

서울지하철 일부 역사 내 부유 곰팡이 농도 및 환경요인

황성호 · 안재경* · 박재범†

아주대학교 의과대학 직업환경의학교실

*표준환경시험연구원(주)

Concentrations of Airborne Fungi and Environmental Factors in the Subway Stations in Seoul, Korea

Sung Ho Hwang, Jae Kyoung Ahn*, and Jae Bum Park†

Department of Occupational and Environmental Medicine, Ajou University School of Medicine

*Research Institute of Standard for Environmental Testing

ABSTRACT

Objectives: We measured the concentrations of culturable airborne fungi(CAF) in enclosed environments at 16 underground subway stations of the Seoul Metro in 2013, and investigated the effect of environmental factors, including temperature, relative humidity, the number of passengers, and distance from the platform.

Methods: The cultured fungi were identified by the lactophenol cotton blue(LPCB) staining method and were classified by observing the form, shape, and color of colony. A nonparametric analysis was used to determine if the differences in the concentrations of CAF were statistically significant.

Results: The concentrations of CAF at the stations were the highest in station p(367 CFU/m³) with arange between 3 and 437 CFU/m³. There was a significant correlation between CAF concentration and the distance from platform($r = 0.544, p < 0.01$). *Geotrichum* spp. and *Penicillium* spp. were the predominant species.

Conclusion: It is recommended that special attention be given during rush hour, which is in the morning(08:00-10:00) and in the early evening(18:00-19:00) to improve the indoor air quality of the subway stations.

Keywords: Culturable airborne fungi, Environmental factors, Number of passengers, Subway station, Temporal variation

I. 서 론

많은 사람들로 밀집된 공공 장소에서 부유하는 미생물의 자연적인 발생은 실내공기 질과 건강상 장애의 원인이 될 수 있기 때문에 환경보건학적으로 중요하다.¹⁾ 이러한 대표적인 장소로는 대중 교통 수단으로 많이 이용하는 지하철 환경을 포함 할 수 있다. 지하철은 2012년까지 전세계적으로160개 이상

의 도시에서 대중 교통 수단으로 많이 이용되고 있다. 그러므로 이러한 지하철의 실내공기 질에 대한 연구는 중요하다. 하지만 지하철 환경에서의 공기 질 관리는 미흡 또는 부적절한 환기시스템으로 인해 관리가 필요하다.²⁾ 실내 공기질 오염원으로는 미세먼지를 포함해 많은 유해물질들이 있지만 그 중에서도 빼놓을 수 없는 것이 생물학적 인자이다.

생물학적 인자 중 대표적인 오염원인 곰팡이는 크

†Corresponding author: Department of Occupational and Environmental Medicine, Ajou University, School of Medicine, San 5, Woncheon-dong, Yeongtong-gu, Suwon 443-721, South Korea, Tel: +82-31-219-5295, Fax: +82-31-219-5294, E-mail: jbpark@ajou.ac.kr

Received: 5 March 2014, Revised: 2 April 2014, Accepted: 25 April 2014

계 감염성 질환(피부, 손톱, 머리카락, 점막)과 과민성 질환(과민성 폐렴)을 일으킬 수 있고 그 밖에도 진균 독소, 글루칸, 미생물이 발생시키는 휘발성 유기화합물 등은 그 자체가 독성이 있다.^{3,4)} 곰팡이 중에서도 *Penicillium* spp.는 폐렴, 요로감염, 진균증, 과민성 폐렴⁴⁾ 등을 일으키는 것으로 알려져 있고, *Aspergillus* spp.는 재채기, 숨가쁨, 천식의 악화 등을 유발한다.^{5,6)}

최근 실내환경 중 부유 곰팡이에 관한 연구는 대학실험실^{7,8)}과 병원⁹⁾ 및 지하철 환경^{10,11)}에 대한 농도 평가 및 환경인자에 대한 조사연구는 있지만, 영향인자가 부유 곰팡이 농도분포에 미치는 영향을 나타낸 결과를 근거로 고찰한 연구는 없었다. 따라서 본 연구의 목적은 서울지하철(Seoul Metro) 역사에서의 부유 곰팡이의 농도를 시간대별로 측정하고 부유 곰팡이 농도에 영향을 미칠 수 있는 인자(온도, 습도, 역사 깊이, 설치년도, 지하철 출입문과 승강장 사이의 간격거리)들은 조사하여 나타난 결과를 평가하는 것이다.

