

흡기유량에 따른 디젤엔진에서의 배출가스 특성에 대한 연구

김형준[†] · 박용희* · 엄명도* · 고종민* · 황진우* · 이상현* · 길지훈* · 김정수*

The Study on the Exhaust Emission Characteristics in Diesel Engine According to Intake Air Mass Flow

Hyung-Jun Kim, Yong-Hee Park, Myoung-Do Eom, Jong-Min Ko, Jin-Woo Hwang, Sang-Hyun Lee, Ji-Hoon Keel and Jeong-Soo Kim

Key Words: Diesel engine(디젤엔진), Exhaust emission(배출가스), Engine dynamometer(엔진동력계), Fuel injection mass (연료분사량), Intake air mass flow(흡기유량)

Abstract

The investigation was conducted to analyze the exhaust emission characteristics in diesel engine according to intake air mass flow. In this study, the test diesel engine with a 5,899 cubic centimeter displacement and power of the 260 ps was used to analyze the emission characteristics according to the intake air mass flow. In addition, the test modes were applied by the ND-13 and ETC mode. In order to analyze the emission characteristics, the engine dynamometer with 440 kW and emission gas analyzer (AMA-4000) were utilized. From the experimental results, it is revealed that the NOx and HC emissions in the intake air mass flow of large amount have high levels compared to those in the intake air mass flow of small amount in the ND-13 mode. However, the PM emission was shown the opposite trend in the NOx and HC emission due to the trade-off relation between the NOx and PM.

기호설명

ETC : European Transient Cycle
CO : 일산화탄소
CO₂ : 이산화탄소
HC : 탄화수소
NOx : 질소산화물
PM : 입자상물질

서론

전 세계적으로 디젤엔진은 가솔린엔진에 비하여 높은 연비와 출력으로 다양한 화물 및 선박 등의 상용 분야에서 널리 사용되고 있다. 특히 디젤엔진이 적용된 경유 자동차는 대형버스 및 트럭에 대부분 적용되고 있으며 최근 세계보건기구(WHO) 산하 국제암연구소는 디젤엔진 배기가스가 사람에게 위험한 1급 발암물질로 규정하여 이에 대한 관심이 전세계적으로 증가하고 있다. 하지만, 경유자동차의 경우 가솔린 차량에 비하여 연소과정 중 질소산화물 및 입자상물질과 같이 환경적으로 유해한 물질을 배출하는 문제점을 대형자동차와 소형승용차의 차이에 대한 다양한 평가가 필요한 점^(1,2)이 있어 이에 대하여 다양한 방법으로 출력과 성능을 유지하면서 배출가스를 개선하려는 연구들이 활발히 진행되고 있다⁽³⁾. 아울러 기존의 유로4수준의 촉매에 대한 내구성 테스트

(2012년 9월 21일 접수 ~ 2012년 11월 17일 심사완료, 2012년 12월 3일 게재확정)

*국립환경과학원 교통환경연구소

[†]책임저자, 회원, 김형준(국립환경과학원 교통환경연구소)

E-mail : junandjin@korea.kr

TEL : (032)560-7637 FAX : (032)567-5096

및 열화방법에 대해서 분석하고 있으며^(4,5) 유럽에서는 EURO-6의 배출가스 규제를 도입하고 이에 대한 기술개발 및 연구를 진행하고 있다. EURO-6 수준의 배출가스 규제를 만족하기 위해서는 엔진 및 후처리장치의 기술을 개발하기 위한 노력뿐만 아니라 디젤연료를 대체할 수 있는 바이오디젤, DME 및 기타 혼합연료에 대한 나노입자를 포함한 배출가스 특성에 대하여 디젤연료와 비교하는 연구도 병행하여 진행하고 있다⁽⁶⁻⁸⁾. 또한, 국내에서도 선진국 수준의 배출가스 규제를 도입하기 위한 정책을 진행하고 있으며 2009년에 EURO-5 수준의 배출가스 규제 적용 이후 2014년부터는 EURO-6 수준의 배출가스 규제를 도입 예고하는 법안이 통과되어 적용중이다. 따라서, 대부분의 경유자동차를 포함하는 중·대형 승용 및 화물차량의 경우에는 질소산화물과 입자상물질을 저감하여야 할 뿐만 아니라 입자상물질의 입자개수까지 관리하여야 한다⁽⁹⁾. 이에 대해 본 연구에서는 상용 디젤엔진에서 흡기 유량의 변화가 다양한 운전 조건(부하, 회전속도, 연료량등)과 시험모드에서 주요 배출가스(CO, NO_x, HC, PM등)들의 배출특성을 분석기를 통해 확인하고 평가하는 연구를 수행하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

