



# 건물에너지시뮬레이션 기법을 이용한 육계사 표준설계모델의 에너지 부하 산출

## Evaluation of Energy Loads for Broiler-Standard Design Models Using a Building Energy Simulation Method

권경석<sup>a</sup> · 양가영<sup>b</sup> · 김종복<sup>c†</sup> · 장동화<sup>d</sup> · 하태환<sup>e</sup> · 전소라<sup>f</sup>

Kwon, Kyeong-seok · Yang, Ka-young · Kim, Jong-bok · Jang, Dong-hwa · Ha, Taehwan · Jeon, So-ra

### ABSTRACT

This study was to quantitatively evaluate periodic and maximum energy loads for broiler-standard design models by the Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (2016). Building energy simulation method was used to compute heating and cooling loads of the designed broiler houses according to regional locations and insulation characteristics of wall and roof. It considered sensible and latent heat generation from broilers, dynamic operation of ventilation system according to environment variations. It was found that variation of periodic heating loads was relatively higher than that of periodic cooling loads according to thickness changes of wall and roof. Assuming that broiler was raised at every even-month, periodic heating and cooling loads were 6 and 18% lower, respectively than odd-month raising condition. When recommendation rules of insulation characteristics (wall and roof thickness) by the Ministry of Land, Infrastructure and Transport was adopted, periodic heating load of Jeju-si was 20.3% higher than national average values. Based on the BES computed periodic and maximum energy loads under the designed experimental condition, these results can contribute to reestablishing standard design of broiler houses, especially for insulation characteristics, and designing management strategies for efficient energy uses.

**Keywords:** Broiler; building energy simulation; energy loads; stand design model

## 1. 서론

축사표준설계도는 농림축산식품부장관이 작성하고 국토교통부 장관이 인정한 설계도로서, 축사시설현대화사업의 일환으로 건축, 축산 분야 전문가와 농림축산식품부 축사설계 기술자문위원회의 기본설계와 실시설계 심의를 통해 제작된 도면이다. 축사표준설계도는 농가의 사육환경 개선과 축사 건축 시 소요되는 불필요한 경제적 부담을 완화하는데 그 목

적이 있으며, 이를 이용 시 인·허가는 건축신고로 완화되어 일반건축물 인허가에 비해 요구되는 서류와 검토기간이 단축된다는 장점이 있다. 그러나 축사표준설계도의 이용실적은 미흡한 실정이다. 농림축산식품부 보고에 따르면, 축사표준설계도의 이용실적은 2014년 기준, 산란계 농가의 경우 약 44.2%, 육계 농가는 11.5%, 양돈 농가는 37.1%, 한우, 젖소 농가는 각각 13.9, 19.1%에 그치고 있는 것으로 나타났다 (MAFRA, 2015). 이에 대한 원인으로는 주로 축사표준설계도의 인식 부족 외에도, 축사표준설계도 적용 시 신뢰성 문제, 과도한 시공 비용 발생과 같은 경제성 문제 등이 지적된 바 있다. 특히, 축사표준설계도를 적용하였을 때 생육환경과 직결되는 환기 성능 및 에너지 부하 발생 정도에 대한 공학적인 설계 및 검증 부족이 주요 한계점으로 거론되었다.

한편 축사시설을 포함한 농업시설 내부의 온·습도 변화 예측, 에너지 부하 산정을 위하여 동적 에너지 해석 기반 건물 에너지시뮬레이션 기법이 이용되고 있다 (Hong et al., 2008; Jang et al., 2009; Alvarez-Sanchez et al., 2014; Ha et al., 2015; Ha et al., 2018; Kwon et al., 2019). 건물에너지시뮬레이션 기법은 건축물의 열, 에너지의 시계열 변화를 수치해석적으로 모의하는 기술로 건축물의 에너지 등급 평가, HVAC 시스템 설계, 신재생에너지 적용성 평가 등에 활용되고 있다. 과거 극한 상황에서의 최대 에너지 부하 예측에 주로 사용되었던

<sup>a</sup> Researcher, Ph.D., National Institute of Animal Science, Rural Development Administration

<sup>b</sup> Post Doc., National Institute of Animal Science, Rural Development Administration

<sup>c</sup> Senior Researcher, Ph.D., National Institute of Animal Science, Rural Development Administration

<sup>d</sup> Ph.D Student, National Institute of Animal Science, Rural Development Administration

<sup>e</sup> Researcher, Ph.D., National Institute of Animal Science, Rural Development Administration

<sup>f</sup> Assist Researcher, National Institute of Animal Science, Rural Development Administration

† Corresponding author

Tel.: +82-63-238-7430, Fax: +82-63-238-7447

E-mail: jbkimj@korea.kr

Received: October 10, 2022

Revised: October 20, 2022

Accepted: November 02, 2022

정적 에너지 해석 기법 대비 시계열 변화 모의에 유리하고 축열·방열 효과를 구현하여 보다 더 정확한 부하 해석이 가능하다는 장점이 있다 (Ha et al., 2018).

본 연구에서는 축사표준설계도의 신뢰성 검증과 향후 신규 표준도면 제작 시 개발 방향성 설정을 위하여 2016년 육계-축사표준설계도 모델을 대상으로 건물에너지시뮬레이션 기법을 이용하여 지역별 지붕, 벽체 설계기준에 따른 냉·난방 에너지 부하를 모의하고자 하였다. 또한 육계 사육시설의 규격, 사육수수, 단열 설계 조건에 따른 에너지 부하 컨설팅 프로그램 개발을 목적으로 조건별 에너지 부하 산출을 위한 회귀모델을 도출하고자 하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 육계 축사표준설계도 모델

본 연구에서는 농림축산식품부에서 고시한 2016년 축사표준설계도면에 제시된 육계사 모델을 해석 대상으로 설정하였다 (MAFRA, 2017). 2016년 축사표준설계도면은 스마트팜 도입과 관련하여 축산농장의 자동화 및 노동력 절감을 위한 ICT 관련 장비를 선택사항으로 설계에 반영하였으며 가축 전염병의 차단방역을 위한 외부 차량 및 사람의 이동 동선 및 방역시설 설치도 등의 제반사항을 포함하고 있다. 육계사는 무창축사 형태로 강제환기 방식을 적용한다. 하절기에는 터널환기 방식을 적용하며 쿨링패드 입기를 선택사항으로 제시하고 있다. 동절기에는 크로스 환기 혹은 터널식 환기 시 배기팬의 운용 댓수 조절 방식을 제시하고 있다. 건물 규격 및 사육수수에 따라 총 28종의 건축도면을 제공하고 있다. 본 연구에서는 A+9K (9,564 마리 사육), A+19K (20,250 마리), A+29K (30,936 마리), A+39K (39,485 마리) 규격에 대하여 에너지 부하 해석을 실시하였다. 폭의 경우 14.3 m로 동일하며 길이에 따라 사육면적 및 사육수수가 달라진다. 이때 사육수수는 축산법에서 제시하고 있는 39 kg m<sup>2</sup>의 사육밀도를 적용하여 산출하였다.

