

무창자돈사의 공기유동 특성 분석

송준익* · 최홍림** · 양창범* · 김현태**

농촌진흥청 축산연구소*, 서울대 농생명공학부**

Analysis of Airflow Characteristics in an Enclosed Nursery Pig House

J. I. Song*, H. L. Choi**, C. B. Yang* and H. T. Kim**

National Livestock Research Institute, R.D.A.*,

School of Agricultural Biotechnology Engineering, Seoul National University**

ABSTRACT

Experiments were carried out to evaluate the air speed distribution of an enclosed nursery pig bay 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 bay through perforated circular ducts overhanged on the ceiling, leaves through a exhaust fan attached on the end-wall of the bay. Air speeds were measured as 2 ~ 2.5 m/s at the perforated holes in the duct in winter and 7 m/s in summer. The validation showed that a CFD simulator is one of feasible methods to predict airspeed distribution in the nursery pig bay.

(Key words : Airflow, CFD, Enclosed nursery pig bay, Ventilation system.)

I. 서 론

무창축사내에서 공기유동은 동물의 건강과 생산성에 있어서 중요한 요소이며, 축사에 있어서는 공기유동을 분석하기 위하여 수학적인 모델이 주로 사용된다. 축사의 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/s가 요구되고 있으며, 무창축사시설에 있어서 유입구

의 공기속도와 축사내의 부력과 상관관계에 대한 연구가 수행된 바 있다(Barber 등 1982; Leonard and McQuitty, 1986). 그러므로 기술자들은 어떻게 하면 신선한 공기가 유입되어 효율적으로 분배되고, 그리고 기상학적으로 동물의 안락을 추구할 수 있도록 돈사내로 적절하게 분배하느냐에 대한 연구를 하고 있다. 공기유동 분석은 1970년대 후반을 기점으로 실험을 통한 연구에서 유체이론을 적용한 컴퓨터 시뮬레이션 연구로 서서히 방향전환이 이루어졌다.

실제 원형 연구는 기계 및 다양한 측정기술들의 한계에 제약을 받기 때문에 시간이 소모되고 매우 값이 비싸다. 하지만 그런 것들을 최근에는 컴퓨터를 통하여 공기흐름의 패턴을 연구실에서 가상적으로 수행하고 있으며 온실의 환기해석에 광범위하게 적용되고 있으며 축산에서는 일부 적용되고 있다. Timmons 등

Corresponding author : J. I. Song, National Livestock Research Institute, R.D.A. Suwon 441-350, Korea. Tel : (031) 290-1713, Fax : (031) 290-1731, E-mail : sjunik@rda.go.kr

(1980)은 축사시설에서 슬롯환기를 하였을 때의 2차원에서 점성(유체)이 없는 것을 적용하였고, Janssen과 Krause(1988)은 축사시설에서 슬롯환기에 있어서 2차원 모델에 속도, 온도를 포함하여 적용하였다. 이전의 많은 연구자들은 prototype에서 측정을 하였고, 다양한 데이터들을 공간내에서 일률적으로 얻었으며, 많은 유용한 원칙을 보였다(Timmons, 1984; Sandberg, 1988; Zhang, 1991; Jin and Ogilvie, 1992; Riskowski, 1993, Wang, 1996; etc). 하지만 그들은 열선풍속계 또는 다른 열 영향을 기초로 한 센서로 공간내에서의 공기유체의 분포를 측정하였다. Choi 등(1987, 1988, 1990)은 slot으로 환기되고 내부장애물이 없는 공간에서의 공기유동 영향을 표준 $k-\epsilon$ 난류모델과 변형된 상수를 적용한 모델을 이용하여 분석하였는데, 시뮬레이션과 실험에 의해 구해진 자료를 비교하여 $k-\epsilon$ 난류모델이 slot 환기구를 가진 내부 장애물이 없는 공간의 공기유동 분석이 적합함을 보였다. 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 자리잡게 되었다. 특히 CFD 시뮬레이션은 온도, 상대습도와 더불어 가스성분의 농도조절이 매우 중요한 축사의 설계에 폭넓게 이용되었다(Hoff 등, 1992, Maghirang 등, 1993). 본 연구는 무창자동사의 공기유동 특성을 수치해석으로 예측하고 환기시스템 성능을 분석하기 위해 개발된 CFD 시뮬레이션 모델을 이용하여 무창자동사를 대상으로 환기시스템 성능 및 공기유동 특성을 분석하였으며 축사시설에서 CFD 시뮬레이션을 통한 이론적인 모델과 현장측정을 통한 실측치를 서로 비교하여 공기유동의 특성을 분석하는 것을 목적으로 수행되었다.

