

니들펀치 공정에 의한 캐빈에어필터 여재의 제조

박승규[†] · 김현창

호서대학교 화학공학과
(2009년 8월 15일 접수, 2009년 8월 23일 채택)

Cabin Air Filter Media Produced by Needle Punching Process

Seungkyu Park[†] and Heonchang Kim

Department of Chemical Engineering, Hoseo University, Choongnam 336-795, Korea
(Received August 15, 2009; accepted August 23, 2009)

화학적 바인더를 사용하여 활성탄을 고정화시킨 필터 여재(filter media)와 바인더를 사용하지 않고 니들펀치 공정으로 제조한 필터여재를 비교해 보았다. 제조된 콤비네이션 필터는 실차의 내용적과 비슷한 크기의 챔버 내부의 차량용 송풍기에 장착하여 가스제거 효과를 평가하여 보았다. 화학적 바인더를 사용한 캐빈에어필터는 바인더에 의해 활성탄의 흡착기공이 막혀 아세트알데히드 제거 효과가 감소하리라는 예측과 반대로 니들펀칭 공정으로 제조한 필터에 비해 아세트알데히드 1 min 및 30 min 제거효율이 더 높게 나타났다. 니들펀칭 공정에 따르면 활성탄의 소수성결합력(hydrophobic interaction)으로 인해 화학적 바인더를 사용한 캐빈에어필터보다 공극면적(void area)이 상대적으로 더 넓은 것으로 나타났다.

Filter media finely interspersed with activated carbons were prepared by a needle punching process without using chemical binders. Their characteristics were investigated efficiently to abate environmentally harmful gas such as acetaldehyde, and were compared with those of cabin air filter coated with activated carbons by using chemical binders. These combination filters were installed on a vehicle fan placed in a test chamber of capacity similar to the interior volume of a commercially available passenger car, and the efficiency of acetaldehyde abatement was measured as a function of time. The filter utilizing chemical binders showed somewhat better performance for the elimination of acetaldehyde despite the adverse effect of the chemical binder that would clog the micropores of the activated carbons. It turned out that the needle punching process had the activated carbons agglomerated due to hydrophobic interactions, resulting in a relatively larger void area than that of the filter utilizing chemical binders.

Keywords: cabin air filter, needle punching process, chamber test, acetaldehyde, void area

1. 서 론

매일 자동차로 출퇴근하는 현대인들에게 도심 속의 오염은 자동차 내부의 공기질에도 많은 영향을 미치게 된다. 따라서 자동차 실내 공기질의 개선을 위한 많은 연구가 다각적으로 진행되고 있다. 특히 1995년 이후 자동차에는 실내로 유입되는 외부 부유먼지를 정화해 주는 목적으로 환기시스템의 캐빈에어필터(Cabin air filter or HVAC, Heating Ventilating and Air Conditioning)가 장착되었는데 최근에는 악취 및 휘발성 유기화합물(volatile organic compounds, VOC)까지 제거해 공기를 정화해 주는 기능이 추가되고 있다. 부유먼지는 물론 악취 및 VOC를 제거해 주는 실내공기정화필터를 콤비네이션 캐빈에어필터(Combinational Cabin air filter)라고 부른다[1-4].

자동차 내부로 유입되는 주요한 유해가스 발생원은 첫째, 차를 제작할 때 사용되는 도료, 접착제 등 내부 재료로부터 휘발되는 유해가

스, 둘째, 운전자를 포함한 승객들과 그들의 기호품(예를 들어 담배)으로부터 방출되는 물질, 셋째, 자동차 주행 시 외부로부터 유입되는 유해물질로 분류될 수 있다. 자동차 내부로 유입되는 유해가스들은 수십여 종의 가스들이 있을 수 있으나, 대표적인 유해가스로 아세트알데히드, 포름알데히드와 같은 알데히드류, 아세트산, 트리메틸아민, 메틸메르캅탄, 암모니아 등이 있다[5,6]. Nishino 등은 디젤자동차에서 배기된 유해가스가 차량의 내부로 유입될 때 아세트알데히드는 비록 수 ppb이지만 임계감지농도(threshold)가 6 ppb로 낮아 불쾌감을 주는 유해가스로 규정하였다[7]. 특히 미국 환경안전청(Environmental Protection Agency, EPA)에서는 아세트알데히드는 잠재적 발암물질(probable human carcinogen)로 규정하고 있어 콤비네이션 필터에 의한 아세트알데히드 가스 제거 효과가 운전자들에게는 불쾌감을 막고 건강도 지켜주는 매우 중요한 안전장치가 될 수 있다[8-10].

