

## 일부 종합 병원 로비의 공기 중 엔도톡신 농도에 미치는 환경 요인 평가

이경민<sup>1</sup> · 염정관<sup>2</sup> · 이원재<sup>3</sup> · 류승훈<sup>4</sup> · 박동진<sup>5</sup> · 박동욱<sup>6\*</sup>

<sup>1</sup>근로복지공단 직업성폐질환연구소, <sup>2</sup>한불에너지관리(주), <sup>3</sup>가천대학교 헬스케어경영학과,  
<sup>4</sup>고려대학교 환경의학연구소, <sup>5</sup>안전보건공단 산업안전보건연구원, <sup>6</sup>한국방송통신대학교 환경보건학과

## An Assessment of Environmental Characteristics Associated with the Level of Endotoxin Concentration in Hospital Lobbies

Kyeong-Min Lee<sup>1</sup> · Jeongkwan Yeom<sup>2</sup> · Wonjae Lee<sup>3</sup> ·  
Seung-Hun Ryu<sup>4</sup> · Dongjin Park<sup>5</sup> · Dong-Uk Park<sup>6\*</sup>

<sup>1</sup>Occupational Lung Diseases Institute, Korea Worker's Compensation and Welfare Service

<sup>2</sup>Hanbul Energy Management Co., Ltd., <sup>3</sup>Department of Global Healthcare Management, Gachon University

<sup>4</sup>Institute for Occupational and Environmental Health, Korea University

<sup>5</sup>Occupational Safety & Health Research Institute, Korea Occupational Safety and Health Agency

<sup>6</sup>Department of Environmental Health, Korea National Open University

### ABSTRACT

**Backgrounds:** Endotoxin, which found in the outer membrane of the gram-negative bacteria cell wall, makes up almost all of the lipopolysaccharide(LPS). When people are exposed to endotoxin, it can result in diverse health effects such as an airway irritation and inflammation, fever, malaise, bronchitis, allergic asthma, toxic pneumonitis, hypersensitivity lung disease. Cases among the elderly, children or pregnant can occur more frequently than a healthy adult if they are repeatedly exposed to the existing endotoxin. Therefore, we investigated and assessed the environmental characteristics associated with the airborne endotoxin concentration level in six hospital lobbies.

**Method:** Endotoxin from indoor air in six hospital lobbies was measured by an area sampling method and analyzed according to American Society for Testing and Materials International(ASTM international) E2144-01. Total suspended particulate(TSP), carbon dioxide(CO<sub>2</sub>), temperature and humidity were also measured by using direct reading measurements or airborne sampling equipment at the same time. Environmental characteristics were appropriately divided into two or three groups for a statistics analysis. One-way analysis variable(one-way ANOVA) was used to examine a difference of the endotoxin concentration, depending on the environmental characteristics. In addition, only variables with  $p$ -value( $p < 0.25$ ) were eventually designed to the best model by using multiple regression analysis.

**Results:** The correlation analysis result indicated that TSP( $p=0.003$ ) and CO<sub>2</sub>( $p<0.0001$ ) levels were significantly associated with endotoxin concentration levels. In contrast, temperature( $p<0.068$ ) and humidity( $p<0.365$ ) were not associated with endotoxin concentration. Levels of endotoxin concentration were statistically different among the environmental characteristics of Service time( $p=0.01$ ), Establishment of hospital( $p<0.001$ ), Scale of hospital( $p=0.01$ ), Day average people using hospital( $p=0.03$ ), Cleaning time of lobby( $p=0.05$ ), Season( $p<0.001$ ), and Cleaning of ventilation system( $p<0.001$ ) according to ANOVA. Finally, the best model(Adjusted R-square=72%) that we designed through a multiple regression test included environmental characteristics related to Service time, Area of lobby, Season, Cleaning of ventilation system, and Temperature.

**Conclusions:** According to this study, our result showed a normal level of endotoxin concentration in the hospital lobbies and found environmental management methods to reduce the level of endotoxin concentration to a minimum. Consequently, this study recognized to be requirement for the management of ventilation systems and an indoor temperature in order to reduce the level of endotoxin concentration in the hospital lobbies.

**Key words :** bioaerosols, endotoxin, hospital, indoor air

\*Corresponding author: Dong Uk Park, Tel: 02-3668-4707, E-mail: pdw545@gmail.com,  
Department of Environmental Health, Korea National Open University, 86 Daehakro Jongro-gu, Seoul 110-791  
Received: May 21, 2014, Revised: August 12, 2014, Accepted: August 18, 2014

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## I. 서 론

엔도톡신(Endotoxin)은 그람음성박테리아(Gram-negative bacteria, GNB)의 외벽에 붙어 있으며, 지질 A(Lipid A)로 불리는 지질다당류(Lipopolysaccharide)로서 GNB를 구조적으로 지지(Structural integrity)하고, 생리적(Physiological)·면역적(Immunologic) 기능을 하며, 영양을 운반(Nutrient transport function)하기도 한다(Williams, 2001).

발열(Pyrogen)하는 특징이 있어 호흡 경로를 통해 인체에 노출되면 심각한 질환들을 일으키는데(Rietschel et al., 1993), 낮은 농도의 엔도톡신은 호흡기 점막 자극과 염증(Airway irritation and inflammation), 발열(Fever), 불쾌함(Malaise), 기관지염(Bronchitis), 알러지성 천식(Allergic asthma), 오한(Chills)을 일으키고, 높은 농도는 독성 폐렴(Toxic pneuminitis), 과민성 폐질환(Hypersensitivity lung disease), 패혈증(Sepsis) 등을 일으킬 가능성이 있다고 알려져 있다(Rylander et al., 1989; Loppnow et al., 1990; Kotani & Takada, 1990; Galanos & Freudenberg, 1993; Schwartz et al., 1995; Rylander, 1997; Langevelde et al., 2000; Bouillard et al., 2005; Cox-Ganser et al., 2009).

병원 실내 공기는 박테리아, 곰팡이 등의 바이오에어로졸(Bioaerosol)에 오염될 가능성이 있다(Nielsen, 2009; Kim et al., 2010). 병원 이용자 중 면역체계가 약한 노약자, 임산부, 영·유아와 어린이, 환자는 생물학적 유해인자를 포함한 유해인자에 오염된 공기에 자주 노출되면 건강한 성인보다 호흡기 건강 영향이 발생할 위험이 더 크다(Perzanowski et al., 2006; Bennett et al., 2013). 이전 연구사례에서도 어린이처럼 저항력이 낮은 연령대는 엔도톡신 농도에 노출되면 비아토피성 천식(Non-atopic asthma) 등 다양한 호

흡기계 질환이 발생하여 건강에 악영향을 미칠 수 있다고 보고한 바 있다(Dybondal & Elsayed, 1992; Dorneals et al., 1995; Arturo et al., 2000; Jacobs et al., 2012). 또한 병실, 중환자실 등에서 공기 중 엔도톡신 농도와 병원 종사자의 천식·호흡기질환의 관련성을 평가한 연구에서 낮은 농도의 엔도톡신에 노출되어도 호흡기 질환이 충분히 발생할 수 있는 것으로 알려져 있다(Cox-Ganser et al., 2009).

