

유치원 교실에서 공기 중 박테리아와 곰팡이 발생에 영향을 미치는 요인

박동욱[†] · 조경아 · 윤충식* · 한인영** · 박두용**

한국방송통신대학교, *대구 가톨릭대학교, **한성대학교

Factors Influencing Airborne Concentration of Fungi, Bacteria and Gram Negative Bacteria in Kindergarten Classroom

Park Donguk[†] · Jo Kyunga · Yoon Chungsik* · Han Inyoung** · Park Dooyong**

Korea National Open University

**Catholic University of Daegu*

***Hansung University*

(Received Aug. 27, 2004/Accepted Nov. 14, 2004)

ABSTRACT

Airborne bacteria, gram negative bacteria (GNB) and fungi were measured in 70 class of 17 kindergartens. The objective of this study is to identify the factors influencing airborne concentrations of bacteria, GNB and fungi using multiple regression analysis. The average concentrations of bacteria and fungi exceeded 1,000 CFU/m³. The average of GNB was 3.7×10² CFU/m³. This results indicated that air of kindergartens was contaminated with microbes such as bacteria and fungi. ANOVA test found that the concentrations of bacteria, GNB and fungi were significantly different by the characteristics of weather (rain, after rain, sunny) sampling date (July, August, September and October), the location of sampling site (ground level and basement) and the location of toilet (inside class, nearby class and away class). Multiple regression tests concluded that sampling date, the scale of city where kindergartens are located, the location of sampling site and ventilation efficiency can significantly affect the airborne concentration of bacteria, GNB and fungi. Most of these factors could be related moisture. Environmental factors that can cause the increment of moisture should be controlled in order to reduce airborne concentration of bacteria, GNB and fungi. Legal actions concerning prohibition on the presence of toilet inside class and ventilation criteria should be taken.

Keywords: airborne bacteria, airborne fungi, GNB, kindergartens

I. 서 론

현재 국내외에서 성인은 물론 어린이들의 천식, 비염 등 호흡기계 질환은 급증하고 있다(Peter, 2000; Shapiro 등, 2002; Stephen 등, 2002). 특히 천식 유병율은 세계적으로 증가하고 있으며 식생활이 서구화되고 도시화되면서 이러한 경향은 더욱 뚜렷해졌다. 세계 천식의 날 활동위원회(World Asthma Day Activity Organizer, WADAO)의 조사에 의하면 오스트레일리아는 어린이 4명 중 1명이 천식을 가지고 있어 가장 두드러진 천식 증가율을 보이고 있다고 한다. 미국은

1980년에서 1998년까지 천식을 가진 사람이 두 배로 증가했으며, 현재는 1,700만으로 추정되고 있다. 초등학교에 다니는 어린이 13명 중 1명은 천식을 가지고 있고 지금도 증가하고 있는 것으로 알려져 있다(WAD Activity Organizer, 2004). 우리나라는 1980년대 초 3~4%에 불과하던 소아천식의 유병율이 2배 이상 증가하였다. 1988년에는 소아천식 유병율이 6~7세는 15.3%, 13~14세는 7.7%로 나타났다. 소아 전체로 보면 100명 중 10명이 천식을 앓고 있으며 이 중 50%인 5명은 평생천식을 앓는 것으로 조사되었다(천식 및 알레르기예방운동 본부, 2004).

천식을 포함한 호흡기계 질환의 발생은 유전적요인은 물론 환경에서 발생하는 유해인자의 노출과 밀접한 관련이 있으며, 호흡기계 질환을 초래하는 화학적·생물

[†]Corresponding author : Korea National Open University
Tel: 82-2-3668-4707, Fax: 82-2-741-4701
E-mail : pdw545@knou.ac.kr

학적 유해인자는 대단히 많다(Arturo 등, 2000; Shapiro 등, 2002). 호흡기계 질환 중 천식, 비염(rhinitis), 부비동염(sinusitis), 아토피, 폐렴 등과 같은 과민성질환은 면역체계가 항원(antigens)을 “다른 물질”로 인식하여 생긴 인체의 지나친 면역반응에 의해 초래되는 것으로 곰팡이나 박테리아 유기체 자체, 포자 그리고 세포산물 등이 원인인자가 될 수 있다. 곰팡이는 약 60종 이상이 알려지성 비염과 천식을 초래하는 항원을 생산한다(ACGIH, 1999). 이외에도 유관속식물의 꽃가루(pollen), 절지동물의 분비물, 포유동물의 살갓, 노(urine), 침(saliva) 그리고 조류(birds)의 건조된 분비물 등도 천식과 비염을 초래하는 위험인자이다(ACGIH, 1999).

생물학적 유해인자들은 사람이 생활하는 곳에는 언제나 존재한다. 이는 생물학적 인자들이 성장하기 위한 조건인 장소, 영양분, 습기, 온도 등이 사람이 생활하는 환경조건과 비슷하기 때문이다. 생물학적 인자들은 가정은 물론 유아원, 놀이방, 유치원 등 유아교육시설에도 흔히 발생된다(Dybendal 등, 1992; Dybendal과 Elsayed, 1994; Munir 등, 1996; Kempen 등, 2000; Manuel 등, 2002). 많은 연구자들이 이러한 장소들을 대상으로 호흡기계 질환을 초래할 수 있는 항원인 집 먼지진드기, 고양이, 바퀴벌레, 꽃가루 등에 대한 농도(Ehnert 등, 1992; Zock 등, 1995; Nelson 등, 1996; Sarpong 등, 1997; Kramer 등, 1999), 이들 항원들의 농도와 천식과의 상관(Munir 등, 1993; Dorneals 등, 1995; Chapman 등, 1998; Yang 등, 1998; Perzanowski 등, 1999), 천식의 유병율과 어린이들의 사회경제적인 상태 및 인종과의 관계에 대한 연구(Persky 등, 1998) 등을 보고하였다. 또한 어린이집을 포함한 실내 환경에서 곰팡이나 박테리아의 농도 조사(Warner 등, 1996; Reponen 등, 1989; Hyvarinen 등, 2002), 천식을 예방하기 위한 관리프로그램(Stephen 등, 2002) 등이 제안되었다.

