

## 실내공기 중 생물학적 오염물질에 관한 국내 연구 동향

허은혜 · 원동환 · 문경환<sup>†</sup>

고려대학교 보건과학대학 보건과학과

### Trend in Study of Biological Pollutants in Indoor Air Quality in Korea

Eun-Hae Huh, Dong-Hwan Won, and Kyong-Whan Moon<sup>†</sup>

Department of Public Science, College of Health Science, Korea University, Seoul, Korea

#### ABSTRACT

**Objectives:** Indoor air quality problems in public spaces have recently become a very important issue in South Korea, because many spend a long time every day indoors. In this study, an extensive literature review was performed on the subject of suspended bacteria and fungi in public facilities. The objective of this study was to evaluate the extent and types of suspended bacteria and fungi in indoor air in South Korea. This study will provide direction to the research in the field of indoor air.

**Methods:** Article reviews were conducted using a search engine and the following keywords; 'bacteria', 'total suspended bacteria', 'fungi' and 'indoor air' from published articles since 2000.

**Results:** Most of the places of measurement were schools, kindergartens, childcare centers and general hospitals. The highest concentrations of total suspended bacteria and fungi were found in schools and kindergartens. Some public facilities exceeded the standard of 800 CFU/m<sup>3</sup>. There were few studies on other suspended bacteria: Gram Negative Bacteria, *Staphylococcus* and *Klebsiella pneumoniae*.

**Conclusions:** It appears that more studies with intensive controls are needed. It was found that schools and kindergartens were most susceptible to microbial indoor air pollution. These results may be able to suggest an indoor standard for suspended bacteria and fungi in South Korea.

**Keywords:** airborne bacteria, airborne fungi, indoor air, Korea, review paper

## I. 서 론

국가의 에너지절약 정책에 따라 건물의 단열과 기밀성이 강조되고 실내거주시간이 증가하면서 실내공기오염의 심각성이 부각되고 있다.<sup>1)</sup> Kim<sup>2)</sup>의 연구 등에 따르면 대부분의 생물학적 오염물질은 실외보다 실내에서 높은 농도로 나타나고 있다고 보고하여 실내공기질의 중요성을 뒷받침해 주고 있다. 이에 따

라 환경부는 지속적으로 실내공기 관리상태를 점검하고 있으며, 최근 환경부 조사에 따르면 다중이용시설(1만103개소) 및 100가구 이상 신축 공동주택(389개소) 중 다중이용시설 94곳, 신축 공동주택 2곳이 각각 법령을 위반한 것으로 나타났고, 가정집의 70%가 총부유세균 유지기준을 초과한 것으로 나타났다으며, 보육시설의 경우 다른 다중이용시설에 비해 평균 655.9 CFU/m<sup>3</sup>로 높게 나타났다.<sup>3,4)</sup>

<sup>†</sup>Corresponding author: Department of Environmental Health, College of Health Science, Korea University, Seoul 136-703, Korea, Tel: +82-2-940-2865, Fax: +82-303-0317-2865, E-mail: kwmoon@korea.ac.kr

Received: 29 March 2012, Revised: 12 April 2012, Accepted: 9 August 2012

일반적으로 실내공기오염 물질은 가스상 오염물질과 입자상 오염물질로 분류할 수 있다.<sup>5)</sup> 가스상 오염물질은 이산화탄소, 일산화탄소, 휘발성 유기화합물, 폼알데하이드 등이고, 입자상 오염물질은 미세먼지와 꽃가루(pollen), 세균(bacteria), 진균(fungi) 및 일부 원생동물(protozoa)의 포자(spores), 식물 조각, 상피조직(epithelium tissue), 바이러스(viruses) 등의 생물학적 인자가 있다.<sup>6)</sup> 최근 가스상 오염물질은 현황 파악 및 관리가 한계에 이르렀다. 또한, 생물학적 오염물질에 노출시 피부 및 호흡기 계통에 감염성 질환과 과민성질환이 발생한다고 보고되고 있다. 다른 유해인자와 달리 생물학적 인자는 생물체의 종이 다양하고 돌연변이가 발생하며 생물활성(bioactivity)을 가지고 있으므로 측정이나 평가방법이 매우 어렵고 노출기준 설정을 위한 기초자료도 매우 부족하다.<sup>7,8)</sup> 이에 따라 실내공기에 대한 관심이 가스상 오염물질에서 입자상 오염물질 중 생물학적 오염물질로 이동하고 있다.

환경부는 기존의 지하생활공간 공기질 관리법을 2003년 5월 다중이용시설 등의 실내공기질관리법(2004년 5월 시행)으로 개정하여 다중이용시설 및 신축공동주택 등을 관리하고 있으며, 고용노동부의 산업안전보건법, 교육과학기술부의 학교보건법, 보건복지부의 공중위생법 등으로 학교와 사무실 및 공중위생시설 등을 관리하고 있다. 우리나라 실내공기질 관리항목 및 유지기준에서 총부유세균을 800 CFU/m<sup>3</sup>로 정하고 있으나, 일부다중이용시설과 위생시설은 총부유세균 기준을 정하지 않고 있다. 또한 천식(asthma), 알레르기(allergy), 아토피(atopy) 등 환경성 질환의 원인으로 추정되는 부유진균을 관리하고 있지 않다.<sup>9,12)</sup> 국외의 경우 홍콩 1,000 CFU/m<sup>3</sup>, 싱가포르 500 CFU/m<sup>3</sup>로 비슷한 수준을 보이거나 대부분 기준이 없다.<sup>13-15)</sup> 국내 일부 시설에 대한 기준의 부재와 필요에 따른 산발적 수행으로 현재까지 국내에서 수행된 연구의 수는 매우 부족하다. 더욱이 국내 공공시설에서의 실내공기질에 대한 연구를 수집·정리한 논문이 거의 없어 일부 공공시설에 연구가 치중되는 현상이 지속되고 있으며, 장소별 평균 오염수준 및 기준 유무를 확인하기 어렵다.

