

# A CFD Simulation Study on the Isolation Performance of a Isolation Ward

CFD를 이용한 격리병동의 격리성능 검토

Sohn, Deokyoung\* 손덕영 | Kwon, Soonjung\*\* 권순정 | Choi, Yunho\*\*\* 최윤호

## Abstract

**Purpose:** In this study, we performed ventilation simulations for a standard isolation ward including three intensive care rooms, one anteroom(buffer room), and its recommended ventilation equipments. The purpose of this study is to predict outflow of pathogenic bacteria from patient breath to verify the reliability and the safety of the isolation ward. **Methods:** We suppose three scenarios of the movement of medical staff. The leakage of patient's breath to out of the ward is predicted in these scenarios using CFD simulations. **Results:** The patient's breath leakage rate to out of the ward in scenario 1 according to room air changes per hour(ACH : 6 and 12) is predicted to be 0.000057% and 0.00002%, respectively. The patient's breath leakage rate to out of the ward in scenario 2 according to room air changes(ACH : 6 and 12) is predicted to be 0.00063% and 0.00019%, respectively. The patient's breath leakage rate to out of the ward in scenario 3, which is the worst case(6 room air changes) is predicted to be 0.1%. **Implications:** Through the ventilation simulation like that in this study, the reliability and the safety on isolation performance of various plan of isolation ward are predicted quantitatively.

**Keywords** CFD simulation, Isolation ward, Ventilation, Room air change per hour.

**주 제 어** 전산유체역학 시뮬레이션, 격리병동, 환기, 환기횟수

## 1. Introduction

### 1.1 Background and Objective

여러 용도의 건축물 중에서 병원은 환자의 생명을 다루는 시설물이다. 현대병원의 경우, 지속적인 의술과 기술의 발전에 따라 시간이 흐를수록 효과적인 진료를 위한 설비 부분의 중요성이 커져가고 있다. 이 중 적절한 공기조화와 환기설비는 공기 오염의 방지를 통해 원내 교차감염 예방 및 환자의 치료에 많은 도움을 줄 수 있지만 비교적 많은 비용이 소요되는 부분이기 때문에 보다 효율적인 설계가 요구된다. 일반적으로 환기는 오염된 실내공기를 실외로 배출하고 신선한 외기를 실내로 유입시킴으로써 재실자의 쾌적성을 향상시키는 역할을 한다. 하지만 병원에서의 환기는 쾌적성의 향상이라는

기능보다 더욱 중요한 역할을 하게 되는데, 그것은 병원 내 교차오염의 방지이다. 이를 위해서는 격리병실과 같은 오염 발생실에 음압을 생성시키고 오염공기의 배기측에 필터를 적용하게 된다. 또한, 밀폐에 의한 압력차의 유지와 함께 인원의 출입이 필요한 경우에는 전실 또는 완충공간이 필요하게 된다(정종림, 2004:9).

본 연구에서는 3개의 병실과 전실을 포함하고 있는 표준 중환자 격리병동과 그에 따른 권장 설비를 가정하고, 이에 대한 환기 시뮬레이션을 수행한다. 또한, 그 결과를 통해 환자의 호흡으로 발생된 병원균의 외부 유출 정도를 판단하여, 감염 격리 시설의 격리성능을 파악하고 시설의 신뢰성을 검증하고자 한다.

### 1.2 Methods of Research

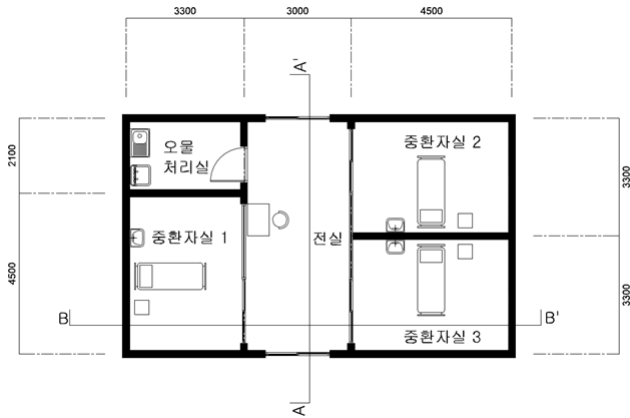
본 시뮬레이션에서 고려된 격리병동은 좌측에 중환자실 1이 위치하고 우측에 중환자실 2, 3이 대칭형태로 배치되며, 중앙에는 완충 역할을 하는 전실이 자리하고 있는 구조를 가지고 있다(Figure 1, Figure 2). 중환자실 2, 3은 모든 기구의 배

\* The doctor's course, Department of Mechanical Engineering, Ajou University (Primary author: skymal@nate.com)

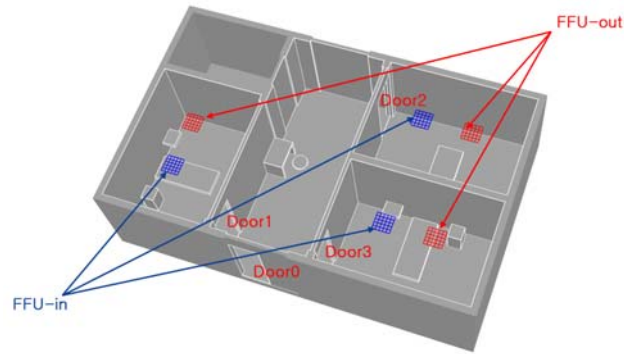
\*\* Vice President, Professor, Ph.D, Department of Architecture, Ajou University (sjkwon@ajou.ac.kr)

