<학술논문> **DOI http://dx.doi.org/10.3795/KSME-B.2012.36.11.1065** ISSN 1226-4881

과급에 의한 디젤 및 바이오디젤의 저온연소 운전영역 확장에 관한 연구

장재훈*,** · 오승묵* · 이용규* · 이선엽*†
* 한국기계연구원 그린동력연구실, ** 한양대학교 기계공학과

Extension of Low Temperature Combustion Regime by Turbocharging Using Diesel and Biodiesel Fuels

Jaehoon Jang*,**, Seungmook Oh*, Yonggyu Lee* and Sunyoup Lee*†
* Environment and Energy Systems Research Division, Korea Institute of Machinery & Materials
** Dept. of Mechanical Engineering, Hanyang Univ.

(Received December 14, 2011 ; Revised August 21, 2012 ; Accepted August 22, 2012)

Key Words: Biodiesel(바이오디젤), Low Temperature Combustion(저온연소), Soybean Methyl Ether(대두 메틸에테르), Nitrogen Oxides(질소산화물), Particulate Matters(입자상물질), EGR(배기재순환), Turbocharging(과급)

초록: 바이오디젤 연료는 그 안에 포함된 산소성분으로 인해 압축착화엔진에 사용했을 때 일반디젤 연료보다 더 적은 입자상 물질을 배출한다. 따라서 이 연료를 저온연소 기법에 적용하는 경우 보다 효과적으로 NO_x-PM을 동시 저감할 수 있고 그로부터 저온연소 운전영역의 확장을 기대할 수 있다. 이번 연구에서는 일반디젤과 대두유 기반의 바이오디젤 연료를 이용하여 산소농도 5~7%의 Dilution controlled regime에서 저온연소 운전을 구현하고 성능 및 배기 특성을 조사하였다. 엔진 실험 결과로부터 바이오디젤 연료의 경우 디젤에 비해 약 14% 낮은 발열량에도 불구하고 높은 세탄가 및 함산소 성질로 인한 연소효율 증가로 동일 연료량 분사 시 이보다 더 낮은 약 10~12% 정도의 출력이 감소함을 볼 수 있었다. 배기 측면에서도 바이오디젤 내 산소원자가 입자상물질의 산화반응을 촉진하여 최대 90%의 smoke 저감이 가능함을 관찰하였다. 또한 엔진 과급 실험으로부터 과급을 사용하여 저온연소 및 바이오디젤 사용으로 인한 출력 저하를 개선할 수 있음을 확인하였으며 과급과 바이오디젤 연료의 동시 적용을 통해 산소농도 11~12%의 EGR 가스 투입으로도 저온연소에 상응하는 PM-NO_x 동시 저감이 가능함을 보여주었다. 이런 결과는 결국 이와 같은 과급 및 바이오디젤 연료의 적절한 조합으로부터 엔진 출력 향상과 배기특성 개선이 동시에 달성할 수 있고 이로부터 운전영역의 확대가 가능함을 의미한다.

Abstract: Due to its oxygen (O) content, biodiesel (BD) is advantageous in that it lowers PM emissions in CI engines. Therefore, BD is considered one of the best candidates for low temperature combustion (LTC) operation because its use can extend the regime for simultaneous reduction of PM and NO_x. Thus, in this study, LTC operation was realized using BD and diesel with a 5~7% O_2 fraction. Engine test results show that the use of BD increased the efficiency and reduced emissions such as PM, THC, and CO; furthermore, IMEP reduced by 10~12% owing to the lower LHV of the fuel. In particular, smoke was suppressed by up to 90% because O atoms in the BD enhanced the soot oxidation reaction. To compensate the IMEP loss, turbocharging (TC) was then tested, and the results showed that the power output increased and PM was reduced further. Moreover, TC in BD engine operation allowed a similar level of reduction in both NO_x and PM at 11~12% O_2 fraction, suggesting that there is a potential to widen the operating range by the combination of TC and BD.

1. 서 론

심각한 환경 문제와 석유자원 고갈로 인한 미래 에너지 위기를 해결하기 위해 현재 전 세계적으로 많은 연구가 이루어지고 있다. 이 같은 노력의 일환으로 신재생 연료와 같은 대체 에너지원을 개발하고 이를 동력기관의 연료로 사용하고자 하는 연구 역시 활발히 진행되고 있는데 바이

† Corresponding Author, sunylee@kimm.re.kr
© 2012 The Korean Society of Mechanical Engineers

오디젤 연료를 적용한 압축착화엔진에 관한 연구가 그 대표적 예 중 하나이다.

