



소형경유차의 실제도로 주행 배출가스의 냉간 시동 및 데이터 평가방법에 관한 연구

이 동 인 · 유 영 수 · 전 문 수 · 차 준 표*

한국교통대학교 자동차공학과

A Study of Cold-start and Evaluation Method for Real Driving Emissions of Diesel Light-duty Vehicle

Dong In Lee · Young Soo Yu · Mun Soo Chon · Junepyo Cha*

Department of Automotive Engineering, Korea National University of Transportation, Chungbuk 27469, Korea
(Received 27 September 2018 / Revised 6 November 2018 / Accepted 16 November 2018)

Abstract : State-of-the-art diesel passenger vehicles are increasing every year. However, NOx emissions from diesel vehicles are currently an important issue. The reason is that the certification test does not sufficiently reflect the actual driving conditions and various driving patterns. Therefore, the European Commission and the Ministry of Environment of Korea have introduced the real driving emissions-light duty vehicle(RDE-LDV) with PEMS and world-harmonized light-duty vehicle test cycle(WLTC), which includes higher loads and acceleration than the New European Driving Cycle(NEDC). In this study, the evaluation method for the application of the weighing factor under extended condition and characteristics of NOx emission in 3rd RDE package have been studied. The NOx emissions were highly measured because the lower ambient temperature results in a nonoperational EGR valve rate. Furthermore, the evaluation method according to the application of the weighing factor using interpolation seems reasonable.

Key words : RDE(실제도로 주행 배출가스 특성), PEMS(이동식 배기가스 측정장치), MAW(이동평균구간), NOx(질소산화물), Interpolation(보간법)

1. 서 론

최근 연도별로 보급률이 증가하는 경유자동차는 질소산화물(NOx) 및 입자상물질(PM, Particulate Matter) 등의 대기 오염물질을 발생시키는 주요한 원인으로 부각되고 있다.^{1,2)} 특히 질소산화물(NOx)은 국내 유해대기 오염물질 중에서 배출량이 가장 크고, 이의 대부분은 “도로이동오염원”에서 발생된다고 발표되었다.³⁾

도로이동오염원에서 경유자동차의 질소산화물 배출 수준을 저감하고자 환경부는 2016년 Euro 6b, 2017년 Euro 6d-temp를 도입하였고, 2020년에는 강화된 Euro 6d를 적용할 예정이다. 그러나 강화되는 배출가스 규제에도 불구하고 자동차의 실내 배출가스 인증 조건과 실제도로 주행 조건에서 작용하는 엔진 운전 조건이 다르게 작용하여 실제도로 주행에서 자동차가 배출하는 배출과

인증 시험의 배출이 매우 상이하다는 결과가 지속적으로 발표되고 있다.⁴⁾

이러한 배경하에 유럽연합(EU)과 환경부는 배출가스 인증모드로 활용하였던 NEDC(New European Driving Cycle)를 실제 주행패턴을 반영한 새로운 인증시험 주행 모드인 WLTC(World-harmonized Light-duty vehicle Test Cycle)로 대체하고, 차량에 PEMS를 장착하여 실제도로 주행 배출가스(RDE-LDV) 시험절차를 국내와 동시에 도입하였다.⁵⁾

RDE-LDV의 도입을 위하여 EC-JRC는 2008년 6월 RDE-LDV의 시험 절차에 관한 기초 연구를 수행하였으며, 2016년 3월 실제도로 주行的 환경조건 및 주행경로 요건 등을 추가한 2단계 실제도로 주행 배출가스 시험방법, 2017년 6월 3단계 실제도로 주행 배출가스 규제를 발표하였다.⁶⁾ 최근 도입된 3단계 실제도로 주행 배출가스

*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.

규제에 새롭게 추가된 규정은 냉간 시동(Cold start) 시험과 실제도로 주행 입자개수(PN) 평가, 배기가스 후처리 장치의 재생 고려에 대한 내용이다.⁷⁾

2단계 실제도로 주행 배출가스 규제 중 실제도로 시험 시 가장 많이 노출되는 환경조건은 외기온도 0°C 이상 30°C 이하 및 700 m 이하의 해발고도에서 시험하는 조건은 일반조건(Moderate condition), 외기온도 -7°C 이상 0°C 미만, 30°C 초과 35°C 이하 및 700 m 초과 1300 m 미만의 고도에서 주행하는 경우는 확장조건(Extended condition)으로 구분한다. 일반조건과는 달리, 확장조건에서 측정된 배출가스 양을 1.6으로 나누어 평가하는 방법을 적용하고 있다. 그러나 일반조건과 확장조건을 구분하는 경계영역에서 시험하는 경우 시험 조건에 따라 외기 온도 1~2°C 차이에 의해 배출가스량의 62.5%만 인정하여 데이터를 평가하므로 배출가스 양 산정에 대한 형평성이 떨어지는 문제점이 있다. 또한 3단계 실제도로 주행 배출가스 규제 중 냉간 시동(Cold start)은 후처리 장치의 촉매가 충분히 예열되지 않아 낮은 전환효율로 인해 많은 대기오염물질을 배출하는 문제점과 초기 시동 시 엔진의 연소실 내 저온에 의해 불완전연소로 인해 유해대기오염물질이 과다 배출되는 문제점이 있다.

