pISSN 1229-1153 / eISSN 2465-9223 *J. Food Hyg. Saf.*
Vol. 31, No. 3, pp. 201~209 (2016)
http://dx.doi.org/10.13103/JFHS.2016.31.3.201

Journal of Food Hygiene and Safety
Available online at http://www.foodhygiene.or.kr

교차오염방지를 위한 공기정화제품에서 미생물 오염도 분석

염승목 · 김영목 · 이명숙[1]*
부경대학교 식품공학과, [1]부경대학교 미생물학과

Monitoring of Microbial Contamination in Air Purifier for Preventing Cross-contamination

Seung-Mok Yeom, Young-Mog Kim, and Myung-Suk Lee[1]*
Department of Food Science and Technology, Pukyong National University, Busan 48547, Korea
[1]Department of Microbiology, Pukyong National University, Busan 48547, Korea
(Received March 14, 2016/Revised March 30, 2016/Accepted May 2, 2016)

ABSTRACT - Many atmospheric pollutants including chemical agents, house dust, and microorganisms cause building-related illnesses through respiration in humans. This study was conducted to analyze the profiles of microbial pollutants in air purifiers used in home, office and playschool. Dominant eleven species of microorganisms were isolated and identified in environmental air and air purifiers. Among them, *Staphylococcus* sp., *Micrococcus* sp. and *Bacillus* sp. are the most dominant species. By phylogenetic analysis of the 16S rRNA gene, the dominant bacteria were identified as *Staphylococcus epidermidis*, *Micrococcus luteus* and *Bacillus epidermidis*, respectively. It has been known that these bacterial species are closely related with food spoilage and human infectious disease. Thus, these results indicate that microbial pathogens related with human illnesses through respiration will be contaminated in air purifiers and also need to develop a method to control those of pathogens for human health.

Key words : air solution product, analysis, contamination, microbial pathogens

대부분의 현대인들이 하루 중 80% 이상의 시간을 실내에서 생활함에 따라 최근 실내 공기 질에 대한 관심이 높아지고 있다. 우리나라는 1990년대 초반까지 실내공기 오염에 대한 연구가 미비한 실정이었다가 1996년이 되어서야 '지하생활공간 공기질 관리법'이 제정되어 실내 공기질의 기준이 마련되었다[1]. 세계보건기구의 연구결과에 의하면 실내오염물질은 실외오염물질보다 인체의 폐에 전달될 확률이 약 1,000배 정도 높은 것으로 알려져 있다[2,3]. 이러한 오염된 실내공기와 관련된 새집 증후군(Sick House Syndrome, SHS) 및 건물 증후군(Sick Building Syndrome, SBS)등이 심각한 사회적 이슈가 되고 있다[4]. 이러한 이유로 실내 공기 중의 유해물질 저감화에 대한 연구가 진행되고 있지만, 대부분은 포름알데하이드, 벤젠 등의 유해화학물질의 저감화에 대한 많은 연구가 진행되고 있다[5,6]. 하지만, 공기 중에 존재하는 식중독 미생물에 의한 식중독 발병 사례도 다수 보고 되고 있어 식품가공시설이나 가정에서 공기 중의 미생물 저감화에 대한 연구도 필요한 것으로 판단된다[7,8,9].

공기 중의 미생물은 먼지나 에어로졸에 결합된 상태로 오염이 일어나게 되며, 일반적으로 먼지 보다는 에어로졸을 매개로 한 교차오염이 더 심각한 것으로 보고되고 있다[7]. 실제로 *Listeria monocytogenes*에 오염된 에어로졸에 의한 수산물가공시설에서의 오염사례[10], 공조설비의 오염된 에어로졸에 의한 식품가공시설의 오염사례들이 알려져 있다[11]. 이외에도 식중독 미생물에 오염된 공기에 의한 식품가공시설의 오염의심 사례가 다수 보고되고 있다[12]. 이러한 이유로 최근에는 식품가공시설에서는 에어필터 등과 같은 공기정화 시설로 공기 중의 미생물을 저감화하려는 노력을 하고 있다[13,14].

최근에는 쾌적한 실내 환경에 도움을 주는 공기정화 가전제품의 사용이 증가하고 있는데, 그 중에서도 특히 공기청정 기능과 습도 조절 기능을 동시에 갖춘 제습기와 공기청정기 등의 공기정화제품에 대한 수요가 증가하고 있다. 실내 공기오염은 일차적으로 대기의 오염을 받지만, 이차적으로 이들 제품에서의 오염원으로 인해 오염상태가 더 심각해질 수 있다고 알려져 있다[3]. 즉, 오랜 기간 동안

*Correspondence to: Myung-Suk Lee, Department of Microbiology, Pukyong National University, 45 Yongso-ro, Nam-gu, Busan 48547, Korea
Tel: 82-51-629-5615, E-mail: leems@pknu.ac.kr

연속적으로 공기정화제품을 사용하면 각 부위마다 오염도가 높아질 수 있으며, 실내 공기 중에 존재하는 미생물들이 공기정화 제품의 필터 등의 부위에 오염되어 미생물이 오염된 공기가 배출될 가능성이 있다. 이러한 공기정화제품에서 지속적으로 배출되는 미생물 중에 식중독과 관련된 미생물이 존재할 경우 교차오염을 유발할 수 있지만[11,12], 국내에서 현재 그 사용이 증가하고 있는 공기정화제품에 오염된 미생물의 실태에 대한 구체적인 조사가 진행된 적이 없다. 이에 본 연구에서는 가정과 사무실 등의 다양한 환경에서 사용하였던 공기정화제품들을 수거하여 이들 제품의 부위별로 오염된 미생물에 대한 조사를 진행하였다.

