

Euro6 소형 경유자동차의 실제 도로 주행 NOx 배출량 평가

박연재* · 박준홍**† · 이재영*

Estimating On-road NOx Emissions of Euro 6 Light-duty Diesel Vehicles

Yeon-Jae Park, Junhong Park and Jai-Young Lee

Key Words: Emission regulations(배기가스 규제), Light-duty diesel(소형경유차), RDE-LDV(소형자동차 실제도로 주행 배출가스 평가), PEMS(이동식 배기가스 측정장치), On-road NOx Emissions(실제도로 주행 NOx 배출)

Abstract

To protect air pollution of urban area from motor vehicles, emission limits for diesel vehicles have been dramatically lowered in short period. But recent studies have shown that on-road NOx emissions of light-duty diesel vehicles are considerably higher than the values measured with laboratory test procedures used for emission certification. To tackle with this issue, Ministry of Environment have a plan to introduce EU RDE-LDV (Real-driving Emission-Light-duty Vehicle) regulation. In this study, 4 Euro 6 diesel vehicles have been tested with the new test procedures published by EU to estimate on-road NOx emissions using PEMS (Portable Emission Measurement System). The results have shown that the requirements of EU RDE-LDV could be met in driving condition of metropolitan area for constitution of test routes and validity of test results. In analysing with Moving Averaging Window method the completeness and normality of test data were validated with the requirement. On-road NOx emissions were quite deviated as test vehicles and higher than the new limit of on-road NOx emission enforced from Sept. 2017, which means that RDE-LDV can effectively reduce NOx emission of diesel vehicles in real driving conditions of Korea.

1. 서 론

자동차 배출가스는 대도시 지역의 주요한 대기오염원이다. 수도권의 경우 국내 인구와 등록차량의 약 50%가 집중되어 있어 자동차로 인한 대기오염에 매우 취약한 지역이다. 정부는 자동차로 인한 대기오염을 최소화하기 위하여 배출허용기준을 지속적으로 강화해 왔다. 경유자동차는 유럽의 배출가스 규제를 도입해 왔는데 2002년과 2006년에 각각 Euro3, Euro4 기준이 도입되었

고, 이후 유럽과 동일한 시기인 2009년 9월과 2014년 9월에 Euro5와 Euro6 기준이 각각 도입되었다⁽¹⁻³⁾. 이로 인해 NOx 배출허용기준은 2002년 0.75 g/km에서 2014년 9월 0.08 g/km로 단기간에 크게 강화되었다. 이러한 정부의 강력한 배출허용기준 강화정책과 제작사들의 기술개발로 2003년부터 2012년까지 자동차에 의한 도로 이동오염원 중 NOx 배출량은 약 27% 감소하였고, 유럽의 경우에도 1990년 이후 2013년까지 약 56% 감소하는 등 각국 정부의 배출허용기준 강화정책은 상당히 효과를 나타낸 것으로 분석되고 있다⁽⁴⁻⁶⁾.

그러나 2013년 현재 국내의 NOx 배출원 중 도로이동오염원은 약 31%로 집계되어 점유율이 가장 높고, 유럽의 경우에도 2013년에 약 39%를 차지하고 있어 도로이동오염원에 의한 NOx 배출량은 여전히 가장 중요하게 다루어야 할 오염물질 중의 하나이다. 서울시 기후대기

(Received: 17 Oct 2016, Received in revised form: 8 Nov 2016, Accepted: 23 Nov 2016)

*서울시립대학교 일반대학원 환경공학과

**회원, 국립환경과학원 교통환경연구소

E-mail : pjhy98@korea.kr

TEL : (032)560-7610 FAX : (032)561-7013

환경정보에 의하면, 2007년 이후 PM₁₀의 농도는 지속적으로 감소되어 2010년 이후에는 기준치 이하로 나타나고 있지만, NO₂ 농도는 뚜렷이 감소되지 않고 2014년 현재 대기오염 기준을 여전히 상회하고 있는 것으로 나타나고 있어 중요한 사회적 이슈로 대두되고 있다^(6,7).

