

## 차량상태의 연비 및 배기유해물 예측을 위한 엔진의 주요 시험 모드 선정

### A Study for the Determination of Engine Test Key Mode to Predict Vehicle Fuel Consumption & Emissions

류 명 석\*, 강 중 훈\*  
Myung-seok Lyu, Jungwhun Kang

#### ABSTRACT

In an early engine development, it is highly required to determine the Key Test Points at the main driving zone and lessen those points to reduce a test duration. This paper describes that it is possible not only to predict the cycle fuel consumption[g/km], emissions[g/km] from engine data(BSFC[g/kWh], emissions[g/kWh]) but also to confirm the emission regulation potential before a vehicle test.

주요기술용어 : Key test points(주요시험영역), Residual points(체류영역), Driving cycle(운전사이클)  
NEDC(New european driving cycle), FTP 75 (Federal test procedure 75)

#### Nomenclature

$w_i$  : 가중치  
 $f_i$  : BSFC[g/h] 혹은 Emission[g/h]

#### 1. 서론

초기 개발엔진의 경우, 부분부하 개발시에는 연료소모량(BSFC), 배기유해물(Emission)의 최적화를 위해 엔진시험(Mapping) 해야 하는 모드(Points)가 많고, 또 각 모드마다 변화시키며 시험해야 할 변수가 많아 시험량의 증가가 불가피하다. 따라서 대상 차종에 적용되는 엔진의 주요 운전 영역(Key Test Points)을 규명하여 집중적인 시험

을 하는 것이 필요하고, 또한 가중치를 산정해서 10~12 모드에서의 엔진데이터(BSFC, Emissions[g/kWh])만으로 전체 싸이클 연비[Liter/100km] 및 배기유해물[g/km]을 산정하는 것은 엔진개발의 효율성을 높일 수 있다.<sup>1)</sup> 이미 이러한 방법들은 AVL 사나 RICARDO 사에서 자사의 코드를 사용하여 엔진개발 시 적극 활용하고 있으나, 전체 값을 추정해 내는 잔여위치(Residual Points)의 처리 법은 회사마다 다를 뿐더러 그 방법이 공개되지 않고 있다.<sup>2,3)</sup> 본 논문에서는 AVL 사의 CRUISE 코드를 통해 싸이클 수치 계산을 수행하여 주요 운전영역을 찾고, 본

\* 회원, 현대·기아자동차

논문에서 적용한 가정식을 통해 잔여위치를 처리하여 NEDC(New European Driving Cycle) 모드에서 12 개, FTP75 모드에서는 11 개 모드로 구성된 모드를 작성하였다.

이 결과를 싸이클 수치계산 및 실차 시험치와 비교하고 그 효용성에 대해 입증코자 한다.

## 2. 본 론

### 2.1 계산 과정

한국, 유럽, 미국의 경우 차량상태에서 시간에 따른 차속으로 연비 및 배기유해물을 측정토록 규정되어 있으며 모드는 Fig.1 및 Fig.2 과 같다.

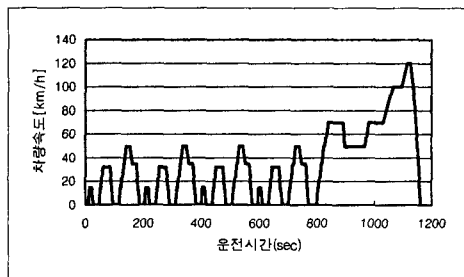


Fig.1 The NEDC(New European driving cycle) mode

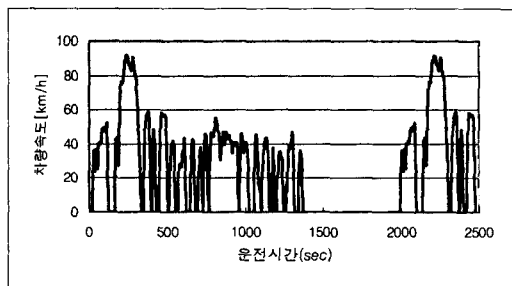


Fig. 2 The FTP 75(Federal Test Procedure) mode

규정에 따른 차속[km/h]이 주어지면 차량 부하에 의해 요구되는 구동력이 계산된다. 다음으로 차속[km/h]과 타이어의 구동력[N]

은 차량의 각 부분 및 변속 패턴을 통해 엔진 회전속도와 토크로 전달된다. 이 엔진의 운전 궤적을 모으면 각 영역별로 체류시간이 구해지고 이것이 운전영역에서의 가중치가 된다.

