한국환경보건학회지, 제33권 제2호(2007)
Kor. J. Env. Hlth., Vol. 33, No. 2, pp 104~114(2007)

서울시 일부 종합병원의 공기 중 미생물 농도 분포

송주희* · 민진영*,** · 조경아* · 윤영희* · 백남원*†
*서울대학교 보건대학원 환경보건학과, **서울대학교 보건환경연구소

A Study on Airborne Microorganisms in Hospitals in Seoul, Korea

Song juhee* · Min Jinyoung*, · Jo kyunga* · Yoon younghee* · Nam Won Paik*†**
**Department of Environmental Health, School of Public Health, Seoul National University, Seoul, Korea*
***School of Public Health and Institute of Health and Environment*
(Received August 29, 2006/Accepted March 15, 2007)

ABSTRACT

This study evaluated the airborne concentrations of bacteria, Gram-negative bacteria, and fungi in waiting rooms, wards, and outdoors, according to time and particle size between October 17 and November 28, 2003. The geometric mean number of airborne bacteria was highest in the morning. The more people there were, the higher was the total bacteria concentration. The concentration of fungi was also highest in the morning. Temperature and relative humidity affected the concentrations of fungi significantly ($p<0.05$). This study found relationships between microorganism concentrations and factors such as time, place, temperature, humidity, ventilation, and number of people. Therefore, to manage the pollution resulting from airborne microorganisms, each time, place, and environmental factor should be examined periodically, and the number, size, and movement of airborne microorganisms should be evaluated.

Keywords: respirable microorganism, bacteria, fungi, gram negative bacteria, hospital

I. 서 론

공기 중 미생물은 인공적으로 생성되거나, 혹은 자연적으로 발생하는 생물학적 기원(biological origin)을 가진 물질로 박테리아, 곰팡이, 단세포동물, 꽃가루 그리고 동물의 비듬을 포함한다. 실내공기 중에서 이러한 미생물 발생의 중요한 원인으로는 실외에서 유입되는 경우와 건물의 HVAC(heating ventilating and air conditioning) 시스템에 의한 경우, 실내에서 거주하고 있는 사람이나 동물에 의한 경우가 대표적으로 보고 되고 있다.[1,2]

미국 환경보호청(Environmental Protection Agency : EPA)에서는 실내공기 오염을 미국이 직면한 가장 시급히 처리해야 할 환경 문제 5가지 중의 하나라고 보고 있으며, 실내공기 오염물질의 농도가 실외보다 2배에서 5배, 심한 경우 100배 정도 더 높은 것으로 파악하고 있다.[3] 이러한 실내공기 오염물질 중 먼지에는 일정부분 미생물로 구성되고 있으며, 대부분 미생물은 공기 중에 오랜 시간 생존하지 못하므로 적당한 서식처로 전파되게 된다.[4] 때론 공기 중에 부유하고 있는 박테리아는 호흡 기관 등에 균주화 되기도 하며, 특히 병원이라는 환경에서는 낙하되어 물품이나 수술부위 등을 오염시켜 병원성 감염을 초래할 수도 있다.[5,6]

우리나라의 대부분 종합병원은 강제 환기 방식을 채택하고 있으므로 오염된 실내공기는 고령의 환자, 유아 환자, 면역 억제 상태의 환자들에게 감염의 위험성을 증가시킬 수 있다.[7] 이러한 병원성 감염은 매개체에 의한 전이(vector borne transmission), 접촉전이(contact transmission), 오염된 물건에 의한 전이(transmission by transminated vehicles), 공기를 통한 전이(airborne spread) 등 4가지 기전을 통하여 외부로부터 얻어진 공기 중 미생물에 의해 발생되는데, 이중 공기오염에 의한 발생빈도는 10~24%가 되면 공기 오염으로 인한 병원 감염 중 2~3.7%는 급격하고 광범위하게 발생하였다는 보고가 있다.[3,9] 이러한 병원 감염을 일으키는 공기 중 미생물의 농도는 공조조화시설의 낙후로 인한 공기

†Corresponding author : Department of Environmental Health, School of Public Health, Seoul National University
Tel: 82-2-740-8897, Fax: 82-2-762-9105
E-mail : nwpaik@yahoo.com

덕트의 오염 및 부적절한 환기 시스템의 운용, 외부로부터 반입되는 음식물, 꽃, 과일 등의 유기성 물질, 노후화로 인한 병원 내부 시설 자재의 오염 등으로 인해 증가될 수 있다.[10] Pastuszka 등은 이러한 공기 중 미생물은 공기역학적 직경이 10 μm보다 큰 미생물은 호흡기로 들어올 확률이 적고, 5-10 μm인 미생물은 상기도부분에 침착하여 비염과 같은 질병을 유발하고, 5 μm 보다 작은 것은 호흡성 크기로 폐포를 통과하여 알러지성 질환과 심각한 질병을 야기한다고 보고하였다. 이는 미생물의 물리적 특성뿐만 아니라 그 크기와 상당한 관련성을 가지고 있다는 것을 말해 주고 있다.[1] 또한 공기 중 미생물의 입경분포를 아는 것은 공기 중 미생물의 움직임을 예측하고, 공기조화 설비 설계 등의 공학적 처리의 지표로 제시해 줄 수 있다고 생각되어진다.[11]

본 연구는 서울시 일부 종합병원의 입원실, 진료실, 환자대기실에서 공기 중 박테리아, 그람음성박테리아(gram negative bacteria, GNB) 그리고 곰팡이에 대한 농도를 입경분포에 따라 공조시스템 가동시간을 고려하여 조사하였다. 이를 통해 효율적인 병원 실내공기 관리방안 설정을 위한 기초 자료를 제시하고자 한다.

II. 연구방법

1. 연구대상

2003년 10월 17일부터 11월 28까지 서울시내에 위치한 500병상 이상의 종합병원 2곳의 진료실, 환자대기실, 입원실, 외기를 대상(총 15개 지점)으로 공기 중 박테리아, 그람음성박테리아, 곰팡이의 농도를 평가하였다. 15개 지점 중 2개 지점은 병원의 실내 공기와 비교하기 위하여 병원 밖에서 측정하였다. 박테리아와 곰팡이는 미생물의 일반적인 오염지표로, GNB는 배변에 의한 오염과 부적정한 환기에 따른 오염 등을 판단하는 지표로 이용하였다.[12] 연구대상 시설의 특성은 Table 1과 같다.

2. 측정기기 및 사용배지

1) 측정기기

표본 채취는 미국의 Andersen™사 제품인 two-stage cascade air sampler(Andersen 10-907 serial # 1447, USA)를 이용하였다. 이 샘플러는 3개의 spring clamp와 O-ring gasket에 의해 결합된 2개의 aluminium stages로 구성되어 있고, 각 stage는 200개의 분출구멍을 가진 plate를 가지고 있으며, 저부흡입구로 공기를 28.3 l/min으로 흡입하여 흡입공기가 상단의 배지 면으로부터 단계적으로 하단의 배지 면에 접촉하면서 통과하게 되는 원리로 채취하게 된다. 첫 번째 스테이지에서는 미생물의 입경(직경)이 8.0 μm보다 큰 것이 채취되고, 두 번째 스테이지에서는 1.0 μm에서 8.0 μm 사이의 입경(직경)으로 호흡성 미생물이 채취되어진다. 보통 미생물의 입자크기는 0.01-100 μm 이하로 본 연구에서 사용한 two-stage cascade air sampler(Andersen 10-907 serial # 1447, USA)는 공기 중 미생물을 평가하는데 적절하다고 생각된다.[13]

2) 사용배지

공기 중 박테리아를 배양하기 위한 선택배지는 Tryptic Soy Agar(TSA), 곰팡이용 배지로는 Sabourand Dextrose Agar(SDA)를 사용하였으며, 그람음성박테리아는 MacConkey Agar(MAC)를 이용하여 표본을 채취하였으며 조성은 Table 2와 같다.

