

다중이용 시설의 실내공기 미생물 오염상태에 관한 연구

박 경 수[†], 최 상 곤^{*}, 홍 진관^{**}

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^{**}

ABSTRACT: Recently, IAQ(indoor air quality) is one of the greatest problems in our modern societies. Although research for IAQ is made rapid progress but microorganism concentration is much to be desired. So we have examined a variety of department store, subway station, underground shopping center, kindergartens, library etc. where people complain about the indoor air quality. The microorganism concentration of indoor air was investigated in this study and the average of total microorganisms was measured. The experimental results show that the ministry of Environment recommendation value (800 CFU/m³) is in need of revision in the naer future.

Key words: Bacteria(일반세균), E. Coli(대장균), Staphylococcus(포도상구균), Fungus(진균) Microorganism(미생물), IAQ(실내공기질)

1. 서 론

2차오일 쇼크가 발생한 이후 에너지 절약을 위해 건축물의 단열성과 기밀성이 점차 증대되어오고 있다. 그러나 이러한 에너지절약에 대한 노력은 반대로 Sick-Building Syndrome과 같은 주거공간내의 공기질에 대한 악영향을 끼치게 되었다. 근래에 들어서는 이러한 실내공기의 질적인

문제를 다룬 많은 연구들이 진행되었으며, 특히 VOCs 등에 대한 연구가 활발히 진행되어 지고 있다. 그러나 실내의 공기질에 대한 문제가 단지 유기화합물과 같은 화학적인 오염이 전부인 것은 아닐 것이라는 것은 자명한 일이다. 그 예로 환절기 어린아이들을 데리고 병원을 방문하였다가 감기가 옮겨 왔다는 불평을 가끔 듣고는 한다. 즉 공기의 질에 대한 문제에서 빠질 수 없는 부분이 실내 공기에 존재하는 부유세균과 같은 미생물 환경이라 할 수 있을 것이다. 하지만 현재 국내의 법규정상 모든 공간에 대하여 부유세균 800 cfu/m³ 이하라는 획일적인 기준을 정하여 규제하고 있으며, 심지어는 전염병동이나 격리병동과

[†] Corresponding author

Tel.: +82-031-750-5314; fax: +82-031-750-5314

E-mail address: tool007@lycos.co.kr

같은 특별히 공기에 대한 미생물 환경의 조절이 절실히 필요한 공간에 대하여서도 그 규정이 미비한 것이 사실이다. 이것은 직접적으로 부유세균이 눈에 띄지 않을 뿐만 아니라 우리 몸에 있는 면역체계가 건강한 상태라면 어느 정도의 오염균에 대하여서는 충분한 면역성을 발휘하기 때문일 것이다. 그러나 점차 사회가 고도화 되고 실내에서 생활하는 시간이 증가하면서, 실내의 공기질이 인체에 미치는 영향이 더욱 증가하기 때문에 실내의 미생물환경은 재실자의 건강에 더욱 간과할 수 없는 중요한 요소라 할 수 있을 것이다. 이에 따라 본 논문에서는 다중이용시설들을 대상으로 실내 미생물 분포를 조사하여, 현재 일반적인 거주공간에 대한 미생물환경을 알아보았다. 조사 대상이 된 다중이용시설은 백화점, 지하상가, PC방, 도서관, 지하철 역사, 철도 역사, 유치원, 지하주차장, 터미널을 대상으로 하여 비교적 대중적이면서도 거주 및 통행 인구 밀집지역에 대한 조사를 시행하였다. 조사 기간은 2004년 4월부터 2005년 1월 까지 봄, 여름, 가을, 겨울의 4계절에 대한 조사를 각각 진행하고 그 결과를 고찰하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 세균 포집 장소 선정

우선 앞서서도 언급한 바와 같이 다중이용시설은 백화점, 지하상가, PC방, 도서관, 지하철 역사, 철도 역사, 유치원, 지하주차장, 터미널을 대상으로 하였다. 각각의 건물에 대한 대표적인 위치에서 세균을 포집하기 위하여, 건물의 중심부와 출입구 부분에서 대표위치를 선정하여 세균을 포집하였다. 대표위치로는 실내 중앙에 가장 환기가 잘 되지 않는 지점과 환기가 잘되는 지점을 선정하도록 하였으며, 각 건물의 구조와 배치에 따라 실험자의 판단으로 대표위치를 임의로 선정하여 측정하는 것으로 하였다. 선정된 장소에서 바닥으로부터 약 1.5m 정도의 높이에 Air sampler를 설치하였고, 측정은 최대한 자연스러운 일상생활 환경에서 실내의 미생물농도를 측정하도록 하였다.

