

일부 서울 지역 대기 부유세균 분포 현황 조사

Atmospheric Distribution Characteristics of Airborne Bacteria in Part of Seoul Area

김기연 · 김윤신 · 이철민 · 조만수 · 변상훈^{1)*}
한양대학교 환경 및 산업의학 연구소, ¹⁾고려대학교 환경보건학과
(2009년 7월 2일 접수, 2009년 9월 23일 수정, 2009년 11월 18일 채택)

Ki Youn Kim, Yoon Shin Kim, Cheol Min Lee, Man Su Cho
and Sang Hoon Byeon^{1)*}
Institute of Environmental and Industrial Medicine, Hanyang University
¹⁾*Department of Environmental Health, Korea University*
(Received 2 July 2009, revised 23 September 2009, accepted 18 November 2009)

Abstract

The concentrations of outdoor airborne bacteria measured in Seoul, Korea for one year (Jan. 2008 ~ Dec. 2008) ranged from 500 CFU/m³ to 7,500 CFU/m³. In monthly concentration distribution, the level of outdoor airborne bacteria was highest in September and October and lowest in March. In seasonal concentration distribution, the order of level of outdoor airborne bacteria was autumn > winter > spring > summer. In regional concentration distribution, the highest level of outdoor airborne bacteria was generally found in the forest, followed by general area and traffic site. In distribution characteristics according to particle size, outdoor airborne bacteria showed 31% for >7.0 μm (stage 1), 21% for 4.7 ~ 7.0 μm (stage 2), 15% for 3.3 ~ 4.7 μm (stage 3), 19% for 2.1 ~ 3.3 μm (stage 4), 10% for 1.1 ~ 2.1 μm (stage 5), and 4% for 0.65 ~ 1.1 μm (stage 6) and its mean respirable fraction was 48%. In concentration distribution by yellow dust, the mean levels of outdoor airborne bacteria were 803 (±479) CFU/m³ for period of yellow dust and 691 (±1,134) CFU/m³ for period of non-yellow dust. Although the level of outdoor airborne bacteria was higher in period of yellow dust than period of non-yellow dust, there was no significant difference between period of yellow dust and non-yellow dust (p > 0.05). In correlation analysis between outdoor airborne bacteria and atmospheric factors (temperature and relative humidity), there was no significant correlation between outdoor airborne bacteria and atmospheric factors. The predominant airborne bacteria were identified to the Bacillus-derived species.

Key words : Airborne bacteria, Outdoor, Seoul, Distribution, Identification

1. 서 론

지구 대기는 생물학상 오염물질, 즉 바이오에어로졸이 상당히 존재하고 있으며, 토양과 거기에 분포하

*Corresponding author.
Tel : +82-(0)2-940-2866, E-mail : shbyeon@korea.ac.kr

는 식물상, 그리고 여러 형태의 인간들의 행위에 의해 발생된다. 부유 미생물들의 대기 중 생존과 분포 양상은 생물학적 인자와 기상학적 요인들에 의해 조절되고(Jones and Harrison, 2004), 대기 중으로 방출된 미생물들은 실외 대기오염의 한 요인으로 작용하게 된다(Lighthart, 1997).

공기 중에 부유하고 있는 세균, 곰팡이, 바이러스 등의 생물학적 오염물질들은 입자상 물질에 해당되는 미세분진에 흡착된 후 호흡을 통해 사람과 가축의 폐포에 도달하여 폐렴, 천식, 기관지염, 비염 등과 같은 호흡기 계통의 질병을 유발하는 것으로 보고되고 있다(Mahdy *et al.*, 1997; Giorgio *et al.*, 1996; Olson and Bark, 1996). 특히 병원성 기회 감염균이 공기를 매체로 하여 폐 및 기타 기관에 전달되면 전염성 질환 및 알레르기 질환을 유발시키기도 하고 심한 경우 사망에 이르게 할 수도 있다(Douwes *et al.*, 2003). 또한 사회적으로 큰 파장을 일으키고 있는 빌딩증후군(Sick Building Syndrome: SBS)이나 새집증후군의 주요 원인 중 하나로 부유 미생물 노출에 의한 일반 사람들의 과민 반응에 기인하는 것으로 국외에서 보고되고 있다(Laumbach and Kipen, 2005; Straus *et al.*, 2003). 최근에는 조류독감과 신종플루 바이러스의 공기 중 전파에 의한 전염 파급력이 계속 증가하는 추세이기 때문에 국민들의 불안감 역시 심화되고 있는 실정이다.

이러한 부유 미생물에 대한 환경보건학적 중요성이 사회적으로 많은 관심을 받는 상황에 기인하여 환경부는 일반 다중이용시설 중 일반 사람들에 비해 상대적으로 질병 저항성이 미약한 사람들이 거주하고 있는 병원, 유치원, 노인복지시설, 산후조리원을 대상으로, 노동부는 일반 사무실을 대상으로 부유세균 항목(기준: 800 CFU/m³)을 설정하여 관리하고 있다. 부유세균과 관련한 국내 연구는 대부분 실내공기질에 초점을 두어 규제 대상시설 실태조사를 중심으로 수행되었고(Kim *et al.*, 2006a; Lee *et al.*, 2005; Lee *et al.*, 2004). 근로자들의 건강 영향 평가 조사를 목적으로 작업장 실내 환경에 분포하고 있는 부유세균의 분포 특성을 조사한 국내 연구도 보고되고 있다(Kim *et al.*, 2006b).

