

객차용 고효율 항균 기능성 필터에 관한 연구

A Study of high Efficiency anti-Bacteria Filters for Passenger Car

정우성* 박덕신** 정진도*** 류해열****

Jung, Woo-Sung Park, Duck-Shin Jung, Jin-Do Ryu, Hae-Ryeol

ABSTRACT

We actually installed antibacterial air filter on the air intake route to air conditioner in passenger car and evaluated filters performance on antibacterial effect. And also, antibacterial effect was observed at whole are of filter media by zone of inhibition test. In the evaluation of antibacterial test, it was shown that the air filter has notably sufficient antibacterial efficiency against ordinary filter.

1. 서론

최근 철도차량은 고속으로 운행되기 때문에 승객의 안전을 위해 고정창문을 설치하고, 객차를 밀폐하여 자연환기는 배제한 채 공조시스템만을 활용하여 객차내의 공기질을 조절하고 있다. 철도는 주로 장거리 여행에 이용되므로 좁고 밀폐된 공간에 다수의 승객이 장시간 체류하면서 객차내에서 발생하는 호흡성먼지(respirable particles), 악취(odious smell), 일산화탄소(CO), 유기화합물(OCs) 등과 유입공기에 포함된 각종 입자상 및 가스상 오염물질에 노출되고 있다.

유해한 실내환경을 해결하기 위해서는 유해 실내환경 인자의 발생을 근원적으로 차단하는 방법이 효과적이지만 이러한 방법을 채택할 수 없을 때는 환기시설 및 고효율 유해물질 제거장치를 개발하여 설치하는 것이 필요하다. 이와 같은 관점에서 균의 성장과 발생을 방지할 수 있는 고효율 항균 기능성 필터와 미생물의 개발이 필수적이다. 그러므로 객차내·외부에서 발생하는 실내공기오염물질을 적절히 제어하여 이용 승객의 건강을 보호하고, 객차내 공기질 및 실내환경을 쾌적하게 유지하기 위한 연구가 절실히 요구된다.

본 연구에서는 객차내·외부에서 발생하는 실내공기오염물질을 적절히 제어하여 이용 승객의 건강을 보호하고, 객차내의 공기질과 환기시스템에 적합한 최적의 고효율 항균기능성 필터를 개발하여 객차내 공기질을 개선하고자 한다.

* 한국철도기술연구원 책임연구원, 회원

** 한국철도기술연구원 선임연구원, 회원

*** 호서대학교 환경공학과 교수, 비회원

**** (주)유성 대표이사, 비회원

2. 실험방법

2.1 항균필터 성능평가 시험

항균력 시험방법은 Shake flask method (FC-TM-19)와 KS K 0693-2001법으로 황색포도상구균(*Staphylococcus ATCC 6538*), 대장균(*Escherichia coil ATCC No.25922*), 폐렴구균(*Klebsiella pneumoniae ATCC 4352*), 녹농균(*Pseudomonas aeruginosa ATCNo.15442*,)과 MRSA(*Methicillin-resistant staphylococcus aureus*) 등 주요 공시균으로 사용되는 모든 균에 대하여 시험을 하였다. 또한, 가스검지관법을 이용하여 탈취시험을 하였다. 시험 필터는 100 cm²의 크기로 제작하였으며, 시험가스로는 암모니아를 사용하였다. 탈취율(%)의 계산공식은 다음과 같다.

$$\text{탈취율(\%)} = (C_b - C_s) / C_b \times 100 \dots\dots\dots \text{식 (1)}$$

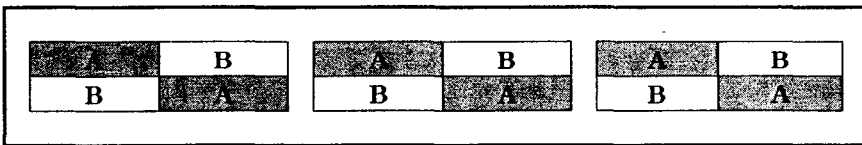
C_b : Blank, 시간경과후 시험용기 안에 남아 있는 시험가스의 농도
 C_s : 시료, 시간경과 후 시험용기 안에 남아 있는 시험가스의 농도

가스농도(ppm)는 각 시간 경과 후 blank와 시료의 시험용기 안에 남아 있는 시험가스의 농도를 말하며, 용기의 크기는 2 ℓ이었다.

