

산란계사내부 열환경 분석*

김영복 · 이승규 · 김성태 · 나우정 · 장홍희*

경상대학교 농업생명과학대학 농업시스템공학부, 농업생명과학연구원

Analysis of the Thermal Environment in the Laying House

Kim, Y. B., Lee, S. K., Kim, S. T., La, W. J. and Chang, H. H.*

Division of agricultural systems engineering, Institute of Agriculture and Life sciences,
Gyeongsang national university, 900 Gazwadong, Chinju city, 660-701, Korea,

Summary

In this study, the thermal environmental factors in a layer farm such as dry bulb temperature, relative humidity, black globe temperature and illumination intensity were measured and analyzed to serve as basis for effective design and plan of poultry houses. The correlation analysis between the different factors was also done. Heat Index as measure of the thermal stress was also calculated and analyzed.

A 1,000 m² laying house, 4 meters high with 52,000 layers in six-stage type cages was used in the measurement of the different environmental parameters. The results were as follows;

1. The temperature of the inside air and materials was directly related to the increase in aerial temperature based on the dry-bulb, black globe temperature reading. The correlation factor of the outside to inside air based on dry bulb setting was very significant at 0.927. The dry bulb temperature for inside temperature ranged from 19.9~28.8°C with SD +2.2°C while that of the outside air was 16.2~33.1°C, SD +3.5°C. In addition, the temperature of the inside air was very stable.
2. The black globe temperature of the inside air ranged from 20.1~28.8°C, SD+ 2.3°C while that of the outside air was 16.2~47.5°C, SD+ 6.0°C.
3. The relative humidity of the outside and inside air was 72.4~100 and 50.2~85.6 % with an average of 89.2 and 71.7 %, respectively.
4. The illumination intensity in the laying house was less than 7 lux, with an average of 1.2~2.5 lux relative to height indicating that the laying house was well isolated from outside radiation.
5. The heat index of the inside air of the laying house had a high variation from 20.5°C, SD+ 2.5°C while that of the outside air was 13.1~45.5°C, with an average of 21.6°C, SD+ 6.3°C

(**Key words** : Thermal environment, Laying house, Relative humidity, Heat index, Black globe temperature)

* 경상대학교 동물자원과학부 축산학전공(*Division of Animal resource science, Animal Science Major)
Corresponding Author : Kim, Young-bok, Major in Bio-Industrial machinery engineering, Division of Agricultural systems engineering, College of agriculture and life sciences, Institute of Agriculture and Life Sciences, Gyeongsang national university, Gazwa-dong, Jinju city, Gyeongnam province, 660-701, Republic of Korea, youngkim@gnsu.ac.kr.

서 론

인간과 마찬가지로 동물도 그 환경에 따라 기초대사에 의한 열을 방출한다. 닭의 체온은 41.7℃로 알려져 있다(Watt, 1986). 이러한 체온에 의해 주위로 열을 방출하게 되며, 열은 비록 털이 있는 동물이라 하더라도 대류나 복사에 의해 주위로 방출된다. 대부분의 동물은 땀을 흘리지 않으므로 동물 발열의 대부분은 대류나 복사에 의해 발산된다. 물론 일부의 열이 호흡과 같은 계통을 통해 나가기도 한다. 동물에게 있어서의 안락하고 좋은 환경이란 주위표면의 평균온도, 공기의 건구온도, 기류정도에 의해 좌우된다. 동물들은 주변온도가 그 혈액온도에 접근하게 되면 매우 고통스러워 하며, 그 이상이 되면 거의가 오래 살지 못한다. 열스트레스의 첫번째 징조는 사료를 적게 섭취하는 것으로 나타난다. 그리하여 난중이 줄어들고 계란의 생산이 줄어들게 된다. 부분적으로는 야간에 조명을 조절하고 사료섭취에 좋은 적정온도를 유지시켜 사료섭취량을 늘려 체중을 늘리기도 한다. 가금류는 그 나이를 불문하고 열로부터 보호되어야 한다. 만약 23.9℃가 넘게 되면 닭은 산란율이 떨어지게 되며 작고 얇은 껍질의 계란을 낳게 된다. 그러다가 온도가 37.8℃를 넘게 되면 죽기 시작한다. 따라서 냉각과 환기가 적절하지 못하면 동물이 살 수가 없다. 이를 위해서는 적절한 단열, 광차단, 환기, 냉각 등이 필요하다.

계사의 환경관리와 관련하여 Lee 등(2003)은 자연환기와 강제환기를 실시하는 계사내의 온도와 습도변화에 대해 장기간에 걸쳐 관찰하고 관리범위에 있는지 비교분석한 바 있다. 그리고 Long(2002)은 계사내 실내와 실외의 습도비 차이에 의한 실내 암모니아 집적의 영향을 분석한 바 있으며, 환경제어변수로서 실내와 실외의 절대습도를 변수로 하여 환경제어하는 것이 암모니아나 이산화탄소, 질소가스

등과 같은 것을 모니터링하여 제어하는 것보다 장치비도 싸고 신뢰성이 있다고 하였다.

본 연구에서는 일선 현장에서의 대규모 산란계사 내부의 건구온도와 상대습도, 복사의 영향을 나타내는 흑구온도, 조도 등을 측정하여 그 세기와 경시별 변화, 그 상호관계를 분석하고 열지수를 계산 분석하였다. 이를 통하여 산란계사의 열환경 현황을 파악, 장래 시설 및 장치의 설계와 계획에 자료로 삼고자 하였다.

