

디젤기관의 성능과 배기관 특성에 의한 필터트랩의 열재생에 관한 실험적 연구

한 영 출*, 오 용 석**, 남 하 욱**

An Experimental Study on Thermal Regeneration of Filter Trap by Diesel Engine Performance and Characteristics of Exhaust Pipe

Young-Chool Han*, Yong-Suk Oh**, Ha-Yook Nam**

Abstract

The exhaust emissions from diesel vehicle are known to be harmful to human health and environment. Recently, one of the most environment problems is particulate matter.

In this study, through the actual experiment and heat transfer of exhaust pipe in light duty diesel engine equipped with the ceramic filter trap of throttling type, following results are obtained.

1. In case of light duty diesel engine equipped with ceramic filter trap of throttling type, Power and torque of engine were decreased about 5%, compared with the case without trap system. It means that was not so much effect on base engine performance.

2. If the length of exhaust pipe when equipping with ceramic filter trap is suitably controlled, the range of regeneration will be expand much more.

3. Particulate matter reduction efficiency of ceramic filter trap system was about 70% - 80%, so it was proved a good system to reduce particulate matter.

In experiment, test was conducted to estimate engine emission in 2,476cc light duty diesel engine which was equipped with ceramic filter trap.

Keyword : Ceramic Filter Trap(세라믹 필터 트랩), Light Duty Diesel Engine(소형 디젤 기관), Heat Regeneration(열재생), Particulate Matter(입자상물질), Performance(성능)

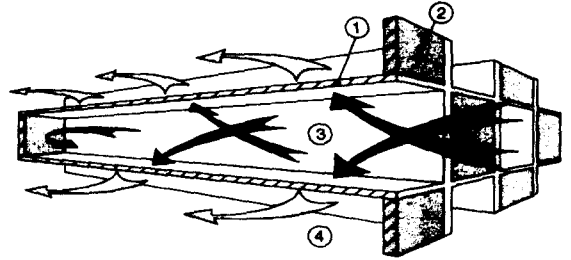
* 국민대학교 기계공학과

** 국민대학교 기계공학과 대학원

1. 서론

전세계적으로 디젤자동차의 급증에 따라 이에 의한 오염물질 배출에 대한 규제도 단계적으로 엄격화되고 있는 실정이다. 그에 발맞추어 각종 저감기술이 활발히 진행 또는 연구중이며, 그 중 입자상물질(Particulate Matter)저감장치 개발도 상당한 수준으로 진행되고 있다. PM은 인체 및 환경오염에 악영향을 미치는 것으로 이에 대한 저감방법은 후처리장치로, 일종의 포집장치인 스토틀링 타입의 세라믹 필터 트랩이다.

