

건축자재 내의 수분이 곰팡이 성장에 미치는 영향

서 장 후[†]

조선대학교 건축학부

Influence of Moisture on Mold Growth in Building Materials

Janghoo Seo[†]

School of Architecture, Chosun University, Gwangju 507-759, Korea

(Received October 5, 2012; revision received November 2, 2012)

ABSTRACT: Recently, the indoor air pollution by microbes such as fungi and mites have become a concern as important research topic on indoor air quality. Fungal growth is significantly affected by humidity. In this study, we examined the influence of relative humidity on the surface of building materials and the water content of building materials on the fungal growth rate by measuring the mycelium length of fungi in the fungal detector placed on the surface of building materials. As a result, even if the relative humidity on the surface of building materials is identical, the more water content of building materials is, the more fungi grow faster. It was suggested that fungal growth rate depends on not only the relative humidity on the surface of building materials but also the water content of building materials.

Key words: Mold(곰팡이), Building materials(건축자재), Moisture(수분)

기 호 설 명

ϕ : 함수율 [%]
 h : 상대습도 [%]
 a, c : 건축자재의 종류에 따라 결정되는 계수

상첨자

b, d : 건축자재의 종류에 따라 결정되는 계수

1. 서 론

건축자재, 가구 등에서 발생하는 화학물질이 새 집증후군을 비롯한 실내공기질 문제의 직간접 원인

으로 규명되었고, 최근에는 건축물, 건축자재 그리고 공조시스템에서 발생하는 미생물이 실내 공기환경에 악영향을 미치는 것으로 보고되고 있다. 특히 공기 중에 존재하는 곰팡이의 포자나 미생물이 원인이 되어 발생하는 휘발성유기화합물(Microbiological Volatile organic Compounds : MVOCs)의 경우, 인체의 호흡에 의한 알레르기, 천식 등의 호흡기 질환이나 곰팡이 냄새에 의한 인체 건강과 관련하여 관심이 증가되고 있다.⁽¹⁻⁴⁾

일본에서는 실내 거주 공간에서의 MVOCs에 의한 공기오염을 해명하는 것을 목적으로 건축재료와 곰팡이 성장과의 관계를 통한 MVOCs의 방출특성이 검토되었다. 또한 공조시스템에 기인한 미생물 오염에 관한 실태 조사와 함께 공학적 대책도 검토되고 있다.^(5, 6) 국내에서는 벽지표면에서 발생하는 곰팡이의 발아 및 성장에 관한 검토가 되고 있고 또한 온습도가 곰팡이 성장에 미치는 영향이 조사되어 실내 공간의 생물학적 오염에 대한 기초 자료

[†] Corresponding author

Tel.: +82-62-230-7022; fax: +82-62-230-7136

E-mail address: seo@chosun.ac.kr

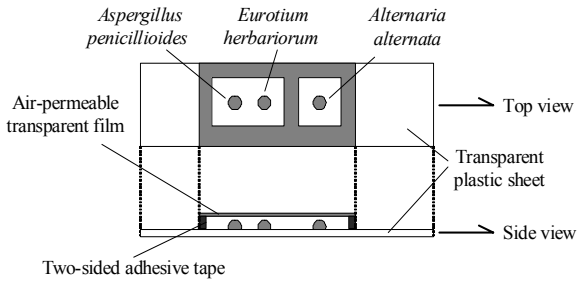


Fig. 1 Outline of the fungal biosensor plate.

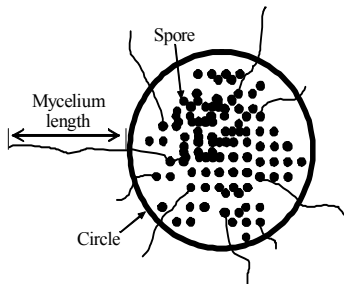


Fig. 2 Definition of the mycelium length.

