

DME 연료에 첨가제를 혼합하였을 때의 연소 특성 및 배출가스 특성에 관한 연구

권 석 주¹⁾ · 차 준 표¹⁾ · 강 민 구¹⁾ · 이 창 식²⁾ · 박 성 옥²⁾ · 임 영 관³⁾

한양대학교 대학원 기계공학과¹⁾ · 한양대학교 기계공학부²⁾ · 한국석유관리원 석유기술연구소³⁾

Effects of DME Additives on Combustion Characteristics and Nano-particle Distributions in a Single Cylinder Compression Ignition Engine

Seokjoo Kwon¹⁾ · Junepyo Cha¹⁾ · Mingu Kang¹⁾ · Chang Sik Lee²⁾ ·
Sungwook Park^{*2)} · Young-Kwan Lim³⁾

¹⁾Department of Mechanical Engineering, Graduate School, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

²⁾Department of Mechanical Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

³⁾Research Center, Korea Institute of Petroleum Management, 33 Yangcheng 3-gil, Ochang-eup, Changwon-gun,
Chungbuk 363-883, Korea

(Received 13 July 2011 / Revised 5 December 2011 / Accepted 6 February 2012)

Abstract : This study describes effects of DME additives on combustion and exhaust emissions characteristics including nano-particle in a single cylinder compression ignition engine. Considered additives include bio-diesel, n-butanol, and MTBE for increasing kinematic viscosity. Among three additives, n-butanol showed the greatest kinematic viscosity. In addition MTBE showed the highest vapor pressure. In the present study mixing ratios of additives were kept constant at 1 and 10% by volume. Experiments were performed at 1200rpm engine speed and nano-particles were measured by SMPS (Scanning mobility particle sizer) devices. Results of combustion characteristics showed that considered additives had little effects on combustion pressure. However, patterns of heat release rate were dependent on properties of additives. Nano-particles of MTBE were the lowest among considered additives.

Key words : Additives(첨가제), MTBE(Methyl Tertiary-Butyl Ether, 엠티비이), n-butanol(부탄올), Bio-diesel(바이오디젤, 대두유), Nano-particle(미세입자), Combustion characteristic(연소 특성)

1. 서 론

압축 착화 기관은 높은 압축비와 희박한 영역에서 연소가 이루어지기에 불꽃 점화 기관과 비교하여 높은 열발생의 출력특성과 연비 특성이 뛰어난 장점이 있다. 하지만 높은 연소온도와 국부적으로 농후한 구간에서의 연소로 인하여 NOx와 soot 배출 생성물이 다량으로 발생하는 단점을 가지고 있다. 압축착화 기관에서 이러한 단점을 극복하기 위하여

DME를 이용한 많은 연구가 진행되고 있다. 디젤의 대체연료인 DME는 화학식에서 산소를 포함하고 있으며, 분자구조상 두 개의 탄소원자사이에 산소 원자가 포함되어 있어서 탄소의 직접결합을 막아 NOx와 soot의 생성을 원천적으로 저감할 수 있는 연료이다.¹⁻³⁾

연료 첨가제는 주 분사되는 연료에 소량 포함되어서 연료의 품질 및 엔진 성능의 향상을 유도하는 물질들 뜻하며 본 실험에는 총 세 가지의 첨가제 (Bio-diesel, n-butanol, MTBE)를 사용하였다. 대표적

