

## 자연환기식 육계사의 난방에너지 분석

박 유 원, 홍 희 기\*, 이 인 복\*\*†

경희대학교 대학원 기계공학과, \*경희대학교 기계산업시스템공학부, \*\*농촌진흥청 농업공학연구소

### Analysis of Heating Energy in a Naturally Ventilated Broiler House

Yoo Won Park, Hiki Hong\*, In-Bok Lee\*\*†

Dept. of Mechanical Engineering, Graduate School, KyungHee University, Yongin 449-701, Korea

\*School of Mechanical and Industrial System Engineering, KyungHee University, Yongin 449-701, Korea

\*\*National Institute of Agricultural Engineering, R.D.A., Suwon 440-300, Korea

**ABSTRACT:** Most of broiler houses in Korea have the trouble of environmental control such as suitability, stability and uniformity of internal climate, resulting in serious stress on chickens. Accordingly, it is very urgent to develop optimum designs of naturally and mechanically ventilated broiler houses for Korean climate. In this study, heating energy in a naturally ventilated broiler house was calculated by TRNSYS 15. For all the simulated cases, the heating energy of ventilation A appears to be more energy-efficient than the heating energy of ventilation B. And then according to existence of ceiling, heating energy of broiler house is different. It is expected that with appropriate ventilation method(model), heating energy can be saved in broiler houses.

**Key words:** Heating energy(난방에너지), TRNSYS, Dynamic load calculation(동적열부하계산), Computational fluid dynamics(전산유체역학), Broiler house(육계사)

#### 기 호 설 명

- $U$  : 총괄열전달계수 [W/m<sup>2</sup>K]
- $h_1$  : 상태1에서의 열전달계수 [W/m<sup>2</sup>K]
- $L_i$  : 재료  $i$ 의 길이 [m]
- $k_i$  : 재료  $i$ 의 열전도율 [W/mK]

#### 1. 서 론

2001년 12월 기준으로 총 닭 사육두수는 1억만

수가 조금 넘으며, 그 중 약 45%가 육계인데, 육계사육은 꾸준히 증가하고 있어서 전년동기와 비교하여 약 1.5% 증가를 보여주고 있다.<sup>(1)</sup> 육계사육 규모별 마리수를 보면, 5만수 이상의 규모에서 사육되고 있는 육계는 총 사육두수에 약 33.4%를 차지하고 있고, 3만~5만수 규모로도 약 40%가 사육되고 있고, 대규모 사육은 꾸준히 늘면서 전년동기에 비해 3% 이상 증가하였다.

이에 따라 육계사의 대형화에 따른 최적환경조성의 중요성이 대두되면서 이에 따른 적합한 시설환경이 더욱 요구되고 있으나 적정환기 및 실내상태의 파악이 이루어지지 않아 육계의 생산성 향상에 많은 어려움이 있다. 농장에서 가장 큰 애로점으로 환기문제가 대두되고 있는 가운데, 국내 대형육계사내 최적환경제어 개발을 위한 에

† Corresponding author

Tel.: +82-31-290-1878; fax: +82-31-290-1930

E-mail address: ilee@rda.go.kr

너지분석이나 자료가 매우 부족한 실정이다. 본 연구진은 이러한 문제점을 해결하고자 국내에 있는 특정 육계사를 대상으로 환기효율성을 조사한 바 있다.<sup>(2,3)</sup> 이러한 선행연구의 후속으로서 본 연구에서는 특정 육계사를 대상으로 시뮬레이션을 통하여 환기방법에 따른 난방에너지를 분석하고 정량적인 수치로 나타내고자 하였다. 추가적으로 육계사의 중천장 유무에 따른 난방에너지와 최대 난방에너지를 계산하여 각 모델별로 분석하였다. 이 자료는 앞으로 환기방법 설정 및 에너지 측정 등 공학적 접근을 통한 육계사의 최적환경조성 연구를 위한 기초자료로 활용할 계획이다. 해석의 도구로 사용될 건물에너지 시뮬레이션 프로그램은 다양한 종류가 있으며, 그 개요와 특징에 관해서는 문헌을 참조하기 바란다.<sup>(4)</sup> 본 연구에서는 건물의 동적 열부하계산에 용이한 TRNSYS를 사용하였고, 필요한 경우 육계사 내의 풍속 및 풍량 측정을 위하여 CFD(Fluent version 6.0, USA)를 수행하였다.

