

DPF 재생을 위한 버너-산화촉매 복합 적용

심성훈** · 정상현*

Combined Application of Burner and Oxidation Catalyst for Diesel Particulate Filter Regeneration

Sung Hoon Shim and Sang Hyun Jeong

ABSTRACT

Combined technique of burner and DOC has been used for regeneration of Diesel Particulate Filter. Experiments has been performed to increase the temperature of engine exhaust gas to burn the collected soot in DPF at all conditions of operation of 3 liter diesel engine. Ignition temperature of soot can be successfully obtained by heats of burner flame and residual fuel oxidation at diesel oxidation catalyst even in the condition of oxygen deficiency. It is found that the load of air compressor and heat loss can be reduced to the level of practical application. It is also found that CO and THC emissions are not increase by additional combustion of regeneration burner.

Key Words : DPF(Diesel Particulate Filter), Soot, DPF Regeneration, Burner, DOC(Diesel Oxidation Catalyst)

1. 서론

가솔린차량에 비해 높은 연비가 장점인 디젤엔진은 불완전연소에 의한 매연과 높은 연소온도로 인한 질소산화물의 생성과 같은 해결되어야 할 문제점을 안고 있다. 특히 최근에 미세분진으로 사회적 문제가 되고 있는 매연의 제거기술은 매우 중요한 연구 주제가 되고 있다. 디젤엔진에서 발생하는 매연의 대기 배출을 방지하는 효율적인 방법 중의 하나가 DPF이다. 현재 사용되고 있는 필터는 대부분 세라믹 모노리스(ceramic monolith)나 메탈파이버(metal fiber) 소재로 입자상의 매연을 포집한다. 필터에서 매연의 포집량이 증가하여 필터 양단의 차압이 상승하게 되면 엔진의 배압이 상승하는 동시에 배기에 장애가 발생하게 되므로 포집된 매연을 제거해 주어야 하는데 이 과정을 재생(regeneration)이라고 부른다. 재생은 미연탄소분이 대부분인 매연이 연소될 수 있도록 미연탄소분의 착화온도인 600~650℃로 상승 시켜주는 방법을 사용한다. 재생을 위한 온도 상승 방법에는 수동형과 능동형이 있는데 능동형은 전기 히터, 버너, 마이크로파 가열 등이 제안되어 있으며 본 연구에서도 버너를 이용한 능동형 재생을 주제로 한다[1-3]. 또 이러한 재생과정에서 원래의 엔진배기

가스의 조성에 비해 재생으로 인해 공해 측면에서 악화되지 않아야 하며[4], 동시에 운전조건에 제약이 존재하는 수동형 재생방법에 대해 재생 가능한 조건에 있어서 유리함을 갖추어야 한다[5].

운전조건에 따라 압력과 온도변동이 심한 디젤엔진의 배기관 내에서 안정된 화염을 유지하는 재생용 버너를 개발하기는 쉽지 않다. 지금까지의 재생용 버너는 거의가 정지시나 공회전시에만 사용하여야 하는 문제점을 안고 있었다[6-8]. 본 연구에서는 엔진의 모든 운전조건, 즉 엔진 회전수나 부하 변동의 어느 조건에서도 안정된 연소화염을 유지할 수 있는 재생용 버너를 개발하는 것이 목적이다.

디젤엔진의 배기가스는 엔진부하와 회전수에 따라 낮게는 150℃에서 높게는 550℃까지 상승한다. 이를 매연의 착화온도까지 상승시키기 위해 연소 화염만을 이용하는 경우에는 연료의 완전연소를 위한 산화제 즉, 공기를 충분히 공급해 주어야 하므로 추가되는 공기량만큼을 가열시키기 위한 추가열량이 필요하게 되며 그만큼 배기 가스량도 증가하게 된다. 동시에 공기를 공급하기 위한 압축기의 용량도 증가하여 자동차의 전력을 소모시키게 되는 것이다. 따라서 최소한의 공기량만으로 배기가스를 매연의 착화온도까지 가열하는 것이 매우 중요한 기술적 테마가 되고 있다[9]. 디젤엔진의 배기가스 중에는 운전조건에 따라 변하지만 잔류산소가 많게는 17%에

* 한국기계연구원 신재생정시스템연구소

† 연락저자, shshim@kimm.re.kr

서 적게는 7% 내외까지 존재한다. 일반적으로 연소가 이루어지기 위해서는 공기 중의 산소함유율이 15% 이상이 되어야 하는 것으로 알려져 있으므로 엔진 배기가스 중에 함유된 산소를 연소에 이용하기에는 어려운 조건이 많다. 그러나 이런 낮은 농도의 산소라도 산화촉매를 이용하면 산화제로 사용할 수 있다는 점에 착안하여 본 연구에서는 버너와 산화촉매를 복합하여 버너를 이용하여 엔진배기가스의 온도를 산화촉매의 활성온도까지만 상승시키고 매연의 산화온도까지는 산화촉매를 이용하여 상승시키는 방법을 적용하였다. 본 논문은 이전의 연구에 화염안정성과 연소특성을 주로 발표한 DPF재생용 버너[10,11]를 개선한 후속 연구로 버너-산화촉매를 조합한 복합 DPF재생방식을 적용한 실험결과를 요약하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1. 엔진 운전조건에 따른 배기 분석

