



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2025년05월28일
(11) 등록번호 10-2814647
(24) 등록일자 2025년05월26일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G16H 50/80 (2018.01) G01N 33/00 (2006.01)
G16H 40/60 (2018.01) G16H 50/50 (2018.01)
(52) CPC특허분류
G16H 50/80 (2018.01)
G01N 33/0036 (2024.05)
(21) 출원번호 10-2022-0113589
(22) 출원일자 2022년09월07일
심사청구일자 2022년09월07일
(65) 공개번호 10-2024-0034504
(43) 공개일자 2024년03월14일

(73) 특허권자
국립한밭대학교 산학협력단
대전광역시 유성구 동서대로 125 (덕명동)
(72) 발명자
조진균
대전광역시 유성구 동서대로 125, N13동 302호
박병용
대전광역시 유성구 동서대로 125, N13동 303호
(74) 대리인
특허법인 아이퍼스

(56) 선행기술조사문헌
W02022170128 A1*
박정민. "교실에서 비말 발생 위치 및 실내 기류가 비말 확산에 미치는 영향 분석." [석사학위논문, 성균관대학교].(2022.02.28.) 1부.*
Sheng Zhang, Zhang Lin. "Dilution-based evaluation of airborne infection risk-Thorough expansion of Wells-Riley model." Building and Environment 194 (2021) 107674.(2021.02.09.) 1부.*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

전체 청구항 수 : 총 8 항

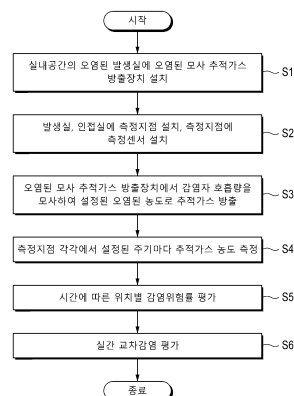
심사관 : 여정진

(54) 발명의 명칭 추적가스를 이용한 단일공간 감염위험률과 실간 교차감염 평가장치 및 평가방법

(57) 요약

본 발명은 추적가스를 이용한 단일공간 감염위험률과 실간 교차감염 평가장치 및 평가방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 오염원을 모사한 추적가스를 이용하여 공기회석기반 감염위험률을 평가하기 위한 장치로서, 오염원이 발생된 실내공간; 상기 실내공간의 오염원 위치에 구비되며 추적가스를 설정된 농도로 방출하는 오염원 모사 추적가스 방출장치; 상기 실내공간에 적어도 하나 이상의 측정지점에 구비되어 상기 추적가스 농도를 측정하는 측정센서; 및 상기 측정지점 각각에서 측정된 추적가스 농도를 기반으로 위치별 감염위험률을 평가하는 위치별 감염위험률 분석부;를 포함하는 것을 특징으로 하는 추적가스를 이용한 단일공간 감염위험률과 실간 교차감염 평가장치에 관한 것이다.

대표도 - 도3



(52) CPC특허분류

G01N 33/0075 (2024.05)

G16H 40/60 (2021.08)

G16H 50/50 (2018.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1465036813
과제번호	HG22C0017000022
부처명	보건복지부
과제관리(전문)기관명	한국보건산업진흥원
연구사업명	감염병의료안전강화기술개발사업
연구과제명	감염병 격리 치료 시설 확충을 위한 기존 의료시설 긴급 전환 기술 개발
기 여 율	1/2
과제수행기관명	국립한밭대학교 산학협력단
연구기간	2022.04.01 ~ 2024.12.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1615012641
과제번호	161800
부처명	국토교통부
과제관리(전문)기관명	국토교통과학기술진흥원
연구사업명	국토교통기술사업화지원
연구과제명	국가 전염병 재난 대응, 자율 확장 및 신속 설치/해체가 가능한 이동형 음압격리병
실 사업화 모델 개발	
기 여 율	1/2
과제수행기관명	국립한밭대학교 산학협력단
연구기간	2022.01.01 ~ 2023.06.30

명세서

청구범위

청구항 1

오염원이 발생된 실내공간에서, 오염원을 모사한 추적가스를 이용하여 공기회석기반 감염위험률을 평가하기 위한 장치로서,

상기 실내공간의 오염원 위치에 구비되며 추적가스를 설정된 농도로 방출하는 오염원 모사 추적가스 방출장치; 상기 실내공간에 적어도 하나 이상의 측정지점에 구비되어 상기 추적가스 농도를 측정하는 측정센서; 상기 측정지점 각각에서 측정된 추적가스 농도를 기반으로 위치별 감염위험률을 평가하는 위치별 감염위험률 분석부; 및 상기 오염원 모사 추적가스 방출장치가 설정된 오염원 농도로 감염자 호흡량을 모사하여 일정한 방출량이 되도록 제어하는 제어부;를 포함하고,

상기 제어부는 측정지점 각각의 측정센서가 동기화되어 설정된 주기마다 동시에 추적가스 농도가 측정되도록 제어하며,

상기 위치별 감염위험률 분석부는, 측정 지점별로, 측정위치에서의 추적가스 농도값을 기준으로 하기 수학적식 3에 의해 회석비율을 산출하고, 경계조건을 기준으로 위치별 감염위험률을 평가하고,

상기 위치별 감염위험률 분석부는, 상기 회석비율을 산출하고 하기 수학적식 8에 의해 위치별 감염위험률(P)을 평가하며,

상기 Φ 는 하기 수학적식 5에 의해 정의되고,

상기 실내공간은 오염원이 위치되는 오염원 발생실과 상기 오염원 발생실과 구획된 인접실로 분리되며, 상기 측정지점은 상기 오염원 발생실과 상기 인접실 각각에 적어도 하나 이상위치되며, 상기 인접실 내의 측정지점에서 측정된 추적가스 검출유무에 따라 실간 교차감염 여부를 판단하는 교차감염평가부;를 포함하며,

상기 오염원 발생실과 상기 인접실간의 차압을 측정하는 차압측정부;를 포함하고, 상기 교차감염평가부는 상기 차압측정부에서 측정된 차압값과, 상기 인접실의 측정지점에서 측정된 추적가스 농도를 기반으로 산출된 회석비율과 상기 수학적식 8에 의해 평가된 감염위험률을 기반으로 실간 교차감염을 평가하는 것을 특징으로 하는 추적가스를 이용한 단일공간 감염위험률과 실간 교차감염 평가장치:

[수학적식 3]

$$D = \frac{C_{source}}{C_{target}}$$

여기서, D 는 측정위치에서의 환기에 의한 공기 회석비율, C_{source} 는 설정된 오염원 농도 및 C_{target} 는 측정위치에서의 추적가스 농도이고,

[수학적식 8]

$$P = 1 - \exp\left(-\int_0^t \frac{\Phi p_{susceptable} q}{p_{infectior} D} dt\right)$$

상기 수학적식 8에서, P 는 감염위험률, q 는 양자 발생수, Φ 는 재실자가 마스크를 착용한 경우 마스크 투과율 계수, $p_{susceptable}$ 은 감염잠재자의 호흡량, $p_{infectior}$ 는 감염자의 호흡량, D 는 회석비율이며,

[수학적식 5]

$$\Phi = (1 - \eta)^n$$

η 는 마스크의 효율이고 n 은 마스크를 착용한 사람의 수이다.

청구항 2

삭제

청구항 3

삭제

청구항 4

삭제

청구항 5

삭제

청구항 6

삭제

청구항 7

삭제

청구항 8

삭제

청구항 9

제 1항에 따른 추적가스를 이용한 단일공간 감염위험률과 실간 교차감염 평가장치를 이용한 평가방법으로서,
실내공간의 오염원 발생위치에 설정된 농도로 추적가스가 방출되는 오염원 모사 추적가스 방출장치를 설치하고,
상기 실내공간에 적어도 하나 이상의 측정지점에 측정센서를 설치하는 단계;
상기 오염원 모사 추적가스 방출장치가 설정된 오염원 농도로 감염자 호흡량을 모사하여 일정한 방출량이 되도록 추적가스를 취출시키는 단계;
측정지점 각각의 측정센서가 동기화되어 설정된 주기마다 동시에 추적가스 농도를 측정하는 단계;
위치별 감염위험률 분석부가 상기 측정지점 각각에서 측정된 추적가스 농도를 기반으로 시간에 따른 위치별 감염위험률을 평가하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 추적가스를 이용한 단일공간 감염위험률과 실간 교차감염 평가방법.

청구항 10

제 9항에 있어서,

상기 추적가스는 SF_6 또는 CO_2 인 것을 특징으로 하는 추적가스를 이용한 단일공간 감염위험률과 실간 교차감염 평가방법.

청구항 11

제 9항에 있어서,

상기 위치별 감염위험률을 평가하는 단계는,

상기 위치별 감염위험률 분석부가 측정 지점별로, 측정위치에서의 추적가스 농도값을 기준으로 하기 수학식 3에 의해 회석비율을 산출하고, 경계조건을 기준으로 위치별 감염위험률을 평가하는 것을 특징으로 하는 추적가스를 이용한 단일공간 감염위험률과 실간 교차감염 평가방법:

[수학식 3]

$$D = \frac{C_{source}}{C_{target}}$$

여기서, D 는 측정위치에서의 환기에 의한 공기 회석비율, C_{source} 는 설정된 오염원 농도 및 C_{target} 는 측정위치에서의 추적가스 농도이다.