\*\*\* Professor, Ph.D, Department of Mechanical Engineering, Ajou University (Corresponding author: ychoi@ajou.ac.kr)

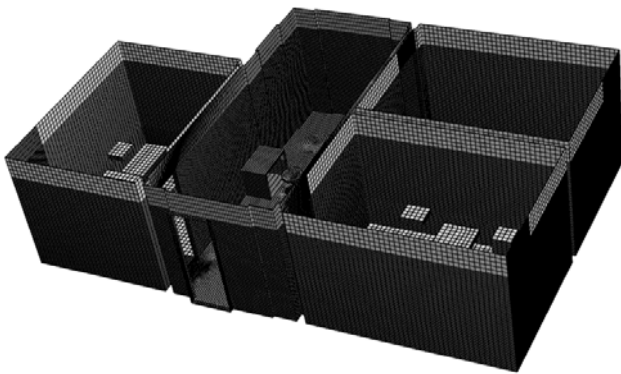
치와 문의 위치가 완전히 동일한 구조이나, 중환자실 1은 문의 방향이 다른 병실과 차이를 보인다.



[Figure 1] Floor plan of a selected isolation ward



[Figure 2] 3D view of a selected isolation ward



[Figure 3] Computational grid for a selected isolation ward

본 연구대상의 병실에는 오염원의 환기와 외부유출 방지를 위해 FFU(Fan Filter Unit) 한 조가 설치되어 있다. 급기구와 배기구는 병실 천장 중앙에 위치하며, 급기구는 출입문과 가까운 곳에 위치하는 것으로 가정하였다[Figure 2]. 출입문은

병원균의 유출을 최대한 방지하기 위해 자동문으로 가정하였다.

[Figure 3]은 본 연구에 사용된 계산격자를 보여준다. 자동문의 틈새를 통한 병원균의 확산을 예측하기 위해 문 틈 근처에는 보다 조밀한 격자를 구성하여 사면체와 육면체가 조합된 총 1,654,998개의 hybrid mesh를 구성하였다.

[Table 1] Computational conditions and assumptions

Subject	Conditions and assumptions
Automatic door	- Assuming that all automatic doors are opened and closed instantly and stay open for 3 second. - Assuming that 5mm gap exist on the bottom and end side of all automatic doors.
FFU-out	- Applying the flow rate corresponding to 6 and 12 room air changes per hour.
FFU-in	- Applying the flow rate generating negative pressure of -2.5pa in the ward.
Pathogen source	- Pathogen source is patient breathing. - Applying patient breathing flow rate of respiration rate(16) $\times$ tidal volume(500ml).
Walking speed	- Assuming that the walking speed of medical staff is 0.5~1.0m/s.
Pathogenic air (Scalar0)	- Diffusion of pathogenic air to fresh air is ignored.

[Table 1]은 본 시뮬레이션에서 사용한 여러 가지 계산 조건 및 가정을 요약하고 있다. 자동문의 개방시간은 그 용도에 따라 5초, 길게는 10초인 경우도 있으며, 짧은 경우는 2~4초가 일반적이다. 본 계산에서는 격리병실임을 감안하여 비교적 짧은 3초의 개방시간을 가정하였다. 또한 문의 개폐는 계산 편의를 위해 순간적으로 이루어진다고 가정하였다. 자동문의 틈새는 문의 끝단과 밀면에 5mm를 가정한다(김진균 2003).

FFU에 적용되는 조건은 환기횟수 6회 및 12회이다. FFU 배기구에 환기횟수 6회와 12회에 해당하는 흡입풍량을 적용하여 두 가지 케이스를 계산하였다. 또한 FFU의 급기구에는 배기구보다 적은 풍량을 적용하여 각 병실에 -2.5pa의 음압이 생성될 수 있도록 하였다. 배기구의 흡입풍량과 급기구의 급기풍량의 차이가 발생하게 되면, 풍량차에 해당하는 공기가 병실 문틈으로부터 흡입되고, 병실 문틈의 공기저항으로 인해 병실 내부에 음압이 발생하게 된다.

환자의 날숨으로 인한 오염원은 해석코드의 scalar 수송 방정식의 도입으로 이루어졌다. 이는 환자의 날숨을 계산유체와 같은 공기로 가정하되, scalar0라는 변수를 정의하여 환자로부터 나오는 공기의 거동을 모사하는 것이다. 환자의 날숨은 성인 표준 호흡수(16회)와 평균 1회 호흡기량(500ml)을 적용하였다. 실제로 환자의 날숨은 시간에 따라 간헐적으로 이루

어지는 것이나, 시뮬레이션에서는 시간 평균적인 공기량이 지속적으로 토출되는 것으로 가정하였다.

