

DPF 클리닝 장치를 이용한 DPF 강제 재생 연구

조 원 준¹⁾ · 김 만 영^{*1)}

전북대학교 항공우주공학과¹⁾

Analysis of Active Regeneration of DPF Using DPF Cleaning Device

Won Jun Jo¹⁾ · Man Young Kim^{*1)}

¹⁾Department of Aerospace Engineering, Chonbuk National University, deokjun-gu, Jeonju, Chonbuk 561-756, Korea

Abstract : To meet stringent diesel particulate matter regulations, DPF system is essential aftertreatment technology providing exceptional reliability and filtration performance. At low load driving conditions, the passive type of DPF system is ineffective for regeneration method due to the inadequate of engine exhaust heat in removing accumulated soot from the filter. Therefore, DPF cleaning device is necessary to remove the soot particles. In this work, the numerical analysis on the active regeneration of DPF in DPF cleaning device is performed to find the optimum operating conditions. In order to find the DPF regeneration characteristics during active regeneration, 5 different initial soot loading condition are investigated. As the initial soot mass increases, the maximum temperature of DPF and regeneration rate also increase.

Key words : Active Regeneration(강제 재생), Diesel Particulate Filter(디젤 매연 필터), Pressure Drop(압력 강하), Particulate Matters(입자상 물질)

Nomenclature

u_i : velocity in i-directions, m/s
 ρ : density, kg/m³
 μ : viscosity, N·s/m²
 τ_{ij} : stress tensor
 ν : kinematics viscosity, m²/s
 λ : thermal conductivity, W/m·K
 q_g : heat flux of actual gas, W/m²

1. 서 론

환경부의 경유차환경위원회에서는 디젤승용차

의 판매를 허용한 이래로 디젤엔진의 배기가스를 저감시키는 후처리장치의 부착을 의무화하도록 규정하고 있다. 디젤엔진의 배기가스에는 환경을 심각하게 오염시키는 입자상 물질과 질소산화물을 많이 포함하고 있기 때문에, 디젤엔진 배기가스내의 입자상 물질을 저감하기 위해 DPF를 부착한다.¹⁾ DPF의 재생기술 중에서 자연재생방식은 촉매나 첨가제를 사용하여 300℃에서 650℃의 자동차 배출가스 온도만으로 연속적으로 매연을 태워 재생하는 방식이지만 우리나라의 경우는 주행속도가 느리고 정차가 잦기 때문에 배출가스 온도가 낮아 적용이 곤란한 실정이다.²⁾ 이렇게 자연재생이 원활하게 진행되지 않을 때, DPF 내에는 매연이 포집되어 배출가스의 유동을 저지시켜 엔진의 출력감소와 연비 악화를 가져온다. 이에 포집된 매연을 강제적으로 태우

* Corresponding author, E-mail: manykim@jbnu.ac.kr

는 강제 재생방식을 주기적으로 이용하여야 하는데, 강제 재생 방식으로는 수집 공정 후 고온 가열하여 고압의 공기로 포집된 매연을 제거하는 방식이 있으며, 다른 방법으로는 포집된 입자상물질을 전기 히터나 버너를 이용하여 550℃에서 600℃까지 가열하는 방법이 있다. 안전하고 효율적인 재생을 위해서 Jung et al.³⁾은 고온의 가스에 의해서 강제적으로 재생되는 DPF의 열 재생 모델을 구성하고 실험과 비교하였으며, Choi et al.⁴⁾이 필터가 손상된 장치를 탈거하여 클리닝이 DPF 성능특성에 미치는 영향을 살펴보았으며, 본 연구를 통해 클리닝 이후 배압 감소, PM 저감율 향상의 결과를 얻었다. 하지만 연소를 이용한 클리닝 장치에 관한 수치해석 연구는 미진한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 자연재생방식에 의해 타지 못하고 포집된 매연을 DPF 클리닝 장치를 이용하여 강제 재생시키고 이때에 DPF 내부의 온도와 재생 특성에 대해 연구하였다.

