

세라믹 섬유필터를 이용한 디젤 입자상물질 배출저감에 관한 기초연구

A Study on the Exhaust Reduction of Diesel Particulates Using Ceramic Fiber Filters

주용남 · 홍민선 · 문수호 · 이동섭^{1)*} · 임우택²⁾
아주대학교 환경공학과, ¹⁾경운대학교 보건환경학부, ²⁾안동대학교 응용화학과
(2002년 11월 25일 접수, 2003년 3월 21일 채택)

Yong-Nam Joo, Min-Sun Hong, Su-Ho Moon, Dong-Sub Lee^{1)*} and Woo-Taik Lim²⁾

Department of Environmental Engineering, Ajou University

¹⁾*School of Health & Environment, Kyungwoon University*

²⁾*Department of Applied Chemistry, Andong National University*

(Received 25 November 2002, accepted 21 March 2003)

Abstract

Works were focused on back pressure characteristics of ceramic fiber filter on DPF (Diesel Particulate Filter) system and experiments were performed to select appropriate filter which can filter particulates. Filters were installed on metal-support tube which has openings for exhaust gas flow. Ceramic fiber filters with high specific surface area and adequate high temperature strength are commercially available for filtration of diesel particulates and in-situ hot regeneration. Thus, ceramic blanket and ceramic board which are used as insulating media were applied to filter and filtration apparatus was installed on exhaust gas line connected to 2.0L diesel engine.

Alternating filter structure to adapt DPF system, collection efficiency test of diesel particulates was measured. In case of ceramic blanket, pressure drop was low, caused by the destruction of soft structures. Also, particulate collection efficiency was decreased depending on loading time. In case of ceramic board, structure design was altered to reduce back pressure on DPF system.

Structure design was altered to induce Z-flow by making 10 mm and 5 mm holes on the surface of media. Alteration of 5 mm hole showed that media have low back pressure but particulate collection efficiency was 77%, while 10 mm hole showed that of 90%.

Key words : Diesel particulates, DPF, Ceramic fiber filter, Collection efficiency

1. 서 론

디젤엔진을 이용한 경유차는 일산화탄소 및 탄화수소가 적게 배출되기 때문에 한 때 휘발유차에 비

* Corresponding author
Tel : +82-(0)54-479-1236, E-mail : dslee@kyungwoon.ac.kr

하여 오히려 청정형 엔진으로 평가받았으나 휘발유 차의 배기가스에 대한 삼원촉매장치가 개발됨으로써, 국내의 경우 전체 자동차 오염물질 배출 중 약 70%를 차지하는 등 대기오염의 주범으로 인식되고 있는 상황이다(양 진, 1998). 자동차에 의한 대기오염 물질 중 경유차가 차지하는 비중을 살펴보면, 전국 배출량 기준으로 CO 46.3%, HC 42.1%, NO_x 84.1%, SO₂ 99.1%, 입자상 물질 98.4%로 SO₂, NO_x 및 입자상 물질의 대부분이 경유차에서 발생되고 있다(환경부, 2001). 경유차는 휘발유차에 비하여 연소효율이 높고, 고출력을 낼 수 있으며 CO₂ 배출특성이 유리하기 때문에 버스나 트럭 같은 상용차에 광범위하게 사용되고 있다(Hammerla *et al.*, 1994). 이와 같은 특성은 지구 온난화의 대책 면에서는 유리하지만, 대도시 미세먼지 오염의 주범인 PM(particulate matters)과 O₃ 전구체로 작용하는 NO_x의 배출이 과다하기 때문에 대기오염 측면에서 많은 문제를 야기하고 있다. 또한, 차량대수 비율로 볼 때, 미국의 3%, 유럽의 20%, 그리고 일본의 13%에 비해 우리나라는 전체 자동차의 30% 이상의 높은 비중을 차지하고 있어 경유차가 상대적으로 오염비중이 높은 편이며, 특히 차량대수가 3.8%에 불과한 버스나 트럭과 같은 대형 경유차가 대기오염물질 배출량에 42.9%를 차지하고 있다(환경부, 2001; 김상환, 1993). 운행차의 경우 강화되는 규제기준의 추세에 맞추기 위해 경유차 입자상 물질 처리에 대한 연구로, 연료와 공기의 혼합비율을 이상적으로 제어하는 전자 제어방식과 초고압분사기술을 이용한 저 연비 자동차 개발 등 활발한 연구가 진행되어 왔다. 그러나 자동차 엔진개선만으로는 점차 강화되고 있는 배출규제를 만족하기 어려워 후처리 기술에 의한 입자상 물질의 제거방안이 관심의 대상이 되고 있다. 경유차에서 배출된 입자상 물질을 운행조건에서 연속적으로 제거하는 후처리 기술로서 경유매연 제거방식은 배기관에 장착된다. 이러한 기술은 엔진의 구조변경이 불필요하고 기존 및 신규차량에도 적용할 수 있으며 공해물질의 부가적인 배출이 없을 뿐만 아니라 유해한 배기가스성분을 현저히 줄일 수 있어서 세계적으로 많은 개발연구가 진행중이다(SK 주식회사, 1997). 이러한 디젤 입자상 물질 저감 장치는 기본적으로 필터, 재생장치, 컨트롤 장치의 3개 부분으로 구성되어 있다. 필터는 디젤엔진의 배

