

대기 온도에 따른 가솔린 차량의 실도로 배출가스 특성 연구

김현진[†] · 김성우* · 이민호* · 김기호* · 이정민*

Study on RDE (Real Driving Emission) Characteristic of Gasoline Vehicle Depending on the Ambient Temperature

Hyun-Jin Kim, Sung-Woo Kim, Min-Ho Lee, Ki-Ho Kim and Jung-Min Lee

Key Words: RDE(Real Driving Emission, 실도로 배출가스), Ambient Temperature(대기 온도), PEMS(Portable Emission Measurement System, 실도로 배출가스 측정장비), Gasoline Vehicle(가솔린 차량)

Abstract

Despite the increasingly stringent automotive emissions regulations, the impact of vehicle emissions on air pollution remains large. In addition, since the issue of emission of more exhaust gas than the exhaust gas measured in the test room when the vehicle passing the exhaust gas regulation standard is run on the actual road, many countries studied and introduced gas regulations about Real Driving Emission using Portable Emission Measurement System. At present, Korea regulations restrict the number of NOx and PN in diesel vehicles. In the case of gasoline vehicles, there is no regulation on emission gas, but there is a problem of continuing automobile exhaust gas problems and a large amount of gasoline GDI vehicle's PN emission. So research and interest are increasing due to this problem. In this study, characteristics of exhaust gas depending on changes of ambient temperature were analyzed among various factors affecting exhaust gas measurement of gasoline vehicles. As a result, at the low temperature test, the lower the ambient temperature, the more the exhaust gas was emitted. At ordinary temperature test, no specific tendency was observed due to changes of ambient temperature.

1. 서 론

국가 대기오염물질 배출량 보고서⁽¹⁾에 따르면, 도로이동오염원에 의한 일산화탄소와 질소산화물 배출량 기여도가 각각 31%와 31.9%로 가장 높은 비율을 차지하고 있다. 점차 강화되고 있는 자동차 배출가스 규제에도 불구하고 자동차 배출가스가 대기오염에 미치는 영향은 여전히 크다.

또한, 배출가스 규제 기준을 통과한 차량이 실제 도로

를 주행할 시 시험실에서 측정된 배출가스보다 많은 양의 배출가스를 배출한다는 이슈가 대두됨에 따라 세계 각국은 자동차가 실제 도로를 주행할 때 배출하는 배출가스를 측정하여 규제하는 시험 방법을 연구⁽²⁻⁴⁾하고 도입하였다.

유럽과 한국은 2017년 9월부터 RDE(Real Driving Emission)-LDV(Light Duty Vehicle)라는 시험법을 도입하여 실도로 배출가스를 규제하고 있다. RED-LDV는 PEMS(Portable Emission Measurement System)라는 이동식 배출가스 측정 장비를 차량에 설치하여 고시에서 제시하는 환경에 맞는 주행로를 실제로 주행하면서 배출가스를 측정하는 시험방법이다. 현재 국내에서는 경유차에 한하여 질소산화물과 입자상물질 개수를 규제하고 있으며, 점차 규제가 강화되고 있다. 이와 관련하여 국내의 다수의 기관 및 회사가 경유 차량의 실도로 배

(Received: 14 Nov 2018, Received in revised form: 13 Dec 2018, Accepted: 16 Dec 2018)

