

## 무창이유자돈사의 내부 환경 개선에 관한 연구

이승주<sup>1)</sup> · W. M. Gutierrez<sup>2)</sup> · 김봉식<sup>2)</sup> · 한진영<sup>2)</sup> · 장동일<sup>1)\*</sup> · 장홍희<sup>2)\*\*</sup>

<sup>1)</sup>충남대학교 농업생명과학대학, <sup>2)</sup>경상대학교 축산학전공·농업생명과학연구원  
(2008년 6월 17일 접수, 2008년 6월 24일 수리)

**Study on Modification of Inside Environment in Windowless Weaning Piglet House**  
Seung-Joo Lee<sup>1)</sup>, W. M. Gutierrez<sup>2)</sup>, Bong-Sik Kim<sup>2)</sup>, Jin-Young Han<sup>2)</sup>, Dong-Il Chang<sup>1)\*</sup>, and Hong-Hee Chang<sup>2)\*\*</sup>  
(<sup>1)</sup>College of Agriculture and Life Science, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea, <sup>2)</sup>Department of Animal Science·Institute of Agriculture and Life Sciences, Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea)

**ABSTRACT:** This study was carried out to determinate the location and the number of air inlet and outlet, optimum air inlet velocity for effective ventilation in windowless weaning piglet house (2.90(W)×9.90(L)×2.80(H) m) by CFD (Computation Fluid Dynamics) simulation. The weaning piglet house for this experiment was consisted of 11 air inlets and 9 outlets, modified and simulated using CFD code, FLUENT. The simulation result for the original weaning piglet house, which was not modified, showed ununiform ventilation for each room. Therefore, for uniform ventilation, 4 air inlets and 1 outlet were completely closed, and 2 air outlets were partially closed. The simulation result for the modified weaning piglet house showed uniform ventilation for each room and the optimum air inlet velocity of 0.5 m sec<sup>-1</sup>.

**Key Words:** ventilation, weaning piglet house, CFD simulation, air inlet, air outlet

### 서 론

국민의 식생활 변화로 인하여 돼지고기의 소비량은 계속 증가되고 있는 추세이며, 이로 인하여 돼지 사육두수가 증가하였고, 양돈업의 규모는 점차 확대되고 있다. 반면에 양돈가수는 환경규제 등과 사료 원료가의 상승으로 인하여 줄어들고 있는 추세이다. 이에 따라 국내 양돈업은 양돈가당 사육두수가 증가하여 점차 대형화 및 기업화 되고 있다<sup>1)</sup>.

사육두수를 증가시키기 위하여 돈사를 신축하기 보다는 돈방당 사육두수를 증가시킨 집약적인 생산 체제를 도입하게 되었는데, 이는 주로 무창돈사로 구성되었다. 그러나 이러한 생산체제는 생산량을 증대시킬 수는 있으나 혹서기의 고열, 악취, 병원성 미생물 및 부유 물질 등이 돈사 내에 집적될 수 있어 재래돈사보다 환경적인 측면에서 무창돈사가 위험 부담을 안고 있는 단점도 있다. 따라서 이러한 집약적 생산 시설

인 무창돈사에서는 반드시 돼지가 생육하기에 적절한 환경을 지속적으로 유지해야 하며, 이를 위한 핵심 기술은 강제환기 기술이다. 돼지의 적정 환경온도에 대한 최저 임계온도 설정 이론식의 정립과 무창돈사의 입기 및 환기 효율 등에 대한 연구가 많이 수행되었다. 최근에는 현장 계측을 통한 환기 효율 검증뿐만 아니라 CFD(Computational Fluid Dynamics) 시뮬레이션을 이용한 환기 연구도 활발히 진행되고 있다<sup>2,3)</sup>. CFD는 해석하고자 하는 대상에 대하여 수치 계산 및 시뮬레이션을 수행하여 공기 유동 등에 대한 결과를 예측분석할 수 있는 방법으로, 현장실험은 자연환경을 임의로 조절하기 어렵고 비용과 시간 등이 많이 요구된다는 단점을 보완한 시뮬레이션 방법이다. 이러한 CFD 시뮬레이션은 컴퓨터를 통하여 공기흐름의 패턴을 연구실에서 가상적으로 수행하고 있으며 온실의 환기해석에 광범위하게 적용될 뿐만 아니라 축산에서도 일부 적용되고 있다

