

열화상 카메라를 이용한 공기 중 부유 진균 농도 추정방법 개발에 관한 연구

김기연*

부산가톨릭대학교 산업보건학과

Method Development for Estimating Concentration of Airborne Fungi Using a Thermal Imaging Camera

Ki Youn Kim*

Department of Industrial Health, Catholic University of Pusan

ABSTRACT

Objectives: An objective of this study is to apply a thermal image camera which shows various color according to temperature of indoor surface for estimating concentration of airborne fungi.

Materials and Methods: While wall temperature were monitored by applying the thermal image camera, airborne bacteria as well as air temperature and relative humidity have been measured in lecture room and toilet of university for seven months.

Results: Based on the results obtained from this study, the ranges of temperature and airborne fungi concentration were 20~24°C and 20~400 cfu/m³ for red image, 17.5~20°C and 35~150 cfu/m³ for orange image, 15.5~17.5°C and 25~650 cfu/m³ for sky-blue image, and 13.5~15.5°C and 50~200 cfu/m³ for blue image, respectively. The color of indoor surface taken shot by thermal image camera showed consistent trend with temperature of indoor surface. There is, however, little correlation between color of indoor surface and airborne fungi concentration($p>0.05$). Among environmental factors, relative humidity in indoor air showed a significant relationship with airborne fungi concentration($p<0.05$).

Conclusions: The more measurement data for proving statistically an association between color of indoor surface and airborne fungi concentration should be provided to easily estimate indoor level of airborne fungi.

Key words: airborne fungi, relative humidity, temperature, thermal imaging camera

I. 서 론

공기 중에 부유하고 있는 진균의 경우 실처럼 가느다란 이 포자들이 자라서 물체를 분해하게 되는 것이다. 진균 포자들의 개체수가 많아지게 되면 공간에서 장기간 생활하는 아이들과 노약자의 기관지 염증은 물론 각종 질병을 일으키는 원인이 되고, 흡입을 통해 호흡기계로 유입되면 기관지 내부에서 균사

들이 자라기 시작하여 이들 포자들에 의해 염증이 발생하여 비염이나 천식으로 발전하게 된다(Fisk et al., 2007; Antova et al., 2008; Seo et al., 2014). 또한 포자들의 개체수가 많아지면 신체에 이상 현상이 발생되어 알레르기 증상을 유발한다(Robbins et al., 2000; Fung & Hughson, 2003). 식품의 경우 부유 진균 및 세균의 포자들이 공기 중에 부유하다가 식품 표면에 침착되게 되면 부패화로 진행된다.

*Corresponding author: Ki Youn Kim. Tel: 051-510-0635. E-mail: kky@cup.ac.kr

Department of Industrial Health, Catholic University of Pusan, 57 Oryundae-ro Geumjeong-gu, Busan 46252

Received: December 3, 2015, Revised: December 18, 2015, Accepted: December 23, 2015

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

부유 진균 노출에 따른 악영향은 인간의 건강 뿐 아니라 조류독감이나 구제역 바이러스 등 가축들의 건강에도 위협을 주는 요인으로 작용하기 때문에 안전한 축산물 생산의 저해 인자로 작용함과 동시에 인간의 안전한 식단 또한 보장 받지 못하는 실정에 이르게까지 하는 원인이라 할 수 있다(Kim et al., 2008). 이렇듯 최근 부유 진균의 전염성에 대한 공중 보건학적 관심은 최고조에 이르게 되었다.

부유 진균을 측정하는데 있어서 활용되는 방법에는 임핀저(impinger)를 이용하는 액체 흡수법, 여과지를 이용하는 고체 여과법, 임팩터를 이용한 관성 충돌법이 있고, 국내에서는 현재 환경부 다중이용시설 관리법에서 관성 충돌법을 표준 측정 분석 방법으로 채택하여 적용하고 있다(MoE, 2010). 본 3가지 측정 방법 모두 시료 채취 후 적정 온습도 조건 하에서 일정 기간 동안 진균을 배지에서 키우는 배양법에 기반을 둔 것으로, 진균 계수의 불확실성으로 인한 측정 농도값의 신뢰도가 다소 떨어지는 문제점(Griffiths & DeCosemo, 1994)과 함께 각 방법별로 측정상의 여러 단점을 내포하고 있는 것으로 보고되고 있다(Thorne et al., 1992). 또한 진균을 포함한 미생물 배양은 일정 배양기간을 두고 측정해야 하는 시간적 소모와 측정 장비의 구비 및 관리, 이동 시간 소요 등의 측정상의 애로사항을 가져다 줄 수 있는 부분도 있다.

