

<학술논문>

DOI:10.3795/KSME-B.2008.32.4.241

DME 예혼합 자기착화 연소중의 디젤분무연소에 관한 연구

임 옥 택*

(2007년 5월 25일 접수, 2008년 2월 6일 심사완료)

The Investigation of Diesel Spray Combustion in DME HCCI Combustion

Ock Taeck LIM

Key Words : Diesel Combustion(디젤연소), Dimethyl Ether(DME; 디메틸 에테르), Homogeneous Charge Compression Ignition(HCCI; 예혼합압축자기착화), Rapid Compression Machine(RCM; 급속압축장치)

Abstract

The purpose of the research is to investigate of diesel spray combustion for simultaneously reduction way of NOx and PM. The diesel injection were done into intermediates that are generated by very lean DME HCCI combustion using a RCM. The concentration of intermediate could not be directly measured, so we estimated it by CHEMKIN calculation. Two dimensional spontaneous luminescence images which are created by chemical species reaction at low temperature reaction (LTR) and high temperature reaction (HTR) are captured by using a framing streak camera. Also, combustion events were observed by high-speed direct photography. The ignition and combustion events were analyzed by pressure profiles and the KL values and flame temperatures were analyzed by the two-color method.

기호설명

1. 서 론

- HCCI : 예혼합압축자기착(Homogeneous Charge Compression Ignition)
- HTR : 고온산화반응 (High Temperature Reaction)
- LTR : 저온산화반응 (Low Temperature Reaction)
- t_{LTR} : 저온산화반응 시작시각 (ms)
- t_{HTR} : 고온산화반응 시작시각 (ms)
- T_{LTR} : 저온산화반응 시작온도 (K)
- T_{HTR} : 고온산화반응 시작온도 (K)
- $t_{10\%}$: 10% 연소된 시각 (ms)
- $t_{50\%}$: 50% 연소된 시각 (ms)
- $t_{90\%}$: 90% 연소된 시각 (ms)

최근, 희박연소 방식인 직접 분사식 디젤 기관이, 고효율성, 경제성, 내구성으로부터 교통 및 산업의 분야등에서 널리 사용되어 있다. 그러나, 배기중에 포함되는 질소 산화물(NOx) 및 입자장물질(PM)의 저감이 급선무로 여겨지고 있다. 그 직접 분사식 디젤 기관의 NOx와 매연을 동시 저감하는 수법으로서, PM과 NOx의 저감을 위해서 디젤 분무연소중의 분위기의 온도, 압력, O₂, Ar등의 공기 또는 예혼합기의 조성이 디젤 분무연소의 착화지연과 착화한 디젤 분무화염을 대상으로 하여, 화염온도, PM의 지표가 되는 KL값을 해석하는 연구가 선행되었다.⁽¹⁻⁴⁾

본 연구에서는 HCHO, H₂O₂과 같은 연소의 중간생성물이, 디젤 분무중의 착화 및 연소에 미치는 영향을 조사하는 것을 목적으로 하고, 급속압축 장치(이후 RCM)에 의해 DME예혼합 압축자기착화연소(이후 HCCI)를 실시하여 저온산화 반응, 고온산화의

* 책임저자, 회원, 울산대학교 기계자동차공학부
E-mail : otlim@ulsan.ac.kr
TEL: (052)259-2852, FAX : (052)259-1680

프로세스 중 혹은 그 프로세스 후에, 디젤분무를 단발 분사했다. 또한, HCHO, H₂O₂ 등 중간생성물의 농도를 변화시키기 위해서 DME예혼합기의 당량비를 변화시켰다. 우선, HCHO, H₂O₂ 등의 중간생성물은 직접 그 농도를 측정하는 것이 매우 어렵기 때문에, CHEMKIN II 과 SENKI 을 이용한 소반응 수치계산을 통해서, DME예혼합기의 압축과정에 있어서의 중간생성물의 농도를 예측했다. 둘째로, DME 예혼합기의 압축 과정에 있어서의 저온산화 반응으로부터 고온산화 반응에 이르는 프로세스에 있어서, 반응이 어떻게 발생할지를 확인하기 위해서, 라디컬들의 발광화상을 프레이밍 스틸 카메라 (framing streak camera) 를 이용해서 전과장 영역의 영상을 촬영 및 계측했다. 마지막으로, HCHO, H₂O₂ 등 중간생성물 농도가 다른 조건으로 경유(JIS2 호)를 단발 분사해서 디젤 분무화염을 형성하는 실험을 행하고, 착화 지연, 연소 기간을 조사했다. 또 고속카메라를 이용한 직접촬영을 통해서 이색법 해석(two-color method)을 실시하고, 휘염 존재 기간, 화염온도 및 PM 생성의 지표가 되는 KL값을 산출하고, 연소 중간생성물이 PM 생성에 주는 영향을 조사했다.

