

BES 기법을 이용한 자연환기식 육계사의 난방에너지 분석

Analysis of Heating Load of a Naturally Ventilated Broiler House using BES Simulation

홍세운* · 이인복** · 홍희기** · 서일환 · 황현섭 · Jessie.P. Bitog · 유재인 · 권경석 · 하태환 · 김기성***

S.-W. Hong* · I.-B. Lee** · H.-K. Hong** · I.-H. Seo · H.-S. Hwang

J. P. Bitog · J.-I. Yoo · K.-S. Kwon · T.-H. Ha · K.-S. Kim***

Abstract

Most of the broiler houses in Korea have experienced problems on controlling the environmental conditions such as suitability, stability and uniformity of rearing condition inside the broiler house. It is very critical which if not properly controlled, would cause serious stress on the chickens. It is therefore urgent to develop optimum designs of naturally ventilated broiler house which is appropriate to the four seasons of Korea. Field experiment for this matter is very difficult to conduct due to the unpredictable and uncontrollable weather condition. In this study, the heating load of a naturally ventilated broiler house was calculated using TRANSYS 15 BES program while internal climate and thermal condition were computed using Fluent 6.2. The computed result of the conventional ventilation system (A) and upgraded ventilation system (B) (Seo et al, 2007) were compared with each other for cold season. The results of the Building Energy Simulation(BES) indicated that the system B, the upgraded ventilation system made 8% lower total heating load and 47% lower at only the broiler zone compared to the conventional broiler house. Considering the entire broiler house, the existence of middle ceiling made the heating energy 11% lower required than without middle ceiling. Accordingly, the system B with middle ceiling was found to save heating energy by 20% in average. This study showed that the BES program can be a very powerful to effectively compute the energy loads of agricultural building while the energy load is very close related to ventilation efficiency.

Keywords : Broiler house, CFD, Energy load calculation, Heating energy, TRNSYS, Ventilation efficiency

1. 서 론

2006년 12월을 기준으로 총 닭 사육두수는 약 1억 2천만 수로, 그 중 약 46.5%가 육계이며, 소고기와 돼지고기에 비하여 상대적으로 담백하고 저지방인

닭고기에 대한 선호도가 증가함에 따라 최근 5년간 육계의 소비량이 해마다 평균 약 15%씩 증가하고 있다(SSLI, 2006). 소비의 증대와 함께 품질에 대한 소비자의 요구가 크게 증가하는 반면 농가의 인구는 지난 십년간 35%인 180만명이 감소하였고, 농가의 평균 연령은 55.9세에서 60.4세로 증가하는 등 노동력은 점차 감소하는 실정이다. 따라서 육계사는 점차 대형화 및 자동화되어 가고 있으며 대형 시설내부 환경의 적정성 및 균일성 유지와 같은 적정 환경조성

* 서울대학교 농업생명과학대학 지역시스템공학과

** 경희대학교 기계산업시스템공학부

† Corresponding author. Tel.: +82-2-880-4586

Fax: +82-2-873-2087

E-mail address: iblee@snu.ac.kr

이 중요시되고 있다. 축산 시설의 적정 환경조성의 주 메커니즘은 환기이나, 적정 환기 및 실내 공기 유동의 파악 등이 이루어지지 않아 연구에 많은 어려움이 있다. 농장에서 가장 큰 문제로 여기는 환기 문제를 해결하기 위하여 환기와 밀접한 관계가 있는 난방 부하를 동시에 같이 고려할 필요가 있다. 따라서 국내 대형 육계사 내 적정 환경 조절 시스템 개발을 위한 계절별 에너지 분석 자료가 필요하며, 특히 많은 에너지가 요구되는 동절기의 활용자료가 요구되고 있다.

이를 해결하기 위하여 Lee 등(2003a, 2003b)은 자연환기식과 강제환기식 육계사를 대상으로 한 현장 실험을 통하여 환기효율성을 조사하였다. 또한 Seo 등(2007)은 CFD를 사용하여 다양한 환기 구조에 대한 환기 효율성을 비교, 분석하여 적정 환기 구조를 개발하였다. 본 연구에서는 이러한 선행 연구의 후속으로 이중 윈치커튼을 이용한 자연환기식 육계사를 대상으로 한 난방 부하 시뮬레이션을 통하여 기존의 환기 구조와 개선된 환기 구조의 난방에너지 요구량을 분석하고 이를 정량적인 수치로 나타내고자 하였다. 또한 중천장의 유무에 따른 난방에너지와 계군에서의 최대 난방에너지를 분석하였다. 해석을 위한 건물에너지 시뮬레이션(BES) 프로그램은 다양한 종류가 있으며(Hong 등, 2000), 본 연구에서는 건물의 동적 열 부하계산에 용이한 TRNSYS(Wisconsin, USA)를 이용하였다. 또한 육계사 내부의 공기 유동 해석을 위하여 Fluent(Fluent Inc., ver. 6.2. N.H., USA)를 사용하였다. 본 연구의 결과는 추후 환기방법의 설정과 같은 공학적 접근이 필요한 육계사의 최적 사육 환경조성을 위한 연구의 기초 자료로 활용할 예정이다.