냉간 시동 시험 시 후처리 장치의 낮은 효율을 극복하기 위해 김창환 등¹¹⁾은 디젤산화촉매(DOC) 전단에 EHC (Electrically Heated Catalysts)를 설치하였다. 여기서 EHC는 촉매에 전기에너지를 가해 촉매의 활성화온도(250°C)에 도달하는 시간을 감축시켜 첫 시동 시 배출되는 유해 대기오염물질을 저감시키는 방안으로 사용되었다.

따라서 본 연구에서는 다양한 외기온도 조건에서 냉간 시동의 유해대기오염물질의 배출특성과 외기온도가 확장조건에 노출되어 실제도로 주행 배출가스 시험을 수행한 경우, 확장구간의 노출 정도에 따라 100%에서 최대 62.5%로 선형가중하여 배출가스량을 평가하는 방법을 적용한 비교적 형평성 있는 분석결과를 제시하고자 하며, 냉간시동 조건에서 다양한 외기온도 조건 변화에 따른 소형자동차 배출가스 특성을 분석하고자 한다.

2. 시험내용 및 방법

2.1 시험 차량 및 장비

시험차량은 SUV형으로 배기량 3,000cc V형 6기통 엔진을 탑재한 2017년 모델이며, Table 1에 시험차량의 제원을 정리하여 나타내었다. 시험차량은 Euro 6 배출가스 규제를 만족하기 위하여 후처리 장치로 선택적 환원촉매(SCR, Selective Catalytic Reduction)를 장착하였다. 본 연구에서 차량에 탑재하여 시험에 활용된 PEMS 장비의 제

Table 1 Specifications of test vehicle

	Vehicle 01
Type	SUV
Model year	2017
Displacement (cc)	3,000
After treatment	DOC + DPF + SCR

Table 2 Specifications of PEMS

Item	Principle	Range
CO	Heated NDIR	0 ~ 8 vol %
CO ₂		0 ~ 18 vol %
NO, NO _x	NDUV	0 ~ 3,000 ppm
Exhaust flow	Pitot flow	0 ~ 670 kg/h

Table 3 Specifications of NOx logger

Feature	NO _x	O ₂
Measurement range	0 ~ 3,000 ppm	0 ~ 21 %
Max response time	1,650 ms	1,300 ms
Data update rate	20 Hz	

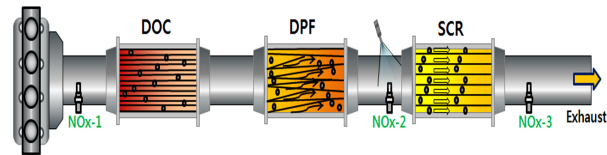


Fig. 1 Schematic Diagram of NO_x sensor installations

원은 Table 2에 정리하여 나타내었다. 장비의 구성은 배기가스 유량계, 배기가스 샘플링 장치, 배기가스 분석기, 측정용 가스, 전원 공급 장치, 차량의 OBD 정보를 제공하는 OBD signal, 차량 속도 및 주행 고도 등을 제공하는 GPS signal로 구성되어 있다.

PEMS 장비는 실시간(1 Hz)으로 측정된 배기가스 농도 데이터를 유량계의 유량 데이터와 동기화하여 g/s 단위로 취득하게 된다.

또한 본 연구에서는 온도가 영하인 겨울철에서 냉간 시동 및 열간 시동에서 후처리 장치(SCR)의 촉매 활성화 온도에 따른 de-NO_x 성능 평가를 위하여 NO_x 센서를 터보후단, DPF 후단, SCR 후단 총 3개 장착하여 실제로 주행 중 실시간으로 NO_x 농도를 측정하였다. NO_x 센서는 NO_x와 산소 농도를 최대 초당 20 Hz로 측정할 수 있으며, 자세한 NO_x 센서의 제원과 위치별 장착 설치 개략도를 Table 3과 Fig. 1에 나타내었다.

2.2 RDE 주행경로

본 실험의 RDE 주행경로에 관한 개략도를 Fig. 2에 나타내었으며, 경로의 주행특성을 Table 4에 정리하였다.

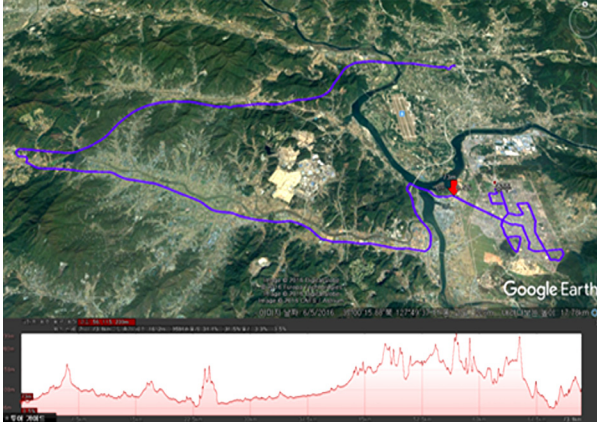


Fig. 2 Route map for RDE tests

Table 4 Driving descriptions of RDE test route

	Urban	Rural	Motor	Total
Trip distance (km)	28.5	35.3	29.5	93.3
Trip share (%)	30.5	37.9	31.6	100.0
Trip duration (min)	58.2	27.4	16.2	101.7
Avg. veh. speed (km/h)	29.4	77.3	109.6	

RDE 주행경로의 구성은 한국교통대학교를 출발점으로 충주시청을 지나는 도심구간과 음성 방면의 교외구간 및 평택-제천 고속도로 구간으로 구성하였다. 주행경로의 총 주행거리는 약 93 km이며 도심구간 28.5 km, 교외구간 35.3 km, 전용도로 구간 29.5 km로 구성하였으며, 주행점유율은 각각 30.5 % (도심), 37.9 % (교외), 31.6 % (전용도로)로 나타나 RDE-LDV 주행경로 요건의 33±10 %를 만족하는 시험경로이다. 3단계 배출가스 규제인 RDE 3rd package의 냉간 시동을 포함하는 실제도로 주행 배출가스 시험을 수행하기 위하여 본 연구진이 위치한 대학교에서 출발하는 경로이다.