이러한 단점을 보완하고 조사 현장에서 바로 부유 진균의 노출 농도를 추정하기 위해 실내 내부 표면의 온도를 측정하는 데 이용되는 열화상 카메라 방법의 적용 가능성을 본 연구에서 평가하였다. 열화상 카메라의 원리는 피사체의 표면으로부터 복사되는 전자파의 일종인 적외선 파장 형태의 에너지를 검출해내어 복사열의 강도 양에 따라 다른 색상으로 표현해주는 장비이다. 처음에는 군사용으로 제작되었는데 1950년 말 스웨덴에서 처음으로 산업용으로 개발되기 시작하였다. 열화상카메라에 장착되어진 특수렌즈 같은 경우 가시광선과 적외선의 파장이 다를 수 있으므로 이를 이용하여 일반 렌즈 같은 경우 적외선 복사 에너지를 통과시키지 못하지만 열화상카메라 속의 특수렌즈는 적외선 복사 에너지는 통과되고 가시광선은 통과되지 않도록 하기위해 렌즈 제작에 게르마늄과 실리콘을 사용하였다. 이렇게 특수렌즈로부터 통과

되어진 적외선 복사 에너지를 검출기에서 전기적인 신호로 바꾸어주게 된다. 그리고 복잡한 수식화 프로그램을 통해 전기적인 신호는 다시 온도 값과 열화상으로 표시되면서 우리가 직접 눈으로 확인 할 수 있는 화면을 구사하게 되는 것이다. 실내 내부 표면의 높은 상대습도 하에서 활발히 증식하는 진균의 생태 특성을 이용하여 열화상 카메라 사진 속에 나타난 화상도 색상과 건물 내부 수분 함량에 따른 온도 변화에 따라 부유 진균의 실내 농도가 어느 정도 인지를 추정함으로써 본 방법의 현장 적용 가능성을 검토해 보는 것이 본 연구의 목적이다.

II. 대상 및 방법

1. 연구대상

측정 장소로 P대학교 강의실과 화장실 두 개소를 선정하였다. 선정 이유는 강의실의 경우 일반 실내공간과 유사한 수준의 상대습도를 유지할 것으로 사료되었고, 화장실의 경우 물의 사용이 많아 다른 실내공간보다 상대습도가 높을 것으로 예상되어 높은 상대습도 하에서 활발히 증식하는 진균의 생태 특성을 잘 반영할 것이라 판단되었다. 이러한 이유로 화장실은 강의실보다 상대적으로 높은 상대습도를 유지하기 때문에 강의실 환경 조건과는 상이한 대조구 측면을 고려해서 선정하게 되었다. 온화한 기후 조건에 해당되는 2014년 3월에서 6월, 9월에서 11월까지 한 달 간격으로 매달 한 번씩 총 7회 측정을 수행하였고, 매 조사시마다 3회 반복 측정하여 강의실과 화장실 각각 총 21회 측정을 수행하였다.

2. 측정 및 분석 방법

실내 측벽 및 천정의 온도 및 화상도는 열화상카메라(Ti27, Fluke, Germany)를 이용하여 측정하였다. 부유 진균의 경우 28.3 l/min의 유량으로 설정된 관성 충돌기(BioCulture Pump, Buck, U.S.)에 SDA 배지를 장착한 후 5분 동안 공기 시료를 채취하였다. 시료 채취 후 미생물 분석실로 운반하여 25°C 조건 하에서 3~5일 동안 배양한 후 집락 계수법을 통해 농도를 산출하였다. 실내공간의 공기 중 온/습도 측정은 직독식 장비(K103, Grey, Germany)를 이용하여 동시에 모니터링 하였다.

