

BES 기법을 이용한 산란계사 표준설계모델의 에너지 부하 산정과 예측을 위한 회귀모형 도출

권경석¹, 김종복¹, 김병현¹, 장동화¹, 판반뎃¹, 하태환^{2*}
¹국립축산과학원 축산환경과, ²충남대학교 지역환경토목학과

Energy Loads Calculation of Standard Design Models for Laying Hens using a BES technique and Development of Regression model for Energy Loads Prediction

Kyeong-seok Kwon¹, Jong-bok Kim¹, Byeonghyeon Kim¹,
Dong-hwa Jang¹, Vandet Pann¹, Taehwan Ha^{2*}

¹Animal Environment Division, National Institute of Animal Science

²Department of Agricultural and Rural Engineering, Chungnam National University

요약 본 연구에서는 농립축산식품부에서 발간한 2019년 축사표준설계도-산란계 모델에 대하여 건물에너지시뮬레이션 (BES: Building Energy Simulation, 이하 BES) 기법을 이용하여 에너지 부하 산정을 위한 수치해석을 실시하였다. 지역, 건물제원, 사육규모, 지붕 및 벽체의 단열 특성에 따른 기간 냉·난방 부하 산정을 실시하였으며, 이때 시설 내·외 부 환경조건에 따라 환기량 및 가축의 현열, 잠열 발생량이 동적으로 산정될 수 있도록 모델을 구성하였다. BES 해석 결과, 육계사 표준설계도 모델을 대상으로 한 선행연구와 유사하게 벽체 및 지붕의 단열 두께 증가에 따른 에너지 부하 변화 폭의 경우 난방 부하가 냉방 부하보다 상대적으로 두드러지게 나타났다. 본 연구를 통해 각 실험 조건별로 산정한 산란계 사육시설의 난방 및 냉방 부하 결과는, 향후 농립축산식품부의 축사표준설계도 개정을 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대되며 특히 단열 성능 향상에 따른 에너지 비용 절감 수준 및 설치 비용 등의 경제성 분석을 통해 보다 합리적인 건축물의 설계 및 운영이 가능할 것으로 판단된다. 향후 산란계 사육 농장주를 대상으로 에너지 부하 자가진단 프로그램 개발을 위한 기초자료 마련을 위하여 조건별 난방 및 냉방 기간 부하를 예측하기 위한 회귀모형을 도출하였으며, 각각의 조정결정계수는 0.93, 0.86으로 산정되었다.

Abstract Energy loads for layer standard design models presented by the Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (2019) were evaluated. The BES technique was adopted to calculate periodic heating and cooling loads of layer houses by region, building scale, number of heads, and wall and roof insulation conditions. The designed BES model considered real-time latent heat generation from layers and variations in ventilation rate according to indoor and outdoor environmental conditions. Variations of periodic heating loads for layer houses were relatively higher than periodic cooling loads according to wall and roof thickness changes shown in a previous study. BES computed periodic heating and cooling loads under various conditions could be utilized to establish standard designs for layer houses, especially regarding physical insulation characteristics based on considerations of energy efficiency and cost. Regression equations for predicting heating and cooling loads of layer houses were derived (adjusted r-square values were 0.93 and 0.86, respectively) to facilitate the development of energy load self-assessment tools for layer farmers.

Keywords : Building Energy Simulation, Energy Loads, Layer House, Livestock House, Numerical Model

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

*Corresponding Author : Taehwan Ha(Chungnam National University)

email: thha54@cnu.ac.kr

Received September 26, 2023

Revised October 31, 2023

Accepted November 3, 2023

Published November 30, 2023

1. 서론

농림축산식품부 주요통계[1]에 따르면 2021년 농업 총 생산액은 373.8천억 원으로 미곡이 95.3천억 원 규모로 가장 높은 수치를 보이며 그 뒤를 이어, 돼지, 한우가 각각 84.8, 69.0천억 원 규모를 보이고 있다. 계란 생산액은 24.7천억 원 규모로 생산액 기준 네 번째로 위치하고 있다. 2023년 산란계 사육 마릿수는 전년 대비 1.2% 감소한 7,256만 마리로 전망되고 있으며 일평균 계란 생산량은 2.7% 감소한 4,291만 개로 예상되고 있다[2]. 2021년 기준 1인당 계란 소비량이 14.0 kg 수준에서 2032년에는 14.3 kg으로 전망되고 있는데 반하여, 2025년부터 산란계 사육밀도가 동물복지를 고려하여 기존 마리당 0.05 m²에서 0.075 m²로 1.5배 증가하는 것으로 예정되어 있어, 산란계 사육 마릿수 및 계란 생산량은 둔화될 것으로 전망되고 있다[2].

