

CPF를 장착한 CRDI 디젤엔진에 바이오 혼합연료 사용에 따른 배출가스 특성 및 입자수분포 특성

Characteristics of Exhaust Emissions and Particle Size Distribution using Biofuel Blended Diesel Fuel in CRDI Diesel Engine with CPF

김화남 · 성용하 · 김태준 · 최병철 · 임명택 · 서정주

H. N. Kim, Y. H. Sung, T. J. Kim, B. C. Choi, M. T. Lim and J. J. Suh

Key Words : Diesel Engine(디젤엔진), Biofuel Blended Diesel Fuel(바이오 혼합연료), Particle Size Distribution (입자수분포), CPF(Catalyzed Particulate Filter), Ethanol(에탄올), Biodiesel(바이오디젤유)

Abstract : We measured emission characteristics of CRDI diesel engine equipped with a commercial CPF. Experimental parameters adopted a neat diesel fuel, a blend of diesel fuel with 20% biodiesel, a blend of diesel fuel with 15% biodiesel and 5% ethanol. The experiments were carried out to measure the emission and engine performance according to ESC 13-mode cycles. The maximum torque with biodiesel blend fuel is slightly lower than that of neat diesel fuel in the entire the 13-mode cycles, and 5% ethanol and 15% biodiesel blend fuel is slightly higher than that of neat diesel fuel. THC and CO emissions of the biofuel blended diesel fuel were slightly increased and decreased, and mean conversion efficiencies of THC and CO on the commercial CPF were achieved about 70~87% in the ESC 13-mode. From the measurement by the Scanning Mobility Particle Sizer(SMPS), the total number and mass of nano-sized particles by a commercial CPF were decreased about 97.8% and 96.8 % in the range of the nano-size from 10.6 to 385nm, respectively.

1. 서 론

최근 원유 가격의 상승과 배출가스 규제 강화 및 지구온난화에 대한 관심이 고조되면서 바이오 연료에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 바이오 연료란 자연계에 있는 바이오매스(Biomass)로부터 만들어지는 지속 가능한 에너지원으로 메탄올, 바이오에탄올, 바이오디젤유, 바이오가스, 기타 고형 연료 등으로 구분할 수 있다. 이중 바이오디젤유^{1,2)}는 동·식물성유를 이용하여 제조한 연료로 유채씨기름, 쌀겨기름, 콩기름, 야자유, 폐식용유 등을 일반 경유와 물성이 비슷하게 가공해 사용하는 경유 대체연료이며, 바이오에탄올은 사탕수수나 옥수수 등

을 가공해 사용하는 휘발유 대체연료이다.

합산소 연료³⁾인 바이오디젤유는 디젤엔진의 특별한 변경 없이 사용이 가능한 특징과 연료에 포함된 약 11%의 산소 함유량은 그을음(smoke) 배출을 저감시킬 수 있는 특성을 갖는다. 미국 에너지부의 자료⁴⁾에 따르면, 바이오디젤유 100% 사용 시 일반 디젤유 대비 THC 67%, CO 48%, PM 47%가 감소하며 NOx는 10% 증가하고, 바이오디젤유 20%를 혼합하여 사용할 경우 THC 20%, CO 12%, PM 12%가 감소하며, NOx는 2% 증가 또는 감소한다고 보고하고 있다. 에탄올은 옥탄가 향상제로 휘발유와 혼합하여 사용되고 있으며, 연료 중 34.5%의 산소를 함유하고 있어 입자상물질 저감에 큰 장점이 있다. 이와 같은 입자상물질 저감 특성을 디젤엔진에 적용하면 더욱 효과를 얻을 수 있다. 그러나 에탄올을 디젤엔진에 적용하기 위해서는 낮은 세탄가의 향상을 위한 세탄가 향상제의 필요성과 에탄올의 친수성은 디젤유와 혼합하여 사용할 경우 연료의 층 분리가 발생하는데 이를 막기 위한 계면활성제가 필

접수일 : 2007년 11월 24일, 채택확정 : 2008년 1월 2일
최병철(책임저자) : 전남대학교 기계시스템공학부
E-mail : bcchoi@chonnam.ac.kr, Tel : 062-530-1681
김화남, 성용하, 김태준 : 전남대학교 대학원 기계공학과
임명택 : 전남대학교 기계시스템공학부
서정주 : 전남대학교(여수) 해양기술학부

요하다. 이는 에탄올을 디젤엔진에 사용하기 위해서 해결해야할 문제점이다. 바이오디젤유는 디젤유에 비하여 세탄가가 높으며, 특히 에탄올과 혼합 시 낮은 유동성(pour point)의 향상과 층 분리를 막는 계면활성제 역할을 하는 특징이 있다⁵⁾. 바이오 연료 사용에 따른 가장 큰 장점 중 하나는 지구온난화 주범인 CO₂ 저감 특성이다. 바이오디젤유 100% 사용 시 생산 공정의 전주기 관점에서 볼 때 연료 사용에 의해 배출되는 CO₂는 작물을 재배하는 과정에서 회수되어 78.45% 저감된다. 본 실험에 사용된 20% 혼합 바이오디젤유 사용 시 약 15.58% CO₂가 저감되는 특징을 가지고 있다⁶⁾.

