

# 커먼레일 디젤엔진의 DME와 디젤연료의 분무 및 연소 특성

김명윤\* · 하성용\*\* · 이창식†

## Spray and Combustion Characteristics of DME and Diesel Fuel in a Common-Rail Diesel Engine

Myung Yoon Kim, Sung Yong Ha and Chang Sik Lee

**Key Words:** DME(디메틸에테르), Common-Rail diesel engine(커먼레일 디젤엔진), Combustion characteristics(연소특성), Spray characteristics (분무 특성)

### Abstract

Dimethyl ether (DME) as an alternative fuel for compression ignition engine was investigated by measuring spray development processes, injection rate profiles, engine performance, and exhaust emission characteristics. The results of DME fueled engine were compared with those obtained by fueled with diesel. The experimental results showed that DME has approximately 0.03ms shorter injection delay and higher maximum injection rate than those of diesel fuel at a constant injection pressure of 50MPa. The spray visualization indicates that DME has shorter spray tip penetration due to its low density and faster evaporation. The combustion characteristics of DME operated engine provided faster ignition delay and three times shorter combustion duration. It is believed that the better evaporation and atomization characteristic of DME contributes the faster combustion. At all operating condition, soot emission was not detected due to the clean combustion of DME.

### 기호설명

DME	Dimethyl ether
NO <sub>x</sub>	Nitric oxide
PDPA	Phase Doppler particle analyzer
SOE	Start of energizing
SOI	Start of injection
$\tau_{ig}$	Ignition delay
$\tau_{inj}$	Injection delay

### 1. 서 론

최근 자동차에서 배출되는 유해배기가스에 따른 공기 오염 문제와 원유가의 상승 등으로 인한 경제적인 원인으로 인하여 유해 배기가스의 배출이 적으면서도 가격이 저렴한 대체에너지의 개발에 대한 관심이 증가하고 있다. 그 중 DME(dimethyl ether)는 자동차용 경유나 가정용 LPG, 발전용 연료를 대체할 수 있는 청정 대체연료로서 주목 받고 있다. DME는 천연가스로부터의 직접 합성법이 개발되어 비교적 저렴하게 생산할 수 있고, 연소시에 입자상 물질을 거의 배출하지 않음에 따라 청정 연소가 되는 장점이 있다. 또한 세탄가가 높아 압축착화 엔진으로의 적용성이 우수하고, 배기배출물을 획기적으로 저감시킬 수 있을 뿐만 아니라, 짧은 착화지연기간으로 인하여 정숙한 운전이 가능하게 된다. 이러한 특성으로 인하여, 우리나라와 일본, 유럽 등에서는 기존 디젤 엔진의 연료계를 변경하여 DME를 디젤엔진에 적용하

(2006년 12월 20일 접수 ~ 2007년 1월 22일 심사완료)

\*한양대학교 대학원

\*\*신홍대학교 자동차과

†책임저자, 회원, 한양대학교 기계공학부

E-mail : cslee@hanyang.ac.kr

TEL : (02)2220-0427 FAX : (02)2281-5286

Table 1 Properties of diesel and DME fuel

	Diesel	DME
Liquid density (kg/m <sup>3</sup> )	831	667
Cetane number	40~55	>55
Stoichiometric A/F ratio (kg/kg)	14.6	9.0
Lower heating value (MJ/kg)	42.5	28.9
Ignition limit ( $\lambda$ )	0.48	0.34
Viscosity (kg/ms)	2~4	0.12~0.15
Auto-ignition temperature (°C)	250	235

는 연구가 폭넓게 진행되고 있다<sup>(1-3)</sup>.

DME는 분자구조에 산소를 34.8% wt 함유하고 있으며 탄소-탄소간의 직접결합이 없기 때문에 연소시에 soot를 거의 배출하지 않게 된다<sup>(4)</sup>. 그러나 상온에서 기상으로 존재하기 때문에 액상으로 보관하기 위해서는 연료를 대략 5기압 이상으로 가압하여야 하며, 기존의 디젤연료에 비하여 점도가 상당히 낮기 때문에 별도의 점도향상제의 첨가와 연료계에서의 누설을 막기 위한 조치가 필요하다고 보고되고 있다<sup>(5)</sup>.

또한, DME는 Table 1에 나타난 바와 같이 경유에 비하여 밀도가 20% 정도 낮고 단위질량당 저위발열량이 28.9 MJ/kg 수준으로 경유의 42.5 MJ/kg에 비하여 32% 정도 낮아 경유와 동일한 출력을 유지하기 위해서는 체적기준으로 더 많은 연료를 분사해야 하는 단점이 있다.

