

디젤엔진 매연여과용필터 재생용 버너의 연소특성

심성훈 · 정상현 · 조규백

한국기계연구원

Characteristics of Regeneration Burner for Diesel Particulate Filter

Sung Hoon Shim · Sang Hyun Jeong · Gyu Back Cho

Korea Institute of Machinery and Materials

1. 서론

근래에 들어 사회적으로 큰 문제로 대두되고 있는 미세먼지의 상당량이 매연여과장치를 구비하지 못한 노후된 디젤엔진에서 배출되는 입자상 물질(particulate matter)이다. 디젤엔진에서 발생하는 입자상 물질 즉, 매연을 감소시키기 위한 기술의 개발 방향은 엔진 내부 연소 상태의 개선과, 연소 후 발생하는 배출가스의 후처리로 구별할 수 있다. 엔진의 연소 개선은 연료의 고압 분사에 의한 것과 연료 분사의 전자적인 제어에 의한 연소 개선 등의 연구가 보고 되고 있다.^{1~4)} 디젤엔진에서 발생하는 입자상 매연의 처리와 관련한 연구는 미세한 입자상 오염물을 포집할 수 있는 필터를 사용한 DPF(Diesel Particulate Filter)기술이 주를 이루고 있다.^{5,6)}

즉, 엔진 배기 중의 매연입자를 제거하기 위해서는 대표적으로 세라믹 모노리스(ceramic monolith) 소재나 메탈파이버(metal fiber) 소재의 필터를 이용하여 입자상 오염물을 포집한다. 필터에서 매연입자의 포집이 누적되게 되면 필터 양단의 압력 손실 증가로 인하여 엔진 배압이 상승하게 되어 엔진이 제대로 작동할 수 없게 된다. 때문에 필터에 축적된 카본이 대부분인 매연을 제거해 주는 과정이 바로 필터의 재생이다.

포집된 매연은 대부분 미연탄소분으로 자연발화가 되는 온도는 약 550~650℃이다. 디젤엔진 배기가스의 온도는 200~500℃ 정도의 범위에서 운전 조건에 따라서 크게 변하게 된다. 따라서 DPF의 재생을 위해서는 미연탄소분이 자연발화될 수 있는 온도까지 배기가스의 온도를 상승시키거나, 촉매 또는 산화제(oxidant)를 이용하여 매연의 산화온도를 낮추는 방법이 필요하다.

본 연구의 주목적은 버너를 이용하여 엔진배기가스의 온도를 매연이 산화되는 온도까지 상승시키는 것이다. 지금까

지 개발된 재생용 버너는 대부분 엔진에 부하가 걸려 운전되고 있는 상황에서는 연소상태가 불안정하여 정지시나 공회전시에만 사용하여야 하는 문제점을 안고 있었다.^{7~11)}

본 연구는 디젤엔진의 모든 운전조건, 즉 엔진 회전수나 부하 변동의 어느 조건에서도 점화 및 소화가 가능하며 안정된 연소화염을 유지할 수 있는 재생용 버너를 개발하고자 한다.¹²⁾

2. 실험장치 및 실험방법

2.1. DPF 재생용 버너 실험장치의 설계 및 제작

당 연구에서 개발한 DPF 재생용 버너는 일반적인 오일 분사방식의 버너가 화염이 길어 엔진 배기관과 같이 유속이 30 m/s 이상으로 빠르고 압력이 500 mbar의 수준으로 높으며 변동이 심한 경우에는 매우 불안정하여 정상적인 연소상태를 유지할 수 없음을 감안하여 화염이 아주 짧고 버너에 공급되는 공기의 압력을 높일 수 있는 형태의 버너를 착안하였다. Fig. 1에서 보는 바와 같이 개발된 버너는 연소장이 메탈파이버 매질의 표면에서 형성될 수 있는 형태로 이를 위하여 액체연료인 경유를 기화시켜 사용하였다. 엔진에서 배출되는 배기가스는 전량 버너부를 통과하며 버너 입구부에는 선화기를 장착하여 버너화염과의 혼합성을 좋게 하여 엔진배기 중에 포함되어 있는 산소잔량이 연소에 사용될 수 있게 하며 동시에 화염의 안정성을 향상시킬 수 있도록 하였다. 연소실 각 부의 온도 및 압력측정 위치가 표시되어 있

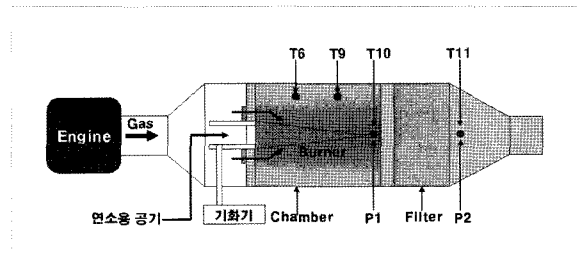


Fig. 1. Schematic of experimental setup.

