

다중이용시설의 실내공기 미생물 오염상태에 관한 연구

박 경 수, 최 상 곤, 홍 진 관^{†*}

경원대학교 대학원, *경원대학교 건축설비학과

The Study On the Distribution of Indoor Concentration of Microorganism in Commercial Building

Kyung-Su Park, Sang-Gon Choi, Jin-Kwan Hong^{†*}

Dept. of Building Equipment & System Eng., Graduate School of Kyungwon University, Sunnam 461-701, Korea

^{*}Dept. of Building Equipment & System Eng., Kyungwon University, Sunnam 461-701, Korea

(Received January 6, 2006; revision received June 26, 2006)

ABSTRACT: Recently, indoor air quality (IAQ) is one of the greatest problems in our modern societies. Although research for IAQ is made rapid progress but IAQ problems concerning indoor microorganism contamination is required to be studied still more. So we have investigated the indoor microorganism concentration of a variety of department store, subway station, underground shopping center, kindergartens, library where people complain about the indoor air quality. The experiment on microorganism concentration of indoor air was carried out and the average of total microorganisms was measured. Comparing the experimental results with existing foreign criterion, the experimental results show that the ministry of environment recommendation microorganism concentration value (800 CFU/m^3) is in need of revision in the near future.

Key words: Bacteria(일반세균), *P. aeruginosa*(녹농균), *Staphylococcus*(포도상구균), Fungus(진균), Microorganism(미생물), IAQ(실내공기질), Pathogenic bacteria(병원성세균)

1. 서 론

2차오일 쇼크가 발생한 이후 에너지절약을 위해 건축물의 단열성과 기밀성이 점차 증대되어 오고 있다. 그러나 이러한 에너지절약에 대한 노력은 반대로 Sick-Building Syndrome과 같은 주거공간 내의 공기질에 대한 악영향을 끼치게 되었다. 근래에 들어서는 이러한 실내공기의 질적인 문제를 다룬 많은 연구들이 진행되었으며, 특

히 VOCs 등에 대한 연구가 활발히 진행되어지고 있다. 그러나 실내의 공기질에 대한 문제가 단지 유기화합물과 같은 화학적인 오염이 전부는 아닐 것이라는 것은 자명한 일이다. 공기의 질에 대한 문제에서 빠질 수 없는 부분이 실내공기에 존재하는 부유세균과 같은 미생물 환경이다. 하지만 현재 국내의 법규정상 전염병동이나 격리병동과 같은 특별히 공기에 대한 미생물 환경의 조절이 절실히 필요한 공간에 대하여서만 총 부유세균 800 CFU/m^3 이하라는 기준만을 정하여 규제하고 있는 것이 실정이다. 이것은 직접적으로 부유세균이 눈에 띄지 않을 뿐만 아니라 우리 몸에 있는 면역체계가 건강한 상태라면 어느 정도

[†] Corresponding author

Tel.: +82-31-750-5306; fax: +82-31-750-5314

E-mail address: jkhong@kyungwon.ac.kr

의 오염균에 대하여서는 충분한 면역성을 발휘하기 때문일 것이다. 그러나 점차 사회가 고도화되고 실내에서 생활하는 시간이 증가하면서, 실내의 공기질이 인체에 미치는 영향이 더욱 증가하기 때문에 실내의 미생물 환경은 재실자의 건강에 더욱 간과할 수 없는 중요한 요소라 할 수 있을 것이다. 이에 따라 본 논문에서는 권고기준이 없는 다중이용시설들을 대상으로 실내 미생물 농도분포를 조사함으로써, 다중이용시설의 일반적인 거주공간에 대한 미생물 오염실태를 세균(bacteria), 진균(fungus), 병원성세균(pathogenic bacteria)으로 세분화하여 고찰하였다. 조사대상이 된 다중이용시설은 서울소재 영등포의 S백화점, K백화점, 송파구 G지하철 역사, 강남구 K지하철 역사, 송파구 G지하상가, 강남구 K지하상가, 송파구 S도서관, 성남시 K도서관, 중구 S철도 역사, 영등포 Y철도 역사, 송파구 S유치원, 서초구 N터미널, 서초구 S터미널, 성남시 K PC방, 성남시 G PC방, 송파구 M지하주차장을 대상으로 하여 비교적 대중적이면서도 거주 및 통행인구 밀집지역에 대한 조사를 시행하였다. 조사기간은 2004년 4월부터 2005년 1월까지 봄, 여름, 가을, 겨울의 4계절에 대한 조사를 각각 수행하고 그 결과를 고찰하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 세균 포집장소 선정

