

병원체 제어 돼지 운반 장치 개발 및 검증: 설계, 구현 및 실험적 평가

이해선¹, 형남웅¹, 노진구¹, 변승준², 김석호¹, 이승훈¹, 오건봉¹, 이풍연¹, 류재규^{1*}
¹농촌진흥청 국립축산과학원 동물바이오공학과, ²농촌진흥청 국립축산과학원 기금연구소

Development and Validation of a Pathogen-Controlled Swine Transport Device: Design, Implementation, and Evaluation

Haesun Lee¹, Nam Woong Hyung¹, Jingu No¹, Sung June Byun², Seokho Kim¹,
Seunghoon Lee¹, Keon Bong Oh¹, Poongyeon Lee¹, Jae Gyu Yoo^{1*}
¹Division of Animal Biotechnology, National Institute of Animal Science, RDA
²Poultry Research Institute, National Institute of Animal Science, RDA

요약 의료시설이나 실험동물을 다루는 연구시설에서 생물안전성과 연구 결과에 대한 신뢰성 확보를 위해서는 병원체의 전파를 방지할 수 있는 유지관리 체계를 마련하는 것이 필수적이다. 이에 따라 실험동물이나 의료용으로 연구되고 있는 동물은 대부분 병원체가 제어된 환경에서 생산·관리되고 있으며, 이러한 동물들을 타 시설로 이송할 때도 강화된 생물안전성 조치가 요구된다. 본 연구에서는 이송 중 동물의 관찰과 보호가 가능하며 외부 병원체의 유입을 효과적으로 차단할 수 있는 운반 장치의 설계와 구현을 목표로 하였다. 운반 장치는 동물 수용부와 구동부로 구성되도록 하였으며, 수용부로의 외부 병원체 유입 차단을 위해 양압을 형성하는 블로어(blower)를 장착하고 필터 시스템을 갖추도록 하였다. 구동부는 이동 효율성 향상을 위해 구급차에서 사용되는 간이침대와 유사하게 접이식 구조로 제작하였다. 운반 장치의 평가를 위해 병원체 제어 시설에서 사육된 3개월령 돼지를 운반 장치의 수용부에 도입하고 차량을 통해 운송하는 3시간 동안 돼지의 상태를 관찰하였으며, 이후 돼지의 병원체 분석을 수행하였다. 시험가동 결과 운반 장치 내에서 돼지는 안정적인 상태를 유지하는 것으로 관찰되었다. 또한 병원체 분석을 통해 운송 중 병원체 감염이 일어나지 않았음을 확인하였다. 본 병원체 제어 돼지 운반 장치는 질병 연구나 의료용 소재 개발 연구 수행 시 생물안전성 강화와 실험동물 모델의 신뢰성 보장을 위해 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

Abstract Establishing a management system capable of preventing the transmission of pathogens is essential for ensuring biosafety and research reliability in medical facilities and laboratories handling experimental animals. Most experimental and research animals are produced and managed in pathogen-controlled environments, and enhanced biosafety measures are required when transporting these animals to other facilities. This study was undertaken to design and implement a transport device that allows the observation and protection of animals in transit and effectively blocks the ingress of external pathogens. The devised transport device comprises a housing unit, a driving mechanism, and filtration and positive pressure systems to prevent the entry of external pathogens. The driving mechanism is foldable to enhance mobility, like the stretchers used in ambulances. To evaluate the device, three-month-old pigs raised in a specific pathogen-free (SPF) facility were placed in the housing unit and transported by vehicle for three hours. Animal conditions were monitored during this period, and subsequent pathogen analysis was conducted. Testing confirmed that the animals were maintained in a stable condition, and health monitoring demonstrated the absence of pathogen transmission during transit. The developed pathogen-controlled swine transport device is expected to enhance biosafety and ensure the reliability of experimental animal models, making it valuable for disease research and the development of medical research materials.

Keywords : Infection Control, Equipment Design, Public Health, Swine, Zoonoses

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(세부과제번호: PJ01475701)의 지원에 의해 이루어진 것임.

*Corresponding Author : Jae Gyu Yoo(National Institute of Animal Science)

email: vetjack@korea.kr

Received April 30, 2024

Accepted August 2, 2024

Revised July 5, 2024

Published August 31, 2024

1. 서론

병원체를 제어한다는 것(pathogen control)은 단순히 질병을 관리하는 것을 넘어 개인의 건강, 공중보건, 환경보호, 국제 안보, 그리고 사회경제적 측면에서 그 중요성이 강화되고 있다[1,2]. 동물에서의 병원체 제어 역시 위와 동일한 측면에서 강조되는 이유는 인간과 동물의 접촉 또는 상호작용의 증가는 신종 인수공통감염병의 출현을 유발하는 요인 중 하나이며, 이때 동물은 병원체가 번식하는 숙주이자 병원체의 전파를 유도하는 매개체로서 작용하기 때문이다[3-5]. 인간 병원체의 60% 이상은 인수공통감염병의 기원을 가진다고 알려져 있으며, 이는 축산현장 근로자에게 영향을 미쳐 매년 약 24억 건의 질병 사례와 270만 명의 사망을 초래한다고 보고되고 있다[6].

