

유치원의 실내환경에서 공기중 미생물 수의 계절적 변화

황광환 · 이아미 · 신현진 · 김종설*

울산대학교 자연과학대학 미생물 · 유전공학전공

미생물학적 실내공기질을 평가하기 위하여, 울산에 위치한 3곳의 유치원을 대상으로, 2002년 4월에서 2003년 1월에 걸쳐 계절별로 공기 중의 미생물 농도를 결정하였다. 미생물의 포집에는 충돌식 공기 채취기를 사용하였으며, 세균수는 *Staphylococcus medium*과 plate count agar, 진균수는 dichloran rose bengal chloramphenicol agar를 사용하여 측정하였다. *Staphylococcus medium*에서 성장한 세균의 평균 농도는 827.0 MPN/m³로 83.5-4,149.1 MPN/m³의 범위였으며, plate count agar의 경우는 평균이 580.3 MPN/m³로 50.0-2,636.0 MPN/m³의 범위였다. 계절별 평균값은 여름이 가장 높았고, 가을, 봄, 겨울의 순이었으며, 세균의 집락수와 실내온도는 양의 상관관계가 있었다. 계절에 따라 그람양성의 구균은 전체 세균 집락의 45.6-61.0%, 그람음성의 막대균이 8.5-20.6%를 차지하였으며, *Micrococcus spp.*가 가장 우점하였다. 진균의 농도는 평균이 660.8 MPN/m³로 0-1,887.5 MPN/m³의 범위였으며, 계절별 평균값은 여름이 가장 높았고, 겨울이 가장 낮았다. 실내의 공기의 진균 집락으로부터 *Penicillium spp.*와 *Aspergillus spp.*를 확인할 수 있었다. 연구의 결과는 계절에 따른 미생물 농도의 변이와 학교의 실내환경에서 bioaerosol의 허용수준을 결정함에 있어 이를 고려해야 할 필요가 있음을 보여주었다.

Key words □ airborne bacteria, airborne fungi, indoor air, kindergarten

실내공기질의 중요성이 인식되면서 실내환경에서 미생물 오염에 대한 공중보건학적 관심도 증가하고 있다(1, 15). 공기중 미생물은 사람에게에 감염, 알레르겐으로의 작용, 염증반응 초래, 독소로의 작용 등을 통해 사람의 건강에 나쁜 영향을 줄 수 있다(1, 11). 이러한 미생물에는 세균, 진균, 바이러스 등이 포함되며, 미생물의 대사산물이 관여하기도 한다. 공기를 통한 세균성 혹은 바이러스성 질병의 전파는 공중보건에 있어 특히 중요하며, 빌딩 증후군에 있어 진균 및 진균포자의 역할에 관한 여러 연구결과도 발표되고 있다(9, 11-13, 17, 22).

공기중의 미생물은 대부분 미세입자나 수증기에 부착한 상태인 bioaerosol 형태로 존재하며, 미생물의 농도도 대개 먼지를 포함한 bioaerosol의 농도와 관계가 깊다. 실외와 비교하여 실내환경의 경우에는 외부 공기의 순환이 제한적이고 햇빛의 자외선에 대한 노출이 적어서 상대적으로 공기중 미생물의 장기간 생존이 가능하다(20). 주로 진균을 대상으로, 실내생활환경의 미생물 분포에 대한 많은 연구결과가 최근에 발표되고 있으며, 진균의 농도와 종조성이 지역, 계절 및 다른 환경요인에 의해 영향을 받을 수 있음을 제안하고 있다(8, 14, 23, 25, 27).

학교에서의 실내공기질은 학생의 건강뿐만 아니라 간접적으로 학습효과에도 영향을 미칠 수 있다(10). 스웨덴에서 진행된 연구 결과는 학교환경의 실내공기질이 천식증세의 이환율에 영향을 미칠 수 있음을 제안하였으며, 학교환경에서 실내공기 중 미생물과 호흡기 증세의 이환율 사이의 연관성에 대한 보고도 있다(16,

18, 19, 22, 24). 학교환경은 건물의 규모와 구조, 환기설비, 사람의 밀도 등에서 주택과 많은 차이가 있다. 또한 유치원생과 초등학생의 경우, 학교에서 보내는 시간은 하루 중 적은 부분을 차지하지만 유치원과 초등학교에 다니는 학생수를 고려한다면 학교환경에서의 실내공기질이 매우 중요함을 알 수 있다. 하지만 실내 공기중의 미생물 분포에 관한 국내에서의 연구는 대부분 병원이나 지하생활공간을 대상으로 행해졌으며, 학교환경에서 공기 중 미생물 분포를 포함한 실내공기질에 대한 정보는 매우 제한적이다(2-6).

