

청사 건물의 Bio-Attack에 따른 미생물 오염원 확산 및 제어방안에 관한 연구

이 현 우, 최 상 곤*, 홍 진 관***

경원대학교 대학원 건축설비학과, *유한대학 건축설비과, **경원대학교 건축설비학과

A Study on the Microbial Contaminant Transport and Control Method According to Government Building Bio-Attack

Hyun woo Lee, Sang Gon Choi*, Jin Kwan Hong***

Department of Building Equipment and System Eng, graduate school of Kyungwon University,
Sungnam City 461-701, Korea

*Department of Building services, Yuhan College, Kyeonggi-do 422-749, Korea

**Department of Building Equipment and System Eng, Kyungwon University, Sungnam City 461-701, Korea

(Received August 29, 2007; revision received March 10, 2008)

ABSTRACT: The purpose of this study is to estimate the movement of microbial contaminant caused by bio-attack using bio-agent such as bacillus anthracis for preventing contaminant diffusion. multizone simulation was carried out in the case of three types of bio-attack scenario in the government building. Simulation results show that severe contaminant diffusion is brought about in all cases of bio-attack scenario in one hour, though pollution boundaries have different mode according to bio-attack scenarios. Simulation results also show that immune building technology such as filter and UVGI technology gives us powerful alternatives to meet the emergent situation caused by unexpected bio-attack.

Key words: Bio-agent(미생물 제제), Bio-attack scenario(건물 미생물 공격 시나리오), UVGI(자외선 살균), Immune building technology(면역건물기술)

기 호 설 명

C_d	: 방출율 [0~1]	$K^{\alpha, \beta}$: 존 i에서 오염원 α 와 β 의 운동반응 계수 [0~1]
C_b	: 유량계수 [0~1]	L	: 유효 누설 면적 [m^2]
C_i^α	: 존 i에서 오염원 α 의 질량비율 [0~1]	m_i	: 존 i에서 공기의 질량 [kg]
C_j^α	: 존 j에서 오염원 α 의 질량비율 [0~1]	m_i^α	: 존 i에서 오염원 α 의 질량 [kg]
$F_{i \rightarrow j}$: 존 i에서 j로 흐르는 공기유량 [kg]	Q_r	: 압력차 ΔP_r 에서 예상 풍량 [m^3/s]
F_y	: 폭 W , 높이 Δy 인 개구부의 유량 [kg]	ΔP_r	: 압력차 [Pa]
G_i^α	: 제어체적내의 오염물질 발생량 [kg]	R_i^α	: 존 i에서 오염원 α 의 제거율 [0~1]
		W	: 개구부의 폭 [m]
		Δy	: 개구부의 단위 높이 [m]
		ρ	: 개구부를 지나는 공기의 밀도 [kg/m^3]
		η_j^α	: 오염원 α 에 대한 필터 효율 [0~1]

† Corresponding author

Tel.: +82-031-750-5306; fax: +82-031-750-5314

E-mail address: jkHong@kyungwon.ac.kr

1. 서 론

최근 미국에서 발생한 9.11테러 이후 국제적으로 각종 테러에 대한 대응책에 대하여 다방면으로 노력을 기울이고 있다. 그러나 불특정 다수에 대한 테러는 끊이지 않고 계속 발생하고 있으며 또한 테러에 대한 뉴스를 쉽게 접할 수 있다. 최근의 테러는 가공할 폭발력이 있는 폭탄을 사용하는 자살 폭탄테러가 그 주류를 이루고 있으나, 미생물이나 화학적인 가스를 사용하여 이루어지기도 한다. 최근 1995년 일본에서 발생한 사린가스를 이용한 테러와 2001년 미국전체를 공포로 몰고간 탄저균 우편 테러가 그 예이다. 특히 미생물학적인 테러는 병원균만 구할 수 있다면 적은 지식으로도 매우 강력한 무기를 만들 수 있다는 것이 문제이며, 그 외형 또한 우리가 일반적으로 접할 수 있는 헤어스프레이 하나 정도면 충분히 대량 살상이 가능하다는 점에서 매우 위험하다 할 것이다. 이러한 생물학적 테러를 방지하기 위하여 미국에서는 탄저균 등의 세균을 공중에 살포할 경우 이를 발견하고 경고하는 “바이오 워치”를 미국 각지에 설치하는 등 국가적인 대책에 고심하고 있다.⁽¹⁾ 우리나라의 경우 상대적으로 테러에 대한 안전국가로 인식되고 있지만, 이라크 전 이후 국제적인 테러단체가 여러 나라들에게 테러 경고를 보낸 것 또한 사실이다. 따라서 테러로부터 완전히 자유로운 국가는 없다고 해야 할 것이며 이에 대한 적절한 대책이 논의되어야 할 것이다.