II. 재료 및 방법

1. CFD 시뮬레이션 조건

CFD 모델 및 실험돈사의 개념도는 Fig. 1, 2, 3과 같으며 돈사내에 유입되는 공기는 프라

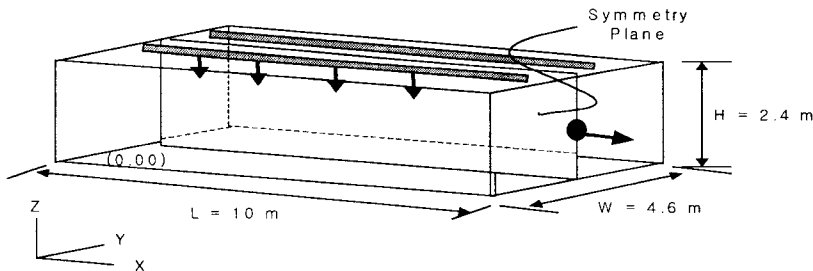


Fig. 1. Physical model of the enclosed nursery pig bay.

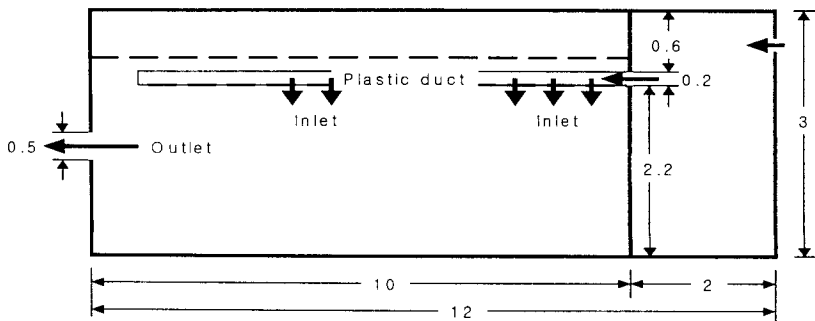


Fig. 2. Longitudinal view(X-Z) and dimensions of the enclosed nursery pig bay(meters).

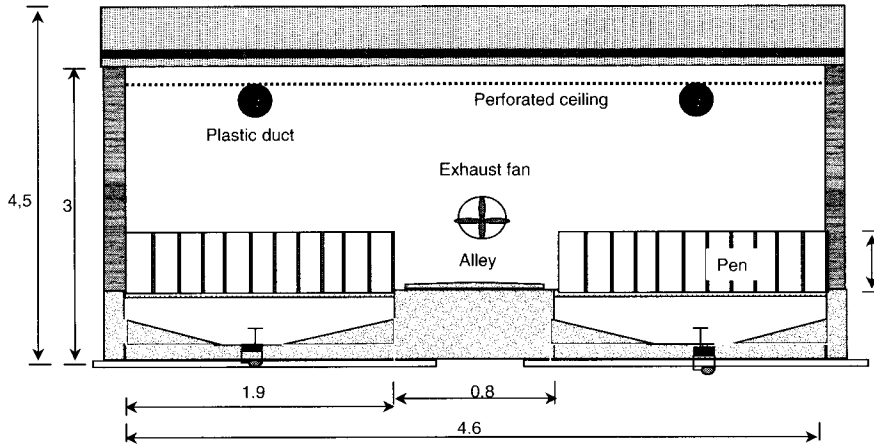


Fig. 3. X-sectional view(Y-Z) and dimension of the enclosed nursery pig bay(meters).