### 2. 대상 지역

본 연구에서는 행정구역별 육계사 단열 설계 기준을 위한 기초 자료 마련을 목적으로, 특별·광역시를 제외한 국내 주요 행정구역별로 2020년 4/4분기 기준 육계 사육수수가 가장 많은 시군을 대상으로 선정하였다 (Statistics Korea, 2022). 그 결과 철원군 (강원도, 118만 수), 양평군 (경기도, 243만 수), 충주시 (충청북도, 98만 수), 논산시 (충청남도, 290만 수), 남원시 (전라북도, 517만 수), 영암군 (전라남도, 289만 수), 영주시 (경상북도, 745만 수), 산청군 (경상남도, 134만 수), 제주시 (제주도, 92만 수)가 각 행정구역별 해석 대상 지역으로 선정되었다.

### 3. 건물에너지시뮬레이션 해석 프로그램

본 연구에서는 건물에너지시뮬레이션을 위하여 TRNSYS (ver 18., TESS, LLC., USA) 프로그램을 이용하였다. TRNSYS는 시간 흐름에 따른 태양 고도 변화와 이와 관련된 전체 시스템의 동적인 수치해석을 위하여 개발된 톨로씨 전달함수법에 근거하여 해석 대상 공간에서 발생하는 복사, 대류, 축열 및 방열 등의 물리적 변화를 고려하여 열평형에 대한 해석을 수행한다. TRNSYS는 모듈 기반 프로그램으로 기능별 세부 모듈 설계 및 연결성 부여를 통해 열, 에너지의 흐름 및 환경 변화에 대한 모의가 가능하며 에너지 평형 방정식 (Eq. 1~8)을 기반으로 매 단위 시간 마다 대상 시설의 열, 에너지 변화를 계산한다 (Ha et al., 2015, 2018).

$$Q_i = Q_{surf} + Q_{vent} + Q_{gain} + Q_{inf} + Q_{cplg} + Q_{lat} \quad (1)$$

$$Q_{surf} = A_s \cdot (q_{c,s} + q_{r,s}) \quad (2)$$

$$Q_{vent} = \rho \cdot C_p \cdot N_{vent} \cdot V \cdot (T_{out} - T_{in}) \quad (3)$$

$$Q_{inf} = \rho \cdot C_p \cdot N_{inf} \cdot V \cdot (T_{out} - T_{in}) \quad (4)$$

Table 1 Building specifications of broiler standard design models

Building unit	Length (m)	Width (m)	Area (m <sup>2</sup> )	Number of heads
A+9K	30.3	14.3	433.29	9,564
A+19K	60.3		862.29	20,250
A+29K	90.3		1,291.29	30,936
A+37K	114.3		1,634.49	39,485

$$Q_{cplg} = \rho \cdot C_p \cdot N_{cplg} \cdot V \cdot (T_{zone,i} - T_{in}) \quad (5)$$

$$Q_{lat} = h_v \left[ m_{co}(\omega_a - \omega_{req}) + m_{vent}(\omega_{vent} - \omega_{req}) + W_g \right] + m_{cplg}(\omega_{zone,i} - \omega_{req}) - M_{eff} \frac{d\omega}{dt} \quad (6)$$

$$q_{c,s} = h_{conv}(T_s - T_{in}) \quad (7)$$

$$q_{r,s} = \sigma \cdot \epsilon_s (T_s^4 - T_{in}^4) \quad (8)$$

여기서,  $A_s$ 는 내부 표면적 ( $m^2$ ),  $C_p$ 는 공기의 열용량 ( $kJ \text{ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ),  $h_{conv}$ 는 대류 열전달계수 ( $kJ \text{ hr}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ ),  $h_v$ 는 증발열 ( $kJ \text{ kg}^{-1}$ ),  $m$ 은 공기 질량 ( $kg$ ),  $M_{eff}$ 는 대상 영역의 수분 용량,  $N_{vent,inf}$ 는 환기 및 침기에 의한 공기교체율 ( $\text{hr}^{-1}$ ),  $N_{cplg}$ 는 인접한 영역  $i$ 와의 공기교체율 ( $\text{hr}^{-1}$ ),  $Q_i$ 는 zone  $i$ 에서의 총 열손실 혹은 열획득 ( $kJ \text{ hr}^{-1}$ ),  $Q_{surf}$ 는 건물 표면에서의 열손실 혹은 열획득 ( $kJ \text{ hr}^{-1}$ ),  $Q_{vent}$ 는 환기를 통한 열손실 혹은 열획득 ( $kJ \text{ hr}^{-1}$ ),  $Q_{gain}$ 은 내부 인공물에 의한 열손실 혹은 열획득 ( $kJ \text{ hr}^{-1}$ ),  $Q_{inf}$ 는 침기에 의한 열손실 혹은 열획득 ( $kJ \text{ hr}^{-1}$ ),  $Q_{cplg}$ 는 인접한 zone과의 공기 교체를 통한 열손실 혹은 열획득 ( $kJ \text{ hr}^{-1}$ ),  $Q_{lat}$ 는 내부 잠열 발생에 의한 열손실 혹은 열획득 ( $kJ \text{ hr}^{-1}$ ),  $T_{in,out}$ 는 내부 및 외부 공기 온도 ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $T_s$ 는 표면 온도 ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $T_{zone,i}$ 는 인접한 영역  $i$ 의 내부 공기 온도 ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $V$ 는 내부 부피 ( $m^3$ ),  $\epsilon_s$ 는 장파방사율,  $\rho$ 는 공기의 밀도 ( $kg \text{ m}^{-3}$ ),  $\omega_a$ 는 공기의 습도비,  $\omega_{req}$ 는 가습 또는 제습을 위한 목표 습도비,  $\omega_{zone,i}$ 는 인접한 영역  $i$ 의 습도비,  $\sigma$ 는 스테판볼츠만 상수 ( $kJ \text{ hr}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ K}^{-4}$ ) 이다.

#### 4. 수치해석 환경조건

##### 가. 닭의 현열 및 잠열 발생량

닭은 일령별 체중과 주변 온도 조건에 따라 현열 및 잠열 발생량에 변화가 발생한다. 본 연구에서는 Pedersen and Sällvik (2002) 수식 (Eq. 9~11)을 토대로 육계로부터 발생하는 전열 ( $\phi$ , W), 현열 ( $\phi_s$ , W), 잠열 ( $\phi_l$ , W)을 계산하였다. 닭으로부터 발생하는 현열 및 잠열은 매 연산 단위 시간마다 내부의 온도 정보와 닭의 체중 정보를 갱신하여 계산된다.

$$\phi_{tot} = 10.62 \times m^{0.75} \times \frac{[1000 + 20 \times (20 - t)]}{1000} \quad (9)$$

$$\phi_s = \frac{10.62}{1000} \times m^{0.75} \times \{0.61 \times [1000 + 20 \times (20 - t)] - 0.228 \times t^2\} \quad (10)$$

$$\phi_l = \phi_{tot} - \phi_s \quad (11)$$

여기서  $m$ 은 육계의 체중 ( $kg$ )으로 Yoo (2009)가 제시한 아래의 경험식을 활용하였으며  $t$ 는 시설 내부 온도 ( $^{\circ}\text{C}$ )를 의미한다.

$$m = 1.1678 \times d^2 + 11.137 \times d + 35.753$$

여기서  $d$ 는 닭의 일령 (days)을 의미한다.

