

## 대형 DME버스의 연비 및 배기가스 특성에 관한 연구<sup>§</sup>

오용일\* · 표영덕\*\* · 권옥배\*\*\* · 백영순\*\*\* · 조상현\*\*\*\* · 임옥택\*\*†

\* 울산대학교 기계자동차공학부, \*\* 한국에너지기술연구원, \*\*\* 한국가스공사 연구개발원  
\*\*\*\* 전북자동차기술원

### An Experimental Study of Fuel Economy and Emission Characteristics for a Heavy-Duty DME Bus

Yong Il Oh\*, Young Duk Pyo\*\*, Ock Bae Kwon\*\*\*, Young Sun Beak\*\*\*  
Sang Hyun Cho\*\*\*\* and Ock Taeck Lim\*\*†

\* Dept. of Mechanical and Automotive Engineering, Ulsan Univ., \*\* Korea Institute of Energy Research,  
\*\*\* Reseach & Development Center of Korea Gas Corporation,  
\*\*\*\* Jeonbuk Institute of Automotive Technology

(Received June 21, 2011 ; Revised December 3, 2011 ; Accepted December 8, 2011)

**Key Words:** DME Bus(디메틸에테르 버스), JE-05 Exhaust Gas Test Mode(JE-05 배기가스 테스트 모드), Fuel Economy(연비), Emission Characteristic(배기 특성), Dynamics Behavior(동적 특성)

**초록:** 본 연구에서는 대형버스 배기가스 테스트 모드인 JE-05 에서 DME와 디젤을 연료로 사용하는 대형 DME버스를 차대동력계, 배기가스 분석기 그리고 PM 측정시스템을 이용하여 대형 DME버스의 연비, 배기가스 특성 그리고 동적 특성에 대해 알아보았다. 대형 DME버스에는 6기통 8,071cc 디젤엔진이 장착되었으며, 현재 운행되고 있는 상용 디젤버스와는 달리 DOC, DPF와 같은 후처리 장치가 없다. 실험 결과, 각 부하에 따른 차량의 속도를 통하여 차량의 동적 특성은 DME와 디젤을 사용했을 때 거의 비슷한 것을 알 수 있었다. NO<sub>x</sub>, CO와 THC는 DME를 연료로 사용 시 디젤연료에 비해 더 적게 배출되는 것을 확인하였다. 하지만 PM은 DME연료를 사용 시 거의 발생하지 않았는데, 이는 DME가 합산소연료이고 분자구조상 탄소-탄소 결합이 없기 때문이라고 생각된다. CO<sub>2</sub>는 각 연료 사용 시 비슷하게 발생하였으며, 저위발열량 베이스로 계산된 연비는 DME연료 사용 시 디젤연료보다 약 6.7% 더 낮게 나왔다.

**Abstract:** The experimental test was conducted for a heavy-duty DME bus in JE-05 exhaust gas test mode using a chassis dynamometer, exhaust gas analyzers, and a PM measurement system. The heavy-duty DME bus was not equipped with after-treatment systems such as DOC or DPF. The dynamic behavior, emission characteristics, and fuel economy of the bus were investigated with an 8.0-liter, 6-cylinder conventional diesel engine. The results showed that the dynamic behavior in DME mode was almost the same as in diesel mode. However, there was little difference among the two operation modes for NO<sub>x</sub> and CO emissions. THC emissions were lower for DME mode than for diesel mode. Also, the amount of PM emissions was remarkably lower than for the diesel mode because DME contains a greater amount of oxygen than diesel. The data showed that CO<sub>2</sub> emissions were almost similar in the two modes but fuel economy (calculated using heating value) was lower for DME mode than for diesel mode.

