

# CRDI시스템을 갖는 천연가스/디젤 혼소차량의 개발에 대한 연구

이 상 민<sup>1)</sup> · 임 옥 택<sup>\*2)</sup>

울산대학교 자동차선박기술대학원<sup>1)</sup> · 울산대학교 기계자동차공학부<sup>2)</sup>

## Research of Natural Gas/Diesel Dual Fuel Vehicle

Sangmin Lee<sup>1)</sup> · Ocktaeck Lim<sup>\*2)</sup>

<sup>1)</sup>Institute of e-Vehicle Technology, University of Ulsan, Ulsan 680-749, Korea

<sup>2)</sup>Department of Mechanical Engineering, University of Ulsan, Ulsan 680-749, Korea

(Received 21 June 2011 / Revised 22 August 2011 / Accepted 10 April 2012)

**Abstract** : This research is about the exhaust gas and driving performance test which are for CNG-Diesel dual fuel engine. The CNG-Diesel dual fuel engine converted from 2500cc diesel has two steps of injection systems; small amount of diesel is injected to mixture CNG in cylinder to ignite before CNG is injected into each intake manifold to form mixture. The amounts of output power and emission in dual fuel consumption were measured by engine dynamometer and exhaust gas analyzer. Over 90% of diesel consumption reduction, similar driving performance to current diesel engine and reduced emission on CO<sub>2</sub> and PM, respectively, were indicated through the measurements. The two steps of system were applied to vehicle to investigate exhaust gas characteristics and driving performance via NEDC mode and real driving test. Additional oxidation catalyst was applied to reduce emission on the test vehicle and the NEDC mode test showed the reduction of Co, CO<sub>2</sub>, Pm and THC.

**Key words** : Diesel engine(디젤 기관), Dual fuel(혼소), Natural gas(천연가스), Emission(배출가스), Engine performance(엔진 성능)

### Nomenclature

APS : acceleration position sensor  
CNG : compressed natural gas  
CRDI : common rail direct injection  
ECU : electronic control unit  
EGR : exhaust gas recirculation  
ETC : electronic throttle control  
MPI : multi point injection  
NEDC : new european driving cycle  
NMHC : non methane hydrocarbons  
RPM : revolution per minute  
TDC : top dead center

ULEV : ultra low emission vehicle  
SULEV : super ultra low emission vehicle

### 1. 서론

환경오염과 지구 온난화로 인하여 자동차가 내뿜는 배출가스에 대해 엄격해지는 규제와 높아져가는 원유 가격으로 인하여 대체연료를 이용한 친환경 자동차에 대한 연구의 필요성이 나날이 높아져가는 가운데 세계적으로 광범위하게 분포하며 매장량이 풍부하고 가격이 저렴한 천연가스 연료에 대한 관심이 늘어나고 있다.

천연가스 연료는 단위중량당 발열량이 많고, 연소시 이산화탄소의 배출량이 적으며, 황 함유량이 적어 석유계 연료보다 상대적으로 청정 연료이므로

\*Corresponding author, E-mail: otlim@ulsan.ac.kr

천연가스 엔진을 차량에 적용 할 경우 기존의 석유계 연료를 쉽게 대체하면서 배출가스를 줄일 수 있는 장점이 있다. 실제로 외국의 사례들<sup>1)</sup>에서 천연가스 전소엔진의 경우 대체로 ULEV를 만족하고 있으며, 소형(Light-Duty)의 경우 SLUV까지도 만족할 수 있는 것을 볼 수 있다.

천연가스 연료를 사용하는 엔진은 크게 두 종류로 천연가스만을 연료로 사용하고 Spark Plug를 이용해 점화하는 전소방식과 천연가스와 경유를 모두 사용하며 경유의 파일릿 분사를 이용하여 점화하는 혼소방식이 있다. 현재 국내에서는 시내버스와 청소차를 위주로 전소방식의 천연가스 차량이 보급되고 있으며, 2008년부터 한국가스공사 주체로 LNG 화물차 전환사업을 통하여 화물자동차의 혼소개조 사업이 진행중이다.

