

<응용논문>

DOI <http://dx.doi.org/10.3795/KSME-B.2015.39.12.965>

ISSN 1226-4881(Print)  
2288-5324(Online)

## PEMS를 이용한 실제도로 주행 배출가스 측정 데이터 분석방법

권석주\* · 권상일\*\* · 이종태\*\* · 옥선일\*\*\* · 서영호\* · 박성욱\*\*\*\* · 전문수\*\*\*\*†

\* 자동차부품연구원, \*\* 국립환경과학원 교통환경연구소.

\*\*\* 한국교통대학교 에너지시스템공학과, \*\*\*\* 한양대학교 기계공학과

### Data Evaluation Methods for Real Driving Emissions using Portable Emissions Measurement System(PEMS)

Seokjoo Kwon\*, Sangil Kwon\*\*, Jongtae Lee\*\*, Seonil Oak\*\*\*, Youngho Seo\*, Sungwook Park\*\*\*\*, Mun Soo Chon\*\*\*\*†

\* Korea Automotive Technology Institute

\*\* Transportation Pollution Research Center, National Institute of Environmental Research

\*\*\* Dept. of Energy System Engineering, Korea Nat'l Univ. of Transportation

\*\*\*\* Dept. of Mechanical Convergence Engineering, Hanyang Univ.

(Received June 11, 2015 ; Revised September 18, 2015 ; Accepted November 18, 2015)

**Key Words:** Portable Emissions Measurement System(PEMS, 이동식 배기가스 측정장치), Real Driving Emissions(RDE, 실제도로 주행 배기가스), Moving Averaging Window(MAW, 이동평균구간), Weighted emissions(가중평균 배출량)

**초록:** PEMS(Portable Emissions Measurement System)를 이용한 배기가스 시험절차는 소형 디젤자동차의 실제도로 배출가스를 효과적으로 제어하기 위한 수단으로 최근에 많은 주목을 받고 있으며, 현재의 배기가스 인증규제 시험절차의 제도적 보완장치로 2017년에 한국과 유럽에서 시행될 예정이다. 본 연구에서는 국내에 운행 중인 유로 5 소형 디젤자동차 4대에 대한 실제도로 NOx 배출량을 도심, 교외 및 자동차 전용도로에서 측정하였으며, 측정 결과를 이동평균구간 및 가중평균 배출량 방법으로 분석하였다. 시험 차량 및 주행경로에 대한 두 방법의 실제도로 NOx 배출량 분석결과는 유사한 경향을 갖는 것으로 나타났으며, 이동평균구간 분석방법의 경우 배출 허용기준을 1.8~8.5배, 가중평균 배출량은 허용기준을 2.0~10.6배 초과하는 것으로 분석되었다. 본 결과를 바탕으로 실도로 주행 조건에서 NOx 배출량 분석에 대한 기술적 토대를 확보하였고, 향후 배출가스 관리를 위한 정책적 기반 데이터로 활용가능하다.

**Abstract:** Recently, an emission test procedure using a portable emissions measurement system(PEMS) has received much attention as an effective means of controlling real driving emissions from light-duty diesel vehicles. The PEMS-based test procedure will be implemented from 2017 in Europe and Korea as a complementary test procedure for certification and regulation. In the present study, on-road NOx emissions were measured for four kinds of Euro 5 Korean light-duty diesel vehicles under real driving conditions, including urban, rural, and motorway test routes. The real driving emission characteristics were evaluated using both a moving averaging window(MAW) and the weighted emission method(WEM). The evaluated NOx emission results (under real driving conditions) from the MAW and WEM showed similar tendencies for the test vehicles and routes, while exceeding the certification emission limit by 1.8~8.5 and 2.0~10.6 times, respectively.

## 1. 서 론

† Corresponding Author, mschon@ut.ac.kr

보급되었음에도 불구하고 도심지역의 NO<sub>x</sub> 농도는 감소되지 않고 있다.<sup>(1-4)</sup> 유럽과 미국 등은 이와 같은 현상이 나타나는 원인이 교통량의 증가 및 경유자동차 비율의 확대와 함께 단계적으로 강화되는 배출가스 허용기준 관리제도의 인증시험 모드가 실제도로의 다양한 주행패턴을 충분히 반영하지 못하기 때문에 나타나는 현상으로 판단하고 이러한 현상을 제도적으로 보완하기 위하여 실제도로 주행조건에 기반을 둔 배출가스 평가방법을 인증시험에 도입하거나 개발 중에 있다.<sup>(5,6)</sup>

특히, 유럽은 고속 및 급가속(US06), 에어컨 작동조건(SC03) 등 실제운전 특성을 반영한 주행모드를 배출가스 인증시험에 적용한 미국과는 달리 PEMS(Portable Emissions Measurement System)를 이용한 소형자동차 실제도로 배기가스(RDE-LDV, Real Driving Emission-Light Duty Vehicle) 시험절차를 제도적 보완장치로 적용하기 위해 현재 다양한 연구를 수행하고 있다.<sup>(7,8)</sup>

