

# 미생물 안전을 위한 병원건물의 환기설계에 따른 공기 감염균 확산에 관한 시뮬레이션 연구

최상곤\*

\*유한대학교 건축설비플랜트과

## A Study on simulation analysis of the microbe transport of air-born virus in hospital for microbiological safety

Sang-Gon Choi\*

\*Department of Bilding Services & plant, Yuhan University

### Abstract

Recently there is a growing interest in the airborne spread of virus. In particular, there is growing interest in secondary infection through the air in the hospital. The distribution of air-born virus depends on ventilation system installed in a hospital. In this study, simulations were carried out to predict the move of air-born virus by ventilation system at hospital. Simulation results showed that pressure distribution was  $-372.05\text{Pa} \sim -3.45\text{ Pa}$  at 1st floor incase of only used mechanical exhaust at bathroom, shower stall, storage, kitchen etc.. if ventilation switch from used mechanical exhaust to mechanical exhaust & mechanical supply. Simulation results showed that pressure distribution was  $-336.44\text{Pa}$  at stair hall  $< -0.2\text{Pa}$  at bathroom  $<$  mean  $1.19\text{Pa}$  at other room. So simulation results showed that using all of the mechanical supply and mechanical exhaust was more effective then the mechanical exhaust for maintain the pressure distribution in hospital. It was also showed that when using the mechanical supply and mechanical exhaust more effectively prevention of air born virus diffusion.

**Keywords :** Multi-zone simulation, microbe transport, air-born virus

### 1. 서론

감염성 질병은 다양한 경로를 통하여 전파되지만 최근 국내에서도 발생한 중증 급성호흡기 증후군(SARS: severe acute respiratory syndrome)과 중동 호흡기 증후군(MERS : Middle East Respiratory Syndrome Coronavirus)과 같은 공기 중의 미생물을 통한 감염의 전파는 그 주요 매개물이 공기라는 점에서 미리 대비하지 않으면 그 결과가 매우 막대한 피해로 이어질 수

있다는 실례라 할 것이다. 이러한 공기 감염균에 의한 질병의 전파는 사전에 아무런 징후도 없이 확산되어 인지하게 되는 시점에서는 이미 광범위한 전파가 발생한다는 점에서 다양한 방법으로 사전 대비책을 갖추어져 있어야 한다. 그러나 국내 메르스 사태가 지속되는 기간 중 감염의 97%가 병원에서 일어났다는 점에서 국내의 병원이 공기 감염균의 전파에 매우 취약하다는 점을 알 수 있어, 국내 병원에 대한 공기 중의 미생물

† Corresponding Author : Sang-gon, Chio. Yuhan College, Goean-dong, Sosa-gu, Bucheon-si, Gyeonggi-do, DEPT. Building Services & plant M-P: 010-2981-4949, E-mail: tool007@yuhan.ac.k

Received October 12, 2017; Revision Received november 11, 2017; Accepted December 10, 2017.

을 통한 질병의 전파를 막을 수 있는 사전 대책에 관한 연구가 다양하게 이루어져야 할 것이다. 국내 병원에 대한 공기감염 관련 연구는 매우 부족한 상태이며, 기존에 수행된 연구로는 단위공간인 응급실의 공기감염방지를 위한 환기방식에 관한 연구[1], 각종 공조방식이 적용된 병실에 대한 공기오염에 관한 연구 등이 있다.[2] 2016년에는 병원의 공기조화방식에 따라 공기 중의 감염균이 어떻게 확산이 되는지에 관한 연구가 이루어졌으며,[3] 이 연구에서는 기 설계된 EHP방식의 공기조화 방식을 설계 풍량의 변화 없이 그대로 AHU방식으로 변경하였을 경우에 대한 공기 감염균의 전파에 대하여 살펴보았다. 이러한 연구는 EHP방식의 외기도입에 대한 한계와 장치내부에서의 오염균 제거에 대한 한계를 AHU방식을 도입하여 극복한다는 결과로는 의미가 있을 것이나, 기존 설계된 EHP방식으로 환기가 설계된 병원내부에 음압설계가 그대로 적용된 상황에서 수행된 연구라는 점에서 가장 기본적인 음압설계는 적당하였는가에 대한 의문점이 생길 수 있다. 이러한 의문의 발단은 국내에서 설계되는 대부분의 환기설계방식으로부터 출발한다. 일반적으로 병원건물의 환기설계에서 환기량은 각각의 실의 사용 목적에 따라 결정되어 필요한 실에 음압 및 양압을 유지할 수 있도록 설계되지만, 화장실의 경우가 대표적으로 기계배기-자연급기의 제3종 환기방식으로 설계한다. 이렇게 병원에 제3종 환기를 적용하는 경우, 현대의 건물들은 기밀도가 매우 높아지고 있으며, 출입구 또한 무작위로 열어놓는 방식에서 회전문이나 자동문을 설치하는 경우가 대부분이고 창문 또한 황사현상 등으로 인하여 상시로 열어놓는 경우가 매우 드물어 졌기 때문에 화장실의 배기로 인하여 건물내부의 압력설계에 대한 교란이 일어날 수 있다. 이러한 압력설계의 교란으로 의도하지 않는 곳에서 음압이 발생하거나 양압을 유지해야 하는 곳에서 오히려 음압이 발생할 수 있어서 공기 중의 오염균 전파를 방지하지 못하는 경우가 발생할 수 있다. 따라서, 이러한 경우에 대한 병원건물의 환기설계에 대한 기본적인 설계방식에 대하여 연구가 필요하다 할 것이다.