본 연구에 사용된 디젤엔진은 국내 K사의 3,000 cc급 상용엔진으로 본 엔진의 회전수 및 부하조건에 따라 배기가스의 온도 및 산소농도의 변화를 먼저 확인하였다. 다음의 그림 Fig. 1 및 2에 그 결과를 나타내었다. 버너 전단에 도달하기 직전의 배기가스의 온도변화를 도시한 Fig. 1을 보면 엔진 회전수와 부하 모두 낮은 왼쪽 하단 영역의 배기가스의 온도는 150°C밖에 되지 않는다. 배기온도는 엔진 회전수와 부하의 증가에 따라 점점 상승하며 대체로 부하율 60% 이상에서는 350°C 이상을 유지한다. 일반적으로 산화촉매는 하니콤 형태의 세라믹 기질에 백금 등을 코팅한 것으로 코팅한 백금의 양에 따라 활성온도가 달라진다. 본 연구에 사용된 산화촉매의 활성온도가 300~350°C 이상이므로 이 영역에서는 버너를 사용하지 않고도 산화촉매에 연료와 산화제만 공급해줌으로써 DPF전단의 온도를 매연의 착화온도인 600~650°C 이상으로 상승시킬 수 있는 것이다. 즉 버너를 이용하여 엔진배기의 온도를 산화촉매의 활성온도까지 상승시켜주어야 할 영역은 대체로 부하율 60% 이하의 영역임을 알 수 있다.

엔진배기 중의 산소농도 분포를 나타낸 Fig. 2를 보면 엔진회전수가 높을수록, 또 부하율은 낮을수록 배기가스에 잔류하는 산소의 농도가 높다는 것을 알 수 있다. 반면 부하율 60% 이상에서 엔진 회전수가 2,000 rpm 이하인 경우에는 잔류산소의 농도가 10% 미만이다. 이런 배기 조건에서는 버너의 화염을 유지하기가 매우 어려운 상태가 된다. 앞에서 언급한 바와 같이 산소농도 15% 이하에서는 화염의 유지가 곤란한 것으로 알려져 있으므로 버너

에서 화염을 유지시키기 위해서는 별도로 공기를 추가해 주어야 한다. 그러나 DPF에 포집되어 있는 매연의 착화온도 이상으로 배기가스를 가열시키기 위해 필요한 연료량 전체를 완전 연소시키기 위한 공기량을 전량 공급하려면 필요한 압축기의 용량이 커지게 되어 배터리에서 차지하는 부하율이 높아지고 따라서 다른 전기 전자기기의 작동에 필요한 전원 공급이 어렵게 된다. 따라서 버너에서의 연소열은 엔진의 배기가스를 산화촉매의 활성온도까지만 상승시키는데 이용하고 나머지 필요한 열은 산화촉매를 이용해서 얻는 것이 합리적인 방안이 되는 것이다. 특히, 엔진배기 중에 함유된 저농도의 산소는 연소에서는 이용하기 어려우나 산화촉매에서는 반응에 이용될 수 있으므로 외부에서 별도로 추가하여야 할 공기량을 줄일 수 있는 장점이 있다.

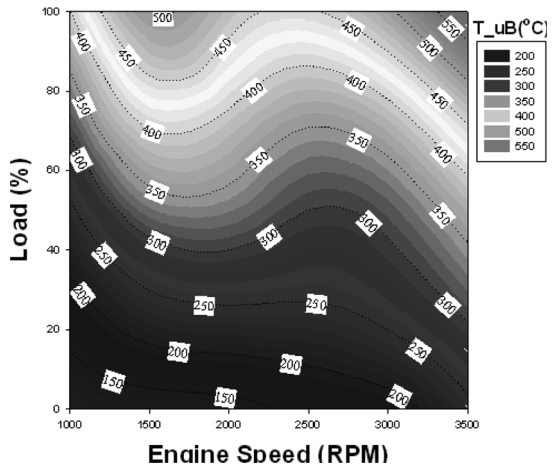


Fig. 1. Temperature profiles of engine exhaust gas with engine rpm and load.

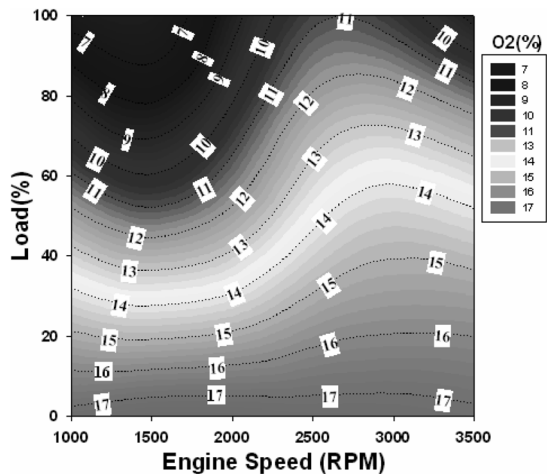


Fig. 2. Oxygen concentration profiles of engine exhaust gas with engine rpm and load.