본 연구는 현재 국내 보급률이 높은 강제환기식 무창이유자돈사의 공기유동에 대하여 겨울철 최소 환기량을 기준으로 CFD 시뮬레이션을 실시함으로써 무창이유자돈사의 겨울철 최적 환기를 위한 입·배기구의 위치와 개수 및 적정 공기 유입 속도를 구명하고자 수행되었다.

\*연락처:

Tel: +82-42-821-6718 Fax: +82-42-823-6246  
E-mail: dichang@cnu.ac.kr

\*\*공동연락처:

Tel: +82-55-751-5510 Fax: +82-55-751-6113  
E-mail: hhchang@gnu.ac.kr

재료 및 방법

실험돈사

본 연구에 사용된 무창이유자돈사는 Fig. 1과 Fig. 2에서 보는 바와 같이 돈방이 4개 있는 폭 2.90 m, 길이 9.90 m,

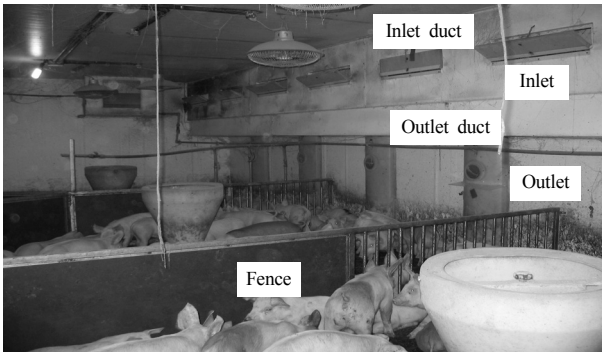


Fig. 1. Photograph of the experimental windowless weaning piglet house.

높이 2.80 m의 크기로 된 돈사였다. 이 무창이유자돈사의 적정 수용두수는 140두였고, 돈방 사이에 설치된 펜스(fence)의 높이는 틈바닥부터 0.60 m였으며 배기구와 접한 펜스의 반은 파이프로 되어 있어 공기 유동이 자유로웠고, 나머지 반은 플라스틱 판으로 되어 있어 공기 유동이 불가능한 상태였다. 돈사 측면 상단부에 0.50×0.50 m 크기의 입기 덕트(duct)와 0.50×0.25 m 크기의 배기 덕트가 설치되었으며, 배기 덕트 한쪽 끝 부분에 배기팬(fan)이 설치되었다. 배기팬에 의해 발생하는 음압에 의해 돈사 전면 입기구에서 공기가 유입되는 음압환기방식이었다. 실험돈사는 개선하기 전(Fig. 3)에는 입기구 11개가 입기 덕트에 설치된 상태였고, 플라스틱 배기구(폭 0.32×깊이 0.05×높이 1.50 m)는 틈바닥 하단부부터 배기 덕트까지 연결되어 9개가 설치된 상태였다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 배기팬과 가깝게 위치한 입·배기구에는 배기팬과 상대적으로 멀게 위치한 입·배기구보다 음압이 크게 발생되기 때문에 공기 유동량이 높을 것으로 사료되었다. 따라서 배기팬으로부터의 거리와 관계없이 돈방별로 균일하게 환기가 이루어질 수 있도록 하기 위하여 Fig. 4에서

