

# 고효율 항균 필터의 항균력 평가에 관한 연구

## A Study on Antibacterial Assessment of High Efficiency Antibacterial Air Filter

권혁구\* 정진도\*\* 류해열\*\*\* 정우성\*\*\*\* 박덕신\*\*\*\*\*

Kwon, Hyuk-Ku Jung, Jin-Do Ryu, Hae-Ryeol Jung, Woo-Sung Park, Duk-Sin

---

### ABSTRACT

Recently, interest in hygiene has been arouse in the health care field. Consequently, Filters with antibacterial agent applied to improve air quality by sterilizing bacteria, fungi, etc. We actually installed antibacterial air filter containing 2.5wt%Ag zeolite on the air intake route to air-conditioner in passenger car, and evaluated filter's performance on antibacterial effect. By the microbe liquid spattering method, we found that the antibacterial air filter has notably sufficient antibacterial efficiency against standard strains and wild type strains. Antibacterial effect was observed at whole area of filter media by zone of inhibition test. The evaluation of microbe quantity was conducted through mixing dilution plate culture method. In comparison with ordinary filter, the amount of germs attached on antibacterial air filters was larger. the amount of germs attached on ordinary filters was very small since ordinary filters contained less dust. In comparison in antibacterial air filter with thickness, the amount of germs attached on 9mm filter was smaller than that of on 6mm filter. i.e. thicker filter, superior efficiency.

---

### 1. 서 론

오늘날 산업사회에서의 활동은 약 90%이상이 다양한 실내공간에서 이루어지므로 실내 환경문제가 건강과 생활환경의 질적 향상이라는 측면에서 다뤄지고 있다. 일반가정과 사무실뿐만 아니라 각종 교통수단에서의 적절치 못한 mechanical heating, cooling 그리고 ventilation systems 등에 의해 실내 공기의 질이 저하되어 gas나 particles 등이 실내오염의 주범이 되고 있다. 또한 대류권에는 상당수의 미생물이 존재하여 대기오염물질로서 미생물 그 자체가 오염원이 될 수 있다. 대기

---

\* 호서대학교 벤처전문대학원 Post-Doc, 비회원  
\*\* 호서대학교 환경공학과 교수, 비회원  
\*\*\* (주)유성 대표이사, 비회원  
\*\*\*\* 철도기술연구원 연구팀장  
\*\*\*\*\* 철도기술연구원 선임연구원

중의 미생물은 토양, 수질, 동물의 호흡기로부터 유래되어 먼지 입자에 부착되어 자외선 및 건조한 환경 등에 저항성이 크며 호흡기계통에 전염병을 일으키거나 알레르기(allergy)반응을 유도하기도 한다. 그러므로 오염 발생원을 근원적으로 차단할 수 없는 실내 환경 내에서는 사전에 환기 시설 및 고효율 유해 물질 제거 장치를 개발하여 설치하는 것이 필수적이다. 따라서 본 연구에서는 filter media에 2.5wt% Ag zeolite를 antibacterial agent를 첨가한 항 미생물 필터(antibacterial air filter ; ABAF)를 개발하여 항균력 시험 및 외부로부터 오염물질의 유입을 차단함은 물론 filter내에 포집된 미생물을 효과적으로 제거할 수 있는지를 알아보기 위하여 객차의 환기 시설에 부착하여 운용하면서 미생물포집 효율을 조사하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1 항균력 시험

시험에 사용한 표준균주는 *Escherichia coli* ATCC 25922, *Staphylococcus aureus* ATCC 29213, *Aspergillus niger* ATCC 32656, *Penicillium chrysogenum* ATCC 10002, *Candida albicans* ATCC 10259를 사용하였고 야생균주로는 사용된 일반 filter로부터 분리한 세균과 진균을 각각 2 균주씩 사용하였다. 세균의 희석은  $K_2HPO_4$  34g/500ml D.W에 1N-NaOH 175ml를 섞어 pH 7.2로 보정한 후 D.W 로 1l 로 만든 phosphate buffer원액 1ml에 0.8% NaCl용액을 가하여 전량 800ml로 만든 후 pore size 0.22 $\mu$ m filter로 멸균하여 사용하였고, fungi의 희석은 1% Carboxy Methyl Cellulose solution을 사용하였다. Filter의 항균력은 “Microbe liquid spattering test” 방법에 따라 균수가  $1 \times 10^5 - 10^6$  CFU/ml이 되도록 1 x 1cm크기의 filter에 균액을 접종 후 0, 12, 24, 48시간 간격으로 균을 회수하였다. 세균은 Nutrient agar plate에 진균은 Sabouraud's dextrose agar plate에 0.1ml씩 접종한 다음 각각 25 $^{\circ}$ C와 30 $^{\circ}$ C에서 배양 후 Colony Forming Unit(CFU)를 조사하여 감소된 균수에 따라 살균효과를 측정하였다. 또한 균을 도말한 배지에 항균필터를 올려놓고 배양하여 필터주변의 투명대를 조사하는 “Zone of inhibition test”로 균 증식억제 효과를 조사하였다.