E-mail: shshim@kimm.re.kr
Tel: 042-868-7349

Fax: 042-868-7284

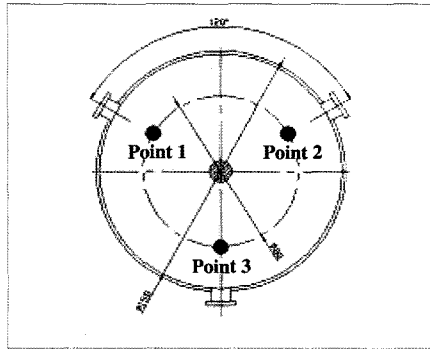


Fig. 2. Circumferential measurement point.

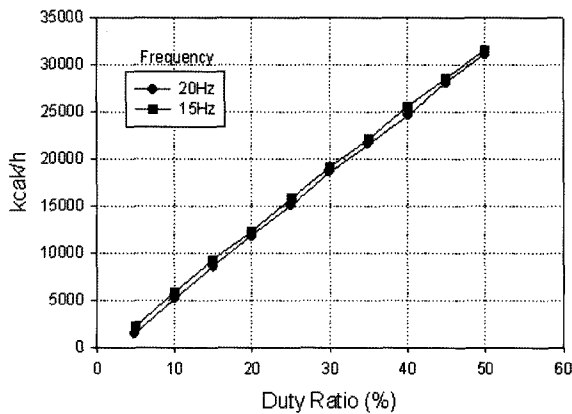


Fig. 3. Burner capacity with oil-pump duty.

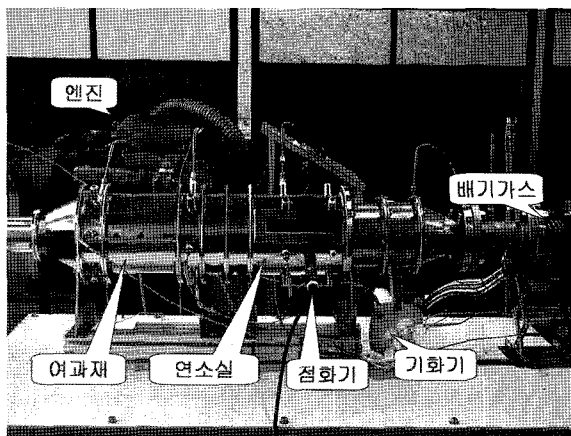


Fig. 4. Photograph of DPF regeneration burner system

으며 원주 방향으로의 측정위치는 Fig. 2와 같다. 버너의 용량은 엔진배기의 온도에 따라서 비례제어할 수 있도록 최대 약 30,000 kcal/hr까지 공급할 수 있는 유량 조절형 연료 펌프를 사용하였다. 본 연소기에 사용된 펌프의 유량변화는 일정한 공급전력의 주파수에서 펌프의 on-time(duty)의 변화에 따라 유량이 비례제어되는 방식으로 유량 시험결과는 Fig. 3과 같다. Fig. 4에 버너시스템의 사진을 게재하였다.

2.2. DPF 재생용 버너의 실험방법

본 연구에서 사용된 디젤엔진은 국내 H사의 SUV차량용

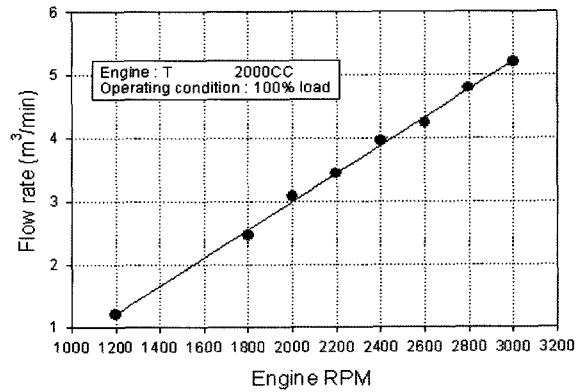


Fig. 5. Exhaust gas flowrate with engine rpm.