콤비네이션 캐빈에어필터 여재(Cabin air filter media)를 제조하는 방법으로는 유해가스 제거기능이 있는 활성탄, 메조포러스 물질 또는 제올라이트계 탈취제를 바인더를 이용하여 부직포에 부착시키는 방법이 널리 사용되고 있다[11-16]. 이 방법은 스프레이법, 롤코팅법, 딥

[†] 교신저자(e-mail: skpark@hoseo.edu)

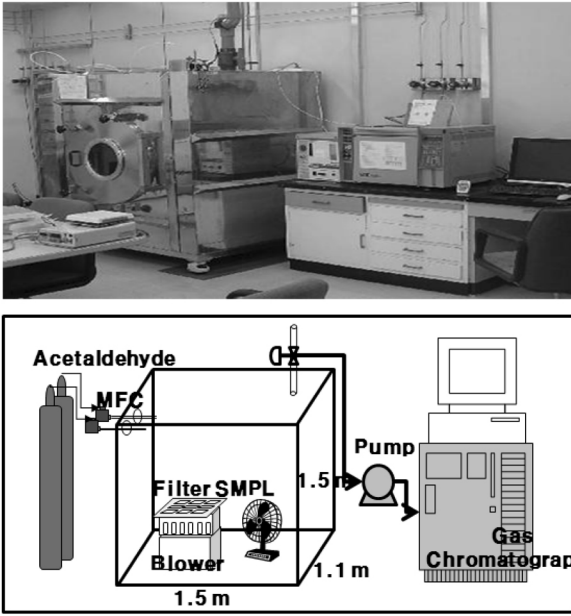


Figure 1. Photo (top) and schematic diagram (bottom) of evaluation facilities for the efficiency test of cabin air filter.

코팅법 등의 다양한 코팅법을 이용하여 탈취제를 바인더와 함께 부직포에 도포한 후 건조시키는데, 바인더를 이용하여 탈취제를 부직포에 부착시키는 방법은 탈취제의 기공이 바인더에 의해 막힐 수 있어 탈취 성능이 저하될 수 있는 단점이 있다. 일반적으로 활성탄의 2 nm 이하의 마이크로기공이 휘발성 유기화합물을 제거하는 유효기공으로 잘 알려져 있으며[3,17,18] 바인더의 사용 시 이러한 미세기공의 막힘 현상이 우려되고 있다. 활성탄소섬유와 핫멜트용 단섬유의 혼합섬유 부직포에 활성탄을 충전시키는 방법도 사용되고 있는데 공정상 활성탄의 이탈이 자주 발생해서 웹을 만들기 어렵고 압력손실이 증가할 수 있다. 또 화학적 바인더를 사용하여 제조한 필터는 장기간 사용 시 유해가스와의 접촉으로 인해 바인더의 변형이 초래되고 이로 인해 불쾌한 악취들이 생겨나기도 한다. 이에 비해 니들펀치 공정으로 필터 여재를 만드는 공정은 바인더에 의한 탈취제 표면 막힘 현상이 줄어들어 표면활성이 유지될 수 있을 것으로 기대된다.

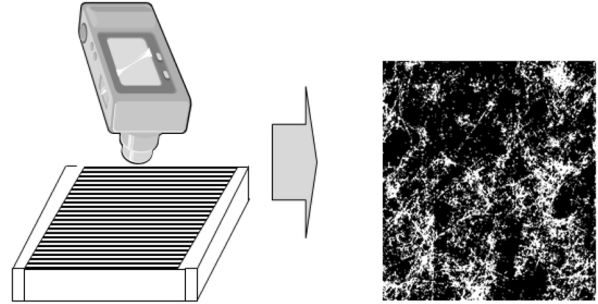
자동차용 캐빈에어필터의 평가법에는 독일식 캐빈에어필터 사이클 시험법인 DIN 71460법[1]과 실차에 탑재 후 장기간 시운전을 통해 유해가스 제거 효과를 평가하는 방법과 실차의 내용적과 비슷한 크기의 챔버 내부에 실제 콤비네이션 필터를 장착하여 가스 제거 효과를 평가하는 챔버시험법[7]이 있다. 본 연구는 자동차용 캐빈에어필터 여재를 니들펀치 공정으로 제조하여 흡착제의 가스 제거 효과를 극대화하는 연구를 진행하였고, 챔버 시험법을 이용하여 그 효과를 평가하였다.

