



## 양돈장의 소모성질병 확산 분석을 위한 현장 모니터링 및 공기유동학적 분석

### Aerodynamic Approaches for Estimation of Waste Disease Spread in Pig Farm through Airborne Contaminants

서일환\*\*\* · 이인복\*† · 문운경\*\*\* · 권경석\*

Seo, Il-Hwan · Lee, In-Bok · Moon, Oun-Kyung · Kwon, Kyeong-Seok

#### ABSTRACT

Pig chronic wasting disease, including porcine reproductive and respiratory syndrome (PRRS) and postweaning multisystemic wasting syndrome (PMWS), have made a continuous economic damage in pig farms. Airborne spread of livestock viruses are an important spread factor which is difficult to analyze due to invisible airflow and limitation of measurement. The objective of this study is to analyze airborne disease spread between buildings in the experimental pig farm by means of field experiment and computational fluid dynamics (CFD). The field experiments were conducted to capture airborne virus using air sampler and teflon filter along multi points in the experimental pig farm. The samples were tested in terms of virus detection resulting in positive reaction for PRRS and PCV-2 viruses, which can be a firm evidence of airborne virus spread. The CFD simulation model was developed by considering complex topography, wind conditions, building arrangement, and ventilation systems and was used to analyze airborne virus spread according to different wind conditions. The CFD computed result showed a possibility of airborne virus spread via livestock aerosol from infected pig house to neighboring pig houses according to wind directions. The CFD simulation technique is expected to provide significant data for estimating and making a counterplan against airborne disease spread.

**Keywords:** Aerosol; airborne disease spread; computational fluid dynamics; pig

#### 1. 서 론

국내 양돈장에서는 구제역과 같은 전염성 질병이 아닌 경우, 다양한 병원체와 사육환경, 위생, 방역 등 복합적인 원인에 의하여 발생하는 만성소모성 질병으로 인하여 돼지의 폐사가 발생한다. 국내의 양돈장에서 발생하는 대표적인 소모성 질병은 4P라고 불리는 생식기호흡기 증후군 (PRRS, Porcine reproductive and respiratory syndrome), 이유후 전신소모성증후군 (PMWS, Postweaning multisystemic wasting syndrome), 호흡기복합감염증 (PRDC, Porcine respiratory disease complex), 유행성 설사병 (PED, Porcine epidemic diarrhea)이다. 소모성 질환에 의한 폐사의 원인은 주로 PRRS를 바탕으로 한 홍막폐렴, 글래서

씨병과 PMWS, PRRS 및 살모넬라감염증과 같은 소화기 질병 등으로 알려져 있다 (Park et al, 2012). 대한한돈협회는 전국 양돈장 질병실태 조사를 통하여 전국 350개 농가들 중 47.0 %에서 PRRS가 발생하였으며, 21.1 %에서 PCV-2 바이러스에 의한 PMWS가 발생하였으며, 돼지 소모성 질병에 의한 폐사율이 11.4 %에 이른다고 보고하였다 (Park et al, 2012). 소모성 질병에 의한 농가의 피해를 추정, 예측하기 위한 다양한 시도가 이루어지고 있으며, 돼지 소모성 질병으로 인한 양돈농가의 총 피해는 연간 약 7000억~1조 2000억원으로 추산한 바 있다 (Huh and Woo, 2008). 돼지 소모성 질병은 구제역과는 다르게 지속적으로 농장에 상재하여 발생하고 있다. 특히 최근 국내 양돈의 전업화 및 집단화로 인하여 한번 질병에 의한 피해가 발생할 경우, 바이러스가 농장에 지속적으로 남아 해당 돈사 및 인근 돈사로 농장 내 전파 위험이 높으며 지속적인 피해를 야기할 수 있다. 질병의 발생요인은 크게 숙주, 병원체, 전파경로, 환경 요인 등으로 구분할 수 있으며, 질병의 확산은 직접적 또는 2차적인 접촉에 의한 감염 및 공기 중 확산에 의한 감염으로 분석할 수 있다 (Seo et al., 2011). 돼지 소모성 질병의 저감화 또는 청정화를 위해 사육시설·환경·위생개선, 예방약과 치료제 및 진단법

\* 서울대학교 농업생명과학대학 지역시스템공학과  
 \*\* 서울대학교 그린바이오과학기술연구원 그린에코공학연구소  
 \*\*\* 농림축산검역본부, 역학조사과  
 † Corresponding author Tel.: +82-2-880-4586  
 Fax: +82-2-873-2087  
 E-mail: iblee@snu.ac.kr

2013년 11월 27일 투고  
 2013년 12월 11일 심사완료  
 2013년 12월 16일 게재확정

개발, 감염축 조기도태, 유통경로 개선 등 많은 개선대책이 지속적으로 수립, 추진되어 직간접적 접촉에 의한 감염을 예방하기 위한 많은 노력이 이루어지고 있다. 이와 같이 국내에서의 소모성 질병에 관한 연구는 주로 병리학적인 관점에서 진행되고 있어서, 질병의 확산을 공학적인 관점에서 기상 데이터 및 지형적 영향이 고려된 공기유동학적 연구가 요구되고 있는 실정이다.

축산 질병의 공기 중 전파의 가능성은 이미 많은 현장실험 및 연구에서 제시되고 있다 (Tsukamoto et al., 2007, Weber et al., 2008, Song et al., 2012, Spekrijse et al., 2012). 소모성 질병의 공기 중 확산의 근거로 PRRS의 경우 공기 중에서 약 3 km 동안 생존하여 확산되는 현장 증거가 보고된 바 있으며 (Robertson, 1992), Stark (1999)는 공기 전염으로 인한 돼지 질병에 관한 공기 이동 경로, 오염물의 발생, 흡입 및 감소에 대한 연구를 수행하여, 바이러스가 공기 전염을 통해 발생할 수 있다는 가능성을 보여주는 증거를 제시하였다. 질병의 공기 전파 매커니즘을 분석하기 위하여 Brockmeier et al. (2002)과 Kristensen et al. (2004)은 개체간의 직접적인 접촉이 없이 환기구만을 연결하여 감염원에서 발생한 질병이 공기 중으로 전파가 일어날 수 있다는 것을 실험으로 보인바 있으나 구체적인 확산 매커니즘을 제시하지는 못하였다.

