한국환경보건학회지, 제42권 제1호(2016)
J Environ Health Sci. 2016; 42(1): 19-26
pISSN: 1738-4087 eISSN: 2233-8616
http://dx.doi.org/10.5668/JEHS.2016.42.1.19
원 저 Original articles

미생물 실험실에서의 부유 곰팡이 농도의 계절별 변이와 환경영향

황성호* · 홍순열* · 석지원** · 윤충식**,***†
*국립암센터 암예방사업과
**서울대학교 보건환경연구소
***서울대학교보건대학원 환경보건학과

Seasonal and Environmental Influences on Culturable Airborne Fungi Levels in Microbiology Laboratories

Sung Ho Hwang*, Sun Yeol Hong*, Ji Won Seok, and Chung Sik Yoon**,***†**
**National Cancer Center, Cancer Risk Appraisal & Prevention Branch*
***Institute of Health and Environment, School of Public Health, Seoul National University*
****Department of Environmental Health, Graduate School of Public Health, Seoul National University*

ABSTRACT

Objectives: This study aimed to assess temporal changes in the level of culturable airborne fungi (CAF) in three microbiology laboratories and determine the environmental factors associated with CAF level.

Methods: CAF levels were determined once per month from March 2011 to February 2012 in three microbiology laboratories. An Andersen one-stage sampler was used for five minutes, three times per day to collect the CAF. Arithmetic means of CAF concentrations and standard deviation (SD) were calculated. A Mann-Whitney test was applied to compare the differences between environmental factors such as divided room by structure of laboratory, use of humidifier, and use of air-conditioner. Correlation analysis was also applied to identify the association between CAF concentrations and environmental factors.

Results: CAF levels demonstrated an increasing tendency in summer, and the three laboratories showed consistent seasonal patterns. Temperature and relative humidity (RH) were associated with CAF levels. When the humidifier was off, CAF concentrations were significantly higher in study rooms than in study rooms in which the humidifier was on.

Conclusion: CAF levels in indoor microbiology laboratories varied greatly depending upon the temperature and RH and whether a humidifier was used.

Keywords: Culturable airborne fungi, humidifier, monthly changes, relative humidity, temperature

I. 서 론

가정이나 직업 환경과 같은 다양한 실내 환경에서 대부분의 사람들이 지내기 때문에 실내환경 중의 공기 질은 건강영향에 중요한 요소이다.[1] 실내환경에는 미세먼지, 휘발성유기화합물, 라돈, 포름알데히드 등 다양한 오염물질들이 존재하지만, 그 중에서도 부유 미생물은 병원체 균을 포함한 박테리아 및 엔도톡신, 곰팡이 독소인 마이코톡신, 꽃가루 및 바이러스 등으로 구별되어 실내환경 오염

†**Corresponding author:** Department of Environmental Health, Graduate School of Public Health, Seoul National University, Tel: 82-2-880-2734, Fax : 82-2-745-9104, E-mail: csyoon@snu.ac.kr
Received: 27 October 2015, Revised: 12 February 2016, Accepted: 16 February 2016

Table 1. The characteristics of environmental factors in the three microbial laboratories

	Laboratory A	Laboratory B	Laboratory C
Volume (m^3) (Area × Height)	380 (146 × 2.6)	393 (151 × 2.6)	390 (151 × 2.6)
Temperature (℃) (Mean ± SD)	23.6 ± 2.4	24.2 ± 2.5	24.5 ± 1.4
RH (%) (Mean ± SD)	37.7 ± 20.5	34.3 ± 18.3	35.7 ± 18.2
Experiment	Production of amino acid with microorganism	Production of amino acid with microorganism	Waste purification with microorganism

의 원인이 될 수 있다. 이러한 부유 미세 (<1 mm) 입자 및 초미세 (<0.1 mm) 입자상 크기의 미생물의 노출은 폐질환과 두통 및 알레르기를 유발하는 것으로 알려져 있고 공기 중 높은 곰팡이 농도는 기도염증 및 호흡기 증후군과 같은 건강영향을 미치는 것으로 알려져 있다.[2,4] 실제로 Penicillium은 감염성 폐질환의 건강영향을 일으키며, Aspergillus는 재채기, 호흡곤란, 천식의 악화에 영향을 주고, Aspergillus에서 생성되는 Aflatoxine B1은 발암성 물질이다. Cladosporium역시 알레르기 유발물질로 알려져 있다.[5,6]