2. DME HCCI연소에 있어서의 HCHO, H₂O₂, OH의 추산

중간생성물의 농도는, 직접 측정이 곤란하기 때문에, RCM의 체적이력을 바탕으로 압력을 계산하여 소반응수치계산을 실시하였다. 계산 프로그램으로서 CHEMKIN II⁽⁵⁾ 및 SENKIN⁽⁶⁾을 사용했다. 이 계산에 있어서 예혼합기는 완전균질, 연소실내 가스의 온도, 압력 및 화학 종의 분포는 균일을 가정한 0 차원 계산으로 가정하였다. 또한, DME 소반응 모델(scheme)으로서 Curran의 소반응 모델⁽⁷⁾ (화화종수 79, 소반응수 336)을 이용했다. 압축비 $\epsilon=14.6$, 압축초기 가스 온도 $T_0=353K$, 압축초기 가스 압력 $P_0=0.1MPa$ 의 조건에 있어서, DME예혼합기의 당량비 $\phi=0.01, 0.08$ 의 경우의 연소실내 압력이력, 연소실내 온도이력 및 주요 화학종의 물분율 이력을 각각 Fig. 1,2에 표시하였다. DME예혼합기의 당량비 $\phi=0.01, 0.08$ 에서는, 저온산화 반응(이하LTR), 고온산화 반응(이하HTR)과 2 단의 열발생이 보여진다. DME예혼합기의 당량비 $\phi=0.01$ 에서는, LTR, HTR 모두의 열발생률이 작았다. 압축 시작 종료 시기 t_{LTR_end} 는 압축 시작으로부터, 154ms후, 연소실내 가스 온도 T_{LTR_end} 는 800K이 되었다. LTR과정 중에 DME은 초기 투입량의 1/3 정도가 소비되어, 또 소비된HCHO, H₂O₂은 압축 시작으로부터 150ms후, 연소실내 가스 된

DME과 생성된 HCHO는 거의 같은 비교가 되는 것도 확인할 수 있었다. 이것은 yamada의 실험 및 계산 결과와 동일한 결과를 나타냈다.⁽⁸⁾ 온도 800K까지 각각 $6.0 \times 10^{-4} mol/mol$, $2.5 \times 10^{-4} mol/mol$ 생성되었다. HTR시작 시기 t_{HTR} 는 압축 시작으로부터 175ms후, 연소실내 가스 온도 T_{HTR} 는 900K이며, HTR종료 시기 t_{HTR_end} 는 압축 시작으로부터 185ms후, 연소실내 가스 온도 T_{HTR_end} 는 1000K이 되었다.

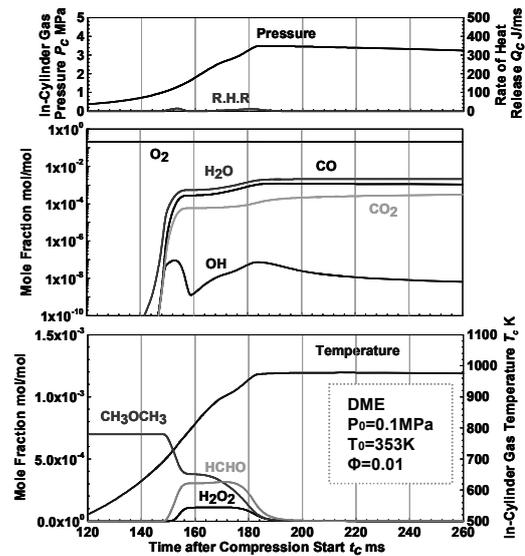


Fig. 1 Pressure histories, heat release rate, temperature histories and mole fraction of major chemical species at DME $\Phi = 0.01$

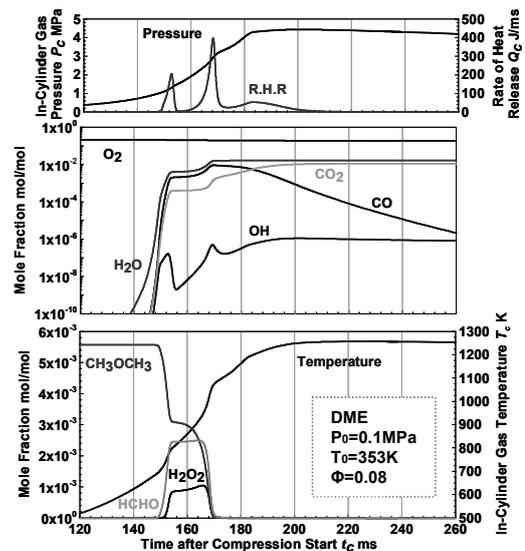


Fig. 2 Pressure histories, heat release rate, temperature histories and mole fraction of major chemical species at DME $\Phi = 0.08$

HCHO, H₂O₂은 HTR시작과 동시에 급격하게 감소했다. DME혼합기의 당량비 $\phi=0.08$ 에서는, DME혼합기의 당량비 $\phi=0.01$ 의 경우와 비교하면, LTR시작 시기는 $t_{LTR}=150\text{ms}$, $T_{LTR}=700\text{K}$ 으로 거의 같아져, LTR종료 시기도 $t_{LTR_end}=155\text{ms}$, 연소실내 가스 온도 $T_{LTR_end}=800\text{K}$ 으로 거의 같이 되었다. 또한 LTR과정 중에 생성되는 HCHO, H₂O₂은 $2.5 \times 10^{-3} \text{ mol/mol}$ 되었다. 또한, LTR과정 중에 생성되는 HCHO, H₂O₂은 2.5×10^{-3} , $1.0 \times 10^{-3} \text{ mol/mol}$ 이었다. HTR의 시작 시기는 $t_{HTR}=170\text{ms}$ 이며, DME예혼합기의 당량비 $\phi=0.01$ 의 경우보다 0.5ms 정도 빨라졌다. 또한 $T_{HTR}=950\text{K}$ 으로 50K 정도 높아졌다. HTR종료 시기는 $t_{HTR_end}=170\text{ms}$ 로 15ms 정도, $T_{HTR_end}=1100\text{K}$ 으로 100K 정도 높아져 있다.