본 논문에서는 미생물학적인 테러가 국내의 정부기관 건물을 대상으로 발생할 경우에 대하여 몇 가지 시나리오를 만들고 각 시나리오에 따른 건물내부에 퍼져나가는 미생물 제제(Bioagents)의 거동을 살펴보도록 하였다. 또한 이러한 생물학적인 테러에 대한 대책으로서 면역건물기술(Immune building technology)⁽²⁾을 도입하여 방지 대책을 수립할 경우 건물내부에서 어느 정도 효과를 얻을 수 있을 지에 대하여 평가하도록 하였다.

2. 연구 수행 및 모델 구성

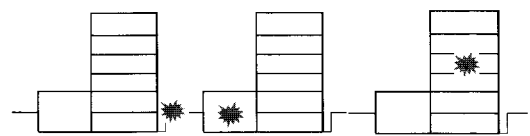
연구는 우선 건물에 대한 효과적인 미생물 공격을 위한 Bio-attack 시나리오를 구성하고, 이러한 Bio-attack 시나리오에 따라 국내 실제 공공기관

건물에 대하여 이러한 Bio-attack 시나리오를 적용하여 건물 내부에 미생물의 거동을 살펴보도록 하였다. 기존 연구를 통하여⁽³⁾ 이러한 Bio-attack 시나리오의 적용은 실제 실험이 거의 불가능하기 때문에 시뮬레이션 기법을 도입하여 거동을 모사하도록 하였으며, 이러한 Bio-attack에 대한 대책으로서의 면역건물기술에 대한 효과를 시뮬레이션 기법을 통하여 예측해 보았다. 이를 위하여 멀티존 시뮬레이션 프로그램인 CONTAM2.4⁽⁴⁾를 사용하였다.

2.1 Bio-attack 시나리오

현재 가장 전염성이 강하고 치명적인 균들 중 하나로 알려져 있을 뿐만 아니라 2001년 미국에서 테러에 사용된 균으로서 상대적으로 입수가 용이했다는 점에서 탄저균을 Bio-attack 시나리오의 미생물 제제로 선정하였다. 탄저균은 약 10ml 배양액에 1×10^{10} 개 정도로 배양하여 쉽게 접할 수 있는 최소형 헤어스프레이 통에 담아 방출하는 경우를 가정하였다. 이 경우 방출이 어려운 헤어스프레이의 특성을 고려하여 약 10분 동안에 1×10^9 개의 병원균을 방출하는 것으로 가정하였다. 미생물 발생장치로 헤어스프레이를 선택한 것은 폭발물이 아니고 내용물 또한 쉽게 분별할 수 없으며 누구나 여행 가방에 또는 주머니에 쉽게 담아 다닐 수 있기 때문이며, 간단히 가방에 담아 건물 어디나 쉽게 출입이 가능할 것이라는 가정을 하였다.

대상이 된 건물은 일반인이 쉽게 접근할 수 있는 시청 청사 건물을 대상으로 하였다. 공조방식은 각층에 개별 공조기로 제어하고, 전체 배기만 옥탑 층에서 이루어지며, 대공간이 있는 2~3층은 따로 개별 공조기로 제어하는 방식이다. 미생물 제제에 의한 생물학적인 공격 시나리오는 Fig. 1에서 보는 것과 같이 크게 3가지를 구성하였다. (a) 시나리오 A는 1층에 있는 건물 외부 측에 설



(a) scenario A (b) scenario B (c) scenario C

Fig. 1 Bio-attack scenario.

