

도로 주행 중의 비출력 및 가속도 조건을 반영한 차속별 배출계수 연구

이 태 우^{*1)} · 길 지 훈¹⁾ · 박 준 홍¹⁾ · 박 용 희¹⁾ · 홍 지 형¹⁾ · 이 대 엽²⁾

국립환경과학원 교통환경연구소¹⁾ · 인하대학교 기계공학부²⁾

Speed-Based Emission Factor regarding Vehicle Specific Power and Acceleration during On-road Driving

Taewoo Lee^{*1)} · Jihoon Keel¹⁾ · Junhong Park¹⁾ · Yonghee Park¹⁾ · Jihyung Hong¹⁾ · Daeyup Lee²⁾

¹⁾National Institute of Environmental Research, Kyeongseo-dong, Seo-gu, Incheon 404-708, Korea

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

(Received 15 January 2010 / Accepted 10 June 2010)

Abstract : The performance of emission factor has been validated by comparison with on-road test data. Emission factor, which is a function of vehicle speed, has been acquired based on chassis dynamometer test with NIER driving pattern. Portable Emission Measurement System, PEMS has measured on-road emission. Test vehicle was operated on defined test routes under different driving conditions, and made ten trips along its route. Emission factors properly simulate on-road test result, although there is some drawback to consider variety of driving condition on real world. Vehicle specific power and acceleration have been used to explain the distributed on-road result within same vehicle speed range. The trend in carbon dioxide and nitrogen oxide emission with respect to specific power and acceleration is clear. It has been found that specific power is a good explanatory variable for microscopic analysis for modal test result. Acceleration is good for microscopic as well as macroscopic analysis.

Key words : Speed-based emission factor(차속별 배출계수), Portable Emission Measurement System, PEMS(이동식 배출가스 측정장비), Acceleration(가속도), Vehicle Specific Power, VSP(차량비출력), Carbon dioxide(이산화탄소), Air pollutants(대기 오염물질)

1. 서 론

자동차에서 배출되는 이산화탄소 및 대기 오염물질은 지구 기후변화와 개인의 건강에 영향을 미치기 때문에 그 배출량을 정확히 파악하는 것은 중요한 의미를 갖는다. 자동차의 이산화탄소 및 대기 오염물질 배출량은 여러 가지 방법으로 산출된다.^{1,2)} 우리나라는 배출계수(Emission factor)를 주행거리 활동도와 조합하여 배출량을 산출하고 있다.³⁾ 배출량 산출에 기본이 되는 배출계수는 표준 주행패턴을 이용한 차대동력계 시험을 통해 얻어진다.⁴⁾

표준 주행패턴을 이용한 차대동력계 시험은 여러 종류의 차량에 대한 배출량의 정량 비교가 가능하다는 큰 장점이 있는 반면, 실제 도로상에서의 다양한 교통 환경을 반영하기 어렵다는 단점을 지니고 있다.⁵⁾ 즉, 실제 도로상에서는 도로의 제한 속도, 차선 수, 교차로의 빈도 등과 같은 환경적 요인이 주행 패턴에 영향을 미치고, 이는 다시 자동차의 속도, 가속도, 출력 등의 주행변수를 변화시키는 등, 1개의 특정한 주행패턴으로 대표하기 어려운 복잡하고 다양한 상황이 벌어지기 때문이다.⁶⁾ 또한, 최종적으로 얻어진 배출계수는 평균 주행 차속에 대한 함수 형태를 갖기 때문에 동일한 차속 범위에서 발생할 수

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

있는 배출량 산포를 적절히 표현하기 어렵다고 지적 할 수 있다.

본 연구에서는 현행 배출계수의 타당성을 확인하고, 실제 도로 주행 중의 다양한 조건을 반영하기 위한 가능성을 검토하였다. 배출계수의 타당성 검증을 위해 현행 배출계수 산출 방법에 의해 얻어낸 시험 차량의 차속별 배출계수를 이동식 배출가스 측정장비(Portable Emission Measurement System, PEMS)를 이용한 실제 도로상에서의 주행 결과와 비교하였다. 다양한 실제 주행 조건의 영향을 분석하기 위해 차량의 비출력과 가속도에 따른 이산화탄소 및 대기 오염물질 배출량을 분석하였다. 또한, 측정결과를 분석함에 있어, 기존에 많이 사용되던 거시적 방법과 함께 PEMS의 초 당 측정 기능을 활용한 미시적 방법을 함께 사용하였다.

2. 시험내용 및 방법

2.1 시험 차량 및 연료

시험 차량은 배기량 2,476 cc의 2002년식 경유 다목적 자동차(테라칸)이다. 본 차량은 2001년 1월 1일 이후 다목적 자동차 배출허용기준 대응 차량이며, 4단 자동변속기를 가지고 있다. 누적 주행거리는 109,036 km이다. 흡기계통은 터보-인터쿨러 방식이고, 배기계통에는 산화촉매장치가 장착되어 있다. 연료공급계통은 펌프-파이프-노즐로 구성되어 있다. 시험 연료는 시판 경유를 사용하였다.