한편 농림축산식품부에서는 농가 사육환경 개선 및 축사 건축 시 소요되는 불필요한 경제적, 시간적 부담을 완화하기 위하여 축사표준설계도를 개발하여 보급하고 있다[3]. 그러나, 산란계 사육시설의 축사표준설계도 이용 실적은 2015년 조사 당시 기준 44.2%로 미흡한 실정인데 이에 대한 원인으로 생육환경 및 생산성과 직결되는 환기 및 에너지 측면에 대한 공학적 설계 및 검증 부족이 주요 한계점으로 거론된 바 있다[3]. 특히, 축사의 규모, 사육수수 조건 등에 따른 에너지 부하 발생 수준에 대해 공학적으로 접근한 사례가 매우 적어, 축사표준설계도 제작 시 관련업계의 경험과 외국 사례에 의존하고 있는 실정이다.

축사를 포함한 농업시설의 내부 미기상 예측, 에너지 흐름 해석을 위하여 최근 동적 에너지 해석 방법에 기반한 BES 기법이 적용되고 있다[3-9]. BES 기법을 이용한 에너지 부하 산정 기술은 과거 극한 상황에서의 최대 냉난방 에너지 부하를 예측하는데 사용되는 정적 에너지 해석 기법 대비 시간의 흐름에 따른 미기상 변화 모의와 정확한 에너지 부하 해석이 가능하다는 장점이 있다 [9,10]. [4,9]는 BES 모델을 이용하여 육계 사육시설에 대해 사육 밀도 등의 조건별 내부 생육환경 변화 모의 및 고온스트레스 지수에 대한 평가를 실시하였으며, [3]은 축사표준설계도의 육계 사육모델을 대상으로 BES 모델을 활용하여 조건별 에너지 부하의 산출 및 분석을 실시하였다.

본 논문에서는 농림축산식품부에서 발간한 축사표준설계도의 향후 개발 방향성 설정 및 공학적 근거 자료 마

련 등을 위하여 2019년 산란계 축사표준설계도 모델을 대상으로 BES 기법을 이용하여 내부 생육환경 및 에너지 흐름 예측을 위한 모델 개발 및 조건별 기간 냉·난방 에너지 부하를 산출하고자 하였다. 또한, 향후 축사 에너지 부하 자가진단 프로그램 개발을 목적으로 조건별 에너지 부하 산출을 위한 회귀 모델을 도출하고자 하였다.

2. 본론

2.1 산란계 축사표준설계도 모델

본 연구에서는 농림축산식품부에서 2019년에 고시한 가금류 축사표준설계도 중 산란계 사육시설을 대상으로 에너지 부하 산정을 실시하고자 하였다[11]. 산란계 사육시설은 무창축사 형태로 음압식 강제환기 방식을 적용한다. 축고 및 동고 높이에 따라 4단 및 9단 케이지를 적용하거나 동물복지형 다단 케이지를 적용한 사육시설에 대하여 각각의 설계 도면을 제공하고 있다(Fig. 1). 도면 별 건물 규격 및 사육수수 규모에 따라 각각 14종의 건축도면을 제공하고 있다. 본 연구에서는 국내에서 가장 많이 이용되고 있는 9단식 케이지를 적용한 산란계 사육시설에 대해 에너지 부하 해석을 실시하고자 하였으며, 총 14종의 모델 중 최소 건축범위인 A+8K(33,600 마리), 가변건축범위 중 A+12K(52,800 마리), A+16K(72,000 마리), 최대건축범위인 A+21K(96,000 마리) 규격을 해석 대상 모델로 선정하였다. 건물의 폭과 천정 높이는 각각 17.50 m, 8.53 m로 고정되며 건물의 규격 및 사육수수에 따라 길이가 증가한다. 사육밀도는 동물복지를 고려하여 1마리당 0.075 m²로 적용되었다.

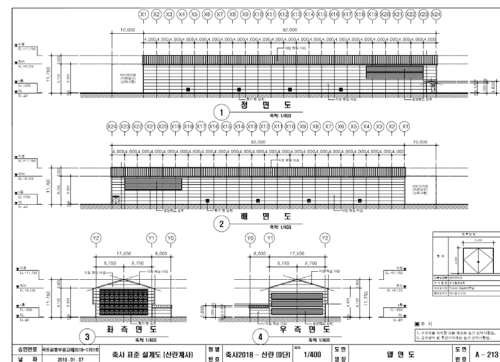


Fig. 1. Standard design model for laying hens by MAFRA

Table 1. Building specification of layer standard design model

Building Unit	Width (m)	Length (m)	Area (m ²)	Heads*
A+8K	17.5	40.0	700.0	33,600
A+12K	17.5	56.0	980.0	52,800
A+16K	17.5	72.0	1,260.0	72,000
A+21K	17.5	92.0	1,610.0	96,000