재료 및 방법

1. 열환경인자

열환경을 나타내는 인자로서 온도, 습도, 조도 등이 있으며, 온도는 건구온도와 습구온도, 복사열 측면에서 흑구온도(Black Globe Temperature)가 있다. 열스트레스 환경을 나타내는 인자로서 건구온도, 습구온도와 흑구온도를 동시에 반영하는 WBGT(Wet Bulb Globe Temperature)가 있으며, 이는 외기에서는 습구온도, 흑구온도, 건구온도를 각각 70, 20, 10%씩 가중치를 두어 합산하고, 실내에서는 습구온도와 흑구온도를 각각 70, 30%씩 가중치를 두어 합산하여 계산한다. WBGT는 군대에서 신체활동 범위를 판단할 때라든지 산업재해와 관련한 환경관리, 운동관리에 사용되고 있다.

한편, 본 연구에서는 열스트레스 인자로서 열지수(Heat Index : HI)를 도입하였는데 이것은 건구온도와 상대습도를 동시에 고려하여 인간이 느끼는 후덥지근한 정도를 나타내는 것이다. 열지수는 열파지수(Heat wave index)라고도 불리우며, 고온다습한 정도를 나타내는 하나의 척도이다. 이는 열지수가 높은 기간 중 사망자수가 현저하게 증가하는 것에 주목한 미국 NOAA/NWS(National Weather Service)가 고온다습한 환경에 대한 대국민 경보를 더욱 효율적으로 제시하여 열파에 미리 대처할 수 있는 체계를 개발하기 위하여 도입한 것이다. 열파지수

는 방정식에 상대습도와 결합되지만 그 단위가 미국에서는 화씨온도(°F)로 표시되며, 습도와 기온이 복합되어 사람이 실제로 느끼는 기온을 표현한다. 즉, 똑같은 기온이라도 습도가 높으면 더 덥게 느껴지는 것을 지수화한 것이다.

2. 열환경 측정 산란계사

열환경을 측정하기 위한 산란계사는 경남 진주에 위치한 대규모 산란계농장으로서 약 33,000 m²의 부지에 약 300,000 수의 산란계를 사육하여 하루 약 170,000개의 계란을 생산하고 있다. 열환경을 측정한 산란계사는 가로×세로×높이가 100×11×4 m의 크기로서 약 1,000 m²의 면적을 차지하고 있으며, 계사의 높이는 약 4 m, 케이지의 단수는 6단으로서 약 52,000 수가 사육되고 있었다. 측정계사는 지붕에 100 mm, 벽면에 80 mm 두께의 우레탄폼 단열을 하였으며, 천정에는 12 W의 주황색전구를 설치하였다. 전구는 길이방향

으로는 9 m 간격으로, 측면방향으로는 2 m 간격으로 하되 지그재그로 설치하였다. 그리고 전구의 주위는 상단케이지에 강한 빛이 쬐이는 것을 방지하기 위하여 옆면등화관제를 하고 있었다. 공기조화를 위해 실내를 4 구역으로 나누어 가운데에 온도센서를 설치하여 측정된 온도의 평균에 의해 송풍하고 있었다. 송풍은 한쪽 벽체의 상단 4 m 위치에 설치된 후랩에 의해 배출면적을 조절하고 맞은편 벽체에 높이 1 m 위치에 설치된 12단 변속의 팬에 의해 실내공기를 배출하고 있었다.

3. 측정항목, 측정장치 및 측정방법

열환경인자로서 측정한 항목은 건구온도, 습구온도, 흑구온도, 이슬점온도, 상대습도, 조도이었으며, 열지수는 측정값을 이용하여 계산하였다. 그 위치와 변수설명은 표 1과 같다.

각 항목의 측정을 위해 testo 177-H1 온습도 로거, testo 177-T4 온도로거, testo 545 Luxmeter

Table 1. Description of factors

Factor	Description
TDBOUT	Dry bulb temperature of outside air(1 m from bottom)
TDBU	Dry bulb temperature of air on upper position(2 m from bottom)
TDBM	Dry bulb temperature of air on middle position(1 m from bottom)
TDBL	Dry bulb temperature of air on lower position(0.1 m from bottom)
TBBOUT	Black globe temperature of air outside(1 m from bottom)
TBBU	Black globe temperature of air on upper position(2 m from bottom)
TBBM	Black globe temperature of air on middle position(1 m from bottom)
TBBL	Black globe temperature of air on lower position(0.1 m from bottom)
TBOTTOM	Temperature of building bottom
TWOODU	Temperature of wood of cage on the height of 2 meters
RHOUT	Relative humidity of outside air(1 m from bottom)
RHU	Relative humidity of air on upper position(2 m from bottom)
RHM	Relative humidity of air on middle position(1 m from bottom)
RHL	Relative humidity of air on lower position(0.1 m from bottom)
HIOUT	Heat index of outside air(1 m from bottom)
HIU	Heat index of air on upper position(2 m from bottom)
HIM	Heat index of air on middle position(1 m from bottom)
HIL	Heat index of air on lower position(0.1 m from bottom)
LU	Intensity of illumination on upper position(2 m from bottom)
LM	Intensity of illumination on middle position(1 m from bottom)
LL	Intensity of illumination on lower position(0.1 m from bottom)

로거, 흑구온도계와 같은 계측기를 사용하였다. 측정기간은 2005년 8월 22일 오전 11시부터 8월 24일 오후 4시까지 약 53시간을 연속 측정하였으며, 데이터저장간격은 15분 간격으로 하였다. 측정장치를 일제히 같은 시각에 작동시켜 동시측정이 되도록 하였으며 측정된 데이터는 관련소프트웨어를 통해 컴퓨터로 읽어 들여 엑셀프로그램에서 데이터처리를 하였다. 산란계사내 측정위치는 외부의 영향을 적게 받게 하기 위하여 계사 중앙통로에 나무기둥을 설치하고 측정장치들을 나무기둥에 고정하였으며, 상하 위치는 하단부분은 바닥에서 10 cm, 중간위치는 바닥에서 1 m, 상단위치는 바닥에서 2 m 위치에 각각 열환경인자를 측정하기 위한 계측기들을 고정하였다.

