

휘발유 승용자동차의 엔진 배기량이 실도로 주행시 이산화탄소 및 질소산화물 배출에 미치는 영향

이종태* · 김형준† · 임윤성* · 윤창완* · 길지훈* · 홍유덕*

Effects on CO₂ and NO_x Emissions at Real Driving Condition in the Passenger Car using Gasoline Fuel with Various Engine Displacements

Jongtae Lee, Hyung Jun Kim, Yun Sung Lim, Chang Wan Yun, Ji Hoon Keel and You Deug Hong

Key Words: Real driving emission characteristics(실도로 주행배출특성), Passenger car(승용자동차), Gasoline(휘발유), Engine displacement(엔진배기량)

Abstract

Recently, registered passenger cars have increased and were close about seventy million at the end 2017 year in Korea. Among the passenger car using gasoline fuel make up forty six percentage of total registered vehicles. In this study, investigation on real driving emission characteristics in the passenger car using gasoline fuel with various engine displacements were carried out. The real driving emission characteristics were measured and analyzed by using PEMS (Portable Emission Measurement System). PEMS was composed of gas analyzer, emission flow meter and sample conditioning system *et al.* Also, test six vehicles were selected to the gasoline passenger car with engine displacement from 1.6L to 3.7L. Two test routes with engine start of cold and hot conditions were applied to analyze the emission characteristics of RDE, respectively. The results show that the CO₂ emission have a increasing trend as the engine displacement and vehicle weight. Also, it is guessed that the CO₂ emission and vehicle weight were more correlated than the engine displacements. On the other hand, NO_x emissions of RDE have not increasing or decreasing tendency according engine displacements or vehicle weight because the activation of three-way catalyst in the gasoline vehicles.

기호설명

NO _x	: Nitrogen oxide
PEMS	: Portable Emission Measurement System
RDV-LDV	: Real-road Driving Emission – Light Duty Vehicle
WLTC	: World harmonized Light-duty Test Cycle

1. 서 론

2017년 12월 자동차 등록자료 통계⁽¹⁾를 보면 약 2천2백5십만대이며 이중에 승용자동차의 비중은 1천 7백만대로 약 76%를 차지하고 있으며 휘발유를 사용하는 승용자동차도 1천만대로 전체 등록대수에 약 46%의 차량이 운행중에 있다. 최근 폭스바겐사의 디젤게이트에 의한 배출가스 조작 사건 이후 경유자동차의 오염물질 배출 관련으로 경유자동차 판매가 감소하고 있으며 휘발유 승용자동차는 매년 증가추세에 있다. 휘발유 자동차의 경우 연비 또는 출력은 경유자동차보다 좋지 않지만 점화플러그를 통한 착화방식으로 인한 진동·소음이 적고 주행안정성이 높은 장점이 있다. 또한, 최근 가솔린

(Received: 16 Aug 2018, Received in revised form: 11 Sep 2018, Accepted: 12 Sep 2018)

*국립환경과학원 교통환경연구소

†책임저자, 회원, 국립환경과학원 교통환경연구소

E-mail : junandjin@korea.kr

TEL : (032)560-7647 FAX : (032)560-7980

직접분사방식(GDI, Gasoline Direct Injection)의 도입으로 기존 포트분사식 엔진보다 출력과 연비부분에서도 기술개발이 지속적으로 진행되고 있다. 환경적인 측면에서도 휘발유 자동차는 삼원촉매를 통해 질소산화물, 일산화탄소, 탄화수소 등 가스상 오염물질들을 제거가 가능하며 휘발성이 높은 연료특성으로 입자상물질 또는 매연 발생이 낮은 특성을 가지고 있다. 아울러 지속적인 환경규제 강화로 다양한 시험모드에서 배출허용기준을 만족해야 할 뿐만 아니라 질소산화물과 탄화수소 경우도 매년 평균배출값의 기준이 강화되고 있다. 국내는 현재 휘발유자동차의 경우 미국의 기준을 준용하고 있으며 경유자동차는 유럽의 기준을 준용하여 최근 실제도로에서의 배출가스 허용기준을 마련하고 만족여부를 평가⁽²⁾하고 있다. 2017년 9월부터 도입된 경유승용차의 실제도로 배출허용기준(RDE-LDV, Real-road Driving Emission - Light Duty Vehicle)에 따라 국내외 제작사들은 관련 기준을 만족시키기 위해 많은 연구⁽³⁻⁵⁾들이 진행중에 있다. 또한, 최근 입자상물질 뿐만 아니라 입자상물질 개수의 규제도입에 따라 이에 대한 연구⁽⁶⁾도 진행중이다. 휘발유 자동차의 경우 실제도로 배출허용기준이 설정되어 있지 않아 경유자동차처럼 연구가 활발하지는 않지만 최근 휘발유 자동차에 대한 연구⁽⁷⁾들이 증가하고 있다. 최근 연구로는 삼원촉매 여부에 따른 실도로 배출가스 특성⁽⁸⁾에 대한 연구와 휘발유 차량과 디젤차량에 대한 배출비교⁽⁹⁾ 등 연구들이 수행되고 있지만 아직까지 배출수준에 관한 연구는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 다양한 배기량을 가지는 휘발유 자동차의 실제도로에서의 배출수준을 확인하고자 경유 자동차 시험방법으로 수행하고 그 결과를 분석하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

