

승용차용 Cabin Air Filter의 성능

Performance of Automotive Cabin Air Filter for Passenger Cars

박영옥 · 구철오 · 임정환 · 김홍룡 · 손재익
한국에너지기술연구소, 에너지환경연구부
(1995년 11월 20일 접수, 1996년 7월 8일)

Young-Ok Park, Cheol-Oh Koo, Chung-Hwan Lim, Hong-Yong Kim, Jae-Ek Son
Energy & Environment Research Department, Korea Institute of Energy Research
(Received 20 November 1995; accepted 8 July 1996)

Abstract

Pressure drop and fractional collection efficiency of automotive cabin air filters were examined to obtain the basic data for the development of high performance domestic cabin air filters. Pressure drop of MA-V100 was higher than that of VF-V100, and it increased with the air flow rate. VF-V100 had longer time to rise the critical pressure drop than that MA-V100 had. Total collection efficiency of MA-V100 for initial and dust loaded conditions was higher than that of VF-V100. Also, fractional collection efficiency of MA-V100 for the fine particles was higher than that of VF-V100. Particle size distribution for the minimum collection efficiency ranged from 0.02 μm to 0.04 μm for MA-V100 and it ranged from 0.01 μm to 0.15 μm for VF-V100.

Key words : cabin air filter, aerosol, collection efficiency, automobile

1. 서 론

세계의 승용차 생산량이 1993년에는 약 3천4백만대, 1994년에는 3천5백만대, 1995년 6월 현재 약 3천 7백만대로 년 평균 증가율은 약 5.1% 정도이다. 특히, 미국과 캐나다에서는 연평균 증가율이 약 8% 이상 상회하고 있다 (Bergman, 1993). 국내의 경우 자동차 생산량이 1992년에는 약 1백7십만대, 1993년에는 약 2백만대, 1994년에는 약 2백3십만대로 년 평균 증가율은 15.6%로 미국, 캐나다 및 서유럽의 국가들에 비해 높다 (산업기술진흥협회, 1995). 따라서, 자동차 생산량의 지속적인 증가로 인해 도로의 환경은 급격히 악화되어 가고 있는 실정이다. 특히 국내 도로의 경우는 디젤 자동차의 수요와 생산량의 증가로 인해 도로 환경은 선진국에 비

해 더 열악한 실정이다. 이로 인해 운전자 및 승객의 건강에 미치는 영향이 지대하게 크다는 선진국의 연구 보고가 계속되고 있다 (Tuteja *et al.*, 1992).

도로주행시 자동차 내로 유입되는 공기 중에는 꽃가루, 석면입자, 디젤 슈트, 박테리아, 도로먼지 등의 많은 종류의 악성 미립자상 물질과 ozone, benzene, toluene, hydrogen sulphate, formaldehyde, ammonia, carbon monoxide, nitrogen monoxide, nitrogen dioxide, sulfur dioxide 등과 같은 유해 기체상 물질이 다량 함유되어 있다. 산업체에서 발생된 먼지 및 자동차 배가스에 함유된 먼지의 입자크기는 100 μm 에서 0.01 μm 이하의 범위로 넓은 분포를 갖고 있으며, 디젤 자동차에서 배출되는 슈트는 1.0 μm 에서 0.01 μm 의 범위로 대단히 미세한 입자로 구성되어 있다 (Hinds, 1982). 코에서 기관 (trachea) 사이에 침착되

는 입자크기는 $5.0 \mu\text{m}$ 이상으로 입자상 물질의 종류는 대부분이 꽃가루 종류와 도로 먼지 등으로 밝혀졌으며, 기관지 (bronchus)와 기관지 세관 (terminal bronchiole) 폐포 사이에서 입자크기는 $1.0 \mu\text{m}$ 에서 $5.0 \mu\text{m}$ 범위이며 입자상 물질의 종류는 산업체에서 배출된 먼지, 도로먼지 및 검댕 (soot) 종류이다. 폐의 가장 깊은 부분인 폐포 (alveolar sac)에 침착되는 입자크기는 $0.01 \mu\text{m}$ 에서 $1.0 \mu\text{m}$ 범위로서 입자상 물질의 종류는 대부분이 산업체에서 배출된 먼지와 도로먼지이다. 따라서, 인간의 호흡기로 유입되어 폐에서 침착되는 악성 미립자상 물질의 입자크기는 대부분이 $5.0 \mu\text{m}$ 이하로 확인되었다 (Bergman, 1995). 악성 미립자가 다량 함유된 자동차 실내 분위기에 장시간 노출되게 되면 피부 알레르기 질환, 호흡기 질환 및 각종 신장 질환과 같은 질환의 유발 요인이 되고 있다고 연구 조사 결과를 보고했다 (U.S. EPA, 1992).

