

외기온도 및 냉간시동에 따른 PEMS와 SEMS 장비의 소형 경유차의 실제도로 주행 질소산화물 상관성 연구

유 영 수 · 정 준 우 · 김 승 리 · 심 인 한 · 전 문 수 · 차 준 표*

한국교통대학교 자동차공학과

A Study Correlations of NOx Emissions between PEMS and SEMS of Light-Duty Diesel Vehicle in Real Driving According to Ambient Temperature and Cold Start

Young Soo Yu · Jun Woo Jeong · Seung Lee Kim · Inhan Sim · Mun Soo Chon · Junepyo Cha*

Department of Automotive Engineering, Korea National University of Transportation, Chungbuk 27469, Korea

(Received 30 January 2020 / Revised 2 March 2020 / Accepted 6 March 2020)

Abstract : To determine the correlation between PEMS and SEMS in real driving, PEMS and SEMS equipment were installed on a diesel vehicle with LNT and SCR systems. There were some problems, such as the expensive charge for the test operation and the need for complex equipment to conduct the RDE test with the PEMS equipment. As such, the SEMS equipment is simpler than the PEMS equipment as it consists of an OBD signal from the test vehicle and NOx sensors. These equipment were sensitive to the ambient temperature and to cold or hot start in the measurement of the NOx emissions exhausted from the test vehicle. Therefore, the purpose of this study was to measure the NOx emissions using the PEMS and SEMS equipment simultaneously to examine the correlation between NOx emissions and ambient temperature as well as cold or hot start. It was apparent that the lower the ambient temperature was, the higher the NOx emissions. Moreover, the NOx emissions in the cold-start condition were higher than those in the hot-start condition due to the warm-up after the treatment, such as LNT and SCR. There was a small difference, however, between the correlation between the NOx emissions and the ambient temperature as well as cold or hot start measured using PEMS equipment and that measured using SEMS equipment.

Key words : Real driving emission(실제도로 주행 배출가스), Portable emission measurement system(이동식 배출가스 측정 장비), Smart emissions measurement system(센서 기반 이동식 배출가스 측정 장비), Nitrogen oxide(질소산화물), Ambient temperature(외기온도)

1. 서 론

실내 차대동력계의 인증시험모드가 NEDC(New European Driving Cycle) 모드에서 WLTC(Worldwide harmonized Light-duty Test Cycle) 모드로 대체되고 실제도로 주행 배출가스 제도(RDE-LDV, Real Driving Emission-Light Duty Vehicle)가 도입¹⁾되면서 실내 차대동력계 및 실제도로 주행에서 경유자동차에서 배출되는 질소산화물이 현저히 저감되었다는 연구가 다수 발표되었다.²⁾ 하지만 현재 실제도로 주행 배출가스 시험을 수행하기 위해 복잡한 장비의 운용 방법과 장비를 운용 및 시험하는 데 발생하는

고가의 비용 문제들이 있다.

네덜란드 응용과학연구기구(TNO, Toegepast-natuurwetenschappelijk Nederlandse Organisatie)에서 현재 이러한 문제점을 보완하기 위해 저가위주의 센서와 차량의 자가진단장치(OBD, On-Board Diagnostics) 데이터를 기반으로 하는 이동식 배출가스 측정 장비인 SEMS(Smart Emissions Measurement System)를 개발하여 연구를 활발히 수행하고 있다.³⁻⁵⁾

2016년에 TNO에서 발표한 보고서에 의하면 실내 차대동력계의 다양한 주행모드에서 SEMS와 정용량 시료채취(CVS, Constant Volume Sampler) 장비를 이용하여 동시에 측정 후, 비교하여 SEMS 장비의 상관성을 검증

*Corresponding author, E-mail: chaj@ut.ac.kr

*This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium provided the original work is properly cited.

하는 시험을 하였다. 시험결과, SEMs 장비에서 측정된 이산화탄소는 CVS 장비와 비교하였을 때 0.3 %의 오차가 발생하였고, 질소산화물은 8.8 %의 오차가 발생하였다. 이상의 시험을 통해 SEMs 장비에서 측정된 이산화탄소 및 질소산화물이 높은 신뢰성을 가지고 있음을 확인할 수 있었다.⁶⁾

하지만 이러한 SEMs 장비를 탑재하고 국내 주행조건이 반영된 주행경로에서 연구한 결과는 부족한 현황이며, SEMs 장비에서 측정된 데이터를 현행 인증용 장비로 사용하고 있는 이동식 배출가스 측정 장비인 PEMS(Portable Emission Measurement System)에서 측정된 데이터와 동시에 측정하여 비교 검증할 필요가 있다.