PEMS를 이용한 배출가스 측정방법은 실제도로 주행조건에서 시험차량의 배출가스량 이외에도 GPS, ECU, 배기가스 유량과 함께 외기 온도 및 습도 등 많은 양의 데이터를 취득할 수 있다. 따라서 시험차량의 차속, 주행고도, 엔진 출력 및 기상상황 등을 동시에 고려할 수 있어 도로여건, 교통상황, 운전패턴 등 실제도로의 다양한 주행조건과 환경조건을 고려할 수 있다는 장점을 갖고 있다. 그러나 시험차량의 배출가스 측정결과를 인증시험 모드의 배출 허용기준과 비교 평가하기 위해서는 많은 양의 PEMS 시험 데이터를 효과적으로 분석하여 적절한 배출가스 평균값을 산출해야 하며, RDE-LDV 시험을 인증시험으로 적용하기 위해서는 PEMS 분석 데이터의 신뢰성과 재현성 또한 고려되어야 한다.<sup>(8,9)</sup>

이러한 관점에서 EU는 워킹그룹을 조직하고 PEMS 측정 데이터를 합리적으로 분석하기 위해 다양한 연구를 시도하고 있으며, 이동평균구간(MAW, Moving Averaging Window) 원리를 적용하여 분석하는 방법, 정규화(normalization)된 표준화 차량출력 빈도수로 가중하여 분석하는 가중평균 배출량(weighted emissions) 방법, 데이터 분석 방법으로 차량속도 빈도수로 가중하여 주행경로 평균 배출가스량을 분석하는 차량속도 비닝법(vehicle speed binning method) 등이 논의되고 있다.<sup>(9-11)</sup>

국내의 경우에도 유럽과 동일한 판단에 국립환경과학원 주관으로 PEMS를 이용한 소형차의 실제도로 주행 배출가스 특성에 관한 연구가 진행되고 있으며, 데이터 분석방법으로 이동평균구간 방법과 가중평균 배출량 방법 등을 이용한 배출가스 데이터 분석결과가 보고된 바 있다.<sup>(12,13)</sup>

따라서 소형 경유자동차의 대해 유럽의 NEDC(New European Driving Cycle) 인증시험 제도를 도입하고 있는 국내 현실을 고려할 때 RDE-LDV 시험데이터 분석방법에 대한 논의가 시급히 이루어져야 할 시점이다. 본 연구에서는 국내에 운행되는 소형 경유자동차 4대를 대상으로 RDE-LDV 시험을 수행하였으며, 그 결과를 배출허용 기준과 비교 평가하였다. 또한 현재 EC에서 고려하고 있는 이동평균구간 및 가중평균 배출량 방법으로 배출가스 데이터를 분석하여 PEMS 기반 RDE-LDV 시험방법의 적용 가능성을 평가하였다.

## 2. 시험내용 및 방법

### 2.1 시험 자동차 및 주행경로

PEMS를 이용한 RDE-LDV 측정시험을 위해 본 연구에서는 Table 1에 나타낸 Euro 5 배출 허용기준이 적용된 경유자동차를 대상으로 NO<sub>x</sub> 배출량 측정시험을 수행하였다. PEMS 시험을 위한 주행경로는 EC-JRC에서 수행한 시험경로를 고려

Table 1 Specifications of test vehicles

Vehicle	Vehicle category	Mileage at test start	Engine capacity	Rated power
Veh. 1	VAN	1,900 km	2,199 cc	145 kW
Veh. 2	SUV	13,000 km	1,995 cc	129 kW
Veh. 3	SUV	64,000 km	2,959 cc	190 kW
Veh. 4	SUV	6,800 km	1,995 cc	135 kW

Table 2 Descriptions of real-road driving test routes

Route	Ave. speed	Distance (urban, rural, motorway)
City 1	33 km/h	45 km (66 %, 34 %, 0 %)
City 2	29 km/h	53 km (42 %, 58 %, 0 %)
Combined 1	47 km/h	119 km (25 %, 23 %, 52 %)
Combined 2	55 km/h	92 km (7 %, 26 %, 67 %)

하여 국립환경과학원에서 개발한 도심, 교외 및 자동차 전용도로가 포함된 City 1, City 2, Combined 1, Combined 2 등의 경로에서 PEMS 시험을 수행하였다.<sup>(13,14)</sup> 각 주행경로의 주요특성을 Table 2에 정리하였으며, Fig. 1에 시험경로의 주행부하를 확인하기 위하여 각 주행경로에서 ‘정지-가속-주행-감속-정지’를 단위 운행 구간(short trip)으로 설정하고 평균차속에 대한 상대가속도(RPA, Relative Positive Acceleration) 분포를 NEDC 및 WLTC(Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Cycle) 인증시험 모드와 비교하였다.

2.2 이동식 배출가스 측정장비

Fig. 2와 Fig. 3에는 각각 본 연구에서 사용한 PEMS 장비 구성에 대한 개략도와 사진을 나타내었다. PEMS 장비는 배기가스 분석기, 배기가스 유량계, 배기가스 샘플링 장치, 측정용 가스, 전원 공급 장치, 제어 및 데이터 분석 컴퓨터 등으로 구성된다. 실시간(1Hz)으로 측정된 배기가스 농도 데이터는 유량계의 유량 데이터와 동기화되어 g/s 단위로 저장되며, GPS 또는 ECU 데이터

