

일부 대학교 미생물실험실 및 화학실험실에서의 진균 분포 및 관련인자

황성호¹ · 조현우¹ · 박동욱² · 윤충식^{1†} · 류경남¹ · 하권철³

¹서울대학교 보건대학원 환경보건학과, 보건환경연구소, ²한국방송통신대학교 환경보건학과, ³창원대학교 보건의과학과

Levels and Related Factors of Airborne Fungi in Microbial and Chemistry Laboratories in Universities

Sung Ho Hwang¹ · Hyun Woo Jo¹ · Dong Uk Park² · Yoon Chung Sik^{1†} · Kyong Nam Ryu¹ · Kwon Chul Ha³

¹Department of Environmental Health, School of Public Health and Institute of Health and Environment, Seoul National University,

²Department of Environmental Health, Korea National Open University,

³Department of Biochemistry and Health Science, Changwon National University

The purpose of this study is to assess the level of fungi concentration in the university laboratories in Seoul, Korea, and to investigate factors contributing to these concentrations. The samples were taken from three spots in each laboratory; the top of sink, the center of laboratory, and the front of ventilation system, i.e fume hood at the chemical laboratory and clean bench/biosafety cabinet at the microbial laboratory. Air samples were collected using the single-stage Anderson sampler (Quick Take 30) at a flow rate of 28.3 l/min for 5 min on nutrient media in Petri-dishes located on the impactor. Fifty-two air samples were collected from 19 different laboratories (13 microbiology laboratories, 6 chemistry laboratories) in the university, and concentrations of airborne fungi showed no significant difference ($p>0.05$) between microbiology and chemistry laboratory, and also no significant difference at three locations (sink, center, front of ventilation system) in microbiology and chemistry laboratories. Average concentrations of fungi in 19

laboratories ranged from 7 to 459 cfu/m³, with an overall Geometric Mean of 52 cfu/m³. Airborne fungi concentrations of 6 samples (12 %) exceeded 150 cfu/m³, the guideline of WHO. The ratios of Indoor/Outdoor for airborne fungi ranged from 0.2 to 4.8 (mean = 1.6). Related factors were measured such as relative humidity, temperature, and laboratory area. Temperature and laboratory area showed no significant relations to concentrations of airborne fungi except for relative humidity in the laboratory

Concentrations of fungi were significant different ($p<0.01$) between rainy or cloudy and sunny. However, there was no significant difference between general ventilation and non-general ventilation.

Key Words : Airborne fungi, University, laboratory, Weather, Relative humidity

I . 서 론

실내환경은 지난 몇 년 동안 공공의 관심이 되어왔다. 실내 공기 오염물질 중 먼지에는 일정부분이 미생물로 구성되어

공기 중에 부유하며 이는 인체 호흡기를 통해 호흡기관 등에 균주화 되기도 한다(김윤신 등, 2002; Huseuh 등, 1998). 특히 공기 중 바이오에어로졸의 노출은 인체에 건강장해를 일으키는 주요원인이기 때문에 더 많은 연구의 대상이 되고 있

접수일 : 2009년 11월 25일, 채택일 : 2010년 3월 15일

† 교신저자 : 윤충식(서울특별시 관악구 관악로 599,

Tel: 02-880-2734, Fax: 02-745-9104, E-mail: csyoon@snu.ac.kr)

다. 실제로 바이오에어로졸 중에서도 공기중의 높은 진균 농도수준은 의심할 여지없이 공중보건에 해를 끼친다 (Mui 등, 2008). 실제로 *Penicillium*은 감염성 폐질환의 건강영향을 일으키며, *Aspergillus*는 채채기, 호흡곤란, 천식의 악화에 영향을 주고, *Aspergillus*에서 생성되는 Aflatoxine B1은 발암성 물질이다. *Cladosporium*역시 알레르기 유발물질로 알려져 있다 (Desai 등, 1989).

지난 2008년 교육과학기술부에 집계된 통계에 의하면 국내에는 약 87,000명 이상의 대학원생들이 대학교 실험실에서 실험연구를 하고 있는 것으로 나타났다 (교육과학기술부, 2008). 대학교 실험실은 대학생, 대학원생의 교육 및 실습뿐 아니라 연구 수행을 위한 다양한 실험이 이루어지는 장소로 이공계 대학원생과 연구원들에게는 하루 일과의 대부분을 보내는 주요 생활공간이다 (한국과학기술인연합, 2003). 그렇기 때문에 대학교내 실내 실험실에 대한 공기 질은 실험실 종사자들에게 매우 중요하다.