혼소엔진의 장점으로는 기존 디젤엔진에 천연가스 연료장치를 추가하는 수준에서 비교적 간단하게 개조 가능하며, 천연가스 충전시설이 없을시 디젤 연료만으로 주행가능하고, 기존 디젤엔진과 동등 수준의 출력 성능을 확보할 수 있으며, 디젤엔진에 비해 PM 및 CO<sub>2</sub> 배출량이 적다는 점 등이 있다.<sup>2)</sup>

본 연구에서는 선행 연구결과인 엔진다이나모 실험을 통하여 개조된 엔진을 차량에 장착하였고,

CNG 연료장치를 추가하여 혼소차량을 제작하였다.

개조된 CNG/Diesel 혼소차량으로 주행시험과 NEDC 모드 시험 등을 실시하여 배출가스, 연비, 운전특성 등을 시험 평가하고 혼소차량의 기본적인 특성을 알아보하고자 하였다.

## 2. 엔진실험 결과<sup>3)</sup>

엔진 실험결과는 선행 연구 결과인 엔진실험에 대해서 간단히 정리하고자 한다.<sup>3)</sup> 엔진실험장치는 Fig. 1과 같으며, CNG/Diesel 혼소 엔진, Diesel 및 CNG 연료시스템, 엔진다이나모미터, 배기가스 분석계, 스모크미터 등으로 구성하였다.

실험 대상엔진은 EURO-4 규제의 배출가스를 만족하도록 제작된 4기통 2500cc급의 CRDI 엔진이다.

디젤모드 시험시에는 기존 디젤 ECU를 이용하여 기존 디젤 엔진과 동일한 상태로 시험하였으며, 혼소모드시에는 기존 ECU의 디젤인젝터 구동신호를 터미코일을 이용하여 흡수하였고 따로 제작한 ECU를 이용하여 디젤인젝터 및 가스인젝터를 구동하였다. 혼소모드시의 디젤 파일릿 분사를 위해 기존 디젤연료장치를 그대로 사용하였고, 흡기매니폴드에 각 실린더마다 하나의 가스인젝터를 사용하여 CNG를 분사하도록 구성하였다.

