

서울시 일부 지하철 역사 내 공기 중 진균 농도에 관한 연구

조준호 · 백남원*†

한양여자대학 보건행정과, *서울대학교 보건대학원 환경보건학과
(2009. 11. 10. 접수/2009. 12. 1. 수정/2009. 12. 22. 채택)

Assessment of Airborne Fungi Concentrations in Subway Stations in Seoul, Korea

Jun-Ho Cho · Nam-Won Paik*†

Public Health Administration, Hanyang Woman's University, 17 Heangdang-dong, Sungdong-gu, Seoul, Korea
*Department of Environmental Health, School of Public Health, Seoul National University, Korea
(Received November 10, 2009/Revised December 1, 2009/Accepted December 22, 2009)

ABSTRACT

This study was performed to assess airborne fungi concentrations during fall in eight subway stations in Seoul, Korea. The purpose of this study was to investigate appropriate culture media and evaluate factors affecting airborne fungi concentrations. Results indicated that airborne fungi concentrations showed log-normal distribution. Thus, geometric mean (GM) and geometric standard deviation (GSD) were calculated. The GM of airborne fungi concentrations cultured on malt extract agar (MEA) media was 466 cfu/m³ (GSD 3.12; Range 113~4,172 cfu/m³) and the GM of concentrations cultured on DG18 media was 242 cfu/m³ (GSD 4.75; Range 49~6,093 cfu/m³). Both of GM values exceeded 150 cfu/m³, the guideline of World Health Organization (WHO). There was no significant difference between two fungi concentrations cultured on MEA and DG18 media, respectively. Two factors, such as relative humidity and depths of subway stations were significantly related to airborne fungi concentrations. It is recommended that special consideration should be given to deeper subway stations for improvement of indoor air quality.

Keywords: airborne fungi, subway station, MEA, DG18, relative humidity, depth

I. 서 론

현대인은 대부분의 시간을 실내에서 보내게 된다. 따라서 실내 환경중 공기 질에 대한 관심이 증가하고 있다. 최근 다중이용시설 등 실내 공간에서의 공기오염물질과 인간의 건강영향에 관한 연구가 국내외적으로 많이 이루어지고 있다.¹⁾ 특히 실내공기오염물질 중 미생물오염원에 대한 연구도 최근에는 활발히 진행되어지고 있다.²⁾ 공기 중 미생물 중 세균과 함께 대표적인 오염원으로 분류되는 진균은 감염성 질환, 과민성 질환 및 천식의 유발물질 등으로써 알려져 있으며, 특히 진균 중 *Aspergillus* 종이 유발하는 독소 중 하나인

Aflatoxin B1은 발암물질로 알려져 있다.³⁾

시민들이 많이 이용하는 지하철은 승강장 대부분이 지하에 위치하고 있어 각종 공조시스템을 가동함에도 불구하고, 실내 공기질에 여러 가지 문제가 있는 것으로 보고되고 있다.⁴⁾ 그러나 현재까지 지하철 승강장 내 공기 질 관련 연구는 대부분 유해화학물질 또는 PM10 또는 PM2.5 등의 입자상물질에 관한 연구가 주를 이루어 왔으며, 부유 진균과 같은 미생물오염물질에 대한 연구는 아직 많이 부족한 실정이다.⁵⁾

일반적으로 공기 중 미생물의 발육에 영향을 주는 인자로서 기온, 상대습도 및 영양물질 등을 들고 있다. 공기 중 미생물 농도를 측정할 때 세균은 35-37°C에서 24-48시간 배양하며, 진균은 18-22°C에서 5일 이상 배양한다.

진균을 배양하기 위한 배지에는 여러 종류가 있으며, 해당 미생물의 생리적 특성에 부합되도록 제조하였다. 공기 중 진균농도 평가에 흔히 사용되는 배지로는

†Corresponding author : Department of Environmental Health, School of Public Health, Seoul National University
Tel: 82-2-2040-7650, Fax: 82-2-2040-7651
E-mail : nwpaik@yahoo.com

