

# Traps with Fuel Burners

金萬永, 선임연구원乙, 崔圭勳, 수석연구원, 디젤엔진시험팀, 譯  
W. Addy Majewski, PhD, President of Ecopoint Inc., <http://www.dieselnet.com/tg.html>, 著

## Abstract

디젤연료버너(diesel fuel burner)는 필터의 재생(regeneration)을 촉진시키기 위하여 트랩(trap)의 상류 지점에 있는 배기가스의 온도를 높이는데 사용된다. 버너(burner)의 필터는 단점시스템(single point system)과 전체흐름 시스템(full flow system)의 두가지로 구분된다. 전체흐름 시스템(full flow system)은 차량의 정상운행시의 재생(regeneration)에 사용되지만 열적으로 균형있는 재생(thermally balanced regeneration)을 보장하기 위해서는 복잡한 제어 시스템을 필요로 한다. 한편, Deutz社에서 개발한 DPFS 필터는 전자제어되는 전체흐름(full flow) 방식의 진보된 버너 재생(burner regeneration) 시스템이다.

## 1. Introduction

연료버너(fuel burner)는 배기가스의 온도를 포집된 그을음(soot)의 산화(oxidation), 즉 연소(burning)를 촉진시킬 수 있을 정도의 온도까지 상승시키기 위해 사용될 수 있다. 전기히터 재생(electric heater regeneration) 시스템 이외의 연료버너(fuel burner) 시스템은 디젤 능동필터(active filter) 시스템에 두 번째로 많이 도입되어 사용되고 있는 방법이다. 일반적으로 버너(burner)의 연료로는, 예를 들어 프로판(propane)과 같은 어떠한 연료라도 사용될 수 있지만, 디젤차량의 연료로 사용하고 있어서 쉽게 구할 수 있는 디젤연료(diesel fuel)가 가장 많이 사용된다.

연료버너(fuel burner)는 일반적으로 배기가스 전체를 가열시킨다. 부분흐름 전기필터(partial flow electric filter)와는 달리 재생(regeneration)이 일어나는 동안 배기가스는 필터를 우회(bypass)하여 흐르지 않는다. 하지만, 일부 시스템은 엔진의 어떠한 작동 중에도 재생(regeneration)을 하도록 설계되어 있지만, 일부 시스템의 경우 재생(regeneration)을 하는 동안 엔진은 공회전(low idle) 상태에 있어야만 할 것을 요구한다. 이러한 차이에 따라 버너(burner)를 이용하는 필터 시스템을 다음의 두 가지 그룹으로 분류한다. 즉,

- single point burner systems, and
- full flow burner system.

단점 필터시스템(single point filter system)의 경우 미리 정해놓은 그을음의 부착량(soot load)에 도달할 때까지 필터 엘리먼트(filter element)에 그을음(soot)이 부착되는데, 일반적으로 배기가스의 배압(exhaust backpressure)을 측정함으로써 부착량(load)을 파악한다. 필터의 제어시스템에 의해 그을음의 최대 부착량(maximum soot load)이 감지되면, 이 제어시스템은 “재생 시기(need for regeneration)”가 됨을 알리는 경고등(warning light)을 활성화시키고, 차량운전자는 재생(regeneration) 시작준비를 하고 재생(regeneration)이 진행되는 15~20 분 동안 엔진을 공회전(low idle)시킨다. 한편, 버너(burner)는 엔진공회전(low idle) 속도에서 배기가스의 온도를 적당한 수준으로 증가시킬 수 있도록 계산된 일정동력(constant power) 하에서 작동한다.

이러한 단점 필터시스템(single point filter system)은 디젤지게차와 같이 제한된 공간에서 운행하는 차량에 적합하다. 하지만, 운전자의 수고 및 재생(regeneration) 과정동안은 공회전(idling) 상태에 있어야 하기 때문에 도로를 주행하는 차량에는 불편하여 적용할 수가 없다. 이 시스템은 주로 Eberspächer 社와 HUG 社에서 제품을 출시하고 있다.

