

다양한 주행모드에 따른 천연가스(CNG) 및 경유 사용 대형자동차의 배출가스 특성에 관한 연구

김형준[†] · 엄명도 · 김정수
국립환경과학원 교통환경연구소

An Investigation on the Emission Characteristics of Heavy-duty Vehicles using CNG and Diesel Fuel According to the Various Driving Cycles

HYUNGJUN KIM[†], MYUNGDO EOM, JEONGSOO KIM

Transportation Pollution Research Center, National Institute of Environmental Research, Environmental Research Complex, Kyongseo-dong, Seo-gu, Incheon 404-708, Korea

Abstract >> The contribution levels of emissions from the heavy-duty vehicles have been continuously increased. Among the exhaust emissions, NOx (nitric oxides) have a ratio of 73.2% and particle matters have a proportion of 61.8% in the heavy-duty vehicles. Also, natural gas vehicles have the 78.9% of total registered local buses in Korea. Therefore, the investigation on emission characteristics of heavy-duty vehicles using CNG and diesel fuel according to the various driving cycles was carried out in this study. In order to analyze the emission characteristics, the five kinds of buses by using CNG and diesel fuels with a after-treatment devices (DPF, p-DPF) was used and five test driving schedules were applied for analysis of emission characteristics in a chassis dynamometer. To analyze the exhaust emission, the exhaust emission and PM analyzers were used. From this study, it is revealed that diesel buses with after-treatment had reduced emission of CO, HC, PM but NOx. Also, NMHC emission of CNG bus have a higher level and NOx level was similar with diesel buses. In addition, emissions in NIER06 with slow average speed shows lowest levels compared to other test modes.

Key words : CNG(압축천연가스), Diesel fuel(경유연료), Heavy-duty vehicle(대형차), Emission characteristics(배출특성), Driving cycle(주행모드)

Nomenclature

ETC : European Transient Cycle

NIER06,11,13 : National Institute of Environmental Research 06,11,13 mode

NMHC: Non Methane Hydrogen Carbon

THC : Total Hydrogen Carbon

UDDS : Urban Dynamometer Driving Schedule

1. 서 론

국내의 자동차의 보유대수는 1965년에 4만여대에 불과하였으나, 1997년 1천만대를 넘어섰고 2009년에는 1733만대로 증가하였다. 이중 경유차 보유대수는 6,284,554대로 36%를 차지하고 있다. 따라서 그동안

[†]Corresponding author : eomdo@korea.kr

[접수일 : 2012.11.30 수정일 : 2012.12.28 게재확정일 : 2012.12.31]

Copyright © 2012 KHNES

자동차 배출가스로 인한 대기오염을 줄이기 위하여 저공해차량 개발·지원, 제작 및 운행자동차 배출허용기준 강화, 배출가스 정기검사와 수시점검 강화 및 후처리장치 장착 유도 등 여러 방안들이 강구되어 왔다¹⁾.

서울의 대기오염도가 선진국의 주요 도시에 비해 미세먼지(PM10)는 1.7~3.5배, 이산화질소(NO2)는 1.2~1.7배나 높은 수준으로 OECD국가에서 제일 높다는 지적이 알려지면서 수도권의 대기환경개선에 관한 특단의 조치가 필요하다는 공감대가 형성되어 2003년 12월에 수도권대기환경개선에 관한 특별법이 제정되었고 2005년 1월부터 시행되었다. 특별법의 주요 목표는 현재의 수도권 대기중 미세먼지와 이산화질소 농도를 목표년도인 2014년에 미세먼지 $40\mu\text{g}/\text{m}^3$, 이산화질소 22ppm을 달성하여 맑은 날 남산에서 인천 앞바다가 보일 정도의 시정을 확보한다는 것이었다. 이와 같은 목표를 달성하기 위하여 가장 중요한 대책중의 하나는 자동차를 포함한 이동오염원에 의한 미세먼지 및 이산화질소의 저감대책이었다. 제작자동차에 있어서는 단계적으로 선진국 수준의 배출허용기준을 강화하였고, 천연가스 자동차 보급은 물론 운행자동차에 있어서도 미세먼지를 줄이는 방안이 추진되었다.

