

BES 수치모델을 이용한 사육 밀도별 가금류 고온 스트레스 평가

권경석¹, 하태환^{2*}, 최희철¹, 김종복¹, 이준엽¹, 전중환¹, 양가영¹, 김락우², 여옥현², 이상연²
¹국립축산과학원 축산환경과, ²서울대학교 생태조경·지역시스템공학부

Evaluation of thermal stress of poultry according to stocking densities using numerical BES model

Kyeong-seok Kwon¹, Tahwan Ha^{2*}, Hee-chul Choi¹, Jong-bok Kim¹, Jun-yeob Lee¹,
Jung-hwan Jeon¹, Ka-young Yang¹, Rack-woo Kim², Uk-hyeon Yeo², Sang-yeon Lee²

¹Animal Environment Division, National Institute of Animal Science

²Rural Systems Engineering, Seoul National University

요약 가축 사육 시설 내부의 온도, 습도 등과 같은 미기상 요소는 환기, 냉방, 난방, 단열, 가축의 현열 및 잠열과 같은 에너지 발생 등 다양한 요소의 복합적인 영향을 받는다. 본 연구에서는 위와 같은 다양한 변수에 따른 시설 내부의 에너지 흐름 및 기작을 구현하기 위하여 BES 수치해석 기법을 활용하였다. BES 수치해석 모델 및 THI 지수 개념을 이용하여 국내 주요 지역별 가금 사육 시설 내부의 고온 스트레스 발생 정도를 정량적으로 산정하고자 하였다. 또한, 최근 동물복지 사육 이슈에 따라, 현행 기준 및 동물복지를 고려한 사육 밀도 적용 시, 시설 내부의 THI 지수를 비교 분석하였으며, 그 결과, 환절기 시기의 경우 사육밀도 감소에 따른 유의한 고온 스트레스 감소 효과가 도출되었으나($p < 0.05$), 하절기의 경우 큰 차이를 보이지 않아($p > 0.05$) 지역별 적정 냉방시설의 설비 마련이 시급한 것으로 나타났다. 전라북도 익산시의 경우, 사육밀도 감소에 따라 고온 스트레스 발생 시간 기준, 총 252시간의 이득이 있는 것으로 산출되었다.

Abstract Micro climatic conditions within the livestock facility are affected by various factors such as ventilation, cooling, heating, insulation and latent and sensible heat generation from animals. In this study, numerical BES method was used to simulate energy flow inside the poultry house. Based on the BES method and THI concept, degree of thermal stress of poultry was evaluated according to the locations in South Korea. Comparison of THI values within the poultry house was also carried out according to the stocking densities to reflect recent animal-welfare issue. Significant decrease in thermal stress of poultry was observed when the stocking density of 30 kg/m² was applied in the change of the seasons($p < 0.05$) however, there was no statistically significant difference in summer season($p > 0.05$). It meant that installation of proper cooling system is urgently needed. For Iksan city of Jeollabuk-do province, total 252 hours of profit for thermal stress was found according to decrease in the stocking density.

Keywords : Broiler, Numerical-Model, Stocking-Density, Thermal-Stress, THI

1. 서론

기후변화로 인하여 전지구의 폭염 및 열대야일수가 꾸준히 증가하고 있는 가운데, 2018년 국내 평균 폭염

일수는 31.2일로 무려 111년만의 무더위를 기록하였다 [1]. 이는 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)의 RCP 8.5 시나리오에서 예측하는 21세기 전반기 10.2일의 폭염일수를 이미 크게 상회한 수치이다

본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호 : PJ01206703)의 지원에 의하여 이루어진 것임

*Corresponding Author : Taehwan Ha(Seoul National Univ.)

Tel: +82-02-880-4588 email: crown850@snu.ac.kr

Received October 25, 2018

Revised (1st December 11, 2018, 2nd December 31, 2018)

Accepted January 4, 2019

Published January 31, 2019

[2].