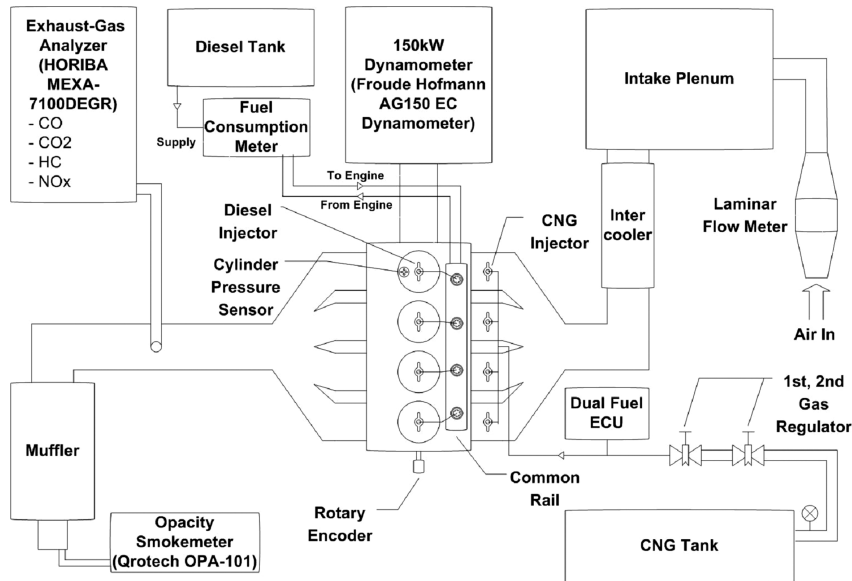


Fig. 1 Schematic diagram of experimental equipment

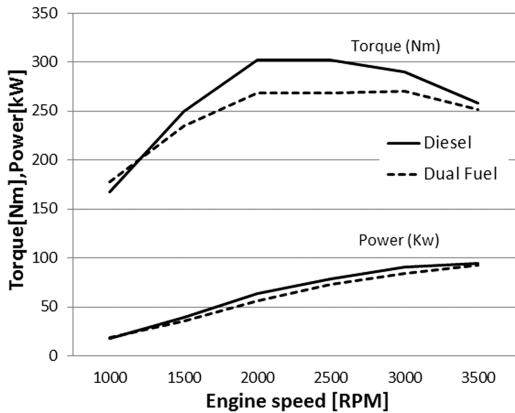


Fig. 2 Comparison of power & torque at full load condition

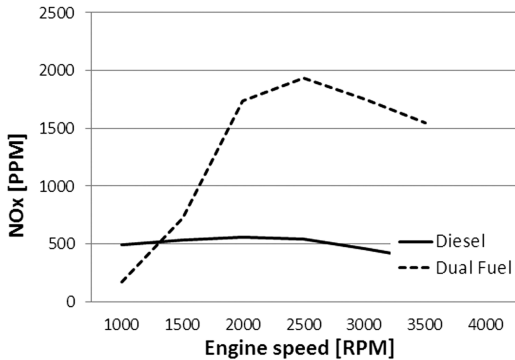


Fig. 3 Comparison of NOx emission at full load condition

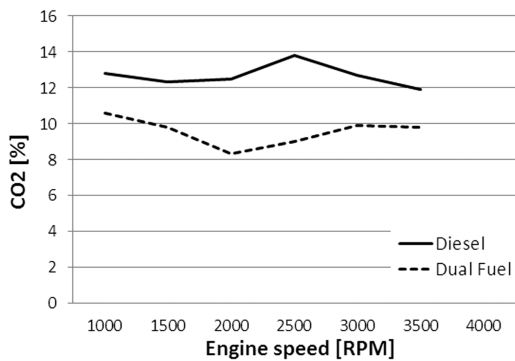


Fig. 4 Comparison of CO<sub>2</sub> emission at full load condition

엔진 시험 결과 Fig. 2와 같이 기존 디젤 엔진 대비 95% 이상의 출력성능을 확보하였고 Dual-Fuel 모드의 전 엔진 운전영역에 대하여 Diesel 모드 대비 평균 90% 이상의 Diesel 대체율을 확보할 수 있었다.

Dual-Fuel 엔진의 배출가스특성은 PM은 대폭 감소하였으며 CO<sub>2</sub>도 약간 감소되었으나 CO, NOx,

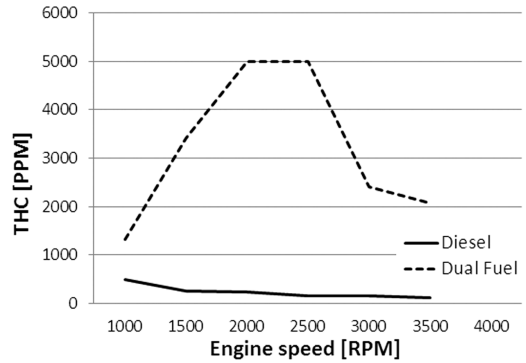


Fig. 5 Comparison of THC emission at full load condition

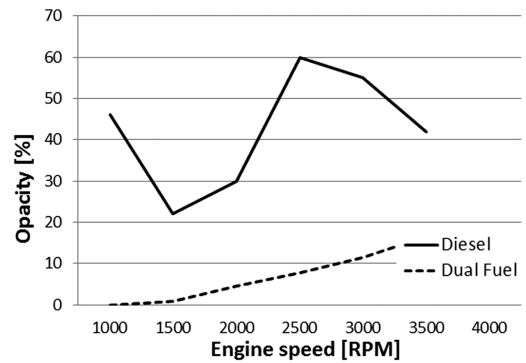


Fig. 6 Comparison of opacity at full load condition

HC는 증가되었다.<sup>3)</sup> Full load에서 CO<sub>2</sub>와 HC, NOx의 배출량은 Fig. 3~5에 나타내었다. 특히 혼소모드에서 NOx가 많이 발생한 것은 균질한 예혼합기의 연소로 인한 연소속도가 증가하였기 때문으로 생각된다. 따라서 연소실 내 온도감소와 공연비 제어, 후처리 등 배출가스 감소를 위한 여러 가지 대책이 필요하다고 판단하였다.

