

DME와 디젤 단기통 엔진의 연소 및 배출가스 특성에 관한 연구

김현철¹⁾ · 강우¹⁾ · 김병수¹⁾ · 박상훈¹⁾ · 정재우¹⁾ · 박종호²⁾

자동차부품연구원 첨단동력-IT종합연구센터¹⁾ · 충남대학교²⁾

A Study on the Combustion and Exhaust Gas Characteristics of Single Cylinder Engine for DME and Diesel

Hyunchul Kim^{*1)} · Woo Kang¹⁾ · Byoungsoo Kim¹⁾ · Sanghoon Park¹⁾ · Jaewoo Chung¹⁾ · Jongho Park²⁾

¹⁾Power&IT Research Center of Korea Automotive Tech. Institute, 74 Yongjung-Ri, Pungse-Myun, Chonan 330-912, Korea

²⁾Department of Mechanical Engineering, Chungnam University, Daejeon 305-764, Korea

(15 July 2004 Received / Accepted 30 September 2004)

Abstract : In order to confront the increasing air pollution and the tightening emission restrictions, this research developed a diesel engine using DME, the advanced smoke-free alternative fuel. By numerical analysis, flow field, spray, and combustion phenomenon of the DME engine was presented. Using an experimental method, the configuration of the fuel supply system and operation/power performance was tested with the current plunger pump. Most emission performance, especially smoke performance was significantly improved. The possibility of conversion from the current diesel engine into the DME engine was affirmed in this research. However, it was found that the increase of engine RPM and fuel amount need to be properly adjusted through matching the characteristics of fuel and injector for further improvement.

Key words : DME fuel(DME-연료), Compressed ignition engine(압축착화엔진), Common-rail(커먼레일), Injection analysis(분무해석), Combustion analysis(연소해석), Swirl flow(스월유동)

Nomenclature

D_d : instantaneous droplet diameter
 τ_b : time scale of the break-up process
 We : Weber number
 σ_d : surface tension coefficient
 C_{bt} : empirical coefficient(3.6~8.4)
 Re_d : droplet Reynolds number
 C_{d1} : coefficient with the value 0.5
 C_{d2} : empirical coefficient(2~20)

RH : hydrocarbon fuel of nominal composition
 C_nH_{2n+2}
 R^* : radical formed from the fuel
 B : branching agent
 Q : intermediate species
 P : products consisting of CO , CO_2 and H_2O
 A_{ebu}, B_{ebu} : empirical coefficients
 F, O, P : fuel, oxidant, products
 χ/ϵ : micro mixing time scale
 m : mass of specific component
 n : reaction mole of specific component
 M : molecular weight of specific component

*To whom correspondence should be addressed.
hckim@katech.re.kr

1. 서론

지구온난화에 대응하기 위한 친환경 자동차의 실현을 위해 세계적으로 자동차 연비규제(우리나라의 경우 2009년 ≤140g/Km)가 강화됨에 따라 중단기적으로는 가솔린자동차에 비하여 CO₂ 배출량이 30% 이상 적게 발생하는 고효율 디젤엔진 탑재차량에 대한 관심과 수요가 증가되고 있는 추세이다. 그러나 디젤차량은 연료소비율이 낮아 온실효과의 주범인 CO₂ 배출량이 작은 반면에 인체에 극히 해로운 PM(입자성물질)과 NO_x의 배출이 다른 연료를 사용하는 차량보다 많아 유해 배출가스를 효과적으로 저감할 수 있는 후처리기술이나 디젤엔진에 사용 가능한 경유 대체연료 개발의 필요성이 대두되고 있다. 디젤엔진에 사용 가능한 경유 대체연료로서 주목받고 있는 DME는 제조 기술의 발달과 더불어 가솔린엔진 정도의 배출가스 수준을 유지하며 디젤엔진과 유사한 효율을 가질 수 있으므로 엔진에 적용할 수 있는 가능성이 더욱 높아지고 있다. 이런 이유로 최근 DME에 대한 관심이 증대하여 각국에서 연구개발을 추진 중이지만 DME는 경유와 비교하여 물성에 커다란 차이가 있으므로 기존 디젤엔진에 적용하기 위해서는 연료공급계를 비롯한 연소계의 수정 및 최적화가 요구되는 등 해결해야 할 문제가 다수 남아 있다.

본 연구에서는 고효율 고성능 DME 엔진의 개발을 위하여 수치해석을 통한 연소실내의 유동, 분무 및 연소 특성을 분석하고 엔진동력계 상의 실험을 위하여 커먼레일 형의 연료시스템을 구성하였으며 단기통 엔진을 제작하여 성능시험 결과를 제시하였다.

2. 이론해석

본 연구에서는 복잡한 엔진의 거동을 예측하기 위하여 DME 단기통 엔진의 흡입과정 유동과 연소실의 분무 및 연소현상을 수치해석하였으며, 그 결과를 초기 설계단계에 적용함으로써 고성능 DME 엔진의 개발기간을 단축하는 계기를 마련하고자 시도되었다. 한편, 소형 DME 엔진의 연소특성을 알아보기 위하여 Table 1과 같이 DME 연료의 특성을 고려한 후 화학 메카니즘을 적용한 분무 및 연소해석

을 수행하였으며, 여기에 적용한 수학적 모델은 다음과 같다. 분무모델은 Reitz and Diwaker Droplet Breakup Model을 적용하였고, 점화모델은 Shell Auto Ignition Model, 연소모델은 Turbulent Controlled Eddy Breakup Model을 사용하였다.