2.2 차속별 배출계수 산출

2.2.1 차속별 배출계수 산출 방법

자동차의 이산화탄소 및 대기 오염물질 배출계수는 단위 주행거리 당 배출량이다. 배출계수 함수는 15개 주행패턴의 평균 차속과 배출량 간의 상관회귀식으로서, 차속의 함수로 표현된다. 배출계수 산출용 주행패턴은 우리나라의 주요 도로별 주행패턴을 모사하여 차속별로 분류한 NIER 주행패턴을 사용하였다.³⁾

2.2.2 차속별 배출계수 측정 장비

차속별 배출계수 측정 시스템은 교통환경연구소의 제작자동차 배출가스 인증시험용 장비를 이용하

였다. 시험 차량이 열간 상태로 차대동력계 상에서 주행할 때의 배출가스를 희석용 공기로 희석한 후 정용량 시료 채취 장치(Constant Volume Sampler, CVS)를 통해 채취하여 배출가스 분석기로 분석하였다. 차대동력계는 지름 1.22 m의 롤러 1개와 롤러의 관성을 기계적, 전기적으로 제어하는 제어장비를 이용하여 시험 차량의 부하를 설정한다. 배출가스 분석기에 대해서는 다음 장에 PEMS와 비교하여 서술하였다. Fig. 1은 차대동력계 배출가스 시험 모습이다.



Fig. 1 Experimental setup of chassis dynamometer test for vehicle emission measurement

2.3 실도로 링크 평균 배출량 측정

2.3.1 이동식 배출가스 측정 시스템(PEMS)

PEMS(Horiba, OBS-2200)는 농도분석부, 배출가스 부피 유량 측정부, 전원 공급부 및 주행변수 측정부로 구성된다. Table 1에 PEMS와 인증용 분석기를 비교하였다. 각 측정항목별 정확도는 최대 측정 범위의 $\pm 2.5\%$ 이내이다. PEMS의 분석기용 가스는 교정용(span) 혼합 표준가스 1종, 탄화수소 측정셀 화염용 연료가스 및 공기 각 1종 등 총 3종이 사용된다.

12V 배터리 4개를 2개씩 직렬 연결하여 전원 공급부로 사용하였다. 배터리 만충 시 사용 가능 시간은 PEMS 예열 완료 후 3시간 정도이다. PEMS 및 가열식 샘플링 튜브는 시험 차량 정차 상태에서 220 V 일반 전원을 이용하여 예열하였다.

시험 차량의 차속, 엔진 회전수, 흡기다기관 절대압력 등의 주행변수는 도로상에서의 측정결과를 해

Table 1 Emission analyzer comparison between PEMS and certification test bench

Item	PEMS	Certification test bench
CO ₂ /CO	NDIR analyzer	NDIR analyzer
THC	FID analyzer	FID analyzer
NOx	CLD analyzer	CLD analyzer
Exhaust volume flow	Pitot tube type flow meter	Critical flow venturi (CFV)
Sampled gas	Raw exhaust	Diluted exhaust

석함에 있어 중요한 의미를 갖는다. 배출가스 자기 진단장비(On-Board Diagnostic, OBD)가 부착되어 있는 차량은 이를 이용하여 비교적 간단하게 주행 변수를 측정할 수 있지만, 본 연구에서 사용한 시험 차량은 OBD 기능이 없기 때문에 별도의 측정 장비를 이용하여 주행변수를 측정하였다.

2.3.2 이동식 배출가스 측정 시스템 검증

미국 연방 시험기준인 CFR 1065 기준을 준용하여 PEMS 성능을 검증하였다.⁷⁾ 시험 차량에 PEMS 와 인증용 장비를 동시에 설치한 후, 총 36회의 이산화탄소 및 대기 오염물질의 측정 시험을 실시하고 결과를 비교하였다. 검증 시험에는 NIER 7, 9, 12 주행패턴과 차속 40 km/h, 60 km/h, 80 km/h 정속 주행 패턴을 사용하였다. 측정 결과는 두 집단 간의 평균 비교 검정 방법인 t 검정과 분산 비교 방법인 F 검정을 이용하여 통계적으로 비교하였다.

Fig. 2는 검증 시험의 이산화탄소 및 대기 오염물질 배출량 결과를 비교하여 나타낸 것이다. 그림의 x축은 인증용 장비의 측정 결과이고, y축은 PEMS의 측정 결과이다. 이해를 돕기 위해 R² = 1 직선을 추가하였다. 그림을 통해 PEMS 측정 결과는 인증용 장비 측정 결과와 정성적, 정량적으로 좋은 상관관계를 보이고 있음을 알 수 있다.

Table 2를 통해 PEMS를 이용한 이산화탄소 및 대기 오염물질 측정 결과는 인증용 장비 측정 결과와의 t 검정 및 F 검정 모두 95% 신뢰수준 이내의 결과를 보임을 알 수 있다. 이는 CFR 1065 기준에서 요구하고 있는 PEMS 검증 기준을 만족하는 결과로서, 본 연구의 PEMS 측정 결과는 인증용 차대동력계 장비 측정 결과와 비교하여 통계적으로 유의할 만한 차이가 없음을 알 수 있다.

