

COVID19 대응을 위한 의료시설의 건축설비 운영방안

Operation Strategy of HVAC System in Healthcare Facilities to Cope with COVID19

강동화 Kang, Dong Hwa (서울시립대 건축학부 건축공학전공 부교수)

1. 머릿말

코로나19의 전세계적인 유행 지속으로 인하여 사망자의 증가, 사회·경제활동의 제약 등 막대한 피해가 발생하고 있다. 아직까지 세계 각국은 효과적인 질병통제 방법을 찾는데 어려움을 겪고 있으며 강력한 사회봉쇄책까지 동원하는 등 새로운 삶의 방식을 강요받고 있는 상황이다. 미국 질병통제국(USCDC)¹⁾는 전통적 감염통제 방법을 병원체의 물리적 제거(Elimination), 공학적 통제(Engineering control), 행정적 통제(Administrative controls), 개인보호장구(PPE) 착용 등 크게 4가지로 구분하여 제시하고 있다. 병원체의 물리적 제거 방법은 질병통제를 위한 가장 효과적인 방법이나 전 세계적인 대유행 상황에 도달한 현재시점에서 단기간의 물리적인 제거는 어려운 상황으로 보인다. 공학적 통제는 감염체와 사람의 접촉을 공학적인 방법, 예를 들어 환기장치나 공기정화장치를 통해 바이러스 농도를 낮추는 것과 같은 방법을 통해 감염확률을 낮추는 것을 말한다. 행정적 통제는 사회적 거리두기, 5인 이상 집합금지 등 행정적 지침을 통해 감염을 통제하는 방법이며, 마지막으로 개인보호장구 착용은 마스크 착용, 페이스실드 등을 적극 활용하는 것이다. 향후 코로나19가 장기화되어 인류와 공생하는 전염병이 되거나, 또는 효과적인 치료제 및 백신의 개발로 조기에 종식되더라도 미래의 잠재적인 신종 바이러스가 출현하는 상황에 대비해야 한다는 목소리가 커지고 있으며 이에 건축분야에서는 공학적 통제방법으로서의 건축적·설비적 방안의 체계적인 개발 및 수립이 필요하다는 의견이 설득력을 얻고 있다.

의료시설은 코로나19 환자가 접근할 확률이 높아 전파방지를 위한 노력이 우선시되어야 할 최전선에 있는 시설이며 면역력이 약한 건강 민감·취약계층의 이용률이 높은 시설이므로 건축적·설비적인 통제 방안이 적극적으로 구사될 필요가 있다. 특히 건축설비는 공학적 통제를 위하여 적극적이고 효과적인 역할을 수행할 수 있는 중요한 요소이다. 본 고에서는 공학적 통제방안의 하나로써 COVID19 대응을 위한 건축설비의 운영방안에 대하여 논하고자 한다.

1) US CDC. 2015. Hierarchy of Controls. Centers for Disease Control and Prevention.

2. COVID19와 공기조화설비

WHO에 따르면 코로나19를 일으키는 SARS-CoV2의 주요 전파경로는 접촉 및 비말전파(contact and droplet transmission), 매개물 전파(fomite transmission), 특정한 조건에서 발생가능한 공기전파(Airborne transmission)인 것으로 설명하고 있다. SARS-CoV2의 공기전파 가능성에 대해서는 현재까지도 다양한 논쟁이 있어왔으며, 최근에는 다양한 감염전파 사례의 분석을 통해 공기전파가 가능하다는 분석이 점차 힘을 얻고 있는 상황이다.

2020년 중국 광저우에서의 에어컨 기류에 의한 레스토랑 내 전파사례²⁾와 광저우 Block X의 공동주택에서의 수직세대 전파 사례³⁾는 공기전파를 의심할 수 있는 사례로서 주목을 받은 바 있다. 또한 국내에서도 파주 스타벅스 내 전파사례⁴⁾와 같이 밀폐된 공간에서의 에어컨 등 기류발생 장치에 의하여 비말이 장거리 전파되어 집단 감염을 일으킨 사건이 있었으며, 구로구 아파트에서는 수직세대간 집단 발병이 나타나는 등 공기전파 가능성이 높은 사건들이 보고되기도 하였다. 최근 Lancet에 실린 SARS-CoV2의 공기전파를 뒷받침하는 10가지 이유라는 논문⁴⁾에 따르면 유람선, 학교 등에서 발생했던 대규모 확진자 발생은 비말감염만으로 설명이 되지 않는 점, 실내 환기가 잘 되는 곳에서는 감염이 적게 발생하는 점, 감염자가 있었던 병원 공간에서 떨어진 곳의 공기 필터에서도 바이러스가 확인되는 점 등을 이유로 공기전파 가능성이 높음을 주장하였다. 이미 ASHRAE와 REHVA는 과거 코로나19와 유사하였던 2000년대 SARS-CoV1의 사례에 근거하여 SARS-CoV2 역시 공기전파가 가능할 것이라는 가정 하에 공기조화설비의 운영방안을 제시하여왔다. 이와 같이 SARS-CoV2의 접촉 및 비말전파 못지 않게 공기감염의 가능성에도 적극 대응할 필요가 있으며 국내 의료시설의 건축설비 상황을 고려한 적절한 건축설비의 운영방안이 요구되는 상황이다.

