서울시 일부 지역의 대기 중 부유 진균의 분포 특성

김기연 · 김대근*

부산가톨릭대학교 산업보건학과

*서울과학기술대학교 환경공학과

Distribution Characteristics of Airborne Fungi in a Partial Area of Seoul City

Ki Youn Kim and Daekeun Kim*

Department of Industrial Health, Catholic University of Pusan

*Department of Environmental Engineering, Seoul National University of Science & Technology

ABSTRACT

Objectives: This study was performed to assess based on field investigation the distribution characteristics of airborne fungi in an area of Seongdong-gu, Seoul.

Methods: Three sites, a living area, forest and traffic site, were selected for evaluation of monthly level of outdoor airborne fungi. An on-site survey was executed between January 2009 and December 2009. During the experimental period, air sampling was performed every month in the afternoon (2:00 pm-5:00 pm) using a cascade impactor.

Results: Outdoor airborne fungi measured in Seoul, Korea over one year showed a concentration range from 850CFU m⁻³ to 15,200CFU m⁻³. The mean respirable fraction of outdoor airborne fungi was 67% compared to total concentration. Regardless of measurement site, there was no significant concentration difference in outdoor airborne fungi between periods of yellow dust and non-yellow dust ($p>0.05$). There was no significant correlation relationship between outdoor airborne fungi and atmospheric factors such as temperature and relative humidity. The predominant genera of airborne fungi identified were *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Paecilomyces* and *Penicillium*.

Conclusion: Monthly levels of outdoor airborne fungi were highest in April and November and lowest in August. In seasonal concentration distribution, the autumn showed the highest level of outdoor airborne fungi, followed by spring, summer and winter. In regional concentration distribution, the highest level of outdoor airborne fungi was generally found in the forest, followed by the living area and traffic site.

Keywords: airborne fungi, outdoor, seoul, yellow dust, season

I. 서 론

공기 중 전파에 의한 부유 진균의 인체 감염이 사회적으로 처음 문제시되었던 것은 1976년 미국 필라델피아에서 발생한 레지오넬라균에 의한 집단 감염사건이라 할 수 있다. 그 이후에는 병원을 방문하

는 외부 출입자들이 공기 감염 경로를 통해 새로운 질환을 얻게 되는 이른바 병원성 감염 (noscomial infection)이 전 세계적으로 큰 관심과 파장을 일으키게 되었다.^{1,2)} 최근에는 중동전쟁에서 활용된 진균전(biowarfare)이나 생화학 테러(bioterrorism)에 이용된 탄저균, SARS로 인한 인체의 치명적 영향,³⁾ 천

†Corresponding author: 172 Gongreung 2-dong, Nowon-gu, Seoul, Korea. Waste Resource Biomass Energy Center, Department of Environmental Engineering, Seoul National University of Science and Technology, Tel: +82-2-970-6606, Fax: +82-2-971-5776, E-mail: kimd@snut.ac.kr

Received: 7 May 2012, Revised: 21 August 2012, Accepted: 2 October 2012

식이나 비염 등의 호흡기계 질환의 주요 발병 원인으로 지목되면서 부유 진균의 전염성에 대한 공중보건학적 관심은 최고조에 이르게 되었다. 또한 부유 진균의 악영향은 인간의 건강 뿐 아니라 조류독감이나 구제역 바이러스 등 가축들의 건강에도 위협을 주는 요인으로 작용하기 때문에 안전한 축산물 생산의 저해 인자로 작용함과 동시에 인간의 안전한 식단 또한 보장 받지 못하는 실정에 이르게까지 하는 원인이라 할 수 있다.

또한 최근 들어 중국, 몽고 등의 동북아시아 지역의 급속한 사막화와 우리나라 봄철에 형성되는 편서풍 기후 조건으로 인해 매년 엄청난 양의 황사 먼지가 국내로 유입되어 사회적으로 큰 문제가 제기되고 있다. 국내의 황사관련 연구로는 입경분포 비교 및 화학적 특성분석⁴⁾과 관련한 연구가 1980년대 후반부터 시작되어, 최근까지 부유분진의 양 및 물리·화학적 특성들에 대해서 대기환경 연구자들에 의해 꾸준히 연구 보고되어 왔다.^{5,6)} 하지만 현재까지 먼지에 흡착되어 공기 중으로 이동하는 부유 진균의 실외 분포 특성에 관한 국내 연구는 다른 대기 오염물질에 비해 상대적으로 매우 미진한 실정이다. 국내 대기 중 미생물 분포에 관한 연구로는 2003년도 태안지역에서 황사시 부유진균의 농도 분포를 조사한 연구 보고가 있으나,⁷⁾ 단순 정량 평가에만 초점을 두어 부유진균의 동정을 통한 황사시와 비황사시 간의 정성 비교 분석은 수행되지 못했다. Kim 등⁸⁾은 본 연구의 경우와 마찬가지로 서울시 지역을 대상으로 대기 중 생물학적 유해인자의 분포 특성을 조사하였으나, 부유 미생물 중 부유 세균만을 분석한 연구의 한계점을 가지고 있다.

