

Isolation Effectiveness by Progressive Space Organization in Negative Pressured Isolation Unit

음압격리병실에 있어서 단계별 공간구성의 격리효과

Kwon, Soonjung* 권순정 | Sung, Minki** 성민기

Abstract

Purpose: The purpose of this study is to identify the effect of Progressive Space Organization (ante-rooms) in Negative Pressured Isolation Unit(NPIU) such as National and Regional Isolation Units in Korea in order to build basic data for the evidence based design of Airborne Infection Isolation Units which should prepare and respond effectively to the public health crisis due to the hazardous airborne infectious disease. **Methods:** 1) Gas(SF6) test and analysis on the 23 Korean Isolation Units under operation. 2) Assessment of the isolation level of the space components by checking the Gas concentration. 3) Analysis of the Isolation Effectiveness according to Space Organizational levels. **Results:** 1) The higher segregation level is, the lower Gas(SF6) concentration is. 2) Too many segregations(anterooms) of Isolation Unit are not efficient for the prevention of infectious bacillus spread. For example, 4 level of segregation has similar segregation effect to the 3 level of segregation. **Implications:** Many anterooms in front of the isolated patient bedroom will guarantee the safe environment against the danger of hazardous airborne nosocomial infection. On the other hand, too many segregations is inefficient, expensive, inconvenient, narrow(unflexible) and so on. This study can be used as basic data for further development of design guidelines of isolation units

Keyword National Isolation Unit, Regional Isolated Intensive Care Unit, Isolation Performance, Gas Test, Airborne Infectious Disease

주 제 어 국가지정격리병상, 지역거점 격리중환자실, 격리성능, 가스실험, 호흡기 감염병

1. Introduction

1.1 Background and Objective

2002년 11월에서 2003년 7월까지 유행하여 8,096명의 감염자가 발생하고 774명을 사망하게 한 SARS가 출현한 이래, 전 세계적으로 조류인플루엔자(AI), 신종플루, 중동호흡기증후군(MERS), 에볼라(Ebola) 바이러스 등 많은 고위험 신종감염병이 지속적으로 출현하여 지구촌에 감염병 위험의 불안을 증대시키고 있다. 세계 각국은 감염병 위험에서 예외일 수는 없으며 이러한 위험에 효과적으로 대비, 대응할 필요성이 점차 증가하고 있다. 이러한 점을 감안하여 한국도 고위험 감염병을 보다 효과적으로 관리하고자 전국적으로 다수의 감염병 관리시설¹⁾

을 건립한 바 있다. 그러나 이러한 시설은 시설의 계획, 시공, 운영방식에 따라 감염병 관리 성능에 상당한 차이가 있다. 이 때문에 시설을 보다 합리적으로 계획하고 시공하며, 효과적으로 운영하는 것이 필요하다.

건축계획적 측면에서 볼 때, 일반구역에서부터 고위험 환자가 입원한 병실까지 가기 위해 거쳐야 하는 독립된 공간의 수가 감염병 관리시설의 격리성능에 영향을 줄 수 있다. 예를 들면 거치는 공간의 수가 많은 경우, 그리고 그들이 전실과 같이 인터록이 되어 있는 경우, 격리성능이 더욱 우수할 것이다. 본 연구에서는 격리구역 외부(일반구역)와 격리병실 사이에 설치된 구획된 공간의 개수(단계)가 격리성능에 얼마나 영향을 미치는지를 실험을 통해 정량적으로 밝히고자 하였다. 이러한

* Vice president, Professor, Ph.D. Department of Architecture, Ajou university (Primary author: sjkwon@ajou.ac.kr)

** Professor, Ph.D. Department of Architectural Engineering, Sejong university (Corresponding author: mksung@sejong.ac.kr)

1) 고위험 감염병관리를 위해 건립한 한국의 대표적인 감염병 관리시설로는 국가지정입원치료병상(national inpatient isolation units)과 지역별 거점병원(regional healthcare centers for highly infectious diseases)이 있다.

연구 결과는 향후 감염병관리시설 계획시 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

1.2 Methodology

1) 실험 대상

본 연구는 2007년부터 정부 지원으로 설치되고 있는 국가지정 입원치료병상 및 거점병원의 음압중환자 입원시설을 대상으로 병실에서 발생한 공기감염물질이 어느 정도 일반구역으로 확산되는지 확인하기 위해 실험을 수행하였다. 총 23개 감

[Table 1] Infectious disease centers for Gas diffusion experiment

구분	번호	의료기관명*	지역	음압 병상
지역별 거점병원	1	A	인천	3
	2	B	서울	4
	3	C	경기	3
	4	D	경북	3
	5	E	경북	3
	6	F	충남	3
	7	G	전남	3
	8	H	전남	3
	9	I	부산	3
	10	J	경남	4
국가지정입원 치료병상	1	(K)	서울	18
	2	(L)	서울	4
	3	(M)	서울	6
	4	N	대전	5
	5	O	전남	5
	6	P	경남	7
	7	(Q)	경북	5
	8	(R)	대구	5
	9	S	전북	5
	10	T	충남	5
	11	U	서울	5
	12	(V)	인천	5
	13	W	제주	4

* 의료기관명은 병원 보안을 위해 무작위 알파벳으로 표기하였으며 ()를 친 병원은 실험상의 문제로 데이터 분석에서 제외한 의료기관을 나타낸다.

염병관리시설²⁾에 대하여 실험이 수행되었으며, 이중에 지역

2) 감염병관리기관의 장은 감염병을 예방하고 감염병환자들을 진료하는 시설(감염병관리시설"이라 한다)을 설치하여야 한다. 이 경우 보건복지부령으로 정하는 일정규모 이상의 감염병관리기관에는 감염병의 전파를 막기 위하여 전실(前室) 및 음압시설(陰壓施設) 등을 갖춘 1인 병실을 보건복지부령으로 정하는 기준에 따라 설치하여야 한다(감염병의 예방 및 관리에 관한 법률, 2015.12.29.)

