

규제대상 다중이용시설내 부유세균의 분포 특성에 관한 현장 조사

김기연^{1*} · 장규엽² · 박재범¹ · 김치년³ · 이경중^{4*}

¹아주대학교 의과대학 예방의학교실 · ²아주대학교병원 산업의학과 · ³연세대학교 의과대학 산업보건연구소 ·
⁴Center for Health Related Aerosol Studies, Department of Environmental Health, Univ. of Cincinnati

Field Study of Characteristics of Airborne Bacteria Distributed in the Regulated Public Facilities

Ki Youn Kim^{1*} · Gyu Yeob Jang² · Jae Beom Park¹ · Chi-Nyon Kim³ · Kyung Jong Lee^{4*}

¹Department of Preventive Medicine & Public Health, Ajou University School of Medicine

²Occupational and Environmental Medicine, Ajou University Medical Center

³Institute for Occupational Health, College of Medicine, Yonsei University

⁴Center for Health Related Aerosol Studies, Department of Environmental Health, Univ. of Cincinnati

Concentration and identification of airborne bacteria in the regulated public facilities were examined with the six-stage cascade impactor. Geometric mean total and respirable concentrations of airborne bacteria were 404 cfu/m³ and 194 cfu/m³ in hospital, 931 cfu/m³ and 358 cfu/m³ in kindergarten, 294 cfu/m³ and 134 cfu/m³ in day-care center, and 586 cfu/m³ and 254 cfu/m³ in postpartum nurse center, respectively. As a result, culturable total and respirable concentrations of airborne bacteria were significantly highest in kindergarten and lowest in day-care center ($p < 0.05$). The ratio of respirable to total concentration of airborne bacteria in the investigated public facilities was ranged from 30% to 40% but there was no significant difference among them ($p > 0.05$). The mean I/O ratio of culturable total and respirable concentrations were 0.58 and 0.66 in hospital, 0.71 and 0.83 in kindergarten, 0.28 and 0.41 in day-care center, and 0.63 and 0.78 in postpartum nurse center,

respectively. Day-care center showed the lowest I/O ratio of culturable total and respirable concentration of airborne bacteria ($p < 0.05$) but a significant difference was not found among other facilities. Indoor concentration of airborne bacteria did not correlated significantly with indoor temperature and relative humidity ($p > 0.05$) but had a significant positive correlation with CO₂ and surrounding condition ($p < 0.05$). Staphylococcus spp., Micrococcus spp., Corynebacterium spp., and Bacillus spp. were dominant genera and amounted to over 95% of total airborne bacteria identified in the investigated public facilities. Size distributions of four dominant genera did not observed inconsistently regardless of type of public facility.

Key Words : airborne bacteria, cascade impactor, public facility, I/O ratio

I. 서론

하루 24시간 중 80% 이상을 실내 공간에서 활동하고 있는 현대인들은 건물의 밀폐화로 인해 외부로 방출되지 못하는

접수일 : 2005년 9월 27일, 채택일 : 2005년 12월 31일

* 교신저자 : 이경중 (경기 수원시 영통구 원천동 산 5번지, 아주대학교 예방의학교실)

Tel : 031-219-5292, E-mail : leekj@ajou.ac.kr

여러 공기오염물질에 상당 수준 노출되고 있다(Robinson and Nelson, 1995). 더욱이 삶의 질에 대한 현대인들의 욕구가 증대됨에 따라 청결치 못한 실내 주거 공간으로 인해 두통, 현기증, 메스꺼움, 졸음, 눈의 자극, 집중력 감소 등의 “새집증후군”이나 “빌딩증후군(Sick Building Symptoms, SBS)”을 호소하는 사람들이 증가하고 있는 추세이다. 또한 생리학적으로 실내 공기오염물질에 민감한 사람들은 노출시 비염, 천식, 폐렴 등의 호흡기계 질병과 아토피 피부염과 같은 알러지 증상 등의 과민성 질환을 초래하거나 심한 경우 사망에까지 이를 수 있는데, 그 대표적 원인 물질이 생물학적 오염물질인 “바이오에어로졸”이다(Burge, 1990; Owen 등, 1992; Arturo 등, 2000). 이러한 바이오에어로졸의 노출은 위에서 언급한 두 증후군의 발현 정도를 심화시키는 원인이 되기도 한다(Lacey와 Dutkiewicz, 1994; Cox와 Wathes, 1995; Larsen 등, 1997).

실내 공간내 바이오에어로졸 노출에 따른 건강 위해성은 일반 주거 공간을 포함한 다중이용시설이나 작업장에서 흔히 발생될 수 있는데, 특히 공기 전염성 질병 감염에 대해 상대적으로 면역성이 약한 유아, 노인, 환자들이 거주하는 공간은 그 정도가 상대적으로 높은 것으로 보고되어 있다(Munir 등, 1996; Jaffal, 1997; Manuel 등, 2002; Li와 Hou, 2003). 바이오에어로졸 노출에 대한 심각성을 인식한 환경부에서는 “다중이용시설등의실내공기질관리법률”을 제정, 일정 규모 이상의 병원, 유아시설, 노인복지시설, 산후조리원에 대해 별도로 “총부유세균”이라는 항목으로 유지 기준 농도 800 cfu/m³로 설정하여 2004년 9월부터 법적으로 적용하고 있으며, 측정 후 기준 초과시 소정의 과태료를 지불하는 것으로 규정하고 있다(환경부, 2004).

하지만 바이오에어로졸과 관련하여 실내 주거 공간 및 작업장에 대해 환경 기준을 연구자들에 의해 제안하거나(Gorny와 Dutkiewicz, 2002) 정부 차원에서 권고한 경우는 있어도(Hyvarinen 등, 2001; Law 등, 2001; OSHA, 2004) 우리나라와 같이 법적으로 규제한 나라는 아직까지 없는 상황이기 때문에 규제대상 다중이용시설을 대상으로 실제 현장 조사를 통해 총부유세균의 현행 기준 적용 적정성 여부를 평가할 필요가 있다.