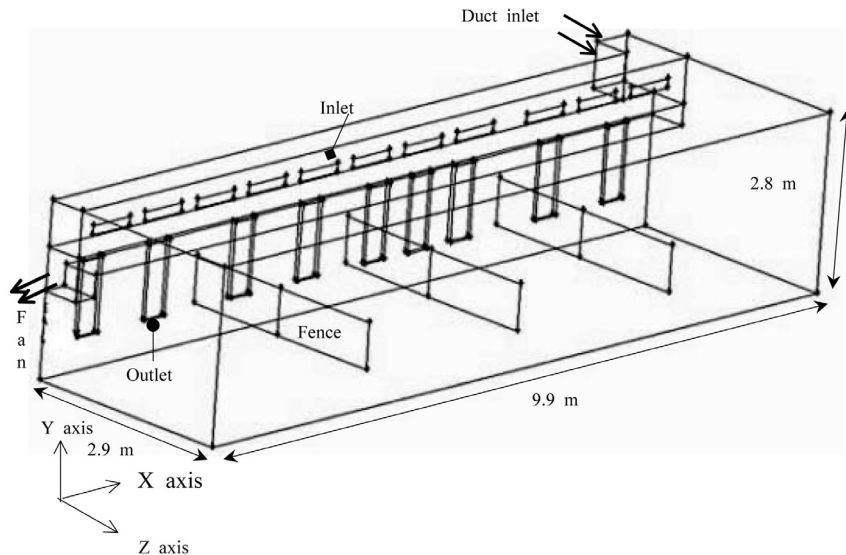


Fig. 2. Schematic diagram of the experimental windowless weaning piglet house.

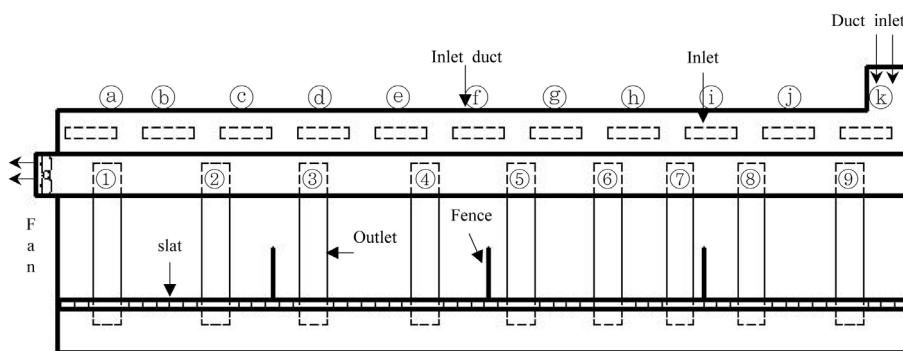


Fig. 3. Side view of the experimental weaning piglet house before modification.

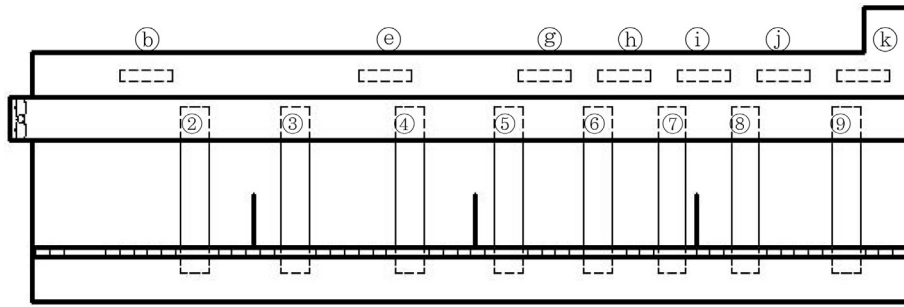


Fig. 4. Side view of the experimental weaning piglet house after modification.