경유차의 NO_x 배출허용기준 강화에도 대도시의 NO₂ 농도가 감소되지 않는 현상이 나타나는 원인 중의 하나로 경유자동차의 실제 도로 주행 중의 NO_x 배출량이 인증시험 모드에서의 배출량과 상당한 차이가 있는 것이 지적되고 있다. 환경부는 이러한 문제점을 개선하기 위하여 EU에서 적용할 예정인 소형자동차 실제도로 주행 배출가스(RDE-LDV, Real Driving Emissions-Light Duty Vehicles) 관리제도를 2017년 9월에 도입할 계획이다. RDE-LDV 제도는 기존의 차대동력계를 이용하는 실내 인증 시험방법과 달리 PEMS 장비를 활용하여 실제 도로 주행시의 배출가스를 측정하여 규제하는 새로운 개념의 평가 방법이다.

따라서 RDE-LDV 제도의 실효성을 검증하고 효과적으로 도입하기 위해서는 시험 경로의 구성, 가속조건 및 엔진 부하 등과 같은 주행특성, 주위 온도 및 고도와 같은 환경조건, 데이터 분석방법 등과 관련된 연구가 선행되어야 한다. 본 연구에서는 EU에서 적용 예정인 RDE-LDV 시험방법을 기준으로 국내 주행도로에서 Euro6 경유자동차들의 실제 도로 주행 배출가스 특성을 평가하고, EU 시험방법의 국내 적용 가능성과 제도 도입에 따른 기대효과를 분석하였다.

2. 연구내용 및 방법

2.1 시험 자동차

본 연구에서는 국내에서 운행 중인 2015 및 2016년식 Euro6 배출 허용기준이 적용된 경유자동차 4대를 대상으로 실제 도로 주행 배출가스 시험을 수행하였다. 시험

Table 1 Specifications of test vehicles

Vehicle	Model year	Kurb weight	Displaced volume	After treatment
Veh. 1	2015	1,470 kg	1,600 cc	DPF+LNT
Veh. 2	2015	1,470 kg	2,000 cc	DPF+LNT
Veh. 3	2015	1,465 kg	2,000 cc	DPF+LNT
Veh. 4	2016	1,544 kg	2,000 cc	DPF+LNT

차량의 배기량은 1,600~2,000 cc이며, 초기 주행거리가 7,000 km 이내인 차량으로서 주요 제원은 Table 1에 요약하여 나타내었다.

실제도로 운행조건에서 배출가스량을 측정하기 위한 PEMS 장비로는 Horiba사의 OBS-2000을 사용하였다. 본 연구에서 사용된 PEMS 장비는 Pitot-tube 방식의 배기가스 유량계, 배기가스 분석기, 배기가스 샘플링 장치, 전원 공급 장치, 제어 및 데이터 분석 장치 등으로 구성된다. 배기가스 분석기는 CO₂, NO_x를 측정하며, 1Hz의 주기로 측정된 배기가스 농도 데이터는 유량계의 유량 데이터와 동기화되어 g/s 단위로 취득된다. GPS와 OBD 단말기를 통해 취득된 차속 데이터를 기준으로 차량의 OBD 데이터와 PEMS의 측정 데이터를 동기시켜 사용하였다^(8,9). 시험차량에 장착된 PEMS 장비의 기본 제원을 Table 2, 계통도를 Fig. 1에 나타내었다.

2.2 실제 도로 주행 경로

본 연구의 실제 도로주행 경로는 EU의 RDE-LDV 시험 방법에 적합하도록 구성하였다. EU RDE-LDV의 주행경로 구성요건 따르면 도심, 교외, 고속도로의 주행특성이 나타나는 운행조건을 주행거리 기준으로 각각 1/3로 구성하되, 각 구간은 최소 16 km 이상이 되어야 한다. 운행조건은 차속 기준으로 도심 0~60 km/h, 교외 60~90 km/h, 고속도로 90 km/h 이상의 속도로 구분된다. 본 연구에서는 수차례의 사전 주행을 통하여 EU RDE-LDV 규정에 부합되는 실제 도로주행 시험경로를 구성하였다. 도심구간은 고양시 능곡역에서 출발하여 연세대, 광화문, 서대문역, 서강대교까지이다. 교외구간은 서

