

工學碩士 學位論文

自動車の 走行モード가 燃料消費率에 미치는  
影響에 관한 計算的 研究

The Effect of Vehicle Driving Modes  
on Fuel Consumption

指導教授 崔在星

2002年 2月

韓國海洋大學校 大學院

機關工學科

金亨洙

本 論 文 을 金 亨 洙 의 工 學 碩 士 學 位 論 文 으 로 認 准 함

심사위원장      裴 種 旭      ㉠

심사위원      朴 權 夏      ㉠

심사위원      崔 在 星      ㉠

2001年 12月

韓國海洋大學校 大學院

機關工學科

金 亨 洙

## 목 차

Abstract .....	III
Nomenclature .....	V
제 1 장 서 론 .....	1
제 2 장 수학적 모델 및 해석 알고리즘 .....	3
2.1 차량 주행 저항과 엔진 토크 .....	3
2.2 연료 공급의 제어특성 .....	6
2.3 해석 알고리즘 .....	9
제 3 장 계산 조건 .....	13
3.1 적용 차량의 사양 .....	13
3.2 적용 모드의 종류 .....	16
제 4 장 계산 결과 및 고찰 .....	18

4.1 계산 결과 .....	18
4.1.1 급 가속 운전모드 .....	18
4.1.2 보통 운전 모드-1 .....	23
4.1.3 보통 운전 모드-2 .....	28
4.1.4 저 가속 운전 모드 .....	32
 4.2 고 찰 .....	 36
 제 5 장   결 론 .....	 48
 參考文獻 .....	 50

## Abstract

The era of high-priced oil has opened its stage as they went through oil crises twice in 1970s. Although the oil price has been stabilized since 1980s consecutive exchange rate increase and rapid increase of the oil price have increased the burden on the consumers who use oil energies.

Also, the increase of vehicles are becoming the major factors for the global environment contamination, and the exhaust regulations restricted to hydrocarbon, nitrogen oxide, carbon monoxide are expanded to cover carbon dioxide, as related to the recent day-to-day global warming. As the amount of CO<sub>2</sub> increases as the fossil fuels used for the vehicles are combusted ideally, the ways of reducing the CO<sub>2</sub> itself using combustion technology or post-processing technology are not being presented. The only way is to reduce the use of fuels, and for this reason many researches are in progress.

Vehicles are used by many drivers who have different driving habits, and the driving modes are also different accordingly.

Selecting the driving mode properly and driving in efficient areas can reduce the fuel consumption dramatically. Also, vehicles consume the height energy and the motion energy with the braking energy when they go down a hill or when they brake. They have Fuel cut-off capability in order to recall this energy, and the driving utilizing this can further save the fuel.

This paper intends to make a calculating program that can calculate the fuel consumption rate in the general driving mode, and using this compare the fuel consumption rates for the fast accelerating mode, the normal mode and the slow accelerating mode, and after the collective examination will present the best driving mode when driving on flat lands.

As the result, We would be predict the best running mode and save 24% fuel oil as well.

## Nomenclature

- $A$  : Projected frontal area of vehicle  
 $a$  : Acceleration of vehicle (  $\frac{m}{s^2}$  )  
 $C_1$  : Vehicle rolling resistance coefficient  
 $C_2$  : Vehicle aerodynamic drag coefficient  
 $C_3$  : Compensation coefficient to allow for rotating inertia  
 $F$  : Vehicle traction force (N)  
 $g$  : Gravitational constant (  $9.81 \frac{m}{s^2}$  )  
 $i$  : Total reduction ratio  
 $n$  : Engine speed (RPM)  
 $r$  : Driving wheel radius ( m )  
 $T$  : Torque of engine (N · m)  
 $V$  : Vehicle speed ( km/h )  
 $W$  : Vehicle weight (  $kg_f$  )  
 $\rho$  : Air density (  $kg/m^3$  )  
 $\eta_t$  : Efficiency of vehicle transmission system

## 제 1 장 서 론

1970년대 두 차례의 석유파동을 거치면서 고유가 시대의 막이 열리게 되었다. 1980년대 이후 유가는 비교적 안정되어 왔으나, 연이은 환율 상승 및 최근의 급격한 유가인상 등으로, 석유에너지를 이용하는 소비자들의 부담이 늘어났다. 장기적으로 봐도 석유생산량의 감소 및 유가 상승이 예견되므로 가능한 한 외화를 절약하지 않으면 안된다. 국민들이 할 수 있는 것은 석유제품의 사용량을 줄이는 것이라고 할 수 있다.

그 중에 가장 대표적인 것이 자동차의 연료로 소비되는 부분이다. 또한, 세계 자동차의 총 생산량은 2000년 이후 약 6,050만대로 추정된다. 이러한 자동차의 증가는 지구 환경오염의<sup>[4]</sup> 주요원인이 되고 있으며 1980년대 탄화수소 질소산화물, 일산화탄소에 한정되었던 배기 규제는 최근 날로 지구온난화와 관련하여 이산화탄소(CO<sub>2</sub>) 배출 규제로 확대되고 있다. CO<sub>2</sub>는 자동차연료로 사용되는 화석연료가 이상적으로 연소될수록 생성량이 많아지므로 CO<sub>2</sub>자체를 연소 기술이나 후처리기술로 저감할 수 있는 방안은 제시되지 않고 있다. 유일한 방법으로는 연료의 사용을 줄이는 것이며 이를 위하여 많은 연구들이 진행되고 있다.

미국의 경우는 정부와 자동차 3사인 지엠, 포드, 크라이슬러가 주축이 되어 슈퍼 카 프로젝트(Supper car project)를 수행하고 있으며, 유럽은 고속 소형 디젤기관의 개발을 주축으로 하는 3-리터 카 프로젝트(3-ℓ Car project)를 수행하고 있다. 이 프로젝트들의 목표는 2005년까지 연료 3ℓ로 100km정도를 주행하는 자동차의 개발



이다. 국내에서도 고효율 내연기관개발을 위한 초 저연비 자동차 연구를 진행하고 있다. 이런 기계적 개발도<sup>[7]</sup> 중요하지만, 운전자의 습관을 바꾸어 고효율 주행이 될 수 있도록 한다면, 현재의 기술 상태에서도 에너지 소비를 줄일 수 있을 것이다.

자동차는 운전습관이 다른 많은 운전자들에 의하여 사용되고 있으며 이에 따라 주행 모드도 다르다.

급한 성격의 운전자는 출발과 함께 급 가속을 하게되며, 성격이 느린 운전자는 저가속, 저속 주행을 한다. 또 불안한 성격의 운전자는 변동이 심한 운전을 하게 되는데 이러한 운전습관의 차이는 연료 소비량의 증가나 감소를 가져온다. 자동차의 연료소비율에 직접적인 영향을 미치는 것은 엔진의 토크와 속도로서 운전 영역에 따라 출력당 연료 소비율이 큰 차이를 나타낸다. 따라서 운전모드를 적절히 선택하여 효율이 좋은 영역에서 운전하게 되면 연료소비를 현저히 줄일 수 있다. 또한 자동차는 언덕을 내려오거나, 정지할 때 위치에너지와 운동에너지를 제동 에너지로 소비하고 있다. 이러한 에너지를 회수하기 위하여 연료차단(Fuel cut-off)기능을 갖고 있는데 이를 활용하는 운전을 하면 연료를 더욱 줄일 수 있을 것이다.

본 논문에서는 일반적인 운전 모드에서 연료소비율을 계산 할 수 있는 계산 프로그램을 만들고, 이를 이용하여 급 가속, 보통, 저 가속 모드일 때의 연료 소비율을 비교하여 이를 종합적으로 검토하여 평지 주행 시 최적운전모드를 제시하고자 한다.

## 제 2 장 수학적 모델 및 해석 알고리즘

### 2.1 차량 주행 저항과 엔진토크

차량의 주행저항을 계산하여<sup>[2]</sup> 엔진토크를 구하기 위한 수학적 모델<sup>[9]</sup>은 차량의 주행 및 전달계통을 고려하여 다음과 같이 전개된다.

구동력 혹은 주행 저항은 차량의 구름저항, 공기저항, 가속저항, 회전부품의 가속저항, 경사면의 중력저항을 종합한 다음 식으로 주어진다.<sup>[1][3]</sup>

$$F = C_1 \cdot W + \frac{1}{2} \rho \cdot C_2 \cdot A \left( \frac{v}{3.6} \right)^2 + (1 + C_3) \frac{W}{g} \cdot a + W \cdot \sin \theta \quad (2.1)$$

여기서 평지에서의 주행저항은 등판저항이 없어진다. 즉,  $W \cdot \sin \theta = 0$  이 되며 (2.1) 식은 다음과 같이 주어진다.

$$F = C_1 \cdot W + \frac{1}{2} \rho \cdot C_2 \cdot A \left( \frac{v}{3.6} \right)^2 + (1 + C_3) \frac{W}{g} \cdot a \quad (2.2)$$

여기에  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  는 구동저항계수, 공기저항계수, 회전상당계수로서의 Table 2.1과 Table 2.2와 같은 값을 가진다.<sup>[4][8]</sup>

Table 2.1 Values of  $C_1$

Road condition	$C_1$
Good asphalt road	0.01
Good cement road	0.011
Normal asphalt & cement road	0.015
Sand road	0.165

Table 2.2 Values of  $C_2$

Type	$C_2$
Passenger car	0.3~0.5
Truck	0.4~0.6
Bus	0.5~0.8
Bike	0.6~0.9
Advanced car	0.15~0.3

본 계산에서는 구름저항  $C_1$ 의 값은 평탄한 아스팔트 도로 주행으로 가정하여 0.01로 한다. 공기저항  $C_2$ 의 값은 보통승용차 수준인 0.3을 기준으로 한다. 그리고, 회전 상당계수  $C_3$ 의 값은 승용차의 경우 고속주행에서 0.08, 저속상태에서 0.7정도의 값을 가지는 것<sup>[4]</sup>을 감안해 Fig. 2.1과 같은 특성을 가지는 것으로 정의한다.

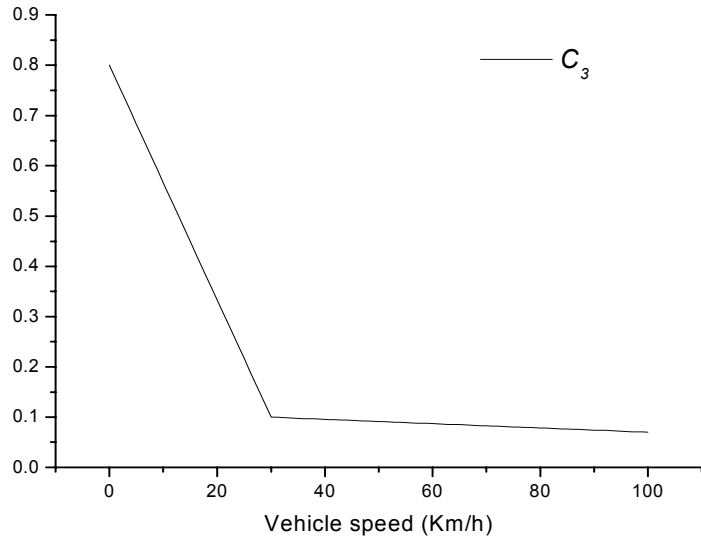


Fig. 2.1  $C_3$  Variation with vehicle speed

위의 식(2.2)을 이용하여  $F$ 의 값을 구하고 엔진 토크( $N \cdot m$ )를 구하기 위한 공식은<sup>[5]</sup>

$$T = \frac{9.81 \cdot F \cdot r}{i \cdot \eta_t} \quad (2.3)$$

가 된다.

