

자동차용 Cabin Air Filter 기술

박 영 옥 | 한국에너지기술연구원 대기환경연구센터
책임연구원

E-mail : yopark@kier.re.kr

1. 머리말

우리나라의 자동차 등록대수는 1965년에 4만대에 불과하였으나, 그 이후 급속한 경제성장에 따라 국민의 소득수준이 증가하면서 표 1에 나타낸 바와 같이 높은 증가율을 보여 2003년도 기준 1,458만대가 등록되어 있다.(1)~(2)

자동차는 인간의 삶을 윤택하게 하는 문명의 이기임에는 틀림이 없지만, 배기가스로 인하여 대기오염은 물론 지구온난화를 야기 시키는 주요 요인으로 작용하는 부정적인 측면도 많다. 자동차에서 나

오는 오염물질 현황, 표 2를 보면 일산화탄소(CO)는 80%, 질소산화물(NOx)는 45%, 미세먼지(PM10)는 33%가 자동차에서 배출되고 있다.

특히 수도 서울의 경우 자동차가 차지하는 오염물질 배출비중은 전국평균과 비교할 때 훨씬 더 높게 나타난다.

자동차에서 배출되는 오염물질 가운데에서도 경유차에서 주로 배출되는 질소산화물과 미세먼지가 문제되고 있다. 질소산화물은 태양관선에 의해 광화학반응을 일으켜 오존발생 및 호흡기질환 등 유발하며, 미세먼지와 같은 악성미립자상물질은 호흡기에 쉽게 침투하여 폐에 흡착됨으로써 기관지 영향과 폐암을 유발하는 것으로 알려지고 있어 이에 대한 대책이 시급한 실정이다.(3) 본 지면에서는 도로에 부유된 입자상물질의 특성을 고찰하고 cabin air filter의 제조기술에 대해서 고찰하고자 한다.

표 1. 연도별 자동차 등록 현황(1997~2003년)

연 도	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
등록대수 (천대)	10,413	10,469	11,164	12,059	12,914	13,949	14,586

표 2. 자동차에서 나오는 오염물질 현황(전국, 2000년)

(단위 : 천톤)

배출원(대분류)	CO	NOx	SO ₂	PM10	VOCs
전국 배출량 합계	806,012 (100.0)	943,302 (100.0)	500,875 (100.0)	78,151 (100.0)	1,054,181 (100.0)
도로이용오염원 (자동차, 이륜차)	649,181 (80.5)	423,349 (44.9)	8,254 (1.6)	26,287 (33.6)	103,858 (9.9)

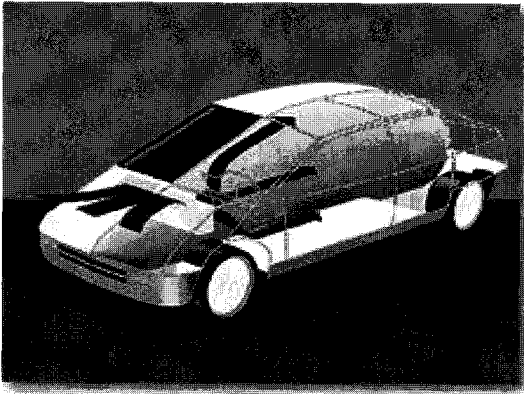


그림 1. 승용차내 외부공기 유입경로

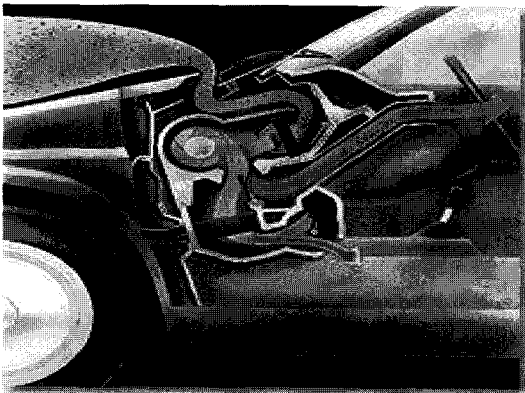


그림 2. 도로주행시 가스상/입자상 오염물질 승용차내 유입경로

2. 도로의 부유입자상 물질의 특성

자동차 보유대수 증가와 더불어 도로환경은 더욱 더 열악해지고 있어, 특히 승용차를 이용하는 운전자와 승객은 쾌적한 승용차 실내환경의 유지를 원하고 있다. 그림 1과 그림 2에 승용차로 도로 주행시 차내로 유입되는 공기의 경로와 입자상물질 및 가스상 오염물질이 유입되는 경로를 각각 나타냈

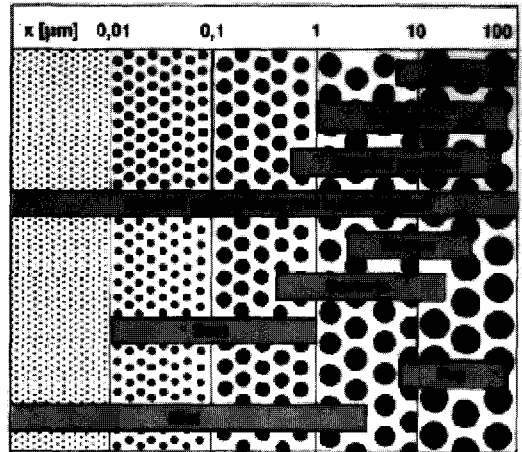


그림 3. 도로중에 부유된 입자상물질의 종류별 입자크기 범위

다. 실제 도로 주행시 승용차내로 유입되는 공기 중에는 꽃가루, 석면입자, 박테리아, 도로먼지 등의 많은 종류의 악성 미립자상 물질과 ozone, benzene, toluene, hydrogen sulphite, formaldehyde, ammonia, carbon monoxide, nitrogen monoxide, nitrogen dioxide, sulfur dioxide 등과 같은 유해기체상 물질이 다량 함유되어 있다. 그림 3에 대기 중에 부유된 입자상물질의 종류별 입자크기 범위를 나타냈다.