하지만 실내에서 측정되는 부유세균의 주요 발생원이 환기에 의해 외부에서 유입되어 온 것이라는 선행 연구 결과들(Pastuszka *et al.*, 2000; Wu *et al.*, 2000)

에 근거하면 호흡기계 질환을 유발하는 주요 병원성 부유세균의 종류를 규명하기 위해서는 실외 부유세균의 분포 특성과 관련한 기초 조사가 반드시 선행되어야 한다. 이러한 이유로 국외에서는 각 나라의 고유 기후 특성에 따른 실외 부유세균의 분포 특성 관련 기초 데이터를 확보하는데 주력하고 있으나(Fang *et al.*, 2007; Pastuszka *et al.*, 2000; Shaffer and Lighthart, 1997; Lighthart and Shaffer, 1995; Kuo and Li, 1994), 국내에서는 아직 본 연구의 필요성에 대한 면밀한 검토가 진행되지 않고 있는 실정이다.

따라서 본 연구의 목적은 생물학적 유해인자 중 부유세균을 대상으로 일부 서울 지역의 실외 기후 조건에 따른 이들의 분포 특성을 1년 기간 동안 현장 조사를 통해 실증 데이터를 확보하여 대기환경보전 분야에 활용할 수 있는 기초 자료를 제공하는 데 있다.

2. 연구 및 방법

2.1 시료 채취

2008년 1월부터 2008년 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.

2.2 시료 분석

2.2.1 측정 장비

시료 포집은 분당 28.3L의 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(Andersen, 1958). 10분 동안 공기를 포집하였으며, 측정 위치는 상부 1~1.5m 지점으로 동일 지점에서 3번 반복 측정하였다. 시료 채취 전에 70% alcohol로 포집기 내부를 소독 처리한 후 각 stage별로 배지를

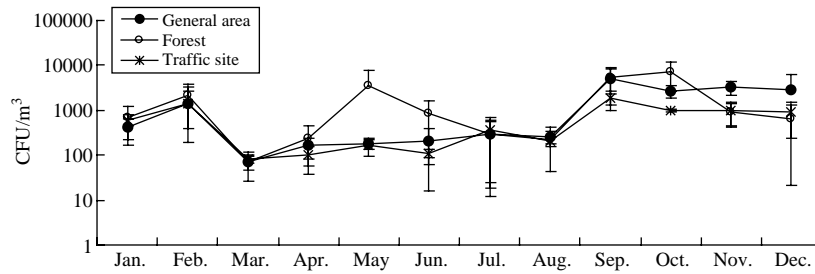


Fig. 1. Monthly distribution characteristics of outdoor airborne bacteria in Seoul, Korea (2008).

장착하였다. 배지는 진균의 성장을 억제하기 위해 cycloheximide 500 mg이 첨가된 Trypticase Ssoy Agar (Lot 2087730, Becton Dickinson and Company, USA)를 이용하였다.

2.2.2 정량 분석(농도)

시료 채취가 완료된 배지는 미생물 분석실로 즉시 운반하여 37°C 조건하의 배양기에서 1~2일 동안 배양하였다. 배양 완료 후 배지에 형성된 집락(colony)을 계수한 값에 채취한 공기량(m³)으로 나누는 방법으로 부유세균의 농도(CFU/m³)를 산출하였다(식 1, 2 참조).

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

$$\text{Air volume (m}^3) = 28.3 \text{ L/min} \times \text{sampling time (min)/10}^3 \quad (2)$$

2.2.3 정성 분석(동정)

Bergey's manual 분류법에 따라 배양된 균종을 동정하였고, Gram 염색 후 자동화동정 시스템인 VITEK (Model VITEK 32 system, bioMerieux Inc., France)을 통해 biochemical test를 실시하여 균종을 추가 동정하였다.

2.2.4 환경 인자

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

2.2.5 통계 분석

SAS package (SAS/Stat 9.1, SAS Institute Inc., Cary,

NC, USA)를 이용하여 실외 부유세균의 측정 농도값에 대한 통계 분석을 수행하였다. 계절과 지역에 따른 차이는 분산분석을, 황사기간과 비황사기간과의 차이는 t-검정 방법을, 부유세균과 온도와의 연관성은 상관분석을 통해 통계적 유의성을 검증하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 실외 부유세균의 전체 농도 분포 특성

일부 서울 지역에서 2008년 1월부터 12월까지 측정 지점별로 조사된 실외 부유세균의 전체 농도 범위는 50 CFU/m³~7,500 CFU/m³로 나타났다. 실외 부유세균 농도에 대한 국외의 선행 연구 결과들을 연대순으로 살펴보면 스웨덴 스톡홀름은 2~4,000 CFU/m³ (Bovallius *et al.*, 1978), 남아프리카공화국 요하네스버그는 175~8,500 CFU/m³ (Yousefi and Rama, 1992), 프랑스 마르세이유는 80~2,813 CFU/m³ (Giorgio *et al.*, 1996), 폴란드 실레지아는 13~4,344 CFU/m³ (Pastuszka *et al.*, 2000), 중국 베이징은 71~22,100 CFU/m³ (Fang *et al.*, 2007)로 보고되어 본 연구 결과와 마찬가지로 실외 조건에 분포하는 부유세균 농도 범위의 폭이 크고, 다소 차이는 있으나 서울 지역의 실외 부유세균의 농도 수준이 국외 도시들과 대체로 비슷한 수준임을 알 수 있다.