한편, 축산분야의 경우 2018년 폭염발생으로 인한 가축 폐사 두수는 전체 6,871천 마리 수준으로 2012년 총 1,867천 마리보다 약 368% 증가한 수준이었다[3]. 국내 농업분야 생산액 기준 4위를 차지하고 있는 닭(23.8천억원)[4]의 경우 6,367천수로 가장 높은 폐사수수를 기록하였다. 닭은 신체 구조적으로 몸 전체가 깃털로 덮여 있고 땀샘이 미발달하여 폭염 노출 시 고온스트레스와 함께, 사료 섭취량 감소, 계란 생산량 저하, 면역기능 저하 및 폐사율 증가 등이 야기될 수 있다[5, 6]. 가축의 고온 노출에 따른 스트레스를 정량화하기 위하여 THI(Temperature-Humidity Index) 지수가 개발되어 다양한 연구가 수행된 바 있다[7-10]. 국내의 경우 IPCC의 RCP 시나리오에 따른 외부 온도, 습도 자료를 이용하여 축종별 미래 THI 지수 예측을 실시한 바 있으나[11], 주로 개방된 공간에서 사육을 실시하여 시설 내·외부 공기 교환이 빈번한 젖소, 한우와 달리, 닭의 경우 무창, 반무창 사육 시설 등과 같이 외부와 전체 혹은 일부 공간에 대하여 차단된 시설 내부에서 사육을 실시하기 때문에 시설 외부의 기온 및 상대습도에 기반한 THI 지수 산정에는 많은 한계가 존재한다[12]. 이에, 최근 건축물 내부의 에너지 흐름 모의 및 부하 산정을 위해 활용되는 동적에너지해석기법을 이용하여 강제환기식 무창 육계사를 대상으로 외부 환경 조건에 따른 시설 내부의 미기상을 예측할 수 있는 수치해석 모델을 설계하고, 이를 이용해 시설 내부 THI지수 산출을 실시하기 위한 연구가 수행된 바 있다[12].

본 연구에서는 최근 이슈가 되는 동물복지 개념의 도입과 관련하여, 강제환기식 무창 육계사를 대상으로 BES 수치해석 모델 설계를 실시하고 이를 이용하여, 현행 축산법에 따른 육계 사육 밀도부터, 동물복지 기준에 따른 사육 밀도까지, 조건별 국내 주요 지역별 가축 고온 스트레스 발생 수준 및 냉방 부하 수준을 모의하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 실험대상 지역 및 시설

육계사 내부 고온 스트레스 평가를 위한 THI 지수 산출을 위한 연구 대상 지역은 국내 주요 행정구역별 각

구역 내 육계 사육 수수가 가장 많은 시군을 대상으로 선정하였다[13]. 안성시(182만수, 경기), 춘천시(87만수, 강원), 제천시(127만수, 충북), 부여군(401만수, 충남), 익산시(265만수, 전북), 영암군(188만수, 전남), 상주시(176만수, 경북), 창녕군(146만수, 경남), 제주시(142만수, 제주)가 연구 대상지역으로 선정되었다.

연구대상 시설은 농림축산식품부의 축사 표준설계도 중 육계사육시설을 기준으로 선정하였다[3]. 강제환기식 무창사육시설 형태로 총 길이 114.0 m, 폭 14.0 m, 측고 3.3 m, 등고 5.4 m 크기이다[3].

2.2 Building Energy Simulation 기법

BES는 전달함수법에 근거하여 대상 공간의 열 취득 및 손실과 관련되는 복사, 대류, 축열, 방열 등을 복합적으로 고려하여 시계열적인 에너지 흐름을 산출하기 위한 동적 해석 기법이다. 일반 주거, 사무 건축물에서부터 최근 농업시설의 에너지 흐름 모의 및 부하 산정에 활용되고 있다[12, 14-16]. 본 연구에서는 BES 해석 프로그램 중 TRNSYS(TESS, LLC., USA)를 이용하여, 계사 내·외부 환경 조건에 따른 에너지 발생 및 손실 구현을 통해 닭의 고온 스트레스를 계산하고자 하였다.