Table 1 Characteristics comparison of diesel and DME fuel

Item	Diesel	DME
Chemical formula	C ₁₆ H ₃₄	CH ₃ OCH ₃
Molecular weight	-	46.07
Carbon content(wt %)	87	52.2
Hydrogen content(wt %)	13	13
Oxygen content(wt %)	0	34.8
Boiling point(°C, 1atm)	180~370	-25.1
Liquid density(kg/m ³ , 20°C, 2MPa)	824	668
Bulk Modulus(N/mm ² , 20°C, 2MPa)	1,549	553
Viscosity(μ Pa · s, 20°C, 2MPa)	3,790	184
Vapor Pressure(MPa, 20°C)	-	0.51
Critical pressure(MPa)	-	5.37
Critical temperature(°C)	-	127
Stoichiometric A/F Ratio	14.6	9
Autoignition temperature(°C)	250	235
Explosion Limits(%)	0.6~7.5	3~17
Cetane number	40~55	55~60
Lower calorific value(kcal/kg)	10,000	6,900

2.1 대상 엔진의 제원

본 연구에서 적용한 소형 DME 엔진의 사양은 Table 2와 같다.

Table 2 Specifications of DME Engine

Item	Specifications
Bore(mm)	97.1
Stroke(mm)	98
Max. Intake Valve Lift(mm)	8.35
Max. Exhaust Valve Lift(mm)	8.5
Compression Ratio	18.5
Displacement Volume(cc)	2,902
Power(PS/rpm)	170/3,800
Torque(kg · m/rpm)	40/2,000

2.2 수학적 모델

일반적으로 분무모델은 2상 Lagrangian으로 접근하는데 노즐의 형태에 따른 분무 경향을 해석하는

경우, 분무된 유체가 노즐의 직경과 break-up 모델의 변화에 따라서 가스상태로 변화되는 형태가 다르게 나타난다. 본 연구에서 분무모델은 분사된 액적이 각각의 element로 나누어지며 분열된다고 가정하며, 인젝터 홀에서 분사되는 초기 액적의 크기가 홀의 지름과 같으며, 홀의 크기에 종속하여 액적의 break-up이 일어난다고 가정한다. 분무해석 할 때 적용한 Reitz/Diwaker Droplet Break-up Model은 액체 형태로 분사된 액적이 시간이 지남에 따라 기체 형태로 변화한다고 가정하며, break-up이 되는 기준은 droplet Weber와 droplet Reynolds 수에 근거하게 된다. 증발모델은 일반적으로 액적의 잠열과 압력에 의하여 mass transfer되는 양을 계산하게 된다. 이상은 다음과 같은 식들로 나타낼 수 있다.

$$\frac{dD_d}{dt} = \frac{(D_d - D_{d,stable})}{\tau_b}$$

$$We \equiv \frac{\rho_l \overline{u - u_d}^2 D_d}{2\sigma_d} \geq C_{bl}$$

$$\tau_b = \frac{C_{bl} \rho_d^{1/2} D_d^{3/2}}{4\sigma_d^{1/2}}, C_{bl} \approx \pi$$

$$\frac{We}{\sqrt{Re_d}} \geq C_{sl}, Re_d \equiv \frac{\rho_l \overline{u - u_d} D_d}{\mu}$$

$$\tau_b = \frac{C_{sl}}{2} \left(\frac{\rho_d}{\rho} \right)^{1/2} \frac{D_d}{|\overline{u - u_d}|}$$

$$\frac{dm_d}{dt} = -A_s F_m$$

$$F_m = K_g p_l \ln \left(\frac{p_t - p_{v,\infty}}{p_t - p_{v,s}} \right)$$

$$\tau_m = \frac{m_d}{A_s F_m} = \frac{\rho_d D_d}{6|F_m|} = \frac{\rho_d D_d}{6K_g p_l \ln \left| \frac{p_t - p_{v,\infty}}{p_t - p_{v,s}} \right|}$$

여기에서

A_s : Droplet surface area

K_g : Mass transfer coefficient

p_t : Gas pressure

$p_{v,\infty}$: Partial pressure of the vapour in the droplet surroundings

$p_{v,s}$: Partial pressure of the vapour in the droplet surface

T_d : Droplet temperature

τ_m : Mass relaxation time scale

충돌모델은 Bai's spray impingement model의 rebound를 적용하였다. 분무된 액적은 습식벽에 충돌하고 벽으로부터 탄성적으로 리바운드된다는 가정을 통하여 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$La = \frac{\rho_d \sigma D_d}{\mu_d^2}, La : \text{Laplace number}$$

$$We_d \leq 5$$

DME 엔진의 점화모델은 Shell Auto Ignition Model을 사용하였다. 이것은 분자량이 높은 연료의 점화현상 해석에 적합한 모델로 알려져 있다. 이 모델은 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$S_R \equiv \frac{1}{V} \frac{dn_R}{dt} = 2(x_A [RH][O_2] + x_B [B] - x_T [\bar{R}]^2) - f_3 x_T [\bar{R}]$$

