

<학술논문>

DOI <http://dx.doi.org/10.3795/KSME-B.2012.36.12.1151>

ISSN 1226-4881

## 커먼레일 연료시스템에서의 DME 분무 특성에 대한 실험과 해석적 연구

정수진<sup>\*†</sup> · 박정권<sup>\*</sup> · 이상인<sup>\*</sup> · 임옥택<sup>\*\*</sup>

\* 자동차부품연구원 동력시스템연구센터, \*\* 울산대학교 기계·자동차공학부

### Experimental and Numerical Analysis of DME Spray Characteristics in Common-rail Fuel System

Soo-Jin Jeong<sup>\*†</sup>, Jung-Kwon Park<sup>\*</sup>, Sang-In Lee<sup>\*</sup> and Ock-Taeck Lim<sup>\*\*</sup>

\* Korea Automotive Technology Institute,

\*\* Dept. of Mechanical and Automotive Engineering, Ulsan Univ.

(Received March 14, 2012 ; Revised September 5, 2012 ; Accepted September 17, 2012)

**Key Words:** Common-Rail(커먼레일), DME(디메틸에테르), Spray Characteristics(분무 특성), Visualization(가시화), Equivalence Ratio(당량비)

**초록:** 본 논문에서는 노즐홀 직경을 확대하여 유량을 증가시킨 DME 인젝터의 가시화 실험과 분무 해석을 수행하였다. 해석의 신뢰성을 확보하기 위하여 가시화 실험과 분무해석을 비교하였고, 실엔진 모사 조건에서 분무 해석을 수행하여 DME의 거동을 예측하였다. 분사 압력과 분위기 압력이 각각 35MPa 및 5MPa인 경우 가시화 실험과 분무 해석의 도달거리는 3.57%의 차이를 나타내었다. 실엔진 모사 해석의 경우, 완전하게 발달된 DME의 분무 도달거리는 분위기 온도와 압력의 비가 300K/MPa에서 42mm로 최대를 나타내었고, 300K/MPa미만의 영역에서 DME의 분무는 분위기 압력, 300K/MPa초과의 영역에서는 분위기 온도의 영향이 지배적임을 확인하였다.

**Abstract:** Spray visualization and computer simulation of a DME injector have been conducted to investigate the enlarged injection hole diameter effect. To increase the reliability of the computational result, simulation results have been compared with the visualization test results, and the behaviors of a DME spray under various high-pressure and -temperature conditions have been computed. This study shows a discrepancy of 3.57% between the experimental and the computational results of penetration length for an injection pressure of 35 MPa and ambient pressure of 5 MPa. When simulating the engine conditions, the maximum penetration length of a fully developed DME spray is 42 mm when the temperature to pressure ratio is 300 K/MPa. The DME spray behavior is dominantly affected by the ambient pressure under the condition that the ratio is less than 300 K/MPa, and by the ambient temperature under the condition that the ratio is more than 300 K/MPa.

- 기호설명 -

We : 웨버수[-]

c : stripping 분열 계수

Re : 레이놀즈수[-]

$\rho$  : 밀도[kg/m<sup>3</sup>]

v : 상대속도[m/s]

$\sigma$  : 표면장력[N/m]

L : 특성길이

F : 연료

A : 공기

$\phi$  : 당량비

P : 압력[MPa]

T : 온도[K]

t : 시간[sec]

하첨자

crit : 임계

amb : 분위기

inj : 분사

† Corresponding Author, [sjjeong@katech.re.kr](mailto:sjjeong@katech.re.kr)

© 2012 The Korean Society of Mechanical Engineers

### 1. 서론

DME(Di-Methyl Ether)는 세탄가가 높아 착화성이 뛰어나고, 분자 구조상 연소 시 PM의 발생이 적어 디젤의 청정 대체연료로 많은 연구가 진행되어 왔다.<sup>(1-3)</sup> 한편 DME는 디젤보다 낮은 저위 발열량을 갖기 때문에 디젤 엔진과 동일한 성능을 확보하기 위해서 체적기준 42%, 질량기준 33% 이상의 연료를 분사하여야 한다.<sup>(1-7)</sup> 따라서 인젝터에 분무량을 증가시키는 방법은 연료의 공급 압력을 높이는 방법, 분사기간을 늘리는 방법, 그리고 인젝터의 노즐을 확경시키는 방법 등이 있다. 그러나 DME 연료의 공급 압력을 높이는 방법은 DME의 낮은 점성과 높은 압축성으로 인하여 가압 기술수준이 디젤의 연료 공급 압력 대비 1/3 수준으로 그 한계가 있다.<sup>(2,4)</sup> 또한 DME는 디젤에 비하여 낮은 표면장력 및 임계온도를 갖기 때문에 동일한 분위기 조건에서 디젤 분무의 증발보다 더 빠른 증발이 일어난다.<sup>(1-3)</sup> 이러한 급격한 연료의 증발은 흡기현상에 직접적인 영향을 주는 것으로 보고되고 있다. 따라서 본 연구에서는 인젝터 노즐 확경을 통하여 분사량을 증가시킨 DME 인젝터를 대상으로 분무 가시화 실험을 수행하였고, 분무 형상해석을 병행하여 가시화 실험과 비교하였다. 또한 가시화 실험의 특성상 고온, 고압의 엔진 모사 실험이 어렵기 때문에 전산 유체 해석을 통하여 엔진 작동 조건으로 해석을 수행하였으며, 연소실의 분위기 압력과 온도의 범위는 디젤 엔진 작동 압력과 온도인 2~6MPa, 600~1000K으로 가정하였다. 본 논문에서는 이러한 엔진 모사 해석을 통하여 휘발성이 높은 DME연료의 디젤 엔진 적용성에 대하여 검토하고, 이를 통한 엔진 성능 향상을 위한 분사 제어 전략 및 연소 전략 수립에 기여하고자 한다.