2.3 수치해석 환경조건

2.3.1 닭의 현열 및 잠열 발생량

닭은 중량과 온도에 따라 주변으로 발산하는 현열 및 잠열 발생량이 상이하다. 이에 따라 [17]이 제시한 닭의 중량 및 주변 온도에 따른 현열 및 잠열 발생 수식 및 [18]이 제시한 국내 육계의 일령별 중량 경험식을 토대로 다음과 같은 조건별 현열(ϕ_s) 및 잠열(ϕ_l) 보정식을 도출하고, 이를 BES 수치해석 모델의 경계조건에 반영하였다. BES 모델로부터 계산되는 시계열별 내부 온도 및 일령조건 등에 따라 동적으로 경계조건이 업데이트될 수 있도록 모델을 구성하였다.

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

$$\phi_t = \frac{10.62}{1000} m^{0.75} [(1000 + 20(20 - t))] = \phi_s + \phi_l$$

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

여기서, m 은 닭의 중량(kg), d 는 닭의 일령(day), ϕ_t 는 닭으로부터 발생하는 전체 에너지 발생량(W), t 는 공기 온도(°C), ϕ_s 는 현열 발생량(W), ϕ_l 은 잠열 발생량(W)이다.

2.3.2 수치해석 연산조건

연구 대상 기간의 경우 2017년을 대상으로 고온스트레스가 발생될 것이라 예상되는 5월부터 9월까지로 설정하였으며 해당 기간 동안 총 4차례 28일간 육계 사육을 실시하고 출하 후 14일간 휴지기를 갖는다는 전제하에 수치해석 모델 설계 및 해석을 실시하였다(Table 1). 이때 기상자료의 경우 기상청에서 제공하는 2017년 전체 기간의 외부 온도, 습도, 일사량, 지면 온도 등의 자료를 입력자료로 구축하였다.

Table 1. Designed rearing periods

Period 1	May ~ 28. May
Period 2	11. June ~ 9. July
Period 3	22. July ~ 20. August
Period 4	4. September ~ 1. October

육계사 건축물의 바닥면, 벽체, 지붕 시공법 및 각 건설재료의 경우 표준설계도[3]에 고시된 내용을 기준으로 수치해석 모델에 반영하였다.

일령별, 내·외부 온도 조건별 설계환기량은 국내 H계열사에서 권고하는 환기 운영 권장표를 토대로, 경계조건이 동적으로 작동되도록 모델을 설계하였다[12]. 단, 시뮬레이션 해석 시 침기에 의한 영향은 없으며, 향후 지역별 기후 조건에 따른 적정 냉방시스템 용량 산정을 목적으로 쿨링패드 등과 같은 냉방시설은 설치되어 있지 않다고 가정하였다.

가축 사육밀도의 경우, 현행 축산법에 명시된 39 kg/m²[19]부터 동물복지를 고려한 30 kg/m²[20]에 대하여, 연구 대상 시설의 사육 면적 1,554 m²을 고려하여 전체 사육 수수를 결정하였다(Table 2).

Table 2. Designed stocking densities

Stocking density	Number of broilers
39 kg/m ²	48,000 heads
36 kg/m ²	44,500 heads
33 kg/m ²	41,000 heads
30 kg/m ²	37,000 heads

앞서, 언급한 연구 대상 각 지역의 외부 기상자료, 닭으로부터의 현열 및 잠열 발생량, 벽체로부터의 열 획득 및 손실, 환기에 의한 열 손실 기작 등을 복합적으로 고

려하여 실시간 계사 내부의 기온 및 상대습도를 1초 단위로 계산하였으며, 도출된 자료를 토대로 고온 스트레스 평가를 위한 THI 지수를 계산하였다. THI 지수 78을 한계 THI 지수로 설정하였으며[9], 해당 값을 초과하는 시간 및 일수를 도출하였다.

$$THI = (1.8 \times t + 32) - \left[\frac{(0.55 - 0.0055 \times RH)}{(1.8 \times t - 26.8)} \right]$$

여기서, RH 는 상대습도(%)이다.

