

자동차에서의 공기 청정기술

윤 성 렬
한 국 생 산 기 술 연 구 원
선 임 연 구 원

1. 머리말

급격한 자동차 수의 증가는 환경적, 경제적, 사회적 측면에서 심각한 문제들을 던져주고 있다. 차량증가로 인한 막대한 유류소비의 증가는 차치하고라도 차량으로부터 직접, 간접으로 배출되는 각종 오염입자와 유해가스로 인한 인체와 대기환경에 미치는 영향은 심각한 수준에 이르고 있다. 자동차가 1백만대였던 85년 서울의 경우, 자동차는 전체 대기오염물질의 27.4%를 차지하였으나 1천만대 시대를 맞은 96년 80.6%로 급상승했다. 자동차 대기오염물질중 미세먼지와 질소산화물은 이미 위험수위에 도달한 것으로 분석되고 있다. 선진국형 대기오염물이라고 불리는 오존은 자동차 배기가스에 기인한 2차 오염물로서 각종 호흡기질환의 원인이 되고 있고 서울을 비롯한 대도시 경우 0.12ppm 초과시 발령되는 오존 경보횟수가 해마다 크게 증가하고 있다.

자동차에 의한 공해를 줄이는 방법은 고효율 엔진설계, 청정연료사용, 효율적 배기가스처리,

엔진으로의 청정공기 유입등을 들 수 있다. 대기오염이 심화되면서 엔진에 유입되는 공기를 청정화시키는 자동차 에어클리너는 중요한 역할을 수행한다. 서브마이크론 크기의 유해입자와 증가된 미세분진은 필터의 수명을 크게 단축시킬 뿐 아니라 충분히 정화되지 않고 엔진에 들어가면서 엔진수명까지 단축시키고 불완전연소로 인하여 유해한 오염물질을 대기로 배출하게 되기 때문이다. 청정 효율 및 통기성이 수명기간동안 일정하게 유지되고 효율이 공기량의 변량에 따라 상대적으로 훨씬 적거나 거의 영향을 받지 않는 에어필터를 개발하려는 노력이 이루어져 상당한 발전을 이룬 것이 사실이다.

이에 반해 자동차 실내공간에서의 공기질에 대해서 지금까지는 구미선진국에 비해 관심을 갖지 못한 것이 사실이다. 그러나 지하공간, 사무실, 일반 주거공간에서 실내공기질(Indoor Air Quality)의 관심이 증가하면서 자동차내의 공기질에 관심을 보이고 있는 것은 고무적이다. 자동차 실내 공기질은 ①적절한 온도, 상대

습도, ②공기분배 및 환기, ③가스, 증기, 입자 등 대기요소의 조절로 정의될 수 있으며 ①, ②항목은 전자 및 제어기술의 발달에 힘입어 크게 개선되었으나 ③항목은 아직은 만족할 수 없는 개선의 여지가 많은 부분이다. 이미 유럽 등 자동차 선진국에서는 자동차 실내용 에어필터를 표준사양으로 장착하여 운전자 및 승객의 안락감과 건강을 지켜주고 있다. 에어컨이 선택사양이 아니라 필수사양이 되어버린 것과 같이 대기오염의 정도가 획기적으로 감소되지 않는 한 실내용 에어필터는 필수품으로 인식될 수 밖에 없을 것으로 보인다. 본 고에서는 자동차 실내용 에어필터의 현황과 동향, 자동차 선진국에서의 필터재질, 필터설계, 필터성능 시험기술을 살펴보고 개선 및 연구개발방향 그리고 국내에서의 적용가능성을 제시하고자 한다.

2. 자동차 실내용 에어필터의 종류와 특성

가. 자동차 실내용 에어필터 현황

자동차가 달리는 도로환경에서 노출되는 대기상태는 매우 다양하며 지역에 따라 심한 편차를 보일 수 있다. 도로인근에서 접하게 되는 대기오염물의 종류 및 크기, 대기오염물의 크기별 분포를 그림1, 그림2에 보인다. 필터의 포집측면에서 포집해야 할 입자는 크게 두 부류로 나눌 수 있다. 첫째는 2~5 μm 의 크기보다 작은 입자들로 주로 연소과정과 다른 산업활동에서 유래하며 탄소, 황 입자, 중금속들이 여기에 해당한다. 반면에 2~5 μm 보다 큰 입자는 화분, 포자, 모래, 흙먼지등과 같이 대부분 자연적 근원에서 유래한다. 보통 에어필터는 3 μm 보다 큰 입자에 대해서는 상당히 높은 효율을 보

여주고 있지만 그보다 작은 0.1~1 μm 크기의 입자에 대해서는 거기에 이르지 못하고 있다.

유해가스의 경우 교통량이 많은 지역과 도시 산업지역에서 차량내에서도 오존과 같은 가스 오염물이 고농도로 존재한다. 오존에 의한 목과 눈, 호흡기계통의 질환에 영향을 미치고 있다는 것은 이미 일반화된 사실이다. 오존보다 더 독성이 큰 것은 고휘발성 가스인 벤젠이다. 도로인근에서 발생하는 다른 독성가스로는 톨루엔, 황화수소, 포름알데히드, 암모니아, 일산화탄소를 들 수 있다. 자동차 내부에서 입자포집은 일찍이 1930년대 처음 사용된 기록이 있다. 처음에는 오염입자를 제거하는 것에 초점을 두었으나 이제는 유해가스, 악취까지 제거하는데 까지 관심을 기울이지 않으면 안되게 되었다. 오염제거 필터가 1세대 필터라면 활성탄등을 이용하여 유해가스까지 제거하는 필터를 2세대 필터라 할 수 있다.