스틱 덕트 200 mm 관을 통하여 입기되었고 플라스틱 덕트에서 하향으로 50 mm 천공을 통하여 돈방으로 공기가 입기되었다. 배기는 지름 500 mm 측벽 배기팬에 의하여 배출되었다.

면 지점의 좌우 상, 중, 하부 지점(18지점)과 중앙통로 상, 중, 하 지점(9지점)에 설치하여 계측하였다.

2. 측정장비

무창자돈사의 환경 측정은 Table 1과 같은 장비를 이용하여 측정하였다. 특히 공기유속을 계측하는 센서는 공기의 유속 측정에 영향을 미치지 않도록 하기 위하여 K-type Thermocouple(Φ 3 mm)를 사용하였고 센서의 배치는 자돈사의 출입문에서 전면, 중중, 후

3. 실험설계

본 실험에 사용된 무창자돈사 환기시스템은 외기가 덕트로 유입되고 측벽으로 배출된다. 실험돈사의 제원은 Fig. 1, 2, 3과 같이 폭 4.6 m, 길이 12.0 m, 중앙통로 0.8 m, 처마높이 3 m, 용마루 높이 4.5 m이다. 모델개발을 위한 입력 값은 Table 3과 같이 여름철은 Case 1, 겨울철은 Case 2와 같은 조건으로 하였다. CFD의 모델개발을 위한 사양은 Table 4와 같았다.

Table 1. Specifications of measurement instrument

Environmental factors	Model	Specification
Air speed(recoder) ¹⁾	Multi point	32 channels
Air speed ²⁾	Single point	0 ~ 50 m/s
Ventilation fan	Side wall	Φ 500
	Pit fan	Φ 500
		5,580 ~ 8,510 m ³ /h
		5,350 m ³ /h

^{1),2)} Accuracy : ¹⁾ ± 0.05 , ²⁾ ± 0.02

Table 2. Experimental design of the ventilation system in the enclosed nursery pig house

Ventilation type	Inlet	Indoor	Exhaust
Negative pressure	Circular duct	Perforated holes	Exhaust fan in exiting wall

Table 3. The experimental test cases

Item	Total inlet area (m ²)	Inlet velocity (m/s)	Total Q (m ³ /s)	Air exchange Rate (ACH)	Outlet area (m ²)	Outlet vel. (m/s)
Case 1	0.063	7.0	0.440	14.34	0.196	2.240
Case 2	0.063	2.2	0.138	4.51	0.196	0.704

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

Property	Units	Value(s)
Density	kg/m ³	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

4. 시뮬레이션 모델의 검증

무창자돈사의 공기유동 해석을 위해 개발된 CFD 시뮬레이션 모델의 타당성과 정확성을 검토하기 위해 실제 무창자돈사에 대한 실험을 수행하고 그 결과를 시뮬레이션 결과와 비교하여 검토하였다.

III. 결과 및 고찰

1. CFD에서 예상되는 공기흐름

(1) 여름철 공기흐름

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. 5에서 보여주는 것은 여름철 공기속도에 의한 대표적인 공기흐름의 영향을 나타낸 것으로 a, b)는 CFD 시뮬레이션에 의한 가상흐름 c)는 공기속도에 의한 공기분산 전경을 나타낸

것이다. Fig. 5, 6에서 가상적으로 예상되는 공기흐름의 가상공간은 Fig. 1에 나타나 있다.

여름철 CFD 시뮬레이션 결과, 여름철 공기교환율 (ACH)은 14.34회 였으며, 명목 시간 상수(=V/Q)는 251로써 완전 혼합이 이루어진다는 가정하에 급기에서 배기까지 걸리는 시간이 251초 걸렸으며, 이것은 1/251의 농도 감소율을 가져왔다. 실제 무창자돈사에서 안개분무에 의한 공기흐름 측정결과 약 315초 정도에 연기가 완전히 배기되었다. 따라서 Fig. 4의 b와 같이 Y 축 가운데를 중심으로 2개의 반대방향의 공기 순환이 형성되며 급기구 부근의 부분적인 와류도 형성되었으며, 공기의 흐름이 상승하여 배기됨을 볼 수 있었다.