청구항 12

제 11항에 있어서,

상기 회석비율을 산출하고 하기 수학식 8에 의해 위치별 감염위험률(P)을 평가하는 것을 특징으로 하는 추적가스를 이용한 단일공간 감염위험률과 실간 교차감염 평가방법:

[수학식 8]

$$P = 1 - \exp\left(-\int_0^t \frac{\Phi p_{susceptible} q}{p_{infectior} D}\right)$$

상기 수학식 8에서, P 는 감염위험률, q 는 양자 발생수, Φ 는 재실자가 마스크를 착용한 경우 마스크 투과율 계수, $p_{susceptible}$ 은 감염잠재자의 호흡량, $p_{infectior}$ 는 감염자의 호흡량, D 는 회석비율이다.

청구항 13

제 12항에 있어서,

상기 Φ 는 하기 수학식 5에 의해 정의되는 것을 특징으로 하는 추적가스를 이용한 단일공간 감염위험률과 실간 교차감염 평가방법:

[수학식 5]

$$\Phi = (1 - \eta)^n$$

η 는 마스크의 효율이고 n 은 마스크를 착용한 사람의 수이다.

청구항 14

제 12항에 있어서,

상기 실내공간은 오염원이 위치되는 오염원 발생실과 상기 오염원 발생실과 구획된 인접실로 분리되며,

상기 측정지점은 상기 오염원 발생실과 상기 인접실 각각에 적어도 하나 이상위치되며,

교차감염평가부가 상기 인접실 내의 측정지점에서 측정된 추적가스 검출유무에 따라 실간 교차감염 여부를 판단하는 단계;를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 추적가스를 이용한 단일공간 감염위험률과 실간 교차감염 평가방법.

청구항 15

제 14항에 있어서,

상기 오염원 발생실과 상기 인접실간의 차압을 측정하는 차압측정부;를 더 포함하고,

상기 교차감염평가부는 상기 차압측정부에서 측정된 차압값과, 상기 인접실의 측정지점에서 측정된 추적가스 농도를 기반으로 산출된 희석비율과 상식 수학식 8에 의해 평가된 감염위험율을 기반으로 실간 교차감염을 평가하는 것을 특징으로 하는 추적가스를 이용한 단일공간 감염위험률과 실간 교차감염 평가방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 추적가스를 이용한 단일공간 감염위험률과 실간 교차감염 평가장치 및 평가방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 2019년 COVID-19의 발병 이후, 사회적 거리두기(물리적 거리두기)를 시행한 목적은 감염자와 비감염자 사이의 접촉 가능성을 감소시켜 질병의 전파를 늦추고 궁극적으로 사망률을 최소화하는 것으로 초기에는 개인 또는 집단 간 접촉을 최소화하여 감염병의 전파를 감소시키는 공중보건학적 감염병 통제 전략이다.

[0003] 사회적 거리두기는 기침이나 재채기 등의 비말감염의 경우에 가장 효과적이다. 그러나 SARS-CoV-2 병원균은 감염자부터 공기를 통해 전염될 수 있고 작은 에어로졸 비말에 포함된 병원균이 공기 중에서 상당 시간 생존할 수 있다는 증거제시가 증가하고 있다.

[0004] 또한, 건물의 실내(공기)환경을 조성하는 데 사용되는 환기 시스템이 공기매개 감염병 전파에 영향을 미친다. 따라서 환기시스템에 의한 실간 교차감염과 동일 실내 공간에서 감염에 대한 위험성이 커지게 된다.

[0005] 의료진은 의료환경과 지역사회 사이의 경계에 있기 때문에 병원에서 감염병 발병이 시작되어 지역사회로 확대하는 역할도 할 수 있다. 따라서, 감염병 대응 치료환경에 대한 새로운 대안과 방법을 고려해야한다. 기존에도 감염병 치료 대응을 위한 음압병실에 대한 설치기준 및 지침(CDC, 2003) 등이 잘 구축되어 있으며, 현재의 COVID-19 팬데믹에서도 중요한 역할을 하고 있다. 또한, 병실 내부에서의 의료진과 환자 간의 공기매개로 인한 교차감염위험을 줄이기 위한 방안과 환기시스템 등이 제시되었다. (Cheong & Phua, 2006; Tung, Hu, Tsai & Chang, 2009; Cho, 2019)

[0006] 도 1은 a) AGMP 및 b) 위생/배관 시스템을 통한 병원에서의 바이러스 전파 경로를 나타낸 것이다.

[0007] 최근, 위험성이 제기된 에어로졸생성 의료절차(AGMPs: aerosol generating medical procedures)는 치료를 위해 공기 중 작은 입자(에어로졸)를 방출할 수 있는 활동을 의미하며 환자에게 제공되는 일부절차는 기침, 재채기, 대화 또는 호흡 보다 더 높은 농도의 전염성 호흡기 에어로졸을 생성할 가능성이 크다 (도 1a) 이러한 AGMPs로 인해 의료진이 교차감염에 노출될 위험이증가할 수 있다. 교차감염의 또 다른 형태는 실간 공기이동에 따른 것이다. 도 1a의 음압병실은 기본적으로 차압제어를 하기 때문에 환기시스템에 의한 직접적인 실간 이동은 쉽지 않다. 그러나 도 1b와 같이, 위생설비(배관 등)를 통한 이러한 감염경로는 병원 내 다른 공간으로의 병원균 확산의 원인이 될 수 있다. 2013년 홍콩의 공동주택에서 오·배수 배관이 SARS-CoV-1을 인접 세대로 전파하는 잠재적 경로로 간주되었다. 2020년 SARS-CoV-2 양성이 판정된 사람의 대변을 통한 전염 가능성이 확인되었고, 23 개의 치료/검역소 샘플을 수집한 연구결과, 화장실(50%)에서 SARS-CoV-2의 높은 양성이 나타나 그 중에서 변기와 하수구가 해당 병원균 농도가 가장 높은 오염원으로 측정되었다. 이러한 현상은 명확하게 규명되지 않았지만 의료시설, 공동주택 등의 많은 사례보고에서 합리적인 의심을 할 수 있는 현상이다. 무엇보다도 의료시설은 교차감염으로부터 안전해야 하며, 의료공간의 신뢰를 높이고 중단 없이 지속적으로 의료서비스를 제공할 수 있도록 시설의 안전성이 확보되어야 한다.

[0008] 병원균을 포함한 공기(에어로졸)가 실내로 전파되는 것을 방지하기 위해서는 설비적인 통제가 중요한 역할을 한다. SARS-CoV-2 병원균 전파(사람의 호흡에서 나오는 바이러스가 포함된 에어로졸을 통한 공기전파)는 주로 상대적으로 밀폐된 실내 환경에서 발생한다. 그리고 Escombe et al (2007)은 실내의 환기량이 공기 중 감염인자에 대한 주요한 제거 메커니즘임을 입증했다. Wells-Riley 모델은 공기를 통한 감염성 질병전파에 대한 많은 연구

에서 광범위하게 사용되었다. 1974년 홍역 발병 이후 Riley, Murphy & Riley (1978)는 수학적 1과 같이, 공기 중 감염위험을 정량적으로 평가하는 가장 고전적인 Wells-Riley 모델을 제안했다.

[0009] [수학적 1]

$$P = \frac{C}{S} = 1 - \exp\left(-\frac{I_q p t}{Q}\right)$$

[0011] 여기서, P 는 감염위험을 [%], C 는 감염 환자수 [N], S 는 감염 잠재 환자수 [N], I 는 병원균을 배출하는 환자수 [N], q 는 병원균 양자 발생수 [quanta/h]와 p 는 사람의 호흡량 [m^3/h], t 는 병원균에 대한 누적 노출시간 [h] 및 Q 는 실내 환기량 [m^3/h]을 나타낸다.

[0012] 해당 모델은 밀폐된 공간의 공기가 정상상태에 있고 완전히 혼합되어 있다는 가정 하에 있기 때문에 많은 한계점을 갖고 있다. 따라서 이러한 Wells-Riley 모델의 한계를 극복하기 위해 많은 연구가 이루어졌다. 비정상상태의 대체 식을 제안하였지만 여전히 완전한 실내공기의 혼합을 전제로 하고 있다. 또한, 수학적 2의 공간흐름영향인자(SFIF: spatial flow impact factor)는 정상상태 기류장 형식 및 특성에 대한분석을 제공한다. (Wang, Tao, Lu & Wang, 2013)

[0013] [수학적 2]

$$\nabla \cdot (\rho_A v - \Gamma_A \nabla \rho_A) = S_i$$

[0015] 여기서, v 는 속도벡터, S_i 는 i 번째 오염원의 방출속도($i = 1, 2, 3, \dots$), ρ_A 및 Γ_A 는 공기 중 오염물질 A의 질량밀도 및 물질전달계수이다. Guo et al (2021)은 SFIF 방법과 Wells-Riley 모델을 결합하여 감염위험에 대한 공간분포를 도출하는 새로운 접근 방식을 개발했다. 그러나 CFD와 통합된 모델로 일정한 기류가 있는 주어진 공간에 대한 오염물질 농도 방정식을 사용하여 CFD 수치해석이 수행되어야 한다. Zhang & Lin (2021)은 공기 중 감염위험을 환기에 의한 희석기반 평가방법을 제안하였다.

[0016] 위치별 및 시간별 오염농도의 희석비율을 고려한 감염위험을 평가는 기본적으로 Wells-Riley 모델을 기반으로 하였다. 실험방법으로, 추적가스는 기체형태의 오염물질을 모사하는데 사용되며 공기와 혼합된 추적가스는 호흡기로 방출하는 오염(병원균)을 설정하고 실험하는 데 빈번하게 활용된다.