*Corresponding author, E-mail: parks@hanyang.ac.kr

으로 사용되는 첨가제인 Bio-diesel은 동점도와 저위발열량이 매우 높아서 주로 DME의 점도 향상의 효과와 열량을 보충하는 열량보조제로 주로 사용된다. MTBE는 옥탄가가 108로 매우 높은 특성을 가지고 있으며 이를 DME 연료에 첨가하였을 때 옥탄값 향상이 압축착화엔진의 연소 및 배기 특성에 어떠한 영향을 미치는지 살펴보기 위하여 실험을 수행하였다. MTBE의 단점으로는 Ether기를 가지고 있어 생분해성이 낮고 환경매체내의 잔류기간이 길다. n-butanol은 산소 포함량이 21%로 아주 높으며 바이오매스로인 비 생물원료(Non-biological Feedstocks)로 대량 제도가 가능한 장점이 있다. n-butanol은 증기압이 낮고 비수용성 물질이라 누수에 따른 오염을 방지할 수 있으며, 차량엔진과 연료계통의 재질에 부식을 발생시키지 않아 바이오 에탄올의 대체연료로 사용될 예정이다.⁴⁾

연료 첨가제에 대한 선행 연구들을 살펴보면 Lee⁵⁾ 등은 ETBE와 MTBE를 사용하여 가솔린 엔진에서 화염전파 특성과 연소 및 배출가스의 특성에 대하여 연료의 산소 함유량이 상대적으로 높으면 완전연소를 유도하는데 유리할 것으로 예측하였고, ETBE는 기존의 가솔린 첨가제인 MTBE를 대체할 수 있다고 제안하였다. 또한 Lee⁶⁾ 등은 MTBE와 Bio-butanol이 포함된 연료를 가솔린 엔진에 사용하

여 나타나는 배출가스 경향과 PM 입자 개수에 대한 실험을 하여 첨가제의 특성을 비교하였다.

앞서 언급한 논문들은 모두 불꽃 점화기관에서 연구하였으며, 본 논문의 목적은 압축착화 엔진에서 DME 연료를 주 분사로 하였을 때 Bio-diesel과 n-butanol, MTBE를 첨가제로 사용하여 연소 및 배기 배출물의 특성을 관찰하기 위하여 진행되었다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 실험 장치

실험에 사용된 단기통 압축착화엔진은 압축비가 17.8:1이며 보어와 스트로크가 75mm, 84.5mm으로 배기량이 373.3cc인 직접분사식 엔진이며, Table 1은 엔진과 인젝터의 상세한 제원을 나타내고 있다.

Fig. 1은 실험에 사용된 장비구성품의 개략도를 나타낸다. 엔진은 일정한 회전속도로 구동되기 위하여 55kW의 엔진 다이내모를 이용하여 제어하였다. 실린더 내의압력 데이터를 취득하기 위하여 엔진헤드에 압력센서(6057A80, Kistler)를 설치하였고 컴퓨터에 연결된 데이터 수집 장치(BNC-2110, NI)와 PCI보드(PCI-MIO-16E-1, NI)를 통하여 실시간으로 취득된 압력 데이터를 저장하였다. 흡기 과정에서는 유량계(GFC67, Aalborg)를 설치하여 고정적인

