

자동차 환경검사에 의한 대기오염물질 배출계수 및 연비 산출

이 태 우^{*1)} · 길 지 훈¹⁾ · 박 준 흥¹⁾ · 엄 명 도¹⁾ · 김 종 춘¹⁾ · 이 대 엽²⁾

국립환경과학원 교통환경연구소¹⁾ · 인하대학교 기계공학부²⁾

Emission Factor and Fuel Economy Calculation Using Vehicle Inspection and Maintenance Program

Taewoo Lee^{*1)} · Jihoon Keel¹⁾ · Junhong Park¹⁾ · Myoungdo Eom¹⁾ · Jongchoon Kim¹⁾ · Daeyup Lee²⁾

¹⁾National Institute of Environmental Research, Incheon 404-708, Korea

²⁾Department of Mechanical Engineering, Inha University, Incheon 402-751, Korea

(Received 20 February 2009 / Accepted 30 March 2009)

Abstract : An objective of this study is to give practical information that could be used for calculating pollutant emission factors and fuel economy from Korean Inspection & Maintenance program, which has been using steady state acceleration simulation mode. Concentration results from I/M test is adequately converted to mass emission factors and fuel efficiency data, which have unit of g/km and km/L, respectively. Exhaust volume flow(EVF), which is for converting emission result from concentration to mass, is measured by tracer method in various vehicle speed - power condition. It is found that there is an apparent second order relationship between EVF and vehicle inertia weight. EVF is expressed in function of vehicle inertia weight in order to estimate EVF in I/M site without measuring device. Converted mass emission results from measured EVF and raw emission analyzer show a satisfactory agreement with those from conventional CVS-bag type measurement system. Mass emission factors and fuel efficiency from measured EVF and estimated EVF also show good agreement to each other. Considering that an I/M program has great advantages to recruit-based emission test in terms of the number of test vehicle, the information in this study can be used for developing an alternative procedure to collect more various data to establish national database of mobile emission factors and fuel economy, even though the driving cycle in I/M program is steady state cycle rather than transient cycle.

Key words : Emission factor(배출계수), Fuel economy(연비), Inspection and maintenance, I/M(자동차 환경검사), Exhaust volume flow, EVF(배출가스 부피 유량), Acceleration simulation mode, ASM(가속모사모드)

1. 서 론

정확한 대기오염물질 배출계수는 국가 대기환경 진단 및 정책 수립을 위한 중요한 기초 자료이다. 우리나라의 자동차 대기오염물질 배출계수는 조건별로 선정된 차량을 임차하여 배출가스 측정 실험을 실시한 후 그 결과를 분석함으로써 산출되고 있다.

이와 같은 산출 방법은 방법적으로 타당함에도 불구하고, 충분히 많은 대수의 다양한 시험 차량을 확보하기가 어렵기 때문에 비교적 소량의 측정 결과를 바탕으로 하고 있으며 이에 기인한 대표성 확보 문제를 가지고 있는 것이 현실이다.

우리나라의 자동차 환경검사는 개별 차량 소유자들에 의해 운행 중인 자동차의 배출가스를 일정 기간마다 검사하는 국가 환경 인프라의 하나이다. 특

*Corresponding author, E-mail: taewoolee@me.go.kr

히 환경검사의 한 종류로서 2002년부터 시행중인 배출가스 정밀검사는 대도시 지역의 노후 차량에 대해 도로 부하를 모사할 수 있는 가속 모사모드 (Acceleration Simulation Mode, ASM)를 이용한 부하 검사를 실시함으로써 이전의 무부하 검사에 비해 실제 도로 주행 시의 오염물질 배출특성을 훨씬 잘 대표할 수 있도록 설계되어 있다.¹⁾ 이처럼 다양한 종류의 많은 차량에 대해 매년 축적되고 있는 정밀 검사 결과는 자동차 오염물질 배출계수 구축에 활용될 수 있는 충분한 잠재력을 가지고 있으나, 검사 결과가 g/km 등의 질량 결과가 아닌 ppm, % 등의 농도 결과로 관리되고 있기 때문에 배출계수로 직접 사용하기 곤란하다는 단점이 있다.

차량 배출가스 중의 대기 오염물질 농도 결과는 배출가스 부피 유량 측정 결과를 이용하여 질량 결과로 환산될 수 있다. 제작차 배출가스 인증시험에서는 배출가스 부피 유량 측정을 위해 임계 유량 벤츄리(Critical Flow Venturi, CFV)를 이용한 정용량 시료 채취장비(Constant Volume Sampler, CVS)가 널리 사용되고 있으나, 운행차 정밀검사에서는 사용되지 않고 있다. 해외에서는 희석된 배출가스의 유량을 초음파 유량계로 측정한 후 희석비를 이용하여 배출가스 유량을 역산하는 방법이 운행차 검사용으로 사용된 사례가 있으나,²⁾ 이와 같은 배출가스 유량 측정 장비를 국내 정밀검사에 도입하는 것은 얻어지는 편익 대비 큰 비용 부담을 초래할 것으로 예상된다.

이와 같은 배경 하에 본 연구에서는 현행 정밀검사를 통해 얻어진 차량 배출가스 중의 대기 오염물질 농도 결과를 질량 결과로 환산하기 위한 효과적이고 경제적인 방법을 도출하고자 하였다. 다양한 사양을 갖는 시험 차량에 대해 여러 운전 조건에서 배출가스 부피 유량을 측정하여 배출가스 부피 유량의 특성을 파악하였고, 이를 차량 관성중량에 대한 함수 형태로 정리함으로써 유량계를 사용하지 않고도 통계적으로 활용 가능한 질량 환산 결과를 얻을 수 있도록 하였다. 최종적으로, 연구결과의 효과적인 활용을 위해 현장에서 활용 가능한 구체적인 방법을 제시함으로써 국가 환경 정책 운용에 도움이 될 수 있도록 하였다.

