fig. 2는 프로그램의 흐름도이다.

4. 실차 실험

실차 실험 장치는 경사도를 측정하는 모듈과 차량속도, 스로틀 개도, 엔진 속도, 터빈 속도, 브레이크 신호등을 측정하는 모듈, 연비를 측정하는 모듈등 세가지로 나뉘어 진다. 실험 대상 차량은 1500cc DOHC엔진과 4단 자동변속기가 장착되어 있다.

4.1 경사도 측정 모듈

2절에서의 설명과 같이 가속도 센서 및 의사 가속도 값을 사용하여 차량의 가속도와 경사도를 분리한다. 사용되는 가속도 센서는 중력가속도를 직류성분으로 일정하게 측정할 수 있는 아날로그 디바이스(Analog Device)사의 ADXL05 AH 센서를 이용하였으며, 5밀리 중력가속도의 해상도를 가지고 있다. Photo.1은 제작된 가속도 센서 모듈이다. 이 가속도 센서와 차량의 속도를 미분한 값에 의하여 경사도를 추출한다. 차량의 속도 미분 값인 의사 가속도는 비구동륜에서 측정하는 것이 더 정확하지만, 여기서는 자동변속기의 출력속도로부터 측정된 값을 사용하였다. 이 경우 급가속이나 급감속에 오차가 증폭되지만 실제 경사가 급격히 요동하지 않으므로 데이터를 피팅하는 과정에서 어느정도 오차가 줄어들게 된다.



Photo. 1 Acceleration sensor module

4.2 차량의 신호 검출 모듈

차량의 각종 신호들은 엔진 회전수를 제외하고 TCU(transmission control unit, 변속제어기)로부터 병렬연결로 신호선을 분리하여 측정하였

다. 엔진의 회전수는 점화코일에서 신호를 직접 분리하여 측정하였으며, 이 신호선은 다음 절에서 설명할 연비측정모듈에도 동일하게 입력된다. TCU에는 35가지의 신호선이 있으며, 이들 중 차량의 상태를 알 수 있는 신호들의 특성을 설명하면 다음과 같다.¹⁵⁾ 엔진은 1회전당 2개의 펄스가 측정되며, 터빈은 대상 차량의 자동변속기의 전진 클러치에 장착되어 있는 기어의 치개수에 의해 1회전당 12펄스가 측정된다. 차량 속도의 경우는 최종감속기어 전의 기어 치개수에 의해 1회전당 18펄스가 측정된다. 브레이크 신호는 운전자가 브레이크를 작동하면 12볼트가 입력이 되며, 작동하지 않았을 경우에는 접지가 되어 있다. 스로틀 개도는 다음 절에서 설명할 연비측정모듈에 입력이 되는 신호를 이용하였다. 이 신호는 인젝터의 개도로서 스로틀과 같지만, 공회전시에만 다르게 된다. 주요 신호들은 Table 1과 같다.

Table 1 Specifications of signals

Kind of signals	Specifications
Brake switch	0 V - Off , 12 V - On
Vehicle speed	-2.5~2.5V sinusoidal wave
Turbine speed	-2.5~2.5V sinusoidal wave

4.3 연비 측정 모듈

연비 측정 모듈로서는 상용제품인 CAMP(computerized automobile multi player)를 사용하였으며, 기본적으로 ECU로부터 신호를 입력받아 연비를 계산한다. CAMP에서는 엔진속도, 차량속도, 연비, 연료소비량, 주행거리, 주행시간등을 기록할 수 있으며, 실차 실험에 의한 수치 보정에 의해서 연비를 최종적으로 산출한다. 실제 타이어 슬립으로 일어나는 거리 산정의 오류를 막기 위해서 거리 보정을 수행하며, 실제 연비를 측정하기 위해서 반복적으로 연비를 측정하여 보정계수를 입력하도록 되어 있다. 하나의 모듈로 이루어져 있으며, 비디오와 연결하여 현재의 상황을 볼 수 있도록 되어있다.

