

건축공간에서 공기 감염균 확산을 해석하기 위한 추적가스 고찰과 농도에 따른 감염 위험성 예측 연구

A Inquiry of Tracer Gas for Analysis of Dispersion and Prediction of Infection Possibility according to Airborne Viral Contaminants

임태섭* / Lim, Tae-Seob
강승모** / Kang, Seung-Mo
김병신*** / Kim, Byung-Seon

Abstract

The SARS virus began to appear and spread in North America and Southeast Asia in the early 2000's, infecting and harming many people. In the process of examining the causes for the virus, studies on the airborne SARS virus and the way it spread were carried out mainly in the medical field. In the field of architecture, studies were done on the diffusion of air pollutants in buildings using gases such as CO₂, N₂O, or SF₆, but research on virus diffusion was limited. There were also explanations of only the diffusion process without accurate information and discussion on virus characteristics. The aim of this study is to analyze the physical characteristics of airborne virus, consider the possibility of using coupled analysis model and tracer gas for analyzing virus diffusion in building space and, based on reports of how the infection spread in a hospital where SARS patients were discovered, analyze infection risk using tracer gas density and also diffusion patterns according to the location, shape, and volume of supply diffusers and exhaust grilles. This paper can provide standards and logical principles for evaluating various alternatives for making decisions on vertical or horizontal ward placement, air supply and exhaust installation and air volumes in medium or high story medical facilities.

키워드 : 공기감염균, 바이러스, 추적가스, 감염 위험률, 시뮬레이션
Keywords : Airborne virus, Tracer gas, Infection possibility, CFD

1. 서론

2003년을 전후하여 코로나 바이러스가 원인이 되는 SARS가 홍콩 및 북미 등의 지역에서 발생되면서 감염경로의 분석과 관련된 많은 연구들이 발표되었다. 이들 연구들¹⁾²⁾에서 병원균의 확산 해석은 바이러스라는 물리적인 특성의 분석 없이 추적가스로 가정한 CFD기법을 사용하고 있다. 2006년과 2007년 국내에서는 공기감염 미생물 전파에 대해 네트워크 모델(CONTAMW)를 이용한 논문³⁾이 발표되었다.

이 논문에서는 공기 감염균에 대한 모델을 제시하고 있지만 총 부유세균을 특정수치로 가정하여 분석하는 단점을 가지고 있다. 또한 네트워크 모델의 단점으로 건축공간내에서 공기 감염균이 확산되는 과정을 미세하게 분석할 수 없다. 이 이외에 건축공간에서 공기 감염균 확산과 관련된 다수의 논문들을 분석한 결과, 일반적으로 분석 주체와 평가, 모델 세 가지 부문에서 부족한 점을 지적할 수 있었다.

- 1) Qian H, Li Y, Nielsen PV, Hyldgaard CE, Dispersion of exhalation pollutants in a two-bed hospital ward with a downward ventilation system. Building and Environment 43, 2008
- 2) Li Y, Duan S, Yu ITS, Wong TW, Multi-zone modeling of probable SARS virus transmission by airflow between flats in Block E, Amoy Gardens, Indoor Air 2004:15, 2004
- 3) 최상곤·홍진관, 환기시스템에 따른 공기감염 미생물 전파방지를 위한 멀티존 시뮬레이션에 관한 연구, 대한건축학회논문집 23/6, 2007

* 정희원, 연세대학교 건축공학과 박사과정
** 정희원, 한세대학교 공간환경디자인학과 교수
*** 정희원, 연세대학교 건축공학과 교수

첫 번째, 분석의 주체로서 병원균의 구체적인 물성치와 그 확산을 해석하기 위해 사용된 추적가스의 분석적 이유를 기술하지 않고 있다. 즉, 확산의 주체인 공기 감염균에 대한 물성적 특징과 그에 적합한 추적가스의 논리적 설정 없이 후속연구가 계속해서 진행되고 있어 공기 감염균의 주체에 대한 적절한 문헌적 분석이 필요하다. 두 번째, 기존 선행연구들은 공기 감염균의 확산을 추적가스나 미생물 모델을 사용하여 분석하고 있다. 이러한 경우, 공간내 확산된 추적가스의 농도나 부유세균량을 계산하는 실측이나 시뮬레이션이 수반되며, 이를 통해 각 공간사이 또는 제시된 건축 대안들의 농도나 세균량을 상대비교하여 결과를 도출하는 경우가 대부분이다. 그러나 근본적인 평가기준으로 볼 때, 먼저 추적가스의 농도와 부유세균량에 따른 공기 감염균의 인체감염율을 예측하고 이를 기준으로 여러 가지 건축대안을 상대비교하는 과정이 필요하다. 세 번째, 적합한 분석모델의 선택 또는 상호 보완적 연성해석이다. 선행연구에서는 네트워크 모델이나 CFD모델을 사용하고 있다. 이 둘은 특징이 다르지만 상호 연성해석이 가능하기 때문에 우리가 원하는 수준으로 분석범위를 확장시킬 수 있다⁴⁾.

따라서 본 연구에서는 공기감염 바이러스에 대한 물리적 특성을 분석하여, 건축공간에서 바이러스 확산 분석을 위한 연성해석모델 및 추적가스의 사용 가능성에 대해 고찰하고, SARS 환자가 발생한 사례병원의 감염확산 보고서를 바탕으로 추적가스 농도에 따른 감염 위험성 및 급·배기구의 위치와 형태 및 급·배기량에 따른 확산 패턴을 분석해 보기로 하겠다.

2. 문헌조사 및 고찰

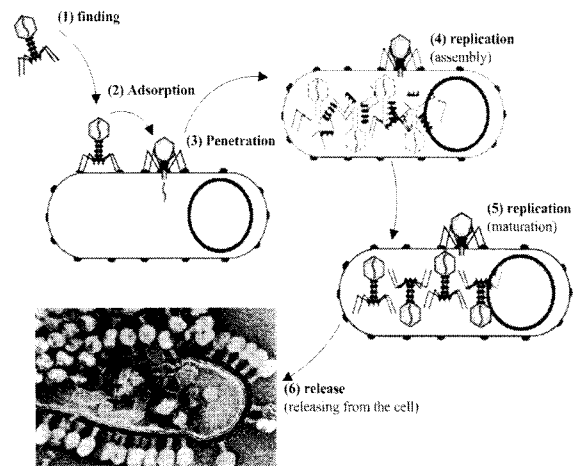
2.1. 바이러스의 기본이해

(1) 바이러스의 생물학적 특징

본 절에서는 바이러스의 물성치와 추적가스를 사용하게 된 배경을 문헌분석을 통해 기술해 보기로 하겠다. 인체에 유해한 미생물 중에는 세균, 바이러스, 리케차⁵⁾ 등이 있으며, 이런 미생물들이 복제와 증식에 의해 체내에 축적되면 감염증세로 나타나 인체에 심각한 영향을 미치게 된다. 이중 대표적인 것이 세균과 바이러스이다. 세균의 경우, 단세포 생물로서 자체가 기능성을 가진 여러 소기관으로 이루어져 있어 스스로 물질대사가 가능하며, 숙주의 도움이 아니더라도 영양분 및 주변 환경

이 충족되면 스스로 번식이 가능하다. 그러나 환경이 조성되지 않거나 숙주가 없다면 생존할 수 없다. 세균에 의한 감염증 대표적인 사례가 Tubercle Bacillus 균에 의한 결핵이다. 반면, 바이러스는 단백질로 된 캡슐(캡시드)에 핵산이 위치한 구조체로 생명체로 보기 어려우나, 숙주세포에 침입하여 그 내부의 물질 및 세포소기관을 이용해 스스로를 복제하는 기능이 있어 생물과 무생물의 이중적인 특징을 지니고 있다.

여러 가지 미생물중 공기감염 물질로 바이러스를 선정한 이유는 마이크로 단위인 세균보다 나노 단위인 바이러스가 크기 면에서 월등히 작고, 무엇보다 공기중에 노출되어 있을 때 세균은 주변환경이 충족되지 않으면 죽지만 바이러스는 무생물적 특징이 있어 <그림 1>과 같이 단백질의 결정체로 공기중에 떠 있다가 숙주세포와 만나면 생명체로서 활동을 시작하기 때문이다. 특히 호흡기 친화성으로 분류되는 Influenza virus, Adeno virus, Rhino virus, Corona virus는 공기감염 바이러스로 호흡기에 침투하여 독감 및 염증을 일으키고 있다.