거점병원 격리중환자실이 10개, 국가지정 입원치료병상이 13개를 차지한다. 실험시기에는, 2012년에 5개의 국가지정입원치료병상과 10개의 지역거점병원 중환자실에 대한 실험이 수행되었고³⁾, 2013년에는 8개의 국가지정 입원치료병상에 대한 실험이 추가로 수행되었다⁴⁾. 그러나 국가지정 입원치료병상 가운데 일부 시설들⁵⁾은 음압과 비음압구역의 분리가 되어 있지 않거나(K병원), 배기가스의 재유입 가능성(R, V 병원), 실험기기 및 튜브 등의 이상(L, M, Q 병원)으로 실험치가 정상적으로 도출되지 않고⁶⁾ 실험 결과치에 오류가 발생하여 6개 시설의 데이터를 분석에 포함하지 않았다. 실험은 환자가 없는 병실을 중심으로 수행되었다. 실험대상 공간으로는 음압병실이 위치한 음압구역으로부터 격리시설 외부의 일반구역까지 포함되며 모든 시설이 정상적으로 가동되고 있는 상황에서 실험을 수행하였다. 하나의 시설 당 가스확산실험을 위해 총 2.5시간 내외가 소요되었다.

2) 실험 방법

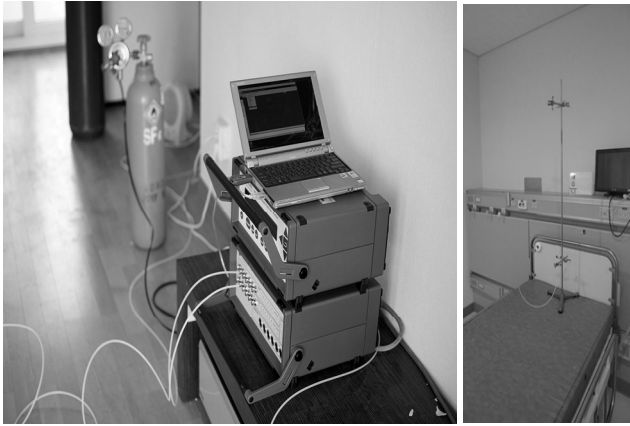
① 실험준비

먼저 가스확산실험 실시 전, 해당 구역의 공조설비를 충분히 가동하여 실간 차압의 안정 상태를 유지하였다. 이때 공기의 흐름은 "일반구역→복도전실→내부복도→병실전실→병실→병실내 부속화장실"의 순서로 흐를 수 있도록 실내 압력이 조절되었으며 각 실간 기압차이는 2.5Pa 이상을 유지하도록 하였다. 각 실별 환기회수는 6회~12회로 하였고 기본적으로 실험 기간 동안 전외기방식으로 운전하였다.

② 가스발생

환자의 코 또는 입의 위치를 상정하여 음압병실 침상 상단 0.3m 지점에 튜브를 상향으로 하여 설치한 후 그 지점에서 SF₆ 가스를 방출하였다(Figure 1 참조). 이렇게 가스를 방출하는 것은 실제 병원을 가동하는 상황에서 환자가 침대에 누워 호흡하는 것과 비슷한 조건을 만들기 위해서이다. 본 연구에서 사용된 SF₆ 가스는 일반적인 환경에서는 존재하지 않아 환기효율의 조사나 오염물질 확산을 모사하는데 사용되는 대표적인 추적 가스이다.

- 3) 아주대학교 산학협력단, 2012, 2012년도 공중보건위기사업단 운영 최종보고서
- 4) 한양대학교 산학협력단, 2013, 2013년도 공중보건위기사업단 운영 최종보고서
- 5) 국가지정 입원치료병상 중 K, L, M, Q, R, V병원 등 6개 병원의 데이터를 뺀 7개 병원의 실험치를 대상으로 실험결과를 분석하였다.
- 6) 이로 인해 K, R 병원 등의 가스농도는 이상치(outlier)가 나왔다. 이상치는 약한 이상치(내부상한값)에 해당하는 값으로 "내부상한값 = Q3(3/4분위 값)+1.5×IQR(3/4분위값-1/4분위값)"의 계산식으로부터 구했다 (김영주, 김희갑, 2007, 환경통계학 p.58).



[Figure 1] Multi-gas Monitor, SF₆ gas cylinder, Gas diffuser on the patient bed

③ 가스농도측정

SF₆가스는 병원내 최대 6개 지점, 높이 1.5m에서 농도를 측정하였다. 대표적인 농도측정위치는 SF₆가스 확산 장치가 설치된 음압병실의 출입구 부근, SF₆가스 확산 장치가 설치된 음압병실의 전실, SF₆가스 확산 장치가 설치된 음압병실 밖 내부음압복도, SF₆가스를 확산하는 병동의 내부복도와 연결된 복도전실 및 외부복도 등이다(Figure 2, Figure 3). 가스확산실험의 구체적인 순서는 아래와 같다.