여기에서  $r$ ,  $i$ ,  $\eta_t$  는 각각 구동륜의 반지름, 총 감속비, 기계전달 효율을 나타낸다.

또한, 엔진의 RPM은 차의 속도를 나타내는 다음의 식으로부터 구해 질 수 있다.

$$V = \frac{2\pi \cdot r}{1000} \cdot \frac{60 \cdot n}{i} \quad (2.4)$$

을  $n$ 에 대하여 정리하면

$$n = \left( \frac{1000}{2\pi \cdot r} \cdot \frac{i}{60} \right) \cdot V \quad (2.5)$$

## 2.2 연료 차단기능과 작동

연료차단이란 엔진작동이 불필요한 운전영역에서 연료가 공급되지 않도록 하여 불필요한 연료를 소비하지 않도록 하는 기능을 말한다.

이는 지금 시판되고 있는 대부분의 승용차에 적용되어 있으며, 단지 운전자가 그것이 어떻게 작동하는지를 모르기에 적절하지 못한 운전 습관으로 유한한 자원인 연료를 낭비하고 있으며 또한 환경오염을 가중시키는 요인이 되고있다.

연료차단 상태에서는 연소실내 폭발이 없이 엔진이 회전하기 때문에 부대적인 효과를 얻을 수 있다. 즉, 실린더 내부에 열축적이 사라지고, 실린더내 연소실 폭발시 파괴되는 윤활유의 윤활 피막이 안정적으로 보호된다. 또한, 실린더와 피스톤 사이에 발생하는 마찰력이 현저히 감소한다. 차량이 정속하며 엔진이 부드러워지는 등, 여러 가지 장점도 있다.

연료 차단이 작용하는 조건은 다음과 같다.

- 과속도 구간
- 과부하 구간
- 지정한 RPM 구간

여기에서 연료 절약에 활용할 수 있는 부분은 지정한 RPM구간인데, 지정한 RPM구간이라 하면 (자동차의 종류와 Maker에 따라 다소 차이가 있으나) AVANTE 1.5 DOHC의 경우를 예를 들면 2000RPM에서 작동을 시작하여 1500RPM에서 작동을 멈춘다. 즉 운전중 2000RPM 이상에서 가속 페달에서 밟을 때면 연료공급이 중단되며 RPM이 1500RPM까지 내려가면 다시 연료가 공급된다.

이 기간동안에 연료는 들어가지 않게 되는데, 이를 연료차단이라고 한다.

Fig. 2.2의 실선은 엔진 RPM이 2000이상인 2500까지 가속을 하고 가속페달을 놓았을 경우의 차량속도변화를 나타내며, 점선은 가속페달을 놓은 순간부터 1500에 도달할 때까지 연료차단이 작동하는 것을 보여주고 있다.

Fig 2.3의 실선은 엔진 RPM이 2000이하인 1800에서 가속페달을 놓았을 경우 연료차단 작용 조건을 만족하지 못하여 연료차단 작동이 일어나지 않음을 점선이 나타내고 있다.

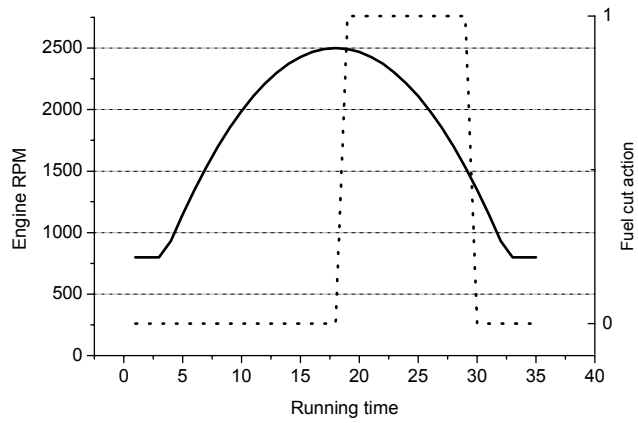


Fig. 2.2 Input signal with fuel cut-off action

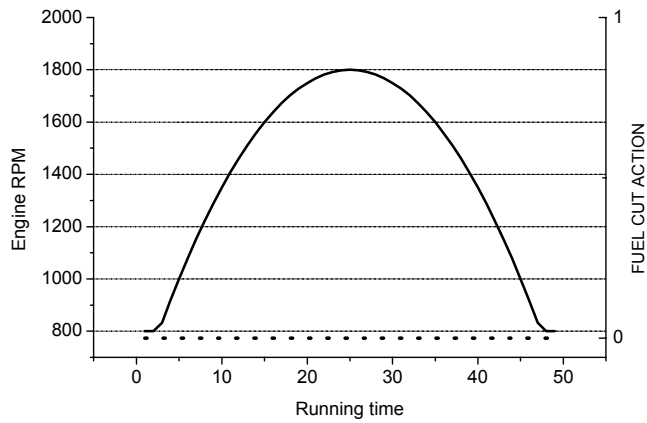


Fig. 2.3 Input signal without fuel cut-off action

## 2.3 해석 알고리즘

Fig. 2.4는 주행 패턴에 따른 연료소비량을 계산을 수행하는 해석 알고리즘을 보여준다. 기본 계수인 차량중량, 구름저항계수, 공기밀도, 공기저항계수, 차량전면투영면적, 중력가속도, 총감속비 등( $W, C_1, \rho, C_2, A, g, i \dots$ ) 등은 차량 및 주행도로에 따라 주어지는 값이다. 차량의 주행모드는 시간에 따른 주행 속도로 정의되며 사용자가 원하는 임의의 값을 결정하여 코드의 입력 값(Input data)으로 사용한다. 주어진 속도/시간 입력 값을 이용하여 총괄 주행저항이 결정되며 차량구동력( $F$ )와 같은 값을 갖는다. 여기서 차량구동력( $F$ )을 알면 엔진의 토크와 RPM을 구할 수 있다.<sup>[10]</sup>

연료 소비율은 앞에서 구한 토크, RPM을 엔진의 토크와 RPM에 따른 연료소비율 (g/s)을 나타낸 Fig. 2.5에 대입하여<sup>[11]</sup> 구할 수 있는데, 이를 좀더 계산하기 쉽게 나타낸 것이 Table 2.3이다.



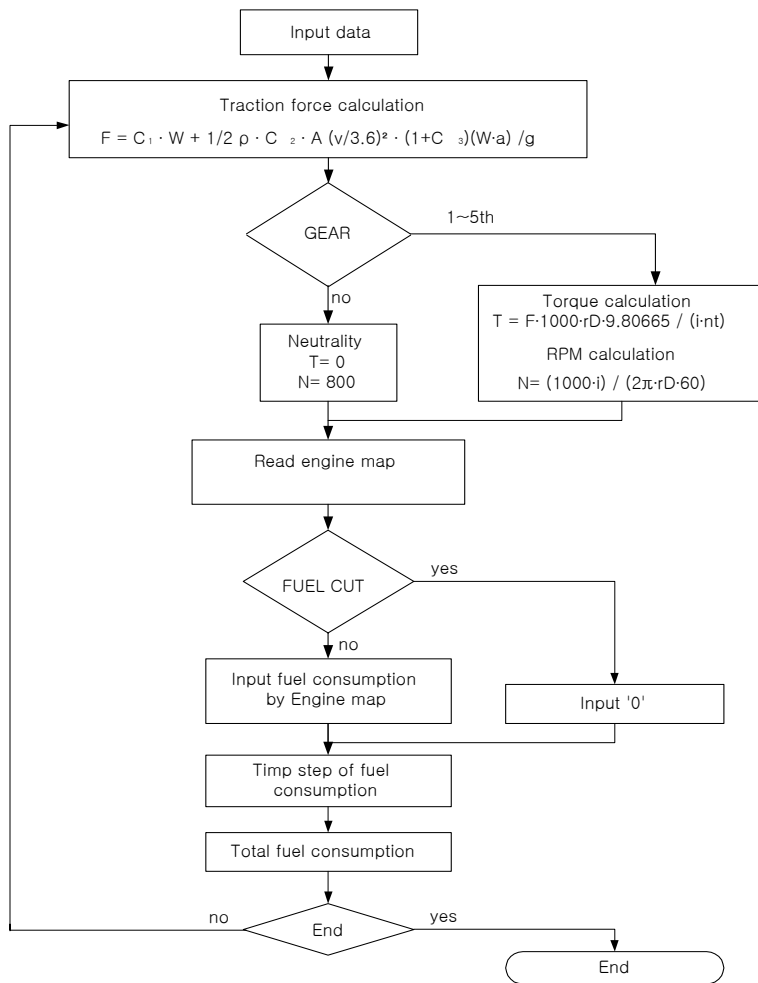


Fig. 2.4 Flow diagram for program

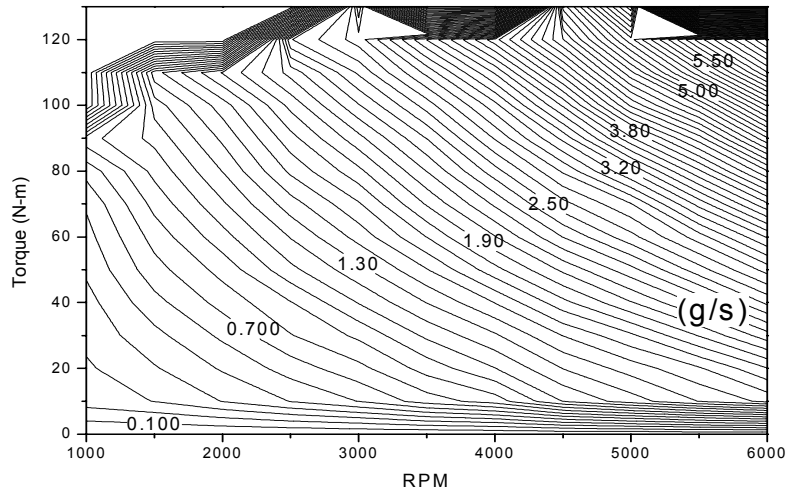


Fig 2.5 Engine map of F.C. with Torque & RPM

Table 2.3 Engine data of F.C. with Torque & RPM

130	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.88	0.00	0.00	4.73	5.77	0.00	0.00
120	0.00	0.00	0.00	0.00	2.40	2.65	3.20	3.76	4.39	5.17	5.95	6.62
110	0.00	0.00	1.36	1.71	2.04	2.42	2.83	3.31	3.95	4.67	5.37	6.06
100	0.00	0.00	1.15	1.45	1.83	2.19	2.54	2.96	3.51	4.22	4.70	5.41
90	0.00	0.86	1.03	1.32	1.66	1.96	2.31	2.71	3.13	3.68	4.15	4.78
80	0.00	0.64	0.93	1.20	1.52	1.77	2.10	2.46	2.82	3.21	3.68	4.19
70	0.00	0.51	0.83	1.08	1.35	1.59	1.91	2.22	2.56	2.79	3.23	3.68
60	0.00	0.46	0.74	0.96	1.21	1.44	1.70	1.99	2.30	2.57	2.85	3.21
50	0.00	0.42	0.66	0.87	1.07	1.27	1.50	1.76	2.02	2.27	2.56	2.84
40	0.00	0.36	0.57	0.74	0.90	1.11	1.30	1.50	1.77	1.99	2.22	2.52
30	0.00	0.33	0.47	0.62	0.79	0.92	1.12	1.29	1.50	1.68	1.91	2.15
20	0.00	0.29	0.39	0.51	0.65	0.77	0.94	1.10	1.30	1.45	1.59	1.79
10	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.75	0.85	1.10	1.25	1.40	1.53
-200	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
$\begin{matrix} b \\ \diagdown \\ a \end{matrix}$	800	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000

a : RPM

b : Torque

연료소비량을 구하고자하는 RPM-토크에 해당하는 위치를 표에서 찾으며 주위의 값을  $t_1, t_2, t_3, t_4$ 라고 하면, 연료소비율은 Fig 2.6과 같이 표현되어진다.

