

## 다중이용시설내 공기중 바이오에어로졸 농도분포 특성에 관한 연구

이 철 민·김 윤 신·이 태 형·박 원 석·홍 승 철  
한양대학교 환경 및 산업의학연구소  
(2003년 11월 28일 접수; 2004년 3월 17일 채택)

### Characterization of Airborne Bioaerosol Concentration in Public Facilities

Cheol-Min Lee, Yoon-Shin Kim, Tae-Hyung Lee, Won-Seok Park and Seung-Cheol Hong  
Institute of Environmental and Industrial Medicine, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea  
(Manuscript received 28 November, 2003; accepted 17 March, 2004)

This study was conducted to evaluate the characterization of airborne bioaerosol in public facilities in Seoul. A total of 17 public facilities were investigated from December, 2002 to February, 2003.

As results of the survey, the mean concentrations of bacteria and fungi in indoor air of public facilities were  $378.08 \pm 296.33$  CFU/m<sup>3</sup> by RCS and  $106.38 \pm 171.63$  CFU/m<sup>3</sup> and  $347.46 \pm 335.32$  CFU/m<sup>3</sup> and  $95.23 \pm 62.61$  CFU/m<sup>3</sup>, by Six-stage cascade air sampler respectively. The mean concentrations of bacteria in indoor air (by ventilation method) were  $517.14 \pm 343.93$  CFU/m<sup>3</sup> of natural ventilation and  $215,83 \pm 100.71$  CFU/m<sup>3</sup> of mechanical ventilation. The mean concentrations of fungi in indoor air (by ventilation method) were  $83.14 \pm 79.16$  CFU/m<sup>3</sup> of natural ventilation and  $133.50 \pm 248.07$  CFU/m<sup>3</sup> of mechanical ventilation. The mean concentrations of bacteria in indoor air were  $449.44$  CFU/m<sup>3</sup> for the ground and  $217.50 \pm 103.68$  CFU/m<sup>3</sup> for the underground. The mean concentrations of fungi in indoor air were  $63.89 \pm 77.66$  CFU/m<sup>3</sup> for the ground and  $202.00 \pm 290.08$  CFU/m<sup>3</sup> for the underground.

Key Words : Public facilities, Bioaerosol, RCS, Cascade sampler, Bacteria, Fungi

#### 1. 서 론

우리나라 정부 차원의 실내공기오염에 대한 대응을 살펴보면 1986년 5월에 보건복지부에서 '공중위생법'안에 공중이용시설을 대상으로 7개 항목에 대한 위생관리기준을 정한 이후, 1992년 건설교통부의 '건축설비기본법'에서 환기설비의 공기질 관리를 위하여 보건복지부의 기준과 유사한 5개 항목에 대한 기준을 정하였고, 1996년 12월에는 환경부에서도 '지하생활공간공기질관리법'을 제정하여 지하역사, 지하도 상가를 대상으로 7개 항목에 대한 관리기준을 규정하여 관리해 오고 있다. 또한 불특정다수인이 이용하는 다중이용시설내 공기오염에 대한 심각성이 사회적으로 인식됨에 따라 2003년 5월 '다중이용

시설등의 실내공기질관리법'을 입법화하여 시행하고 있다<sup>1)</sup>. 또한 국내 실내공기질과 관련된 연구사례를 살펴보면 1990년 이전에는 실내공기오염의 측정이 주로 이산화질소 농도의 측정방법과 개인용 측정기구를 이용한 주택(거실, 주방)농도, 실외농도 및 개인노출량을 제시하였으며, 그 후, 1990년대 중반까지는 대부분 일산화탄소, 이산화질소, 이산화황, 총부유분진 등 몇몇 오염물질에 관한 조사가 부분적으로 수행되어져 왔으나 최근에는 휘발성유기화합물질, 환경담배연기, 중금속, 미세먼지, 석면, 다환방향족탄화수소, 라돈 등 특수 또는 미량의 유해오염물질에 대한 조사가 보고 되고 있다<sup>2)</sup>. 그러나 실내 공기중의 미생물관련 바이오에어로졸에 관한 연구는 일부 연구기관에서 간헐적으로 수행된 수편의 조사 연구 보고로 거의 전무한 실정이라 할 수 있다. 바이오에어로졸은 인공적으로 생성되거나, 혹은 자연적으로 발생하는 생물학적 기원(biogenic origin)을 가진 물질로<sup>1)</sup> 세균, 진균, 단세포동물, 꽃가

Corresponding Author : Cheol-Min Lee, Institute of Environmental and Industrial Medicine, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea  
Phone : +82-2-2290-1510  
E-mail : spica@ihanyang.ac.kr

루 그리고 동물의 비듬을 포함한다<sup>3)</sup>.