본 연구에서는 흡기유량 변화에 따른 디젤엔진에서의 배출가스 특성을 분석하기 위하여 직경이 다른 2종류의 흡기 공급라인을 적용하였으며 A타입(직경:85 mm)은 작은 직경을 B타입(직경:105 mm)은 큰 직경의 공급라인을 장착하여 유량을 조절하도록 하였다. 시험엔진은 현재 버스에 사용되고 있는 6.0L급 커먼레일 상용디젤 엔진을 사용하였고 후처리장치로는 DPF(Diesel Particulate Filter)를 장착하여 시험하였으며 자세한 제원은 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Specification of test engine

Item	Specification
Engine type	D6GA
Displacement	5,899 cc
Max. Power	260 ps/2500 rpm
Max. torque	95 kg-m/1400 rpm
Idle speed	600±25 rpm

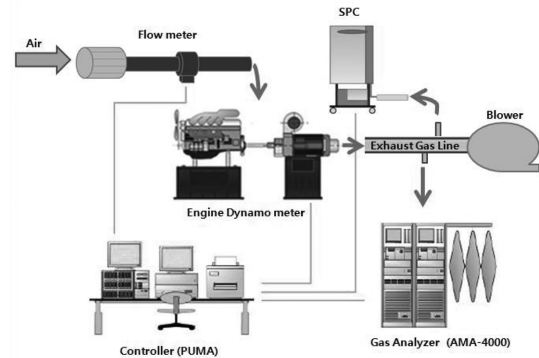


Fig. 1 Experimental apparatus

Table 2 Specification of emission analyzer

Item	Specification
Type	<ul style="list-style-type: none"> • FID 4000 (THC, CH₄) • CLD 4000 (NO, NO_x) • IRD 4000 (CO, CO₂) • PMD 4000 (O₂)
Sample Gas Temp.	4°C±0.5°C
Ambient Inlet pressure	±300 hPa
Ambient Temp.	5~4°C
Ambient Humidity	5-80%

또한, 440 kW급 엔진동력계 및 컨트롤러(PUMA, AVL) 적용하여 엔진부하등의 변수를 조절하였으며 해당모드로 주행하는 동안 배출된 가스는 배출가스 분석기(AMA-4000, AVL)를 통하여 일산화탄소(CO), 질소산화물(NO_x), 탄화수소(HC) 등의 배출가스 특성을 분석하였다. 입자상물질(PM)의 경우에는 SPC 장비를 통하여 측정하고 분석하였고 분석장비에 대한 상세제원은 Table 2와 같다.

2.3 실험방법

다양한 운전조건에서 흡기유량 변화에 따른 디젤엔진의 배출가스 특성을 분석하기 위해 현재 대기환경보전법상의 환경인증 시험모드인 ND-13모드와 ETC(Euro-pean Transient Cycle) 모드로 시험을 진행하였다. ND-13모드는 13종류의 부하 및 회전속도에 따라 배출가스를 분석하며 ETC모드는 실도로 조건과 유사하게 모사할 수 있도록 동력계에서 Fig. 2와 같은 주기로 운전하였다. 2종류의 흡입공기량의 변화를 주기 위하여 각 타