3. 결과 및 고찰

국내 주요 지역별 외부 기상, 건축물 특성, 환기 운영 알고리즘, 가축의 에너지 발생량 등을 복합적으로 고려하여, 연구 대상 사육기간(총 112일, 2,688시간)동안의 사육밀도별 하절기 시설 내부 온·습도 변화를 모의하고 이를 통해 THI 지수, 한계 THI 지수 초과 시간을 계산하였다. Fig. 1은 BES 수치해석 모델을 이용하여 모의한 전라북도 익산시의 8월 2일부터 6일까지의 사육밀도에 따른 시간별 THI 지수 추이이다. 해당 기간의 경우, 시설 내부의 축열효과로 인하여 내부 온도가 동일기간 외부기온보다 최대 9.3℃ 높게 모의되었다. Fig. 1에 도시된 바와 같이, 해당 기간 동안 현행 사육 밀도(39 kg/m²) 적용 시, 동물복지 고려 사육밀도(30 kg/m²) 적용 시보다 다소 높은 THI 지수 경향을 보이거나 전체적인 추이는 유사한 정성적인 형태를 보이는 것으로 나타났다. 해당 기간의 경우, 모든 사육밀도 조건에 대하여 한계 THI 지수를 크게 상회하는 것으로 나타났다.

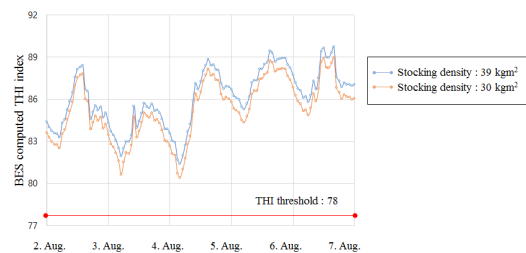


Fig. 1. BES computed THI trends according to stocking densities(2.~7. Aug., 2017, Iksan, Jeollabuk-do)

현행 사육밀도 적용 시, 9개 대상 지역 중 한계 THI 지수를 초과하는 시간은 제주, 익산, 영암, 창녕, 부여, 춘천, 상주, 제천, 안성 순으로 나타났으며 이는 연구대

Table 3. BES computed Hours and its ratio over THI threshold according to research area and stocking densities

	Research area	Stocking density (kg/m ²)							
		39 kg/m ²		36 kg/m ²		33 kg/m ²		30 kg/m ²	
		hr.(hr)	ratio(%)	hr.(hr)	ratio(%)	hr.(hr)	ratio(%)	hr.(hr)	ratio(%)
Period 1	Anseong	161	24.0	150	22.3	147	21.9	70	10.4
	Chuncheon	234	34.8	231	34.4	223	33.2	175	26.0
	Jecheon	161	24.0	149	22.2	125	18.6	50	7.4
	Buyeo	219	32.6	201	29.9	193	28.7	132	19.6
	Iksan	274	40.8	258	38.4	233	34.7	155	23.1
	Yeongam	278	41.4	258	38.4	248	36.9	178	26.5
	Sangju	228	33.9	201	29.9	201	29.9	130	19.3
	Changnyeong	292	43.5	274	40.8	262	39.0	227	33.8
Period 2	Jeju	262	39.0	241	35.9	221	32.9	175	26.0
	Anseong	498	74.1	482	71.7	472	70.2	432	64.3
	Chuncheon	600	89.3	596	88.7	583	86.8	556	82.7
	Jecheon	486	72.3	475	70.7	463	68.9	438	65.2
	Buyeo	551	82.0	541	80.5	533	79.3	521	77.5
	Iksan	585	87.1	582	86.6	568	84.5	542	80.7
	Yeongam	584	86.9	582	86.6	576	85.7	569	84.7
	Sangju	539	80.2	532	79.2	528	78.6	499	74.3
Period 3	Changnyeong	586	87.2	580	86.3	573	85.3	559	83.2
	Jeju	610	90.8	610	90.8	602	89.6	587	87.4
	Anseong	665	99.0	663	98.7	660	98.2	656	97.6
	Chuncheon	672	100.0	672	100.0	672	100.0	672	100.0
	Jecheon	659	98.1	658	97.9	647	96.3	638	94.9
	Buyeo	671	99.9	671	99.9	671	99.9	671	99.9
	Iksan	672	100.0	672	100.0	672	100.0	672	100.0
	Yeongam	668	99.4	668	99.4	668	99.4	668	99.4
Period 4	Sangju	665	99.0	663	98.7	662	98.5	663	98.7
	Changnyeong	668	99.4	669	99.6	669	99.6	670	99.7
	Jeju	672	100.0	672	100.0	672	100.0	672	100.0
	Anseong	264	39.3	251	37.4	244	36.3	212	31.5
	Chuncheon	346	51.5	341	50.7	333	49.6	315	46.9
	Jecheon	285	42.4	274	40.8	268	39.9	217	32.3
	Buyeo	428	63.7	402	59.8	378	56.3	368	54.8
	Iksan	481	71.6	463	68.9	440	65.5	421	62.6
Period 4	Yeongam	472	70.2	466	69.3	444	66.1	421	62.6
	Sangju	366	54.5	360	53.6	345	51.3	311	46.3
	Changnyeong	426	63.4	394	58.6	373	55.5	365	54.3
	Jeju	562	83.6	548	81.5	518	77.1	482	71.7