간호사의 보행속도는 0.5~1.0m/s의 범위를 가정하고 시나리오 시간 구성의 편의에 따라 적용하였다. 청정공기와 오염공기간의 확산은 강제대류에 의한 물질이동에 비해 무시할 수 있을 만큼 작은 것으로 가정하여, 불분명한 오염공기의 확산계수를 0으로 설정하였다.

본 계산에는 의료진의 동선에 따라 총 3가지의 시나리오가 고려되었다. 첫 번째 시나리오는 의료진이 전실을 통해 중환자실 1만을 방문하고 퇴실하는 경우이며, 두 번째 시나리오는 의료진이 전실을 통해 모든 중환자실을 방문하는 경우이다. 세 번째 시나리오는 중환자실과 전실의 문을 항상 열어놓고 있는, 다시 말해 오염공기의 확산이 최대로 일어날 수 있는 시나리오가 추가로 고려되었다.

시나리오 시작 전의 계산영역은 정상상태 계산을 통해 결정된 속도 및 오염공기 농도분포로 초기화된다. 모든 문의 개폐시간은 3초이며, 병실 체류시간은 5분, 오물처리실 작업시간은 1분, 데스크 작업시간은 2분으로 가정하여 시나리오가 구성되었다.

## 2. Computational results

### 2.1 Scenario 1

[Table 2]에 시나리오 1에 대한 세부사항을 정리하였다.

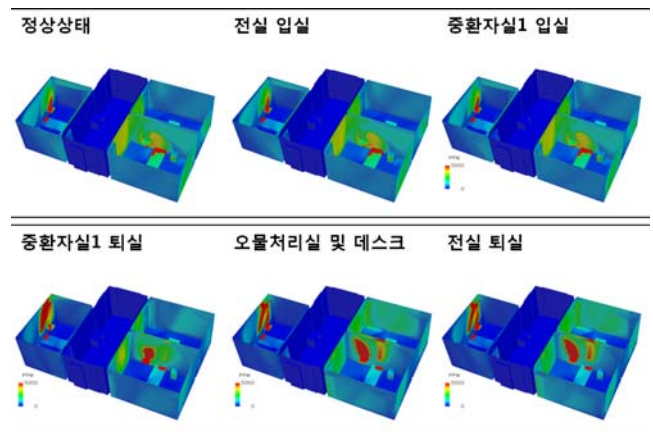
[Table 2] Summary of scenario 1

상황 번호	상황 (의료진)	소요 시간	시작 시간 (min:sec)	종료 시간 (min:sec)	계산 조건
0	정상상태	$\infty$	$-\infty$	00:00	All doors close
1	전실 입실	3초	00:00	00:03	Door0 open
2	중환자실1 입실	3초	00:03	00:06	Door0 close, Door1 open
3	중환자실1 체류	5분	00:06	05:06	Door1 close
4	중환자실1 퇴실	3초	05:06	05:09	Door1 open
5	오물처리실 및 데스크	3분	05:09	08:09	Door1 close
6	전실 퇴실	3초	08:06	08:12	Door0 open
0	정상 상태	$\infty$	08:12	$\infty$	Door0 close

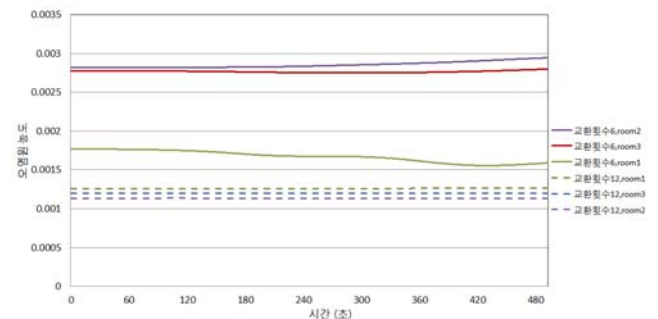
[Figure 4]는 환기횟수 6회의 시나리오 1에 대한 오염공기 농도분포를 보여주고 있다. 시나리오 진행에 따라 전체적인 농도분포의 양상은 크게 차이가 없으나, 사영역의 오염공기 농도는 커지는 양상을 보인다. 또한 문의 개폐에 따라 오염

공기가 전실로 전파되는 양은 매우 작은 것으로 나타나고 있다.

[Figure 5]는 시나리오 1의 시간진행에 따른 모든 중환자실의 평균농도 변화를 보여주는 그래프이다. FFU의 설치위치나 운전조건은 모든 병실에 대해 동일하게 적용되지만, 중환자실 1의 경우 출입문의 위치와 방향이 다른 병실과는 다소 다르게 설치되어 있다. 병실 전체의 기류는 주로 FFU에 의해 좌우되지만, 문틈으로 들어오는 공기흐름의 영향도 무시할 수 없다. 환기횟수 6회의 경우, 이러한 문틈 기류가 환기에 유리하도록 작용되어 중환자실 1의 평균 농도는 다른 병실에 비해 낮아지는 것을 볼 수 있다. 환기횟수 12회의 경우에는 FFU에 의한 기류가 매우 강하여 문틈 기류에 의한 영향이 상대적으로 작아지기 때문에 각 병실별로 거의 유사한 평균농도를 보이고 있다. 이러한 특성을 감안한다면 고위험 병원체를 가진 환자가 입원하는 경우 환기횟수 12회를 적용하여 오염의 확산을 저감할 수 있을 것으로 판단된다.