4.4 실험 장치 구성

실험대상 차량은 엔진 성능 곡선(연료 소비율 포함) 및 토크 컨버터 성능 곡선이 주어지고, 장착된 4단 자동변속기에 대한 연구가 진행된 차량을 선정했으며, 가속도 센서를 차량 내부에 장착하였고, CAMP 및 차량 신호 검출 모듈은 조수석에 설치하였다. 데이터의 검출은 NI(national instrument)사의 데이터 획득 장치 시스템을 사용하였고, 펜티엄 노트북으로 데이터를 입력받았으며, 소프트웨어는 Labview를 사용하였다.

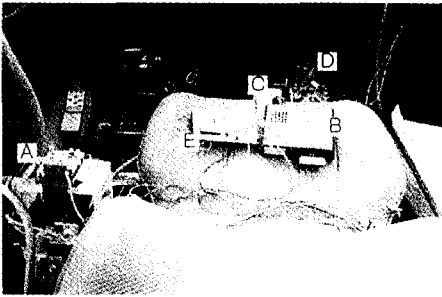


Photo. 2 Experimental devices of on-road car test

Fig. 3은 전체 실험 장치의 개략도이며, Photo. 2는 실차 실험 장치의 사진이다. A는 가속도계 모듈이며, B는 연료측정 모듈(CAMP)이고, C는 데이터 습득장치이고, D는 변속제어기 커넥터이며, E는 DC 5V 정전원 장치이다.

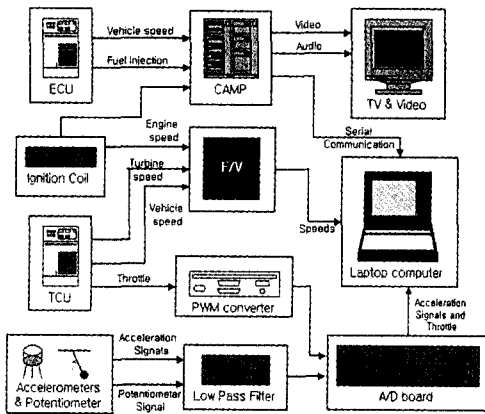


Fig. 3 Schematic diagram of on-road car test

5. 실험 결과 및 시뮬레이션

실차 실험은 경사가 포함된 새로운 모드 제시와 각 모드에 대한 연비 측정을 위해 이루어졌다. 실험은 실제 주행연비 측정 및 주행 모드 제시를 위하여 양재역부터 사당역까지의 남부순환도로(이하 가칭 남부 모드)에서 수행하였으며, 비교적 경사가 많고 심한 원형 순환로(이하 가칭 순환로 모드)에 대해서도 실험을 수행하였다. 실험을 수행한 두 가지 주행 모드를 제시하였으며, 이 둘 각각에 대하여 연비 측정 결과 및 차량의 주행상태를 알 수 있는 물리량을 측정하였다.

5.1 경사가 포함된 주행 모드의 제작

남부 모드와 순환로 모드는 실제로 측정된 원래 데이터가 차량의 서스펜션 영향(브레이킹 시 또는 급가속시 또는 둔덕 통과시)으로 인하여 약간의 기복이 있으므로 본 논문에서는 이들을 피팅하여 제시되었다. 즉, 경사는 어느 정도 완만하게 변화하는데 1초단위로 1~2도 이상의 기복이 있는 것은 서스펜션의 영향으로 보고 피팅을 수행하였다. 기존의 발표된 논문⁶⁾의 모드들은 피팅을 수행하기 전의 데이터이며, 피팅을 수행함으로써 최대 경사도 및 최소 경사도가 줄어 들었다. 이렇게 제작된 모드를 경사가 포함된 주행모드로서 제시한 것이 Fig. 4과 Fig. 5이다. 남부 모드의 경우는 메모리의 한계로 인하여 정리하기 전에 모드를 중단하였기 때문에 마지막 부분의 속도가 0이 아니다.

