

육계의 체온 관찰을 위한 무선 원격측정 시스템 설계 및 구현

양현호¹, 민원기², 배영환^{3*}

Design and Implementation of a Radio Telemetry System to Monitor the Deep Body Temperature of Broilers

Hyunho Yang¹, Wongi Min² and Yeonghwan Bae^{3*}

요 약 가금류에서 발생 가능한 질병을 관찰하기 위한 노력의 일환으로 육계의 체온(DBT)을 지속적으로 측정할 수 있는 무선 원격측정 시스템을 제작하였다. 이 시스템을 사용하여 육계의 DBT를 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 의 정확도로 측정할 수 있음을 보였다. 또한 40일령의 육계가 보이는 일간 체온 변화도 평가하였다. 본 논문에서는 DBT 측정에 기반을 두어 실시간으로 가금류 사육시설의 환경을 제어할 수 있는 시스템을 개발하기 위한 전용 수신기의 설계 기준을 제시하였다.

Abstract A radio telemetry system was fabricated to continuously measure the deep body temperature (DBT) of broilers as an effort to monitor the occurrences of possible poultry diseases. It was shown that the DBT of broilers could be measured with an accuracy of $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$. Daily fluctuation of DBT in case of a 40 days old broiler was evaluated. To develop a system which can control the environment of poultry housing in real time based on DBT measurements, we proposed the design criteria of a dedicated receiver unit.

Key Words : Radio Telemetry, Wireless Sensor, DBT (Deep Body Temperature), Broiler

1. 서론

통신 및 센서 기술의 발전에 따라 무선 센서는 농업 분야에서도 실시간 데이터 수집 및 제어를 위한 유망한 기술로 등장하였다. 무선 센서를 적용함으로써 다양한 농지 여건, 온실 환경 및 가축 사육시설의 정밀한 관찰이 가능하다. 특히 가축 사육시설 제어를 위하여 다양한 센서들을 이용한 환경 측정 시스템들이 운영되고 있지만 사육되는 가축의 체온을 직접 측정하기 보다는 주변 환경에 대한 측정을 통하여 시설제어를 실시하는 경우가 대부분이다. 일부 연구에서 무선 온도 발신기를 이용한 체온 측정을 시도하였지만 실시간 제어에 활용하기에는 한계가 있다.

또한, 조류독감(avian influenza) 등 야생조류 및 가금

류에 발생하는 질병은 가금류의 대량 폐사는 물론 소수의 인명 손상까지도 유발시키고 있다. 질병에 감염된 동물의 전형적인 증상은 DBT의 상승이므로 신속하고 정확한 DBT 관찰 시스템은 육계의 질병을 조기에 감지하여 양계 농민 및 일반인의 피해를 최소화 할 수 있는 수단일 것으로 기대한다.

본고에서는 무선 센서 기술에 기반을 둔 육계의 DBT 관찰 시스템에 대하여 기술한다. 이 시스템은 육계의 질병 감시 및 사육시설의 환경제어 등에 사용할 목적으로 사육실의 온도가 아닌 육계의 체온을 측정하려는 새로운 시도로서 육계의 체내에 무선 온도 발신기를 이식하고 이로부터 발신되는 무선 신호를 수신하여 체온 값을 추출한다. 실험 결과 0.1°C 단위로 체온 측정이 가능하였으며, 사육실 내의 온도 변화에 따라 육계의 체온이 변화함을 실험적으로 확인할 수 있었다.

본 논문의 2장에서는 기존의 연구를 고찰하고, 3장에서는 무선 원격측정 시스템의 설계 및 구현에 관하여 기술하였으며, 4장에서는 구현된 시스템을 이용한 원격측정의 실시 결과를 고찰하였고, 끝으로 5장에서는 본 연구의 결론 및 향후 계획을 기술하였다.

본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT 연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음
(IITA-2007-(C1090-0701-0047))

¹군산대학교 전자정보공학부

²경상대학교 수의학과

³순천대학교 산업기계공학과

*교신저자: 배영환(yhbae@sunchon.ac.kr)

2. 관련 연구

농업 환경 분야에 센서를 적용하려는 시도는 작물 재배환경 관리 및 축산환경 관리 등을 위하여 지속적으로 이루어져 왔으며, 작물 재배환경 관리를 위한 사례로는 대표적으로 자동화 관개관리(automated irrigation management)[1], 온실 제어[2] 및 필드 서버(field server)를 위한 Web 기반 센서 망[3] 등이 있다.