#### 1. 서론

현재 운행되고 있는 상용 대형버스는 LPG, CNG 그리고 디젤 등을 연료로 사용한다. LPG를

연료로 사용하였을 경우 이산화탄소(Carbon Dioxide, CO<sub>2</sub>)가 많이 발생하고, CNG의 경우 희박연소를 적용하므로 삼원촉매를 사용하지 못해 질소산화물(Nitrogen Oxides, NO<sub>x</sub>)의 환원이 발생하지 않는다. 이로 인해 질소산화물의 발생량이 많은 문제를 가지고 있다. 또한, 디젤을 연료로 사용하게 되면 입자상 물질(Particulate Matter, PM)과 질소산화물이 많이 생성된다. 위와 같은

§ 이 논문은 대한기계학회 2011년도 울산지회 춘계 학술대회(2011. 5. 13., 울산대) 발표논문임

† Corresponding Author, [otlim@ulsan.ac.kr](mailto:otlim@ulsan.ac.kr)

© 2012 The Korean Society of Mechanical Engineers

배기가스로 인해 발생하는 지구환경 및 온난화 문제에 대응하고 또한, 대형버스에 사용되는 연료의 다양화를 위해 오래전부터 새로운 청정연료에 대한 연구가 계속 되어왔다.

최근 디메틸에테르(Di-methyl Ether, DME)가 디젤을 대체하여 디젤기관에 사용할 수 있는 청정연료로서 가장 많은 주목을 받고 있다.<sup>(1-5)</sup> DME는 디젤보다 세탄가가 높아 압축착화엔진에 알맞고, 이 때 차량의 성능수준은 디젤을 연료로 사용할 때와 거의 동일하게 유지되면서 PM을 획기적으로 줄일 수 있다. DME는 연료 내에 산소가 34.8wt% 함유되어있는 합산소연료이고, 분자구조상 탄소-탄소 직접결합이 없으므로 입자상물질이 거의 배출되지 않는다. 뿐만 아니라 EGR(Exhaust Gas Recirculation)의 적용이 가능하게 되어 질소산화물도 대폭 저감할 수 있는 등 디젤엔진의 대체연료로서 우수한 특성을 많이 가지고 있다.<sup>(6)</sup> 또한, DME의 증기압은 LPG와 유사하여, LPG와 같이 상온에서 액화되는 특징 때문에 기존의 CNG차량에서 문제시되는 1회충전당 주행거리의 대폭적인 감소문제도 해소할 수 있다. 그러나 DME의 저위발열량은 디젤의 60% 밖에 되지 않아 디젤을 연료로 할 때보다 더 많은 연료를 실린더 내에 공급해줘야 한다. 그리고 비교적 점도가 낮기 때문에 통상의 디젤엔진 분사시스템에 DME를 적용하는 경우에 연료누설 및 습동부의 마모문제가 발생할 가능성이 있다.<sup>(7)</sup>

본 연구에서는 베이스 디젤엔진에 DME 분사장치를 새롭게 구성 및 설치 후 대형차량의 배기가스 측정모드인 JE-05에서 연비 및 배기가스 특성에 대해 실험하고, 그 결과를 디젤과 DME모드에서 각각 비교하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

본 연구에서 사용된 대형 DME버스의 사진과 제원을 Fig. 2와 Table 2에 각각 나타내었다.

### 2.1 DME 엔진시스템

#### 2.1.1 DME 엔진

본 연구에서 베이스 디젤엔진을 DME엔진으로 개조하기 위해 인라인분사식 연료공급계를 사용하는 직접 분사식 8리터급, 6기통 디젤엔진을 선

정하였다. DME엔진은 기계식 연료분사방식이며, DOC나 DPF와 같은 후처리 장치가 없다. 아래의 Table 1에 베이스디젤엔진과 개조된 DME엔진의 기본 제원을 비교하여 나타내었다.

#### 2.1.2 DME 연료공급계

Fig. 1은 인라인 분사식 DME 연료공급계의 개략도를 보여준다. DME 연료는 연료탱크에서 나와서 연료필터를 거친 후 연료탱크 출구에 설치된 피드펌프에 의해 액상으로 유지되며, 연료공급밸브를 거쳐 연료분사펌프로 공급된다. 그 후 연료분사펌프에 연결된 인젝터에 의해 고압의 액상으로 엔진 실린더에 분사된다.

DME연료는 높은 압축성으로 인하여 연료라인의 압력저하가 발생하므로 단순히 인젝터 노즐직경을 키우고 개변압력만을 낮추는 것만으로는 원하는 분사압력과 분사량을 확보할 수 없어 목표출력을 얻기 힘들다. 따라서 연료분사펌프의 플런저를 새로 가공하여 연료분사 펌프의 유효행정을 증가시켜 용량을 증대시킴으로써 디젤 사용시와 동등한 전 부하출력을 확보하였다.

