

합성가스(Reforming gas)를 이용한 멀티채널 CDPF의 재생 특성 연구

최 광 춘¹⁾ · 정 진 화¹⁾ · 송 순 호^{*2)} · 전 광 민²⁾

연세대학교 대학원 기계공학과¹⁾ · 연세대학교 기계공학과²⁾

Studies on Reforming Gas Assisted Regeneration of Multi-channel Catalyzed DPF

Kwang Chun Choi¹⁾ · Jinhwa Chung¹⁾ · Soonho Song^{*2)} · Kwang Min Chun²⁾

¹⁾Graduate School of Mechanical Engineering, Yonsei University, Seoul 120-749, Korea

²⁾Department of Mechanical Engineering, Yonsei University, Seoul 120-749, Korea

(Received 1 October 2010 / Accepted 21 December 2010)

Abstract : Diesel particulate filter (DPF) systems are being used to reduce the particulate matter emission of diesel vehicles. The DPF should be regenerated after certain driving hours or distance to eliminate soot in the filter. The most widely used method is active regeneration with oxygen at 550~650°C. Syngas (synthetic gas) can be used to lower the regeneration temperature of Catalyzed DPF (CDPF). The syngas is formed by fuel reforming process of CPOx (Catalytic Partial Oxidation) at specific engine condition (1500rpm, 2bar) using 1wt.% Rh/CeO₂-ZrO₂ catalyst. The oxidation characteristics of PM with syngas supplied to filter were studied using partial flow system that can control temperature and flow rate independently. The filter is coated with washcoat loading of 25g/ft³ Pt/Al₂O₃-CeO₂, and multi-channel CDPF (MC-CDPF) was used. The filter regeneration experiments were performed to investigate the effect of syngas exothermic reaction on soot oxidation in the filter. For this purpose, before oxidation experiment, PM was collected about 8g/L to the filter at engine condition of 1500rpm, bmep 8bar and flow temperature of 200°C. Various conditions of temperature and concentration of syngas were used for the tests. Regeneration of filter started at 2% H₂ and CO concentration respectively and inlet temperature of 260°C. Filter Regeneration occurs more actively as the syngas concentration becomes higher.

Key words : PM(입자상물질), DPF(매연저감필터), Regeneration(재생), Fuel reforming(연료 개질), CPOx(촉매부 분산화), Hydrogen(수소), Catalyst(촉매), Rh/CeO₂-ZrO₂(로듐 세리아-지르코), Pt/Al₂O₃-Ce₂O(백금 알루미늄-세 리아)

1. 서 론

배기규제가 강화되어감에 따라 디젤엔진의 유해 배출물을 저감하기 위한 후처리기술이 지속적으로 발전하고 있다. 특히 입자상물질(PM, Particulate Matter)의 배출을 최근의 규제치 이하로 저감하기 위해서는 DPF(Diesel Particulate Filter)로 대표되는 필터기술의 적용이 필요한 것으로 알려져 있다.

90% 이상의 PM저감 효율을 보이는 DPF는 세라믹 소재로 생산되는 경우가 가장 많은데, 그 이유는 세라믹 소재가 다른 재질에 비해 생산단가가 낮고 녹는점이 높아 열충격에 대한 내구성이 높기 때문이다.¹⁾

한편, 최근의 DPF 개발에서 가장 중요하게 여겨지고 있는 기술로 재생 기술을 꼽을 수 있다. 재생 기술은 일정 거리 또는 시간이 지난 후 필터에 포집된 PM을 주기적으로 제거하여 정상적인 차량 성능

*Corresponding author, E-mail: soonhosong@yonsei.ac.kr

을 확보하기 위한 기술로, 자연재생과 강제재생으로 구분된다. 자연 재생 방식은 촉매가 코팅된 DPF(CDPF : Catalyzed Diesel Particulate Filter)에서 배출 가스에 포함된 NO₂를 이용하여 PM을 연속적으로 산화시키는 방식이다.²⁾ 이 방식의 경우 배출가스의 온도와 NO₂농도가 일정수준 이상 확보되어야 하기 때문에 중·대형 차량으로 그 적용 범위가 한정되어 있다. 반면 강제재생 방식은 연료의 후분사를 통해 배출가스의 온도를 550°C~650°C 수준으로 높여PM을 산화시키는 방법을 일컫는다. 이 방식의 경우 상대적으로 다양한 배기 조건에 대응하여 필터를 재생할 수 있으므로 소형차량의 적용에 있어서도 적합한 방식이라 할 수 있다.