이 연구에서는 공기 중에서 감염을 일으킬 수 있는 부유 미생물이 실제 설계-시공된 병원건물에서 어떻게 확산되는가에 대한 이전의 연구를 바탕으로 기 설계된 환기설계를 그대로 적용할 경우의 공기 감염균의 확산을 살펴보고 각각의 주요 확산 경로를 제어 할 수 있는 환기설계의 대안을 제시 할 수 있도록 연구를 수행하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 병원 건물모델

병원 건물모델은 현재 설계 및 시공이 완료된 A병원을 그대로 모사하도록 하였다. 대상 병원의 선택은 흔히 우리 주위에서 볼 수 있는 중규모 이상으로 보편적인 환자가 방문할 경우 2차감염에 대한 걱정은 하지 않을 정도의 수도권 중대형 규모를 가진 병원을 선택하였다. 모델을 구성하기 위하여 Multi-zone 시뮬레이션 프로그램인 CONTAM을 이용하도록 하였다. 모델링된 병원의 개요를 <Table 1>에 나타내었으며, 이전 연구에 적용한 병원을 그대로 적용하여 연구의 연속성을 가지도록 하였다. 대상 병원건물에는 문, 창, 계단, 엘리베이터 등 공기유동로(Air flow path)는 실제 설계된 것과 동일하게 모델링 하도록 하였다. 모델링에 사용한 공기유동로는 공기의 통로가 되며, 발생하는 침기량은 다음의 식(1)의 유효누설면적(Leakage area)으로부터, 식(2)의 유량계수를 산정하여 나타낼 수 있다. 유효누설면적의 데이터는 <Table 2>에 ASHRAE에 의해 제시된 값을 공기유동로 별로 나타내었다.[4] 해석에 사용된  $n$ 은 실험적으로 구하게 되며, 실험적인 값이 없는 경우 일반적으로 0.6에서 0.7사이의 값을 적용하는 것이 적당하며, 본 연구에서는 0.65를 사용하였다.[5]

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

$Q_r$  : 압력차  $\Delta P_r$ 에서 예상 풍량, [m<sup>3</sup>/s]

$\Delta P_r$  : 압력차, [Pa]

$L$  : 유효 누설 면적, [m<sup>2</sup>]

$C_d$  : 방출율, [0~1]

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

$C_b$  : 유량계수, [0~1]

<Table 1> Basic information of model

| Floor | Area (m <sup>2</sup> ) | Used for                                    |
|-------|------------------------|---|
| B 1   | 1,933.68               | mortuary, machine room, office              |
| 1 F   | 1,260.9                | consulting, E.R., office                    |
| 2 F   | 993.49                 | physiotherapy clinic, rehabilitation clinic |
| 3 F   | 842.96                 | operating room, ICU                         |
| 4 F   | 818.63                 | patient's room                              |
| 5 F   | 818.63                 | patient's room                              |
| 6 F   | 818.63                 | patient's room                              |
| 7 F   | 874.38                 | cafeteria, council chamber, office          |

<Table 2> Leakage area of air flow path

| Item   | Leakage area                         | Condition              |
|--------|--------------------------------------|------------------------|
| Wall   | 5.6 cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>  | Exterior wall          |
|        | 5.07 cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> | Exterior curtain wall  |
| Door   | 12 cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>   | Single, wether striped |
|        | 8 cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>    | Double, wether striped |
|        | 0.31 cm <sup>2</sup> /m              | General                |
|        | 21 cm <sup>2</sup> /item             | Sliding exterior glass |
| Window | 0.26 cm <sup>2</sup> /item           | Elevator               |
|        | 0.72 cm <sup>2</sup> /m              | General                |

## 2.2 병원 공조모델

대상 병원은 냉난방을 위하여 EHP방식을 적용하고 있으며, 환기의 경우는 앞서 언급한 바와 같이 설계-시공된 제1종 환기와 제3종 환기를 적용한 경우와 비교를 위한 제1종 환기로 대체 적용하는 모델을 각각 구성하도록 하였다. 대체모델의 경우는 제 1종 환기를 위한 급기구를 제3종 환기가 되는 존의 입구 측에 배치하도록 하였으며, 각각의 풍량은 설계-시공된 값과 동일하게 적용하도록 하였다. <Table 3>에 모델링에 사용된 공조 및 환기 방식을 정리하여 나타내었으며, [Figure 1]에 모델링된 평면을 나타내었다.