본 연구에서는 상용 CPF(Catalyzed Particulate Filter)를 장착하고 황 함유량이 30ppm 미만인 초저유황 디젤유(D100), D100에 대두유로 제조된 바이오디젤유를 20%의 체적비로 혼합한 연료(BD20), D100에 바이오디젤유 15%와 순도 99.5%의 에탄올을 5% 혼합한 연료(BD15E5)를 사용하여 엔진성능 및 배출가스 배출특성 그리고 CPF 전단과 후단에서의 입자수분포와 촉매에서 배출가스의 정화특성을 파악한다.

2. 실험 방법

Fig. 1은 실험장치의 개략도로 엔진 성능실험 및 배출가스 배출특성과 입자상 물질의 입자수분포 특성을 파악하기 위한 주요 실험장치 구성도이다. 상용 CPF 촉매는 엔진 배기 매니폴더에서 약 1m 거리에 장착하였으며, 배기관의 열 손실을 줄이기 위해 촉매 전단까지의 배기관을 단열 처리하였다. 상용 CPF의 전단은 DOC(Diesel oxidation catalyst) 그리고 후단에 CPF 촉매로 구성되어 있다. 엔진 출구 배출가스와 DOC 후단 그리고 CPF 촉매 후단에서 배출가스 농도 변화와 SMPS(Scanning Mobility Particle Sizer, Model 3080, TSI. Inc)⁷⁾를 이용하여 각 촉매 전단과 후단의 입자수농도 분포를 측정하였다. 엔진에서 배출되는 입자수농도가 너무 높아 CPC의 측정한계를 넘기 때문에 회석과정은 필수적이다. 엔진에서 배출되는 입자가 회석과정 중에 응축되는 것을 막기 위하여 1차 회석공기 온도를 150±5℃로 가열하였으며 1단 회석 후 다시 온도를 낮추기 위해 2차 회석터널에서 회석 후 CPC에서 입자수농도 분포를 측정하였다. 이때 총 회석비는 1:132이며, 입자의 직경 측정범위는 10.6nm~385nm

이다. 실험에 사용된 SMPS 및 회석장치의 제원은 Table 1에 나타내었다.

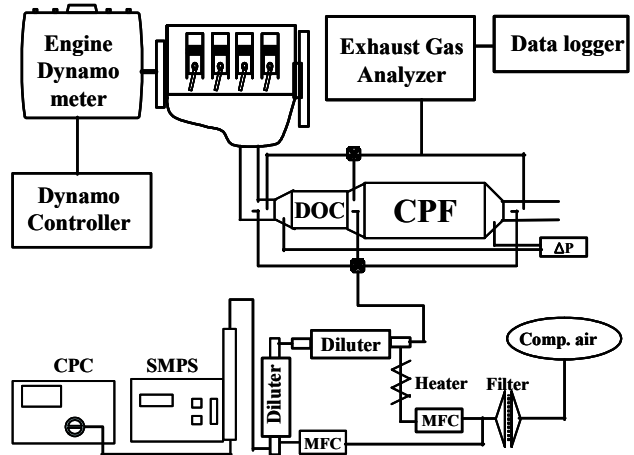


Fig. 1 Diagram of experimental apparatus

Table 1 Specifications of SMPS and Diluter

SMPS(Model : 3080, TSI)	
Description	Specification
Particle size range (L-DMA 3081)	Adjustable : 10 to 1000nm
Upper concentration limit (3025A CPC)	10 ⁵ (particles/cm ³)
Scanning time	30 to 300 sec
Dilution (Ejector type, CNU)	
Diluter	Dilution ratio
1st diluter	1:12
2nd diluter	1:11 (TDR : 1:132)

Table 2 Specifications of test engine

Item	Specification
Engine Type	Common rail 4 cyl.
Bore × Stroke (mm)	91×96
Displacement (cc)	2497
Compression ratio	17.1
Power output (kW/rpm)	106.6/3800
Max. Torque(N · m/rpm)	323.6/2000
Aspiration	TC & intercooler
Engine model	Hyundai D4CB

실험에 사용된 주요기기는 와전류(EC) 방식의 440kw급 엔진동력계(Fuchino, ESF-600)와 배출가스 분석기(Horiba, MEXA-9100DEGR)를 사용하

였다. 배출가스 농도 측정에서 CO와 CO₂분석은 NDIR 방식, THC분석은 FID 방식, 그리고 NO_x 분석은 CLD 방식을 채용하고 있다. 엔진에 사용된 바이오디젤유의 물성치는 참고 문헌⁸⁾을 참조하였다. Table 2는 실험에 사용한 디젤엔진의 제원을 나타내고 있다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 엔진 동력성능

Fig. 2는 실험연료 3종류에 대한 전부하(full load) 운전조건에서 엔진의 출력 및 토크 곡선을 나타내었다. 최대토크는 2100rpm에서 D100 연료를 사용하였을 때 가장 높은 335.8N·m이었으며, 최대출력은 BD15E5 혼합연료 사용 시 3600rpm에서 102.5kW이었다. BD20 연료를 사용하였을 때 D100 대비 약 98%의 출력특성을 나타내었으며, BD15E5 혼합연료를 사용하였을 때 2400rpm 이하의 운전조건에서는 D100과 비슷한 출력특성을 나타내었으나, 2700rpm 이상의 고속영역에서는 D100 대비 약 105%의 출력특성을 나타내었다. 이는 BD15E5 혼합연료 사용 시 에탄올의 혼합과 에탄올에 포함된 0.5%의 수분에 의하여 연료의 점성이 낮아짐에 따라 연료의 분사압이 130MPa를 넘어서는 2700rpm 영역 이상에서 D100 대비 약 6%의 연료가 더 분사되었기 때문이다. 하지만 BD20 혼합연료의 경우 D100에 비하여 약 1% 낮은 연료 분사량을 나타내었다.

