



종합병원내 공기감염 예방을 위한 진료부와 로비공간의 기류 분석

송해은¹ · 원안나¹ · 김성용¹ · 박진철² · 황정하^{3*}

¹경북대학교 건설환경에너지공학부, ²중앙대학교 건축학부, ³경북대학교 건축공학부

Airflow Analysis in Polyclinic and Lobby Space for Prevention of Airborne Infection in General Hospitals

Song, Hae-Eun¹ · Won, An-Na¹ · Kim, Seong-Yong¹ · Park, Jin-Chul² · Hwang, Jung-Ha^{3*}

¹School of Architectural Civil, Environmental and Energy, Kyungpook National University, Daegu, Korea

²Department of Architecture, ChungAng University, Seoul, Korea

³School of Architecture, Kyungpook National University, Daegu, Korea

*Corresponding author: Hwang, Jung-Ha, Tel: +82-53-950-8544, E-mail: peter@knu.ac.kr

ABSTRACT

This study analyzes the types of space in the polyclinic and lobby spaces of hospitals, which are thought to be exposed to secondary airborne infections within hospitals. A hospital, which has space where the human traffic from the polyclinic overlaps with that of the lobby (space type II), was selected as the subject of this study. The air current distribution in the polyclinic and lobby areas are analyzed using the calculation program Star-ccm+. The air current distribution in the existing air-conditioned space is analyzed using T · A · B (Testing, Adjusting, Balancing) measured values. The result proved the possibility of secondary airborne infections caused by mixing of the air currents from the polyclinic and lobby in the upper and middle air layers. Five improvement suggestions in terms of changing the position of air inlets and outlets are proposed in this study. Among them, [ALT-3] the arrangement wherein outlets are placed on the first and third lines and inlets are placed on the second line is expected to significantly reduce the possibility of airborne infections, as the air currents in the lower, middle, and upper layers in the polyclinic and lobby spaces are not intermixed.

주요어 : 공기감염예방, 진료부와 로비공간, 급 · 배기구 위치, 개선안제시

Keywords: Airborne Infection, Polyclinic and Lobby space, air-inlet and outlet position, improvement suggestion

OPEN ACCESS

Journal of KIAEBS 2017 October, 11(5): 453-464

pISSN : 1976-6483

eISSN : 2586-0666

Received: June 2, 2017

Revised: October 11, 2017

Accepted: October 27, 2017

© 2017 Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems.



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

서론

연구의 목적

최근 2003년 중증급성호흡기증후군(Severe Acute Respiratory Syndrome)과, 2009년 신종 인플루엔자 A (H1N1)발생을 비롯하여, 2015년 5월 국내에 전파된 중동호흡기증후군

(Middle East Respiratory Syndrome, 이하 메르스(MERS)등 공기를 매체¹⁾로 한 감염피해가 꾸준히 발생하고 있다. 특히, 2015년 국내의 감염환자 186명중 38명의 사상자가 발생한 MERS의 경우, 총감염환자 절반에 가까운 90명의 환자가 특정한 병원에서 발생하여, 병원내 공기감염에 대한 우려가 확산되었다. 근접접촉에 의하여 발생 확률이 높아지는 공기매체감염의 경우, 치료를 목적으로 내원하는 감염환자와 접촉이 타시설에 비하여 병원에서 빈번하게 발생하게 된다. 외국도 병원내 감염빈도가 증가하고 있으며, 이에 대한 대책마련의 연구가 이루어지고 있다. 국내도 병원의 2차감염 예방을 위하여 의료시설의 공조설비에 대한 공간조닝과 공조설비장치 개선 등이 이루어지고 있는 실정이다.

그러나 이러한 개선은 병원내 다인실의 축소와 입원공간의 분리등에 치우쳐 있어, 감염환자가 확진 전, 비감염환자와 접촉하는 병원내 진료부와 로비공간의 개선에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

따라서, 본 연구는 감염환자가 확진을 받기 전 비감염환자와 동선이 교차되는 병원내 진료부와 로비공간을 대상으로 내원자의 동선을 파악하고, 냉난방 공조기의 급·배기구 설치위치 변화에 따른 실내기류분포를 분석하였다. 또한 기류혼합을 기류방향성에 따라 도표화하여 향후, 병원내 냉난방 공조기 설치시, 감염된 공기의 확산방지를 위한 기초자료로 활용하고자 한다.

연구의 방법 및 범위

본 연구는 국내 병원의 자료조사를 통하여 종합병원의 공간구성을 분석하고, 중앙공급식 냉난방 공조설비를 갖춘 진료부 가운데 2차 공기감염 발생이 우려되는 진료부와 로비공간을 연구대상으로 설정하여 CFD수치계산을 통한 기류분포를 분석한 연구로 방법 및 범위는 다음과 같다.