특히 돼지의 장기를 영양류에 이식하는 이종이식 연구에서는 원료 동물인 돼지의 세포나 조직과 함께, 돼지의 병원체가 수여자에게 전달될 잠재적 위험이 크기 때문에 안전성을 확보하기 위한 국가적이고 국제적인 수준의 감시와 표준화가 필요하다[7,8]. 따라서 원료 동물에서의 병원체 제어를 위해 각국의 규제당국은 가이드라인을 통해 이종이식 원료 동물과 사육시설이 갖추어야 할 요건, 이종이식 제제의 품질관리 방안, 비임상·임상 연구에서의 고려 사항을 제시하는 동시에 감염성 요소를 제어하기 위한 기준을 서술하고 있다[9,10]. 그 기준에는 원료 동물의 격리 절차, 동물시설의 방역 기준, 병원체 모니터링 방안, 감염성 요소를 차단하기 위한 관리자의 조치 방안 등이 포함되어 있다[11-13].

이종이식 연구에서뿐만 아니라 실험동물을 다루는 모든 연구시설에서 역시 연구의 신뢰성을 확보하고 정확성을 보장하기 위한 측면에서 병원체를 관리하고 실험동물의 건강을 관찰하는 것이 중요하다[14,15]. 병원체는 실험동물의 면역반응이나 생리학적 기능, 그리고 건강 상태에 다양한 영향을 미칠 수 있으므로 이러한 요인을 제어하였을 때 더욱 유효하고 해석 가능한 실험 결과를 도출할 수 있다[16]. 따라서 실험동물을 생산하여 공급하는 기업·기관이나 질병, 이종이식, 면역 등의 연구를 수행하는 연구시설에서는 특정(specific pathogen free, SPF) 또는 지정(designated pathogen free, DPFF) 병원체 제어 시설을 운영하며 동물을 관리한다[17-19].

병원체 제어 시설은 병원체나 유해한 미생물을 관리하고 제어하기 위해 설계한 시설로서, 해당 시설에서 사육하는 동물의 건강이나 연구 결과에 영향을 미칠 수 있는

병원체의 목록을 설정하고 정기적인 검사를 수행하여 SPF 실험동물의 미생물학적 품질을 보장할 수 있도록 한다[20]. 병원체 제어 시설에서 갖추어야 할 기본적인 조건으로는 외부 환경으로부터 오염원의 유입을 차단할 수 있는 장벽, 외부 유입 공기를 정화할 수 있는 필터 시스템, 사육하는 동물이나 환경에 대한 정기적인 건강 모니터링, 그리고 관리자의 출입 절차나 동선, 소독 등 교차오염을 최소화할 수 있는 운영 체계 마련 등이 있다[18,21].

병원체 제어 시설에서 생산하고 관리한 동물을 연구용이나 의료용으로 활용하기 위해서는 다른 시설로 운송할 때 역시 외부 환경에 노출되지 않도록 하는 체계가 필요하다. 특히 미국 식품의약국(U. S. Food and Drug Administration)과 유럽의약품기구(European Medicines Agency)의 이종이식 가이드라인에는 원료 동물의 운송에 관한 지침이 포함되어 있으며, 원료 동물 운송 중에는 병원체 제어 동물시설과 동등하거나 그 이상의 방벽을 유지해야 한다고 기술되어 있다. 또한 다른 동물에 노출되지 않도록 전용 차량으로 운송해야 하며 이에 대한 절차는 문서화되어 있어야 한다고 규정하고 있다[11,12].