4. 열지수 계산

열지수는 개발된 계산방정식에 의하면 화씨 온도(°F)로 표시되며, 습도와 기온이 복합되어 사람이 실제로 느끼는 기온을 표현한다. 즉, 똑같은 기온이라도 습도가 높으면 더 덥게 느껴지는 것을 지수화한 것이다. 이러한 열지수를 계산하여 그 열지수에 따라 발생가능한 질병을 제시하고 활동에 주의를 경고하고 있다. 열지수의 계산방정식은 Lans P. Rothfus에 의해 회귀관계식으로 만들어졌으며, 1990년 National Weather Service (NWS) Technical Attachment (SR 90-23)에 기록되었다. 그 계산식은 아래 방정식 (1)과 같다(SRH, 2005). 이 방정식은 건구온도가 적어도 80°F(26.7°C) 이상, 상대습

도가 40% 이상인 경우에 적용된다. 방정식을 보면 계산된 열지수(HI)는 화씨온도로 표시된 하나의 겉보기온도(apparent temperature)라 할 수 있다. 계산오차는 ±1.3°F이며, 방정식 중 T는 화씨온도(°F)로 나타낸 건구온도, R는 %로 나타낸 상대습도이다.

$$HI = -42.379 + 2.04901523 \times T + 10.1433127 \times R - 0.22475541 \times T \times R - 6.83783 \times 10^{-3} \times T^2 - 5.481717 \times 10^{-2} \times R^2 + 1.22874 \times 10^{-3} \times T^2 \times R + 8.5282 \times 10^{-4} \times T \times R^2 - 1.99 \times 10^{-6} \times T^2 \times R^2 \dots (1)$$

열지수의 영향은 인간에 대한 영향은 상당히 확립되어 있지만 식물이나 동물의 경우에는 아직 연구가 부족한 실정이다. 닭의 경우 열스트레스의 징후를 알아보면 표 2에 나타낸 바와 같으며, 기온이 높아지면 체온이 증가하면서 스트레스가 증가되는 것을 알 수 있다. 한편 인간의 경우 열지수에 따라 발생가능한 증상을 표 3과 같이 나타내고 있다(SRH, 2005).

Table 2. The effect of heat on chicken

Chicken house temperature degrees(°C)	Hen body temperature degrees(°C)	Effects on chickens
21.1	41.17	Increased water consumption
23.9	41.22	Reduced egg size
26.7	41.27	Hens begin to pant
29.4	41.44	Decreased food consumption
32.2	41.55	Decreased egg production
35.0	41.72	Hens lose weight
37.8	42.33	Hens start to die

Table 3. Possible heat disorders depending on heat index

Category	Heat Index	Possible heat disorders for people in high risk groups
Extreme Danger	130°F or higher (54°C or higher)	Heat stroke or sunstroke likely.
Danger	105 ~ 129°F (41 ~ 54°C)	Sunstroke, muscle cramps, and/or heat exhaustion likely. Heatstroke possible with prolonged exposure and/or physical activity.
Extreme Caution	90 ~ 105°F (32 ~ 41°C)	Sunstroke, muscle cramps, and/or heat exhaustion possible with prolonged exposure and/or physical activity.
Caution	80 ~ 90°F (27 ~ 32°C)	Fatigue possible with prolonged exposure and/or physical activity.

결과 및 고찰

1. 열환경인자간 상관관계 및 통계값

열환경인자간 상관관계를 분석해보면 표 4에 나타낸 바와 같다. 실내의 환경인자는 산란계사의 건물 높이가 4m인 점을 고려하여 바닥으로부터 2m 위치의 값들을 가지고 상관분석하였다. 실내건구온도와 실내흑구온도는 외기건구온도와 각각 0.927, 0.932의 상관관계를 가지고 같은 경향으로 변화하였다. 그런데 외기건구온도의 경우 평균온도가 표 5에 나타낸 바와 같이 22.3℃, 최대최소온도차가 16.9℃, 표준편차가 3.5℃인 반면에, 실내는 최대최소온도차가 8.9℃, 표준편차가 2.2℃

로서 온도제어가 매우 잘 되고 있었다. 실내 상대습도는 외기건구온도와 -0.732의 상관계수값을 가지고 있다. 외기온도가 올라가면 실내상대습도는 내려가는 경향이지만 실내상대습도가 평균 71.7%, 표준편차 10.2%로서 온도 및 습도제어가 양호한 편이기 때문에 외기온도의 영향 자체는 크지 않다고 보아야 한다. 실내조도는 외기건구온도와 0.608, 외기흑구온도와 0.613의 상관계수관계를 나타내고 있으며, 이는 광차단이 매우 잘 되어 있는 것을 나타내 주고 있다.