본 연구에서는 다양한 배기량을 가지는 휘발유자동차의 배출가스를 분석하기 위하여 Fig. 1와 같이 실험장치를 적용하여 측정하였다. 이동식배출가스측정장치(PEMS, Portable Emission Measurement System)는 차량의 트렁크에 관련 장치들을 탑재하고 배기구에서 배출되는 배출가스를 실시간으로 측정하는 장치이다. PEMS(Semtech[®] LDV, Sensors)는 가스상 오염물질을 분석할수 있는 배기가스 분석기(Gas analyzer), 배기구에서 배출되는 유량측정과 샘플링을 위한 배기가스 유량계(Emis-

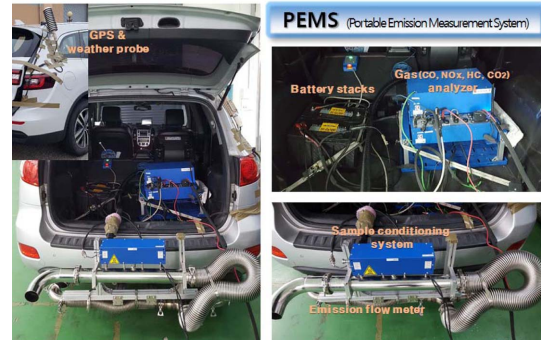


Fig. 1 Picture of experimental apparatus (PEMS)

sion flow meter) 및 배기가스 샘플링장치(Sample conditioning system), 차량전원을 사용하지 않는 외부 전원공급장치(Battery stack)로 구성되어 차량 내부 및 배구에 설치된다. 아울러 차량의 위치와 외부의 기상상태를 파악할 수 있는 위성항법장치(GPS) 및 기상계(Weather probe)는 차량 외부에 부착된다. 아울러, 배출가스는 유량계의 유량데이터와 동기화되어 실시간으로 배출가스 농도가 측정되어 저장되며 시험이 종료된후 데이터 분석장비를 통해 분석이 가능하다.

2.2 실험방법

2.2.1 시험차량

다양한 배기량을 가지는 휘발유 자동차의 실제도로 배출가스 특성을 분석하기 위하여 총 6대의 차량에 대하여 시험을 하였다. 해당 차종에 대해서는 Table 1에 자세한 제원을 나타내었다. 선정된 차종은 모두 국내에 판매되는 국내제작 또는 수입차량을 대상으로 하며 배기량이 1.6L급부터 3.6L급 승용차로 모두 2018년식이며 2016년 1월 1일 휘발유차량 기준을 만족하는 차량이다.

Table 1 Specifications of test vehicles

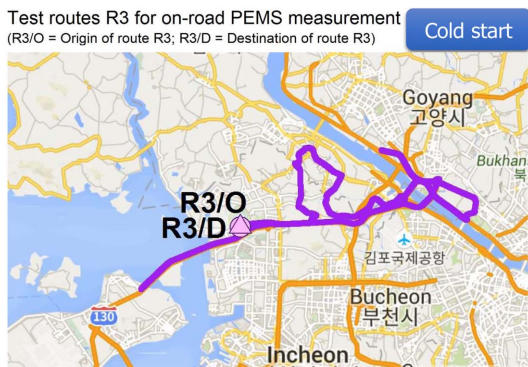
Types	Displacement (cc)	Max. Power (ps/rpm)	Curb weight (kg)	Gross weight (kg)
A	1,591	172/5,500	1,400	1,860
B	1,997	144/6,000	1,535	1,860
C	1,998	252/5,200	1,740	2,270
D	2,694	335/5,500	2,135	2,460
E	3,342	370/6,000	1,855	2,205
F	3,649	314/6,600	2,030	2,355

출력은 144마력부터 370마력을 가지고 있으며 공차중량은 1,400 kg~2,135 kg으로 다양한 차종으로 선정하였다.