하지만 강제재생방식은 고온에서의 필터 재생을 시도하기 때문에 DPF의 과단이나 내부 소손 등을 일으킬 수 있고 변형을 가져올 수 있다는 단점을 갖는다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 내부 재생 온도를 낮추는 것이 필요하며, 현재까지 다양한 연구결과가 이를 뒷받침하고 있다.³⁾

특히, 수소 첨가에 의해 DPF 재생 온도를 낮출 수 있고 열응력을 줄일 수 있다는 연구결과가 보고되고 있는데, 수소는 촉매 표면에서의 반응을 통해 PM의 산화를 촉진시키는 역할을 하는 것으로 밝혀지고 있다.^{4,5)} 수소를 차량에서 확보하기 위해서는 연료개질을 통해 합성가스(synthetic gas)를 생성하는 것이 가장 현실적이며, 이를 위한 기술로 수증기 개질(steam reforming), 플라즈마 개질(plasma reforming), 촉매 부분산화(CPOx_Catalytic Partial Oxidation) 반응을 이용한 개질 등을 꼽을 수 있다.

상기 방법 중 시스템구조를 간단히 하고 외부의 열공급 없이 차량에 적용할 수 있는 개질방법은 개질기의 CPOx 반응으로, 이는 CPOx 반응이 발열반응이기 때문이다. 그러나 높은 온도 때문에 발생하는 촉매 비활성과 연료 특성에 의존하는 개질 효율은 CPOx의 단점으로 지적되고 있다. 그럼에도 불구하고 CPOx는 수증기 개질이나 플라즈마 개질보다 시스템 비용과 구조적인 관점에서 차량 적용에 더 합리적이다.

이에 본 연구에서는 승용차량에 적용 가능하고 열 충격을 최소화 할 수 있는 필터재생으로 개질기

의 CPOx 반응을 이용하여 생산한 합성가스를 CDPF에 공급하여 저온 재생을 하는 방법에 관한 연구를 수행하였다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 엔진제원

Table 1에 엔진 제원을 나타내었다. 엔진은 GMDAT에서 생산한 1991cc, 4기통 디젤엔진으로 커먼레일 인젝션시스템 및 터보차저(VGT)가 설치되어 있다.

Table 1 Engine specification

| Item | Specifications |
|-------------------|-----------------|
| Engine volume | 1991cc |
| Type | 4-cylinder |
| Injection type | CRDi |
| Compression ratio | 17.7 : 1 |
| Max. torque@rpm | 32Kg·m/2,500rpm |
| Max. power@rpm | 108Kw@4,000rpm |

2.2 부분 유동 장치 및 개질기와 촉매부분산화(CPOx)

DPF 재생실험 이전에 자연재생이 되지 않는 조건에서 PM 포집이 선행되어야 하고, 이를 위해 엔진과 Fig. 1의 부분 유동 장치 중 ①번 부분을 이용하였다. 배출 가스의 일부를 샘플링하기 위해 펌프를 이용하여 유량을 형성하고, MFC로 이를 제어한다. 실제 차량의 배출가스 온도를 모사하기 위해 예열기(Furnace)를 사용하여 온도와 유량을 독립적으로 제어하였다. PM이 포집되는 동안 NO_x에 의한 자연재생(250°C이상에서 발생)을 최소화하기 위해, 부분 유동 장치의 온도를 200°C로 설정하고 1500rpm, bmep 8bar의 엔진 운전 조건에서 PM을 포집하였다.³⁾

PM을 포집한 다음 1500rpm, bmep 2bar의 엔진 운전 조건에서 재생특성 실험을 수행하였다. Fig. 1의 ②번 부분의 CPOx 개질기에서 배기가스와 디젤연료를 이용하여 합성가스를 생성하였고 PM이 포집된 ①번 부분의 Multi Channel Catalyzed DPF 전단에 이를 농도별로 주입하여 재생특성을 확인하였다. 이 때, 측정된 값은 시간에 따른 CDPF 전후단의 차압변화와 CDPF 내부 온도 상승률이며 이를 위해 CDPF 내부에 열전대(thermocouple)를 설치하였고