3. 표본채취 및 농도계산

표본 채취는 미국산업위생전문가협위회(American Concentration of Governmental Industrial Hygienists,

Table 1. General characteristics of hospitals

ID	Building Year	Patient's Number	Floor of Building	Mean Visitor per Day	Air Circulating Filter
A*	1979	1500	The First Basement~ 13 Floor	10,000	Waiting Room, Ward, Clinic Room Exhaust - Circulating Operating Room, Intensive Care Unit Exhaust - Circulating After HEPA Filter[1)]
B*	1955	561	The Second Basement~ 8 Floor	2,280	Waiting Room, Ward, Clinic Room Exhaust - Circulating Operating Room, Intensive Care Unit Exhaust - Circulating After HEPA Filter[2)]

*HVAC(heating ventilating and air conditioning) system.
1)Filter Exchange Time - HEPA : any time, medium: 4 times/year, free : any time.
2)Filter Exchange Time - HEPA : 4 times/year, medium : 2 times/year, free : any time.

Table 2. Composition of agar

Tryptic Soy Agar	Composition	Tryptone 17.0 g, Soytone 3.0 g, Dextrose 2.5 g, Agar 15.0 g, Dipotassium Phosphate 2.5 g
	Final pH	7.3 ± 0.2 at 25℃
Sabourand Dextrose Agar	Composition	polypeptone 10 g, Dextrose 40 g, Agar 15 g
	Final pH	5.6 ± 0.2 at 20℃
MacConkey Agar	Composition	Bacteriological peptone 17.0 g, Sodium Chloride 5.0 g, Proteose peptone 3.0 g, Lactose 10.0g, Bile salt 1.5 g, Agar 13.5 g, Neutral red 0.03 g, Crystal violet 0.001 g
	Final pH	7.1 ± 0.2 at 25℃

ACGIH)에서 제안한 방법 중 하나로 two-stage cascade air sampler(Andersen 10-907 serial # 1447, USA)를 이용하여, 공조 가동시작(lag1; 7:00~9:00), 오전(lag2; 9:00~13:00), 오후(lag3; 13:00~17:00), 공조가동이 끝난 후(lag4; 18:00~24:00)에 5분간 40-80 cm 상층에서 시료채취를 실시하였다. 실내의 농도를 비교하기 위하여 실외에서도 공기 중 미생물을 측정하였다. 이는 동일한 장소에서 박테리아, 그람음성박테리아, 곰팡이용 배지를 번갈아 장착하여 채취하였고, 3일 동안 실시하였다. 배지를 교체할 때와 장소를 옮길 때마다 충돌기를 알코올로 소독하여 오염을 예방하였다. 채취가 끝난 후에는 이차오염의 방지와 배양 시 습도유지를 위하여 parafilm으로 밀봉하고 4℃에서 운반하여 배양하였다. 배양중인 배지는 매일 관찰하는 것을 원칙으로 하였으며, 박테리아용 배지는 35℃에서 2일간 배양하고, 곰팡이용 배지는 같은 온도에서 5일 동안 배양하여 집락을 계수하였다. 이러한 방법으로 계수된 총 집락수를 Positive-Hole Correction Table을 이용하여 보정한 후 채취된 공기용량으로 나누어 공기 중 농도(CFU/m^3)로 하였다.[12]

4. 환경자료의 수집

병원의 기타 실내 환경요소를 파악하기 위해 측정 장소의 온도와 습도 및 물건들의 항·온습도를 측정하였다. 온도와 상대습도는 Thermometer Hygrometer sampler(HD8901 serial # 99004687, Delta OHM, Italy)를 이용하여 사람의 움직임에 영향을 받지 않는 높이에서 약 5분간 측정하여 평균을 구하였다. 또한 청소 횟수와 화장실과의 거리를 측정하였고, 입실환자수와 유동인구수 등을 조사하였다. 가습기나 정수기를 이용하고 있는 경우에는 오염의 소스가 될 수 있는 채워져 있는 물을 채취하여 멸균된 Cornical tube에 보관하여 4℃에서 운반하였다. 또한 공조 시스템을 가동할 때 사용된 필터를 떼어내어 공기 중 미생물과의 오염정도를 조사하였다. 그 외 창문의 개·폐 여부 및 비치되어 있는 화분수와 화분 받침에 고여 있는 물을 채취하였다.

5. 자료의 분석

측정 데이터의 정규성 여부를 검토한 후 병원내의 장소에 따라 공조 가동 시간대에 따른 농도를 Duncan's multiple range test, GLM(General Linear Model)을 이용하여 각 측정치간의 유의한 차이를 검정하였다. 이를 위해서 SAS 통계프로그램(V 8.0 SAS Institute, USA)을 이용하였다.

III. 연구 결과

본 연구는 2003년 10월 17일부터 11월 28까지 서울시내에 위치한 일부 종합병원(2개)에서 내과와 외과 각각의 진료실, 환자대기실, 입원실을 대상으로 입경의 크기에 따라 시간대를 구분하여 공기 중 박테리아, 그람음성박테리아, 곰팡이의 농도를 비교하였다(Table 2). 시간대는 공조시작(lag1; 7:00~9:00), 오전(lag2; 9:00~13:00), 오후(lag3; 13:00~17:00), 공조끝(lag4; 18:00~24:00)으로 구분하여 시료를 채취하였고, 실내공기의 오염도를 비교하기 위하여 외기 공기의 미생물 오염도를

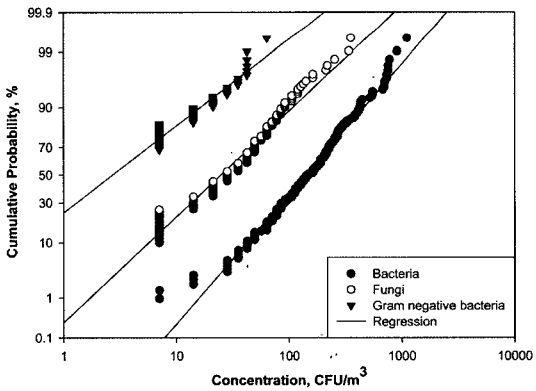

Fig. 1. Distribution of airborne microorganisms by type.