2. 시험내용 및 방법

2.1 시험의 구성

본 연구의 목적을 효과적으로 달성하기 위해 시험을 (1) 배출가스 부피 유량 측정 시험 및 (2) 농도 측정 결과의 질량 환산 시험 등 두 부분으로 나누어 구성하였다.

2.1.1 배출가스 부피 유량 측정 시험

휘발유 승용차 4대의 배출가스 부피 유량을 측정하여 배기량, 관성중량, 엔진 회전속도 및 차량비출력(Vehicle Specific Power, VSP)의 변화에 따른 배출가스 부피 유량의 변화를 파악하였다.

시험 모드는 일정한 차량비출력 조건하에서 400 초 동안 정속 상태로 주행하는 정속 주행 모드를 사용하였다. 차량비출력은 가속 모사모드에서의 도로 부하를 나타내는 지표³⁾로서, 차량의 속도 및 가속도를 포함하는 동시에 차량 중량에 대한 비출력이라는 점에서 차량 시험 결과 분석에 활용도가 높은 변수라 할 수 있다.^{4,6)} 엄밀히 말해 차량비출력은 차량마다 모두 다르지만, 본 연구에서는 중소형 차량에 대해서는 일반적으로 적용 가능하다고 알려진 식 (1)을 이용하였다.³⁾ 도로 구배는 0으로 설정하였다.

$$VSP = 0.278v \times [0.305a + 9.81(\sin(a \tan(r/100))) + 0.132] + 0.0000065v^3 \quad (1)$$

where,

VSP : Vehicle specific power (kW/ton)

v : Vehicle speed (km/h)

a : Vehicle acceleration (km/h/s)

r : road gradient (%)

Table 1은 배출가스 부피 유량 측정 시험에 사용된 9개의 운전점이다. 차량비출력 구간은 이전 연구에서 활용된 구간을 준용하였다.⁵⁾ 각 운전점은 평탄한 도로를 정속 주행할 때 필요한 도로부하보다 최대 4.5배 더 큰 도로부하로 설정되어 있으며, 이를 통해 정속 주행 상태로 가속 주행을 모사하게 된다.¹⁾

Table 1 Running points of steady state ASM driving cycles

Speed(km/h)	VSP(kW/ton)				
	2.5	5.4	8.5	11.5	14.5
40	○	○	○	-	-
60	-	○	○	○	-
80	-	-	○	○	○

2.1.2 농도 측정 결과의 질량 환산 시험

운행차 배출가스 정밀검사용 장비에 의해 휘발유 승용차 7대의 배출가스 농도를 측정한 후, 배출가스 부피 유량과 각 화학종의 밀도를 이용하여 질량 결과로 환산하였다. 총 28개의 환산 결과를 제작차 배출가스 인증시험용 장비에 의해 측정된 결과와 비교하여 그 타당성을 검증하였다. 시험 모드는 Table 1의 운전점 중 차속 40 km/h, 차량비출력 5.4 kW/ton인 운전점을 사용하였는데, 이는 국내 휘발유 자동차의 정밀검사 모드인 ASM 2525 모드 운전점이다.

2.2 시험차량 및 연료

시험 차량은 휘발유 승용차 10대로서, 주요 제원 및 적용된 시험 내용은 다음 Table 2와 같다. 연료는 시중에서 판매되는 일반 휘발유를 사용하였다.

2.3 시험 장비

본 연구에서는 제작차 배출가스 인증시험용 장비와 운행차 배출가스 정밀검사용 장비를 함께 사용하였다. Fig. 1은 시험 장비의 개략도이다.

2.3.1 제작차 배출가스 인증시험용 장비

제작차 인증용 장비는 차대동력계(AVL), 정용량 시료 채취 장비(Horiba) 및 희석 배출가스 분석기(Horiba)로 구성된 장비이다. 차대동력계는 지름 1.22 m의 롤러 1개와 롤러의 관성을 기계적, 전기적

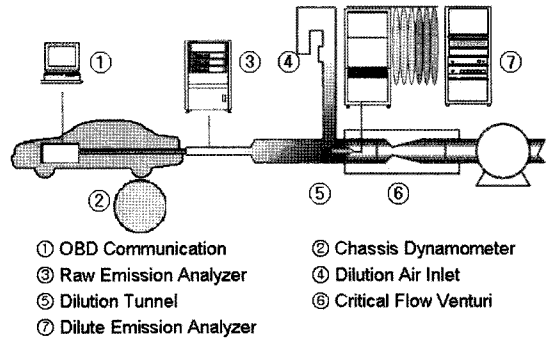


Fig. 1 Experimental setup of chassis dynamometer test for vehicle emission measurement. Raw emission analyzer is for I/M program, dilute emission analyzer is for vehicle emission certification program

으로 제어하는 제어장비로 구성되어 시험 차량의 부하를 설정한다. 주행 중 발생된 시험 차량의 배출가스와 희석용 공기가 섞인 희석 배출가스는 정용량 시료 채취 장비에 의해 일정한 양만큼 테플론 백(bag)에 담겨지게 되며, 배출가스 분석기는 탄화수소는 화염이온화법, 질소산화물은 화학발광법, 그리고 이산화탄소와 일산화탄소는 비분산 적외선법을 이용하여 그 농도를 측정한다. 농도 결과는 정용량 시료 채취 장비에서 측정된 배출가스 부피 유량을 이용하여 질량 결과로 최종 환산된다.