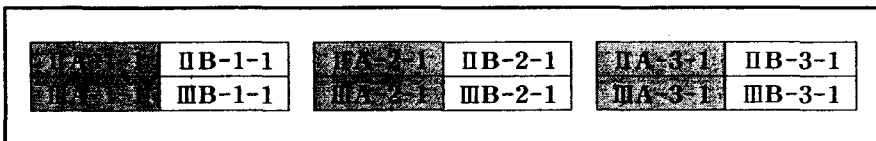
2.2 항균필터 현차시험

고효율 항균 필터를 무궁화호에 그림 1(a)과 같이 A, B 두종류의 항균필터를 6개씩 총 12개의 필터를 서로 교차되게 설치하여 3개월간 객차내부의 부유미생물, 미세먼지(PM-10) 및 필터의 항균력 변화를 측정·분석하였다. 그림 1(b)와 그림 1(c)는 시제품 필터의 항균력을 측정하기 위해 1량당 A와 B 필터를 6개씩 총 12개의 필터를 장착하고, 1개월마다 필터를 1/3씩 수거하여 3개월간 필터의 항균력 변화를 측정했다. 필터를 장착하기 전 시제품을 장착할 객차의 공기질에 대하여 사전에 측정했으며 그 후 1개월간격으로 측정 분석하였다.

<객차 천장>



a). 3개월간 실험용 무궁화 객차 (객차 I : 장착용)



b). 1개월별 비교 실험용 무궁화 객차 (객차 II : 수거용)

IIA-1-2	IIB-1-2	IIA-2-2	IIB-2-2	IIA-3-2	IIB-3-2
IIIA-1-2	IIIB-1-2	IIIA-2-2	IIIB-2-2	IIIA-3-2	IIIB-3-2

c). 1개월별 비교 실험용 무궁화 객차 (객차 III : 수거용)

그림 1. 무궁화호 객차 현차시험시 필터 장착 개념도

2.2.1 부유미생물

미생물농도 측정기(RCS Air Sampler, 독일 바이오 테스트사 제품)를 사용하여 무궁화호 객차 공기중의 부유 미생물을 포집하였다. 미생물 포집에는 RCS Air Sampler 전용 배지(media)인 agar strip GK-A(TSA agar for total colony count)와 agar strip HS(Rosa-bengal agar for yeast and molds)를 사용하여 일반세균과 진균을 포집 하였다. 포집은 한 객차내에서 3회씩 측정하여 3개의 배지를 한조로 하여 배양하였으며 공기는 4분 동안 총 160 ℓ를 채집하였다.

포집한 일반세균용 배지인 agar strip GK-A는 37°C에서 48시간 동안 인큐베이터에서 배양시켜 미생물 계수기로 미생물 집락수를 계수한후 단위용량당 집락수를 아래 식으로 계산하였다. agar strip HS는 실온인 25°C에서 120시간 동안 인큐베이터에서 배양시킨 후 GK-A와 동일한 방법으로 객차내에 부유하는 미생물의 농도를 측정하였다. 본 시험에서는 배양한 배지를 간단한 미생물 계수기 위에 놓고 육안으로 계수하였다.

$$CFU(\text{colonies forming unit}) / m^3 = \frac{\text{colonies on agar strip} \times 0.25}{\text{sampling time}(\text{minutes})}$$

$$CFU(\text{colonies forming unit}) / ft^3 = \frac{\text{colonies on agar strip} \times 0.708}{\text{sampling time}(\text{minutes})} \dots\dots\dots\text{식 (2)}$$

2.2.2 미세먼지(PM-10)

PM-10의 측정장비로는 호흡성 먼지를 측정할 수 있는 Mini-volume portable sampler(Model 4.1, Airmetric Co., USA)를 사용했다. 포집 유량은 5 ℓ/min로 유지하여, 벽면이나 바닥에서의 먼지의 반사나 유입을 막기 위해 승객의 코 높이(α. 1.2~1.5m)에 샘플러를 설치하고, 서울에서 부산까지 약 4시간 동안 측정했다. PM-10의 포집에는 membrane filter(whatmann, 47mm dia)를 이용하여 여과포집법으로 포집했다. 필터는 포집 전·후 데시케이터에서 24시간 동안 건조시키고 여지를 0.1mg까지 측정할 수 있는 전자저울을 이용하여 포집 전·후의 무게차를 포집유량으로 나누어 PM-10의 농도를 산출했다.

3. 연구결과 및 고찰

3.1 항균필터 성능평가 시험

표 1.에서 보는 바와 같이 항균필터에서는 18시간이 경과된 후에 접종된 모든 균들이 거의 사멸되었음을 보였으나 항균제 처리전 필터에 접종된 균들은 약간의 감소만 일어남을 알 수 있다. 또한, 항균 필터는 세척 후에도 지속적으로 항균력을 유지하는 것으로 나타났다.