국내의 경우 최근 '지하생활공간공기질관리법'을 '다중이용시설 등의 실내공기질관리법'으로 개정하는 법률이 공포되었으나 적용 대상의 다중이용시설에 학교는 명시되어 있지 않다. 학교환경과 관련한 '학교보건법'에도 이산화탄소와 미세먼지에 대한 기준은 설정되어 있으나 미생물학적 실내공기질에 대한 언급은 없으며, 학교환경의 실내공기질 관리에 있어 미생물과 관련한 기준의 설정이 요구된다고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 유치원의 실내 환경에서 세균과 진균의 분포를 계절별로 살펴보고, 실내공기중 미생물의 농도에 영향을 미치는 환경요인을 분석하고자 하였다.

재료 및 방법

공기중 미생물의 포집

울산광역시에 위치한 3곳의 유치원(C, D, S 유치원)을 대상으로, S 유치원과 C 유치원은 각각 오전 10시와 오후 3시에 실내에서, D 유치원은 오전 10시와 오후 3시에 실내와 실외에서, 2002년 4월에서 2003년 1월에 걸쳐 계절별로 공기중의 미생물을

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

포집하였다. 공기시료의 채취에는 미생물용 충돌식 공기 채취기 (air-IDEAL, bio-Merieux, France)를 이용하였으며, 지면으로부터 1m의 높이에서 30L와 300L의 공기시료를 흡입시켜 미생물을 포집하였다. 시료채취는 비가 오지 않는 맑은 날을 택하여 행하였으며, 조사기간 동안 각 유치원에서 정해진 위치 및 시간대에 동일한 공기 채취기로 미생물을 포집하여, 공간 및 시간, 그리고 채취방법에 따른 변동성을 최소화하였다. 시료채취시의 실내온도와 실외온도, 그리고 상대습도를 측정하여 기록하였다.

미생물의 분포

공기중 세균수의 측정에는 *Staphylococcus* medium (agar, 15.0 g; peptone, 6.0 g; pancreatic digest of casein, 4.0 g; yeast extract, 3.0 g; beef extract, 1.5 g; glucose, 1.0 g; water, 1000 mL)과 plate count agar (agar, 15.0 g; tryptone, 5.0 g; yeast extract, 2.5 g; glucose, 1.0 g; water, 1000 mL)를 사용하였고, 진균수의 측정에는 dichloran rose bengal chloramphenicol (DRBC) agar (agar, 15.0 g; glucose, 10.0 g; peptone, 5.0 g; KH_2PO_4 , 1.0 g; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0.5 g; rose bengal, 0.025 g; dichloran, 0.002 g; chloramphenicol, 0.1 g; water, 1000 mL)를 사용하여 행하였다(7). 시료의 채취 후, *Staphylococcus* medium과 plate count agar는 35°C에서 48시간 배양한 후 생겨난 집락을 계수하였고, DRBC agar는 25°C에서 120시간 배양한 후 나타난 집락을 계수하였다. 구한 집락수로부터 공기 채취기 제조사의 매뉴얼에 따라 공기 1m³에 존재하는 최적확수치(most probable number, MPN)를 환산하였다. 또한 계절의 변화와 관련이 깊은 실내온도 및 실내습도와 각 배지에서 생겨난 집락수 사이의 상관관계를 Windows 용 SPSS 10.0 program을 이용하여 분석하였다.

미생물의 동정

30L의 공기 포집시 *Staphylococcus* medium과 plate count agar에 생겨난 모든 집락을 동일한 배지에 계대배양하여 순수분리한 후, 그람염색과 현미경 관찰을 통해 형태적 특징을 조사하였다(21). API kit (bioMerieux, France)를 이용한 세균의 잠정적인 동정은 겨울에 측정된 배지의 집락만을 대상으로 행하였다. 그람양성 세균의 동정은 공기 중에 일반적으로 존재하는 *Staphylococcus* 속, *Micrococcus* 속 등의 동정이 가능한 API Staph kit를 사용하였고, 그람음성의 세균은 API 20NE kit와 API 20E kit를 사용하여 동정하였다.

진균의 동정은 겨울에 30L의 공기를 포집하여 DRBC agar에서 성장한 집락만을 대상으로 하였으며, 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(26).

결 과

계절별 공기 중 세균의 농도

세 곳의 유치원은 모두 철근 콘크리트 구조의 건물로 창문을

통한 자연환기를 하며 별도의 기계식 환기설비는 없었다. 학급수는 D 유치원이 가장 많았고, 다음이 S 유치원, C 유치원의 순서였으며, 설립연도는 C 유치원이 1989년으로 가장 오래 되었고, S 유치원이 1996년, 그리고 D 유치원이 1999년이였다. 시료채취시의 실내온도는 봄 21~23°C, 여름 26~28°C, 가을 20~22°C, 겨울 6~17°C로 측정되었으며, 실외온도는 봄 26~27°C, 여름 32~33°C, 가을 19~22°C, 겨울 8~9°C의 범위였다. 실내의 상대습도는 봄 61~74%, 여름 77~85%, 가을 58~61%, 겨울 43~78%의 범위였으며, 실외의 경우는 봄 45~46%, 여름 68~69%, 가을 53~58%, 겨울 75~76%의 범위였다.