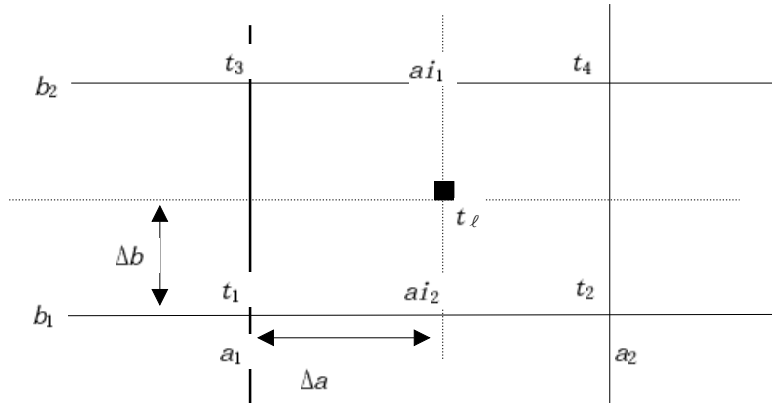


Fig. 2.6 위치선정

단,  $a_1, a_2$ 는 도표의 RPM 구분이고,  $b_1, b_2$ 는 토크구분이며,  $t_1, t_2, t_3, t_4$ 는 연료 소비율을 나타낸다.

이 값을 기준으로 비례배분법으로 연료소비율( $t_\ell$ )의 값을 구한다.

$$\begin{aligned}
 ai_1 &= \left( \frac{t_4 - t_3}{a_2 - a_1} \times \Delta a + t_3 \right) \\
 ai_2 &= \left( \frac{t_2 - t_1}{a_2 - a_1} \times \Delta a + t_1 \right) \quad (2.7) \\
 t_\ell &= \left( -\frac{ai_1 - ai_2}{10} \times \Delta b + ai_2 \right)
 \end{aligned}$$

여기서 구하여진 값  $t_\ell$ 은 연료소비량(g/s)이며, 이 값들을 적분한 값이 해당 모드에서의 총 연료소비량(g)이 된다.

### 제 3 장 계산 조건

시뮬레이션은 4종류의 운전형태를 가정하여 시행하였으며, 그 결과를 분석하여 가장 연료소비가 작게되는 운전형태를 검토한다.

#### 3.1 적용 차량의 사양

시뮬레이션 대상 차량은 국내에서 일반적으로 사용되는 모델을 선정하였으며 차량의 재원은 Table 3.2와 같고 동력 전달장치의 재원은 Table 3.3과 같다.

Table 3.1 Specifications of vehicle

Item	Values
Vehicle weight	1300 (kg)
Projected frontal area of vehicle	1.0 (m <sup>2</sup> )
Driving wheel radius	0.25 (m)
Drag coefficient	0.3

Table 3.2 Specifications of test engine

Engine type	1.5 DOHC Gasoline MPI
Number of cylinders	4
Arrangement of cylinders	In-line
Ignition	Spark
Firing or injection order	1-3-4-2
cycle	4 Strokes
super charging device	none

Table 3.3 Specifications of mission system

T/M Lever	Gear ratio
1st step	3.462
2nd step	1.950
3rd step	1.393
4th step	1.061
5th step	0.878
Final Reduction Ratio	3.650

다음 그림은 Fig. 3.1는 토크와 RPM에 따른 연비율(g/kWh)을 나타낸다. 2000~4000RPM, 80%토크구간에서 가장 좋은 연료 소비율을 보여주며 토크가 증가되거나 감소하면 연료소비율이 증가됨을 알 수 있다.<sup>[6]</sup>

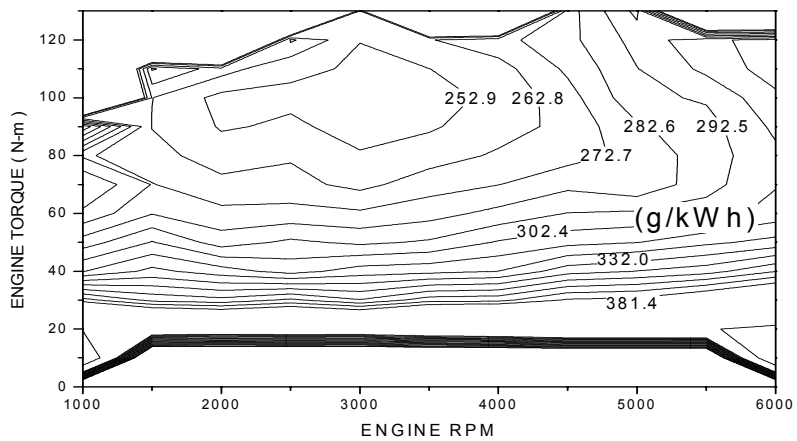


Fig 3.1 Engine map of spec. F.C.R with torque and Engine speed

### 3.2 적용 모드의 종류

평지의 시내 주행을 고려하여 운전모드를 선정한다. 총주행 거리 1km를 운행하여 운전자의 성격을 고려하여 급가속운전, 보통운전, 저속운전을 구분한다. Table 3.4는 모드별 가속시간, 최대속도, 및 정지시간을 나타낸다.

- a. 급 가속 운전 모드 : 급 가속을 하여 속도 변동이 심하다가 급정거를 하는 모드
- b. 보통 운전 모드-1 : 급 가속 한 후 연료차단을 고려하여 급 가속 운전자보다는 천천히 감속한 모드.
- c. 보통 운전 모드-2 : 적절히 가속을 하여 일정한 속도로 운전하다가 적절히 감속을 한 경우 운전 모드.
- d. 저 가속 운전 모드 : 천천히 가속하고 천천히 감속하는 경우.

Table 3.4 Comparison of modes

Running modes	Accelerating time (sec)	Max speed (km/h)	Stopping time (sec)
Fast	23	84	7
Normal-1	29	80	19
Normal-2	20	60	20
Slow	40	80	63



## 제 4 장 계산 결과 및 고찰

### 4.1 계산 결과

#### 4.1.1 급 가속 운전 모드 ( Fast running mode )

급 가속 운전은 속도 변동이 심하다가 급정거하는 운전 습관이라 보고, 이를 다음 Fig 4.1과 같다고 가정한다.

Fig. 4.1은 급 가속운전 모드의 일 예를 나타내는데, 운행 23초만에 84km/h가 되도록 가속을 하며 4초 동안에 60km/h의 속도로 급 감속을 실시 후 4초 동안 다시 64km/h로 가속하여 천천히 감속 후 정지 7초 전에 급 감속을 하는 경우이며, 운행 총 소요시간은 64초이다.

이때의 RPM의 변화를 나타내는 Fig 4. 2 에서는 이런 모드가 될 수 있도록 변속을 실시하는 기점으로 RPM이 변한 곳을 보면 알 수 있다.

또한, 토크변화를 나타내는 Fig 4. 3 에서는 급 감속을 하기 때문에 연료차단 기간이 짧음을 알 수 있다.