현장실험을 통한 공기 중 질병 전파 분석의 한계는 눈에 보이지 않는 공기 흐름을 따라 이동하는 바이러스의 확산 매커니즘에 관한 데이터 확보가 어려우며, 환경조건의 지속적인 변화와 공기 중 바이러스 포집 문제 등이 있다. 특히 실제 운영되고 있는 돈사에서 현장실험은 제한된 점측정에 의존할 뿐 아니라 방역상의 문제로 농장의 협조를 구하기 어렵고 많은 비용과 시간이 소요되기 때문에 진행되기 어렵다. 이에 최근에는 공기유동학적 기술들을 이용하여 현장실험의 한계를 보완하고 공기유동을 정성적, 정량적으로 분석하여 각 환경요인에 따른 결과의 비교분석을 위한 충분한 기초자료 확보를 하고자 하는 노력이 이루어지고 있다 (Mayer et al., 2008, Krumkamp et al., 2009, Gloster et al., 2008, Seo et al., 2011). 국내 축산농가의 70% 이상은 약취문제와 방역문제로 인하여 거주지에서부터 떨어진 산지에 위치하여 있기 때문에, 복잡한 산악지형과 건물의 배치를 종합적으로 고려한 유동해석을 통하여 질병의 농장내 공기중 전파 현상을 분석할 필요가 있다.

본 연구의 목적은 양돈장의 대표적인 돼지 소모성 질병인 PRRS 바이러스와 PMWS의 발생원인인 PCV-2 (Porcine circo-virus type 2) 바이러스의 공기 중 확산 가능성을 현장실험을 통하여 검증하고 이를 분석할 수 있는 양돈장의 상세 지형과 주요 건물을 고려한 3차원 공기유동학적 시뮬레이션 모델을 개발하고자 하였다.

## II. Materials & Methods

### 1. 실험 돈사

현장실험을 위하여 경기 안성시 일죽면에 위치한 농장을 선정하였다. 실험농장은 인근에 다른 돈사가 없이 산으로 둘러싸여 농장과 농장 사이의 공기 중 바이러스 유입가능성이 적으며, 국내에서 많이 사용되는 강제환기식과 자연환기식 돈사를 모두 가지고 있을 뿐 아니라 소모성 질병인 PRRS, PMWS 등의 피해가 있어 본 연구를 수행하는데 가장 적합한 것으로 판단된다. 실험농장은 모돈 약 130두와 이우자돈 약 540두가 각기 분리된 건물에서 강제환기식으로 운영되고 있으며, 비육돈 약 700두가 2개의 자연환기식 돈사에서 사육되고 있었다.

### 2. 현장실험장비

실험농장의 실험을 수행하는 기간 동안의 기상환경을 측정하기 위하여 간이기상대 (Watchdog, Spectrum Inc., USA)를 인근 산의 영향을 제일 적게 받을 수 있는 사무실의 지붕에 설치하였다 (Fig. 2d). 간이 기상대는 풍속, 풍향, 온도, 상대습도, 강우량, 일사량 등의 기상 요인들을 실시간으로 매분 저장하였다. 농장 내 공기 중 바이러스 및 바이러스가 부착되어 공기 중으로 비산되는 축산에어로졸을 포집하기 위하여 소형 공기포집기 (PCR-X8, SKC, USA)를 사용하였다 (Fig. 2). 공기포집기의 끝단에는 37 mm 테플론 필터가 설치되어 TSP (Total suspended particle)을 2 l/min의 유량으로 포집하였다. 에어로졸이 포집된 필터는 멸균된 핀셋과 페트리디시를 사용하여 개별적으로 포장



Fig. 1 Satellite picture for experimental pig farm in Anseong: two fattening pig houses have operated by natural ventilation system while two piglet houses have operated by forced ventilation system.

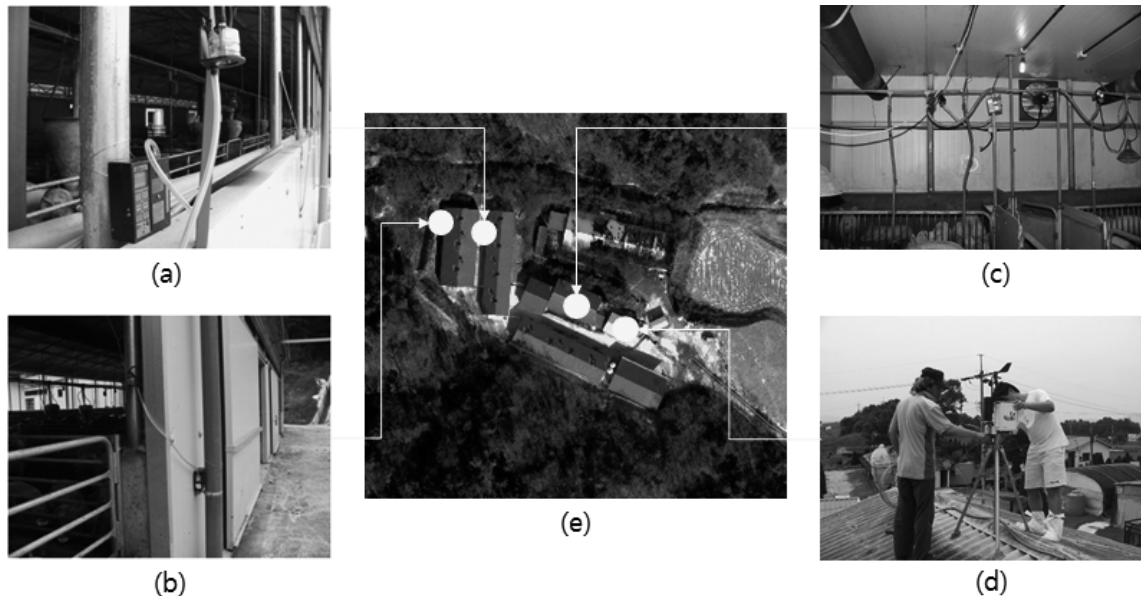


Fig. 2 Example images for experimental setups; (a) & (b) installation of air samplers on the naturally ventilated fattening houses, (c) in the forced ventilated weaner house, (d) weather station on the roof, and (e) satellite image for the pig farm