실내공기 중에서 이러한 바이오에어로졸 발생의 중요한 원인으로는 실외에서 유입되는 경우와 건물의 HVAC(heating ventilating and air conditioning) 시스템에 의한 경우, 실내에서 거주하고 있는 사람이나 동물에 의한 경우가 대표적으로 보고 되고 있다<sup>4)</sup>. 실내 공기중의 세균과 진균은 감염성 질환의 원인으로 보고 되고 있으며, 알러지나 독성작용을 일으키는 원인으로 보고 되고 있다. 또한 빌딩증후군(Sick Building Syndrome)의 주요원인으로 바이오에어로졸이 40%를 차지하고 있으며, Humidifier, Fever, 천식 등과 관련성이 있어 실내공기질의 지표중의 하나로 보고 되고 있다<sup>5)</sup>. 또한 바이오에어로졸을 흡입하여 생기는 질병은 생물학적 성질과 화학적 구성뿐만 아니라 흡입량과 소화기 내 침착장소에도 좌우된다. 입자의 침착장소는 입자의 지름과 직결되므로 바이오에어로졸의 건강에 대한 영향은 그 크기와 많은 연관성을 가지게 된다. 지름이 5~10 $\mu$ m인 바이오에어로졸은 상부 호흡기계에 침착하여 비염을 유발하고 5 $\mu$ m이하의 바이오에어로졸은 폐포를 통하여 알러지를 일으키는 것으로 알려져 있다<sup>4)</sup>.

우리나라에서의 실내 공기중 미생물에 대한 공정시험방법은 아직 설정되어 있지 않은 실정으로 실내공기오염물질을 측정할 때 정확하고 통일된 측정을 위해 객관적이고, 일률적인 용이한 도구를 선택함이 바람직하나 공정시험방법 및 기기 개발이 미진한 실정으로 이에 대한 대책 마련이 시급한 것으로 사료된다.

이에 본 연구는 일반인들이 많이 이용하고 있는

장소인 서울시에 위치한 일부 다중이용시설을 대상으로 실내공기중 미생물의 농도분포 및 입경별 농도분포와 건축물의 물리적 특성에 따른 실내공기중의 바이오에어로졸의 분포 특성을 제시하고 또한 두 종류의 바이오에어로졸 포집장치 간의 성능을 비교 제시함으로써 향후 실내환경에서의 미생물 관련 연구와 정부의 실내공기중 미생물 오염방지 및 개선 정책에 있어 기초자료를 제공하고자 한다.

## 2. 연구방법

### 2.1. 연구기간 및 연구대상

본 연구는 2002년 12월부터 2003년 2월까지 동계 3개월간 서울시에 위치한 다중이용시설 13곳(극장, 지하철, 유치원, 구청, 도서관, 박물관, 터미널, 주택, 종합병원, 아파트)을 대상으로 실내의 공기중 바이오에어로졸의 농도분포를 조사하였다.

Table 1은 본 연구의 조사 대상 시설의 일반적 특성을 나타낸 것으로 건물의 용도에 따라 공공시설(구청, 병원, 터미널, 지하철), 문화시설(박물관, 도서관, 영화관), 교육시설(유치원) 및 주거시설(주택, 아파트)로 구분하였으며, 각 건물의 준공년도 및 개보수년도를 제시함으로써 건물의 노후화 정도를 나타내었다. 또한 각 조사대상시설물의 환기 방식 및 대상시설내 조사지점의 위치를 지상, 지하로 구분하여 제시하였다.

본 연구의 대상시설은 건축된지 40년 경과된 건물부터 3년 경과된 건물로 준공년도는 모두 2000년 이전에 준공되었으며 병원1과 지하철1, 2 및 박물관의 경우 2000년 이후 도서관의 경우 1998년에 개·보수된 것으로 조사되었다. 또한 환기방식은 자연환

Table 1. General characteristics of 17 public facilities surveyed

		Time of completion	Time of repair	Type of ventilation	Sampling site (groun/underground)
Public institution	Ward office	2000	-	Natural	Ground
	Hospital 1	1972	2002	Mechanical	Ground
	Hospital 2	2002	-	Mechanical	Ground
	Subway station 1	1974	2001	Mechanical	Underground
	Subway station 2	1986	2002	Mechanical	Underground
	Terminal	1999	-	Natural	Ground
Cultural facilities	Theater	2000		Mechanical	Underground
	Library	1964	1998	Natural	Ground
	Museum	1997	2002	Mechanical	Ground
Educational facilities	Kindergarten 1	1999	-	Natural	Ground
	Kindergarten 2	1995	-	Natural	Ground
Residential facilities	Residence	1996	-	Natural	Underground
	Apartment	2000	-	Natural	Ground

기방식과 기계환기에 의한 인공환기방식으로 구분하여 제시하였다.

## 2.2. 연구방법

본 연구에서는 다중이용시설의 실내외 공기중 미생물의 농도 분포를 조사하기 위해 관성충돌 포집법을 이용한 독일 Bio-test 사의 RCS(Reuter Centrifugal Air Sampler)와 미국 「Andersen」 사 제품인 six-stage cascade air sampler(Model 10-800)를 이용하여 바닥면과 수직이 되게 하여 1.2m의 높이에서 시료를 채취하였다.