본 연구의 주행경로는 강건우 등⁸⁾이 EC에서 규정한 실도로 주행경로 요건을 만족하는 국내 RDE 주행경로 (KOR-NIER route 1&2)의 도심구간 평균차량속도(23.3 & 22.0 km/h)에 비해 비교적 높은 속도(29.4 km/h)를 나타내는 특성이 있다. 이는 냉간 시동의 영향만을 고려하기 위해 도심 초반구간에 차량 통행량이 적은 경로로 구성하여 교통량이 원활한 것으로 판단된다.

2.3 RDE 냉간 시동의 시험조건

3단계 실제도로 배출가스 규제인 3rd RDE package에 정의된 냉간 시동 주행구간의 정의는 다음과 같다. 냉간 시동은 엔진 내 연소가 처음으로 시작한 시점부터 초반 5분 동안 누적 주행한 시점까지의 기간과 초기 엔진 시동 후 냉각수가 처음 70 °C에 도달한 시점까지의 기간이다.

또한 냉간 시동의 구간은 주행속도 15 ~ 40 km/h 사이의 속도에서 주행되어야 하며 최대속도 60 km/h를 초과할 수 없다.

3. 데이터 분석 방법

3.1 이동평균구간 분석방법

EC-JRC가 제시한 대표적인 RDE-LDV 데이터 분석방법은 이동평균구간 방법이다.

이동평균구간 방법은 차량이 실제도로 주행에서 WLTC 인증모드의 CO₂ 총 배출의 절반의 양인 기준 CO₂ 배출량까지의 이동거리로 하나의 평균구간을 생성하며, 시험이 종료될 때까지 1초 간격으로 이동하면서 연속적으로 생성한다. 각 이동 평균구간에서 NOx 및 CO₂ 등 유해대기오염물질의 주행거리 당 배출가스량(g/km)을 계산하였다.

3.2 확장조건에서 보간법을 이용한 보정계수

유럽의 RDE-LDV의 경계 요건 중 환경조건에서 실제도로 주행 배출가스 시험 시 외기온도의 노출에 따른 평가를 위해 일반 조건 및 확장조건마다 다르게 가중계수 (w_j)를 적용하고 있다. 일반조건에서 측정된 배출가스의 가중계수는 1이며, 확장조건에서 측정된 배출가스의 가중계수는 일반조건의 가중계수에 1.6으로 나누어 평가한다.

보간법을 적용한 가중계수에 대한 개념을 Fig. 3에 나타내었다. 보간법을 적용한 가중계수는 확장조건에서 측정된 배출가스에 적용되며, 외기온도가 -7 °C 이상 0 °C 미만의 영역에서의 가중계수의 식 (1)과 30 °C 초과 35 °C 이하의 영역에서의 가중계수는 식 (2)로 계산하였다.

$$w_j = \frac{(0.625 - 1) \times (T - 0)}{-7 - 0} + 1 \quad (-7^\circ\text{C} \leq T < 0^\circ\text{C}) \quad (1)$$

$$w_j = \frac{(0.625 - 1) \times (T - 30)}{35 - 30} + 1 \quad (30^\circ\text{C} < T \leq 35^\circ\text{C}) \quad (2)$$

선형보간법으로 계산한 가중계수는 확장조건에서 측정된 배출가스에 적용하여 100 %에서 최대 62.5 %까지

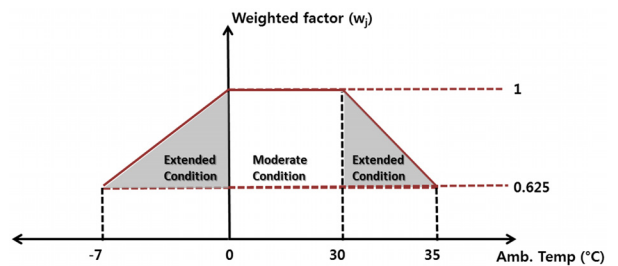


Fig. 3 Concept of weighted factors for extended ambient temperature condition

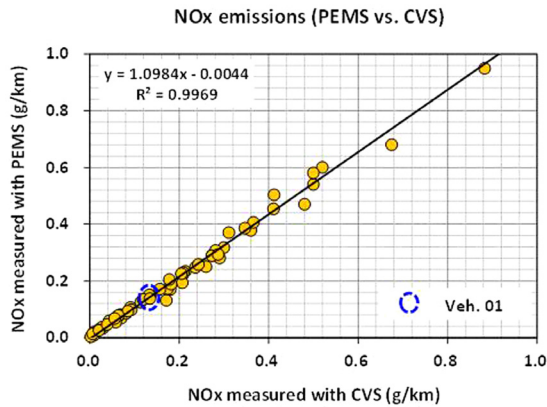
선형가중하여 배출가스량을 평가하게 된다.