Table 2 Specifications of PEMS equipment

Item	Principle	Range
NO _x	CLD	0~500 ppm
CO ₂	NDIR	0~19%
Exhaust flow	Pitot tube	0~4.5 m ³ /min

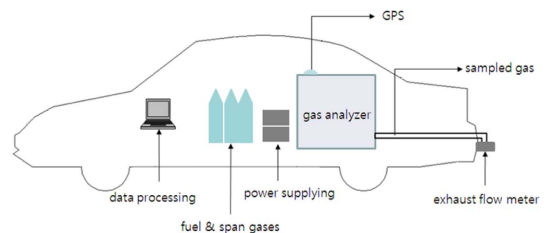


Fig. 1 Schematic diagram of PEMS system

Table 3 Summary of RDE test route

	Urban	Rural	Motorway	Total trip
Distance	21.7 km (31.0%)	20.3 km (29.0%)	28.0 km (40.0%)	69.9 km
Duration	60.6 min (64.5%)	16.5 min (17.6%)	16.9 min (18.0%)	93.9 min
Avg. speed	21.5 km/h	73.8 km/h	99.6km/h	-

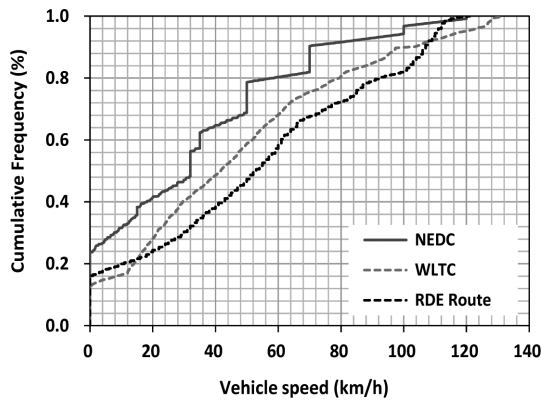


Fig. 2 Vehicle speed distributions of RDE test route in comparison to NEDC and WLTC

강대교를 지나 강변북로를 통과하여 제2자유로, 강매 IC 순으로 구성되며, 고속도로 구간은 강매IC를 지나 인천국제공항고속도로를 진입하여 청라IC, 금산IC로 구성되는 시험경로이다. 총 주행거리는 약 75 km이고, 주행 시간은 일반적인 조건에서 약 90~100분 정도이다.

Table 3에 본 연구의 실제 도로 주행 시험시에 나타난 구간별 주행거리, 주행시간, 평균 차량속도를 요약하여 정리하였으며, 차량속도 누적분포를 NEDC(New European Driving Cycle) 및 WLTC(Worldwide-harmonized Light-duty Test Cycle) 인증시험 모드와 비교하여 Fig. 2에 나타내었다.

3. 연구결과 및 고찰

3.1 PEMS 장비의 신뢰성

PEMS 장비를 이용하여 실제도로 주행 시험을 수행하기 전에 측정 데이터의 신뢰성을 평가하기 위해 차대 동력계에서 CVS 장비와 동시에 배출가스를 측정하여 측정장비 간 상관성을 검증하였다. 폭 넓은 측정범위에

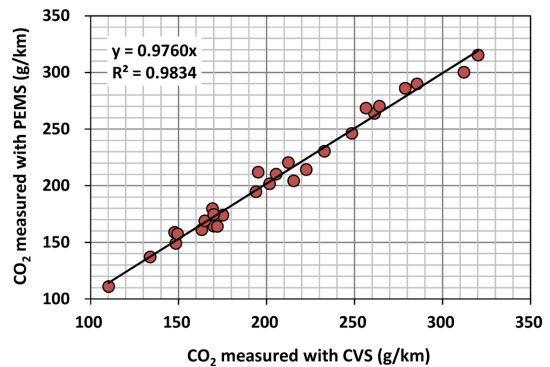
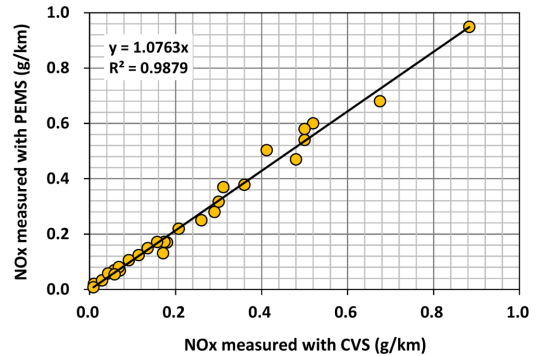