보는 바와 같이 동일선상에 있는 입기구 4개(Fig. 3의 ㉓, ㉔, ㉕, ㉖)를 밀폐하여 총 7개의 입기창을 배치하였으며, 배기구의 경우 1개(Fig. 3의 ㉑)는 완전 폐쇄하였고, 2개(Fig. 3의 ㉒와 ㉔)는 2/3를 폐쇄(배기구 깊이를 기존 0.05 m에서 0.03 m로 조정)하여 배기구를 축소하였다. 다른 돈사 시설의 경우 개선 전 돈사 시설과 동일하였다.

CFD 시뮬레이션

실험돈사의 제원과 동일하게 돈사의 구조를 Gambit(Ver. 2.2, Fluent Inc., U.S.A.)을 이용하여 모델링을 실시하였다. 초기 모델은 개선 전 무창이유자돈사와 동일하게 모델링(입·배기 덕트, 입·배기구, 펜스 등)하였으며, 틈바닥의 경우 공기 유동에 큰 영향을 미치지 않는 인자로 판단하여 모델링하는데 포함하지 않았다. 또한 개선 후 모델의 경우 입·배기구의 조건을 변경하여 개선 후 이·유자돈사와 동일하게 모델링하였다. Fig. 5에서 보는 바와 같이 격자망(mesh)의 구성이 CFD 시뮬레이션 시 계산시간 및 계산의 정확도에 영향을 미치기 때문에 천장부근(공기 유입구)에서는 더욱 더 조밀하게 3차원으로 격자망을 구성하였다.

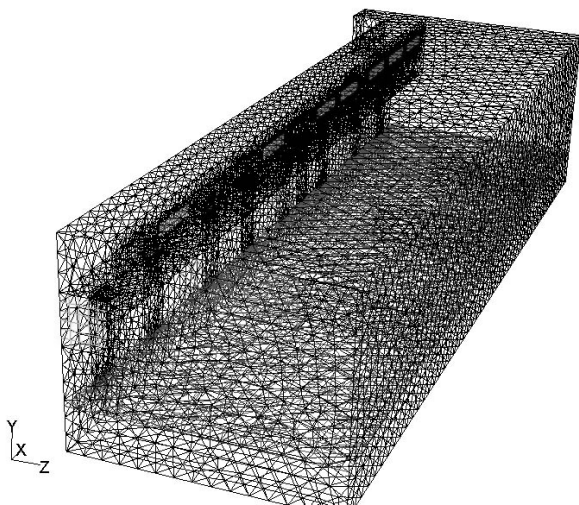


Fig. 5. Mesh made using Gambit.

겨울철 권장 두당 최소환기량( $0.0566 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}/\text{head}$ )에 근거하여 140두를 위한 총 최소 환기량을 계산한 결과  $7.924 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$  이었으며, 이를 입기 덕트 면적으로 나누어 입기 덕트에서의 입기 속도를 계산한 결과  $0.53 \text{ m sec}^{-1}$ 이었다. 이와 같이 계산한 입기 덕트 속도로 외부 공기가 실험돈사 내부로 유입되는 조건 하에서 실험돈사의 공기 유동을 분석하고자 Fluent(Ver. 6.2, Fluent Inc., U.S.A.)로 3차원 CFD 시뮬레이션을 실시하였다. CFD의 모델개발을 위한 사양은 Table 1과 같다. 분석된 3차원 시뮬레이션 결과를 토대로 하여 개선 전·후의 틈바닥 위 0.1 m와 1.5 m 높이에서의 공기 유동을 분석하여 입·배기구의 위치와 개수가 환기 효율에 미치는 영향을 구명하였다. 또한 입기구로 유입되는 공기의 속도를 최초  $1.2 \text{ m sec}^{-1}$ 로 시작하여  $0.1 \text{ m sec}^{-1}$ 씩 변경하여 이·유자돈사 내에서 공기 유동을 분석, 최적 유입 공기속도 구명을 실시하였다.