3. 감염병 관리를 위한 건축설비 부문 관련 기준

감염통제에 있어 건축설비의 역할의 중요성은 의료시설 중에서도 가장 높은 수준의 감염통제 기능을 요구하는 국가지정입원치료병상의 시설기준에서도 확인된다. 아래 [표 1]은 국가지정입원치료병상의 건축 및 설비분야의 설계 기준을 요약기술 한 것이다. 건축설비 분야의 내용을 살펴보면 감염병의 주요 전파 경로인 접촉전파, 비말전파, 공기전파의 가능성을 낮추기 위하여 공기조화설비와 급배수·위생설비를 중심으로 한 설계 기준이 제시되어 있음을 확인할 수 있다. 특히 호흡기 질병의 공기전파를 줄이기 위하여 공기의 재순환을 허용하지 않는 전외기 방식이 제안되고 있으며, 이때 공간 내의 바이러스의 농도를 낮추기 위하여 시간당 6회 이상의 높은 환기횟수⁵⁾를 규정하고 있음을 알 수 있다. 또한 오염구역과 청결구역의 구분을 확실히 하여 적절한 압력제어를 통해 기류의 흐름 방향을 규정하고 있다. 급배수·위생설비에 있어서도 급수구의 비접촉식 수전설치 등을 통하여 접촉감염의 가능성을 줄이고자 하였으며, 폐수(배수) 처리용 탱크의 살균 처리 기능을 요구하고 있다.

일반적인 의료시설에 이와 같은 엄격한 실내환경 관리가 필요한 음압병상과 동일한 기준을 적용하기는 어렵지만 건강 민감취약계층 다수가 이용하는 시설임을 감안할 때 건축설비 설계 및 운영 기준에도 시사하는 바가 크다. 하지만 국가지정입원치료병상에서 요구하는 건축설비의 요구사항을 그대로 반영하는 것은 과도한 성능확보를 위하여 불필요한 비용을 지출할 수 있으므로 합리적인 범위 내에서 의료시설 내 일반구역의 건축설비 설계 및 운영방안을 고려해 볼 수 있다.

2) Yuguo Li et al., 2021. Probable airborne transmission of SARS-CoV-2 in a poorly ventilated restaurant. Building and Environment 196. 107788.

3) Min Kang et al., 2020. Probable evidence of fecal aerosol transmission of SARS-CoV-2 in a high-rise building. Annals of Internal Medicine.

4) Trisha Greenhalgh et al. 2021. Ten scientific reasons in support of airborne transmission of SARS-CoV-2. Lancet 397. 1603-1605.

5) 일반적인 공동주택의 법정환기횟수는 0.5 회/시간이다.

[표 1] 국가지정입원치료병상 시설기준 요약

구분	관련 기준
일반	<ul style="list-style-type: none"> • 타부서를 거치지 않고 음압격리구역으로 진출입할 수 있도록 독립된 동선 확보 • 음압격리구역과 비음압구역의 물리적 분리 • 의료진 동선과 환자 동선의 분리 • 진입구와 출입구의 분리
건축	<ul style="list-style-type: none"> • 15 m² 이상의 1인실 설치 원칙 • 음압격리구역내 벽체, 바닥, 천장, 창문의 기밀 • 출입문은 비접촉식 자동문으로 하고 인접한 출입문 간 Interlock
설비	<ul style="list-style-type: none"> • 음압격리구역 전용의 급배기 설비 구축 • 전외기 방식의 급배기는 HEPA 필터를 거쳐 전량 배출 • HEPA 필터는 교체 시 소독과 밀폐성을 확인할 수 있는 구조 • 환기횟수 6 회/시간 (12 회/시간 권장) • 음압격리구역 실간 차압 2.5 Pa 이상 유지 • 실간 차압을 확인할 수 있는 센서와 표시기 설치 • 폐수(배수) 처리용 탱크에는 살균성능 확인을 위한 검증포트 설치 • 음압격리구역의 차압을 모니터링하고 이상 시 알림 기능을 갖춘 제어시스템 • UPS와 비상발전기를 통한 상시 음압 유지 • 비접촉식 수전설치 • 밀봉과 밀폐를 위해 실리콘은 항균성 사용 • 화학적 또는 열적 처리에 적합한 재질의 폐수처리시스템 • 폐수저장탱크의 통기관 설치 및 헤파필터나 제균필터 설치 • 폐수에 포함된 감염균의 생물학적 비활성화를 위한 소독 또는 멸균 장치