총부유세균 관련 국내 규제대상 다중이용시설 중 의료 이용률이 증가하면서 환자 및 병원 관계자들의 공기 전염을 통한 새로운 질병 발생을 예방한다는 차원에서 병원 실내 공기의 미생물 오염도 현장 조사는 여러 연구자들에 의해 상대적으로 많이 수행되어 왔으며(정낙은 등, 1986; 송재훈과 배직현, 1990; 하권철과 백남원, 1991; 최종태와 김윤신, 1993; 정선희와 백남원, 1998; 조현중 등, 2000; 김윤신 등, 2002; 이창래 등, 2005) 최근 소아의 천식 및 아토피 피부염 발병에 대한 관심의 증가로 유치원을 포함한 유아시설도 현장 조사되었

으나(박동욱 등, 2004; 이철민 등, 2004), 노인복지시설 및 비위생적 관리로 사회적 문제로까지 크게 확대되었던 산후조리원의 경우 가장 최근에 보고된 손종렬 등(2005)의 연구 결과 외에는 부유세균으로 인한 실내 공기 오염도 평가가 상대적으로 매우 부족한 실정이다. 또한 기존의 현장 조사 대부분이 부유세균의 동정 작업을 통한 정성 평가 없이 배양을 통한 정량 평가에만 국한되었으며, 부유세균의 입자 크기에 관계없이 1단계 공기 포집기를 이용한 일률적인 시료 채취가 이루어졌기 때문에 실제 사람의 호흡기계로 침착되는 부유세균의 상대적 비율을 평가할 수 없었던 것이 사실이다.

따라서 본 연구의 목적은 부유세균 관련 규제대상 다중이용시설인 병원, 유아시설, 노인복지시설, 산후조리원의 실내 농도를 현장 조사 후 현행 기준과의 비교를 통한 부유세균의 실질 오염 정도를 평가하고, 부유세균의 입자 크기에 따른 정량 및 정성 평가를 동시에 수행하여 부유세균에 의한 실내 공기오염 예방관리 방안을 설정하는 데 필요한 기초 자료를 제공하는 데 있다.

II. 실험대상 및 방법

1. 연구 대상

경기 남부 일대(수원, 용인, 안양)에 위치한 병원, 유아시설, 노인복지시설, 산후조리원을 대상으로 2004년 9월부터 11월 사이에 현장 방문을 통해 연구를 수행하였다. 대상 선정은 “다중이용시설등의실내공기질관리법률”에서 규정한 내용에 근거하여 법규 기준에 해당되는 시설을 임의 선정하였고, 방문하기 전 전화나 공문을 통해 조사 협조의 동의를 얻은 곳을 대상으로 하였으며, 각 시설별로 거주자들이 가장 많이 활동하는 장소 및 시간대를 측정 지점으로 하였다(표 1 참조).

2. 측정 방법

가. 부유세균

시료 포집은 분당 28.3 l의 유량으로 설정된 six-stage viable particulate cascade impactor(Model 10-800, Andersen Inc, USA)를 사용하였으며, 각 단계별 공기역학적 직경 범위는 1 stage(>7.0 μ m), 2 stage(4.7-7.0 μ m), 3 stage(3.3-4.7 μ m), 4 stage(2.1-3.3 μ m), 5 stage(1.1-2.1 μ m), 6 stage(0.65-1.1 μ m)이다(Andersen, 1958). 측정 장소 환경 상황에 따라 8~12분 동안 공기를 포집하였으며, 측정 위치는 상부 1~1.5m 지점으로 동일 지점에서 2번 반복 측정하였으며, 외부 농도와의 비교 평가를 위해 외부 지점 1곳에서 1회 측정하였다. 시료 채취 전에 70% alcohol로 포집기 내부를 소독처리 한 후, 진균의 성

장을 억제하기 위해 cycloheximide 500mg이 첨가된 Trypticase soy agar (Lot 2087730, Becton Dickinson and Company, USA) 배지를 사용기에 장착하였다. 포집이 완료된 배지는 미생물 실로 즉시 운반하여 37°C 조건하의 배양기에서 1-2일 동안 배양하였다. 배양 후 배지에 형성된 집락(colony)을 계수한 값에 공기량(m³)으로 나누는 방법으로 부유 미생물의 농도(CFU/m³)를 나타냈으며(식 1, 2 참조), 총 표본수는 432개였다(식 3 참조).

$$\text{CFU (Colony Forming Unit)/m}^3 = \frac{\text{Colony counted on agar plate}}{\text{Air volume(m}^3\text{)}} \dots\dots\dots \text{식(1)}$$

$$\text{Air volume (m}^3\text{)} = 28.3 \text{ l /min} \times \text{sampling time(min)}/10^3 \dots\dots \text{식(2)}$$

$$\text{총 표본수} = [\text{측정 장소(24)} \times \text{반복(2)} + \text{외부(24)}] \times \text{포집기 입자 단계(6)} = 432\text{개} \dots\dots\dots \text{식(3)}$$

또한 배양된 모든 부유세균은 Bergey's manual 분류법에 따라 균종을 동정하였고, Gram 염색 후 자동화동정 시스템인 VITEK (Model VITEK 32 system, bioMerieux Inc., France)을 통해 biochemical test를 실시하여 균종을 추가 동정하였다.

나. 환경 인자

내부 온도와 상대습도는 아스만통풍건습계(SATO R-704, SATO Inc, Japan), 이산화탄소는 GASTEC detector tube (No 21C, Gastec, Japan)를 이용하여 측정하였다. 또한 사람의 활동성에 의한 부유세균의 농도 영향을 알아보기 위해 측정하는 8~12분 동안 측정 지점에 위치한 사람의 수와 줄자를 이용하여거나 시설 관계자의 도움을 통해 측정 지점의 면적을 기록하였다.

다. 통계 처리

SAS package (SAS/Stat 9.1, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)

를 이용하여 시료 채취 장소에 따른 부유세균의 농도 차이는 ANOVA 및 Duncan의 다중 비교 분석 방법, 실내와 실외의 농도 차이는 t-검정 방법, 부유세균 농도와 환경 인자간의 상관관계는 Correlation analysis 방법을 적용하여 통계적 유의성을 검증하였다.

III. 실험결과 및 고찰

1. 규제대상 다중이용시설의 부유세균 농도

표 2에서 제시하는 바와 같이 조사된 병원, 유아시설, 노인복지시설, 산후조리원의 총 부유세균 평균 농도는 각각 404 cfu/m³, 931 cfu/m³, 294 cfu/m³, 586 cfu/m³로 측정되어 통계적으로 유아시설이 가장 높고, 노인복지시설이 가장 낮은 것으로 분석되었다(p<0.05). 한편 호흡시 사람의 폐포에까지 유입되어 침착되는 입자 크기의 호흡성 부유세균 농도는 194 cfu/m³, 358 cfu/m³, 134 cfu/m³, 254 cfu/m³로 측정되어 총 부유세균 농도의 경우와 마찬가지로 유아시설이 가장 높은 것으로 분석되었으나(p<0.05), 나머지 세 다중이용시설간의 농도 차이는 통계적으로 유의하지 않았다(p>0.05). 총 부유세균 농도에 대한 호흡성 세균의 평균 비율은 각각 38.1%, 34.1%, 32.0%, 36.5%로 산출되어 30~40%의 범위를 나타냈으나, 다중이용시설간의 차이는 통계적으로 입증되지 않았다(p>0.05).