본 연구는 국내에서 기존에 수행된 다중이용시설 등 다양한 공공장소에서 실내공기 중 생물학적 오염물질을 연구한 것을 수집하고 재분석함으로써 국내

측정동향과 건물이용특성에 따른 분포현황을 파악하였다. 이를 통해 국내 실내공기 중 세균과 진균에 대한 연구 수행에 자료를 제공하고 향후 국내 부유미생물에 대한 측정방안 제시 및 실내공기질 기준, 가이드라인 설정 및 관리방안 수립 등으로 활용하는데 기여하고자 수행하였다.

## II. 연구방법

### 1. 자료수집

최근에 수행된 총부유세균과 진균에 관한 연구자료 수집은 교육과학기술부 출연기관 한국교육학술정보원이 제공하는 학술연구정보서비스(<http://www.riss.kr/>) 중 국내학술지논문검색 및 학위논문검색, 한국학술정보(주)가 제공하는 학술데이터베이스(<http://kiss.kstudy.com/>) 중 학술지검색, 누리미디어가 제공하는 국내학술논문 전문 DB(<http://www.dbpia.co.kr/>) 중 DBPIA 학술논문검색, 그리고 구글 학술검색사이트(<http://scholar.google.co.kr/>)를 이용하여 문헌 선정조건을 설정하고 본 연구 목적에 적합한 연구논문을 선정하여 기초자료를 수집하였다.

본 연구 수행을 위해 문헌 검색어로 '미생물', '생물학적 인자', '세균', '진균', '곰팡이', '총부유세균', '대장균', '황색포도상 구균', '포도상 구균' 등 총부유세균 및 진균을 나타내는 단어와 측정 장소를 실내로 제한하기 위해 '실내공기'를 조합하였다. 선별한 문헌들 중 다음과 같은 요건을 가진 것을 선정하였다. 첫째, 2000년 이후에 국내 학회지에 발표한 연구논문 및 학위논문, 둘째, 국내에서 수행된 연구논문 및 학위논문, 셋째, 선정된 논문의 주제가 본 논문 주제와 일치하는 논문, 넷째, 결과간의 오차를 피하기 위해 측정방법으로 총돌법을 이용한 논문이다.<sup>16)</sup>

### 2. 자료취합 및 분석

다양한 연구 설계에 의해 측정된 부유세균과 부유진균에 대한 자료를 조사연도, 측정 장소, 발표연도, 측정방법 등으로 구분하여 국내 연구 동향을 파악하였다. 총부유세균은 측정 장소별로 분류하여 측정결과에 평균 농도를 나열하고 법정 기준과 비교하여 초과 정도를 확인함으로써 우선적으로 관리가 필요한 대상 장소를 선정하는데 활용할 수 있도록 하

었다. 기타부유세균은 연구별로 분류하였으며 부유진균은 측정 장소별로 분류하여 측정결과에 평균 농도를 나열하였다. 측정결과는 소수점 이하의 경우 반올림하여 정수를 사용하였으며 반복 측정한 수치를 제시한 경우는 산술평균으로 기재하였다. 통계학적 분석은 SPSS(Ver. 12.0) 프로그램을 이용하였다. 장소별 농도수준을 비교하기 위해 빈도분석을 통한 정규분포성을 확인하고 비정규분포하는 자료에 대해 자료 변환을 통해 정규분포성을 확인한 후 변환된 자료로 독립 t-검정 및 일원분산분석(one-way ANOVA) 등을 수행하였으며, 각 요소들 간의 차이를 확인하기 위해 Kruskal-Wallis 검정 후 Mann-Whitney 검정을 실시하였다.

### III. 연구결과

#### 1. 국내 부유세균 연구 현황

실내공기 중 총부유세균 논문은 총 36개로 주로 학교, 병원, 유치원 등 환자, 청소년, 영유아 등 민감군이 장시간 생활하는 장소에서 연구가 이루어졌다. 총부유세균에 대한 연구를 포집 장소별로 분류하여 Table 1에 나타내었다.<sup>17-52)</sup> 병원과 학교의 결과는 대표성이 있다고 생각되는 지점의 측정결과를 채택하였다.

연구별로 측정 지점의 개수가 달라서 비교하기 어려우나 5% 절삭평균은 508 CFU/m<sup>3</sup>로 대부분의 다중이용시설 및 주택, 학교, 사무실, 위생시설 등에서

Table 1. Total suspended bacteria concentration in Public facilities air of South Korea

Sampling site	Sampling period	Study	Result (CFU/m <sup>3</sup> )	
School	2003	Sohn <i>et al.</i> (2003)	1,053	
	2004	Sohn <i>et al.</i> (2005)	1,737	
	2004	Kim (2007)	2,177	
	2004-2005	Sohn <i>et al.</i> (2006)	864	
	2004-2005	Lee <i>et al.</i> (2005)	253	
	2005	Kim <i>et al.</i> (2007)	1,959	
	2006-2007	Chung <i>et al.</i> (2007)	201	
	2006-2007	Park <i>et al.</i> (2007)	168	
	2007	Cho <i>et al.</i> (2008)	601	
	2008	Kim <i>et al.</i> (2009)	550	
	2007-2008	Kim (2010)	474	
	2008	Jung <i>et al.</i> (2010)	513	
	2009	Jung (2010)	698	
	Hospital	1991-2001	Kim <i>et al.</i> (2002)	554
		2002-2003	Lee <i>et al.</i> (2004)	303
2003		Song <i>et al.</i> (2007)	425	
2004		Kim <i>et al.</i> (2005)	456	
2004		Lee <i>et al.</i> (2005)	404	
2004		Kim <i>et al.</i> (2006)	372	
2004-2005		Seo <i>et al.</i> (2006)	194	
2008		Sim (2009)	227	
2009		Lee <i>et al.</i> (2010)	273	
Kindergarten		2002-2003	Hwang <i>et al.</i> (2003)	827
	2002-2003	Lee <i>et al.</i> (2004)	838	
	2003	Park <i>et al.</i> (2004)	1,800	
	2004	Kim <i>et al.</i> (2005)	430	
	2004	Kim <i>et al.</i> (2007)	44,458	
	2004-2005	Park <i>et al.</i> (2006)	2,709	
	2004-2005	Sohn <i>et al.</i> (2006)	1,320	