*breeding density : 0.075 m²/head

2.2 해석 대상 지역

본 연구에서는 향후 축사표준설계도 제작 시 행정구역 별 단열 설계 기초 자료 마련을 목적으로 특별시, 광역시를 제외한 국내 주요 행정구역별로 2020년 4/4분기 기준 산란계 사육수가 가장 많은 시군을 해석 대상지역으로 선정하였다[12]. 그 결과 원주시(강원도, 97.5만 수), 평택시(경기도, 197.1만 수), 음성군(충청북도, 79.8만 수), 천안시(충청남도, 272.4만 수), 김제시(210.5만 수), 무안군(전라남도, 531.9만 수), 영주시(경상북도, 227.2만 수), 거창군(경상남도, 98.1만 수), 제주시(제주도, 59.4만 수)가 선정되었다.

2.3 건물에너지시뮬레이션 기법(BES)

본 연구에서는 건물에너지시뮬레이션 수행을 위하여 TRNSYS(ver. 18., TESS, LLC., USA) 프로그램을 이용하였다. TRNSYS는 전달함수법에 근거하여 해석 대상 공간에서 발생하는 복사, 대류, 축열, 방열 등의 물리적 변화를 고려하여 시계열별 열평형에 대한 해석을 수행할 수 있다[3,4]. 해당 프로그램은 모듈 기반 프로그램으로 기능에 따라 세부 모듈 설계 및 변수의 연결성 부여를 통해 열, 에너지의 흐름 및 환경 변화에 대한 모의가 가능하다[3]. 본 연구에서는 산란계 사육시설 내·외부 환경 조건에 따른 에너지 발생과 손실의 물리적 기작을 구현하여 시설 내부의 생육환경 변화에 대한 모의 및 에너지 부하를 산출하고자 하였다.

2.4 수치해석 조건

2.4.1 산란계 현열, 잠열 발생량

산란계 증광과 주변 온도에 따라 닭으로부터의 현열, 잠열 발생량 구현을 위하여 [13]가 제시한 수식을 활용하여 실시간 전열, 현열, 잠열 발생량을 계산하였다. 닭으로부터 발생하는 현열, 잠열 발생량은 BES 해석 과정 중 매 연산 단위 시간마다 내부의 생육 온도 정보와 닭의 체

중 정보를 갱신하여 실시간으로 계산되도록 세부 모듈을 설계하였다.

$$\Phi_t = \Phi_l + \Phi_s \quad (1)$$

$$\Phi_l = \frac{1000 + 20 \times (20 - t)}{1000} \times (6.28m^{0.75} + 25 Y) \quad (2)$$

$$\Phi_s = \frac{0.67(1000 + 20(20 - t)) - 9.8 \times 10^{-8} \times t^6}{1000} \times (6.28m^{0.75} + 25 Y) \quad (3)$$

Where, Φ_t denotes total heat production from layer(W), Φ_l denotes latent heat production(W), Φ_s denotes sensible heat production(W), t denotes air temperature(°C), m denotes mass of layer(kg), Y denotes egg production(0.05 kg/day for consumer eggs).

2.4.2 필요환기량

본 연구에서는 축사표준설계도에 제시되어 있는 환경 온도 및 가금류 체중에 따른 필요환기량 산정 경험식을 이용하여 매 연산 시간마다 필요환기량 값을 갱신하여 시설 내부 생육환경 모의 계산을 위한 입력값으로 활용되도록 환기 모듈을 구성하였다.

$$vent = 0.0264 \times (1.8 \times t_{out} + 32) \times m \times n \quad (4)$$

Where, $vent$ denotes ventilation rate(ft³/m), t_{out} denotes outdoor air temperature(°C), n denotes number of layer heads.

모델의 입력값으로 활용되는 환기량은 식 (4)를 이용하여 계산된 필요환기량 값을 최소환기량값으로 산정하되, 실제 산란계 사육 농장의 환기 운영 현황 및 권장 생육 온도 범위를 고려하여, 시설 내부 온도가 단계별 임계치 24°C, 27°C를 초과하면 시설에 설치된 환기팬의 가동 대수를 각각 단계별로 증가시키고 연속 가동하여 시설 내부의 열에너지를 제거할 수 있도록 모델을 구성하였다. 냉·난방 에너지 부하 산정을 위하여 별도의 냉·난방 장치는 설치되어 있지 않다고 가정하였다.