실내 농도와 병행해서 측정한 병원, 유아시설, 노인복지시설, 산후조리원의 실외 총 부유세균 농도는 1,075 cfu/m³, 1,154 cfu/m³, 915 cfu/m³, 1,058 cfu/m³로, 호흡성 부유세균 농도는 343 cfu/m³, 310 cfu/m³, 272 cfu/m³, 305 cfu/m³로 측정되었으나, 총 농도와 호흡성 농도 모두 다중이용시설간의 통계적 차이는 없는 것으로 분석되었다(p>0.05). 실외의 총/호흡성 부유세균 농도 비율은 평균 20~30%를 보였으나, 마찬가지로 다중이용시설간의 통계적 차이는 입증되지 않았다

Table 1. Characteristics of the regulated public facilities investigated

Site	Dimension	Ventilation type	Measurement		No.
			Location	Time	
Hospital	≥ 2,000 m ² (area) or ≥ 100 (ward)	Measurement	Hall	10:30 am ~ 12:00 pm	7
Kindergarten	≥ 1,000 m ² (area)	Natural	Corridor	11:30 am ~ 1:00 pm	7
Day-care center	≥ 1,000 m ² (area)	Natural	Corridor	11:30 am ~ 1:00 pm	7
Postpartum nurse center	≥ 500 m ² (area)	Mechanical	Hall	11:30 am ~ 1:00 pm	3

($p > 0.05$).

병원, 유아시설, 노인복지시설, 산후조리원의 실내/외 농도 비율에 대해 총 부유세균의 경우 0.58, 0.71, 0.28, 0.63, 호흡성 부유세균의 경우 0.66, 0.83, 0.41, 0.78을 나타내었으며, 통계적으로 노인복지시설이 가장 낮은 것으로 분석되었으나 ($p < 0.05$) 나머지 시설들간의 차이는 통계적으로 유의하지 않았다($p > 0.05$).

본 연구에서 측정된 다중이용시설의 부유세균 농도를 최

근의 국내 연구 결과들(김윤신 등, 2002; 환경부, 2002; 박동욱 등, 2004; 이철민 등, 2004)과 비교시 병원과 유아시설의 경우 비슷한 수준인 것으로 조사되었으나, 노인복지시설과 산후조리원은 손종렬 등(2005)의 연구 결과보다는 낮은 것으로 분석되었다. 또한 부유세균 관련하여 몇몇 외국 연구자들에 의해 제시된 기준과 비교시 5×10^3 cfu/m³ (Gorny와 Dutkiewicz, 2002), 1,000 cfu/m³ (Law 등, 2001; OSHA, 2004)보다 모두 낮은 것으로 조사되었다. 하지만 현행 국내 규제기

Table 2. Indoor and outdoor concentrations of airborne bacteria in the regulated public facilities

			Hospital	Kindergarten	Day-care center	Postpartum nurse center	
Indoor concentration (cfu/ m ³)	Total	GM	*404 ^{bc}	931 ^a	294 ^c	586 ^{bc}	
		GSD	211	611	103	284	
		Max.	176	1,555	408	828	
	*Respirable	GM	194 ^b	358 ^a	134 ^b	254 ^b	
		GSD	78	191	29	112	
		Max.	268	476	96	297	
	†Percentage	GM	38.1 ^a	34.1 ^a	32.0 ^a	36.5 ^a	
		GSD	16.4	20.3	14.6	18.8	
		Max.	72.3	68.1	47.3	61.3	
	Indoor concentration (cfu/ m ³)	Total	GM	1,075 ^a	1,154 ^a	915 ^a	1,058 ^a
			GSD	257	611	484	426
			Max.	1,315	1,555	1,298	1,568
		*Respirable	GM	343 ^a	310 ^a	272 ^a	305 ^a
GSD			108	191	78	132	
Max.			482	436	247	458	
†Percentage		GM	28.2 ^a	23.4 ^a	25.4 ^a	25.0 ^a	
		GSD	7.2	10.4	8.7	9.3	
		Max.	35.7	36.6	40.2	38.2	
I/O ratio		Total	GM	0.58 ^a	0.71 ^a	0.28 ^b	0.63 ^a
			GSD	0.24	0.48	0.24	0.22
			Max.	0.87	1.12	0.53	0.92
		*Respirable	GM	0.66 ^a	0.83 ^a	0.41 ^b	0.78 ^a
	GSD		0.11	0.39	0.29	0.23	
	Max.		0.82	1.34	0.78	0.91	
		GM	0.43	0.52	0.21	0.45	

* : Sum of airborne bacteria concentration measured on the 3 stage, 4 stage, 5 stage and 6 stage

† : Value of respirable concentration divided by total concentration

‡ : Result of Duncan test

- a, b, c means that averaged values within the row by the same letter are not significantly different.

준인 800 cfu/m³를 초과한 다중이용시설은 유아시설로 협소한 공간에 상대적으로 많은 아이들의 활발한 행동 양상에 의한 결과라 추정되는데, 실내 바이오에어로졸의 주요 발생원 중 하나가 거주자라는 사실과(Otten과 Burge, 1999; Pastuszka 등, 2000) 아이들에 비해 행동성이 낮은 노약자분들의 주거 공간인 노인복지시설의 부유세균 농도가 규제대상 다중이용 시설 중 가장 낮게 분석된 본 연구 결과가 이를 뒷받침해준다.