치한 외기 도입용 드라이 에어리어(Dry area)에 헤어스프레이 통을 설치하는 경우, (b) 시나리오 B는 실내행사 등 일반인이 가장 많이 모일 수 있는 대공간(2F)에 헤어스프레이 통을 설치하는 경우, (c) 시나리오 C는 층별 설치되어 있는 공조기 내부에 헤어스프레이 통을 설치하는 경우로 나누어 구성하였다. 따라서 모든 경우에 건물내부는 일상적인 조건에서 공조 시스템이 운전되는 것으로 가정하였다.

2.2 대상 건물 모델링

해석대상 건물은 각 층의 평면을 크게 업무 공간, 회의실, 수직통로가 포함된 코어부분, 화장실 등으로 존을 구분하였다. 각존의 온도, 바닥면적, 체적을 Table 1에 나타내었다. 실내온도는 사무실과 같은 공조실을 25℃, 계단과 같은 비공조실을 15℃로 실제건물의 공조상황 중 한계온도라 판단되는 온도를 선정하여 공조장치 뿐만 아니라 온도차에 의해 실과 실 사이에 기류이동이 발생하도록 하였다. Table 2에 해석대상 건물의 공기이동통로를 각각 나타내었다. 사용된 공기이동통로는 ASHRAE에서 제공하는 각각의 기밀도⁽⁵⁾를 적용하도록 하였다. Table 2의 Leakage area 값은 ASHRAE에 의해 10Pa에서 75Pa 까지 압력을 변화시키는 동안 실험적인 방법으로 각각의 개구부에 대한 압력변동에 대한 침기량을 측정하여 산정된 값을 나타내고 있다.

유효 Leakage area는 다음 식(1)에 의해 계산되어진다.⁽⁴⁾

Table 2 Airflow path of multizone model

Air flow pass	Location	Leakage area (cm ² /m)	Area (m ²)
Door	General	0.31	1.8
	Ambt~Zone7	0.26	1.8
	Ambt~Zone5		
	Ambt~Zone3	5.5	3.6
	Ambt~Zone21		
Zone21-Zone22			
Window	Zone8-Zone22	0.72	2.4
	Ambt~Office		
	Ambt~Zone6, 7		
	Ambt~Zone21		
	Ambt~Zone24		

$$L = Q_r \frac{\sqrt{\rho/2\Delta P_r}}{C_d} \tag{1}$$

여기서, C_d 와 ΔP_r 은 일반적으로 $C_d = 1.0$ 과 $\Delta P_r = 4Pa$ 로 쓰거나 $C_d = 0.6$ 과 $\Delta P_r = 10Pa$ 로 사용되며, 본 연구에서는 $C_d = 1.0$ 과 $\Delta P_r = 4Pa$ 의 값을 설정하였다. 이렇게 설정된 유효 Leakage area는 다음 식(2)에 의하여 유량계수로 변환이 가능하다.⁽⁴⁾

$$C_b = LC_d \sqrt{2} (\Delta P_r)^{1/2-n} \tag{2}$$

여기서, n 은 실험적으로 구하게 되며, 실험적인

Table 1 Base source of multizone model

Floor/ Zone	Office		Lobby		Toilet		Core		Hall	
	Area (m ²)	Temp. (℃)	Area (m ²)	Temp. (℃)	Area (m ²)	Temp. (℃)	Area (m ²)	Temp. (℃)	Area (m ²)	Temp. (℃)
B1	1386.825	25	180.05	25	33.7	15	127.8	15	-	-
1F	1130.25	25	672.75	25	90.9	15	192.3	15	-	-
2F	671.2	25	752.8	25	59.4	15	233.05	15	742.5	25
3F	717.25	25	826.3	25	59.4	15	216.55	15	742.5	25
4F	569.25	25	207.35	25	82.5	15	112.8	15	-	-
5F~11F	742.502	25	141.45	25	82.5	15	85.8	15	-	-
12F	736.5	25	141.45	25	82.5	15	91.8	15	-	-
13F	538.501	25	141.45	25	82.5	15	91.8	15	-	-