##### 나. 필요환기량 및 환기 시스템 운영 조건

본 연구에서는 축사표준설계도에 제시되어 있고, 육계 주요 계열사인 H사에서 농가 컨설팅을 위해 주로 적용하고 있는 환경 온도 및 육계 체중에 대한 필요환기량 경험식 (Eq. 12, MAFRA, 2017)을 이용하여 매 연산 시간마다 필요환기량 값을 갱신할 수 있도록 환기 모듈을 구성하였다.

$$vent. (CFM) = \frac{(0.004 \ln(d) + 0.024) \times}{(1.8 \times t_{out} + 32)} \times m \times heads \quad (12)$$

여기서  $t_{out}$ 은 외기 온도 ( $^{\circ}\text{C}$ )를 의미한다.

시뮬레이션 모델의 환기율은 위 제시된 필요환기량 산출 수식을 기본으로 적용하되, 외부 온도 상승에 따라 시설 내부 온도가 일령별 권장 생육 온도를 상회하는 경우 실제 국내 육계 사육 농가의 환기 운영 상황을 고려하여 설계 온도 범위를 만족할 때까지 환기팬의 가동을 단계별로 증가시켜 가며 연속운전을 실시하도록 설정하였다. 환기 구현에 있어 침기에 의한 영향은 없으며 냉·난방 에너지 부하 산정을 위하여 별도의 냉방 및 난방 시설은 설치되어 있지 않다고 가정하였다.

##### 다. 벽체 및 지붕 설계 조건

축사표준설계도는 육계 사육시설의 벽체 및 지붕에 대하여 샌드위치 패널을 이용하여 시공할 것을 고시하고 있으며 이때 각 벽체 및 지붕의 두께는 국토교통부의 ‘건축물의 에너지절약설계기준’에 제시된 지역별 건축물 부위에 적용되는 단열재의 두께 및 열관류율 기준 (MOLIT, 2022)에 의거하여 결

정된다. 예를 들어, 전라북도 지역의 경우 ‘중부 2 지역’으로 분류되며 공동주택 외 건물의 경우 단열재 등급 ‘가’ 기준 외벽에 대해 135 mm 두께,  $0.240 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$  이하의 열관류율 값을, 지붕에 대해서는 각각 220 mm,  $0.150 \text{ m}^2 \text{ K}^{-1}$  이하의 값을 기준으로 제시하고 있다. 본 연구에서 선정된 대상 지역의 경우 철원군이 ‘중부 1 지역’으로, 양평군, 충주시, 논산시, 남원시, 영주시가 ‘중부 2 지역’으로 분류되며 영암군, 산청군이 ‘남부 지역’, 제주시가 ‘제주 지역’으로 분류된다. 본 연구에서는 샌드위치 패널 기준 벽체 및 지붕의 두께 조건에 따라 각 지역별 에너지 부하를 산출하기 위하여 벽체의 경우 75, 100, 135, 190 mm, 지붕의 경우 130, 180, 220 mm를 설계 변수로 적용하여 각 지역별로 총 12개 조합의 단열 조건에 대한 해석을 수행하였다. 이때 샌드위치 패널은 아연스틸-글래스울-아연스틸의 조합으로 구성된다. 바닥면은 축사표준설계도에 고시된 바와 같이 두께 150 mm로 잡석 다짐 후 방습을 위한 폴리에틸렌 필름을 설치하고 버림콘크리트 50 mm, 철근콘크리트 200 mm를 시공하는 것으로 구성되었다. 벽체, 지붕, 바닥면을 구성하는 재료의 물성치 정보는 아래와 같다 (Table 2).

라. 수치해석 연산 조건

본 연구에서는 30일간 육계 사육을 실시하여 약 1.5 kg 전 후에 도달할 경우 출하를 실시한다는 가정하에 시뮬레이션 모델의 설계 및 해석을 실시하였다. 에너지 부하 산출을 위하여 매일 육계 사육을 실시하는 것으로 가정하였으며 평균적으로 연 6회전의 사육을 실시하는 일반 육계 농가 상황을 고려하여, 짝수 월 사육, 홀수 월 사육 조건별로 나누어 분석하였다.

입력되는 기상자료는 기상청의 기상자료개방포털에서 제공되는 2011년부터 2020년까지의 10년치 각 지역별 데이터를 이용하였다 (KMA, 2022). 1시간 단위로 제공되는 온도, 습도, 일사량 등의 기상자료를 선형보간법을 이용하여 5분 단위로 상세화하였으며, 누락 데이터 구간에 대해서도 동일한 처리를 실시하였다.

육계 사육시설은 정북 방향을 향해 배치된 것으로 가정하였으며, 연산 조건 수는 지역 9개, 건물 규격 4개, 벽체 단열 조건 4개, 지붕 단열 조건 3개로 총 432개이며 각 지역별로 10년치의 기상 자료를 적용하여 총 연산 조건 수는 4,320개로 산출되었으며 (Table 3), 아래 기술되는 수치해석 단계에 따라

Table 2 Physical properties of the materials used in broiler house

Materials	Conductivity ( $\text{kJ h}^{-1} \text{ m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ )	Thermal capacity ( $\text{kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ )	Density ( $\text{kg m}^{-3}$ )
ZnSteel	158.4	0.47	7,860
Glasswool	0.13	0.83	48
Concrete	7.20	0.95	2,400
Reinforced concrete	7.92	0.84	2,800
Gravel	7.20	1.00	2,200
Polyethylene film	1.44	1.80	930

Table 3 Experimental conditions for BES computation

Condition	Contents	Number of cases
Regional location	Cheolwon, Yangpyeong, Chungju, Nonsan, Namwon, Youngam, Youngju, Sancheong, Jeju	9
Building (Number of broiler heads)	A+9K, A+19K, A+29K, A+37K	4
Wall thickness	75, 100, 135, 190 mm	4
Roof thickness	130, 180, 220 mm	3
Weather data	2011~2020	10
Simulation step	1) Computation of internal air temperature and ventilation rate 2) Computation of energy loads	2
Total number of computation cases		8,640