공기중 진균 및 실험실에 관한 연구는 병원(송주희 등, 2007)과 유치원 (조경아, 2005), 노인복지시설 (박재범 등, 2006) 등이 있었지만 실제 대학교실험실을 대상으로 공기중 진균 분포 특성을 연구한 보고는 없는 실정이다.

본 연구의 목적은 미생물실험실과 화학실험실간에 수행 실험이 다르기 때문에 두 실험실간에 유의한 농도차이가 있을 것이라는 가설을 검증하는 것과 실험실내 공기 중에 분포하는 진균의 농도수준 및 이에 영향을 주는 관련인자에 대해 적절한 관리방안을 제시하는 것이다.

II. 연구대상 및 방법

1. 연구대상

본 연구는 2008년(10월)~2009년(9월) 서울에 소재한 종합 대학교 5곳(19개 실험실)의 실험실(미생물실험실 13곳, 화학실험실 6곳)을 대상으로 하였다. 측정위치는 실험실 중앙, 실험실 개수대, 환기장치(흡후드 및 클린벤치) 앞의 3개 지점(실험실 5곳은 2개 지점에서 측정)을 선정해서 상부 1m ~ 1.5m 지점에서 총 52개의 공기 중 시료를 측정하였다.

2. 측정 및 분석방법

1) 시료포집 및 배양

28.3 l/min의 유량으로 보정된 Andersen one-stage sampler (Quick Take 30, SKC Inc, USA)를 사용하였다. 시료는 5분 동안 포집하였으며, 시료 채취 전 알코올 솜으로 포집기 내부를

소독처리를 마친 후 멸균된 배지를 포집기에 장착하였다. 배지는 진균 집락만을 성장시킬 수 있는 Sabouraud Dextrose Agar(SDA)를 하였고, 포집이 완료된 배지는 35 °C에서 72시간 동안 Incubator에서 배양시킨 후, 집락(Colony)수를 개수하여 공기 중 단위 용량당 집락 수를 계산하여 농도를(CFU/m³)를 나타내었다. 시료의 오염과 오차를 방지하기 위해 전체시료의 10%는 공시료를 사용 (NIOSH, 1994) 하였으며, 공기 중 진균의 실내 농도를 비교하기 위해 외부 건물 옥상에서도 벽면과 1m 이상 간격을 두고 공기 중 진균을 측정하였다. 시료 채취 시간 동안 온도와 습도는 Velocicalc[®] Air Velocity Meter(Model 9555 Series, TSI)를 이용하여 측정하였다.

2) 통계분석

통계분석은 SPSS package (version 12.0)프로그램을 사용하였다. Shapiro-Wilk test를 통해 기하정규분포를 나타내어 기하평균(GM)과 기하표준편차(GSD)를 산출하였고 모든 통계분석은 대수로 변환된 관측치를 이용하여 수행하였다. 공기 중 진균 농도와 온도, 습도, 실험실 면적간의 상관관계는 Pearson correlation 분석법 적용하여 통계적 유의성을 검증하였고, 공기 중 진균 농도가 실험실간에 농도차이 여부와 실험실 내 시료측정 위치, 전체환기의 유무 및 면적에 따른 유의성을 검정을 위해 t-test 및 ANOVA test 분석방법을 적용하였다.

III. 연구결과

1. 대학교 실험실에서의 진균의 발생수준

Table 1은 19곳의 화학실험실과 미생물실험실의 농도분포를 나타낸 것으로 전체 52개 시료중 50개 시료 (96%)에서 진균이 검출되었다. Shapiro-Wilk test를 통한 50개 진균 시료의 농도는 log-normal 분포를 하였다 (W-test, p<0.05)(Fig. 1.).