다양한 실내 환경 중에서도 대학교 실험실은 대학생, 대학원생의 교육 및 실습뿐 아니라 연구 수행을 위한 다양한 실험이 이루어지는 장소로 이공계 대학원생과 연구원들에게는 하루 일과의 대부분을 보내는 주요 생활공간이다. 또한 생명공학 분야 및 미생물과 관련된 일을 하는 종사자들은 다른 직종의 종사자들보다 직접적으로 미생물에 노출될 가능성 또한 배제할 수 없다. 하지만, 미생물 실험실에서 부유 곰팡이의 노출평가 연구는 제한적이고 일시적이다.[6] 미생물 실험실에서는 곰팡이를 비롯한 외부 미생물로부터의 오염을 차단하기 위하여 노력하는데. 이것이 미생물 실험실을 대상으로 한 곰팡이 연구가 제한적인 이유일 것이다. 따라서, 장기적인 노출평가를 통해 미생물실험실의 월별, 계절별 분포 특성을 평가하고 부유 곰팡이의 농도와 농도에 영향을 미치는 환경인자를 밝혀내는 것이 중요하다. 기존의 실내환경 중 부유 곰팡이 월별 계절별 특징은 집안 실내에서 여름과 가을에 농도가 높게 나타난 연구가 있는 반면, 겨울에 유의하게 높게 나타나는 연구도 있어 계절별에 따른 영향이 연구마다 차이가 있는 것으로 나타났다.[7,8] 부유 곰팡이 농도에 영향을 미치는 실내환경 인자로는 온도, 습도, 부적절한 환기 및 사람들의 활동 등이 있었지만,[9-16] 실험실 환경에서의 월별, 계절별 특징과 농도에 영향을 미치는 환경인자에 대한 연구는 없었다.

따라서 본 연구의 목적은 3곳의 미생물실험실에서의 부유 곰팡이 농도의 월별 계절별 분포 특성 및 환경요소 (온도, 상대습도, CO_2, 조도, 실험실 사람들의 인원, 사람의 활동성)들의 상관성을 분석하여 농도 영향요인을 평가하는 것이다.

II. 연구방법

1. 실험실 특징과 환경요소

본 연구는 2011년 3월부터 2012년 2월 1년 간 214개의 부유 곰팡이 시료를 서울에 소재하는 대학교의 3개 미생물 실험실에서 측정하였다. Table 1은 측정대상 3개 미생물실험의 특징으로 한 실험실이 칸막이 벽면 양쪽으로 실험을 하는 실험실과 연구를 하는 연구실로 구분이 되어있다. 각 실험실과 연구실은 에어컨이 설치되어 있고, 가습기는 연구실에만 설치가 되어 있었다.

2. 시료채취 및 배양

28.3 l/min의 유량으로 보정된 Andersen one-stage sampler (Quick Take 30, SKC Inc, USA)를 사용하였다. 시료채취는 시료채취 위치에서 5분 동안 각각의 위치에서 입구쪽만을 제외하고 3번씩 반복 채취하였으며, 시료 채취 전에는 알코올솜으로 Sampler 내부를 소독처리 후 멸균된 배지를 sampler에 장착하였다. 배지는 진균 집락을 성장시킬 수 있는 Sabouraud Dextrose Agar(SDA)에 세균 증식

