



감염병 확산으로부터 안전한 초등학교 디자인 제안을 위한 탐색적 연구

An Exploratory Research to Propose Design for Infection-Free School

서원영* · 이경훈**

Won Young Seo* · Kyung Hoon Lee**

* Graduate Student, Dept. of Architecture, Korea Univ., South Korea (swyoung@korea.ac.kr)

** Corresponding author, Professor, Dept. of Architecture, Korea Univ., South Korea (kh92lee@korea.ac.kr)

ABSTRACT

Purpose: The Study is an exploratory study to propose design of elementary schools to control and prevent infection spread. In the COVID-19 pandemic, children are less likely to be infected and spread the disease. However, students had to take distance education for safety concern resulting learning gaps and care deficit. Schools are crucial facilities especially for younger children so it is important to make a safe learning environment. **Method:** First, This research conducted literature review to investigate empirical studies and identify environmental factors to control infection. In addition, infection cases were analyzed to identify the transmission modes and causes. Environmental factors to control COVID-19 were identified and classified into two categories; architectural planning and HVAC system planning. Second, the characteristics of school building were analyzed in the aspect of an infection control. Moreover, the study went through current COVID-19 prevention guideline for school review to find an improvement. **Result:** This study proposes design considerations for safer school environment, improving the current guideline for schools. Finding can be used to develop or improve current infection control guidelines for various facilities.

KEYWORD

감염예방
코로나바이러스감염증-19
교육시설
초등학교

Infection Control
COVID-19
Educational Facility
Elementary School

ACCEPTANCE INFO

Received May. 7, 2021
Final revision received May. 28, 2021
Accepted Jun. 3, 2021

© 2021. KIEAE all rights reserved.

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

코로나바이러스 감염증-19 (이하 코로나 19)는 SARS-CoV-2 감염에 의한 호흡기 증후군으로 2019년 11월 중국 후베이성 우한시에서 최초 발생 후 현재까지 전 세계적으로 1억 명 이상의 감염자와 2백만 명 이상의 사망자가 발생했다. 국내에서는 2020년 1월 20일 첫 확진자 이후 지금까지 120,673명의 누적 확진자와 1,821명의 사망자가 발생했다[1]. 이 중 유아, 청소년(0~19세)의 감염이 차지하는 비율은 약 11%로 다른 연령대에 비하면 낮은 비율을 차지하고 있으며 질환의 중증이 없거나 경증인 경우가 많다[2]. 그러나 장시간 환기가 제대로 이루어지지 않는 환경에서 다수가 밀집해 있을 학교 특성상 감염확산의 위험이 큰 환경으로 간주하여 국내 초, 중, 고등학교는 상황에 따라 원격수업과 등교수업을 번갈아 가며 실시했다. 이에 따른 원격수업의 장기화로 학생들의 학습권이 침해되고 교육 격차가 심해졌다[3]. 특히 초등학교 저학년의 경우 조작 미숙 등 원격수업으로 인한 어려움이 많고 사회적 접촉이 줄어들어 언어 발달에 영향을 줄 수 있다. 교육학습 영역에서만뿐만 아니라 등교를 하지 않아 돌봄 공백이 우려되는데 이는 빈곤 가구 아동들에게 더 큰 영향을 주는 것으로 나타났다[4].

학교시설에서의 감염확산 위험이 낮다고 판단하여 국내에서는 개학 연기 없이 2021년 3월부터 초등학교 저학년을 위주로 등교수업을 확대하고 있다. 2020년 5월부터 7월까지 3~18세의 확진자 중 학교에서 감염되었던 사례가 적었던 것과 달리 2021년 3월부터 학교 내 감염사례가 증가하고 있다. 2021년 1학기 누적 코로나-19 확진자 중 학생은 2,884명으로 하루 평균 40명대를 기록하고 있다[5]. 소아, 청소년의 경우 증상이 없거나 경증인 경우가 많기에 적절한 조치가 취해지기 전 가족 구성원으로 감염이 확산할 수 있으며, 이는 곧 지역사회 감염으로 이어질 수 있기에 주의가 더 필요하다.

현재 중앙방역대책본부와 교육부의 코로나 19 대응방안 관련 지침의 경우, 2m 이상의 거리 두기, 개인의 마스크 착용 및 철저한 위생관리, 칸막이 설치와 같이 행정적, 개인 방역 위주의 방침을 제안하고 있다. 감염병의 종식을 위해서는 개인 방역과 함께 행정적인 통제와 공학적인 통제 등 다차원적인 통제가 이루어져야 효과적으로 감염병에 대응할 수 있을 것이다. 특히 개인이 방역 수칙을 잘 지키고 행정적 절차를 수월하게 따를 수 있도록 사용시설을 변경해야 한다. 예를 들어, 사회적 거리 두기 단계에 따라 교실 내 밀집도가 변하지만 변하는 밀집도에 따라 학교 내 시설을 어떻게 바꿔야 하는지에 대한 고려는 미흡한 실정이다.

이에 본 연구는 코로나 19의 종식 이후에도 언제든 다시 시작할 수 있는 감염병으로부터 안전한 학교시설을 위해 (1) 감염 통제와 관련한 선행연구와 집단감염 사례의 실증적 증거를 분석하여 (2) 감염확

산과 관련된 계획요소들을 찾아내고 (3) 감염과 관련하여 학교시설의 특징과 현 방역체계를 고찰해 (4) 국내의 초등학교에서 현재 적용되고 있는 감염 예방관리 대책을 보완하여 감염병으로부터 안전한 학교시설에 대한 디자인 요구기준을 제안하는 데 목적이 있다.

1.2. 연구의 범위 및 방법

본 연구는 초등학교를 대상으로 감염병으로부터 안전한 학교시설에 대한 디자인 요구기준을 제시하고자 한다. 이를 위해 다음과 같이 연구를 진행했다.

첫째, 감염확산을 방지하기 위한 실증 연구를 찾기 위해 Google Scholar, DBpia, KISS, RISS, PubMed 등 국내외 학술 데이터베이스에서 코로나 19 (COVID-19), 감염(infection), 감염 확산(spread of infection or spread of disease), 감염 예방(infection prevention), 감염관리(infection control), 건축 계획(planning), 학교 환경(school environment) 등의 키워드를 조합, 사용해 2000년부터 2021년 3월 사이에 출간한 한글 또는 영어로 작성된 선행연구 문헌을 찾아내었다. 1차 검색을 통해 중복문헌을 제외하고 213편을 찾아냈으며, 이중 단순 문헌고찰 및 연구 동향에 대한 논문, 학술발표대회 논문, 학위논문을 배제하여 141편의 논문을 발췌했다. 발췌한 141편의 연구 문헌 중 제목과 초록을 분석하여 공간 계획, 혹은 공조설비와 같은 환경적 요인이 들어간 76개의 논문을 발췌했다. 발췌한 논문의 내용을

심도 있게 분석하여, 연구 방법이 경험적이고 실증적인 방법이 아닌 연구와 인터뷰와 같은 질적 연구를 배제하고 종속변수가 감염의 확산 등과 연관된 변수인 연구만을 선정하였다. 그 결과 선행연구 20편이 최종 선정되었다(Table 1. 참조). 코로나 19 감염사례 보고서의 경우 미국 질병관리본부(Centers for Disease Control and Prevention)의 주간 질병 감염률 사망률 보고서(Morbidity and Mortality Weekly Report)에서 2020년 3월부터 2021년 3월까지 발행한 보고서 중 학교 내 감염이나 감염경로가 확실한 사례를 선정했다. 감염사례 보고서 14건 중 10건은 집단감염 사례고(Table 2.), 4건은 시설 내 감염확산을 최소화한 사례다.(Table 3.)

둘째, 발췌한 연구논문과 감염사례 보고서를 분석하여 감염확산을 최소화할 수 있는 환경요소들을 건축 디자인 전략과 공조설비 디자인 전략으로 나누어 도출했다.

셋째, 학교 내 감염과 관련해 고려해야 하는 학교시설의 특징을 분석했다. 동선계획, 가구 배치 등과 관련하여 학교시설의 특징을 살펴보고 학교 내 실내공기 환경의 실태를 알아보았다. 또한, 국내외 코로나 19와 관련한 현재 학교의 감염 예방관리 지침서를 살펴보고 현행 학교시설 관련 감염 예방관리의 한계점을 파악했다.

마지막으로 도출한 디자인 전략을 바탕으로 국내 초등학교에서 현재 적용되고 있는 감염 예방관리 대책을 보완할 학교 디자인의 요구조건을 공간별로 제시했다.

