

격리병실내 급배기구 위치에 따른 오염물 제거효율 비교

원안나*

Comparison of pollutant removal efficiency according to the locations of the supply and exhaust

Won, An-Na*

Abstract : The Recently, several countries have been affected by respiratory diseases, resulting in renewed research interest in their prevention and control. One such example was the 2015 outbreak of Middle East Respiratory Syndrome (MERS) in South Korea and COVID-19. In this study, we performed experiments and simulations based on concentration decay using CO₂ as the tracer gas to elucidate the pollutant-removal efficiency for different inlet and exhaust locations and outdoor air-supply ratios. The wall inlet exhibited a higher pollutant-removal efficiency, owing to the upward movement of the air from the lower zone to the upper one. In conclusion, it is recommended that a total air-conditioning plan for isolation rooms be established as well as efficient system operation for pollutant removal and air-flow control to prevent the transmission of infections from the patients to others.

키 워 드: 음압격리실, 공조설비, 급기 및 배기 위치, 오염물질제거효율, 추적가스

Key Words: isolation room, HVAC, locations of inlet and exhaust, pollutant-removal rate, tracer gas

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

많은 나라에서 결핵(1990년), SARS(2003년), H1N1(2009년), MERS(2015년), COVID19(2019)와 같은 호흡기 질병이 확산되어 많은 사망자가 발생하였다. 국내에서도 186명이 감염되고 38명이 사망(Centers for disease control & prevention, 2015)한 MERS 사태를 거치면서 호흡기 질병의 대한 관심과 실내 감염에 대한 우려와 관심이 고조되고 있다. 특히 한국의 MERS사태에서는 병원내 2차감염에 의하여 총 감염자 186명중 절반에 가까운 90명의 환자가 동일병원에서 감염되어 이에 대한 대책이 요구되었다(Ministry of health and welfare of Korea, 2015).

병원내 2차감염은 전염자가 발병자의 근접 거리에 있을 경우에 발생(Melikov, 2011)하지만, 오염된 공기가 정체되거나 오염된 공기의 재순환될 때 불완전한 오염물질의 제거에 의해서도 발생하는 것으로 나타났다 (Hua, 2009). 따라서 병원내 공기조화시스템(HVAC)은 입원환자에게 안락함과 건강한 환경을 제공함은 물론, 의료종사자와 방문자에 대한 오염확산에 대한 계획이 중요하며, 이를 방지하기 위해서 병실 내 오염물질의 확산 방지 계획과 함께 신선한 공기의 유입

을 통한 효율적 실내공기환경의 조성이 요구된다.

이에 재실자의 호흡 및 연소물질의 연소에 의한 단순 오염물질의 발생의 경우, 신선한 공기와 실내공기를 혼합하여 희석화 형태로 오염물질을 낮추는 혼합환기(Mixing Ventilation) 방식이 채용된다(Cao, 2013). 그러나 병원균을 포함한 오염물질을 발생하는 경우, 혼합환기만으로는 병에 걸린 환자가 숨을 내뿜는 공기에 의료진이 노출되는 것을 실질적으로 줄일 수 없다는 것을 결과를 알 수 있었다(Melikov, 2011). 이에 병원 병실의 경우는 기침, 숨과 같은 비말성 형태의 오염물질이 혼합되지 않도록 하는 것이 중요하다.

이에 오염된 공기를 전배기 처리하는 것이 가장 유리한 것으로 인식되고 있으나, 냉난방 에너지의 수요를 급증시키는 문제가 발생한다. 특히 기온차이가 심한 우리나라의 경우 계절별 냉난방 에너지 수요는 외기도입량 비율에 따라 크게 달라진다.

이에 본 연구에서는 전 기계환기에 의존하는 격리병실을 대상으로 하여, 적절한 외기도입 형태와 급배기구의 위치를 변수로 설정하고 혼합환기에서의 효율적인 실내의 오염물질 제거하기 위한 시사점 제시를 목적으로 하였다.

* 경북대학교 건설환경에너지융합기술원 연구교수.

1.2. 연구의 범위 및 방법

혼합환기를 고려할 때는 다양한 요인을 고려해야 한다. 첫번째, 공기 흡입구 및 배출구의 위치는 공간의 공기분배에 영향을 미친다. 일반 건물에 대한 혼합환기의 성능에 관한 연구에서 다양한 급기구와 배기구의 위치를 주된 변수로 설정하고 있다.

Sinha et al.(2000), Khan(2006)은 바닥근처의 급기구와 천장 근처의 배기구 사용이 가장 효과적인 조합으로 제시하였다. 두번째, 병실의 특성상 환자의 이동에 대한 고려가 필요하다. 그러나 인간의 걷는 행동을 할 때 다양한 환기방법으로 이산화 탄소 농도 및 온도분포에 미치는 영향을 분석한 Wu(2015)의 연구결과에 따르면, 단시간 걸기는 실내 CO₂ 농도를 크게 변화시키지 않음을 알수 있었다. 그러나 더 오랜기간 걸었을 때는 공기의 혼합에 의한 CO₂ 농도변화가 일어난다. 세번째, 냉기분사(냉방모드), 온기분사(난방모드)의 형태에 따라 공기확산 및 환기성능에 영향(Shaw et al., 1993), Fisk et al., (1997))을 미친다. 그러나 온기분사의 경우 환기효율은 냉기분사를 공급할 때보다 환기효율이 낮다(W.J. Fisk, 1997)는 것을 보여준다.