- 확산가스 방출 30분 전부터 모니터링 지점 측정 개시 (배경 농도 확인)
- SF₆가스 봄베를 Multi-gas monitor 및 Doser에 연결한 후 일정량 방출유지 (방출농도는 99.99%, 방출유량은 900 ml/min).
- Multi-gas monitor의 SF₆가스 검출한도는 0.01ppm
- 농도의 안정이 확인 된 후, 정해진 시나리오에 따라 의료진 2 명이 (연구원들이 대역) 출입 실시
- 출입구 인접 병실(SF₆가스 발생 병실)만 출입 후 퇴실
- 의료진의 출입에 따른 각 공간의 농도 변화를 모니터링 함. 이때 의료진의 출입시나리오에 내부복도 바깥 일반구역에서 시작하여 탈의실을 거쳐 내부복도, 병실전실, 병실 등을 왕복하는 것으로 함. 실제 실험에서는 의료진 대신 조사원 2명이 각 공간사이를 이동하였음. 이동 중에는 각 실의 출입문이 열리며 각 공간의 출입문은 인터락으로 설정하여 전실 등의 앞 뒤문이 동시에 열리지 않도록 함. 각 공간별 조사원의 체류시간은 Table 2와 같음. 실험시 아래 표와 같은 동선으로 같은 실험을 수행함. 각 공간별 SF₆가스 측정은 약 3.5분 간격을 공통적으로 실시함.

④ 분석

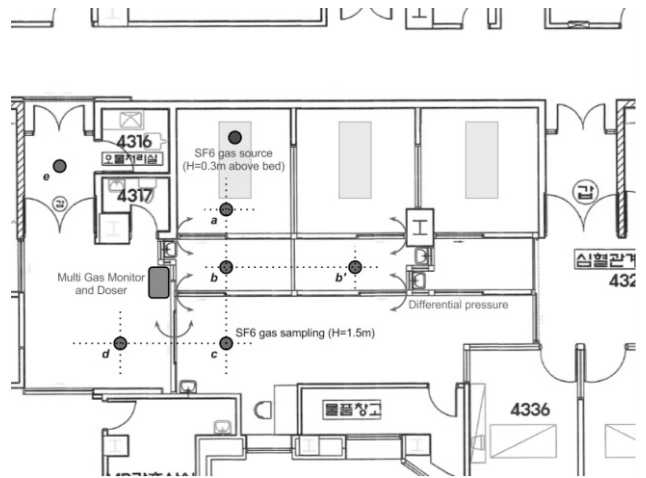
각 공간별 측정된 가스농도를 격리병실내 입원한 환자의 날숨농도로 환산하여 각 공간별로 존재하는 환자의 날숨 예상치를 제시하였다. 그밖에 엑셀을 이용하여 공간 단계별 가스농도의 감쇠율을 도출하고 단계별 격리 효율성 등을 분석하였다.

2. Concentration of SF₆ Gas by Spaces in Isolation Units

2.1 Experiment Process

[Figure 2]는 지역거점병원인 A병원의 격리중환자실의 평면도이다. 국가지정입원치료병상과 비교하여 복도전실과 착탈의 공간이 없다. 대부분의 격리중환자실은 병실전실이 없으며 내부복도를 2~3개 격리병실을 위한 공용전실로 활용하는 경우가 많다.

[Table 2]는 조사원들의 동선과 각 공간별 체류시간 및 총 누적시간을 보여준다. 실제 조사원들이 움직인 시간은 약 41분이고 실험 전후에 안정화작업이 각각 25분 총 50분 소요되므로 전체 실험시간은 약 91분 소요되었다.



[Figure 2] Gas generation and concentration check points in Isolated ICU (A hospital, gas check point: a~e)

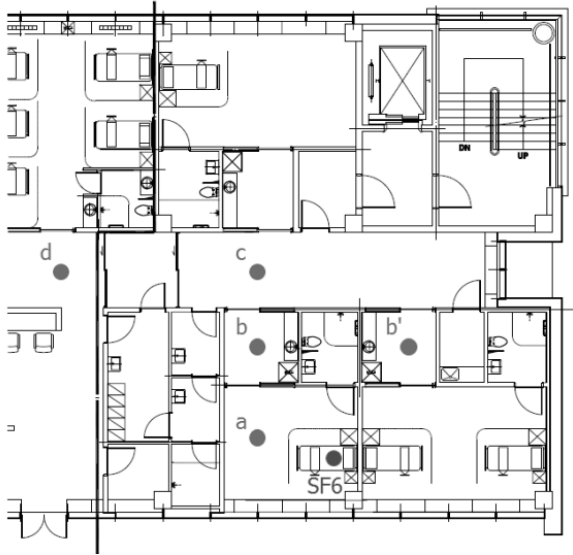
[Table 2] Researchers circulation and length of stay (A Hospital)

동선	e>	d>	c>	b>	a>	b>	c>	b>	a>	b>	c>	b>	a>	b>	c>	d>	e
체류 시간 (분)	-	3	1	3	5	2	1	3	5	2	1	3	5	2	1	4	-
누적 시간 (분)	-	3	4	7	12	14	15	18	23	25	26	29	34	36	37	41	fin

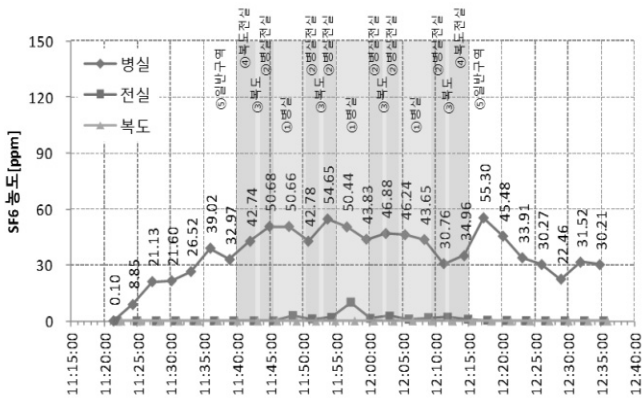
[Figure 3]은 국가지정 입원치료병상인 W병원 음압격리병실의 평면도와 가스 측정 위치를 보여준다. 굵은 선으로 표기한 부분이 음압격리구역이다. 기본적인 음압병실 외에도 의료진 착탈의실, 감염환자 전용 승강기 등이 구비되어 있다.