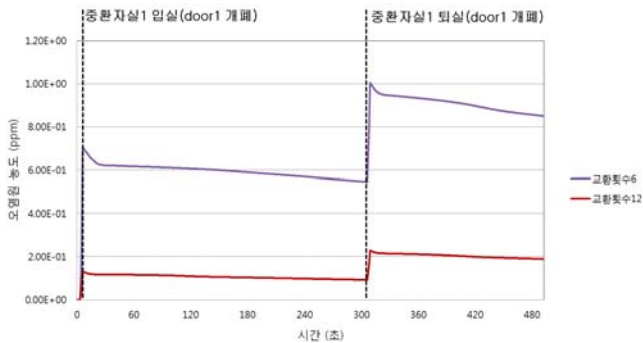
[Figure 4] Distribution of scalar0 concentrations in scenario 1 for 6 room air changes.



[Figure 5] Time histories of scalar0 concentration in the wards in scenario 1

[Figure 6]은 시나리오 1의 시간경과에 따른 전실의 농도변화를 보여주는 그래프이다. 의료진이 전실로 입실하고 중환자실 방문을 위해 병실문을 개방하게 되면 병실의 오염공기가

전실로 전파되어 전실의 농도는 급격하게 증가한다. 이어서, 문을 닫은 뒤 5분간의 체류시간 동안 전실공기는 외부공기 유입과 함께 서서히 정상상태로 희석되어 간다. 의료진이 중환자실 업무를 마치고 병실을 나가기 위해 문을 개방하게 되면 전실의 오염농도는 다시 급격히 상승하게 되며, 문이 닫힌 뒤에는 또다시 정상상태로 희석되어 간다. 이러한 전실의 오염상황은 교환횟수(ACH)에 관계없이 비슷한 양상을 보이나 교환횟수(ACH)에 따른 농도값의 차이는 비교적 크다. 시나리오 1에서의 오염공기 외부 유출량은 환기횟수 6회와 12회에 대하여 각각 0.037ml와 0.013ml로, 이는 시나리오가 진행되는 시간동안 매 초마다 전실에서 외부로 유출된 유량과 그 시간에서의 전실농도를 곱한 후 이를 시간에 대하여 적분하여 구할 수 있다.



[Figure 6] Time histories of scalar0 concentration in the front room in scenario 1

## 2.2 Scenario 2

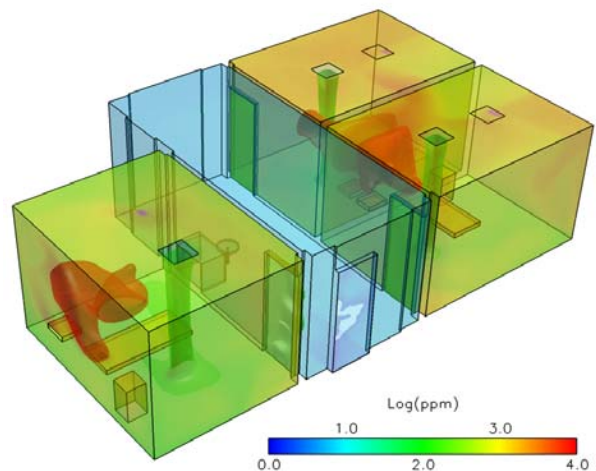
시나리오 2는 의료진이 모든 중환자실을 방문하는 경우로서 이에 대한 세부사항을 [Table 3]에 정리하였다.

[Table 3] Summary of scenario 2

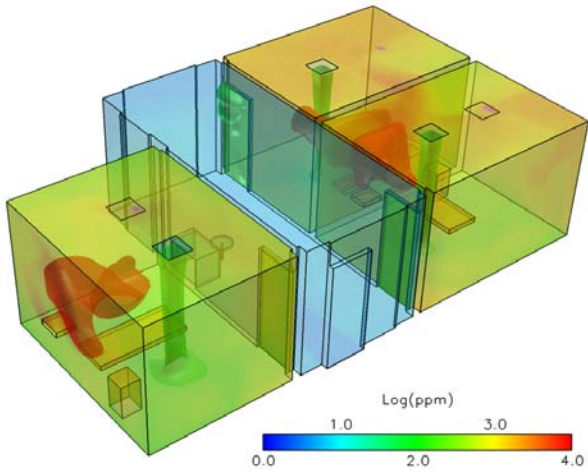
상황 번호	상황 (의료진)	소요 시간	시작 시간 (min:sec)	종료 시간 (min:sec)	계산 조건
0	정상상태	∞	-∞	00:00	All doors close
1	전실 입실	3초	00:00	00:03	Door0 open
2	중환자실1 입실	3초	00:03	00:06	Door0 close, Door1 open
3	중환자실1 체류	5분	00:06	05:06	Door1 close
4	중환자실1 퇴실	3초	05:06	05:09	Door1 open
5	오물처리실	1분	05:09	06:09	Door1 close
6	중환자실2 입실	3초	06:09	06:12	Door2 open
7	중환자실2 체류	5분	06:12	11:12	Door2 close
8	중환자실2 퇴실	3초	11:12	11:15	Door2 open