## 2.3 감염균 모델

감염균 모델은 Influenza A virus를 대상으로 Virus를 Particle로 가정하였다. Particle 모델은 부유세균을 모델링하기 위하여 평균직경을 사용하여 구 형태로 가정함으로써 다음과 같이 유효직경을 나타낼 수 있다.[6]

$$De = L \tag{5}$$

여기서, De : 유효직경, [microns]

L : 평균직경, [microns]

그러나, 중형비가 3.5 보다 큰 경우의 수학적 접근은 실험적인 방법을 통하여 다음과 같이 구할 수 있다.[7]

$$De = 0.285L \quad [Re < 2.0] \tag{6}$$

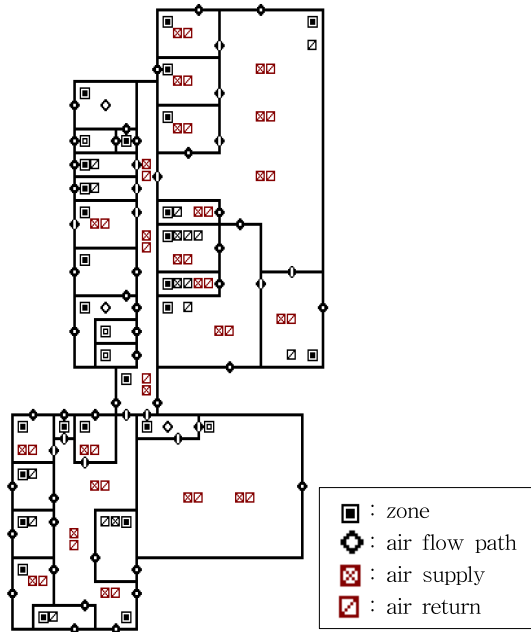
따라서 Influenza A virus를 대상으로한 Particle 모델은 0.098μm의 평균직경을 사용하였고, 밀도의 경우는 Bratbak and Dundas에 의해 제시된 1,100 kg/m<sup>3</sup>을 사용하도록 하였다.[8]

부유미생물의 멀티존 시뮬레이션을 수행하기 위한 CONTAM에서의 오염원에 관한 지배 방정식을 다음에 나타내었다.[2]

<Table 3> HVAC system of model

|                   | Area  | HVAC  |
|-------------------|---|---|
| Heating & Cooling | B1F   | EHP   |
|                   | 1F  | EHP/PAC   |
|                   | 2F  | EHP   |
|                   | 3F  | Clean room /EHP   |
|                   | 4F~6F   | EHP   |
|                   | 7F  | EHP   |
| Ventilation       | bathroom, shower stall, storage, kitchen                | mechanical exhaust<br>switch from only mechanical exhaust to mechanical exhaust & mechanical supply |
|                   | machine room, Electrical Room, dynamo-room, parking lot | mechanical exhaust & mechanical supply  |

[Figure 1] Plan diagram of model



우는 화장실의 경우 24시간 경의실, 주방, 물리치료실 등은 주간 시간에 운영하도록 하였다. 공기를 통한 감염을 모델링하기 위하여 오염원은 보균자를 통하여 공기 중으로 Particle 형태의 공기감염 균이 호흡을 통하여 방출되도록 하였다. 이를 위하여 공기감염 균은 Influenza A균을 대상으로 하였다. 이러한 구형의 감염균은 유효직경을 사용하여 구형의 Particle로 가정할 수 있어, 평균직경 0.098 $\mu$ m, 밀도 1,100kg/m<sup>3</sup>으로 체중 70kg의 성인이 평균호흡량 11 l/min를 통하여 공기 중으로 방출하는 것으로 하였다.[3] 보균자의 경우는 1층 로비에 1시간 머무르는 경우와 4~6층 병실 중 4층 병실에서 24시간 머무르는 경우를 대상으로 호흡을 통하여 10,000 CFU/min으로 공기 중으로 감염균을 방출하는 것으로 가정하였다. 출입문의 경우는 사용 시간대에 따라 개방하는 것으로 하여 개방시간을 특정하지 못하는 계단 출입문 등과 같은 경우는 상시 닫혀있는 것으로 하였다. 이에 따른 시뮬레이션 조건을 <Table 4>와 <Table 5>에 나타내었다.

$$\frac{dm_{\alpha,i}}{dt} = -R_{\alpha,i}C_{\alpha,i} - \sum_j F_{i,j}C_{\alpha,i} + \sum_j F_{j,i}(1-\eta_{\alpha,j,i})C_{\alpha,j} + m_i \sum_{\beta} k_{\alpha,\beta}C_{\beta,i} + G_{\alpha,i} \quad (11)$$

- 여기서,  $m_{\alpha,i}$  : 존 i에서 오염원  $\alpha$ 의 질량 [kg]
- $m_i$  : 존 i에서 공기의 질량 [kg]
- $R_{\alpha,i}$  : 존 i에서 오염원  $\alpha$ 의 제거율, [0~1]
- $C_{\alpha,i}$  : 존 i에서 오염원  $\alpha$ 의 질량비율, [0~1]
- $C_{\beta,i}$  : 존 i에서 오염원  $\beta$ 의 질량비율, [0~1]
- $F_{i,j}$  : 존 i에서 존 j로 흐르는 공기유량 [kg]
- $F_{j,i}$  : 존 j에서 존 i로 흐르는 공기유량 [kg]
- $K_{\alpha,\beta}$  : 존 i에서 오염원  $\alpha$ 와  $\beta$ 의 운동반응 계수
- $K_d$  : 낙하율 [1/h]
- $\eta_{\alpha,j,i}$  : 존 i에서 존 j로 흐를 때 제거율, [0~1]