현행 인증용 장비로 사용하고 있는 이동식 배출가스 측정 장비인 PEMS 장비를 사용한 연구는 다수 진행되었다.

Gallus 등⁷⁾은 실제도로 주행 배출가스제도가 도입되기 전, 운전 성향 및 도로경사도 조건의 주행동특성에 따른 질소산화물 배출에 대한 영향을 발표하였다.

차준표 등⁸⁾과 이동인 등⁹⁾은 경유 차량에 후처리장치로 LNT와 DPF를 장착한 차량과 DPF와 SCR을 장착한 차량을 대상으로 외기온도에 따른 질소산화물의 배출특성에 대해 연구하였다. 질소산화물은 외기온도에 따라 배출량 차이가 크게 나타나며, 이는 차량에 사용되는 후처리 장치가 외기온도에 따라 예열하면서 충분한 전환효율이 나타나지 않는 것으로 확인되었다.

따라서 본 연구에서는 국내에서 판매 및 운행 중인 경유 차량 1대를 대상으로 국내 주행조건이 반영된 실제도로 주행경로에서 다양한 외기온도 조건이 반영하여 PEMS 장비와 SEMs 장비에서 질소산화물을 동시에 측정하였으며, 최종적으로 SEMs 장비에서 측정되는 데이터의 신뢰성을 검증하고자 한다.

2. 시험내용 및 방법

2.1 시험 차량

본 연구에서 사용된 시험 차량은 배기량 2L의 SUV형 경유 차량 1대를 대상으로 연구하였으며, 이는 현행 법규인 실제도로 주행 배출가스 규제를 만족하기 위해 후처리 장치로 LNT(Lean NOx Trap)와 SCR(Selective Catalytic Reduction)을 복합적으로 장착한 차량을 중점으로 연구를 수행하였다. 이러한 시험 차량선정의 장점은 차량에서 배출되는 질소산화물을 저감하기 위해 후처리장치의 최근 기술이 반영된 연구를 할 수 있는 반면, 후처리 장치로 SCR만을 장착하여 법규를 준수하는 차량에 대해 연구가 부족하다는 단점이 있다. 본 연구에 사용한 시험차량의 자세한 제원을 Table 1에 정리하여 나타내었다.

Table 1 Specifications of test vehicle

	Vehicle 01
Type	SUV
Max. power [kW]	137
Displacement [cc]	1,995
Emission regulation	Euro 6d-temp
After treatment	LNT+DPF + SCR

2.2 RDE-LDV 시험 주행경로

본 연구에서 사용된 주행경로는 EC(European Commission)에서 제안한 RDE-LDV 주행경로 요건을 만족하며, 국내 중소도시의 주행특성을 반영하기 위하여 개발된 경로이다. 시험한 주행경로의 도심 구간은 국내 인증시험 경로에 비해 차량 통행량이 적은 특징이 있으며, 3rd package에서 추가된 냉간시동 조건의 영향을 반영한 주행경로이다.¹⁰⁾

본 연구의 RDE 주행경로는 한국교통대학교에서 출발하여 충주시청을 지나는 도심구간을 붉은 색, 주덕 및 음성읍을 통과하는 교외구간을 노란 색, 음성IC부터 동충주 IC까지 주행하는 전용도로 구간을 파란 색으로 Fig. 1에 나타내었다.

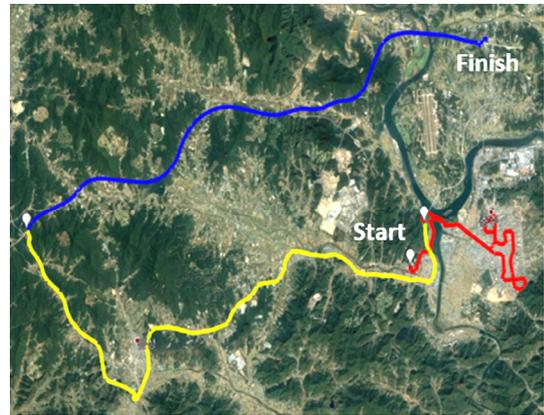


Fig. 1 Map of RDE-LDV route

2.3 이동식 배출가스 측정 장비

본 연구에서 실제도로 주행 배출가스를 측정하기 위해 사용한 이동식 배출가스 측정 장비(PEMS)는 SEMTECH LDV, Sensors'5th generation PEMS 모델이며, 시험장비의 구성은 배기가스 농도 분석기, 배기가스 유량 측정기, GPS, 외기온도 및 상대습도 측정기, 외부 전원공급 장치, OBD 진단장치 등으로 구성되어 있다. PEMS 장비에서 실시간 1 Hz으로 측정된 배기가스 농도 데이터(ppm)는 유량계의 유량 데이터와 동기화되어 배기가스 질량 데이터(g/s) 단위로 측정된다. 또한, 단위 변환한 배기가스 질량 데이터를 GPS 또는 OBD를 통해 측정된 차