그림 4에 cabin air filter의 표면에 차량정체가 심한 지역, 공업단지지역과 시골도로에서 포집된 입자상물질의 형상을 나타냈다. 그림 4의 1 왼쪽은 차량정체 심한 지역과 공업단지지역에서 prefilter 표면에 포집된 입자상물질의 형상을 나타냈고 오른쪽은 정전필터에 포집된 입자상물질의 형상을 나타냈다. 그림 4의 2 왼쪽은 시골도로지역에서 prefilter에 포집된 입자상물질의 형상을 나타냈고, 오른쪽은 정전필터의 표면에 포집된 입자상물질의 형상을 나

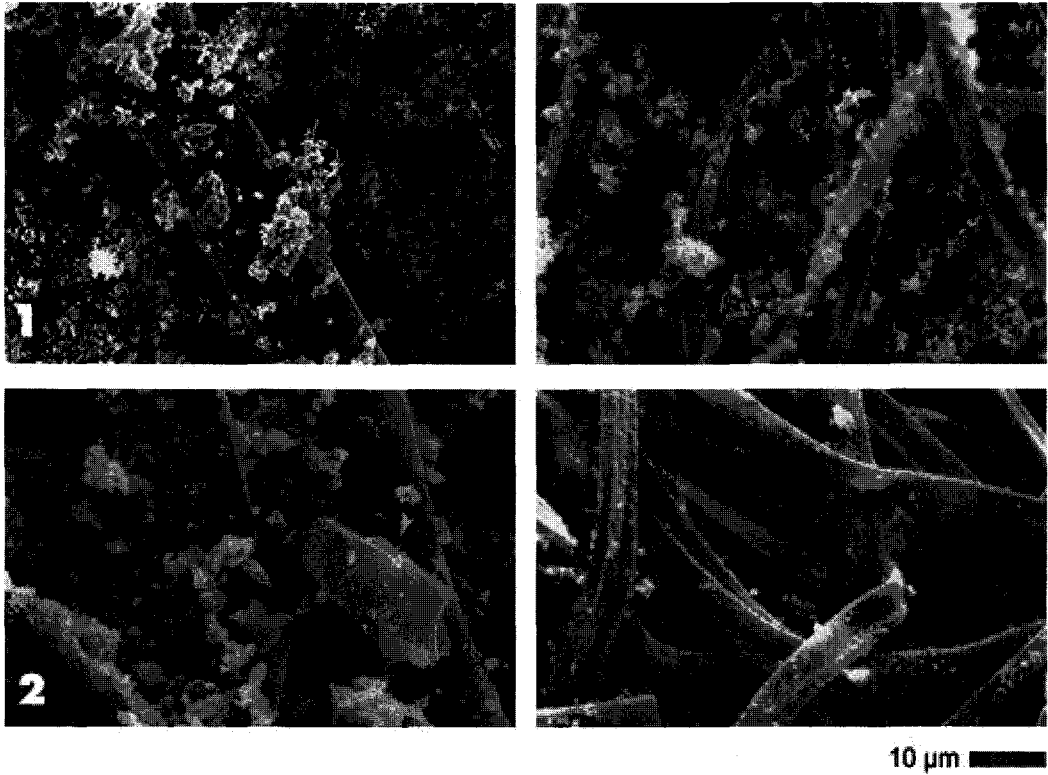


그림 4. Cabin air filter의 prefilter(왼쪽)와 정전필터(오른쪽)에 포집된 입자상물질의 형상

1. 차량정체 구간과 산업공단지역에서 포집된 입자상물질의 형상
2. 시골지역에서 포집된 입자상물질의 형상

타냈다. 대부분 도로에 부유된 입자상물질의 형상은 무정형이며 미세한 입자상물질들이 서로 응집된 상태로 필터의 단일선유 표면에 부착되어 있다. 입자상물질의 성분은 silica와 aluminum이 대부분이며, magnesium, calcium, 철성분 등도 미량 함유되어 있는 것으로 분석되었다.(4)~(5)

특히 악성미립자상물질의 입자크기는 대부분이 $5.0\mu\text{m}$ 이하로서 인간의 호흡기로 유입되어 침착되는 입자크기이다. 그림 5에 인간 호흡기의 부분별로 침착되는 도로 부유입자상 물질의 입자크기 분포를

나타냈다. 그림에서 보면 상부 호흡기관인 코와 기도에서 목까지 침착되는 입자크기 분포는 대부분이 $2.0\mu\text{m}$ 이상이고, 기관지에서 폐포까지 부분에 침착되는 입자크기는 $0.2\mu\text{m} - 10\mu\text{m}$ 범위이며, 폐포에 침착되는 입자크기는 $0.5\mu\text{m}$ 이하이다. 인간의 호흡기 깊숙히 침착되는 먼지입자는 대부분이 도로부유 먼지로 확인되었다.(6)~(7)

악성미립자상물질의 농도가 높은 환경에 장시간 노출되게 되면 피부 allergy질환, 호흡기 질환, 각종 신장 질환의 유발 요인이 된다고 연구 조사 결과

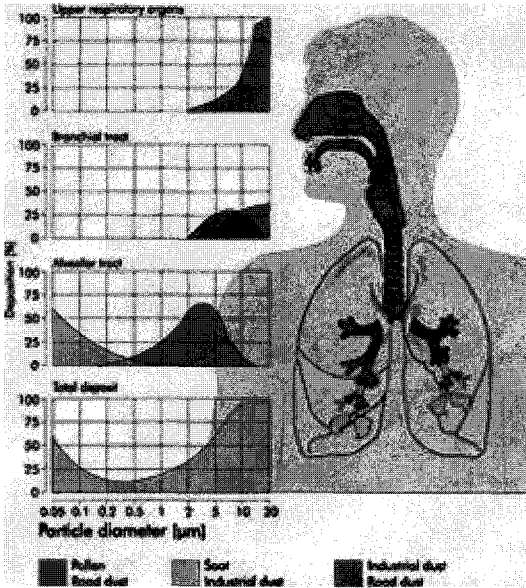


그림 5. 호흡기의 부분별 침착되는 도로 부유입자상물질의 입자크기 분포

를 보고했다. 국내의 서울의 경우 디젤자동차에서 배출하는 악성입자상물질이 포함된 미세먼지입자로 인한 사망자수는 미국의 캘리포니아의 2배 수준인 연간 2만5천명에 이르고, 벤조필렌, 비소, 니켈 등의 발암물질로 인한 사망자수 6천3백10명을 합해 한해에 3만1천5백10명이 목숨을 잃은 것으로 추정되었다.

유엔 평가법을 이용해 자동차에 의한 대기오염으로 인해 직접적 사회비용이 연간 2조6천억여원에 이르렀으며, 암 사망자 등 간접 사회비용은 약 4조원에 달했다는 것으로 계산되었다. 또한 미국의 경우 대기오염도가 최악인 도심지역에서 거주하는 주민은 대기오염도가 최저인 도심지역에서 거주하는 주민에 비해 조기사망할 확률이 15~17%나 높다는 충격적인 조사연구결과를 발표했다.(8)~(9) 특히

주민의 조기 사망 주범은 자동차에서 배출하는 각종 악성미립자물질과 산업체에서 발생하는 매연과 먼지 등으로 밝혀졌다.