우리나라에서는 생물학적 유해인자의 노출을 예방하기 위한 제도, 예방프로그램 등은 거의 없다. 물론 어린이들이 생활하는 환경에서 생물학적 유해인자의 발생, 노출, 건강장해 등과 관련된 보고나 연구도 없다. 특히 영·유아와 유치원 어린이들은 각종 환경위험인자에 대한 저항능력이 낮으므로 어린 시기에 유해인자에 대한 노출은 평생건강에 악영향을 미친다(Dybendal, 1992; Dorneals 등, 1995; Arturo 등, 2000). 따라서 어린시기에 호흡기계 질환을 초래하는 유해인자들의 발생을 억제하여 그에 대한 노출을 최소화하는 예방대책이 필요하다.

본 연구에서는 유치원에서의 공기 중 박테리아, 그람

음성박테리아(gram negative bacteria, GNB) 그리고 곰팡이에 대한 농도를 조사하는 한편 이들의 발생에 영향을 미치는 환경요인을 분석하였다. 구체적인 목적은 첫째, 공기 중에서 박테리아, GNB, 곰팡이 농도를 조사하여 환경요인(도시규모, 날씨, 계절, 교실위치, 화장실 위치, 환기상태)과 비교한다. 둘째, 공기 중 박테리아, GNB, 곰팡이의 발생에 영향을 미칠 수 있는 환경인자를 분석한다.

이 연구는 향후 유치원이나 유아시설에서 생물학적 유해인자의 발생을 억제하고 호흡기계질환을 예방할 수 있는 제도의 도입이나 프로그램 운영에 활용될 수 있는 것으로 판단된다.

II. 조사대상 및 방법

1. 대상

총 17개 유치원(도시지역 76.5%, 도시외곽 시골지역 23.5%)을 대상으로 70개의 교실(70개 지점)에서 공기 중 박테리아, GNB, 곰팡이 농도를 측정하였다. 박테리아와 곰팡이는 미생물의 일반적인 오염지표로 그리고 GNB는 배변에 의한 오염과 부적절한 환기에 따른 오염 등을 판단하는 지표로 이용하였다(ACGIH, 1999). 70개의 지점 중 14개는 유치원 밖이었다. 이 측정지점으로부터 온도, 습도, 교실위치(지하나 지상), 측정할 때의 날씨, 측정지점에서의 화장실 위치, 유치원이 속한 도시규모, CO₂ 농도에 의한 환기효율 등을 조사하였다. 조사시기는 2003. 7. 22일부터 2003. 10. 10일까지였다.

2. 방법

1) 온도, 습도, 이산화탄소 측정

온도와 습도, 이산화탄소는 IAQ-CALC(model : 8762-M-EU, TSI, U.S.A)를 이용하여 사람의 움직임에 의해 영향을 받지 않는 높이(15 m)에서 약 5분간 측정하여 평균을 구하였다.

2) 공기 중 박테리아, 곰팡이에 대한 측정 및 분석

박테리아, GNB, 곰팡이에 대한 측정 및 분석방법은 ACGIH (American Conference for Governmental hygienists, ACGIH)와 AIHA(American Industrial Hygiene Association, AIHA)가 제안한 방법을 이용하였다(AIHA, 1996). 28.3 L/분으로 보정된 충돌기(Two-stage Andersen Impactor, Serial #1447, Andersen Inc. U.S.A)에 박테리아, 곰팡이 그리고 GNB 배지를 장착하고 공기가 배지에 충돌하게 하였다. 채취시간은 5분 이내로 하여 오전과 오후에 각각 1회씩 채취하여

평균하였다. 박테리아, GNB, 곰팡이용 배지는 번갈아 장착하고 채취하였다. 배지를 교체할 때는 총돌기를 알코올로 소독하여 오염을 예방하였다. 박테리아용 배지는 TSA (Tryptic Soy Agar), 곰팡이용 배지는 SDA (Sabourand Dextrose Agar) 그리고 GNB 배지는 MAC (MacConkey Agar)를 사용했다. 채취한 배지는 배양기(MIR-262, Sanyo, Inc. Japan)에서 박테리아용 배지는 35°C에서 2일간 그리고 곰팡이용 배지는 7일간 배양한 후 성장한 총 집락수(colony forming unit, CFU)를 계수하였다. 총 집락수를 채취된 공기용량으로 나누어 공기 중 농도(CFU/m³)로 표시하였다.

3) 자료분석

연속변수(continuous variable)는 공기 중 습도, 온도, 공기 중 박테리아, GNB 그리고 곰팡이 농도였다. 이산변수(discrete variable)는 도시규모, 측정할 때 날씨, 측정시기(계절), 교실위치(지상, 지하), 측정지점에서 화장실 위치, 유치원이 속한 도시규모, CO₂ 농도에 의한 환기효율 등의 범주로 구분하여 집단간 평균분석과 회귀분석을 하였다. 회귀분석은 이산변수를 가변수(dummy)로 처리하여 기준변수(reference)에 대한 상대적인 영향을 분석하였다.