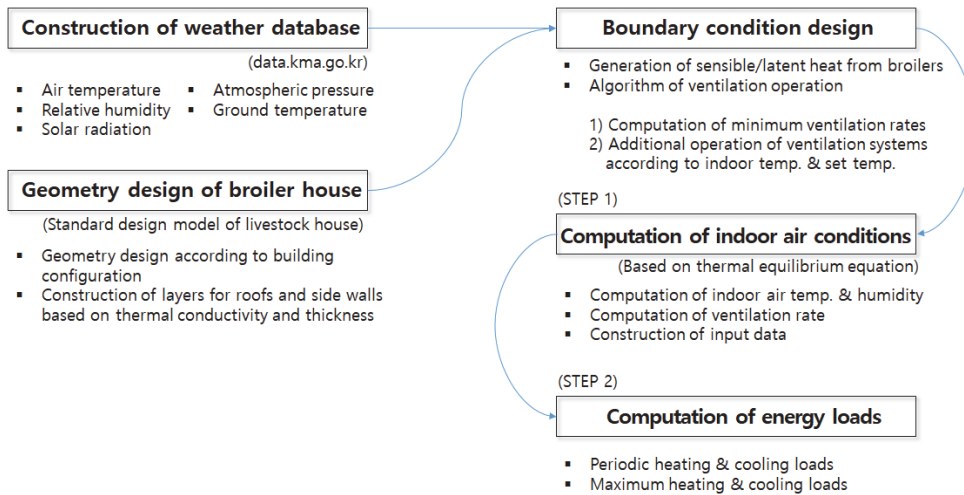


Fig. 1 Simulation flow to evaluate energy loads of broiler house

실제 총 연산 개수는 8,640개이다.

시뮬레이션은 총 2단계로 나누어 실시된다 (Fig. 1). 앞서 언급한 바와 같이 육계사의 환기는 외부 환경 온도 및 체중 변화에 따라 필요환기량 값이 결정되며, 필요환기량 적용 시 시설 내부 온도의 권장 생육 온도 달성 유무에 따라 가변적으로 추가 환기량이 적용되도록 모델을 구성하였다. 이에 따라 건물 내·외부 열의 유·출입을 고려하여 먼저 시설 내부 온도 및 환기량 계산을 위한 시뮬레이션 해석을 수행하고, 계산된 시설 내부 온도 및 환기량 값을 다시 입력 변수로 반영하여 냉·난방 에너지 부하를 산출하도록 모델을 구성하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 수치해석을 통한 시설 내부 온도 및 에너지 부하 산정

Figs. 2, 3은 전라북도 남원 지역에서 A+37K 규격 적용 시 즉, 39,485수의 육계를 사육하는 사육시설에 대하여 샌드위치 패널의 벽체 두께를 100 mm, 지붕 두께를 180 mm 적용하였을 때 각각 2015년 및 2020년의 기상 자료 적용 시 외기 온도 및 시설 내부 온도의 시계열 변화 모의 결과이다. 각 그래프에 도시된 바와 같이 전형적인 국내 사계절 기후 변화 패턴을 보이고 있으며 시설 내부 온도의 경우 전반적인 외기 변화 추세를 따르되, 닭의 사육이 실시되는 각 30일 마다 일령 증가에 따라 점차 증가하였다가 새로운 사육 주기가 시작될 때 다시 감소하는 패턴을 보인다. 이는 닭의 성장에 따른 체중

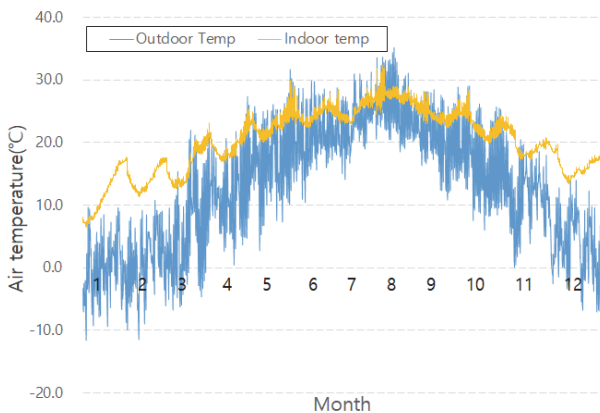


Fig. 2 Indoor air temperature variations for “A+37K”, 100 mm of wall thickness and 180 mm of roof thickness conditions when 2015 weather data of Namwon-si was used

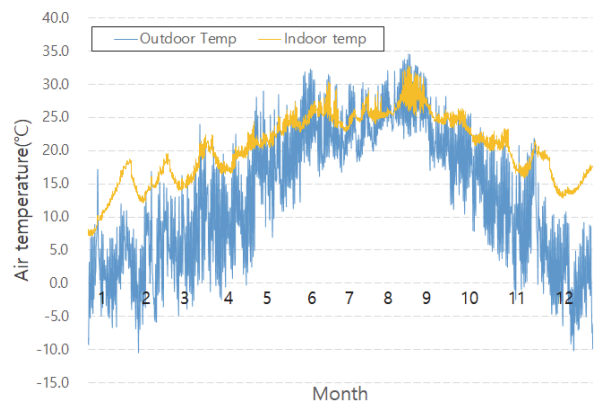


Fig. 3 Indoor air temperature variations for “A+37K”, 100 mm of wall thickness and 180 mm of roof thickness conditions when 2020 weather data of Namwon-si was used

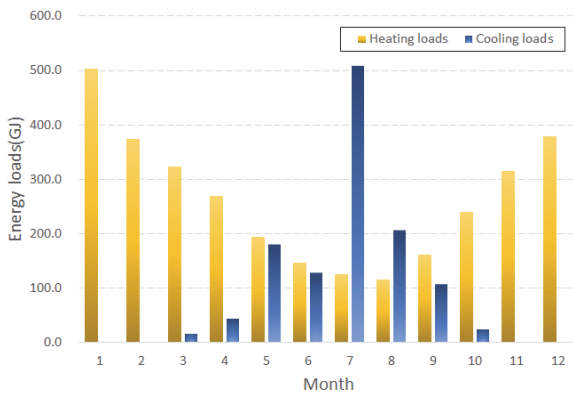


Fig. 4 Heating and cooling loads for “A+37K”, 100 mm of wall thickness and 180 mm of roof thickness conditions when 2015 weather data of Namwon-si was used

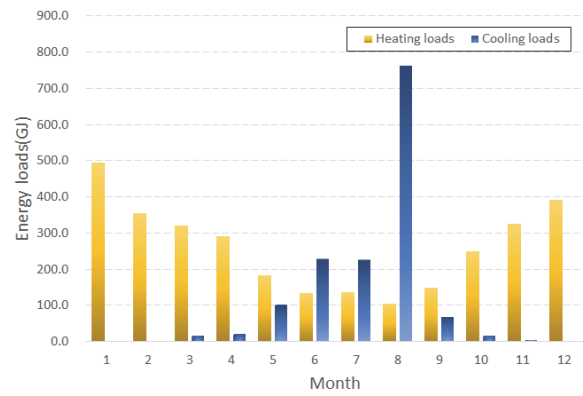


Fig. 5 Heating and cooling loads for “A+37K”, 100 mm of wall thickness and 180 mm of roof thickness conditions when 2015 weather data of Namwon-si was used

증가와 함께 현열 및 잠열 발생량이 점차 증가하여 시설 내부 온도에 영향을 미치기 때문이다. 본 연구에서는 냉·난방 에너지 부하 산정을 위하여 각각의 냉·난방 장치가 설치되지 않은 것으로 가정 후 수치해석을 실시하였는데, 그에 따라 무더위가 발생하는 7, 8월 및 9월에 걸쳐 시설 내부 온도가 30°C에 육박하는 추이를 보이는 것으로 나타나 냉방 설비의 설치 및 운영이 필수적으로 요구될 것으로 판단된다.