실내 공간이 부유세균에 의해 오염되었는가를 판단하기 위해 Gallup 등(1987)과 Nevalainen 등(1994)은 부유세균의 실내/외 농도비(I/O ratio)를 계산하여 적용하였는데, 본 연구에서는 조사대상 다중이용시설의 실내 부유세균 농도가 실외보다 모두 낮은 것으로 분석되었다. 이는 총 부유세균의 실내/외 농도 비율을 1 이상으로 보고한 김윤신 등(2002)과 이철민 등(2004)의 기존 연구들과는 다른 결과였다. 일반적으로 부유세균의 실내/외 농도 비율이 1 이상이면 부유세균에 의해 실내 공기가 오염되었다고 의심할 수 있으나, 실내 부유세균의 농도 증가는 주로 환기에 의해 실외 부유세균이 유입되어 나타난 결과로 알려져 있기 때문에(Pastuszka 등, 2000; Wu 등, 2000) 실내 발생원의 정량 평가가 동시에 수행되어진 다음 객관적으로 판단할 수 있다. 또한 본 연구의 총 부유세균의 실내/외 농도 비율이 1 이하로 나타나게 된 이유를 2가지로 제시할 수 있는데, 첫째는 조사 시점의 계절적 상황이다. Reponen(1989)은 실외 부유세균의 농도가 극단적인 기후 조건인 여름과 겨울보다 봄과 가을에 가장 높다고 보고하였으므로 본 현장 조사가 가을에 수행되었다는 점은 실외 부유세균의 농도가 높게 나타난 본 연구 결과를 뒷받침해준다. 둘째는 측정 당시의 주변 환경 조건이다. 일반적으로 실내 바이오에어로졸은 온도, 상대 습도, 공기 유속(Nevalainen 등, 1993)과 같은 주변 환경 조건에 따라 순간적으로 다량 생성될 수 있어(Aylor와 Paw, 1980) 발생 양상이 연속적이지 않기 때문이다(Pastuszka 등, 2000).

한편 실내 부유세균의 호흡성/총 농도 비율은 조사대상 다중이용시설 모두 실외보다 높게 나타난 것으로 분석되었다.

이 수치가 실외보다 실내가 높으면 부유세균에 의한 실내 공간의 오염 가능성을 의심해 볼 수 있다는 Pastuszka 등(2000)의 연구 결과에 근거한다면 조사된 다중이용시설의 부유세균에 의한 오염 수준이 안전하다고만 할 수 없다. 하지만 시설의 종류는 다르지만 일반 집안 내 부유세균의 호흡성 비율이 50-60% 범위(DeKoster와 Thorne, 1995; Pastuszka 등, 2000)임을 감안하면 30-40% 정도의 범위를 나타낸 본 연구 결과는 그리 심각한 수준이 아님을 유추할 수 있다. 부유세균의 총 농도보다는 호흡성 농도가 체내 하부 호흡기계에도 달하여 실질적으로 건강상 심각한 악영향을 주는 요소이므로 이와 관련한 추가적인 심화 연구가 추후 수행되어야 할 것이다.

2. 실내 부유세균 농도와 환경 요인과의 관계

표 3에 나타난 바와 같이 병원, 유아시설, 노인복지시설, 산후조리원의 실내 온도는 22~26°C, 상대습도는 34~40%의 평균 범위를 나타내어 실내 거주 공간의 적정 온습도 조건에 대체로 부합되는 것으로 조사되었다. 이산화탄소 농도의 경우 383~458ppm의 평균 범위를 나타내었는데, 강제환기 방식으로 운영되는 병원과 산후조리원이 자연환기 방식의 유아시설과 노인복지시설보다 비교적 높은 것으로 분석되었다. 측정 지점의 면적에 대한 시료 포집 시간 동안 측정 지점에 위치하거나 이동하는 사람의 수를 백분율로 환산한 주변 환경 조건의 경우 각 시설별로 상당한 차이가 있는 것으로 조사되었는데, 이는 시설 규모의 차이와 측정 당시 시설내 거주한 사람들의 이동성을 인위적으로 제한할 수 없는 점에 기인하는 것으로 판단된다.

표 4에서 제시하는 바와 같이 실내 부유세균의 농도와 온도 및 상대습도 간에는 통계적으로 상관성이 없는 것으로 분석되었다(p>0.05). 온도와 상대습도가 실내 부유세균 농도 변화에 어떤 영향을 주는가에 대해서는 연구자들간의 의견들이 일치하지 않으나(Cox, 1968; Bovallius 등, 1978; Mancinelli와 Shulls, 1978; Marthi와 Lighthart, 1990; Walter 등, 1990; Macher 등, 1991; Li와 Hsu, 1996), 본 연구에서는 실내의

Table 3. Environmental factors in the regulated public facilities

	Hospital	Kindergarten	Day-care center	Postpartum nurse center
Temperature (°C)	22.4 ± 1.3	23.8 ± 1.8	22.1 ± 1.7	25.3 ± 2.5
R.H. (%)	36.2 ± 2.4	37.2 ± 4.2	34.4 ± 3.5	39.1 ± 1.9
CO ₂ (ppm)	396.7 ± 52.7	383.9 ± 68.1	346.1 ± 29.3	346.1 ± 29.3
*Surrounding condition (%)	28.8 ± 3.4	88.3 ± 5.7	34.1 ± 3.1	71.5 ± 2.7

* : (No. of person/area) × 100

온도와 상대습도가 부유세균의 발생 양상에 영향을 주지 않는 것으로 나타났다. 한편 실내 부유세균 농도가 이산화탄소 농도와 환경조건 간에는 양의 상관성이 통계적으로 입증되었다($p < 0.05$). 실내 부유세균의 주요 발생원 중 하나가 거주자라는 연구 결과(Otten과 Burge, 1999; Pastuszka 등, 2000)와 이산화탄소 농도가 높다는 사실은 실내 환기가 제대로 이루어지지 않는다는 것을 간접적으로 반영한다는 점에 근거하면 본 통계 결과의 당위성이 추론될 수 있다. 특이한 사항은 이산화탄소 농도와 환경조건간의 양의 상관성이 통계적으로 입증되지 않았다는 점이다. 사람이 많으면 그만큼 호흡량도 많아져 이산화탄소 농도가 높아지는 것이 일반적인 사실이나, 본 연구에서 제시한 환경 조건 항목은 사람의 수만을 나타낸 것이 아닌 시설 면적과의 비로 나타낸 지표라는 점, 그리고 유아시설의 경우 어린이도 성인 범주에 포함시켜 산정한 점이 위의 통계 결과가 도출된 원인이라 추정된다. 또한 이산화탄소 측정에 사용된 검지관이 다른 직독식 측정 장비에 비해 상대적으로 정밀하지 못하다는 점과 시료가 채취되는 단기간 동안에만 이산화탄소와 거주자의 활동성을 조사한 측정상의 제한점도 위 결과를 뒷받침하는 이유라 사료된다.

