분무 공간 방역 기술

The study on fogging technology for the space disinfection

김유승, 이승천, 정승구, 조윤수, 황종원, 이철규

Yuseung Kim, Seungchun Lee, Seunggoo Jung, Yoonsoo Cho, Jongwon Hwang, Chulkyu Lee

트라코월드 SL사업부

SL Devision, TRACOWORLD.Ltd, South Korea

김 유 승

Correspondence to

Yu-Seung Kim
SL Division,
TRACOWORLD. LTD
118, Dongtansandan7gil,
Hwasung-si, Gyeonggi-do
18487, Republic of Korea
Tel: +82-31-379-9863
Fax: +82-31-353-4510
E-mail: yskim@tracoworld.co.kr

1. 서론

1-1 코로나19 팬더믹

19년 11월 중국 우한에서 첫 감염사례 보고 이후 코로나19 팬더믹으로 전세계적으로 21/08/30 현재 2억1천만명 감염자 / 450만명 사망자라는 큰 피해가 발생되었다. (WHO COVID19 DATABASE) 앞으로 백신에 의한 집단 면역에 이르기까지 8개월(접종률 75%)이 필요할 것으로 예측되어(COVID19 Vaccine tracker @ Bloomberg), 22년 상반기까지는 계속 희생자가 이어질 것으로 보고 있다. 이러한 전대미문의 피해에 대해 그동안 진행해 온 방역프로세스의 효과에 대해서 뒤돌아볼 필요가 있다.

1-2 공기 감염 – 감염 경로의 중요성

호흡기 질환의 일반적인 감염경로는 직접 접촉 (Direct contact), 간접 접촉 (Indirect Contact – Fomite), 비말 감염 (Droplet Transmission), 공기 감염 (Airborne Transmission)으로 구분된다.

상기 일반적인 4가지 감염 경로에 있어 코로나19 팬더믹 발생 초기 감염경로는 공기감염의 증거가 없다는 2020년 2월 WHO/CHINA 보고서를 비롯 2020년 3월 WHO 발표를 통해 비말감염과 간접접촉(포마이트)을 주된 감염경로로 특정하여 비말감염 차단 – 사회적 거리두기 및 간접 접촉 차단, 표면 소독 위주의 감염관리 지침이 운영되었다. 공기감염 경로를 간과하고 표면소독만을 고수하던 WHO가 2020년 7월에서야 공기감염 가능성에 대한 239명의 연구자의 공개서한 및 누적된 연구

그림 1. WHO COVID19 Database

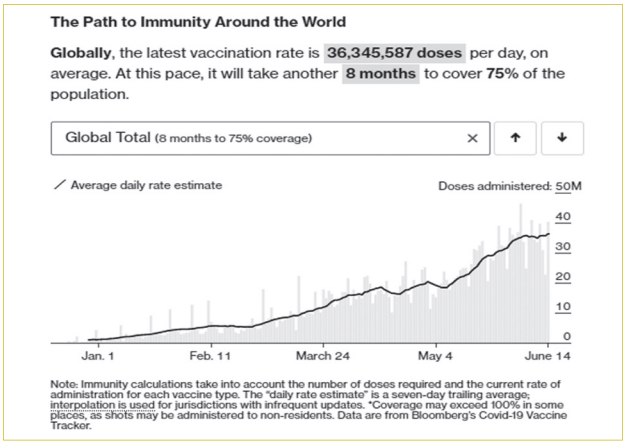


그림 2. Covid19 Vaccine Tracker @ Bloomberg

결과를 기반으로 감염경로로서 공기감염을 처음 인정하였으나 희석된 바이러스 농도에서의 감염전파력에 대해선 의구심을 가지고 있었다. US CDC에서도 20년 10월이 되어서야 밀폐 공간에서의 공기 감염에 의한 주의 필요성을 인정하였지만 실제 2021년 5월이 되어서야 실내 공간에서 2m이상의 거리에서도 충분한 감염력을 보인다는 점을 공식화하여 처음 감염 보고된지 1년 반이나 지난 현재에 이르러서야 공기 감염을 주된 감염경로로 인정하였다. (US CDC – Scientific Briefs)