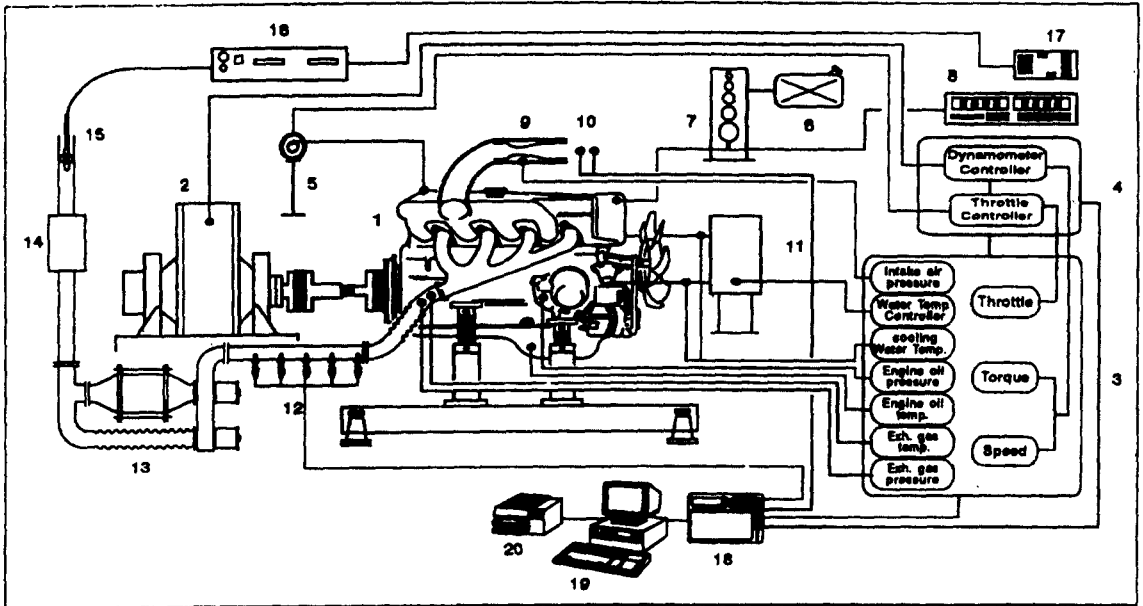
먼저 세라믹 필터 트랩을 여과장치로 이용하여 입자상 물질의 저감원리를 간단히 살펴보면, Fig. 1과 같이 한쪽 끝이 서로 교대로 막혀있는 벌집 모양의 많은 통로를 가진 세라믹 필터 트랩의 여과막을 배기가스가 지날 때 입자상물질은 필터 트랩의 벽에 부착되고 그 외의 가스상물질(CO, HC, NOx)만 통과되어 나오도록 되어 있다.



① Ceramic Wall ② Plug ③ Inlet Channel ④ Outlet Channel

Fig. 1 Schematic diagram of wall flow ceramic filter trap

본 연구에서는 스토틀링 타입의 세라믹 필터 트랩을 채택하여 기관에서 연소된 배기가스의 온도가 재생인자 중 가장 중요한 요소이며 배기밸브 및 배기다기관에서



- ① Engine
- ② Dynamometer
- ③ Dynamometer control desk
- ④ Dynamometer controller
- ⑤ Throttle actuator
- ⑥ Fuel tank
- ⑦ Burette stand
- ⑧ Fuel consumption meter
- ⑨ Air flow meter
- ⑩ Air temp. sensor
- ⑪ Cooling water tank
- ⑫ Exh. gas temp. sensor
- ⑬ Ceramic filter trap
- ⑭ Muffler
- ⑮ Data acquisition computer
- ⑯ Smoke tester
- ⑰ Smoke meter controller
- ⑱ Hybrid recorder
- ⑲ Laser jet printer

Fig. 2 Schematic block diagram of engine test system

1차적으로 열손실이 일어나고 다음에 배기관을 통과하여 2차로 열손실이 일어나 배기가스가 세라믹 필터의 입구에 도달하면 배기밸브 입구에서 보다 온도가 낮아져 재생특성에 직접적인 영향을 미친다. 그러므로 필터 트랩의 장착에 따른 기관성능 및 배기관의 재질과 길이에 대한 필터 트랩의 재생에 관하여 실험을 통하여 디젤기관에서 배출되는 입자상물질 저감을 위한 세라믹 필터 트랩 장착의 실용화에 기여하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

디젤기관을 설치한 실험장치의 구성도를 Fig. 2에 나타내었고 소형 디젤기관의 제원 및 스토틀링방식의 세라믹 필터 트랩의 제원은 각각 Table 1과 Table 2에 나타내었다.

Table 1 Specification of test engine

Items		Specifications	
Engine Type		D4BX-K157504	
Number of Cylinder		OHC 4	
Bore & Stroke		91.1 & 95mm	
Displacement		2.476cc	
Compression Ratio		21:1	
Max. Power		73PS/4200rpm	
Max. Torque		14.9kg-m/2500rpm	
Injection Timing		1-3-4-2, ATDC 4°	
Injection Pump Type		Throttle type	
Valve Timing	Intake	Open	BTDC 20°
		Close	ABDC 48°
	Exhaust	Open	BBDC 54°
		Close	BTDC 22°