Fig. 3 Correlation of NOx and CO₂ emissions between PEMS and CVS equipment in laboratory tests

서의 상관성을 평가하기 위하여 NEDC, CVS-75 모드 등 다양한 주행모드에서 수행하였으며, 각 주행모드에서 두 장비로 측정된 NOx와 CO₂ 배출량 시험 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 시험실의 CVS와 PEMS 장비로 측정된 값을 점으로 나타내었고, 최소자승법으로 회귀직선을 구하여 직선식과 결정계수를 함께 표기하였다. 선도에서 알 수 있듯이 각 주행모드에서 PEMS와 CVS 장비로 동시에 측정된 배출가스 데이터를 비교한 회귀직선의 기울기는 각각 1.07과 0.98로 나타나 NOx와 CO₂ 배출량이 거의 일치하고 있음을 정량적으로 확인할 수 있었다. 또한 두 장비의 측정값에 대한 결정계수는 모두 0.98 이상으로 나타나 PEMS와 CVS 장비의 배출량 측정값은 매우 높은 상관관계를 갖고 있으며, 본 연구에서 사용한 PEMS 장비의 배출가스 데이터의 신뢰도를 확인할 수 있었다.

3.2 실제 도로 주행경로의 운행특성

Table 3에 나타난 실제 도로 주행경로의 운행특성을 분석하기 위해 주행경로의 하위 주행구간(sub-trip)의 평

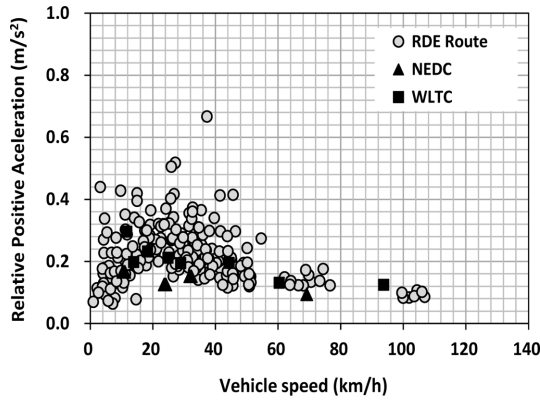


Fig. 4 Relative positive acceleration of sub-trips of RDE test route in comparison to NEDC and WLTC

균차속에 대한 양의 상대가속도(RPA, Relative Positive Acceleration) 분포를 NEDC와 WLTC 인증시험 모드⁽¹²⁾와 비교하여 Fig. 4에 나타내었다.

실제 도로 주행경로의 평균차속과 가속도는 인증시험 모드 보다 폭넓게 분포되어 인증시험에서 나타나지 않은 다양한 주행패턴이 반영되었음을 확인할 수 있다. 특히 중저속인 차속 60 km/h 이하의 주행구간에서는 NEDC 인증모드에는 나타나지 않는 0.2 m/s² 이상의 가속도가 비교적 폭넓은 속도영역에서 분포되고 있다. 평균차속이 60 km/h 이상인 교외와 고속도로 주행구간은 도심 주행구간 대비 정지구간이 적고 일정한 속도의 주행이 길게 지속되어 하위 주행구간이 적게 나타난다. 평균속도 60~90 km/h인 교외 주행구간의 가속도는 0.12~0.18 m/s²의 범위에 분포되고 있으며, 평균속도 90 km/h 이상인 전용도로 주행구간의 가속도는 주행경로 중 가장 낮은 수준인 0.08~0.12 m/s²로 분포되었다.