[0017] 병원균을 포함한 공기전파의 검증은 많은 연구사례에서 SF₆, CO₂ 등의 추적가스를 사용하여 평가를 하였다. (Lim, Cho & Kim, 2010; Gilkeson, Camargo-Valero, Pickin & Noakes, 2013; Wu, Tung & Niu, 2016; Cho, 2019; Tang, Pan & Li, 2022)

[0018] 공간단위의 환기량을 결정하기 위해 모니터링된 추적가스 농도가 사용된다. 안정된 공기흐름과 잘 혼합된 실내 추적가스를 가정하면 시간에 따른 농도변화는 물질수지식으로 계산할 수 있다.

[0019] 감염위험은 지속적으로 개선되고 변형되어 왔지만 여전히 한계점은 존재한다. 또한 실제 운영 중인 건물 내의 교차감염에 대한 위험을 검증방법은 없거나 단편적인 오염농도의 상대적인 비교에 국한되었다.

선행기술문헌

특허문헌

[0020] (특허문헌 0001) 대한민국 공개특허 10-2022-0105205

(특허문헌 0002) 대한민국 등록특허 10-2265617

(특허문헌 0003) 대한민국 등록특허 10-1796994

(특허문헌 0004) 대한민국 공개특허 10-2022-0047046

비특허문헌

- [0021] (비특허문헌 0001) 1. CDC (2003). Guidelines for Environmental Infection Control in Health-Care Facilities, U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, Atlanta, GA 30329.
- (비특허문헌 0002) 2. 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, 1161-1170.
- (비특허문헌 0003) 3. Tung, Y., Hu, S., Tsai, T. & Chang, I-L. (2009). An experimental study on ventilation efficiency of isolation room, Building and Environment, 44(2), 271-279.
- (비특허문헌 0004) 4. Cho, J. (2019). Investigation on the contaminant distribution with improved ventilation system in hospital isolation rooms: Effect of supply and exhaust air diffuser configurations, Applied Thermal Engineering, 148, 208-218.
- (비특허문헌 0005) 5. Escombe, A. R., Oeser, C. C., Gilman, R. H., Navincopa, M., Ticona, E., Pan, W. & Evans, C. A. (2007). Natural ventilation for the prevention of airborne contagion. PLoS Medicine, 4(2), e68.
- (비특허문헌 0006) 6. Riley, E. C., Murphy, G. & Riley, R. L. (1978) Airborne spread of measles in a suburban elementary school, American Journal of Epidemiology, 107(5), 421-432.
- (비특허문헌 0007) 7. Wang, X., Tao, W., Lu, Y. & Wang, F. (2013). A method to identify the point source of indoor gaseous contaminant based on limited on-site steady concentration measurements, Building Simulation, 6(4), 395-402.
- (비특허문헌 0008) 8. Zhang, S. & Lin, Z. (2021). Dilution-based evaluation of airborne infection risk: Thorough expansion of Wells-Riley model, Building and Environment, 194, Article 107674.
- (비특허문헌 0009) 9. 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.
- (비특허문헌 0010) 10. Gilkeson, C. A., Camargo-Valero, M. A., Pickin, L. E. & Noakes, C. J. (2013). Measurement of ventilation and airborne infection risk in large naturally ventilated hospital wards, Building and Environment, 65, 35-48.
- (비특허문헌 0011) 11. Wu, Y., Tung, T. C. W. & Niu, J-l. (2016). On-site measurement of tracer gas transmission between horizontal adjacent flats in residential building and cross-infection risk assessment, Building and Environment, 99, 13-21.
- (비특허문헌 0012) 12. Tang, H., Pan, Z. & Li, C. (2022). Tempo-spatial infection risk assessment of airborne virus via CO2 concentration field monitoring in built environment, Building and Environment, 217, Article 109067.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0022] 따라서 본 발명은 상기와 같은 종래의 문제점을 해결하기 위하여 안출된 것으로서, 본 발명의 실시 예에 따르면, 병원 내 감염으로부터 의료진과 환자의 안정성이 확보된 의료공간과 설비시스템을 구현하고 최종적으로 운영단계에서 해당 성능을 확보하기 위해서 합리적인 교차감염 검증방법을 제시하는데 그 목적이 있다.
- [0023] 본 발명의 실시 예에 따르면, 팬데믹과 같은 감염병 대응을 위한 의료시설의 공조시스템 계획 및 설계검증과 운영단계에서 TAB와 커미셔닝 개념의 실간 교차감염 및 실내 감염위험을 도출을 위한 현장측정방법과 실험기준을 제시하는 것을 목적으로 한다.
- [0024] 본 발명의 실시 예에 따르면, 기존의 연구에서 제시하는 공간 전체의 평균적인 감염위험율의 한계와 문제점을

개선하여 병원균이 발생한 공간 또는 인접공간 내에서의 감염위험율을 환기시스템에 의한 실내공기의 희석을 고려하여 시간에 따른 측정 위치별 감염위험율을 정량적으로 평가하는데 그 목적이 있다.

[0025] 그리고 본 발명의 실시 예에 따르면, 희석기반 평가방법을 적용한 추적가스 현장측정방법을 제시함으로써 실간 교차감염 및 위치별, 노출시간별 감염위험율을 정량적으로 평가할 수 있는 기반을 마련하는데 그 목적이 있다.

[0026] 한편, 본 발명에서 이루고자 하는 기술적 과제들은 이상에서 언급한 기술적 과제들로 제한되지 않으며, 언급하지 않은 또 다른 기술적 과제들은 아래의 기재로부터 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0027] 본 발명의 제1목적은 오염원을 모사한 추적가스를 이용하여 Zhang & Lin (2021)이 제안한 공기희석기반 감염위험율을 평가하기 위한 장치로서, 오염원이 발생된 실내공간; 상기 실내공간의 오염원 위치에 구비되며 추적가스를 설정된 농도로 방출하는 오염원 모사 추적가스 방출장치; 상기 실내공간에 적어도 하나 이상의 측정지점에 구비되어 상기 추적가스 농도를 측정하는 측정센서; 및 상기 측정지점 각각에서 측정된 추적가스 농도를 기반으로 위치별 감염위험율을 평가하는 위치별 감염위험률 분석부;를 포함하는 것을 특징으로 하는 추적가스를 이용한 단일공간 감염위험률과 실간 교차감염 평가장치로서 달성될 수 있다.

[0028] 그리고 상기 오염원 모사 추적가스 방출장치가 설정된 오염원 농도로 감염자 호흡량을 모사하여 일정한 방출량이 되도록 제어하는 제어부;를 더 포함하는 것을 특징으로 할 수 있다.

[0029] 또한 상기 제어부는 측정지점 각각의 측정센서가 동기화되어 설정된 주기마다 동시에 추적가스 농도가 측정되도록 제어하는 것을 특징으로 할 수 있다.

[0030] 그리고 상기 위치별 감염위험률 분석부는, 측정 지점별로, 측정위치에서의 추적가스 농도값을 기준으로 하기 수학적식 3에 의해 희석비율을 산출하고, 경계조건을 기준으로 위치별 감염위험율을 평가하는 것을 특징으로 할 수 있다.

[0031] [수학적식 3]

$$D = \frac{C_{source}}{C_{target}}$$

[0032]

[0033] 여기서, D 는 측정위치에서의 환기에 의한 공기 희석비율, C_{source} 는 설정된 오염원 농도 및 C_{target} 는 측정위치에서의 추적가스 농도이다.

[0034] 그리고 상기 위치별 감염위험률 분석부는, 상기 희석비율을 산출하고 하기 수학적식 8에 의해 위치별 감염위험율(P)을 평가하는 것을 특징으로 할 수 있다.

[0035] [수학적식 8]

$$P = 1 - \exp\left(-\int_0^t \frac{\Phi p_{susceptible} q}{p_{infecter} D} dt\right)$$

[0036]

[0037] 상기 수학적식 8에서, P 는 감염위험율, q 는 양자 발생수, Φ 는 재실자가 마스크를 착용한 경우 마스크 투과율 계수, $p_{susceptible}$ 은 감염잠재자의 호흡량, $p_{infecter}$ 는 감염자의 호흡량, D 는 희석비율이다.

[0038] 또한 상기 Φ 는 하기 수학적식 5에 의해 정의되는 것을 특징으로 할 수 있다.

[0039] [수학적식 5]

$$\Phi = (1 - \eta)^n$$

[0040]

[0041] η 는 마스크의 효율이고 n 은 마스크를 착용한 사람의 수이다.

[0042] 그리고 상기 실내공간은 오염원이 위치되는 오염원 발생실과 상기 오염원 발생실과 구획된 인접실로 분리되며, 상기 측정지점은 상기 오염원 발생실과 상기 인접실 각각에 적어도 하나 이상 위치되며, 상기 인접실 내의 측정지점에서 측정된 추적가스 검출유무에 따라 실간 교차감염 여부를 판단하는 교차감염평가부;를 더 포함하는 것을 특징으로 할 수 있다.

[0043] 또한 상기 오염원 발생실과 상기 인접실간의 차압을 측정하는 차압측정부;를 더 포함하고, 상기 교차감염평가부는 상기 차압측정부에서 측정된 차압값과, 상기 인접실의 측정지점에서 측정된 추적가스 농도를 기반으로 산출된 회석비율과 상식 수학적 8에 의해 평가된 감염위험율을 기반으로 실간 교차감염을 평가하는 것을 특징으로 할 수 있다.