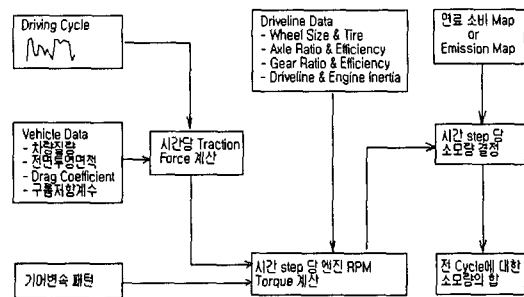


Fig. 3 Program diagram

### 2.2 프로그램 입력데이터

본 논문에서는 승용 수동변속기차량을 모델링하였고, 변속기의 동력전달 효율은 기어단의 대표 값을 사용하였다.

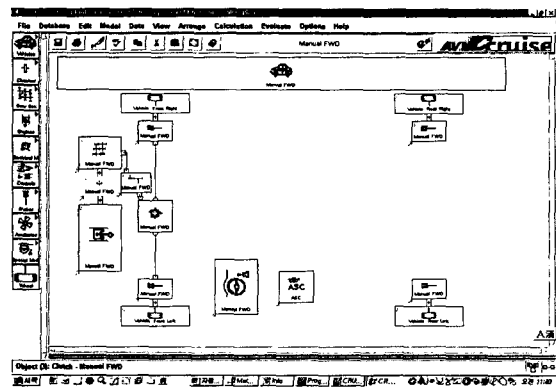


Fig. 4 Model of vehicle

#### 2.2.1 구름저항 - COF1 을 구함

$$f_0 = (COF1 + COF2 * V) \text{ mg}$$

여기서,  $f_0$  [N] : coastdown 데이터,  
 COF1/COF2 : 정지/등속마찰계수,  
 $m$ : 차량질량[kg],  $g$  : 중력가속도[m/sec<sup>2</sup>],  
 $V$  : 차량속도[km/h]

2. 2. 2 저항계수( $C_d$ )를 구함

$$f_2 = C_d \cdot \rho \cdot A \cdot V^2 / 2$$

여기서,  $f_2$  [N/kph<sup>2</sup>]: Coastdown 데이터,  
 $\rho$ : 공기밀도 [kg/m<sup>3</sup>],  $A$ : 전면적[m<sup>2</sup>]

2. 2. 3 잔여위치(Residual points)처리

잔여위치에서 연료소모량(BSFC[g/h]) 혹은 배기유해물([g/h])은 주요시험 모드에서의 단위시간 당 같은 “가중치와 값[g/h]의 곱”을 가진다는 가정 하에 다음과 같은 식을 유도 하였다.

**Lyu & HMC 식**

BSFC(or Emission)값

$$= \sum_{i=1}^N w_i f_i + \sum_{i=1}^{N-1} w_i f_i (1 - \sum_{i=1}^N w_i) / \sum_{i=1}^{N-1} w_i$$

$$= \sum_{i=1}^{N-1} w_i (1 + (1 - \sum_{j=1}^N w_j) / \sum_{j=1}^{N-1} w_j) f_i + w_N f_N$$

3. 계산결과

3. 1 수치계산 및 시험결과 비교

3.1.1 수치계산과 차량시험 결과(엔진 회전수 및 분사량[mm<sup>3</sup>/str.]) 비교

Fig.5 와 Fig.6 은 각각 시간에 따른 실차에서의 엔진 회전수 및 분사량을 시뮬레이션에서의 엔진 회전수 및 토크 값과 비교한 그림이다.

