

소형자동차 배출계수 산출용 차대동력계 시험모드의 개발

Development of Chassis Dynamometer Test Modes to Derive the Emission Factors for Light Duty Vehicles

이 영 재*, 김 강 출*, 표 영 덕*, 선우 명호**, 엄 명 도***
Youngjae Lee, Gangchul Kim, Youngduk Pyo, Myoungdo Sunwoo, Myoungdo Eom

ABSTRACT

For the correct estimation of air pollutant emission from automobiles which is the largest contributor of metropolitan area air pollution, the total pollutant emission from automobiles should be estimated accurately. Nationwide emissions from automobiles, such as CO, HC and NOx, are calculated by using emission factor and total VMT(vehicle miles traveled). The emission factors were derived from the emissions data on chassis dynamometer with test modes which represent the real driving patterns. In the present study, test modes to derive the emission factors for light duty vehicles are developed by using the real driving pattern data for the urban, suburban and express way.

주요기술용어 : Emission factor(배출계수), Test mode(시험모드), Air pollutant emission(대기오염물질), Chassis dynamometer(차대동력계), Light duty vehicle(소형자동차)

1. 서 론

자동차에 배출되는 대기오염물질의 총량을 명확히 파악하는 것은, 국가 대기오염의 현황을 파악하고, 그의 개선 대책을 마련하는 데에 필수적이기 때문에, 각국에서 보다 정확한 배출총량을 산출하기 위하여 많은 노력을 기울이고 있다.

자동차로부터 배출되는 오염물질의 총량은, 대략 아래와 같은 흐름에 의해 산출된다.

각 차종구분별로 속도대별로 마련된 배출계수 산출용 시험모드를 사용하여, Fig. 1에서와 같

이 차종구분별 속도변화에 따른 규제대상 배출가스의 배출계수를 산출하여, 배출계수 산출 회귀식 (1)을 구하고, 해당 차종의 실 도로상의 평균속도를 이 식에 대입하여 차종구분별 배출 원 단위를 구한다.¹⁻³⁾

$$EF = f(V) \tag{1}$$

where,

EF : Emission Factor (g/car · km)

V : Average Speed (km/h)

다음에, 각 차종구분별 배출원단위에 차종구분별 총 주행량(총 차량대수×대당 평균주행거리)을 곱하여 차종구분별 국가 배출총량을 산출한다.

* 회원, 한국에너지기술연구원
** 회원, 한양대학교 기계공학과
*** 회원, 국립환경연구원

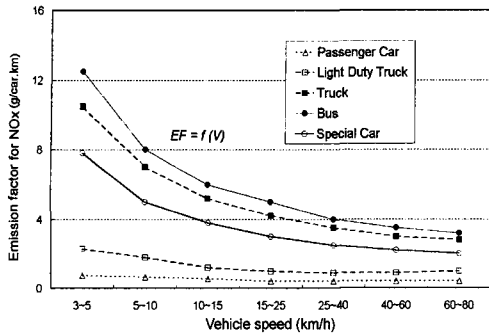


Fig. 1 Typical emission factors for NOx

여기에서 차종구분이란, 승용차, 버스, 트럭 등 종류가 상이하어 오염물질의 배출량이 크게 다른 차량을 말하며, 동일 차종에서도 사용연료에 따라 배출원단위가 상이하기 때문에 별도의 차량구분으로 분류한다.

이와 같이, 배출계수는 오염물질 배출 총량의 산출을 위한 기본척도로 사용되기 때문에, 개개 차종에 대하여 정확히 산출할 필요가 있으나, 동일 차종에서도 주행패턴이나 운행조건 등 각종 요인에 의해 크게 변화하기 때문에, 도로상을 실제로 운행하고 있는 모든 차량을 대상으로 이를 파악하는 것은 불가능하다.

따라서, 실 도로상의 대표적인 주행패턴을 모의하여 작성한 차종구분별 속도대별 시험모드를 사용하여, 각종 규제대상 차종을 시험실적 조건하에서 차대동력계상에서 주행시켜, 단위주행거리당 배출량과 평균차속과의 관계를 도출하여 산출하는 것이 일반적이다.^{4,8)}

이에, 본 연구에서는 소형자동차에 적용할 배출계수 산출용 차대동력계용 시험모드를 개발하여, 이들 차량의 배출계수 및 국가 대기오염물질 배출 총량을 산출하는 데에 활용하고자 한다.