3.2 실외 부유세균의 월별 농도 분포 특성

그림 1은 일부 서울 지역의 월별 농도 분포 특성을 보여주는 것으로 측정지역별로 살펴보면 주거지역과 도로변은 9월에 각각 평균 5,014 CFU/m³과 5,339 CFU/m³로 측정되어 농도가 가장 높았고, 녹지 지역은

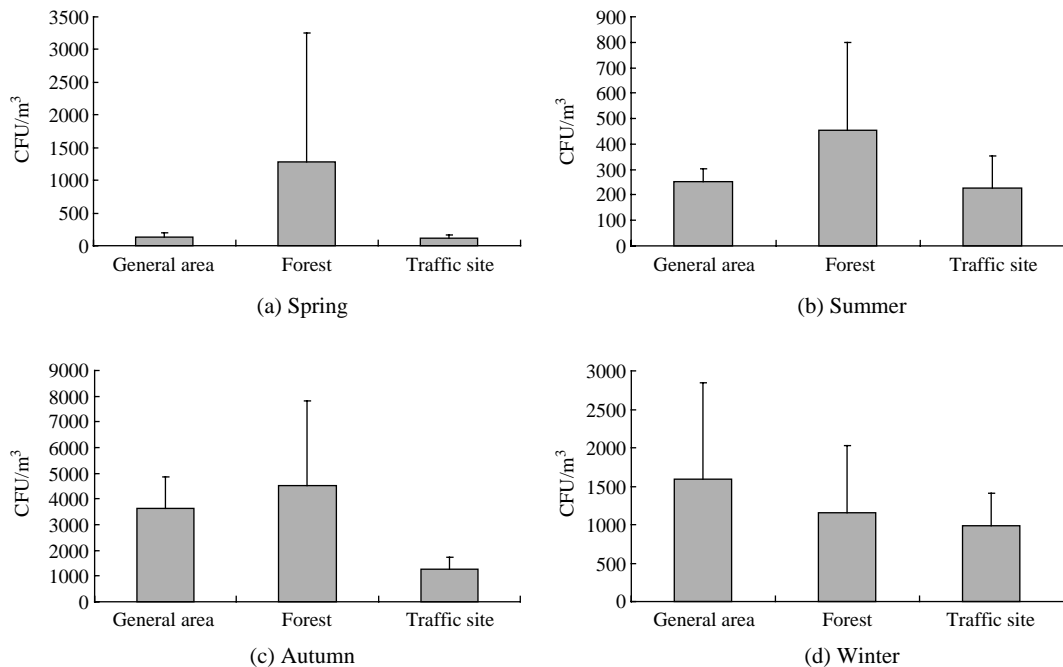


Fig. 2. Seasonal distribution characteristics of outdoor airborne bacteria according to measurement site in Seoul, Korea (2008).

10월에 평균 7,336 CFU/m³로 측정되어 가장 높게 조사되었다. 반면 농도가 가장 낮게 관찰된 달은 3월로 주거지역(평균 72 CFU/m³), 녹지지역(평균 76 CFU/m³), 도로변 지역(평균 85 CFU/m³) 모두 해당되었다. 본 연구 결과는 실외 부유세균의 농도가 전반적으로 6월과 10월 사이에 높고, 1월과 4월 사이에 낮은 분포를 보였다는 중국 베이징의 선행 연구 결과(Fang *et al.*, 2007)와 비슷한 양상이었다.

특히 9월과 10월에 실외 부유세균의 농도가 상대적으로 높게 나타난 이유는 가을철 떨어진 낙엽들을 영양분으로 하여 토양 지표면에서 증식된 세균들이 대기의 기류 흐름에 따라 공기 중으로 다량 휘산되었기 때문이라 사료된다. 반면 모든 측정 지역에서 3월에 농도가 가장 낮게 기록된 이유는 동절기를 지나는 동안 토양 내 축적된 영양분들이 토착 세균들의 대사 및 동화 작용으로 대부분 고갈되어 이 시기에 세균들의 증식 양상이 가장 저조했던 것으로 추정된다.

3.3 실외 부유세균의 계절별 농도 분포 특성

그림 2는 측정 장소에 따른 계절별 실외 부유세균

의 평균 농도를 보여주고 있다. 봄철의 경우 주거지역은 139(±59) CFU/m³, 녹지지역은 1,290(±1,966) CFU/m³, 도로변 지역은 119(±44) CFU/m³로 측정되어 녹지지역이 유의하게 가장 높은 것으로 나타났다($p < 0.05$). 여름철의 경우 주거지역은 254(±49) CFU/m³, 녹지지역은 456(±344) CFU/m³, 도로변 지역은 225(±128) CFU/m³로 측정되어 녹지지역이 유의하게 가장 높은 것으로 나타났다($p < 0.05$). 가을철의 경우 주거지역은 3,631(±1,229) CFU/m³, 녹지지역은 4,537(±3,274) CFU/m³, 도로변 지역은 1,253(±486) CFU/m³로 측정되어 녹지지역이 가장 높고($p > 0.05$) 도로변 지역이 유의하게 가장 낮게 나타났다($p < 0.05$). 겨울철의 경우 주거지역은 1,597(±1,243) CFU/m³, 녹지지역은 1,160(±866) CFU/m³, 도로변 지역은 984(±423) CFU/m³로 측정되어 주거지역이 가장 높은 것으로 나타났으나 통계적으로는 유의하지 않았다($p > 0.05$). 선행 연구인 중국 베이징의 경우 본 연구 결과와는 다르게 사람의 이동이 빈번한 주거지역과 차량 통행이 많은 도로변 지역이 녹지지역보다 실외 부유세균의 농도가 전반적으로 높게 나타났

는데, 지역 특성에 따라 실외 부유세균의 농도 분포에 차이가 나는 이유는 상이한 미생물 서식 환경, 측정 시간대, 시료채취 방법, 기후 조건에 의한 것이라 보고된 바 있다(Shaffer and Lighthart, 1997).