- 도시규모 : 대도시, 소규모, 시골(reference)
- 측정유치원의 주소가 특별시와 광역시인 경우 대도시, 일반 시(city)는 소규모 그리고 군인 경우는 시골로 구분하였다.
- 날씨 : 비올 때, 비온 후, 맑을 때(reference)
- 측정시기(계절) : 7월, 8월, 9월, 10월(reference)
- 교실위치 : 1층 이상, 지하, 실외(reference)
- 화장실 위치 : 교실 내, 교실 근처, 실외(reference)
- 교실 안에 화장실이 있는 경우 "교실 내", 교실과 다른 공간(같은 층, 다른 층, 외부 등)에 화장실이 있는 경우는 "교실근처"로 구분하였다.
- 환기효율 : 이산화탄소 1,000 ppm 이상, 이산화탄소 1,000 ppm 이하(reference)

종속변수인 공기 중 박테리아, 곰팡이, GNB의 농도와의 유의한 인자를 먼저 선별하기 위해서 단순회귀분석(simple linear regression)을 활용하였다. 즉, 연속변수와 이산변수 요인 중에서 유의수준(p) < 0.25 이하인 것을 선별하였다. 단순회귀분석에서 선별된 변수만을 독립변수로 하여 다중회귀분석을 실행하여 최종적으로 유의수준(p) < 0.05 이하인 것을 선정하여 모델을 구축하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 공기 중 박테리아, 그람 음성박테리아(GNB), 곰팡이

공기 중 박테리아와 곰팡이의 평균은 미생물 오염을 의심할 수 있는 기준인 1,000 CFU/m³ (OSHA, 2004) 초과하였다. 온도와 습도도 미생물이 적정하게 성장할 수 있는 상태였다. 또한 오염의 지표인 GNB의 평균도 3.7×10^2 CFU/m³(범위: $10 \sim 2.4 \times 10^3$ CFU/m³)으로 나타나 본 조사대상인 유치원의 교실은 전반적으로 미생물이 번식할 수 있는 오염상태임을 확인할 수 있었다(Table 1). 유치원에 따라 이러한 농도보다 훨씬 오염된 교실도 있었다. 우리나라에서는 생물학적 오염상태를 감시할 수 있는 제도적인 수단은 전혀 없다. 핀란드 보건복지부(Ministry of Social Affairs and Health)에서는 곰팡이 농도가 100 CFU/m³가 넘고 오염의 지표가 되는 미생물 종이 발견되면 측정과 상관없이 오염의 근원을 개선하는 공학적인 대책을 세워야 한다고 제시하고 있다(Reponen, 1989).

Reponen(1989)가 보고한 핀란드 가정에서 조사한 곰팡이 농도범위는 3~1,300 CFU/m³이었고 박테리아는 30~2,500 CFU/m³으로 본 연구결과와 비슷하다. 1994년에 그의 다른 연구논문에서는 3개의 유치원(daycare) 시설과 9개의 거주 공간(습기문제가 있었고 미생물 번식이 관찰되었으며 기계에 의한 환기를 하고 있는 10~20년이 된 건물)에서 측정한 곰팡이농도는 가을에는 유치원이 40~600 CFU/m³, 거주공간에서는 20~9,800 CFU/m³이었고 겨울은 유치원이 15~230 CFU/m³, 거주공간은 25~530 CFU/m³으로 나타났다(Reponen 등, 1994). Hyvarinen 등(2001)은 2개의 가정집을 대상으로 연중 곰팡이의 농도변화를 조사하였다. 습기문제가 있었던 곳에서 측정된 곰팡이 농도가 습기문제가 없었던 장소보다 유의하게 높았다. 보고된 농도범위는 7~1,425 CFU/m³이었고 계절별, 하루 시간별로 농도의 유의한 변화를 나타냈다. 계절적으로는 겨울이 시작되

Table 1. Mean and standard deviation of temperature, humidity, culturable bacteria, gram negative bacteria (GNB) and fungi in classroom air in kindergartens

	Mean (SD)	Range
Temperature (°C)	26.5(1.89)	22.7-30.7
Humidity (%)	72.0(11.5)	41.0-95.0
Culturable total bacteria (CFU/m ³)	1,800(1,000)	210-5,800
Culturable GNB (CFU/m ³)	370(440)	10-2,400
Culturable fungi (CFU/m ³)	1,100(570)	67-2,500

기 전 그리고 하루 중에는 사람들의 활동시간이 많은 오전에 가장 높은 농도로 관찰되었다. 곰팡이 등 미생물의 오염은 습기, 사람의 활동, 계절, 환기방법 등에 영향을 받을 수 있는 것으로 볼 수 있다.

Teeuw 등(1994)은 네덜란드에 있는 19개 건물을 대상으로 빌딩증후군(sick building syndrome, SBS)에 대한 호소율이 높았던(sick building) 건물과 그렇지 않은 건물(healthy building)에서 미생물 농도를 비교하였다. SBS 증상 호소율이 높았던 건물에서 평균농도는 총 박테리아가 159 CFU/m³, GNB는 22 CFU/m³ 그리고 곰팡이는 38 CFU/m³이었다. SBS가 나타났던 건물에서 GNB와 엔도톡신(endotoxin)의 농도가 유의하게 높은 것으로 보고하였다. 이들이 보고한 GNB 농도범위(10~33 CFU/m³)는 본 연구결과보다 훨씬 낮았다.