자동차 실내용 에어필터는 유럽에서 먼저 개발되기 시작하여 1993년에 약 40개의 자동차 모델에 표준사양으로 장착되기 시작했다. 다른 모델의 경우도 구매자가 원할 경우 에어필터를 설치할 수 있도록 하였다. 선도업체라고 할 수 있는 Freudenberg는 최대 공급업체로서 다층마이크로섬유 부직포필터 개발과 분리프레임이 없는 필터를 개발한바 있다. Mann & Hummel 사는 셀룰로스/폴리에스터 복합재로된 필터를 개발하여 주름진 형태의 에어필터, 활성탄 복합필터등을 공급하고 있다. 미국의 경우 1994년부터 Ford 자동차가 일부 월드카 모델에 자동차 실내용 에어필터를 장착하면서 다른 주요 자동차메이커들도 이를 따르고 있다. 1994년부

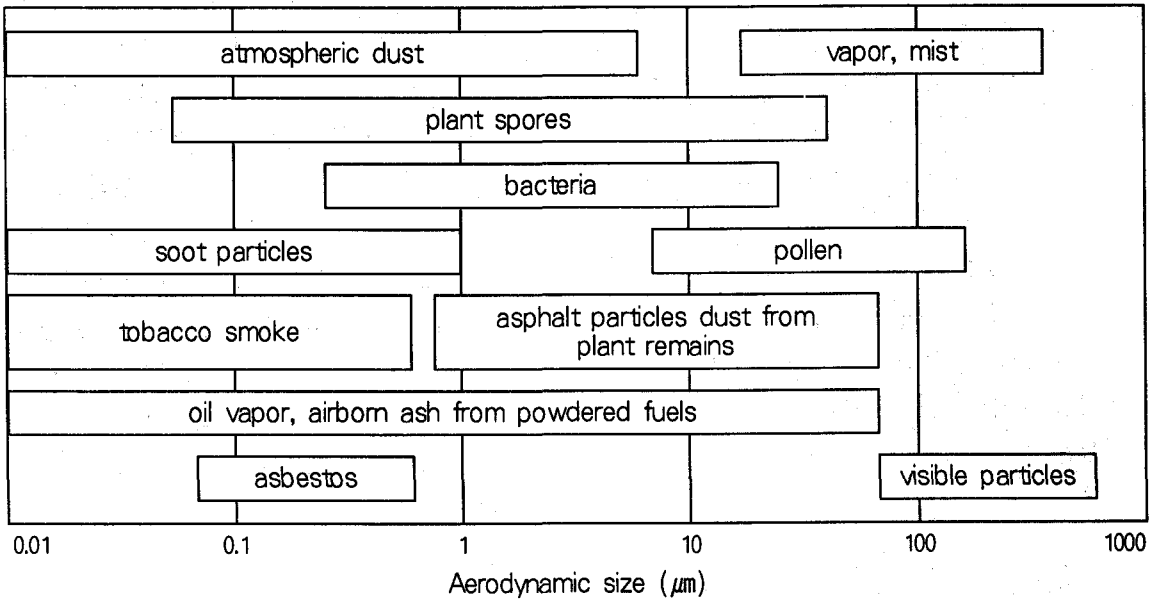


그림 1 도로인근에서 대기오염물의 종류 및 크기

Relative proportion of particle (%)

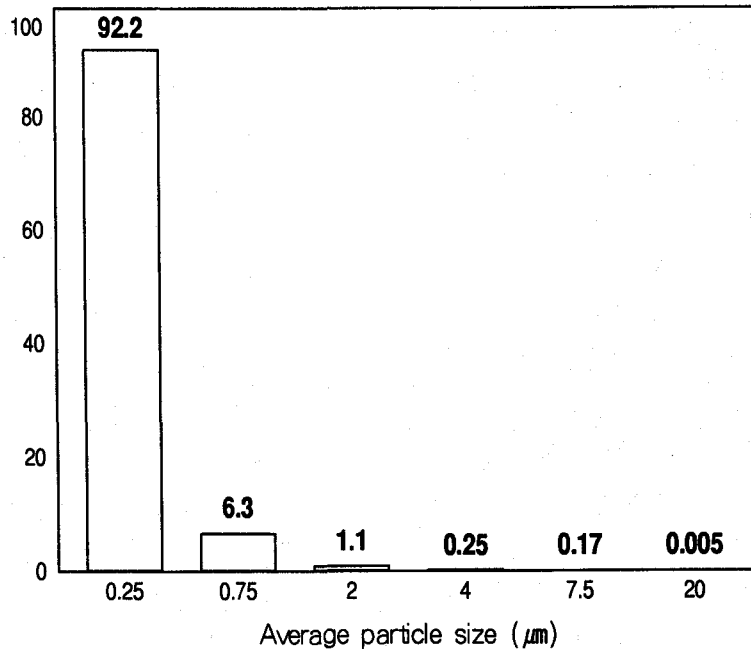


그림 2 도로인근에서 대기오염물의 크기별 분포

터 신형차에 대해 자동차 실내용 에어필터를 표준사양으로 장착하기 시작했다. 특히 5천만 명 이상의 미국인이 화분, 포자, 미세먼지등의 원인으로 알레르기나 천식으로 고통받고 있고 실내공기질에 대한 관심이 극적으로 높아지고 있기 때문에 에어필터의 성장은 빠를 것으로 보인다. 일본의 경우도 자동차 실내용 에어필터의 개발과 사용에서 상당한 발전을 보이고 있다. Mazda, Toyota자동차의 신형모델에 장착되기 시작하였고 입자와 악취 모두 제거할 수 있는 활성탄복합필터를 도입하여 사용하고 있다.

에어필터의 구비조건

필터는 자동차의 내부공간에 따라 50 ~ 600 m³/h 의 송풍량을 유지해야 하며 이런 용량을 엔진 에어필터보다 적어도 2 ~ 5배의 풍속을 갖는다. 상대적으로 높은 풍속일 때 포집된 입자가 뿜겨나는 현상이 발생할 수 있으므로 고풍속하에서도 포집된 입자가 탈락되지 않는 필터재질이여야 한다. 필터로 인한 압력손실이 작아야 하며 사용온도는 -40 °F(-25.6°C) ~ 100 °F(37.8°C) 범위를 충족시켜야 한다. 실내 공기 에어필터는 수명조건 20,000km 에서 약 10g 정도까지의 오염물질을 포집할 수 있고 이것은 유사한 압력손실에서 활성탄 미세먼지 20g의 양에 해당한다. 습도는 필터의 수명을 단축하는 효과가 있지만 고습도 조건에서도 지속적으로 사용될 수 있어야 하고 필터재질은 습기가 줄어들었을 때 포집능력이 쉽게 회복되고 습기가 냄새의 원인이 되서는 안된다.