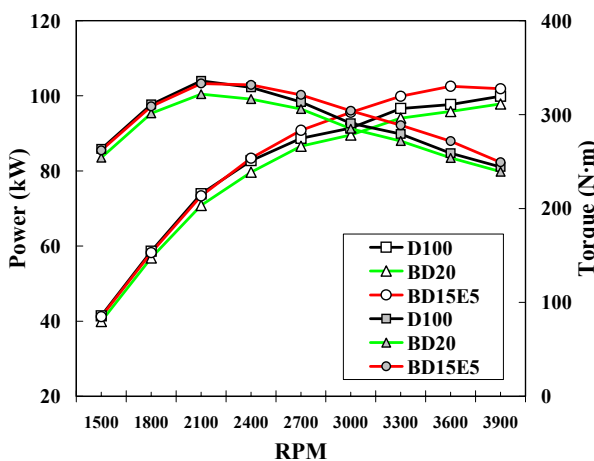


Fig. 2 Engine power and torque of 3 kinds of fuel

Fig. 3은 실험연료 3종류의 전부하 운전조건에서 연료 소모율을 나타내었다. 전부하 특성 실험에서의 연료 소모율은 약 230~280g/kW·h 범위였다. 연

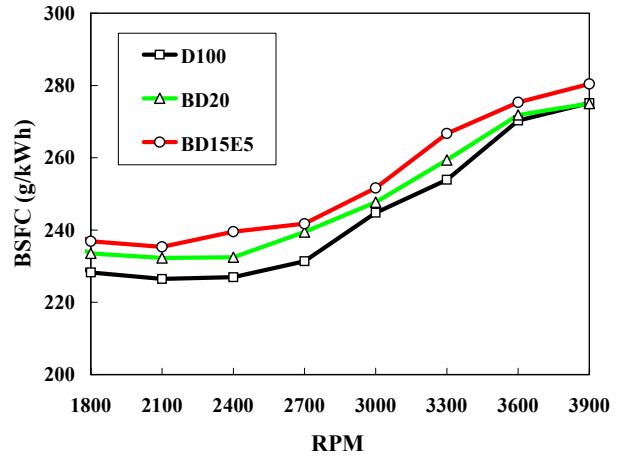


Fig. 3 Brake specific fuel consumption of 3 kinds of fuel

료 소모율은 BD15E5 혼합연료 사용 시 가장 높았으며, 다음으로 BD20, D100 순서였다. 이는 바이오디젤유 20% 혼합연료의 발열량이 디젤유에 비하여 약 2.36% (질량기준) 저하되었고 연료 분사량도 낮았기 때문에 전 실험영역에서 디젤유에 비하여 낮은 출력 특성을 나타내었다. 그러나 BD15E5 혼합연료의 경우 발열량이 D100에 비하여 약 3.35% 저감됨으로써 높은 연료 소모율을 나타냈지만 고속영역에서는 D100에 비하여 더 높은 출력특성을 나타내었다. 이는 높은 연료 소모율의 결과이다. 각 실험연료의 연료 소모량과 저 발열량으로 계산한 에너지변환 효율은 바이오 혼합연료가 전 실험영역에서 디젤유와 비슷하거나 약간 높게 나타났으며, 특히 고속 운전 영역인 3600rpm 이상에서 높게 나타났다. 이는 혼합연료에 미량 포함된 산소에 의해 연료의 연소효율이 개선되었음을 의미하며, 특히 연료 소모율이 높은 고속영역에서 연료에 포함된 산소가 농후 혼합기 영역을 감소시킴으로써 더욱 높은 연소효율을 나타낸다.

3.2 혼합연료의 배출가스 배출특성

Fig. 4에는 실험연료와 ESC 13 모드 운전조건에 따른 CO의 배출 농도를 나타내고 있다. 전부하 실험에서 획득한 데이터로부터 운전모드 3곳의 회전속도(2325, 2950, 3575rpm)를 선정하여 각 부하 조건에서 실험하였다. 각 운전 모드별 CO 배출 농도는 150~550ppm 수준을 나타내었다. 특히 9, 11모드에서 가장 높은 배출특성을 나타냈는데 이때의 부하조건은 25%였으며, 엔진의 회전속도는 2950, 3575rpm이었다. BD20 연료를 사용한 경우 부하 조건에 따라 D100에 비하여 높거나 낮은 배출특성을

보였으나, 100% 부하 조건인 2, 8, 10 모드에서는 디젤유에 비하여 낮은 배출특성을 나타냈다. CO는 연소 시 산소부족으로 인한 불완전 연소에서 발생하는데 연료 중 포함된 산소의 영향으로 연소효율이 높아졌기 때문이다. 그러나 BD15E5 혼합연료를 사용하였을 때 연료 중 산소의 함유량이 BD20보다 높음에도 불구하고 100% 부하 조건인 2, 8, 10 모드에서 D100보다 높은 배출특성을 나타낸다. 이는 동력성능에서 언급하였듯이 높은 연료 분사량 때문이다. 에탄올 혼합연료를 사용 시 낮아진 세탄가는 착화 지연시간을 길게 하여 CO의 발생이 많았던 전 실험⁹⁾과는 달리 바이오디젤유에 에탄올을 혼합한 혼합연료를 사용한 경우 낮은 CO 배출특성을 나타내었다.

