

자동차 오염물질 배출계수 산정을 위한 CVS-75모드와 국내차속모드의 상관성 비교 연구

Comparison of Correlation between CVS-75 Mode and Korea Mode to Estimate Emission Factors from Vehicles

정 성 운* · 류 정 호 · 유 영 숙

국립환경과학원 교통환경연구소

(2005년 12월 31일 접수, 2006년 2월 2일 채택)

Sung-Woon Jung*, Jeong-Ho Ryu and Young-Sook Lyu

Transportation Pollution Research Center, National Institute of Environmental Research

(Received 31 December 2005, accepted 2 February 2006)

Abstract

In Korea, the major source of serious air pollution is motor vehicles. Air pollution from vehicles has been annually increased. Then the government will try to control the vehicle emission by applying the effective emission management policy for the manufactured and in-used car. It is necessary to correctly calculate the emission factor for successful propulsion of the vehicle emission control policy.

In this study, correlation analysis of exhaust emissions from vehicles between CVS-75 mode and Korea mode was conducted.

A total of 25 light-duty buses were tested on the chassis dynamometer system in order to measure CO, HC, NOx PM and fuel efficiency (F.E.). For the test modes, 10 different Korea modes and CVS-75 mode were used.

As the result of correlation analysis between those modes, most of the correlation coefficients were higher than 0.90. On the basis of high correlation between those modes, correction factors by driving conditions were estimated. Through the results of this study, we obtained essential basic data to correct difference from those modes.

Key words : Emission factor, CVS-75 mode, Korea mode, Light-duty bus, Chassis dynamometer system

1. 서 론

현대사회는 국민소득수준향상, 산업발달, 인구증가 등으로 인해 자동차의 필요성과 수는 급격하게 증대

되어 1984년 전국의 자동차가 약 95만대였는데 2004년 약 1,500만대로 16배나 증가하였다(한국자동차공업협회, 2005). 자동차로 인한 대기오염물질은 국민의 건강을 위협하고 시정감소와 같은 대기환경을 악화시키고 있어 삶의 질을 떨어뜨리는 주요한 요인이 되고 있다. 정부에서는 특히 대기오염 정도가 심한 서울, 인천, 경기 등 수도권지역을 대상으로 대

*Corresponding author.

Tel : +82-(0)32-560-7681, E-mail : actual77@me.go.kr

기환경을 개선하고자 2003년 12월 수도권대기질개선특별법을 제정하였다. 이 특별법에는 자동차로 인한 대기오염을 근원적으로 저감시키기 위한 제작차 배출규제강화, 운행차 관리대책 강화 및 무공해, 저공해 보급 등 전반적인 대기오염저감대책들이 마련되어 10개년 계획으로 진행 중에 있다.

이러한 정부대책을 효율적으로 추진하기 위해서는 오염물질 배출원에 대한 정확한 배출기여도 평가가 수행되어야 하며 이를 위해서는 자동차 차종별, 사용연료별 그리고 연식별 오염물질 배출계수의 정확한 산정이 필요하다. 자동차에서 배출되는 오염물질량은 배출가스 규제와 관련된 자동차의 생산년도, 사용기간, 평균차속과 같은 교통조건, 환경조건, 연간주행거리 및 등록대수에 따라 다르게 나타나며(조강래 등, 1993) 또한 배출가스를 측정하는 시험방법 및 시험모드에 의해서도 다르게 나타난다.

현재 국내에서 자동차 배출가스 규제시험모드는 미국의 도로조건, 사용환경 등을 고려하여 만든 FTP-75모드(Federal test procedure-75, 국내에서는 CVS-75모드라 함)를 이용하고 있으며 자동차 오염물질 배출계수 산정을 위해서는 국내에서 시가지도로, 국도, 고속도로 등의 주행패턴을 조사하여 개발한 대표차속별 주행모드인 국내차속모드(NIER모드-‘NIER’은 국립환경과학원 영문약자)를 이용하고 있다.

본 연구에서 CVS-75모드는 국내에서 공식적으로 쓰고 있는 자동차 배출가스 규제시험모드이기에 이 모드를 기준으로 하여 NIER모드와 상관성을 비교

및 분석한 후, 향후 자동차 오염물질 배출계수 산정 시 미국모드와 국내모드의 차이를 보정하는 기초자료로 제공하고자 한다.