[0044] 본 발명의 제2목적은 오염원을 모사한 추적가스를 이용하여 Zhang & Lin (2021)이 제안한 공기회석기반 감염위험률을 평가하기 위한 방법으로서, 실내공간의 오염원 발생위치에 설정된 농도로 추적가스가 방출되는 오염원 모사 추적가스 방출장치를 설치하고, 상기 실내공간에 적어도 하나 이상의 측정지점에 측정센서를 설치하는 단계; 상기 오염원 모사 추적가스 방출장치가 설정된 오염원 농도로 감염자 호흡량을 모사하여 일정한 방출량이 되도록 추적가스를 취출시키는 단계; 측정지점 각각의 측정센서가 동기화되어 설정된 주기마다 동시에 추적가스 농도를 측정하는 단계; 위치별 감염위험률 분석부가 상기 측정지점 각각에서 측정된 추적가스 농도를 기반으로 시간에 따른 위치별 감염위험률을 평가하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 추적가스를 이용한 단일공간 감염위험률과 실간 교차감염 평가방법으로서 달성될 수 있다.

[0045] 그리고 상기 추적가스는 SF₆ 또는 CO₂인 것을 특징으로 할 수 있다.

[0046] 또한 상기 실내공간은 오염원이 위치되는 오염원 발생실과 상기 오염원 발생실과 구획된 인접실로 분리되며, 측정지점은 상기 오염원 발생실과 상기 인접실 각각에 적어도 하나 이상 위치되며, 교차감염평가부가 상기 인접실 내의 측정지점에서 측정된 추적가스 검출유무에 따라 실간 교차감염 여부를 판단하는 단계;를 더 포함하는 것을 특징으로 할 수 있다.

[0047] 그리고 상기 오염원 발생실과 상기 인접실간의 차압을 측정하는 차압측정부;를 더 포함하고, 상기 교차감염평가부는 상기 차압측정부에서 측정된 차압값과, 상기 인접실의 측정지점에서 측정된 추적가스 농도를 기반으로 산출된 회석비율과 상식 수학적 8에 의해 평가된 감염위험율을 기반으로 실간 교차감염을 평가하는 것을 특징으로 할 수 있다.

발명의 효과

[0048] 추적가스를 이용한 단일공간 감염위험률 평가장치, 실간 교차감염 평가장치 및 평가방법에 따르면, 병원 내 감염으로부터 의료진과 환자의 안정성이 확보된 의료공간과 설비시스템을 구현하고 최종적으로 운영단계에서 해당 성능을 확보하기 위해서 합리적인 교차감염 검증방법을 제시할 수 있다.

[0049] 추적가스를 이용한 단일공간 감염위험률 평가장치, 실간 교차감염 평가장치 및 평가방법에 따르면, 팬데믹과 같은 감염병 대응을 위한 의료시설의 공조시스템 계획 및 설계검증과 운영단계에서 TAB와 커미셔닝 개념의 실간 교차감염 및 실내 감염위험을 도출을 위한 현장측정방법과 실험기준을 제시할 수 있다.

[0050] 추적가스를 이용한 단일공간 감염위험률 평가장치, 실간 교차감염 평가장치 및 평가방법에 따르면, 기존의 연구에서 제시하는 공간 전체의 평균적인 감염위험율의 한계와 문제점을 개선하여 병원균이 발생한 공간 또는 인접 공간 내에서의 감염위험율을 환기시스템에 의한 실내공기의 회석을 고려하여 시간에 따른 측정 위치별 감염위험율을 정량적으로 평가할 수 있다.

[0051] 그리고 추적가스를 이용한 단일공간 감염위험률 평가장치, 실간 교차감염 평가장치 및 평가방법에 따르면, 회석기반 평가방법을 적용한 추적가스 현장측정방법을 제시함으로써 실간 교차감염 및 위치별, 노출시간별 감염위험율을 정량적으로 평가할 수 있다.

[0052] 한편, 본 발명에서 얻을 수 있는 효과는 이상에서 언급한 효과들로 제한되지 않으며, 언급하지 않은 또 다른 효과들은 아래의 기재로부터 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

[0053] 본 명세서에 첨부되는 다음의 도면들은 본 발명의 바람직한 실시 예를 예시하는 것이며, 발명의 상세한 설명과

함께 본 발명의 기술적 사상을 더욱 이해시키는 역할을 하는 것이므로, 본 발명은 그러한 도면에 기재된 사항에만 한정되어 해석 되어서는 아니 된다.

도 1은 a) AGMP 및 b) 위생/배관 시스템을 통한 병원에서의 바이러스 전파 경로,

도 2는 본 발명의 실시 예에 따른 추적가스를 이용한 단일공간 감염위험률과 실간 교차감염 평가장치의 블록도,

도 3은 본 발명의 실시 예에 따른 추적가스를 이용한 단일공간 감염위험률과 실간 교차감염 평가방법의 흐름도,

도 4는 본 발명의 실시 예에 따른 측정장비 교정 사진,

도 5는 본 발명의 실시 예에 따른 추적 가스 도징(dosing) 및 샘플링 지점의 도식적 위치,

도 6은 a) 음압격리병실(AIIR)의 개선된 환기 전략, b) AIIR의 현장 추적 가스 테스트 및 c) 측정 장비 및 샘플링 지점의 위치,

도 7은 본 발명의 실험 예에 따른 측정 결과 - SF₆ 농도 프로파일,

도 8은 본 발명의 실험 예에 따른 평가 결과 - 시간에 따른 희석 비율 프로파일,

도 9는 본 발명의 실험 예에 따른 평가 결과 - 시간에 따른 감염 위험 프로파일.

도 10은 (a) Wells-Riley 방법 및 (b) 본 발명에 따른 희석 기반 방법에 의해 계산된 감염 확률(PI)의 분포를 도시한 것이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0054] 이상의 본 발명의 목적들, 다른 목적들, 특징들 및 이점들은 첨부된 도면과 관련된 이하의 바람직한 실시 예들을 통해서 쉽게 이해될 것이다. 그러나 본 발명은 여기서 설명되는 실시 예들에 한정되지 않고 다른 형태로 구체화될 수도 있다. 오히려, 여기서 소개되는 실시 예들은 개시된 내용이 철저하고 완전해질 수 있도록 그리고 통상의 기술자에게 본 발명의 사상이 충분히 전달될 수 있도록 하기 위해 제공되는 것이다.
- [0055] 본 명세서에서, 어떤 구성요소가 다른 구성요소 상에 있다고 언급되는 경우에 그것은 다른 구성요소 상에 직접 형성될 수 있거나 또는 그들 사이에 제 3의 구성요소가 개재될 수도 있다는 것을 의미한다. 또한 도면들에 있어서, 구성요소들의 두께는 기술적 내용의 효과적인 설명을 위해 과장된 것이다.
- [0056] 본 명세서에서 기술하는 실시 예들은 본 발명의 이상적인 예시도인 단면도 및/또는 평면도들을 참고하여 설명될 것이다. 도면들에 있어서, 막 및 영역들의 두께는 기술적 내용의 효과적인 설명을 위해 과장된 것이다. 따라서 제조 기술 및/또는 허용 오차 등에 의해 예시도의 형태가 변형될 수 있다. 따라서 본 발명의 실시 예들은 도시된 특정 형태로 제한되는 것이 아니라 제조 공정에 따라 생성되는 형태의 변화도 포함하는 것이다. 예를 들면, 직각으로 도시된 영역은 라운드지거나 소정 곡률을 가지는 형태일 수 있다. 따라서 도면에서 예시된 영역들은 속성을 가지며, 도면에서 예시된 영역들의 모양은 소자의 영역의 특정 형태를 예시하기 위한 것이며 발명의 범주를 제한하기 위한 것이 아니다. 본 명세서의 다양한 실시 예들에서 제1, 제2 등의 용어가 다양한 구성요소들을 기술하기 위해서 사용되었지만, 이들 구성요소들이 이 같은 용어들에 의해서 한정되어서는 안 된다. 이들 용어들은 단지 어느 구성요소를 다른 구성요소와 구별시키기 위해서 사용되었을 뿐이다. 여기에 설명되고 예시되는 실시 예들은 그것의 상보적인 실시 예들도 포함한다.
- [0057] 본 명세서에서 사용된 용어는 실시 예들을 설명하기 위한 것이며 본 발명을 제한하고자 하는 것은 아니다. 본 명세서에서, 단수형은 문구에서 특별히 언급하지 않는 한 복수형도 포함한다. 명세서에서 사용되는 '포함한다(comprises)' 및/또는 '포함하는(comprising)'은 언급된 구성요소는 하나 이상의 다른 구성요소의 존재 또는 추가를 배제하지 않는다.
- [0058] 아래의 특정 실시 예들을 기술하는데 있어서, 여러 가지의 특정적인 내용들은 발명을 더 구체적으로 설명하고 이해를 돕기 위해 작성되었다. 하지만 본 발명을 이해할 수 있을 정도로 이 분야의 지식을 갖고 있는 독자는 이러한 여러 가지의 특정적인 내용들이 없어도 사용될 수 있다는 것을 인지할 수 있다. 어떤 경우에는, 발명을 기술하는 데 있어서 흔히 알려졌으면서 발명과 크게 관련 없는 부분들은 본 발명을 설명하는데 있어 별 이유 없이 혼돈이 오는 것을 막기 위해 기술하지 않음을 미리 언급해 둔다.
- [0060] 이하에서는 본 발명의 실시 예에 따른 추적가스를 이용한 단일공간 감염위험률과 실간 교차감염 평가장치 및 평가방법에 대해 설명하도록 한다.