Fig. 5에는 각 운전 모드별 THC의 배출특성을 나타내었다. THC의 배출특성은 혼합기의 농도가 희박하고 배출가스 온도가 낮은 1모드의 아이들링 조건에서 가장 높은 배출농도를 나타냈으며, 상대적으로 낮은 25% 부하조건인 7, 9, 11 모드에서 높은 배출특성을 보였다. 혼합연료의 사용 시 THC의 배출농도는 디젤유와 비슷하거나 낮은 배출특성을 나타내었다. 디젤산화촉매를 장착하고 실험한 선행연구¹⁰⁾에서는 바이오디젤유 20%를 혼합한 혼합연료를 사용하였을 때 THC의 낮은 배출특성을 확인하였으나 CPF를 장착하고 실험한 본 실험에서는 큰 차이를 보이지 않았다. 이는 CPF 장착에 따른 배압의 증가로 인한 영향으로 연소상태의 변화가 배출가스에 영향을 미친 것으로 판단된다.

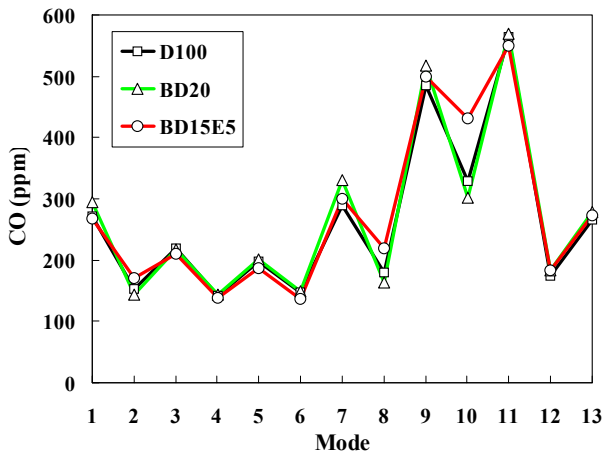


Fig. 4 CO concentrations for 3 kinds of fuel according to ESC 13-mode cycles

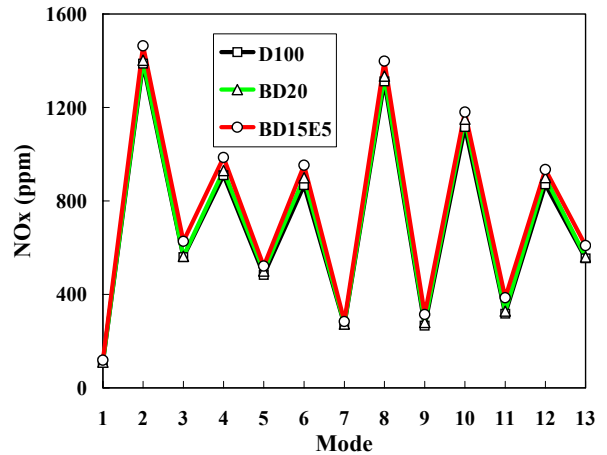


Fig. 6 NOx concentrations for 3 kinds of fuel according to ESC 13-mode cycles

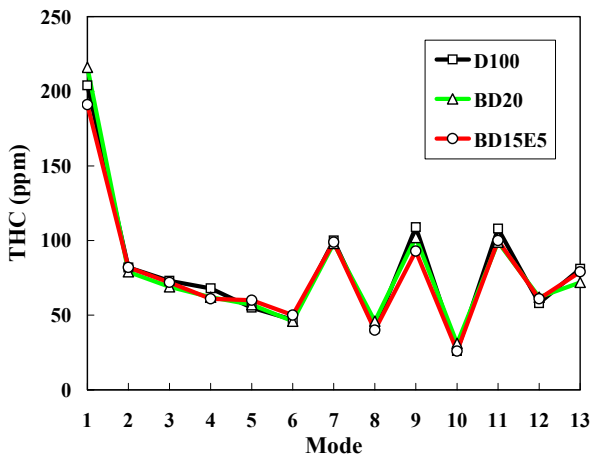


Fig. 5 THC concentrations for 3 kinds of fuel according to ESC 13-mode cycles

Fig. 6은 각 운전 모드별 NOx의 배출특성으로 3 종류의 연료 중 BD15E5의 연료 사용 시 2모드에 1464ppm으로 가장 높았다. 운전 부하조건이 100%인 2, 8, 10 모드에서 높은 배출농도를 나타냈으며, 25% 부하조건인 7, 9, 11 모드에서 낮은 배출특성을 나타냈다. BD15E5 연료 사용 시 D100에 비하여 높은 배출특성을 나타내었는데, 이는 연료 중 포함된 산소의 영향으로 국부적인 고온 연소영역의 확대로 판단된다. BD20 연료 사용 시 NOx 배출농도는 D100의 NOx 배출 농도와 비슷하거나 약간 높은 배출농도를 나타냈다. 에탄올이 함유된 BD15E5의 NOx 증가율은 전체 모드를 통하여 약 8% 증가하였으며, BD20의 경우 약 2%의 NOx가 증가하였다.