공기 중 온도, 상대습도, 부유 진균의 측정 위치는 각 강의실과 화장실의 중앙에서 상부 1 m 지점에서 지역 시료 형태로 선정하였다. 측벽 온도의 경우 동일한 횡수로 측정을 진행하였고, 대푯값은 실내공간 측벽4지점과 천정의 벽 1지점에 측정한 온도와 화상도를 산술 평균한 것으로 산출하였다.

3. 통계 처리

실내 부유 진균의 농도와 환경인자인 온도와 상대습도간의 통계적 상관성을 규명하기 위해 SPSS(ver 2.1) 프로그램을 이용하여 직선 회귀 방법을 적용하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 조사대상 실내공간에서의 부유 진균의 농도 및 열적 인자의 분포

Table 1은 조사 기간 동안 매달 강의실과 화장실에서 측정된 부유 진균의 농도와 열적 인자들(측벽 온도, 공기 중 상대습도, 공기 중 온도)의 분포를 보여 주고 있다. 측정 결과 봄과 가을에 해당되는 온화한 기후 조건에서 실험이 수행되어 공기 중 온도와 상대습도의 경우 강의실과 화장실 모두 측정값간 변이

정도가 크지 않은 것으로 조사되었다. 측벽 온도의 경우 화장실이 강의실에 비해 평균 3.4℃ 정도 낮게 측정된 반면, 공기 중 상대습도의 경우 평균 15% 정도 높게 측정되었다. 이는 화장실 이용자들의 물 사용이 강의실보다 상대적으로 온도는 낮아지고 습도는 증가시키게 한 주요 원인인 것으로 사료된다.

부유 진균의 농도는 강의실의 경우 3~5월에서는 100~400 cfu/m³, 6월과 9~11월에서는 약 100 cfu/m³, 화장실의 경우 3~5월에서는 250~650 cfu/m³, 6월과 9~11월에서는 약 50~150 cfu/m³의 분포를 보여 측정 장소 및 시기에 따라 어느 정도의 차이가 있는 것으로 나타났다. 측정 장소의 경우 전반적으로 화장실이 강의실에 비해 1.5~2배 정도 높게 측정된 것으로 분석되었는데, 이는 물 사용으로 인해 화장실 공간 내 수분이 강의실에 비해 상대적으로 다량 함유되어 있어 진균 생장에 좋은 서식지로 작용한 결과이며, 이러한 사실은 이미 여러 연구자들에 의해 입증된 바 있다. Pasanen et al.(1991)은 실내 진균이 증식하기 위한 적정 온습도 조건을 21~30℃, 75~92%라 하였으나, 건물 실내 구조물에 수분이 충분하면 공기의 상대습도가 서식하고 있는 진균의 증식에 직접적으로 영향을 주지 않는다고 하였고, Burge et al.(1995)은 최적의 증식 조건을 상대습도 70% 이상이라 보

Table 1. Distribution of airborne fungi, temperature and relative humidity in lecture room and toilet

No.	Lecture room				Toilet				
	Airborne fungi (cfu/m ³)	Temp.(wall) (°C)	R.H.(air) (%)	Temp.(air) (°C)	Airborne fungi (cfu/m ³)	Temp.(wall) (°C)	R.H.(air) (%)	Temp.(air) (°C)	
Mar.	Mean	318	23.4	41	23.4	567	18.5	54	17.2
	S.D.	44	0.6	2	0.3	82	0.7	4	0.3
Apr.	Mean	146	26.2	42	24.0	333	15.1	46	15.0
	S.D.	42	1.5	3	0.1	87	0.8	4	1.0
May	Mean	190	24.8	43	22.3	534	17.0	60	16.2
	S.D.	44	1.4	4	0.2	64	0.4	1	0.2
Jun.	Mean	33	20.9	27	19.3	50	17.1	45	15.9
	S.D.	5	0.2	1	0.2	2	0.2	2	0.1
Sep.	Mean	37	19.8	31	18.2	71	17.0	53	15.1
	S.D.	15	0.6	5	0.3	19	0.3	3	0.1
Oct.	Mean	97	20.5	35	18.7	46	16.4	50	14.0
	S.D.	15	0.3	3	0.2	21	0.1	2	0.1
Nov.	Mean	96	22.3	41	18.8	146	17.4	59	14.1
	S.D.	11	0.6	2	0.1	11	0.2	1	0.2