기관에 부착되고 배기가스가 필터를 통과할 때 입자상 물질이 포집되어서 필터 내에서 퇴적된다. 시간경과와 함께 엔진 배압이 상승하므로 엔진허용 배압을 초과하지 않도록 재생이 필요한 시기를 감지해서 필터 내에 퇴적된 입자상 물질을 제거하여 필터를 재생한다. 트랩기술을 살펴보면, 트랩이란 여과재를 사용하여 입자상 물질을 포집하는 것을 말하며, 여과재로는 미국의 corning사와 일본 NGK사의 honeycomb type ceramic monolith filter (이하 honeycomb filter)가 대부분 수입되어 사용되고, 3M사의 ceramic fiber filter와 ceramic foam, cross flow type ceramic filter 등 여러 종류가 사용되고 있다. 국내에서는 ceramic monolith filter를 이용한 연구가 1990년부터 수행되어 기술의 진보를 이루었으나, 큰비용과 내구성의 부족, 가스제거 기술의 미비로 인해 상용화의 단계에서 적용이 어려운 실정이다.

본 연구에 사용된 ceramic blanket과 ceramic board는 세라믹 섬유를 가공한 제품으로써 단일 및 고온환경에서 장시간 사용시 파손될 경우, 여과재 전체가 아닌 파손부분만의 교체가 가능하도록 패드 형태로 고안되어, 디젤 입자상 물질의 저감성능과 DPF로서의 적용가능성을 파악하였다.

2. 실험방법

2.1 디젤 입자상 물질의 특성

디젤엔진에서 연료가 연소된 후, 직경이 0.01~0.08 μm 크기의 고상 탄소입자가 응집하여 0.05~1.0 μm 크기의 입자상 물질의 핵을 형성한다(David *et al.*, 1996). 이 핵의 주성분은 탄소입자이고, 이 핵의 주위에는 여러 가지 다핵 방향족 화합물(poly-nuclear aromatic hydrocarbon; PAH)과 응축된 황화합물, 미연탄화수소, 수분 등이 둘러싸고 있다. 이렇게 구성된 전체를 입자상 물질이라 통칭하고, 그 중 탄소성분이 입자상 물질 전체의 약 80~90%를 차지한다. 이런 입자상 물질의 생성원인은 연료와 유효활유이며, 이 중 연료 중의 탄소의 역할이 가장 크다. Soot의 형성은 디젤 연소환경에서 발생하는데, 온도범위는 1,000~2,800 K, 압력은 50~100 atm, 그리고 모든 연료에 대해 충분히 연소할 수 있는 공기가 있는 조건하에서 주로 일어난다. 생성된 미립

자는 실린더 내의 충분한 산소와 고온 분위기 속에서 산화함으로써 가스화 한다. 따라서, 엔진으로부터 배출되는 미립자는 실린더 내에서의 생성량과 산화량의 차이, 즉 가스화 되지 않고 그대로 배출되는 양으로 이러한 soot 미립자 생성에는 열분해, 핵 생성, 성장, 합체, 응집 등의 과정이 포함되어 있다. 또한 입자의 배출율과 입자의 특성에 영향을 주는 요인으로는 엔진의 사용연수, 주행거리, 연료형태, 운전조건, 엔진형태, 후처리장치 등이 있다(김민철 등, 1999; Andrew *et al.*, 1998). 자동차의 고속운전 시와 저속운전 시에는 부하(load)에 대한 배출농도의 경향이 변하는데, 고속운전에서는 부하를 증가시키면 입자상 물질 배출량은 감소하지만, 75%의 부하를 넘으면 부하증가와 함께 배출량도 증가한다. 미립자의 질량농도는 고부하 시 다량의 미립자가 배출되고, 저부하시에는 회전수의 영향이 크게 나타난다. 이것은 고부하 시 연료과잉상태에서 고온에 노출되어 불완전 연소가 증가하기 때문이고, 저부하에서는 회전수가 증가하면 연소에 주어지는 체류시간이 단축되기 때문이다. 디젤 입자상 물질은 평균 직경 $0.1 \sim 0.2 \mu\text{m}$ 의 범위를 가지는데 평균직경에 해당하는 입자는 전체질량(total mass)에 대한 기여도는 적으나, number 기준으로는 직경이 큰 입자보다 훨씬 많은 부분을 차지한다. 디젤 입자상 물질의 포집 메커니즘에서, 미세입자와 거대입자는 다른 포집 메커니즘을 갖으며, 직경 $1 \mu\text{m}$ 이상의 미립자는 관성에 의해서 여과재 섬유에 충돌(inertial impaction)하여 포집되고, $0.1 \mu\text{m}$ 이하의 미립자는 거의 브라운 운동에 의한 확산(diffusion)에 의해 여과재에 포집된다. 또한 직경 $0.1 \sim 1 \mu\text{m}$ 사이의 입자는 유선이 여과재 섬유를 따라서 흐르면서 포집(interception)된다고 알려져 있고 세라믹의 다공질 벽은 미립자가 통과하는 경우에 미립자의 포집기구를 이해하는데 도움이 된다(하중률, 1991).

2.2 디젤 입자상 물질 여과재

디젤 입자상 물질 여과재로는 세라믹 섬유형 필터(ceramic fiber filter)와 세라믹 벌집형 필터(ceramic honeycomb filter)가 주로 이용된다.