2. 실험자료 및 시험 방법

2.1 실험자료

2.1.1 시험모드 선정

본 연구에서 자동차에 의한 배출가스를 측정 비교할 시험모드는 CVS-75모드와 차속별 주행모드인 NIER모드를 이용하였다. CVS-75모드(Constant volume sampler 75)는 1954년 로스앤젤레스 스모그 사건이 일어난 주(州)이며 자동차 배출규제의 선도적인 역할을 하며 항상 미국연방정보보다 한 단계 앞서 배출가스 규제를 하고 있는 캘리포니아주(동종인, 1987)의 자동차 배출가스 시험모드로 1975년에 제정된 것으로서 정지가동(Idle), 가속(Acceleration), 감속(Deceleration), 정속(Cruising)이 되풀이되는 과정을 시험목적상 대표화한 주행패턴이며 또한 주행곡선은 과도기간(Transient phase: 0~505초)과 안정기간(Stabilized phase: 506~1372초)으로 구성되며 10분간 엔진 시동을 끈 후 다시 과도기간을 반복하여 운전하며 평균차속은 34 km/h, 총 주행거리는 17.85 km이다. 이 시험모드는 북미, 남미 국가, 한국, 대만, 스웨덴 등에서 사용되고 있다(자동차환경센터, 2000).

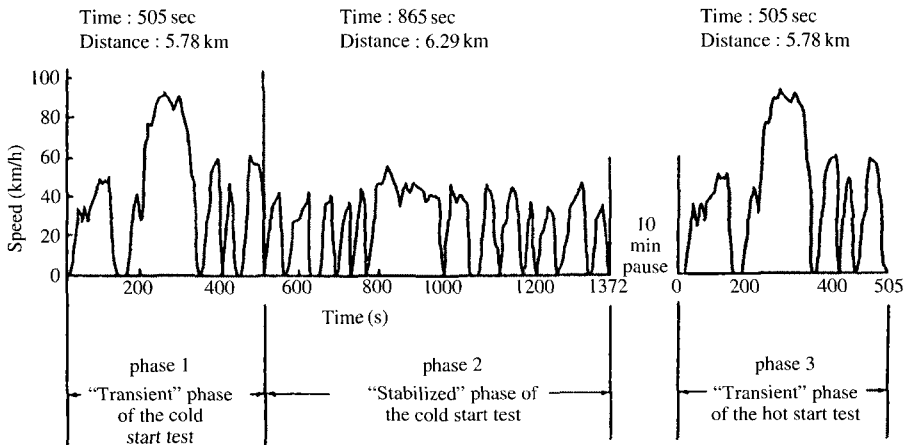


Fig. 1. Driving cycle of CVS-75 mode.

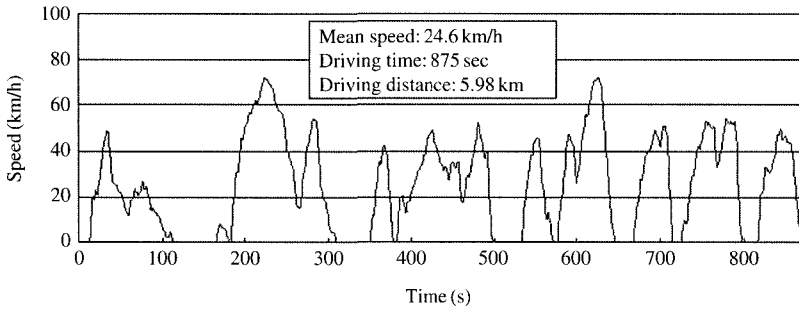


Fig. 2. Driving mode for 24.6 km/h.

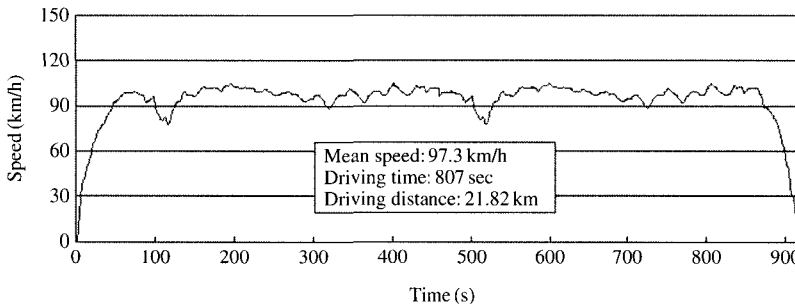


Fig. 3. Driving mode for 97.3 km/h.