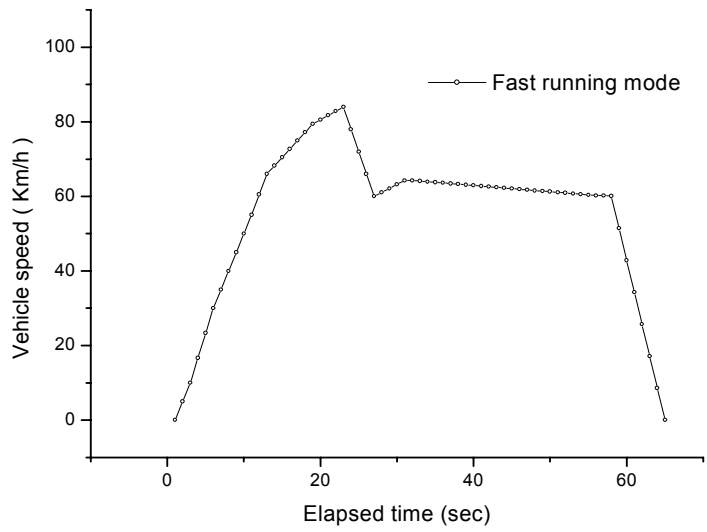


Fig. 4. 1 Vehicle speed variation of fast running mode

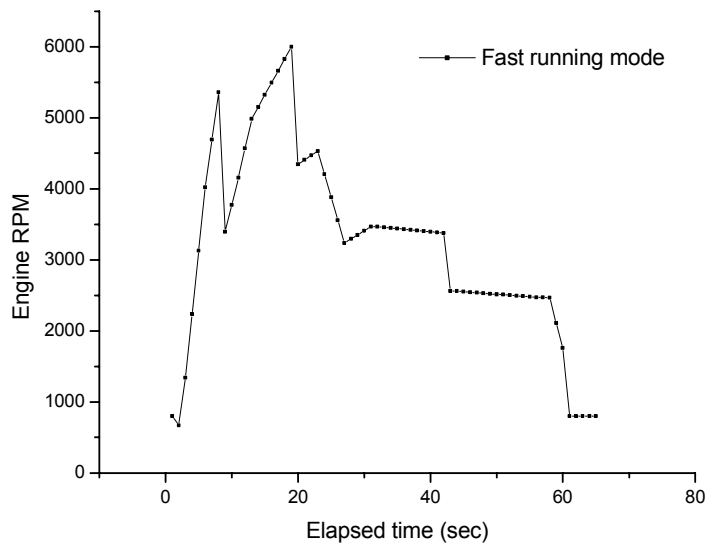


Fig. 4. 2 Variation of engine speed

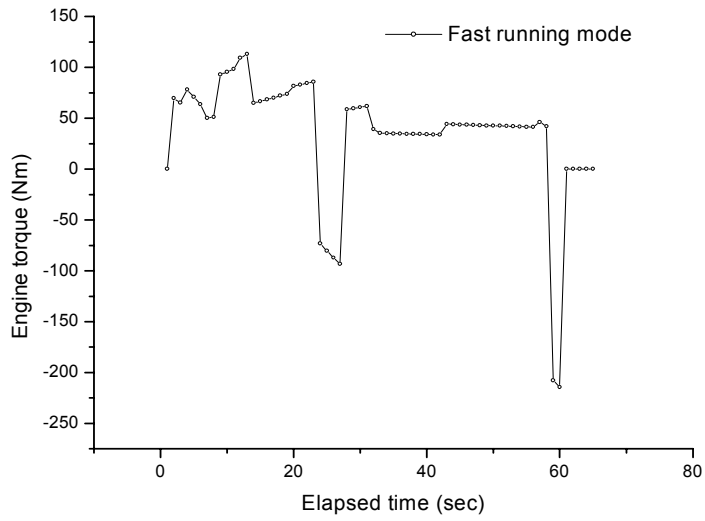


Fig. 4.3 Variation of engine torque

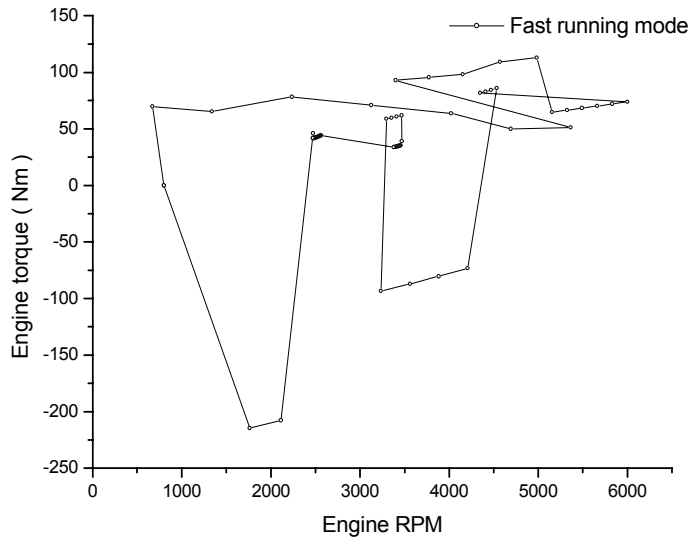


Fig. 4.4 Running condition on torque and RPM domain

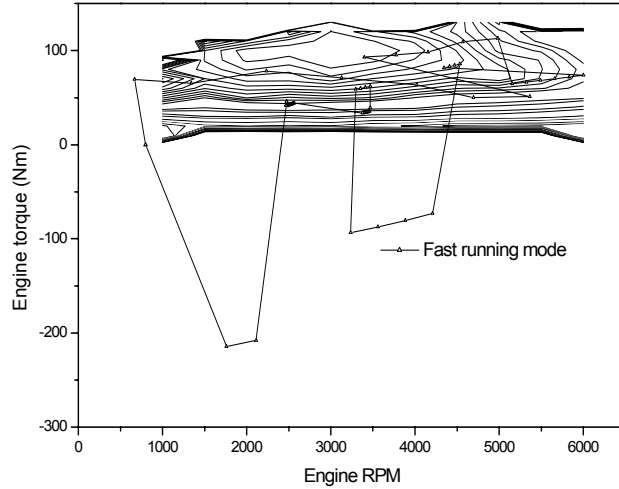


Fig. 4.5 Running condition on torque and RPM domain super imposed on engine map

Fig. 4.4는 급 가속 운전 모드시 RPM과 토크의 관계를 나타내고 있으며, Fig. 4.5는 이를 엔진맵 상에 같이 나타낸 것이다.

급 가속한 운전을 하는 사람들은 일단 출발 시 급 가속을 한다. 급 가속을 하기 위해서는 자연스럽게 고 RPM과 고 토크 영역 즉, 연료소비율이 높은 영역에서 운전되어짐을 Fig. 4.5에 의하여 명백히 알 수 있다. 이때 연료소비율이 높고 급정거 시에 연료차단 작동시기가 짧기 때문에 연료소비량이 많아진다.

Fig. 4.6에서 실선이 연료소비율(g/s)을 나타내며, 다른 모드에 비해 고 RPM, 고 토크 부분에서 운전을 하게 되므로 연료

소비율은 높게 나타남을 알 수 있다.

또한, 0.0을 나타내는 곳이 연료차단 구간이며, 급정거를 한 관계로 짧은 기간동안 작동하고 있음을 알 수 있다. 점선 부분이 연료소비율의 적분 치이다. 연료차단 시기에서는 증가하고 있지 않음을 알 수 있다.

이 급 가속 운전 모드에서는 총 연료소비량이 75.8g 으로 계산되며 이는 연비 9.9 km/ℓ 이다. 비중은 0.75로 계산하였다.

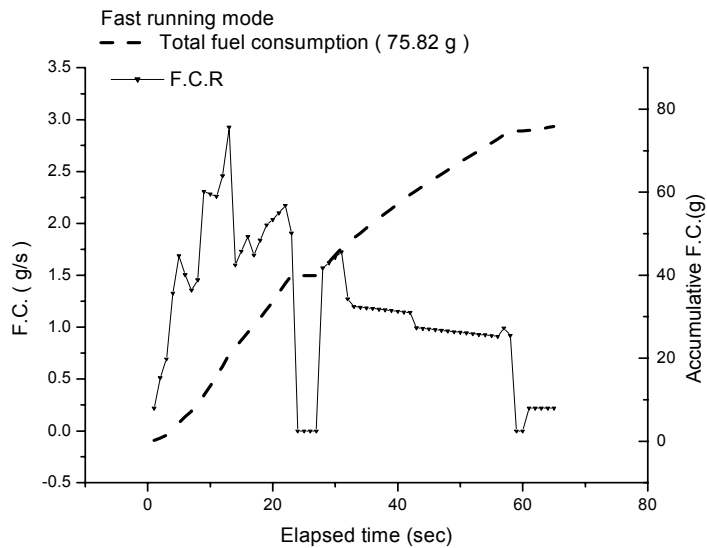


Fig. 4.6 Variation of F. C. and accumulative consumption

#### 4.1.2 보통 운전 모드-1 ( Normal running mode-1 )

보통의 승용차 운전자도 급 가속 운전자 수준은 아니나 급 가속을 어느 정도하며 일정속도로 운전하다가 연료차단을 의식하지 않고 감속을 한다.

이러한 운전 모드를 다음 Fig. 4.7과 같다고 가정한다.

Fig. 4.7는 보통운전 모드의 일 예를 나타내는데, 운행 29초 만에 80km/h가 되도록 가속을 하며 7초 동안에 60km/h의 속도로 감속을 행하고 60km/h의 속도로 등속운전을 실시 후 정지 19초 전에 감속을 하는 경우이며, 운행 총 소요시간은 72초이다.

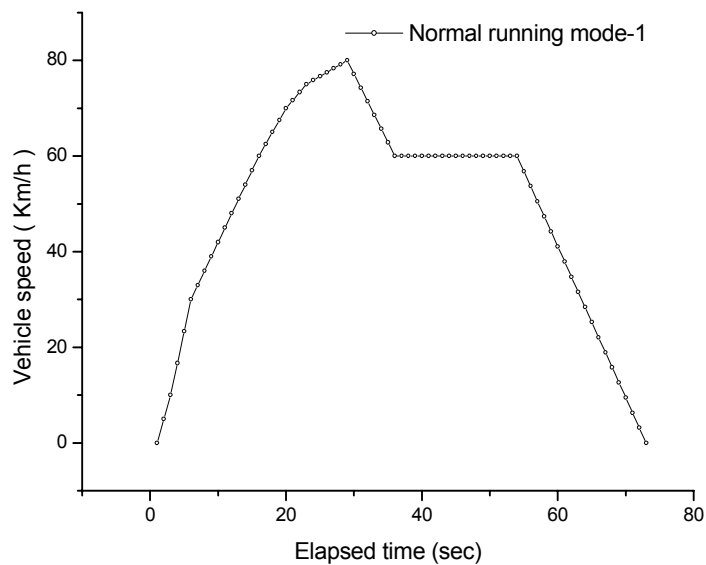


Fig. 4.7 Vehicle speed variation of normal running mode-1

이때의 RPM의 변화를 나타내는 Fig 4.8 에서는 이런 모드가 될 수 있도록 변속을 실시한 기점은 RPM이 변한 곳을 보면 알 수 있다.

또한, 토크변화를 나타내는 Fig 4.9 에서는 감속을 한 부분( $T < 0$ )이 연료차단 시기가 됨을 예측할 수 있다.

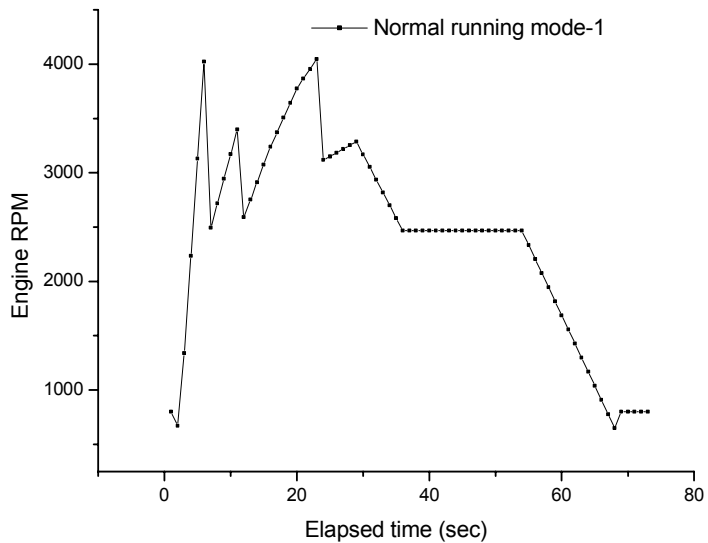


Fig. 4.8 Variation of engine speed

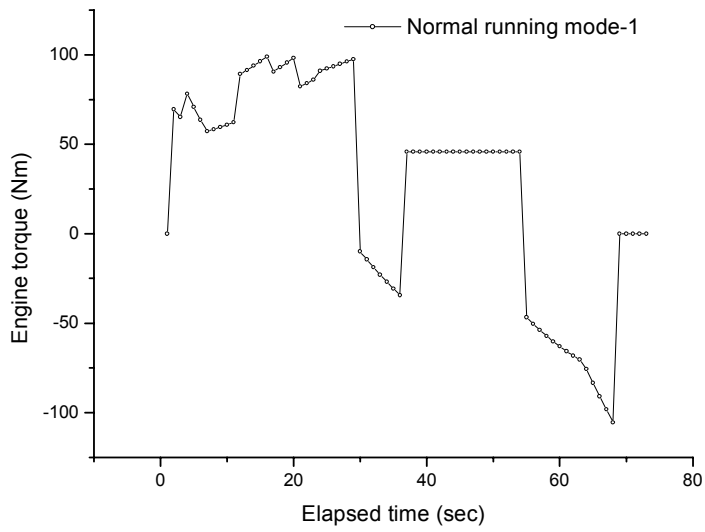


Fig. 4.9 Variation of engine torque

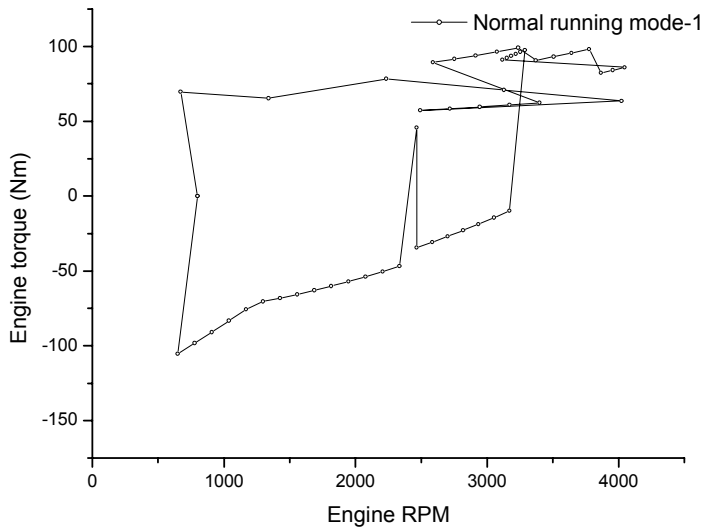


Fig. 4.10 Running condition on torque and RPM domain



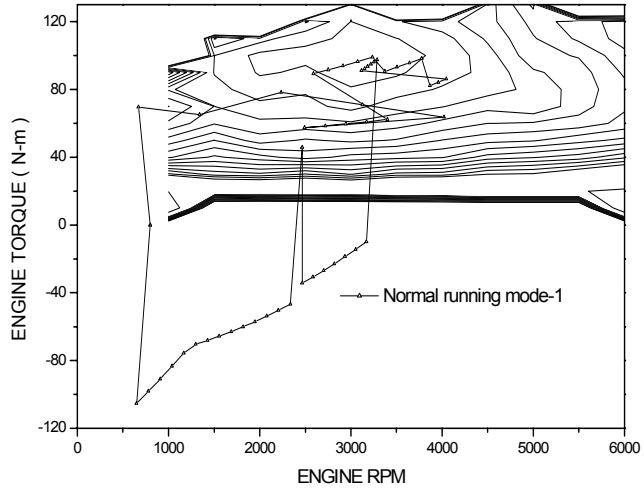


Fig. 4.11 Running condition on torque and RPM domain super imposed on engine map

Fig. 4.10은 RPM과 토크의 관계를 나타내고 있으며, Fig. 4.11은 이를 엔진맵 상에 같이 나타낸 것이다.

