

## 학교 실내환경에서 공기중 미생물의 분포 및 특성

이아미 · 김나영 · 김소연<sup>1</sup> · 김종설\*

울산대학교 자연과학대학 생명과학부, <sup>1</sup>울산대학교 과학영재교육원

미생물학적 실내공기질을 평가하기 위하여, 울산에 위치한 중·고등학교 3 곳의 교실과 복도에서, 학기 중(수업 시간, 점심시간, 방과 후)과 방학 중 등 상황별로 공기중 미생물의 농도를 조사하였다. 미생물의 포집에는 충돌식 공기 채취기를 사용하였으며, 세균수는 plate count agar, 진균수는 dichloran rose bengal chloramphenicol agar를 사용하여 측정하였고, 이들 배지로부터 세균과 진균을 분리하여 동정하였다. 학기 중 세균 농도는 점심시간의 복도에서 평균 1,111 MPN/m<sup>3</sup>로 가장 높았고, 수업시간의 복도에서 평균 132 MPN/m<sup>3</sup>로 가장 낮았으며, 방학 중의 측정값은 교실과 복도에서 각각 학기 중 수업시간의 5%와 27% 수준이었다. 조사한 집락의 60%는 병원성과 관련이 적은 *Micrococcus* spp.로 동정되었고, *Staphylococcus* 속은 12%를 차지하였다. 학기 중 진균의 평균 농도는 상황별로 105~213 MPN/m<sup>3</sup>의 범위였으며, 방학 중의 측정값은 교실과 복도에서 각각 32 MPN/m<sup>3</sup>와 83 MPN/m<sup>3</sup>이었다. 공기중 진균의 집락으로부터 *Cladosporium* 속, *Penicillium* 속, *Aspergillus* 속 등을 확인할 수 있었으며, 언급한 3 속이 조사한 집락의 77%를 차지하였다. 연구의 결과는 학교 실내에서 학생수와 함께 활동성과 연관된 상황에 따른 세균 농도의 변이를 보여주었으며, 학교 환경에서 bioaerosol의 허용수준을 결정함에 있어 이를 고려해야 함을 제안하고 있다.

**Key words** □ airborne bacteria, airborne fungi, indoor air, school

### 서 론

실내 공기질의 중요성이 인식되면서 실내 환경에서 세균, 진균, 바이러스와 같은 미생물 오염에 대한 공중보건학적 관심도 증가하고 있다(1, 14). 공기중 미생물은 대부분 미세입자나 수증기에 부착한 상태인 bioaerosol 형태로 존재하며, 미생물의 농도도 대개 먼지를 포함한 bioaerosol의 농도와 관계가 깊다. 실내 환경은, 실외와 비교하여 외부 공기의 순환이 제한적이고 햇빛의 자외선에 대한 노출이 적어서 상대적으로 공기중 미생물의 장기간 생존이 가능하다(19). 주로 진균을 대상으로, 실내 생활환경의 미생물 분포에 대한 여러 연구 결과가 발표되고 있으며, 진균의 농도와 종 조성이 지역, 계절 및 다른 환경요인에 의해 영향을 받을 수 있음을 제안하고 있다(9, 13, 23, 25, 27).

공기중 미생물은 사람에게에 감염, 알레르겐으로서의 작용, 염증반응 초래, 독소로서의 작용 등을 통해 사람의 건강에 나쁜 영향을 줄 수 있으며, 학교에서의 실내 공기질은 학생의 건강뿐 아니라 간접적으로 학습효과에도 영향을 미칠 수 있다(1, 11, 12). 스웨덴에서 진행된 연구 결과는 학교 환경의 실내 공기질이 천식증세의 이환율에 영향을 미칠 수 있음을 제안하였으며, 학교 환경에서 공기중 미생물과 호흡기 증세의 이환율 사이의 연관성에 관한 결과도 보고하고 있다(15, 17, 18, 22, 24). 학교 환경은 건물의 규모와 구조, 환기설비, 사람의 밀도 등에서 주택과 많은

차이가 있으며, 학생들이 하루의 많은 시간을 생활하는 공간이기 때문에 학교 환경에서의 실내 공기질에 대한 관심 및 평가가 필요하다. 유치원에서 계절별 공기중 미생물 분포에 대한 연구 결과도 있으나 실내 공기중 미생물의 분포 및 특성에 관한 국내 연구의 대부분은 병원이나 지하생활공간을 대상으로 행해졌으며, 학교 환경에서 공기중 미생물 분포를 포함한 실내 공기질에 대한 정보는 매우 제한적이다(2-7). 최근 개정 공포된 '다중이용시설 등의 실내공기질관리법'의 다중이용시설에 학교는 명시되어 있지 않으며, 학교 환경과 관련한 '학교보건법'에도 이산화탄소와 미세먼지에 대한 기준은 설정되어 있으나 미생물학적 실내 공기질에 대한 언급은 없으며, 학교 환경의 실내 공기질 관리에 있어 미생물과 관련한 기준의 설정이 요구된다고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 학교 실내 환경에서 세균과 진균의 분포를 상황별로 살펴보고, 대표적인 공기중 세균과 진균을 동정하여 그 특성을 알아보고자 하였다.

### 재료 및 방법

#### 공기중 미생물의 포집

2004년 10월에서 2005년 1월에 걸쳐 울산광역시에 위치한 2곳의 중학교와 1곳의 고등학교(S-M, O-M, H-H)를 대상으로, 교실과 복도에서 점심시간, 수업시간, 방과 후 등 상황별로 공기중 미생물을 포집하였으며, 중학교 1곳(S-M)에서는 방학 중의 빈교실과 복도에서도 공기중 미생물을 포집하였다. 공기시료의 채취에는 미생물용 충돌식 공기 채취기(air-IDEAL, bio-Merieux,

\*To whom correspondence should be addressed.  
Tel: 052-259-2387, Fax: 052-259-1694  
E-mail: jkim@mail.ulsan.ac.kr

France)를 이용하였으며, 지면으로부터 1.2 m의 높이에서 50 L와 100 L의 공기시료를 흡입시켜 미생물을 포집하였다. 직경 10 µm 이하 미세먼지(PM<sub>10</sub>)와 총 먼지(total particles)의 농도는 휴대용 분진측정기(Dustmate, Turnkey Instrument, UK)를 이용하여 오전 9시부터 오후 5시까지 8시간 연속 채취하여 측정하였으며, 교실과 복도에서 시료채취시의 실내 온도와 상대습도를 측정하여 기록하였다.