### 2. 가시화 실험과 분무 형상 해석

DME 인젝터의 분무특성을 예측하고, 분무 형상 해석의 신뢰성을 확보하기 위하여 가시화 실험과 분무 형상해석을 병행하였다. 연료 공급 압력과 분위기 압력의 변화에 따른 분무의 도달거리, 분무 형상, 그리고 연소실 내 분무의 분포특성을 확인하였으며, 가시화 실험으로 확인하기 어려운 분무의 특성들을 예측하였다.

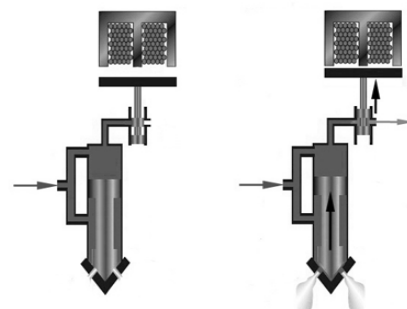
### 2.1 디젤 인젝터와 DME 인젝터

본 연구에 사용된 대상 인젝터는 2,900cc급 커먼레일 엔진에 장착되는 디젤 인젝터와 DME 개발인젝터이다. 디젤 인젝터와 DME 인젝터는 솔레노이드 타입의 인젝터로 유압 서보식으로 구동된다. Table 1에서와 같이 디젤 인젝터의 노즐 직경은 124 $\mu$ m로서 7개의 방사형 노즐 홀로 구성되어 있으며, DME 인젝터의 노즐은 6개의 방사형 홀로 구성되어 있다.

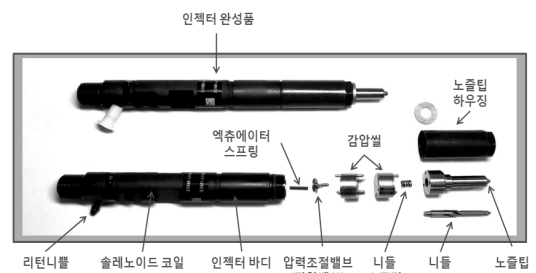
노즐 홀의 직경은 250 $\mu$ m이며, 뛰어난 기계적 특성과 강도 그리고 내 화학성을 갖는 HNBR<sup>(8)</sup> 소재의 기밀재를 제작하여 인젝터에 적용하였다. Fig. 1은 유압서보식 인젝터의 구조와 인젝터의 구성을 보여주고 있다.

**Table 1** Specifications of diesel injector and DME injector

Specification	Diesel injector	DME injector
Nozzle type	Mini-sac	VCO
Hole no.[EA]	7	6
Hole diameter[ $\mu$ m]	124	250
Cone angle[ $^{\circ}$ ]	22	
Spray angle[ $^{\circ}$ ]	150	140



(a) Hydraulic servo-type injector



(b) Structures of DME injector

**Fig. 1** Structures and principles of DME injector

2.2 가시화 실험

2.2.1 가시화 실험 장치

가시화 실험을 수행하기 위하여 Fig. 2와 같은 실험 장치를 구성하였다. 정적 연소실 좌측면에는 인젝터를 장착하였고, 정면에는 광원을 위치시켜 분무 진행방향으로 초점을 맞췄으며, 우측면에는 카메라를 위치시켜 인젝터 tip 부분을 바라보게 하여 분무 영상을 취득하였다. 정적 연소실에 질소 탱크를 연결하여 챔버 내의 분무기 압력을 제어하였고, 스트로브 광원은 인젝터 드라이버와 연결된 delay generator를 통하여 제어하였다.

2.2.2 실험 방법 및 조건

가시화 실험은 암실 조건에서 카메라의 조리개를 개방한 상태로 분무 시작 후 일정시간 뒤 광원을 발광시켜 이때 피사된 분무 영상을 취득하는 방법으로 수행되며, 광원의 발광시점을 제어하여 시간에 따른 분무의 형상을 획득한다. 노즐이 확장된 DME인젝터를 사용하여 DME 연료의 분무들을 비교하였고, 인젝터 드라이버는 1ms로 설정하여 일정압력의 질소로 가압된 정적 챔버에

연료를 분사하였다. Table 2는 가시화 실험의 조건이다.

2.3 분무 형상 해석

분무 형상 해석을 위해 상용코드인 Star-CCM+를 사용하여 해석을 수행하였고, 가시화 실험결과와 비교하기 위하여 Table 2의 실험조건과 동일한 경계 조건으로 해석을 진행하였다. 본 해석에 적용된 난류 모델은 Menter<sup>(9)</sup>가 제안한 k-w SST(Shear Stress Transport) 모델이며, 이 모델은 역압력 구배 또는 박리유동의 유동장을 비교적 정확하게 예측할 수 있는 것으로 보고되어 왔다.