MEA(malt extract agar) 배지, 2% MEA 배지 및 DG18(dichloran-18% glycerol agar) 배지 등이 있다.⁶⁾ MEA 배지는 성장속도가 빠른 진균에 적합하고 DG18 배지는 건조한 상태에서 잘 견디는 호건성 진균에 적합한 배지로 알려져 있다. 특정 배지에서는 어떤 종류의 진균이 다른 종류의 진균 생장을 방해하여 진균 농도를 저평가하도록 유도하는 경우도 보고된 바 있다.⁷⁾ Dillon 등의 연구에 따르면, 호건성 진균인 *W. sebi* 종의 경우에는 DG18 배지에서 최고의 회수율 성능을 나타낸 반면, 친수성 진균인 *T. harzianum* 종의 경우에는 DG18 배지에서 낮은 회수율을 나타냈다. 또한 여러 종류의 진균을 동시에 배양한 결과 *S. chartarum* 종 대하여 가장 높은 회수율을 보였던 CMA(com meal agar) 배지에서 *T. harzianum* 종이 동시에 존재하는 경우에는 회수율이 현격히 감소하였다. 따라서 포집한 진균 시료를 배양할 때 어떤 배지에서 어떠한 성능을 보여주는지를 확인하는 것은 매우 중요하다.

본 연구의 목적은 첫째, 비교적 건조한 가을철에서의 지하철 공기 중 진균 농도를 평가하고, 둘째, 진균농도에 영향을 미치는 요인을 조사하고, 셋째, 2가지 종류의 배지, 즉 MEA 배지와 DG18 배지의 진균배양 성능을 비교하여 지하철 역사의 공기 질 개선에 기초자료를 제공하는 데 있다.

II. 재료 및 방법

1. 공기 시료 포집

서울 시내 지하철 역사 중 지하에 위치한 8개역 승강장에서 2002년 10월 10일부터 11월 1일까지 실내 공기 시료를 포집하였다. 이번 연구에서 조사된 지하철 승강장은 1984년부터 1994년 사이에 건설된 지하철 2호선, 3호선 및 4호선에 소속되어 있었다(Table 1). 조사대상 지하철 승강장의 길이는 21~37 m였고 평균 길이는 25 m이었다. 8개 역사 중 3개는 환승역이었고 5개는 단일 노선 역사였다.

시료는 각 승강장에서 2~3개 지점을 선정하여 총 19개 지점에서 포집한 후 MEA 배지와 DG18 배지에 각각 접종 배양하여 총 38개의 농도를 측정하였다(Table 2). 또한 외기의 진균 농도를 측정하기 위하여 5개 지하철 역사를 대상으로 각각 3개 지점을 선택하여 총 15개 지점에서 공기 시료를 포집하고, MEA 배지와 DG18 배지에 각각 배양하여 총 30개의 농도를 측정하였다. 따라서 실내 실외에서 총 68개의 농도를 측정하였다. 공기 시료는 직경 37 mm, 공경 0.4 µm polycarbonate membrane filter(Nuclepore Corp., Cambridge, Mass.)를 사용하여 유량 3.0 Lpm(2.76-

Table 1. Characteristics of subway stations investigated

Stations (n=8)	Depth (m)	Year constructed	Transfer station (Yes or No)	Line #
A	21	1985	Y	4
B	21	1985	Y	4
C	22	1985	N	4
D	23	1993	N	3
E	25	1993	N	3
F	26	1985	Y	3
G	27	1984	N	2
H	36	1994	N	4

Table 2. Airborne fungi concentrations, humidity and temperature in subway stations

Stations	Number of samples (n=19)	Concentrations by media (CFU/m ³)		Indoor air		Outdoor air	
		MEA	DG18	Relative humidity (%)	Temp. (°C)	Relative humidity (%)	Temp. (°C)
A	2	877	63	58	23	81	10
B	3	566	138	49	21	30	8
C	3	134	95	48	18	26	7
D	2	585	393	55	21	37	15
E	2	381	579	52	21	38	12
F	2	318	210	58	23	63	13
G	3	113	49	49	21	31	7
H	2	4,172	6,093	68	22	83	12
Mean		893	953	55	21	49	10
GM		466	242				
GSD		3.12	4.75				

3.10 Lpm)에서 60분간 포집하였고 시료채취용 펌프는 사용 전후에 보정하였다. 시료는 승강장 바닥으로부터 50~100 cm의 높이에서 측정하였고 시료 포집 후 6시간 이내에 실험실로 옮겨 즉시 분석하였다.

2. 시료 분석

포집된 진균은 Dillon 등이 제시한 표준시험방법을 따라 시료로부터 다음 순서로 추출되었다. 멸균 펩톤수(0.1% peptone water, w/v, 0.01% Tween 80) 1.5 ml를 카세트 내의 지지 패드에 주입하고 마개를 닫은 후 멸균 펩톤수 5 ml를 카세트의 앞쪽 주입구를 통해서 주입하고 마개를 닫은 후 약 400 rpm으로 30분 이상 교반한 다음 마개를 열고 부유액의 일부를 배지에 배양하여 진균을 계수하였다.^{8,9)}