**미생물의 분포**

공기중 세균수와 진균수의 측정은 각각 plate count agar (agar, 15.0 g; tryptone, 5.0 g; yeast extract, 2.5 g; glucose, 1.0 g; water, 1000 mL)와 dichloran rose bengal chloramphenicol (DRBC) agar (agar, 15.0 g; glucose, 10.0 g; peptone, 5.0 g; KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 1.0 g; MgSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O, 0.5 g; rose bengal, 0.025 g; dichloran, 0.002 g; chloramphenicol, 0.1 g; water, 1000 ml)를 사용하여 행하였다(8). 시료의 채취 후, plate count agar는 35°C에서 48 시간 배양 후 생겨난 집락을 계수하였고, DRBC agar는 25°C에서 120 시간 배양 후 나타난 집락을 계수하였다. 구한 집락수로부터 공기 채취기 제조사의 매뉴얼에 따라 공기 1m<sup>3</sup>에 존재하는 최적확수치 (most probable number, MPN)를 환산하였다. 또한 실내 온도 및 상대습도와 공기중 세균과 진균 농도 사이의 상호 관계를 파악하기 위해 Windows 용 SPSS v.10.0을 사용하여 Spearman의 순위상관계수(r<sub>s</sub>)를 구하였다.

**미생물의 동정**

세균과 진균의 동정은 1개 학교(S-M)에서 포집한 배지의 집락만을 대상으로 하였다. 먼저 plate count agar에 생겨난 모든 집락을 동일 배지에 계대배양하여 순수분리한 후, 그람염색과 현미경 관찰을 통해 세균의 형태적 특징을 조사하였다(20). 그람양성 세균은 *Staphylococcus* 속, *Micrococcus* 속 등의 동정이 가능한 API Staph kit, 그람음성 세균은 API 20NE kit와 API 20E kit (bioMerieux, France)를 사용하여 잠정적으로 동정하였으며, 동정 확률(% id)이 90% 이상인 균종을 선택하였고, 90% 미만일 경우 동정하지 못한 것(identified)으로 간주하였다. 진균의 경우, 각 집락을 계대배양하여 순수분리한 후, 집락의 색과 모양 등 형태적 특징과 lactophenicol cotton blue로 염색 후 현미경으로 관찰한 포자낭의 형태적 특징에 기초하여 속 수준까지 잠정적으로 동정하였다(21, 26).

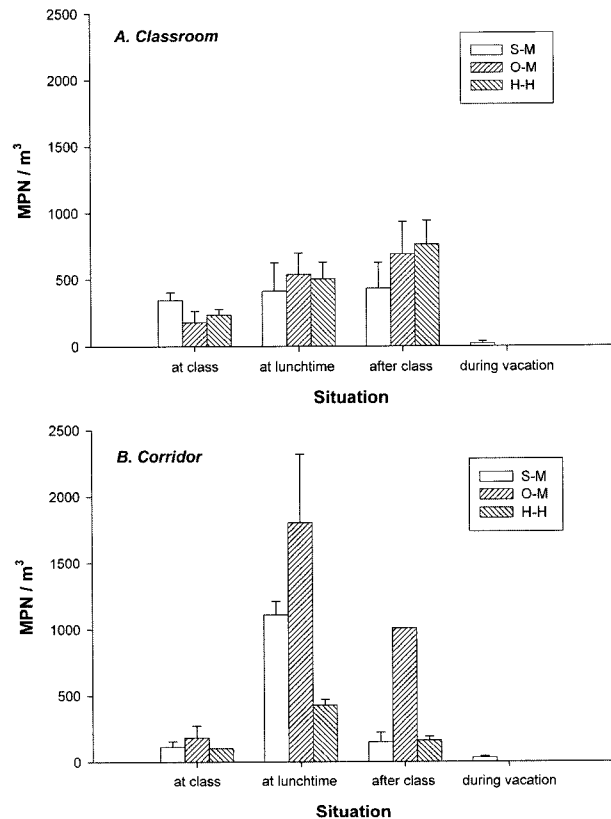
**결 과**

**상황별 공기중 세균의 농도**

세 곳의 학교(S-M, O-M, H-H)는 모두 철근 콘크리트 구조의 건물로 별도의 기계식 환기설비 없이 창문을 통한 자연환기를 하였으며, 시료채취시 H-H에서는 온풍기를 가동하고 있었다. 교실의 학생수는, 각각 2개 교실에서 측정된 S-M과 O-M의 경우 35~37명 이었고, 자율학습 시간에 1개 교실에서 측정된 H-H는 13명이었다. 학기 중 시료채취시에 측정된 교실의 온도는, S-M

19~21°C, O-M 18~21°C, H-H 16~19°C이였으며, 복도의 경우는 S-M 14~20°C, O-M 16~20°C, H-H 8~11°C의 범위였다. 교실의 상대습도는 S-M 52~66%, O-M 50~66%, H-H 50~62%로 측정되었고, 복도의 경우는 S-M 58~90%, O-M 57~62%, H-H 56~68%의 범위였다. 방학 중 시료채취시 S-M의 교실과 복도에서 측정된 온도는 각각 7~12°C와 8~10°C의 범위였으며, 상대습도는 교실과 복도에서 각각 58~74%와 67~75%였다.