해석에 사용된 Reitz-Diwakar break-up<sup>(10)</sup> 모델은 Bag break-up과 Stripping break-up의 두 가지 분열 과정을 가정한다. 먼저 Bag break-up은 입자 주변에 낮은 압력의 영향으로 연료 입자의 내부압력이 표면장력을 극복( $We > We_{crit}$ )하여 발생하는 분열이고, Stripping break-up은 연료 입자 표면에서 주변조건( $We > cRe^{0.5}$ )에 따른 전단력에 의해 입자 표면에서 연료가 깎여져 발생하는 분열이다.<sup>(10)</sup>

입자의 분열은 Weber수의 영향이 지배적이며,

Table 2 Experimental conditions

Injection pressure	Ambient pressure	Injection duration
35 MPa, 70 MPa	0 MPa	1 ms
	2.5 MPa	
	5.0 MPa	

Table 3 Properties of DME and diesel fuel<sup>(6)</sup>

Property[unit]	Diesel	DME
Chemical Structure	-	CH <sub>3</sub> -O-CH <sub>3</sub>
Molar mass[g/mol]	170	46
Carbon content[mass%]	86	52.2
Oxygen content[mass%]	0	34.8
Critical temperature[°C]	708	400
Critical pressure[MPa]	3.00 <sup>a</sup>	5.37
Liquid density[kg/m <sup>3</sup> ]	831	667
Cetane number	40-50	>55
Auto-ignition temperature[°C]	523	508
Stoichiometric air/fuel mass ratio	14.6	9.0
Boiling point(at 1 atm)[K]	450-643	248.1
Surface tension(at 298 K)[N/m]	0.027	0.012
Vapor pressure (at 298 K)[kPa]	≪10	530

<sup>a</sup>Estimated on the basis of equivalent chemical formula.

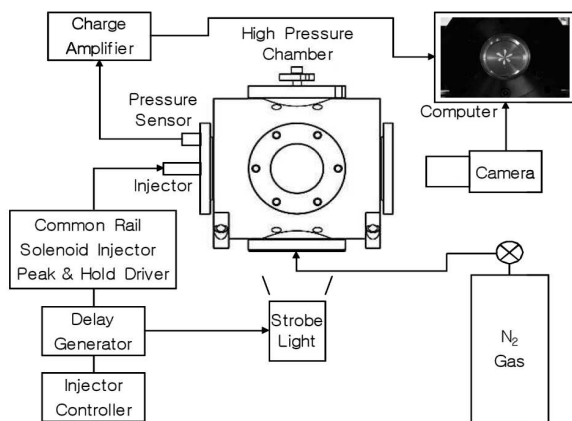


Fig. 2 Schematic diagram of experimental apparatus

속도, 밀도, 그리고 표면장력의 함수로 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$We = \frac{\rho v^2 L}{\sigma} \quad (1)$$

증발에 의한 액체의 질량변화를 계산하기 위하여 Quasi-Steady Evaporation 모델을 사용하였다. 이는 질량보존법칙을 기초로 입자의 기화율을 가정한 모델이며, 이 모델에서 연료 입자의 기화와 기체 연료의 액화는 질량보존법칙에 따라 입자 질량의 증감으로 이어진다.<sup>(10)</sup>

해석의 신뢰성을 높이기 위해서 적용 연료의 온도와 압력에 따른 물성치의 변화를 다항식의 형태로 입력하였다.<sup>(5)</sup> Table 3는 디젤과 DME의 물성치를 보여준다.

2.4 가시화 실험과 분무 해석의 결과 비교

분위기 압력과 연료의 공급압력 변화에 따른 도달거리의 영향을 알아보기 위하여 DME 인젝터의 정적 연소실 내 가시화 실험과 동일한 조건의 해석을 진행하였다. Fig. 3은 연료 공급 압력이 35, 70MPa 조건에서 정적 연소실 내 분위기 압력 변화에 따른 분무 도달거리를 나타낸 것이다.

분위기 압력을 0, 2.5, 5MPa로 증가하였을 때, 연소실 내 압력상승으로 인한 공기(질소) 밀도의 증가로 분무 도달거리는 짧아지는 경향을 나타내었다. 분무가 급격하게 발달하여 측정이 어려운 대기압조건에서의 가시화 실험과 분무 해석의 도달거리는 상대적으로 큰 오차를 보였고, 분위기 압력이 높아질수록 작은 오차를 나타내었다. 전체적으로 가시화 실험과 분무 해석의 도달거리는 유사한 경향을 나타내었다.

Fig. 4는 연료 공급 압력 35MPa, 분위기 압력 5MPa 조건에서 DME 인젝터의 시간에 따른 분무의 발달형상을 가시화 실험과 분무 형상 해석을 비교한 그림이다. 분무 도달거리와 분무의 형상이 유사한 것을 알 수 있다. Fig. 5은 가시화 실험과 분무 형상 해석의 도달거리를 측정된 결과이다.