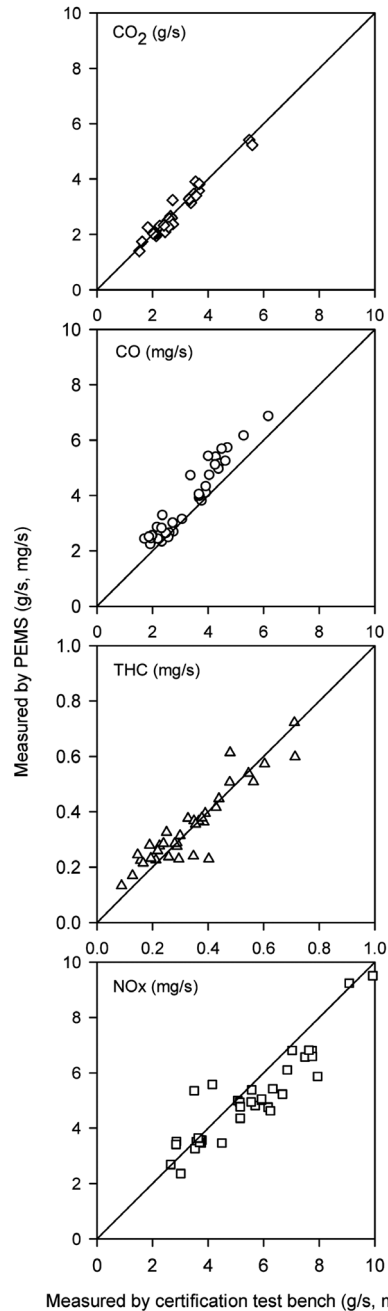


Fig. 2 Correlation of emission result from certification test bench (x axis) and PEMS with Pitot tube type exhaust volume flow meter (y axis)

2.3.3 실도로 주행시험

주행 경로는 인천광역시 서구 국립환경과학원을 출발지로 하고 인천광역시 계양구 임학사거리를 회

Table 2 Statistical result for PEMS validation test

Test	Item	Statistic	95 % Confidence	Result
t-test	CO ₂	0.232	1.995	Pass
	CO	1.862	1.995	Pass
	THC	0.249	1.995	Pass
	NO _x	1.060	1.995	Pass
F-test	CO ₂	0.963	1.757	Pass
	CO	1.384	1.757	Pass
	THC	0.798	1.757	Pass
	NO _x	0.743	1.757	Pass

Table 3 General information for links in test route

Link	Distance (km)	Lane (n)	Density of traffic signal (n/km)
L-01	4.8	2 → 4	1.25
L-02	1.1	4	2.73
L-03	4.1	4	2.68
L-04	0.7	4	4.29
L-05	0.7	4	4.29
L-06	0.3	4	6.67
L-07	1.1	4	4.55
L-08	3.6	4	2.50
L-09	0.8	4	2.50
L-10	5.3	4 → 2	1.32

차 지점으로 하는 왕복 22.5 km의 경로이다. 13개의 교차로와 51개의 교통 신호가 존재하며, 허용 최고 속도는 80 km/h이다. 좀 더 세분화된 결과를 얻기 위해 Table 3과 같이 경로 상의 주요 지점을 기준으로 전체 경로를 10개의 링크(Link)로 구분하였다.

총 10회의 주행 시험을 실시하였으며, 침두 시간대에 4회, 비침두 시간대에 6회를 실시하였다. 10회 모두 동일한 운전자가 교통 흐름에 맞춰 교통 법규를 준수하며 운전하였고, 보조 인원 1인이 탑승하였다. 차량은 에어컨과 히터 가동 없이 열간 상태로 운행되었다. PEMS는 시험 전에 충분히 예열되었고, 시험 전 후에 표준가스를 이용하여 교정되었다.

도로 주행 시험의 측정 항목은 이산화탄소 및 대기 오염물질 배출량과 차속, 엔진 회전수 등의 주행 변수이다. 온실가스 중 이산화탄소를 측정하였고, 대기 오염물질 중 일산화탄소, 탄화수소, 질소산화물을 측정하였다. 입자상물질은 PEMS 기능의 한계로 인해 측정하지 못하였다. 주행변수는 차속, 엔진 회전수, 위도, 경도, 차량 전방 영상 등을 측정하였

다. 대한측량협회로부터 경로의 지리정보를 수치지도 형태로 제공받아 고도 및 경사도 결과를 얻었다.

주행 시험 결과 분석에 있어 중요한 설명 변수로 알려져 있는 차량비출력(Vehicle Specific Power, VSP)과 상대가속도(Relative Positive Acceleration, RPA)는 매 초당 차속 측정결과를 이용하여 계산하였다. 식 (1)로 표현되는 차량비출력은 차량의 속도 및 가속도를 포함하는 변수이며, 동시에 차량 중량에 대한 비출력이라는 점에서 활용도가 높은 변수라 할 수 있다.⁸⁻¹¹⁾ 식 (2)로 표현되는 상대가속도는 단위 주행 거리 당 가속 정도를 나타내는 변수로서, 주행 중 양(+)의 가속도를 갖는 때 순간의 차속과 가속도를 곱한 값을 전체 주행거리로 나눈 값으로서, 특정 도로 주행 시의 전체 가속에너지와 같은 거시적인 개념을 내포한다고 볼 수 있다.^{6,12,13)}

$$VSP = v \cdot (1.1 \cdot a + 9.81 \cdot \sin(\arctan(r)) + 0.132) + 0.000302 \cdot v^3 \quad (1)$$

where,

VSP : Vehicle specific power (kW/ton)

v : Vehicle speed (m/s)

a : Vehicle acceleration (m/s²)

r : Road grade (%)

$$RPA = \frac{\int_0^T (v_i \times a_{i,positive}) dt}{x} \quad (2)$$

where,

RPA : Relative positive acceleration (m/s²)