배양배지로써 MEA 배지와 DG18 배지를 사용하였으며, 두 배지 모두 세균(bacteria)의 성장을 억제하기 위하여 chloramphenicol을 첨가하였다.⁶⁾ DG18 배지는 호건성 진균의 배양에 적합한 배지로 알려져 있다. 상온(19-24°C)에서 5-7일간 배양한 후 계수 하였으며 현미경법 및 순수배양 배지 비교법을 사용하여 속(genera) 수준까지 분류하였으며, 에르고스테롤(ergosterol) 농도 분석은 실시하지 않았다.^{10,11)}

3. 습도와 기온

공기 시료를 포집하는 동안 지하철 승강장의 상대습도와 기온도 측정하였으며, 시료 포집 개시 후 10분, 30분 및 50분 시점에서 측정하여 평균값을 사용하였다. 외기의 상대습도와 기온은 기상청 자료를 인용하였다.

4. 통계 분석

지하철 승강장의 진균농도 분포를 파악하기 위하여 W-테스트(Shapiro and Wilk test)를 실시하였고, MEA 배지와 DG18 배지의 성능에 차이가 있는지를 확인하기 위하여 Mann-Whitney 검정을 실시하였으며, 지하철 승강장의 공기 중 진균 농도에 영향을 미치는 인자들을 평가하기 위하여 피어슨 상관분석과 편상관분석을 실시하였다. 통계분석은 통계처리 프로그램 SPSS 12.0 을 사용하였다.

III. 결 과

1. 지하철 승강장의 공기 중 진균농도

Fig. 1과 Table 2에서 보는 바와 같이 지하철 승강장의 공기 중 진균농도는 대수정규분포를 보였다(W-test,

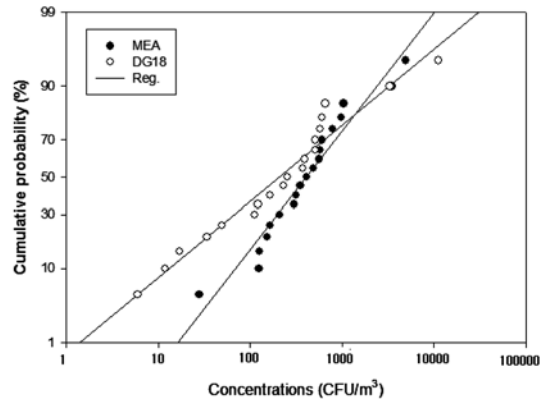


Fig. 1. Distribution of airborne fungi concentrations by media.

$p < 0.05$).

MEA 배지의 결과를 보면 기하평균 466 cfu/m³ (GSD 3.12, 범위 113~4,172 cfu/m³)였고, DG18 배지의 결과를 보면 기하평균 242 cfu/m³(GSD 4.75, 범위 49~6,093 cfu/m³)이었다. 지하철 승강장의 공기 중 진균농도가 가장 낮은 값(49 cfu/m³)을 보인 곳은 G역 으로서 DG18 배지를 사용한 측정치에서 나타났다. G 역 승강장은 27 m 깊이에 위치하였고 매우 낮은 상대 습도를 보였다. 지하철 승강장의 공기 중 진균농도가 가장 높은 곳은 H역으로서 DG18 배지를 사용한 경우에 나타났으며 기하평균 6,093 cfu/m³이었다. H역 승강장은 조사대상 지하철역 중에서 가장 깊은 곳(36 m)에 위치하였고 상대습도는 68%로서 가장 높았다.

5개 지하철의 외부에서 측정한 공기 중 진균농도는 Table 3과 같다. MEA 배지를 사용한 경우 기하평균

Table 3. Outdoor airborne fungi concentrations and I/O ratios by MEA and DG18 at 5 subway stations in Seoul, Korea

Stations	No. of samples (n=15)	Concentrations by media (CFU/m ³)		I/O ratio* by media	
		MEA	DG18	MEA	DG18
A	3	194	97	4.5	0.8
B	3	268	85	2.1	1.7
F	3	380	592	0.8	3.1
G	3	147	134	0.8	1.7
H	3	279	172	14.9	10.7
Mean	3	254	216	4.6	3.6
GM		241	163		
GSD		1.44	2.17		

* : Indoor fungal concentrations Table 2 were used.