2. 열 재생 모델

2.1 해석모델

3차원 비정상상태 압축성 난류유동으로 고려하였으며, 해석을 위한 난류 모델은 많은 학자들에 의해 검증된 표준 k-ε 모델을 이용하였다. 본 연구에서 고려한 연속방정식, 운동량방정식, 에너지 방정식과 화학종방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i)}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) = \\ \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left\{ \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \left(\frac{\partial u_k}{\partial x_k} \right) \delta_{ij} \right\} \right] - \frac{\partial p}{\partial x_i} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho H}{\partial t} + \frac{\partial \rho u_i H}{\partial x_i} = \rho q_g + \frac{\partial p}{\partial t} \\ + \frac{\partial}{\partial x_i}(\tau_{ij} u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) \end{aligned} \quad (3)$$

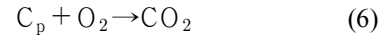
$$\frac{\partial \rho C_i}{\partial t} + \frac{\partial \rho u_i C_i}{\partial x_i} = \rho r + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(D \frac{\partial C_i}{\partial x_j} \right) \quad (4)$$

Table 1 DPF filter specifications

Items	Unit	Value
Diameter	m	0.174
Length	m	0.165
Cell Size	cpsi	200
Wall Thickness	m	0.0003
Solid Density	kg/m ³	2,500
Solid Spec. Heat	J/kg	1,100
Thermal Conductivity	W/mk	0.4

2.2 DPF 모델링

본 논문에서 사용된 DPF의 제원과 특성은 Table 1에 나타내었다. 한편 DPF내에 포집된 매연 입자의 재생 반응은 아래의 식 (5)와 (6)으로 단순화하였다.



이때, 각각의 반응율은 식 (7)과 (8)로 정의된다.⁵⁾

$$\dot{r}_1 = f_{co} \cdot k_1 \exp \left(\frac{-E_1}{RT_{solid}} \right) c_{O_2} \quad (7)$$

$$\dot{r}_2 = (1 - f_{co}) \cdot k_1 \exp \left(\frac{-E_1}{RT_{solid}} \right) c_{O_2} \quad (8)$$

3. 결과 및 토론

Fig. 1은 DPF의 재생과정을 확인하기 위하여 필터에 각각 10g, 20g, 30g, 40g 그리고 50g의 매연을 포집시킨 후 유량 167L/s로 800K의 공기를 흘려주었을 때, DPF 내부에서 시간에 따라 감소되는 매연의 양을 나타낸 그래프이다.

초기 포집된 매연량이 50g인 경우, 30초부터 재생이 활발하게 일어나기 때문에 기울기가 가파르게 나타난다. 그러나 초기 매연량이 10g인 경우에는 기울기가 완만하게 나타나 재생이 활발히 이뤄지지 않음을 알 수 있다. 이는 초기에 포집된 매연량이 많을수록 반응이 많이 이루어져 DPF 내부 온도가 급격히 상승하고, 이러한 결과로 재생이 더 많이 이뤄진다고 사료된다. 그리고 동일 시간에서 저감률이 초기에 포집된 매연량에 따라 다르게 나타나는데, 100초에서 초기 매연량이