2.2 실험장치의 구성

본 연구에서 DPF의 재생을 위한 구성은 Fig. 3과 같다. 매연입자를 포집하는 DPF의 전단에 산화촉매인 DOC가 위치하며 이 DOC의 상류부에 버너가 위치한다. 엔진으로부터 배출된 배기가스는 버너부로 유입되며 화염에 의해 1차 가열되어 DOC의 활성온도 이상으로 상승한다. 이때 버너에서는 DPF에 포집된 매연의 착화온도 이상으로 배기가스를 가열할 수 있는 정도의 연료가 공급되기 때문에 연소되지 않은 나머지 연료는 DOC로 유입되어 산화되면서 DPF 전단에 도달하는 배기가스의 온도를 매연의 착화온도인 600~650℃ 이상으로 승온시킬 수 있도록 구성한 것이다. 배기가스의 온도는 버너 전단(T_{uBurner}), 버너 후단(=DOC전단, T_{dBurner}), DPF전단(T_{uDPF}) 및 DPF후단(T_{dDPF})에서 각각 측정하였다.

당 연구에서 개발하고자 하는 버너의 가장 중요한 성능조건은 1 kW급으로 한정되어 있는 자동차 배터리의 전력소모를 최소화하면서 압력과 유속의 변동이 심한 엔진배기관속에서 안정된 화염을 형성할 수 있도록 하는 것이다. 본 버너에서 전력이 사용되는 부분은 연료인 경유를 기상으로 기화시키기 위한 히터와, 연료를 연소시키기 위해 필요한 산화제인 공기를 공급하는 압축기이다. 히터는 액체연료인 경유를 기화시킴으로써 점화와 연소를 용이하게 하고 동시에 액체에 비해 체적이 1,000배 이상으로 증가되는 기체상으로 전환함으로써 엔진 배기의 압력과 변동에 효과적으로 대응할 수 있도록 하는 것이다.

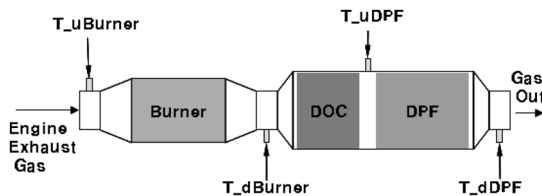


Fig. 3. Schematic of experimental apparatus.

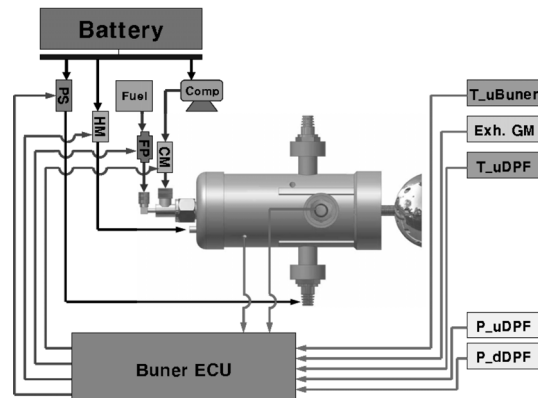


Fig. 4. Burner assembly and accessories.

재생용 버너의 구성은 Fig. 4와 같다. 배터리에서 히터와 공기압축기, 버너 제어기 및 점화기에 필요한 전력을 공급하고 버너 제어기는 각 센서의 측정 자료를 전송받아 제어변수를 조절하게 된다. 가장 중요한 변수가 DPF 전단의 배기가스온도이므로, 이 온도가 매연의 착화온도 이상으로 되도록 연료 공급량을 조절한다. 이때, 버너 출구의 온도가 과도하게 상승하면 산화촉매가 손상되어 활성이 저하되는 열화현상이 발생하거나 세라믹 기질이 용융되는 경우가 발생하므로 최대한 정밀한 제어가 필요하다.

2.3. 실험방법

본 연구에서는 엔진동력계에 장착된 국내 K사의 3,000 cc급 디젤엔진을 사용하여 엔진 회전수와 부하변화의 전 조건에서 버너-DOC 복합 재생장치의 성능을 분석하였다. Fig. 5에서 보는 바와 같이 엔진의 배기관에 버너, DOC 및 DPF를 연결하여 버너 및 DOC에 의한 배기가스의 온도 및 조성의 변화를 추적하였다. 엔진동력계는 회전수와 부하가 제어실에서 별도로 이루어지며, 배가스의 조성은 DPF의 후단에서 O₂, CO 및 THC를 측정 분석하여 엔진의 원배기와 비교하였다. 사진에서 버너의 화염은 경유를 기화하여 연소하므로 거의가 투명한 청염인 깨끗한 화염이 형성되고 있음을 볼 수 있다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 버너-DOC 복합방식에 의한 가열