상황 번호	상황 (의료진)	소요 시간	시작 시간 (min:sec)	종료 시간 (min:sec)	계산 조건
9	오물처리실	1분	11:15	12:15	Door2 close
10	중환자실3 입실	3초	12:15	12:18	Door3 open
11	중환자실3 체류	5분	12:18	17:18	Door3 close
12	중환자실3 퇴실	3초	17:18	17:21	Door3 open
13	오물처리실 및 데스크	3분	17:21	20:21	Door3 close
14	전실 퇴실	3초	20:21	20:24	Door0 open
0	정상상태	∞	20:24	∞	Door0 close

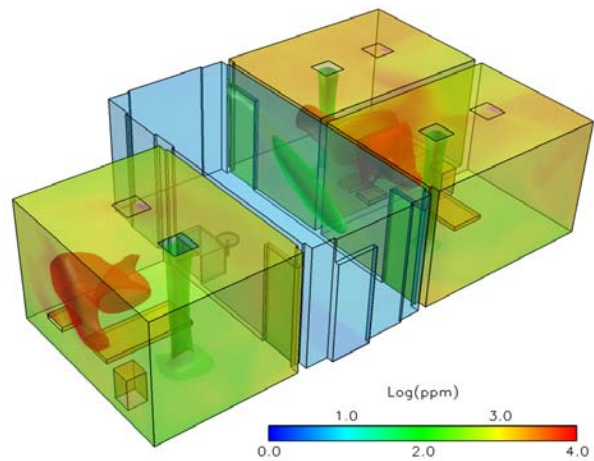
다음 그림들은 교환횟수(ACH) 6회에 대한 오염농도의 iso surface를 3차원으로 표현하고 이를 시나리오 진행 시간에 따라 나타낸 것이다(Figure 7~13). 붉은색은 환자 호흡기 부근의 고농도 영역이며, FFU 급기구 하단의 영역은 외부공기에 의한 저농도 영역이다. 두 영역 모두 시간에 따른 큰 변화는 없다. 시나리오 초기의 중환자실 1 입실시에 병실문의 개폐에 따른 약간의 공기유출을 관찰할 수 있으며(Figure 7), 중환자실 2 입실시 유출된 오염공기는 중환자실 3 병실문의 하단틈새를 통해 병실로 유입되는 것을 관찰할 수 있다(Figure 8~9). 의료팀이 중환자실 2에서 퇴실할 때 역시 오염공기가 전실로 유출되고 있으며, 곧바로 병실문이 열리는 중환자실 3으로 유입되고 있다(Figure 10~11). 이 때, 입실을 위해 개방된 중환자실 3에서 역시 공기가 유출되는데, 이 유출공기는 중환자실 1로 유입되기도 하고, 일부는 전실 전체에 퍼지는 것으로 보인다(Figure 12). 끝으로 중환자실 3 퇴실시 전실로 유출된 공기는 중환자실 1로 유입됨과 동시에, 일부는 이후 열리는 전실문을 통해 외부로 유출되고 있다(Figure 13).



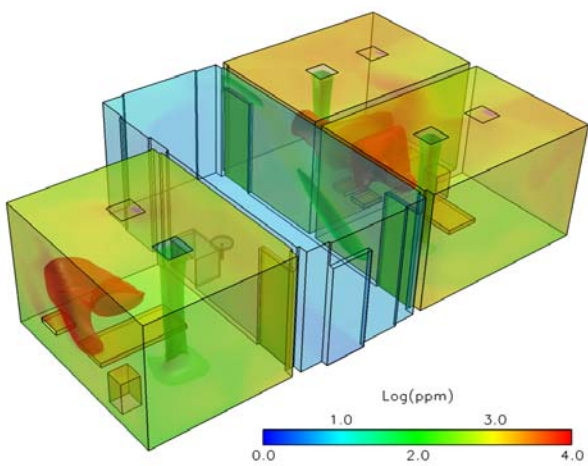
[Figure 7] Iso surface contour of scalar0 at 00:06 in scenario 2



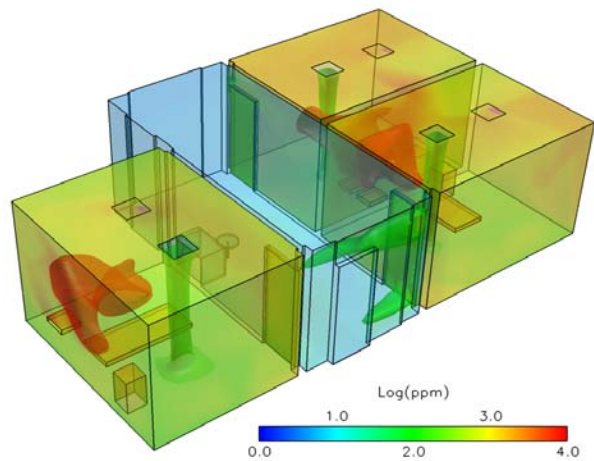
[Figure 8] Iso surface contour of scalar0 at 06:12 in scenario 2