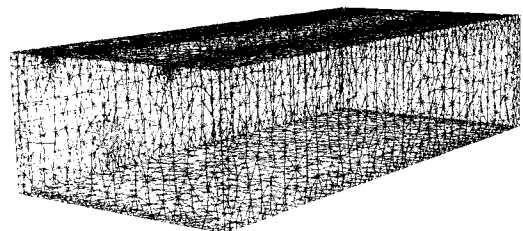
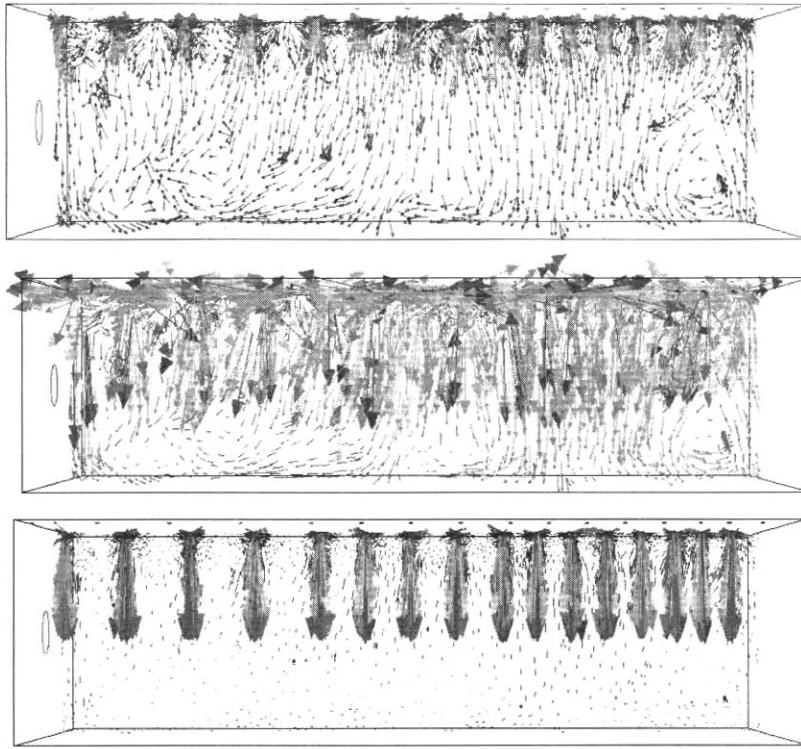
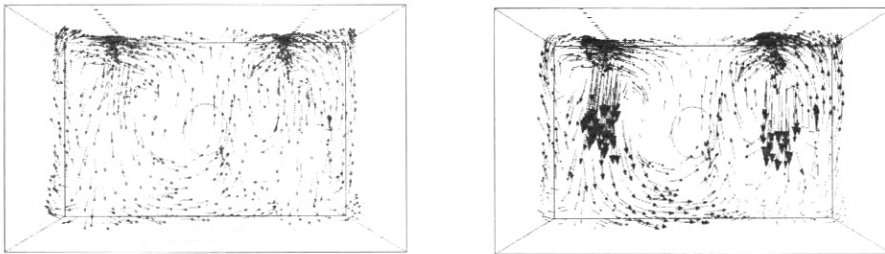


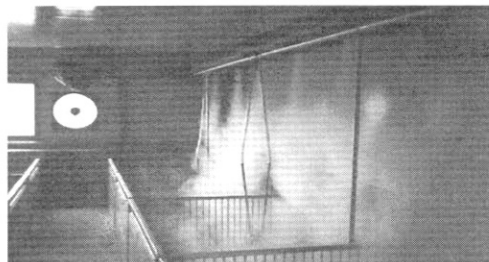
Fig. 4. Mesh for calculation (3-D).