2004년부터 수도권대기환경개선 특별대책의 일환으로 정부 예산이 편성되어 저감장치의 부착이 점차 확대되어 갔다. 운행차 배출가스 저감장치는 입자상물질 저감효율에 따라 제1종 배출가스 저감장치(DPF), 제2종 배출가스 저감장치(p-DPF) 및 제3종 배출가스 저감장치(DOC)장치로 구분하고 있으며 LPG개조에 의한 저공해엔진이 인증을 받아 보급하기에 이르렀다.

2009년말 현재 저감장치의 보급대수는 약 49만 9천대이며, 이 중 대형자동차에 부착한 저감장치가 약 12만6천대이며 전체 저감장치 26종, LPG 개조장치 24종이 인증을 받아 사용중에 있다. 2009년부터 배출가스 저감장치 13종, LPG 개조장치 10종 등 23종에 대해 수시검사를 실시하여 결함여부 등도 수행하고 있다. 건설기계 등 비도로부분의 장비에 있어서도

정기적으로 배출량을 산출하여 왔지만 운행장비의 검사관리나 저감장치 부착방안 등은 그동안 이루어지지 않았다. 또한, 천연가스 및 수소연료를 이용한 대형차에 대한 연구^{2,4)}도 활발히 진행되고 있으며 향후 인프라 구축에 대한 논의도 활성화 되고 있다.

본 연구에서는 운행대형차의 배출가스 관리에 있어서 대형자동차 및 비도로이동오염원(건설기계 및 농기계)은 사후관리 측면에서 아직도 사각지대에 있다고 볼 수 있다. 특히 비도로이동오염원의 다양한 사용조건에서 저감기술 적용에 대한 장·단점을 파악하고, 후처리기술과 엔진 및 장비교체에 따른 저감방법 등 가능한 저감대책⁵⁾이 마련되어야 할 것이다. 따라서 운행자동차 사후관리가 미흡한 3.5톤 이상의 자동차 및 비도로용이동오염원에 대한 향후 사후관리 방향, 운행중인 노후 비도로용 자동차와 기타 대형경유 자동차에 적용할 수 있는 오염물질 저감대책 방안을 제시하고자 하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치 및 시험차종

CNG 및 경유대형차량의 배출가스 특성을 분석하기 위하여 대형차대동력계(AVL Co.)를 이용하여 각 주행모드를 입력한 대로 주행하도록 설정하였다. 또한, 배출가스 시험장치는 차대동력계, 보조운전장치(AVL), 시료채취장치(HORIBA), 입자상물질 측정장치(HORIBA) 및 배출가스 분석기 (HORIBA)등으로 구성되어 있다. 배출가스 측정은 시험자동차가 차대동력계의 롤러위에서 각 모드별로 주행할 때 배기관으로부터 배출되는 가스를 채취하여 배출가스 분석기로 분석하였다. 시험에 사용된 장치의 개략도는 Fig. 1에 나타내었다^{3,5)}.

연료별 대형차량의 배출가스 특성을 분석하기 위하여 대형버스 5종을 선정하였으며 국내에서 운행중인 유사한 배기량 및 출력을 가지는 경유버스 4대와 CNG버스 1대를 정하여 차대동력계에서 배출가스 시험을 실시하였다. Table 1은 선정된 5종 버스의 간

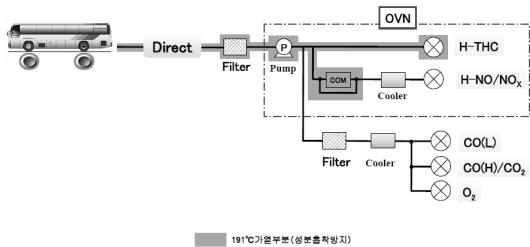


Fig. 1 Schematics of experimental setup

략한 제원을 보여주고 있다.