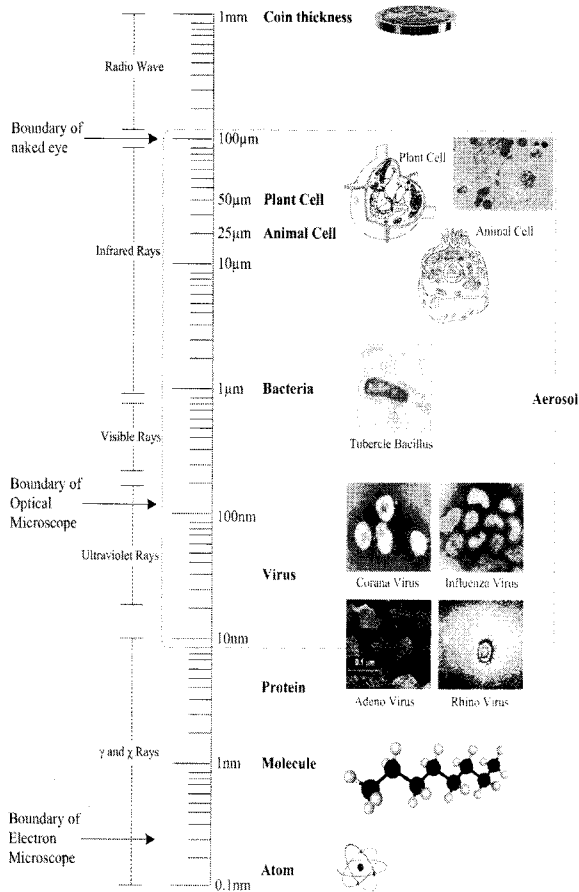
<그림 1> 바이러스의 감염과정(Dilger DE, 2009)

바이러스는 기본적으로 DNA와 RNA로 구성된 핵산(Nucleic acid)과 이를 보호하는 단백질인 캡시드(Capsid)로 구성되어 있다. 이들로 구성된 바이러스 입자를 뉴클레오캡시드(Nucleo-capsid)라고 하는데 많은 바이러스들은 이 뉴클레오캡시드를 보호하는 지질(Lipid)로 된 이중막 구조의 외피를 가지고 있다. 기본 구성요소에 대해서 핵산은 유전정보를 가지고 있으며, DNA 핵산의 경우 이중나선가닥을 RNA 핵산의 경우 단일나선가닥을 주로 가지고 있다. 캡시드(또는 뉴클레오캡시드)는 형태의 대칭성에 따라 입방대칭형(Cubic)과 나선대칭형(Helical), 복합형(Complex)으로 나눌 수 있다. 지질로 구성된 외피는 돌기모양(Spike)과 같은 형태로 구성되어 있다. 전체적으로 볼 때 바이러스 입자의 모양은 대체적으로 입방체 및 원형을 유지하고 있다⁶⁾.

4)김광호·김태연·박상현·김병선, 초고층 공동주택의 스택효과가 단위 주거에서 코어로의 냄새확산에 미치는 영향 분석, 대한건축학회논문집 23/9, 2007

5)사람이나 동물의 병의 원인이 되는 미생물 병원체이다. 광학현미경으로 관찰되는데, 보통 길이 0.3~0.5 μm, 지름 0.3μm의 구간형(球桿形)이고, 때로는 길이가 1.5 μm인 것도 있다. 그 구조는 세균세포와 비슷하지만, 일반 세균과 달리 살아 있는 세포 내에서만 증식이 가능하고 인공배지에서는 증식하지 못한다는 점은 바이러스에 가깝다.

6)김태운, 진단바이러스학, 고려의학, 2001



<그림 2> 바이러스의 크기 (김승곤, 1994), (김태윤 외, 2001)

(2) 분자량과 밀도, 크기

<표 1>은 바이러스의 분류, 형태 및 크기와 분자량에 대한 자료를 분석 정리한 것이다. 그림 3은 바이러스를 포함한 공기 감염균의 크기를 개조하여 도식으로 보여주고 있다. 네트워크 모델이나 CFD 모델을 이용하여 바이러스의 확산을 해석하기 위해서는 바이러스의 밀도나 분자량에 대한 정보가 필요하다. 바이러스의 분자량은 핵산의 가닥유형과 크기에 따라 다양하게 나타난다. 예를 들면, 단일가닥 DNA 바이러스인 Parvo virus는 핵산의 분자량이 1.5×10^6 dalton으로 아주 작으며, 이중가닥인 Pox virus는 160×10^6 dalton이다. 수소의 원자량이 1dalton점을 감안할 때 이 수치는 32 dalton인 산소분자량보다 매우 크다는 것을 알 수 있다⁷⁾. 바이러스의 밀도에 대한 정보는 극히 제한적이다. Bratbak과 Dundas의 연구⁸⁾에서 세균을 대상으로 한 미생물 모델의 밀도를 1.1g/ml로 제시하였다. Schaecher 외의 연구⁹⁾에서 SARS의 원인이 Corona virus의 밀

도를 계측하였으며, 그 밀도가 약 1.2g/ml라는 것을 알아냈다.

<표 1> 바이러스의 분류와 물성적 특성

핵산	캡시드 대칭형	외피	캡시드 형성 부위	핵산 구조	입자의 직경 (nm ^a)	핵산 분자량 (10 ⁶ dalton ^b)	과명 (주요 호흡기 바이러스)
DNA	정20면체	무	핵내	단일 나선	18~26	1.5~2.0	파르보 바이러스
				2중 나선	45~55	3.0~5.0	파포 바이러스
	복잡	복잡	세포질내	2중 나선	70~90	20~30	아데노 바이러스 (아데노 바이러스)
				2중 나선	100	30~150	헤르페스 바이러스
RNA	정20면체	무	세포질내	단일 나선	24~30	2.5	피코로나 바이러스 (라이노 바이러스)
				단일 나선	35~29	2.6	카리시 바이러스
				2중 나선	60~80	12~15	레오 바이러스
	나선형	유	세포질내	단일 나선	40~70	3.0~4.0	토크바이러스
				단일 나선	80~120	4.0~5.0	오로소믹스 바이러스 (인플루엔자 바이러스)
	나선형	유	세포질내	단일 나선	150~300	5.0~8.0	파라믹스 바이러스
				단일 나선	60~80	3.5~4.6	라브도 바이러스
				단일 나선	80~130	5.6~6.0	코로나 바이러스 (코로나 바이러스)
				단일 나선	80~100	6.0~7.0	번야 바이러스
	복잡	유	세포질내	단일 나선	~100	6.0~7.0	레트로 바이러스
단일 나선				50~300	3.0~5.0	아레나 바이러스	

a. 1mm=1,000µm=1,000,000nm

b. dalton: 분자량의 단위로서 산소원자 무게의 1/16이다. 즉 수소

원자 1개의 무게는 1 dalton이다.

물의 밀도가 1g/ml인 점을 볼 때, 바이러스의 무게는 물보다 무겁다는 것을 추론할 수 있다. 바이러스 크기의 경우, 그림 3을 보면 통상적으로 작은 것은 20nm에서 큰 것은 250-400nm의 분포를 보인다. 보통 몇µm인 세균에 비교할 때 nm단위의 바이러스는 굉장히 작다. 예로서 독감을 일으키는 인플루엔자 바이러스의 크기는 0.0005µm의 크기로 체적으로 하면 포도상구균의 1/250,000~1/30밖에 되지 않는다. 이렇게 바이러스는 작아서 전자 현미경으로만 볼 수 있다.

(3) 부유허태

앞서 바이러스의 분자량이나 밀도를 볼 때, 물보다 무거운 정도로 덩어리 상태에서는 공기중에 부유허 수 없는 고체상태의 (반)생명체이다. 공기중의 부유가 가능한 것은 (초)미세먼지와 같이 바이러스 입자가 나노단위의 입자이기 때문이다. 일반적으로 공기중에 떠다니는 부유먼지의 경우 지름이 10µm 이하인 미세먼지와 지름이 2.5µm 이하인 초미세먼지로 구분할 수 있으며, 중력보다는 공기의 저항에 영향을 받기 때문에 공기중

7) 이재열, 바이러스: 삶과 죽음 사이, 지호, 2005

8) Bratbak G, Dundas I, Bacterial dry matter content and biomass estimations, Appl Environ Microbiol 48/4, 1984

9) Schaecher SR, Mackenzie JM, Pekosz A, The ORF7b protein of severe acute respiratory syndrome coronavirus (SARS-CoV) is expressed in virus-infected cells and incorporated into SARS-CoV particles, Journal of Virology 81/2, 2007

에 떠다닌다. KBS의 보조자료¹⁰⁾에 의하면 0.01 μm 크기의 미세 먼지와 100 μm 의 분진(모래먼지 등)이 1미터를 낙하하는데 걸리는 시간을 측정한 결과, 100 μm 크기의 분진은 0.3초가 걸리는 반면 0.01 μm 의 미세먼지는 163일이 걸린 것으로 나타났다. 이는 미세먼지가 항상 대기 중에 떠 있다는 사실을 보여준다. 따라서 나노크기의 바이러스(호흡기감염 바이러스)는 단백질로 이루어진 초미세먼지의 형태로 공기중에 부유하게 되며 사람이 호흡할 경우, 코의 점막에서 걸러지지 않고 폐포로 들어와 각종 호흡기 질환을 일으키는 직접적인 원인이 된다.

2.2. 공기 감염균 확산 해석 모델의 고찰

TVOC, 포름알데히드, 냄새, 세균, 먼지 등 공기 오염물질의 건축공간내 확산과 공기의 유동 형상과 관련된 주요 선행연구들¹¹⁾¹²⁾¹³⁾¹⁴⁾을 보면 그 해석과정에서 크게 두 가지 모델을 사용하고 있다. 하나는 COMIS와 CONTAMW 프로그램과 같은 네트워크 모델이며, 다른 하나는 전산유체역학을 이용한 CFD(Computerized Fluid Dynamics) 모델이다. 이 두 가지 모델은 적용된 지배방정식을 제외한다면 크게 분석범위와 분석대상에서 차이점이 있다.

