

## 무창 육성·비육돈사의 공기유동 특성 분석

송준익 · 최홍림\* · 최희철 · 이덕수 · 전병수 · 전중환 · 유용희

농촌진흥청 축산과학원

### Analysis of Airflow Characteristics in an Enclosed Growing-Finishing Pig House

Song, J. I., Choi, H. L.\*, Choi, H. C., Lee, D. S., Jeon, B. S., Jeon, J. H. and Yoo, Y. H.

National Institute of Animal Science, R.D.A.

#### Summary

Experiments were carried out to evaluate the air speed distribution of an enclosed growing-finishing pig house in summer and winter. The data taken by experiments were compared to validate with the calculated air speeds by a commercial CFD code, FLUENT. Air basically enters into the house through Baffled slot Inlet and leaves through a exhaust fan attached on the Exhaust fan in exiting wall of the house. Air speeds were measured as 2~2.5 m/s at the two side slot in winter and 0.8 m/s in summer. The validation showed that a CFD simulator is one of feasible methods to predict airspeed distribution in the growing-finishing pig house.

(Key words : Airflow, CFD, Enclosed growing-finishing pig house, Ventilation system)

#### 서 론

무창축사의 환경조절에 있어서 환기특성 분석 및 공기유동 예측은 매우 중요한 설계라 할 수 있으나 아직까지 이에 관한 연구는 많지 않다. 특히 겨울철 돈사는 사육밀도가 높고 환기가 불량한 경우가 많다. 따라서 동물들은 상당한 현열과 잠열을 발산하고 낮은 환기율과 유기적으로 결합되어 온도분포의 불균일과 환기공간 내에서의 공기유속이 떨어진다. 축사시설내에서 측벽 슬롯을 통한 유입구에서 일정한 공기유속을 유지하려고 하면 유입구에서의 공기속도는 4.0~5.0 m/s

가 요구되고 있으며, 무창축사시설에 있어서 유입구의 공기속도와 축사내의 부력과 상관관계에 대한 연구가 수행된 바 있다(Barber 등 1982; Leonard와 McQuitty, 1986).

실제 현장에서의 원형 연구는 기계 및 다양한 측정기술들의 한계에 제약을 받기 때문에 시간이 소모되고 매우 값이 비싸다. 따라서 이러한 현장실험의 한계를 극복하기 위하여 현장실험 결과와 유사한 공기 유동 결과를 예측하고자 컴퓨터를 통한 공기유동해석 등의 예측에 관한 도구로 Computational Fluid Dynamic (CFD) Tool이 사용되고 있다. Timmons 등(1980)은 축사시설에서 슬롯환기를 하였을

\* 서울대 식품·동물생명공학부(Department of Feed and Animal Biotechnology, Seoul National University)  
Corresponding author : Song, J. I., National Institute of Animal Science, R.D.A. Suwon 441-350, Korea.  
E-mail : sjunik@rda.go.kr

때의 2차원에서 점성(유체)이 없는 것을 적용하였고, Janssen과 Krause(1988)은 축사시설에서 슬롯환기에 있어서 2차원 모델에 속도, 온도를 포함하여 적용하였다. Lee et al. (2002), Bjerg et al.(2002), Song et al. (2005) 등은 축사 시설 내에서의 환기 작용 및 공기 유동을 예측하기 위하여 CFD 시뮬레이션을 사용한 바 있다. Choi 등(1987, 1988, 1990)은 slot으로 환기되고 내부장애물이 없는 공간에서의 공기유동 영향을 표준 k-ε 난류모델과 변형된 상수를 적용한 모델을 이용하여 분석하였다. 한편 최근에는 CFD 해석에 관련된 소프트웨어들이 개선되어 왔으며, 현재는 상업적인 패키지들을 이용하여 실제로 복잡한 난류흐름을 푸는 것이 가능해졌다. 이러한 이유로 CFD 시뮬레이션은 건축 및 기계 분야의 기술자들과 설계자들이 환기과정을 연구하는데 있어 강력한 도구로 자리 잡게 되었다. 특히 CFD 시뮬레이션은 온도, 상대습도와 더불어 가스성분의 농도조절이 매우 중요한 축사의 설계에 폭넓게 이용되었다(Hoff 등, 1992, Maghirang 등, 1993). 본 연구는 무창육성·비육돈사의 공기유동 특성을 수치해석으로 예측하고 환기시스템 성능을 분석하기 위해 개발된 CFD 시뮬레이션 모델을 이용하여 무창육성돈사를 대상으로 환기시스템 성능 및 공기유동 특성을 분석하였으며 축사시설에서 CFD 시뮬레이션을 통한 이론적인 모델과 현장측정을 통한 실측치를 서로 비교하여 공기유동의 특성을 분석하는 것을 목적으로 수행되었다.