일반적으로 바이오디젤은 식물성 기름이나 동물성 지방, 혹은 폐식용유 등을 수산화나트륨이나 수산화칼륨과 같은 알칼리성 촉매와 함께 알코올에 반응시켜 만든 지방산메틸에스테르(Fatty Acid Methyl Esters) 연료를 총칭하는 것으로 버려지는 폐자원을 재활용한다는 측면과 더불어 자연상태에서는 생분해가 가능하기 때문에 디젤 연료에 비해 환경 친화적일 뿐만 아니라 디젤 연료보다도 높은 세탄가로 인해 압축착화 엔진에서 사용할 수 있는 대표적인 디젤 대체연료 중 하나이다.[1] 특히 바이오디젤은 분자 내에 산소원자가 포함된 함산소 연료로 이 같은 연료를 압축착화 내연기관 엔진에 적용하는 경우 입자상물질의 생성을 근원적으로 억제될 수 있기 때문에 일반디젤을 사용하는 것보다 smoke 배출을 크게 줄일 수 있는 것으로 알려져 있다.[2]

최근 이러한 바이오디젤의 특성에 주목하여 이 연료를 저온연소 기법에 적용, 저온연소 운전영역을 확장하고 출력을 향상하고자 하는 노력이 진행되고 있다. 여기서 저온연소 기법이란 연소실 내에 다량의 배기재순환(EGR; Exhaust Gas Recirculation) 가스를 투입해서 산소농도를 낮추는 동시에 열용량을 높임으로써 저온 산화반응 영역을 활성화시키는 엔진 연소방법을 말하는 것으로 입자상물질(PM)과 질소산화물(NO_x)의 동시 저감이 가능하기 때문에 배기 후처리장치의 부담을 경감시키고 그에 따른 비용을 절감할 수 있는 장점이 있다. 하지만 이러한 대용량 EGR의 적용은 엔진 출력을 저하시키고 저온연소 운전영역을 제한하며 탄화수소(HC)와 일산화탄소(CO)의 배출을 증가시키는 단점 역시 야기하는 것으로 알려져 있다. 따라서 이와 같은 저온연소의 장점을 극대화 하는 동시에 단점을 해결하는 방안에 하나로 바이오디젤을 저온연소에 적용하는 것은 연료 내 포함된 산소 성분으로 인해 연소실 내 혼합기의 연소를 상대적으로 향상시킬 수 있기 때문에 PM 및 HC, CO 배출의 동시 저감뿐만 아니라 운전영역 확장까지도 가능할 것으로 기대된다.

바이오디젤을 저온연소에 적용시킨 선행 연구를 살펴보면 먼저 Northrop 등은 바이오디젤 연소에서 일반디젤에 비해 PM, HC, CO의 배출이 저감된다는 것을 보여주었다.[2] Petersen 등은 연료에 따른 미연탄화수소(UHC)와 CO의 배출특성에 대한 연구를 수행하였으며,[3] Mueller 등은 대두유를 기반으로 만든 바이오디젤을 이용하여 압축착화를 하였을 경우의 NO_x 배출 특성에 대하여 연구를 수행하였다.[4] 또한 Colban 등과 Lee 등은 저온연소 구현 시 과급을 통한 출력 보상과 배출가스 특성에 대하여 보고하였다.[1,7] 상기 연구들로부터 바이오디젤을 저온연소에 적용하였을 경우 배기성능의 향상으로 운전영역의 확대효과가 클 것으로 판단되며 또한 저온연소 시 낮아지는 엔진 출력을 과급을 통해 일반연소 수준으로 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

따라서 본 연구에서는 대두유 기반의 바이오디젤을 단기통 압축착화엔진에 적용함과 동시에 모사가스(simulated EGR)을 이용하여 과급함으로서 실린더 내의 산소농도와 과급 압력에 따른 엔진 성능 및 배기 특성 변화를 살펴보았으며, 이를 통한 저온연소 운전영역의 확대와 출력 향상 가능성을 평가하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

본 연구에서는 대형 디젤 엔진을 피스톤 및 해당 흡배기 밸브의 비활성화, 흡배기 매니폴드 개조, 플라이휠의 설계 및 장착, 냉각수 유로 개선 등을 통해 단기통화한 엔진을 사용하였으며 그 제원은 Table 1과 같다.

Figure 1은 이번 연구에서 사용한 시험 및 평가 장비의 개략적인 구성도이다. 연소실의 연소현상 해석을 위하여 압전 방식의 압력 센서(6043Asp, Kistler)를 장착하였으며 측정된 연소압력은 연소해석기(Indicom 2.0, AVL)를 이용하여 기록 및 연소 해석을 수행하였다. 연료 분사를 위한 커먼레일 시스템의 경우 연료 분사압 제어를 용이하게 하기 위해 기계식에서 PCV(Pressure control valve) 방식으로 수정하였으며 PCV 제어를 위한 커먼레일 driver로는 ZB-1100(Zenobalti Co.)를 사용하였다. 그리고 인젝터 분사시기 및 분사기간의 제어에는 Engine timing unit (ETU 427, AVL)과 Injection driver(ZB-5000, Zenobalti Co.)를 사용하였다.