를 제공하고 있다.⁽⁷⁾

건축자재에서 발생하는 곰팡이의 경우, 기존 연구 결과에서 예측할 수 있듯이 건축자재 표면의 수분량 혹은 건축자재가 함유하는 수분량이 곰팡이의 성장에 큰 영향을 미칠 것으로 판단이 된다. 따라서 본 연구에서는 각종 건축자재의 함수율을 측정하여 건축자재가 함유하는 수분량이 건축자재에서 발생하는 곰팡이의 성장속도에 미치는 영향을 검토한다.

2. 연구 방법

2.1 곰팡이 성장속도 측정방법

Fig. 1과 같이 본 연구에서는 *Alternaria alternata*, *Eurotium herbariorum*, *Aspergillus penicillioides*의 3종류의 곰팡이가 배양된 곰팡이센서⁽⁸⁾를 실험대상으로 한다. *Alternaria alternata*는 호습성(好濕性)의 곰팡이로 상대습도 96% 이상에서 성장속도가 빨라지고, *Eurotium herbariorum*은 호건성(好乾性)의 곰팡이로 상대습도 73~95%의 환경에서 성장속도가 빠른 특징을 가지고 있다. *Aspergillus penicillioides*은 내건성(耐乾性) 곰팡이이며 상대적으로 낮은 습도의 환경에서도 성장하는 것으로 알려져 있다.

본 연구에서 사용한 측정 대상의 목재는 규산칼슘보드(Silicate calcium board; SCB), 바닥마감재(Flooring; FL), 조습건재(Humidity-controlling porous

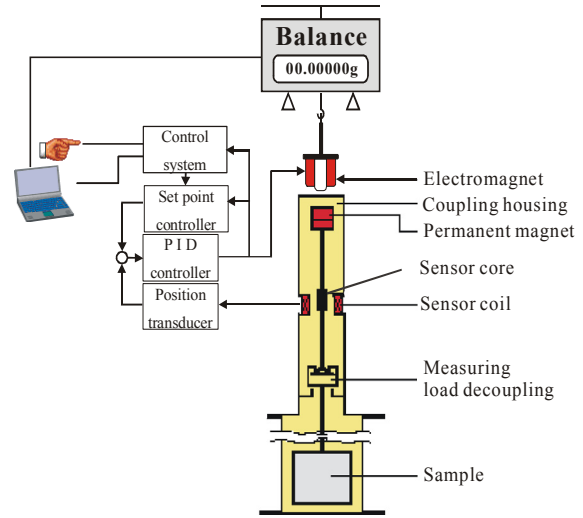


Fig. 3 Schematic of magnetic suspension balance device.

Table 1 Specifications of magnetic suspension balance device

| Gas used | H2O/Air |
|-----------------------------|------------------|
| Maximum mass | Below 15 g |
| Gravimetric resolution | 10 μ g |
| Gravimetric reproducibility | ± 20 μ g |

ceramic material; HCPM), 염화비닐(Poly(vinyl chloride); VC) 4종로 선정하였다. 각 건축자재의 표면에 곰팡이센서를 부착시킨 각 건축자재를 온도 28 $^{\circ}$ C, 상대습도 85% 및 95%의 챔버 속에 설치하여 7일간 실험을 하고, 건축자재의 함수량에 따른 곰팡이의 성장 속도를 측정한다. 곰팡이 균사길이의 측정 개념은 Fig. 2와 같으며,⁽⁹⁾ 광학현미경을 이용하여 곰팡이의 균사길이를 측정하는 것으로 곰팡이의 성장속도를 확인한다. 곰팡이의 균사 중 가장 성장한 5개의 균사의 평균길이를 균사 길이로 정의한다.