- (1) 국내 상급종합병원의 병상수를 문헌을 통하여 조사한 후, 500병상 이상의 종합병원 10개소를 선정하여, 진료부와 로비공간에 대한 공간구성을 분석하였다.
- (2) 공간구성에 따라 진료부와 로비공간의 동선이 분리되는 유형(I)과 동선이 교차되는 유형(II)로 구분한 후, 진료부에 대하여 공기감염에 취약할 것으로 예상되는 유형(II)를 연구대상으로 선정하였으며, 유형(II)에 해당하는 M병원을 분석대상 건축물로 선정하였다.
- (3) M병원에 대한 기존 공조상태를 파악하기 위하여, 진료부와 로비공간에 대한 공조설비 시스템의 구성과 운용실태를 조사하고, 이를 입력조건으로 하여 Star-ccm+, Ver 11.06를 이용한 기류분석을 실시하였다.
- (4) 진료부에 대한 2차감염 발생을 최소화 하기 위하여 로비공간의 공조설비 급·배기구 위치를 변화하는 개선안을 제시한 후, 이에 대한 기류분포를 분석하였다.

1) 메르스(MERS) 등은 비말형감염으로 분류되나, 2015년 한국의 광범위한 감염환자 발생으로 근접접촉에 의한 공기매체감염의 여지가 있는 것으로 판단됨

대상건축물 선정과 수치계산 조건

기존 병원의 진료부와 로비공간의 실태조사

대상 건축물을 선정하기 위하여 보건복지부에서 지정한 상급종합병원과 종합병원을 Figure 1과 같이 분류하였다. 2017년 2월기준 상급종합병원은 전국 43개소이고, 종합병원은 345개소임을 알 수 있었다.²⁾ 이 가운데 1,000병상 미만의 종합병원 5개소, 2,000병상 미만의 종합병원 4개소, 2,000병상 이상의 종합병원 1개소를 포함한 총 10개소의 종합병원을 선정 하여 이에 대한 진료부와 로비공간 구성을 분석하였다.

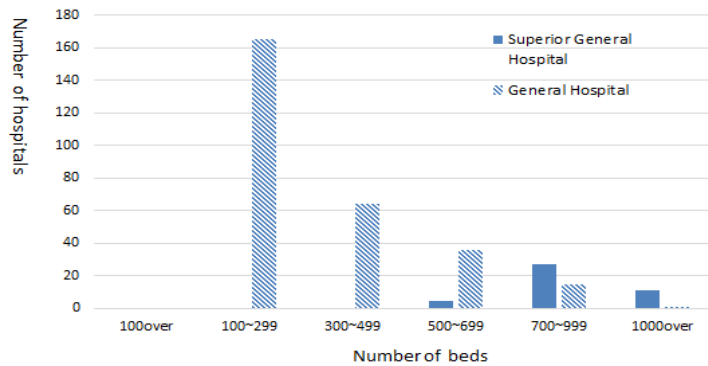


Figure 1. Number of beds in premium general hospital designated by Korea Ministry of Health and Welfare (as of February 2017)

병원 진료부와 로비공간의 구성

종합병원내 진료부와 로비공간의 공간구성은 크게 2가지 유형으로 분류된다. Figure 2와 같이 유형(I)은 진료부와 로비공간이 서로 다른 동선을 사용하는 경우이며, 유형(II)는 진료부의 동선과 로비공간의 동선이 겹쳐지는 경우로 확진 전, 공기감염 환자가 로비공간 내에 머물게 될 경우 2차 공기감염이 발생할 수 있는 가능성이 높아진다. 조사된 10개소 종합병원 가운데 유형(I)은 4개소, 유형(II)는 6개소로 분류되었다.

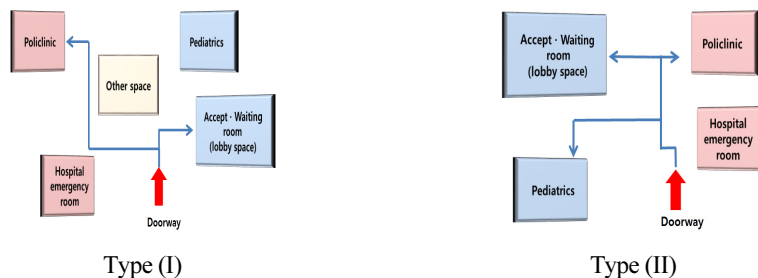


Figure 2. Circulation characteristics in the polyclinic and the lobby space

2) 대한병원협회 의료기관위치정보시스템 참고

유형(II) 가운데 대상 건축물로 선정된 M병원³⁾의 1층 평면은 Figure 3과 같이 총 4개 (A~D)의 조닝으로 이루어져 있으며, 조닝D 부분이 로비공간, 조닝 B와 C는 진료부로 구분되어 있다.