[Figure 4]의 그래프는 음압격리병동내 각 공간별로 측정된 SF₆가스농도를 보여준다. 가스측정은 총 1시간 15분간 진행되었다. 그래프 중간의 짙은 부분은 A 병원과 같이 조사원 2명이 35분간 음압격리병실을 출입하면서 가스측정을 한 부분이다.

조사원들이 각 공간을 이동함에 따라 음압격리병실 내 SF₆가스가 인접공간으로 확산되는 모습을 보여준다. 조사원들은 의료진의 병동 및 병실출입 간격을 조사하고 이 시간에 맞추어 하나의 병실만 출입하였다. 실제 의료진은 여러 병실에 출입하지만 조사원들이 하나의 병실만 출입해도 병실 내에서 나오는 SF₆가스의 양에는 큰 차이가 없는 것으로 가정하였다. 출입이 없는 음압격리병실의 경우 병실 전실이 있고, 또한 차압이 유지되기 때문에 병실내 SF₆가스가 병실 외부로 나오는 양이 극히 미미하다고 보았기 때문이다. 조사원들이 출입하는 동안 음압격리병실내 SF₆가스농도는 일정수준을 유지하고 있으며, 병실전실의 경우는 병실로부터 나온 SF₆가스로 인해 SF₆가스농도가 약간 올라가는 경향을 보여준다. 다른 조사 병원들의 SF₆가스농도 변화에 대한 그래프도 [Figure 4]와 비슷한 패턴을 보여준다.



[Figure 3] Gas generation and concentration check points in National Isolation Unit (W Hospital, gas check point: a~d)



[Figure 4] SF₆ concentrations in bedroom, ante room, internal corridor (W Hospital)

2.2 Analysis of Gas Concentration Converted into Patient Exhalation

본 실험에서는 가스발생 병실의 SF₆가스가 인접 구역으로 얼마나 유출되는지를 측정하였다. [Table 3], [Table 4]는 SF₆가스 방출량을 입원환자의 날숨으로 환산하여 격리병실내 입원한 환자의 날숨이 인접구역에 얼마나 확산되었는지를 ppm으로 나타낸 것이다. 입원환자의 날숨은 1회 480 l/h⁷⁾, SF₆가스 방출량은 54 l/h(실험치)를 기준으로 입원환자의 날숨 농도를 추정하였다. 입원환자의 날숨에 얼마나 많은 감염균이 있는지⁸⁾, 그리고 그 감염균을 일반인이 얼마나 들이마시면 해당 감염증에 감염될 확률이 있는지 등을 정량적으로 제시한다면 공간배치, 차압 및 환기회수 등을 조정하여 공간별로 감염에 안전한 적절한 환경을 구축할 수 있을 것이다⁹⁾.

조사결과 환자가 입원한 병실의 환자 날숨농도(추정치)는 거점병원이 평균 591.8ppm, 입원치료병상이 평균 426.3ppm으로 나타났다. 음압격리병실에 따라 환기량이나 병실의 크기, 전실과의 차압, 급배기구의 위치, 누기율 등이 다르기 때문에 병실에서 측정한 환자날숨농도(추정치)에 차이가 나타나는 것으로 판단된다. 병실 내에서 근무하는 의료진들의 교차감염을 줄이기 위해서는 병실 내의 환자 날숨(呼氣)농도를 낮추는 것이 중요하다. 이런 측면에서 볼 때 유사한 감염병 환자가 입원한 경우 입원치료병상의 격리병실이 격리중환자실보다 의료진에 대한 교차감염의 위험이 더 낮다고 볼 수 있다.

[Table 3,4]는 병실내 환자의 날숨농도가 비교적 높고, 이 농도는 병실전실에서 급격히 떨어지며, 내부복도, 복도전실, 일반구역(음압구역 외부)로 갈수록 서서히, 그리고 지속적으로 감소하는 것을 보여준다. 음압구역을 벗어난 일반구역의 환자날숨농도의 경우에도 입원치료병상에서의 농도가 격리 중환자실에 비해 더 낮게 나타났다. 이러한 원인은 입원치료병상의 격리병실 내 환자날숨 농도가 낮은 것 이외에도, 일반구역과 격리입원실 사이에 공간적 단계가 많은 것도 중요한 원인이 된다. 일반적으로 공간의 단계가 많을수록 격리효과가 증가하여 격리병실 내 감염원의 외부확산이 더 줄어들 수 있기 때문이다.

격리중환자실은 병실전실 및 복도전실이 없는 경우가 많아 일반구역(외부구역)에서 격리중환자실까지 평균 2.8개의 문을 거치면 격리중환자실 내부에 도달할 수 있다. 반면 국가 지정 입원치료병상은 음압이 걸리지 않은 외부구역에서 음압병실에 도달하기 위해서는 평균 3.6개의 문을 거쳐야 한다. 국가

- 7) 일본의 방사선의학종합연구소 호흡량측정 자료(1998) 중 누워있을 때와 앉아 있을 때 일본인 남녀 평균호흡량을 계산한 것임.
- 8) 환자마다 바이러스 발생량이 다름
- 9) 다만 현재 MERS, SARS 등 고위험 감염병에 대하여 의학적으로 정확한 감염역가(Infectious Dose, Infection Titer)가 산정되지 않았기 때문에 감염에 안전한 건축조건을 산출하기 어려우며 따라서 적절한 건축환경 구축도 어려운 상황이다. 2015년 한국의 MERS사태시 감염환자를 진료한 19개 국가지정 입원치료병상에서 입원환자 진료중 의료진 및 병원내감염이 한 건도 없다는 것은(메르스 백서) 국가 지정 입원치료병상의 기준이 MERS 등의 진료에 충분히 안전하다는 것을 보여준다.