3. 규제대상 다중이용시설 내부에 분포하는 부유세균의 종류

표 5에서 나타난 바와 같이 조사대상 다중이용시설내 우점하고 있는 부유세균은 *Staphylococcus* spp., *Micrococcus* spp., *Corynebacterium* spp., *Bacillus* spp.로 전체 부유세균 중 이 4종류의 균들이 95% 이상을 차지하는 것으로 조사되어 외국의 기존 연구 결과들(Nevalainen, 1989; Holt, 1990; Rahkonen 등, 1990; Rahkonen, 1992; Dekoster와 Thome, 1995; Gomy 등, 1999; Pastuszka 등, 2000; Gomy와 Dutkiewicz, 2002)과 병원내 분포하고 있는 부유세균을 동정한 정선희와 백남원(1998)의 국내 연구 결과와도 비슷한 분포 양상을 보이는 것으로 분석되었다. 실외 부유세균의 분포 양상도 실내의 경우와 거의 유사했으며, 외국의 기존 연구 결과들(Mancinelli와 Shulls, 1978; Lighthart와 Shaffer, 1995; Di Giorgio 등, 1996)과도 대부분 일치하는 것으로 조사되었다. 유치원과 노인복지시설의 경우 종에 따른 부유세균의 농도가 실외가 실내보다 높아 내부 발생원보다는 자연 환기에 의해 외부로부터 유입된 기여도가 더 크다는 것을 알 수 있다. 그러나 병원의 경우 *Staphylococcus* spp., *Streptococcus* spp., *Escherichia*(E-Coli) spp., 산후조리원의 경우 *Streptococcus* spp.가 실내 농도가 실외보다 높은 것으로

Table 4. Correlation relationship between airborne bacteria and environmental factors

	Airborne bacteria	Temperature	R.H.	CO ₂	Surrounding condition
Airborne bacteria	1.00				
Temperature	0.17	1.00			
R.H.	0.08	0.11	1.00		
CO ₂	0.33*	0.21	0.13	1.00	
Surrounding condition	0.48*	0.07	0.17	0.24	1.00

* : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$

Table 5. Genera of airborne bacteria identified in the regulated public facilities

	Hospital		Kindergarten		Day-care center		Postpartum nurse center	
	Indoor	Outdoor	Indoor	Outdoor	Indoor	Outdoor	Indoor	Outdoor
<i>Staphylococcus</i> spp.	58.1*	22.3*	58.1*	12.8	26.7	31.2	44.8*	20.7*
<i>Micrococcus</i> spp.	16.7	22.0	16.7	58.4	53.1	46.7	32.4	40.1
<i>Corynebacterium</i> spp.	7.0*	21.7*	7.0*	6.2	3.0	3.8	5.2	9.5
<i>Bacillus</i> spp.	8.6	15.8	8.6	8.7	9.4	6.1	6.6*	0.2*
<i>Enterococcus</i> spp.	1.3	4.2	1.3	0.0	3.6	5.3	2.8	3.6
<i>Streptococcus</i> spp.	0.5	0.0	0.5	5.6	0.0	0.0	0.8	0.0
<i>Enterobacteriaceae</i> spp.	0.8	5.4	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	5.8
<i>Escherichia</i> (E-Coli) spp.	0.5	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	7.8
<i>Other species</i>	6.5	8.6	6.5	8.3	4.2	6.9	7.4	12.3

* : $p < 0.05$

분석되어 내부 발생원에 의한 증가 현상임을 인지할 수 있다. Gorny 등(1999)은 집안 실내 공기를 측정하 결과 전체 조사 대상 중 그람 음성 세균인 *Pseudomonas* spp.와 *Aeromonas* spp.가 각각 80%, 49%의 비율로 검출되었다고 하였으나, 본 연구에서는 동정된 대부분의 부유세균들이 병원에서 적은 양으로 검출된 *Escherichia*(E-Coli) spp.을 제외하면 모두 그람 양성 세균인 것으로 분석되었다. 따라서 국내 규제대상 다중이용시설 내부 공기 중에는 인체에 유해한 내독소를 생산해 내는 그람 음성 세균은 상대적으로 낮은 비율로 분포하고 있음을 알 수 있었다. 하지만 비록 적은 양으로 검출되었지만 심내막염 등의 감염을 유발할 수 있는 *Enterococcus* spp.와 패혈증을 일으킬 수 있는 *Streptococcus* spp.는 병원성 그람 양성 세균이므로 이에 대한 노출 저감에 관한 추후 연구가 수행되어야 할 것이다.

그림 1은 조사대상 다중이용시설 실내 공기에서 검출된 부유세균들 중 가장 많이 출현 빈도율을 나타낸 4가지 종균들(*Staphylococcus* spp., *Micrococcus* spp., *Corynebacterium* spp.,

Bacillus spp.)의 입자 크기에 따른 농도 변화를 나타낸 것이다. 부유세균의 입자 크기는 호흡을 통한 인체 유입시 호흡기계의 흡착 위치를 결정해 주기 때문에 건강 유해 측면에서 매우 중요한 인자이다(Seinfeld, 1986; Venkataraman과 Kao, 1999). 부유세균 입자의 공기역학적 직경은 종에 따라 각각 상이하하며(Pasanen 등, 1991; Reponen 등, 1996, 1998) 포자의 연령과 영양원(Harding, 1975; Ellis, 1981), 상대습도와 같은 물리적 실내 환경 조건(Pasanen 등, 1991)에 의해 좌우된다. 또한 실내 일상 활동이나 내부 구조물의 미생물 서식지 근처 공기 유속에 의한 방출 메커니즘에 의해 영향을 받는 포자 응집물의 차이에 의해서도 달라지기도 한다(Lehtonen 등, 1993; Reponen 등, 1996; Gorny 등, 1999). 6단계 관성 충돌기를 통한 부유세균의 입경 분포 양상을 보고한 기존의 연구들을 살펴보면 Macher 등(1991)과 이철민 등(2004)은 1단계와 5단계에서, Lundholm(1982)은 1, 2, 5, 6단계에서 가장 높은 포 집율을 보인다고 하였다. 하지만 본 연구에서는 다중이용시설에 따른 각 부유세균의 입자 크기별 분포가 일정하지 않은