자동차 실내용 에어필터는 기본적으로 냉각코일의 보호, 자동차내부의 청결유지, 알레르기

및 악취를 제거하거나 감소시킬 수 있어야 한다. 에어필터의 최적설계를 위해서는 팬 용량, 최소 유량저항, 최고효율, 필터 수명기간에서 적정기능 유지, 최소 필터면적등이 고려되어야 한다. 추후 적절한 필터재질 개발과 고효율 포집연구가 진행되어 궁극적으로 충족되어야 할 요구조건을 구체적으로 요약하면 다음과 같다. 1) 0.1 ~ 0.3 μm 크기 입자의 초기포집효율이 90%까지 증가와 유해가스 제거, 2) 40,000km의 수명조건에서 압력손실없이 포집용량의 증가 (30g/filter), 3) 초기압력 손실 0.03 ~ 0.05 kPa

나. 부직포 정전필터(Electret Nonwoven)

정전필터는 이미 오래전부터 사용되고 있는 형태이며 현재적으로 적용대상에 따라 다양한 재질의 필터가 개발되어 적용되고 있는 중이다. 정전필터는 정전필터 섬유가 직각으로 교차되어 만들어진 부직포필터로 구성된다. 섬유는 높은 쌍극으로 하전되어 궁극적으로 공기를 통하여 전기방전이 일어난다. 그림 3은 정전필터 섬유의 단면을 보여준다. 부직포 정전필터에서 섬유크기는 수μm에서 수백μm까지 다양한 크기를 가지며 5μm에서 20μm 크기가 자동차용 에어필터로 사용되고 있다. 확산, 간섭, 관성, 중력효과의 포집메커니즘이 작용하여 포집이 이루어지지만 기본적으로 주로 확산과 정전기력에 의해 주도된다. 그림 4에서와 같이 기존의 부직포 필터를 사용할 때 가장 큰 단점은 도로인근에서 거의 대부분을 차지하는 0.1 ~ 1μm 범위에서 포집효율이 최저가 된다는 점이다. 그러나 부직포 정전필터는 기본의 포집메

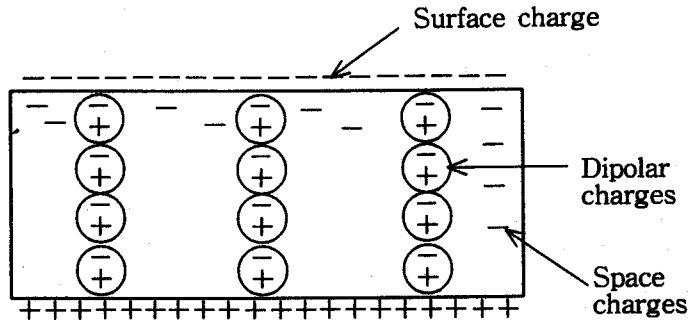


그림 3 정전섬유 단면도

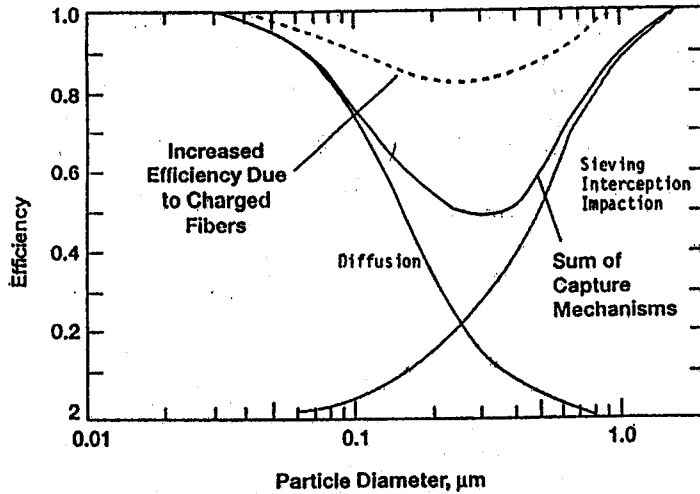


그림 4 정전기력 포집효과에 의한 효율상승

커니즘에 더하여 정전효과에 의한 포집이 크게 작용하여 이 부분에서의 포집효율을 크게 향상시키고 있다. 일반적으로 정전기력은 $0.05\mu\text{m} \sim 1\mu\text{m}$ 크기의 입자들에 포집효과를 나타내고 있고 특히 $0.1\mu\text{m}$ 이하의 입자에 가장 효과가 높다.

또 하나의 장점은 종이필터가 표면여과에 의해 수명기간이 짧고 압력손실이 급격히 증가하는 반면에 부직포 정전필터는 심층여과 방식으

로 포집용량이 크고 수명기간에 걸쳐 압력손실이 크지 않다. 필터재료는 제조방법에 따라 다른 폴리머를 쓰기도 하며 제조방법도 제조회사에 따라 상이한 방법을 사용하고 있다.

다. 활성탄 필터

가스제거용 필터는 거의 활성탄을 처리한 포움으로 구성된다. 포움은 가벼우면서도 진동이

나 충격, 자동차의 정지력이나 가속력에 견딜 만큼 튼튼한 것이어야 한다. 처리된 활성탄은 미립구형으로 많은 표면적(800~1200m²/g)을 가지면서 동시에 높은 기공성을 보인다. 활성탄이 보유하고 있는 높은 기공성, 미립구형, 낮은 유동저항 때문에 특정한 용용에 쉽게 적용될 수 있다. 활성탄 필터는 가스나 악취물질을 화학적으로 변화시키기보다 분자간에 작용하는 Van der Waals력에 의해 활성탄 표면의 탄소분자와 물리적으로 결합되며(물리적 흡착) 결

합력은 주로 활성탄의 표면에 달려있다. 그림 5에서 보듯이 오염가스는 지그재그 형태로 움직이며 필터를 통과하면서 흡착되기까지 오염분자들은 활성탄 흡착제와 충돌한다.

표면기공의 크기가 작을수록 피흡착물질의 끓는 점은 높아지고 오염분자들이 더 효과적으로 구속된다. 고비동점을 갖는 파라핀의 경우 활성탄에 세게 구속되어 탈착이 되지 않고 거의 영구적으로 결합한다.