2. 조사노선 및 시간대

주행패턴 조사시험은 시가지(서울특별시 및 대전광역시), 국도 및 고속도로에 대하여 실시되었다.

서울특별시의 주행패턴 조사노선은, Fig. 2에

서와 같이 대부분의 주요도로를 망라하였으며, 이 외에 위성도시와 수도권 연결도로인 양재-분당간 고속화도로 등이 추가로 조사되었다. 대전 직할시의 경우에는 도심관통노선 2개(충대정문 ↔ 동부4거리, 원내3동 ↔ 대전역)에 대해 조사하였으며, 국도와 고속도로의 경우에는 대전 ↔ 서울간에 대하여 조사하였다.

조사 시간대는 주중 및 주말, 첨두 및 비첨두 시간대가 반영되도록 선정하였고, 이러한 여러 조사 노선 및 시간대에 대하여 각 2회 왕복하여 조사하였다.

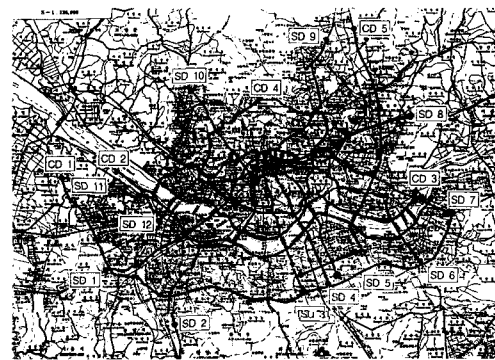


Fig. 2 Test roads of Seoul city

3. 측정장치 및 측정방법

주행패턴 조사 시험차량은 배기량 1.8리터의 수동변속기 장착 국산 승용자동차를 사용하였다.

시험차량에는, Fig. 3에 나타내는 바와 같이, 순시 차속 및 연료소비량, 기어변속위치, 엔진 드로틀개도 및 회전속도, 브레이크페달 및 클러치페달의 On/Off 상태, 엔진 흡기관부압 등을 측정할 수 있는 제반 기기를 장착하였고, 각 측정기에서 출력되는 순시신호는 데이터처리장치(MoTec, ADL Dash Logger)에 1초 간격으로 저장되어, 매 시험종료 후에 컴퓨터에 의해 분석되었다.

시험차량의 순시 차속은, 차량 후미에 설치한 비접촉식 차속검출기(Onosokki, SF-660B) 및 차속계(Onosokki, LC-676S)에 의해 측정하였고, 순시 연료소비량은, 유량검출기(Onosokki, FP-214)

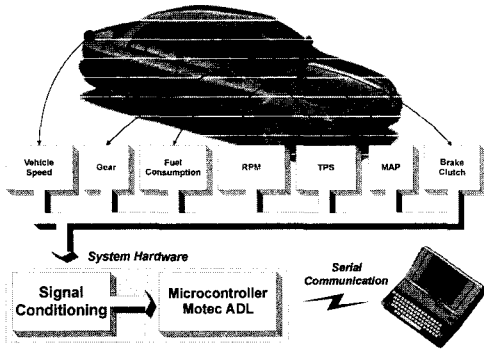


Fig. 3 Measuring parameters

및 디지털유량계(Onosokki, DF-2420)에 의해 측정하였다. 기어 변속위치는 5개의 광센서를 변속기어 박스에 설치하여 측정하였다. 엔진 드로틀개도 및 회전속도는 TPS센서 및 ECU의 신호를 받아 측정하였고, 흡기관 부압은 MAP센서를 흡기다기관에 설치하여 측정하였다. 그밖에, 브레이크 페달 및 클러치 페달의 On/Off 상태를 판단할 수 있는 센서를 각기 장착하여 측정하였다.

시험차량의 주행방법으로서, 시가지 주행시에는 교통신호 등의 통제에 의해서 주행 차량군이 형성되기도 하지만, 도로상에서 차량들이 동일한 방향으로 주행하는 경우에 군집의 크기는 다르나 일정한 차량군을 형성하면서 주행하는 것이 일반적이므로, 시험노선의 정상적인 교통흐름(주행 차량군의 추적)에 따라 주행함을 기본 원칙으로 하였다.