Fig. 6은 엔진의 전 운전조건에서 버너의 화염이 존재하는 조건의 상태에서 DPF전단의 배기가스 온도를 최대한 상승시킨 결과를 도시한 것이다. 이 그

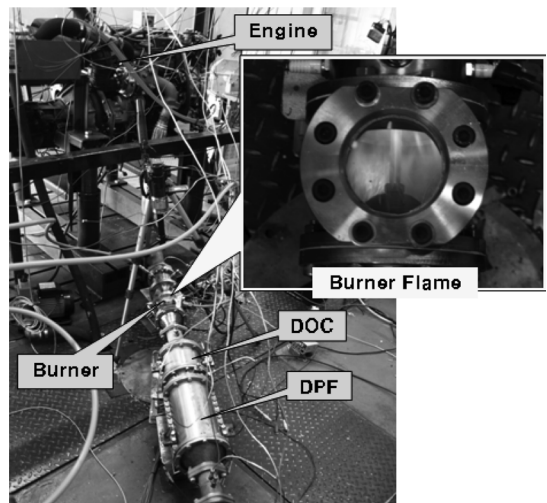


Fig. 5. Engine bench test.

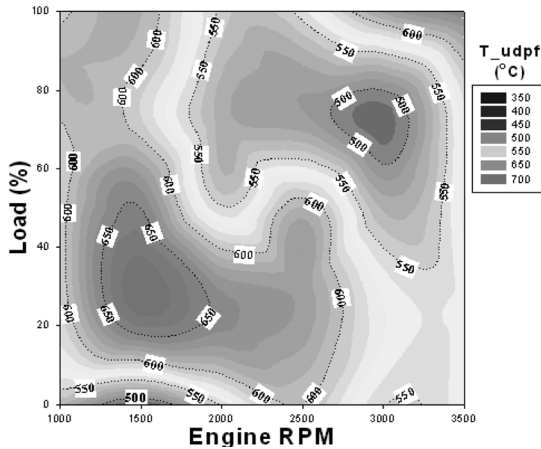


Fig. 6. Temperature profiles of DPF upstream with engine rpm and load heated by burner flame only.

림에서 보는 바와 같이 엔진 회전수 2,000 rpm 이하에서 부하율 0~5%범위에서 배가스의 온도가 600°C 이상으로 가열되지 않고 있으며, 엔진 회전수 2,000 rpm에서 3,500 rpm의 범위에서 부하율 40%에서 100% 사이의 일부 구간에서도 가열이 600°C 이상으로 가열되지 못하고 있다. 즉, 이러한 조건의 엔진배기의 온도와 유량에 대하여 필요한 버너의 부하를 충분히 올린 상태에서는 화염을 유지할 수 없게 되어 버리는 것이다. 또한, 연소 화염을 모든 조건에서 유지할 수 있다고 하더라도 버너의 연료유량이 증가함에 따라 완전연소에 필요한 공기량도 증가하게 되어 이 공기량을 가열시키는 데에 그만큼 더 많은 열량이 소모되므로 에너지 측면에서 비효율성이 증가하게 된다.

따라서 본 연구에서는 상기와 같은 문제를 해결하기 위하여 앞에서 설명한 바와 같이 버너와 DOC를 복합적으로 사용하는 방식을 적용하였다. Fig. 7에 이 복합방식으로 엔진배기를 가열한 결과를 도시하였다. 이 그림에서는 대부분의 엔진 운전조건에서 DPF전단의 배기가스 온도가 600°C를 상회하고 있음을 알 수 있다. 즉, Fig. 6의 연소열에 의해서 부하를 충분히 올리지 못한 구간도 DOC에 연료를 추가 공급함으로써 발생하는 산화열을 이용하여 DPF 전단의 온도를 포집된 매연의 산화에 필요한 온도만큼 상승시킬 수 있는 것이다. 극단적으로 엔진의 모든 운전조건에서 버너의 화염은 DOC의 활성온도인 300~350°C까지만 상승시키고 나머지 매연의 산화온도인 600°C까지는 DOC에 의한 산화열을 이용하는 것이 연소에 필요한 공기의 양을 줄일 수 있으며 동시에 배기가스 중 낮은 농도의 잔류산소를 DOC에서 이용할 수 있으므로 더욱 경제적인 방안이 될 수 있을 것이다. 그러나 이 방법을 적용한

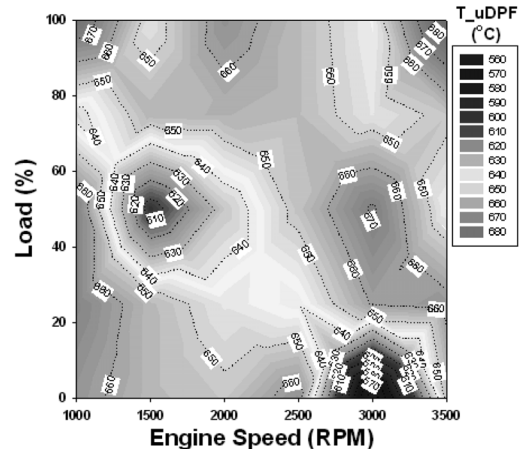


Fig. 7. Temperature profiles of DPF upstream with engine rpm and load by combined heating of burner and DOC.

