

다양한 주행거리를 가지는 직접분사방식 가솔린 자동차의 배출특성에 관한 연구

김형준[†] · 길지훈* · 강건우* · 김선문* · 김정수*

Investigation on the Exhaust Emission Characteristics of GDI Vehicles According to Various Mileage

Hyung Jun Kim, Ji Hoon Keel, Gun Woo Kang, Sun Moon Kim and Jeong Soo Kim

Key Words: Emission characteristics(배출특성), GDI(가솔린직접분사), Mileage(주행거리)

Abstract

Recently, manufacture and sales of passenger car with GDI (Gasoline Direct injection) were dramatically increased in Korea. In this study, investigation on the exhaust emission characteristics of GDI vehicles according to mileage were conducted by using chassis dynamometer and emission analyzer. Test cars selected 5 types with G4FD engine (1600 cc) and emissions of total 14 vehicles analyzed. Measurement and evaluation on emissions (CO, NOx, NMOG, CO₂) characteristics of GDI vehicles with mileages from 40,000 to 80,000 km in certification driving cycle (CVS-75) were carried out in this study. It is revealed that emission results of all test cars shows below emission standard, NMOG emission value of about 80,000 km doubled that of 40,000 km and emission increased by accumulated mileage. Also, increasing pattern of NOx emissions shows when the vehicle mileages was increased and CO₂ emission increasing trend obviously do not show according to mileages.

기호설명

FTP-75 : Federal Test Procedure 75
NEDC : New European Driving Cycle
PN : Particulate Number
PM : Particulate Matter

1. 서 론

국내 누적등록 차량대수는 2015년도에 약 2천만대⁽¹⁾를 넘어 현재도 계속 증가하고 있다. 따라서 자동차는 운송수단으로서 가장 중요하며 늘어나는 차량으로 인한 대기오염문제도 지속적으로 관리할 필요성이 있다. 국내의 자동차 환경기준⁽²⁾은 휘발유를 사용하는 자동차와 경유를 사용하는 자동차의 경우 각기 다른 규제를 하고 있다. 휘발유 차량에 대해서는 북미의 인증시험모드(FTP-75모드)와 동일한 CVS-75 주행모드를 적용하여 배출가스를 측정 및 규제하고, 경유 차량에 대해서는 유럽의 인증시험모드(NEDC) 모드를 동일하게 적용하여 배출가스를 규제하고 있다. 특히 유럽은 EURO-6 규제를 통해 가솔린차량에 입자상물질에 대한 규제를 도입하고 있으며 경유차량에 대해

(Received: 27 Dec 2016, Received in revised form: 8 Feb 2017, Accepted: 9 Feb 2017)

^{*}국립환경과학원 교통환경연구소

[†]책임저자, 회원, 국립환경과학원 교통환경연구소

E-mail : junandjin@korea.kr

TEL : (032)560-7647 FAX : (032)560-7680

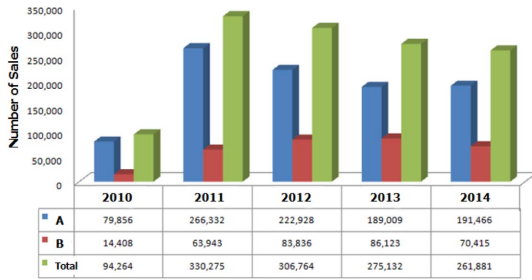


Fig. 1 Sales status of GDI car in Korea

서는 개수(PN, $6 \times 10^{11} \#/\text{km}$ 이하)와 입자상물질(PM, 0.0045 g/km 이하)에 대해서도 EURO-5부터 규제해 오고 있다.