따라서 독일에서는 운전자 및 승객의 건강보호와 쾌적한 차내 환경을 유지하기 위해서 1979년부터 자동차용 cabin air filter 개발을 착수하여 1989년부터 승용차에 적용하였다. 서유럽 대부분의 고급 차종에는 자동차용 cabin air filter를 장착하였으며, 최근에 와서는 소형 승용차용 cabin air filter 개발을 위한 연구를 수행하고 있다 (Cashin, 1992). 미국에서는 1992년부터 자동차용 cabin air filter 개발을 착수하여 1993년부터 고급 승용차에 한하여 장착하였으며, 최근에 와서 장착 대상 승용차의 종류를 넓혀가고 있다 (Hsieh and Tang, 1995). 일본에서는 독일의 생산 업체와 기술 제휴하여 自國 승용차 적용용 cabin air filter를 개발하여 현재 몇 종류의 승용차 종류에 장착하고 있다. 국내 승용차의 경우는 선진국에서 수입하여 고급 승용차에 한하여 장착하고 있다 (Ohgaki *et al.*, 1995). 앞으로 운전자의 건강을 보호하고 쾌적한 자동차내 환경을 유지하여 안전 운행에 도움을 주고, 또한 먼지 침착에 의한 팬, heater, evaporator 및 공기순환 시스템의 보호 측면에서 cabin air filter의 장착 범위를 넓혀 갈 것으로 예측된다.

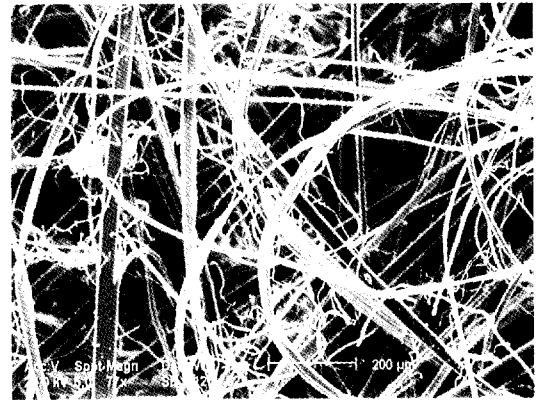
본 연구에서는 현재 고급 승용차에 설치되어 사용되고 있는 cabin air filter의 성능 특성을 고찰하고자 먼저 국내 고급 승용차의 공기순환 시스템 구성에서 cabin air filter의 설치 위치를 살펴 본 후, 국내 자동차 제조업체에서 새로 개발된 승용차에 장착될 예정인 선진국의 cabin air filter 2종류를 선정하여 실험실규모 실험장치에서 대기 중 부유먼지와 AC Fine 시험용 먼지 (air cleaner test dust fine)를 사용하여 cabin air filter

의 성능을 실험적으로 고찰하였다 (1985).

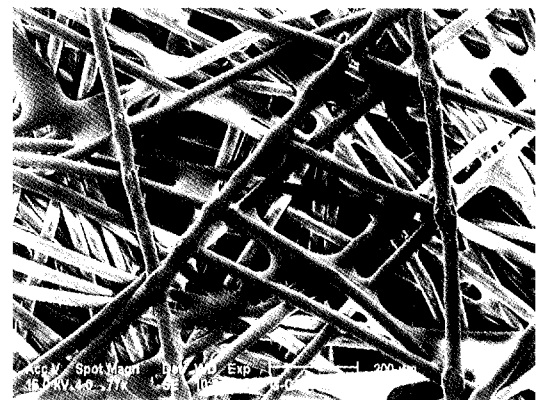
2. 실험

2.1 실험용 Cabin Air Filter

실험용 cabin air filter는 외국산 고급 승용차에 주로 설치하여 사용되고 있는 대표적인 외국산 제품 2종류로서, MA-V100은 carrier 부직포와 microfiber 정전 부직포, cover용 부직포로 3겹으로 제조되었으며, VF-V100은 carrier 부직포와 정전 부직포로 2겹으로 제조되었다. MA-V100의 중량은 163.9 g/m^2 , 두께는 3.5 mm , 재질은 polycarbonate이고, VF-V100



(a)



(b)

Fig. 1. Scanning electron microscope photograph of the cabin air filters.

(a) VF-V100, Magnification 77X

(b) MA-V100, Magnification 77X

의 중량이 235.4 g/m², 두께가 4.2 mm이며 재질은 polypropylene으로서, 일반적인 물리적 특성을 표 1에 나타냈다 (Bergman, 1995). 그림 1은 두종류의 실험용 cabin air filter의 표면을 전자현미경 (scanning electron microscope, Philips XL30)으로 77배 확대하여 관찰한 사진을 나타냈다. MA-V100의 표면 (그림 1(a))은 cover용 부직포로 구성되어 있어 단일섬유의 형상이 원형으로 나타났으나, microfiber 정전 부직포의 단일섬유 형상은 리본형상을 나타낸다. VF-V100 (그림 1(b))의 외부 표면은 정전 부직포로서 단일섬유의 형상은 사각형이며, 사각형의 단일섬유 주위에 가느다란 섬유가닥이 서로 엉킨 상태로 부착되어 있다.