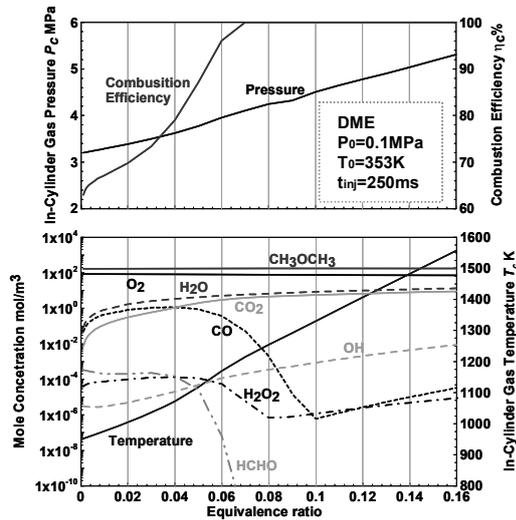


Fig. 3 Pressure histories, heat release rate, temperature histories and mole fraction of major at injection time (250ms)

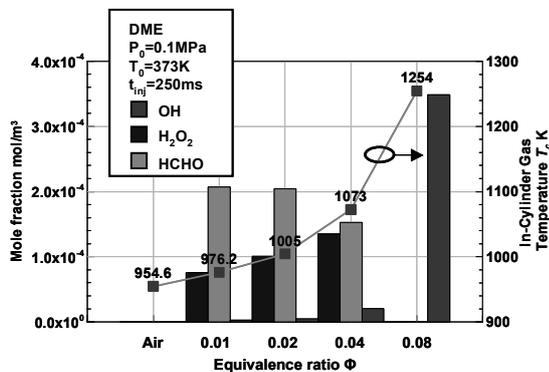


Fig. 4 In-Cylinder Gas Temperature and Mole Concentration of OH, H₂O₂, HCHO at injection time (250ms)

CO₂은 HTR시작과 함께 생성이 재개되어, 그 후도 열발생을 수반하면서, 2차 고온산화 반응에 이르렀다. Fig. 3 및 Fig. 4은 연료분사시기(250ms)에 있어서, 당량비를 변화시켰을 경우의 중간생성물의 몰농도 (mol/m³)을 나타냈다. DME혼합기 당량비 $\phi=0.01$ 에서는 연료분사시기($t=250\text{ms}$)의 연소실내 가스 온도가 980K 정도이기 때문, HCHO= $2.0 \times 10^{-4} \text{ mol/m}^3$, H₂O₂= $8.0 \times 10^{-5} \text{ mol/m}^3$ 이 되어 어느 정도 산화되지 않고 존재하고 있다. 하지만, DME 혼합기의 당량비 $\phi=0.08$ 에 있어서는, 연료분사시의 연소실내 가스 도달 온도가 1250K에 달하고, 연소 효율도 100%이 되고, HCHO, H₂O₂은 거의 소비되었지만, 다른 당량비에는 대부분 존재하지 않은 OH가 $3.5 \times 10^{-4} \text{ mol/m}^3$ 존재하였다. DME혼합기의 당량비 $\phi=0.04$ 에 대하여 연소실내 가스 온도가 1100K이 되지만, 그 이상의 온도영역에 이르면 HCHO, H₂O₂이 소비되었다. 따라서, 디젤분무시기는 연소실 내의 분위기중에 중간생성물을 산화시키지 않고 남기기 위해서는, DME예혼합기의 당량비 $\phi=0.04$ 이하에 할 필요가 있다.

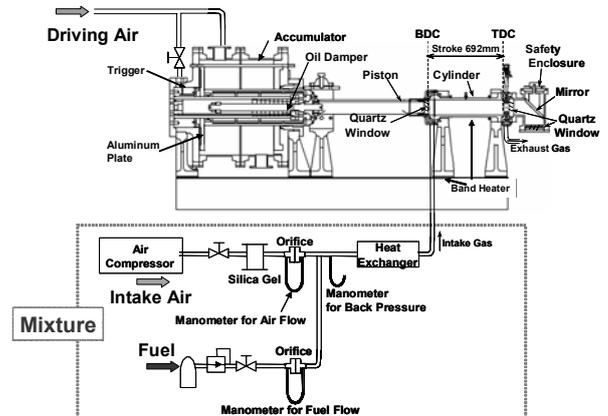


Fig. 5 Rapid compression machine apparatus

Table 1 Specification of RCM

Specification	
Items	Value
Bore x Stroke	145 x 692mm
Cylinder volume	$12.2 \times 10^{-3} \text{ m}^3$
Combustion Chamber volume	$0.0793 \times 10^{-6} \text{ m}^3$
Compression Ratio	14.6
Combustion Chamber Thickness	48mm
Combustion Chamber type	Pancake type
Compression Duration	200ms
Quartz Maximum Endurable Pressure	5MPa