봄철, 여름철, 가을철에 녹지지역이 주거지역이나 도로변 지역보다 실외 부유세균의 농도가 높게 측정된 이유는 이들의 발생원이 될 수 있는 식물류의 분포가 광범위하고, 꽃가루의 발생 및 식물류에서 비롯되는 낙화현상이 빈번한 녹지지역이 그 토양내 존재하는 세균의 잠재적 증식 영양원을 상대적으로 많이 공급해 줄 수 있는 환경 여건이 조성되었기 때문이다(Jones and Harrison, 2004; Ju *et al.*, 2003). 겨울철의 경우 주거지역에서 가장 높게 나타나는 특이한 상황이 관찰되었는데, 이는 겨울철 평균 외부 기온이 주거시설들의 난방 효과로 인하여 녹지지역(-6.2±7.7°C)과 도로변 지역(-5.5±9.3°C)에 비해 상대적으로 높게 나타나 실외 부유세균의 대기 중 서식 조건을 호의적으로 형성했기 때문이라 추정된다.

계절별 실외 부유세균의 농도 결과에서 특이할 만한 사항은 겨울철 농도가 선행 연구 결과들과 비교 시 상대적으로 높게 나타난 것이다. 일반적으로 사계절 중 겨울철 실외 부유세균의 농도는 가장 낮은 것으로(<약 500 CFU/m³) 보고되고 있으나(Reponen *et al.*, 1998), 국외의 경우 겨울철 평균 온도가 -10°C 이하에서 형성된 반면, 본 연구 기간 동안 겨울철의 실외 온도는 -5°C~0°C의 범위를 나타내 이른 봄이나 늦은 가을과 유사한 기후 조건을 보여 세균이 대기 중에 생존하는 데 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.

3.4 실외 부유세균의 입경별 농도 분포 특성

그림 3-a는 입경에 따른 계절별 실외 부유세균의 분포 특성을 보여주고 있다. 봄의 경우 >7.0 μm (stage 1)이 30%, 4.7~7.0 μm (stage 2)가 16%, 3.3~4.7 μm (stage 3)가 7%, 2.1~3.3 μm (stage 4)가 42%, 1.1~2.1 μm (stage 5)가 4%, 0.65~1.1 μm (stage 6)이 2%의 입경 분포를 나타냈고, 전체 중 호흡성 입경 범위(1.1~4.7 μm stage 3-stage 6)에 해당되는 비율은 55%였다. 여름철의 경우 >7.0 μm (stage 1)이 40%, 4.7~

7.0 μm (stage 2)가 20%, 3.3~4.7 μm (stage 3)가 15%, 2.1~3.3 μm (stage 4)가 13%, 1.1~2.1 μm (stage 5)가 8%, 0.65~1.1 μm (stage 6)이 4%의 입경 분포를 나타냈고, 전체 중 호흡성 입경 범위(1.1~4.7 μm stage 3-stage 6)에 해당되는 비율은 40%였다. 가을철의 경우 >7.0 μm (stage 1)이 23%, 4.7~7.0 μm (stage 2)가 24%, 3.3~4.7 μm (stage 3)가 23%, 2.1~3.3 μm (stage 4)가 11%, 1.1~2.1 μm (stage 5)가 13%, 0.65~1.1 μm (stage 6)이 7%의 입경 분포를 나타냈고, 전체 중 호흡성 입경 범위(1.1~4.7 μm stage 3-stage 6)에 해당되는 비율은 53%였다. 겨울철의 경우 >7.0 μm (stage 1)이 33%, 4.7~7.0 μm (stage 2)가 22%, 3.3~4.7 μm (stage 3)가 17%, 2.1~3.3 μm (stage 4)가 9%, 1.1~2.1 μm (stage 5)가 15%, 0.65~1.1 μm (stage 6)이 3%의 입경 분포를 나타냈고, 전체 중 호흡성 입경 범위(1.1~4.7 μm stage 3-stage 6)에 해당되는 비율은 45%였다.

그림 3-b는 입경에 따른 지역별 실외 부유세균의 분포 특성을 보여주고 있다. 주거지역의 경우 >7.0 μm (stage 1)이 29%, 4.7~7.0 μm (stage 2)가 24%, 3.3~4.7 μm (stage 3)가 18%, 2.1~3.3 μm (stage 4)가 11%, 1.1~2.1 μm (stage 5)가 15%, 0.65~1.1 μm (stage 6)이 3%의 입경 분포를 나타냈고, 전체 중 호흡성 입경 범위(1.1~4.7 μm stage 3-stage 6)에 해당되는 비율은 47%였다. 녹지지역의 경우 >7.0 μm (stage 1)이 23%, 4.7~7.0 μm (stage 2)가 23%, 3.3~4.7 μm (stage 3)가 21%, 2.1~3.3 μm (stage 4)가 17%, 1.1~2.1 μm (stage 5)가 9%, 0.65~1.1 μm (stage 6)이 7%의 입경 분포를 나타냈고, 전체 중 호흡성 입경 범위(1.1~4.7 μm stage 3-stage 6)에 해당되는 비율은 54%였다. 도로변 지역의 경우 >7.0 μm (stage 1)이 33%, 4.7~7.0 μm (stage 2)가 20%, 3.3~4.7 μm (stage 3)가 17%, 2.1~3.3 μm (stage 4)가 11%, 1.1~2.1 μm (stage 5)가 14%, 0.65~1.1 μm (stage 6)이 5%의 입경 분포를 나타냈고, 전체 중 호흡성 입경 범위(1.1~4.7 μm stage 3-stage 6)에 해당되는 비율은 47%였다. 측정 지역을 모두 포함한 전체의 경우 >7.0 μm (stage 1)이 27%, 4.7~7.0 μm (stage 2)가 23%, 3.3~4.7 μm (stage 3)가 19%, 2.1~3.3 μm (stage 4)가 14%, 1.1~2.1 μm (stage 5)가 12%, 0.65~1.1 μm (stage 6)이 5%의 입경 분포를 나타냈고, 전체 중 호흡성 입경 범위(1.1~4.7 μm stage 3-stage 6)에 해당되는 비율은 50%였다.