Materials and Methods

실험재료

실내 환경에 따른 오염도를 파악하기 위하여 가정집과 사무실 등 다양한 실내 환경에서 1-2년간 사용한 4종류의 공기 정화 제품을 수거하여 이들 제품에 오염된 미생물에 대한 분석을 실시하였다. 제품 A는 어린이 집에서 1년간 사용한 공기정화제품, 제품 B는 일반 아파트 가정집에서 1년간 사용한 공기정화제품, 제품 C는 반 지하 가정에서 2년간 사용한 제습기이고 제품 D는 일반 사무실에서 1년간 사용한 제습기이다.

미생물 시료 채취 및 분리

공기정화제품의 각 부위별 오염도를 파악하기 위해 외관상・구조상 오염도가 높을 것으로 예상되는 오염부위 3 cm × 3 cm의 면적을 pipette swab (3M™, USA)를 사용하여 채취하고 미생물 분석에 사용하였다(Fig. 1). 세균류의 균수 측정 및 분리에는 plate count agar (PCA; Difco, Detroit, MI)를 진균류의 균수 측정 및 분리에는 potato dextrose agar (PDA; Difco)를 사용하였다.

공기정화제품에서 분리 된 미생물의 동정

PCA와 PDA 배지에 형성된 미생물 집락중에서 형태학적으로 동일한 우점종을 선택하여 순수 분리한 후 미생물 동정을 시도하였다. 분리된 미생물의 genomic DNA는 Chelex® 100 Chelating Resin Beads (Bio-Rad Laboratories, Hercules, CA)를 이용하여 추출한 후 세균은 16S rRNA, 곰팡이는 18S rRNA primer를 이용하여 PCR로 증폭하였다. 16S RNA primer는 27F/1492R primer (sense: 5' AGAGTTT-GATCCTGGCTCAG 3'; antisense: 5' GGTTACCTTGTTACGACTT 3')를 사용하였고, 18S RNA primer는 ITS1/ITS4 primer (sense: 5' TCCGTAGGTGAACCTGCGG 3'; antisense: 5' TCCTCCGCTTATTGATATGC 3')를 사용하였다. PCR은 10 pmol primer, 2 mM $MgCl_2$, 200 mM deoxynucleoside-triphosphate, 1 U DNA polymerase (DNAzyme I; Finnzymes, Finland)가 들어 있는 DNA PCR premix (M&D, Wonju, Korea)를 이용하여 genomic DNA 10 μL과 멸균 증류수 40 μL를 넣은 혼합물을 만들어 실시했다. Pre-denaturation 과정으로 94°C에서 5분, denaturation 94°C 20초, annealing 58°C 20초, elongation 72°C 30초로

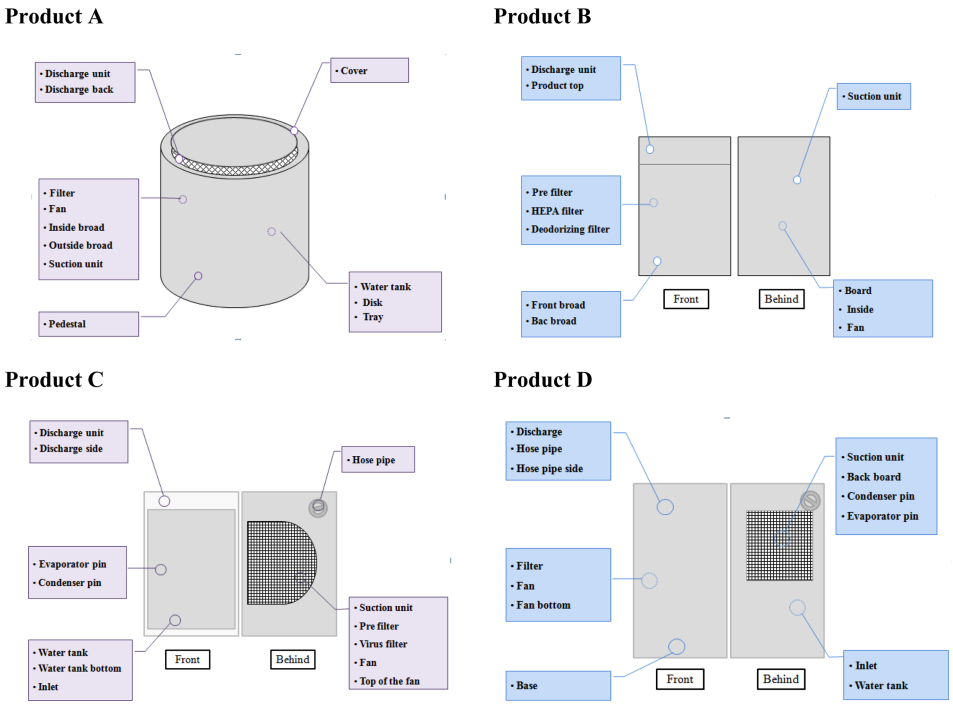

Fig. 1. Sample collection parts using swab test in ir solution products.

35 cycle 반복하였으며 최종 elongation 72°C에서 10분간 실시하였다. 각 PCR 과정에서 PCR size maker (M&D)를 사용하였다. 분리된 균의 16S DNA 염기서열은 National Center for Biotechnology Information (NCBI)의 database 자료와 비교하여 동정하였다. 계통수는 ClustalX (version 1.83)와 MEGA6 프로그램을 이용하여 작성하였다[15,16].

