

한우사 내 송풍팬의 최적 설치에 관한 연구

이승주 장동일 최윤희 양재웅 민병주 Winson M. Gutierrez 장흥희

Study on Optimum Installation of Fan in Standard Hanwoo Loose Barn

S. J. Lee D. I. Chang Y. H. Choi J. W. Yang B. J. Min Winson M. Gutierrez H. H. Chang

Abstract

The fans installed in standard Hanwoo loose barns (room size : 10 m (width) × 5 m (length)) are frequently used to reduce Hanwoo's heat stress during hot weather and to dry the wet floor. However, the most effective method of installing fans has not been suggested yet. Therefore, this study was carried out to evaluate two methods of installing fans under the ceiling of Hanwoo loose barn by using CFD (Computational Fluid Dynamics) code, FLUENT and to recommend the optimum fan installing method. The fan installation options were fan tilting angles of 45° and 0° (horizontal). The fans of 1 m diameter were installed at 3 m above floor. A velocity scale on 10 cm and 110 cm above floor and air flow pattern were used as the parameters to evaluate the fan installing methods. The fans tilted at 45° angle produced higher wind at 10 cm and 110 cm above floor and more uniform air flow pattern, compared with the fans installed horizontally. Based on these results, fans tilted at 45° angle may help to reduce Hanwoo's heat stress and will dry the floor better than fans installed horizontally. Therefore, it is suggested that the fans of 1 m diameter in a standard Hanwoo loose barn should be installed at a 45° tilt angle and 3 m above floor with spacing of 5 m at the center of a room column.

Keywords : Hanwoo, Fan, Heat stress, Floor drying, Litter

1. 서론

한우 사육두수는 소비량 증가로 인해 2010년 3월 현재 255만여 두에 이르렀다. 사육규모면에서 소규모의 한우농가 수는 감소하고 있는 반면에 중규모와 대규모의 한우농가 수는 계속 증가하고 있는 추세이다(KSIS, 2010). 이에 따라 농가 단위에서 생각해 볼 때, 생산성의 향상과 분뇨처리용 톱밥 비용의 절감이 한우농가의 이윤을 극대화하는데 크게 영향을 미칠 것으로 판단된다.

한우는 정온동물이라서 환경온도에 저항하여 체온을 일정하게 유지한다. 체온을 일정하게 유지하는 것은 포도당이나 고에너지분자의 산화, 증발열 및 대사열의 증감에 의존함으

로써 가능하다(Lee and Hwang, 2001). 한우 몸체의 열 획득과 열 손실은 복사, 대류, 전도 및 증발의 과정을 통한 열 교환에 의해 이루어지며, 이러한 열 교환의 균형이 유지되어야만 육우 기준 38.3°C의 정상체온이 계속 유지된다. 일종의 증발과정인 발한은 한우의 더위에 대한 방어반응인데, 한우의 땀샘은 인간의 누출분비형과는 달리 이출분비형이다. 그리고 한우의 땀샘 수가 평균 1 cm²당 1,000~1,800개 정도로 인간의 평균 1 cm²당 80~200개보다 훨씬 많지만, 발한 기능은 인간의 1/4 정도에 불과하다(Kwack et al., 1993). 이러한 발한 외에도 호흡을 통하여 수증기에 포함되어 있는 잠열 형태로 열을 손실시킨다. 그러나 증발과정을 통하여 한우 스스로 열을 손실시키는 것은 한계가 있고 이로 인하여 더위 스트레

The article was submitted for publication on 2010-07-20, reviewed on 2010-09-13, and approved for publication by the editorial board of KSAM on 2010-10-08. The authors are Seung Joo Lee, Ph. D. Candidate and Research Associate, KSAM member, Dong Il Chang, Professor, KSAM member, Division of Bioresources Engineering, Chungnam National University, Daejeon, Korea, Yoon Hyuck Choi, Research Associate, Jae Woong Yang, Research Associate, Byeong Joo Min, Research Associate, Winson M. Gutierrez, Ph. D. Candidate and Research Associate, and Hong Hee Chang, Associate Professor, KSAM member, Department of Animal Science, Gyeongsang National University, Jinju, Korea. Corresponding author: H. H. Chang, KSAM member, Associate Professor, Gyeongsang National University, Jinju, 660-701, Korea; Fax: +82-55-751-5510; E-mail: <hhcahng@gnu.ac.kr>.