4. 의료시설 건축설비 운영전략

코로나19의 전파특성 등을 감안할 때 비말전파의 범위를 줄이고 공기전파 가능성에 대비하기 위한 공기조화설비 등의 운영방식이 매우 중요할 것으로 판단된다. 외기도입을 늘려 실내의 바이러스 농도를 낮추고, 필터 등의 공기정화기술을 적극적으로 사용하며, 교차감염의 가능성이 있는 요인을 줄이는 등의 노력이 필요하다. 또한 살균기술 등 신기술의 활용을 적극 검토하는 등의 노력도 필요할 것으로 판단된다. 아래에서 건축설비 운영에 관한 세부적인 내용을 기술하였다.

4.1 외기도입 증가 및 공기재순환의 최소화

외기도입량을 증가시키고 공기재순환을 최소화하는 것은 실내의 바이러스 농도를 낮추어 감염확률을 줄이는 중요한 역할을 수행한다. 국내의 경우 2017년 일부 개정된 의료법 시행규칙에 따라, 신증후군 의료시설에 대하여 입원실에 외기도입량 기준 환기횟수 2회/시간 이상을 유지하며, 실내 재순환량을 포함한 환기횟수가 6회/시간 이상을 유지할 수 되도록 환기시설을 설치할 것을 규정하고 있다. 개정안 이전에는 의료법에 의료시설의 환기기준이 정해진 바가 없었으며 건축물의 설비기준 등에 관한 규칙 제11조 4항의 환기기준에서 연면적 2,000m² 이상 또는 100병상 이상의 의료시설에만 기계환기설비 설치기준과 36m²/h인외기의 외기도입량 기준이 제시되어 왔다. 의료법 시행규칙이 개정되지 오래되지 않아 미적용 기준시설도 많으며, 기준을 충족하는 시설이라 하더라도 운영이 설계대로 되지 않는 경우가 많을 것으로 판단된다. 따라서 감염확산이 우려되는 상황에서는 적극적으로 외기도입을 증가시키고 이때 공기재순환은 최소화 할 수 있도록 해야 한다.

이 때 고려해야 할 유의사항은 다음과 같다. 동절기 외기도입 증가로 인한 장비의 동파에 주의하여야 한다. 동시에 낮은 외기도입으로 인하여 노점온도 이하로 내려가 결로발생의 가능성이 높아지므로 유의할 필요가 있다. 낮은 외기도입으로 인하여 실내 설정온도를 엄격히 유지하기 어려울 수 있다. 또한 환기설정의 변화로 인하여 실간 압력 설정치 도달 여부를 확인할 필요가 있으며 설정 급배기량과 송풍기 운전의 안정성 또한 확인하여야 한다.

4.2 필터수준의 향상

공기전파 감염확률을 낮추기 위하여 공기조화설비에 설치되어 있는 필터의 성능을 향상시키는 것을 고려할 수 있다. 이는 공기 중에 포함된 바이러스 또는 바이러스를 포함한 미세입자를 포집하여 다른 공간으로 확산되는 것을 줄여줄 수 있다. ASHRAE는 MERV14 등급 이상의 필터를 설치할 것을 권고하고 있으며, 국내에서는 최근 대기 중의 고농도 미세먼지로 인하여 이미 고성능 필터로의 교체가 진행되는 사례도 상당 수 있다. 하지만 여전히 프리필터나 중성능 필터 수준 만이 적용된 경우도 많으므로 이러한 경우에는 필터성능 향상을 고려할 수 있다.

고성능 필터 사용 시에는 다음의 사항들을 함께 주의할 필요가 있다. 고성능 필터 사용으로 인하여 압력손실이 증가하고 압력손실로 인하여 풍량이 감소하며 실간 차압의 설계치에 미달할 수 있음에 유의하여야 한다. 풍량감소를 보상하기 위하여 송풍기의 속도 조절이 가능한지 확인이 필요하다. 회전수 제어가 가능한지 또는 벨트구동형의 경우 도르레 교체를 고려할 수 있다. 이 때에는 송풍기의 모터 출력이 정격용량 이내인지 유의하여야 한다. 필터 전후단의 높은 압력강화로 인하여 필터 틀의 틈새로 기류이동이 발생할 수 있음에 유의하여야 한다.