$$S_B \equiv \frac{1}{V} \frac{dn_B}{dt} = f_1 x_T [\bar{R}] + f_2 x_T [Q] [\bar{R}] - x_B [B]$$

$$S_Q \equiv \frac{1}{V} \frac{dn_Q}{dt} = f_4 x_T [\bar{R}] + f_2 x_T [Q] [\bar{R}]$$

$$S_O \equiv \frac{1}{V} \frac{dn_{O_2}}{dt} = -p x_T [\bar{R}]$$

$$n_{RH} = \frac{(n_{O_2} - n_{O_2}(t=0))}{\beta m} + n_{RH}(t=0)$$

- primary initiation $RH + O_2 \rightarrow 2R^*$
- main propagation $R^* \rightarrow R^* + P$
 $R^* \rightarrow R^* + B$
 $R^* \rightarrow R^* + Q$
 $R^* + Q \rightarrow R^* + B$
- branching $B \rightarrow 2R^*$
- linear termination $R^* \rightarrow \text{inert products}$
- quadratic termination $2R^* \rightarrow \text{inert products}$
- The rate coefficients of reactions: $\chi = A e^{(-E/RT)}$

또한, 소형 DME 엔진의 연소현상을 관찰하기 위하여 Turbulent Controlled Eddy Break-Up Model을 사용하였다. 이러한 연소모델은 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$R_F = -\frac{\rho \epsilon}{\chi} A_{ebu} \min \left[m_F, \frac{m_o}{S_o}, B \frac{m_P}{S_P} \right] (kg/m^3 s)$$

$$S_o = n_o M_o / n_F M_F$$

$$S_P = n_P M_P / n_F M_F$$

DME 엔진의 연소해석에서는 Table 3과 같은 화학종 30개를 적용하였고, 화학반응식은 45개를 고려하였다.

Table 3 Chemical species for DME combustion analysis

CH ₃ OCH ₃	O ₂	CH ₃ OCH ₂	CH ₃ OCH ₂ O ₂
CH ₂ OCH ₂ O ₂ H	O ₂ CH ₂ OCH ₂ O ₂ H	OH	HO ₂
H ₂ O ₂	HO ₂ CH ₂ OCHO	OCH ₂ OCHO	CH ₃ OCH ₂ O ₂ H
N ₂	H ₂ O	CH ₂ O	HCO
CO	HOCH ₂ OCO	HCO ₂	CH ₂ OH
CO ₂	CH ₃	CH ₃ O	CH ₃ OCH ₂ O
CH ₃ CHO	CH ₂	AIR	O
H	H ₂		

2.3 격자생성

생성된 전체 격자의 수는 피스톤이 상사점에 이르렀을 때 828,900개, 하사점에 이르렀을 때 1,279,048개 이다. 양질의 격자를 생성하고 밸브 주변의 수렴성을 향상시키기 위하여 밸브의 격자를 정밀하게 구성하였다. 대상 디젤엔진의 흡기포트, 배기포트, 흡배기 밸브 및 연소실의 격자를 Star-CD로 읽어 들인 후 aspect ratio 및 wrapage, skewness 등을 조사하여 격자의 생성이 계산에 적합한지 검사 과정을 거쳤으며, 최종적으로 생성된 대상 DME 엔진의 격자가 Fig. 1에 있다.

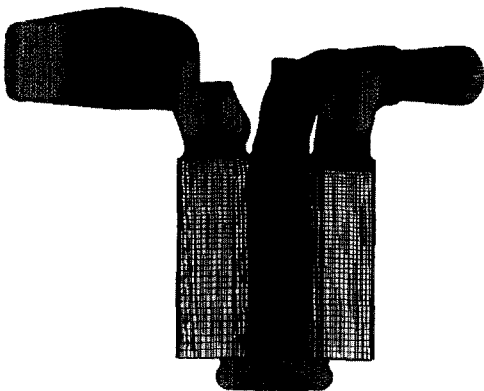


Fig. 1 Mesh generation of 4 valve DME engine

2.4 해석방법 및 경계조건

본 연구에서는 엔진 연소실 내부의 흡입행정에 대한 유동 및 압축행정 말기(BTDC 15°)와 팽창행

정 중기(ATDC 45°)까지에 대한 분무 및 연소를 수치해석 하였다. 대상 엔진의 피스톤 회전수는 1,500rpm으로 하였으며, 크랭크축의 각도를 0.25°씩 이동시킴에 따라 맞물려 움직이는 피스톤을 적용하여 이동격자를 생성하였다. 스케일 팩터(scale factor)=1, 보어 직경=97.1mm, 행정=98mm, 커넥팅 로드 길이=155mm를 적용하였다. 또한, Table 2에 있는 엔진제원을 적용하여 수치해석 하였으며, 분무 및 연소해석의 계산시간을 단축하기 위하여 mesh는 6개의 분사 홀 중에서 1/6인 1개 홀만을 가지고 해석하였다. 항목별 경계조건을 살펴보면 Table 4와 같다.

Table 4 Boundary condition

Item	Specifications
Fuel	De-methyl ether
Injection mass(mg)	5.411
Injection start time(CA)	BTDC 5
Duration(ms)	1.00
Injection hole dia.(mm)	0.25
Cone angle(deg)	8
Swirl ratio	2.715

격자를 생성하기 전 해석 대상 엔진의 밸브는 닫힌 상태를 유지하며, 피스톤은 상사점에 위치하게 한다. 격자의 생성은 ICMCFD를 이용하였고, 특히 IC3M으로 엔진의 이동격자를 생성하였으며, 수치해석시 화학반응을 고려하였으므로 Chemkin을 적용한 Star-CD kinetics를 사용하여 계산을 실시하였다.