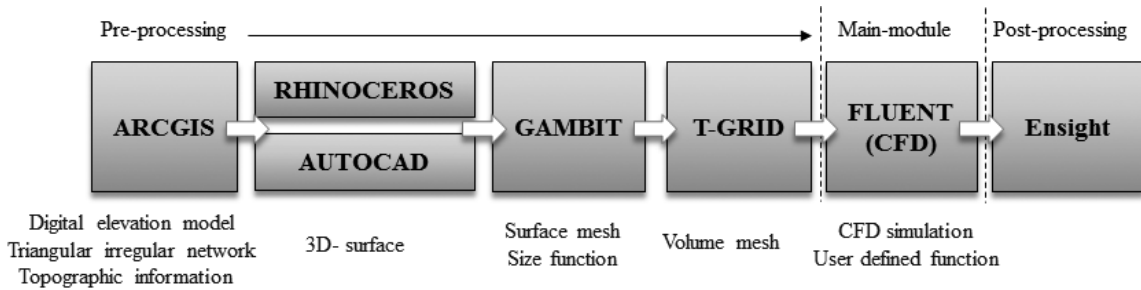


Fig. 3 Flow chart for CFD modeling including weather data and topographical configuration

한 후 외부오염을 막기 위하여 파라핀테잎으로 밀봉하여 아이스 백에 넣어 오염이 되지 않은 상태에서 농림축산검역본부로 전달하였다. 각 샘플들은 RT-PCR (Real Time Polymerase Chain Reaction)법을 사용하여 대표적인 소모성 질병인 PRRS 및 PCV-2 (썬코 바이러스)의 바이러스 유무를 검사하였다.

### 3. 전산유체역학 시뮬레이션 프로그램

전산유체역학 (Computational fluid dynamics, CFD)모델을 사용하여 공기 중 바이러스의 확산 매커니즘을 분석하고자 하였다. 특히 복잡한 지형적 영향과 자연환기식 및 강제환기식 돈사들의 특징에 따른 상세 유동 분석을 위하여 다수의 사용프로그램을 사용하였다. Fig. 3은 시뮬레이션 모델 설계 순서를 나타낸 것으로, AUTOCAD (version 2009, Autodesk, USA)는 수치지형도로부터 원하는 대상지역에 대한 정보를 추출하는데 사

용되었으며, SKETCHUP (version 7.0, Google Inc., USA)과 RHINOCEROS (version 5.0, McNeel Inc., USA)는 대상 지형정보로부터 3차원의 바닥 지형면 생성 및 전체 영역에서 연구대상 영역을 분할하는데 사용되었다. GAMBIT (version 2.3, ANSYS Inc., USA)과 T-GRID (version 4.0, ANSYS Inc., USA)는 각각 바닥면과 볼륨에 대한 격자를 설계하는데 사용하였다.

격자망이 설계된 계산 영역은 FLUENT (version 6.3, ANSYS Inc., USA) 메인모듈을 사용하여 나비에-스토크스 (Navier-Stokes) 방정식을 기초로 한 질량, 에너지, 모멘텀 보존 방정식을 계산하는데 사용되었다 (Eqs 1-3). 유동해석에 중요한 난류 모델의 경우 Seo et al., (2010)을 참고하여 Standard k-ε 난류 모델을 사용하였다. 시뮬레이션을 위하여 Windows HPC server 2008을 사용하여 구축한 해석 클러스터 시스템을 사용하여 시뮬레이션 연산의 효율성을 향상시키고자 하였으며, 해석이 완료된 결과는 ENSIGHT (version 8.2 CEI Inc., USA)를 사용하여 후

Table 1 Inlet conditions for CFD simulation

Conditions	Values
Number of Mesh	about 1.87 million
Mesh design	Hex for buildings & Tetra for the others
Dimension for Computational Domain	1 km diameter & 1 km height
Boundary	Velocity inlet & Pressure outlet
Wind Velocity	2 m/s
Wind Directions	8 directions (E, N, NE, NW, S, SE, SW, W)
Velocity of Fan in forced ventilated weaner house	3.57 m/s
Density of Aerosol	1,200 kg/m <sup>3</sup>

처리과정을 수행하였다. 모델의 정확도 향상을 위하여 연직방향의 풍속 및 난류 프로파일을 설계하여 User Defined Function (UDF)을 사용하여 모델에 적용하였다. 세부적인 모델의 설계 조건은 Table 1과 같다. 이러한 과정을 통하여 GIS 자료 및 지역 기상 데이터를 이용한 3차원 공기 유동학적 모델 기초 설계가 가능하였으며, 이를 통하여 양돈장 내 돈사 간 환기 형태, 환기구 구조 및 방향, 돈사의 배치 등에 따른 질병전파 가능성을 분석할 수 있었다. 예측된 질병확산 결과는 현장실험을 통하여 분석한 바이러스 검출결과와 비교분석하였다.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = S_m \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \vec{v}) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} \vec{v}) = -\nabla p + \nabla \cdot (\vec{\tau}) + \rho \vec{g} + \vec{F} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\rho E) + \nabla \cdot (\vec{v}(\rho E + p)) \\ = \nabla \cdot (k_{eff} \nabla T - \sum_j h_j J_j + (\tau_{eff} \cdot \vec{v})) + S_h \end{aligned} \quad (3)$$

여기서  $\rho$ 는 밀도 (kg/m<sup>3</sup>),  $t$ 는 시간 (s),  $v$ 는 속도 (m/s),  $S_m$ 은 엔탈피 (J/K),  $p$ 는 압력 (Pa),  $g$ 는 중력가속도 (m/s<sup>2</sup>),  $F$ 는 외력 (N/m<sup>3</sup>),  $h$ 는 엔탈피 (J/kg),  $J$ 는 확산 플럭스 (kg/m<sup>2</sup>s)를 의미한다.