Table 2 Specification of ceramic filter trap

Items	Specifications
Maker	Corning Co. U.S.A.
Model	EX-47
Diameter & Length	5.56×6 inch
Cell Density	100 in ²
Wall Thickness	0.44 mm
Volume	2.5 l
Filtration Area	1718.6 in ²
Mean Pore Size	22 μm
Max. Soot Loading	15 g

2.2 실험방법

실험방법은 전부하와 부분부하 상태로 나누어 실험하였다. 먼저 전부하 상태에서 회전수에 대한 출력, 토크, 연료소비율 특성을 Fig. 3과 같이 필터 트랩을 장착하지 않은 상태와 Fig. 4와 같이 필터 트랩을 장착하여 바이패스 상태와 정상 상태의 기관성능을 비교 측정하고, 또한 배기관의 재질이 강관과 스테인레스 강관에서 기관 장착에 필요한 배관(500mm)를 제외하고 250mm단위로 1000mm에 5개의 열전대를 설치하여 배기가스의 온도변화를 측정한다.

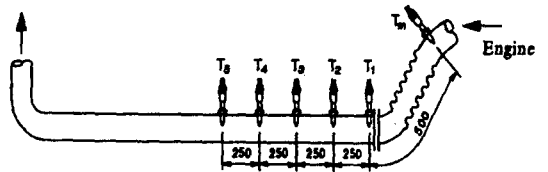


Fig. 3 View of temperature sensors without filter trap

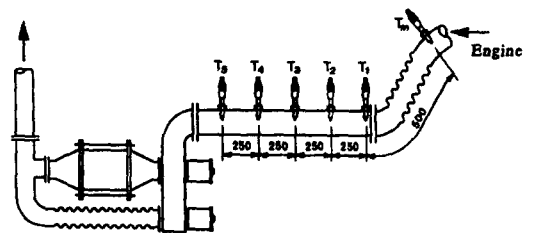


Fig. 4 View of temperature sensors with filter trap

부분부하 실험시 동력계의 제어가 원활하고 필터 트랩의 재생온도를 전후하여 Fig. 5와 같이 기관의 회전수를 1250rpm~3000rpm까지 250rpm단위로 증가시키고 각 회전수에서 토크가 5.0, 7.5, 10.0, 12.5kg-m 및 전부하 상태에서 기관의 부하 및 회전수 변화에 따른 기관의 출력과 배기가스 특성을 파악하고 배기관의 재질에 대한 배기가스온도 변화를 측정하여 필터 트랩의 재생에 미치는 영향을 분석하였다.