분석범위의 경우, 네트워크 모델은 멀티존을 쉽게 구현하여, 각 존간 기류의 이동과 이동량, 오염물질의 전이 등을 해석할 수 있다. 그러나 하나의 존이 단일 성질(단일격자)을 가진다는 점에서 CFD 모델과 차이가 있다. 즉, 현실적으로 단일존을 이루는 공간내에서 위치마다 온도, 습도, 압력, 오염농도 등이 다르지만 네트워크 모델에서는 단일존을 완전혼합(Well-mixed)된 단일성질로 가정하기 때문에 계산간격마다 온도, 습도, 압력, 오염농도 등이 위치에 상관없이 동일하게 계산된다. CFD 모델의 경우, 하나의 존을 구성하는 공간을 여러 개의 격자로 나눌 수 있으며, 각 격자는 독립적이기 때문에 격자의 온도, 습도, 압력, 오염농도 등은 주변 격자에 따라 다르게 계산된다. 이러한 세밀함 때문에 공간내부의 온도, 습도, 압력차에 의한 기류의 이동, 오염농도의 확산 형상을 가지적으로 볼 수 있다. 그러나 그 복잡성 때문에 멀티존의 구성이 어렵고 구성이 된다고 해도 해석하는 데는 많은 시간을 요한다. 두 모델의 범위적인 특징으로 볼 때 공간전체에 대한 거시적인 해석의 경우 네트워크 모델을 사용하고 있으며, 공간내의 세부적인 확산 형상

은 CFD모델을 이용하고 있다. 분석대상의 경우, 오염원의 대상이 기체이면 두 모델이 해당기체의 물성치를 입력함으로써 확산해석이 가능하다. 그러나 먼지나 미생물 등과 같은 고체의 경우, 네트워크 모델은 고체와 관련된 오염원 모델이 있어 분석이 가능하지만 CFD의 경우 고체 오염원의 확산을 해석하기 위해 간접적으로 CO₂, N₂O, SF₆ 등의 추적가스를 설정하고 이들 기체성분의 물성치를 입력함으로써 고체성분의 분포 가능성을 중심으로 해석이 이루어지고 있다.

이렇게 네트워크 모델이나 CFD 모델은 서로 엇갈린 장단점을 가지고 있는데 이 두 모델의 장점과 단점을 서로 보완하면 멀티존인 건물 전체공간의 공기 감염균 확산 해석을 보다 가지적으로 또는 복합적으로 해석할 수 있다¹⁵⁾. 즉 네트워크 모델은 환기설비가 있는 멀티존 건물에서 기상조건 및 개구부 개폐의 조건 등에 따라 존간의 기류의 이동량 및 이동방향을 계산할 수 있다. 반면 CFD 모델은 환기설비의 위치 및 크기, 기류의 이동량과 방향 정보 등을 바탕으로 단일존 공간 내에서 오염원이 확산되는 과정을 보여줄 수 있다. 따라서 건물내 공기 감염균 확산을 해석할 경우, 이들 두 모델을 상호 연성해석하면 존간의 기류의 이동량은 네트워크 모델을 사용하고, 여기서 나온 결과물을 다시 CFD 모델에 적용하여 존내의 확산형상을 분석할 수 있으며 다양한 대안을 시뮬레이션을 통해 실험할 수 있다.

2.3. 바이러스에 대한 추적가스의 가능성

바이러스와 같은 병원균 및 오염원의 확산과 관련된 연구들은 대체로 호흡되는 토출공기를 오염원(또는 병원균)으로 가정하여 그 확산을 해석하고 있다. 호흡공기에 대해 Hayashi 외¹⁶⁾는 성인의 경우 취침시 0.7 met의 활동량(대류열전달량 33.3W/인)에 따라 정상상태의 호흡량은 6 Liter/min이며, 이에 대한 정상상태의 토출량이 14.4 Liter/min라는 연구결과를 발표하였다. Bjorn and Nielsen¹⁷⁾은 호흡에 대한 인체모델을 제시하였는데, 성인의 경우 분당 10회의 빈도로 호흡이 이루어지며 호흡량은 6 Liter/min이다. 또한 인체의 대류열전달량은 76W라는 연구결과를 발표하였다. Haselton and Sperandio¹⁸⁾은 코와 대기사이의 대류에 의한 열교환에 대한 연구를 진행하였다. 이 연구에서 성인의 경우 입과 코는 전체적으로 직경이 0.012m

10)KBS, KBS 환경스페셜, '보이지 않는 침입자, 미세먼지', '한숨, 500CC에 담긴 보이지 않는 미세 먼지에 관한 최초 보고서', 3월14일 오후 10:00, 2001

11)최상근·홍진관, 2007

12)Khoukhi M, Yoshino H, Liu J, The effect of the wind speed velocity on the stack effect pressure in medium-rise buildings in cold region of China, Building and Environment 42, 2007

13)Qian et al., 2008

14)양정훈, 배기구 위치의 차이에 의한 병실 공기 청정도 검토, 한국건축친환경설비학회논문집 2/1, 2008

15)김광호·김태연·박상현·김병선, 2007

16)Hayashi T, Ishizu Y, Kato S, Murakami S, CFD analysis on characteristics of contaminated indoor air ventilation and its application in the evaluation of the effects of contaminant inhalation by a human occupant, Building and Environment 37, 2002

17)Bjorn E, Nielsen PV, Dispersal of exhaled air and personal exposure in displacement ventilated rooms, Indoor Air 2002:12, 2002

18)Haselton FR, Sperandio PGN, Convective exchange between the nose and the atmosphere, Journal of Applied Physiology 1988:64, 1988

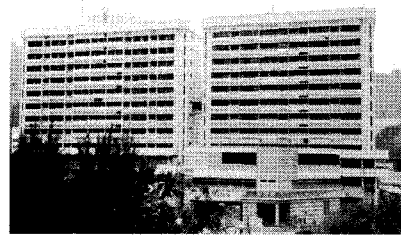
정도 되며, 호흡과정에서 코쪽의 토출온도는 32℃와 입쪽의 토출온도는 34℃인 것으로 조사되었다. Haselton and Sperandio의 연구결과를 이용하여 Qian 외(2008)은 실제 마네킹을 만들어 토출호흡의 평균풍속을 0.89m/s에 32℃를 가정하여, 병원균 확산 실험과 CFD 해석을 수행하였다. 그러나 토출호흡속에 포함되어 있는 바이러스는 비말과 함께 석여 나오기 때문에 감염자 1인의 토출호흡 속에 배출되는 병원균의 수는 알 수가 없다. 이러한 이유 때문에 공기 감염균의 확산을 네트워크 모델로 해석한 연구들의 경우, 토출호흡공기 속에 포함된 병원균의 수를 특정 수치(CFU/m³)로 가정하여 해석하고 있으며, CFD 기법으로 해석한 연구들은 병원균을 CO₂, SF₆, 또는 N₂O 등의 추적가스로 가정하여 감염 경로 및 그 가능성을 상대적으로 해석하고 있다.

공기 감염균을 추적가스로 사용한 가정은 바이러스의 경우 가능하다고 본다. 일반적으로 Cambridge glass fiber filter(입자의 직경이 0.1μm 보다 큰 입자를 99% 이상 걸러낼 수 있음)를 통과한 물질을 기체(gas)또는 증기(vapour) 성분이라 하고, 질소, 산소, 이산화탄소, 일산화탄소 등이 있으며, 독성이 있는 알데하이드, 케톤, 알코올과 에스터 등과 같은 저분자량을 갖는 휘발성 성분도 이에 포함된다. 이에 반해 Cambridge glass fiber filter에 의해 걸러진 물질을 입자상 물질(Particulate phase components)이라 하며 많은 종류의 무기 및 유기화합물질이 이에 해당 한다. 이러한 점을 볼 때 마이크로(μm) 단위의 세균은 입자상물질로 분리되기 쉽고, 나노(nm)단위의 바이러스는 입자형태로 존재하지만 기체상 물질의 특성을 가질 수 있다. 위의 0.1μm 이하의 고체상 또는 기체상 입자들 간에 외부적인 힘의 유입이 없어도 분자가 스스로 움직여 확산되는 브라운 운동을 하므로 쉽게 가라앉지 않는다. 그러나 외부의 힘(기류)이 유입되었을 때 그 힘에 의해 이동 확산된다. 즉, 바이러스는 기체보다는 무겁지만 고체입자보다는 매우 작아 입자가 크고 무거운 세균에 비해 기체와 같은 성질로 공기중에 부유될 가능성이 높다. 따라서 추적가스는 공기보다 약간 무거운 CO₂와 N₂O를 사용하거나 공기와 동일한 가상의 기체를 가정하여 그 확산경로를 분석하는 것이 적절하다고 판단된다. 추가적으로 추적가스의 농도에 따른 위험성을 제시한다면 추적가스를 이용한 확산 해석의 모호성을 어느 정도 보완할 수 있다고 판단된다. 또한 앞서 공기 감염균의 확산을 토출호흡공기 속에 포함된 병원균의 특정수치(CFU/m³)로 가정하여 해석한다면 CFD 모델의 해석은 어렵다. 이 때문에 네트워크 모델과 CFD 모델 간의 연성해석을 위해서라도 추적가스를 이용한 분석방법을 고려해 보아야 한다.