II. 연구방법

1. 연구대상 및 특성

본 연구는 서울지하철 역사 16곳을 대상으로 하였고, 역사의 호선은 2호선 5곳(환승 4곳), 3호선 5곳(환승 3곳), 4호선 6곳(환승 3곳)이다. 측정시기는 2013년 봄(5월-6월) 16곳의 지하철 역사 중앙 승강장 벤치 상부 1m~1.5m 지점에서 역사마다 2회 각각 60분씩 측정하여 32개의 시료를 측정하였다. 16개 역사의 선정기준은 서울지하철에 포함된 호선이 1-4호선까지이고 이 중에서도 2-4호선이 가장 서울지하철의 중심으로 판단되었기 때문이다. 측정시간은 오전, 오후, 저녁 시간대(8:00 am - 19:00 pm)로 구분하여 측정하였다.

2. 연구방법

1) 시료채취 및 배양

2 l/min의 유량으로 보정한 펌프 (Escort LC Pump, Mine Safety Appliances Company (MSA), Pittsburgh, PA, USA)에 polycarbonate membrane filters (0.4 µm pore, 37-mm diameter; Nuclepore Corp., Cambridge, MA, USA)를 장착하여 시료를 채취하였다.

채취한 시료는 24시간 이내로 분석실험실로 옮겨져 배양을 위한 전처리를 실시하였다.

배지는 곰팡이 집락만을 성장할 수 있도록 Chloramphenicol이 첨가된 Sabouraud Dextrose Agar (SDA)를 사용하였고, 채취가 완료된 배지는 25에서 48시간 동안 Incubator에서 배양시킨 후, 집락 (Colony)수를 개수하여 공기 중 단위 용량당 집락수를 보정계산하여 농도(CFU/m³)를 나타내었다. 시료채취 시간 동안 온도와 습도는 15분 간격으로 4번 측정하여 1시간 동안 측정하여 4번의 평균값으로 나타내었다. 시간대별 지하철 승객수 자료는 서울메트로 홈페이지에 게시된 자료를 참조하였다(<http://www.seoulmetro.co.kr/main.action>). 시료의 검출한계는 3 colony-forming units(CFU)/m³으로 나타내었다.

2) 곰팡이의 동정

부유곰팡이배양을 위하여 순수분리 배양된 SDA 배지는 동정 전문가에 의해 집락의 형태로 관찰하였으며 필요에 따라 슬라이드배양을 통해 균사와 포자 형성 등을 lactophenol cotton blue(LPCB) 염색을 통해 형태학적 동정을 실시하였다. 필요에 따라 새로운 SDA 배지에 순수 분리 배양하였으며 3주간 관찰하여 배양되지 않았으면 배양되지 않은 것으로 판단하였다. LPCB 염색을 통해 균사만 관찰되고 포자형태가 보이지 않은 경우는 Unidentified 곰팡이로 분류하였다.

3. 통계분석

통계분석은 SPSS package(version 17.0)프로그램을 사용하였다. Shapiro-Wilk test 결과 비정규분포를 나타내어 모든 통계분석은 비모수 방법을 이용하여 수행하였다. 지하철 2,3,4호선에 따른 부유곰팡이 농도 차이와 환경인자간에 상관성을 알아보기 위해 Kruskal-Wallis H검증과 Spearman test 분석법을 각각 적용하여 통계적 상관성을 검증하였고, 환경인자간에 가장 부유곰팡이 농도에 영향을 많이 미치는 인자를 알아보기 위해 다중회귀 분석방법을 사용하였다.