Table 1. Identified environmental-related factors in the literatures

Author (year)	Architectural planning						HVAC system planning					
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	M
Kim & Kwon (2017)	o											
Oh & Kwon (2017)	o	o										
Kim & Kwon (2018)		o	o									
Han & Choi (2020)				o								
Jung & Hong (2019)					o							
Kwon & Sung (2016)					o			o				
Kim et al (2018)						o						
Marik, Shankaran & King (2020)						o						
Kudo et al (2019)							o					
Bukhari et al (2020)							o					
Yang et al (2017)								o	o			
Qian et al (2008)									o			
Kwon et al (2013)									o			
Lim, Kang & Kim (2009)									o	o		
Park, Sung & Lee (2015)									o	o		
Sung, Kato & Kim (2012)										o		
Yang et al (2018)										o		
Lee & Hwang (2020)											o	
Kurnitski (2020)												o
Sun et al (2011)												o

A: Zoning, B: Circulation planning, C: Corridor type, D: Location of washstand, E: Vestibule, F: Copper finishing G: Humidity & temperature, H: Pressure difference, I: Diffuser & exhaust location, J: HVAC system type, K: HEPA filter, L: Ventilation rate

2. 감염 예방 디자인 전략 도출을 위한 문헌고찰

2.1. 감염사례로 본 감염경로 및 관련 환경요소

1) 비말 전파 감염사례

비말 전파(droplet transmission)는 지름 5~10 μm 이상의 비교적 큰 입자가 기침, 재채기, 대화 등으로 감염자의 호흡기에서 감수성 있는 숙주의 눈, 코, 입 점막에 직접 이동하여 감염되는 경우다. 비말 전파는 감염자와 피감염자 사이의 거리가 1m 이하일 때 감염의 위험이 크다. 코로나 19의 경우 비말 전파를 주된 감염확산 경로로 보고 2m 이상의 거리 두기를 권장하고 있지만, 실내 환기 시스템으로 인해 비말이 2m 이상 퍼질 수 있다. 실험에 의하면 바람 속도에 따라 비말이 6m까지 퍼질 수 있으며[6], 광저우의 식당에서 최초 감염자와 2m 이상 떨어진 사람들이 감염되었다. 해당 식당은 자연 환기가 되지 않는 밀폐 공간으로 감염자가 냉방장치의 배기, 흡입구 바로 밑에 앉아 있었던 점, 배기, 흡입구에서는 바이러스가 검출되지 않은 점으로 냉방장치로 인해 생긴 기류에 비말이 퍼져 감염된 것으로 결론 내렸다[7]. 국내에서도 감염자와 함께 식사했던 사람뿐만 아니라 2m 이상 떨어져 있던 방문자도 감염되었는데, 천장의 에어컨으로 인해 생긴 기류를 통해 비말이 퍼져 감염된 것으로 보인다

[8]. 2020년 2월 구로구 콜센터의 경우 사업장 특성상 물리적 거리가 충분히 확보되지 않는 밀집 환경으로 인해 감염이 빠르게 확산한 것으로 추정한다. 또한, 최초 확진자가 근무하는 층수와 다른 층에서도 확진자가 발생한 것으로 볼 때 로비나 엘리베이터 같은 공용부에서도 감염이 확산한 것으로 추정한다[9]. 코로나 19 확산 이후 등교수업을 진행한 지역의 학교 내 감염사례를 보면, 교내에서의 마스크 착용, 철저한 위생관리, 증상자 등교중지와 같은 절차를 따랐을 때 교내 감염률이 지역 감염률과 비슷하거나 적었다[10]. 철저한 개인 방역과 함께 한 교실당 인원을 20명 이하로 제한하고, 그룹 간의 동선 분리, 실외 식사를 했을 때 학교 내 감염확산을 최소화할 수 있었다[10], [11]. 이스라엘에서는 밀폐된 환경에서 오랜 시간을 다수가 활동하며 미흡한 초기 대책으로 집단감염이 발생했다. 특히 창개방 없이 냉방기를 사용해서 비말이 교실 내에서 빠르게 확산한 것으로 보인다[12].

비말 전파로 인한 감염사례를 분석했을 때, 비말 전파 감염과 관련된 중요한 환경적 요인으로는 실내 기류의 방향과 속도, 개인 간 물리적 거리를 확보할 수 있는 공간으로 확인된다.

2) 공기 전파 감염사례

공기 전파는 지름 5 μm 이하의 작은 입자들이 공기에 떠다니다가 숙주가 흡입하는 경우 발생한다. 비말(droplet)이 10 μm 정도의 크

Table 2. Infection cases

Author (year)	Transmission mode	Environmental factor	Facility type	Region	Pathogen
Hung (2003)	Airborne	Ventilation	Apartment	Hong Kong	SARS-CoV
Wong et al (2004)	Airborne	Indoor air flow, Close distance between beds	Hospital	Hong Kong	SARS-CoV
Yu et al (2004)	Airborne	Ventilation	Apartment	Hong Kong	SARS-CoV
Chen et al (2020)	Droplet	Crowded & closed environment, Air conditioning	School	Israel	SARS-CoV-2
Kwon et al (2020)	Droplet	Indoor air flow	Restaurant	South Korea	SARS-CoV-2
Lu et al (2020)	Droplet	Indoor air flow	Restaurant	China	SARS-CoV-2
Park et al (2020)	Droplet	Crowded & closed environment	Office	South Korea	SARS-CoV-2
Gold et al (2021)	Droplet	Crowded environment, Indoor dining	School	USA	SARS-CoV-2
Denton et al(2004)	Contact	Contaminated surface	Hospital	UK	Acinetobacter baumannii
Wu et al (2005)	Contact	Contaminated surface	Long-term care facility	USA	Norovirus

Table 3. Minimal infection cases

Author (year)	Transmission mode	Environmental factor	Facility type	Region	Pathogen
Falk et al (2020)	Droplet	Less than 20 students per class, circulation control	School	USA	SARS-CoV-2
Hoehl et al (2020)	Droplet	Air flow & index patient location, ventilation, filter	In-flight	Europe	SARS-CoV-2
Hershov et al (2021)	Droplet	Distancing (≥1m)	School	USA	SARS-CoV-2
Volpp et al (2021)	Droplet	Distancing (≥1m), HEPA filter, outdoor dining	School	USA	SARS-CoV-2

기인 데 비하여 비말 핵(droplet nuclei)은 지름 $5\mu\text{m}$ 이하로 공기에 긴 시간 부유하며 2m 이상 떨어져 있어도 감염될 위험이 크다. 2003년 중증 급성 호흡기 증후군(이하 사스, SARS) 유행 시, 병상 간 간격이 좁은 병동에서 바이러스가 확산해 집단감염이 발생했다. 최초 감염자와 직접적인 접촉이 없거나 1m 이상 떨어져 있었음에도 감염이 된 사례가 있었다. 해당 병동의 공조설비를 조사한 결과 공기 유입량과 배기량의 불균형이 있었으며 기류를 타고 바이러스가 확산한 것으로 추정했다[13]. 또한, 아파트에서 환기구를 통해 다른 가정으로 사스 바이러스가 확산하여 집단감염이 발생한 사례도 있다[14], [15]. 이처럼 공기를 매개로 한 감염을 통제하기 위해서는 공조설비의 계획이 중요한 요소로 확인된다.

3) 오염표면 접촉 감염사례

병원체는 사물의 표면에서 일정 기간 살아있을 수 있고 이를 만진 후 눈, 코나 입을 만지게 되면 병원체가 호흡기 안으로 들어가 감염될 수 있다. 노로바이러스, MRSA, VRE와 같은 병원균에 오염된 표면을 접촉하여 장기요양시설 혹은 원내 감염이 확산해 집단감염이 발생했다[16], [17]. 식당의 식탁, 엘리베이터 버튼 등 다수가 사용하는 공간에서 병원균이 검출되어 표면 소독의 중요성을 강조했다[17]. 현재까지 코로나바이러스가 사물 표면에서의 정확한 생존 기간은 아직 정확하게 밝혀지지 않았으나 일반적으로 수 시간 생존할 수 있다[18]. 따라서 오염표면 접촉으로 인한 감염을 예방하기 위해서는 개인의 위생을 깨끗하게 유지하고, 다수가 접촉하는 표면을 자주 소독해야 한다.