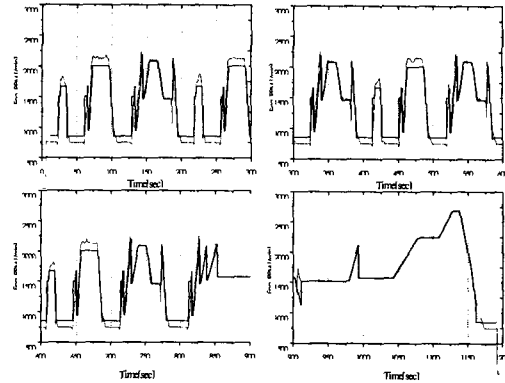


Fig.5 The comparison between experimental data and simulation in Engine Rpm

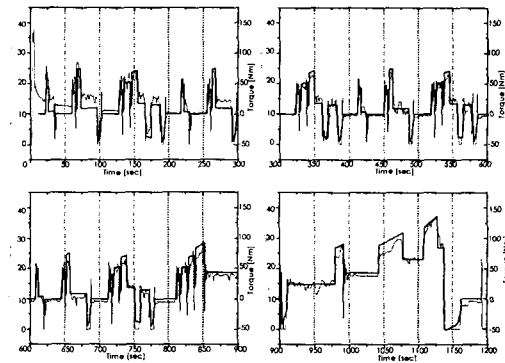


Fig.6 The comparison between experimental data and simulation(Fuel Quantity & Torque)

3.1.2 연비 및 NOx 결과값 비교

실차에서의 성능시험 결과 대비하여, 시뮬레이션의 경우 특히 연비는 5[%] 가량 적은 값을 예측하고 있다.[Table1] 이는 수치계산 및 시험데이터 비교에서 보듯 운전영역은 정확하나, 시뮬레이션 입력조건인 BSFC [g/kWh] 값의 차이에 기인한다. 즉, 냉각수 온도 및 오일 온도가 충분히 높아 (80C 이상) 마찰이 적은 정도에서 측정된 대상 입력데이터인 BSFC[g/kWh] 값이 실제 차량시

Table 1 The results from experiment & simulation

	성능시험	CRUSE	Points
연비 [L/100Km]	6.5	6.01	6.31
Nox [g/Km]	0.632	0.664	0.681

험 초기의 낮은 유체온도 상태의 BSFC 값보다 적기 때문이다. 이를 보정하기 위해 수치계산시 유체온도 증가에 따른 마찰감소를 모델링한 결과 약 1.5[%]~2.0[%] 이를 보상하는 결과를 얻을 수 있어 최종적인 오차는 3[%] 정도임을 확인 할 수 있었다.

### 3.1.3 실차시험 데이터와의 운전영역 비교 (100rpm 격자 사용)

Fig.7 및 Fig.8은 실차 시험 시 ECU에서 측정된 엔진데이터와 시뮬레이션에서 나온 결과를 시간 우선 점유비율로 표시한 것이다. 즉, 앞의 Fig.5 및 Fig.6에서의 연속적인 데이터를 불연속하게 표현한 것이다.

Fig.7에서, 2000rpm에서 분사량이 13 [mm<sup>3</sup>/str.] 근처의 값들은 상대적으로 Fig.8에서의 토크 값과 비교해 영역이 높음을 알 수 있는데, 이는 엔진회전수 증가에 따라 FMEP(Friction Mean Effective Pressure)가 커지므로, 동일 토크선도를 볼 때 저 회전수영역 대비 많은 연료를 분사해야 하기 때문이다.

### 3.1.4 주요 시험 모드 및 가중치 선정

주요 시험 모드를 선정 시 주의할 점은 격자간 간격이다. 운전영역을 규명 시에는 10[rpm]이건 100[rpm]이건 상관없으나, 잔여 위치들의 수를 줄이기 위해서는 적절한 개수의 격자를 두는 것이 오차 감소를 위해

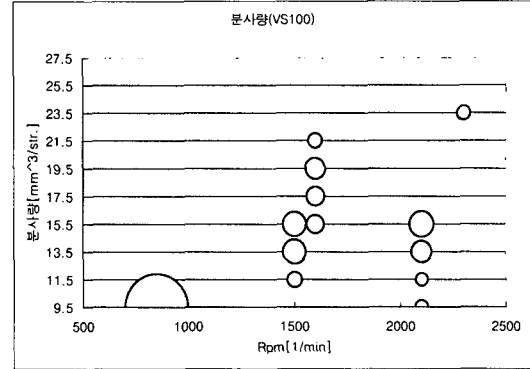


Fig. 7 Dominant points(Experimental data)