241 cfu/m³(GSD 1.44, 범위 147~380 cfu/m³)이었으며 DG18 배지를 사용한 경우 기하평균 163 cfu/m³ (GSD 217, 범위 85~592 cfu/m³)이었다. 실내 및 실외 공기 중 진균농도의 비, 즉 I/O비(Indoor concentration/Outdoor concentration Ratio)를 보면, MEA 배지를 이용한 측정치에서는 평균 4.6(0.8-14.9), DG18 배지를 이용한 측정치에서는 평균 3.6(0.8-10.7)이었다. 일반적으로 I/O 비가 1을 넘는 경우에는 실내에 오염원이 있는 것으로 해석된다.⁶⁾

2. 배양배지의 영향

동일 시료를 MEA와 DG18 두 배지에 배양하여 측정된 결과 공기 중 진균농도의 기하평균은 MEA 배지에서 높았으나 Mann-Whitney 검정을 실시한 결과 유의한 차이는 없었다(p=0.300).

3. 공기 중 진균농도와 환경요인의 상관관계

지하철 승강장의 공기 중 진균농도에 영향을 미칠 것으로 추정되는 환경요인으로서 습도, 온도, 승강장의 깊이 및 건설연도 등을 평가하였다. 지하철 역 승강장의 상대습도와 온도 및 외기의 상대습도와 기온은 Table 2와 같다. 조사기간 중 지하철 승강장의 상대습도는 평균 55%(48~68%)였고, 평균온도는 21°C(18~23°C)이었다. 지하철역 외기의 상대습도는 평균 49%(26~83%)로서 매우 건조한 상태였고, 외기의 기온은 평균 10°C(7~15°C)이었다.

Table 4에서 보는 바와 같이 진균농도는 MEA 배지와 DG18배지를 이용했을 경우 모두에서 상대습도 및 승강장의 깊이와 유의한 상관관계를 보였고(p<0.001),

또한 지하철 건설 연도와도 통계적으로 유의한 상관관계를 보였다(p<0.05). 두 배지의 진균농도에서 기온과는 통계적으로 유의한 상관관계를 보이지 않았다.

또한 중요한 환경요인인 상대습도는 승강장의 깊이 및 건설연도와 각각 통계적으로 유의한 상관관계를 보였고(p<0.01 및 p<0.05) 온도와도 상관관계를 보였다(p<0.01).

공기 중 진균농도와 상관관계를 보인 위의 변수들 중 혼란변수를 알아보기 위하여 가장 높은 상관관계를 보인 상대습도를 통제 후 편상관분석을 실시하였으며 (Table 5), 분석결과 MEA배지와 DG18 배지에서 모두 통계적으로 유의한 결과를 보인 요인은 승강장 깊이였다(p<0.05). 온도는 MEA배지 농도에서만 유의한 상관관계(p<0.05)를 보였고 DG18 농도에서는 유의한 상관관계를 보이지 않았다.

4. 환승역 여부에 따른 공기 중 진균농도 비교

지하철역이 환승역인 경우와 일반 역인 경우 공기 중 진균농도에 차이가 있는지 평가하기 위하여 Mann-Whitney 검정을 실시한 결과 두 배지 농도에서 모두 유의한 차이를 볼 수 없었다(Table 6). MEA 배지에서는 환승역과 일반 역에서 기하평균이 각각 544 cfu/m³과 347 cfu/m³이었으며, DG18 배지에서는 환승역과 일반 역에서 기하평균이 각각 124 cfu/m³과 276 cfu/m³이었다.