쾌적한 환경 속에서 삶을 영위하고자 하는 현대인들의 욕구 증대로 일반 주거 환경을 포함한 다중이용시설과 작업장에서의 실내공기질 (Indoor Air Quality; IAQ)에 관한 연구는 비단 국외 뿐 아니라 국내에서도 상당한 수준에 이르고 있으며, 동시에 부유 진균의 실내 분포 특성에 관한 연구도 일반 사람들에게 비해 상대적으로 질병 저항성이 미약한 사람들이 거주하고 있는 병원, 유치원, 노인복지시설, 산후조리원 등의 다중이용시설들을 중심으로 여러 연구자들에 의해 수행되었다.⁹⁻¹¹⁾ 또한 근로자들의 건강 영향 평가 조사를 목적으로 작업 환경에 분포하고 있는 부유 진균의 분포 특성을 조사한 국내 연

구도 보고되고 있다.¹²⁾ 실내에서 측정되는 부유 진균의 주요 발생원이 재실자로 지목되고 있으나, 공기 유입에 의해 외부에서 들어온다는 선행 연구 결과^{13,14)}도 고려한다면 호흡기계 질환 유발의 주요 병원성 부유 진균의 종류를 규명하기 위해서는 실외 부유 진균의 분포 특성 관련 기초 조사가 반드시 선행되어야 한다. 이러한 이유로 국외에서는 각 나라의 고유 기후 특성에 따른 실외 부유 진균의 분포 특성 기초 데이터를 확보하는데 주력을 하고 있으나¹⁵⁻¹⁸⁾, 국내에서는 아직 본 연구의 필요성에 대한 면밀한 검토가 아직 수행되지 못했다.

따라서 본 연구는 대기환경보전 분야에 응용할 수 있는 기초 자료를 제공하기 위해 생물학적 유해인자 중 부유진균을 대상으로 일부 서울 지역의 대기 중 분포 특성에 관한 실측 데이터를 1년 기간 동안의 현장 조사를 통해 확보하고자 수행되었다.

II. 재료 및 방법

1. 연구대상

2009년 1월부터 2009년 12월 (1년) 기간 동안 오후 1시~4시 사이를 시료 채취 시간대로 선정하였다. 맑은 날의 주중 하루를 임의적으로 선정하여 주 1회 (3 반복) 측정하여 매달 4회, 총 12개월 동안 측정하였다. 채취 장소는 사람들의 이동성과 발생원 기여도를 고려하기 위해 서울 성동구 일대의 주거 지역 (아파트 단지·사근동 일대), 도로변 지역 (차량 통행량이 많은 곳·왕십리역 사거리), 녹지 지역 (공원·서울숲)의 3개소를 선정하였다. 측정 결과의 대표성을 확보하기 위한 시료 채취 관련 측정 기간, 시점, 장소 선정에 대한 내용은 국외 선행 연구인 Fang 등¹⁸⁾의 보고에 근거를 두어 설정하였다.

2. 연구방법

시료 포집은 분당 28.3 ℓ의 유량으로 설정된 six-stage viable particulate cascade impactor (Model 10-800, Andersen Inc, USA)를 사용하였으며, 각 단계별 공기역학적 직경 범위는 stage 1 (>7.0 μm), stage 2 (4.7-7.0 μm), stage 3 (3.3-4.7 μm), stage 4 (2.1-3.3 μm), stage 5 (1.1-2.1 μm), stage 6 (0.65-1.1 μm)이다. 10분 동안 공기를 포집하였으며, 측정 위치는 상부 1.5 m 지점으로 동일 지점에서 3번 반복 측정

하였다. 시료 채취 전에 70% alcohol로 포집기 내부를 소독 처리한 후 각 stage별로 배지를 장착하였다. 배지는 진균의 성장을 억제하기 위해 chloramphenicol 100 mg이 첨가된 Malt Extract Agar (Lot 3111376, Becton Dickinson and Company, USA)를 이용하였다.