*한국석유관리원 석유기술연구소

[†]김현진, 회원, 한국석유관리원 석유기술연구소

E-mail : khj1546@kpetro.or.kr

TEL : (043)240-7961 FAX : (043)240-7969

출가스 측정에 관한 시험 및 연구⁶⁾를 수행하고 있다. 휘발유 차량의 경우 국내에는 아직 실도로 배출가스에 관한 규제 도입이 되어 있지 않지만, 계속되는 자동차 배출가스 문제와 휘발유 GDI 차량에서 다량 발생하는 입자상물질개수 문제로 연구⁶⁾ 및 관심이 많아지고 있다. 본 연구에서는 휘발유 차량의 실도로 배출가스 측정에 영향을 미치는 다양한 인자 중 대기 온도 변화에 따른 배출가스 특성을 분석하여 향후 도입 가능성이 있는 휘발유 차량의 실도로 배출가스 규제의 기초 자료로 활용하고자 한다. 본 연구는 환경부 고시 제2018-45호 제작자동차 시험검사 및 절차에 관한 규정 별표4의3 「중·소형 경유자동차의 실제 도로주행 배출가스 측정방법에」 따라 진행하였으며, 두 대의 차량을 이용해 각각 저온과 상온에서 비교시험을 진행하였다. 시험결과 저온 구간(0°C와 5°C비교)에서의 비교에서는 온도가 낮을수록 배출가스가 많이 배출되는 특성을 확인 할 수 있었으며, 상온 구간(10°C와 22°C비교)에서의 비교를 통해서 온도에 따른 배출가스 특성을 확인 할 수 없었다.

2. 시험장치 및 방법

2.1 시험장치

2.1.1 PEMS

본 연구는 ‘H’사의 차량 2대로 진행하였으며, 배기량은 2대의 차량 모두 2L, 엔진출력은 각각 271PS와 245PS이다. 차량의 상세제원은 Table 1과 같다.

본 연구에 사용된 PEMS는 Sensors사의 SEMTECH Ecostar 모델이며 주요 파트로 전원분배관리모듈(PDM), CO₂ 및 CO, O₂ 측정모듈(FEM), THC 측정모듈(FID), NO_x 측정모듈, 입자상물질 포집모듈(MPS), 입자개수 측정모듈(CPM), 입자상물질 필터모듈(PFS), 유량계로 구성되어 있으며 이 PEMS는 시험실에서 사용되는 배

Table 1 Test vehicle specification

Type	A	B
Engine Type	I4	I4
Engine displacement (L)	2.0	2.0
Max. power (PS/RPM)	271/6,000	245/6,000
Max. torque (kgf·m/RPM)	37.2/1,750~4,500	36/1,350~4,000
Label fuel economy (km/L)	10.3	10.8



Fig. 1 Portable emission measurement system

Table 2 Specification of PEMS

	Method of analysis	Range of analysis
THC	FID	0 to 90~30,000 ppmC
CO	NDIR	0 to 8%
NO _x	NDUV	0 to 300~900 ppm
CO ₂	NDIR	0 to 20%
Flow Rate	Differential Pressure	18.9~890 kg/hr@100°C

출가스 분석계와 동일하게 THC는 FID, CO₂, CO는 NDIR, PM은 부분유량희석(중량) 분석방법을 사용하고 있다. NO_x는 NDUV로 시험실 배출가스 분석기의 분석 방법(CLD)과 다른 분석방법이다. 각 모듈의 사진과 제원은 각각 Fig. 1과 Table 2에 나타내었으며, 2대의 시험 차량에 Fig. 2와 같이 PEMS를 장착하여 시험을 수행하였다.

2.2 시험방법

2.2.1 시험방법

본 연구의 실도로 배출가스 주행 방법은 환경부 고시 제2018-45호 제작자동차 시험검사 및 절차에 관한 규정 별표4의3 「중·소형 경유자동차의 실제 도로주행 배출가스 측정방법에」 따라 진행하였으며, 모든 시험은 열간 시동 조건에서 수행하였다. 본 연구의 열간 시동 조건은