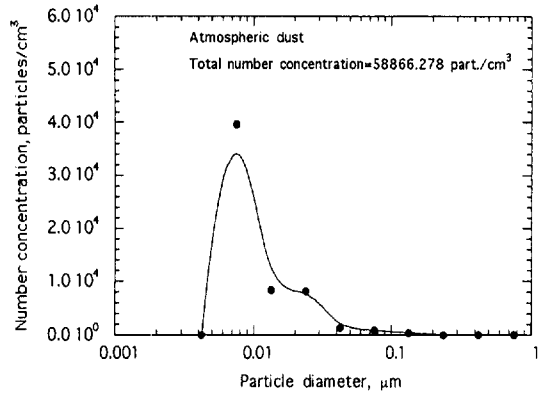
Table 1. Physical characteristics of test cabin air filters.

	MA-V100	VF-V100
Permeability, cc/cm ² sec at 25.4 mmH ₂ O	20.8	16.2
Weight, g/m ²	163.9	235.4
Thickness, mm	3.5	4.2

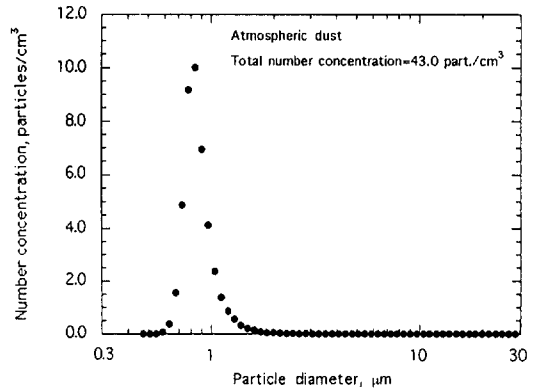
2.2 실험용 먼지

Cabin air filter의 성능을 시험하기 위해 실험용 먼지는 실험실내에 부유된 대기 중의 먼지를 이용하였다. 실험실내에 부유된 먼지는 광범위한 입자크기 분포를 갖고 있어 2종류의 측정장비를 사용하였다. 부유된 먼지의 입자크기 범위가 0.003 μm에서 1.0 μm 범위까지는 electrical aerosol size analyzer (Model 3030, TSI)로 측정하여 결과를 그림 2(a)에 나타냈고, 0.5 μm에서 30.0 μm 범위까지는 aerodynamic particle sizer (Model 310A, TSI)로 측정하였으며 결과를 그림 2(b)에 나타냈다. Electrical aerosol size analyzer로 측정한 결과를 보면 부유먼지의 입자크기별 개수농도 분포는 대부분이 0.006 μm에서 0.01 μm의 범위에 분포되어 있으며 총 개수농도는 58,866 particles/cm³이다. Aerodynamic particle sizer로 측정한 결과를 보면 부유먼지의 입자크기별 개수농도 분포는 대부분이 0.7 μm에서 1.0 μm의 범위에 분포되어 있으며 총 개수농도는 43.0 particles/cm³이다.

먼지입자가 퇴적된 조건에서 실험용 cabin air filter의 성능을 실험하기 위해서 먼지입자의 퇴적은 AC fine air cleaner test dust (AC Spark Plug Division, General Motors Corporation)를 사용하였다. AC



(a) Electrical aerosol size analyzer



(b) Aerodynamic Particle Sizer(3310A)

Fig. 2. Size distribution of atmospheric dust measured by electrical aerosol size analyzer and aerodynamic particle sizer.

(a) Data from electrical aerosol size analyzer
(b) Data from aerodynamic particle sizer

fine의 중량기준 평균입자크기는 18.2 μm이며, 형상을 전자현미경으로 3,092배로 확대하여 관찰한 사진을 그림 3에 나타냈다.

2.3 실험장치

실험장치는 각종 filter의 성능 특성을 연구하기 위해 다목적용으로 개발된 KIER Model의 실험실규모 장치로서 장치의 흐름도를 그림 4에 각각 나타냈다. 실험장치는 장치로 유입되는 공기에 함유된 먼지입자를 미리 제거하는 공기여과장치 (air cleaning chamber)와 실험용 공기 토출 송풍기, 실험용 먼지 분산 장치, 실험용 filter 성능 실험장치와 실험용 먼지 분산 장치로 유입되

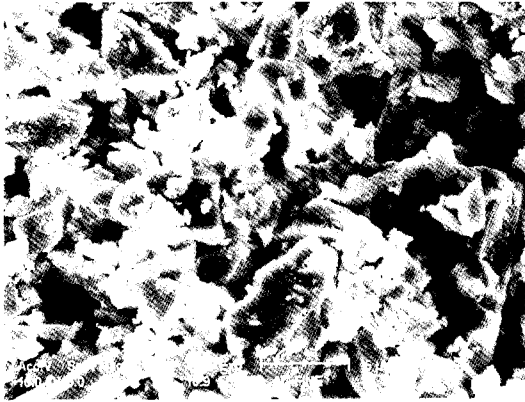


Fig. 3. Scanning electron microscope photograph of the AC fine test dust.

는 압축공기 정화장치로 구성되어 있다.