3.3 주행경로 평균 NOx 배출량

Figure 5에 각 시험차량의 주행구간을 도심, 교외, 전용도로 구간으로 구분하여 각 주행구간별 평균 차속에 대한 경로평균 NOx 배출량을 나타내었다. 도심 주행구간의 경우, 시험차량은 22.1~29.3 km/h의 평균 차속으로 주행되었으며, 평균 NOx 배출량은 0.125~0.581 g/km로 시험차량에 따라 상당히 큰 차이를 나타내었다. 시험차량들의 평균 배출량은 0.358 g/km로서 실내 인증 배출허용기준의 약 4.5배 정도를 초과하였다.

교외 주행구간에서는 평균차속은 67.7~69.9 km/h의 범위에서 주행되었으며, 다른 주행구간에 비해 차량별 NOx 배출량의 편차가 크게 나타났다. 평균 NOx 배출

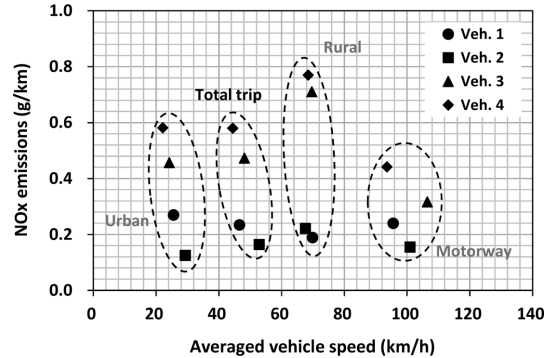


Fig. 5 Route averaged on-road NOx emissions in urban, rural and motorway

량은 실내 인증 허용기준의 약 5.9배인 0.472 g/km인 것으로 추정되었다. 한편, 고속도로로 주행구간에서는 93.6~106.5 km/h의 평균차속으로 주행되었으며, 차량별 NOx 배출량의 편차는 다른 주행구간보다는 적게 분포하는 것으로 나타났다. 고속도로 구간의 평균 NOx 배출량은 실내 인증 허용기준의 약 3.6배인 0.288 g/km로 배출되었다.

본 연구의 시험차량들은 모두 NOx 저감기술로 LNT 시스템이 적용되어 있다. SCR 장착 차량의 경우 일부 차종은 LNT 대비 상당히 낮은 실도로 NOx 배출량이 나타나지만, 상당수 차종은 LNT와 유사한 수준인 것으로 알려져 있다⁽¹³⁾.

3.4 이동평균구간 NOx 배출특성

본 연구에서는 EU의 RDE-LDV 시험방법에서 제시된 WLTC 주행모드 CO₂ 배출량을 기준으로 평균계산구간을 설정하고, 이동평균방법을 이용하여 주행거리당 배출가스 평균값을 산출하는 방법을 적용하였다. 또한, 각 평균계산구간 들의 평균차속에 대한 CO₂ 배출량 특성곡선을 이용하여 실제도로 주행시험의 유효성 (validity)을 검증하였다. 주행시험의 유효성은 도심, 교외, 고속도로의 평균계산구간 점유율이 15% 이상 되어야 하는 완전성(completeness)과 평균계산구간의 CO₂ 배출량이 WLTC 기준 CO₂ 특성곡선의 ±25% 내에 분포하는 점유율이 50% 이상 되어야 하는 일반성(normality)을 검증하는 것으로 수행된다. Fig. 6에 Veh. 1 차량의 WLTC 기준 CO₂ 특성곡선과 실제 도로 주행시험시의 평균계산구간에서의 CO₂ 배출량 분포를 나타내었으며, Table 4와 Table 5에 각각 주행구간의 유효성을 검증한 결과를 나타내었다⁽¹⁰⁾.