스를 받게 되면 생산성의 저하가 필연적으로 나타날 수밖에 없다. 다시 말해서 한우 육성우, 비육우 및 번식우의 적온영역 상한임계온도가 20℃이기 때문에 최고온도가 대부분 20℃ 이상이고 상대습도가 80% 정도로 높은 여름철에 한우 육성우, 비육우 및 번식우는 더위 스트레스를 받을 수밖에 없다 (Ko et al., 2006; KMA, 2010). 이처럼 더위 스트레스를 받으면, 성우와 비육우의 경우에는 증체율과 사료효율이 저하되며, 번식우의 경우에는 번식성적이 저하된다(Ko et al., 2006). 따라서 더위 스트레스에 의한 생산성의 저하를 최소화시키기 위해서는 인위적으로 공기의 흐름을 조성하여 대류과정으로 열 손실을 증가시키는 것이 바람직하다(Choi, 1983). 일반적으로 대부분의 한우농가는 대형 송풍팬을 설치하여 기계적으로 바람을 일으켜 한우에게 불어줌으로써 더위 스트레스를 경감시키는 방법을 채택하고 있다.

또한, 한우사 내에서 분뇨처리를 위하여 가장 많이 사용되는 것은 톱밥이다. 국내의 톱밥 수요는 증대하고 있으나, 공급량이 한정되어 있어 가공합판의 톱밥화와 해외로부터의 수입으로 대체하고 있는 실정이다. 가공합판의 경우 포르말린과 같은 위해요소가 다량 함유되어 있기 때문에 공중보건 위해요소로 작용하고 있으며, 수입 톱밥에 함유된 위해 병원체의 전파에 의한 식물 전염병에 대한 방역이 불안정한 실정이다. 이러한 상황에서 톱밥의 가격은 매년 급격하게 상승하여 2010년 현재 5톤 트럭 한 대 분량이 약 53만원 정도로 고가이다. 이에 따라 일부 한우농가에서는 톱밥의 이용기간을 연장시키기 위하여 한우의 더위 스트레스를 경감시킬 목적으로 송풍팬을 가동시키는 것이 아니라 바닥을 건조시킬 목적으로만 송풍팬을 가동시키는 경우도 많다.

한우사 내부에 설치된 송풍팬은 크게 두 가지의 목적으로 이용될 수 있다. 첫째는 송풍팬을 가동시켜 바람을 일으켜 더위 스트레스를 받는 한우에게 불어줌으로써 더위 스트레스를 경감시킬 수 있으며, 둘째는 분뇨에 의해 젖어 있는 우방 바닥 분뇨 혼합 톱밥 표면층에 바람을 불어줌으로써 바닥 표면을 건조시킬 수 있다. 이러한 송풍팬은 가장 효과적으로 한우의 더위 스트레스를 경감시킬 뿐만 아니라 바닥을 건조시킬 수 있는 위치와 방식으로 설치되어 운영되어야 바람직하다. 그러나 지금까지 우리나라의 여건을 고려한 송풍팬의 설치 지침이 명확하게 제시되지 않았기 때문에 한우농가마다 제각각으로 송풍팬을 설치하여 운영하고 있음으로 인하여 더위 스트레스 경감 효과와 바닥 건조 효과가 많이 떨어지는 실정에 있다.

따라서 본 연구는 현재 국내에 가장 많이 보급되어 있는 송풍팬이 설치된 개방한우사의 풍속 분포 및 공기유동형태 등에 대한 전산유체역학(CFD; computational fluid dynamics) 시뮬레이션을 실시한 후, 실측치와 비교분석함으로써 효과적으로 한우의 더위 스트레스를 경감시킬 수 있고, 우방 바닥을

건조시킬 수 있는 송풍팬의 설치 위치와 각도를 제시하고자 수행되었다.

2. 재료 및 방법

가. 한우사

본 연구에 사용된 개방한우사는 2010년 현재 가장 많이 보급된 모델로서 2008년 축사 표준설계도(형별번호 : 축사2008-한우)에 상세하게 제시되어 있다(NACF, 2008). 실험용 한우사는 그림 1에서 보는 바와 같이, 10.0 (W) × 5.0 (L) m 크기의 우방이 2열로 구성되어 있고 연속 용마루배기구가 있는 개방한우사였다. 우방의 크기가 50.0 m²이기 때문에 한 칸의 우방에서 육성우, 비육우 및 번식우를 5두 정도 군사육할 수 있다. 2열의 우방 중앙에는 작업통로가 있으며, 이 작업통로 양쪽 끝부분에는 한우에게 사료를 급여하기 위한 사조가 있다. 우방 사이에 설치된 파이프 펜스의 높이는 우방 바닥으로부터 1.4 m이었다. 분뇨처리를 위한 깔감은 톱밥이었으며, 이의 두께는 약 0.05 m이었다.