3. 해석결과 및 고찰

3.1 스윙과 텀블비

크랭크 각에 따른 스윙¹⁾과 텀블비의 변화를 살펴보기 위하여 도시한 그림을 Fig. 2에 나타내었다.

이 그래프를 통하여 연소해석에 적용한 CA 705°에서의 스윙비 2.715를 얻을 수 있었다. 또한, 크랭크 각 433°에서 최대 텀블 값 3.41을 가지고 있었으며, 흡입유동에서 전반적으로 강한 난류운동에너지가 생성되었고, 크랭크 각 435°에서 268m²/s²의 값을 갖는 가장 강한 난류운동에너지가 발생하였다.

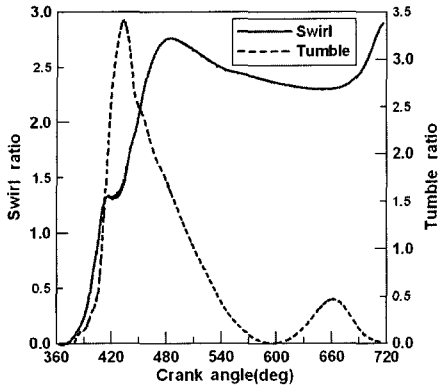


Fig. 2 Swirl and tumble ratio vs crank angle

3.2 분무 및 연소해석

분무 및 연소에 대한 해석은 BTDC 15°에서부터 시작하였다. 분사가 시작되는 BTDC 5°까지 크랭크 각=0.5°, dt=5.5e-5로 하여 계산한 결과를 1 time step 당 1회 저장하도록 하였다. BTDC 5°부터 TDC까지는 크랭크 각=0.05°, dt=5.5e-6로 하여 시간 간격을 100등분 하도록 한 후 계산하였다. TDC부터 ATDC 45°까지는 크랭크 각=0.1°, dt=1.1e-5로 하여 시간 간

격을 450등분 하도록 한 후 계산한 결과를 5 time step당 1회 저장하도록 설정하였다. Fig. 3을 살펴보면 크랭크 각 BTDC 5°에서 시작한 DME 연료의 분사형태가 나타나 있다. 인젝터에서 152m/sec의 속도로 분사된 후 미립화되는 과정을 볼 수 있으며 이때 최대 35m/sec의 속도로 진행된다. 분사 직후 break-up된 연료의 모습은 BTDC 3°(1.2ms)에서 볼 수 있다. Fig. 4를 살펴보면 연소가 발생할 때의 크랭크 각 변화에 따른 DME와 경유의 온도분포를 알 수 있다. Fig. 4를 통하여 피스톤 크라운 저변부에 온도분포가 높게 나타나는 경향을 알 수 있으며, 약 2500°K의 최고온도를 나타내었다. 또한, DME의 밀도가 경유의 81%이며 저위발열량도 경유의 68%이고 점도는 약 20배의 차이가 있으므로, DME가 경유보다 전체적으로 분무각이 크게 나타났으며, 분무선단의 관통거리는 짧게 나타났다는 것을 알 수 있었다. 한편, 본 연구에서는 CH₃OCH₃ 등 30개의 화학종을 고려하여 생성되는 배출가스를 계산하였으며, 이 중에서 크랭크 각의 변화에 따른 CO₂의 농도 분포를 Fig. 5에 나타내었다. 분사된 연료는 미립화 과정을 거쳐

