

DPF 재생용 버너의 엔진 배기 중에서의 화염 안정성 구현을 위한 기초 연구

심성훈* · 정상현* · 홍원석*

Basic Study on the Flame Stability of Burner for Regeneration of Diesel Particulate Filter in Engine Exhaust Gas

Sung Hoon Shim*, Sang Hyun Jeong* and Won Seok Hong*

ABSTRACT

Sustaining of flame stability of the burner installed in Diesel exhaust pipe is very difficult because of steep fluctuation of pressure and flow rate. A burner for DPF (Diesel Particulate Filter) which clogged by collected soot regeneration has been made of metal fiber for the purpose of realization of flame stability even in unfavorable condition of Diesel engine exhaust. Flame stability of the metal fiber burner has been investigated in various condition of engine operation. It has been identified that metal fiber burner with liner which has swirl guide vane presents excellent flame stability even in the higher engine revolutions than 3000rpm and sudden variation. The results offer the possibility of development of full flow burner system for DPF regeneration.

Key Words : DPF(Diesel Particulate Filter), Soot, DPF Regeneration Burner, Metal Fiber

1. 서 론

1.1 DPF

디젤 차량의 엔진배기에서 주요한 대기오염원은 NOx와 입자상 물질(particulate matter)이다. 이러한 대기 오염 원인 물질을 감소시키기 위한 연구 방향은 엔진 내부 연소 상태의 개선과, 연소 후 발생하는 배출가스의 후처리로 대별된다.

엔진 내에서의 연소 상태 개선에 의한 연구는, 연료 분사의 고압 분사에 의한 연소 상태의 개선, 연료 분사의 전자적인 제어에 의한 연소 개선 등의 연구가 보고 되고 있다[1-6]. 한편 엔진배기의 후처리에 의한 배출물 억제에 관한 연구의 가장 대표적인 동향은 세라믹 등의 고온에서 물리 화학적인 변화를 일으키지 않고 미세 입자상 오염물

을 포집할 수 있는 필터를 사용한 DPF(Diesel Particulate Filter) 시스템의 연구를 들 수 있다 [6-9]. Zelenka와 Kawatani[6,7]는 디젤 차량 배기가스 발생의 영향 인자에 대한 광범위한 실험의 수행으로 산화 촉매에 의한 배기가스 후처리 장치의 사용이 필연적임을 주장하였으며, 엔진에서 발생하는 NOx와 입자상 물질은 그 생성 조건이 상반되기 때문에 NOx의 저감은 엔진 작동 변수의 최적화에 의하여, 입자상 물질은 엔진 외부에서의 후처리에 의하여 해결함이 바람직한 것으로 보고하였다.

일반적으로 엔진 배기 중의 입자상 물질을 처리하기 위한 후처리는 일차적으로 세라믹 모노리스(ceramic monolith) 필터 등에 의하여 입자상 오염물을 포집하게 되며, 이때 필터에 의하여 포집되는 포집률은 80-90% 이상이 되기 때문에 포집 자체에는 큰 난제가 없다. 그러나 지속적으로 입자상 물질의 포집량이 증가하게 되면 필터 양단의 압력 손실 증가로 인하여 엔진 배압이 상승하게 되며, 이는 엔진의 성능에 악영향을 미친다.

* 한국기계연구원 청정환경기계연구센터

† 연락처, shshim@kimm.re.kr

따라서 필터에 포집되어 축적된 입자상 오염물을 필터로부터 제거해 주어야 하는데 이와 같은 개념이 DPF의 재생이다.

1.2 DPF의 재생

DPF에 포집된 매연은 대부분 미연탄소분으로 산화 온도는 약 550~650°C의 온도 범위이나, 대부분의 대형 디젤엔진 배기가스의 온도는 300~450°C 정도이고, 소형 디젤엔진 배기가스의 온도는 이보다 낮아서 200~300°C의 범위에 있다. 따라서, DPF를 재생하기 위해서는 배기가스의 온도를 상승시키거나, 촉매 또는 산화제(oxidant)를 이용하여 매연의 산화온도를 저하시키는 방법을 사용하여야 한다.

연료버너(fuel burner)는 배기가스의 온도를 포집된 매연이 산화되는 온도까지 상승시키기 위해 사용될 수 있다. 연료버너는 엔진에서 배출되는 배기가스 전체를 가열시켜야 하며 재생이 일어나는 동안에도 배기가스는 필터를 우회(bypass)하여 흐르지 않는 것이 이상적이다. 그러나 일부 재생시스템은 재생 시에 엔진이 공회전(low idle) 상태에 있어야만 하는 등 특별한 운전 조건을 요구하는 것도 있다.

이런 차이에 따라 버너(burner)를 이용하는 필터 시스템은 재생시기가 되면 운행을 중지하고 엔진을 공회전 조건으로 하는 단점 필터시스템(single point filter system)과 엔진의 어떤 운전 조건에서도 재생이 가능한 전유량 버너시스템(full flow burner system)으로 구분된다.