실내에서 GNB가 검출될 경우 실내는 깨끗하지 않은 상태, 배변의 오염 그리고 부적절한 환기 등을 의심할 수 있다. 본 연구의 측정시기, 측정장소, 측정방법 등이 달라 농도만을 단순 비교한 결과만으로는 여러 가지 제한점이 있다 할지라도 본 연구대상인 유치원에서의 박테리아와 곰팡이 오염은 우려할만한 것으로 판단된다. 그러나 곰팡이 농도는 실내환경에서 가장 미생물오염이 심한 것으로 인식되는 물이 침범한 천장, 물이 누수된 타일이나 천장, 오염된 가습기, 곰팡이가 오염된 환경을 개선할 때 발생하는 농도(10⁵~10⁶ CFU/m³) (Rautiala 등, 1996) 보다는 낮았다.

2. 이산변수 특성별 공기 중 박테리아, 그람음성박테리아(GNB), 곰팡이 농도 비교

Table 2는 박테리아, GNB 그리고 곰팡이 농도를 이산변수의 특성별로 비교한 것이다. 즉 도시의 규모, 측정할 때의 날씨, 계절(7, 8, 9, 10월), 교실의 위치, 화장실의 위치 그리고 환기상태 등으로 구분하여 통계적으로 농도의 차이가 있는지를 분석한 것이다.

공기 중 곰팡이 농도는 유치원이 위치한 도시의 규모와는 상관이 없었다. 그러나 대규모 도시(서울, 창원 등)보다 오히려 소규모의 도시에 위치한 유치원에서 박테리아($p=0.028$)와 GNB($p=0.020$)의 농도는 유의하게 높았다. 이것은 실내 환경요인에 따라 생물학적 인자의 오염이 영향을 받을 수 있는 것을 의미한다.

측정할 때의 날씨는 박테리아와 GNB 발생농도에 유의한 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다($p=0.810$). GNB는 날씨가 맑을 때 측정된 값(525 CFU/m³)이 비 온후나 비올 때 보다 높았으나 유의한 차이는 없었다($p=0.225$). 그러나 곰팡이는 비가 올 때(1,433 CFU/m³)와 비온 후(1,389 CFU/m³)에 측정했던 농도는 맑을

때(925 CFU/m³)보다 유의하게 높았다($p=0.001$). 이것은 비가 오거나 비온 후에는 맑을 때 보다 습도가 높아 곰팡이의 번식이 활발해지기 때문인 것으로 판단된다. 미생물의 번식은 습기가 결정적인 요소이다(Miller 등, 1992; ACGIH, 1999). 비가 오거나 비온 후에는 공기 중 습도가 높아 미생물이 번식하고 이에 따라 어린이들의 노출이 클 수 있다. 따라서 습기가 많은 곳, 누수된 곳 등을 철저히 관리하여 실내를 건조하게 하는 조치가 필요하다.

박테리아 평균농도는 7, 8, 9월이 10월에 비해 높았지만 월별 집단간에 유의하지는 않았다($p=0.418$). 반면에 곰팡이와 GNB는 7월과 8월이 9월과 10월에 비해 높았다. 곰팡이는 7월, 8월, 9월에 측정된 평균이 1,000 CFU/m³을 초과하였고 GNB도 7월과 8월에 500 CFU/m³을 초과한 것으로 볼 때 미생물 오염의 근원이 있는 유치원 교실이 많은 것으로 짐작할 수 있다. 이처럼 여름(7,8월)에 농도가 높은 이유는 미생물의 성장에 결정적인 영향을 미치는 습도와 온도 등이 높기 때문이다. Reponen 등(1989)의 연구결과를 보면 실외 곰팡이 농도는 겨울에 낮고 봄과 가을에 높았다. 이것은 봄과 가을이 미생물의 성장에 보다 적합한 온도와 습도가 마련되는 환경이기 때문이다. 특별히 실내에 미생물이 오염될 수 있는 근원이 없다면 실내의 오염은 실외 농도의 영향을 받을 것이다. Hyvarinen 등(2001)은 겨울철 외의 계절에는 외부에서 바람에 의해 포자가 실내로 유입되어 영향을 미칠 수 있다고 하였다.

측정할 장소를 층별(1층 이상, 지하, 실외)로 구분하여 박테리아와, 곰팡이 농도를 비교한 결과 지하에서의 박테리아, 곰팡이, GNB 평균 농도가 지상이나 실외보다 유의하게 높았다. 특별히 GNB 평균 농도는 1,185 CFU/m³으로 실외나 지상에 비해 3배 이상 높았다. 지하에서 미생물 발생이 높은 것은 높은 습도(75%), 햇빛차단, 부적절한 환기 등으로 미생물 성장에 바람직한 조건이 되기 때문인 것으로 판단된다. 본 조사대상 유치원은 모두 자연환기였기 때문에 지하실에 외부의 깨끗한 공기의 공급이 어려웠다. 따라서 생물학적 유해인자에 대한 노출을 줄이기 위해서는 지하에서 수업이나 다른 활동들을 줄이는 한편 기계환기를 설치하여 외부의 신선한 공기가 정상적으로 유입되도록 하여야 한다.

위에서 고찰한 바와 같이 측정할 때 날씨, 측정시기, 측정위치(지하나 지상) 등에서 공통적인 특성은 습도(습기)이다. Hyvarinen 등(2001)은 습기문제가 있었던 집에서 그렇지 않은 집보다 곰팡이 농도가 유의하게 높은 것으로 보고하였다. 지하나 습기가 많은 시기에는

미생물의 오염을 예방하기 위해서 습기제거, 습기유입 차단, 환기 등을 철저히 해야 한다.