우선 앞서서도 언급한 바와 같이 측정실험을 수행한 다중이용시설은 백화점, 지하상가, PC방, 도서관, 지하철 역사, 철도 역사, 유치원, 터미널을 대상으로 하였다. 각각의 건물의 중심부와 출입구 부분에서 측정위치를 선정하여 세균을 포집하였고, 측정위치로는 각 건물의 구조와 배치에 따라 실험자의 판단으로 측정위치를 임의로 2개소를 선정하여 측정하는 것으로 하였다.⁽¹⁾ 선정된 장소에서 바닥으로부터 약 1.5m의 높이에 Air sampler를 설치하였고, 측정은 최대한 자연스러운 일상생활 환경조건에서 실내의 미생물 농도를 측정하도록 하였다.

2.2 세균 포집, 배양 및 계수

우선 실내의 온·습도 조건과 기류상태를 확

인하기 위하여 이동식 Anemometer(Climomaster model 6531)를 사용하여 온·습도 및 기류를 측정하였다. 부유세균을 포집하기 위하여 Air sampler를 사용하였고, Air sampler는 충돌법을 이용하여 각 장소에서 1분간 100 L의 공기표본을 포집할 수 있도록 하였다. 공기표본의 포집은 대상 시설별로 오전과 오후로 나누어 일별 2회 실시되었다. 또한 데이터의 신뢰성을 높이기 위하여 각각의 계절별 1주일 간격으로 2회에 걸쳐 대상시설을 방문하여 세균을 포집할 수 있도록 하였다. 각각의 계절별 포집은 겨울철은 11월 중순에서 1월 중순까지 진행하도록 하고 봄철은 4월에서 6월 중순까지, 여름은 7월 초에서 9월 초까지, 가을은 9월 말에서 11월 중순까지 측정할 수 있도록 하였다. 이렇게 각 계절별로 충돌법에 의해 배지에 포집된 미생물을 배양하기 위해서 상온에서 정도 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 를 유지할 수 있는 인큐베이터를 사용하였다. 배지제작이나 실험을 진행하는 동안 외부로부터의 배지에 대한 오염을 방지하기 위하여 클린벤치(Class 100)를 사용하였다. 배양된 배지표본의 균을 계수하기 위하여 계수기(colony counter)를 사용하고, 계수가 완료된 배지는 증기멸균기를 사용하여 멸균처리 후 파기하도록 하였다.

Table 1은 본 측정실험에서 사용된 주요 실험장비의 사양을 나타내고 있다. 실험에 사용된 배지는 일반세균용으로 PCA(Plate Count Agar, USA, Difco)를 진균용으로 PDA(Potato Dextrose Ager, USA, Difco)를 사용하였다. 각각의 배지는 Air sampler가 포집한 공기 100 L에 대한 공기 중의 부유세균을 포집하여 72시간의 배양을

Table 1 Specification of experimental instrument

Instrument	Specification
Air sampler	Flow rate : 100 L/min Tolerances : $\pm 5\%$
Incubator	Temperature tolerance : $20 \sim 50 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$
Colony counter	Pan counter : 220 V
Clean bench	Size : $1200 \times 600 \times 620$ Filter : Ulpa filter ($0.3 \mu\text{m} \times 99.9999\%$) Air volume : $23 \text{ m}^3/\text{min}$ Air velocity : $0.3 \sim 0.45 \text{ m/s}$ Class : 100