이와 같이 공기 중 오염물질의 분포 및 제거 양상을 정확하게 예측하려면 공기의 급/배기구(유형, 수, 위치), 오염원의 유형(유속, 밀도 및 확산과 같은 특성, 실내발생 위치), 실내의 온도, 건물의 방의 크기, 공급공기의 온도, 압력, 습도 및 유속 등, 오염 물질 분배에 영향을 미치는 가능한 한 많은 요소를 고려해야 한다(Hideyuki, 2016).

이에 본 연구는 병실내로 공급된 신선한 공기가 효율적으로 실내 재실자에게 전달되며, 또한 재실자에게서 발생한 오염물질이 효율적으로 제거 할 수 있는 공조시스템의 급/배기구의 위치와 크기를 설정하고, 급/배기구 유입 유출량을 변수로 하여 복합기류의 발생을 최소화하는 혼합환기방법에 대하여 고찰하고자 한다.

2. 이론적 배경

2.1 격리병실 및 음압격리병실

2.1.1 격리병실

감염병 환자, 감염병을 진료하는 의사환자 또는 병원체를 보유하는 사람으로부터 다른 환자, 의사, 직원등으로 병원성 미생물을 전파하기 위하여 격리 병실을 운영하고 있다. 국가지정 입원 치료(격리)병상 운영과 관리(안)에 따르면 격리병실의 유형은 음압치료병실 과 비음압치료병실로 나뉘고, 음압치료 병실은 음압을 유지할 수 있는

공조시설 등을 갖추어야 한다. 음압의 유지는 공조기로부터의 실내 급기량과 배기량을 조절하여 외부로의 공기확산을 방지하는데 유효하며, 전실을 두어 완충공간으로 사용되기도 한다.

2.1.2 음압격리병실

음압격리병실은 공기감염균의 확산억제를 위하여 배기량을 급기량보다 크게 설정하여 실내의 공기가 외부로 유출되는 것을 억제한다. 실별 음압의 절대치는 화장실, 병실, (전실), 복도 순으로 설정(Leung, 2006)되며, 이러한 환기장치뿐만 아니라 공기감염균을 직접적으로 제거하는 고효율 필터(HEPA Filter)나 자외선 살균장치 등을 활용하기도 한다.

또한 급배기구의 적절한 위치선정으로 Short-Circuit 현상을 방지하고 병원균을 희석할 수 있어야 한다. 급배기구의 충분한 거리유지로 국부환기가 아닌 전반 환기에 가까운 환기가 이루어 져야 하고, 깨끗한 공기가 급기구로 유입되어야 한다. 이에 병실내로 순환된 오염된 공기를 외부로 모두 방출하는 전배기 방식이 유리하나, 냉난방 에너지의 부하를 크게 증가시킬 수 있는 부분이 지적된다. 이에 공기질 유지를 고려한 적정 환기율 제시와 급배기구의 위치에 따른 오염원 배출 효율에 대한 연구가 필요하다.

2.2 환기 효율

병원내 쾌적한 공기를 유지시키기 위해서는 공조시스템의 신선한 취출공기가 재실자의 호흡기 부근으로 충분히 전달되며, 재실자 지점에서 공조공기가 효율적으로 교체되어야 한다. 건물내의 공조시스템을 평가하기 위하여 공기의 나이와 환기효율이 사용되며, 본 논문에서는 국지환기효율을 사용하여 신선한 공기가 특정지점으로 전달되는 효율을 측정하였다.

환기효율에 대한 공기나이는 ASHRAE 표준 129에 정의되어져 있으며(ANSI/ASHRAE Standard 129e1997), 공기가 공간에서 완벽하게 혼합되면 환기효율은 1.0이다. ASHRAE Standard “Measureing Air Change Effectiveness“에서는 추적가스 농도감소법에 의한 공기의 나이를 계산하였다.

3. 실험방법과 조건

3.1 병실의 크기

한국의 종합병원은 2014년 기준으로 281개소이며, 상급종합병원은 이중에 총 43개소이다. MERS와 같은 호흡기 질환 감염을 처치하기 위한 음압격리실을 반드시 마련해야 하는 종합병

원(300병상 이상)은 116개소 (총 281개소 중 41%), 상급종합병원은 총 43개소로 총 159개소의 병원이다. WON(2018)의 연구에 따르면 음압격리실의 최소크기는 단축 3,300mm 이상, 장축 5,000mm 이상이 요구되어진다.