2.2.2 주행경로 및 분석방법

주행경로는 국립환경과학원 교통환경연구소에서 인증시험시 사용되는 2가지 경로를 사용하였으며 세부 경로는 Fig. 2과 같다.

경로 1은 엔진냉간시동 조건을 적용한 경로로서 차량을 시험전날 주차(Soaking)하고 교통환경연구소부터 출발하는 경로로 구성되어 있다. 경로 2는 엔진열간시동 조건을 적용한 경로로서 차량이 워밍업 상태를 만들기 위해 능곡역까지 주행한 후 출발하는 경로이다. 각 경로는 모두 도심(0~60 km/h), 교외(60~90 km), 고속도로(90 km/h~) 주행을 포함하고 있어야 하므로 각 포함비율은 34%:33%:33%로 구성되어 있다. 또한 시험일에 측정된 외기온도 및 습도는 Table 2에 나타내었다. 취득된 데이터의 분석방법은 대표적으로 많이 사용되는 이동평균구간(MAW, Moving Average Window) 분석방법으로 시험전 WLTC 주행모드로 주행한 CO₂ 배출량을 기준으로



(a) Test route 1 (Engine start of cold condition)



(b) Test route 2 (Engine start of hot condition)

Fig. 2 Test routes for the RDE test

Table 2 Ambient conditions of real driving

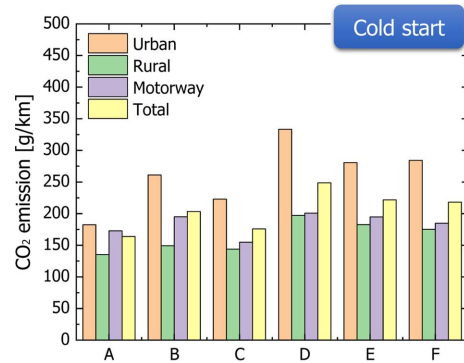
Types	Ambient temperature (°C)		Ambient humidity (%)	
	Cold start	Hot start	Cold start	Hot start
A	29.34	29.73	41.04	42.03
B	27.79	31.64	73.88	54.19
C	24.96	29.89	79.37	69.28
D	32.52	30.53	54.96	59.83
E	28.04	31.89	37.37	32.27
F	32.5	32.8	52.82	49.81

주행거리에 대한 배출가스 양을 계산하였다.

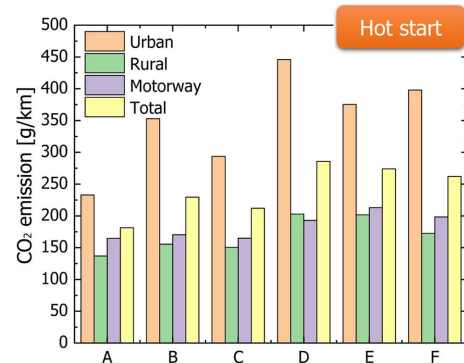
3. 실험결과 및 분석

3.1 경로별 CO₂ 배출특성

경로와 엔진시동조건에서 배기량에 따른 휘발유 승용



(a) Engine start of cold condition



(b) Engine start of hot condition

Fig. 3 CO₂ emission characteristics [g/km] at engine start of cold and hot condition according to various test vehicles

자동차의 CO₂ 배출특성에 대해서 Fig. 3에 나타내었다. 배기량은 A차종이 가장 낮고 F가 가장 높은 순서로서 CO₂ 배출량의 경우 배기량에 따라 증가하는 추세를 보여주고 있으나 차종 및 차량무게 등에 따라 약간의 차이를 보이는 것으로 나타났다. 엔진냉간시동의 경우와 열간시동의 경우 도심구간에서의 CO₂ 배출량이 열간시동 경로의 경우가 두드러지게 높게 나타났는데 이는 도심구간 설정이 서울중심지역인 광화문 주변의 교통정체로 인한 결과로 판단된다. 엔진열간시동의 경우가 전반적으로 엔진냉간시동에서 보다 CO₂ 값이 높은 것을 알 수 있는데 이는 엔진열간시동의 도심구간 평균속도(19.48~23.64 km/h)가 엔진냉간시동에서의 도심구간 평균속도(31.16~34.45 km/h)보다 낮기 때문이라고 판단된다.