Table 1. Continued

Sampling site	Sampling period	Study	Result (CFU/m <sup>3</sup> )
Subway station	1991-2001	Kim <i>et al.</i> (2002)	711
	2000	Chung <i>et al.</i> (2001)	390
	2002-2003	Lee <i>et al.</i> (2004)	229
	2004	Kim <i>et al.</i> (2005)	504
	2004-2005	Kim <i>et al.</i> (2006)	171
	2004-2005	Park <i>et al.</i> (2006)	1,362
	2009	Lee <i>et al.</i> (2010)	112
Apartment/house	2000	Chung <i>et al.</i> (2001)	420
	2002-2003	Lee <i>et al.</i> (2004)	619
	2004	Kim <i>et al.</i> (2005)	484
	2004	Lim <i>et al.</i> (2005)	638
Children care center	2008	Jang (2009)	2,052
	2009	Lee <i>et al.</i> (2010)	456
	2009	Moon <i>et al.</i> (2010)	1,014
	2009	Park (2010)	175
Large store/shopping center	2000	Chung <i>et al.</i> (2001)	150
	2004	Kim <i>et al.</i> (2005)	206
	2009	Lee <i>et al.</i> (2010)	180
	2004-2005	Park <i>et al.</i> (2006)	520
Office	1991-2001	Kim <i>et al.</i> (2002)	44
	2002-2003	Lee <i>et al.</i> (2004)	256
	2004	Roh <i>et al.</i> (2004)	203
	2006	Kim <i>et al.</i> (2008)	426
Underground shopping center	1991-2001	Kim <i>et al.</i> (2002)	450
	2000	Chung <i>et al.</i> (2001)	314
	2004	Kim <i>et al.</i> (2005)	487
	2004-2005	Park <i>et al.</i> (2006)	1,118
	2009	Lee <i>et al.</i> (2010)	54
Indoor parking	2004	Kim <i>et al.</i> (2005)	200
	2009	Lee <i>et al.</i> (2010)	54
Library	2002-2003	Lee <i>et al.</i> (2004)	286
	2004-2005	Park <i>et al.</i> (2006)	839
Steamer room	2004	Kim <i>et al.</i> (2005)	278
	2009	Lee <i>et al.</i> (2010)	625
Singing room	2001	Chung <i>et al.</i> (2003)	255
	2004	Kim <i>et al.</i> (2005)	407
Terminal	2002-2003	Lee <i>et al.</i> (2004)	165
	2004-2005	Park <i>et al.</i> (2006)	633
Theater	1991-2001	Kim <i>et al.</i> (2002)	262
	2002-2003	Lee <i>et al.</i> (2004)	113
Bookstore	1991-2001	Kim <i>et al.</i> (2002)	324
Building	2000	Chung <i>et al.</i> (2001)	75
Educational institution	1991-2001	Kim <i>et al.</i> (2002)	55
Museum	2002-2003	Lee <i>et al.</i> (2004)	119
PC room	1991-2001	Kim <i>et al.</i> (2002)	55
Restaurant	2002-2003	Lee <i>et al.</i> (2004)	390
Silver town	2002-2003	Lee <i>et al.</i> (2004)	62
Sports facility	2004-2005	Park <i>et al.</i> (2006)	206
Train station	2004-2005	Park <i>et al.</i> (2006)	574

기준을 초과하지 않았다. 그러나 일부 학교와 유치원, 보육시설에서 기준치를 초과하였다. 장소에 따라 총부유세균 농도는 차이가 있는 것으로 확인되었다 ( $p < 0.01$ ). 학교의 경우 14건 중 6건이 유지기준을 초과했으며, 유치원과 보육시설의 경우 12건의 논문 중 2건을 제외한 나머지에서 유지기준을 초과하는 것으로 나타났다. 또한, 일부 학교와 유아원에서는 기준치의 2.5배 이상의 농도를 나타내었다. 이 결과는 사무실과 비교했을 때 유의한 차이가 있다 ( $p < 0.05$ ). 따라서 학교와 유아원은 다른 시설에 비해 총부유세균의 농도가 높음을 확인할 수 있다. 또한, 일부 지하철, 지하상가, 도서관, 거주시설 등에서도 800 CFU/m<sup>3</sup>을 초과하였다. 일부 노인복지시설 및 산후조리원의 경우는 유지기준이 있음에도 연구가 거의 이뤄지고 있지 않아 현황 및 그 피해를 확인하기 어렵다.

기타부유세균을 가장 많이 측정된 장소는 병원으로 민감균의 왕래가 많은 장소이나 연구가 부족해 유의성을 파악하기 어렵다. 그람음성균은 Table 2와 같이 유치원과 병원에서 각각 370, 243 CFU/m<sup>3</sup>로 나타났고 포도상구균은 평균 195 CFU/m<sup>3</sup>, 폐렴간균 2 CFU/m<sup>3</sup>로 나타났다.<sup>31,33,38,41,52</sup> 기타부유세균농도는 지하철과 지하쇼핑센터 등 지하공간에서 대체로 높

게 나타났으나 법적인 규제가 없고 연구의 수가 부족해 유의성을 파악하는 데 어려움이 있다.