Table 2 Descriptions of PEMS equipment

Feature	Specifications
Heated NDIR	CO : 0 ~ 8 % vol.
	CO ₂ : 0 ~ 18 % vol.
Heated NDUV	NO : 0 ~ 3,000 ppm
	NO ₂ : 0 ~ 1,000 ppm
Operating temp.	-10 ~ 45 °C
Dimensions	SCS module : 435(W) × 410(D) × 105(H)
	GAS module : 437(W) × 312(D) × 135(H)
	EFM module : 365(W) × 105(D) × 90(H)
Weight	SCS module : 10.9 kg
	GAS module : 8.9 kg
	EFM module : 3.9 kg

속(km/h)와 동기화하여 주행 거리 당 배출량(g/km)로 환산된다. 시험 장비의 제원 및 측정원리를 Table 2에 정리하여 나타내었다.

2.4 센서 기반 이동식 배출가스 측정 장비

본 연구에서 실제도로 주행 배출가스를 측정하기 위해 사용한 센서 기반 이동식 배출가스 측정 장비는 질소산화물 센서(NOx sensor), 차량속도와 주행고도를 측정하는 GPS signal, 차량의 OBD 데이터를 측정하는 OBD signal, 센서의 작동과 데이터 저장 및 장비의 전원 관리하는 메인모듈 등으로 구성되어 있으며, Table 3에 질소산화물 센서(NOx sensor)의 제원을 나타내었다.¹¹⁾

본 연구에서 사용한 질소산화물 센서는 차량 배기관에 장착하여 차량 내부에 있는 메인모듈에 신호를 보내 측정 및 저장된다.

Table 3 Specifications of NOx sensor

Item	Specifications
Measurement	ZrO ₂ -based multi-layer sensor with integrated heater and 3 oxygen pumps
Output signals	NOx, linear λ or O ₂ concentration
Electrical system	12 V
Operating temp.	100 ~ 800 °C
Measuring range	NOx : 0 ~ 1,500 ppm
	λ : 0.75

2.5 PEMS 장비 데이터의 신뢰성 검증

이동식 배출가스 측정 장비에서 측정되는 데이터의 신뢰성을 검증하기 위해 실내 차대동력계에서 CVS 장비와 PEMS 장비를 이용하여 질소산화물과 이산화탄소 배출량을 동시에 측정하여 두 장비 간의 측정 오차 값을 비교 검증하였으며, 차대동력계에서 시험한 주행모드는 열간 시동조건인 WLTC로 수행하였다.

Table 4 Results of correlation tests for CO₂ and NOx

	Test-01		Test-02		Test-03	
	%	g/km	%	g/km	%	g/km
CO ₂	2.3	4.4	7.4	13.3	4.1	6.8
NOx	8.6	0.0038	4.3	0.0013	6.2	0.0040

상관성 시험의 측정 결과 값은 RDE-LDV 규정에서 제시한 CVS 장비와 PEMS 장비의 배출가스 허용오차 값 이내로 측정되면 PEMS 장비에서 측정된 데이터는 신뢰할 수 있다. 이산화탄소의 허용오차는 측정값의 차이가 ±10 g/km (또는 10 % 미만) 이내여야 하며, 질소산화물의 허용오차는 측정값의 차이가 ±0.015 g/km (또는 15 % 미만) 이내로 측정되어야 한다. 본 연구에서 CVS 장비와 PEMS 장비를 동시에 측정된 결과를 Table 4에 정리하여 나타내었으며, 이산화탄소 및 질소산화물의 허용오차는 규정에서 제시한 오차 이내에 들어오므로 PEMS 장비에서 측정되는 데이터의 신뢰성을 확인할 수 있다.

또한, Fig. 2는 CVS장비와 PEMS 장비의 상관성 시험의 결과를 나타낸 그래프이며, PEMS와 CVS의 NOx와 CO₂ 측정값의 상관계수는 0.95 이상으로 도출되어 PEMS 장비에서 측정되는 데이터의 신뢰성을 확인할 수 있었다.