III. 연구결과

1. 지하철 역사별 특징 및 농도분포

서울지하철 역사에서 조사된 일반적인 특징은 Table 1과 같다. 지하철 역사별 농도 및 온습도 분포를 살

Table 1. General characteristics of the underground subway stations

Stations	Sampling duration	Transfer	Depth (m)	Construction year	No. of Passengers	Platform distance (m)
a	08:00-09:00	No	37.2	1994	303	3.5
b	09:00-10:00	Yes	13.9	1983	5884	7.7
c	09:43-10:43	Yes	21.0	1984	4302	4.5
d	09:53-10:53	Yes	26.9	1993	409	3.5
e	10:34-11:34	Yes	21.6	1996	930	3.5
f	13:00-14:00	Yes	22.4	1985	1916	NA ^a
g	14:02-15:02	No	15.1	1985	1508	5.6
h	14:11-15:11	No	17.6	1985	3832	5.6
i	14:18-15:18	Yes	16.4	1984	1192	5.2
j	14:20-15:20	Yes	25.1	1993	1138	NA
k	15:31-16:31	No	25.4	1993	841	3.5
l	15:31-16:31	No	19.6	1985	4999	5.5
m	17:04-18:04	No	11.9	1984	8529	4.2
n	17:10-18:10	Yes	15.3	1983	1945	5.6
o	17:10-18:10	Yes	23.2	1985	5619	5.2
p	18:01-19:01	No	12.3	1974	2237	6.3

^aNA; not applicated

Table 2. CAF concentrations and average value of environmental factors on the underground stations.

Stations	No. of Samples	CAF concentration (CFU/m ³)			Temp. ± SD (°C)	R.H. ± SD (%)
		Mean	SD	Median		
a	2	75	105.4	76	20.7 ± 0.9	39.2 ± 1.9
b	2	414	1.0	414	26.2 ± 0.5	42.0 ± 0.6
c	2	3	1.0	3	25.1 ± 0.2	39.5 ± 1.0
d	2	3	1.0	3	21.2 ± 0.9	47.6 ± 0.5
e	2	62	87.7	64	24.7 ± 1.4	56.4 ± 2.6
f	2	201	94.0	201	26.2 ± 0.5	42.0 ± 0.6
g	2	124	1.0	124	29.0 ± 0.1	49.4 ± 1.8
h	2	139	1.0	139	27.9 ± 0.1	61.6 ± 0.1
i	2	3	1.0	3	28.1 ± 0.0	47.9 ± 0.5
j	2	67	94.0	68	23.1 ± 0.2	39.2 ± 1.0
k	2	133	1.0	133	24.0 ± 0.1	39.7 ± 2.5
l	2	70	99.0	72	25.2 ± 0.1	27.8 ± 0.8
m	2	62	87.7	64	30.5 ± 0.5	59.0 ± 0.8
n	2	3	1.0	3	24.4 ± 0.3	26.9 ± 0.3
o	2	3	1.0	3	28.7 ± 0.2	50.9 ± 1.7
p	2	367	99.0	367	27.3 ± 0.5	26.6 ± 1.2

펴보면, b 역사에서의 평균 농도가 414 CFU/m³로 가장 높게 나타났고, 그 다음으로 평균 농도가 높게

나타난 역사는 p 역사였다(367 CFU/m³). 반면에, c,d,i,n,o 역사들에서 평균 농도가 3 CFU/m³로 가장

Table 3. CAF concentrations and identification by platform lines on the underground stations.

Platform line	No. of Samples	CAF concentration (CFU/m ³) ^a			Temp. ± SD (°C)	R.H. ± SD (%)	Identification
		Mean	SD	Median			
2	10	108	169.2	62	26.9 ± 2.4	49.0 ± 8.6	<i>Cladosporium</i> spp.(2), <i>Geotrichum</i> spp.(4), <i>Penicillium</i> spp.(1), Unidentified(2)
3	10	113	150.5	67	24.0 ± 2.3	36.0 ± 9.1	<i>Aspergillus fumigatus</i> (1), <i>Penicillium</i> spp.(4), <i>Geotrichum</i> spp.(2), No growth(1)
4	12	101	83.8	99	26.3 ± 3.1	45.2 ± 11.6	<i>Aspergillus fumigatus</i> (3), <i>Penicillium chrysogenum</i> (1), <i>Cladosporium</i> spp.(2) Unidentified(1)
Total	32	107	49.0	67	25.8 ± 2.8	43.5 ± 10.8	