2.2 함수율 측정방법

상술의 측정대상 건축자재의 함수율은 Fig. 3 및 Table 1에 나타내는 자기부유천칭을 이용하여 측정한다.⁽¹⁰⁾ 자기부유천칭을 이용한 방법에서는 대기압 하에서 일정한 온도 조건에 일정한 습도의 공기를 자기부유천칭의 시료에 일정량으로 공급하고, 수증기 흡착에 의해 중량변화를 흡착평형에 도달할 때까지 직접 측정하여 건축자재에 대한 흡착량(흡착 등온선)을 측정한다. 자기부유천칭의 최대 특징은

특별한 접촉 없이 자기부유 상태에 의해 중량 변화를 측정할 수 있으며, 중량 측정부가 샘플과 떨어져 있기 때문에, 기류나 외부 진동에 의한 영향이 없고, 포름알데히드, 톨루엔과 같은 휘발성유기화합물 등의 부식성 가스에도 대응이 가능한 측정 시스템이다.

측정온도는 28℃이고 상대습도는 0~90%의 범위에서 10% 간격으로 수증기 흡착량을 측정하고, 불순물의 흡착방지를 위해 화학물질 제거필터를 통과한 G1 등급의 순수 공기를 사용한다. 습도의 설정은 자기부유천칭에 부착된 해석 프로그램에 의해 이루어지고, 자기부유천칭 내의 습도계에 의해 실측치가 측정치의 ±0.2%의 범위가 되도록 자동 피드백 제어가 이루어진다. 습도계의 상대습도 정밀도는 ±2%이고, 측정 시료는 1 mm 이하 분쇄하여 측정한다.

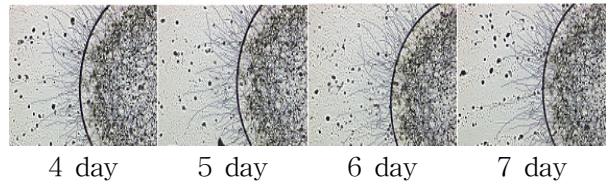
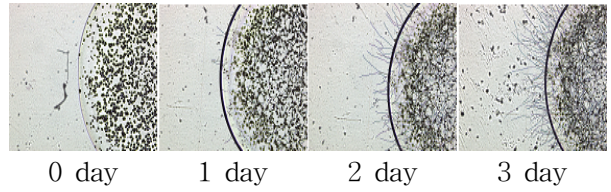
3. 연구결과

3.1 곰팡이 성장 속도 측정 결과

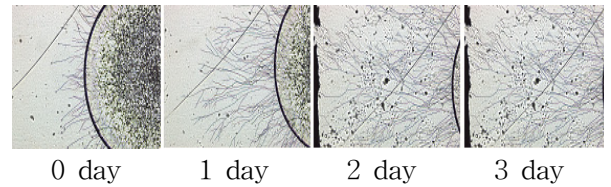
온도 28℃, 상대습도 95%의 환경조건에서 규산칼슘습보드에 부착시킨 3종류의 곰팡이의 경과일수에 따른 성장모습을 광학현미경으로 촬영한 사진은 Fig. 4와 같다. *Alternaria alternata* 및 *Aspergillus penicillioides*의 경우, 실험 1일째부터 균사의 성장이 확인되었으며, 3일째까지 급격한 성장이 하는 것으로 나타났다. *Eurotium herbariorum*는 실험개시 1일째부터 활발한 성장을 하였으며, 4일 이후에는 균사의 성장이 현미경의 촬영범위를 벗어나는 것으로 나타났다.

경과일수에 따른 *Alternaria alternata* 균사 길이의 정량적 평가 및 곰팡이의 성장속도 비는 그 Fig. 5와 같다. 실험 개시 1일 후, *Alternaria alternata*의 균사 길이는 170 μm이었고, 4일 후에는 1166 μm까지 빠른 속도로 성장하였다. 그러나 5일째부터는 성장속도가 크게 둔화되는 것으로 나타났다. 본 연구에서는 성장속도 비를 측정일의 균사길이를 측정일 전일의 균사 길이로 나눈 값(= n일째의 균사길이/n-1일째의 균사길이)으로 정의한다. 곰팡이 균사의 길이를 이용한 성장속도 비는 실험 개시 1일 후 최대였으며, 실험 5일 후에는 균사 길이의 정량적 평가와 동일한 경향이 나타났다.