3. 추적가스 농도에 따른 감염위험성 사례 분석

3.1. 대상사례와 감염상황

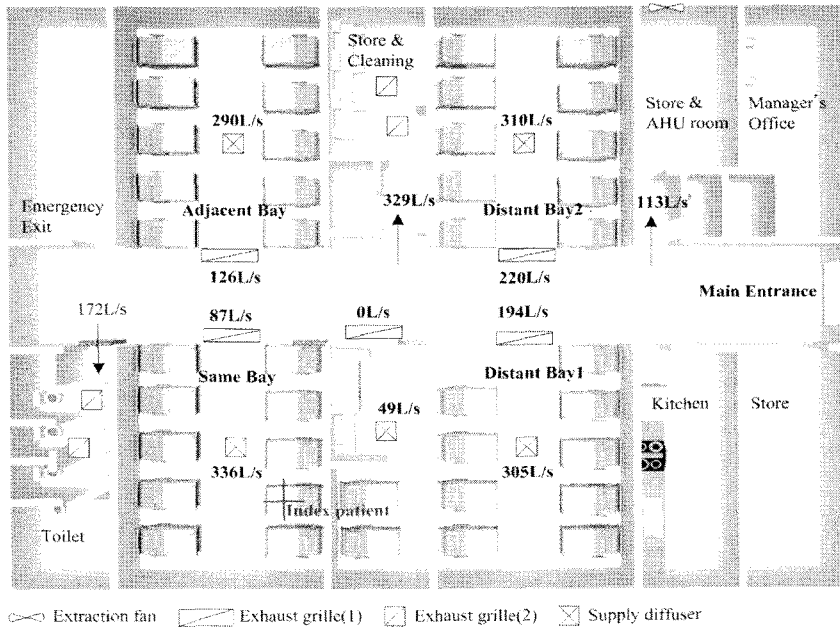
감염위험성 분석을 위한 사례로서 <그림 3>과 같이 홍콩의 the Prince of Wales 병원을 선택하였다. 그 이유는 홍콩에서 처음으로 감염된 SARS(Severe Acute Respiratory Syndrome) 환자가 입원한 병원이기 때문이며, 첫 환자의 입원 이후 인접환자의 확산 경로과정이 자세히 보고되었다¹⁹⁾²⁰⁾²¹⁾²²⁾. 본 연구는 이들 보고서를 바탕으로 감염경로를 분석하고 이에 추적가스의 농도에 따른 감염위험성을 분석해 보기로 하였다.



<그림 3> Prince of Wales Hospital

SARS는 중국의 광둥지역에서 2003년 1월 발생되었다. 광둥 지역의 내과 의사가 감염된 사실을 모르고 홍콩에 방문하였고 홍콩의 특정호텔에 투숙하면서 확산이 시작되었다. 이 후, 그 호텔에 투숙한 젊은 홍콩인이 SARS에 감염되었고(Index Patient) 감염된 사실을 모르고 홍콩의 Prince of Wales 병원에 응급실에 입원하면서 의사, 간호사, 의대생, 다른 인접환자, 방문객, 친척 등등 무려 100명 이상을 직간접적으로 감염시켰다. 이에 대한 자세한 내용을 숙지하여 재현하면 감염된 홍콩인은 심한 감기증세로 2003년 3월 4일 병원을 방문하였고 의료진은 이 환자가 SARS에 감염된 사실을 모르고 <그림 4>에 표시된 병실에 입원시켰다. 이 환자(Index patient)는 2003년 3월 4일부터 12일까지 8일간 입원하였고 12일 이후 SARS 환자로 판명되어 격리조치가 취해졌다. 그림 5는 첫 감염환자가 입원한 병실의 구조와 위치를 보여주고 있으며, 급·배기구 및 급·배기량에 대한 정보를 나타내 주고 있다. <표 2>는 이 환자(Index patient)가 입원한 4일과 12일 사이에 같은 병실 환자의 출입과 감염자 수에 대한 정보를 날짜순으로 보여주고 있으며, <그림 5>은 SARS에 감염되어 증상이 나타나는 환자들의 수와 위치

- 19)Tomlinson B, Cockram C, SARS: experience at Prince of Wales Hospital, Hong Kong, Lancet 2003;361, 2003
- 20)Lee N, Hui D, Wu A, et al., A major outbreak of severe acute respiratory syndrome in Hong Kong, N Engl J Med 2003;348, 2003
- 21)Wong TW, Lee CK, Tam W, et al., A cluster of severe acute respiratory syndrome among medical students exposed to a single patient in Hong Kong, Emerg Infect Dis 2004;10, 2004
- 22)Yu ITS, Wong TW, Chiu YK, Lee N, Li Y, Temporal-spatial analysis of severe acute respiratory syndrome among hospital inpatients, Clin Infect Dis 2005;40, 2005



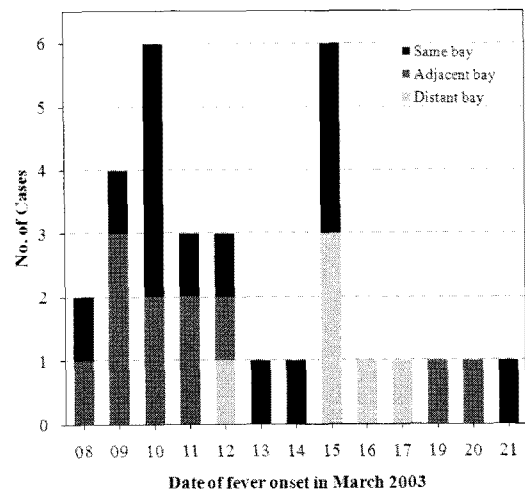
<그림 4> 첫 SARS 환자가 입원한 병실의 구조와 급·배기구 위치 및 용량

<표 2> 환자의 유출입 및 감염자 수

날짜	입원한 환자수	감염된 환자수
2003년 3월 4일		
입원	36	15
비입원	38	15
2003년 3월 5일		
입원	43	18
비입원	31	12
2003년 3월 6일		
입원	41	23
비입원	33	7
2003년 3월 7일		
입원	39	20
비입원	35	10
2003년 3월 8일		
입원	35	17
비입원	39	13
2003년 3월 9일		
입원	37	18
비입원	37	12
2003년 3월 10일		
입원	32	17
비입원	42	13
2003년 3월 11일		
입원	26	14
비입원	48	16
2003년 3월 12일		
입원	22	13
비입원	52	17

를 날짜순으로 보여주고 있다. 첫 SARS 감염환자가 입원하여 격리되기까지의 기간 동안 총 74명이 동일 병실에 입원하였는데 이 중 30명이 입원중 또는 입원후에 SARS로 감염되었다. 이 중 14명이 SARS로 사망하였고 9명은 기타 질병으로 사망하였다. <표 2>를 보면 날짜별로 환자들이 입원한 날을 파악할 수 있는데 첫 3일 동안 74명중 43명까지 입원을 하였고 이중 23명이 SARS에 감염된 사실을 알 수 있다.

즉, 3일에 30명중 23명이 감염되어 거의 대부분의 감염환자가 발생되었다. 이를 종합한 <표 3>은 감염환자 수를 위치별



<그림 5> 일별 SARS 감염환자 진단수

로 합산하여 감염율을 나타낸 것이다. <표 3>을 병실의 구조를 보여주는 <그림 4>와 같이 보면, 첫 감염환자와 동일한 위치(Same Bay)에 20명이 입원하였고 이중 13명이 감염되어 위치내 감염율은 0.65이며 전체대비 0.18의 감염율을 보이고 있어 위치별 가장 높은 감염율을 보이고 있다. 또한 인접한 위치(Adjacent Bay)의 경우, 21명이 입원하였고 이중 11명이 감염되어 위치내 감염율은 0.52며, 전체대비 0.15의 감염율을 보이고 있다.

먼 위치(Distant Bay)의 경우, 감염율은 가장 낮은 0.18이며, 전체대비 0.08로 다른 위치에 비해 상대적으로 낮게 나타났다. 이러한 위치별 감염율을 볼 때, 첫 감염환자(Index Patient)와 근접한 위치에 따라 감염율이 높다는 것을 알 수 있다.

이런 감염율에 대한 기존 연구들을 조사한 결과를 크게 두

가지 원인에 의한 확산을 지적하고 있다. 첫 번째, 의사나 간호사, 또는 의대생이 첫 감염환자에 접촉하고, 그 접촉으로 인해 다른 환자에게 감염되었다는 보고가 있었다²³⁾. 이에 대해 언급하면 의사나 간호사 등과 같이 직원이 매개된 감염이 주요 요인이라면 병실의 위치별 감염율은 차이가 없어야 된다.