2.2 실험방법

주행모드별 배출가스 특성을 분석하기 위하여 총 5가지 주행모드를 선정하였다. Fig. 2에서 각각의 시험주행모드에 대한 주행스케줄에 대하여 나타내었다. 국내시험모드는 시가지 (평균속도 : 18.8km/h)와 국도 (평균속도: 48.7km/h), 고속도로 (평균속도 : 79.7km/h) 주행시의 평균차속과 유사한 NIER 6, 11, 13모드를 선정하였고, 국외시험모드는 미국의 환경청(EPA)의 UDDS모드와 유럽의 ETC모드를 적용하였다. 표2에서는 주행모드별 주행시간, 주행거리, 평균차속 및 최대속도에 대한 상세한 내용을 나타내었다. 총 주행거리는 ETC모드가 가장 길었으며 최대 및 평균속도는 NIER12모드가 가장 높은 것으로 나타났다. 주행시간은 NIER06모드에 비해 ETC모드가 2배이상 긴 것으로 나타났다. 또한, 저감장치별 배출가스 특성도 분석하기 위하여 경유대형버스 4종의 경우에는 저감장치를 탈거 및 장착한 2가지의 경우에 대하여 주행모드별 배출가스 특성도 분석하였다.

Table 1 Specification of test vehicles

Test vehicle	Model year	Displacement (cc)	Max power (ps/rpm)	Catalyst
Diesel #1	2005	12,344	380/1,900	DPF
Diesel #2	2004	12,920	380/1,900	DPF
Diesel #3	1997	11,051	300/2,200	DPF
Diesel #4	2008	12,344	380/1,900	PDPF
CNG	2010	11,149	340/2,000	DOC

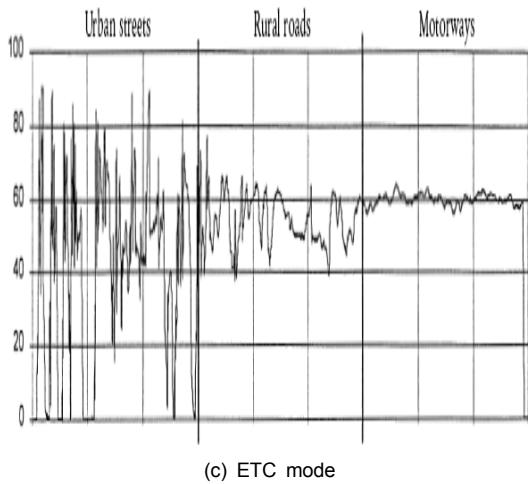
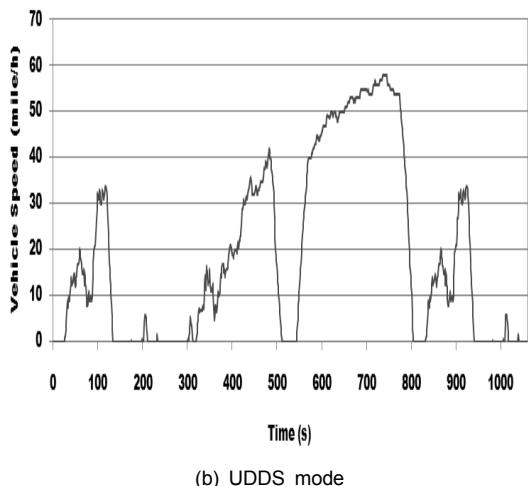
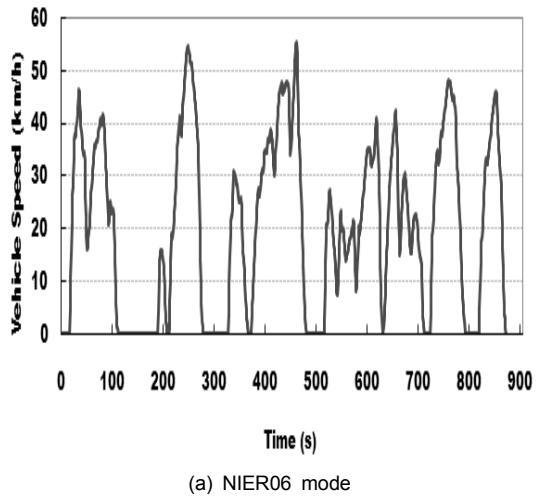