Plate count agar의 세균 집락수에 기초하여 구한 학교 실내 환경의 공기중 세균 농도를 Fig. 1에 나타내었다. 학기 중 상황별 평균값을 비교해보면, 교실의 경우 수업시간 252.8 MPN/m<sup>3</sup>, 점심시간 484.3 MPN/m<sup>3</sup>, 방과 후 628.8 MPN/m<sup>3</sup>의 순서로, 세 학교 모두 수업시간에 최저값을 보였으며, 복도에서는 수업시간 131.7 MPN/m<sup>3</sup>, 점심시간 1,110.8 MPN/m<sup>3</sup>, 방과 후 440.8 MPN/m<sup>3</sup>로, 수업시간에 가장 낮았고 점심시간에 가장 높았다 (Fig. 1). 교실과 복도의 세균 농도를 비교해보면, 수업시간에는 교실이 복도보다 평균값 기준 1.7배 정도 높았으나 점심시간에는 복도가 교실보다 2.3배 더 높았다(Fig. 1). 학생이 등교하지 않는 방학 중 S-M의 교실과 복도에서 측정된 공기중 세균 농도는, 평균값이 각각 18.3 MPN/m<sup>3</sup>와 30.0 MPN/m<sup>3</sup>이었으며, 학기 중 수업시간 농도의 5.2%(교실)와 27.0%(복도) 수준으로 매우 낮았다 (Fig. 1). 한편 세균 농도와 실내 온도 사이의 Spearman의 순위



**Fig 1.** Distribution of airborne bacteria at classrooms (A) and corridors (B) of schools with different situations.

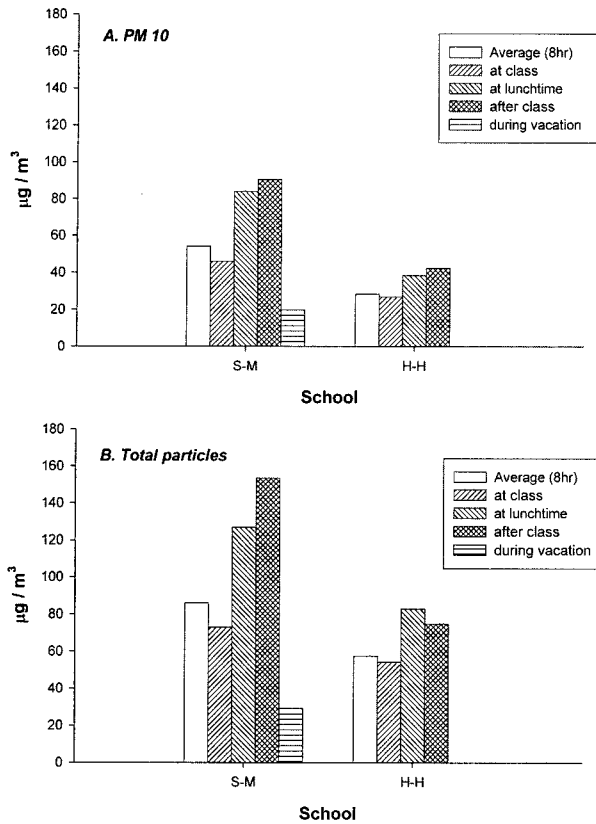


Fig 2. Concentration of PM<sub>10</sub> (A) and total particles (B) at S-M and H-H.

상관계수( $r_s$ )는 수업시간에 0.78 ( $P < 0.05$ )이었고, 다른 상황에서는 상관관계의 유의성이 없었으며, 전체적으로는 0.64 ( $it < 0.01$ )였다. 반면에 세균 농도와 상대습도 사이에는 전체적으로 유의성이 있는 음의 상관관계( $r_s = -0.39$ ,  $it < 0.05$ )를 보였다.

학기 중의 교실에서 8시간 연속 채취하여 구한 미세먼지 (PM<sub>10</sub>) 농도는 S-M 54.2 µg/m<sup>3</sup>, H-H 28.3 µg/m<sup>3</sup>이었으며, 총 먼지(total particles)는 S-M 86.0 µg/m<sup>3</sup>, H-H 57.5 µg/m<sup>3</sup>이었다(Fig. 2). 미세먼지의 농도를 수업시간, 점심시간, 방과 후 등 상황별로 구분하여 계산하면, 수업시간이 S-M 46.0 µg/m<sup>3</sup>, H-H 27.0 µg/m<sup>3</sup>로 가장 낮은 농도를 나타내었고 방과 후에 S-M 90.4 µg/m<sup>3</sup>, H-H 42.4 µg/m<sup>3</sup>로 가장 높았으며, 미세먼지는 총 먼지의 58.9~66.0%(S-M)과 46.4~56.7%(H-H)을 차지하였다(Fig. 2). 방학 중 S-M의 빈교실에서 측정된 미세먼지 농도는 19.8 µg/m<sup>3</sup>로 학기 중 측정값의 36.5%이었으며, 총 먼지 농도는 29.2 µg/m<sup>3</sup>로 학기 중 측정값의 34.0% 수준이었다(Fig. 2).