Staphylococcus medium에서 생겨난 세균 집락수에 기초하여 구한 유치원의 실내공기중 세균의 농도를 Fig. 1A에 나타내었다. 전체 평균은 827.0 MPN/m³로 83.5~4,149.1 MPN/m³의 범위였으며, 유치원별로 비교하면 C 유치원이 평균 367.5 MPN/m³로 가장 낮았고 S 유치원이 1,713.5 MPN/m³으로 가장 높았다(Fig. 1A). 계절별 평균값을 비교해보면, 여름 1,570.1 MPN/m³, 가을 1,001.5 MPN/m³, 봄 614.5 MPN/m³, 겨울 121.8 MPN/m³의 순으로 나타났으며, 세 유치원에서 모두 겨울에 최저값을 보였으나 최대값을 보인 계절은 D 유치원(오전)과 S 유치원은 여름, C 유치원은 봄, D 유치원(오후)은 가을로 유치원과 채취시간대에 따라 달랐다(Fig. 1A). 실외공기 중 세균의 농도는 D 유치원에서만

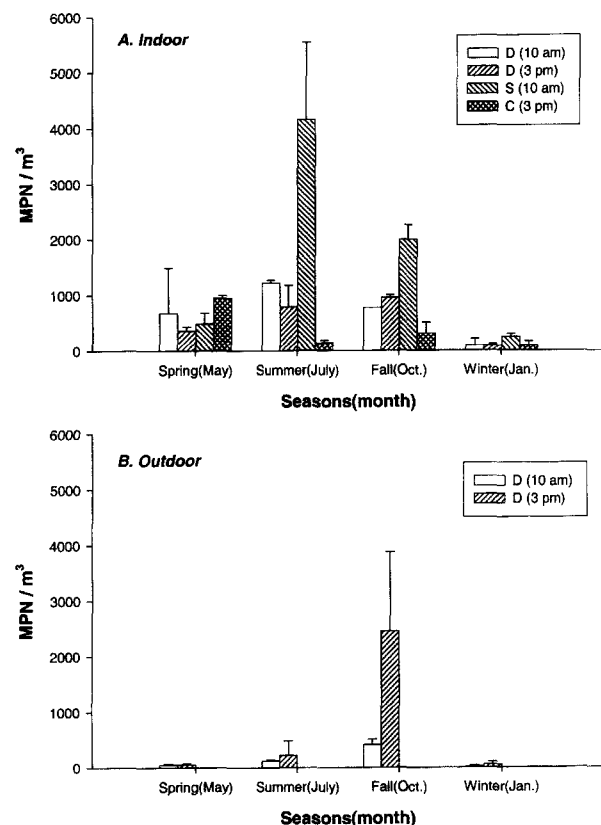


Fig. 1. Seasonal changes of airborne bacterial number based on colonies with *Staphylococcus* medium at 3 kindergartens, D, S, and C. (A : Indoor, B : Outdoor)

측정하였으며, 평균 420.4 MPN/m³로 50.0~2,450.0 MPN/m³의 범위였고, 계절별로는 가을에 최대값을 보였다(Fig. 1B). 실내 세균수와 실외 세균수의 비(I/O ratio)는 1.5이었으며, 오전이 4.6으로 오후의 0.8 보다 높았다. 세균수의 I/O ratio를 계절별로 비교해보면, 봄 10.3, 여름 5.9, 겨울 2.5 그리고 가을이 0.6의 비를 나타내었다.

plate count agar에 나타난 집락수에 기초한 실내공기중 세균의 농도는, 전체 평균이 580.3 MPN/m³로 50.0~2,636.0 MPN/m³의 범위였다(Fig. 2A). 유치원별로 비교하면 C 유치원이 평균 271.9 MPN/m³로 가장 낮았고 S 유치원이 1,131.1 MPN/m³으로 가장 높았으며, 계절별 평균값은 여름 1,181.1 MPN/m³, 가을 682.9 MPN/m³, 봄 289.0 MPN/m³, 겨울 168.1 MPN/m³의 순으로 나타났다(Fig. 2A). 실외공기중 세균의 농도는 평균 147.0 MPN/m³로 16.5~567.5 MPN/m³의 범위였고, 계절별로는 겨울에 최소값을 보였다(Fig. 2B). 세균수의 I/O ratio는 3.1이었으며, 오전이 9.8로 오후의 1.6 보다 높았다.

실내온도와 *Staphylococcus medium*에서 생겨난 세균 집락수 사이의 상관계수(r)는 D 유치원 0.68 ($P<0.05$), S 유치원 0.74 ($P<0.05$)이었고, C 유치원의 경우 상관관계의 유의성이 없었으며, 전체적으로는 0.42 ($P<0.05$)였다. plate count agar의 집락수도

*Staphylococcus medium*과 마찬가지로 D 유치원(0.51, $P<0.05$)과 S 유치원(0.76, $P<0.05$)에서 실내온도와 유의성이 있는 상관관계를 보였으며, C 유치원은 상관관계의 유의성이 없었고, 전체적으로는 상관계수가 0.41 ($P<0.05$)이었다. 실내상대습도와 세균 집락수 사이의 상관관계는 D 유치원에서만 유의성이 있는 상관관계(0.54, $P<0.05$)를 보였다. 한편 실외온도 및 실외상대습도와 세균 집락수 사이에는 유의성이 있는 상관관계가 없었다.