거치도록 하였다. 배양이 완료된 배지에 대하여 집락수를 계수하고 각각의 개소에 대하여 합산 후 평균을 내는 방식으로 일반세균과 진균에 대한 오염도를 측정하였다. 측정된 샘플의 오염도는 공기 100L당 오염 정도를 나타내고 있으므로 단위체적에 대하여 CFU/m³으로 나타낼 수 있도록 환산하였으며, 이때 Air sampler에 대한 보정값을 사용하여 오염도를 보정할 수 있도록 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 1은 실내에서의 진균의 생육도를 나타내고 있다.⁽²⁾ Fig. 1의 진하게 표시한 부분은 균의 생육 가능성이 높은 지점을 나타내며, 사선으로 표시된 부분은 실험 중 측정된 실내의 조건을 나타낸다. 측정장소에서 대상공기를 포집하기 전에 온습도를 측정하여 대상건물의 온도, 습도 조건이 Fig. 1의 진하게 나타낸 균의 생육 가능성이 높은 지점이 아닌 진하게 표시된 영역 아래에 속하는 것을 확인한 이후 대상공기를 포집하였다. 이에 실제 측정실험 결과에서 나타난 진균의 오염도는 Fig. 1에서의 진균의 생육에 현저한 영향을 미치지 않는 조건에서 측정된 실험결과라고 볼 수 있다.

계절별로 측정된 오염실태를 다중이용시설 종류별로 다음과 같이 분석하였다.

Fig. 2는 지하상가에 대한 공기 중 부유 진균의 포집 결과를 나타내었다. 결과는 앞서 언급한 2

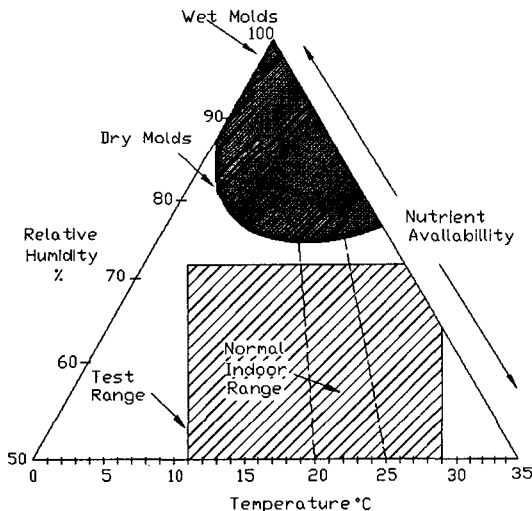


Fig. 1 Growth triangle for indoor molds.

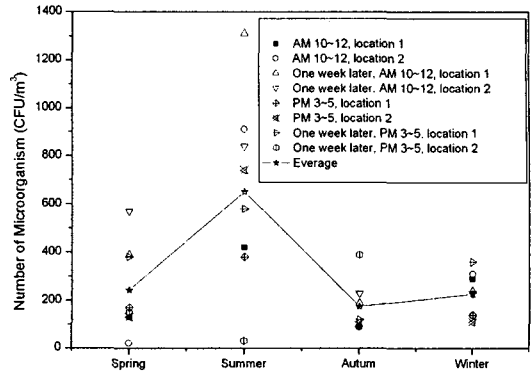


Fig. 2 Seasonal indoor fungi concentration of underground stores.

개소의 지하상가에서 오전 10시부터 12시 사이, 오후 3시부터 5시 사이, 그리고 1주 경과 후 같은 장소, 같은 시간대별로 측정된 각각의 데이터를 나타내고, 그 값을 평균하여 나타내었다. 여름의 경우 측정시간대와 장소가 동일함에도 불구하고 1주 후의 장소 1에서 오전에 측정된 결과(△)와 1주 후 장소 2에서 오후에 측정된 값(○)이 동일 계절에 측정된 결과와 그 차이가 상당히 발생하고 있는 것을 알 수 있다. 이것은 측정시간과 장소가 동일하여도 1회의 측정으로는 주변의 환경에 따라 결과가 많이 다를 수 있다는 것을 나타낸다. 그러므로 본 연구에서는 이러한 편차를 줄이기 위하여 동일장소와 동일시간대에서 중복하여 시료를 추출하여 평균값을 사용하도록 하였다.

