

화장실 공기 중 미생물 분포 조사연구

김종규 · 김아혁 · 김종순*†

계명대학교 공중보건학과, *계명대학교 경영공학과

Assessment of Bioaerosols in Public Restrooms

Jong-Gyu Kim, A-Hyeok Kim, and Joong-Soon Kim*†

Department of Public Health, Keimyung University

*Department of Industrial and Management Engineering, Keimyung University

ABSTRACT

Objectives: This study was performed to examine bioaerosols in indoor air in public restrooms, as well as to assess the effects of air temperature and relative humidity on bioaerosol levels.

Methods: A cross-sectional survey was performed in ten male and ten female restrooms. An air sampler (Anderson type) was used for sampling total suspended bacteria (TSB), Gram-negative bacteria (GNB), Gram-positive bacteria (GPB), opportunistic bacteria (OP), *Staphylococcus* spp., and total suspended fungi (TSF).

Results: The levels of TSB were $10\text{-}10^2$ CFU/m³ and TSF $10\text{-}10^2$ CFU/m³, respectively. The GNB level was $0\text{-}10$ CFU/m³, and GPB and OP levels were $10\text{-}10^2$ CFU/m³. *Staphylococcus aureus* and methicillin-resistant *S. aureus* (MRSA) were detected in 90% of the restrooms. The GPB level was higher in the female restrooms than in the male restrooms ($p < 0.05$). TSB, GNB, and TSF showed higher levels in restrooms in buildings over 30 years old ($p < 0.01$). The main effect of air temperature or relative humidity and interaction effect of the two factors on the TSB level were significant ($p < 0.05$), while the effect of relative humidity on the TSF level was significant ($p < 0.001$).

Conclusions: These results indicate that there is a wide variation in the bioaerosol levels among different restrooms. The observed differences in bioaerosol levels reflect different building histories. The effects of air temperature and/or relative humidity reveal that bioaerosol levels may vary according to season or time of day. Future research is needed to further characterize the relation between the bioaerosol levels and surface contamination in restrooms.

Keywords: Bioaerosol, Indoor air, Restrooms

I. 서 론

화장실은 타액, 피부, 소변 및 대변 등 사람의 분비물로부터 유래되는 미생물로 오염되어 있고 특히 화장실 접촉표면에는 다양한 미생물이 존재하며 인체 관련 세균들이 주도적이라고 알려졌다.¹⁻³⁾ 가정 환경에서도 화장실은 미생물에 대한 노출에 있어 핫

스팟(hot spot)임이 지적되었다.⁴⁾ 이렇게 화장실에서 인체 관련 미생물이 흔히 발견되는 것은 접촉표면을 만지거나 닿음으로 인해 병원체가 전파 및 감염될 수 있음을 암시한다.

화장실의 여러 접촉표면의 오염과 질병 전파에 대하여 이와 같이 다양한 연구들이 행해진 반면에 화장실의 공기 또는 에어로졸의 오염에 관한 연구는

†Corresponding author: Department of Industrial and Management Engineering, Keimyung University, 1095 Dalgubeoldaero, Dalseo-Gu, Daegu, 704-701, Korea, Tel: +82-53-580-5289, Fax: +82-53-580-5165, E-mail: jskim@kmu.ac.kr

Received: 1 June 2014, Revised: 7 July 2014, Accepted: 15 July 2014

상대적으로 적다. 불특정 다수가 사용하는 공중화장실에서는 변기에서 물내림이 지속적으로 일어나고 이때 냄새와 작은 물방울이 상승하거나 튀어 오르게 된다. 이는 화장실 사용자의 신체와 옷에 묻게 되지만 우리들 대부분은 이를 간과하고 지낸다. 변기에서 상승한 물질은 공기 중 에어로졸에 포함되어 부유하며 이는 사용자 수와 더불어 화장실 공기 오염의 주요한 요인으로 작용하는 것으로 지적되었다. 예를 들면 Gerba 등은 변기에 실험적으로 주입한 세균과 바이러스가 물내림 후에 떠올라 화장실 표면에 부착하며 또 분변성 에어로졸에 의한 인체 감염의 잠재적 위험을 지적하였다.⁵⁾ 이후 몇몇 연구들에서 변기 내에서 병원체가 상당 시간 존재함을 보고하였다. 즉 세균과 바이러스 병원체를 주입한 변기에서 이들 미생물이 물내림 후에도 존재하며 공기 중에 부유함이 보고되었다.⁶⁾ 실제로 살모넬라증이 발생한 가정의 욕실 및 변기에서 살모넬라균이 4주간 생존함이 보고되기도 하였다.⁷⁾ 또 호흡기질환 조차도 화장실 에어로졸 의한 전파가 가능함이 보고되었다. 바로 중증급성호흡기증후군(severe acute respiratory syndrome, SARS) 전파가 그 대표적인 예로 대변 및 소변에서 SARS 바이러스가 존재함이 보고되었으며 다세대타워(multi-family tower)에서 SARS의 전파가 화장실 배기로부터 확산되었음이 입증되었다.^{8,9)}