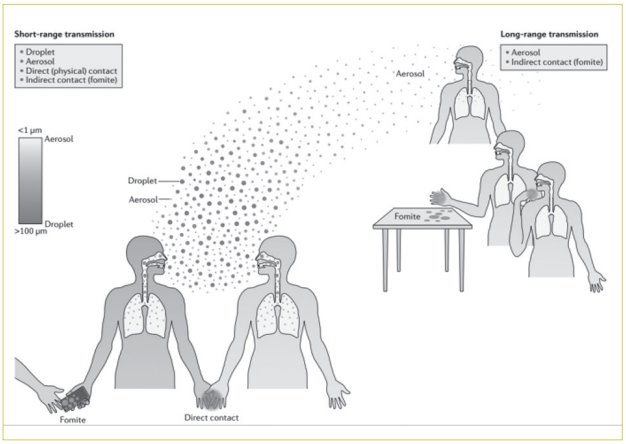


그림 3. 감염원 전파 경로 (Nansy H, 2021)

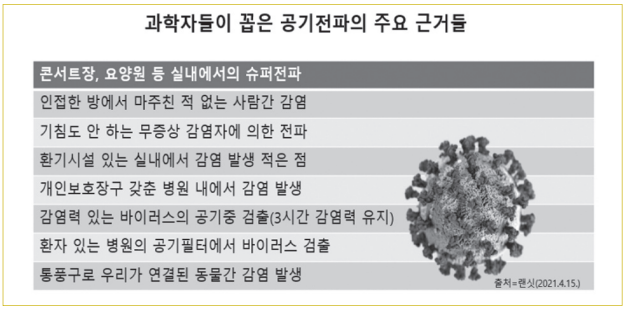


그림 4. COVID19 공기감염 주요 근거

1–3 공기 감염 전파 에 대한 시사점

이미 공기 감염으로 의한 전파에 대한 사례는 법정전염병 분류 체계의 1급 감염병 천연두, 2급 감염병인 결핵 ,수두, 홍역, 3급 감염병 레지오넬라병에 이미 나타나 있다. 이번 코로나19도 신종 감염병 증후군으로 21년 1월 1급 감염병에 등재되었고 이미 등재되어 있던 2002년 SARS, 2009년 신종 플루, 2012년 MERS에서 확인되었듯이 변이/변종 바이러스에 의해 지속적으로 피해가 누적되어 왔다.

미국 질병관리본부(US CDC)에서 전통적인 감염 관리 피라미드로 표현되는 질병 감염 관리를 위한 가장 효과적인 방법으로 감염원을 물리적으로 제거(Elimination) 해야 한다는 것은 명확하다. 현재 코로나19 대책으로 지금까지도 제시되고 있는 관리방안이 밀집지역에 대한 회피,

그림 5. 한국 1~4급 감염병 분류체계 (연합뉴스 2021.1.16)

표 1. 비말감염 및 공기감염이 가능한 법정감염병 [5]

구 분	감염병명	감염원	감염경로
제1급 감염병	천연두(두창)	바이러스	공기감염
	페스트	세균	비말감염
	SARS	바이러스	비말감염
	MERS	바이러스	비말감염
	신종인플루엔자	바이러스	비말감염
	디프테리아	세균	비말감염
제2급 감염병	결핵	세균	공기감염
	수두	바이러스	공기감염
	홍역	바이러스	공기감염
	백일해	세균	비말감염
	유행성이하선염	바이러스	비말감염
	풍진	바이러스	비말감염
	수막구균감염증	세균	비말감염
	b형헤모필루스인플루엔자	바이러스	비말감염
	폐렴구균감염증	세균	비말감염
제3급 감염병	레지오넬라증	세균	공기감염
제4급 감염병	인플루엔자	바이러스	비말감염
	수족구병	바이러스	비말감염

그림 6. 비말감염 및 공기감염 가능한 법정감염병 (한국 질병관리청 홈페이지)

환기 등의 Engineering control(격리) 단계에 국한되어 제시되고 있으므로 근원 대책인 공기감염에 대한 차단 방안으로 감염원 원점 타격(바이러스 불활성화)을 할 수 있는 감염원 제거방안에 대한 대책은 아직 명확한 것이 없었다. 2011년 가습기 살균제 사태의 여파로 공기 중 분무를 통한 공간 방역 대책에 대하여 흡입독성 관련 사회적 거부감이 적극적인 대책 구상 적용에 제약으로 작용하고 있는 것으로 보인다.