## 재료 및 방법

### 1. CFD 시뮬레이션 조건

CFD 모델 및 실험돈사의 개념도는 Fig. 1, 2, 3과 같으며 돈사내에 유입되는 공기는 양쪽 측벽 장방형 판넬(20mm)형 slot 입기구를

통하여 입기되어 돈방으로 공기가 입기되었다. 배기는 지름 500mm 측벽 배기팬에 의하여 배출되었다.

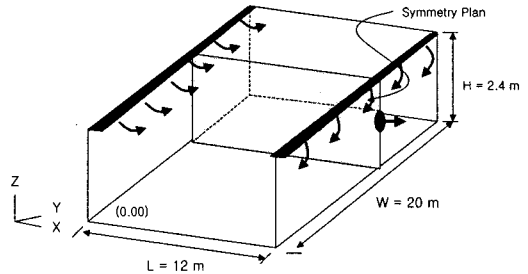


Fig. 1. Physical model of the enclosed growing-finishing pig house.

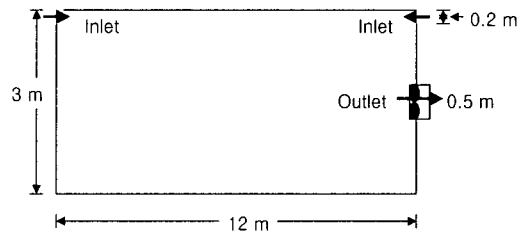


Fig. 2. Longitudinal view(X-Z) and dimensions of the enclosed growing-finishing pig house (meters).

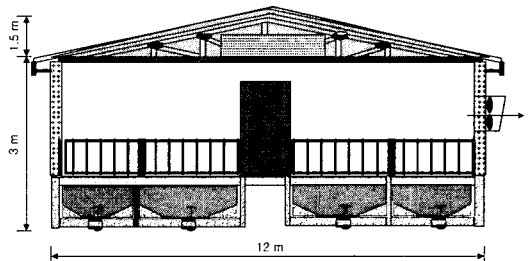


Fig. 3. X-sectional view(Y-Z) and dimension of the enclosed growing-finishing pig house(meters).

### 2. 측정장비

무창육성·비육돈사의 환경 측정은 Table 1과 같은 장비를 이용하여 측정하였다. 특히 공기유속을 측정하는 센서는 공기의 유속 측정에 영향을 미치지 않도록 하기 위하여 K-type

Table 1. Specifications of measurement instrument

Environmental factors	Model	Specification
Air speed (recoder) <sup>1)</sup>	Multi point	32 channels
Air speed <sup>2)</sup>	Single point	0~50 m/s
Ventilation fan Side wall	Φ500	5,580~8,510 m <sup>3</sup> /h

1), 2), Accuracy : <sup>1)</sup> ±0.05, <sup>2)</sup> ±0.02.

Thermocouple(Φ 3mm)을 사용하였고 센서의 배치는 자돈사의 출입문에서 전면, 중중, 후면 지점의 좌우 상, 중, 하부 지점(18지점)과 중앙통로 상, 중, 하 지점(9지점)에 설치하여 계측하였다.

### 3. 실험설계

본 실험에 사용된 무창육성·비육돈사 환기시스템은 외기가 측벽 슬롯으로 유입되고 한쪽 측벽으로 배출된다. 실험돈사의 제원은

Fig. 1, 2, 3과 같이 폭 12 m, 길이 20 m, 중앙통로 1.2 m, 처마높이 3 m, 용마루 높이 4.5 m이다. 모델개발을 위한 입력값은 Table 3과 같이 여름철은 Case 1, 겨울철은 Case 2와 같은 조건으로 하였다. CFD의 모델개발을 위한 사양은 Table 4와 같았다.