병원의 응급실, 중환자실 등에서 박테리아, 곰팡이 등의 미생물 발생, 노출 등에 대한 연구와(Jung & Paik, 1998; Cho et al., 2000; Lee et al., 2005) 병원 로비에서 공기 중 미생물 농도를 평가한 연구는 있었으나(Kim et al., 2010), 엔도톡신의 농도 수준을 평가하거나 이들의 발생에 영향을 미치는 환경적 요인을 규명한 연구는 없었다.

우리의 연구에서는 일부 종합병원 로비를 대상으로 공기 중 엔도톡신의 농도를 측정하는 한편 엔도톡신의 발생에 영향을 미치는 환경적 요인을 규명하였으며, 연구결과는 병원 로비에서 엔도톡신 발생을 억제하는 관리대책을 마련하는 데 활용할 수 있을 것이다.

## II. 조사대상 및 방법

### 1. 대상

서울 및 경기 지역에 있는 6개 대형종합병원(500병실 이상) 로비에서 2010년 7월부터 12월 동안 주간과 야간으로 나누어 공기 중 엔도톡신을 측정하였다. 병원별 건축연도, 측정 당시 이용한 로비 이용인원, 측정 시 날씨 등 일반적인 특성은 Table 1에 정리하였다(Table 1).

**Table 1.** General characteristics of subject hospitals

Hospital	Date	Season	Weather	Establish years	Scale of beds	Day average people
A	2010. 7	Summer	Sunshine	1989	710	3000
B	2010. 8	Summer	Rain	2002	1000	3000
C	2010. 9	Autumn	Sunshine	2009	1200	2000
D	2010. 10	Autumn	Sunshine	1986	530	2400
E	2010. 11	Autumn	Sunshine	1993	867	2500
F	2010. 12	Winter	Sunshine	1999	800	2000

엔도톡신, 온도, 습도, CO<sub>2</sub>를 동일한 공기를 대상으로 한꺼번에 채취하였고, 로비의 측정 지점은 가능한 로비 환경을 대표할 수 있는 중앙으로 선정하였다. 공기 중 엔도톡신 발생에 영향을 미칠 것으로 예상되는 환경적 요인으로 온도(Temperature), 습도(Humidity), 먼지 농도(Dust), 운영시간(Service time), 설립연도(Establishment of hospital), 병원 침상규모(Scale of hospital), 하루 평균 이용인원(Day average people using hospital), 로비 면적(Area of lobby), 로비 청소시간(Clean time of lobby), 외부공기 유입구 위치(Location of fresh air inlet), 계절(Season), 날씨(Weather), 공조시설 운영시간(Running time of ventilation system), 공조시설 청소빈도(Clean frequency of ventilation system) 등을 선정하고 평가하였다.

## 2. 방법

공기는 인체 호흡기가 노출되는 높이에 해당하는 위치(약 1.5 m)에서 로비 운영 시작 시간(08:00)과 운영시간이 종료된 이후 저녁(18:00-24:00) 동안 연속적으로 채취하였다. 측정기구나 여재를 묶음으로 설치하여 동일한 공기에서 온도, 습도, 이산화탄소, 먼지, 엔도톡신을 채취하도록 하였다. 각 항목에 대한 측정과 분석방법은 아래에 설명하였다.

### 1) 온도, 습도, CO<sub>2</sub> 모니터링

온도, 습도, CO<sub>2</sub>는 가스검출기(Multi-gas PID monitor, TG-502, Gray&wolf, USA)로 1분 간격으로 측정하였다. 측정된 결과를 이 연구분석에 맞는 시간 대별로 평균하여 사용하였다.

### 2) 먼지 측정

공기 중 엔도톡신을 채취하는 데 사용한 유리섬유 여과지(Glass Fiber Filter, SKC, 1.0  $\mu$ m pore size, 37 mm)를 플라스틱 카세트(SK, 37 mm, 3-piece)에 장착하기 전, 초전자저울(ED224S, Sartorius, Germany)로 무게를 측정하였다. 여과지 내에 남아 있는 수분을 제거하는 과정이 필요하나 건조기에서 장시간 보관하면 시료가 오염될 수 있어서 최대 12시간만 보관하였다. 채취 후에도 엔도톡신을 정량하기 전에 여과지 무게를 측정하여 채취 공기 용량을 고려하여 총 먼지 농도( $\text{mg}/\text{m}^3$ )를 구했다.

### 3) 엔도톡신 측정과 분석

엔도톡신 채취와 분석은 미국재료시험학회(ASTM, American Society for Testing and Materials) E2144-01 방법을 참조하였다(ASTM International; Designation E2144-01). 엔도톡신의 채취 및 분석에 이용되는 각종 재료와 초자기구는 멸균하거나 멸균된 것을 사용했다. 플라스틱 카세트(SK, 37 mm, 3-piece), 유리섬유 여과지(Glass fiber filter, SKC, 1.0  $\mu$ m pore size, 37 mm), Support pad(SK, Cellulose, 37 mm diameter)는 고압멸균기(MLS-3020, Sanyo Electric, Japan)에 넣고 고온(121  $^{\circ}\text{C}$ )에서 15분간 멸균한 후 건조기에 넣고 1시간 이상 건조하였다. 멸균된 카세트는 클린 벤치(Clean bench)에서 알코올을 뿌린 후 UV를 쬔어 소독하였다.

멸균된 필터를 카세트에 장착하고 펌프(ESCORT® ELF Pump, MSA)에 연결한 후 1.5 L/min으로 공기를 채취하였다. 펌프의 채취유량은 비누거품미터를 이용하여 측정 전과 후에 각각 보정하였다.

채취 후 분석 전까지 4  $^{\circ}\text{C}$  이하로 냉장 보관하고 운반하여 3일 이내에 분석하였다. 시료를 채취한 유리섬유 여과지를 Pyrogen-free tube에 넣은 다음 추가로 LAL(Limulus Amebocyte Lysate) water(Pyrogen-free) 10 ml를 넣고 엔도톡신을 1차 추출하였다. 교반기(Shaker)와 초음파세척기(Ultrasonic bath)에서 각 60분간 차례로 물리적인 엔도톡신 추출 과정을 거친 뒤, 원심분리기(Centrifuge)로 1000 RPM에서 15분간 원심 분리하여 상등 액을 분석용으로 취했다.