한편, 실내 건구온도와 실내상단의 상대습도에 대한 다른 변수들과의 상관관계 유의성을 확인하기 위하여 중요변수들과의 관계에 대해 통계처리한 결과 표 6~9까지 나타낸 바

Table 4. Correlation coefficient between thermal environmental factors

	TDBOUT	RHOUT	TBBOUT	TDBU	RHU	TBBU	TWOODU	LU	HI-U
TD BOUT	1.000								
RHOUT	-0.879	1.000							
TBBOUT	0.973	-0.873	1.000						
TDBU	0.927	-0.881	0.870	1.000					
RHU	-0.732	0.926	-0.768	-0.823	1.000				
TBBU	0.932	-0.873	0.872	0.997	-0.807	1.000			
TWOODU	0.942	-0.879	0.882	0.995	-0.799	0.997	1.000		
LU	0.608	-0.620	0.613	0.692	-0.658	0.677	0.669	1.000	
HI-UPPER	0.842	-0.810	0.788	0.955	-0.804	0.958	0.949	0.639	1.000

Table 5. Analysis of variance and correlation coefficient for TDB

Multiple correlation coefficient	Determination coefficient	Corrected Determination coefficient	Standard error	Observed Number	F value	Significant F value
0.9915	0.9830	0.9826	0.2938	211	2377.688	2.4E-179

Table 6. Results of regression analysis for TDB

	Coefficient	Standard error	t value	P value	Low 95%	High 95%	Low 99.0%	High 99.0%
Y intercept	-0.7328	1.1318	-0.6474	0.5181	-2.9642	1.4987	-3.6755	2.2099
TDBOUT	1.3350	0.0324	41.2406	0.0000	1.2712	1.3988	1.2508	1.4191
RHOUT	0.2228	0.0135	16.5166	0.0000	0.1962	0.2494	0.1878	0.2579
TBBOUT	-0.4709	0.0166	-28.4197	0.0000	-0.5036	-0.4382	-0.5140	-0.4278
LU	0.1068	0.0293	3.6419	0.0003	0.0490	0.1646	0.0305	0.1830
RHU	-0.1898	0.0072	-26.3526	0.0000	-0.2040	-0.1756	-0.2085	-0.1711

Table 7. Analysis of variance and correlation coefficient for RHU

Multiple correlation coefficient	Determination coefficient	Corrected Determination coefficient	Standard error	Observed Number	F value	Significant
0.991237	0.98255	0.982125	1.360174	211	2308.623	4.7E-178

Table 8. Results of regression analysis for RHU

	Coefficient	Standard error	t value	P value	Low 95%	High 95%	Low 99.0%	High 99.0%
Y intercept	-28.1730	4.8622	-5.7942	0.0000	-37.7594	-18.5866	-40.8150	-15.5310
TDBOUT	6.0523	0.1736	34.8724	0.0000	5.7101	6.3945	5.6010	6.5035
RHOUT	1.2834	0.0325	39.4378	0.0000	1.2192	1.3476	1.1988	1.3680
TBBOUT	-2.1472	0.0811	-26.4703	0.0000	-2.3071	-1.9872	-2.3581	-1.9363
LU	0.0467	0.1400	0.3337	0.7390	-0.2294	0.3228	-0.3174	0.4108
TDBU	-4.0681	0.1544	-26.3526	0.0000	-4.3725	-3.7638	-4.4695	-3.6667

Table 9. Statistical values of the variances

(Unit : °C, RHU-%, LU-Lux)

	TDBOUT	RHOUT	TBBOUT	TDBU	RHU	TBBU	TWOODU	LU	HIOUT	HIU
AVERAGE	22.3	89.2	23.6	24.3	71.7	24.4	24.2	1.2	21.6	25.0
MAX	33.1	100.0	47.5	28.8	85.6	28.8	28.6	3.0	45.5	29.7
MIN	16.2	72.4	16.2	19.9	50.2	20.1	20.1	0.0	13.1	20.5
STDEV	3.5	6.9	6.0	2.2	10.2	2.3	2.2	1.0	6.3	2.5

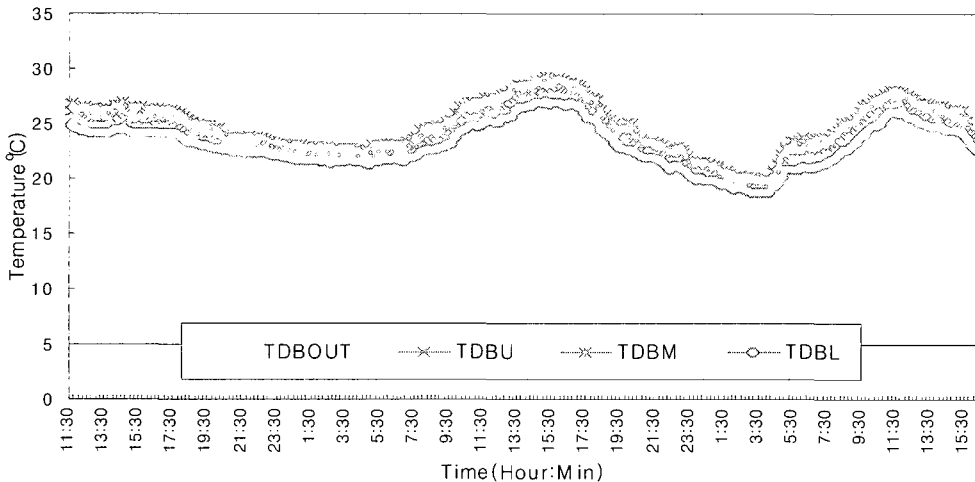


Fig. 1. Dry bulb temperature variation depending on time.

와 같다. 이를 살펴보면 실내 건구온도에 대한 도입 변수들의 영향은 고도로 유의한 것으로 나타났다. 이런 경향은 실내상대습도에 대해서도 같지만 실내상대습도의 경우는 실내상대습도에 대해 고도로 유의하지는 않았다.

2. 건구온도

건구온도의 경시별 변화를 살펴보면 그림 1과 같다. 외기건구온도는 16.2~33.1, 산란계사 내부는 바닥으로부터 2 m 위치의 경우

Table 10. Statistical values of the dry bulb temperature (Unit : °C)

	TDBOUT	TDBU	TDBM	TDBL
AVERAGE	22.3	24.3	24.8	23.0
MAX	33.1	28.8	29.3	27.1
MIN	16.2	19.9	19.9	18.7
STDEV	3.5	2.2	2.4	2.1

19.9~28.2°C 범위에서 변하고 있었다. 외기건구온도가 주야간 급변하지만 산란계사내에서는 비교적 제어가 잘되고 있는 편이며 바닥으로부터 1m인 지점과 2m인 지점은 비슷한 값을 지니고 있었다.