2. 실험 및 평가

2.1. 캐빈에어필터 여재(Cabin air filter media)의 제조

콤비네이션 캐빈에어필터의 제조를 위해 흡착제로는 활성탄(30~80 mesh, 173~535 μm 입도 크기와 BET 1230 m²/g의 인도네시아산 야자탄)을 사용하였다. 같은 활성탄을 사용하여 화학적 바인더를 사용한 필터 여재(filter media)와 바인더를 사용하지 않고 니들펀치 공정으로 필터여재를 제조하여 비교해 보았다.

니들펀치 공정에 의한 캐빈에어필터 여재제조 공정은 첫째, 폴리에



Scanning at unfolded state

Figure 2. Measuring of void area of unfolded cabin air filter media.

틸렌테레프탈레이트 장섬유로 된 스펀본드 부직포(25 g/m²) 위에 폴리프로필렌계 멜트브라운 섬유(30 g/m²)를 올리고, 둘째, 그 위에 활성탄(activated carbon)을 골고루 도포한 후 다시 폴리에틸렌테레프탈레이트 장섬유로 된 스펀본드 부직포(65 g/m²)를 도포하고, 셋째, 니들펀치 공정을 통해 상단의 스펀본드와 하단의 스펀본드가 연결되게 하여 활성탄을 고정화시켰다. 가장 상단의 스펀본드 부직포는 폴리에틸렌테레프탈레이트 장섬유보다 용점이 낮은 폴리에스테르 단섬유를 사용할 수도 있고, 폴리에스테르/폴리프로필렌이 혼합 방사되어 있는 단섬유를 사용할 수도 있다. 캐빈에어필터는 개략적으로 스펀본드 부직포 → 멜트브라운 → 파우더 스캐터링법에 의한 활성탄 투입 → 상단 스펀본드 → 니들펀치공정 → 라미네이팅 필터여재(filter media) → 절곡 및 필터외곽 부착(Corrugation 및 Housing)제조의 공정으로 이루어졌다. 마지막의 니들펀치 공정이 지나면 라미네이팅 공정(laminating process)을 통해 상하 웹을 결합시키고 약 1 mm 두께로 압축하여 필터 미디어를 제작하였다. 이 때 단섬유의 평균섬도는 약 8데니어(denier)인 것을 사용하였다[19].

2.2. 캐빈에어필터의 가스제거 효과 평가

캐빈에어필터의 평가를 위해 자동차의 내부 용적과 유사한 크기(2.5 m³)의 스테인레스 챔버가 Figure 1과 같이 제작되었다. 캐빈에어필터의 아세트알데히드 가스 제거 효율을 측정하기 위하여 3 ppm의 아세트알데히드가 유량조절기(mass flow controller)를 통해 챔버 내부로 유입되었다. 챔버 내부에 가정용 선풍기를 틀어 풍속 2~3 m/sec의 바람을 회전시켜 내부에 유입된 아세트알데히드 농도를 균일하게 유지하였다. 캐빈에어필터는 자동차용 에어컨 송풍기(air blower)의 상단에 설치하였고, 에어컨을 켜기 전과 켜기 후 30 min 동안의 아세트알데히드 농도의 변화가 가스크로마토그래피(Gas chromatography)로 분석되었다[20-22]. 에어컨 작동 후 1 min과 30 min 동안에 줄어드는 아세트알데히드 양은 필터의 1 min 또는 30 min 가스 제거 효율로 아래의 식으로 계산될 수 있다.

$$\text{Efficiency} = [(C_i - C_f) / C_i * 100]$$

$$\text{Efficiency} = \text{아세트알데히드 제거 효율(1 min 또는 30 min)}$$

C_i = 송풍기 작동 전 농도

C_f = 송풍기 작동 후 농도

2.3. 캐빈에어필터 여재의 공극률 측정

캐빈에어필터를 절곡하지 않은 상태에서 Figure 2와 같이 스캐너(Epson V10 Photoscanner)를 이용하여 가스의 흐름 방향에 대한 공극면적(void area)을 측정하였다.