<표 3> 위치별 SARS 감염자 수와 감염율

	동일한 위치 (Same Bay)	인접한 위치 (Adjacent Bay)	먼 위치 (Distant Bay)	전체
위치내 감염자수	13	11	6	30
위치내 비감염자수	7	10	27	44
위치내 환자수 합	20	21	33	74
위치내 감염율	0.65	0.52	0.18	0.41
전체대비 감염율	0.18	0.15	0.08	0.41

그러나 <표 3>에서와 같이 위치별 차이가 확연히 나고 있다. 또한 Yu 외²⁴⁾의 조사내용을 보면, 의사와 간호사의 경우, 실내의 위치별 담당영역이 있어 병실의 다른 위치에 있는 환자와의 접촉은 거의 없는 것으로 조사되었다. 이러한 점을 볼 때, 의사나 간호사, 의대생 등과 같은 병원직원에 의한 감염은 배제할 수 없으나 낮은 것으로 파악된다. 두 번째, 공기에 의한 바이러스의 전파로 감염된다는 가정이다. Yu 외²⁵⁾의 연구결과에서 Index 환자와 멀어질수록 SARS에 의한 감염율이 낮아진 것으로 나타났으며, SARS 병원균의 확산이 급배기 등 공조 설비에 의한 기류의 이동에 의해 발생된 것으로 추론하고 있다. Li 외²⁶⁾은 2003년 300명 이상의 SARS 감염자가 발생된 Amoy Gardens을 대상으로 SARS의 확산과정을 연구하였다. 초기 연구에서는 Index 환자가 화장실을 사용하면서 그 오수가 역류하여 다른 층의 재실자에게 확산시켰다는 보고가 있었으나²⁷⁾, 추후에 정밀연구가 진행된 후 공기이동에 의한 SARS 바이러스의 확산에 더 무게를 두고 있는 것으로 나타났다.

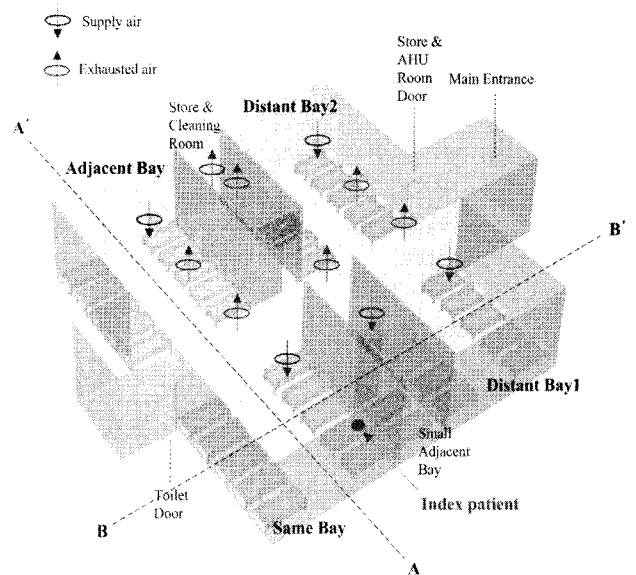
3.2. 바이러스의 감염 위험성 분석

본 연구에서도 공기에 의한 바이러스의 전파를 감염확산의 주요 요인으로 보고 접근하고 있다. 이에 따라 바이러스의 확산과정을 추적하기 위해 Prince of Wales 병원의 사례를 분석해 보며, 이와 함께 바이러스의 확산 위험성을 설명하기 위해 추적가스의 농도에 따른 감염 위험성을 CFD기법으로 분석해

보기로 하겠다.

(1) 분석개요

앞서 <그림 4>는 SARS 환자(Index patient) 입원당시 병실의 구조, 급·배기구의 위치와 급·배기량을 보여주고 있으며, 병실에서의 Index환자의 위치를 표시해 주고 있다. <그림 6>은 <그림 4>를 토대로 CFD분석을 위한 모델(Reference Case)을 나타낸 것이며, 분석결과로 추적가스의 농도 분포를 전체 평면과 AA'단면, BB'단면으로 나누어 보여줄 것이다. 급·배기구의 형태와 위치, 풍량에 대한 영향을 알아보기 위해 <그림 7>과 같이 4개의 Case를 만들었으며, 이에 따른 급·배기 풍량의 조건은 <표 4>와 같다. Reference Case는 기존 급·배기구 형태와 위치, 풍량을 반영한 것으로 급기구의 크기(가로×세로)는 0.4m×0.4m이며, 배기구는 직사각형 형태로 0.4m×0.9m를 보이고 있다. 풍량의 경우는 급기량이 배기량에 비해 20%정도 많다. Case 1의 경우는 급·배기량에 대한 영향을 파악하기 위해 만들어 졌으며, 급·배기구의 형태와 위치가 Reference Case 동일한 반면 급기량과 배기량이 동일하게 설정되었다.



<그림 6> Reference Case의 CFD 모델

Case 2와 Case 3은 급·배기구의 형태와 위치에 따른 영향을 분석하기 위한 경우이며, Reference Case가 구획된 병실의 중앙에서 급기가 이루어지고 다른 병실과의 경계에서 배기가 되고 있는 반면 Case 2와 3은 중앙에서 배기가 이루어지고, 다른 병실과의 경계에서 기존 급기구가 아닌 0.075m×4.8m의 라인형 급기구에서 급기가 이루어진다. Case 2의 급·배기량은 Reference Case와 같고 Case 3의 급기량과 배기량은 Case 1과 같이 동일하게 설정하였다. 이와 같이 4개의 Case는 서로 다른 급·배기의 특성을 가지고 있으며, 이에 대한 에 따라 전반적인 기류의 이동방향은 다르게 나타날 것이다. 바이러스 확산을 해석하기 위한 급·배기, 호흡 등에 대한 전반적인 경계조건과

23)Seto, W.H., Tsang, D., Yung, R.W.H., et al., Effectiveness of precautions against droplets and contact in prevention of nosocomial transmission of severe acute respiratory syndrome (SARS), Lancet 2003;361, 2003

24)Yu ITS, Wong TW, Chiu YK, Lee N, Li Y, 2005

25)Yu ITS, Wong TW, Chiu YK, Lee N, Li Y, 2005

26)Li Y, Duan S, Yu ITS, Wong TW, 2004

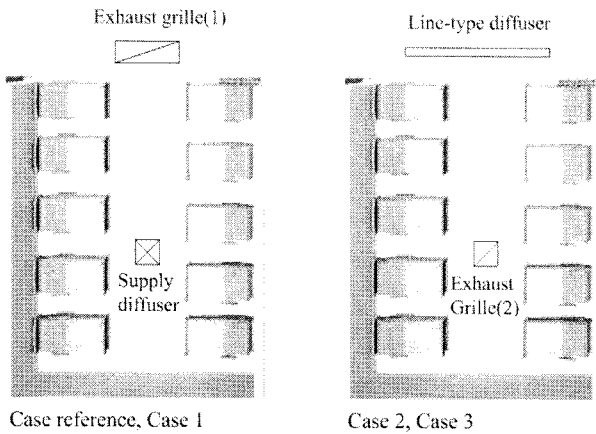
27)Hung, H.C.K., Chan, D.W.T., Law L.K.C., Chan, E.H.W., Wong E.S.W., Industrial experience and research into the causes of SARS virus transmission in a high-rise residential housing estate in Hong Kong, Building Serv. Eng. Res. Technol. 27/2, 2006

<표 4> 분석 Case들에 대한 급·배기량 설정

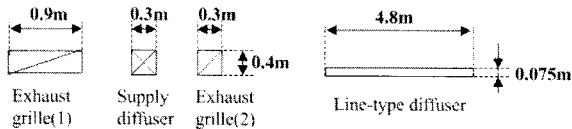
Location	Same Bay		Adjacent Bay		Small Adjacent Bay		Distant Bay1		Distant Bay2		Toilet		Store & Cleaning		Store & AHU room	
	SA ¹	EA ²	SA	EA	SA	EA	SA	EA	SA	EA	SA	EA	SA	EA	SA	EA
Case reference	336	87	290	126	49	0	305	194	310	220	0	170	0	329	0	113
Case 1	336	336	290	290	49	49	305	305	310	310	0	0	0	0	0	0
Case 2	336	87	290	126	49	0	305	194	310	220	0	170	0	329	0	113
Case 3	336	336	290	290	49	49	305	305	310	310	0	0	0	0	0	0

¹ SA: Supply Air (Liter/min)

² EA: Exhaust Air (Liter/min)



(a) 분석 Case들의 급·배기구 위치와 유형



(b) 급·배기구 위치 크기

<그림 7> 분석 Case들의 설명

<표 5> 경계조건과 계산조건

난류모델	표준 k-ε 모델(Wall 경계조건에 대해서 Wall function 사용)
정상상태호흡	U _{in} = 0.89 m/s T _{in} =32 °C 면적=3.293E-4 m ² 토출량=0.003 m ³ /s 난류강도=0.1 대표길이=0.01 m
급기(SA)	U _{in} =급기속도(m/s) T _{in} =25 °C 크기: <그림 8> 참조 풍량: <표 4> 참조 난류강도=0.1 대표길이=0.02 m
배기(EA)	U _{in} =배기속도(m/s) T _{in} =25 °C 크기: <그림 8> 참조 풍량: <표 4> 참조 k _{out} , ε _{out} , T _{out} = free slip
벽	벽면: Low-Log 대칭면: free slip
병상 해석 Mesh	단열 20000만개