이러한 DME를 디젤엔진에 적용한 연구결과들을 살펴보면, Kajitani<sup>(6)</sup> 등은 DME를 플런저 방식의 기계식 디젤엔진에 적용하고 분사시기와 엔진출력의 변화에 따른 연소 및 배출물 특성을 연구하였으며, DME의 사용에 따른 분사시기 변화, 배기 배출물 특성, 연소온도 등에 관한 결론을 도출하였다. Teng 등은 DME와 경유의 분무특성의 차이를 통하여 이들이 연소 및 배출물 특성에 미치는 영향을 규명하였다. 또한, Park 등<sup>(6)</sup>과 Seo 등<sup>(7, 8)</sup>은 분무가시화 및 PDPA 등을 통한 거시적, 미시적 연구방법을 통하여 DME 연료는 디젤연료보다 짧은 분무도달거리를 가지며 보다 더 작은 입경분포를 나타냄을 보고하였다.

본 연구에서는 DME를 커먼레일 디젤엔진에 적용하여 분사량, 분사시기, 분사압력 등의 다양한 운전조건하에서의 연소 및 배출물 특성을 분석하고 기존 디젤연료의 분무 및 연소특성 결과와 비교함으로써 청정 DME 엔

진 개발에 필요한 연구자료를 구하는데 주안을 두었다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 분사율 측정

본 연구에서는 분사조건에 따른 분사율을 Bosch법을 이용하여 측정하였다<sup>(6)</sup>. 이 방식은 연료로 채워진 관에 연료가 분사될 때 관내부의 압력변화를 이용하여 실제 분사율을 측정하며 본 연구에서는 관내 압력을 실제 연소실에서 분사시기인 TDC 부근에서의 압력과 유사한 3.5 MPa로 유지하였다. 이 결과로부터 연료의 특성에 따른 분사율 특성을 구할 수 있었으며, 분사율 특성과 연소특성과의 상관관계를 알 수 있었다.

### 2.2 분무 가시화

DME의 분무특성을 가시화하기 위하여 연료압축 및 공급 시스템과 분무 가시화 시스템으로 구성되는 가시화 장치를 구성하였다. 연료를 고압으로 커먼레일에 공급하기 위하여 2개의 공압 펌프(Haskel, HSF-300)를 병렬로 연결하여 안정적인 공급이 가능하도록 하였으며, 펌프를 구동하는 압축공기의 압력조절을 통하여 연료 공급압력을 조절할 수 있도록 하였다.

커먼레일 고압 분사 시스템에서의 분무 발달 과정을 촬영하기 위한 가시화 시스템을 구축하였다. 광원으로는 아르곤 이온레이저를 이용하여 분무를 조명하고 인젝터의 아랫면에서 ICCD 카메라(Stanford Computer optics, 4 Quick 05A)를 이용하여 가시화를 수행하였다. 이 카메라의 해상 분해능은 1280×1024이고, 셀 크기는 6.7  $\mu\text{m}$ ×6.7  $\mu\text{m}$ 이다. 이러한 분무 가시화 장치를 이용하여 획득된 분무의 이미지를 분석하여 분무의 도달거리, 분무각등의 거시적 분무특성을 연구하였다.

### 2.3 DME의 연소 및 배출물 특성

본 연구에서는 배기량이 373.3cc이고 압축비가 17.8인 커먼레일 분사 시스템이 적용된 단기통 엔진을 이용하여 실험을 수행하였다.

Table 2는 엔진의 주요 제원을 나타낸 것이다. 실험 장치는 커먼레일 디젤엔진, 연료 공급 및 제어 장치, 연료 압력 제어장치, 냉각수 와 윤활유 온도제어 및 공급 장치, 연소 및 배기 분석을 위한 장치로 구성하였으며, Fig. 1은 실험 장치 개략도를 나타낸 것으로 기관은 DC 동력계(55 kW)로 구동하였다. 디젤엔진에 공급되는 연

Table 2 Specifications of test engine

Description	Specification
Bore×stroke (mm)	84.5×75
Swept volume (cm <sup>3</sup> )	373.3
Compression ratio	17.8
Valve type	DOHC 4 valve
Injector hole number	6
Nozzle diameter (μm)	128
Spray angle (°)	156

Table 3 Experimental conditions for engine test

Description	Conditions	
Engine speed (rpm)	1500	
Injection pressure (MPa)	50	
Intake air pressure (MPa)	0.1	
Coolant temperature (°C)	70	
Oil temperature (°C)	70	
Mass of fuel (mg/cycle)	Diesel	4, 8, 12
	DME	8, 12, 16

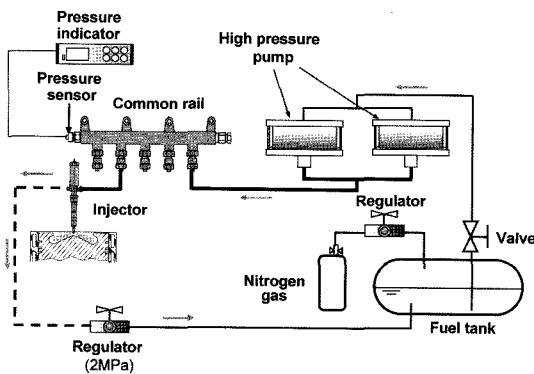


Fig. 1 Schematic diagram of high pressure fuel supply system

료의 압력을 일정하게 유지하며 조절하기 위하여 연료 압력 제어장치(TEMS, TDA 1100)를 사용하였다.