Table 2. Monthly concentrations of CAF in three microbial laboratories

Months	CAF (CFU/m^3)								
	Lab. A			Lab. B			Lab. C		
	N	Mean(SD[a])	Range	N	Mean(SD)	Range	N	Mean(SD)	Range
Jan.	6	15 (12)	ND[b] - 35	6	25 (37)	ND - 106	6	5 (5)	ND - 14
Feb.	6	13 (7)	7 - 28	6	5 (8)	ND - 21	6	21 (24)	ND - 71
Mar.	6	18 (25)	ND - 57	6	11 (8)	ND - 21	5	30 (37)	ND - 101
Apr.	6	12 (10)	ND - 28	6	104 (19)	71 - 123	6	14 (11)	ND - 35
May	6	244 (106)	108 - 402	6	81 (50)	14 - 167	6	23 (30)	ND - 86
Jun.	6	1111 (504)	553 - 2165	6	1955 (1319)	370 - 4621	6	1309 (690)	476 - 2625
Jul.	6	178 (186)	42 - 570	6	240 (144)	57 - 402	5	80 (76)	14 - 228
Aug.	6	126 (115)	21 - 341	6	131 (70)	57 - 247	6	147 (206)	21 - 596
Sept.	5	63 (51)	ND - 145	6	67 (63)	14 - 198	6	77 (44)	7 - 153
Oct.	6	101 (81)	14 - 251	6	44 (13)	21 - 57	6	57 (28)	14 - 101
Nov.	6	93 (81)	7 - 251	6	65 (23)	35 - 106	6	62 (32)	14 - 123
Dec.	6	14 (16)	ND - 42	6	37 (20)	14 - 64	6	18 (11)	ND - 28
Total	71	167 (340)	ND -2165	72	230 (650)	ND - 4621	71	154 (411)	71 - 5823

[a]; Standard deviation [b]; Not detected

억제를 막기 위해 첨가(Chloramphenicol)된 SDAc를 사용 하였다. 채취가 완료된 배지는 35°C에 서 72시간 동안Incubator에서 배양시킨 후, 집락(Colony) 수를 개수하여 공기 중 단위 용량당 집락 수를 보정 계산하여 농도(CFU/m^3)를 나타냈다.[6] 시료의 오염과 오차를 방지하기 위해 전체시료의 10 %는 공시료를 사용하였다. 시료채취 시간 동안 온도, 습도, CO2, CO, 공기유량은 Velocicalc Air Velocity Meter (Model 9555 Series, TSI)를 이용하여 측정하였고, 조도측정은 조도계(Model IM-2D, Topcon Co., Japan)를 이용하여 측정하였다. 사람들의 인원은 시료채취를 하는 동안 실험실에 있는 사람 수를 세었고, 사람들의 활동 수는 시료채취를 하는 동안 시료채취 샘플러 주위를 지나다니는 횟수를 세었다. 즉, 시료채취 시간 동안 샘플러를 한번 지나갈 때를 1회로 세었다.

3. 통계분석

통계분석은SPSS package (version 19.0)프로그램을 사용하였다. Shapiro-Wilk test 결과 정규 분포 및 대수정규분포를 나타내지 않아 모든 통계분석은 비모수 방법을 이용하여 산술평균으로 나타내었다. 부유진균 농도와 환경인자간에 상관성을 알아보기 위해 Spearman test 분석법을 적용하여 통계적 상관성을 검정하였고, 실험실과 연구실, 가습기 사용여부 및 에어컨 사용여부에 따른 유의성을 검정을 위해 Mann-Whitney 분석방법을 사용하였다.

III. 연구결과

Table 2는 매달 측정된 미생물학 실험실 3곳의 CAF 농도분포를 나타낸 것이다. 농도의 결과는 Shapiro-Wilk test 결과 비정규분포로 나타났고, 대수정규분포로도 나타내지 않아 산술평균으로 나타내었다. 3곳의 미생물학 실험실의 1년 동안의 부유 곰팡이 농도는 ND(불검출) - 5823 CFU/m^3(산술평균) 범위였다. 가장 높은 곰팡이 평균농도는 6월달로 실험실 C (1309 CFU/m^3)와 실험실 B (1162 CFU/m^3) 그리고 실험실 A (111 CFU/m^3) 순으로 높게 나타난 반면, 가장 낮은 곰팡이 평균농도는 1월 실험실 C(5 CFU/m^3), 2월 실험실 B (5 CFU/m^3), 실험실 C (15 CFU/m^3)순으로 나타났다.