냄새흡착의 경우 활성탄필터는 임시 저장기

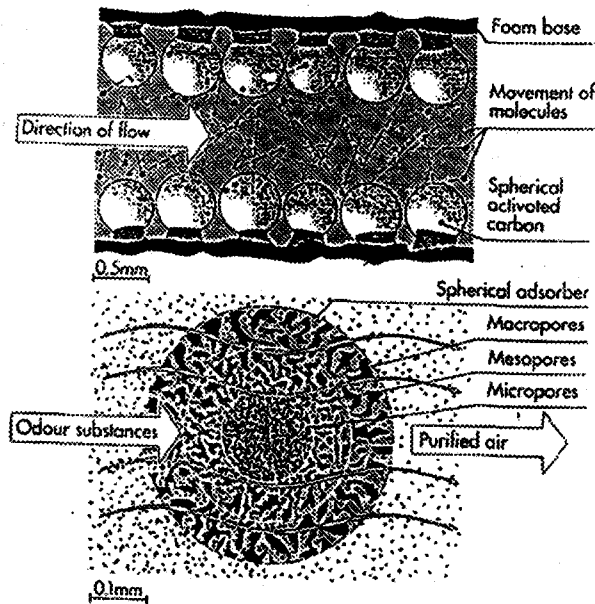


그림 5 활성탄 필터의 구조와 기능

능을 가지며 흡착된 냄새분자는 수분에서 수개월에 걸쳐 탈착이 이루어진다. 흡착된 악취물질은 탈착이 이루어지면서 내부로 방출되지만 아주 느리게 나오기 때문에 인지하기가 어렵

다. 이러한 필터의 부분 재생효과 때문에 필터의 수명이 입자필터의 2~3배에 이른다. 도로 인근에 존재하는 유해가스, 악취 오염물질의 다양성을 고려하면 불특정 흡착제거를 할 뿐

아니라 높은 표면적을 가진 활성탄 필터를 이용하는 것이 가장 적합한 방법이 된다.

Schweizer and Seidensticker에 의하면 활성탄 필터는 가솔린 증기, 담배연기, 벤젠, 오일 뿐 아니라 0.1 μ m이하의 수트와 증기입자에 대해 높은 흡착용량을 가진다. 활성탄은 디젤오일증기의 경우 필터중량의 10% ~ 25%의 흡착능력을 보이고 있다. 아민, 암모니아, 부탄, 프로판, 염소, 포름알데히드류는 훨씬 낮은 흡착능력을 보이고 있으나 여전히 만족스런운 결과를 보이고 있다. 연소과정에 발생하는 흡에 특히 효과적이며 독성가스인 틀루엔, 파라핀, 방향족 탄화수소와 같은 물질을 효과적으로 제거한다. 오존의 경우 거의 100% 수준으로 흡착 및 제거되고 있다.

라. 복합필터

최근까지 자동차 실내의 청정으로는 오염입자 제거만이 목표가 되었고, 이 목적으로 부직포 정전필터가 애용되어 왔다. 그러나 위에서 언급한 바와 같이 전반적 대기환경의 악화와 도로인근에서 발생하는 유해가스, 악취등이 운전자와 승객의 쾌적감과 안전, 건강에 문제를 야기하여 입자제거만으로 불충분하게 되었다. 따라서 오염입자제거 뿐 아니라 유해가스 및 악취제거까지 충족시킬 수 있는 필터 개발을 위한 노력이 있었다. 이것에 대한 해결책으로 가장 유력하게 대두된 것이 복합필터를 장착하는 것이다. 복합필터는 부직포 정전필터와 활성탄 필터를 조합하는 것과 같이 2개 이상의 다른 형태의 필터를 함께 사용하는 것이다. 이런 형태는 1차 필터가 프리필터 역할을 하고 2

차 필터가 메인필터 역할을 함으로써 오염물질의 포집용량을 크게 증가시킬 뿐 아니라 필터의 수명을 길게 할 수 있다. 그러나 단점으로는 2중, 3중으로 필터를 설치하기 때문에 유동저항을 증가시키고 필터 두께가 증가함에 따라 설치면적이 증가될 수 있다.

일반적 형태로는 2단계 과정으로 이루어지는 것으로 입자제거를 위한 프리필터, 가스흡착제거를 위한 메인필터가 있다. 벤츠모델에 장착되는 Behr 필터의 경우 입자제거를 위한 프리필터는 부직포 정전필터와 활성탄의 조합, 메인필터는 플라스틱 포움에 활성탄을 부착한 형태로 구성하여 프리필터 단계에서도 부분적으로 오염가스를 제거하는 방식을 택하고 있다. Freundenberg 부직필터는 3중 필터시스템으로 구성되어 비교적 큰 입자제거를 위한 부직포로 된 프리필터, 미세먼지 제거를 위한 정전기적으로 하전된 폴리카보네이트 마이크로섬유의 중간필터, 필터재료의 지지 및 재질이 쉽게 주름지도록 해주는 부직포 캐리어로 이루어진다. 3M 복합필터는 활성탄필터와 조합으로 만들어진 100% 폴리프로필렌계의 부직포질물로 구성된다. Toyota에 장착되는 필터는 냄새제거를 위한 활성탄과 부직포 정전필터의 조합이고(그림 6) 추가적으로 트렁크 설치용 필터로 3개의 층으로 구성되고 1차 필터는 셀룰로스 종이형 필터, 2차필터는 활성탄이 부착된 셀룰로스 필터, 3차필터는 흰색과 그린의 섬유필터로 구성된 필터를 개발하였다.

복합필터는 전통적인 셀룰로스 필터재료의 단점과 정전필터의 한계를 극복하고 최적의 성능을 발휘한다는 점에서 앞으로도 다양한 재

료, 다양한 조합으로 꾸준한 연구개발이 이루어질 것으로 보인다. 자동차 실내용 필터분야는 점점 더 엄격해지는 필터의 요구조건을 만족시키기 위해 수많은 복합재료가 개발되었다. 위에서 언급한 예들에서 볼 수 있듯이 기본적으로 복합재료는 서로 다르고 보완의 성질이 있는 필터와 프리필터의 조합으로 만들어진다. 보완의 역할을 하는 필터의 역할은 다음과 같

이 요약될 수 있다.

- 주름을 원할하게 하여 주름필터장치를 만들 수 있고
- 정전필터 재료로서 미세입자를 제거할 수 있고
- 활성탄을 포함하여 악취를 제거하는 것이다.