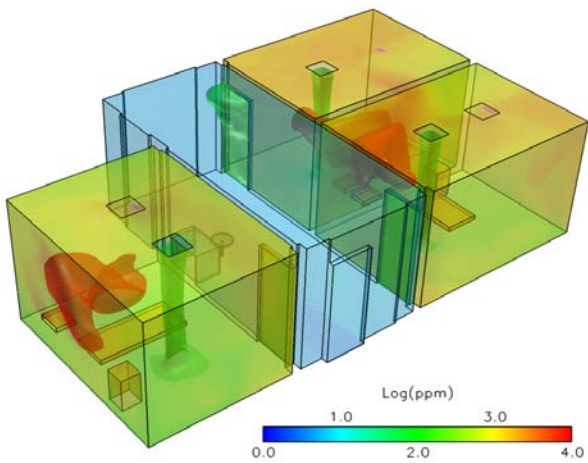
[Figure 11] Iso surface contour of scalar0 at 12:10 in scenario 2



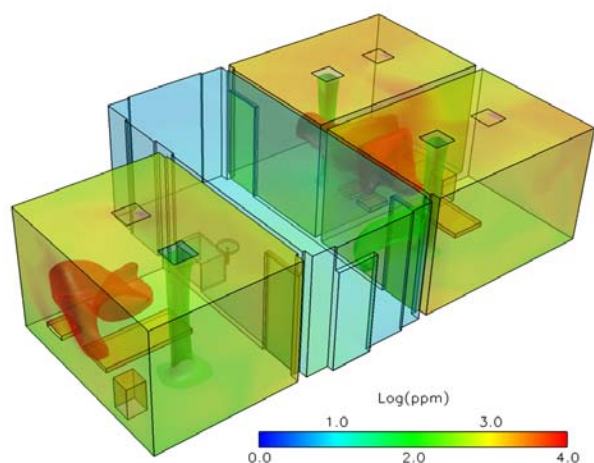
[Figure 9] Iso surface contour of scalar0 at 07:30 in scenario 2



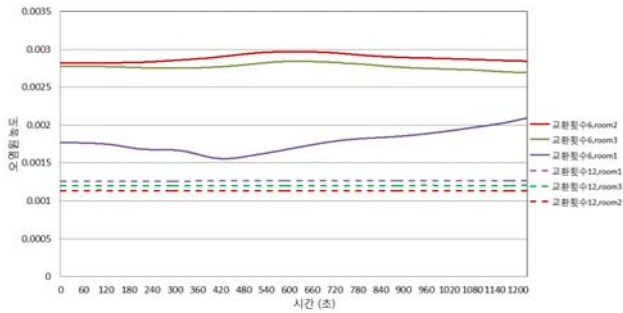
[Figure 12] Iso surface contour of scalar0 at 13:20 in scenario 2



[Figure 10] Iso surface contour of scalar0 at 11:15 in scenario 2



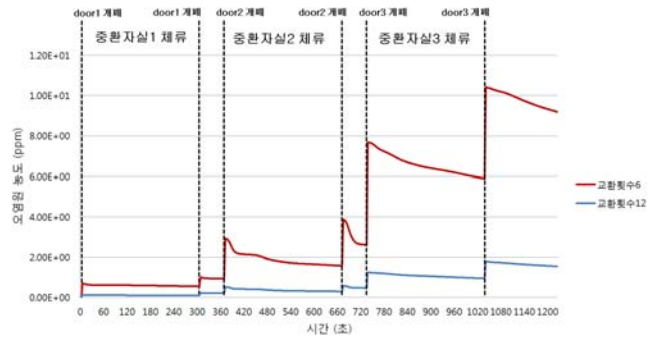
[Figure 13] Iso surface contour of scalar0 at 18:50 in scenario 2



[Figure 14] Time histories of scalar0 concentrations in the wards in scenario 2

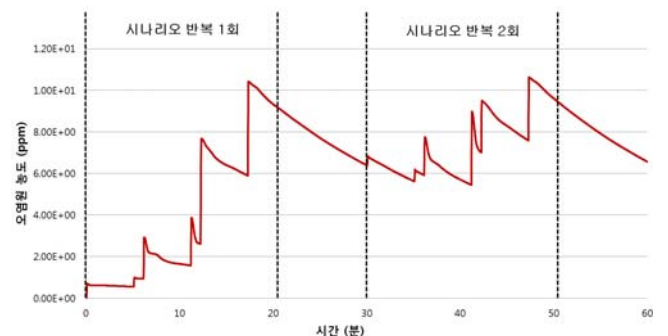
[Figure 14]는 시나리오 2의 진행에 따른 모든 중환자실의 평균농도 변화를 보여주는 그래프이다. 교환횟수 12회인 경우에는 FFU에 의한 기류가 매우 강하기 때문에 병실 문의 개폐에 따른 농도변화가 거의 없다. 그러나, 교환횟수 6회인 경우에는 각 병실의 문이 개폐됨에 따라 전실과의 공기교환이 비교적 크게 이루어져 병실내 농도가 시간에 따라 변하게 되는 것을 관찰할 수 있다. 초기에 의료진이 중환자실 1을 방문하면서 문을 개방하고 체류함에 따라 중환자실 1의 오염원이 전실로 전파된다. 이에 따라 중환자실 1의 오염농도는 감소하고 전실농도가 상승하게 되며, 문틈으로 전실의 공기를 흡입하는 다른 병실의 농도는 천천히 상승하게 된다. 비슷한 과정을 따라 중환자실 2와 3의 병실문이 차례로 개방되면서 중환자실 2와 3의 오염농도는 감소하고 오염농도가 높아진 전실 공기를 흡입하는 중환자실 1의 농도는 지속적으로 상승하게 된다.