미세한 악성입자상물질과 악취 등의 가스상물질을 고효율로 포집 제거하는 cabin air filter에서 가장 중요한 인자는 먼지입자 포집효율, 압력손실, 악취제거율 그리고 수명이라고 말할 수 있다. 먼지 등 입자상물질은 미세할수록 브라운운동이 활발해져서 확산 및 차단효과가 지배적이어서 입자의 filter 통과율은 낮아지고 큰 입자는 관성 및 충돌효과가 커서 입자의 통과율이 낮으나, 이들의 입자크기가 0.05µm-0.5µm인 미세먼지입자 크기 범위에서는 어느 입자포집기구도 지배적인 인자가 되지 못해서 통과율이 높아지는 특성이 있다.(10)~(12)

Cabin air filter의 압력손실은 차내 유입되는 공기 유량의 변화와 밀접한 관계가 있고 cabin air filter의 교환주기를 결정하는 매우 중요한 인자이다.(13)~(14) 따라서 미세한 악성입자상물질과 악취 등을 고효율로 포집 제거하고 압력손실이 낮고 수명이 긴 cabin air filter를 개발하기 위해서는 국내 도로에 부유된 먼지의 특성에 적합한 filter 구조와 재질이 개발되어야 한다.

3. Cabin Air Filter 제조 기술 분석

승용차의 운전자 및 승객의 건강보호와 쾌적한 차내 환경을 유지하기 위하여 정화된 공기를 차내로 유입시키는 cabin air filter의 개발이 오래전부터 연구되어 왔다. 고급 차종에는 예전부터 cabin air filter를 장착하여 왔으며, 최근에는 소형 승용차에도 장착하기 위한 연구가 수행되고 있다.(3)

Cabin air filter들은 주로 미립자상 먼지를 포집 제거하는데 사용되는 입자상물질 제거용 filter (particulate filter)를 대부분이 사용되어 왔다. 그

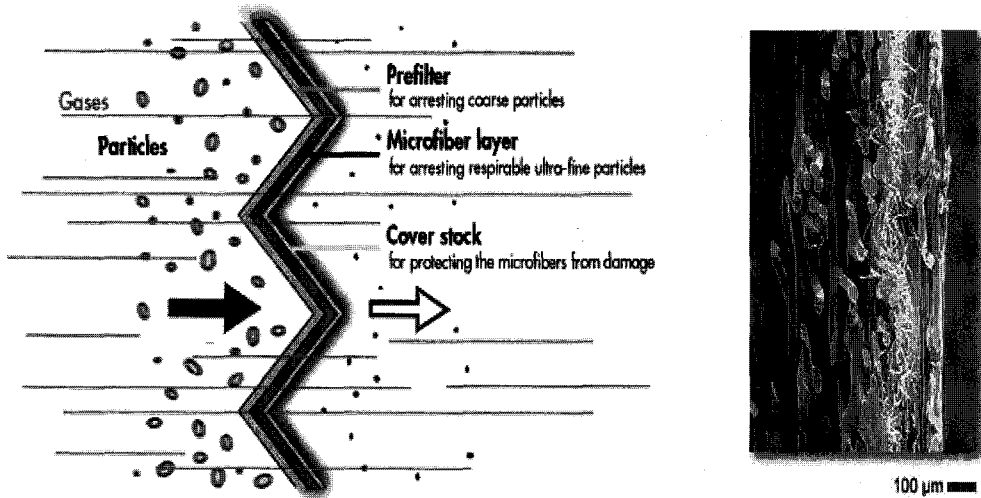


그림 6. 입자물질 제거용 cabin air filter의 구조

러나, 최근에 와서는 승용차내로 유입되는 공기중에 함유된 미립자상 먼지 뿐만 아니라 악취까지 동시에 제거하기 위한 악취 및 입자상물질 제거용 filter(combination filter)의 연구가 병행하여 수행되고 있는 실정이다. 이와 같은 조건을 만족하는 고기능성 filter로서는 근래에 개발된 압력손실이 낮고 집진효율이 높은 차세대 filter인 정전필터(electret filter)와 악취를 제거하는 filter이다.

3.1 입자상물질 제거용 filter (particulate filter) 제조기술

입자상물질 제거용 filter의 구조는 그림 6에 나타낸 바와 같이 2층(two layer) 또는 3층(three layers)으로 형성되어 있는데, 첫 번째 층(1st layer)은 prefilter 층으로서 재질은 polypropylene 또는 polycarbonate fiber로 만들어진 영성한 부직포로 되어 있다. 두 번째 층(2nd layer)은 microfiber 층으로서 재질은 polypropylene 또는 poly-

carbonate fiber를 사용한 정전부직포 층이다. 세 번째 층은 지지층으로서 polyethylene net 또는 polypropylene spunbond를 사용하여 제조하고 있다.

입자상물질 제거용 필터의 형상은 승용차의 종류에 따라 다르며 대표적으로 많이 사용되는 형상을 그림 7에 나타냈다.

3.2 정전기 부여기술

정전기는 자석에 의해 생성된 정자기장(static magnetic field)과 비슷하게 정전기장(static electric field)에서 생성된다. 정전기는 절연체(dielectric) 물질을 정전기의 형성온도로 가열하거나 분극 전기장(polarizing electric field)에 노출시키면 생성된다. 절연체 물질은 분극된 전기장의 주변을 냉각시키는 역할을 한다. 이때 + 극과 연결되어 있는 전극과 접촉하는 표면은 - 극으로 하전되고, 반면에 - 전극과 접촉하고 있는 표면은 + 극

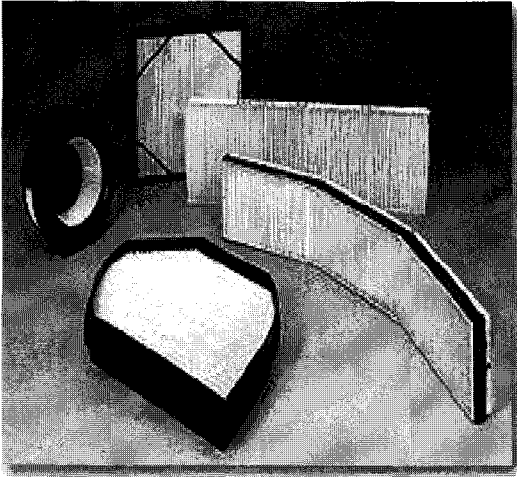


그림 7. 입자상물질 제거용 cabin air filter의 차량종류별 형상

으로 하전된다. 이와같은 하전을 불균일하전 (heterocharge) 이라고 하며, 안정적이지 못하다. 시간이 경과함에 따라 하전량은 감소하고 극성반전 (polarity reversal)이 발생하며, 몇일 또는 몇주 후에는 겉보기 평형(apparent equilibrium)에 도달한다. 그리고 절연체 물질은 대응하는 분극 전극과 동일한 분극을 갖는 표면 하전(surface charge)이 되며 이를 균일하전(homocharge) 이라고 한다. (15)

본 절에서는 정전기력을 도입시키는 방법과 절연체 물질을 분극시키는 방법에 대해서 알아보겠다.

3.2.1 정전기력 도입방법

(가) 정전방사 공정

고분자 용액을 집적판 사이에 있는 분사전극으로 옮긴다. 운반 carrier와 집적판은 전원에 접속되어 있다. 비교적 높은 정전전장이기 때문에 고분자섬유는 하전된다. 고분자용액은 반대의 전극으로 이

송되는 사이에 용액에서 고체로 변환된다. 동시에 carrier 위에서 부직포가 형성되고, 전하를 받은 극 세섬유는 바람직한 섬유기재로 된다. 섬유의 전하는 고분자와 분사전극과의 사이에서 직접접촉에 의해서 정해지고 그것에 의해서 전하는 분사전극과 섬유극성에 전도되어서 형성된다.