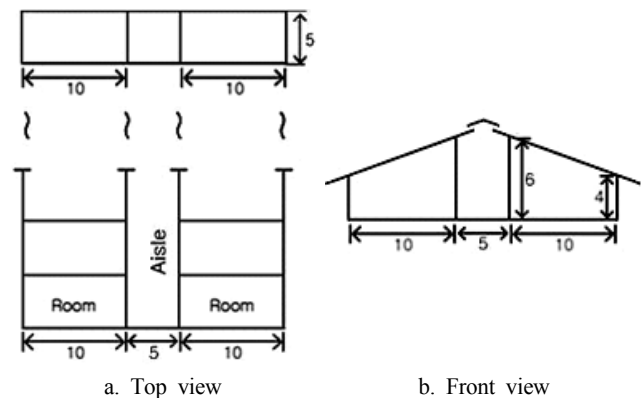


Fig. 1 Layout of the experimental Hanwoo loose barn (Unit : m).

나. 송풍팬의 설치 위치와 각도

대부분의 한우농가들은 그림 2 및 그림 3과 같이 송풍팬을 우방 바닥으로부터 3 m 높이에 45도 또는 0도(수평)로 설치하여 사용하고 있었다. 따라서 이 두 가지방법에 대하여 비교 시험을 실시하였다. 모든 송풍팬의 설치 위치는 정면에서 보았을 때 우방의 중앙 위치에 설치되었으며, 45도 설치의 경우 파이프 펜스 위, 0도 설치의 경우 우방 중앙 위에 설치되었다. 그리고 모든 송풍팬의 설치간격은 설치각도에 상관없이 5.0 m이었다. 송풍팬의 적정 설치 간격은 송풍팬 직경의 6배 정도(Ikeguchi, 1998)이고 개방한우사 표준설계도면의 규격상 송풍팬의 설치간격이 5.0 m이었다. 또한, 축사 표준설계도면에서 권장한 송풍팬의 제원은 크기가 직경 1.0 m, 풍량

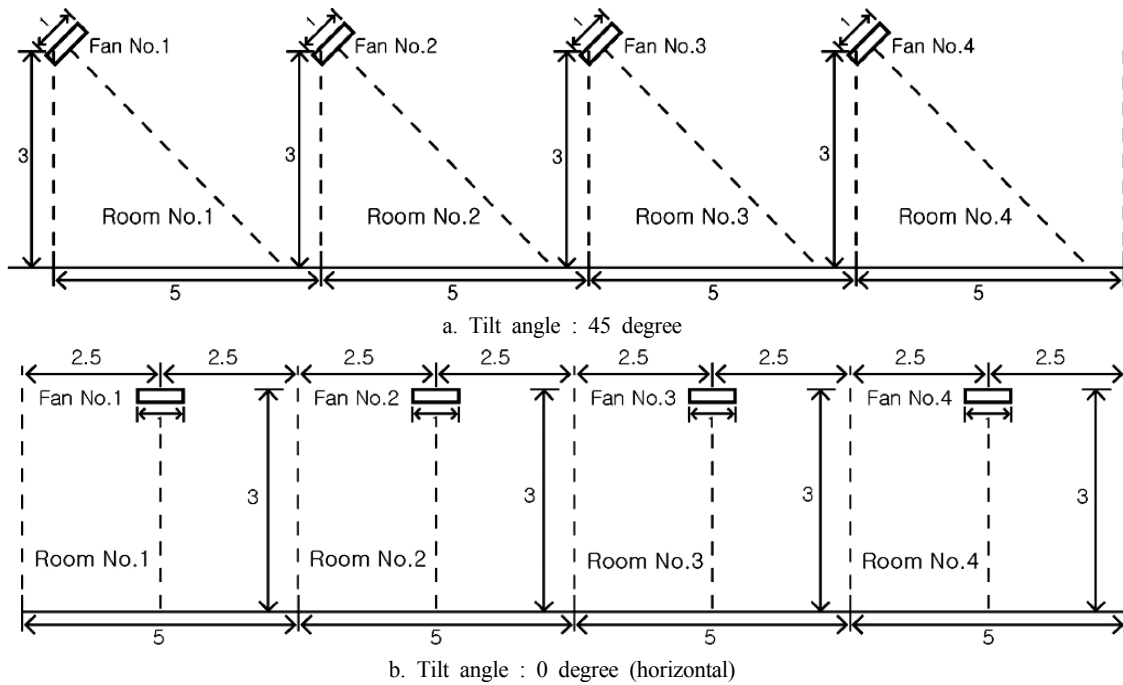
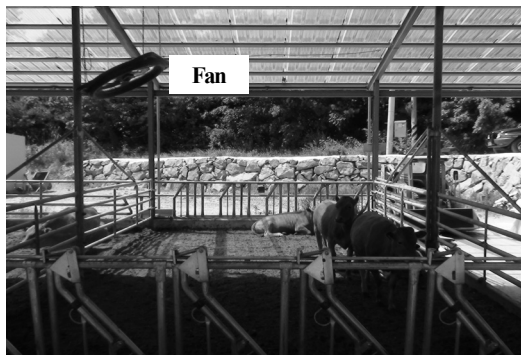