고한 바 있다. 측정 시기의 경우 내부 온도가 9~11월 보다 상대적으로 높게 측정되었던 3~5월에 부유 진균의 농도가 강의실과 화장실 모두 다소 높은 것으로 분석되었는데, 실내 공간 내 온도가 높게 형성되면 진균의 증식 속도가 더 빨리 증가한다는 연구 보고(Li & Hsu, 1996)가 본 측정 결과를 뒷받침해 준다. 특이할만한 사항은 6월의 경우 실내 공간 내 온도가 상대적으로 높은 조건임에도 불구하고 부유 진균이 상당히 낮은 농도를 보인 점이다. Otten & Burge(1999)와 Pastuszka et al.(2000)의 연구 결과에 의하면 부유 진균을 포함한 바이오에어로졸의 실내 주요 발생원 중 하나가 거주하는 사람들이라 보고하고 있다. 다시 말해 거주자들의 머리, 피부, 옷 등에 부착되고 있던 입자들이 그들의 활동성에 의해 공기 중으로 방출되어 실내 농도를 증가시키는 요인으로 작용한다는 것이다. 따라서 본 선행 연구 결과에 근거한다면 6월의 경우 하계 방학의 시작으로 재실자가 없는 상황에서 측정이 수행되어 나타난 결과라 추정된다.

2. 실내 공간의 측벽 열 화상도와 부유 진균 농도와 의 비교

Table 2는 측정 당시 강의실과 화장실 측벽을 열화상 카메라로 촬영한 화상도와 색상과 이에 따른 측벽의 온도 및 부유 진균의 농도를 보여주고 있다. 열화상도 색상 변화는 실내 측벽의 수분 함량이 높으면 측벽 온도가 낮아져 파란색에 가까워지고, 반대로 수분 함량이 낮으면 측벽 온도가 높아져 빨간색에 근접해진다.

강의실의 경우 3월에 측정한 화상도의 색상은 진한 빨강의 색상을 나타냈고, 측벽의 온도 범위는 23.1℃~23.6℃였으며, 이에 따른 부유 진균의 농도는 282~367 cfu/m³의 분포를 보였다. 4월 측정 이후부터는 측벽 온도가 낮아짐에 따라 화상도 색상이 주황 색상을 거쳐 노란 색상으로 전환되는 것을 보여주고 있으며, 이에 따른 부유 진균의 농도도 전반적으로 감소되는 것이 관찰되었다. 하지만 수분 영향에 의한 측벽 온도와 부유 진균의 농도간의 유의한 상관성은 보이지 않았다.

화장실의 경우 데이터 중 측정 첫날의 측벽 온도 범위가 가장 높게 측정되었으며 화상도 색상을 보면

초록빛과 하늘빛을 혼합한 색상을 나타냈다. 이에 따른 부유 진균의 농도는 강의실보다 2배가량 높은 473~621 cfu/m³로 측정되었다. 두 번째 사진에서 제시되고 있는 화상도의 경우 온도가 떨어짐에 따라 화상도 색상이 진한 파랑 색상을 나타내고 부유 진균의 농도도 260~430 cfu/m³로 낮게 측정되었음을 알 수 있었다. 그 이후 측정되었던 자료를 보면 온도가 약간 상승함에 따라 하늘색의 화상도 색상을 나타냈고, 부유 진균 농도 또한 증가하였음을 관찰할 수 있었다.

노랑 색상을 나타낸 경우 측벽 온도가 이전보다 조금 낮게 측정되었고, 부유 진균의 농도는 이전보다 현저하게 낮게 측정되지만 온도와는 무관하게 부유 진균의 농도가 고루 분포하고 있었다. 화상도 색상이 보라 색상에 가까운 진한 파랑을 나타낸 경우 측벽 온도 또한 낮게 측정됨을 알 수 있었다.