커먼레일 인젝터는 별도의 인젝터 드라이버(TEMS, TDA 3300)에 의하여 통전시간을 조절하여 분사량을 제어할 수 있도록 하였으며, 또한 인젝터의 동기화 및 분사시기 제어를 위해 크랭크 각 센서(1800 pulse/rev)와 캠축 위치 센서를 설치하였다. 이들 신호를 이용하여 타이밍 펄스 발생기(timing pulse generator)에서 0.1° 단위로 분사시기의 제어가 가능하도록 하였다.

그리고 연소 해석 장치로 실린더 내 압력 및 열 발생률을 측정하기 위해 피에조 압전 소자 방식의 압력 센서(6052B1, Kistler)를 엔진헤드의 글로 플러그를 제거하고 설치하였으며, 압력센서의 데이터를 취득하기 위하여 DAQ보드(National Instrument, PCI-MIO-16E-1)와 소프트웨어(LabVIEW)를 사용하여 실시간으로 데이터를 취득하였다. 또한, 배기가스 분석을 위해 매연 측정기(AVL, Smoke meter-407), NO<sub>x</sub> 측정기(BCL-511, Yanaco), HC 및 CO 분석기(Horiba, MEXA-554JK)등

을 사용하였다.

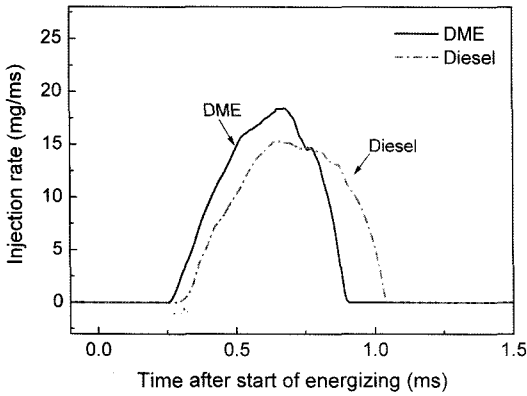
엔진속도는 1500 rpm으로 일정하게 하였으며, 연료의 분사압력은 50 MPa로 동일하게 유지하였다. 엔진실험에 적용된 운전조건은 Table 3에 나타내었다.

Table 1에서도 알 수 있는 바와 같이 DME의 경우, 점도가 상당히 낮기 때문에 점도향상제나 첨가제 등을 사용하지 않으면 연료분사시스템의 마멸 등의 원인으로 엔진운전이 불가능하게 된다<sup>(6)</sup>. 따라서, 점도향상제(LUBRIZOL 539M, LUBRIZOL)를 순수한 DME에 1000 ppm의 농도로 첨가하여 분사율, 분무, 연소 실험 등에 적용하였다.

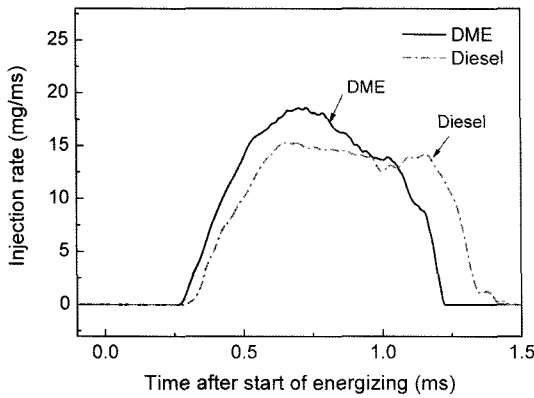
### 3. 실험결과

#### 3.1 분사율 특성

Figure 2는 분사압력이 50 MPa이고 분사량을 8, 12 mg으로 변화시킨 경우에 대한 DME와 디젤연료의 분사율 특성을 나타낸 것이다. 인젝터로부터 분사되는 연료의 분사량을 동일하게 유지시키기 위하여 분사량 실험 결과로부터 얻어진 결과로부터 분사량 8 mg과 12 mg에 해당하는 통전시간을 결정하여 연료를 분사하였다. 각각의 통전시간은 DME의 경우, 468 ms과 644 ms이며 디젤연료는 598 ms과 753 ms이다. 두 가지 분사량 모두, DME는 분사신호가 인가된 후 실제로 분사가 이루어지는 기간인 분사지연시간( $\tau_{in}$ )이 0.26 ms이었으며, 디젤연료의 0.29 ms보다 약 0.03 ms 정도 짧게 나타났다. 이것은 DME의 밀도가 낮기 때문에 분무초기에 인젝터 내부에 정체되어 있던 연료가 가속되는데 드는 관성력이 DME가 작고, 낮은 점성 및 캐비테이션 수 등의 원인으로 DME가 더 빠른 속도로 분무되기 때문으로 판단된다<sup>(7,9)</sup>.