버너방식의 경우 Deutz社は DPFS (diesel particulate filter system)라는 이름의 연료버너 재생(fuel burner regeneration)시스템으로 1994년에 양산모델인 DPFS-II를 개발하였는데, 이 시스템은 이전 제품인 DPF-I 시스템의 경험을 토대로 하여 설계된 것이다[10, 11]. 수백대 이상의 필터가 제작되어 시내버스, 지자체의 차량, 산업용 엔진, 정지(stationary) 엔진 및 철도차량 등 대부분 기존엔진의 수리 보완(retrofit) 시스템으로 장착되어 시험이 진행되었다. 일부 산업용 엔진의 경우 6,000 엔진시간(engine hour) 이상 작동시험이 이루어지기도 하였고, 또한 일부 시내버스의 경우 약 160,000km 이상 시험되기도 하였다. 버너 재생 방식은 장치의 구성과 재현성의 어려움으로 인하여 DPF의 개발초기에는 기피되었던 방식이었으나, 재생 과정에서의 에너지 공급의 원활성으로 인하여 80년 중반부터 세계 각국에서 개발에 많은 노력을 쏟고 있다 [12, 13] 이 외에 전기히터방식은 장치의 단순함으로 인해 개발초기부터 많은 연구가 이루어졌으나 재생에 필요한 에너지를 차량의 발전기 또는 축전지로부터 얻기가 용이하지 않아 아직 재생과정 중에 배

기가스를 바이패스하는 방식에서만 적용되고 있다. 더불어 재생의 불균일한 반복, 재생 시 필터 내부에 과도한 최고 온도 및 온도구배를 발생시키는 단점을 가진다. 수동재생 방법으로는 연료에 첨가제를 넣어 입자상 물질의 재생 온도를 강하시켜 배기가스의 온도만으로 재생시키는 방법과, 세라믹 필터에 촉매를 코팅하여 촉매 필터를 통과하는 입자상물질을 자연적으로 산화시키는 방법 등이 있다[5, 14, 15].

국내의 버너 재생 방식 DPF 시스템 연구는 서울대에서 1993년, 공회전 상태에서 안정적 재생이 가능함을 보였으나, 대부분 개발 초기에 외국의 사례에 대한 시행착오의 확인 과정이 많았고, 현재까지도 실차에 적용될 정도로 충분히 안정된 재생용 버너는 개발되지 못하고 있다[16, 17, 18].

본 연구에서는 엔진 회전수나 부하 변동의 어느 조건에서도 안정된 연소상태를 유지할 수 있는 DPF재생용 버너의 개발을 위한 초기과정으로 그 가능성의 확인에 초점을 맞추었다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 DPF 재생용 버너 실험장치의 설계 및 제작

당 연구에서는 엔진의 배기량에 맞추어 매연 산화온도까지 상승시킬 수 있는 적정용량의 버너를 설계하기에 앞서 엔진배기조건, 즉, 배기압력과 유속 및 온도, 산소함유량 등의 변동조건에서도 안정된 화염을 형성할 수 있는 버너의 설계에 주안점을 두었다. 먼저 버너는 경유버너로 하고 최대부하는 취급의 용이성을 고려하여 6,500 kcal/hr로 하였다.

대부분의 버너는 일정한 연소공간에 화염을 형성하게 되는데, 화염이 길게 형성되면 주위 유동의 영향을 크게 받게 된다. 즉, DPF재생용 버너의 경우 엔진배기의 유속이 증가하게 되면 연소속도가 동시에 높아져야 화염의 안정성을 유지할 수 있다. 화염이 길게 형성되면 엔진배기 중에서 안정성을 유지하는 것이 매우 힘들게 된다. 따라서 화염을 되도록 짧게 형성시키기 위해서는 세라믹이나 메탈파이버 소재의 다공성 매질의 버너가 유리하다. 본 연구에서는 메탈파이버 소재의 버너를 선택하였다. 메탈파이버는 소재로 인한 압력손실이 매우 작고, 좁은 유로로 인하여 역화의 우려가 없으며 어느 한 부분에만 화염이 유지되어도 착화원이 되어 화염을 전체에 전파할 수 있는 등 장점이 많다. 이 메탈파이버 소재에 대하여 상대적으로 연소속도가 빠른 예혼합화염을 형성시킬 수 있도록 하여 엔진배기 중에서 화

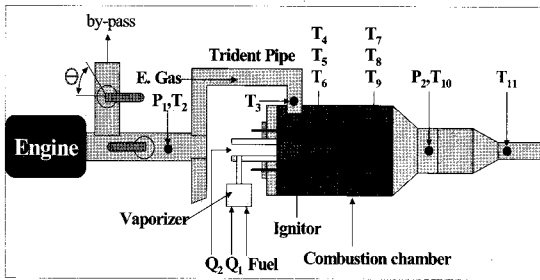


Fig. 2-1 Schematic of experimental setup

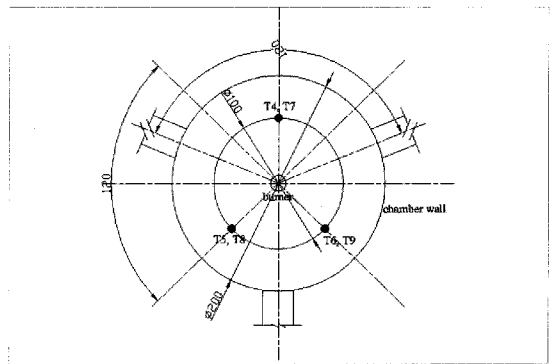


Fig. 2-2 Circumferential measurement point of temperature in combustion chamber

염안정성을 중점적으로 검토하여 DPF재생용 버너로 적용할 수 있는 가능성을 타진하였다.