경우에도 회전수 3,000 rpm에서 10% 이하로 부하가 아주 낮은 좁은 영역에서 배가스의 온도를 600°C 이상으로 상승시키지 못한 구간이 나타나고 있는데, 이 영역은 공회전에 가까워 아주 낮은 온도에 많은 유량의 엔진배기로 인한 것으로 보이나 실제 운행 조건에서는 이처럼 높은 회전수에 낮은 부하의 구간은 거의 나타나지 않으므로 이로 인한 문제의 발생은 없을 것으로 판단된다.

정리하면, 버너의 화염만으로 배가스의 온도를 상승시킬 경우 필요한 연료량 모두를 연소시키기 위한 추가 공기가 필요하며 동시에 이 추가 공기를 매연의 착화온도까지 가열시켜야 할 열원이 더 필요하므로 연료의 소모량이 증가하게 된다. 반면 DOC를 버너와 함께 이용하면 엔진배기가스의 온도가 DOC의 활성온도보다 낮은 구간에서만 버너에 화염을 형성시켜 가열하고, 일단 DOC의 활성온도 이상으로 상승한 영역에서는 연료만 기화하여 공급하게 되면 배기가스 중의 잔류 산소와 함께 산화촉매에서 연료가 산화되므로 추가 공기를 가열하는 연료의 추가 소모가 필요 없게 되는 것이다.

이와 같은 버너-DOC복합방식의 엔진 운전조건에 따른 배기가스 가열 특성은 Fig. 8에서 잘 나타난다. 이 그림에서 T_{uB} 및 T_{dB} 는 각각 버너의 전단과 후단의 온도를 버너 가동시간에서부터 측정된 것이며, T_{uDPF} 및 T_{dDPF} 는 각각 DPF의 전단과 후단의 온도를 도시한 것이다. 그림에서 T_q 는 각 회전수에서의 엔진 토크(torque)를 나타낸 것으로 부하율로 보면 각각 0에서부터 25%, 50%, 75% 및 100%를 나타낸 것이다. Fig. 8의 (a)의 엔진 회전수 1,000 rpm에서의 경우를 보면 엔진 부하율 50%까지는 버너 후단의 온도가 650°C 이상으로 상승되어 있

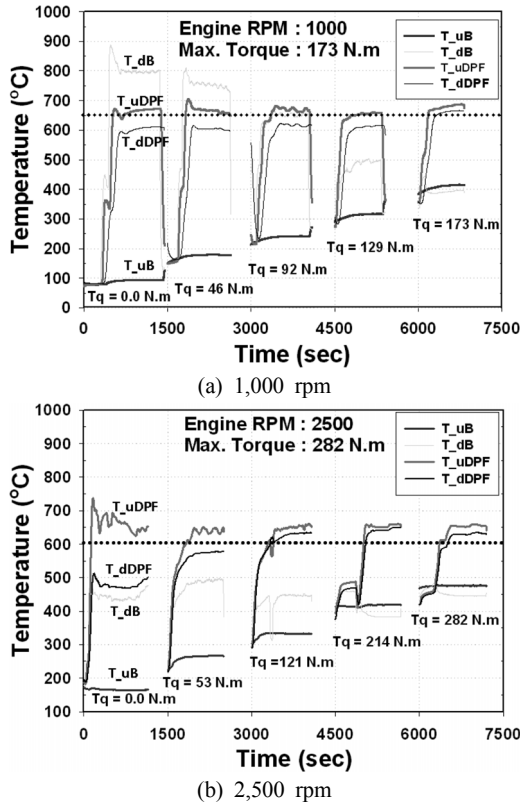


Fig. 8. Temperature variations of upstream and downstream of burner and DPF with engine rpm and load by combined heating of burner and DOC.

다. 이는 버너에서 DOC를 이용하지 않아도 화염만으로 DPF전단의 온도를 650°C 이상으로 상승시킬 수 있음을 뜻한다.