## 2. 국내 부유진균 연구 현황

부유진균을 측정된 논문은 총 19개로 측정 장소 및 그 결과에 따라 Table 3과 같이 정리하였다.<sup>23,31-36,40,41,43,44,46,48,51-56</sup> 부유진균에 대한 연구는 병원에서 가장 많고 아파트 및 거주 지역, 지하철, 유치원 등의 순으로 이루어졌다. 이 장소들은 다른 다중이용시설에 비해 상대적으로 부유진균농도가 높은 것으로 확인되었다 ( $p < 0.05$ ). 부유진균의 농도가 가장 높은 곳은 1,100 CFU/m<sup>3</sup>을 나타낸 유치원으로써 민감균이 장시간 생활하는 공간이다. 그러나 장소와 부유진균간의 상관관계는 유의하지 않은 것으로 나타났다 ( $p > 0.05$ ).

## IV. 고 찰

이번 연구설계에 의해 수집된 국내 총부유세균에 대한 논문은 총 36개로 다른 실내공기오염물질에 비해 연구가 매우 부족하다. 또한 이 자료 중 대부분은 가스상 오염물질을 연구할 때 부수적으로 이루어

**Table 2.** Airborne bacteria concentration in Public facilities air of South Korea

Kind of Bacteria	Study	Sampling period	Season	Sampling site	Result (CFU/m <sup>3</sup> )
GNB*	Park <i>et al.</i> (2004)	2003	7~10	Kindergarten	370
	Song <i>et al.</i> (2007)	2003	10~11	Hospital	74
	Sim (2009)	2008	7~8	Hospital	243
Staph.†	Kim <i>et al.</i> (2002)	1991-2001	10~11, 11, 3~4, 1~2, 10~2, 5~6	Hospital	233
				Subway station	502
				Office building	41
				Underground shopping center	373
				Bookstore	178
				Department store	233
				Sports facility	14
				Educational institution	14
				Theater	170
				Singing room	2
Pneumoniae‡	Chung <i>et al.</i> (2003)	2001	3~4	Singing room	2

\*Gram Negative Bacteria

†*Staphylococcus*

‡*Klebsiella pneumoniae*

**Table 3.** Airborne fungi concentration in Public facilities air of South Korea

Sampling site	Sampling period	Study	Result (CFU/m <sup>3</sup> )
Hospital	1991-2001	Kim <i>et al.</i> (2002)	252
	1998	Cho <i>et al.</i> (2000)	188
	2002-2003	Lee <i>et al.</i> (2004)	6
	2003	Song <i>et al.</i> (2007)	12
	2004	Kim <i>et al.</i> (2005)	64
	2004	Lee <i>et al.</i> (2005)	156
	2004	Kim <i>et al.</i> (2006)	156
	2004	Park <i>et al.</i> (2006)	382
	2004	Hwang (2009)	63
Kindergarten	2002-2003	Hwang <i>et al.</i> (2003)	661
	2002-2003	Lee <i>et al.</i> (2004)	66
	2003	Park <i>et al.</i> (2004)	1,100
	2004	Kim <i>et al.</i> (2005)	148
	2004	Park <i>et al.</i> (2006)	536
Subway	2004-2005	Park <i>et al.</i> (2006)	1,091
	1991-2001	Kim <i>et al.</i> (2002)	122
	2000	Chung <i>et al.</i> (2001)	85
	2002-2003	Lee <i>et al.</i> (2004)	378
	2004	Kim <i>et al.</i> (2005)	89
Apartment/house	2004-2005	Park <i>et al.</i> (2006)	350
	2004	Hwang (2009)	60
	1999	Kim <i>et al.</i> (2001)	603
	2000	Chung <i>et al.</i> (2001)	130
	2002-2003	Lee <i>et al.</i> (2004)	51
Large store/Shopping center	2004	Kim <i>et al.</i> (2005)	49
	2004	Lim <i>et al.</i> (2005)	598
	2000	Chung <i>et al.</i> (2001)	57
	2004	Kim <i>et al.</i> (2005)	47
Office	2004-2005	Park <i>et al.</i> (2006)	152
	2004	Hwang (2009)	37
	1991-2001	Kim <i>et al.</i> (2002)	32
	2000	Chung <i>et al.</i> (2001)	38
Underground shopping center	2002-2003	Lee <i>et al.</i> (2004)	25
	2006	Kim <i>et al.</i> (2008)	234
	1991-2001	Kim <i>et al.</i> (2002)	220
	2000	Chung <i>et al.</i> (2001)	117
Children care center	2004	Kim <i>et al.</i> (2005)	75
	2004-2005	Park <i>et al.</i> (2006)	324
Day-care center	2004	Hwang (2009)	16
	2009	Moon <i>et al.</i> (2010)	144
Library	2004	Park <i>et al.</i> (2006)	334
	2004	Hwang (2009)	62
Library	2002-2003	Lee <i>et al.</i> (2004)	238
	2004-2005	Park <i>et al.</i> (2006)	132

Table 3. Continued

Sampling site	Sampling period	Study	Result (CFU/m <sup>3</sup> )
Singing room	2001	Chung <i>et al.</i> (2003)	17
	2004	Kim <i>et al.</i> (2005)	77
Terminal	2004	Hwang (2009)	26
	2004-2005	Park <i>et al.</i> (2006)	177
Theater	1991-2001	Kim <i>et al.</i> (2002)	139
	2002-2003	Lee <i>et al.</i> (2004)	13
Bookstore	1991-2001	Kim <i>et al.</i> (2002)	68
Educational institution	1991-2001	Kim <i>et al.</i> (2002)	43
Indoor parking	2004	Kim <i>et al.</i> (2005)	229
Museum	2002-2003	Lee <i>et al.</i> (2004)	19
PC room	2004-2005	Park <i>et al.</i> (2006)	151
Postpartum nurse center	2004	Park <i>et al.</i> (2006)	371
Restaurant	2004	Kim <i>et al.</i> (2005)	85
School	2005	Kim <i>et al.</i> (2007)	161
Sports facility	1991-2001	Kim <i>et al.</i> (2002)	47
Steamer room	2004	Kim <i>et al.</i> (2005)	67
Train station	2004-2005	Park <i>et al.</i> (2006)	397

졌다. 부유진균의 경우 19건의 연구가 이루어졌으며 이 중 15건이 총부유세균과 함께 연구된 것으로 부유진균 역시 단일 연구가 부족한 것으로 사료된다.