디젤 엔진의 배기압은 배기량과 운전조건에 따라 최대 500mbar까지 상승하게 되므로 버너의 화염이 엔진의 배기 중에서도 안정된 상태를 유지하기 위해서는 우선 연료와 산화제가 버너의 표면으로 분출될 수 있도록 메탈파이버 버너 내부의 압력이 충분히 높아야 한다. 따라서, 본 연구에서는 액체 연료를 사전에 기화시켜서 1차공기와 부분 예혼합시키고 이를 메탈파이버의 표면에서 연소시키는 증발기화식 버너를 적용하였다.

Figure 2-1은 DPF 재생 실험용 버너의 구성을 그린 것으로 연료인 경유를 가열하여 기화시킨 후에 연소용 공기와 혼합하여 메탈파이버에서 예혼합화염을 형성시킬 수 있도록 하였다. 연료는 전자펌프를 통해 니들에서 기화기 내부로 분사되며 분사된 연료 액적은 전열 히터에 의해 200℃로 가열된 기화기 내부 표면에서 증발 기화하여 1차공기와 혼합되며 다시 2차공기와 혼합되어 버너부로 공급되게 된다. 연소용 공기는 1 kg/cm²의 압력으로 공급되도록 하였다. 혼합기는 메탈파이버 버너를 통해 배출되며 고전압 불꽃방전을 일으키는 점화장치(ignitor)에 의해 착화되어 화염을 형성하게 된다.

엔진의 배기는 Fig. 2-2에서 보는 바와 같이 내경 200mm의 연소실 상류부에서 3등분되어 삼지관을 통해 연소실로 유입되도록 하였으며, 연소실의 중앙에는 원추형의 메탈파이버 버너를 설치하였다. 연소실에는 화염관측을 위한 관측창과, 온도 분포 측정을 위해 길이 방향으로 상,하류 2 위치에서 각각 원주방향으로 3위치에 열전대를 설치하였다. 또한, DPF 필터 전후의 압력을 측정하기 위한 압력센서와, DPF 전후단의 온도 측정을 위한 열전대를 설치하였다.

제작 완료된 실험장치의 전경은 Fig. 2-3과 같다. 엔진에서 발생한 배기는 배기관을 통하여 DPF재생 실험용 버너부의 연소실로 공급되게 되는데 버너의 원주로 균일하게 공급될 수 있도록 분지관을 120°로 나누어 3 위치에서 유입되도록 하였다. 연소실의 후단에는 6" 직경의 DPF를

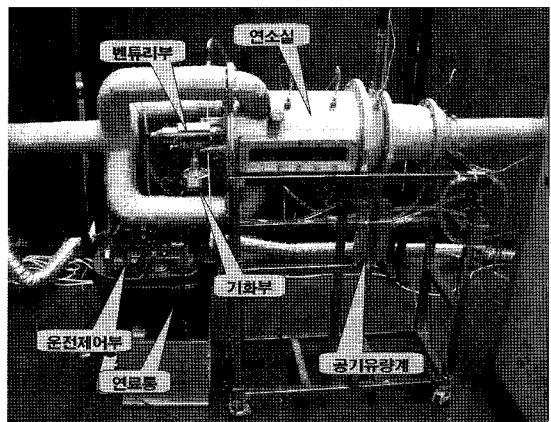


Fig. 2-3 Photograph of DPF regeneration burner

Table 2-1 Specification of Diesel engine

항목	엔진형식	J3 TCI
종류		디젤, 4사이클
실린더수 및 배열		직렬 4, 횡치
연소실 형식		Re-ENTRANT
총 배기량 (cc)		2902
실린더 내경×행정(mm)		97.1× 98
압축비		19.3
압축압력 (kg/cm ² -rpm)		30/200
아이들 회전속도 (rpm)		800±20
냉각장치		수냉식, 강제순환식
배터리 전압		12Volt

설치할 수 있도록 하였으며, 유입부와 배출부는 외부를 보온하여 열손실을 최소화하였다. 버너에

연결되는 디젤엔진은 국내 K사의 승합차량용 엔진으로 제어부에 의하여 시동 및 회전수 조절이 가능하고 동시에 냉각수 온도가 표시되도록 구성하였다. 실험에 사용된 엔진의 제원은 Table 2-1과 같다.

엔진의 배기가 유입되는 상류부에는 삼지관으로 분기되기 전에 배기가스의 일부 또는 전부를 외기로 배출할 수 있게 하여 버너부로 유입되는 배기 유량을 조절할 수 있도록 바이패스(bypass) 밸브를 설치하여 버너의 착화 시 및 배기의 공급 시에 부하가 적은 상태에서부터 먼저 버너의 안정성을 확보한 후에 부하를 조절하면서 실험할 수 있도록 하였다.