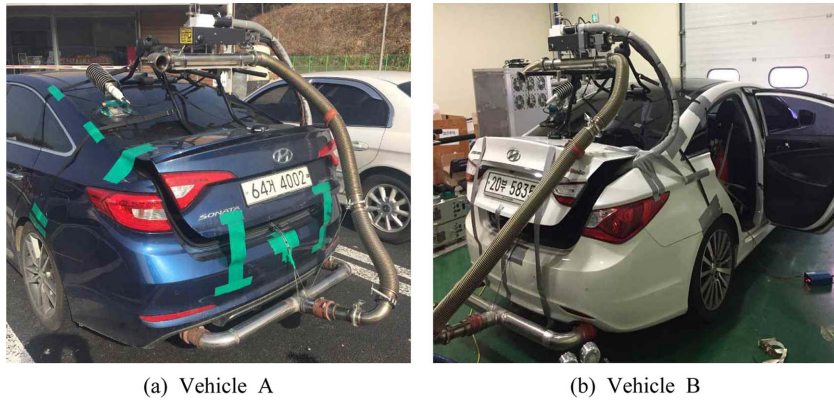


Fig. 2 Installation of PEMS

Table 3 Test condition for ambient temperature

Type	Temperature (°C)	
Vehicle A	0	5
Vehicle B	10	22

자동차의 냉각수 온도가 70°C 이상인 조건을 말한다.

2.2.2 시험조건

현행 고시의 대기 온도 허용범위인 0°C~30°C사이 중

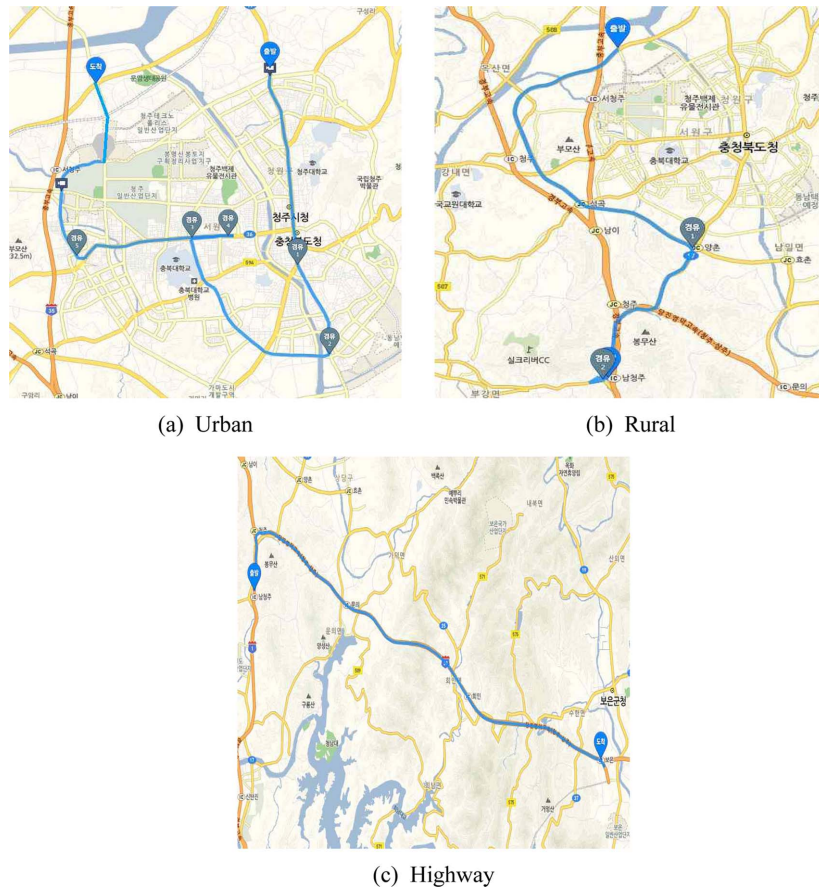


Fig. 3 Test route of RDE

온도조절이 가능한 시험실이 아닌 실제로도 조건에서의 시험조건을 감안하여 배출가스 변화 특성이 크게 나타날 것으로 보이는 저온 구간(0°C와 5°C비교) 한 부분과 허용범위내의 일반적인 상온 구간(10°C와 22°C비교) 한 부분을 선택하여 Table 3와 같이 선정하였으며, 온도는 실제로 배출가스 측정 장비의 온도계를 이용하여 측정하였다.

2.2.3 주행로

RDE-LDV의 주행로는 도심, 교외, 고속도로 총 세 가지의 주행 경로로 이루어지며, 도심에서 34%, 교외 33%, 고속도로 33%의 주행 점유율을 가져야 한다.