표 1. 항균력 시험 결과

시공군주	시 료	접종균농도	18시간후
황색포도상구균	항균제 처리전 필터	3.90×10^5	2.50×10^9
	항균필터	3.90×10^5	ND
	항균필터(3회 세척후)	3.90×10^5	ND
폐렴구균	항균제 처리전 필터	1.30×10^6	1.60×10^9
	항균필터	1.30×10^6	ND
	항균필터(3회 세척후)	1.30×10^6	ND
대장균	항균제 처리전 필터	3.70×10^4	1.50×10^9
	항균필터	3.70×10^4	ND
	항균필터(3회 세척후)	3.70×10^4	ND
녹농균	항균제 처리전 필터	1.30×10^5	5.60×10^8
	항균필터	1.30×10^5	ND
	항균필터(3회 세척후)	1.30×10^5	ND
MRSA	항균제 처리전 필터	7.40×10^4	2.47×10^5
	항균필터	7.40×10^4	ND
	항균필터(3회 세척후)	7.40×10^4	ND

주) ND : Not Detected

표 2.에 경과시간에 대한 암모니아 가스의 농도를, 표 3.에는 탈취율을 나타내었다. 표3에서 시간이 경과함에 따라 탈취율이 상승함을 알 수 있다. 시험결과 한시간 경과 후 탈취율이 70% 이상으로 일반적으로 탈취율이 높은 활성탄에 비해 초기 탈취율은 낮지만 시간이 지나면 탈취율이 높아져 탈취효과도 뛰어난 것으로 나타났다

표 2. 암모니아가스농도(ppm)

시간 필터	5분	15분	30분	60분
Blank	440	380	350	310
A필터	235	160	122	90
B필터	240	160	120	85

표 3. 필터의 탈취율(%)

시간 필터	5분	15분	30분	60분
A필터	46.6	57.9	65.1	71.0
B필터	45.5	57.9	65.7	72.6

3.2 항균필터 현차 시험

시제품 필터를 무균화호 객차에 장착한 상태에서 3개월 동안 객차내 PM-10 농도, 부유 미생물 농도 및 필터의 항균력 변화특성을 파악했다. 객차내 부유 미생물은 표 4. 에 나타난 것과 같이 사전측정에서 1057.9 CFU/m³로 고농도로 조사되었지만 농도가 점차 감소하여 3개월째는 324 CFU/m³로 비교적 낮게 나타났다. 진균의 경우 사전측정과 1개월 경과시의 결과밖에 없기 때문에 시험기간인 3개월 동안의 농도변화 특성을 파악할 수 없지만 일반세균과 유사한 특성을 보일 것으로 판단된다. 그림 1.은 RCS Sampler를 이용한 객차내 부유미생물을 포집하는 전경이며 그림 2

는 Agar Strip에 배양한 부유미생물을 나타내었다.

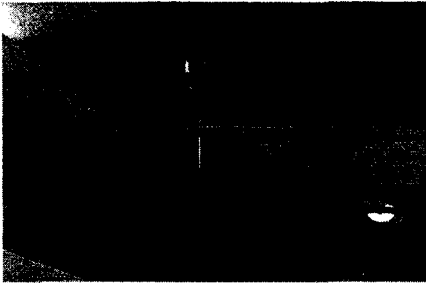


그림 1. RCS를 이용한 부유미생물 포집 전경

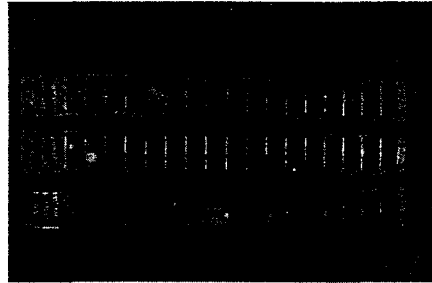


그림 2. Agar strip와 배양한 진균

객차내 PM-10농도는 표 4에 나타낸 것과 같이 사전측정에서는 200.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 높은 농도를 나타내었지만 3개월 동안 PM-10의 농도가 점차 감소하여 63.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 타났다. 이는 항균필터가 항균력 뿐만 아니라 먼지포집 효율 면에서도 매우 뛰어난 효과가 있다는 것을 알 수 있다.