배출계수 산정을 위해 개발된 NIER모드는 국내 시가지도로, 국도, 고속도로 등의 주행패턴을 조사하여 서울시내의 일정구간을 운행하여 차속별로 분류시켜 만든 대표차속별 주행모드를 이용하였다. 이 주행모드는 1999년 국립환경과학원에서 개발한 것으로 총 15개의 각기 다른 대표차속으로 이루어져 있으며, 이 중 본 연구에 사용된 대표차속은 10개 단일모드로 대표차속은 4.7, 10.8, 13.4, 17.3, 24.6, 34.1, 46.4, 65.4, 79.6, 97.3 km/h이다. 그림 2~3에 대표차속별 시간에 따른 주행특성을 나타내었다.

2.1.2 시험대상 차량

본 연구에서는 국내에 등록된 경유 소형승합차(RV 포함)의 점유율 등을 고려하여 차종을 선정하였고 배출가스 규제기준을 고려하여 '00년 이전, '00~'02. 6월, '02. 7월~'05년으로 연식구분을 하였으며(환경부, 2004), 선정된 25대의 차량을 대상으로 규제물질(CO, HC, NOx, PM)과 연비를 측정하였다(표 1).

Table 1. Classification of test vehicle.

Vehicle class	Fuel type	Model year	Fleet	Total
Light-duty buses*	Diesel	Before '00	4	25
		'00~'02. 6	7	
		'02. 7~'05	14	

Light-duty buses*=Minivan+recreational vehicle (RV).

2.2 시험 방법

2.2.1 시험장치

배출가스 측정은 차대동력계상에서 실시하였다. 측정장치는 주로 차대동력계, 보조운전장치, 시료채취장치, 희석터널, 입자상물질 측정장치 및 배출가스 분석기 등으로 구성되어 있다. 차대동력계는 자동차가 실제 도로를 주행할 때 정지, 가속, 정속, 감속 등을 반복하는 과정을 대표화한 실측 주행모드를 사용하여 모사 주행할 수 있도록 자동차에 부하를 걸어주는 장치로, 관성중량(Inertia weight), 동력흡수계(Power absorption unit), 제어기(Controller)로 구성되

어 있으며 그 제원은 표 2에 나타내었다.

배출가스 측정은 시험자동차가 차대동력계의 롤러 위에서 각 모드별로 주행할 때 배기관으로부터 배출되는 가스를 정용량시료채취장치(CVS: Constant

Table 2. Specification of chassis dynamometer.

Items	Specifications
Model	DCE-80
Power absorption	40HP
Maximum inertia weight	3,345 kg
Maximum roll speed	150 km/h
Roll size	21.97 cm
Trim wheel (lb)	680 kg

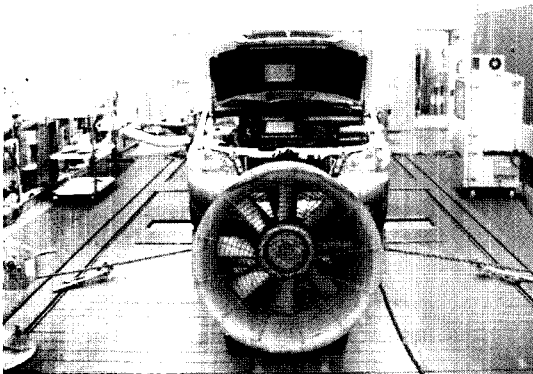


Fig. 4. Overview of chassis dynamometer.

volume sampler)에서 일정량의 공기로 희석한 후, 시료채취백에 채취하여 배출가스 분석기로 분석하였다. 운전보조장치(Driver aid)는 운전자가 자동차로 도로에서 주행하는 상태로 운전할 수 있도록 화면에 운행상태를 표시해 주는 장치이다. 또한 시료채취장치(Constant volume sampler)는 자동차 배출가스를 공기와 희석하여 채취할 수 있는 장치이며 희석터널은 고온에 의한 입자상물질의 변화를 배제시키고 대기조건으로 제어하기 위해 시료채취온도가 항상 52°C 이내로 유지되도록 외부공기와 배기가스를 희석시키는 기능을 한다. 그림 4는 차대동력계를 이용하여 시험하는 모습을 보여주고 있으며 그림 5는 배출가스 측정시스템의 계통도를 나타내고 있다.