2.2 DPF 재생용 버너의 실험방법

본 연구에서는 메탈파이버 소재로 제작된 버너에 대해서 연소실 상류부에서 삼지관으로 공급되는 엔진배기가 버너 표면에 직접 충돌할 경우의 화염상태를 먼저 확인한 후에 이 결과를 바탕으로 배기가스의 유동구조를 보완하여 화염의 안정성을 확보하였으며 각 부의 온도와 압력상태를 조사 분석하는 방법으로 진행하였다. 버너 표면에 엔진배기 전량이 직접 충돌하는 경우에는 화염의 소멸될 수 있음을 고려하여 엔진에서 배출되는 배기가스의 유량의 일부를 바이패스(bypass)시킬 수 있도록 하여 연소실로 유입되는 엔진배기의 유량을 조절할 수 있도록 하였다. 바이패스 밸브의 개도가 0°인 경우에 엔진배기가 전량 DPF 재생용 버너가 있는 연소실로 유입되며, 개도각 90°에서 연소실로의 유입이 차단된다.

Figure 2-1 및 Fig. 2-2에서 나타낸 바와 같이 엔진으로부터 배출되는 배기가스의 온도 및 압력은 연소실로 유입되는 관로 상에서 측정을 하였으며, 그림에서 T₁은 외기의 온도를 나타내며 T₂는 연소실로 유입되는 엔진 배기가스의 온도, P₁은 동일한 지점에서의 압력을 나타낸다. 그리고 T₃는 연소실로 유입되는 삼지관의 끝단에서의 온도, T₄, T₅ 및 T₆는 연소실 내부의 버너 근방에서의 온도, T₇, T₈ 및 T₉는 연소실 후단부에서의 온도를 나타내고, T₁₀ 및 P₂는 DPF 설치 위치의 전단에서의 온도 및 압력을 나타낸다. 실험은 화염안정화 가능성의 확보 단계로 매연포집용 필터는 장착하지 않은 상태에서 수행되었다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 엔진 배기에 의한 화염 안정성의 저하

Figure 3-1은 본 실험에 사용된 엔진의 회전수 변화에 따른 배기가스 유량을 도시한 것이다. 엔진 배기 유량은 실측할 경우 온도와 압력 변화

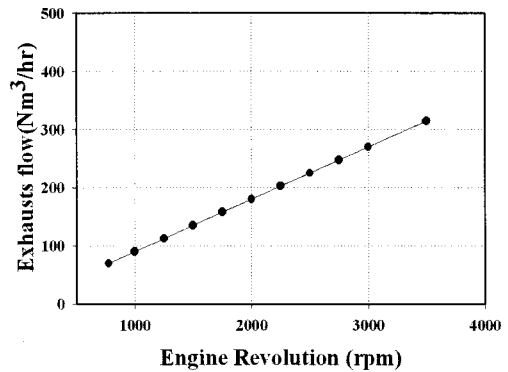


Fig. 3-1 Flow rate of exhaust gas with engine RPM

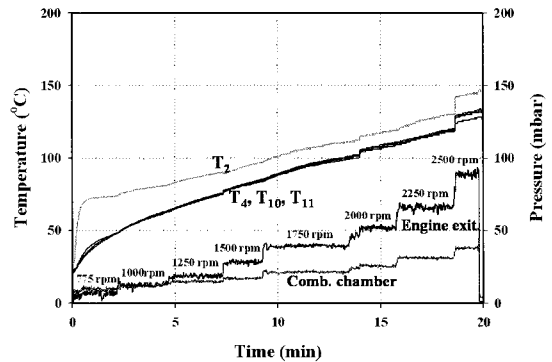


Fig. 3-2 Exhaust gas temperature and pressure with variation of engine RPM

에 대하여 보정해 주어야 하므로 제조회사에서 제공한 엔진의 설계사양에 따라 이론적으로 계산한 값을 나타내었다. 엔진 배기유량은 회전수의 증가에 따라 선형적으로 증가하며 2000rpm에서 약 180Nm³/hr으로 버너로 가열하여 착화온도로 상승시키기에는 적지 않은 유량으로 상당한 부하가 됨을 알 수 있다. Fig. 3-2는 엔진의 냉각수 온도가 상온 상태에서 시동한 경우 즉, 냉시동에서 시작하여 무부하상태에서 엔진 회전수를 증가시키면서 배기의 온도와 압력을 측정한 결과이다. 시동 회전수 775rpm에서 엔진 회전수의 증가에 따라 온도 및 압력이 증가하는 전형적인 결과를 보여주고 있다. 온도는 엔진 시동 후 시간의 경과에 따라 증가함을 보여주고 있으며, 20분에 근접한 회전수 2500rpm에서 약 150℃에 근접하고 있다. 삼지관 직전의 온도 T₂를 제외한 나머지 부분의 온도는 거의 동일하게 나타나고 있다. 배기가스의 온도상승은 엔진 가동시간과 회전수에 모두 영향을 받으므로 본 실험에서는 개략적인 온도범위를 참고로 하였으며 추후 계속

되는 연구를 통해 각 운전조건에 따라 보다 엄밀한 버너의 부하와 제어변수를 결정하게 될 것이다. 배기압력은 회전수의 증가에 따라 배기량이 증가하게 되므로 회전수에 직접적으로 영향을 받게 된다. 시동 회전수 775rpm에서 배기압은 약 10mbar를 나타내며 2500rpm에서 약 90mbar로 상승한다. 이때 연소실 내부에서의 압력은 체적의 증가로 인하여 약 40mbar 정도로 나타나고 있다. 물론 이 압력 조건은 실제 DPF용 필터를 장착할 경우에 비하여서는 낮은 수준이지만 엔진 배기압의 변화에 대한 화염의 안정성은 충분히 확인할 수 있다.