하지만 현재 병원체 제어 운반 장치는 판매되거나 보고된 사례가 없으며, 따라서 본 연구에서는 병원체 제어 시설과 동등한 수준으로 외부 오염원을 차단할 수 있는 안정적인 돼지 운반 장치를 개발하고자 하였다. 또한 개발한 운반 장치를 통해 이송된 돼지의 상태를 관찰하고 이송 전후 병원체를 분석함으로써 병원체 제어 돼지의 공급 시스템으로써 운반 장치의 활용 가능성을 검증하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 운반 장치의 구성 및 제작

병원체 제어 운반 장치는 ㈜오보젠에 의뢰하여 제작하였다. 운반 장치는 크게 동물 수용부와 구동부로 구분되며 동물 수용부는 스테인리스 스틸 소재를 활용하여 550 × 850 × 870(mm) 크기로 제작하였다. 돼지 수용부 위쪽의 컨트롤러 부분에는 전원 공급 장치는 120V 직류 전압(volt direct current, VDC) 배터리(120 VDC)를 탑재하였다. 또한 블로어(blower)와 함께 돼지 수용부의 온도가 표시되도록 온도 측정기를 설치하였다. 돼지 수용부와 블로어 사이의 입기 필터는 헤파필터(high efficiency partivulate air filter, HEPA)로, 돼지 수용부의 배기

필터는 전처리 필터(pre-filter)와 헤파필터를 3중으로 겹쳐 구성하였다. 돼지 수용 구동부는 동물 수용부와 분리되도록 하였으며 접이식 구조로 제작하여 높이 조절이 가능할 뿐 아니라 차량에 탑재가 용이하도록 하였다.

2.2 시험가동 및 병원체 분석

본 연구에 포함된 모든 동물실험은 국립축산과학원 동물실험윤리위원회(승인번호: NIAS20230630)의 승인을 받아 수행하였다. 병원체 제어 운반 장치 시험가동을 위해 국립축산과학원 병원체 제어 시설에서 생산된 이종이식용 돼지를 사용하였다. 이는 Massachusetts General Hospital (MGH) 미니 돼지를 기반으로, 이종이식 시 초 급성 거부반응을 유발하는 항원 합성 효소 α 1,3-galactosyltransferase(GGTA)는 제거한 반면, 보체 활성을 억제하는 단백질인 membrane cofactor

protein(MCP, CD46)의 과발현을 유도한 돼지이다 [22]. 병원체 제어 시설에서 사육된 3개월령 돼지를 운반 장치의 동물 수용부에 도입하였으며 이후 차량에 탑재하여 이동하는 3시간 동안 운반 장치 내 돼지의 상태를 관찰하였다.

병원체 분석을 위해 운반 장치에 돼지를 도입하기 전과 후에 멸균된 면봉을 이용하여 비강, 항문, 피부를 스왑하고 혈액 채취를 하였다. 병원체 분석은 ㈜옵티팜의 가축병성감정실시기관에 의뢰하여 진행하였으며, 병원체 별로 Table 1에 제시한 방법에 따라 병원체 총 31종(바이러스 17종, 세균 12종, 기생충 2종)에 대한 분석을 시행하였다(Table 1). PCR 분석의 경우 병원체 증폭 여부에 따라 양-음성을 판정하였으며, quantitative real-time PCR(qPCR) 분석 결과는 시료 1 μ l에 들어있는 바이러스의 수(copies/ μ l)로 계산하였다.

Table 1. Pathogen analysis list for verifying pathogen control capability of the transportation device.

Pathogen		Method	
1	Virus	Alphatorquevirus (Torque teno virus, TTV)	PCR
2		Getah virus (GETV)	PCR
3		Hepatitis E Virus (HEV)	PCR
4		Japanese encephalitis virus (JEV)	PCR
5		Porcine astrovirus (PAstV)	PCR
6		Porcine circovirus type 2 (PCV2)	qPCR
7		Porcine circovirus type 3 (PCV3)	PCR
8		Porcine cytomegalovirus (PCMV)	qPCR
9		Porcine epidemic diarrhea virus (PEDV)	qPCR
10		Porcine lymphotropic herpesvirus (PLHV)	PCR
11		Porcine reproductive and respiratory syndrome virus (PRRSV)	PCR
12		Porcine respiratory coronavirus (PRCV)	PCR
13		Pseudorabies virus (Aujeszky's Disease, ADV)	PCR
14		Rotavirus	PCR
15		Swine Influenza virus (SIV)	PCR
16		Swinepox virus	PCR
17		Transmissible gastroenteritis virus (TGEV)	PCR
18	Bacteria	Actinobacillus pleuropneumoniae	PCR
19		Actinobacillus suis	PCR
20		<i>Bordetella bronchiseptica</i> (BB)	PCR
21		<i>Brachyspira pilosicoli</i>	PCR
22		<i>Brachyspira hyodysenteriae</i>	PCR
23		<i>Brucella suis</i>	PCR
24		<i>Erysipelothrix rhusiopathiae</i>	PCR
25		<i>Hemophilus parasuis</i>	PCR
26		<i>Lawsonia intracellularis</i>	PCR
27		<i>Leptospira</i> spp. (<i>hardjo</i> , <i>pomona</i> , <i>tarrasovi</i> , <i>interogans</i>)	PCR
28		<i>Mycoplasma hyopneumoniae</i>	PCR
29		<i>Pasteurella multocida</i> (PM, PmA)	PCR
30	Parasite	Isospora suis	PCR
31		Toxoplasma spp.	PCR