세라믹 벌집형 필터는 높은 여과효율과 큰 여과면적을 가지고 있어 디젤 입자상 물질 저감 장치로 많이 이용되고 있으며, 필터표면에서 입자를 제거하

는 표면여과(surface filtration) 방식을 사용한다(김상환, 1993). 하지만 필터 재생 시에 열응력에 의한 필터 파괴가 단점으로 나타나 이에 대한 연구가 3M & Nissan, DSI, DAF사 등에서 활발히 진행되고 있다(Marty, 1990). 이에 반해 세라믹 섬유형 필터는 여과재의 기공 사이에서 입자를 제거하는 침투여과(deep bed filtration) 방식이다. 이 필터는 표면여과 필터보다 미세입자에 대한 포집효율이 뛰어난 것으로 알려져 있으며, 엔진에서 배출된 초기의 입자상 물질은 기공보다 훨씬 더 작은 크기이므로 필터를 통과하면서 여과가 일어나 나노 크기의 입자들도 제거가 가능하다(Mizrah *et al.*, 1989). 침투여과 필터는 여과재를 통과한 입자의 입경분포가 여과하기 전과 비슷한 분포로 존재하나 표면여과 필터는 여과후의 입경분포가 미세입자의 범위에서 최대를 이루어 미세입자에 대한 포집효율이 낮은 것으로 조사되었다(Mayer *et al.*, 1995). 표면여과 필터에서는 주로 큰 입자가 제거되는 반면에 침투여과 필터에서는 확산에 의한 포집 메커니즘이 주로 작용하여 미세입자에 대한 포집효율을 높일 수 있으며, 단일섬유 하나 하나가 포집 메커니즘에 관여하므로 활성표면적이 표면여과 필터보다 약 100~500배 더 크다.

또한 세라믹 섬유형 필터는 높은 비 표면적과 고온환경에 적당한 강도로 인해 디젤 입자상물질 여과장치 혹은 고온 재생시에 주로 이용되나 blow-off라는 단점이 있다(Marty and Gary, 1989). 이는 필터 표면으로부터 입자상 물질이 떨어져 나가 날리는 현상으로 낮은 온도, 낮은 유량에서 포집된 입자는 디젤엔진의 갑작스런 유량과 온도의 상승 시 발생한다. 세라믹 섬유형 필터의 DPF 적용 시 이러한 사항이 고려되어야 하며 DPF에 사용되는 여과재는 bulk density가 $0.2 \sim 0.5 \text{ g/cm}^3$ 의 범위를 가지는 섬유형 세라믹을 사용한다(Takao *et al.*, 1988). Bulk density가 증가할수록 인장강도가 증가하므로 blow-off 현상이 적어지지만, 엔진 배압이 증가할 수 있으므로 조건에 맞는 물성이 필요하다.

본 연구에서는 표준 알루미늄-실리케이트(Al_2O_3 - SiO_2)분말을 주원료로하여 제조되어진 ceramic blanket과 ceramic board를 실험에 사용하였다. Ceramic blanket은 blowing 공정을 거쳐 생산된 세라믹 섬유를 적층하여 needle punching 한 것으로 유연하

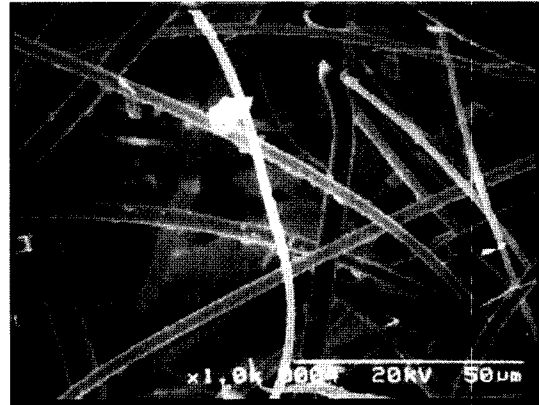
Table 1. Composition of standard alumino silicate ceramic materials.

| Standard alumino-Silicate (Al ₂ O ₃ -SiO ₂) fiber | |
|---|------------|
| Al ₂ O ₃ | 43~47% |
| SiO ₂ | 53~57% |
| Fe ₂ O ₃ | 0.02~0.08% |
| TiO ₂ | 0.02~0.05% |
| MgO | 0.01~0.04% |
| CaO | 0.02~0.04% |
| Alkalis as Na ₂ O, K ₂ O | 0.05~0.4% |
| B ₂ O ₃ | <0.02% |
| Leachable chloride | <20 ppm |

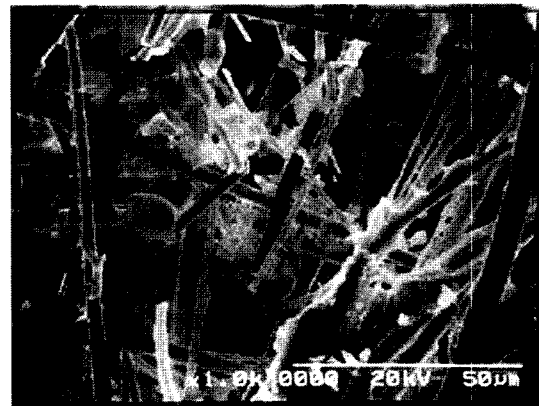
Table 2. Characteristics of ceramic fiber filters.

| 구 분 | Ceramic blanket (R-Grade) | Ceramic board |
|------------------------------------|---|---------------|
| Thickness (mm) | 25 | 20 |
| Bulk density (g/cm ³) | 0.125 | 0.264 |
| Composition (%) | Al ₂ O ₃ : SiO ₂ (47 : 53) | |
| Porosity (%) | 95 | 80~90 |
| Fiber diameter (μm) | 3 | |
| Fiber density (g/cm ³) | 2.56 | |
| Max. temp. (°C) | 1,316 | 1,260 |
| Continuous. temp. (°C) | 1,177 | 1,100 |