### 4. 시뮬레이션 모델의 검증

무창육성·비육돈사의 공기유동 해석을 위해 개발된 CFD 시뮬레이션 모델의 타당성과

Table 2. Experimental design for the ventilation system in the growing-finishing pig houses

Ventilation type	Inlet	Exhaust
Negative pressure	Baffled slot Inlet	Exhaust fan in exiting wall

Table 3. The experimental test cases

Item	Total inlet area (m <sup>2</sup> )	Inlet velocity (m/s)	Total Q (m <sup>3</sup> /s)	Air exchange Rate (ACH)	Outlet area (m <sup>2</sup> )	Outlet vel. (m/s)
Case 1	2.000	2.5	5,000	25.02	0.982	5.093
Case 2	2.000	0.8	1,600	8.00	0.982	1.630

Table 4. Input values of the CFD model for experimental enclosed growing finishing pig house

Property	Units	Value (s)
Density	kg/m <sup>3</sup>	1.225
Cp (Specific heat)	j/kg-k	1006.43
Thermal conductivity	w/m-k	0.0242
Viscosity	kg/m-s	1.7894e-05
Molecular weight	kg/kgmol	28.966
L-J Characteristic length	angstrom	3.711
L-J Energy parameter	k	78.6

정확성을 검토하기 위해 실제 무창육성·비육돈사에 대한 실험을 수행하고 그 결과를 시뮬레이션 결과와 비교하여 검토하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. CFD에서 예상되는 공기흐름

#### 가. CFD 시뮬레이션

Fig. 4는 시뮬레이션 격자망을 나타낸 것으로 CFD 시뮬레이션을 위한 격자망을 구성하기 위하여 gambit 프로그램을 이용하였다. 격자망의 구성은 계산시간 및 계산의 정확도에 영향을 미치기 때문에 천장부근(공기유입구)에서는 더욱 더 조밀하게 3차원으로 mesh를 구성하였다.

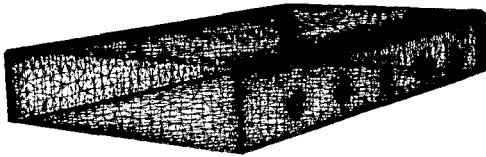


Fig. 4. Mesh for calculation (3-D).

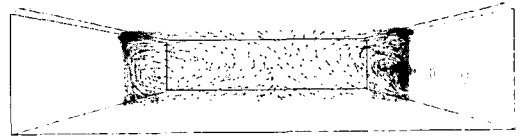
#### 나. 여름철

##### 1) 공기흐름

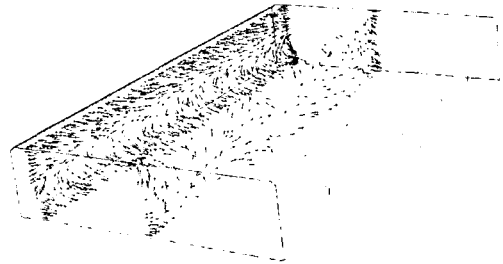
Fig. 5에서 보여주는 것은 여름철 공기속도에 의한 대표적인 공기흐름의 영향을 나타낸 것으로 a, b)는 CFD 시뮬레이션에 의한 가상 흐름 c)는 공기속도에 의한 공기분산 전경을 나타낸 것이다. Fig. 5에서 가상적으로 예상되는 공기흐름의 가상공간은 Fig. 1에 나타나 있다.