2.3.2 운행차 배출가스 정밀검사용 장비

운행차 검사용 장비는 차대동력계(MAHA) 및 배기관 배출가스 분석기(Horiba)로 구성된 장비이다. 운행차용 배출가스 분석기는 제작차용 분석기에 비해 구조가 간단한데, 탄화수소, 질소산화물, 이산화탄소 및 일산화탄소의 농도를 모두 비분산 적외선법으로 측정한다. 탄화수소는 핵산(C₆H₁₄), 질소산화물은 일산화질소(NO)의 흡수과장을 기준으로 측정한다. 본 연구에서는 운행차용 차대동력계는 사

Table 2 Main specification of the test vehicles. In the row named 'Test', EVF means exhaust volume flow measurement test (section 2.1.1) and EM means emission measurement test (section 2.1.2)

Vehicle	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10
Model Year	2006	2007	2007	2006	1996	2000	1995	1996	1995	2008
Displacement (cc)	999	1,591	1,998	2,656	1,495	1,495	1,495	1,793	2,497	3,342
Inertia Weight (kg)	1,021	1,327	1,601	1,739	1,206	1,346	1,206	1,396	1,731	1,851
Transmission	AT-4	AT-4	AT-4	AT-5	AT-5	AT-4	AT-4	AT-4	AT-5	AT-6
Mileage (km)	45,010	58,310	49,243	59,420	125,549	108,876	148,921	200,832	225,934	8,084
Test	EVF/EM	EVF	EVF	EVF	EM	EM	EM	EM	EM	EM

용하지 않고 제작차용 차대동력계만을 사용하였다.

제작차용 장비와 운행차용 장비의 중요한 차이점 중 하나는 정용량 시료 채취 장비의 존재 여부이다. 정용량 시료 채취 장비는 희석 배출가스의 부피 유량을 측정함으로써 대기 오염물질의 농도를 질량으로 환산할 수 있도록 한다. 따라서, 최종 시험결과가 g/km의 질량 단위로 산출되어야 하는 제작차 인증 시험에는 이 장비가 반드시 필요한 반면, 최종 결과가 ppm 또는 %의 농도 단위로 산출되지만 하면 되는 운행차 정밀검사에는 필요 없게 된다.

2.4 배출가스 부피 유량 측정

전술한 바와 같이, 정밀검사의 농도 결과를 질량 결과로 환산하기 위해서는 차량의 배출가스 부피 유량을 측정해야 한다. 최근 이동식 배출가스 측정 장비의 도입 등 다양한 필요에 의해 차량의 배출가스 유량을 정확히 측정하고자 하는 연구가 계속되고 있는데, 피토투브,⁷⁾ 벤츄리,⁸⁾ 칼만 볼텍스,⁹⁾ 가변형 벤츄리,¹⁰⁾ 환상막대형 차압유량계¹¹⁾ 등이 소개되었으며, 배출가스의 성분을 이용한 질량 발란스 방법,¹²⁾ 흡기다기관 절대 압력과 같은 엔진 운전 변수를 이용한 방법^{13,14)} 등이 알려져 있다.

본 연구에서는 배출가스 중의 이산화탄소를 트레이서 가스로 사용하는 트레이서 방법을 통해 배출가스 부피 유량을 측정하였다. 이 방법은 과도 운전 시에는 사용이 어렵지만, 정상상태 운전에서는 정확한 측정이 가능하며,¹⁵⁾ 본 연구와 시험 장비 구성이 유사한 타 연구에도 적용되어 타당성이 확인된 방법이다.^{14,16)} 계산 방법은 다음 식 (2)와 같다.

$$EVF = \left(\frac{Diluted CO_2 - A}{Raw CO_2 - A} \right) \times CVS \text{ flow} \quad (2)$$

where,

EVF : Exhaust volume flow (m³/min)

Diluted CO₂ : CO₂ conc. in diluted exhaust gas (%)

Raw CO₂ : CO₂ conc. in raw exhaust gas (%)

A : CO₂ conc. in dilution air (%)

CVS flow : Diluted exhaust gas volume flow through critical flow venturi in CVS (m³/min)

3. 시험결과 및 검토

3.1 배출가스 부피 유량 측정 결과

3.1.1 측정 결과의 타당성 검증

트레이서 방법에 대한 타당성은 이미 확인된 바 있으나, 배출가스 부피 유량 측정의 중요성을 감안하여 두 운전조건에서 검증 시험을 실시하였다. Fig. 2의 막대 (a)와 막대 (b)는 다른 희석 조건에서의 트레이서 방법의 측정값이고, 막대 (b)와 막대 (c)는 같은 희석 조건에서의 다른 측정방법에 의한 측정값이다. 막대 (c)는 교정용 유량계인 SAO(Smooth Approach Orifice)¹⁶⁾를 Fig. 1의 ④ 위치에 설치하여 임계 유량 벤츄리 유량과의 차이를 구하여 얻은 값이다.¹⁷⁾ 트레이서 방법의 측정값은 교정용 유량계의 측정값 대비 평균 1.3%, 최대 3.6%의 편차를 보이는 등, 잘 일치하는 결과를 나타내고 있다.