값이 없는 경우 일반적으로 0.6에서 0.7사이의 값을 적용하는 것이 적당하며,⁽⁴⁾ 본 연구에서는 0.65를 사용하였다. 또 수직 공기통로인 계단실과 엘리베이터 샤프트 등은 각층과 문으로 구분되도록 하였으며, 수직통로의 상하층 사이는 하나의 공간이 되도록 설정하였다. 다음 주요 공기유동로인 창과 문이 개방되어 있는 경우는 Two-way flow model 중 One opening model을 사용하여 다음 식(3)에 의해 유동유량을 계산하도록 하였다.

$$F_y = C_d \sqrt{2\rho\Delta P} W \cdot \Delta y \quad (3)$$

여기서, W의 값은 실측한 값을 적용하였으며, Δy 의 값은 실측에 의한 값을 등분하여 사용하도록 하였다. C_d 의 값의 경우는 일반적으로 0.7에서 0.8사이의 값을 적용하는 것이 적당하며,⁽⁴⁾ 본 연구에서는 0.78을 사용하였다. 오염물질의 제거 모델을 위하여, 일반적인 공조상황에서 공조기에는 중성능 필터에 해당하는 MERV 12 등급의 필터가 사용된다고 가정하였다. 미생물 테러에 대한 대책으로 공조기에 중성능 필터와 UVGI(자외선 살균장치)가 조합된 면역건물기술이 적용되는 경우를 가상하여 건물의 모든 공조기에 중성능 필터에 해당하는 MERV 12 등급⁽⁶⁾과 살균을 약 99%의 UVGI 16 등급⁽⁷⁾의 자외선 살균기를 설치하는 경우에 미생물 제거의 제거 성능을 해석하였다. 식(4)에 오염물질 확산과 제거를 위한 해석에 사용된 멀티존 모델의 지배방정식을 나타내었다.⁽⁴⁾

$$\frac{dm_i^\alpha}{dt} = \sum_j F_{j \rightarrow i} (1 - \eta_j^\alpha) C_j^\alpha + G_i^\alpha + m_i \sum_\beta K^{\alpha, \beta} C_i^\beta - \sum_j F_{i \rightarrow j} C_i^\alpha - R_i^\alpha C_i^\alpha \quad (4)$$

2.3 Bio-attack 시나리오 시뮬레이션

앞서 언급한 (a), (b), (c)의 Bio-attack 시나리오에 대한 오염원 거동을 알아보기 위하여 실외 온도를 5℃로 하였다. 이는 균을 냉장 보관할 수 있는 온도로서, 겨울과 여름 조건에 비하여 외기에 의한 미생물 성장에 미치는 영향이 낮기 때문에 외란에 대한 변화를 배제하기 위하여 설정되었다. 즉 건물 외부에서 세균이 살포되더라도 증식되거나 사멸되는 균이 없이 공조기를 통하여

Table 3 Simulation condition

Scenario	Bioagents filtering condition		
	A	none	MERV 12
B	none	MERV 12	MERV 12 + UVGI 16
C	none	MERV 12	MERV 12 + UVGI 16