Table 1. Identification of bacterial contaminants in product A

Unit : CFU/cm^2

Parts	Strain identification	Determined cell / Total cell
Discharge unit	*Staphylococcus* sp.	340 /680
	Micrococcus sp.	280 /680
	Bacillus sp.	30 /680
	Sphingomonas sp.	30 /680
Discharge unit back	*Staphylococcus* sp.	70 /100
	Bacillus sp.	20 /100
	Micrococcus sp.	10 /100
Pedestal	*Micrococcus* sp.	40 /70
	Staphylococcus sp.	30 /70
Filter	*Staphylococcus* sp.	4,320 /7,650
	Micrococcus sp.	2,820 /7,650
	Bacillus sp.	400 /7,650
	Sphingomonas sp.	110 /7,650
Disk	*Staphylococcus* sp.	530 /1,050
	Micrococcus sp.	520 /1,050
Suction unit	*Staphylococcus* sp.	30 /50
	Micrococcus sp.	20 /50
Water tank	*Staphylococcus* sp.	750 /750
Fan	*Staphylococcus* sp.	180 /300
	Micrococcus sp.	120 /300
Cover	*Micrococcus* sp.	70 /130
	Staphylococcus sp.	50 /130
	Bacillus sp.	10 /130
Inside board	*Staphylococcus* sp.	530 /730
	Micrococcus sp.	160 /730
	Bacillus sp.	40 /730
Outside board	*Staphylococcus* sp.	170 /270
	Micrococcus sp.	80 /270
	Bacillus sp.	20 /270
Disk board	*Staphylococcus* sp.	15,710 /24,640
	Micrococcus sp.	8,920 /24,640
	Bacillus sp.	10 /24,640
Tray	*Staphylococcus* sp.	99,600 /130,600
	Micrococcus sp.	30,100 /130,600
	Sphingomonas sp.	600 /130,600
	Bacillus sp.	300 /130,600

Results and Discussion

공기정화제품의 부위별 미생물 오염도

새집 증후군, 황사와 미세먼지 등이 심각한 사회적 문제로 대두되면서 실내 공기질에 대한 소비자들의 관심 증대로 공기정화관련 제품의 판매가 늘어나고 있다[4,17]. 하지만, 이들 공기정화제품에서의 미생물학적 오염도에 대한 연구 보고는 거의 없는 실정이다. 이에 다양한 실내 환경에서 장기간 사용되었던 4종류의 제품(Product A, B, C 및 D)을 수거하여 각 부위별 미생물학적 오염도에 대한 분석을 수행하였다.

Product A는 어린이 집에서 1년간 사용한 물을 이용한 공기 세정기(air washer) 제품으로 주로 미생물에 대한 오염도가 높을 것으로 예상되는 시료는 부품 또는 부위에서 시료를 채취하였다(Fig. 1). 분석 결과, 총 4종의 우점 세

Table 2. Identification of fungal contaminants in product A

Unit : CFU/cm^2

Parts	Strain identification	Determined cell / Total cell
Discharge unit	*Cladosporium* sp.	1,860 /2,460
	Penicillium sp.	400 /2,460
	Epicoccum sp.	200 /2,460
Discharge unit back	*Penicillium* sp.	40 /60
	Epicoccum sp.	20 /60
Pedestal	*Cladosporium* sp.	20 /30
	Penicillium sp.	10 /30
Filter	*Cladosporium* sp.	464,000 /486,000
	Penicillium sp.	22,000 /486,000
Disk	*Cladosporium* sp.	10 / 10
Suction unit	*Cladosporium* sp.	20 /30
	Penicillium sp.	10 /30
Water tank	*Cladosporium* sp.	140 /140
Fan	*Penicillium* sp.	290 /420
	Cladosporium sp.	120 /420
	Epicoccum sp.	10 /430
Cover	*Penicillium* sp.	80 /120
	Cladosporium sp.	20 /120
	Epicoccum sp.	20 /120
Inside board	*Penicillium* sp.	130 /240
	Epicoccum sp.	60 /240
	Cladosporium sp.	50 /240
Outside board	-[a)]	-
Disk board	*Cladosporium* sp.	800 /800
Tray	*Cladosporium* sp.	130 /140
	Penicillium sp.	10 /140

[a)]Not detected

Table 3. Identification of bacterial contaminants in product B
Unit : CFU/cm^2

Parts	Strain identification	Determined cell / Total cell
Discharge unit	*Staphylococcus* sp.	120 /210
	Micrococcus sp.	70 /210
	Bacillus sp.	10 /210
	Sphingomonas sp.	10 /210
Top broad	*Staphylococcus* sp.	230 /340
	Micrococcus sp.	100 /340
	Bacillus sp.	10 /340
Front broad	*Staphylococcus* sp.	340 /580
	Micrococcus sp.	150 /580
	Sphingomonas sp.	60 /580
	Bacillus sp.	30 /580
HEPA filter	*Staphylococcus* sp.	2,130 /2,130
Deodorizing filter	*Staphylococcus* sp.	100 /110
	Micrococcus sp.	10 /110
Pre filter	*Staphylococcus* sp.	18,000 /23,600
	Micrococcus sp.	5,500 /23,600
	Sphingomonas sp.	100 /23,600
Suction unit	*Micrococcus* sp.	30 /30
Fan	*Staphylococcus* sp.	140 /230
	Micrococcus sp.	90 /230
Middle broad	*Staphylococcus* sp.	560 /830
	Micrococcus sp.	180 /830
	Bacillus sp.	60 /830
	Sphingomonas sp.	30 /830
Rear broad	*Staphylococcus* sp.	110 /190
	Micrococcus sp.	80 /190
Inside broad	*Staphylococcus* sp.	130 /180
	Micrococcus sp.	50 /180

균류와 3종의 우점 진균류가 검출되었다. 세균의 경우, 제품의 대부분의 부위에서 *Staphylococcus* sp. 에 의한 오염도가 가장 높은 것으로 나타났고, 그 중 disk board와 tray 부위에서 10^4 CFU/cm^2 이상의 높은 오염도를 확인하였다(Table 1). 두 부위는 제품의 구조상 물과 직접적으로 접촉하는 부위이기 때문에 미생물에 대한 오염도가 가장 높은 것으로 판단된다. 곰팡이의 경우, 대부분의 부위에서 *Cladosporium* sp. 에 의한 오염도가 가장 높은 것으로 나타났고, 그 중 filter에서 가장 높은 곰팡이의 오염도가 분석되었다(Table 2).