공기여과장치는 2단의 air filter가 설치되어 있어 토출 송풍기로 유입되는 공기 중에 함유된 먼지입자를 2단계로 포집 제거한다. 실험용 공기 토출 송풍기의 토출구에 유량 조절 장치를 설치하여 장치로 유입되는 공기의 유량을 조절할 수 있도록 되어 있다. 실험용 먼지 분산 장치는 G-7과제의 일환으로 개발된 장치로서 실험용으로 사용되는 먼지를 다분산 상태로 분산이 가능하고 먼지의 농도 범위가 넓은 범위로 조절이 가능하며 먼지 분산시 발생되는 정전기 제거 장치를 설치하여 분산된 먼지에 부여된 정전기는 완전히 제거가 가능하다.

Filter 성능 실험장치는 3단으로 구성되어 있으며, 상단은 실험용 먼지 확산부분, 중앙 단은 각종 filter를

실험할 수 있는 filter 성능 실험 부분, 하단은 실험용 filter를 통과한 유량 측정 부분으로 구성되어 있다. 이 장치의 상단 중앙과 하단의 중앙에 시료 채취구를 설치하여 측정장비로 유입되는 먼지와 실험용 filter를 통과한 먼지의 농도 및 입자크기분포를 측정할 수 있도록 하였다.

기체가 먼지층과 실험용 filter를 통과할 때 걸리는 저항인 압력손실은 analog pressure와 digital pressure indicator에서 판독하며, 실험용 filter를 통과한 유량은 장치의 하단에 설치된 orifice의 차압으로 측정하며, 측정된 값도 analog pressure와 digital pressure indicator에서 판독할 수 있도록 되어 있다.

2. 4 실험방법

실험은 초기조건과 먼지층의 형성조건을 구분하여 실험하였으며, 초기조건 실험은 청정 cabin air filter를 실험장치에 장착하여 실험실내의 공기를 유입하여 공기 유량 변화에 따른 압력손실과 부분 먼지포집효율을 측정하였다. 유입공기 유량 증가에 따른 압력손실은 실험장치내로 유입되는 공기의 유량을 송풍기의 유량조절 장치로 조절하여 유량은 orifice의 차압으로 읽었으며, 이때의 공기 유량에서 실험용 cabin air filter의 저항을 압력계로 측정하였다. 먼지부하의 변화에 따른 압력손실은 유입공기 유량과 입구먼지농도가 일정한 조건에서 운전시간이 경과함에 따라 실험용 cabin air filter의 저항을 압력계로 측정하였다. 초기조건에서 부분 먼지포집효율은 청정 cabin air filter를 실험장치내에 설치한 후 유입 공기유량이 일정한 조건에서 유입공기에 함유된 먼지의 입자크기별 농도와 실험용 cabin air

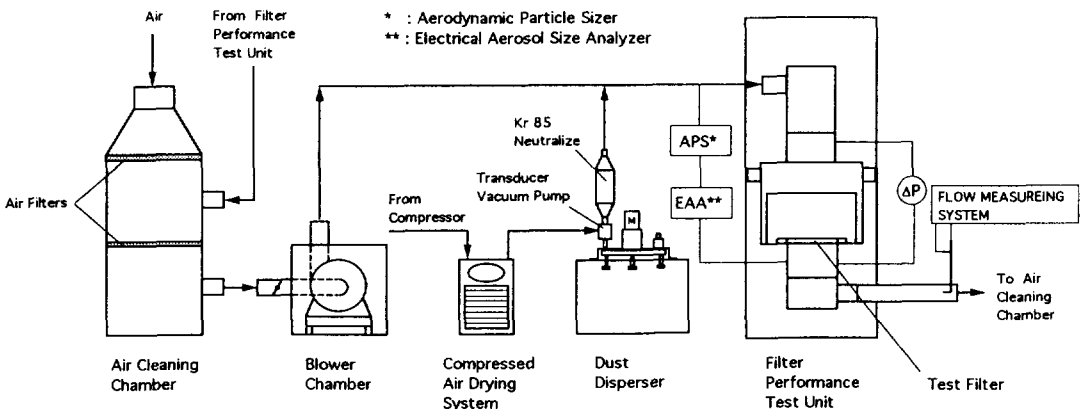


Fig. 4. Schematic diagram of cabin air filter performance test unit.

filter의 통과한 공기에 함유된 먼지의 입자크기별 농도를 aerodynamic particle sizer로써 등속 흡인하여 측정된 자료를 토대로 계산에 의해서 얻었다. 먼지층이 형성 조건에서 부분 먼지포집효율은 먼저 AC fine dust를 일정한 농도로 분산시켜 실험용 cabin air filter 표면에 먼지층을 일정한 무게로 형성시킨 후 AC fine dust 분산을 중단시키고, 실험실내의 공기를 유입하여 공기 유량이 일정한 조건에서 유입공기에 함유된 먼지의 입자크기별 농도와 실험용 cabin air filter의 통과한 공기에 함유된 먼지의 입자크기별 농도를 입자크기가 0.5 μm에서 30.0 μm까지의 범위는 aerodynamic particle sizer로써 측정하였고, 0.003 μm에서 1.0 μm까지의 범위는 electrical aerosol size analyzer로 측정하여 측정자료를 토대로 계산에 의해서 얻었다. 변화에 따라서 압력손실의 변화를 측정하였고, 총괄 먼지포집효율 및 부분 먼지포집효율을 측정하였다. AC fine dust는 건조기 (convecting oven)에서 110°C로 12시간 동안 가열 건조한 후 상온건조기에서 실험실의 온도와 같도록 24시간 냉각하여 사용하였다. AC fine dust의 농도는 먼지 분산장치에서 AC fine dust의 분산 유량을 일정하게 하여 유지했다. 실험조건은 표 2에 나타났다.