본 시험의 주행로는 한국석유관리원에서 현행 고시의 운전조건에 부합하게 개발한 주행로를 이용하여 주행하였으며, 주행경로는 Fig. 3와 같다.

3. 시험 결과 및 분석

3.1 저온 구간 비교

대기 온도 0°C와 5°C에서 각 2회씩 총 4회 시험을 하

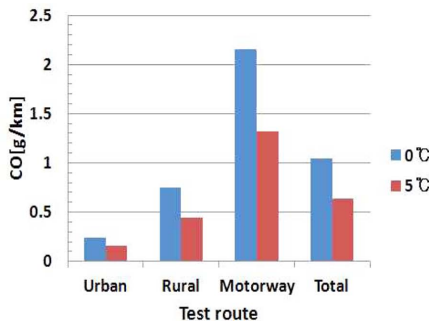
Table 4 Results of low temperature test

Temp (°C)	CO (g/km)	NOx (g/km)	THC (g/km)
0	1.042	0.033	0.018
5	0.633	0.027	0.016
Rate of change (%)	64.6	22.2	7.3

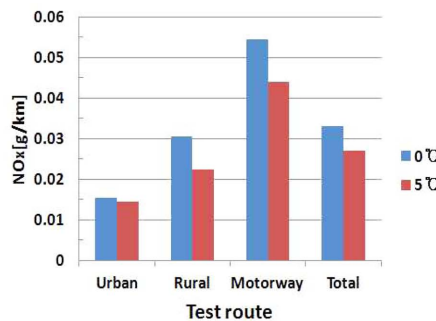
였고, 이에 따른 결과를 이동평균구간방법으로 계산한 결과는 Fig. 4, Table 4와 같았다.

시험 결과 Fig. 4의 (a), (b), (c) 그래프와 같이 CO, NOx, THC 세 가지 배출가스 전부 5°C보다 0°C가 많은 양의 배출가스를 배출하는 것을 확인할 수 있었다. Fig. 4 그래프의 주행로(Test route)별로 비교 해봐도 도심(Urban), 교외(Rural), 고속도로(Motorway) 모든 부분에서 5°C보다 0°C가 많은 양의 배출가스를 배출하는 것으로 나타났다. 모드전체의 배출량은 Table 4와 같이 5°C 대비 0°C에서 CO, NOx, THC가 각각 64.6%, 22.2%, 6.9% 증가 하였다.

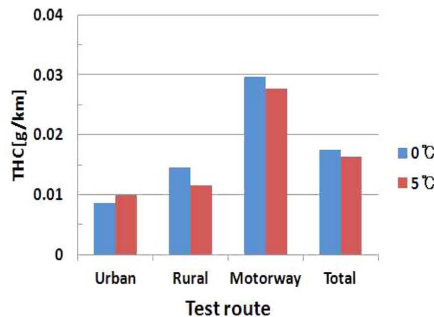
이 결과를 바탕으로 본 연구에서는 저온 구간 비교시험으로 나타난 배출가스 배출량 차이를 두 가지 원인으로



(a) Results of CO emission



(b) Results of NOx emission



(c) Results of THC emission

Fig. 4 Results of low temperature test

로 추론하였다.

첫째, 가솔린 엔진의 배출가스 후처리 장치인 삼원촉매 부분이다. 삼원촉매는 약 250°C 이하에서는 효율이 좋지 못하며, 약 300°C 이상이 되어야 촉매정화작용이 원활하고, 400°C~800°C 범위에서 효율이 가장 높다. 외기온도의 저하로 인해 삼원촉매가 완전히 예열되어 안정화 되는 시점이 상대적으로 오래 걸리기 때문에 0°C에서 더 많은 배출가스가 발생하는 것으로 사료 된다. 열간 시동인 점과 시험 후 많은 시간이 지난 고속 부분에서도 배출가스 차이가 여전히 줄어들지 않은 이유도 저온으로 인한 촉매 예열시기가 늦어진 것으로 판단된다.