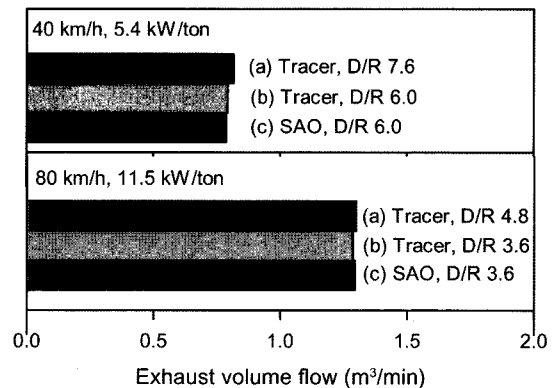


Fig. 2 Comparison of exhaust volume flow measurements using tracer method and Smooth Approach Orifice (SAO) in different dilution ratio(D/R). Test vehicle is V5

3.1.2 배출가스 부피 유량 변화

Fig. 3은 정속주행 하에서의 V1 ~ V4의 배기량 변화(a) 및 차량 관성중량 변화(b)에 따른 배출가스 부피 유량의 변화를 나타낸 것이다. 엔진 배기량 및 차량 관성중량 증가에 따라 배출가스 부피 유량은 증가하고 있으며, 그 경향은 모든 차속에서 같다. 같은 시험 조건에서, 배기량 2.7L급의 V4는 배기량 1L급의 V1 대비 50.4 ~ 86.9% 많은 배출가스 부피 유량을 보인다. 변수에 대한 배출가스 부피 유량의 상관관계는 두 변수 모두 우수하나, 관성중량의 경우가 보

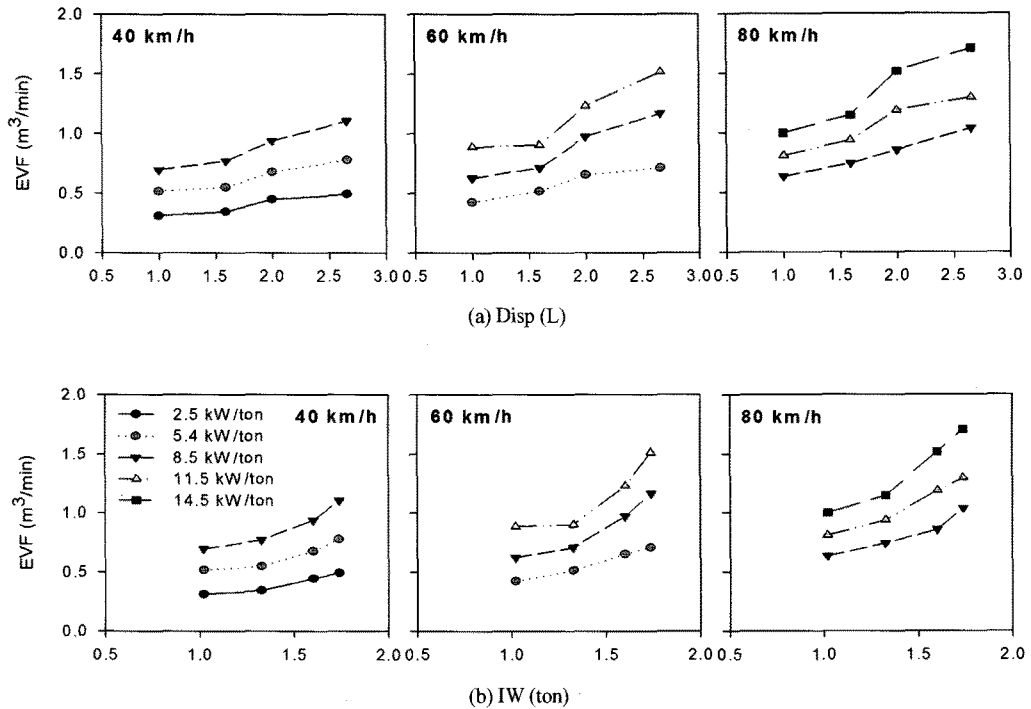


Fig. 3 Effect of engine displacement (a) and vehicle inertia weight (b) on exhaust volume flow rate

다 뚜렷한 2차 함수의 경향을 나타내고 있다.

Fig. 4는 각각의 속도 영역에서 차량비출력의 변화에 따른 배출가스 부피 유량의 변화를 차량별로 나타낸 것이다. Fig. 4(a)는 차량비출력의 변화를 기준으로 표현한 것이고, 그 차량비출력 변화에 의해 초래된 엔진 회전속도를 기준으로 표현한 것이 Fig. 4(b)이다. Fig. 4(a)에서는 차량비출력 증가에 따른 배출가스 부피 유량의 증가가 관찰되고 있으며, 선형적인 상관관계가 비교적 뚜렷하게 나타나고 있다. 동일 차량에서 차량비출력이 1 kW/ton 증가 할 때 배출가스 부피 유량은 0.06 ~ 0.13 m³/min 증가하며, 그 정도는 배기량이 큰 중대형 차량에서 더 크게 나타난다.

Fig. 4(b)에서, 차량비출력 증가에 의한 엔진 회전속도의 증가는 선형적으로 이루어지지 않고 단계적으로 이루어지는 모습을 보여주고 있다. 자동 변속기 차량의 경우, 동일한 차속을 유지한 상태로 차량에 부과되는 외부 부하가 변화할 때, 변속비는 차량의 여유 구동력과 외부 부하의 상대적 크기에 의해 결정된다. 여유 구동력이 변화된 외부 부하 대비 충

분한 경우는 그 변속비로 계속 주행기 때문에 유사한 회전속도 범위 내에서 배출가스 부피 유량만 증가하는 결과를 나타낸다. 그러나 여유 구동력이 변화된 외부 부하를 감당하지 못하는 경우에는 동일한 차속을 유지하기 위해 저단 변속비로 변속되며, 이에 따라 엔진 회전수와 배출가스 부피 유량이 모두 상승하게 된다. Fig. 4(b)는 이와 같은 상황을 잘 나타내 주고 있다.