(나) 코로나대전 polypropylene 공정

전하는 분사전극과 표면전극 사이의 미세한 전기선 사이에서 방전되어 생성된다. 전극이 있는 물질은 전극사이에 위치하여 공정 중에 하전된다. 이 공정에서는 부직포를 미리 형성하여 섬유층 상태에서 하전시킨다. 이 방법은 이론적으로 최고 하전량에 한계가 있다. 이러한 특수한 공정에 관해서는 어떠한 문헌에도 아직 상세히 기술되어 있지 않다. 그렇지만 이 공정으로 사용되고 있는 재료는 0.2~10 μm 사이의 섬유직경을 갖는 것이 확실시 되고, 일반적으로 이 방식의 방사공정에 의해 섬유직경이 0.9 μm , 2.7 μm , 9 μm 의 3종류 섬유가 얻어지고 있다.

(다) Split 섬유필터 하전공정

이 공정은 사출기에 의해 고분자 필름을 만들어 각 공정에서 연신하여 마지막에 정전하전을 시킨다. 하전공정이 끝난후 필름을 충전기술로 섬유화시켜 섬유층을 형성시킨다. 일반적으로 split 섬유 공정에서의 기계적인 결합은 needle punching으로 행한다.

위에서 들었던 3가지 정전기력 도입기술에 따라 모두 섬유직경이나 특성이 다른 섬유를 생산한다. 이 섬유들 중 몇가지 종류는 전하를 갖지않는 부직포재료로 사용되고 있는 종래의 합성섬유의 원형단면과 비교해서 평평하고 납죽한 단면형태를 갖는다. 표 3에 정전여과포 형태에 따른 정전기력을 도입한 방법에 대해서 나타내었다.

표 3. 적용가능한 정전필터 제조공정

Filter type	Fiber 제조 및 정전기 부여공정	개발 및 제조회사
Electrostatically spun filters	Polymer solution spinning	Freudenberg, Germany
	Polymer melt spinning	Battelle, USA
Split-fiber filters	Spiting of a corona-charged film	Filtrete, USA
Charged conventional filters	Corona-charging of a polypropylene filter	Toyobo, Japan

3.2.2 절연체의 분극(Polarization of dielectric) 방법

절연체 물질은 단극과 쌍극을 포함하고 있는데, 이로써 절연체가 분극화 될 수 있음을 알 수 있다. 일반적으로 절연체를 분극시키는 방법으로는 다섯가지 즉, 원자분극(atomic polarization), 쌍극자분극(dipole polarization), 계면분극(interfacial or barrier polarization), 공간하전 분극(space-charge polarization), 외부분극(external polarization) 등이 있다.

(가) 원자분극

전기장에서 절연체의 원자 내부에 있는 전자들의 작은 이동이 발생하고, - 전자 구름이 + 핵으로 변환되고, 그러므로 순간적으로 약간의 쌍극자 운동이 생성되고 결과적으로 원자 또는 변형 분극이 생성된다. 이 효과는 매우 짧은 시간에 발생한다. 그러므로 정전기의 영구적인 분극에 의한 영향을 무시할 수 있다.

(나) 쌍극자 분극

많은 절연체들은 전기적 운동을 갖고 있는 분자들을 포함하고 있다. 이와같은 분위기에서 전체 몸체의 전기적 운동을 생성하는 쌍극자 자신의 방향

을 따라 이런 분자쌍극자와 연결되려는 경향이 있다. 그러므로 본질적으로 부피 효과에 기인하는 쌍극자 분극을 일으킨다.

(다) 계면분극

모든 절연체들은 소수의 자유전하 운반체(free charge carrier), 이온, 전자들을 포함하고 있다. 전기장에서 - 전하는 + 전하로 분리되려는 경향이 있고, 전극쪽으로 움직인다. 절연체들의 구조는 균일하지 않다. 그리고 매우 높은 저항계면(resistive interface or grain boundary)에 의해 분리된 파편(grain)들이 존재한다. 이런 경우에, 전하 운반체들은 단지 단일파편(single grain)이 존재하는 경우에 상대적으로 자유롭게 움직일 수 있고, 에너지가 부족한 경우에는 장벽(barrier)에 쌓이게 된다. 또한 절연체가 꽤 깊은 불규칙한 분배트랩(trap)을 많이 포함하고 있을 때, 운반체들은 온도를 증가시켜 분배트랩을 넘어갈 수 있는 충분한 에너지를 얻지 못하는 한 깊은 트랩에 떨어질 때까지 그 쪽 방향으로 움직일 것이다. 이런 계면분극효과도 역시 부피 분극의 구성요소가 된다.

(라) 공간하전 분극

균일 절연체에서 이온 전도전류는 대개 전극 영

역에서 공간하전 구름을 형성하게 된다. 이 효과는 절연체의 거시적인 공간하전 분극을 일으킨다.

(마) 외부분극

지금까지 설명된 내부 분극의 근원은 절연체에 있거나 절연체로부터 생성되는 전하들에 바탕을 두고 있는 것이다. 그러나 분극은 외부로부터 전하 운반체의 침전이나 주입에 의해서도 발생할 수 있다. 절연체의 반대 표면에 같거나 다른 전하들의 침전이 외부 분극을 일으킨다. 전하들은 코로나 방전이나 통과전자빔을 사용하여 절연체로 분사 시킬 수 있다.

언급된 분극의 형태중 전정기형성에서 가장 중요한 것은 쌍극자 분극, 계면분극, 공간하전 분극이다. 쌍극자의 방향은 고온 또는 용융상태에 크게 의존하며, 반 회전력은 감소한다. 그러므로 분극의 정도는 고온 또는 용융 상태에서 전기장의 응용에 의해 짧은시간에 이루어 질수 있다. 절연체를 냉각시키거나 저온 상태로 도달하게 되면, 쌍극자는 회전력이 강한 점성력에 의하여 방해받기 때문에 매우 천천히 초기의 무질서한 상태로 되돌아간다. 그러므로 분극은 고정 된다. 공간하전이나 계면분극에서도 비슷한 거동을 찾아 볼 수 있다. 정전기 운반체들의 이동도는 상온에서 매우 느리고 온도증가에 따라 증가한다. 그러므로 공간하전균과 계면에 쌓여있는 정전기들을 고정 시킬 수 있다.

전기력에 의하여 먼지입자의 포집효율을 증가시키기 위하여 섬유표면의 반대쪽 면까지 전하들에 의해 형성된 전기장을 확장시키는 것은 매우 중요하다. 이는 전하의 공간분포에 의존한다.