국내에서도 화장실에 오염에 대한 조사 및 연구가 있지만 이 연구들은 공중화장실 변기 표면의 미생물 분포, 공중화장실 위생설비의 지표세균 오염도, 공중화장실의 수세식 좌변기에서 병원성 마이코플라스마(mycoplasma)의 분리 검출, 또는 화장실의 악취물질과 제거에 대한 보고 등이다.¹⁰⁻¹³⁾ 그렇지만 화장실 내 공기 중 미생물 오염에 대한 연구는 미흡하다. 그러므로 본 연구는 공중화장실에서 바이오에어로졸로서 세균, 진균, 그람양성균, 그람음성균, 포도상구균 등의 분포를 조사하고 주요 온열요소와의 관련성을 알아봄으로써 화장실의 미생물학적 오염으로 인한 위험도 평가를 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 조사 대상

조사대상으로 일대 도시 지역에서 교육기관의 화

장실을 선정하였다. 본 연구의 취지와 목적을 달성할 수 있는 곳의 10개 건물에서 각 2개씩 총 20개 화장실을 대상으로 하였다. 건물 높이에 따라 온·습도가 다를 것이며 부유미생물의 차이가 있을 수 있으므로 모두 1층에 위치한 화장실을 선정하였다.

2. 조사 항목 및 측정 방법

조사 항목은 온도, 습도(상대습도), 그리고 공중 부유미생물이었다. 공중부유미생물로는 전반적인 공기 유래 세균수를 알 수 있는 총부유세균(TSB), 살모넬라균, 이질균, 장티푸스균, 대장균 등을 포함하는 그람음성균(GNB), 연쇄상구균이나 포도상구균, 폐렴균, 나병균, 디프테리아균, 파상풍균, 탄저균, 방선균 등을 포함하는 그람양성균(GPB), 인체 피부에도 존재하는 포도상구균(coagulase-negative staphylococci, CoNS)과 그 중 식중독을 일으키는 황색포도상구균(*Staphylococcus aureus*, SA), 황색포도상구균 중 페니실린 항생제인 메티실린(methicillin) 등에 내성을 보여 치료를 어렵게 하는 메티실린내성황색포도상구균(methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*, MRSA), 면역력이 낮은 환자나 노약자 등의 경우 병을 일으킬 수 있는 기회감염균(OP), 그리고 전반적인 진균수를 알 수 있는 총부유진균(TSF) 등을 포집 대상으로 하였다.

시료 채취 및 조사는 10월 중에 수행하였으며, 조사 대상 화장실들이 주간 사용되므로 주간 시간에 진행하였다.¹⁴⁾ 시료 채취를 위하여 오전 8시부터 현장에 대기하여 준비 및 도구를 설치하였으며, 채취 및 측정을 완료하고 채취된 시료(후술)를 11시 이전에 운반 완료하였다. 시료 채취 및 측정 시각은 오전 10시 전후였다. 각 화장실별로 20분 이상 간격으로 3회씩 채취하였다.

공중부유미생물 측정을 위한 시료 채취는 다중이용시설등의 실내공기질 측정방법에 준하여 수행하였다.¹⁴⁾ 이에 따라 관성충돌방식의 MAS-100 (Merck, Germany) 에어샘플러(air sampler)를 사용하여 공기 시료를 채취하였다. 동 에어샘플러는 공기 흡입구에 설치된 직경 0.7 mm의 구멍 400개를 통해 유속 0.45 m/sec, 유량 100 L/min으로 흡입된 공기가 관성력에 의해 10.8 m/sec의 속도로 배지 위에 충돌하도록 되어 있다.¹⁵⁾

각 미생물에 사용된 배지로는 TSB에는 trypticase soy agar (TSA) (BD Difco, U.S.A), GPB에는 phenylethylene alcohol agar (Hanil KOMED, Korea), CoNS에는 mannitol-salt agar (BD Difco, U.S.A), SA에는 CHROMagar Staph aureus (CHROMagar, France), MRSA에는 CHROMagar MRSA (CHROMagar, France), GNB에는 MacConkey agar (BD Difco, U.S.A.), TSF에는 Sabouraud dextrose agar (BD Difco, U.S.A.) 등이었다.

각 배지를 조제하여 담은 페트리디시(Petri dish)를 MAS-100 air sampler에 고정시키고 화장실 내 벽으로부터 1 m 이상 떨어지고 바닥면에서 1.2-1.5 m 높이인 위치에서 2-5분간 공기 시료를 채취하였다. 각 미생물이 포집된 Petri dish를 아이스박스에 담아 즉시 실험실로 운반하여 배양기에 넣고 세균의 경우 35°C에서 2일간, 진균의 경우 25°C에서 5-7일간 배양하였다. 배양 후 형성된 집락을 관찰하고 집락수(CFU, colony forming unit)를 계수하여 공기 중 농도(CFU/m³)로 나타내었다.

공기 시료 채취와 더불어 동일 시간 및 위치에서 온도와 습도를 측정하였다. 공기 시료 채취와 마찬가지로 각 화장실별로 20분 이상 간격으로 3회씩 측정하였다. 온도와 습도 측정을 위하여 온습도계(In/out thermo-hygrometers, Sanyo, Japan)를 사용하였다. 각 측정 위치에 온습도계를 설치하고 3분 이상 기다려 안정된 후에 수치를 읽었다.

3. 자료 분석 및 통계처리

온도, 습도, 그리고 공중부유미생물 측정으로부터 수집된 자료는 Minitab (R) 16.1(Minitab Inc., PA, U.S.A.)을 이용하여 분석하였다. 측정 항목별로 평균과 표준오차를 계산하였다. 남녀 화장실별로 차이 여부를 알아보기 위하여 t-검정(t-test)을 수행하였다. 또 화장실이 위치한 건물의 건축연수별로 차이 여부를 알아보기 위하여 일원배치 분산분석(one-way ANOVA, analysis of variance) 및 Duncan's multiple range test를 수행하였다. 분산분석에 사용된 자료는 등분산 검정과 정규성 검정을 통해 가정 사항들이 만족됨을 확인하였다. 또한 화장실별로 측정된 온도 및 습도와 총부유세균 및 총부유진균 농도와의 관련성을 알아보기 위하여 일반회귀 분석을 수행하였다.