2. 2. 2 배출가스 측정장치

배출가스 측정장치(Horiba사, MEXA-9200D, 7200)는 배출가스 중 CO, THC, NOx를 분석할 수 있는 장치로서, 분석원리는 CO는 비분산적외선분석법(NDIR, Non-dispersive infrared), THC는 열식불꽃이온화검출기법(HFID, Heated flame ionization detector), NOx는 화학발광법(CLD, Chemiluminescence detector)을 사용하였다. 분석장치 및 차대동력계 제어장치를 그림 6~7에 나타내었다.

2. 2. 3 PM 시료채취장치

입자상물질은 차대동력계에서 주행할 때 배출가스를 일정비율로 공기와 희석시켜 입자상물질을 채취

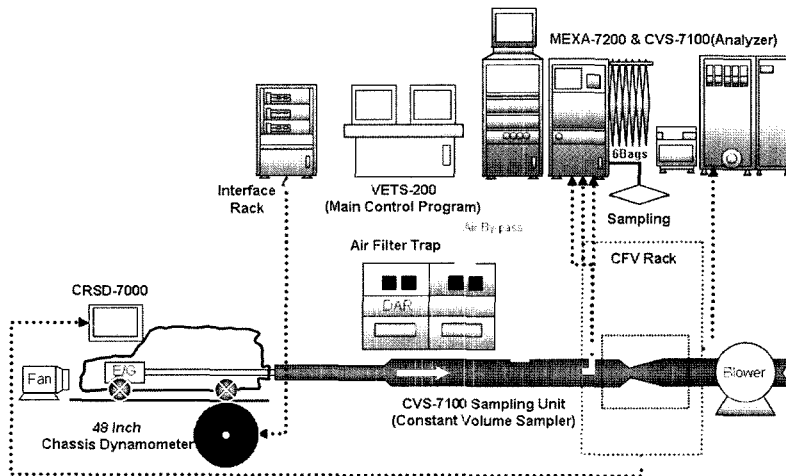


Fig. 5. Schematic diagram for exhaust emission test system.



Fig. 6. Overview of exhaust gas analyzer.

를 측정하기 위해서는 마이크로밸런스(SALAD-WC)를 사용하며, 여과지에 포집된 입자상물질의 정확한 측정을 위하여 온도 $20 \pm 5^\circ\text{C}$ 및 상대습도 $47 \pm 5\%$ 로 유지된 무게측정실 (weighing chamber)내에서 측정하였다.

입자상물질 측정은 다음의 순서에 의해 측정한다. 먼저, 항온항습실에서 무게를 측정할 여지를 PM시료 채취장치(Horiba사, MEXA-9100D accessory) 필터홀더에 장착한 후, 배기관에서 배출 가스를 일정 유량 등속 흡인하여 입자상물질 시료를 채취한다. 이때에 필터를 통과하는 배출가스의 온도를 50°C 이내로 유지하여야 한다. 입자상물질을 채취한 여지는 포집된 부분이 묻지 않도록 petridish에 넣어 보관한다. 샘플 여지를 무게측정실내에서 상대습도 50%, 20°C 로 24 \pm 4시간 동안 항온항습시킨 다음 측정 전·후 무게차를 구한다.

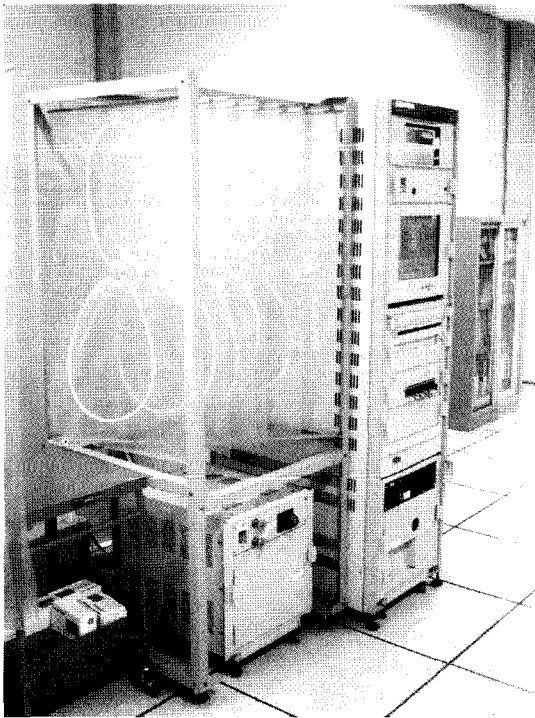


Fig. 7. Overview of chassis dynamometer controller.