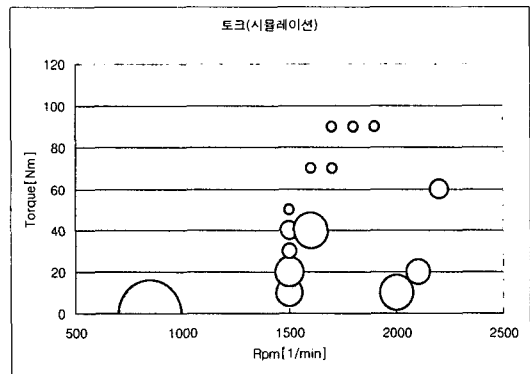


Fig.8 Dominant points (Simulation)

필수적이다. 즉, 지나치게 작은 격자를 생성시켰을 경우 운전영역을 세분해서 알 수 있는 장점은 있으나, 잔여위치의 수가 너무 많아져서 이들 처리 시 적용하는 가정식에 의한 오차범위가 커지는 것을 확인 할 수 있었다. 한편 격자를 크게 형성시켰을 경우 주요 시험 모드의 변동이 커져서 자체 신뢰도가 떨어지는 것을 알 수 있었다.

AVL사의 CRUISE 코드에서는 기본 격자가 10 X 10으로 정해져서 통상 180~200[rpm] (RICARDO의 경우 200~250rpm)의 간격을 가진다. 본 연구에서는 8 X 8 (200 rpm 간격)을 사용하여 주요시험모드를 작성하였다.

### 3.2 시뮬레이션과 주요시험 모드에서의 비교(NEDC Driving Cycle)

#### 3.2.1 운전영역 및 체류시간 (Residence Time)

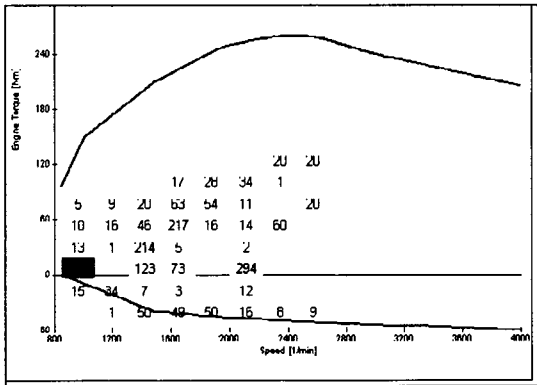


Fig. 9 The driving zone in NEDC mode

#### 3.2.2 주요시험모드 및 가중치

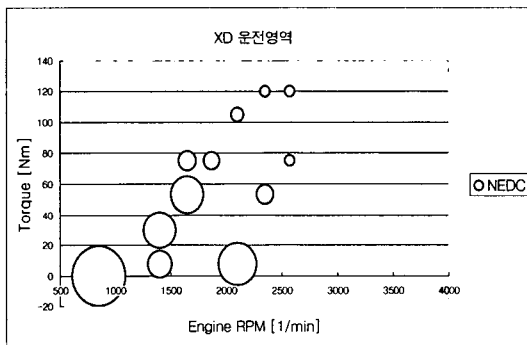


Fig. 10 The key test point in NEDC mode

Table 2 Test key points & weighting factor

NO		12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
RPM	1/min	800	1400	1400	1600	1600	1800	2100	2100	2300	2300	2500	2500
Tora	Nm	0	7.5	30	53	75	75	7.5	105	53	120	75	120
가중치	(%)	34.20	7.23	12.58	12.76	3.70	3.18	17.29	2.00	3.53	1.18	1.18	1.18

#### 3.2.3 싸이클 수치계산과의 오차

아래의 표는 전체 싸이클 수치계산과 주요 시험 모드에 의한 결과값을 비교한 것이다.

Table 3 Comparison between experiment & cycle simulation

	연료소비			Nox		
	[g]	L/100km	오차 [%]	[g]	L/100km	오차 [%]
Cycle Simulation	550	6.01	5.0	7.31	0.664	2.6
특성모드	577	6.31		7.5	0.681	

### 3.3 시뮬레이션과 주요시험모드에서의 비교(FTP 75 Driving Cycle)

#### 3.3.1 운전영역 및 체류시간(Residence Time)

NEDC 모드보다 엔진 회전수영역은 작으나 고부하 영역까지 골고루 분포되어 있음을 알 수 있다. 모드의 특성이 잦은 속도변속과 저속으로 구성되어 있는 특징 때문이다.