III. 결 과

1. 온도 및 습도

각 화장실별 온열조건으로서 온도와 습도를 측정 한 결과는 Table 1과 같다. 온도는 평균 21.2°C(18.7-22.8°C)였으며 습도는 평균 42.6%(35.6-55.4%)이었다.

2. 바이오에어로졸

1) 총부유세균 및 총부유진균 농도

화장실의 실내 공기 중 총부유세균과 총부유진균을 측정한 결과는 Table 2와 같다. 총부유세균 농도는 평균 328.2 CFU/m³(103.3-1,250.0 CFU/m³), 총부유진균 농도는 평균 86.8 CFU/m³(23.3-353.3 CFU/m³)이었다. 장소별로 총부유세균과 총부유진균의 변이가 큰 편이었으며 또 세균보다 진균의 변이가 더 컸다.

Table 1. Air temperature and relative humidity in different restrooms

Restrooms	Temperature (°C)	Relative humidity (%)
1	18.7±0.14	46.4±0.37
2	22.8±0.05	46.9±1.18
3	22.2±0.45	40.4±0.28
4	21.5±0.03	52.5±0.14
5	21.4±0.15	43.5±1.77
6	19.2±0.13	35.6±0.39
7	20.7±0.01	37.2±0.90
8	22.6±0.20	55.4±1.49
9	19.2±0.18	38.5±0.27
10	21.3±0.26	34.7±0.30
11	19.9±0.21	51.6±1.08
12	23.1±0.10	42.4±0.59
13	21.9±0.31	36.7±0.97
14	21.3±0.02	51.1±0.08
15	22.3±0.08	36.5±0.73
16	19.8±0.06	36.0±0.66
17	21.4±0.13	36.0±0.06
18	22.5±0.16	53.2±1.32
19	19.1±0.09	39.6±0.90
20	22.1±0.01	38.1±0.29

Note. Values are the mean±S.E. of three measurements.

Table 2. Bacterial and fungal aerosol concentrations in different restrooms

Restroom	Total suspended bacteria	Total suspended fungi	Gram negative bacteria	Gram positive bacteria	Opportunistic pathogens
1	330.0±32.1	53.3±8.8	10.0±1.7	60.0±5.8	130.0±8.8
2	383.3±14.5	23.3±3.3	3.3±0.9	50.0±5.8	50.0±6.8
3	923.3±60.1	53.3±3.3	10.0±2.3	86.7±8.8	20.0±5.8
4	296.7±16.7	353.3±14.5	23.3±3.3	76.7±12.0	20.0±5.8
5	206.7±37.1	40.0±0.0	0.0±0.0	90.0±5.8	60.0±5.8
6	303.3±35.3	70.0±5.8	10.0±1.7	96.7±3.3	30.0±5.8
7	116.7±14.5	30.0±5.8	0.0±0.0	113.3±8.8	33.3±3.3
8	633.3±20.3	86.7±8.8	9.3±0.7	90.0±5.8	60.0±5.8
9	216.7±28.5	50.0±5.8	10.0±0.6	80.0±5.8	40.0±5.8
10	226.7±31.8	40.0±5.8	0.0±0.0	110.0±5.8	10.0±1.2
11	176.7±14.5	50.0±0.0	0.0±0.0	70.0±5.8	100.0±8.8
12	370.0±11.5	20.0±0.0	0.0±0.0	86.7±3.3	60.0±5.8
13	160.0±15.3	80.0±11.5	40.0±5.8	80.0±5.8	30.0±5.8
14	240.0±15.3	470.0±20.0	23.3±3.3	83.3±8.8	30.0±5.8
15	270.0±26.5	36.7±3.3	0.0±0.0	110.0±5.8	56.7±6.7
16	123.3±13.3	70.0±5.8	10.0±0.6	170.0±5.8	23.3±3.3
17	110.0±15.3	26.7±3.3	0.0±0.0	120.0±8	20.0±5.8
18	1,250.0±100.0	103.3±13.3	9.3±0.7	90.0±5.8	50.0±5.8
19	103.3±14.5	46.7±6.7	0.0±0.0	83.3±8.8	50.0±5.8
20	123.3±16.7	33.3±3.3	0.0±0.0	100.0±5.8	20.0±5.8

Note. Values are the mean±S.E. of three measurements. unit: CFU/m³

2) 부유세균의 분포 특성

화장실의 실내 공기 중 그람음성균, 그람양성균, 기회감염균 등을 측정된 결과는 또한 Table 2에서 보는 바와 같다. 그람음성균은 평균 7.9 CFU/m³ (0.0-40.0 CFU/m³), 그람양성균은 평균 92.3 CFU/m³ (50.0-170.0 CFU/m³)으로 전체적으로 그람음성균보다 그람양성균 오염이 훨씬 높았다. 기회감염균은 평균 44.7 CFU/m³(20.0-130.0 CFU/m³)이었다.