3. 연구 결과

3.1 병원체 제어 돼지 운반 장치 제작

3.1.1 동물 수용부

동물 수용부는 스테인리스 스틸 소재를 활용하여 세척이 용이하게 하였으며 잦은 소독에도 부식되지 않도록 견고하게 제작하였다. 양쪽 전면은 투명한 아크릴 소재의 관찰 창이자 완전히 분리가 가능한 문으로 제작하여 세척 시 손이 닿지 않는 공간이 없도록 하였다(Fig. 1a). 동물 수용부 측면의 일부 공간 역시 관찰 창 형태로 설계하여 동물 이동 중 여러 방면에서 동물의 상태를 관찰할 수 있도록 하였다(Fig. 1b).



Fig. 1. Pathogen control transportation device
(a) Front aspect (b) Side aspect

또한 동물 수용부는 구동부와 분리되도록 제작하였으며 봉 형태의 손잡이와 바퀴를 부착하였다(Fig. 2a). 동물 수용부의 바닥은 물이나 배설물이 통과하여 트레이에 담길 수 있도록 위쪽에 격자 형태(grating)의 분리할 수 있는 철판을 덧대었으며, 이를 통해 운반 장치 내 동물이 미끄러지지 않도록 하였다(Fig. 2b).

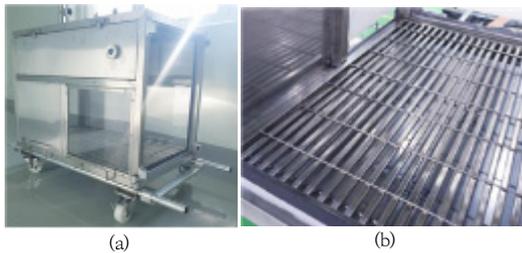


Fig. 2. Housing unit for pathogen control animal
(a) Housing unit (b) Grating floor panel

3.1.2 배기구 및 측면 필터

동물 수용부의 한쪽 측면에 위치한 배기구 안쪽에는 전처리 필터를 중심으로 양쪽에 헤파필터를 덧댄 3중 필터를 장착하였다. 배기구와 비교하여 필터의 크기를 크게 제작하여 오염원의 차단 효율을 향상하였으며, 배구에 장착된 필터는 외부 공기가 수용부 안으로 역유입되는 것을 차단할 뿐 아니라 동물 수용부에서 외부로 배출되는 공기 역시 필터를 거쳐 동물로부터의 오염원 전파 가능성을 차단하고 생물학적 안전을 보장하도록 하였다. 또한 병원체 제어 시설로 재진입 시 최외각에 있는 오염된 필터를 제거할 수 있도록 설계하여 병원균 차단 효율을 증진하였다(Fig. 3).

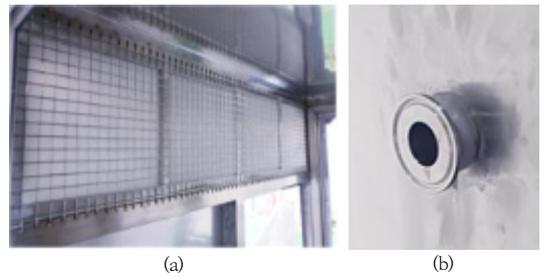


Fig. 3. Filter system for animal housing unit
(a) A triple filter system composed of a pre-felcer and HEPA Filters (b) Exhaust vent

3.1.3 컨트롤 박스(Control Box)

돼지 수용부 위쪽의 컨트롤 박스에는 운반 장치 가동 시 동물 수용부 내부는 양압을 형성할 수 있도록 블로어를 설치하였다. 블로어와 동물 수용부 사이에는 헤파필터를 장착하여 블로어를 통해 형성된 공기가 필터를 거쳐 공기 중의 오염물이 제거된 후 동물 수용부로 이동하도록 하였다. 또한 블로어 필터와 동물 수용부의 공기 통로에 밸브를 장착하여 필터 교체 시에도 밸브를 차단함으로써 오염원의 유입을 막을 수 있는 시스템을 마련해 두었다.

컨트롤 박스에는 돼지 수용부 내부의 온도가 수치로 표시되도록 온도 측정기를 설치하였다. 또한 컨트롤러 부분에 충전기를 연결할 수 있게 되어있으며 만약 전력의 공급이 일시적으로 중단되었을 때는 무정전전원장치(uninterruptible power supply system, UPS)를 통해 블로어가 지속적으로 작동할 수 있도록 하였다(Fig. 4).