- [0061] 도 2는 본 발명의 실시 예에 따른 추적가스를 이용한 단일공간 감염위험률과 실간 교차감염 평가장치의 블록도를 도시한 것이다. 그리고 도 3은 본 발명의 실시 예에 따른 추적가스를 이용한 단일공간 감염위험률과 실간 교차감염 평가방법의 흐름도를 도시한 것이다.
- [0062] 도 2에 도시된 바와 같이, 본 발명의 실시 예에 따른 추적가스를 이용한 단일공간 감염위험률과 실간 교차감염 평가장치(100)는 오염원 모사 추적가스 방출장치(20), 복수의 측정센서(30), 위치별 감염위험률 분석부(40), 제어부(70), 교차감염평가부(50), 차압측정부(60) 등을 포함하여 구성될 수 있다.
- [0063] 오염원 모사 추적가스 방출장치(20)는 실내공간의 오염원 위치에 구비되며 추적가스를 설정된 농도로 방출하도록 구성된다. 이러한 추적가스는 SF₆ 또는 CO₂ 등일 수 있다.
- [0064] 즉, 실내공간의 오염원 발생위치에 설정된 농도로 추적가스가 방출되는 오염원 모사 추적가스 방출장치(20)를 설치하고(S1), 실내공간에 적어도 하나 이상의 측정지점에 측정센서(30)를 설치하게 된다(S2)
- [0065] 그리고 오염원 모사 추적가스 방출장치(20)가 설정된 오염원 농도로 감염자 호흡량을 모사하여 일정한 방출량이 되도록 추적가스를 취출시키게 된다(S3).
- [0066] 그리고 실내공간에 복수의 측정지점 각각에 측정센서(30)가 구비되어 추적가스 농도를 측정하게 된다(S4). 위치별 감염위험률 분석부(40)는 측정지점 각각에서 측정된 추적가스 농도를 기반으로 위치별 감염위험률을 평가한다(S5).
- [0067] 또한 제어부(70)는 오염원 모사 추적가스 방출장치(20)가 설정된 오염원 농도로 감염자 호흡량을 모사하여 일정한 방출량이 되도록 제어한다. 또한 제어부(70)는 측정지점 각각의 측정센서(30)가 동기화되어 설정된 주기마다 동시에 추적가스 농도가 측정되도록 제어한다.
- [0068] 그리고 실내공간은 오염원이 위치되는 오염원 발생실과 이러한 오염원 발생실과 구획된 인접실로 분리될 수 있으며, 측정지점은 오염원 발생실과 인접실 각각에 복수로 설정될 수 있다.
- [0069] 따라서 교차감염평가부(50)는 인접실 내의 측정지점에서 측정된 추적가스 검출유무에 따라 실간 교차감염 여부를 판단하게 된다(S6).
- [0070] 또한 본 발명의 평가장치는 오염원 발생실과 인접실간의 차압을 측정하는 차압측정부(60)를 포함할 수 있다. 그리고 교차감염평가부(50)는 차압측정부(60)에서 측정된 차압값과, 인접실의 측정지점에서 측정된 추적가스 농도를 기반으로 산출될 감염위험율로부터 실간 교차감염을 평가하게 된다.
- [0072] 이하에서는 구체적으로 본 발명에 따른 공기회석 기반한 해당 측정지점별 감염위험율을 평가하는 방법에 대해 설명하도록 한다. 실내공간에서 회석의 개념은 공기 중 오염물질을 청정한 공기로 회석하여 오염농도를 줄이는 것이다. 또한 회석은 공기 중 감염위험을 줄이는 환기 메커니즘이다. 회석의 개념에서의 회석비율은 오염원 농도 대비 측정위치의 오염농도의 비율로 정의된다. 회석비율은 오염원을 기준으로 위치 따라서 달라진다. 회석비율은 수학식 3과 같이, 현장에서 측정된 추적가스농도 분포에서 계산할 수 있다.
- [0073] [수학식 3]

$$D = \frac{C_{source}}{C_{target}}$$

- [0074]
- [0075] 여기서, D 는 측정위치에서의 환기에 의한 공기 회석비율 [%], C_{source} 는 오염원의 농도 [ppm] 및 C_{target} 는 측정위치의 농도 [ppm]이다. 회석비율을 고려한 측정위치에서의 공기 중 병원균 양자농도는 감염자가 발생시키는 병원균의 회석된 양자의 수는 수학식 4와 같이 계산된다. 양자는 감염량 단위이며, 1 quanta는 63.2%의 감염위험을 유발하는 데 필요한 병원균의 양이다. ($1 - \exp(-1) = 0.632$)
- [0076] [수학식 4]

$$C_{quantum} = \frac{\Phi q}{p_{infect} D}$$

[0077]

[0078] [수학식 5]

$$\Phi = (1 - \eta)^n$$

[0079]

[0080] 여기서, C_{quantum} 는 측정위치의 공기 중 양자농도[quanta/m³], p_{infecter} 는 감염자의 호흡량 [m³/h], Φ 는 재실자가 마스크를 착용할 경우, 해당 마스크의 투과율 계수이다. η 는 마스크의 효율이고 n 은 마스크를 착용한 사람의 수($n = 1$ or 2)로 감염자하고 측정위치에 있는 감염 잠재자가 모두 착용한 경우는 2를, 둘 중 하나만 착용한 경우는 1을 적용한다.

[0081] 양자 발생속도는 일반적으로 감염병 데이터가 있는 (수정된) Wells-Riley 모델을 사용하여 역으로 계산할 수 있다. 또한 해당 감염병 데이터를 사용하여 기본 발생수에서 계산하거나 병원체의 생물학적 특성에 대한 상세정보를 사용하여 예측할 수도 있다. 양자 농도에서 주어진 노출기간 동안 측정위치에 있는 사람이 흡입한 양자수(N_{quantum})는 수학식 6에 의해 계산된다. $p_{\text{susceptable}}$ 는 감염 잠재자(의료진)의 호흡량 [m³/h]이다. 흡입량을 사용하여 노출시간 동안 해당위치에 있는 사람의 감염위험율은 포아송 분포를 기반으로 추정된다(수학식 7). 그리고 병원균은 별개의 물질이며 포아송 분포에 따라 무작위로 매질에 분포한다.

[0082] [수학식 6]

$$N_{\text{quantum}} = \int_0^t p_{\text{susceptable}} C_{\text{quantum}}(t) dt$$

[0083]

[0084] [수학식 7]

$$P = 1 - \exp(-N_{\text{quantum}})$$

[0085]

[0086] 최종적으로 공기(에어로졸)에 의한 감염위험율(P)은 호흡기로 흡입된 병원균으로 인해 감염될 가능성 확률이다. 실내공기 희석을 기반으로 한 감염위험율은 수학식 3에서 수학식 6까지를 결합하여 복합 수학식 8을 도출할 수 있다

[0087] [수학식 8]

$$P = 1 - \exp\left(-\int_0^t \frac{\Phi p_{\text{susceptable}} q}{p_{\text{infecter}} D} dt\right)$$

[0088]

[0089] 앞에서 언급했듯이, 희석기반 평가방법에 의한 감염위험율은 수학식 8을 이용하여 산출한다. 추정식을 구성하는 각각의 변수들은 측정을 통하여 취득되는 데이터도 있지만 실험조건으로 가정하고 설정해야 하는 항목들이 있다. 해당조건은 실험결과에 영향을 미치기 때문에 객관적인 데이터를 적용하는 것이 중요하다.

[0090] 감염자 및 감염 잠재자(의료진)의 호흡량 p 는 표 1과 같이 수반되는 활동에 따라 다르게 적용된다. 또한 AGMPs에 의한 감염자 토출량은 평균 최대 기침의 토출량(CPFR)인 300 L/min로 0.5초 방출하는 것으로 가정하였다.

표 1

[0091] -체적 호흡률 및 AGMP의 토출량-

활동구분	호흡량 [m ³ /h]
정자세 (사무실, 교실)	0.54
대화 (회의실, 식당)	1.1
경 작업 (쇼핑 등)	1.38
중 작업 (운동)	3.3
에어로졸생성 의료절차 (AGMPs)	에어로졸 토출량 [m ³ /h]
CPFR: 기침 방출량으로 가정 (0.5s)	12~57, 18 (최대 평균)

[0092] 그리고 양자 발생수 q 는 활동에 따라 3~300 quanta/h의 넓은 범위에 걸쳐 다양하다. COVID-19 감염자의 양자 발

생속도는 표 2와 같다.

표 2

[0093] -성인과 어린이(6~11세)의 바이러스 방출률 및 호흡률-

	바이러스 방출률 [quanta/h]	호흡률 [m^3/h]
성인	142	0.96
어린이	29.6	0.29

[0094] 마스크의 투과율 계수 ϕ 는 예를 들어, 효율(η)이 80%이고 감염자와 감염 잠재자 모두 마스크를 착용할 경우, $(1-0.8)^2 = 0.04$ 가 적용된다.

[0095] 이하에서는 본 발명의 실시 예에 따른 감염위험을 현장 평가 방법과, 실험 예에 따른 감염위험을 현장 실험의 적용성 검증에 대해 설명하도록 한다.

[0096] 추적가스로 사용되는 SF_6 와 CO_2 의 농도 측정은 광음향 가스 모니터와 비분산 적외선 감지기인 두 가지 유형의 가스 분석기가 사용가능하다. 측정기기에 대한 소급성 확보 및 측정분석을 위한 적합성을 유지하여 실험*?검사 결과의 정확도 및 정밀도를 확보하기 위하여, 측정기기의 교정/외부점검, 중간 점검 및 유지 관리에 대하여 적용한다.

[0098] 이하에서는 본 발명의 실시 예에 따른 감염위험을 현장 평가 방법과, 실험 예에 따른 감염위험을 현장 실험의 적용성 검증에 대해 설명하도록 한다.