2.2. 감염확산 예방 관련 선행연구 분석 결과

1) 감염 최소화를 위한 배치 및 동선계획 등 건축 계획적 전략

과밀 환경에서 감염확산의 위험이 크기 때문에 건축 평면 계획 시 이용자들이 특정 구역에 모이지 않도록 동선을 계획하고 공간을 구획해야 한다. 시뮬레이션과 통행 실측을 통해 원내 동선이 중복되거나 공간의 기능이 분리되지 않는 경우 과밀화가 쉽게 발생하는 것을 확인했다[19], [20], [21]. 병원 내 공간의 기능이 구분되어 있지 않으면 과밀 확률이 올라가고 그에 따라 감염 위험도가 상승하기 때문에 대기 공간과 이동 공간을 확실하게 분리하여 공간의 기능이 중복되지 않도록 해야 한다. 동선이 겹치는 공간에서 과밀이 발생했으며 동선이 분리된 경우에도 명확한 안내 사인이 없다면 혼란을 일으켜 감염 노출의 가능성을 높일 수 있다고 한다. 또한, 병원 내 동선이 길어질수록 감염에 노출될 가능성과 감염확산의 가능성이 커지므로 공간의 기능에 따라 동선을 분리하여 과밀화를 낮춰야 할 것을 제시했다[19].

감염원 전파 시뮬레이션을 통해 입원 병동 복도 형태가 다른 세 병원의 감염 취약성을 분석했을 때, 중복도의 경우 동선의 효율성이 떨어지거나 감염에 노출될 가능성은 이중 복도나 혼합형(중, 편복도)에 비해 낮았다. 이중 복도의 경우 동선의 효율이 높아 감염 노출빈도가 높고 전파속도도 빠른 것으로 나타났다. 특히 복도의 교차지점에서 감염 노출빈도가 높았다. 의료진, 환자, 방문객 중 감염에 노출될 가능성이 가장 큰 이용자는 방문객으로, 면회를 온 방문객이 감염되거나 방문객이 병원 내 바이러스를 퍼뜨리는 경우를 방지하기 위해 동

선 분리 및 사용 공간의 제한이 필요하다[20].

음압격리병실의 전실은 복도와 음압격리병실 사이에서 압력의 차이를 두는 에어록(airlock)의 역할을 해 공기 흐름을 차단할 수 있다. 음압격리병실에 전실을 설치하여 격리구역 외부(일반구역)와 격리병실 사이에 설치된 구획 공간의 개수(단계)가 격리성능에 얼마나 영향을 미치는지 실험을 통해 정량적으로 실험했다. 그 결과, 공간의 단계가 많을수록 격리 효과가 증가하여 감염원의 외부확산이 줄어드는 것을 확인했으나 3단계 이후의 전실설치는 격리 효과에 비해 비효율적인 것을 확인했다[22]. 또한, 전실이 있는 경우 음압병실에서 입자 유출이 감소하여 교차 감염의 가능성을 낮출 수도 있다[23].

MRSA, VRE 및 MRPA 등 항생제 내성 균주는 구리나 유기 표면에서의 생존 기간이 제일 짧았다[25]. 장기요양병원에서 구리 직물을 사용하고 표면에 산화구리를 처리했을 때, 원내 감염에 유의미한 감소도 확인할 수 있었다[26].

간병 인력의 손 위생 이행과 관련한 요인을 확인했을 때, 요양병원 병실 내에 세면대가 비치된 경우 손 위생 이행 의도가 그렇지 않았을 때 비해 높았다[27]. 알코올 기반 손 소독제를 사용했을 때도 오염표면의 범위를 줄일 수 있었다[28].

2) 감염 최소화를 위한 자연 환기 및 HVAC 계획적 전략

감염확산의 예방을 위해 RHEVA(유럽난방환기공조연합)의 코로나 19 방지 공조설비 가이드라인에서는 실내공기 순환을 금지하고 있다. 실내공기의 정화나 배출 없이 순환할 경우 오염원이 실내 환경에 쉽게 확산할 수 있다. 따라서 환기를 통해 오염 공기를 외부로 배출하고 외부 공기를 가능한 많이 공급해야 한다. 창문을 열어 자연 환기를 우선하되 불가능한 경우에는 기계식 환기 시스템을 사용하여 건물 사용 최소 2시간 전부터 환기를 할 것을 권장하고 있다[29].

기내의 경우 밀폐된 공간에서 다수가 장시간 머물기 때문에 확진자가 있을 때 감염이 확산하기 쉬운 구조처럼 보이나 기내 환기 시스템으로 인하여 집단감염 사례는 적은 편이다. 4시간 40여 분의 비행에서 7명의 확진자가 개인 방역 장비 착용 없이 탑승했으나 접촉자 71명 중 감염된 사람은 2명뿐이었다. 이는 기내 환기가 2~3분에 한번 이루어지며, 공기의 흐름이 천장에서 바닥으로, 앞에서 뒤로 향하는데 확진자 7명 모두 비행기 뒤쪽에 앉아 있었기에 감염의 확산이 적었던 것으로 추측한다[30].

일 인당 평균 면적이 5m^2 인 밀집한 환경의 기숙사에서 환기 횟수와 감기에 걸린 사람들을 조사했을 때, 환기를 자주 할수록 감기에 걸리는 비율이 감소하는 것을 확인할 수 있었다[31]. 공용공간에서 감염확률을 최소화하기 위해서는 1인당 최소 10L/s의 환기 횟수를 권고했다[32].

추적 가스 실험을 통해서도 공조 구획이 다른 영역으로 오염원의 확산이 거의 없으며, 필터를 이용해 부유 미생물을 제거할 수 있는 것을 확인했다[33]. 공조설비의 설치 위치 또한 입자의 확산 패턴에 영향을 주는데 병실 내 배기구가 병상을 중심으로 측벽 하단부에 위치할 경우 제일 효과적으로 입자를 제거할 수 있는 것을 실험과 시뮬레이션을 통해서 확인할 수 있었다[34], [35]. 또한, 기류는 압력이 높은 곳에서 낮은 곳으로 흐르기 때문에 감염의 위험이

큰 곳을 음압으로 유지하여 감염확산의 위험을 줄일 수 있다[36]. 임시대피소 내에서 공기 감염의 확산을 막기 위한 감염확산 저감 장치들을 비교했을 때, 실내 상부형 자외선 살균 조사(UVGI)가 최적이며, 사생활 보호와 감염균의 확산을 막기 위한 칸막이를 권장했다[37]. 공조설비 필터를 이용한 감염균의 저감 성능을 비교했을 때, HEPA 필터를 사용하면 감염균의 농도는 그렇지 않았을 때 비해 약 81% 감소했으며 Medium 필터 2개의 경우 약 77% 감소, 1개인 경우 약 71% 감소했다[38]. 급기는 실의 경계에서, 배기는 구획된 실내에서 이루어질 때 오염 공기의 유출이 적으며 급·배기구 형태는 사각형보다는 라인형이 효과적인 감염 통제에 유리하다고 한다[39].

코로나 19 바이러스와 기후의 관계를 분석했을 때, 코로나 19 바이러스 섭씨 35도, 절대습도 9g/m³ 이상에서 감염확산의 속도가 늦춰졌지만 큰 변수가 아님을 확인했다[40]. 또한, 쾌적한 실내 환경을 위해 고온다습한 실내 환경을 유지할 수 없어 주요한 고려사항은 아닌 것으로 판단된다. 그러나 상대습도 10~20%의 건조한 환경에서는 목, 코, 등의 점막 상태가 감염에 취약하기에 겨울철에는 가습할 것을 권장한다[41]. 마지막으로, 화장실 내에서는 공기에 물방울과 잔여물이 부유 되는 것을 방지하기 위해 변기 뚜껑을 닫은 채로 물을 내려야 한다[42].

2.3 소결

감염경로에 따른 주요 전략을 Fig. 1.과 같이 정리할 수 있다. 비말감염의 경우 밀집, 밀폐 환경에서 밀접 접촉이 있었을 때 집단감염이 발생할 확률이 높았다. 학교시설에서 감염자가 발생했음에도 집단감염이 발생하지 않은 사례를 보면 개인 간 1m 이상의 물리적 거리를 확보했으며 그룹 간 접촉을 최소화했음을 볼 수 있다[10]. 비말로 인한 감염을 통제하기 위해서는 개인 간 물리적 거리를 확보하는 것이 중요한 것으로 보인다. 그러나, 실내 기류로 인해 비말이 2m 이상 확산하여 집단감염이 발생할 수 있으므로 실내 기류가 발생하지 않도록 해야 한다. 공기 감염의 경우 오염 공기를 빠르게 제거하기 위한 공조시스템의 중요성을 강조한다. 접촉 감염의 경우 사용환경과 사용자들의 위생을 철저히 하여 감염확산을 줄일 수 있을 것이다.