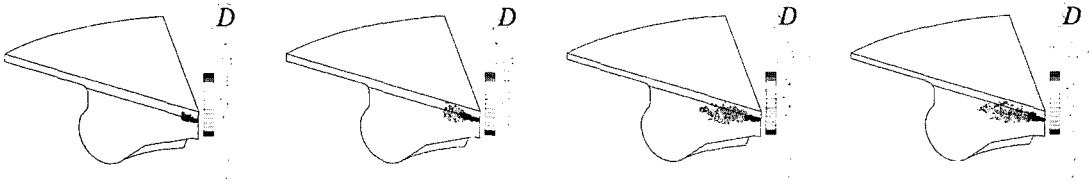


Fig. 3 DME injection patterns with respect to crank angle

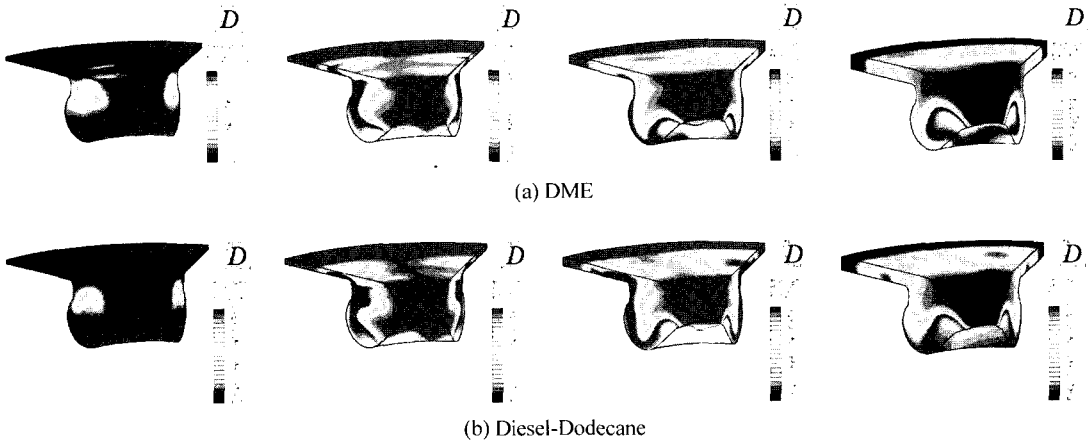


Fig. 4 Temperature contours with respect to crank angle

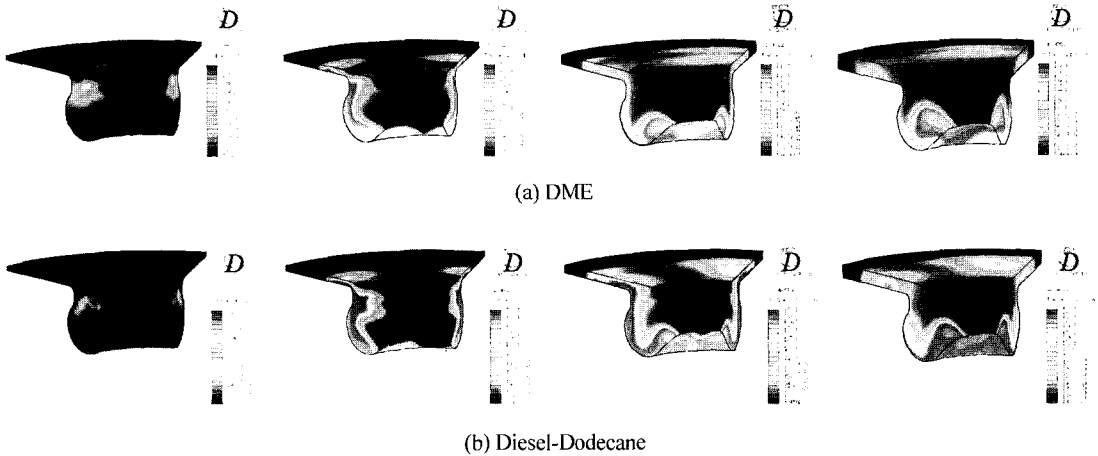


Fig. 5 CO₂ concentration contours with respect to crank angle

연소되면서 CO₂의 발생이 연소실 벽면을 따라 증가한다. 이것을 통하여 연소의 진행상황과 연소가 발생하는 영역을 순차적으로 파악할 수 있다. DME의 CO₂ 최고 질량분율은 0.2이며, CO₂의 농도분포를 통해서도 DME가 경유보다 전체적으로 분무각이 크며, 분무시 관통거리가 짧다는 것을 알 수 있었다.

4. 실험장치 및 실험결과

4.1 커먼레일형 DME 연료공급계

본 연구에서는 커먼레일형 연료공급계와 전자제어 인젝터를 사용하여 분사계를 구성하였다. DME가 디젤과 동등한 연료에너지를 얻기 위해서는 이론상 약 1.8배의 연료가 필요하다. 따라서 커먼레일용 고압 인젝터의 홀 직경을 기존의 경우(5hole, ϕ 0.168mm)보다 크게(5 hole, ϕ 0.5mm) 확대 가공하였다. DME 연료는 상온에서 5bar 이상 가압하여야 액상으로 존재하기 때문에 플런저 펌프로 DME 연료를 항상 액상으로 공급하기 위하여 이송용 연료공급장치³⁾를 별도로 제작하였으며, 개략도를 Fig. 6에 나타내었다.

이송용 연료공급장치에는 공급연료와 리턴된 연료의 온도를 제어할 수 있도록 열교환기가 설치되어 있으며, 연료라인에 사용된 각종 밸브들의 실링재료도 DME에 충분히 견딜 수 있는 내화학성 재질들이 선정되었다. 또한, 연료자체의 낮은 윤활성을 보완하기 위하여 DME 연료에 윤활성 향상제로

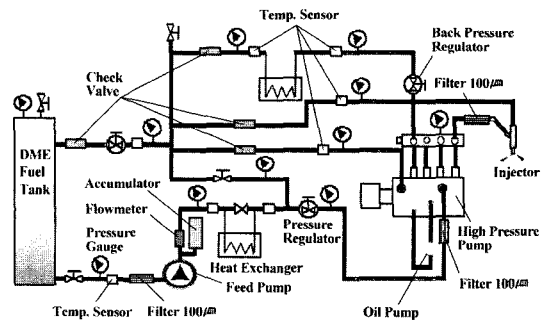


Fig. 6 Schematic diagram of DME fuel supply system

Hitec 4140 모델을 750ppm 첨가하였다.

한편, DME와 디젤용 인젝터의 분사율 실험(Zeuch법)을 통하여 분사율 특성과 동일 열량을 가지는 분사량 및 인젝터 통전시간을 미리 확인한 후 실험 시 연료량 공급 기준으로 설정하였다. 분사율 실험 결과 분사지연은 약 0.3ms 정도였으며, 이는 2,000rpm의 회전속도에서 4° 미만이며 통전시간 기준으로 약 0.5ms 정도 더 분사가 이루어져야 한다는 것을 확인할 수 있었다. DME 연료는 경유에 비하여 밀도가 낮고 발열량이 적기 때문에 더 많은 연료가 공급되어야 함을 알 수 있었다.