II. 재료 및 방법

1. 해석 대상

해석 대상은 현재 전북 익산에 설치되어 있는 전용면적 840 m²의 육계사로서 전후방향이 동서로 70 m이며, 총 15,000마리의 닭을 사육하고 있다(Lee 등, 2003a). 육계사의 실제 도면은 Fig. 1과 같다. 좌우 측벽에는 2중 윈치커튼을 설치하여 자연환기의 효율

성을 높이고자 하였고 중앙부에는 배기용 굴뚝이 총 7대가 설치되어 있었다. Fig. 2와 같이 난방에너지 선정을 위한 해석 수행 시 계산의 정확도와 시간의 효율성을 향상시키기 위하여 불필요한 정보의 입력을 줄임으로써 대상을 단순화 할 필요가 있었다. 또한 육계의 생육공간을 분리하여 난방에너지 부하를 산출하고, 중천장 유무의 효과를 볼 수 있도록 가상

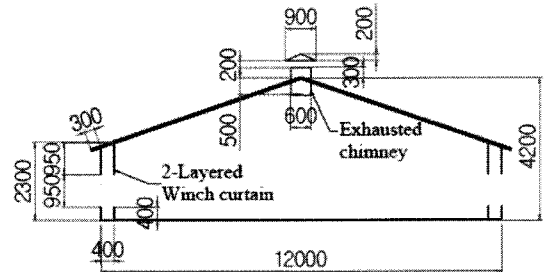


Fig. 1 The drawing of a broiler house (unit : mm)

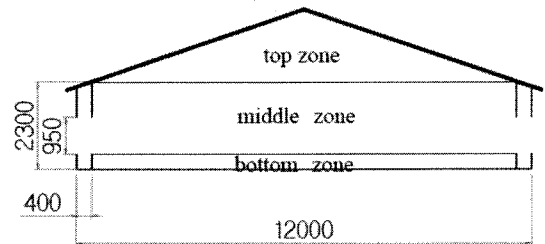


Fig. 2 A simplified model for TRNSYS analysis (unit : mm)

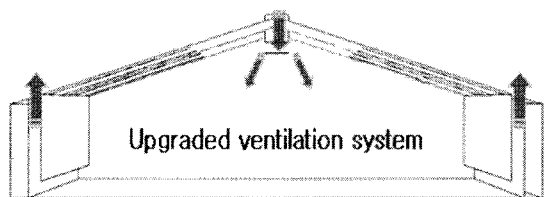
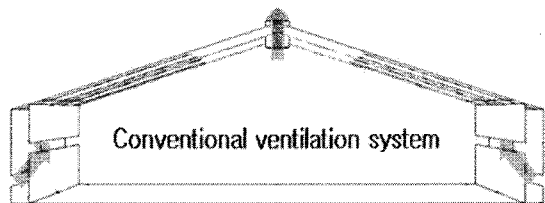


Fig. 3. Structures of conventional(system A) and upgraded(system B) broiler houses

으로 육계사 내부를 3개 부분으로 구별하여 각 구역의 경계는 가상의 공기층을 설정하였다. 실제 모델과 단순화한 모델의 열 부하 차이는 3% 미만으로, 이는 허용될 수 있는 수준으로 보고된 바 있다(Yoo 등, 2002). 본 연구에서는 Fig. 3과 같이 양쪽 윈치커튼을 통하여 입기되어 천장에 있는 환기팬으로 배기되는 기존 구조(시스템 A)와 천장에 있는 덕트를 통하여 입기되어 디퓨저에 의하여 상층부에 고루 퍼진 후 측벽과 추가로 설치한 커튼 사이로 지붕방향으로 배기되는 Seo 등(2007)이 제시한 개선된 환기 구조(시스템 B)를 대상으로 난방에너지를 비교 분석하였다.