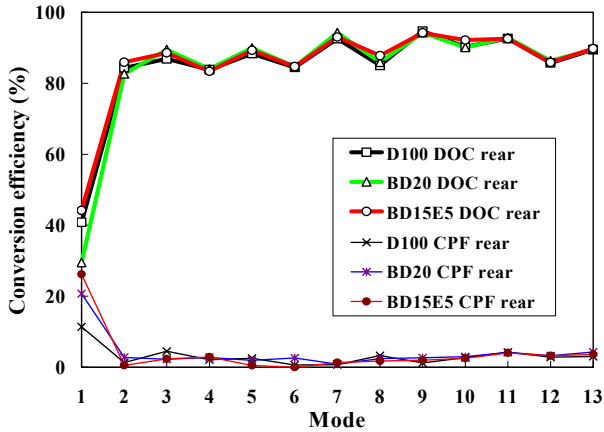


Fig. 7 CO conversion efficiencies on the catalysts

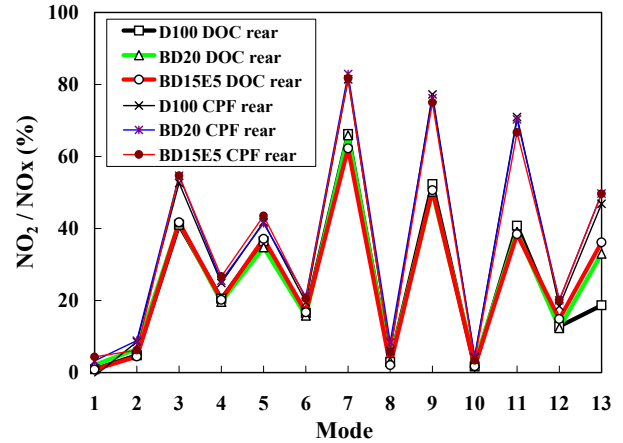


Fig. 9 NO2 conversion ratio on the catalysts

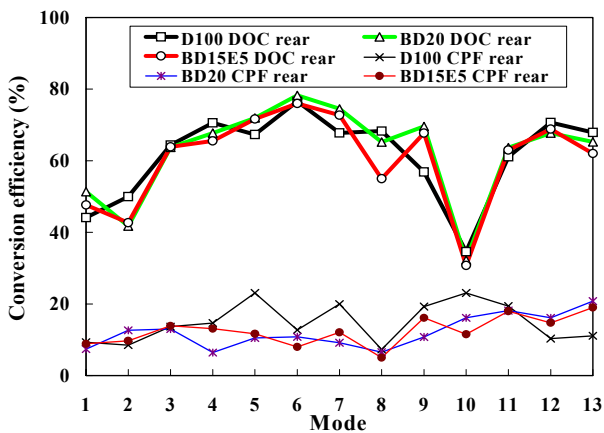


Fig. 8 THC conversion efficiencies on the catalysts

Fig. 7과 8은 상용 CPF의 전단에 위치한 DOC와 후단에 위치한 CPF 촉매에서 CO와 THC의 정화효율을 나타내었다. DOC에서 CO의 정화효율은 아이들링 모드인 1모드를 제외하고 약 80% 이상의 높은 정화효율을 나타냈다. 이때 1모드의 배출가스 온도는 약 105°C로 촉매가 충분히 활성화되지 못한 상태이고, 나머지 운전모드의 배출가스 온도는 300°C 이상으로 촉매가 충분히 활성화되어 정화효율이 높았다. CPF 촉매에서의 낮은 정화효율은 DOC 후단에서 배출되는 배출가스 농도가 낮기 때문이다. THC의 정화효율은 DOC에서 약 60% 정화되었으며, CPF 촉매에서 10~20% 정화되었다. 10 모드 경우 배출가스 온도가 650°C 이상임에도 낮은 정화효율을 나타내었는데 이는 엔진으로부터 배출되는 THC 농도가 26ppm으로 저농도이고, SV가 높기 때문이다. 각 실험 연료별 정화효율의 차이는 크지 않으며, D100, BD20, BD15E5 혼합연료 각각의 ESC 모드 전체의 정화효율은 CO의 경우 84, 85, 87%, THC의 경우 73, 71, 70%이었다.