보통 운전을 하는 사람들은 일단 출발 시 가속 할 때 급 가속 운전자 보다 급 가속을 하지 않기 때문에 급 가속 운전 보다 고 RPM과 고 토크 영역에서 운전되어지는 경우가 없고 운전영역 또한 낮은 연료소비율 영역에서 운전됨을 Fig. 4.11에 의하여 알 수 있다.

Fig. 4.12에서 실선이 연료소비율(g/s)을 나타내며, 급 가속 모드에 비해 고 RPM, 고 토크 부분에서 운전을 하고 있지 않음을 알 수 있다.

또한, 토크가 0.0 보다 작게( $T < 0$ )되는 곳이 연료차단 구간이며, 이 기간동안 연료차단이 작동하고 있음을 알 수 있다. 점선 부분이 연료소비율의 적분치이며, 연료차단 시기에서는 증가하고 있지 않음을 알 수 있다.

이 보통운전 모드에서는 총 연료소비량이 71.8g으로 계산되며 이는 연비 10.5 Km/ℓ이다.

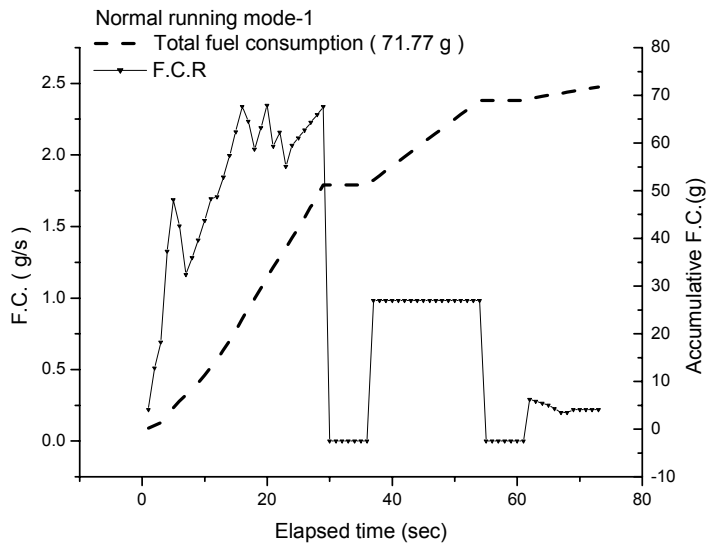


Fig. 4.12 Variation of F. C. and accumulative consumption

### 4.1.3 보통 운전자 모드-2 ( Normal running mode-2 )

다음은 급 가속이 없으며 적당히 가속을 하여 등속운전 후 감속을 하는 보통운전자 모드-2를 가정한다.

Fig. 4.13은 보통 운전자 모드-2를 나타내는데, 운행 20초만에 60km/h가 되도록 가속을 하여 등속운전 실시 후 정지 20초 전에 감속을 하는 경우이며, 운행 총 소요시간은 80초이다.

이때의 RPM의 변화를 나타내는 Fig 4.14 에서는 이런 모드가 될 수 있도록 변속을 실시한 기점은 RPM이 변한 곳을 보면 알 수 있으며, 토크변화를 나타내는 Fig 4.15 에서는 급 가속 모드보다 천천히 감속을 하기 때문에 연료차단 시기가 보다 길게 됨을 알 수 있다.

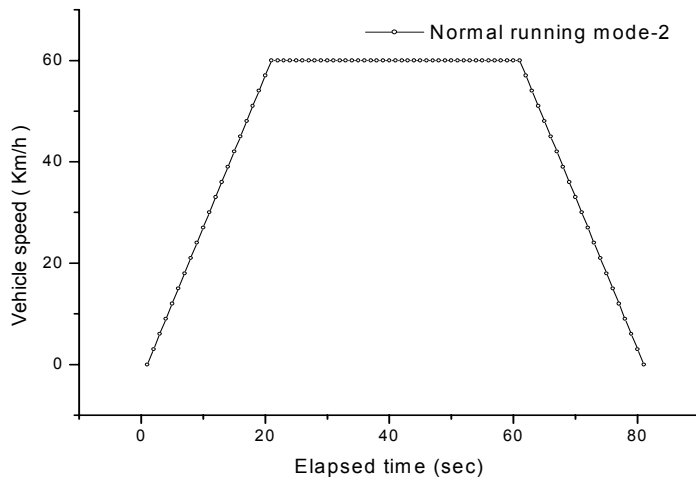


Fig. 4.13 Vehicle speed variation of fast running mode

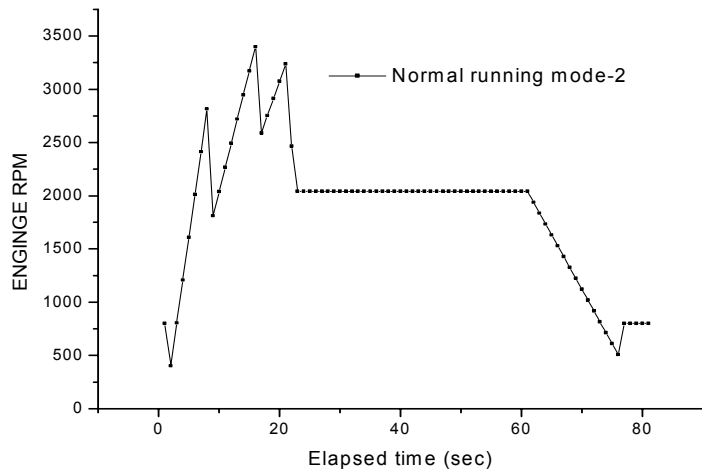


Fig. 4.14 Variation of engine speed

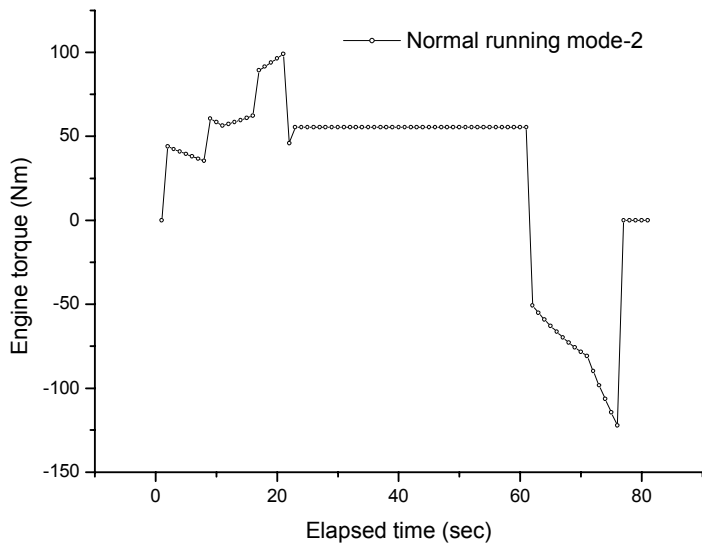


Fig. 4.15 Variation of engine torque

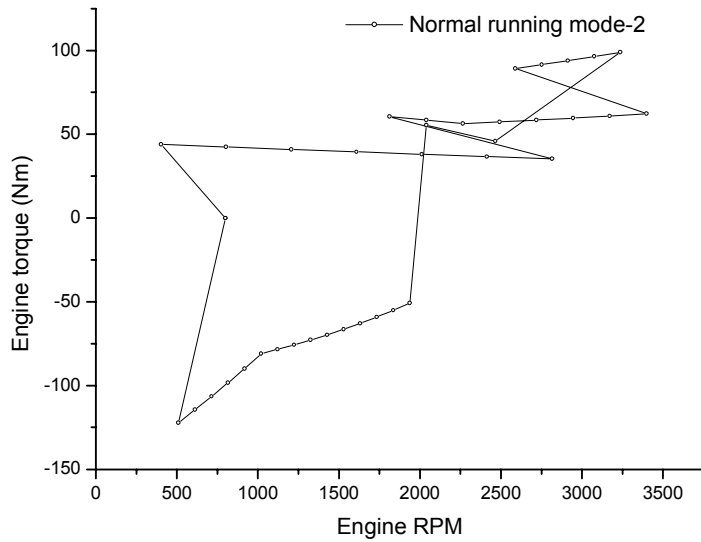


Fig. 4.16 Running condition on torque and RPM domain

Fig. 4.16은 RPM과 토크의 관계를 나타내고 있으며, Fig. 4.17은 이를 엔진맵 상에 같이 나타낸 것이다.

이 모드도 출발 시 가속 할 때 급 가속 운전자 보다 급 가속을 하지 않기 때문에 급 가속 운전 보다 고 RPM과 고 토크 영역에서 운전되지 않음은 물론이며 가속시 연료소비율이 낮은 영역을 운전하고, 등속운전을 하여 연료증가가 다른 모드에 비해 낮다. 또한, 정지를 위한 감속 시 엔진 토크가 0.0 보다 작게( $T < 0$ )되는 구간이 길어서 연료차단이 길게 나타난다.

Fig. 4.18에서 실선이 연료소비율(g/s)을 나타낸다. 점선 부분이 연료소비율의 적분 치이며, 연료차단 시기에서는 증가하고 있지 않음을 알 수 있다.

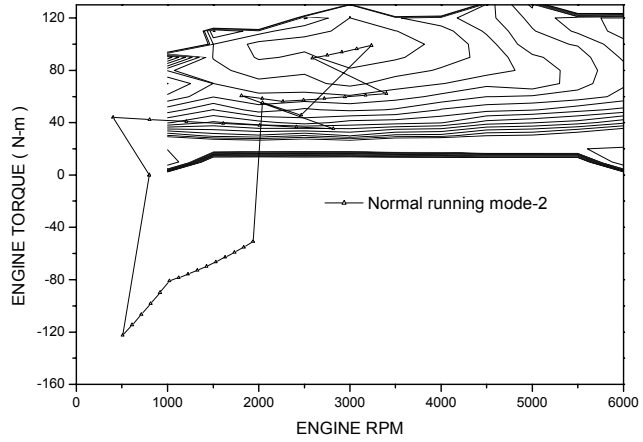


Fig. 4.17 Running condition on torque and RPM domain super imposed on engine map

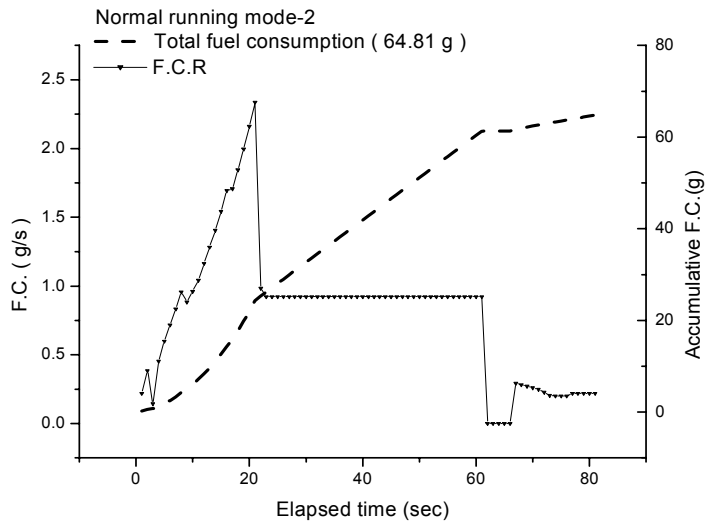


Fig. 4.18 Variation of F. C. and accumulative consumption

이 적정운전 모드에서는 총 연료소비량이 64.8 g 으로 계산되며 이는 연비 11.6 Km/ℓ 이다.