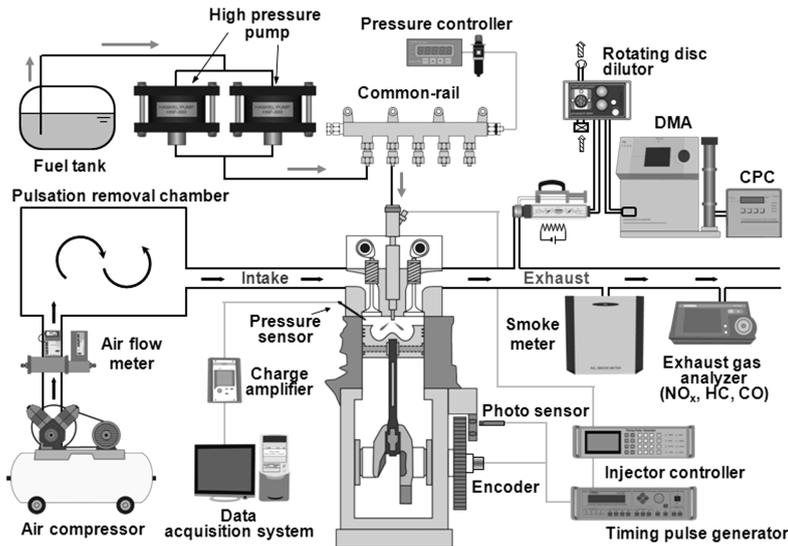


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

Table 1 Specifications of the test engine

Description	Specification
Bore [mm]	75
Stroke [mm]	84.5
Displacement volume [cc]	373.3
Compression ratio	17.8 : 1
Valve type	DOHC 4
Injection hole number	6
Fuel injection system	Bosch common-rail
Nozzle hole diameter [mm]	0.128
Spray angle [°]	156

유량이 흡입되도록 제어하였고 흡기 챔버를 설치하여 불연속 기관의 특성인 맥동현상을 감소시켰다. 연료분사시스템은 두 개의 고압펌프(HSF-300, Haskel)를 병렬로 설치하여 커먼레일(Common-rail, Bosch)로 연료를 송출하였고 가압된 연료는 인젝터 드라이버(TDA 3300, TEMS)와 신호 발생기(Timing pulse generator, Blue planet)를 이용하여 분사량과 분사시기를 제어하였다. 또한, 동일한 당량비에서 실험을 진행하기 위하여 람다미터(Lambda meter LA4, ETAS)를 설치하였다.

배기 배출물 측정 시스템은 배기 포트 끝단에 soot의 농도를 측정하기 위하여 여과지법을 사용하는 매연측정기(Smoke meter 415S, AVL)와 유해배출가스 농도를 분석하는 배기가스 측정기(MEXA-554JKNOx, Horiba)를 설치하였다. 미세입자 측정을 위하여 SMPS(Scanning Mobility Particle Sizer)를 이용하여 입자상 물질의 크기별 배출 분포를 측정하였다. 회전식 회석기(MD19-2E, Matter Engineering)를 이용하여 300:1의 비율로 회석하였고 미세입자 측정 중 응축으로 인한 오차를 방지하기 위하여 회석가스를 80°C로 유지하였다. SMPS의 측정범위인 10.4nm에서 392.4nm까지의 범위를 고려하여 미세입자들은 입자 직경에 따라 분리하는 DMA(Differential Mobility Analyzer)를 통하여 분리되고 CPC(Condensation Particle Counter, Model 3010 TSI)를 이용하여 입자들의 개수들이 측정된다.

2.2 실험 방법

엔진의 회전속도는 1200rpm으로 고정하여 운전하였고 냉각수와 엔진오일의 온도는 70°C로 유지하

Table 2 Experimental conditions

Item	Experimental condition			
Engine speed [rpm]	1200			
Coolant & Oil temperature [°C]	70			
Intake air ratio [L/min.]	145.6			
Injection pressure [MPa]	50			
Mass of fuel injection [mg]	13.2			
Start of energizing [°BTDC]	0, 3, 6, 9, 12, 15			
	Types of additives in DME			
Oxygen weight [%]	Bio-diesel weight [%]	n-butanol weight [%]	MTBE weight [%]	
1	34.5	34.7	34.6	
10	35.5	36.7	36.3	

였다. 엔진에 흡입되는 공기의 유량은 유량계를 사용하여 145.6L/min.으로 고정하였다. 연소과정에서 첨가제가 포함된 DME 연료는 50MPa의 분사압력, 13.2mg의 분사량으로 실린더 내부에 직접 분사되었다. 분사시점은 TDC에서 BTDC 25°CA까지 점진적으로 진각하여 분사시기 변화에 따른 첨가제가 포함된 DME연료의 연소특성과 배기 배출물 특성의 영향을 살펴보고자 수행되었다. Table 2는 첨가제가 포함된 DME 연료의 조건을 표시하였고 첨가제가 포함되었을 때 각 연료의 질량에 대한 산소 포함률을 나타낸다.