## 2. 난방에너지 해석

### 2.1 해석대상

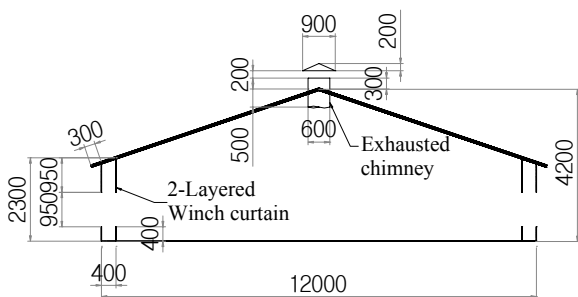


Fig. 1 The drawing of a broiler house. (unit: mm)

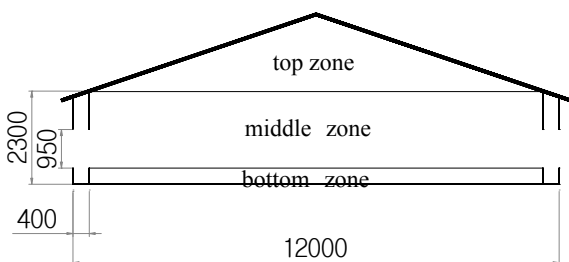


Fig. 2 A simplified model. (unit: mm)

해석대상은 현재 전북 익산에 설치되어 있는 육계사(전용면적: 840 m<sup>2</sup>, 260평)로서 전후방향이 동서(길이방향: 70 m)이며 총 15,000 마리의 닭이 있는 모델을 설정하였다. 해석 대상인 육계사의 실제 도면이 Fig. 1이다. 해석을 수행할 경우에 대비하여 불필요한 정보의 입력을 피하고 효율적인 계산을 수행하기 위해서는 대상을 단순화할 필요가 있다. 따라서 계산의 편의성을 위하여 설계조건이 상이한 모든 계산에 대해서 단순화한 모델을 적용하였다. 여기서 모델의 단순화 원칙은 면적이 동일한 것이 아니고, 둘레의 길이가 같도록 설정함으로써 벽 및 창을 통해서 손실되는 열량이 같도록 고려하였다. 육계사의 구조를 Fig. 2와 같이 단순화하였으며, 가상으로 전체 육계사를 3개의 존으로 구별하고 각 존의 경계는 가상의 공기층을 설정하였다. 실제 모델(Fig. 1)과 단순화된 모델(Fig. 2)간의 열부하 차이는 최대 3%로 용인할 수준으로 보고된 바 있다.<sup>(5)</sup>

또한 각 벽체간의 열교환이 없는 경우에도 벽체의 축열 효과가 존재하므로 각 벽체별 구조 및

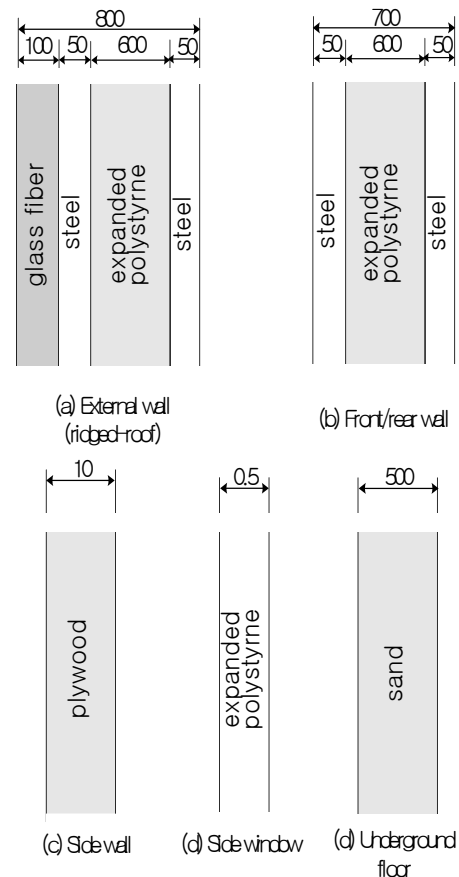


Fig. 3 Details of each walls (unit: mm).