2. CFD 시뮬레이션

본 연구에서는 육계사 내부의 유동문제를 해석하기 위하여 전산유체역학(computational fluid dynamics)을 사용하였다. 프리프로세서인 Gambit(ver. 2.3, Fluent Inc., N.H., USA)은 격자의 수와 모양과 밀도와 같이 CFD의 정확성에 큰 영향을 미치는 격자망 모델과 경계 조건의 설계 등에 사용되었다. 완성된 모델은 메인 모듈인 Fluent에서 다양한 환경조건을 바탕으로 실제 계산을 수행하게 된다. CFD는 관심영역을 수많은 격자망으로 나누어 Navier-Stokes 방정식을 기반으로 질량, 운동량, 에너지 보존 방정식을 수치적으로 계산한다. 결과의 정확성 향상에 큰 영향을 미치는 난류 모델의 경우 Lee 등(2007)의 연구를 바탕으로 축산시설에 대하여 가장 신뢰도가 높은 것으로 나타난 RNG $k-\epsilon$ model을 사용하였다(공식 1과 2).

$$\rho \frac{Dk}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\alpha_k \mu_{eff} \frac{\partial k}{\partial x_i} \right] + G_k + G_b - \rho \epsilon - Y_{3f} \quad (1)$$

$$\rho \frac{D\epsilon}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\alpha_\epsilon \mu_{eff} \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i} \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} (G_k + C_{3\epsilon} G_b) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} - R \quad (2)$$

$C_{1\epsilon}$ (1.42), $C_{2\epsilon}$ (1.68)

여기서, ρ 는 밀도(kg m^{-3}), k 는 난류 동적 에너지($\text{m}^2 \text{s}^{-2}$), ϵ 는 난류 확산율($\text{m}^2 \text{s}^{-2}$), x_i 는 길이 요소(m),

μ 는 점성($\text{m}^2 \text{s}$), μ_{eff} 는 유효 점성($\mu + \mu_t$), μ_t 는 난류 점성($\text{m}^2 \text{s}$), G_k 는 평균 유동장에 의한 난류 동적 에너지의 생성($\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-2}$), G_b 는 부력에 의한 동적 에너지의 생성, Y_M 은 압축성 난류의 변동하는 팽창의 전체 확산율에 대한 기여도($\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-2}$), α_k 는 평균 유동장에 의한 난류 에너지 생성항($\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-2}$), α_ϵ 는 부력에 의한 동적 에너지 생성항($\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-2}$), $C_{3\epsilon}$ 는 $\tanh \left| \frac{u_1}{u_2} \right|$ 로 u_1 과 u_2 는 각각 중력장에 수평, 수직 유동 요소, R 은 기체 상수($8.31447 \times 10^3 \text{ J kg mol}^{-1} \text{ }^\circ\text{K}^{-1}$)이다.

3. BES(Building energy simulation) 모델링

본 연구에서는 응답계수(response factor)와 가중치 계수(weighting factor)를 기초로 하여 건물 구조체의 축열 영향까지를 고려한 동적 열부하계산법을 사용하였다(SEL, 1994). 사용된 동적 열 부하 계산 프로그램은 TRNSYS(A transient systems simulation program) 상용화 프로그램으로써 해석 수행 시 설비 및 제어시스템의 포함 여부에 따라 Energy rate control(ERC)과 Temperature level control(TLC)로 구별된다. ERC는 공간을 유출입하는 열량으로부터 실온의 변화를 계산하고 설정 온도와의 차이로부터 부하를 계산하는 해석방법으로 공간 자체의 부하특성을 파악하는데 적합하다. 반면 TLC는 실제 냉난방기에서 공급되거나 제거되는 열량이 직접적으로 반영되므로 건물 설비의 영향이 포함되는 실제 상황과 유사한 열부하를 모사할 수 있다. 본 연구에서는 건물 자체의 에너지평가가 주목적이므로 ERC에 대한 식 (3)~(5)를 적용하였다(강, 1989).

TRNSYS에 사용되는 입력 자료는 외기조건, 벽체의 구성 재료, 건물 방위 등이 있다. 또한 재실자수, 조명기구의 점등률 등과 같은 요소들은 사용조건에 따라 스케줄 데이터에 의하여 지정되며, 윈치커튼의 개폐, 실내 온습도 조건 및 외기 도입량의 변동값 등은 각종 제어 스케줄을 통하여 지정된다. Cho와 Zaheer-udin(2002)은 국내외에서 개발되어 활용되는 7개의 서로 다른 BES 프로그램의 정확도를 검증하였다. 그

결과 TRNSYS의 오차는 창문을 통한 일사량이 없는 경우 -1.8%로 나타났다. 일반적으로 계산에는 일사량이 큰 영향을 미치지 않으므로 TRNSYS를 이용한 결과가 높은 신뢰도를 보일 것으로 판단되었다(SEL, 1994).

$$C_r \frac{dT_r}{dt} = \dot{Q}_{surf} + \dot{Q}_v + \dot{Q}_{inf} + 0.3\dot{Q}_{spepl} + \dot{Q}_{int} + \dot{Q}_z \quad (3)$$

$$Q_{heating} = MC_p (T_{set} - T_r) \quad (4)$$

$$C_r \frac{dT_r}{dt} = \dot{Q}_{surf} + \dot{Q}_v + \dot{Q}_{inf} + 0.3\dot{Q}_{spepl} + \dot{Q}_{int} + \dot{Q}_z - P_i \quad (5)$$