Table 2. Experimental conditions.

Air flow rate	300, 500 Sm ³ /hr
AC fine test dust concentration	70 mg/Sm ³
Air temperature	20°C
Filtration area	0.20, 0.38 m ²

3. 결과 및 고찰

3.1 Cabin Air Filter 설치 위치

승용차의 공기순환 시스템 구성과 cabin air filter의 설치 위치를 그림 5에 나타냈다. 공기순환 시스템의 구성은 물방울 분리 장치 (water drop separator), 댐퍼 (damper), 순환 팬 (fan), 냉방기 (evaporator), 가열기 (heater) 및 혼합실 (mixing compartment)로 구성되어 있다. Cabin air filter 장착 대상인 3개 자동차 회사에서 생산되는 승용차의 구조적 측면에서 보면 cabin air filter의 장착 위치는 물방울분리 장치와 순환 팬 사이에 설치가 가장 적합할 것으로 추정된다. 이 위치에 cabin air filter를 설치하므로써 외부 공기에 함유된 악성 입자상 물질과 차내 실내 순환공기에 함유된 입자상 물질 및 박테리아 종류의 포집 제거가 가능하

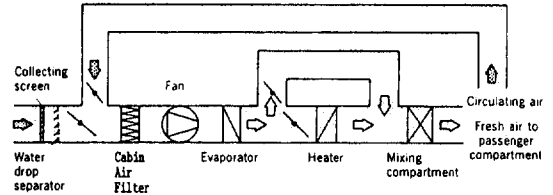


Fig. 5. Structural diagram for an air-conditioning system with a cabin air filter.

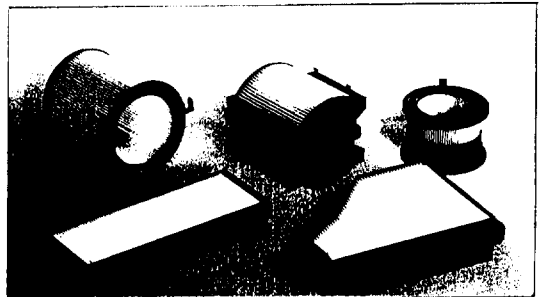


Fig. 6. Automotive cabin air filters.

다. 또한 순환 팬, 냉방기, 가열기, 혼합실 및 순환 배관에 외부 먼지의 부착을 방지함으로써 각 기기의 성능 향상 및 수명 연장이 가능하다. 특히 냉방기 및 혼합실에 부착된 먼지의 부패에 의한 박테리아 생성 및 악취 발생을 방지할 수 있어 쾌적한 차내 환경 유지가 가능하다. 그러나 새로운 차종의 개발에 따라 cabin air filter의 설치 위치와 형상이 변경될 가능성이 크므로 이에 대한 많은 연구가 수행되어야 한다. Cabin air filter 형상은 승용차의 구조와 종류에 따라 다르다. 그림 6에 Volkswagen사의 Jetta, Opel사의 Astra, Ford사의 Mondeo, Mercedes Benz와 BMW 등의 외국의 각종 고급 승용차에 장착되는 cabin air filter 형상을 나타냈다 (Bergman, 1995).

3.2 압력손실

공기 순환 시스템을 원활히 효율적으로 운전하기 위해서는 각 부분에서 압력손실이 가능한 적어야한다. 따라서 cabin air filter의 수명의 지표는 압력손실로 결정하여 교체주기로 본다. 국내 자동차 연구소의 연구결과에 의하면 cabin air filter의 한계 압력손실은 40 mmH₂O 정도로 규정하고 있다. 초기 조건에서 2종류의 cabin air filter의 압력손실의 변화 경향을 공기유량의

변화에 따라 그림 7에 나타났다. 공기 유량이 증가함에 따라 압력손실은 증가하는 경향을 나타내고 있는데, 증가기울기는 MA-V100이 VF-V100에 비해 컸다. 이와 같은 현상은 MA-V100이 VF-V100에 비해 직조 상태가 조밀하고 구조가 3점으로 제조되어 있어 공기 통

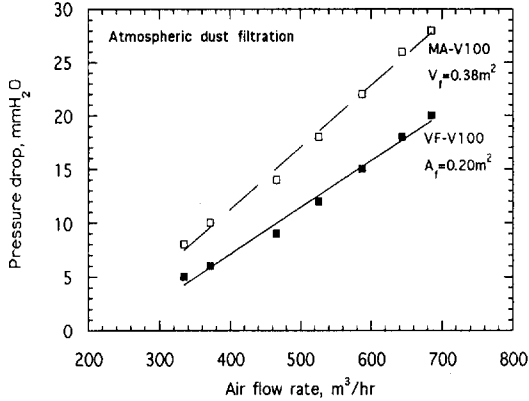


Fig. 7. Pressure drop versus air flow rate of automotive cabin air filters.