본 연구는 문헌선정조건으로 수집범위를 제한하여 주변 환경에 따라 변화하는 세균 및 진균의 종류와 번식 수준의 차이를 제어하고 세균 포집법 및 세균 배양방법과 다른 균의 증식으로 인한 오차를 감소시켰다.<sup>57)</sup> 분석 장비 종류에 의한 오차는 측정방법이 같은 경우 배제할 수 있을 것으로 사료된다. 같은 종류의 배지의 경우 배지 제조사에 따른 유의한 차이가 없기 때문에 배지에 의한 오차는 제외해도 무방하며 배지 보관 온도 조건 및 보관 시간대에 의한 부유세균의 농도 차이 역시 통계적으로 유의하지 않은 것으로 보고되고 있다. 배양기에 투입할 때까지 소요되는 시간에 의한 오차는 6시간일 때 80%의 초기 농도 재현율을 보여주므로 미생물 측정시 운반시간을 최소화함으로써 실내공기 중 실제 미생물 농도를 재현할 수 있을 것으로 판단된다.<sup>58)</sup>

이번 연구에서 총부유세균 농도가 기준치를 초과하는 장소는 학교, 유치원, 지하상가 등과 같이 대부분 체류시간이 긴 장소이다. 특히, 유치원과 어린이집의 경우 총부유세균의 농도가 다른 다중이용시설보다 50배까지 높게 나타났다. 이 차이는 유치원

일부 시설의 기계 성능을 초과했던 연구를 제외한 결과로 기계 성능을 초과했던 결과를 고려하면 오염 수준이 굉장히 심각할 것으로 보인다. Kim 등(2007)의 연구 결과에 의하면 유치원의 실내공기오염은 심각한 수준을 넘어 당장의 조치가 필요한 것으로 사료된다. 어린이 및 청소년의 경우 성장 발달 중으로 미성숙한 몸과 조직, 그리고 약한 면역체제로 인해 오염물질에 더욱 민감하며, 체중에 비해 다량의 공기, 물 및 음식을 섭취하고 성인에 비해 활동량이 많기 때문에 총부유세균 등으로 인한 피해가 더 크다.<sup>59)</sup> 2010년 기준으로 유치원생과 초·중·고등학생은 각각 54만명과 723만명으로 우리나라 총인구 4,941만명의 15.7%를 차지하며, 유치원 8,388개교, 초·중·고등학교 총 11,237개교(분교 제외)가 있다.<sup>60,61)</sup> 본 연구에 의하면 학교와 유치원, 어린이집에서의 논문은 24건으로 인구 규모와 그 피해에 비해 부족하다.

부유진균은 미국의 경우 법으로 규제하지 않으나 가이드라인과 대규모의 연구를 통해 관리하고 있다.<sup>62,63)</sup> 미국의 산업안전보건청(OSHA; Occupational Safety and Health Administration)에서는 오염의 지표로 1,000 CFU/m<sup>3</sup>를 제시하고 있으며, 미국 산업위생사협회(ACGIH; American Conference of

Governmental Industrial Hygienists)는 200 CFU/m<sup>3</sup>, 미국 공중보건서비스청(United States Public Health Service)은 권고 기준(recommended guideline)으로 200 CFU/m<sup>3</sup>을 제시하였다.<sup>64-66</sup> 그 밖에도 미국 환경청 홈페이지에 구체적인 제어 방안을 게시함으로써 국민 참여를 유도하여 적극적인 실내공기질관리를 하고 있다.<sup>67</sup> 캐나다 보건부(Health Canada)는 적절하지 못한 환기상태를 의미하는 실내 곰팡이 수준으로 500 CFU/m<sup>3</sup>을 제시하였으며, WHO와 싱가포르의 실내 공기질 권고 기준 역시 500 CFU/m<sup>3</sup>이다.<sup>68</sup> Pastuszka 등은 곰팡이가 많은 가정에서의 진균의 농도를 834 CFU/m<sup>3</sup>로 건강한 가정과 사무실의 225 CFU/m<sup>3</sup>, 245 CFU/m<sup>3</sup>에 비해 3배 이상 높다고 보고했다.<sup>69</sup> 따라서 국내 부유진균의 기준으로 500 CFU/m<sup>3</sup>을 제시할 수 있다.

이 연구에서 수집한 부유진균 결과 중 주택이나 유치원의 일부 농도가 500 CFU/m<sup>3</sup>을 초과한다. 이는 건강한 가정이나 사무실에 비해 상당히 높은 수치의 결과로 곰팡이가 많은 가정과 유사한 경향성을 보이며 기준으로 제시한 500 CFU/m<sup>3</sup>을 초과하였다. 특히 일부 유치원의 부유진균 농도는 1,000 CFU/m<sup>3</sup>을 초과하는 수치로 유아들이 부유진균에 심각한 수준으로 노출되고 있는 것으로 사료된다. 유아의 높은 활동특성과 생체활성특성에 따라 동일한 농도에 노출된 성인에 비해 더 큰 영향이 있을 것으로 예측되며 노출시간 및 노출빈도가 높은 편이기에 유치원에 대한 개선대책 마련이 시급하다.