## 2.4 시뮬레이션 조건

대상 병원건물의 시뮬레이션을 위하여 실제 사용되는 시간동안 동작하는 모델을 구성하여 건물에서 사용하는 동일한 조건을 모사하도록 하여 외래부, 수술부의 경우는 오전 9시부터 오후 5시까지 운영되며, 병동부, 장래식장, 응급실 등은 24시간 운영되므로 각각의 시간에 공기조화시스템이 운영하도록 하였다. 환기의 경

<Table 4> Time schedule

|             | Room                               | Schedule     |
|-------------|------------------------------------|--------------|
| B1F         | Funeral parlor                     | 24 hour      |
|             | Door open                          | 24 hour      |
| 1F          | Outpatient                         | AM9~PM5      |
|             | Emergency                          | 24 hour      |
| 2F          | Door open                          | AM9~PM5      |
|             | Treatment                          | AM9~PM5      |
| 3F          | Surgery                            | AM9~PM5      |
|             | Door open                          | None/AM9~PM5 |
| 4F~6F       | Ward                               | 24 hour      |
|             | Door open                          | AM9~PM5      |
| 7F          | kitchen                            | AM9~PM5      |
|             | Door open                          | AM9~PM5      |
| Ventilation | Mechanical / toilet                | 24 hour      |
|             | X-ray, ultrasonic waves, treatment | AM9~PM5      |
|             |                                    |              |

<Table 5> Simulation condition of HVAC system

|             | condition   |
|-------------|---|
| on/off      | by schedule   |
| Room temp.  | 20°C  |
| Ventilation | mechanical exhaust,<br>mechanical supply<br>(existing method)       |
|             | switch from<br>mechanical exhaust to<br>mechanical exhaust & supply |
| Contaminant | 10,000 CFU/min<br>by schedule                                       |

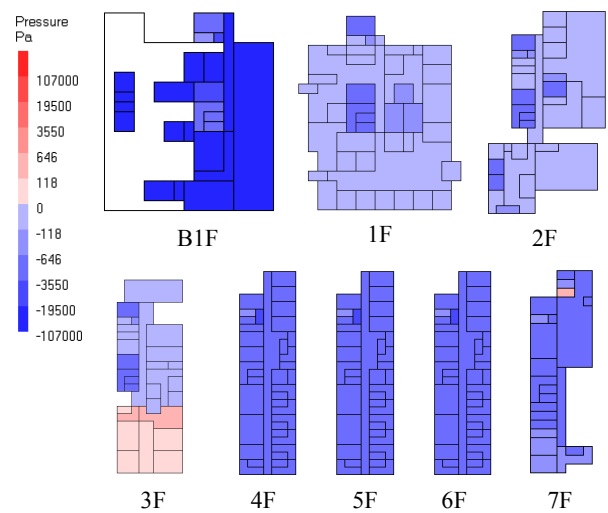
## 2.5 시뮬레이션 결과

우선 대상 병원건물에서 기존에 설계-시공된 공기조화 장치가 모두 동작하였을 경우 건물내부의 압력분포를 [Figure 3]에 나타내었다. 공기조화 장치인 EHP가 작동 조건인 실내 온도 20도를 유지하기 위하여 정상적으로 작동하고 기존의 설계-시공된 것과 같이 기계실과 전기실 등은 제1종 환기, 샤워실과 화장실을 제3종 환기로 환기하는 경우이다. 모든 공기조화 장치가 정상적으로 가동하는 오전 10시를 기준으로 압력분포 결과를 가지적으로 표시하였다. 결과는 건물이 전체적으로 음압을 유지하는 것으로 나타났다. 특히 1층의 중앙부에 설치된 엘리베이터가 -372.05Pa, 계단실이 -543.4 Pa로 나타나, 1층의 외래진료부의 주요 구역인 진료실의 평균 압력이 -3.45Pa, CT 촬영실 -38.9221Pa에 비하여 낮은 압력을 유지하는 것으로 나타났다. 수술부인 3층의 압력분포 결과는 단독으로 공조를 하는 수술실이 36.19Pa, 전실이 166 Pa로 양압을 유지하고 집중치료실이 -0.42Pa, 준비실이 -115.62Pa로 나타났으며, 화장실 -184.53 Pa, 계단실 -417.6Pa로 나타났다. 병동부인 5층의 압력분포 결과는 중앙화장실과 복도가 -634.51 Pa, 일인실의 화장실이 -700.05Pa, 엘리베이터실이 -380.14Pa, 계단실이 -532.33Pa로 나타나, 병동부의 경우는 화장실배기에 의해 하부층에 비해 높은 음압을 유지하는 것으로 나타났다. 이는 공기유동의 전체적인 흐름은 EHP에 의하여 주도되고 실의 압력차에 의한 실 간의 공기 흐름이 발생하는 건물내부의 공기유동의 특성상 저층부의 경우에 각각의 실에서 중앙의 엘리베이터와 계단이 있는 코어 쪽으로 공기의 유동이 발생한다는 것을 나타낸다. 그러나 병동인 상층부는 중앙 및 개인실에 설치된 화장실의 배기가 상대적으로 많기 때문에 배기에 의한 음압이 층 전체뿐만 아니라 건물 전체적으로 영