T : Total time (s)

v_i : Vehicle speed (m/s)

a_{i,positive} : Vehicle acceleration, positive values (m/s²)

x : Total distance (m)

3. 시험결과 및 검토

3.1 평균 차속 변화에 따른 배출특성

3.1.1 차속별 배출계수

식 (3)과 Tabel 4에 차속별 배출계수 산출 결과를 표시하였다. 상관회귀식의 결정계수 R²는 0.93 ~ 0.99

Table 4 Coefficients for equation(3)

Item	a	b
CO ₂	1641.7	-0.5186
CO	2.3419	-0.6396
THC	0.8582	-0.8403
NO _x	9.5864	-0.6892

이다. 본 시험 차량의 차속별 배출계수는 차속 증가에 따라 감소하는 경향을 보이고 있다.

$$EM_{est} = a \cdot v^b \quad (3)$$

where,

EM_{est} : Estimated emission (g/km)

v : Vehicle speed (km/h)

a, b : Coefficient in Table 4

3.1.2 링크 평균 배출량

Fig. 3에 시험 차량의 단위 거리 당 이산화탄소 배출량과 대기 오염물질 배출량을 평균 차속에 대해 도시하였다. 점으로 표시된 결과는 10회의 도로 주행 각각의 10개 링크 결과, 즉, 총 100개의 링크 평균 배출량이다. 실선 결과는 차속별 배출계수이다. 실선 결과는 차속별 배출계수이다.

평균 차속 증가에 따라 링크 평균 배출량은 감소하는 경향을 보이며, 이는 차속별 배출계수의 경향과 유사하다. 배출계수는 실선으로 표시되기 때문에, 링크 평균 배출량 결과에서 관찰되는 산포를 표현하기에는 다소 한계를 지니고 있음을 알 수 있다.

Fig. 4는 100개의 링크 평균 배출량의 측정값과 예측값을 비교한 것이다. x축 결과는 우리나라의 표준 배출량 산정 방법과 같이 각 링크의 평균 차속을 식 (3)에 대입하여 산정한 예측 배출량이며, y축 결과는 PEMS 측정 배출량이다. 이해를 돕기 위해 $R^2 = 1$ 직선을 추가하였다. 그림을 통해 링크 평균 배출량의 측정값과 예측값 사이의 상관성과 항목별 편차 정도를 확인 할 수 있다. Fig. 3과 4를 함께 관찰해보면 Fig. 4의 탄화수소 편차는 대부분 평균 차속 20 km/h 이하의 저속 영역의 결과이며, 일산화탄소 편차는 40 ~ 60 km/h 영역의 결과임을 알 수 있다.

본 시험 차량은 산화촉매장치 부착 차량으로서, 위의 탄화수소와 일산화탄소 결과 산포에는 도로 주행 중 산화촉매의 온도, 전환 효율 등과 같은 다양

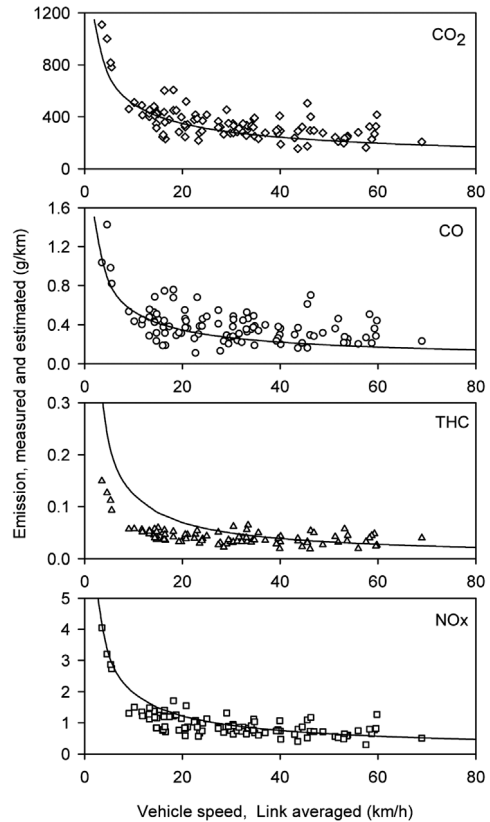


Fig. 3 Emission according to average vehicle speed. Dots represent link averaged emission result measured from road test with PEMS. Solid lines represent emission factor derived from chassis dynamometer test with NIER driving cycle

한 요인들이 영향을 미치고 있을 것으로 사료된다. 이에 대한 고찰은 또 하나의 중요한 연구 주제로서, 본 연구의 범위를 넘어서는 것으로 판단된다. 또한, 경유 차량에서의 탄화수소와 일산화탄소 배출량은 상대적으로 미량으로서 그 환경적인 영향이 크지 않다. 따라서 이후에는 경유 차량에서 많이 배출되고, 대기 중에 배출된 이후 큰 환경적인 영향을 보이는 이산화탄소와 질소산화물에 대해 집중적으로 분석하였다.