2.1 세균 포집, 배양 및 계수

우선 실내의 온·습도 조건과 기류 상태를 확인하기 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 100ℓ의 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 7월초에서 9월 초까지, 가을은 9월 말에서 11월 중순까지 측정할 수 있도록 하였다. 이렇게 각 계절별로 충돌법에 의해 배지에 포집된 미생물을 배양하기 위해서 상온에서 온도 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 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 멸균 처리 후 파기하도록 하였다.

Table 1. Specification of experimental instrument

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

Table 1.은 본 측정실험에서 사용된 주요 실험 장비의 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 100ℓ에 대한 공기중의 부유세균을 포집하여 72시간의 배양을 거치도록 하였다. 배양이 완료된 배지에 대하여 집락수를 계수하고 각각의 개수에 대하여 합산 후 평균을 내는 방식으로 세균과 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

앞에서 설명한 방법에 의해서 계절별로 측정된 오염실태를 다중이용시설 종류별로 아래와 같이 분석하였다.

3.1 백화점

Fig. 1은 백화점에 대한 공기중 미생물 오염실태를 나타내고 있다. 백화점은 하계 (실내 평균온도 25℃, 실내 평균습도 64%)의 경우 일반세균이 742 CFU/m³, 동계 (실내 평균온도 22℃, 실내 평균습도 44%)의 경우는 782 CFU/m³로 나타나 춘계 (실내 평균온도 25℃, 실내 평균습도 45%)의 228CFU/m³과 추계 (실내 평균온도 22℃, 실내 평균습도 44%)의 324 CFU/m³보다 높게 나타나는 것을 알 수 있다. 이는 하계의 경우 상대습도가 높기 때문에 미생물이 자랄 수 있는 환경이 상대적으로 좋기 때문으로 생각되며, 겨울인 경우는 에너지 절약을 위한 외기 도입의 최소화로 인해 신선외기가 충분히 공급되지 않았기 때문으로 판단된다.

3.2 지하상가

Fig. 2은 지하상가에 대한 공기중 미생물 오염

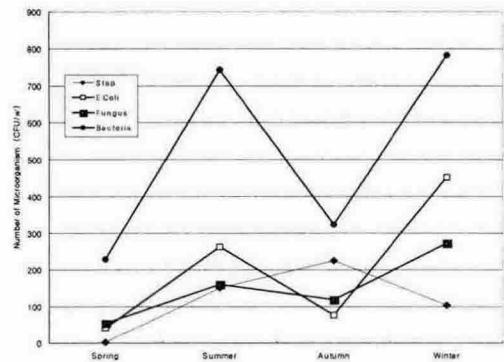


Fig. 1 Seasonal indoor microorganism concentration of department store.

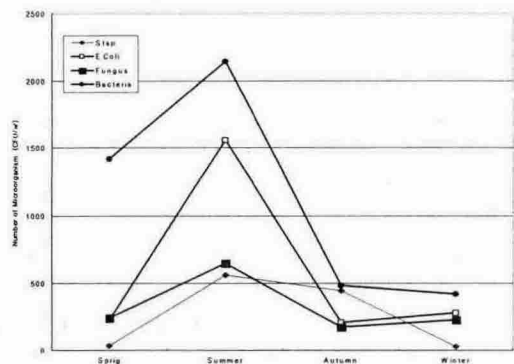


Fig. 2 Seasonal indoor microorganism concentration of underground store.

실태를 나타내고 있다. 지하상가의 경우는 백화점에서의 하계 일반세균이 742 CFU/m³인 것에 비해 하계조건 (실내 평균온도 26℃, 실내 평균습도 70%)에서 2,148 CFU/m³로 나타나 오염도가 높은 것으로 나타났다. 뿐만 아니라 춘계 (실내 평균온도 25℃, 실내 평균습도 46%)조건에서 1,420 CFU/m³으로 평균적으로 비교적 높은 오염도를 보였다. 그러나 동계 (실내 평균온도 12℃, 실내 평균습도 28%)의 경우는 420 CFU/m³로 나타나 상대적으로 낮은 오염도 값을 보이는 것을 알 수 있다. 이것은 동계의 경우 지하상가의 특성상 외기에 직접적으로 영향을 받는 부분이 많아서 지하상가의 실내 평균온도와 실내 평균습도가 일반적인 실내의 공조공간보다 상당히 낮아서 미생물의 성장조건과 부합하지 않기 때문으로 판단된다.