를 통해 측정된 차속 데이터를 이용하여 g/km 단위의 배출가스 데이터로 환산되어 나타난다.<sup>(14)</sup>

3. 데이터분석방법

3.1 이동평균구간 분석방법

이동평균구간의 원리를 이용한 데이터 분석방법은 가장 대표적으로 사용되는 RDE-LDV 시험 데이터 분석방법이다. 실시간으로 측정되는 배기가스 데이터에 대한 시간 평균구간은 차량 주행시의 일(kWh), 주행거리 또는 CO<sub>2</sub> 배출량 등으로 구분하여 정의할 수 있으나 실제도로 운행조건에서는 정차구간 및 경사로 운행조건 등을 효과적으로 반영할 수 있는 CO<sub>2</sub> 배출량으로 정의하는 것이 일반적이다. 따라서 본 연구에서는 WLTC 인증시험 모드에서 시험차량의 CO<sub>2</sub> 배출량을 측정한 후, 기준 CO<sub>2</sub> 배출량을 정의하였으며, Fig. 4에 나타난 바와 같이 차량 출발 시점에서 기준 CO<sub>2</sub> 배출량이 도달하는 구간인 첫 번째 평균구간 내의 주행거리에 대한 배출가스양(g/km)을 계산하였다.

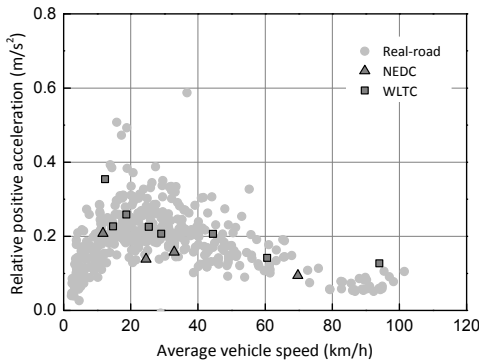


Fig. 1 Relative positive acceleration of short trip in real-road PEMS test routes, NEDC and WLTC

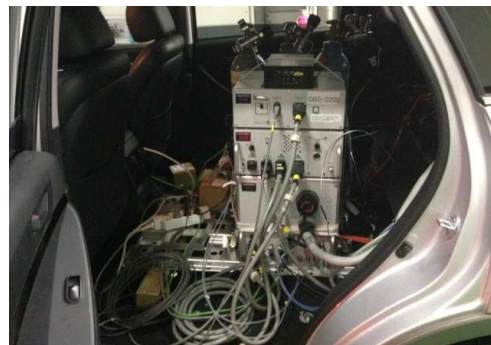


Fig. 3 Photographs of PEMS installation to test vehicle

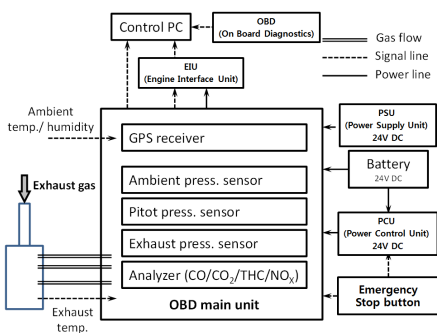


Fig. 2 Schematics of PEMS for Real Driving Emission measurement

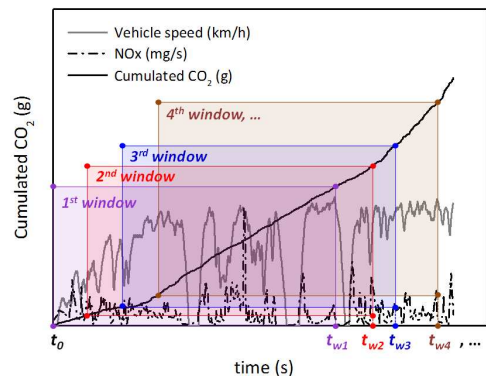


Fig. 4 Concept of moving averaging window method

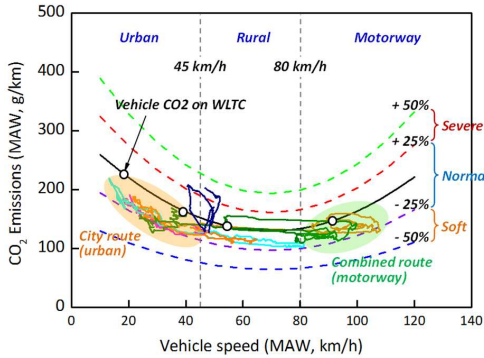


Fig. 5 Example of CO<sub>2</sub> characteristics curve with vehicle speed for MAW analysis

이동평균구간 분석은 1초 단위로 이동하면서 기준 CO<sub>2</sub> 배출량을 기준으로 연속적인 평균구간을 생성하여 각 평균구간 내의 배출가스량을 계산하였다. 각 평균구간 내의 주행거리 당 배출가스량은 식 (1)에 나타낸 NEDC 인증모드시 시험차량이 배출한 주행거리 당 배출가스량(g/km)으로 나눈 DR(deviation ratio)의 누적비율로 분석하였고, DR은 실제도로에서 배출가스 인증기준 대비 몇 배나 증가했는지를 의미하고 있다.