본 실험에 사용된 첨가제는 Bio-diesel, n-butanol, MTBE이고 첨가제의 질량을 20g과 200g 주입한 뒤 DME를 이용하여 전체 연료의 무게가 2kg이 되도록 하였다. 최종적으로 DME연료와 첨가제는 전체 질량 분율을 기준으로 1%와 10%가 첨가되도록 하였다. Table 3은 본 실험에 사용된 첨가제의 특성에 관하여 나타낸 것이다. Bio-diesel은 동점도가 높아 윤활의 역할과 세탄가가 가장 높은 특성을 가지고 있으며, n-butanol은 세 첨가제중 산소의 함유율이 가장 높다. 마지막으로 MTBE는 증기 압력이 가장 높으며 세탄가가 가장 낮은 특성을 가지고 있다. 본 실험은 원인과 결과를 증명하는 제어실험방법으로 수행되었으며 DME 연료에 윤활을 목적으로 Bio-diesel이 1% 첨가된 경우를 대조군으로 설정하고 다른 모든 조건을 동일하게 한 뒤에, 실험군을 다른 첨가제의 혼합 또는 함량의 변화로 설정하여 비교, 분석하는 방식으로 수행하였다.

Table 3 Properties of additives

	Bio-diesel	n-butanol	MTBE
Vapor pressure [kPa] at 20°C	-	0.67	33.5
Kinematic viscosity [mm ² /s] at 20°C	7.5	3.7	0.47
Density [g/mL]	0.89	0.81	0.47
Boiling point [°C]	176	116 ~ 118	55 ~ 56
Melting point [°C]	-10	-90	-109
Auto-ignition temperature [°C]	250	343	430
Oxygen content [wt %]	11	21.6	18.2
Cetane number	46 ~ 68	12	< 6
Lower heating value [MJ/kg]	38.5	36.31	35.2

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 연소 특성

Fig. 2는 단기통 압축착화 엔진에서 분사시점을 TDC에서 BTDC 25°CA까지 점진적으로 진각 하였을 때 첨가제가 1%, 10% 포함된 DME의 도시연료소비율을 그래프로 나타낸 것이다. 각 분사시기에 따른 데이터를 산술평균보간법을 통하여 비교하였을 때 전체 데이터의 오차는 5.4% 수준으로 전반적으로 유사한 경향을 나타냈다. 도시연료소비율을 모든 분사 시점에서 비교하였을 때 도시연료소비율을 비교하였을 때 분사시기가 BTDC 25°CA 정도로 매우 진각한 경우 도시연료소비율이 급격히 나빠지는 경향을 나타내었다. 이러한 경향은 연소가 너무 이른 영역에서 시작되어서 연소가 잘 이루어지지 않은 것으로 판단되었고, 악화된 연소 효율성이 연료 소비율의 증가로 나타난 것이라 판단됨. 부분적으로 MTBE를 첨가한 경우 도시연료소비율이 감소하는 결과가 나타났는데 이러한 영향은 자착화성이 우수한 DME에 옥탄가가 높은 MTBE가 첨가되어 낮은 세탄가로 인하여 착화지연이 증가되었다고 판단됨. 길어진 착화지연기간은 연료와 공기의 혼합성이 우수하게 만들었으며 IMEP의 상승과 ISFC의 감소가 초래되었다고 판단됨. 이런 현상을 보다 면밀히 파악하기 위하여 동일 분사시점에서 압력데이터와 열 발생률 특성을 Fig. 3에 나타내었다.