#### 4. 연구 방법

양돈장에서의 공기 중 질병 전파에 대한 공기유동역학적 분석을 위하여 공기 중 바이러스를 포집하는 현장실험을 수행하였다. 공기중 바이러스 및 바이러스가 부착되어 있는 공기 중 축산 에어로졸을 포집하는 현장실험은 총 4차례 수행되었다; 2009년 8월 17일 (실험 1), 9월 17일 (실험 2), 10월 9일 (실험 3), 10월

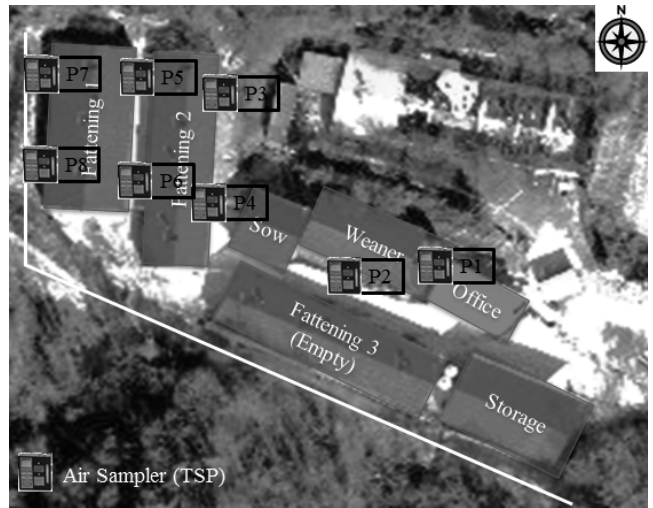


Fig. 4 Sampling points for virus detection using air sampler with teflon filters

30일 (실험 4). 양돈장 내 공기 중 에어로졸 샘플을 채취하기 위하여 공기포집기 8대가 사용되었으며, 다수의 사전현장실험을 통하여 적절한 측정 지점을 찾고자 노력하였다. 최종적으로 Fig. 3과 같이 양돈장 내에 총 8개 포집 지점을 선정하였다. P1 지점은 PRRSV, PCV-2 등이 검출된 강제환기식 자돈사 (Weaner)의 공기가 유입되는 통로이며, 이곳을 통하여 유입된 공기는 돈방들을 거쳐 배기구를 통하여 에어로졸이 배출된다. 이를 포집하기 위하여 돈방 내부 배기구 근처를 P2 지점으로 선정하였다. Fig. 4와 같이 자연환기식 비육사 1 (Fattening 1)과 비육사 2 (Fattening 2)에 대한 바이러스의 유입 및 배출을 확인하기 위하여 P3부터 P8의 지점을 선정하였다. 실험기간동안 남쪽에 위치한 비육사 3 (Fattening 3) 농장은 비어 있었으며, 창고 (Storage)의 경우 작업에 필요한 장비들을 보관하는 곳으로 벽체가 없이 지붕과 프레임으로 설치되어 있는 구조로 되어 있었다. 이 두 곳은 돼지를 사육하지 않고 있어 공기 중 바이러스 포집을 위한 현장 실험에서 제외하였다. 각 지점에서는 공기포집기를 사용하여 2 l/min의 유량으로 공기를 흡입하여 37 mm 테플론 필터를 사용하여 에어로졸을 2시간 동안 포집하였다. 돼지의 접촉을 피하기 위하여 지면에서 약 1.2 m 높이에 에어로졸 포집용 필터를 고정하는 카세트가 위치하도록 설치하였으며, 농장 내부의 잦은 관리활동 (청소, 사료 공급, 차량 및 사람 이동 등)에 방해가 되지 않도록 센서를 설치하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 양돈장 내 질병 확산 현장실험

총 4차례 수행된 현장실험을 통하여 포집된 공기중 에어로졸

샘플에서 PRRS와 PCV-2 바이러스가 검출되었다. 이는 공기를 통하여 바이러스가 이동되고 질병이 전파될 수 있다는 것을 의미한다. Table 2는 각 실험에 따른 바이러스의 샘플링 위치별 바이러스의 검출 유무를 나타내고 있으며, Fig. 5는 해당 포집이 이루어진 2시간동안 기상대를 통하여 측정된 바람의 주풍향과 바이러스 포집위치를 도시한 것이다.

실험 1 (8월 17일)에서 바이러스를 포집한 기간 동안 주풍향은 북동풍이었으며, 2 m/s 미만의 낮은 풍속이 관측되었다. 모든 측정에서 PRRS 바이러스는 검출되지 않았으며 4지점에서