Product B는 HEPA filter 가 부착된 공기청정기로 미생물에 대한 오염도가 높을 것으로 부품 또는 부위를 Fig. 1에 나타낸 것과 같이 선정하였다. 분석 결과, 총 4종의 우범 세균류과 3종의 우점 진균류가 검출되지만 1 종의 진균류는 동정에 실패하였다. 세균의 경우, 제품의 대부분

Table 4. Identification of fungal contaminants in product B
Unit : CFU/cm^2

Parts	Strain identification	Determined cell / Total cell
Discharge unit	*Penicillium* sp.	20 /50
	Daldinia sp.	20 /50
	Unidentified	10 /50
Top broad	*Daldinia* sp.	10 /10
Front broad	Unidentified	60 /110
	Penicillium sp.	50 /110
HEPA filter	*Penicillium* sp.	1,130 /2,040
	Unidentified	910 /2,040
Deodorizing filter	*Penicillium* sp.	10 /10
Pre filter	*Penicillium* sp.	370 /650
	Unidentified	280 /650
Suction unit	*Penicillium* sp.	30 /30
Fan	*Penicillium* sp.	210 /420
	Unidentified	190 /420
	Daldinia sp.	20 /420
Middle broad	*Penicillium* sp.	170 /280
	Unidentified	110 /280
Rear broad	*Penicillium* sp.	160 /230
	Unidentified	70 /230
Inside broad	Unidentified	40 /90
	Daldinia sp.	30 /90
	Penicillium sp.	20 /90

의 부위에서 *Staphylococcus* sp. 에 의한 오염도가 가장 높았고, 그 중 pre-filter에서 10^4 CFU/cm^2 이상, HEPA filter 에서 10^3 CFU/cm^2 이상의 높은 오염도를 확인하였다(Table 3). 두 부위는 제품의 구조상 공기가 여과되는 부위이기 때문에 미생물에 대한 오염도가 가장 높은 것으로 판단된다. 곰팡이의 경우, 대부분의 부위에서 *Penicillium* sp. 에 의한 오염도가 가장 높은 것으로 나타났고, 그 중 HEPA filter에서 가장 높은 오염도가 나타났다(Table 4).

Product C는 반지하 공간에서 사용한 제습기로 Fig. 1 에 나타낸 미생물의 오염도가 높을 것으로 예상 되는 부위에서 시료를 채취하였다. 그 결과, 총 3종의 우점 세균류과 4종의 우점 진균류가 검출되었다. 세균의 경우, 제품의 대부분의 부위에서 *Staphylococcus* sp. 에 의한 오염도가 가장 높은 것으로 나타났고, 그 중 water tank inside 와 board of top fan에서 10^4 CFU/cm^2 이상의 높은 오염도가 나타났다(Table 5). Water tank inside는 제품의 구조상 물과 직접적으로 접촉하는 부위이고 board of top fan은 sampling 시 먼지가 많이 쌓여있는 것을 육안으로 확인하였는데 물이 직접 닿지 않거나, 미생물이 걸러질 수 있는 filter가 아니더라도 오염도가 높을 수 있다는 것을 알 수 있었다. 곰팡이의 경우, 대부분의 부위에서 *Cladosporium*

Table 5. Identification of bacterial contaminants in product C

Unit : CFU/cm^2

Parts	Strain identification	Determined cell / Total cell	Parts	Strain identification	Determined cell / Total cell
Rear fan	*Micrococcus* sp.	70/110	Fan side	*Staphylococcus* sp.	10/10
	Staphylococcus sp.	40/110	Suction unit	*Staphylococcus* sp.	40/40
Condenser	*Staphylococcus* sp.	1,630/2,630	Evaporator pin	*Micrococcus* sp.	197/441
	Micrococcus sp.	1,000/2,630		*Staphylococcus* sp.	170/441
Pre filter	*Staphylococcus* sp.	430/510		*Bacillus* sp.	74/441
	Bacillus sp.	80/510	Hose pipe	*Micrococcus* sp.	80/180
Virus filter	*Staphylococcus* sp.	120/160		*Staphylococcus* sp.	60/180
	Bacillus sp.	40/160		*Bacillus* sp.	40/180
Water tank bottom	*Staphylococcus* sp.	150/260	Top of the fan	*Staphylococcus* sp.	30/50
	Micrococcus sp.	110/260		*Micrococcus* sp.	20/50
Inlet	*Staphylococcus* sp.	720/1,120	Discharge side	*Staphylococcus* sp.	230/400
	Micrococcus sp.	400/1,120		*Bacillus* sp.	170/400
Cooler	*Micrococcus* sp.	580/860	Discharge unit	*Bacillus* sp.	830/1,190
	Staphylococcus sp.	280/860		*Staphylococcus* sp.	290/1,190
Condenser	*Staphylococcus* sp.	201/201		*Micrococcus* sp.	70/1,190
Water tank inside	*Staphylococcus* sp.	47,120/87,390	Board of top fan	*Staphylococcus* sp.	11,200/22,000
	Micrococcus sp.	31,870/87,390		*Micrococcus* sp.	6,100/22,000
	Bacillus sp.	8,400/87,390		*Bacillus* sp.	4,700/22,000