부유 곰팡이 농도의 계절별 차이를 보여주기 위해 월별과 계절별로 나누었다: Fig. 1은 월별(a) 및 계절별(c)에 따른 곰팡이 농도와 온습도 분포(b)이다. 실험실 A와B의 부유 곰팡이의 농도는 봄에서 여름으로 바뀌는 시기에 급격히 증가하고 여름에서 가을로 바뀌는 시기에는 급격하게 감소하는 농도 변화를

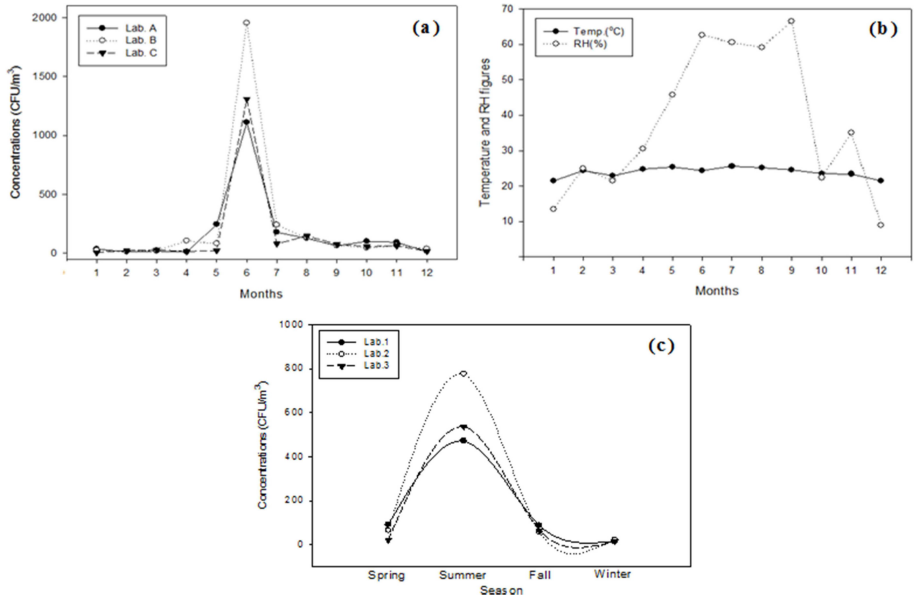

Fig. 1. Monthly(a) and seasonal(c) changes with temperature and relative humidity(b) in concentrations of CAF in microbiology laboratories

Table 3. Spearman correlation analysis between CAF and environmental factors in the three microbial laboratories

	Conc.	Temperature	RH	CO_2	Illumination	Wind velocity	No. of people	Activity of people
Conc.	1.000							
Temperature	0.191**	1.000						
RH	0.651**	0.365**	1.000					
CO_2	0.070	0.332**	0.319**	1.000				
Illumination	-0.028	0.034	-0.044	-0.129	1.000			
Wind velocity	0.102	0.032	0.274**	0.155*	-0.148*	1.000		
No. of people	-0.003	0.159*	0.002	0.163*	-0.323**	0.219**	1.000	
Activity of people	0.117	0.098	0.196**	0.138	-0.270**	0.114	0.317**	1.000

*: $p < 0.05$, **: $p < 0.001$

나타내었다. 이러한 결과는 3개 실험실 모두 유사한 경향을 보였다.

Spearman correlation 분석은 곰팡이 농도와 온도, 상대습도, 인원, 사람의 활동성 사이의 관계를 확인하기 위해 수행되었다. 곰팡이 농도와 온도 ($r = 0.191$, $p < 0.001$), 상대습도 ($r = 0.651$, $p < 0.001$)는 유의한 상관성이 있었지만, CO_2($r = 0.070$, $p > 0.05$), 조도($r = -0.028$, $p > 0.05$), 공기유량($r = 0.102$, $p > 0.05$), 인원 ($r = -0.003$, $p > 0.05$), 사람의 활동성 (0.117, $p > 0.05$) 사이에는 유의한 상관성이 나타나지 않았다.

Table 4는 실험실 내부의 위치와 농도 변화에 영향을 미칠 것으로 추정되는 요인에 따른 곰팡이 농도이다. 각각의 그룹은 실험실과 연구실, 가습기 가동여부에 따른 실험실과 연구실, 가습기 가동여부에 따른 연구실, 가습기 가동 시의 실험실과 연구실, 에어컨 가동여부로 구분하여 각 그룹 간의 농도를 비교하였다. 부유 곰팡이 농도는 실험실이 연구실 보다 높았고 가습기를 가동을 하지 않았을 때가 가동하였을 때보다 실험실이 연구실 보다 높았다. 가습기 가동여부에 따라 연구실만 비교한 결과, 가습기를 가동하지 않은 연구실이 가동한 연구실 보다 유의하게 높