이 경우 가시화 실험의 도달거리와 분무도달거리는 3.57%의 오차를 보였으며, 가시화 실험의 도달거리가 해석의 경우보다 미소하게 더 긴 것으로 나타났다. 또한 분무초기의 빠른 속도로 인한 Weber수의 증가로 입자들의 급격한 분열이 발생하여 DME 연료의 SMD는 분무초기에 급격하게 감소하고 있다.

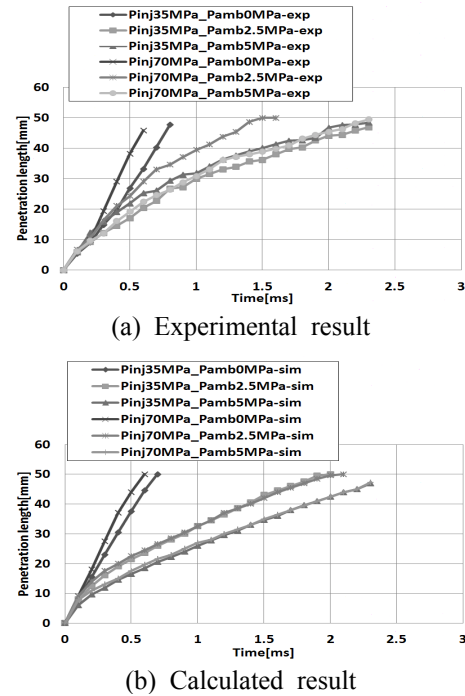


Fig. 3 Penetration length of DME (P<sub>inj</sub> : 35/70MPa, P<sub>amb</sub> : 0/2.5/5MPa)

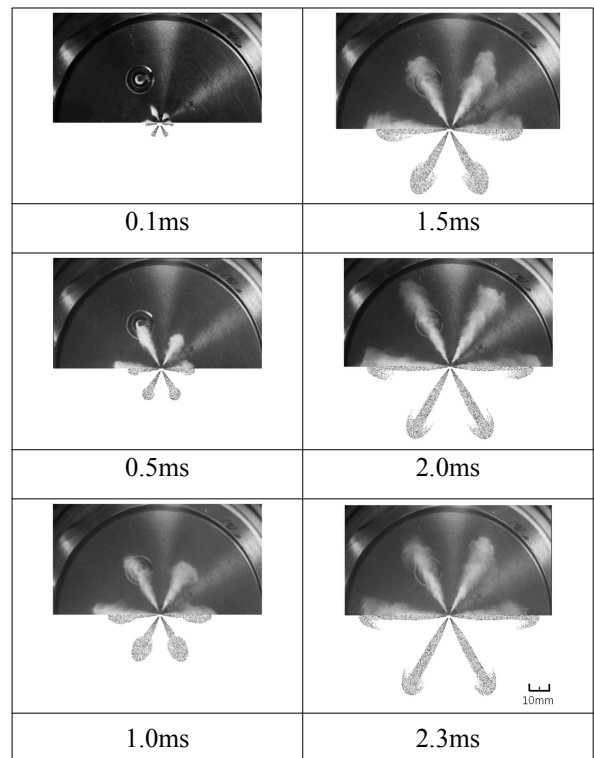


Fig. 4 A Comparisons between experiment(upper) and simulation(lower) of the DME spray (P<sub>inj</sub>=35MPa, P<sub>amb</sub>=5MPa)

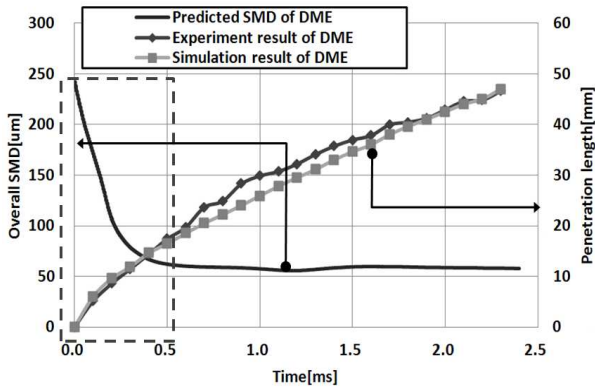


Fig. 5 Penetration length and predicted SMD ( $P_{inj}=35\text{MPa}$ ,  $P_{amb}=5\text{MPa}$ )

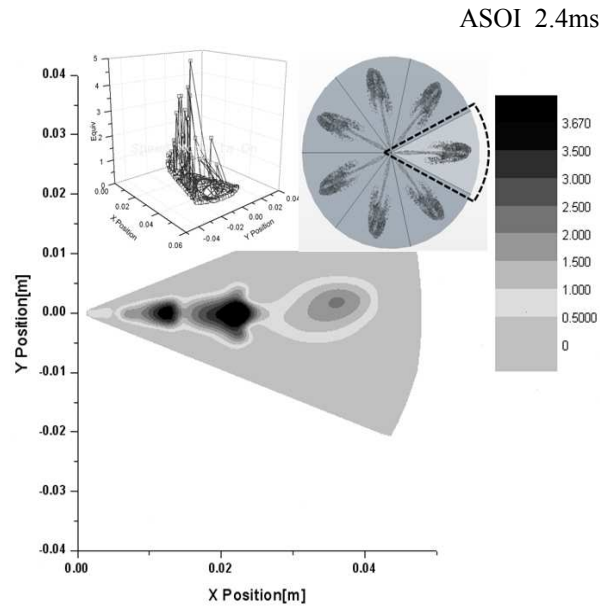
### 3. 분무의 연소실내 거동

앞서 언급한 바와 같이 가시화 실험과 분무 형상 해석의 정성적 비교 및 정량적 비교를 통하여 해석의 신뢰도를 높였다. 디젤 인젝터를 기초로 제작된 DME 인젝터는 동일한 엔진에서 디젤과 동일한 출력성능을 확보하도록 설계에 고려하였다. 두 인젝터의 성능을 예측하기 위하여 DME 인젝터의 분무 형상 해석과 디젤 인젝터의 분무 형상 해석을 수행하였다.