며 가공이 편해 일반 단열재로 널리 사용되고 있다. Bulk density는 0.125 g/cm³, 기공율 95%로 필터에 걸리는 차압이 적고, 유연한 구조로 인해 큰 유량에 깨질 염려가 없으나 여과재로 사용하기에는 구조 자체가 약하다. Ceramic board는 세라믹 섬유에 바인더를 이용하여 딱딱하게 가공한 세라믹 제품으로 역시 단열재로 널리 사용되고 있다. Bulk density는 0.264 g/cm³, 기공율 80~80%, 유속 15 m/sec의 조건에서도 사용이 가능하므로 세라믹 섬유형 필터의 단점인 blow-off 현상이 적어 DPF 적용실험에 사용하였다. 표준 알루미늄-실리케이트 섬유의 주요 조성은 표 1과 같으며, ceramic blanket과 ceramic board의 특성은 표 2에 나타나 있다. 그림 1은 ceramic blanket과 ceramic board의 표면을 SEM으로 촬영한 것으로, 세라믹 섬유 그대로 적층시킨 blanket과 세라믹 섬유를 가공한 board의 섬유상의 표면구조와 기공률의 차이를 확인할 수 있다.



(a)



(b)

Fig. 1. Scanning electron micrographs of ceramic fiber filters. (a) ceramic blanket, (b) ceramic board.

2.3 디젤 입자상물질 여과장치

디젤 입자상 물질 여과장치 (DPF)는 엔진으로부터의 배가스 여과시 입자상 물질의 축적으로 인해 차압의 상승을 가져온다. 여과재 선정에 있어서, 초기 raw filter의 차압성능을 파악하기 위해 엔진 배가스와 같은 유량에 대한 여과재의 차압특성을 파악하였다. 유입되는 공기는 송풍기 유입부에서 공기 필터를 통해 불순물이 걸러지고 송풍기를 지나 트랩 (trap)으로 유입되는 공기는 bypass관을 통해 유량을 제어하게 된다. 실험장치의 개략도는 그림 2와 같다. 실험에 사용된 트랩은 canister의 단면에 여과재를 장착할 수 있도록 직경 250 mm의 원형관 형태로 고안되어 각 여과재의 차압특성을 파악한 후

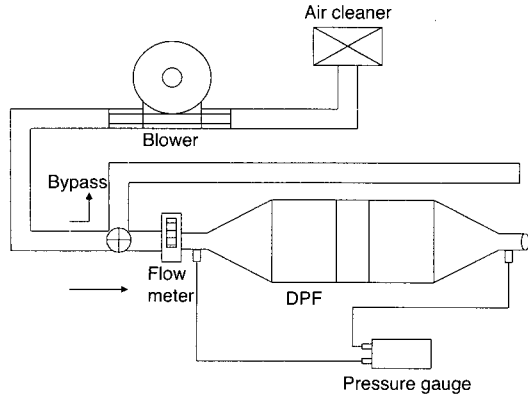


Fig. 2. Schematic diagram of experimental apparatus.

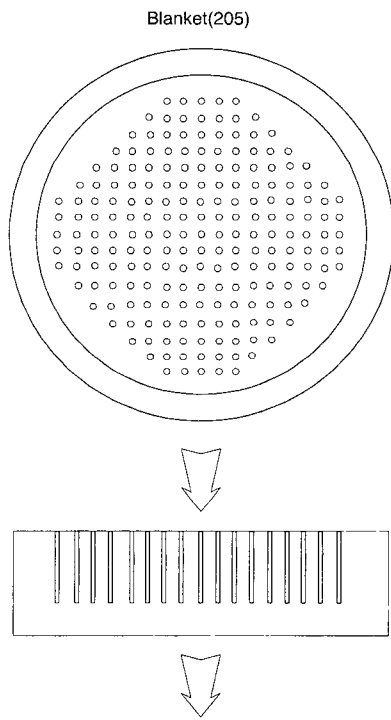


Fig. 3. An alteration of ceramic blanket structure.

차압을 낮출 수 있는 구조변경을 시도하였다. 이 장치의 실 여과면적은 420 cm²이고 내부에 원형링을 사용하여 여과재를 조임으로써 새는 것을 방지하였다. Ceramic blanket의 경우, 구조 자체가 무르기 때문에 Z-flow의 유도는 사실상 어려워 입자상 물질

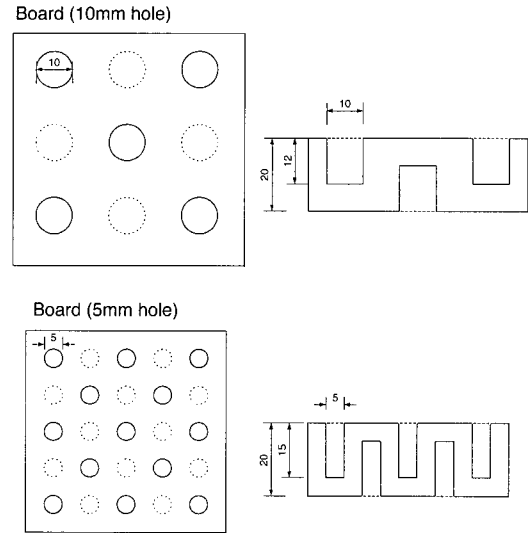


Fig. 4. An alteration of ceramic board structure.