또한 법령 개정 후 신축, 증축하는 중환자실의 경우 병상 1개당 면적기준이 기존 10㎡에서 15㎡으로 강화(National Management Guidelines for Beds, 2017)되었다. 일반 병실의 경우는 1인용 상급병실의 비중을 줄이고, 보험적용대상외 다인실 병상(50%에서 70%로 확대)을 늘리면서도, 다인실을 이용하는 병상의 수를 6인에서 4인실로 줄이는 정책이 실시된다. 이로서 전염성 감염병을 치료하는 음압격리실, 중환자실 등의 기준은 대폭 강화하고, 병상수 부족에 대한 대책이 마련되어지고 있다.

기본적으로 다인실은 감염우려가 있는 환자의 입원을 금지하므로, 공조방식에 있어서 에너지 절약을 위한 전순환, 혹은 부분 외기도입으로 운용되어진다. 감염위험성이 높은 특수실을 기준으로 외기도입 비율을 높아지므로, 본 연구에서는 음압격리실의 최소요구조건 이상의 2인실을 가정하여 실험체의 크기를 설정하였다.

1인용 혹은 2인용 가능 병실로서, 1인실의 경우 병상은 병실 중간에 위치하며, 2인실의 경우 벽면 양면으로 배치된다. 벽면 부착형 의료기기(호흡보조기, 전원 공급장치 등)이외의 기타 가구는 없는 것으로 가정하여 기류의 방향에 영향을 줄 수 있는 조건을 제외하였다.

실험체 1식의 크기는 표 1과 같이 바닥 4.0m x 4.0m, 천장고 3m으로 실제적 48㎡으로 설정하였다.

표 1 실험체 크기

항목	크기
바닥면적 (A) 및 천장고(H)	A=4.0m x 4.0m, H=3m
창문(W)	2개 (1.2m x 1.2m) 폐쇄
출입구(D)	1개 (1.2m x 2m)
구조(S)	외벽(OSB합판+단열재+ OSB합판) 천장구조(석고보드), 내벽(우드패널)

총 실험체 2식이 있으며, 공조기를 공유하여 좌우로 배치되어 있다(그림2). 급배기구의 위치에 따라 <Room-1>, <Room-2>로 구분하였고, <Room-1>, <Room-2>의 급배기구는 모두 개폐조작이 가능하며, 실험 상황에 따라 <Room-1> 혹은 <Room-2>의 급배기구를 차단하여 실측하였다. 또한 공조기는 모터에 가변속 드라이브를 사용한 출력조절로 풍량 조절이 가능하다.

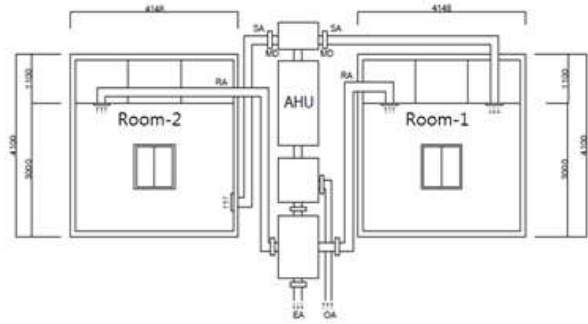


그림 2 모듈실험체 계통도

3.2 실험체의 급배기구 위치

급배기구의 위치에 따른 혼합환기 성능을 평가하기 위하여 급기구의 위치를 달리하는 실험체 2식은 표 2 와 같다. <Room-1>은 천정 상부 급기, 천정 상부배기의 일반적인 병실의 형태로 설계 되었으며, <Room-2>는 벽면 하부급기, 천정 상부배기로 설정하였다. 급기구는 침상과 마주보는 면(환자의 발쪽), 배기구는 부착형 의료기기의 상부(환자의 머리쪽)에 위치하는 형태이다. 이는 환자의 호흡을 통하여 오염된 공기가 상부로 바로 배출이 용이하게 하기 위함으로, 음압격리실의 표준 설계 형태를 반영하였다.

표 2 실험체의 급배기구의 위치

실험체 2식	급기구 위치	배기구 위치
<Room-1>	천정 상부 급기	천정 상부 배기
<Room-2>	벽면 하부 급기	천정 상부 배기

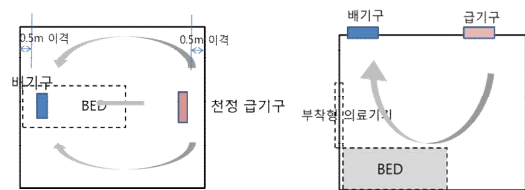


그림3 <Room-1> 실험체의 급배기구의 위치 (왼쪽 : 평면도, 오른쪽 : 측면도)

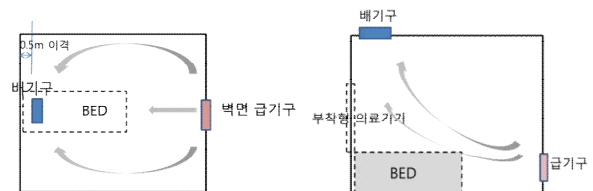


그림 4. <Room-2> 실험체의 급배기구의 위치 (왼쪽 : 평면도, 오른쪽 : 측면도)

3.3 설계 풍량

기존 종합병원에서 병동부의 실태조사를 바탕으로 저자의 선행연구(H.Song, 2018)에서 실시한

대상건축물을 설계풍속과 설계 풍량, 실측풍속과 실측풍량은 표 3과 같다. 원형의 디퓨저를 사용하여 5인실에서는 설계풍량 134CMH에 비해 실측풍량은 108~148CMH로 측정되었으며, 1인실의 경우 설계풍량은 100CMH, 실측풍량은 75~106 CMH로 조사되었다. 또한 1인용 병실의 급기구 실측풍속은 1.2~1.7m/s (설계치 1.6m/s), 5인용 병실의 급기구 실측풍속은 1.9~2.3m/s (설계치 2.1m/s)로 측정되었다.