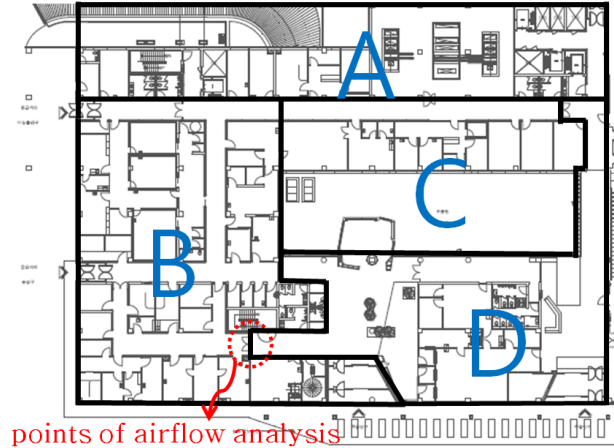


Figure 3. Floor plan of 1st floor of target building

Table 1. Areas and air volumes of main rooms in first floor

	Space configuration	Area (m ²)	Air volume (CMH)	
			S: air-inlet	R: outlet
B	Consulting room (1)	24	S: 560 / R: 560	
	Consulting room (2)	24	S: 450 / R: 430	
	Accept · Nurse room	33	S: 430 / R: 1360	
	Waiting room	24.4	S: 430 / R: 530	
C	Polyclinic (1)	23.4	S: 430	
	Polyclinic (2)	23.4	S: 450	
	General clinical examination room	58.5	S: 980	
	Waiting room	24	S: 260 / R: 310	
	Doctor room	32.4	S: 450 / R: 350	
	Clinical laboratory	24	S: 630 / R: 630	
	Nurse room	24	S: 220 / R: 220	
D	Lobby & Corridor	388	S: 2660 / R: 1360	

건축물의 규모는 354병상으로 7층이며, 1층의 층고는 5.4m이다. 진료부에 대한 공간구성은 의사실(약 29.4 m²) -2개, 진찰실(약 72 m²) -3개, 진료실(약 48 m²) -2개로 구성되어 있으며, 검사실은 일반검사실(약 58.5 m²) -1개, 임상심리검사실(약 24 m²) -1개, 일반촬영실(약 56.7 m²) -2개실로 구분되어 있다. 또한 환자들이 진료실에 들어가기 전의 대기실은(19.53 m²)와(49 m²) -2개의 실로 구성되어 있다. 조닝별 공간구성과 면적 및 풍량은 Table 1과 같으며, 급·배기구의 풍량은 TAB⁴⁾ 측정값을 근거로 설정하였다.

3) M병원, 2017년 준공

4) TAB보고서, 2017년 4월 작성

대상 건축물의 기류분석

수치해석 경계조건

기류분석은 수치해석 프로그램인 Star-ccm+, Ver 11.06을 사용하였으며, 정확성을 높이기 위하여 격자(Mesh) 형태를 0.5 m 간격으로 공간내 세밀한 분석이 가능한 Trim을 사용하였으며, 경계조건은 Table 2와 같다.

Table 2. Boundary conditions of numerical analysis

Condition	Content
Mesh	Trim, Surface Remesher, Prism Layer Mesher
Mesh Size	0.5 m
Inlet	Stagnation Inlet, Mass Flow Inlet, Velocity Inlet
Outlet	Pressure Outlet
Temperature	26°C
Physics	Gas, Ideal gas, Cell Quality Remediation, Realizable K-Epsilon Two-Layer, Segregated Flow, Reynolds-Averaged Navier-Stokes, Two Layer All y+ Wall Treatment, Turbulent, Constant Density, Steady, Gradient, Three Dimensional, K-Epsilon Turbulent

기류분석점

대상 건축물의 진료부와 로비공간에 대한 기류분석은 진료부인 조닝B와 내원자들이 단기간 체류하는 로비공간 조닝D의 동선을 고려하여, Figure 4와 같이 조닝 B, D의 경계점에 분석위치를 설정하였다.

조닝B와 D에 표시된 ●점은 기류분석점, ■점은 급기구의 위치를 나타냈다.

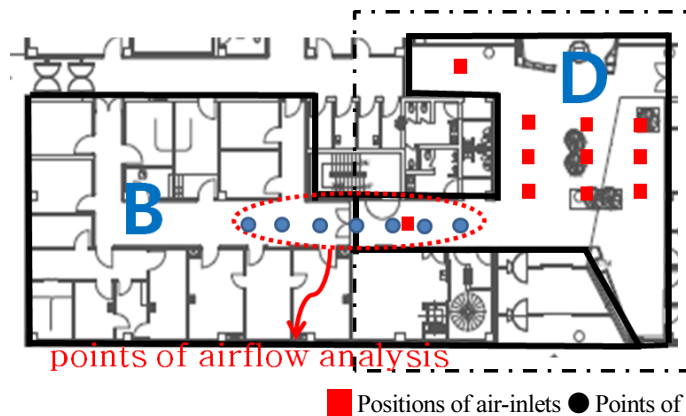


Figure 4. Locations of analysis and air-inlets in the lobby space

기류분석점의 높이(z축)는 Figure 5와 같이 무릎높이인 저층부(0.5 m)와 내원자들의 평균 호흡높이인 중층부(1.5 m)와 상층부(4.5 m)로 구분하고, 출입구폭 3 m를 세로(x축)로 구분