외기의 경우 일교차가 커서 표준편차가 3.5°C인데 비해 산란계사내부는 바닥으로부터 2m 위치의 경우 2.2°C로서 주야간 변화가 상당히 적은 것을 알 수 있다. 산란계사내의 높이별로 건구온도의 값들을 비교하면 표 10과 같다. 평균온도, 최대최소온도, 표준편차 모두 바닥에서부터 높이 2m 위치까지 사이에 큰 변화는 없는 것으로 볼 수 있다.

3. 흑구온도

흑구온도는 열복사의 정도를 나타내주는 한 축도로서 측정기간 중의 흑구온도는 그림 2에

나타낸 바와 같다. 외기흑구온도의 경우 16.2~47.5°C, 산란계사내부는 바닥으로부터 2m 위치의 경우 20.1~28.8°C 범위에서 변하고 있었다. 표준편차를 살펴보면 각각 6.0, 2.3°C로서 산란계사내부는 외기 태양의 영향을 매우 적게 받는 것을 알 수 있다. 위치별로 살펴보면 표 11에 나타낸 바와 같이 큰 차이가 없는 것을 알 수 있다.

Table 11. Statistical values of the black globe temperature (Unit : °C)

	TBBOUT	TBBU	TBBM	TBBL
AVERAGE	23.6	24.4	24.8	23.3
MAX	47.5	28.8	29.0	27.0
MIN	16.2	20.1	20.1	19.1
STDEV	6.0	2.3	2.3	1.9

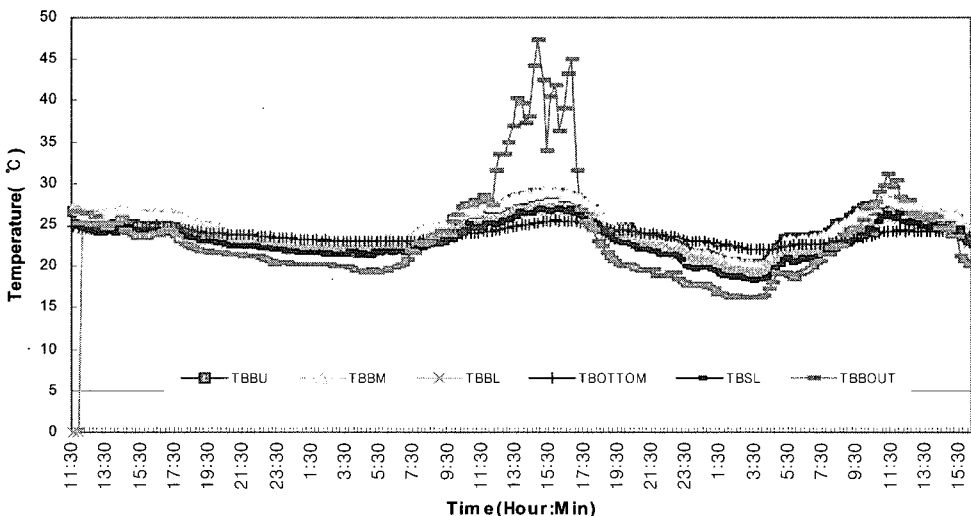


Fig. 2. Black globe temperature variation depending on time.

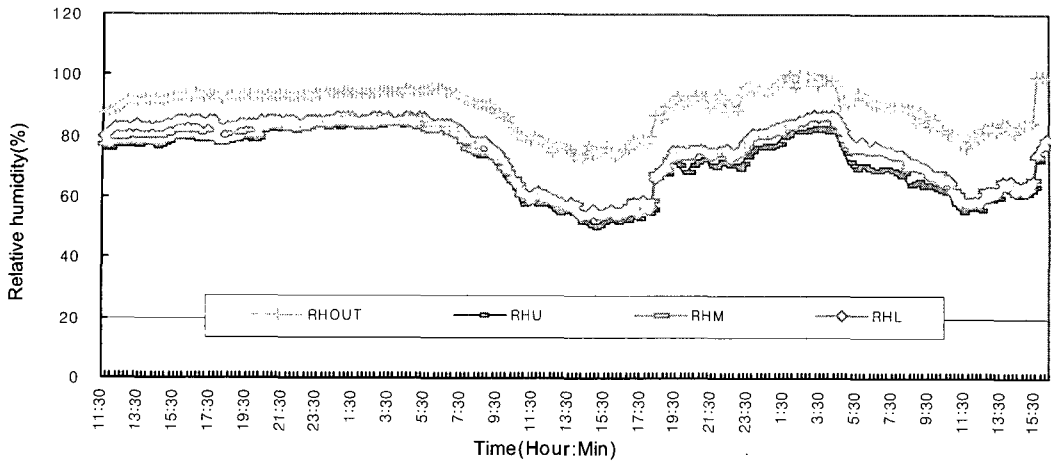


Fig. 3. Relative humidity variation depending on time.