Fig. 2 Locations and tilt angles of fans in Hanwoo loose barn (Unit : m).



(a) Tilt angle : 45 degree



(b) Tilt angle : 0 degree (horizontal)

Fig. 3 Photograph of fan installation in Hanwoo loose barn.

330 CMM인 일반 송풍팬이었다. 따라서 본 연구에 적용된 송풍팬은 (주)다연산업의 축분건조기 502(Livestock excrement dryer 502, Dayeon Inc., Paju, Korea) 모델 4개를 사용되었다.

다. CFD시뮬레이션

본 연구에서는 그림 2와 그림 3에 제시된 개방한우사의 설치 위치와 각도에 근거하여 Gambit(Ver. 2.2, ANSYS Inc., Canonsburg, PA, U.S.A.)을 이용하여 모델링을 하였다. 이때, 동일 구조의 많은 우방을 가진 개방한우사 전체를 모델링하여 시뮬레이션한 결과와 개방한우사 길이 방향 우방 4칸만을 모델링하여 시뮬레이션한 결과가 사실 같을 것으로 판단되어 우방 4칸에 대해서만 모델링과 시뮬레이션을 실시하였다.

격자망의 구성이 CFD 시뮬레이션 시 계산시간 및 계산의 정확도에 영향을 미칠 수 있기 때문에, 송풍팬 부근에서는 그

림 4와 같이 2 cm 정도로 global size functions를 이용하여 조밀하게 격자망을 구성하였다. 이때 격자의 형태는 Tet/Hybrid (Type : TGrid)이었으며, 격자의 총수는 약 40만개였다. 송풍팬의 풍속은 팬 중앙으로부터 0.3 m 이격된 거리에서 측정하였으며, 송풍팬의 풍속은 11.8 m/s이었다. 이와 같은 송풍팬의 풍속 조건에서 실험 개방한우사 내에서의 공기유동형태 및 풍속 분포 등을 분석하고자 Fluent(Ver. 6.2, ANSYS Inc., Canonsburg, PA, U.S.A.)로 3차원 CFD 시뮬레이션을 실시하였다. 분석된 3차원 시뮬레이션 결과를 토대로 하여 송풍팬의 설치각도별로 우방 바닥으로부터 0.1 m와 1.1 m(한우 성우 몸체의 중앙 높이 기준)에서의 공기유동형태와 풍속 분포 등을 분석하여 우방 바닥의 건조와 한우의 더위 스트레스 경감에 효과적인 설치각도를 규명하였다.

개방한우사 내부의 공기유동형태와 풍속 분포를 분석함에

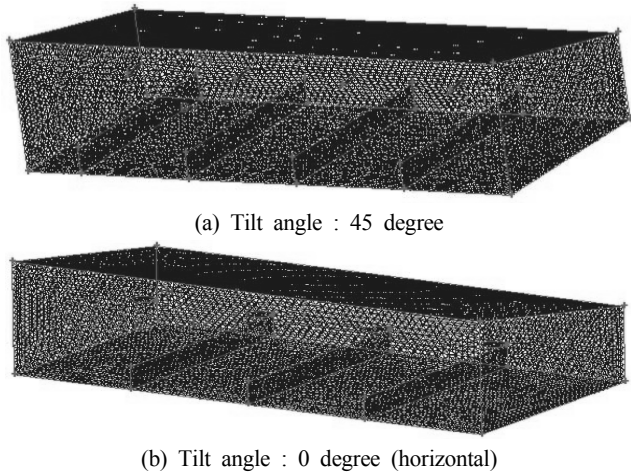


Fig. 4 Meshes made using Gambit.