Figure 3-3은 엔진배기가 연소실로 공급되지 않은 상태에서의 DPF재생 실험용 버너의 화염 상태를 보여주는 사진으로 버너의 부하는 6,500 kcal/hr, 공기비는 1.25인 상태로 화염이 메탈파이버의 표면에 부착되어 적열된 상태를 보여준다. 버너 자체에서 발생하는 CO 농도는 7ppm 내외로 거의 완전 연소에 가까운 양호한 연소 상태를 유지하였다.

다음의 Fig. 3-4는 엔진배기가 버너 측으로 공급되는 상태에서 엔진 회전수의 증가에 따라 변화하는 화염을 촬영한 것이다. 실험에 사용된 엔진 배가스 전량이 연소실로 공급될 경우 화염이 매우 불안정해지는 관계로 바이패스 밸브를 45° 개방하여 배가스의 일부만이 유입되도록 한 상태이다. 이 경우 바이패스 밸브가 유로에 직각으로 설치되어 있으므로 45° 개방한 경우 정확하게 유량의 1/2이 바이패스 되는 것으로는 볼 수 없으며 버너 화염의 안정성을 확인하는 과정이므로 버너에 공급되는 배기 유량은 별도로 측정하지 않았다. 그림에서 보는 바와 같이 삼지판을 통해 버너 상부 표면에 거의 직각으로 배기가 공급되는 관계로 엔진 배기가 직접 충돌하는 부분에는 화염의 소멸이 나타나고 있다. 엔진 회전수의 증가에 따라 배기량이 증가하게 되면 소멸 면적도 증가하여 2000rpm에서는 버너 상부의 극히 일부 분만이 화염을 유지하고 있음을 볼 수 있다. 이 이상으로 회전수를 증가시키게 되면 화염은 소멸되어 엔진 회전수를 다시 낮추어도 자발 착화는 일어나지 않는다. 그러나 메탈파이버 표면에 아주 작은 부분이라도 화염이 유지되고 있으면 회전수가 감소할 경우 자발 착화하여 다시 버너 전체 표면으로 화염이 형성된다. 즉, 이 경우 엔진의 배기가스가 버너 표면에 직접 충돌하여 열적 소멸(thermal quenching)이나 화학적 소멸(chemical quenching)을 일으킴으로 인해 충돌면에서는 부분적으로 화염이 유지되지 못하나 메탈파이버 소재의 특성상 표면에 부착된 화염은 직접 배기가스가 충돌하지 않으면 쉽게 소멸되지 않으며 재착화원이 되어 다시 화염을 정상상태로

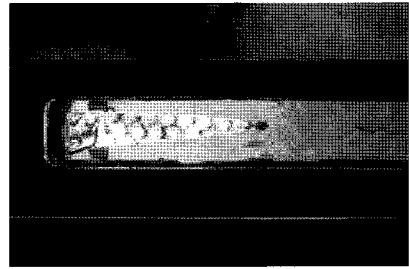


Fig. 3-3 Photograph of burner flame without engine exhaust gas

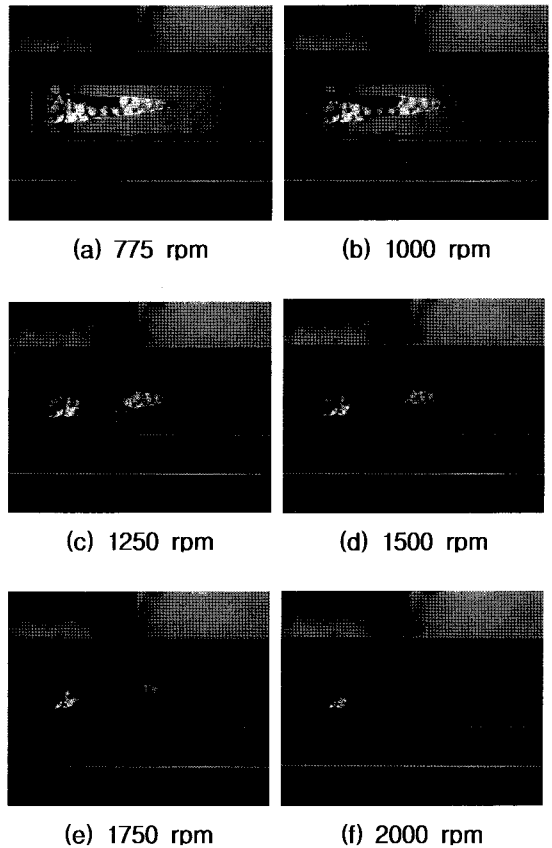


Fig. 3-4 Photograph of burner flame with increase of engine RPM

복귀시킬 수 있다는 고무적인 판단을 얻을 수 있었다.