(a) Mass of fuel = 8mg



(b) Mass of fuel = 12mg

Fig. 2 Injection rate for DME and diesel fuel at a injection pressure of 50 MPa and a ambient pressure of 3.5 MPa

이러한 결과로 DME는 디젤연료보다 밀도가 낮음에도 불구하고 최고분사율이 더 높게 나타났다. 분사량 12 mg의 경우, 최대분사량은 8 mg의 경우와 거의 동일한 것으로 나타나 8 mg에서 이미 최고 분사량에 도달한 것으로 판단된다.

동일한 분사량에서 비교할 경우, 디젤연료는 더 긴 통전신호로 인하여 DME보다 더 오랜기간동안 분사되는 경향을 보였다.

### 3.2 분무 특성

Figure 3은 연료의 종류에 따른 분무의 가시화 결과를 분사시작(SOI) 후 시간경과에 대하여 나타낸 것이다. 분사압력은 50 MPa로 동일하게 유지하였으며, 연소실내의 분위기압력과 유사한 조건을 맞추기 위하여 분무 가시화 챔버 내부의 압력을 3.5 MPa로 유지하였다.

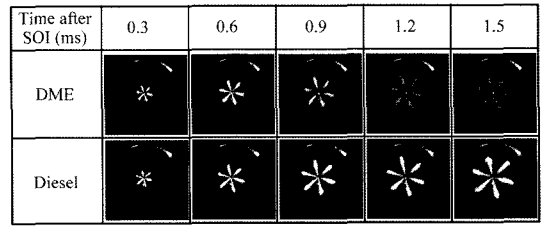


Fig. 3 Comparisons of spray development process at a injection pressure of 50 MPa and a ambient pressure of 3.5 MPa (Mass of fuel = 8 mg)

DME 분무의 경우는 분사로 인한 연료의 공급이 중단 되는 시기 이후인 0.9 ms 이후의 이미지에서는 활발한 증발로 인하여 분무가 엷어지는 것을 볼 수 있으나, 증발이 더딘 디젤연료의 경우는 이러한 영향이 나타나지 않는 것을 알 수 있다. 또한, 분사 후 시간이 경과함에 따라 DME의 분무도달거리가 디젤연료의 경우보다 짧아지고 있다. 이것은 DME는 점도가 낮아 미립화가 디젤연료에 비하여 빨라지게 되어 보다 작은 액적을 형성하게 되므로 항력이 증가하게 되며, 빠른 증발에 의해 운동량을 잃게 되는 등의 원인 등으로 판단할 수 있다<sup>(8-10)</sup>.

### 3.3 연소 특성

Figure 4는 통전시작시점이 BTDC 6°이고 분사량이 8

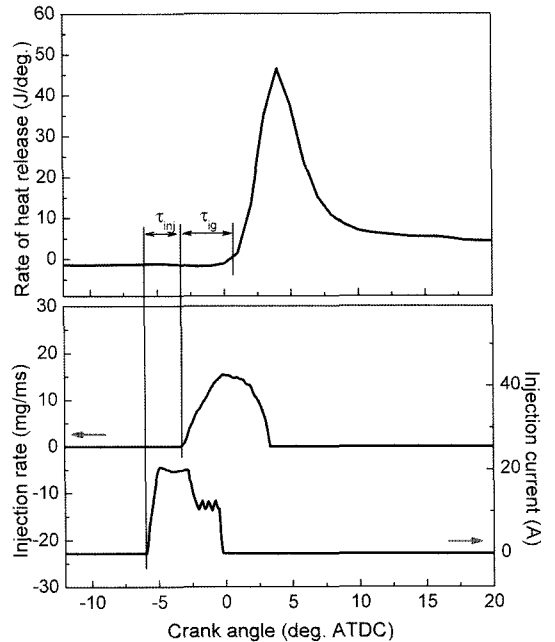


Fig. 4 Effect of fuel properties on the injection rate and combustion characteristics of diesel fuel