엔진으로 2,000 cc급이다. Fig. 5에 엔진동력계에 장착하여 100% 부하에서 엔진 회전수의 변화에 대한 가스유량을 측정 한 결과를 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 엔진회전수의 증가에 따라 배기량은 비례하여 증가하며 100% 부하의 3,000 rpm에서 배기유량은 5 m³/min 이상이 되며 이때 배기관에서의 유속은 44 m/s 이상이다. 버너의 실험에서는 이 범위의 엔진조건에서 화염의 안정성을 먼저 관찰한 후에 버너를 통과한 배기가스의 온도와 배가스 중의 일산화탄소(CO) 및 산소(O₂)와 질소산화물(NO, NO₂)의 농도를 측정하였다. 측정기기는 이동형 연소가스분석기(Greenline II)를 사용하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1. 화염안정성 및 배기가스 온도

상기 엔진 유량의 전체 조건에서 버너의 점화와 소화는 무리없이 이루어졌으며 화염의 안정성도 유지되었다. 이는 기화된 연료와 공기를 버너부로 이송하는 공기의 압력이 엔진 배기의 압력보다 높게 설정한 때문으로 실제 차량에 탑재하기 위해서는 이러한 고압의 공기를 공급할 수 있는 차량용 압축기가 필요한 것이 해결하여야 할 숙제가 될 것이다.

Fig. 6에 실험 중에 측정된 엔진배기가스의 온도와 버너 운전시에 버너부를 통과한 배기가스의 온도를 나타내었다. 이 결과에서 보는 바와 같이 버너를 가동하지 않을 경우의 엔진배기의 온도보다 버너를 가동함으로써 약 100℃ 이상의 상승효과를 가져옴을 알 수 있다. 본 연구에서는 연료의 사용량을 최소화하기 위하여 매연의 산화온도를 낮출 수 있는 산화촉매형의 DPF를 대상으로 하여 엔진배기의 온도를 350℃ 이상으로 유지하는 것을 목표로 하고 있으므로 충분히 매연의 산화조건을 충족시킬 수 있을 것으로 판단된다. 물론 이 결과에서와 같이 100%의 부하조건에서는 엔진 회전수가 증가하게 되면 엔진배기 자체만의 온도가 350℃ 이상이 되므로 이런 조건에서는 버너를 가동할 필요가 없다. Fig. 7은 역시 100% 부하조건에서 엔진 회전수의 증가에 따라 버너부를 통과한 엔진 배가스의 온도변화를 측정 한 결과이다. 산화촉매에서의 산화온도인 350℃ 이상으로 온도가 잘 유지되고 있음을 알 수 있다.

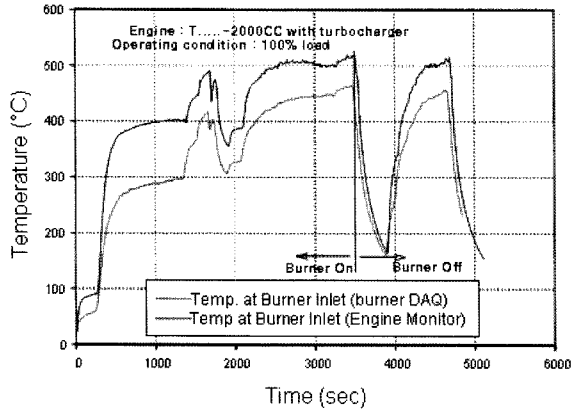


Fig. 6. Exhaust gas temp. variation with time.

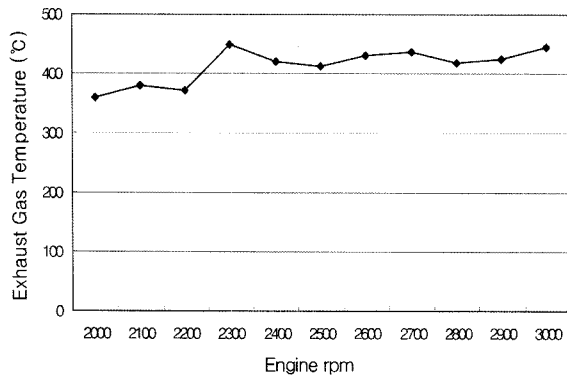


Fig. 7. Exhaust gas temp. variation with engine rpm.