둘째, 외기온도 저하로 인한 열 손실이다. 낮은 온도로 인해 발생하는 엔진룸의 열 손실로 인해 엔진이 완전 연소를 하지 못하고 불완전 연소 하면서 CO와 THC의 배출량이 많아지고 이 현상이 5°C보다 상대적으로 저온인 0°C에서 더 많이 발생하여 배출량의 차이를 보이는 것으로 생각 된다. NOx의 경우 이론적으로 연소 온도가 낮아짐에 따라 배출량이 줄어야 하지만 시험결과, NOx도 CO, THC와 같이 저온에서 배출량이 늘어나는 결과를 보였다. 이는 낮은 온도에서 효율적인 이론 공연비제어를 하지 못해 발생하는 희박연소와 과잉연소

의 반복에 의해 나타나는 결과로 판단된다. 저온에서 일어나는 배출가스 증가 현상은 기존의 시험실에서의 비교 연구⁷⁾를 통해서도 나타난 경향이다.

저온 구간의 비교시험을 통해 시험 조건 허용범위 내의 시험일지라도 대기 온도가 낮을수록 배출가스가 많이 발생한다는 것과 대기 온도가 배출가스에 영향을 미치는 인자로 작용한다는 것을 알 수 있었다.

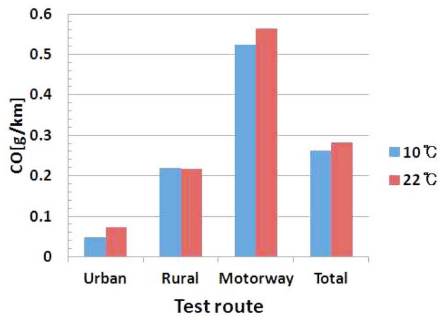
3.2 상온 구간 비교

대기 온도 10°C와 22°C에서 시험한 결과 역시 이동 평균구간방법을 이용하여 계산하였고 결과는 Fig. 5, Table 5와 같았다.

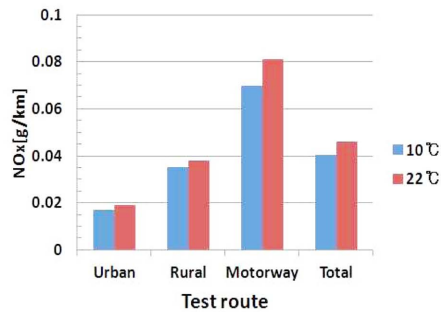
시험 결과 Fig. 5의 (a), (b), (c) 그래프와 같이 CO의

Table 5 Results of ordinary temperature test

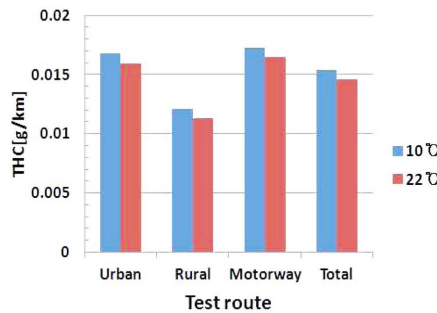
Temp (°C)	CO (g/km)	NOx (g/km)	THC (g/km)
10	0.262	0.041	0.015
22	0.282	0.046	0.014
Rate of change (%)	-7.4	-11.7	5.5



(a) Results of CO emission



(b) Results of NOx emission



(c) Results of THC emission

Fig. 5 Results of ordinary temperature test

교외(Rural) 구간을 제외한 모든 도심(Urban), 교외(Rural), 고속도로(Motorway) 주행로에서 CO, NOx는 22°C보다 10°C가 적은양의 배출가스를 배출하였으며, THC는 22°C보다 10°C가 많은 양의 배출가스를 배출하였다. 전체 주행로의 결과 Table 5와 같이 22°C대비 10°C에서 CO, NOx, THC가 각각-7.4%, -11.7%, 5.5%의 증가를 보였다. 상온 구간시험에서 CO와 NOx는 오히려 상대적으로 낮은 온도인 10°C에서 더 적은 양의 배출가스가 발생하였고, THC는 상대적으로 낮은 온도인 10°C에서 더 높게 나타났다. 또한, 전체적인 배출가스 발생 차이가 저온 구간에 비해 크지 않은 것으로 나타났다. 상온으로 시험이 진행되면서 열손실이 적어져 배출가스의 차이가 크게 나타나지 않았으며, 배기 온도의 차이도 큰 차이를 보이지 않는 것으로 보아 촉매의 안정화시기에 따른 차이도 나타나지 않은 것으로 보인다.