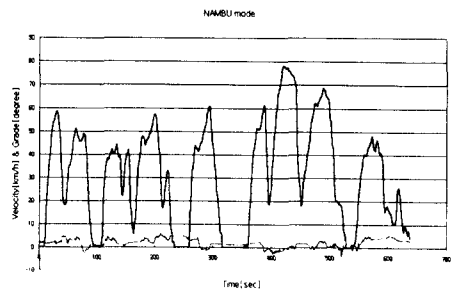


Fig. 4 Velocity-grade vs time(남부모드)

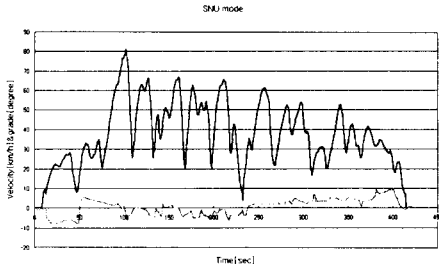


Fig. 5 Velocity-grade vs time(순환로 모드)

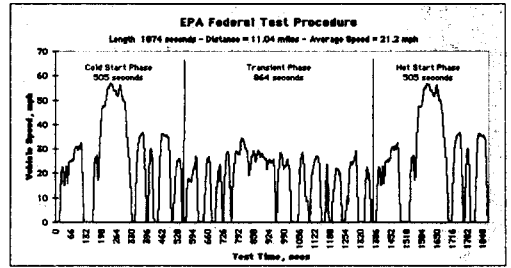


Fig. 6 FTP-75 mode(from EPA homepage)

Table 2 Comparison between FTP-75 and new modes

mode	cycle time (sec)	mean vel. (km/h)	max. vel. (km/h)	mean acc. (m/s ²)	max. acc. (m/s ²)	max. grade (°)	min. grade (°)	average of grade(°)
FTP-75	1874	34.1	91.2	0.61	1.48	0	0	0
SNU	421	36.98	81	0.65	2.62	9.6	-8.24	0.45
NAMBU	641	31.24	79.19	0.53	2.56	5.68	-3.83	1.8

현재 한국에서 가솔린 차량의 연비 평가를 위해 사용되고 있는 주행모드는 미국 EPA 에서 제시한 FTP-75 주행 모드이다.¹⁶⁾ Fig. 6처럼 FTP-75 모드의 경우 최대 가속도는 3.3mph/s (5.31 kmph/s, 1.48 m/s²)이고, 처음505초는 냉온 출발 구간(cold start phase)이고 중간 864초는 혼합 구간(transient phase)이고, 마지막 505초는 고온 출발 구간(hot start phase)이다. 그러나, 본 연구에서 제시된 주행모드의 경우는 연비 측정시 모두 고온 출발(hot start)하였으므로, FTP-75 모드와 같이 구간을 나누지는 못했다. Table 2는 제시된 주행모드와 FTP-75 모드와 비교한 것이다. 가장 중요한 평균 속도와 평균 가속도는 거의 차이가 없음을 알 수 있다. 그러나, 최대가속도는 1.8배 정도가 크게 나타남을 알 수 있는데, 이것은 곧 실제 주행상태에서는 가속이나 감속이 경사에 의한 영향으로 좀 더 크게 나타날 수 있음을 의미한다.

5.2 연비 측정 실험 및 시뮬레이션

5.1절에서 제시한 두 가지 모드에 대하여 연비를 동시에 측정하였는데, 실험 대상 차량의 공인 연비보다 현저하게 작게 나왔음을 알 수 있다.