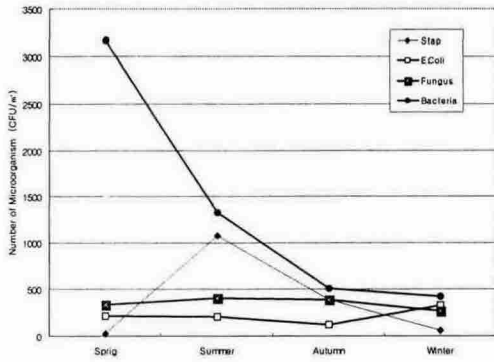


Fig. 3 Seasonal indoor microorganism concentration of subway station

3.3 지하철 역사

Fig. 3은 지하철 역사에 대한 공기중 미생물 오염상태를 나타내고 있다. 지하철 역사의 경우는 춘계의 경우 (실내 평균온도 23℃, 실내 평균습도 46%)에서 일반세균이 3,175 CFU/m³ 인데 비하여 진균과 병원성 세균인 포도상구균과 대장균은 400 CFU/m³ 이하인 것으로 나타내었다. 하계 (실내 평균온도 29℃, 실내 평균습도 66%)에서 일반세균 1,332 CFU/m³로 지하상가와 비슷한 오염도를 보이는 것으로 나타났으며, 동계 (실내 평균온도 11℃, 실내 평균습도 27%)의 경우도 일반세균 428 CFU/m³으로 지하상가와 같이 직접 의기에 영향을 받는 부분이 많아 상대적으로 낮은 오염도를 나타내는 것을 알 수 있다.

3.4 철도 역사

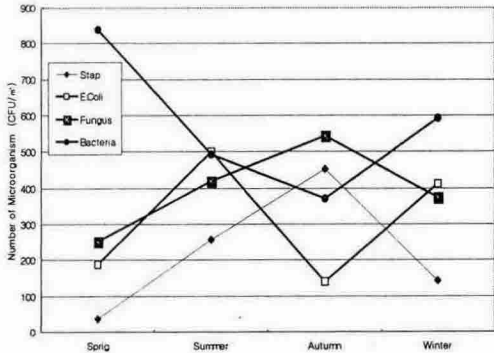


Fig. 4 Seasonal indoor microorganism concentration of railway station

Fig. 4는 철도 역사에 대한 공기중 미생물 오염상태를 나타내고 있다. 철도 역사의 춘계 (실내 평균온도 23℃, 실내 평균습도 46%)에서 일반세균이 838 CFU/m³ 인 것에 비해 진균, 포도상구균, 대장균이 300 CFU/m³ 이하로 나타나 지하철 역사와 비슷한 경향을 나타내지만 세균의 수는 비교적 낮다는 것을 알 수 있다. 하계에는 실내 평균온도 25℃, 실내 평균습도는 72%로 높아져 일반세균을 제외한 세균수 증가가 나타나고 있다. 철도 역사의 경우 계절별 경향이 정확하게 파악될 수 없는 것은 실험당시의 철도역사에서의 균중 밀집도에 따라 측정치가 크게 변동될 수 있기 때문으로 판단된다.

3.5 지하주차장

Fig. 5. 지하주차장에 대한 공기중 미생물 오염상태를 나타내고 있다. 대체적으로 낮은 오염도를 나타내는 가운데 추계의 경우 (실내 평균온도 16℃, 실내 평균습도 70%) 오염도가 높게 나타나는 것을 알 수 있다.

3.6 터미널

Fig. 6은 터미널에 대한 공기중 미생물 오염상태를 나타내고 있다. 터미널의 경우 일반세균을 제외한 세균들의 경우 낮은 수치와 변화를 보이는 것을 알 수 있으며, 일반세균의 경우 동계의 경우 비교적 높은 857 CFU/m³ 를 나타내고 있다.