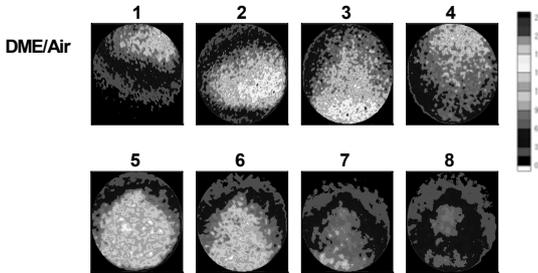
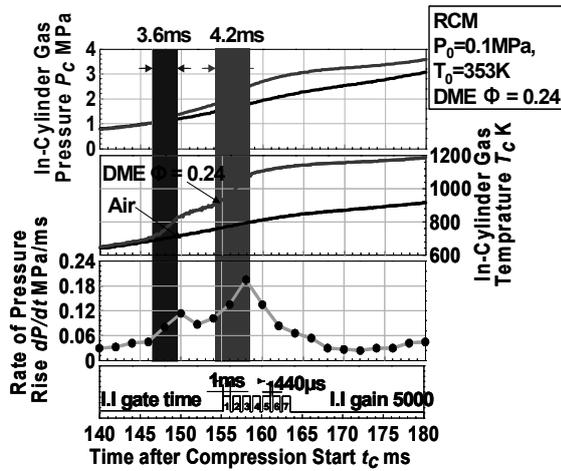


Fig. 6 Pressure, Temperature, pressure rise rate history and 2-dimensional image

3. DME HCCI 연소의 라디컬 발광 해석

DME HCCI 연소에서 저온산화 반응으로부터 고온산화 반응에 이르는 프로세스에 있어서, 전과장 영역의 라디컬 발광 화상을 프레이밍 스틸 카메라 (framing streak camera) 카메라를 이용해서 촬영 및 계측을 실시했다. 잔류 가스의 영향을 비교 분석 및 고려하기 위해서, 잔류 가스가 존재하는 4 행정 단기통 가시화 엔진과 잔류 가스가 없는 급속압축장치를 사용하고, 발광 화상계측을 비교했다.

3.1 잔류 가스가 없을 경우 (급속압축장치)

Fig. 5 와 Table 1 은 잔류가스가 없는 경우에 대한 실험을 위해 사용된 급속압축장치의 시스템에 관한 그림과 사양을 표시한다. 유압과 공압으로 구동되는 급속압축장치는 한번의 압축으로 엔진을 모사하는 실험이 가능하고, 잔류가스, 엔진오일, 내부공기의 유동을 무시할 수 있다. Fig. 6 에 급속압축장치를 사용했을 때의 당량 비 $\phi=0.24$, 압축 초기 연소실내 가스 온도 $T_0=353\text{K}$, 압축 초기 연소실내 가스 압력 $P_0=0.1\text{MPa}$ 의 조건에 있어서의 연소실내 가스 온도, 압력, 발광 화상이력 및 그 촬영 타이밍을 내보인다. 이 조건하에서는, 2 단계의

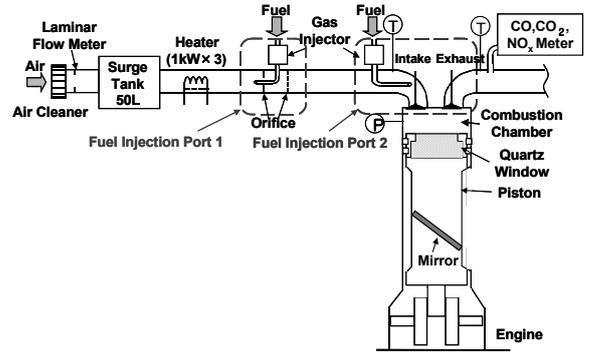


Fig. 7 Schematic of the optical access engine

Table 2 Specification of optical access engine

Type	Water-cooled 4-stroke
Displacement	612 cc
Bore x Stroke	82 x 115 mm
Geometric Compression Ratio	7.2
Number of Valves	4
Intake Valve Open	10 deg aTDC*
Intake Valve Close	214 deg aTDC*
Exhaust Valve Open	500 deg aTDC*
Exhaust Valve Close	15 deg aTDC*

압력상승이 보여졌다. 발광 화상의 취득 타이밍은 고온산화 반응 기간이라고 생각되는, 두번째 단의 압력상승이 보여지는 시각 부근으로 하고, 셔터 노출시간 1ms, 셔터 간격 440 μ s, I. I. Gain 2000 로 설정했다. 압력상승 시작 시각 이후의 3 프레임째로부터 7 프레임째에 걸쳐서 아래 쪽에서 윗쪽에 발광이 퍼지고, 그 후 발광이 약해져 가는 모양이 확인되었다.

3.2 잔류 가스가 있을 경우 (4 행정기관)

Fig. 7 과 Table 2 는 잔류가스의 영향이 있는 4 행정 단기통 가시화 엔진에 관한 시스템의 그림과 사양을 보여주고 있다. 이 엔진에는 흡기포트로부터 1000mm 떨어져 있는 port1 번에 위치하여 연료농도 균질한 혼합기를 만들 수 있는 인젝터와 흡기밸브 근처에서 연료를 분사해서 연료 농도 불균질한 혼합기를 만들수 있는 port2 의 인젝터가 설치되어 있다. 이번 실험에서는 급속압축장치와 동일하게 균질한 혼합기를 형성하기 위해서 port1 의 인젝터를 사용하여 연료를 균질하게 만들어 주었다. 또한, 압축전의 혼합기의 온도를 373K 로 가열하기 위해 1kW 용량의 전기히터 3 개를 사용하였다.