최근에는 자동차에서 배출되는 이산화탄소를 저감하고 연비 향상을 위해 개발된 가솔린직접분사식(Gasoline Direct Injection, GDI) 엔진을 장착한 자동차가 국내에서도 지속적으로 보급되고 증가하고 있다. Fig. 1에서는 2010년부터 2014년까지의 국내 대표 제작사의 판매현황을 나타낸 것으로 2010년도 가솔린 직접분사식 차량을 최초 제작 판매하기 시작하였을 때 약 9만5천여 대로 시작하여 이후 지속적으로 약 30만대 수준으로 판매되고 있다. 기존의 멀티포트분사방식(Multi-Port Injection, MPI) 엔진과 달리 흡기 포트에 연료를 분사하는 것이 아닌 경유자동차와 같이 실린더 내부에 연료를 직접 분사하는 GDI 엔진의 경우 흔히 알고 있는 경유 자동차에서 나오는 입자상 물질이 배출된다는 연구 결과들뿐만 아니라 기존 MPI 방식 적용엔진과 다른 배출특성을 가진다는 연구⁽³⁾들도 활발히 진행되고 있다. LPG차량과 배출량에 대한 비교분석⁽⁴⁾, GDI차량의 성능과 연비향상⁽⁵⁾, GDI차량에서 냉시동시 배출되는 PM에 대한 연구⁽⁶⁾, 그룹홀을 가지는 직분식 GDI차량용 인젝터에 대한 적용가능성에 대한 연구⁽⁷⁾, GDI인젝터에서 분사되는 연료의 미립화와 휘발유 대체연료 및 혼합연료에 대한 연구등 관련 연구에 대해서도 많이 수행⁽⁸⁻¹¹⁾되고 있다. 아울러 최근에는 GDI엔진 장착 차량에 대한 실제도로에서의 배출가스에 관한 연구⁽¹²⁾도 진행되고 있다.

따라서, 본 연구에서는 국내에서 판매되고 있는 대표적인 1600 cc급 GDI 차량에 대하여 다양한 주행거리를 가지는 14대의 차량을 선정하여 배출가스를 측정하여 주행거리에 따른 배출특성을 분석하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

본 연구에서는 주행거리에 따른 GDI 차량의 배출가스를 측정하기 위하여 Fig. 2와 같은 실험장치를 사용하여 시험하였다. 차량을 구동시키기 위한 48"롤러와 주행모드를 구현하기 위한 운전보조시스템이 적용된 차대동력계를 사용하여 시험하고 배출가스 분석을 위하여 자동차에서 배출된 가스를 CVS(Constant Volume Sampler)에서 일정유량으로 샘플링하여 희석터널을 거쳐 단계별로 백에 포집하여 배출가스 분석기(MEXA-7000 series, Horiba)에서 분석하였다. 배출가스 분석은 휘발유차 배출허용기준으로 정한 3가지 성분(CO, NMOG, NOx)과 온실가스인 CO₂에 대하여 측정하고 분석하였다.

2.2 실험방법

2.2.1 시험차량

국내에서 많이 판매된 1600 cc급 G4FD엔진을 사용하는 5차종 선정하여 배출특성 분석하였으며 시험차량의 제원은 Table 1과 같다. 5차종은 모두 140마력의 GDI 방식의 엔진을 적용하였고 각기 다른 누적주행거리를 가지는 차종마다 2-3대의 차량을 선정 총 14대를 선정하여 시험하였다. Table 2는 차종별 차량총중량 및 공차중량과 누적주행거리를 나타내고 있으며 GDI의 차량의 경우 2011년부터 본격 보급이 확대판매되어 영업차량을 제외한 차량연식이 6년이내의 차량이기 때문에 주행거리는 약 4만km에서 8만km이내의 차량을 선정하였다.

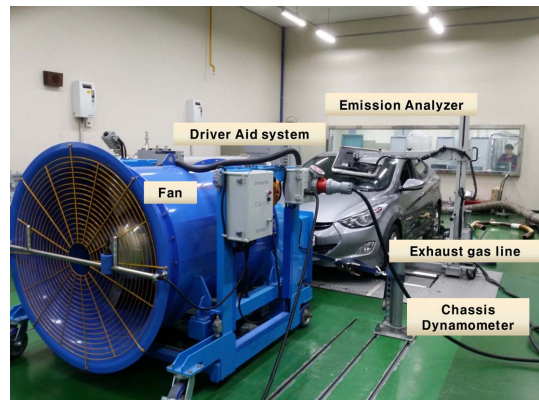


Fig. 2 Picture of experimental apparatus

Table 1 Engine specifications of test vehicles

Item	Specification
Engine type	G4FD
Displacement	1,591 cc
Injection type	GDI (Gasoline Direct Injection)
Max. Power	140 ps/6300 rpm
Max. torque	17.0 kg-m/4850 rpm