4. 배출계수 산출용 시험모드의 개발

4.1 시험모드 작성 기본개념

배출계수 산출용 시험모드는, 저속에서 고속을 망라해야 하므로, 4.5, 7.5, 10.5, 13.5, 16.5, 19.5, 23.5, 27.5, 35.0, 45.0, 55.0, 65.0, 80.0, 95.0, 115.0 km/h 등 총 15개의 속도대에 대하여 개발하였고, 각 시험모드의 총 주행시간은 차대동력계상의 시험편의상 900초 부근이 되도록 작성하였다. Fig. 1에서와 같이, 배출 원단위는 저속에서 그 값의 변화가 크고, 고속으로 갈수록 변화가 완

만해지는 경향에 있기 때문에, 저속대에서는 간격을 좁게, 고속대에서는 다소 넓게 설정하였다.

한편, 차량이 실제 도로상을 주행할 때의 배출가스 레벨과 차대동력계상을 주행할 때의 그것이 최대한 동일하기 위해서는, 노상주행시의 배출가스에 영향을 미치는 인자(이하, 기여인자)와 작성된 시험모드에 포함되는 기여인자가 동일할 필요가 있다. 기여인자로서, 정차중(공회전)과 주행중(short trip)에는 각기 아래 인자가 중요하다.

1) 정차중(공회전)

① 공회전 시간비율 : 정차시와 주행시의 배출가스는 농도와 양 모두 다르기 때문에, 공회전 시간비율의 대소에 따라 배출 총량이 상이하다.

② 공회전 회수 : 공회전 시간비율이 동일한 경우라도, 공회전이 단기간에 걸쳐 다수 발생하는 경우와, 장기간에 걸쳐 소수 발생하는 경우에는, 배출 총량이 상이하다.

2) 주행중

주행중에 배출가스에 영향을 미치는 엔진출력은 아래 식으로 표현되며, 이는 가속주행과 정속주행으로 대별된다.

$$\begin{aligned} \text{엔진출력(W)} = & \{ \text{구름저항(N)} \times \text{속도(m/s)} + \\ & \text{공기저항(N/(m/s}^2) \times \text{속도(m/s)}^2 \} \\ & + \text{차량중량(kg)} \times \text{가속도(m/s}^2) \\ & \times \text{속도(m/s)} \end{aligned}$$

① 가속주행중의 속도-가속도 분포 : 식 우변의 제2항(밀줄부분)은 가속저항으로서 속도와 가속도에 의해 결정된다. 가속주행중의 속도-가속도 빈도분포는 엔진출력에 영향을 미쳐서, 배출가스에 크게 영향을 미친다. 가속도가 작은 영역에서는 주행저항에 비해 가속저항의 영향이 그다지 크지 않으므로, 이 항은 가속도가 큰 경우에 특히 기여도가 높다.(가속도 $\geq 0.5(\text{km/h/s})$)

② 정속주행중의 속도분포 : 정속주행(가속도 $< | 0.5(\text{km/h/s}) |$)중에는 식 우변 제1항의 주행저항({ }의 항)이 배출가스에 크게 영향을 미치며, 이는 속도의 빈도분포와 관계가 있다.

3) 그밖에 Short Trip(이하, ST)의 길이, 평균속

도, 최고속도, 최고가속도 등은 ST의 전반적인 형상을 결정하므로, 배출가스에 영향을 미친다.

이들 인자를 적절히 반영하는 방법으로서, 실제로 주행시의 주행패턴을 정차시와 주행시로 대별하고, 주행시의 속도거동에 대해서는 이를 다시 ST로 분리하여 주행형태의 특성을 파악한 후, 이들 특성치의 회귀값 내지는 평균값을 사용하여 총 주행상태를 대표하는 시험모드 작성기법이 최근에 활용되고 있다.⁵⁻⁸⁾

이러한 작성기법은, 기존에 사용되던 기법에 비해 노상주행시와 차대동력계 시험시에 보다 일치하는 배출계수를 얻을 수 있는 것으로 검증되어 있으며, 본 연구에서도 이와 유사한 정차 및 주행, ST 등을 반영하는 시험모드 작성기법을 사용하였다.

기여인자중 공회전과 관련해서는, '단위거리당 정차시간비율', '단위거리당 정차회수', '소구간내 공회전시간길이의 분포' 등을 고려하였으며, 가속 및 정속특성과 관련해서는, '단위거리당 주행시간', '소구간내 ST 길이의 빈도분포' 등을 고려하였다.