하는 방식(Horiba사, MEXA-9100D accessory)을 이용하였다. 이 장치들은 희석터널에서 배기가스의 일부를 채취하여 외부공기로 희석시킨 후, 입자상물질은 테프론이 코팅된 유리섬유 여지($\varphi 70\text{mm}$)에 포집하는 장치이다. 여과지에 포집된 입자상물질의 무게

3. 결과 및 고찰

3.1 CVS-75모드의 냉간시동과 열간시동의 오염물질 배출량 비교

NIER모드는 배출계수 산출을 위한 모드이며 열간시동인 반면, CVS-75모드는 배출가스 규제시험모드로써 총 3단계로 구분되어 있다. 1단계는 냉간시동단계로 505초 동안 운전되며, 2단계는 냉간시동의 안정화 단계로 865초 동안 운전된다. 2단계가 끝나면 10분 동안 엔진을 정지시킨 후 3단계인 열간 운전조건에서 505초 동안 운전된다. 이렇듯 기본체계가 다른 두 종류의 모드를 평가하기 앞서 냉간시동과 열간시동을 모두 포함한 CVS-75모드에 대해 각 모드별 오염물질 배출량을 비교할 필요가 있다. 경우 소형승합차의 냉간시동과 열간시동시 오염물질의 배출특성을 평가하여 그림 8에 나타내었다.

배출가스 보증기간인 80,000 km를 전·후로 하여 냉간시동과 열간시동시 오염물질 배출량을 비교하였다. 냉간시동시 열간시동보다 CO는 1.3~1.7배, HC는 1.5~2.0배, NOx는 1.2배, PM은 1.4~1.5배 높게 배출되었다. 이는 냉간시동시 낮은 온도가 촉매 활성화가 되는 light-off 되기 전으로, 일정 온도 이상에서 작동하는 촉매가 정상 작동되지 않아 제어되지 않은 오염물질이 배출되는 것으로 사료된다(전민선 등,

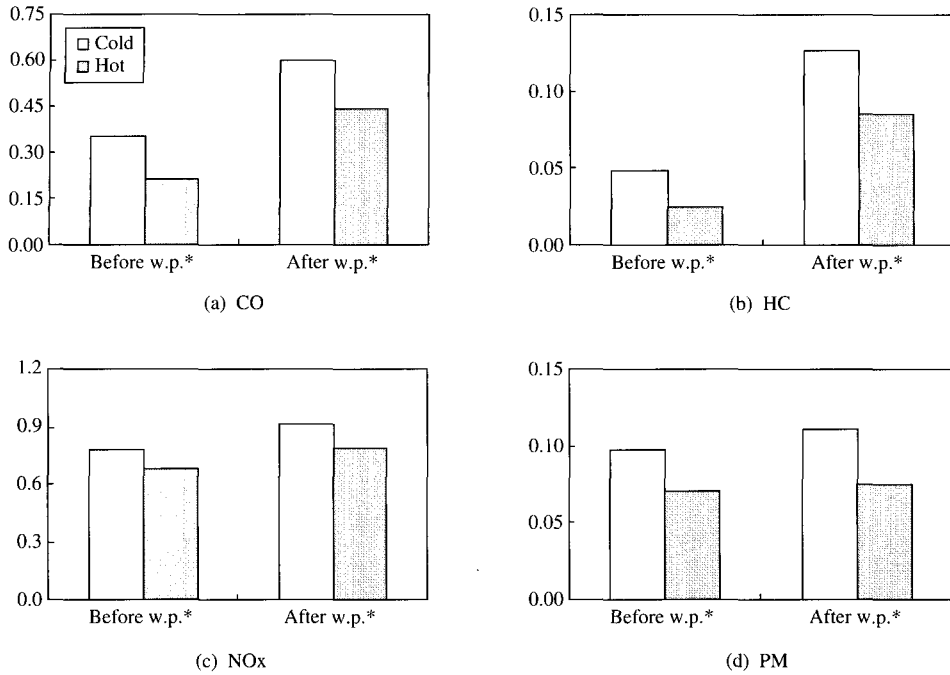


Fig. 8. Exhaust characteristics of regulated pollutants between cold and hot start, w.p.*: warranty period.