[0099] 추적가스로 사용되는 SF_6 와 CO_2 의 농도 측정은 광음향 가스 모니터와 비분산 적외선 감지기인 두 가지 유형의 가스 분석기가 사용가능하다. 측정기기에 대한 소급성 확보 및 측정분석을 위한 적합성을 유지하여 실험·검사 결과의 정확도 및 정밀도를 확보하기 위하여, 측정기기의 교정/외부점검, 중간 점검 및 유지 관리에 대하여 적용한다.

[0100] 도 4는 본 발명의 실시 예에 따른 측정장비 교정 사진을 나타낸 것이다. 가스 분석기는 실간 또는 같은 실내공간의 위치별로 측정하는 것을 고려해야하기 때문에 설치장소의 자율성과 거리 등을 감안하여 하나의 기기에 다중채널로 피도관을 연결하는 측정장비는 지양하는 것이 합리적이다. 또한 다수의 측정기를 시간별 동시측정을 수행할 경우에는 각 측정장비의 지시 값이 오차범위 안에서 동기화될 수 있도록 설정하는 것을 원칙으로 한다. SF_6 및 CO_2 샘플이 측정지점에서 가스 분석기로 이동하는 데 지연 시간이 없기 때문에 데이터 보정은 고려하지 않는다.

[0101] 도 5는 본 발명의 실시 예에 따른 추적 가스 도징(dosing) 및 샘플링 지점의 도식적 위치를 도시한 것이다. 추적가스는 압축가스 실린더에서 직접 일정한 취출 속도로 방출한다. 가스는 별도의 파이프를 통해 실린더에서 방출한다. 오염원(감염자)을 모사한 SF_6 또는 CO_2 의 방출량은 호흡량인 $0.54 \text{ m}^3/\text{h}$ 을 기준으로 일정 농도로 지속적으로 방출하고, AGMPs에 의한 감염자 토출량도 $18 \text{ m}^3/\text{h}$ 로 0.5초간 일정 농도 이상 순간 방출한다(표 1). 안정적인 측정을 보장하기 위해 충분한 감쇠 시간을 유지하기 위해 공간이 클수록 더 많은 양의 추적가스를 주입해야 한다. 호흡량 $0.54 \text{ m}^3/\text{h}$ 중 일정 오염원 농도를 유지하기 위해서는 수학적 9를 통하여 주입량을 결정할 수 있다.

[0102] [수학적 9]

$$\text{ppm}_{\text{source}} = 10^6 \cdot \frac{c}{s}$$

[0103]

[0104] 여기서, c 는 주입되는 용질(추적가스)의 몰 [mol]과 s 는 호흡량인 용매(공기)의 몰 [mol]이 되며, 표 3의 추적가스 특성에 따라서 결정된다. 예를 들어, SF_6 가스를 사용하여 50,000 ppm를 유지하기 위해서는 7.8 mL/s 의 양으로 주입해야한다.

표 3

[0105]

-소스 오염 물질 농도에 대한 입력 매개변수 값-

물 질량 [g/mol]	공기	28.97
	SF ₆ 가스	146.06
	CO ₂ 가스	44.01
밀도 [g/L]	공기	1.29
	SF ₆ 가스	6.17
	CO ₂ 가스	1.87

[0106]

하나의 실내공간 위치별 감염위험율의 평가는 도 5b와 같이, 오염원 발생지점(ES)과 각 해당 위치별 측정센서/장비(SP)를 설치하고 측정시간과 간격을 설정하여 실시간 측정한다. 각각의 측정위치에서의 추적가스 농도값을 기준으로 희석비율을 산출하고, 경계조건을 기준으로 수학적 8을 활용하여 각 위치별 감염위험율을 평가한다.

[0107]

또한, 실간 교차감염 발생여부의 평가는 도 5c와 같이, 오염원 발생실과 인접실에 측정센서/장비를 설치하고 측정기간과 시간간격을 설정하여 실시간 측정한다. 이때는 실간 차압을 필수적으로 측정을 한다. 감염전과 방지를 위해 공조·환기시스템과 차압제어가 가동되는 건물에서는 원칙적으로 음압실에서 다른 실로 병원균이 이동하면 안 되기 때문에 실간 교차감염 발생여부는 인접 공간에서 추적가스가 검출되는지의 유무가 중요하지 검출 농도는 크게 의미가 없다. 하지만 차압제어를 하지 않는 일반건물에서는 인접실의 측정위치별 추적가스 농도값을 기준으로 희석율을 산출하고 각 위치별 감염위험율을 평가할 수 있다.

[0109]

본 발명의 실시 예에서 제안한 평가 실험방법은 시간변화에 따른 공간의 위치별 공기매체 감염위험율을 평가하기 위한 것이고, 적용성을 검증하기 위해 현장실험이 수반되어야 한다. 본 발명에 따른 현장실험은 기존의 관련 연구 (Cho, Woo & Kang, 2017; Cho, 2019)에서 수행한 측정 데이터를 사용하였고 가장 보편적으로 사용되는 Wells-Riley 모델과 비교하였다.

[0110]

도 6은 a) 음압격리병식(AIIR)의 개선된 환기 전략, b) AIIR의 현장 추적 가스 테스트 및 c) 측정 장비 및 샘플링 지점의 위치를 도시한 것이다.

[0111]

분석대상은 S종합병원 음압격리병실(AIIR)로 2016년의 측정 데이터를 사용하였다. 일반적인 격리병실의 환기시스템은 상부에 설치된 급·배기구 위치에 의한 불균형한 기류방향과 혼합으로 실내 전체가 오염될 수 있다. 이러한 현상을 근원적으로 방지하기 위해 해당 음압격리병실은 도 6a와 같이, 배기구 위치를 환자의 머리(호흡선) 바로 뒤로 배치하여 실내기류를 의료진에서 환자방향으로 유도하고 효율적인 오염원 배출할 수 있도록 구현하였다. 급기(SA) 풍량은 500 m³/h (12 ACH)이며 천장에 배치된 두 개의 디퓨저로 공급한다. 또한, 병실의 배기(EA) 풍량은 400 m³/h와 부속 화장실 배기풍량은 200m³/h로 전실→병실→화장실로 음압이 형성된다. 도 4b는 대상 음압병실 내부의 추적가스실험을 위한 오염발생과 농도측정위치를 보여준다. 환자의 호흡선 0.9 m 높이에서 SF₆ 가스를 1.09 L/min로 취출하였고 의료진 호흡선 위치 4개(SP1, SP2, SP3, SP6) 및 배기구 2개(SP4, SP5)에서 5분 간격으로 120분 간 농도를 측정하였다.

[0112]

도 7은 본 발명의 실험 예에 따른 측정 결과 - SF₆ 농도 프로파일을 도시한 것이다.

[0113]

측정결과 도 7과 같이, 의료진의 위치를 가정한 SP1~SP3에서 검출되는 평균농도는 각각 25.24, 21.13 및 16.64 ppm으로 낮은 분포를 보였고, 전실에 위치한 SP6는 적절한 차압(-3.8 Pa) 유지로 오염농도는 거의 검출되지 않았다. 배기구의 위치인 SP4와 SP5는 오염농도의 변화의 폭이 높게 나타났고, 최대 오염농도는 142.12 ppm, 132.26 ppm으로 SP1~SP3와 비교하여 크게 증가 하였다.

[0114]

먼저, Wells-Riley 모델을 적용하여 대상 음압격리병실의 공조시스템의 운영조건만으로 감염위험율을 도출할 수 있다. 표 4는 수학적 1의 감염위험율 산출을 위한 입력 조건과 결과를 보여준다. 감염자 1명과 환자의 호흡량은 0.54 m³/h 내에서 병원균 양자 발생수는 142 quanta/h, 그리고 병실의 환기량이 12 ACH인 500 m³/h의 조건에서의 실내 감염위험율은 병원균에 대한 누적 노출시간 1시간에서는 14.22%이고 2시간이 경과하면 26.41%로 증가하는 것으로 나타났다. 해당 방법은 실내의 공기가 완전히 혼합된 가정 하에 있기 때문에 급E배기구 설치위치 등 환기시스템 방식에 따른 개선효과와 환자와 같은 공간에 있는 의료진 위치에 따른 감염위험율 평가는 불가능하다.

표 4

-Wells-Riley 방법에 대한 입력 매개변수 및 감염 확률 값-

① 감염 환자수 (I) [명]		1
② 사람의 기준 호흡량 (p) [m^3/h]		0.54
③ 바이러스 양자 발생수 (q) [quanta/h]		142
④ 실내 (기계)환기량 (Q) [m^3/h] (Figure 4)		500
결과	병원균에 대한 누적 노출시간 (t) [h]	1~2
	1시간 경과 감염위험율 (P) [%] at $t=1h$	14.22
	2시간 경과 감염위험율 (P) [%] at $t=2h$	26.41

도 8은 본 발명의 실험예에 따른 평가 결과 - 시간에 따른 희석 비율 프로파일을 나타낸 것이다.

본 발명의 실시 예에 따른 공조 및 환기시스템에 따른 공기희석 기반 평가방법은 감염자에서 발생하는 오염농도와 위치별 공기의 희석비율을 사용하여 감염위험율을 도출 할 수 있다. 따라서 오염원의 농도를 설정 및 산출하는 것이 선행되어야한다. 오염원의 발생농도는 표 5와 같이, 호흡량 $0.54 m^3/h$ (150 mL/s)의 용매와 주입되는 SF_6 가스 1.09 L/min (182mL/s)의 용질이 혼합되어 115,000 ppm이 된다(수학식 9). 그리고 위치별 측정된 SF_6 가스농도와 오염원농도의 희석비율을 수학식 3을 사용하여 도 8과 같이 측정 위치별, 시간별 분석이 가능하였다. 희석비율은 낮을수록 오염도가 높은 것으로 배기구 위치(SP4, SP5)에서는 평균 약2900으로 낮게 나타났고 환자의 인접 의료진 위치(SP1~SP3)에서는 평균 약 6,000의 희석비율로 배기구 위치가 2배정도 오염도가 높다고 판단할 수 있다.