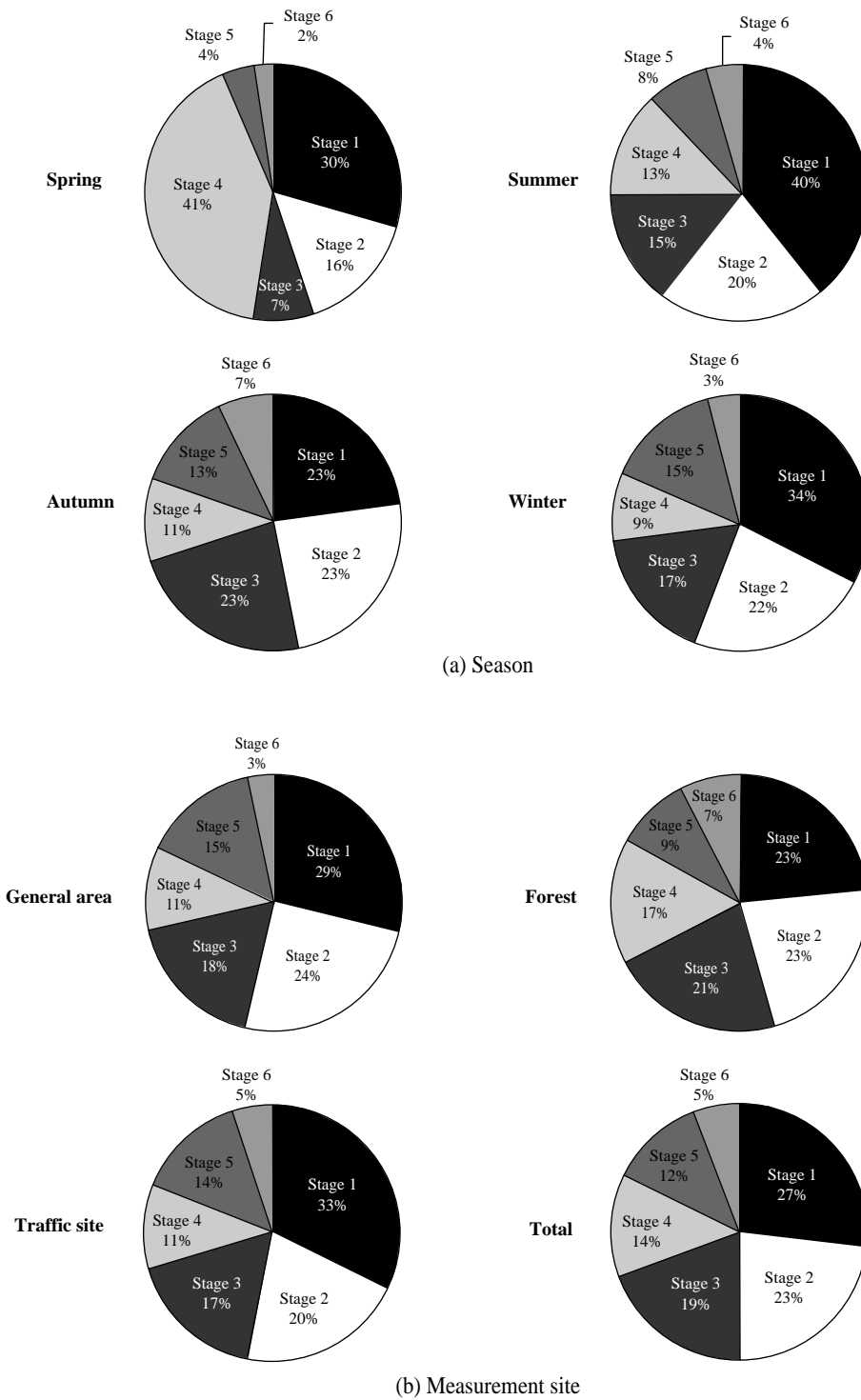


Fig. 3. Size distribution characteristics of outdoor airborne bacteria in Seoul, Korea (2008).