4.2 단기통 엔진 실험장치

실험장치의 주요 구성은 단기통 엔진, 동력계, 배기분석계, 분사제어기 및 데이터 취득시스템, 각종 센서류 등으로 구성되어 있으며, 동력계는 자체 구

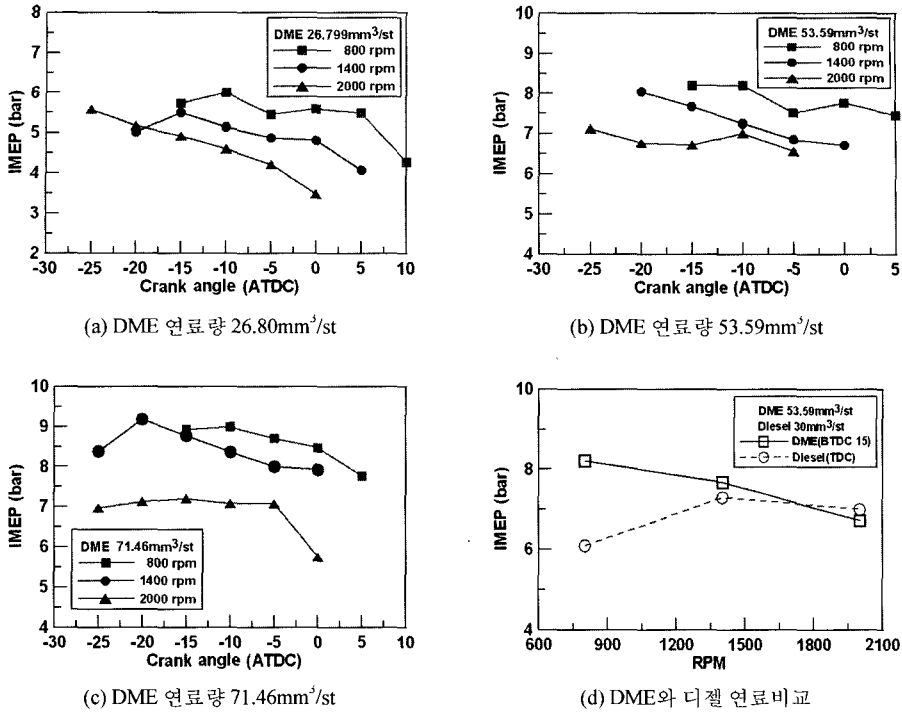


Fig. 7 IMEP characteristics of DME engine

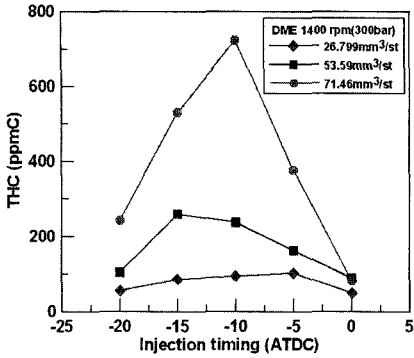
동이 가능한 AVL사의 AC 126kW급을 사용하였다. 연소실 내부 압력측정을 위하여 Piezo electric 형의 압력센서(Kistler사, 6051B1)를 실린더헤드에 부착하였으며, 센서신호의 보정을 위하여 흡기관 내부에 Piezo-resistive 형의 압력센서(Kistler사, 4045A2)를 부착하였다. 연료계는 전자제어 인젝터와 그 제어시스템으로 구성하였다.

4.3 엔진 성능시험 및 배출가스 분석

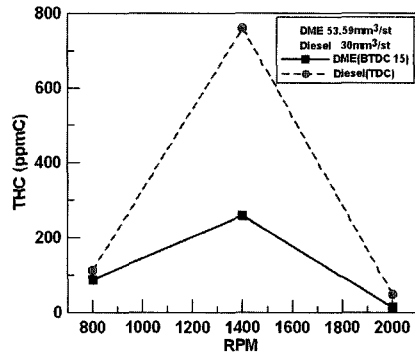
Fig. 7의 (a), (b), (c)는 DME 엔진의 분사시기에 따른 IMEP 특성을 보여주고 있으며, 실험 결과 분사시기^{3,4)}는 디젤엔진보다는 좀 더 빠른 BTDC 10°~15° 부근에서 안정된 IMEP가 발생하는 것을 알 수 있다.