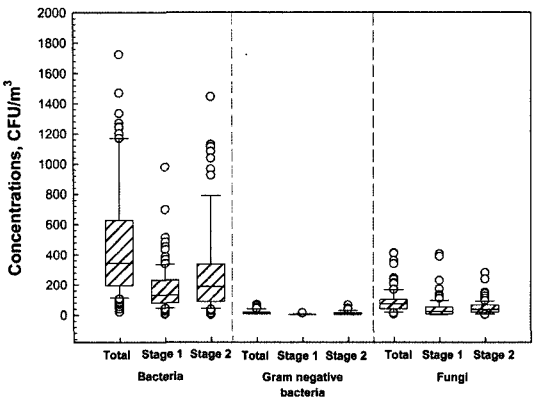

Fig. 2. Concentrations of airborne microorganisms by particle size in sites. The 50% effective cutoff diameter of Stage I of Andersen sampler is 8.0 microns for spherical particles of unit density. Non-respirable particles > 8.0 μm are collected on Stage I and respirable particles ≦8.0 μm are collected on Stage II.

동시에 측정하였다. 공기 중 총 미생물의 농도는 Fig. 1에서와 같이 대수정규분포를 이루고 있었다. 입경크기에 따른 공기 중 총 미생물의 농도분포는 Fig. 2에서 볼 수 있듯이 전반적으로 Stage II(≦8.0 μm)에서 채취된 호흡성 미생물의 농도가 더 높았다. 또한 시료 채취 시 장소에 따른 온·습도와 체적 및 환경적인 요인의 특징은 Table 2와 같다.

1. 장소에 따른 공기 중 미생물의 농도특성

1) 박테리아

총 박테리아의 농도는 진료실, 대기실, 입원실에 따라 각각 공기 중 총 미생물의 농도는 통계적으로 유의하게 차이가 났다($p<0.01$). 진료실, 대기실, 입원실, 외기의 기하평균은 각각 215.2 CFU/m^3 (GSD=2.5), 425.4 CFU/m^3 (GSD=2.3), 573.8 CFU/m^3 (GSD=1.8), 249.6 CFU/m^3 (GSD=1.6)이었다. Duncan's multiple range test를 실시한 결과 병원간의 농도분포의 차이가 없었고, 입원실과 대기실이 진료실보다 높은 농도를 보였다($p<0.05$). Stage II(≦8.0 μm)에 채취된 호흡성 박테리아의 농도는 진료실, 대기실, 입원실, 외기의 기하평균은 각각 110.1 CFU/m^3 (GSD=3.5), 217 CFU/m^3 (GSD=2.5), 397.9 CFU/m^3 (GSD=2.1), 120.3 CFU/m^3 (GSD=1.8)이었다.

2) 곰팡이

총 곰팡이는 Duncan's multiple range test를 실시한 결과 입원실과 대기실이 진료실보다 높은 농도를 보였다. 진료실, 대기실, 입원실, 외기에서 각각의 기하평균

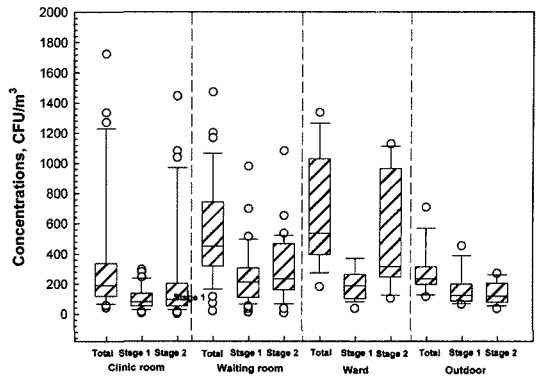

Fig. 3. Concentrations of airborne bacteria by particle size in sites. The 50% effective cutoff diameter of Stage I of Andersen sampler is 8.0 microns for spherical particles of unit density. Non-respirable particles > 8.0 μm are collected on Stage I and respirable particles ≦8.0 μm are collected on Stage II ($p<0.05$).

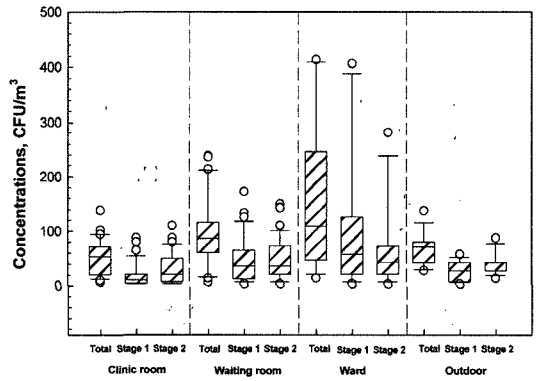

Fig. 4. Concentrations of airborne fungi by particle size by sites. The 50% effective cutoff diameter of Stage Iof Andersen sampler is 8.0 microns for spherical particles of unit density. Non-respirable particles > 8.0 μm are collected on Stage I and respirable particles ≦8.0 μm are collected on Stage II($p<0.05$).

농도는 40.3 CFU/m^3 (GSD=2.2), 73.8 CFU/m^3 (GSD=2.3), 97.3 CFU/m^3 (GSD=2.7), 61.0 CFU/m^3 (GSD=1.6)이었다. Stage II에서 채취된 호흡성 곰팡이의 진료실, 대기실, 입원실, 외기에서 기하평균 농도는 21.0 CFU/m^3 (GSD=3.0), 35.2 CFU/m^3 (GSD=2.6), 37.1 CFU/m^3 (GSD=3.2), 38.3 CFU/m^3 (GSD=1.6)으로 검출되었다. Stage I(> 8.0 μm)에서 채취된 곰팡이와 Stage II(≦8.0 μm)에서 채취된 호흡성 곰팡이는 각각 장소에 따라 통계적으로 유의한 농도의 차이를 보였고($p<0.05$) 진료실이 가장 낮은 농도 분포를 보였다 (Fig. 4).

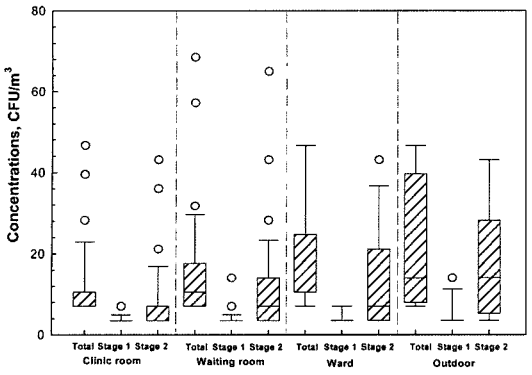

Fig. 5. Concentrations of airborne gram negative bacteria by particle size in sites. The 50% effective cut-off diameter of Stage I of Andersen sampler is 8.0 microns for spherical particles of unit density. Non-respirable particles > 8.0 μm are collected on Stage I and respirable particles ≦8.0 μm are collected on Stage II($p<0.05$).

3) 그람음성박테리아

그람 음성 박테리아는 배변에 의한 오염과 부적정한 환기에 따른 오염 등을 판단 지표로 이용하였다.

총 그람음성박테리아는 Duncan multiple range test를 실시한 결과 병원간의 농도분포의 차이가 없었고, 입원실과 대기실이 진료실보다 높은 농도를 보였다. 진료실, 대기실, 입원실, 외기에서 각각의 기하평균농도는 9.4 CFU/m^3 (GSD=1.7), 11.9 CFU/m^3 (GSD=1.9), 15.5 CFU/m^3 (GSD=1.9), 16.7 CFU/m^3 (GSD=2.1)이었다.