(a) Predicted air flow patterns in X-Z plane of the nursery confinement.



(b) Predicted air flow patterns in Y-Z plane of the nursery confinement.



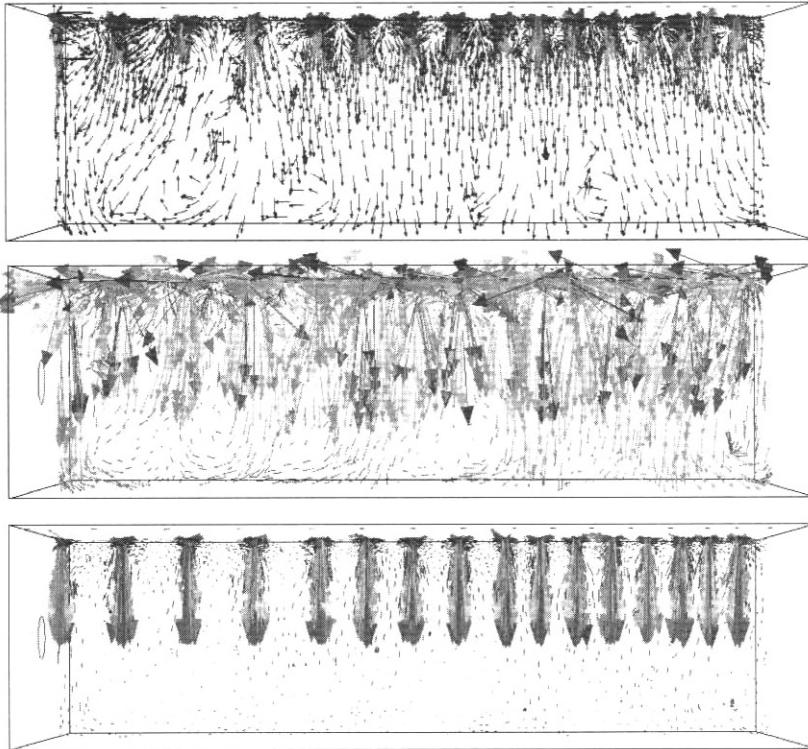
(c) Visualization of air flow pattern in a nursery house.

Fig. 5. Calculated and experimented airflow patterns at summer condition (ACH = 14.34, air speed at inlet = 7.0 m/s).

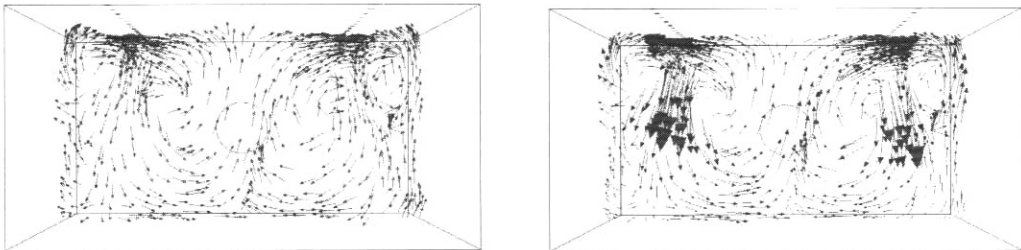
(2) 겨울철 공기흐름

Fig. 6은 낮은 공기속도의 영향에 의한 대표적인 공기속도의 영향을 나타낸 것이다. 겨울철 CFD 시뮬레이션 결과, 겨울철 공기 교환율 (ACH)은 4.51회 였으며, 명목 시간 상수(= V/Q)는 790로써 완전 혼합이 이루어진다는 가정하에 급기에서 배기까지 걸리는 시간이 799초 걸렸으며, 이것은 1/799의 농도 감소율을 가져왔

다. 실제 무창자돈사에서의 안개분무에 의한 공기흐름 측정결과 약 720초 정도에 연기가 완전히 배기되었다. 겨울철 역시 그림 b와 같이 Y 축 가운데를 중심으로 2개의 반대방향의 공기 순환이 형성되며 급기구 부근의 부분적인 와류도 형성되었으며, 공기의 흐름이 상승하여 배기됨을 볼 수 있었다.