Figs. 4, 5는 위와 동일 조건에 대한 난방 및 냉방 부하 산출 결과이다. 앞서 언급한 바와 같이 냉방 부하는 주로 하절기 및 인근 환절기 시기에 집중적으로 발생하고 있는 것으로 나타났다. 하절기에도 일정 수준 이상의 난방 부하가 발생하는 것은 입추 초기 권장 생육 온도가 33.0°C에 이르며 출하에 이르기까지 약 23.0°C까지 점차 온도를 낮추는 과정 중에 주로 새

벽 및 야간 시간대에 권장 생육 온도를 만족시키기 위하여 난방 설비를 가동하는 실제 상황을 모사한 결과로 판단할 수 있다.

## 2. 벽체 및 지붕 단열 성능에 따른 기간, 최대 냉·난방 부하 산정

Table 4, 5는 전라북도 남원 지역에서 A+37K 규격 적용 시 샌드위치 패널의 벽체 두께 및 지붕 두께 조건에 따른 기간 난방 및 냉방 부하 값에 대한 결과이다. 표에 제시된 기간 에너지 부하는 2011년부터 2020년까지의 각 기상 자료 적용 시도의 결과에 대한 평균값이며, 수치해석을 위해 매일 닭을 기른다고 가정했을 때, 홀수 월 (1, 3, ..., 11월) 및 짝수 월 (2, 4, ..., 12월)에 연간 6회전의 사육을 실시할 때로 나누어 각 부하 값을 도출하였다.

Table 4 BES computed periodic heating loads for “A+37K” condition according to wall and roof thickness at Namwon-si

Wall thickness (mm)	Roof thickness (mm)	Periodic heating loads (GJ)		
		Total	Odd month	Even month
75	130	4,051.36	2,085.13	1,966.22
	180	3,525.65	1,816.59	1,709.06
	220	3,266.78	1,685.52	1,581.26
100	130	3,666.79	1,887.93	1,778.87
	180	3,135.65	1,618.97	1,516.68
	220	2,882.36	1,490.74	1,391.62
135	130	3,316.17	1,711.71	1,604.46
	180	2,824.53	1,461.33	1,363.20
	220	2,577.51	1,336.26	1,241.24
180	130	3,074.29	1,587.95	1,486.34
	180	2,562.62	1,328.70	1,233.92
	220	2,322.16	1,207.01	1,115.15

Table 4에 도시된 바와 같이, 75 mm 벽체 두께, 130 mm 지붕 두께를 적용하였을 때, 연중 발생한 기간 난방부하의 크기는 약 4,051 GJ로 산출되었으며 동일 벽체 조건에서 지붕 두께를 180, 220 mm로 변경하였을 때 각각 13.0, 19.4% 감소한 3,526, 3,267 GJ의 값을 보이는 것으로 나타났다. 또한 75 mm 벽체 두께, 130 mm 지붕 두께 적용 조건 대비 단일 성능을 가장 높게 설정한 190 mm 벽체 두께, 220 mm 지붕 두께 적용 시에는 기간 난방부하의 크기가 약 2,322 GJ로 전자 조건 대비 약 42.7% 감소한 것으로 나타났다. 벽체 및 지붕 두께 적용에 따른 기간 난방 부하 값의 기여 정도를 비교할 경우, 지붕 두께를 변경하는 경우가 벽체 두께 변경 시보다 약 1.2배 유리한 것으로 도출되었다. 일반적으로 단일 성능을 결정하는 열저장 값은 단열재의 두께에 비례하기 때문에, 본 연구에서 적용한 국토교통부의 ‘건축물의 에너지절약설계기준’의 지역별 건축물 부위 단열재 두께 기준 조건을 고려하면 벽체 두께 변화에 따른 부하 절감 효과가 클 것으로 예상되나 반대의 결과가 도출된 것으로 나타났다. 이는 본 연구의 육계 사육시설이 정북-정남 방향에 대해 길이 방향으로 배치되어 있어 일출부터 일몰에 이르기까지 태양의 영향을 받는 복사 단면적의 비율이 벽체보다 지붕이 높기 때문으로 판단할 수 있다. 향후 복사 단면적의 비율이 증가하는 정남향 배치 조건 등 건축물 배치 방향에 따른 에너지 부하 경향에 대한 후속 연구가 필요할 것으로 판단된다.

Table 5는 동일 실험 조건에 대한 기간 난방 부하 산출 결과로, 기간 난방 부하 산출 결과와는 반대로 단일 성능이 증가할수록 부하 값이 증가하는 경향을 보였다. 예를 들어, 190 mm

벽체 두께, 130 mm 지붕 두께 설정 시 연중 전 기간에 걸쳐 발생한 기간 난방 부하 크기는 1,616 GJ로 동일 벽체 두께에 대하여 지붕 두께를 180, 220 mm로 각각 증가시킬 경우, 4.2, 6.4% 증가한 1,684, 1,719 GJ 규모의 값을 갖는 것으로 산출되었다. 이는 단일 성능이 증가할수록 열을 보유하는 축열 성능이 증가함에 따른 결과로 판단된다. 또한 단일 성능 변화에 따른 기간 난방 부하의 변화 폭이 기간 난방 부하 대비 상대적으로 작게 나타나는 것으로 도출되었다.

홀수 월 및 짝수 월 사육 조건에 대한 상대 비교 시, 짝수 월에 연간 6회전의 사육을 실시할 때, 기간 난방 부하에 대해서는 약 6% 적게, 기간 난방 부하에 대해서는 약 18% 적은 값을 보이는 것으로 산출되었다. 그러나 육계의 사육은 단순히 에너지 부하의 발생 및 냉·난방에 소요되는 경제적 비용만이 아닌 시장 경제 상황에 의거하여 실시되므로 향후 복합적인 경제성 분석이 필요할 것으로 판단된다.