퍼져나가도록 하고, 또한 실내에서 헤어스프레이와 같이 냉장 또는 보냉이 되지 않는 장치를 사용할 경우에도 주변 환경에 의한 미생물 증식 및 사멸에 대한 영향을 배제하기 위해서이다. 따라서 초기에 발생한 미생물 전부가 공기를 통하여 전파한다고 가정하였다. 물론 세균이 공조기나 벽체 또는 바닥에 부착되어 장시간 장치 또는 실내에서 증식 또는 사멸할 수 있으나 장시간 이후에는 발병으로 인해 이러한 간접오염에 대한 대책이 발휘되어 인원 통제 및 오염제거가 될 것으로 가정하였다. 또한 실내의 모든 문은 닫혀있으며, 실내에 퍼진 미생물의 제거는 국소 배기나 필터 및 UVGI에 의해서 제거되는 것으로 가정하였다. 최악의 상황을 모사하기 위하여 앞서 언급한 각각 (a), (b), (c)의 Bio-attack 시나리오에 대해서 공조기 입구 측에 필터가 전혀 설치되지 않을 경우를 살펴보고, 일반적인 중성능 필터에 해당하는 MERV 12 등급 필터를 설치한 경우, 중성능 필터와 UVGI(자외선 살균장치)가 조합된 면역건물기술이 적용된 경우에 대하여 Table 3에 시뮬레이션 조건을 나타냈으며, 필터는 각각의 공조기 입구 측에 설치하는 것으로 가정하였다. 시뮬레이션 시간은 총 24시간으로 하였으며, 각 시나리오에 따라 9:00시부터 미생물 제거에 의한 Bio-attack이 발생하는 것으로 가정하였다. 이에 따른 미생물 오염원의 확산 및 제거에 대하여 연구를 수행하였다.

3. 시뮬레이션 결과 및 고찰

일반적으로 탄저균은 약 10,000 CFU의 균에 노출되면 인간에게 50% 정도의 감염을 일으키며, 약 28,000 CFU 정도에 노출되면 50% 정도가 사망에 이르게 된다.⁽⁸⁾ 그러나 재실자가 오염균에 노출되어 있는 동안 호흡을 통하여 들여 마시는 세균

량은 누적됨으로 실제로는 재실자의 실내 활동에 따른 호흡량에 따라 결과에 나타난 오염량보다 적거나 혹은 많을 수 있다. 일반적인 경우 70 kg의 건강한 남성의 경우 가벼운 작업을 할 때 약 0.8 m³/h의 호흡량을 가지는 것으로 가정하였다. 앞서 언급한 각각 (a), (b), (c)의 Bio-attack 시나리오에 대한 시뮬레이션을 수행한 결과 미생물 제재를 분사하기 시작하여 최초 10분 동안 약 1×10⁹ CFU의 미생물을 대상 공간에 방출하고, 공기 유동 통로를 통하여 주변공간으로 확산된다. 시나리오 A는 드라이에어리어에서 공조기의 배기가 재순환을 하기 때문에 공조기 배기에 의해 드라이에어리어로 배출된 미생물오염원이 다시 공조기를 통하여 지속적으로 건물내부로 유입되어 2시간 이후에 최대가 되었고, 시나리오 B와 시나리오 C의 경우는 공조기를 통한 재순환이 없으므로 최초 방출시간과 오염확산 시간이 지난 1시간 이후 오염량이 최대가 되는 것으로 나타났다.

Fig. 2에서는 실내행사 등 일반인이 가장 많이 모일 수 있는 대공간(2F)에 헤어스프레이 통을 설치하는 경우인 시나리오 B에서 대공간 내부의 오염의 변화량을 필터조건에 따라 나타낸 것이다. 필터가 없는 동안에는 2~3층은 동일한 공조 존(Zone)이고 1층은 문이 없는 직접연결 통로로 연결되어 있기 때문에 공조기 및 연결 통로를 통하여 발생한 기류에 의하여 대공간 내부의 미생물이 1~3층의 모든 실로 확산된다. 결과에서 보는 것과 같이 공조기에 필터를 설치하지 않은 경우, 주위의 확산과 공조기의 외기 도입에 의한 희석효과로 인해 필터가 없는 경우에도 오염량은 감소하지만, 최초 1시간에 최대 약 8,600 CFU/m³로 심각한 오염이 발생하는 것으로 나타났다. 이 경우 실내 잔류량을 제외한 미생물 오염이 공조기나 연결 통로를 통하여 1~3층의 모든 실로 확산되고 코어를 통하여 건물 전체로 확산된다. 필터와 UVGI를 설치하는 경우 미생물오염의 대량 방출로 시나리오 A나 시나리오 C와 같이 미생물오염 발생 직후 전량이 공조기를 일단 통과하는 것에 비해 우선 공간에서 발생되기 때문에, 공조기에서 미생물 오염을 제거하기 이전에 대공간의 공기로 확산되고, 이렇게 확산되면 대공간 전체의 공기를 모두 처리해야만 함으로 공조기가 시나리오 A, B와 동일한 풍량으로 동작한다하더라도 설치된 필터와 UVGI에 의해 제거되는 미생물 오염량이 상대적으로 적기 때문에 최초 1시간동안의 미생