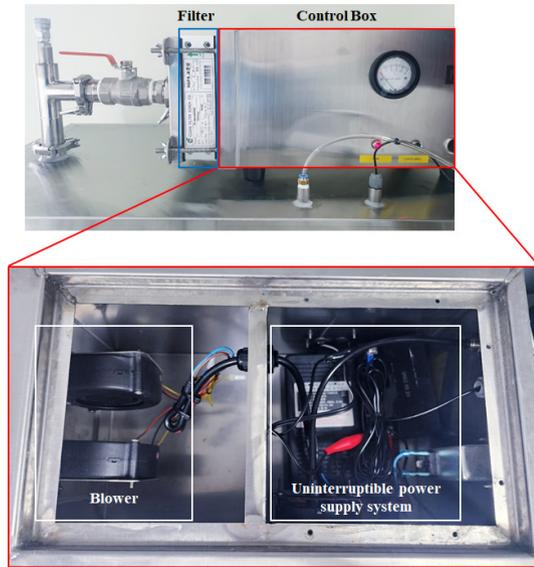


Fig. 4. Blower and uninterruptible power supply system

3.1.4 구동부

운반 장치 구동부는 동물 수용부 분리될 수 있는 형태로 설계하여 병원체 제어 시설 내로의 운반 장치 반입이나 반출 시 외부 감염원의 오염 가능성이 높은 구동부는 제외하고 동물 수용부만 이동할 수 있도록 제작하였다. 또한 구급차에서 사용되는 간이침대를 접목하였으며 차량에 실을 때 구동부가 접히도록 하여 탑재가 용이하게 하였다(Fig. 5). 즉, 본 운반 장치는 병원체를 차단할 수 있는 돼지 수용부의 기능을 유지하면서 구동부 기능을 강화하여 타 시설로의 돼지 이송에 활용하고자 하였다.



Fig. 5. Trial operation of a pathogen control transportation device

3.2 시험가동 및 병원체 분석

시험가동을 하는 동안 운반 장치는 UPS를 통해 정상 가동하여 동물 수용부의 양압을 형성하였으며, 운반

장치 내에서 돼지가 안정적인 상태를 유지하는 것을 확인할 수 있었다(Fig. 5). 운반 장치의 병원체 제어 가능성 검증을 위해 시험가동에 활용한 돼지의 이송 전후 병원체 분석을 시행하였다. 운반 장치에 돼지를 도입하기 전과 후에 비강, 항문, 피부를 스왑하고 혈액 채취를 하였으며, Table 1에 제시된 병원체 총 31종(바이러스 17종, 세균 12종, 기생충 2종)을 분석한 결과 운반 장치를 통한 이송 전후 돼지의 모든 병원체가 음성인 것을 확인하였다.

4. 고찰

병원체 제어 동물을 사육·관리하는 시설에서는 차단방역을 위해 다양한 성분의 소독약품을 반복적으로 사용한다[18]. 또한 병원체 제어 환경을 유지하기 위해서는 동물 이송 시 외부 환경에 노출된 운반 장치를 시설 내로 재도입하기 전에 충분한 세척과 소독이 필수적이다. 따라서 병원체 제어 돼지 운반 장치는 세척이 용이하며 화학물질 등에 부식되지 않도록 견고하게 제작되어야 한다. SPF 시설에서 관리된 mouse나 rat 같은 소동물의 경우 관리나 이송하기 위한 도구로, 오염원을 차단하고 공기를 공급할 수 있는 막이 부착된 플라스틱 케이스가 시중에 판매되고 있다.

한편 돼지 같은 중대형 동물의 경우 플라스틱으로 운반 장치 제작 시 파손의 위험이 있으므로 내구성이 뛰어난 스테인리스 스틸 소재가 적합하지만, 이는 무게가 많이 나간다는 단점이 있다. 병원체 제어 돼지의 사육용으로는 스테인리스 스틸이나 비닐 소재가 결합된 다양한 형태의 아이슬레이터가 개발되어 있다[23,24]. 본 연구를 통해 개발한 운반 장치는 돼지 수용부에 양압이 형성되고 외부 공기를 필터링하는 시스템을 포함하고 있다는 점에서 사육용 아이슬레이터와 동일하다. 하지만 사육용 아이슬레이터의 경우 장치의 무게나 전력 공급 문제로 인해 돼지의 운반에 활용하기에 적절하지 않다는 단점을 보완하기 위해 본 연구를 통해 병원체 제어 돼지 운반 장치를 개발하였다. 제작한 운반 장치는 이송이 용이하도록 돼지 수용부의 크기와 무게를 최소화(Fig. 2a)하였으며 차량에 탑재할 수 있도록 탈착과 절곡이 가능한 구동부를 포함하고 있다(Fig. 5).