시료 채취가 완료된 배지는 미생물 분석실로 즉시 운반하여 실온 조건 (15~25°C) 하의 배양기에서 5 일 동안 배양하였다. 배양 완료 후 배지에 형성된 집락 (colony)을 계수한 값에 채취한 공기량 (m³)으로 나누는 방법으로 부유 진균의 농도 (CFU/m³)를 산출하였다 (식 1, 2 참조).

$$\begin{aligned} \text{CFU (Colony Forming Unit)/m}^3 \\ = \text{Colony counted on agar plate} \\ / \text{Air volume(m}^3\text{)} \end{aligned} \quad \text{식(1)}$$

$$\begin{aligned} \text{Air volume (m}^3\text{)} = \\ 28.3 \ell / \text{min} \times \text{sampling time(min)} / 10^3 \end{aligned} \quad \text{식(2)}$$

광학현미경을 통해 균집락의 모양과 색깔, 영양균사, 유성 및 무성 생식 기관 및 포자의 색깔과 형태를 관찰하여 Ainsworth & Baron 분류 검색법에 따라 균속을 동정하였다.

공기 시료를 채취하는 동안 아스만통풍건습계 (SATO R-704, SATO Inc, Japan)를 이용하여 외기 온도와 상대습도를 측정하였으며, 1분 간격으로 5~10 회 측정된 값의 평균을 대표치로 하였다.

SAS package (SAS/Stat 9.1, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)를 이용하여 실외 부유진균의 측정 농도값에 대한 통계 분석을 수행하였다. 우선 측정 데이터의 정규분포 여부는 Shapiro-Wilk test를 통해 검증하였다. 정규 분포성을 파악한 후 계절과 지역에 따른 차이는 분산분석을, 황사기간과 비황사기간과의 차이는 t-검정 방법을, 부유진균과 온습도와와의 연관성은 회귀분석을 통해 통계적 유의성을 검증하였다.

III. 결 과

1. 부유진균의 월별 농도 분포 특성

Fig. 1은 일부 서울 지역의 월별 부유진균의 농도 분포 양상을 보여주고 있다. 가장 높은 농도로 측정된 달은 주거지역은 11월 (평균 5,742CFU m⁻³), 도로변 지역은 4월 (평균 5,229CFU m⁻³), 녹지지역은

Fig. 1. Monthly distribution characteristics of outdoor airborne fungi in Seoul, Korea (2009).

Fig. 2. Seasonal distribution characteristics of outdoor airborne fungi according to measurement site in Seoul, Korea (2009).

10월 (평균 15,110CFU m⁻³)인 것으로 조사되었다. 반면 주거지역, 녹지지역, 도로변 지역 모두 8월 (평균 1,021CFU m⁻³, 891CFU m⁻³, 1,866CFU m⁻³)에 농도가 가장 낮은 것으로 측정되었다.

2. 부유진균의 계절별 농도 분포 특성

Fig. 2는 측정 장소에 따른 계절별 실외 부유진균의 평균 농도를 나타내고 있다. 주거지역의 경우 봄철은 1,741(±126)CFU m⁻³, 여름철은 1,277(±235)CFU m⁻³, 가을철은 4,743(±1,501)CFU m⁻³, 겨울철은 1,060(±851)CFU m⁻³로 측정되어 가을철이 유의하게 가장 높고 (p<0.05) 겨울철이 가장 낮은 것으로 나타났으나 통계적으로는 유의하지 않았다 (p>0.05). 녹지지역의 경우 봄철은 5,131(±5,513)CFU m⁻³, 여름철은 2,205(±332)CFU m⁻³, 가을철은 11,090(±3,584)CFU m⁻³, 겨울철은 1,892(±2,209)CFU m⁻³로 측정되어 가을철이 유의하게 가장 높고 (p<0.05) 겨울철이 가장 낮은 것으로 나타났으나 통계적으로는 유의하지 않았다 (p>0.05). 도로변 지역의 경우 봄철은 1,806(±1,673)CFU m⁻³, 여름철은 1,426(±465)CFU m⁻³, 가을철은 2,419(±566)CFU m⁻³, 겨울철은 1,060(±851)

Fig. 3. Size distribution characteristics of outdoor airborne fungi in Seoul, Korea (2009).