한편, 상술한 가속주행중의 속도-가속도분포, 정속주행중의 속도분포, ST 평균속도 등은 상술한 ST 길이의 빈도 분포를 고려함에 의해 대부분 반영되는 것으로 알려져 있으나, 본 연구에서는, 평균속도나 연비와 아주 상관관계가 높은 식 (2)의 단위거리당 가속량⁹⁻¹¹⁾ 등을 추가로 도입하여 보완하였다.

$$\int a \, dt / D \quad (2)$$

where,

a : Acceleration Speed (km/h)/s

D : Length of Short Trip (km)

4.2 시험모드 작성수법

Fig. 4에 주행패턴 조사데이터에서 분석한 평균주행속도와 정차시간비율 사이의 관계를 나타낸다. 그림에서와 같이, 평균주행속도 약 55km/h

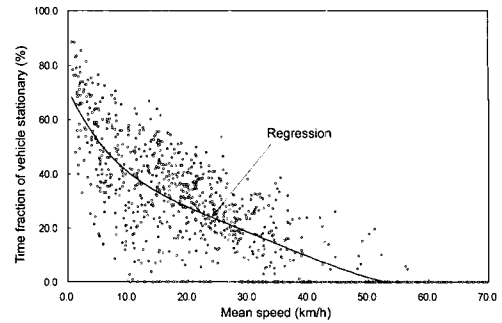


Fig. 4 Time fraction of vehicle stationary

부근을 전후하여, 그 이전의 속도대에서는 정차시간비율이 높으나, 그 이후의 속도대에서는 정차구간이 거의 나타나지 않음을 볼 수 있다.

따라서, 평균주행속도 55km/h 이하의 구간에서는 주행 및 정차와 관련된 특성을 반영하며, 그 이상의 속도구간에서는 주행과 관련된 특성만을 반영하여, 배출계수 산출용 시험모드를 개발하였다. 시험모드의 작성수순은 다음과 같다.

1) 주행데이터를, 소구간으로 분할하여 각 소구간의 평균속도를 산출한다. 여기에서 소구간이란, 속도가 0 km/h인 지점에서 시작하여 200초~400초 사이에 정차가 이루어지는 주행현상이 있는 구간이거나, 그 이상의 기간동안에도 정차없이 주행이 계속되는 경우에는 이를 200초 이상~400초미만인 소구간으로 등 간격으로 분할한 구간을 말한다.

2) 상술한 15개 속도대 각각을 기준으로, 소구간 평균속도가 해당 속도대의 $\pm 1.0 \sim 3.0$ km/h 영역 이내에 있는 소구간만을 선별하여 소구간 데이터베이스(이하, D/B)를 구축한다.

3) 속도대별 소구간 D/B내의 개개 소구간에 대하여, 정차 관련특성(정차시간비율(Fig. 4의 회귀식에 의해 산출), 정차회수(Fig. 5의 회귀식에 의해 산출), 정차시간 등), ST 관련특성(ST의 길이분포, 개수, 주행시간, 주행거리, 최고속도 등) 및 Table 1에 기술한 여러 주행특성치와 이들의 속도대별 평균값을 산출한다.

4) 앞서, 설정한 속도대별 시험모드의 주행시

Table 1 Analyzed traffic characteristics

Characteristics	Unit
Average trip time per unit distance	sec/km
Acceleration sum per unit distance	(km/h)/km, $\int \alpha dt/D, \alpha > 0 \text{m/sec}^2$
Acceleration energy per unit distance	(m/sec) ² /km, $\int \alpha v dt, \alpha$
Time fraction for acceleration	%, $\alpha > 0.5 \text{ (km/h)/s}$
Time fraction for deceleration	%, $\alpha < -0.5 \text{ (km/h)/s}$
Time fraction for constant speed driving	%, $\alpha \leq 0.5 \text{ (km/h)/s} $
Number of times of vehicle stationary per unit distance	times/km, $v < 2.0 \text{ km/h}$
Time fraction of vehicle stationary per unit distance	%
Total trip length	km
Total trip time	sec
Speed (mean or max.)	km/h
Standard deviation of speed	km/h
Acceleration and deceleration (RMS, mean, max.)	m/sec ²
Standard deviation of acceleration and deceleration	m/sec ²
Fuel economy, etc.	km/L

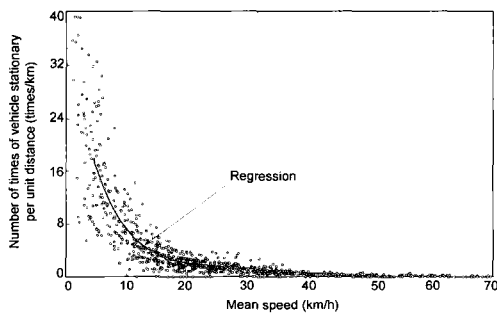


Fig. 5 Number of times of vehicle stationary

간 900초와, 위에서 분석한 제반 평균 및 회귀값을 사용하여, 각 시험모드가 만족해야 할 정차시간비율 및 총 정차시간, 총 주행거리, 단위거리당 정차회수, ST 갯수 등을 도출하고,

5) 도출된 총 ST 갯수에 해당하는 ST를 선정한다.