Table 6. Identification of fungal contaminants in product C

Unit : CFU/cm^2

Parts	Strain identification	Determined cell / Total cell	Parts	Strain identification	Determined cell / Total cell
Rear fan	*Cladosprorium* sp.	2,130 /3,300	Suction unit	*Epicoccum* sp.	490 /500
	Epicoccum sp.	660 /3,300		*Cladosprorium* sp.	10 /500
	Penicillium sp.	510 /3,300	Evaporator pin	*Cladosprorium* sp.	2,090 /4,870
Condenser	*Cladosprorium* sp.	4,720 /7,810		*Epicoccum* sp.	1,430 /4,870
	Penicillium sp.	3,000 /7,810		*Penicillium* sp.	1,340 /4,870
	Epicoccum sp.	90 /7,810		*Sporobolomyce* sp.	10 /4,870
Pre filter	*Cladosprorium* sp.	31,300 /31,900	Hose pipe	*Cladosprorium* sp.	2,510 /5,120
	Penicillium sp.	600 /31,900		*Penicillium* sp.	1,350 /5,120
Virus filter	*Penicillium* sp.	61,060 /64,330		*Epicoccum* sp.	1,260 /5,120
	Cladosprorium sp.	3,270 /64,330	Top of the fan	*Cladosprorium* sp.	1,150 /1,200
Water tank bottom	*Cladosprorium* sp.	68,400 /69,000		*Epicoccum* sp.	30 /1,200
	Epicoccum sp.	600 /69,000		*Penicillium* sp.	20 /1,200
Inlet	*Cladosprorium* sp.	365,200 /376,700	Discharge side	*Cladosprorium* sp.	80,020 /82,000
	Penicillium sp.	1,500 /376,700		*Penicillium* sp.	1,500 /82,000
Cooler	*Penicillium* sp.	170 /280		*Epicoccum* sp.	290 /82,000
	Cladosprorium sp.	90 /280		*Sporobolomyce* sp.	190 /82,000
	Epicoccum sp.	20 /280	Discharge unit	*Cladosprorium* sp.	1,330 /1,510
Condenser	*Cladosprorium* sp.	5,670 /6,210		*Epicoccum* sp.	130 /1,510
	Epicoccum sp.	300 /6,210		*Penicillium* sp.	40 /1,510
	Penicillium sp.	240 /6,210		*Sporobolomyce* sp.	10 /1,510
Water tank inside	*Cladosprorium* sp.	86,750 /96,750	Board of top fan	*Cladosprorium* sp.	1,150 /1,200
	Penicillium sp.	9,980 /96,750		*Epicoccum* sp.	30 /1,200
	Sporobolomyce sp.	20 /96,750		*Penicillium* sp.	20 /1,200
Fan side	*Epicoccum* sp.	910 /1,280			
	Cladosprorium sp.	310 /1,280			
	Penicillium sp.	60 /1,280			

Table 7. Identification of bacterial contaminants in product D
Unit : CFU/cm^2

Parts	Strain identification	Determined cell / Total cell
Discharge unit	*Micrococcus* sp.	120 /180
	Staphylococcus sp.	40 /180
	Sphingomonas sp.	20 /180
Hose pipe	*Micrococcus* sp.	570 /760
	Staphylococcus sp.	180 /760
	Bacillus sp.	10 /760
Hose	*Micrococcus* sp.	1,070 /1,330
	Staphylococcus sp.	100 /1,330
	Sphingomonas sp.	120 /1,330
	Bacillus sp.	40 /1,330
Water tank	*Staphylococcus* sp.	390 /560
	Micrococcus sp.	170 /560
Inside unit	*Micrococcus* sp.	140 /250
	Staphylococcus sp.	110 /250
Suction unit	*Micrococcus* sp.	40 /50
	Sphingomonas sp.	10 /50
Inlet	*Staphylococcus* sp.	150 /190
	Bacillus sp.	40 /190
Back fan	*Staphylococcus* sp.	250 /350
	Micrococcus sp.	80 /350
	Bacillus sp.	20 /350
Fan	*Micrococcus* sp.	640 /930
	Sphingomonas sp.	150 /930
	Staphylococcus sp.	130 /930
	Bacillus sp.	10 /930
Filter	*Micrococcus* sp.	1,160 /1,810
	Staphylococcus sp.	490 /1,810
	Sphingomonas sp.	160 /1,810
Front broad	*Staphylococcus* sp.	70 /80
	Bacillus sp.	10 /80
Back broad	*Sphingomonas* sp.	40 /40
Condenser pin	*Staphylococcus* sp.	40 /90
	Micrococcus sp.	40 /90
	Sphingomonas sp.	10 /90
Base	*Micrococcus* sp.	210 /300
	Staphylococcus sp.	90 /300

sp. 에 의한 오염도가 가장 높은 것으로 나타났고, 그 중 inlet, discharge side, water tank inside, pre filter와 virus filter에서 10^4 CFU/cm^2 이상의 높은 오염도를 확인하였다 (Table 6). 이는 물과 직접 닿는 부위, filter부위를 제외한 유입구와 토출부에서도 높은 오염도가 나타났기 때문에 미생물이 직접 유입되는 부분에서도 미생물의 오염도가 높을 수 있다는 것을 알 수 있었다. 또한 다른 제품에 비

Table 8. Identification of fungal contaminants in product D
Unit : CFU/cm^2

Parts	Strain identification	Determined cell / Total cell
Discharge unit	*Cladosporium* sp.	30 /30
Hose pipe	-[a)]	-
Hose	*Cladosporium* sp.	130 /140
	Phlebia sp.	10 /140
Water tank	*Cladosporium* sp.	310 /330
	Penicillium sp.	20 /330
Inside borad	*Cladosporium* sp.	80 /80
Suction unit	*Cladosporium* sp.	10 /10
Inlet	*Cladosporium* sp.	10 /10
Back fan	*Cladosporium* sp.	90 /110
	Phlebia sp.	10 /110
	Penicillium sp.	10 /110
Fan	*Penicillium* sp.	550 /590
	Cladosporium sp.	40 /590
Filter	*Cladosporium* sp.	90 /110
	Phlebia sp.	10 /110
	Xylariales sp.	10 /110
Front broad	*Cladosporium* sp.	10 /10
Back broad	*Cladosporium* sp.	90 /110
	Phlebia sp.	10 /110
	Penicillium sp.	10 /110
Condenser pin	*Cladosporium* sp.	10 /10
Base	*Cladosporium* sp.	20 /30
	Penicillium sp.	10 /30

[a)]Not detected

해 오염도가 훨씬 높은 수준이며 세균에 비해 곰팡이의 오염도가 높은 유일한 제품이었다. 이 것은 사용한 기간이 다른 제품보다 1년 더 길며, 또한 사용한 환경이 반 지하 가정으로 다른 환경보다 높은 습도가 유지되었기 때문이라고 판단되었다.