여름철 CFD 시뮬레이션 결과, 여름철 공기 교환율(ACH)은 25.02회 였으며, 명목 시간 상수(=V/Q)는 143.87로써 완전 혼합이 이루어진다는 가정하에 급기에서 배기까지 걸리는 시간이 143.87초 걸렸으며, 이것은 1/

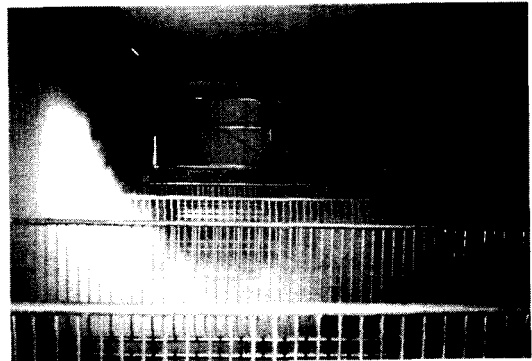
143.87의 농도 감소율을 가져왔다. 실제 무창육성·비육돈사에서서의 안개분무에 의한 공기 흐름 측정결과 약 162.2초 정도에 연기가 완전히 배기되었다. 따라서 Fig. 5의 a, b, c와 같이 Y 축 가운데를 중심으로 2개의 반대방향의 공기 순환이 형성되며 급기구 부근의 부분적인 와류도 형성되었으며, 공기의 흐름이 상승하여 배기됨을 볼 수 있었다.



a) Predicted air flow patterns in Y-Z plane of the growing-finishing confinement.



b) Predicted air flow patterns in X-Z plane of the growing-finishing confinement.



c) Visualization of air flow pattern in a growing-finishing house.

Fig. 5. Calculated and experimented airflow patterns at summer condition (ACH = 25.02, air speed at inlet = 2.5 m/s).

Table 5. Air velocity distribution of the enclosed growing-finishing pig house in summer (m/s)

Location	Front section			Middle section			Rear section		
	Left	Alley	Right	Left	Alley	Right	Left	Alley	Right
Upper	2.59	0.03	2.61	2.73	0.04	2.62	2.48	0.04	2.49
Middle	1.77	0.04	1.53	1.82	0.04	1.48	1.65	0.03	1.47
Lower	0.29	0.10	0.34	0.31	0.08	0.29	0.31	0.08	0.28

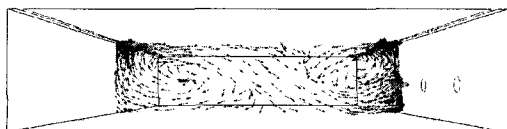
\* Mean±STD : 0.23±0.10 m/s

2) 공기속도

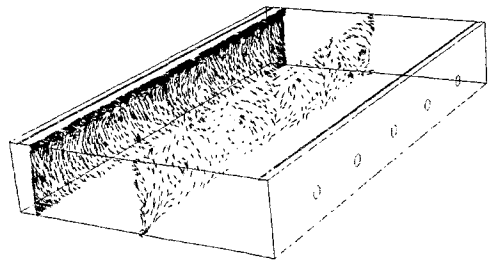
Fig. 5는 돈사내에서 예상되는 공기속도에 의한 여름철 돈사내 결과를 나타낸 것으로 그림 CFD에서 보여 주는 것처럼 높은 공기속도의 영향과 결합된 공기흐름 패턴을 보여 준다. 측벽 슬롯을 통하여 돈사내로 유입된 공기속도의 분배는 돈사내에 고른 공기 분포를 하는 것으로 나타나 CFD 시뮬레이션 모델을 적용하여 돈사내 공기 유동 특성을 예측함에 있어 합리적인 예측결과를 도출할 수 있음을 알 수 있었다. 실험 결과 여름철 돈사 바닥내에 균등한 유속분포를 나타내었으며, 전체적으로 공기의 유동이 활발하였고, 바닥면에서는 자돈의 성장을 촉진하는 것으로 알려진 0.2~0.4 m/s 전후로 나타나 Riskowski 등(1993)이 요구한 자돈이 성장하기에 가장 이상적인 유속분포를 갖는 조건인 것으로 판단되어 CFD에 의한 공기유동 시뮬레이션 결과 합리적인 예측결과를 도출할 수 있음을 알 수 있었다.