본 장에서 도출한 계획요소와 기대 가능한 결과를 정리한 내용은 Fig. 2.와 같다. 과밀 공간을 줄이기 위해 사용자별 동선과 공간을 구

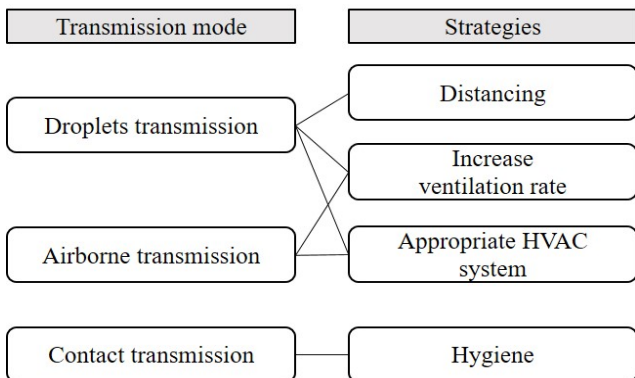


Fig. 1. Strategies for each transmission mode

별해야 한다. 또한, 오염 확률이 높은 공간은 전실을 설치하여 공간을 구분하고 오염 공기의 유출과 확산을 방지할 수 있다. 오염 공기를 제거하기 위해 환기를 자주 하고, 실내공기의 재순환을 금지하여 오염 공기가 확산하지 않도록 해야 한다. 급·배기량의 균형을 맞춰 실내 기류가 발생하지 않도록 해야 한다. 공조설비는 HEPA 필터 또는 UVGI를 설치해 실내 감염균의 농도를 줄인다. 마지막으로, 세면대 또는 손 소독제를 눈에 띄는 곳에 배치하여 개인이 청결한 위생 상태를 유지할 수 있도록 한다.

3. 감염 관련 학교 건축의 특이점 및 현행 국내 학교시설 방역 지침의 한계 고찰

3.1 감염 관련 학교 건축의 특징

1) 학교 공간의 공간 구성상 특징

학교는 학생의 나이, 학생 수, 장소, 상태 등에 따라 교실, 행정실, 식당, 도서관, 체육관, 양호실 등의 다양한 기능의 공간이 모여 있는 시설이다. 학교시설의 공간구성은 크게 ①학생들이 일반적으로 수업 듣는 일반 교실, ②음악실, 미술실, 과학실험실과 같은 특별 교과 교실, ③행정 기능을 담당하는 교무실과 행정실, ④전 학년이 교과와 상관없이 함께 쓰는 도서실, 식당과 같은 공용공간으로 나눌 수 있다. 학교시설에서 학생들은 학년에 따라 4시간부터 8시간까지 머물며 대부분 시간은 일반 교실에서 보낸다. 초등학교 저학년의 경우 학생의 이동 없이 일반 교실에서 모든 교과를 학습하는 종합교실형으로 운영하고, 고학년의 경우 전용 학급교실을 두고 특정 교과를 위해 이동하는 일반교실+특별교실형으로 운영하는 것이 일반적이다. 2003년 이후 계획된 초등학교의 공간구성과 동선 관계를 조사했을 때, 저학년과 고학년의 일반 교실을 구분하지 않고 배치하고, 특별교실만을 특정 구역에 집중적으로 배치했을 경우 복잡한 동선 관계가 비교적 많이 발생했다. 명확한 동선 관계는 행정 부분과 특별교실을 하나의 공간에 구획하고, 일반 교실을 저학년과 고학년으로 나누어 배치했을 때 생겼다. 또한, 출입구와 시설 출입구가 멀리 떨어져

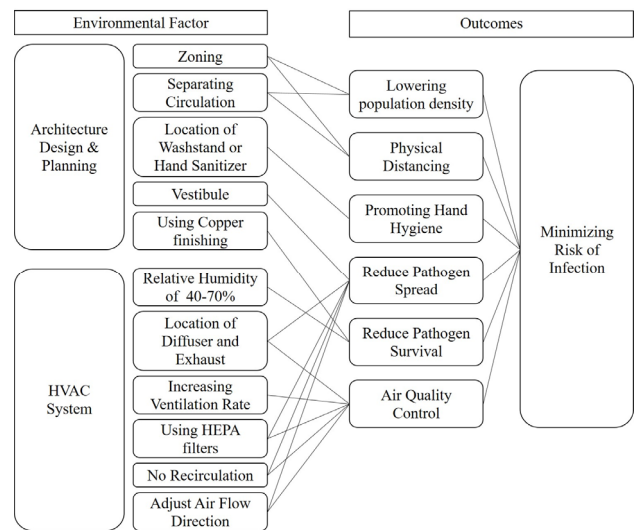


Fig. 2. Environmental factors to control infection

있으면 접근성은 떨어지지만, 동선에 의한 혼잡함은 발생하지 않는다[43]. 동선이 혼잡할 경우, 감염확산이 쉬운 과밀화 환경의 가능성이 있으므로 기능별 공간의 배치를 통해 동선을 명확하게 한다.

2) 교실 공간의 배치 계획적 특징

일반적으로 학교 교실은 4개의 벽면으로 둘러싸인 사각형의 모습으로 교사들의 교수 공간, 학생 좌석이 교실 공간의 대부분을 차지하고 있으며 그 외로 학생 사물함, 청소도구함과 쓰레기통이 있는 위생 공간이 있다. 한쪽 면은 창이 나 있고, 출입문은 앞, 뒤로 하나씩 있으며 8.1m×8.1m, 9.0m×7.5m와 같은 규격으로 65㎡~70㎡의 면적을 가지고 있다. 학생 수 21~30명 학급 대다수가 Fig. 3.(a)와 같이 2인 병렬로 책상을 배치하고 그룹학습을 위해 Fig. 3.(b)와 같이 책상을 배치할 때도 있었다[44]. 교실 앞은 교사 공간으로, 교사용 책상과 칠판이 배치되어 있으며 뒤쪽으로는 학생 사물함, 청소도구함이 일반적으로 배치되어 있다. 개인 사물함은 교실 뒤에 집중적으로 배치되어 있어 수업시간 전, 후로 사물함 사용하는 학생들이 밀집할 수도 있다.

학생 간 거리를 확보하기 위해 1인 병렬형으로 책상을 배치하고 개인 사물함을 분산 배치하여 특정 공간에 학생들이 밀집하는 것을 방지할 수 있다. 국내 초등학교의 한 학급당 평균 학생 수는 2020년 기준 21.8명[45]으로 1인당 약 3㎡의 교실 바닥 면적을 가진다. 이는 교실 앞 교수 공간을 포함한 면적으로, 학생 좌석 공간만을 포함했을 때는 더 작은 1인당 면적을 가진다. 따라서, 감염확산을 최소화하기 위해 학급당 인원을 줄여 더 넓은 1인당 기준 면적을 적용해야 할 것이다.

3) 학교 실내공기 환경 특징

교실의 실내 열·공기 환경을 조사했을 때, 교실 내 이산화탄소의 농도는 개구부의 개방과 채실자의 수와 관련 있음을 확인했다. 교실 창이 20분 정도 개방되었을 때 실내 이산화탄소의 농도가 낮아졌지만, 창을 닫고 수업을 진행함에 따라 이산화탄소의 농도가 증가했다[46]. 학교 실내공기 중 세균의 농도는 수업시간에는 교실이 더 높고 점심시간에는 복도에서 더 높아, 학급에 머무는 학생 수와 함께 학생의 활동과 관계가 있음을 확인할 수 있었다[47]. 초등학교는 다른 나이에 비해 활동량이 더 많으므로 적절한 환기 없이는 실내 환경에서의 세균 농도와 이산화탄소 농도가 더 높을 것으로 보인다. 오염된 실내공기를 제거하고 신선한 외부 공기의 공급을 위해 쉬는 시간을 이용하여 10분 이상 환기를 할 수 있도록 해야 한다.