hr. : hours over THI threshold

Ratio : hours over THI threshold / total rearing hours (%)

상 전체 사육기간 2,688 시간 대비 각각 78.3, 74.9, 74.5, 73.4, 69.5, 68.9, 66.9, 59.2, 59.1%를 차지하고 있는 것으로 나타났다(Table 3). 이는 쿨링패드 등과 같은 냉방시설이 설치되어 있지 않을 경우, 하절기 사육기간 절반 이상에 걸쳐 닭의 고온 스트레스가 발생할 수 있어 생산성에 영향을 미칠 수 있을 것이라 추정할 수 있다. 실제로, 상당수 육계 사육 농가가 고가의 설치 비용 등을 이유로 냉방시설을 설치하지 않고 있어, 관련 대책 마련의 시급함을 시사하는 결과로 볼 수 있다.

사육밀도를 현행 기준에서, 동물복지 고려 기준까지

감소시킬 경우 환절기로 분류될 수 있는 Period 1, 4의 경우 한계 THI 지수가 유의하게 감소하는 것으로 나타났다($p<0.05$). 예를 들어, 안성시의 경우, Period 1 기간 시, 초과시간이 161시간에서 70시간으로 약 57% 감소하는 것으로 나타났으며, 제주시의 경우 262시간에서 175시간으로 33% 감소하는 것으로 산출되었으며(Fig. 2), Period 1의 전국 평균 감소 효과는 약 40.9%, Period 4는 약 15.0%로 나타났다. 이는 하절기 전후 기간의 경우 사육밀도의 감소를 통해서도 고온 스트레스 발생 저감에 어느 정도 기여를 할 수 있는 것으로 판단할 수 있

다. 그러나 본격적인 하절기로 분류되는 Period 2, 3의 경우 안성, 춘천을 제외한 대부분의 지역에서 사육밀도에 따라 초과시간의 두드러진 차이가 없는 것으로 나타났다. 이는, 앞서 언급한 바와 같이, 국내 하절기 기후 특성상 냉방시설이 설치되지 않을 경우 대부분의 지역에 걸쳐 시설 내부에서 고온 스트레스의 발생이 불가피함을 의미하는 것으로 지역에 따라, 적정 대책 마련의 수립이 시급함을 시사한다.

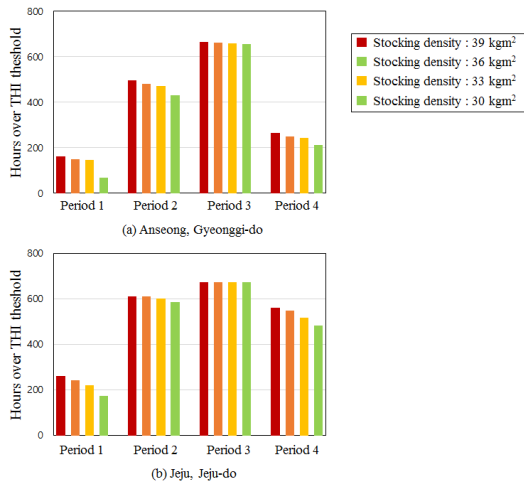


Fig. 2. BES computed hours over THI threshold at (a) Anseong and (b) Jeju according to period