3.3 정전필터용 재료

정전필터의 정전기층(electret layer)의 재료로 polycarbonate가 사용되어 졌다. 절연체로서 poly-

carbonate는 몇 년이 지나도 자체의 전하를 보유한 채로 정전기를 형성하고 있을 것이다. 특히 정전필터의 재료로 고분자 물질인 polycyclic bisphenol polycarbonate 등이 가장 우수하며 쉽게 접할 수 있는 물질이다. 그러나 여기서 연구자들의 주요한 관심사는 single norbornane ring 또는 주 분자사슬에 다른 ring이 결합된 norbornane ring 중 어떤 하나를 포함한 polycarbonate 계이다. Polycarbonate는 일반적으로 용매에 용해되는 비결정(amorphous) 고체이다. Polycarbonate 를 포함하고 있는 polycyclic bisphenol 류의 재료는 다음과 같은 것들이 있다.(16)

- ✓ 4,4-(2-norbornylidene) diphenols
- ✓ 4,4'-(2-norbornylidene) di-o-cresol
- ✓ 4,4'-(2-norbornylidene) bis (2-chlorophenol)
- ✓ 4,4'-(2-norbornylidene) bis (2,6-dichlorophenol)
- ✓ 4,4'-(2-norbornylmethylene) diphenol
- ✓ 4,4'-(2-norbornylmethylene) bis (2,6-dichlorophenol)
- ✓ 4,4'-(3-methyl-2-norbornylmethylene) diphenol
- ✓ 4,4'-(3-phenyl-2-norbornylmethylene) diphenol
- ✓ 4,4'-(hexahydro-4,7-methanoindan-5-ylidene) diphenol
- ✓ 4,4'-(hexahydro-4,7-methanoindan-5-ylidene) di-o-cresol
- ✓ 4,4'-(hexahydro-4,7-methanoindan-5-ylidene) bis (2,6-dichlorophenol)
- ✓ 4,4'-(decahydro-1,4-exo-5,8-endo-dimethanonaphth-2-ylidene) diphenol
- ✓ 4,4'-(decahydro-1,4-exo-5,8-endo-

- dimethanonaphth-2-ylidene) di-o-cresol
- ✓ 4,4'-(decahydro-1,4-exo-5,8-exo
-dimethanonaphth-2-ylidene) diphenol
- ✓ 4,4'-(decahydro-1,4:5,8-dimethanonaphth
-2-ylidene-methylene) diphenol

Polycarbonate의 정전여과포로서의 성능을 시험하기 위하여 polycarbonate와 두 가지 다른 알려져 있는 재료의 정전기소멸(charge decay) 시간을 비교하여 보았다. 이 시험에 사용된 재료로는 4,4'-(2-norbornylidene) disphenol [K-1 polycarbonate 명명], polyethylene terephthalate [Mylar 명명], polytetrafluoroethylene [FEP Teflon 명명] 등이 사용되었다. 3가지 재료는 1-layer film으로 만들어졌고 정전기를 형성시키기 위하여 분극시켰다. 이 시험에 사용된 실제 정전기를 형성시키기 위하여 시험재료를 120℃에서 30분동안 적용하였고, 시험재료를 냉각시키기 위해서 상온에서 3시간을 방치해 두었다.

그림 8은 3가지의 cabin air filter 주요재료인 절연체 물질에 대해 시간의 경과에 따른 정전기소멸 시간을 나타낸 것이다. 그림에서 볼 수 있는 것처럼 polycarbonate(K-1 polycarbonate)는 시간이 경과함에 따라 정전기의 소멸이 거의 변화가 없어 cabin air filter의 효율은 변동 없이 우수하게 유지된다는 것을 알 수 있다.

그러나 재료가 polyethylene terephthalate (Mylar)는 시간이 경과함에 따라 급격하게 정전기가 소멸되어 cabin air filter의 재료로서는 부적합을 알 수 있다. 재료가 polytetrafluoroethylene (FEP Teflon)은 정전기 전압은 polycarbonate에 비해 세나 시간이 경과함에 따라 서서히 감소함을 알 수 있어 polycarbonate 재료가 정전기 소멸이 거의 없어 cabin air filter의 수명을 연장해 주고 우수한 효율

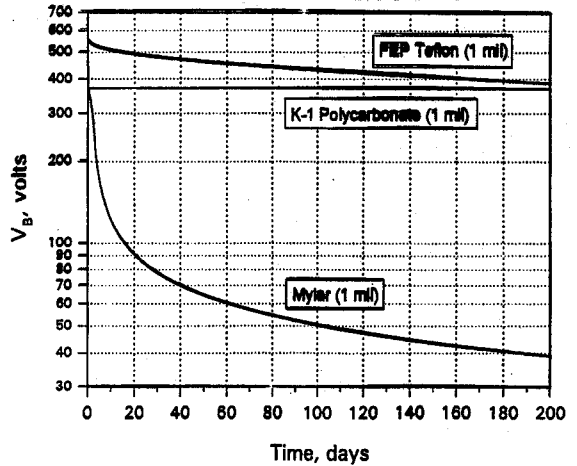


그림 8. Cabin air filter 주요재료 종류별 시간경과에 따른 정전기소멸시간

을 유지할 수 있음을 명백하게 확인 할 수 있다.

3.4 정전필터 및 prefilter 제조방법

Cabin air filter의 핵심부분인 정전필터를 제조하는 방법으로는 5가지가 있다. 첫 번째는 필터의 형성온도와 적용분위기로 절연체를 가열하는 것이다. 그런다음 재료를 정전기를 부여하기 위한 분위기로 냉각시키며 부직포는 하전된 섬유로부터 만들어진다. 두 번째 방법은 고온조건에서 처리된 filter mat를 하전시키는 것이다. 세 번째는 저온 조건에서 filter mat를 하전시키는 것이고, 네 번째와 다섯 번째는 blown 또는 전기적으로 연신하여 섬유들을 하전시킨다. 실제 정전필터를 제조하는 기본적인 기술들을 취급하는 방법은 특히로 많이 등록되어 있다.(17)~(31)

3.4.1 정전원사 제조

정전필터는 높은 포집효율과 낮은 압력손실을 이

를 수 있는 정전기라고 하는 기술을 사용한 것으로 재료는 polypropylene 이나 polycarbonate 등을 중간층으로 하여 지지층과 겹층을 needle punching, ultrasonic bond system 또는 thermal bond system 방식을 이용한 것으로 개개의 섬유 자체가 영구 전하를 갖도록 하는 것이다. 특히 +와 - 분극(polarization)을 확실히 하기위하여 정전 부직포 시트의 윗면은 +(positive)의 방전(discharging)을 시켜주고 밑면은 -(negative)의 코로나 방전(corona discharge)을 행함으로 확실한 분극이 가능하다. 예를 들어 방전을 동시에 한다고 할지라도 섬유보다는 시트가 더 높은 전하밀도를 얻을 수 있고 섬유의 경우는 +와 -의 분극도 확실히 시키기가 어렵다. 정전 부직포 filter는 이러한 전하를 부여받은 시트를 미세 섬유화하여 만들어진 섬유를 needle punching 방식에 의하여 부직포로 제조하는 것이다.