2.4.3 건축물 단열 설계 조건

축사표준설계도는 가금류 사육시설 벽체 및 지붕에 대하여 샌드위치 패널 등을 이용하여 시공할 것을 고시하고 있다[10]. 각 벽체 및 지붕의 두께는 국토교통부의 '건축물 에너지절약설계기준'에 제시된 지역별 건축물 부위별 단열재 두께 및 열관류율 기준[14]을 따른다. 본 연구에서는 샌드위치 패널 기준 벽체 및 지붕의 두께 조건에 따라 각 지역별 에너지 부하를 산출하기 위하여 단열재 1등급 소재 기준, 벽체의 경우 75 mm, 100 mm, 135 mm, 190 mm, 지붕의 경우 130 mm, 180 mm, 220 mm를 설계 변수로 적용하여 각 지역별로 총 12개 조합의 단열 조건에 대한 해석을 수행하였다. 샌드위치 패널은 아연스틸-글래스울-아연스틸의 조합으로 구성된다. 바닥면은 축사표준설계도에 따라 두께 150 mm로 잠식 다짐 후 방습을 위한 폴리에틸렌 필름을 설치하고 버림 콘크리트 50 mm, 철근콘크리트 200 mm를 시공하는 것으로 구성되었다. 벽체, 지붕 및 바닥면을 구성하는 재료의 물성치는 Table 2와 같다.

Table 2. Physical properties of the materials

Materials	Conductivity (kJ h ⁻¹ m ⁻¹ K ⁻¹)	Thermal capacity (kJ kg ⁻¹ K ⁻¹)	Density (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

2.4.4 BES 수치해석 모델 연산 조건

본 연구에서는 실제 산란계 농장의 사육형태를 고려하여 365일 연중 산란계 사육을 실시하는 것으로 가정하였으며 이때 증량은 산란계 성체 평균 증량인 1.925 kg을 적용하였다.

입력값으로 이용되는 기상자료는 기상자료개방포털에서 제공되는 2011년부터 2020년까지의 10년치 각 지역별 데이터를 이용하였다[15]. 1시간 단위로 제공되는 온도, 습도, 일사량, 지중온도 등의 기상자료를 선형보간법을 이용하여 5분 단위로 상세화하였으며, 누락 데이터 구간에 대해서도 동일한 처리를 실시하였다[3].

산란계 사육시설은 길이방향에 대해 북동-남서쪽 방향으로 배치된 것으로 가정하였으며, 총 연산 조건 수는 지역 9개, 건물 규격 4개, 벽체 단열 조건 4개, 지붕 단열 조건 3개로 총 432개이며, 각 지역별로 기상청의 10년 동안의(2010~2020년) 기상자료를 적용하여 총 연산 조건 수는 4,320개이다. 아래 기술되는 생육환경 모의, 에너지 부하 모의로 구분되는 수치해석 단계에 따라 실제 총 연산 개수는 8,640개이다.

시뮬레이션은 총 2단계로 나누어 실시되는데(Fig. 2, 3), 먼저 산란계 사육시설 내부의 조건별 생육환경 모의를 위한 연산이 수행된다. 앞서 언급한 바와 같이 산란계 닭으로부터의 현열, 잠열 발생량 및 환기량의 크기는 내·외부 환경 온도 등의 영향을 받게 되며 특히 시설 내부 온도의 권장 생육 적온 달성 유무에 따라 가변적으로 추가 환기량이 적용되도록 모델이 구성되었다. 이에 따라 먼저 산란계 사육시설 내부의 온도 및 환기량 계산을 위한 시뮬레이션 해석을 수행하고, 계산된 값을 다시 입력 변수로 반영하여 냉·난방 에너지 부하 모의를 위한 2차 시뮬레이션 해석이 수행된다. Fig. 3. 은 산란계사 생육환경 모의 및 에너지 부하 산정을 위한 BES 시뮬레이션 모델의 구성도이며 이때 각 모듈별로 연결된 선은 전달함수법에 따른 데이터의 입출력 관계를 의미한다. 실제 가금 사육시설에서 측정된 기간별 생육환경 변수를 이용하여 평가한 개발된 모델의 예측 정확도는 97.4%로 판정되었다[16].

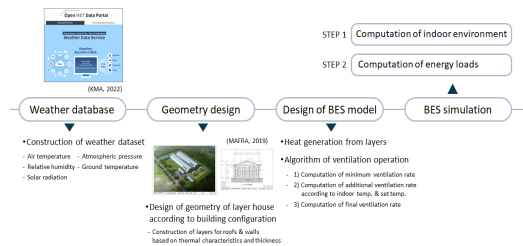


Fig. 2. Process of BES simulation to evaluate energy loads of designed layer house