4. 상대습도

상대습도를 경시별로 나타내면 그림 3과 같다. 상대습도는 외기보다는 산란계사 내부가 현저히 낮지만 내부의 상중하 위치에서는 그다지 차이가 나지 않는 것을 알 수 있다. 외기와 산란계사 내부 2m 위치의 변동범위를 보면 각각 72.4~100, 50.2~85.6%로 나타났다. 표 12에 나타난 바와 같이 상대습도와 다른 변수들과의 상관분석에 의하면 산란계사내 상대습도는 외기습도와 긴밀한 0.926의 상관계수값을 가지지만 외기건구온도나 산란계사내부 건구온도와는 그다지 큰 상관계수를 나타내지는 않았다. 외기건구온도와 실내의 모두 주간간 변화가 상당히 큰 것을 알 수 있는 바 외기와 산란계사내 2m 위치의 경우 각각 평균 89.2, 71.7%, 표준편차 6.9, 10.2%로서 나타났다. 이는 산란계사 내부의 공기조화에서 온도중심으로 제어하기 때문으로 판단되며 상대습도를 제어하기 위하여 주간 온도가 상승하면 가습하고 야간 온도가 내려가면 감습하는 과정을 적극적으로 하지 않은 때문으로 판단되며 이는 비용관계도 고려한 것을 보인다. 온도중심으로 제어하더라도 사료의 자동제어방식 등에 의해 사육에 지장이 없기 때문으로 판단된다. 산란계사내

높이별로는 표 12에 나타난 바와 같이 별 차이가 없는 것을 알 수 있다.

Table 12. Statistical values of relative humidity (Unit : %)

	RHOUT	RHU	RHM	RHL
AVERAGE	89.2	71.7	74.0	75.3
MAX	100.0	85.6	86.2	87.0
MIN	72.4	50.2	53.9	54.0
STDEV	6.9	10.2	9.3	10.6

5. 조도

산란계사내 조도는 닭의 활동시간과 복사열 등과 관련되며, 경시별 변화를 살펴보면 그림 4와 같다. 산란계사내 최대값이 7.0 Lux를 넘지 않았으며, 평균값은 위치에 따라 1.2~2.5 Lux를 나타내었다. 따라서 실내의 조명등에 의한 복사열의 영향은 아주 적은 것으로 판단된다. 산란계사내 높이별로는 표 13에 나타난 바와 같이 바닥으로부터 2m 높은 위치에서의 조도값이 하단보다 큰 값을 나타내었는데 이는 조도의 절대값이 워낙 적은 상태에서 시간이 경과함에 따라 산란계사내의 부유물이 조도센서에 내려앉아 광을 차단한 영향으로 판단된다.

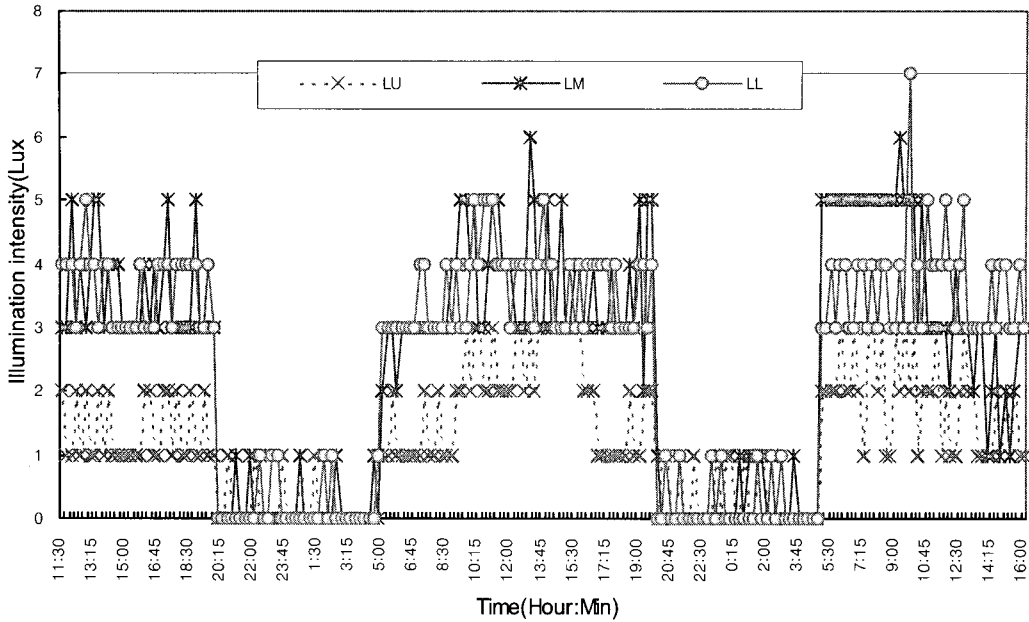


Fig. 4. Illumination intensity variation depending on time.

Table 13. Statistical values of illumination intensity (Unit:Lux)

	LU	LM	LL
AVERAGE	1.2	2.5	2.4
MAX	3.0	6.0	7.0
MIN	0.0	0.0	0.0
STDEV	1.0	1.8	1.7

6. 열지수

열지수는 온도와 상대습도를 동시에 고려한 척도로서 미국에서는 계산식에서 화씨온도로 표시되지만 여기서는 화씨온도로 계산한 다음 섭씨온도로 변환하여 나타내었다. 산란계사의 열지수를 경시별로 나타내면 그림 5와 같으며, 외기와는 달리 산란계사내부