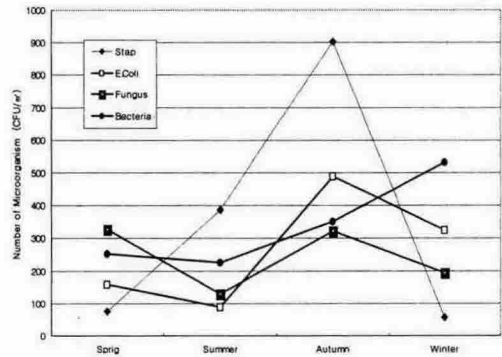


Fig. 5 Seasonal indoor microorganism concentration of underground parking lot

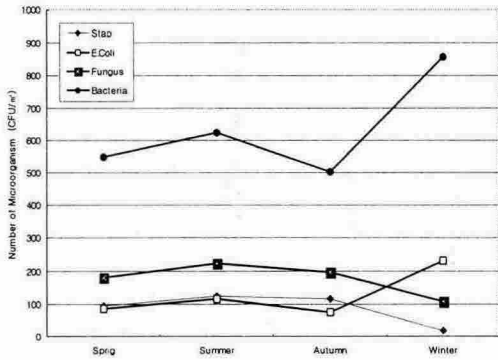


Fig. 6 Seasonal indoor microorganism concentration of bus terminal

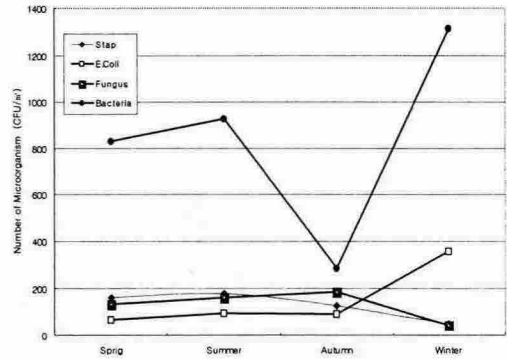


Fig. 8 Seasonal indoor microorganism concentration of library

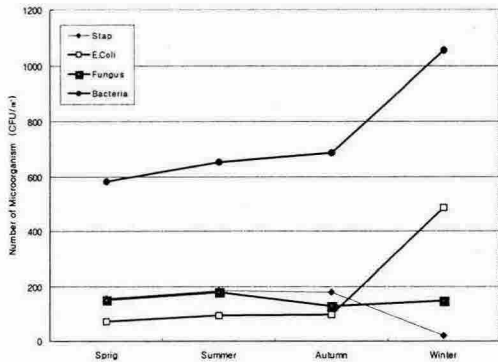


Fig. 7 Seasonal indoor microorganism concentration of pc room

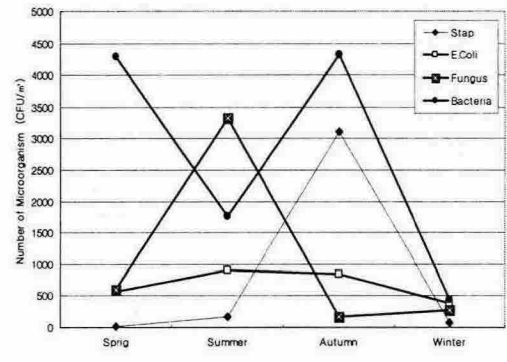


Fig. 9 Seasonal indoor microorganism concentration of kindergartens

3.7 PC방

Fig. 7은 PC방에 대한 공기중 미생물 오염상태를 나타내고 있다. 위 경우와 같이 대체적으로 낮은 오염도를 나타내는 것을 알 수 있으며, 동계의 경우 일반세균이 1,055 CFU/m³ 로 다소 높은 오염도를 보여주고 있는데, 이것은 터미널의 경우와 같이 신선외기 도입이 부족하기 때문으로 추측된다.

3.8 도서관

Fig. 8은 도서관에 대한 공기중 미생물 오염상태를 나타내고 있다. 일반 세균이 하계에 928CFU/m³ 와 겨울철 1,313CFU/m³ 로 높게 나타나는 것을 알 수 있는데, 하계의 경우 실내 평균온도 25℃, 실내 평균습도 61%로 고온다습한

환경적인 요인과 냉방으로 인한 환기 미비, 겨울철에는 실내 난방으로 인한 신선외기 도입이 미비한 것이 그 원인으로 추측된다.

3.9 유치원

Fig. 9는 유치원에 대한 공기중 미생물 오염상태를 나타내고 있다. 유치원은 실험 대상 시설중 세균수가 제일 많이 나타난 곳으로 동계의 경우 실내 평균온도 28℃, 실내 평균 습도 64%로 고온다습한 환경적인 요인과 측정된 유치원의 바닥의 카펫과 측정대상으로 한 유치원이 환기장치가 전무한 상황이 그 원인으로 추측되나 계절적인 영향보다는 시간대에 따른 유치원생의 재실분포가 더 큰 연관성이 있는 것으로 판단된다.