사용한 두 배지(*Staphylococcus medium*과 plate count agar)에서 생겨난 집락수의 상관계수는 0.92 ($P<0.01$)로 높은 상관관계를 보였다. 하지만 각 배지에서 세균수의 평균값은 *Staphylococcus medium*이 plate count agar에서보다 실내에서는 1.4배, 실외에서는 2.9배 높게 측정되었으며, 두 배지중에서 *Staphylococcus medium*이 실내와 실외에서 공기 중의 미생물을 포집하여 배양하는데 더 우수한 배지임을 알 수 있다.

계절별 공기 중 진균의 농도

DRBC agar의 진균 집락수에 기초한 유치원의 실내공기중 진균의 농도는, 전체 평균이 660.8 MPN/m³로 0~1,887.5 MPN/m³의 범위였고, 유치원별로 비교하면 C 유치원이 평균 273.5 MPN/m³로 가장 낮았고 S 유치원이 964.3 MPN/m³으로 가장 높

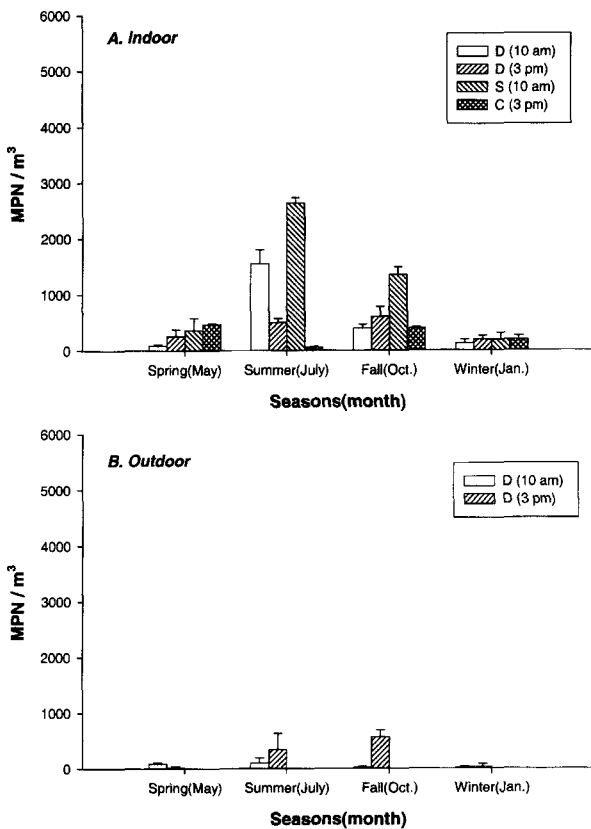


Fig. 2. Seasonal changes of airborne bacterial number based on colonies with plate count agar at 3 kindergartens, D, S, and C. (A : Indoor, B : Outdoor)

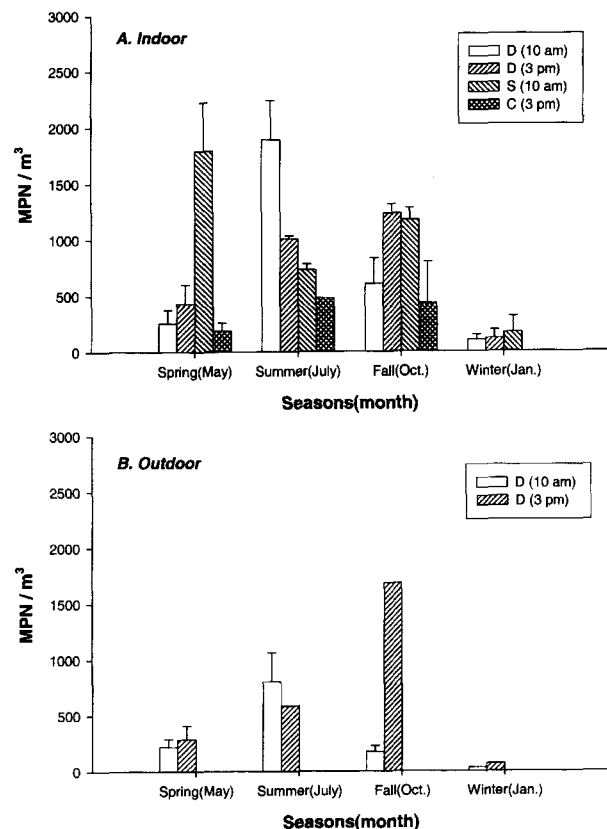


Fig. 3. Seasonal changes of airborne fungal number based on colonies with DRBC agar at 3 kindergartens, D, S, and C. (A : Indoor, B : Outdoor)

았다(Fig. 3A). 계절별 평균값을 비교해보면, 여름 1,024.4 MPN/m³, 가을 859.0 MPN/m³, 봄 663.4 MPN/m³, 겨울 96.6 MPN/m³의 순이었고, 세 유치원에서 모두 겨울에 최저값을 보였으나 최대값을 보인 계절은 유치원에 따라 다르게 나타났다(Fig. 3A). 실외공기중 진균의 농도는 평균 481.1 MPN/m³로 33.0~1,681.1 MPN/m³의 범위였고, 계절별로는 겨울에 최소값을 보였다(Fig. 3B). 실내 진균수와 실외 진균수의 비(I/O ratio)는 1.5이었고, 오전이 2.5로 오후의 1.1 보다 높았다.