### 2.2 미생물 포집효과

열차의 에어컨에 부착하여 각각 2, 3개월간 사용하면서 미생물을 포집 한 항균 필터를 1cm<sup>2</sup>크기로 절단하여 멸균 생리식염수 10ml에 넣어 30분간 교반하여 시료액을 준비 하였다. 세균검출은 Plate count agar (PCA)배지를 사용하였으며, 진균류의 검출에는 Sabouraud Dextrose agar (SDA)에 세균의 생육을 저해하기 위하여 Chloramphenicol을 1L당 100mg을 첨가하였고, 확대성 집락을 억제하기 위해 dichloran (2,6-dichloro-4-nitroaniline)이 0.2%포함된 ethanol용액을 1L에 1-2ml씩 첨가하여 121 $^{\circ}$ C에서 15분간 고압증기 멸균하여 plate에 분주 후 사용하였다. 시료액을 10단계 희석하여 100 $\mu$ l를 멸균 콘라디봉으로 도말 한 다음 PCA는 30 $^{\circ}$ C에서 24-48시간, SDA는 25 $^{\circ}$ C에서 5-7일간 배양하면서 집락의 생성유무를 관찰하였다. 포집된 미생물의 수는 확산 집락이 없는 배지에서의 집락수와 시료채취량 및 희석배수에 의해 시료 1cm<sup>2</sup>당 포집된 균수를 산출하였다.

## 3. 결과

### 3.1 항 미생물 filter의 평가

Table 1과 2에서 보이는 바와 같이 2.5wt%/ Ag zeolite가 포함된 antibacterial air filter에서는 24시간이 경과된 후에 모든 균들의 감소를 뚜렷이 볼 수 있었으며 48시간 후에는 접종된 미생물이 거의 사멸되었음을 보였으나 일반 filter에 접종된 균들은 약간의 감소만 일어남을 알 수 있었다.

Table 1. Comparison of antibacterial characteristics of antibacterial air filter and non-antibacterial air filter against bacteria

Microorganism	Tested filter	Microbial reduction			
		0hr	12hr	24hr	48hr
<i>Escherichia coli</i> ATCC 25922	<sup>1</sup> ABAF	$7.2 \times 10^4$	$4.0 \times 10^3$	$5.7 \times 10$	$< 10$
	<sup>2</sup> NABAF	$7.3 \times 10^4$	$6.8 \times 10^4$	$3.2 \times 10^4$	$3.0 \times 10^4$
<i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 29213	ABAF	$7.8 \times 10^4$	$3.8 \times 10^3$	$2.1 \times 10$	$< 10$
	NABAF	$7.9 \times 10^4$	$7.1 \times 10^4$	$4.0 \times 10^4$	$3.8 \times 10^4$
wild type 1.	ABAF	$7.0 \times 10^4$	$4.1 \times 10^3$	$3.8 \times 10$	$< 20$
	NABAF	$6.8 \times 10^4$	$6.7 \times 10^4$	$3.0 \times 10^4$	$2.8 \times 10^4$
wild type 2.	ABAF	$6.8 \times 10^4$	$3.2 \times 10^3$	$2.3 \times 10$	$< 10$
	NABAF	$6.8 \times 10^4$	$6.6 \times 10^4$	$4.1 \times 10^4$	$3.7 \times 10^4$

<sup>1</sup>ABAF : antibacterial air filter, <sup>2</sup>NABAF : non-antibacterial air filter  
wild type 1, 2 : Isolated bacteria from used non-antibacterial air filter

Table 2. Comparison of Antibacterial characteristics of antibacterial air filter and without antibacterial air filter against fungi