표 5

- 오염원의 발생농도-

실험 방출량 [mL/s]	공기 (사람의 호흡량)	150
	SF_6 가스	18.2
몰 [mol]	공기	6.68×10^{-3}
	SF_6 가스	7.68×10^{-4}
(환자)소스의 오염 농도 [ppm]		115,000

도 9는 본 발명의 실험예에 따른 평가 결과 - 시간에 따른 감염 위험 프로파일을 나타낸 것이다.

병실과 차압이 3.8 Pa로 유지되는 인접한 전실(SP6)은 SF_6 가스가 검출되지 않았기 때문에 희석비율이 산출되지 않는다. 그 다음으로, 측정 위치별 공기의 희석비율과 감염자/의료진의 호흡량 $0.54 m^3/h$ 및 병원균 양자 발생수 142 quanta/h를 수학식 8의 누적시간 적분함수에 대입하면 도 9와 같이, 병실내부의 위치별 시간별 감염위험을 분포를 예측할 수 있다. 표 6에서와 같이, 측정위치별로 병원균에 대한 누적 노출시간 1시간에서는 1.95%에서 6.87%이고 2시간이 경과하면 4.10%에서 13.92%로 증가하는 것으로 나타났다. 또한, 인접실인 전실에서는 감염위험율이 없는 것으로 평가되었다.

표 6

[0122]

- 회석 기반 방법의 감염 확률 결과-

감염위험율 (P) [%]	병원균에 대한 누적 노출시간			
	1 시간 (t=1h)		2 시간 (t=2h)	
	SP1	3.07	SP1	6.23
	SP2	2.13	SP2	5.21
	SP3	1.95	SP3	4.10
	SP4	6.83	SP4	13.74
	SP5	6.87	SP5	13.92
	SP6	0.00	SP6	0.00

[0123]

도 10은 (a) Wells-Riley 방법 및 (b) 본 발명에 따른 회석 기반 방법에 의해 계산된 감염 확률(PI)의 분포를 도시한 것이다.

[0124]

즉, 도 10은 Wells-Riley와 공기 회석비율을 고려한 두가지 접근방식의 결과를 보여준다. 또한 감염자와 의료진 위치에서의 결과를 비교하였다. Wells-Riley에 의한 결과는 병실 전체의 감염위험율을 평균적으로 제시한다. 또한 병원균 노출시간에 대한 시간단위로 산출이 가능하다. 여기에서는 실내의 환기량이 가장 큰 영향인자가 된다.

[0125]

공조시스템 등에 의한 공기 회석비율을 이용한 감염위험율 산출은 측정위치별 시간별로 분포를 평가할 수 있다. 측정위치는 수직적으로도 고려되기 때문에 3차원 공간적인 분포에 대한 평가가 가능하다. 그리고 공조방식, 실내에서 기류흐름, 급기구 및 배기구의 위치에 따른 정밀한 영향도를 분석할 수 있다. 따라서 Wells-Riley의 방법 보다 공기 회석비율을 고려하는 방법이 더 효율적이고 활용도가 높다. 그러나 해당 방법의 경우, 측정위치의 수가 제한되어 있다. 정확도는 측정위치 수에 따라 증가한다. 제한된 공간에서 감염위험율의 공간적 평가를 하는 것 외에도 공기 회석비율 기반의 접근방식은 주어진 환기 패턴에서 교차감염 가능성을 최소화하기 위해 환자와 시설의 분포를 최적화하는 데 사용할 수 있다. 즉, 감염위험을 제어하기 위한 지침 제공도 가능하다.

[0127]

또한, 상기와 같이 설명된 장치 및 방법은 상기 설명된 실시 예들의 구성과 방법이 한정되게 적용될 수 있는 것이 아니라, 상기 실시 예들은 다양한 변형이 이루어질 수 있도록 각 실시 예들의 전부 또는 일부가 선택적으로 조합되어 구성될 수도 있다.

부호의 설명

[0128]