한편, 전체흐름 버너시스템(full flow burner system)의 특징은 차량의 실제 운전중의 배기가스에서 완전히 자동화된 재생(regeneration)이 일어난다는 것이다. 입자의 포집과정은, 단점 시스템(single point system)과 비슷하게, 미리 정해놓은 그을음의 부착량(soot load)에 도달할 때까지 진행된다. 하지만, 단점 시스템(single point system)과 달리, 필터의 재생(regeneration)은 운전자의 수고 또는 장치의 작동에 대한 지식이 없어도 필터제어기(filter controller)에 의해서 자동적으로 시작된다. 필터의 제어장치는 버너(burner)의 작동을 시작하고 필터의 요구온도(required filter temperature)를 유지시킬 수 있도록 버너(burner)를 제어한다. 재생(regeneration)이 완전히 끝난 후, 제어기(controller)는 버너(burner)의 작동을 중지시키고 그을음(soot)의 포집을 재개한다.

전체흐름 버너시스템(full flow burner system)은, 필터 모노리스(filter monolith)의 열응력을 최소화시킬 수 있는 “열적으로 균형있는 재생(thermally balanced regeneration)”을 유지하기 위하여 복잡한 전자제어장치를 필요로 한다. 여기에서 “열적 균형(thermal balance)”이라는 용어의 의미는, 버너(burner)에서 나오는 열에너지(thermal energy)는 필터의 그을음 부착량(soot load) 및 배기가스의 실제 유동조건(actual exhaust gas flow condition)에 해당함을 의미한다. 부착된 그을음(soot)으로 인하여 재생(regeneration) 과정 중의 추가의 열발생이 일어나고, 이는 필터의 온도를 급격히 올리는 작용을 하게 되어 결국 재생장치(regeneration unit)의 과열(overheating)을 초래할 수도 있다. 따라서, 필터제어기(filter controller)는 배기가스의 온도를 효과적으로 제어할 수 있도록 필터에 부착되는 그을음의 실제 양(actual soot load) 뿐만 아니라 엔진의 실제 회전수(actual engine speed)를 체크하여 버너(burner)에 의해 생성되는 열에너지(thermal energy)의 양을 제어할 수 있어야 한다. 한편, 재생(regeneration)의 형태는 일정한 고온을 계속 유지하는 방법보다는 어떠한 온도변화 형태(temperature profile)가 연속적으로 이루어지는 사이클(cycle) 형태로 수행되도록 한다.

버너(burner) 그 자체는 시스템의 또 다른 중요한 구성장치이다. 한편, 필터 제조업체에 따르면 버너(burner)와 관련된 많은 문제들이 발생하고 있는 것으로 알려지고 있다. 성능이 향상된 버너(burner)를 만들기 위해서는 보다 많은 실제경험 및 실제 차량시험 등의 자료(feedback)가 필요하다.

버너(burner)의 작동과 관련하여 약간의 연비손실(fuel economy penalty)이 발생한다. 한편, 미리 정해진 임의의 그을음 부착량(pre-set soot loading)에 도달하면 재생(regeneration)이 시작되기 때문에 버너의 필터(burner filter)는 대부분의 수동 필터시스템(passive filter system)의 경우보다 엔진배압(backpressure)이 낮다. 따라서, 수동시스템(passive system)과는 달리 버너시스템(burner system)은 높은 엔진배압(backpressure)과 관련된 연비의 희생은 발생하지 않는다.

한편, 버너 필터시스템(burner filter system)과 관련하여 간혹 발생하는 또 다른 문제는 버너(burner) 그 자체에서 생성되는 2차오염 문제를 들 수 있다.

## 2. Deutz Diesel Filter System

Deutz社はDPFS(diesel particulate filter system)라는 이름을 갖는 성능이 보다 향상된 연료버너 재생(fuel burner regeneration) 시스템을 개발하였다. (Houben, 1994; Breuer, 1998) 그리고, 1994년에 현재의 양산모델인 DPFS-II를 개발하였는데, 이 시스템은 이전 제품인 DPF-I 시스템의 경험을 토대로 하여 설계된 것이다.

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 160,000 km 이상 시험되기도 하였다.

Deutz社のDPFS 시스템은 디젤연료버너(diesel fuel burner)가 장착되어 있는 완전자동화된 전체유동(full-flow) 직렬(in-line) 재생(regeneration) 시스템이다. 원래의 시스템은 세라믹 벽유동형 모노리스(ceramic wall-flow monolith)를 사용한다. 현재는 섬유가 감겨있는 필터 카트리지(wound fiber filter cartridge)를 사용한 제품도 출시되고 있다. 서로 다른 크기인 “MONO”와 “DOUBLE” 제품은 70~440(500)kW 범위의 출력에 사용될 수 있다.