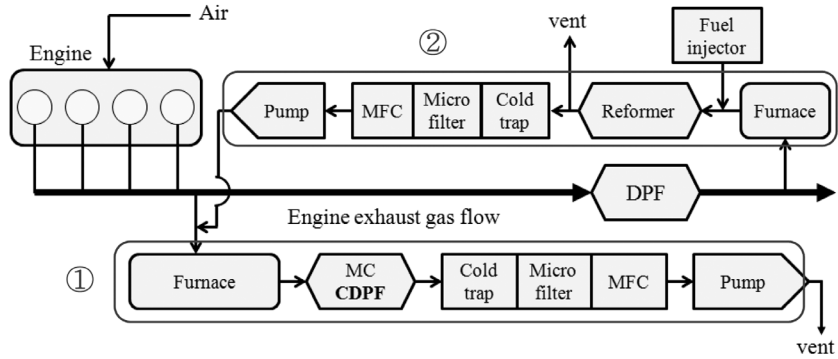


Fig. 1 Schematic of the partial flow system with engine

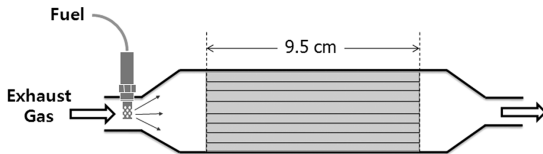


Fig. 2 Schematic diagram of CPOx reactor

CDPF 전후단에 차압계를 설치하였다.

개질기의 촉매 오염 방지를 위해, DPF 후단의 배기가스를 샘플링하여 개질반응에 이용하였다. 연료 개질에 사용되는 촉매는 희성촉매(주)에서 제공받은 1wt.% Rh/CeO₂-ZrO₂이다. 개질기에서는 디젤연료를 기화시키고 배기가스의 온도를 유지하기 위해 반응기 전단의 예열기를 이용하였고 기화된 디젤연료와 배기가스의 혼합을 유도하기 위해 Fig. 2와 같이 injector와 촉매까지 일정거리를 두었다.

디젤 연료 분사를 위해 GDI 인젝터를 사용하였고, Injector driver[MOBIQ社, QJEC-103 GDI]를 이용해 연료/산소비 조건에 맞춰 분사량을 조절하였다. 연료/산소비에 따른 연료 분사량은 Horibar社의 MEXA-1500DEGR 분석기를 통해 측정된 배기가스 성분(Table 2) 중 산소의 농도를 이용하여 아래 식을 활용하여 계산하였다.

$$\frac{C/O \text{ ratio}}{=} = \frac{(C \text{ number / unit molecule of HC}) \times (Moles of HC)}{2 \times (Moles of O_2)}$$

합성가스의 생성이 가장 많이 되는 구간은 연료/산소비가 1인 경우로, 이 때 수소와 일산화탄소의 수율은 각각 13~15%에 이르고, 개질 생성물은 일반적으로 1:1의 수소와 일산화탄소 비율을 갖는다.⁶⁾

Table 2 Raw emission data (1500rpm, bmep 2bar)

| Item | Specifications |
|--------------------------|----------------|
| O ₂ | 10.24% |
| CO | 0.08% |
| CO ₂ | 9.96% |
| NO _x | 87.5 ppm |
| THC (Total Hydro Carbon) | 554 ppm |

2.3 멀티채널 CDPF

Fig. 3과 같이 멀티채널 CDPF는 시편의 크기를 임의로 조절함에 따라 길이 방향과 반경 방향에 따른 PM 분포를 확인할 수 있으며, 정확한 포집 질량 및 재생 질량의 측정이 가능한 장점이 있다. 본 실험에 사용된 멀티채널 CDPF는 코디어라이트 재질의 필터로 200cpsi의 셀 밀도를 갖고 전체 길이는 10cm이며 한 변을 1.65cm로 정사각형 모양의 9×9 채널을 갖는다. 촉매는 Pt/Al₂O₃-CeO₂ 25g/ft³코팅되었다.

포집 및 재생 질량은 공기 중에 포함된 수분의 영향을 최소화하기 위해 멀티채널 CDPF를 24시간 동안 항온항습 챔버에 보관한 후 0.01mg부터 230g까지 측정 가능하며 분해능은 0.1mg인 semi-micro balance ME235S를 이용하여 측정하였다.