그러나 ASHRAE(2013)에서는 실내의 병원균 농도를 희석하기 위해서는 12ACH(Air Changes per Hour)이상을 요구하고 있는 점, 인체의 쾌적 풍속이 0.5 m/s이하를 권장하고 있는 점을 바탕으로 본 설계에서는 실측치보다 다소 높은 CMH로 설정하였다.

또한 병원에 설치된 디퓨저의 형태는 사각형과 원형으로 크게 두가지가 있다. 두가지 모두 병원건축물에서 일반적으로 채용되는 형태이나, 본 연구에서는 공급 공기량을 일정하게 하였을 때 상대적으로 풍속이 낮은 사각형 디퓨저를 채용하였다(그림 5). 배기구 및 급기구의 크기는 각각 570mm*285mm으로 동일 규격을 사용하였으며, <Room-1>의 급기구와 배기구는 벽면에서 500mm이격된 중심부(환자의 머리 위)에 설치되었다. 또한 Room-2의 급기구는 바닥에서 300mm 높이에 설치되었다.



그림 5 실내 측정광경 및 디퓨저 (벽면급기)

3.4 측정 기기 및 측정 방법

공기의 오염물질 제거율 및 나이를 측정하기 위하여 농도감쇠법을 이용하였다. 측정장비는 멀티가스 모니터, 추적가스는 CO2를 사용하였으며, 공조시스템이 전순환(외기도입 0%) 운전 상태에서 CO2 가스를 목표농도에 이를 때까지 측정공간으로 빠른 시간내에 불어넣은 후, 급기구 및 배기구의 농도와 실내의 농도 모두 추적가스가 균일한 분포가 된 상황에서 외기도입율을 변동하여 실측하였다.

실험은 측정위치에 따라 두번 실시하였으며, 측정점은 모두 6지점으로 급기구 1점, 배기구 1점, 실내 중앙 4점이다(표 3).

표 3 측정기기 및 실측지점

측정장비	
Tracer gas	Multi-gas monitor
Tracer gas	CO2
Sampler	Passive gas tube
실측지점 (실험 1)	<Room-1> : 6점 (실내 중앙 4점(P1, P2, P3, P4), 급기 1점(P5), 배기 1점(P6)) <Room-2> : 6점 (실내 중앙 4점(P1, P2, P4, P4), 급기 1점(P5), 배기 1점(P6))
실측지점 (실험 2)	<Room-1> : 6점 (실내 상부 2점(P3, P4), 하부 2점(P1, P2), 급기 1점(P5), 배기 1점(P6)) <Room-2> : 6점 (실내 상부 2점(P3, P4), 하부 2점(P1, P2), 급기 1점(P5), 배기 1점(P6))

표 4과 같이 외기 도입비율은 6단계로 설정한다. 외기도입비율 0%는 전순환을 의미하며, 외기도입비율 20%는 전체순환 공기량의 20%를 외기로 도입하여 순환공기의 80%만 재순환 하는 형태이다. 실험은 전순환 (외기도입 비율 0%)의 상태에서 CO2를 불어넣은 후, 실내의 모든 지점에서 5,000ppm이상이 관측될 때, 각각의 operation의 상태로 전환하여 CO2 농도 저하 양상을 살펴 보았다. 본 연구에서의 CO2의 농도 저하속도를 비교하기 위한 시간은, 실내 배기구의 농도가 3,000ppm에 도달한 시점부터 700ppm으로 희석될 때까지의 시간으로 단순 비교 하였다.

표 4 외기도입비율 제어

Operation	외기 도입량	실험방법
OP-1	외기도입 비율 0% (전순환)	전순환 (외기도입 비율 0%)의 상태에서 CO2를 불어넣은 후, 실내의 모든 지점에서 5,000ppm이상이 관측될 때, 각각의 operation의 상태로 전환하여 CO2 농도 저하 양상을 실측
OP-2	외기도입 비율 20%	
OP-3	외기도입 비율 40%	
OP-4	외기도입 비율 60%	
OP-5	외기도입 비율 80%	
OP-6	외기도입 비율 100%	

멀티가스 모니터의 특성상 각 측정지점별 동시 측정이 불가능하고, 또한 타겟 농도에서의 즉시 측정이 불가능하여, 3,000ppm 전후의 시간과 농도를 중심으로 다음과 같은 식(식 5)을 사용하여 보정하였다. 실제로 CO2의 농도저하는 곡선의 형태로 이루어지나, 직선 형태로 가정하여 3,000ppm에 도달하는 시간과 700ppm에 도달하는 시간을 각각 구하였다. 3,000ppm에 도달하는 시간은 멀티가스 모니터에 측정되는 <Start Time +>로 정의 되며, 곡선을 직선화하여 산출하였기에 실제 3,000ppm에 도달하는 값은 (식 1)에 의하여 구한 값보다 일반적으로 다소 작다(그림