3.2 화염 안정성의 개선

이 결과를 바탕으로 버너 상류부의 주위에 타공된 라이너(liner)를 설치하여 삼지판에서 유입되는 엔진의 배기가 직접 버너 표면에 충돌하지

않고 선회류를 형성할 수 있도록 그 내부에 선회 안내깃(swirl guide vane)을 설치하였다. 이렇게 보완된 버너에 대하여 엔진회전수를 증가시키면서 화염상태를 촬영한 사진이 Fig 3-5이다. 이 경우에는 바이패스 밸브를 완전히 닫고 엔진 배기가스의 전량이 버너가 장착된 연소실로 공급되도록 한 상태로 화염상태를 관찰하였다. 사진에서 알 수 있는 바와 같이 라이너가 없는 경우와 달리 화염이 전반적으로 매우 안정되게 부착되어 있음을 볼 수 있다. 이는 삼지관에서 공급된 엔진의 배기가스가 라이너 내부에 장착된 선회 안내깃에 의하여 선회하면서 연소에 긍정적으로 작용한 때문이다. 엔진 회전수의 증가에 따라 청염의 분포나 버너 표면의 적열상태가 다소 변하고 있는데 이는 엔진 배기 중의 산소, 일산화탄소 및 이산화탄소와 매연입자의 농도 등 조성파 관련이 있는 것으로 판단되며 추후 이와 관련하여 보다 면밀한 분석을 계획하고 있다. 이 버너에서도 엔진 회전수가 증가함에 따라 원추형의 버너 끝단에서 소염되는 부분이 일부 발생하고 있는데, 이는 라이너와 버너의 치수 및 조합이 최적으로 이루어지지 않은 때문으로 판단되며 이를 고려한 최적 설계 방식의 도출이 필요할 것이다.

다음의 Fig. 3-6은 Fig. 3-5의 운전상태에서 각 부의 온도와 압력을 측정하여 도시한 그림이다. Fig. 3-6 (a)에서 T₁은 외기의 온도이며 T₂는 엔진에서 배출되는 배기가스의 온도를 나타낸다. T₂는 엔진 회전수의 증가에 따라 증가하고 있으나 연소실 내부 및 출구의 온도는 엔진 회전수의 증가에 따라 감소함을 알 수 있다. 즉, 엔진 배기 유량의 증가량에 대해 버너의 부하가 충분하지 못한 상태임을 보여주는 것이다. 엔진 시동 회전수인 775rpm에서의 배기 유량에 대해서는 연소실 출구부 온도인 T₁₀을 기준으로 할 때, 약 300°C의 온도를 상승시킬 수 있으나, 3000rpm에 도달하면 100°C정도밖에 상승시키지 못하고 있다. 이 결과를 감안하면 엔진 배기 유량 전체를 매연의 착화온도까지 상승시키기 위해서는 25,000kcal/hr급의 버너가 필요한 것으로 추산된다. 엔진 배기부 및 연소실의 압력은 3000rpm에서 최대 170mbar, 75mbar까지 상승하고 있는데, 사용된 엔진의 회전수 조절부가 3000rpm에서는 다소 불안정한 조정상태로 되어 압력이 그 이하의 회전수에 비해 일관되게 유지되지 못하였다. 그 이하의 회전수에서는 버너를 운전하지 않은 상태의 측정결과인 Fig. 3-2와 거의 차이가 없어 본 실험에 사용된 용량의 버너에서 배출된 배기가스 유량이 압력 상승에 큰 영향을 미치지 않았음을 보여준다.

다음은 엔진의 스톱밸브를 인위적으로 당겨서 엔진의 회전수를 급변시켰을 때의 버너 화염

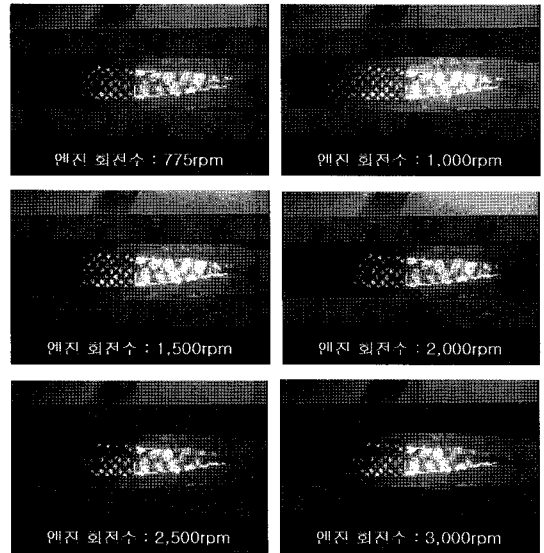
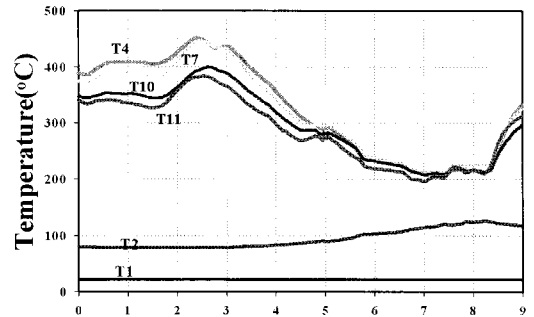
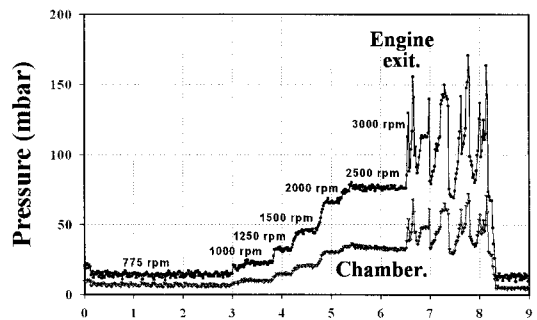