한편, 각 시험경로의 배출가스량은 주행조건과 운전자의 운전습성에 따라 다르게 나타날 수 있으며, Fig. 5는 각 평균구간의 CO<sub>2</sub> 배출량을 WLTC 인증모드시의 CO<sub>2</sub> 배출량과 비교한 CO<sub>2</sub> 배출량 특성곡선을 이용하여 시험차량의 주행조건을 분석하였다. EC-JRC는 WLTC 인증모드시의 CO<sub>2</sub> 배출량을 기준으로 -25%~25%의 영역을 정상주행(normal driving) 조건, -25%~-50%의 영역을 유연주행(soft driving) 조건, +25%~+50% 영역을 가혹주행(severe driving condition) 조건으로 구분하여 유연주행과 가혹주행에서 배출되는 배기

$$DR = \frac{DR_I}{DR_C} \tag{1}$$

$$DR_I = \frac{m}{s(t_2) - s(t_1)}, DR_C = \frac{m_L}{s_{NEDC}} \tag{2}$$

where,

- $m$  : emissions emitted(g) in averaging window
- $s(t_2) - s(t_1)$  : distance travelled(km) in averaging window
- $m_L$  : emissions emitted(g) in NEDC cycle
- $s_{NEDC}$  : reference distance(km) of NEDC cycle

가스량을 정상주행(normal driving) 조건으로 환산하여 평가해야 한다는 안을 제안하였다.

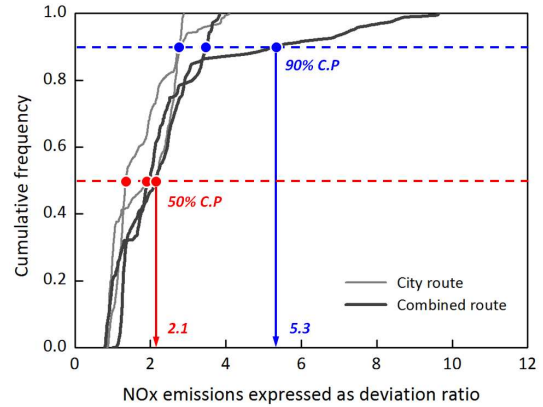


Fig. 6 NO<sub>x</sub> emissions expressed as 50% CP and 90% CP

본 연구에서 수행한 시험결과의 평균구간은 대부분 정상주행 영역에 위치하는 것으로 나타나 유연주행과 가혹주행 영역으로 나타나는 평균구간은 제외한 평균구간의 배출가스량에 대한 DR을 계산하여 누적분포를 구하였다. Fig. 6은 실제로 NO<sub>x</sub> 배출량에 대한 DR의 누적분포를 나타내며, 누적분포의 50% CP(Cumulative frequency Percentile)를 평균값으로 90% CP를 최대값으로 정의하였다.

### 3.2 가중평균 배출량 분석방법

동일한 주행경로에서 운전자의 서로 다른 주행패턴으로 인하여 같은 차량이라도 엔진 출력은 다르게 나타나 배출가스량도 다르게 나타날 수 있다. 따라서 과격한 주행패턴에서 측정된 배출가스량은 하향 평가하고 유연한 주행패턴에서 측정된 배출가스량은 상향 평가함으로써 정상적인 주행조건에서의 배출가스량으로 평가되어야 한다.

가중평균 배출량 분석방법은 실제로도 주행시의 차량출력을 WLTC 데이터 등을 바탕으로 정규화된 표준 차량출력 분포의 빈(bin)으로 구분한 후, 표준 차량출력 분포의 각 bin에 해당하는 평균 배출가스량에 표준 차량출력 빈도수를 곱하여 가중 평균함으로써 정상적인 주행조건으로 배출가스량을 분석하는 방법이다.

Fig. 7에는 동일한 경로를 주행하는 여러 차량의 다양한 출력 분포를 정규화하는 과정을 나타내었으며, 실도로에서 주행한 속도, 가속도, 주행저항으로 계산된  $P_e$ 를 식 (3, 4)에서 계산된 표준속도(70km/h), 가속도(0.45m/s<sup>2</sup>)의  $P_{drive}$ 로 나누어서  $P_{norm}$ 을 생성한다. Fig. 8에는 EC-JRC가 제안한 정

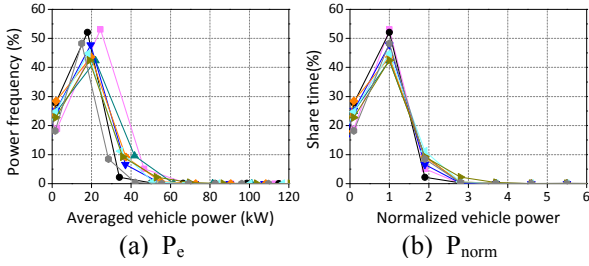


Fig. 7 Normalization process of the vehicle power pattern( $P_c$ ) into a normalized power( $P_{norm}$ ) frequency

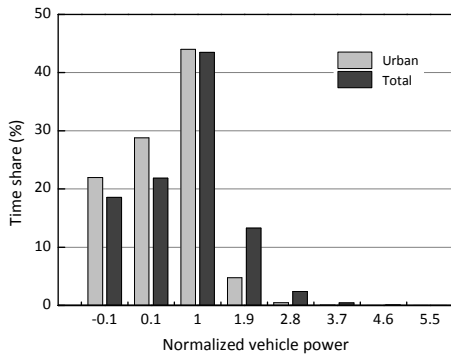


Fig. 8 Normalized standard power frequencies proposed by EC-JRC

규화된 표준 차량출력 빈도수를 나타내었다. 실제도로 주행 시 측정된 시험차량의 출력은 정규화된 차량 표준출력에 식 (3)에 나타난 기준출력  $P_{drive}$ 를 곱하여 실제도로 주행 시 측정된 시험차량의 출력을 구분하는 목표출력(target power) 분포를 구할 수 있다. 여기서  $P_{drive}$ 는 인증 시험시 차대동력계에 적용되는 시험차량의 질량과 주행부하 조건에서 시험차량이 70km/h의 속도와  $0.45m/s^2$ 의 가속도로 주행할 때 요구되는 출력을 의미한다.