3.1.3 배출가스 부피 유량 함수 도출

배출가스 부피 유량 함수를 도출한다는 것은 배출가스 부피 유량을 차량의 주요 제원에 대한 함수 형태로 정리함으로써, 차량의 제원만 알면 유량계 없이도 배출가스 부피 유량을 예측할 수 있도록 한다는 의미이다. 이는 정밀검사와 같은 정속 모드 특징과 휘발유 자동차의 이론공연비 연소 특징을 함께 감안한 접근 방법이다. 배출가스 부피 유량 함수의 독립 변수로서 차량의 어떤 제원을 사용할 지 결정하는 것은 매우 중요하다. 앞에서 살펴본 바와 같이, 배출가스 부피 유량은 차량의 중량, 배기량, 출력, 차속, 엔진 회전속도 등에 의존한다. 본 연구

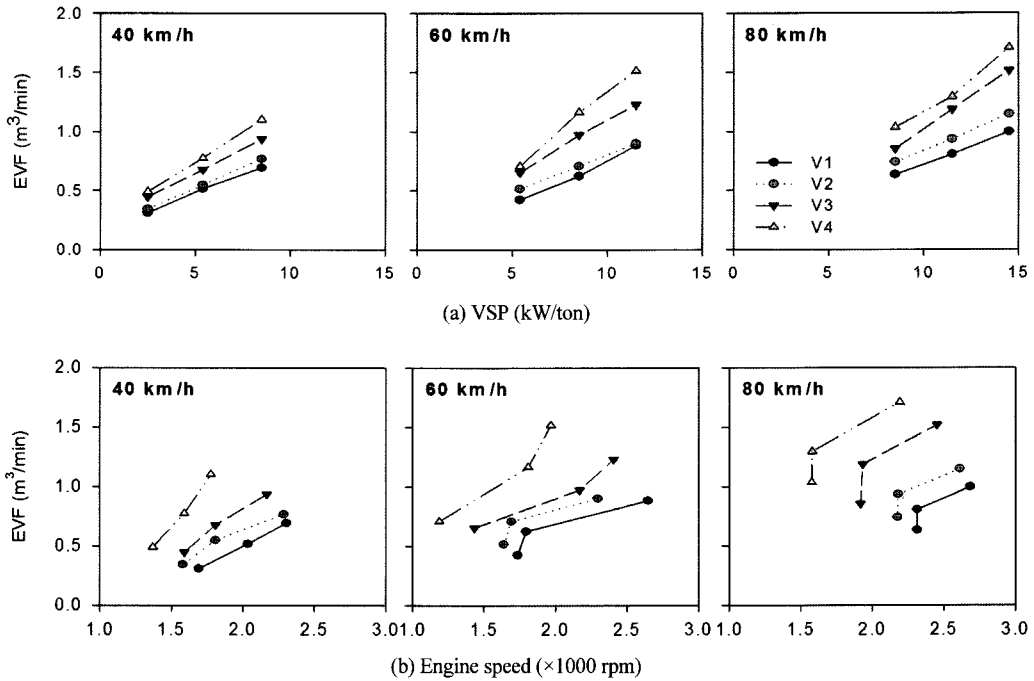


Fig. 4 Effect of vehicle specific power (a) and consequent engine speed (b) on exhaust volume flow rate

에서 배출가스 부피 유량 함수는 차속 40 km/h, 차량 비출력 5.4 kW/ton 인 ASM 2525 모드 운전점에 대해서만 도출할 것이기 때문에, 차속과 차량비출력은 상수로 고정된다. 엔진 회전속도는 유용한 변수이기는 하나 통상적으로 정밀검사 시 측정하지 않기 때문에 활용성이 떨어진다.

본 연구에서는 배출가스 부피 유량에 대해 뚜렷한 2차 함수의 상관성을 보여주었던 차량 관성중량을 독립변수로 하여 식 (3)과 같은 배출가스 부피 유량 함수를 도출하였다. 식 (3)은 Table 2의 시험 차량 10대 및 추가 시험 차량 7대의 ASM 2525 모드 시험 결과를 바탕으로 한 결과로서, 결정계수(R^2)는 0.96이다. paired-t 검정 결과, 배출가스 부피 유량 측정값과 함수값 사이에는 통계적으로 유의한 차이가 없음을 확인하였다. Fig. 5에 식 (3)과 시험결과를 함께 도시하였다.

$$EVF = 0.169IW^2 - 0.1359IW + 0.4975 \quad (3)$$

where,

EVF : Exhaust volume flow (m^3/min)

IW : Inertia weight (ton)

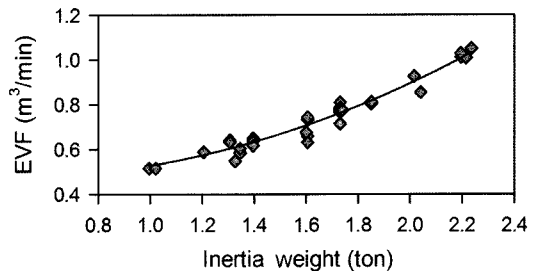


Fig. 5 Exhaust volume flow expressed by function of inertia weight. Applicable for ASM 2525 test cycle, gasoline fueled vehicle with inertia weight 1.0 ~ 2.2 ton