표 4. 객차내 오염물질 농도 변화

측 정	부유미생물농도(CFU/m ³)		PM-10 농도 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
	일반세균	진 균	
시 작	1057.8	181.3	200.0
1개월	865.6	209.4	133.0
2개월	910.4	-	123.0
3개월	324.0	-	63.0
평 균	789.5		129.8

표 5. 필터의 항균력변화

측 정	포도상균 세균감소율 (%)		대장균 세균감소율 (%)	
	A필터	B필터	A필터	B필터
시 작	99.9	99.9	99.9	99.9
1개월	99.9	99.9	25.6	99.9
2개월	13.3	99.9	15.1	99.9
3개월	27.0	97.7	20.3	97.5

포도상구균과 대장균을 공시균주로 사용한 필터 세균감소율 시험에서 표 5에서와 같이 공시균주의 종류에 관계없이 유사한 경향을 보였다. 시제품 필터 중 A필터의 경우 포도상구균을 공시균주로 사용한 시험에서는 장착후 1개월간은 항균력이 유지되었지만 2개월째부터는 항균력이 현저히 저하되었다. 대장균 실험에서도 장착후 1개월 경과후의 항균력이 25.6%로 항균력이 급격히 떨어진다는 것을 알 수 있었다.

시제품 중 B필터는 A필터와는 전혀 다른 양상을 보였다. 시험기간 3개월 동안 항균력이 계속 유지되었으며, 또한, 이 필터를 세척한 후에도 항균력이 사용전과 동일한 수준으로 유지되었다(표 1 참조). 따라서 B필터가 여러 가지 조건을 만족시키는 것으로 나타났다.

4. 결론

객차 내·외부에서 발생하는 실내공기 오염물질을 적절히 제어하여 쾌적한 객차내 공기질을 유지하기 위해 항균력이 뛰어난 무기 항균제 항균필터 media를 시험을 통해 선정하였고, 또한, 시제품 필터를 3량의 무궁화호 객차에 장착하여 3개월 동안 객차내 미세먼지(PM-10) 농도, 부유 미생물 농도 및 필터의 항균력 변화특성을 조사하여 항균필터의 성능을 평가하였다.

1. 황색포도상구균을 공시균주로 사용한 실험에서 필터의 항균력은 99.9 %이상으로 높았으며, 3개월간 객차에 장착하여 사용한 후 세척을 해도 항균력이 지속적으로 유지되는 것으로 나타났다. 탈취율 실험결과 시간이 경과됨에 따라 탈취율이 70%이상 향상되어 탈취율이 활성탄소 소재의 필터와 유사한 경향을 보였다.

2. 시제품 필터는 3개월간 무궁화호 객차에서 실제 운행객차와 동일하게 편성하여 현차시험을 실시했다. 현차시험에서는 시제품필터를 평가하기 위해 시간의 경과에 따른 객차내 PM-10, 부유 미생물농도 및 필터의 항균력 변화특성을 파악했다.

3. 객차내 부유 미생물농도는 사전측정에서 1057.9 CFU/m³로 고농도로 조사되었지만 농도가 점차 감소하여 3개월째는 324 CFU/m³로 비교적 낮게 나타났다. 객차내 PM-10농도는 평균 129.8 µg/m³로 나타났다.

4. 포도상구균과 대장균을 공시균주로 사용한 필터 항균력 시험결과 A필터의 경우 포도상구균을 공시균주로 사용한 시험에서는 장착후 1개월간은 항균력이 유지되었지만 2개월째부터는 항균력이 현저히 저하되었다. 대장균 실험에서는 장착후 1개월 경과후의 항균력이 25.6%로 항균력이 급격히 떨어진다는 것을 알 수 있었다. 시제품 중 B 필터는 포도상구균과 대장균 모두에 시험기간 3개월 동안 항균력이 계속 유지되어 B 필터가 여러 가지 조건을 만족시키는 것으로 나타났다.

참고문헌

1. 박영옥, 손재익, 김영성, 구철오, 임정환 (1990) Pulse-Jet식 여과포 집진장치의 여과포 성능시험 연구(II), 과학기술처, 201.
2. Cushing, K. M., P. V. Bush and T. R. Snyder (1988) 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, 39.
3. Dickenson, C. (1992) Filters and Filtration Handbook, 3rd edition, Oxford, UK, 778.
4. Matterson, M. J. and C. Orr (1987) Filtration Principles and Practices, Marcell Dekker, Inc., New York and Basel, 736.
5. Hsieh, K. C., T. Wu, P. Connors and Y. M. Tang (1996) Performance Enhanced Electric Media, SP-1165, Aspects of Automotive Filtration, Society of Automotive Engineers, Inc.
6. Furuhasi. M. (1980) An evaluation of microbiological air sampling by the new bacterial aerosol generator. : 5th international symposium on Control Proceedings, Munich. Germany. Sept. 15~17. 109~114.