**상황별 공기중 진균의 농도**

DRBC agar의 진균 집락수에 기초한 학교 실내 환경의 상황별 공기중 진균 농도는, 교실의 경우 수업시간이 평균 199.5 MPN/m<sup>3</sup>, 점심시간 118.8 MPN/m<sup>3</sup>, 방과 후 212.9 MPN/m<sup>3</sup>로, 점심시간에 가장 낮았고 방과 후에 가장 높았으며, 복도에서는 수업시간이 평균 104.7 MPN/m<sup>3</sup>로 가장 낮았고 점심시간이 172.8

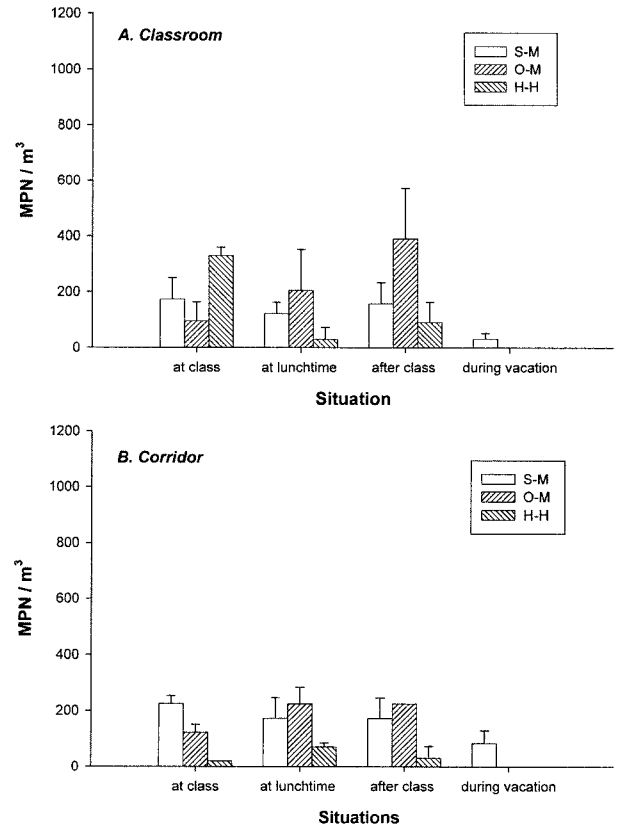


Fig 3. Distribution of airborne fungi at classrooms (A) and corridors (B) of schools with different situations.

MPN/m<sup>3</sup>로 가장 높았다(Fig. 3). 교실과 복도의 진균 농도를 비교해보면, 수업시간에는 교실이 복도보다 평균값 기준 1.9배 정도 높았으나 점심시간에는 복도가 교실보다 1.5배 더 높았다(Fig. 3). 학생이 등교하지 않는 방학 중 S-M의 공기중 진균 농도는 교실이 평균 31.8 MPN/m<sup>3</sup>, 복도가 평균 83.2 MPN/m<sup>3</sup>로 세균수보다 더 높게 측정되었다(Fig. 3). 한편 학교 실내 공기중 진균 농도는 실내 온도와 전체적으로 양의 상관관계( $r_s = 0.44$ ,  $it < 0.05$ )를 보였고, 상대습도와는 유의성이 있는 상관관계가 없었다. 공기중 진균 농도와 세균 농도 사이의 상관관계( $r_s$ )는 0.57( $it < 0.01$ )로 양의 상관관계를 나타내었다.

**공기중 세균의 동정**

S-M에서 50L의 공기중 세균을 포집하여 plate count agar에 생겨난 414개의 집락을 동일한 배지에 연속으로 계대하여 328개의 순수배양을 얻을 수 있었으며, 이들 집락을 대상으로 형태적 특징을 확인하였다(Table 1). 교실의 경우, 그람양성 세균이 상황에 따라 전체 세균 집락의 62.5~88.2%를 차지하였고, 그람음성 세균은 전체의 10.3~29.2%의 범위였다(Table 1). 복도에서는 그람양성 세균이 전체 세균 집락의 61.5~90.9%의 범위였으며, 그람음성 세균은 전체의 9.1~33.3%의 범위를 차지하였다(Table 1). 그람양성 세균은 구균으로 관찰되었으며, 그람음성 세균은 구균 혹은 막대균으로 관찰되었다.

**Table 1.** Morphology of airborne bacteria grown on plate count agar (S-M)

	Morphology	Number of colonies (%)			
		At class	At lunchtime	After class	Vacation
Classroom	Gm +, cocci	48 (82.8)	48 (73.8)	45 (62.5)	15 (88.2)
	Gm -, cocci & rods	6 (10.3)	14 (21.5)	21 (29.2)	2 (11.8)
	Gram variable	4 (6.9)	3 (4.6)	6 (8.3)	0 (0)
	Total	58 (100)	65 (100)	72 (100)	17 (100)
Corridor	Gm +, cocci	10 (90.9)	66 (82.5)	8 (61.5)	8 (66.7)
	Gm -, cocci & rods	1 (9.1)	8 (10.0)	1 (7.7)	4 (33.3)
	Gram variable	0 (0)	6 (7.5)	4 (30.8)	0 (0)
	Total	11 (100)	80 (100)	13 (100)	12 (100)

S-M에서 순수배양한 후 형태적 특징을 확인한 공기중 세균 집락 중, 방학 중의 29개 집락, 그리고 임의로 선정한 수업시간 23개와 점심시간 44개의 집락을 대상으로, API kit를 이용하여 생리적, 생화학적 특징에 따라 잠정적으로 동정하였다(Table 2). 공기중 세균의 동정 결과를 살펴보면, 그람양성 세균의 경우 *Micrococcus* spp.이 58개로 가장 많아 전체 집락의 60.4%를 차지하였고, *Staphylococcus* 속이 11개로 전체의 11.5%였다(Table

2). *Staphylococcus* 속의 경우 종별로는 *S. epidermidis* 3개, *S. saprophyticus*와 *S. xylosus* 각 2개, *S. sciuri*, *S. lugdunensis*, *S. lentus*, *S. simulans* 등이 각 1개의 분포를 보였고, *Kocuria varians*로 동정된 집락이 1개였다(Table 2). 그람음성 세균은 *Sphingomonas paucimobilis*가 5개로 전체의 5.2%였고, *Aeromonas salmonicida*, *Chryseomonas luteola*, *Burkholderia cepacia* 등이 각 2개, 그리고 *Agrobacterium radiobacter*와 *Pasteurella*