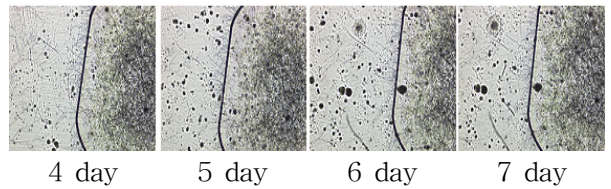
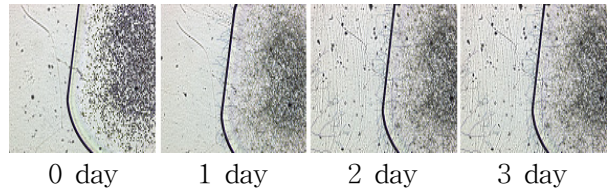
상대습도별 각 건축자재의 곰팡이들의 성장속도



(a) *Alternaria alternata*



(b) *Eurotium herbariorum*



(c) *Aspergillus penicillioides*

Fig. 4 Growth of mold on Silicate calcium board with lapse of time(28℃, RH 95%).

비는 Table 2와 같다. 상대습도 95%의 환경에서는 실험경과 7일 후의 *Alternaria alternata*의 성장속도 비를 기준 값으로 비교하였고, 상대습도 85%의 환경에서는 7일 후의 *Aspergillus penicillioides*의 성장속도 비를 기준 값으로 설정하여 비교하였다.

상대습도를 95%로 제어한 경우, 규산칼슘습보드 및 바닥마감재에 비해서 염화비닐 및 조습건재에 부착된 3종류의 곰팡이의 성장속도의 차이가 큰 것으로 나타났다. 본 실험에서 사용한 곰팡이센서는 건축자재의 표면에 직접 접촉하지 않기 때문에 섭취하는 영양분의 성분이나 양은 동일하고, 본 실험에서의 곰팡이는 건축자재 표면의 수분에 의존에서 성

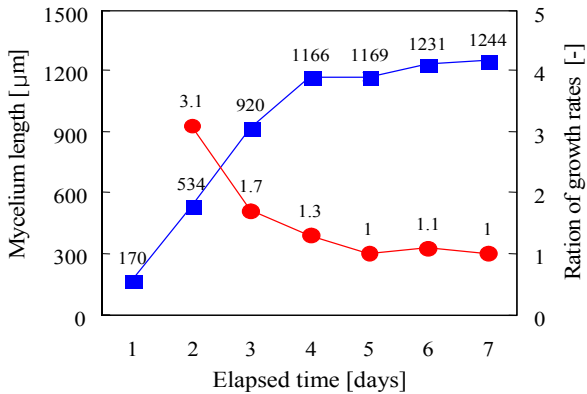


Fig. 5 The mycelium length and ratio of growth rates for *Alternaria alternata* on Silicate calcium board at RH 95%.

Table 2 Growth rates of fungi at RH 85 and 95%

| Materials | Mold | RH | Growth rates |
|---|-----------------------------------|----|--------------|
| Silicate calcium board (SCB) | <i>Alternaria alternata</i> | 95 | 1.0* |
| | | 85 | - |
| | <i>Eurotium herbariorum</i> | 95 | 3.3 |
| | | 85 | 2.6 |
| | <i>Aspergillus penicillioides</i> | 95 | 1.5 |
| | | 85 | 1.0* |
| Flooring (FL) | <i>Alternaria alternata</i> | 95 | 1.0* |
| | | 85 | - |
| | <i>Eurotium herbariorum</i> | 95 | 3.6 |
| | | 85 | 2.0 |
| | <i>Aspergillus penicillioides</i> | 95 | 1.7 |
| | | 85 | 1.0* |
| Humidity-controlling porous ceramic material (HCPM) | <i>Alternaria alternata</i> | 95 | 1.0* |
| | | 85 | - |
| | <i>Eurotium herbariorum</i> | 95 | 6.2 |
| | | 85 | 1.7 |
| | <i>Aspergillus penicillioides</i> | 95 | 3.1 |
| | | 85 | 1.0* |
| Poly(vinyl chloride) (VC) | <i>Alternaria alternata</i> | 95 | 1.0* |
| | | 85 | - |
| | <i>Eurotium herbariorum</i> | 95 | 7.5 |
| | | 85 | 1.5 |
| | <i>Aspergillus penicillioides</i> | 95 | 3.5 |
| | | 85 | 1.0* |

Note) * Reference growth rate.