Microorganism	Tested filter	Microbial reduction			
		0hr	12hr	24hr	48hr
<i>Aspergillus niger</i> ATCC 32656	<sup>1</sup> ABAF	$5.0 \times 10^4$	$3.0 \times 10^3$	$1.0 \times 10$	$< 10$
	<sup>2</sup> NABAF	$4.9 \times 10^4$	$4.7 \times 10^4$	$2.2 \times 10^4$	$1.7 \times 10^4$
<i>Penicillium chrysogenum</i> ATCC 10002	ABAF	$5.2 \times 10^4$	$6.6 \times 10^3$	$1.4 \times 10$	$< 10$
	NABAF	$4.8 \times 10^4$	$4.7 \times 10^4$	$2.5 \times 10^4$	$2.0 \times 10^4$
<i>Candida albicans</i> ATCC 10259	ABAF	$5.5 \times 10^4$	$6.2 \times 10^3$	$2.7 \times 10$	$< 20$
	NABAF	$5.4 \times 10^4$	$4.8 \times 10^4$	$2.3 \times 10^4$	$1.5 \times 10^4$
wild type 3.	ABAF	$5.8 \times 10^4$	$4.8 \times 10^3$	$2.7 \times 10$	$< 10$
	NABAF	$5.9 \times 10^4$	$5.7 \times 10^4$	$4.0 \times 10^4$	$3.8 \times 10^4$
wild type 4.	ABAF	$5.7 \times 10^4$	$4.1 \times 10^3$	$3.1 \times 10$	$< 20$
	NABAF	$5.8 \times 10^4$	$5.5 \times 10^4$	$4.5 \times 10^4$	$3.2 \times 10^4$

<sup>1</sup>ABAF : antibacterial air filter, <sup>2</sup>NABAF : non-antibacterial air filter  
wild type 3, 4 : Isolated fungi from used non-antibacterial air filter

Fig. 1은 항균필터를 사용하고, Fig. 2는 항균력이 없는 필터를 사용하여 inhibition test로 filter의 항균 기능을 비교 시험한 결과이다. 항균 필터를 사용한 Fig. 1에서는 filter주위에 균의 성장이 억제되어 clear zone이 생성되었음을 볼 수 있으며 filter의 항균기능을 나타내고 있다. Fig. 2는 항균 기능이 없는 filter를 사용하여 시험한 결과이며 균이 성장, 번식한 모습을 보여주고 있다.

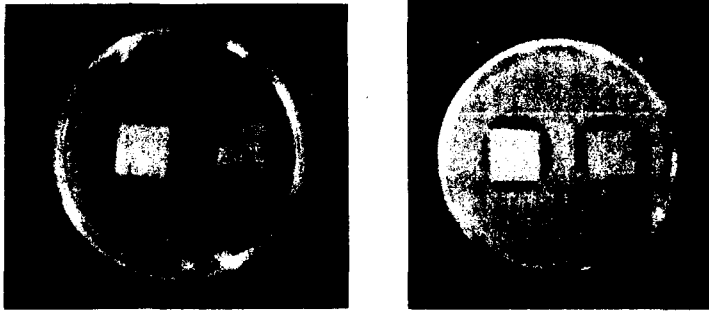


Fig. 1. Positive result of antibacterial efficiency by zone of inhibition test.

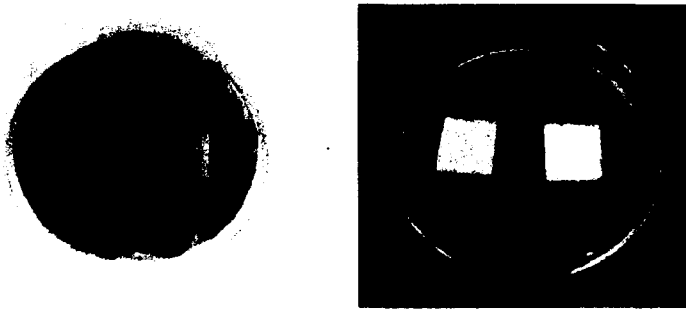


Fig. 2. Negative result of antibacterial efficiency by zone of inhibition test.

### 3.2 미생물 포집효과

항균필터의 객차 테스트를 하기 위하여 2, 3개월간 열차의 에어컨 필터로 사용한 후 도말평판 배양법으로 미생물 포집효율과 항균력을 조사하였다.