그 외의 구간인 교외 및 고속구간에서의 배출량은 비슷하게 나타났으며 차종별 배출특성은 열간 또는 냉간시동경로의 각 구간별 구성이 비슷하게 나타났다. 또한 냉간 및 열간시동조건과 경로에 상관없이 차종별 CO₂ 배출량은 A<C<B<F<E<D 순으로 배기량 보다는 공차중량의 순서와 거의 유사한 것을 Table 1을 통해 알 수 있으며 이를 통해 차량의 CO₂ 배출량은 차량중량과 가장 밀접한 관계를 가지는 것을 Fig. 4를 통해 알 수 있다.

Figure 5에서는 경로와 엔진시동조건에서 배기량에 따른 휘발유 승용자동차의 질소산화물(NOx) 배출특성에 대한 그래프를 보여주고 있다. 모든 차량들이 휘발유 배출허용기준(ULEV, Ultra Low Emission Vehicle) 0.044 g/km 이하로 나타나고 있는 것을 볼 수 있다. Fig. 3에서 나타난 것처럼 배기량에 따라 증가하거나 감소하는 추

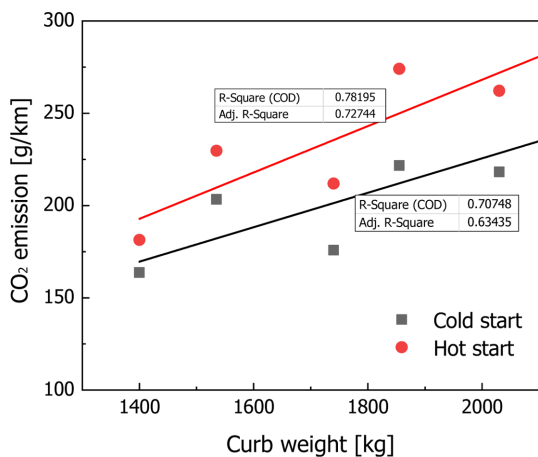
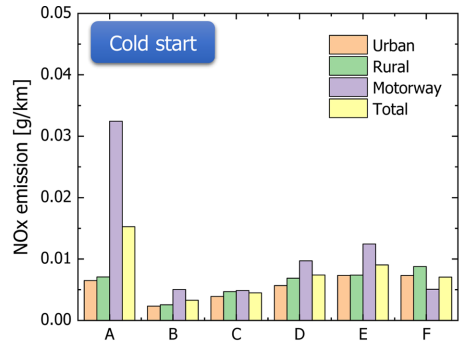
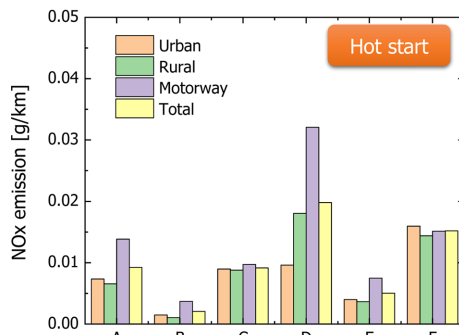


Fig. 4 Correlation between CO₂ emission characteristics [g/km] and curb weight [kg] at engine start of cold and hot condition according to various test vehicles



(a) Engine start of cold condition



(b) Engine start of hot condition

Fig. 5 NOx emission characteristics [g/km] at engine start of cold and hot condition according to various test vehicles

세가 뚜렷이 나타나지 않았다. 이는 차량마다 삼원촉매가 배기가스를 정화하는 역할을 하고 있는데 특정 조건에 따른 공연비 제어 및 삼원촉매 용량 등에 따라 질소산화물 배출량에 영향을 주는 것으로 판단된다. 아울러 질소산화물의 배출은 일부 차종을 제외하고는 고속구간에서의 배출값이 가장 높은 것을 알 수 있다. 또한 열간시동조건에서는 냉간시동조건보다 도심구간의 질소산화물 배출값이 교외구간보다 약간 높게 나타났는데 이는 교통정체로 인한 차량속도의 감소가 원인이라고 판단된다. 이는 도심구간의 정차비율이 엔진열간시동시는 29~40%를 차지하며 엔진냉간시동시에는 14~22%로 교통정체를 확인할 수 있다.