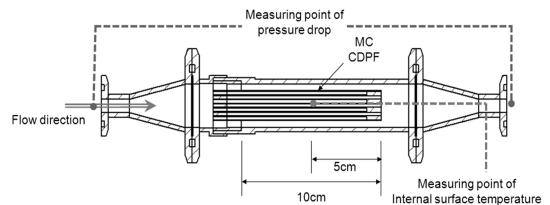


Fig. 3 MC-CDPF and location of pressure sensor and thermocouple

멀티채널 CDPF에 포집된 PM의 재생 여부를 확인하기 위해 멀티채널 CDPF 전후단의 차압을 측정하기 위한 차압계를 설치하였고, 합성가스 공급에 따른 CDPF 각 부분의 온도변화를 확인하기 위해 입구(inlet), 출구(outlet), 내부(internal) 각 부분에 Fig. 3와 같이 열전대를 설치하였다. Internal 온도는 정확히는 내부 벽면의 온도라고 할 수 있으며, 출구의 열전대 온도는 CDPF 후단 2cm에 위치하여 CDPF 후단 평균온도라고 하였다.

2.4 실험조건

Table 3에서 실험 조건을 정리하였다. 변수는 공급되는 합성가스의 농도와 CDPF의 입구온도이며, CDPF에 공급되는 유량, 엔진 운전 조건 및 합성가스의 공급시간 등은 고정된 상태에서 실험하였다.

3. 연구결과 및 고찰

본 연구에 선행하여 H₂와 CO 모델가스를 이용한 CDPF 재생실험을 수행하였고, 그 결과 H₂와 CO가 각각 재생특성에 미치는 영향을 확인할 수 있었다.⁵⁾ 본 연구에서는 이러한 결과를 바탕으로, 개질기에서 생성되는 합성가스를 이용하여 다양한 농도 및 입구 온도에서의 CDPF 산화 특성을 확인하기 위한 실험을 진행하였다.

Table 3 Experimental condition

| Item | Specifications |
|---|---|
| Inlet temperature of CDPF | 260°C, 300°C, 340°C |
| Supplied syngas (H ₂ , CO) concentration | 1) H ₂ 2%, CO 1.8% 2) H ₂ 3%, CO 2.8% 3) H ₂ 4%, CO 3.7% |
| Engine condition@ regeneration | 1500rpm, bmep 2bar |
| Flow rate(sLpm) @CDPF | 25 sLpm |
| Time of pre-heating | 100 sec |
| Time of syngas supply | 1900 sec |

3.1 합성가스(H₂, CO) 농도에 따른 압력 및 내부온도 변화

Fig. 4는 주입되는 합성가스의 농도 변화에 따른 DPF 전후단의 차압변화를 관찰한 그래프이다. 초기 100초간 CDPF 및 개질기를 예열한 후, 개질기에 연료를 분사하여 합성가스를 생성하였다.

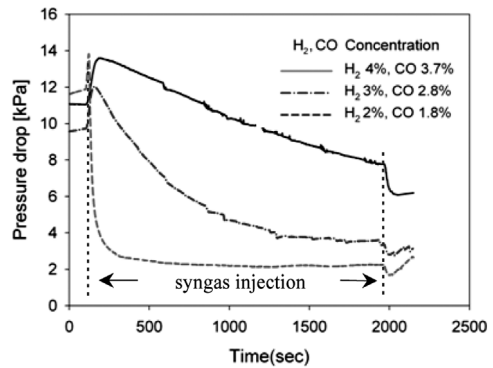


Fig. 4 Pressure drop of MC CDPF in H₂, CO active regeneration with reforming gas at 25sLPM, inlet temperature 300°C

개질기에서 생성된 합성가스는 H₂농도 기준으로 각각 2%, 3%, 4% 별로 필터에 주입하였는데, 이는 일정 배기 온도에서 합성가스를 모사한 H₂와 CO를 공급한 선행 실험결과 CDPF 입구온도 250°C, H₂의 농도가 2%에서부터 DPF 재생이 이루어졌기 때문이다.⁴⁾

합성가스를 주입할 경우 합성가스 산화에 따른 발열반응으로 내부 온도가 상승하고, 이로 인해 CDPF에 포집된 soot이 산화됨에 따라 Fig. 4와 같이 CDPF 전·후단의 차압이 지속적으로 감소하는 것을 확인할 수 있다. 일정온도에서 공급되는 합성가스의 농도가 증가할수록 차압 감소가 증가하며, H₂ 4% / CO 4% 농도에서는 차압이 급격하게 감소한다.