[Figure 15]는 시나리오 2의 진행에 따른 전실의 오염농도 변화를 보여주고 있다. 각 병실을 방문할 때마다 전실의 오염농도는 급격하게 증가하고 있으며, 병실문이 닫혀있는 동안 전실 내 공기가 정상상태로 충분히 희석되지 못하고 계속되는 병실 방문으로 전실의 오염농도는 계단함수 형태를 띠며 꾸준히 증가하고 있다. 앞서 언급한 방법으로 시나리오 2에서의 오염공기 외부 유출량을 구해보면, 환기횟수 6회와 12회에 대하여 0.041ml와 0.12ml로 계산된다, 오염공기의 외부 유출량은 전실의 오염농도에 의해 크게 좌우되기 때문에 격리병실에서 전실의 중요성은 매우 크다고 할 수 있다.



[Figure 15] Time histories of scalar0 concentrations in the front room in scenario 2

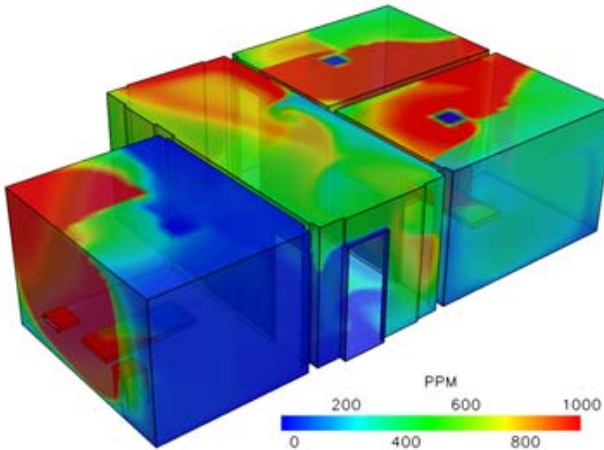
[Figure 16]은 의료진이 모든 병실을 방문하는 시나리오 2를 2회 반복한 계산결과이다(시간당 환기횟수 6회). 시나리오 사이의 시간간격은 시간당 시나리오가 2회 반복될 수 있도록 9분 36초로 설정하였다. 최초 시나리오 때의 결과는 이전 결과와 동일하며, 전실내 오염농도는 최고 약 10ppm까지 상승하였다. 의료진이 전실을 나가고 약 10분 후에 다시 시나리오가 반복되는 설정에 따라 두 시나리오 사이 시간동안 전실농도는 정상상태를 향하여 꾸준히 희석된다. 그러나, 시나리오 사이의 시간 간격이 충분하지 못하여, 전실의 농도가 완전히 희석되지 못한 상태(7ppm 내외)에서 시나리오의 반복이 이루어지게 된다. 비록 비교적 농도가 큰 초기상태에서 다시 시나리오가 진행되는 했지만, 병실 체류시간동안 진행되는 전실농도의 감소는 이전 시나리오 때에 비해 매우 급격히 이루어지고 있다. 이는 일반적으로 내부공기의 농도가 초기치를 기준으로 시간에 따라 지수적으로 감소하기 때문이다(한화택 1992). 즉, 고농도의 전실은 저농도의 전실에 비해 환기에 의한 희석이 급격히 이루어지는 것이다. 이러한 이유로, 시나리오의 반복에 따라 전실의 최고농도는 약 10ppm 정도로 일정하게 유지되고 있다.



[Figure 16] Time histories of scalar0 concentrations in the front room in scenario 2(repeated)

### 2.3 Scenario 3

시나리오 3은 다소 비현실적인 경우로서, 중환자 병실과 전실의 문을 항상 개방한 상태로 유지하는 경우로, 오염공기 누설이 가장 심한 경우를 가정한 것이다. 이 경우는 의료진의 출입횟수 또는 출입문의 개방시간이 무한대라고 할 수 있다. Scenario 3은 오염공기가 병동 밖으로 유출될 수 있는 심각한 경우를 가정한 것이므로, FFU 공기교환 횟수 6회에 대한 계산만을 수행하였다.



[Figure 17] Contour plot of scalar0 concentrations in scenario 3

[Figure 17]은 시나리오 3의 계산결과를 보여주고 있다. 문이 항상 개방되어 있는 상태이기 때문에 병실과 전실의 음압 유지가 어려워져 전실 오염 수치가 최대 1000ppm 이상으로 매우 높게 나타나고 있다. 3개의 병실에서 생성되는 환자 날숨의 양은 약 2400ml/min인 상태에서, 전실의 평균농도는 260ppm, 전실에서 외부로의 공기유출량은 10.2L/min으로 계산되었다. 이러한 계산결과로부터 오염공기의 외부유출량은 2.652ml/min으로 추정할 수 있으며, 이는 환자 날숨의 약 0.11%에 해당하는 양이다. 이 정도의 오염공기가 유출될 경우 얼마나 위험한지는 병원체에 따라 달라지며 병원체별 구체적인 위험도에 대한 평가는 별도의 연구가 필요하다.