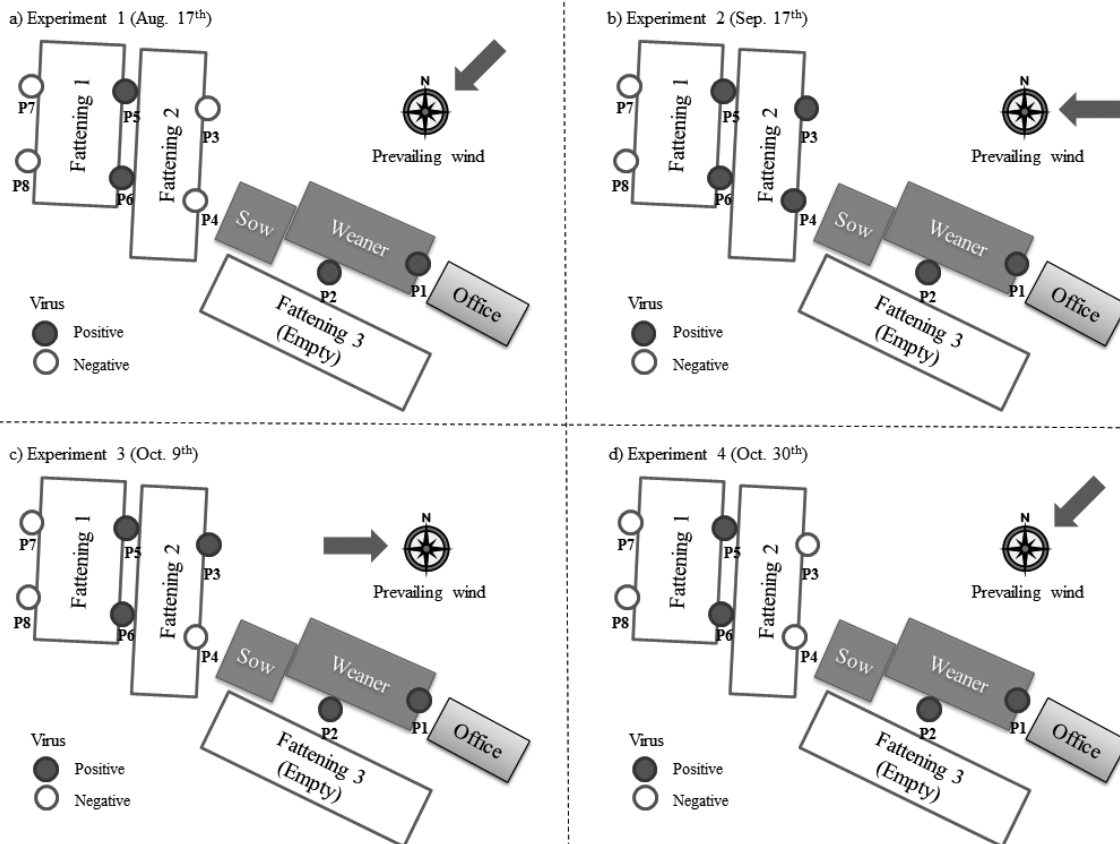
PCV-2 바이러스가 검출되었다. 강제환기식 자돈사의 경우 입기, 배기구 모두 PCV-2가 검출되었는데 이는 감염된 돈방 내부의 에어로졸이 배기구를 통하여 주로 배출되지만 동시에 관리작업 및 장비설치작업등을 위하여 문을 개폐하는 과정에서 샘플러를 설치한 북도쪽으로 돈방 내부의 공기가 역류하였기 때문에 판단된다. 자연환기식 비육돈사로 들어가는 P3, P4에서는 주풍향 때문에 강제환기식 자돈사에서 배기된 공기가 유입되지 않는 것으로 판단된다. 주풍향을 고려하여 자연환기식 비육돈사2에서 풍하측에 해당하는 P5, P6 두지점 모두에서 다시 바이러스가 검출된 것으로 보아 자연환기식 비육돈사2 역시 PCV-2 바이러스에 오염되어 공기 중 전파 가능성이 있음을 알 수 있었다.

실험 2 (9월 17일)가 수행되는 동안 풍향은 북동풍에서 남동풍으로 변화하는 과정으로 주풍향은 동풍이었으며, 대체로 2 m/s 미만의 낮은 풍속이 관측되었다. 바이러스 검사결과 총 4개 지점에서 PRRS 바이러스와 6개 지점에서 PCV-2 바이러스가 검출되었다. 이는 당시 농장 전체적으로 PCV-2 바이러스에 심각하게 오염되어 자돈사에서 발생하는 바이러스의 농도가 높았을 것으로 추정할 수 있다.

**Table 2 PRRS and PCV2 virus test result using RT-PCR (Real Time Polymerase Chain Reaction)**

Experiments	PRRS								PCV2							
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
a) Exp. 1	-	-	-	-	-	-	-	-	⊙	⊙	-	-	⊙	⊙	-	-
b) Exp. 2	-	⊙	⊙	-	⊙	⊙	-	-	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	-	-
c) Exp. 3	-	-	-	-	-	-	-	-	⊙	⊙	-	⊙	⊙	⊙	-	⊙
d) Exp. 4	-	-	-	-	-	-	-	-	⊙	⊙	-	-	⊙	⊙	-	-

※ ⊙ denotes positive reaction for virus detection.



**Fig. 5 PCV-2 Virus test results by four experiments using aerosol filter connected by air samplers: The prevailing wind were averaged by using recorded wind directions every minutes during the experiments**

실험 3 (10월 9일)이 수행되는 동안 주풍향은 서풍계열이었으며 풍속의 평균이 0.6 m/s로 상대적으로 바람이 적게 불었다. 바이러스 검사결과 PRRS 바이러스는 검출되지 않았으며 총 6개 지점에서 PCV2 바이러스가 검출되었다. 주풍방향을 따라 비육돈사 1의 풍상측인 P7, P8에서는 바이러스가 검출되지 않은 반면, 비육돈사 1과 2를 통과한 P4, P5, P6에서 바이러스가 검출되어 해당 돈사의 감염가능성 및 확산 가능성을 판단할 수 있었다.

실험 4 (10월 30일)가 수행되는 동안 주풍향은 북동풍 계열로 동일한 주풍향을 대상으로 실험을 수행하였던 실험 1의 결과와 동일한 결과를 얻었다. 8월 중순에 수행한 실험 1과 10월말에 수행한 실험 2의 결과가 동일함을 바탕으로 농장 내부에서의 짧은 거리에 대한 공기 중 질병확산의 경향은 온도나 습도 등의 환경 조건보다는 풍향과 풍속에 따른 유동장이 주요인임을 알 수 있다.