저온연소 운전 시 배기성능을 평가하기 위해 배기 매니폴드에 sampling probe를 설치하고 배기

Table 1 Single cylinder engine specification

Engine Specification	
Displacement Vol. (cc)	998
Bore (mm)	100
Stroke (mm)	125
Compression Ratio	17.4

Table 2 Fuel properties of diesel and biodiesel

	Diesel	Biodiesel (Soybean)
Cetane Number	52.6	56.1
Lower Heating Value(kJ/kg)	45.78	39.37
Density(kg/m^3)	821.0	833.3

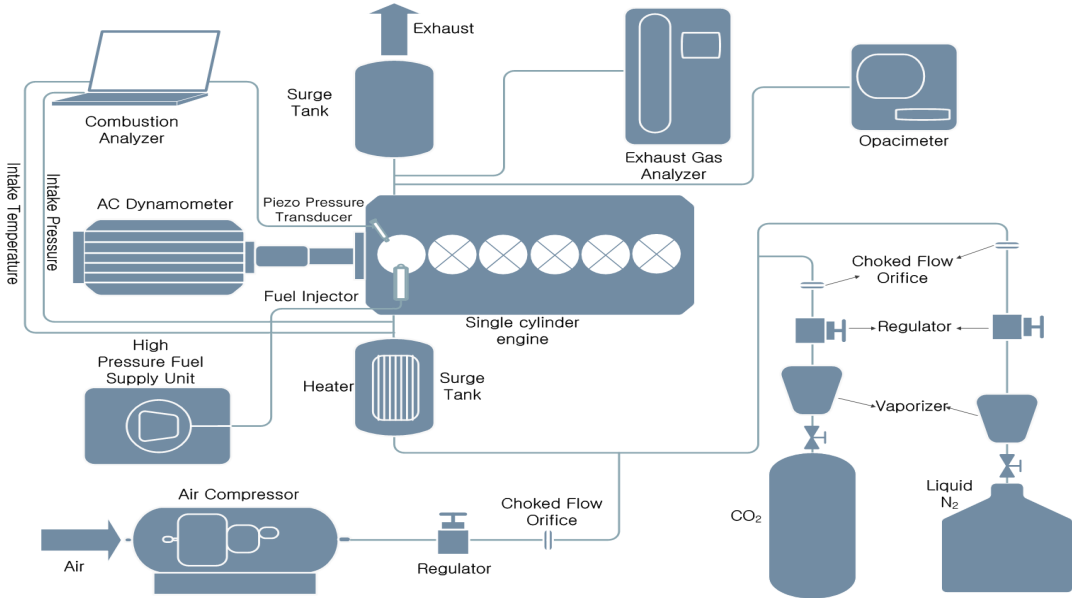

Fig. 1 Schematic diagram of experimental setup

가스 분석기(MEXA-8000, HORIBA)와 opacimeter (4390G004, AVL)에 연결하여 배기 배출물 및 smoke를 측정하였다. 또한 흡기 및 배기 매니폴드에는 열전대(K-type)를 설치하여 흡배기 온도를 측정하였으며, 과급압 측정을 위해 흡기 매니폴드 입구에 압력센서를 장착하였다.

엔진에 유입되는 흡기의 온도를 제어하기 위해서 흡기 라인 상의 Surge tank 내부에 히터를 설치한 후 PID 제어를 수행하였으며, 연료 온도가 연소에 미치는 영향을 최소화하기 위해서 열교환기 및 히터를 설치하여 연료의 온도를 40℃로 일정하게 유지하였다.

이번 연구에서는 또한 엔진에 공급되는 EGR량 및 흡기압과 흡기온도를 정확하게 제어하기 위해 흡기온도 컨트롤러를 포함하는 모사 EGR gas 공급 장치를 제작, 사용하였다. 이 장치는 Choked flow 원리를 이용하는 오리피스 유량계에 하나로 엔진 운전 상태와 관계없이 원하는 유량을 정밀하게 보낼 수 있는 장점이 있다.[7]

실험에 사용된 연료는 바이오디젤이 전혀 첨가되지 않은 디젤(SK에너지)과 대두유 기반의 바이오디젤((주)엠에너지)을 사용하였으며 이에 대한 물성치는 Table 2와 같다.

2.2 실험방법

바이오디젤과 과급압이 저온연소에 어떠한 영향을 미치는지 알아보기 위해 일반디젤과 바이오디젤의 연료 분사량을 엔진의 50% 부하조건을 기준으로 동일하게 설정하였다. 분사시기는 각 연료 및 조건에 따라 분사시기 스윕을 통해 MBT(Maximum brake torque) 조건을 결정하여 사용하였다. 과급압은 절대압 기준 1, 2, 2.5bar로 변화시켰으며 각각의 과급압에 대해 공급되는 신기 및 EGR 가스 혼합기의 산소농도가 7~19%가 되도록 모사 EGR 가스를 공급하였다. 저온연소에 대한 영향인자 수를 최소화하기 위하여 흡기

Table 3 Test conditions

Specification	Value
Engine speed(rpm)	1400
Injection pressure(bar)	1600
Load(%)	50
Injection timing(BTDC)	6.5~32
Intake pressure(bar)	1, 2, 2.5
O_2 fraction(%)	5~19
EGR rate(%)	14~72