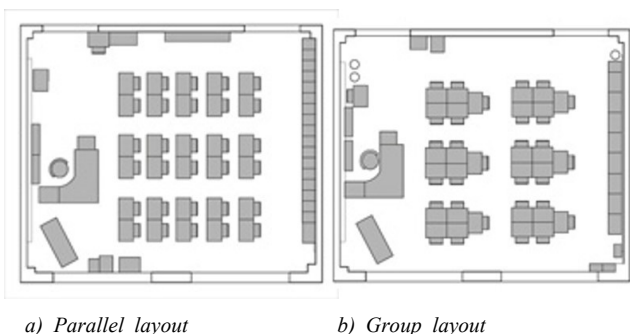


Fig. 3. Typical classroom layouts[44]

3.2 현 학교시설 방역 지침의 한계

2장에서 살펴본 바와 같이 감염확산을 최소화하기 위한 다양한 디자인 전략이 있지만, 이러한 전략을 포함한 지침이 별도로 없어 디자인 과정에서 반영하지 못하고 있다. 현재 코로나 19와 관련해서 교육부에서 배포한 ‘유·초·중등 및 특수학교 코로나 19 감염 예방관리 안내’[48]에 따르면, 학생 간 최대한 거리를 확보할 수 있도록 책상을 배치할 것을 제시한다. Fig. 3.(b)와 같은 모둠 좌석 배치를 금지하고 있지만, 학생 간 거리와 방향과 같은 배치에 대한 상세내용은 빠져 있다. AIA(미국 건축가 협회)에서는 교실 내 필수적이지 않은 가구들은 제거하고 학급당 학생 수를 줄여 1인당 소요면적을 약 3㎡에서 6㎡로 증가한 교실의 계획안을 Fig. 4.와 같이 제안한다[49]. 그러나 미국과 한국의 교육 과정과 시설이 다르므로 해당 배치안의 적용 여부에 대해서는 고찰이 더 필요하다.

교육부의 지침에서는 교실 입실 전과 점심시간 식당 이동 시 발열 검사를 위한 동선을 지정하도록 안내하고 있으나 그 외의 교내 동선 계획에 대한 지침은 없다. 또한, 학생들의 위생관리를 위해 화장실 내 세면대에 손세척제와 종이타월을 충분히 비치할 것을 안내하고 있지만, 그 외 장소에 손세척제 비치에 관해서는 상세한 내용이 부족하다.

코로나 19 의심증상자가 발생했을 때 임시 격리를 위한 별도의 공간에 대해 층간 이동을 최소화한 1층에 마련할 것을 제안한다. 학생 감염병 매뉴얼은 일시적 관찰실 설치 시 권장 위치, 침상과 가림막의 개수를 제안하지만[50], 그 외 상세한 계획안은 부족한 것으로 보인다.

국내 기후의 특성상 냉난방기의 사용이 불가피하다. 교육부의 지침에서는 냉난방기 사용 전후로 30분 이상 창문을 개방하여 오염물질을 제거할 수 있도록 권고한다. 냉난방기 사용 시에는 쉬는 시간, 점심시간마다 겨울철 3분, 여름철 10분 이상 벽과 창문을 개방하여 환기하도록 하고 있다. 또한, 오염원의 확산을 최소화하기 위해 바람의 세기는 최소한으로, 바람의 방향은 천장 또는 벽으로 향할 수 있도록 한다.

본 절에서 살펴본 바와 같이, 교육청의 지침은 행정적인 통제와 개인 방역을 위주로 지침이 작성되었으며 많은 부분 학교의 상황과 재량에 따라 적용해야 할 것으로 보인다. 해외의 가이드라인은 교실 내 좌석 배치 등 상세한 지침을 제안하지만, 교육 시스템의 차이로 인해 적용하기에는 한계가 있다. 이를 보완한 학교시설 디자인의 요구기준을 다음 장에서 제시하고자 한다.

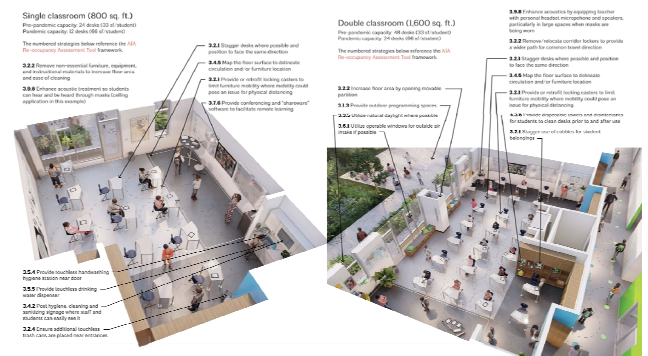


Fig. 4. AIA's guideline for classroom[49]

4. 감염병 확산 최소화를 위한 학교시설의 디자인 요구기준

2장에서 도출한 감염 예방을 위한 계획요소를 바탕으로 기존의 지침을 보완하여 감염병 확산 최소화를 위한 학교시설의 디자인 요구기준을 공간별로 다음과 같이 제시하였다.

4.1 출입구 및 공용공간

- (1) 공용공간의 동선은 한 방향으로 이용할 수 있도록 명확하게 방향을 표시한다.
- (2) 시설 내 감염원의 유입을 막기 위해 출입구에 발열 체크를 위한 공간을 확보한다.
- (3) 입구의 방역공간 및 대기 공간은 개인 간 거리가 2m 이상 유지될 수 있도록 확보하고 야외에 마련할 시 날씨 변화에 대응할 수 있도록 캐노피 등을 설치한다.
- (4) 외부인원의 출입을 금지하고 필요한 경우는 후문 등 별도의 출입문을 사용한다. (Fig. 5.(a))
- (5) 순환 동선과 출입구 사이 물리적 거리를 확보하여 사람들이 밀집하지 않도록 한다.
- (6) 입구와 복도 사이 에어커튼 등을 설치해 공간을 구분하고 오염 공기의 확산을 줄인다. (Fig. 5.(b))
- (6) 건물의 출구와 입구를 분리하고 한 방향으로 출입할 수 있도록 동선을 계획한다.
- (7) 출입문의 경우 비접촉식으로 여단을 수 있는 구조로 한다. 접촉식이면 문손잡이에 산화구리 처리를 하고 위생관리에 주의한다. 주 출입구와 1층 로비는 가장 많은 사람이 사용하는 공간으로 순환 동선과 거리가 있지 않으면 과밀화가 발생하기 쉬운 공간이다 [19]. 동선이 겹치고 공간 구획이 안 되어 있을수록 과밀화가 발생하기 쉬워 감염의 위험이 커지기 때문에 공간을 구획하거나 동선을 분리하여 감염확산의 확률을 줄일 수 있다[20].

4.2 일반교실

교실은 학생들이 학교에서 제일 오랜 시간을 보내는 곳으로 적절한 조치가 이뤄지지 않으면 감염확산의 위험이 큰 장소이다. 국내에서는 AIA에서 제시한 바와 같이 학생들 간 1.8미터의 거리를 두는 것은 현실적으로 어려움이 있다. Fig. 6.과 같이 학생 간 간격을 1m 했을 때 8.1m×8.1m의 교실에는 최대 20명이 일렬 병렬식으로 앉

- 을 수 있다. 교실에서의 감염확산 최소화를 위한 방안은 다음과 같다.
- (1) 한 교실당 인원은 20명 이상이 되지 않도록 한다.
- (2) 학생 간 거리가 1.0m 이상이 되도록 책상을 배치한다. (Fig. 6.)
- (3) 투명 가림막을 책상에 설치하여 비밀의 확산을 차단한다.
- (4) 교실의 출구와 입구를 별도로 두고 동선을 한 방향으로 명확하게 표시한다.
- (5) 출입문의 경우 비접촉식으로 여단을 수 있는 구조로 한다. 접촉식이면 문손잡이에 산화구리 처리를 하고 위생관리에 주의한다.
- (6) 출입구와 교실 내 동선 사이 물리적 거리를 확보한다.
- (7) 위생관리가 쉽도록 입구 근처 손 소독제 혹은 세면대를 눈에 띄는 곳에 설치한다.
- (8) 개인 사물함은 분산 배치하여 학생들이 한 공간에 밀집하지 않도록 한다.
- (9) 뚜껑이 있는 쓰레기통을 사용하거나 학생 개인 쓰레기통을 사용하도록 한다.
- (10) 쉬는 시간마다 최소 10분 이상 교실의 문과 창문을 전부 개방하여 환기하도록 한다.
- (11) 교과 교실은 분산하여 동선이 겹치지 않게 배치한다. (Fig. 7.) 교내 감염이 최소로만 발생했던 사례들을 보면 동선 관리, 필터