Fig. 3은 BTDC 6°CA의 분사시기에서 50MPa의 압력으로 연료를 분사하였을 때의 압력선도와 열발

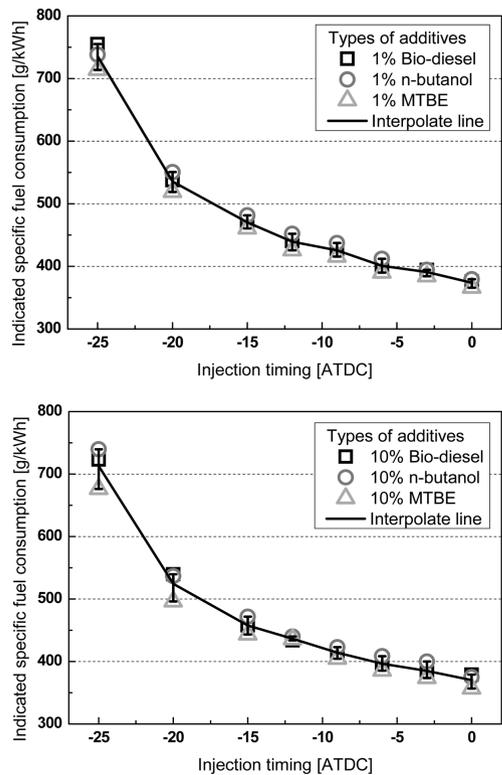


Fig. 2 Effect of DME with 1% and 10% additives on the indicated specific fuel consumption

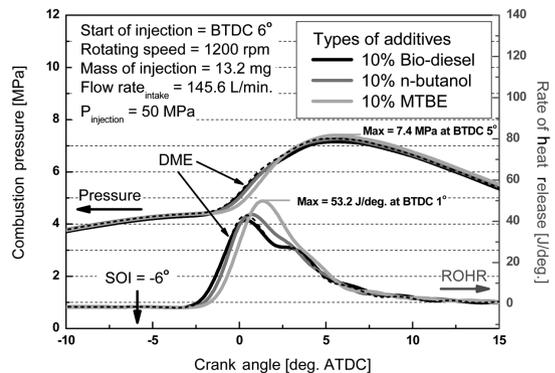


Fig. 3 Combustion pressure and rate of heat release of DME with 10% additives

생률 그래프를 나타낸 것이다. 첨가제의 영향을 확인하기 위하여 DME 연료에 10% 첨가제가 혼합되었을 경우를 비교하였다. 압력 데이터를 살펴보았을 때 세 첨가제 모두 동일 시점인 BTDC 6°CA에서 연료가 분사되었지만 MTBE, n-butanol, Bio-diesel 순

으로 압력 데이터의 최고값이 나타났고, 압력 데이터의 증가는 MTBE를 첨가하였을 때 가장 늦은 상승이 그래프에서 확인이 되었다. DME만을 분사하였을 때와 Bio-diesel, n-butanol을 첨가하여 연소하였을 때 열발생을 최고값의 변동률은 2.1%로 매우 유사한 값을 가지고 있지만, MTBE를 첨가하여 연소하였을 경우는 앞서 언급한 경우의 열발생을 최고값보다 18.7%나 증가하였고 이때의 값은 BTDC 1°C에서 53.2J/deg이 확인되었다.

또한 열발생을 데이터에서도 MTBE를 첨가하였을 때 가장 늦은 상승을 확인할 수 있었다.

MTBE에 의하여 낮아진 세탄가로 착화지연기간이 증가하고, 길어진 착화지연 기간만큼의 공기와 연료와의 혼합기간이 충분하게 이루어진 후 다량의 열이 발생하는 예혼합연소가 활발하게 이루어졌다고 판단된다. 추가적으로 Table 3에서 표시한 것과 같이 MTBE는 다른 첨가제 보다 증기압이 높은 특성을 가지고 있다. 연료의 증기압이 높으면 휘발되는 연료의 양이 많아지게 되고 엔진 연소실 내 흡입 공기와의 혼합이 증대되어 연소가 활발하게 된다. 이러한 이유들로 인하여 MTBE 첨가제를 사용하였을 때 압력데이터와 열발생률의 최고값이 나타난 것으로 판단된다.