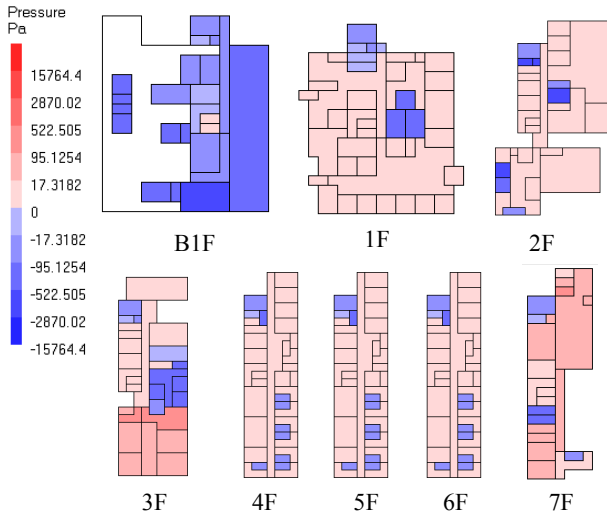
향을 나타내고 있다는 것을 알 수 있다.

[Figure 4]에 대안으로서 제 3종 환기를 제1종 환기로 전환한 경우에 대한 압력분포를 나타내었다. 제 3종 환기에서 배기하는 풍량을 복도 측이나 가까운 출입구 근처에서 급기하는 방식으로 변경한 결과이다. 결과는 1층의 경우 화장실이 -0.1Pa, 계단실이 -61.38Pa, CT 및 X-ray 촬영실이 -366.44 Pa로 음압이 발생하고 이외의 전지역이 평균 0.1 Pa로 양압으로 유지되는 것으로 나타났다. 2층 또한 화장실이 -333.6Pa, 계단실이 -61.38Pa, 중앙의 ADL실이 -663.28Pa로 나타났다. 2층의 우측상부의 물리치료실, 복도와 대기실은 평균 1.19Pa로 양압으로 나타났다. 3층의 경우도 수술 준비구역 및 폐기물처리실이 -115.78Pa, 계단실이 -61.38Pa로 나타났다. 3층의 수술실 구역은 평균 118.25Pa, 복도와 집중치료실 등은 평균 1.01Pa로 나타났다. 병동부인 5층의 경우는 병실 각각의 화장실이 -58.03Pa, 계단실이 계단실이 -61.38Pa로 나타났다. 5층의 복도와 병실의 경우는 평균 7.52Pa로 양압으로 타나났다. 이러한 결과들은 깨끗해야하는 실부터 높은 압력을 유지하고

[Figure 3] Result of Pressure distribution incase of Using real data



[Figure 4] Result of Pressure distribution incase of Using Alternative design



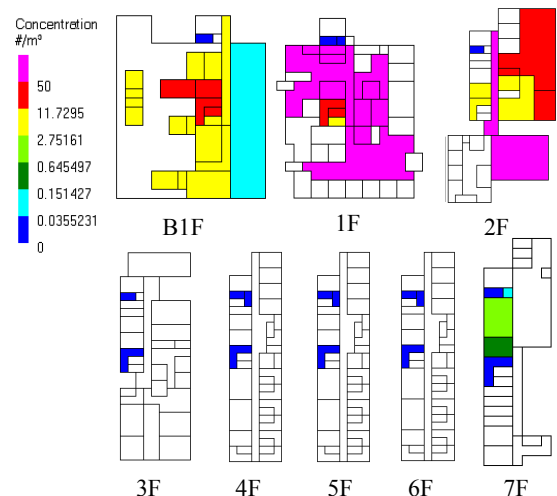
그렇지 않은 실쪽으로 점점 압력이 낮아져야 하는 병원설계의 기본적인 조건을 만족하는 것으로, 1층의 경우는 진료실을 비롯한 처치실 등의 실내공기의 청정도가 높아야 하는 곳이 양압으로 유지되고 화장실이나 계단실이 음압을 유지하고 있고 수술부과 병동부 또한 청정도가 높아야 하는 곳은 양압으로 유지되고 화장실과 계단실이 음압으로 유지되고 있어 상대적으로 적절한 압력분포를 보이는 것으로 나타났다.