Stage I(> 8.0 μm)에서 채취된 그람 음성 박테리아의 진료실, 대기실, 입원실, 외기에서 기하평균농도는 3.8 CFU/m^3 (GSD=1.2), 3.8 CFU/m^3 (GSD=1.3), 4.0 CFU/m^3 (GSD=1.3), 4.2 CFU/m^3 (GSD=1.5)이었고, Stage II(≦8.0 μm)에서 채취된 호흡성 그람음성 박테리아의 진료실, 대기실, 입원실, 외기에서 기하평균농도는 5.4 CFU/m^3 (GSD=2.0), 7.2 CFU/m^3 (GSD=2.3), 9.4 CFU/m^3 (GSD=2.5), 12.2 CFU/m^3 (GSD=2.6)으로 검출되었다(Fig. 5, Table 3).

단변량 분석을 실시한 결과 진료실, 대기실, 입원실 간에 농도의 차이가 통계적으로 유의하였으나, 환경적 요인과 다른 변수를 보정하여 다변량 분석을 실시한 결과에서는 총 그람 음성 박테리아, Stage I(> 8.0 μm)에서 채취된 그람 음성 박테리아 그리고 Stage II (≦8.0 μm)에서 채취된 그람 음성 박테리아각각은 장소에 따른 농도의 차이가 통계적으로 유의하지 않았다 (Table 3).

2. 공조시간대에 따른 공기 중 미생물의 특성

공조시작(lag1; 7:00~9:00), 오전(lag2; 9:00~13:00), 오후(lag3; 13:00~17:00), 공조 끝(lag4; 18:00~24:00)

Table 3. Average concentrations of indoor airbornes and charateristics by sampling site

ID		Site	Characteristics			
			Temperature (℃)	Humidity (%)	Volum (m^3)	Remarks
A	Surgical	Clinic room	23.5(22.2-24.5)	35.1(31.1-39.3)	28.9	After cleaning
		Waiting room	23.0(19.6-24.8)	32.6(19.6-24.8)	1511.1	While sweeping on the floor, Sampling on the bed
		Ward	25.4(23.1-28.5)	38.6(25.3-53.8)	115.1	Next to a disinfection room (Distance: 300 cm) Two humidifiers
	Internal	Clinic room	22.8(21.0-24.5)	36.9(30.0-47.8)	42.8	Air conditioner, Three gabage cans, Cookies, Some of coffee
		Waiting room	23.5(21.8-25.1)	31.6(18.8-45.8)	647.9	Wiping with a dry cloth
		Ward	26.4(19.6-28.2)	30.9(28.2-43.0)	115.2	Operating two fan heaters, Installing the toilet
	Outdoor		14.8(10.1-25.5)	68.7(27.0-100.0)	-	Round about lots of dust
B	Surgical	Clinic room	21.8(20.4-23.9)	43.0(33.0-51.0)	32.2	Two gabage cans, Four flowerpots
		Waiting room	20.8(18.4-22.6)	45.1(22.6-54.7)	187.5	Inflowing outdoor air often, A vending machine and a water purifier
	Internal	Clinic room	22.6(21.1-24.1)	38.8(32.2-45.0)	54.0	Nine flowerpots
		Waiting room	22.6(20.9-24.5)	38.4(24.5-44.5)	540.0	Sampling microorganisms next to the toilet (Distance: 310 cm)
	Whole	Ward	22.8(20.1-24.3)	38.6(34.0-47.0)	101.4	Four humidifiers, Not good ventilating
	Outdoor		12.2(7.9-16.1)	89.8(69.9-100.0)	-	Sampling on the hospital roof

Values in parenthesis are range.

으로 구분하여 공기 중 미생물의 농도를 측정하였다. 진료실과 대기실은 7시부터 오후 5시까지 공조시스템이 가동되었고, 입원실의 경우는 24시간 내내 공조시스템이 가동되고 있었다.

1) 박테리아

공조시작(lag1; 7:00~9:00), 오전(lag2; 9:00~13:00), 오후(lag3; 13:00~17:00), 공조 끝(lag4; 18:00~24:00)의 공기 중 총 박테리아의 기하평균은 각각 260.5 CFU/m^3 (GSD=2.4), 562.8 CFU/m^3 (GSD=2.1), 393.6 CFU/m^3 (GSD=2.7), 372.9 CFU/m^3 (GSD=2.3)으로 오전 시간대에 가장 높았다. 하지만 환경적 요인(온도, 습도, 사람 수, 채취장소의 체적)을 보정한 다변량 분석의 결과는 각 시간대간의 농도의 차이가 통계적으로 유의하지 않았다. Stage II에서 채취된 박테리아의 기하평균은 각각 141.0 CFU/m^3 (GSD=2.5), 464.7 CFU/m^3 (GSD=2.4), 184.2 CFU/m^3 (GSD=4.0), 212.8 CFU/m^3 (GSD=2.6)으로 오전 시간대에 가장 높았다(Table 4).

2) 곰팡이

공조시작(lag1; 7:00~9:00), 오전(lag2; 9:00~13:00), 오후(lag3; 13:00~17:00), 공조 끝(lag4; 18:00~24:00)의 공기 중 총 곰팡이의 기하평균 농도는 각각 60.0 CFU/m^3 (GSD=2.9), 10.1 CFU/m^3 (GSD=2.8), 42.9 CFU/m^3 (GSD=2.5), 83.4 CFU/m^3 (GSD=1.8)으로 오전이 가장 많았다. 하지만 시간대간에 통계적으로 농도의 차이가 유의하지는 않았다. Stage II에서 채취된 곰팡이의 기하평균농도는 각각 29.7 CFU/m^3 (GSD=2.9), 55.5 CFU/m^3 (GSD=3.6), 16.2 CFU/m^3 (GSD=2.8), 48.9 CFU/m^3 (GSD=2.0)으로 오전 시간대에 가장 높았다. Stage II(≦8.0 μm)에서의 공기 중 곰팡이의 농도를 환경적 요인(온도, 습도, 사람 수, 채취장소의 체적)을 보정하여 다변량 분석한 결과는 시간대간에 통계적으로 유의한 차이가 있었다($p<0.05$)(Table 4).

3) 그람 음성 박테리아

공조시작(lag1; 7:00~9:00), 오전(lag2; 9:00~13:00), 오후(lag3; 13:00~17:00), 공조 끝(lag4; 18:00~24:00)의 공기 중 총 그람 음성 박테리아의 기하평균 농도는 각각 8.0 CFU/m^3 (GSD=1.3), 20.6 CFU/m^3 (GSD=2.0), 11.3 CFU/m^3 (GSD=1.8), 14.5 CFU/m^3 (GSD=2.0)으로 오전이 가장 높았다. 환경적 요인(온도, 습도, 사람 수, 채취장소의 체적)을 보정하여 다변량 분석을 한 결과 시간대에 따라 농도의 차이가 통계적으로 유의하게 났다($p<0.05$)(Table 4).