Table 3, 4에서 control 1, 2 는 항균력이 없는 필터이며, II A-2-1, II B-2-1, III A-2-1, III B-2-1 는 항균기능을 가진 필터이고, 가로안의 6mm와 9mm는 필터의 두께를 나타낸다. 2개월간 사용한 필터의 control 1과 2는 각각 fungi가 168, 16 cfu/1cm<sup>2</sup>, bacteria는 275, 40 cfu/1cm<sup>2</sup>로 검출되었고, II A-2-1(6mm)와 III A-2-1(6mm)필터에선 fungi가 각각 940, 788 cfu/1cm<sup>2</sup>로 조사 됐으며, bacteria 는 650, 600 cfu/1cm<sup>2</sup>로 검출됐다. 그리고 II B-2-1(9mm)와 III B-2-1(9mm)필터에서 fungi는 328, 778 cfu/1cm<sup>2</sup>이였고 bacteria는 2000, 1550 cfu/1cm<sup>2</sup>로 조사되었다. 3개월간 사용한 필터인 경우 control 1과 2에서의 fungi포집은 113, 112 cfu/1cm<sup>2</sup>, bacteria는 44, 140 cfu/1cm<sup>2</sup>이였으며, II A-2-1(6mm)와 III A-2-1(6mm)필터에선 fungi가 각각 2040, 2250 cfu/1cm<sup>2</sup>이였고, bacteria는 3000, 370 cfu/1cm<sup>2</sup>로 포집 되었다. 그리고 II B-2-1(9mm)와 III B-2-1(9mm)필터에서 포집된 fungi는 3340, 2820 cfu/1cm<sup>2</sup>이였으며 bacteria는 3100, 1000 cfu/1cm<sup>2</sup>가 포집된 것으로 조사되었다.

Table 3. Number of microorganisms after 2 month used filters  
(cfu/filter 1cm<sup>2</sup>)

	Control 1	Control 2	IIA-2-1 (6mm)	IIB-2-1 (9mm)	IIIA-2-1 (6mm)	IIIB-2-1 (9mm)
Bacteria	$2.75 \times 10^4$	$4.00 \times 10^4$	$6.50 \times 10^4$	$2.00 \times 10^3$	$6.00 \times 10^4$	$1.55 \times 10^3$
Fungi	$1.68 \times 10^2$	$1.60 \times 10^4$	$9.40 \times 10^2$	$3.28 \times 10^2$	$7.88 \times 10^2$	$7.78 \times 10^2$

control 1, 2 : non-antibacterial air filter  
IIA-2-1, IIB-2-1, IIIA-2-1, IIIB-2-1 : antibacterial air filter

Table 4. Number of microorganisms after 3 month used filters  
(cfu/filter 1cm<sup>2</sup>)

	Control 1	Control 2	IIA-3-1 (6mm)	IIB-3-1 (9mm)	IIIA-3-1 (6mm)	IIIB-3-1 (9mm)
Bacteria	$4.40 \times 10^4$	$1.40 \times 10^4$	$3.00 \times 10^3$	$3.10 \times 10^3$	$3.70 \times 10^4$	$1.00 \times 10^3$
Fungi	$1.13 \times 10^2$	$1.12 \times 10^2$	$2.04 \times 10^3$	$3.34 \times 10^3$	$2.25 \times 10^3$	$2.82 \times 10^3$

control 1, 2 : non-antibacterial air filter  
IIA-2-1, IIB-2-1, IIIA-2-1, IIIB-2-1 : antibacterial air filter

Fig. 3은 2개월, 3개월 동안 bacteria와 fungi가 필터에 포집된 균수를 나타내고 있으며, Fig. 4는 bacteria와 fungi의 수를 합산하여 2개월, 3개월간 포집된 양을 비교한 것이다. 항균 필터에서 control로 사용한 필터에서 보다 더 많은 미생물이 포집된 것은 control필터의 먼지 포집율이 매우 저조하여 나타난 결과로 생각된다. 전체적으로 필터의 무게가 9mm인 경우가 6mm인 경우보다도 포집되어진 미생물 수가 적은 것으로 나타나 두께가 두꺼울수록 항균력이 크게 작용했음을 보여주고 있다. 9mm필터에서는 포집된 박테리아인 경우에는 3개월 경과 하였을 때 2개월 경과시보다 약간 감소를 보였으나, 전반적으로 2개월일 때 보다 3개월일 때 미생물의 수가 급격하게 증가되는 양상을 보였다.

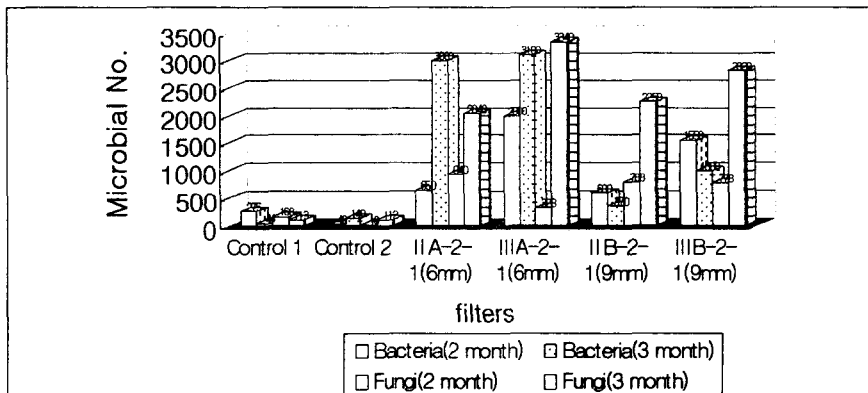


Fig. 3. Comparison of microbial number in different filters according to the used time.  
control 1, 2 : non-antibacterial air filter IIA-2-1, IIB-2-1, IIIA-2-1, IIIB-2-1 : antibacterial air filter