표준 엔도톡신 시료는 CSE(Control Standard Endotoxin, Lonza, USA)를 이용하였다. 배양 기능이 있는 Microplate reader(CAMBREX, ELx808, USA)의 340 nm 파장에서 시료의 탁도가 OD(Optical Density) 0.03에 도달하는 시간을 측정하여 검량선을 만들고, 엔도톡신을 정량하였다. 표준용액의 농도는 10EU, 1EU, 0.1EU, 0.01EU로 설정하고 상관계수(Correlation coefficient)는  $r=0.999$  이상에서 정량하였다. 회수율(Recovery)도 매 실험마다 보정하였다. 엔도톡신 정량 분석 프로그램은 WinKQCL software(LONZA, 3.1 Version, USA)이었다. 검출한계(Limit of detection, LOD)는 LAL(Limulus Amebocyte Lysate) water(Pyrogen-free)에 포함되어 있는 엔도톡신의 최소량(<0.005EU)을 사용하였다.

#### 4) 자료분석

병원 로비에서 엔도톡신 발생에 영향을 미칠 수 있는 환경 요인을 통계적으로 규명하였다. 종속변수는 로비 내 공기 중 엔도톡신 농도였다. 독립변수에서 연속형 변수는 총 먼지 농도, 이산화탄소(CO<sub>2</sub>), 온도습도였다. 범주형 변수는 로비 운영시간(During service time vs. After service time), 병원 설립연도(1980's, 1990's and 2000's), 병원 침상규모(<1,000 vs. ≥1,000), 하루 평균 이용인원(<3,000 vs. ≥3,000), 로비 면적(<2,000 m<sup>2</sup> vs. ≥2,000 m<sup>2</sup>), 로비 청소시기(During service time vs. After service time), 외부공기 유입구 위치(Underground & 1<sup>st</sup> floor vs. Higher than 1<sup>st</sup> floor), 계절(Summer vs. Fall vs. Winter), 날씨(Sunshine vs. Rain), 공조시설 운영시간(All day vs. Service time), 공조시설 청소유무(More than one time vs. Nothing)였다. 하루 평균 로비 이용인원은 조사자가 측정기간 동안 직접 세었다. 이분형 변수는 집단별 시료 수가 균등하게 배분될 수 있도록 관찰치 중 중앙값을 기준으로 구분하였다.

일원분산분석(One way-analysis of variance, ANOVA)을 통해서 유의수준( $p$ )이 0.25 이하로 유의한 환경적 요인들을 1차로 골라낸 후 최종 다중회귀분석모델에서 공기 중 엔도톡신 농도 발생에 영향을 미치는 유의한 환경적 요인을 찾아냈다. 범주형 변수는 기준변수에 비해 범주별 상대적 관련성을 평가하였다. 모든 자료의 처리에는 STATA(Version 11.2, USA)를 이용하였다.

### III. 연구결과

병원 로비 온도는 E와 F병원이 다른 병원들보다 낮게 나타났다. E, F 병원을 제외한 A, B, C, D 병원들은 온도기 비슷한 수준이었는데, 이는 6개 병원의 평균 온도(24.4±2.0℃)보다 높았다. 평균 습도는 66.0%로 6개 병원 모두 환경부에서 권고하는 다중이용시설의 적정 유지 기준(30-60%)을 초과하였고, CO<sub>2</sub> 농도는 A병원(801±221 ppm)이 다른 병원들보다 높았으나 적정 유지 기준인 1,000 ppm을 초과하지 않았다(Ministry of Environment, 2004).

총 부유먼지 농도는 B, D 그리고 E 병원에서 다른 병원들보다 높았다. 특히 B 병원의 평균 농도(4.46 mg/m<sup>3</sup>)는 다른 병원들의 평균 농도보다 약 2배 이상 높았다(Table 2).

공기 중 엔도톡신 농도는 A 병원이 1.55(±1.76) EU/m<sup>3</sup>으로 가장 높았으며, F 병원은 0.05(±0.04) EU/m<sup>3</sup>으로 가장 낮았다. 6개 병원의 엔도톡신 평균 농도는 0.60(±0.88) EU/m<sup>3</sup>이었으나, 중앙값은 0.48 EU/m<sup>3</sup>으로 산술평균보다 낮았다(Table 2).

계절별 엔도톡신 농도는 여름(AM=0.93 EU/m<sup>3</sup>, 95% CI=0.28-1.58 EU/m<sup>3</sup>), 가을(AM=0.56, 95% CI=0.41-0.70), 겨울(AM=0.05, 95% CI=0.02-0.08 EU/m<sup>3</sup>) 순으로 나타났으며, 여름이 겨울보다 약 19배 높았다.

운영시간의 엔도톡신 농도(During service time, 0.79 EU/m<sup>3</sup>)는 운영시간 종료 후 엔도톡신 농도

**Table 2.** Airborne endotoxin and total suspended particle levels by respective hospitals

Hospital	Endotoxin levels(EU/m <sup>3</sup> )				TSP levels(mg/m <sup>3</sup> )			
	N	AM(SD)	GM(GSD)	Range	N	AM(SD)	GM(GSD)	Range
A	10	1.55(1.76)	1.15(2.01)	0.52-6.47	6	1.46(0.90)	1.07(2.84)	0.17-2.41
B	10	0.31(0.26)	0.19(4.10)	LOD-0.87	10	4.46(0.89)	4.37(1.25)	2.96-5.47
C	10	0.20(0.24)	0.06(8.52)	LOD-0.71	7	1.13(0.67)	0.92(2.19)	0.22-2.24
D	10	0.83(0.28)	0.78(1.46)	0.33-1.29	9	2.05(0.90)	1.88(1.56)	0.96-3.41
E	10	0.64(0.38)	0.56(1.70)	0.27-1.51	9	1.93(0.28)	1.91(1.15)	1.67-2.44
F	10	0.05(0.04)	0.03(2.54)	0.01-0.12	8	0.71(0.51)	0.52(2.60)	0.10-1.30
Total	60	0.60(0.88)	0.24(5.78)	LOD-6.47	49	2.10(1.47)	1.53(2.54)	0.10-5.47

EU: Endotoxin unit, TSP: Total suspended particles, AM: Arithmetic mean, SD: Standard deviation, GM: Geometric mean, GSD: Geometric standard deviation, LOD: <0.05 EU/m<sup>3</sup>

(After service time, 0.40 EU/m<sup>3</sup>)보다 약 2배 유의하게 높은 것으로 나타났다( $p=0.01$ ). 병원 설립연도별 엔도톡신 농도 비교에서는 1980년대, 1990년대, 2000