있어서 공기유동형태에 대한 송풍팬 풍속의 영향보다는 열부력의 영향이 아주 미미하기 때문에 열부력 효과를 배제하였다. 또한 개방한우사에서 송풍팬을 사용하는 목적이 효과적으로 우방 바닥을 건조시키고 한우의 더위 스트레스를 경감시키기 위한 것이므로 시뮬레이션시에 한우의 존재 여부가 환기의 전체적 균일성에 영향을 미치지 않으므로 한우가 없는 상태에서 CFD를 실시하였다. 이때 적용한 비점성 난류모델은 표준 k-ε 모델을 적용하였으며, 연속방정식에 나타나는 항들의 이산화(discretization)에는 PRESTO 스킴을 적용하였다. 또한 해의 수렴기준은 continuity와 velocity의 경우 10^{-3} , energy의 경우 10^{-6} 이하로 하였다. 기타의 입력 사항과 분석 모델은 표 1과 같다(Lee et al., 2009).

Table 1 Input values and solvers of the CFD model for experimental Hanwoo loose barn

Input conditions and properties		Analysis model	
Property	Value		
Density (kg/m ³)	1.225	Solver	Pressure Based
Cp (Specific heat, J/kg·K)	1006.43	Formulation	Implicit
Thermal conductivity (W/m·K)	0.0242	Time	Steady
Operating pressure (Pa)	101,325	Velocity Formulation	Absolute
Viscosity (kg/m·s)	1.7894e-05	Gradient option	Gree-Gauss Cell Based

라. CFD 시뮬레이션 모델의 검증

개방한우사 내부에서의 공기유동형태와 풍속 분포를 분석하기 위해 시뮬레이션을 한 CFD 모델의 타당성과 정확성을 검증하기 위하여 송풍팬의 설치각도별로 우방 바닥으로부터 0.1 m와 1.1 m 높이에서의 풍속을 열선풍속계(Model: Tesco

425, Tesco Korea Inc., Seoul, Korea)를 사용하여 그림 5와 같은 지점에서 측정하였다. CFD 시뮬레이션 결과와 실제 측정 결과를 비교 분석하여 CFD 시뮬레이션 모델을 검증하였다.

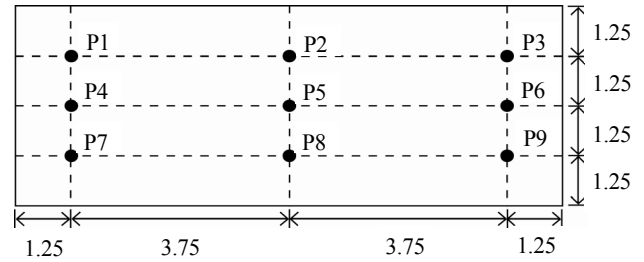


Fig. 5 Measured points of air velocity in a room (Unit : m).

3. 결과 및 고찰

CFD를 이용하여 송풍팬이 설치된 한우사 내의 풍속분포와 공기유동형태를 시뮬레이션을 실시한 결과는 그림 6, 그림 7 및 그림 8과 같았다. 그림 6은 송풍팬을 45도와 0도로 각각 설치하여 가동시켰을 때 나타난 3차원의 풍속분포와 공기유동형태이다. 송풍팬을 45도로 설치한 그림 6(a)에 비하여 송풍팬을 0도로 설치한 그림 6(b) 경우가 우방 바닥부터 우방 위쪽으로 부상하는 바람의 양이 상대적으로 많은 것을 알 수 있었다.

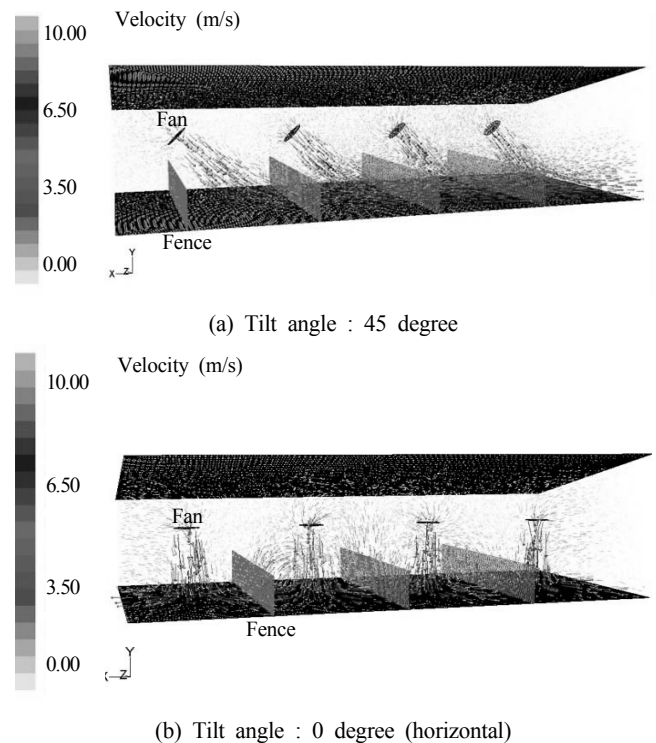


Fig. 6 Three dimensional picture of air velocity distribution and air flow pattern by operation of fans.