(a) Predicted symmetry X-plane airflow.



(b) Predicted symmetry Y-plane airflow.

Fig. 6. Predicted and observed symmetry plane airflow patterns for lower airspeed distributions in winter (ACH = 4.51, Inlet Vel. = 2.2).

2. X-Y 단면에서의 공기속도 분포

(1) 겨울철 공기속도

Fig. 7은 실험돈사에서 수치해석한 예측치와 실험치를 비교하여 surfer 프로그램을 이용하여 풍속선으로 표시한 것으로 (a) 예상속도 (b) 측정된 속도로 공기속도의 등고선 간격은 겨울철은 0.05 m/s(여름철은 0.1 m/s)였다. 실험 결과 공기의 유동은 덕트지점에 가까울수록 풍속이 증가하였고, 예측값과 실험값이 작은 편차를 보였다. 겨울철 CFD 시뮬레이션 모델을 적용하여 돈사내 공기 유동 특성을 예측함에 있어 실제 측정치와 거의

유사한 합리적인 예측결과를 도출할 수 있음을 입증하였다. 따라서 실험용 무창자동사의 환기시스템이 바닥의 적절한 공기유동을 제공할 수 있었다.

(2) 여름철 공기속도

Fig. 8은 X-Y 지점에서 예상되는 공기속도에 의한 여름철 돈사내 분포를 나타낸 것으로 그림 CFD에서 보여 주는 것처럼 높은 공기속도의 영향과 결합된 공기흐름 패턴을 보여준다. 덕트를 통하여 떨어지는 것은 공기속도의 분배 (Φ 5 cm 천공)는 돈사내에 고른 공기 분포를 하는 것으로 나타나 CFD 시뮬레이션 모델을

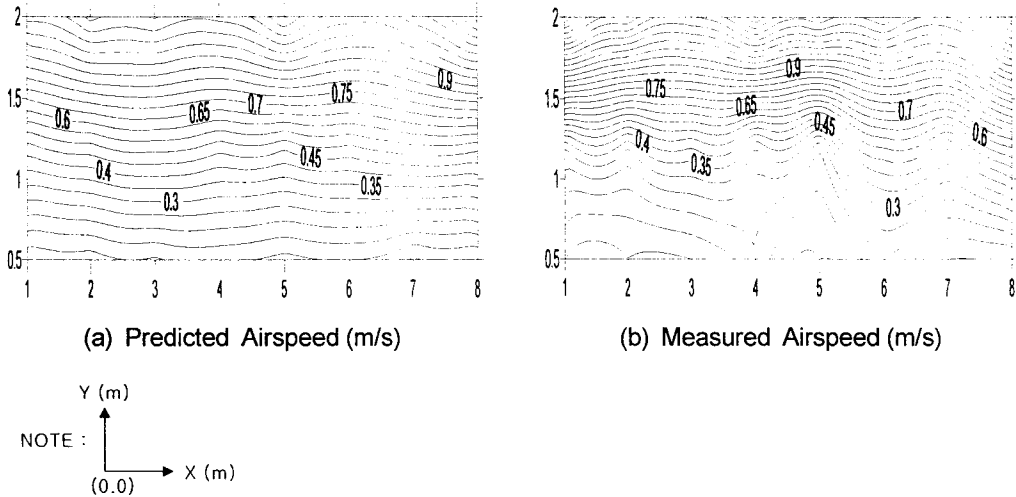


Fig. 7. Predicted measured and prototype plane airspeed distributions for lower airspeed affected flow in winter (ACH = 4.51, Inlet Vel. = 2.2).