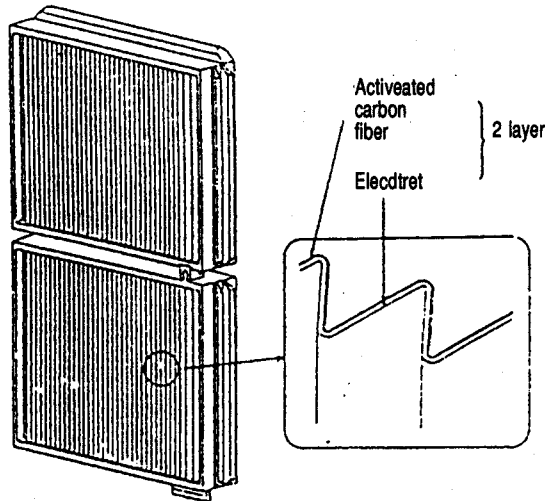


그림 6 복합필터의 구조

3. 자동차 실내용 에어필터의 성능시험 기술

가. 자동차 실내용 에어필터의 성능시험 방법으로 다른 필터의 성능을 비교하기 위해서는 편차가 심하지 않고 결과가 유사하게 반복해어나올 수 있는 시험방법이 있어야 한다. 현재 자동차 실내용 에어필터를 측정할 수 있는 시험방법으로는 DIN 71640과 SAE J1669가 있다. 그러나 악취측정을 위한 시험방법은 아직 확립

되지 않은 실정이다. 시험방법에 따라 실험실에서의 모사 측정과 주행중 현장측정등의 사례가 있으며 기존 시험방법을 개선하는 새로운 요소들에 대한 연구도 진행되고 있다. T. Ptak 등은 SAE J1669에서 충분히 다루지 못하고 있는 분진탈착이 일어날때의 필터 포집효율에 대하여 개선방향과 필터재질의 구조, 유량, 분진하중이 효율측정에 미치는 영향을 다루고 있다.

운전자와 승차자에게 보다 쾌적한 공기를 공급하기 위해 흡착필터를 냉·난방시스템과 통합된 방식으로 실내환경질을 조절하게 된다. 이런 필터는 일반적으로 복합필터로 불리며 악취 및 가스처리와 오염입자제거를 위해 활성탄과 부직포필터를 함께 사용한다. 자동차 실내용 에어필터의 전형적인 설치위치를 그림 7에 보인다. 흡착필터의 공통특성시험은 ISO 규격을 위해 제안된 DIN71640 part 2에 근거하여 수행되며 흡착필터의 주요한 특성인 포집효율과 흡착능력을 평가할 수 있다. 흡착제거필터에서

시험대상 가스는 DIN 가스로 불리며 부탄(n-butane), 톨루엔(toluene), 이산화황(SO₂), 이산화질소(NO₂)가 여기에 해당한다. 실험실에서의 경우 시험과정은 실험실 조건에 따라 조정될 수 있고 보통 자동차 주위의 농도보다 훨씬 높은 고농도의 실험가스를 사용한다. 아울러 운행중인 자동차에서의 실제 조건에서 필터가 어떻게 작동되는가를 규명하는 것은 매우 중요하다. 실험실에서 특성실험과 실제 시험결과를 비교하는 것도 중요한 문제이다.

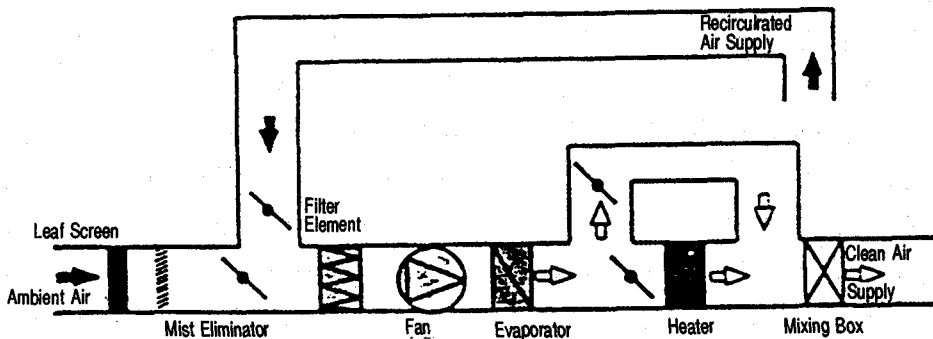


그림 7 자동차 실내용 에어필터 설치위치

나. 공기질 표시자 및 측정방법

차량 실내공간에서 발견되는 대기 오염인자와 발견된 오염인자를 측정할 수 있는지 여부에 따라 공기질 표시자가 결정된다. 주요 대기 오염 물질은 인체에 미치는 영향 때문에 규제되고 있고 보통 상시적으로 측정되고 있다. 주요 오염물질로는 이산화황(SO₂), 질소산화물(NO₂, NO), 일산화탄소(CO), 오존(O₃), 휘발성

유기화합물(VOC)이다. Lemaitre와 Godet의 경우 자동차실내에서 실제 테스트를 위해 6개의 표시자 가스를 선택하였다.

- DIN 테스트에서 사용되는 가스: SO₂, NO₂, 톨루엔
 - 추가 보완 가스: 벤젠, 자일렌
 - 교통표시자 가스: CO
- 측정가스에 대해 각 오염물질에 맞는 특정한

방법이 사용된다.

이산화황(SO₂): 대기에서 이산화황 분자는 안정한 상태로 존재로 존재하지만 자외선에 노출되면 대기상태로 변화된다. 대기상태에서 안정상태로 되돌아 갈 때 형광방사선을 발생하며 형광강도는 이산화황의 농도에 비례하는 원리를 이용하여 측정한다. 주행중 자동차실내에서 이산화황 측정은 현장에서 분석기로 제시될 수 있다.

이산화질소(NO₂): 이산화질소의 측정은 화학적 발광에 의해 측정되며 측정이 이루어지기 위해서는 이산화질소는 먼저 물리브덴 로에서 환원되어 NO로 바뀌어야 하고 화학적 발광은 오존분자에 의해 일산화질소 분자의 산화에 반응한다. 그리고 안정상태로 되돌아 갈 때 광방사를 하고 이것은 질소산화물(NO_x)의 농도에 비례한다. 변환은 없기 때문에 방사는 오직 일산화질소(NO)에 비례하게 된다. 질소산화물(NO_x)와 일산화질소(NO)의 차이가 곧 이산화질소(NO₂)의 농도이다. 차량내의 이산화질소(NO₂) 농도측정을 위해 NO_x와 NO를 모두 측정할 수 있는 분석기가 사용되어 즉시 측정이 가능하다.