Table 1 Thermophysical properties of wall materials.

Material	Thermal conductivity [W/mK (kcal/mh°C)]	Specific heat [kJ/kgK (kcal/kg°C)]	Density [kg/m <sup>3</sup> ]
Steel	44.94 (38.70)	0.4598 (0.11)	7860
Expanded polystyrene	0.029 (0.025)	1.254 (0.30)	38
Plywood	0.186 (0.16)	1.2958 (0.31)	550
Glass fiber	0.036 (0.031)	0.96 (0.2296)	70
sand	1.51 (1.30)	1.672 (0.40)	1860
Air layer	resistance horizontal (10~500 mm) : 0.047 m <sup>2</sup> hK/kJ perpendicular (10~20 mm) : 0.036 m <sup>2</sup> hK/kJ		

물성은 입력되어야 하며, Fig. 3. 및 Table 1에 이를 정리하였다.<sup>(6)</sup>

## 2.2 기준조건 및 계산조건

해석에 사용된 실내상태, 난방기간 및 시간 등을 Table 2에 수록하였다. 특히 외기조건은 공신력을 감안하여 기상청에 협조를 받아 해당지역의 2002년도 시간별 기상데이터를 해석프로그램에서 요구하는 형식으로 변환하여 적용하였다. 외기조건은 시각별 건구온도, 절대습도, 일사량, 풍향, 풍속 등으로 구성된다. 일반적으로 닭의 사육기

간은 1년동안 약 35~40일씩 6번정도 즉, 총 6 Growth period로 나누어(난방기간 : 1 Growth period, 6 Growth period) 사육하는 것으로 가정하였으며 각 사육기간(약 35~40일간)동안의 설정온도와 습도는 지속적으로 바뀌는 것을 감안하여 사육기간 동안의 일별 온도와 습도를 적용하였다. 마지막으로 지중온도는 기상청 데이터가 하루에 6시간씩 측정되므로 각 Growth period별로 평균값을 사용하여 경계조건으로 부여하였다.

Table 2 Reference conditions for heating energy estimation.

Item	Reference condition
Initial value	32°C / 70%
Indoor state	temp. & humidity of a each day(PAS)
Period and pattern of conditioning	1 Growth period (1/1 ~ 2/10) 6 Growth period (11/1 ~ 12/10)
Ventilation	273.00 m <sup>3</sup> /s (A value on the eve of shipping chickens)
Heating value of a chicken	THP : 13.34 W SHP : 6.964 W LHP : 6.972 W
Soil temperature	1PAS : 2.73°C 6PAS : 6.30°C

## 2.3 육계사 모델 설정

본 연구에서는 환기방법에 따른 육계사의 난방 에너지를 분석하기 위해 다음과 같은 환기모델을 설정하였다. 첫번째로 환기방법에 따른 모델을 설정하였다. Fig. 2에서 ventilation A는 양쪽 윈치커튼을 통하여 입기하고 천장에 있는 환기팬으로 배기되는 경우이며, ventilation B는 천장의 환기팬으로 입기하고 양쪽 윈치커튼을 통하여 배기되는 경우이다. 여기서 육계사내 3개의 가상공간 사이에 열적 교류를 계산하기 위하여 전산유체역학(CFD)를 이용하였으며, 사용되어진 CFD 상용프로그램은 Fluent(Version 6.0, Fluent Co., USA)이었다. CFD의 환경조건은 TRNSYS의 계산조건인 Table 2와 동일하게 설정하였으며, 정상상태로 계산을 하였다. 두번째로 top zone과 middle zone사이에 중천장을 설치하여(case 2) 기존의 육계사(case 1)와의 난방에너지 차이를 분석하였다.