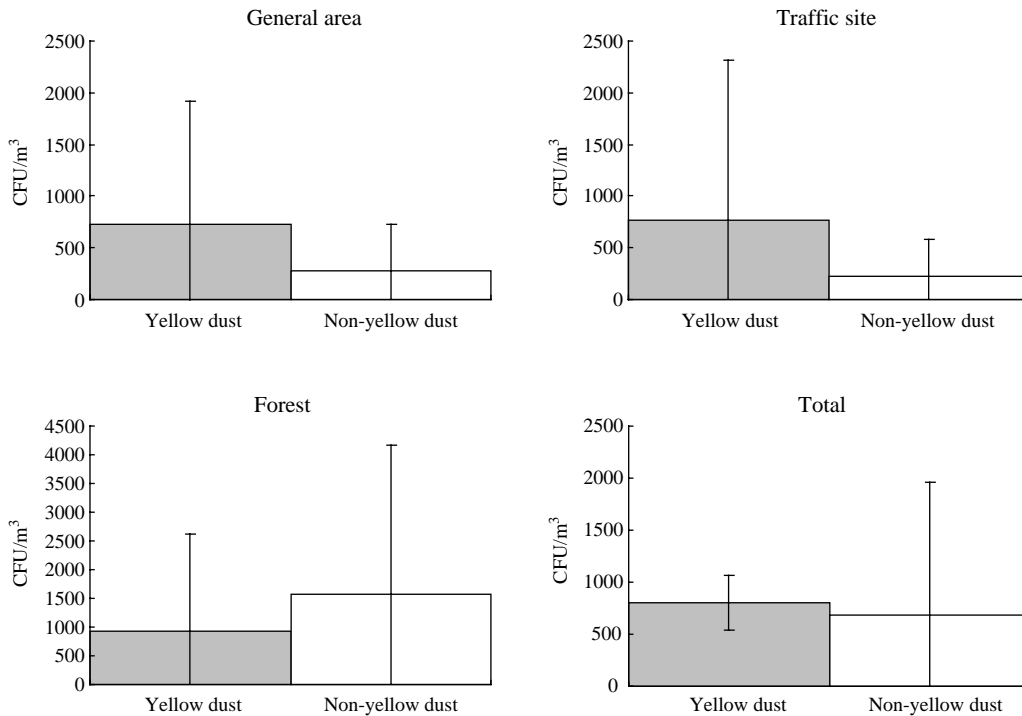


Fig. 4. Comparison of outdoor airborne bacteria between yellow dust period and non-yellow dust period in Seoul, Korea (2008).

3.5 황사/비황사기간에서의 실외 부유세균 농도 비교

그림 4는 1년(2008년 1월~2008년 12월) 중 황사가 발생했던 날과 황사가 발생되지 않은 날에 측정된 실외 부유세균의 평균 농도 수준을 비교하고 있다. 주거지역과 도로변 지역의 경우 각각 황사기간은 722 ($\pm 1,191$) CFU/m³와 764 ($\pm 1,549$) CFU/m³, 비황사기간은 283 (± 441) CFU/m³와 219 (± 358) CFU/m³로 측정되어 황사기간 내 실외 부유세균의 농도가 비황사기간보다 유의하게 높았다($p < 0.05$). 하지만 녹지지역의 경우 황사기간은 923 ($\pm 1,696$) CFU/m³, 비황사기간은 1,570 ($\pm 2,603$) CFU/m³로 측정되어 오히려 비황사기간에서의 농도가 유의하게 상대적으로 높았다($p < 0.05$). 녹지지역에서 비황사시간 내 실외 부유세균의 농도가 황사기간보다 높게 나타난 이유는 녹지를 형성하는 식물상과 주변 토양이 세균 증식에 필요한 유기 영양원으로 작용한 기여도가 황사 발생에 의한 부유세균의 유입 기여도가 상대적으로

더 우월했기 때문이라 사료된다. 측정 지역을 모두 포함한 전체를 대상으로 했을 시에는 황사기간이 803 (± 479) CFU/m³, 비황사기간이 691 ($\pm 1,134$) CFU/m³로 측정되어 황사기간에서의 실외 부유세균의 농도가 비황사기간보다 상대적으로 높은 것으로 나타났으나 통계적으로는 유의하지 않았다($p > 0.05$).

3.6 실외 부유세균과 온/습도와와의 관계 요인 분석

표 1은 실외 부유세균과 기상요인인 온도와 상대습도에 대한 1년(2008년 1월~2008년 12월) 측정 데이터를 가지고 통계적 상관관계를 나타낸 것이다. 분석 결과 측정 지역에 관계없이 온도와 상대습도 간에는 서로 유의한 양의 상관성을 보였다($p < 0.05$). 그러나 부유세균과 기상요인과의 통계적 유의성은 모든 측정 지역에서 관찰되지 않았다($p > 0.05$). 대기 온도와 상대습도가 부유세균의 서식에 어떠한 영향을 주는지에 대한 국외 선행 연구 결과들을 살펴보면

Table 1. Correlation relationship between atmospheric factors (temperature & relative humidity) and outdoor airborne bacteria.

General area			
	Temperature	Relative humidity	Airborne bacteria
Temperature	1	.338*	-.087
Relative humidity		1	.176
Airborne bacteria			1
Traffic site			
	Temperature	Relative humidity	Airborne bacteria
Temperature	1	.427**	.112
Relative humidity		1	.035
Airborne bacteria			1
Forest			
	Temperature	Relative humidity	Airborne bacteria
Temperature	1	.338*	.158
Relative humidity		1	.055
Airborne bacteria			1
Total			
	Temperature	Relative humidity	Airborne bacteria
Temperature	1	.427**	.028
Relative humidity		1	.038
Airborne bacteria			1

연구자들간의 의견이 서로 상이함을 알 수 있다(Li and Hsu, 1996; Macher *et al.*, 1991; Marthi and Lighthart, 1990; Walter *et al.*, 1990). 따라서 현재로서는 이에 대한 명확한 해석을 위한 객관적 근거 자료가 제시되지 못하고 있기 때문에 향후 추가 연구가 요구되는 바이다.

3.7 실외 부유세균의 동정 결과

표 2는 1년(2008년 1월~2008년 12월) 동안 측정된 실외 부유세균들을 동정한 자료이다. 주거지역의 경우 *Bacillus megaterium*, *Unidentified Gram(+)* *Bacillus*, *Bacillus pumilus*이 각각 14번, 14번, 6번씩 검출되어 이들이 주요 우점종임이 규명되었다. 도로변 지역의 경우 *Bacillus pumilus*, *Bacillus megaterium*, *Unidentified Gram(+)* *Bacillus*이 각각 11번, 10번, 6번씩 검출되어 이들이 주요 우점종임이 규명되었다. 녹지지역의 경우 *Bacillus pumilus*, *Bacillus megaterium*, *Bacillus*

Table 2. Identification of outdoor airborne bacteria in Seoul, Korea (2008).