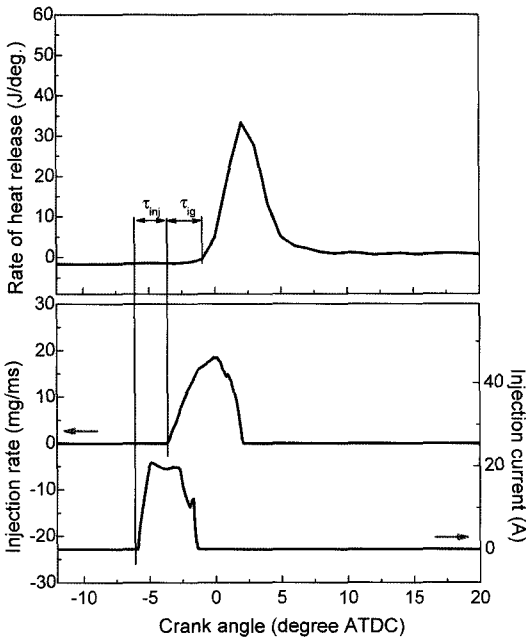


Fig. 5 Effect of fuel properties on the injection rate and combustion characteristics of DME

mg, 분사압력이 50 MPa인 경우의 디젤연료와 DME의 인젝터 구동전류, 분사율, 열발생율 특성을 나타낸 것이다. 본 연구에서는 분사지연기간( $\tau_{inj}$ )을 인젝터 구동전류의 시작(SOE)으로부터 실제 연료가 분사되기 시작(SOI)에 까지 걸리는 물리적 지연기간으로 정의하였으며 점화지연기간( $\tau_{ig}$ )는 실제로 분사가 시작되는 시점(SOI)으로부터 열발생율이 분무의 증발에 의하여 음수로 되었다가 착화에 의해 양수로 올라오는데 걸리는 시간으로 정의하였다.

두 경우 모두 연료의 분사량을 동일하게 8 mg으로 고정하였으며 디젤연료의 경우 분사기간은 598  $\mu$ s, DME는 468  $\mu$ s로 설정하였다.

앞에서 분사율 특성에서 나타난 것과 같이 동일한 시점인 BTDC 6°에서 통전신호를 주었음에도 불구하고 DME의 경우가 더 빨리 분사가 시작되고 있다. 착화시점 또한 DME의 경우가 디젤연료보다 약 1.5° 정도 빠르게 나타났다. 따라서 DME의 경우는 착화시간까지 연소실에 공급된 연료의 양이 디젤보다 적기 때문에 예혼합연소에 의한 열발생율의 최대치가 13 J/deg. 정도 낮은 것으로 보인다. 전체적인 연소기간 또한 디젤연료의 경우, 후연기간이 상당히 오랜기간 동안 지속되는 것에 비하여 DME의 경우는 상당히 짧게 나타났다.

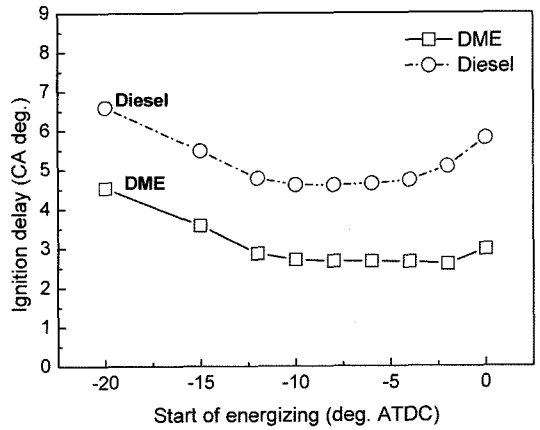


Fig. 6 Comparisons of ignition delay ( $\tau_{ig}$ ) of DME and diesel fuel with a constant fuel mass of 8 mg

점화지연기간인  $\tau_{ig}$ 는 DME가 3.62°로 디젤연료의 4.69° 보다 1.07° 짧은 것으로 나타났으며 이것은 Table 1에서 알 수 있듯이 DME의 기화성이 우수하여 초기에 적정혼합기를 형성하였고 세탄가가 또한 디젤연료보다 높기 때문으로 판단된다. 연소기간의 경우는 DME가 디젤연료보다 확연히 짧은 것으로 나타나 DME는 연소실에서 급격히 연소되는 것을 알 수 있다. 이것은 앞에서 설명한 바와 같이 DME의 낮은 점도와 높은 기화성으로 혼합기가 초기에 형성되고 연료액적이 연소실에 오랫동안 잔존하지 않는 혼합기 형성의 측면과 DME의 높은 연소범위 등이 영향을 미치는 것으로 판단된다.

Figure 6은 DME와 디젤연료의 점화지연기간( $\tau_{ig}$ )을 나타낸 것이다. 두 가지 연료 모두 동일하게 분사시기가 TDC 부근에 접근하게 되면 피스톤의 팽창과정중에 연료의 분사가 이루어지게 되어 점화지연기간이 다소 길어지는 결과를 보이고 있다. 또한, 분사시기를 BTDC 10° 이전으로 과도하게 진각시키는 경우도 연료 분사에 분위기 온도가 낮아지기 때문에 착화지연기간이 증가하고 있다. 전 분사시기에 걸쳐 DME의 경우가 디젤연료보다 2° 이상 점화지연기간이 짧았다. 이것은 DME 연료의 높은 세탄가에 의한 빠른 착화특성과 빠른 미립화와 기화에 의해 빠른 착화가능 혼합기를 형성하였기 때문인 것으로 보인다. 따라서 DME 엔진의 설계시에는 DME의 짧은 착화지연기간을 고려하여야 기존 디젤엔진의 분사시기보다 늦은 분사시기를 채택해야 할 것으로 판단된다.