#### 4.1.4 저 가속 운전 모드

천천히 가속을 하고 천천히 감속을 한 경우를 말한다.

저 가속 운전자들은 운전을 할 때 가속을 느리게 하며 감속시에도 연료 차단 효과를 이용하지 않고 변환기어를 중립상태에 두며 필요이상으로 느리게 감속한다.

Fig. 4.19는 저 가속 운전 모드의 일례를 나타내는데, 운행 40초만에 70km/h가 되도록 가속을 하고 바로 감속을 천천히 실시하는 경우이며, 운행 총 소요시간은 103초이다.

이때의 RPM의 변화를 나타내는 Fig 4.20에서는 이런 모드가 될 수 있도록 변속을 실시하는 기점은 RPM이 변하는 곳을 보면 알 수 있으며, 토크변화를 나타내는 Fig 4.21 에서는 너무 천천히 감속을 하기 때문에 연료차단 시기가 길어지는는 하나 시간이 너무 소요됨을 알 수 있다.

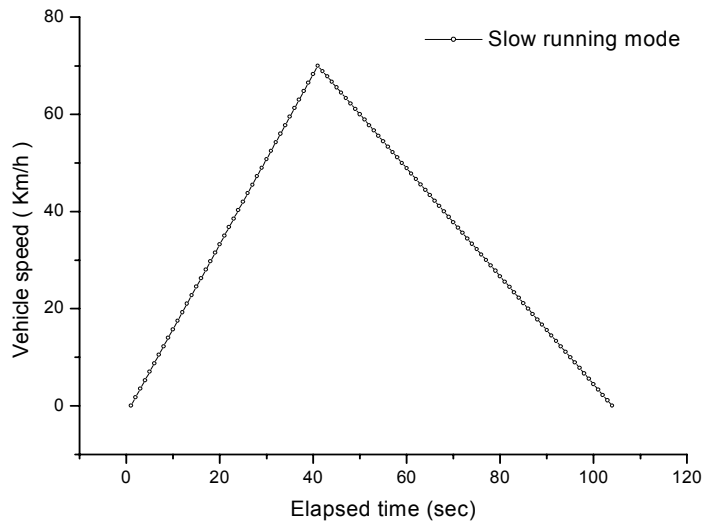


Fig. 4.19 Vehicle speed variation of fast running mode

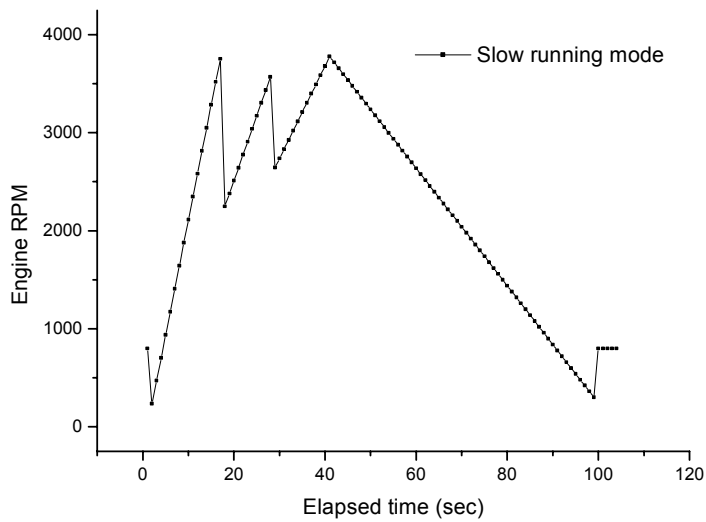


Fig. 4.20 Variation of engine speed



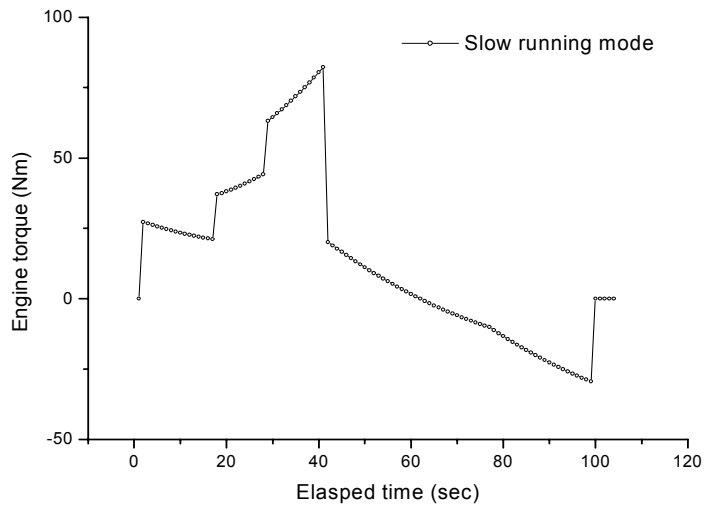


Fig. 4.21 Variation of engine torque

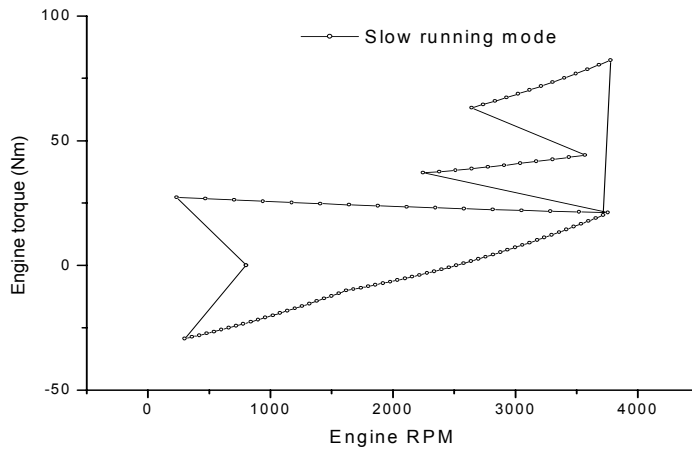


Fig. 4.22 Running condition on torque and rpm domain

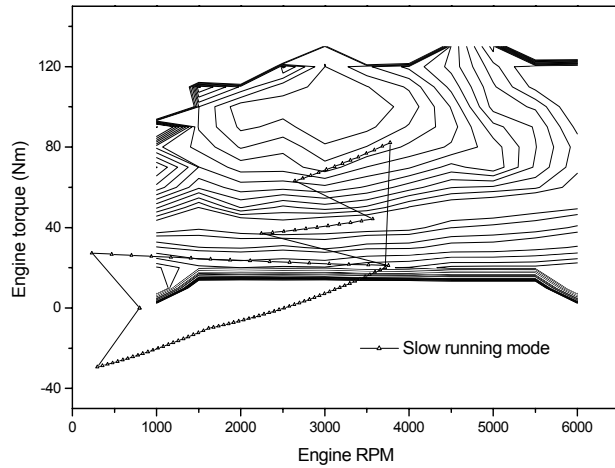


Fig. 4.23 Running condition on torque and RPM domain super imposed on engine map.

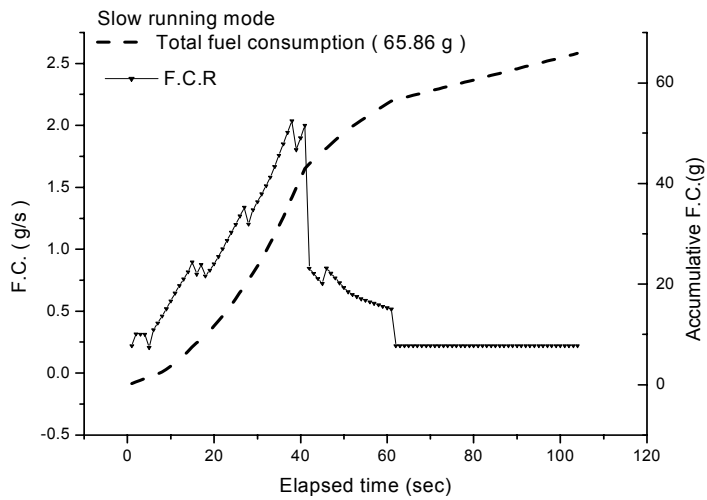


Fig. 4.24 Variation of F. C. and accumulative consumption

Fig. 4.22에는 RPM과 토크의 관계를 나타내고 있으며, Fig. 4.23은 이를 엔진맵 상에 같이 나타낸 것이다.

이 모드는 출발 시 가속 할 때 저 가속을 하기 때문에 실제 가는 거리보다 연료가 효율성이 없게 활용되며, 또한 정지를 위한 감속 시에 연료 차단효과를 이용하지 않기 때문에 엔진 토크가 작은 구간에서도 연속적으로 연료가 공급되어 많은 연료를 소비한다.

Fig. 4.24 에는 실선이 연료소비율(g/s)을 나타낸다. 점선 부분이 연료소비율의 적분치이다.

이 저 가속운전 모드에서는 연료소비량이 65.9 g 으로 계산되며, 이는 연비 11.4 km/ℓ 이다.

## 4.2 고 찰

이상 개별적으로 검토한 급 가속모드, 보통모드, 적정모드, 저 가속모드에 대한 연료소비율 변화를 서로 비교 함으로서 각 모드별 특성과 최적의 모드를 제시한다.

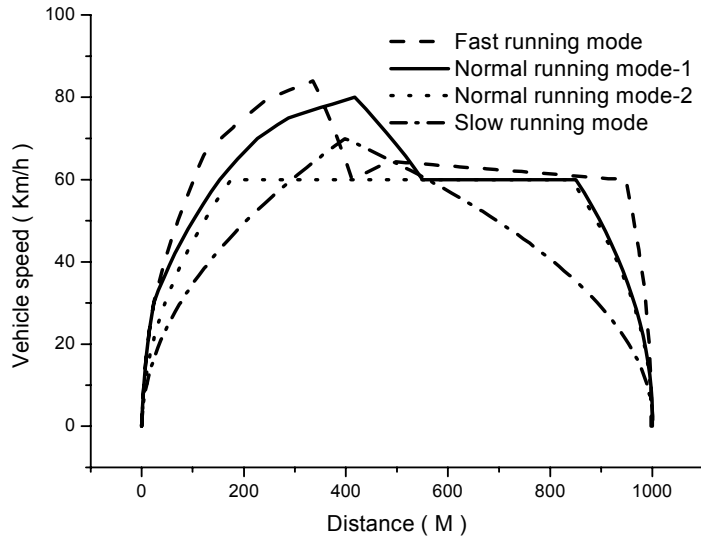


Fig. 4.25 Comparison of all modes by vehicle speed

Fig. 4.25는 모드에 따른 연비특성을 분석하기 위하여 앞에서 계산한 모든 조건을 비교하여 나타낸 것이다.

Fig. 4.25 은 전체 주행거리(1Km)를 기준으로 할 때의 차량 속도를 나타낸다. 이에 따른 연소비량을 도시하면, Fig. 4.26 와 같으며 또한 이를 표로 비교한 것이 Table. 4.1 이다.

400m 주행 시까지의 연료 소비량을 비교할 때 보통 주행 모드-2(Normal running mode-2)의 경우가 가장 좋은 결과를 보여주며, 400m에서 700m까지 주행은 저속모드가 가장 낮은 연료 소비율을 나타낸다. 이후의 감속 구간은 연료 차단효과를 많이 이용할수록 좋은 결과를 보여준다.