년대에 지은 병원의 엔도톡신 농도가 각각 1.19 EU/m<sup>3</sup>, 0.34 EU/m<sup>3</sup>, 0.26 EU/m<sup>3</sup>으로 건물이 오래될 수록 엔도톡신 농도가 유의하게 높았다( $p<0.001$ ). 병

**Table 3.** The levels of log-transformed endotoxin among the categories of environmental variables

Independent variables	No of sample	Endotoxin, EU/m <sup>3</sup>			
		AM $\pm$ SD	GM / GSD	Range	ANOVA model $p$
Service time					
During service time (08:00-18:00)	30	0.79 $\pm$ 1.18	0.42 / 3.22	0.06 - 6.47	$p=0.01$
After service time (18:00-24:00)	30	0.40 $\pm$ 0.36	0.13 / 7.81	LOD - 1.17	
Establishment of hospital					
The 1980's	20	1.19 $\pm$ 1.28	0.95 / 1.79	0.33 - 6.47	$p<0.001$
The 1990's	20	0.34 $\pm$ 0.40	0.14 / 5.06	0.01 - 1.51	
The 2000's	20	0.26 $\pm$ 0.25	0.10 / 6.51	LOD - 0.87	
Scale of hospital(number of beds)					
<1,000	40	0.77 $\pm$ 1.03	0.36 / 4.71	0.01 - 6.47	$p=0.01$
$\geq$ 1,000	20	0.26 $\pm$ 0.25	0.10 / 6.51	LOD - 0.87	
Day average people using hospital					
<3,000	40	0.43 $\pm$ 0.41	0.17 / 6.17	LOD - 1.51	$p=0.03$
$\geq$ 3,000	20	0.93 $\pm$ 1.38	0.46 / 4.16	LOD - 6.47	
Area of lobby					
<2,000 m <sup>2</sup>	20	0.44 $\pm$ 0.44	0.16 / 5.79	0.01 - 1.29	$p=0.24$
$\geq$ 2,000 m <sup>2</sup>	40	0.68 $\pm$ 1.03	0.29 / 5.72	LOD - 6.47	
Cleaning time of lobby					
During service time (08:00-18:00)	30	0.86 $\pm$ 1.15	0.37 / 6.49	LOD - 6.47	$p=0.05$
After service time (18:00-24:00)	30	0.33 $\pm$ 0.36	0.15 / 4.65	LOD - 1.51	
Location of fresh air inlet					
Underground & 1 <sup>st</sup> floor	40	0.64 $\pm$ 1.05	0.25 / 5.10	LOD - 6.47	$p=0.69$
Higher than 1 <sup>st</sup> floor	20	0.52 $\pm$ 0.41	0.21 / 7.55	LOD - 1.29	
Season					
Summer	20	0.93 $\pm$ 1.38	0.46 / 2.16	LOD - 6.47	$p<0.001$
Fall	30	0.56 $\pm$ 0.40	0.29 / 5.63	LOD - 1.51	
Winter	10	0.05 $\pm$ 0.04	0.03 / 2.54	0.01 - 0.12	
Weather					
Sunshine	50	0.65 $\pm$ 0.95	0.25 / 6.20	LOD - 6.47	$p=0.66$
Rain	10	0.31 $\pm$ 0.26	0.19 / 4.10	LOD - 0.87	
Running time of ventilation system					
All day	20	0.44 $\pm$ 0.44	0.16 / 5.79	0.01 - 1.29	$p=0.24$
Service time	40	0.68 $\pm$ 1.03	0.29 / 5.72	LOD - 6.47	
Cleaning of ventilation system					
More than one time	40	0.53 $\pm$ 1.05	0.14 / 6.90	LOD - 6.47	$p<0.001$
Nothing	20	0.73 $\pm$ 0.34	0.66 / 1.62	0.27 - 1.51	
Total	60	0.60 $\pm$ 0.88	0.24 / 5.78	LOD - 6.47	

EU: Endotoxin Units, AM: Arithmetic mean, SD: Standard deviation, GM: Geometric mean, GSD: Geometric standard deviation, ANOVA: Analysis of variance, LOD: <0.005 EU/m<sup>3</sup>

원 침상규모별 엔도톡신 농도 비교에서는 침대 수가 1,000개 미만인 병원의 평균 엔도톡신 농도( $0.77 \text{ EU/m}^3$ )가 1,000개 이상인 병원( $0.26 \text{ EU/m}^3$ )보다 약 2배 유의하게 높았다( $p=0.01$ ). 하루 평균 이용인원에서 이용인원이 3,000명 미만일 때 엔도톡신 농도( $0.43 \text{ EU/m}^3$ )가 3,000명 이상일 때 엔도톡신 농도( $0.93 \text{ EU/m}^3$ )보다 약 2배 유의하게 낮았다( $p=0.03$ ). 로비 청소시기에서 운영시간 동안 청소한 로비의 엔도톡신 농도(During service time= $0.86 \text{ EU/m}^3$ )는 운영시간 이후에 청소한 로비의 농도(After service time= $0.33 \text{ EU/m}^3$ )보다 약 2배 유의하게 높았다( $p=0.05$ ). 그리고 계절에서 여름, 가을, 겨울에 대한 엔도톡신 농도는 각각  $0.93 \text{ EU/m}^3$ ,  $0.56 \text{ EU/m}^3$  및  $0.05 \text{ EU/m}^3$ 으로, 여름이 가장 높았고 겨울이 낮게 나타났다는데 이는 통계적으로 유의하였다( $p<0.001$ ). 또 공조시설 청소유무에서 공조시설을 한번 이상 청소한 병원의 엔도톡신 농도(More than one time,  $0.53 \text{ EU/m}^3$ )가 청소를 하지 않는 병원에서 측정한 엔도톡신 농도(Nothing,  $0.73 \text{ EU/m}^3$ )보다 유의하게 낮게 나타났다( $p<0.001$ ). 반면에 로비 면적( $p=0.24$ ), 공조시

설 유입구 위치( $p=0.69$ ), 날씨( $p=0.66$ ), 공조시설 운영시간( $p=0.24$ ) 변수 들은 통계적으로 유의한 차이가 없었다(Table 3).

먼지,  $\text{CO}_2$ , 온도, 습도와 엔도톡신 농도의 상관분석에서는 먼지와  $\text{CO}_2$ 의 상관계수는 각각  $0.493(p=0.003)$ ,  $0.550(p<0.0001)$ 으로 유의한 연관성이 있었으나, 온도와 습도는 각각  $0.238(p=0.068)$ ,  $0.119(p=0.365)$ 으로 상관계수도 낮았고 통계적으로도 유의하지 않았다(Table 4).