이것은 실제 운전자들이 보통 말하는 연비와 가까운 값을 나타내고 있음을 경험적으로 알 수 있다. Table 3은 시뮬레이션과 실험을 비교한 것이다. 정부 공인 연비와 시뮬레이션으로 FTP-75 모드에 구해진 연비와 거의 비슷함을 알 수 있다. 제시한 두 모드에 대한 실험 결과와 시뮬레이션 결과를 보면 평균 오차가 5% 미만으로 상당히 근접했음을 알 수 있다. 세 모드에 대한 시뮬레이션은 동일한 조건으로 수행하였으며, 둔덕이 많은 순환로 모드에 대한 시뮬레이션이 연비가 더 좋은 이유는 급가속 및 급감속이 많아 필터링에 의한 경사에 대한 오차가 증폭이 되었기 때문이다. 또한 5.3절에서 자세히 설명되었지만, 코스팅 시나 브레이킹 시에 실차에서 연료소비율이 일정하지 않고 ECU에 의해 제어되기 때문에 오차가 발생함을 알 수 있다. 시뮬레이션에는 ECU 제어로직이 들어 있지 않기 때문이다.

결과에서 알 수 있듯이 경사가 심한 곳으로 갈수록 연비가 나빠진다. 차종과 노후정도에 따라 다르지만, 대략적으로 경사가 작은 일반 시내 주행시에는 평지를 기준으로 한 공인연비에 비해 약 30%정도 나빠지며, 경사가 심한 곳에서는 42%정도까지도 나빠짐을 알 수 있다.

Table 3 Comparison of fuel economy

Mode	FTP-75	NAMBU	SNU
Mode distance[Km]	12.77	5.55	4.23
Fuel economy (sim.)[Km/l]	12.27	8.90	7.87
Fuel economy (exp.)[Km/l]	-	9.00	7.44
Error [%]	-4.88	-1.11	+5.78
Authorized fuel economy : 12.9 Km/l			

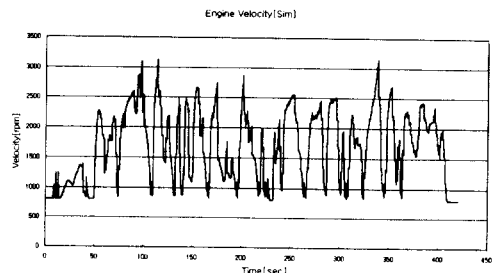
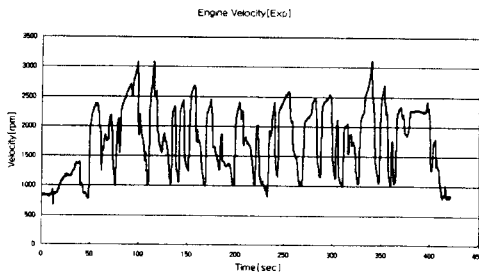
* FTP-75의 오차는 공인연비와 비교한 것임.

5.3 시뮬레이션 결과 비교/검증/분석

5.2절의 결과는 전체 누적 연비만을 결과치로 제시한 것이기 때문에 실제로 차량의 다른 물리량이 동일한지를 실험과 시뮬레이션을 비교를 해야 시뮬레이션의 타당성을 보일 수가 있으므로, 시뮬레이션 프로그램으로부터 파일 출력으로서 차량 상태 변수를 기록하여 실험과 비교하였다. 시뮬레이션 프로그램에서 입력으로 받는 자료들은 엔진의 특성곡선(연비곡선포함), 토크 컨버터의 특성곡선, 기어비, 기어효율, 변속맵 및 록업맵, 그리고, 차량의 제원(관성 및 구름저항 계수, 공기저항 계수등)과 시간에 따른 주행모드(속도 및 경사도)이다. 즉 엔진, 변속기, 차량의 제원을 알고, 주행모드만을 입력하면 주행하는 동안의 모든 차량상태가 결과치로 제시되는 것이다.