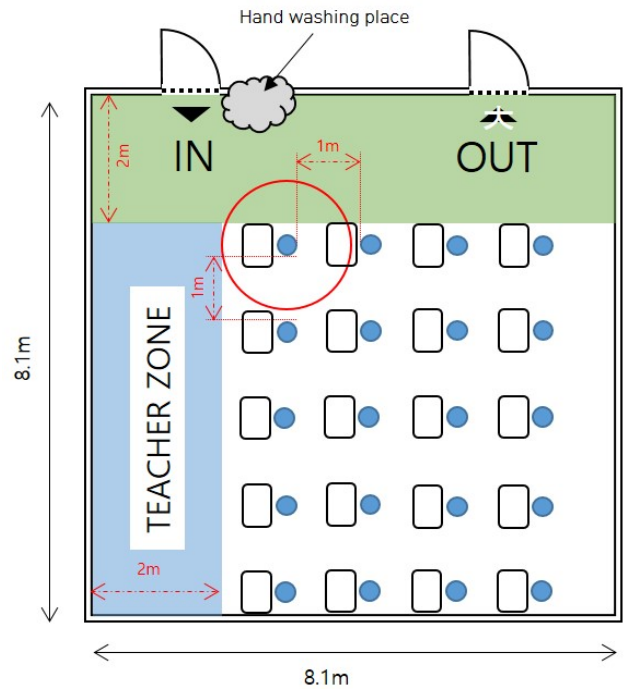
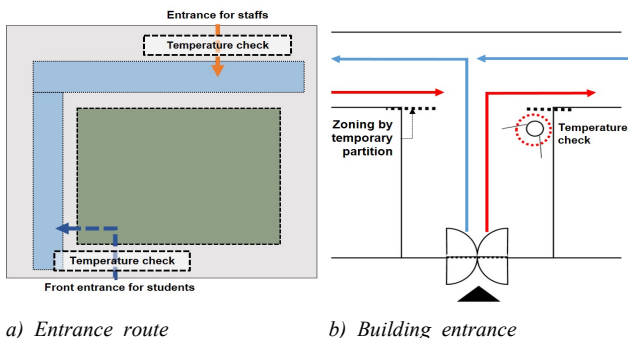


Fig. 6. Desk arrangement in a classroom



a) Entrance route
b) Building entrance
Fig. 5. Site & building entrance

3F	Special classroom	General classroom	General classroom	Special classroom
2F	Special classroom	General classroom	General classroom	Special classroom
1F	Admin office			Nurse's office

Fig. 7. Arrangement of rooms

사용 등 다른 예방책을 함께 했을 때 학생들 간의 1m 이상만 되어도 집단감염 예방에 효과가 있음을 볼 수 있다[10], [11], [51]. 손의 위생관리는 손세척제나 세면대가 눈에 보일 때 이행하기 쉬우므로 교실 내 눈에 띄는 곳에 설치하도록 한다[28]. 알코올 기반 손세척제는 눈에 들어가면 실명 등의 피해가 있으므로 설치 높이를 조정하거나 세면대와 비누의 사용을 권장한다.

4.3 식당

식당의 경우 마스크를 벗어야 하고 다수의 인원이 밀집하기 때문에 감염확산의 위험이 큰 장소이다. AIA(미국 건축가 협회)는 야외에서 식사하거나 식당을 교실로 재정비하고 교실 내에서 소규모로 식사하는 것을 권장하지만 단체 급식이 중심인 한국에서 적용하기에 한계가 있다. 국내 초등학교의 단체 급식을 위한 교내 식당에서의 감염 최소화 방안은 다음과 같다.

- (1) 식사 전 손을 씻을 수 있게 식당 입구에 손 소독제나 세면대를 설치한다.
- (2) 급식을 위한 대기 줄은 개인 간 거리를 확보할 수 있도록 명확하게 표시한다 (Fig. 8.(a)).
- (3) 마주 보고 식사를 하지 않도록 좌석을 배치한다. (Fig. 8.(b))
- (4) 좌석마다 가림막을 설치한다. (Fig. 8.(b))
- (5) 실내 형성된 기류를 타고 비말이 2m 이상 확산할 수 있으므로 사전에 실내 기류의 흐름을 확인하여 좌석을 배치한다.

4.4 교무실 및 행정실

- (1) 가구들은 한 방향만 면하게 배치하고 좌석 사이 가림막을 설치한다.
- (2) 입구와 출구를 별개로 두고 이동 동선은 한 방향으로 할 수 있도록 한다.
- (3) 교무실과 행정실의 출입 인원을 제한하고 외부인원이 방문하



a) Distancing marker b) Seating arrangement
Fig. 8. Distancing in cafeteria[52]

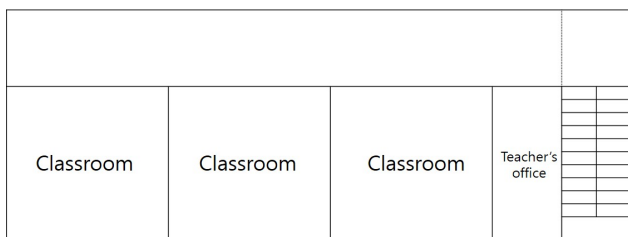


Fig. 9. Location of teachers' office

는 경우 별도의 공간에서 만날 수 있도록 한다.

- (4) 회의실에 다수의 인원이 모일 때를 대비해 회의실은 창문을 열 수 있는 공간으로 한다.
- (5) 교사의 동선 길이를 줄이기 위해 교무실과 별도로 Fig. 9.와 같이 교원 연구실을 교실 부근에 배치한다.

4.5 화장실

다수가 사용하는 공용화장실은 오염표면 접촉으로 인한 감염이 확산할 위험이 있다.

- (1) 세면대 수전, 비누 펌프, 대변기 세척 밸브 등을 접촉식이 아닌 감지식으로 설치한다.
- (2) 대변기의 뚜껑을 덮고 물을 내릴 수 있도록 안내판을 설치한다.
- (3) 화장실의 문은 자동문으로 설치하고 화장실 사용 전후로 손을 씻도록 안내한다.
- (4) 화장실 내 많은 인원이 밀집하지 않도록 사용 인원수를 제한하고 화장실 사용 대기 줄이 생기면 물리적 거리를 확보할 수 있도록 대기 줄의 위치와 간격을 표시한다.
- (5) 사람들이 특정 화장실에 밀집되지 않도록 구역마다 이용하는 화장실을 지정하고 명확하게 알아볼 수 있는 표지판을 설치한다.

4.6 격리공간

의심증상이 있는 사람들을 격리할 수 있는 공간이 학교 내에 필요하다.

- (1) 격리공간은 이송이 쉽도록 교사 외부에 위치하도록 한다.
- (2) 격리공간 내 병상 간의 거리를 충분히 확보한다.
- (3) 병상 간 커튼을 설치하여 감염확산의 가능성을 줄이고 사생활을 보호한다.
- (4) 격리공간은 전실을 설치해 감염확산의 가능성을 줄인다.

4.7 공통 HVAC 시스템

- (1) 실내공기의 재순환을 금지한다.
- (2) 냉난방기 사용 전후 30분은 창을 개방하여 실내 오염물질을 제거한다.
- (3) 실내 환경에서 기류가 흐르지 않도록 하고 불가피한 경우 오염의 가능성이 낮은 곳에서 높은 곳으로 흐를 수 있도록 계획한다.
- (4) 사람들이 많이 모이는 공간인 로비 및 복도의 공기가 다른 공간으로 확산하지 않도록 계획한다.
- (5) 쾌적한 실내 환경을 위해 실내 온도 18~28℃(난방 18~20℃, 냉방 26~28℃), 상대습도 30~80%를 유지한다[53].
- (6) 공조시스템에 MERV 8~13 또는 HEPA 필터를 설치하여 오염원을 최대한 제거할 수 있도록 한다.

5. 결론 및 제언

본 연구는 감염확산을 최소화할 수 있는 학교시설 디자인의 요구사항을 제시하는 것을 목적으로 먼저 감염과 관련한 선행연구를 통해 환경요소와 설계 전략을 도출했다. 다음으로, 감염과 관련한 학

교의 특징들을 건물 구성과 동선체계, 교실 공간구성, 실내 환경의 방면으로 알아보았다. 현재 학교에서 이루어지고 있는 예방책의 경우 행정적 통제와 개인위생 차원의 대책이 대다수이며, 이를 보완한 디자인 고려사항들은 다음과 같다.

첫째, 시설 내 감염원 유입의 방지를 위해 시설 사용자와 외부자의 동선을 분리하고 모든 출입구에서 발열 검사를 할 수 있는 공간을 마련한다. 시설 출입 시 적절한 방역, 소독 조치를 한다.