Table 6, 7은 각각 동일 실험 조건에 대한 최대 난방 및 냉방 부하 산출 결과이다. 최대 냉·난방 부하는 10년치 기상 자료 적용 시 발생한 부하 중 최대 값을 기준으로 산정하였다. 최대 난방 부하의 경우, 단일 성능 변화에 따라 감소 추세를 보이나 그 변화 폭이 0.1~0.3% 수준으로 크지 않은 것으로 나타났다. 기간 난방 부하 결과와 달리 최대 냉방 부하의 경우 단일 성능 증가에 따라 부하 값이 감소하는 것으로 나타났는데 예를 들어, 190 mm의 벽체 두께, 130 mm 지붕 두께 설정 시 최대 냉방 부하 규모는 580 MJ 규모로 지붕 두께를 180, 220 mm로 증가시킬 때 각각 0.3, 0.5% 감소한 578, 577 GJ 규모의 값이 산출되었다.

**Table 5** BES computed periodic cooling loads for “A+37K” condition according to wall and roof thickness at Namwon-si

Wall thickness (mm)	Roof thickness (mm)	Periodic cooling loads (GJ)		
		Total	Odd month	Even month
75	130	1,529.23	846.70	682.53
	180	1,569.64	867.50	702.14
	220	1,592.14	878.40	713.74
100	130	1,557.54	862.41	695.13
	180	1,611.01	887.44	723.57
	220	1,638.80	901.08	737.72
135	130	1,552.64	858.77	693.87
	180	1,649.18	906.29	742.89
	220	1,679.83	922.33	757.50
180	130	1,615.88	889.50	726.38
	180	1,683.35	923.93	759.42
	220	1,718.82	941.85	776.97

**Table 6** BES computed maximum heating loads for “A+37K” condition according to wall and roof thickness at Namwon-si

Wall thickness (mm)	Roof thickness (mm)	Maximum heating loads (MJ)		
		Total	Odd month	Even month
75	130	2,951.28	2,951.28	1,248.17
	180	2,948.82	2,948.82	1,236.11
	220	2,948.38	2,948.38	1,229.95
100	130	2,948.09	2,948.09	1,239.37
	180	2,945.85	2,945.85	1,227.12
	220	2,945.48	2,945.48	1,220.86
135	130	2,948.09	2,948.09	1,239.52
	180	2,944.11	2,944.11	1,219.68
	220	2,943.79	2,943.79	1,213.30
180	130	2,945.10	2,945.10	1,225.62
	180	2,943.34	2,943.34	1,213.02
	220	2,943.03	2,943.03	1,206.49

**Table 7** BES computed maximum cooling loads for “A+37K” condition according to wall and roof thickness at Namwon-si

Wall thickness (mm)	Roof thickness (mm)	Maximum cooling loads (MJ)		
		Total	Odd month	Even month
75	130	583.72	583.72	486.84
	180	581.76	581.76	484.58
	220	580.60	580.60	483.09
100	130	582.35	582.35	485.21
	180	580.38	580.38	482.93
	220	579.22	579.22	481.43
135	130	582.27	582.27	485.19
	180	579.22	579.22	481.56
	220	578.05	578.05	480.06
180	130	580.10	580.10	482.51
	180	578.11	578.11	480.19
	220	576.93	576.93	478.68

### 3. 국토교통부 권고 기준 적용 시 지역별 기간, 최대 냉·난방 부하 산정

국토교통부에서 고시하고 있는 지역별 건축물 부위에 적용되는 단열재의 두께 및 열관류율 기준에 따라 각 연구 대상 지역별로 권고되는 벽체 및 지붕 두께를 적용하였을 때 A+37K 규격 조건에 대한 각각의 부하 값은 Table 8, 9, 10, 11과 같다.

연중 전 기간에 걸친 기간 난방 부하의 경우, 연구 대상 지역 전체의 평균값은 2,797 GJ 규모로 산출되었다. 양평, 충주, 논산, 남원, 영암, 영주 지역의 경우 전체 평균값을 기준으

로 약 10% 내외의 편차를 보이는 것으로 나타났다 (Table 8). 철원 지역은 평균 대비 13.9% 낮은 2,407 GJ의 기간 난방 부하 값을 갖는 것으로 산출된 반면 산청, 제주 지역의 경우 각각 3,120, 3,493 GJ 규모로 평균값 대비 각각 11.6, 24.9% 높게 산출되었다. 기간 난방 부하의 경우, 연구 대상 지역 전체 평균값은 1,589 GJ 규모로, 양평, 충주, 논산, 남원, 영암, 산청 지역은 평균값 대비 10% 내외의 편차를 보인 것으로 나타났다 (Table 9). 철원, 영주는 각각 1,293, 1,333 GJ 규모로 평균 대비 18.2, 15.7% 낮은 부하 값을 보였으나, 제주 지역의 경우 20.3% 높은 1,901 GJ 규모의 난방 부하 값을 보이는 것으로



**Table 8** BES computed periodic cooling loads for “A+37K” condition according to locations when recommendation rules for insulation characteristics were adopted

Location	Wall thickness (mm)	Roof thickness (mm)	Periodic cooling loads (GJ)		
			Total	Odd month	Even month
Cheolwon	190	220	1,292.81	673.66	619.15
Yangpyeong	135	220	1,682.29	849.24	833.05
Chungju	135	220	1,715.98	863.24	852.75
Nonsan	135	220	1,617.28	872.21	745.07
Namwon	135	220	1,679.83	922.33	757.50
Youngam	100	180	1,469.12	811.90	657.22
Youngju	135	220	1,332.50	716.25	616.25
Sancheong	100	180	1,526.75	841.36	685.39
Jeju	75	130	1,900.96	1,012.55	888.40

**Table 9** BES computed periodic heating loads for “A+37K” condition according to locations when recommendation rules for insulation characteristics were adopted

Regional location	Wall thickness (mm)	Roof thickness (mm)	Periodic heating loads (GJ)		
			Total	Odd month	Even month
Cheolwon	190	220	2,407.77	1,248.69	1,159.08
Yangpyeong	135	220	2,621.94	1,354.71	1,267.23
Chungju	135	220	2,628.59	1,359.61	1,268.98
Nonsan	135	220	2,634.69	1,360.06	1,274.63
Namwon	135	220	2,577.51	1,336.26	1,241.24
Youngam	100	180	3,030.38	1,566.78	1,463.60
Youngju	135	220	2,660.55	1,377.27	1,283.29
Sancheong	100	180	3,120.47	1,611.18	1,509.29
Jeju	75	130	3,492.84	1,807.03	1,685.82

**Table 10** BES computed maximum heating loads for “A+37K” condition according to locations when recommendation rules for insulation characteristics were adopted

Location	Wall thickness (mm)	Roof thickness (mm)	Maximum heating loads (MJ)		
			Total	Odd month	Even month
Cheolwon	190	220	2,944.04	2,944.04	1,209.41
Yangpyeong	135	220	2,943.81	2,943.81	1,213.93
Chungju	135	220	2,943.79	2,943.79	1,214.38
Nonsan	135	220	2,943.79	2,943.79	1,214.23
Namwon	135	220	2,943.79	2,943.79	1,213.30
Youngam	100	180	2,945.90	2,945.90	1,221.45
Youngju	135	220	2,943.79	2,943.79	1,211.61
Sancheong	100	180	2,945.97	2,945.97	1,220.20
Jeju	75	130	2,948.42	2,948.42	1,233.11