Fig. 3과 4의 결과는 현행 차속별 배출계수가 실제 도로 주행 시의 이산화탄소 및 대기 오염물질 배출 특성을 정성적으로 적절히 반영하고 있음을 보여주고 있다. 실제 측정결과와 정량적인 차이가 발생하는 원인으로서는 NIER 주행 패턴이라는 표준적

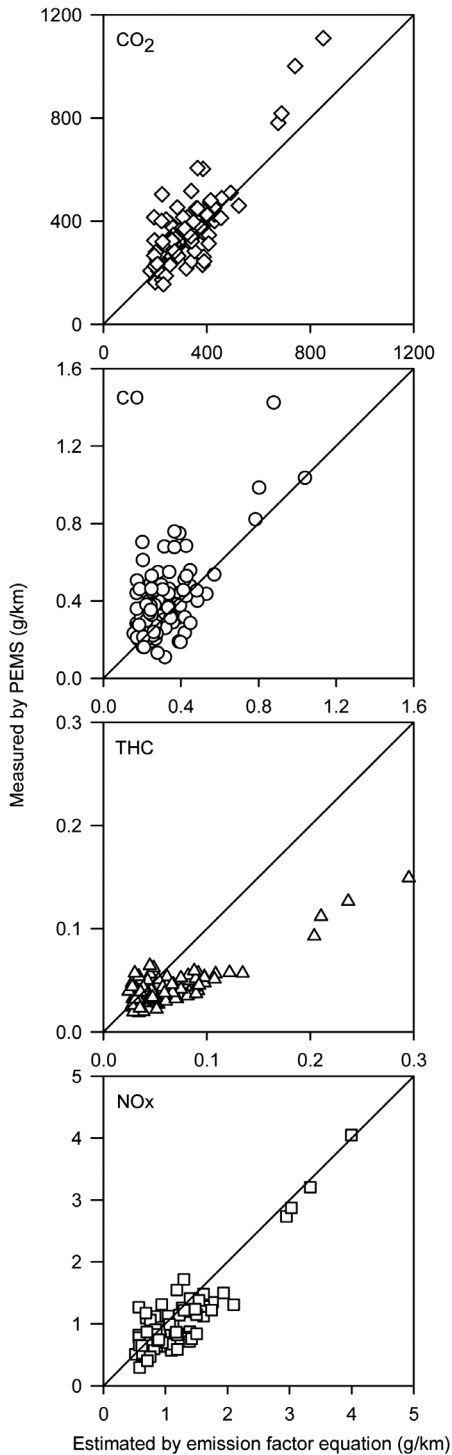


Fig. 4 Correlation of link averaged emission result estimated by emission factor equations and corresponding coefficients (x axis) and measured by PEMS (y axis)

인 주행패턴 하나만으로는 다양한 교통 환경의 영향을 모두 반영하기 어렵기 때문인 것으로 사료된다. 실제 도로상에서는 변화 무쌍한 대기 조건과 도로의 환경적 변수가 차량의 주행패턴에 영향을 미친다. 이 때문에 표준 주행패턴만으로 실제 자동차 이산화탄소 및 대기 오염물질 배출 특성을 표현하기에는 다소 미흡하며, 경우에 따라서는 적절치 않을 수 있음이 지적되어 있다. Andre 등⁵⁾은 유럽 지역의 자동차 배출량 산정 프로그램의 일환으로 진행된 연구에서 독특한 단일 표준 주행패턴에서의 시험결과에 전적으로 의지하여 배출계수를 산정하는 것은 현행 자동차 배출계수 예측 방법의 중요한 약점으로서, 경우에 따라서는 표준 주행패턴에서의 배출가스 측정 결과와 실제 도로 주행 시의 배출가스 측정 결과는 큰 차이를 보일 수 있음을 지적한 바 있다.

Fig. 3과 4를 통해 얻을 수 있는 또 하나의 시사점은 배출량에 대한 설명변수로서의 평균 차속의 역할이다. 차속은 도로상의 측정이 용이한 변수로서, 프로브 차량을 활용한 측정 또는 고정식 장비를 이용한 도로 상황 관찰 등을 통해서 얻을 수 있다. 또한 차속의 활용도는 매우 높다. 우리나라 대기오염물질 배출량 산정의 근간이 되는 배출계수, 활동도 등의 주요 변수로 사용되고 있으며, 여러 교통 관련 통계 또한 차속을 근간으로 하여 구성되어 있다. 교통 수요 모형(Transportation Demand Model, TDM) 등을 활용한 교통 환경 모사에서도 차속은 중요한 입력력 자료로 활용되고 있다.¹¹⁾

따라서 현행 배출계수의 예측 성능을 향상시키기 위해서는 차속에 근간한 현행 배출계수 체계를 유지하되, 동일한 차속 범위에서의 산포를 설명하기 위한 별도의 설명변수를 도입하는 방안을 고려해 볼 수 있을 것이다. 본 연구의 이하 서술에서는 주행 시험 결과 분석에 있어 중요한 의미를 갖는 차량비출력과 가속도를 설명변수로 도입하여 그 특징과 가능성에 대해 고찰하였다. 또한, 측정결과를 분석함에 있어, 기존에 많이 사용되던 거시적 방법과 함께 PEMS의 초 당 측정 기능을 활용한 미시적 방법을 함께 사용하였다.