식품 산업 분야를 돌아보면 HACCP 관리규정 및 식품안전사고에 대한 대책으로 그동안 부유미생물에 대한 부유균/낙하균 포집 조사와 일정 수준 이하로 농도 관리를 해야할 필요성에 대한 많은 보고가 있었다. 숙주를 필요

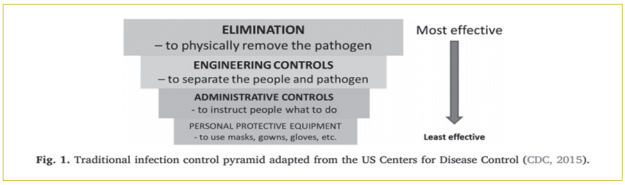


Fig. 1. Traditional infection control pyramid adapted from the US Centers for Disease Control (CDC, 2015).

그림 7. US CDC 감염 관리 피라미드 (Lidia Morawska, 2021)

로 하는 코로나 바이러스와는 달리 식품산업에서 관심을 갖고 있는 진균/세균류는 공기 중에서 오랫동안 살아있을 수 있어 직접적인 제어가 없으면 농도를 낮출 수가 없다. 실제 일반 현장에서는 역시 환기와 청소관리, 표면소독 등에 그쳐 부유미생물을 직접 살균하여 부유균/낙하균 농도를 낮추고 철저하게 낮은 농도로 유지 관리할 수 있는 현실적인 수단 확보가 이루어져야 잠재적인 식품안전사고에 대한 취약성을 개선할 수 있겠다.

이러한 부유미생물을 직접 살균할 수 있는 공간 방역 기술에 대해 분무 방역 장비를 중심으로 간략하게 설명하고자 한다.

2. 공기 감염을 막는 분무 공간 방역 기술

2-1 종래의 수단들

코로나19 펜더믹 초기에 감염에 대한 두려움은 무분별한 분무 살균 장비의 사용을 불러와 언론에 집중적으로 부각되었다. 실제 해충방제에 사용하던 수동 분무식 장비와 ULV 분무장비가 사용되었고 다중이용시설의 출입구에는 초음파 가습기 방식의 게이트 형태의 대인 소독장비가 적용되었다.

초음파 가습기의 경우 분무 평균 입자크기는 ~5um로 분무되자 마자 바로 기화되어 전체 공간으로 확산되어 버리므로 특정 살균 공간을 기체 상태로 소독 능력을 가지는 일정 농도 이상으로 만들기까지는 시간이 많이 걸릴 수 밖에 없다. 실제 게이트에서 출입자가 순간적으로 지나갈 때 분사되는 정도로는 충분한 방역효과를 기대하기 어렵다. 한편 수동 가압식 분무 장비와 벤츄리 효과를 이용한 ULV 분무기는 〉50um의 평균 입자 크기를 가지고 있어

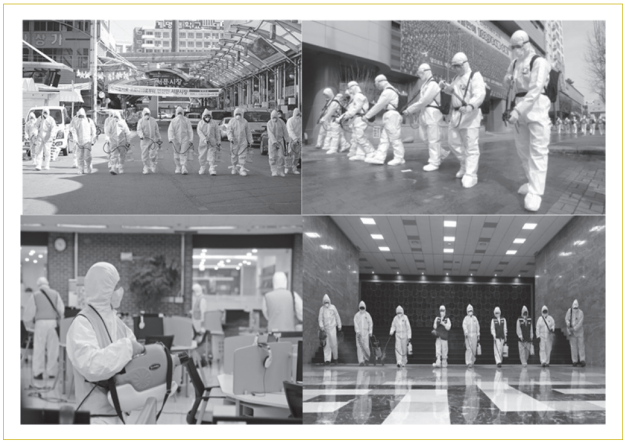


그림 8. 수동 분무식 장비 / ULV 분무장비

그림 9. 다양한 게이트형 방역설비

빨리 기화되어 없어져버리는 문제는 없지만 오히려 너무 크기가 커서 중력에 의해 분무 후 10초 이내에 모두 바닥에 떨어져 버리므로 방역 공간 바닥/표면을 젖게 만드는 부작용과 함께 결국 공기 중에 남아있는 살균 소독입자의 갯수가 너무 적어져 버려 공간을 살균 방역하는 효과는 제한적일 수 밖에 없다.