불검출(ND)시료를 제외한 진균의 기하평균(GM)농도는 52 cfu/m³이었고 농도범위는 7~459 cfu/m³ (Table 1)였다. 진균에 대한 실내와 실외의 비율은 전체평균이 1.6로 나타났고 범위는 0.2~4.8로 미생물실험실과 화학실험실 내의 농도가 외부 농도보다 높게 나타났다. 대학교 화학실험실과 미생물실험실에서의 전반적인 평균 온도는 평균이 24.9°C로 범위는 20~27.1°C를 나타내었고, 상대습도는 평균이 44.5%, 범위가 30~61%, 실험실 면적은 평균이 214 m², 범위가 18 m²~567 m²로 나타났다. 미생물실험실에서의 진균의 농도는 불검출(ND)시료를 제외한 기하평균(GM)이 57 cfu/m³, 범위가 7~459 cfu/m³로 나타났고, 화학실험실은 기하평균이 44 cfu/m³, 범위가 7~298 cfu/m³로 미생물실험실이 화학실험실보다 높은 농

Table 1. Concentration distributions of airborne fungi in microbial and chemistry laboratories

Lab. Classification	No.of total Samples	I/O Ratio	samples detected (%)	Fungi concentrations (cfu/m ³)			Indoor climate	
				GM (GSD)	Median	range	GM(SD) temperature	GM(SD) Relative humidity
Microbial Lab. (n=13)	35	1.6	35(95)	57(2.7)	42	7-459	25.4(1.1)	49.7(1.2)
Chemistry Lab. (n=6)	15	1.3	15(100)	44(2.7)	57	7~298	23.9(1.1)	43.6(1.2)
Total (n=19)	50	1.6	50(96)	52(2.7)	57	7~459	24.9(1.1)	47.5(1.2)

% = Occurrence of fungi

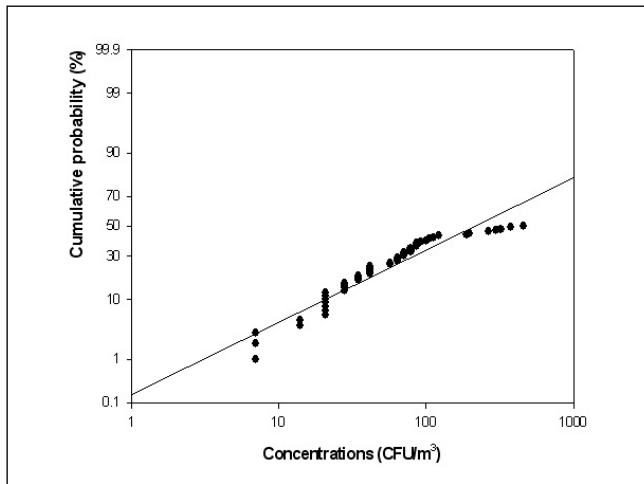


Fig. 1. Distribution of airborne fungi concentrations.

도를 나타내었지만 통계적인 유의한 차이는 없었다 ($p>0.05$).

미생물실험실과 화학실험실에서 위치에 따른 진균의 농도는 Table 2와 같다. 미생물실험실은 개수대에서 GM농도가 69 cfu/m³로 3곳 중에서 가장 높았고, 환기장치에서 45 cfu/m³로 가장 낮은 농도를 나타내었다. 화학실험실에서는 환기장치에서의 GM농도가 55 cfu/m³로 3곳의 위치 중에서 가장 높게 나타났고 실험실 중앙에서 37 cfu/m³로 가장 낮은 농도를 나타내었다. 미생물실험실과 화학실험실의 위치에 따른 통계적인 유의한 차이 ($P>0.05$)는 없었다.

2. 실험실에서진진균과 관련된 요소

Table 3은 진균의 농도와 관련된 요소를 알아보기 위해 온도, 상대습도, 실험실 면적의 요소를 Pearson 상관계수로 분석한 결과 진균 농도와 습도가 유의한 상관성 ($p<0.01$)을 보였으며 온도, 실험실 면적은 유의한 상관성을 나타내지 않았

다($p>0.05$).

실험실 면적과 전체환기 유무에 따른 진균의 농도를 비교하기 위해 t-test를 사용하였다(Table 4). 측정된 실험실 19곳에서의 날씨와 진균 농도분포는 비가 오거나 흐린 날씨에 측정된 실험실의 진균의 농도가 맑은 날씨에 측정된 농도보다 유의하게 높은 결과($p<0.01$)를 나타내었다. 하지만 전체환기유무에 따른 진균 농도에서는 유의한 차이를 나타내지 않았다.