CFU m^{-3} 로 측정되어 가을철이 유의하게 가장 높고 겨울철이 가장 낮은 것으로 나타났으나 통계적으로는 유의하지 않았다 ($p>0.05$).

3. 부유진균의 입경별 농도 분포 특성

Fig. 3은 측정 지점에 따른 입경별 실외 부유진균의 분포 특성을 보여주고 있다. 주거지역의 경우 $>7.0 \mu m$ (stage 1)이 17%, $4.7-7.0 \mu m$ (stage 2)가 16%, $3.3-4.7 \mu m$ (stage 3)가 24%, $2.1-3.3 \mu m$ (stage 4)가 28%, $1.1-2.1 \mu m$ (stage 5)가 10%, $0.65-1.1 \mu m$ (stage 6)이 5%의 입경 분포를 나타냈고, 전체 중 호흡성 입경 범위 ($1.1-4.7 \mu m$; stage 3-stage 6)에 해당되는 비율은 67%였다. 녹지지역의 경우 $>7.0 \mu m$ (stage 1)이 16%, $4.7-7.0 \mu m$ (stage 2)가 15%, $3.3-4.7 \mu m$ (stage 3)가 26%, $2.1-3.3 \mu m$ (stage 4)가 29%, $1.1-2.1 \mu m$ (stage 5)가 11%, $0.65-1.1 \mu m$ (stage 6)이 2%의 입경 분포를 나타냈고, 전체 중 호흡성 입경 범위 ($1.1-4.7 \mu m$; stage 3-stage 6)에 해당되는 비율은 68%였다. 도로변 지역의 경우 $>7.0 \mu m$ (stage 1)이 18%, $4.7-7.0 \mu m$ (stage 2)가 15%, $3.3-4.7 \mu m$ (stage 3)가 26%, $2.1-3.3 \mu m$ (stage 4)가 31%, $1.1-2.1 \mu m$ (stage 5)가 9%, $0.65-1.1 \mu m$ (stage 6)이 1%의 입경 분포를 나타냈고, 전체 중 호흡성 입경 범위 ($1.1-4.7 \mu m$; stage 3-stage 6)에 해당되는 비율은 67%였다.

4. 황사/비황사 기간 중 부유진균 농도 분포 비교

Fig. 4는 1년 (2009년 1월~2009년 12월) 중 황사가 발생했던 날과 황사가 발생되지 않은 날에 측정 지점별로 조사된 실외 부유진균의 평균 농도를 비교하고 있다. 주거지역의 경우 황사기간은 1,362

Fig. 4. Comparison of outdoor airborne fungi between yellow dust period and non-yellow dust period in Seoul, Korea (2009).

($\pm 1,460$)CFU m^{-3} , 비황사기간은 1,460($\pm 1,602$)CFU m^{-3} 로 측정되어 비황사기간에서의 실외 부유진균의 농도가 상대적으로 높았으나 통계적으로는 유의하지는 않았다 ($p>0.05$). 반면 도로변 지역과 녹지지역의 경우 각각 황사기간은 1,541($\pm 1,310$)CFU m^{-3} 와 4,159($\pm 5,280$)CFU m^{-3} , 비황사기간은 1,528($\pm 1,308$)CFU m^{-3} 와 3,446($\pm 4,271$)CFU m^{-3} 로 측정되어 황사기간에서의 실외 부유진균의 농도가 상대적으로 높았으나 통계적으로는 유의하지는 않았다 ($p>0.05$). 측정 지역을 모두 포함한 전체를 대상으로 했을 시에는 황사기간이 2,354($\pm 2,672$)CFU m^{-3} , 비황사기간이 2,145($\pm 2,394$)CFU m^{-3} 로 측정되어 황사기간에서의 실외 부유진균의 농도가 비황사기간 보다 상대적으로 높은 것으로 나타났으나 통계적으로는 유의하지 않았다 ($p>0.05$).

5. 실외 부유진균과 온/습도와와의 관계 요인 분석

측정 대상 지점을 모두 포함해서 1년 (2009년 1월~2009년 12월) 동안 측정되었던 실외 온도 및 상대습도와 부유진균과의 관계를 직선 회귀 분석으로 산출한 결과, 온도와 상대습도 모두 부유진균의 농도와 양의 상관성을 나타내었으나 통계적으로는 유의하지 않았다 ($p>0.05$).