Table 2 Information of test vehicles

Vehicle	Total mass [kg] (Curb mass)	Number of car	Mileage [km]
A	1610 (1190)	3	43538, 46315, 69138
B	1590 (1190)	3	57487, 58890, 73670
C	1575 (1230)	3	69803, 74299, 77507
D	1658 (1210)	2	44030, 45524
E	1622 (1191)	3	54164, 55936, 58209

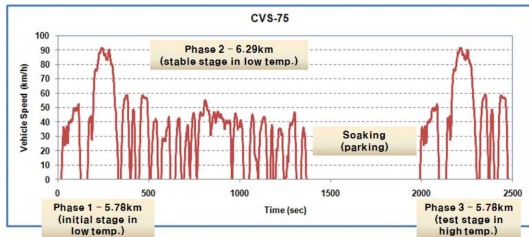


Fig. 3 Test driving cycle of CVS-75 mode

2.2.2 시험모드

국내의 휘발유 자동차의 인증시험은 현재 CVS-75 주행모드로 시험을 하고 있어 본 연구에서도 14종에 대한 배출가스 특성을 분석하기 위하여 동일한 주행모드를 사용하였다. 총 17.764 km의 주행거리와 2,477초의 주행시간으로 3 단계와 주차로 구성되어 있으며 Fig. 3과 같다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 주행거리에 따른 CO 배출특성

다양한 주행거리에 따른 GDI 분사방식을 적용한 차량에 대하여 배출가스를 측정하였으며 일산화탄소(CO) 배출량에 대한 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 그림에서

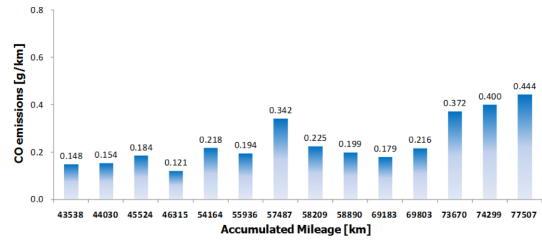


Fig. 4 CO emission characteristics of test vehicles according to various mileages

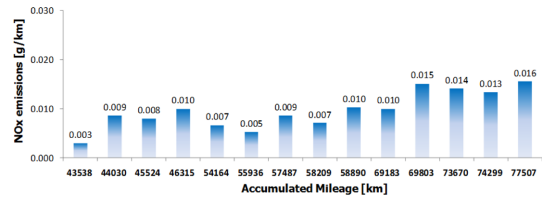


Fig. 5 NOx emission characteristics of test vehicles according to various mileages

보는 바와 같이 일부 데이터를 제외하고는 주행거리가 증가함에 따라 CO 배출량도 증가하는 패턴을 보여주고 있다. CO 배출량의 경우 배출허용기준은 1.31 g/km으로 배출가스 보증기간(19.2만km)의 절반가량인 약 8만 km를 주행하여도 3분의 1 수준으로 배출되는 것을 알 수 있다.

3.2 주행거리에 따른 NOx 배출특성

Fig. 5는 다양한 주행거리에 따른 질소산화물(NOx) 배출특성을 나타내고 있으며 CO 배출특성과 마찬가지로 주행거리가 증가함에 따라 NOx 배출량이 증가하는 경향을 보여주고 있다. 모든 차량이 배출허용기준(0.044 g/km) 이내이며 4만km의 주행거리에서 8만km로 주행거리가 늘어나며 배출량도 약 2배 정도 증가하는 것을 알 수 있다. 차량의 선정은 가급적 차량별로 편차를 줄이기 위하여 제작사의 정비지침서에 따라 정비하고 차량 소유자의 변동이 없으며 배출가스 관련부품의 고장이 없는 차량 등 기준을 두고 선정하였으나 시험결과에서 보듯이 시험결과 값이 일정한 증가 또는 감소추세를 보이지 않는 것은 선정된 차량이 실제 판매되어 운행 중인 차량으로 소유주 운전습관이 다르기 때문으로 판단된다.