물 발생량을 현격히 줄일 수 없는 것으로 나타났다. 시간이 지남에 더 이상 오염의 발생은 없고 공조기를 통한 실내오염의 제거가 이루어지므로 2시간 이후 실내 오염량이 줄어드는 것을 알 수 있으나, 결과는 시나리오 B와 같이 실내공간에 직접 오염을 분사하는 경우 실내공간의 미생물 오염이 공조기에 설치된 필터와 UVGI에 의해 제거되는 시간만큼 실내오염 제거에 시간이 걸리며, 공조기에 의한 실내 공기 처리 시간동안 주위로 확산되는 오염은 막을 수 없다는 것을 나타낸다. 각각의 필터조건에 따라 1시간 이후에 점차 제거되는 것으로 나타났다.

Fig. 3에서는 실내행사 등 일반인이 가장 많이 모일 수 있는 대공간(2F)에 헤어스프레이 통을 설치하는 경우인 시나리오 B에서 같은 층에 각각의 공간에 따른 오염의 변화량을 나타낸 것이다.

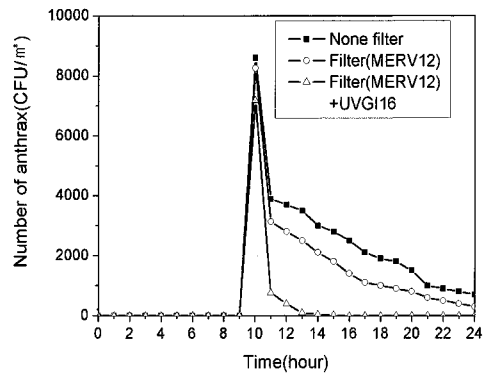


Fig. 2 Number of anthrax w.r.t. time in case of bio-agent filtering condition (scenario B).

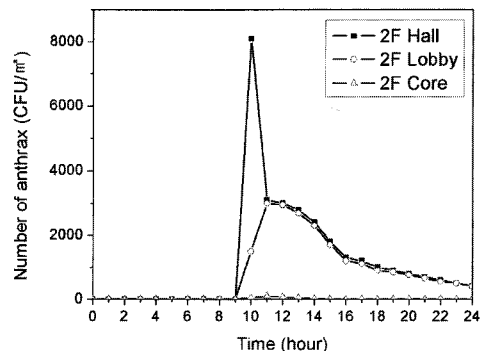


Fig. 3 Number of anthrax w.r.t. time in case of 2th floor space (scenario B).

앞서 Fig. 2에서 언급한 것과 같이 대공간(hall)에 발생한 오염원은 같은 층의 lobby로 확산되는 것으로 나타났다.

따라서 Table 4에 1시간 이후와 2시간 이후의 시뮬레이션 결과를 나타내었다. 결과는 (a), (b), (c)의 Bio-attack 시나리오에 따라 공조기에 필터를 설치하지 않은 경우, 중성능 필터인 MERV 12등급의 필터를 설치하는 경우, MERV 12등급의 필터와 UVGI 16등급의 자외선 살균장치를 설치하는 경우에 대하여 1시간 이후와 2시간 이후의 결과를 각 층의 준별로 정리한 것이다.