## 2.4 해석프로그램

본 연구에 사용한 동적 열부하계산법은 응답계수(response factor)와 가중치 계수(weighting factor)를 기초로 하고, 건물 구조체의 축열 영향까지를 고려한 방식이다.<sup>(7)</sup>

따라서 동적 열부하계산 프로그램에 사용되는 입력자료로는 외기조건, 벽체의 구성재료, 건물 방위 등이 있다. 또한 재실자수, 조명기구의 점등률 등과 같이 사용조건에 따라 변동하는 요소들은 스케줄 데이터에 의하여 지정하고, 블라인드의 개폐가 실내 온습도 조건 및 외기 도입량의 변동값을 지정하는 등 각종 제어 스케줄을 지정한다.

기본적으로 TRNSYS는 동적 열부하계산이지만, 해석에 설비 및 제어시스템의 포함 여부에 따라 energy rate control과 temperature level control로 구별된다. 전자는 공간을 유출입하는 열량으로부터 실온의 변화를 계산하고 설정온도와의 차이로부터 부하를 계산하는 해석방법으로서, 공간 자체의 부하특성을 파악하는 데 적합하다. 그러나 여기에 사용되는 난방설비는 이상적인 것으로 실제의 열부하와는 다소 차이를 보이게 된다. 반면에 후자는 실제 냉난방기에서 공급 혹은 제거할 수 있는 열량이 직접적으로 반영되므로 건물에 설비의 영향이 포함되는 실제 상황의 열부하 및 운전모사가 얻어진다. 여기서는 건물 자체의 에너지평가가 목적이므로 energy rate control을 적용하였다.

### 3. 결과 및 고찰

Table 3 A calculation of peak heating energy.

	A area of each wall [m <sup>2</sup> ]	R <sub>th</sub> [m <sup>2</sup> K/W]	Heat loss [W]
Roof	440.30	5.00	2696.25
Front/rear wall	39.95	2.22	550.84
Side wall	94.50	0.30	9489.38
Side window	133.00	0.23	17575.50
Total			30311.98
A whole broiler house [W]			60623.96
A whole broiler house [kJ/hr]			218246.26
A peak load per PAS [GJ]			209.52

### 3.1 수계산을 이용한 최대 난방에너지

Table 3은 수계산을 이용한 육계사의 최대 난방에너지 결과를 나타낸 표이다. 이 결과는 단순한 육계사의 난방에너지 수치를 분석하기보다는 가장 열손실이 많은 벽체를 판단하기 위해 수행한 결과값이다. 수계산에 이용된 식은 다음과 같다.

$$Q = UA\Delta T \quad (1)$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \sum \frac{L_i}{k_i} + \frac{1}{h_2}} \quad (2)$$

뒤에서 언급하겠지만 최대 난방에너지값이 동적 열부하계산값보다 훨씬 큰 것을 알 수 있는데 이는 외기온도를 동절기 사육기간 중 가장 낮은 온도인 -9.6°C로 설정하여 실내설정온도인 21°C와의 온도차이를 이용한 것으로 정적인 상태로 계산을 수행했기 때문이며, 단순한 외기와 실내의 온도차에 의한 계산방법이기 때문이다. 계산 결과를 살펴보면 다른 벽체보다 측창 및 측벽을 통한 열손실이 많은 것을 알 수 있는데 이는 측창을 통하여 자연환기가 되므로 외기와 접촉이 많아 다른 벽체에 비해 단열이 미흡한 것이라 판단된다.

### 3.2 환기모델에 따른 난방에너지

난방에너지 예측에 가장 까다로우면서도 큰 영향을 미치는 인자 중 하나인 환기방법에 따른 난방에너지, 즉, ventilation A와 ventilation B와의 난방에너지 차이를 분석하고 Table 4와 Fig. 4에 나타내었다. 결과를 살펴보면 전체적으로 각 Growth period에 상관없이 ventilation A의 난방에너지 값이 크게 나타났는데 이는 양쪽 윈치커튼을 통하여 입기되는 찬공기는 닭들이 주로 상주하는 바닥을 충분히 데우고 천장의 환기팬으로 배기가 된다. 그렇기 때문에 전체 난방에너지 및 bottom의 난방에너지 값이 크게 나온 것으로 판단된다. 반면에 ventilation B의 경우는 천장의 환기팬을 통해 입기되는 찬공기가 top에서 점점 bottom으로 내려올수록 주위의 공기를 충분히 데