## 2. 전산유체역학 모델 설계 및 해석

본 연구에서는 GIS 인공위성 자료 및 지역기상 데이터를 이용한 3차원 공기 유동학적 모델 기초 설계를 수행하였다. Fig. 6과

같이 국토지리정보원에서 제공하는 수치지도를 바탕으로 이를 AUTOCAD를 사용하여 필요한 부분을 목적에 맞도록 수정 및 편집하였다. SKETCHUP은 2차원의 선으로 나열된 등고선으로부터 3차원의 지형을 Fig. 7과 같이 형성하고, 이를 Fig. 8과 같이 RHINOCEROS를 사용하여 각 돈사의 위치와 직경 1 km의 전체 계산 영역을 분할하여 3차원의 바닥지형을 만들 수 있었다. 완성된 바닥 지형을 바탕으로 GAMBIT 및 T-GRID를 사용하여 격자망을 설계한 후 이를 높이를 가지는 3차원의 볼륨으로 만들어 최종 격자망 모델을 설계하였다. 격자 설계에서는 Grading interval mesh, Size function technique 등을 효과적으로 조합하여 격자망의 수를 줄이는 동시에 중요지점에 격자를 집중시켜 정확도를 향상시키고자 하였다. 특히 돈사가 있는 농장부분은 인근 지형을 형성하는 영역에 비하여 복잡할 뿐 아니라 주요 연구 대상지역이기 때문에 Fig. 9와 같이 농장이 포함된 영역에 대한 격자망 설계를 별도로 수행하여 더 조밀한 격자를 설계하였다. 그 후 농장이 포함된 영역을 전체 영역에 삽입한 후 바깥으로 갈 수록 격자가 성글게 설계하였다. 계산 영역의 경계면은 원기둥형으로 하여 풍향에 따라서 절반은 유입면, 반대쪽 절반은 유출면