3.2 배출가스 특성

Fig. 4는 첨가제 영향에 따른 배기 배출물의 특성을 파악하기 위하여 DME 연료에 10%의 첨가제를 혼합되었을 때의 배출물 그래프를 나타내었다. 세 가지의 첨가제가 전반적으로 유사한 경향을 나타내고 있지만 IS-HC의 경우 분사시점이 BTDC 12°C보다 지각하였을 때 DME만을 분사하였을 경우와 비교하여 세 첨가제를 사용하였을 경우는 IS-HC 배출물이 평균적으로 27.5% 감소하였다. 이는 세 첨가제가 모두 산소를 포함하고 있어서 연소과정에서 산소원자가 완전연소를 유도하였기에 IS-HC의 배출이 다소 감소하였다고 판단된다. 분사시기가 진각됨에 따라 IS-HC와 IS-CO는 증가되는 경향을 나타내었는데 이는 조기분사로 인하여 벽면 충돌현상 그리고 압축이 충분히 되지 않은 시점에서 연소실의 낮은 분위기 압력과 온도가 불완전 연소를 야기

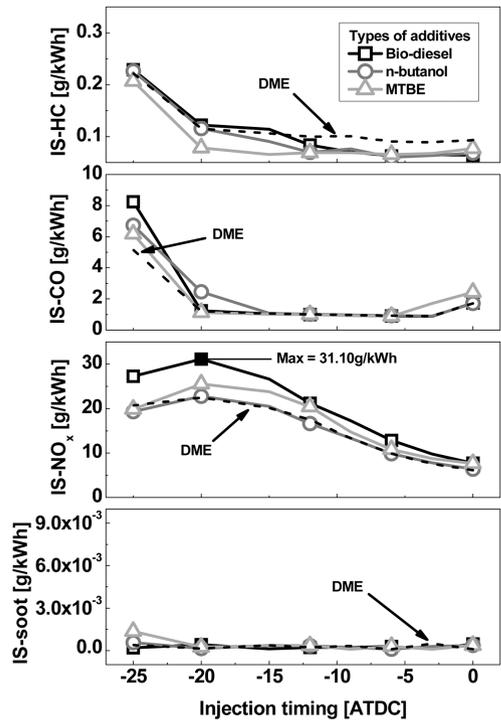


Fig. 4 Exhaust emission characteristics of DME with 10% additives

하였기 때문으로 판단된다. IS-NOx는 Bio-diesel과 MTBE를 첨가하였을 경우 DME만을 분사하였을 때와 비교하였을 때 IS-NOx가 각각 30.8%, 11.7% 증가하였다. 그리고 IS-NOx는 Bio-diesel 첨가제를 사용하였을 경우에는 31.1g/kWh로 가장 높은 배기 배출량을 보이고 있다. 위의 현상은 Bio-diesel의 경우 Table 3에서 살펴보면 가장 높은 저위 발열량을 가지고 있어서 실린더 내부에서 연소 시 높은 열이 발생되어 Thermal NOx의 배출이 발생한 것으로 판단된다. IS-soot의 경우 모든 분사시기에서 거의 배출이 되지 않았으며 이는 DME 연료는 탄소와 탄소 사이에 산소 원자를 포함하고 있는 합산소 연료이기 때문에 이러한 결과가 나타난 것으로 판단된다.

Fig. 5는 앞서 나타낸 soot 배출물의 특성을 추가적으로 분석하기 위하여 10.4nm에서 392.4nm까지 미세입자의 총 개수농도를 나타내고 있다. 전반적으로 분사시기가 진각됨에 따라서 미세입자의 개수 분포가 증가하는 경향이 나타났으며, 미세입자의 총 개수농도는 BTDC 25°C에서 가장 많은 배출이