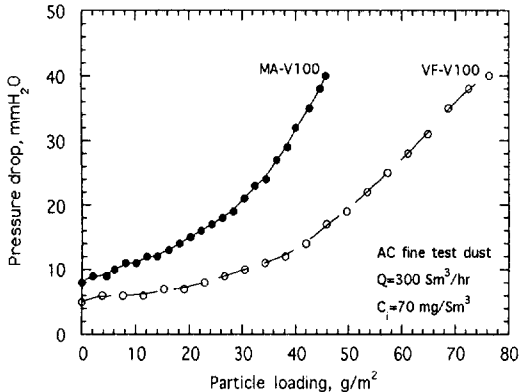


Fig. 8. Pressure drop versus particle loading of automotive cabin air filters at 300 Sm³/hr.

과에 대한 저항이 크기 때문이다.

그림 8에 유입 공기에 함유된 먼지농도와 공기 유량이 일정한 조건에서 먼지부하의 증가에 따른 압력손실의 변화 경향을 나타냈다. 압력손실 변화는 먼지부하가 낮은 범위인 약 30 g/m²까지는 완만하게 증가하는 경향을 나타냈으나 이 이상의 먼지부하에서 부터는 급격히 증가하는 경향을 나타냈다. MA-V100은 먼지부하가 40 g/m²에서 한계 압력손실인 40 mmH₂O에 도달했으며, VF-V100은 먼지부하가 75 g/m²에서 한계 압력손실에 도달했다. 이와 같은 결과는 VF-V100의 교체주기가 MA-V100에 비해 길다는 것을 예측할 수 있다.

3.3 총괄 먼지포집효율

표 3에 공기유량이 300 Sm³/hr인 조건과 500 Sm³/hr 조건에서 초기조건과 AC Fine 먼지층을 형성한 조건에서 대기 중 부유먼지의 포집에 대한 총괄 먼지포집효율을 나타냈다. 초기 조건의 총괄 먼지포집효율은 청정 cabin air filter의 상태에서 실험실 공기 중의 부유먼지의 포집에 대한 효율을 나타낸 것이고, 먼지층이 형성된 조건에서 실험실 공기 중의 부유먼지의 포집에 대한 효율이다. 표 3에서 보는 바와 같이 초기 조건과 먼지층이 형성된 조건에서의 먼지포집효율은 공기 유량이 많은 조건이 적은 조건에 비해 낮게 나타났다. 초기 조건에서 MA-V100의 총괄 먼지 포집효율이 VF-V100의 총괄 먼지포집효율보다 높게 나타났다. 먼지층이 형성된 조건에서도 마찬가지로 MA-V100의 총괄 먼지포집효율이 VF-V100에 비해 높게 나타났으며, 특히 공기 유량이 500 Sm³/hr인 조건에서 먼지층이 형성된 조건의 경우는 MA-V100이 VF-V100에 비해 약 38% 정도 더 높게 유지되었다. 이와 같은 결과는 MA-V100의 직조 구조가 VF-V100의 직조 구조에 비해 조밀하게 구성되어 있고 filter를 구성하는 단일섬유의 직경이 가늘어 먼지 입자의 포집 효과가 우수하게 나타나는 현상으로 볼 수 있다. 또한 filter에 의한 먼지입자 포집에서 포집효율은 filter의 통기도가 증가하면 저하하고 감소하면 증가하는 경향이 있다고 보고하고 있는데

Table 3. Total collection efficiency.

Air flow rate, m³/hr	Total collection efficiency, %	MA-V100		VF-V100	
		Initial	14.9g AC Fine loaded	Initial	8.0g AC Fine loaded
300		48.84	83.8	25.6	78.9
500		33.04	92.71	17.3	54.86

(Hummel, 1996), 표 1을 토대로 비교하면 MA-V100의 총괄 먼지포집효율이 VF-V100의 총괄 먼지포집효율 보다 높다는 실험결과를 입증해 주고 있다.

동일한 공기 유량 조건에서 보면 먼지층이 형성된 조건의 총괄 먼지포집효율이 초기 조건에 비해 높게 유지되었는데, 이와 같은 현상은 filter 자체에 의한 먼지입자 포집에 기여하는 효과보다 먼지층에 의해 기여하는 효과가 크기 때문으로 볼 수 있다.

3.4 부분 먼지포집효율

부분 먼지포집효율은 부유먼지의 입자크기에 따른 먼지 포집효율로서 측정자료를 토대로 다음의 관계식에 의해서 구했다(Hinds, 1982).

$$\eta_i = (1 - N_{out_i}/N_{in_i}) \times 100$$

여기서, η_i 는 부분먼지포집효율 (%)이며, N_{in_i} 는 장치에 유입되는 부유먼지의 입자크기별 개수농도 (particles/cm³)이고, N_{out_i} 는 실험용 filter를 통과한 먼지의 입자크기별 개수농도 (particles/cm³)이다.