5. 진균의 종류

가을철에 측정된 서울시 지하철역의 승강장 부유진균은 주로 *Penicillium*, *Aspergillus*, *Cladosporium* 및

Table 4. Correlation analysis between airborne fungi concentrations and environmental factors

		MEA	DG18	RH	Temp	Depth	Year
MEA	Pearson coefficient	1					
	p-value						
DG18	Pearson coefficient	.728(**)	1				
	p-value	.000					
RH	Pearson coefficient	.826(**)	.685(**)	1			
	p-value	.000	.001				
Tem	Pearson coefficient	.317	.181	.635(**)	1		
	p-value	.185	.459	.004			
Depth	Pearson coefficient	.763(**)	.738(**)	.668(**)	.250	1	
	p-value	.000	.000	.002	.303		
Year	Pearson coefficient	.562(*)	.521(*)	.567(*)	.133	.516(*)	1
	p-value	.012	.022	.011	.588	.024	

** : p<0.01 * : p<0.05 (n=19)

Table 5. Partial correlations between airborne fungi concentrations and environmental factors adjusted by relative humidity

Control		MEA	DG18	Depth	Tem	Year	
Relative Humidity		Correlation	1.000				
	MEA	p-value (two-tail)	.				
		df	0				
		Correlation	.394	1.000			
	DG18	p-value (two-tail)	.106	.			
		df	16	0			
		Correlation	.504	.518	1.000		
	Depth	p-value (two-tail)	.033*	.028*	.		
		df	16	16	0		
		Correlation	-.475	-.451	-.303	1.000	
	Tem	p-value (two-tail)	.046*	.060	.221	.	
		df	16	16	16	0	
		Correlation	.203	.221	.223	-.356	1.000
	Year	p-value (two-tail)	.419	.379	.373	.147	.
		df	16	16	16	16	0

**; $p < 0.01$, *; $p < 0.05$

Table 6. Comparison of airborne fungi concentrations by presence of transfer station and media

Media	Transfer station	No. of samples	Concentrations (CFU/m ³)				Significance* (2-tail)
			GM	GSD	Min.	Max.	
MEA	Y	7	544	1.831	209	1042	p=0.205
	N	12	347	4.198	28	4946	
	Ratio, Y/N		1.6				
DG18	Y	7	124	4.786	12	574	p=0.310
	N	12	276	7.555	6	11188	
	Ratio, Y/N		0.5				

*; Mann-Whitney test.

*Mucor*로 동정되었다.

IV. 고 찰

세계보건기구(World Health Organization, WHO)에서는 총부유진균(Total airborne fungi)에 대한 가이드라인으로 150 cfu/m³을 제시하고 있으며,¹²⁾ 실내공기질협회 (Indoor Air Quality Association)에서는 300 cfu/m³을,¹³⁾ 미국 노동성 산업안전보건청(U.S. Occupational Safety and Health Administration, OSHA)에서는 1,000 cfu/m³을 기준으로 제한하고 있다.¹⁴⁾ 본 연구결과 가을철에 측정된 서울시 지하철역 승강장의 공기 중 진균농도 평균값은 가장 엄격한 WHO의 기준 150 cfu/m³을 초과하였다. 조사대상 8개 지하철역 중 진균농도가 가장 높은 역의 승강장에서는 미국 OSHA 기준

1,000 cfu/m³을 초과하였다.

지하철역 승강장의 공기 중 진균농도에 관한 연구는 국제적으로 매우 적은 실정이다. Gilleberg 등은 영국의 6개 지하철역을 대상으로 조사하였으며 6개 중 1개 역에서만 150 cfu/m³ (WHO 권고 기준)을 넘는 수준이었다고 보고하였다.¹⁵⁾ Awad는 이집트의 2개 지하철역 공기 중 진균농도를 평균 800 cfu/m³이라고 보고하였다.⁵⁾ 최근 Bogomolova 등은 미국 St. Petersburg의 4개 지하철역에서 공기 중 진균농도를 측정할 결과 안전한 수준이었다고 보고하였다.¹⁶⁾ 국내 연구로서 Cho 등은 봄철에 서울시 5개 지하철역 승강장을 대상으로 공기 중 진균농도를 측정하였으며 평균값이 1,023 cfu/m³이었다. 본 연구결과 가을철 농도는 봄철 농도보다 낮은 수준으로 나타났다.¹⁷⁾