3.2 차종별 실시간 NOx 배출특성

Figure 6은 엔진냉간시동시 차종별 실제로도 시험시 실시간 질소산화물 농도와 차속에 대한 결과를 보여주고 있다.

냉간시동조건시(냉각수온도 70도이하) 배기가스 온도

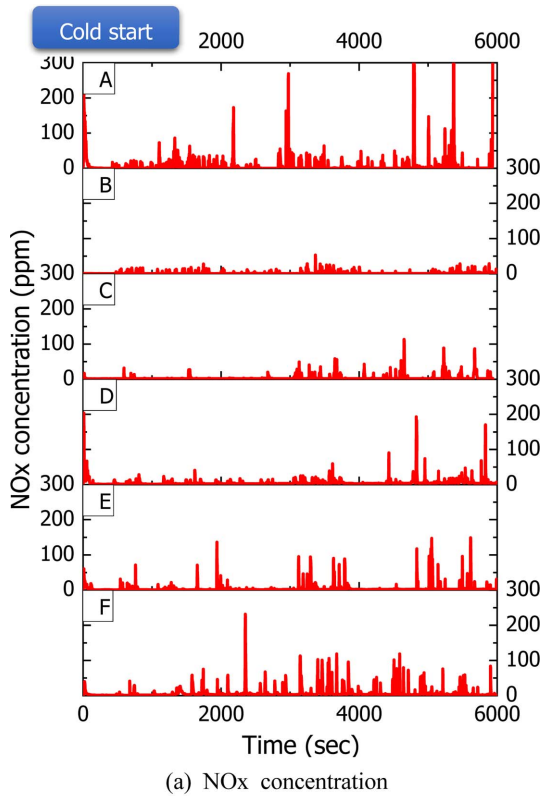


Fig. 6 NOx concentration and vehicle speed at the engine start of cold condition according to various test vehicles

가 삼원촉매 활성화 온도까지 도달하기 전 초기에 질소산화물 농도가 약간 증가하는 패턴을 가지고 있는 것을 볼 수 있으며 그 이후로는 연료소모가 많은 가속 및 부하증가 조건에 따라 급격히 증가했다가 바로 낮아지는 현상이 반복되는 것을 알 수 있다. A차종의 경우는 질

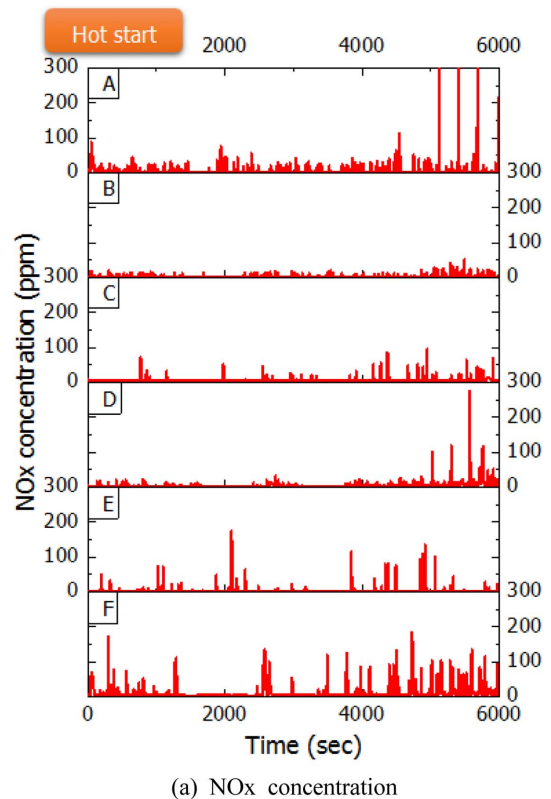


Fig. 7 NOx concentration and vehicle speed at the engine start of hot condition according to various test vehicles

소산화물 배출량이 일부구간에서 높게 나타나는데 이는 해당차량은 터보차저를 사용하는 차량으로 가속구간에서 일시적으로 증가하는 것으로 판단된다. B차종은 전반적으로 낮은 질소산화물 배출을 보이는 것을 알 수

있는데 이는 차량중량이 비교적 낮고 출력이 낮은 차량으로 고출력 차량 보다 부하가 적은 것으로 판단된다. 다만 차종마다 저감장치 사양과 제작사마다 제어전략이 상이하여 정확한 분석은 어렵지만 고농도 또는 지속적인 질소산화물 배출이 되지 않는 것으로 판단된다.