일산화탄소(CO): 일산화탄소는 적외선에서 흡수되고 흡수량은 비어-람버트 법칙을 따르며 일산화탄소의 농도에 비례한다. 차량에서 일산화탄소 측정도 분석기로 현장확인 가능 하다.

휘발성유기화합물(VOC): 특정 탄화수소를 측정하려면 먼저 흡수튜브에 샘플링을 하고 실험실에서 가스크로마토그래피나 매스크로마토그래피로 분석된다. 차량내에 존재하는 탄화수

소는 주로 도시오염원으로부터 기인한다. 주요 혼합물질로는 벤젠, 톨루엔, 옥탄, 테트라클로로에틸렌, 에틸벤젠, 자일렌, 스티렌등이 있고 주요혼합물은 톨루엔, 벤젠, 자일렌이다. VOC 측정은 간접적 방법으로 이루어진다.

다. 실험적용 및 결과 예

차량실내와 실외에서 공기질 표시자의 농도를 동시에 측정하여 비교한다. 각각의 가스농도 측정은 현장에서 분석기로 직접 이루어지거나 현장에서 샘플링한 후 실험실에서 분석한다. 2개의 동일한 분석기가 탑재되고 차량내부와 차량밖에 설치된 샘플링 튜브와 연결된다. 분석기는 측정결과를 시각적으로 볼 수 있도록 컴퓨터에 연결되어 현장에서 확인된다. 차량 에어컨의 외기 입구측에 필터박스를 설치하고 시험기간동안 필터가 쉽게 대체될 수 있도록 한다. 제작사가 다른 2개의 복합필터(부직포 섬유필터와 미립활성탄필터)와 활성탄 필터를 장착하지 않은 필터(플레시보)의 세 개의 필터를 시험하였다.

시험구간은 외곽과 시내중심을 골고루 섞어서 교통량에 따라 30분에서 50분 소요되는 도로구간으로 시험구간동안 상대습도와 온도가 측정되고 에어컨은 차량 실내온도가 22 ~ 25℃가 유지되도록 한다. 차량실내와 차량 밖에서의 일산화탄소와 이산화질소에 대해 시험구간에서의 농도측정 결과를 그림 8, 그림 9에 보인다. 일산화탄소의 경우 시험구간에서 특정구간을 제외하면 내외부에서의 농도가 크게 차이가 없어보이나, 이산화질소의 경우 전 구간에서 차량실내와 실외에서 꾸준한 차이를 보이고

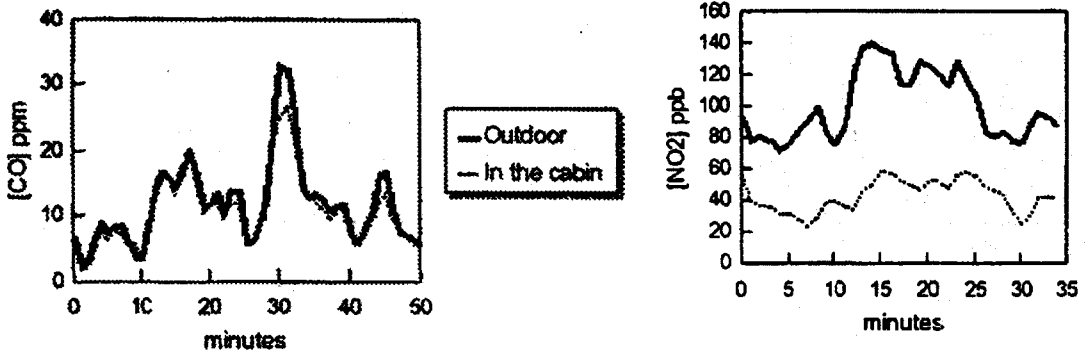


그림 8, 9 시험구간에서 시간에 따른 CO, NO₂ 농도변화

있다. 후자는 교통환경에 따라 농도가 심하게 변하며 차량내에서의 농도도 동일한 변화를 따르며 가스가 필터에 흡착시에는 농도가 낮은 수준에서 측정되고 있다.

전시시험구간 동안 공기질표시자 가스의 농도 변화곡선을 얻을 수 있으며 일산화탄소(CO)의 경우 그림 10에서 보듯이 흡착필터에 흡착이 되지 않은 것을 볼 수 있다. 그림에서 나타난 실외와 차량내의 미소한 차이는 각 샘플의 시간관성에 기인하거나 샘플링 튜브나 에어컨에서 공기의 부분적 변화에 기인한 것으로 보인다. 이산화황(SO₂)의 경우(그림 11) 차량내와 실외의 높은 농도차이를 보이고 있고 활성탄 필터를 장착하지 않은 플레시보의 경우 농도 차이가 거의 없다. 이산화질소(NO₂)는 이산화황의 경우와 유사한 형태를 보여주며 플레시보의 경우 차량실내가 실외보다 약간 높게 나타나고 있다.(그림 12)

톨루엔, 벤젠, 자일렌의 필터 A, 필터 B에 모두 흡착되어 차량실내에서 농도가 감소가 위의

표시자가스 경우와 유사한 형태를 보이고 있다. 활성탄 필터가 장착되지 않은 플레시보 경우는 실내 및 실내에서의 농도차이를 볼 수 없다.

필터의 필터효율은 다음의 식으로 계산한다.

$$E(\%) = 1 - \frac{\text{차량실내 농도}}{\text{실외 농도}}$$

차량내에서 SO₂, NO₂, 톨루엔에 대한 필터 A, 필터 B의 효율이 그림 13에 나타나 있다. 높은 농도로 존재하는 표시자에 대해서 효율은 중요한 의미를 갖는다. 이것은 플레시보에서 얻은 제로효율을 보면 확인된다. 그러나 자일렌과 벤젠의 경우 플레시보의 경우도 21%의 효율을 보이고 있는데 이것은 사실이 아니며 다만 위의 표시자들이 너무 낮은 농도로 존재하기 때문에 정확하게 효율을 계산할 수 없기 때문이다.