의 여과면적을 늘리도록 구조변경을 시도하였으며, ceramic board의 경우 딱딱한 구조이기 때문에 각각 직경 10 mm, 5 mm의 구멍을 필터 앞, 뒤로 만들어 Z-flow를 유도하였다. 그림 3과 4는 각각 ceramic blanket과 ceramic board의 구조변경을 나타낸 것으로, Z-flow type의 필터는 대부분의 입자상 물질이 입구표면과 hole의 끝부분에서 포집이 이루어져, loading time을 증가시킬 수 있으나, hole을 깊게 하는 것은 입자상 물질 포집에 그리 효과적이지 않았다. 이들 hole을 짧게 하는 것은 필터를 통과하는 유체흐름을 일정하도록 만들어 주기 위함이다 (Gabathuler *et al.*, 1991). 구조변경으로 인해 차압이 감소하였으나, 입자상 물질의 제거효율이 떨어지는 상반성이 있어 두 조건을 최적화 할 수 있도록 입자상 물질의 제거성능 시험을 병행하였다.

2.4 디젤 입자상 물질 여과 실증실험장치

디젤 자동차 배가스 내의 입자상 물질 여과능력과 차압변화를 보기 위해서 91년식 2.0 L Diesel 차량을 이용하였고, 차량의 제원은 표 3과 같다. 사용된 엔진은 노후로 인하여 배출 입자상 물질의 농도가 매연측정기로 57.7%로 나타났으며, 1995년 12월 31일 이전차량의 규제기준인 40%를 훨씬 상회하는 배출농도를 기록하였다. 실험은 no load 조건에서 회

Table 3. Engine specification.

| Type | Engine |
|------------------|----------------|
| Vehicle | BESTA |
| Year | 1991 |
| Displacement | 2184 cc |
| Fuel economy | 17.4 km/L |
| Power | 72 Ps/4050 rpm |
| Fuel consumption | 240 g/Ps · H |
| Idling | 700~750 rpm |
| Injection time | BTDC 2° |

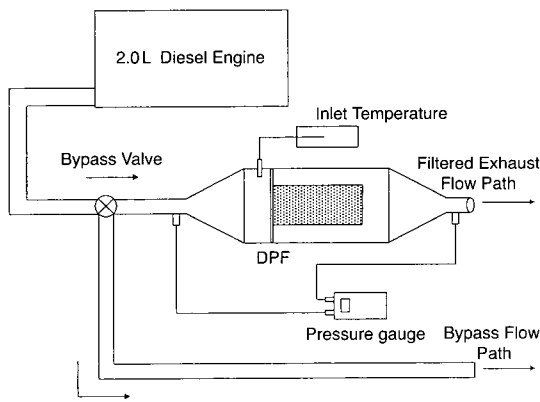


Fig. 5. Schematic diagram of DPF test.

전수를 공회전 (idle) 상태와 1,500 rpm의 상태로 설정하였다. 공회전 조건은 약 750 rpm이었고, 회전수의 제어는 타코미터 (tachometer)를 사용하여 크랭크 축의 회전수를 읽어서 조절하였다. 엔진연식, 유입되는 공기의 온도, 배기관의 온도, 연료의 성분 등 여러 변수로 인해 디젤 배출가스는 조성이 변하므로, 실험시 30분 이상의 충분한 엔진가동으로 변수의 영향을 최소화하였다. 그림 5는 DPF의 실차 적용 실험에 관한 개략도이며, 직경 200 mm의 canister를 사용하여 내부에 다공성 사각형 판 주위를 여과재로 5면을 둘러싸도록 설계되었고, 나머지 1면으로 배가스가 유입되어 5면의 여과재를 통과해서 트랩을 빠져나가도록 하였다. 장기간의 운전과 반복되는 재생으로 인한 필터의 파손 시 필터 각 면의 여과재를 따로따로 교환할 수 있도록 하였으며, 여과재 외부는 SUS망으로 하여 외곽을 볼트 조임식으로 배가스의 새는 것을 방지하였다. 실증실험 시 여과재의 실제 여과면적은 990.76 cm²으로 차압실험에

사용된 여과재 면적보다 2배 이상이며, 실제 자동차에 부착 가능하도록 자동차 muffler와 같은 크기로 제작되었다.

입자상 물질의 배출농도는 차량연식, 연료성분, 배기관의 온도, 후처리장치 유무, 흡기온도 등 여러 인자에 영향을 받는다. 입자상 물질의 정확한 배출농도의 측정을 위해서는 희석터널 (dilution tunnel)을 사용하여 배기관을 통해 대기 중으로 배출되는 조건과 유사한 환경에서 측정하여야 한다 (Suzuki et al., 1985). 실제 대기 중으로 배출되는 배가스는 체류시간 1초, 희석비 1,000 정도이지만, 희석터널에서는 체류시간 5초, 희석비 5~20의 조건으로 측정된다. 본 실험에서는 여과재의 여과능력 경향을 파악하기 위해 트랩 내부 여과재 전후에서 입자상 물질의 질량 농도를 측정하여 질량 제거효율을 측정하였다. 입자상 물질 농도 측정에 사용된 여과지는 직경 47 mm PALLFLEX (T60A20) 석영필터이며, 진공 펌프로 등속 흡입하여 흡입시간과 흡입유량을 기록하였다. 유량은 적산유량계를 사용하였고, 유량계로 흡입유속을 조절하였다. 사용된 여과지는 여과 전·후 24시간동안 테시케이트에서 항온·항습을 유지하고, 여과 전·후의 여과지 질량을 측정해 배출농도로 환산하여 제거효율을 구하였다. 먼저 여과지를 in-line filter holder에 넣고 흡입 probe에서 등속으로 배출 입자상 물질을 흡입하여 농도로 환산하였다. 또한, 여과지는 미립자 채취 probe로부터 1,000 mm의 위치에서 포집하였으며, 포집시 온도는 52°C를 넘지 않도록 하였으며, 제거효율 계산은 아래와 같다.