6. 부유진균의 동정 결과

Table 1은 1년 (2009년 1월~2009년 12월) 동안 측정된 실외 부유진균들을 동정한 자료이다. 주거지역의 경우 *Penicillium sp.*, *Aspergillus sp.*, *Cladosporium sp.*, *Curvularia sp.*가 각각 9번, 7번, 6번, 6번씩 검출되어 이들이 주요 우점종임이 규명되었다. 도로변

Table 1. Identification of outdoor airborne fungi in Seoul, Korea (2009)

living Area	No.	Detection rate (%)
Penicillium sp.	9	18.4
Aspergillus sp.	7	14.3
Cladosporium sp.	6	12.2
Curvularia sp.	6	12.2
Acremonium(Cephalo.) sp.	4	8.2
Paecilomyces sp.	3	6.1
Unidentified mollform	14	28.6
Total	49	100.0
Traffic Site	No.	Detection rate (%)
Aspergillus sp.	15	30.6
Penicillium sp.	7	14.3
Paecilomyces sp.	6	12.2
Cladosporium sp.	3	6.1
Acremonium(Cephalo.) sp.	1	2.1
Unidentified mollform	17	34.7
Total	49	100.0
Forest	No.	Detection rate (%)
Penicillium sp.	9	18.8
Paecilomyces sp.	8	16.7
Aspergillus sp.	6	12.5
Cladosporium sp.	4	8.3
Acremonium (Cephalo.) sp.	1	2.1
Curvularia sp.	1	2.1
Unidentified mollform	19	39.5
Total	48	100.0

지역의 경우 *Aspergillus sp.*, *Penicillium sp.*, *Paecilomyces sp.*, *Cladosporium sp.*가 각각 15번, 7번, 6번, 3번씩 검출되어 이들이 주요 우점종임이 규명되었다. 녹지지역의 경우 *Penicillium sp.*, *Paecilomyces sp.*, *Aspergillus sp.*, *Cladosporium sp.*가 각각 9번, 8번, 6번, 4번씩 검출되어 이들이 주요 우점종임이 규명되었다. 따라서 본 측정 데이터를 근거로 우리나라의 실외 조건에서 서식하는 주요 부유 진균들은 *Penicillium sp.*, *Aspergillus sp.*, *Cladosporium sp.*, *Paecilomyces sp.*, *Penicillium sp.*인 것으로 규명되었다.

IV. 고 찰

2009년 1월부터 12월까지 서울 성동구 일대 측정

지점별로 조사된 실외 부유진균의 전체 농도 범위는 850CFU m⁻³~15,200CFU m⁻³로 나타나 상당한 편차를 보이는 것으로 조사되었다. 국외의 선행 연구 결과들을 살펴보면 폴란드 실레지아는 4~4,121CFU m⁻³³¹³⁾, 중국 베이징은 24~13,960 CFU m⁻³³¹⁸⁾로 보고되어 본 연구 결과와 마찬가지로 실외 조건에 분포하는 부유진균 농도 범위의 폭이 크고 다소 차이는 있으나, 서울 지역의 실외 부유진균의 농도 수준이 국외 도시들과 유사하거나 대체로 높은 수준인 것으로 분석되었다. 본 연구에서 측정된 실외 부유 진균의 농도값이 일반 실내 공간 및 국외 선행 연구 결과보다 높은 것으로 분석되었는데, 이는 부유 진균 포집에 있어 일반적으로 많이 활용되는 1단 충돌기가 아닌 6단 충돌기가 적용되어 나타난 결과라 사료된다.

공기 중으로 휘산되는 진균 발생원의 대부분을 차지하는 것이 토양이다. 토양내 존재하는 진균들이 증식하는 데 있어 필요한 영양분을 어떤 달에 가장 많이 또는 가장 적게 공급받느냐에 따라 실외 부유진균의 농도 패턴이 결정되는 것으로 사료된다. 따라서 본 연구 결과에 근거를 둔다면 토양내 진균들은 4월과 11월에 증식에 필요한 영양분을 토양으로부터 가장 많이 공급받는 반면, 8월에는 가장 적게 공급받는 것으로 추정되어진다.