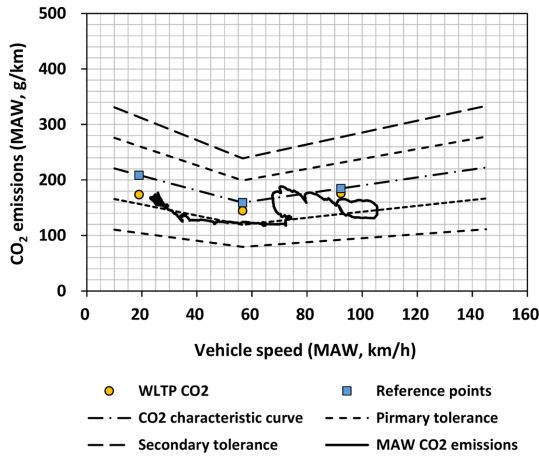


Fig. 6 CO₂ Characteristic curve and real driving CO₂ emissions of Veh.1 with MAW evaluation

Table 4 Validity results of trip completeness for veh. 1

	Urban	Rural	Motorway
Window No.	2,485	1,328	732
Driving share (%)	54.7	29.2	16.1
Criteria (%)	15.0	15.0	15.0
Validity	valid	valid	valid

Table 5 Validity results of trip normality for veh. 1

	Urban	Rural	Motorway
Window No.	1,774	708	642
Driving share (%)	71.4	53.3	87.7
Criteria (%)	50.0	50.0	50.0
Validity	valid	valid	valid

각 평균계산구간의 평균속도를 기준으로 도심, 교외, 고속도로로 분류하였을 때, 각 주행구간의 평균계산구간 점유율은 전체의 15% 이상이고, 시험차량의 WLTC CO₂ 특성곡선의 ±25% 구간 내에 CO₂ 배출량이 분포하는 평균계산구간의 점유율은 각 주행구간 전체 평균계산구간의 50% 이상인 것으로 나타나 Veh. 1의 실제도로 주행시험의 완전성과 일반성은 EU의 RDE-LDV에서 정한 기준에 부합함을 확인할 수 있다.

본 연구에서는 이와 같이 시험 차량의 WLTC 기준 CO₂ 특성곡선과 각 주행구간의 평균계산구간 점유율 분포를 이용하여 각 차량의 실제도로 주행시험의 유효

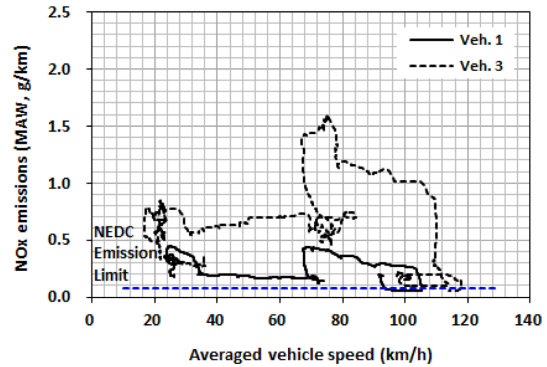


Fig. 7 Real driving NO_x emissions averaged by MAW method of veh. 1 and veh. 3

성을 검증한 후 평균계산구간의 주행거리 당 NO_x 배출량(g/km)을 산정하였다.

Figure 7에 veh.1과 veh.3 차량의 이동평균계산구간의 주행거리 당 NO_x 배출량 결과를 나타내었다. 이 두 차량은 주행경로별 평균 NO_x 배출량에 상당한 차이가 있었다. 두 시험차량의 각 평균계산구간에서 주행거리 당 NO_x 배출량은 일부 고속주행 조건을 제외하고는 모두 NEDC 배출 허용기준을 초과하였다. 즉, 다양한 주행조건에서 실제로도 주행 NO_x 배출량은 실내 인증 배출기준을 초과한다는 것을 다시 한 번 확인할 수 있었다. 또한 veh.3 차량은 거의 모든 주행조건에서 veh.1 차량보다 상대적으로 많은 양의 NO_x를 배출하고 있으며, 특히 평균차속 약 70 km/h 이상의 고속 주행조건에서 NO_x가 과다 배출되는 것으로 나타났다.

EU의 RDE-LDV 시험방법에서는 각 평균계산구간의 CO₂ 값이 WLTC 기준 CO₂ 특성곡선 대비 ±25~50% 영역에 분포되는 경우, 가혹주행(severe driving) 또는 온순주행(soft driving)으로 분류하고 NO_x 배출량(g/km)에 1 이하의 가중계수를 곱하여 최종 결과값을 산정한다. 이는 주행특성이 일반적인 운행 조건에서 벗어난 것에 대한 배출가스 영향을 반영하는 것이다.