지하철 이외의 실내공간에서 측정된 진균농도는 다음

과 같다. 폴란드에서 실시된 연구에 의하면, 진균에 오염된 집의 평균 공기 중 진균농도는 여름과 겨울에 각각 834 cfu/m^3 (103-16,968 cfu/m^3)과 256 cfu/m^3 (49-3,852 cfu/m^3)이었고, 진균에 오염되지 않은 정상적인 가정의 진균 농도는 여름과 겨울에 각각 225 cfu/m^3 (36-2494 cfu/m^3)과 59 cfu/m^3 (34-143 cfu/m^3)로서 계절에 따라 차이가 있었다.¹⁸⁾ 국내 사료공장 내에서 측정된 공기 중 진균농도는 124 cfu/m^3 이었다.¹⁹⁾ 본 연구결과에 의하여 서울시 지하철역의 공기 중 진균농도는 가을에도 WHO 권고기준을 초과하였으며, 이는 폴란드의 진균 오염 가정의 여름철 농도보다는 낮았으나 겨울철 농도보다는 높은 수준이었으며, 또한 정상적인 가정보다는 약 2배 정도 높은 수준이었다.

일반적으로 우리나라 가을철의 지하철역 승강장 습도와 기온은 외부 기후 조건보다 높았으나 진균이 과다 증식할 정도의 수준은 아니었다. 그러나 가장 높은 농도를 보인 지하철역 승강장은 가장 깊은 곳에 위치하고 있었으며 상대습도 또한 가장 높은 값을 보였다. 이는 지하철역사가 깊을수록 환기에 어려움이 있기 때문일 것으로 추정된다. 한편 공기 중 미생물 농도에 크게 영향을 미치는 것으로 알려진 온도의 경우, 본 연구에서는 유의한 영향을 미치지 않았으며 이는 본 연구대상의 기온이 상대적으로 높지 않고 기온의 변이도 크지 않았기 때문이라 추정된다.

일반적으로 진균의 배양에는 친수성 진균에 적합한 MEA 배지를 많이 사용한다. 그러나 호건성 진균의 배양에는 DG18 배지도 많이 사용되며, 이유는 일부 선행 연구 결과 DG18배지에서 높은 진균농도가 검출되었기 때문이다. 그러므로 습도가 특별히 높지 않은 경우에는 공기 중 진균농도를 측정할 때 DG18배지를 사용하는 경우가 있다.^{20,21)} 또한 호건성 진균과 친수성 진균 중 어느 것이 더 우세한지를 평가하기 위하여 두 배지를 함께 사용하는 경우도 있다.^{22,23)}

본 연구는 여름철에 비해 건조한 가을철에 실시되었으며 연구결과 지하철역 승강장의 공기 중 진균농도에서 두 배지 농도 간에 유의한 차이를 볼 수 없었다. 따라서 MEA와 DG18 두 배지 모두 가을철 지하철역 승강장의 진균농도 분석에 적용할 수 있다고 판단된다.

본 연구 결과 가을철의 지하철역 승강장 진균농도에 영향을 미치는 요인은 상대습도와 승강장의 깊이인 것으로 나타났으며, 상대습도의 경우 다른 연구결과와도 일치한다.²³⁾ 상대습도를 통제된 후 실시한 편상관분석에서도 승강장의 깊이와 진균농도는 유의한 상관관계를 나타냈다. 이는 지하철역이 깊을수록 환기에 어려움

이 있는 것으로 추정된다. 본 조사에서 가장 높은 진균농도를 보인 지하철역 승강장이 가장 깊은 곳에 위치하고 있었으며 상대습도 또한 가장 높은 값을 나타내고 있었다. 여러 연구에 의하면 진균오염의 원인으로 공조시스템(Heating, Ventilating, and Airconditioning Systems, HVAC),²⁴⁾ 진균에 오염된 건축자재²⁵⁾, 불결한 실내상태²⁶⁾ 등을 들고 있다. 한편 지하철 건설연도는 상대습도를 통제된 후 실시한 편상관분석에서 두 배지 모두에서 통계적으로 유의한 상관관계를 보이지 않았으므로 혼란변수로 판단된다.