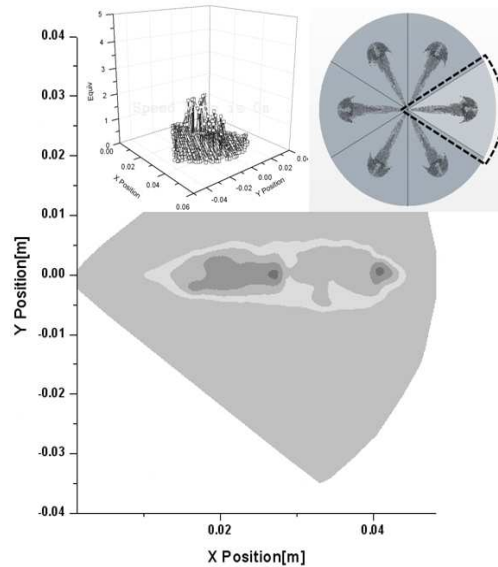
#### 3.1 해석을 통한 디젤과 DME의 분무 비교

디젤 인젝터와 DME 인젝터는 구조적인 차이 외에도 연료의 물리적 특성이 서로 상이하기 때문에 연소실 내에서의 거동은 서로 다를 것으로 예측된다. 따라서 이에 대한 영향을 확인하기 위하여 두 연료의 분무 형상을 비교 분석하였다. 해석 시간의 단축과 격자의 밀도를 높이기 위하여 연소실을 분무 홀을 기준으로 디젤 인젝터 노즐의 1/7 부분과 DME 인젝터 노즐 1/6 부분만 periodic 경계조건을 이용한 기법으로 해석을 수행하였다.

Fig. 6은 연료 공급 압력이 35MPa, 분위기 압력이 5MPa일 때, 디젤과 DME의 당량비를 확인한 결과이다. 디젤의 당량비는 상대적으로 낮은 휘발성과 높은 점도로 인하여 분무의 중심에서 집중적으로 높게 나타났고, DME의 당량비는 높은 휘발성으로 분무의 부근에서 넓고, 고른 분포를 나타내었다. 또한 연소실내 액상과 기상의 디젤의 분포는 DME의 분포보다 복잡하고, 큰 농도



(a) Equivalence ratio distribution in Diesel spray



(b) Equivalence ratio distribution in DME spray

Fig. 6 Equivalence ratio distribution of diesel spary and DME spray ( $P_{inj}=35\text{MPa}$ ,  $P_{amb}=5\text{MPa}$ )

구배를 나타냈으며, DME는 높은 휘발성으로 인하여 기화된 DME가 주변공기의 압력을 상승시켜 분무의 발달 및 흡기현상(air entrainment)을 저해하였다.<sup>(11)</sup> 여기서 당량비는 이론 공연비의 역수의 형태이다.

#### 3.2 실엔진 모사 조건에서의 분무거동

연소실 내로 분무된 연료와 공기의 혼합은 연

소와 배기의 측면에서 매우 중요하다. 양호하게 혼합된 혼합기는 연소 효율을 높여 연료소비율을 낮추고 배기 배출물을 저감시킨다. 휘발성이 큰 연료들은 저부하·저회전 영역에서 상대적으로 긴 연소시간과 양호한 혼합기의 형성으로 우수한 연소 성능을 나타내는 반면, 고부하·고회전 영역에서는 연소기간과 혼합기 형성기간의 단축 등으로 인하여 연소 악화를 발생시키는 것으로 보고되고 있다.<sup>(2)</sup> 일반적으로 DME 연료를 적용한 엔진은 디젤엔진 대비 연소실의 온도가 100℃ 이상 높은 것으로 보고되고 있다.<sup>(12)</sup> 이렇게 연소실의 온도가 높은 것은 DME엔진 시스템이 디젤엔진 시스템보다 더 많은 양의 연료를 분사하고, PM의 발생이 적어 연소 및 배기시스템의 최적화의 접근 방법이 다르기 때문이다.<sup>(12)</sup> 따라서 휘발성이 높은 연료인 DME가 연소실에 분사될 때 연소실의 온도는 DME의 임계온도를 크게 상회하여 많은 증발이 발생할 것으로 예상된다.

분무특성은 인젝터의 구조, 적용 연료의 물리적 특성 등에 큰 영향을 받는다. 특히 DME 연료는 온도와 압력에 민감하기 때문에 실제 엔진 작동 조건에서 분무의 거동과 증발은 예상하기 어렵다. 이에 대한 영향을 확인하기 위하여 본 연구에서는 실엔진 모사조건으로 해석을 수행하였다.