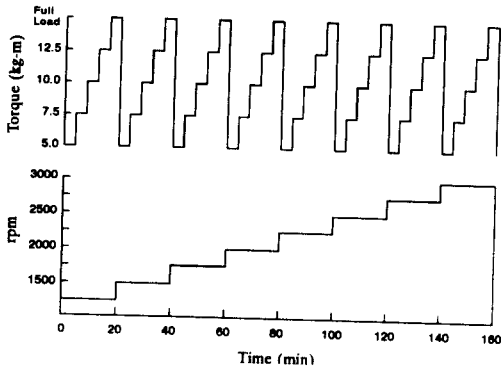


Fig. 5 View of engine driving pattern

3. 결과 및 고찰

3.1 전부하 실험 결과

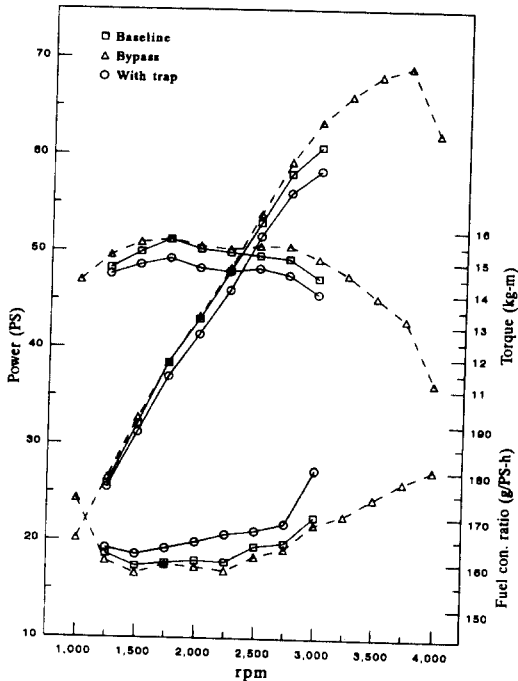


Fig. 6 Performance curves of test engine with filter trap

필터 트랩의 장착에 따른 기관성능에 미치는 영향을분석하기 위하여 기관을 전부하 상태에서 측정된 기관 성능

곡선을 Fig. 6에 나타낸다.

필터 트랩을 장착하지 않고 기관의 회전수를 1000rpm~4000rpm까지 측정된 결과는 최대출력 69PS/3750rpm, 최대토크 15.7kg-m/1750rpm, 최저연료소비율이 1500rpm에서 157.5 g/PS-h로 측정되었다. 트랩을 장착한 상태에서 회전수가 1250rpm~3000rpm까지 측정된 결과로서 바이패스 상태에서 출력이 약 0.6-4.1%, 토크가 약 0-4.0%정도 감소하고 연료소비율은 약 0.3-1.4% 증가되었다. 이는 필터 트랩의 제어 위한 콘트롤 밸브 및 판의 굴곡으로 인한 배압의 증가 등에 따른 성능의 저하로 판단된다. 정상상태에서는 출력이 약 3.7-7.9%와 토크가 약 3.8-7.3% 낮아지고 연료소비율은 약 1.7-7.1%가 증가되는 것으로 측정되고 고속 회전수로 갈수록 출력의 저하율이 커졌다. 이는 필터 트랩 내의 입자상물질의 축적과 배기가스 유속의 증가에 따른 배압의 증가로 인한 영향으로 판단된다.

3.2 부분부하 실험 결과

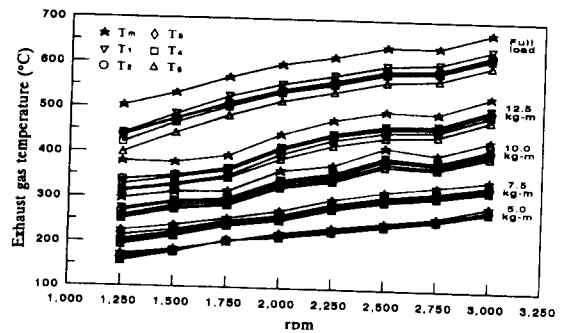


Fig. 7 Exhaust gas temperature of steel pipe according to change of load

배기관을 재질이 강관과 스테인레스 강관에서 길이에 따른 배기가스의 온도변화는 Fig. 7 및 Fig. 8과 같이 재질에 대한 온도는 비슷한 경향으로 나타났으며, 기관의 회전수에 따라 배기가스 온도는 증가하고 있으나 부하변화에 따른 온도차이가 더 크게 나타나며 배기관의 일정한 거리에서 열손실에 따른 온도저하는 기관의 회전수가 낮고 부하가 클수록 온도의 상하율이 높게 나타나고 있어 이는 단위 시간당 연소된 열량과 유속의 영향으로 판단되며, 배기가스 압력의 변화는 Fig. 9에서 기관의 회전수에 따라 증가하고 있으며 일정한 회전수에서 부하에 따라 저속 보다는 고속에서 압력의 차이가 크고 필터 트랩의 상

태에서 더욱 크게 나타났다. 입자상물질의 배출농도는 Fig. 10에서 기관 회전수의 증가에 따라 점차 낮아지나 부하의 변화에 대해서는 크게 차이가 있으며 필터 트랩 장착의 경우에서 매연 배출농도가 높을 때 상대적으로 저감 효과가 큰 것으로 나타났다.