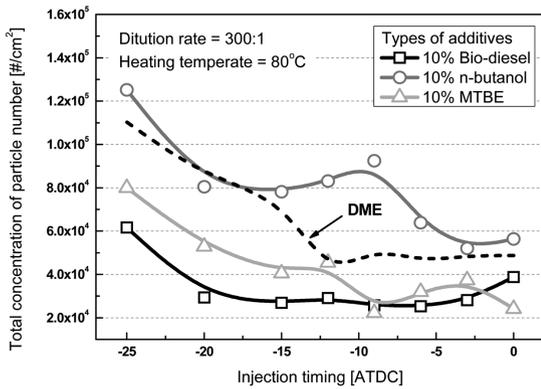


Fig. 5 Total concentration of nano-particle number of DME with 10% additives

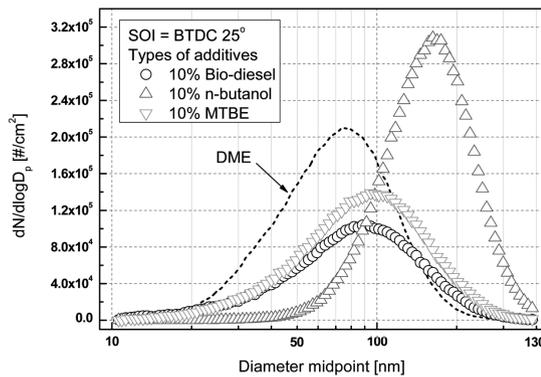


Fig. 6 Particle size distributions of DME with 10% additives at BTDC 25°C

되었고 n-butanol, DME, MTBE, 그리고 Bio-diesel 순으로 입자가 분포되었다. BTDC 25°C에서의 총 개수농도를 비교하면 n-butanol은 DME보다 13.5% 증가하였고 MTBE와 Bio-diesel은 DME와 비교하였을 때 각각 44.2%, 27.5% 감소하였다.

Fig. 6은 동일한 운전 조건에서 미세입자 개수분포를 나타낸 것이다. 디젤엔진의 입자상 물질은 핵모드입자(nuclei mode particle)과 축적모드입자(accumulation mode particle)인 두 가지 모드의 분포를 가진다. DME만 연소하였을 때와 10%의 Bio-diesel 및 MTBE 첨가제를 사용한 경우 5~50nm 범위인 nucleation mode의 미세입자가 많이 발생하였고, 10%의 n-butanol 첨가제를 사용한 경우 accumulation mode에서 많은 분포가 나타났다.⁷⁾ 디젤엔진의 미세입자는 고온의 고체 상태로 배출되는데 상온의 대

기와 혼합하며 온도가 낮아지게 된다. 낮아진 입자들은 핵화(nucleation), 흡착(adsorption), 응축(condensation)의 과정을 거치며 크기가 커진다. n-butanol 첨가제를 사용하였을 경우 100nm 이상의 축적모드(accumulation mode)에서 미세입자가 많이 발생되었다. 그 원인을 분석한 결과 n-butanol의 경우 다른 두 첨가제와 비교하여 연료소비율이 대체로 높고 IMEP가 낮으며 IS-HC 및 IS-CO의 양이 상대적으로 다른 두 첨가제와 비교하여 다소 높은 경향을 나타내었다. 이러한 원인으로 BTDC25°C의 경우 불완전 연소에 의한 개수평균입자크기가 증가하였다고 판단되었다.⁸⁾ 각 첨가제를 사용하여 연소하였을 때 입자크기가 가장 많이 분포된 개수농도의 크기를 비교해보면 n-butanol 첨가제를 사용하였을 경우 DME만을 사용하여 연소하였을 때 보다 최고값이 46.3% 증가하였고, Bio-diesel과 MTBE의 경우 DME와 비교하였을 때 최고값이 각각 50.7%, 34.1% 감소하였다.⁹⁾

4. 결론

단기통 압축착화 엔진에서 DME연료에 Bio-diesel, n-butanol, MTBE 세 첨가제를 혼합하여 연소 및 배기 배출물 특성을 연구한 결과는 다음과 같다.