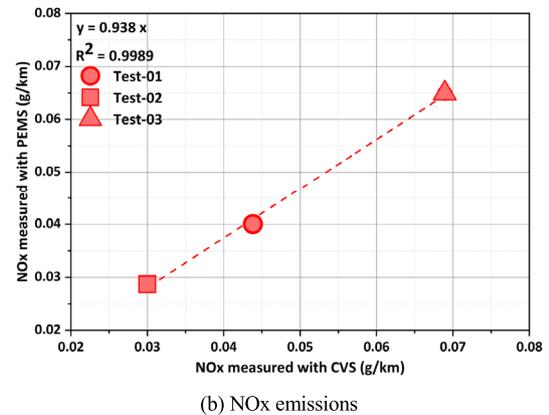
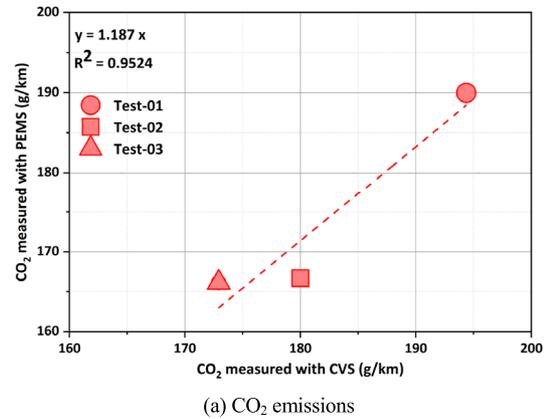


Fig. 2 Correlations of between CVS and PEMS

2.6 SEMS 장비 데이터의 신뢰성 검증

SEMS 장비는 PEMS 장비와 달리 배기가스 유량계가 없어 차량의 OBD 데이터 중 흡입공기량과 연료 분사량을 합산하여 산출된 배출가스 유량을 이용한다. 산출된 배출가스 유량은 농도 단위(ppm)로 측정된 질소산화물을 통해 질량 단위(g/s)로 환산된다.

따라서 SEMS 장비 데이터의 신뢰성을 검증하기 위해 PEMS 장비의 배기가스 유량계에서 측정된 배기유량과 앞서 전술한 OBD 데이터의 흡입공기량과 연료 분사량을 합산하여 산출한 배기유량을 비교하여 Fig. 3에 나타내었다.

비교한 결과, PEMS 장비의 배기가스 유량계에서 측정된 배기유량과 OBD 데이터의 흡입공기량과 연료 분사량을 합산하여 산출한 배기유량 간의 상관관계수가 0.96 이상으로 매우 높은 상관성을 가지고 있음을 확인하였으며, 이를 통해 SEMS 장비의 농도단위로 측정된 질소산화물에 산출한 배기유량을 이용하여 질량단위로 환산하는 데 가능하다고 판단된다.

또한, Fig. 4에는 CVS 장비와 SEMS 장비를 이용하여

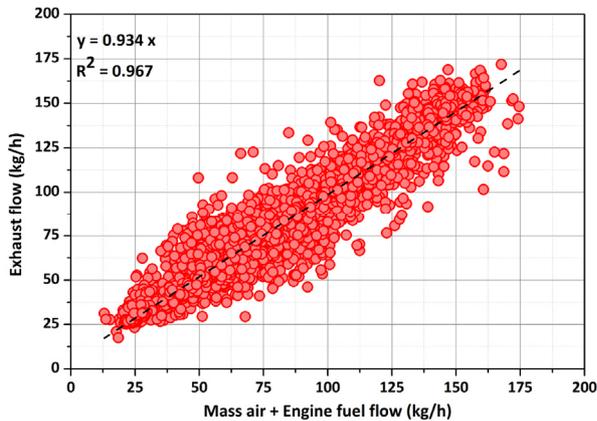


Fig. 3 Correlation of exhaust flow between PEMS and SEMS

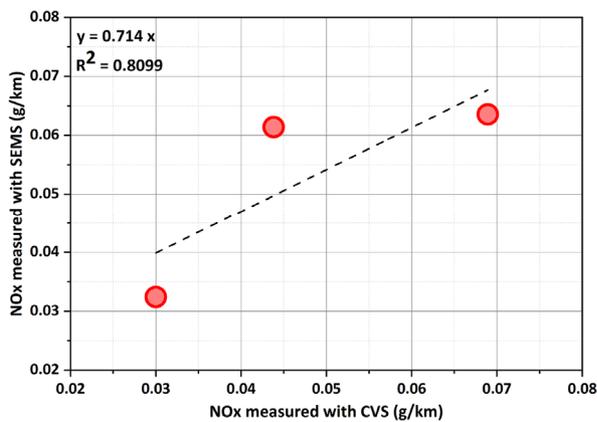


Fig. 4 Correlation of between CVS and SEMS

실내 차대동력계의 WLTC 모드에서 주행하면서 배출되는 질소산화물을 두 장비를 동시에 측정하여 비교 검증하였다.