3) 포도상구균의 분포 특성

화장실의 실내 공기 중 포도상구균, 황색포도상구균 및 메티실린내성황색포도상구균을 검출한 결과는 Table 3과 같다. 포도상구균은 20개 화장실 모두에서 양성 검출되었으며 황색포도상구균 및 메티실린내성황색포도상구균은 각각 18개 화장실(90%)에서 검출되었다. 화장실 중 1개에서는 포도상구균만 검출되고 황색포도상구균 및 메티실린내성황색포도상구균은 검출되지 않았다.

3. 남녀 화장실별 차이

남녀 화장실별로 총부유세균, 총부유진균, 그람음성균, 그람양성균, 기회감염균 등을 비교한 결과는 Fig. 1과 같다. 총부유세균은 남자 화장실에서 높고 총부유진균은 여자 화장실에서 높았지만 유의한 차이는 없었다. 그람음성균은 여자화장실에서 다소 높으며 유의한 차이를 보이지 않았다. 기회감염균은 남녀 화장실 간에 별다른 차이를 보이지 않았다. 그람양성균은 남녀 화장실 간에 유의한 차이를 보이며(p<0.05) 여자 화장실에서 높았다.

4. 건축연수별 차이

화장실이 위치한 건물의 건축연수별(10년, 20년, 30년, 30년 이상 등)로 구분하여 총부유세균, 총부유진균, 그람음성균, 그람양성균, 기회감염균 등을 비교한 결과는 Fig. 2와 같다. 그람양성균은 건축연수별로 유의한 차이를 나타내지 않았다. 총부유세균, 총부유진균, 그람음성균, 기회감염균 등은 건축연

Table 3. Distribution of *Staphylococcus* spp. in the restroom air

Restrooms	Coagulase-negative staphylococci	<i>Staphylococcus aureus</i>	MRSA
1	+	+	+
2	+	+	-
3	+	+	+
4	+	+	+
5	+	+	+
6	+	+	+
7	+	+	+
8	+	+	+
9	+	+	+
10	+	+	+
11	+	+	+
12	+	-	-
13	+	+	+
14	+	+	+
15	+	+	+
16	+	+	+
17	+	+	+
18	+	+	+
19	+	-	+
20	+	+	+

Note. MRSA: methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*, +: detected, -: not detected

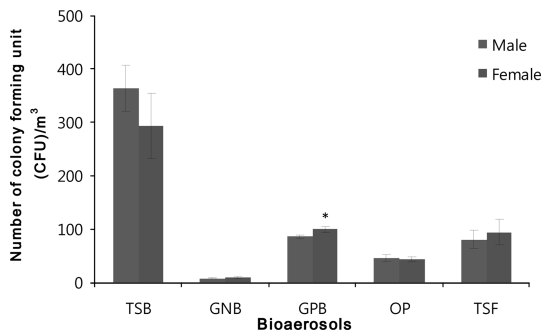


Fig. 1. Comparison of bioaerosol concentrations in male and female restrooms. TSB: total suspended bacteria, GNB: Gram-negative bacteria, GPB: Gram-positive bacteria, OP: opportunistic bacteria, TSF: total suspended fungi. Each bar is the mean \pm S.E. measured at ten restrooms. *: $p < 0.05$.

수별로 유의한 차이를 보여($p < 0.01$) 총부유세균, 총부유진균 및 그람음성균은 30년 초과된 건물의 화

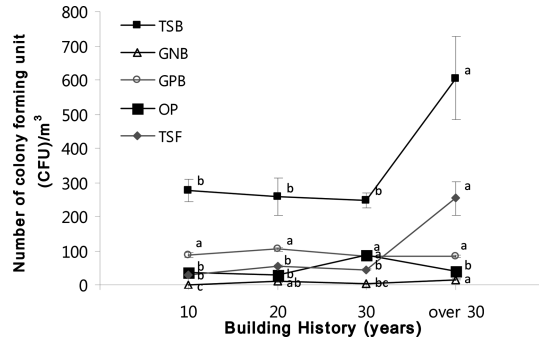


Fig. 2. Comparison of bioaerosol concentrations in the restrooms according to building history. TSB: total suspended bacteria, GNB: Gram-negative bacteria, GPB: Gram-positive bacteria, OP: opportunistic bacteria, TSF: total suspended fungi. Each point is the mean \pm S.E. measured at four or six restrooms. Means with different letters are significantly different by ANOVA and Duncan's multiple range test ($p < 0.01$).

장실에서 현저하게 높았고, 기회감염균은 30년 된 건물의 화장실에서 가장 높았다.

5. 온열요소와 바이오에어로졸의 관련성

화장실 내 온도 및 습도가 총부유세균과 총부유진균에 미치는 영향을 알아보기 위하여 일반회귀분석을 수행한 결과는 Tables 4-5와 같다.

Table 4에서 보는 바와 같이 총부유세균에 대해서는 온도와 습도 두 요인 간의 교호작용 효과가 있으며($p < 0.01$), 이 경우 다중 선형회귀선의 계수는 Table 4의 가장 마지막 열에 나타나 있다. 이 열에서 7,329.5는 다중 선형회귀선에서의 상수이다. 총부유세균에 대해서 온도와 습도 각각의 주 효과가 유의하였으며($p < 0.05$), 온도와 습도의 교호작용을 고려하지 않은 경우, 온도와 총부유세균(온도 계수 $\beta = 89.3$), 습도와 총부유세균(습도 계수 $\beta = 19.6$) 사이에 각각 양의 선형 상관관계가 있었다. 온도와 습도의 교호작용이 있다는 것은 온도 또는 습도 중 한가지 요인이 변화하면 다른 요인이 총부유세균에 미치는 영향도 달라짐을 의미한다.