**Table 2.** Tentative identification of airborne bacteria (S-M)

	Origins	Identification (# of colonies)	Kits used
At class	Classroom	<i>Micrococcus</i> spp. (7)	
		<i>Staphylococcus epidermidis</i> (1)	API Staph
		<i>Staphylococcus saprophyticus</i> (1)	
		<i>Sphingomonas paucimobilis</i> (1)	API 20NE
		<i>Agrobacterium radiobacter</i> (1)	
	Unidentified <sup>a</sup> (1)	API Staph & 20NE	
	Corridor	<i>Micrococcus</i> spp. (7)	API Staph
		<i>Staphylococcus xylosus</i> (1)	
		<i>Chryseomonas luteola</i> (1)	API 20NE
		Unidentified (2)	API Staph & 20NE
At lunchtime		Classroom	<i>Micrococcus</i> spp. (8)
	<i>Staphylococcus epidermidis</i> (2)		
	<i>Staphylococcus sciuri</i> (1)		API Staph
	<i>Staphylococcus lugdunensis</i> (1)		
	<i>Staphylococcus lentus</i> (1)		
	Corridor	<i>Staphylococcus saprophyticus</i> (1)	
		<i>Sphingomonas paucimobilis</i> (3)	
		<i>Aeromonas salmonicida</i> (2)	API 20NE
		<i>Chryseomonas luteola</i> (1)	
		Unidentified (4)	API Staph & 20NE
During vacation	Classroom	<i>Micrococcus</i> spp. (16)	
		<i>Staphylococcus xylosus</i> (1)	API Staph
		<i>Staphylococcus simulans</i> (1)	
		Unidentified (2)	API Staph & 20NE
		<i>Micrococcus</i> spp. (14)	API Staph
	Corridor	<i>Sphingomonas paucimobilis</i> (1)	API 20NE
		<i>Pasteurella aerogenes</i> (1)	
		Unidentified (1)	API Staph & 20NE
		<i>Micrococcus</i> spp. (6)	API Staph
		<i>Kocuria varians</i> (1)	
Unidentified (3)	<i>Burkholderia cepacia</i> (2)	API 20NE	
	Unidentified (3)	API Staph & 20NE	

<sup>a</sup> % id was less than 90%

*aerogenes* 각 1개로 나타났다(Table 2). 포집한 공기중 세균의 집락으로부터 모두 9 속, 13 종을 동정할 수 있었으며, 전체 집락의 13.5%인 13개의 집락은 동정확률(% id)이 90% 미만이어서 사용한 kit로 확인되지 않았다. 가장 높은 빈도로 검출된 *Micrococcus* spp.는 교실에서 상황별로 전체 집락의 33.3~82.4%를 차지하였고, 복도에서는 50.0~80.0%를 차지하였다(Table 2).

### 공기중 진균의 동정

S-M에서 진균수를 측정할 DRBC agar로부터 수업시간 46개, 점심시간 33개, 방과 후 30개, 방학 중 40개 등 149개의 진균 집락을 분리, 배양하였으며, 이들 집락을 대상으로 형태적 특징에 기초하여 속 수준까지 동정하였다(Table 3). 총 149개의 집락으로부터 8 속의 진균을 확인할 수 있었으며, *Cladosporium* 속이 72개로 가장 많아 전체의 48.3%였고, 다음으로 *Penicillium* 속이 23개로 15.4%, *Aspergillus* 속이 20개로 13.4%였으며, 이들 세 속이 전체 집락의 77.1%를 차지하였다(Table 3). 그 밖에

*Mucor* 속이 3개, *Fusarium* 속과 *Aureobasidium* 속이 각 2개, 그리고 *Paecilomyces* 속과 *Curvularia* 속이 각 1개로 나타났으며, 전체의 16.8%인 25개 집락은 형태적 특징으로 동정하지 못하였다(Table 3). 수업시간에 포집한 시료에서는 *Cladosporium* 속의 농도가 특히 높아 46개중 39개로 84.8%를 차지하였고, *Penicillium* 속은 나타나지 않았다(Table 3). 방학 중에 포집한 시료에서는 *Penicillium* 속이 40개 집락 중 15개로 가장 출현 빈도가 높았으며, 13개 집락은 동정하지 못하였다(Table 3). 동정한 진균의 분포는 교실과 복도에서 큰 차이를 보이지 않았으며, 방과 후에 포집한 시료로부터 가장 다양한 속의 진균을 확인할 수 있었다(Table 3).

### 고 찰

세 학교에서의 학기 중 상황별 평균값에 기초하여 살펴보면, 공기중 세균의 농도는 수업시간에 복도에서 가장 낮게 측정되었고 다음으로 수업시간의 교실이 낮았으며, 점심시간에 복도에서의 측정값이 가장 높았고 다음으로 높은 곳은 방과 후의 교실이었다. 또한 한 학교에서 방학 중 측정된 공기중 세균의 농도는 교실의 경우 수업시간의 5.2%, 복도의 경우 수업시간의 27.0% 수준으로 매우 낮았다. 이러한 결과는 학교 환경에서 공기중 세균의 농도는 학급에 머무르는 학생수와 함께 학생의 활동성과 연관된 여러 상황과도 밀접한 관련이 있음을 보여준다. 교실에서 측정된 미세먼지의 농도도 방학 중 가장 낮았고, 수업시간, 점심시간, 방과 후의 순으로 증가하여, 공기중 세균 농도의 변화와 비례관계를 보여주고 있다. 미국 South Carolina주의 초등학교에서 행한 연구결과에 따르면 세균수와 이산화탄소 농도 사이에 유의성이 있는 상관관계가 있었으며, 같은 연구의 연구자들은 이산화탄소의 농도가 실내 공간에 머무르고 있는 사람의 수 및 환기속도와 관계가 깊기 때문에 실내 공기에 존재하는 세균의 오염원이 학생과 교사임을 제안하고 있다(15). 한편 세 학교에서 학기 중 상황별 진균의 농도는, 교실의 경우 S-M과 H-H에서는 수업시간에, O-M은 방과 후에 가장 높았고, 복도의 경우 S-M은 수업시간에, O-M과 H-H는 점심시간에 가장 높아 학교에 따른 차이를 보였다. 본 연구에서 공기중 미생물의 포집은 가을 및 겨울 방학 기간에 행해졌으며, 세균 및 진균의 농도는 실내 온도와 유의성이 있는 양의 상관관계를 보였는데, 유치원에서의 조사에서도 실내 공기중 세균 농도의 계절적 변화가 실내 온도의 변화와 밀접한 관련이 있음을 제안하고 있다(7). 이러한 결과는 실내환경에서 공기중 미생물 농도에 관한 기준이 8시간 혹은 24시간 평균값으로 제시되어야 하며, 이를 위한 저용량 연속적 시료 채취 혹은 실시간 미생물 농도 측정법의 개발이 필요하다고 판단된다.