본 연구에 의하면 생물학적 인자에 대한 연구의 대부분이 총부유세균 및 진균의 정량평가에 치중되어 있고 그 종류를 규명하는 정성평가는 미흡하다. 세균 및 진균의 경우 그 종이 다양하며 종에 따라 유해정도가 다르다. 유해한 균에 노출 시 피부<sup>70</sup>나 호흡기 계통에 감염성 질환(infectious disease)과 과민성 질환(hypersensitivity disease) 등이 야기된다. 본 연구에서 포도상구균은 지하공간에서 주로 발견되었는데 지하철이나 지하쇼펜터 등은 불특정 다수의 사람이 활동하는 공간이고 공기 순환이 어려워 큰 피해로 발전하기 쉽다. 포도상구균은 화농성 질환과 식중독 등 위생의 지표이며 최근 천식, 아토피 등 면역계 질병과의 상관성에 대한 연구가 보고되고 있어 주의가 필요하다. 또한, 약물 과용, 과도한 위생 관리 등에 의하여 면역력이 약해짐에 따라 쉽게

감염되기 쉬우며 methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*, vancomycin-resistant *Staphylococcus aureus* 등 항생제 내성균이 발생하여 문제가 되고 있다. 따라서 Kim의 연구와 같이 연구설정단계부터 국내에서 많이 발견되는 종류의 세균 및 진균을 중심으로 배지를 분류하고 선택적으로 포집하여 분리 배양하고<sup>8)</sup> 콜로니 수를 통해 노출수준을 바로 파악하여 추후 생물화학적 감별 및 확정시험을 통해 인체 위해성 평가를 실시함으로써 부유세균 및 부유진균으로 인한 인체 영향을 좀 더 신속하고 정확하게 알 수 있을 것으로 사료된다.

## V. 결 론

본 연구는 국내에서 시행된 실내공기 중 생물학적 오염물질에 관한 연구 현황을 파악하기 위해 2000년 이후 국내에 발표된 부유세균 및 부유진균에 관한 논문을 수집하여 재분석하였다. 그 결과 국내 연구는 국부적이거나 제한적으로 시행되는 경향을 보였다. 대부분 '다중이용시설등의 실내공기질관리법'의 시행규칙에서 제시한 미세먼지, 휘발성유기화합물, 폼알데하이드 등을 연구할 때 부수적으로 조사되었으며 총부유세균, 부유진균 등 단일항목에 대한 연구는 미미한 실정이다. 의료기관과 보육시설 등 일부 시설에서 주로 시행되었으며 학교, 유치원, 어린이집 등에서 기준을 초과하였다.

따라서 장소 특성에 따른 발생원 파악 및 관리가 필요하며 포집방법 및 포집배지 단일화 등 측정방법 표준화를 통해 재현도를 높이고 세균 종류에 따라 배지를 분류·포집하여 신속성을 확보해야 한다. 또한, 총부유세균 및 진균의 농도가 높게 나타나는 학교, 유치원, 보육시설, 병원 등에 추가적인 연구 및 대책마련이 시급하며 연구결과가 부족한 노인복지시설이나 산후조리원 등에 추가적인 연구가 필요하다.

또한, 독성평가와 용량-반응 평가 등의 위해성평가를 통해 경제·사회·공학적인 기술력을 고려한 부처별 통합 기준을 마련해야 하며 국내 현황과 국외 기준을 참고하여 부유진균의 기준으로 500 CFU/m<sup>3</sup>을 제정해야 한다. 이를 위해 국내현황 연구를 축적해야 필요하다.

본 연구를 통해 국내 다중이용시설 및 주택, 사무실, 학교, 위생시설 등의 실내공기 중 생물학적 오



염물질에 대한 연구와 정책수립 및 평가에 기초 자료를 제공하였으며, 그 필요성을 제시하였다는데 의의가 있다.