본 연구에서는 유럽의 RDE-LDV의 주행경로 요건 및 일반 요건 등을 만족하는 주행경로에서 온도가 확장조건 일 때 측정되는 배출가스에 대해 가중계수를 적용하여 데이터를 평가하는 방법에 관하여 분석하였다. 이를 통해 현재 유럽에서 제안한 확장조건에서의 데이터 평가방법에 비해 비교적 객관성 있는 결과를 도출하고자 한다.

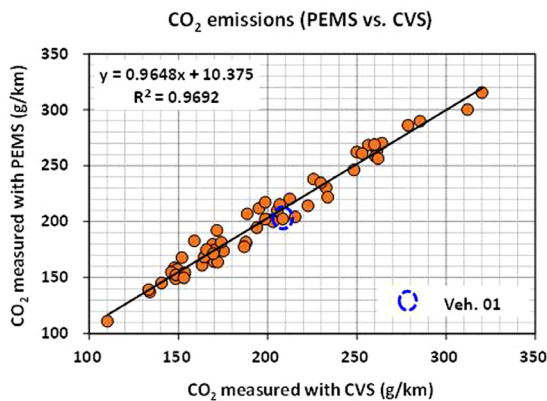
4. 시험 결과 및 고찰

4.1 시험장비(PEMS)의 상관성 시험 결과

차량에 PEMS 장비를 탑재하여 실제도로 주행 배출가스 시험을 수행하기 전에 장비에서 측정되는 시험 데이터의 신뢰성을 확인하기 위해 차대동력계에서 표준 배출가스 측정 장비(CVS)와 PEMS 장비를 동시에 배출가스를 측정하였으며, 그 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 그림의 x축은 표준 배출가스 측정 장비(CVS)의 측정결과이며, y축은 PEMS의 측정결과이다. 상관성 시험은 국내 서울시내 주행 특성을 반영한 시험모드인 NIER 07 모드에서 수행하였다.



(a) NOx emissions (CVS vs. PEMS)



(b) CO₂ emissions (CVS vs. PEMS)

Fig. 4 Correlation of emissions between CVS and PEMS equipment

질소산화물(NOx) 및 이산화탄소(CO₂)의 배출량을 기존의 상관성 시험결과⁹⁾와 비교하여 Fig. 4에 나타내었으며, 기존의 상관성 시험결과와 본 연구에서 수행한 상관성 시험의 결과를 비교분석하였다. 시험 결과, 기울기가 거의 1에 가까운 선형성을 유지하고 있으며, 결정계수가 모두 0.96 이상으로 매우 높게 나타나 본 연구에서 사용한 PEMS 장비에서 측정된 배기가스의 데이터는 높은 신뢰도를 갖는 것으로 판단하였다.

4.2 냉간 시동구간의 NOx 배출량

냉각수 온도 또는 주행시간으로 정의한 냉간 시동을 2가지 구분하여 확장조건에서 실제도로 주행 배출가스 시험을 수행하였으며, 그 결과를 Fig. 5 및 Table 5에 정리하여 요약하였다.

Fig. 5는 다양한 외기온도에서 냉간 시동을 포함한 실제도로 주행 시험결과를 그래프로 나타내었다. 냉간 시동 조건에서의 시험조건을 준수하여 시험한 결과, 외기온도가 가장 낮은 겨울철(-11 °C) 시험에서 냉각수 온도가 70 °C까지 도달하는 시간이 가장 오래 소요되었으며, 외기온도가 높아질수록 냉각수 온도가 70 °C까지 도달하는 시간이 감소하였다. 특히 외기온도가 가장 높은 여름철(33.7 °C) 시험에서는 냉각수가 70 °C까지 도달하는 시간이 초반 5분보다 적게 소요되었다. 또한 외기온도가 낮을수록 냉각수가 70 °C까지 도달하는 시간이 길어져 그에 따라 주행거리도 증가하는 결과를 보였다.

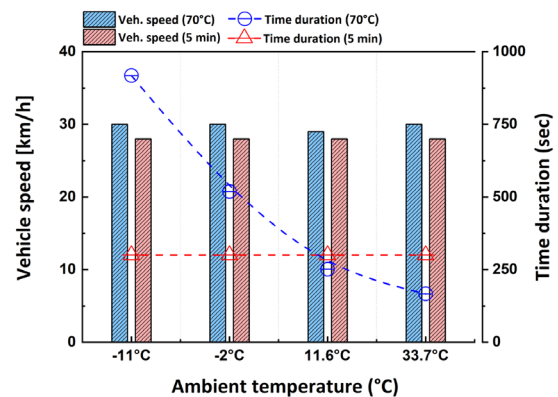


Fig. 5 Vehicle speed and trip duration for cold conditions

Table 5 Trip duration and distance of cold conditions

Amb. Temp (°C)	Trip distance (km)		Vehicle speed (km/h)	
	70 °C	Frist 5 min	70 °C	Frist 5 min
-11°C	7.83	2.31	30.19	27.74
-2.0°C	5.18	2.37	30.31	28.45
11.6°C	3.95	2.65	35.47	31.76
33.7°C	2.77	2.35	29.99	28.45

하지만, 초반 5분까지로 정의된 냉간 시동 시험결과에서 다른 외기온도에 비해 11.6 °C에서 주행거리가 0.3 km 더 측정되었다. 이는 외기온도가 11.6 °C인 시험이 다른 외기온도조건의 시험보다 초반 5분까지의 차량속도가 빠르게 주행됨으로 인해 더 길어진 것으로 판단된다.