Fig. 9는 DOC, CPF의 촉매후단에서 NO₂ 비율을 나타낸 결과이다. PM의 산화는 대기중에서 산소농도 조건과 550°C 이상의 온도조건에서 연소한다. 그러나 NO₂가 풍부한 가스분위기에서는 PM의 산화온도가 250°C로 낮아지는데¹¹⁾ 엔진에서 배출되는 NO_x는 저부하 운전영역을 제외하면 대부분 NO이다. 따라서 PM의 산화를 위하여 촉매에서 NO를 NO₂로 전환하는 것이 중요한 요인일 수 있다. NO₂의 비율이 가장 높은 운전 모드는 7, 9, 11 모드로 배출가스 온도가 약 300°C 영역에서 가장 높았다. 이는 NO가 NO₂로 전환하는데 촉매상의 온도가 중요한 인자임을 알 수 있으며, PM이 산화하는 조건에서는 NO₂가 저감될 것으로 예상되었으나, CPF상에도 귀금속 촉매가 담지되어 있기 때문에 NO₂의 비율이 계속 늘어나는 경향성이 보였다. 100% 부하 조건인 2, 8, 10모드에서 배출되는 NO_x의 대부분은 NO임을 알 수 있다. 따라서 이때 PM의 산화는 NO₂에 의한 것 보다는 배출가스 온도에 의해서 지배적인 영향을 받는다.

3.3 입자상물질의 배출특성

Fig. 10은 각 운전 모드 당 20분 동안 차압의 변화와 이때 CPF 촉매 전단의 배출가스 온도를 나타낸 그림이다. 각 운전모드에 따른 배출가스 온도와 배출가스의 조건에 따라 입자상물질이 CPF 촉매상에 축적과 재생을 반복함을 알 수 있다. 고부하 운전조건인 2, 8, 10 모드에서는 배출가스 유량의 증가와 급격한 부하변동으로 초기 차압은 높지만, 배출가스 온도가 고온을 유지하므로 PM은 지속적으로 산화되어 차압은 더 이상 상승하지 않고 일정하게 유지된다.

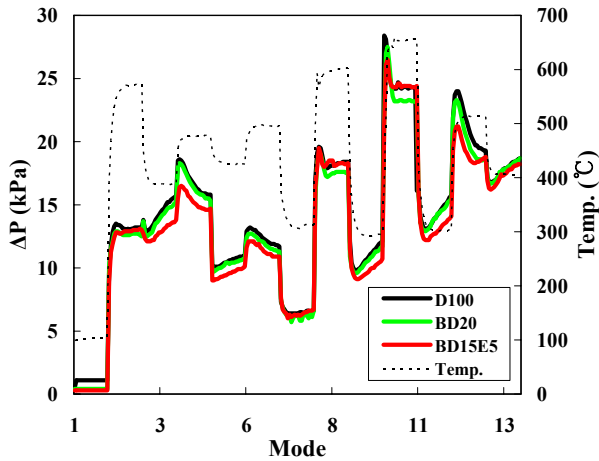


Fig. 10 Differential pressure and temperature of 3 kinds of fuel according to ESC 13-mode

2, 8, 10 모드에서의 연료 종류별 차압은 BD20, BD15E5, D100 순으로 낮았다. 연료 중 산소의 함유량이 가장 높은 BD15E5 혼합연료 사용 시 낮은 PM 배출특성으로 차압이 가장 낮으리라 예상했으나 BD15E5의 차압이 BD20보다 높은 이유는 과도하게 분사된 연료량에 의한 결과이며 높은 출력특성에도 불구하고 차압은 D100 보다 낮았다. 다른 운전모드에서는 BD15E5, BD20, D100순으로 차압이 낮음을 알 수 있었다. 이는 중·저부하 운전조건에서 배출되는 PM은 바이오디젤유나 에탄올을 혼합한 혼합연료를 사용할 경우 디젤유만을 사용하였을 때 보다 적게 배출된다는 것을 의미한다. 차압은 25%(7, 9, 11 모드), 50%(3, 5, 13 모드)의 부하조건에서는 지속적으로 증가였으며, 75%(4, 6, 12 모드)의 부하조건에서는 지속적으로 감소하였다. 이는 CPF 촉매상에 포집되는 PM량에 비하여 재생되는 PM량이 많고 적음에 따라 차압이 증가 또는 감소함을 의미한다. 그리고 2, 8, 10 운전모드에서 PM은 배출가스 온도가 574~656°C로 탄소가 산화하기에 충분히 높아 모두 재생됨을 알 수 있다.

Fig. 11은 2350rpm, 25% 부하조건에서 각 연료 사용 시 배출되는 입자수농도 분포¹²⁾를 나타내었다. 측정 범위 내에서 측정된 입자의 평균 입경 크기는 67.6nm(D100), 63.8nm(BD20), 63nm(BD15E5) 이었다. 이는 혼합연료를 사용하였을 때 D100 연료를 사용할 때 보다 작은 입자가 더 많이 생성됨을 알 수 있다. 엔진에서 배출되는 입자수농도는 D100 사용 시 가장 높았으며, 에탄올을 혼합한 BD15E5가 가장 낮았다. DOC 후단에서의 입자수농도는 D100, BD20, BD15E5 연료 사용 시 각각 13, 8, 6% 저감

하였다. 이는 SOF가 산화촉매에서 산화하여 입자수농도 저감에 기여하였기 때문이다. CPF 촉매 후단에서 입자수농도는 급격하게 저감되어 실험연료 3종 모두 99.5% 이상 저감되었다. 이때 배출되는 입경의 평균 크기는 약 78nm로 작은 입자의 저감율이 더 높음을 알 수 있었다.