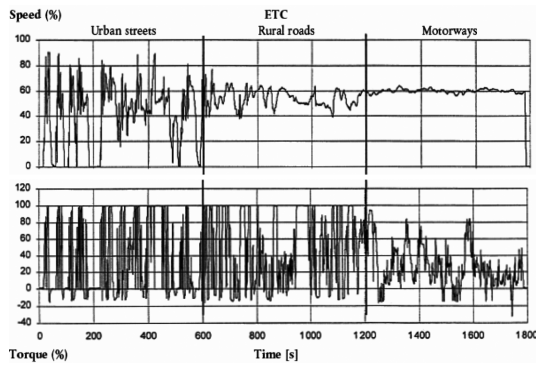


Fig. 2 ETC mode

Table 3 ND-13 mode

운전 모드	원동기 회전 수	부하율 (%)	가중계 수	운전시간 (분)
1	아이들링	-	0.15	4
2	회전수 A	100	0.08	2
3	회전수 B	50	0.10	2
4	회전수 B	75	0.10	2
5	회전수 A	50	0.05	2
6	회전수 A	75	0.05	2
7	회전수 A	25	0.05	2
8	회전수 B	100	0.09	2
9	회전수 B	25	0.10	2
10	회전수 C	100	0.08	2
11	회전수 C	25	0.05	2
12	회전수 C	75	0.05	2
13	회전수 C	50	0.05	2

입별로 각 모드 별 2회씩 시험을 진행하고 그 결과를 분석하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 흡기유량 및 출력

흡기유량은 2가지 타입의 흡기관을 사용하여 유입되는 유량을 작은 타입을 A, 큰타입을 B로하여 시험을 진행하였으며 시험모드별 유량 측정결과는 Fig. 3과 같다. 1모드 부터 13모드까지 거의 비슷한 수준으로 직경이 큰 B타입

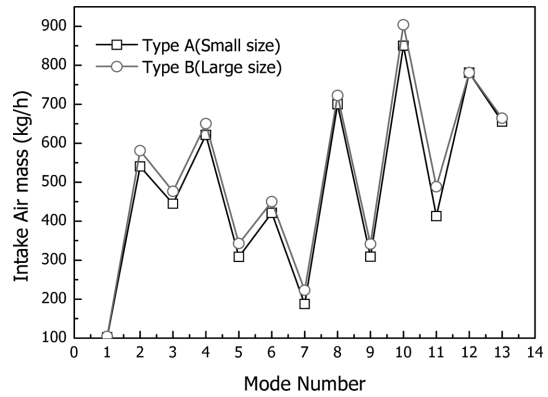


Fig. 3 Effect on the intake air mass of 2-type air supply system according to the ND-13 mode

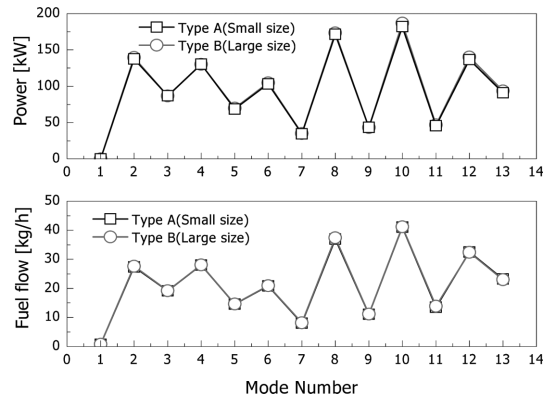


Fig. 4 Effect on the power and fuel flow of 2-type air supply system according to the ND-13 mode

이 흡기유량이 크며 그 차이도 유사한 것을 알 수 있다. 흡기유량에 따른 배출가스 특성을 보기 위해 출력과 연료유량도 확인하였다. Fig. 4는 각 모드별 흡기유량에 따른 출력과 연료유량 결과를 비교한 그래프이다. 그림에서 보는 것처럼 보다 정확한 흡기유량변화에 따른 배출가스 특성을 확인가능하도록 출력과 연료유량은 변화가 거의 없는 것을 확인하였다.

3.2 배출가스 특성

각 모드별 배출가스 분석기를 통해 일산화탄소, 질소산화물, 탄화수소, 입자상물질을 분석하였으며 Fig. 5는 질소산화물과 탄화수소 배출가스 결과값을 보여주고 있다. 전체적으로 흡기유량이 큰 B타입의 경우 질소산화물과 탄화수소의 배출량이 높게 나타나는 것을 알 수 있다. 또한, 2모드와 10모드에서 배출가스 값이 크게 증가하는 패턴을 보여주고 있는데 이는 해당 모드에서 부