General site	N
<i>Bacillus megaterium</i>	14
<i>Unidentified Gram (+) Bacillus</i>	14
<i>Bacillus pumilus</i>	6
<i>Bacillus cereus</i>	5
<i>Serratia plymuthica</i>	3
<i>Staphylococcus haemolyticus</i>	3
<i>Bacillus fusiformis</i>	1
<i>Cladosporium sp.</i>	1
<i>Corynebacterium xerosis</i>	1
Traffic Site	N
<i>Bacillus pumilus</i>	11
<i>Bacillus megaterium</i>	10
<i>Unidentified Gram (+) Bacillus</i>	6
<i>Bacillus cereus</i>	5
<i>Gram positive rods</i>	5
<i>Bacillus pantothenicus</i>	3
<i>Bacillus amyloliquefaeciens</i>	2
<i>Brevibacillus spp.</i>	2
<i>Sphingomonas (Pseudo.) paucimobilis (Ilk-1)</i>	2
<i>Bacillus fusiformis</i>	1
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	1
Forest	N
<i>Bacillus pumilus</i>	14
<i>Bacillus megaterium</i>	9
<i>Bacillus subtilis</i>	5
<i>Unidentified Gram (+) Bacillus</i>	5
<i>Bacillus cereus</i>	3
<i>Bacillus amyloliquefaeciens</i>	2
<i>Bacillus thiaminolyticus</i>	2
<i>Sphingobacterium thalophilum</i>	2
<i>Bacillus polymyxa</i>	1
<i>Brevibacillus borstelensis</i>	1
<i>Brevibacillus spp.</i>	1
<i>Gram negative rods</i>	1
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	1
<i>Serratia plymuthica</i>	1

subtilis, *Unidentified Gram (+) Bacillus*가 각각 14번, 9번, 5번, 5번씩 검출되어 이들이 주요 우점종임이 규명되었다. 따라서 본 측정 데이터를 근거로 우리나라의 실외 조건에서 서식하는 주요 부유 세균은 *Bacillus megaterium*, *Bacillus pumilus*, *Bacillus subtilis*, *Unidentified Gram (+) Bacillus*이며, 결론적으로 *Bacillus* 계열이 주로 우점하는 것으로 판단된다.

국외의 경우 주로 *Micrococcus* 속과 *Staphylococcus* 속이 실외 부유세균의 우점종으로 보고되고 있으나 (Fang *et al.*, 2007; Pastuszka *et al.*, 2000), 본 연구결과

와 동일하게 *Bacillus* 속을 우점종으로 보고한 연구 결과도 있다(Shaffer and Lighthart, 1997). 일반적으로 대기환경은 토양이나 수계 환경보다 미생물이 생존하고 서식하기에 상대적으로 열악한 조건이나, *Bacillus*의 경우 다른 세균과는 달리 포자를 형성하여 대기 조건에서 부유세균의 생존에 치명적인 영향을 줄 수 있는 탈수 현상을 억제할 수 있는 장점을 가지고 있다. 또한 그람 음성 세균보다는 그람 양성 세균의 대기상 농도 분포가 현저함을 알 수 있는데, 이는 대기 환경 조건에서 부유세균들의 생존에 악영향을 줄 수 있는 요인들, 즉 탈수, 태양 가시광선, 화학물질들에 대해 저항할 수 있는 보유 능력이 그람 양성 세균보다는 그람 양성 세균이 월등히 높기 때문이다(Zhu *et al.*, 2003; Tong and Lighthart, 1997).

따라서 지역에 따라 실외 부유세균의 종류가 달라 나타난 이유는 세균의 발생원 및 환경 조건 또한 상이하기 때문이라 사료되는 바이다. 또한 본 연구에서 부유세균 동정에 적용된 Vitek 장비는 주로 병원성 세균 검출에 이용되어 왔기 때문에 일반 환경에 기인하는 부유 세균들의 지급보다 먼밀한 동정 결과를 기대하기 위해서는 지방산 분석법(MIDI)이나 DNA 분석을 통한 분자생물학적 방법이 향후 고려되어야 할 것이다.

4. 결 론

1년 기간(2008년 1월~2008년 12월) 동안 측정된 서울 지역 대기에 분포하는 부유세균의 전체 농도는 50 CFU/m³~7,500 CFU/m³의 범위를 보였다. 월별 농도 분포는 9월과 10월에 가장 높았고, 3월에 가장 낮은 것으로 분석되었다. 계절과 측정지역에 따른 농도 분포 현황을 살펴보면 전반적으로 가을철>겨울철>봄철>여름철, 녹지지역>주거지역>도로변 지역의 순서로 나타났다. 입경에 따른 분포 특성은 >7.0 μm (stage 1)이 31%, 4.7~7.0 μm (stage 2)가 21%, 3.3~4.7 μm (stage 3)가 15%, 2.1~3.3 μm (stage 4)가 19%, 1.1~2.1 μm (stage 5)가 10%, 0.65~1.1 μm (stage 6)이 4%의 평균 입경 분포를 보였고, 호흡성 비율은 평균 48%였다. 황사기간과 비황사기간에서의 농도를 비교해 보면 각각 803(±479) CFU/m³와 691(±1,134) CFU/m³로 측정되어 황사기간에서의 실외 부유세균

의 농도가 비황사기간보다 상대적으로 높은 것으로 나타났으나 통계적으로는 유의하지 않았다(p>0.05). 실외 부유세균과 기상요인(온도와 상대습도)과의 상관관계를 분석한 결과 통계적으로 유의하지 않았다(p>0.05). 측정된 실외 부유세균을 동정한 결과 *Bacillus* 계열들이 주로 우점하는 것으로 분석되었다.

감사의 글

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

참 고 문 헌

Andersen, A.A. (1958) New sampler for collection, sizing and enumeration of viable airborne particles, *J. Bacteriol.*, 76, 471-484.

Bovallius, A., B. Bucht, R. Roffey, and P. Anas (1978) Three-year investigation of natural airborne bacterial flora at four localities in Sweden, *Appl. Environ. Microbiol.*, 63, 847-852.