하며, 가로(y축)의 중간지점인 P4를 기준으로 2 m 간격으로 진료부는 P1~P3, 로비공간은 P5~P7로 나누어 총 7개 지점에 대한 기류분석점을 설정하였다. 분석점의 저·중·상층부 공간은 개방되어있다.

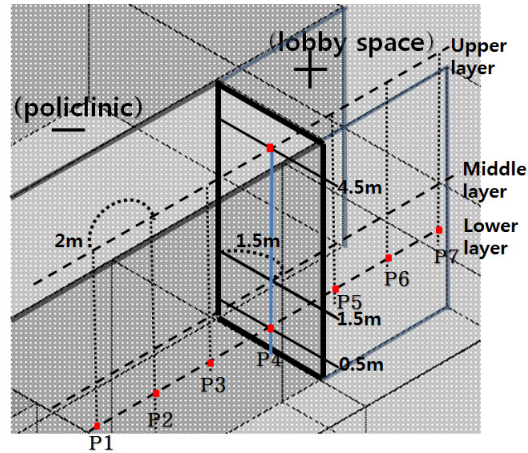


Figure 5. y-axis and z-axis of points of airflow analysis

기존 공조상태의 기류분포

진료부와 로비공간을 구분하는 영역 P4를 중심으로 Figure 5와 같이 기류분석점을 설정하였다. 로비공간의 오염된 공기가 P4 (중심)을 기준으로 P1~P3의 기류는 진료부로, P4~P7의 기류는 로비공간으로 방향을 갖는 것이 2차 공기감염을 예방할 수 있으며 특히, 내원자들이 단시간 머무르는 로비공간내 기류가 진료부로 유동하지 않는 것이 감염을 예방할 수 있는 것으로 가정하였다.

기존 공조상태의 기류분포를 살펴보면 Figure 6과 같이, 로비공간에서 진료부로 기류유동이 발생함을 알 수 있다. 저층부(0.5 m)의 경우, P3가 로비공간 방향으로 기류유동이 있었으나 로비공간에서 진료부로 기류유동은 발생하지 않았다. 반면에, 중층부(1.5 m)의 경우, P6~P7이 진료부로 기류유동이 발생하여 기류의 혼합이 나타났으며 상층부(4.5 m)는 P1~P7

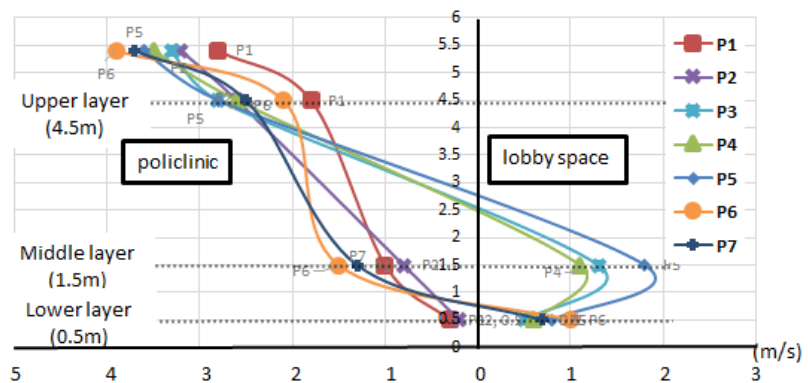


Figure 6. Airflow distribution at each analysis point under existing air conditioning

가 진료부로 기류유동이 발생하여 진료부와 로비공간에 대한 기류혼합이 발생하였다.

따라서, 기존 공조상태의 경우 상층부(4.5 m)의 기류혼합으로 병원내 2차감염이 발생할 가능성이 높게 나타나, 이를 개선하기 위한 급·배기구의 재배치계획이 필요한 것으로 판단된다.

공기감염 예방을 위한 개선방안

Figure 4와 같이 제시된 로비공간에 급기구만이 설치되어 있는 기존 공조상태에서, 감염된 공기가 진료부로 유입될 가능성이 나타나므로 로비공간인 조닝D의 급·배기구 재배치계획을 통하여 개선방안을 제안하고 이에 대한 기류유동 변화를 분석하였다.

로비공간의 배기구 추가에 따른 기류분포

기존의 급기구 위치 11점 가운데 Figure 7과 같이, 진료부와 로비공간의 경계점인 출입구에 근접한 급기구 a와 k를 배기구로 변경하는 개선안[ALT-1]을 Table 3에 나타냈다.