화장실이 교실 내에 있는 곳(교실 안에 화장실이 있는 곳)에서 측정된 박테리아, GNB 그리고 곰팡이 농도는 화장실이 교실 근처에 있거나 떨어져 있는 곳에서 측정된 것보다 훨씬 높았다. 특별히 오염의 지표로 알려진 GNB는 894 CFU/m³으로 2배 이상 유의하게 높았다(p=0.041). 화장실이나 동물의 분변은 병원성 미생물을 포함한 각종 미생물이 심각하게 오염될 수 있는 근원이다. 노출될 경우 질병을 직접 초래할 수 있다(ACGIH, 1999). 따라서 어린이들의 학습활동이나 놀이

활동이 많은 장소, 교실 등의 내부나 근처에는 화장실을 설치하지 않는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 화장실은 가능하면 어린이들이 활동공간과 멀리 떨어진 곳에 설치하는 것이 바람직하다. 이러한 조치가 불가능할 경우 환기장치를 설치하여 화장실내의 공기압력은 음압이 되도록 함으로써 화장실의 오염된 공기가 밖으로 나오지 않도록 해야 한다.

현재 영유아보육법 및 유아교육법에서는 교실, 놀이 공간 등에 대한 1인당 차지하여야 할 면적이 나타나 있을 뿐 환기율이나 온도도에 대하여서는 구체적으로 규정되어 있지 않으며, 보육실에 한하여 지하층의 경우

Table 2. Mean and standard deviation by characteristics of discrete variables

Discrete variables	No. of sample	Mean \pm SD		
		Total bacteria	GNB	Fungi
Scale of city				
Large	29	1,558 \pm 739	197 \pm 241	990 \pm 482
Small	27	2,229 \pm 1,310	520 \pm 564	1,259 \pm 496
County	14	1,554 \pm 660	411 \pm 347	1,115 \pm 793
P value		0.028	0.020	0.206
Weather				
Rain	15	1,928 \pm 514	431 \pm 389	1,433 \pm 298
After rain	41	1,854 \pm 1,317	301 \pm 485	925 \pm 621
Sunny	14	1,681 \pm 396	525 \pm 325	1,389 \pm 324
P value		0.810	0.225	0.001
Season				
July	6	1,872 \pm 623	564 \pm 227	1,242 \pm 198
August	41	1,808 \pm 566	509 \pm 503	1,394 \pm 444
September	18	2,068 \pm 1,809	73 \pm 95	734 \pm 480
October	5	1,181 \pm 713	123 \pm 108	203 \pm 100
P value		0.418	0.001	0.000
Classroom location				
Ground level	49	1,976 \pm 1,109	310 \pm 328	1,114 \pm 529
Basement	6	2,038 \pm 560	1,185 \pm 801	1,664 \pm 457
Outdoor air	14	1,230 \pm 810	259 \pm 237	1,000 \pm 616
P value		0.055	0.000	0.042
Toilet location				
Inside classroom	4	2,986 \pm 1,931	894 \pm 695	1,480 \pm 520
Nearby classroom	11	1,618 \pm 583	342 \pm 275	1,311 \pm 476
Away classroom	55	1,795 \pm 1,010	342 \pm 442	1,064 \pm 576
P value		0.066	0.041	0.183
Ventilation efficiency by CO₂ concentration				
>1,000 ppm of CO ₂	13	2,331 \pm 586	407 \pm 491	1,236 \pm 359
<1,000 ppm of CO ₂	45	1,733 \pm 1,209	117 \pm 407	1,024 \pm 570
P value		0.092	0.040	0.213

에는 건축물의 80/100 이상이 지상에 노출되어 있어야 한다고 제시되어 있을 뿐이다(보건복지부 2000; 교육인적자원부 2001; 교육인적자원부 2004). 그러므로 유치원에서 화장실이나 지하실과 같은 미생물 오염의 근원이 되는 장소에 대해서는 설치에 관한 구체적인 법적 기준이 제정되어야 한다고 판단된다. 예를 들면 화장실의 경우 교실 내 설치를 금지하거나 설치를 허용하더라도 구체적인 환기조건 등을 제안하는 것이 필요하다고 판단된다. 또한 지하실도 환기와 관련된 구체적인 법적기준이 필요할 것으로 판단된다.

환기효율에 따른 구분에서는 환기효율이 낮았던(이산화탄소 농도가 1,000 ppm 이상) 지점에서 박테리아와 곰팡이의 농도가 상대적으로 높았으나 유의하지는 않았다. 그러나 GNB 농도는 이산화탄소 농도가 높은 곳에서는 406 CFU/m³으로 낮은 곳에서의 농도(117 CFU/m³)보다 유의하게(p=0.040) 높았다. 이것은 부적절한 환기에 의해서도 미생물의 번식은 영향을 받는 것으로 판단된다.

3. 공기 중 박테리아, 그람음성박테리아(GNB), 곰팡이 발생에 영향을 미치는 요인

단순회귀분석에 의해 공기 중 박테리아, GNB, 곰팡이의 발생에 영향을 미치는 요인을 유의수준 p<0.25로 선별하였다. 박테리아, GNB, 곰팡이 발생에 영향을 미치는 유의한 변수가 모두 일치하지는 않았다(Table 3).

박테리아는 유치원이 위치한 도시규모, 측정할 때의 날씨, 측정시기, 교실의 위치, 화장실 위치, 환기효율의 공기 중 박테리아 발생에 영향성을 나타냈다. GNB의 발생에 유의한 영향을 미치는 인자는 습도, 유치원이 위치한 도시규모, 측정할 때의 날씨, 측정시기(계절), 교실의 위치, 화장실 위치, 환기효율이었다. 곰팡이 발생은 온도, 습도, 측정할 때 날씨, 측정시기(계절), 교실의 위치, 화장실 위치, 환기효율과 유의한 관련이 있는 것으로 분석되었다.