2.4절에 전술한 CVS 장비와 PEMS 장비의 상관관계수보다 낮았으며, 이는 센서 기반으로 이루어진 장비로서 WLTC 모드 주행 중 발생하는 급가속으로 인한 오차인 것으로 판단된다. 또한, 본 연구에서 사용한 질소산화물 센서는 암모니아도 같이 측정되는 범용 센서로 암모니아를 별도로 구분하여 측정하지 못하여 상관관계수가 비교적 낮은 것으로 판단된다.

3. 시험 결과 및 고찰

3.1 실제로도 주행에서 PEMS와 SEMS 장비간의 상관성 분석

국내 중소도시의 주행특성이 반영된 주행경로에서 실제로도 주행 배출가스 시험을 총 8회 수행하였으며, PEMS 장비에서 측정된 질소산화물 배출량과 SEMS 장비에서 측정된 질소산화물 배출량을 비교한 결과를 Fig. 5에 나타내었다.

Fig. 5에 나타낸 색상별 원형의 의미는 붉은색은 도심 구간에서 PEMS 장비와 SEMS 장비를 통해 측정된 질소산화물 배출량, 파란색은 교외구간에서 PEMS 장비와 SEMS 장비를 통해 측정된 질소산화물 배출량, 초록색은 전용도로구간에서 PEMS 장비와 SEMS 장비를 통해 측정된 질소산화물 배출량이다.

도심 구간의 경우에는 다른 경로구간에 비해 차량 통행량이 많고 신호체계에 의한 정지현상으로 인해 질소산화물이 많이 배출된 것으로 판단된다. 교외 및 전용도로 구간의 질소산화물은 차량 속도가 높아짐에 따라 차량의 관성 주행이 가능하여 도심 구간에 비해 질소산화물이

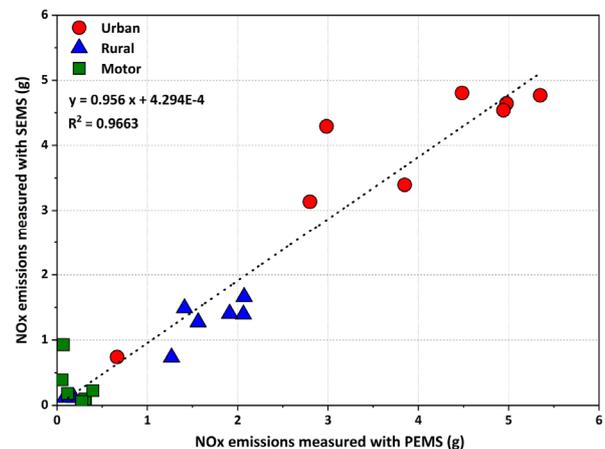


Fig. 5 Correlation for NOx emissions measured with PEMS and SEMS equipment

적게 배출된 것으로 판단된다.

모든 주행 경로구간에서 PEMS 장비에서 측정된 질소산화물 배출량과 SEMS 장비에서 측정된 질소산화물 배출량을 비교한 결과, 두 장비에서 측정된 결과 값들이 기울기가 매우 1에 가깝고, 결정계수가 0.9 이상으로 높게 측정되었다. 이를 통해 SEMS 장비에서 측정된 데이터가 PEMS 장비와 비교하였을 때 높은 상관성이 있음을 확인하였다.

3.2 외기온도에 따른 PEMS와 SEMS 장비간의 상관성 분석

앞서 전술한 주행경로에서 외기온도에 따라 냉간 시동 및 열간 시동 조건으로 시험하였으며, PEMS 장비와 SEMS 장비에서 측정된 질소산화물 배출량 비교 결과를 Fig. 6에 나타내었다.

냉간 시동 조건을 반영한 시험은 외기온도에 상관없이 PEMS 장비에서 측정된 질소산화물 배출량과 SEMS

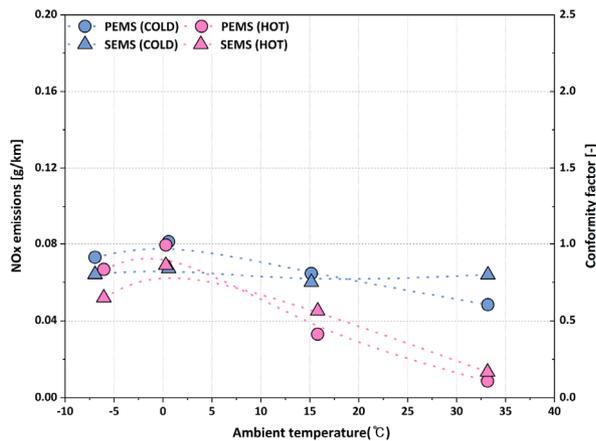


Fig. 6 Comparison of between NOx emissions measured with PEMS and SEMS for ambient temperature