4.3 실내습도의 조절

적정한 습도의 조건에 대해서는 다소 논란이 있다. 일반적으로 ASHRAE는 40~60%의 상대습도 조절이 적절한 것으로 제안하고 있다. 40% 이하의 건조한 환경에서는 호흡기 상피조직, 피부등이 건조하여 면역기능이 저하되며, 일부 공기전파 바이러스 및 비말 전파 가능성을 증가시킨다. SARS-CoV2는 현재 연구 중이므로 적정습도에 대한 연구동향을 모니터링 할 필요가 있다. 일반적으로 낮은 습도에서는 병원체의 생존률이 증가되며, 살균제의 표면재 오염 및 급속건조로 인하여 손소독제, 표면세척제의 효과를 감소시킬 수 있다. 이러한 관점에서 ASHRAE는 40% 이상의 가습이 필요함을 제안하고 있다. 반면 REHVA의 경우 SARS-CoV2는 상대습도 80%이상의 고습도가 되어야 취약해지는데 이런 고습도를 실내에서 유지하는 것은 실제로 불가능하므로 별도의 가습을 고려할 필요는 없다는 의견을 제시하고 있다. 여러 가지 자료를 검토하여 볼 때 습도조절을 함으로써 오는 간접적 이득이 있음을 고려하여 습도조절이 가능한 경우에는 40~60%의 습도조절이 권장된다.

4.4 전열교환기 사용 주의

환기장치의 설치 및 운영 시에는 전열교환기의 유형에 따라 교차오염의 우려가 있으므로 유의가 필요하다. 에너지 휠 형식의 전열교환기는 기기 내부의 교차오염의 우려가 있으므로 전열교환 전에 HEPA 필터를 사용하거나 열교환 소자를 거치지 않고 외부로 직접 배출하는 것을 고려할 필요가 있다. 물론 이러한 변경으로 인하여 냉난방 성능에 영향을 미칠 수 있으므로 성능저하에 대한 검토가 필요하며, 냉난방 성능저하가 예상될 경우 보조 냉난방시스템의 고려가 필요하다.

4.5 HVAC 시스템 유지 및 필터교체

환기시스템에서 코로나 바이러스에 오염된 필터를 다룰 때의 위험도는 아직 정확히 평가되지 않았으나 필터교체 등 유지관리를 하는 작업자는 잠재적인 오염에 대비하기 위하여 마스크, 고글, 장갑 등 개인보호장구를 착용할 것이 요구된다. 필터 교체 주기를 늘리기 위하여 먼지포집 용량이 큰 필터로 교체를 고려할 수 있으며, 실간 차압 유지에 영향을 주지 않을 정도의 압력강화가 발생하지 않는지 확인이 필요하다. 필터 교체 전 코로나 바이러스 살균이 가능한 살균액을 살포 후 제거하는 것도 좋은 방법이 될 수 있다. 필터 교체 후 작업자의 손씻기 도는 손소독 역시 이루어져야 한다.

4.6 살균 및 공기정화

코일 자외선 살균조사(UVGI) 등 냉각코일의 생물학적 부착물을 제어하는 등의 살균 및 공기정화 기술의 적용도 고려할 수 있다. 현재 국내에서 UVGI, 가열살균 기술 등 다양한 공조살균 기술 개발이 이루어지고 있으므로 공기조화 및 환기설비의 설계 및 운영단계에서 이의 활용을 적극 고려해 볼 수 있

다. 일반적으로 기류속의 바이러스 박멸을 목적으로 운전되지 않으며, 이는 살균에 필요한 적절한 노출 시간을 확보하기 어렵기 때문이다. 병실 상부 등에는 실내상부형 자외선 살균조사장치의 적용도 고려할 수 있다. 실내상부 UV 조명기구를 이용하여 공기부유 바이러스를 사멸시킬 수 있지만 표면에 정착한 비말에는 영향을 주지 못하므로 전반적인 바이러스 전파감소에는 제한적으로 영향을 미칠 수 있다. 대부분의 직접적인 UV광은 재실자 및 가구들에 해로운 영향을 미칠 수 있으므로 주의가 필요하다.

5. 맺음말

포스트 코로나 시대의 적응을 위하여 의료시설의 건축설비 설계 및 운영의 중요성은 여러번 강조해도 지나치지 않다. 과거 MERS 사태를 겪으며 의료시설의 환기기준과 운영가이드라인이 정립되었으나 신축, 증축 의료시설에 적용되는 기준으로 이마저도 설계 시의 검토사항일 뿐 운영 및 유지관리 시까지 지켜질 수 있도록 지속적인 노력이 필요하다. 이러한 환기기준을 포함한 건축설비 기준이 강화될수록 비용적인 측면의 부담이 기하급수적으로 커질 수 있으므로 전파방지를 위한 다양한 전략을 총합적으로 검토할 필요가 있으며 적정수준의 운영 및 유지관리 기준이 설정될 필요가 있다. 앞으로도 코로나 19의 변이 출현 또는 신종 감염병 출현을 예고하는 전문가들의 의견이 많은 만큼 의료시설의 건축설비 설계 및 운영기준의 정착을 위하여 관련된 연구 및 검토들이 지속적으로 필요하다고 판단된다.