저부하·저속의 엔진 모사를 위하여 연소실 분위기 온도 600K, 분위기 압력 2MPa로 설정하였

고, 고부하·고속영역의 엔진 모사를 위하여 분위기 온도 800, 1000K, 분위기 압력 4~6MPa로 증가시켜가며 해석을 수행하였으며, 연료의 온도는 80℃로 가정하였다. 이러한 조건들은 연소가 시작되기 직전이나 연소의 일부를 고려하는 조건들이다.<sup>(12,13)</sup>

Fig. 7은 저부하·저속영역에서의 엔진 작동조건인 분위기 온도 600K, 분위기 압력 2MPa조건에서 대칭축을 기준으로 좌측에는 시간에 따른 분무 입자들의 분포를 나타냈으며, 우측에는 기체상의 연료 분포를 공기와 연료의 비인 질량분율로 나타낸 그림이다. 디젤의 분무는 큰 점성과 낮은 휘발성으로 분사 시작 후 2ms에서 연소실 벽면과 충돌하는 것으로 예측되었고, 액상의 디젤 입자 분포는 흡기현상과 낮은 휘발성으로 인하여 DME 입자의 분포보다 넓게 분포하였으며, 기화된 디젤의 분포는 디젤의 입자들의 분포 형상과 유사하게 형성되었다.

반면 연소실에 분무된 DME의 입자들은 급격하게 기화하여 디젤보다 짧은 도달거리를 나타내었고, DME 입자들이 연소실 벽면까지 도달하기 전에 모두 증발되는 것으로 예측되었으며, 기상의 DME는 연소실 전반에 걸쳐 넓게 분포하였다.

이러한 영향들은 고부하·고속영역 엔진 모사 조건인 분위기 온도 800, 1000K, 분위기 압력 4~6MPa 해석에서 확연하게 나타난다. 연소실 내에서 액상과 기상 DME의 고른 분포들은 저부하·

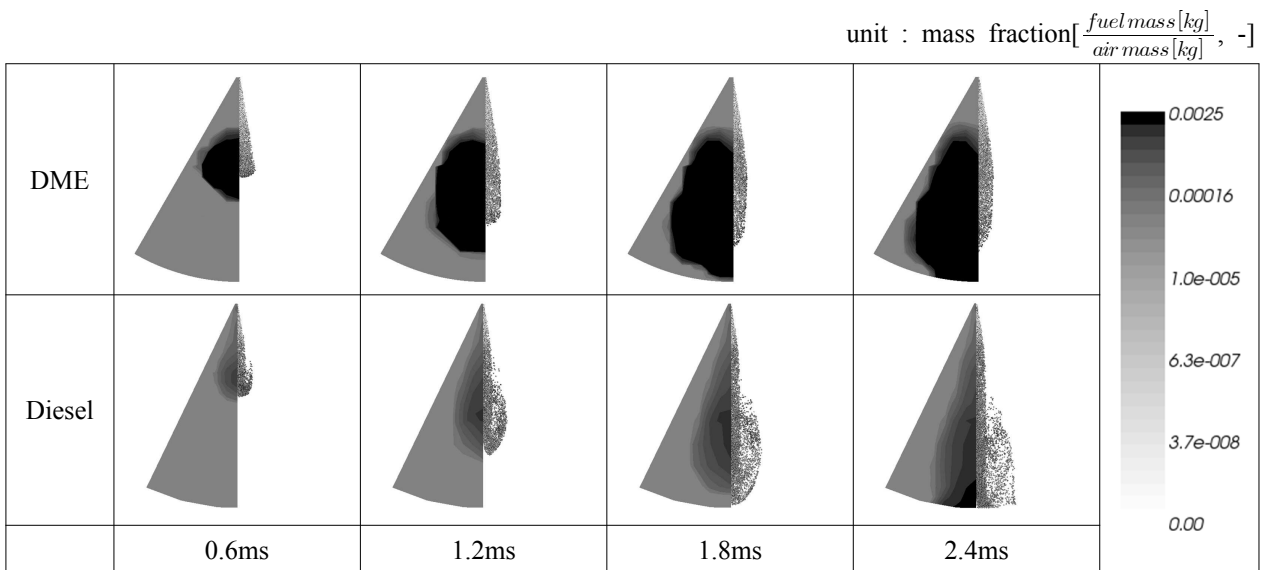
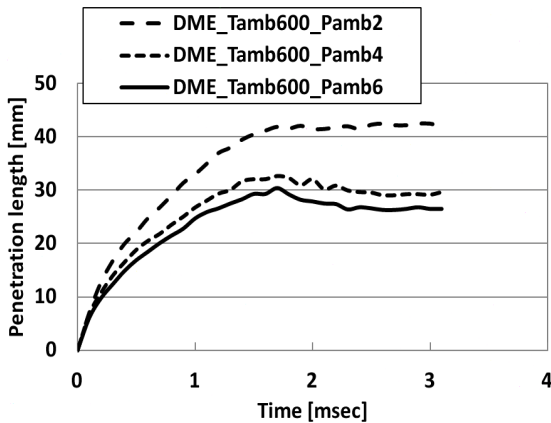
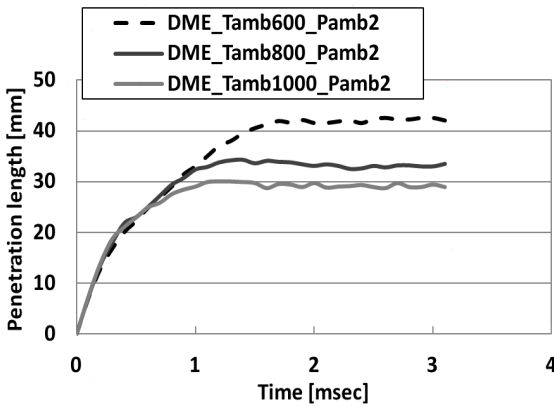