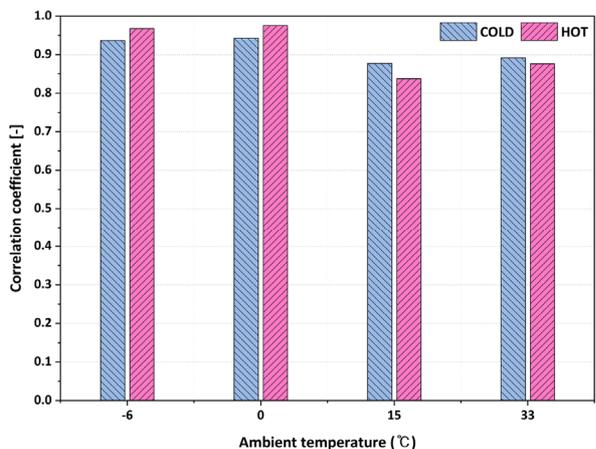


Fig. 7 Correlation coefficient of between NOx emissions measured with PEMS and SEMS for ambient temperature

장비에서 측정된 질소산화물 배출량이 비슷하게 측정되어 SEMS 장비에서 측정된 데이터가 높은 신뢰성을 갖고 있음을 확인하였다.

반면, 열간 시동 조건을 반영한 시험은 실제도로 주행 배출가스 시험을 수행하기 전, 사전 주행을 통하여 시험 차량의 엔진 및 후처리 장치를 충분히 예열한 상태로 시험한다.

따라서 온도가 비교적 높은 15 °C 및 33 °C에서 적게 배출되었지만, 온도가 낮은 -6 °C와 0 °C에서 많이 배출되었다. 이는 엔진 초기 Warm up에 의한 불완전 연소 및 후처리 장치의 촉매가 충분히 예열이 되지 않아 전환효율이 낮은 것으로 판단된다.

Fig. 7에는 외기온도에 따라 PEMS 장비와 SEMS 장비에서 측정된 질소산화물 배출량에 대하여 결정계수를 나타낸 그래프이다. 모든 시험에서 결정계수가 0.8 이상으로 나타났지만, 온도가 비교적 높은 15 °C 및 33 °C의 열간 시동을 반영한 시험이 다른 온도 조건을 반영한 시험에 비해 낮은 결정계수가 나타났다. 이는 본 연구에 적용된 시험차량이 강화된 Euro 6d-temp 규제를 준수하기 위해 복합적 후처리 장치(LNT와 SCR)를 적용함으로써 질소산화물이 현저히 적게 측정된 것으로 판단된다.

3.3 냉간 시동에 따른 PEMS와 SEMS 장비간의 상관성 분석

3.2절에서 전술한 외기온도에 따라 냉간 시동 조건을 반영한 실제도로 주행 배출가스 시험 결과를 시계열도 그래프를 통해 Fig. 8에 정리하여 나타내었다.

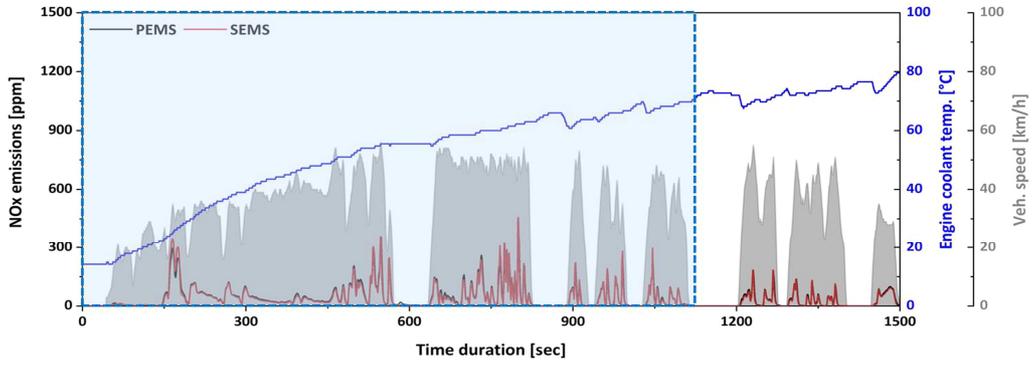
냉간 시동 조건은 냉각수 70 °C까지 도달한 시간까지로 정의하였으며, 온도 -6.94 °C 조건은 시험 초기 약 19분(1120초) 동안 진행되었으며, 0.57 °C에서는 약 17분(1000초) 동안 진행되었다. 상온 조건인 영상 15.15 °C에서는 약 8분(465초) 동안 진행되었고, 33.19 °C에서는 약 6분(340초) 동안 진행되었다.