Table 4. Comparisons of CAF concentrations between the categorized groups by the environmental factors of the three microbial laboratories

	Categorized groups	No. of sample	CAF levels (EU/m^3) Mean±SD [b]	Min	Median	Max	*p*-value
[a] Type of room	Laboratory room	107	200±549	ND [b]	53	4621	
	Study room	107	169±422	ND	52	2625	> 0.05
	Total	214	185±486	ND	42	4621	
Humidifier	Off	201	194±502	ND	52	4621	
	On	13	33±39	ND	48	2625	> 0.05
	Total	214	114±271	ND	49	4621	
Humidifier	Off in study room	97	184 ±440	ND	101	4621	
	On in study room	10	23±35	ND	4	108	< 0.05
	Total	214	104±238	ND	42	4621	
Humidifier off	Laboratory room	107	200±549	ND	50	2625	
	Study room	97	184±440	ND	8	101	> 0.05
	Total	204	192±495	ND	42	2625	
Air-conditioner	Off	65	117±303	ND	31	2165	
	On	122	248±601	ND	62	4621	> 0.05
	Total	187	183±452	ND	42	4621	

[a]; These laboratories were divided by two spaces into laboratory room and study room [b]; Standard deviation [b]; Not detected

았고($p < 0.05$), 실험실이 연구실 보다 가습기를 가동하지 않은 상태에서 더 높은 농도를 나타내었지만 통계적으로 유의하지는 않았다. 또한 에어컨을 가동한 실험실이나 연구실이 가동하지 않은 곳보다 높았다.

IV. 고 찰

본 연구는 부유 곰팡이의 농도를 1년간 월별, 계절별에 따른 변화를 3개 미생물 실험실을 대상으로 측정하여 분포 특징과 농도에 영향을 미치는 환경적 요소 (온도, 상대습도, 인원과 사람의 활동성)를 조사한 연구이다. 3곳의 미생물실험실에서 측정된 214개의 시료 중 14개 시료(6.5%)에서 환경부 권고기준인 800 CFU/m^3(부유 곰팡이에 대한 권고기준이 없어 부유세균 권고기준 적용)을 초과하였다.[17] Indoor Air Quality Association (IAQA)는 일반적으로 실내 곰팡이를 300 CFU/m^3 이하로 제한하는 것을 권고한다. 본 연구에서 조사된 3개 미생물실험실에서의 곰팡이의 전체 농도분포(ND -5823 CFU/m^3, 평균=184 CFU/m^3)를 기초로 하여 다른 직업환경 및 실내환경과 결과를 비교해 본 결과, 톱밥 공정, 사료제조 공장, 폐기물처리 공장, 종합병원 Main lobby 및 병원 실험실의 평균농도 분포가 89-156 CFU/m^3 로 본 연구보다 낮은 평균농도 분포를 나타내었다.[18-21] 반면에 주로 사람들이 많은 공공장소인 일반 사무실, 일부 지하철 역사, 지하상가 및 백화점의 평균농도 분포는 234-450 CFU/m^3 수준으로 모두 200 CFU/m^3 이상의 평균농도 수준을 보였다.[22-24]

실험실 A, B, C의 부유 곰팡이 농도는 모두 계절변화에 따라 유사한 경향을 나타내었다(Fig. 1). 이전 연구에 의하면 시카고 가정집에서의 실내 공기 중 미생물의 농도가 여름과 가을에 높았던 반면, 핀란드에서는 여름과 겨울 사이에 미생물 농도 차이가 유의하게 나타났다.[25,26] 집안 실내에서 수행된 다른 연구에서는 봄과 여름에 곰팡이 농도가 크게 감소하다가 가을에 증가하는 분포를 보였다.[27] 이 같은 불일치는 계절의 변화 자체보다는 부유 곰팡이 농도에 영향을 미칠 수 있는 다른 요인들 때문인 것으로 판단되었다. 환경인자의 영향을 확인하기 위해 수행된 Spearman correlation 분석은 곰팡이 농도와 온도, 상대습도와 유의한 상관성이 있는 것으로 나타났다. 특히, 3개 실험실 모두 여름철인 6월이 모두 농도가 높은 것으로 나타났는데, 이는 6월달 평균 실험실 온도(24.3°C)와 상대습도(63%)가 다른 월평균(온도 및 상대습도=23.8°C, 36%)보다 높았기 때문인 것으로 사료되었다. 온도는 일반적으로 미생물의 성장에 영향을 미치는 환경적인 요인으로 꼽힌다.[25] 이러한 온도와 상관성 결과는 이전의 많은 연구들과도 일치