### 참고문헌

1. Park KS, Choi SG, Hong JK. The study on the distribution of indoor concentration of microorganism in commercial building. *International Journal of Air-Conditioning and Refrigeration*. 2006; 18(8): 620-626.
2. Kim SD. Distribution Characteristics of Bioaerosol in Indoor Air of Apartments, Korea University Graduate school. Seoul; 2011.
3. Ministry of Environment. Available: [http://www.me.go.kr/common/board/fileDownload.do?boardId=notice\\_02&idx=179065&fileIndex=0&isFileDownload=true](http://www.me.go.kr/common/board/fileDownload.do?boardId=notice_02&idx=179065&fileIndex=0&isFileDownload=true) [accessed 28 February 2012].
4. Ministry of Environment. Available: [http://www.me.go.kr/common/board/fileDownload.do?boardId=notice\\_02&idx=178041&fileIndex=0&isFileDownload=true](http://www.me.go.kr/common/board/fileDownload.do?boardId=notice_02&idx=178041&fileIndex=0&isFileDownload=true) [accessed 28 February 2012].
5. Indoor air quality control in public use facilities, etc. act. (Amended by Act No. 10789, 2011. 6. 7), Article 2(3).
6. Annalee Y, Tord K, Theo DK, Tee LG. Basic Environmental Health, Oxford; 2001. p.52-103.
7. Lee CM, Trend of study on suspended microorganism in Korea. *Journal of Korean Society for Indoor Environment*, 2007; 4(1): 59-71.
8. Moon KW. Exposure assessments on biological contaminants in homes of allergy patients - bacteria, fungi, house dust mite allergen and endotoxin. *Kor J Environ Hlth*. 2005; 31(2): 120-126.
9. Enforcement Rule of the Indoor Air Quality Control in Public Use Facilities, etc. act. (Amended by Act No. 10789, 2011. 6. 7), attached Table 2, Table 3.
10. Occupational Safety and Health Act (Amended by Act No. 10968, Aug. 7, 2009)
11. Enforcement Rule of the School Health Act (Partial Amended by Ordinance of the Ministry of Education, Science and Technology No. 12, Aug. 4, 2008), attached Table 4-2.
12. Enforcement Rule of the Public Health Control Act (Amended by Ordinance of the Ministry for Health, Welfare and Family Affairs No. 43, Feb. 10, 2011), attached Table 6.
13. Kim KH. A Study on Measurement of Classroom Air Quality of Elementary, Middle and High schools. [Seoul]: The Graduate School of Chunang University; 2010.
14. Lee YJ. Trends in domestic and abroad about new house syndrome regarding indoor air quality. New house and new car syndrome relates to the degree of exposure monitoring results and countermeasures symposium, 2006, KESP, 33.
15. Chung YH, Hong JB, Chang YH. A study on the microbial air pollution of urban living and indoor environment. *Kor J Environ Hlth Soc*. 2001; 27(2): 1-9.
16. Indoor Air Quality Testing Methods and Standards, No. 2004-80, Ministry of Environment.
17. Sohn JR, Byeon SH, Kim YH, Kim JH, Cho YS, Lee JY, et al. Assessment of conscious cognition degree and survey on the indoor air quality at a public school in seoul. *Korean J. Sanitation*. 2003; 18(3): 101-110.
18. Sohn JR, Kim JH, Lee YS, Yoon SU, Choi HY, Kim YS, et al. The assessment and recognition on indoor air quality at schools in Korea. *Korean J. Sanitation*. 2005; 20(3): 1-9.
19. Kim YD. Measurement of classroom air quality in large cities in summer. *Journal of the Korean Solar Energy Society*. 2007; 27(1): 63-74.
20. Sohn JR, Roh YM, Son BS. The assessment of survey on the indoor air quality at schools in Korea. *Kor J Environ Hlth*. 2006; 32(2): 140-148.
21. Sohn JR, Yoon SW, Kim YS, Roh YM, Lee CM, Son BS. A survey on the indoor air quality of some school classrooms in Korea. *Journal of Korean Society for Indoor Environment*. 2006; 3(1): 54-63.
22. Lee AM, Kim NY, Kim SY, Kim JS. Distribution and characteristics of airborne microorganisms in indoor environment of schools. *Korean J Microbiol*. 2005; 41(3): 188-194.
23. Kim NY, Kim YR, Kim MK, Cho DW, Kim JS. Isolation and characterization of airborne bacteria and fungi in indoor environment of elementary schools. *The Korean J. Microbiol*. 2007; 43(3): 193-200.
24. Chung MH, Jung SM, Kim MY, Kim GW, Park JC. A field survey of indoor air environment of schools. *International Journal of Air-Conditioning and Refrigeration*. 2007; 19(12): 865-873.
25. Park JY, Kim SU. Study of correlation between bioaerosol and indoor environmental factors in elementary school classroom. *Architectural Institute of Korea*. 2007; 27(1): 829-832.
26. Cho TJ, Choi HS, Jeon YT, Lee CW, Lee JD, Jou HM. The study of indoor air quality at schools in

- Chung-Nam area. *J. Environ. Sci.* 2008; 17(5): 501-507.
27. Kim HJ, Kim SS, Lee KS, Jung SK, Cho JK. A survey on the indoor air quality of some schools in goyang city. *J Korea Society of Environmental Administration.* 2009; 15(2): 85-90.
  28. Kim KH. A Study on Measurement of Classroom Air Quality of Elementary, Middle and High Schools. [Seoul]: The Graduate School of Chungang University; 2010.
  29. Jung JH, Seo BS, Ju DJ, Park MC, Shon BH, Phee YG. Assessment of the indoor air quality at schools in ulsan. *J Environ Hlth Sci.* 2010; 36(6): 472-479.
  30. Jung YH. Assessment and Control Guideline for Indoor Air Quality of School Buildings. [Seoul]: The Graduate School of Hanyang University; 2010.
  31. Kim YS, Lee EG, Yup MJ, Kim KY. Distribution and classification of indoor concentration of microorganisms in public buildings. *J Environ Health Sci.* 2002; 28(1): 85-92.
  32. Lee CM, Kim YS, Kim KY, Kim JC, Jun HJ. Characterization of airborne bioaerosol concentration in public facilities. *Environ Sci.* 2004; 13(3): 215-222.
  33. Song JH, Min JY, Jo KA, Yoon YH, Paik NW. A study on airborne microorganisms in hospitals in seoul, Korea. *Kor J Environ Hlth.* 2007; 33(2): 104-114.
  34. Kim YS, Roh YM, Hong SC, Lee CM, Jun HJ, Kim JC. A survey of indoor air quality in public facilities. *Indoor Environment and Technology* 2005; 1(2): 144-155.
  35. Lee CR, Kim KY, Kim CN, Park DU, Roh JH. Investigation on concentrations and correlations of airborne microbes and environmental factors in the general hospital. *J Korean Soc Occup Environ Hyg* 2005; 15(1): 45-51.
  36. Kim KY, Lee CR, Kim CN, Won JU, R JH. Size-based characteristics of airborne bacteria and fungi distributed in the general hospital. *J Korean Soc Occup Environ Hyg.* 2006; 16(2): 101-109.
  37. Seo BR, Jeong MH, Jeon JM. Indoor air quality in various type of public facilities at honam province. *Environ Hlth,* 2006; 32(5): 387-397.
  38. Sim IS. Distribution on Species and Concentration of Bacteria and Endotoxin in Hospital. [Seoul]: The Graduate School of Hanyang University; 2009.
  39. Lee DH, Lee SH, Bae SJ, Kim NH, Park KS, Kim DS, et al. The concentration of indoor air quality and correlations of materials at multiple-use facilities in gwangju. *J KSEE.* 2010; 32(11): 1001-1010.
  40. Hwang KH, Lee AM, Shin HJ, Kim JS. Seasonal Monitoring of airborne microbial concentrations in kindergartens. *The Korean J Microbiol.* 2003; 39: 253-259.
  41. Park DU, Jo KA, Yoon CS, Han IY, Park DY. Factors influencing airborne concentration of fungi, bacteria and gram negative bacteria in kindergarten classroom. *Kor J Environ Hlth,* 2004; 30(5): 440-448.
  42. Kim UD, Lim SY. Measurement of indoor air quality in a kindergarten. *Korean Institute of Educational Facilities.* 2007; 14(1): 52-57.
  43. Park KS, Choi SG, Hong JK. The study on the distribution of indoor concentration of microorganism in commercial building. *International Journal of Air-Conditioning and Refrigeration.* 2006; 18(8): 620-626.
  44. Chung YH, Hong JB, Chang YH. A study on the microbial air pollution of urban living and indoor environment. *Kor J Environ Hlth Soc.* 2001; 27(2): 1-9.
  45. Kim KY, Park JB, Kim CN, Lee KJ. Assessment of airborne bacteria and particulate matters distributed in seoul metropolitan subway stations. *Kor J Environ Hlth.* 2006; 32(4): 254-261.
  46. Lim MJ, Lee SM, Sung MK, Kim SD. A field study on the concentration of formaldehyde, TVOC and suspended microbes in apartment building. *J Korean Soc Atmos Environ.* 2005; 11: 545-547.
  47. Jang MS. Measuring and Improving Methods for Indoor Air Quality in Childcare Centers. [Seoul]: The Graduate School of Hanyang University; 2009.
  48. Moon HJ, Kim SK, Ryu SH, Choi MS. A study on improvement strategies of indoor air microorganisms in children's center. *Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building System.* 2010; 189-192.
  49. Park JH. A Study on the Field Survey of the IAQ in the Child Care Center. [Seoul]: The Graduate School of Chungang University; 2010.
  50. Rho YM, Lee CM, Kim SW, Kim CN, Kim HW, Cho KH. A study on the characteristics of indoor air quality in office and subjective symptoms of office workers. *J Korean Soc Occup Environ Hyg.* 2004; 14(3): 270-282.
  51. Kim KY, Roh YM, Kim YS, Lee CM, Sim IS. Profile of airborne microorganisms distributed in general offices. *J Korean Soc Occup Environ Hyg.* 2008; 18(1): 11-19.
  52. Chung HH, Chang YH. Microbial Air Pollution of Places for Singing Located in Seoul, Korea. *J Nat Sci.* 2003; 22: 1-5.