이러한 결과를 보다 명확히 나타내기 위하여 외기온도가 높을수록 냉간 시동 조건이 반영된 주행시간이 점차 감소되는 것을 그래프 상에 파란색 상자로 나타내었다.

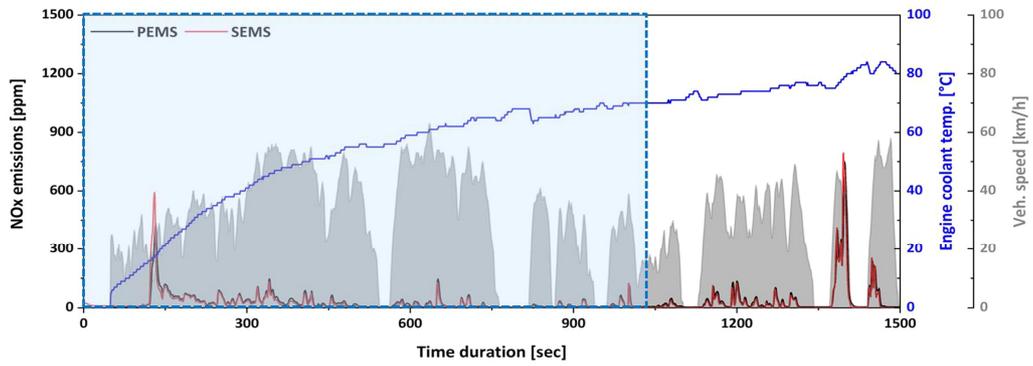
이상의 결과를 통해 외기온도에 상관없이 PEMS 장비에서 측정된 질소산화물 농도 값과 SEMS 장비에서 측정된 질소산화물 농도 값이 비슷한 경향을 나타내고 있음을 확인할 수 있다.

4. 결론

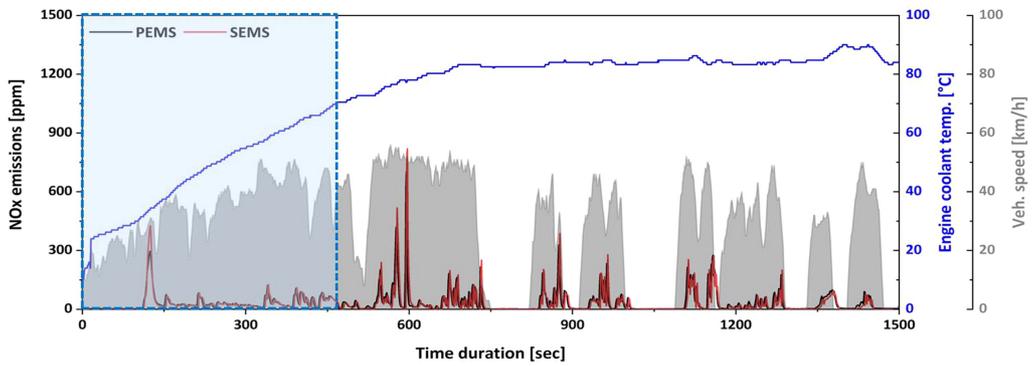
본 연구에서는 소형 경유자동차 1대를 통해 국내 중소도시의 주행특성을 반영한 주행경로에서 다양한 외기온도 조건이 반영하여 PEMS 장비와 SEMS 장비에서 질소



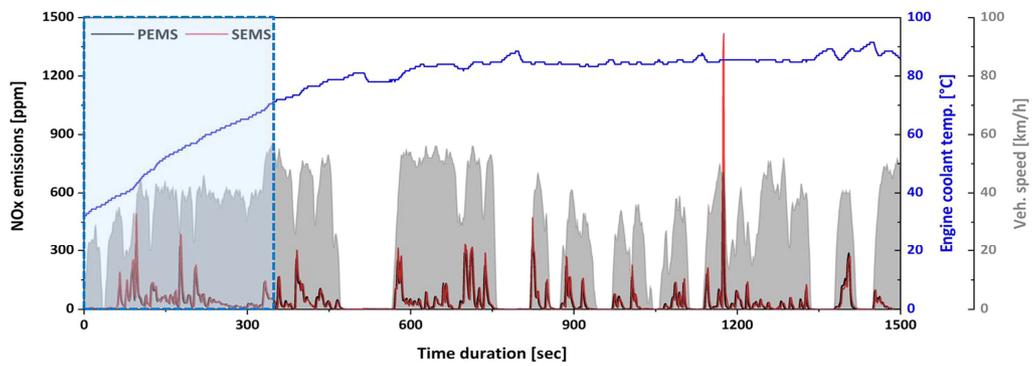
(a) Ambient temperature under cold-start (-6.94 °C)



(b) Ambient temperature under cold-start (0.57 °C)



(c) Ambient temperature under cold-start (15.15 °C)



(d) Ambient temperature under cold-start (33.19 °C)

Fig. 8 Real-time profiles of NOx emissions measured with PEMS and SEMS, engine coolant temperature, vehicle speed on RDE test under cold-start period

산화물을 동시에 측정하였으며, SEMS 장비에서 측정되는 데이터의 신뢰성을 검증하고자 하였다.