8). 그러나 700ppm 농도 전후에서의 실제 값 또한 계산식에 의한 값보다 작으므로 큰 오차는 발생하지 않는다.

$$T_a : T_b = (X - 3,000) : (X - Y) \quad (\text{식 1})$$

$$T_a : T_b = (X - 700) : (X - Y)$$

(3,000ppm(혹은 700ppm)도달시의 시간차 보정 식)

- T_a : X(ppm) 농도에서 3,000ppm(혹은 700ppm)까지 감소하는데 걸린 시간
- T_b : X(ppm) 농도에서 Y(ppm) 까지 감소하는데 걸린 시간
- X : 3,000ppm(혹은 700ppm) 바로 직전 측정된 CO2농도 값 (ppm)
- Y : 3,000ppm(혹은 700ppm) 바로 직후 측정된 CO2농도 값 (ppm)

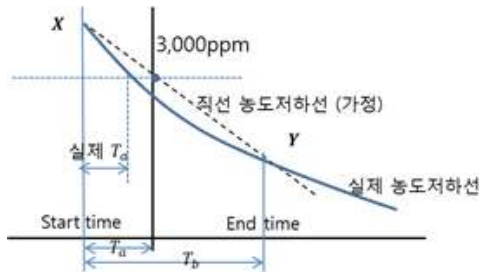


그림 8. 3.000 ppm , 700ppm 전후에서의 시간 보정

실험 모듈에 따뜻한 공기를 도입하였을 경우, 상부영역에서 큰 온도구배를 보일 수 있다(S. Liu, 2015). 이로서 열계층화로 인하여 환기효과는 낮아질 수 있으므로, 시험공간 내 급기온도는 21℃로 일정하게 유지하여 급기온도가 본 실험에 영향을 주지 않도록 하였다.

4. 실험결과

4.1 각 케이스별 외기도입량에 따른 CO2 농도 변화

<Room-1>, <Room-2>에서의 외기도입량에 따른 CO2 농도 변화양상은 그림 9와 같다. 실내 측정지점에서는 각 공기의 나이가 다른 점을 고려하여, 배기구의 농도를 기준으로 하였다. <Room-1>, <Room-2>모두 전순환의 경우 실내 배기구의 농도가 3,000ppm에 도달한 시점부터 700ppm으로 희석된 시간은 약 2시간 50분이 소요되었다. 이론상으로는 완전히 밀폐된 공간에서 전순환 운전을 하는 경우, 이론상으로는 CO2의 농도가 저하되지 않고 일정하게 유지되어야 하나, 실의 밀폐성능 및 공조기 내부의 누기에 의하여 CO2 농도 감소의 영향을 받는 것으로 나타났다. 외기도입비율을 20%로 설정하였을 경우, 타겟 농도까지 도달하는 시간이 약 40분으로 급

격히 단축되었고, 외기도입비율 40%일 때는 약 20분으로 나타났다. 또한 외기도입비율 80%, 외기도입비율 100%의 경우는 CO2 농도 변화 시간의 큰 차이를 보이지 않았다.

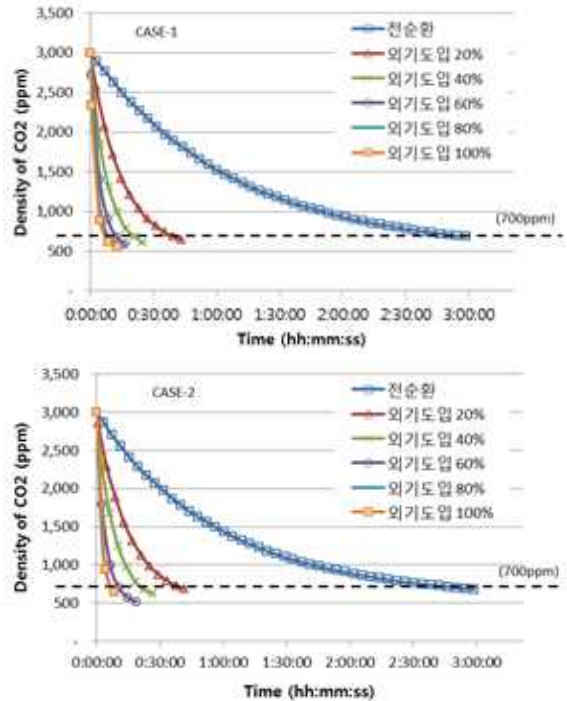


그림 9. CO2 농도 변화 (상 : Room-1, 하 : Room-2)

급배기구의 위치별 배기구의 CO2 농도변화에 걸린 시간을 비교한 그래프는 그림 10와 같다. 전반적으로는 천장급기<Room-1>보다 벽면급기<Room-2>의 경우에서 CO2 농도변화에 걸린 시간이 1~3분 정도 짧았다. 두 경우 모두 외기도입 20%에 비하여 외기도입비율 40%의 경우에는 약 51%의 시간이 반감되는 것에 비해, 외기도입비율 40%에 비하여 외기도입비율 60%의 경우에는 약 37%의 시간이 반감되었다. 그 이상은 외기도입 비율이 커져도 오염물질 제거 시간의 단축 크기는 크지 않은 것으로 판단된다. 즉, 급배기구의 위치에 따라 오염물질 제거 시간에는 다소 차이를 보이고 있으나, 외기도입을 60% 이상일 때는 그 효과가 미미한 것으로 판단된다.