Fig. 6 Numerical contour map around research farm

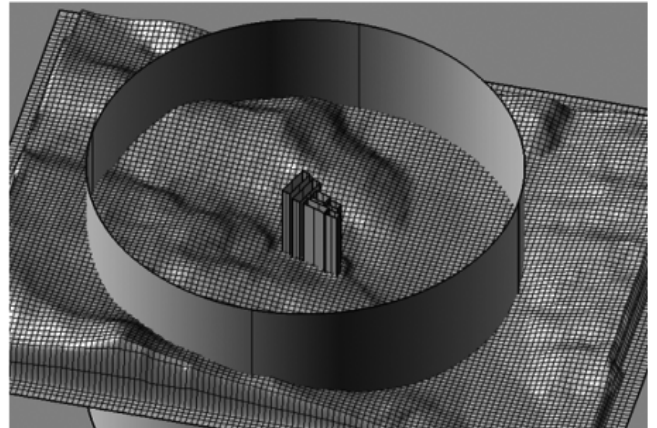


Fig. 8 Area division by computational domain and pig houses

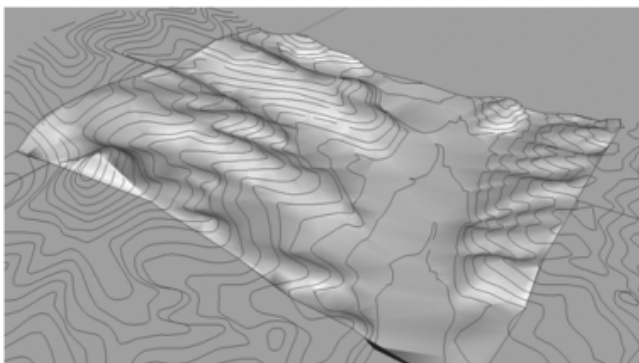


Fig. 7 Three dimensional surface using triangular irregular network

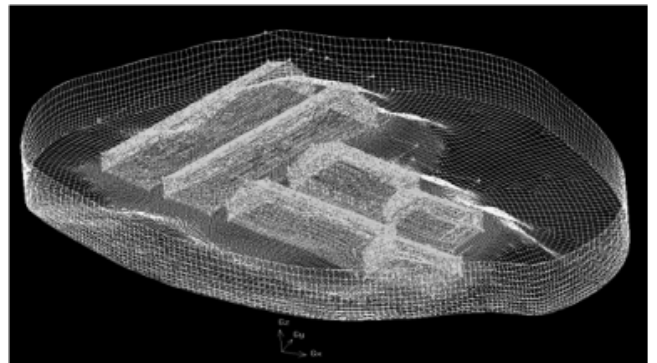


Fig. 9 Mesh design near pig houses as a module for overall domain

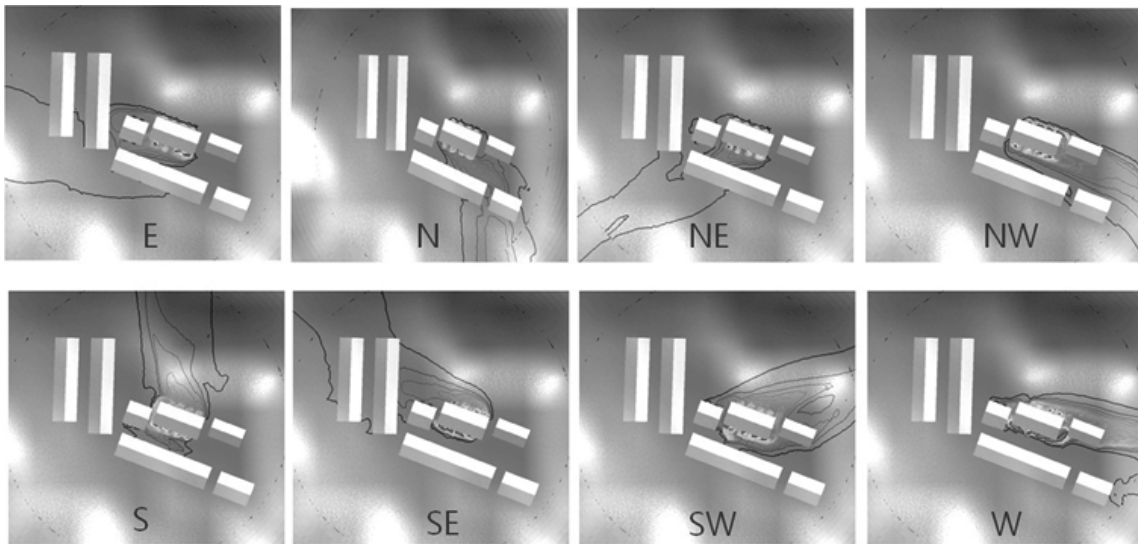


Fig. 10 Aerosol concentration from weaner house according to wind directions

이 되도록하여 동일한 모델을 사용하여 서로 다른 풍환경에 따른 연산이 가능하도록 하였다.

### 3. 전산유체역학을 통한 유동장 분석

Fig. 10은 실험농장에 대하여 총 8가지 풍향 및 현장실험에서 주로 측정된 2 m/s의 풍속에 대하여 CFD 시뮬레이션 분석 결과를 나타낸 것으로 자돈사가 바이러스에 감염이 되어 있다고 가정하여 자돈사에서 발생하는 바이러스의 확산을 분석하였다. 자돈사의 경우 북쪽은 복도가 있으며 남쪽으로 돈방들이 위치하고, 여기서 환기팬이 작동하여 강제환기식으로 내부의 공기가 남쪽으로 배출되는 구조를 가지고 있다.

시뮬레이션 분석 결과 서풍 및 남풍 계열의 바람이 유입되는 경우 질병이 발생하는 것으로 가정한 강제환기식 자돈사로 외부의 공기가 직접 도달하지 않고 앞선 건물에 부딪혀 유속이 감소하였다. 이로 인하여 자돈사 근처의 유속이 떨어져 배기구를 통하여 나오는 분진이 빠른 시간에 확산되어 농장 외부로 배출되지 않고 배기구 인근에 정체되어 인근 농장으로 유입되는 가능성이 오히려 높아질 위험이 있었다. 반면 동풍 및 북풍 계열의 바람이 유입되는 경우 배기되는 분진이 직접적으로 외부 공기의 영향을 받아 빠르게 제거되었다. 그러나 주풍향에 직접적인 영향을 받는 위치에 있는 돈사에는 더 많은 양의 오염된 분진이 유입될 가능성이 있었다.

4. 현장실험과 전산유체역학의 질병확산 결과비교 현장 실험을 통한 바이러스 검출 결과를 시뮬레이션 결과와 비교하였다. 실험 1과 실험 4와 같이 북동풍이 주풍인 경우 자돈사로 바람이 직접 유입되어 자돈사를 타고 넘어가는 바람과 이를 통한

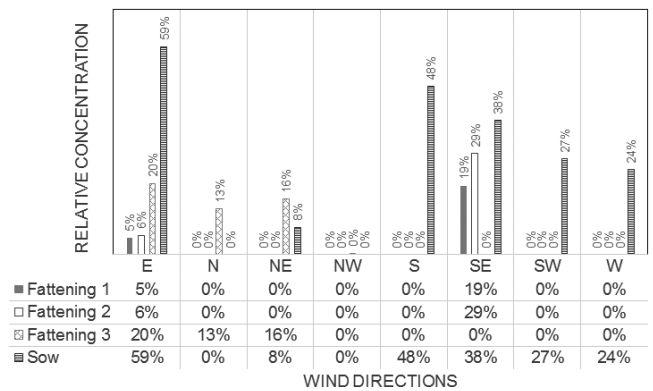


Fig. 11 Influx rate of the contaminant according to pig houses following the wind direction

음압에 의하여 배기구에서 배출되는 바이러스의 상당수가 위로 풍하측 농장을 거쳐 빠져나가는 것으로 나타났다. 모돈사가 바람막이의 역할을 하여 비육사 2쪽으로 확산되는 것을 막고 있기 때문에 현장에서 바이러스를 포집하는 P3, P4 지역에서는 바이러스가 검출되지 않았을 것을 판단된다. 실험 2와 같이 동풍이 주풍인 경우에는 건물들 사이에 형성되는 골바람을 타고 자돈사의 배기구에서 배출되는 바이러스가 높은 농도로 비육사 1과 2쪽으로 유입되는 결과를 보였다. 실험 3과 같이 서풍이 주풍인 경우 자돈사에서 발생하는 바이러스는 바람을 따라 농장 밖으로 배출되어 비육사로의 영향이 없는 것으로 나타났다.

Fig. 11은 강제환기식 자돈사에서 발생하는 축산에어로졸 (바이러스 및 바이러스가 흡착된 분진을 포함)의 농도를 100%로 가정하였을 때 상대적으로 인근 돈사들로 유입되는 바이러스의 평균 농도를 총 8가지 풍향에 대하여 분석한 결과를 나타낸 것이다. 자돈사와 바로 붙어 있는 모돈사의 경우 최대 59%까지

바이러스의 영향을 받는 등 북풍계열을 제외하고는 항시 영향을 받을 것으로 판단된다. 이는 모돈사에 있는 면역력이 낮은 이유 돈들이 바이러스에 노출될 확률이 높다는 의미로 추후 모돈사의 위치 이동이 필요할 것으로 판단된다. 자돈사의 남쪽에 있는 비어있는 비육사 3의 경우 북풍, 북동풍, 동풍에서 평균 16.3 %의 영향을 받는 결과를 보였으며, 자돈사의 서쪽에 배치된 2동의 비육사 1과 2의 경우 동풍과 남동풍에 대하여 평균 12.0 %와 17.5 % 영향을 받는 결과를 보였다.