Fig. 7의 (d)는 DME와 디젤 연료의 IMEP 비교결과를 나타내고 있다. 동일 열량에서 회전속도가 낮을수록 DME의 동력성능이 우수함을 알 수 있으며, 800rpm의 경우는 디젤 엔진에 비하여 효율이 매우 우수한 것을 볼 수 있다. 그러나, 회전속도가 빨라짐에 따라 그 효율이 감소되는 현상이 나타나고 있다. 이런 현상은 디젤 연료와 비교하여 DME 연료계 분

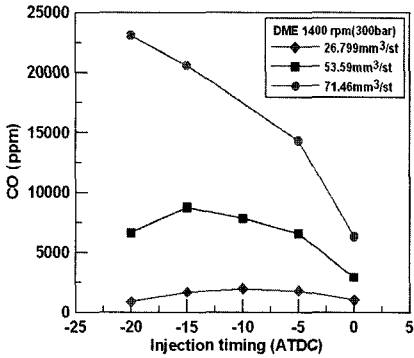
사시간의 과도한 증대에 기인한 것으로 고찰되며, 추후 이에 대한 기술적 대응이 필요한 것으로 보인다. 한편, DME 엔진의 배출가스 성능을 측정하여 Fig. 8에 나타내었다. 분사시기가 진각 될수록 CO와 NOx의 발생이 증가하는 것을 알 수 있으며, 특히 최적의 동력발생 분사시기로 여겨지는 BTDC 10° 또는 BTDC 15°에서는 THC 배출이 최대이고, 이 보다 더 분사시기를 진각시키는 경우 CO 및 NOx의 배출은 급격히 증가하는 것을 알 수 있다. 이러한 결과로부터 IMEP와 배출가스의 최적 매칭을 위한 분사시기 범위는 BTDC 10°~15° 사이가 타당할 것으로 판단된다. 디젤연료와 비교하여 DME의 경우 매연은 모든 시험조건에서 전혀 배출이 되지 않아서 디젤 엔진의 가장 큰 해결과제인 매연 발생 저감 측면에서 보면 매우 우수하다는 것을 알 수 있었다. THC, NOx의 경우도 디젤 엔진에 비하여 많지 않으므로, 기존 엔진의 배기 규제 대상인 NOx, PM 그리고 THC의 배기성능은 우수한 것으로 나타났다. 그러나 본 실험에서 CO의 배출은 디젤에 비하여 배출량이 많은 것으로 측정되었으며, 추후 이것에 대한 해



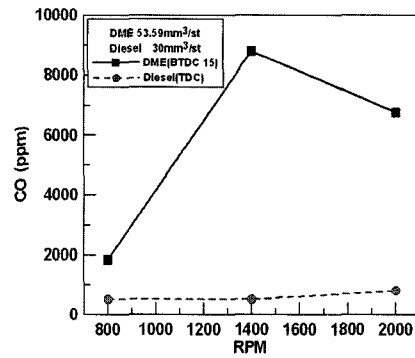
(a) DME 엔진의 THC 배출



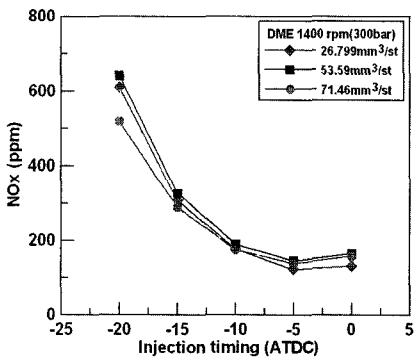
(b) DME와 디젤연료의 THC 배출 비교



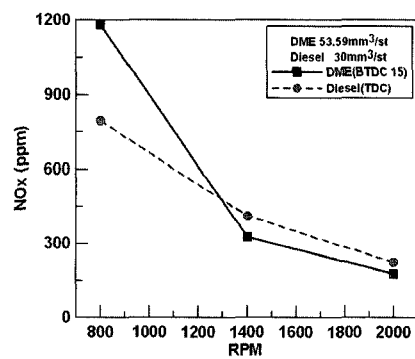
(c) DME 엔진의 CO 배출



(d) DME와 디젤연료의 CO 배출 비교



(e) DME 엔진의 NOx 배출



(f) DME와 디젤연료의 NOx 배출 비교

Fig. 8 Exhaust gas performance of DME engine

결 방안이 필요할 것으로 보여진다. DME 엔진의 열 발생을 특성을 고찰하기 위하여 엔진 회전속도 1400rpm, IMEP가 약 7bar 부근에 존재하는 연료량 분사조건(53.59mm³/st)에 대한 동일 분사시의 디젤 및 DME 연소압력과 열발생율을 Fig. 9에 제시하였다. DME를 사용하는 경우 디젤연료와 비교하여

최고압력 및 최고 열발생율이 낮은 특성을 보여 주었으며, 초기 압력 및 초기 열발생율이 상대적으로 작게 나타났다. 이러한 초기 연소특성이 동력 저감의 원인인 것으로 고찰된다. 한편, 연소해석을 통하여 얻은 연소압력을 Fig. 9에 도시하여 실험데이터와 비교함으로써 신뢰성을 확인하였다. 실험을 통

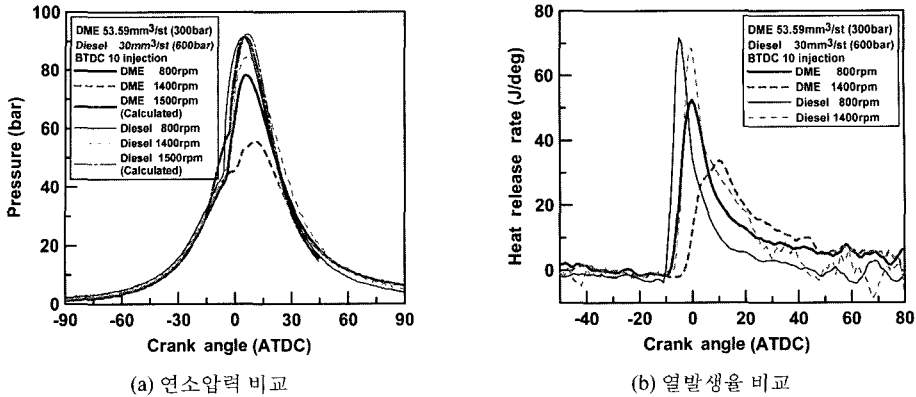


Fig. 9 Comparison of combustion pressure and heat release rate for DME and diesel fuel