최종 다중회귀분석 결과, 로비 운영시간, 로비 면적, 계절, 공조시설 청소 유무, 온도의 환경적 요인들은 공기 중 엔도톡신 농도에 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다(Adjusted  $R^2=0.72$ ,  $p<0.0001$ ). 먼지

**Table 4.** Results of correlation coefficient between log-transformed levels of endotoxin and dust, temperature, and humidity in a hospital lobby

	Dust	CO2	Temperature	Humidity
R	0.493	0.550	0.238	0.119
p-value	0.003	<0.0001	0.068	0.365

**Table 5.** Summary of multiple linear regression models for predicting the log-transformed levels of endotoxin in a hospital lobby

Independent variable	Log-endotoxin, $\text{EU/m}^3$		
	$\beta$	SE	p-value
Service time			
During service hour(reference) (08:00-18:00)			
After service hour (18:00-)	-1.14	0.24	$p<0.0001$
Area of lobby			
<2,000(reference)			
$\geq 2,000$	-1.14	0.44	$p=0.012$
Season			
Sumer(reference)			
Autumn	-2.13	0.36	$p<0.0001$
Winter	-4.58	0.62	$p<0.0001$
Cleaning of ventilation system			
Nothing(reference)			
More than one time	-1.50	0.44	$p=0.001$
Temperature			
<26°C(reference)			
$\geq 26^\circ\text{C}$	-1.62	0.29	$p<0.0001$
Adjusted full model( $R^2$ )	0.7182( $p<0.0001$ )		

$\beta$ =Estimated regression coefficient, SE=Standard error

( $p=0.003$ )와  $\text{CO}_2$ ( $p<0.0001$ )는 상관분석에서 유의한 연관성이 있었으나, 다중회귀모형에서는 각각 탈락했다(Table 5).

#### IV. 고 찰

종합병원 내 수술실 및 중환자실 등에 대한 실내 공기 중 미생물에 대한 평가는 지금까지 일부 수행되었으나(Jung & Paik, 1998; Cho et al., 2000; Kim et al., 2010), 특히 병원 로비환경에서 공기 중 엔도톡신 발생에 대한 평가는 없었다. 우리의 연구에서는 종합병원의 로비에서 공기 중 엔도톡신 발생을 평가하는 한편 엔도톡신 발생에 영향을 미치는 환경적 요인을 규명하였다.

연구결과 여름철에 측정된 엔도톡신 농도는  $0.93(95\% \text{ CI}=0.28-1.58) \text{ EU/m}^3$ 으로 겨울철의 엔도톡신 농도인  $0.05(95\% \text{ CI}=0.02-0.08) \text{ EU/m}^3$ 보다 유의하게 높은 것으로 나타났다. 여름철의 높은 온도와 습도는 미생물이 오염될 수 있는 적절한 환경이고, 이는 공기 중 엔도톡신 발생에 유의한 영향을 미쳤을 것으로 판단되는데, 실제 국내외 연구들의 결과도 이와 비슷하게 나타났다. Park et al.(2013)은 이 연구와 동일한 조사대상 병원에서 로비에 존재하는 그람음성박테리아의 농도 수준을 평가한 결과, 여름에는 높았고 겨울은 낮은 경향을 보였다. 이는 엔도톡신 농도와 밀접한 관련이 있는 그람음성박테리아가 비슷한 경향을 나타냈기 때문에 계절에 따른 차이가 있다는 것을 확인할 수 있었다. 또한 가정집에서 평가한 엔도톡신의 농도에서도 비슷한 결과가 보고되었다. Park et al.(2000)은 미국의 보스턴(Boston), 매사추세츠(Massachusetts) 주에서 20개 가정집을 대상으로 계절에 따라 공기 중 엔도톡신 농도를 비교하였는데, 봄에 엔도톡신 농도( $0.94 \text{ EU/m}^3$ )가 가장 높았고, 그다음 가을( $0.77 \text{ EU/m}^3$ ), 여름( $0.59 \text{ EU/m}^3$ ), 겨울( $0.51 \text{ EU/m}^3$ ) 순으로 나타났다. 이 연구결과에서 계절에 따른 유의한 차이를 확인할 수 있었는데, 이때 습도가 온도보다 엔도톡신에 더 높은 연관성이 있는 것으로 나타났다. 따라서 실내 온도와 습도가 엔도톡신에 영향을 미치는 중요한 요인이라 보고하였다. 특히 습도는 다른 연구 결과에서도 엔도톡신 농도 수준에 결정적으로 영향을 미치는 요인으로 보고된 바 있다(Macher et al., 1999; Miller et al., 2000).

그러나 이 연구의 엔도톡신 농도와 온도·습도의 상관분석에서 온도( $p=0.068$ )와 습도( $p=0.365$ )는 유의하지 않는 것으로 나타났다. 측정된 습도는 로비 환경 별로 큰 차이가 없었고, 농도 범위 또한 비슷해서(범위 =  $64.4\sim 70.3\%$ ) 통계적인 차이를 확인할 수 없었던 것으로 판단된다.

Reynolds et al.(2001)은 미국 내 중서부지구의 아이오와(Iowa), 미네소타(Minnesota), 네브래스카(Nebraska) 주에 위치한, 근로자 100명 이상이 일반 상업적 업무로 이용하고 있는 6개 건물에서 설문지를 통해 거주자들의 호흡기 질환 유병률과 실내 공기 중의 엔도톡신 농도를 조사하였다. 여기서 공기 중 엔도톡신 농도가 높게 조사된 건물을 이용하는 근로자들은 엔도톡신 농도가 낮게 조사된 건물의 근로자들보다 호흡기 질환 유병률이 높은 것으로 보고하였는데, 보고된 공기 중 엔도톡신 농도의 기하평균 범위( $0.5 - 3.0 \text{ EU/m}^3$ )는 우리의 연구결과 범위( $0.03-1.15 \text{ EU/m}^3$ )와 비슷하거나 더 높았다. 또한 캐나다에서 Dales et al.(2006)은 영·유아를 대상으로 2년 동안 추적연구(Longitudinal follow-up study)를 통해 급성 호흡성 질환 발병률과 엔도톡신 노출의 연관성을 연구한 결과, 공기 중 엔도톡신이 호흡기 질환 증상 발생의 유일한 위험요소가 될 수 있다고 보고하였다. 여기서 보고된 엔도톡신 농도( $\text{GM(GSD)}=0.49(3.49) \text{ EU/m}^3$ )는 본 연구결과( $\text{GM(GSD)}=0.34(3.91) \text{ EU/m}^3$ )와 비슷한 수준이었다. 이 연구결과들에 근거하면, 낮은 농도의 엔도톡신에 노출되어도 호흡기 질환이 발생할 수 있음을 의미한다. 따라서 종합병원 내 로비에서 측정된 엔도톡신 농도는 영·유아와 어린이의 호흡기 질환 발생에 영향을 미칠 수 있는 수준이라고 판단된다.