^a: $p > 0.05$

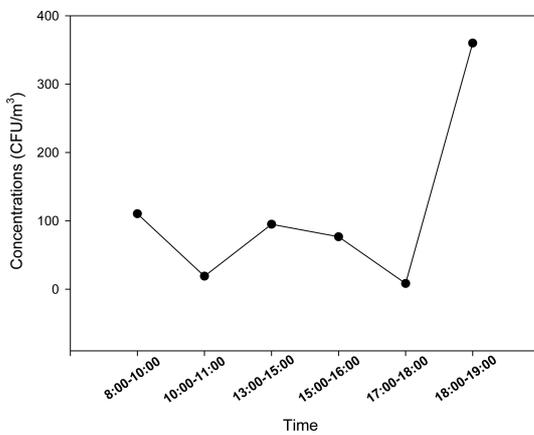


Fig. 1. Temporal variation of CAF concentration in the underground subway stations.

낮게 나타났다. 측정 시간동안의 온도는 전체평균이 25.8°C 였고, 역사별 평균온도 범위는 20.7-30.5°C 였다. 상대습도는 전체평균이 43.5% 였고, 역사별 평균상대습도 범위는 26.6-61.6% 였다(Table 2).

2. 지하철 호선에 따른 부유곰팡이 농도와 동정결과

부유곰팡이 농도는 지하철 2,3,4호선에 따른 유의한 차이는 없었지만 3호선이 다른 호선에 비해 113 CFU/m³로 높은 수준이었다(Table 3). 2, 3호선에서는 *Geotrichum* spp.와 *Penicillium* spp.가 각각 4개, 4호선에서는 *Aspergillus fumigates*가 3개로 가장 우점종균인 것으로 나타났다.

3. 시간대별 부유 진균농도 분포

Fig. 1은 지하철 역사에서 시간대별로 부유진균 농

도를 구분하여 나타낸 것이다. 오후 17시부터 18시까지 측정된 역사에서 기하평균 진균 농도가 360 CFU/m³로 가장 높게 나타났고, 다음으로 오전 08시부터 10시까지 측정된 역사에서 기하평균 진균 농도가 110 CFU/m³로 높게 나타났다. 반면에 오후 17시부터 18시까지 측정된 역사에서 기하평균 진균 농도가 8 CFU/m³로 가장 낮게 나타났다. 시간대별 농도간의 통계적으로 유의한 차이는 없었다($p > 0.05$).

4. 부유곰팡이 농도와 환경요인과의 상관분석 및 다중회귀분석

Table 4는 지하철 역사에서의 부유곰팡이 농도와 관련 환경요인(온도, 습도, 역사깊이, 건설년도, 승객수, 승강장 간격)과의 개별 상관관계를 분석한 것이다. 곰팡이 농도는 환경요인들 중에서 승강장 간격과 유의한 상관성을 보였지만($p < 0.05$, $r = 0.442$), 다른 환경요인(온도, 습도, 역사 깊이, 건설년도)과는 유의한 상관성을 보이지 않았다($p > 0.05$). 상관분석에서 사용된 환경요인을 모두 포함하여 다중회귀분석 결과도 승강장 간격이 다른 환경요인들 보다 통계적으로 높은 회귀분석결과를 나타내었다(Coefficient = 0.726, $p < 0.05$).

5. 동정

16곳의 지하철 역사에 동정된 균은 *Geotrichum* spp.(26), *Penicillium* spp.(22), *Aspergillus fumigatus* (17), *Cladosporium* spp.(17), Unidentified(13), *Penicillium chrysogenum*(4)이 동정되었다. 그 중에서도 *Geotrichum* spp.와 *Penicillium* spp. 이 지하철 역사에서 다른 곰팡이 균들에 비해 많은 분포를 나타

Table 4. Spearman's correlation coefficients for CAF concentration and environmental factors.