했다.[9-12] 상대습도는 본 연구에서 부유 곰팡이 농도와 가장 상관성이 높은 환경요인 ($p < 0.001$, $r=0.65$)인 것으로 나타났다. 상대습도는 저온에서도 미생물 생장에 영향을 주는 것으로 알려져 있다.[29] 그러나, 비교적 낮은 상대습도 (< 60%)와 부유 곰팡이 농도 사이에서는 상관성이 나타나지 않았다.[22] CO_2, 조도, 실험실에 있는 사람 수와 사람의 활동성과 부유 곰팡이 농도와의 상관성 분석결과 유의한 상관성이 나타나지 않았지만, 지하철 역사의 승객과 부유 세균 농도 간에 유의한 상관성이 있는 것으로 보고 되었다.[13-16] 또한, 사람이 실내에 거주하는 것은 실내 미생물 농도수준과 밀접하게 연관이 있고, 미생물 포자는 뛰는 것, 걷는 것과 같은 실내 공기의 이동을 초래하는 인간 활동에 의해 재부유 되어 비산된다.[14,30]

가습기를 가동 전과 후로 구분하여 곰팡이 농도를 비교한 결과, 가습기를 가동 시켰을 때가 그렇지 않을 때 보다 곰팡이 농도가 낮게 나타났고, 연구실을 대상으로 비교하였을 때도 가동하였을 때가 더 낮은 곰팡이 농도를 나타내었다. 이러한 결과는 가습기 사용이 곰팡이의 증식을 억제하는 효과가 있는 것이 아니라 가습기를 사용할 정도로 실내가 건조하였기 때문인 것으로 판단 되었다. 실제로 가습기를 가동한 연구실의 상대습도는 23.6%로 가습기를 가동하지 않았을 때(38.3%)의 시기 보다 15%정도 낮게 나타났다. 즉, 가습기를 사용하여도 여전히 연구실의 상대습도는 낮은 상태였다는 것으로 상대습도가 높은 수록 부유 곰팡이의 농도가 높게 나타난 본 연구의 상관성 분석을 뒷받침하는 결과였다. 또한 곰팡이 농도는 에어컨이 꺼져있는 실험실들에 비해 가동 중인 실험실들에서 농도가 높은 것으로 관찰되었다. 이는 쾌적한 공기가 에어컨에서 나오지 않고 오염된 공기가 나올 수 있는 상황으로 판단되어 주기적인 청소 및 필터의 교체가 필요한 것으로 판단 되었다. 환기 시스템은 건물 외부로부터의 미생물을 차단하기 때문에 실내 부유 미생물 농도에 영향을 미치므로[31] 적절한 환기와 깨끗한 위생 상태는 오염 물질의 농도를 감소시키고, 미생물의 농도를 감소시킬 수 있다.[27] 하지만 부적절한 환기는 오염된 공기질의 주요 원인으로 알려져 있다.[32] 또한, 에어컨 시스템 내에서의 표면과 필터의 응결은 생물학적 오염물질의 발생원이 될 수 있다.[6]

본 연구는 부유 곰팡이 농도에 영향을 미치는 환경적 요인을 1년에 걸쳐 월별로 측정 평가한 연구로 몇 가지 제한점이 있다. 첫째, 높은 배양 온도이다. 부유 곰팡이의 성장을 위한 최적의 온도 범위는 25-30°C로 알려져 있지만, 본 연구에서의 곰팡이는 35°C에서 배양되었다. 둘째, 실험실의 접근성 및 측정허락 등의 문제로 3곳 미생물실험실에서 동시 측정을 실시 할 수 없었던 제한점이 있다. 셋째, 측정이 매월을 대표할 수 있을 만큼의 충분한 시료수가 아니어서 매월을 대표할 수가 없다. 마지막으로, 연구재원의 부족으로 부유 곰팡이의 동정(identify)을 할 수 없었다. 하지만 본 연구는 기존에 조사된 단편적인 노출평가로 그치지 않고 장기간 동안 부유 곰팡이의 노출농도를 월별, 계절별로 평가하여 곰팡이의 농도 분포의 주기를 알 수 있고, 이에 영향을 미치는 환경요인이 온습도라는 것을 나타내는 연구로 향후 관련 연구를 수행 시 근거가 되는 자료로 활용 될 수 있다.