우리의 연구에서는 로비에서 평가한 공기 중 엔도톡신 발생과 주변 환경적 요인의 연관성을 평가했다. 공기 중 엔도톡신 농도는 종합병원의 병원 설립연도(1980년대/1990년대/2000년대) 범주 별로 유의한 차이가 있었다( $p<0.001$ ). 이러한 결과는 건물이 오래된 병원에서 엔도톡신 농도가 유의하게 높다는 것을 나타낸 것이다. 종합병원 건물의 노후화는 미생물 오염 영향 요인인 습도, 온도, 외부 오염 등의 발생 수준에 영향을 주는 것으로 보인다. Park et al.(2006)은 누수 등 물과 관련된 손상이 있는 건물의 거주자를 대상으로 호흡기 질환과 엔도톡신 농도의 연관성을

분석한 결과, 엔도톡신이 거주자들의 호흡기 질환 발생 위험에 유의하게 기여하는 것으로 보고했다. 따라서 오래된 병원들은 건물 내 누수와 결로 등 미생물 오염에 영향을 미칠 수 있는 환경적 요인 등을 감시하고 관리할 필요가 있다.

Lee et al.(2005)은 인천시에 위치한 종합병원 중 한 곳을 대상으로 로비에서 미생물 농도를 평가하였다. 연구결과 상대적으로 병원 이용인원이 많은 오후(2:00-3:00)의 미생물 농도는 인원이 적은 오전(9:00-10:00)보다 높은 것으로 보아 사람들의 수가 공기 중 미생물 농도에 영향을 미칠 수 있다고 보고하였다. 우리의 연구결과에서도 엔도톡신 농도는 로비 이용 인원에 따라 유의한 차이가 있었다. 따라서 사람 수는 미생물 농도에 유의한 영향을 미치는 것으로 판단된다.

영국 남부에 위치한, 900개 침상 규모를 가진 일반 3차 종합병원에서 병원 바닥 청소 방법에 따라 청소 전·후의 미생물 농도를 조사한 결과, 습식과 건식 등 청소 방법에 따라 바닥에 존재하는 미생물 농도는 유의한 차이가 있는 것으로 보고하였는데(Whith et al., 2007), 우리의 연구결과에서도 공기 중 엔도톡신 농도는 로비 청소 전·후에 따라 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다( $p=0.05$ ). 이는 바닥을 청소할 때 미생물을 포함한 입자상 물질이 공기 중으로 부유되어 공기 중 엔도톡신 농도 증가에 영향을 미치는 것으로 추정된다. 따라서 바닥 청소는 병원을 이용하는 사람이 상대적으로 적거나 없는 운영시간(08:00-18:00) 후에 실시하는 것이 로비 이용자의 입자상 물질에 노출을 억제하는 데 바람직하다.

Liu et al.(2000)은 초등학교 2곳에서 공기 중 박테리아의 펩티도글리칸(Bacterial peptidoglycan) 지표물질(Marker)인 뮤람산(Muramic acid, MA), 그람음성박테리아의 지질다당류의 지표물질인 3-하이드록시 지방산(3-hydroxy fatty acid, 3-OH FA)이 각각 그들의 세포로 구성된 먼지와 관련성이 있는지 조사한 연구에서 공기 중 박테리아와 그람음성박테리아의 농도는 총 먼지(Total suspended particulate, TSP)와 유의한 상관관계(MA:  $R^2=0.92$ , 3-OH FA:  $R^2=0.57$ )가 있음을 발견하였다(Liu et al., 2000). 우리의 연구결과에서도 로비 공기 중 엔도톡신 농도와 총 먼지의 유의한 상관관계( $r=0.49$ ,  $n=60$ )를 확인할 수 있었다

( $p=0.003$ ). 이는 엔도톡신도 먼지와 비슷한 입자상 물질이기 때문인 것으로 판단된다.

병원 내 공조시설(Heating, ventilation, air conditioning, HVAC)을 1회 이상 청소하는 병원에서 측정한 엔도톡신 평균 농도( $AM=0.53$  EU/ $m^3$ )는 청소를 하지 않는 병원( $AM=0.73$  EU/ $m^3$ )보다 유의하게 낮은 것으로 나타났다( $p<0.001$ ). 또한 공조시설 운영시간에서 일과 시간에만 운영하는 병원( $AM=0.68$  EU/ $m^3$ )은 하루 종일 운영하는 병원( $AM=0.44$  EU/ $m^3$ )보다 높았으나 통계적으로 유의한 차이는 없었다( $p=0.24$ ). 공조시설은 건물 내부의 공기를 희석순환시키며 병원 이용자들을 위해 적정 수준의 온도와 습도를 조절하는 기능을 하는데, 적절한 관리방안에 따라 운영되는 공조시설은 실내 공기 오염을 줄이는 데 도움이 되지만, 만약 그렇지 않다면 실내·외 공기의 온도 차이나 외부공기에 포함되어 있는 습기로 인해 공조시설의 내부설비인 필터, 덕트 등이 습해져 축축해진 표면에 미생물이 쉽게 생장할 수 있다고 한다(Morey, 1993). 또한 내부공기의 순환 속도가 적절하지 않으면 난기류가 형성되어 실내 공기의 미생물 농도가 증가할 수 있다고 한다(Pasanen et al., 1991). 우리의 연구결과에 따르면 공조시설 가동을 중단하면 축축해진 설비 내에서 미생물이 급속히 증가하고, 다시 공조시설을 재가동하면 급속히 증가한 미생물이 실내로 공급되는 것으로 추정된다. 따라서 이러한 미생물 오염가능성을 줄이기 위해서 공조시설 내부를 주기적으로 청소하고, 미생물을 포함한 입자상 물질의 오염수준을 체계적으로 감시하는 것이 실내 공기 질을 관리하는 주요한 방법으로 판단된다.