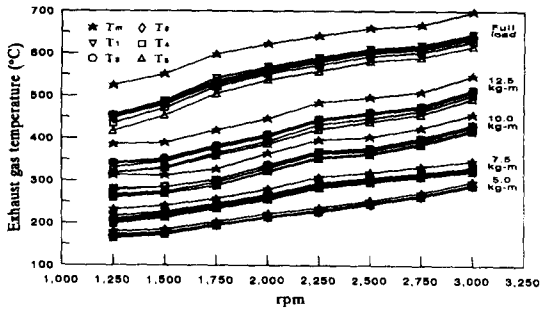


Fig. 8 Exhaust gas temperature of stainless pipe according to change of load

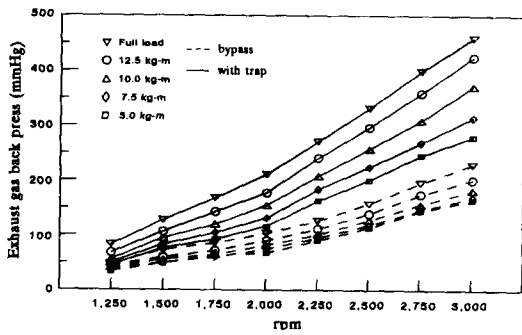


Fig. 9 Exhaust gas back pressure according to change of load

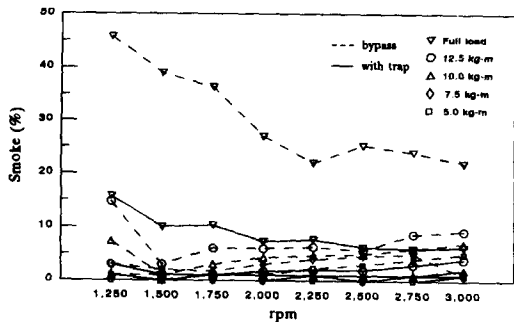
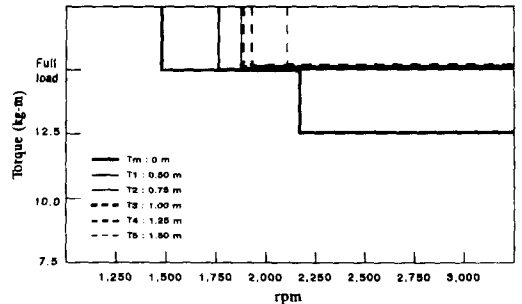


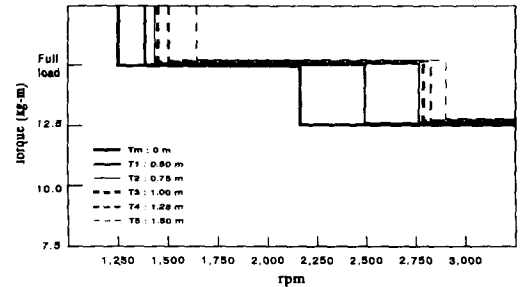
Fig. 10 Smoke level according to change of load

3.3 배기관 길이에 대한 재생영역

디젤기관에서 사용되는 연료에 Ce를 첨가하여 필터 트랩의 반응속도 증대와 입자상물질의 연소를 가능한 낮은 온도로 하고 배기가스를 일시적으로 막아 온도를 상승시키는 스톱링 방식으로서 필터 트랩의 재생온도는 자연 재생의 경우 526.7°C, Ce를 200ppm첨가한 경우 467.7°C, 강제재생의 경우는 약 100°C이상 상승한다. Fig. 11에서 Ce를 첨가하지 않은 상태에서 필터 트랩의 재생이 가능한 영역으로서 자연재생 영역은 전부하에서