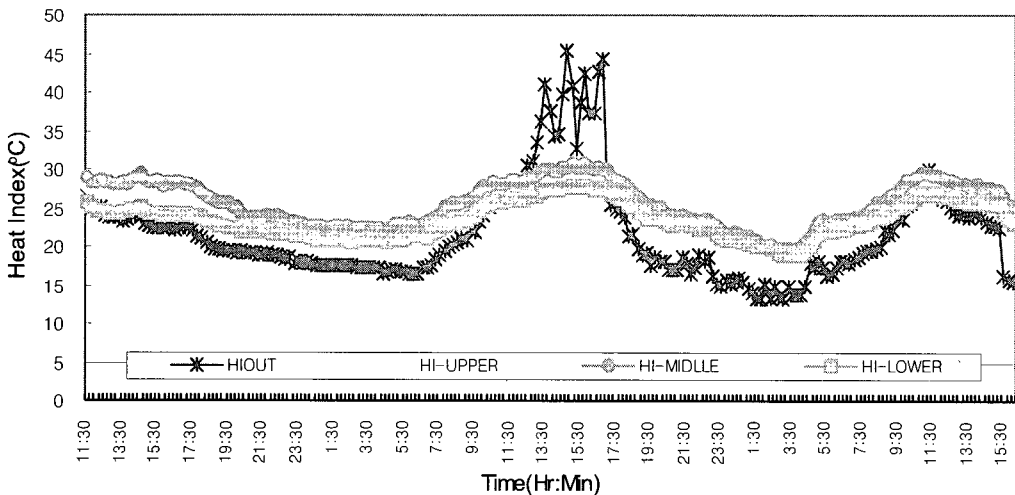


Fig. 5. Heat index variation depending on time.

Table 14. Statistical values of heat index
(Unit : °C)

	HI-OUTSIDE	HI-UPPER	HI-MIDDLE	HI-LOWER
AVERAGE	21.6	25.0	25.6	23.5
MAX	45.5	29.7	30.8	27.8
MIN	13.1	20.5	19.5	19.0
STDEV	6.3	2.5	3.0	2.3

는 완만하게 변하고 있었다. 위치별로 살펴보면 표 14에 나타낸 바와 같이 외기 열지수가 13.1~45.5°C 사이에서 평균 21.6°C, 표준편차 6.3 °C의 값을 나타낼 때 내부는 평균 23.5~25.6°C 부근, 표준편차 2.3~3.0°C 범위로서 상당히 좁은 범위에서 완만하게 변하는 것을

알 수 있다. 인간의 경우 열지수가 27~32°C 정도가 되면 장기간 노출과 육체적 활동의 경우 피로가 예상된다고 하고 있다. 한편, 외기건구온도에 대한 열지수의 변화를 살펴보면 그림 6과 같다. 외기건구온도가 증가함에 따라 외기의 열지수는 비례적으로 증가하지만 산란계사 내부의 열지수는 약 30°C 이하의 범위에서 제어되고 있는 것을 알 수 있다.

7. 건구온도와 열환경인자와의 관계

그림 7에는 산란계사내 건구온도의 수준과 상대습도, 흑구온도 및 열지수와와의 관계를

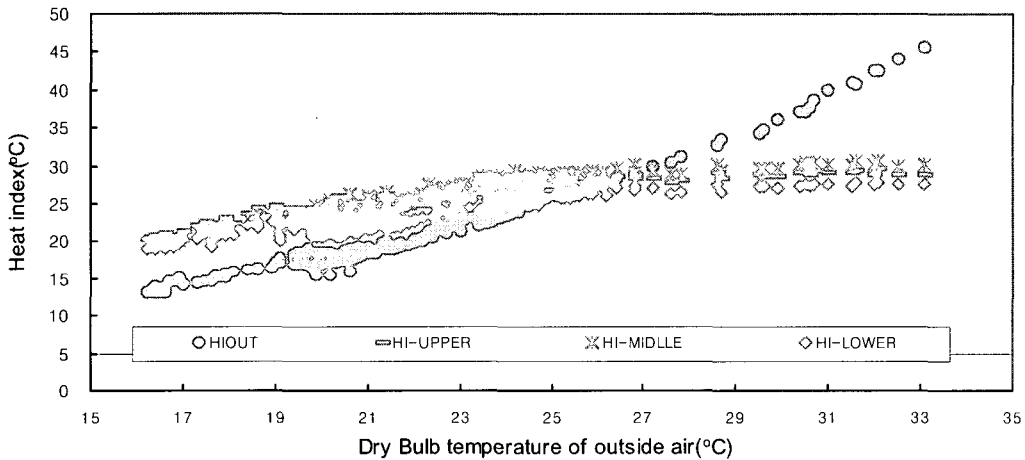


Fig. 6. Heat index variation depending on dry bulb temperature of outside air.

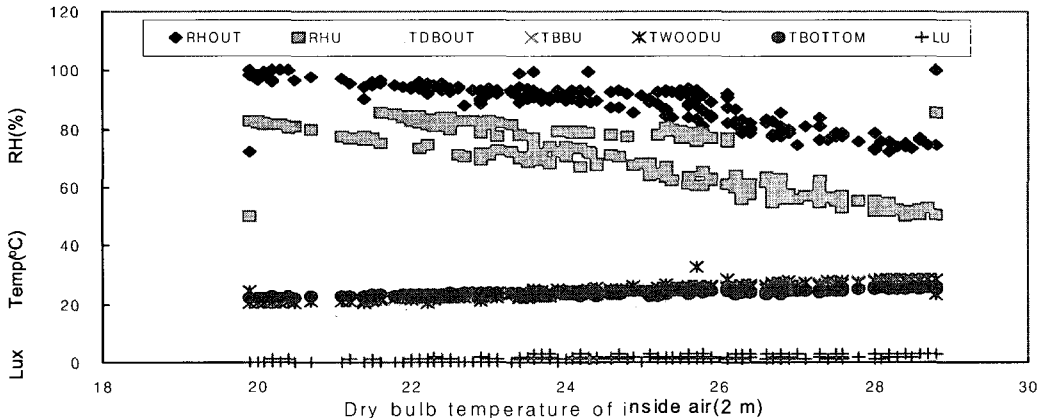


Fig. 7. Variation of relative humidity, illumination strength and temperatures depending on dry bulb temperature of inside air(2 m).