Fig. 2 Driving Schedule in test modes

Table 2 Test modes

Test mode	Driving time (s)	Distance (km)	Ave. Speed (km/h)	Max. speed (km/h)
NIER06	872	4.89	20.2	55.2
NIER11	919	13.92	54.5	84.2
NIER12	925	20.65	80.4	113.4
UDDS	1060	8.90	30.4	93.3
ETC	1,800	29.48	58.96	91.1

3. 실험결과 및 고찰

3.1 연료 및 주행모드별 배출가스 특성

Fig. 3은 주행모드별 CNG 및 경유버스의 배출가스 시험결과를 THC, NMHC, CO, NOx 및 CO₂에 대한 결과를 보여주고 있다.

NOx와 CO₂의 경우에는 CNG 및 경유버스가 모드에 따른 차이만 있을뿐 연료에 따른 경향성을 보이지 않는 것으로 나타났다. CO의 경우에는 모든 주행모드에서 경유버스에서 상당히 많은 양이 배출되나 CNG버스의 경우에는 거의 배출되지 않는 것으로 나타났다. 이와는 반대로 CNG버스의 경우에 THC

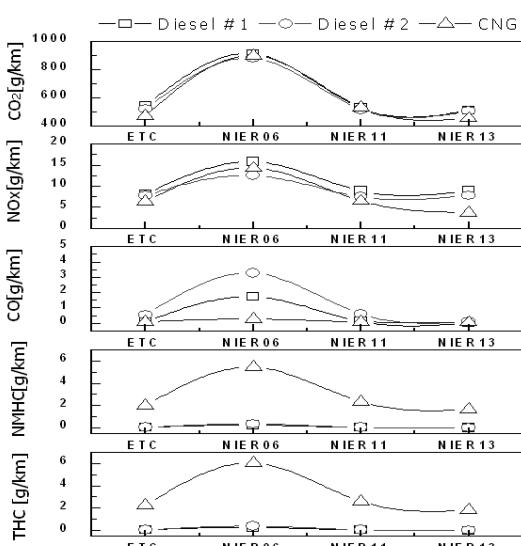


Fig. 3 Exhaust emission characteristics of heavy-duty buses by using diesel and CNG fuels according to various test modes