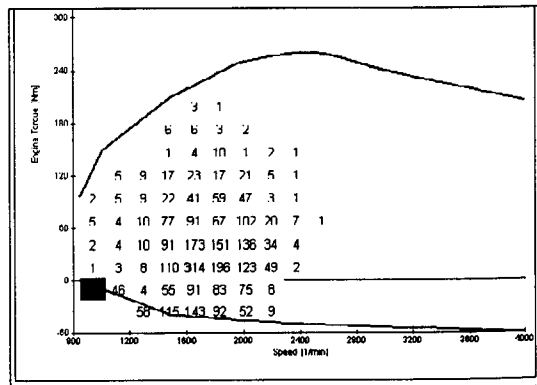


Fig.11 The driving zone in FTP 75 mode

#### 3.3.2 주요시험모드 및 가중치

Fig.12 및 Table4 는 FTP75 모드에서의 주요 시험 Points 및 가중치를 나타낸다.

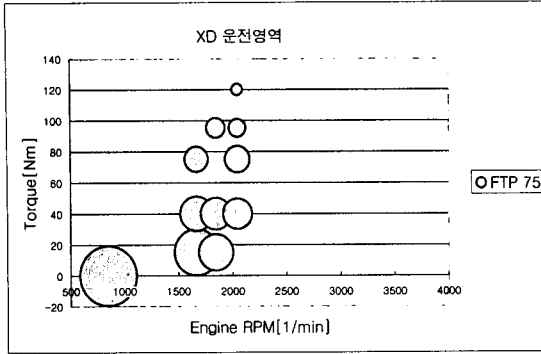


Fig.12 The test key point in FTP 75 mode

Table 4. Test key point and weight factor

	NO	11	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RFM	1/min	850	1670	1670	1670	1850	1850	1850	2050	2050	2050	2050
Torque	Nm	0	15	40	75	15	40	95.1	40	75	95.1	120
가중치	[%]	29.15	17.25	9.50	5.00	10.76	8.29	3.24	7.47	5.60	2.53	1.15

### 3.3.3 싸이클 수치계산과의 오차

Table 5 Comparison between experiment & cycle simulation

	연료소비			Nox		
	[g]	L/100km	오차 [%]	[g]	L/100km	오차 [%]
Cycle Simulation	917.9	6.22	7.2	12.14	0.683	5.3
특성모드	984.6	6.67		12.78	0.719	

\* Idle : 29.2 [%], \* Motoring 영역 : 20.0[%]

싸이클계산에서의 연비결과와 7.3[%]의 비교적 큰 오차를 가진다. 이는 그림 4에서 모터링 부하의 영역이 20.0[%]로써 NEDC 모드 (7.8%)와는 달리 전체 영역의 상당을 차지하고 있기 때문이다. 이는 FTP 75 운전싸이클의 특징으로써, 주요운전영역에서의 단위시간 당 소모량이 잔여 수들에서의 값과 같다는 기본 가정은 이들 위치가 너무 많은 경우에는 오차의 폭이 커질 수 밖에 없다.

## 3.4 주요 시험 모드들 간 비교

### 3.4.1 NEDC 모드와 FTP 75 모드와의 운전영역 및 가중치 비교

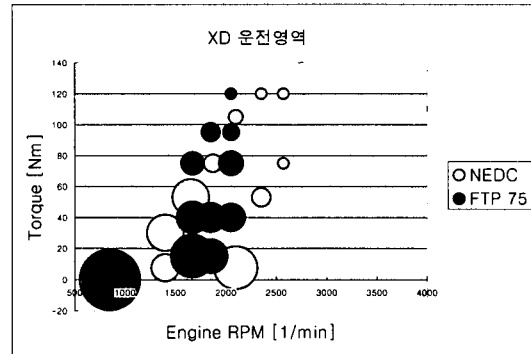


Fig.13 Comparisons of test key points between FTP75 & NEDC

FTP75 모드보다 NEDC 모드의 주요 시험모드가 좀 더 고속, 고부하에 집중되어 있는 것을 확인할 수 있다. 이는 운전영역 자체가 속도 요구치에 있어 더 큰 특성에 원인이 있다.