Douwes, J., P. Thorne, N. Pearce, and D. Heederik (2003) Bio-aerosol health effects and exposure assessment: progress and prospects, *Ann. Occup. Hyg.*, 47, 187-200.

Fang, Z., Z. Ouyang, H. Zheng, X. Wang, and L. Hu (2007) Culturable airborne bacteria in outdoor environments in Beijing, China, *Microb. Ecol* 54, 487-496.

Giorgio, D., A. Krempff, H. Guiraud, P. Binder, C. Tiret, and G. Dumenil (1996) Atmospheric pollution by airborne microorganisms in the city of Marseilles, *Atmos. Environ.*, 30, 155-160.

Jones, A.M. and R.M. Harrison (2004) The effects of meteorological factors on atmospheric bioaerosol concentrations-a review, *Sci. Total Environ.*, 326, 151-180.

Ju, T.Z., A.N. Suo, and Y.J. Tian (2003) Analysis on aerobiologia in Lanzhou, *Ind. Saf. Environ. Prot.*, 29, 17-19 (in Chinese).

Kim, K.Y., G.Y. Jang, J.B. Park, C.N. Kim, and K.J. Lee (2006a) Field study of characteristics of airborne bacteria distributed in the regulated public buildings, *J. Korean Soc. Occup. Environ. Hyg.*, 16, 1-10. (in Korean with English abstract)

Kim, K.Y., J.B. Park, C.N. Kim, and K.J. Lee (2006b) Assess-

- ment of airborne bacteria and particulate matters distributed in Seoul metropolitan subway stations, Korean J. Environ. Health, 32, 254-261. (in Korean with English abstract)
- Kuo, Y.M. and C.S. Li (1994) Seasonal fungus prevalence inside and outside of domestic environments in the subtropical climate, Atmos. Environ., 19, 3125-3130.
- Laumbach, R.J. and H.M. Kipen (2005) Bioaerosols and sick building syndrome: particles, inflammation, and allergy, Curr. Opinion Allergy Clin. Immunol., 5, 135-139.
- Lee, C.M., Y.S. Kim, T.H. Lee, W.S. Park, and S.C. Hong (2004) Characterization of airborne bioaerosol concentration in public facilities, Korean J. Environ. Sci., 13, 215-222. (in Korean with English abstract)
- Lee, C.R., K.Y. Kim, C.N. Kim, D.U. Park, and J.H. Roh (2005) Investigation on concentrations and correlations of airborne microbes and environmental factors in the general hospital, J. Korean Soc. Occup. Environ. Hyg., 15, 45-51. (in Korean with English abstract)
- Li, C.S. and L.Y. Hsu (1996) Home dampness and childhood respiratory symptoms in a subtropical climate, Arch. Environ. Health 51, 42-46.
- Lighthart, B. and B.T. Shaffer (1995) Airborne bacteria in the atmospheric surface layer: temporal distribution above a grass seed field, Appl. Environ. Microbiol., 61, 1492-1496.
- Lighthart, B (1997) The ecology of bacteria in the alfresco atmosphere, FEMS Microbiol. Ecol., 23, 263-274.
- Macher, J.M., F.Y. Huang, and M. Flores (1991) A two-year study of microbiological indoor air quality in a new apartment, Arch. Environ. Health, 46, 25-29.
- Mahdy, H.M. and W.A. El-sehrawi (1997) Airborne bacteria in the atmosphere of EL-Taif region, Saudi Arabia, Water Air Soil Pollut., 98, 317-324.
- Marthi, B. and B. Lighthart (1990) Effects of betaine on the enumeration of airborne bacteria, Appl. Environ. Microbiol., 56, 1286-1289.
- Olson, D.K. and S.M. Bark (1996) Health hazards affecting the animal confinement worker, Am. Assoc. Occup. Health Nurse J., 44, 198-204.
- Pastuszka, J.S., U.K.T. Paw, D.O. Lis, A. Wlazlo, and K. Ulfig (2000) Bacterial and aerosol in indoor environment in Upper Silesia, Poland, Atmos. Environ., 34, 3833-3842.
- Reponen, T., S.V. Gizenko, S.A. Grinshpun, K. Willeke, and E.C. Cole (1998) Characteristics of airborne actinomycete spores, Appl. Environ. Microbiol., 64, 3807-3812.
- Shaffer, B.T. and B. Lighthart (1997) Survey of culturable airborne bacteria at four diverse locations in Oregon: urban, rural, forest, and coastal, Microb. Ecol., 34, 167-177.
- Straus, D.C., J.D. Cooley, W.C. Wong, and C.A. Jumper (2003) Studies on the role in Building, Arch. Environ. Health, 58, 475-478.
- Tong, Y.Y. and B. Lighthart (1997) A study of the relationship between pigmented outdoor atmospheric bacteria and solar radiation, Photochem. Photobiol., 65, 103-106.
- Walter, M.V., B. Marthi, V.P. Fieland, and L.M. Ganio (1990) Effect of aerosolization on subsequent bacterial survival, Appl. Environ. Microbiol., 56, 3468-3472.
- Wu, P.C., H.J. Su, and C.Y. Lin (2000) Characteristics of indoor and outdoor fungi at suburban and urban homes in two seasons, Sci Total Environ., 253, 111-118.
- Yousefi, V. and D.B.K. Rama (1992) Monitoring of air for microbial and metal contamination at selected sites in the vicinity of Johannesburg, South Africa, Sci. Total Environ., 116, 157-167.
- Zhu, H., P.E. Phelan, T. Duan, G.B. Raupp, H.J.S. Fernando, and F. Che (2003) Experimental study of indoor and outdoor airborne bacterial concentrations in Tempe, Arizona, USA, Aerobiologia, 19, 201-211.