### 3. 혼소차량제작

엔진시험의 결과에 따라 실 차량에는 Cooled EGR과 담체의 본체가 Pt계열인 금속체의 촉매를 적용하여 배출가스 저감을 시도하였다. 또한 연료전환효율을 높이기 위하여<sup>4)</sup> 혼소모드시 APS신호를 변조하여 디젤연료레일 압력을 떨어뜨릴 수 있는 장치를 추가하였다.

시험한 엔진과 동종 엔진이 장착된 차량에 엔진 시험과 동일한 혼소시스템을 적용하였으며, 시험차량의 제원은 Table 1에 나타내었다. CNG Tank, 레귤

Table 1 CNG/Diesel Dual Fuel vehicle specification

Item	Specification
Transmission	MT(5speed)
Weight	3220kg
Engine model	D4CB
Displacement	2497cc
Max power	145ps/3800rpm
Max torque	33/2000rpm
CNG Tank	Type-4, 71L
Regulator	Max flow 60kg/hr Regulating pressure 5~8bar
Injector	410SLPM at 7bar

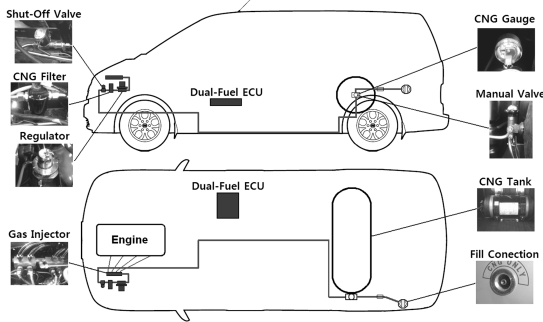


Fig. 7 CNG/Diesel Dual Fuel vehicle layout

레이터, 솔레노이드밸브 등 일부 부품은 차량용으로 교체하였다. 차량에 장착한 부품의 위치는 Fig. 7에 나타내었다.

ECU와 맵핑 프로그램 등 제어시스템은 엔진시험과 동일하게 하였고, 실제 차량에서 필요한 각종 보정모드 등은 추가하여 맵핑하였다.

실제 차량에서는 엔진시험과는 다르게 엔진회전수 및 부하가 계속 변화하므로 여러 가지 과도 구간에서의 제어가 필요하며 각종 보정 모드를 이용하여 보완하였다.

#### 4. 차량시험 결과

##### 4.1 NEDC모드 시험

차대동력계를 이용하여 개조차량을 NEDC모드로 시험 하였으며 시험 사이클은 Fig. 9에 나타내었다. 혼소차량의 특성상 냉각수온이 일정 온도 이상 올라가지 않으면 혼소모드로의 전환이 불가능하기 때문에 혼소모드 시험은 열간모드로 수행하였으며, 디젤시험은 냉간모드로 수행하였다.

또한 혼소모드 시험시 문제로 대두된 HC와 CO를 줄이기 위하여 삼원촉매를 사용하였으며 배출가스의 측정 결과는 Fig. 8에 나타내었다.