실내온도와 DRBC agar에서 생겨난 진균 집락수와와의 상관계수는 D 유치원이 0.67 ($P<0.01$)의 값을 보였고, S와 C 유치원의 경우 상관관계의 유의성이 없었으며, 전체적으로는 0.45 ($P<0.01$)였다. 실내상대습도와 진균 집락수의 상관관계도 D 유치원에서만 유의성이 있는 상관관계(0.63, $P<0.01$)를 보였으며, 전체적으로는 상관계수가 0.54 ($P<0.01$)였다. 세균에서와 마찬가지로 실외온도 및 실외습도와 진균 집락수 사이에는 상관관계의 유의성이 없었다. 한편 실내공기에서 진균 집락수와 *Staphylococcus medium*에서 생겨난 세균 집락수의 상관계수는 0.36 ($P<0.05$), 진균 집락수와 plate count agar의 세균 집락수의 상관계수는 0.48 ($P<0.05$)로, 실내공기 중의 진균수와 세균수는 양의 상관관계를 보였다.

공기 중 세균의 동정

30L의 공기중 세균을 포집하여 *Staphylococcus medium*과 plate count agar에 생겨난 모든 집락을 분리하여 형태적 특징을 살펴보았다(Table 1, Table 2). 실내공기에서 그람양성의 구균은 계절에 따라 전체 세균 집락의 51.9~61.0% (*Staphylococcus medium*)과 45.6~60.0% (plate count agar)의 범위를 차지하여 가장 높은 빈도로 존재하였으며, 다음으로 그람음성의 막대균이 계절에 따라 전체의 8.5~20.6% (*Staphylococcus medium*)과 12.5~19.4% (plate count agar)의 범위를 차지하였다(Table 1, Table 2). 실외공기의 경우 집락수가 매우 낮은 겨울을 제외하면 그람양성의 구균은 전체 세균 집락의 30.0~50.0% (*Staphylococcus medium*)과 38.5~40.6% (plate count agar)의 범위를 차지하였으며, 그람음성의 막대균이 전체의 12.2~25.0% (*Staphylococcus medium*)과 26.9~28.1% (plate count agar)의 범위를 차지하였다 (Table 1, Table 2).

겨울에 30L의 공기중 세균을 포집하여 *Staphylococcus medium*과 plate count agar에 생겨난 집락을 대상으로 api kit를 이용하여 생리적, 생화학적 특징에 따라 잠정적으로 동정하였다 (Table 3). 41개의 그람양성 구균 중 catalase 시험결과 30개의 균주가 양성이었으며, API Staph으로 동정한 결과 *Micrococcus* spp.이 19개로 가장 많았고, *Kocuria varians/rosea*와 *Staphylococcus epidermidis*가 각 2개, *Staphylococcus cohnii*와 *Staphylococcus lentus*가 각 1개였으며, 나머지는 확인되지 않았다(Table 3). 11개의 그람음성 막대균을 대상으로 API 20NE와 API 20E를 이용하여 동정하였으며, 이중 *Burkholderia cepacia*와 *Chryseomonas luteola*가 각 3개, *Chromobacterium meningsepticum*과 *Chromobacterium violaceum*이 각 1개였으며, 나머지는 확인되지 않았다(Table 3).

Table 1. Morphology of airborne bacteria grown on *Staphylococcus medium*

Morphology	# of colonies (%)				
	spring	summer	fall	winter	
Indoor	G + cocci	68 (51.9)	169 (53.2)	136 (61.0)	17 (58.6)
	rods	9 (6.9)	43 (13.5)	21 (9.4)	0 (0)
	G - cocci	15 (11.5)	38 (11.9)	32 (14.4)	8 (27.6)
	rods	27 (20.6)	54 (17.0)	19 (8.5)	4 (13.8)
	Gram variable	12 (9.1)	14 (4.4)	15 (6.7)	0 (0)
	Total	131 (100)	318 (100)	223 (100)	29 (100)
Outdoor	G + cocci	3 (50.0)	6 (30.0)	64 (41.0)	0 (0)
	rods	0 (0)	3 (15.0)	17 (10.9)	1 (25.0)
	G - cocci	0 (0)	4 (20.0)	22 (14.1)	0 (0)
	rods	1 (16.7)	5 (25.0)	19 (12.2)	2 (50.0)
	Gram variable	3 (33.3)	2 (10.0)	34 (21.8)	1 (25.0)
	Total	6 (100)	20 (100)	156 (100)	4 (100)