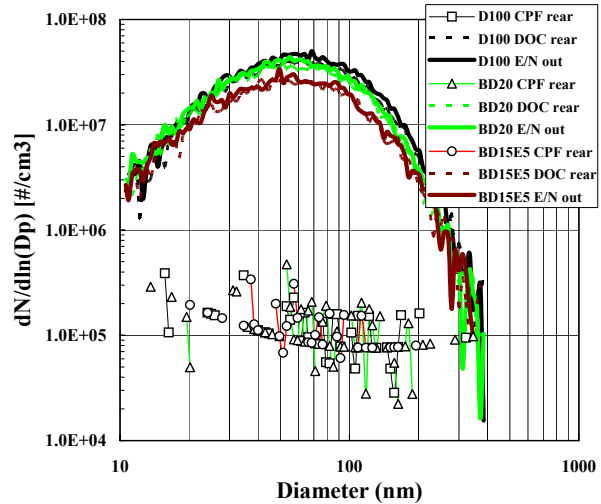


Fig. 11 The particle size distribution for 3 kinds of fuel

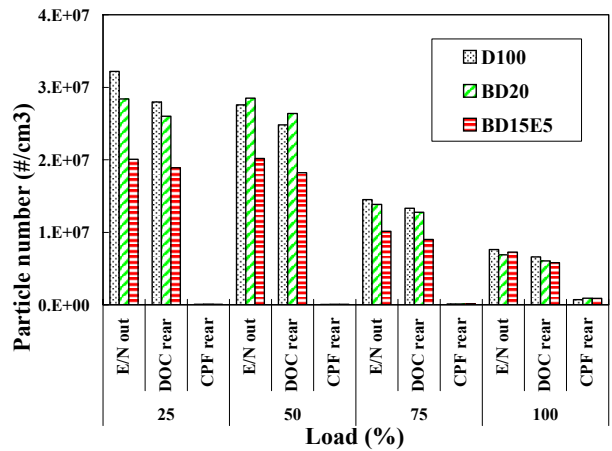


Fig. 12 The particle number according to engine load on the catalyst

Fig. 12, 13은 엔진 회전속도를 2350rpm로 고정하고 부하율을 25, 50, 75, 100% 변경하였을 때 #/cm³ 단위당 입자상물질의 입자수와 μg/m³ 단위당 입자질량을 나타내었다. 25% 부하일 때 입자수농도 배출특성은 동일체적당 입자수가 가장 높았다. 엔진에서 배출된 입자들은 DOC에 의해 고비점 성분이나 SOF 성분 등이 산화되어 DOC 후단에서의 입자수는 약 5~15% 저감하는 특성을 나타냈으며, CPF 촉매에 의한 입자수의 저감율은 100% 부하조건에

서 87%로 낮았으나 다른 운전모드에서는 약 99% 이상의 입자수가 저감되었다. 100% 부하조건에서 입자수 저감율이 낮아진 이유는 PM 재생 시 급격하게 입자 배출이 늘어나기 때문이다¹³⁾. 연료별 입자수농도는 BD15E5, BD20, D100순으로 낮았으며, 50% 부하조건에서 BD20의 입자수농도가 D100에 비하여 높은 특징을 보였다.

엔진으로부터 배출되는 PM의 질량(Fig. 13)은 입자수농도와 비슷한 경향성을 나타내고 있다. 입자수농도의 최대 값은 25% 부하조건에서 나타나지만 질량은 50% 부하조건에서 최대 값을 갖는다.

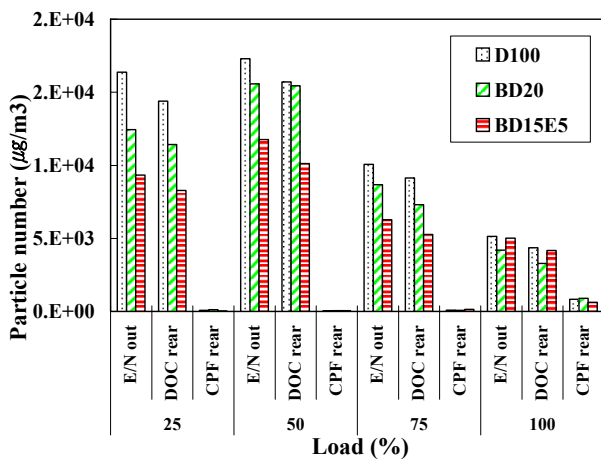


Fig. 13 The particle mass to engine load on the catalyst

이는 25% 부하조건에서 50% 부하조건 보다 작은 입자들이 많이 배출되었음을 의미한다. DOC 후단에서 엔진 운전조건별 입자의 질량은 1~20%감소하였으며, CPF 촉매 후단에서 입자 질량의 감소율은 100% 부하를 제외하고 99%이상이었으며, 100% 부하 시 약 78% 저감되었다. 이는 PM 재생 시 CPF 촉매 후단에서 배출되는 입자의 질량이 급격하게 늘어났기 때문임을 알 수 있다. 혼합연료 사용 시 입자상물질의 저감특성은 상용 CPF의 배압 증가율을 낮출 수 있으며, 이는 PM을 재생시키기 위해 소모되는 추가적인 연료소비를 줄여 연비를 증가시킬 수 있다. CPF 촉매에 의한 입자수농도와 질량의 저감율은 ESC 13 모드를 적용하면 97.8%와 96.8% 저감되었다.