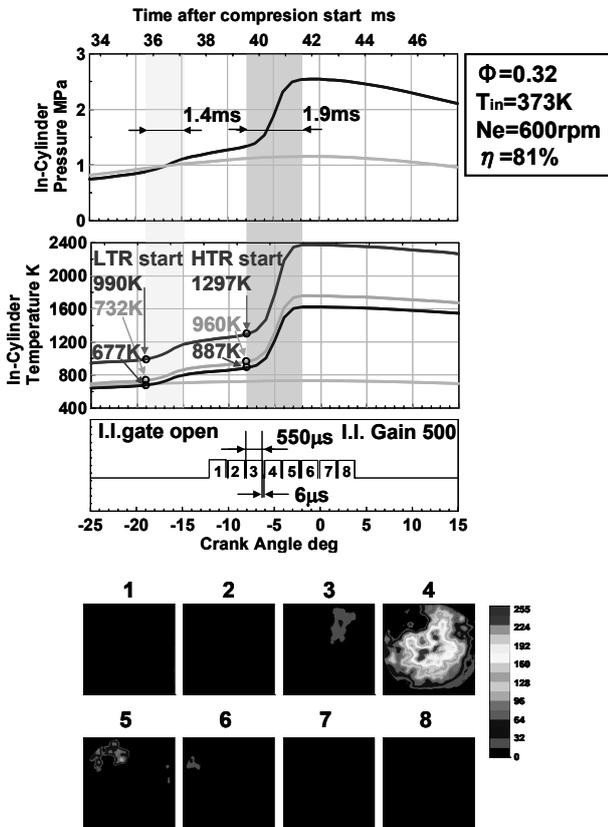


Fig. 8 Pressure, Temperature, pressure rise rate history and 2-dimensional image

그림 8 은 4 행정 단기통 가시화 엔진에서의 연료농도균질조건에 있어서의 당량비 $\phi=0.32$, 흡기온도 $T_{in}=373K$, 흡기압력 $P_{in}=0.1MPa$, 기관회전수 $Ne=600rpm$ 에서의 연소실내 가스압력, 온도, 열발생율, 발광 화상이력 및 그때의 촬영 타이밍을 가리킨다. 발광 화상의 촬영 타이밍은 고온산화 반응 기간을 짚은 것으로, 셔터노출 시간 $550\mu s$, 셔터 간격 $6\mu s$, I. I. Gain 500 이다. 열발생이 생기는 시각에는 3 개의 프레임에서 발광이 확인되었다. 압력의 상승이 급하게 전개되는 4 번째 프레임의 화상의 강도가 가장 높고 연소실의 가장 넓은 영역에서 화상이 관측되었다.

Fig. 9 은 급속압축장치와 4 행정 단기통 가시화 엔진에서 보인 모든 화상의 발광 강도를 적산하여 히스토그램으로 나타낸 것이다. 그 결과, 잔류 가스가 존재하지 않는 조건인 급속압축장치에서는 발광강도가 낮은 영역대인 0-30A.U 에 화상이 존재하였고 16A.U.에서 가장 집중하였으며, 그 편차가 크지 않았다. 하지만, 4 행정 단기통 가시화 엔진의 결과에서는 급속압축장치와 비교하여 발광강도의 편차(차이)가 생겼다. 또한, 0-150A.U 까지 넓은 영역대에서 발광강도가 관측이 되었다.

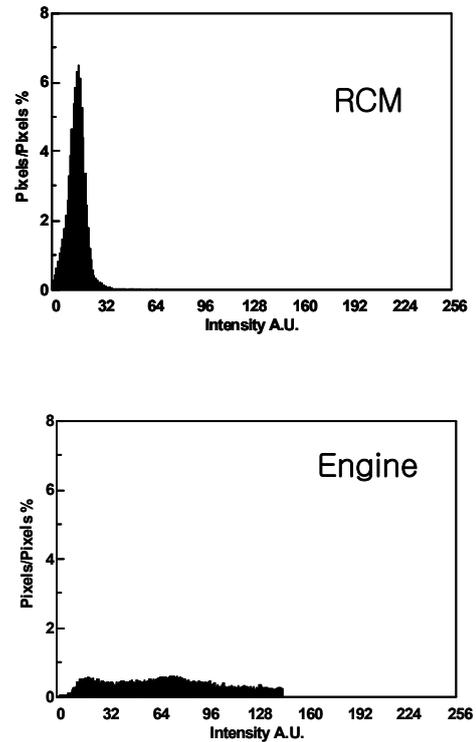


Fig. 9 Sum of chemiluminescence intensity in 8 images in RCM and Engine

발광강도의 차이는 투입된 연료와 공기에 대한 당량비의 차이에 의한 것으로 생각될 수 있으나, 편차(차이)는 잔류 가스의 존재로 인하여 발생하는 연소실 내의 온도와 혼합기의 불균질성에 영향을 받는 것으로 추측된다.