CFD 시뮬레이션 모델의 검증

무창이유자돈사의 공기 유동 해석을 위해 시뮬레이션 한 CFD 모델의 타당성과 정확성을 검증하기 위하여 실험돈사에서 개선 전·후 돈사 입기 덕트의 입기구 유속, 입·배기구 유속 및 돈방내 틈바닥 위 0.1 m와 1.5 m 위치에서의 유속을 측정하였다. 이때 사용한 풍속계는 SY-MPM(선영시스텍, 한국)이었다. CFD 시뮬레이션 결과와 실제 측정 결과를 비교 분석하여 CFD 시뮬레이션 모델의 검증을 실시하였다.

Table 1. Input values of the CFD model for experimental windowless piglet house

Property	Value (s)
Density ( $\text{kg m}^{-3}$ )	1.225
Cp (Specific heat, $\text{J kg} \cdot \text{K}^{-1}$ )	1006.43
Thermal conductivity ( $\text{W m} \cdot \text{K}^{-1}$ )	0.0242
Viscosity ( $\text{kg m} \cdot \text{sec}^{-1}$ )	1.7894e-05
Molecular weight	28.966
L-J Characteristic length	3.711
L-J Energy parameter	78.6

결과 및 고찰

CFD를 이용하여 개선 전·후의 무창이유자돈사에 대한 공기 유동 형태를 시뮬레이션 한 결과는 Fig. 6, 7, 8, 9, 10과 같았다. 개선 전 무창이유자돈사에서는 Fig. 6에서 보는 바와 같이 배기팬으로부터의 거리에 따라 다르게 입기구에 흡입이 형성되어 각 입기구를 통하여 입기되는 공기량이 달라 각각의 돈방에 균일하게 들어오지 못하여 신선한 공기가 돈방 전체에 균일하게 확산되지 못하고 배기팬과 가까운 돈방에 편중되어 유입되었다. 이러한 이유로 인하여 추운 겨울에 최소 환기를 하는 경우에 있어서 공기 유입이 많은 돈방은 오염된 공기가 많이 배출되어 공기질은 좋을 수 있지만 차가운 외부 공기의 유입이 많아 온도가 낮고 풍속이 높게

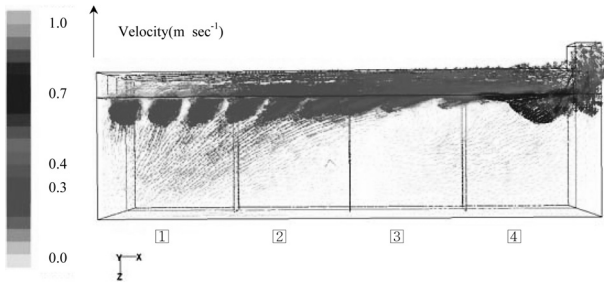


Fig. 6. Predicted air flow pattern in X-Z plane at air inlet height of the experimental windowless piglet house before modification.

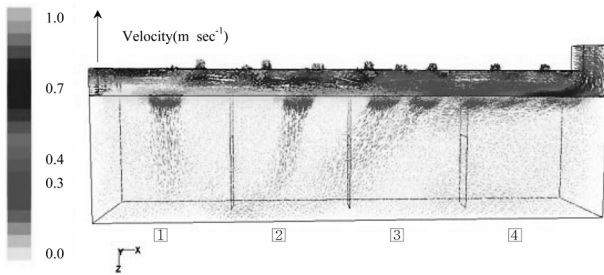


Fig. 7. Predicted air flow pattern in X-Z plane at air inlet height of the experimental windowless piglet house after modification.

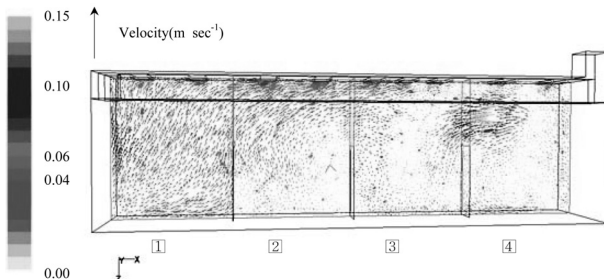


Fig. 8. Predicted air flow pattern in X-Z plane at 0.1 m above floor of the experimental windowless piglet house before modification.