Table 2. Morphology of airborne bacteria grown on plate count agar

Morphology	# of colonies (%)				
	spring	summer	fall	winter	
Indoor	G + cocci	33 (49.3)	119 (46.9)	73 (45.6)	24 (60.0)
	rods	14 (20.8)	24 (9.4)	19 (11.9)	1 (2.5)
	G - cocci	2 (3.0)	32 (12.6)	18 (11.3)	3 (7.5)
	rods	13 (19.4)	49 (19.3)	21 (13.1)	5 (12.5)
	Gram variable	5 (7.5)	30 (11.8)	29 (18.1)	7 (17.5)
	Total	67 (100)	254 (100)	160 (100)	40 (100)
Outdoor	G + cocci	7 (38.9)	10 (38.5)	13 (40.6)	0 (0)
	rods	2 (11.1)	4 (15.4)	3 (9.4)	0 (0)
	G - cocci	3 (16.7)	2 (7.7)	3 (9.4)	0 (0)
	rods	5 (27.8)	7 (26.9)	9 (28.1)	0 (0)
	Gram variable	1 (5.5)	3 (11.5)	4 (12.5)	3 (100)
	Total	18 (100)	26 (100)	32 (100)	3 (100)

Table 3. Tentative identification of airborne bacteria (winter)

Culture medium	Kit used (# of colonies tested)	Identification (# of colonies)
<i>Staphylococcus medium</i>	API Staph (17)	<i>Micrococcus</i> spp. (8) <i>Staphylococcus epidermidis</i> (2) <i>Kocuria varians/rosea</i> (2) unidentified (5)
	API 20NE (6)	<i>Burkholderia cepacia</i> (3) <i>Chromobacterium meningsepticum</i> (1) <i>Chromobacterium violaceum</i> (1) unidentified (1)
	API Staph (24)	<i>Micrococcus</i> spp. (11) <i>Staphylococcus lentus</i> (1) <i>Staphylococcus cohnii</i> (1) unidentified (11)
Plate count agar	API 20NE (5)	<i>Chryseomonas luteola</i> (3) unidentified (2)

공기 중 진균의 동정

겨울에 진균수를 측정된 DRBC agar에 생겨난 집락으로부터 진균을 분리, 배양하여 형태적 특징에 기초하여 속 수준까지 동정하였다(Table 4). 실내공기의 23개 집락 중에서 12개는 *Penicillium* spp., 3개는 *Aspergillus* spp., 2개는 *Mucor* spp.로 나타났으며, 나머지 6개의 진균은 동정하지 못하였다(Table 4). 실외공기의 6개 진균 중에서는 *Penicillium* spp.이 4개, *Aspergillus* spp.가 2개로 확인되었다(Table 4).

고 찰

세 유치원에서의 계절별 평균값에 기초하여 살펴보면, 실내공기 중 세균의 농도는 여름에 가장 높았고 겨울에 가장 낮았으며, 실내온도와 세균의 집락수 사이에 유의성이 있는 양의 상관관계를 나타내었다. 따라서 실내공기 중 세균 농도의 계절적 변화는 실내온도와 밀접한 관련이 있음을 추측할 수 있다. 실내공기 중 진균의 농도도 세균과 비슷하게 여름에 높고 겨울에 낮은 계절적 변화를 보였으며, 전체적으로 실내온도와 더불어 실내습도와도 유의성이 있는 양의 상관관계를 보였다. 공기 중 미생물 농도가 여름이 겨울보다 높게 측정되는 이유는 온도가 상승함에 따른 미생물 활성의 증가, 자연환기와 온도상승에 따른 공기순환의 증가, 혹은 유치원생의 활동성 증가 등 여러 가지 요인을 생각할 수 있다. 서울시의 백화점, 극장, 지하철역 등 공중이용시설에서 봄과 가을에 미생물 오염도를 조사한 결과도 미생물 집락수가 실내온도에 영향을 받음을 시사하였다(2). 또한 일본 Yokohama의 주택에서 실내공기 중 진균의 농도는 실내온도 및 실내습도와 유의성이 있는 상관관계가 있었다(25). 반면 Taiwan 남부 도시의 주택에서 측정된 진균의 농도는 겨울철에 여름보다 더 높게 나타났으나, 겨울의 평균온도가 20.7°C로 우리나라와는 기후환경이 달라서 직접적인 비교는 곤란하였다(27). 미국 전역에서 측정된 진균 농도의 중앙값도 계절에 따라 변화하였으며, 여름과 가을에 높고 겨울과 봄에 낮았다(23).