53. Cho HJ, Hong KS, Kim JH, Kim HW. Assessment of airborne bioaerosols among different areas in the hospitals. *Korean Ind Hyg Assoc J.* 2000; 10(1): 115-125.
54. Hwang YK. Indoor Air Concentrations of Fungus and Yeast Its Identification in Public Facilities. [Seoul]: The Graduate School of Catholic University; 2009.
55. Park JB, Kim KY, Jang GY, Kim CY, Lee KJ. Size distribution and concentration of airborne fungi in the public facilities. *Kor J Environ Hlth.* 2006; 32(1): 36-45.
56. Kim CH, Choi JY, Shon MH, Lee KE, Kim KE, Lee KY. Distribution of fungus spores in the air of Outdoor and Indoor Environments from September to November 1999 in Seoul, Korea. *Korean J Asthma Allergy Clin Immunol.* 2001; 21(5): 970-976.
57. Lee JH. Bacterial culture and antibiotics susceptibility testing. *Animal Clinical Med J.* 2010; 8(4): 10-14.
58. Kim KY, Jang GY, Park JB, Kim CN, Lee KJ. Evaluation of impactor's collection efficiency on airborne bacteria by type of agar media and storage condition. *Kor J Environ Hlth.* 2007; 33(2): 145-149.
59. Koh YJ. Childrens' health risk assessment on indoor hazardous air pollutants of preschool facility. *J Environ Hlth Sci.* 2009; 35(2): 78-85.
60. Center for Education Statistics. Basic Educational Statistics. Available: [http://cesi.kedi.re.kr/Bi\\_Report/KEDI\\_ES/MHT/P\\_ES\\_PS\\_ST\\_0002/P\\_ES\\_PS\\_ST\\_0002\\_L.mht](http://cesi.kedi.re.kr/Bi_Report/KEDI_ES/MHT/P_ES_PS_ST_0002/P_ES_PS_ST_0002_L.mht) [accessed 28 February 2012].
61. Statics Korea. Available: [http://kosis.kr/gen\\_etl/start.jsp?orgId=101&tblId=DT\\_1B35001&conn\\_path=I2&path=NSI](http://kosis.kr/gen_etl/start.jsp?orgId=101&tblId=DT_1B35001&conn_path=I2&path=NSI) [accessed 5 September 2011].
62. A brief guide to mold, moisture and your home. Available: <http://www.epa.gov/mold/pdfs/moldguide.pdf> [accessed 5 September 2011].
63. Tsai FC, Macher JM. Concentrations of airborne culturable bacteria in 100 large US office buildings from the BASE study. *Indoor Air* 2005; 15(9): 71-81.
64. OSHA (Occupational Safety and Health Administration). OSHA Technical Manual; 1999.
65. American Conference of Governmental Industrial Hygienists. Available: <http://www.acgih.org> [accessed 5 September 2011].
66. The U.S. Public Health Service Commissioned Corps. Available: <http://www.usphs.gov> [accessed 5 September 2011].
67. United States Environmental Protection Agency, 2011. 12. 20. Available: <http://www.epa.gov/iaq/> [accessed 5 September 2011].
68. Tedd Nathanson, Indoor Air Quality in Office Building: A Technical Guide, Health Canada, Public Works and Government Services Canada, 1995; 1-57.
69. Pastuszka JS, Paw U, KT, Lis DO, Wlazlo A, Ulfig K. Bacterial and fungal aerosol in indoor environment in Upper Silesia, Poland. *Atmos Environ* 2000; 34: 3833-3842.
70. Baker BS. The role of microorganisms in atopic dermatitis, british society for immunology. *Clinical and Experimental Immunology*, 2006; 144: 1-9.