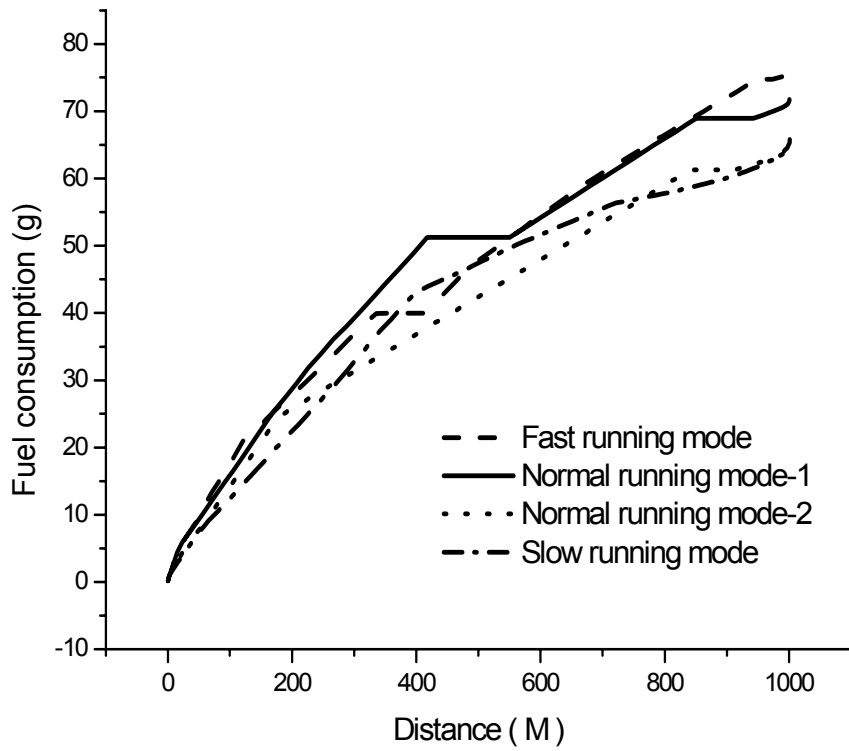


Fig. 4.26 Comparison of all modes by F. C.

Table 4.1 Comparison of calculation result for all modes

Mode	Running distance (km)	Time (sec)	Taken fuel consumption (Km/ℓ)
Fast	1	64	9.9
Normal running -1	1	72	10.5
Normal running -2	1	80	11.6
Slow running	1	103	11.4

이를 분석하면 다음의 운전 패턴이 연료가 적게 소비됨을 알 수 있다.

- a. 적정운전과 같은 가속.
- b. 등속운전.
- c. 적정운전과 저 가속 운전모드의 중간정도의 감속.
- d. 감속 시 1500RPM이 되기 전에 변속을 하여 연료차단 시기를 최대화

이때 d.의 경우는 감속 시 엔진 RPM이 1500에 도달하기 전에 변속을 실시하여(단수를 낮추어) 연료차단 시기를 최대화 함으로서 연료소비량을 최소화하는 방법이다.

위의 4요소를 토대로 최적운전모드를 구상하면 Fig. 4.27과 같이 제시할 수 있으며, 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다.

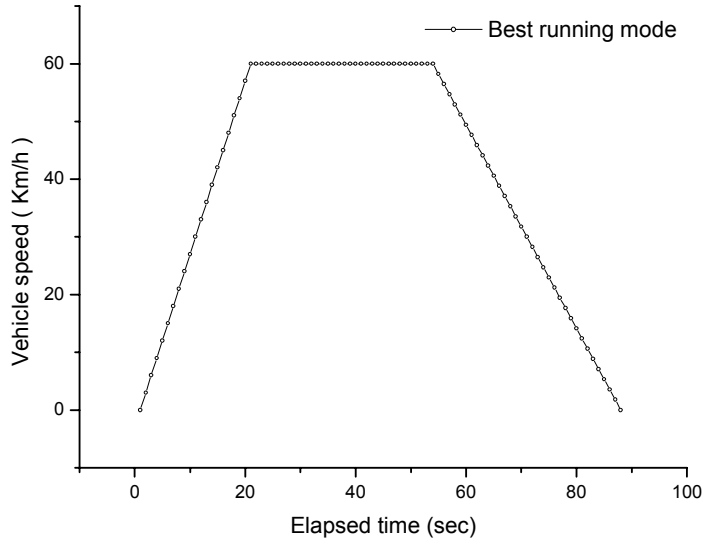


Fig. 4.27 Recommended best running mode

이때의 RPM의 변화를 나타내는 Fig. 4.28 에서는 이런 모드가 될 수 있도록 한 변속 기점은 RPM이 변한 곳을 보면 알 수 있다. 토크변화를 나타내는 Fig. 4.29 에서는 적절한 감속을 하기 때문에 연료차단 시기가 길며 시간소요도 적정모드에 비해 그다지 많지 않음을 알 수 있다.

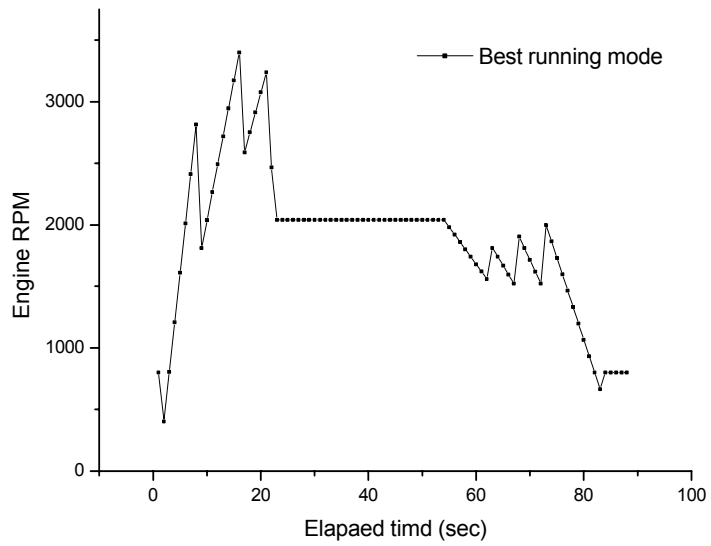


Fig. 4.28 Variation of engine speed

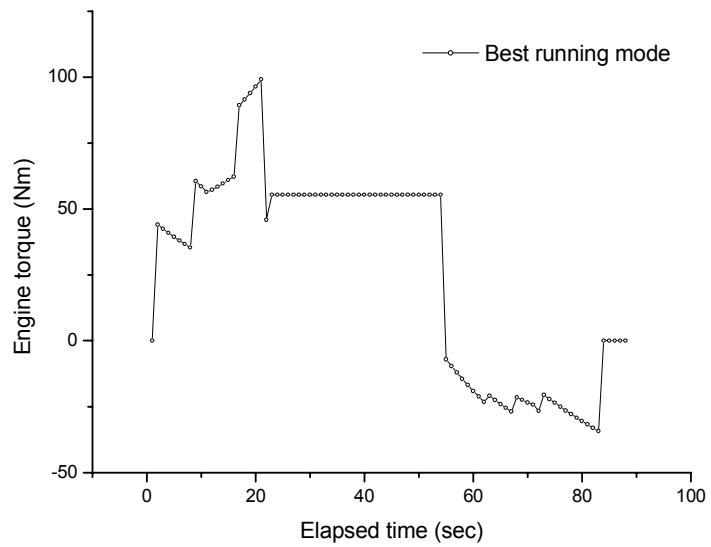


Fig. 4.29 Variation of engine torque



이 모드도 출발 후 가속 할 때 적절한 가속을 하기 때문에 연료소비율이 낮은 영역에서 운전되어짐을 알 수 있다. 또한, 등속으로 운행하여 연료소비량의 증가를 최대한 억제했으며, 정지를 위한 감속 시 엔진 RPM이 1500이 되기 전에 변속을 실시하여 토크가 0.0 보다 작게( $T < 0$ )되며 RPM이 1500R이상인 구간이 길어서 연료차단이 길게 나타난다.

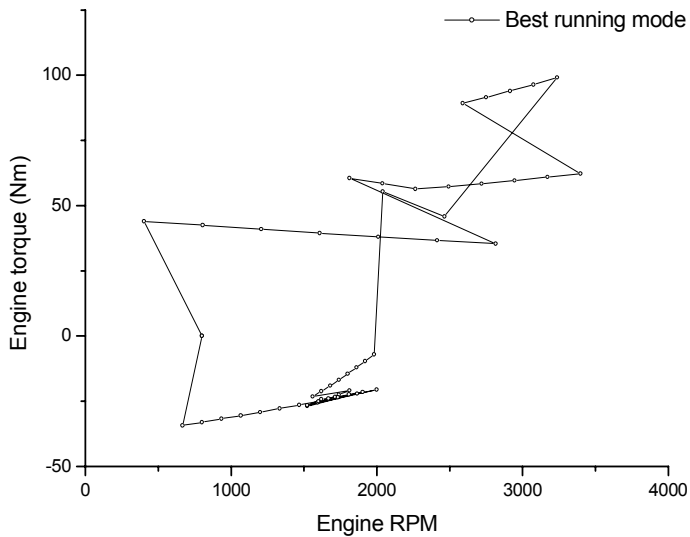


Fig. 4.30 Running condition on torque and RPM domain

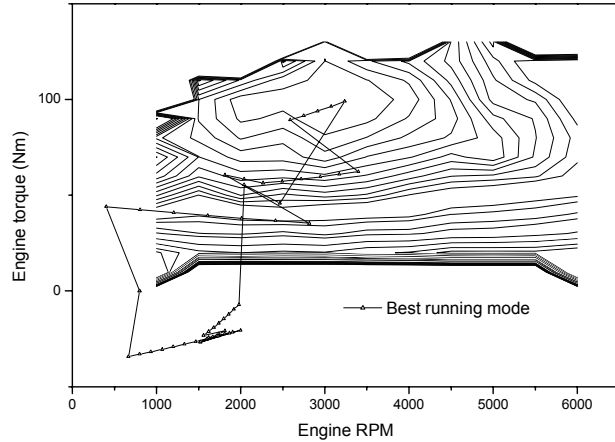


Fig. 4.31 Running condition on torque and RPM domain supper imposed on engine map

Fig. 4.30은 RPM과 토크의 변화의 관계를 나타낸 그림이며, Fig. 4.31은 엔진맵 상에서 나타낸 그림이다.

Fig. 4.32에는 실선이 연료소비율(g/s)을 나타낸다. 점선 부분은 연료소비율의 적분 치이며, 연료차단 시기에서는 증가하고 있지 않음을 알 수 있다.

전체적인 주행특성을 보면, 가속 시에는 엔진 토크-RPM선 도상의 최대효율 영역을 이용하여 등속 주행 시에는 저RPM 영역, 그리고, 감속 주행에서는 연료차단효과를 최대로 이용하고 있다.

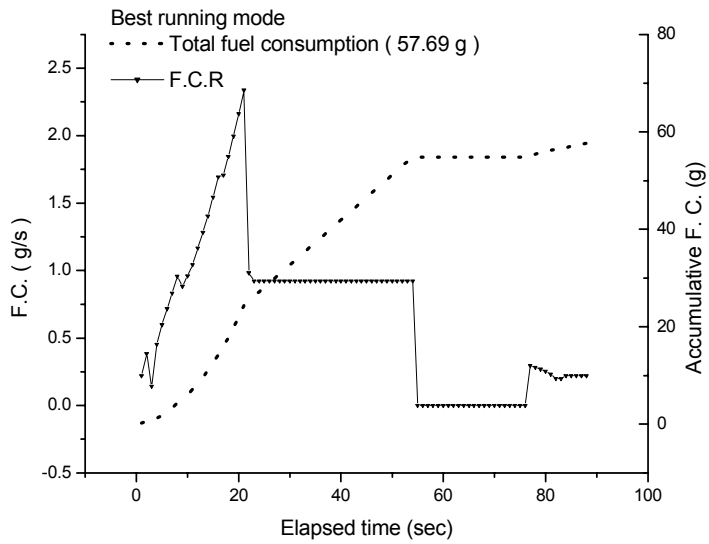


Fig. 4.32 Comparison of F. C. R & F. C.