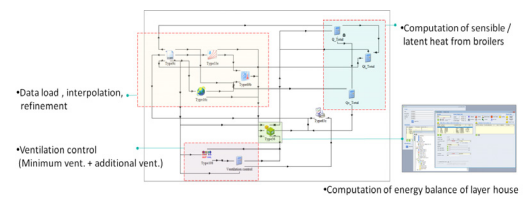


Fig. 3. Designed BES simulation model for layer house

3. 결과 및 고찰

3.1 산란계 시설 내부 온도·에너지 부하 산정

Fig. 4는 국내 산란계 사육수수가 가장 많은 전라남도 무안지역에서 A+21K 규격 적용 시(96,000 수), 산란계 사육시설에 대하여 샌드위치 패널의 벽체 두께를 100 mm, 지붕 두께를 180 mm 적용하였을 때, 각각 2018, 2020년의 외기 온도 및 계산된 시설 내부 온도의 시계별 변화 모의 결과이다. 육계 사육시설을 대상으로 BES 해석을 수행한 [3]의 결과와 유사하게, 일반적인 국내 사계절 기후 변화 패턴을 보였다. 시설 내부 온도는 산란계 닭으로부터 발생하는 현열, 잠열 발생량에 의해 외기 온도보다 높은 값을 보이며, 두 변수 간 차이는 하절기보다 동절기에 두드러지게 나타났다. 본 연구에서는 냉·난방 에너지 부하 규모 산정을 위하여 냉·난방 장치가 설치되지 않은 것으로 가정 후 BES 해석을 실시하였는데, 그에 따라 무더위가 발생하는 7, 8월 및 9월에 걸쳐 시설 내부 온도가 30℃에 육박하는 추이를 보이는 것으로 나타나 냉방 설비의 설치 및 운영이 필수적으로 요구될 것으로 판단된다. 특히 기상관측 이래 유례없는 폭염일수를 기록하였던 2018년 기상조건 적용 시 산란계 권장 생육 온도 범위인 18~24℃를 상회하는 일수의 비율이 매우 크게 나타났다.

Fig. 5는 위와 동일 조건에 대한 난방 및 냉방 부하 산출 결과이다. 산란계 생산성을 고려한 권장 생육 온도 구간 및 실제 농장에서의 냉·난방 운영 상황을 고려하여 시설 내부 온도가 17℃ 이하로 떨어지면 난방을 실시하고, 27℃를 상회할 경우 냉방을 실시하는 것으로 가정하여 각 부하 값을 산출하였다. 일반적인 국내 기후패턴과 유사하게 동절기로 분류되는 1, 2, 12월에 난방 부하가 집중되며 6월부터 9월까지 4개월에 걸쳐 냉방 부하가 발생하되 주로 8월에 집중되는 것으로 나타났다. 특히 기록적인 폭염을 기록하였던 2018년 기후 조건 적용 시 상대적으로 매우 높은 냉방 부하 값이 요구되는 것으로 나타났다.

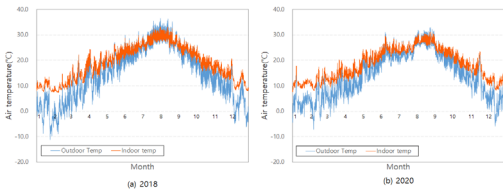


Fig. 4. BES computed indoor temperature and outdoor temperature for A+21K, 100 mm of wall thickness and 180 mm of roof thickness conditions when (a) 2018 and (b) 2020 weather data of Muan-gun, Jeollanam-do was used

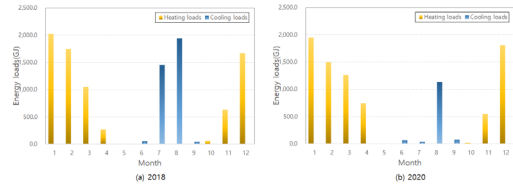


Fig. 5. BES computed heating and cooling loads for A+21K, 100 mm of wall thickness and 180 mm of roof thickness conditions when (a) 2018 and (b) 2020 weather data of Muan-gun, Jeollanam-do was used