이와 같이 단순회귀분석에서 p<0.25 이하로 선별된 요인들을 독립변수로 설정하여 다중 회귀분석모델에 입

Table 3. Results of simple linear regression analyses for selection of variables as potential predictors of airborne concentrations of total bacterial, GNB and fungi(log-transformed, base 10), variables with p < 0.25

Dependent \ Independent	Log(Total bacteria), CFU/m ³			Log(GNB), CFU/m ³			Log(Fungi), CFU/m ³		
	β(S.E)	R ²	P-value	β(S.E)	R ²	P-value	β(S.E)	R ²	P-value
Temperature (°C)							0.084(0.021)	0.195	0.000
Humidity				0.02(0.006)	0.101	0.007	0.010(0.004)	0.105	0.006
Scale of city(reference: country)									
• Large	0.144(0.063)	0.072	0.025	0.331(0.145)	0.072	0.025	0.179(0.087)	0.058	0.044
• Small	-0.106(0.065)	0.038	0.108	-0.466(0.141)	0.138	0.002	-0.106(0.090)	0.02	0.243
Weather(reference: sunny)									
• Rain	0.10(0.077)	0.022	0.220	0.300(0.176)	0.041	0.094	0.25(0.103)	0.079	0.018
• After rain	-0.08(0.065)	0.023	0.208	-0.526(0.136)	0.180	0.000	-0.323(0.081)	0.190	0.000
Season(reference: Oct.)									
• July				0.518(0.257)	0.056	0.048			
• August	0.10(0.064)	0.032	0.137	0.613(0.130)	0.245	0.000	0.408(0.075)	0.304	0.000
• September				-0.845(0.135)	0.367	0.000	-0.321(0.093)	0.148	0.001
Classroom location(reference: outdoor)									
• 1st floor	0.171(0.069)	0.085	0.015	-0.201(0.164)	0.22	0.223			
• Basement				0.789(0.248)	0.131	0.002	0.271(0.153)	0.045	0.082
Toilet location(reference: away class)									
• Inside Class	0.235(0.136)	0.042	0.088	0.523(0.312)	0.04	0.098	0.211(0.189)	0.018	0.267
• Nearby Class							0.171(0.120)	0.029	0.158
Ventilation efficiency (reference: <CO ₂ 1,000 ppm)									
• >CO ₂ 1,000ppm	0.203(0.081)	0.100	0.015	0.391(0.186)	0.073	0.041	0.178(0.116)	0.040	0.130

GNB: Gram Negative Bacteria, β = Estimated regression coefficient, SE = Standard Error

력하였다. 다중회귀모델에 의해 공기 중 박테리아, GNB 그리고 곰팡이 발생에 영향을 미치는 요인과 그 모델은 아래와 같다(Table 4).

$$\log(\text{공기 중 박테리아}) = 3.105 + 0.20 \times \text{“이산화탄소 1,000 ppm 이상”} + 0.20 \times \text{“대규모도시”} \quad (p=0.000, R^2=0.244)$$

$$\log(\text{공기 중 GNB}) = 1.845 - 0.374 \times \text{“소규모도시”} + 1.28 \times \text{“7월”} + 0.696 \times \text{“8월”} + 0.829 \times \text{“지하교실”} + 0.342 \times \text{“이산화탄소 1,000 ppm 이상”} \quad (p=0.000, R^2=0.748)$$

$$\log(\text{공기 중 곰팡이}) = 0.234 - 0.240 \times \text{“대규모도시”} + 0.529 \times \text{“7월”} \times 0.297 \times \text{“8월”} - 0.0 \times \text{“온도”} + 0.382 \times \text{“지하교실”} - 0.075 \times \text{“이산화탄소 1,000 ppm 이상”} \quad (p=0.000, R^2=0.656)$$

다중회귀모델에 포함된 유의한 변수는 기준변수(조사 대상 및 방법에서 자료 분석 항 참조)에 대한 상대적인 영향이다. 예를 들면 이산화탄소의 농도(환기효율)가 공기 중 박테리아의 발생에 유의한 영향을 미쳤다는 것을 기준변수인 “이산화탄소 농도 1,000 ppm 이하(환기효율 적정)”에 대해 “이산화탄소 1,000 ppm 이상”인 지점에서 상대적으로 유의하게 공기 중 박테리아의 발생이 높았다는 의미이다. 또 다른 유의한 변수로 분석된 “대규모도시”에 위치한 유치원에서 공기 중 박테리

아 농도는 기준변수인 “시골”에 비해 상대적으로 유의하게 높다는 것이다.

GNB와 곰팡이 발생에 영향을 미치는 공통적인 인자는 측정시기, 도시규모, 측정위치, 환기효율 등으로 분석되었다. 분산분석에서는 화장실 위치가 GNB와 곰팡이 발생에 영향을 미쳤으나 다중회귀분석에서는 유의성이 없는 것으로 나타났다. 이것은 농도는 차이가 있었으나 시료 수가 단지 4개로 적었기 때문인 것으로 판단된다. 공기 중 박테리아와 곰팡이 발생에 영향을 미칠 수 있는 인자들을 파악하기 위해서는 충분한 시료 수, 변수의 확대를 포함하는 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다. 이러한 연구결과들은 유치원내에서 미생물의 발생을 억제하기 위한 구체적인 법적기준을 제정하는데 도움이 될 것으로 판단된다.