5. 결 론

CRDI 디젤엔진에 상용 CPF를 장착하고 연료를 초저유황 디젤유, 디젤유에 바이오디젤유 20%를 혼

합한 연료, 디젤유에 바이오디젤유 15%와 에탄올 5%를 혼합한 혼합연료를 사용하였을 때 엔진성능 및 HC, CO, NOx 및 나노 입자의 배출특성을 파악한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 혼합연료 사용 시 엔진 출력성능은 BD20 연료 사용 시 디젤유 대비 98% 수준을 유지하였다. BD15E5 연료 사용 시 출력성능은 디젤유 대비 105%였으며, 이는 높은 연료 소모량에 따른 영향이다.

2) ESC 13 mode 시험에서 혼합연료 사용은 CO, THC을 증가 또는 감소시켰으며, NOx은 BD20 연료 사용 시 2%, BD15E5 연료 사용 시 8% 증가하는 특성을 나타냈다.

3) 각 실험연료(D100, BD20, BD15E5)에 대한 상용 CPF에서의 정화효율은 CO가 84~87%, THC가 70~73%를 나타내었다.

4) CPF 촉매 사용 시 입자상물질은 100% 부하조건을 제외하고 99% 이상의 저감율을 나타냈으며, PM이 연속적으로 재생하는 100% 부하조건에서는 87%의 입자수농도 저감과 78%의 입자 질량의 저감을 나타냈다. 그리고 ESC 모드 전체에서 입자수농도와 질량은 97.8%와 96.8% 저감되었다.

5) 혼합연료 사용 시 입자상물질의 저감 특성은 상용 CPF의 배압 증가율을 낮출 수 있으며, 이는 PM 재생에 소모되는 연료량을 줄여 연비를 증가시킬 것이다. 또한 에탄올의 첨가는 바이오디젤유의 낮은 유동성(pour point) 향상과 입자상 물질 저감에 더욱 효과적이나 NOx의 증가에 따른 대안이 필요하다.

참고 문헌

1. B. C. Choi, C. H. Lee, H. J. Park, 2002, "Power and Emission Characteristics of DI diesel Engine with a Soybean Bio-diesel Fuel," KSPSE, Vol. 6, No. 3, pp. 11~16.
2. Y. T. Oh, and S. H. Choi, 2002, "A Study on Characteristics of Rice Bran Oil as an Alternative Fuel in Diesel Engine(1)," Transaction of KSAE, Vol. 10, No. 2, pp. 15~22.
3. S. H. Choi, Y. T. Oh, 2005, "Experimental Study on Emission Characteristics and Analysis by Various Oxygenated Fuels in a

- DI Diesel Engine, Transaction of IJAT, Vol. 6, No. 3, pp. 197~203.
4. <http://www.biodiesel.org/resources/fuelfactsheets/default.shtm>.
 5. P. Kwanchareon, A. Leungnaruemitchai, J. I. Samai, 2007, "Solubility of a diesel-biodiesel-ethanol blend, its fuel properties, and its emission characteristics from diesel engine" *Fuel*, Vol. 86, pp. 1053~1061.
 6. J. Sheehan, V. Camobreco, J. Duffield. M. Graboski, and H. Shapouri, 1998, "An Overview of Biodiesel and Petroleum Diesel Life Cycles," NREL/TP-580-24772.
 7. C. P. Wong, T. L. Chan, C. W. Leung, 2003, "Characterization of diesel exhaust particle number and size distributions using mini-dilution tunnel and ejector diluter measurement techniques" *Atmospheric Environment* 37, pp. 4435~4446.
 8. Y. T. Oh, S. H. Choi, G. H. Kim and N. H. Kim, 2006, "A Characteristics for Durability with Biodiesel Fuel in a Commercial Common Rail Direct Injection Diesel Engine," *KSAE*, Vol. 4, pp. 2417~2422.
 9. H. N. Kim, B. C. Choi, S. H. Park and Y. K. Kim, 2005, "Engine Performance and Emission Characteristics of CRDI Diesel Engine Equipped with WCC and DOC using Ethanol Blended Diesel Fuel," *ISAF*, San Diego, pp. 77~83.
 10. H. N. Kim, S. Y. Park, B. C. Choi, 2006, "Characteristics of Exhaust Emission and Nano-sized Particulate of Biodiesel Fueled Diesel Engine," *KSAE06-F0081*, pp. 522~527.
 11. J. W. Hwang, Y. H. Park, J. C. Kim, S. W. Rah and C. S. Lee, 2005, "A Study on Regeneration Performance of Continuously Regenerating Diesel Particulate Filter according to Test cycle," *KSAE05-F0068*, pp. 435~441.
 12. T. Kawai, Y. Goto, M. Odaka, 2004, "Influence of Dilution Process on Engine Exhaust Nano-Particles," *SAE paper No. 2004-01-0963*.
 13. S. G. Kwon, Y. H. Park, J. C. Kim and C. S. Lee, 2007, "Effect of DPF Regeneration on the Nano Particle Emission of Diesel Passenger Vehicle," *Transactions of KSAE*, Vol. 15, No. 3, pp. 153~159.