Product D는 일반 사무실에서 사용한 제습기 제품으로 미생물 오염도 분석을 위한 시료 채취부위는 Fig. 1에 나타내었다. 이 제품에서는 총 4종의 우점 세균류과 4종의 우점 진균류가 검출되었다. 세균의 경우, 제품의 대부분의 부위에서 *Micrococcus* sp. 에 의한 오염도가 가장 높은 것으로 나타났고, 대부분 부위 오염도가 10^2 CFU/cm^2 수준으로 낮았고 HEPA filter에서 10^3 CFU/cm^2 수준으로 확인하였다(Table 7). 곰팡이의 경우, 대부분의 부위에서 *Cladosporium* sp. 에 의한 오염도가 가장 높은 것으로 나타났고, 오염도는 10^2 CFU/cm^2 이하로 높지 않은 것을 확인하였다(Table 8). 이러한 결과를 통하여 유사한 제품이더라도 사용하는 환경과 조건에 따라서 다른 오염 수준을 나타내는 것을 사료된다.

이상의 다양한 공기정화제품에서 분석한 오염 미생물 결과를 종합해 보면, 세균류로는 *Staphylococcus* sp. *Micrococcus* sp. 그리고 *Bacillus* sp., 진균류로는 *Cladosporium* sp. 및 *Penicillium* sp.가 다양한 공기정화제품에 공통적으로 오염되어 있는 우점종인 것으로 분석되었다. 이 결과는 실내공기 중에 존재하는 우점 미생물에 대한 국내의 다른 연구결과[17,18,19,20,21] 그리고 실내 공기중에 *Staphylococcus* sp., *Micrococcus* sp. 그리고 *Bacillus* sp. 이 우점 세균류로 존재한다는 국외의 연구 결과와[22] 유사하였으며, 공기 중에 우점종으로 존재하는 이들 미생물이 공기정화제품에서 실내의 공기를 여과 순환하는 과정 중에 지속적으로 오염되기 때문에 공기정화제품의 주요 오염 부위에서 우점 미생물로 검출 되었다고 판단된다. 또한, HEPA filter 부위에서 곰팡이의 오염도가 높은 것은 HEPA filter의 경우 세균보다 상대적으로 입자가 큰 곰팡이를 잘 필터링하기 때문에 이 부분에서 곰팡이의 오염도가 높게 나타나는 것으로 판단된다[23]. 따라서, 이들 공기정화제품에서 주요 미생물 오염 부위에 대한 주기적인 세척 등의 적극적인 미생물 저감화가 이루어지지 않는다면 오히려 실내공기에 대한 2차 오염을 유발 할 수 있을 것으로 판단된다[3].

공기정화제품의 부위별 우점 세균의 동정

국내의 가정과 사무실 그리고 어린이 집 등에서 장기간 사용되었던 공기정화제품에서 공통적으로 우점하고 있는 세균류는 공기중의 우점 세균류인 *Staphylococcus* sp., *Micrococcus* sp. 그리고 *Bacillus* sp. 인 것으로 분석 되었다(Table 1, 3, 5 and 7). 이들 세균속은 사람에게 건강상의 장애를 유발하는 병원성 및 식품 등에 부패를 유발하는 세균이 다수 포함하고 있는 것으로 보고되고 있다[24,25]. 이에 이들 우점종 중의 대표적 균주들의 16S rRNA gene sequence 결과를 바탕으로 phylogenetic analysis 분석을 시도하였다. 그 결과, *Bacillus* sp.로 분류된 분리균주는 *Bacillus amyloliquefaciens*로 *Micrococcus* sp.로 분류된 분리균주는 *Micrococcus luteus*로 그리고 *Staphylococcus* sp.로 분리된 균주는 *Staphylococcus epidermidis* 인 것으로 분석 되었다(Fig. 2). 이 결과는 실내 공기에는 세균류 중에서는 *Bacillus* sp., *Micrococcus* sp. 그리고 *Staphylococcus* sp.의 Gram 양성균이 우점하고 있고 *Staphylococcus* sp. 의 대부분이 *S. aureus* 그리고 *Micrococcus* sp. 의 대부분은 *M. luteus* 가 우점하고 있다는 연구결과와[22] 유사하였다. 하지만, *Bacillus* sp.의 경우는 *B. subtilis* 그리고 *B. megaterium* 가 우점종이라는 보고와는 다소 차이가 있었다[22].

본 연구에서 공기정화제품에 많이 오염되어 있는 것으로 분석된 *B. amyloliquefaciens*는 토양에서 흔히 분리되는 균으로 효소산업에서 효소 생산에 유용하게 사용되고 있는 세균으로 사람에게 병원성을 일으키지는 않지만 식품