세 유치원 중 C 유치원이 다른 두 유치원보다 더 적은 세균수와 진균수를 나타내었다. 이러한 차이의 이유는 유치원의 지리적 위치, 청소상태, 설립연도 등 여러 가지가 있겠지만, C 유치원의 경우 다른 두 유치원에 비해 확급수(전체 유치원생의 수)가 더 적었고, 많은 유치원생들이 집으로 돌아간 후의 오후에 측정하여

유치원에 머무는 유치원생의 수도 오전에 비해 더 적었다는 것을 우선 지적할 수 있다. 미국 South Carolina주의 초등학교에서 행한 연구결과에 따르면 세균수와 이산화탄소 농도 사이에 유의성이 있는 상관관계가 있었으며, 같은 연구의 연구자들은 이산화탄소의 농도가 실내공간에 머무르고 있는 사람의 수 및 환기속도와 관계가 깊기 때문에 실내공기에 존재하는 세균의 오염원이 학생과 교사임을 제안하였다(16). D 유치원에서의 I/O ratio는 세균의 경우 오전 4.6~9.8, 오후 0.8~1.6이었고, 진균은 오전 2.5, 오후 1.1로 나타났다. 세균과 진균 둘 다 오전이 오후보다 높았으며 유치원생의 수와 실내공기 중 미생물 농도와의 비례관계를 간접적으로 시사하고 있다.

본 연구에서 유치원의 실내공기 중 세균은 50~4,149 MPN/m³의 범위였고, 진균은 전체 평균과 최대값이 각각 661 MPN/m³과 1,888 MPN/m³로 측정되었으며, 다른 나라의 학교에서 측정된 값과 비교하여 특별히 높은 농도를 보이는 곳은 없었다. 학교의 실내공기 중 세균 농도에 대한 연구자들의 조사결과는 7~19,500 CFU/m³의 범위였으며, 스웨덴에 위치한 38개 학교 96개 교실에서 측정된 진균 농도는 평균이 500 CFU/m³, 최대값이 4,500 CFU/m³이었고, 미국 Connecticut주의 2개 초등학교에서 진균의 포자를 측정된 결과는 2,000~50,000 spore/m³의 범위였다(10, 22). 주택의 경우 실내공기 중 세균의 농도는 폴란드에서 88~4,751 CFU/m³의 범위였고, 진균의 농도는 폴란드에서 2~16,968 CFU/m³, 일본 Yokohama에서 <13~3,750 CFU/m³, 그리고 Taiwan 남부 도시에서는 1,605~18,306 CFU/m³로 측정되었다(14, 25, 27). 국내 종합병원에서 세균의 농도는 128~971 CFU/m³의 범위였다(4, 5). 본 연구에서 실외공기 중 세균의 농도는 17~2,630 MPN/m³, 진균은 33~1,681 MPN/m³의 범위였고, D 유치원에서의 계절별 I/O ratio는 세균 0.6~10.3, 진균 1.7~6.1로 실내에서의 미생물 농도가 실외보다 높았다.

유치원의 실내공기에서는 그람양성의 구균이 가장 많이 분포하였고, 다음으로 그람음성의 막대균이 많았으며, *Micrococcus* 속이 그람양성 세균의 다수를 차지하였다. 겨울에 30L의 실외공기를 포집한 배지에 생성된 세균의 집락수가 적어서 실내와 실외의 비교는 곤란하였다(Table 1, Table 2). 한편, 국내병원 실내공기의 미생물종에서 발현 빈도가 높은 속은, 정과 백(4)의 연구에서는 *Staphylococcus* 73.0%, *Micrococcus* 20.7%, *Lactobacillus* 4.6% 등으로 나타났으며, 조 등(5)은 *Staphylococcus* 57.5%, *Micrococcus* 21.4%, *Enterococcus* 10.4%, *Bacillus* 7.2%로 보고하였다. 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 발견되었다(14).

본 연구에서 진균 중 *Penicillium* 속과 *Aspergillus* 속을 유치원의 실내와 실외 공기에서 확인할 수 있었으며, 동정된 것 중에는 *Penicillium* 속이 가장 많았다. 폴란드의 조사에서도 *Penicillium* spp.가 조사한 세대의 97%에서, *Aspergillus* spp.는 62%에서 확

Table 4. Morphological identification of airborne fungi on DRBC agar (winter)

Origin (# of colonies examined)	Identification (# of colonies)
Indoor (23)	<i>Penicillium</i> spp. (12)
	<i>Aspergillus</i> spp. (3)
	<i>Mucor</i> spp. (2)
	unidentified (6)
Outdoor (6)	<i>Penicillium</i> spp. (4)
	<i>Aspergillus</i> spp. (2)

인되었다(14). 한편, *Penicillium* 속의 높은 농도가 빌딩증후군과 관계가 있다는 보고도 있다. 실내공기질의 문제가 제기된 미국의 48개 학교를 대상으로 한 조사에 의하면, 20개 학교에서 *Penicillium* spp.의 농도가 실외나 실내공기질의 문제가 없는 곳에서 보다 유의성이 있게 더 높았다(9). 또한 빌딩증후군의 문제가 심각한 미국의 한 호텔의 객실(실내)과 발코니(실외)에서 행한 조사에 의하면, *Penicillium* 속이 조사한 객실의 공기 시료에서 모두 우점하였지만, 발코니의 경우 시료에 따라 *Cladosporium* 속 혹은 *Penicillium* 속이 우점하였다(17). 반면, 핀란드에서 실내공기질의 문제가 있는 24개 학교와 그렇지 않은 8개 학교에서 행한 연구의 결과는, 모든 학교에서 *Penicillium* 속, *Cladosporium* 속, *Aspergillus* 속, yeast 등이 보편적으로 존재하였으며, *Penicillium* 속, *Aspergillus* 속, yeast 등은 두 그룹의 학교에서 차이가 없었지만 *Cladosporium* 속의 농도는 실내공기질의 문제가 있는 학교에서 더 높았다(19). 본 연구에서 진균의 동정은, 겨울에 30L의 공기를 포집한 배지를 대상으로 하였으며, 생겨난 집락수가 많지 않아 실내와 실외의 진균 분포에 대한 자세한 비교를 할 수 없었다. 유치원의 실내공기에서 진균중 다수를 차지하는 *Penicillium* 속이 실내공기질에 미치는 영향에 대한 보다 체계적인 연구가 진행되어야 할 것이다.