Table 4 Comparison of heating energy according to a ventilation model

	1 Growth period		6 Growth period	
	total [GJ]	bottom [GJ]	total [GJ]	bottom [GJ]
vent A	67.0	31.1	54.8	27.6
vent B	59.5	15.1	52.0	15.9

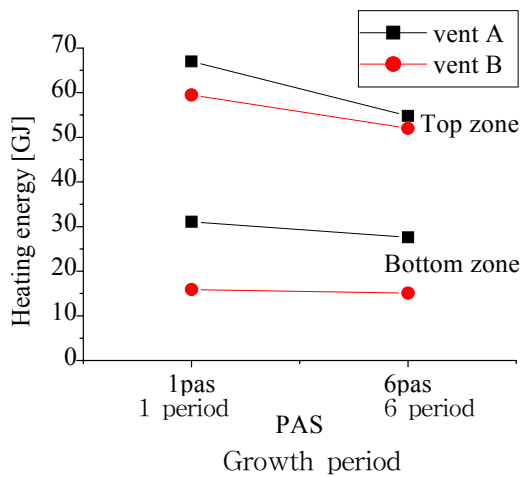


Fig. 4 A graph of heating energy by a ventilation model

우고 원치커튼을 통해 배기가 되기 때문에 상대적으로 ventilation A보다 total zone 및 bottom zone의 난방에너지가 작은 것으로 판단된다. 또한 에너지 절약차원에서 ventilation A의 방법보다 ventilation B의 방법에 훨씬 효율적인 것을 알 수 있다.

### 3.3 중천장 유무에 따른 난방에너지

Table 5는 중천장 유무에 따른 난방에너지 계산 결과를 나타낸 표이다. top zone과 middle zone

Table 6 A heating energy by non-ventilation (unit: GJ)

	case 1		case 2	
	1 period	6 period	1 period	6 period
vent A	63.6	52.1	57.5	47.6
vent B	54.6	47.8	47.6	42.3

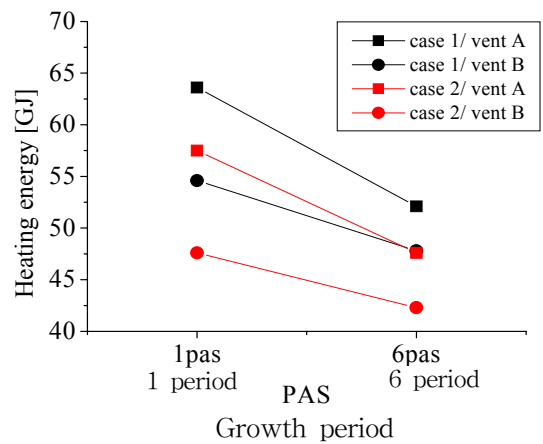


Fig. 5 A graph of heating energy by non-ventilation

사이에 중천장으로 설치함으로써 난방하는 공간이 줄어들었을 뿐만 아니라 설치한 중천장이 하나의 단열재 역할을 하기 때문에 case 2의 난방에너지가 case 1의 난방에너지보다 작게 나타나는 것이라 판단된다. 하지만 중천장 유무에 상관없이 bottom zone의 난방에너지 값은 거의 비슷함을 알 수 있다. 이는 육계산 전체 높이에 비해 (case 1: 4.2 m, case 2: 2.3 m) 닭이 집중적으로 있는 bottom zone의 높이(0.4 m)가 현저히 작기 때문이며, 단열재 역할을 하는 중천장의 영향보다는 닭의 발열량에 의한 영향이 더욱 크기 때문

Table 5 Comparison of heating energy according to the existence of ceiling.

	case 1				case 2			
	1 Growth period		6 Growth period		1 Growth period		6 Growth period	
	total [GJ]	bottom [GJ]	total [GJ]	bottom [GJ]	total [GJ]	bottom [GJ]	total [GJ]	bottom [GJ]
vent A	67.0	31.1	54.8	27.6	60.2	31.0	49.8	27.6
vent B	59.5	15.9	52.0	15.1	51.4	15.8	45.6	15.0

에 중천장 유무에 관계없이 난방에너지값이 비슷하게 나온 것으로 판단된다.