Figure 7과 8은 연료 분사량의 변화에 따른 디젤연료

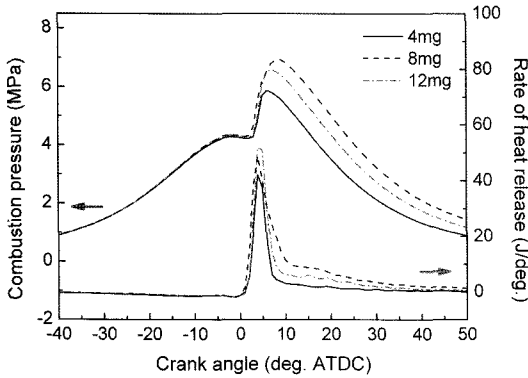


Fig. 7 Effect of fuel mass on the combustion characteristics of diesel fuel

와 DME의 연소압력 및 열발생율 특성을 나타낸 것이다. 분사시기는 BTDC 6°로 일정하게 유지하였다.

디젤연료의 경우, Fig. 7에서 나타난 바와 같이 예혼합 연소 후에 확산연소 및 후연소로 인하여 오랜기간동안 열발생율이 나타나고 있다. 분사량이 4에서 12 mg으로 증가함에 따라, 최대열발생율이 다소 증가하고 있으며 예혼합연소후에 확산연소 및 후연기간이 오랜기간동안 나타나고 있다. 두가지 연료 모두에서 연료의 분사량은 착화시점에 큰 영향은 미치지 않는 것으로 보이나, 분사량이 증가할수록 착화시점이 미소하게 전진되는 현상이 발견되었다. 이것은 분사량의 변화가 연소특성에 영향을 미친 것이 아니라, 분사량이 증가함에 따라 연소실내의 온도가 상승하여 착화지연기간이 다소 감소되고 있는 결과로 판단된다.

Figure 8에서 나타난 DME의 경우의 열발생율 특성은 분사량 8 mg의 경우에는 예혼합 연소(premixed

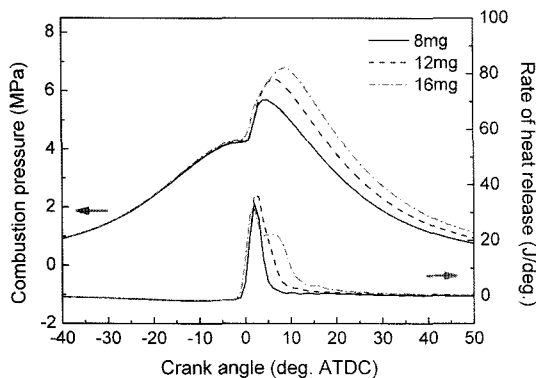
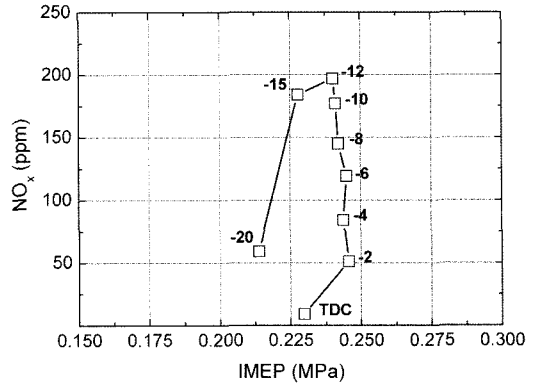
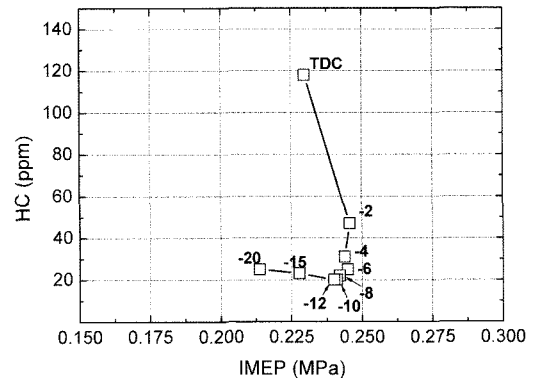