3rd RDE package에 추가된 냉간 시동을 포함한 실제도로 주행 시험의 도심구간과 전체 주행경로에서 배출된 질소산화물(NOx)에 미치는 외기온도의 영향을 Fig. 6에 나타내었고, 이를 좀 더 상세하게 분석하기 위해 실제도로 시험 시 측정된 첫 시동 후 초반 5분까지의 냉각수 온도, EGR 작동율, 질소산화물 배출거동을 실시간으로 Fig. 7에 정리하여 나타내었다.

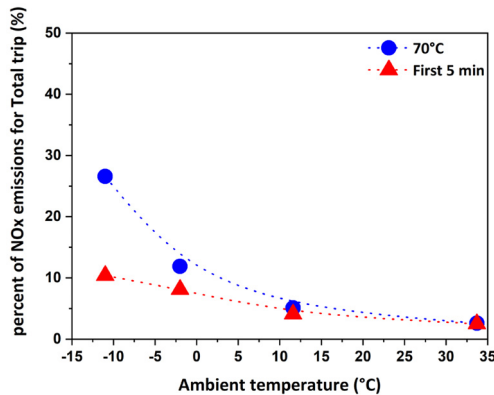
Fig. 6에서 외기온도가 영하 조건(겨울)에서는 냉각수 70 °C에 도달하는 시점까지의 냉간 시동과 시험 시작 후 초반 5분 동안 냉간 시동의 조건 모두 도심구간과 전체 주행경로에서 배출된 질소산화물에 큰 영향이 나타났다. 하지만 외기온도가 영상 조건(여름 및 가을)에서는 냉각수 70 °C에 도달하는 시점까지의 냉간 시동과 시험 시작 후 초반 5분 동안 냉간 시동에서 배출된 질소산화물은 별다른 차이가 없음을 확인할 수 있다. 이는 외기온도가 낮을수록 첫 시동 후 엔진 내 연소실이 Warm up되는 동안 불완전 연소를 방지하기 위해 EGR 작동율을 제한하는 것으로 판단된다. 앞서 기술한 EGR 시스템은 흡기의 일부가 배기가스의 불활성가스가 흡기의 일부로 치환되어 혼합되어 연소실내 산소가 감소하게 된다. 그로인해 흡입공기 중 산소농도가 감소하여 연소로 인한 내부 온도가 비교적 낮아지게 되어 질소산화물(NOx)의 생성이 억제되는 원리이다. 하지만 질소산화물의 배출을 억제하기 위해 EGR 가스를 연소실 내로 과다하게 흡입하게 되면 연소실 내 산소농도 부족으로 인해 공기 과잉율이 낮아지게 되어 입자상 물질의 배출량이 증가하게 된다.¹⁰⁾

Fig. 7은 동일한 시간조건에서 외기온도에 따른 엔진 냉간 운전 시 EGR 작동특성을 분석하고자 첫 시동 후 초반 5분까지 냉간 시동을 정의하였다. 영하 11 °C의 경우는 냉각수 온도가 0 °C 부근에서 시작하며 EGR이 초반 낮은 부하영역에서 작동하지 않아 NOx 배출량이 급격하게 증가하는 것을 확인할 수 있다. 확장조건의 영하 2 °C 시험도 냉각수 온도가 0 °C 부근에서 시작하며 대부분의 영역에서 EGR이 작동하지 않았지만 영하 11 °C보다는 빈번하게 작동함을 확인할 수 있다. 반면, 외기온도가 영상조건인 시험결과는 모두 냉각수가 30 °C 부근에서 측정되었고, EGR도 비교적 원활하게 작동하여 NOx 배출수준이 현저히 낮게 측정됨을 확인할 수 있다.

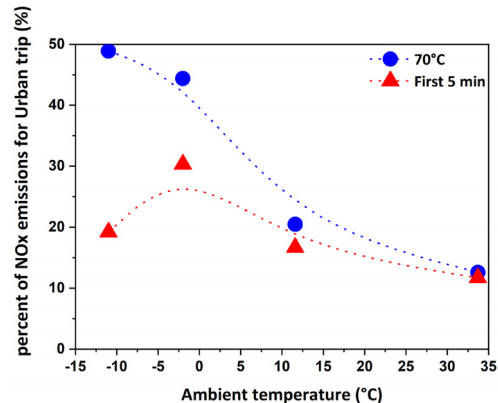
4.3 냉간 및 열간 시동의 NOx 배출량 비교

본 시험에 사용된 차량은 후처리장치로 선택적 환원 촉매(SCR)를 장착하였으며, 냉간 시동 및 열간 시동의 초반 5분 동안 NOx 저감 효율을 분석하기 위해 SCR의 전단 및 후단에 NOx sensor를 설치하여 NOx 배출특성을 분석하였다.