IV. 결 론

17개 유치원의 70여개 교실의 공기 중에서 측정된 박테리아와 곰팡이 평균농도는 오염을 의심할 수 있는 기준인 10^3 CFU/m³을 초과하였다. 또한 그람음성박테리아(GNB)의 평균도 3.7×10^2 CFU/m³으로 나타나 유치원의 교실은 전반적으로 미생물이 번식할 수 있는 오염상태였다. 변수의 특성별로 구분하여 분산분석(ANOVA)을 실시한 결과 측정할 때 날씨(비움, 비운

Table 4. Summary of independent variables, coefficients, and standard errors of the multiple linear regression model for predicting airborne concentrations of total bacteria, GNB and fungi (log-transformed, base 10), variables with $p < 0.05$

Independent	Dependent: Log(Total bacteria), CFU/m ³			Dependent: Log(GNB), CFU/m ³			Dependent: Log(Fungi), CFU/m ³		
	β(S.E)	R ²	P-value	β(S.E)	R ²	P-value	β(S.E)	R ²	P-value
Intercept	3.105(0.044)		0.000	1.845(0.094)		0.000	0.234(0.064)		0.616
Temperature(°C)							0.009(0.017)	0.110	0.000
Scale of city(reference: country)									
· Large	0.204(0.063)	0.147	0.000				0.240(0.076)	0.064	0.003
· Small				-0.374(0.076)	0.064	0.003			
Season(reference: Oct.)									
· July				1.284(0.166)	0.103	0.000	0.529(0.117)	0.103	0.000
· August				0.696(0.166)	0.273	0.000	0.297(0.078)	0.273	0.000
· September									
Classroom location(reference: outdoor)									
· ≥1st floor									
· Basement				0.829(0.153)		0.000	0.382(0.111)	0.077	0.001
Ventilation efficiency (reference: <CO ₂ 1,000 ppm)									
· >CO ₂ 1,000 ppm	0.199(0.075)	0.097	0.010	0.342(0.105)	0.029	0.041	0.075(0.175)	0.029	0.041
Total		0.244			0.748			0.656	

후 값, 맑음), 측정시기(7, 8, 9, 10월), 측정위치(지하, 지상), 화장실 위치별로 박테리아, GNB, 곰팡이 농도가 유의한 차이를 보였다. 구체적으로 다중회귀분석한 결과, GNB와 곰팡이 발생에 영향을 미치는 공통적인 인자는 측정시기, 도시규모, 측정위치, 환기효율 등으로 분석되었다. 유의한 인자들은 모두 습도(습기)와 관련되어 있어 습도가 높은 계절, 시기, 장소 등에서 박테리아, GNB, 곰팡이 농도가 유의하게 높았다. 향후 유치원 교실 설치와 관련된 법적 규정을 검토할 때 미생물의 성장에 직접적으로 영향을 미치는 환경조건(습도, 온도, 환기효율 등) 등을 고려할 필요가 있는 것으로 판단된다. 특별히 어린이들의 학습활동이나 놀이 활동이 빈번한 장소나 교실 안에는 화장실 설치 금지, 환기 기준 등에 대한 구체적인 법적기준을 제정해야 한다.