분산분석 결과 중 실내 공기 중 엔도톡신 농도 발생에  $p=0.25$  수준에서 유의한 영향을 미치는 요인을 기준 별로 열거하면 다음과 같다. 로비 운영시간( $p=0.01$ ), 병원 설립연도( $p<0.001$ ), 병원 침상규모( $p=0.01$ ), 하루 평균 이용인원( $p=0.03$ ), 로비 면적( $p=0.24$ ), 로비 청소시기( $p=0.05$ ), 계절( $p<0.001$ ), 공조시설 운영시간( $p=0.24$ ), 공조시설 청소유무( $p<0.001$ ) 요인에서 공기 중 엔도톡신 농도와 유의한 연관성( $p<0.25$ )을 보였다(Table 3). 또한 먼지, 이산화탄소, 온도, 습도 요인과 엔도톡신 농도의 상관분석을 실시한 결과, 먼지( $r=0.49$ ,  $p=0.003$ ),  $CO_2$ ( $r=0.55$ ,  $p<0.001$ )에서는 유의한 경향을 보였으나 온도( $r=0.24$ ,  $p=0.068$ )



및 습도( $r=0.12$ ,  $p=0.365$ )에서는 유의한 연관성이 없었다(Table 4). 선별된 환경 요소들을 설명변수(독립변수)로 설정하고, 다중 회귀분석을 실시하여 완전한 회귀 모형을 구축하였다(Table 5). 이는 조사된 종합병원의 실내 공기 중 엔도톡신 농도와 환경적 요인의 연관성을 통계학적으로 약 72% 정도 설명할 수 있는 가장 최적의 모델이다(Adjusted  $R^2=0.7182$ ,  $p<0.0001$ ). 현 모델에 포함된 환경 요인들은 공기 중 엔도톡신 농도에 상대적으로 영향을 미치는 것으로, 로비 면적이 2,000  $m^2$  이상인 곳에서는 2,000  $0m^2$  미만인 곳보다 엔도톡신 농도가 낮을 것이라 판단할 수 있다. 또한 동일한 변수들을 보정하면 여름의 엔도톡신 농도는 가을보다 높을 것이며, 가을의 엔도톡신 농도 또한 겨울보다 높게 나타날 수 있다. 공조시설 청소를 하지 않는 종합병원의 로비 내 엔도톡신 농도는 연간 1회 이상 청소를 하는 경우보다 높을 수 있으며, 로비 실내 온도가 26℃ 미만에서 엔도톡신 농도는 26℃ 이상인 경우보다 낮을 것으로 판단할 수 있다. 병원 설립연도, 병원 침상규모, 하루 평균 이용인원, 로비 청소시기, 공조시설 운영시간의 변수들은 분산분석에서는 유의한 차이가 있었으나, 다중회귀모형에서는 유의한 연관성이 없었다.

Teeuw et al.(1994)은 네덜란드의 19개 정부 기관에서 종사하는 근로자( $n=1355$ )를 대상으로 새집증후군(Sick Building syndrome)의 유병률이 높은 건물(>15%)과 낮은 건물(<15%)에서 공기 중 엔도톡신과 그람음성박테리아 농도를 비교한 결과, 새집증후군 유병률이 높은 건물이 유병률이 낮은 건물보다 이들의 농도가 6배 이상 유의하게 높았다고 보고했다. 이 선행 연구 결과에서 엔도톡신이 새집증후군을 일으킬 수 있는 유해인자로 확인됨에 따라 여름에 공조시설을 청소하지 않고 실내 온도가 26℃ 이상인 종합병원에서도 새집증후군이 충분히 나타날 수도 있다. 따라서 엔도톡신 농도를 줄일 수 있도록 환경 요소들을 관리할 필요가 있다.

부유세균은 우리나라 환경부 다중이용시설에 관한 법률에서 법적으로 규제할 수 있는 유지기준(800 CFU/ $m^3$ )이 있으나 이러한 기준과 인체영향에 대한 과학적 자료도 부족한 실정이다. 이 다양한 감수성을 가진 사람들이 기준 이하에 노출된다 하더라도 호흡기 질환들이 발생하지 않는다고 확신할 수 없다. 특

히 엔도톡신에 대한 실내 기준은 없는 상황이다. 엔도톡신은 대부분의 생활 환경에서 발생되기 때문에 이에 대한 노출억제를 위한 관리가 필요하다. 특히, 건강한 성인과 비교해서 미생물 노출에 따른 건강영향 감수성이 높은 영·유아, 어린이, 환자 등의 집단이 생활하는 실내 환경에서는 엔도톡신을 포함한 바이오에어로졸 발생을 최대한 낮은 수준으로 관리하는 것이 바람직하다.

## V. 결 론

대형종합병원 6곳의 로비에서 측정한 실내 공기 중 엔도톡신 평균농도 수준은 0.60 EU/ $m^3$ 이었으며, 가장 높은 병원은 A병원(1.55 EU/ $m^3$ )이었고, 가장 낮은 병원은 F병원(0.05 EU/ $m^3$ )이었다. 엔도톡신 조사 시기가 A 병원은 여름이며 F병원은 겨울이었는데, 엔도톡신 농도는 계절에 따라 농도 수준이 달랐다.

조사된 환경적 요인은 독립변수로 구분하여 분산분석을 실시한 결과, 공기 중 엔도톡신 농도는 로비 운영시간, 병원 설립연도, 병원 침상규모, 하루 평균 이용인원, 로비 청소시기, 계절, 공조시설 청소유무에서 유의한 차이를 보였으며, 또한 공기 중 총 먼지와 CO<sub>2</sub>의 농도 수준과도 유의한 상관성이 있었다.

분산분석에서 연관성( $p<0.25$ )이 있는 변수들을 대상으로 다중회귀분석을 실시하였는데, 로비 운영시간, 로비 면적, 계절, 공조시설 청소유무, 온도에 대한 환경적 변수들에서 엔도톡신 농도와 유의한 연관성을 보였다. 따라서 종합병원 실내 온도를 26℃ 이하로 유지하고, 공조시설을 주기적으로 청소하고 관리한다면 엔도톡신 농도를 최소화할 수 있다.

이 연구에서는 우리나라 대형 종합병원에서 로비의 엔도톡신 농도 수준을 인지할 수 있었고, 엔도톡신 농도를 최소화할 수 있는 환경적 관리 방안도 마련할 수 있었으나, 농도에 영향을 미칠 수 있는 환경적 변수에 대한 조사가 부족하고 실외 엔도톡신 농도와 비교하지 않았다. 병원 로비의 공기 중 엔도톡신 농도를 좀 더 최소화하여 관리하기 위해서는 더 큰 범위에서 연구를 진행해야 할 필요가 있다. 따라서 이와 관련된 다양한 연구를 계속적으로 수행해서, 다중이용시설의 실내 공기 내 엔도톡신 농도를 최대한 낮은 농도로 관리할 수 있는 구체적인 방안이 제

시되어야 한다. 관련 연구의 결과물들은 향후 법적 기준을 마련하는 데 과학적 판단을 할 수 있는 좋은 자료가 될 것이다.