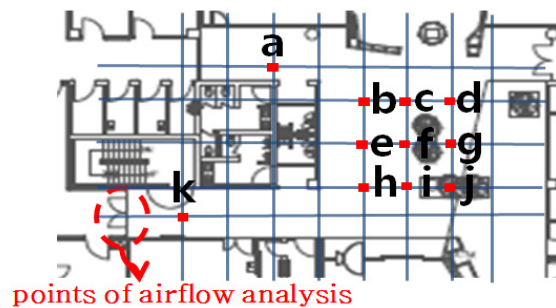


Figure 7. Positions of air-inlets and outlets in the lobby space zoning D

Table 3. Suggestion of alternative [ALT-1]

Division	Positions of air-inlets and outlets (S: air-inlets, R: outlets)	
Existing air conditioning setting	S: a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k	
Alternative	[ALT-1]	S: b, c, d, e, f, g, h, i, j R: a, k

a와 k점에 배기구를 설치한 개선안 [ALT-1]에 대한 기류분포는 Figure 8와 같이 저층부(0.5 m)의 경우, P4와 P7에서 진료부 방향으로 기류유동이 발생하였고, P3의 경우도 진료부에서 로비공간으로 기류유동이 발생하여 기류혼합이 나타났다. 그러나, 중층부(1.5 m)와 상층부(4.5 m)의 P3는 진료부, P4가 로비공간으로 기류유동이 발생하였고, P7는 진료부로 기류유동이 발생하였다. 이와 같은 기류분포는 급기구 a와 k점을 배기구로 변경한 것에 영향을 받은 것으로 여겨지며, 기류혼합은 기존상태와 비교하여 적게 나타나므로 공기에 의한 감염 확률이 낮을 것으로 예상된다.

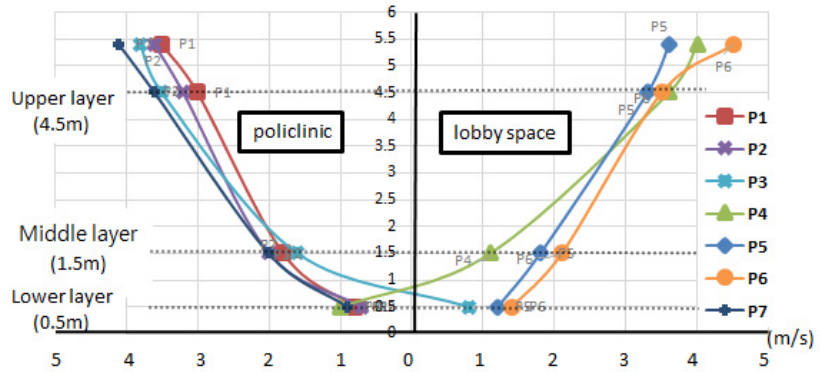


Figure 8. Airflow distribution in alternative [ALT-1]

급·배기구의 위치변화에 따른 기류분포

개선안 [Alt-1]의 기류분석을 통해 로비공간과 진료부에 대한 기류혼합 확률이 낮아진 것이 확인되어져, a와 k점을 배기구로 하며 나머지 9점에 대하여 급· 배기구를 위치를 변화하는 개선안을 제시하였다.

개선안은 Figure 9과 같이 1행, 3행을 급기구, 2행을 배기구로 배치하는 개선안 [ALT-2]와, 1행과, 3행을 배기구로 2행을 급기구로 배치하는 개선안 [ALT-3] 및 1열, 3열을 급기구로 2열을 배기구로 배치하는 개선안 [ALT-4], 또한 1열, 3열을 배기구로 2열을 급기구로 배치하는 개선안 [ALT-5]로 구분하였다.

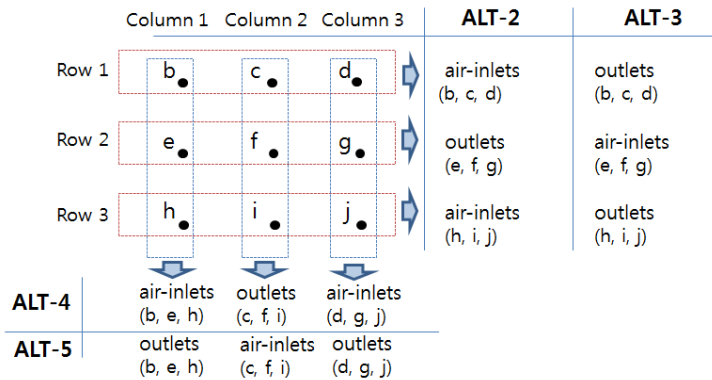


Figure 9. Alternatives by air-inlet and outlet positions

1행, 3행을 급기구, 2행을 배기구로 배치하는 개선안 [ALT-2]의 기류분포는 Figure 10과 같이, 저층부(0.5 m)와 중층부(1.5 m)의 P6~P7에 대한 기류유동이 진료부로 유동하였고, P3도 로비공간으로 기류유동이 나타났다. 상층부(4.5 m)는 P4가 진료부로 기류유동이 나타나, 저· 중층부와 비교하여 기류의 혼합비율이 높게 나타났다. 개선안 [ALT-2]는 a와 k점을 배기구로 설치한 개선안 [ALT-1]와 비교하여 기류혼합에 의한 감염확률이 높을 것으로 예상된다.