3.2 단열 성능에 따른 기간 냉·난방 부하 산정

Table 3은 전라남도 무안군에 A+21K 규격 적용 시 샌드위치 패널의 벽체 및 지붕 두께 조건에 따른 기간 난방·냉방 부하 산출 결과이다. Table 3에 명시된 에너지 부하 값은 10년간의 기상 자료 적용 시 모의 결과에 대한 평균값이다. 무안군 지역에 75 mm 벽체 두께, 130 mm 지붕 두께를 적용하였을 때, 연중 발생한 기간 난방 부하의 크기는 약 8,520 GJ로 산출되었으며 동일 벽체 조건에서 지붕 두께를 180 mm, 220 mm로 변경하였을 때 각각 2.4%, 3.5% 감소한 8,318 GJ, 8,218 GJ의 값을 보이는 것으로 나타났다. 육계 사육시설을 대상으로 한 [3]의 연구 결과 대비 난방 부하 감소 폭이 상대적으로 작게 나타났는데 이는, 육계의 경우 평사 사육을 실시함에 따라 바닥의 계군에서만 현열·잠열이 발생하는데 반하여, 산란계의 경우 케이지 사육을 실시함에 따라(9단 케이지) 9개의 각 케이지 층별로 현열 및 잠열에 대한 발생원이 위치함에 따라 면적 혹은 체적 대비 내부 에너지 발생량이 커지기 때문으로 판단할 수 있다. 75 mm 벽체 두께, 130 mm 지붕 두께 적용 조건 대비 단열 성능을 가장 높게 설정한 190 mm 벽체 두께, 220 mm 지붕 두께 적용 시에는 기간 난방부하의 크기가 약 7,299 GJ로 전자 조건 대비 약 14.3% 감소한 것으로 나타났다.

동일 조건에 대한 기간 냉방 부하를 살펴보면, 단열 성능이 증가함에 따라 부하 값은 작아지며, 난방 부하의 평균적인 감소폭 대비 그 값의 크기는 상대적으로 적게 분석되었다. 예를 들어, 180 mm 벽체 두께, 130 mm 지붕 두께 설정 시 연중 전 기간에 걸쳐 발생한 기간 냉방 부하 크기는 1,733.30 GJ로 동일 벽체 두께에 대하여 지붕 두께를 180 mm, 220 mm로 각각 증가시킬 경우, 0.67%, 1.04% 감소한 1,721.66 GJ, 1,715.35 GJ 규모의 값을 갖는 것으로 산출되었다.

Table 3. BES computed periodic heating and cooling loads for A+21K condition according to wall and roof thickness at Muan-gun, Jeollanam-do

Wall thickness (mm)	Roof thickness (mm)	Heating loads (Gj)	Cooling loads (Gj)
75	130	8,519.744	1,701.657
	180	8,317.532	1,689.891
	220	8,218.032	1,683.502
100	130	8,162.781	1,714.482
	180	7,957.653	1,702.691
	220	7,856.755	1,696.317
135	130	7,660.662	1,713.433
	180	7,465.313	1701.612
	220	7,368.789	1695.438
190	130	7,611.439	1,733.304
	180	7,401.798	1,721.66
	220	7,298.685	1,715.345

3.3 에너지 부하 예측을 위한 회귀모델 도출

BES 해석을 통해 도출한 각 지역별 산란계 사육시설의 단열 성능별 기간 냉·난방 부하 산출 결과를 토대로 각 값의 예측을 위한 회귀모델을 도출하였다. 각 연구대상 지역을 나타내기 위한 변수로 지역별 위도(latitude)와 경도(longitude) 값을 선정하였다. 기간 난방 부하에 대한 회귀 모형 도출 과정에서, 모든 설계 변수에 대하여 유의한 것으로 산정되었으나(p<0.05), 기간 난방 부하에 대한 회귀 모형 도출 과정에서 지붕 및 벽체 샌드위치 패널 두께에 대해 유의하지 않은 것으로 나타났다. 일반적인 회귀 모형 도출 시 설명력이 떨어지는 변수에 대해 후진제거법을 수행하고 실시 전·후의 회귀 모델에 대한 ANOVA 분석을 통해 제거된 변수의 타당성을 시험하나, 본 연구를 통해 도출하고자 하는 회귀 모형은 향후 지역별 단열 설계 기준에 따른 에너지 부하 자가진단 및 예측 프로그램 개발을 위한 기초자료로 활용될 예정으로, 컨설팅을 위한 프로그램 목적성 및 육계를 대상으로 한 실험연구 결과를 고려하여 필요에 따라 최종 설계 변수를 유지하였다[3]. 최종 도출된 회귀 모형은 지역(위도, 경도), 건물의 체적, 사육수수, 벽체 및 지붕의 샌드위치 패널 두께를 독립변수로 갖는다. 기간 난방 및 냉방 부하 예측을 위한 회귀 모형의 조정결정계수는 각각 0.93, 0.86 수준으로 나타났다. 개발된 각 회귀 모형은 농가 시설 제원 및 사육정보 입력값에 따라 에너지 부하를 예측하고 자가진단하기 위한 프로그램의 주요 알고리즘으로 활용될 예정이다.

$$PHL = \frac{lat.^{3.872} \times long.^{2.780} \times \left(\frac{Head}{Volume}\right)^{4.289}}{e^{24.695} \times THK_r^{0.088} \times THK_w^{0.158}} \quad (5)$$

$$PCL = \frac{e^{66.423} \times \left(\frac{Head}{Volume}\right)^{4.245} \times THK_w^{0.017}}{lat.^{0.622} \times long.^{13.217} \times THK_r^{0.023}} \quad (6)$$