$$\eta = \frac{C_1 - C_2}{C_1} \times 100(\%)$$

여기서, C₁과 C₂는 입구와 출구의 입자상 물질의 농도(mg/m³)이고 η는 입자상 물질의 제거효율이다.

3. 결 과

3.1 디젤 입자상물질 여과필터 차압

Ceramic blanket의 차압에 맞는 두께 결정을 위해 두께 45 mm 여과재를 1~4단으로 조립하여 차압을 측정 한 결과는 그림 6에 나타나 있다. 적은 유량에

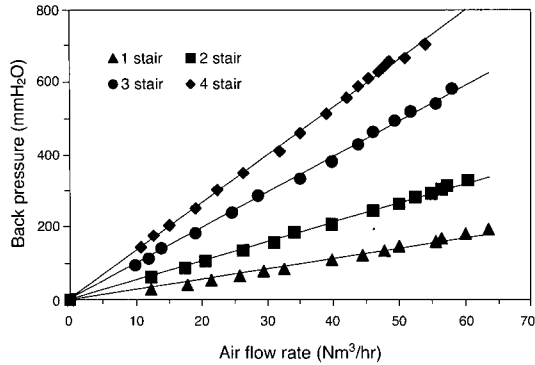


Fig. 6. Influence of filter volume and flow rate on the back pressure ($t = 45$ mm ceramic blanket).

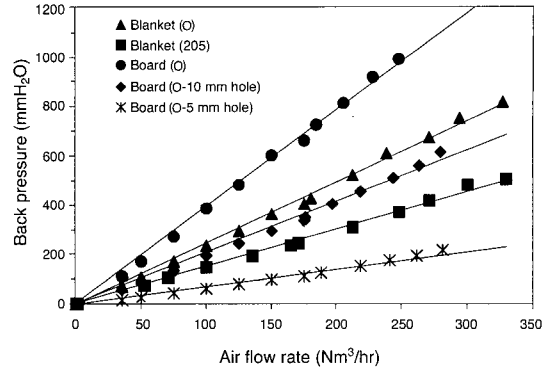


Fig. 8. Influence of structure alteration and flow rate on the back pressure ($t = 25$ mm ceramic blanket, $t = 20$ mm ceramic board).

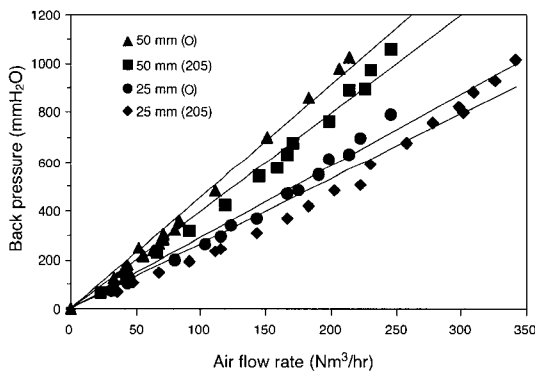


Fig. 7. Back pressure reduction employing 50 mm vs 25 mm, and (O) vs (205) ($t = 25$ mm, 50 mm ceramic blanket).

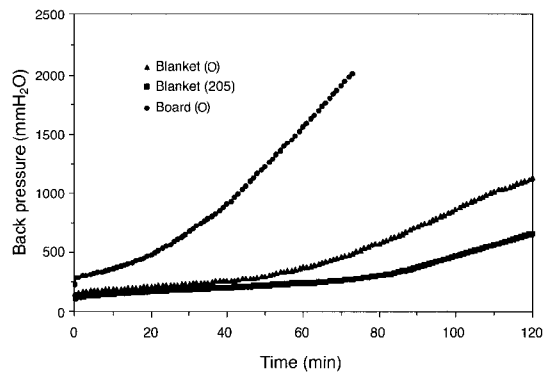


Fig. 9. Back pressure versus loading time on Idling (750 rpm).

도 높은 차압이 나타나, 가장 낮은 차압을 지닌 1단 여과재를 사용하는 것이 적절하였고, 차압감소를 위해 여과재의 두께도 25 mm로 줄여서 실험을 하였다. 그림 7에 두께 25 mm ceramic blanket을 여과재로 하여 구조변경을 통한 차압의 감소 결과를 보여 주고 있으며, 본 실험 시 유입 유량을 소형 디젤차량의 유량과 유사하도록 하였으며, 구조는 필터 표면에 직경 4 mm 정도의 미세한 구멍을 만들어 여과가 원활하도록 하여 입자상 물질의 포집면적을 증대시켰다. 여기서 기호(O)는 구조변경을 하지 않은 raw filter를 의미한다. Blanket 실험결과, ceramic blanket의 세라믹 섬유가 많은 유량을 공급시 끊어져 날리는 현상이 관찰되어 두께 20 mm ceramic

board를 여과재로 하여 차압실험을 하였다. Board 실험결과, 높은 차압의 결과를 나타내어 역시 구조변경을 통해 차압의 감소와 여과면적을 증대시켰다. 결과는 그림 8에 나타나 있으며, 유량에 따른 차압의 증가경향은 Board > Blanket > Board (10 mm hole) > Blanket (205공) > Board (5 mm hole)의 순으로 board (5 mm hole)가 가장 낮은 차압을 나타내었고, 개조하지 않은 board가 가장 높은 차압을 나타내었다.