Stage I(> 8.0 μm)에서 채취된 그람 음성 박테리아의 시간대에 따른 기하평균농도는 공조시작(lag1; 7:00~9:00)에서는 3.5 CFU/m^3 (GSD=1.0), 오전(lag2; 9:00~13:00)은 4.0 CFU/m^3 (GSD=1.3), 오후(lag3; 13:00~17:00)는 4.0 CFU/m^3 (GSD=1.4), 공조 끝(lag4; 18:00~24:00)은 3.9 CFU/m^3 (GSD=1.3)이였다. Stage II에서 채취된 그람 음성 박테리아의 기하평균은 각각 4.4 CFU/m^3 (GSD=1.5), 14.1 CFU/m^3 (GSD=2.6), 6.6 CFU/m^3 (GSD=2.2), 9.5 CFU/m^3 (GSD=2.5)으로 오전 시간대에 가장 높았다. 각 Stage에서의 공기 중 그람 음성 박테리아의 농도를 환경적 요인(온도, 습도, 사람 수, 채취장소의 체적)을 보정한 다변량 분석의 결과는 Stage I(> 8.0 μm)와 Stage II에서 모두 채취된 그람 음성 박테리아의 농도가 시간대간에 통계적으로 유의한 차이가 있었다($p<0.05$)(Table 5).

3. 기타변수(온도, 습도, 체적, 사람 수)에 따른 공기 중 미생물의 농도 특성과 곰팡이 동정

환경적 요인으로 공조시스템에 사용된 filter를 조사였고, 이 외에도 온도, 습도, 측정 장소의 체적과 유동인구수를 조사하였다. 그 결과 공조시스템에 사용된 filter에서는 미생물의 농도가 낮아 조사되어 오염원이 아님을 알 수 있었다. 또한 온도, 습도에는 곰팡이가 통계적으로 유의하게 영향을 받았고, 유동인구수에 따라 박테리아의 농도가 통계적으로 유의하게 유동 인구수가 많아짐에 따라 농도가 박테리아의 농도가 높아지는 경향을 확인하였다. 또한 입원실에 사용 중인 가습기의 물을 채취하여 배양한 결과 미생물의 농도가 낮아 사용된 물 자체가 오염원이 아님을 알 수 있었고, 화장실이 설치되어 있었던 입원실에서의 공기중 미생물의 농도가 다른 장소에 비해 높은 경향을 보였다.

공기 중 미생물을 측정할 당시 실내의 온도는 16.4-28.5℃으로 평균 23.1℃이었고, 습도는 16.4-54.7%로 평균 37.4%였다.

1) 박테리아

총 박테리아는 사람 수가 많을수록 통계적으로 유의하게 농도가 높아졌다. 온도, 습도 그리고 그 밖의 채취 장소의 체적에는 별다른 영향을 받지 않았다.

2) 그람 음성 박테리아

온도, 습도, 측정 장소의 체적, 사람 수에 따른 환경적 요인에 따라 그람 음성 박테리아의 농도는 통계적으로 유의하게 영향을 받지 않았다.

3) 곰팡이

총 곰팡이는 온도와 습도가 높을수록 농도분포가 통계적으로 유의하게 높아졌다($p<0.05$). 또한 Stage I (>8.0 μm)에서 포집된 곰팡이와 Stage II에서 포집된 호흡성 곰팡이의 농도 분포도 각각 통계적으로 유의하게 높았다($p<0.01$). 사람 수와 측정 장소의 체적은 곰

Table 4. Geometric mean (GM) and Geometric standard deviations (GSD) of concentrations of indoor airborne microorganisms by time

	lag1‡			lag2‡			lag3‡			lag4‡			p-value***
	N	GM (GSD)	Range	N	GM (GSD)	Range	N	GM (GSD)	Range	N	GM (GSD)	Range	
Bacteria													
>8.0 μm*	26	107.3 (2.5)	14.1-979.5	7	169.7 (1.8)	79.9-369.6	30	139.4 (2.7)	7.1-698.9	25	123.3 (2.2)	14.1-514.5	>0.05
1.0 μm≦PS≦8.0 μm**	26	141.0 (2.5)	28.3-924.4	6	464.7 (2.4)	102.0-1128.6	32	184.2 (4.0)	3.5-1113.1	25	212.8 (2.6)	14.1-514.5	>0.05
Total	26	260.5 (2.4)	42.4-1171.0	5	562.8 (2.1)	182.3-908.1	30	393.6 (2.7)	57.2-1470.0	24	372.9 (2.3)	21.2-1724.4	>0.05
GNB†													
>8.0 μm*	26	3.5 (1.0)	3.5	7	4.0 (1.3)	3.5-7.1	30	4.0 (1.4)	3.5-14.1	25	3.9 (1.3)	3.5-7.1	>0.05
1.0 μm≦PS≦8.0 μm**	26	4.4 (1.5)	7.1-17.7	6	14.1 (2.6)	3.5-43.1	32	6.6 (2.2)	3.5-43.1	25	9.5 (2.5)	3.5-65.0	<0.05
Total	26	8.0 (1.3)	7.1-17.7	6	20.6 (2.0)	10.6-46.6	30	11.3 (1.8)	7.1-57.2	24	14.5 (2.0)	7.1-68.6	<0.05
Fungi													
>8.0 μm*	26	17.9 (3.7)	3.5-388.0	7	67.6 (2.6)	21.2-406.4	31	20.5 (3.3)	3.5-133.6	25	19.2 (3.2)	3.5-229.7	>0.05
1.0 μm≦PS≦8.0 μm**	24	29.7 (2.9)	3.5-149.1	7	55.5 (3.6)	7.1-280.6	32	16.2 (2.8)	3.5-125.8	26	48.9 (2.0)	7.1-110.2	<0.05
Total	24	60.0 (2.9)	7.1-409.2	7	110.1 (2.8)	21.2-413.4	31	42.9 (2.5)	7.1-213.4	25	83.4 (1.8)	31.8-339.9	<0.05

†: GNB, Gram Negative Bacteria.

‡: lag1 (7:00-9:00), lag2 (9:00-13:00), lag3 (13:00-17:00), lag4 (18:00-24:00).

*: the 50% effective cutoff diameter of Stage Iof Andersen sampler is 8.0 microns for spherical particles of unit density.

**: Resprable size particles are collected on the Stage II, Particle Size; PS.

***: Statistically significant difference between concentrations of microorganisms by time.

Table 5. Geometric mean (GM) and geometric standard deviations (GSD) of concentrations of airborne microorganisms in sites by time