지하철역 승강장의 진균 종류에 관한 연구보고는 다음과 같다. Bogomolova 등은 *Acremonium*, *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Penicillium* 속(genera)이 주를 이루었다고 하였으며, Awad는 *Penicillium*, *Cladosporium*, *Aspergillus* 속이 주를 이루었다고 보고하였다. 본 연구에서는 *Penicillium*, *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Mucor* 등이 동정되었다. 이들 중 *Penicillium*은 감염성 폐질환의 건강영향을 일으키는 것으로 알려져 있으며, *Aspergillus*는 재채기, 호흡곤란, 천식의 악화에 영향을 줄 뿐 만 아니라, 이로부터 발생하는 *Aflatoxine B1*은 발암성 물질로 알려져 있다. 또한 *Cladosporium*은 알레르기 유발물질로 알려져 있다.²⁷⁾

본 연구의 제한점으로는 부유진균의 분석 방법으로 여과식 방법을 사용하였다. 이는 저농도 및 고농도의 부유진균을 동시에 측정할 수 있는 장점이 있기 때문에 널리 사용되지만, 충돌식 방식에 비해 부유진균의 농도를 다소 저평가 할 수 있다고 알려져 있다. 따라서 충돌식 방식으로 부유 진균을 분석한다면 본 연구결과보다 높은 수준의 진균농도가 측정될 수 있을 것으로 판단된다.

결론적으로, 지하철 승강장 부유 진균의 적절한 관리를 위해, 깊은 곳에 위치한 지하철 승강장일수록 환기 및 습도관리에 보다 많은 주의가 필요할 것으로 생각되며,²⁸⁾ 필요시 제습 장치의 설치도 유용할 것으로 판단된다.

V. 결 론

본 연구에서는 서울시 지하철역 승강장의 공기 중 진균농도를 측정하고, 진균농도에 영향을 미치는 여러 요인을 평가하고, 두 종류의 배지에 따른 영향을 평가한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 서울시 지하철역 승강장의 공기 중 진균농도는 배지에 따라 MEA배지와 DG18배지에서 각각 466 cfu/m^3 ($113\sim4,172 \text{ cfu/m}^3$)과 242 cfu/m^3 (49~6,093 cfu/m^3)이

었으며 두 배지 평균값이 모두 WHO의 권고기준인 150 cfu/m³을 초과하였다.

2. 공기 중 진균농도를 MEA와 DG18 두 배지에 따라 비교 평가하였으나 유의한 차이를 볼 수 없었다.

3. 지하철역 승강장의 공기 중 진균농도에 영향을 주는 요인으로 상대습도와 지하철 승강장의 깊이가 유의한 상관관계를 보였으며, 지하철 승강장 온도 및 환승역 여부는 진균농도에 유의한 영향을 미치지 않았다.

4. 본 연구에서는 *Penicillium*, *Aspergillus*, *Cladosporium* 등이 동종 되었으며 이들 진균류는 인간에게 각종 건강영향을 일으킬 수 있는 종류로써 적절한 관리가 필요하다.