RCS와 6-stage cascade air sampler는 세균을 증식시키는 고형배지에 샘플링 공기를 충돌시키는 impact법으로 RCS의 구조는 회전날개와 agar strip를 끼울수 있는 drum과 손으로 잡을수 있는 몸통부위로 구성되었으며, drum은 끝이 열려 있기 때문에 회전날개가 작동시 공기를 포집하는 역할을 한다. 이 기기는 공기 충돌법으로 원심력에 의해 공기속의 입자들을 흡입하여 배지에 접촉시키며 이때 회전날개의 평균 회전속력은 4,096 rpm으로 분당 40 l의 공기를 채취하며 보통 4분간 160 l의 공기를 채취한다. 또한 Six-stage cascade air sampler는 흡입유량이 28.3 l/min으로 10분간 총 283 l를 흡입하며 흡입공기가 상단의 배지면으로부터 단계적으로 하단의 배지면에 접촉하면서 통과되며 분출구멍의 크기는 각 stage내에서는 동일하지만, 연속적으로 stage를 내려가면서 작아진다. 따라서 분출속도는 각 stage내에서 동일하지만 연속적으로 stage를 내려가면서 증가한다. 또한 각 stage별 포집 입경이 달라 보통 0.01 ~ 100 μm이하의 바이오에어로졸이 포집되어 호흡기계의 침착도에 따라 측정이 가능하다.

RCS로 측정시 사용한 배지는 RCS 전용배지인 Agar Strip GK-A(Tryptic Soy Agar for total colony counts), Agar Strip HS(Rose-bengal Agar for yeast & molds)를 사용하였으며, 포집이 완료된 Agar Strip GK-A 배지는 37℃에서, Agar Strip HS 배지는 25℃에서 각각 72시간 배양시킨 후 배지 Strip 위의 균집(Colony) 수를 세어 공기중 단위 용량당 집락수를 계산하였다. 공기중 단위 용량당 집락수는 다음과 같이 계산하였다.

$$\text{CFU(Colonies Forming units)/m}^3 \\ = \frac{\text{Colonies on agar} \times 25}{\text{Sampling time(minutes)}}$$

Six-stage Cascade Sampler로 측정시 사용한 배지로는 진균의 성장을 억제시키기 위해 Clindamycin 항생제 0.5g/l를 첨가하여 세균집락만을 성장시킬수 있는 Tryptic Soy Agar(TSA)와 세균의

성장을 억제시키기 위해 Chloramphenicol 항생제 0.5g/l를 첨가하여 진균집락만을 성장시킬수 있는 Sabouraud Dextrose Agar(SDA)를 사용하였다. 포집 완료된 TSA 배지는 37℃에서, SDA배지는 실온인 25℃에서 각각 72시간동안 배양시킨 후, 집락(Colony)수를 세어 공기 중 단위 용량당 집락수를 계산하였다. 공기중 단위 용량당 집락수는 다음과 같이 계산하였다.

$$\text{CFU(Colonies Forming units)/m}^3 \\ = \frac{\text{Colonies on agar} \times 35.31}{\text{Sampling time(minutes)}}$$

## 2.3. 자료분석

자료처리는 통계 SPSS(version 11.0) 통계프로그램을 이용하여 t-검증을 실시하였고, 이때 통계치의 유의수준은 0.05를 채택하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 다중이용시설내 공기중 미생물의 농도분포특성

RCS를 사용하여 다중이용시설의 실내외 공기중 미생물을 측정된 결과는 Table 2와 같다.

박테리아(Bacteria)의 경우 실내공기중 가장 높은 농도를 나타낸 다중이용시설은 유치원1로 969 CFU/m<sup>3</sup>로 조사되었으며, 아파트, 유치원 2에서도 각각 938 CFU/m<sup>3</sup>, 706 CFU/m<sup>3</sup>의 높은 농도를 나타내 2002년 환경부의 다중이용시설내 미생물 조사 결과<sup>6)</sup>와 비슷한 농도를 나타내고 있는 것으로 조사되었다. 반면 가장 낮은 농도로 조사된 곳은 영화관으로 113 CFU/m<sup>3</sup>로 조사되었다. 또한 실외 공기중 가장 높은 농도를 나타낸 곳은 구청으로 438 CFU/m<sup>3</sup>를 나타냈으며, 병원 2에서 44 CFU/m<sup>3</sup>로 가장 낮은 농도를 나타냈다. 유치원 2에서 바이오에어로졸의 농도가 높게 조사된 것은 다른 장소에 비하여 협소한 장소에 건물을 이용하는 아이들의 수와 움직임이 다른 장소에 비해 많고, 또한 계절 특성상 환기가 전혀 이루어지지 않아 공기중 박테리아의 농도가 높게 조사된 것으로 여겨진다. 또한 구청의 실외공기중의 박테리아 농도가 높게 조사된 것은 주변지역이 상업지구로 교통량이 많아 교통에 기인한 공기중 바이오에어로졸의 증가로 인한 것으로 여겨진다.