Fig. 3은 백화점에 대한 공기 중 미생물 오염실

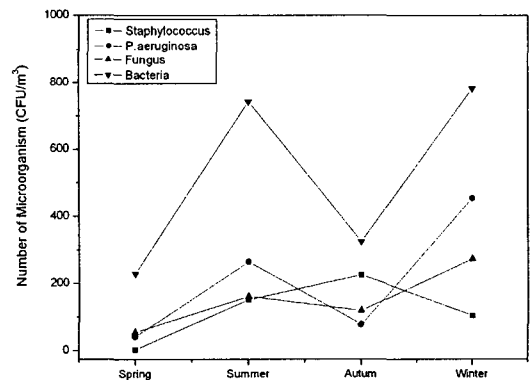


Fig. 3 Seasonal indoor microorganism concentration of department store.

태를 나타내고 있다. 백화점은 하계(실내 평균 온도 25℃, 실내 평균 습도 64%)의 경우 일반세균이 742 CFU/m³, 진균 162 CFU/m³, 포도상구균 151 CFU/m³, 녹농균 263 CFU/m³로 녹농균이 진균보다 더 높게 나타났다. 또한 동계(실내 평균 온도 22℃, 실내 평균 습도 44%)의 경우는 일반세균 782 CFU/m³, 진균 273 CFU/m³, 포도상구균 104 CFU/m³, 녹농균 454 CFU/m³로 나타나 춘계(실내 평균 온도 25℃, 실내 평균 습도 45%)의 일반세균 228 CFU/m³, 진균 55 CFU/m³, 녹농균 41 CFU/m³, 포도상구균 3 CFU/m³와 추계(실내 평균 온도 22℃, 실내 평균 습도 44%)의 일반세균 324 CFU/m³, 진균 119 CFU/m³, 녹농균 78 CFU/m³보다 높게 나타나며, 특히 병원성세균인 녹농균이 동계에 454 CFU/m³로 매우 높은 것으로 나타났다.

이는 하계의 경우 상대습도가 높기 때문에 미생물이 자랄 수 있는 환경이 상대적으로 좋기 때문으로 생각된다. 또한, 동계인 경우는 에너지 절약 위한 외기도입의 최소화로 인해 신선외기가 충분히 공급되지 않았기 때문으로 판단되며, 이러한 것들이 병원성세균의 농도를 증가시켜 실내의 병원성세균에 의한 감염 위험도를 높이는 것으로 판단된다.

Fig. 4는 지하상가에 대한 공기 중 미생물 오염 실태를 나타내고 있다. 지하상가는 하계조건(실내 평균 온도 26℃, 실내 평균 습도 70%)에서 일반세균 2,148 CFU/m³ 진균 651 CFU/m³, 포도상구균 560 CFU/m³, 대장균 229 CFU/m³로 나타나 백화점의 하계 오염농도보다 평균 2.9배 이상의 심

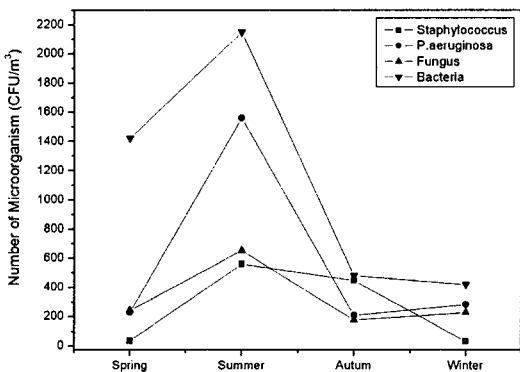


Fig. 4 Seasonal indoor microorganism concentration of underground stores.

각한 오염도가 나타났다. 그러나 동계(실내 평균 온도 12℃, 실내 평균 습도 28%)의 경우는 상대적으로 낮은 오염도값을 보이는 것을 알 수 있으며, 이것은 동계의 경우 지하상가의 특성상 외기에 직접적으로 영향을 받는 부분이 많아서 지하상가의 실내 평균 온도와 실내 평균 습도가 일반적인 실내의 공조공간보다 상당히 낮아서 미생물의 성장조건과 부합하지 않기 때문으로 판단된다. 그러나 병원성세균인 녹농균은 춘계 229 CFU/m³, 추계 209 CFU/m³, 동계 227 CFU/m³로 비슷한 수준으로 유지되는 것으로 나타났으며, 겨울에도 병원성세균에 의한 감염위험이 있다는 것을 나타내고 있다.