베이스 디젤엔진에서 DME연료분사를 위하여 위와 같이 연료분사펌프의 플런저를 재가공하여 연료 용량을 증대시켰으며, 인젝터 또한 기존 인젝터보다 용량이 약 90% 많이 분사되도록 개조하여 사용하였다.

또한, DME의 점도는 디젤보다 낮기 때문에 연료누설 및 습동부의 마모가 문제시 된다. 본 연구에서는 이를 해결하기 위해 1% 바이오 디젤을 DME에 첨가하였다.

#### 2.1 분석계

본 연구에서는 현재 운행되고 있는 대형버스에

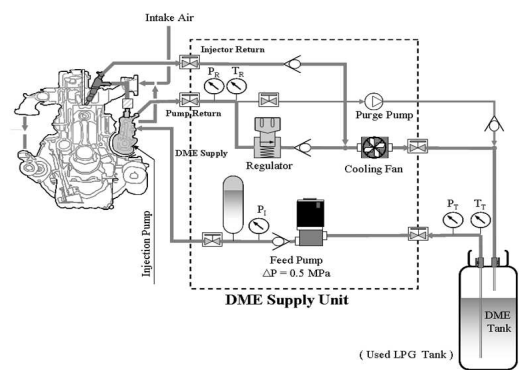


Fig. 1 Outline of the DME injection system

**Table 1** The specification of base diesel and DME engine

	Value for the following	
	Base Diesel Engine	Di-Methyl Ether Engine
Model	DE08Tis	DE08Tis
No. of Cylinder	6	6
Bore × Stroke [mm]	111 × 139	111 × 139
Displacement [cc]	8,071	8,071
Compression ratio	18.5 : 1	18.5 : 1
Injection pump type	in-line "P" type	Converted in-line "P" type
Injection nozzle type	Multi-hole type	Converted Multi-hole type
After-Treatment Systems	X	X

**Table 2** The specification of heavy-duty DME bus

Model	BM 090 Royal Midi
Allowance Weight [kg]	8,000
Full Length [mm]	8,990
Full Width [mm]	2,490
Full Height [mm]	3,220
WHeel Base [mm]	4,200
The number of DME Tank	2
Capacity of DME Tank [liter]	125



**Fig. 2** Heavy-duty DME bus

디젤과 DME를 연료로 사용 시 차량의 동적특성, 배기가스 및 연비를 측정하고 비교하였다.

이를 위해 JE-05 테스트모드 하에서 대형 차대 동력계(2WD In-Line 540, AVL)를 이용하여 실험

을 실시하였고, 이를 통해 DME버스의 동적특성을 확인할 수 있었다. THC, NO<sub>x</sub>, CO 그리고 CO<sub>2</sub> 등의 배기가스를 측정 및 분석하기 위하여 배기가스 분석시스템(MEXA-7200D, HORIBA)를 사용하였다. 또한, PM의 입자 수를 측정하기 위하여 PM 분석기(HF-47, HORIBA)를 사용하였다.

2.3 실험방법

본 연구에서는 대형 DME버스에 디젤과 DME를 연료로 사용하고, 이 때 버스의 동적특성과 배기가스특성 및 연비를 비교하기 위해 대형차량 배기가스분석모드인 JE-05 테스트를 실시하였다.

JE-05 배기가스 테스트는 한 사이클 당 1830초에 걸쳐 진행되며, 사이클 중 차량의 최대속도는 87.6km/h 이다. 또한, 동일한 운전자를 통하여 각각 3회씩 테스트를 실시하였다.

대형 DME버스에 사용된 엔진은 8 리터급 직접분사식 베이스디젤엔진에 DME연료를 사용할 수 있도록 연료분사펌프 플런저의 유효행정과 인젝터노즐 개변압력 등을 수정한 것이다. 이를 통하여 DME연료를 사용 시 디젤 사용 시와 동등한 전 부하출력을 확보하였다.