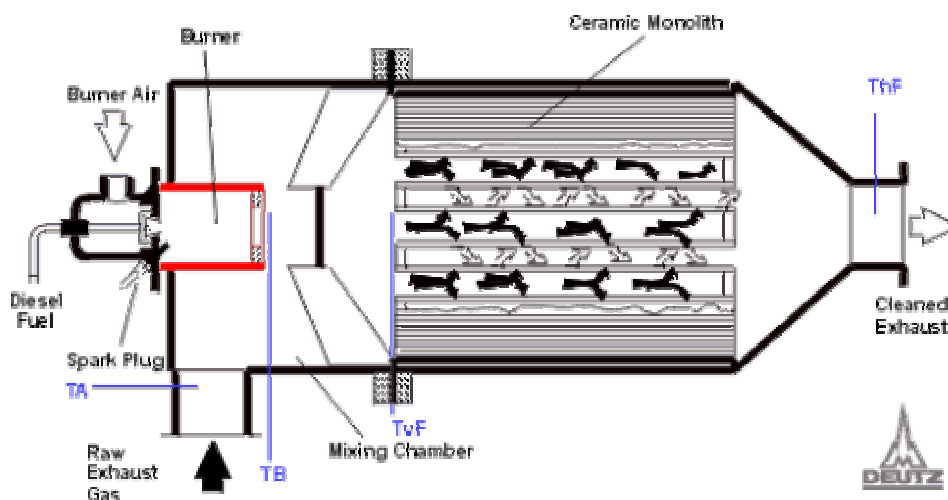


Figure 1. Schematic of the DPFS Filter (Courtesy of Deutz)

시스템의 주요 구성품으로는, 위의 Figure 1에 나와 있듯이, 세라믹 모노리스(ceramic monolith), 혼합기(mixing chamber), 그리고 버너(integrated burner) 등이다. 전자제어장치(electronic control unit, ECU)는 열전대(thermocouple)를 사용하여 다음과 같은 네 곳, 즉, (1) 시스템으로 들어오는 배기가스의 입구, TA, (2) 버너의 유출구(burner discharge), TB, (3) 필터의 전면, TvF, 그리고 (4) 필터의 출구, ThF의 온도 뿐만 아니라 엔진회전수를 감시한다. 버너의 출력전원(burner power output)은 필터 입구의 온도, TvF가 미리 프로그램되어 있는 온도형상을 유지할 수 있도록 폐회로(closed-loop) 방식으로 제어된다.

사용되는 버너는 DPFS 필터 시스템을 위하여 특별제작된 것으로서, 압축공기(air blast)에 의한 연료 미립화(atomization)의 원리에 그 기초를 두고 있다. 경유(diesel fuel)는 100 Hz의 주파수를 갖는 전자제어 연료분사기(electronically controlled fuel injector)를 통하여 버너(burner)로 유입된다. 주기밸브(cycling valve)의 열림/닫힘시간 비(ratio)를 가변적으로 조절함으로써 공급되는 연료량을 제어하여 버너의 출력(burner power output)을 조절한다. 한편, 버너(burner)는 고전압 발전기(high voltage generator)와 두 개의 전극(electrode)으로 구성되어 있는 스파크 점화장치에 의하여 점화된다. 버너(burner)는 엔진회전수와 부하(load)에 따라 변동하는 배기가스의 유량을 처리할 수 있다.