	Conc.	Temp.	R.H	Construction year	Depth	No.of passengers	Platform distance
Conc.	1.000	0.108	-0.136	-0.173	-0.240	0.108	0.442*
Temp.		1.000	0.529**	-0.524**	-0.712**	0.704**	0.481**
R. H.			1.000	0.225	-0.093	0.089	-0.194
Construction year				1.000	0.812**	-0.721**	-0.761**
Depth					1.000	-0.718**	-0.590**
No.of passengers						1.000	0.589**
Platform distance							1.000

*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$, N = 32

내었고, 다음으로 *Aspergillus fumigatus*, *Cladosporium* spp., *Penicillium chrysogenum* 순으로 나타났다.

IV. 고 찰

현재까지 국내 실내공기질 관리법에는 부유곰팡이에 대한 권고기준은 제시하고 있지만 부유 곰팡이에 대한 노출기준은 없다. 반면 국외 실내공기질 협회 (Indoor Air Quality Association)에서는 300 CFU/m³미만을 기준으로 제안하고 있다.¹²⁾ 본 연구에 측정된 지하철 역사에서의 부유곰팡이 농도를 실내공기질 협회 기준에 적용해 볼 때 전체 16개 지하철 역사 중에서 2개 역사(12.5%)에서 300 CFU/m³ 이상을 초과하는 것으로 나타났다. 국외 지하철 환경에서의 부유곰팡이 노출평가 연구는 일본, 미국, 이집트, 이란 등 여러 나라의 지하철 환경에서 수행이 되었다. 나라별 주요 농도 분포로는 일본 도쿄 지하철에서 평균 486 CFU/m³, 이집트 지하철의 2개 역에서 800 CFU/m³ 이상 노출, 미국 St. Petersburg 지하철에서 864 CFU/m³로 보고 되었다. 국내 지하철 환경 연구로는 Cho 등과 Kim 등의 연구가 있다.^{10,11)} Cho 등의 연구에서는 봄철 서울시 5개 지하철역 승강장을 대상으로 부유곰팡이 농도를 평가하였으며 평균 값이 1,023 CFU/m³를 나타내어 실내공기질 협회의 기준 뿐만 아니라 미국 노동성 산업안전보건청(U.S. Occupational Safety and Health Administration, OSHA) 기준인 1,000 CFU/m³를 초과 하였다.¹³⁾ 이후 몇 년이 지난 Cho 등의 연구에서는 지하철역이 466 CFU/m³로 나타났고, Kim 등의 연구에서는 105 CFU/m³로 나타났다.^{10,11)} 이와 같이 같은 지하철

역사에서 측정을 하였음에도 불구하고 농도간에 차이가 나는 가장 큰 이유는 측정 시기와 시간대 및 지하철 역사가 다르다는 것이다. 지하철 역사에서 부유 진균 농도에 영향을 미치는 또 다른 원인은 역사마다 다른 승객들의 유동 인구의 차이이다. 이는 Cho 등의 연구에서 승객 수가 증가할수록 부유곰팡이의 농도도 같이 증가하는 유의한 상관관계($r = 0.86$, $p < 0.01$)를 보면 알 수 있다.¹⁰⁾ 이렇게 승객과 부유곰팡이가 상관성을 나타내는 이유는 부유곰팡이의 발생원인이 온도 및 습도와 같이 환경적인 영향만이 아니라 사람들이 이동하면서 옷이나 머리카락에 있던 미생물들이 공기 중으로 부유하여 발생하는 인위적인 영향도 있기 때문이다.¹⁴⁾ 하지만 본 연구에서는 상관분석 결과 유동인구와 부유곰팡이와의 유의한 상관성은 나타나지 않았다. 이러한 이유는 상대적으로 적은 시료수의 문제인 것으로 생각되었다. 그러므로 지하철 환경에서 부유곰팡이의 정확한 농도수준을 비교 평가하기 위해서는 기존에 측정된 지하철 역사와 같은 조건(계절 및 시간)으로 평가된 후속 연구와 더불어 장기적이고 지속적인 모니터링을 통해 구체적인 농도변화 특성 파악이 필요할 것으로 판단되었다. Hwang 등의 연구에서도 서울 지하철 역사에서 부유세균에 대한 평가를 수행하였다.¹⁵⁾ 하지만 본 연구에서 수행된 다중회귀분석을 통한 환경요인을 평가하지 못했다는 점에서 기존의 연구와 차별성이 있다.