가장 광범위한 미생물 오염의 전파는 1층에 있는 건물 외부측에 설치한 외기 도입용 드라이 에어리어(Dry area)에 헤어스프레이 통을 설치하는 경우인 시나리오 A로 나타났다. 1층에서 접근 가능한 저층 공조기의 외기 도입구에 미생물을 살포할 경우 지하 1층부터 지상 15층까지 건물 전 층에 미생물 오염을 전파하는 것으로 나타났다. 또한 필터가 없는 경우와 중성능 필터만을 사용하는 경우 코어부분을 통하여 11층까지 약 150 CFU/m³의 오염을 이동시키는 것을 알 수 있다. 그러나 각각의 공조기 입구 측에 필터와 자외선 살균장치 등의 면역건물기술을 도입하는 경우는 외기 도입시에 일차적으로 공조기에서 살균이 되고 건물 전체적으로 살균 시스템이 동작하게 되어 건물 전체적으로 발생하지 않는 것을 알 수 있다. 몇 개 층에서 심각한 오염농도를 보이는 것은 실내행사 등 일반인이 가장 많이 모일 수 있는 대공간에 헤어스프레이 통을 설치하는 경우인 시나리오 B로 실내 대공간에 직접 세균이 방출되는 경우로 필터가 없는 경우 최대 약 8,600 CFU/m³로 매우 심각한 오염이 나타나고 있다. 그러나 시나리오 B의 경우는 설계 조건이 대공간에 대한 공조기가 따로 동작하고 상대적으로 코어부분으로 유입되는 오염량이 적기 때문에 대공간에 직접 연결된 1, 2, 3층을 제외하면 최대 약 217 CFU/m³로 시나리오 A에 비하여 코어부분에서 낮은 오염 농도를 보이고 있다. 또한 코어부분의 기류가 상층부로 발달하게 됨으로 지하 1층의 경우는 코어와 공조기를 통한 오염확산은 일어나지 않는 것으로 나타났다. 그러나 필터와 UVGI를 설치하는 경우, 공기가 미생물에 오염된 후 전량의 공기가 공조기를 통과하는 시나리오 A에서는 건물내부로 오염이 전혀 전파되지 않는 것에 비하여, 대공간의 공기가 직접 오염되어 확산된 이후 공조기

에 의해 처리되는 시나리오 B는 필터와 UVGI16의 고성능 미생물오염원 제거장치를 설치하여도 동일 공조 존인 2~3층에서 일정 수준의 미생물오염 확산은 방지할 수 없으며, 연결 통로가 있는 1층에도 비슷한 오염수준으로 오염이 확산되는 것을 알 수 있다. 또한 코어부분은 일단 미생물 오염원이 침입하게 되면 코어내부 미생물오염을 제거할 장치가 없기 때문에 코어 전체로 오염이 확산되지만, 각층의 공조기에 필터와 UVGI16을 설치하여 사무공간에는 오염 확산을 방지할 수 있는 것으로 나타났다. 층별 설치되어 있는 공조기 내부에 헤어스프레이 통을 설치하는 경우인 시나리오 C는 공조기 내부에 균을 방출하게 됨으로 필터가 없는 경우 최대의 오염량인 약 12,600 CFU/m³로 나타나지만 설계된 공조기가 층별 공조기이고 코어부분이 방화문, 엘리베이터문 등으로 잘 구획되어 있어 상층부로 더 이상 오염의 전달은 없는 것으로 나타났다. 그러나 (b)의 경우와 같이 중성능 필터만을 사용하는 경우 약 7,710 CFU/m³ 정도의 매우 심각한 오염이 유지되고 면역건물 기술이 적용되는 경우 한 시간 이내에 오염량이 모두 제거되는 것으로 나타났다.

4. 결 론

본 연구에서는 Bio-attack에 따른 실내 미생물 오염의 거동과 제거를 알아보기 위하여, 국내 청사 건물에 대하여 멀티존 모델을 구성하고 (a), (b), (c)의 Bio-attack 시나리오에 따라 시뮬레이션 연구를 진행하여 다음의 결과를 얻었다.