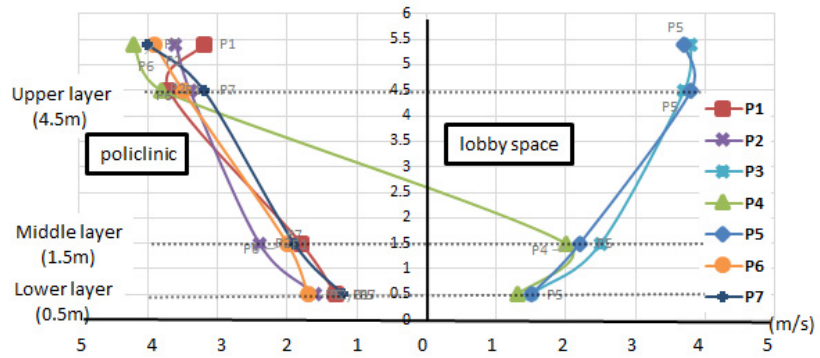


Figure 10. Airflow distribution in alternative [ALT-2]

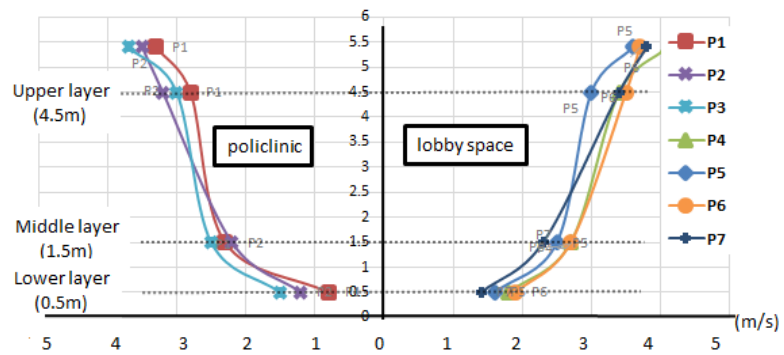


Figure 11. Airflow distribution in alternative [ALT-3]

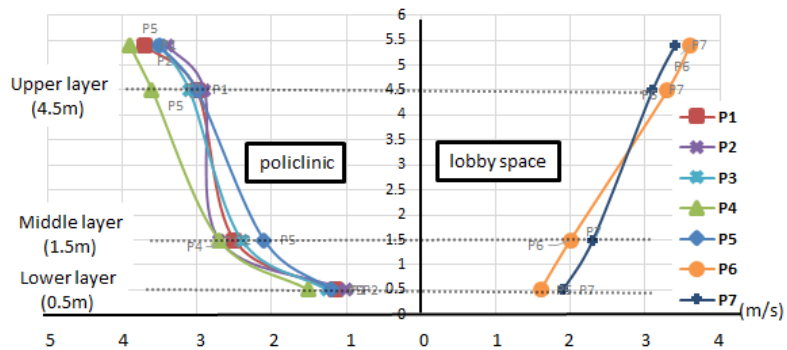


Figure 12. Airflow distribution in alternative [ALT-4]

1행과, 3행을 배기구로 2행을 급기구로 배치한 개선안 [ALT-3]는 Figure 11과 같이, 저층부, 중층부, 상층부의 P1~P3점에서 진료부로 기류유동이 나타났으며, P4~P7점은 로비공간으로 기류유동이 나타났다. 이는 a와 k점을 배기구로 설치한 개선안 [ALT-1]과 비교하여 로비공간의 감염된 기류가 진료부로 유입되지 않으며, 저층부(0.5 m), 중층부(1.5 m), 상층부(4.5 m)의 기류분포가 각 공간내에서 유동하므로 기류혼합에 의한 감염확률이 낮을 것으로 예상된다.

1열과 3열을 급기구로 2열을 배기구로 배치하는 개선안 [ALT-4]는 Figure 12와 같이, 저

층부(0.5 m)는 P4~P5가 로비공간에서 진료부로 기류유동이 나타났으며, 중층부(1.5 m)와 상층부(4.5 m)의 경우도 저층부(0.5 m)의 기류유동과 동일한 양상을 나타내 진료부와 로비 공간의 기류가 혼합될 것으로 예상된다. a, k점을 배기구로 설치한 개선안 [ALT-1]와 비교하여 기류혼합에 의한 감염확률이 높을 것으로 예상된다.