이 연료저감운전 모드에서는 연료소비량이 57.7g 으로 계산되며 이는 연비 13.0 km/ℓ 이다.

이 결과를 다른 모드와 비교해보면 Fig. 4.33과 Fig. 4.34와 같이 된다.

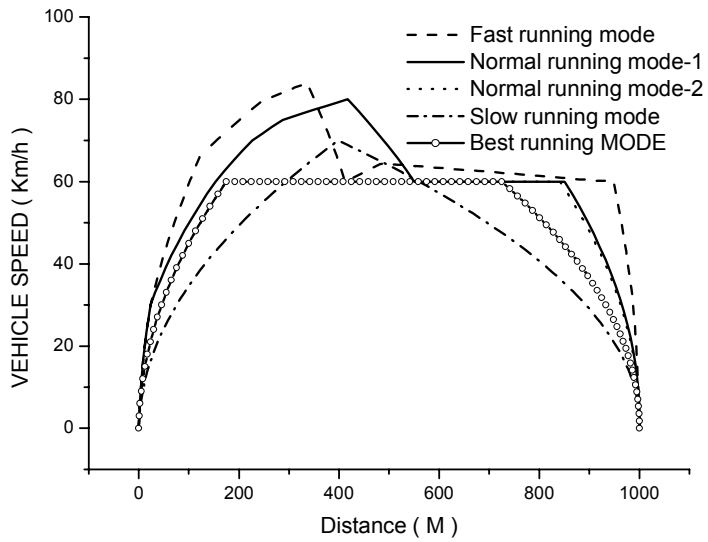


Fig. 4.33 Comparison of all mode by vehicle speed

Fig. 4.33에 의하면 최적 운전 모드의 형태는 가속 부분은 적정가속 모드, 등속구간, 감속부분에서 저 가속모드와 적정가속 모드의 중간정도의 감속을 하게 되는 것을 알 수 있다.

Fig. 4.34에 의하면 최적 운전 모드가 가장 낮은 연료 소비량을 나타내는 것을 알 수 있다.

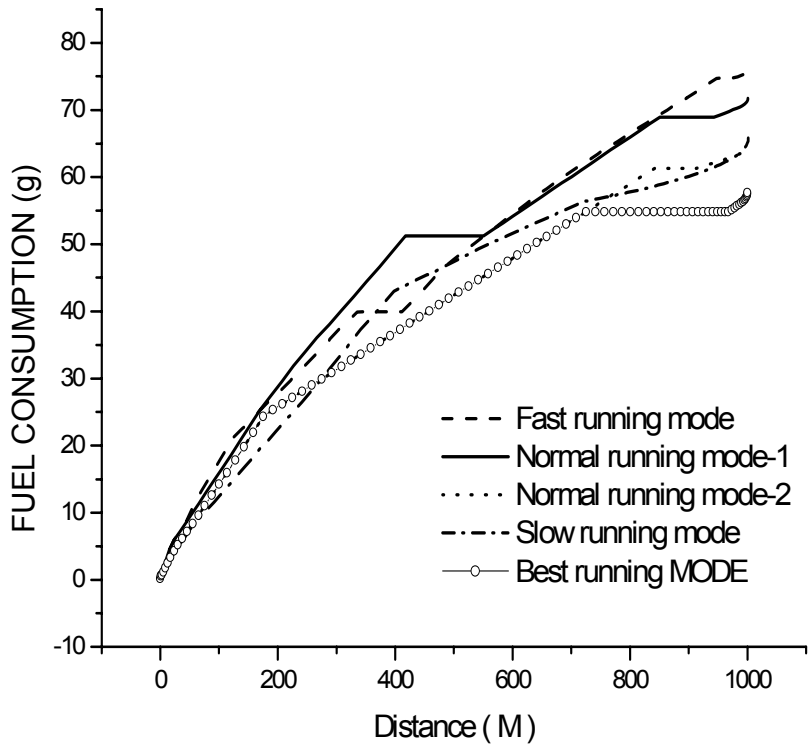


Fig. 4.34 Comparison of all modes by F. C.

이와 같이 전술한 4가지 형태의 모드와 최적 운전 모드의 연비 별로 비교한 결과는 그림 Fig 4.35 와 같다.

이는 급 가속 모드의 9.9km/ℓ 에 비해 이상 모드는 13.0 km/ℓ 로 되는 24%의 연료저감 효과를 나타낸다.

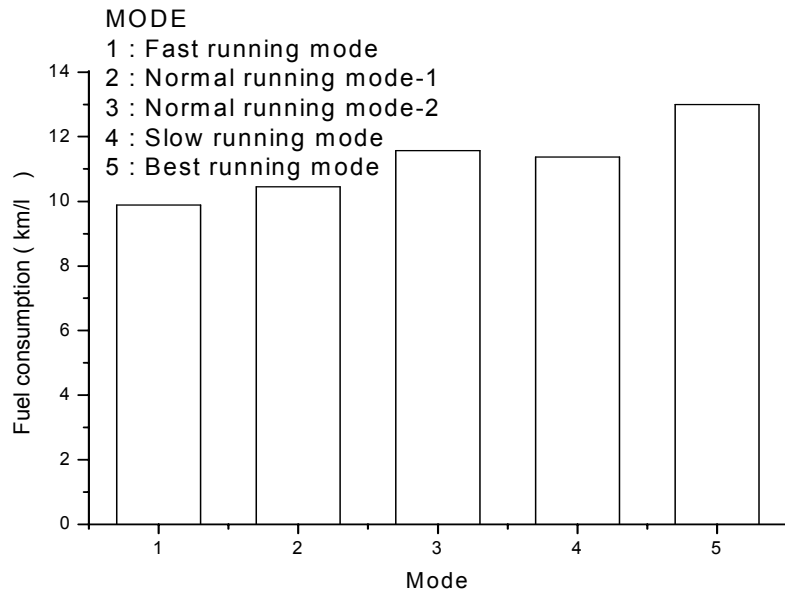


Fig. 4.35 Comparison of all modes by Fuel consumption

## 제 5 장 결 론

본 연구에서 자동차의 연료소비량을 최소화하는 운전모드를 찾기 위하여 여러 가지 운전습관에 관한 시뮬레이션을 수행하였다. 자동차의 운전습관에 따라 총 연료 사용량이 어떻게 되는지를 예측한 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- (1) 어려운 실차 실험을 대체하기 위하여 엔진의 연료 소비율 선도를 이용해 다양한 운전 습관에 따른 총 연료 소비량을 계산 할 수 있는 프로그램을 제시하였다.
- (2) 본 개발 프로그램은 연료소비율 외에 배기가스배출량의 예측에도 확장하여 사용할 수 있을 것이다.
- (3) 급격한 속도 변화보다는 등속 운전이 연료소비가 적음을 확인했다. 예를 들면, 급 가속 모드에서는 운전시간 단축되고 연료 소비량 많았으며, 저 가속 모드에서는 운전시간이 연장되고 연료 소비량 많음.
- (4) 여러 모드를 분석 후 최적 모드를 성하였으며 이때, 급 가속 모드와 비교하여 24% 절감되었다.

추후 수행하여야 할 과제로 시간에 따른 데이터와 Table. 2.3의 값을 데이터로 활용하여 계산을 수행하였으나, 이는 최고 토크 선 밑의 부분에서 계산을 실시하여 급 가속운전 모드의 경우를 실차의 상황과 일치시키지 못한 점이 아쉬움으로 남는다. 최고 토크 선을 따라서 가속을 할 경우 연료 소모량은 지금의 급 가속 모드의 예상치 보다 더 많은 결과를 나타낼 것이다.

또한, 자동차의 마찰 손실을 고려한 정교한 계산 코드의 개발이 요구되며, 경사면, 횡풍, 노면상태 등을 종합적으로 고려한 최적운전 모드의 선정이 필요하다.



## 參考文獻

- [1] M. Redsell, G. G. Lucas and N. J. Ashford, "Factors affecting car fuel consumption" Department of Transport Technology, Loughborough University of Technology, D00592 © IMechE 1993.
  
- [2] 陸軍士官學校, 工業力學, 螢雪出版社, 1998, p.p 108~130
  
- [3] 竹花有也著, 강성중譯, 자동차공학개론, 東明社, 2001, p.p 298.
  
- [4] John B. Heywood, *Internal Combustion Engine Fundamentals*, McGraw-Hill, Inc. 1988.
  
- [5] 전효중, 최재성, 內燃機關講義, 효성출판사, 1999, p.p 53~70.
  
- [6] 구자예, 노수영, 배충식, 정경석, 황상순 공역, 內燃機關, 喜重堂, 1997, p.p 158~159.
  
- [7] 中島泰夫, 村中重夫 編著、研究開發技術者の基礎と實際 新・自動車用 ガソリンエンジン、山海堂, p.p 32.

- [8] 자동차 기술핸드북 1. 기초 이론편 사단법인 한국자동차 공학회, p.p 111~125.
- [9] 自動車 技術會, 自動車 工學 便覽, 昭和59年, 2-1 性能.
- [10] 류명석, 강중훈, 차량상태의 연비 및 배기유해물 예측을 위한 엔진의 주요시험 모드 선정, 한국자동차공학학회논문집 제9권 제4호, 2001, pp.62~68.
- [11] 김현석, 김현수, 토크 캠 장착 건식 CVT 차량의 성능 해석, 한국자동차공학학회논문집 제9권 제 4호, 2001, pp.131~138.
- [12] 홍준표, 컴퓨터 수치해석,

## 감사의 글

너무나 짧게 지나가 버린 지난 2년간의 시간동안 귀중한 결실이 된 본 논문을 정리하며, 소중한고 잊지 못할 고마운 분들에게 감사의 글을 올립니다.

이 논문을 완성하기까지 세심한 지도와 조언을 아끼지 않으시고, 자상하고 사려 깊게 끝까지 이끌어 주신 최재성 지도교수님과 박권하 교수님의 은혜와 가르침은 앞으로 인생을 살아가면서 결코 잊지 못할 것이며 충심으로 감사드립니다. 그리고 바쁘신 중에도 논문 심사를 위해 아낌없는 지도와 조언으로 좋은 논문이 되도록 세심하게 지도해 주신 배종욱 교수님께 진심으로 감사의 말씀을 올립니다.

또한 바쁜 업무와 학업 속에서도 저의 논문완성에 많은 도움을 주신 연구실의 정균식 선배님과 송화창, 성경일, 김형석, 조현철 후배님과 학부생 김정도 에게도 감사의 마음을 전합니다. 항상 바쁜 와중에서도 저의 논문에 도움을 주셨던 남정길 교수님과 정영훈 선배님께도 감사의 말씀을 올리며, 그 외 많은 도움을 주셨던 김동욱님과 정경미님께 감사의 마음을 전합니다.

끝으로 논문이 잘 마무리 될 수 있게 도와주신 동생 과 항상 용기를 북돋아 주시고 헌신적인 보살핌과 사랑을 주신 부모님께 이 작은 결실을 바칩니다.

비록 짧은 대학원 생활이었지만 제 인생에 있어서 너무나도 소중한 시간이었습니다. 저를 지켜봐 주시는 모든 분들의 기대에 어긋나지 않도록 최선의 노력을 다 하겠습니다.

2002 년 1 월 4 일

김 형 수 드림