(1) 1층 외기 도입구에서 미생물 테러가 발생하는 시나리오 A의 경우, 필터가 없거나 중성능 필터만을 설치하면 코어를 통하여 건물 전체에 가장 광범위하게 오염이 확산되지만, 필터와 UVGI16의 고성능 미생물오염원 제거장치를 설치하면 외기 도입과 동시에 미생물오염원이 제거되어 건물에는 미생물오염이 발생하지 않는 것으로 나타났다.

(2) 탄저균을 사용한 미생물 테러가 2~3층에 걸쳐있는 대공간에 발생하는 시나리오 B의 경우, 필터가 없거나 중성능 필터만을 설치하면 동일 공조 존인 2~3층과 직접연결 통로가 있는 1층의 모든 실에 오염이 확산된 후, 시나리오 A와 같이 코어를 통하여 건물 전체에 미생물오염이 확산되었다. 이를 방지하기 위해 필터와 UVGI16의 고성능 미생물오염원 제거장치를 설치하여도 동일 공

조 존인 2~3층과 직접연결 통로가 있는 1층의 모든 실에 오염이 확산되는 것은 방지할 수 없지만, 각층 공조기에 설치된 필터와 UVGI16으로 인해 상층부의 사무공간에 대한 오염확산은 방지할 수 있는 것으로 나타났다.

(3) 상·하층으로 직접 연결통로가 없는 7층 공조기 내부에서 미생물테러가 발생하는 시나리오 C의 경우 공조 구획이 되어있고 직접 연결통로가 없어, 코어부분으로의 오염확산이 없기 때문에 7층 공조기에 의해 다른 층으로의 확산없이 미생물 오염이 제거되는 것으로 나타났다.

이상의 결과들로 부터 필터와 UVGI16의 고성능 미생물오염원 제거장치를 설치하면 효과적으로 미생물오염의 확산을 방지할 수 있는 시나리오 A와 시나리오 C에 비하여 시나리오 B의 경우에 1~3층의 미생물오염은 방지할 수 없는 것으로 나타나 가장 치명적인 것으로 나타났다. 따라서 면역건물기술 도입으로 건물 외부에서 발생한 테러인 시나리오 A, 구획된 독립공간 내부에서 발생하는 테러인 시나리오 C의 경우는 효과적으로 미생물오염의 확산을 방지할 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 시나리오 B와 같이 직접 실내공간에 미생물오염을 방출하는 경우에 면역건물기술을 도입하여도 직접 연결된 공간내부의 오염은 방지할 수 없으므로 미생물오염원 확산 방지를 위하여 선진국의 바이오워치와 같은 미생물오염의 신속하게 발견가능한 장치의 개발 및 실내공간에서 이미 오염된 공기에 대한 빠른 시간에 미생물오염을 처리할 수 있는 방안이 모색되어야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. U.S. Department of Homeland Security, Science and Technology.
2. Kowalski, W. J., P. E., Ph.D., 2002, Immune Building System Technology, Chapter Vol. 11, pp. 269-285.
3. Choi, S. G., Lee, H. W. and Hong, J. K., 2006, A study on the multizone modeling for preventing transmission of air borne contagion, Journal of SAREK, Vol. 18, No. 11, pp. 933-940.
4. Walton, G. N., 2005, CONTAM 2.4 User Guide and Program Documentation, NIST, I. 7251.
5. ASHRAE, 1997, ASHRAE Handbook, American Society Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc, Atlanta, G, Chapter Vol. 25.
6. Kowalski, W. J., Bahnfleth, W. P., 2002, MERV filter models for aerobiological applications., Air Media, Summer.
7. Kowalski, W. J., Bahnfleth, W. P., Witham, D., Serverin, B. F. and Witham, T. S., 2000, Mathematical modeling of UVGI for air disinfection, Quant. Microbiol, Vol. 2, No. 3, pp. 249-270.
8. Kowalski, W. J., P. E., Ph.D., 2002, Immune Building System Technology, Chapter, Vol. 4, pp. 73-96.