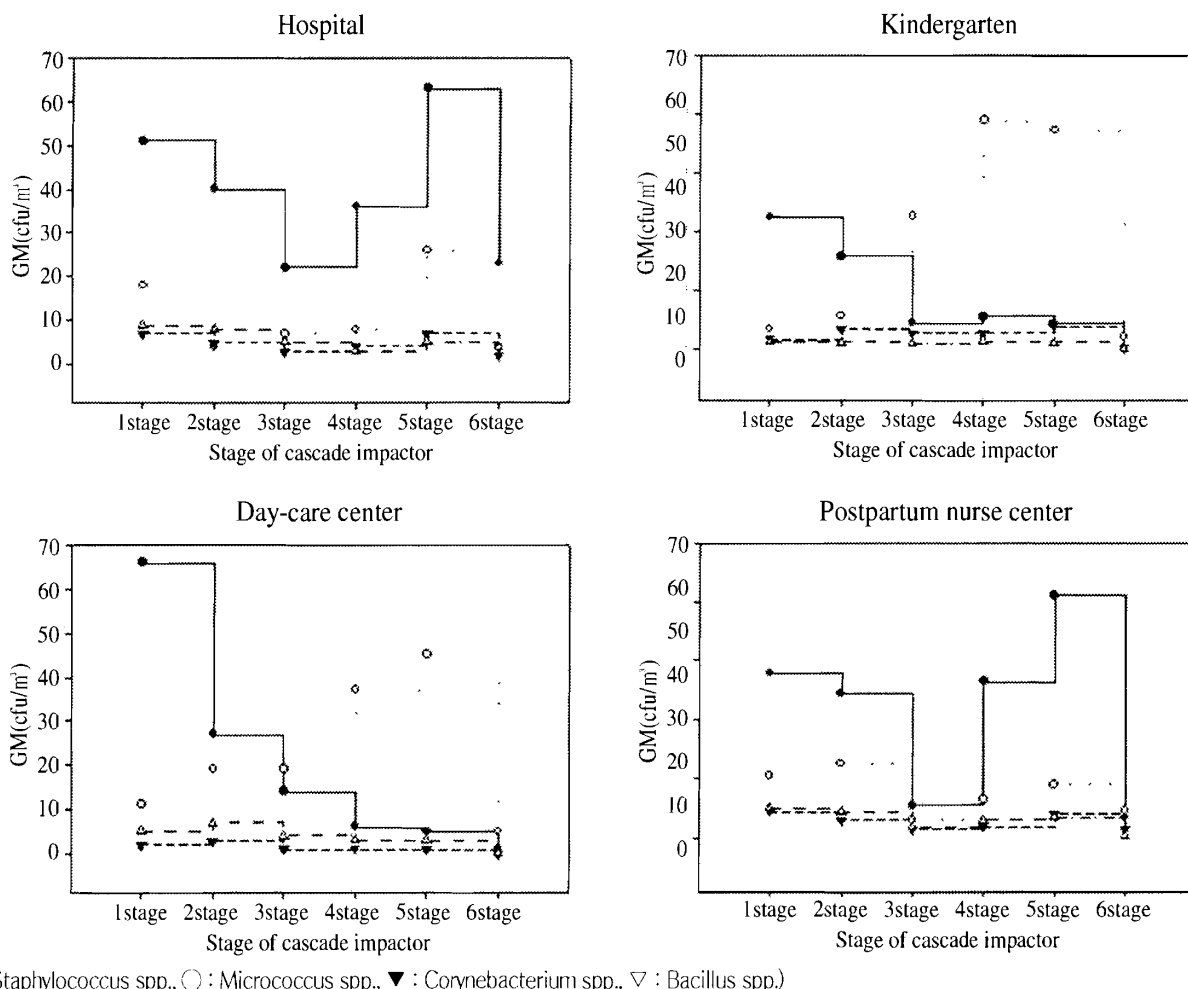


Fig. 1. Distribution of common airborne bacteria according to stage of cascade impactor.

양상을 나타내어 대조를 이루었다.

4. 향후 연구 방향

현행 다중이용시설 규제 법규에서는 부유세균 측정시 관성 충돌법외에 필터법과 흡수법도 적용 가능한 측정법으로 제시하고 있으나, 이 방법들 간에는 측정 과정상의 장단점을 각각 가지고 있어 부유세균의 포집 효율에 상당한 변이차가 있음을 몇몇 연구자들에 의해 입증되었다(Lundholm, 1982; Thome 등, 1992). 따라서 규제대상 다중이용시설내 부유세균의 정확하고 객관적인 측정 및 평가를 위해서는 각 측정 방법에 활용되는 배지, 필터, 흡수액의 조성(김기연 등, 2004)에 따라 부유세균의 분석 재현율이 달라질 수 있으므로 이에 대한 향후 연구 및 고찰이 요구되는 바이다. 본 연구는 세 측정 방법 중 최근에 가장 보편적으로 현장에서 활용되는 관성 충돌법만을 대상으로 평가하였으나, 향후 연구에서는 나머지 두 방법도 동시에 적용하는 현장 비교 평가가 수행되어야 할 것이다. 또한 본 연구는 가을이라는 계절에만 국한되어 실시된 현장 조사이기 때문에 계절에 따라 실외 부유세균 농도의 상당한 변이차가 있음을 보고한 Reponen 등(1989)의 연구 결과에 근거한다면 사계절이 뚜렷한 우리나라의 기상 조건을 충분히 반영하지 못한 결과라 생각되며, 다중이용시설 관계자들의 비협조로 인해 많은 수를 대상으로 현장 조사를 수행하지 못한 것이 본 연구의 제한점이라 할 수 있다. 따라서 이러한 제반 사항을 고려한 심도깊은 현장 연구 조사가 추후 수행되어야 하리라 사료된다.