중국 베이징시의 대기 중 부유진균의 농도 분포를 조사한 Fang 등¹⁸⁾에 의하면 사람의 이동이 빈번한 주거지역과 차량 통행이 많은 도로변 지역이 녹지지역보다 실외 부유진균의 농도가 전반적으로 높다고 보고하였으나, 이는 녹지지역의 대기 중에 부유진균의 농도가 상대적으로 높게 나타난 본 연구 결과와는 상반된 것이다. 지역 특성에 따라 실외 부유진균의 농도 분포에 차이가 나는 이유는 상이한 미생물 서식 환경, 측정 시간대, 시료채취 방법, 기후 조건의 차이¹⁷⁾ 등 여러 가지 요인들을 제시할 수 있다.

봄철, 여름철, 가을철에 녹지지역이 주거지역이나 도로변 지역보다 실외 부유진균의 농도가 높게 측정된 이유는 이들의 발생원이 될 수 있는 식물류의 분포가 광범위하고, 꽃가루의 발생 및 식물류에서 비롯되는 낙화현상이 빈번한 녹지지역이 그 토양내 존재하는 진균의 잠재적 증식 영양원을 상대적으로 많이 공급해 줄 수 있는 환경 여건이 조성되었기 때문이다¹⁹⁻²¹⁾. 하지만 실외 대기 중 부유 진균의 농도가 높게 나타난 이유를 토양의 영양원 공급 측면만

을 가지고 단순 해석하기에는 논리성이 결여될 수 있다. 따라서 생존 조건 및 여러 환경 요인들의 작용에 의해 부유 진균의 대기 중 농도가 상대적으로 봄과 가을철에 높게 측정되었을 가능성도 동시에 고려해야 할 필요가 있다.

겨울철의 경우에서만 주거지역에서 가장 높게 나타나는 예외적인 결과가 나타났는데, 이는 겨울철 평균 외부 기온이 주거시설들의 난방 효과로 인하여 녹지 지역($-6.2 \pm 7.7^\circ\text{C}$)과 도로변 지역($-5.5 \pm 9.3^\circ\text{C}$)에 비해 상대적으로 높게 나타나 실외 부유진균의 대기 중 서식 조건을 호의적으로 형성했기 때문이라 추정된다.

계절별 실외 부유진균의 농도 결과에서 특이할 만한 점은 겨울철 농도가 국외 연구 결과들과 비교시 상대적으로 높게 나타난 사실이다. 일반적으로 사계절 중 겨울철 실외 부유진균의 농도는 가장 낮은 것으로 (<약 300CFU/m³) 보고되고 있으나²²⁾, 국외의 경우 겨울철 평균 온도가 -10°C 이하에서 형성된 반면, 본 연구 기간 동안 겨울철의 실외 온도는 $-5^\circ\text{C} \sim 0^\circ\text{C}$ 의 범위를 나타내 이른 봄이나 늦은 가을과 유사한 기후 조건을 보여 진균이 대기 중에 생존하는데 매우 열악한 조건은 아니기 때문이라 추정된다. 이러한 현상은 최근 국내에서 급격히 진행되는 기후 온난화에 의한 것으로 본 연구의 겨울철 측정 자료의 명확한 근거를 제시하기 위해서는 향후 추가적인 연구가 수행되어야 할 것이다.

입경별 분포의 경우 본 연구를 통해 나타난 측정 결과의 해석시 고려되어야 할 사항은 시료 채취에 따른 분극은 부유 진균의 입경 분극만이 아니라, 진균 표면에 흡착되어 있는 분진 등 다른 유형의 입자상 물질의 분극일 가능성 또한 배제할 수 없다. 따라서 부유 진균의 분극에 따른 입경 분포 특성을 명확히 규명하기 위해서는 향후 추가적인 연구가 수행되어야 할 것이라 사료된다.

기상 요인에 따른 실외 대기 중 부유진균의 상관성 관련 국외 선행 연구 결과들을 살펴보면 대기의 온도와 상대습도가 부유진균의 분포 양상에 어떠한 영향을 주는가에 대해 연구자들간 의견이 서로 상이함을 알 수 있다²³⁻²⁶⁾. 따라서 현재로서는 이에 대한 명확한 해석을 위한 객관적 근거 자료가 제시되지 못하고 있기 때문에 향후 추가 연구가 요구되는 바이다.