Type		Bacteria								GNB**								Fungi							
		N	Clinic room (GSD)	N	Waiting room (GSD)	N	Ward (GSD)	N	Outdoor (GSD)	N	Clinic room (GSD)	N	Waiting room (GSD)	N	Ward (GSD)	N	Outdoor (GSD)	N	Clinic room (GSD)	N	Waiting room (GSD)	N	Ward (GSD)	N	Outdoor (GSD)
lag1*	> 8.0 μm*	12	66.5(2.3)	12	154.1(2.4)	2	215.7(1.2)	4	105.1(1.7)	12	3.5(1)	12	3.5(1)	2	3.5(1)	4	4.2(1.4)	12	7.3(1.9)	12	29.4(3.2)	2	191.7(2.7)	5	8.4(2.4)
	1.0 μm≦ PS ≦8.0 μm**	12	107.1(2.8)	12	173.0(2.1)	2	215.6(2.1)	5	133.1(1.8)	12	4.0(1.3)	12	4.5(1.6)	2	7.1(1)	4	10.0(1.5)	11	28.3(2.8)	11	34.5(3.3)	2	17.3(1.3)	5	33.5(2.0)
	Total	12	180.1(2.5)	12	345.2(2.2)	2	440.2(1.6)	4	207.8(1.4)	12	7.6(1.2)	12	8.2(1.3)	2	10.6(1)	4	14.3(1.4)	11	38.6(2.3)	11	74.0(3.1)	2	211.0(2.6)	5	48.2(1.5)
lag2	> 8.0 μm*		-		-	7	208.9(2.2)	1	197.2		-		-	7	5.0(1.6)	1	3.5		-		-	7	37.1(2.2)	1	14.1
	1.0 μm≦PS ≦8.0 μm**		-		-	6	1043.8(1.1)	1	65.0		-		-	6	12.3(5.9)	1	43.1		-		-	7	117.5(2.7)	1	21.2
	Total		-		-	5	753.0(2.2)	1	254.7		-		-	6	22.2(2.9)	1	46.6		-		-	7	95.5(2.8)	1	35.3
lag3	> 8.0 μm*	11	71.7(2.8)	11	323.4(1.3)	8	94.8(1.1)	5	119.6(1.4)	11	3.5(1)	12	5.4(1.9)	7	3.5(1)	4	5.0(2.0)	12	15.2(3.0)	11	36.1(2.8)	8	7.1(1)	5	15.7(2.7)
	1.0 μm≦PS ≦8.0 μm**	12	63.5(5.0)	12	292.4(1.5)	8	369.2(1.3)	5	79.5(1.9)	12	4.5(1.6)	12	11.0(3.0)	8	12.2(2.2)	4	7.1(2.7)	12	7.6(2.0)	12	35.5(1.6)	8	27.6(1.5)	5	32.5(1.4)
	Total	11	178.0(2.9)	11	623.4(1.3)	8	466.6(1.2)	5	203.9(1.5)	11	8.3(1.3)	12	17.0(2.5)	7	16.2(1.8)	4	12.2(2.3)	12	25.7(2.2)	11	66.2(1.7)	8	34.9(1.3)	5	51.8(1.6)
lag4	> 8.0 μm*	11	96.8(1.9)	12	231.1(1.7)	2	222.2(2.1)	4	194.3(2.2)	12	4.3(1.4)	12	3.5(1)	2	5.0(1.6)	4	3.5(1)	12	11.8(2.5)	11	23.0(3.4)	2	199.0(1.2)	5	38.5(1.3)
	1.0 μm≦PS ≦8.0 μm**	11	207.0(2.2)	12	240.4(2.3)	2	278.8(1.2)	4	197.5(1.4)	11	8.7(2.5)	11	17.1(2.5)	2	3.5(1)	4	18.7(3.1)	12	44.3(2.0)	12	53.0(1.9)	2	89.6(1.3)	5	47.8(1.2)
	Total	10	328.2(2.0)	12	516.7(1.5)	2	510.3(1.5)	3	373.4(1.9)	11	13.6(2.0)	11	21.6(2.2)	2	8.7(1.3)	3	21.9(2.7)	12	65.4(1.5)	11	84.4(2.0)	2	288.7(1.3)	4	90.5(1.3)

†, ‡Units in CFU/m³, *: lag1 (7:00-9:00), lag2(9:00-13:00), lag3 (13:00-17:00), lag4 (18:00-24:00).

*: the 50% effective cutoff diameter of Stage Iof Andersen sampler is 8.0 microns for spherical particles of unit density.

**: Resprable size particles are collected on the Stage II, Particle Size; PS.

***: Gram Negative Bacteria.

Table 6. Multiple regression models for related factors

		Estimate	SE	*p*-value
Bacteria				
Floating population		0.004	0.002	0.048
Temperature		0.048	0.022	0.031
humidity		0.007	0.006	0.209
Volume		< 0.001	< 0.001	0.301
Time	lag1	−0.1189	0.089	0.183
	lag2	0.188	0.138	0.175
	lag3	−0.105	0.097	0.282
	lag4	Referance	-	-
Stage	1	−0.174	0.064	0.007
	2	Referance		
Gram-negative bacteria				
Floating population		<0.001	0.001	0.849
Temperature		−0.001	0.013	0.938
Humidity		0.0006	0.003	0.851
Volume		<0.001	<0.001	0.697
Time	lag1	−0.195	0.053	0.0003
	lag2	0.077	0.082	0.349
	lag3	−0.077	0.059	0.192
	lag4	Referance	-	-
Stage	1	−0.253	0.038	<0.001
	2	Referance	-	-
Fungi				
Floating population		0.001	0.002	0.730
Temperature		0.090	0.024	<0.001
humidity		0.024	0.006	<0.001
Volume		0.00027	0.0001	0.0084
Time	lag1	−0.082	0.095	0.389
	lag2	0.269	0.143	0.061
	lag3	−0.226	0.104	0.031
	lag4	Referance	-	-
Stage	1	−0.127	0.068	0.064
	2	Referance	-	-

팡이의 농도에 통계적으로 유의한 영향을 주지 않았다.

곰팡이의 경우 전체 시료 중 50% 이상 나타난 배지를 선별하여 동정하였다. 그 결과 *Aspergillus oryzae*, *A. fumigatus*, *A. niger*, *Curvularia* sp., *A. terreus*, *Penicillum* sp., *A. versicolor*, *A. fumigatus*, *Trichoderma* sp.가 확인되었다.

IV. 고 찰

본 연구에서는 시간별, 장소별, 그리고 물리적, 환경적 요인(온도, 습도, 측정 장소의 체적, 유동인구수, 측정위치에서의 화장실과 떨어진 거리, 가습기에 사용된 물)에 따른 병원 실내의 공기 중 미생물의 분포를 조사하였다. 전반적으로 공기 중 박테리아의 농도가 곰팡이의 농도보다 높은 것으로 나타났는데, 이는 Li와 Hou(2003), 박(2004)의 선행 연구 결과와 동일하였다.[10,15,16] 또한 Stage I(> 8.0 μm)에서 포집된 미생물보다 Stage II(≦8.0 μm)에서 포집된 호흡성 미생물의 농도 분포가 통계적으로 유의하게 높았는데($p<0.05$), 이것은 조(1998)의 연구와 조(2004)의 연구와도 같은 결과이다.[17,18] 이러한 입자의 크기는 건강상 영향이 다르므로 중요하다.[6,17,18] 대부분 큰 입자들은 코와 기관지점막에서 걸러지게 되고, 입자크기가 작은 일부 입자가 허파로 들어가게 되기 때문에 입자가 작을수록 건강상 영향이 더 크다. 특히 면역체계가 약한 노약자나 환자의 경우는 미생물의 농도에 감수성을 나타내므로 낮은 농도라 할지라도 질병을 일으킬 수 있고, 입자 크기가 작을수록 면역체계에 더 큰 영향을 준다.[19] 또한 이것은 조(1998)의 연구에서 보고한 바와 같이 공기 중 직경 5 μm 이하의 미생물을 포함하는 입자들에 노출이 되었을 경우 면역기전이 저하되어 있는 환자에게 집단감염의 우려가 있다고 강조한 바 있다.[20]