2-2 공간 멸균 장비

실제 특정 공간을 멸균하는 수단으로 통상의 의료용 멸균기를 실내 공간으로 확장한 형태의 멸균 소독 장비가 있다. 수술실과 같은 감염관리가 필요한 특수한 공간에 한정하여 우선 공간을 밀폐처리 후 고농도의 살균제를 기체화하거나 드라이 포그화하여 일정시간 고농도 환경에 노출함으로써 공간내의 감염원을 멸균하고 이후 공간 내 분사된 살균제를 다시 포집 회수하여 일정농도 이하로 제거하는 과정을 거쳐야만 한다. 살균제는 액상이 아닌 기체상태에서 살균력을 보여야 하며 기체 확산속도가 빨라 공간전체를 대상으로 살균력을 보일 수 있는 일정 농도 이상을 확보하기 위해선 고농도의 살균제를 대량으로 살포하기 때문에 사람에게 직접 노출하면 위해성을 가질 수 밖에

그림 10. 병원 멸균 소독

그림 11. 항공기 기내소독

없다. 항공기 객실의 방역에도 일종의 멸균 프로세스가 적용되는데 멸균 프로세스 후 환기가 부족한 상태에서 용역 작업자가 들어가 독성 중독 문제(국민일보 2018.02.04)가 종종 일어나기도 하므로 전문인력의 작업이 필수적이며 시행상 많은 보완조치가 필요하므로 일상 생활공간에 적용하기 어려운 문제가 있다.

2-3 새로운 접근방법 - 바이킬러

코로나19와 같은 호흡기 질병에 대한 공기감염을 차단하기 위해선 우선 감염원에 대한 이해가 필요하다. 실제 감염자 호흡기에서 나온 호흡기체 안에 포함된 비말의 공간내의 부유 거동은 Wells curve로 표현되는 증발 현상과 중력에 의한 낙하에 대한 이해가 필요하다. 사람 평균 키높이 1.625m에서 토출된 직경 100um이상의 물 입자는 증발속도보다 낙하속도가 빨라 10초 이내에 바닥에 떨어진다. 입자의 크기가 작아지면 Stock's law로 표현되는 부력과 마찰력이 중력과 같아지는 종단속도에 도달할 수 있어 낙하에 걸리는 시간이 길어지게 되므로 낙하 전에 증발로 공기 중으로 사라지게 된다. 습도에 따라 증발속도가 느려지게 되면 장시간 부유할 수 있는 환경이 만들어진다. 실제 직경 50um이하의 비말은 3분에서 수시간까지 부유할 수 있어 공기감염의 원인이 된다.

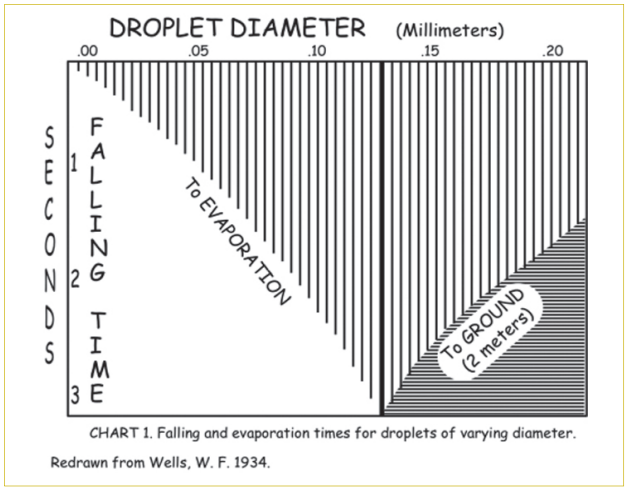


그림 12. Wells curve

장시간 부유하고 있는 비말 / 비말핵은 실제 0.1~1um 크기의 세균 바이러스의 실제크기에 비해 훨씬 큰 상태이며 세균, 바이러스 감염원들은 체액과 바이오 필름으로 둘러싸인 형태로 부유하고 있으므로 이를 살균하기 위해선 이러한 제약조건을 극복하고 세균 / 바이러스의 외피에 도달하여 살균제가 가진 산화력을 통한 외피 손상능력 / 유전물질의 손상능력을 보이기 위해선 적정 크기/농도 이상의 살균제 입자가 필요하다. 실제 감염원 비말 / 비말핵보다는 크기가 큰 살균제 입자가 있어야 살균능력을 제대로 보일 수 있다.