여기서 연비에 영향을 미치는 중요한 결과는 엔진의 회전수와 스로틀의 상태이다. 실제적으로 연비 계산은 엔진의 특성곡선에서 결정된다. Fig. 7은 순환로 모드에 대해 엔진 상태, 스로틀 상태, 터빈 상태를 시뮬레이션과 실차 실험을 비교한 것이다. (a)와 (b)에서 보여주는 것처럼 엔진의 상태가 거의 비슷함을 알 수 있다. 또한 터빈 속도를 보면 (c)와 (d)에서 알 수 있듯이 실차 실험보다 시뮬레이션이 변속을 빈번하게 행함을 알 수 있다. 이것은 변속맵의 데이터가 하단 변속시 정확하지 않음을 알 수 있다. 그러나, 상단변속시는 거의 일치함을 알 수 있다. 스로틀 개도의 경우는 CAMP에서 측정된 인젝트량의 퍼센트로서 나타난 것(그림 (e))과 시뮬레이션에서 스로틀(그림 (f))과 비교한 것이다. 실험결과가 필터링하지 않았기 때문에 고주파가 많이 섞여 있으나, 결과는 동일함을 알 수 있다. 실제 실험에서는 아이들 상태와 브레이킹 시 그리고, 코스팅 시의 인젝트량은 약 2~3%정도이다. 그러나 시뮬레이션에서는 0% 스로틀로 가정하여 계산을 했기 때문에 모두 0으로 표시되었다. Fig. 8은 남부 모드에 대해 엔진 상태, 터빈 상태, 스로틀 상태를 비교한 것이다. 전체적으로 비슷함을 알 수 있으며, 경사도의 오차에 의해 시뮬레이션시 스로틀 개도에 피크가 생겼음을 알 수 있다.

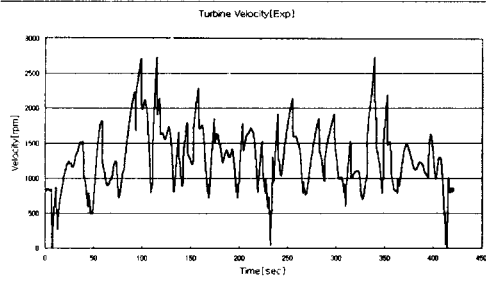
따라서, 본 논문에서 개발된 프로그램은 경사가 포함된 주행모드가 입력되면, 차량의 모든 상태를 예측할 수 있음을 알 수 있다.



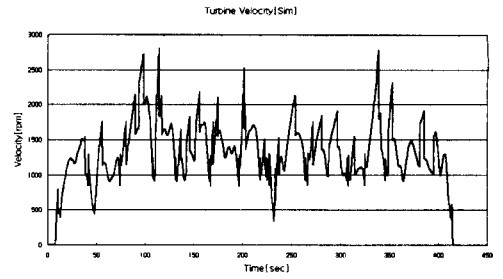
(a) Engine velocity - Experiment

(b) Engine velocity - Simulation

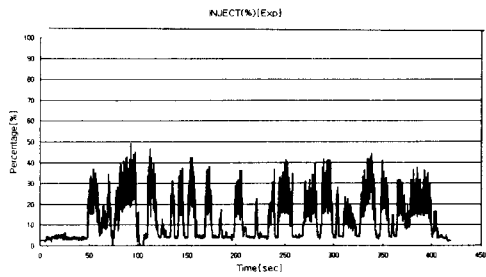
Fig. 7 Comparison between experiments and simulations - 순환로 모드