V. 결 론

본 연구는 3곳의 미생물학 실험실에서 월별, 계절별로 부유 곰팡이의 농도와 온도, 상대습도, CO_2, 조도, 유량, 실험실의 인원, 사람의 활동성과 같은 환경 요인들을 측정 평가하였다. 부유 곰팡이 농도는 3개 실험실에서 계절의 변화의 따라 초여름인 6월에 가장 높은 농도를 나타내었고, 온도, 상대습도가 부유 곰팡이의 농도와 상관성이 있었다. 전체 부유 곰팡이 농도는 실험실이 연구실 보다 높았고, 가습기와 에어컨 사용여부에 따라 농도가 변하였다.

Acknowledgment

이 논문은 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2015R1C1A1A02037363)

References

1. Klepeis NE, Nelson WC, Ott WR, Robinson JP, Tsang AM, Switzer P, et al. The National Human Activity Pattern Survey (NHAPS): a resource for assessing exposure to environmental pollutants.

Journal of Expo Analysis Environmental Epidemiology. 2001; 11: 231-252.
2. Douwes J, Thome P, Pearce N, Heederik D. Bioaerosol health effect and exposure assessment: Progress and prospects. *The Annals of Occupational Hygiene.* 2003; 47(3): 187-200.
3. Dockery DW. Health effects of particulate air pollution. *Annals of Epidemiology.* 2009; 19: 257-263.
4. Mui KW, Wong LT, Hui PS. Risks of unsatisfactory airborne bacteria level in air-conditioned offices of subtropical climates. *Building Environmental.* 2008; 43: 475-479.
5. Desai MS, Ghosh S K. Aflatoxin related hazards among rice mill Workers. *Journal of Toxicology: Toxin Reviews.* 1989; 8 (1-2): 81-87.
6. American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). In: Macher, J., Ammann, H. A. Milton, D. K., Burge, H. A., Morey, P. R. (Eds.), Bioaerosols: Assessment and Control. American Conference of Governmental Industrial Hygienist, Cincinnati, Ohio; 1999
7. Moschandreas D, Pagilla KR, Storino LV. Time and space uniformity of indoor bacteria concentrations in Chicago area residences. *Aerosol Science Technology.* 2003; 37: 899-906.
8. Reponen T, Nevalainen A, Jantunen M, Pellikka M, Kalliokoski P. 19 Normal range criteria for indoor air bacteria and fungal spores in a subarctic climate. *Indoor Air.* 1992; 2: 26-31.
9. Guo H, Lee SC, Chan LY. Indoor air quality investigation at air-conditioned and non-air conditioned markets in Hong Kong. *Science of Total Environment.* 2004; 323: 87-98.
10. Jo WK and Seo YJ. Indoor and outdoor bioaerosol levels at recreation facilities, elementary schools, and homes. *Chemosphere*. 2005; 61: 1570-1579.
11. Hwang SH, Park DU, Ha KC, Cho HW, Yoon CS. Airborne bacteria concentrations and related factors at university laboratories, hospital diagnostic laboratories and a biowaste site. *Journal of Clinical Pathology.* 2011; 64: 261-264.
12. Hwang SH, Park WH, Ahn JK, Lee KJ, Min KB, Park JB. Relationship between culturable airborne bacteria concentrations and ventilation systems in underground subway stations in Seoul, South Korea. *Air Quality Atmosphere & Health*. 2015. DOI 10.1007/s11869-015-0316-9; 2015
13. Bogomolova E, Kirtsideli I. Airborne fungi in four stations of the St. Petersburg underground railway system. *International Biodeterioration & Biodegradation.* 2009; 63: 156-160.
14. Boudia N, Halley R, Kennedy G, Lambert J, Gareau L, Zayed J. Manganese concentrations in the air of the Montreal (Canada) subway in relation to surface automobile traffic density. *Science of The Total Environment.* 2006; 366: 143-147.
15. Cho JH, Hee Min K, Paik NW. Temporal variation of airborne fungi concentrations and related factors in subway stations in Seoul, Korea. *International Journal Hygiene and Environmental Health.* 2006; 209: 249-255.
16. Hwang SH and Park JB. Comparison of culturable airborne bacteria and related environmental factors at underground subway stations between 2006 and 2013. *Atmospheric Environment.* 2014; 84: 289-293.
17. Ministry of Environment of Korea. Indoor Air quality management in public facilities Indoor Air Quality Management Act Amendment; 2014
18. Rusca S, Charrière N, Droz PO, Oppliger A. Effects of bioaerosol exposure on work-related symptoms among Swiss sawmill workers. *International Archives of Occupational and Environmental Health.* 2008; 81(4): 415-421.
19. Lavoie J, Dunkerley CJ, Kosatsky T, Dufresne A. Exposure to aerosolized bacterial and fungi among collectors of commercial, mixed residential, recyclable and compostable waste. *Science Total Environmental.* 2006; 370 (1): 23-28.
20. Kim KY, Jeong YI, Kim CN, Won JU, Roh JH. Distribution of airborne microorganism in the feedstuff manufacture factory. *Journal of Korean Society of Occupational and Environmental Hygiene.* 2007; 17(4): 335-342.
21. Kim KY, Lee CR, Kim CN, Won JU, Roh JH. Size-based Characteristics of Airborne Bacteria and Fungi Distributed in the General Hospital. *Journal of Korean Society of Occupational and Environmental Hygiene.* 2006; 16(2): 109-109.
22. Kim KY, Roh YM, Kim YS, Lee CM, Sim IS. Profile of airborne microorganisms distributed in general offices. *Journal of Korean Society of Occupational and Environmental Hygiene.* 2008; 18(1): 11-19.
23. Cho JH, Paik NW. Assessment of Airborne Fungi Concentrations in Subway Stations in Seoul, Korea. *Journal of Environmental Health Sciences.* 2009; 35(6): 457-494.
24. Kim YS, Lee EG, Yup MJ, Kim KY. Distribtion and Classification of Indoor Concentration of Microorganisms in Public Buildings. *Journal of Environmental Health Sciences.* 2002; 28: 85-92.
25. Moschandreas D, Pagilla KR, Storino LV. Time and