Figure 8에는 주행조건에 따른 가중계수를 고려하여 이동평균구간 방법으로 산정한 시험차량별 실제도로 주행 NO_x 배출량을 각 주행구간과 총 주행경로로 구분하여 나타내었다. Fig. 9에는 총 주행경로와 도심구간의 실제도로 NO_x 배출량을 실내인증 배출허용 기준인 0.08 g/km로 나눈 적합계수(C.F., Conformity Factor)로 나타내었다. EU의 RDE-LDV는 위와 같은 방법으로 산정된 적합계수를 2017년 9월 인증차량부터 2.1, 2020년 1월 인증차량부터 1.5 이내로 규제한다.

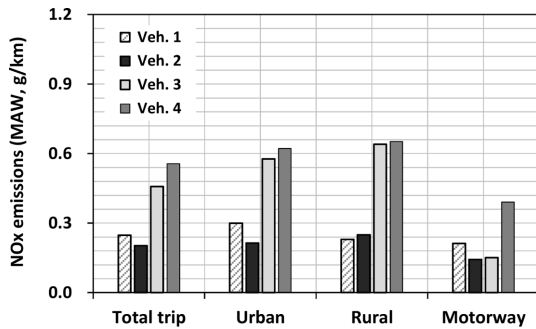


Fig. 8 Real driving NOx emissions on RDE route estimated with MAW method

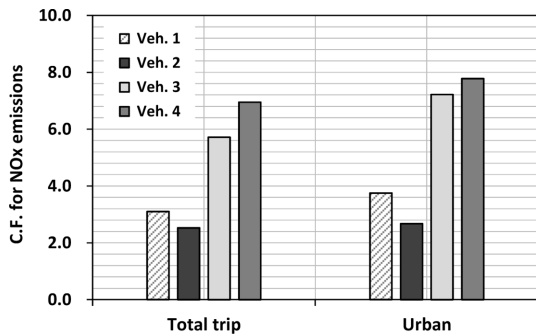


Fig. 9 Conformity factors of on-road NOx emissions in total trip and urban parts of RDE route

도심 주행구간과 교외 주행구간의 단위 주행거리 당 NOx 배출량은 고속도로 주행구간에 비해 상대적으로 높았으며, veh. 1과 veh. 2 차량이 모든 주행구간에서 veh. 3와 veh. 4 차량보다 높은 NOx 배출량을 나타내었다. 동일한 Euro6 실내 인증 배출허용기준에 적합한 차량이지만, 실제 도로 주행조건에서의 배출량은 차량에 따라 상당히 차이가 나타나고 있는 것이다. RDE-LDV 시험방법과 데이터분석 방법에 따라 산정한 시험차량들의 도심 주행구간 NOx 배출량은 0.214~0.622 g/km이며, 평균 배출량은 실내인증 허용기준의 약 5.4배인 0.428 g/km로 나타났다. 교외 주행구간의 시험차량 별 NOx 배출량 범위는 0.230~0.652 g/km이며, 이는 실내인증 허용기준 보다 약 2.9배에서 8.2배 높게 배출되는 값이다. 고속도로 주행구간은 도심 및 교외 주행구간보다는 낮은 수준인 0.143~0.391 g/km 범위의 NOx를 배출하고 있으며, 차량평균 NOx 배출량은 배출 허용기준을 약 2.8배 초과하였다.

본 연구에서 시험차량 4대에 대하여 EU의 RDE-LDV 시험방법에 따라 주행경로를 설정하고 평가한 결과, 국

내의 도로 주행 조건에서 동 시험방법을 구현할 수 있음을 확인하였다. EU의 RDE-LDV에 따른 실제 도로 NOx 배출량은 0.202~0.556 g/km 범위이며, 인증기준 대비 비율인 적합계수로는 시험차량에 따라 2.5~6.9 수준인 것으로 분석되었다.

4. 결 론

본 연구에서는 국내의 경유차 실제 도로 주행 배출가스 관리 제도로 도입예정인 EU의 RDE-LDV 시험방법을 적용하여 4대의 Euro6 경유차에 대해 실제 도로 주행 배출가스 시험을 수행하였고 다음과 같은 결론을 도출하였다.