공간 방역의 효과 면에서 보면 감염원 비말 / 비말핵과 살균제 입자의 조우 확률을 높여야 한다. 이를 위해선 우선 분무량을 높이는 것이 중요하지만 앞서 언급한 비말 / 비말핵의 공기중 부유 거동과 동일한 원리로 살균제 입자 크기의 제어를 통해 부유 시간을 극대화하는 것이 더욱 중요하다. 앞서

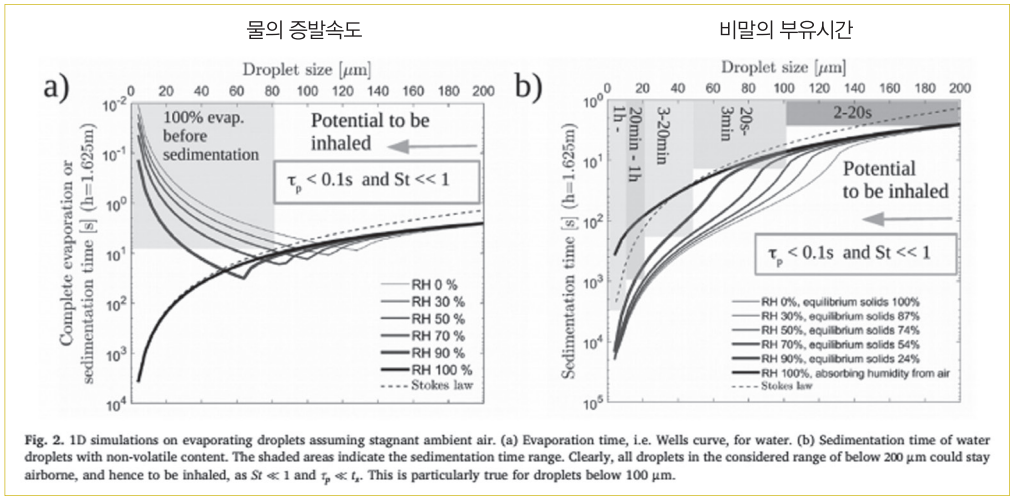


Fig. 2. 1D simulations on evaporating droplets assuming stagnant ambient air. (a) Evaporation time, i.e. Wells curve, for water. (b) Sedimentation time of water droplets with non-volatile content. The shaded areas indicate the sedimentation time range. Clearly, all droplets in the considered range of below 200 μm could stay airborne, and hence to be inhaled, as $St \ll 1$ and $\tau_p \ll t_s$. This is particularly true for droplets below 100 μm.

그림 13. 비말의 증발과 낙하에 대한 1D Simulation(V. Vuorinena, 2021)

언급한 초음파 가습기와 같이 입자가 작아 금방 증발되어 버리거나 ULV 분무기와 같이 너무 크면 낙하되어 버리므로 유효한 부유 상태를 보이기 위한 최적의 입자크기를 구현하는 것이 방역을 위한 분무 기술의 핵심이다. 바이킬러는 트라코월드의 고유의 분무 기술을 통해 최적화된 분무 입자 크기를 구현하여 분무된 입자의 90%이상 유효한 부유 효과를 가지며 적어도 5분간 부유상태를 유지함으로써 실질적인 공간 방역이 가능하도록 설계되었다.