Fig. 5는 지하철 역사에 대한 공기 중 미생물 오염실태를 나타내고 있다. 지하철 역사의 경우는 춘계의 경우(실내 평균 온도 23℃, 실내 평균 습도 46%)에서 일반세균이 3,175 CFU/m³, 하계(실내 평균 온도 29℃, 실내 평균 습도 66%)에서 일반세균 1,332 CFU/m³로 지하상가보다 더욱 심각한 오염도를 보이는 것으로 나타났다. 동계(실내 평균 온도 11℃, 실내 평균 습도 27%)의 경우 일반세균 428 CFU/m³으로 지하상가와 같이 직접 외기에 영향을 받는 부분이 많아 상대적으로 낮은 오염도를 나타내는 것을 알 수 있다. 그러나 병원성세균인 녹농균의 경우는 춘계 189 CFU/m³, 추계 140 CFU/m³, 동계 412 CFU/m³로 지하상가와 마찬가지로 계절적으로 일정량 이상 유지되는 것으로 나타났다.

Fig. 6은 철도 역사에 대한 공기 중 미생물 오염실태를 나타내고 있다. 철도 역사의 춘계(실내

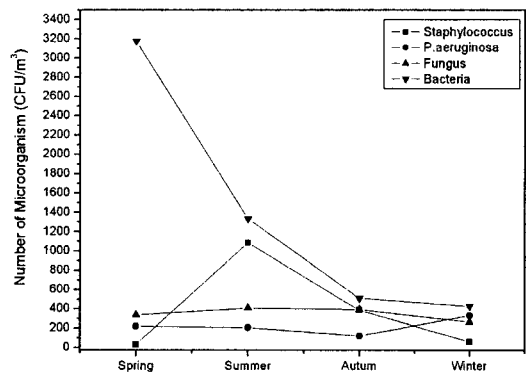


Fig. 5 Seasonal indoor microorganism concentration of subway station.

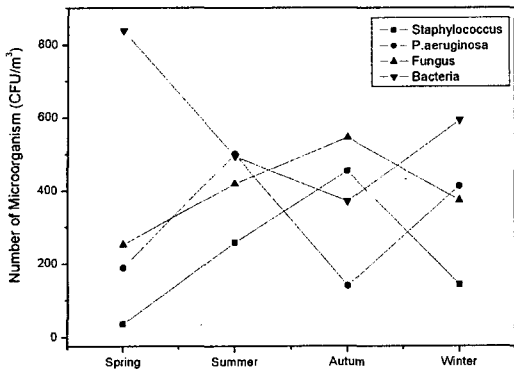


Fig. 6 Seasonal indoor microorganism concentration of railway station.

평균 온도 23℃, 실내 평균 습도 46%)에서 일반세균이 838 CFU/m³인 것에 비해 진균, 포도상구균, 녹농균이 300 CFU/m³ 이하로 나타나 지하철역사와 비슷한 경향을 나타내지만 오염도는 비교적 낮다는 것을 알 수 있다. 전체적으로 낮은 오염도가 나타나는 것은 실내조건이 상대적으로 대공간인 동시에 대형 출입문이 직접 외기에 연결되도록 설치되어 있기 때문에 출입문의 개폐에 따른 영향이 있는 것으로 판단된다. 또한 계절적으로 춘계가 하계보다 오염도가 높은 것은 실험 당시 출퇴근시간을 기준으로 측정이 진행되었지만, 출퇴근과는 상대적으로 연관성이 없는 철도 역사에서의 균중 밀집도에 따라 측정치가 크게 변동될 수 있기 때문으로 추측된다.