3.2 농도 결과의 질량 결과 환산

운행차용 장비로 측정된 배출가스 농도를 각 오염물질의 분자량과 표준상태에서의 밀도를 이용하여 질량 결과로 환산하였다.¹⁶⁾ 운행차용 분석기의 헥산기준 탄화수소 측정값에는 6을 곱하여 ppmC 단위로 환산하였다. 배출가스 부피 유량은 측정값 및 함수값을 각각 사용하였다. 명확한 서술을 위해, 이후부터는 제작차용 분석기와 정용량 시료 채취 장비를 이용하여 얻은 질량 결과를 'BAG', 운행차용 장비로 측정된 배기관 배출가스 농도를 질량 결

과로 환산한 결과를 'MODAL'로 표시하도록 하였다. MODAL 결과 중 배출가스 부피 유량 측정값을 사용하여 환산한 값을 'MODAL(m)'으로, 식 (3)의 함수값을 사용하여 환산한 값을 'MODAL(e)'로 표시하였다.

Fig. 6은 정속 모드에서 측정된 배출가스 중의 대기 오염물질 질량 결과를 비교하여 표시한 것이다. Fig. 6(a)의 x축은 BAG, y축은 MODAL(m)이고, Fig. 6(b)의 x축은 MODAL(m), y축은 MODAL(e) 결과이다. Fig. 6(a)에서, 이산화탄소와 질소산화물의 MODAL(m) 결과는 BAG 결과와 정량적, 정성적으로 좋은 일치를 보이고 있다. 일산화탄소는 정성적인 경향은 대체로 잘 일치하고 있으나 배출량 0.5 g/km 이하 영역의 일부 MODAL 결과가 BAG 결과 대비 작은 값을 보이고 있다. 이는 제작차용 장비가 일산화탄소 농도를 ppm 단위로 측정하는 반면, 운행차용 장비는 % 단위로 측정하는 등의 측정장비 정밀도 차이가 반영된 결과로 사료된다. 탄화수소는 정성적인 상관성이 우수한 반면 정량적으로는 BAG 결과 대비 63% 수준의 낮은 MODAL 값을 보이고 있다. 이는 제작차용 장비가 화염이온화법에 의해 모든 탄소 원자를 측정하는 반면, 운행차용 장

비는 비분산 적외선법에 의해 핵산만을 측정하기 때문이다.¹⁶⁾

Fig. 6(b)에서, 각 오염물질의 MODAL(m) 결과와 MODAL(e) 결과는 회귀직선의 기울기는 0.96 ~ 1.01, 결정계수 R^2 는 0.93 이상의 값을 보이는 등, 정량적, 정성적으로 뛰어난 일치를 보이고 있다. 이는 본 연구를 통해 얻어진 배출가스 부피 유량 함수를 이용하여 정밀검사 결과를 g/km 단위를 갖는 배출계수로 환산하는 것이 타당한 접근 방법임을 입증하는 결과라 할 수 있다.

3.3 자동차 환경검사의 구체적인 활용

3.3.1 정속 배출계수 산출

정밀검사의 ASM 2525 모드에서의 대기 오염물질 농도 결과를 이용하여 g/km 단위를 갖는 40 km/h 정속주행 시의 배출계수를 산출하는 구체적인 방안을 식 (4) 및 Table 3에 제시하였다. 식 (4)의 괄호 내에 있는 계수인 A, B, C는 배출가스 부피 유량 함수 종류 및 대상 오염물질에 따라 달라진다. 제작차용 장비와 운행차용 장비간의 측정원리 및 정밀도 차이에 기인한 측정결과 간의 정량적인 차이는 보정계수 CF를 이용하여 보정하였다. 본 연구에 사용된

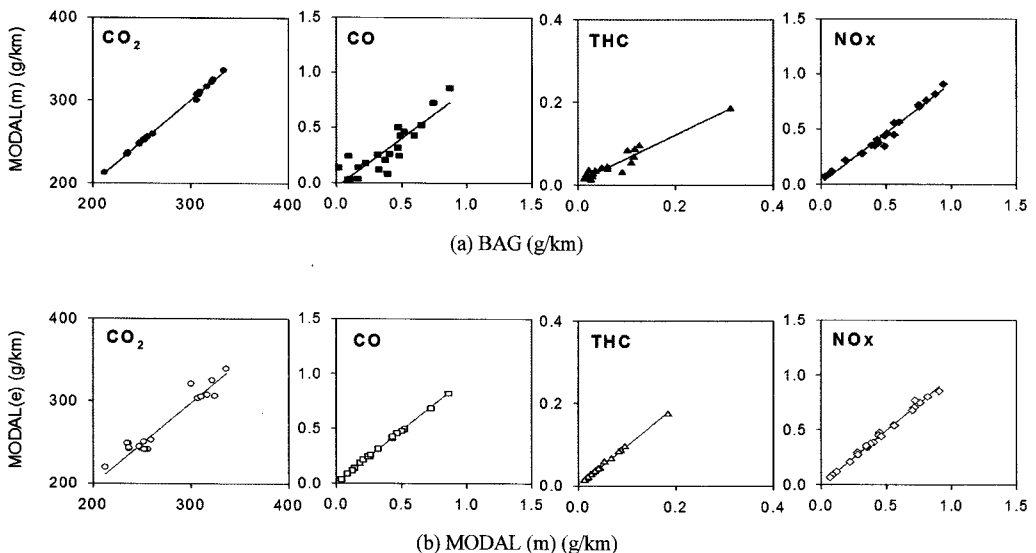


Fig. 6 Comparison of mass emission results using (a) CVS-bag measurement system, BAG and I/M emission measurement system with measured exhaust volume flow, MODAL(m), (b) MODAL(m) and estimated exhaust volume flow, MODAL(e)