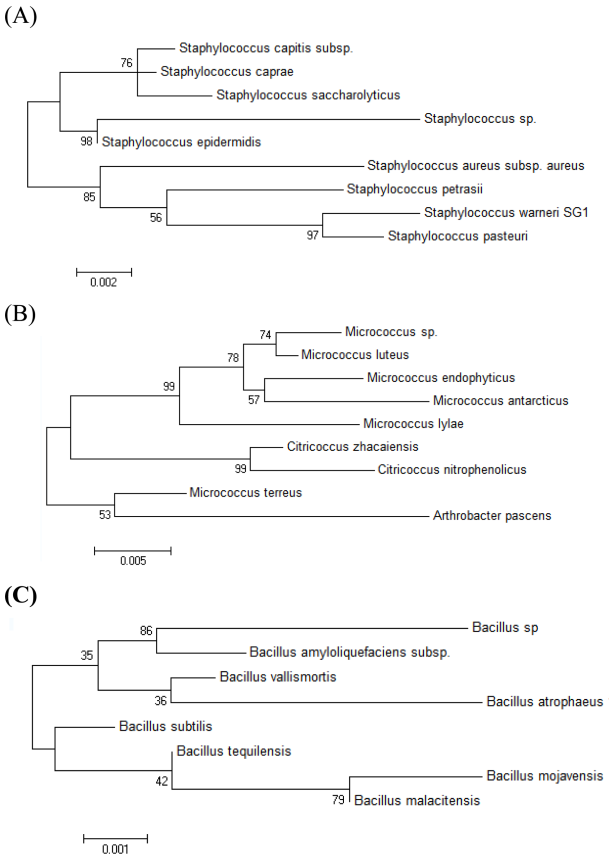

Fig. 2. Neighbor-joining phylogenetic tree of *Bacillus* sp. (A), *Micrococcus* sp. (B) and *Staphylococcus* sp. (C) isolated from air solution products. Bootstrap values based on 1,000 re-samplings display the significance of the interior nodes, and are shown at branch points; only values displaying > 50% are given. The scale bar represents a 2% estimated difference in nucleotide sequences.

의 원료나 빵과 같은 식품에 자랄 경우 부패를 일으킬 수 있다고 알려져 있다[26]. *M. luteus*는 사람의 피부에 일반적으로 존재하고 있으며 물이나 토양에서도 흔히 발견되는 종으로 기회성 감염으로 재발성 균혈증, 패혈성 쇼크, 패혈성 관절염, 심장 내막염, 수막염등의 감염을 일으킨다고 보고되어 있다[27,28]. *S. aureus*는 모든 사람의 피부에 상재하는 피부상재균으로 식중독 세균이지만 폐렴이나 그 외 심각한 감염증을 일으킬 수 있다고 알려져 있다[29,30].

이상의 결과를 종합해 보면, 실내의 공기를 순환시키고 정화하는 장치인 공기정화제품에 사람에게 질병을 일으킬 수 있는 미생물이 오염될 수 있고, 이들 제품에서 미생물 저감화를 위한 관리가 충분하지 않을 경우에는 이들 미생물에 의한 지속적인 실내공기의 오염이 유발할 수 있을 것으로 판단된다. 따라서, 향후 공기정화제품의 개발에는 주요 오염부위에서 미생물 제어를 위한 연구가 필요할 것으로 생각되며 본 연구에서 얻어진 결과는 향후 이들 제품들에서 미생물 제어를 위한 기술 개발에 연결될 것으로 기대된다.

Acknowledgement

이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2015년)에 의하여 연구되었음.

국문요약

실내 공기질 관리의 중요성이 대두되면서 쾌적한 실내 환경에 도움을 주는 공기청정 기능과 습도 조절 기능을 동시에 갖춘 제습기와 공기청정기가 각광받고 있다. 하지만 오랜 기간 동안 공기정화제품을 사용하게 될 시에는 필터가 오염되어 본연의 기능을 상실하게 되는 것으로 알려져 있지만 이에 대한 구체적인 연구나 보고는 드문 편이다. 이에 본 연구에서는 가정과 사무실 등에서 사용한 공기정화제품을 수거하여 주요 부위별 미생물 오염도 및 주요 오염 미생물들을 분석하였다. 그 결과, 4 종류의 공기정화제품에서 오염도가 높은 부위는 필터부위, 물이 직접 닿는 부위 및 공기가 외부로부터 직접적으로 들어오는 입구부위 등에서 미생물학적 오염도가 가장 높았다. 하지만 공기정화제품은 사용하는 환경과 조건에 따라서 미생물학적 오염도 및 오염 미생물의 성상은 각각 다르게 나타났다. 하지만 이들 공기정화제품들에는 공통적으로 *Staphylococcus* sp., *Micrococcus* sp. 그리고 *Bacillus* sp.의 세균과 *Cladosporium* sp. 및 *Penicillium* sp.의 진균이 공통적으로 오염되어 있는 우점종인 것으로 분석되었다.