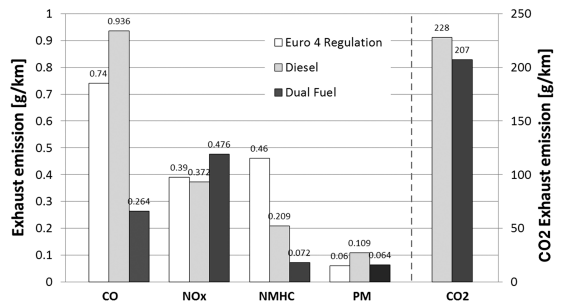


Fig. 8 Comparison of NEDC mode emission test results

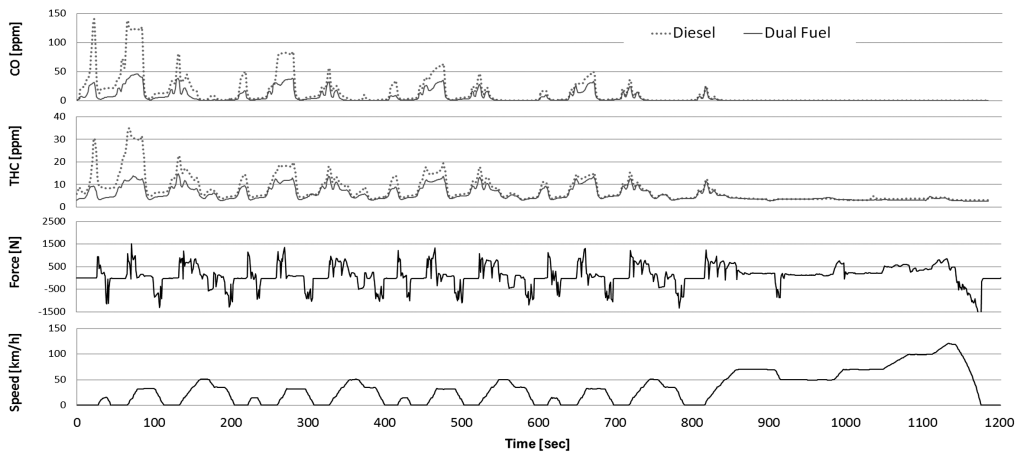


Fig. 9 NEDC mode test cycle

Fig. 8의 그래프에 CO, NOx, NMHC, PM, CO<sub>2</sub>의 측정결과를 각각 나타내었으며 흰색으로 표시된 막대는 N1, Class 3의 EURO-4 규제치이다. 디젤모드에 비해 혼소모드에서 CO는 0.67g, NMHC는 0.14g 감소하였으나 이는 촉매에 의한 결과로 생각된다. CO<sub>2</sub>는 21g이 감소하였으며 이는 천연가스의 저탄소특성으로 인한 것으로 볼 수 있다. PM은 0.04g 감소하였는데 이는 디젤 연료 분사량의 감소로 인하여 디젤의 확산연소량이 줄어들었기 때문으로 판단된다. NOx는 0.1g 증가하였다. 디젤모드에서 규제치에 비해 배출가스가 많이 발생한 것은 시험차량의 제작년도가 2006년으로 엔진의 노후화에 따른 것으로 생각된다.

Fig. 9의 NEDC모드 시험에서 차량속도와 CO, THC 배출량의 실시간 그래프를 나타낸 것으로 디젤모드에 비해 혼소모드에서 CO와 THC 모두 감소한 것을 알 수 있다.

이상의 NEDC모드 시험 결과로부터 NOx의 저감에 대한 대책이 필요하며 이는 분사시기의 최적화, EGR과 공연비 제어 등을 통한 NOx 저감에 대한 연구가 더 필요하다고 생각된다. 저 RPM, 저부하 영역에서는 EGR을 이용한 공연비 제어가 일부 가능하지만 실제 NOx가 많이 배출되는 고부하 영역에서는<sup>5)</sup> EGR 만을 이용하여 공연비를 맞출 수 없었으며, 또한 EGR의 반응속도가 느리기 때문에 정확하고 빠른 공연비 제어를 위해서는 ETC, 분사량 제어를 통한 공연비 제어가 필요하다고 생각된다.

### 4.2 주행성능 시험

실제 차량의 주행성능을 6개 항목으로 나누어 평가하였으며 혼소ECU 외 별도의 데이터 수집 장비를 사용하여 엔진회전수, 차량속도, 연료분사량, 연료압력, APS 등의 정보를 실시간으로 기록하였다.