부유곰팡이에 영향을 미치는 인자를 알아보기 위해 여러 가지 인자(온도, 상대습도, 지하철 역사 깊이, 건설년도, 역사 간격거리)와 상관분석 및 다중회귀분석을 한 결과 지하철 전동차의 출입문과 역사간

Table 5. Multi-variate analysis of CAF concentrations and environmental factors

Factors	N	Variable	Coefficients	p-value	R ²
Temp.	32	Continuous	-0.330	0.469	0.232
R.H.	32	Continuous	0.158	0.665	
Construction year	32	Continuous	-0.063	0.896	
Depth	32	Continuous	-0.105	0.764	
No. of Passengers	32	Continuous	-0.049	0.830	
Platform distance	32	Continuous	0.726	0.023	

의 간격길이와 부유곰팡이 간에 유의한 상관관계를 나타내었다(Table 4,5). 이는 지하철 전동차의 출입문과 승강장간의 간격이 길수록 부유곰팡이의 농도가 높게 나타난 것으로, 이러한 결과의 원인은 간격 길이가 긴 역사들은 승객들의 유동인구가 많은 역들이었기 때문인 것으로 분석되었다(Table 4, $p < 0.01$, $r = 0.589$). 그래서 이런 유의한 상관관계가 간격길이 자체가 영향을 준 것 이라기 보다는 많은 유동 인구가 인한 승객 수가 원인임을 알 수 있었다. 하지만, 본 연구에서는 온도와 습도와는 유의한 상관성을 나타내지 않았는데, 이는 봄철 기간 동안의 짧은 측정기간으로 인해 온습도 범위가 넓지 않기 때문인 것으로 사료되었다. 실제로 상대습도 60% 이상일 때 미생물이 가장 서식하기에 적합한 환경인 것으로 볼 때,^{4,8)} 본 연구에서 측정된 상대습도 범위는 대부분이 60% 이하로 낮았다. 지하철 역사 깊이와 설치년도도 부유곰팡이의 농도와 유의한 상관성은 보이지 않았지만 음의 상관성을 나타내었다. 이는 역사 깊이가 깊고 설치 년도가 짧을수록 최근에 공사된 역사이기 때문인 것으로 사료되었다. 같은 역사라도 환승 구간 공사를 하게 될 경우 새로 설치되는 환승 역사는 기존의 역사에서 더 깊이 착굴하여 공사를 해야 하기 때문이다. 부유곰팡이는 오래된 건물 또는 낙후된 건물에서 높게 나타나기 때문에 오래된 지하철 역사에 대한 지속적인 공기질 관리가 필요하다.

시간대별로 부유곰팡이를 측정된 결과 농도의 변화가 크게 나타났다(Fig. 1). 가장 높게 나타난 시간은 오후 18시부터 17시 사이였고, 그 다음으로 오전 08시부터 10시 사이가 높았다. 이렇게 부유곰팡이 농도가 오후 18시부터 18시, 오전 08시부터 10시에 높게 나타난 이유는 이 시간대가 지하철 이용이 가장 활발한 출퇴근 시간이기 때문인 것으로 판단할

수 있었다. 이러한 결과는 Cho 등의 연구와도 일치하였다.¹⁰⁾ 하지만 본 결과는 한 지점에서 집중적으로 측정된 것이 아니라 다른 시간대에 여러 역사에서 측정된 결과라 의미해석의 오류가 발생할 수 있다. 또한 적은 시료수로 인하여 신뢰할 수 있는 농도 분포와 상관관계를 명확히 밝혀 낼 수 없었다는 점이 본 연구의 제한점으로 남는다. 그렇지만 지하철 역사에서 가장 최근에 부유곰팡이의 농도수준과 이에 영향을 미치는 인자들간의 상관분석을 통해 부유 진균 농도의 분포 특성을 평가한 사례연구로 향후 지하철 연구조사시 참고자료로 활용 될 수 있다.