둘째, 물리적 거리를 확보하여 밀집 환경을 최소화하기 위하여 일정 학급 수마다 사용 공간을 구획한다. 교실 내 책상과 같은 가구는 학생들 간 거리가 1m 이상 확보될 수 있도록 설치하고 한 학급 내 인원을 20명 이하로 조정한다. 줄을 서야 하는 경우 2m 이상 거리를 둘 수 있도록 바닥에 간격을 표시하거나 안내판을 설치한다.

셋째, 청결 유지가 쉬운 환경을 제공하기 위해 모든 손이 닿는 곳의 표면 마감은 청소, 소독이 쉽게 한다. 또한, 눈에 잘 띄는 곳에 세면대 또는 손 소독제를 설치하여 자주 이용하도록 한다.

넷째, 환기를 자주 하고 기류의 방향이 오염 가능성이 적은 곳에서 높은 곳으로 흐를 수 있게 한다. 공기청정기 사용이 가능하다면 HEPA 필터 이상을 사용한다.

국내 초등학교의 대다수는 규정에서 요구한 최소 규모 단위에 맞춰 설계되어 있어 코로나 19와 같은 상황에 가변적으로 대응하기가 어려운 실정이다. 코로나 19의 전 세계적 유행이 시작한 지 1년이 넘었으나 아직 이와 관련하여 국내 학교시설 내 감염 예방을 위한 건축적 대응방안은 미비하다. 본 연구는 감염 예방을 고려한 학교시설의 디자인을 위한 탐색적 연구로서, 구체적 설계 전략과 활용방안을 보완해 추후 감염병으로부터 안전한 학교시설을 계획할 수 있을 것이다.

Reference

- [1] 질병관리청, 코로나바이러스감염증-19 국내 발생현황, <http://ncov.mohw.go.kr>, 2021.04.28. // (Central Disease Control, Cases of COVID-19 in Korea., <http://ncov.mohw.go.kr>, 2021.04.28.)
- [2] 최수환 외 4인, 소아청소년 코로나바이러스감염증-19: 역학과 임상 양상, *Pediatr Infect Vaccine*, 제27권 제1호, 2020, pp.11-23. // (S.H. Choi et al., Epidemiology and Clinical Features of Coronavirus disease 2019 in Children, *Pediatr Infect Vaccine*, 27(1), 2020, pp.11-23.)
- [3] 박미희, 코로나 19 시대의 교육격차 실태와 교육의 과제, *교육사회학연구*, 제30권 제4호, 2020, pp.113-145. // (M.H. Park, A study on the current situation and challenges of the educational gap in the Context of COVID-19: A Case Study of Gyeonggi Province, *Korean Journal of Sociology of Education*, 30(4), 2020, pp.113-145.)
- [4] 아동권리보장원, 코로나19와 아동의 삶 설문조사 보고서, <http://www.ncrc.or.kr>, 2021.04.28. // (National Center for the Rights of the Child, COVID-19 and Children Research Report, <http://www.ncrc.or.kr>, 2021.04.28.)
- [5] 교육부, 교육분야 코로나 19 현황자료, <https://moe.go.kr>, 2021.05.06. // (Ministry of Education, COVID-19 status in the educational field, <https://moe.go.kr>, 2021.05.06.)
- [6] T. Dbouk, D. Drikakis, On coughing and airborne droplet transmission to humans, *Physics of Fluids*, 32(5), 2020, pp.053310.
- [7] J. Lu et al., COVID-19 outbreak associated with air conditioning in restaurant, Guangzhou, China, *Emerging Infectious Diseases*, 26(7), 2020, pp.1628-1631.
- [8] K.S. Kwon et al., Evidence of long-distance droplet transmission of SARS-CoV-2 by direct air flow in a restaurant in Korea, *Journal of Korean Medical Science*, 35(46), 2020, e415
- [9] S.Y. Park et al., Coronavirus disease outbreak in call center, South Korea, *Emerging Infectious Diseases*, 26(8), 2020, pp.1666-1670.
- [10] A. Falk et al., COVID-19 Cases and transmission in 17 K-12 schools — Wood County, Wisconsin, August 31–November 29, 2020, *Morbidity and Mortality Weekly Report*, 70(4), 2021, pp.136-140.
- [11] K. Volpp et al., Minimal SARS-CoV-2 transmission after implementation of a comprehensive mitigation strategy at a school — New Jersey, August 20–November 27, 2020. *Morbidity and Mortality Weekly Report*, 70(11), 2021, pp.377-381.
- [12] S. Chen et al., A large COVID-19 outbreak in a high school 10 days after schools' reopening, Israel, May 2020, *Euro Surveill*, 25(29), 2020, pp.2001352.
- [13] T. Wong et al., Cluster of SARS among medical students exposed to single patient, Hong Kong. *Emerging infectious diseases*, 10(2), 2004, pp.269-276.
- [14] L. Hung, The SARS epidemic in Hong Kong: what lessons have we learned?, *Journal of the Royal Society of Medicine*, 96(8), 2003, pp.374-378.
- [15] L. Yu et al. Evidence of airborne transmission of the severe acute respiratory syndrome virus, *The New England Journal of Medicine*, 350(17), 2004, pp.1731-1739.
- [16] M. Denton et al., Role of environmental cleaning in controlling an outbreak of *Acinetobacter baumannii* on a neurosurgical intensive care unit, *Journal of Hospital Infection*, 56(2), 2004, pp.106-110.
- [17] H. Wu et al., A norovirus outbreak at a long-term-care facility: the role of environmental surface contamination, *Infect Control & Hospital Epidemiology*, 26(10), 2005, pp.802-810.
- [18] W. Chin et al., Stability of SARS-CoV-2 in different environmental conditions, *The Lancet Microbe*, 1(1), 2020, pp. 145
- [19] 오은혜, 권지훈, 외래 진료부의 통행 밀도와 병원 내 감염의 관계에 관한 연구, *한국디자인학회지*, 제30권 제4호, 2017, pp.189-202. // (E.H. Oh, J.H. Kwon, A study on the relation between traffic density in the outpatient department and infections in hospital. *Archives of Design Research*, 30(4), 2017, pp.189-202.)
- [20] 김서영, 권지훈, 종합병원 입원실 층에서의 감염원 전파의 공간적 취약성에 관한 연구, *한국디자인학회지*, 제31권 제2호, 2018, pp.133-153. // (S.Y. Kim, J.H. Kwon, A Study on the spatial vulnerability of spreading the sources of infection in the inpatient units of general hospitals. *Archives of Design Research*, 31(2), 2018, pp.133-153.)
- [21] 김서영, 권지훈, 종합병원 산부인과 내 감염에 취약한 공간의 행위자 기반 분석 연구, *디지털디자인학회지*, 제17권 제2호, 2017, pp.104-114. // (S.Y. Kim, J.H. Kwon, An agent-based analysis study on maternity clinical space vulnerable to hospital infection, *Journal of Digital Design*, 17(2), 2017, pp.104-114.)
- [22] 권순정, 성민기, 음압격리병실에 있어서 단계별 공간구성의 격리효과, *의료복지 건축:한국의료복지건축학회 논문집*, 제22권 제4호, 2016, pp. 79-86. // (S.J. Kwon, M.K. Sung, Isolation effectiveness by progressive space organization in negative pressured isolation unit, *Journal of the Korea Institute of Healthcare Architecture*, 22(4), 2016, pp.79-86.)
- [23] 정민지, 홍진관, 교차감염 예방을 위한 전실 유무에 따른 음압병실에서의 입자 유출 해석, *설비공학 논문집*, 제31권 제3호, 2019, pp.99-108. // (M.J. Jung, J.K. Hong, A numerical study on particle migration for prevention of cross-infection in negative pressure isolation room according to the presence of anteroom, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, 31(3), 2019, pp.99-108.)
- [24] N. Doremalen et al., Aerosol and surface stability of SARS-CoV-2 as compared with SARS-CoV-1, *New England Journal Medicine*, 382(16), 2020, pp.1564-1567.
- [25] 김종범 외 5인, 금속표면이 항생제 내성균주의 생육억제에 미치는 영향, *대한입상미생물학회지*, 제21권 제4호, 2018, pp.80-85. // (J.B. Kim et al., Inhibitory effect of metal surface on the antimicrobial resistance microorganism, *Annals of Clinical Microbiology*, 21(4), 2018, pp.80-85.)
- [26] P. Marik, S. Shankaran, L. King, The effect of copper-oxide-treated soft and hard surfaces on the incidence of healthcare-associated infections: a two-phase study. *Journal of Hospital Infection*, 105(2), 2020, pp.265-271.
- [27] 한미희, 최소은, 요양병원 간병 인력의 손 위생 이행의도에 영향을 미치는 요인, *지역사회간호학회지*, 제31권 제3호, 2020, pp.357-383. // (M.H. Han, S.E. Choi, Factors influencing care workers' intention of implementing hand hygiene in long-term care hospitals. *Journal of Korean Academy of Community Health Nursing*, 31(3), 2020, pp.375-383.)