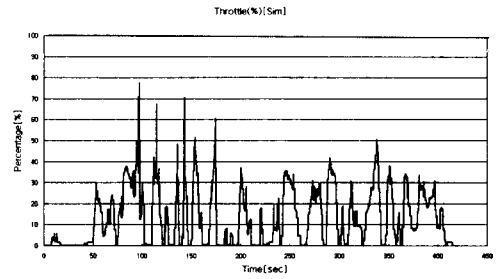
(c) Turbine velocity - Experiment



(d) Turbine velocity - Simulation

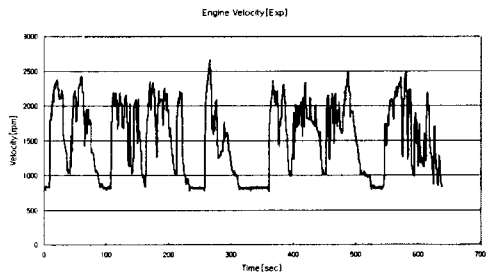


(e) Throttle opening - Experiment

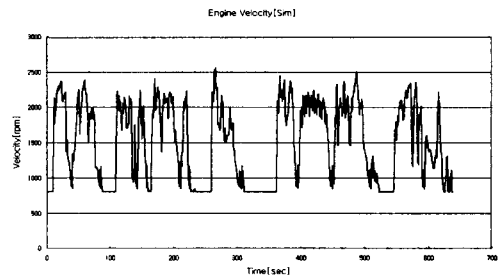


(f) Throttle opening - Simulation

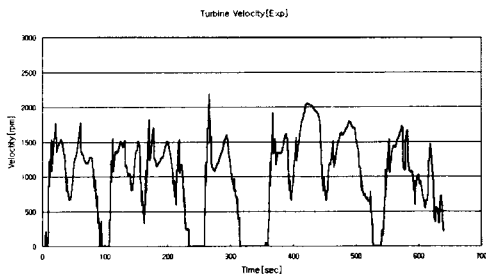
Fig. 7 Comparison between experiments and simulations - 순환로 모드(Continued)



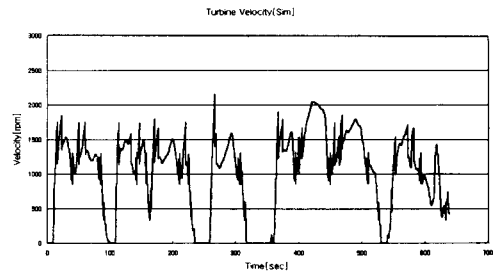
(a) Engine velocity - Experiment



(b) Engine velocity - Simulation

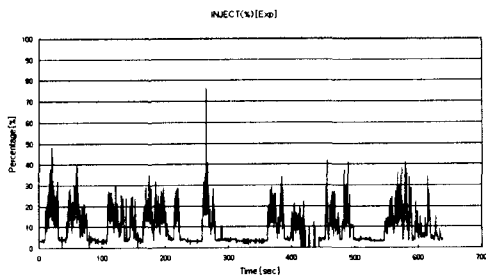


(c) Turbine velocity - Experiment

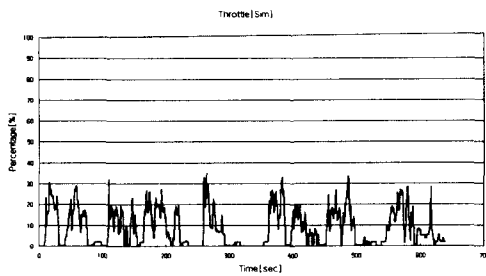


(d) Turbine velocity - Simulation

Fig. 8 Comparison between experiments and simulations - 남부 모드



(e) Throttle opening - Experiment



(f) Throttle opening - Simulation

Fig. 8 Comparison between experiments and simulations - 남부 모드 (continued)

6. 결론

실제 주행연비를 예측하기 위하여 다음과 같은 연구를 수행하였다.

1) 실제 주행연비를 예측하기 위해서는 경사부하에 의한 영향을 고려하여야 한다. 이를 위하여, 차량의 가속도와 도로의 경사도를 분리하는 알고리즘에 대해 고찰하였으며, 가속도계와 차량속도의 미분값을 이용하여 도로경사도를 추출하였다.

2) 주행모드에 경사도를 고려하여 연비예측 프로그램을 스로틀로 제어가 가능한 영역과 브레이크로 제어가 가능한 영역으로 나누어 개발하였다.

3) 개발된 프로그램을 검증하기 위하여, 실차 실험장치를 구성하였으며, 경사 추출 모듈, 신호 검출 모듈, 연비 측정 모듈로 나누어 장착하였다.