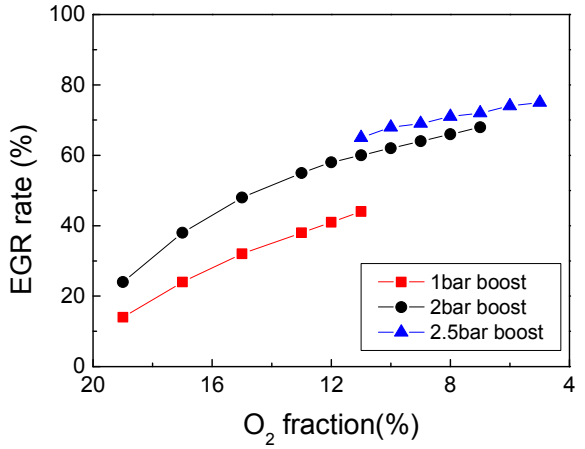

Fig. 2 EGR rate according to O_2 fractions

쪽 Surge tank에 Heater를 설치함으로써 폭발 TDC(Top dead center)에서의 실린더 압축온도가 930K으로 일정하도록 흡기온도를 제어하였다. 연료 분사 압력은 1600bar로 고정하여 단분사로 실험을 수행하였으며 엔진 회전수는 1400rpm으로 고정하였다. 참고로 본 연구에서 사용한 실험조건은 Table 3과 같다.

3. 실험 결과

Figure 2는 MBT 조건에서 산소농도 변화에 따라 요구되는 EGR율(EGR rate)의 변화를 나타내는 그림으로 이때 사용한 EGR율의 정의는 다음과 같다.[1]

$$EGR\ rate = \frac{\dot{m}_{EGR}}{\dot{m}_{air} + \dot{m}_{EGR}}$$

그림에서 볼 수 있는 것처럼 EGR율이 높아질수록 더 많은 EGR 가스가 연소실로 유입되어 신

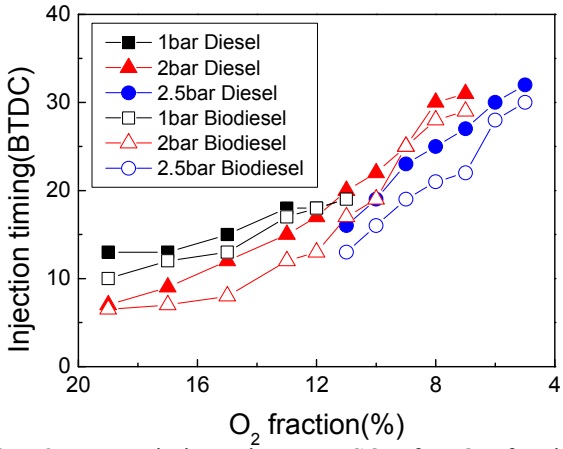

Fig. 3 MBT timing given as SOI for O_2 fraction sweeps

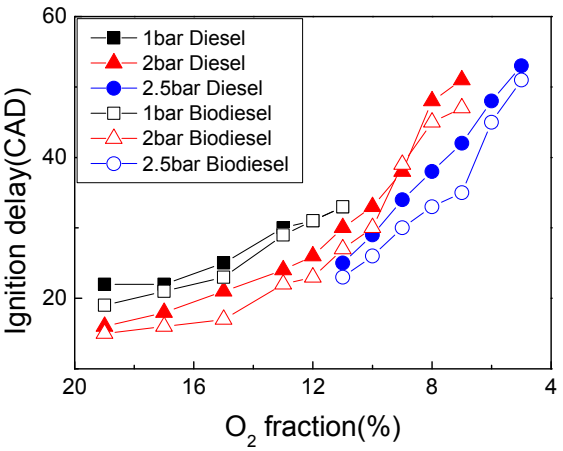

Fig. 4 Ignition delay according to intake pressure and fuels

기를 대체하기 때문에 산소농도가 낮아지게 되는데, 산소농도가 10% 이하로 내려가는 경우 요구되는 EGR율은 매우 커져서 60% 이상이 된다. 특히 과급압이 증가할수록 동일 산소농도 조건을 얻기 위해 더 많은 EGR 가스를 투입해야 하는데, 이는 과급압이 증가하면 연소실 내 가용 산소분자의 절대적인 숫자 역시 증가하고 그 결과 연소실 내 혼합기의 공연비가 더 희박해져서 더 많은 EGR 가스의 투입으로 이를 어느 정도 상쇄해야 하기 때문이다. 참고로 Fig. 2로부터 과급압 1bar, 산소농도 11% 이하 조건에서는 공연비가 이론공연비 보다 농후해지기 때문에 실험을 진행하지 않았으며, 과급압 2.5bar, 산소농도 12% 이상에서는 연소실 내 연소압이 설계 허용치를 초과하기 때문에 실험 대상에서 제외하였다.