3.2. 배기가스 조성 분석 결과

다음의 Fig. 8에는 엔진의 회전수에 따라 버너부를 통과한 배기가스 중의 산소 및 일산화탄소 농도를 측정된 결과를 도시하였다. DPF 재생용으로 버너를 사용할 경우 가장 중요한 문제 중의 하나가 버너의 연소가스가 엔진배기를 더욱 악화시키는 것이다. 즉 환경적으로 재생용 버너가 대기를 더 오염시키는 결과를 초래하여서는 곤란하므로 버너를 통과한 배기가스의 조성을 분석하는 것을 매우 중요하다. 이 결과에서 보는 바와 같이 개발된 버너를 통과한 엔진 배기가스의 CO 농도는 전반적으로 아주 양호한 상태를 유지하고 있음을 알 수 있다. 즉 버너에 의한 CO의 증가는 나타나지

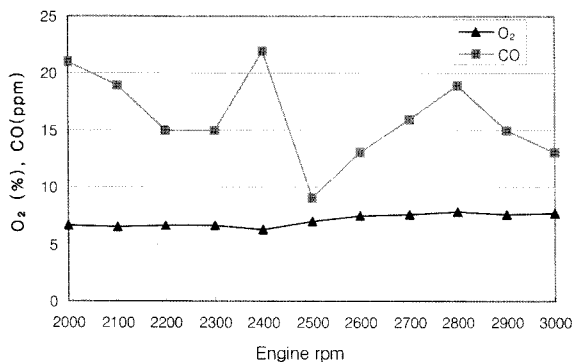


Fig. 8. Variation of CO and O₂ concentration with engine rpm.

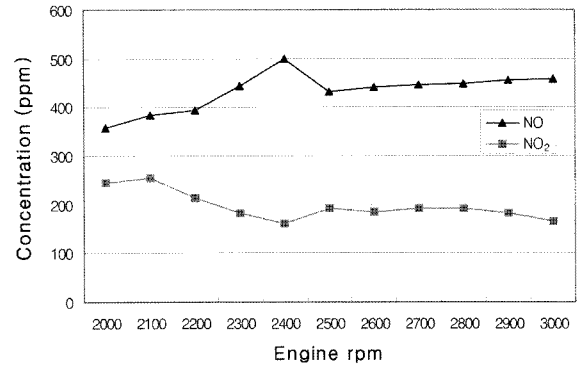


Fig. 9. Variation of NO and NO₂ concentration with engine rpm.

않음을 보인다. 실제로 실험에 사용된 디젤엔진은 아이들 상태에서는 CO의 배출농도가 6 ppm이었으나 버너를 가동한 경우에는 3 ppm으로 감소되었으며 버너를 운전하지 않은 상태에서 무부하로 1,200 rpm을 유지한 경우에는 CO의 배출농도가 무려 3,864 ppm으로 측정되었으나 버너를 가동하자 이 조건에서 107 ppm으로 감소하였다. 이 결과에서 버너의 가동은 미연 일산화탄소를 연소시켜 엔진배기가스의 상태를 개선해준다는 것을 알 수 있다. 산소의 농도는 100%의 부하 조건에서 엔진회전수의 증가에 따라 약간 증가하는 경향이 있으나 대체로 6-7%대에서 유지되고 있다.

다음 Fig. 9는 질소산화물인 NO 및 NO₂를 측정된 결과를 보여주고 있다. 디젤엔진에서 배출되는 대표적인 대기오염물질이 입자상 매연과 질소산화물임을 감안하면 질소산화물의 재생용 버너를 사용하면서 질소산화물의 배출농도를 증가시키지 않는 것도 매우 중요하다. 질소산화물의 농도는 버너의 사용에 의하여 증가하는 경향은 보이지 않았으나 몇 가지 특이한 상황이 발생하였다. 공회전상태에서 버너를 가동하지 않고 엔진의 배기만을 측정된 결과 NO 및 NO₂는 각각 10 ppm, 34 ppm이 검출되었으나 버너를 가동한 상태에서는 각각 10 ppm 및 1 ppm으로 NO₂가 감소하였다. 무부하 상태로 버너를 가동하지 않은 엔진회전수 1,200 rpm에서는 NO 및 NO₂가 각각 685 ppm, 34 ppm으로 검출되었으며, 버너를 가동한 동일 회전수에서는 각각 435 ppm, 399 ppm으로 NO는 감소하고 NO₂는 증가하였다. 이 같은 조건은 엔진배기와 버너를 통과하면서 NO가 재생화되는 양 등이 관계되는 것으로 사료되며 추후 보다 많은 실험자료를 확보하여 질소산화물의 변화에 미치는 영향을 중요하게 고찰할 필요가 있는 것으로 판단된다. 매연이 제거되면 질소산화물은 촉매를 장착하여 제거하는 방향을 고려하여야 할 것이다.