Fig. 10은 혼소모드 전환을 전 후로 하여 APS의 전압 변화, 디젤연료와 가스연료 분사량등 각종 제어인자들의 변화를 개념적으로 나타낸 것이다. 디젤모드에서 혼소모드로의 전환시 기본조건으로는 전환스위치 ON, 냉각수온 60°C 이상, APS전압 0.4V 미만 등이며 APS 전압에 제한을 두는 이유는 디젤에서 혼소모드로의 전환 시 시동성의 유지를 위해 디젤모드의 디젤분사와 혼소모드의 가스분사가 중

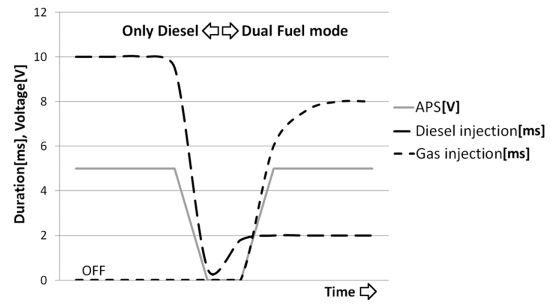


Fig. 10 Comparison of Dual-Fuel mode selection before and after

복되는 구간이 발생하기 때문으로 APS값이 높을 때 전환하게 되면 토크변동으로 울컥거림, 매연 과다 배출 등의 현상이 발생할 수 있기 때문이다.

주행성능의 평가는 발진가속, 추월가속, 등판주행, 정속주행성능, 액셀페달을 갑자기 밟았을 때 구동 토크가 갑자기 증가하는 Tip-In, 반대로 액셀페달을 갑자기 들었을 때 구동토크가 갑자기 감소하는 Tip-Out 시의 반응속도의 부분으로 나누어 평가하였으며 각각의 평가방법은 Table 2에 나타내었다.<sup>6)</sup>

Table 3은 발진가속, 추월가속, 등판주행, 정속주행, Tip-in/out의 시험 결과를 나타내며 디젤모드에 비하여 혼소모드에서 발진가속은 0.4초, 추월가속은 0.1초, 등판주행성능은 0.4초 느린 것으로 나타났다.

추월가속시보다 발진, 등판가속시 차이가 큰 것

Table 2 Driveability test item

Item	Target	Condition
Acceleration	Acceleration ability check	0~100km/h
Passing	Passing ability check	4th Gear 60~100km/h
Slope	Slope driving ability check	Slope 15% 4th Gear 0~50km/h
Fixed speed	Fixed speed stability check	4th Gear APS 50%
Tip-in	Tip-in time delay check	APS 0~100%
Tip-out	Tip-out time delay check	APS 100~0%

Table 3 Test result of drivability

Item	Diesel	Dual fuel
Acceleration (sec)	11.6	12.2
Passing (sec)	3.9	4
Slope (sec)	7.5	7.9
Fixed speed (rpm)	5	8
Tip-in (sec)	0.2	0.6
Tip-out (sec)	0.15	0.2

은 차량 발전시 Tip-in에 대한 지연시간이 길기 때문인 것으로 판단된다. 정속주행시험에서는 엔진회전수 변화량이 디젤모드시 5rpm, 혼소모드시 8rpm 변화한 것으로 나타나 혼소모드시에 비해 디젤모드시 엔진회전수가 조금 더 안정된 것으로 나타났으나, 운전자가 그 차이를 인지하기는 어려운 수준이었다.

Tip-In, Tip-Out에 대한 반응성은 Tip-In 시는 디젤 모드에서 0.2초, 혼소모드시는 0.6초의 시간지연이 발생하였으며 혼소모드시 시간지연이 큰 것은 천연가스를 매니폴드에 분사하므로 연료의 실린더 내 도달시간의 지연에 따른 것으로 판단된다. Tip-Out 시험에서는 디젤모드에서 0.15초, 혼소모드시는 0.2초의 시간지연이 발생하여 비슷한 결과를 얻었다. Tip-In 시에 비해 Tip-Out 시 지연시간의 차이가 적은 것은 Tip-Out 시는 Fuel-Cut 상태가 됨에 따라 천연가스와 디젤의 분사가 동시에 중단되면서 디젤의 분사 중단에 따라 매니폴드에 남아있던 가스가 실린더로 들어가더라도 연소되지 못하기 때문으로 판단된다.