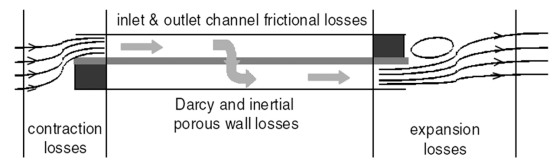


Fig. 5 Schematic view of flow pattern through a channel of a wall flow DPF, showing pressure loss components.⁷⁾

DPF에서의 압력변화는 Fig. 5와 같이 필터벽, 입자층, 그리고 입·출구에서의 압축/팽창 관성에 따른 손실로 구분되는 4가지 요소에서 발생된다. 이들은 각각 다공성의 필터벽과 입자층에서 배출가스가 통과할 때 발생하는 압력손실, 입구 채널과 출구 채널의 벽면에서 발생하는 마찰에 의한 손실로 해석

되고 각 성분의 차압을 합한 것이 아래 수식과 같이 필터에서의 차압이 된다.

$$\Delta P = \Delta P_{filter\ wall} + \Delta P_{soot\ layer} + \Delta P_{inlet\ channel} + \Delta P_{outlet\ channel}$$

그 중 DPF에 포집 및 재생으로 발생하는 차압의 변화는 필터의 벽면과 포집된 입자층을 배출가스가 통과할 때 발생된다. 두 가지 성분에 대하여 Darcy's law를 기반으로 세워진 식은 다음과 같다.⁸⁻¹⁰⁾

$$\Delta P_{filter\ wall} = \frac{\mu Q}{2V_{trap}}(\alpha + w)^2 \left(\frac{w}{k_o \alpha}\right)$$

$$\Delta P_{soot\ layer} = \frac{\mu Q}{L\pi D_f^2 k_{soot}}(\alpha + w)^2 \ln\left(\frac{\alpha}{\alpha - 2w_s}\right)$$

- μ : exhaust dynamic viscosity
- Q : exhaust volumetric flow rate
- V_{trap} : filter volume
- α : filter cell width
- w_s : particulate layer thickness
- w : filter wall thickness
- k_o : clean filter wall permeability
- k_{soot} : Particulate filter wall permeability

Soot 포집은 필터 내부와 벽면에 쌓이는 depth filtration과 포집된 soot이 filter 역할을 하여 포집된 soot 위에 다시 soot이 쌓이는 cake filtration 이렇게 두 부분으로 나누게 된다.¹¹⁾ DPF에 합성가스를 주입하여 재생시킴으로 필터벽과 soot층에 포집된 입자상물질이 산화되어 필터벽과 입자층에서의 permeability(k_o, k_{soot})가 증가하게 되고, 증가된 permeability에 따라 필터 벽면과 soot층에서의 압력이 감소하게 되는 것이다.

Fig. 4에서 초반 개질기에 디젤연료 분사 후 (100sec) CDPF의 급격한 압력 상승이 발생되는데 이는 합성가스의 산화에 따른 CDPF 내부의 급격한 온도 상승에 기인한다. 내부 온도가 상승하면 CDPF 내부 기체가 팽창하게 되어 필터 벽면 및 soot층을 통과하는 유속이 증가하게 된다. 이에 따라 Exhaust Dynamic Viscosity가 급격하게 증가되고 이에 압력 또한 급격하게 상승하는 것이다.⁸⁻¹⁰⁾

2000sec 이후 합성가스 공급을 중단하였을 때 배

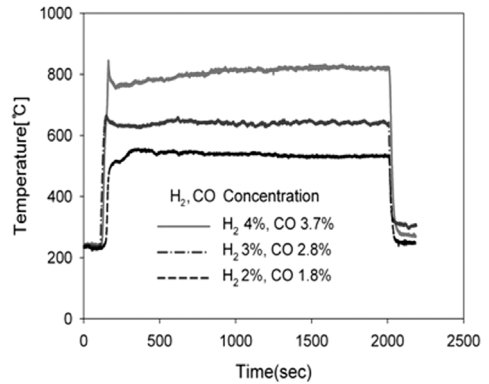


Fig. 6 Internal wall temperature of the MC CDPF in H₂, CO active regeneration with reforming gas at 25sLPM, inlet temperature 300°C

압이 다시 상승하는 것은 배기가스에 포함된 소량의 PM이 지속적으로 필터에 포집되기 때문이다.