$$P_{target} = P_{norm} \times P_{drive} \quad (3)$$

$$P_{drive} = v_{ref} [m_{ref} a_{ref} + R_0 + R_1 v_{ref} + R_2 v_{ref}^2] \quad (4)$$

where,

$R_0, R_1, R_2$  : road load (N, N/(m/s), N/(m/s)<sup>2</sup>)

$m_{ref}$  : kurb weight of the vehicle (kg)

$a_{ref}$  : reference acceleration (=  $0.45m/s^2$ )

$v_{ref}$  : reference vehicle velocity (= 70km/h)

#### 4. 시험결과 및 고찰

##### 4.1 차대동력계

실제도로 주행 배출가스 시험 이전에 시험차량

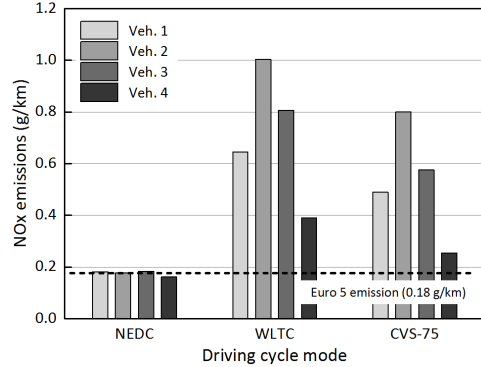


Fig. 9 NOx emissions during NEDC and WLTC driving cycle with chassis dynamometer

의 배출가스 수준을 판단하기 위하여 차대동력계에서 인증시험 모드인 NEDC 및 WLTC, CVS-75 주행모드에서 NOx 배출량을 측정하였으며, 그 결과를 Fig. 9에 나타내었다. 측정 결과, NEDC 주행모드에서는 Euro 5 배출 허용기준인 0.18g/km를 만족하는 것으로 나타났으나 WLTC 및 CVS-75 주행모드에서는 NEDC 배출 허용기준 대비 각각 약 4.0배, 약 3.0배 초과하여 배출하는 것으로 측정되었다. 이는 NEDC 주행모드가 WLTC 및 CVS-75 주행모드보다 상대적으로 짧은 고속구간과 단순한 가감속의 속도패턴으로 구성되어 있기 때문에 나타나는 현상이다.

##### 4.2 이동평균구간 분석결과

Fig. 10과 Fig. 11에는 각각 도심, 교외, 자동차 전용도로가 모두 포함된 Combined 1 및 Combined 2 경로에서 시험차량의 WLTC 인증모드 주행기준 CO<sub>2</sub> 배출량으로 정의된 이동평균구간의 평균차속에 대한 실제도로 NOx 배출량을 NEDC 배출 허용기준과 비교하여 나타내었다. 실제도로 NOx 배출량은 인증시험 모드와는 달리 거의 모든 평균구간에서 NEDC 배출 허용기준을 초과하고 있는 것으로 나타났다. 각 평균구간의 차속에 따른 실제도로 NOx 배출량은 차속이 45km/h 미만인 도심주행 구간의 경우, Combined 1 경로에서는 배출 허용기준을 2.2~8.2배, Combined 2 경로에서는 2.2~8.7배 초과하였다.

차속이 45~80km/h 범위인 교외주행 구간에서는 각각 배출 허용기준을 1.8~8.7배, 2.4~8.2배, 차속이 80km/h 이상인 고속주행 구간에서는 Combined 1 경로에서는 허용기준을 3.6~9.9배 Combined 2 경로에서 1.6~8.9배 초과하여 배출하는 것으로 분석되었다.

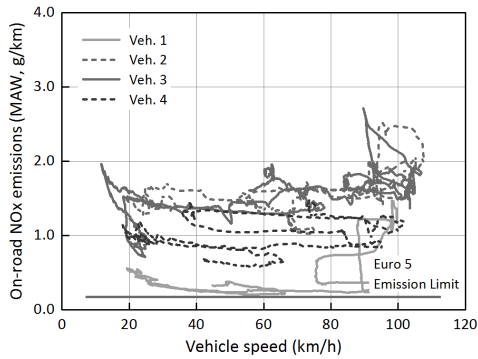


Fig. 10 On-road NOx emissions averaged by MAW method as function of vehicle speed for combined 1 route

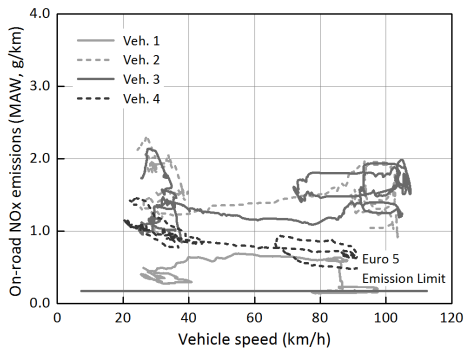


Fig. 11 On-road NOx emissions averaged by MAW method as function of vehicle speed for combined 2 route