4. DME HCCI 연소의 중간생성물이 있는 경우의 디젤 분무연소

4.1 디젤 분무연소의 착화 지연 및 연소 기간

급속압축 장치에 있어서, DME 예혼합기를 분위기로 하고, 경유 JIS2 호를 단발 분사해서 디젤 분무화염을 형성한 실험을 하였다. 디젤분사를 행한 시각은 피스톤이 구동하고 난 시점으로부터 250ms 후, 즉 DME 예혼합기가 피스톤의 압축열에 의해서 연소과정을 거치고 피스톤이 압축을 완전히 멈춘상태에서 분사를 하였다. 디젤분사 nozzle의 분구경은 0.20mm 을 사용하였고 분사시작시의 분사압력은 23MPa 로 1 회에 31.65mg 을 4ms 의 분사기간 동안에 분사했다. Table 3 은 각각의 조건에 대한 실험의 결과값과 소반응수치계산의 결과를 비교하였다. 실험에서 Air 만의 경우의 연소실내 가스 온도와 압력은 906.01K, 2.89MPa,

DME ϕ =0.01 은 937.93K, 3.09MPa, DME ϕ =0.08 은 916.46K, 3.13MPa 이었다. 이것부터 당량비를 증가해도 연소실내 가스 온도와 압력이 단순하게 증가하는 경향은 보이지 않았다.

Fig. 10 은 Air 의 경우와 DME 예혼합기의 당량비 ϕ =0.01, 0.02 의 경우의 분사 압력, 온도이력 및 직접 사진촬영 한 결과이다. 직접사진촬영에서 휘염의 발생지연을 확인하면, Air 만의 경우는 1.42 ms, DME ϕ =0.01 의 경우는 1.11 ms, DME ϕ =0.02 의 경우는 1.12 ms 였다. 휘염의 존재기간은 Air 의 경우는 8.7ms, DME ϕ =0.01 의 경우는 9.3ms, DME ϕ =0.02 의 경우는 9.4ms 동안 존재하였다.

Fig. 11 은 분사가 시작되는 시기부터 착화가 일어날 때까지의 시간을 나타내는 착화 지연을 나타낸다. DME 예혼합기의 당량비를 증가하면 착화 지연이 짧아졌다. 또한, Table 3 의 결과 DME ϕ

=0.01 과 DME ϕ =0.04 의 연소실내 가스 온도가 30K 이상 차이가 있지만, 착화지연에 차이는 보이지 않았다. DME ϕ = 0.02 과 DME ϕ = 0.04 을 비교해 보면, 또한 Air의 경우와 DME ϕ =0.04 은 연소실내 가스 온도가 거의 같지만, 착화지연은 0.2ms 정도 차이가 났다. 이것으로부터 착화지연이 단순히 연소실내 가스 온도만에 의존하는 것은 아닌 것을 알게 되었다. Table 3 과 Fig. 4 을 보면 Air 만의 경우에서는 중간생성물이 존재하고 있지 않은 조건으로 착화지연은 다른 당량비와 비교해서 가장 길어져 있다. DME 예혼합기의 당량비 ϕ = 0.01 의 경우는 분사 시작 연소실내 온도의 영향이 HCHO의 농도의 영향보다 강하기 때문 빨라졌다. 또한, ϕ =0.08 에서는 HCHO와 H₂O₂은 대부분 존재하고 있지 않고, OH가 3.5×10^{-4} mol/m³ 정도 존재하고 있다. 이 때의 착화지연이 가장 짧았다. 이것은 OH가 존재하는 것으로 분위기 중에 분무 된 경우의 반응이 촉진되기 때문이라고 생각된다.

Fig. 12 은 휘염의 존재기간 및 착화시기 t_{id} , 착화 후 연소실내의 가스의 압력상승이 압력상승의 10%, 50%, 90%에 도달하는 시각을 각각 ‘10% 연소된 시각 t_{10} ’, ‘50% 연소된 시각 t_{50} ’, ‘90% 연소된 시각 t_{90} ’로서 정의하였다. 예혼합기의 당량비를 증가시키면 디젤분무연소의 연소기간이 길어졌다. 그러나, OH의 농도가 높은 DME ϕ =0.08 의 경우는 연소 기간이 짧아졌다. ϕ = 0.01 의 경우 ϕ =0.02,

Table 3 Compare of Experimental with CHEMKIN results at 250ms

Condition	Item	Air	DME ϕ =0.01	0.02	0.04	0.08
Experiment	P(MPa)	2.89	3.1	3.13	3.19	3.13
	T(K)	909.5	897.42	895.18	922.57	901.43
CHEMKIN	P(MPa)	3.22	3.29	3.39	3.62	4.24
	T(K)	954.6	976.25	1004.51	1072.61	1254.45
	OH(mol/m ³)	0	2.91E-06	4.91E-06	2.02E-05	3.48E-04
	H2O2(mol/m ³)	0	7.57E-05	1.01E-04	1.35E-04	6.82E-07
	CH2O(mol/m ³)	0	2.07E-04	2.04E-04	1.53E-04	1.95E-15