IV. 고찰

본 연구에서 조사된 19곳의 실험실에서 진균이 검출된 50개의 시료 중 6개의 시료(12%)에서 세계보건기구(WHO)의 가이드라인 150 cfu/m³을 초과하였다. 실내와 실외의 진균 농도의 비율의 평균이 1.6으로 나타났고 범위는 0.2-4.8을 나타내었다. 이와 같은 결과는 실내 진균의 농도가 실외 진균의 농도보다 높다는 이전의 연구결과와 일치하였다 (Lee et al., 2002; Kim et al., 2008). 실험실 온도, 상대습도, 실험실 면적과 같은 환경인자와 진균 농도간의 Pearson 상관분석결과 상대습도와 진균 농도간에 유의한 상관관계를 보였지만, 온도, 실험실 면적과는 유의한 상관성이 없었다. 이러한 결과는 Guo 등 (2004)의 연구에서 습도와 유의한 상관성을 나타낸 결과와 일치하였고, 높은 상대습도는 비록 온도가 낮을지라도 진균의 성장을 촉진시킨다는 Tsai 등(2008)의 연구와 일치하였다. 하지만, 진균 농도와 온도간에는 다른 연구(송주희 등, 2007)와 같은 유의한 상관성이 없었다. 이러한 연구의 불일치는 특성이 다른 장소, 다른 시료채취 방법, 다른 시료 분석과 다른 배지종류의 사용으로 인한 차이인 것으로 사료되며 또한 본 연구에서는 실험실 내에서의 온도 범위가 20~27.1 °C로 ACGIH(1999)에 보고된 진균 성장에 적합한 온도 범위 (15~30°C)보다 상대적으로 실험실내 온도 차이가 크지 않았

Table 2. Concentration levels of airborne fungi according to the types of laboratory and the sampling points

Lab. Classification	Locations	No. of Samples	Fungi concentrations (cfu/m ³)		
			GM (GSD)	Median	Range
Microbial Lab.	Center	13	69 (2.7)	42	21~459
	Sink	13	54(2.9)	71	7~377
	Ventilation system	9	45(2.8)	42	14~266
Chemistry Lab.	Center	6	43 (2.6)	68	7~86
	Sink	5	37 (4.2)	21	7~291
	Ventilation system	4	55 (1.4)	57	35~79
Total average		50	52(2.7)	57	7~459

Table 3. Pearson correlation between airborne fungi concentrations and related factors in the university laboratories

	Fungi concentrations (cfu/m ³)	Temperature (°C)	Relative humidity (%)	Lab. area (m ²)
Fungi concentrations (cfu/m ³)	1.00			
Temperature (°C)	0.08	1.00		
Relative humidity (%)	0.47**	0.23	1.00	
Lab. area (m ²)	0.12	-0.46*	-0.34*	1.00

*p<0.05

**p<0.01

Table 4. Average concentration of airborne fungi according to weather and general ventilation

	Weather		General ventilation	
	Rain or cloud	Sunny	Existence	Nonexistence
GM(GSD) concentrations of fungi (cfu/m ³)	106(2.0)	36(1.5)	62(2.3)	56(2.3)
(N)	(9)	(10)	(10)	(9)
P-value	0.002		0.82	

Total N=19

기 때문에 진균 농도와 온도간에 영향을 미치지 못한 것으로 판단되었다. 실험실내 온도 및 습도와 실험실 면적간에는 음의 유의한 상관성($p < 0.05$)을 보였다. 이는 공간이 좁아질수록 협소한 공간에서 이동하는 실험종사자들의 영향인 것으로 사료되었다.

미생물실험실과 화학실험실을 구분하여 진균 농도간의 분포를 비교한 결과 유의한 차이가 없었고, 각 실험실의 위치(실험실 중앙, 개수대, 환기장치)에 따른 진균의 농도분포 역시 유의한 차이가 없었다. 하지만 환기장치를 제외하고 미생물 실험실이 화학실험실보다 진균의 농도가 높게 나타났고, 미생물실험실 같은 경우 개수대에서 가장 높게 나타났는데 이는 습도에 영향을 많이 받는 진균의 특성 때문인 것으로 사료되었다. 하지만 화학실험실은 그렇지 않았는데 이는 실제 실험실간의 차이라기보다는 화학실험실에 건조한 상태의 개수대가 많았기 때문인 것으로 사료되었다.