여기서, C_r , C_p 는 비열($\text{kJ kg}^{-1}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$), T_{set} 은 설정한 실내 온도($^\circ\text{C}$), T_r 은 실제의 실내 온도($^\circ\text{C}$), \dot{Q}_{surf} 는 벽체에서의 공급열량(kJ hr^{-1}), \dot{Q}_v 는 환기에 의한 공급열량(kJ hr^{-1}), \dot{Q}_{inf} 는 침투류에 의한 공급열량(kJ hr^{-1}), \dot{Q}_{spepl} 는 실내의 동물에서의 공급열량(kJ hr^{-1}), \dot{Q}_{int} 는 동물과 기계장치 이외에서의 공급열량(kJ hr^{-1}), \dot{Q}_z 는 인접한 공간에서의 공급열량(kJ hr^{-1}), M 은 질량(kg), P_i 는 온도 유지를 위한 변동열량(kJ hr^{-1})이다.

4. 실험 방법

TRNSYS의 초기 환경 조건의 설정과 적정 환기 구조의 선정을 위하여 전산유체역학(CFD)을 이용하였으며 상용프로그램인 Fluent를 사용하였다. CFD의 환경조건은 TRNSYS의 계산조건과 동일하게 설정하였으며, 정상상태로 계산하였다. 또한 Fig. 2에서와 같이 상부(top zone)과 중부(middle zone) 사이에 중천장을 설치하여 기존의 육계사와의 난방에너지 차이를 분석하였다. 육계사 내의 3개의 가상공간 사이에 열적 교류는 TRNSYS를 사용하여 계산하였다. 해석에 사용된 실내상태, 난방기간 및 시간 등은 Table 1과 같다.

특히 외기조건은 기상청에 협조를 받아 해당지역의 2002년도 시간별 기상데이터를 해석프로그램에서 요

Table 1 Reference conditions for heating energy estimation

Item	Reference condition
Initially internal value (temperature/humidity)	32°C / 70%
Outdoor state	temperature & humidity of a each day(PAS)
Period and pattern of conditioning	1 period(1/1 ~ 2/10) 6 period(11/1 ~ 12/10)
Ventilation	273.0($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) (A value through the eaves)
Heating value of a chicken	THP : 13.34 W SHP : 6.964 W LHP : 6.972 W

구하는 형식으로 변환하여 적용하였다. 외기조건은 시간별 건구온도, 절대습도, 일사량, 풍향, 풍속 등으로 구성된다. 닭의 사육기간은 일반적인 경우를 가정하여 1년 동안 약 35~40일 씩 총 6번의 사육 기간으로 나누어 사육하는 것으로 설정하였다. 난방기간은 그 중 사육기간 1과 사육기간 6 동안에 이루어지며 각 사육 기간 동안의 설정온도와 습도는 지속적으로 바뀌는 것을 감안하여 일별 온도와 습도를 적용하였다. 지중온도는 기상청 데이터가 6시간 간격으로 측정되므로 각 사육기간 별로 평균값을 사용하여 경계조건으로 설정하였다. 닭의 현열과 잠열이 고려된 Xin 등(2002)의 식을 참고하여 식 (6)~(8)을 사용하여 계산하였다. 계산에는 총열을 사용하였으나, 향후 잠열을 통한 수증기 방출량을 산정할 수 있을 것이다. 또한 각 벽체간의 열교환기가 없는 경우에도 벽체의 축열 효과가 존재하므로, 각 벽체에 대한 물성치와 구조는 Table 2와 3과 같이 입력하였다.

$$THP = 9.84M^{0.75} (4 \times 10^{-5} (20 - T)^3 + 1) \quad (6)$$

$$SHP = 0.83 \times THP (0.8 - 1.85 \times 10^{-7} (T + 10)^4) \quad (7)$$

$$LHP = THP - SHP \quad (8)$$

여기서, THP, SHP, LHP는 각각 총열, 현열, 잠열(W m^{-2}), M 은 개체의 질량(kg), T 는 내부 온도($^\circ\text{C}$)이다.

Table 2 Thermo-physical properties of wall materials (최 등, 2004)

Materials	Thermal conductivity (W m ⁻¹ K ⁻¹)	Specific heat (kJ kg ⁻¹ K ⁻¹)	Density (kg m ⁻³)
Steel	44.94	0.4598	7860
Expanded polystyrene	0.029	1.254	38
Plywood	0.186	1.2958	550
Glass fiber	0.036	0.96	70
Sand	1.51	1.672	1860
Air layer resistance	horizontal(10~500 mm) : 0.047 m ² hr K kJ ⁻¹ perpendicular(10~20 mm) : 0.036 m ² hr K kJ ⁻¹		

Table 3 Composition and thickness of each walls (unit : mm)