IV. 결론

부유세균 규제대상 다중이용시설인 병원, 유아시설, 노인복지시설, 산후조리원의 총 부유세균 평균 농도는 각각 404 cfu/m³, 931 cfu/m³, 294 cfu/m³, 586 cfu/m³로 측정되어 통계적으로 유아시설이 가장 높고, 노인복지시설이 가장 낮은 것으로 분석되었다(p<0.05). 호흡성 부유세균 농도는 194 cfu/m³, 358 cfu/m³, 134 cfu/m³, 254 cfu/m³로 측정되어 총 부유세균 농도의 경우와 마찬가지로 유아시설이 가장 높은 것으로 조사되었으나(p<0.05), 나머지 세 다중이용시설간의 농도 차이는 통계적으로 유의하지 않은 것으로 분석되었다. 총 부유세균 농도에 대한 호흡성 세균의 평균 비율은 각각 38.1%, 34.1%, 32.0%, 36.5%로 산출되어 30~40%의 범위를 나타냈으나, 다중이용시설간의 차이는 통계적으로 입증되지 않았다. 병원, 유아시설, 노인복지시설, 산후조리원의 실내/외 농도 비율에 대해 총 부유세균의 경우 0.58, 0.71, 0.28, 0.63, 호흡성 부유세균의 경우 0.66, 0.83, 0.41, 0.78을 나타내었으며, 통계적으로

노인복지시설이 가장 낮은 것으로 분석되었으나(p<0.05), 나머지 시설들간의 차이는 통계적으로 유의하지 않았다. 실내 부유세균의 농도에 대해 온도 및 상대습도 간에는 통계적으로 상관성이 없는 것으로 분석되었으나, 이산화탄소 농도와 환경조건 간에는 양의 상관성이 통계적으로 입증되었다(p<0.05). Staphylococcus spp., Micrococcus spp., Corynebacterium spp., Bacillus spp.의 4종류의 균들이 동정된 전체 부유세균 중 95% 이상을 차지하는 것으로 조사되었으며, 다중이용시설에 따른 각 부유세균의 입자 크기별 분포는 일정한 양상을 나타내지 않는 것으로 분석되었다.

REFERENCES

- 김기연, 고한중, 이경중. 임핀저 흡수액 조성에 따른 돈사 작업장내 바이오에어로졸 포집 효율 평가. 한국산업위생학회지 2004;14(3):283-289
- 김운신, 이은규, 업무중, 김기영. 다중이용시설에서의 실내 공기중 미생물 분포에 관한 연구. 한국환경위생학회지 2002;28(1):85-92
- 박동욱, 조경아, 윤충식, 한인영, 박두용. 유치원 교실에서 공기 중 박테리아와 곰팡이 발생에 영향을 미치는 요인. 한국환경보건학회지 2004;30(5):440-448
- 손종렬, 이용식, 김종혁, 윤승욱, 김운수. 서울시 일부 다중이용시설 및 공동주택 실내공기질 실태조사. 한국실내환경학회 추계학술대회 논문집 2005, p. 272-276
- 송재훈, 배직현. Air Sampler를 이용한 병원 내 공기 중 미생물 오염도의 측정. 감염 1990;22:221-226
- 이창래, 김기연, 김치년, 박동욱, 노재훈. 종합병원내 부유미생물 농도 및 환경 요인과의 상관성 조사. 한국산업위생학회지 2005;15(1):45-51
- 이철민, 김운신, 이태형, 박원석, 홍승철. 다중이용시설내 공기중 바이오에어로졸 농도분포 특성에 관한 연구. 한국환경과학회지 2004;13(3):215-222
- 정낙은, 정세윤, 정용호, 김신규, 최태열, 김춘원, 김기홍. 공기오염측정기(RCS Air Sampler)를 이용한 병원내 공기오염도 측정에 관한 연구. 대한임상병리학회지 1986;6(1):117-123
- 정선희, 백남원. 일부 병원 실내에서의 공기중 미생물 오염에 관한 연구. 한국산업위생학회지 1998;8(2):231-241
- 조현중, 홍경심, 김지훈, 김현욱. 일부 종합병원 내 영역별 공기 중 미생물 평가. 한국산업위생학회지 2000;10(1):115-125
- 최종태, 김운신. 병원내 공기중 미생물의 농도에 관한 조사 연구. 한국환경위생학회지 1993;19(1):30-36
- 하권철, 백남원. 미생물을 이용한 일부 병원, 가정 및 일반 대기질의 평가. 한국산업위생학회지 1991;1(1):73-81