Fig. 3은 제주도를 제외한 내륙지역 중 육계의 고온 스트레스가 가장 극심할 것으로 예측된 익산 지역의 현행 기준 및 동물복지 고려 시 사육밀도에 따른 구간별 THI 지수 산출 결과이다. THI 지수가 72 이하일 경우, 고온 스트레스가 없는 것으로, 72~78 사이의 값을 가질 경우 경미한 수준의 스트레스가 발생하는 것으로 보고된 바 있는데[9] 현행 사육 밀도 적용 시, 해당 범위의 THI 지수 값을 보인 시간은 약 646시간으로 전체 연구대상 사육 시간 대비 24%의 값을 보이는 것으로 나타났다. 반면, 동물복지를 고려한 사육밀도 적용 시, 948시간이 해당 구간 조건을 만족하는 것으로 나타나 현행 기준 보다 11% 높은 수준을 보이는 것으로 산출되었다. 심한 고온스트레스가 발생할 것으로 예상되는 78~89 범위의 값은 현행 기준 값 적용 시 1,992시간, 동물복지 고려 시, 1,780시간으로 동물복지 고려 시, 212시간의 이득이 있는 것으로 나타났다. 매우 심한 고온스트레스 발생 시

기로 예상되는 89~98 구간에 대해서도, 현행 기준 50시간에서 동물복지 고려 시 10시간으로 대폭 감소하는 것으로 산출되었다.

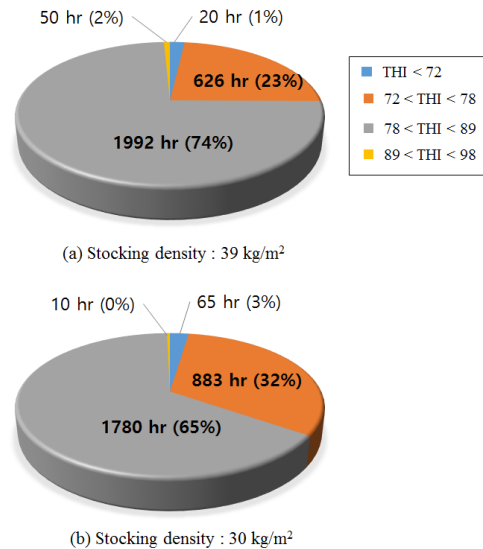


Fig. 3. BES computed THI according to stocking density at Iksan

4. 결론

BES 수치해석 모델을 이용하여 사육밀도별 국내 육계 사육시설의 고온스트레스 발생 가능성을 모의한 결과, 현행 사육 밀도 기준에서, 동물복지 고려 사육밀도 수준으로 사육수수를 제한할 경우, 하절기 전후 환절기 시기에 유의한 차이를 보여 사육밀도 감소를 통해 고온 스트레스 발생 정도를 경감시킬 수 있는 것으로 산정되었다. 예를 들어, 제주를 제외한 내륙지역 중 고온 스트레스가 가장 극심할 것으로 예측된 익산 지역의 경우, 한계 THI 초과 시간은 전체 사육기간 대비 74.9%를 차지하였으며 이때, 연간 극심한 고온스트레스를 유발할 수 있는 78 이상의 값이, 현행 기준 보다 동물복지 고려 시 연구 대상 기간 중 총 222시간의 이득이 있는 것으로 산출되었다.

그러나, 본격적인 하절기가 시작되는 7. 8월의 경우 안성, 춘천을 제외한 대부분의 지역에서 사육밀도 조절에도 불구하고 대부분 한계 THI 지수 이상의 값을 보이는 것으로 나타나 쿨링패드, 안개분무 등과 같은 냉방시

설 등과 관련한 고온 스트레스 대응책 마련이 시급할 것으로 판단되었다. 그러나, 국내 육계 사육시설을 대상으로, 냉방 시설의 적정 시스템 용량 산정이나 운영방법과 관련한 기준이 제대로 마련되어 있지 않은 실정이다. 향후, 본 연구에서 활용한 BES 수치해석 모델을 기반으로 국내 주요 지역별 냉방시스템의 적정 용량 선정 및 단열 재에 대한 가이드라인 수립을 실시할 수 있을 것으로 판단된다.