Wall	Composition
Side wall	glass fiber(100) steel(50)
	expanded polystyrene(600) steel(50)
Front/rear wall	steel(50) expanded polystyrene(600)
	steel(50)
Side wall	plywood(10)
Side window	expanded polystyrene(0.5)
Underground floor	sand(500)

III. 결과 및 고찰

1. 정상상태에서 각 벽체별 열손실

Table 4는 가장 열손실이 많은 벽체를 판단하기 위하여 수계산을 이용한 육계사의 부분별 열손실을 정상 상태에서 계산한 결과를 나타낸 것이다. 닭 사육시 바닥면에는 겨 등을 깔아두기 때문에 다른 벽체에 비하여 열 손실이 적은 것으로 가정하였다. 수계산에 이용된 식은 다음과 같다.

$$Q = UA\Delta T \quad (9)$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \sum \frac{L_i}{k_i} + \frac{1}{h_2}} \quad (10)$$

Q : 난방에너지(W)

U : 전열전달계수(W m⁻² K⁻¹)

A : 벽체의 면적(m²)

T : 온도(K)

h₁, h₂ : 각각 실내외 벽면 경계층 공기막의 열전달계수(W m⁻² K⁻¹)

L_i : 재료 i의 두께(m)

k_i : 재료 i의 열전도율(W m⁻¹ K⁻¹)

Table 4에서 보여 주듯이, 최대 난방 에너지 값은 동적 열부하 계산값보다 훨씬 큰 값을 보이는데 이는 외기 온도를 동절기 사육기간 중 가장 낮은 온도인 -9.6℃로 설정하고 실내는 적정설정온도인 21℃를 사용하여 단순한 외기와 실내의 온도차를 고려하여 정적인 상태로 계산을 수행한 결과이기 때문이다. 계산 결과를 보면 축창과 축벽을 통한 열손실이 각각 58%와 31.3%로 전체 열손실의 거의 90% 가까이를 차지하고 있다. 이는 축창을 통하여 자연환기가 되므로 외기와의 접촉이 많아 다른 벽체에 비하여 단열이 미흡한 것으로 판단된다. 또한 윈치커튼 재질의 단열성은 지붕 등의 다른 벽면에 비하여 단열성이 현저히 낮기 때문이다. 이를 보완하기 위하여 시스템 (B)에서는 배기되는 공기가 단열성이 매우 낮은 축창의 윈치커튼을 따라 상향으로 흐르도록 추가 커튼을 설치하여 지붕배기구를 통하여 배기되도록 하였다. 이를 통하여 축창 앞을 상향으로 스치며 배기되는 공기 중의 열에너지가 축창을 통하여 빼앗기도록 하여 계사 내 사용공간으로부터의 열손실을 최소화하고자 하였다. 또한 이를 통하여 축창을 통하여 유입되는 기존의 밀도 높은 찬 공기가 계군으로 곧장 도달하는 현상도 방지할 수 있게 되었다.

Table 4 A calculation of peak heating energy

	Area of each wall(m ²)	R _h (m ² K W ⁻¹)	Heat loss(W)
Roof	440.3	5.00	2696
Front/rear wall	40.0	2.22	551
Side wall	94.5	0.30	9489
Side window	133.0	0.23	17576
Total			30312
A whole broiler house(W)			60624
A whole broiler house(kJ hr ⁻¹)			21846
A peak load per PAS(GJ)			210

2. CFD 분석 결과

현장실험을 통하여 연구된 기존 육계사의 문제점을 보완하기 위하여 다양한 구조에 관하여 CFD 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 상에 가상적인 추적가스를 구현하여 Tracer gas decay(TGD) 기법을 사용하여 환기량을 계산하고 각 구조의 유동장, 온도 등을 종합적으로 고려하여 환기 시스템의 적정성을 평가하였다. TGD 기법은 시설 내부를 특정 가스로 가득채운 후 환기를 수행하여 감소하는 가스 농도 데이터를 토대로 식 (11)과 같이 환기량을 계산한다. 이를 통하여 전체 환기량 뿐 아니라 지역적인 환기의 효율성도 분석할 수 있었다.

$$AER = \frac{\ln(C_0/C)}{(t-t_0)} \quad (11)$$

AER : 환기량(s^{-1})

C : gas concentration(mass fraction)

하첨자 0 : 초기상태를 의미

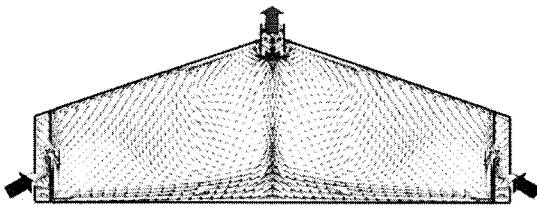


Fig. 4 CFD computed air flow of conventional broiler house(system A) : the maximum air velocity shown at the figure was 3.46 m s^{-1} and the skip ratio is 5