총부유진균에 대해서는 습도의 주 효과만 유의하였으며($p < 0.001$), 습도와 총부유진균 사이에는 양의 선형 상관관계가 있었다. 온도의 주 효과는 유의하지 않았다. 이에 따라 온도 요인을 오차항에 풀링

Table 4. Effect of air temperature and humidity on the concentration of total suspended bacteria in the restrooms

Source of variation	adj SS	df	adj MS	F	p value	Coefficient (β)
Regression	2,005,482	3	668,494	12.392	0.000***	7,329.5
Air temperature (T)	266,497	1	266,497	4.940	0.030*	- 359.6
Relative humidity (RH)	331,881	1	331,881	6.152	0.016*	- 200.8
T × RH	389,705	1	389,705	7.224	0.009**	10.1
Error	3,021,016	56	53,947			
Sum	5,026,498	59	85,195			

Note. r^2 (coefficient of determination) = 39.9%, df: degrees of freedom, SS: sum of squares, MS: mean squares, *: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$, ***: $p < 0.001$

Table 5. Effect of humidity on the concentration of total suspended fungi in the restrooms

Source of variation	adj SS	df	adj MS	F value	p value	Coefficient (β)
Regression	182,998	1	182,998	18.417	0.000***	- 256.2
Relative humidity (RH)	182,998	1	182,998	18.417	0.000***	8.1
Error	576,301	58	9,936			
Sum	759,299	59	12,869			

Note. r^2 = 24.1%, df: degrees of freedom, SS: sum of squares, MS: mean squares, ***: $p < 0.001$

(pooling) 후 일반회귀분석을 수행한 결과는 Table 5와 같다. 이 경우 단순 선형회귀선에서의 습도 계수 $\beta = 8.1$ 임을 알 수 있다.

IV. 고 찰

본 연구에서는 화장실의 바이오에어로졸 분포를 알아보고 주요 온열요소인 온도 및 습도와와의 관련성을 알아보려 하였다. 조사 대상 화장실에서 측정된 총부유세균은 10^2 - 10^3 CFU/m³, 총부유진균은 10 - 10^2 CFU/m³ 수준이었다. 공중화장실에서 측정된 부유세균이 287-707 CFU/m³이었다는 보고가 있어 본 연구의 부유세균 측정결과와 일부 비슷한 수준이다.¹⁶⁾ 대학교 도서관 건물에서 실내 공기를 조사한 연구에서는 총부유세균과 총부유진균이 7개 공간 중 화장실에서 가장 높거나 비교적 높은 것으로 나타났다.¹⁷⁾ 동 보고에서 측정치는 전반적으로 변이가 크고 또 세균의 변이(133-3,313 CFU/m³)보다 진균의 변이(13-893 CFU/m³)가 크게 나타나 본 연구결과와 유사하다. 거주 공간별 부유미생물 분포현황을 조사한 연구에서는 총부유세균과 총부유진균이 실내 7개 공간 중 화장실에서 가장 높거나 또는 두 번째로 높다고(저층화장실에서 총부유세균 550-1,640 CFU/m³,

총부유진균 430~1,310 CFU/m³) 보고하였다.¹⁸⁾ 그러므로 실내 공간 중 화장실에서의 총부유세균과 총부유진균 농도는 다른 공간에 비하여 비교적 높은 편으로 추측되지만 본 연구에서는 조사 대상 화장실이 위치한 건물에서 다른 공간까지 조사하지 못하여 비교할 수는 없었다.

다중이용시설등의 실내공기질관리법에서 화장실에 대한 기준을 지정하고 있지는 않으나 그 시행규칙에서 다른 공간에 대하여 규정하고 있는 실내공기질 유지기준에서 총부유세균 농도는 800 CFU/m³이다.¹⁹⁾ 본 연구에서 조사된 화장실 중 총부유세균 농도가 800 CFU/m³를 초과하는 화장실이 2개가 있어 환경위생관리가 각별히 필요한 것으로 나타났다. 총부유진균에 대한 실내공기질에 대한 기준은 마련되어 있지 않으며 WHO 권고기준치는 500 CFU/m³이다.²⁰⁾ 본 연구의 조사대상 화장실 중 총부유진균 농도가 이를 초과하는 화장실은 없었으나 2개 화장실에서 각각 353.3 CFU/m³, 470.0 CFU/m³로 측정되어 주의가 필요하다.

조사 대상 화장실 공기 중 그람음성균은 0.0-40.0 CFU/m³, 그람양성균은 50.0-170.0 CFU/m³로 전체적으로 그람음성균보다 그람양성균 오염이 훨씬 높았다. 기회감염균은 20.0-130.0 CFU/m³이었다. 그람음

성균은 대개 장내세균과에 속하는 분변 유래성이며 그람양성균은 피부 상재나 외부로부터의 감염/오염되는 것들이다. 본 연구 결과 전체적으로 그람음성균에 비하여 그람양성균 오염이 훨씬 높고 또 기회감염균 오염이 비교적 높아 화장실 사용 빈도에 따른 오염을 암시하며 주기적 환기와 청소가 행해져야 함을 나타낸다. 화장실에서 부유세균의 분포 특성에 대해서 알려진 바가 거의 없어서 비교가 어렵다. 다른 공간에서 측정된 것으로 유치원 교실의 공기 중 그람음성균은 370 CFU/m³, 병원 로비에서 측정된 그람음성균은 1.7×10³ CFU/m³이라는 보고가 있었다.^{21,22)} 또 아파트 실내 공기 중 기회감염균은 341-462 CFU/m³ 이었다는 보고가 있었다.²³⁾