Fig. 3-5 Photograph of burner flame with increase of engine RPM (with liner)



(a) Temperature



(b) Pressure

Fig. 3-6 Measured temperature and pressure with increase of engine RPM

상태를 Fig. 3-7에 나타내었다. Fig. 3-7의 (a) 및 (c)의 상태는 회전수를 올리기 위해 당겼던 스톱밸브를 놓은 상태이므로 거의 시동상태의 회전수와 같다.

이 사진에서 보는 바와 같이 회전수를 급변했을 때에도 버너의 화염상태는 회전수를 서서히 상승시켰을 경우와 거의 차이가 없이 안정되게 유지되고 있다. Fig. 3-8은 이 실험에서의 각 부 온도와 압력 측정결과를 도시한 것이다. 온도와 압력을 도시한 결과를 비교하여 보면 시동 회전수인 775rpm에서는 버너에 의해 각 부의 온도가 지속적으로 상승하다가 회전수의 증가 시점에 하강하는 상황을 보여주고 있다.

본 연구에서는 엔진 배기 중에 장착된 버너를 운전할 경우 화염의 안정성을 최우선적으로 고려하였으므로 보다 세부적인 분석 자료는 많이 제시하지 못하였다. 그러나 버너의 형태 및 재질, 구조 등의 보다 진전된 선정과 설계의 최적화에 의하여 압력과 유속 및 조성의 변화가 심한 엔진 배기 중의 악조건에서도 안정된 버너 화염을 구현할 수 있다는 고무적인 결과를 확인한 것은 DPF의 재생에 버너를 적용하는 데에 매우 희망적인 가능성을 제시해주는 것이라 할 수 있다.

4. 결론

엔진 배기 중에서 안정된 화염을 구현할 수 있는 DPF 재생용 버너 개발의 가능성을 확인하기 위하여 메탈파이버 재질을 이용한 실험용 버너를 설계 제작하여 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 원추형 메탈파이버 버너의 표면에 직접 엔진의 배기가스가 충돌할 경우에는 열적 화학적 소염으로 인하여 충돌부에 소염이 발생하여 엔진의 회전수가 높아질수록 안정된 화염의 유지가 곤란하였다. 그러나, 메탈파이버 표면의 일부에서라도 화염이 유지되면 회전수의 감소에 따라 재착화가 용이하게 이루어졌다.

2) 원추형 메탈파이버 버너의 주위에 선회 안 내깃을 장착한 라이너를 설치하여 엔진 배기가 직접 버너 표면에 충돌하지 않고 선회류를 형성하게 한 경우 엔진 회전수가 3,000rpm까지 상승하여도 매우 안정된 화염을 유지하였으며, 엔진 회전수를 순간적으로 급변시켜 3,800rpm까지 상승시켰을 경우에도 버너 화염의 안정성이 저하되지 않아 엔진 배기의 악조건 속에서 사용할 수 있는 DPF 재생용 버너로서의 가능성을 확인하였다.