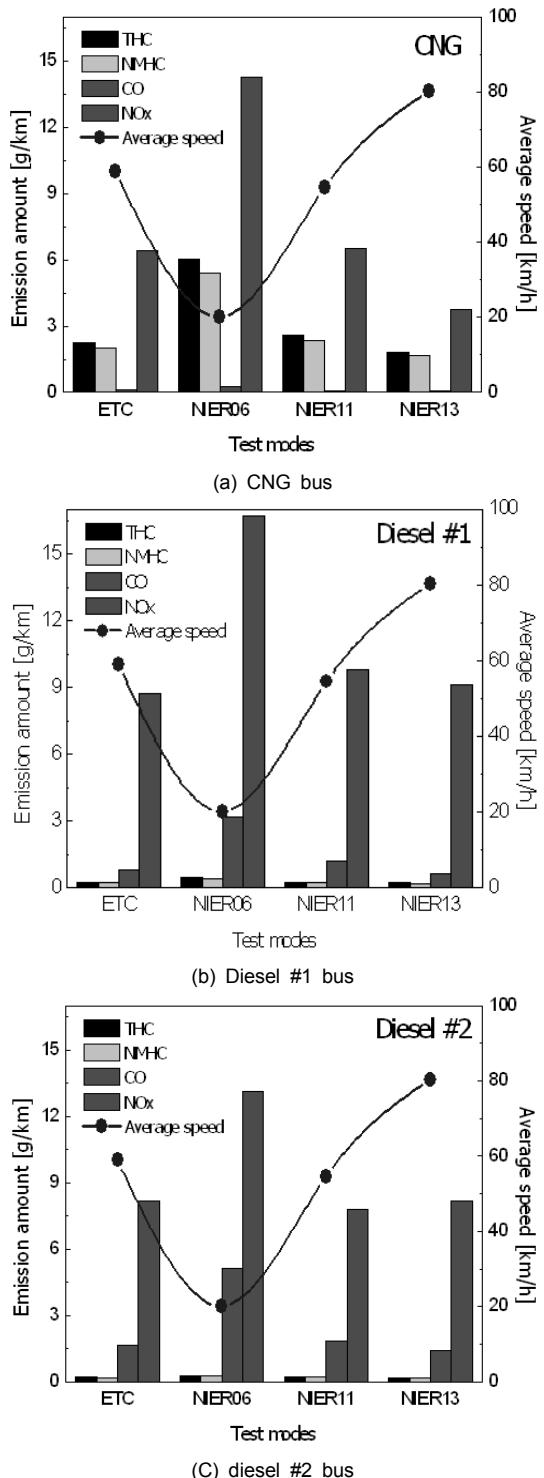


Fig. 4 Comparison between average speed of test modes and exhaust emission characteristics of heavy-duty buses by using diesel and CNG fuels

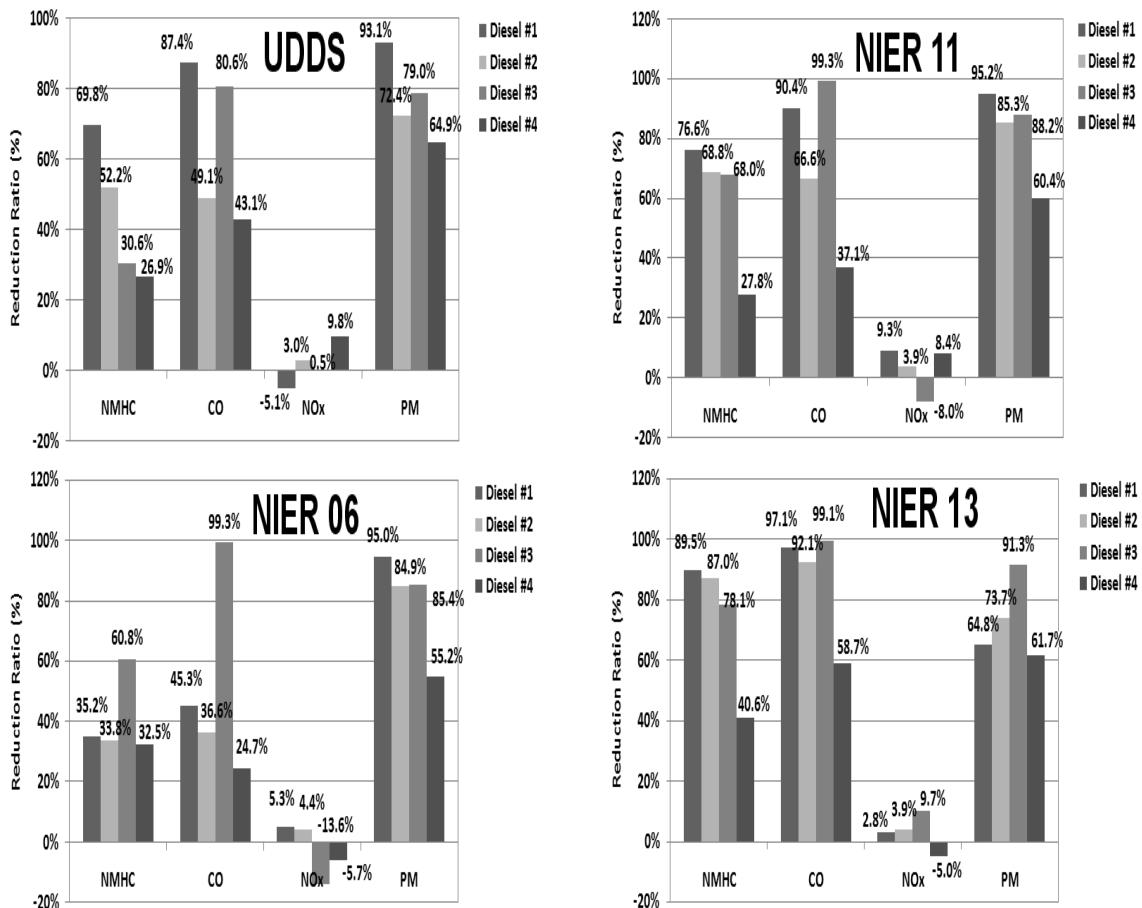


Fig. 5 Comparison between reduction rate of exhaust emission in diesel bus with and without after-treatment equipment according to various test modes

및 NMHC의 배출량이 경유버스보다 훨씬 높은 것을 볼 수 있다.