조사 대상 화장실 공기 중 황색포도상구균 및 메티실린내성황색포도상구균 양성 검출된 비율이 각각 90%를 보였다. 이로부터 화장실 사용자들은 위생적 주의가 필요함을 내포한다. 화장실 공기 중에서 포도상구균을 조사한 보고는 찾기 어렵다. 알레르기 환자 가정의 거실과 안방 공기 중에서 포도상구균이 각각 266 CFU/m³, 232 CFU/m³로 측정되었으며, 일반 가정의 경우 거주기간이 1년 이내인 경우 91 CFU/m³, 57 CFU/m³이었고 5년 이상인 경우 각각 398 CFU/m³, 596 CFU/m³이었다는 보고가 있었다.²⁴⁾ 본 연구대상 화장실에서 포도상구균에 대한 정량적 측정을 수행하지 않아 직접 비교할 수는 없으나 황색포도상구균 및 메티실린내성황색포도상구균이 검출되지 않은(음성) 화장실은 가장 최근에 건축된 건물이었다. 이로부터 건물의 건축연수 또는 사용/거주 기간에 따라 포도상구균 분포에 차이가 있는 것으로 추측할 수 있다. 화장실 공기에 대한 조사는 아니지만 영국의 18개 공중화장실에서 접촉 표면 21곳의 포도상구균 오염을 조사한 결과 19종의 포도상구균이 분리되었으며 그 중 37.8%가 약제 내성을 보였다는 보고가 있었다.²⁵⁾

조사 대상 화장실 공기 중 측정된 바이오에어로졸 중에서 그람양성균은 남자 화장실에 비하여 여자 화장실에서 유의하게 높았으며 그람음성균은 다소 높았다. 남녀 화장실의 바이오에어로졸을 비교한 연구는 아직 찾을 수 없다. 다만 화장실 접촉표면에서 장관유래미생물(대장균과 대장균)을 조사한 결과 남자 화장실보다 여자 화장실에서 전반적으로 오염도가 높았다는 보고들이 있었다.^{11,26)} 또 이집트의 20

개 여자 화장실의 접촉표면에서 세균오염도를 조사한 결과 황색포도상구균 오염도(40% 이상)가 가장 높았다는 보고가 있었다.²⁾ 이로부터 여자 화장실이 남자 화장실에 비하여 전반적으로 오염도가 높은 것으로 추측되지만 이에 대해서는 남녀 화장실별로 부유미생물과 접촉표면의 오염도를 종합적으로 조사연구함으로써 정확하게 판정할 수 있을 것이다. 세균이나 진균에 관한 연구는 아니지만 이탈리아의 5개 화장실에서 공기와 접촉표면 4곳의 장관유래바이러스를 조사한 결과 접촉표면에서는 78%에서, 공기 중에서는 81%에서 동일종의 바이러스 2가지가 공히 검출되었다는 보고가 있었다.²⁷⁾ 그러므로 부유미생물과 접촉표면의 오염 사이에도 관련성이 있을 것으로 보이며 앞으로 더 탐구되어야 할 부분이다.

조사 대상 화장실 공기 중 측정된 바이오에어로졸 중에서 총부유세균, 총부유진균, 그람음성균 등은 30년 초과된 건물의 화장실에서 유의하게 높았고, 기회감염균은 30년 된 건물의 화장실에서 유의하게 높았다. 건축연수별 화장실의 부유미생물의 차이를 보고한 바가 아직 없다. 일반 거주환경에서 거실과 침실에 대해 조사된 바로는 부유세균과 부유곰팡이의 평균농도가 1990년 이전에 건축된 주택에서 2006년 이후에 건축된 주택보다 높았으나 유의하지는 않았다는 보고가 있었다.²⁸⁾ 그러므로 건물이 노후화 되면서 건물 내의 부유미생물도 증가되는 경향으로 볼 수 있다.

조사 대상 화장실에서 측정된 온도는 18.7-22.8°C였으며 습도는 35.6-55.4%였다. 공중화장실에서 9월 중 온도가 25.7-27.6°C, 습도가 38.1-53.4%였다는 보고가 있었다.¹⁶⁾ 본 연구에서 측정된 온도는 이보다 낮으며 습도는 비슷하다. 본 연구의 조사대상 화장실의 온도 및 습도는 보건학적으로 비교적 양호하다고 보이며, 이는 10월 중 일기가 비교적 쾌적한 조건에서 측정되었기 때문일 것이다.

조사 대상 화장실의 총부유세균 및 총부유진균 농도와 온도 및 습도와의 관련성을 일반회귀분석을 통하여 알아본 결과, 총부유세균에는 온도의 주 효과, 습도의 주 효과, 그리고 온도-습도의 교호작용 효과가 유의하였으며 총부유진균에는 습도의 주 효과만 유의하였다. 즉 총부유세균에는 온도와 습도가 함께 영향을 미칠 수 있으며 총부유진균에는 습도가 주도적으로 영향을 미칠 수 있음을 나타내었다. 즉 하루 중 다른 시간에 조사 및 측정하였더라면 조사 대상

화장실 공기 중 총부유세균 농도가 달라질 수 있을 것이다. 나아가 본 연구결과는 일기와 계절에 따라 공기 중 에어로졸이 달라질 수 있음을 시사한다.