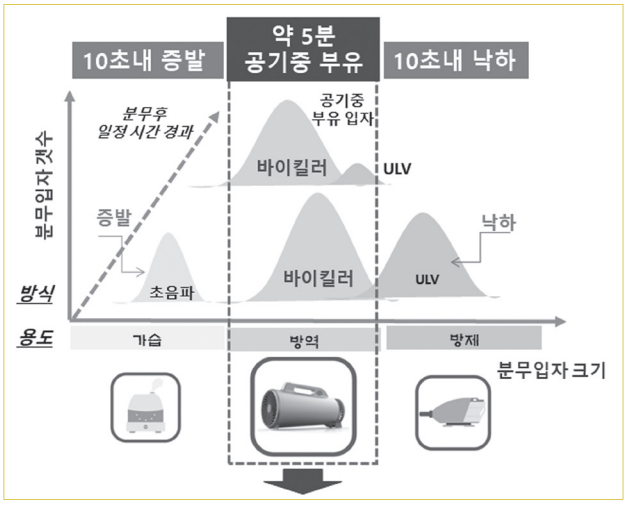


그림 14. 당사 바이킬러와 기존 제품의 분무기술 차이

그림 15. 바이킬러 분무 방역

2-4 분무 방역 장비의 필요 요구 사양

(1) 분무량 / 분사거리

살균 효과 측면에서 보면 공간 어디에 있을지 모르는 비말 / 비말핵에 대해 살균을 해야 하므로 우선 공간 전체에 살균제 입자를 채울 수 있어야 한다. 살균제 입자의 중력에 의한 낙하를 고려하면 실내의 공기 유동과는 상관없이 살균제 입자를 우선 실내공간 천정까지 강제로 도달시키고 이들이 낙하하면서 비말 / 비말핵과 조우토록 하는 것이 효율적이다. 빠른 시간 내에 공간 상층부 전체를 살균제 입자로 채워놓으면 중력에 의해 일거에 낙하하면서 수직방향으로 전체 공간을 살균 처리하게 된다. 이를 위해선 분무장치는 실내공간 천정까지 도달 가능한 분사 거리를 확보해야 하며 대면적의 공간에 대한 coverage를 확보하기 위해 가급적 대량으로 분무가 가능해야 한다. 바이킬러는 일반 사무실 10평의 공간에 대하여 3분간의 분무로 충분한 방역 효과를 얻을 수 있도록 분무량과 분무거리를 확보하였다. (습도 50%기준)

(2) 이동성 / 지향성

실내공간의 인테리어, 가구등으로 살균제 입자의 수직방향으로의 도달이 차단되는 공간에 대해서도 살균효과를 얻기 위해선 사람이 보면서 필요한 공간에 살균제 분무입자를 채워 넣을 수 있도록 분무장치는 지향성/ 이동성이 확보되어야 한다. 바이킬러는 백팩 형태를 가지고 있어 탁월한 이동성을 확보하였고 고속 써큘레이터 팬이 부착되어 있는 분무 건으로 구성되어 있어 충분한 지향성을 확보하였다.

(3) 환경 적합성

분무된 입자는 부유 중에도 증발 기화가 지속되어 크기가 작아지며 최종적으로 바닥/표면에 도달하는 입자의 크기는 초기 분무시의 크기에 비해 매우 작다. 충분히 작아진 입자는 드라이 포그 수준이 되어 표면을 적시지 않으며 실내 공간 유동에 따라 다시 부유하기도 하면서 최종적으

로는 증발에 이른다. 바이킬러의 분무입자는 실제 방역 프로세스가 끝난 이후 바닥/표면을 적시지 않고 증발이 완료되면 염소와 수증기로 변화하여 잔류물을 거의 남기지 않으며 일부 남는 성분은 소금이 주성분으로 위해성도 없다. (바이킬러 추천 살균소독제 – 전해 차아염소산수)

일반 생활공간에서 방역 작업을 진행하므로 소음에 대한 저감 노력도 필요하다. 기존 ULV 제품은 벤츄리 효과로 구동되므로 고속 팬과 좁은 유로구조를 가지고 있어 철로변 지하철 소음 수준의 큰 소음이 불가피하다. 바이킬러는 분무 건에 대한 유동설계를 통해 소음 저감구조를 채택하여 일상 대화수준의 소음수준까지 낮추었다.

(4) 작업성

생활가전의 유무선 제품의 비교를 해보면 무선제품의 작업 유용성이 압도적으로 높다. 일례로 유선 청소기를 보면 사용공간이 바뀌면 전원플러그를 바꾸어야 하고 작업 중 길어진 전선을 관리하기도 어렵다. 바이킬러는 무선 방식을 채택하되 착탈식 배터리를 사용하여 기본 1시간 사용 후 배터리교체를 통해 추가 연속작업이 가능하도록 제작되었고 약액 tank도 10L로 구성하여 최대 분무량 대응 1시간 작업이 가능하게 설계되었다.