Fig. 7은 터미널에 대한 공기 중 미생물 오염상태를 나타내고 있다. 터미널 동계(실내 평균 온도

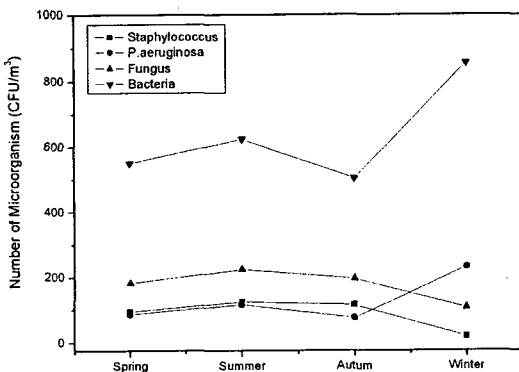


Fig. 7 Seasonal indoor microorganism concentration of bus terminal.

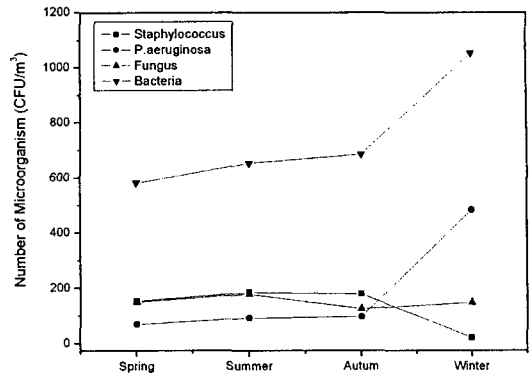


Fig. 8 Seasonal indoor microorganism concentration of PC game room.

17℃, 평균 상대습도 43%)의 경우 비교적 높은 일반세균 857 CFU/m³, 녹농균 231 CFU/m³를 나타내고 있지만 철도 역사와 같이 전체적으로 낮은 수치를 나타내는 것을 알 수 있다. 이것은 철도 역사와 마찬가지로 직접 외기와 연결되는 출입문이 많기 때문으로 판단되며, 상대적으로 잦은 발차와 소규모 인원의 이동으로 철도역사의 경우보다 계절적인 경향이 뚜렷한 것으로 판단된다.

Fig. 8은 PC방에 대한 공기 중 미생물 오염상태를 나타내고 있다. 대체적으로 낮은 오염도를 나타내는 것을 알 수 있으며, 동계(실내 평균 온도 21℃, 평균 상대습도 48%)의 경우 일반세균이 1,055 CFU/m³, 녹농균 485 CFU/m³로 높은 오염도를 보여주고 있는데, 이것은 PC방이 상대적으로 소규모 영업장으로 운영하기 때문에 외기의 온도가 낮아지면 낮아질수록 외기의 도입이 불충

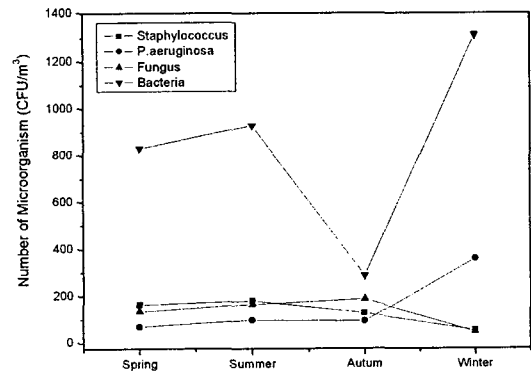


Fig. 9 Seasonal indoor microorganism concentration of library.

분하기 때문으로 판단된다.

Fig. 9는 도서관에 대한 공기 중 미생물 오염상태를 나타내고 있다. 일반세균이 하계에 928 CFU/m³과 동계 일반세균 1,313 CFU/m³, 녹농균 359 CFU/m³로 높게 나타나는 것을 알 수 있는데, 하계의 경우 실내 평균 온도 25℃, 실내 평균 습도 61%로 고온다습한 환경적인 요인이 원인인 것으로 추측되며, 동계에는 버스터미널, PC방 등과 마찬가지로 실내난방으로 인한 신선외기 도입이 미비로 병원성세균인 녹농균이 359 CFU/m³으로 높아져 병원성세균에 의한 감염의 위험성이 높아지는 것을 알 수 있다.