[Table 3] Patients' estimated exhalation concentrations in Regional Isolation ICUs (ppm)

병원	병실	병실전실	내부복도	복도전실	외부복도*	단계**	비고
A	756.4	24	1		0.4	3	
B	791.1	36	0.4		0.2	3	
C	635.6		15.3	2.6	1.3	3	
D	571.6	-	3.5	1.1	3.3	2.5	내부복도의 출입구가 2개 있음.
E	668.4		20.4		0.4	2	
F	491.6	-	15.7		0.6	2	
G	483.6	30.2	0.9	0.4		3.5	내부복도의 출입구가 2개 있음.
H	745.8	-	47.7		2.8	2	
I	280.9	-	2.8		0.7	2.5	내부복도의 출입구가 2개 있음.
J	493.3	20.3	1.3		0.8	4	
평균	591.8	27.6	10.9	1.4	1.2	2.8	

* 외부복도는 일반구역을 의미함.

** 단계는 외부복도(일반구역)에서 병실에 접근하기 위해 거쳐야 하는 공간의 수(출입문의 수)를 의미함. 단계가 여럿인 경우는 평균치 사용

[Table 4] Patients' estimated exhalation concentrations in National Isolation Units (ppm)

조사 시기	병원	병실	병실 전실	내부 복도	복도 전실	외부 복도	단계	비고
2012년	N	140.4	11.5	1		0.1	3	
	O	629.3	8	0.4		0.1	4	
2013년	P	578.0	9.9	0.1	<0.1	<0.1	4	부등호 표시는 가스검출기로 측정할 수 있는 수치보다 낮은 경우로 검출기에는 0으로 표시됨.
	S	403.5	17.4	0.7		0.6	3	탈의실, 복도전실 없음
	T	443.3	13.0	3.0		0.5	4	욕상 배기 재유입 가능성
	U	391.2	4.6	0.5		0.4	3	회수복도, 환자출입 별도 구성
	W	398.7	19.6	0.4		0.4	4	
평균		426.3	12	0.9	0.1	0.3	3.6	복도전실이 외부보다 낮은 것은 유효샘플수가 적은 것에 기인함.

지정 입원치료병상이 거점병원 중환자실에 비해 약 1개정도의 전실이 더 설치되어 있다고 볼 수 있다. 이 실험은 인접된 두 공간 사이에 공기가 섞이지 않도록 하는데 전실설치가 도움이 된다는 것을 보여준다. 다만 병실내 농도 차이에 의한 가스확산 영향을 최소화하고 전실설치에 의한 가스확산억제 효과를 더 정확히 파악하기 위해서는 각 공간의 절대농도보다, 병실에 대한 상대농도의 감소효과를 분석하는 것이 필요하다.

본 현장 실험은 HEPA필터에 의해 제거되지 않는 가스상 오염물질(SF₆가스)을 이용하므로, 환기설비 및 공조설비가 재순환 방식을 이용하는 경우 입자를 대상으로 하는 연구와 다른 결과를 가져올 수 있다. 다만 실험당시 중증 공기감염병환자를 진료하기 위한 음압격리병실은 전외기방식의 공조시스템을 가동하였으므로 본 연구의 결과를 참조할 수 있다.

3. Analysis of Gas Concentrations Relative to those of Isolated Bedroom(Source room)

전체적인 시설의 격리성능 및 공간단계별 격리성능을 파악하기 위해 격리병동내 각 공간의 환자날숨 절대농도(exposure) 대신 병실내 환자 날숨농도(source)에 대한 상대적인 농도비율을 분석하였다. 이러한 방식은 격리병실내 환자 날숨농도(source)에 상관없이 병동 내 각 공간의 가스 누출 정도를 파악할 수 있다는 장점이 있다.

구체적으로는 음압격리병실의 SF₆가스 농도(source)에 대한 내부음압복도, 복도전실, 외부복도(일반구역)의 상대농도를 산출하였다. 이때 공간의 명칭이 아닌 단계별로 상대농도를 분류하였기 때문에 같은 내부음압복도인 경우에도 복도전실이 있

는 경우에는 2단계, 복도전실이 없는 경우에는 1단계로 보고 단계별 상대농도를 분석하였다. 기본적으로 SF₆가스발생 병실은 0단계로 설정하고 다음 공간부터 1, 2, 3, 4 단계 순으로 하였다. 단계의 수는 음압이 걸리지 않은 외부구역(일반구역)에서 격리병실까지 들어가기 위해 거쳐야하는 출입문의 수와 동일하다. 따라서 단계가 많을수록 격리의 정도가 강하다고 볼 수 있다.

단계가 많을수록 즉, 외부에서 격리병실에 이르기까지 통과해야하는 출입문의 수가 많을수록 격리효과가 좋지만 이에 따른 문제도 있다. 면적과 시설투자가 늘어나고, 의료진이 환자에게 접근하기가 불편하다. 또한 위기시가 아닌 평상시 격리병상을 이용하기가 매우 불편한 문제가 발생할 수 있다. 따라서 무작정 단계의 수를 늘리기보다는 격리에 효율적인 적절한 단계를 설치하는 것이 필요하다. 이를 파악하기 위해 단계별 감쇠율을 파악하였다.