Table 1. Pressure Drop of Cabin Air Filter Produced by Needle Punching Process

Adsorbents in filter media (g/m ²)	Corrugation number	Pressure drop (Pa at 600 m ³ /h)
200	35	106
210	30	98
210	33	104
210	36	129
220	33	117
230	33	131
250	30	129
250	33	148

Table 2. Acetaldehyde Concentration Depending on the Location in Chamber

Test Part	Acetaldehyde (after 1 min, ppm)
① left, top, front	2.97
② right, top, front	3.00
③ left, bottom, front	2.93
④ right, bottom, front	2.95
⑤ left, top, back	3.03
⑥ right, top, back	3.00
⑦ left, bottom, back	3.01
⑧ right, bottom, back	2.92
⑨ inlet part of blower	2.97
⑩ outlet part of blower	2.95

이 방법에 의하면 상단에서 찍은 사진에서 흑색 부위는 활성탄이 웹에 의해 덮여있는 부위를 나타내며 흰색 부위는 빛이 아무런 접촉 없이 통과하는 빈 공간을 나타내고 있다. 빛이 거침없이 통과하는 이 부분의 면적으로 가스도 아무런 접촉 없이 통과할 수 있기에 이 면적을 공극률 또는 공극면적(void area)라고 정의하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 캐빈에어필터 여재의 제조

니들펀치공정으로 제조한 필터여재는 화학적인 바인더를 사용하여 활성탄을 고정화시킨 필터 여재와는 외관상 확연한 차이를 보였다. Figure 1은 바인더를 사용하여 제조한 필터의 표면과 니들펀치법으로 제조한 필터의 표면 사진을 보여주고 있다. 핫멜트 바인더를 사용한 필터의 경우 웹 사이에 바인더가 존재하여 활성탄이 아세트알데히드와 접촉할 수 있는 면적을 감소시키는 반면에 니들펀치공정으로 제조된 필터는 다소 빈 공간들이 많이 관측되었다.

연속 공정으로 제조된 캐빈에어필터에의 활성탄 투입량은 200~250 g/m² 정도였으며 활성탄의 함량이 증가될수록 Table 1과 같이 압력손실(pressure drop)이 증가함을 확인할 수 있었다. 또한 활성탄의 함량이 증가할수록 절곡(corrugation)하기 어렵고 절곡 개수를 동일하게 유지하면 압력손실이 급증하였다. 화학적 바인더를 사용하여 제작한 캐빈에어필터는 230 g/m²의 활성탄 투하량과 33개의 절곡 개수로 이루어져 있으나 압력손실이 142 m³/h로 매우 높았다.

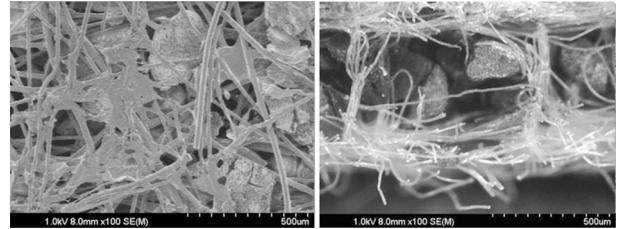


Figure 3. SEM Images of filter media produced by (a) chemical binding process and (b) needle punching process.

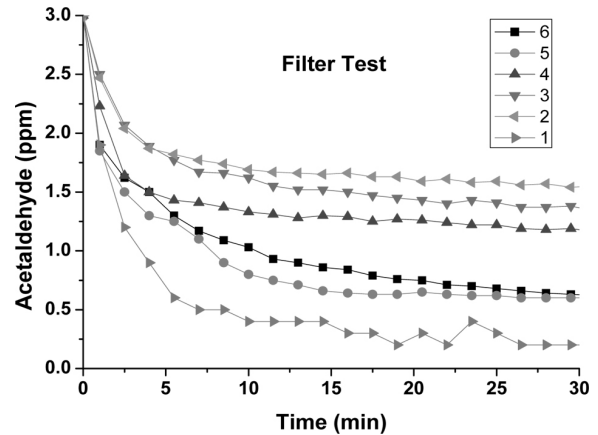


Figure 4. Acetaldehyde abatement by cabin air filter: (1) Chemically bound filter, (2) NF_230 g/m²_33F, (3) NF_250 g/m²_30F, (4) NF_210 g/m²_30F, (5) NF_220 g/m²_33F and (6) NF_210 g/m²_33F.