본 연구에서는 오전 시간대에 입원실에서 총 박테리아의 기하평균농도는 753.0 CFU/m^{3}로 가장 높은 농도를 나타내었다. 또한 Stage II(≦8.0 μm)에서 채취된 호흡성 박테리아의 기하평균은 1043.8 CFU/m^{3}로 ACGIH에서는 미생물 오염을 의심할 수 있는 기준으로 1,000 CFU/m^{3}와 우리나라 환경부에서는 실내 공기 질 관리법 기준 농도인 800 CFU/m^{3}을 초과하였다. 이는 사람들의 활동량과 미생물의 농도와 연과성이 있다고 보고된 Pastuszka 등의 연구와 Meklin의 연구에서와 같이 오전에 의사들의 회진으로 인한 사람 수가 입원실에서 박테리아의 농도에 영향을 준 것으로 판단된다.[1,22] 또한 ACGIH(1999)에서도 거주자수, 거주자의 활동정도, 입는 옷의 타입, 그리고 환기의 상태 등이 공기 중 박테리아의 농도와 관련이 있다고 보고한 바 있고, 병원 내 주변 환경보다는 사람의 활동성이 공기 중 미생물의 농도에 영향을 미친다는 Jaffal 등(1997)의 연구 결과에 근거할 수 있다.[12,23] 최종태 등의 연구에서도 한정된 공간에 인원수가 많을수록 집락형성 단위수가 많이 나타남을 보여주고 있다.[23]

세계보건기구(World Health Organization, WHO)에서는 공기 중 곰팡이 농도의 권고치로 150 CFU/m^3 이하를 제시하고 있고, 핀란드 보건복지부(Ministry of Social Affairs and Health)에서는 곰팡이 농도가

100 CFU/m³가 넘고 오염의 지표가 되는 미생물 종이 발견되면 측정과 상관없이 오염원에 대해 공학적 대책을 세워야 한다고 보고한 바 있다.[15] 이러한 기준과 비교하여 볼 때 측정 장소 중 입원실의 경우 오전 시간대와 늦은 밤 시간대에 총 곰팡이의 농도가 각각 211.0 CFU/m³, 288 CFU/m³로 그 기준을 초과하였다. 이는 Hyvarien 등(2001)의 연구에서 곰팡이가 습기와 온도가 농도에 통계적으로 유의하게 영향을 준다는 보고에서도 짐작할 수 있듯이 입원실 내에서는 진료실과 대기실에서와는 달리 가습기를 사용하여, 습도에 영향을 줌으로써 곰팡이의 성장을 촉진시켰던 원인으로 판단된다. 입원실의 특징으로는 환자와 보호자가 입원실에서 하루의 대부분의 시간을 생활한다는 것이다. 이러한 이유로 다른 장소에 비해 24시간 내내 난방이 잘 이루어지고 있었고, 높아진 실내온도가 곰팡이의 성장에 영향을 끼친 것으로 판단된다. 또한 다른 장소보다도 입원실에서 오염의 지표가 되는 그람음성박테리아가 많은 분포를 보였고, 이는 입원실에서의 실내공기는 적절히 관리되고 있지 못함을 시사한다. 그람 음성 박테리아의 농도는 대기실에서도 입원실에서 조사되었던 농도와 비슷한 분포를 나타내었다. 이는 대기실과 입원실내에 그람음성 박테리아를 발생시킬 수 있는 요인인 화장실이 설치되어 있었던 것을 들 수 있다.[15] 특히 입원실과 같이 면역력이 약한 환자가 생활하는 공간은 더욱 공기 질이 관리되어야 하고 이를 위해서는 입원실내에 화장실을 설치하지 않는 것이 가장 좋은 방법이다. 하지만 대기실과 같이 이러한 조치가 불가능한 경우 환기장치를 설치하여 화장실내의 공기압력은 음압이 되도록 함으로써 화장실의 오염된 공기가 밖으로 나오지 않도록 해야 한다.[15]

곰팡이의 경우 전체 시료 중 50% 이상 나타난 배지를 선별하여 동정한 결과 *Aspergillus oryzae*, *A. fumigatus*, *A. niger*, *Curvularia* sp., *A. terreus*, *Penicillum* sp., *A. versicolor*, *A. fumigatus*, *Trichoderma* sp.로 확인 되었는데, 이것은 Li와 Hou(2003)의 연구에서 Penicillum이 우점종이라고 보고한 연구결과와 거의 유사한 것이다. 또한 본 연구에서 상당 비율로 검출되고 있는 Aspergillus는 포자의 크기가 2-5 μm으로 상대적으로 작은 병원성 균에 속한다.[10] 일반 사람들의 경우 호흡과 동시에 제거되어 건강에 큰 영향을 미치지는 않으나, 감염 저항성이 약한 환자들은 노출시 쉽게 폐렴과 같은 호흡기계 증상들을 나타내는 것으로 보고되고 있으므로 주의가 필요하다.[16,24,25] 그 밖에 환경적 요인으로 공조시스템에 사용된 filter를 조사였고, 이 외에도 온도, 습도, 측정 장소의 체적과 유동 인구수를 조사하였다. 그 결과 공조시스템에 사용된 filter에서는 미생물의 농도가 낮게 조사되어 오염원이 아님을 알 수 있었다. 또한 곰팡이의 농도는 온도와 습도에 통계적으로 유의하게 영향을 받았고, 박테리아의 농도는 통계적으로 유의하게 유동 인구수가 많아짐에 따라 농도가 박테리아의 농도가 높아지는 경향을 확인하였다.

병원 내 호흡기 감염은 공기전파에 의한 박테리아수와 밀접한 관련이 있어 주기적인 병원내 공기오염도를 조사하여 병원 감염을 예방하고 발생률을 감소시키는 관리방안이 필요할 것이다.[26,27] 이에 환경부에서는 2004년 5월 30일부터 병원을 포함한 다중이용 시설의 실내 공기 질 관리법을 시행하고 있으며 실내 공기오염에 대한 중요성과 조사가 지속적으로 진행되고 있다. 또한 공기 중의 미생물의 입경분포를 아는 것은 공기 중 미생물의 움직임을 예측하고, 공기조화 설비 설계 등의 공학적 처리의 지표로 제시해 줄 수 있다고 판단된다.[11,28]

차후 실내측정 장소와 실외의 공기 중 미생물의 표본을 정확한 분류와 동정 검사를 실시하여 비교 평가가 이루어 져야 할 것이다. 또한 공기 중 미생물의 농도는 실내의 먼지농도와 이산화탄소의 영향을 받고 이 밖에 공기 중 미생물에 영향을 미치는 환경적 요인을 추가적으로 측정하여 보다 정확한 원인을 규명하는 것이 필요하다.

V. 결 론

본 연구는 서울시내에 위치한 종합병원의 진료실, 환자대기실, 입원실, 외기(총 15개 지점)에서 two-stage cascade air sampler(Andersen 10-907 serial # 1447, USA)를 이용하여 공기 중 박테리아, 그람음성박테리아, 곰팡이의 농도를 평가하였다. 그 결과는 다음과 같다.