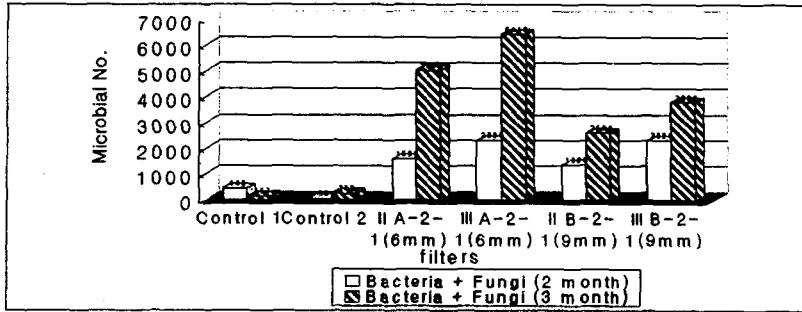


Fig. 4. Comparison of total microbial number in different filters according to the used time.  
 control 1, 2 : non-antibacterial air filter, II A-2-1, II B-2-1, III A-2-1, III B-2-1 : antibacterial air filter

#### 4. 결 론

2.5wt%Ag zeolite를 처리한 항균필터의 항균력 평가의 결론은 다음과 같다.

1. 세균인 *Escherichia coli* ATCC 25922, *Staphylococcus aureus* ATCC29213, wild type 1, 2에 대하여 48시간 내에 뚜렷한 균수의 감소를 보여 우수한 항균효과를 나타내었다.
2. 진균인 *Aspergillus niger* ATCC 32656, *Penicillium chrysogenum* ATCC 10002, wild type 3, 4와 효모양 진균 *Candida albicans* ATCC 10259에 대해서도 우수한 항균효과를 갖는 것으로 조사되었다.
3. 항균 필터를 열차 에어컨에 부착하여 사용한 다음 균을 분리해본 결과 2개월 사용 후 control에서는 진균이 92, 세균은 157.5 cfu/1cm<sup>3</sup>, 6mm 항균필터에서는 진균이 864 cfu/1cm<sup>3</sup>, 세균은 625 cfu/1cm<sup>3</sup>로 나타났다. 9mm 항균필터에서는 진균이 553, 세균은 1775 cfu/1cm<sup>3</sup>로 나타났다. 3개월간 사용한 필터인 경우 control에서의 진균포집은 112.5, 세균은 92 cfu/1cm<sup>3</sup>이었으며, 6mm 항균필터에서는 진균이 2145, 세균은 1685 cfu/1cm<sup>3</sup>로 포집되었다. 그리고 9mm 항균필터에서는 포집된 진균이 3080, 세균은 2050 cfu/1cm<sup>3</sup>가 포집된 것으로 나타났다.
4. 항균 필터에서보다 control에서 적은 수의 미생물이 포집된 것은 control필터의 먼지 포집율이 항균필터보다 효율이 떨어져서 생긴 결과로 분석되었다.

#### 참고 문헌

1. Burge, H. A. (1985), "Indoor Sources for Airborne Microbes", In R.B. Gammage and S. V. Kaye(ed.), *Indoor Air and Human Health*, Lewis Publishers, Inc., Chelsea, Mich. pp.139~148.
2. Burge, H. A. (1990), "Risk associated with indoor infectious aerosols", *Toxicol. Ind. Health*. 6. pp.263~274.
3. Furuhashi, M. (1980), "An Evaluation of Microbiological Air Sampling by the New Bacterial Aerosol Generator", 5th International Symposium on Contamination Control Proceedings, Munich, Germany. Sept. 15~17. pp.109~114.
4. Okamoto, M., H. Toge, M. Furuhashi, I. Ueda, Y. Nakamo, C. Miyagawa (1998), "Studies on the Antibacterial Air Filter", 44th Annual Tech. Meeting : The ICCCS 14th International Symposium on Contamination Control Proceedings, Phoenix, Arizona, April 26-May 1, pp. 122~128.