다. 겨울철

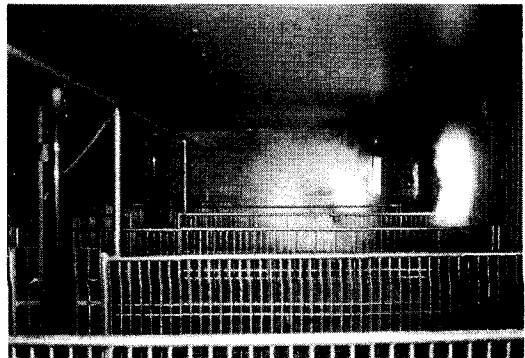
1) 공기흐름



a) Predicted air flow patterns in Y-Z plane of the growing-finishing confinement in Winter.



b) Predicted air flow patterns in X-Z plane of the growing-finishing confinement in Winter.



c) Visualization of air flow pattern in a growing-finishing house.

Fig. 6. Calculated and experimented airflow patterns at winter condition (ACH = 8.0, air speed at inlet = 0.8 m/s).

Fig. 6은 낮은 공기속도의 영향에 의한 대표적인 공기속도의 영향을 나타낸 것이다. 겨울철 CFD 시뮬레이션 결과, 겨울철 공기 교환율 (ACH)은 8.0회 였으며, 명목 시간 상

Table 6. Air velocity distribution of the growing-finishing pig house in winter (m/s)

Loation	Front section			Middle section			Rear section		
	Left	Alley	Right	Left	Alley	Right	Left	Alley	Right
Upper	0.18	0.01	0.46	0.17	0	0.30	0.21	0.01	0.39
Middle	0.29	0.02	0.39	0.18	0.03	0.56	0.18	0.00	0.29
Lower	0.17	0.01	0.15	0.09	0.01	0.12	0.13	0.02	0.09

\* Mean±STD : 0.06±0.04 m/s

수(=V/Q)는 449.88로써 완전 혼합이 이루어진다는 가정하에 급기에서 배기까지 걸리는 시간이 449.88 초 걸렸으며, 이것은 1/449.88의 농도 감소율을 가져왔다. 실제 무창 육성·비육돈사에서 안개분무에 의한 공기흐름 측정결과 약 720초 정도에 연기가 완전히 배기되었다. 겨울철 역시 그림 a, b, c와 같이 Y 축 가운데를 중심으로 2개의 반대방향의 공기 순환이 형성되며 급기구 부근의 부분적인 와류도 형성되었으며, 공기의 흐름이 상승하여 배기됨을 볼 수 있었다.

## 2) 공기속도

돈사내로 유입된 공기는 천정면을 따라 들어와 양쪽측벽에서 유입되는 입공기는 한쪽 측벽에 부착된 배기팬의 덕트(바닥으로부터 중앙높이 120 m 지점)에 의하여 최소 환기 수준(78 mm)으로 배출되는 시점의 돈사내 공기 속도 분포에서 돈방내 하부지점 전체에서 평균 0.06 m/s로 공기가 정체되는 지점은 나타나지 않았다.

위의 결과로 보아 MWPS-8(1988)에서 권장하는 건물의 폭이 12.2m 보다 좁을 경우 한 측벽에 팬이 위치한 건물에서 맞은 측벽을 따라 천정 근처에 슬롯 입구를 권장하는 것과는 차이가 있었으며 슬롯 입구는 겨울철과 여름철 환기를 위한 입구를 분리시켜야

한다고 한 Lubinus 등(1980)의 보고와 일치하였다. 겨울철 CFD 시뮬레이션 모델을 적용하여 돈사내 공기 유동 특성을 예측함에 있어 실제 측정치와 거의 유사한 합리적인 예측결과를 도출할 수 있음을 입증하였다. 따라서 실험용 무창육성·비육돈사의 환기시스템이 바닥에 적절한 공기유동을 제공할 수 있음을 알 수 있었다.

## 적 요

본 실험은 무창육성·비육돈사에 있어서 여름과 겨울철 환기를 할 때 공기유입구에서의 공기속도가 환경에 미치는 영향을 조사하고자 CFD를 이용한 모델을 설정하였고, 현장실험을 통한 결과와 CFD 모델의 공기유속 결과를 서로 비교하였다. 공기속도에 있어서 수학적 모델은 현장실험 결과와 매우 유사하게 나타났다. 환기시스템에서의 공기흐름은 양쪽 측벽 슬롯 판넬을 통하여 공급하였으며 겨울철은 2~2.5 m/s 였고, 여름철은 0.8 m/s 전후였다. 이상의 연구 결과 여름철과 겨울철 모두 해석 Model과 실험 무창육성·비육돈사내 측정 결과 평균 유속은 근소한 차이로 나타나 공기유동 해석 연구에 있어서 CFD 시뮬레이션의 적용으로 합리적인 결과를 도출할 수 있음을 확인하였다.