냉간 시동의 영향을 뚜렷하게 보이는 겨울철에 냉간 시동과 열간 시동에 따른 결과를 분석하고자 동일한 주행경로에서 동일 운전자가 실제도로 주행 배출가스 시험을 수행하였다. 여기서 열간 시동은 엔진이 충분히 예열된 냉각수 70 °C 이상의 주행시험을 의미한다. 따라서 냉간 시동은 첫 시동 후 초반 5분까지 주행한 시점까지로 정의하였으며, 그로인해 열간 시동도 초반 5분까지 주행한 배출특성을 분석하였다. 냉간 시동과 열간 시동의 차이는 첫 시동 후 초기 냉각수의 온도로 볼 수 있다. 냉간 시동의 첫 시동 후 초기 냉각수 온도는 5 °C이며, 열간 시동의 첫 시동 후 초기 냉각수 온도는 충분히 예열된 83 °C로 뚜렷한 차이가 있음을 확인할 수 있다.

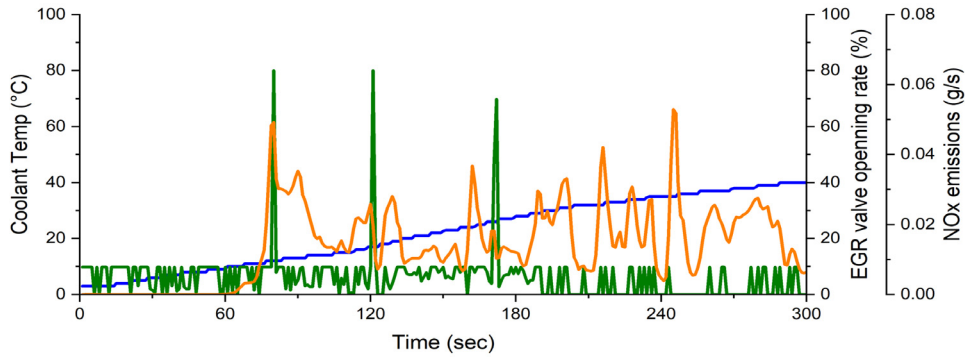


(a) Percent of NOx emissions for total trip

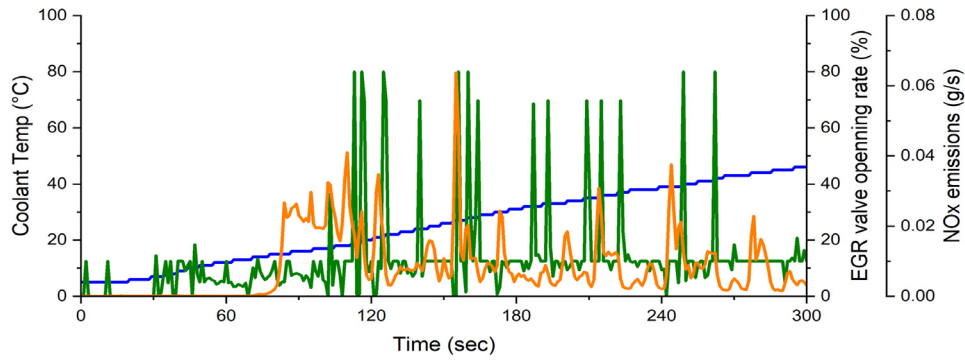


(b) Percent of NOx emissions for urban trip

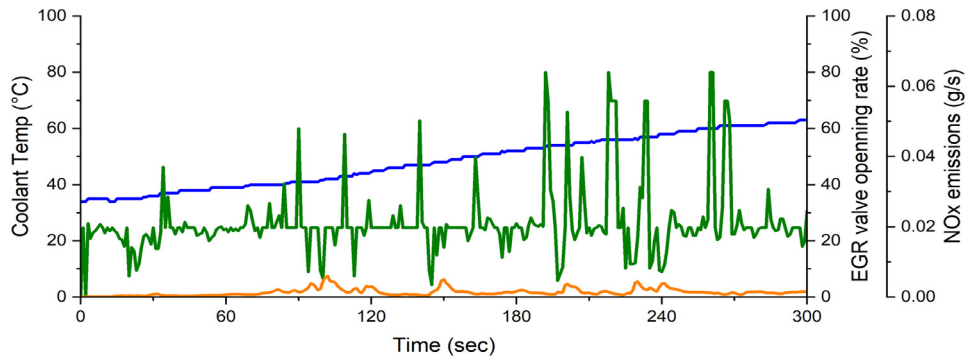
Fig. 6 NOx percent for trip at cold conditions



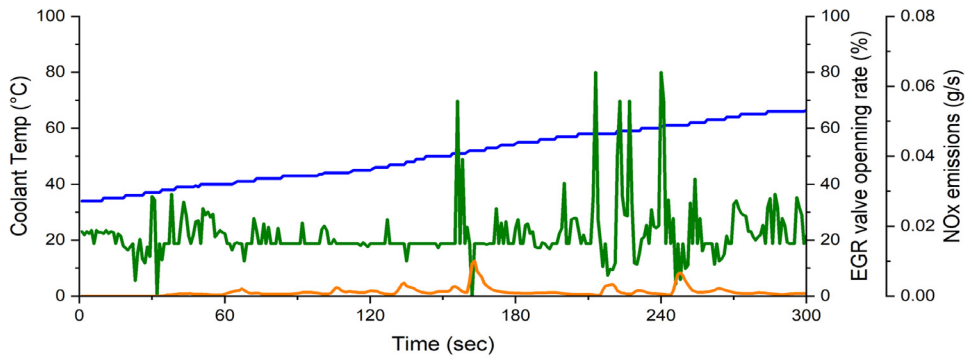
(a) Ambient temperature under cold start (-11 °C)