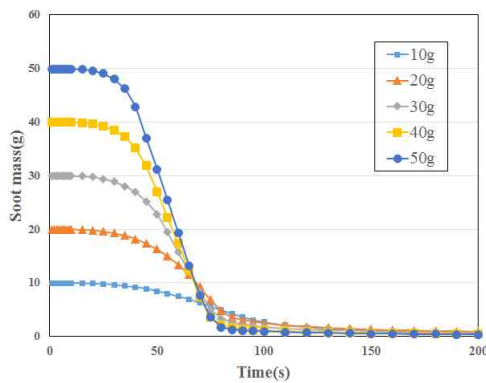


Fig. 1 Evolution of soot mass in DPF for all condition during regeneration

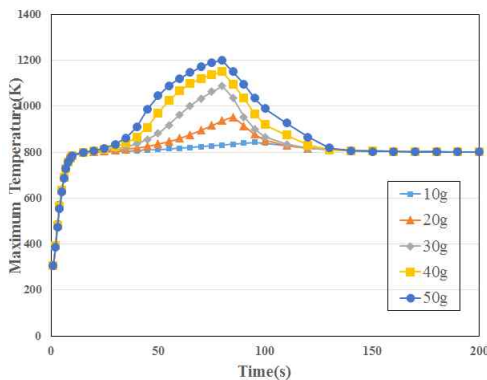


Fig. 2 Evolution of maximum temperature in DPF for all conditions during regeneration

50g인 경우 1.9%의 양이 남은 반면, 10g인 경우 26.6%에 달하는 양이 남았다. 200초에서는 초기 매연량이 50g인 경우 0.7%의 양이 남았으며, 10g이 포집된 경우 6.9%의 양이 남았다. 그러나 포집된 매연량에 관계없이 200초에서는 1g이하의 매연이 남기 때문에 재생이 거의 다 이루어졌다고 할 수 있다.

Fig. 2는 입구에서 800K의 공기가 유입될 때, 시간에 따른 DPF내 최고온도의 변화를 나타낸 것이다. 초기 매연량이 50g인 경우 반응이 활발히 이루어지기 때문에 최대 1200K까지 상승하지만, 10g이 포집된 경우 50g 포집 때보다 반응이 적게 이루어져 840K까지만 상승한다. 이러한 결과는 앞서 살펴보았던 시간에 따른 매연 저감률과 비슷한 결과를 보인다.

4. 결 론

본 연구에서는 초기 포집된 매연량의 변화에 따른 DPF의 특성을 연구 하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 재생으로 발생한 열에 의해 공기의 온도가 상승하여 매연량이 증가할수록 매연의 재생을 증하였다.
- 2) 해석 조건에서 재생 중 DPF내부의 온도는 50g일 때 1200K으로 가장 높다.
- 3) 매연량에 따라 비교적 낮은 온도의 공기를 일정량의 매연과 재생을 통해 원하는 온도만큼 상승시켜 나머지 매연을 적당한 온도와 시간에 재생시킬 수 있을 것으로 사료된다.

후 기

본 연구는 환경부 Global-Top Project 친환경자동차 기술개발사업단의 지원에 의하여 수행되었음. 그리고 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 과학기술국제화사업 연구임(2011-0030065). 또한 전라북도 테크노파크의 상용화 제품 개발 지원사업의 지원에 의하여 수행되었음.

References

- 1) H. R. Go, C. G. Jung and H. N. Lee, "A Study on the Flow Characteristic of the Diesel Engine DPF," Journal of the Korean Society of Marine Engineering, Vol.36, No. 1, pp.109-117, 2012.
- 2) J. W. Lee, G. B. Cho, H. S. Kim and Y. G. Jeong, "A Study in PM Regeneration Characteristics of Diesel Passenger Vehicle with Passive Regeneration DPF System," Trans. Korean Soc. Mech. Eng. B, Vol. 31, No. 2, pp. 188~194, 2007.
- 3) S. C. Jung, and W. S. Yoon, "Modeling and Analysis of Thermal Regeneration of DPF," KSAE, Vol. 37, No. 2, pp. 229~236, 2006.
- 4) S. W. Choi, H.B. Kwon, J.K. Lee, H. Jung, D. S. Choi, N. Y. Kim, and Y. S. Park, "The Effect of DPF Cleaning on DPF Regenerative Performance," Proceedings of the KSAE Spring Annual Conference, pp. 76-81, 2010.
- 5) AVL Fire™, CFD-Solver_Main-Program, User Manuals, 2011.