평지 작업시에는 캐스터 바퀴와 3단 손잡이를 통해 바닥이동이 가능하여 장시간 작업에 대한 근골격계 부담도 줄일 수 있도록 편의성도 고려하여 제작되었다.

3. 방역 성능 평가

3-1 살균 성능 평가

기존의 분무 방역장비의 살균 성능에 대한 보고는 액상의 살균 소독제를 세균배양 용액을 희석한 용액에서 직접 섞어서 얻은 살균효과를 분무 방역 장비의 살균 효과로 홍보하는 경우가 대부분이다. 이는 분무 방역 설비의 살균 성능에 대한 간접적인 기대치를 나타내는 것일 뿐 직접적인 살균 성능에 대한 비교 평가 보고는 없었다.

바이킬러의 살균 성능 평가는 시험 평가를 위한 격리 챔버를 만들고 비감염성 대장균 배양 희석액을 에어로졸 상태로 공간 분무한 뒤 일정시간 낙하균 / 부유균을 포집하여 기준 값을 확보하고 동일 조건에서 바이킬러로 살균제 분무를 진행한 뒤 다시 낙하균 / 부유균을 포집 비교함으로써 살균 소독효과를 직접적으로 비교할 수 있었다. 본

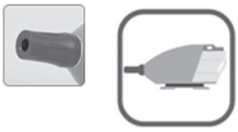
비교항목		Vi Killer	ULV	초음파 가습기
외관				
공간살균성능	분무량	150ml / min	500ml / min	5ml / min
	입자크기 (D50) 유효입자비율	최적입자 크기제어 ~90%	50um < 20%	1~5um < 10%
공간 Coverage	분무거리	~7m	5~10m	~1m
	지향성	O	O	X
환경 적합성	젖음성	없음	있음	없음
	소음	63dB	75dB	34dB
차별화	무게	백팩 구조 본체 ~9kg / Gun 1.9kg (Tank 10L)	Handheld ~3kg (Tank 3L)	거치식 2kg (Tank 4L)
	사용전력 배터리	착탈식 배터리 연속 60분	AC220V (유선) 연속 3~5분	AC220V (유선) 연속 10hr

그림 16. 바이킬러 vs 기존 제품 성능 비교

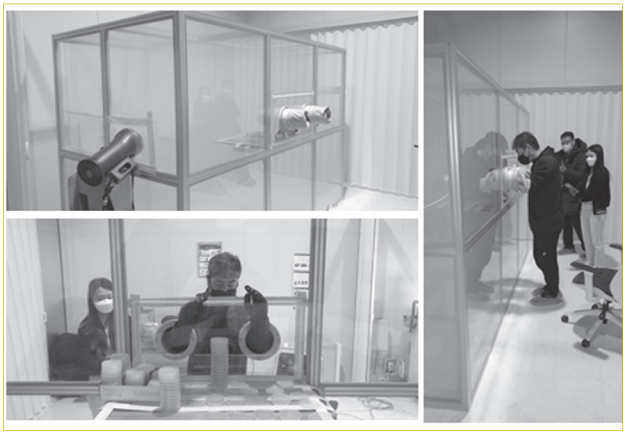


그림 17. 바이킬러 살균성능 시험

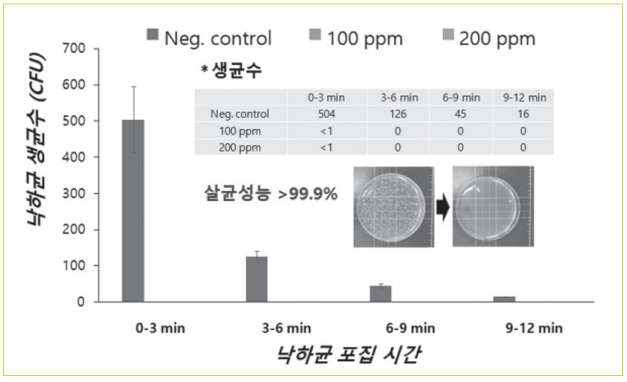


그림 18. 바이킬러 살균성능 평가 결과

시험 평가는 원헬스연구소와 협업 진행하여 얻은 결과로 실제 99.9%의 소독 효과를 확인할 수 있었다.