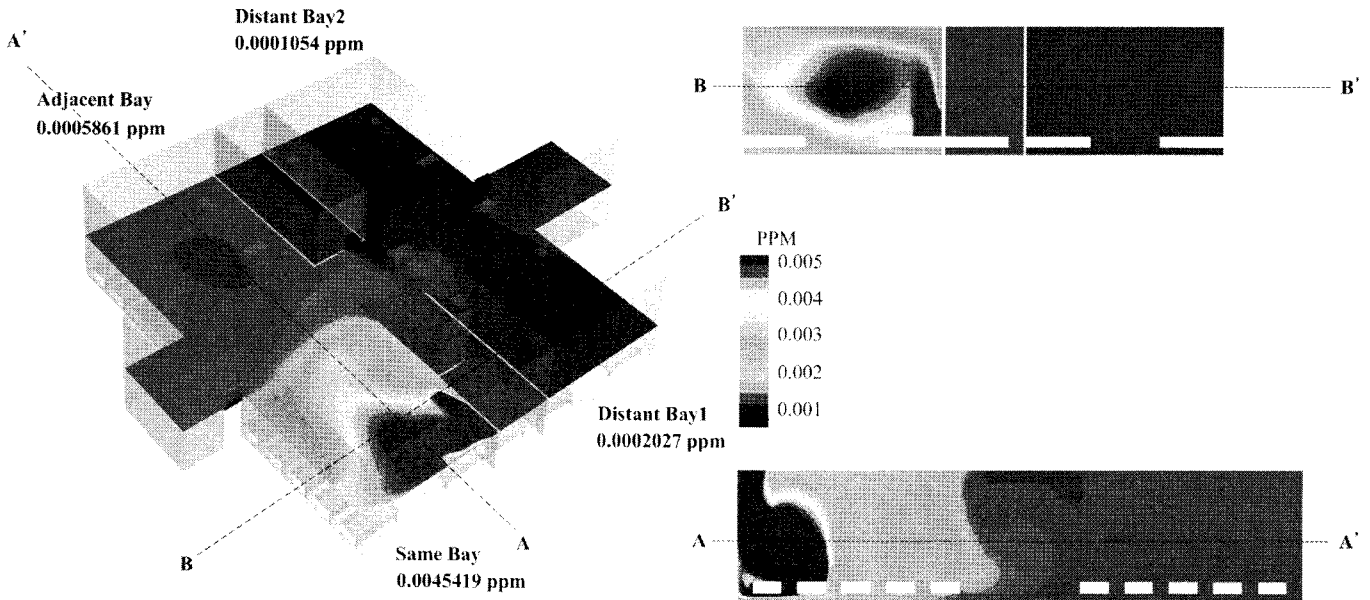
계산조건은 <표 5>와 같다. 각 Case별 바이러스의 확산형상을 분석하기 위해 CFD모델의 Index 환자의 위치에서 추적가스를

발생시켰다. 바이러스는 Index 환자의 호흡과정에서 구강이나 비강을 통해 외부로 퍼져나가기 때문에 정상상태의 호흡공기를 가정하여 추적가스의 경계조건을 <표 5>의 정상상태의 호흡과 같이 설정하였으며, 급·배기량에 의한 공기와 구분하기 위해 N₂O가스를 사용하였다. <표 5>에서 정상상태의 호흡의 경계조건의 경우, 앞서 Hayashi 외 (2002), Bjorn and Nielsen (2002), Haselton and Sperandio (1988), Qian 외 (2008)의 연구결과를 토대로 설정한 것이다.

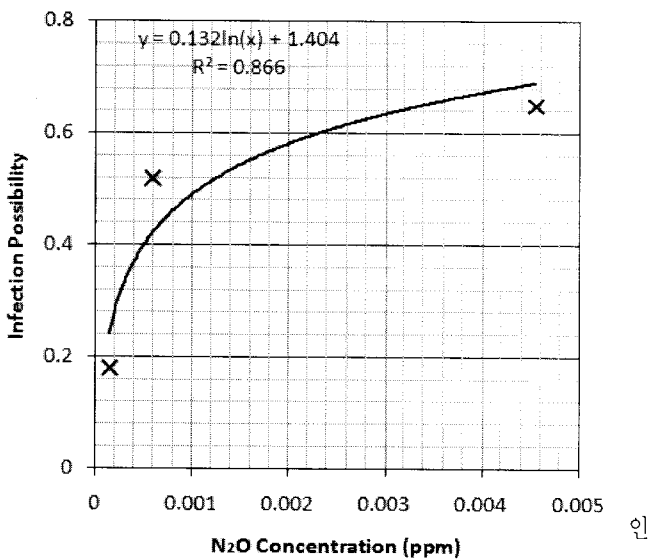
(2) 추적가스의 농도에 따른 감염 위험률

현재의 상태가 적용된 Reference Case의 경우, 정상상태에서 호흡공기로 설정된 N₂O를 Index 환자의 위치에서 토출시켰을 때 N₂O가 전체 병실로 확산되는 형상을 <그림 8>을 통해 볼 수 있다. Reference Case는 구획된 병실의 중앙에서 급기가 이루어지며, 병실의 경계부분에서 배기가 되고 있다. 또한 급기량이 배기량보다 많고 각 구획된 병실간의 잔여 공기량(급기량-배기량)이 차이가 나고 있어 병실간의 농도차이가 발생하고 있다. 이 때문에 농도를 나타내는 등고선을 보면 Same bay의 중앙에서 급기되는 공기량은 배기되는 공기량보다 많아 바이러스의 추적가스인 N₂O가 Adjacent bay의 중앙 급기구를 넘어 Distant bay1과 2로 밀려나오고 있다.

구획된 병실간의 농도를 비교해 보면 Same bay의 평균농도는 0.0045419 ppm, Adjacent bay의 평균농도는 0.0005861 ppm, Distant bay1의 평균농도는 0.0002027 ppm, Distant bay2의 평균농도는 0.0001054 ppm으로 나타났다. Same bay를 제외하고 각 병실마다 추적가스에 대한 농도차이를 보이고 있는데 이는 각 병실의 잔여 공기량에 대한 압력차이와 거리차이의 관계에 따라 Same bay에서 흘러온 추적가스의 유입량이 결정되기 때문이다. 이러한 병실의 N₂O 평균농도를 <표 3>의 위치별 SARS 감염자의 감염율과 같이 볼 때 평균농도의 상승에 따라 감염율도 높아지고 있는 것을 알 수 있다. 수치해석에 의해 수렴되는 시간을 기준으로 판단하였으며 이는 실내에서 농도가 안정화된 상태를 지칭하는 것으로 항상 세균에 노출되어있는 병원에서의 병원균 확산은 시간보다 농도에 따른 감염에 초점을 두고 CFD 분석을 수행 하였다. 즉, N₂O의 평균농도가 0.0045419 ppm인 Same bay의 감염 위험율은 0.65로 가장 높으며, 0.0005861 ppm인 Adjacent bay는 0.52, 평균 0.001540 ppm



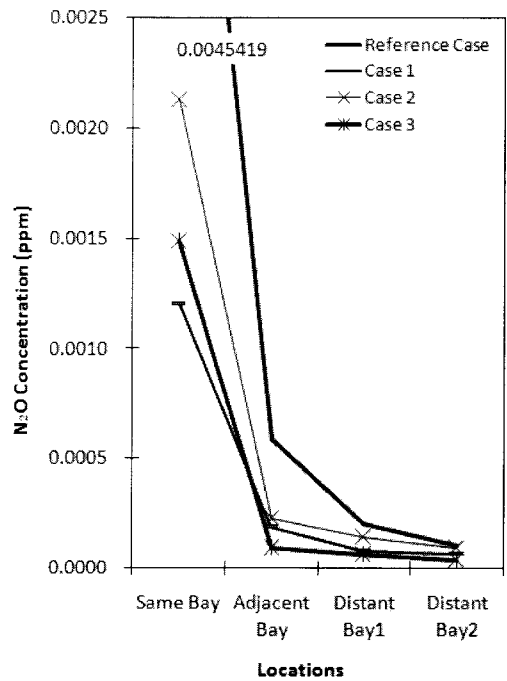
<그림 8> Reference Case의 분석결과



<그림 9> 농도에 따른 감염 위험률

$$y = 0.132\ln(x) + 1.404 \quad \text{식(1)}$$

여기서, y : 감염 위험율, x : 추적가스의 농도(ppm)