### 3. Conclusion

본 연구에서는 중환자 격리병동과 이에 따른 환기설비를 가정하고 이에 대한 환기 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션은 의료진의 동선에 따라 3가지의 시나리오를 가정하여 오염원인 환자 날숨의 유출 정도를 파악하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 병실문 개폐에 따라 전실의 오염농도는 단계적으로 증가하며, 환기횟수(ACH) 6회에서 모든 병실을 방문하는 시나리오 2를 진행하는 경우 최대 약 10ppm까지 상승한다.

2) 전실 문이 닫혀있는 경우는 전실의 음압으로 인해 전실 내부의 공기가 외부로 유출되지 않으며, 시나리오 시작과 종료의 전실문 개폐시에만 역류에 의해 소량이 누설된다.

3) 시나리오 1에 대한 외부 누설 오염공기량은 환기횟수 6, 12에 대하여 각각 0.037ml, 0.013ml로 이는 환자 호흡량의 0.000057%, 0.00002%로 매우 작은 양이다.

4) 시나리오 2에 대한 외부 누설 오염공기량은 환기횟수 6회와 12회에 대하여 각각 0.41ml, 0.12ml로 이는 환자 호흡량의 0.00063%, 0.00019%로 매우 작은 양이다.

5) 의료진이 병동을 시간당 2회 출입하는 경우(시나리오 2를 시간당 2회 반복, 환기횟수 6회), 전실의 최대 오염농도는 반복 전과 비슷한 10ppm을 유지하며, 이 후 계속되는 반복 실행에도 전실 오염농도는 10ppm 정도로 일정하게 유지될 것으로 보인다.

6) 시간당 2회 시나리오를 반복하는 경우, 외부 누설 오염공기량은 약 1.2ml(환자 호흡량의 0.00185%)이며, 이후 계속적인 반복에 따라 약 0.003%의 비율을 유지할 것으로 예상된다.

7) 병실과 전실로의 잦은 입출입을 고려하여 병실과 전실문을 상시 개방한 경우, 외부 누설 오염공기량은 환자 호흡량 대비 약 0.1%이다. 즉, 실제 조건에서는 어떠한 경우라도 외부 누설율이 0.1%를 초과하는 것은 불가능한 것으로 판단된다. 보다 현실적으로 분당 1회의 잦은 출입을 가정하면, 위의 결론으로부터 약 0.005%의 누설률을 예측할 수 있다.

8) 위의 결과들로부터, 본 연구에서 고려한 중환자 격리 병동과 관장설비는 병실내 감염균을 외부로부터 격리시키는데 있어 매우 높은 신뢰도를 가진다고 볼 수 있다.

본 연구에서는 의료진의 이동에 따른 문의 개폐만을 시나리오 형태로 고려하여 시뮬레이션을 수행하였다. 이에 따라 의료진의 몸의 움직임에 따른 와류의 발생 및 공기의 이동을 고려하지 않아 공기의 유출 정도가 다소 낮게 산출될 수 있는 한계를 가지고 있다. 본 연구가 보다 실효적이고 구체적으로 현장에 적용되기 위해서는 먼저 병원체별 허용농도치를 파악해야 하며 이를 기준으로 격리병실의 환기횟수 및 차압 등을 보다 정확히 제시할 수 있을 것이다. 그러나 현실적으로 감염병 관련 병원체별 허용농도치에 대한 기준값을 제시하기는 어려울 전망이다. 그밖에 본 연구는 병원의 진료방식을 표준화하여 컴퓨터상에서 모의실험을 수행한 결과이므로 실제 병원별 진료 및 운영방식에 차이가 있는 점과 시공상의 오차 등을 감안하여 본 연구를 결과를 참조할 필요가 있다.

**Acknowledgements:** This work was funded by Korea Centers for Disease Control and Prevention in 2011

### References

- 김진균(Kim, J), 초고층 건축물 건설기술 연구단 최종 보고서(3세부과제 : 환경 및 에너지 절감기술), 2003
- 정종립(Jeong, J), 종합병원의 환기설비 사례 연구, 한국생태환경건축학회 논문집, 4(3):187, 2004
- 질병관리본부, 거점병원 지원 시설기준, 2010
- 한화택(Han, H), 난류유동해석을 통한 환기효율의 수치해석적 연구, 공기조화, 냉동공학 논문집, 4(4):253~262, 1992
- AIA. Guidelines for Design and Construction of Health Care Facilities, American Institute of Architects, 2006.
- Centers for Disease Control and Prevention(CDC) and Healthcare Infection Control Practices Advisory Committee(HICPAC). Guidelines for Environmental Infection Control in Health-Care Facilities, 2003

접수 : 2013년 12월 11일  
1차 심사 완료 : 2014년 01월 17일  
게재확정일자 : 2014년 01월 17일  
3인 익명 심사 필