Table 3 Coefficients for equation (4) to estimate mass emission factors. Applicable for ASM 2525 test cycle, gasoline fueled vehicle with inertia weight 1.0 ~ 2.2 ton

i	A	B	C
CO ₂	4.638	-3.730	13.653
CO	32.952	-2.374	8.689
THC	9.1×10 ⁻⁴	-7.3×10 ⁻⁴	2.7×10 ⁻³
NOx	4.8×10 ⁻⁴	-3.9×10 ⁻⁴	1.4×10 ⁻³

장비의 CF 값은 이산화탄소, 일산화탄소, 탄화수소, 질소산화물에 대해 각각 1.00, 1.24, 2.05, 1.03이다.

$$EM_i = EC_i \times (A_i \cdot IW^2 + B_i \cdot IW + C_i) \times CF_i \quad (4)$$

where,

EM: Calculated raw emission (g/km)

EC: Measured raw emission in unit of % (CO₂ and CO) or ppm (THC and NOx)

CF: Correction factor for raw gas analyzer

IW: Inertia weight (ton)

Subscript i = CO₂, CO, THC, NOx

이렇게 얻어진 배출계수는 차속 40 km/h의 정속 주행이라는 제한된 주행 조건에서 얻어진 것이기 때문에, 보다 폭넓은 활용을 위해서는 배출계수 산정을 위해 사용되어지는 과도(transient) 주행모드 측정 결과와의 상관성을 파악할 필요가 있다. Table 4에 본 시험을 통해 얻어진 8대 시험차량의 배출계수 수준과 휘발유 승용차에 대해 산정된 국가 배출계수¹⁸⁾를 비교하였다. 국가 배출계수는 차속에 대한 함수로 주어지므로, Table 4에는 차속 40 km/h에서의 결과만을 표시하였다.

시험 주행 모드의 차이를 감안할 때, 두 결과는 비

Table 4 Comparison of mass emission factors from this test and Korean national emission inventory program

Description		This test	Korean national emission inventory
Test cycle (type)		ASM 2525 (Steady State)	NIER 01~15 (transient)
Emission level	CO	0.021~0.861	0.262~1.567
	THC	0.013~0.184	0.010~0.172
	NOx	0.067~0.906	0.037~0.630

교적 유사한 수준으로서, 이와 같은 유사성은 본 연구를 통해 얻어진 40 km/h 정속 배출계수의 활용 가능성을 시사하는 결과이다. 더불어 향후 정속 주행 모드와 과도(transient) 주행모드 간의 측정 결과 상관성을 보다 명확히 파악함으로써 그 활용의 폭을 더욱 넓힐 수 있을 것으로 사료된다.

3.3.2 정속 연비 산출

오염물질 배출계수를 이용하여 km/L 단위를 갖는 40 km/h 정속 주행 시의 연비를 산출하였다.¹⁶⁾ Fig. 7은 MODAL(e) 배출계수 결과를 이용하여 구한 연비를 MODAL(m) 배출계수 결과를 이용하여 구한 연비와 비교한 것이다. MODAL(e) 연비 결과는 MODAL(m) 연비 대비 평균 1% 이내, 최대 +/- 6.5% 이내의 편차를 갖는 결과를 보임을 확인하였다. 현재 정밀검사 시의 연비 결과는 전혀 축적되어 있지 않기 때문에, 본 연구 결과는 지역별, 연식별, 주행거리별로 세분화된 국가 차량 연비 정보를 구축하는 데 일조할 것으로 사료된다.

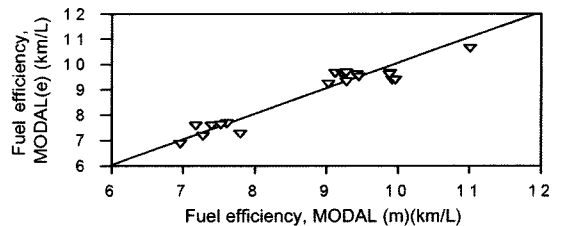


Fig. 7 Comparison of fuel economy result using I/M emission measurement system with measured exhaust volume flow, MODAL(m) and estimated exhaust volume flow, MODAL(e)

4. 결론

- 1) 배출가스 부피 유량 측정 및 분석을 통해 차량 관성중량을 독립변수로 하는 배출가스 부피 유량 함수를 도출하였다. paired-t 검정 결과, 배출가스 부피 유량 측정값과 함수값 사이에는 통계적으로 유의한 차이가 없음을 확인하였다.
- 2) 운행차 정밀검사의 농도 측정 결과를 배출가스 부피 유량 함수를 이용하여 g/km 단위를 갖는 질량 결과인 배출계수로 환산하였다. 제작차용 장비와 운행차용 장비간의 측정 원리 및 정밀도 차이를 고려할 때, 환산 결과는 측정 결과와 정량

적, 정성적으로 좋은 일치를 보이고 있다.