과급에 따른 MBT 분사시기 및 점화지연 측정결과는 Figure 3과 4에서 각각 볼 수 있다. 이때

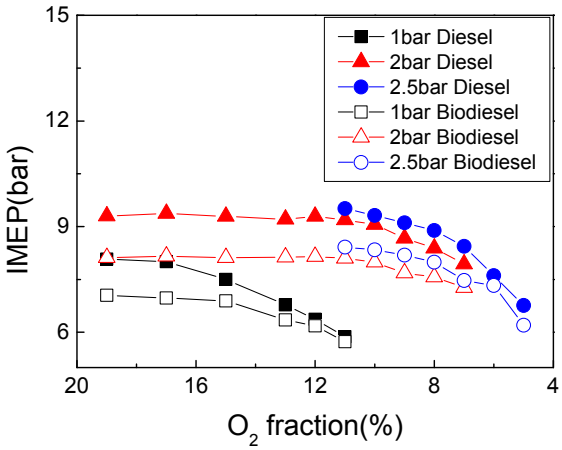

Fig. 5 IMEP variations at MBT timing for O_2 fractions and fuels

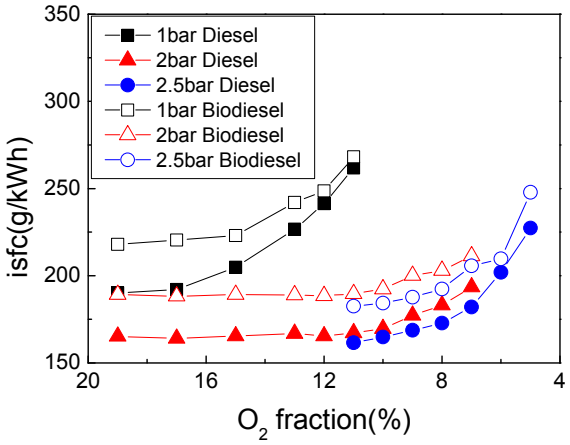

Fig. 6 isfc variations at MBT timing for O_2 fractions and fuels

점화지연은 연료 분사시기(Start of injection;SOI)와 CA10의 차이로 정의하여 사용하였다. 먼저 MBT 시기 변화를 살펴보면 과급압이 증가할수록 분사시기가 지각되는데, 이는 과급압 상승으로 인한 실린더 내 가스의 밀도가 증가함으로서 연료와 공기의 혼합 특성이 향상되고 동일 산소농도에서도 연소에 참여하는 가용 산소분자수가 더 많아지기 때문이다. 또한 일반디젤에 비해 바이오디젤을 사용하였을 경우 MBT 분사시기가 더 지각되는데 이는 바이오디젤의 높은 세탄가로 착화가 용이하기 때문으로 판단된다.

Figure 4는 MBT 조건에서의 점화지연을 나타내는 것으로 과급압이 올라갈수록 그리고 바이오디젤을 사용하는 경우 점화지연이 짧아진다. 또한 EGR 공급이 증가하면 실린더 내 산소농도가 감소하고 비활성가스가 증가하여 점화지연은 길어지고 분사시기는 진각되는 것을 알 수 있다.

Figure 5는 산소농도와 과급압 변화에 따른 디젤과 바이오디젤 연료의 IMEP(Indicated mean effective pressure) 결과를 나타낸 것이다. 전체적으로 EGR 공급이 늘어남에 따라 연소에 참여하지 않는 비활성가스의 비율이 높아지면서 연소효율과 연소 최고압력이 감소하고 그 결과 IMEP가 감소하는 것을 알 수 있다. 또한 바이오디젤을 사용하였을 경우 전 영역에서 일반디젤보다 낮은 IMEP 값을 보이는데, 이것은 바이오디젤의 발열량이 디젤에 비해 낮기 때문이다. 이때 발열량의 차이는 약 14%인데 반해 IMEP의 차이는 약 10~12%로 바이오디젤을 연료로 사용하는 경우 단위 발열량 대비 더 많은 출력이 발생하는

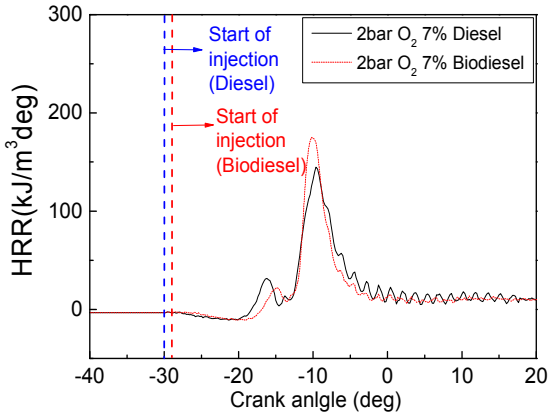

Fig. 7 Comparison of heat release rate between fuels at 2 bar boost pressure and 7% O_2 fraction.

일종의 출력보상 (Power recovery) 현상을 관찰할 수 있는데, 이는 바이오디젤에 포함된 산소로 인한 연소 성능향상 효과와 연료 특성(e.g. 높은 윤활성 등)이 그 원인으로 판단된다.

또한 그림으로부터 과급을 적용함으로써 출력을 향상시킬 수 있는데 특히 바이오디젤 사용으로 인한 출력 저하를 동일조건의 일반디젤 운전보다 더 많은 과급을 함으로써 일반디젤 수준까지 끌어올릴 수 있음을 알 수 있다.