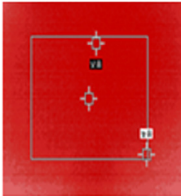

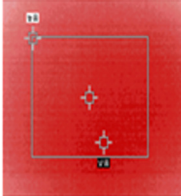
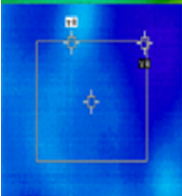
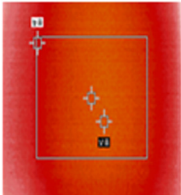
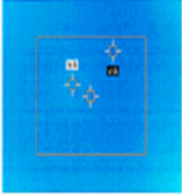
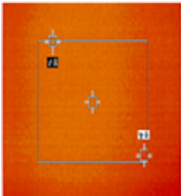
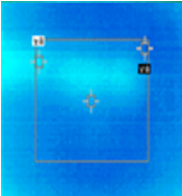
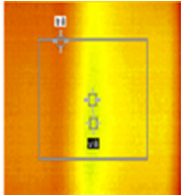
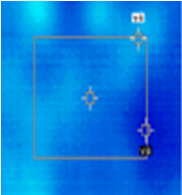
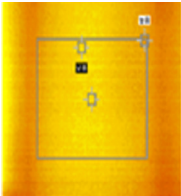
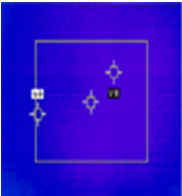

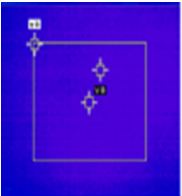
따라서 측정 데이터 근거 시 화장실 내 부유 진균의 농도가 강의실보다 상대적으로 높게 측정되었고, 실내 측벽의 수분 함량에 따른 화상도 색상의 명확한 차이가 측벽 온도의 변화를 반영하는 경향이 관찰되었다. 그러나 측정 데이터의 부족으로 실내 측벽의 수분 함량에 따른 온도 분포와 그 화상도 색상을 가지고 부유 진균의 농도를 추정하기에는 통계적으로 유의한 연관성이 규명되지 않은 본 연구의 한계점을 가지고 있어 이와 관련한 추가 연구가 수행되어야 한다고 사료된다.

3. 실내 부유 진균의 농도와 환경 인자간의 상관성 검토

Figure 1은 열화상 카메라로 촬영한 측벽 화상도 속에 나타난 온도 분포와 부유 진균의 농도를 추정함에 있어 신뢰성 확보 여부를 간접적으로 추정하기 위해 강의실과 화장실에서 측정된 부유 진균의 농도와 실내 환경인자인 측벽 온도, 공기 중 상대습도, 공기 중 온도와의 통계적 상관성을 직선 회귀 방법을 통해 분석한 자료이다.

통계 분석 결과 실내 측벽의 온도 분포에 따른 부유 진균의 농도 변화에 있어서는 결정계수(R²) 값이 0.0145를 나타내 두 데이터 간의 통계적 상관성이 유의하지 않은 것으로 조사되었다(p>0.05). 실내공기 내 상대습도 분포에 따른 부유 진균의 농도 변화에

Table 2. Association of thermal image of wall and concentration of airborne fungi in the lecture room and toilet

	Lecture room		Toilet	
March		Wall temp.(°C) (23.1~23.6)		Wall temp.(°C) (16.9~17.5)
		Airborne fungi (cfu/m ³) (282~367)		Airborne fungi (cfu/m ³) (473~621)
April		Wall temp.(°C) (24~24.3)		Wall temp.(°C) (14~16)
		Airborne fungi (cfu/m ³) (98~170)		Airborne fungi (cfu/m ³) (260~430)
May		Wall temp.(°C) (22.1~22.5)		Wall temp.(°C) (16~16.3)
		Airborne fungi (cfu/m ³) (160~240)		Airborne fungi (cfu/m ³) (473~600)
June		Wall temp.(°C) (19.2~20)		Wall temp.(°C) (15.9~16.1)
		Airborne fungi (cfu/m ³) (21.2~35.3)		Airborne fungi (cfu/m ³) (28.2~56.5)
September		Wall temp.(°C) (18~18.8)		Wall temp.(°C) (15.2~15.9)
		Airborne fungi (cfu/m ³) (14~49.4)		Airborne fungi (cfu/m ³) (56.5~148)
October		Wall temp.(°C) (18.4~18.8)		Wall temp.(°C) (13.9~14.1)
		Airborne fungi (cfu/m ³) (35.3~113)		Airborne fungi (cfu/m ³) (21.2~63.6)
November		Wall temp.(°C) (18.6~18.8)		Wall temp.(°C) (13.8~14.1)
		Airborne fungi (cfu/m ³) (35.3~106)		Airborne fungi (cfu/m ³) (1.6~197)