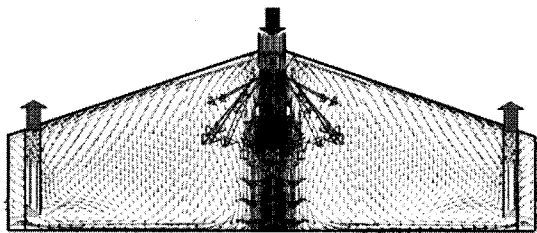


Fig. 5 CFD computed air flow of upgraded broiler house(system B) : the maximum air velocity shown at the figure was 3.46 m s^{-1} and the skip ratio is 5

Fig. 4와 5는 각각 기존의 환기 구조(시스템 A)와 개선된 환기 구조(시스템 B)에서의 유동장을 나타낸 것이다. 시스템 A에서는 측창을 통하여 들어온 신선한 공기가 직접 계군으로 떨어지므로 온도의 균일성 및 적정성이 부족할 것으로 판단되며 계군을 통과하여 오염 물질을 함유한 공기 중 일부는 직접 덕트로 빠져 나가지 못하고 다시 내부로 순환하고 있다. 그러나 시스템 B에서는 덕트를 통하여 유입된 공기가 디퓨저에 의하여 상층부에 넓게 퍼지면서 하단부로 이동하기 때문에 상부에 형성된 열에너지를 더 효과적으로 활용할 수 있었으며 계군을 통과하여 오염물질을 함유한 공기가 양 측벽의 추가 커튼을 통하여 효과적으로 외부로 배기될 수 있었다. Table 5는 각 구조의 환기량과 평균 온도를 나타낸 것이다. 시스템 B의 경우 덕트를 통하여 유입되는 공기가 계군을 통과하기 때문에, 직접 계군으로 공기가 유입되는 시스템 A와 비교하여 계군에서의 환기량의 차이가 1% 내외로 유사한 환기 효과를 보였다. 반면 상층부의 더운 공기를 효과적으로 사용할 수 있어 계군의 온도를 3.6°C 더 높일 수 있었다.

Fig. 6과 7은 환기를 시작한 후 30초가 경과하였을 때의 내부 공기 온도 분포를 중앙 단면과 계군에서 나타낸 것이다. 시스템 A는 측창에서 들어오는 외기가 계군으로 직접 유입되어 지역적 온도 편차가 약

Table 5 CFD computed average air temperature and ventilation rates computed by TGD method

	Ventilation rate	Air temperature($^\circ\text{C}$)	
	TGD method	whole volume	broiler zone
System A	$0.134(\text{min}^{-1})$	24.4	21.5
System B	$0.132(\text{min}^{-1})$	24.6	25.1

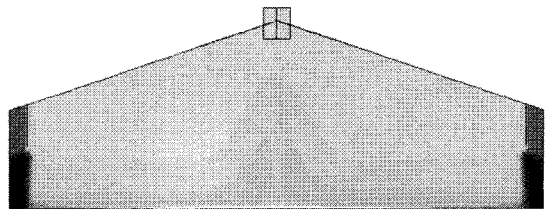
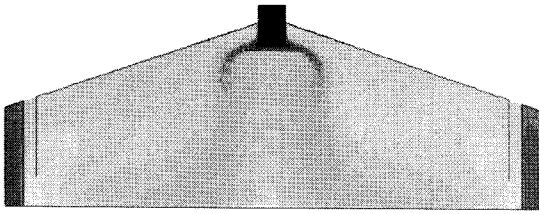


Fig. 6 CFD computed distribution of internal air temperature of system A



-1°C 30°C
Fig. 7 CFD computed distribution of internal air temperature of system B

11°C를 보이는 등 균일성에 문제를 나타내었다. 그러나 시스템 B는 낮은 온도를 보이는 지역이 덕트 아래로 한정되어 시스템 A보다 균일성이 향상된 결과를 보였다. 동절기 동안의 육계사의 환기는 주로 On/off 방식으로 이루어지는데 이 결과에서도 환기 작동시간을 20~30초 만으로 지속하고 자주 환기를 시키는 것이 더욱 효율적임을 보여주고 있다.