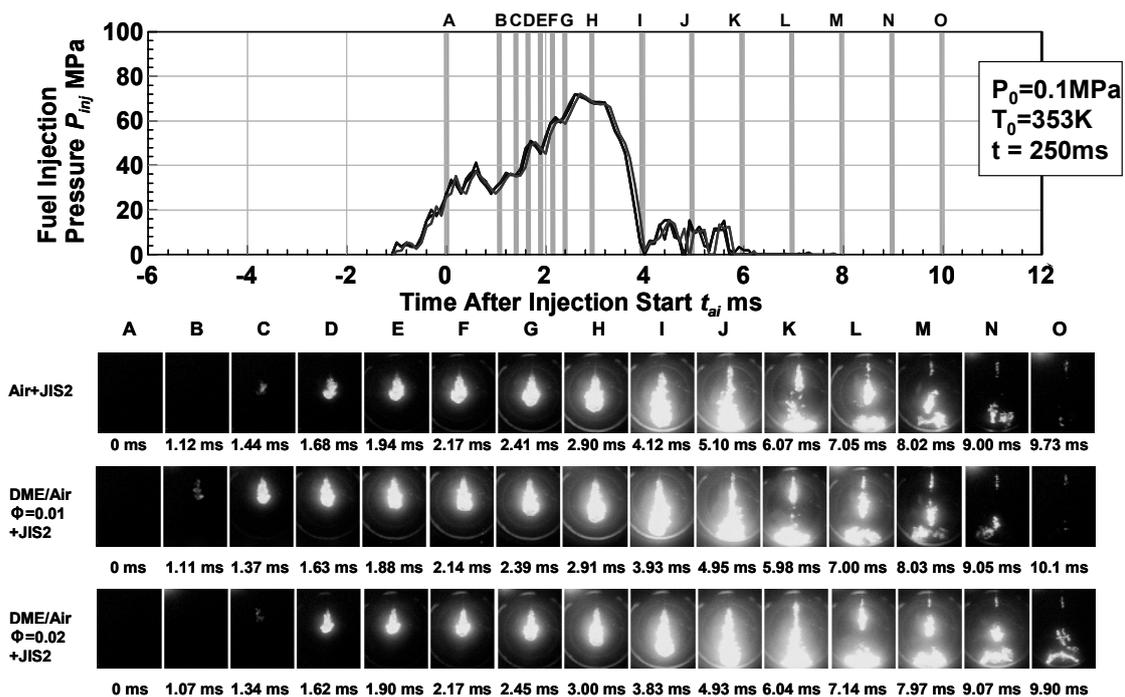


Fig. 10 Direct photograph and injection pressure

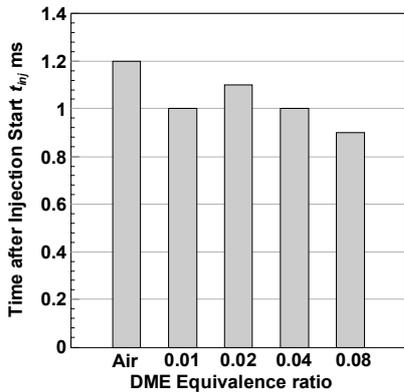


Fig. 11 Ignition delay

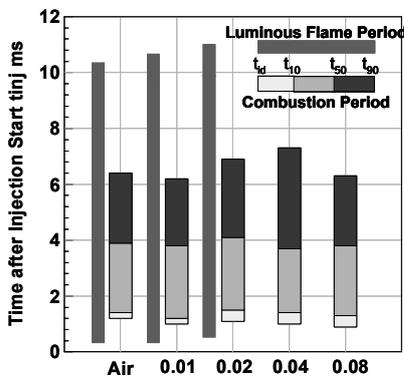


Fig.12 Luminous flame period and combustion period

이나 Air만의 경우보다 휘염의 발생이 조기화 되었다. 그러나, HCHO, H₂O₂, OH의 농도가 대부분 같은 $\phi=0.01$ 과 $\phi=0.02$ 의 착화 시기와 연소 기간은 $\phi=0.01$ 의 경우가 조기화 되든지, 짧아졌다. $\phi=0.01$ 은 다른 조건보다 연소실내 온도가 높기 때문에, 연소실내 온도의 영향으로 생각된다. 또한, 디젤 분무연소의 착화지연과 연소 기간에 중간생성물 농도의 영향을 고려하는 것이 필요하다고 생각된다.

4.2 디젤 분무에 있어서의 화염온도 및 KL 값의 해석

Fig. 13,14 에 분위기를 Air 만의 경우와 $\phi=0.01$ 의 경우에 있어서의 KL 값의 연료분사 후 시간이력을 가리킨다. 이것에 의하면, DME 예혼합기의 당량비 $\phi=0.01$ 쪽이 총면적 및 KL 값이 0.287 이상의 면적이 작아졌다. 이색법의 해석 결과로 DME 예혼합기를 분위기로 했을 때의 PM 의 저감 효과가 보였다.

5. 결론

본 연구에서는 DME 예혼합압축자기착화 연소시

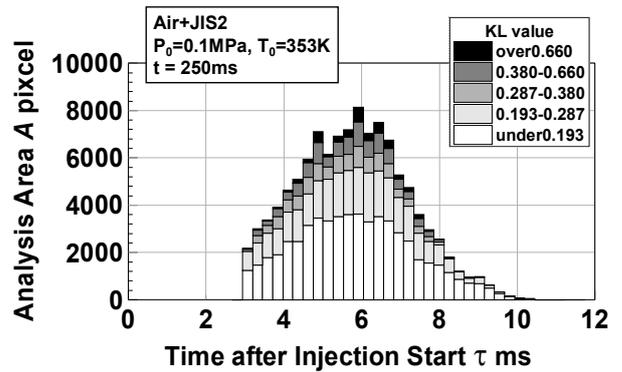


Fig. 13 KL value for time value (Air + JIS2)

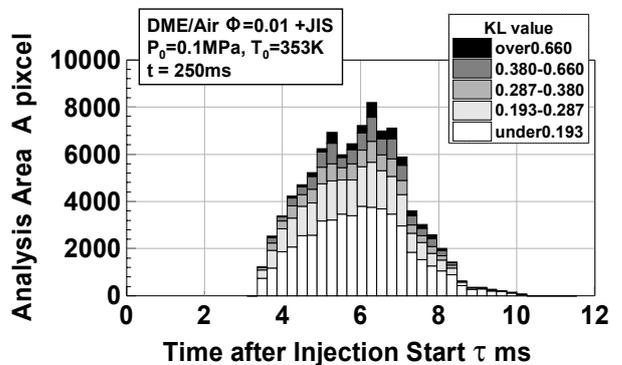


Fig. 14 KL value for time value (DME/Air $\Phi=0.01$ +JIS2)

에 발생된 연소중간생성물의 농도가 디젤분무연소에 미치는 영향에 관하여 실험과 수치계산을 통하여 확인하였다.