Fig. 6은 합성가스 농도에 따라 CDPF 내부의 필터 벽면 온도를 나타낸 것으로 이는 각 조건에서 공급되는 합성가스의 농도에 따라 내부온도가 상승한다는 것을 보여준다. 추가로 CDPF 후단에 H₂와 CO/CO₂분석기를 설치하여 산화되지 않은 합성가스 잔존량을 확인한 결과 합성가스 전체가 산화되어 CDPF 내부온도 상승에 기여함을 확인하였다.

3.2 합성가스 산화에 따른 차압 및 질량 변화

CDPF 재생 실험 중 차압 감소는 non-linear curve로 나타난다. 차압 감소 그래프를 통한 해석은 합성가스 산화에 의한 온도 상승이 차압 변화에 미치는 영향, soot이 산화됨에 따라 차압이 변하는 양상 등에 대한 분석을 가능하게 한다. 하지만, 이 경우 각 조건에 따른 차압 변화량과 재생 효율을 정량화하여 분석하기 어렵다는 단점이 있다. 이를 보완하기 위해 본 연구에서는 변화하는 차압감소(reduction of pressure drop)와 질량 감소량(mass reduction)을 사용하였다.

이 분석방법은 선행연구에서 이용하였으며, 본 논문에서도 동일하게 사용하고자 한다.⁴⁾

Reduction of pressure drop은 $\Delta(\Delta P)/\Delta t$ 로 정의되며 여기서 $\Delta(\Delta P)$ 는 peak 배압값의 10%부터 90%까지 변화된 차이를 의미하며, Δt 는 이 때의 시간 변화를 의미한다. 평균 변화량을 정량화하면서 배압의 최

대값과 최소값의 차이 대신 peak의 90%, 10% 값의 차이를 각각 이용한 이유는, 초기 peak 값을 그대로 평균 변화량에 포함시키게 되면 초기의 비정상 상태가 재생 효율에 미치는 영향이 지나치게 커지게 되고, H₂ 공급 중단 직후의 값을 평균 변화량에 포함시키게 되면, 일부 조건에서 2~4kPa에 가까운 값을 일괄적으로 최종 값으로 정의하게 되므로 조건별 정량화의 의미를 갖지 못하게 되기 때문이다. 즉, 초기 비정상 상태에서의 peak와 재생이 완료된 이후의 값 일부를 제외하여 reduction of pressure drop을 정의하여야만 각 조건별로 재생 효율의 상대적인 값으로 정량화할 수 있었다. 반면 mass reduction rate은 재생 전후의 soot mass 변화량을 단순 측정된 결과를 의미한다.

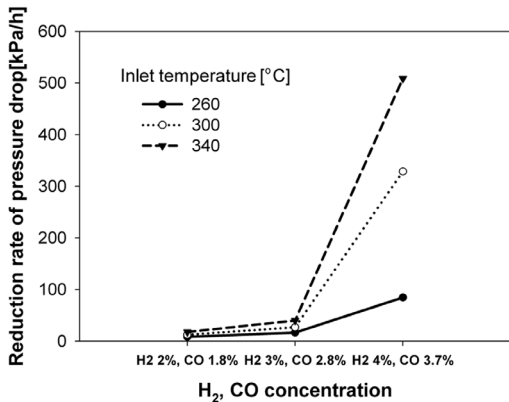


Fig. 7 Pressure drop reduction rate of the MC CDPF in H₂, CO active regeneration with reforming gas at 25sLPM

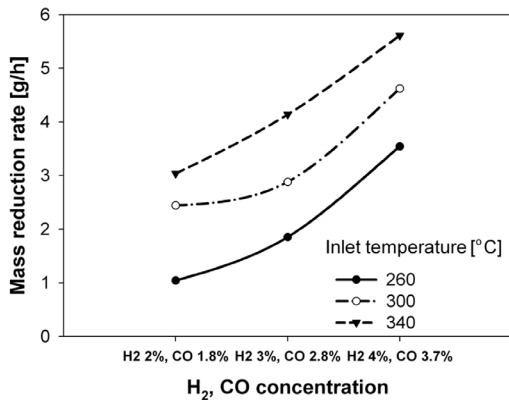


Fig. 8 Soot mass reduction rate of the MC CDPF in H₂, CO active regeneration with reforming gas at 25sLPM

reduction of pressure drop은 Fig. 7과 같고, mass reduction rate은 Fig. 8과 같다.