우방 바닥으로부터 우방 위쪽으로 부상하는 바람은 바닥재로부터 먼지를 부상시켜 먼지농도를 높일 수 있다. 먼지란 입자의 지름이 1 μm 보다 크고 150 μm 보다 작은 것을 말하며, 이러한 먼지는 바이러스와 박테리아균을 옮기는 운반체 및 먹이의 역할을 하고 일반적으로 먼지의 농도와 병원체의 농도가 상호 정비례한다. 이에 따라 먼지의 농도가 높아질수록 호흡기 질병이 발병할 가능성이 높아진다(Choi, 1983). 따라서 두 가지 설치 방법 중에서 먼지농도를 낮게 유지함으로써 호흡기 질병의 발병을 최소화하기 위해서는 0도로 설치하는 것보다는 45도로 설치하는 것이 바람직한 것으로 사료된다.

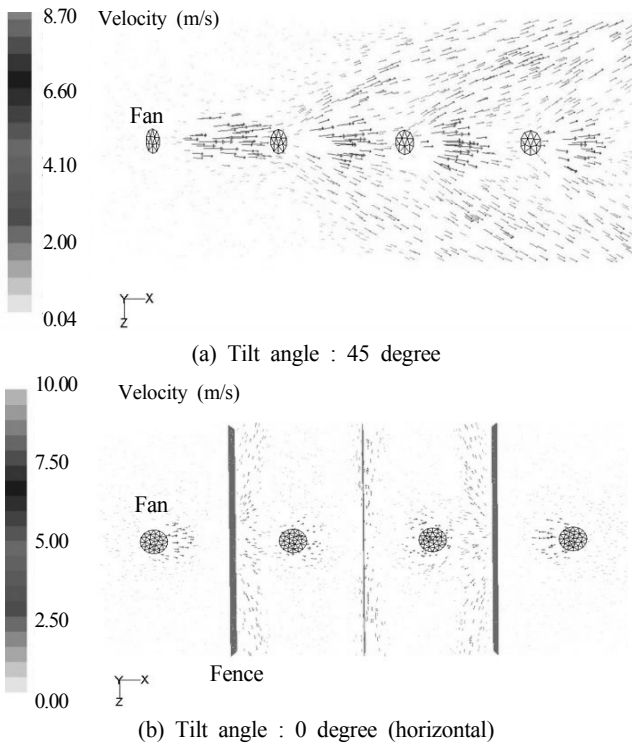


Fig. 7 Air velocity distribution at 110 cm above floor.

그림 7은 송풍팬을 45도와 0도로 각각 설치하여 가동시켰을 때 나타난 우방 바닥으로부터 1.1 m 높이에서의 2차원 풍속분포이다. 풍속의 증가에 따른 한우의 열 손실의 증가율은 한우 몸체를 감싸고 있는 공기의 경계층을 와해시키는데 상대적으로 적은 양의 공기 유동이 필요하기 때문에 낮은 풍속에서 가장 크다. 1.7 m/s 이상의 풍속에서는 풍속이 증가하더라도 대류에 의한 열 손실이 거의 증가하지 않는다(Ames et al., 1981). 따라서 한우의 더위 스트레스를 효과적으로 경감시키기 위한 풍속은 1.0~1.7 m/s 범위로 여겨지고 있다(Ko et al., 2006). 송풍팬을 45도로 설치한 그림 7(a)의 경우 1.0 m/s 이상의 풍속이 첫 번째 방을 제외하고 전체적으로 골고루 형성되는 것을 알 수 있으나, 이에 반하여 송풍팬을 0도로 설치한 그림 7(b)의 경우에는 1.0 m/s 이상의 풍속이 송풍팬

바로 밑 부분과 파이프 팬스 부근에서만 일부 형성되는 것을 알 수 있다.

한우의 서열은 6개령이 되면 형성되며, 이 서열은 사료섭취행동과 체온조절행동에 직접적으로 영향을 미친다(Kwack et al., 1993). 따라서 서열이 높은 한우나 서열이 낮은 한우 모두가 골고루 송풍팬에 의해 형성된 바람을 이용하여 더위 스트레스를 경감하도록 하는 데에는 그림 7(b)보다는 1.1 m 높이에서 1.0 m/s 이상의 풍속이 골고루 분포한 그림 7(a)가 더 효과적인 것으로 판단된다.