20:오염원 모사 추적가스 방출장치

30:측정센서

40:위치별 감염위험률 분석부

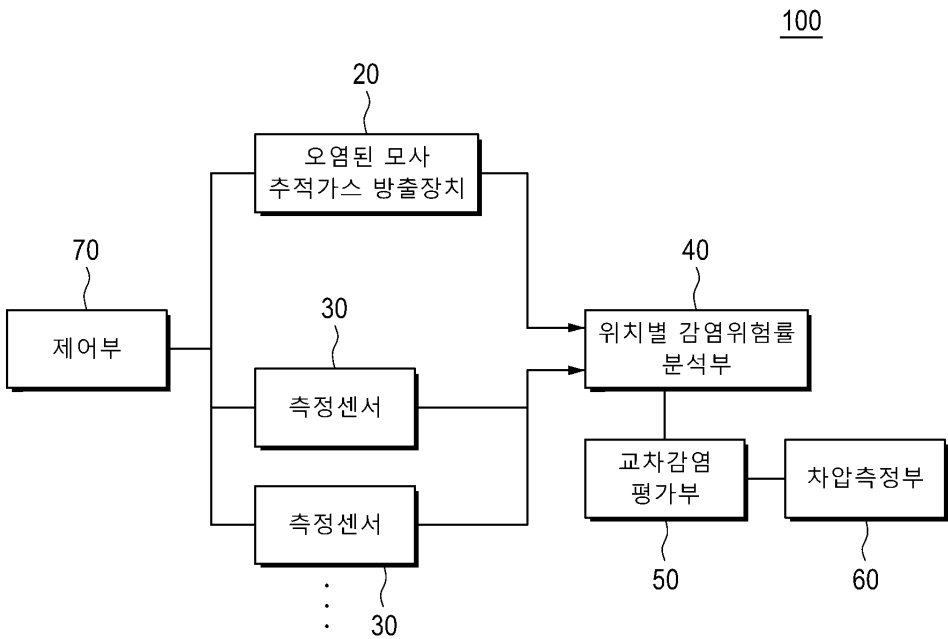
50:교차감염평가부

60:차압측정부

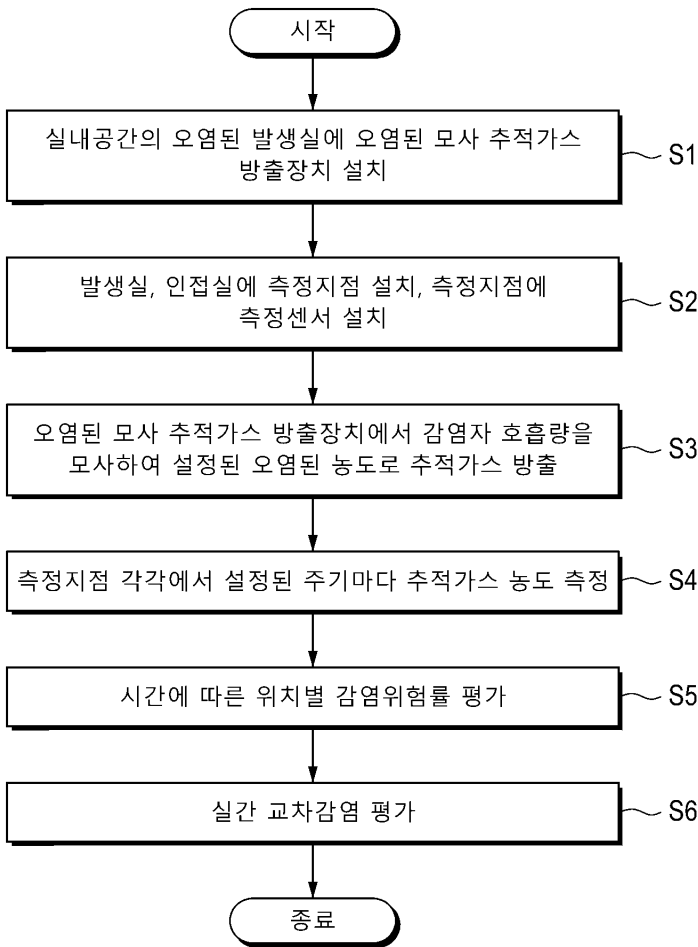
70:제어부

100:추적가스를 이용한 단일공간 감염위험률과 실간 교차감염 평가장치

도면2



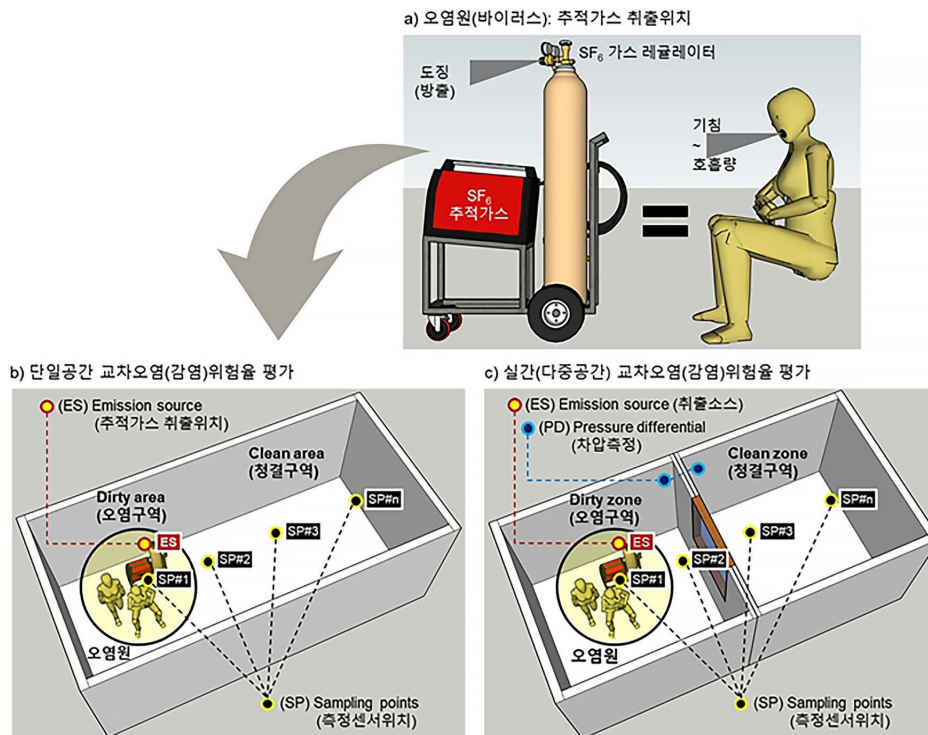
도면3



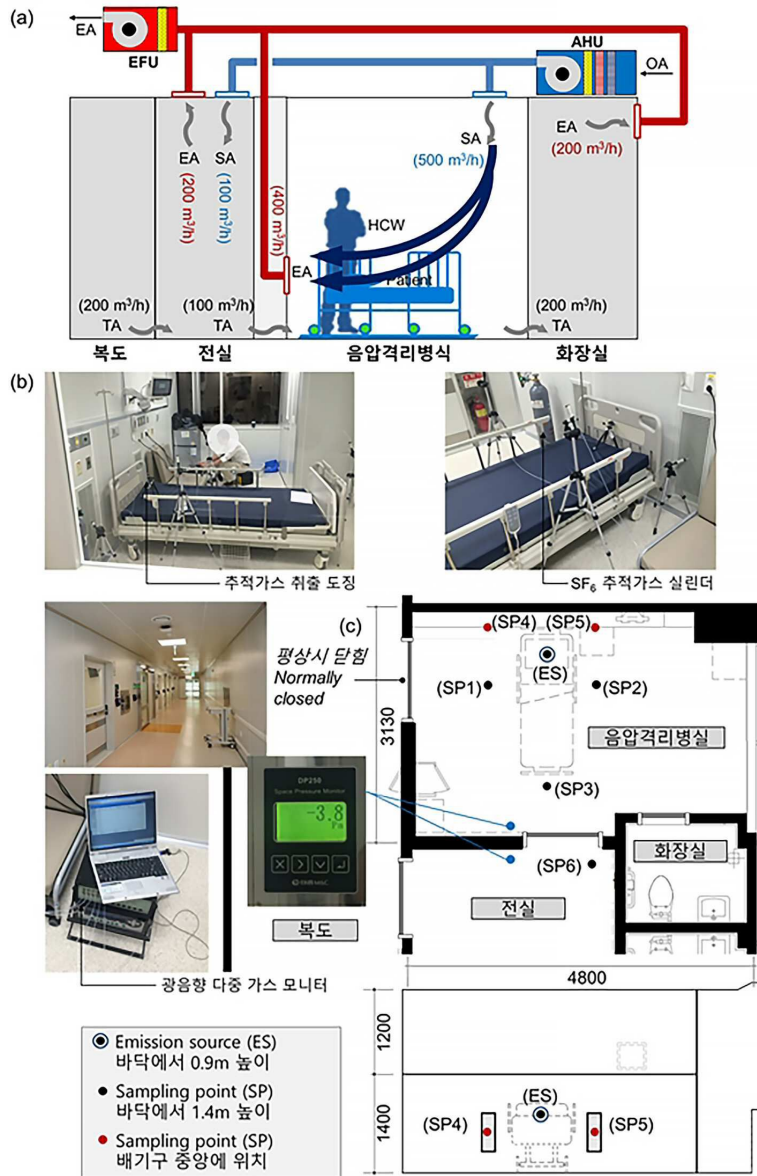
도면4



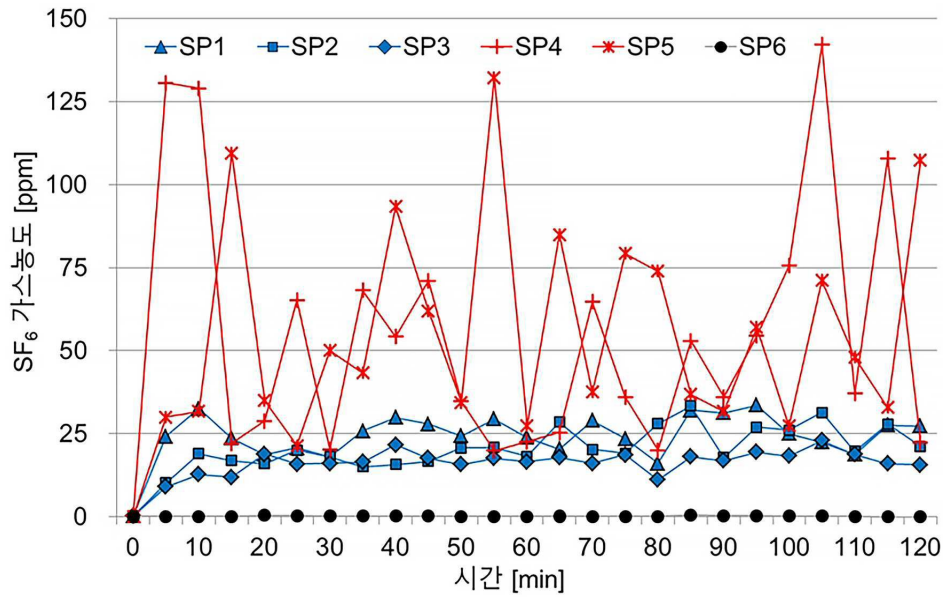
도면5



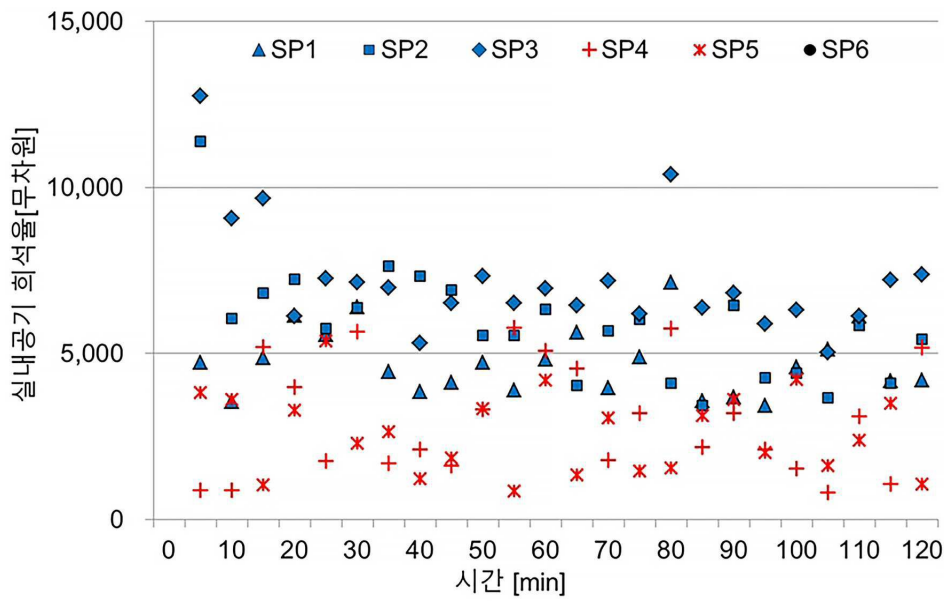
도면6



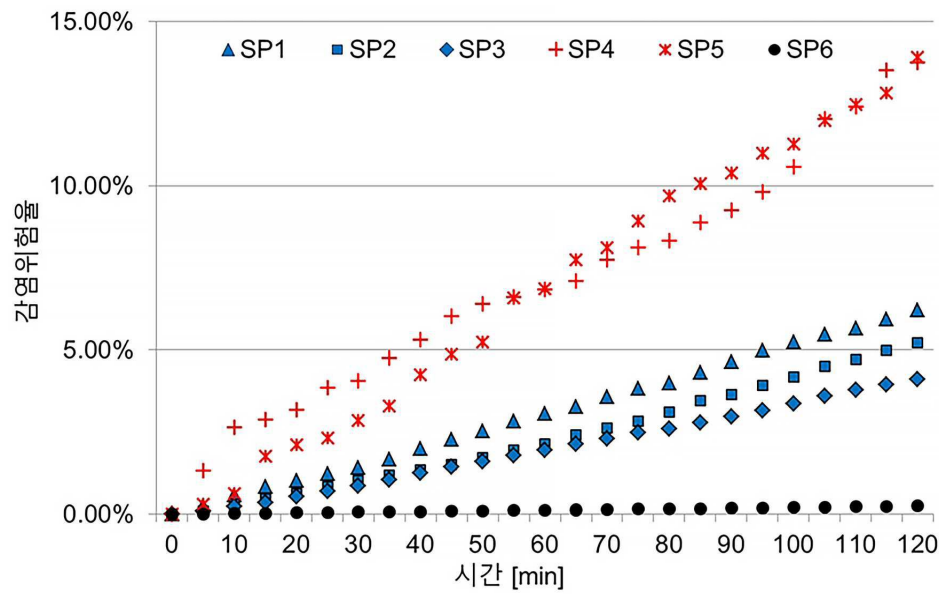
도면7



도면8



도면9



도면10