형성되어 추위 스트레스에 민감한 어린 이유자돈에게 추위 스트레스를 유발시킬 수 있는 가능성이 매우 높아지며, 반대로 배기팬과 거리가 먼 돈방은 신선한 외부 공기가 잘 유입되지 않아 공기질이 나쁘게 유지되어 각종 호흡기 질병을 유발시킬 수 있는 가능성이 매우 높은 것으로 판단되었다. 그러나 입기구 11개 중 배기팬에 가까운 쪽에 위치한 입기구 4개를 폐쇄한 개선 후의 무창이유자돈사에서의 공기 유동은 개선 전에 비해 Fig. 7에서 보는 바와 같이 외부 공기가 배기팬에 가까운 돈방에 편중되지 않고 유입되어 각 돈방에 균일하게 확산되는 것으로 나타나 환경제어함에 있어서 불균일한 환기에 의한 문제가 나타나지 않을 것으로 분석되었다. 신선한 유입 공기로 인하여 돈사내의 공기가 원활히 혼합되어 환기효율을 증진시킬 수 있고, 이로 인하여 이유자돈에게 발생할 수 있는 추위 스트레스와 호흡기 질병을 미연에 방지할 수 있는 것으로 판단되었다. 또한 이론적인 최소 환기량과 입기 덕트 입기구 면적을 고려하여 입기 덕트 입기구의 풍속을 0.53 m sec<sup>-1</sup>로 설정하여 시뮬레이션을 실시하였는데, 실제 실측한 입기 덕트 입기구 풍속은 0.52 m sec<sup>-1</sup> 정도였다.

또한 Fig. 8에서 보는 바와 같이 개선 전 무창이유자돈사 틈바닥 0.1 m 위에서의 공기 유동은 입기구 높이에서의 공기 유동형태(Fig. 6)와 같이 배기팬에 가깝게 위치한 돈방에서만 환기가 원활히 이루어질 뿐, 나머지 돈방에서는 환기가 거의 되지 않음을 나타내었다. 그러나 개선 후 무창이유자돈

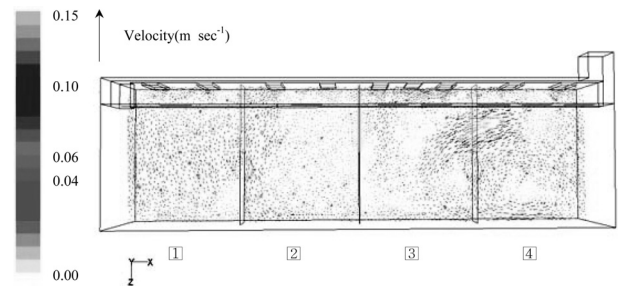


Fig. 9. Predicted air flow pattern in X-Z plane at 0.1 m above floor of the experimental windowless piglet house after modification.

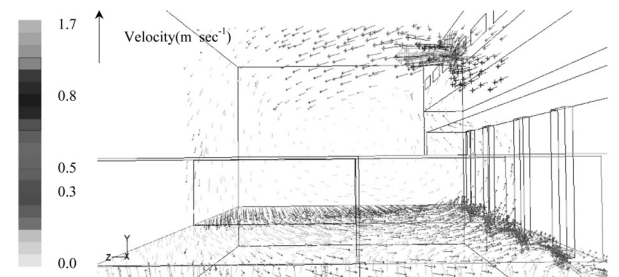


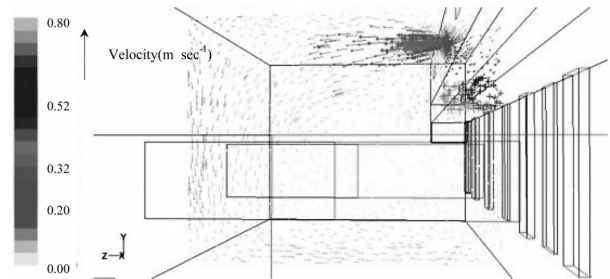
Fig. 10. Predicted air flow pattern in Y-Z plane at the center of an air inlet of the experimental windowless piglet house when inlet velocity is about 1.20 m s<sup>-1</sup>.