곰팡이(Fungi)의 경우 실내공기중 높은 농도를 나타낸 곳은 지하철2와 도서관으로 각각 631 CFU/m<sup>3</sup>, 238 CFU/m<sup>3</sup>로 조사되었으며, 병원1, 병원 2 및 유치원1에서 각각 6 CFU/m<sup>3</sup>로 가장 낮은 농도를 나타냈다. 실외공기중 가장 높은 농도를 나타낸 곳은 유치원 1로 160 CFU/m<sup>3</sup>, 가장 낮은 농도를 나타낸 곳은 주택으로 13 CFU/m<sup>3</sup>로 조사되었다.

Table 2. Indoor and Outdoor Concentration of Airborne Microbial Particles in Public Facilities by RCS

Site	Bacteria(CFU/m <sup>3</sup> )			Fungi(CFU/m <sup>3</sup> )			
	Indoor	Outdoor	I/O	Indoor	Outdoor	I/O	
Public institution	Ward office	256	438	0.58	25	138	0.18
	Hospital 1	325	125	2.60	6	31	0.19
	Hospital 2	281	44	6.39	6	31	0.19
	Subway station1	313	163	1.92	125	38	3.32
	Subway station2	144	75	1.92	631	150	4.21
	Terminal	165	149	1.11	86	70	1.23
	Mean±S.D.	247.33±76.17	165.67±140.80		146.67±242.10	76.33±54.50	
Cultural facilities	Theater	113	N.A.*		13	N.A.*	
	Library	286	144	1.99	238	106	2.25
	Museum	119	300	0.40	19	156	0.12
		Mean±S.D.	172.67±98.20	222.00		90.00±128.21	35.35
Educational facilities	Kindergarten1	969	169	5.73	6	160	0.04
	Kindergarten2	706	369	1.91	126	38	3.32
	Mean	837.50	269.00		66.00	99.00	
Residential facilities	Residence	300	175	1.71	38	13	2.92
	Apartment	938	175	5.36	63	88	0.72
	Mean	619.00	175.00		50.50	50.50	
Total	Mean±S.D.	378.08±296.33	193.83±116.64		106.38±171.63	84.91±55.44	

\*N.A.: Not Available

건물의 용도에 따라 조사대상시설물을 공공, 교육, 문화 및 주거시설로 구분하여 각 시설물의 실내의 미생물의 농도를 비교한 결과 박테리아의 경우 교육시설이 다른 시설에 비해 실내의 공기중 농도가 각각 837 CFU/m<sup>3</sup>, 269 CFU/m<sup>3</sup>로 높은 것으로 조사되었으며, 곰팡이의 경우 공공시설이 146.67 CFU/m<sup>3</sup>로 실내공기중에서 가장 높은 농도를 나타냈으며, 교육시설에서 99 CFU/m<sup>3</sup>로 실외공기중 가장 높은 농도를 나타냈다.

미생물의 실내의 농도비교를 살펴보면 박테리아의 경우 사람들이 비교적 많이 모이고 면역력이 약한 환자 및 유아들이 생활하고 있는 병원2와 유치원1에서 각각 6.4와 5.7로 높은 농도비를 나타냈으며, 또한 곰팡이의 경우 유치원2와 지하철1에서 각각 3.32로 높은 농도비를 나타내 사람들이 많이 생활하고 있는 특정 다중이용시설내 실내공기중 바이오에어로졸에 대한 제어의 필요성을 시사하는 결과를 나타냈다.

Table 3은 Andersen Six-stage air sampler를 사용하여 다중이용시설에서 공기중 바이오에어로졸의 분포를 조사한 결과로 박테리아의 경우 RCS와 달

리 유치원 2의 실내 공기중에서 1.374 CFU/m<sup>3</sup>로 높은 농도를 나타냈으며, 가장 낮은 농도로 조사된 곳은 주택으로 78 CFU/m<sup>3</sup>로 조사되었다. 또한 실외 공기중 가장 높은 농도를 나타낸 곳은 RCS를 이용한 측정결과와 동일한 구청으로 1,081 CFU/m<sup>3</sup>의 농도값을 나타냈으며, 가장 낮은 농도를 나타낸 곳은 주택으로 21 CFU/m<sup>3</sup>의 농도값을 나타냈다.

곰팡이의 경우 실내공기중 가장 높은 농도를 나타낸 곳은 RCS의 결과와 동일하게 지하철2로 231 CFU/m<sup>3</sup>의 농도값을 나타냈으며, 병원2에서 18 CFU/m<sup>3</sup>로 가장 낮은 농도를 나타냈다. 또한 실외공기중 가장 높은 농도와 가장 낮은 농도를 나타낸 곳은 박물관과 병원2로 각각 205 CFU/m<sup>3</sup>, 4 CFU/m<sup>3</sup>의 농도값을 나타냈다.