(b) Ambient temperature under cold start (-2.0 °C)



(c) Ambient Temperature under cold start (11.6 °C)



(d) Ambient temperature under cold start (33.7 °C)

Fig. 7 Real-time profiles of coolant temperatures, NOx emissions and EGR valve opening rate on RDE test under cold-start period

Table 6 Comparison of NOx emissions for Engine start

RDE test of Frist 5 min	Cold start	Hot start
Accumulated NOx (g)	2.50	0.26
Avg. amb. temp. (°C)	-0.25	1.44

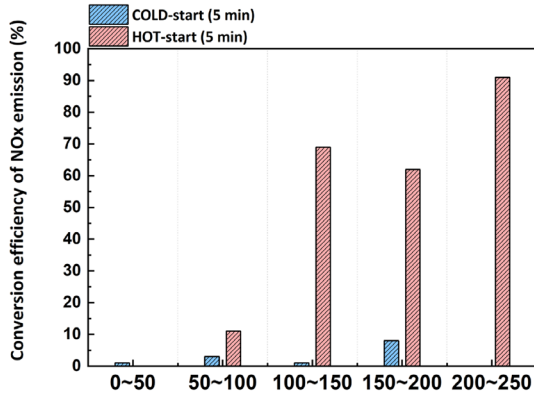


Fig. 8 Comparison for conversion efficiency of SCR system according to engine start

냉간 시동과 열간 시동의 NOx 배출특성과 실제도로 주행 배출가스 시험 초반 5분 주행의 평균 외기온도를 같이 Table 6에 정리하여 나타내었다.

외기온도가 비슷한 실제도로 주행 배출가스 시험의 초반 5분에서 냉간 시동 시험의 NOx 배출량은 열간 시동 시험의 NOx 배출량보다 약 10배 많이 배출되었다. 이는 소형경유자동차의 경우 냉간 시동으로 인해 후처리 장치의 촉매 활성화온도가 도달하지 않아 예열이 충분히 완료되지 않은 것으로 판단되며, 이를 실제도로 주행 배출가스 시험 전 충분히 예열이 완료된 열간 시동과 비교한 결과를 Fig. 8에 정리하여 나타내었다.

예열을 충분히 완료한 열간 시동도 외기온도가 낮음으로 인해 0 ~ 100 °C 영역에서 낮은 전환 효율을 보이지만, 100 °C 이상의 온도부터 냉간 시동에 비해 높은 효율을 보임을 확인할 수 있다.

4.4 가중계수 적용에 따른 NOx 배출 특성

실제도로 주행 배출가스 시험에서 측정된 배출가스에 대해 EC-JRC는 데이터 평가방법으로 이동평균구간 방법(NOx)을 제안하였다. 실도로 주행 시험 시 확장조건에서 측정된 배출가스는 기존 가중계수를 1.6으로 나누어 적용하여 평가하게 되며, 이를 적용한 NOx의 배출량(Ext. NOx)와 본 연구에서 확장조건에서 측정된 배출가스에 대해 노출된 정도에 따라 선형가중한 가중계수를 적용하여 평가한 결과(Int. NOx)를 Fig. 9에 나타내었다.

Fig. 9는 실제도로 주행 배출시험의 전체 주행경로 시험 결과에 대해 정리하여 나타내었으며, 냉간 시동을 포

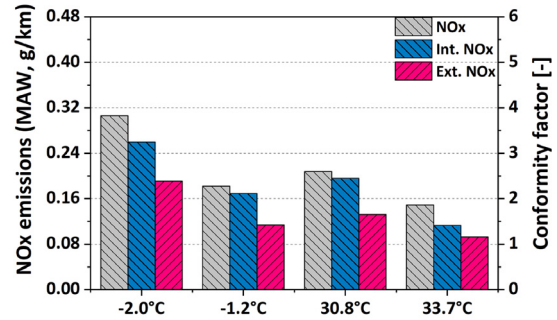


Fig. 9 Results of NOx emissions under various ambient temperature

함한 RDE 시험의 확장조건에서 노출된 배출가스에 대해 가중계수 적용에 따른 데이터 평가방법을 분석하였다. 그래프에서 표시한 붉은색 점선은 실제도로 주행 배출가스의 적합계수(RDE C.F)이며, 현행 실제도로 배출가스 시험의 적합계수 배출가스 수준은 2.1배 이내로 배출되어야 만족한다.

외기온도가 낮은 -2 °C를 제외하면 확장조건에서 측정된 배출가스의 가중계수를 1.6으로 나누어 적용한 데이터 평가방법에는 모두 C.F 2.1배 이내로 측정되어 규정을 만족하는 것으로 나타난다.

하지만 외기온도가 일반조건과 확장조건 온도의 경계 영역에서 시험한 -1.2 °C와 30.8 °C에서 측정된 배출가스의 가중계수를 적용한 데이터 평가방법은 C.F 2.1배를 초과하여 규정을 만족하지 않는 결과를 도출하였다. 이는 일반조건과 확장조건의 경계영역에서 가중계수 적용에 따른 NOx 배출량이 차이가 존재하였으며, 외기온도에 따른 선형가중을 이용한 가중계수를 적용한 경우가 현실적인 실제도로 주행 배출가스 시험의 데이터 평가방법으로 합리적인 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 국내 EURO 6의 배출가스 규제를 만족하는 소형 경유차량을 대상으로 다양한 외기온도 조건에서 3단계 실제도로 배출가스 규제에 추가된 냉간 시동구간의 NOx 배출량과 확장조건에서 가중계수 적용에 따른 데이터평가방법에 관한 연구를 수행하였으며, 본 연구의 결론을 다음과 같이 요약하였다.