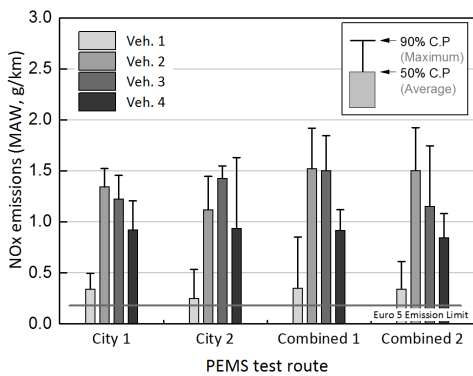


Fig. 12 50% CP and 90% CP for real driving NOx emissions evaluated with MAW method

한편, 각 평균구간 중 정상주행(normal driving) 조건 영역에 나타나는 평균구간의 배출가스량에 대한 DR을 계산하여 누적 분포를 구하였으며, DR 누적분포에 대한 평균값과 최대값으로 정의한 50% CP와 90% CP 분석결과를 Fig. 12에 나타내었다. 선도에 그려진 막대그래프 및 오차 간격은 각각 50% CP와 90% CP를 나타낸다. 각 주행루트에 대한 NOx 배출량 차이를 분석하기 위

Table 3 Averaged NOx emissions(50% CP) and deviation ratio(DR) evaluated by MAW method

	Combined 1 route		Combined 2 route	
	NOx	DR	NOx	DR
Veh. 1	0.326 g/km	1.8	0.341 g/km	1.9
Veh. 2	1.521 g/km	8.5	1.505 g/km	8.4
Veh. 3	1.503 g/km	8.4	1.154 g/km	6.4
Veh. 4	0.915 g/km	5.1	0.847 g/km	4.7

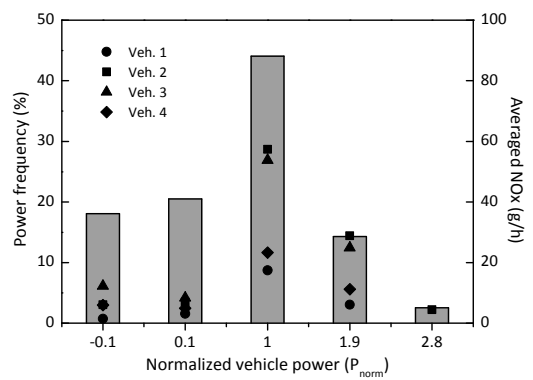


Fig. 13 On-road NOx emissions evaluated by weighted emissions for combined 1 route

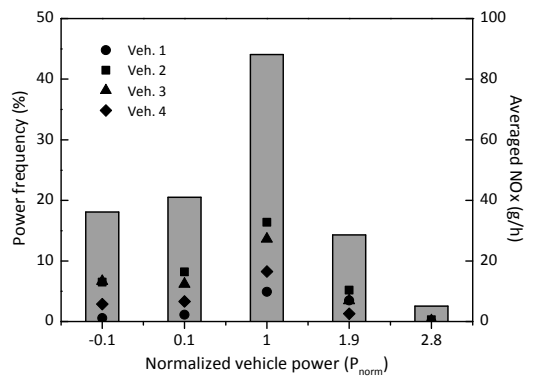


Fig. 14 On-road NOx emissions evaluated by weighted emissions for combined 2 route

하여, 4대 시험차량의 50% CP 평균값은 0.93 ~ 1.07g/km로, 주행루트별 평균 배출 허용기준은 5.2 ~ 5.9배 유사하게 초과하는 것으로 분석되었다. 하지만 주행경로에 대한 차량별 실제도로 NOx 배출량은 많은 차이를 보이고 있으며, Veh. 1이 시험차량 중 가장 낮은 수준인 배출 허용기준을 1.4 ~ 1.9배 초과하였고 Veh. 2 및 Veh. 3 차량이 각각 가장 높은 수준인 6.2 ~ 8.5배, 6.4 ~ 8.4 배 초과하여 배출하는 것으로 평가되었다. 모든 시험차량에 대한 주행경로 평균 90% CP값은

1.29~1.35g/km로 배출 허용기준을 6.5~7.5배 초과하는 것으로 분석되었다. 이상의 MAW 분석방법에 의한 Combined 1 및 Combined 2 경로의 실제도로 NOx 배출량에 대한 50% CP 및 90% CP 값을 Table 3에 나타내었다.

4.3 가중평균 배출량 분석결과

실제도로 NOx 배출량 측정 시험의 동일한 데이터를 가중 평균 배출량 방법으로 분석하였으며, Combined 1 및 Combined 2 경로에 대한 분석결과를 각각 Fig. 13 및 Fig. 14에 나타내었다. 선도에 나타난 첫 번째 bin은 감속주행, 두 번째 bin은 약 2.5kW 이하의 출력을 갖는 정지 또는 정속주행을 의미한다. 가중평균 배출량 분석결과는 MAW 결과와 유사한 경향을 나타내고 있으나 Combined 1 경로가 Combined 2 경로보다 NOx를 많이 배출하는 것으로 나타났다.

차량별로는 Veh. 1이 시험차량 중 가장 낮은 수준으로 Combined 1 및 Combined 2 경로에서 각각 배출 허용기준의 2.8배 및 2.0배 수준인 0.502g/km, 0.351g/km로 배출 인증기준을 초과하는 것으로 분석되었다.