3.2 동일한 평균 차속에서의 배출특성

3.2.1 링크 평균 배출량과 구간 평균 배출량

Fig. 5는 평균 차속이 30 ± 5 km/h, 50 ± 5 km/h인 경우의 이산화탄소, 질소산화물 배출율을 차속, 비출력, 가속도에 대해 도시한 것이다. 점으로 표시된 결과는 링크 평균 배출량이고, 선으로 표시된 결과는 구간(bin) 평균 배출량이다. 구간 평균 배출율은 매 초 당 측정된 결과를 차속, 비출력, 가속도를 기준으로 구간화(bin)한 후 각 구간에 포함되는 모든 초 당 배출율(g/s)을 평균한 값을 말한다. 이렇게 얻어진 구간 평균 배출율의 단위는 [g/s]이며, 비교를 위해 구간 평균 차속을 사용하여 [g/km]로 환산하였다. RPA에 대응한 구간 평균 결과로는 양(+),의 순간 가속도 평균값(Average Positive Acceleration, APA)을 사용하였다.

PEMS 측정 결과는 거시적인(macroscopic) 방법 또는 미시적인(microscopic) 방법으로 분석될 수 있

다. 거시적 분석은 PEMS 탑재 차량이 일정한 경로를 주행하는 동안의 전체 배출량(g)을 총 주행 거리(km)로 나누어 최종 결과(g/km)를 얻는다. Fig. 5의 링크 평균 배출량은 거시적 분석 결과이다. 두 번째 방법인 미시적 분석은 매 초 당 측정되는 차량의 주행변수와 배출량을 조건에 맞게 분류하고 재조합하여 결과를 얻는다. 미시적 분석은 ‘주행 경로’의 개념을 포함하고 있지 않기 때문에 거시적 분석에 비해 좀 더 일반적인 결과를 도출해 낼 수 있다. Fig. 5의 구간 평균 배출량은 미시적 분석 결과이다. 따라서 Fig. 5는 동일한 결과에 대한 거시적, 미시적 분석 결과를 함께 도시한 그림이라 할 수 있다.

3.2.2 동일 평균 차속 조건에서 비출력의 영향

먼저 그림 (a)를 통해 동일한 평균 차속 조건에서의 배출량을 관찰해 보자. 링크 평균 배출량은 동일한 차속 영역에서 상하로 퍼져있는 모습을 보인다. 구간 평균 배출율은 동일 평균 차속에서는 점으로

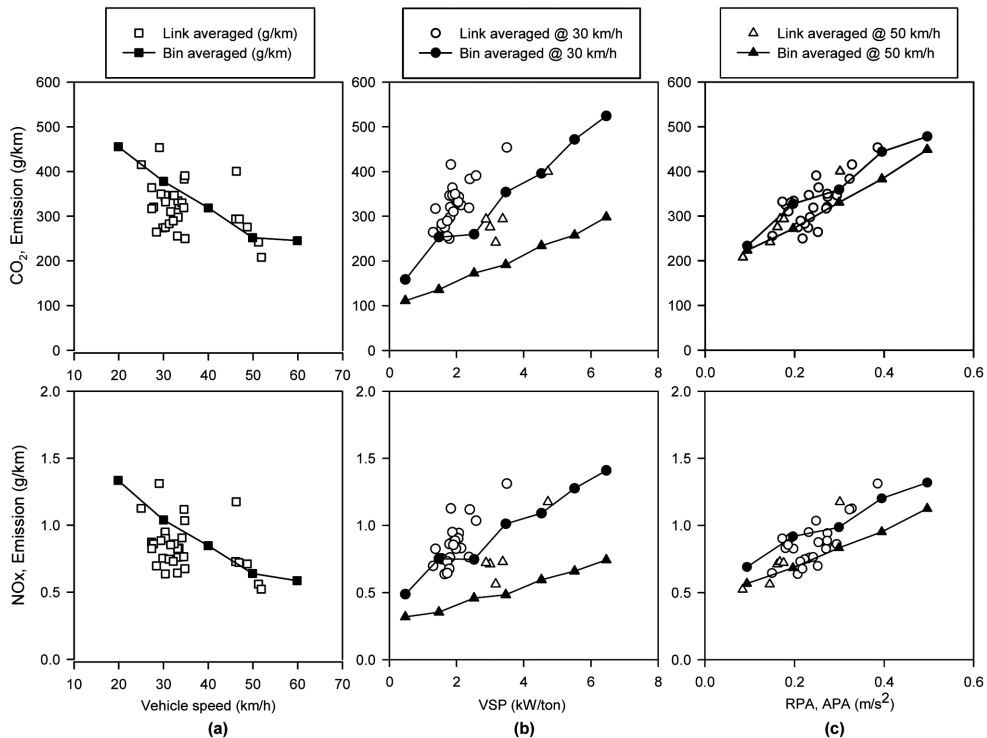


Fig. 5 Carbon dioxide and Nitrogen oxide emission per average vehicle speed (a), vehicle specific power, VSP (b) and positive acceleration (c). Blank dots represent link averaged emission result, based on macroscopic perspective. Solid dots and lines represent bin averaged emission result, based on microscopic perspective

표시되며, 차속 증가에 따라 감소하는 경향을 보인다. 링크 평균 배출율과 구간 평균 배출율 사이의 정량적 분포는 Fig. 2의 경우와 크게 다르지 않다.