이때에, ①당해 속도대의 ST 길이 빈도분포를 만족하도록 함과 동시에, ②배출가스 및 연비에 큰 영향을 미치는 단위거리당 가속량을 만족하며, ③목표로 하는 시험모드의 주행거리를 만족하도록 선정한다.

이를 위하여, ST D/B를 길이순으로 정렬해서, 구하는 ST 갯수만큼 등빈도가 되도록 이들을 분류한 후, 각 그룹에서 당해 그룹의 단위거리당 가속량의 평균치에 가장 근접하는 ST을 1개씩 선

정한다.

6) 다음에, 앞서 결정된 총 정차회수에 해당하는 정차구간을 선정한다. 이때, 당해 속도대별 정차시간분포 및 총 정차시간을 만족하도록 선정하며, 이를 위하여 ①정차구간 D/B를 시간 길이순으로 정렬하여, 구하는 총 정차회수만큼 등빈도가 되도록 이들을 분류한 후, 각 그룹에서 당해 그룹의 평균 정차시간을 만족하는 정차구간을 1개씩 선정한다.

7) 최종적으로, 위에 의해 선정된 ST 및 정차구간을 조합·배열하여, 각 속도대의 시험모드를 작성한다.

8) 평균 주행속도 55km/h 이상의 속도대에서는 정차구간이 거의 출현하지 않기 때문에, 위와 유사하나 정차와 관련된 특성을 고려하지 않고 시험모드를 작성한다. 이때에, 연결부위를 최소한으로 수정할 수 있는 소구간을 선정 배열하고, 수정시에는 전반적인 특성에 큰 변화를 주지 않도록 한다.

4.3 시험모드의 개발

4.3.1 시험노선별 빈도분포

Fig. 6에, 속도대별 소구간 D/B에 의해 분석한, 시가지도로 저속노선(도심 진입 또는 통과 노

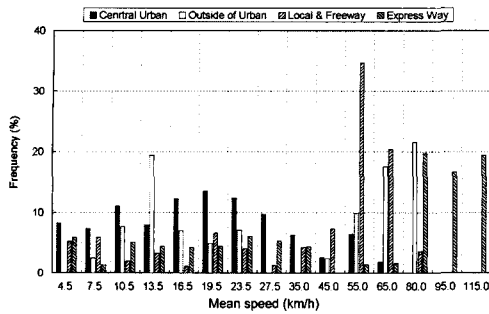


Fig. 6 Driving fraction at various speed range

선), 시가지도로 고속노선(순환 및 외곽도로 등), 국도(양재-분당간 고속화도로 포함), 고속도로의 속도대별 주행 빈도분포를 나타낸다.

그림에 의하면, 80~115 km/h의 고속대역은 고속주행 비율이 높아서 이들 속도대역에 대해 작성된 시험모드는 고속도로의 주행흐름을 대표하는 모드라고 할 수 있으며, 55 km/h 및 65 km/h의 중속대역은 국도의 주행흐름을, 0~45 km/h의 중저속대역은 시가지의 주행흐름을 대표하는 모드라고 할 수 있겠다.

4.3.2 시험모드의 개발

Fig. 7에 위에서 기술한 수법에 의해 작성한 차대동력계용 속도대별 시험모드의 시간-차속선도를, Table 2에 각 시험모드의 주요 주행특성치를 정리하여 나타낸다. 표에서와 같이, 당초 설정한 시험모드의 목표속도는 모드 개발과정에서 다소 변경되었다.