- [28] A. Tamimi et al., Impact of an alcohol-based hand sanitizer intervention on the spread of viruses in homes, *Food Environmental Virology*, 6(2), 2014, pp.140-144.
- [29] RHEVA, COVID-19 guidance document, <http://www.rehva.eu>, 2020.09.09
- [30] S. Hoehl et al., Assessment of SARS-CoV-2 transmission on an international flight and among a tourist group, *JAMA Network Open*, 3(8), 2020, pp.18044.
- [31] Y. Sun et al., In China, students in crowded dormitories with a low ventilation rate have more common colds: evidence for airborne transmission, *PLoS ONE*, 6(11), 2011, e27140.
- [32] J. Kurnitski, Ventilation rate and room size effects on infection risk of COVID-19, *RHEVA Journal*, 57(5), 2020, pp.26-31.
- [33] 성민기, 카토신스케, 김종훈, 각종 공조방식이 적용된 병실에 있어서 공기오염의 확산 및 제거, *한국생활환경학회지*, 제19권 제1호, 2012, pp.1-7. // (M.K. Sung, S. Kato, J.H. Kim, Airborne contaminant dispersion in the ward area of a hospital air-conditioned by multi zone VAV systems, *Journal of The Korean Society of Living Environmental System*, 19(1), 2012, pp.1-7.)
- [34] 권순박 외 4인, 실내환기 방식이 재채기 토출입자의 거동특성에 미치는 영향, *한국입자 에어로졸학회지*, 제9권 제2호, 2013, pp.59-67. // (S.B. Kwon et al., Effect of ventilation type on the trajectory of coughed particles in a hospital ward, *Particle and Aerosol Research*, 9(2), 2013, pp.59-67.)
- [35] H. Qian et al., Dispersion of exhalation pollutants in a two-bed hospital ward with a downward ventilation system, *Building and Environment*, 43(3), 2008, pp.344-354.
- [36] 양영권 외 4인, 원내 공기감염 확산 방지를 위한 격리병실의 CFD 해석, *대한건축학회논문집:구조계*, 제33권 제3호, 2017, pp.61-68. // (Y.K. Yang et al., CFD Simulation of the all-room for preventing spread of the air-borne infection in hospital, *Journal of the Architectural Institute of Korea*, 33(3), 2017, pp.61-68.)
- [37] 박정연, 성민기, 이재욱, 수치해석을 이용한 임시대피소 내 공기감염 확산 저감장치의 성능 분석, *의료복지 건축: 한국의료복지건축학회 논문집*, 제21권 제1호, 2015, pp.7-15. // (J.Y. Park, M.K. Sung, J.W. Lee, Numerical analysis of airborne infection control performance of germicidal systems in a temporary shelter, *Journal of the Korea Institute of Healthcare Architecture*, 21(1), 2015, pp.7-15.)
- [38] 이인호, 황정하, 중규모병원 진료부의 평면유형별 에어필터 효율에 따른 공기와 비말 감염균 분포 분석, *한국건축환경설비학회 논문집*, 제14권 제1호, 2020, pp.42-53. // (I.H. Lee, J.H. Hwang, Analysis of air and droplet infectious bacterial distribution by air filter effectiveness in medium-sized hospital, *Journal of Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems*, 14(1), 2020, pp.42-53.)
- [39] 임태섭, 강승모, 김병선, 건축공간에서 공기 감염균 확산을 해석하기 위한 추적가스 고찰과 농도에 따른 감염 위험성 예측 연구, *한국실내디자인학회 논문집*, 제18권 제3호, 2009, pp.102-113. // (T.S. Lim, S.M. Kang, B.S. Kim, A inquiry of tracer gas for analysis of dispersion and prediction of infection possibility according to airborne viral contaminants, *Journal of the Korean Institute of Interior Design*, 18(3), 2009, pp.102-113.)
- [40] Q. Bukhari et al., Effects of weather on coronavirus pandemic, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(5), pp.5399.
- [41] E. Kudo et al., Low ambient humidity impairs barrier function and innate resistance against influenza infection. *PNAS*, 116(22), 2019, pp.10905-10910.
- [42] E. Best, J. Sandoe, M. Wilcox, Potential for aerosolization of *Clostridium difficile* after flushing toilets: the role of toilet lids in reducing environmental contamination risk, *Journal of Hospital Infection*, 80(1), 2012, pp.1-5.
- [43] 김찬주, 김영욱, 초등학교 배치계획의 공간구성적 특성과 공간구조적 특성 비교 연구, *대한건축학회 논문집 - 계획계*, 제24권 제3호, 2008, pp.43-52. // (C.J. Kim, Y.O. Kim, A comparative study on the functional composition & spatial structure of planning method in elementary schools, *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design*, 24(3), 2008, pp.43-52.)
- [44] 석민철, 류호섭, 초등학교 학습공간 재편성을 위한 건축계획적 연구 - 학급교실의 구성 요소 분석, *한국교육시설학회논문집*, 제20권 제1호, 2013, pp.3-14. // (M.C. Suk, H.S. Rieu, Architectural research about re-organization of elementary school learning space - analysis about an integral part of classroom, *Journal of the Korea Institute of Educational Facilities*, 20(1), 2013, pp.3-14.)
- [45] 교육부, 한국교육개발원, *교육통계연보*, <https://kess.vedi.re.kr/>, 2021.04.26. // (Ministry of Education, Korean Educational Development Institute, *Statistical Yearbook of Education*, <https://kess.vedi.re.kr/>, 2021. 04.26.)
- [46] 최윤정 외 4인, 학교교실의 냉방시 실내열공기환경 실태, *한국주거학회논문집*, 제18권 제4호, 2007, pp.49-58. // (Y.J. Choi et al, Present condition of indoor thermal and air environment by cooling in school classrooms, *Journal of the Korean Housing Association*, 18(4), 2007, pp.49-58.)
- [47] 이아미 외 3인, 학교 실내환경에서 공기중 미생물의 분포 및 특성, *미생물학회지*, 제41권 제3호, 2005, pp.188-194. // (A.M. Lee et al, Distribution and characteristics of airborne microorganisms in indoor environment of schools, *Korean Journal of Microbiology*, 41(3), 2005, pp.188-194.)
- [48] 교육부, 유·초·중등 및 특수학교 코로나 19 감염예방 관리 안내[제4판], <http://www.moe.go.kr>, 2021.04.26. // (Ministry of Education, COVID-19 Prevention Management Guide for Kindergarten, Elementary, Secondary and Special Schools [4th ed], <http://www.moe.go.kr>, 2021.04.26.)
- [49] American Institute of Architects, *Reopening America: Strategies for Safer Schools*, <http://aia.org>, 2020.09.09.
- [50] 교육부, *학생 감염병 예방-위기대응 매뉴얼 (제 2차 개정판)*, <http://www.moe.go.kr>, 2021.04.26. // (Ministry of Education, *Infectious Disease Prevention and Crisis Response Manual for Students (2nd ed)*, <http://www.moe.go.kr>, 2021.04.26.)
- [51] R. Hershov et al., Low SARS-CoV-2 Transmission in Elementary Schools — Salt Lake County, Utah, December 3, 2020–January 31, 2021. *Morbidity and Mortality Weekly Report*, 70(12), pp.442-448.
- [52] 대구광역시교육청, *2020학년도 학교급식 우수사례 자료집*, <http://dge.go.kr>, 2021.04.26. // (Daegu Metropolitan Office of Education, *2020 Best Practices for School Meal Service*, <http://dge.go.kr>, 2021.04.26.)
- [53] 교육부, *학교 교사내 환경위생 관리 매뉴얼 (5차 개정안)*, <http://www.moe.go.kr>, 2021.05.20. // (Ministry of Education, *Infectious Environmental Hygiene Management Manual in Schools (5th ed)*, <http://www.moe.go.kr>, 2021.05.20.)