나타내고 있다. 이러한 관계는 표 4에서 나타난 상관분석에서 수치적으로 확인된 바 있으나 전체적인 경향으로 볼 때 내부건구온도의 크기가 증가하면 실내상대습도는 감소하며, 한편 내부건구온도는 외기상대습도에 따라 -0.873 의 상관계수값을 가지고 변하는 것을 알 수 있다. 그리고 내부건구온도의 수준에 따라 내부의 건구온도, 흑구온도, 바닥온도도 같은 경향으로 변하고 있으며, 바닥온도나 케이지를 구성하고 있는 나무의 상단부 온도는 내부건구온도에 따라 같은 경향으로 변하긴 하지만 그 변화율은 적은 것을 알 수 있다. 조도의 경우 주간에는 내부건구온도가 높을 때 조도가 높아지기 때문에 같은 경향으로 변하고 있다.

요약 및 결론

본 연구에서는 산란계농장의 열환경 현황을 조사 분석하여 시설 및 장치의 설계와 계획에 참고하고자 일선 현장에서의 대규모 산란계사 내부의 온도, 상대습도, 조도 등을 측정분석하고 열지수를 계산 분석하였다. 열환경을 측정된 건물은 약 $1,000 \text{ m}^2$ 의 면적을 차지하고 있으며, 계사의 높이는 약 4 m , 케이지의 단수는 6단으로서 약 52,000 수가 사육되고 있다. 열환경인자간의 비교는 산란계사 내부의 경우 바닥으로부터 2 m 높이 위치를 중심으로 비교분석하였다. 그 결과는 다음과 같다.

1. 실내건구온도와 실내흑구온도는 외기건구온도와 0.927 의 상관관계를 가지고 같은 경향으로 변하고 있었으며, 외기건구온도는 $16.2 \sim 33.1^\circ\text{C}$, 산란계사 내부는 $19.9 \sim 28.8^\circ\text{C}$ 범위에서 변하고 있었다. 외기건구온도의 경우 평균온도가 22.3°C , 최대최소 온도차가 16.9°C , 표준편차가 3.5°C 인 반면에 실내는 평균 24.3°C , 최대최소온도차가 8.9°C , 표준편차가 2.2°C 로서 온도제어가

매우 잘 되고 있었다. 그리고 내부건구온도의 수준에 따라 내부 건구온도, 흑구온도, 바닥온도도 같은 경향으로 변하고 있었으며, 바닥온도나 상단 케이지의 온도는 내부건구온도에 따라 같은 경향으로 변하긴 하지만 그 변화율은 적은 것을 알 수 있었다.

2. 외기흑구온도의 경우 $16.2 \sim 47.5^\circ\text{C}$, 산란계사내부는 $20.1 \sim 28.8^\circ\text{C}$ 범위에서 변하고 있었다. 표준편차를 살펴보면 각각 $6.0, 2.3^\circ\text{C}$ 로서 산란계사 내부는 외기 태양의 영향을 매우 적게 받는 것을 알 수 있었다.

3. 실내상대습도는 외기건구온도와 -0.732 의 상관계수값을 가지고 있었다. 외기온도가 올라가면 실내상대습도 내려가는 경향이 있지만 외기상대습도가 평균 89.2% . 표준편차가 6.9% 일 때 실내 상대습도는 평균 71.7% , 표준편차 10.2% 로서 온도 및 습도제어가 양호한 편이기 때문에 외기온도의 영향 자체는 크지 않았다. 외기와 산란계사 내부의 변동범위를 보면 각각 $72.4 \sim 100, 50.2 \sim 85.6\%$ 로 나타났다.

4. 실내조도는 외기건구온도와 0.608 의 상관계수관계를 나타내고 있으며, 그 상단평균값이 1.2 Lux 로서 광차단이 매우 잘 되어 있는 것을 알 수 있다. 산란계사내 최대값이 7.0 Lux 를 넘지 않았으며, 평균값은 위치에 따라 $1.2 \sim 2.5 \text{ Lux}$ 를 나타내었다. 따라서 실내의 조명등에 의한 복사열의 영향은 아주 적은 것을 판단된다.

5. 외기의 열지수가 $13.1 \sim 45.5^\circ\text{C}$ 사이에서 평균 21.6°C , 표준편차 6.3°C 의 값을 나타낼 때 내부는 평균 $23.5 \sim 25.6^\circ\text{C}$ 부근, 표준편차 $2.3 \sim 3.0^\circ\text{C}$ 범위로서 상당히 좁은 범위에서 완만하게 변하는 것을 알 수 있다. 외기와는 달리 산란계사 내부는 완만하게 변하고 있었다.

인 용 문 헌

1. Autumn Hawke Long. 2002. Humidity Ratio Difference as an Indicator of Stale Air Conditions in Layer Hen Housing. Paper No: 024223, 2002 ASAE Annual International Meeting / CIGR XVth World Congress.
2. In-Bok Lee et al. 2003. Study of Internal Climate of Naturally and Mechanically Ventilated Broiler Houses. Paper No: 034060. 2003 ASAE Annual International Meeting Presentation.
3. Watt. J. R. 1986. Evaporative air conditioning handbook. 2nd edition. CHAPMAN & HALL.
4. SRH. 2005. 미국 기상청 남부지역본부 홈페이지. National Weather Service Southern Region Headquarters(<http://www.srh.noaa.gov/bmx/tables/hindex.html>)
5. NWS. 2005. 미국 기상청 홈페이지 (<http://www.nws.noaa.gov/>)
6. 환경부. 2003. 한반도 기후변화 영향평가 및 적응프로그램 마련-기후변화로 인한 건강피해 가능성 조사 및 피해저감정책 방향에 관한 연구.