이들 그림 및 표에 의하면, 단위거리당 정차회수와 정차시간비율은, 평균차속 4.7 km/h 모드의 경우가 가장 크고, 속도대가 빨라질수록 점차 감소하여, 평균차속 53.7 km/h를 지나서는 그의 값이 제로를 나타내고 있다. 정속주행시간비율은, 저속대역에서 낮은 값을 나타내면서, 고속으로 갈수록 증가하는 추세를 보여 주고 있다. 연비는 저속에서 고속으로 갈수록 증가하여, 평균차속 79.6 km/h에서 최고값을 나타내다가, 그보다 고속이 되면 다시 감소하는 경향을 나타내고 있다. 표에서, 평균차속 65.4 km/h 이상인 시험모드에

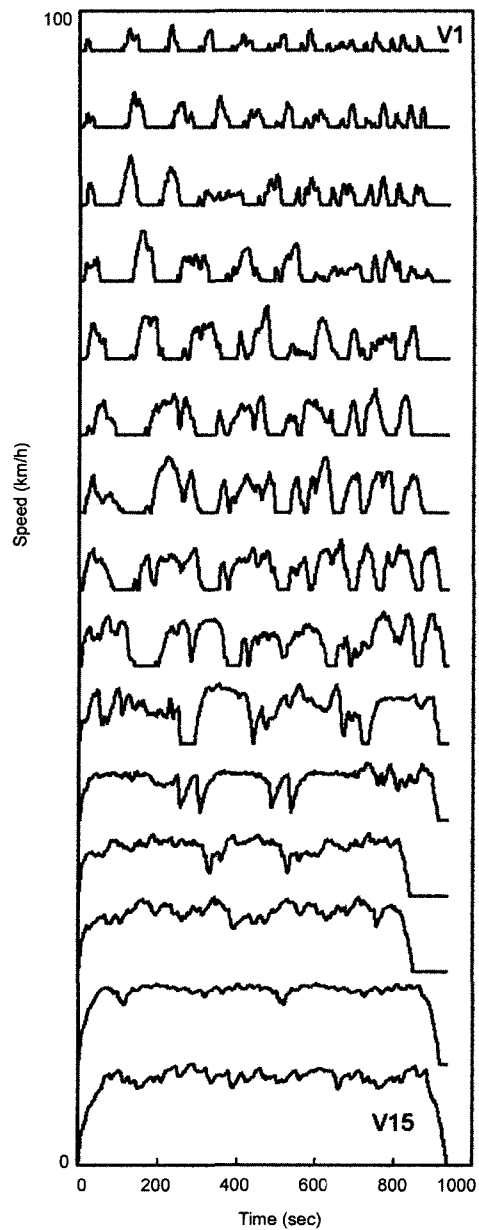


Fig. 7 Test modes for emission factor

대해서는, 모드 초기의 가속·출발구간과 모드 말기의 감속·종료구간이 존재하지 않는다. 따라서, 이들 모드의 전·후단에는 그림에서와 같이 가속·출발구간과 감속·종료구간을 임의로 추가하였다.

그러나, 이들 가속·출발구간과 감속·종료

Table 2 Major characteristics of test modes for emission factor evaluation

Mode No.	Mean speed (km/h)	Number of times of vehicle stationary (times/km)	Time fraction of vehicle stationary (%)	Time fraction of constant speed driving (%)	Total trip length (km)
V1	4.7	17.49	52.1	30.5	1.14
V2	8.0	10.26	44.6	30.7	1.95
V3	10.8	6.47	38.2	32.6	2.63
V4	13.4	4.20	32.9	39.3	3.33
V5	17.3	2.90	29.7	40.1	4.13
V6	19.4	2.20	27.4	40.3	4.55
V7	24.6	1.67	22.6	42.7	5.98
V8	27.3	1.44	18.1	47.4	6.96
V9	34.1	0.91	12.4	56.4	8.76
V10	46.4	0.34	5.5	69.1	11.80
V11	53.7	0.07	0.0	82.3	13.61
V12	65.4	0.00	0.0	88.7	14.41
V13	79.6	0.00	0.0	95.2	17.45
V14	97.3	0.00	0.0	98.4	21.82
V15	114.2	0.00	0.0	94.1	25.73

Remark : Every mode is hot start one

구간은, 차대동력계상에서의 주행시험을 돕기 위해 임의로 설정해 준 구간이며, 이 구간에서 배기가스 배출량을 측정하지는 않는다.

4.3.3 시험모드의 검증

Fig. 8에 시험모드의 주요 특성치와 원시데이터의 그것을 비교하여 나타낸다. 여기에서 원시데이터란, 각 속도대의 분석영역에서의 평균값을 말한다.