그림 9에 공기유량이 500 Sm³/hr 조건에서 초기조건과 AC Fine 먼지층을 형성한 조건에서 대기 중 부유먼지의 입자크기가 0.5 μm 이상에서 입자크기별 포집효율인 부분 포집효율을 나타냈다.

두 종류의 cabin air filter 모두가 초기조건이 먼지층이 형성된 조건에 비해 부분 포집효율은 낮게 유지되었다. 또한, MA-V100의 부분 포집효율이 VA-V100 보다 높게 유지되었다. 초기조건에서도 마찬가지로 먼지의 입자크기가 미세한 범위에서나 큰 범위에서도 MA-V100가 VF-V100 보다 높게 유지되었다. 또한, 먼지가 퇴적된 조건에서도 마찬가지로 MA-V100의 부분 포집효율이 VF-V100 보다 높게 유지되었다. 초기 조건에서 100% 포집이 가능한 입자크기가 MA-V100으로는 6.5 μm이나 VF-V100으로는 약 10.5 μm로 나타났다. 먼지층이 형성된 조건에서도 마찬가지로 100% 포집이 가능한 입자크기는 MA-V100으로는 2.0 μm이나 VF-V100으로는 5.0 μm으로 보아 부분 포집효율 측면에서는 MA-V100이 VF-V100에 비해 우수한 것으로 확인되었다.

먼지층이 일정하게 형성된 조건에서 미세한 부유먼지 입자의 부분 포집효율을 그림 10에 나타냈다. 두 종류의 cabin air filter의 부분 포집효율은 미세한 입자크기에서는 높으나 입자크기가 커지면서 감소하는 경향을 나타내다가 어느 정도의 입자크기에서 부터 증가하는 경향을

나타냈다. MA-V100에서 부분 포집효율이 가장 낮은 입자크기는 0.02 μm에서 0.04 μm 정도이나 VF-V100에서는 0.013 μm에서 0.075 μm 범위로 나타났다. Hinds(1982)는 미세한 먼지입자크기에 따른 filter에 의한 포집기구를 해석한 이론을 토대로 filter의 두께가 1.0 mm이고, filter를 구성하는 단일섬유의 직경이 2.0 μm이며, 충전율이 0.05인 air filter의 여과속도가 6.0 m/min인 조건에서 추정된 먼지입자포집기구는 먼지입자크기가 0.01 μm 이상에서 0.2 μm 정도의 범위에서는 확산(diffusion)에 의해서 먼지 포집이 지배적으로 이루어지며, 0.4 μm 이상의 입자크기에서부터는 직접차단(interception)과 관성충돌(impaction)

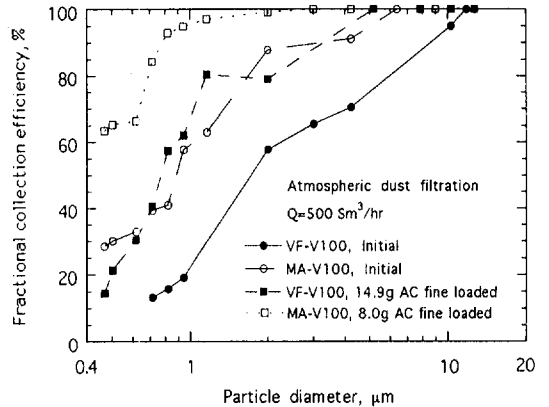


Fig. 9. Fractional collection efficiency as a function of particle size for initial and loaded filters.

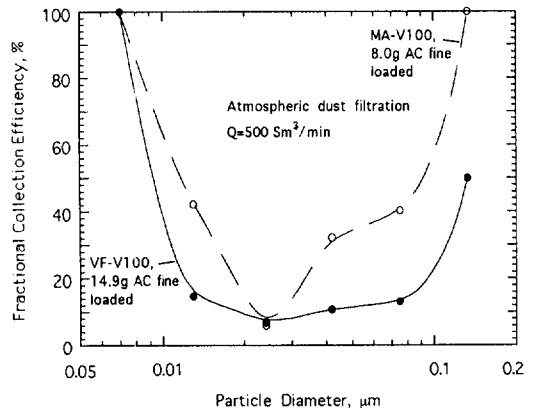


Fig. 10. Fractional collection efficiency versus fine particle size for loaded filters.

에 의해서 지배적으로 이루어지고 있는 것으로 추정하였다.

그러나 입자크기가 0.2 μm 에서 0.4 μm 의 범위에서 최소면지입자포집효율 (minimum collection efficiency)이 존재하게 되는데, 이 범위의 먼지입자크기에서는 포집기구가 확산과 직접차단에 동시에 복합적으로 이루어지고 있는 것으로 추정하였다. 따라서 MA-V100의 최소면지입자포집효율이 존재하는 먼지입자크기범위는 0.015 μm 에서 0.04 μm 정도의 범위로 확인되었고 VF-V100은 0.01 μm 에서 0.15 μm 정도의 범위로 확인되었다.