#### IV. 결 론

1. 본 연구는 양돈장에서의 소모성 질병이 공기 중으로 확산, 전파되는 매커니즘을 파악하기 위하여 공기포집기와 필터를 사용하여 축산 에어로졸을 포집하여 대표적 소모성 질병인 PRRS, PCV-2 바이러스 검사를 수행하고, 이를 전산유체역학 시뮬레이션을 사용하여 상세지형 및 돈사의 배치와 환기구조에 따라 형성되는 유동장을 따라 확산되는 바이러스의 농도분포를 분석하고자 하였다.

2. 현장실험을 통하여 다수의 지점에서 PRRS 및 PCV-2 바이러스가 검출되었으며, 이는 공기 중으로 관련된 소모성 질병 및 구제역과 같은 전염성 질병이 확산될 수 있다는 증거로서 사용될 수 있다. 특히 농장 내에서의 건물간 확산의 경우 다른 환경조건보다 풍향에 큰 영향을 받으며, 이는 농장의 건물설치를 계획함에 있어서 해당 지역의 주풍에 대한 사전분석을 통하여 질병에 취약한 모돈사와 이유자돈사를 적절히 배치하는 것이 중요함을 알려준다.

3. 현장실험의 한계를 보완하기 위하여 다수의 상용 소프트웨어를 사용하여 실험농장 주변의 상세 지형 및 강제환기식과 자연환기식이 혼재되어 있는 건물의 특성을 고려하여 전산유체역학 시뮬레이션 모델을 설계하여 다양한 풍향에 따른 바이러스의 확산 경향을 해석하였다. 그 결과 자돈사에서 배출되는 바이러스를 포함한 축산 에어로졸은, 풍향에 따라 발생농도의 29 %의 농도로 인근 비육돈사에 영향을 주어 공기 중 질병확산 가능성을 보여주었다. 추후에는 더 다양한 풍향 및 풍속의 조합에 따라서 각각의 농장에서 배출되는 바이러스가 인근 돈사에 미치는 상호영향에 대한 연구가 필요하며 이를 토대로 농장에서 지속적으로 발생하는 소모성 질병의 저감을 위한 대책마련이 가능할 것으로 판단된다.

본 연구는 기상산업진흥원 기상산업 지원 및 활용기술개발 사업 (과제번호 KMIPA 2012-1204)의 지원에 의해 수행되었습니다.

#### REFERENCES

1. Brockmeier, S. L., P. G. Halbur, and E. L. Thaecker. 2002. Polymicrobial Diseases. *Porcine respiratory disease complex*, eds. K. A. Brogden and J. M. Guthmiller, 231-258. Washington, DC: ASM Press.
2. Gloster, J., C. Doel, S. Gubbins, and D. J. Paton. 2008. Foot-and-mouth disease: Measurements of aerosol emission from pigs as a function of virus strain and initial dose. *The Veterinary Journal* 177: 374-380.
3. Huh, D. and B. J. Woo. 2008. Impact of Swine Wasting Disease on Farm Income. *Journal of Rural Development* 77-88.
4. Kristensen C, S., A. Botner, H. Takai, J. P. Nielsen and S. E. Jorsal, 2004, Experimental airborne transmission of PRRS virus. *Veterinary Microbiology* 99: 197-202.
5. Krumkamp R., H. P. Duerr, R. Reintjes, A. Ahmad, A. Kassen, and M. Eichner. 2009. Impact of public health interventions in controlling the spread of SARS: 6. Modelling of intervention scenarios. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 212(1): 67-75.
6. Mayer. D., J. Reiczigel, and F. Rubel. 2008. A Lagrangian particle model to predict the airborne spread of foot-and-mouth disease virus. *Atmospheric Environment* 42: 466-479.
7. Park, S. I., B. H., Hyun, C. G., Park, S. H. Kim, and J. B. Kim, 2012, An investigation of real conditions of pig disease in hog farms all the country. 53-64, KPPA, Seocho, Seoul: Korea Pork Producers Association.
8. Robertson, I. B. 1992. New pig disease update "Epidemiology of PRRS". *Pig Veterinary Journal* 29: 186-187.
9. Seo, I. H., I. B. Lee, O. K. Moon, S. W. Hong, H. S. Hwang, J. P. Bitog, K. S. Kwon, and K. Y. Kim. 2011. Aerodynamic approaches for the prediction of spread the HPAI (high pathogenic avian influenza) on aerosol. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 53(1): 29-36.
10. Song, S. H., I. B. Lee, K. S. Kwon, T. H. Ha, P. J. Bitog, S. W. Hong, I. H. Seo, O. K. Moon, Y. J. Kim, and E. J. Choi (2012). Analysis of the disease spread in a livestock building using tracer gas experiment.



- Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 54(3): 37-45.
11. Spekrijse, D., A. Bouma, G. Koch, and J. A. Stegeman. 2011. Airborne transmission of a highly pathogenic avian influenza virus strain H5N1 between groups of chickens quantified in an experimental setting. *Veterinary Microbiology* 152: 88-95.
  12. Stark K.D.C. 1999. The Role of Infectious Aerosols in Disease Transmission in Pigs. *The Veterinary Journal* 158: 164-181.
  13. Tsukamoto, K., T. Imada, N. Tanimura, M. Okamatsu, M. Mase, T. Mizuhara, D. Swayne, and S. Yamaguchi. 2007. Impact of different husbandry conditions on contact and airborne transmission of H5N1 highly pathogenic avian influenza virus to chickens. *Summarized from Avian Diseases* 51(1): 129-32.
  14. Weber, T. P. and N. I. Stilianakis. 2008. Inactivation of influenza A viruses in the environment and modes of transmission: a critical review. *Journal of Infection* 57(5): 361-73.