1. 공기 중 미생물의 농도는 대수정규분포를 이루고 있었고, 입경크기에 따른 공기 중 총 미생물의 농도분포는 Stage II(≦8.0 μm)에서 채취된 호흡성 미생물의 농도가 더 높았다($p<0.05$).

2. 공기 중 미생물의 농도는 입원실 > 대기실 ≥ 진료실의 순으로 조사되었다.

3. 총 박테리아는 농도는 입원실과 대기실이 진료실보다 높은 농도를 보였다($p<0.05$). 사람 수가 많을수록 통계적으로 유의하게 박테리아의 농도가 높아졌고, 온도, 습도 그리고 채취 장소의 체적에는 영향을 받지 않았다.

4. 총 그람음성박테리아는 두 병원간의 농도분포의 차

이는 없었고, 입원실과 대기실이 진료실보다 높은 농도를 보였다($p<0.05$).

5. 곰팡이의 농도는 온도와 습도가 높을수록 통계적으로 유의하게 높아졌다($p<0.05$).

6. 곰팡이의 경우 전체 시료 중 50% 이상 나타난 배지를 선별하여 동정하였다. 그 결과 *Aspergillus oryzae, A. fumigatus, A. niger, Curvularia* sp., *A. terreus, Penicillum* sp., *A. versicolor, A. fumigatus, Trichoderma* sp.를 이루고 있었다.

본 연구에서 조사된 공기 중 미생물은 진료실과 대기실의 경우 우리나라 환경부의 실내 공기 질 관리법 기준 농도를 초과하지 않았지만, 입원실은 오전 시간대에 초과하는 것으로 조사되었다. 따라서 병원 실내에 대한 위생상태 및 환기시설을 정기적으로 점검하고 또한 공조시스템을 동절기와 하절기를 나누어 일괄적으로 하기보다 수시로 체크하여 그에 맞는 환기시스템을 가동하는 등의 적절한 관리대책이 필요하다.

참고문헌

1. Pastuszka, J., Kyaw Tha Paw, U., Lis, D., Wlazlo, A. and Ulfig, K. : Bacterial and Fungal Aerosol in Indoor Environment in Upper Silesia, Poland. *Atmospheric Environment*, **34**, 3833-3842, 2000.
2. Li, C. S. and Kuo, Y. M. : Airborne Charaterization of Fungi Indoors and Outdoors. *Journal of Aerosol Science*, **23**, S667-S670, 1992.
3. U.S. EPA : Interim Indoor Radon and Radon Decay Product Measurement Protocols, 520/1-86-04, 1986.
4. 김윤신, 이은규, 염무종, 김기영 : 다중이용시설에서의 실내공기중 미생물 분포에 관한 연구. 한국환경위생학회지, **28**(1), 85-92, 2002.
5. 김윤신 : 생활환경 중의 Bioaerosol의 현상과 대책. 한국에어로졸 연구회 추계 학술 강연회집, 51-59, 2000.
6. Huseuh, P. R., Teng, L. J. and Yang, P. C. : Persistence of a Multidrug-Resistant Pseudomonas aeruginosa Clone in an Intensive Care Burn Unit. *Journal of Clinical Microbiology*, **36**(5), 1347-1351, 1998.
7. 이은규 : 일부 종합병원내 공기 중 바이오에어로졸의 분포에 관한 연구. 한양대학교 환경대학원 석사학위 논문, 2001.
8. Eickhoff, T. C. : Perspectives on Airborne Infection in Health Care Facilities, NIOSH, 15-34, 1994.
9. Riley, R. L. : The ecology of Indoor Atmospheres Airborne Infection In Hospital. *Journal of Chronic Diseases*, **25**, 421-3, 1972.
10. 김기연, 이창래, 김치년, 원종욱, 노재훈 : 종합병원의 실내공기에 분포하는 부유 세균과 진균의 입경별 종류와 특성. 한국산업위생학회지, **16**(2), 45-51, 2004.
11. 한국공기청정연구 조합 : 미생물 입자의 움직임과 진균, 세균의 실내농도에의 영향. 공기청정기술, **5**(4), 50-58, 1992.
12. American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) : Bioaerosols Assessment and Control, ACGIH, 1999.
13. Andersen Instruments Inc. Andersen Viable(microbial) Particle Sizing Samplers Operation Manual, 1984.
14. Quality Assurance for Commercially Prepared Microbiological Culture Medis - Second Edition; Approved Standard, December, 1996.
15. 박동욱, 조경아, 윤충식, 한인영, 박두용 : 유치원 교실에서 공기 중 박테리아와 곰팡이 발생에 영향을 미치는 요인. 한국환경보건학회지, **30**(5), 440-448, 2004.
16. Li, Cs and Hou, P. A. : Bioaerosol characteristics in hospital clean rooms. *Science of the Total Environment*, **305**, 169-176, 2003.
17. 조현종 : 일부종합병원 내 영역별 공기 중 미생물 평가. 가톨릭대학교 의과대학 산업보건대학원 석사학위 논문, 1998.
18. 조경아 : 유아교육시설내 실내공기 중 호흡성 미생물에 관한 연구. 서울대학교 보건대학원 석사학위 논문, 2005.
19. 안태석 : 대기 중의 미생물의 검출과 측정방법, 공기청정기술. **13**(2), 60-69, 2000.
20. 조묘현 : 병원 감염세균의 특성 및 그에 관한 신속동정과 대책. 부경대학교 대학원 박사학위논문, 1998.
21. 김성광, 박미경, 정재규 : 공기중에서 분리된 포도구균의 항생제 감수성. 한국미생물학회지, **20**(1), 13-23, 1985.
22. Meklin, T., Reponen, T., Toivola, M., Koponen, B., Husman, T., Hyvarinen, A. and Nevalainen, A. : Size Distributions of Airborne Microbes in Moisture damaged and Reference School Buildings of Two Construction Types. *Atmospheric Environment*, **36**, 6031-6039, 2002.
23. Jaffal, A. A., Nsanze, H., Bener, A., Ameen, A. S., Banat, I. M. and Mogheth, A. A. : Hospital airborne microbial pollution in a desert country. *Environ Int*, **23**, 167-172, 1996.
24. Bennett, J. E. : Aspergillus species. In: Mandell, Douglas and Bennett's principles and practice of infectious diseases.(eds) Mandell GL, Bennett JE, Dolin R, New York: Churchill Livingstone, pp.2306-2311.
25. Van Bronswijk JEMH, Ruckaert G, Vander Lustgraai B. Indoor funfi distribution and allergenicity. *Acta Bot Neerlandica*, **35**, 329-345, 1986.
26. 최종태, 김윤신 : 병원내 공기중 미생물의 농도에 관한 조사연구. 한국환경위생학회지, **19**(1), 30-36, 1993..
27. Kelsen, S. G. and McGuckin, M. : The Role of Air Borne Bacteria in the Contamination of Fine Particle Nebulizers and The Development of Noscomial Pneumonia. *Annals of the New York Academy of Sciences*, **353**, 218-229, 1980.
28. 환경부 : 다중이용시설등의실내공기질관리법시행규칙, 환경부령 제156호, 2004.