건물의 용도에 따른 분류 즉, 공공, 교육, 문화 및 주거시설로 구분하여 각 시설물의 실내의 미생물의 농도를 비교한 결과 박테리아의 경우 실내는 교육시설에서, 실외는 공공시설에서 각각 266.33CFU/m<sup>3</sup>, 266.67CFU/m<sup>3</sup>로 가장 높은 농도를 나타냈으며, 곰팡이의 경우 실내는 교육시설에서, 실외는 주거시설에서 각각 136.00 CFU/m<sup>3</sup>, 187 CFU/m<sup>3</sup>로 가장 높은

다중이용시설내 공기중 바이오에어로졸 농도분포 특성에 관한 연구

Table 3. Indoor and Outdoor Concentration of Airborne Microbial Particles in Public Facilities by Six-stage Cascade Air Sampler

Site	Bacteria(CFU/m <sup>3</sup> )			Fungi(CFU/m <sup>3</sup> )			
	Indoor	Outdoor	I/O	Indoor	Outdoor	I/O	
Public institution	Ward office	223	1,081	0.21	88	184	0.48
	Hospital 1	246	65	3.78	35	117	0.30
	Hospital 2	274	74	3.70	18	4	4.50
	Subway station1	452	177	2.55	120	92	1.30
	Subway station2	155	53	2.92	231	194	1.19
	Terminal	248	150	1.65	124	63	1.97
	Mean±S.D.	266.33±99.55	266.67±402.05		102.67±76.40	109.00±72.59	
Cultural facilities	Theater	185	N.A.*		75	N.A.*	
	Library	102	34	3.00	46	120	0.38
	Museum	357	21	17.00	35	205	0.17
	Mean±S.D.	214.67±130.06	27.50±9.19		52.00±20.66	162.50±60.10	
Educational facilities	Kindergarten1	272	268	1.01	74	32	2.31
	Kindergarten2	1,374	173	7.94	198	152	1.30
	Mean	823.00	220.50		136.00	92.00	
Residential facilities	Residence	78	127	0.61	102	159	0.47
	Apartment	551	113	4.88	92	187	0.58
	Mean	314.50	120.00		97	187.00	
Total	Mean±S.D.	347.46±335.32	194.67±288.00		95.23±62.61	128.08±69.30	

\*N.A. : Not Availabled

Table 4. Comparison of bioaerosol by Measuring Equipment

	Sampling Method	Number of sample	Mean concentration (CFU/m <sup>3</sup> )	Standard deviation	p-Value	
Indoor Air	Bacteria	RCS	13	378.08	296.33	p = 0.807
		Cascade	13	347.46	335.32	
	Fungi	RCS	13	106.38	171.63	p = 0.993
		Cascade	13	95.23	62.61	
Outdoor air	Bacteria	RCS	12	193.83	116.64	p = 0.829
		Cascade	12	194.67	288.00	
	Fungi	RCS	12	84.91	55.44	p = 0.117
		Cascade	12	128.08	69.30	

농도를 나타냈다. 또한 미생물의 실내의 농도비교를 살펴보면 박테리아의 경우 박물관에서 17.00, 곰팡이의 경우 병원2에서 4.50으로 높은 농도비를 나타냈다.

3.2. 시료포집장치에 따른 미생물 농도차 검정

Table 4는 바이오에어로졸의 측정기기에 따른 미생물의 농도차가 있는가를 검정한 결과로 13개 다중이용시설의 실내공기중의 박테리아의 농도를 RCS

와 Six-stage cascade sampler로 측정된 결과 평균 박테리아의 농도는 각각 378.08±296.33 CFU/m<sup>3</sup>, 347.46±335.32 CFU/m<sup>3</sup>로 30.62±124.11 CFU/m<sup>3</sup>의 농도 차이가 있는 것으로 조사되었으나 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다(p=0.807). 또한 실내공기중의 평균 곰팡이의 농도는 RCS와 Six-stage cascade sampler 각각 106.38±171.63 CFU/m<sup>3</sup>, 95.23±

62.61 CFU/m<sup>3</sup>로 11.08±50.67 CFU/m<sup>3</sup>의 농도 차이를 나타냈으나 이 또한 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다(p=0.829). 12개 다중이용시설의 실외공기중의 박테리아의 평균농도는 RCS와 Six-stage cascade sampler 각각 193.83±116.64 CFU/m<sup>3</sup>, 194.67±288.00 CFU/m<sup>3</sup>로 116.64±33.67 CFU/m<sup>3</sup>의 평균농도의 차이를 나타냈으며, 곰팡이의 평균농도는 각각 84.91±55.44 CFU/m<sup>3</sup>, 128.08±69.30 CFU/m<sup>3</sup>로 40.83 ± 25.00 CFU/m<sup>3</sup>의 농도 차이를 나타냈으나 모두 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다(각각 p=0.829, p=0.117).