3. TRNSYS를 사용한 난방에너지 분석

Table 6은 난방에너지 예측에 가장 큰 영향을 미치는 인자 중 하나인 환기 방법에 따른 시스템 A와 시스템 B의 난방에너지 차이를 TRNSYS 프로그램을 이용하여 분석한 것이다. 육계사의 전체 내부공간을 기준으로 시스템 B의 난방에너지요구량이 시스템 A에 비하여 사육기간 1과 6에서 각각 11.2%와 5.1% 적은 값을 보였다. 또한 계군에서의 난방에너지 요구량은 시스템 B가 사육기간 1과 6에서 각각 51.4%와 42.4% 적은 값을 보였다. 이는 시스템 A의 경우 양쪽 측벽의 윈치커튼을 통하여 입기되는 찬 공기가 닭들이 주로 상주하는 바닥에 먼저 도달한 후 천장의 환기팬으로 배기가 되는 반면 시스템 B의 경우 천장의 환기팬을 통하여 입기되는 찬 공기가 따뜻한 공기가

머물러 있는 계사의 상층부를 거치면서 충분히 데워진 후 계군을 통과하여 윈치커튼을 통하여 배기되므로 상대적으로 전체 및 특히 계군에서의 난방에너지 요구량이 적은 것으로 판단된다. 이는 에너지 절약측면에서 시스템 B가 시스템 A 보다 육계사 전체를 기준으로 약 8.2%, 계군만을 기준으로 약 46.9% 더 효율적임을 알 수 있었다.

난방에너지 사용의 주 목적은 육계사 전체의 온도를 유지하는 것이 아니라 계군에 적정온도를 유지하는 것이다. 따라서 난방에너지의 절약을 위하여 중천장을 Fig. 2의 상부(top zone)와 중앙부(middle zone) 사이에 설치하였다. 이를 통하여 난방 공간을 줄일 수 있으며 동시에 중천장이 지붕의 단열성을 향상시키는 역할을 하기 때문에 Table 6에서와 같이 중천장을 사용할 경우 평균 약 11.3% 에너지 절약 효과를 보였다. 중천장 유무에 상관없이 계군의 난방에너지가 비슷한 것은 육계사 전체 높이에 비하여 계군의 높이가 현저히 작으므로 단열재의 역할을 하는 중천장의 영향보다 닭의 발열량에 의한 영향이 더욱 크기 때문으로 판단된다.

동절기의 경우 난방에너지 절약을 위하여 최소 환기를 간헐적으로 수행하는 것이 일반적이다. 따라서 환기 장치를 작동시키지 않는 시간이 더 많기 때문에 추가적으로 환기를 고려하지 않은 경우 중천장 유무에 따른 난방에너지 요구량과 환기구조별 난방에너지

Table 7 A required heating energy for non-ventilation state (unit : GJ)

	Without middle ceiling		With middle ceiling	
	1 period	6 period	1 period	6 period
system A	63.6	52.1	57.5	47.6
system B	54.6	47.8	47.6	42.3

Table 6 Comparison of required heating energy according to ventilation system using TRNSYS

	Without middle ceiling				With middle ceiling			
	Growth period 1		Growth period 6		Growth period 1		Growth period 6	
	total(GJ)	broiler zone(GJ)	total(GJ)	broiler zone(GJ)	total(GJ)	broiler zone(GJ)	total(GJ)	broiler zone(GJ)
system A	67.0	31.1	54.8	27.6	60.2	31.0	49.8	27.6
system B	59.5	15.1	52.0	15.9	51.4	15.0	45.6	15.8

지 요구량을 구하였다(Table 7). 여기서는 환기를 고려하지 않았으나 각 공간의 상호 교환되는 풍속과 풍량은 유지하였고 환기방법은 시스템 A, B로 유지하였다. 즉, 입기와 배기가 없는 육계사 내부에서의 공기순환방식만을 고려한 것이다. 환기가 작동되지 않을 경우 시스템 B에서 내부의 추가 커튼은 완전히 닫혀서 측벽 및 측창의 단열성을 높이게 된다. 그 결과 환기를 전혀 하지 않았을 때 육계사의 난방에너지의 값은 기존의 환기를 적용했을 때의 값보다 시스템 A에서는 약 4.7%, 시스템 B에서는 약 7.7% 감소하였다. 또한 환기를 수행하지 않을 경우, 시스템 B의 난방에너지 요구량이 시스템 A보다 약 11.5% 줄었으며, 중천장에 의한 난방에너지의 감소는 약 10.6%를 보였다. 이들 결과를 토대로 기존의 육계사의 환기 구조를 시스템 B로 개선한 후 중천장을 사용할 때 약 20.0%의 에너지 절감 효과가 있을 것으로 기대되었다. 최소한의 환기만 이루어지는 동절기이기 때문에 환기에 의하여 요구되는 에너지 요구량은 예상보다 크지 않은 것으로 나타났다. 또한 닭들로부터 지속적인 현열 발생이 있는 것도 한 요인으로 판단된다.

IV. 결론

자연환기식 육계사를 해석 대상모델로 설정하고 Fluent를 사용하여 도출한 최적 환기 구조를 선정 한 이후에 BES 프로그램을 이용하여 난방에너지 부하를 비교 분석하였다. 정상상태에서의 난방에너지 요구량을 계산한 결과 기존 육계사의 총 에너지 손실 중에서 약 90% 가까이가 가장 단열성이 낮은 측창과 측벽을 통하여 이루어지는 것을 알 수 있었다. 또한 윈치커튼을 통하여 유입되는 찬 공기는 계군으로 곧장 떨어짐으로써 계군에서의 온도 균일성 및 적정성이 매우 열악한 것으로 판단되었다. 또한 계사내 상층부에 형성된 열에너지를 효율적으로 이용할 방안을 도출하는 것도 중요하다는 것을 알 수 있었다.