라. 실험실결과와 차량실험의 비교

비교를 위해서 고려되어야 할 시험인자로는

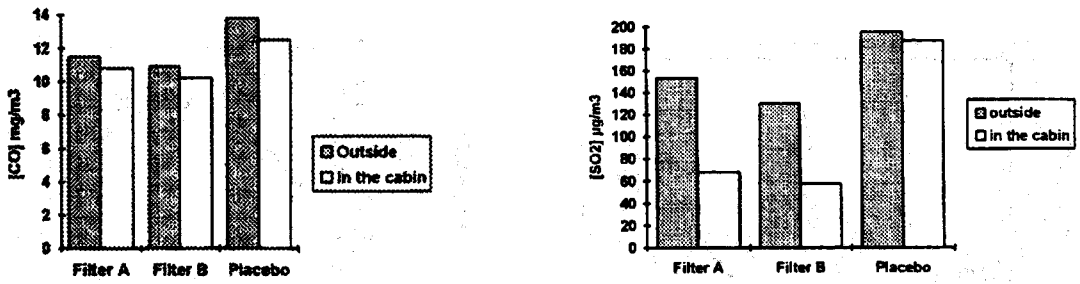


그림 10, 11 차량실내와 실외에서 CO, SO₂ 농도비교

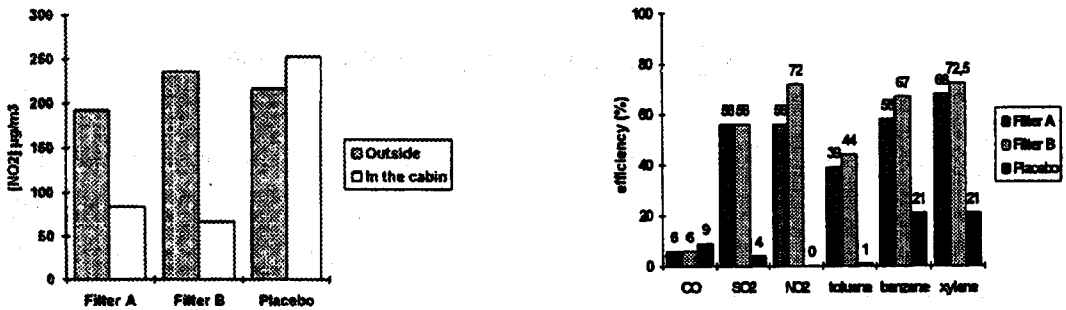


그림 12 차량 실내외 NO₂

그림 13 포집효율

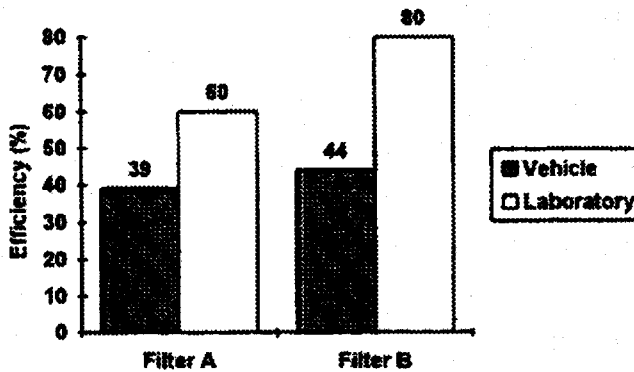


그림 14 차량시험과 실험실 시험에서 톨루엔 포집효율 비교

온도, 상대습도, 공기유량, 가스농도를 들 수 있다. 실험인자에서 가장 큰 차이점은 가스농도가 도로조건의 수십 ppb 수준보다 수십 ppm

수준으로 1000배의 차이가 나는 점이다. 실험실에서 가스주입은 균질하게 이루어 질 수 있지만 차량시험에서는 변화가 심하다. 그림 14

는 필터 A와 필터 B의 효율실험 결과를 비교하고 있다. 실험결과에서 볼 수 있듯이 실험실에서 고농도로 주입하여 시험한 결과는 차량시험에서 보다 고무적이다. 시험조건에 따라 효율은 다르게 나타날 수 있으나 시험결과는 필터 A의 경우 차량시험에서보다 1.5배, 필터 B의 경우는 1.8배의 효율을 보여준다.

차량 주행중 필터성능을 평가하는 것은 가능하나 측정방법을 체계적으로 적용하는 것이 쉬운 문제는 아니다. 그러나 차량실험과 실험실 시험을 수행한 결과 흡착필터는 차량실내의 공기질을 크게 개선시키고 있다. 역겨운 이산화황과 이산화질소의 농도는 필터작용을 통해 제거되고 톨루엔도 40 ~ 70%까지 감소되고 있다.

마. 악취 시험방법

2세대 필터가 필수적으로 갖추어야 할 조건은 유해가스와 악취를 효과적으로 제거하는 기능이다. 유해가스와 악취 제거에는 활성탄을 기본으로하는 흡착필터가 널리 선호되고 있다. 흡착필터의 제거효율 측정에는 일반적으로 부탄, 톨루엔, 이산화황, 이산화질소의 DIN 가스를 사용한다. 그러나 실험실에서나 또는 주행중 차량에서의 악취 시험방법은 아직 확립되지 않고 있다. 주행중에 만날 수 있는 악취는 단일성분에 의한 것이기 보다는 여러 복합원으로부터 발생한 것일 확률이 높다.

냄새 측정에는 사람의 코가 가장 뛰어난 측정도구이며 후각반응 측정이 악취제거 효율을 결정하는 직접적이고 믿을 만한 방법으로 여겨지고 있다. 그러나 후각반응을 정량화하기가

어렵고 사람에 따라 크게 다를 수 있다는 점이 맹점이다. 따라서 데이터의 신뢰성을 높이기 위해서는 많은 수의 냄새 관측자단을 구성해야 한다. 필터를 가동하기 전에 냄새를 맡게 한 후 필터를 가동한 뒤에 다시 냄새를 맡게 한다. 필터를 가동하기 전에 100%의 사람들이 냄새를 인지하였다면 필터가동 후에는 90%이상의 사람들이 더 이상 냄새를 인지하지 못하였다는 식으로 결과를 도출할 수 있을 것이다.