JE-05 테스트를 통하여 배기가스를 측정 시 CVS(Constant Volume Sampling Dilution Method)회석조건은 다음과 같다. 1차 회석터널의 유량은 약 76m<sup>3</sup>/min으로 고정하였고, 배기가스는 테스트 사이클 시작부터 끝까지 한 개의 bag에 포집하였으며 DME모드와 디젤모드에서 동일한 샘플링조건을 사용하였다. CO와 CO<sub>2</sub>는 샘플링 시 1차 회석터널에서 회석된 배기가스를 2 liter/min으로 샘플링용 bag에 담았다. 또한, THC와 NO<sub>x</sub>는 1차 회석터널에서 회석된 배출가스를 실시간으로 측정하였다. PM의 샘플링 조건은 디젤모드 시 1차 회석공기를 25 liter/min으로 샘플링하고, 2차 회석공기를 25 liter/min으로 공급하였다. DME모드는 1차 회석터널에 5 liter/min으로 샘플링하고 2차 회석공기를 45 liter/min으로 공급하였다. 2차 회석공기의 온도 조건은 25℃이며, 샘플링 라인의 온도는 47℃로 고정하였다.

3. 실험결과

본 연구에서 대형 DME버스의 운동특성 및 주행저항을 파악하여 JE-05 배기가스 테스트에 적

용하기 위하여 전라북도의 새만금 방조제에서 다음과 같은 기초 실험을 4회 실시하였다.

먼저 차량속도를 0km/h부터 100km/h까지 가속을 한 후 기어를 중립상태로 조작하였다. 이 때 중립상태의 차량이 주행저항에 의해 속도가 줄어들게 되고 일정시간 후에 정차하게 된다. 그 다음 차량이 정지할 때까지의 소요시간을 측정하고 기초 실험은 종료된다. 이 때 주의할 점은 차량이 정지할 동안 제동장치에 의한 속도감소가 없어야 한다는 것이다. Fig. 3은 위 실험에 의해 구해진 차량속도에 따른 주행저항을 나타낸 것이며, 이 때 사용된 수식은 다음과 같다.

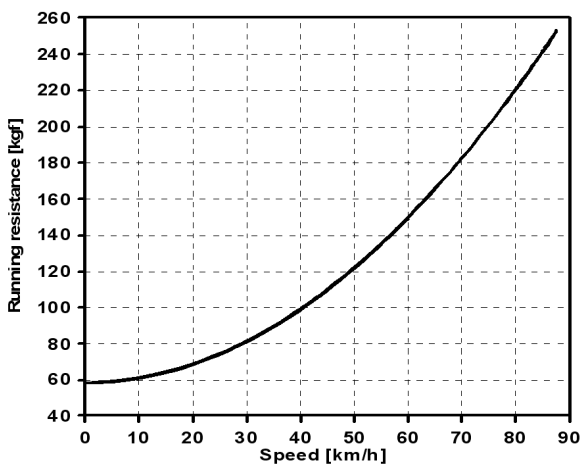


Fig. 3 Running resistance & speed of the heavy-duty DME bus

$$\begin{aligned} \text{주행 저항[kg]} &= \mu rW + \mu aA \times \text{차속}^2[\text{km/h}]^2 \\ \mu rW &= 0.005125 \times \text{반적 차량중량[kg]} + 17.601 \\ \mu aA &= 0.002990 \times (\text{전고} \times \text{전폭})^2[\text{m}^2] + 0.0008324 \end{aligned}$$

3.1 대형 DME버스의 동적특성

실험에 사용된 대형 DME버스의 동적특성은 Fig. 4의 시간에 따른 차량속도 그래프를 통하여 확인할 수 있다. JE-05 배기가스 테스트에 따른 차량의 가감속구간 및 고속구간을 살펴보면 DME와 디젤연료 사용 시의 차량속도가 거의 일치하는 것을 볼 수 있다. 이를 통하여 두 모드의 동적특성이 비슷하다는 것을 판단할 수 있었다.

이는 디젤에 비하여 60% 정도의 저위발열량 값을 가진 DME가 디젤연료와 동등한 출력을 내기 위하여 DME연료 분사에 적합한 분사시스템을 구성하였기 때문이라고 생각된다.

3.2 대형 DME버스의 배기특성

본 연구에서는 JE-05 배기가스 테스트를 통하여 CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, THC 그리고 PM을 분석 및 비교하였다.