**Table 2 Inlet and outlet velocity in piglet rooms**

Velocity		room number			
		①	②	③	④
Inlet velocity (m sec <sup>-1</sup> )	before	0.3~0.4	0.1~0.3	0.0~0.1	0.4~0.7
	after	0.1~0.2	0.1~0.2	0.1~0.2	0.1~0.2
outlet velocity (m sec <sup>-1</sup> )	before	0.07~0.09	0.00~0.06	0.00~0.06	0.00~0.06
	after	0.07~0.08	0.07~0.08	0.07~0.08	0.07~0.08

사에서는 Fig. 9에서 보는 바와 같이 돈사 전체에서 균일하게 환기됨을 알 수 있었다. 추운 환경에서 어린 이유자돈이 풍속에 의하여 추위 스트레스를 받지 않도록 하기 위해서는 풍속이 0.15 m sec<sup>-1</sup> 이하로 유지되어야 하며<sup>4)</sup>, 틈바닥 밑으로 배기함으로써 환기시키는 음압환기방식에 있어서 효율적으로 오염된 공기를 배출시키기 위해서는 공기 유속이 최소 0.08 m sec<sup>-1</sup> 이상되어야 한다<sup>5)</sup>. 개선 전 무창이유자돈사의 경우, 배기팬 부근 돈방의 공기 유속은 0.07~0.09 m sec<sup>-1</sup> 수준이었고 나머지 돈방에서는 0.00~0.06 m sec<sup>-1</sup> 수준이었기 때문에, 배기팬 부근 돈방은 적절하게 환기가 되지만 나머지 돈방은 공기의 정체구역이 존재하고 환기가 부족하게 되어 오염된 공기가 원활히 배기되지 못함을 알 수 있었다. 이에 따라 배기팬으로부터 먼 돈방에서 사육되는 이유자돈들은 공기질이 극도로 좋지 않아 증체율과 사료효율의 저하 및 호흡기 질병 등을 나타낼 것으로 분석되었다. 반면에 개선 후 무창이유자돈사의 공기 유속은 0.06~0.08 m sec<sup>-1</sup> 정도로 각 돈방에 골고루 분포되었다. 따라서 개선 후 무창이유자돈사의 경우 돈방 간에 거의 차이없이 대체적으로 균일하게 환기가 되기 때문에 공기질의 저하에 의한 증체율과 사료효율의 저하 및 호흡기 질병의 발생등과 같은 문제는 거의 나타나지 않을 것으로 분석되었다. CFD 시뮬레이션으로 분석한 결과를 돈방별로 정리하여 보면 Table 2와 같다.