본 연구에서 조사된 진균의 평균농도(GM: 52 cfu/m^3)를 기초로 하여 다른 장소에서 조사된 연구들을 살펴보면, 작업장의 톱밥 공정이 평균 156 cfu/m^3 (Rusca 등, 2007), 폐기물처리 공장이 평균 105 cfu/m^3 (Lavoie 등, 2006), 사료제조공장이 평균 89 cfu/m^3 (김기연 등, 2007)으로 나타났다. 다중이용시설의 실내환경중 진균의 분포는 종합병원의 Main lobby가 평균 156 cfu/m^3 , 병원 실험실이 평균 126 cfu/m^3 (김기연 등, 2006), 일반사무실이 평균 234 cfu/m^3 (김기연 등, 2008), 일부 지하철역사가 평균 254 cfu/m^3 (조준호와 백남원, 2009), 지하상가와 백화점이 각각 450 cfu/m^3 , 325 cfu/m^3 (김윤신 등, 2002)의 농도 수준을 나타내었다. 위와 같이 기존에 조사된 국내외 작업환경과 다중이용시설의 진균 농도수준이 본 연구의 진균 농도 수준보다 낮은 것으로 조사되었다. 하지만 본 연구조사는 비교적 적은 시료수로 측정된 연구이므로 본 연구의 결과가 국내 모든 대학실험실을 대표하는 농도수준이라고 볼 수는 없다. 측정된 실험실 19곳에서의 날씨와 진균 농도분포는 비가 오거나 흐린 날씨에 측정된 진균의 농도가 맑은 날씨에 측정된 농도보다 유의하게 높은 결과 ($p < 0.01$)를 나타내었다. 이는 날씨가 흐리거나 비가 내림으로 실내환경의 습도가 높아져서 공기중 진균의 성장을 촉진시킨 것으로 사료되었다. Simmons (1997)의 연구에 의하면 공조시스템에서의 오염이 진균의 오염원이라고 하였다. 본 연구에서는 공조시스템을 갖춘 실험실이 없어 전체환기가 되는 실험실과 되지 않는 실험실로 구분하여 비교하였지만 유의한 차이는 없었다. 이는 실험실마다 면적의 차이가 크고(전체환기는 되지 않지만 면적이 넓거나 전체환기는 되지만 협소한 실험면적), 비교적 적은 실험실 Sample size 등으로 추정되었다.

본 연구는 실험실내에서 시간대별, 실험시간, 수행실험의 종류에 따른 진균수준의 차이 및 반복측정을 수행하지 못했다는 점과 진균의 불동정 및 짧은 연구수행기간으로 인한 적

은 시료수 그리고 SDA 배지가 진균뿐 아니라 세균 집락 형성에도 우호적 조건을 형성하는 단점 때문에 공기중 진균의 농도가 과대평가될 수 있는 것이 본 연구의 제한점이다. 그렇지만 본 연구는 대학실험실의 전반적인 진균의 배경농도 수준을 파악하고 미생물실험실과 화학실험실간에 차이가 있을 것이라는 가설을 설정하여 실시한 연구로서, 연구자 작업 환경에 대한 위해요소의 기초자료를 제공할 수가 있다.

V. 결 론

본 연구는 국내 종합대학교의 미생물실험실과 화학실험실을 대상으로 하여 실험실 중앙, 개수대, 환기장치 앞에서 공기 중에 분포하는 진균의 농도수준과 이에 영향을 주는 환경인자들을 조사하여 적절한 대학교 실험실의 실내공기 관리방안을 위한 기초 자료를 제시하고자 하였으며, 결론은 다음과 같다.

1. 대학실험실에서의 진균의 농도분포는 Log-normal분포를 나타내었다 ($p < 0.05$).
2. 진균은 전체 52개의 시료 중에서 50개의 시료에서 검출되었고, 이 중에서 6개의 시료(12%)에서 세계보건기구(WHO)의 가이드라인인 150 cfu/m^3 을 초과하였다.
3. 진균의 농도는 미생물실험실($GM \pm GSD = 57 \text{ cfu/m}^3 \pm 2.7 \text{ cfu/m}^3$)과 화학실험실($GM \pm GSD = 44 \text{ cfu/m}^3 \pm 2.7 \text{ cfu/m}^3$)간에 유의한 차이가 없었으며, 각 실험실의 중앙, 개수대, 환기장치 앞에서 측정된 위치에 따른 농도 역시 유의한 차이가 없었다.
4. 실험실 19곳의 날씨에 따른 진균 농도분포는 비가 오거나 흐린 날씨에 측정된 실험실의 진균의 농도가 맑은 날씨에 측정된 농도보다 유의하게 높았다 ($p < 0.01$).

이상의 결과를 통해 대학실험실에서의 쾌적한 실내환경을 조성하기 위해서는 적절한 환기시스템 및 습도관리가 이루어지고 정기적인 점검을 통해 실내공기의 오염을 방지해야 할 것이다.