인 용 문 헌

1. Barber, E. M. S., Sokhansanj, W. P. Lampman and Ogilvie, J. R. 1982. Stability of air flow patterns in ventilated spaces. ASAE Paper. No. 82-4581. St. Joseph, MI: ASAE.
2. Bjerg, B., Svidt, K. and Zhang, G. 2002. Modeling of air inlets in CFD prediction of airflow in ventilated animal houses. Computers and Electronics in Agriculture 34. pp. 223-235
3. Choi, H. L., Albright, L. D. and Timmons, M. B. 1987. Air velocity and contaminant distribution in a slot-ventilated enclosure. ASAE paper 87-4036. St. Joseph, MI: ASAE.
4. Choi, H. L., Albright, L. D., Timmons, M. B. and Warhaft, Z. 1988. An application of the k-epsilon turbulence model to predict air application in a slot-ventilated enclosure. Transactions of the ASAE. 33 (6):1804-1813.
5. Choi, H. L., Albright, L. D. and Timmons, M. B. 1990. An application of the k-epsilon turbulence model to predict how a rectangular obstacle in a slot-ventilated enclosure effects air flow. Transactions of the ASAE. 33(1):274-281.
6. Janssen, J. and Krause, K. 1988. Numerical simulation of airflow ASHREA Conf.; Building Systems : Room Air and Air Contaminant Distribution, ed. L. L. Christianson, 131-135. 58 Dec.
7. Jin, Y. and Ogilvie, J. R. 1992. Isothermal airflow characteristics in a ventilated room with a slot inlet opening. Transactions of ASAE. 98(1):296-306.
8. Hoff, S. J., Janni, K. A. and Jacobson, L. D. 1992. Three-dimensional buoyant turbulent flows in a scaled model, slot-ventilated livestock confinement facility. Transactions of ASAE. 35(2):671-686.
9. Lee, I., Park, W. and Yu, B. 2002. Optimum design of forced ventilation system of piglet house using computer simulation. presented at the 2002 ASAE annual international meeting. ASAE paper number : 024109. St. Joseph, Mich. : ASAE
10. Leonard, J. J. and McQuitty, J. P. 1986. The use of archimedes number in the design of ventilation systems for animal housing. Conf. on Agricultural Engineering. Adelaide. 24-28 August.
11. Lubinus, Louis and Murphy, J. P. 1980. Mechanical ventilation of swine buildings. Pork Industry Handbook. PIH-60. Cooperative Extension Service, South Dakota State University, Brookings, SD 57007.
12. Maghirang, R. G. and Manbeck, H. B. 1993. Modern particle transport in slot-inlet ventilated airspaces. Transactions of the ASAE. 36(5):1449-1459.
13. MWPS. 1988. Swine housing and equipment handbook. MWPS-8. Midwest Plan Service. Iowa State University, Ames, IA 50011.
14. Riskowski, G. L., Priest, J. B., Ford, S. E. and Christianson, L. L. 1993. Environment in animal regions. Livestock Environment IV, Fourth International Symposium, University of Warwick, Coventry, England. 411-418.
15. Sandberg, M. 1989. Velocity characteristics

- in mechanically ventilated offices rooms. Room Vent '87, June. Stockholm, Sweden, Session 2A.
16. Song, J. I, Choi, H. L., Yang, C. B. and Kim, H. T. 2005. Analysis of airflow characteristics in an enclosed nursery pig house. Journal of Animal Science and Technology(korea). 47(1):107-114.
17. Timmons, M. B., Albright, L. D., Furry, R. B. and Torrance, K. E. 1980. Experimental and numerical study of air movement in slot-ventilated enclosures. Transactions of ASAE. 86(1):221-240.