이는 병원의 공조기기 운용시 오염물질 제거를 위하여 외기도입 비율을 높이는 것이 권장되고 있으나, 냉난방 에너지 소비량이 증가되는 문제점에 시사점을 제시한다. 감염병의 전파를 방지하기 위한 전배기 운용방식을 실시하지 않는 상황에서, 혼합공기를 통한 오염물 제거는 일정 이상의 외기도입비율에서는 그 효과의 크기는 크지 않음을 알 수 있었다.

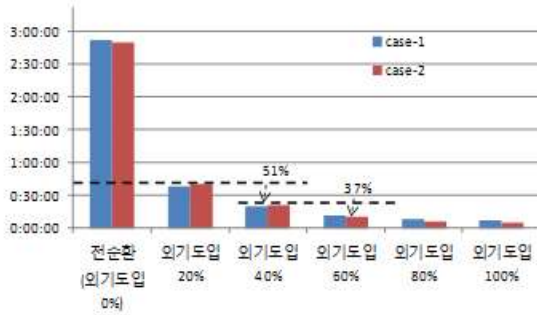


그림 10 각 운전조건에 따른 CO2 농도변화에 걸린 시간 (3,000ppm→700ppm)

다음 그림(그림11)은 <Room-1>에서의 외기도입비율 20% 운전시의 각 측정지점의 CO2 농도변화를 나타낸다. p1~ p4는 실내 4 측정지점을 나타내며, p5는 급기구, p6은 배기구의 측정점이다.

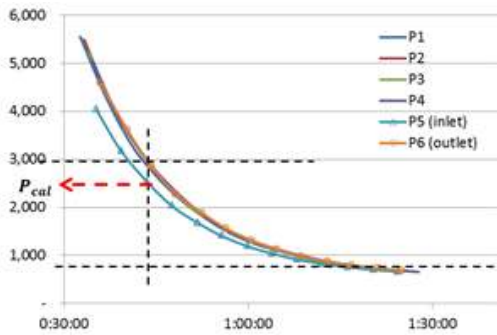


그림 11 외기도입비율 20% 운전시의 각 측정지점의 CO2 농도변화 (Room-1)

실험의 신뢰도를 확보하기 위하여 배기구의 농도가 3,000ppm일 때, 급기구의 농도를 계산하여, 실측치와 비교하였다. 실외 농도를 400ppm(지구 평균 CO2농도)으로 가정할 경우, 다음 식(식 2)에 의하여 도출되는 계산상의 급기구 농도는 표 5과 같다. 오차 약 33~79ppm으로 실제 지역의 CO2농도가 430~470ppm임을 감안하면, 그림 11에서 관측된 실측된 급기구 농도와 큰 차이를 보이지 않았다. 환기량 설정 식은 (식 2, 식 3)와 같다.

$$P_{cal} = P_1 * (1 - a) + P_0 * a \quad (\text{식 2})$$

- P_{cal} : 산술식에 의한 계산상의 급기구 CO2농도 (ppm)
- P_1 : 배기구 CO2농도 (ppm)
- P_0 : 외기 평균 CO2농도 (ppm)
- a : 외기 도입비율 (%)

$$Q_f = \frac{K}{C_i - C_o} \quad (\text{식 3})$$

- Q_f : 필요환기량 [m^3/h]
- K : 실내에서의 CO2 발생량 [m^3/h]
- C_i : CO2 허용농도 [m^3/m^3]
- C_o : 외기의 CO2 농도 [m^3/m^3]

표 5 외기도입시 실측된 급기구의 농도 및 계산상의 급기구 농도 차이

배기구 농도 (ppm)	실외농도 (ppm)	계산상의 급기구 농도 (ppm)	실측된 급기구 농도 (ppm)	오차 (ppm)
3000	400	2,480	2,539	-59
2,859	400	2,367	2,446	-79
2,280	400	1,904	1,974	-70
1,888	400	1,590	1,632	-42
1,559	400	1,327	1,365	-38
1,311	400	1,129	1,162	-33
1,129	400	983	1,016	-33
981	400	865	898	-33

4.2 급기구 위치에 따른 각 케이스별 환기효율

다음은 표 5에서 제시한 <실험 2>에서 각 실험체 <Room-1>, <Room-2>의 상하 CO2 농도를 비교 분석 하였다. X축의 P1, P2는 바닥에서 0.3m이격되어 하부에 설치된 샘플러 2점이며, P3, P4는 바닥에서 1.5m이격되어 설치된 샘플러 2점을 나타낸다. 그림 12 은 실험체 <Room-1>의 각 지점의 CO2농도를 급기구의 CO2농도로 나누어 구한 비율이며, 그림 13은 실험체 <Room-2>의 각 지점의 CO2농도를 급기구의 CO2농도로 나누어 구한 비율이다. 각 표식은 동일 시간대의 농도비를 나타내므로 각 표식별 높낮이를 비교하면 실내 상하 CO2농도차에 대하여 알수 있다.