REFERENCES

교육과학기술부. <http://www.mest.go.kr/>
 김기연, 이창래, 김치년, 원종욱, 노재훈. 종합병원의 실내공기에 분포하는 부유세균과 진균의 입경별 종류와 특성. 한국산업위생학회지 2006;16(2):101-109
 김기연, 정연일, 김치년, 원종욱, 노재훈. 사료제조공장 내 공기 중 세균과 진균 분포에 관한 연구. 한국산업위생학회

- 지 2007;17(4):335-342
- 김기연, 노영만, 김윤신, 이철민, 심인숙. 일반 사무실 실내공기 내 부유미생물의 분포 양상. 한국산업위생학회지 2008;18(1):11-19
- 김윤신, 이은규, 엽무중, 김기영. 다중이용시설에서의 실내 공기중 미생물 분포에 관한 연구. 한국환경위생학회지 2002;28:85-92
- 박재범, 김기연, 장규엽, 김치년, 이경중. 다중이용시설 내부에 분포하는 부유진균의 입경별 농도 특성. 한국환경위생학회지 2002;28(1):85-92
- 송주희, 민진영, 조경아, 윤영희, 백남원. 서울시 일부 종합병원의 공기 중 미생물 농도 분포. 한국환경보건학회지 2007;33(2):104-114
- 조경아. 유아교육시설 내 실내 공기 중 호흡성 미생물에 관한 연구. 서울대학교 석사 학위논문, 2005
- 조준호, 백남원. 서울시 일부 지하철역사내 공기 중 진균 농도에 관한 연구. 한국환경보건학회지 2009;35(6):487-494
- 환경부. 다중이용시설등의 실내공기질관리법 시행규칙, 환경부령 2004;제156호
- 한국과학기술인연합. 국내 이공계 실험실 안전 실태파악을 위한 설문조사 결과 보고서. 한국과학기술인연합 과학기술정책자료집 3, 2003
- American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). Bioaerosols Assessment and Control. ACGIH, Cincinnati, Ohio, 1999
- American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). Threshold limit values for chemical substances and physical agents and biological exposure indices. ACGIH, Cincinnati, Ohio, 2001
- Desai, M. S., Ghosh, S. K. : Aflatoxin related hazards among rice mill Workers. J Toxic: Toxin Reviews 1989;8:81-88
- Guo, H., Lee, S.C., Chan, L.Y. Indoor air quality investigation at air-conditioned and non-air conditioned markets in Hong Kong. Int. J. Science. Total. Environ 2004;323: 87-98
- Huseuh, P. R., Teng, L. J. and Yang, P. C. Persistence of a Multidrug-Resistant Pseudomoas aeruginosa Clone in an Intensive Care Burn Unit. J Clin Microbiol 1998;36(5):1347-1351
- Lavoie J, Dunkerley CJ, Kosatsky T, Dufresne A. Exposure to aerosolized bacterial and fungi among collectors of commercial, mixed residential, recyclable and compostable waste. Sci Total Environ 2006;370(1):23-28
- Mui, K.W., Wong, L.T., Hui, P.S. Risks of unsatisfactory airborne bacteria level in air-conditioned offices of subtropical climates. Build Environ 2008;43: 475-479
- National Institute for Occupational Safety and Health(NIOSH), NIOSH Manual of Analytical Methods. 4th edition, DHHS Publication, 1994; 94-113
- Rusca, S., C. N., D. P., O. A. : Effects of bioaerosol exposure on work-related symptoms among Swiss sawmill workers. Int Arch Occup Environ Health 2007; 1: 12-17
- Simmons, R. B., Price D. L., Noble, J. A., Crow, S. A., Ahearn D. G. : Fungal colonization of air filters from hospital. Am Ind Hyg Assoc J 1997; 58: 900-904
- Tsai, M. Y., Liu, H. M. : Exposure to culturable airborne bioaerosols during noodle manufacturing in central Taiwan. Sci Total Environ. Doi, 2008 ;10: 1016
- U.S. EPA, Interim Indoor Radon and Radon Decay Product Measurement Protocols, 1986;520:1-86-04
- World Health Organization (WHO). : Indoor air quality-biological contaminants . Report on a WHO meeting, WHO Regional Publications European series No. 31, WHO, Copenhagen, Denmark, 1988.