(a) Without Ce

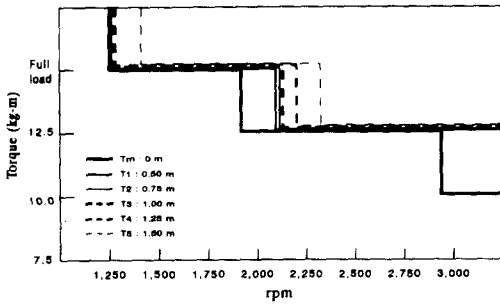


(b) With Ce 200ppm

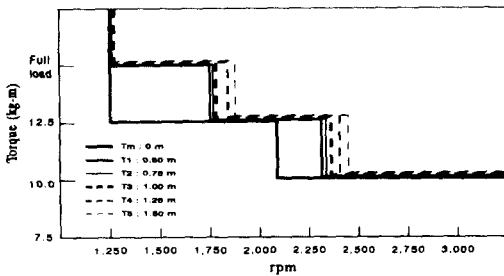
Fig. 11 Range of natural regeneration according to exhaust pipe length

Tm:1500rpm~T5:2100rpm이상과 토크가 12.5kg-m일 때 Tm이 2000°C이상에서 재생이 가능하였다. 강제재생 영역은 전부하에서 Tm:1250rpm~T5:1700rpm이상과 토크가 12.5kg-m일 때 Tm:2100rpm~T5:2800rpm이상으로 재생 가능한 영역이 넓어진다. Fig. 12에서 Ce를 200ppm 첨가하였을 때 자연재생 영역은 전부하에서 Tm:1250rpm~T5:1300rpm이상과 토크가 12.5kg-m일 때 Tm:1900rpm~T5:2300rpm이상 및 토크가

10.0kg-m일 때 T_m :2900rpm이상에서 재생이 가능하고 강제재생 영역은 전부하에서는 $T_m \sim T_5$ 가 재생이 가능하고 토크가 12.5kg-m일 때 T_m 이 1250rpm이상부터 T_5 의 1800rpm이상 및 토크가 10.0kg-m일 때 T_m :2100rpm $\sim T_5$:2400rpm이상으로 Ce을 첨가함으로써 재생이 가능한 영역이 보다 넓어진다. 따라서 자연재생 보다 강제 재생이 넓고, Ce을 첨가하지 않을 때 보다 Ce을 첨가하였을 때 재생영역이 더욱 넓어지는 것을 알 수 있다.



(a) Without Ce



(b) With Ce 200ppm

Fig. 12. Range of forced regeneration according to exhaust pipe length.

4. 결론

본 연구는 소형 디젤기관에서 스로틀링 방식의 세라믹 필터 트랩의 장착에 따른 기관 성능 및 배기관 재질과 길이 대한 필터 트랩의 재생에 미치는 영향에 대하여 배기관의 열전달과 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 소형 디젤 엔진에 스로틀링 타입의 세라믹 필터 트랩을 장착한 경우에 엔진의 출력과 토크는 트랩 시스템을 장착하지 않은 경우와 비교해서 약 5%정도 감소되었다. 이것은 기존의 엔진성능에 큰 영향을 미치지 않는 것을 의미한다.
- 2) 만약 세라믹 필터 트랩 장착시, 배기관의 길이를 적절히 조절한다면 재생의 범위는 더 확장될 것이다.
- 3) 세라믹 필터 트랩 시스템의 입자상물질 저감 효율은 약 70% - 80% 정도로 나타나 매우 우수한 저감장치로 판단된다.

참고문헌

- 1) 조재명, "CI기관에 있어서 세라믹 필터 트랩에 의한 입자상물질 저감에 관한 연구", 국민대학교 박사학위논문, pp. 7~34, 1993.
- 2) 조강래 외, "디젤 자동차 입자상물질 여과장치 개발 (II)", 국립환경연구원 자동차공해연구소, pp.103~130, 1992.
- 3) B. Wiedemann, U. Doergers, W. Engeler and B. Poettner, "Regeneration of Particulates Filters at Low Temperature", SAE 830086, 1983.
- 4) K. Pattas et al., "Cordierite Filter Durability with Cerium Fuel Additive : 100,000km of Revenue Service in Athens", SAE 920363, 1992.
- 5) M. D. Levin et al., "Copper Fuel Additives as a Part of a Particulate Emission Control Strategy", SAE 901619, 1990.
- 6) Wade W. R., et al., "Thermal and Catalytic Regeneration of Diesel Particulate Trap", SAE 830083, 1983.