4. 결 론

시대적 요구와 도로 환경 오염이 심각해짐에 따라 운전자의 건강 보호 및 쾌적한 차내 환경 유지 측면에서 cabin air filter를 장착하는 승용차의 종류가 증가하고 있으며, cabin air filter의 고성능 유지를 위한 많은 연구 개발이 선진국에서는 진행되고 있다. 본 연구에서는 국내 승용차에 장착할 한국형 고효율 cabin air filter를 개발하기 위한 기초자료를 획득하고자 국내 승용차에 장착할 cabin air filter의 설치 위치와 최근에 국내 승용차에 장착될 수입 cabin air filter 2종류를 선정하여 압력손실 및 부분 포집효율에 대해서 고찰하였다.

1. 국내 승용차의 구조 측면에서 cabin air filter의 설치 위치는 물방울 분리장치와 순환 팬 사이가 유입 먼지 부착에 의한 각각 기기의 보호와 차내 내부 순환 공기 정화 측면에서 고려해 볼 때 적합하다고 추정된다. 새로운 차종의 개발에 따라 다소 위치가 변경될 가능성이 있어 적용 승용차의 구조에 대한 많은 연구가 필요하다.
2. VF-V100의 압력손실의 증가 기울기는 MA-V100에 비해 유량의 증가에 따라 작았다. 또한 cabin air filter의 한계 압력손실에 도달하는 시간도 VF-V100이 MA-V100에 비해 길었다.
3. 총괄 먼지포집효율은 공기유량이 낮은 조건이 높은 조건에 비해 높게 유지되었고, 먼지층의 형성 조건이 초기 조건 보다 높게 유지되었다. MA-V100의 총괄 먼지포집효율이 VF-V100보다 높게 유지되었다.
4. 대기 중 부유먼지의 입자크기가 0.4 μm 이상에서 MA-V100의 부분포집효율은 VF-V100에 비해

높게 유지되었으며, 100% 포집이 가능한 부유먼지의 입자크기도 MA-V100이 VF-V100에 비해 작았다.

5. 미세한 먼지입자 크기 범위에서 MA-V100의 부분포집효율이 VF-V100에 비해 높게 유지되었으며, MA-V100의 부분포집효율이 가장 낮게 유지되는 최소면지입자포집효율의 입자크기는 0.02 μm 에서 0.04 μm 정도 범위이나 VF-V100에서는 0.01 μm 에서 0.15 μm 로 넓게 분포되었다.

기 호 설 명

A_f : 여과면적, m^2

C_i : 입구먼지농도, mg/Sm^3

Q : 공기유량, Sm^3/hr

η_f : 부분먼지 입자포집효율, %

N_{outf} : Filter를 통과한 공기 중에 함유된 먼지의 입자크기별 개수농도, $\text{particles}/\text{cm}^3$

N_{inr} : Filter의 유입공기 중에 먼지의 입자크기별 개수농도, $\text{particles}/\text{cm}^3$

참 고 문 헌

- 한국산업기술진흥협회 (1995), 산업기술백서 : 기술개발의 세계화, 397-411pp.
- 荒川正文 (1985), 改訂増補 粉體物性圖說, 粉體工業學會, (社)日本粉體工業技術協會 編, 615.
- Bergman L.(1993), Automotive cabin air filters show potential for nonwoven filters, Nonwoven Industry, 42-43pp.
- Bergman L.(1993), Filtration opportunity automotive cabin air filters worldwide, Filter Media Consulting, Inc., 81pp.
- Bergman L.(1995), Automotive cabin air filters worldwide : meltblown/microfiber and electret nonwoven filter media and many related aspects, Filter Media Consulting, Inc., 423pp.
- Coshin A.(1992), Cleaner automotive passenger air through cabin filters, in Proceeding of TANDEC Conference, 13-15, October 1992.
- Hinds W.C.(1982), *Aerosol technology : properties, behavior, and measurement of airborne particles*, John Willey & Sons,

- 424pp.
- Hsieh K.C. and Y.M. Tang (1995), Characterization of used cabin air filters, Proceeding of International Filtration Conference, Organized by Filter Media Consulting, Inc., and Nikkan Kogyo Shimbun, Ltd., 51-56.
- Hummel P.A.(1996), Advancedments in automotive transmission sump filtration, Aspects of Automotive Filtration, SP-1165, Society of Automotive Engineers, Inc.
- Ohgaki Y., M. Nagashima and Y. Matsubayashi (1995), The automotive cabin filter in Japan, Proceeding of International Filtration Conference, Organized by Filter Media Consulting, Inc., and Nikkan Kogyo Shimbun, Ltd., 38-42.
- Tuteja, A.D., M.B. Hoffman, J.M. Lopez-crevillen, S. Singh, R.R. Stomber and G.C. Wallace (1992), Selection and development of a particulate trap system for a light duty diesel engine, SAE Paper 920142.
- U.S. EPA(1992) U.S. EPA's national air quality and emission trends report, Technical Support Division, U.S. Environmental Protection Agency, Oct. 1993.