주행모드별 평균차속에 따른 연료별 배출가스 특성에 관하여 Fig. 4에 결과를 나타내었다. 연료와 상관없이 평균차속이 가장 낮은 NIER-6 모드의 경우에는 모든 결과에서 가장 높은 수준의 배출량을 보여주고 있다. CNG버스의 경우에는 평균차속이 빠를 수록 배출량이 감소하는 패턴을 보여주고 있으나 경유버스의 배출가스 결과에서는 NIER-6모드를 제외하고는 평균차속이 증가하더라도 배출가스의 저감량이 약간 낮거나 유사한 것으로 나타났다.

3.2 저감장치에 따른 배출가스 저감율

Fig. 5는 저감장치에 따른 주행모드별 배출가스 저감율을 나타내고 있다. 각 모드별로 시험차량들의 매연저감장치 성능을 비교하였다. 저감장치 부착으로 인한 CO 및 HC, PM 저감율은 대체적으로 높은 편이지만 p-DPF의 경우는 저감효율이 DPF에 못미치는 것으로 나타났다. 또한, NOx의 저감율은 다소 저감되거나 5% 내의 증가율을 보이며 큰 변화를 보이지 않았으나, 차량에 따라 8~13%까지 증가한 모드도 있었다. 이는 시험간 편차에 따른 것으로 DPF의 경우에는 NOx에 중감에 전혀 영향이 없는 것으로 판단된다.

4. 결 론

다양한 주행모드에서 CNG 및 경유대형버스의 배출가스를 차대동력계에서 주행하여 분석하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) CO의 경우에는 모든 주행모드에서 경유버스가 CNG버스의 보다 높은 배출량을 보였으나 CNG 버스의 경우에 THC 및 NMHC의 배출량이 경유 버스보다 훨씬 높았다.
- 2) 연료와 상관없이 평균차속이 가장 낮은 NIER-6 모드의 경우에는 모든 결과에서 가장 높은 수준의 배출량을 보여주었다. CNG버스의 경우에는 평균차속이 빠를수록 배출량이 감소하는 패턴을 보였다.
- 3) 저감장치 부착시 CO 및 HC, PM 저감율은 대체적으로 높았으나 NOx의 저감율은 다소 저감되거나 5% 내의 증가율을 보였다. 이는 시험간 편차에 따른 것으로 DPF의 경우에는 NOx에 증감에 전혀 영향이 없는 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 국립환경과학원 자체 연구사업으로 수행한 연구결과임을 밝혀드립니다.

참 고 문 헌

1. S. W. Hwang, H. J. LEE, K. S. Kim, H. S. Nah, J. H. Kim, "A Study on the Infrastructure of All-electrin Houses in the Viewpoint of Hydrogen Economy", Trans. of the Korean Hydrogen and New Energy Society, Vol. 23, No. 1, 2012, pp. 100-109.
2. J. O. Han, "A Technology Deveopment of HCNG Refueling Station for City Bus Application", Trans. of the Korean Hydrogen and New Energy Society, 2012, pp. 75.
3. K. J. Lee, J. G. Lee, B. H. Ahn, Y. R. Kim, J. T. Lee, "The Estimation of Usefulness by Type of Semi-compression Ignition with Hydrogen-air Pre-mixture", Trans. of the Korean Hydrogen and New Energy Society, 2012, pp. 173.
4. K. H. Kim, J. H. Oh, S. W. Kim, "Study of Power Cycle Using LNG Cold Energy", Trans. of the Korean Hydrogen and New Energy Society, 2012, pp. 304.
5. K. J. Lee, J. T. Lee, G. J. Yong, "The Analysis of Emergency Response Guide for Hydrogen Fuel Cell Vehicle", Trans. of the Korean Hydrogen and New Energy Society, Vol. 23, No. 2, 2012, p. 156.