국외 선행 연구에서도 실외 조건에서 주로 검출된

부유 진균들이 *Aspergillus*, *Alternaria*, *Cladosporium*, *Penicillium*로²⁷⁻³¹⁾ 본 연구 결과와 대부분 일치하는 것으로 나타났다. 이는 부유 진균의 종에 상관없이 전체 정량 평가한 측면에서는 선행 연구 결과들과 본 조사 간 여러 조건들의 상이함을 고려해보면 논리적이지 않다. 하지만 부유 진균의 종을 검출하는 정성적 분석 결과의 경우 현재 적용되고 있는 동정 기술의 한계로 검출되는 진균이 한정되어 있어 선행 연구들과 본 조사의 결과가 서로 유사하게 나타난 것으로 판단된다. 본 연구에 적용된 광학현미경을 통한 진균의 형태 특성 동정법으로는 환경에 서식하는 다양한 부유 진균들을 검출하기에는 많은 한계가 있다. 따라서 부유 세균의 경우와 같이 부유 진균의 심도깊은 동정을 위해 지방산 분석법 (MIDI)이나 DNA 분석을 통한 분자생물학적 방법이 향후 활용되어야 할 것이다.

V. 결 론

1년 기간 (2009년 1월~2009년 12월) 동안 측정된 일부 서울 지역 대기 중에 분포하는 부유진균의 전체 농도는 850CFU m⁻³~15,200CFU m⁻³의 범위를 보였다. 월별 농도 분포는 4월과 11월에 가장 높았고, 8월에 가장 낮은 것으로 분석되었다. 계절과 측정지역에 따른 농도 분포 현황을 살펴보면 전반적으로 가을 > 봄 > 여름 > 겨울, 녹지지역 > 주거지역 > 도로변 지역의 순서로 나타났다. 입경에 따른 분포 특성은 전체 농도 대비 호흡성 크기에 해당하는 부유진균의 분포 비율이 평균 67%인 것으로 나타났다. 황사기간과 비황사기간 중 측정된 부유진균의 농도를 비교해 보면 측정 지역에 상관없이 유의한 차이가 없는 것으로 분석되었다 ($p > 0.05$). 실외 부유진균과 기상요인 (온도와 상대습도)과의 상관관계를 분석한 결과 통계적으로 유의하지 않았다 ($p > 0.05$). 우점하는 실외 부유진균은 *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Paecilomyces*, *Penicillium*인 것으로 조사되었다.

감사의 글

본 논문은 2007년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음 (KRF-2007-314-D00420)