천장 급기인 Room-1(그림 12)에서는 하부 샘플러 (P1, P2)에 비하여 상부 샘플러 (P3,P4)의 농도가 높음을 알수 있다. 각각의 급기 농도에 비하여 실내의 농도는 벽면급기인 Room-2의 그림 13보다 상대적으로 높아, 상대적으로 실의 하부부분까지 충분한 환기가 이루어지지 않음을 시사한다.

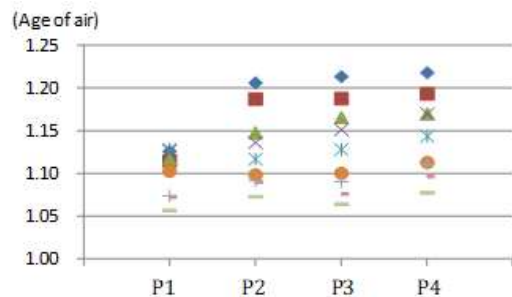


그림 12 실험체 <Room-1>의 각 지점의 CO2농도/급기구의 CO2농도비 (외기도입율 20%)

그림 13에서와 같이 실험체 Room-2는 급기구

의 농도에 비하여 실내의 CO2농도비가 1.07~0.16으로 하부의 오염된 공기와 잘 혼합되고 있음을 알 수 있다.

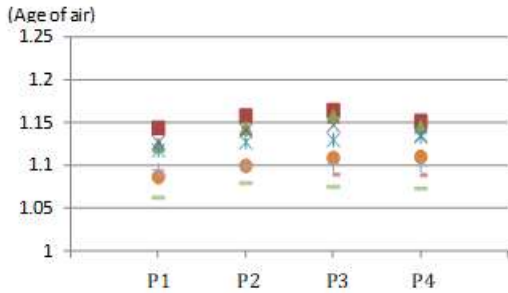


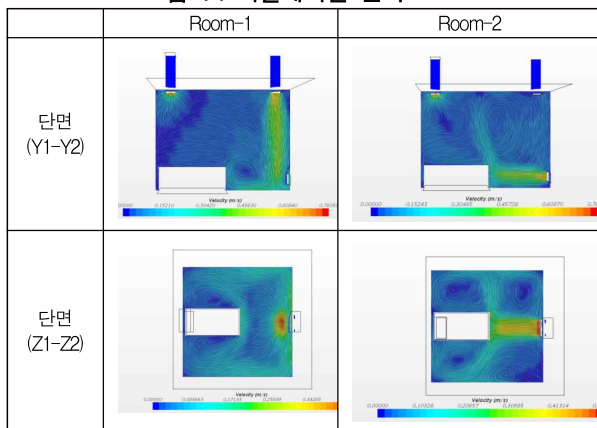
그림 13 실험체 <Room-2>의 각 지점의 CO2농도/급기구의 CO2농도비 (외기도입을 20%)

4.3 Simulation에 의한 기류흐름 분석

실험에 의하여 측정할 수 없는 기류분포는 CFD프로그램으로 분석하였다. 급기구의 위치는 천장급기 <Room-1>, 벽면하부급기 <Room-2>의 경우에 대하여 공기의 전체 흐름 양상은 그림 14 와 같다. <Room-1>의 경우 하부로의 강한 기류가 형성되고, 침상 부분에서 공기의 정체 발생함을 알 수 있었다. 그 외의 넓은 부분으로 전반적으로 기속이 느려지며, 공기가 혼합, 배기되는 양상을 보인다.

<Room-2>의 경우는 침상과 평행한 방향으로 강한 기류가 형성되어 배기구까지 도달하는 공기의 방향성이 확인되었다. <Room-1>과 비교하여 침상 부분에서 강한 상승기류를 보이며 배기되어지며, 급기구의 좌우에 공기가 정체될 가능성이 있다.

그림 14 시뮬레이션 결과



이상 급배기구의 위치 및 외기도입비율을 변수로 설정하여 실험과 시뮬레이션을 행한 결과, 급기 측면 급기에 대한 효율성과 오염

물질 제거 효과가 천장급기 천장배기의 조합보다 다소 유리한 것으로 사료된다.

3. 결론

많은 나라에서 호흡기 질병이 발생하였고, 감염확산 방지에 대한 관심이 고조되었다. 특히 한국에서 MERS(2015년) 사태 이후 병원의 공기조화설비 및 공간의 분리, 격리 병동의 강화 등의 계획적 측면에서 부터 설비적인 측면까지 다양한 대책을 수립하고 있다. 이에 본 연구는 급배기구의 위치 및 외기도입비율을 변수로 하여 오염된 공기를 효율적으로 배출하기 위한 여러가지 시사점을 제시하였다.