헤파필터는 공기 중에 있는 0.3 μ m 크기 입자를 99.97% 이상 거를 수 있어 병원체 제어 동물시설에서 역시 외부 공기 중의 오염원을 차단하기 위한 시스템으

로 주로 활용된다[11,21]. 이는 병원체 제어 시설에서 공간별로 공기 압력을 다르게 설정하여 동물을 사육하는 공간으로 외부 공기의 유입을 차단하는 데 활용된다[18]. 동물 수용부에 높은 압력이 형성되도록 하고 블로어를 통해 공기가 들어오는 입기 부분에 필터를 설치하여 필터링되지 않은 외부 공기가 유입되지 않도록 하였으며 (Fig. 4), 돼지 수용부 내부의 공기 또한 필터를 거쳐 배출되도록 설계하였다(Fig. 3a). 운반 장치 내의 돼지를 외부 병원체로부터 보호할 뿐만 아니라, 돼지에 감염되어 있을지 모르는 감염원이 외부로 방출되는 것 역시 차단함으로써 생물안전성을 강화하고자 하였다.

운반 장치 검증을 위해 병원체 제어 돼지를 활용하여 3시간 동안 시험가동을 진행하였다(Fig. 5). 운반 장치 없이 차량에 탑재하여 돼지를 운송하는 기존 방법과의 차이를 실험을 통해 검증하지는 못하였으나, 이러한 방법을 통한 운송은 돼지가 외부 공기 중에 노출되기 때문에 그 과정에서의 감염 가능성을 간과할 수 없다. 본 연구를 통해 제작한 운반 장치를 활용하면 이송 중에도 지속적인 병원체 차단이 가능하다. 다만, 운반 장치를 통해 이송한 돼지를 병원체 제어 시설에서 관리하며 상태를 관찰하고 병원체 감염 여부를 분석하는 추가적인 검증은 필요할 것으로 생각된다.

5. 결론

본 연구에서는 이송 중에도 병원체 제어 시설과 유사한 수준으로 외부 병원균의 유입을 차단할 수 있는 운반 장치를 제작하고자 하였다. 이를 위해 돼지 수용부에 양압을 형성하도록 하는 블로어를 설치하였으며, 입기와 배기 부분에 HEPA필터를 장착하여 병원체의 유입을 차단하였다. 운반 장치의 운송 효율성 향상을 위해 높이 조절이 가능하며 돼지 수용부와 분리되는 구동부를 결합하여 병원체 제어 돼지 운반 장치를 제작하였다. 제작한 운반 장치를 통한 병원체 제어 돼지 이송 시 돼지는 안정적인 상태를 유지하는 것을 확인하였다. 또한 이송 후 병원체 분석 결과에서 모든 항목이 음성인 것을 통해 운반 장치를 활용한 외부 환경으로부터 병원체 차단 가능성을 검증하였다. 본 연구를 통해 개발한 운반 장치는 연구용이나 의료용 소재로서 동물을 공급하거나 연구하는 기업·기관에서 활용이 가능할 것으로 기대된다.