Fig. 4에서 JE-05 테스트를 통한 시간에 따른 CO<sub>2</sub>의 배출농도를 확인할 수 있다. 디젤연료로 버스를 운행했을 시 DME연료보다 대체적으로 CO<sub>2</sub> 배출농도가 높은 것을 확인할 수 있었다.

CO<sub>2</sub> 배출농도의 최대치는 차량의 고속구간에

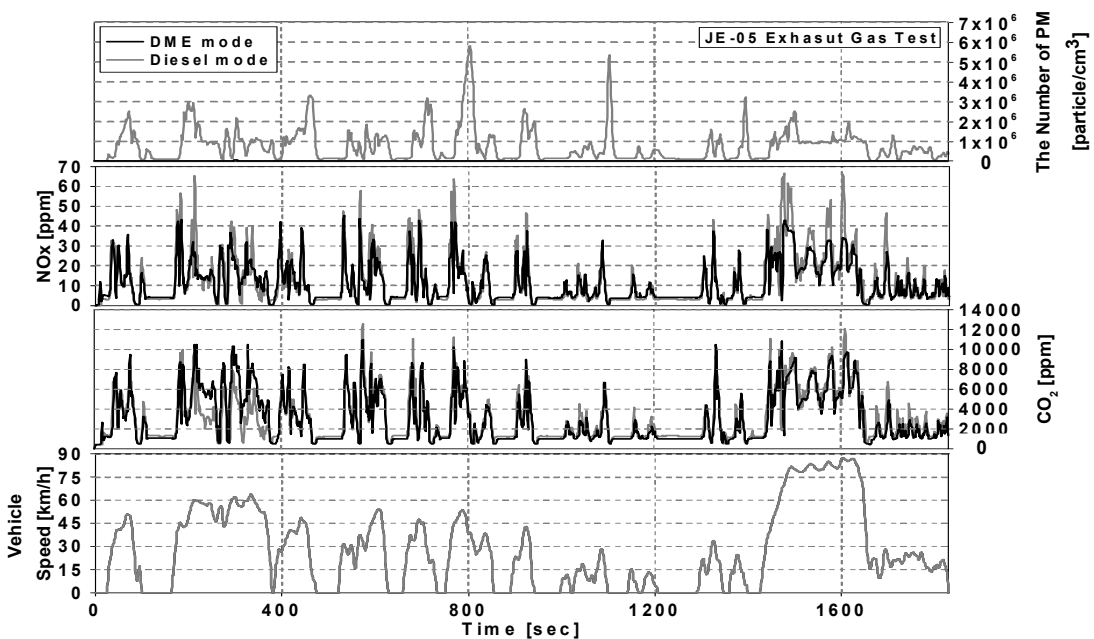


Fig. 4 Dynamics behavior & Emission characteristics of the DME bus during a JE-05 exhaust gas test

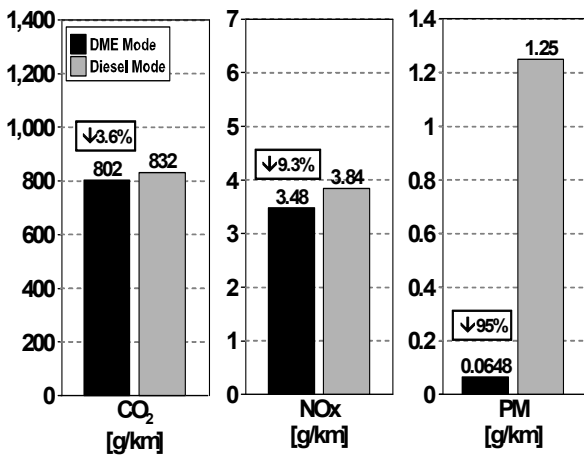


Fig. 5 CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> and PM generation of the DME bus during a JE-05 exhaust gas test