4) 경사가 포함된 주행모드(남부 모드, 순환로 모드)를 실차 실험을 통해 제시하였으며, 이와 동시에 차량의 상태를 알 수 있는 물리량을 측정하였고, 최종적으로 제시된 모드에 대한 실제 주행연비를 측정하였다.

5) 개발된 프로그램을 통하여 FTP-75 모드와 제시된 경사가 포함된 주행모드에 대해 시뮬레이션을 수행하였으며, FTP-75모드의 결과는 공인 연비와, 제시된 두 모드에 대해서는 실차 실험 결과와 비교하였다. 비교 결과 연비를 비교적 정확하게 예측할 수 있음을 알 수 있었다.

6) 실험에서 측정된 차량 상태(엔진, 스로틀, 터빈)와 시뮬레이션 결과로 얻어진 차량 상태를 비교한 결과, 거의 일치함을 알 수 있었고, 따라서 개발된 연비 예측 프로그램의 타당성을 증명할 수 있었다.

7) 개발된 연비 예측 프로그램은 차량과 엔진에 대한 데이터를 알고 있다면, 차량 개발단계에서 차량의 실제 주행연비를 예측할 수 있으며, 변속 전략의 개발에 사용될 수 있다.

참고 문헌

- 1) H. C. Watson, E. E. Milkins, "An International Drive Cycle", SAE paper 865042, 1986.
- 2) 조한상, 이장무, 박영일, 임원식, "연비 효율과 기동성 해석을 위한 차량 동력 전달계의 성능 시뮬레이션", 자동차공학회 논문집, 제7권 제2호, 1999.
- 3) Feng An, Marc Ross, "A Model of Fuel Economy and Driving Patterns", SAE paper 930328, 1993.
- 4) Zhai Ping, "Development of a Vehicle Fuel Economy and Driving Performance Model for Simulation on a Microcomputer", SAE paper 912529, 1991.
- 5) Yoshiharu Hori, Mizuho Fukuda, Yoichi

- Kobayashi, "Computer Simulation of Vehicle Fuel Economy and Performance", SAE paper 860364, 1986.
- 6) "차세대자동차 변속기 기반기술개발에 관한 연구(연차보고서)", 통상산업부, 과학기술처, pp 63~73, 1996. 9.
 - 7) "Method for Estimating Longitudinal Acceleration or Deceleration of a Vehicle Body", US patent 5200896.
 - 8) "Grade Angle and Acceleration Sensor", US patent 5351540.
 - 9) 박진호, 공진형, 이진원, 조한상, 박영일, 이장무, "도로 경사도 측정 알고리즘 및 경사를 포함한 주행모드", 자동차공학회 춘계학술대회, pp 720~726, 1999.
 - 10) Andrew W. Phillips, Dennis N. Assanis, Patrick Badgley, "Development and Use of a Vehicle Powertrain Simulation for Fuel Economy and Performance Studies", SAE paper 900619, 1990.
 - 11) Wilfried Eichlseder, Gottfried Raab, Gerbard Krisper, "Calculation of Driving Performance, Fuel Consumption and Emissions of Military Trucks by Driving Simulation", SAE paper 930850, 1993.
 - 12) Thomas R. Stockton, "Fuel Economy in Road Vehicles Powered by Spark Ignition Engines", Plenum Press, New York, pp. 393~418, 1984.
 - 13) Bengt Jacobson, "On Vehicle Driving Cycle Simulation", SAE paper 950031, 1995.
 - 14) Gino Sovran, Mark S. Bohn, "Formulae of the Tractive-Energy Requirements of Vehicle Driving the EPA Schedules", SAE paper 810184, 1981.
 - 15) 박진호, 이진원, 조한상, 박영일, 이장무, "변속 알고리즘의 검증을 위한 실시간 시뮬레이션 프로그램과 변속제어기 인터페이스 개발", 자동차공학회 논문집, 제7권 제3호, 1999.
 - 16) 이영재, "우리나라의 연비제도 및 연비현황", 자동차 공학회지, Vol. 19 No. 3, June, 1997.