References

- [1] Korea Meteorological Administration. [Internet]. KMA, c2018, Available From : <http://www.kma.go.kr>. (accessed Sep., 11, 2018)
- [2] Korea Meteorological Administration. Report of prediction climate change in Korea [Internet]. KMA, c2016 Available From : <http://www.kma.go.kr>. (accessed Sep., 11, 2018)
- [3] Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. [Internet]. MAFRA, c2018, Available From : <http://www.mafra.go.kr>. (accessed Sep., 15, 2018)
- [4] National Institute of Animal Science, Livestock Statistics 3.0 [Internet]. NIAS, c2018, Available From : <http://www.nias.go.kr/30/1803.pdf>. (accessed Sep., 15, 2018)
- [5] D. J. Franco-Jimenez, S. E. Scheideler, R. J. Kittok, T. M. Brown-Brandl, L. R. Robeson, H. Taira, M. M. Beck, "Differential effects of heat stress in three strains of laying hens", *Poultry Science*, Vol.16, No.4, pp.628-634, 2007.
DOI: <https://doi.org/10.3382/japr.2005-00088>
- [6] E. Tumova, R. M. Gpus, "Interaction of hen production type, age, and temperature on laying pattern and egg quality", *Poultry Science*, Vol.91, No.5, pp. 1269-1275, 2012.
DOI: <https://doi.org/10.3382/ps.2011-01951>
- [7] NRC, A guide to environmental research on animals. National Academy of Science, 1971.
- [8] S. Dikmen, P. J. Hansen, "Is the temperature-humidity index the best indicator of heat stress in lactating dairy cows in a subtropical environment?", *Journal of Dairy Science*, Vol.92, pp. 109-116, 2009.
DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1370>
- [9] N. R. St-Pierre, B. Cobanov, G. Schnitkey, "Economic losses from heat stress by US livestock industries", *Journal of Dairy Science*, Vol.86, pp. 52-77, 2003.
- [10] R. J. Collier, R. B. Zimbleman, R. P. Rhoads, M. L. Rhoads, L. H. Baumgard, "A re-evaluation of the impact of temperature humidity index (THI) and black globe humidity index (BGHI) on milk production in high producing dairy cows", *Western Dairy Management Conference*, pp. 113-125, 2011.
- [11] National Institute of Animal Science. [Internet]. NIAS, c2016, Available From : <http://www.nias.go.kr>. (accessed Sep., 11, 2018)
- [12] T. 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. 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 the Korean Society of Agricultural Engineers*, Vol.60, No.2, pp. 75-84, 2018.
DOI: <https://doi.org/10.5389/KSAE.2018.60.2.075>
- [13] Statistics Korea, [Internet]. KOSTA, c2018, Available From : <http://www.kosta.go.kr>. (accessed Sep., 16, 2018)
- [14] J. C. Jang, E. C. Kang, E. J. Lee, "Peak cooling and heating load and energy simulation study for a special greenhouse facility", *Journal of the Korean Solar Energy Society*, Vol.29, No.1, pp. 72-76., 2009.
- [15] E. Alvarez-Sanchez, G. Leyva-Retureta, E. Portilla-Flores, A. Lopez-Velazquez, "Evaluation of thermal behavior for an asymmetric greenhouse by means of dynamic simulations", *DYNA*, Vol.81, No.188, pp. 152-159, 2014.
DOI: <http://dx.doi.org/10.15446/dyna.v81n188.41338>
- [16] T. Ha, I. B. Lee, K. S. Kwon, S. W. Hong, "Computational and field experiment validation of greenhouse energy load using building energy simulation model", *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, Vol.8, No.6, pp. 116-127, 2015.
DOI: <https://doi.org/10.3965/j.ijabe.20150806.2037>
- [17] S. Pedersen, K. Sallvik. 4TH Report of Working Group on Climatization of Animal Houses, CIGR, Hoprsens, 2002.
- [18] J. S. Yoo. New feeding and management for the production of poultry farming. Kyeheung Publishers, 2009.
- [19] Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. [Internet]. MAFRA, c2018, Available From : <http://www.law.go.kr/lsInfoP.do?lsiSeq=188696#0000>. (accessed Sep., 1, 2018)
- [20] Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. [Internet]. MAFRA, c2018, Available From : <http://www.law.go.kr/lsInfoP.do?lsiSeq=202855&efYd=20180921#0000>. (accessed Sep., 1, 2018)