바이오디젤의 사용과 과급 적용에 따른 isfc(도시연료소비율, indicated specific fuel consumption) 결과는 Figure 6에 나타내었다. 먼저 동일한 연료 분사량 하에서 저온연소를 구현하기 위해 EGR을 증가시키면 출력이 감소하게 되고 그 결과 연료소비율은 증가함을 볼 수 있다. 특히 바이오디젤의 경우 낮은 발열량으로 인한 추가적인 출력 저

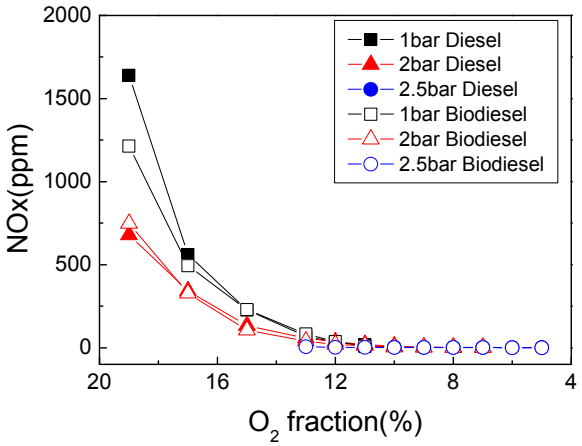

Fig. 8 NO_x emissions for O_2 fractions and fuels

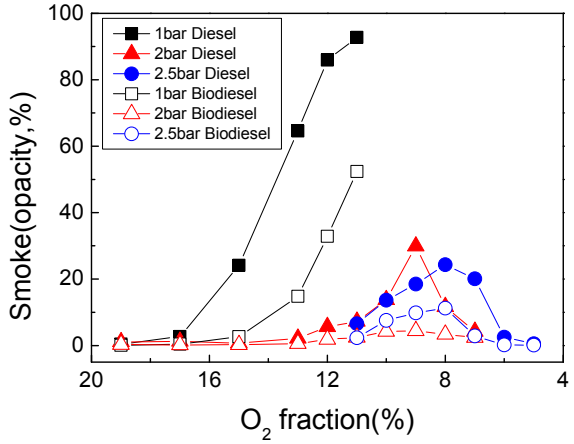

Fig. 9 Smoke emissions for O_2 fractions and fuels

하로 연료소비율이 더 악화됨을 관찰할 수 있다. 또한 IMEP 결과와 마찬가지로 저온연소 및 바이오디젤을 사용하였을 경우 일반디젤과 동등한 수준의 isfc를 얻기 위해서는 일반디젤 대비 추가적인 과급이 필요하다는 것을 알 수 있다.

Figure 7은 과급압 2bar, 산소농도 7%에서 디젤과 바이오디젤 연료의 열방출률을 비교한 결과이다. 두 경우 모두 BTDC 10~15 CAD에서 cool flame이 형성된 후 주 연소가 일어나는 저온연소의 모습을 보여주는데 바이오디젤 연료의 경우 디젤 연료에 비해 cool flame 발생시기가 늦고 peak 값이 더 낮은 반면 주 연소의 기간이 더 짧고 최대값 역시 더 높은 것을 볼 수 있다. 먼저 cool flame 위치가 상이한 원인으로는 크게 두 가지가 있는데 첫 번째 원인은 각 연료의 반응성 및 분사특성의 차이로부터 나타나는 MBT 시기(각각 BTDC 31과 29 CAD로 2 CAD 더 빠름(Figure 3 참조))의 차이를 들 수 있으며, 두 번째 원인은 cool flame의 경우 주로 연료 내 메탄과 에탄올을 제외한 알킨(파라핀)계열 연료성분이 연료분사 직후 낮은 온도에서 일으키는 연소 반응이기 때문에 파라핀성분이 많이 포함된 일반디젤이 cool flame이 먼저 나타난 것으로 판단된다.

Figure 7에서는 또한 바이오디젤 연료의 높은 세탄가와 함산소 특성은 주 반응속도에도 영향을 주어 상기 언급한 바와 같은 더 급격한 주 연소 열방출 모습을 보여주며 이것이 바이오디젤 연료 사용 시 엔진 효율이 더 올라가는 원인 중 하나가 되는 것으로 추정된다.

Figure 8은 질소산화물(NO_x) 측정 결과로 산소농도가 감소함에 따라 약 12% 이하의 산소농도에서는 과급압, 연료에 관계없이 거의 발생하지 않는 것을 볼 수 있다. 이는 더 많은 양의 EGR이 공급됨에 따라 실린더 내의 산소농도가 줄어들고 비활성가스의 비율이 증가하여 연소 최고온도가 낮아지기 때문이다.