4. 결론

디젤엔진의 매연을 포함한 DPF를 엔진의 모든 운전조건에서 재생시킬 수 있는 버너를 개발하기 위하여 실시된 엔진 동력계 실험에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 엔진 100% 부하상태에서 3,000 rpm까지 엔진회전수를 상승시킨 결과 엔진회전수의 급격한 변화에서도 화염의 안정성이 잘 유지되었으며 점화 및 소화를 원활하게 이룰 수 있었다. 본 실험에서 산화촉매를 이용한 매연입자를 산화온도까지 무리없이 엔진배기가스를 가열시킬 수 있는 고무적인 결과를 얻었다.

2) 버너를 통과한 엔진 배가스를 분석한 결과 일산화탄소는 버너를 가동하지 않은 상태보다 현저히 개선되는 결과를 보였다. 이는 버너의 사용이 엔진 배기가스의 조성을 악화시켜 대기오염을 증가시키는 우려를 불식시킬 수 있는 결과로 상용화의 가능성을 높여주었다.

3) 질소산화물의 경우에는 조건에 따라 NO 및 NO₂의 농도가 버너를 운전하지 않은 조건에 대해 상당히 달라지는 결과를 나타내었으며 이에 대하여서는 추후 보다 면밀한 검토가 이루어질 것이다. 질소산화물은 DPF와 연계하여 분해촉매를 장착함으로써 해결할 수 있을 것이다.

사 사

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

참 고 문 헌

- Zelenka, P., et al., "Ways Toward the Clean Heavy-Duty Diesel," SAE Paper 90060f(1990).
- 지요한, "디젤 분무의 거동 및 분무 입경 분포에 관한 연구," 서울대 박사 학위논문(1993).
- Johnson, J. H., et al., "A Review of Diesel Particulate Control Technology and Emission Effects," SAE Paper 940233(1994).
- 김상호, "직접 분사 디젤 엔진의 고압 연료 분사와 유해 배출물 저감," 서울대 박사 학위논문(1996).
- Tuteja, A. D., et al., "Selection and Development of a Particulate Trap System for a Light-Duty Diesel Engine," SAE Paper No. 920142(1992).
- Hideo Suto, et al., "Evaluation of Diesel Particulate Filter Systems for Urban Utility Automobiles," SAE Paper No. 920569(1992).
- Rao, V. D., Cikanek, H. A., and Horrocks, R. W., "Influence of Fuel Sulfur Content on Particulate Emissions of Ford 1.8 L Sierra Turbo Diesel Equipped with Flow Through Catalytic Converter," SAE Paper No. 940902(1994).
- Ludecke, O. A. and Dimiclt, D. L., "Diesel Exhaust Particulate Control System Development," SAE Trans., **92**(1), (1983).
- 박동선, 김재업, 이만복, 김응서, "디젤기관으로부터 배출되는 입자상물질 제거장치 개발에 관한 기초연구-버너방식," 한국자동차 공학회 95년도 춘계학술대회 논문집, pp. 347~352(1995).
- 김재업, 박동선, 이만복, 김응서, "디젤 입자상물질 제거장치의 재생 제어 방식," 한국자동차 공학회 95년도 추계학술대회 논문집, Vol. II, pp. 71~76(1995).
- 박동선, 김재업, 이만복, 김응서, "디젤 입자상물질 제거장치에 적용되는 버너의 설계 개념 및 기초 실험," 한국자동차 공학회지, **4**(3) 50~60(1996).
- 심성훈, 정상현, 홍원석, "DPF 재생용 버너의 엔진배기 중에서의 화염 안정성 구현을 위한 기초연구," 한국연소학회지, **10**(4), 18~23(2005).