장하는 것으로 판단된다. 따라서 곰팡이 성장속도는 곰팡이의 종류에 따라 크게 다른 것으로 나타났으며, 측정결과는 곰팡이 성장에 관한 최적 습도환경 특성에 부합하는 것으로 확인되었다. 또한 곰팡이센서를 부착한 건축자재의 종류가 다르면, 동일한 온습도 환경조건에, 동일한 곰팡이라도 성장속도가 크게 다르게 나타났다. 이는 온습도 등의 환경인자뿐만 아니라 곰팡이에 접촉하는 건축자재 표면의 수분상태가 곰팡이의 성장에 영향을 주는 것으로 판단된다. 상대습도를 85%로 제어한 경우에도 곰팡이의 성장속도 비는 다르게 나타났지만, 건축자재 표면의 수분상태가 곰팡이의 성장에 크게 영향을 주는 것으로 확인되었다.

3.2 함수율 측정 결과

자기부유천칭을 이용한 각 건축자재의 수증기 흡착등온선 측정결과는 Fig. 6과 같다. 각 건축자재의 흡착등온선 중 하부 곡선은 수증기가 건축자재에 흡착하는 과정을 나타내는 흡착곡선이고, 상부의 곡선은 수증기가 건축자재에서 탈착하는 과정을 나타내는 탈착곡선을 나타낸다.

본 연구에서는 측정 대상 건축자재 중, 바닥마감재의 수증기 흡착량이 가장 많았으며 상대습도 90%에서 바닥마감재는 약 216 mg/g의 수증기를 흡착하는 것을 측정되었다. 한편, 염화비닐은 상대습도 90%의 조건에서 바닥마감재의 수증기 흡착량의 1/10정도인 약 25 mg/g의 수증기를 흡착하는 것으로 나타났으며, 염화비닐은 수증기에 대한 흡방습 능력이 아주 작은 것으로 확인되었다. 습기의 흡수력이 좋은 조습건재의 경우, 염화비닐에 비해서 수증기 흡착량이 많은 것으로 나타났으나, 상대습도 90% 지점에서 약 80 mg/g의 수증기를 흡착하여, 바닥마감재의 수증기 흡착량의 1/3정도의 능력을 보유하는 것으로 확인되었다. Fig. 6과 같이 본 실험의 측정대상인 4종류의 건축자재는 수증기의 흡착과정과 탈착과정이 상이하였으며, 히스테리시스(Hysteresis) 현상을 나타냈다. 상대습도가 0~80%의 범위에서는 바닥마감재, 조습건재, 규산칼슘보드, 염화비닐의 순으로 수증기 흡착량, 즉 함수량이 많았으며, 상대습도가 85%를 넘는 범위에서는 조습건재보다 규산칼슘보드의 함수량이 많은 것으로 나타났다.

본 실험에서는 상대습도 85% 및 95%의 조건에서 곰팡이의 성장속도 측정을 하였다. 함수율의 경

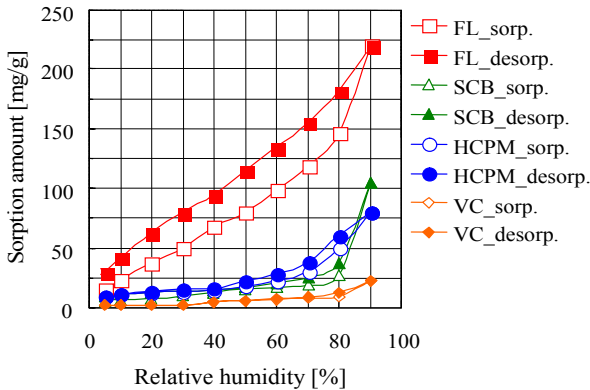


Fig. 6 Water vapor sorption isothermals for building materials.