일부 선행연구자들은 환경요소로서 건축자재의 수분, 온도, 습도, 기류 등이 실내의 바이오에어로졸에 영향을 미친다고 하였다.^{29,31)} 이러한 주장들은 본 연구에서 화장실의 온도 또는 습도가 총부유세균과 총부유진균에 미친 영향을 뒷받침해준다. 화장실에 대한 조사는 아니나 아파트 실내 공기 중 총부유세균 및 기회감염균 농도가 봄철보다는 여름철에 높게 측정되었다는 보고가 있었다.²³⁾ 본 연구는 시점조사로서 장기적인 조사는 수행하지 못하여 제한점으로 남으며, 앞으로 하루 중 시간별로, 그리고 계절별로 화장실의 공기 중 에어로졸을 모니터링할 필요가 있다. 실내의 부유미생물 농도는 실내 공간의 구조와 더불어 환기가 중요한 영향 요인이 될 수 있다. 건물의 건축연수와 더불어 사용 빈도(사용자 수), 청소 주기, 환기 등에 따라 화장실의 공기 오염 정도가 달라졌을 것으로 추측되지만, 본 연구에서는 이와 관련한 조사는 행하지 못하여 또 하나의 제한점으로 남는다. 또한 본 연구에서는 일부 화장실을 대상으로 하여 모든 화장실을 대표할 수 없으므로, 향후 대규모의 장기적인 조사가 수행된다면 정확한 정보를 알 수 있을 것이며, 이에 대해서는 차기의 연구에 기대한다.

V. 결 론

본 연구는 화장실의 실내 공기 중 바이오에어로졸 수준을 조사하고 온도 및 습도와 관련된성을 알아보았다. 일 대도시 지역에서 20개 화장실을 선정하고 관성충돌방식 에어샘플러를 사용하여 공기 시료를 포집하였으며, 온도 및 습도를 측정하였다. 총부유세균, 그람음성균, 그람양성균, 기회감염균 및 총부유진균을 정량적 측정하고 포도상구균, 황색포도상구균 및 메티실린내성황색포도상구균을 정성적 측정하였다. 세균은 35°C에서 2일간, 진균은 25°C에서 7일간 배양하였다. 총부유세균은 $10^2 \sim 10^3$ CFU/m³, 총부유진균은 $10 \sim 10^2$ CFU/m³ 수준이었다. 그람음성균은 $0 \sim 10$ CFU/m³, 그람양성균은 $10 \sim 10^2$ CFU/m³, 기회감염세균은 $10 \sim 10^2$ CFU/m³ 수준이었다. 포도상구균은 모든 화장실에서 검출되었고 황색포도상구균과 메티

실린내성황색포도상구균은 각각 90%의 화장실에서 검출되었다. 남자화장실에 비해 여자화장실에서 그람양성균 농도가 유의하게 높았다($p < 0.05$). 건축연수가 30년 초과된 건물에 위치한 화장실은 총부유세균, 그람음성균 및 총부유진균 농도가 유의하게 높았다($p < 0.01$). 화장실의 총부유세균 농도는 온도 및 습도에 의한 영향($p < 0.05$), 온도-습도 교호작용의 영향을 받으며($p < 0.01$), 총부유진균 농도는 습도의 영향을 받는 것으로 나타났다($p < 0.001$). 이로부터 화장실 내 바이오에어로졸 분포는 시료채취장소별로 변이가 크며, 건물 사용기간에 따라 달라질 수 있고, 또 일부는 사용자 특성(남, 여)에 따라 달라질 수 있음을 알 수 있다. 또한 온열환경 변인으로서 온도 및 습도가 바이오에어로졸에 영향을 미칠 수 있음이 나타나 시간별 및 계절별로 오염도가 달라질 것임을 시사한다. 기온과 습도가 높아지는 시기에 바이오에어로졸이 상승할 수 있으므로 사용자들의 주의는 물론 화장실의 철저한 청소 및 적극적 환기 등 위생 관리에 만전을 기해야 할 것으로 사료된다. 향후 화장실의 바이오에어로졸 농도와 접촉표면 오염수준과의 연관성을 세밀하게 조사 및 분석함으로써 위해도를 평가할 수 있을 것이다.

References

1. Scott E, Bloomfield SF, Barlow CG. An investigation of microbial contamination in the home. *J Hyg Lond.* 1982; 89(2): 279-293.
2. Sabra SMM. Bacterial public health hazard in the public female restrooms at Taif, KSA. *Middle-East J Sci Res.* 2013; 14(1): 63-68.
3. Flores GE, Bates ST, Knights D, Lauber CL, Stombaugh J, Knight R, et al. Microbial biogeography of public restroom surfaces. *PLoS One.* 2011; 6(11): e28132.
4. Reynolds KA. Germs in the Home Environment: Microorganisms in the Bathroom. Available: http://learn-aboutgerms.arizona.edu/germs_in_the_environment.htm. [accessed 14 April 2014].
5. Gerba CP, Wallis C, Melnick JL. Microbiological hazards of household toilets: droplet production and the fate of residual organisms. *Appl Microbiol.* 1975; 30(2): 229-237.
6. Barker J, Jones M. The potential spread of infection caused by aerosol contamination of surfaces