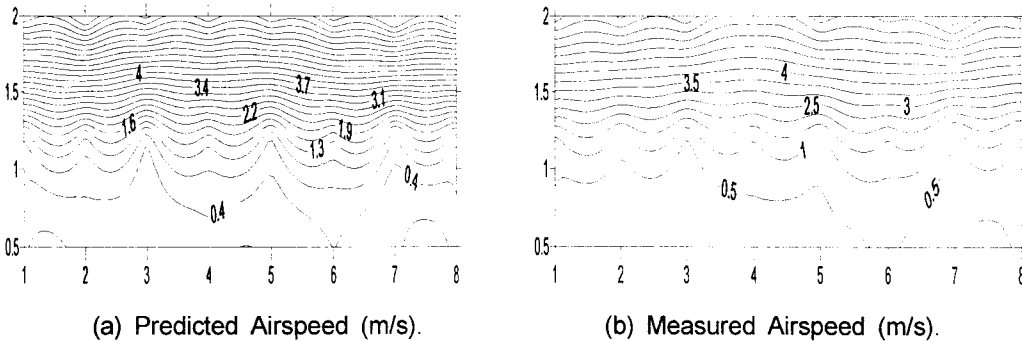


Fig. 8. Predicted measured and prototype plane airspeed distributions for highly airspeed affected flow in summer (ACH = 14.34, Inlet Vel. = 7.0).

적용하여 돈사내 공기 유동 특성을 예측함에 있어 합리적인 예측결과를 도출할 수 있음을 알 수 있었다. 실험 결과 여름철과 겨울철 모두 Fig 7, 8과 같이 자돈사내에 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.

IV. 요약

본 실험은 무창자돈사에 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. 환기 시스템에서의 공기흐름은 중앙 복도 좌우 천장에서 덕트구멍을 통하여 공급하였으며 겨울철은 2~2.5 m/s 였고, 여름철은 7 m/s 전후였다. 이상의 연구 결과 여름철과 겨울철 모두 해석 Model과 실험 무창자돈사내 측정 결과 평균 유속은 근소한 차이로 나타나 공기유동 해석 연구에 있어서 CFD 시뮬레이션의 적용으로 합리적인 결과를 도출할 수 있음을 확인하였다.

V. 인용 문헌

1. Barber, E. M., Sokhansanj, S., Lampman, W. P. and Ogilvie, J. R. 1982. Stability of air flow patterns in ventilated spaces. ASAE Paper. No. 82-4581. St. Joseph, MI:ASAE.
2. 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.
3. 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.
4. Choi. H. L., Albright, L. D. and Timmons, M. B. 1990. An application of the k-ε turbulence model to predict how a rectangular obstacle in a slot-ventilated enclosure effects air flow. Transactions of the ASAE. 33(1):274-281.
5. Hoff, S. J., Janni, K. A. and Jacobson, L. D. 1992. Three-dimensional buoyant turbulent flows in a saced model, slot-ventilated livestock confinement facility. Transactions of ASAE. 35(2):671-686.
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. Leonard, J. J. and McQuitty, J. B. 1986. The use of archimedes number in the design of ventilation systems for animal housing. Conf. on Agricultural Engineering. Adelaide. 24-28 August.
9. Maghirang, R. G. and Manbeck, H. B. 1993. Modern particle transport in slot-inlet ventilated airspaces. Transactions of the ASAE. 36(5):1449-1459.
10. 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.
11. Sandberg, M. 1989. Velocity characteristics in mechanically ventilated offices rooms. Room Vent '87, June. Stockholm, Sweden, Session 2A.
12. 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.
13. Timmons, M. B. 1984. Internal air velocities as affected by the size and location of continuous diffuser slots. Transactions of ASAE. 27(5):1514-1517.
14. Wang, J. 1996. Airflow distributions at floor level in a slot-outlet and slot-inlet ventilation room. ASHARE. 96(2):555-562.
15. Zhang, J. S. 1991. A fundamental study of two dimensional room ventilation flows under isothermal and non-isothermal conditions. Ph.D. thesis, University of Illinois at Urbana- Champaign.

(접수일자 : 2004. 10. 6. / 채택일자 : 2005. 1. 13.)