[Table 5] SF₆ Gas concentrations of 17 hospitals relative to source room by isolation level

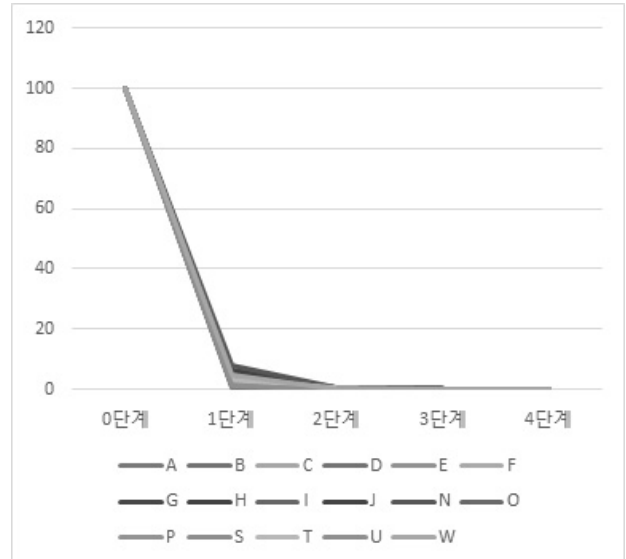
병원	1단계	2단계	3단계	4단계
A	3.17	0.13	0.05	
B	4.58	0.03	0.01	
C	2.41	0.41	0.21	
D	0.62	0.58		
E	3.05	0.07		
F	3.2	0.12		
G	6.29	0.23	0.08	
H	6.41	0.38		
I	0.97	0.35*	0.26	
J	4.1	0.28	0.16*	0.16
N	8.17	0.68	0.06	
O	1.29	0.06	0.03*	0.02
P	1.71	0.015	0.01	0.005
S	4.32	0.18	0.15	
T	2.93	0.68	0.22*	0.12
U	1.18	0.14	0.11	
W	4.91	0.11	0.08*	0.09
평균	3.49	0.26	0.11	0.08
표준편차	2.13	0.22	0.08	0.07
감쇠율**	96.54%	92.51%	58.07%	28.11%

* 표시된 5개의 수치는 실험치가 아닌 추정치이다. 그래프를 그리기 위해 추정치 좌우값의 감쇠율 평균치로부터 산출하였다

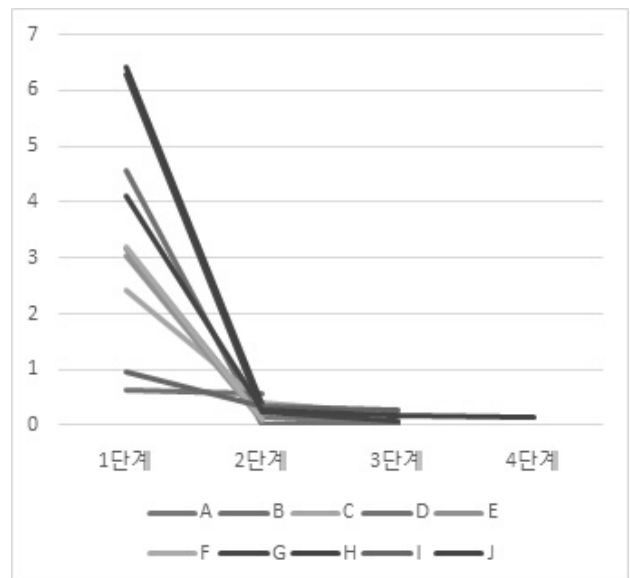
** 감쇠율은 이전단계에 대한 하락한 농도 비율이다. 즉 단계별 공간 설치의 효율성을 보여준다

[Table 5]에 제시한 바와 같이 1단계에서 4단계로 갈수록 감쇠율이 떨어진다. 1단계에서는 감쇠율이 97%에 이르고 2단계에서도 93%에 이른다. 즉 1단계 공간에서의 SF₆가스 농도는 격리병실의 SF₆가스 농도(source)의 약 1/30 수준에 불과하다

는 의미로 1단계 공간의 설치가 매우 효율적이라는 것으로 보여준다. 반대로 4단계에서의 감쇠율은 30%정도 미만으로 4단계 공간의 SF₆가스 농도는 3단계 농도의 72%에 이른다. 즉, 4단계 공간을 설치해도 병실로부터 유출되는 환자의 날숨농도를 크게 떨어뜨리지 못한다는 것을 알 수 있다¹⁰⁾.

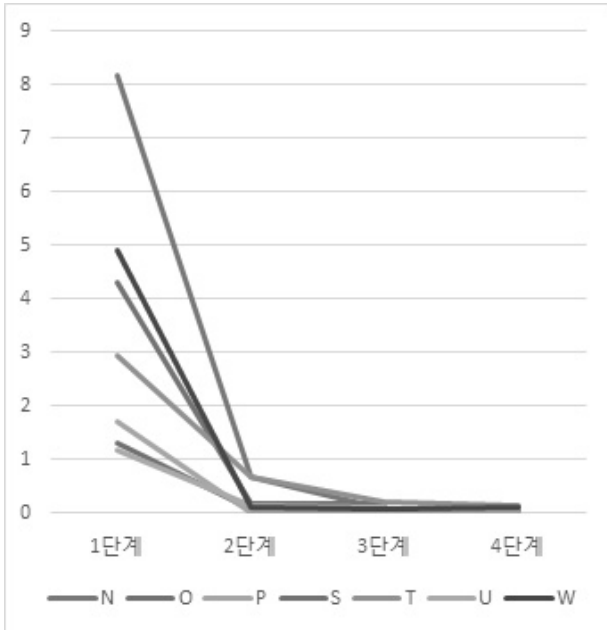


[Figure 5] SF₆ Gas concentrations of 17 hospitals relative to source room by isolation level



[Figure 6] SF₆ Gas concentrations of 10 Regional Isolation ICUs relative to source room by isolation level (except source room)

10) 4단계의 감쇠율 값은 샘플수가 적어 신뢰도가 높지 않다. 또한 4단계 공간의 가스농도가 매우 낮아 기계의 오차정도가 높을 가능성도 배제할 수 없다. 그밖에 격리음압공간을 시공할 때 기밀성에 한계가 있기 때문에 단계가 늘어난다 하더라도 감쇠율을 일정수준 이하로 낮추기가 어려울 것으로 예상된다.