3.3 주행거리에 따른 NMOG 배출특성

Fig. 6은 주행거리에 따른 비메탄 유기가스(Non-Methane Organic Gases, NMOG) 배출특성을 보여주고 있다.

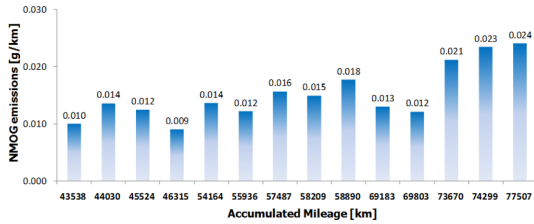


Fig. 6 NMOG emission characteristics of test vehicles according to various mileages

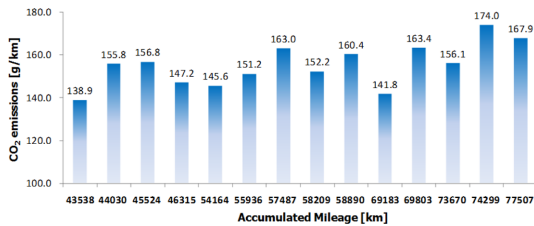


Fig. 7 CO₂ emission characteristics of test vehicles according to various mileages

NMOG의 경우 배기가스 중 탄화수소(HC)의 오존생성 비율을 감안하여 분석기에서 측정된 비메탄 탄화수소(NMHC)값에 1.04를 곱하여 결과값을 도출하였다. NMOG 배출량도 현행 배출허용기준(0.034 g/km)대비 낮게 나타났으며 주행거리가 늘어날수록 증가하는 패턴을 보여주고 있는 것을 알 수 있다. 또한 주행거리가 4만km에서 8만km까지 증가하는 동안 배출량은 약 2배 정도 증가하는 것으로 나타났다.

3.4 주행거리에 따른 CO₂ 배출특성

주행거리에 따른 온실가스(CO₂) 배출특성에 대하여 측정하고 Fig. 7에 결과를 나타내었다. 현재 국내에서는 온실가스의 경우 차종별로 규제하는 것이 아니라 제작사별 판매대수와 차종별로 평균한 값을 규제하고 있다. 배출수준은 139~174 g/km 수준으로 나타나고 있으며 주행거리에 따라 약간은 증가하는 듯하나 증가와 감소가 반복되어 경향이 뚜렷하게 나타나지 않는 것을 알 수 있다. 또한, 차량 소유자의 운전특성과 차량무게에 따라서도 그 특성이 매우 유동적이기 때문에 판단이 어려울 것으로 생각된다.

3.5 평균주행거리에 따른 배출특성

Fig. 8은 누적주행거리가 4, 5, 6, 7만km 이내로 가지는 차량들을 각각 10,000 km로 구분하여 측정된 배출가스를 각각 산술적으로 평균하여 나타내었다. 이전 개별

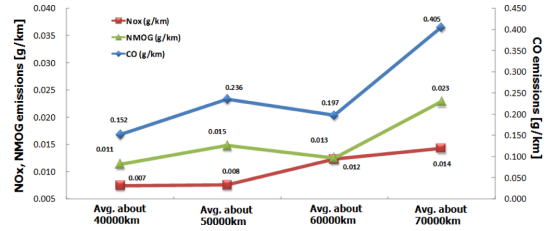


Fig. 8 Average emission characteristics of test vehicles from 40,000 km to 80,000 km mileages

자동차 배출가스 결과들 보다 뚜렷하게 주행거리가 증가할수록 주요 배출가스의 평균값은 모두 증가하는 것으로 나타났다. 또한, 주행거리가 40,000 km에서 70,000 km로 증가했을 경우 2~2.5배 배출가스 평균값은 증가하는 걸로 나타났다. 일반적으로 휘발유 차량의 배출가스 보증기간은 192,000 km로 시험차량은 최대 77,502 km로 거의 절반 수준에 해당하는 것으로 향후에 추가적인 연구를 통해서 증가되는 수준을 확인할 필요가 있을 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 직접분사방식을 적용한 휘발유자동차에서 주행거리에 따른 배출가스 특성을 분석하기 위하여 주행거리별 차량에 대하여 배출가스 측정을 하였으며 그 결과는 다음과 같다.