본 연구에서는 배양에 기초한 방법으로 공기중 세균과 진균의 농도를 조사하였으며, 현재의 방법으로 배양할 수 있는 미생물이 전체 미생물 군집의 일부라는 사실을 고려할 때, 실제 공기 중에 존재하는 살아있는 미생물을 과소평가하였을 가능성은 여전히 있다. 실내공기의 생물독성을 평가함에 있어 총미생물 부하량을 결정하는 것이 매우 중요하며, 실내공기질의 보다 정확한 미생물 학적인 평가를 위해, 공기 중의 16S/18S rDNA 수준이나 lipid biomarker의 측정을 통한 분자적 정량과 배양을 통한 생균수 측정을 동시에 진행하는 것이 바람직하다고 생각된다. 본 연구의 결과는 계절에 따른 미생물 농도의 변이를 보여주었으며, 학교환경에서 bioaerosol의 허용수준을 결정함에 있어 이를 고려해야 할 필요가 있다.

감사의 말

본 연구는 2002년 울산대학교의 연구비 지원에 의해 수행되었음

참고문헌

1. 김윤신. 1989. 실내공기오염. 대한의학협회지 32, 1279-1285.
2. 방선재. 1994. 서울시 일부 공중 이용 시설의 실내 공기 중 미생물 분포에 관한 연구. 공학석사학위논문. 한양대학교.
3. 송재훈, 배직현. 1990. Air sampler를 이용한 병원 내 공기 중 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 공기중 미생물 평가. 한국산업위생학회지 10, 115-125.
6. 하권철, 백남원. 1991. 미생물을 이용한 일부 병원, 가정 및 일반 대기질의 평가. 한국산업위생학회지 1, 73-81.
7. Atlas, R.M. and L.C. Parks. 1996. Handbook of microbiological media. CRC press, Boca Raton, Florida.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. 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.
12. Garrett, M.H., P.R. Rayment, M.A. Hooper, M.J. Abramson, and B.M. Hooper. 1998. Indoor airborne fungal spores, house dampness and associations with environmental factors and respiratory health in children. *Clin. Exp. Allergy* 28, 459-467.
13. Gorny, R.L., T. Reponen, K. Willeke, D. Schmechel, E. Robine, M. Boissier, and S.A. Grinshpun. 2002. Fungal fragments as indoor air biocontaminants. *Appl. Environ. Microbiol.* 68, 3522-3531.
14. 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.
15. 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.
16. 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.
17. 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.
18. 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.
19. Meklin, T., T. Husman, A. Vepsäläinen, 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.
20. 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.
21. Murray, R.G.E., R.N. Doetsch, and C.F. Robinow. 1994. Determinative and cytological light microscopy, p. 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.
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 1, 2003/Accepted June 19, 2003)

ABSTRACT: Seasonal Monitoring of Airborne Microbial Concentrations in Kindergartens
Kwanghwan Hwang, Ahmi Lee, Hyunjin Shin, and Jongseol Kim* (Department of Microbiology and Genetic Engineering, University of Ulsan, Ulsan 680-749, Korea)

To assess microbiological indoor air quality in kindergartens, concentrations of viable airborne microorganisms were seasonally determined at three kindergartens in Ulsan from April, 2002 to January, 2003. Sampling was performed with an impaction-type air sampler and three different media. The numbers of bacteria grown on *Staphylococcus* medium were between 84 and 4,150 MPN/m³ with an average of 827 MPN/m³, and those on standard method agar ranged from 50 to 2,636 MPN/m³ with an average of 580 MPN/m³. The bacterial concentrations were highest in summer, followed by fall, spring, and winter, and were significantly correlated with indoor temperature. Among the colonies, 45.6~61.0% were observed as Gram-positive cocci and 8.5~20.6% were Gram-negative rods. *Micrococcus* species were the dominant organisms. The numbers of fungi ranged from 0 to 1,888 MPN/m³ (661 MPN/m³ average) based on colony counts with dichloran rose bengal chloramphenicol agar. On average, the fungal concentrations were highest in summer and lowest in winter. *Penicillium* species and *Aspergillus* species were identified from the colonies. The obtained data can be utilized as a step to set a guideline for bioaerosols in indoor environment of schools.