[Figure 5]에 기존에 설계-시공된 공기조화 장치가 모두 동작하였을 경우 1층의 로비에 감염자가 오전 10시부터 11시까지 1시간 동안 머무는 경우에 대한 오염균의 농도분포를 나타내었다. 지하 1층의 경우는 오염도가 가장 높은 중앙계단실이 24.1CFU/m<sup>3</sup>, 복도가 1.02 CFU/m<sup>3</sup>로 나타나 1층의 로비에서 발생한 오염균이 중앙의 계단과 엘리베이터를 통하여 지하 1층으로 확산되는 것으로 나타났다. 1층의 경우는 오염이 직접적으로 발생하는 로비에 187.79CFU/m<sup>3</sup>, 로비에 연결된 복도와 응급실에 177.61CFU/m<sup>3</sup>, 중앙계단실이 24.2CFU/m<sup>3</sup>로 나타나 직접연결관 통로와 실의 경우는 오염도가 높게 나타났으며, 중앙의 계단실과 엘리베이터실은 통하여 다른 층으로 오염을 확산시키는 것으로 나타났다. 2층의 경우는 로비에 187.79CFU/m<sup>3</sup>, 물리치료실이 22.49 CFU/m<sup>3</sup>로 나타나, 로비부터 확산된 오염균이 2층에 광범위하게 전파된다는 것을 알 수 있다. 3층부터 6층사이의 병동부에는 계단실에 평균 0.1CFU/m<sup>3</sup> 나타나 거의 오염되지 않는 것으로 나타났지만, 최상층인 7층의 경우 화장실에 0.78CFU/m<sup>3</sup>로 최상부에서 수직통로가 끝이 나는 곳에 오염이 상대적으로 집중된다는 것을 알 수 있다.

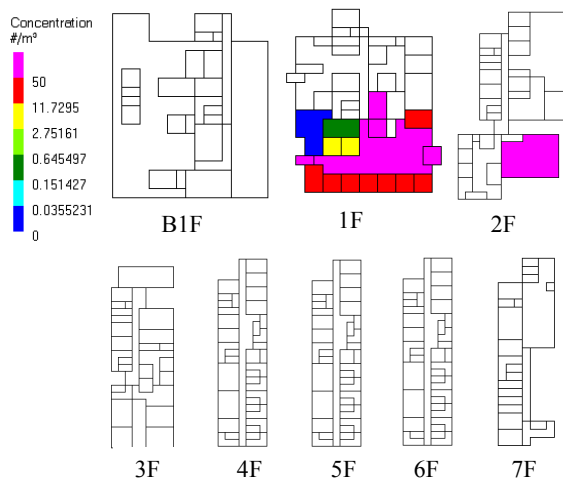
[Figure 6]에 기존의 대안으로 제시한 제 3종 환기를 제1종 환기로 전환한 경우 1층의 로비에 감염자가 오전 10시부터 11시까지 1시간 동안 머무는 경우에 대한 오염균의 농도분포를 나타내었다. 결과에서 보인 것과 같이 지하 1층과 3층부터 7층까지는 오염의 전파가 없는 것으로 나타나 상대적으로 오염균의 전파범위가 줄어든 것을 알 수 있다. 이는 앞서의 결과인 [Figure 4]에서 나타난 것과 같이 오염의 전파경로가 되는 복도 측이 양압을 유지하게 됨으로써 오염의 전파경로를 차단하는 효과가 있는 것을 알 수 있다. 그러나 1층의 경우는 로비에 217.59CFU/m<sup>3</sup>로 기존설계방식의 187.79CFU/m<sup>3</sup>에 비하여 높은 오염집중도가 발생하고, 앞서의 [Figure 5]에서는 발생하지 않았던 진료실에 최고 42.12CFU/m<sup>3</sup>의 오염이 전파되는 것을 알 수 있다.

[Figure 7]에 기존에 설계-시공된 공기조화 장치가 모두 동작하였을 경우 병실에 입원한 환자가 오염원인 경우에 대한 오염균의 농도분포를 나타내었다. 환자는 상대적으로 오염균이 가장 확산이 되지 않을 수 있는 가장 구석에 있는 병실에 있다는 가정으로 4층 병실 1호실에 있는 것으로 하였다. 결과는 모든 층에 걸쳐 오염균이 전파되는 것을 나타낸다. 이는 4층의 복도를 통하여 계단실과 엘리베이터를 통하여 하층부와 상층부 모두로 전파되기 때문이다. 지하 1층의 경우는 최고 31.79CFU/m<sup>3</sup>로 1층의 계단실 30.45CFU/m<sup>3</sup>, 1층의 계단실 31.45CFU/m<sup>3</sup>보다 높은 농도를 보이는 것으로 나타나 앞서의 [Figure 6]에서 나타난 최상부층의 오염 집중과 더불어 최하부층에서도 오염이 상대적으로