또한 그림에서 바이오디젤 사용으로 인한 NO_x 배출 특성을 살펴보면 바이오디젤 연료의 대표적인 두 가지 특성인 낮은 발열량 및 함산소 성질이 모두 NO_x 생성에 영향을 주는 것을 알 수 있는데, 먼저 투입되는 EGR 가스의 양이 적은 19% 산소농도에서는 동일 연료량에 대해 과급압이 1bar인 경우 공연비가 상대적으로 이론공연비에 가깝기 때문에 발열량이 낮은 바이오디젤 연료 사용 시 더 낮은 연소온도 (참고로 디젤의 배기온도는 452℃이며 바이오디젤의 배기온도는 420℃로 약 30℃의 차이를 보임)를 얻을 수 있고 그 결과 더 낮은 NO_x 배출량을 보인다. 이와는 반대로 과급압 2bar의 경우 반응에 참여하지 않는 불활성가스가 연소실 내에 이미 많이 존재하여 연소온도가 충분히 낮기 때문에 (디젤 배기온도는 241℃, 바이오디젤의 배기온도는 223℃로 1 bar 운전 대비 약 200℃ 정도 낮아짐) 발열량 보다는 연료 내 포함된 산소원자로 인한 영향이 NO_x 생성에 더 지배적인 영향을 주고 그 결과 바이오디젤 연료가 더 많은 NO_x를 배출함을 볼 수 있다.

Figure 9는 smoke 측정 결과를 나타내는 그림으로 smoke의 발생은 산소농도 8~10%에서 최고치에 달했다가 산소농도 7%에서 급격히 감소하는 모습을 보여준다. 이때 산소농도 7%는 NO_x 역시 크게 감소되는 위치(Figure 8)로 대용량

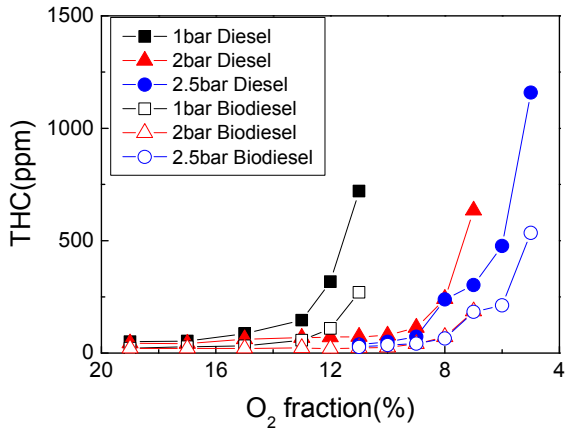

Fig. 10 THC emissions for the O_2 fractions

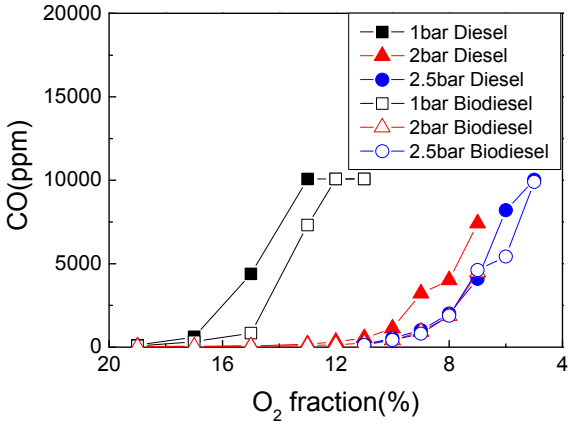

Fig. 11 CO emissions for the O_2 fractions

EGR 투입으로 인해 NO_x와 Soot의 동시저감이 이루어지는 저온연소 영역임을 알 수 있다.

또한 Figure 9를 보면 과급압 증가에 따라 Soot의 배출은 감소하는데 이는 흡기압 증가에 따라 연소실에 이용가능한 산소분자의 수가 증가하여 soot의 산화를 촉진하기 때문이다. 그림에서는 특히 바이오디젤을 사용하였을 경우 바이오디젤 연료에 포함된 산소원자의 영향으로 smoke의 배출이 최고 45% 정도 줄어서 과급압 2~2.5bar에서는 바이오디젤을 사용하여 운전할 경우 기존의 저온연소 영역뿐만 아니라 산소 농도 약 11~13%에서도 저온연소에 상응하는 배기성능을 보여주는 것을 확인할 수 있는데 이를 다시 말하면 바이오디젤 연료와 과급을 동시에 사용할 경우 출력뿐만 아니라 배기성능 또한 향상시킬 수 있으며 이는 추후 운전 영역의 확대로 이어질 수 있음을 확인할 수 있다.

Figures 10과 11은 산소농도와 과급압 그리고 연료에 따른 THC와 CO의 배출 특성을 나타낸 그림이다. 저온연소 영역에 근접함에 따라 THC와 CO 모두 급격히 증가하며 전체적으로 과급을 할수록 가용 산소가 많아짐으로 인한 연소 효율 증가로 그 발생량이 감소함을 볼 수 있다. 또한 바이오디젤을 사용하는 경우 상대적으로 높은 세탄가와 연료 내에 포함된 산소로 인한 불완전 연소 감소로 일반디젤의 경우보다 THC 및 CO의 배출량이 더 적은 것을 관찰할 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 대두유 기반의 바이오디젤을 단기통 압축착화엔진에 적용했을 때 과급압 변화에 따른 저온연소 특성 변화에 대해 알아보았으며 바이오디젤과 과급을 동시에 적용을 통한 출력 향상과 배기 특성 개선을 동시에 달성할 수 있고 이로부터 운전영역 확대가 가능함을 확인하였다. 이번 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) Simulated EGR supply system을 이용하여 대용량 EGR을 공급함으로써 각 연료 및 과급 조건에 대해 약 5~7% 산소농도에서 저온연소가 구현됨을 관찰하였다.