참고문헌

1. Ayliffe, G.A.J., Lowbury, E.J.L. Airborne infection in hospital. *J Hospit Infect* 1982; 3: 217-240.
2. Arnou, P.M., Sadigh, M., Coats, C., Weil, D., Chudy, R. Endemic and epidemic aspergillosis associated in-hospital replication of *Aspergillus* organisms. *J Infect Dis* 1991; 1: 998-1002.
3. Agranovski, I.E., Safatov, A.S., Pyankov, O.V. Monitoring of viable airborne SARS virus in ambient air. *Atmos Environ* 2004; 38: 3879-3884.
4. Lee, M.H., Han, J.S., Han, E.J. and Shin, C.G. Study on chemical components of rainfall in case of yellow dust. *Kor J Atmos Environ* 1989; 5: 1-11.
5. Shin, E.S. and Kim, H.G. Effect of yellow dust on atmospheric airborne dust in Seoul. *Kor J Meteorol Soc* 1992; 26: 111-120.
6. Kim, W.G., Jeon, Y.S., Lee, W.H., Kim, H.M. Characteristics of yellow dust and airborne dust in Seoul: Case study. *Kor J Atmos Environ* 1995; 11: 199-209.
7. Kim, J.H., Yeo, H.G. : Variations of airborne fungal spore composition due to the Asian dust trajectories. *Kor J Atmos Environ* 2004; 20: 69-76.
8. Kim, K.Y., Kim, Y.S., Lee, C.M., Cho, M.S., Byeon, S.H. Atmospheric distribution characteristics of airborne bacteria in part of Seoul area. *Kor J Atmos Environ* 2009; 25: 493-502.
9. Lee, C.M., Kim, Y.S., Lee, T.H., Park, W.S., Hong, S.C. Characterization of airborne bioaerosol concentration in public facilities. *Kor J Environ Sci* 2004; 13: 215-222.
10. Lee, C.R., Kim, K.Y., Kim, C.N., Park, D.U., Roh, J.H. Investigation on concentrations and correlations of airborne microbes and environmental factors in the general hospital. *J Kor Soc Occup Environ Hyg* 2005; 15: 45-51.
11. Kim, K.Y., Jang, G.Y., Park, J.B., Kim, C.N., Lee, K.J. Field study of characteristics of airborne bacteria distributed in the regulated public buildings. *J Kor Soc Occup Environ Hyg* 2006; 16: 1-10.
12. Kim, K.Y., Park, J.B., Kim, C.N., Lee, K.J. Assessment of airborne bacteria and particulate matters distributed in Seoul metropolitan subway stations. *Kor J Environ Health* 2006; 32: 254-261.
13. Pastuszka, J.S., Paw, U.K.T., Lis, D.O., Wlazlo, A. and Ulfig, K. Bacterial aerosol in indoor environment in Upper Silesia, Poland. *Atmos Environ* 2000; 34: 3833-3842.
14. Wu, P.C., Su, H.J., Lin, C.Y. Characteristics of indoor and outdoor fungi at suburban and urban homes in two seasons. *Sci Total Environ* 2000; 253: 111-118.
15. Kuo, Y.M., Li, C.S. Seasonal fungus prevalence inside and outside of domestic environments in the subtropical climate. *Atmos Environ* 1994; 19: 3125-3130.
16. Lighthart, B., Shaffer, B.T. Airborne bacteria in the atmospheric surface layer: temporal distribution above a grass seed field. *Appl Environ Microbiol* 1995; 61: 1492-1496.
17. Shaffer, B.T., Lighthart, B. Survey of culturable airborne bacteria at four diverse locations in Oregon: urban, rural, forest, and coastal. *Microb Ecol* 1997; 34: 167-177.
18. Fang, Z., Ouyang, Z., Hu, L., Wang, X., Hua, Z., Lin, X. Culturable airborne fungi in outdoor environments in Beijing, China. *Sci Total Environ* 2005; 350: 47-58.
19. Shelton, B., Kirkland, K.H., Flanders, W.D., Morris G.K. Profiles of airborne fungi in buildings and outdoor environments in the United States. *Appl Environ Microbiol* 2002; 68: 1743-1753.
20. Ju, T.Z., Suo, A.N., Tian, Y.J. Analysis on aerobiology in Lanzhou. *Ind Saf Environ Prot* 2003; 29, 17-19.
21. Jones, A.M., Harrison, R.M. The effects of meteorological factors on atmospheric bioaerosol concentrations-a review. *Sci Total Environ* 2004; 326: 151-180.
22. Reponen, T., Gazenko, S.V., Grinshpun, S.A., Willeke, K., Cole, E.C. Characteristics of airborne-actinomycete spores. *Appl Environ Microbiol* 1998; 64: 3807-3812.
23. Marthi, B., Lighthart, B., Effects of betaine on the enumeration of airborne bacteria. *Appl Environ Microbiol* 1990; 56, 1286-1289.
24. Walter, M.V., Marthi, B., Fieland, V.P., Ganio, L.M. Effect of aerosolization on subsequent bacterial survival. *Appl Environ Microbiol* 1990; 56: 3468-3472.
25. Macher, J.M., Huang, F.Y., Flores, M. A two-year study of microbiological indoor air quality in a new apartment. *Arch Environ Health* 1991; 46, 25-29.
26. Li, C.S., Hsu, L.Y. Home dampness and childhood respiratory symptoms in a subtropical climate. *Arch Environ Health* 1996; 51, 42-46.
27. Picco, A.M., Rodolfi, M. Airborne fungi as biocontaminants at two Milan underground stations. *Int Biodeterior Biodegrad* 2000; 45: 43-47.
28. Huang, C.Y., Lee, C.C., Li, F.C., Ma, Y.P., Su, H.J.J., The seasonal distribution of bioaerosols in municipal landfill sites: a 3-yr study. *Atmos Environ*

- ron* 2002; 36: 4385-4395.
29. Hargreaves, M., Parappukkaran, S., Morawska, L., Hitchins, J., He, C., Gilbert, D. A pilot investigation into association between indoor airborne fungal and non-biological particle concentrations in residential houses in Brisbane, Australia. *Sci Total Environ* 2003; 312, 89-101.
30. Kuder, E.M., Seasonal variations in the occurrence of culturable airborne fungi in outdoor and indoor air in Cracow. *Int Biodeterior Biodegrad* 2003; 52: 203-205.
31. Adhikari, A., Sen, M.M., Gupta-Bhattacharya, S., Chanda, S. Airborne viable, non-viable, and allergenic fungi in a rural agricultural area of India: a 2-year study at five outdoor sampling stations. *Sci Total Environ* 2004; 326: 123-141.