1열과 3열을 배기구로 2열을 급기구로 배치하는 개선안 [ALT-5]는 Figure 13와 같이, 저층부(0.5 m)는 P7이 진료부로 기류유동이 나타났으며, P2~P3은 로비공간으로 기류유동이 나타났다. 중층부(1.5 m)와 상층부(4.5 m)는 P4가 진료부로 기류유동이 나타나 a와 k점을 배기구로 설치한 개선안 [ALT-1]와 비교하여 기류혼합에 의한 감염확률이 높을 것으로 판단된다.

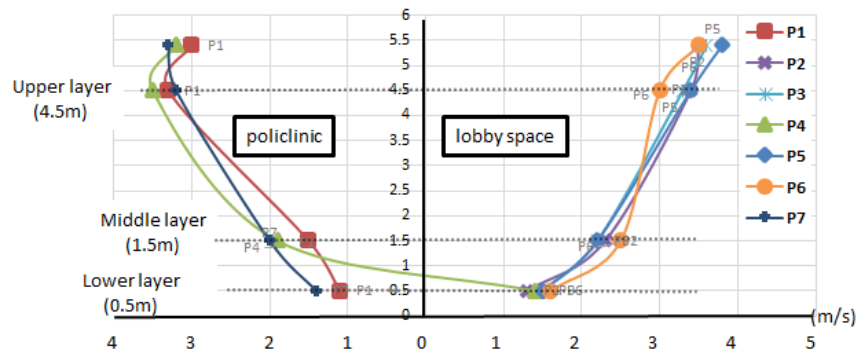


Figure 13. Airflow distribution in alternative [ALT-5]

기존과 개선안에 대한 비교분석

감염 확산을 예방할 수 있는 가장 유리한 급배기구 위치로 1행과, 3행을 배기구로 2행을 급기구로 배치하는 개선안 [ALT-3]에 대하여 내원자의 호흡위치 중층부(1.5 m)에 대한 기류유동을 기존 공조상태와 Figure 14와 같이 비교하였다.

기존 공조상태는 P3에서 로비공간으로 기류유동이 나타났으나 P6~P7은 진료부로 기류유동이 나타나, 감염 확률이 높을 것으로 예상된다. 그러나 1행과 3행을 배기구로 2행을 급기구로 배치한 개선안 [ALT-3]는 P1~P3의 기류유동이 진료부로, P4~P7의 기류유동이 로비공간

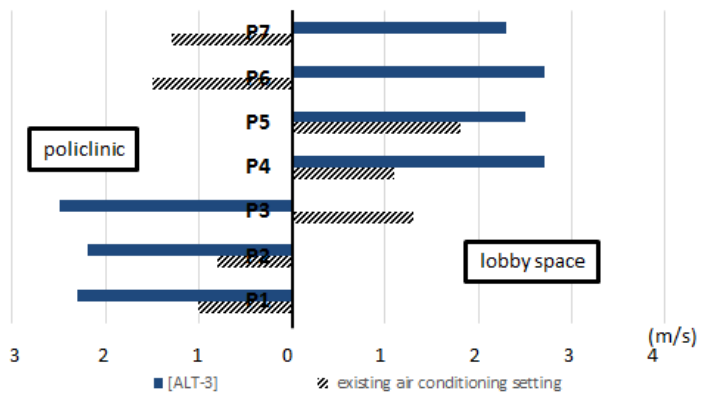


Figure 14. Airflow in control and [ALT-3], middle layer (1.5 m)

으로 유동하는 것으로 나타나, 기존상태와 비교하여 기류혼합에 의한 감염확률이 낮을 것으로 예상된다.

결론

본 연구는 종합병원의 진료부와 로비공간을 중심으로 병원내 2차감염 예방을 위하여 중앙 공급식 냉난방공조기를 통하여 진료부와 로비공간으로 유입되는 기류의 급기구와 배기구 위치를 개선할 목적으로 기존상태를 분석한 후, 개선방안을 제시하고 개선방안에 따른 기류유동을 분석하여 급·배기구의 적정 위치를 제시한 연구로서 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 종합병원의 동선 유형을 분류하여, 진료부와 로비공간의 동선이 겹치는 유형(II)를 갖는 대상병원의 기존 공조방식에 대한 기류를 분석하여 진료부와 로비공간에서 기류혼합 발생으로 공기에 의한 2차 감염확률이 높을 것을 예상되어졌다.
- (2) 개선안으로 a, k점을 배기구로 설치한 개선안 [ALT-1]는 저층부(0.5 m)에서 P4와 P7은 진료부로, P3는 로비공간으로 기류유동하여 기류혼합이 이루어졌으며, 1행, 3행을 급기구 2행을 배기구로 배치한 개선안 [ALT-2]는 상층부(4.5 m)에서 P4, P6, P7은 진료부로, P3은 로비공간으로 기류가 유동하여 기류혼합이 예상되었다.