**Table 11** BES computed maximum cooling loads loads for “A+37K” condition according to locations when recommendation rules for insulation characteristics were adopted

Location	Wall thickness (mm)	Roof thickness (mm)	Maximum cooling loads (MJ)		
			Total	Odd month	Even month
Cheolwon	190	220	551.87	551.87	486.51
Yangpyeong	135	220	645.63	645.63	516.93
Chungju	135	220	668.88	668.88	559.30
Nonsan	135	220	613.85	613.85	495.84
Namwon	135	220	578.05	578.05	480.06
Youngam	100	180	556.43	556.43	473.92
Youngju	135	220	640.45	640.45	440.60
Sancheong	100	180	621.37	621.37	480.54
Jeju	75	130	609.43	609.43	549.03

산출되었다. 전반적으로 제주 지역에서 단열 권고 기준에 따라 설계를 적용하였을 때 타 지역 대비 기간 난방 및 냉방 부하의 규모가 크게 산출되었다. 앞서 기술한 바와 같이 단열 성능의 증가는 기간 난방 부하의 감소를 기대할 수 있으나, 축열 성능 증가로 기간 냉방 부하의 증가를 유발할 수 있다. 따라서 제주 지역의 경우 단열 성능 변화에 따른 시공비, 냉·난방 부하 규모에 따른 에너지 비용 등 복합적인 경제성 분석에 의거하여 단열 조건을 변화시킬 필요가 있을 것으로 판단된다.

한편, Table 10에 도시된 바와 같이, 연구 대상 지역 전체의 최대 난방 부하는 평균 2,945 MJ 규모로 각 지역마다 제주를 제외하고 (0.12% 편차) 0.05% 내의 편차를 보이는 것으로 나타났다. 이를 통해 현 수준의 단열 성능 권고 기준은 최대 난방 부하를 기준으로 제시되었다고 추정 가능하다.

#### 4. 지역별 단열 성능 조건별 에너지 부하 예측을 위한 회귀모델 도출

건물에너지시뮬레이션 모델을 통해 도출한 각 지역별 단열 성능 조건별 기간·최대 냉·난방 부하 산출 결과를 기반으로 각각의 회귀모델을 도출하였다 (Table 12, 13, 14, 15). 각 연구대상 지역을 대변하기 위한 변수의 경우 사전 분석을 통해 지역별 위도 (latitude) 값을 선정하였다. 기간 냉·난방 부하에 대한 회귀 모델 도출 과정에서, 모든 설계 변수에 대하여 유의수준 5%를 기준으로 유의한 것으로 산정되었으나 ( $p < 2e-16$ ), 최대 냉·난방 부하에 대한 일부 회귀 모델 도출 과정에서 지역, 벽체 및 지붕 두께 변수에 대해 유의하지 않은 것으로 나타났다. 일반적인 회귀 모델 도출과정에서는 설명력이 떨어지는 변수에 대해 후진제거법 (Backward elimination method) 실시 및 실시 전·후의 회귀 모델에 대한 ANOVA 분석을 통

**Table 12** Regression models for estimating periodic heating loads according to locations and insulation characteristics of wall and roof

Periodic heating loads (total)	
$\frac{e^{(18.8 + 0.03692 \times latitude)}}{e^{(62.24 \times (\frac{Volume}{heads}) + 0.002881 \times THK_{wall} + 0.002723 \times THK_{roof})}}$	$R_a^2$
	0.95
Periodic heating loads (odd month)	
$\frac{e^{(18.25 + 0.0347 \times latitude)}}{e^{(62.49 \times (\frac{Volume}{heads}) + 0.002834 \times THK_{wall} + 0.002678 \times THK_{roof})}}$	$R_a^2$
	0.95
Periodic heating loads (even month)	
$\frac{e^{(17.95 + 0.03931 \times latitude)}}{e^{(61.97 \times (\frac{Volume}{heads}) + 0.002933 \times THK_{wall} + 0.00277 \times THK_{roof})}}$	$R_a^2$
	0.95

**Table 13** Regression models for estimating periodic cooling loads according to locations and insulation characteristics of wall and roof

Periodic cooling loads (total)	
$\frac{e^{(23.79 + 0.0007398 \times THK_{wall} + 0.0006505 \times THK_{roof})}}{e^{(77.87 \times (\frac{Volume}{heads}) + 0.07279 \times latitude)}}$	$R_a^2$
	0.84
Periodic cooling loads (odd month)	
$\frac{e^{(23.67 + 0.0006602 \times THK_{wall} + 0.0005760 \times THK_{roof})}}{e^{(77.78 \times (\frac{Volume}{heads}) + 0.08672 \times latitude)}}$	$R_a^2$
	0.84
Periodic cooling loads (odd month)	
$\frac{e^{(22.47 + 0.0008337 \times THK_{wall} + 0.0007382 \times THK_{roof})}}{e^{(78.00 \times (\frac{Volume}{heads}) + 0.05721 \times latitude)}}$	$R_a^2$
	0.83

**Table 14** Regression models for estimating maximum heating loads according to locations and insulation characteristics of wall and roof

Maximum heating loads (total)	
$\frac{e^{(21.17 + 0.00007216 \times latitude)}}{e^{(72.71 \times (\frac{Volume}{heads}) + 0.00001799 \times THK_{wall} + 0.000009523 \times THK_{roof})}}$	$R_a^2$
	0.96
Maximum heating loads (odd month)	
$\frac{e^{(21.17 + 0.00007216 \times latitude)}}{e^{(72.71 \times (\frac{Volume}{heads}) + 0.00001799 \times THK_{wall} + 0.000009523 \times THK_{roof})}}$	$R_a^2$
	0.96
Maximum heating loads (odd month)	
$\frac{e^{(21.17 + 0.00007292 \times latitude)}}{e^{(72.71 \times (\frac{Volume}{heads}) + 0.00001802 \times THK_{wall} + 0.000009509 \times THK_{roof})}}$	$R_a^2$
	0.96

**Table 15** Regression models for estimating maximum cooling loads according to locations and insulation characteristics of wall and roof

Maximum cooling loads (total)	
$\frac{e^{(19.30 + 0.007876 \times latitude)}}{e^{(73.85 \times (\frac{Volume}{heads}) + 0.00009251 \times THK_{wall} + 0.0001023 \times THK_{roof})}}$	$R_a^2$
	0.74
Maximum cooling loads (odd month)	
$\frac{e^{(19.46 + 0.005982 \times latitude)}}{e^{(73.83 \times (\frac{Volume}{heads}) + 0.00009588 \times THK_{wall} + 0.0001070 \times THK_{roof})}}$	$R_a^2$
	0.73
Maximum cooling loads (odd month)	
$\frac{e^{(19.45 + 0.006123 \times latitude)}}{e^{(73.74 \times (\frac{Volume}{heads}) + 0.0001117 \times THK_{wall} + 0.0001217 \times THK_{roof})}}$	$R_a^2$
	0.73

해 제거된 변수의 타당성을 시험하나, 본 연구를 통해 도출하고자 하는 회귀 모델은 향후 지역별 단열 설계 기준에 따른 에너지 부하 예측 프로그램에 활용될 예정으로, 컨설팅을 위한 프로그램 목적을 고려하여 필요에 따라 최종 설계 변수를 유지하였다. 최종 도출된 회귀 모델은 지역, 건물의 체적, 사육수수, 벽체 및 지붕의 샌드위치 패널 두께를 독립변수로 갖는다.