하여 얻은 연소압력은 실험조건에 영향을 받아 디젤과 DME가 약간의 차이를 보이고 있지만 해석을 통하여 얻은 연소압력은 디젤이 DME보다 약간 높은 최고압력을 가지고 있었으나 전반적으로 해석과 실험치가 비슷한 압력분포를 나타내는 경향을 보였다.

5. 결론

본 연구는 DME와 디젤 단기통엔진의 연소 및 배출가스 특성을 알아보기 위하여 대상 엔진의 유동, 분무 및 연소해석을 수행하였으며, DME용 연료공급 및 분사장치를 제작하여 단기통 엔진 성능시험을 수행함으로써 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 화학반응을 고려한 DME 연료의 3차원 시뮬레이션을 통하여 대상 엔진의 분무 및 연소특성을 해석하였으며, 연소압력을 통하여 해석결과를 검증하였다.
- 2) DME 연료를 실험하기 위한 단기통 엔진시스템을 제작하였으며, 이를 통하여 DME와 디젤 연료의 IMEP와 배출가스 성능을 비교하였다.
- 3) DME의 최적 분사시기는 디젤 엔진의 경우보다 약간 빠른 BTDC 15° 부근에서 나타나는 것을 알 수 있었다.
- 4) DME에 대한 IMEP 성능의 경우 저부하 저속에서의 효율은 우수한 것으로 나타났으나 회전속도의 증가에 따른 효율은 저감하는 것을 확인하였다.

이것을 해결하기 위하여 엔진 크기와 분사율 특성의 적절한 매칭이 필요하다는 것을 알 수 있었다.

- 5) 배출가스 성능면에서 DME의 경우 매연이 전혀 발생하지 않았으며, NOx, THC 배출 성능이 디젤 연료에 비하여 우수한 것으로 나타났으나 본 엔진의 경우 DME 연료 사용 시 CO의 배출량이 많았으며, 이에 대한 원인분석 및 저감 기술에 대한 적용이 필요할 것으로 판단된다.

References

- 1) S. Y. Lee and Y. D. Choi, "Numerical Simulation of Swirling Turbulent Flows in the Cylinder of a Diesel Engine," Transactions of KSAE, Vol.7, No.1, pp.38-49, 1999.
- 2) P. Kapus and H. Ofner, "Development of Fuel injection Equipment and Combustion System for DI Diesel Operated on Dimethyl Ether," SAE 950062, 1995.
- 3) S. Kajitani, Z. L. Chen, and Konno, K. T. Rhee, "Engine Performance and Exhaust Characteristics of Direct-injection Diesel Engine Operated with DME," SAE 972973, 1997.
- 4) Y. D. Pyo, G. C. Kim, Y. J. Lee and M. H. Kim, "A Study on Performance and Exhaust Emissions of DI Diesel Engine Operated with Neat DME and DME Blended Fuels," Transactions of KSAE, Vol.11, No.2, pp.75-82, 2003.

- 5) T. Yoshizaki, K. Wakai, K. Vishida and H. Hiroyasu, "Experimental and Numerical Analysis on Spray Tip Penetration of DME Spray," 7th Symposium(ILASS-Japan) on Atomization, Gunma, Japan, Dec. 21-23, pp.184-188, 1998.
- 6) K. Wakai, K. Nishida, T. Yoshizaki and H. Hiroyasu, "Spray Characteristics of Dimethyl Ether from a DI Diesel Injection Nozzle," Transactions of JSAE, Vol.30, No.1, pp.41-47, 1999.
- 7) J. S. Hwang, J. S. Ha and S. Y. No, "Spray Characteristics of DME in Common Rail Injection System," Proc. of Busan Engine International Symposium 2001, Busan, Korea, Dec.12-14, pp.139-144, 2001.
- 8) J. Yu, J. Lee and C. Bae, "Dimethyl Ether Spray Characteristics Compared to Diesel in a Common-rail Fuel Injection System," SAE 2002-01-2898, 2002.
- 9) D. W. Gill and H. Ofner, "Dimethyl Ether a Clean Fuel for Transportation," SAE 990959, 1999.
- 10) M. Konno, S. Kajitani, M. Oguma, T. Lwase and K. I. Shima "NO Emission Characteristics of a CI Engine Fueled with Neat Dimethyl Ether," SAE 1999-01-1116, 1999.
- 11) S. Kajitani, Z. L. Chen, and Konno, K. T. Rhee, "Engine Performance and Exhaust Characteristics of Direct-injection Diesel Engine Operated with DME," SAE 972973, 1997.
- 12) S. C. Sorenson, R. Christenesn, M. G. Jensen and K. F. Hansen, "Engine Operation on Dimethyl Ether in a Naturally Aspirated, DI Diesel Engine," SAE 971665, 1997.