- 3) 정밀검사의 농도 결과를 질량 결과로 환산함으로써 이를 활용한 정속 주행 연비 측정이 가능하도록 하였다.
- 4) 운행차 정밀검사 현장에서 쉽게 적용 가능한 대기 오염물질 배출계수 및 연비 산출 방안을 제시함으로써 연구 결과가 국가 교통 환경 데이터베이스 구축 등에 실제적으로 활용될 수 있도록 하였다.
- 5) 본 연구를 통해 얻을 수 있는 배출계수 및 연비는 비록 차속 40 km/h의 정속 주행이라는 제한된 주행 조건에 대한 것이지만, 추가 비용 부담 없이 지역별, 연식별, 주행거리 별로 세분화된 많은 자료를 얻을 수 있다는 점에서 그 기대 효과가 크다고 하겠다.

Future Work

본 연구 결과를 통해 배출가스 부피 유량 함수의 활용 가능성이 확인된 바, 보다 다양한 제원을 갖는 많은 대수의 차량 시험을 통한 광범위한 배출가스 부피 유량 데이터베이스를 구축할 계획이다. 또한, 정속 주행모드와 과도(transient) 주행모드 간의 측정 결과 상관성을 파악하여 ASM 2525 모드를 통해 얻어진 정속 배출계수를 보다 폭넓게 활용할 수 있도록 할 계획이다.

References

- 1) US EPA, Acceleration Simulation Mode Test Procedures, Emission Standards, Quality Control Requirements, and Equipment Specifications, EPA Report 420-B-03-008, 2004.
- 2) US EPA, "Inspection and Maintenance (I/M) Program Effectiveness Methodologies," EPA Report 420-S-98-105, 1998.
- 3) US EPA, "Methodology for Developing Modal Emission Rates for EPA's Multi-scale Motor Vehicle & Equipment Emission System," EPA Report 420-R-02-027, 2002.
- 4) T. Lee, B. Lee, S. Cho, J. Park, M. Eom, J. Kim and D. Lee, "On-Road Testing and Calculation of Emission Factor and Fuel Economy," Transactions of KSAE, Vol.17, No.3, pp.90-101, 2009.
- 5) H.C. Frey, K. Zhang, N. Roupail, "Fuel Use and Emissions Comparisons for Alternative Routes, Time of Day, Road Grade, and Vehicles Based on In-Use Measurements," Environ. Sci. Technol. Vol.42, No.7, pp.2483-2489, 2008.
- 6) R. Rykowski, E. Nam and G. Hoffman, "On-road Testing and Characterization of Fuel Economy of Light-Duty Vehicles," SAE 2005-01-0677, 2005.
- 7) M. Akard, K. Oestergaard, S. Porter, M. Gautam, D. Carder, D. Love, T. Moye and H. Garabedian, "Further Investigation into the Performance of Two Different On-Board Emission Measurement System Compared to Laboratory Measurement," SAE 2004-01-3480, 2004.
- 8) Y. Yamagishi, "The MDLT-1302T Partial Flow Dilution Tunnel for Transient Test Cycle PM Sampling," Horiba Technical Report, 2003.
- 9) M. Yassine, M. Marji, R. Berndt and T. Laymac, "Parameters Affecting Direct Vehicle Exhaust Flow Measurement," SAE 2003-01-0781, 2003.
- 10) S. Yanagihara, O. Mochizuki, K. Sato and K. Saito, "Variable Area Venturi-Type Exhaust Gas Flow Meter," JSAE Review, Vol.20, pp.259-279, 1999.
- 11) K. Kim, M. Kim, D. Park and C. Lee, "A Study on Improvement of an Annular Bar Type D2P Flow Meter for Measuring Exhaust Flow Rate of Diesel Engine," Spring Conference Proceedings, KSAE, pp.489-494, 2007.
- 12) M. Vojtisek-Lom and J. Allsop, "Development Of Heavy-Duty Diesel Portable, On-Board Mass Exhaust Emissions Monitoring System With NOx, CO2 and Qualitative PM Capabilities," SAE 2001-01-3641, 2001.
- 13) S. Sato, T. Yamamoto and Y. Ogawa, "Research on Measurement Method of Exhaust Gas Flow Rate for On-board Measurement System," SAE 2007-01-4080, 2007.
- 14) C. Gierczak, T. Korniski, T. Wallington and J. Butler, "Laboratory Evaluation of the SEMTECH-G Portable Emissions Measurement System(PEMS) For Gasoline Fueled Vehicles," SAE 2006-01-1081, 2006.

- 15) C. Bannister, F. Wallace, J. Hawley and C. Brace, "Predicting Instantaneous Exhaust Flowrates in a Constant Volume Sampling System," Proc. IMechE Vol.221 Part D: J. Automobile Engineering, pp.1585-1598, 2007.
- 16) H. Nakamura, N. Kihara, M. Adachi, S. Nakamura and K. Ishida, "Development of Hydro Carbon Analyzer Using Heated-NDIR Method and Its Application to On-board Mass Emission Measurement System," JSAE Review, Vol.24, pp.127-133, 2003.
- 17) W. Miller, T. Durbin, K. Johnson and D. Cocker, "Final Report - Evaluation of Portable Emissions Measurement Systems for Inventory Purposes and the Not-To-Exceed Heavy-Duty Diesel Engine Regulation," California Air Resources Board Contract No.03-345, 2006.
- 18) J. H. Ryu, Y. S. Lyu, S. W. Jung, D. W. Kim, Y. G. Son, C. W. Youn, S. J. Jeon and J. C. Kim, "A Study on the Calculation of Pollutant Emission Factors for Vehicle(4)," NIER Report 2006-17-799, 2006.