- 1) 첨가제가 1%, 10% 포함된 DME 연료의 도시연료 소비율의 오차는 5.4% 수준으로 전반적으로 유사한 경향을 나타냈으며 10% MTBE 첨가제 조건에서 연료 분사 시기를 진각시켰을 경우 도시연료소비율이 개선되어지는 경향이 나타났다.
- 2) BTDC 6°C에서 연료가 분사되었을 때 MTBE, n-butanol, Bio-diesel 순으로 연소압력의 최고값이 나타났고, 압력 데이터의 증가는 MTBE를 첨가하였을 때 착화지연기간이 가장 증가하였다.
- 3) MTBE를 첨가하여 연소하였을 경우의 열발생률 최고값이 DME, Bio-diesel, n-butanol을 첨가하였을 때 보다 18.7% 증가하였고 이 때의 값은 BTDC 1°C에서 53.2J/deg.으로 나타났다.
- 4) IS-NOx는 Bio-diesel 첨가제를 사용하였을 경우에는 31.1g/kWh로 가장 높은 배기 배출량이 나타났으며 이는 Bio-diesel의 높은 저위 발열량으로 인하여 실린더 내부의 연소 시 높은 열로 인한

Thermal NO_x가 발생한 것으로 판단하였다. IS-soot의 경우 DME와 합산소 첨가제의 영향으로 인하여 모든 분사시기에서 거의 배출이 되지 않았다.

- 5) 전반적으로 분사시기가 진각됨에 따라서 미세 입자의 개수 분포가 증가하는 경향이 나타났으며, DME 연료의 경우 5~50nm 범위인 nucleation mode의 미세입자가 많이 발생하였고 세 첨가제 들은 입자 직경이 큰 50~200nm 사이의 accumulation mode에서 많은 분포가 나타났다.

후 기

본 연구는 지식경제부의 지원으로 수행한 클린 신연료 동력시스템 개발 사업과 2단계 두뇌한국21 사업의 지원으로 진행되었으며, 연구를 지원하여 주신 기관에 감사드립니다.

References

- 1) 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," Transactions of KSAE, Vol.15, No.2, pp.74-80, 2007.
- 2) 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 972973, 1997.
- 3) J. Cha, S. H. Park, C. S. Lee and S. W. Park, "Study on Spray and Exhaust Emission Characteristics of DME-biodiesel Blended Fuel in Compression Ignition Engine," Transactions of KSME(B), Vol.35, No.1, pp.67-73, 2011.
- 4) D. Kim, "The Status and Outlook for Biobutanol Technology," Auto Journal, KSAE, Vol.32, No.4, pp.36-44, 2010.
- 5) T. Lee, Y. Choi, S.-S. Lee, Y.-S. Cho, C. Lim and C. Seo, "The Combustion and Emission Characteristics by Blending Rates of Gasoline Fuel Additive," Auto Journal, KSAE, Vol.30, pp.113-119, 2008.
- 6) M. Lee, S. Kim, J. Kim, J. Kim, E. Yim and D. Kim, "The Fuel Properties and Exhaust Emission Characteristics according to the Oxygenated Fuel Additive Type," Spring Conference Proceedings, KSAE, pp.470-476, 2009.
- 7) J. Lee, C. Bae, A. Schonborn and N. Ladommatos, "Characteristics of Nano-particle Emitted by Auto-ignited Engine with ULSD, Bio-diesel and DME Fuel and Effects of Oxidation Catalyst on Its Reduction," Transactions of KSAE, Vol.17, pp.81-89, 2009.
- 8) J. Patschull and P. Roth, "Measurement and Reduction of Particles Emitted From a Two-stroke Engine," J. Aerosol Sci. Vol.26, Issue 6, pp.979-987, 1995.
- 9) J. Lee, R. Patel and N. Ladommatos, "Emission Characteristics of Nano-sized Particles in Bioethanol Fuelled Engine with Different Injection Type," Transactions of KSAE, Vol.17, pp.55-62, 2009.