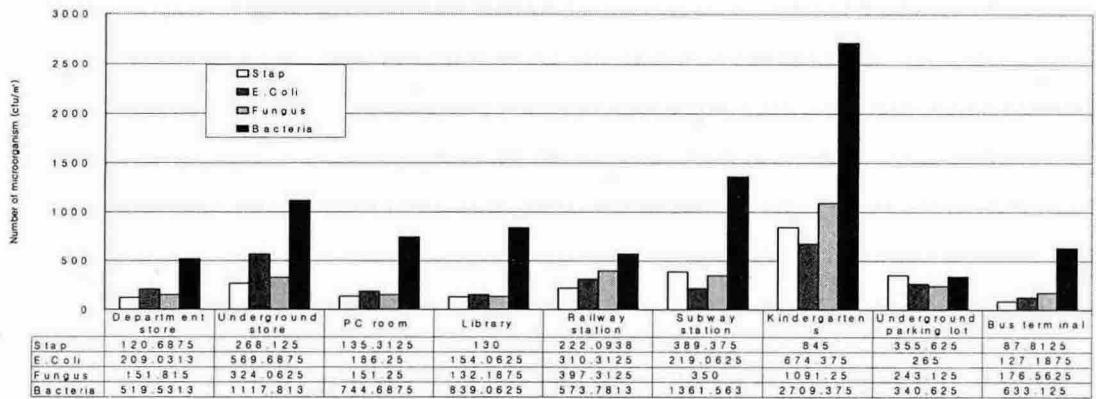


Fig. 10 Annual average concentration of microorganism

3.10 평균 부유세균

Fig. 10은 다중이용시설에 따른 평균 부유세균 수치를 종합적으로 나타내는 것으로, 모든 시설에서 일반세균은 다른 오염도에 비해 월등히 높은 오염도를 나타내고 있었으며, 유치원의 경우 대장균을 제외한 세균의 수치가 환경부 권고치를 넘어서는 것으로 나타나는 것을 알 수 있다.

4. 결론

본 실험을 통해서 일반세균의 경우는 모든 시설에서 오염도가 높은 수치를 나타내는 것을 알 수 있으며, 병원성 전염균인 포도상구균과 대장균의 경우도 지하상가의 경우처럼 외기와 직접 접하지 못하는 지하시설에서는 높은 수치를 나타내는 것을 알 수 있다. 낮은 수치를 나타내는 경우도 있었지만 병원성 전염균이라는 점에서 주의를 기울여야 할 것으로 판단된다. 이는 인구가 밀집되는 다중이용시설의 부유세균 오염이 문제가 된다는 것을 의미하며 문제 해결을 위해 다중이용시설 관리자는 환기시설 개선과 청결을 유지해야 할 것이며, 실내에서 각종 세균 및 진균의 정기적인 측정실험을 통한 실태파악과 HVAC 시스템들의 효율적인 유지관리가 필요할 것으로 판단된다. 또한 최근 Wet Duct 문제에 대한 해결방안으로 제습공조 시스템이 도입되고 있으며,

이와 같은 제반 문제들을 해결하기 위해서 최근 외국에서 활발히 연구되고 있는 면역건물기술 (Immune Building Technology) 도입과 적용이 필요한 것으로 생각된다. 특히 본 실험측정결과 다중이용시설 실내공기질 관리법에서 부유세균에 대한 유지기준의 선정에 있어 세균과 진균으로 이원화된 세부적인 유지 및 권고기준 선정등 추가 연구가 필요한 것으로 판단된다.

참고문헌

1. Kim, Y , S and Lee, E , G and Yup, M ,J and Kim, K , Y ,Distribution and Classification of Indoor Coneuntration of Microorgani는 in Public Buildings, 2002, Kor. J. Env. Hlth. Soc., Vol. 28, No. 1, pp85~92
2. MGLC Loomans, PM Bluysen and CCM Ringlever-Klaassen, 2002 , Bioairsols-where should one measure them in a room, Indoor Air 2002, Vol. 3, pp 443~448
3. Korea Air Cleanig Association, Air Cleaning handbook -No. 1 seoul 1996
4. Ronald m. atlas and richard gartha, 1991 Microgial ecology, Kyobo Inc, pp. 311~316
5. Song, H , K and Oh, K , H. 2002 . Microbiology, Donghwa Inc , pp. 107~122
6. Son, B , S and Yang , W , H .2003 .Indoor air pollution , Shinkang Inc , pp. 36