또한, 이동평균구간 분석방법에서 가장 높은 수준으로 실제도로 NOx를 배출한 Veh. 2 및 Veh. 3 차량은 Combined 1 경로에서는 가중평균 배출량 분석방법 중 가장 높은 수준인 허용기준을 10.6배, 9.3배 초과한 1.904g/km, 1.665g/km를 배출하였으며, Combined 2 경로에서는 허용기준을 각각 6.5배, 5.3배 초과한 1.173g/km, 0.949g/km를 배출하는 것으로 나타났다. Veh. 4 차량의 경우에는 두 경로에서 각각 0.867g/km 및 0.559g/km를 배출 허용기준을 4.8배, 3.1배 초과하는 것으로 분석되었다. 이상의 분석결과를 Table 4에 정리하였다.

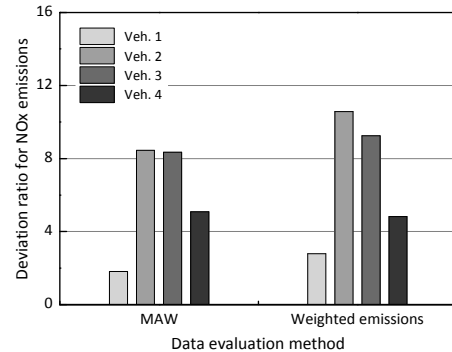
**Table 4** Averaged NOx emissions and deviation ratio(DR) evaluated by weighted emissions method

	Combined 1 route		Combined 2 route	
	NOx	DR	NOx	DR
Veh. 1	0.502 g/km	2.8	0.351 g/km	2.0
Veh. 2	1.904 g/km	10.6	1.173 g/km	6.5
Veh. 3	1.665 g/km	9.3	0.949 g/km	5.3
Veh. 4	0.867 g/km	4.8	0.559 g/km	3.1

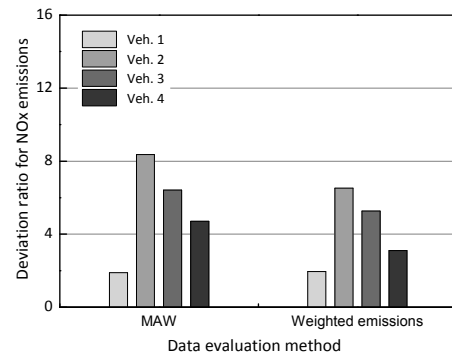
차량출력 bin의 경우, 감속, 정지 및 정속 주행을 나타내는 첫 번째 bin 및 두 번째 bin에서는 Combined 1 경로가 Combined 2 경로에 비해 다소 낮은 수준의 실제도로 NOx를 배출하고 있는 것으로 나타났으나, 출력 빈도수가 높은 약 1.9~25.2kW의 출력범위인 세 번째 bin에서 Combined 1 경로의 실제도로 평균 NOx 배출량이 Combined 2 경로에 비해 상대적으로 높은 수준인 것으로 분석되었다. 이 출력 bin에서 Combined 1 경로 및 Combined 2 경로의 시험차량 평균차속은 각각 69.8km/h, 75.8km/h로 나타났으며, 따라서 Combined 1 경로에서 출력 빈도수가 높은 고속주행 구간의 높은 차량출력 조건에서 많은 양의 NOx가 배출되었기 때문에 나타나는 현상으로 판단된다.

4.4 실제도로 NOx 배출량 분석방법 비교

Fig. 15 및 Fig. 16에는 각각 Combined 1 경로 및 Combined 2 경로에서 시험차량의 실제도로 NOx 배출량에 대한 이동평균구간 분석결과 및



**Fig. 15** Comparisons of deviation ratios for averaged NOx emissions between MAW and weighted emissions method at combined 1 route



**Fig. 16** Comparisons of deviation ratios for averaged NOx emissions between MAW and weighted emissions method at combined 2 route

가중평균 배출량 방법에 의한 평균 NO<sub>x</sub> 배출량을 DR값으로 비교하여 나타내었다. 두 분석방법 모두 Combined 1과 Combined 2 경로에서 Veh. 1 차량이 가장 낮은 수준의 실제도로 NO<sub>x</sub>를 배출하고 있으며, Veh. 2 및 Veh. 3 차량의 실제도로 NO<sub>x</sub> 배출량이 상대적으로 높은 수준인 것으로 분석되어 실제도로 NO<sub>x</sub> 배출량에 대한 이동평균 구간 분석방법과 가중평균 배출량 방법으로 분석한 결과 대체적으로 유사한 경향을 갖고 있는 것으로 나타났다.

그러나 가중평균 배출량 분석결과에서 설명한 바와 같이 Combined 1 경로의 표준출력 빈도수가 높은 차량출력 조건에서 Veh. 2와 Veh. 3 차량이 Combined 2 경로 대비 많은 양의 NO<sub>x</sub>를 배출하기 때문에 Veh. 2와 Veh. 3 차량에 대한 실제도로 NO<sub>x</sub> 배출량은 Combined 1 경로에서는 가중평균 배출량 방법이, Combined 2 경로에서는 이동평균구간 분석결과가 높은 것으로 분석되었다.