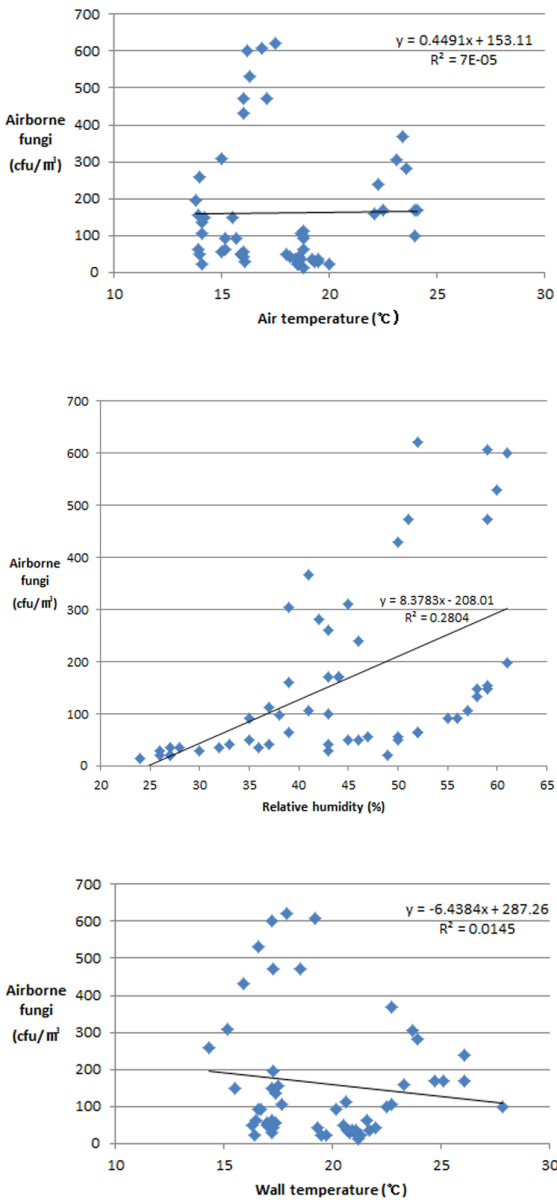


Figure 1. Statistical correlation between airborne fungi and environmental factors(air temperature, relative humidity and wall temperature)

있어서는 두 데이터간의 양의 회귀 관계를 보였고 결정계수 값이 0.2804로 측벽 온도보다는 상대적으로 높게 나타났지만 역시 통계적으로는 유의하지 않았다($p > 0.05$). 실내공기 내 온도의 경우 부유 진균의 농도와의 직선 회귀 관계에 있어 결정계수 값이 0의 수준으로 나타나 두 데이터 간에는 통계적 연관성이

거의 없는 것으로 나타났다($p > 0.01$). 따라서 본 연구 결과에 근거하면 실내 공간의 온도 요인은 부유 진균의 농도 변화에 유의한 영향을 주지 않는 것으로 분석되었다.

실내 공간의 온도(X_1), 상대습도(X_2), 측벽 온도(X_3)의 세 가지 요인들을 독립 변수로 하고 이에 따른 부유 진균의 농도(Y)를 종속 변수로 한 다중회귀 분석 결과, 다중회귀방정식이 $Y = -0.457X_1 + 0.404X_2 - 0.0019X_3 + 0.236$ ($p = 0.156$)로 산출되어 독립 변수인 실내 공간의 온도, 상대습도, 측벽 온도와 종속 변수인 부유 진균의 농도 간에는 통계적 유의성이 없는 것으로 조사되었다. 이러한 통계 분석 결과가 산출된 가장 주요 요인은 측정 횟수의 부족으로 인한 통계적 신뢰도 확보의 어려움으로 본 연구의 한계점이기도 하다. 또한 현장 조사가 수행되는 가운데 인위적으로 제어할 수 없는 예상치 못한 외부 요인들의 영향도 직/간접적으로 작용했던 것으로 판단된다. 가령 강의실의 경우 수업 종료 후 학생들의 입출입이 빈번하여 이로 인한 분진 발생이 부유 진균의 농도에 영향을 준 것으로 추정되고, 반면 화장실의 경우 현장 측정 중에 이용객들이 다른 화장실로 이동하여 수돗물 및 변기 세척물 등의 수분 사용량이 일반적인 상황보다 적어 예상보다 상대습도가 낮게 나타나 부유 진균의 농도 또한 높지 않게 나타난 것으로 사료된다.