차량 시험 시 수치상으로 나타난 결과는 디젤모드와 비슷한 성능을 나타내었으나 운전감각에 대한 차이가 있었으며 특히 Tip-In의 시간지연에 따른 차이는 분명하게 느낄 수 있었다. 또한 Tip-Out시 발생하는 미연소 가스는 MPI방식의 혼소시스템에서 배출가스 저감에 하나의 걸림돌이 될 것으로 생각되며 Tip-In/Out에 대한 문제를 해결한다면 디젤엔진과 동등한 운전성을 확보할 수 있을 것으로 기대된다.

## 5. 결론

기존의 CRDI 디젤엔진을 MPI방식의 CNG 예혼합 Dual-Fuel 엔진으로 개조하여 엔진다이내모와 새시다이내모시험, 도로주행시험을 통해 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 엔진다이내모미터와 배기분석장치를 이용하여 개조된 혼소엔진을 디젤모드와 Dual-Fuel 모드에서 각각 출력과 배출가스를 측정하였으며 디젤모드 대비 95%이상의 동력성능을 확보하였고 배출가스 중 CO<sub>2</sub>, PM의 감소와 CO, NO<sub>x</sub>, THC의 증가를 확인하였다.
- 2) 엔진시험과 동일한 구성으로 실 차량에 적용하였고, 엔진시험시 문제되었던 배출가스를 줄이

기 위해 산화촉매와 EGR을 적용하고 경유대체율을 조절하였다. 새시다이내모를 이용한 NEDC 모드 시험에서 Diesel모드 대비 NO<sub>x</sub>를 제외한 배출가스 저감을 확인하였다.

- 3) 실 차량에 DAQ를 설치하여 일반 도로에서 차량 주행성능 및 운전성에 대한 6가지 항목을 시험한 결과 Tip-in에 대한 반응성을 제외한 5가지 항목에서 기존 디젤 모드 대비 유사한 성능을 보였다.
- 4) Dual-Fuel 차량에서 경유대체율과 배출가스 저감을 동시에 달성하기 위하여 기존 디젤시스템 외에 전, 후처리장치와 공연비 제어 등의 추가적인 연구가 필요하다고 판단된다.

## 후 기

본 연구는 2012년 울산대학교 기계공학부의 연구비에 의하여 연구되었습니다. 지원에 감사합니다.

## References

- 1) J. Lee, "Natural Gas Vehicle Exhaust Gas Emission Regulation and New Technology Development Trends," The Korea Gas Union Paper, pp.27-37, 2005.
- 2) S. Yoon, S. Heo and Y. Roh, "Characteristics of Dual Fuel System for Diesel Engine and Vehicle Driving," Spring Conference Proceedings, KSAE, KSAE 08-S0076, 2008.
- 3) G. Choi, S. Lee, S. Kim and O. Lim, "The Research of Engine Performance and Emission Characteristics of CNG/Diesel Dual-fuel Engine by CNG Mixing Ratio," Spring Conference Proceedings, KSAE, KSAE 10-B0068, 2010.
- 4) S. Lee, C. Kim, C. Park, S. Won and J. Lee, "Development of 60KW Biogas-diesel Dual Fuel Engine," Annual Conference Proceedings, KSAE, KSAE 09-A0054, 2009.
- 5) K. Ryu, J. Park and K. Choi, "Performance and Emission Characteristics of Dual-fuel (Diesel-CNG) Combustion in a Diesel Engine," Transactions of KSAE, Vol.18, No.4, pp.132-139, 2010.
- 6) J. Han, J. Lee, S. Jeong and J. Chae, "Development of Heavy Duty Dual Fuel LNG Vehicles for EURO-4 Emission," Ministry of Environment Report 22-1-1-04, 2004.