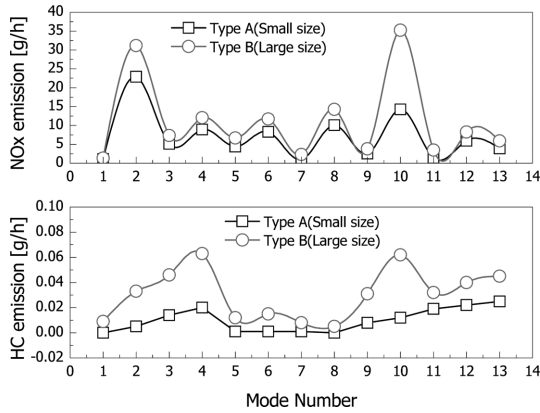


Fig. 5 Effect on NOx and HC emissions of 2-type air supply system according to the ND-13 mode

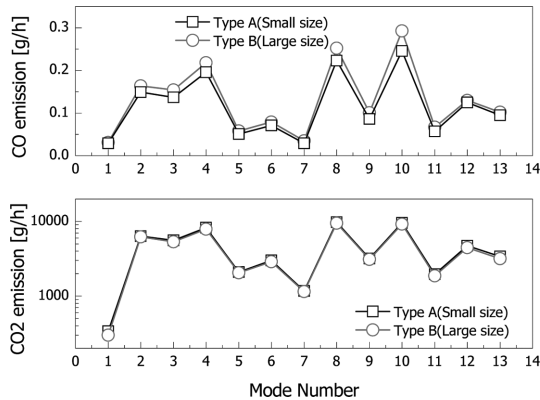


Fig. 6 Effect on CO and CO₂ emissions of 2-type air supply system according to the ND-13 mode

하량 및 연료유량이 가장 큰 구간으로 연소가 활발히 일어나 질소산화물이 급격히 증가한 것으로 판단된다. 아울러, 탄화수소의 경우에는 배출량이 미량으로 증가하는 패턴을 보여주고 있으나 이에 대해서는 후처리장치인 DPF영향과 ND-13모드의 부하조건등의 영향으로 시험간 편차로 생각된다.

각 모드별 일산화탄소 및 이산화탄소 분석결과는 Fig 6과 같이 나타났다. 일산화탄소의 경우에는 흡기유량이 큰 B타입의 경우에 약간 증가하는 것으로 나타났으며 이산화탄소의 경우에는 배출량이 상대적으로 다른 배출가스 보다 커서 흡기유량에 따른 차이가 거의 없는 것으로 나타났다.

3.3 측정모드별 배출가스

Fig. 7은 ND-13모드와 ETC모드에서 흡기유량에 따른

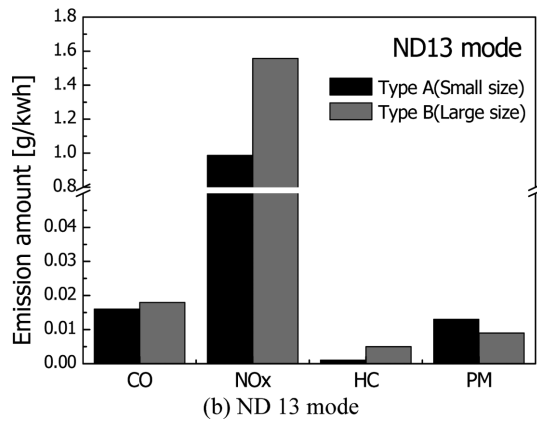
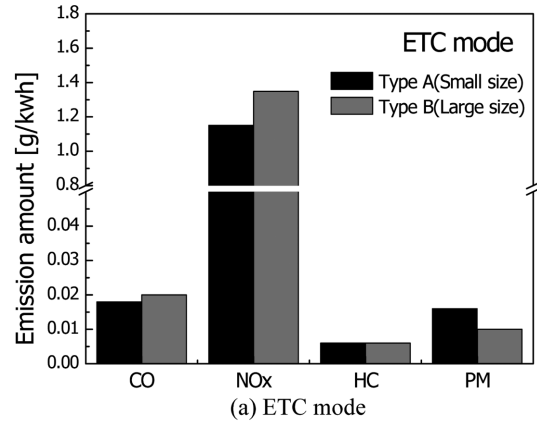


Fig. 7 Effect on exhaust emissions of 2-type air supply system according to the test modes