References

- [1] R. L. Moritz, K. M. Berger, B. R. Owen, D. R. Gillum, "Promoting biosecurity by professionalizing biosecurity", *Science*, Vol.367, No.6480, pp.856-858, Feb. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.aba0376>
- [2] E. Horefti, "The Importance of the one health concept in combating zoonoses", *Pathogens*, Vol.12, No.8, pp.977, Jul. 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/pathogens12080977>
- [3] M. E. J. Woolhouse, S. Gowtage-Sequeria, "Host range and emerging and reemerging pathogens", *Emerging infectious diseases*, Vol.11, No.12, pp.1842-1847, Dec. 2005. DOI: <https://doi.org/10.3201/eid1112.050997>
- [4] T. F. McElwain, S. M. Thumbi, "Animal pathogens and their impact on animal health, the economy, food security, food safety and public health", *Rev Sci Tech*, Vol.36, No.2, pp.423-433, Aug. 2017. DOI: <https://doi.org/10.20506/rst.36.2.2663>
- [5] B. Escudero-perez, A. Lalande, C. Mathieu, P. Lawrence, "Host-pathogen interactions influencing zoonotic spillover potential and transmission in humans", *Viruses*, Vol.15, No.3, pp.599, Feb. 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/v15030599>
- [6] T. Rahman, A. Sobur, S. Islam, S. Ievy, J. Hossain, M. E. E. Zowalaty, A. T. Rahman, H. M. Ashour, "Zoonotic diseases: Etiology, Impact, and Control", *Microorganisms*, Vol.8, No.9, pp.1405, Sep. 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms8091405>
- [7] J. A. Fishman, L. Scobie, Y. Takeuchi, "Xenotransplantation-associated infectious risk: a WHO consultation", *Xenotransplantation*, Vol.19, No.2, pp.72-81, Mar-Apr. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1111/i.1399-3089.2012.00693.x>
- [8] K. Aschheim, L. DeFrancesco, "Xenotransplantation: how close are we?", *Nature Biotechnology*, Vol.41, pp.452-460, Apr. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41587-023-01730-x>
- [9] H. Lee, K. B. Oh, M. Pack, J. G. Yoo, "Interpretation of guidelines on the production of source animals and management of infectious agents for xenotransplantation", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.23, No.12, pp.682-694, Dec. 2022. DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2022.23.12.682>
- [10] M. Jorqui-Azofra, "Regulation of clinica xenotransplantation: A reappraisal of the legal, ethical, and social aspects involved", *Methods in Molecular Biology*, Vol.2110, pp.315-358, Jan. 2020. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-0716-0255-3_20
- [11] European Medicines Agency, Guideline on xenogeneic cell-based medicinal products, European Medicines Agency, c2009[cited 2009 Jan 12]. Available From: <https://www.ema.europa.eu/en/xenogeneic-cell-based-medicinal-products> (accessed Apr. 14, 2022)

- [12] U. S. Food and Drug Administration, Guidance for Industry: Source Animal, Product, Preclinical, and Clinical Issues Concerning the Use of Xenotransplantation Products in Humans, U. S. Food and Drug Administration, c2016[cited 2016 Dec] Available From: <https://www.fda.gov/regulatory-information/search-fda-guidance-documents/source-animal-product-preclinical-and-clinical-issues-concerning-use-xenotransplantation-products> (accessed Apr. 14, 2022)
- [13] Ministry of Food and Drug Safety, "Guidelines for the quality, preclinical, and clinical evaluation of xenotransplantation products", Ministry of Food and Drug Safety, c2022[cited 2022 Oct], Available From: https://www.mfds.go.kr/brd/m_1060/view.do?seq=15126 (accessed Mar. 29, 2024)
- [14] W. Nicklas, P. Baneux, R. Boot, T. Decelle, A. A. Deeny, M. Fumanelli, B. Illgen-Wilcke, "Recommendations for the health monitoring of rodent and rabbit colonies in breeding and experimental units", *Laboratory Animals*, Vol.36, No.1, pp.20-42, Jan. 2002. DOI: <https://doi.org/10.1258/0023677021911740>
- [15] C. Cheleuitte-Nieves, N. S. Lipman, "Improving replicability, reproducibility, and reliability in preclinical research: A shared responsibility", *ILAR Journal*, Vol.60, No.2, pp.113-119, Jun. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1093/ilar/ilaa009>
- [16] D. G. Baker, "Natural pathogens of laboratory mice, rats, and rabbits and their effects on research", *Clinical Microbiology Reviews*, Vol.11, No.2, pp.231-266, Apr. 1998. DOI: <https://doi.org/10.1128/cmr.11.2.231>
- [17] S. Wynyard, D. Nathu, O. Garkavenko, J. Denner, R. Elliott, "Microbiological safety of the first clinical pig islet xenotransplantation trial in New Zealand", *Xenotransplantation*, Vol.21, No.4, pp.309-323, Jul-Aug. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1111/xen.12102>
- [18] J. Noordergraaf, A. Schucker, M. Martin, H. J. Schuurman, B. Ordway, K. Cooley, M. Sheffler, K. Theis, C. Armstrong, L. Klein, D. Hansen, M. Olson, L. Schlechter, T. Spizzo, "Pathogen elimination and prevention within a regulated, Designated Pathogen Free, closed pig herd for long-term breeding and production of xenotransplantation materials", *Xenotransplantation*, Vol.25, No.4, pp.e12428, Jul. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1111/xen.12428>
- [19] G. P. Dobson, H. L. Letson, E. Biros, J. Morris, "Specific pathogen-free (SPF) animal status as a variable in biomedical research: Have we come full circle?", *EBioMedicine*, Vol.41, pp.42-43, Mar. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ebiom.2019.02.038>
- [20] G. H. Mohan, R. V. Shwetha Reddy, C. Yogesh, "Management of specific pathogen-free (SPF) mice and rats", *Essentials of Laboratory Animal Science: Principles and Practices*, July. 2021. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-16-0987-9_26
- [21] G. Schlapp, G. Fernandez-Grana, A. P. Arevalo, M. Crispo, "Establishment of an environmental microbiological monitoring program in a mice barrier facility", *An Acad Bras Cienc*, Vol.90, No.3, pp.3155-3164, Sep. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/0001-3765201820180043>
- [22] N. Ko, J. W. Lee, S. S. Hwang, B. Kim, S. A. Ock, S. S. Lee, G. S. Im, M. J. Kang, J. K. Park, S. Jong Oh, "Nucleofection-mediated $\alpha 1$, 3-galactosyltransferase gene inactivation and membrane cofactor protein expression for pig-to-primate xenotransplantation", *Animal biotechnology*, Vol.24, No.4, pp.253-267, Aug. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1080/10495398.2012.752741>
- [23] M. J. Lee, S. H. Choi, K. Park, Germ-free pig nursery isolator, Patent, The Korean Intellectual Property Office, Korea, pp.1-11.
- [24] J. S. Han, C. G. Park, B. H. Lee, Y. Lee, Y. Cho, J. W. Lee, Aseptic pig breeding isolator, Patent, The Korean Intellectual Property Office, Korea, pp.1-14.