3.2. 챔버 내부의 아세트알데히드 농도

Table 2는 3 ppm의 아세트알데히드가 챔버 내부에 유입되고, 챔버의 각 모서리 부위와 에어컨 송풍기 전후 부위로 확산된 후 시료를 채취하기까지 1 min 정도의 시간이 소요되었을 때, 각 부위별 아세트알데히드 농도를 측정된 결과를 보여준다. 측정 결과에 따르면 1 min 이내에 챔버 내부의 모든 부위가 약 3 ppm으로 관측되었는데, 이는 아세트알데히드의 확산속도가 매우 빨라서 1 min 이내에 챔버 내부에는 매우 균일하게 아세트알데히드 농도가 유지되고 있음을 보여주고 있다.

3.3. 캐빈에어필터의 아세트알데히드 제거 효과

Figure 4는 캐빈에어필터의 아세트알데히드 제거 효과를 보여주고 있다. 화학적 바인더를 사용하여 제조한 필터에 비해 니들펀치공정으로 제조한 필터(NF_활성탄투하량, g/m²_절곡개수)들의 아세트알데히드 제거 효율이 높지 않았다. 1 min 효율은 NF_220 g/m²_33F의 경우 38%로 가장 높았고, 화학적 바인더를 사용하여 제조한 필터와 NF_210 g/m²_33F의 경우 37% 정도로 관측되었다. 활성탄 투하량이 많은 NF_250 g/m²_30F 시료의 경우 오히려 1 min 효율이 18%로 매우 낮았다. 30 min 동안 연속적으로 아세트알데히드 제거 효과를 평가하였을 때 화학적 바인더를 사용하여 제조한 캐빈에어필터의 경우 93% 이상 제거됨이 관측되었다. 이러한 결과는 화학적 바인더에 의해 활성탄의 흡착기공이 막혀 아세트알데히드 제거 효과가 감소하리라는 예측과 상반되는 결과를 보여주고 있다.

3.4. 캐빈에어필터 여재의 공극률

Figure 5는 각 시료의 공극률(void area) 사진을 보여준다. 아세트알

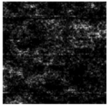
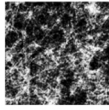
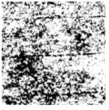

Sample	NF_220g/m ² _33F	NF_210g/m ² _33F	NF_250g/m ² _30F	Chemically binded filter
Scanned image				
Void area	6.1%	27.7%	60.7%	8.0%

Figure 5. Void area of cabin air filter medias.

데히드 1 min 제거 효율이 우수한 NF_220 g/m²_33F 필터 여재와 화학적 바인더 필터 여재는 공극률이 5~10% 정도로 낮게 관측되었으나, 활성탄 투여량이 많았던 NF_250 g/m²_30F 시료의 경우 공극률이 60.7%로 매우 높게 관측되었다. 이는 아세트알데히드를 흡착하는 활성탄이 골고루 필터여재에 분산되지 않았음을 의미하는 것으로 해석된다. 또는 Needle punching 과정에서 활성탄 입자들 간의 소수성결합력(hydrophobic interaction)이 생겨 서로 뭉치는 현상이 발생하였을 수도 있다고 예상된다.

니들펀치 공정으로 제조된 필터들의 아세트알데히드 30 min 제거 효율이 50~80%로 관측되었으나, 화학적 바인더 필터 여재의 30 min 제거효율은 93%로 높게 측정되었다(Figure 4). 이 현상도 니들펀치 공정으로 제조된 필터는 공극지역으로 접촉 없이 통과하는 아세트알데히드의 함량이 높았기 때문으로 추정된다.