동일 평균 차속 조건에서 평균 배출량에 미치는 비출력의 영향을 그림 (b)에 도시하였다. 동일한 차속에서의 평균 배출량은 비출력의 증가에 따라 증가한다. 배출량 증가 경향은 링크 평균값과 구간 평균값이 서로 유사하나, 증가 정도에 있어서는 링크 평균값이 구간 평균값보다 전체적으로 큰 값을 보인다.

링크 평균 비출력은 링크 주행 중의 매 초당 비출력의 평균값이다. 식 (1)에서 알 수 있듯이 감속시의 비출력은 음(-)의 값을 가질 수 있으며, 이는 비출력 평균값을 작게 만드는 역할을 한다. 따라서 높은 비출력을 내는 운전점이 많은 주행패턴이라도 그 링크 평균 비출력 값은 그다지 크지 않을 수 있다. 결과적으로 링크 평균 비출력을 설명변수로 이용하여 링크 평균 배출량을 표현하는 것은, 비출력이 낮은 링크에서 배출량이 많은 것처럼 표현될 수 있기 때문에 효과적이지 못하다.

반면, 구간 평균 비출력은 매 초당 비출력이 특정 비출력 범위에 포함된 값만을 모은 것이기 때문에 그 구간의 평균 배출량과 뚜렷한 상관성을 보이고 있음이 알려져 있다.⁸⁻¹¹⁾ 이처럼 설명변수로서의 비출력은 거시적 분석보다는 미시적 분석에 활용하는 것이 효과적이다. 미국 EPA의 차세대 배출량 산정 모형인 MOVES는 비출력을 미시적 분석에 활용한 중요한 사례라 할 수 있다.¹⁴⁾ 기존의 배출량 산정 모형이 g/km 단위를 갖는 배출계수를 주행 구간 활동도(trip-based travel activity)와 결합하여 배출량을 산정하는 데 반해, MOVES는 g/s 단위를 갖는 배출계수를 오염원 활동 시간(Source Hours Operating, SHO)과 결합하여 배출량을 산정한다. 이 배출계수와 활동도는 차량비출력 구간에 대한 구간 평균값으로 주어진다. 이와 같은 MOVES의 미시적 분석 능력은 다양한 주행 패턴에서의 배출량 산정이나 국지적 규모의 배출량 산정에 강점을 가지고 있음이 소개된 바 있다.¹⁴⁾

3.2.3 동일 평균 차속에서의 가속도의 영향

동일 평균 차속 조건에서 평균 배출량에 미치는 가속도의 영향을 그림 (c)에 도시하였다. 가속도 증

가에 따라 동일한 차속에서의 평균 배출량은 증가한다. 본 시험 차량의 경우, 동일한 차속(30~50 km/h)으로 100 km를 주행할 때, 가속도를 0.1 m/s² 증가시키게 되면 이산화탄소를 약 7 kg, 질소산화물을 약 23 g 더 배출하고, 연료를 약 2.67 L 더 소비할 것으로 예측된다. 본 연구 결과는 가속도가 배출량에 대한 적절한 설명변수라는 기존 연구를 정량적으로 보완하는 결과로서, 도로 주행 중 급가속 비율을 줄이는 친환경 운전법을 통해 동일한 교통 흐름 하에서도 이산화탄소, 질소산화물 배출량 및 연료 소비량을 줄일 수 있음을 시사하는 결과라 할 수 있다.

그림 (b)의 결과와 비교해 보면, 그림 (c)의 링크 평균값과 구간 평균값은 정량적으로 서로 동등한 수준을 보이고 있다. 이는 설명변수로서의 RPA와 APA의 특징이 유사하기 때문에 나타난 결과로 판단된다. 즉, 링크 기반의 RPA는 양(+)의 가속도만을 더해 주행거리로 나눈 값으로서, 구간 기반의 APA와 유사한 특성을 갖고 있다. RPA와 APA가 교통 환경을 관찰하는 서로 다른 관점을 갖고 있음을 생각해 볼 때, 이와 같은 유사성은 거시적인 링크 평균 배출율과 미시적인 구간 평균 배출율 사이의 정성적, 정량적인 상호 호환성을 구축함에 있어 중요한 역할을 할 것으로 기대된다.