이에 본 연구에서는 측면 급기에 대한 효율성과 오염물질 제거 효과가 천장급기 천장배기의 조합보다 다소 유리하다는 결과를 도출하였다. 단, 본 실험은 실제 생물성 병원균 대신 추적가스를 이용한 농도감쇠법을 활용하였다는 한계를 가지고 있다. 생물성 병원균의 경우 전배기가 가장 확실한 방법이나, 전배기의 경우 많은 냉난방 에너지를 소모한다는 측면에서 일반적으로는 급배기구를 완전히 분리하고 있지 않은 것이 현실이다. 급배기구가 불완전하게 분리되었을 경우, 전배기 운전을 실시하여도 병원균이 혼합할 가능성이 존재한다.

현재 오염물질의 저감을 위하여 전배기 혹은 외기도입 비율을 높이는 것이 권장되고 있으나, 외기도입량이 많을수록 에너지 소비량도 크게 늘어날 수 있는 측면을 고려하면, 병실의 사용형태에 따라 외기도입량의 적절한 조절이 고려되어져야 할 것으로 사료된다.

따라서 냉난방에너지에 대한 고려와 오염물질 제거의 가장 효율적인 조합에 의한 운전, 이에 환자에서 의사 등의 외부인으로 옮겨가지 않는 기류 형성 등을 고려하여 병원 격리병실에 대한 공조 계획이 복합적으로 이루어져야 할 것이다.

감사의 글

“이 논문은 2019년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(NRF-2018R1D1A1B07048613) “

REFERENCES

Centers for disease control & prevention, (2015). Infection diseases surveillance yearbook. Ministry of health and welfare of Korea. (2015)

- Hospital which MERS patients were founded 2015.
- Melikov AK, Bolashikov Z, Georgiev E. Novel ventilation strategy for reducing the risk of airborne cross infection in hospital rooms. In: Proceedings of indoor air 2011 [Austin, USA].
- Hua Qian, Yuguo Li, Peter V. Nielsen, Xinhua Huang, Spatial distribution of infection risk of SARS transmission in a hospital ward, Building and Environment, Volume 44, Issue 8, August 2009, Pages 1651-1658
- G. Cao, H. Awbi, R. Yao, Y. Fan, K. Siren, R. Kosonen, J. Zhang, A review of the performance of different ventilation and airflow distribution systems in buildings, Build. Environ. 73 (2013) p.171-186.
- S.L. Sinha, R.C. Arora, S. Roy, Numerical simulation of two dimensional room air flow with and without buoyancy, Energy Build., 32 (2000), pp. pp.121-129
- J.A. Khan, C.E. Feigley, E. Lee, M.R. Ahmed, S. Tamanna, Effects of inlet and exhaust locations and emitted gas density on indoor air contaminant concentrations, Build. Environ., 41 (7) (2006), pp. pp.851-863
- W. Wu, Z. Lin, An experimental study of the influence of a walking occupant on three air distribution methods, Build. Environ., 85 (2015), pp. 211-219
- C.Y. Shaw, J.S. Zhang, M.N. Said, F. Vaculik, R.J. Magee, Effect of air diffuser layout on the ventilation conditions of a workstation, Part 1: air distribution patterns, Part 2: air change efficiency and ventilation efficiency, ASHRAE Trans., 99 (2) (1993), pp. pp.125-143
- W.J. Fisk, D. Faulkner, D. Sullivan, F. Bauman, Air change effectiveness and pollutant removal efficiency during adverse mixing conditions, Indoor Air, 7 (1997), pp. 55-63
- Hideyuki Amai, Atila Novoselac, Experimental study on air change effectiveness in mixing ventilation, Building and Environment, Volume 109, 15 November 2016, Pages 101-111
- Leung, M., Chan, A.H.S., Control and Management of Hospital Indoor Air Quality, Medical Science Monitor, 12(3), SR17-23
- ANSI/ASHRAE Standard 129e1997, Measuring Air-change Effectiveness, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, GA, 2002.
- A.N. WON, Hae-Eun SONG, Young-Kwon YANG, Jin-Chul PARK, Jung-Ha HWANG, Calculation of Appropriate Minimum Size of Isolation Rooms based on Questionnaire Survey of Experts and Analysis on Conditions of Isolation Room Use, Journal of Physics(scopus), 2017 (doi :10.1088/1742-6596/870/1/012025)
- Publication of the Ministry of Health and Welfare (on standard patient room size), 2016.
- H.Song, A.Won, S.Kim, C.Lee, J.Hwang, Analysis of indoor airflow in the respiratory disease ward department of a general hospital, Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building System, Vol.12 No.1, 2018.02
- S. Liu, A. Novoselac, Air diffusion performance index (ADPI) of diffusers for heating mode, Build. Environ. 87 (2015) 215e223.

논문투고일 2020년 06월 03일
논문심사일 2020년 12월 07일
논문게재일 2020년 12월 30일