Fig. 7 Mass fraction of gaseous fuels(left) and distributions of droplet(right) ( $P_{inj}=35MPa$ ,  $P_{amb}=5MPa$ )





(a) Effect of Penetration length on ambient pressure ( $P_{inj}=35\text{MPa}$ ,  $P_{amb}=2, 4, 6\text{MPa}$ ,  $T_{amb}=600\text{K}$ )

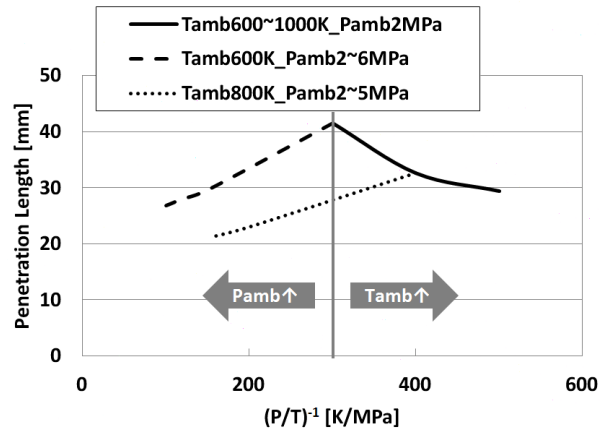


(b) Effect of Penetration length on ambient temperature ( $P_{inj}=35\text{MPa}$ ,  $P_{amb}=2\text{MPa}$ ,  $T_{amb}=600, 800, 1000\text{K}$ )

**Fig. 8** Penetration length on variable ambient conditions

저속의 엔진 조건에서 양호한 연소 성능을 나타낼 것으로 사료된다.

Fig. 8은 분위기 압력과 분위기 온도변화에 따른 분무 도달거리를 보여주고 있다. Fig. 8(a)는 분위기 온도 600K의 경우, 분위기 압력을 2~6MPa로 증가시켰을 때의 시간에 따른 침투거리를 나타낸 것이다. 분위기 압력의 증가에 따라 침투속도의 현저한 감소를 확인할 수 있다. 이는 인젝터로부터 분사된 액상과 기체 사이의 수직인 가속력과 항력이 분위기 압력증가로 인하여 억제되기 때문이다. Fig. 8(b)는 분위기 압력을 2MPa로 고정시킨 후 분위기 온도를 600~1000K으로 변화시켰을 경우의 시간에 따른 침투거리를 나타낸 것이다. 분사시작 후 1ms 이후 입자의 분열이 충분히 이루어진 상태에서는 분위기 온도 증가에 따라 활발한 증발현상이 일어나므로 분위기 온도



**Fig. 9** Predicted penetration length of full developed DME spray in engine simulation ( $P_{inj}=35\text{MPa}$ ,  $P_{amb}=2, 4, 6\text{MPa}$ ,  $T_{amb}=600, 800, 1000\text{K}$ )

상승에 따라 침투속도가 현저히 떨어짐을 확인할 수 있다. 엔진 모사 조건 해석에서 모든 DME 분무는 연소실 내벽까지 발달되지 못하고 증발하였다.

연소실 내로 분무된 연료들의 거동은 공기의 밀도에 큰 영향을 받으며, 연소실 내 공기의 밀도는 분위기 압력과 온도의 함수로 결정된다. Fig. 9은 DME 분무가 완전하게 발달된 상태의 분무 도달거리를 연소실 내 흡기 밀도의 함수로 나타낸 것이다. DME의 분무 도달거리는 분위기 온도와 압력의 비가 300K/MPa일 때, 42mm로 최대가 되었고, 300K/MPa 미만 영역에서는 분위기 압력 증가에 따른 연소실 내의 흡기 밀도의 증가로 DME의 분무 도달거리는 감소하였다. 또한 300K/MPa 초과 영역에서 고온의 흡기와 DME 입자의 열전달로 인하여 급격한 상변화가 발생하고, 이에 따른 모멘텀의 감소로 DME 분무 도달거리는 감소하는 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 유량 확보를 위하여 노즐이 확장된 6홀의 DME 인젝터와 동등한 에너지를 발생시키는 7홀의 디젤 인젝터의 가시화 실험과 3차원 분무 형상 해석을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) DME 인젝터의 경우 연료 공급 압력과 분위기 압력이 각각 35MPa과 5MPa일 때, 가시화 실험과 분무 형상 해석의 도달거리는 3.57%의 오차를 보였으며 그 과정에서 가시화 실험의 도달

거리가 미소하게 더 길게 나타났다.