권 경 석(Kyeong-seok Kwon)

[정회원]



- 2010년 8월 : 서울대학교 지역시스템공학 (공학석사)
- 2016년 8월 : 서울대학교 지역시스템공학 (공학박사)
- 2017년 2월 ~ 현재 : 국립축산과학원 연구사

<관심분야>

시설환경, 대기환경, 전산유체역학

하 태 환(Taehwan Ha)

[정회원]



- 2014년 2월 : 서울대학교 지역시스템공학 (공학석사)
- 2018년 2월 : 서울대학교 지역시스템공학 (공학박사)
- 2018년 4월 ~ 현재 : 서울대학교 농업생명과학연구원 선임연구원

<관심분야>

축산냄새, 대기환경, 전산유체역학

이 준 엽(Jun-yeob Lee)

[정회원]



- 1998년 8월 : 강원대학교 축산학과 (농학석사)
- 2009년 8월 : 강원대학교 사료생산공학과 (농학박사)
- 2011년 12월 ~ 현재 : 국립축산과학원 축산환경과 연구사

<관심분야>

동물복지, 축산 스마트팜

최 희 철(Hee-chul Choi)

[정회원]



- 2003년 8월 : 충남대학교 낙농학가축영양학 (농학박사)
- 1986년 6월 ~ 현재 : 국립축산과학원 가금과, 축산환경과 연구사, 연구관
- 2012년 2월 ~ 2014년 3월 : 국립축산과학원 가금과장

<관심분야>

가축사육시설, 사육환경, 동물복지, 가축정밀관리

전 중 환(Jung-hwan Jeon)

[정회원]



- 2003년 2월 : 경상대학교 응용생명과학부 (이학석사)
- 2006년 2월 : 경상대학교 응용생명과학부 (이학박사)
- 2006년 6월 ~ 2007년 7월 : University of British Columbia, 연구원
- 2007년 12월 ~ 현재 : 국립축산과학원 축산환경과 연구사

<관심분야>

동물복지, 동물행동, 동물발성음

김 종 복(Jong-bok Kim)

[정회원]



- 2006년 9월 : UCLA Electronic Engineering (공학석사)
- 2006년 10월 ~ 2018년 1월 : LG 이노텍 책임연구원
- 2018년 1월 ~ 현재 : 국립축산과학원 축산환경과 연구관

<관심분야>

동물복지, 반려동물, ICT

양 가 영(Ka-young Yang)

[정회원]



- 2012년 2월 : 강원대학교 축산학동물자원학 (농학석사)
- 2016년 8월 : 강원대학교 축산학동물시스템과학 (농학박사)
- 2017년 2월 ~ 현재 : 국립축산과학원 축산환경과 전문연구원

<관심분야>

동물복지, 동물행동

김 락 우(Rack-woo Kim)

[정회원]



- 2015년 8월 : 서울대학교 지역시스템공학과 (공학석사)
- 2015년 9월 ~ 현재 : 서울대학교 지역시스템공학과 박사과정 연구원

<관심분야>

농업시설, 환기, 전산유체역학

여 옥 현(Uk-hyeon Yeo)

[정회원]



- 2016년 2월 : 서울대학교 지역시스템공학과 (공학석사)
- 2016년 3월 ~ 현재 : 서울대학교 지역시스템공학과 박사과정 연구원

<관심분야>

농업시설, 환기, 전산유체역학

이 상 연(Sang-yeon Lee)

[정회원]



- 2016년 2월 : 서울대학교 지역시스템공학과 (공학석사)
- 2016년 3월 ~ 현재 : 서울대학교 지역시스템공학과 박사과정 연구원

<관심분야>

농업시설, 환기, 전산유체역학