4. 결 론

화학적 바인더를 사용한 필터 여재(filter media)와 바인더를 사용하지 않고 니들펀치 공정으로 필터여재를 제조하여 아세트알데히드 제거 효율을 챔버시험 설비를 이용하여 비교해 보았다. 자동차용 필터의 챔버 시험법에 따르면 유입된 아세트알데히드는 1 min 이내에 챔버 내부에 확산되어 균일한 농도를 유지하는 것으로 관측되었다.

캐빈에어필터 제조 시 화학적 바인더를 사용하는 경우 바인더에 의해 흡착제의 기공이 막히는 현상이 관측되었으나, 웹에 활성탄이 단단하게 고정되어 공극면적이 오히려 적은 것으로 관측되었다. 반면에 니들펀치 공정으로 제조된 필터 여재는 바인더에 의한 기공막힘 현상은 줄일 수 있으나, 니들펀치 공정에서 활성탄 입자들끼리 소수성결합력(hydrophobic interaction)이 생겨 서로 뭉치게 되어 공극면적(void area)이 넓어지게 되고 흡착제를 웹(web) 사이에 고정시키기 어렵다는 단점이 노출되었다. 향후 니들펀치 공정에서 활성탄 입자들끼리의 뭉침 현상을 줄여 공극면적을 줄이는 추가 연구 수행이 요구되고 있다.

감사의 글

본 연구에 도움주신 (주)에코프로와 생산기술연구원에 감사드립니다

다. 본 연구는 호서대학교 교내연구비(2008-0105)의 지원을 받아 일부 수행되었음.

참 고 문 헌

1. F. Schmidt, U. Sager, and E. Dauber, *Filtration+Separation*, vol 39, 43 (2002).
2. I. H. Reinhardt. *Filtration+Separation*, vol 42, 18 (2005).
3. K. L. Foster, R. G. Fuerman, J. Economy, S. M. Larson, and M. J. Rood, *Chem., Mater.*, **4**, 1068 (1992).
4. N. J. Lawryk and C. P. Weisel, *Environ. Sci. Technol.*, **30**, 810 (1996).
5. T. Schupp, H. M. Bolt, and J. G. Hengstler, *Toxicology*, **206**, 461 (2005).
6. M. E. Davis, A. P. Blicharz, J. E. Hart, F. Laden, E. Garshick, and T. J. Smith, *Environ. Sci. Technol.*, **41**, 7152 (2007).
7. T. Nishino, K. Kato, K. Imai, H. Kato, and K. Fukumoto, *Denso Technical Review*, **10**, 65 (2005).
8. EPA 749-F-94-003a (1994).
9. T. Hayashi, M. Kumita, and Y. Otani, *Environ. Sci. Technol.*, **39**, 5436 (2005).
10. B. N. Tam and C. M. Neumann, *J. of Environmental Management*, **73**, 131 (2004).
11. X. S. Zhao, Q. Ma, and G. Q. Lu, *Energy & Fuels*, **12**, 1051 (1998).
12. S. O. Lee, S. J. Kitchin, K. D. M. Harris, G. Sankar, M. Dugal, and J. M. Thomas, *J. Phys. Chem. B*, **106**, 1322 (2002).
13. W. C. Oh and J. S. Bae, *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, **14**, 821 (2003).
14. K. H. Kim and J. H. Park, *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, **11**, 821 (2000).
15. T. Hayashi, M. Kumita, and Y. Otani, *The Society of Chemical Engineers, Japan*, **31**, 185 (2005).
16. M. P. Cal, M. J. Rood, and S. M. Larson, *Energy & Fuels*, **11**, 311 (1997).
17. R. Y. Lin and J. Economy, *Appl. Polym. Symp.*, **21**, 143 (1973).
18. J. Economy and R. Y. Lin, *Appl. Polym. Symp.*, **29**, 199 (1976).
19. S. C. Chung, B. G. Ahn, and S. S. Im, *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, **13**, 613 (2002).
20. J. M. Lorrain, C. R. Fortune, and B. Dellinger, *Anal. Chem.*, **53**, 1302 (1981).
21. S. K. Jeong and Y. O. Park, *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, **19**, 80 (2008).
22. T. Hayashi, M. Kumita, and Y. Otani, *J. of the Society of Chemical Engineers, Japan*, **32**, 72 (2006).
23. M. Sugiura and K. Fukumoto, *J. of Materials Science*, **29**, 682 (1994).