3. 2 실증실험 여과필터 차압

엔진허용 차압이 1,500~2,000 mmH₂O의 범위가므로 차압이 2,000 mmH₂O에 도달시까지 차압의 변화를 측정하였다 (3M, 1995). 그림 9는 직경 250

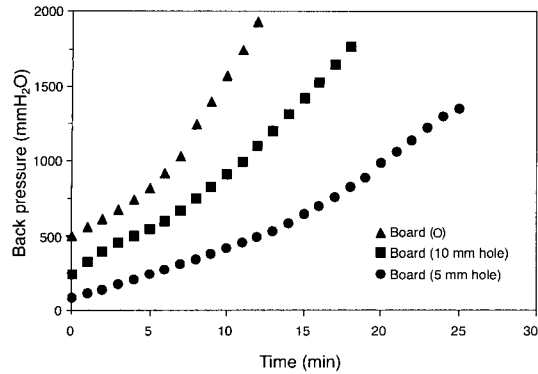


Fig. 10. Influence of board structure alteration and time on the back pressure at ΔP test trap (1500 rpm, no load).

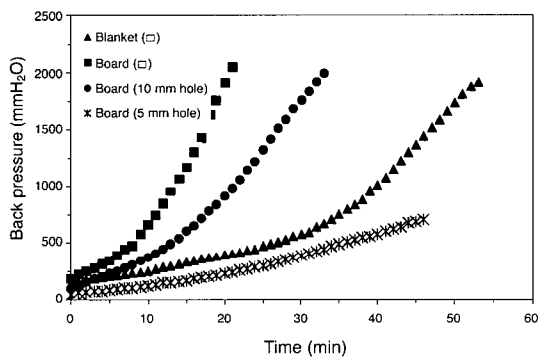


Fig. 11. Influence of board structure alteration and time on the back pressure at DPF test trap (1500 rpm, no load).

mm, 여과면적 420 cm²인 trap을 이용하여 공회전 조건하에서 blanket과 board의 loading time에 따른 차압의 변화이다. Board 여과재의 경우, 2,000 mmH₂O에 도달하는데 70 min 정도가 걸렸고 blanket의 경우는 320 min의 시간이 소요되었다. 그림 10은 board의 구조변경에 따른 차압의 변화를 나타내고 있으며, board 구조변경으로 인한 초기 차압의 감소와 낮은 차압증가율을 확인할 수 있다. 그림 11은 사각형의 다공성 내부관에 여과재를 부착함으로써 여과면적을 늘릴 수 있고 차량에 탑재할 수 있도록 설계한 직경 200 mm, 여과면적 990 cm²인 장치에 실험 결과로서, blanket과 board, board 구조변경 여

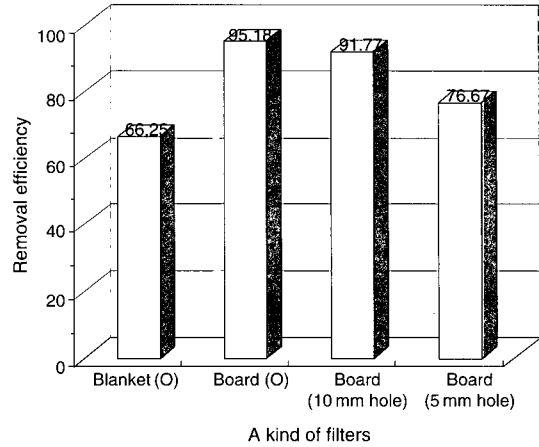


Fig. 12. Removal efficiency of particulates for various filters.

과재에 관해서 시간에 따른 차압의 변화를 파악하였다. Board (5 mm hole)의 경우 매우 낮은 차압을 보였으나, 변경한 구조의 hole간의 거리가 5 mm 밖에 되지 않아 필터의 파손이 자주 발생했다.

3.3 디젤 입자상 물질 제거효율

디젤 입자상 물질 여과장치에서 가장 중요한 것은 디젤 엔진으로부터 배출되는 입자상 물질을 배출량과 규제기준에 충분히 만족할 수 있도록 여과할 수 있는 능력이다.