교통 환경은 다양한 측정 방법으로 모니터링되고 있으며, 이 결과들은 배출량 산정을 위한 활동도 자료로 활용된다. 이 중에는 링크 전체 평균과 같은 거시적이고 광범위한 활동도 결과를 얻어내는 방법도 있고, 순간 차속, 순간 가속도와 같은 미시적이고 국지적인 활동도 결과를 얻어내는 방법도 있다. 본 연구 결과는 다양한 모니터링 장치에서 획득된 활동도 결과를 폭넓게 활용할 수 있는 가능성을 보여주었다는 측면에서도 의미 있는 결과라 할 수 있다.

4. 결론

본 연구는 우리나라의 현행 차속별 배출계수의 타당성을 확인하고, 실제 도로 주행 중의 다양한 조건을 배출계수에 반영할 수 있는 가능성을 검토하기 위한 것으로서 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 평균 차속의 함수로 주어지는 우리나라의 현행 차속별 배출계수는 실제 도로 주행 시의 차량이

산화탄소 및 대기 오염물질 배출 특성을 정성적으로 적절히 표현하고 있다. 동일한 차속 범위에서의 정량적인 산포는 차량비출력과 가속도에 의해 효과적으로 설명될 수 있다.

- 2) 차량비출력은 거시적 분석보다는 미시적 분석을 위한 설명변수로 적합함을 확인하였다. 차량비출력에 의한 미시적 분석 방법은 다양한 주행 패턴에서의 배출량 산정이나 국지적 규모의 배출량 산정 연구에 강점을 지니고 있는 바, 이에 대한 연구가 지속되어야 할 것으로 사료된다.
- 3) 가속도는 거시적 분석과 미시적 분석을 위한 설명변수로 모두 적합하며, 거시적인 링크 평균 배출율과 미시적인 구간 평균 배출율 사이의 정성적, 정량적인 상호 호환성을 얻을 수 있음을 확인하였다. 이와 같은 호환성은 다양한 교통 환경 모니터링 장치에서 획득된 주행 활동도의 호환성 구축에도 활용될 수 있을 것으로 기대된다.
- 4) 도로 주행 중 급가속 비율을 줄이는 친환경 운전법을 통해 동일한 교통 흐름 하에서도 이산화탄소, 질소산화물 배출량 및 연료소비량을 줄일 수 있음 확인하였다. 본 시험 차량의 경우, 동일한 차속(30 ~ 50 km/h)으로 100 km를 주행할 때, 가속도를 0.1 m/s^2 증가시키게 되면 이산화탄소를 약 7 kg, 질소산화물을 약 23 g 더 배출하고, 연료를 약 2.67 L 더 소비할 것으로 예측되었다.

References

- 1) EPA, User's Guide to MOBILE6.1 and MOBILE6.2 - Mobile Source Emission Factor Model, EPA420-R-02-028, 2002.
- 2) EEA, COPERT III, Computer Programme to Calculate Emissions from Road Transport - Methodology and Emission Factors, 2000.
- 3) Korean National Institute of Environmental Research, User's Guide to Calculate Emission Inventories, 2007.
- 4) Y. Lee, G. Kim, Y. Pyo, M. Sunwoo and M. Eom, "Development of Chassis Dynamometer Test Modes to Derive the Emission Factors for Light Duty Vehicles," Transactions of KSAE, Vol.10, No.6, pp.117-124, 2002.
- 5) M. Andre, R. Joumard, R. Vidon, P. Tassel and P. Perret, "Real World European Driving Cycles, for Measuring Pollutant Emissions from High- and Low-powered Cars," Atmospheric Environment, Vol.40, pp.5944-5953, 2006.
- 6) K. Brundell-Freij and E. Ericsson, "Influence of Street Characteristics, Driver Category and Car Performance on Urban Driving Patterns," Transportation Research Part D, Vol.10, pp.213-229, 2005.
- 7) EPA, 40 CFR Part1065 Test Procedures - Subpart J, Field Testing, 2008.
- 8) H. C. Frey, K. Zhang and 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.
- 9) H. Wang, L. Fu, Y. Zhou and H. Li, "Modelling of the Fuel Consumption for Passenger Cars Regarding Driving Characteristics," Transportation Research Part D, Vol.13, pp.479-482, 2008.
- 10) M. C. Coelho, H. C. Frey, N. M. Roupail, H. Zhai and L. Pelkmans, "Assessing Methods for Comparing Emissions from Gasoline and Diesel Light-duty Vehicles Based on Micro-scale Measurements," Transportation Research Part D, Vol.14, pp.91-99, 2009.
- 11) H. Zhai, H. C. Frey and N. Roupail, "A Vehicle-Specific Power Approach to Speed- and Facility-Specific Emissions Estimates for Diesel Transit Buses," Environ. Sci. Technol. Vol.42, No.21, pp.7985-7991, 2008.
- 12) L. Pelkmans, "Influence of the Vehicle Test Cycle Characteristics on Fuel Consumption and Emission of City Buses," SAE 2001-01-2002, 2001.
- 13) H. Larsson and E. Ericsson, "The Effects of an Acceleration Advisory Tool in Vehicles for Reduced Fuel Consumption and Emissions," Transportation Research Part D, Vol.14, pp.141-146, 2009.
- 14) California Department of Transportation, "MOVES vs. EMFAC: A Comparative Assessment Based on a LA County Case Study," Caltran Task Order 9 and 53, Prepared by UC Davis, 2008.