- 1) 실제도로 주행 배출가스 시험 결과를 도심, 교외, 전용도로 구간으로 나누어 분석한 결과, PEMS 장비에서 측정한 질소산화물 배출량과 SEMS 장비에서 측정한 질소산화물 배출량 간의 기울기가 1에 매우 가깝고, 결정계수가 0.9 이상으로 높은 상관관계를 보임을 통해 SEMS 장비에서 측정한 데이터가 높은 신뢰성을 갖는 것으로 나타남
- 2) 외기온도에 따라 냉간 시동 및 열간 시동 조건으로 시험한 결과, 냉간 시동 조건을 반영한 시험은 외기온도에 상관없이 PEMS 장비와 SEMS 장비에서 측정한 질소산화물 배출량은 비슷하게 측정되었지만, 열간 시동 조건을 반영한 시험은 온도가 비교적 높은 15 °C 및 33 °C의 시험에서 낮은 결정계수가 나타남
- 3) 외기온도가 높아질수록 냉간 시동 조건이 반영된 주행시간이 점차 감소되었으며, 외기온도에 상관없이 PEMS 장비에서 측정한 질소산화물 농도 값과 SEMS 장비에서 측정한 질소산화물 농도 값이 비슷한 경향이 나타남

후 기

본 연구는 한국산업기술평가관리원(20002762)과 한국연구재단(NRF-2019R111A3A01062771)의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

References

- 1) Transport & Environment, New Cars Tests are a Big Step Forward-but Only Part of the Solution, Nico Muzi, <https://www.transportenvironment.org/press/new-car-tests-are-big-step-forward-%E2%80%93-only-part-solution>, 2017.
- 2) National Institute of Environmental Research (NIER), Evaluations for Air-Pollutants Reduction Effects by Applying RDE-LDV Regulations, NIER-SP2018-151, 2018.
- 3) G. Kadijk, Measuring the Emissions of Passenger Cars and Vans, TNO's News Release, 2019.
- 4) IR. R. Van Den Putte, Measuring Real-world Emissions with TNO's Smart Emissions Measurement System(SEMS), TNO's News Release, 2019.
- 5) D. Maarten Lortzer, TNO Starts R&D Project on Smart Monitoring of Emissions from Diesel Vehicles in Singapore, TNO's News Release, 2019.
- 6) V. Heijne, G. Kadijk, N. Ligterink, P. van der Mark, J. Spreen and U. Stelwagen, NOx Emissions of Fifteen Euro 6 Diesel Cars: Results of the Dutch LD Road Vehicle Emission Testing Programme 2016, TNO Report, 2016.
- 7) J. Gallus, U. Kirchner, R. Vogt and T. Benter, "Impact of Driving Style and Road Grade on Gaseous Exhaust Emissions of Passenger Vehicles Measured by a Portable Emission Measurement System (PEMS)," Transportation Research Part D, Vol.52, pp.215-226, 2017.
- 8) J. Cha, J. Lee and M. S. Chon, "Evaluation of Real Driving Emissions for Euro 6 Light-duty Diesel Vehicles Equipped with LNT and SCR on Domestic Sales in Korea," Atmospheric Environment, Vol.196, pp.133-142, 2019.
- 9) D. I. Lee, Y. S. Yu, J. Park, M. S. Chon and J. Cha, "NOx Conversion Efficiency of SCR Diesel Vehicle Under Cold Start Condition," Journal of ILASS-Korea, Vol.23, No.4, pp.244-253, 2018.
- 10) National Institute of Environment Research, Evaluation of Real Driving Emissions(RDE-LDV) with Light-Duty Vehicles(LDVs) - Research on Introduction of 3rd RDE Package, NIER-SP2017-215, 2017.
- 11) B. Lee, B. Yun, J. Jung, D. Kim, W. Cha, S. Lee and I. Kim, "Study on NOx Emission Characteristics of Diesel Light Duty Vehicles by Analyzing Massive Driving Data," Transactions of KSAE, Vol.26, No.5, pp.684-692, 2018.