하전된 filter 섬유들은 유도에 의해 하전되지 않은 입자들뿐만 아니라 반대 극성의 하전된 입자들을 포집하기 위하여 영구적인 전기 쌍극자의 형태에서 영구적으로 유도된 양전하나 음전하로서 행동할 수 있다. 영구적인 쌍극자로서 행동하는 섬유들은 통상적으로 잔류분극을 가진 섬유로서 간주되고 원형이나 직사각형 단면을 가진 것으로 생산되어 진다. 정전기 외에도 브라운확산, 직접차단, 관성효과 같은 다른 포집메카니즘도 또한 정전섬유의 전반적인 포집효율에 중대한 역할을 담당할 수 있다.

Cabin air filter의 prefilter와 cover층을 형성하는 필터 mat의 제조기술은 4가지 기본 방법이 있으며, 습식필터 제조공정, 건식필터 제조공정, spunbound 제조공정, melt blown filter mat 제조공정이다.

(가) 습식필터 제조공정(wet-laid filter process)

습식필터 제조공정은 paper machine에서 슬러리의 장섬유를 불규칙하게 여러겹의 층을 형성하

여 이동하면서 필터 mat을 제조하는 공정이다. 필터 mat은 직물은 dryer can에서 열풍에 의해 건조된다. 여기서 제조된 필터 mat은 기계적 엮음, 화학적 접착, 열적 접착에 의해 정전필터가 제조된다. 이 공정은 어떤 형상의 섬유에도 사용할 수 있고 중저효율의 필터를 제조하는데 주로 사용된다.

(나) 건식필터 제조공정(dry-laid filter process)

건식필터 제조공정은 습식필터 제조공정과 비슷하다. 그러나 건조된 섬유들이 움직이는 스크린상에 놓여지며, 이 섬유들은 needle punching에 의해서 필터 mat를 형성하고 액상화학접착제와 저용점 접착제에 의해 완제품을 제조한다. 이 공정은 대개 저효율 필터인 약간 거친 합성섬유필터를 생산한다.

(다) Spunbond 제조공정

이 공정은 방사돌기(spinner)를 빠져 나온 섬유들이 filter를 형성하기 위하여 움직이는 기저천으로 직접 유입된다. 섬유들이 증착 되었을 때 그것들은 유연하게 서로서로 결합되며, 필터를 형성하기에 필요한 강도를 제공해준다. 전형적으로 이 방법에 의해 제조되는 연속섬유들은 저효율 필터를 제조하는데 사용된다.

(라) Melt blown 공정

이 공정은 spunbond 제조공정과 비슷하나, 섬유를 형성하고자 하는 움직이는 screen 이나 기질(substrate)에 증착시키는 공정이다. 이 공정에 사용되는 원래의 재료인 Polycarbonate는 용매와 함께 용융되거나 용해된다. 섬유들은 움직이는 screen에 증착되기 전에 고속의 공기로 잡아 늘이고 냉각시킨다.

일반적으로 melt blown은 공정은 미세한 직경

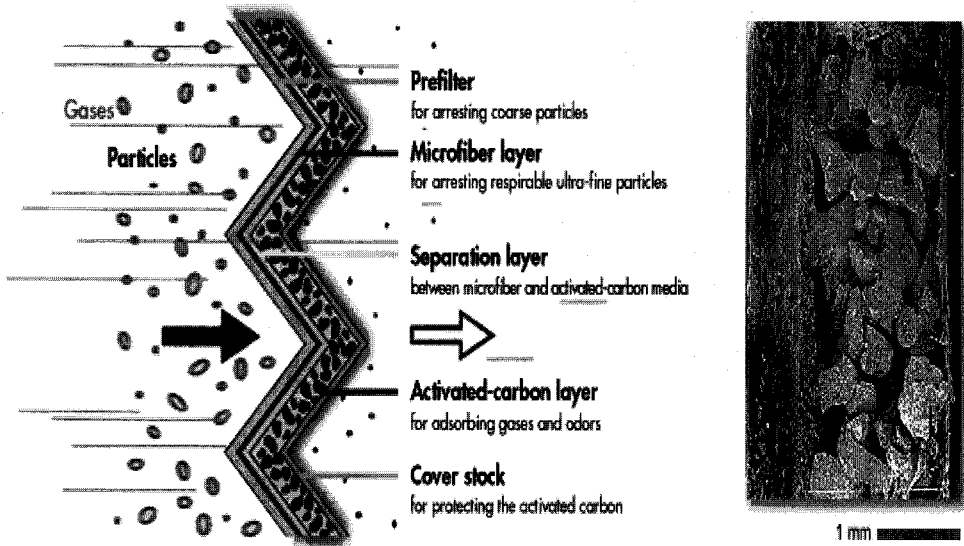


그림 9. 약취/입자상물질 동시제거용 cabin air filter(combination filter)의 구조

(miron fiber)을 갖는 균일한 섬유들을 제조한다. 섬유들은 일차적으로 기계적 엮음에 의해 결합되고 중-저 효율 필터 mat을 형성한다. 만약 용매를 사용한다면, 섬유들은 단면에서 회전하지 않고 섬유 형상이 dog-bone 모양을 갖게 된다. 섬유들은 용매가 증발할 때 이와 같은 모양이 되는데, 이러한 형상은 섬유의 단면적을 크게 하여 집진효율 특성을 상승시키는 역할을 한다.

정전필터 제조에 있어 최적공정의 선택은 섬유직경, 섬유단면적, 절곡공정(pleating process) 등에 의해서 결정된다. Polycarbonate sheet의 섬유는 폭이 14 μ m이고 두께가 4 μ m이다. 반면에 melt blowing 이나 spin casting의 경우에는 섬유의 직경이 2~4 μ m 정도가 된다. 더 미세한 섬유들은 더 좋은 집진효율을 유지하나 제조비용 및 경제성을 고려해야 한다.

3.5 약취제거용 필터 제조기술

약취제거 filter는 particulate filter의 세 번째 층을 electret filter를 사용하여 활성탄소입자(activated carbon powder)를 coating하는 방법과 활성탄소섬유(activated carbon fiber)를 사용하는 방법을 사용하며, 또한 고효율 유지를 위한 연구가 계속되고 있다. 그림 9는 승용차용으로 사용되는 약취와 입자상물질을 동시에 제거하는 combination filter의 구조를 나타내었다.

첫 번째층은 prefilter, 두 번째층은 정전필터층, 네 번째층은 약취 등 가스상오염물질을 흡착 제거하는 활성탄소입자 또는 활성탄소 섬유층, 마지막에 cover층으로 구성되어 있다. 그림 10에 승용차의 차종별로 사용되고 있는 대표적인 combination filter의 형상을 나타냈다.