냄새가 단일 혹은 두 개의 분명한 근원으로 부터 발생한다면 후각반응의 강도와 이에 상응하는 악취의 농도를 분석하여 보다 정량화된 결과를 제시할 수 있을 것이다. Ostojic, et al은 황화수소(H_2S), 메칠메르캅탄(CH_3SH)을 이용하여 필터제거 효율을 계산하기 위해 37명의 냄새관측자단을 구성하고 각 사람에 대해 가스농도를 단계적으로 증가시키면서 측정경계치, 인지경계치, 심각경계치를 결정하고 전체의 기하평균을 대표값으로 결정하였다. 이 경계값들은 펄스형광으로 측정된 화학적 농도를 상응하는 악취강도로 변환하는데 사용된다. 그림 15는 메칠메르캅탄에 대한 관측자단의 인지 및 심각경계치와 농도의 상관관계를 보이고 있다. 활성탄 흡착필터를 사용한 결과 황화수소 81~96%, 메칠메르캅탄 78~95%의 제거효율을 보이고 있다.

4. 맺음말

자동차 외부에서 유입된 공기는 냉난방장치를 통과하여 실내로 들어온다. 그러나 도시지역에서의 공기는 각종 오염원으로부터 발생하는 인체에 유해한 독성가스 및 오염입자를 포

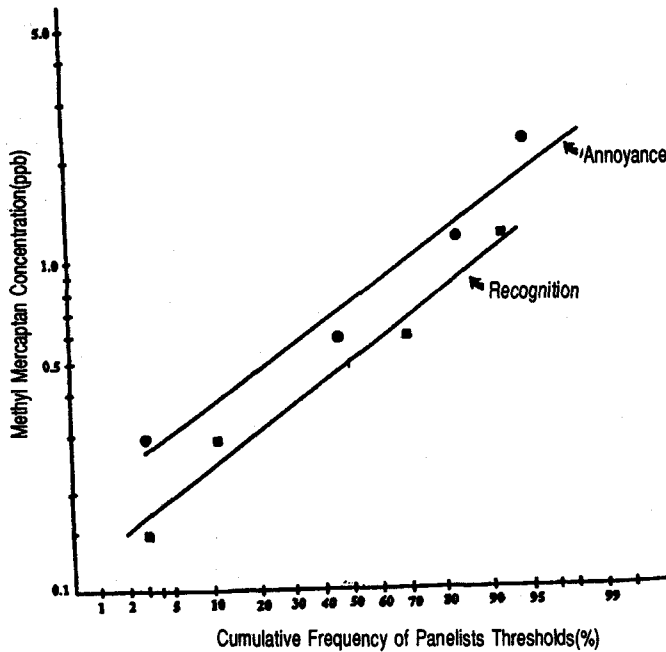


그림 15 관측자의 감각경계치와 농도의 상관관계

함하고 있다. 대기오염의 심화와 더불어 자동차 실내공기질에 대한 관심이 제고되면서 자동차 실내용 에어필터의 개발이 활발히 이루어졌고 구미선진국에서는 오래전에 표준사양으로 정착되기 시작했다. 공기질에 대한 요구조건이 점점 더 엄격해짐에 따라 다양한 고효율의 필터재료가 개발되고 오염입자 제거를 넘어서 악취 및 유해가스의 제거를 위한 다양한 필터가 시도되고 있다. 오염입자 제거, 특히 도로인근에서 대부분을 차지하는 $0.1\mu\text{m} \sim 1\mu\text{m}$ 의 미세 먼지의 제거에 부직포 정전필터가 높은 효율을 보이고, 악취 및 유해가스제거에는 활성탄필터가 만족할 만한 제거효율을 보이며 이 두 가지의 복합된 형태가 이상적인 조합으로 간주되고

있다. 통기성, 효율성, 재활용성, 고용량, 내구성이 높은 필터재료, 기존의 구조를 변경함이 없이 쉽게 접근할 수 있고 대체가 용이한 필터 장치의 설계, 냉난방환기 장치와 통합화 또는 분리화, 각 실험인자에 대한 현장시험과 실험실 시험규정의 보완등 개선되어야 할 부분은 많다. 국내의 경우 일부고급차종에 수입된 제품이 사용되고 있고 일반 차량에는 적용되지 않고 있다. 그러나 악화일로에 있는 우리의 대기환경을 고려할 때 자동차 실내용 에어필터가 자동차 에어컨과 같이 필수사양으로 조만간 정착될 것은 분명하다. 국내실정에 맞는 시험기준 확립, 국내 현장조건에서 필터수명 결정, 필터재 생산업체와 협력연구를 통한 다양한 고효

을 필터재 개발, 최적 필터설계등의 문제에 대한 관련업체와 연구기관의 관심과 공동연구가 요청되고 있다.

- 참고 문헌 -

1. S. Kalatoor, P. Legare and S. Smith, Filtration efficiency of automotive cabin air filter media subjected to different aerosols under various environmental conditions, SAE International Congress & Exposition, 1997.
2. W. S. Poon and B. Y. Liu, Dust loading behavior of engine and general purpose air cleaning filters, SAE International Congress & Exposition, 1997.
3. W. O. Siegl, S. E. Lee, R. S. Marano, M. Zinbo and C. Obioha, Laboratory testing of cabin air filters for the removal of reduced-sulfur odors, SAE International Congress & Exposition, 1998.
4. N. Lemaitre and Y. Godet, In-vehicle adsorptive filters efficiency, SAE International Congress & Exposition, 1997.
5. T. J. Ptak, Recent developments in testing the efficiency of automotive cabin air filters, SAE International Congress & Exposition, 1998.
6. Lutz Bergmann, Filtration opportunity automotive cabin air filters worldwide special report, pp. 81, 1993.
7. Lutz Bergmann, Automotive cabin filters worldwide 1995-2000, pp. 93, 1995.
8. G. Scheizer and K. Seidensticker, Interior air purification in motor vehicles, Special report, Behr GmbH & Co.
9. J. G. Kaukopaasi and U. Arbezano, A descriptive analysis of paper media for the cabin air filtration application, SAE International Congress & Exposition, 1994.
10. D. Avril, The application of electrostatically charged air filtration materials in cabin ventilation units, Filtration & separation, pp.1026-1028, 1997.
11. Y. Ogaki and L. Bergmann, Automotive cabin airfilters, Technical Textiles International, pp.16-19, 1996.