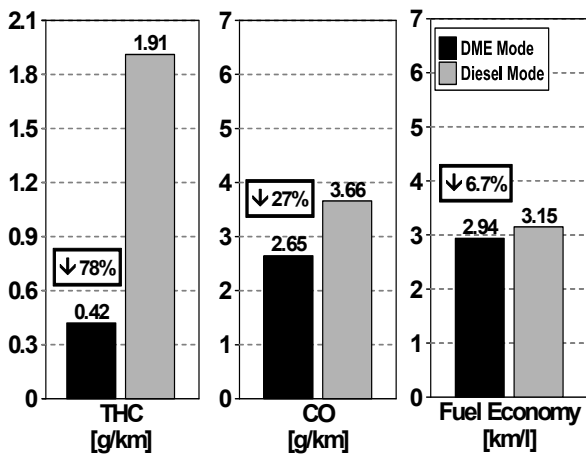


Fig. 6 THC, CO generation and fuel economy of the DME bus during a JE-05 exhaust gas test

서 발생하였는데 이는 고속구간에서 연료의 분사량이 급격히 증가했기 때문이라고 생각된다.

Fig. 5에서 CO<sub>2</sub> 를 배출률에 따른 적산치로 나타내어보니 DME모드 시 디젤모드보다 CO<sub>2</sub> 배출이 약 3.6% 적은 것을 확인할 수 있었다.

JE-05 배기가스 테스트를 통한 시간에 따른 NO<sub>x</sub> 배출농도를 Fig. 4에서 확인할 수 있었다.

NO<sub>x</sub>의 배출농도 또한 디젤연료에서 비교적 더 많이 배출되는 것을 확인할 수 있었다. 하지만 CO<sub>2</sub>와는 달리 NO<sub>x</sub>의 배출농도는 차량의 가감속 구간에서 최대치를 보였다. 이는 가감속구간에서 연소온도가 급격하게 변했기 때문이라고 생각된다. NO<sub>x</sub> 배출률을 적산치로 나타내어보니 DME 모드 시 디젤모드보다 NO<sub>x</sub> 배출이 약 9.3% 저감

된 것을 Fig. 5에서 확인할 수 있었다.

마찬가지로 JE-05모드에서 시간에 따른 PM 배출량을 Fig. 4에서 확인할 수 있었다. PM은 고속구간에서 최대치를 보였으며 다른 배기가스와는 달리 DME연료 사용 시 PM이 거의 배출되지 않았다. 이는 DME연료의 분자구조 특성상 탄소-탄소 결합이 없고, 산소를 함유하는 합산소연료이기 때문이라고 생각된다. Fig. 5에서 PM을 적산치로 나타내어보니 DME 사용 시 디젤보다 PM배출이 약 95%정도 저감된 것을 알 수 있었다. Fig. 6에서 THC와 CO의 배출률에 따른 적산치를 알아보았다. 마찬가지로 DME를 사용 시 디젤보다 배기가스 배출이 더 적었으며 각각 3.6%, 9.3% 정도 저감된 것을 확인할 수 있었다.

위 사항들을 통해 대형 DME버스의 배기가스 및 PM은 대체적으로 디젤연료보다 DME연료 사용 시 더 적다는 것을 확인할 수 있었다.

앞서 언급한 바와 같이 실험에서 사용된 대형 DME 버스는 상용 디젤버스와는 달리 DOC, DPF와 같은 후처리장치가 설치되지 않았고, 기계식 분사장치가 사용되었다. 그럼에도 불구하고 차량의 동적특성은 DME와 디젤연료 사용 시 거의 일치하였으며, 배기가스 특성은 DME에서 훨씬 개선된 것을 실험결과를 통해 알 수 있었다. 비록 연비는 DME모드 시 비교적 더 작았으나, 획기적으로 저감된 배기가스 특성에 비해 그 차이는 미미하다고 생각할 수 있다. 향후 후처리장치 및 EGR 시스템, 분사시스템을 더 보완하면 더 나은 배기가스 특성 및 연비를 보일 것으로 기대된다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 기존 인라인 분사계 디젤엔진의 연료공급계를 사용하는 8리터급 대형엔진을 가지는 대형버스를 디젤연료와 DME연료를 사용하여 JE-05 배기가스 테스트에서 운행하고, 그 결과를 통하여 대형 버스의 동적특성, 배기가스특성 및 연비를 각각 비교, 확인하였다.