(2) 바이오디젤 연료 적용 시 바이오디젤의 낮은 발열량으로 인해 출력 및 연료소비율은 악화되었지만 과급을 통해 이를 어느 정도 보상 할 수 있다.

(3) EGR 공급량이 증가함(연소실 내 산소농도가 감소함)에 따라 질소산화물의 배출량은 크게 감소하여 산소농도 12% 이하에서는 연료 종류에 상관없이 거의 배출되지 않았다.

(4) Smoke은 산소농도 8~10%에서 최대치를 보인 후 급격히 감소하며 산소농도 5~7%에서는 soot과 NO_x가 동시에 배출되지 않는 저온연소 영역으로 들어간다. 또한 과급을 적용함에 따라 그리고 바이오디젤 연료를 사용함에 따라 smoke 배출량이 크게 감소하는데 이를 동시에 사용하는 경우 산소농도 약 11~12%에서부터 smoke이 거의 배출되지 않는다.

(5) 결론 3)과 4)로부터 과급과 바이오디젤의 동시 적용으로 산소농도 11~12%에서도 저온연소와 유사한 NO_x-Soot 동시 저감을 달성할 수 있으며 이로부터 운전영역의 확대가 가능함을 확인하

였다.

(6) THC와 CO의 경우 EGR 공급이 늘어남에 따라 급격하게 증가하지만 과급압이 커짐에 따라 그리고 바이오디젤 연료 사용에 따라 감소함을 관찰하였다.

후 기

본 연구는 지식경제부 산업원천기술개발사업 건설기계용 저온연소 연료최적화 기술 개발 과제 (10033444)의 지원으로 이루어졌으며, 이에 감사의 뜻을 표합니다.

참고문헌

(1) Colban, W. F., Miles, P. C. and Oh, S., 2007, "Effect of Intake Pressure on Performance and Emissions in an Automotive Diesel Engine Operating in Low Temperature Combustion Regimes," SAE paper 2007-01-4063 Powertrain & Fluid Systems Conference & Exhibition, Rosemont, Illinois.

(2) Northrop, W. F., VBohac, S. and Assanis, D. N., 2009, "Premixed Low Temperature Combustion of Biodiesel and Blends in a High Speed Compression Ignition Engine," SAE paper 2003-01-0133.

(3) Petersen, B. R., Ekoto, I. W. and Miles, P. C., 2010, "An Investigation into the Effects of Fuel Properties and Engine Load on UHC and CO Emissions from a Light-Duty Optical Diesel Engine Operating in a Partially Premixed Combustion Regime," SAE paper 2010-01-1470.

(4) Muller, C. J., Boehman, A. L. and G. C., Martin, 2009, "An Experimental Investigation of the Origin of Increased NO_x Emissions When Fueling a Heavy-Duty Compression-Ignition Engine with Soy Biodiesel," SAE paper 2009-01-1792.

(5) Zhang, X., Gao, G., Li, L., Wu, Z., Hu, Z. and Deng, J. 2008, "Characteristics of Combustion and Emissions in a DI Engine Fueled with Biodiesel Blends from Soybean Oil," SAE paper 2008-01-1832, 2008 SAE International Powertrains, Fuels and Lubricants Congress, Shanghai, China Jun. 23-25.

(6) Veltman, M. K., Karra, P. K. and Kong, S.-C., 2009, "Effect of Biodiesel Blends on Emissions in Low Temperature Diesel Combustion," SAE paper 2009-01-0485.

(7) Lee, S., Chang, J. H., Lee, Y. and Oh, S., "Effect of Intake Pressure on Performance and Emissions in Low Temperature Combustion Operation of a Diesel Engine," *KSAE Fall Conference*, 2010, pp.255~260.

(8) Jang, J. H., Lee, S., Lee, Y. and Oh, S., 2010, "EGR Simulation Gas Supply System Using Orifice Flow Controller," *KSAE Spring Conference*, pp. 256~258.

(9) Bobba, M. K., Genzale, C. L. and Musculus, M. P. B. 2009, "Effect of Ignition Delay on In-Cylinder Soot Characteristics of a Heavy Duty Diesel Engine Operating at Low Temperature Conditions," SAE paper 2009-01-0946.

(10) Lim, Y.-K., Jeon, C.-H., Kim, S., Yim, E. S., Song, H.-O., Shin, S.-C. and Kim, D. K., 2009, "Determination of Fuel Properties for Blended Biodiesel from Various Vegetable Oils," *Korean Chem. Eng. Res.*, Vol. 47, No. 2, pp. 237~242.