참고문헌

1. 교육인적자원부. 유아교육진흥법시행령. 일부개정 2001. 1. 29 대통령령 제 17115호, 2001.
2. 보건복지부. 영유아보육법. 보육시설의 시설기준 등 [제 8조] 일부개정 2004. 3. 11 법률 제 07186호, 2004.
3. 보건복지부. 영유아보육법시행규칙. 보육시설의 시설기준[제 3조, 7조, 12조 관련]. 별표 1, 2, 5. 일부개정 2000. 8. 18 제 169호, 2000.
4. 교육인적자원부. 유아교육법. 유치원의 설립 등[제 8조]. 제정 2004. 1. 29 법률 제 07120호, 2004.
5. 천식 및 알레르기 예방본부. 질병정보 및 언론보도. 2004. Available from URL:<http://www.wadpo.or.kr>
6. American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) : Bioaerosols assessment and control. ACGIH, 1999.
7. American Industrial Hygiene Association (AIHA) : Field guide for the determination of biological contaminants in environmental samples. AIHA PRESS, 1996.
8. Arturo, B., Gwen, W., Alan, M. D., Catherine, L. G. and Cristina, L. H. *et al.* : School-based identification of asthma in a low-income population. *Pediatric Pulmon.*, **30**(4), 297-301, 2000.
9. Chapman, M. D., Aalberse, R. C., Brown, M. J. and Platts-Mills, T. A. : Monoclonal antibodies to feline allergen Fel d I, N terminal sequence analysis, and development of a sensitive two-site immunoassay to assess Fel d I exposure. *J. Immunol.*, **140**, 812-818, 1998.
10. Dorneals, D. A. A., Charpin, D. and Birnbaum, J. *et al.* : Indoor allergen levels in day nurseries. *J. Allergy Clin Immunol.*, **95**, 1158-1163, 1995.
11. Dybendal, T. and Elsayed, S. : Dust from carpeted and smooth floors. V. Cat (*Fel d I*) and mite (*Der p I* and *Der f I*) allergen levels in school dust. Demonstration of the basophil histamine release induced by dust from classrooms. *Clin. Exp. Allergy*, **22**, 1100-1106, 1992.
12. Dybendal, T. and Elsayed, S. : Dust from carpeted and smooth floors. Allergy in homes compared with those in schools in Norway. *Allergy*, **49**, 210-216, 1994.
13. Ehnert, B., Lau-Schadendorf, S., Weber, A., Buettner, P. and Schou, C. *et al.* : Reducing domestic exposure to dust mite allergen reduces bronchial hyperreactivity in sensitivity children with asthma. *J. Allergy Clin. Immunol.*, **90**, 135-138, 1992.
14. Hyvarinen, A., Meklin, T., Vepsäläinen, A., Nevalainen : Fungi and actinobacteria in moisture-damaged building materials-concentrations and diversity. *International Biode and Biode.*, **49**, 27-37, 2002.
15. Kampen V. van, Merget R. and Baur X. : Occupational airway sensitizers: an overview on the respective literature. *American J. of Industrial Med.*, **38**(2), 164-218, 2000.
16. Kramer, U., Heinrich, J., Wjst, M. and Wichmann, H.E. : Age of entry to day nursery and allergy in alter childhood. *Lancet*, **353**, 450-454, 1999.
17. Manuel, E. S., Edwin, K. S., Lars, A. H., Scott, T. W. and Juan, C. C. : Material history, sensitization to allergens, and current wheezing, rhinitis, and eczema among children in Costa Rica. *Pediatric Pulmon.*, **33**(4), 237-243, 2002.
18. Miller, J. D., Hausley, P. D. and Reinhardt, J. H. : Air sampling results in relation to extent of fungal colonization of building materials in some water-damaged buildings. *Indoor Air*, **10**, 146-151, 2000.
19. Munir, A. K., Einarsson, R. and Dreborg, S. : Allergen avoidance in a daycare center. *Allergy*, **51**, 36-41, 1996.
20. Munir, A. K. M., Einarsson, R., Schou, C. and Dreborg, S. K. G. : Allergens in school dust I. The amount of the major cat (*Fel d I*) and dog (*Can f I*) allergens in dust from Swedish schools is high enough to probably cause perennial symptoms in most children with asthma who are sensitized to cat and dog. *J. Allergy Clin. Immunol.*, **91**, 1067-1074, 1993.
21. Nelson, R. P., DiNicolo, R. and FernándezCaldas E. *et al.* : Allergen-specific IgE levels and mite allergen exposure in children with acute asthma first seen in an emergency department and in nonasthmatic control subjects. *J. Allergy Clin. Immunol.*, **98**, 258-263, 1996.
22. Occupational Safety and Health Administration. OSHA Technical manual, section III: Chapter 2, Indoor air quality, Available from URL:<http://www.osha-slc.gov/dts/otm>.
23. Persky, V. W., Slezak, J. and Contreras, A. *et al.* : Relationships of race and socioeconomic status with prevalence, severity, and symptoms of asthma in Chicago school children. *Ann. Allergy Asthma Immunol.*, **81**, 266-271, 1998.
24. Perzanowski, M. S., Rönmark, E. and Nold, B. *et al.* : Relevance of allergens from cat and dogs to asthma

- in the northernmost province of Sweden. schools as a major site of exposure. *J. Allergy Clin. Immunol.*, **103**, 1018-1024, 1999.
25. Peter, J. : Helms. Issues and unmet needs in pediatric asthma. *Pediatric Pulmon.*, **30**(2), 159-165, 2000.
 26. Rautiala, S., Reponen, T., Hyvarinen, A., Nevalainen, A. and Husman, T. *et al.* : Exposure to airborne microbes during the repair of moldy buildings. *Ame. Ind. Hyg. Associ.*, **57**, 279-284, 1996.
 27. Reponen, T. : Bioaerosol and particle mass levels and ventilation in Finnish homes. *Environ. Int.*, **15**, 203-208, 1989.
 28. Reponen, T., Hyvarinen, A., Ruuskanen, J., Raunemaa, T. and Nevalainen, A. : Composition of concentrations and size distributions of fungal spores in buildings with and without mould problems. *J. Aerosol. Sci.*, **25**(8), 595-1603, 1994.
 29. Sarpong, S. B., Wood, R. A., Karrison, T. and Eggleston, P. A. : Cockroach allergen(*Bla g 1*) in school dust. *Js. Allergy Clin. Immunol.*, **99**, 486-492, 1997.
 30. Shapiro, G. G. and Stout, J. W. : Childhood asthma in the United States: Urban issues. *Pediatric Pulmon.*, **33**(1), 47-55, 2002.
 31. Stephen, H. L. H., Ting-Fan, L., Gladys, H., Eric, W. and Albert, M. L. *et al.* : Evaluation of an asthma management program for Chinese children with mild-to-moderate asthma in Hong Kong. *Pediatric Pulmon.*, **33**(1), 22-29, 2002.
 32. The Burden of ASTHMA 2004 May 4. WAD Activity Organizer. 2004. Available from : <http://207.159.65.33/wadsetup/>
 33. Teeuw, K. B., Vandenbroucke-Grauls, C. M. J. E. and Verhoef, J. : Airborne gram negative bacteria and endotoxin in sick building syndrome: a study in Dutch government office buildings. *Arch. Intern. Med.*, **154**, 2339-2345, 1994.
 34. Warner, A. M., Björkstén, B. and Munir, A. K. *et al.* : Childhood asthma and exposure to indoor allergens: low mite levels are associated with sensitivity. *Pediatric Allergy Imm.*, **7**, 61-67, 1996.
 35. Yang, C. Y., Lin, M. C. and Hwang, K. C. : Childhood asthma and the indoor environment in a subtropical area. *Chest.*, **114**, 393-397, 1998.
 36. Zock, J. P. and Brunekreef, B. : House dust mite allergen levels in dust from schools with smooth and carpeted classroom floors. *Clin. Exp. Allergy*, **25**, 549-553, 1995.