본 연구에서 학교 실내의 공기중 세균수는 교실에서 18~762 MPN/m<sup>3</sup>, 복도에서 30~1,800 MPN/m<sup>3</sup>의 범위였고, 공기중 진균수는 교실에서 32~391 MPN/m<sup>3</sup>, 복도에서 83~225 MPN/m<sup>3</sup>의 범위로 측정되었으며, 이러한 수치는 다른 나라의 학교 및 국내 유치원에서 여러 연구자들이 측정된 값과 비교하여 특별히 높은 농도를 보이는 곳은 없었다. 외국의 여러 학교를 대상으로 행한

**Table 3.** Tentative identification of airborne fungi (S-M)

	Origins (Number of colonies examined)	Identification (Number of colonies)
At class	Classroom (32)	<i>Cladosporium</i> spp. (28) <i>Fusarium</i> spp. (1) Unidentified (3)
	Corridor (14)	<i>Cladosporium</i> spp. (11) <i>Aspergillus</i> spp. (1) <i>Mucor</i> spp. (1) Unidentified (1)
At lunchtime	Classroom (18)	<i>Cladosporium</i> spp. (7) <i>Aspergillus</i> spp. (8) <i>Penicillium</i> spp. (2) Unidentified (1)
	Corridor (15)	<i>Cladosporium</i> spp. (8) <i>Aspergillus</i> spp. (4) Unidentified (3)
After class	Classroom (17)	<i>Cladosporium</i> spp. (5) <i>Aspergillus</i> spp. (2) <i>Penicillium</i> spp. (4) <i>Mucor</i> spp. (1) <i>Paecilomyces</i> spp. (1) <i>Curvularia</i> spp. (1) Unidentified (3)
	Corridor (13)	<i>Cladosporium</i> spp. (3) <i>Aspergillus</i> spp. (3) <i>Penicillium</i> spp. (2) <i>Fusarium</i> spp. (1) <i>Mucor</i> spp. (1) <i>Aureobasidium</i> spp. (2) Unidentified (1)
During vacation	Classroom (18)	<i>Cladosporium</i> spp. (5) <i>Aspergillus</i> spp. (2) <i>Penicillium</i> spp. (5) Unidentified (6)
	Corridor (22)	<i>Penicillium</i> spp. (10) <i>Cladosporium</i> spp. (5) Unidentified (7)

공기중 세균 농도에 대한 여러 측정 결과는 7~19,500 CFU/m<sup>3</sup>의 범위에 속하였으며, 스웨덴의 96개 교실에서 측정된 진균 농도는 평균이 500 CFU/m<sup>3</sup>, 최대값이 4,500 CFU/m<sup>3</sup>이었고, 미국 Connecticut주의 2개 초등학교에서 진균 포자의 농도는 2,000~50,000 spore/m<sup>3</sup>의 범위였다(11, 22). 국내 유치원에서 계절별로 측정된 공기중 세균의 농도는 50~4,149 MPN/m<sup>3</sup>의 범위였고, 진균 농도는 평균과 최대값이 각각 661 MPN/m<sup>3</sup>과 1,888 MPN/m<sup>3</sup>로 측정되었다(7). 국내 종합병원의 세균 농도에 대한 연구자들의 조사 결과는 128~971 CFU/m<sup>3</sup>의 범위였다(4, 5). 현재 국내 실내공기질관리법의 총부유세균에 대한 실내 공기질 유지기준은, 의료기관, 보육시설 등에서 800 CFU/m<sup>3</sup> 이하로 설정되어 있으며, 실내공기질관리법의 유지기준과 시험방법에서 공기중 진균과 관련한 항목은 언급이 없다. 한편 주택에서의 공기중 세균의 농도는 폴란드에서 88~4,751 CFU/m<sup>3</sup>의 범위였고, 진균 농도는 폴란드에서 2~16,968 CFU/m<sup>3</sup>, 일본 Yokohama에서 <13~3,750 CFU/m<sup>3</sup>, 그리고 Taiwan 남부 도시에서는 1,605~18,306 CFU/m<sup>3</sup>로 측정되었다(13, 25, 27).