Fig. 10은 유치원에 대한 공기 중 미생물 오염상태를 나타내고 있다. 유치원은 실험대상 시설 중 세균수가 제일 많이 나타난 곳으로 하계(실내

평균 온도 28℃, 평균 상대습도 46%)의 경우 일반세균 1,770 CFU/m³, 진균 3,323 CFU/m³, 포도상구균 175 CFU/m³, 녹농균 908 CFU/m³로 나타나 병원성세균인 녹농균이 실내 권고기준인 800 CFU/m³를 상회하는 매우 심각한 오염도를 나타내고 있다. 또한 춘계에 포도상구균이 3,110 CFU/m³, 녹농균이 843 CFU/m³이고, 추계에 녹농균이 560 CFU/m³, 동계에도 녹농균이 388 CFU/m³로 나타나 병원성세균에 의한 오염도가 심각하게 높은 것으로 나타났다. 이것은 측정대상으로 한 유치원이 환기장치가 전무한 상황이 그 원인으로 추측되며, 상대적으로 기온변화에 민감한 아이들이 단체생활을 하기 때문에 창문을 열어 환기시키는 등의 환기가 잘 이루어지지 않기 때문으로 추측된다.

Table 2는 외국의 미생물 유지기준을 나타낸 것이다. 미국과 캐나다의 관련 협회 및 국가 기준을 정리하였다.⁽³⁾ 각각의 제시된 가이드라인을 외기와 실내의 경우에 대한 일반세균과 진균류들의 상한과 하한, 평균의 상한과 하한을 나타낸 것이다.

여름의 경우 실내 진균의 상한이 500 CFU/m³, 비전염성 세균이 50 CFU/m³으로 매우 엄격한 기준을 가지고 있는 것을 알 수 있으며, 특히 전염성 병원균에 대하여서 유지기준이 0 CFU/m³로 실내에는 전염성 병원균이 없도록 유지하는 것으로 나타났다.

Fig. 11은 다중이용시설에 따른 평균 부유세균 수치를 종합적으로 나타내는 것으로 비교를 위하

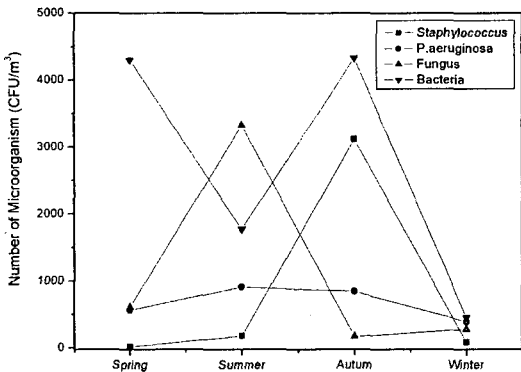


Fig. 10 Seasonal indoor microorganism concentration of kindergartens.

Table 2 Microbial levels indoor and outdoor air⁽³⁾

Microbe	Loewr limit	Average range		Upper limit	Reference
		Low	High		
Indoor fungal spores (Summer)	50	10	50	150 500	ACGIH, CG CG
Outdoor fungal spores	100	100	1000	-	CHBS
Actinomycete spore	0	0	150	240	Nevalaien
Out actino spores	0	4	-	-	Heineman
Bacteria, non-pathogenic	50	0	500	50	ACGIH
Outdoor bacteria	-	179	1083	-	Brickus
Pathgenic bacteria	0	-	-	0	AHA
Viruses	0	-	-	0	AHA

ACGIH (American Conference of Government Industrial Hygienists), CG (Canadian Guidelines), CHBS (California Healthy Building Study), AIAH (American Industrial Hygiene Association)