또한, 1열 3열을 급기구로 2행을 배기구로 배치한 개선안 [ALT-4]는 저층부(0.5 m)에서 P4~P5가 진료부로 기류가 유동하였고 중·상층부의 기류는 저층부와 동일하게 기류혼합이 예상되었으며, 3열을 배기구로 2열을 급기구로 배치한 개선안 [ALT-5]는 중층부(1.5 m)에서 P4, P7이 진료부로, P2~P3이 로비공간으로 기류가 유동하였으며 상층부(4.5 m)의 기류는 중층부(1.5 m)와 동일하게 기류혼합이 예상되었다.

- (3) 그러나 1, 3행에 급기구, 2행에 배기구를 설정한 개선안 [ALT-3]의 저·중·상층부 P1~P3는 진료부로, P4~P7은 로비공간으로 기류유동이 나타나 기류혼합에 의한 감염확률이 낮은 것으로 예상되었다.

따라서 1, 3행에 급기구, 2행에 배기구를 설정한 개선안 [ALT-3]이 공기감염 예방에 효율적인 것으로 판단된다.

향후, 본 연구 내용을 바탕으로 진료부 전영역과 병동부 영역에 대한 기류분포 연구가 추가 진행되어야 종합병원내 공기에 의한 2차감염을 예방할 수 있을 것으로 여겨진다.

후기

이 논문은 2016년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2016R1A2B2011255)

References

1. 보건복지부. (2015). 질병관리본부, 메르스 국내발생현황.
2. Magill, S.S., Edwards, J.R., Bamberg, W., Beldavs, Z.G., Dumyati, G., Kainer, M.A., Lynfield, R., Maloney, M., McAllister-Hollod, L., Nadle, J., Ray, S.M., Thompson, D.L., Wilson, L.E., Fridkin, S.K. (2014). Multistate Point-Prevalence Survey of Health Care-Associated Infections. *N. Engl. J. Med.*, 370, 1198-1203.
3. Hua, Q., Yuguo, L., Peter, V. N., Xinhua, H. (2009). Spatial Distribution of Infection Risk of SARS Transmission in a Hospital Ward. *Building and Environment*, 44(8), 1651-1658.
4. Shiha, Y.-C., Chiua, C.-C., Wang, O. (2007). Dynamic Airflow Simulation within an Isolation Room. *Building and Environment*, 42(9), 3194-3209.
5. Chang, C.-H., Chan, C.-C., Cheng, K.-J., Lin, J.-S. (2011). Computational Fluid Dynamics Simulation of Air Exhaust Dispersion from Negative Isolation Wards of Hospitals. *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*, 5(2), 276-285.
6. Chen, C., Liu, W., Lin, C.-H., Chen, Q. (2015). A Markov Chain Model for Predicting Transient Particle Transport in Enclosed Environments. *Building and Environment*, 90, 30-36.
7. Baloccoa, C., Liob, P. (2011). Assessing ventilation system performance in isolation rooms. *Energy and Buildings*, 43(1), 246-252.
8. Villafrauel, J.M., Castro, F., Jose, J.F.S., Julien, S.-M. (2013). Comparison of Air Change Efficiency, Contaminant Removal Effectiveness and Infection Risk as IAQ Indices in Isolation Rooms. *Energy and Buildings*, 57, 210-219.
9. Cheong, K.W.D., Phua, S.Y. (2006). Development of Ventilation Design Strategy for Effective Removal of Pollutant in the Isolation Room of a Hospital. *Building and Environment*, 41(9), 1161-1170.
10. Qiana, H., Lia, Y., Nielsen, P.V., Hyltdgaard, C.E. (2008). Dispersion of Exhalation Pollutants in a Two-Bed Hospital Ward with a Downward Ventilation System. *Building and Environment*, 43(3), 344-354.
11. Qian, H., Li, Y., Seto, W.H., Ching, P., Ching, W.H., Sun, H.Q. (2010). Natural Ventilation for Reducing Airborne Infection in Hospitals. *Building and Environment*, 45(3), 559-565.
12. Liu, J., Wang, H., Wen, W. (2009). Numerical Simulation on a Horizontal Airflow for Airborne Particles Control in Hospital Operating Room. *Building and Environment*, 44(11), 2284-2289.
13. Adamu, Z.A., Price, A.D.F., Cook, M.J. (2012). Performance Evaluation of Natural Ventilation Strategies for Hospital Wards-A case study of Great Ormond Street Hospital. *Building and Environment*, 56, 211-222.
14. Lim, T., Cho, J., Kim, B.S. (2010). The Predictions of Infection Risk of indoor Airborne Transmission of Diseases in High-Rise Hospitals: Tracer Gas Simulation. *Energy and Buildings*, 42(8), 1172-1181.