(1) JE-05 배기가스 테스트모드의 모사주행을 통해 얻었던 데이터를 바탕으로 한 시간에 따른 차량속도 그래프를 통하여 DME연료와 디젤연료 운행에서의 가감속구간 및 고속구간을 비교해보았다. 그 결과 각 연료 사용 시 차량속도 그래프는 거의 일치하게 나왔다. 이를 통하여 DME와

디젤연료 사용 시 대형 버스의 동적 특성이 거의 비슷하다고 판단할 수 있었다.

(2) 기계식 분사시스템을 사용하고 후처리장치가 설치되지 않았음에도 불구하고 대형 DME버스의 배기특성은 DME연료 사용 시 디젤연료보다 훨씬 우수하였으며, 특히 PM 배출의 경우 DME연료 사용 시에서는 거의 배출되지 않은 것을 확인할 수 있었다.

(3) 실험 결과에서 나타난 연비는 실험적으로 얻은 연비를 상대적 저위발열량베이스로 재계산하여 나타난 것이며 이 때, 디젤연료 사용 시 연비가 DME연료보다 근소한 차이로 높다는 것을 확인할 수 있었다. 하지만 이 차이는 근소하였으며, 이는 DME연료 사용 시 배기가스의 획기적인 저감에 비하여 미미하다고 판단된다. 향후 후처리장치 및 EGR 시스템, DME 분사시스템을 보완하면 더 나은 배기가스 특성 및 연비를 보일 것으로 기대된다.

## 후 기

본 연구에 도움을 주신 전북자동차기술원의 김태준, 이익성님, 한국에너지기술연구원의 신문주님께 심심한 감사의 말씀을 드립니다. 이 논문은 2012년 울산대학교 기계공학부 일류화사업단의 연구비에 의하여 연구되었습니다. 지원에 감사드립니다.

## 참고문헌

- (1) Sorenson, S.C. and Mikkelsen, S.-E., 1995, "Performance and Emissions of a 0.273 Liter Direct Injection Diesel Engine Fueled with Neat Dimethyl Ether," SAE Paper, 950064.
- (2) Kapus, P. and Ofner, H., 1995, "Development of Fuel Injection Equipment and Combustion System for DI Diesels Operated on Dimethyl Ether," SAE Paper, 950062.
- (3) Fleisch, T., McCarthy, C., Basu, A., Udovich, C., Charbonneau, P., Slodowske, W., Mikkelsen, S.-E. and McCandless, J., 1995, "A New Clean Diesel Technology : Demonstration of ULEV Emissions on a Navistar Diesel Engine Fueled with Dimethyl Ether," SAE Paper, 950061.
- (4) Chen, Z., Konno, M. and Kajitani, S., 1998, "Performance and Emissions of DI Compression Ignition Engines Fueled with Dimethyl Ether (1st Report, Performance and Emissions of Retrofitted Engines)," JSME paper, 64-627-B, pp. 383~388.
- (5) Oguma, M., Konno, M., Kajitani, S. and Rhee, K. T., 2000, "A Study of Low Compression-Ratio Dimethyl Ether (DME) Diesel Engine," *The ASME Internal Combustion Engine Division*, Paper No. 2000-ICE-289.
- (6) Sorenson, S. C., 2000, Dimethyl Ether in Diesel Engine - Progress and Perspectives, ICE Vol. 34-3, 2000 Spring Technical Conference, ASME, No. 2000-ICE-292, pp. 65~74.
- (7) Kim, D., Lee, G., Kim, H., Oh, S., Jeong, S. and Pyo, Y., 2010, "Injector Nozzle Design for DME Common-rail System," *KSAE 2010 Annual Conference*, KSAE10-A0147.
- (8) Sato, Y., Nozaki, S., and Noda, T., 2004, "The Performance of a Diesel Engine for Light-Duty Truck Using a Jerk-Type, in Line DME Injection System," SAE Paper, 2004-01-1862.
- (9) Sato, Y., Lee, S., Takayanagi, T., Suzuki, H., Nakamura, A. Tsuchiya, T., and Toda, K., 2006, "Research and Development of Heavy-Duty Truck Fueled with DMEP - Development and Performance of a DME Engine" *JSAE Trans.*, 37(1), pp. 71~76.