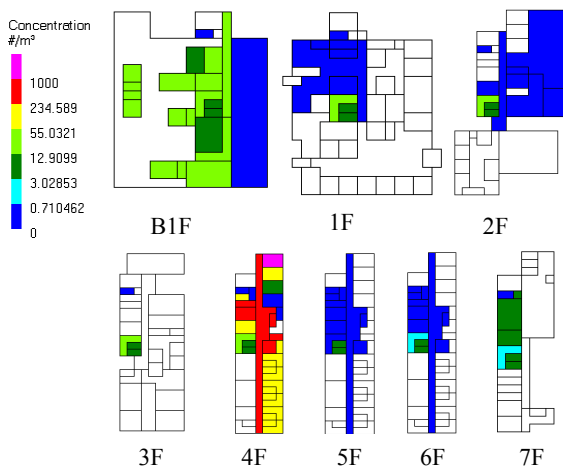
[Figure 5] Virus concentration result incase of contaminant source occupied 1 hour at lobby in 1 floor (Using real data)



[Figure 6] Virus concentration result incase of contaminant source occupied 1 hour at lobby in 1 floor (Using Alternative design)



[Figure 7] Virus concentration result incase of contaminant source occupied 24 hour at patent room in 4 floor (Using real data)



오염이 집중되는 것을 알 수 있다. 1층과 2층의 경우는 평균 0.13CFU/m<sup>3</sup>의 낮은 오염이 상대적으로 넓은 구역으로 전파되는 것으로 나타났다. 상층인 5층과 6층 또한 평균 0.02CFU/m<sup>3</sup>로 매우 낮지만 복도와 일부의 병실 그리고 화장실로 오염이 전파되는 것으로 나타났다. 오염이 발생하는 4층의 경우는 오염발생 지점인 병실 1호실에 4107.28CFU/m<sup>3</sup>, 복도에 492.26 CFU/m<sup>3</sup>, 병원균의 전파로 인해 오염되는 병실 평균 124.56 CFU/m<sup>3</sup>로 4층 전체적으로 상대적으로 높은 오염이 전반적으로 전파된다는 것을 알 수 있다.

[Figure 8]에 기존의 대안으로 제시한 제 3종 환기를 제 1종 환기로 전환한 경우 4층의 병실에 감염자가 24시간 동안 머무는 경우에 대한 오염균의 농도분포를

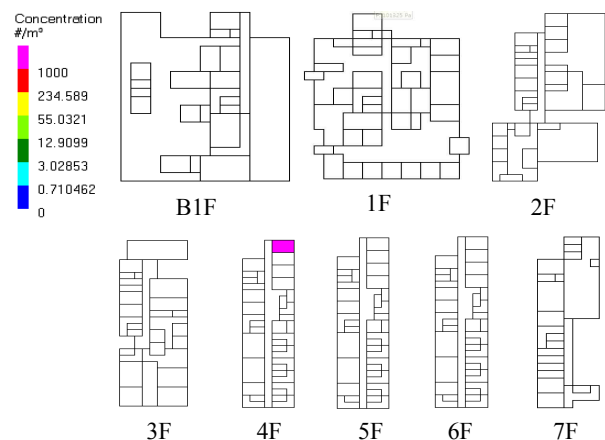
나타내었다. 결과는 4층 병실 1호실에 외에는 오염의 전파가 일어나지 않는 것으로 나타났다. 이는 앞서의 [Figure 4]에서 나타난 것과 같이 오염의 전파경로가 되는 복도 측이 양압을 유지하게 됨으로써 병실에서 발생하는 오염이 복도측으로 나오지 못하고 병실에 머물게 되어 병실의 오염농도가 20760.2CFU/m<sup>3</sup>로 최고로 높게 나타나지만 오염의 전파경로를 차단하는 효과가 있는 것을 알 수 있다.

### 3. 결론

이 연구에서는 공기 중에서 감염을 일으킬 수 있는 부유 미생물이 실제 병원건물에서 어떻게 확산되는가에 대한 연구를 위하여 현재 설계 및 시공이 완료된 A 병원을 그대로 모사하도록 하고, 기 설계된 방식인 제 3종 환기가 적용된 경우와 그 대안으로 제시한 제1종 환기로 전환하는 경우에 대한 연구를 수행 하였다. 두 방식의 비교를 위하여, 기존의 설계방식이 EHP를 사용하는 경우이기 때문에 필터에 의한 오염균의 제거는 없는 것으로 하였으며, 오염균의 제거는 환기에 의해서만 이루어지는 것으로 하여 결과를 도출하였다. 결과로부터 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

1. 화장실 등에 제3종 환기를 설치한 경우는 복도의 최저압력이 -634.51Pa, 일인병실의 화장실이 -700.05Pa로 나타났으며, 3층의 수술부 이외의 모든 층에 걸쳐 음압이 발생하는 것을 알 수 있었다.
2. 복도와 화장실의 음압의 발생으로 인해 오염원인 보건자가 로비에 1시간 머무를 경우 로비에

[Figure 8] Virus concentration result incase of contaminant source occupied 24 hour at patent room in 4 floor (Using Alternative design)



187.79CFU/m<sup>3</sup>, 1층 복도와 응급실에 177.61CFU/m<sup>3</sup>, 중앙계단실이 24.2CFU/m<sup>3</sup>, 2층의 경우는 물리치료실이 22.49CFU/m<sup>3</sup>로 나타나 오염원에 근접한 실에 오염이 전파되며, 3층부터 6층사이의 병동부 계단실에도 평균 0.1CFU/m<sup>3</sup>, 최상층인 7층의 경우 화장실에 0.78CFU/m<sup>3</sup>로 광범위하게 오염이 전파되는 것을 알 수 있다. 또한 오염원인 보균자가 병실에 24시간 머무를 경우는 오염발생 지점인 4층 병실 1호실에 4107.28CFU/m<sup>3</sup>, 복도에 492.26 CFU/m<sup>3</sup>, 병원균의 전파로 인해 오염되는 병실 평균 124.56CFU/m<sup>3</sup>로 4층 전체적으로 높은 오염이 전반적으로 전파되며 상대적으로 낮은 오염도를 보이지만 건물 전체적으로 오염이 확산되는 것을 알 수 있었다.