본 연구에서는 차압실험과 실증실험에 사용된 ceramic blanket과 ceramic board, 그리고 각 여과재의 구조를 변경한 여과재에 관한 입자상 물질 제거 효율을 측정하였으며 결과는 그림 12에 나타내었다. 그림에서 구조변경을 하지 않은 blanket (O)이 66.25%로 가장 적은 효율을 나타내었고, board (O)가 95.18%의 가장 높은 입자상 물질 제거효율을 나타내었다. 그러나, board (O)는 이전의 차압 실험시 너무 높은 차압을 나타내어 DPF 적용시 어려움이 있을 것으로 생각되며, blanket (O)도 실험시 가장 적은 차압을 나타내었지만, 효율면에서 가장 낮아 여과재 적용이 힘들 것으로 사료된다. Board를 구조 변경한 나머지 두 여과재에 있어서, Board (5 mm)는 여과재의 구조적인 취약성으로 배기가스가 유출되어 76.67%의 낮은 효율을 나타내었다. 그리

므로, ceramic blanket과 ceramic board를 여과재로 사용한 기초연구에서는 ceramic board에 일정한 간격으로 10 mm의 hole을 만들어 배출가스 흐름을 유도한 여과재가 DPF 적용에 가장 적당할 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구에서는 세라믹 섬유를 가공제품인 ceramic blanket과 ceramic board를 패드형태로 고안하여 디젤 입자상 물질의 저감성능 및 DPF로써의 적용 가능성을 실험을 통하여 기초조사를 수행하였다. 따라서 실험에서는 유량에 따른 각 여과재의 차압변화, 실차에서의 시간에 따른 각 여과재의 차압변화 그리고 각 여과재의 입자상물질 제거효율에 관한 실험을 수행하여 여과재로 인해 엔진에 걸리는 배압, 제거효율 그리고 loading time에 대한 관계를 살펴보았다.

1. 차압실험에서 낮은 차압을 보였던 ceramic blanket은 긴 loading time을 나타냈지만, 입자상 물질 제거효율 측정은 66.25%로써 loading time에 따라 제거효율이 감소하는 것으로 조사되었다. 또한, 큰 유량의 조건에서 세라믹 섬유가 날리는 현상이 관찰되어 blanket은 DPF로 적합하지 않은 것으로 나타났다.

2. Board의 경우 높은 효율(95.18%)을 보이나 차압이 높고, loading time이 짧아서 DPF의 여과재로 역시 적합치 않았고, 5 mm hole을 만들어 개조한 board의 경우는 낮은 차압, 긴 loading time을 나타내었지만, 구조자체가 약해서 여과재의 파손이 자주 일어나 사용에 어려움이 있다.

3. 10 mm hole을 만든 board 구조변경 여과재는 90%의 입자상물질 제거효율을 나타 냈으며 1,500 rpm의 조건에서 2,000 mmH₂O까지 33 min의 loading time을 나타내어 실험한 여과재 중 가장 적합한 것으로 생각된다.

본 연구는 다공성 내부관의 5면에 패드형 여과재를 부착하여 입자상물질을 여과하는 DPF에 알맞은 여과재를 선정하기 위한 실험으로서, 재생없이 loading time 중의 1 cycle에서만 수행되었으며, 반복되는 재생으로 인한 세라믹 섬유형 필터에 미치는 영향

에 관한 추가적인 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

김민철, 권순박, 이규원, 김종춘, 정일록, 류정호, 엄정호 (1999) 디젤엔진에서 배출되는 미세입자의 크기 분포, 한국대기환경학회지, 15(5), 657-665.

김상환 (1993) 디젤자동차의 배기가스 저감기술, 자동차공학회지, 15(3), 19-31.

양 진 (1998) Diesel Particulate Filter의 특성 및 제조방법 (I), 멤브레인학회지, 8(3) 117-129.

하중률 (1991) 디젤기관으로부터 배출되는 미립자상 배출 물질의 특성, 자동차공학회지, 13(4), 43-53.

환경부 (2001) 2000년 환경백서.

SK 주식회사 (1997) 디젤엔진 촉매개발 연구, 제2단계 2차년도 연구보고서, 19-20.

3M (1995) 3M Nextel Diesel Filter Cartridges For Particulate Emission Control Designer's Guide.

Mayer, A., H. Egli, H. Burtscher, J. Czerwinski, and D. Gehrig (1995) Particle Size Distribution Downstream Traps of Different Design, SAE, 950373, 135-145.

Andrew, B., D. Tidmarsh, and M. Willcock (1998) The Effect of an Oxidation Catalyst on Cold Start Diesel Emissions in the First 120 Seconds of Running, SAE, 980193, 1-8.

David, J. Rickeard, J.R. Bateman, Y.K. Kwon, J.J. Mcaughey, and C.J. Dickens (1996) Exhaust Particulate Size Distribution : Vehicle and Fuel Influences in Light Duty Vehicles, SAE, 961980, 97-111.

Jinji S., H. Yamazaki, Y. Yoshida, and M. Hori (1985) Development of Dilution Mini-Tunnel and Its Availability for Measuring Diesel Exhaust Particulate Matter, SAE, 851547, 1-11.

Gabathuler, J.P., T. Mizrah, L. Eckert, A. Fischer, P. Kaser, and A. Maurer (1991) New Developments of Ceramic Foam as a Diesel Particulate Filter, SAE, 910325, 99-108.

Marty, A. Barris (1990) Durability Studies of Trap Oxidizer Systems, SAE, 900108, 7-20.

Marty, A. Barris and G.J. Rocklitz (1989) Development of Automatic Trap Oxidizer Muffler Systems, SAE, 890400, 69-86.

Hammerla, R.H., D.A. Ketcher, R.W. Horrocks, G. Lepperhoff, G. Huthwohl, and B. Luers (1994) Emissions from Current Diesel Vehicles, SAE, 942043, 1-18.

Takao, K., M. Yonemura, and H. Shimoda (1988) Ceramic Diesel Particulate Trap, National Technical Report, 34(4), 389-396.

Mizrah, T., A. Maurer, L. Gauckler, and J.P. Gabathuler (1989) Open-pore Ceramic Foam as Diesel Particulate Filter, SAE, 890172, 19-27.