Fig. 8 Effect of fuel mass on the combustion characteristics of DME

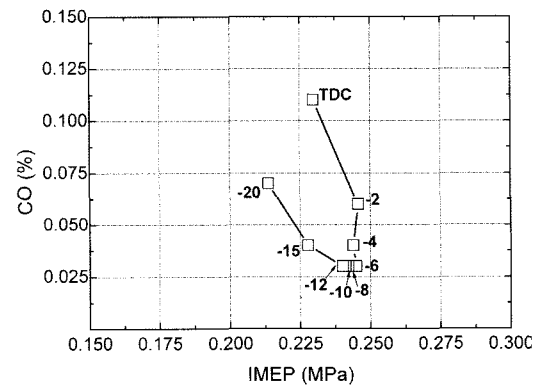
combustion)에 의한 1단계 연소의 특성을 보여주고 있으나 분사량이 16 mg으로 증가하게 되면 예혼합연소 이후에도 연료가 계속적으로 공급됨에 따라 예혼합 연소와 확산연소의 2단계 연소과정을 보여주고 있다. 그



(a) NO<sub>x</sub> vs. IMEP



(b) HC vs. IMEP



(c) CO vs. IMEP

Fig. 9 Emissions vs. IMEP trade-off curves for DME fueled engine (Mass of fuel = 8 mg, Injection pressure = 50 MPa)

## 결론

러나 예혼합 연소에 의한 최대 열발생율은 분사량에 의한 영향을 거의 받지 않고 있는데, 이것은 DME의 경우, 착화지연기간이 길지 않기 때문에 연료 분사도중에 착화가 시작되게 된다. 따라서 분사량이 증가하더라도 착화시작까지 연소실에 축적된 연료의 양의 차이가 없기 때문에 예혼합연소의 최대 열발생율에는 차이가 거의 없는 것으로 판단된다.

### 3.4 분사시기에 따른 배출물 특성

Figure 9는 DME의 분사시기(SOE) 변화에 따른 IMEP 변화에 따른  $\text{NO}_x$ , HC, CO의 배출량 특성을 나타낸 것이다. 분사압력은 50MPa이며 분사량은 8 mg으로 고정하였다.

IMEP의 경우는 분사시기가 BTDC 2° 부근에서 가장 높은 값을 가지며 분사시기를 TDC까지 지각시키면 실화에 의하여 급격히 감소하는 결과를 보이고 있다. 또한, 분사시기 BTDC 2~12° 구간에서 높은 IMEP 값을 유지하고 있으나 BTDC 15° 이전으로 분사시기를 진각시키게 되면 연소과정이 TDC 이전으로 과도하게 이동하여 압축과정 중에 연소가 일어나므로, 이에 따른 압축과정중의 일의 손실이 증가하여 IMEP가 급격히 감소하고 있다.  $\text{NO}_x$  배출량은 TDC 부근에서는 실화에 의해 가장 낮은 수치를 보이고 있으나 BTDC 12°까지 분사시기가 진각될수록 증가하고 있다. 그러나 이보다 분사시기가 더 진각된 경우에는 Fig. 6에서 나타난 것처럼 착화지연기간이 증가하여  $\text{NO}_x$  발생량은 오히려 발생량이 감소하는 경향을 보여주고 있다.

HC는 실화가 발생하는 TDC에서 가장 많이 배출되고 있으나, 이보다 분사시기가 진각될수록 발생량이 줄어들어서 BTDC 8~12° 부근에서 가장 낮은 수치를 보이고 있다.

CO 발생량도 실화지점인 TDC에서 가장 높게 나타났으며 BTDC 8~12° 에서 가장 낮으며, 이보다 더 진각되면 수치가 다소 증가하고 있다. 함산소연료이고 착화성 및 기화성이 우수한 DME의 특성상 HC와 CO의 배출량은 대체적으로 낮은 결과를 보이고 있으나 분사시기를 TDC 부근으로 지각시키게 되면 불완전연소에 의해 그 배출량이 급격히 증가하고 있음을 알 수 있다.

앞에서 설명한 것처럼, 탄소간의 직접결합이 없고 분자구조에 산소를 포함하고 있는 DME의 화학적 특성<sup>(4, 11)</sup>으로 인하여 전 운전과정에서 soot의 배출은 검출되지 않았다.

커먼레일 디젤엔진에 DME와 디젤연료를 적용하여 분무, 분사율, 연소 및 배출물 특성을 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 50 MPa의 압력으로 분사한 경우, DME의 분사지연기간은 0.26 ms로 디젤연료의 0.29 ms보다 약 0.03 ms가 짧은 것으로 나타났다.

2) DME는 디젤연료보다 밀도가 낮음에도 불구하고 최고분사율이 더 높게 나타났으며 이것은 DME의 낮은 점도의 영향으로 판단된다. 따라서, DME는 디젤연료와 동일 질량의 연료를 분사하는데 더 짧은 시간이 소요되는 것으로 보인다.