### 3.4.2 NEDC 모드에서 등속구간에서의 엔진운전영역과의 비교

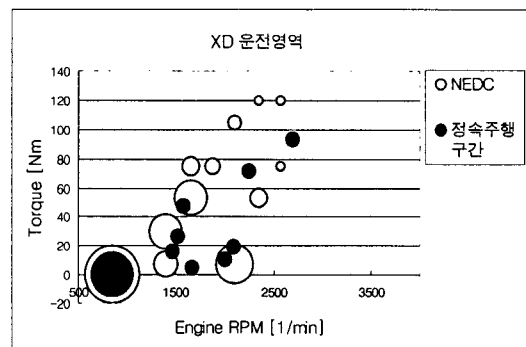


Fig.14 The Comparison in NEDC key test points & constant driving mode

NEDC 모드의 경우 비록 적은 시간이나마 등속구간이 존재한다. 위의 Fig.14 는 등속구간인 곳에서의 엔진 운전영역을 표시하고 이것을 K 주요 시험 모드와 비교한 것이다. 운전영역 및 가중치에 있어 차이를 보이는데 이것은 등속영역에서의 모드들 만을 매핑한다면 실제 운전영역과 다소 차이가 있어 문제점이 있음을 알 수 있게 해 준다. 더욱이, FTP75 모드의 경우는 그나마 등속구간이 없기 때문에 등속구간 해석자체가 불가능하므로 주요 시험 모드들에 의한 방법이 타당하고도 효율적임을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

범용 CRUISE 코드를 이용해 사이클 수치계산을 수행한 후, 운전영역에 따른 실차 연비 및 배기유해물을 예측하는 주요시험영역을 현대자동차 고유모드로 선정하였다. 그 결과 NEDC(New European Driving Cycle)에서 12 모드, FTP 75 모드에서는 11 모드가 선정되었다. 그 결과 아래와 같은 결론을 얻을 수 있었다.

##### 1) 사이클 수치계산의 정확성 검토

수치계산 결과와 시험치의 궤적비교(엔진 운전 궤적, 즉 엔진 회전수 및 토크, 분사량 비교) 결과, 시간에 따른 엔진 회전수는 정확하게 일치한다. 한편 시뮬레이션의 토크변화는 실차 시험시의 연료량 변화와 일치하는 것을 확인할 수 있었다.

##### 2) 주요 시험모드 선정 - 격자선정

실제로 주요시험 모드를 작성시에는, 운전영역 규명 때 사용한 100rpm 보다는 조금

큰 150~250[rpm]을 하는 것이 오차를 줄이는데 있어 가장 효과적임을 확인 할 수 있었다.

##### 3) 주요시험 모드로 차량연비 및 배기유해물 예측의 타당성

주요 모드를 사용한 수치계산 결과 및 이에 근거한 주요시험 위를 사용한 모드 결과를 비교하면, NEDC 모드에서 연비 5.0[%], NOx 2.7 [%]의 오차율로써 전체 모드를 사용한 계산을 대체 가능한 수준이며, 또한 실차 시험의 경우 이보다 더 적은 오차를 가지는 것을 확인하였다. 즉, 본 연구에서 가정하여 모델링 한 주요 모드에 의한 예측이 타당하며, 시험 시간을 대폭 줄임으로써 효율적인 엔진개발을 수행 할 수 있다.

#### 참 고 문 헌

- 1) 류명석, “승용차용 HSDI 디젤엔진개발 (1.2L/2.0L)”, 2 단계 1 차년도 보고서, 2000.
- 2) P. N. Blumberg, “Powertrain Simulation : A Tool for the Design and Evaluation of Engine Control Strategies in Vehicles”, SAE 760158, 1976.
- 3) R. G. Freese and D. R. Nightingale, "A Practical and Theoretical Investigation into the Application of Mechanical Superchargers to Diesel Cars", BSc, MSc, Ceng, MIMechE, Ricardo Consulting Engineers Limited.