상온 구간의 비교시험에서는 대기 온도 변화에 따른 배출가스 배출 경향성이 미비한 것으로 확인되었다.

본 연구의 저온 구간과 상온 구간의 2가지 시험을 통해 저온 구간(0°C와 5°C비교)에서의 비교에서는 온도가 낮을수록 배출가스가 많이 배출되는 특성을 확인 할 수 있었으며, 상온 구간(10°C와 22°C비교)에서의 비교를 통해서 온도에 따른 배출가스 특성을 확인 할 수 없었다.

향후 더 많은 차량 시험과 반복 시험을 통해 모든 가솔린 차량에서 동일한 경향을 나타내는지 검토할 필요가 있을 것으로 보인다.

4. 결 론

본 연구에서는 현행 고시에서 제시하고 있는 대기 온도 범위(0°C~30°C) 내에서 온도변화에 따른 가솔린 차량의 실도로 배출가스 특성에 관하여 연구하고, 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 저온구간(0°C와 5°C비교)에서의 비교 시험결과는 다음과 같다.

- 도심(Urban), 교외(Rural), 고속도로(Motorway) 모든 부분의 주행로에서 5°C보다 0°C가 많은 양의 배출가스를 배출하는 결과를 보였다.
- 전체 구간의 종합 결과 5°C대비 0°C에서 CO, NOx, THC가 각각64.6%, 22.2%, 6.9% 증가 하

였다.

(2) 상온구간(10°C와 22°C비교)에서의 비교 시험결과는 다음과 같다.

- CO의 교외(Rural)를 제외한 모든 도심(Urban), 교외(Rural), 고속도로(Motorway) 주행로에서 CO, NOx는 22°C보다 10°C가 적은양의 배출가스를 배출하였으며, THC는 22°C보다 10°C가 많은 양의 배출가스를 배출하였다.
- 전체 구간의 종합결과 22°C대비 10°C에서CO, NOx, THC가 각각-7.4%, -11.7%, 5.5%의 증가를 보였다.

참고문헌

- (1) 국립환경과학원, “2015 국가 대기오염물질배출량” NIER-GP2017-210, 2018.07.
- (2) Sarah Honour, “NOx/NO2 Emissions and Concentrations Research Project 2010”, Workshop on Approach on emission legislation, European Commission, 23. 11. 2010.
- (3) Rob Cuelenaere, “Real world NOx emissions Euro5”, Workshop on Approach on emission legislation, European Commission, 23. 11. 2010.
- (4) Martin Weiss, Pierre Bonnel, Rudolf Hummel, Urbano Manfredi, Rinaldo Colombo, Gaston Lanappe, Philippe Le Lijour, Micro Sculati, “Analyzing on-road emissions of light-duty vehicles with Portable Emission Measurement Systems (PEMS)”, JRC Scientific and Technical Reports, EUR 24697 EN, 2011.
- (5) J. Gallus, U. Kirchner, R. Vogt, C. orensen, T. Benter, “On-road particle number measurements using a portable emission measurement system (PEMS)”, Atmospheric Environment, Vol. 124, 2016, pp. 37~45.
- (6) T. Khan, H. Frey, “Comparison of real-world and certification emission rates for light duty gasoline vehicles”, Science of the Total Environment, Vol. 622~623, 2018, pp. 790~800.
- (7) Jae-Hyuk Lim, “A Study on the exhaust gas characteristics of the vehicle gasoline according to the ambient temperature”, Journal of the Korean Society for Power System Engineering, Vol. 19, No. 6, pp. 47-53, December 2015.