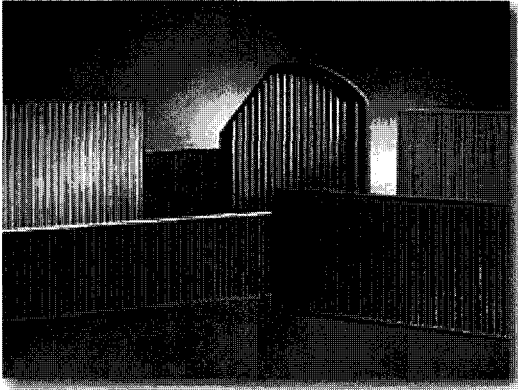


그림 10. 약취/입자상물질 동시제거용 cabin air filter의 차양종류별 형상

3.5.1 활성탄소입자 접착기술

활성탄소입자를 filter에 접착하는 방법은 탄소입자형상, 탄소입자크기, 탄소입자질량부하와 필터의 공극크기가 접착공정의 경제성을 좌우 한다. 위와 같은 공정들은 모두 연관되어 있고, 최적의 접착공정을 선택하는 데 영향을 미친다. 사용되는 활성탄소입자의 형상은 요구하는 필터수명에 크게 영향을 미치므로 최소의 질량부하를 갖게 한다. 탄소입자크기는 요구하는 탄소고착부하에 영향을 미친다. 그림 11에 cabin air filter의 약취제거를 위해 필터표면에 접착용으로 사용되는 활성탄소입자의 공극구조를 나타냈다.

미세한 활성탄소입자들은 필터에서 균일한 접착이 가능하고 기-고(gas-solid) 접촉 특성을 향상시킨다. 그러나 미세한 활성탄소입자들과 필터를 구성하는 단일섬유의 적절하게 접착시키 것이 중요한 기술이다. 활성탄소입자를 필터표면에 접착할 때 발생하는 문제점으로는 다음과 같다.

첫 번째는 필터표면에 활성탄소입자가 강한 접착하여 많은 량의 입자들이 접착되면 필터의 공극을

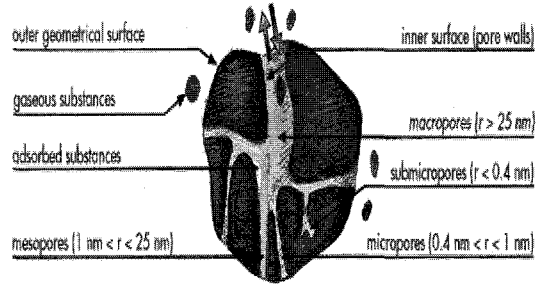


그림 11. Cabin air filter 적용용 활성탄소입자의 공극구조

이 작아져 필터의 눈막힘 현상이 발생되고 활성탄소입자의 세공도 막힘 현상이 발생된다. 활성탄소의 세공의 막힘은 탄소의 표면적을 감소시키고, 필터의 눈막힘은 압력손실 증가를 초래한다. 500 μ m 보다 큰 활성탄소입자들은 필터표면에 쉽게 접착되지만 주어진 질량부하에서 접착이 완전하게 되지 않을 수도 있고 기체와 접촉성능이 미약할 수 있다.

두 번째는 필터표면에 활성탄소입자의 접착은 필터절곡에 영향을 받는다. 활성탄소입자를 필터를 절곡하기 전에 접착하면 절곡의 굴에 탄소입자가 과잉으로 존재하거나 주름상부 지점은 접착되지 않아 접착이 균일하게 되지 않는다. 따라서 필터표면에 활성탄소입자를 접착하는 가장 좋은 방법은 필터의 두층 사이에 활성탄소를 삽입하고 여기에 정전필터를 부착시키는 것이다. 이 방법은 운전되는 동안 필터로부터 탄소의 입자의 손실을 최소화 할 수 있다.

3.5.2 활성탄소섬유 제조방법

활성탄소섬유 제조는 탄소섬유를 제조하는 공정과 매우 유사하며 산화성기체 분위기에서 활성화 과정을 거친다는 점이 탄소섬유 제조공정과 다른 점이

표 4. 각 원료섬유의 화학조성과 탄소함유율

원 료	화 학 식	탄소함유율, %
Rayon 계	$(C_6H_{10}O_5)_n$	44.4
PAN 계	$(C_3NH_3)_n$	67.9
Phenol 수지 계	$(C_{63}H_{55}O_{11})_n$	76.6
Pitch 계	$(C_{124}H_{80}NO)_n$	93.1

다. 일반적으로 PAN계 활성탄소섬유를 제조하고 있고 전구체(precursor)로서는 원료섬유를 또는 원료섬유를 사용한 직물이나 부직포를 사용하고 있다.

(가) 원료(precursor)

활성탄소섬유 제조에 사용되는 원료로서는 pitch 섬유, 특수 phenol수지(카이놀)섬유, acryl(PAN)섬유, rayon(cellulose) 섬유 등의 탄소 전구체 섬유로부터 제조되고 있다.

표 4에 전구체 섬유의 화학조성과 탄소함유율을 나타냈다. 탄소함유율은 활성탄소섬유의 활성화와 수율에 밀접한 관계가 있다.

(나) 내염화 공정

원료인 precursor는 유기화합물이기 때문에 고온의 활성화 온도에서는 분해가 급격히 일어나서 섬유강도를 유지할 수 없게 되므로 비교적 저온(200 ~ 400℃)에서 불활성분위기로 처리하는 것이 필요한데 이를 내염화공정이라고 한다. Cellulose계 섬유를 원료로 사용하는 경우는 내염화제를 처리하는 것이 일반적이며, 다른 섬유는 내염화제 처리가 불필요하다. 이 단계에서는 tar가 다량 발생하기 때문에 배기가스의 처리가 필요하며, acyl계 섬유를 원료로 사용하는 경우에는 청산가스의 발생이 있으며, phenol계 섬유의 경우에는 악취가 발생하기 때문에 이에 대한 대책이 필요하다.

(다) 활성화 공정

내염화 공정을 거친 원료섬유는 800~1,000℃의 고온에서 활성화되어 활성탄소섬유가 된다. 활성화에는 수증기 활성화와 약제를 사용하는 활성화가 있으나 활성탄소섬유 제조에 있어서는 전자가 많이 쓰인다. 활성화 공정의 온도, 분위기 조건, 시간 등에 따라 활성도가 다른 활성탄소섬유가 생산되는데 활성탄소섬유의 활성도는 활성화 조건 뿐만 아니라 원료섬유로서 무엇을 사용하느냐에 따라 실제 사용에서 최대활성도(흡착능력, 비표면적)가 한정된다. 최대활성도는 phenol계 섬유와 cellulose계 섬유가 거의 유사하며, acyl계 섬유는 이들보다 많이 떨어진다. 제조장치는 명확히 알려지지 않았으나 제조공장에서 섬유의 수축이 일어나기 때문에 연속생산설비로서는 고온에서 수축을 흡수하도록 섬유 sheet, tow 등을 처리하므로 이에 따른 많은 연구가 필요한 분야이다.