이는 관성충돌법을 이용하는 두 포집기기의 사용에 따른 미생물의 농도차가 크지 않음을 시사하는 결과로 향후 실내공기중의 미생물 관련 연구에 있어 포집기 특성 즉, RCS와 Six-stage의 장단점을 고려하여 연구 목적 및 연구 설계에 적합한 포집기를 선택하여 사용하여야 할 것으로 사료된다.

3.3. 공기중 바이오에어로졸의 입경별 분포 특성

과거에는 바이오에어로졸의 크기는 현미경에 의해 시각적인 직경으로 평가되어왔다. 그러나 Slit sampler와 Andersen sampler가 개발됨에 따라 공기중 바이오에어로졸의 포집용 샘플러를 사용하여 공기동역학적 직경으로 포집되는 것이 일반적화 되었다<sup>7)</sup>.

Fig. 1은 Six-stage cascade air sampler를 이용하여 다중이용시설의 실내공기중에서 측정된 박테리아와 곰팡이의 입경크기별 분포비율을 나타낸 것으로 박테리아는 1단과 5단에서 높은 포집 비율을 나타낸 반면 곰팡이는 1단과 3단, 4단에서 높은 포집비율을 나타냈다.

바이오에어로졸은 인간이 숨을 쉴 때 인간의 몸으로 들어오게 된다. 코를 통해 들어오는 오염물질

은 콧털에서 1차로 걸러지고, 기관지 점막에서 2차로 걸러지고, 허파로 유입된다. 많은 양의 바이오에어로졸이 인간의 허파로 들어가지만 대부분은 먼지와 같은 큰 입자에 붙어 있기 때문에 코와 기관지 점막에서 대부분 걸러지게 되고, 일부가 허파로 들어가게 된다. 허파로 들어간 바이오에어로졸도 우리 몸이 가지고 있는 면역체계 때문에, 자연히 소멸되고 질병을 일으키지 못한다. 다만 면역체계가 약한 노약자, 환자의 경우 인간의 면역체계가 감당할 수 없을 정도로 많은 바이오에어로졸이 들어올 때에는 질병이 나타나게 되는 것이다<sup>8)</sup>. 조묘현<sup>9)</sup>은 공기감염은 직경 5µm이하의 미생물을 포함하는 입자들이 공기 중에 먼지와 함께 부유하다가 흡입으로 전파되기도 하는데 면역 기전이 저하되어 있는 노약자, 환자의 경우에는 집단감염의 우려가 있다고 강조한 바 있다. 이에 바탕으로 본 연구결과를 비교해 보면 5µm이하의 바이오에어로졸의 박테리아는 약 58%, 곰팡이는 약 65%로 집단감염성의 위험성이 높음을 알 수 있었다. 또한 Janet M et. al<sup>10)</sup>, 이은규<sup>11)</sup>의 연구에서도 박테리아는 공기역학적 입경 7µm이상의 입자와 대략 2µm의 입자에서의 포집이 지배적인 결과를 나타내 본 연구결과와 일치하였지만, I. Monica(1982)의 연구에서는 대체적으로 입경분포가 2µm이하와 5µm이상에서 포집되어 다소 차이가 있었다<sup>12)</sup>. 또한 곰팡이의 경우 본 연구에서는 7µm이상과 5µm이하에서 지배적으로 포집되어 이은규의 연구와 일치한 결과를 나타내 국내 실내공기중의 바이오에어로졸은 7µm이상과 5µm이하에서 지배적으로 분포하고 있는 것으로 여겨진다.

3.4. 공간특성에 따른 바이오에어로졸의 분포 특성

Table 5는 환기방식에 따른 RCS 포집기로 포집 분석된 미생물의 농도간의 차이를 검정한 결과로

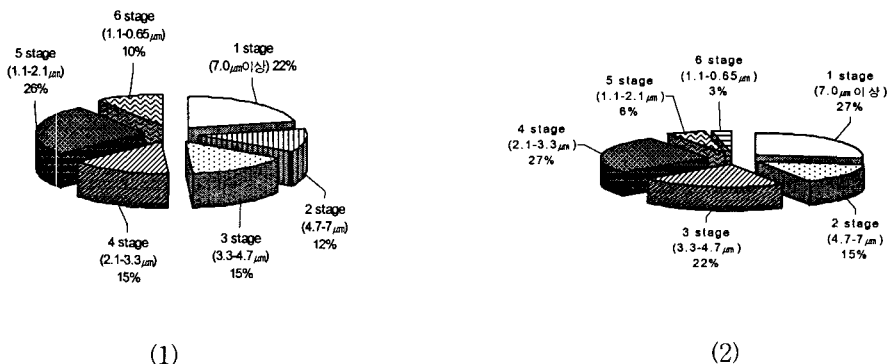


Fig. 1. Particle size of bioaerosol in % : (1) Bacteria (2) Fungi.