온도와 공급되는 합성가스의 양이 증가함에 따라 차압감소율과 재생 질량을 통해 확인할 수 있는 재생률이 증가함을 알 수 있다.

3.3 내부온도에 따른 PM 산화

아래 수식에서처럼 CDPF에서의 재생은 초기 soot이 포집되는 단계, CDPF의 온도상승에 따라 포집되는 soot의 질량과 재생되는 질량이 동일하여 CDPF 전후단의 차압변화가 없는 평형상태 그리고 포집되는 soot보다 재생되는 질량이 커지는 재생 단계 이렇게 3단계로 구분되는데 이를 수식으로 나타내면 아래와 같다.¹²⁾

$$\frac{dM}{dt} + M \cdot k(T) - e_F \cdot m = 0$$

- M : particulate mass on the filter, kg
- t : time, s
- $k(T)$: reaction rate constant for particulate oxidation, 1/s
- T : temperature
- e_F : filter collection efficiency, dimensionless
- m : particulate mass flow from the engine, kg/s

Engine에서 나오는 PM중 CDPF에 포집되는 PM과 합성가스의 산화로 재생되는 PM의 양이 동일할 경우 차압의 변화가 없는 온도인 balance temperature를 갖게 된다.

선행 실험결과를 참고하여 합성가스의 산화를 이용하여 balance temperature를 찾기 위해서 H₂, CO 각각 0.8% ~ 1% 농도의 합성가스가 필요하고, 낮은 농도의 합성가스를 산화시키기 위해서는 CDPF에서 온도가 일정 이상 상승하여야 한다.⁵⁾ 이를 위해 CDPF 온도를 예열기를 이용하여 상승시키면서 산화반응을 확인하였다. 그 결과 balance temperature를 갖는 balance condition은 CDPF 입구온도 310°C, H₂ 1%, CO 0.92%를 공급하였을 때이고, 공급된 합성가스의 산화에 의해 CDPF 내부온도가 450°C까지 상승하였다.

이 후 CDPF 입구온도를 340°C로 상승시킨 후 balance condition과 같은 H₂, CO 농도를 주입하여 실

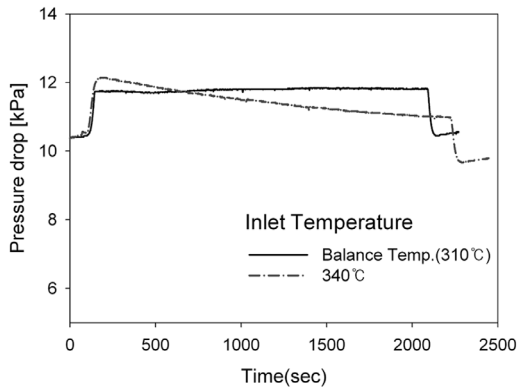


Fig. 9 Pressure drop of MC CDPF in H₂ 1%, CO 0.92% active regeneration, inlet temperature 310°C, 340°C

험한 결과 내부온도가 480°C로 상승하였다. 이는 합성가스 산화로 CDPF 입구 온도 차이만큼 내부온도가 상승하고, 필터 재생이 이뤄지면서 Fig. 9와 같이 차압이 감소함을 확인할 수 있다.

위에서 진행한 balance temperature 실험결과를 PM을 포집한 CDPF에 개질기의 부분산화반응으로 만들어지는 합성가스(H₂, CO)를 모사한 H₂, CO 모델가스를 배기에 주입하여 진행한 실험결과와 유사한 결과를 얻었다.⁴⁾

Balance temperature 실험에서 PM 산화에 따른 CDPF 차압 감소 결과는 Fig. 9로써 내부온도 450°C에서는 CDPF에 포집되는 PM과 산화되는 PM의 양이 동일하여 합성가스 공급이후 일정한 압력을 보이며, 내부온도 480°C에서는 PM 산화로 인해 차압 감소현상을 보인다.

이는 동일한 촉매 및 PM 조건에서는 필터 내부온도가 약 450°C 이상이면 CDPF에 포집되는 PM보다 재생되는 PM의 속도가 더 빠르기 때문에 PM이 산화 된다는 것을 의미한다.