3) 버너의 구조에 의하여 회전수가 높아짐에 따라 발생하는 침부의 부분 소염의 문제 등 버너의 용량에 따른 치수, 형태, 구조 및 조합 등의

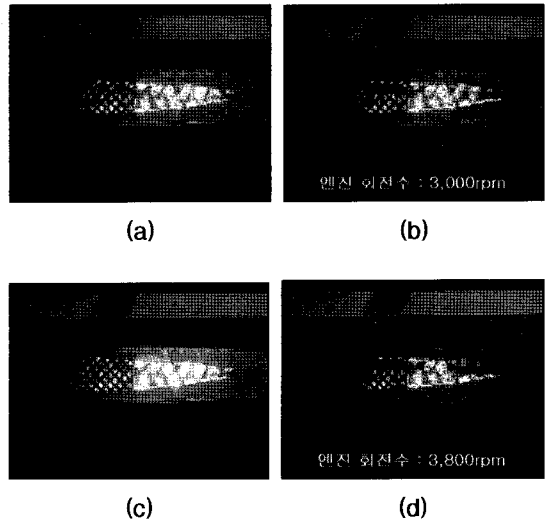
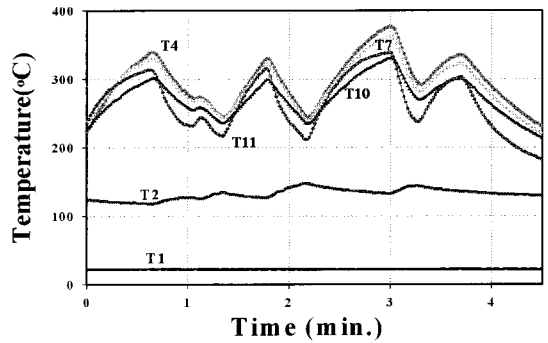
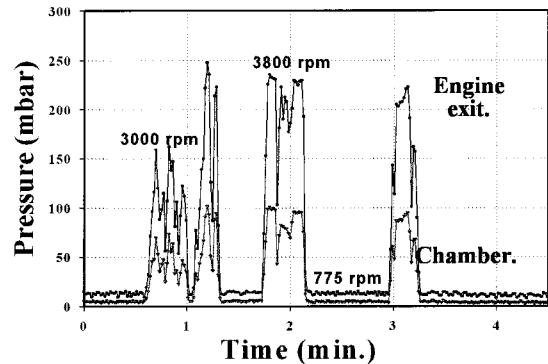


Fig. 3-7 Photograph of burner flame with steep increase of engine RPM (with liner, (a),(c): released, (b),(d): step increased)



(a) Temperature



(b) Pressure

Fig. 3-8 Measured temperature and pressure with steep increase of engine RPM

최적설계의 도출이 필요한 것으로 판단되었다.

4) 엔진 배기유량에 맞은 적정 용량의 버너를 설계 제작하고, DPF용 필터를 장착한 상태에서 엔진 배기 조성의 변화, 재생 능력, 내구성 등에 대한 자료를 확보하여 실용화를 위한 기반을 구축할 예정이다.

후 기

본 연구는 환경부 Eco-Star Project의 무·저공해자동차사업단의 지원으로 수행되었으며 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. 김상호 "직접 분사 디젤 엔진의 고압 연료 분사와 유해 배출물 저감," 서울대 박사 학위논문, 1996.
2. 지요한 "디젤 분무의 거동 및 분무 입경 분포에 관한 연구," 서울대 박사 학위논문, 1993.
3. D.M. Doyle, J.R. Needham, S.A.Faulkner and R.G. Frees, "Application of an Advanced In-Line System to a Heavy-Duty Diesel Engine," SAE Paper No-891847, 1989.
4. R.R. Richaids and J.E Sibley, "Diesel Engine Emissions Control for the 1999's," SAE Paper No. 880346, 1988.
5. J.H. Johnson et al., "A Review of Diesel Particulate Control Technology and Emission Effects," SAE Paper 940233, 1994.
6. P. Zelenka et at, "Ways Toward the Clean Heavy-Duty Diesel," SAE Paper 90060f, 1990.
7. National Institute of Occupational Safety and Health, "Carcinogenic Effects of the Exposure to Diesel Exhaust Current Intelligence Bulletin 50," Department of Human Health and Service, N10SH Publication, 1988, pp. 88-116.
8. A.D. Tuteja et al., "Selection and Development of a Particulate Trap System for a Light-Duty Diesel Engine," SAE Paper No. 920142, 1992.
9. Hideo Suto et al., "Evaluation of Diesel Particulate Filter Systems for Urban Utility Automobiles," SAE Paper No. 920569, 1992.
10. Breuer, K., 1998, "Deutz Particulate Filter Systems," Canadian Mining Diesel Conference (CANMET), Toronto, October 1998.
11. Houben, H., et al., "The Optimized Deutz Service Diesel Particulate Filter System DPFS II," SAE Paper No. 942264, 1994.
12. V.D. Rao, H.A. Cikanek and R.W. Horrocks, "Influence of Fuel Sulfur Content on Particulate Emissions of Ford 1.8L Sierra Turbo Diesel Eauipped with Flow Through Catalytic Converter," SAE Paper No. 940902, 1994.
13. O.A. Ludecke and D.L. Dimiclt, "Diesel Exhaust Particulate Control System Development," SAE Trans., Vol. 92, No.1, 1983.
14. 조강래, "한국의 디젤 자동차 대연 방지 기술," 입자상물질 방지 기술 세미나 자료, 1991.
15. 김상환, "디젤 자동차의 배기가스 저감 기술," 한국자동차공학회지 Vol. 15, No. 3, 1993, pp. 19-31.
16. 박동선, 김재업, 이만복, 김응서, "디젤기관으로부터 배출되는 입자상물질 제거장치 개발에 관한 기초연구-버너방식," 한국자동차 공학회 95년도 춘계학술대회 논문집, 1995, pp. 347-352.
17. 김재업, 박동선, 이만복, 김응서. "디젤 입자상물질 제거 장치의 재생 제어 방식," 한국자동차 공학회 95년도 추계학술대회 논문집, Vol. II, 1995, pp.71-76.
18. 박동선, 김재업, 이만복, 김응서, "디젤 입자상물질 제거장치에 적용되는 버너의 설계 개념 및 기초 실험," 96년 5월 한국자동차 공학회 논문집 제 4권 제 3호, 1996, pp.50-60.