출력대비 배출가스 결과를 보여주고 있다. ND-13모드와 ETC모드에서의 배출가스 결과값은 흡기유량이 큰 B타입의 경우가 일산화탄소, 질소산화물, 탄화수소의 배출량이 더 많은 것을 알 수 있으며 특히 질소산화물의 차이가 큰 것을 알 수 있는데 이는 흡입되는 공기량이 많을수록 연소온도를 증가시켜 질소산화물의 생성을 증가시키는 것으로 판단된다. 반면에 입자상물질의 경우에는 유량이 적은 A타입의 경우 0.013 g/kWh, 흡기유량이 큰 B타입의 경우 0.009 g/kWh의 배출결과값이 나타났는데 이는 질소산화물과 입자상물질의 상관관계에 따라 해당 결과를 보이는 것으로 판단된다.

결론

출력과 연료유량의 변화 없이 흡기유량만을 변화시켜

인증시험모드인 ND-13 모드와 ETC 모드에서 시험하였으며 결론은 다음과 같다.

1. 13개의 다양한 부하 및 회전속도에서 높은 흡기유량의 질소산화물과 탄화수소가 전체적으로 증가하였으며 부하가 클 수록 그 차이는 증가하였다.
2. 높은 흡기유량은 일산화탄소는 약간 증가하나 이산화탄소의 경우에는 큰 차이를 보이지 않았다.
3. ND-13모드와 ETC모드에서는 배출가스 경향은 유사하게 나타났으며 높은 흡기유량은 질소산화물과 탄화수소의 배출을 증가시키나 입자상물질은 감소하였다.

참고문헌

- (1) D. C. Carslaw, S. D. Beevers, J. E. Tate, E. J. Westmoreland, M. L. Williams, "Recent evidence concerning higher NOx emissions from passenger cars and light duty vehicles", *Atmospheric Environment*, Vol. 45, 2011, pp. 7053~7063.
- (2) C. Berggren, T. Magnusson, "Reducing automotive emissions-The potentials of combustion engine technologies and the power of policy", *Energy Policy*, Vol. 41, 2012, pp. 636~643.
- (3) G. J. M. Velders, G. P. Geilenkirchen, R. Lange, "Higher than expected NOx emission from trucks may affect attainability of NO2 limit values in the Netherlands" *Atmospheric Environment*, Vol. 45, 2011, pp. 3025~3033.
- (4) J. Liwei, S. Meiqing, W. Jun, W. Jiaming, C. Xia, G. Weiwei, "Durability of three-way and close-coupled catalysts for Euro IV regulation", *Journal of Rare earths*, Vol. 26, No. 6, 2008, pp. 827~830.
- (5) D. S. Sua, R. E. Jentoft, J.-O. Müller, D. Rothe, E. Jacob, C. D. Simpson, Ž. Tomovic, K. Müllen, A. Messerer, U. Pöschl, R. Niessner, R. Schlögl, "Microstructure and oxidation behaviour of Euro IV diesel engine soot: a comparative study with synthetic model soot substances", *Catalysis Today*, Vol. 90, 2004, pp. 127~132.
- (6) H. Kim, B. Choi, "The effect of biodiesel and bioethanol blended diesel fuel on nanoparticles and exhaust emissions from CRDI diesel engine", *Renewable Energy*, Vol. 35, 2010, pp. 157~163.
- (7) C. D. Rakopoulos, K. A. Antonopoulos, D. C. Rakopoulos, D. T. Hountalas, E. G. Giakoumis, "Comparative performance and emissions study of a direct injection Diesel engine using blends of Diesel fuel with vegetable oils or bio-diesels of various origins", *Energy Conversion and Management*, Vol. 47, 2006, pp. 3272~3287.
- (8) L. Younga, Y. Lioua, M. Cheng, J. Lu, H. Yang, Y. I. Tsai, L. Wang, C. Chen, J. Lai, "Effects of biodiesel, engine load and diesel particulate filter on nonvolatile particle number size distributions in heavy-duty diesel engine exhaust", *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 199-200, 2012, pp. 282~289.
- (9) A. Mamakos, G. Martini, U. Manfredi, "Assessment of the legislated particle number measurement procedure for a Euro 5 and a Euro 6 compliant diesel passenger cars under regulated and unregulated conditions", *Journal of Aerosol Science*, Vol. 55, 2013, pp. 31~47.