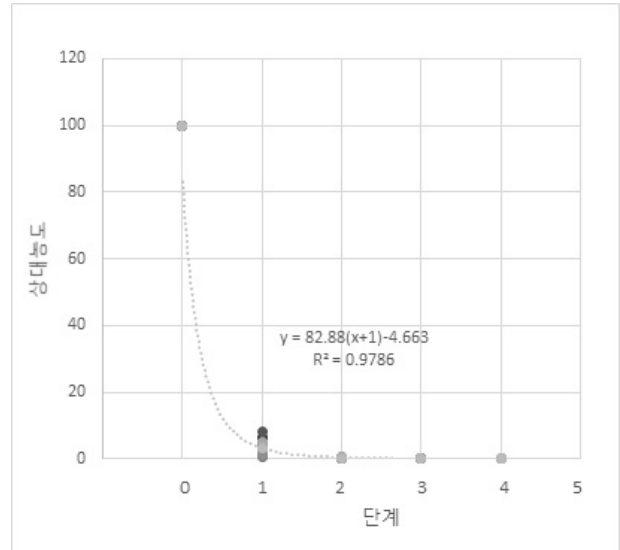


[Figure 7] SF₆ Gas concentrations of 7 National Isolation Units relative to source room by isolation level (except source room)

[Figure 5]와 [Figure 6]은 이러한 현상을 시각적으로 잘 보여준다. 격리음압병실(0단계)의 SF₆가스 농도를 100으로 보았을 때 1단계에서 SF₆가스 농도(3.49)가 급격히 낮아지는 것을 볼 수 있다. 그리고 2단계(0.22)에서 약간 낮아지다가 3단계(0.08) 이후에서는 농도변화가 많지 않음을 보여준다. [Figure 6]과 [Figure 7]은 각각 거점병원과 국가지정입원치료병상을 구분하여 0단계(병실)를 제외한 1단계 이후의 상대농도를 확대하여 표현한 것이다. 두 개의 그래프를 비교하면 국가지정입원치료병상이 거점병원 격리중환자실과 건축환경¹¹⁾에서 차이가 있음에도 불구하고 각 단계별 SF₆가스의 평균 상대농도¹²⁾나 가스농도의 감쇠율에는 큰 차이가 없는 것으로 보인다. 따라서 두 종류의 시설에 대한 단계별 공간의 SF₆가스 상대농도를 취합하여 전체적인 농도변화를 Figure 8에 표현하였다. 이 도표는 공간의 단계가 진행됨에 따라 SF₆가스의 농도가 급격히 떨어지다가 2단계 이후에는 농도의 하락폭이 미미함을 보여준다¹³⁾.

이러한 분석 결과는 격리음압병동의 설계시 공간의 차압단계를 4단계까지 설치하는 것이 합리적인가에 대한 문제를 제기한다. 공간의 구성단계(차압단계)를 줄이는 대신 실간 차압

11) 국가지정 입원치료병상이 거점병원 격리중환자실보다 공간의 단계가 더 많고, 시설의 건립조건이 더 엄격하고(질병관리본부, 2011, 국가지정입원치료병상 운영과 관리; 질병관리본부, 2011, 지역별 거점병원 운영과 관리), 실험시 병실내 SF₆가스의 농도가 더 높았다.
 12) t-test 결과 유의수준 5%에서 단계별(1단계, 2단계, 3단계) 검정통계량(-0.01837, -0.05377, 0.740688)이 임계치로부터 바깥부분, 즉 기각역(3.1058, 2.2622, 2.2622)에 포함되지 않으므로 그룹간 차이가 없다는 귀무가설을 기각하지 않는다.
 13) 상대농도 평균치의 추세선(거듭제곱 함수)에 대한 그래프와 결정계수(R² 값)를 그림 8에 표시하였다.



[Figure 8] Trends of SF₆ Gas concentrations in 17 hospitals relative to source room by isolation level

을 더 많이 준다든지, 환기량을 늘린다든지, 혹은 공간의 크기를 더 크게 한다든지, 시공을 더욱 기밀하게 한다든지, 또는 의료진의 동선을 합리적으로 구성한다든지 등의 조치를 통해 격리의 효과를 유지하면서 차압의 단계를 줄일 수 있을 것이다.

MERS나 SARS와 같은 공기전파 감염병이 아닌 Ebola 등 바이러스 출혈열 접촉성 감염병시설 건축시 공간구성(차압)단계를 많이 두는 경우 접촉의 기회가 증가하여 교차감염의 가능성이 높아질 수 있다. 미국의 Emory 병원내 Ebola치료 병실은 일반복도에서 병실에 진입하기 위해 2개의 출입문만 거치면 된다. 즉, 2단계 공간구성을 가지고 있어도 지금까지 원내 교차감염이 일어나지 않고 Ebola 환자들을 잘 치료해 오고 있다. 국내에서도 향후 공기전파 감염병 치료시설을 Ebola와 같은 바이러스성 출혈열 환자를 진료하는 데에도 사용하기 위해서는 공간을 작게 쪼개고 여러 단계로 계획하는 것 보다는 공간의 크기를 크게 하면서 공간의 단계를 축소하는 방안을 적극 고려할 필요가 있음을 보여준다.

4. Conclusions

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 병실에서의 환자 날숨농도를 100으로 볼 때, 병실전실, 내부복도, 복도전실, 외부의 상대적인 환자날숨농도는 각각 3.49, 0.26, 0.11, 0.08로 단계가 진행할수록 환자 날숨의 농도가 낮아진다. 따라서 단계를 많이 두는 것, 다시 말해 전실을 여러 번 거치게 하는 것이 병실에 입원한 환자의 날숨이 외부로 배출되지 않도록 하는 데 유리하다.