다중이용시설내 공기중 바이오에어로졸 농도분포 특성에 관한 연구

Table 5. Comparison of bioaerosol with type of ventilation

	Type of ventilation	Number of sample	Mean concentration (CFU/m <sup>3</sup> )	Standard deviation	p-Value
Bacteria	Natural	7	517.14	343.93	0.062
	Mechanical	6	215.83	100.71	
Fungi	Natural	7	83.14	79.16	0.620
	Mechanical	6	133.50	248.07	

Table 6. Comparison of bioaerosol concentration with sampling sites

	Sampling site	Number of sample	Mean concentration (CFU/m <sup>3</sup> )	Standard deviation	p-Value
Bacteria	Ground	9	449.44	330.25	0.084
	Underground	4	217.50	103.68	
Fungi	Ground	9	63.89	77.66	0.414
	Underground	4	202.00	290.08	

자연환기방식을 이용하는 다중이용시설의 실내공기 중 박테리아의 평균농도는 517.14±343.93 CFU/m<sup>3</sup>으로 인공환기방식을 사용하는 다중이용시설의 실내공기중 박테리아의 평균농도 215.83 ± 100.71 CFU/m<sup>3</sup>에 비해 약 2배(301.31 ± 136.34 CFU/m<sup>3</sup>)의 차이를 나타냈으나 통계적으로 유의한 차이를 보이지는 않았다(p=0.062). 또한 곰팡이의 경우는 자연환기방식을 이용하는 시설의 실내공기중 평균농도는 83.14±79.16 CFU/m<sup>3</sup>, 인공환기방식을 이용하는 시설의 실내공기중 평균농도는 133.50±248.07 CFU/m<sup>3</sup>로 인공환기방식을 이용하는 시설의 실내공기중 평균농도가 50.36±98.57 CFU/m<sup>3</sup> 높게 조사되었으나 이 또한 통계적으로 유의한 차이를 보이지는 않았다(p=0.620). 이 결과를 통해 실내공기중의 미생물의 농도는 건물의 환기방식(자연환기방식, 인공환기방식)에 크게 영향을 받고 있지 않고 있는 것으로 사료된다.

Table 6은 건물의 위치 즉, 지상 및 지하에 따른 실내공기중의 미생물의 농도분포의 차이를 검정한 결과로 박테리아의 경우 지상에 위치한 건물내 실내공기중의 평균농도는 449.44±330.25 CFU/m<sup>3</sup>, 지하에 위치한 건물내 실내공기중의 평균농도는 217.50±103.68 CFU/m<sup>3</sup>으로 지상이 지하에 비해 231.94±121.68 CFU/m<sup>3</sup> 높은 것으로 조사되었으나 이는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다(p=0.084). 곰팡이의 경우 지상 및 지하 건물의 실내공기중 평균농도는 각각 63.89±77.66 CFU/m<sup>3</sup>, 202.00±290.08 CFU/m<sup>3</sup>으로 지하가 지상에 비해 138.11±147.33 CFU/m<sup>3</sup> 높은 것으로 조사되었으나 이 또한 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않아

(p=0.414) 실내공기중의 미생물의 농도는 건물의 위치 즉 지상 및 지하에 크게 영향을 받고 있지 않고 있는 것으로 사료된다.

#### 4. 요약

본 연구는 일반인들이 많이 이용하고 있는 다중이용시설의 실내공기중의 바이오에어로졸의 농도분포 및 건축물의 특성에 따른 분포 특성을 제시하고자 2002년 12월부터 2003년 2월까지 서울시에 위치한 불특정 다수인이 이용하는 다중이용시설 13곳(극장, 지하철, 유치원, 구청, 도서관, 박물관, 터미널, 주택, 병원, 아파트)을 대상으로 실내공기중 바이오에어로졸을 독일 Bio test사의 RCS 및 미국 Andersen사의 Six-stage cascade air sampler를 이용하여 시료를 포집, 분석하여 그 결과를 제시하였으며, 또한 산출된 결과를 바탕으로 건축물의 특성에 따른 분포 특성을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 다중이용시설의 실내의 공기중 RCS를 이용한 박테리아의 평균농도는 각각 378.08±296.33 CFU/m<sup>3</sup>, 193.83±116.64 CFU/m<sup>3</sup>, 곰팡이의 평균농도는 각각 106.38±171.63 CFU/m<sup>3</sup>, 84.91±55.44 CFU/m<sup>3</sup>으로 조사되었으며, Six-stage cascade air sampler를 이용한 박테리아의 평균농도는 각각 347.46±335.32 CFU/m<sup>3</sup>, 194.67±288.00 CFU/m<sup>3</sup>, 곰팡이의 평균농도는 각각 95.23±62.61 CFU/m<sup>3</sup>, 128.08±69.30 CFU/m<sup>3</sup>으로 조사되었다.
- 2) 관성충돌법을 이용한 바이오에어로졸의 측정기 기 즉, RCS와 Six-stage cascade air sampler에 따른 미생물의 농도차를 검정한 결과 실내공기중