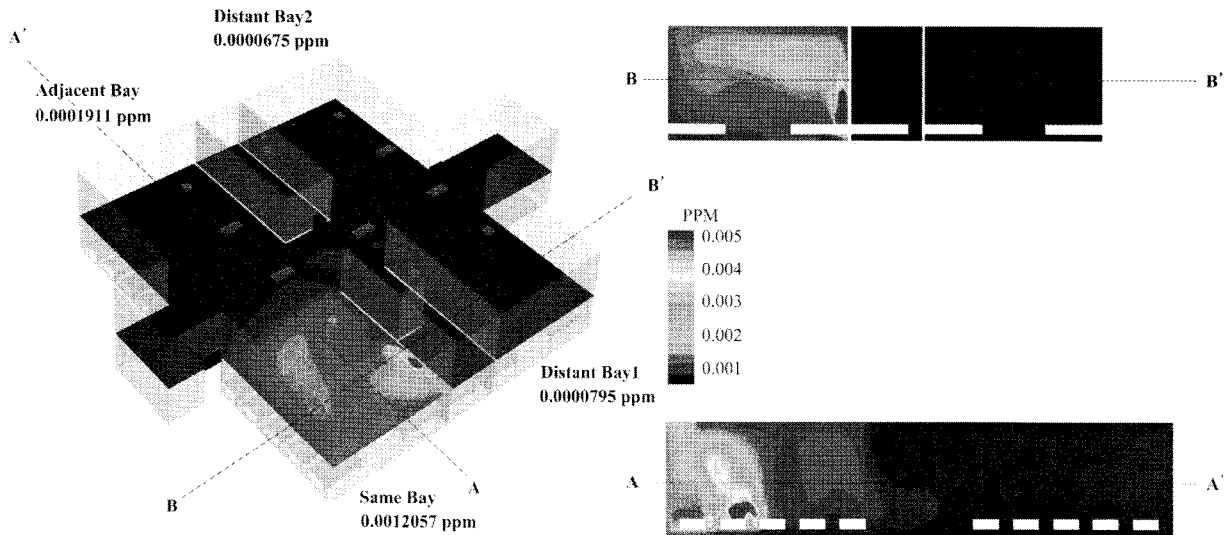


<그림 10> 각 Case별 추적가스의 농도 비교

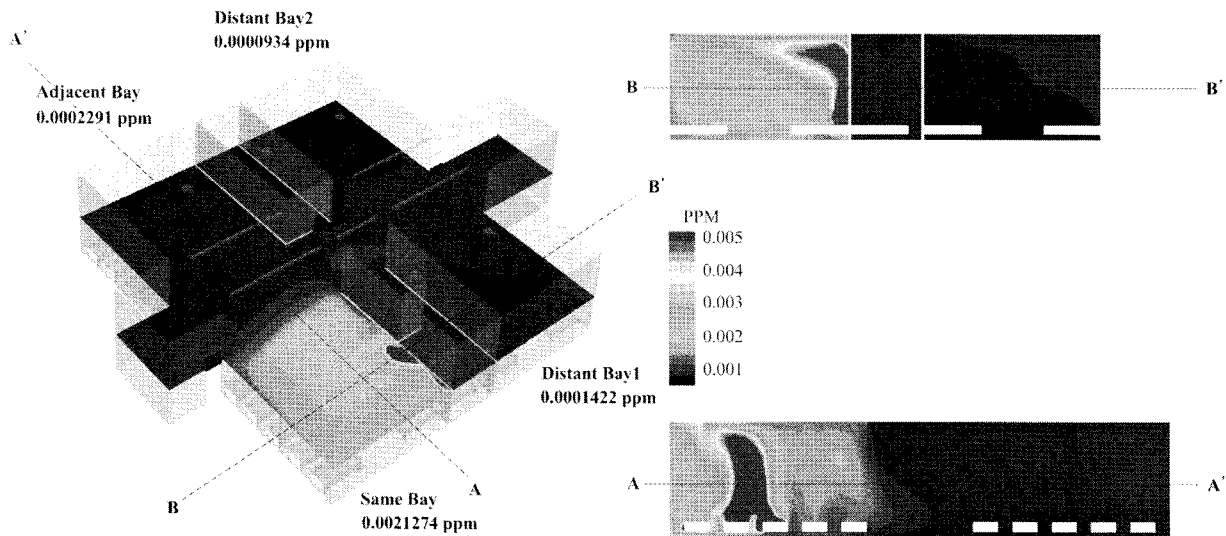
Distant bay는 0.18로 가장 낮다. 이를 분포도와 추세선으로 나타낸 것이 <그림 9>이다. 추세선을 보면 감염 위험율은 식(1)과 같이 평균농도를 독립변수로 로그함수를 나타내고 있으며, 이 로그함수로 감염 위험율을 86.6%로 설명하고 있는 것으로 분석되었다. 이 추세선을 이용하면 향후 다양한 병원 설계(안)에 대한 바이러스 확산 가능성과 그 위험성을 어느 정도 정량적으로 평가할 수 있을 것으로 판단된다. <그림 10>은 각 Case별 구획된 병실간의 N_2O 평균농도를 보여주고 있다.

(3) 급기량과 배기량의 차이에 대한 영향 분석

일반적으로 구획된 병실은 급기량이 배기량보다 높게 설정되어 있어 공간자체에는 정압이 걸리며 잔여공기량은 공간내 존재하는 Crack(각종 개구부, 문틈, 창틈, 균열 등)을 통해 빠져나간다. Reference Case도 역시 배기량보다는 급기량이 약 20%정도 많다. 이 때문에 잔여공기량은 병실의 공간내에 압력이 낮은 곳을 찾아 이동한다. 그러나 Case 1은 급기량과 배기량을 동일하게 설정하였기 때문에 잔여공기량은 없다. 즉 공급공기량만큼 실내에서 배기되어 외부로 빠져나간다.



<그림 11> Case1의 분석결과



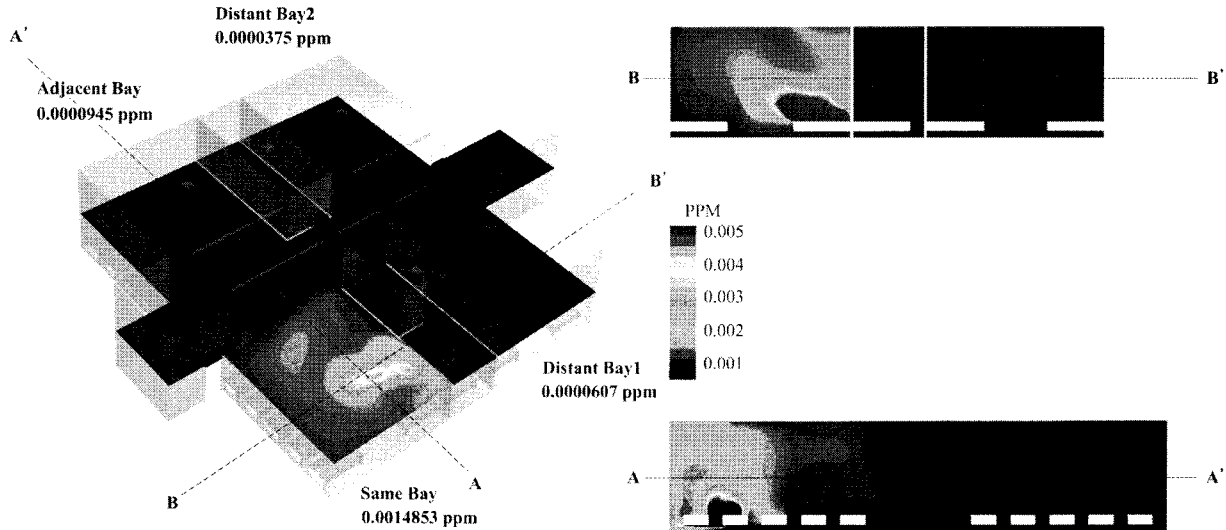
<그림 12> Case2의 분석결과

Case 1에서 N_2O 를 Index 환자의 위치에서 토출시켰을 때 N_2O 가 전체 병실로 확산되는 형상을 <그림 11>을 통해 볼 수 있다. Case 1은 Reference Case와 동일한 위치에서 급·배기가 이루어지지만 잔여공기량이 없어 각 구획된 병실간의 압력차이에 의한 기류의 이동은 약하게 일어날 뿐이다. 농도를 나타내는 등고선을 보면 Same bay의 중앙에서 급기되는 공기량은 배기되는 공기량과 같아 N_2O 의 일부만이 Adjacent bay, Distant bay1과 Distant bay2까지 유입되는 것을 볼 수 있다. 구획된 병실간의 농도를 비교해 보면 Same bay의 평균농도는 0.0012057 ppm, Adjacent bay의 평균농도는 0.0001911 ppm, Distant bay1의 평균농도는 0.0000795 ppm, Distant bay2의 평균농도는 0.0000675 ppm으로 나타났다. Reference Case와 비교

해 보면 Case 1은 구획된 모든 병실들에서 N_2O 의 농도는 50% 이상 줄어든 것을 알 수 있다. 이는 Same bay에서 다른 구획된 병실로 공기의 이동이 없기 때문에 N_2O 가 Same bay내에 정체되어 있고 Same bay 공간의 오염된 공기가 상당량 배기되기 때문인 것으로 나타났다. 또한 구획된 병실간의 상호 압력차이가 크지 않아 Same bay로부터 N_2O 가 Reference Case 만큼 유입되지 않고 있다.

(4) 급·배기구의 형태와 위치에 따른 영향 분석

Case 2의 급·배기량은 Reference Case와 동일하지만 실 중앙에서 배기가 이루어지며 다른 구획된 병실과의 경계에서 급기가 이루어지는 경우이다. Case 3의 급·배기의 위치는 Case 2와 동일하지만 잔여공기량이 발생하지 않게 급기량과 배기량



<그림 13> Case 3의 분석결과

을 동일하게 설정한 것이다. 이 두 Case 모두 Reference Case와는 다르게 라인형 급기구에서 급기가 이루어진다.