- 환경부. 2004. 다중이용시설등의실내공기질관리법률.
 환경부. 실내공간 실내공기오염 특성 및 관리방법 연구.2002.
- Andersen AA. New sampler for collection, sizing and enumeration of viable airborne particles. *J Bacteriol* 1958;76:471-484
- Arturo B, Gwen W, Alan MD, Catherine LG, Cristina LH. School-based identification of asthma in a low-income population. *Pediatric Pulmon* 2000;30(4):297-301
- Aylor DE, Paw UKT. The role of electrostatics in spore liberation by *Drechslera turcica*. *Mycologia* 1980;72:1213-1219
- Bovallius A, Bucht B, Roffey G, Anas P. Three-year investigation of the natural airborne bacterial flora at four localities in Sweden. *Appl Environ Microbiol* 1978;5:847-852
- Burge H. Bioaerosols: prevalence and health effects in the indoor environment. *J Allergy Clin Immunol* 1990;86:687-701
- Cox CS, Wathes CM (Eds). *Bioaerosols Handbook*. Lewis Publishers/CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida 1995.
- Cox CS. The aerosol survival of *Escherichia coli* B in nitrogen, argon and helium atmospheres and the influence of relative humidity. *J Genet Microbiol* 1968;50(1):139-147
- DeKoster JA, Thorne PS. Bioaerosol concentrations in noncomplaint, complaint and intervention homes in the Midwest. *Am Ind Hyg Assoc J* 1995;56:576-580
- Di Giorgio C, Krempff A, Guiraud H, Binder P, Tiret C, Dumenil G. Atmospheric pollution by airborne microorganisms in the city of Marseilles. *Atmos Environ* 1996;30:155-160
- Ellis JJ. The effect of medium, temperature and age on *Rhizopus delemar* sporangiospore size. *Mycologia* 1981;73:362-368
- Gallup J, Kozak P, Cummins L, Gilman S. Indoors mold spore exposure: characteristics of 127 homes in Southern California with endogenous mold problems. *Adv Aerobiol* 1987;51:139-147
- Gorny RL, Dutkiewicz J, Krysinska-Traczyk E. Size distribution of bacterial and fungal bioaerosols in indoor air. *Ann Agric Environ Med* 1999;6:105-113
- Gorny RL, Dutkiewicz J. Bacterial and fungal aerosols in indoor environment in central and eastern European countries. *Ann Agric Environ Med* 2002;9:17-23
- Harding H. Effect of pH and sucrose concentration on conidium size and septation in four *Bipolaris* species. *Canadian J Botany* 1975;53:1457-1464
- Holt GL. Seasonal indoor/outdoor fungi ratios and bacteria levels in non-complaint office buildings. In: Proc. 5th Int. Conf. Indoor Air Quality and Climate, Vol. 2, 33-38. Canada Mortgage and Housing Corporation, Ottawa 1990.
- Hyvärinen A, Vahteristo M, Meklin T, Jantunen M, Nevalainen A, Moschandreas, D. Temporal and spatial variation of fungal concentrations in indoor air. *Aerosol Sci Technol* 2001;35:688-695
- Jaffal AA, Nsanze H, Ameen AS, Banat IM, Mogheth AA. Hospital airborne microbial pollution in a desert country. *Environ Int* 1997;23(2):167-172
- Lacey J, Dutkiewicz J. Bioaerosols and occupational lung disease. *J Aerosol Sci* 1994;25(8):1371-1404
- Larsen FO, Meyer HW, Ebbeloy N, Gyntelberg F, Sherson, Netterstrom B, Gravesen S, Norn S. Are fungi-specific IgE found in stuff suffering from nonallergic sick building syndrome? *Inflamm Res* 1997;46(Suppl. 1):79-80
- Law AKY, Chau CK, Chan GYS. Characteristics in bioaerosol office in office buildings in Hong Kong. *Building Environ* 2001;36:527-541.
- Lehtonen M, Reponen T, Nevalainen A. Everyday activities and variation of fungal spore concentrations in indoor air. *Int Biodeter Biodegr* 1993;31:25-39
- Li CS, Hou PA. Bioaerosol characteristics in hospital clean rooms. *Sci Total Environ* 2003;305:169-176
- Li CS, Hsu LY. Home dampness and childhood respiratory symptoms in a subtropical climate. *Arch Environ Health* 1996;51:42-46
- Lighthart B, Shaffer BT. Airborne bacteria in the atmospheric surface layer: temporal distribution above a grass seed field. *Appl Environ Microbiol* 1995;61:1492-1496
- Lundholm IM. Comparison of methods for quantitative determinations of airborne bacteria and evaluation of total viable counts. *Appl Environ Microbiol* 1982;44:179-183
- Macher JM, Huang FY, Flores M. A two-year study of microbiological indoor air quality in a new apartment. *Arch Environ Health* 1991;46:25-29
- Mancinelli R, Shulls WA. Airborne bacteria in an urban environment. *Appl Environ Microbiol* 1978;35:1095-1101
- Manuel ES, Edwin KS, Lars AH, Scott TW, Juan CC. Material history, sensitization to allergens, and current wheezing, rhinitis, and eczema among children in Costa Rica. *Pediatric Pulmon* 2002;33(4):237-243
- Marthi B, Lighthart B. Effects of betaine on the enumeration of airborne bacteria. *Appl Environ Microbiol* 1990;56:1286-1289
- Einarsson R, Dreborg S. Allergen avoidance in a daycare center. *Allergy* 1995;51:36-41
- Munir AK, Hyvarinen A, Pasanen A, Reponen T. Fungi and bacteria in normal and mouldy dwellings. In: Samson, R.A., Nevalainen A, Flannigan, B., Flannigan, M.E., Verhoeff, A.P., Adan, O.C.G., Hoekstra, E.S. (Eds.), *Health Implications of Fungi in Indoor Environments*. Elsevier, Amsterdam, pp. 155-162, 1994.
- Nevalainen A, Willeke K, Liebhaber F, Pastuszka J, Burge H, Henningson E. Bioaerosol sampling. In: Willeke, K., Baron, P.A. (Eds.), *Aerosol Measurement*. Van Nostrand Reinhold, New York, pp. 471-492, 1993.
- Nevalainen A. Bacterial Aerosols in Indoor Air. National Public Health Institute, Helsinki 1989.

- Occupational Safety and Health Administration. OSHA Technical manual, section III: Chapter 2, Indoor air quality, Available from URL:<http://www.osha-slc.gov/dts/otm>. 2004.
- Otten JA, Burge HA. Bacteria. In: Macher, J. (Ed.), *Bioaerosols, Assessment and control*. ACGIH, Cincinnati, OH, pp. 200-214. 1999.
- Owen MK, Ensor DS, Sparks LE. Airborne particle sizes and sources found in indoor air. *Atmos Environ* 1992;26A:2149-2162
- Pasanen AL, Pasanen P, Jantunen MJ, Kalliokoski P. Significance of air humidity and air velocity for spore release into the air. *Atmos Environ* 1991;25A:459-462
- Pastuszka JS, Paw UKT, Lis DO, Wlazlo A, Ulfing K. Bacterial and fungal aerosol in indoor environment in Upper Silesia, Poland. *Atmos Environ* 2000;34:3833-3842
- Rahkonen P, Ettala M, Laukkanen M, Salkinoja-Salonen M. Airborne microbes and endotoxins in the work environment of two sanitary landfills in Finland. *Aerosol Sci Technol* 1990;13:505-513
- Rahkonen P. Airborne contaminants at waste treatment plants. *Waste Management & Research* 1992;10:411-421
- Reponen T, Gazonko SV, Grinshpun SA, Willeke K, Cole EC. Characteristics of airborne actinomycete spores. *Appl Environ Microbiol* 1998;64(10):3807-3812
- Reponen T, Willeke K, Ulevicius V, Reponen A, Grinshpun SA. Effect of relative humidity on the aerodynamic diameter and respiratory deposition of fungal spores. *Atmos Environ* 1996;30(23):3967-3974
- Reponen T. Bioaerosol and particle mass levels and ventilation in Finish homes. *Environ Int* 1989;15:203-208
- Robinson J, Nelson WC. National Human Activity Pattern Survey Data Base. United States Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC. 1995.
- Seinfeld JH. *Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution*. Wiley, New York, p. 738. 1986.
- Thome PS, Niekhaefer MS, Whitten P, Donham KJ. Comparison of bioaerosol sampling methods in barns housing swine. *Appl Environ Microbiol* 1992;58:2543-2551
- Venkataraman C, Kao AS. Comparison of particle lung doses from the fine and coarse fractions of urban PM-10 aerosols. *Inhalation Toxicol* 1999;11:151-169
- Walter MV, Marthi B, Fieland VP, Ganio LM. Effect of aerosolization on subsequent bacterial survival. *Appl Environ Microbiol* 1990;56:3468-3472
- Wu PC, Su HJ, Lin CY. Characteristics of indoor and outdoor airborne fungi at suburban and urban homes in two seasons. *Sci Total Environ* 2000;253:111-118