학교의 실내 환경에서 그람양성 세균은 전체 조사한 집락의 61.5~90.9% 수준이었으며, 대체로 병원성과 관련이 없는 *Micrococcus* 속이 공기중 세균의 60.4%를 차지하여 가장 많았다. 유치원에서 포집한 공기중 세균의 동정 결과에서도 *Micrococcus* 속이 전체 집락의 36.5%로 가장 많이 분포하였다(7). 반면에 국내 병원에서 출현 빈도가 높은 세균의 속은, 정과 백(4)의 연구에서는 *Staphylococcus* 73.0%, *Micrococcus* 20.7%, *Lactobacillus* 4.6% 등의 순서였고, 조 등(5)은 *Staphylococcus* 57.5%, *Micrococcus* 21.4%, *Enterococcus* 10.4%, *Bacillus* 7.2%로 보고하고 있어, *Micrococcus* 속의 출현 빈도가 가장 높은 학교 실내 공기와 차이를 보이고 있다. 배양가능한 공기중 세균 군집의 정확한 이해를 위해, 계대배양을 통해 유지할 수 없었던 집락과 API kit로 동정하지 못한 세균의 동정을 분자적인 방법 등을 사용하여 행할 필요가 있다. 한편, 폴란드에서 주택을 대상으로 조사한 결과를 살펴보면, 그람양성의 세균으로 *Micrococcus* spp., *Kocuria* spp., *Staphylococcus* spp.는 조사한 모든 세대에서, *Bacillus* spp.는 조사한 세대의 90%에서, *Nocardia* spp.는 33%에서 확인되었으며, 그람음성의 세균으로 *Pseudomonas* spp.는 조사한 세대의 80%에서, *Aeromonas* spp.는 40%에서 출현하였다(13).

본 연구의 학교 실내 환경에서는 *Cladosporium* 속, *Penicillium* 속, *Aspergillus* 속 등이 공기중 진균의 77.1%를 차지하였으며, 이중 *Cladosporium* 속이 가장 많았다. 유치원에서 포집한 공기중 진균의 동정 결과를 보면, *Penicillium* 속이 가장 많았고, *Aspergillus* 속과 *Mucor* 속도 출현하였으나, 본 연구와 달리 *Cladosporium* 속은 확인되지 않았으며, 유치원에서 동정한 집락의 수가 많지 않아 본 연구와 직접적인 비교는 곤란하다고 판단된다(7). 한편 핀란드에서 실내 공기질의 문제가 있는 학교와 그렇지 않은 학교를 대상으로 행한 비교 연구에서, *Penicillium* 속, *Cladosporium* 속, *Aspergillus* 속, yeast 등은 모든 학교에서 보편적으로 존재하였으며, *Penicillium* 속, *Aspergillus* 속, yeast 등은 두 그룹의 학교에서 차이가 없었지만

*Cladosporium* 속의 농도는 실내 공기질의 문제가 제기된 학교에서 더 높음을 보고하고 있다(18). 반면에 *Penicillium* 속의 높은 농도가 빌딩증후군과 관계가 있다는 보고도 있는데, 실내 공기질의 문제가 제기된 미국의 48개 학교 중 20개 학교에서 *Penicillium* spp.의 농도가 실외나 실내 공기질의 문제가 없는 곳에서 보다 유의성이 있게 더 높았다(10). 빌딩증후군의 문제가 심각한 호텔의 객실과 발코니에서 행한 조사에서도, *Penicillium* 속이 조사한 객실의 공기 시료에서 모두 우점하였지만, 발코니의 경우 시료에 따라 *Cladosporium* 속 혹은 *Penicillium* 속이 우점하는 것으로 나타났다(16). 학교 실내 공기에 많이 분포하는 *Cladosporium* 속과 *Penicillium* 속의 종 수준에서의 동정, 형태적 특징으로 동정하지 못한 진균의 분자적 동정, 그리고 이들 진균이 실내 공기질에 미치는 영향에 대한 보다 체계적인 연구가 필요하다.

본 연구에서는 학교의 실내 환경에서 배양에 기초한 방법으로 공기중 세균과 진균의 농도를 조사하고 동정하였으며, 환경시료에 존재하는 미생물 군집의 모든 개체군을 배양할 수 없다는 방법상의 한계를 고려할 때, 본 연구의 결과가 살아있는 공기중 미생물을 과소평가하였거나 미생물 군집의 주요 개체군을 반영하지 못하였을 가능성은 여전히 있다. 배양을 통한 방법과 함께 공기중 미생물을 분자적으로 확인하기 위해 교실에서 Impinger를 이용하여 30 mL/min.의 유량으로 오전 9시부터 오후 5시까지 하루 8시간씩 3일간 포집하고, membrane filter (0.2 µm pore size)로 포집용매를 여과하여 미생물을 농축하고 DNA를 추출한 후, PCR 방법을 적용하였으나 특정 미생물 개체군을 확인할 수 없었다. 공기중 미생물의 분자적 검출 및 정량을 위한 미생물 포집 방법의 개발이 필요하리라 생각된다.

## 감사의 말

본 연구는 2004년도 울산지역환경기술개발센터의 연구비 지원에 의해 수행되었음

## 참고문헌

1. 김윤신. 1989. 실내공기오염. 대한의학협회지 32, 1279-1285.
2. 방선재. 1994. 서울시 일부 공중 이용 시설의 실내 공기중 미생물 분포에 관한 연구. 공학석사학위논문. 한양대학교.
3. 송재훈, 배직현. 1990. Air sampler를 이용한 병원 내 공기중 미생물 오염도의 측정. 감염 22, 221-226.
4. 정선희, 백남원. 1998. 일부 병원 실내에서의 공기 중 미생물 오염에 관한 연구. 한국산업위생학회지 8, 231-241.
5. 조현중, 홍경심, 김지훈, 김현욱. 2000. 일부 종합병원 내 영역별 공기 중 미생물 평가. 한국산업위생학회지 10, 115-125.
6. 하권철, 백남원. 1991. 미생물을 이용한 일부 병원, 가정 및 일반 대기질의 평가. 한국산업위생학회지 1, 73-81.
7. 황광환, 이아미, 신현진, 김종설. 2003. 유치원의 실내 환경에서 공기중 미생물 수의 계절적 변화. 미생물학회지