Where, *PHL* denotes periodic heating load(Gj), *lat.* denotes latitude of region(°), *long.* denotes longitude of region(°), *Head* denotes number of layers, *Volume* denotes volume of layer house(m³), *THK_r* denotes thickness of sandwich pannel for roofs(mm), *THK_w* denotes thickness of sandwich pannel for walls (mm), *PCL* denotes periodic cooling load(Gj)

4. 결론

본 연구에서는 농림축산식품부의 축사표준설계도에 고시된 산란계 사육시설 모델을 대상으로 BES 기법을 이용하여 지역, 기상, 건물제원, 사육수수, 벽체 및 지붕의 단열 특성치에 따른 기간 난방 및 냉방부하를 산출하였다. 모의 결과, 단열 특성치 개선에 따라 난방 부하의 절감 폭 보다 냉방 부하의 절감 폭이 상대적으로 낮게 나타났다. 그러나 실제 농가에서는 유류비 부담 등으로 인해 계란 생산성이 떨어지는 상황을 감수하고 동절기 난방을 실시하지 않는 경우도 많은 반면, 여름철의 경우 온도 관리의 실패가 폐사로 직결되는 경우가 많아 냉방 관리에 한해서는 비용을 감수하는 경우가 많다. 이러한 실제 농가의 냉난방 운영 현황 및 단열개 개선에 소요되는 재료 비용 등 복합적인 분석을 토대로 향후 농가 사육환경 개선을 위한 의사결정지원에 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 그러나, 2025년 9월부터 산란계 사육밀도가 동물 복지를 고려하여 현행 마리당 0.05 m²에서 0.075 m² 수준으로 조정되며, 이는 전체 사육수수의 감소로 이어지고, 에너지 측면에서 시설 내부 현열 및 잠열 에너지 발생원의 감소로 직결되는 문제이므로 난방 부하의 크기가 현재보다 증가할 것으로 추정될 수 있다. 향후 사육밀도 변화에 따른 에너지 부하의 변화 수준 및 그로 인한 경제성 파급효과에 대한 분석이 필요할 것으로 판단된다. 본 연구를 통해 도출한 조건별 기간 난방 및 냉방 부하 예측을 위한 회귀 모형은 향후 축종별 에너지 부하 자가진단 및 예측을 위한 서비스 모델 개발에 활용될 예정이다.

References

- [1] Agricultural Survey. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA). [Internet]. c2023, Available From: <https://lib.mafra.go.kr/skyblueimage/31098.pdf> (accessed Aug. 15, 2023)
- [2] Agricultural Prediction 2023. Korea Rural Economic Institute (KREI). [Internet]. c2023, Available From: <https://library.krei.re.kr/pyxis-api/1/digital-files/3a5a1dd0-69f5-4dd2-8f5f-3d2454eecd0c> (accessed Aug. 15, 2023)
- [3] K. S. Kwon, K. Y. Yang, J. B. Kim, D. H. Jang, T. H. Ha, S. R. Jeon, "Evaluation of energy loads for broiler-standard design model using a building energy simulation method", *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, Vol.65, No.1, pp27~39, 2023. DOI: <https://doi.org/10.5389/KSAE.2023.65.1.027>
- [4] K. S. Kwon, T. H. Ha, H. C. Choi, J. B. Kim, J. Y. Lee, J. H. Jeon, K. Y. Yang, R. W. Kim, U. H. Yeo, S. Y. Lee, "Evaluation of thermal stress of poultry according to stocking densities using numerical BES model", *Journal of Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.20, No.1, pp456~463, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2019.20.1.456>
- [5] 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, "Analysis of heating load of a naturally ventilated broiler house using BES simulation", *Journal of Korean Society of Agricultural Engineers*, Vol.50, No.1, pp39~47, 2008. DOI: <https://doi.org/10.5389/KSAE.2008.50.1.039>
- [6] J. C. Jang, E. C. Kang, E. J. Lee, "Peak cooling and heating load and energy simulation study for a special greenhouse facility", *Proceedings o Journal of Korean Solar Energy Society*, Vol.29, No.1, pp72~76, 2009.
- [7] E. Alvarez-Sánchez, G. Leyva-Retureta, E. Portilla-Flores, A. López-Velázquez, "Evaluation of thermal behavior for an asymmetric greenhouse by beans of dynamic simulations", *DYNA*, Vol.81, No.188, pp152~159, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.15446/dyna.v81n188.41338>
- [8] T. H. Ha, I. B. Lee, K. S. Kwon, S. W. Hong, "Computation and field experiment validation of greenhouse energy load using building energy simulation model", *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, Vol.8, No.6, pp116~127, 2015. DOI: <https://doi.org/10.3965/i.iabae.20150806.2037>
- [9] T. H. Ha, K. 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, I. B. Lee, "Estimation of THI index to evaluate thermal stress of animal occupied zone in a broiler house using BES method", *Journal of Korean Society of Agricultural Engineers*, Vol.60, No.2, pp75~84, 2018. DOI: <https://doi.org/10.5389/KSAE.2018.60.2.075>
- [10] D. Mazzeo, N. Matera, C. Cornaro, G. Oliveti, P. Romagnoni, L. De Santoli, "EnegyPlus, IDA ICE and TRNSYS predictive simulation accuracy for building thermal behaviour evaluation by using an experiment vampaign in solar test boxes with and without a PCM module", *Energy Build*, Vol.212, No.109812, pp1~30, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109812>
- [11] Livestock Standard Design. Ministry of Agricultural, Food and Rural Affairs (MAFRA) and Nonghyup (NH) [Internet]. c2022, Available From: <https://livestock.nonghyup.com/dtar/blupr.do> (accessed Jan. 2., 2022)
- [12] Statistics Korea. [Internet]. KOSTA, c2023. Available From: <http://www.kostat.go.kr> (accessed Jan., 2, 2022)
- [13] S. Pedersen, K. Sallvik, "4th Report of Working Group on Climatization of Animal Houses - Heat and moisture production at animal and house levels", CIGR, December 2022.
- [14] Design standard of building for efficient energy use. Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT). [Internet]. c2023, Available From : <http://www.molit.go.kr/portal.do> , <https://www.law.go.kr/행정규칙/건축물의에너지절약설계기준> (accessed Sep. 16, 2022)
- [15] Weather data portal. Korea Meteorological Administration (KMA). [Internet]. c2022, Available from: <https://data.kma.go.kr/cmmn/main.do> (accessed Sep. 16, 2022)
- [16] K. S. Kwon, J. B. Kim, B. H. Kim, D. H. Jang, V. Pann, T. H. Ha, "Numerical evaluation of energy load for mechanically ventilated broiler houses in South Korea using a building energy simulation model". *Animals* (In review)