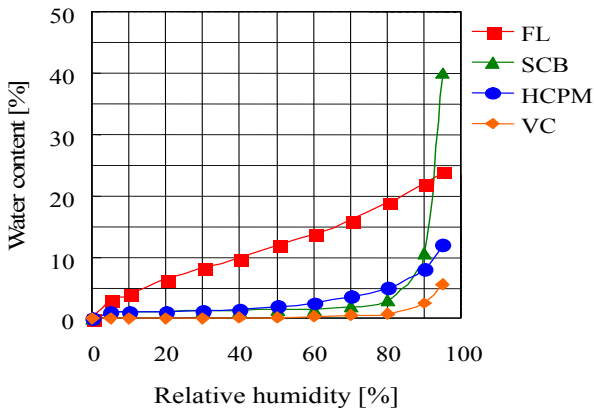


Fig. 7 Water content for building materials.

Table 3 Water content for building materials at RH 85 and 95[%]

| Materials | RH 85% | RH 95% |
|--|--------|--------|
| Silicate calcium board | 4.7 | 39.6 |
| Flooring | 20.0 | 23.4 |
| Humidity-controlling porous ceramic material | 6.1 | 11.2 |
| Vinyl chloride | 1.3 | 5.4 |

우, 측정기기기의 성능을 고려하여 상대습도 0~90% 범위에서 함수율을 측정하였다. 따라서 상대습도 90% 이상의 범위에서는 식(1)의 Shiligersky의 근사식⁽¹¹⁾을 이용하여 4종류의 건축자재의 함수율을 예측하였다.

$$\phi(h) = a \times h^b \times \exp\{c \times (1 - h^d)\} \quad (1)$$

여기서, ϕ : 함수율 [%], h : 상대습도, a, b, c, d : 건축자재의 종류에 따라 결정되는 계수.⁽¹¹⁾

4종류의 건축자재에 대한 수증기의 흡착과정을 이용한 함수율 예측결과는 Fig. 7과 같고, Table 3은 상대습도 85% 및 95%의 조건에서의 각 건축자재별 함수율을 보여준다. 바닥마감재의 경우, 상대습도가 증가함에 비례하여 함수율이 증가하는 것으로 나타났다. 규산칼슘보드는 상대습도가 80%를 넘어가는 지점에서 함수율이 급격히 증가하고, 상대습도 95%일 때의 함수율은 39.6%가 되어 4종류의 건축자재 중 가장 함수율이 큰 것으로 나타났다. 조습건축재의 경우, 상대습도가 50%에 도달할 때까지 낮은 함수율을 증가하며, 상대습도 60% 지점에서 함수율이 서서히 증가하여 상대습도 95% 일 때, 함수율은 11.2%로 나타났다. 염화비닐의 경우, 최대 함수율이 5.4%로 확인되었으며, 4종류의 건축자재 중 가장 함수율이 낮은 것으로 나타났다.

Table 2에서 상대습도가 85%일 때, 건축자재 별 *Eurotium herbariorum*의 성장속도 비는 바닥마감재(2.0) → 조습건축재(1.7) → 염화비닐(1.5)의 순서로 작아졌다. 상대습도가 95%일 때는 대상 건축자재에 상관없이 *Eurotium herbariorum* 성장속도 비가 3.3 이상으로 나타났으며, 상대습도의 증가에 따른 함수율의 증가가 곰팡이의 성장에 크게 영향을 주는 것으로 확인되었다. 이는 Table 3의 상대습도 85% 및 95%의 건축자재의 함수율과 대응하는 것으로 나타났으며, 곰팡이의 성장속도는 건축자재의 함수율에 의존하는 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 각종 건축자재의 함수율을 측정하여 건축자재가 함유하는 수분량이 건축자재에서 발생하는 곰팡이의 성장속도에 미치는 영향을 검토하였다.