- 39, 253-259.
8. Atlas, R.M. and L.C. Parks. 1996. Handbook of microbiological media. CRC press, Boca Raton, Florida.
  9. Burge, H.A., D.L. Pierson, T.O. Groves, K.F. Strawn, and S.K. Mishra. 2000. Dynamics of airborne fungal populations in a large office building. *Curr. Microbiol.* 40, 10-16.
  10. Cooley, J.D., W.C. Wong, C.A. Jumper, and D.C. Straus. 1998. Correlation between the prevalence of certain fungi and sick building syndrome. *Occup. Environ. Med.* 55, 579-584.
  11. Daisey, J.M., W.J. Angell, and M.G. Apte. 2003. Indoor air quality, ventilation and health symptoms in schools: an analysis of existing information. *Indoor Air* 13, 53-64.
  12. Fischer, G. and D. Wolfgang. 2003. Relevance of airborne fungi and their secondary metabolites for environmental, occupational and indoor hygiene. *Arch. Microbiol.* 179, 75-82.
  13. Gorny, R.L. and J. Dutkiewicz. 2002. Bacterial and fungal aerosols in indoor environment in Central and Eastern European countries. *Ann. Agric. Environ. Med.* 9, 17-23.
  14. Gravesen, S. 2000. Microbiology on *Indoor Air '99*-what is new and interesting? An overview of selected papers presented in Edinburgh, August, 1999. *Indoor Air* 10, 74-80.
  15. Liu, L.J., M. Krahmer, A. Fox, C.E. Feigley, A. Featherstone, A. Saraf, and L. Larsson. 2000. Investigation of the concentration of bacteria and their cell envelope components in indoor air in two elementary schools. *J. Air Waste Manag. Assoc.* 50, 1957-1967.
  16. McGrath, J.J., W.C. Wong, J.D. Cooley, and D.C. Straus. 1999. Continually measured fungal profiles in sick building syndrome. *Curr. Microbiol.* 38, 33-36.
  17. Meklin, T., A. Hyvarinen, M. Toivola, T. Reponen, V. Koponen, T. Husman, T. Taskinen, M. Korppi, and A. Nevalainen. 2003. Effect of building frame and moisture damage on microbiological indoor air quality in school buildings. *AIHA J.* 64, 108-116.
  18. Meklin, T., T. Husman, A. Vepsalainen, M. Vahteristo, J. Koivisto, J. Halla-Aho, A. Hyvarinen, D. Moschandreas, and A. Nevalainen. 2002. Indoor air microbes and respiratory symptoms of children in moisture damaged and reference schools. *Indoor Air* 12, 175-183.
  19. Mohr, A.J. 1997. Fate and transport of microorganisms, p. 641-650. In C.J. Hurst, G.R. Knudsen, M.J. McInerney, L.D. Stetzenbach, and M.V. Walter (ed.), Manual of environmental microbiology. American Society for Microbiology, Washington, D.C.
  20. Murray, R.G.E., R.N. Doetsch, and C.F. Robinow. 1994. Determinative and cytological light microscopy, pp. 21-41. In P. Gerhardt, R.G.E. Murray, W.A. Wood, and N.R. Krieg (ed.), Methods for general and molecular bacteriology. American Society for Microbiology, Washington, D.C.
  21. Samson, R.A., E.S. Hoekstra, J.C. Frisvad, and O. Filtenborg. 2002. Introduction to food- and airborne fungi, 6th edition. Centraalbureau voor Schimmelcultures, Utrecht, Netherlands.
  22. Santilli, J. and W. Rockwell. 2003. Fungal contamination of elementary schools: a new environmental hazard. *Ann. Allergy Asthma Immunol.* 90, 203-208.
  23. Shelton, B.G., K.H. Kirkland and W.D. Flanders. 2002. Profiles of airborne fungi in buildings and outdoor environments in the United States. *Appl. Environ. Microbiol.* 68, 1743-1753.
  24. Smedje, G., D. Norback, and C. Edling. 1997. Asthma among secondary schoolchildren in relation to the school environment. *Clin. Exp. Allergy* 27, 1270-1278.
  25. Takahashi, T. 1997. Airborne fungal colony-forming units in outdoor and indoor environments in Yokohama, Japan. *Mycopathologia* 139, 23-33.
  26. Watanabe, T. 1994. Pictorial atlas of soil and seed fungi-morphology of cultured fungi and key to species. CRC press, Boca Raton, Florida.
  27. Wu, P.-C., H.-J. Su, and C.-Y. Lin. 2000. Characteristics of indoor and outdoor airborne fungi at suburban and urban homes in two seasons. *Sci. Total Environ.* 270, 33-42.

(Received April 23, 2005/Accepted August 13, 2005)

#### ABSTRACT: Distribution and Characteristics of Airborne Microorganisms in Indoor Environment of Schools

Ahmi Lee, Nayoung Kim, Soyeon Kim<sup>1</sup>, and Jongseol Kim\* (Division of Biological Sciences, <sup>1</sup>Institute for the Gifted Science Education, University of Ulsan, Ulsan 680-749, Korea)

To assess microbiological indoor air quality in schools, concentrations of viable airborne microorganisms were monitored at classrooms and corridors of 3 middle or high schools in Ulsan. Airborne microorganisms were sampled at various situations during a semester (class-hour, lunchtime, after school) and during a vacation with an impaction-type air sampler. During the semester, the number of bacteria was the highest at lunchtime in corridor with an average of 1,111 MPN/m<sup>3</sup> and lowest at class-hour in corridor with an average of 132 MPN/m<sup>3</sup>. During the vacation, the bacterial concentrations at classrooms and corridors were only 5% and 27% of the values during class-hours of the semester, respectively. Among the colonies tested, 60% were identified as relatively harmless *Micrococcus* species and 12% were *Staphylococcus* species. During the semester, the average values of fungal concentrations at each situation ranged from 105 to 213 MPN/m<sup>3</sup>, and the values during the vacation were 32 MPN/m<sup>3</sup> at classrooms and 83 MPN/m<sup>3</sup> in corridors. Fungal genera such as *Cladosporium*, *Penicillium*, and *Aspergillus* were identified from the colonies. The obtained data can be considered as a step to set a guideline for bioaerosols in indoor environment of schools.