Table 3. Regulated pollutant emissions by CVS-75 and NIER mode (unit : g/km).

Mode	CVS-p2 25.7 km/h	NIER-7 24.6 km/h	CVS-75 34.0 km/h	NIER-9 34.1 km/h	CVS-p3 41.2 km/h	NIER-10 46.4 km/h
CO	0.30	0.38	0.30	0.28	0.26	0.24
HC	0.04	0.05	0.05	0.03	0.04	0.03
NOx	0.80	0.98	0.80	0.77	0.76	0.68
PM	0.08	0.08	0.08	0.07	0.07	0.06
F.E.	10.16*	8.89*	10.20*	11.25*	11.03*	12.40*

*: Unit is km/L.

2005; Nam *et al.*, 2004). 보증기간 전· 후에 따른 차이는 CO는 1.7~2.1배, HC는 2.6~3.5배로 높으며 NOx 및 PM은 1.1~1.2배로 유사하게 나타났다.

3.2 CVS-75모드와 국내차속모드에 의한 오염물질 배출량 비교

CVS-75모드는 3.1의 결과에 나타난 바와 같이 냉간시동과 열간시동시 배출특성의 차이를 나타내기 때문에 NIER모드와 비교하기 위해서는 CVS-75모드의 각 단계별 평균차속을 이와 유사한 NIER 차속모드의 대표차속에 따른 배출량을 비교해야 하며 이에

따른 배출량을 표 3에 나타내었다. CVS-75모드의 냉간시동 단계인 1단계를 제외하고 각 단계별 평균차속은 2단계 25.7 km/h, 전체모드 34.0 km/h, 3단계 41.2 km/h이며 이것을 NIER모드의 해당차속인 7모드 24.6 km/h, 9모드 34.1 km/h, 10모드 46.4 km/h와 각각 비교하였다. CVS 2단계와 NIER 7모드의 경우 CVS가 NIER보다 오염물질은 0.8~0.9배, 연비는 1.1배이며, CVS-75모드와 NIER 9모드 및 CVS 3단계와 NIER 10모드의 경우 오염물질은 1.1~1.4배, 연비는 0.9배로 나타났다. 이는 평균차속이 유사한 CVS와 NIER모드는 정지, 감속, 정속, 가속 등의 주

Table 4. Correlation coefficients between pollutant emissions by CVS-75 and NIER mode.

Pollutant	Mode	CVS-p2	CVS-75	CVS-p3
CO	NIER-7	0.961*		
	NIER-9		0.940*	
	NIER-10			0.971*
HC	NIER-7	0.937*		
	NIER-9		0.931*	
	NIER-10			0.973*
NOx	NIER-7	0.865*		
	NIER-9		0.909*	
	NIER-10			0.917*
PM	NIER-7	0.829*		
	NIER-9		0.905*	
	NIER-10			0.834*
F.E.	NIER-7	0.814*		
	NIER-9		0.881*	
	NIER-10			0.959*

*: r (p<0.01).

행패턴이 유사하기 때문에 오염물질 배출량 및 연비가 유사하게 나타나는 것으로 사료된다 (이종태, 1994).

3.3 CVS-75모드와 국내차속모드에 의한 오염물질별 상관성 분석

통계분석 프로그램인 SPSS (Statistical package for social science)10.0을 사용하여 CVS-75모드와 NIER 모드의 오염물질별 상관분석을 하였으며 (Hamilton, 1990) 표 4에 나타내었다. 또한 그림 9는 대표차속 34 km/h의 경우 오염물질별 직선회귀식 및 상관계수 (r)를 보여주고 있다. 분석에 이용된 자료는 본 연구에서 시험된 25대의 경우 소형승합차로 동일한 차량의 상태에서 CVS75모드와 NIER모드를 동시에 시험함으로써 데이터의 신뢰성을 높이고자 하였다. 상관분석 결과, 상관계수 (r)가 CO의 경우 0.94~0.97, HC는 0.93~0.97, NOx는 0.87~0.92, PM은 0.83~