경제성을 고려하여 기존의 육계사 구조(시스템 A)를 보존하면서 환기 구조를 개선시키기 위하여 디퓨저와 추가 커튼의 설치를 통하여 환기 효과를 개선

하고자 설계된 시스템 B의 CFD 결과는 본 구조가 계군에서의 충분한 환기량과 유해먼지 제거에 유리한 유동장과 함께 계군의 온도를 약 17% 상승시킬 수 있음을 보였다. 또한 TRNSYS를 사용한 동적 열 부하 계산을 통하여 시스템 B가 시스템 A에 비하여 약 8.2%의 에너지 절약이 가능함을 보였다. 특히 계군에 대하여 약 46.9%의 에너지 절약이 가능함을 보여 기존의 절반 정도의 에너지 사용만으로 계군의 온도를 유지할 수 있음을 보였다. 추가로 계군을 중심으로 난방 공간을 줄이기 위하여 설치한 중천장은 약 11.3%의 난방 에너지 절감 효과를 보였다. 따라서 기존의 구조를 시스템 B로 개선하면서 동시에 중천장을 사용할 경우 약 20.0%의 에너지 절감 효과가 있을 것으로 판단되었다.

BES 기법은 설계자가 원하는 기간별 외기조건, 벽체의 특성, 실내 온습도 조건, 환기량 등을 실시간으로 고려할 수 있기 때문에 추후 각종 농업 시설 설비의 최적 환경 조성을 위한 열 부하 계산에 중요한 기술로 활용될 것으로 판단되었다. 본 연구의 결과는 육계사내 적정 환경 조절 시스템 개발을 위하여 고려해야 하는 주요한 사항 중에 하나인 난방에너지 요구량 분석 자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 추후 추가적인 환기구조에 관한 연구를 토대로 한 적정 환기 구조 개발에 대하여 CFD와 BES 기법은 현장실험의 한계를 보완하고 짧은 시간에 비교 분석을 위한 충분한 양의 정량적 데이터 확보에 큰 기여를 할 것으로 판단된다.

Reference

1. 강용태, 1989, Trnsys를 이용한 동적 열부하 계산 및 태양열 냉방 시스템의 최적화, 서울대학교 석사학위 논문.
2. 최원기, 장월상, 서승직, 2004, TRNSYS를 이용한 건물 에너지 해석, 도서출판 건기원, 서울, pp. 527-548.
3. Cho. S. and M. Zaheer-uddin, 2002, Predictive control of intermittently operated radiant floor heating systems, Energy Conversion and Ma-

- nagement, 44, pp.1333-1342.
4. Hong, T., S. Chou and T. Bong, 2000, Building simulation : an overview of developments and information sources, Building and Environment, 35, pp.347-361.
 5. Kim, Y. and J. Park, 1999, The newest air conditioning equipment, Bomundang, pp.462-463.
 6. Lee, I., B. You, M. Jung, J. Yun, J., Chum, K. Kim and S. Sung, 2003a, Study on ventilation efficiency of a naturally ventilated broiler house-(I) Summer season, Journal of Livestock Housing and Environment, 9(1), pp.9-18.
 7. Lee, I., B. You, M. Jung, J. Yun, J. Chum, K. Kim and S. Sung, 2003b, Study on ventilation efficiency of a mechanically ventilated broiler house-(I) Summer season, Journal of Livestock Housing and Environment, 9(2), pp.103-112.
 8. Lee, I, S. Sase and S. Sung, 2007, Evaluation of CFD accuracy for the ventilation study of a naturally ventilated broiler house, JARQ, 41(1), pp.53-64.
 9. SEL(Solar Energy Laboratory), 1994, TRNSYS reference manual, University of Wisconsin at Madison.
 10. Seo, I., I. Lee, H. Hwang, S. Hong, S. Lee, K. Kim and N. Yun, 2007, Improvement of ventilation efficiency of a naturally ventilated broiler house in cold season, Biosystems Engineering(심사중).
 11. Statistical survey of livestock industry, 2006, National Agricultural Product Quality Management Service, Korea.
 12. Yoo, H., S. Hyun and H. Hong, 2002, Effect of various factors on the energy consumption of Korean-style apartment houses, Korean Journal of Air Conditioning and Refrigerating Engineering, 14(11), pp.972-980.
 13. Xin H., I. Berry, G. Tabler and T. Costello, 2002, Heat and moisture production of broiler chickens in commercial housing, Livestock Environment, VI.