폭이 6 m 이상인 무창돈사의 공기 유입 속도는 3.0~5.1 m sec<sup>-1</sup>로 권장되고 있다<sup>6)</sup>. 그러나 폭이 2.9 m인 실험돈사에 대한 CFD 시뮬레이션 결과에 의하면, 입기구에서 1.2 m sec<sup>-1</sup> 정도로 유입될 경우 Fig. 10과 같이 공기가 반대편 벽에 부딪혀 틈바닥으로 급격히 강하하여 풍속 0.35 m sec<sup>-1</sup> 정도로 와류를 생성, 배기구 쪽으로 이동하는 것으로 나타났다. 이처럼 입기구 반대편 틈바닥 위의 풍속이 0.35 m sec<sup>-1</sup>로 높을 경우 추위 스트레스를 유발시킬 수 있는 가능성이 있는 것으로 나타났다. 반면에 입기구 중앙 풍속이 0.50 m sec<sup>-1</sup> 정도일 경우 Fig. 11에서 보는 바와 같이 입기구 반대쪽 벽에 유입 공기가 부딪혀 틈바닥 쪽으로 하강하여 0.04 m sec<sup>-1</sup> 정도로 유동하는 것으로 나타났다. 이는 신선한 공기의 유입으로 공기 혼합률을 높이고, 벽에 부딪힌 후 0.15 m sec<sup>-1</sup> 이하의 풍속으로 배기구 쪽으로 유동함에 따라 찬공기와의 접촉으로 인한 이유자돈의 추위 스트레스를 최소화할 수 있고, 틈바닥을 통해 이동함에 따라 오염 공기 등을 효율적으로 제거



**Fig. 11. Predicted air flow pattern in Y-Z plane at the center of an air inlet of the experimental windowless piglet house when inlet velocity is about 0.50 m s<sup>-1</sup>.**

할 수 있는 것으로 분석되었다. 따라서 무창돈사의 폭이 3 m 내외일 경우에는 입공기 속도 0.5 m sec<sup>-1</sup>에 근거하여 입기구의 개방면적을 설계해야 할 것으로 판단된다.

### 요 약

본 연구는 입기구가 11개이고 배기구가 9개인 무창이유자돈사에 대하여 CFD 시뮬레이션을 실시함으로써 겨울철 최적 환기를 위한 입·배기구의 위치와 개수 및 최적 공기 유입 속도를 구명하고자 수행되었다.

배기팬에 가까운 돈방의 경우에는 나머지 돈방에 비해 상대적으로 음압이 크기 때문에 환기가 많이 되는 것으로 나타났다. 나머지 돈방의 경우에는 음압이 작아 환기가 적게 되는 것으로 나타났다. 이런 이유로 동일 면적의 입기구를 설치함에 있어서 같은 간격으로 배치하면 환기가 불균일하게 이루어지기 때문에, 배기팬에 가깝게 위치한 돈방에서는 입·배기구를 나머지 돈방에 비해 적게 만들어 주거나 간격을 넓게 만들어 줌으로써 균일한 환기를 할 수 있는 것으로 분석되었다. 특히 입기구가 11개이고 배기구가 9개인 무창돈사의 경우에는 동일 선상에 있는 입기구 4개를 폐쇄하며 배기구 1개는 완전 폐쇄하고 2개는 2/3를 폐쇄하였을 때 환기가 균일하게 되는 것으로 나타났다. 또한 실험돈사와 같이 돈사의 폭이 3 m 정도일 경우에는 입기구의 입공기 속도가 0.5 m sec<sup>-1</sup> 정도로 유지될 때 틈바닥 위 0.1 m 높이 위치의 풍속이 적정 수준으로 유지되는 것으로 나타났다.

---

### 참고문헌

1. National Agricultural Products Quality Management Service in Republic of Korea (2007) The Korean Agriculture Statistics--The part of Livestock.
  2. Bjerg, B., K. Svidtb and Zhang, D. (2002) Modeling of air inlets in CFD prediction of airflow in ventilated animal houses. *Computers and Eektronics in Agriculture* vol 34, 233-235.
  3. Mistriotis, A., Dejong, T., Wagemans, M. J. and Bot, G. P. A. (1997) Computational Fluid Dynamics (CFD) in the modeling and design of ventilation systems in the agricultural industry-A review. *Bioresource Technology* vol 98, 2386-2414.
  4. Wathes, C. M. and Charles, D. R. (1994) Livestock Housing. CAB International.
  5. Grub, W., Forester, E. P. and Tribble, L. F. (1974) Swine building air contaminant control with pit ventilation. *The ASAE Paper* No. 74-4532.
  6. Midwest Plan Service (1977) Structures and Environment Handbook.
-