- after flushing a domestic toilet. *J Appl Microbiol.* 2005; 99(2): 339-347.
7. Barker J, Bloomfield SF. Survival of *Salmonella* in bathrooms and toilets in domestic homes following salmonellosis. *J Appl Microbiol.* 2000; 89(1): 137-144.
 8. Abdullah ASM, Tomlinson B, Cockram CS, Thomas GN. Lessons from the severe acute respiratory syndrome outbreak in Hong Kong. *Emerg Infect Dis.* 2003; 9(9): 1042-1045.
 9. Li Y, Leung GM, Tang JW, Yang X, Chao CYH, Lin JZ, et al. Role of ventilation in airborne transmission of infectious agents in the built environment - a multidisciplinary systematic review. *Indoor Air.* 2007; 17(1): 2-18.
 10. Choi HY, Kwon WO, Lee WS, Lee H. Research on bacterial distribution of public lavatory. *J Environ Health Sci.* 2012; 38(6): 520-528.
 11. Kim JG, Kim JS. The load of indicator bacteria of sanitary ware in public restrooms. *J Environ Health Sci.* 2014; 40(1): 63-70.
 12. Yeon JW, Chang MW, Kim KH. Detection and isolation of genital Mycoplasmas from public toilet bowls. *J Bacteriol Virol.* 2002; 32(3): 231-237.
 13. Kim KH, Yee JJ. Applicability of corrugate type absorption filter for elimination of offensive odor substance in the toilet. *J Archit Inst Kor Plan Des.* 2010; 26(6): 279-286.
 14. National Institute of Environmental Research. Sampling Method for Microbiological Testing of Indoor Air. Available: http://iaqinfo.nier.go.kr/means/sampling_crowd_facilities.do. [accessed 23 November 2013].
 15. Kim JG, Park JY, Kim JS. Assessment of bacterial and fungal aerosols in the kitchens of restaurants. *J Environ Health Sci.* 2014; 40(2): 98-104.
 16. Lee BU, Hong IG, Lee DH, Chong ES, Jung JH, Lee JH, et al. Bacterial bioaerosol concentrations in public restroom environments. *Aerosol Air Qua Res.* 2012; 12(2): 251-255.
 17. Kalwasińska A, Burkowska A, Wilk I. Microbial air contamination in indoor environment of the university library. *Ann Agric Environ Med.* 2012; 19(1): 25-29.
 18. Im MJ, Kim SD. A field study on the concentration of suspended microbes by living space. *Proceedings of Kor Soc Odor Res Eng.* 2005; 11: 50-53.
 19. Korea Ministry of Government Legislation. Indoor Air Quality Control in Public Use Facilities. Available: <http://www.law.go.kr/lsSc.do?menuId=0&p1=&subMenu=1&nwYn=1&query=%EB%8B%A4%EC%A4%91&x=0&y=0#liBgcolor0>. [accessed 12 February 2014].
 20. WHO. Household Air Pollution and Health. Available: [http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs292/en/\(2005\)](http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs292/en/(2005)). [accessed 12 February 2014].
 21. Park D, Jo K, Yoon C, Han I, Park D. Factors influencing airborne concentration of fungi, bacteria and gram negative bacteria in kindergarten classroom. *Kor J Environ Health.* 2004; 30(5): 440-448.
 22. Park D, Yeom J, Lee W, Lee K. Assessment of the levels of airborne bacteria, gram-negative bacteria, and fungi in hospital lobbies. *Int J Environ Res Public Health.* 2013; 10(2): 541-555.
 23. Kim SD. Distribution characteristics of bioaerosol in indoor air of apartments. [dissertation]. [Seoul]: Korea University; 2011.
 24. Moon KW, Byeon SH, Choi DW, Kim YW, Lee JH, Lee EI. Exposure assessments on biological contaminants in homes of allergy patients - bacteria, fungi, house dust mite allergen and endotoxin. *J Environ Health Sci.* 2005; 31(2): 120-126.
 25. Mkrtchyan HV, Russell CA, Wang N, Cutler RR. Could public restrooms be an environment for bacterial resistomes?. *PLoS One.* 2013; 8(1): e54223.
 26. Cleaning Industry Research Institute. Enteric Bacterial Contamination of Public Restrooms. Available: http://www.ciriscience.org/a_67-Enteric_Bacterial_Contamination_of_Public_Restrooms [accessed 14 April 2014].
 27. Verani M, Biqazzi R, Carducci A. Viral contamination of aerosol and surfaces through toilet use in health care and other settings. *Am J Infect Control.* 2014; 42(7): 758-762.
 28. Kwon MH, Choi KH, Seo SY, Ryu JM, Won SR, Lim JH, et al. A Study on management of major indoor air pollutants by house type in Korea(II) - Indoor air pollutants and health effects in residential detached and multiplex/terraced house. Incheon: NIER Press; 2010. p.13-19.
 29. Pasanen AL, Kasane JP, Rautiala S, Ikäheimo M, Rantamäki J, Kääriäinen H, et al. Fungal growth and survival in building materials under fluctuating moisture and temperature conditions. *Int Biodeter Biodegr.* 2000; 46(2): 117-127.
 30. Kulmala M, Asmi A, Pirjola L. Indoor air aerosol model: the effect of outdoor air, filtration and ventilation on indoor concentrations. *Atmos Environ.* 1999; 33(14): 2133-2144.
 31. Mandal J, Brandl H. Bioaerosols in indoor environment - a review with special reference to residential and occupational locations. *Open Environ Biol Monit J.* 2011; 4(1): 83-96.