## References

- Arturo B, Gwen W, Alan MD, Catherine LG, Cristina LH et al. School-based identification of asthma in a low-income population. *Pediatric Pulmonology* 2000; 30(4):297-301
- Bennett WD, Herbst M, Zeman KL, Wu J, Hernandez ML et al. Effect of inhaled endotoxin on regional particle deposition in patients with mild asthma. *J Allergy Clin Immunol* 2013;131(3):912-913
- Bouillard L, Michel O, Dramaix M, Devleeschouwer M. Bacterial contamination of indoor air, surfaces, and settled dust, and related dust endotoxin concentrations in healthy office buildings. *Ann Agric Environ Med* 2005;12:187-192
- Cho HJ, Hong KS, Kim JH, Kim HW. Assessment of airborne bioaerosols among different areas in the hospitals. *J Korea Soc Occup Environ Hyg* 2000; 10(1):115-125
- Cox-Ganser JM, Rao CY, Park JH, Schumpert JC, Kreiss K. Asthma and respiratory symptoms in hospital workers related to dampness and biological contaminants. *Indoor Air* 2009;19:280-290
- Dales R, Miller D, Ruest K, Guay M, Judek S. Airborne endotoxin is associated with respiratory illness in the first 2 years of life. *Environmental Health Perspectives* 2006;114(4):610-614
- Dorneals DAA, Charpin D, Birnbaum J, Lanteaume A, Chapman M et al. Indoor allergen levels in day nurseries. *J Allergy Clin Immunol* 1995;95(6): 1158-1163
- Dybendal T, 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. *Clinical and Experimental Allergy* 1992;22(12):1100-1106
- Galanos C, Freudenberg MA. Mechanisms of endotoxin shock and endotoxin hypersensitivity. *Immunobiology* 1993;187(3-5):346-356
- Jacobs JH, Krop EJ, Wind SD, Spithoven J, Heederik DJ. Endotoxin levels in homes and classrooms of dutch school children and respiratory health. *Eur Respir J* 2013;42(2):314-322
- Jung SH, Paik NW. A study on airborne microorganism in hospital. *J Korea Soc Occup Environ Hyg* 1998; 8(2):231-241
- Kim KY, Kim YS, Kim DE. Distribution characteristics of airborne bacteria and fungi in the general hospital of Korea. *Industrial Health* 2010;48:236-243
- Kotani S, Takada H. Structural requirements of lipid A for endotoxicity and other biological activities-an overview. *Adv Exp Med Biol* 1990;256(13):13-43
- Langevelde, P., Joop, K., Van Loon, J., Frolich, M., Groeneveld, P.H.P., Westendorp, R.G.J. et al. : Endotoxin, Cytokines, and Procalcitonin in febrile patients admitted to the hospital: Identification of subjects at high risk of mortality. *Clin Infect Dis* 2000;31:1343-1348
- 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 Korea Soc Occup Environ Hyg* 2005;15(1):45-51
- Liu LJS, Krahmer M, Fox A, Feigley CE, Featherstone A et al. Investigation of the concentration of bacteria and their cell envelope components in indoor air in two elementary schools. *J Air & Waste Manage Assoc* 2000;50:1957-1967
- Loppnow H, Durrbaum I, Brade H et al. Lipid A, the immunostimulatory principle of lipopolysaccharides. *Adv Exp Med Biol* 1990;256:561-566
- Macher J, Ammann HA, Milton DK, Burge HA, Morey PR. Bioaerosol assessment and control, Cincinnati: American Conference of Governmental Industrial Hygienist.; 1999. p. 10-3
- Miller JD, Hausley PD, Reinhardt JH. Air sampling results in relation to extent of fungal colonization of building materials in some water-damaged buildings. *Indoor Air* 2000;10:146-151
- Morey P. Use of hazard communication standard and general duty clause during remediation of fungal contamination. In: *Indoor Air* 1993;391-395
- Nielsen PV. Control of airborne infectious diseases in ventilated spaces. *J R Soc Interface* 2009;6:S747-S755
- Park DU, Yeom JK, Lee WJ, Lee KM. Assessment of the levels of airborne bacteria, gram-negative bacteria, and fungi in hospital lobbies. *Int J Environ Res* 2013;10:541-555
- Park JH, Spiegelman DL, Burge HA, Gold DR, Chew GL et al. Longitudinal study of dust and airborne endotoxin in the home. *Environ Health Perspect* 2000;108(11):1023-1028

- Park JH, Cox-Ganser J, Rao C, Kreiss K. Fungal and endotoxin measurements in dust associated with respiratory symptoms in a water-damaged office building. *Indoor Air* 2006;16:192-203
- Pasanen AL, Kalliokoski P, Pasanen P. Laboratory studies on the relationship between fungal growth and atmospheric temperature and humidity. *Environ Intern* 1991;17(4):225-228
- Perzanowski MS, Miller RL, Thorne PS, Barr GR, Divjan A et al. Endotoxin in inner-city homes: Associations with wheeze and eczema in early childhood. *J Allergy Clin Immunol* 2006;117(5):1082-1089
- Reynolds SJ, Black DW, Borin SS, Breuer G, Burmeister LF et al. Indoor environmental quality in six commercial office buildings in the Midwest United states. *App Occup Environ Hyg* 2001;16(11): 1065-1077
- Rietschel ET, Kirikae T, Schade FU, Ulmer AJ, Hoist O et al. The chemical structure of bacterial endotoxin in relation to bioactivity. *Immunobiology* 1993;187: 169-190
- Rylander R, Bake B, Fischer JJ et al. Pulmonary function and symptoms after inhalation of endotoxin. *Am Rev Respir Dis* 1989;140(4):981-986
- Rylander R. Evaluation of the risks of endotoxin exposure. *Int J Occup Environ Heal* 1997;3(1):S32-S36
- Schwartz DA, Thorne PS, Yagla SJ et al. The role of endotoxin in grain dust-induced lung disease. *Am J Respir Crit Care Med* 1995;152(2):603-608
- Standard Practice for Personal Sampling and Analysis of Endotoxin in Metalworking Fluid Aerosols in Workplace Atmospheres, The American Society for Testing and Materials International: E2144-01. 2007
- Teeuw KB, Vandenbrouche-Grauls CMJE, Verhoef J. Airborne gram-negative bacteria and endotoxin in sick building syndrome. *Arch Intern Med* 1994; 154:2339-2345
- Williams KL. Endotoxin : Pyrogens, LAL Testing, and Depyrogenation, 2nd ed. Indianapolis: Eli Lilly & Company; 2001. p. 15-16
- White LF, Dancer SJ, Robertson C. A microbiological evaluation of hospital cleaning methods. *Int J Environ Heal Res* 2007;17(4):285-295