그림에 의하면, 배출가스와 상관성이 높은 단

위거리당 가속량, 단위거리당 정차회수 및 정차시간비율, 단위거리당 평균주행시간(평균속도의 역수), 연비 등에 있어서 시험모드와 원시데이터의 특성값이 거의 유사함을 나타내어, 본 시험모드가 실제 도로상의 주행특성을 적절하게 반영하고 있는 것으로 판단된다.

5. 결론

1) 시가지, 국도, 고속도로의 주행패턴을 실측하여, 저속에서부터 고속까지의 주행흐름을 대표하는 소형자동차 배출계수 산출용 총 15개의 시험모드를 개발하였다.

2) 시험모드의 작성수법으로서, 실 도로 주행시의 주행패턴을 정차시와 주행시로 대별하고, 주행시의 속도거동에 대해서는 이를 다시 ST로 분리하여 주행형태의 특성을 파악한 후, 이들 특성치의 회귀 및 평균값을 사용하여 총 주행상태를 대표하는 모드 작성기법을 개발하였으며, 이 기법은 노상주행시와 차대동력계 시험시에 보다 일치하는 배출계수를 얻을 수 있을 것으로 생

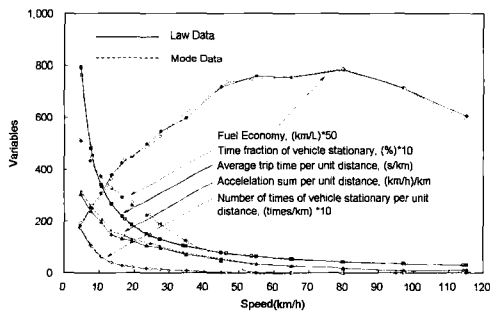


Fig. 8 Comparison of major characteristics between test mode and real driving

각된다.

3) 개발한 배출계수 산출용 시험모드의 주요 특성치와 원시데이터의 그것을 비교한 결과, 배출가스와 상관관계가 높은 주요 특성치가 유사한 값을 나타내어, 시험모드가 실제 도로상의 주행특성을 적절하게 반영하고 있는 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- 1) 조강래, 김양균, 엄명도, 김종춘, 홍유덕, 박용희, 김웅중, 한종수, "도시지역의 대기질 개선에 관한 연구 (I)," 국립환경연구원보, 제11권, pp.53-64, 1989.
- 2) 野村総合研究所, 自動車排出ガス原單位及び總量に関する調査報告書, p.88, 1998.
- 3) M. P. Gover, S. A. Collings, G. S. Hitchcock, D. P. Moon, G. T. Wilkins, "Alternative Road Transport Fuels - A Preliminary Life-Cycle Study for the UK," ETSU Report R92, p.193, 1996.
- 4) 自動車排出ガス走行モード検討報告書, 運輸省地域交通局陸上技術安全部企劃課, p.67, 1986.
- 5) 平井洋, 柳漢吳, 土井努, 細井賢三, "排出ガス測定用實走行モードの作成方法について," 自動車研究, 第18卷 第12號, pp.5-8, 1996.
- 6) 土井努, 平井洋, 細井賢三, "自動車の都市内走行形態に及ぼす道路, 車種, 積載量の影響-試作走行モードの檢證", 自動車研究, 第19卷 第1號, pp.11-14, 1997.
- 7) 小高松男, 阪本高志, 田中丈晴, "自動車の排出ガス測定用走行モードの構成手法の研究(第1報)-實道路走行時短距離走行別代表走行特性把握法の考察-", 日本交通安全公害研究所 研究發表集, 1986.
- 8) 小高松男, 田中丈晴, "自動車の排出ガス測定用走行モードの構成手法の研究(第2報)-走行モードの構成とその妥當性に關する檢討-", 日本交通安全公害研究所 研究發表集, 1987.
- 9) 이영재, 권오석, 고창조, "서울특별시의 주행특성 분석에 관한 연구," 한국자동차공학 회논문집, 제3권 제2호, pp.1-15, 1996.
- 10) L. Evans, R. Herman, T. Lam, "Multivariate Analysis of Traffic Factors Related to Fuel Consumption in Urban Driving," Transportation Science, Vol.10, No.2, pp.205-215, 1976.
- 11) J. Shima, "Detailed Analysis on the Actual Driving Condition and Fuel Economy," Journal of Society of Automotive Engineers of Japan, Vol.35, No.10, pp.1177-1184, 1991.