- 1) 실제도로 주행 배출가스 시험을 수행하기 전, 차대동력계의 표준 배출가스 측정장비(CVS)와 이동식 배출가스 측정장비(PEMS)의 상관성 시험한 결과, 질소산화물(NOx) 및 이산화탄소(CO₂)의 결정계수(R²)가 모두 0.96 이상으로 매우 높게 나타나 본 연구에서 사용된 PEMS 장비의 신뢰성을 확보하였다.
- 2) 다양한 외기온도에서 냉간 시동구간의 NOx 배출특

성을 분석하기 위하여 냉간 시동을 포함하는 RDE 주행경로에서 실제로도 주행 배출가스 시험을 수행한 결과, 외기온도가 낮을수록 냉간 시동으로 인한 주행 거리, 주행시간 및 NO_x 배출량이 증가하는 것으로 분석되었다.

- 3) 동일한 RDE 주행경로에서 냉간 시동 및 열간 시동의 초반 5분에 대한 NO_x 배출량을 비교분석한 결과, 냉간 시동 시험의 NO_x 배출량이 열간 시동 시험의 NO_x 배출량보다 10배 많이 배출되었다. 이는 후처리장치 의 촉매 활성화온도에 따른 배출가스 저감효율의 영향으로 판단된다.
- 4) 확장조건에서 노출된 배출가스에 대해 가중계수 적용에 따른 데이터평가방법을 비교분석한 결과, 기존 가중계수에서 1.6으로 나누어 적용한 데이터평가방법은 외기온도 -2 °C를 제외하고 모두 RDE C.F 2.1배 이내로 측정되어 현행 규제를 만족하였지만, 선행가중을 이용한 가중계수를 적용한 데이터평가방법은 일반조건과 확장조건 경계영역에서 측정된 -1.2 °C 와 30.8 °C에서 RDE C.F 2.1배를 초과하는 결과를 도출하였다. 이는 온도에 따른 선행가중을 이용한 가중계수를 적용한 데이터평가방법이 현실적인 RDE-NO_x 배출수준 산정에 합리적인 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 한국자동차산업협회와 한국연구재단(NRF-2016RIC1B1015927)의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

References

- 1) Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Vehicle Registration Status, http://www.index.go.kr/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx_cd=1257#quick_02;, 2018.
- 2) F. Liotta and D. Montalvo, "The Effect of Oxygenated Fuels on Emissions from a Modern Heavy-Duty Diesel Engine," SAE 932734, 1993.
- 3) National Institute of Environmental Research, National Air Pollutants Emission, NIER-GP2016-287, pp.1-149, 2016.
- 4) M. Weiss, P. Bonnel, R. Hummel and N. Steininger, A Complementary Emissions Test for Light-duty Vehicles: Assessing the Technical Feasibility of Candidate Procedures, JRC Scientific and Policy Reports, Italy, 2013.
- 5) Transport & Environment, New Cars Tests are a Big Step Forward-but only Part of the Solution, <https://www.transportenvironment.org/press/new-car-tests-are-big-step-forward-%E2%80%93-only-part-solution>, Nico Muzi, 2017.
- 6) Commission Regulation (EU) 2016/427 of 10 March 2016 Amending Regulation (EC) No 692/2008 as Regards Emissions from Light Passenger and Commercial Vehicles (Euro 6), EC - European Commission, Official Journal of the European Union L82, pp.1-98, 2016.
- 7) Commission Regulation (EU) 2017/1151 of 1 June 2017 Supplementing Regulation (EC) No 715/2007 of the European Parliament and of the Council on Type-approval of Motor Vehicles with Respect to Emissions from Light Passenger and Commercial Vehicles (Euro 5 and Euro 6) and on Access to Vehicle Repair and Maintenance Information, Amending Directive 2007/46/EC of the European Parliament and of the Council, Commission Regulation (EC) No 692/2008 and Commission Regulation (EU) No 1230/2012 and Repealing Commission Regulation (EC) No 692/2008, EC - European Commission, Official Journal of the European Union L175, pp.1-643, 2017.
- 8) G. W. Kang, J. T. Lee, J. H. Park, J. P. Cha and M. S. Chon, "Development of Korean RDE Routes for On-road Emissions Measurement of Light Duty Vehicles," Transactions of KSAE, Vol.25, No.3, pp.287-296, 2017.
- 9) J. Cha, Y. S. Yu, D. I. Lee and M. S. Chon, "RDE Characteristics of Euro 6 Light Duty Diesel Vehicles Regarding to Driving Conditions," Journal of ILASS-Korea, Vol.22, No.4, pp.218-224, 2017.
- 10) J. B. You and S. S. Park, Investigation of EGR and LNT Control Strategies for Light-duty Diesel Engine Emissions Control, M. S. Thesis, Korea University, Seoul, 2013.
- 11) C. Kim, M. Paratore, E. Gonze, C. Solbrig and S. Smith, "Electrically Heated Catalysts for Cold-Start Emissions in Diesel Aftertreatment," SAE 2012-01-1092, 2012.