즉, 이 조건은 본 실험에서 사용된 압축기에서 공급되는 공기량과 엔진 배기가스 중의 잔류산소량만으로 매연 착화온도까지의 상승에 필요한 연료량을 전량 연소시킬 수 있음을 말해주는 것이다. 앞의 그림 Fig. 2에서 보면 1,000 rpm에서 부하율 50%까지의 운전조건에서 엔진 배기 중의 잔류산소량은 12% 이상이다. 그러나 부하율 75%의 경우에서 보면 버너후단의 온도는 DPF전단의 온도 즉, DOC후단의 온도보다 낮다. 이 조건에서의 배기가스 중의 잔류산소농도는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 10% 이하 8%까지 낮아지고 있다. 즉, 엔진 배기 중의 잔류산소는 연소에 사용될 수 없다는 것을 의미한다. 따라서 버너에서는 압축기를 통해 추가로 공급된 공기량에 대한 연료량만을 연소시키고 나머지는 DOC에서의 산화발열을 통해 DPF전단의 온도를 만족시키는 것이다. 또한, 부하율 100%에서는 버너 전단의 온도가 DOC의 활성온도를 상회하고 있고 잔류산소의 농도는 더욱 감소하여 7% 이하의 수준에 있

으므로 버너에서 화염을 형성시키지 않고 연료만을 기화시켜 DOC에 공급함으로써 DPF전단의 온도를 매연의 산화온도 이상으로 상승시킬 수 있음을 확인하였다.

Fig. 8의 그래프에서 버너 후단의 온도가 버너 전단의 온도보다 높은 경우는 버너에 화염이 존재하여 연소열에 의해 배기가스가 가열되고 있음을 뜻한다. Fig. 8(b)에서 엔진 회전수가 2,500 rpm인 경우를 보면 모든 부하조건에서 버너 후단의 온도가 DPF전단의 온도보다 낮다는 것을 알 수 있다. 부하율 0%, 25% 및 50%의 조건에서는 버너 후단의 온도가 버너 전단의 온도보다 높으므로 화염이 존재는 하지만 DPF전단의 온도보다 버너 후단의 온도가 낮으므로 그 차이만큼이 DOC의 산화열에 의해서 가열된 것임을 알 수 있다. 다음의 부하율 75%에서 보면 앞의 Fig. 2에서 엔진 배기 중의 잔류산소농도가 12% 내외로 연소가 원활하게 진행되기 어려운 조건이다. 이 그래프의 앞 부분을 보면 버너 후단의 온도가 버너 전단의 온도보다 높고 DPF전단의 온도와 거의 비슷하다. 이 구간에서는 버너의 연료를 소량으로 공급하면 연소 화염은 형성시킬 수 있으나 DPF전단의 온도를 매연의 산화온도만큼 충분히 상승시킬 수가 없어 DPF전단의 온도가 500°C에 미치지 못하고 있다. 여기서는 DOC에서 발열할 만큼의 충분한 연료를 공급하지 못한 상태인 것이다. 연료량을 상승시키게 되면 버너 후단의 온도가 버너 전단의 온도보다 낮아진다. 즉, 화염이 꺼지고 DOC의 산화열만으로 DPF전단의 온도가 상승하는 것을 보여준다. 이와 같이 버너 전단의 온도가 DOC의 활성온도 이상으로 유입되는 경우에는 버너에서 연소시키지 않고 연료만 기화시켜 DOC에서 산화시켜 열을 발생시키는 것이 유리하다. 부하율 100%에서는 버너에서 화염이 없이 DOC만으로 DPF전단의 온도를 매연의 산화온도 이상으로 가열하였음을 알 수 있다. 결과적으로 버너의 화염이 유지될 수 있는 조건이라 하더라도 연소용 공기의 가열에 추가로 열이 소모되므로 버너는 DOC의 활성온도까지만 상승시키고 나머지 부분은 DOC의 산화발열에 의해 상승시키는 것이 에너지 절감 및 연소용 공기 공급용 압축기의 용량 축소 등 경제적인 측면에서 효과적이다.

3.2. 배기가스 조성 분석 결과

버너와 DOC의 복합재생에 따른 엔진 배기가스 조성의 변화를 확인하기 위하여 DPF후단에서 측정 분석을 수행하였으며 그 결과 중 일부를 Fig. 9에 도시하였다. Fig. 9(a)에서 부하율이 0%일 경우를 보면 CO의 배출농도는 버너를 가동하기 전 약 60 ppm대

에서 버너를 가동함에 따라 급격히 감소하여 10 ppm대로 낮아지고 있다. 이는 버너에서 CO의 추가 발생이 없으며 오히려 엔진 배기 중의 미연 CO를 버너 또는 DOC에서 산화시키고 있음을 보여주는 결과이다. CO의 배출농도에 대해서는 전체 운전조건에 매우 양호한 결과를 나타내고 있다. 질소산화물(NOx)의 경우에는 엔진배기에서의 농도와 같다. 버너의 가동온도가 낮고 DOC를 이용함으로 이 복합재생장치에서 질소가 추가적으로 산화되어 질소산화물이 증가되는 영향은 없는 것으로 판단된다.