3. 화장실 등에 제 3종 환기를 제 1종 환기로 전환하는 대안의 경우는 화장실이 -333.6Pa 부터 -0.1Pa, 계단실이 -61.38Pa, CT 및 X-ray 촬영실이 -366.44Pa로 음압이 발생하고 이외의 전구역이 양압으로 나타나 깨끗해야하는 실부터 높은 압력을 유지하고 그렇지 않은 실쪽으로 점점 압력이 낮아져야하는 병원설계의 기본적인 조건을 만족하는 적절한 압력분포를 보이는 것을 알 수 있었다.

4. 제 3종 환기를 제 1종 환기로 전환하는 대안의 경우 1층의 경우는 로비에 217.59CFU/m<sup>3</sup>로 기존설계방식의 187.79CFU/m<sup>3</sup>에 비하여 높은 오염집중도가 발생하고, 기존설계방식에서는 발생하지 않던 진료실에 최고 42.12CFU/m<sup>3</sup>의 오염이 전파되지만 지하 1층과 3층 부처 7층에는 오염이 전혀 전파되지 않았다. 또한 병실에 오염원이 24시간 머무를 경우에도 오염이 발생하는 병실의 오염농도가 20760.2CFU/m<sup>3</sup>로 최고로 높게 나타나지만 다른 구역에는 전혀 오염이 전파되지 않아 대안이 오염의 전파경로를 차단하는 효과가 있는 것을 알 수 있었다. 이러한 결과들은 제 3종 환기를 일반적으로 적용하는 국내의 설계방식은 상대적으로 제 1종 환기를 적용하여 환기하는 방식에 비하여 공기 중의 병원균 전파를 방지하는 것이 어렵다고 할 수 있다. 따라서 병원과 같이 공기를 통한 감염에 매우 민감한 시설은 제1종 환기를 도입하는 것을 법규화 하는 등의 강력한 권고가 필요할 것으로 사료된다. 이 연구에서는 오염균의 제거를 연구의 목표로 삼지 않았지만 대안으로 제시한 제1종 환기로 전환하면서 나타났던 1층의 진료실의 오염과 4층 병실의 높은 오염농도의 집중에 대한 문제는 공기조화를 고성능 필터가 적용 가능한 AHU를 사용하거나 진료실을 양압으로 유지 또

는 진료실과 병실에 UVGI와 같은 살균장치를 따로 설치하는 것으로 해결할 수 있을 것으로 사료되며 이에 대한 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

#### 4. References

- [1] S. G. Choi, J. K. Hong, 2005, The study on the performance estimation of UVC air sterilizer for preventing transmission of air borne contagion ,v.17n.6. , Journal of SAREK
- [2] S. G. Choi, W. H. Lee, J. K. Hong, 2006, A Study on the Multizone Modeling for Preventing Transmission of Air Borne Contagion , v.18 n.11., Journal of SAREK
- [3] K. b. Jeong, S. G. Choi, 2009, UV Immune System of Personalized Space, v.21n.01 , Journal of SAREK
- [4] S. G. Choi, 2010, A Study of air Sterilization System in Personalized Office Using Simulation, v.22n.06 , Journal of SAREK
- [5] S. G. Choi, 2012, A Study on CFD analysis of indoor microbe transport for microbiological safety, v.14, n.3, Journal of the Korea Safety Management and Science
- [6] S. G. Choi, 2012, A Study on CFD analysis of indoor airborne microbe transport in car for microbiological safety, v.15, n.4, Journal of the Korea Safety Management and Science
- [7] ANSYS Inc., CFX Uer's Guide, 2011, ANSYS Inc
- [8] Kowalski, W. J., Bahnfleth, W. P., Whittam D. L., Severin, B.F., Whittam, T.S., Mathematical modelling of ultraviolet germicidal irradiation for air disinfection, Quantitative Microbiology 2, 249-270, 2000.
- [9] Bratbak, G. A., Dundas, I. 1984. Bacterial dry matter content and biomass estimations. Appl. Environ. Microbiol., 48, 755-757.



## 저 자 소 개

### 최 상 곤



경원대학교 건축설비과 학사, 석사,  
박사 취득. 현재 유한대학교 건축  
설비과 교수로 근무 중.

관심분야 : 공기조화, 실내 공기 미  
생물 환경, UVGI, 신재생 에너지,  
플랜트 설비 등