이 해 선(Haesun Lee)

[정회원]



- 2018년 2월 : 전남대학교 농업생명과학대학학연협동과정 (농학석사)
- 2018년 9월 ~ 현재 : 농촌진흥청 국립축산과학원 농업연구사

<관심분야>

분자생물, 유전자 편집

형 남 웅(Nam Woong Hyung)

[정회원]



- 2004년 2월: 상명대학교 산업정보시스템공학과(학사)
- 2006년 12월 ~ 현재: 농촌진흥청 국립축산과학원 위생주사보

<관심분야>

병원체 제어

노 진 구(Jungu No)

[정회원]



- 2009년 2월 : 경상대학교 응용생명과학과(이학석사)
- 2022년 1월 ~ 현재 : 농촌진흥청 국립축산과학원 농업연구사

〈관심분야〉
분자생물, 형질전환 동물

이 승 훈(Seunghoon Lee)

[정회원]



- 2009년 8월 : 건국대학교 동물생명공학과(농학석사)
- 20014년 3월 : 도호쿠대학교 농학부(농학박사)
- 2014년 4월 ~ 현재 : 농촌진흥청 국립축산과학원 농업연구사

〈관심분야〉
발생공학, 번식

변 승 준(Sung June Byun)

[정회원]

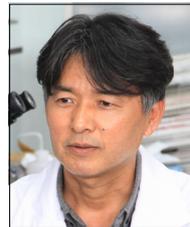


- 1997년 8월 : 경북대학교 유전공학과(이학석사)
- 2003년 2월 : 가톨릭대학교 의학과(의학박사)
- 2006년 8월 ~ 현재 : 농촌진흥청 국립축산과학원 농업연구사/관

〈관심분야〉
동물생명공학

오 건 봉(Keon Bong Oh)

[정회원]



- 1995년 2월 : 충남대학교 축산학과(농학석사)
- 2000년 2월 : 충남대학교 축산학과(농학박사)
- 2008년 11월 ~ 현재 : 농촌진흥청 국립축산과학원 농업연구사

〈관심분야〉
발생공학, 유전자 변형 동물

김 석 호(Seokho Kim)

[정회원]



- 2006년 2월 : 서울대학교 지구환경과학부 (이학석사)
- 2014년 12월 : University of Oklahoma Health Sciences Center (이학박사)
- 2020년 2월 ~ 현재 : 농촌진흥청 국립축산과학원 농업연구사

〈관심분야〉
세포생물, 분자생물

이 풍 연(Poongyeon Lee)

[정회원]



- 1996년 8월 : 성균관대학교 유전공학과(이학석사)
- 2005년 2월 : 성균관대학교 유전공학과(이학박사)
- 2002년 6월 ~ 현재 : 농촌진흥청 국립축산과학원 농업연구관

〈관심분야〉
유전공학

류 재 규(Jae Gyu Yoo)

[정회원]



- 2001년 2월 : 경상대학교 수의과대학(수의학석사)
- 2007년 2월 : 몬트리올대학교 수의과대학(수의학박사)
- 2007년 7월 ~ 2008년 8월 : 미국 국립보건원 노화연구소(박사후연구원)
- 2008년 9월 ~ 현재 : 농촌진흥청 국립축산과학원 수의연구관, 과장

<관심분야>

수의산과학, 동물발생 및 번식공학