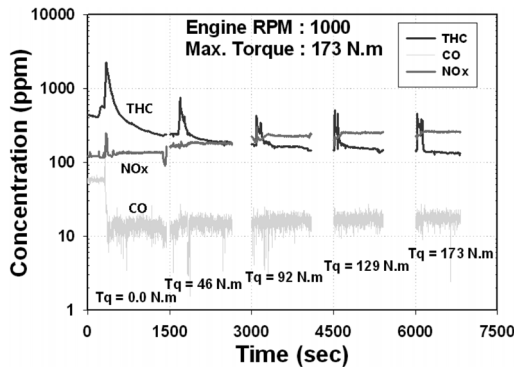
다만, THC의 경우에는 버너의 가동 초기에 다소 증가하였다가 온도의 상승에 따라 급격히 감소하는 것을 볼 수 있다. 이 같은 THC의 초기증가현상을 대부분의 운전조건에서 나타나며 산화촉매의 결점으로 지적되는 미반응 탄화수소의 슬립(slip)에 의한 것으로 설명할 수 있다. 다만 운전초기 짧은 시간에 나타나는 현상이며 이후에는 오히려 엔진배기의 상태보다 THC의 농도가 버너의 연소에 의해 감소하는 것을 감안하면 버너로 인한 THC배출은 증가되지 않을 것으로 볼 수 있으나 추후 이 초기 THC의 저감에 대한 연구가 추가되어야 할 것이다. 전반적으로

로 본 버너-DOC복합 재생과정에서 엔진배기 가스의 질이 악화되는 영향은 없을 것으로 볼 수 있다.

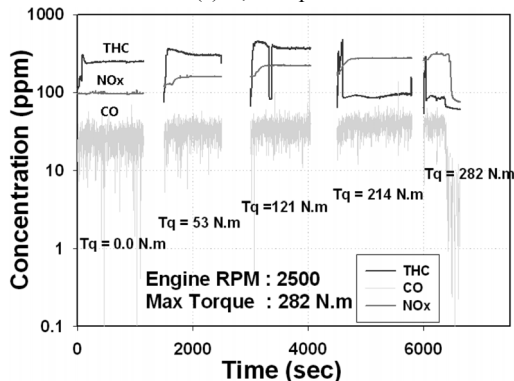
3.3. 엔진 운전 모드 변화 및 실차 실험

Fig. 10에는 엔진 동력계 실험에서 일정시간 동안 속력을 일정하게 유지하는 정속주행 중에 재생장치를 가동하여 배기 가스의 온도를 일정하게 유지하는 실험 결과를 도시하였다. 이 결과에서 보는 바와 같이 버너-DOF 복합재생장치 후단의 온도 즉, DPF전단의 온도는 주행속도의 변화에 잘 추종하여 실험 조건의 전 구간에서 650℃ 이상으로 거의 일정하게 유지되고 있음을 알 수 있다. 그러나 실제 주행에서는 이와 같이 정속운전이 거의 이루어지지 않으며 특히 시내 주행에서는 교통 체증, 신호기, 도로의 경사도 등, 도로의 여건에 따라 매우 변수가 많으므로 적절한 제어가 이루어지기 위해서는 많은 운행을 통해 제어가 잘 이루어질 수 있도록 변수를 고려하여야 한다.

본 연구에서는 본 재생장치를 3,000 cc급 1톤 트럭에 탑재하여 시내 주행 실험을 하였으며 그 결과를 Fig. 11에 도시하였다. 이 결과에서 보면 운행조



(a) 1,000 rpm



(b) 2,500 rpm

Fig. 9. THC, CO and NOx variation at downstream of DPF with engine rpm and load by combined heating of burner and DOC.

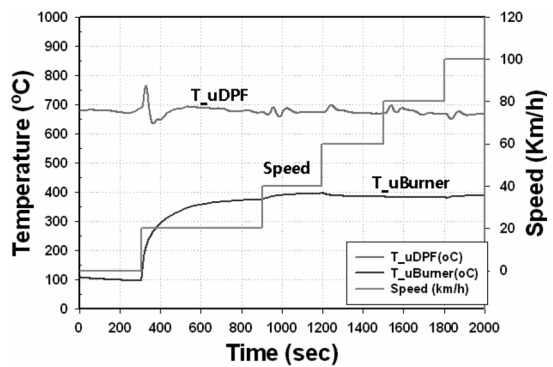


Fig. 10. Engine mode test (constant speed mode).

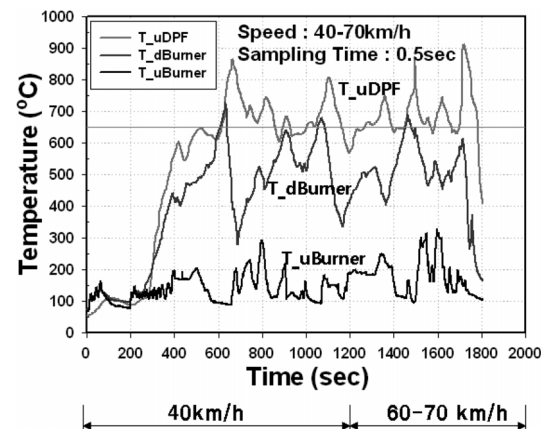


Fig. 11. Results of road driving test.

건에 따라 DPF 전단의 온도 상승 및 하강이 매우 빠르게 변화하고 있음을 알 수 있으며 전반적으로 650°C의 제어에 무리없이 추종하고 있음을 보여준다.