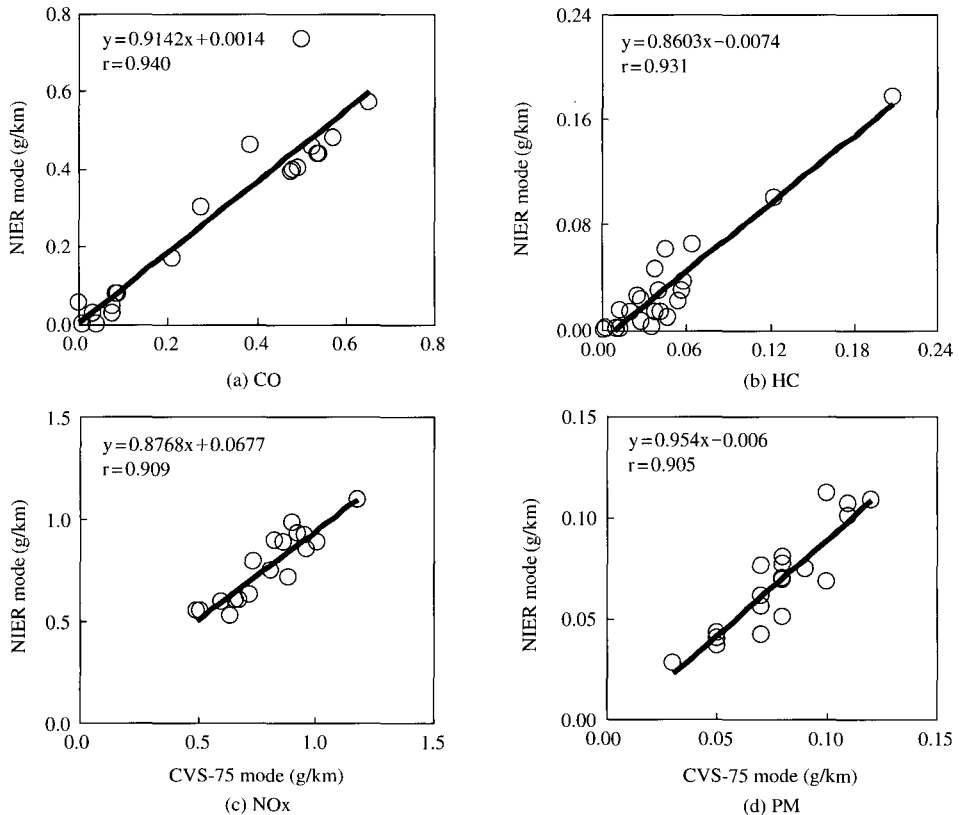


Fig. 9. Regression analysis of CVS-75 and NIER mode for regulated pollutants.

Table 5. Correction factors between pollutant emissions by CVS-75 and NIER mode.

Pollutant	CVS/NIER ratio		
	25~26 km/h	34 k m/h	41~46 km/h
CO	0.80	1.09	1.08
HC	0.83	1.43	1.37
NOx	0.93	1.13	1.10
PM	0.89	1.14	1.25
F.E.	1.14	0.91	0.89

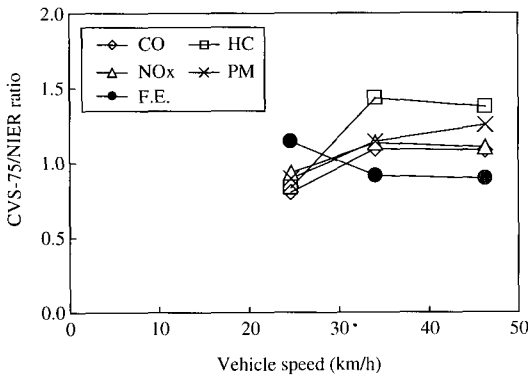


Fig. 10. Correction factors between CVS-75 and NIER mode.

0.91, 연비는 0.81~0.96으로 전체적으로 높은 상관성을 보이며, 상관계수(r)는 0.01수준(양쪽)에서 유의하였다. 기존에 CVS-75모드와 서울실주행모드를 이용하여 상관성을 검토한 논문에서도 상관계수(r)가 0.80 이상으로 양호한 상관성을 보이는 것으로 보고되었다(이종태, 1994).