(1) 본 연구에서 적용한 PEMS 장비의 신뢰성을 확인하기 위하여 차대동력계 배출가스 시험시설에서 CVS 장비와 상관성 시험을 수행하였고, 두 장비의 CO₂와 NOx 측정 데이터는 높은 상관성이 있음을 정량적으로 확인하였다.

(2) 실제도로 주행시험을 수행하기 위해 수도권 지역에서 설정한 도로 주행 경로는 EU의 RDE-LDV 규정에 적합하게 구성될 수 있으며, 실제 도로 주행 시험시의 평균차속과 가속도는 인증시험 모드에서는 포함되지 않는 다양한 운전패턴이 반영되었다. 또한, 이동평균구간 분석방법의 주행경로 완료성과 일반성도 EU RDE-LDV 시험방법 규정에 모두 부합하였다.

(3) 본 연구에서 수행한 Euro6 경유차의 실제도로 NOx 배출량은 시험차량에 따라 0.202~0.556 g/km로 모든 차량이 실내인증 배출허용기준을 초과하였고, 차량에 따라 상당한 차이가 나타났다.

(4) 시험차량 4대의 인증기준 대비 비율인 적합계수는 2.5~6.9 수준으로서 모두 2017년 9월부터의 규제 기준인 2.1을 초과하였다. 이는 EU의 RDE-LDV 규제 도입 시 소형경유차의 NOx 배출량을 실제 도로주행 조건에서 실효적으로 저감할 수 있음을 보여준다.

후 기

본 연구는 한국형 오토오일 사업 및 국립환경과학원 연구사업 “자동차 환경규제 국제표준화 대응 및 실제 도로 주행 조건의 오염물질 배출 개선연구(2015-03-002)”의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- (1) Korean Ministry of Environment, "Regulation of Exhaust Gases from Automobiles, Ships, Etc., Clean Air Act Chapter 4", 2009.
- (2) California Air Resource Board, "The California Low Emission Vehicle Regulations", 2008.
- (3) UN ECE Regulation No. 83, "Uniform Provisions Concerning the Approval of Vehicles with Regards to the Emission of Pollutants according to Engine Fuel Requirements", 2008.
- (4) EEA, "European Union Emission Inventory Report 1990~2012 under the UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (LRTAP)", EEA Technical Report No. 12/2014, 2014.
- (5) EEA, "European Union Emission Inventory Report 1990~2013 under the UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (LRTAP)", EEA Technical Report No. 8/2015, 2015.
- (6) National Institute of Environmental Research, "National Air Pollutants Emission 2012", NIER-GP 2014-392, 2014.
- (7) Seoul Metropolitan Government, Seoul Air Quality Information, <http://cleanair.seoul.ac.kr>, 2015.
- (8) Seonil Oak, Myoungdo Eom, Jongtae Lee, Junhong Park, Jichul Kim, and Mun Soo Chon, "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, 2015.
- (9) Seokjoo Kwon, Sangil Kwon, Hyung-Jun Kim, Youngho Seo, Sungwook Park, and Mun Soo Chon, "A Study on the Characteristics of Simulated Real Driving Emissions by Using Random Driving Cycle", Transactions of KSAE, Vol. 24, No. 4, pp. 454~462, 2016.
- (10) National Institute of Environmental Research, "A Study of Real Driving Emissions-Light Duty Vehicles (RDE-LDV) measured with PEMS, NIER Report", NIER-SP2016-073, 2016.
- (11) T. G. Vlachos, P. Bonnel, A. Perujo, M. Weiss, P. M. Villafuerte and F. Riccobono, "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, 2014.
- (12) Junhong Park, Jongtae Lee, Jeongsoo Kim, Summoon Kim and Keunhwan Ahn, "Measuring Particle Number from Light-duty Diesel Vehicles in WLTP Driving Cycle", Journal of Ilass-korea Vol. 18 No. 3 (2013).
- (13) V. Franco, F. P. Sanchez, J. German and P. Mock, "REAL-WORLD EXHAUST EMISSIONS FROM MODERN DIESEL CARS", The International Council on Clean Transportation, 2014.