- 의 박테리아 및 곰팡이의 농도차는 각각  $30.62 \pm 124.11$  CFU/m<sup>3</sup>,  $11.08 \pm 50.67$  CFU/m<sup>3</sup>의 차이를 나타냈으나 이들 모두 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다(각,  $p=0.807$ ,  $p=0.829$ ). 또한 실외 공기중의 박테리아 및 곰팡이의 농도차이는  $116.64 \pm 33.67$  CFU/m<sup>3</sup>,  $40.83 \pm 25.00$  CFU/m<sup>3</sup>의 차이를 나타냈으나 이들 모두 역시 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않아(각,  $p=0.829$ ,  $p=0.117$ ) 동일한 포집원리를 이용하는 두 종류의 바이오에어로졸 측정장치간에는 큰 농도차가 없는 것으로 여겨진다.
- 3) 다중이용시설의 실내공기중의 박테리아와 곰팡이의 입경크기별 분포비율은 박테리아는  $7\mu\text{m}$  이상과  $1.1 \sim 2.1\mu\text{m}$ 에서 높은 포집비율을 나타냈으며, 곰팡이는  $7\mu\text{m}$  이상,  $3.3 \sim 4.7\mu\text{m}$  및  $2.1 \sim 3.3\mu\text{m}$ 에서 높은 포집비율을 나타내 박테리아의 경우  $7\mu\text{m}$  이상과  $2\mu\text{m}$ 의 입자층에, 곰팡이의 경우  $7\mu\text{m}$  이상과  $5\mu\text{m}$  이하의 입자층에서 지배적으로 존재하고 있는 것으로 사료된다.
  - 4) 환기방식(자연환기방식, 인공 환기방식)에 따른 미생물의 농도 차이를 검정한 결과 박테리아의 경우 자연환기방식이 인공 환기방식에 비해  $301.31 \pm 136.34$  CFU/m<sup>3</sup> 높은 것으로 조사되었으며, 곰팡이는 인공 환기방식이 자연환기방식에 비해  $50.36 \pm 98.57$  CFU/m<sup>3</sup> 높은 것으로 조사되었으나 모두 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다(각,  $p=0.062$ ,  $p=0.620$ ).
  - 5) 건물의 위치 즉, 지상 및 지하에 따른 실내공기중의 미생물의 농도 차이를 검정한 결과 박테리아의 경우 지상이 지하에 비해  $231.94 \pm 121.68$  CFU/m<sup>3</sup>, 곰팡이의 경우 지하가 지상에 비해  $138.11 \pm 147.33$  CFU/m<sup>3</sup> 높은 것으로 조사되었으나 모두 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다(각,  $p=0.084$ ,  $p=0.414$ ).

### 감사의 글

본 연구는 산업자원부 표준화기술개발사업(과제명 : 실내환경중 특정 유해 실내오염물질에 대한 표준 측정/분석 기법의 개발, 과제번호 10006030)의 지원금으로 수행되었습니다. 이에 대하여 감사드립니다.

### 참고 문헌

- 1) 환경부, 2003, 지하생활공간 공기질 관리법 개정 법률(다중이용 시설 등의 실내공기질 관리법), 법률 제 6911호(03.5.29일 공포).
- 2) 김윤신, 1999, 실내공기질 연구의 현황과 전망, 한국대기환경학회지, 15(4), 371-383
- 3) Anthony, K. Y., C. K. Chan and Y. S. Gilbert, 2001, Characteristics of bioaerosol profile in office in Hong Kong, Building and Environ., 36, 527-541.
- 4) Pastuszk, A. J. S., K. T. Paw, D. O. Lis, A. Wlazlo and K. Ulfig, 2000, Bacterial and aerosol in indoor environment in Upper Silesia, Poland, Atmos. Environ., 34, 3433-3842.
- 5) Dales, R. E., H. Zwanenburg, R. Burnet and C.A. Freanklin., 1991 Respiratory health effects of home dampness and mold among Children, Am J Epidemiol, 134, 196-203.
- 6) 환경부, 2002, 실내공간 실내공기오염 특성 및 관리방법 연구, 22-23pp.
- 7) 한국 공기청정 연구조합, 1992, 미생물 입자의 움직임과 진균, 세균의 실내농도에의 영향, 공기청정기술, 5(4), 50-58.
- 8) 안태석, 2000, 대기중의 미생물의 검출과 측정방법, 공기청정기술, 13(2), 60-69.
- 9) 조묘현, 1998, 병원감염세균의 특성 및 그에 관한 신속동정과 대책, 부경대학교 대학원 박사학위 논문, 33-36pp.
- 10) Janet, M. and Sc. D. Macher, 1991, ATwo-Year Study of Microbiological Indoor Air Quality in a New Apartment, Arch. Environ. Health, 207-220pp.
- 11) 이은규, 2001, 일부 종합병원내 공기중 바이오에어로졸의 분포에 관한연구, 한양대학교 대학원 석사학위 논문, 25-27pp.
- 12) Lundholm, I. M., 1982 Comparison of Methods for Quantitative Determinations of Airborne Bacteria and Evaluation of Total Viable Counts, Applied and Environment Microbiology, July, 179-183pp.