3-2 감염 차단 임상 평가 (조류 호흡기 질병관련)

분무 방역장비의 감염 차단효과를 직접적으로 확인하기 위하여 조류를 대상으로 호흡기 전염성 질병을 유발하는 세균을 격리 챔버에 에어로졸 상태로 분무하여 감염 유발하는 조건을 확인하고 바이킬러를 사용한 Control 조건에서 감염 억제 효과를 확인하는 임상 평가 시험이 원헬스연구소와 협업 진행 중이다. 1차 시험을 통해 기존 ULV 분무장치에 비해 감염 증상 및 폐사가 일어난 닭의 개체수가 현저하게 감소한 결과를 확인할 수 있었다.

그림 19. 바이킬러 공간 방역 임상평가 시험

3-3 생활 방역 평가

애견 카페를 대상으로 부유균 포집장치를 통해 실내공기 중 부유세균의 농도를 모니터링하고 바이킬러를 통한 일 2회의 Control을 진행하여 부유세균의 농도를 90% 이상 저감 유지하는 것이 가능함을 확인하였다. 실제 바이러스는 세균보다 외피가 없어 살균 소독 프로세스로 보다 높은 불활성화 효과를 기대하고 있다.

4.0 결론

그림 20. 바이킬러 생활방역 시험

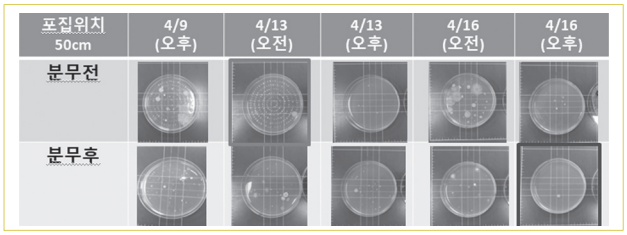


그림 21. 바이킬러 생활방역 Contol 결과

코로나 팬더믹으로 1년반이 지난 지금도 방역에 대한 대책이 격리와 환기에 의존하고 있으며 백신만이 유일한 탈출구로 홍보가 이루어지고 있다. 일본 뇌염 전염병을 백신에만 의존하는 것이 아니라 전염 매개체인 모기에 대한 방제가 이루어지듯 감염원 세균 바이러스 자체에 대한 살균/불활성화에 대한 대책 수립은 무엇보다 중요하다. 바이러스의 속성상 변이/변종이 지속되고 있어 백신 접종을 통한 면역 대책과 더불어 주기적인 방역 활동을 통하여 일상 생활의 안전공간 확보 및 바이러스 활동공간을 차단, 변이가능성을 낮출 수 있는 분무 공간 방역 기술에 보다 큰 관심이 필요하다.

실내 공간 방역에 최적화 설계된 분무 방역장비인 바이킬러의 성능 평가를 위해 건국대수의대와 협업하여 장비의 살균 성능 평가 및 공기 감염 차단 효과를 임상 실증 확인할 수 있는기법이 확립되어 다양한 방면으로 응용도 기대가 된다. 팬더믹을 보다 슬기롭게 극복할 수 있는 계기가 되길 기원한다.

참고 문헌

1. Covid-19 Vaccine Tracker (www.bloomberg.com)
2. Lidia Morawska.. Maosheng Yao, How can airborne transmission of COVID-19 indoors be minimised?, Environment International Volume 142, September 2020, 105832
3. Nancy H. L. Leung, Transmissibility and transmission of respiratory viruses, Nature Reviews Microbiology (2021)
4. US CDC homepage (www.cdc.gov) – Scientific Briefs
5. V. Vuorinena.. M. Osterberg, Modelling aerosol transport and virus exposure with numerical simulations in relation to SARS-CoV-2 transmission by inhalation indoors. Safety Science Volume 130, October 2020, 104866
6. WHO homepage (www.who.int)
7. 국민일보(kmib.co.kr) – 대한항공 기내 청소원, '소독제 집단 실신' 뒤늦게 밝혀져 (2018.02.04)
8. 연합뉴스 – 보건복지부 "신종코로나, '1급 감염병'으로 관리 중" (2021.01.16)
9. 한국 질병관리청 홈페이지 (http://www.kdca.go.kr/)