곰팡이의 균사길이와 성장속도 비의 평가에 의해 *Alternaria alternata*, *Eurotium herbariorum*, *Aspergillus penicillioides*의 성장 최적환경을 확인할 수 있었으며, 각 곰팡이의 성장속도는 상대습도 및 건축자재의 종류에 따라 다른 것으로 확인되었다.

본 연구에서는 수증기 흡착등온선 측정에 의한 건축자재의 함수율을 측정하였고, 환경인자로서 상대습도가 동일하다 하더라도 건축자재의 함수율이 크면 곰팡이의 성장속도는 빨라지는 것으로 나타났다. 곰팡이의 성장속도는 온도, 습도뿐만 아니라, 번식장소가 되는 건축자재의 함수율의 영향을 받는 것으로

판단된다. 향후, 본 연구의 결과를 바탕으로 곰팡이의 발생 및 성장에 기인한 각종 건축자재의 MVOC 발생량을 정량, 정성적으로 평가할 예정이다.

후 기

본 논문은 2012학년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음. 본 논문의 일부는 2009년도 한국생활환경학회 추계학술발표대회에서 발표되었음.

참고문헌

1. Yoshizawa, S. and Sugawara, F., 1987, Studies on the evaluation of airborne microbiological particles in indoor environment(1st report) : Relation of aerodynamical and morphological diameters of fungal particle, Journal of architecture planning and environmental engineering, Transactions of Architectural Institute of Japan, Vol. 371, pp. 9-17.
2. Noh, K. and Hwang, J., 2011, An Experimental Study on Mold Germination and Growth on Wallpapers at Different Environmental Conditions, Proceedings of the SAREK Summer Annual Conference, pp. 1176-1179.
3. Lee, H. and Hong, J., 2010, A Study on the Effective Removal Method of Microbial Contaminants in Building According to Bioviolence Agents, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 22, No. 12, pp. 881-890.
4. Lee, H., Choi, S. and Hong, J., 2008, A Study on the Microbial Contaminant Transport and Control Method According to Government Building Bio-Attack, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 20, No. 4, pp. 252-259.
5. Yanagi, U. and Ikeda, K., 2005, A study on the behavior and control of microbial contamination in an air conditioning system : Part 1 Growth environment and contamination status of microbes, Journal of environmental engineering, Transactions of Architectural Institute of Japan, Vol. 593, pp. 49-56.
6. Park, J. and Ikeda, K., 2002, Indoor air pollution by microbial volatile organic compounds in indoor environment-Characteristic of MVOCs emissions from fungi in materials, Journal of architecture planning and environmental engineering, Transactions of Architectural Institute of Japan, Vol. 561, pp. 61-66.
7. Moon, H., Yoon, Y., and Park, J., 2009, An Experimental Study on Mold Germination and Growth on Wallpapers at Different Environmental Conditions, Journal of the architecture institute of korea, Planning and Design, Vol. 25, No. 6, pp. 237-244.
8. Abe, K., Nagao, Y., Nakada, T., and Sakuma S., 1996, Assessment of indoor climate in an apartment by use of a fungal index, Appl. Environ. Microb., Vol. 62, No. 3, pp. 959-963.
9. Seo, J., Kato, S., Tatsuma, T., Chino, S., Takada, K., and Notsu, H., 2008, Biosensing of an Indoor Volatile Organic Compound on the Basis of Fungal Growth, Chemosphere, Vol. 72, pp. 1286-1291.
10. Ataka, Y., Kato, S., Seo, J., Zhu, Q., and Hasegawa, A., 2005, Measurement of adsorption isotherm of various building and adsorption materials, Journal of environmental engineering, Transactions of Architectural Institute of Japan, Vol. 595, pp. 49-55.
11. Watanabe, K., Ashie Y. and Shiligersky, I., 1995, Towards Paractical Simulation of Hygrothermal Behavior for Building Components, Part 3 Transient Mathod for Quick Measurement of Sorption Isotherm, Prep. Annual Meeting of Japan Air-conditioning and Sanitary Society, pp. 29-32.