둘째, 그러나 감쇠율은 단계가 진행됨에 따라 적어지기 때문에 효율성이 낮아지는 문제가 있다. 실험결과를 볼 때 1단계에서 SF₆가스의 농도가 떨어지는 감쇠율(병실대비 약 3.5%, 1/29)이 가장 높고, 2단계 공간에서의 감쇠율도 일정수준(1단계 대비 약 7.5%, 3/403)을 유지하지만, 3단계 공간이나(41.9%,

5/12) 4단계 공간(일반구역)에서는 SF₆가스 농도 감쇠율(71.9%, 18/25)이 미미하므로 3단계 이후의 전실설치는 효율적이라고 보기 어렵다.

다음은 본 연구의 한계, 개선 및 논의가 필요한 부분이다.

병실내 환자의 날숨이 일반구역에 얼마까지 나오는 것이 안전한지에 대한 기준이 없다. 일반적으로 결핵균, 탄저균, 부르셀라 등 감염균은 일반인이 얼마나 들이마시면 감염되는지에 대한 감염치가가 조사되어 데이터로 제시되고 있다¹⁴⁾. 그러나 최근 유행했던 SARS, MERS 등 호흡기 감염병은 이러한 자료가 없기 때문에 감염예방을 위해 공기중 허용되는 이러한 감염균의 농도를 알 수 없다. 따라서 음압격리병동의 격리성능을 어느 정도로 해야 안전한지에 대한 근거 있는 기준을 만들기 어렵다. 일반적으로 CDC에서 제시하고 있는 기준에 따라 실간 차압은 2.5Pa, 환기회수는 12회(기존시설의 리모델링인 경우 6회)를 기준으로 한다. 이밖에 병실에 전실을 설치하여 음압격리병실 내 환자의 날숨이 일반구역으로 최대한 나오지 않도록 하고 있는 정도이다.

음압격리병실에서 다른 구역으로의 가스 유출에는 여러 요인이 작용한다. 환기회수, 차압, 시설의 기밀성, 외부의 대기 환경, 의료진의 동선(권순정, 2016: 54) 및 출입빈도, 실내 급배기구의 위치, 옥외 급배기구의 위치, 공간의 배치 및 크기 등 다양한 요소가 영향을 미칠 수 있다. 본 연구의 가스확산 실험시 각 시설의 실간 차압은 2.5Pa, 환기회수는 6회~12회를 기준으로 하였지만 실제 차압과 환기회수는 시설별로 차이가 있어 가스 확산이 시설간 불균등하게 이루어질 수 있는 가능성이 많았다. 본 연구는 이러한 다양한 영향요인들이 복합적으로 작용한다는 가정에서 단계별로 SF₆가스의 확산 감쇠효과가 얼마나 있는지를 파악하는 것에 의미를 둔다.

실험에서 사용한 기기는 SF₆가스 0.01ppm까지 측정할 수 있는 정도의 성능을 갖추고 있어 3단계(내부복도) 이후 SF₆가스농도가 낮은 곳에서는 가스 농도를 정확히 측정하기 어려운 문제가 있다. 이러한 경우는 1개소만 있었지만 평균치를 작성하는데 다소 오차를 발생시킬 가능성이 있다.

음압병동 구역내 6개 지점 1.5m높이에서 SF₆가스의 농도를 측정하였지만 이 농도가 해당 공간의 평균농도로 보기 어려운 점이 있다. 공간내 기류가 형성되면서 SF₆가스의 농축된 기류가 측정위치와 만나게 되면 해당 공간의 SF₆가스농도가 높게 측정될 가능성이 있으며 그 반대의 경우도 발생할 수 있기 때문이다.

Acknowledgements

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Science, ICT & Future Planning (2013R1A1A1076042)

14) Appendix A : Database of Biological Weapon Agents(Kowalski, Wladyslaw; 2002, Immune Building Systems Technology)

References

Centers for Disease Control and Prevention(CDC) and Healthcare Infection Control Practices Advisory Committee(HICPAC), 2003. Guidelines for Environmental Infection Control in Health-Care Facilities

European Network for Highly Infectious Diseases, Manual for the safe and appropriate management of Highly Infectious Disease patients in isolation facilities

Kowalski, Wladyslaw, 2002, Immune Building Systems Technology - Appendix A : Database of Biological Weapon Agents

The Facility Guidelines Institute(FGI), 2014, Guidelines For Design and Construction of Health Care Facilities.

Victorian Advisory Committee on Infection Control, 2007, Guidelines for the classification and design of isolation rooms in health care facilities

권순정, 2016.10, 중증 호흡기 감염병 진료를 고려한 음압격리병동부의 건축계획, 한국의료복지건축학회지, 22권 3호

김영주, 김희갑, 2007, 환경통계학

법제처, 감염병의 예방 및 관리에 관한 법률, 2015.12.29

보건복지부, 한국의료복지건축학회, 2013, 지역거점 공공병원 병동부 건축계획기준개발

아주대학교 산학협력단, 2012, 2012년도 공중보건위기사업단 운영 최종보고서

연세대학교 의료법윤리학연구원, 2013, 의료기관 시설기준 개선방안 연구용역 최종보고

질병관리본부, 2011, 국가지정입원치료(격리)병상 운영과 관리

질병관리본부, 2011, 지역별 거점병원 운영과 관리

한양대학교 산학협력단, 2013, 2013년도 공중보건위기사업단 운영 최종보고서

日本醫療福祉施設協會, 2013, 病院空調設備の設計 및 管理指針 (HEAS-02-2013)

放射線醫學綜合研究所, 라돈 濃度測定・線量平價委員會, 1998, 日本 労働厚生省, 2004, 感染症指定医療機関の施設基準の手引き

접수 : 2016년 10월 17일

1차 심사완료 : 2016년 11월 08일

게재확정일자 : 2016년 11월 08일

3인 익명 심사 필