3) 가시화 체임버에서 3.5 MPa의 분위기압력하에서 DME와 디젤을 분사한 결과, DME가 다소 짧은 분무도달거리를 보였으며 분사종료에 의해 연료공급이 중단되면 활발한 증발로 인하여 분무가 얇아지는 것이 관측되었다.

4) DME는 점화지연기간이 3.62°로 디젤연료의 4.69°보다 1.07° 짧았으며, 8 mg의 분사량의 경우, 연소기간은 DME가 디젤연료에 비하여 1/3 이하인 것으로 나타났다. 따라서 DME 엔진에서는 짧은 착화지연기간을 고려한 설계가 필요한 것으로 판단된다.

5) DME의 경우, 연료분사량을 증가시킨 경우에도 예혼합연소의 열발생율은 증가하지 않는 것으로 나타났다. 이것은 DME는 착화지연기간이 길지 않기 때문에 분사도중에 착화가 시작되게 되어 분사량이 증가하더라도 착화시작까지 연소실에 공급되는 연료의 양의 차이가 크지 않기 때문에 예혼합연소의 최대 열발생율의 차이는 거의 없기 때문으로 판단된다.

6) IMEP의 경우는 분사시기가 BTDC 2° 부근에서 가장 높은 값을 가지며, 이보다 분사시기를 진각시키거나 지각시키면 IMEP가 감소하는 경향을 보였다.

7) 전 운전영역에서 soot의 배출은 검출되지 않았으며, HC와 CO의 배출량은 대체적으로 낮은 수준으로 보인다. 그러나  $\text{NO}_x$  배출량은 분사시기가 늦춰질수록 저감되는 특성을 보였다. 그러나 TDC 이후로 분사시기가 지연되게 되면 불완전연소로 인하여 HC와 CO가 급격히 증가하였다.

## 후기

본 연구는 교육인적자원부, 산업자원부, 노동부의 출

연금 및 보조금으로 수행한 최우수실험실지원사업 및 한국과학재단의 특정기초연구(R01-2006-000-10932-0) 지원으로 수행되었으며, 연구를 지원하여주신 관계기관에 감사 드립니다.

### 참고문헌

- (1) T. A. Semelsberger, R. L. Borup, and H. L. Greene, "Dimethyl ether (DME) as an alternative fuel", *Journal of Power Sources*, Vol. 156, 2005, pp. 497~511.
- (2) E. M. Chapman, A. L. Boehman, P. Tijm, and F. Waller, "Emission Characteristics of a Navistar 7.3L Turbodiesel Fueled with Blends of Dimethyl Ether and Diesel Fuel", SAE paper, 2001, 2001-01-3626.
- (3) S. C. Sorenson, "Dimethyl Ether in Diesel Engines: Progress and Perspectives", *ASME JOURNAL OF ENGINEERING FOR GAS TURBINE AND POWER*, Vol. 123, 2001, pp. 652~658.
- (4) H. Teng, J. C. McCandless, and J. B. Schneyer, "Thermodynamic Properties of Dimethyl Ether-An Alternative Fuel for Compression-Ignition Engines", SAE paper, 2004, 2004-01-0093.
- (5) S. Kajitani, C. L. Zhen, M. Konno, and K. T. Rhee, "Engine Performance and Exhaust Characteristics of Direct-Injection Diesel Engine Operated with DME", SAE paper, 1997, 972973.
- (6) S. W. Park and C. S. Lee, "Macroscopic and microscopic characteristics of a fuel spray impinged on the wall", *Experiments in Fluids*, Vol. 37, 2004, pp. 745~762.
- (7) H. K. Seo, S. W. Park, M. S. Chon, and C. S. Lee, "Effect of Ambient Conditions on Spray Characteristics of DME Fuel", *Proceedings of the 10th Annual Conference on Liquid Atomization and Spray Systems-Asia*, 2005, pp. 41~47.
- (8) H. K. Seo, S. W. Park, and C. S. Lee, "Atomization Characteristics of Dimethyl Ether Fuel as an Alternative Fuel Injected through a Common-Rail Injection System", *Energy & Fuels*, Vol. 20, 2006, pp. 1471~1481.
- (9) M. Kato, H. Takeuchi, K. Koie, H. Sekijima, S. Kajitani, Z. L. Chen and S. Hashimoto, "A Study of Dimethyl Ether(DME) Flow in Diesel Nozzle", SAE paper, 2004, 2004-01-0081.
- (10) L. Jun and Y. Sato, and A. Noda, "An Experimental Study on DME Spray Characteristics and Evaporation Processes in a High Pressure Chamber", SAE paper, 2001, 2001-01-3635.
- (11) S. G. An, M. Y. Kim, S. H. Yoon, J. H. Lee, and C. S. Lee, "Combustion and Exhaust Emission Characteristics of DME in a Common-rail Diesel Engine", *Transaction of KSAE*, Vol. 15, No. 2, 2007, pp. 74~80.