오염물질별 차속별 상관계수(r)는 몇몇 경우를 제외하고 0.90 이상으로 높은 상관성을 나타내는 것으로 확인되었으며, 이러한 높은 상관성을 기초로 경유 소형승합차의 운전조건에 대한 보정계수를 산출하였다(표 5, 그림 10). 미국과 국내의 도로조건 및 주행 패턴의 차이가 있지만 평균차속이 유사한 모드간에는 오염물질 배출수준이 유사하며 상관성이 높은 것으로 확인되었다. 이는 향후 자동차 오염물질 배출계수 산정시 미국과 국내모드의 차이를 보정계수를 활용한다면 보다 신뢰성 있고 국내현실에 적합한 배출계수를 산정할 수 있을 것으로 기대되어진다.

4. 결 론

본 연구는 경유 소형승합차의 신뢰성있는 자동차 오염물질 배출계수 산정을 위해 배출가스 규제시험 모드인 CVS-75모드와 차속모드인 NIER모드에 의한 자동차 오염물질 및 연비를 측정하여 두 모드간의 오염물질별 배출량의 상관성을 비교 및 분석하고자 하였다.

1. CVS-75모드의 냉간시동과 열간시동시 오염물질 배출량을 비교한 결과 냉간시동시 열간시동보다 CO는 1.3~1.7배, HC는 1.5~2.0배, NOx는 1.2배, PM은 1.4~1.5배 높게 배출되었으며 이는 열간시동시 일정온도 이상에서 촉매가 활성화되는 반면, 냉간시동시는 낮은온도로 촉매가 활성화되지 않아 오염물질이 높게 배출되는 것으로 사료된다.

2. 두 시험모드에 의한 오염물질 배출량을 비교한 결과 CVS 2단계와 NIER 7모드의 경우 CVS가 NIER보다 오염물질은 0.8~0.9배, 연비는 1.1배이며, CVS-75모드와 NIER 9모드 및 CVS 3단계와 NIER 10모드의 경우 오염물질은 1.1~1.4배, 연비는 0.9배로 나타났다. 이는 평균차속이 유사한 두 모드간 정지, 감속, 정속, 가속 등의 주행패턴이 유사하기 때문에 오염물질 및 연비가 유사하게 나타나는 것으로 추정된다.

3. 두 모드간의 상관성을 분석한 결과 오염물질별 차속별 상관계수(r)는 몇몇 경우를 제외하고 0.90 이상으로 높은 상관성을 나타내는 것으로 확인되었으며 이러한 높은 상관성을 기초로하여 경유 소형승합차의 운전조건에 대한 오염물질 및 연비의 보정계수를 산출하였다.

4. 본 연구의 결과를 통해 향후 자동차 오염물질 배출계수 산정시 미국과 국내모드의 차이에 대해 보정계수를 활용한다면 보다 신뢰성 있고 국내현실에 적합한 배출계수를 산정할 수 있을 것으로 기대되어진다.

참 고 문 헌

동종인(1987) 대기오염과 방지기술, 신광출판사, 318-320.
이종태(1994) 「자동차 배출가스측정을 위한 CVS-75모드와

- 서울실주행모드 비교」한양대학교 환경과학대학원 석사학위논문, 1-37.
- 자동차환경센터(2000) 자동차환경개론, 문운당, pp. 218-219.
- 조강래, 엄명도, 김종춘, 홍유덕, 김종규, 한영출(1993) 자동차에 의한 오염물질 배출계수 및 배출량 산출에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 9(1), 69-77.
- 전민선, 류정호, 유영숙, 김종춘, 류정호, 임철수, 김대욱, 정성운, 조석연(2005) 휘발유 자동차의 메탄(CH₄) 배출특성에 관한 연구, 한국대기환경학회지, 21(6), 649-655.
- 한국자동차공업협회(2005) 자동차등록현황, <http://www.kama.or.kr>.
- 환경부(2004) 대기환경보전법령집, 185-188.
- Hamilton, L.C. (1990) *Modern data analysis-A first course in applied statistics*, Brooks/Cole Pub., Co., Pacific Grove, California, 480-482.
- Nam, E.K., T.E. Jensen, and T. Wallington (2004) Methane Emissions from Vehicles, *Environmental Science & Technology*, 38(7), 2005-2010.