(1) 소반응 수치계산 결과에서, DME 예혼합기의 당량비에 관계없이 저온산화반응(LTR)의 시작온도와 고온산화반응(HTR)의 시작온도는 일정하였다. LTR 과정 중에 DME 은 투입량의 1/3 정도가 소비되고, 또한 소비된 DME 과 생성된 HCHO 는 거의 같은 비교가 되는 것을 확인할 수 있었다. 하지만, 당량비가 증가함에 따라 LTR 시작시기와 HTR 시작시기는 조기화되었다.

(2) 라디칼 발광의 해석을 행한 결과, 잔류 가스가 존재하는 조건에서는 발광 강도는 편차가 생기고, 잔류 가스가 존재하지 않는 조건에서는 편차가 존재하지 않았다. 이 편차는 잔류 가스가 존재하는 것으로 생기는 온도, 가스 조성의 불균질성으로부터 영향을 받고 있는 것과 추측된다.

(3) 연소실내 가스 온도가 높아지면 착화지연도 짧아졌다. 또 착화지연이 단순히 연소실내 가스 온도 만에 의존하는 것은 아니고, 중간생성물등의 영향이 있다고 알았다. 중간생성물이 존재하지 않는 Air만으로 착화 늦음이 다른 당량비와 비교해

서 제일 길어졌다. $\phi = 0.08$ 에서는 HCHO와 H_2O_2 은 대부분 존재하고 있지 않고, OH가 $3.5 \times 10^{-4} \text{ mol/m}^3$ 정도 존재하고 있어, 착화 늦음이 가장 짧아졌다. 이것은 OH가 존재하는 것으로 분위기 중에 분무 된 경유의 반응이 촉진되기 때문이라고 생각된다. 또한, 디젤 분무연소의 착화 지연과 연소 기간에 중간생성물 농도가 영향을 끼치는 것을 확인하는 것이 필요하다.

(4) 이색법의 해석 결과로 DME HCCI 연소 중간생성물을 가지고 있는 분위기에서는 매연의 저감 효과가 보여졌다. 착화지연, 연소기간, KL 값 등을 고려할 경우에는 연소실내 압력, 연소실내 온도, 중간생성물의 농도를 생각하는 것이 필요하다.

후 기

이 논문이 있도록 물심양면으로 지원해 주신 일본 게이오대학(KEIO University)의 이이다 노리마사(Norimasa IIDA) 선생님께 감사사를 드립니다.

참고문헌

- (1) Norimasa Iida, Mitsunori Nakamura and Hideki Ohashi, 1997, "Study of Diesel Spray Combustion in an Ambient Gas Containing Hydrocarbon Using a Rapid Compression Machine," *SAE Paper*, 970899.
- (2) Lee Jin-Ha and Norimasa Iida, 2001 "Combustion of Diesel Spray Injected into Reacting Atmosphere of Propane-Air Homogenous Mixture," *International Journal of ENGINE RESEARCH*, IMeckE and SAE, Vol. 2, No. 1, pp 69~80.
- (3) Danilo Nikolic, Kazunari Wakimoto, Shinya Takahashi and Norimasa Iida, 2001, "Effects of Nozzle Diameter and EGR Ratio on the Flame Temperature and Soot Formation for Various Fuels," *SAE Paper* 2001-01-1939.
- (4) Shinya Takahashi, Kazunari Wakimoto, Danilo Nikolic and Norimasa Iida, 2001, "Effect of Aromatics Contents and 90% Distillation Temperature of Diesel Fuels on Flame Temperature and Soot Formation," *SAE Paper* 2001-01-1940.
- (5) Robert. J. Kee., Fran, M. Rupley., Ellen Meeks and James A. Miller, 1996, "A Fortran Chemical Kinetics Package for The Analysis of Gasphase Chemical and Plasma Kinetics," *Sandia National Laboratories Report*.
- (6) Andrew E. Luz., Robert J. Kee and James A. Miller, 1988, "SENKIN: A FORTRAN Program for Predicting Homogeneous Gas Phase Chemical Kinetics With Sensitivity Analysis," *Sandia National Laboratories Report*, SAND87-8248.
- (7) Curran, H. J., Pitz, W. J., Westbrook, C. K., Dagaut, P., Boettner, J-C and Cathonnet, M., 2000, "A Wide Range Modeling Study of Dimethyl Ether Oxidation," *International Journal Chemical Kinetics*, 30-3, pp. 229~241.
- (8) Yamada Hiroyuki, Suzaki Kotaro, Sakanashi Hideki, Choi Namil and Tezaki Atsumu, 2005, "Kinetic Measurements in Homogeneous Charge Compression of Dimethyl Ether: Role of Intermediate Formaldehyde Controlling Chain Branching in the Low-temperature Oxidation Mechanism," *Combustion and Flame* Vol. 140 pp. 24~33.