V. 결 론

본 연구는 2013년 5월과 6월에 걸쳐 서울 지하철 역사 16곳을 대상으로 부유곰팡이의 농도분포 및 영향인자를 평가한 연구이다. 가장 높게 나타난 부유곰팡이 농도는 414 CFU/m³였으며, 호선에 따른 통계적인 유의성 없었다. *Geotrichum* spp.와 *Penicillium* spp.이 지하철 역사에서 다른 곰팡이 균들에 비해 많은 분포를 나타내었고, 가장 부유곰팡이 농도에 영향을 미치는 주요 환경영향인자는 지하철 전동차의 출입문과 승강장간의 간격거리인 것으로 나타났다.

References

1. Douwes J, Thorne P, Pearce N, Heederik D. Bio-aerosol health effects and exposure assessment: progress and prospects. *Ann Occup Hyg.* 2003; 47(3): 187-200.
2. Kwon SB, Park DS, Cho YM, Park EY. Measurement of natural ventilation rate in Seoul metropolitan subway cabin. *Ind Buil Environ.* 2010; 19(3):

- 366-374.
3. Saijo Y, Kishi R, Sata F, Katakura Y, Urashima Y, Hatakeyama A, et al. Symptoms in relation to chemicals and dampness in newly built dwellings. *Int Arch Occup Environ Health*. 2004; 77(7): 461-470.
 4. Macher JM. Bioaerosols: Assessment and Control. Cincinnati: ACGIH Press; 1999. p.1-322.
 5. Selim MI, Juchems AM, Popendorf W. Assessing airborne Aflatoxin B1 during on-farm grain handling activities. *Am Ind Hyg Assoc J*. 1998; 59(4): 252-256.
 6. Desai MS, Ghosh SK. Aflatoxin related hazards among Rice mill workers. *J Toxicol*. 1989; 8(1-2): 81-88.
 7. Hwang SH, Yoo KN, Park DU, Yoon CS. Exposure Level of Airborne Bacteria in the University Laboratories in Seoul, Korea. *J Environ Health Sci*. 2009; 35(5): 355-361.
 8. Hwang SH, Park DU, Ha KC, Park HH, Joo SI, Yoon CS. Concentrations and environmental influences of airborne fungi at university laboratories, hospital diagnostic laboratories. *J Kor Soc Occup Environ Hyg*. 2010; 20(4): 256-262.
 9. Park DU, Ryu SH, Kim SB, Byun HJ, Yoon CS, Lee KM. Airborne bacteria and fungi associated with waste-handling work. *Int J Occup Environ Hlth*. 2013; 19(4): 193-200.
 10. Cho JH, Paik NW. Assessment of airborne fungi concentrations in subway stations in Seoul, Korea. *J Environ Health Sci*. 2009; 35(6): 487-494.
 11. Kim KY, Kim YS, Kim DK, Kim HT. Exposure level and distribution characteristics of airborne bacteria and fungi in Seoul Metropolitan subway stations. *Ind Health*. 2011; 49(2): 242-248.
 12. Indoor Air Quality Association (IAQA). Indoor Air Quality Standard 95-1 Recommended for Florida. Longwood: IAQA Press; 1995.
 13. OSHA. OSHA Technical Manual. Available: http://www.osha.gov/dts/osta/otm/otm_iii/otm_2.html [accessed 5 March 2014].
 14. Boudia N, Halley R, Kennedy G, Lambert J, Gargeau L, Zayed J. Manganese concentrations in the air of the Montreal (Canada) subway in relation to surface automobile traffic density. *Sci Total Environ*. 2006; 366(1): 143-147.
 15. Hwang SH, Yoon CS, Ryu KN, Paik SY, Cho JH. Assessment of airborne environmental bacteria and related factors in 25 underground railway stations in Seoul, Korea. *Atmos Environ*. 2010; 44(13): 1658-1662.