한편, 버너(burner)와 관련된 문제들로 인하여 여러 대의 DPFS I 시스템의 고장이 발생하였다. 그을음(soot) 입자가 버너(burner)에 유입되는 현상 및 압축공기 분무기(air blast atomizer)의 오염(contamination) 현상을 방지하기 위하여 버너의 구성품을 약 500 시간마다 주기적으로 청소해야 한다. 하지만, 실제적으로, 버너의 청소는 계획대로 주기적으로 수행되지는 않는다. 이에 따른 버너의 오작동으로 인하여 재생(regeneration)이 필요할 때 이를 제대로 수행하지 못하게 되어 트랩에 과부하가 걸린다. 결국, 버너(burner)의 필요한 보수가 이루어져서 버너(burner)가 다시 작동 가능하게 되더라도 필터의 과부하가 다시 발생하여 세라믹 모노리스(ceramic monolith)의 손상이 발생할 수 있다. 한편, 새로운 시스템에서는 그을음(soot)이 부착되는 동안 버너 청소 공기 공급장치가 도입되어 있기 때문에 별도로 버너(burner)를 유지 보수할 필요가 없다. 하지만 스파크 플러그(spark plug)는 특정 횟수이상 재생(regeneration)한 후에는 교환해야 한다.

DPFS 시스템의 그을음 부착기간(loading phase)은 엔진의 타입, 엔진의 유지/보수 조건, 그리고 부하사이클(duty cycle) 등에 따라 다르기는 하지만, 어쨌든 6~10 시간 정도 지속된다. 이 기간동안 필터에는 배기가스의 입자상물질이 부착된다. 그을음(soot)의 부착기간이 끝나면 ECU는 재생(regeneration)을 시작하여 약 12분 동안 이를 제어한다.

재생(regeneration)의 시작을 결정하기 위하여 ECU는 필터의 부착계수(filter loading factor)를 인지하고 있어야 한다. 이 제어장치는 실제 엔진회전수 및 배압(back pressure) 측정치를 메모리에 저장된 맵(map) 데이터와 계속 비교하여 필터의 그을음 부착상태(loading)를 인식한다. 좀 더 정확히 얘기하면, ECU는 감지된 엔진 부하상태(monitored engine duty cycle)와 메모리에 저장되어 있는 엔진의 배출물 맵(emission map)에 근거하여 그을음(soot)의 양을 계산하고 나서, 이렇게 계산된 그을음 부착량(soot load)으로부터 배압(backpressure) 예상치를 계산하여 실제의 엔진회전수로 보정된 측정데이터와 비교한다.

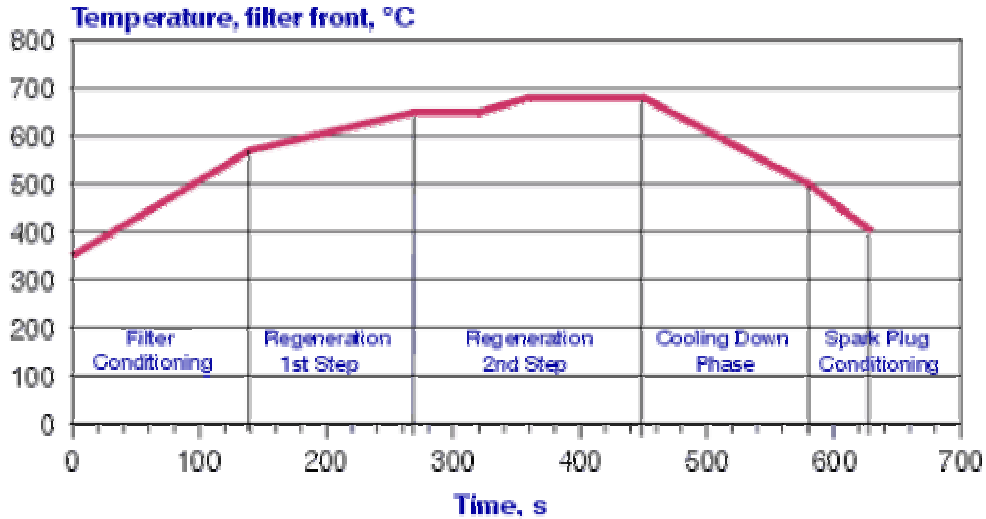


Figure 2. Regeneration Temperature Profile

DPFS II 에 도입된 기능 중에서 가장 향상된 기능은 버너출력(burner output power)의 제어 분야이다. 폐회로(closed-loop) 방식의 디지털 제어기(controller)는 필터로 들어가는 혼합가스의 온도, TvF 를 읽어 들인다. 버너(burner)에 요구되는 전력(power output)은 실제의 온도, TvF 와 미리 프로그램되어 있는 온도 형상(temperature profile)을 비교하여 결정된다. 프로그램되어 있는 온도 형상(temperature profile)은 완전히 열적으로 균형있는 재생(thermally balanced regeneration)을 유도하고 필터가 고온에 노출되는 것을 최소화 하기 위하여 개발된 것이다. 일반적인 재생온도의 형태(regeneration temperature profile)에 대한 한가지 예가 위의 Figure 2에 나와 있다.