References

1. Air Quality Management Act for Underground Living Spaces. Ministry of Environment. Seoul (1996).
2. World Health Organization. *The Right to Healthy Indoor Air-Report on a WHO Meeting*, Bilthoven. The Netherlands, European Healthy 21 Targets 10.13 (2000).
3. Pronczu, J.: Indoor air pollution. World Health Organization, 7, pp. 40 (2008).
4. Abdul-Wahab, S.A.: Sick building syndrome in public buildings and workplaces. Springer, USA, pp. 25-26 (2011).
5. Sekine, Y., Fukuda, M., Takao, Y., Ozano, T., Sakuramoto, H. and Wang, K.W.: Simultaneous removal of formaldehyde and benzene in indoor air with a combination of sorption- and decomposition-type air filters. *Environ. Technol.*, **33**, 1983-1989 (2011).
6. Russell, J.A., Hu, Y., Chau, L., Pauliushchyk, M., Anastopoulos, I., Anandan, S. and Waring, M.S.: Indoor-biofilter growth and exposure to airborne chemicals drive similar changes in plant root bacterial communities. *Appl. Environ. Microbiol.*, **80**, 4805-4813 (2014).
7. Den Aantrekker, E.D., Beumer, R.R., van Gerwen, S.J.C., Zwietering, M.H., van Schothorst, M. and Boom, R.M.: Estimating the probability of recontamination via the air using Monte Carlo simulations. *Int. J. Food Microbiol.*, **87**, 1-15 (2003).
8. Holah, J., Margas, E., Hagberg, R., Warren, B., Fraser-Heaps, J. and Mortimore, S.: Identifying and controlling microbiological cross-contamination. *Food Safety Mag.*, ***Feb/Mar***, 54-61 (2012).
9. Reij, M. W., Den Aantrekker, E. D. and ILSI Europe Risk Analysis in Microbiology Task Force.: Recontamination as a source of pathogens in processed foods. *Int. J. Food Microbiol.*, **91**, 1-11 (2004).
10. Rørvik, L.M., Skjerve, E., Knudsen, B.R. and Yndestad, M.: Risk factors for contamination of smoked salmon with *Listeria monocytogenes* during processing. *Int. J. Food Microbiol*., **37**, 215-219 (1997).
11. Goff, H.D. and Slade, P.J.: Transmission of a *Listeria* sp. through a cold-air wind tunnel. *Dairy Food Environ. Sanit.*, **10**, 340-343 (1990).
12. Radmore, K., Holzapfel, W.H. and Lu¨ck, H.: Proposed guidelines for maximum acceptable air-borne microorganism levels in dairy processing and packaging plants. *Int. J. Food Microbiol.*, **6**, 91-95 (1988).
13. Brown, K.L.: Guidelines on Air Quality Standards for the Food Industry. Campden and Chorleywood Food Research Association, *Hertfordshire, UK* (2005).
14. European Hygienic Engineering and Design Group (EHEDG).: Guidelines on air handling in the food industry. *Trends Food Sci. Tech*., **17**, 331-336 (2006).
15. Saitou, N. and Nei, M.: The neighbor-joining method-a new method for reconstructing phylogenetic trees. *Mol. Biol. Evol.*, **4**, 406-425 (1987).
16. Tamura, K., Peterson, D., Peterson, N., Stecher, G., Nei, M. and Kumar, S.: MEGA5: Molecular evolutionary genetics analysis using maximum likelihood, evolutionary distance, and maximum parsimony methods. *Mol. Biol. Evol.*, **28**, 2731-2739 (2011).
17. Moon, Y.S., Koo, Y.S. and Jung O.K.: Analysis of sensitivity to prediction of particulate matters and related meteorological fields using the WRF-Chem model during Asian dust episode days. *J. Korean Earth Sci. Soc.*, **35**, 1-18 (2014).
18. Lee, A.M., Kim, N.Y., Kim, S.Y. and Kim, J.S.: Distribution and characteristics of airborne microorganisms in indoor environment of schools. *Korean J. Microbiol.*, **41**, 188-194 (2005).
19. Kim, S.H. and Kim, Y.K.: A study on microbial pollution of indoor air at elderly care facilities. *J. Korea Acad. Industr. Coop. Soc.*, **10**, 2485-2491 (2009).
20. Seo, M.S., Lee, S.M. and Hong, J.Y.: The Characteristic study of the microbial habitat in the Muwisa museum, Gangjin. *J Conserv. Sci.*, **29**, 333-343 (2013).
21. Lee, S.W., Jung, H.M., Park, S.J., Choe, B., Kim, J.H., Lee, B.R., Joo, Y.L., Kwon, O.S. and Jheong, W.H.: Identification and phylogenetic analysis of culturable bacteria in the bioaeosol from several environments. *Korean J. Microbiol. Biotechnol.*, **43**, 142-149 (2015).
22. Naruka, K. and Gau, J.: Microbial air contamination in a school. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.*, **2**, 404-410 (2013).

23. Cheong, C.D., Neumeister-Kemp, H.G., Dingle, P. and Hardy, G. St J.: The use of HEPA air filters to control airborne indoor fungi. In IAQ Conference 2001: Moisture, Microbes and Health Effects: Indoor Air Quality and Moisture in Buildings, 4-7 November, San Francisco (2001).
24. Eduard, W.: Exposure to non-infectious microorganisms and endotoxins in agriculture. *Ann. Agric. Environ. Med.*, **4**, 179-186 (1997).
25. Grisoli, P., Rodolfi, M., Villani, S., Grignani, E., Cottica, D., Berri, A., Picco, A.M., and Dacarro, C.: Assessment of airborne microorganism contamination in an industrial area characterized by an open composting facility and a wastewater treatment plant. *Environ Res.*, **109**, 135-142 (2009).
26. Valerio, F., De Bellis, P., Di Biase, M., Lonigro, S.L., Giussani, B., Visconti, A., Lavermicocca, P., and Sisto, A.: Diversity of spore-forming bacteria and identification of *Bacillus amyloliquefaciens* as a species frequently associated with the ropy spoilage of bread. *Int. J. Food Microbiol.,* **3**, 278-285 (2012).
27. Darouiche, R.O.: Device-associated infections: a macroproblem that starts with microadherence. *Clin. Infect Dis.,* **3**, 1567-1572 (2001).
28. Upadhyay, R.K., Dwivedi, P. and Ahmad S.: Screening of antibacterial activity of six plant essential oils against pathogenic bacterial strains. *Asian J. Med. Sci.,* **2**, 152-158 (2010).
29. Reuben, A., Anaissie, E., Nelson, P.E., Hashem, R., Legrand, C., Ho, D.H. and Bodey, G.P.: Antifungal susceptibility of 44 clinical isolates of *Fusarium* species determined by using a broth microdilution method. *Antimicrob. Agents Chemother.,* **33**, 1647-1649 (1989).
30. Mack, D., Davies, A.P., Harris, L.G., Jeeves, R., Pascoe, B., Knobloch, J.K.M., Rohde, H., and Wilkinson, T.S.: *Staphylococcus epidermidis* in biomaterial-associated infections. In Biomaterials Associated Infection: Immunological Aspects and Antimicrobial Strategies (Moriarty, T.F., Zaat, S.A.J., Busscher H.J. eds.) Springer, New York, pp. 25-26 (2013).