추가적으로 환기를 고려하지 않았을 경우 각 case별 난방에너지와 순환방법별 난방에너지를 Table 6, Fig. 5에 나타내었다. 여기서 환기를 고려하지 않았지만 각 존의 상호교환되는 풍속 및 풍량은 그대로 유지하였기 때문에 환기방법 ventilation A, B는 그대로 유지하였다. 즉, 입기와 배기가 없는 육계사 내부에서의 공기순환방식만을 고려한 것이다. 그 결과를 살펴보면, 환기를 전혀 하지 않았을 때 육계사의 난방에너지의 값은 기존의 환기를 적용했을 때의 값보다 작은 값을 보이지만 각 case별 차이나 환기방법에 따른 난방에너지 차이는 비슷한 것을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

지금까지 단순화시킨 육계사를 해석모델로 설정하고 난방에너지를 분석하기 위하여 TRNSYS 15를 이용하여 해석을 시도하고 다음과 같은 결론을 도출하였다.

(1) 해석모델의 각 구조별 벽체의 열손실을 파악하기 위해 단순한 수계산을 통하여 정적인 상태에서의 최대 난방에너지를 구하였다. 그 결과 다른 벽체보다 측창 및 측벽을 통한 열손실이 많은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 측창을 통하여 자연환기가 되므로 외기와와의 접촉이 많아 다른 벽체에 비해 단열이 미흡한 것이라 판단된다.

(2) 난방에너지 예측에 가장 까다로우면서도 큰 영향을 미치는 환기방법에 따른 난방에너지를 TRNSYS 15를 이용하여 해석하였다. 그 결과 ventilation B의 total zone 및 bottom zone 난방에너지가 ventilation A의 난방에너지의 그 수치보다 적게 나타났다. 이는 ventilation B의 방법이 ventilation A보다 에너지 절약차원에서 효율적임을 나타내며 추후 육계사의 환기방법 시 고려해야할 사항임을 의미한다. 물론 이 2가지 방법 외에 추가적인 환기방법에 대한 고찰 및 연구를 수행하여 가장 적절하면서 효율적인 환기방법을 분석해야 할 것이다.

(3) 중천장의 유무에 따른 난방에너지를 분석하고 추가적으로 환기를 고려하지 않을 때의 각 Growth period 및 환기방법에 따른 난방에너지를

계산하였다. 그 결과 중천장이 있는 경우(case 2)의 난방에너지가 중천장이 없는 경우(case 1)의 난방에너지보다 작은 수치를 나타내었다. 이는 중천장을 설치함으로써 난방공간이 줄어들었으며, 중천장이 하나의 단열재 역할을 하여 열손실을 줄인 것으로 판단된다. 또한 환기를 고려하지 않아도 각 Growth period 및 공기순환방법에 따른 난방에너지 차이는 앞의 결과의 비슷한 수치를 나타내었다.

#### 참 고 문 헌

1. Livestock production · Industrial Crop, 2001, Rural Development administration.
2. Lee, I., You, B., Jung, M., Yun, J., Chun, J., Kim, K. and Sung, S., 2003, Study on ventilation efficiency of a naturally ventilated broiler house-(I)Summer season, Journal of Livestock Housing and Environment, Vol. 9, No. 1, pp.9-18.
3. Lee, I., You, B., Jung, M., Yun, J., Chun, J., Kim, K. and Sung, S., 2003, Study on ventilation efficiency of a mechanically ventilated broiler house-(I)Summer Season, Journal of Livestock Housing and Environment, Vol. 9, No. 2, pp.103-112.
4. Hong, T., Chou, S. K., and Bong, T. Y., 2000, Building simulation: an overview of developments and information sources, Building and Environment, Vol. 35, pp.347-361.
5. Yoo, H., Hyun, S. K. and Hong, H., 2002, Effects of various factors on the energy consumption of Korean-style apartment houses, Korean Journal of Air Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 14, No. 11, pp.972-980.
6. Kim, Y. H. and Park, J. W., 1999, The newest air conditioning equipment, Bomundang, pp.462-463.
7. Solar Energy Laboratory, 1994, TRNSYS Reference Manual, University of Wisconsin at Madison.