#### IV. 결론

본 연구에서는 축사표준설계도 모델을 대상으로 건물에너지시뮬레이션 기법을 이용하여 국내 주요 행정구역별로 단열 성능, 육계 사육수수 등의 조건별 에너지 부하를 산정하고자 하였다. 모의 결과, 기간 난방 부하의 경우, 단열 성능이 증가할수록 부하 규모가 감소하였으나 기간 난방 부하의 경우 반대의 경향을 보였다. 또한 단열 성능 변화에 따른 기간 난방 부하의 변화 폭이 기간 난방 부하 대비 상대적으로 작게 나타나는 것으로 도출되었다. 연간 평균 6회전 사육을 실시하는 육계 농가 상황을 고려하여, 홀수 월 및 짝수 월 사육 조건에 대한 상대 비교 시, 짝수 월 조건에서 기간 난방 부하 값이 약 6% 적게, 기간 난방 부하에 대해서는 약 18% 적은 값을 보이는 것으로 산출되었다. 그러나 국내 육계 사육은 닭 고기 수급 현황과 관련한 시장 경제 상황에 의거하여 계열사에서 사육수수와 공급시기를 결정하고 있어, 향후 시장 가격 및 에너지 부하 발생량에 따른 에너지 이용 비용 등 복합적인 경제성 분석이 필요할 것으로 판단된다.

국토교통부의 단열재 두께 및 열관류율 권고 기준에 따라 각 지역별 에너지 부하 값을 모의한 결과, 기간 난방 부하의 경우 전국 평균값을 기준으로 양평, 충주, 논산, 남원, 영암, 영주 지역에서는 약 10% 내외의 편차를 보이는 것으로 산정되었으며, 산청, 제주 지역의 경우 각각 3,120, 3,493 GJ 규모로 평균값 대비 각각 11.6, 24.9% 높게 산출되었다. 기간 난방 부하의 경우 역시 제주 지역에서 전국 평균값 대비 20.3% 높은 수준의 값이 산출되었다. 제주 지역의 경우 단열 성능 변화에 따른 시공비, 냉·난방 부하 규모에 따른 에너지 비용 등 복합적인 경제성 분석에 의거하여 단열 조건을 변화시킬 필요가 있을 것으로 판단된다.

일반적으로 단열 성능 및 냉·난방 시스템의 규모를 결정할 때 최대 냉·난방 부하 값을 기반으로 결정하는 정적 에너지 해석 기법, 기간 냉·난방 부하 값을 기반으로 결정하는 동적 에너지 해석 기법이 이용되고 있다. 정적 에너지 해석 기법의 경우, 시스템의 과대 혹은 과소 설계에 대한 우려가

크며, 연중 시계열 변화에 대해 반영하지 못한다는 단점이 존재한다. 따라서, 본 연구 결과를 토대로 향후 기간·최대 냉·난방 에너지 부하 산출 결과에 기반하여 실제 소요되는 에너지 비용을 고려하여 설계 기준에 대한 재정립이 필요할 것으로 판단된다.

본 연구를 통해 도출한 설계 조건별 에너지 부하 산정 결과를 토대로 지역, 건물의 체적, 사육수수, 벽체 및 지붕 두께 조건에 따른 에너지 부하 예측을 위한 회귀모델 개발하였다. 해당 모델은 향후 축산 농가의 에너지 부하 컨설팅을 위한 프로그램에 활용될 예정이다.

#### 감사의 글

본 결과물은 농림축산식품부 및 과학기술정보통신부, 농촌진흥청의 재원으로 농림식품기술기획평가원과 재단법인 스마트팜연구개발사업단의 스마트팜다부처패키지혁신기술개발사업 (과제번호: 421018-03) 및 농촌진흥청 국립축산과학원 전문연구원 과정 지원사업에 의해 이루어졌음.

#### REFERENCES

1. Alvarez-Sánchez, E., G. Leyva-Retureta, E. Portilla-Flores, and A. López-Velázquez, 2014. Evaluation of thermal behavior for an asymmetric greenhouse by means of dynamic simulations. *DYNA* 81(188): 152-159.
2. Ha, T., I. B. Lee, K. S. Kwon, and S. W. Hong, 2015. Computation and field experiment validation of greenhouse energy load using building energy simulation model. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering* 8(6): 116-127.
3. Ha, T. H., K. S. S. Kwon, S. W. Hong, H. C. Choi, J. Y. Lee, D. H. Lee, S. Woo, K. Y. Yang, R. W. Kim, U. H. Yeo, S. Y. Lee, and I. B. Lee, 2018. Estimation of THI index to evaluate thermal stress of animal occupied zone in a broiler house using BES method. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 60(2): 75-84. (in Korean).
4. Hong, S. W., I. B. Lee, H. K. Hong, I. H. Seo, H. S. Hwang, J. P. Bitog, J. I. Yoo, K. S. Kwon, T. Ha, and K. S. Kim, 2008. Analysis of heating load of a naturally ventilated broiler house using BES simulation. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 50(1): 39-47. (in Korean).
5. Jang, J. C., E. C. Kang, and E. J. Lee, 2009. Peak cooling and heating load and energy simulation study for a special

- greenhouse facility. *Journal of the Korean Solar Energy Society* 29(1): 72-76. (in Korean).
6. Kwon, K. S, T. H. Ha, H. C. Choi, J. B. Kim, J. Y. Lee, J. H. Jeon, Y. K. Yang, R. W. Kim, U. H. Yeo, S. Y. Lee, 2019. Evaluation of thermal stress of poultry according to stocking densities using numerical BES model. *Journal of the Korean Academia-Industrial Cooperation Society* 20(1): 456-463. (in Korean).
  7. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA), 2017. Released copy. Accessed 1 May. 2022.
  8. Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT), 2022. Accessed 1 May. 2022.
  9. Perderson, S., and K. Sällvik, 2002. Heat and moisture production at animal and house levels. 4th Report of Working Group on Climatization of Animal Houses.
  10. Statistics Korea, 2012. Accessed 3. April. 2012.