우방 바닥의 위생 상태는 한우의 건강에 직·간접적으로 영향을 미치며, 한우사에서 주로 깔감으로 사용되고 있는 고가의 톱밥은 수급도 어려운 실정이다. 따라서 우방 바닥의 위생 상태를 양호하게 유지하고 톱밥 등의 깔감의 이용기간을 길게 하기 위해서는 바닥을 효과적으로 건조를 시키는 것이 필수적이다.

그림 8은 송풍팬을 45도와 0도로 각각 설치하여 가동시켰을 때 나타난 우방 바닥으로부터 0.1 m 높이에서의 2차원 풍속분포이다. 송풍팬을 45도로 설치한 그림 8(a)의 경우가 송풍팬을 0도로 설치한 그림 8(b)의 경우보다 전체적으로 풍속이 높게 나타났으며, 이는 Ikeguchi(2003)의 연구결과와 일치하는 것을 알 수 있었다. 따라서 우방 바닥의 위생 상태와 깔감의 이용기간 등을 고려해 볼 때, 송풍팬을 45도로 설치하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

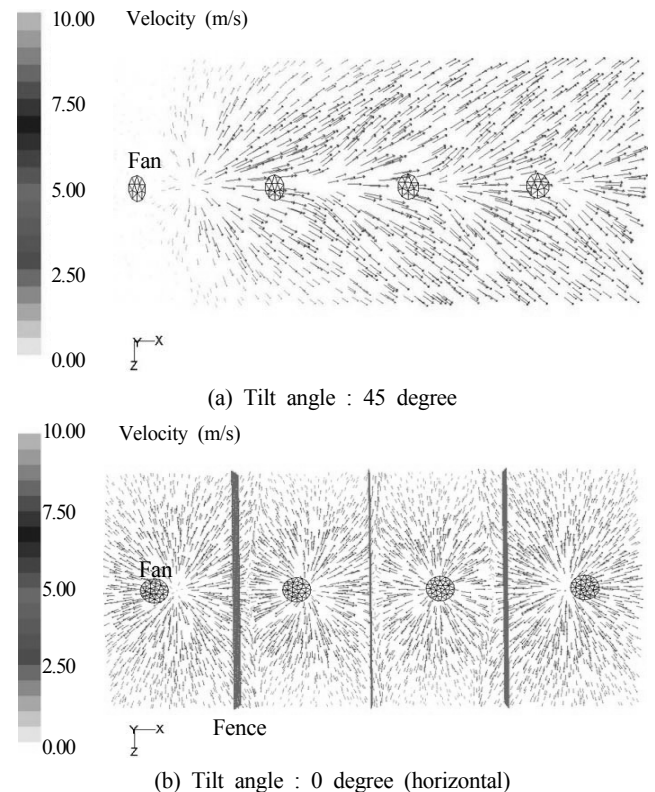


Fig. 8 Air velocity distribution at 10 cm above floor.

Table 2 CFD predicted and measured mean velocities at 1.1 m above floor in the second room (Unit: m/s)

Tilt angle(degree)		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	Average
45	CFD	2.6	4.1	1.6	1.0	5.6	1.1	0.5	2.6	0.5	2.2
	Measured	2.5	3.9	1.4	0.9	5.7	0.8	0.4	2.7	0.3	2.1
0	CFD	1.5	2.5	1.5	0.5	5.0	0.5	1.5	2.5	1.5	1.9
	Measured	1.3	2.3	1.4	0.6	4.4	0.5	1.4	2.1	1.3	1.7

* P1 ~ P9 : See Fig. 5

Table 3 CFD predicted and measured mean velocities at 0.1 m above floor in the second room (Unit: m/s)

Tilt angle(degree)		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	Average
45	CFD	4.0	4.5	3.6	3.4	3.6	3.4	1.9	4.6	2.0	3.4
	Measured	3.9	4.4	3.7	2.7	3.6	3.3	2.0	4.7	1.8	3.3
0	CFD	2.0	4.5	2.0	2.0	3.5	2.0	1.9	4.5	1.8	2.7
	Measured	1.8	4.0	1.7	1.9	3.1	2.1	1.8	4.3	1.6	2.5

* P1 ~ P9 : See Fig. 5

CFD 시뮬레이션 모델과 결과를 검증하기 위하여 CFD 시뮬레이션 결과와 실측치를 비교하였는데, 표 2와 표 3에서 보는 바와 같이 매우 유사하였다. 따라서 CFD 시뮬레이션이 성공적으로 수행된 것으로 판단되며, 또한 앞에서 도출한 연구결과들이 유효한 것으로 판단된다.