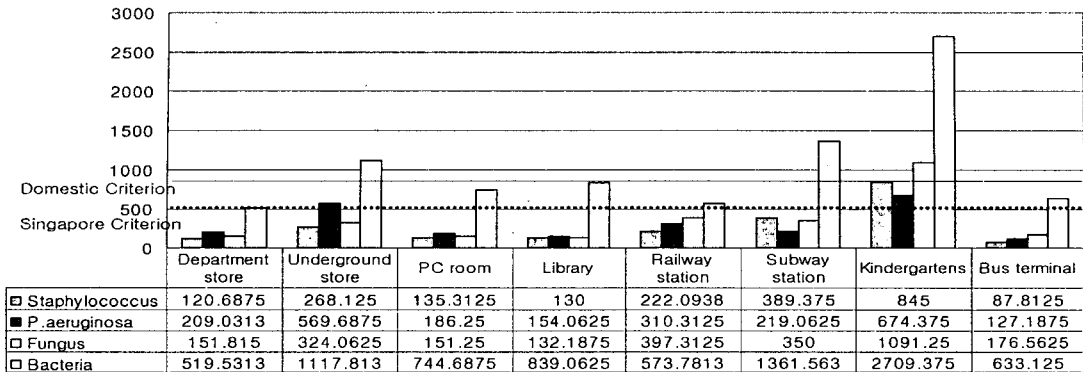


Fig. 11 Annual average concentration of microorganism.

여 국내 총부유세균 유지기준인 800 CFU/m^3 와 싱가포르의 총부유세균 유지기준인 500 CFU/m^3 를 표시하였다. 유치원의 경우 녹농균을 제외한 모든 수치가 각각 환경부 유지기준 800 CFU/m^3 을 넘어서 가장 오염도가 높은 것으로 나타났다. 또한 지하상가, 지하철 역사의 경우도 일반세균만으로 환경부 유지기준인 800 CFU/m^3 를 상회하는 것으로 나타났다. 또한 병원성세균의 경우 외국의 유지기준이 0 CFU/m^3 인 것에 비하여, Fig. 11에서 보는 바와 같이 측정대상이 된 모든 다중이용시설에서 병원성세균이 검출되었다. 또한 국내와 비슷하게 병원성세균에 대하여 특별한 규정이 없는 싱가포르의 경우는 총부유세균의 500 CFU/m^3 이하로 총균부유세균에 대한 기준을 국내보다는 더 낮게 관리하고 있으며, Fig. 11에서 보는 것과 같이 측정대상의 모든 다중이용시설에서 부유세균만으로도 싱가포르 기준인 500 CFU/m^3 을 넘어서는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

본 실험을 통해서 일반세균의 경우는 모든 다중이용시설에서 오염도가 높은 수치를 나타내는 것을 알 수 있으며, 병원성세균인 포도상구균과 녹농균의 경우도 지하상가의 경우처럼 외기와 직접 접하지 못하는 지하시설에서는 높은 수치를 나타내는 것을 알 수 있다. 병원성세균의 경우 외국의 유지기준이 0 CFU/m^3 인 것에 비하여, 본 실험을 진행한 결과 측정대상이 된 모든 다중이용시설에서 병원성세균이 검출되었다. 이에 상대적

으로 병원성세균의 수치가 낮은 경우도 있었지만, 전염성 병원균이라는 점에서 주의를 기울여야 할 것이며, 병원성세균에 대한 기준도 마련되어야 할 것으로 보인다. 언급된 결과들로부터 인구가 밀집되는 다중이용시설의 부유세균 오염이 문제가 된다는 것을 알 수 있으며, 문제해결을 위해 다중이용시설 관리자는 환기시설 개선과 청결을 유지해야 할 것이며, 실내에서 각종 세균 및 진균의 정기적인 측정실험을 통한 실태 파악과 HVAC 시스템들의 효율적인 유지관리가 필요할 것으로 판단된다.

특히 본 실험측정 결과 다중이용시설 실내공기질 관리법에서 부유세균에 대한 유지기준의 선정에 있어 세균과 진균, 병원성세균 등으로 다원화된 세부적인 유지기준 선정과 그에 대한 추가 연구가 필요한 것으로 판단된다.

참고문헌

1. Loomans, Bluysen and Ringlever-Klaassen, 2002, Bioaerosols - where should one measure them in a room, Indoor Air 2002, Vol. 3, pp. 443-448.
2. Kowalski, W. and Burnett, E., 2001, Mold and Buildings, The Pennsylvania Housing Research Center Builder Brief BB0301.
3. Rao, C. Y. and Burge, H. A., 1996, Review of quantitative standards and guidelines for fungi in indoor air, J. of Air & Waste Manage. Assoc. 46 (Sep), pp. 899-908.