Case 2와 3에서 N₂O를 Index 환자의 위치에서 토출시켰을 때 N₂O가 전체 병실로 확산되는 형상을 <그림 12>와 <그림 13>을 통해 볼 수 있다. 우선 <그림 13>인 Case 3의 경우, 중앙에서 배기에 의해 오염된 공기가 빨려들어 가고 특히 실의 경계에서 라인형 급기가 이루어지기 때문에 N₂O는 Same bay에 격리되어 확산되지 못하고 있다. 이로 인해 Same bay의 평균농도는 0.0014853 ppm으로 오히려 급·배기량이 동일한 Case 2에 비해 농도가 높지만 오염된 공기를 격리하는 효율이 좋아 Adjacent bay의 평균농도는 0.0000945 ppm, Distant bay1의 평균농도는 0.0000607 ppm, Distant bay2의 평균농도는 0.0000375 ppm으로 가장 낮은 수준을 보여주고 있다. 그러나 Case 2의 경우 중앙에서 배기에 의해 토출되는 N₂O가 빨려들어 가고 확산되려는 N₂O를 라인형 급기에서 실내로 밀어주지만 <그림 12>를 보면 급기량이 많아 잔여공기량 때문에 결국은 다른 구획된 병실로 확산되는 것으로 나타났다. 이 때문에 Same bay 평균농도는 0.0021274 ppm으로 사각형 급기구가 적용된 Case 1보다도 높다. Adjacent bay의 평균농도는 0.0002291 ppm, Distant bay1의 평균농도는 0.0001422 ppm, Distant bay2의 평균농도는 0.0000934 ppm으로 다소 높은 수준을 보여주고 있다.

분석결과를 종합해 보면, 급·배기구의 형태와 위치, 급·배기량에 따라 실내의 기류 이동형상이 달라지는 것을 알 수 있다. 특히 급·배기량의 불균형으로 실내의 국부적인 정압을 발생시키며 이 과정에서 실내의 잔여공기가 다른 공간으로 유출되어 Index 환자의 토출호흡을 확산시킬 수 있다. 또한 급·배기구의 위치에서 구획된 실내에서 배기가 이루어지고 실간의 경계에서 급기가 이루어진다면 Index 환자의 토출호흡이 다른

공간으로 확산되지 않고 배기 및 격리되는 것으로 나타났다. 여기서 급기구의 형태는 사각형의 급기구 보다는 풍속을 증가시키는 라인형 급기구가 토출호흡을 격리시키는 데 더 유리한 것으로 나타났다.

4. 결론

2000년대 초반 SARS 바이러스가 북미와 동남아에 발현하여 확산됨으로써 많은 사람들이 감염되어 피해를 입었다. 이에 대한 원인을 조사하는 과정에서 공기 감염균인 SARS Virus와 그 확산과정에 대한 연구가 의학분야를 중심으로 진행되어 왔다. 건축분야의 경우, CO₂나 N₂O, SF₆ 가스를 사용하여, 공기 오염물질의 건물내의 확산을 연구하였고 바이러스의 확산을 주제로 한 연구는 제한적이었다. 또한 바이러스의 특성에 대한 정확한 정보와 언급 없이 확산과정만 설명하고 있다. 이에 대해 본 연구에서는 바이러스에 대한 물리적 특성을 분석하고, 바이러스 확산해석에 대한 추적가스의 사용 가능성 및 해석모델의 적용에 대해 논리적 근거를 제시하고자 하였다. 또한 SARS 환자가 발생한 병원에서의 감염확산 보고서를 바탕으로 추적가스 농도에 따른 감염 위험성 및 급·배기구의 위치와 형태 및 양에 따른 확산 패턴을 분석하였다.

연구결과를 요약하면 공기감염이 가능한 병원군의 경우, 바이러스는 밀도가 물보다는 크지만, 공기중에 부양할 수 있는 다양한 입자형태가 존재하며 크기가 나노단위이기 때문에 박테리아와 리케차에 비해 공기중에서 브라운 운동을 하며 기체와 같은 유동이 가능하다는 것을 문헌조사를 통해 파악하였다. 즉, 고체이지만 입자의 크기가 너무 작기 때문에 기체로 분류될 수 있으며, 이에 따라서 바이러스의 확산경로 분석이나 농도에 따

른 감염 위험성 분석으로 추적가스의 적용이 어느 정도 가능한 것으로 판단된다. SARS 바이러스에 감염된 환자의 입원과 감염이 확산된 병원을 사례로 추적가스의 농도에 따른 감염 위험성을 분석결과, 추적가스의 농도가 높을수록 감염 위험성이 높은 것으로 나타났으면 추적가스의 농도에 따른 감염 위험성은 로그함수로 나타낼 수 있었다. 이 로그함수는 추적가스의 평균 농도로 감염 위험률을 86.6%로 설명하고 있는 것으로 나타났다. 이 추세를 이용하면 향후 다양한 병원 설계(안)에 대한 바이러스 확산 가능성과 위험성을 어느 정도 정량적으로 평가할 수 있을 것으로 판단된다.

급·배기구의 형태와 위치, 급·배기량에 따라 실내의 기류 이동형상이 달라지는 것을 알 수 있다. 특히 급·배기량의 불균형은 실내의 불규칙한 정압을 발생시키며, 이로 인해 실내의 공기가 다른 공간으로 유출되게 되는데 이 과정에서 Index 환자의 토출호흡을 확산시킬 수 있다. 급·배기구의 위치 또한 구획된 실내에서 배기가 이루어지고 실간의 경계에서 급기가 이루어진다면 특정 실내에서 Index 환자의 토출호흡이 배기 및 격리되는 것으로 나타났다. 여기서 급기구의 형태는 사각형의 급기구 보다는 풍속을 증가시키는 라인형 급기구가 토출호흡을 격리시키는 데 더 유리한 것으로 나타났다. 따라서 급·배기 형태의 경우, 기존의 급·배기 형태와 더불어 출입구, 창문 등과 같은 공간의 경계부분에 라인형 그릴을 설치하여 기류방향에 따라 급기 또는 배기를 전환시키는 것이 병균의 확산을 효율적으로 막을 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구는 중층이상 의료시설의 수직적 수평적 병실 배치, 급·배기구의 설치 및 급·배기량 결정을 위한 다양을 대안을 평가할 수 있는 기준 및 기본원리를 제공할 수 있다.

참고문헌

1. 김광호·김태연·박상현·김병선, 초고층 공동주택의 스택효과가 단위 주거에서 코어로의 냄새확산에 미치는 영향 분석, 대한건축학회논문집 23/9, 2007
2. 양정훈, 배기구 위치의 차이에 의한 병실 공기 청정도 검토, 한국건축환경설비학회논문집 2/1, 2008
3. 최상근·홍진관, 환기시스템에 따른 공기감염 미생물 전파방지를 위한 멀티존 시뮬레이션에 관한 연구, 대한건축학회논문집 23/6, 2007
4. KBS, KBS 환경스페셜, '보이지 않는 침입자, 미세먼지', '한숨, 500CC에 담긴 보이지 않는 미세 먼지에 관한 최초 보고서', 3월14일 오후 10:00, 2001
5. 김태운, 진단바이러스학, 고려의학, 2001
6. 이재열, 바이러스: 삶과 죽음 사이, 지호, 2005
7. Bjorn E, Nielsen PV, Dispersal of exhaled air and personal exposure in displacement ventilated rooms, Indoor Air 2002:12, 2002
8. Bratbak G, Dundas I, Bacterial dry matter content and biomass estimations, Appl Environ Microbiol 48/4, 1984
9. Dilger DE, There were never any MAc Boot Sector Viruses, Roughly Drafted Magazine, January 30th, 2009
10. Hayashi T, Ishizu Y, Kato S, Murakami S, CFD analysis on characteristics of contaminated indoor air ventilation and its application in the evaluation of the effects of contaminant inhalation

- by a human occupant, Building and Environment 37, 2002
11. Haselton FR, Sperandio PGN, Convective exchange between the nose and the atmosphere, Journal of Applied Physiology 1988:64, 2003
12. Hung, H.C.K., Chan, D.W.T., Law L.K.C., Chan, E.H.W., Wong E.S.W., Industrial experience and research into the causes of SARS virus transmission in a high-rise residential housing estate in Hong Kong, Building Serv. Eng. Res. Technol. 27/2, 2006
13. Khoukhi M, Yoshino H, Liu J, The effect of the wind speed velocity on the stack effect pressure in medium-rise buildings in cold region of China, Building and Environment 42, 2007
14. Lee N, Hui D, Wu A, et al., A major outbreak of severe acute respiratory syndrome in Hong Kong, N Engl J Med 2003:34, 2003
15. Li Y, Duan S, Yu ITS, Wong TW, Multi-zone modeling of probable SARS virus transmission by airflow between flats in Block E, Amoy Gardens, Indoor Air 2004:15, 2004
16. Qian H, Li Y, Nielsen PV, Hyldgaard CE, Dispersion of exhalation pollutants in a two-bed hospital ward with a downward ventilation system. Building and Environment 43, 2008
17. Schaeffer SR, Mackenzie JM, Pekosz A, The ORF7b protein of severe acute respiratory syndrome coronavirus (SARS-CoV) is expressed in virus-infected cells and incorporated into SARS-CoV particles, Journal of Virology 81/2, 2007
18. Seto, W.H., Tsang, D., Yung, R.W.H., et al., Effectiveness of precautions against droplets and contact in prevention of nosocomial transmission of severe acute respiratory syndrome (SARS), Lancet 2003:361, 2003
19. Tomlinson B, Cockram C, SARS: experience at Prince of Wales Hospital, Hong Kong, Lancet 2003:361, 2003
20. Wong TW, Lee CK, Tam W, et al., A cluster of severe acute respiratory syndrome among medical students exposed to a single patient in Hong Kong, Emerg Infect Dis 2004:10, 2004
21. Yu ITS, Wong TW, Chiu YK, Lee N, Li Y, Temporal-spatial analysis of severe acute respiratory syndrome among hospital inpatients, Clin Infect Dis 2005:40, 2005

<접수 : 2009. 4. 30>