4. 맺음말

Cabin air filter의 정전 filter층으로는 polycarbonate 섬유가 우수한 재질로서는 실험 통해 확인한바 있으며, polycarbonate의 생산에 가장 적합한 공정은 melt-brown으로 나타났다. Melt-brown공정의 장점으로서 여과면적을 다른 섬유에 비해 최대로 확대시킬수 있도록 미세한 단일섬유의 생산이

가능하고, 또한 섬유에 정전기를 부여하므로써 미세먼지 포집효율을 향상시키기 위하여 단일섬유의 형상변형이 가능하다.

Melt-brown공정은 기존에 사용하고 있는 생산 공정 또는 기존의 장치를 수정하여 섬유를 생산 할 수 있는 장점이 있다. 그러나 이 방법을 선택하는데 미치는 가장 큰 영향인자는 기존의 각 생산공정과 관련하여 수정에 소요되는 경제적인 여건으로서 고려해야 한다. 이 공정을 최적화하기 위해서는 섬유의 전하밀도, 공간전하의 배열, 직물밀도 등이 포함되며, 이런 변수들은 cabin air filter의 압력손실을 최소화 하고 집진효율 최대로 상승시키는데 필요한 중요한 변수이다.

미세먼지입자와 악취의 동시 제거가 가능한 combination filter를 제조하기 위해 최근에 와서는 filter의 지지층에 활성탄소입자분말을 집착하는 방법이 대부분이 적용하고 있는데, 이 방법은 아직까지 표준화된 기술이 없는 것으로 분석되었다. 그러나 이 방법을 적용하여 악취 제거효율을 최대화시키기 위해서는 활성탄소입자 형상, 활성탄소입자크기분포, filter 표면에서 활성탄소입자 질량부하, 필터공극크기 등과 같은 인자를 조정하여 최적 집착방법을 적용할 수 있다. 현재까지 가장 우수한 활성탄소입자 집착 방법은 두겹의 필터층사이에 활성탄소입자를 필터표면 전체면에 균일한 분포로 살포하고, 그 위에 정전필터를 부착시키는 방법으로 밝혀졌다.

- 참고문헌 -

1. 환경부, "환경통계연감", 제 17호, 2004.
2. 환경부, "환경백서", 2003.
3. Coshin, A., "Cleaner automotive passenger air through cabin filters", in Proceeding of TANDEC Conference, pp.13-15, October, 1992.
3. K. M. Cushing, P. V. Bush and T. R. Snyder, "Fabric Filter Testing at the TVA Atmospheric Fluidized-Bed Combustion (AFBC) Pilot Plant", Southern Research Institute, P.O. Box 55305, 2000, 9th Avenue South, Birmingham, AL 35255, Final Report, CS-5837, E-39p. (1988).
4. 박영욱, 손재익, 이만출, 구철오, 김성수, 김상도, 임정환, "자동차내 유입공기 한국형 고효율 Cabin Air Fiter 개발", 1차년도 중간보고서, 통산산업부, 1996.
5. 박영욱, 손재익, 이만출, 구철오, 김성수, 김상도, 임정환, "자동차내 유입공기 한국형 고효율 Cabin Air Fiter 개발", 최종보고서, 통산산업부, 1998.
6. Chong, S, Kim, "Airway Deposition Mechanisms of Fine Particles", Clean Room 과 오염제어에 관한 국제 Symposium, 공기청정조합, 기조화 냉동공학회, 1990. 9. 19 - 20.
7. L. Bergmann, "Automotive cabin Air Filters Worldwide, 1995 - 2000", Filter Media Consulting, Inc., April, 1995.
8. 1996. 6. 30(월요일), 매일경제신문 사회1 면 기사.
9. 1995. 3. 12(일요일), 한국일보 국제면 기사.
10. C, Dickenson, "FILTERS and FILTRATION HANDBOOK", 3rd edition, Elsevier Advanced Technology, Oxford, UK, 778p. (1992).
11. 박영욱, 손재익, 김영성, 구철오, 임정환, "Pulse-Jet식 여과포집진장치의 여과포 성능시험 연구(II)", 과학기술처, 201p. (1990).
12. M. J. Matteson and C. Orr, "FILTRATION, Principles and Practices", Marcell Dekker,

- Inc., New York and Basel, 736p. (1987).
13. K. C. Hsieh, T. Wu, P. Connors and Y. M. Tang, "Performance Enhanced Electret Media", SP-1165, Aspects of Automotive Filtration, Society of Automotive Engineers, Inc. pp.7 - 14, (1996).
 14. P. A. hummel, "Advancements in Automotive Transmission Sump Filtration", SP-1165, Aspects of Automotive Filtration, Society of Automotive Engineers, Inc. pp.15 - 25, (1996).
 15. Gross, B., "The electret", ENDEAVOUR, 1967.
 16. Perlman, M.M. and Reedyk, C.K., "Polycarbonates", U.S. Patent 3,458,713, July 29, 1969, to Northern Electric Co., Ltd., Montreal, Canada.
 17. Patent Early Disclosure No. 61-174471, "Toray AN Electret Fibrous Sheet and Structure Thereof", 1990.
 18. Patent Early Disclosure No. 61-211027, "Toray AN Electret Nonwoven Fabric", 1986.
 19. Patent Early Disclosure No. 61-21577, "Toray AN Electret Melt Blown Nonwoven Fabric", 1986.
 20. Patent Early Disclosure No. 62-104957, "Toray A Method of Manufacturing Electret Melt Blown Nonwoven Fabrics", 1987.
 21. Patent Early Disclosure No. 62-10459, "Toray A Method of Manufacturing Electret Sheets", 1987.
 22. Patent Early Disclosure No. 62-263361, "Toray A Method of Manufacturing Nonwoven FABric", 1987.
 23. Patent Early Disclosure No. 63-130114, "Show DENKO AN Electret Filter". 1988.
 24. Patent Early Disclosure No. 1-151916, "Show DENKO A Method of Manufacturing an Electret Foam Open Body", 1989.
 25. Patent Early Disclosure No. 63-319015, "ASAHI CHEMICAL A Method of Manufacturing Electrets", 1988.
 26. Patent Early Disclosure No. 63-267538, "ASAHI CHEMICAL A Nonwoven Fabric Laminated Body for Electrets", 1988.
 27. Patent Early Disclosure No. 60-199970, "TOYOBO A Method of Manufacturing Electret Fibers", 1985.
 28. Patent Early Disclosure No. 60-168511, "JAPAN VILINE A Method of Manufacturing an Electret Filter", 1985.
 29. U. S. Patent No. 4,215,682 - Melt-Blown Fibrous Electrets.
 30. U. S. Patent No. 4,375,718 - Method of Making Fibrous Electrets.
 31. U. S. Patent No. 4,904,174 - Apparatus for Electrically Charging Melt-Blown Webs.