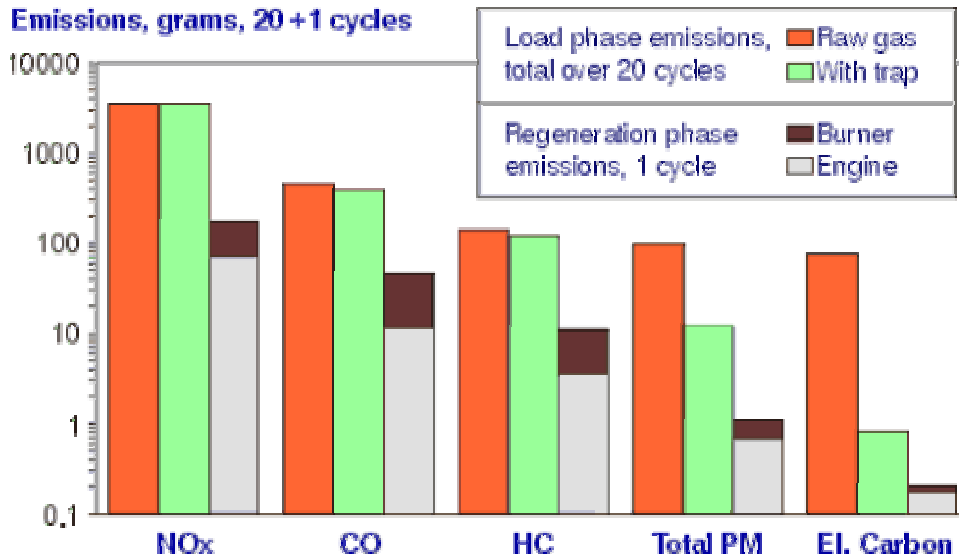


Figure 3. DPFS Emission Performance

DPFS 시스템의 배출물 제어 성능이 위의 Figure 3에 도시되어 있다. 배출가스 시험은 정격출력이

188 kW @ 2,300 rpm 인 Euro 0 대응엔진을 대상으로 진행되었다. 엔진 테스트 사이클은 디젤필터 테스트를 위하여 ECE-49 모드를 수정한 “독일 BMU 트랩 테스트”이다. 한편, 위의 Figure 1에서 (1) 배출물은 로그 스케일로 그려져 있으며, (2) 부착기간(load phase)의 데이터는 20 사이클 동안의 데이터를 나타내고 재생기간(regeneration)의 데이터는 단지 1 사이클에 대한 것임을 주의하기 바란다. 데이터의 이러한 구성은 재생(regeneration) 과정 중의 엔진과 버너(burner) 각각에서 배출되는 배출물의 상대적 기여도를 파악하기 위한 것이다.

한편, NO<sub>x</sub>, CO, 그리고 HC 와 같은 기체상 배출물(gaseous emission)은 필터의 영향을 받지 않는다. TPM 의 포집효율(collection efficiency)은 약 90 % 이다. DPM 의 고체부분(solid fraction), 즉, 기본탄소(elemental carbon)의 포집효율(collection efficiency)은 약 99 % 이다. 또한 발표된 자료에 의하면, 필터에 의해 극초미세입자(極超微細粒子, nanoparticle) 뿐만 아니라 chrysene, benzo(a)pyrene, 그리고 benzo(g,h,i)perylene와 같은 PAH 역시 감소시키는 것으로 알려지고 있다.

필터 제조업체에서 제공한 시범운행 버스에서 취합된 경험에 의하면, 버너 재생(burner regeneration)에 의해 약 1~2 % 의 연비손실이 발생한다고 한다.

## 참 고 문 헌

1. Breuer, K., 1998, “Deutz Particulate Filter Systems,” Canadian Mining Diesel Conference (CANMET), Toronto, October 1998.
2. Houben, H., et al., 1994, “The Optimized Deutz Service Diesel Particulate Filter System DPFS II,” SAE 942264.