엔진열간시동시 차종별 실제도로 시험시 실시간 질소산화물 농도와 차속에 대한 결과를 Fig. 7에 나타내었다. Fig. 6과 비교하여 주행 초반에 높은 피크를 가지는 질소산화물 배출 값이 거의 없는 것을 알 수 있다.

차속 분포를 보면 1,000~3,000초 사이에서 엔진냉간시동시 보다 열간시동시 차속이 낮게 분포하는 구간이 자주 나타나는 것을 볼 수 있다. 이 구간은 도심구간으로 열간시동시 주행경로는 서울중심지역의 교통정체를 반영하고 있으며 그 구간에서는 질소산화물의 농도가 약간 높게 형성되어 도심구간의 증가의 원인으로 판단되어 진다. 교외 및 고속구간은 냉간시동시의 경로와 비슷한 패턴을 보여주고 있으며 저감장치인 삼원촉매의 활성화로 고농도의 질소산화물 배출이 지속적으로 발생하지 않는 것으로 나타났다.

4. 결 론

다양한 배기량을 가지는 휘발유 자동차의 실제도로에서의 배출수준을 확인하고자 엔진냉간시동 및 열간시동 조건의 경로에서 실도로 배출가스를 측정하고 분석하였으며 그 결과는 다음과 같다.

(1) 차종별 CO₂ 배출량의 경우 배기량에 따라 증가하는 패턴을 보였으며 배출량은 차량중량과 더욱 밀접한 관계가 있는 것으로 나타났다.

(2) 질소산화물의 경우 배기량 또는 차량중량에 따라 증감 패턴을 보이지 않았으며 이는 배기가스 저감장치인 삼원촉매의 영향인 것으로 판단된다.

(3) 엔진냉간시동조건에서는 열간시동조건보다 실제도로 주행 초기에 농도가 높게 났으며 열간시동조건의 경로가 도심구간정체(도심구간 정차비율 29~40%)로 인하여 질소산화물 배출값이 교외구간보다 높게 나타났다.

후 기

본 논문은 환경부의 재원으로 국립환경과학원의 지원

을 받아 수행하였습니다(NIER-2018-03-01-013).

참고문헌

- (1) 국토교통부 통계누리, “2017년 12월 자동차 등록자료 통계”, <http://stat.molit.go.kr>.
- (2) N. Hoofman., M. Messagie, J. Mierlo, T. Coosemans, “A review of the European passenger car regulations - Real driving emissions vs local air quality”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 86, 2018, pp. 1~21.
- (3) J. Gallus, U. Kirchner, R. Vogt, 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, 2017, pp. 215~226.
- (4) R. O'Driscoll, H. ApSimon, T. Oxley, N. Molden, M. Stettler, A. Thiyagarajah, “A Portable Emissions Measurement System (PEMS) study of NO_x and primary NO₂ emissions from Euro 6 diesel passenger cars and comparison with COPERT emission factors”, *Atmospheric Environment*, Vol. 145, 2016, pp. 81~91.
- (5) S. Mahesh, G. Ramadurai, S. Nagendra, “Real-world emissions of gaseous pollutants from diesel passenger cars using portable emission measurement systems”, *Sustainable Cities and Society*, Vol. 41, 2018, pp. 104~113.
- (6) J. Gallus, U. Kirchner, R. Vogt, C. Lorenzen, T. Benter, “On-road particle number measurements using a portable emission measurement system (PEMS)”, *Atmospheric Environment*, Vol. 124, 2016, pp. 37~45.
- (7) 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.
- (8) X. Zheng, Y. Wu, S. Zhang, L. He, J. Hao, “Evaluating real-world emissions of light-duty gasoline vehicles with deactivated three-way catalyst converters”, *Atmospheric Pollution Research*, Vol. 9, 2018, pp. 126~132.
- (9) R. O'Driscoll, M. Stettler, N. Molden, T. Oxley, H. ApSimon, “Real world CO₂ and NO_x emissions from 149 Euro 5 and 6 diesel, gasoline and hybrid passenger cars”, *Science of the Total Environment*, Vol. 621, 2018, pp. 282~290.