- (1) 모든 차종의 배출가스는 제작차 배출허용기준을 만족하고 있으며 주행거리가 증가함에 따라 배출가스는 증가하는 것으로 나타났다.
- (2) CO와 NMOG의 경우 약 4만km에서 8만km까지 주행거리가 증가할 경우 약 2배정도 배출량 증가하였다.
- (3) NOx의 경우에도 주행거리가 증가함에 따라 지속적으로 증가하였으며 CO₂의 경우에는 뚜렷한 증가 패턴이 나타나지 않았다.
- (4) 1만 km 단위로 배출가스 측정값을 평균하였을 때 주행거리가 증가함에 따라 배출량이 증가하는 경향이 나타났다.

참고문헌

- (1) 국토교통부, “자동차 등록대수, 2천1백만 대 육박” 보

- 도자료, 2016.1.18.
- (2) 법제처, 대기환경보전법 시행규칙.
- (3) M. Costa, U. Sorge, L. Allocca, "CFD optimization for GDI spray model tuning and enhancement of engine performance", *Advances in Engineering Software*, Vol. 49, 2012, pp. 43~53.
- (4) C. Myung, K. Choi, J. Kim, Y. Lim, J. Lee, S. Park, "Comparative study of regulated and unregulated toxic emissions characteristics from a spark ignition direct injection light-duty vehicle fueled with gasoline and liquid phase LPG (liquefied petroleum gas)", *Energy*, Vol. 44, No. 1, 2012, pp. 189~196.
- (5) M. S. Peckham, B. W. Campbell, A. J. Finch, "Study of transient particulate and gaseous emissions from a modern GDI engine", *Internal Combustion Engines: Improving Performance, Fuel Economy and Emission*, 2011, pp. 53~73.
- (6) L. Chen, Z. Liang, X. Zhang, S. Shuai, "Characterizing particulate matter emissions from GDI and PFI vehicles under transient and cold start conditions", *Fuel*, Vol. 189, 2017, pp. 131~140.
- (7) S. Lee, S. Park, "Spray atomization characteristics of a GDI injector equipped with a group-hole nozzle", *Fuel*, Vol. 137, 2014, pp. 50~59.
- (8) X. Wang, Y. Ge, L. Liu, Z. Peng, L. Hao, H. Yin, Y. Ding, J. Wang, "Evaluation on toxic reduction and fuel economy of a gasoline direct injection- (GDI-) powered passenger car fueled with methanol, gasoline blends with various substitution ratios", *Applied Energy*, Vol. 157, 2015, pp. 134~143.
- (9) Y. An, S. Teng, Y. Pei, J. Qin, X. Li, H. Zhao, "An experimental study of polycyclic aromatic hydrocarbons and soot emissions from a GDI engine fueled with commercial gasoline", *Fuel*, Vol. 164, 2016, pp. 160~171.
- (10) H. J. Kim, S. H. Park, C. S. Lee, "Light intensity and image visualization of GDI injector sprays according to nozzle hole arrangements", *Optik - International Journal for Light and Electron Optics*, Vol. 125, No. 12, 2014, pp. 2763~2767.
- (11) S. H. Park, H. J. Kim, H. K. Suh, C. S. Lee, "Atomization and spray characteristics of bioethanol and bioethanol blended gasoline fuel injected through a direct injection gasoline injector", *International Journal of Heat and Fluid Flow*, Vol. 30, No. 6, 2009, pp. 1183~1192.
- (12) P. Karjalainen, L. Pirjola, J. Heikkila, T. Lahde, T. Tzankiozis, L. Ntziachristos, J. Keskinen, T. Ronkko, "Exhaust particles of modern gasoline vehicles: A laboratory and an on-road study", *Atmospheric Environment*, Vol. 97, 2014, pp. 262~270.