(2) 분무 형상 해석과 가시화 실험의 비교를 통하여 분무 형상 해석의 정량적·정성적 신뢰성을 확보하였고, 가시화 실험으로 확인이 어려운 연소실 내 분무 거동을 해석을 통하여 예측할 수 있었다.

(3) DME는 높은 휘발성으로 인하여 급격하게 증발된 기체상의 DME가 분무 주변의 압력을 상승시켜 흡기현상을 저해하는 것으로 확인되었고, 디젤의 당량비는 상대적으로 낮은 휘발성과 높은 점도로 인하여 분사 중심에서 집중적으로 높게 나타남을 확인 할 수 있었다. 그러나, DME의 당량비는 높은 휘발성으로 인한 흡기현상의 감소로 디젤의 당량비 분포보다 넓게 나타나는 것으로 확인되었다.

(4) DME의 분무 도달거리는 분위기 온도와 압력의 비가 300K/MPa일 때 42mm로 최대로 나타났으며, 300K/MPa 미만에서는 분위기 압력 증가와 이로 인한 연소실 내부 공기 밀도 증가로 분무 도달 거리는 감소하였다. 반면, 300K/MPa 초과에서는 연소실 내 고온의 흡기와 DME 입자의 열전달로 인한 상변화의 영향으로 감소하였다.

(5) DME의 이러한 특성으로 저부하·저속영역의 엔진운전구간에서는 양호한 연소성능이 예상되지만, 고부하·고속영역의 엔진상태에서는 혼합기 형성 기간과 연소기간의 단축 등으로 인하여 연소 악화가 발생할 것으로 판단된다. 이러한 문제들을 해결하기 위해서는 연소실 형상의 최적화 및 텀블과 스웰의 적극적인 적용이 필요할 것으로 판단된다.

## 후 기

본 논문은 지식경제부에서 지원하는 산업원천 기술 개발사업(과제 번호 : 100033303)의 일환으로 수행된 연구결과의 일부이며, 이에 관계기관에 감사를 전합니다.

## 참고문헌

(1) Lee, S.-I., Jeong, S.-J. and Lim, O.-T., 2011, "Comparative Study on the Spray Characteristics of Diesel and DME Injectors in a High Pressure Common rail System of Light-Duty Truck," *Proceeding of the KSAE 2011 Annual Conference*,

*KSAE11-A0075*, pp. 410-416.

- (2) Teng, H. and McCandless, J. C., 2005, "Comparative Study of Characteristics of Diesel-Fuel and Dimethyl-Ether Sprays in the Engine," SAE paper, 2005-01-1723,
- (3) Konno, M., Chiba, K. and Okamoto, T., 2010, "Experimental and Numerical Analysis of High Pressure DME Spray," SAE paper, 2010-01-0880.
- (4) Cha, J., Park, S.-H., Lee, C.-S. and Park, S.-W., 2011, "Study on Spray and Exhaust Emission Characteristics of DME-Biodiesel Blended Fuel in Compression Ignition Engine," *Trans. of the KSME (B)*, pp. 67-73.
- (5) Lee, S.-J., Oh, S.-D., Jeong, S.-J., Park, K. and Lim, O.-T., 2006, "An Investigation on the Spray Characteristics of DME Common Rail Fuel Injection System with Variation of Ambient Pressure," *Proceeding of the KSAE Spring Conference Proceeding*, KSAE11-B0024.
- (6) Ohno, Y., 2006, "DME Handbook," Japan DME Forum.
- (7) Kim, D.-J., Lee, G.-S., Kim, H.-Y., Oh, S.-D. and Pyo, Y.-D., 2011, "Bench Performance test of 3L DME Common Rail System," *Proceeding of the KSAE Spring Conference*, KSAE11-B0075.
- (8) Lee, G.-S., Sin, Y.-S., Kim, H.-C., Oh, S.-D., Jeong, S.-J., Pyo, Y.-D., 2011, "Improvement of Injector Seal and Injection Flow rate of for 3L DME Common-rail Systems," *Proceeding of the KSAE 2011 Annual Conference*, KSAE11-A0024, pp. 134-139.
- (9) Menter, F.-R., 1994, "Two-equation Eddy-viscosity Turbulence Modeling for Engineering Applications," *AIAA Journal*, Vol. 32, 78.8. pp. 1598-1605.
- (10) CD-Adapco, 2011, "SATR-CCM+ ver. 6.02 User Guide."
- (11) Kong, J.-S., Choi, W., Bea, C.-S. and Kang, J.-S., 2004, "Effect of Injection Rate and Gas Density on Ambient Gas Entrainment of Non-evaporation Transient Diesel Spray from Common-rail Injection System," *Trans. of the KSAE*, Vol. 12, No. 5, pp.19-24.
- (12) Kato, M., Takeuchi, H., Koie, K., Sekijima, H., Kajitani, S., Zhili, L. C. and Hashimoto, S., 2004,



"A Study of Dimethyl Ether(DME) Flow in Diesel Nozzle," *SAE*, 2004-01-0081.

(13) Hormann, S. and Renz, U., 2003, "Numerical Simulation of Fuel Sprays at High Ambient Pressure:

The Influence of Real Gas Effects and Gas Solubility on Droplet Vaporisation," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 46, No. 30. pp. 3017~3028.