5. 결론적으로 지하철 승강장이 깊을수록 습도가 높고 진균농도가 높으므로 깊은 지하철역에 대하여 특별한 관리가 필요하며 적절한 환기와 필요하면 제습기의 설치도 유용할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. Ager, B. P., Ticker, J. A. : The control of microbiological hazards associated with air-conditioning and ventilation systems. *Annals of Occupational Hygiene*, **27**, 341-354, 1983.
2. Park, D., Jo, K., Yoon, C., Han, I., Park, D. : Factors influencing airborne concentration of fungi, bacteria and gram negative bacteria in kindergarten classroom. *Journal of Environmental Health Sciences*, **30**(5), 440-448, 2004.
3. Selim, M. I., Juchems, A. M., Pependorf, W. : Assessing airborne Aflatoxin B1 during on farm grain handling activities. *American Industrial Hygiene Association Journal*, **59**, 252-256, 1998.
4. Park, D., Jin, K., Yoo, K. : Analysis on non-malignant respiratory and drowsiness rate symptom for passengers using subway in Seoul. *Journal of Environmental Health Sciences*, **32**(5), 412-417, 2006.
5. Awad, A. H. A. : Environmental study in subway metro stations in Cairo, Egypt. *Journal of Occupational Health*, **44**, 112-118, 2002.
6. Macher, J. Ed. Bioaerosols: Assessment and Control. ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists), 1999.
7. Dillon, H. K., Miller, J. D., Sorenson, W. G., Douwes, J., Jacobs, R. R. : Review of methods applicable to the assessment of mold exposure to children. *Environmental Health Perspectives Supplements* **107**, S3, 1999.
8. Dillon, H. K., Heinsohn, P. A., Miller, J. D. (eds) : Field guide for the determination of biological contaminants in environmental samples. An AIHA Biosafety Guide, Fairfax, Va., AIHA, 1996.
9. Palmgren, U., Strom, G., Blomquist, G., Malmberg, P. : Collection of airborne micro-organisms on nucleopore filters: estimation and analysis-CAMNEA-method. *Journal of Applied Bacteriology*, **61**, 401-406, 1986.
10. Ramirez, C. : Manual and Atlas of the Penicillia. Elsevier Biomedical, Amsterdam, 1982.
11. Raper, K. B., Fennel, D. I. : The Genus *Aspergillus*. The William & Wilkins Co. Baltimore, 1965.
12. 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.
13. IAQA (Indoor Air Quality Association, Inc.), Indoor Air Quality Standard 95-1 Recommended for Florida. Indoor Air Quality Association, Inc., Longwood, FL. 1995.
14. US OSHA (United States Occupational Safety and Health Administration), Sampling Instrumentation and Methods, OSHA Technical Manual. OSHA, Washington, DC. 1992.
15. Gilleberg, S. B., Faull, J. L., Graeme-Cook, K. A. : A preliminary survey of aerial biocontaminants at six London Underground stations. *International Biodeterioration & Biodegradation*, **42**, 149-152, 1998.
16. Bogomolova, E., Kirtsideli, I. : Airborne fungi in four stations of the St. Petersburg Underground railway system. *International Biodeterioration & Biodegradation* **63**, 156-160, 2009.
17. Cho, J. H., Min, K. H., Paik, N. W. : Temporal variation of airborne fungi concentrations and related factors in subway stations in Seoul, Korea. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* **209**, 249-255, 2006.
18. Paxtuska, J. S., Paw, U. K. T., Lis, D. O., Wlazlo, A., Ulfing, K. : Bacterial and fungal aerosol in indoor environment in Upper Silesia, Poland. *Atmospheric Environment* **34**, 3833-3842, 2000.
19. Kim, K. Y., Jeong, Y. I., Kim, C. N., Won, J. U., Roh, J. H. : Distribution of airborne microorganism in the feedstuff manufacture factory. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, **17**(4), 335-342, 2007.
20. Jovanovic, S., Felder-Kennel, A., Gabrio, T., Kouros, B., Link, B., Maisner, V., Piechotowski, I., Shick, K. H., Schrimpf, M., Weidner, U., Zollner, I., Schwenk, M. : Indoor fungi levels in homes of children with and without allergy history. *Journal of Korean Society of Occupational and Environmental Hygiene*, **207**, 369-378, 2004.
21. Gent, J. F., Ren, P., Belanger, K., Triche, E., Bracken, M. B., Holford, T. R., Leadrer, B. P. : Level of household mold associated with respiratory symptoms in the first year of life in a cohort at risk for asthma. *Environmental Health Perspectives* **110**, A781-A786, 2002.
22. Meklin, T., Husman, T., Vepsalainen, A., Vahteristo, M., Koivisto, J., Halla-Aho, J., Hyvarinen, A., Moschandreas, D., Nevalainen, A. : Indoor air

- microbes and respiratory symptoms of children in moisture damaged and referece schools. *Indoor Air* **12**, 175-183, 2002.
23. Ren, P., Jankun, T. M., Belanger, K., Bracken, M. B., Leaderer, B. P. : The relation between fungal propagules in indoor and home characteristics. *Allergy* **56**, 419-424, 2001.
 24. Simmons, R. B., Price D. L., Noble, J. A., Crow, S. A., Ahearn D. G. : Fungal colonization of air filters from hospitals. *American Industrial Hygiene Association Journal* **58**, 900-904, 1997.
 25. Ellinger, P. J., Boone, K., Hendrickson, S. : Building material, used in construction can affect indoor fungal levels greatly. *American Industrial Hygiene Association Journal*, **61**, 895-899, 2000.
 26. Duchaine, C., Grimard, Y., Cormier, Y. : Influence of building maintenance, environmental factors, and seasons on airborne contaminants of swine confinement buildings. *American Industrial Hygiene Association Journal*, **61**, 56-63, 2000.
 27. Desai, M. S., Ghosh, S. K. : Aflatoxin related hazards among rice mill Workers. *Journal of Toxicology: Toxin Reviews* **8**, 81-88, 1989.
 28. Rautiala, S., Reponen, T., Nevalainen, A., Husman, T., Kalliokoski, P. : Control of exposure to airborne viable microorganisms during remediation of moldy buildings; report of three case studies. *American Industrial Hygiene Association Journal* **59**, 455-460, 1998.