4. 요약 및 결론

대부분의 한우농가가 더울 때 한우의 더위 스트레스를 경감시키고, 우방 바닥을 건조시키기 위하여 대형 송풍팬을 설치하여 이용하고 있다. 그러나 아직까지 가장 효과적인 송풍팬의 설치방법이 제시되지 않음에 따라 각자의 방식대로 송풍팬을 설치하여 운영하고 있기 때문에, 대부분의 송풍팬들이 비효율적으로 이용되고 있는 실정이다. 따라서 이 연구는 CFD 시뮬레이션을 통하여 개방한우사의 지붕 밑에 송풍팬을 설치하는 두 가지 방법을 평가하고 이를 근거로 하여 최적 설치방법을 제시하고자 수행되었으며, 연구 내용을 요약하면 다음과 같다.

- (1) 직경 1.0 m인 송풍팬들이 5.0 m 간격으로 3.0 m 높이에 45도 또는 0도(수평)로 설치되어 있었으며, 최적 설치방법을 규명하기 위해서 우방 바닥으로부터 0.1 m 높이와 1.1 m 높이에서의 풍속분포 및 공기유동형태를 비교 분석하였다.
- (2) 그 결과, 송풍팬들이 45도로 설치되었을 때 0도로 설치되었을 때보다 0.1 m 높이와 1.1 m 높이에서의 풍속이 전체적으로 높았을 뿐만 아니라 더 균일하게 분포하였다.
- (3) 따라서 송풍팬들을 0도로 설치하는 것보다는 45도로

설치하는 것이 한우의 더위 스트레스를 경감시키고, 우방 바닥을 건조시키는데 더 효과적인 것으로 판단되었다.

상기 내용을 요약하면 표준 한우사에 있어서 최적 송풍팬 설치방법은 1.0 m 크기의 송풍팬들을 우방 열의 중앙 위치에서 5.0 m 간격으로 3.0 m 높이에 45도 각도로 설치하는 것이다.

참고 문헌

1. Ames, D. R., S. E. Curtis, D. Polin, G. L. Hahan, B. A. Young and R. E. Mcdowell. 1981. Effect of Environment on Nutrient Requirements of Domestic Animals. National Academy Press, Washington, D.C., USA.
2. Choi. H. L. 1983. Ventilation of Agricultural Structures. Daekwang Press, Seoul, Korea. (In Korean)
3. Ikeguchi. 1998. Mixing fan installation method for drying wet floors in free-stall houses. Transactions of the ASAE 41(4): 1119-1124.
4. Ikeguchi. 2003. A case study of drying wet floors with mixing fans in free-stall dairy housing. Transactions of the ASAE 46(2):435-441.
5. Ko, Y. D., H. S. Kang, S. J. Kwack, D. H. Kim, D. J. Kim, S. C. Kim, Y. M. Kim, Y. H. Kim, J. Y. Kim, J. H. Kim, C. H. Kim, G. B. Park, C. S. Park, Y. W. Ryu, I. H. Bae, B. H. Bak, S. S. Seon, Y. M. Song, Y. H. Song, J. H. Shin, S. O. Yu, S. G. Yun, S. C. Lee, S. S. Lee, S. G. Lee, J. G. Lee, J. C. Lee, H. H. Chang, S. T. Joo, J. T. Jeon and M. H. Jeong. 2006. Hanwoo Science. Sunjin Press, Seoul, Korea. (In Korean)

6. Korea Meteorological Administration(KMA). 2010. <http://www.kma.go.kr>.
7. Korean Statistical Information Service(KSIS). 2010. <http://kosis.kr/>.
8. Kwack, J. H., S. G. Kim, Y. S. Kim, B. O. Lee and S. H. Ha. 1993. Livestock Management. Sunjin Press, Seoul, Korea. (In Korean)
9. Lee, S. G and U. G. Hwang. 2001. Animals and Environment. Sunjin Press, Seoul, Korea. (In Korean)
10. Lee, S. J., D. I. Chang, W. M. Gutierrez, J. S. Park, S. H. Jeon, H. J. Cho, K. Y. Oh and H. H. Chang. 2009. Necessary conditions for optimal ventilation of small windowless piglet house with negative tunnel ventilating system. Journal of Biosystems Engineering 34(1):63-68. (In Korean)
11. National Agricultural Cooperative Federation(NACF). 2008. Livestock Housing Standard Plan. (In Korean)