space uniformity of indoor bacteria concentrations in Chicago area residences. *Aerosol Science Technology.* 2003; 37: 899-906.
26. Reponen T, Nevalainen A, Jantunen M, Pellikka M, Kalliokoski P. 19 Normal range criteria for indoor air bacteria and fungal spores in a subarctic climate. *Indoor Air.* 1992; 2: 26-31.
27. Frankel M, Beko G, Timm M, Gustavsen S, Hansen EW, Madsen AM. Seasonal variations of indoor microbial exposures and their relation to temperature, relative humidity, and air exchange rate. *Applied Environmental Microbiology.* 2012; 78(23): 8289-8297.
28. World Health Organization (WHO). WHO Guidelines for Indoor Air Quality: Dampness and Mould. WHO Regional Of fice for Europe, Scherfigsvej 8, DK-2100 Copenhagen Ø, Denmark; 2009
29. Tsai MY, Liu HM. Exposure to culturable airborne bioaerosols during noodle manufacturing in central Taiwan. *Science of The Total Environment*. 2009; 407: 1536-1546.
30. Scheff, PA, Paulius VK, Curtis L, Conroy LM. Indoor air quality in a middle school, Part II: Development of emission factors for particulate matter and bioaerosols. *Applied Occupational and Environmental Hygiene.* 2000; 15: 835-842.
31. Wu PO, Li YY, Chiang CM, Huang CY, Lee CC, Li FC, et al. Changing microbial concentrations are associated with ventilation performance in taiwan's air-conditioned office buildings. *Indoor Air.* 2005; 15(1): 19-26.
32. Fisk WJ, Mirer AG, Mendell MJ. Quantitative relationship of sick building syndrome symptoms with ventilation rates. *Indoor Air.* 2009; 19: 159-165.