### 3. 결 론

본 연구에서는 PEMS 기반 RDE-LDV 시험방법의 국내 적용가능성을 살펴보기 위하여 국내 소형 Euro 5 경유자동차 4대에 대한 실제도로 배출가스 특성을 시험하였으며, 측정결과를 이동평균 구간 방법과 가중평균 배출량 방법으로 시험차량의 배출가스 데이터를 분석하여 하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

(1) 이동평균구간 분석결과, 실제도로 NO<sub>x</sub> 배출량은 인증시험 모드와는 달리 NEDC 허용기준을 차속이 45km/h 미만인 도심주행 구간에서는 2.2~8.7배, 교외주행 구간에서는 1.8~8.7배, 차속이 45km/h 이상인 고속주행 구간에서는 1.6~9.9배 초과하여 배출하는 것으로 나타났다.

(2) Combined 1 및 Combined 2 경로의 시험차량 이동평균구간 평균 NO<sub>x</sub> 배출량인 50% CP 차이는 크지 않았으나, 차량별로는 Veh. 1이 가장 낮은 수준인 허용기준을 1.8~1.9배, Veh. 2 및 Veh. 3 차량이 가장 높은 수준인 8.4~8.5배, 6.4~8.4배 초과하여 배출하는 것으로 분석되었다.

(3) 가중평균 배출량 분석결과, Combined 1, 2 경로의 실제도로 주행 평균 NO<sub>x</sub> 배출량은 Veh. 1이 배출 허용기준의 2.0~2.8배로 가장 낮은 수준이었으며, Veh. 2와 Veh. 3 차량이 6.5~10.6배와 5.3~9.3배로 가장 높은 수준인 것으로 분석되

었다.

(4) 실제도로 NO<sub>x</sub> 배출량에 대한 이동평균구간 분석방법과 가중평균 배출량 방법은 유사한 경향을 갖는 것으로 나타났으나, 출력 빈도수가 높은 차량출력 bin의 NO<sub>x</sub>를 배출량 차이로 가중평균 NO<sub>x</sub> 배출량은 다르게 나타난다.

### 후 기

본 연구는 한국형 오토오일 사업과 국립환경과학원의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

### 참고문헌 (References)

- (1) Lee, S. G., Lee, S. W. and Kang, Y. W., 2015, "Development and Validation of Urea-SCR Control-Oriented Model for NO<sub>x</sub> and NH<sub>3</sub> Slip Reduction," *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. B*, Vol. 39, No. 1, pp. 1~9.
- (2) An, T. H. and Kim, M. Y., 2014, "Numerical Investigation of the Spray Behavior and Flow Characteristics of Urea-Water Solution Injected into Diesel Exhaust Pipe," *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. B*, Vol. 38, No. 1, pp. 41~48.
- (3) Seoul Metropolitan Government, 2014, "Seoul Air Quality Information," <http://cleanair.seoul.ac.kr>.
- (4) DEFRA(Department for Environment, Food and Rural Affairs of UK), 2010, "NO<sub>x</sub>/NO<sub>2</sub> Emissions and Concentrations Research Project 2010," DEFRA Report.
- (5) 1996, "US EPA, Motor Vehicle Emissions Federal Test Procedure Revisions; Final Regulations," *Federal Register* Vol. 61, No. 205.
- (6) CARS21 High Level Group, 2012, "On the Competitive-ness and Sustainable Growth of the Automotive Industry in the European Union," Final Report.
- (7) Weiss, M., Bonnel, P., Hummel, R. and Steininger, N., 2013, "A Complementary Emissions Test for Light-duty Vehicles: Assessing the Technical Feasibility of Candidate Procedures," *JRC Scientific and Policy Reports*, EUR 25572 EN.
- (8) Weiss, M., Bonnel, P., Hummel, R., Manfredi, U., Colombo, R., Lanappe, G., Le Lijour, P. and Sculati, M., 2011, "Analyzing On-road Emissions



- of Light-duty Vehicles with Portable Emissions Measurement Systems(PEMS)," *JRC Scientific and Technical Reports*, EUR 24697 EN.
- (9) Vlachos, T. G., Bonnel, P., Perujo, A., Weiss, M., Villafuerte, P. M. and Riccobono, F., 2014, "In-Use Emissions Testing with Portable Emissions Measurement Systems(PEMS) in the Current and Future European Vehicle Emissions Legislation: Overview, Underlying Principles and Expected Benefits," *SAE International Journal of Commercial Vehicles* Vol. 7, Issue 1, pp. 199~215.
- (10) Verbeek, R., Vermeulen, R., Vonk, W. and Dekker, H., 2010, "Real World NOx Emissions of Euro V Vehicles, TNO Reports," MON-RPT-2010-02777.
- (11) Furian, N., Hausberger, S. and Kager, G., 2013, "CLEAR - Classification of Emissions from Automotive in Real Driving," BMW Report.
- (12) Park, J., Lee, J., Kim, S., Kim, J. and Ahn, K., 2013, "A Study on the Emission Characteristics of Korean Light-duty Vehicles in Real-road Driving Conditions," *Transactions of KSAE*, Vol. 21, No. 6, pp. 123~134.
- (13) National Institute of Environmental Research, 2014, "A Study on the Evaluation System Introduction of Real Driving Emission For Light-duty Vehicles," NIER -2014-051.
- (14) Oak, S., Eom, M., Lee, J., Park, J., Kim, J. and Chon, M. S., 2015, "Characteristics of Real-road Driving NOx Emissions from Korean Light-duty Vehicles regarding Driving Routes," *Transactions of KSAE*, Vol. 23, No. 1, pp. 130~138.