권 경 석(Kyeong-Seok Kwon)

[정회원]



- 2010년 8월 : 서울대학교 지역시 스템공학과 (공학석사)
- 2016년 8월 : 서울대학교 지역시 스템공학과 (공학박사)
- 2017년 2월 ~ 현재 : 농촌진흥청 국립축산과학원 농업연구사

<관심분야>

시설환경, 대기환경, 전산유체역학, 스마트팜

장 동 화(Dong-Hwa Jang)

[정회원]



- 2020년 2월 : 전북대학교 농업기계공학과 (공학석사)
- 2023년 2월 ~ 현재 : 농촌진흥청 국립축산과학원 농업연구사

<관심분야>

축산 스마트팜, 영상처리, 인공지능

김 중 복(Jong-Bok Kim)

[정회원]



- 2006년 9월 : UCLA Electrical Eng. (공학석사)
- 2022년 8월 : 전북대학교 컴퓨터공학과 (공학박사)
- 2006년 10월 ~ 2018년 1월 : LG 이노텍 책임연구원
- 2018년 2월 ~ 현재 : 농촌진흥청 국립축산과학원 농업연구관

<관심분야>

축산 스마트팜, 축산 시설환경, 인공지능, 표준화

판 반 뎃(Vandet Pann)

[정회원]



- 2022년 8월 : 전북대학교 컴퓨터학과 (공학석사)
- 2023년 3월 ~ 현재 : 농촌진흥청 국립축산과학원 전문연구원

<관심분야>

오디오 신호처리, 이미지 처리, 비디오 처리

김 병 현(Byeonghyeon Kim)

[정회원]



- 2017년 2월 : 충남대학교 축산학과 (농학석사)
- 2019년 8월 : 충남대학교 축산학과 (농학박사)
- 2019년 9월 ~ 2023년 1월 : 국립축산과학원 전문연구원
- 2023년 2월 ~ 현재 : 농촌진흥청 국립축산과학원 농업연구사

<관심분야>

축산 스마트팜, 축산 데이터, 단위동물 영양·사양

하 태 환(Taehwan Ha)

[정회원]



- 2014년 2월 : 서울대학교 지역시 스템공학과 (공학석사)
- 2018년 2월 : 서울대학교 지역시 스템공학과 (공학박사)
- 2019년 1월 ~ 2023년 2월 : 농촌진흥청 국립축산과학원 농업연구사
- 2023년 3월 ~ 현재 : 충남대학교 지역환경토목학과 조교수

<관심분야>

시설환경, 대기환경, 전산유체역학, 스마트팜