IV. 결 론

측벽의 열화상도가 빨간색으로 나타난 경우 측벽의 온도 범위는 20~24°C, 부유 진균의 농도 범위는 20~400 cfu/m³로, 주황색으로 나타난 경우 온도 범위는 17.5~20°C, 부유 진균의 농도 범위는 35~150 cfu/m³로, 하늘색으로 나타난 경우 온도 범위는 15.5~17.5°C, 부유 진균의 농도 범위는 25~650 cfu/m³로, 파랑색으로 나타난 경우 온도 범위는 13.5~15.5°C, 부유 진균의 농도 범위는 50~200 cfu/m³로 조사되었다. 분석 결과 열화상 카메라로 촬영한 측벽의 화상도 색상과 이에 따른 측벽의 온도 분포는 일정한 경향을 보였으나, 부유 진균 농도와의 통계적 연관성은 낮게 나타났다. 반면 실내공간의 상대습도와 부유 진균의 농도와의 통계적 상관성은 다른 환경인

자보다 상대적으로 높은 것으로 분석되었다. 따라서 실내 공간의 측벽을 촬영한 열 화상도를 통해 부유 진균 농도를 신뢰성 있게 간접적으로 추정하기 위해서는 통계적 분석을 위한 지금보다 많은 측정 데이터의 확보가 필요하다고 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2014년도 부산가톨릭대학교 교내연구비에 의하여 연구되었음.

References

- Antova T, Pattenden S, Brunekreef B, Heinrich J, Rudnai P et al. Exposure to indoor mould and children's respiratory health in the PATY study. *J Epidemiol Community Health* 2008;62:708-714
- Burge H, Chew G, Muilenberg M, Gold D. Role of fungi in-house dust ecosystems. *J Allergy Clin Immunol* 1995;95:167-173
- Fisk WJ, Lei-Gomez Q, Mendell M. Meta-analyses of the associations of respiratory health effects with dampness and mold in homes. *Indoor Air* 2007;17: 284-296
- Fung F, Hughson WG. Health effects of indoor fungal bioaerosol exposure. *Appl Occup Environ Hyg* 2003;18:535-544
- Griffiths WD, DeCosemo GAL. The assessment of bioaerosols: a critical review. *J Aerosol Sci* 1994;25: 1425-1458
- Kim KY, Ko HJ, Kim HT, Kim CN, Kim YS. Assessment of airborne bacteria and fungi in pig buildings in Korea. *Biosys Eng* 2008;99:565-572
- Li CS, Hsu LY. Home dampness and childhood respiratory symptoms in a subtropical climate. *Arch Environ Health* 1996;51:42-46
- Ministry of Environment. Act of Indoor Air Quality; 2010. p. 154-158
- Otten JA, Burge HA. Bacteria. In: Macher, J. (Ed.), *Bioaerosols, Assessment and control*; 1999. p. 200-214
- Pasanen AL, Pasanen P, Jantunen MJ, Kallokoski P. Significance of air humidity and air velocity for spore release into the air. *Atmos Environ* 1991;25:459-462
- Pastuszka JS, Paw UKT, Lis DO, Wlazlo A, Ulfig K. Bacterial and fungal aerosol in indoor environment in Upper Silesia, Poland. *Atmos Environ* 2000;34: 3833-3842
- Robbins CA, Swenson LJ, Nealley ML, Kelman BJ, Gots RE. Health effects of mycotoxins in indoor air: a critical review. *Appl Occup Environ Hyg* 2000;15: 773- 784
- Seo SC, Choung JT, Chen BT, Lindsley WG, Kim KY. The level of submicron fungal fragments in homes with asthmatic children. *Environ Res* 2014;131:71-76
- Thorne PS, Niekhaefer MS, Whitten P, Donham KJ. Comparison of bioaerosol sampling methods in barns housing swine. *Appl Environ Microbiol* 1992;58: 543-2551