그러나 일순간이라도 DOC전단 온도가 급격히 상승할 경우 산화촉매를 열화시키거나 기질을 용융시키는 등 장치의 내구성과 신뢰성에 문제를 야기할 수 있으므로 이를 불식시킬 수 있도록 매우 신중한 제어변수의 입력이 필요하며 본 연구에서 지속적으로 검토 보완이 이루어질 것이다. 또한, 본 연구에서는 버너와 산화촉매를 이용하여 DPF에 포집된 매연을 연소시키기 위한 가열성능과 배기가스를 주로 분석하였으나 최종적으로 DPF의 재생성능은 포집된 매연의 연소로 DPF전후단의 차압이 감소 여부로 판단할 수 있으므로 계속되는 연구에서 이 부분을 집중적으로 분석하게 될 것이다.

4. 결론

디젤엔진의 매연을 포집한 DPF를 모든 주행조건에서 재생시킬 수 있는 재생장치로써 버너-DOC 복합재생방안을 제안하였으며, 실험 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 엔진의 운전조건에 따라 엔진 배기 중의 잔류 산소농도는 7%에서 17%까지 변화하였으며 잔류 산소농도 약 12% 이하에서는 필요한 연료량의 연소가 불가능하였으며 DOC를 이용한 복합재생이 필요하였다.

2) 버너의 연소 화염만으로 엔진 배기를 가열하는 경우에는 운전조건에 따라 연소를 유지할 수 없는 조건이 발생하고 연료의 연소를 위한 추가 공기의 공급량 증가 및 열손실이 발생하므로 버너로는 DOC의 활성온도까지만 가열하고 DOC에 추가 연료를 공급하여 산화열을 이용하여 가열하는 것이 효율적이라는 결론을 얻었다.

3) 재생장치로 인한 DPF후단의 배기가스의 조성은 CO는 오히려 저감되었으며, NOx는 엔진 배기가스의 농도 유지, THC는 운전 초기에 다소 상승하였다가 즉시 저감되어 재생장치로 인한 배기가스 조성의 악화는 없을 것으로 판단되었다.

4) 정속주행모드와 실차 주행실험에서 주행 조건의 변화에 대하여 설정온도를 무리없이 추종하여 유지되었으나 보다 설정온도에서 편차가 작은 정밀한 온도 제어를 위한 추가 연구가 요구된다.

후기

본 연구는 환경부 Eco-Star Project의 무·저공해 자동차사업단의 지원으로 수행되었으며 관계자 여

러분께 감사드립니다.

참고문헌

- [1] J. Kong et al., "Infrared thermometry measurement of temperature distribution in the microwave regeneration of diesel particulate filters", *Int. J. Engine Res.*, Vol. 6. No.1, 2005, pp. 61-71
- [2] S. Bendaïd, et al., "Numerical simulation of soot filtration and combustion within diesel particulate filters", *Chemical Engineering Science*, Vo 65, 2010, pp. 357-363
- [3] S. Pallavkar, et al., "Active regeneration of diesel particulate filter employing microwave heating", *Ind. Eng. Chem. Res.*, Vol. 48, pp. 69-79
- [4] H. Dwyer, et al., "Emission form a diesel car regeneration of an active diesel particulate filter", *Journal of Aerosol Science*, Vol 41. 2010, pp. 541-552
- [5] 황진우, 이창식, "연속재생 DPF의 재생 성능에 미치는 차량 운행패턴의 역할", *대한기계학회 논문집 B권*, 제33권, 제5호, 2009, pp. 358-364
- [6] 박동선, 김재업, 이만복, 김응서, "디젤기관으로부터 배출되는 입자상물질 제거장치 개발에 관한 기초연구-버너방식", *한국자동차 공학회 95년도 춘계학술대회 논문집*, 1995, pp. 347-352
- [7] 김재업, 박동선, 이만복, 김응서. "디젤 입자상물질 제거 장치의 재생 제어 방식", *한국자동차 공학회 95년도 추계학술대회 논문집*, Vol. II, 1995, pp. 71-76
- [8] 박동선, 김재업, 이만복, 김응서, "디젤 입자상물질 제거장치에 적용되는 버너의 설계 개념 및 기초 실험", 96년 5월 *한국자동차공학회 논문집*, 제4권, 제3호, 1996, pp. 50-60
- [9] 차민석, 이대훈, 김관태, 이재욱, 송영훈, 김석준, "매연여과장치 재생을 위한 플라즈마 응용버너 개발", *한국연소학회 논문집*, 제12권, 제4호, 2007, pp. 8-13
- [10] 심성훈, 정상현, 홍원석, "DPF 재생용 버너의 엔진배기 중에서의 화염 안정성 구현을 위한 기초연구", *한국연소학회 논문집*, 제10권, 제4호, 2005, pp. 18-23
- [11] 심성훈, 정상현, 조규백, "디젤엔진 매연여과용 필터 재생용 버너의 연소특성" *대한환경공학회 논문집*, 제28권, 제12호, 2006, pp. 1251-1254