이는 PM을 산화시키기 위해서는 CDPF의 입구 온도를 높게 하거나 일정농도 이상의 합성가스를 공급하여, balance temperature보다 높은 내부온도를 형성시키므로 필터 재생이 가능하리라고 판단되며 차후 이를 엔진 실험에서 완성하려 한다.

4. 결론

본 연구에서 CDPF의 강제 재생 시작 온도를 낮추

기 위해 개질기에서 생산되는 합성가스를 사용하였다. 엔진에서 발생한 PM을 멀티채널 CDPF로 포집하여 다양한 입구 온도 조건과 합성가스 농도 조건에서 실험하였으며 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) CDPF 입구 온도 260°C, 개질기에서 생성된 합성가스 H₂ 2%, CO 1.8%에서부터 CDPF 재생이 시작되며, H₂ 4%, CO 3.7%에서 재생률은 급격하게 증가하였다.
- 2) 동일한 농도의 합성가스를 공급할 경우 초기 입구온도가 높아질수록 차압감소를 및 재생 질량이 증가한다.
- 3) CDPF 재생 입구온도 310°C, 주입된 합성가스의 농도가 H₂ 1%, CO 0.92%일 때, 배기관에서 포집되는 PM과 합성가스의 산화로 인해 재생되는 PM의 속도가 동일한 balance temperature를 형성한다.
- 4) Balance temperature보다 내부 온도가 높을 경우에는 필터에 포집되는 PM의 양보다 재생되는 PM의 양이 많기 때문에 CDPF 재생이 일어나며, 필터 입구온도 상승하거나 공급되는 합성가스 농도가 증가할 경우 필터의 내부온도 상승으로 차압감소경향은 더욱 커진다.

후 기

이 연구는 “미래형 자동차 배기가스 제로화 기술 개발” 과제에 일부로 수행되었으며, 많은 도움을 주신 관계 기관여러분께 감사드립니다.

References

- 1) J. Adler, “Ceramic Diesel Particulate Filters,” International Journal of Applied Ceramic Technology, Vol.2, pp.429-439, 2005.
- 2) S. Chatterjee, R. Conway and S. Viswanathan, “NOx and PM Control from Heavy Duty Diesel Engines Using a Combination of Low Pressure EGR and Continuously Regenerating Diesel Particulate Filter,” SAE 2003-01-0048, 2003.
- 3) Diesel Filter Regeneration, http://www.dieselnet.com/tech/dpf_regen.html ; August 17, 2010. Downloaded.

- 4) K. Park, Low Temperature Active Regeneration of Soot Using Hydrogen and Carbon Monoxide of Syngas in a Multi-channel Catalyzed DPF, Mechanical Engineering, M. S. Thesis, Yonsei University, pp.24-42, 2010.
- 5) E. Johannes, X. Li, J. Neels and P. Towgood, "Transient Performance of a Non-catalytic Syngas Generator for Active DPF Regeneration and NO_x Reduction," SAE 2008-01-0446, 2008.
- 6) H. Lee, S. Song and K. M. Chun, "An Experimental Study on Diesel Fuel Reforming Using Catalytic Partial Oxidation," KSAE Annual Conference, KSAE09-A0089, 2009.
- 7) A. G. Konstandopoulos, E. Skaperdas and M. Masoudi, "Inertial Contributions to the Pressure Drop of Diesel Particulate Filters," SAE 2001-01-0909, 2001.
- 8) A. E. Scheidegger, The Physics of flow Through Porous Media, The University of Toronto Press, Toronto, 1974.
- 9) A. G. Konstandopoulos, M. Kostoglou, E. Skaperdas, E. Papaioannou, D. Zarvalis and E. Kladopoulou, "Fundamental Studies of Diesel Particulate Filters : Transient Loading, Regeneration and Aging," SAE 2000-01-1016, 2000.
- 10) E. A. Kladopoulou, S. L. Yang, J. H. Johnson, G. G. Parker and A. G. Konstandopoulos, "A Study Describing the Performance of Diesel Particulate Filters During Loading and Regeneration - A Lumped Parameter model for Control Applications," SAE 2003-01-0842, 2003.
- 11) A. Suresh, A. Khan and J. H. Johnson, "An Experimental and Modeling Study of Cordierite Traps - Pressure Drop and Permeability of Clean and Particulate Loaded Traps," SAE 2000-01-0476, 2000.
- 12) J. Widdershoven and F. Pischinger, "Possibilities of Particulate Reduction for Diesel Engines," SAE 860013, 1986.