가축 생산 분야에서는 대상 가축의 종류와 제어 목적에 따라 다양한 형태의 센서 및 활용 분야에 대한 연구가 진행되어 왔다. Lacey 등[4]은 계사 내부의 환경이 육계의 DBT에 미치는 영향을 조사하기 위하여 닭에 온도 발신기를 이식하고 체온의 변화를 관찰함으로써 계사의 온도와 상대습도가 증가함에 따라 닭의 DBT가 상승함을 보였다. Mitchell 등[5]은 도계장으로 이송하는 닭의 운송도중의 스트레스에 의한 심박수(heart rate) 및 체온 변화를 측정하기 위하여 무선 원격측정 시스템을 사용하였다. 정상적인 육계에 비하여 이송 중인 육계는 체온 및 심박수가 증가함을 규명하였다. DaSilva 등[6]은 열적 스트레스에 처한 육계의 행동 반응을 연구할 목적으로 육계에 수동 발신기를 삽입하여 체온을 관찰하였다. 이들은 X-선 사진을 통하여 시간의 경과에 따라 닭에 삽입된 발신기가 최초의 이식 위치로부터 이동한 거리를 측정하여 향후 유사한 연구를 진행할 경우 센서의 삽입 위치 결정에 유용한 정보를 제공하였다. Brown-Brandl 등[7]은 인체용으로 개발된 섭취형(ingestible) 발신기를 닭의 모래주머니에 삽입하여 DBT를 측정하였으며, 가금류의 체온 측정에 있어서 수 시간 정도의 단기간 사용을 위해서는 섭취형(ingestible) 발신기가 유리하며 장기간 사용을 위해서는 이식형(implantable) 발신기가 유리하다는 결론을 얻어냈다.

위에서 살펴 본 바와 같이 가축 사육환경 특히 가금류 사육환경에 센서를 적용하는 연구는 아직 실험적인 수준이며 실제 축산 환경에 적용하기 위해서는 여전히 많은 부분의 연구가 필요한 실정이다. 특히, 기존의 연구에 사용된 수신기는 무선 온도 발신기에서 발생하는 신호의 주기를 측정할 수 있을 뿐 실시간 제어에 활용할 수 있는 출력을 제공하지 않기 때문에 그 이용에는 한계가 있었다. 본 연구에서는 특별히 가금류의 질병 감시 및 사육환경 제어를 목적으로 장기간에 걸쳐 지속적으로 육계의 체온을 실시간으로 관찰하기 위한 시스템을 구현하고 이에 대한 동작을 시험하였다.

3. 설계 및 구현

3.1. 하드웨어 구성

3.1.1 무선 온도 발신기

이식형 원격측정 시스템의 핵심은 온도 발신기이다. 본 연구에서는 온도를 측정할 수 있는 소형 발신기(모델 G3-1V, 미국 AVM사)를 주문 제작하였다. 다수의 육계로부터 동시에 DBT를 측정하기 위하여 발신기의 주파수는 150 MHz에서부터 0.1 MHz 간격을 두고 제작되었다. 발신기의 펄스 비율은 온도에 따라 조절되며 0.1℃의 온도 정확도를 얻을 수 있도록 하였다. 발신기 모듈은 0.025 A의 전류 드레인(drain)을 갖는 1.5 V 배터리 전원을 사용하였다. 에폭시(epoxy) 피복을 포함한 각 발신기의 외형 치수는 24×16×9 mm이다. [표 1]은 무선 온도 발신기의 규격을 요약한 것이며, [그림 1]은 무선 온도 발신기의 외관이다.

표 1. 무선 온도 발신기 규격

전류 드레인	0.025 A
예측 수명	35℃에서 약 60일
동작 주파수	150 MHz
채널 간격	0.1 MHz
전원	Ag357 전지
치수	24×16×9 mm
무게	5 g

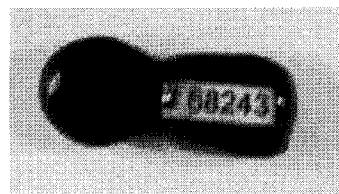
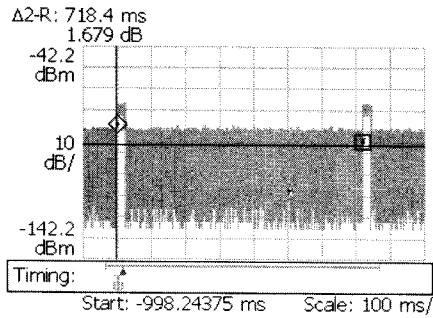
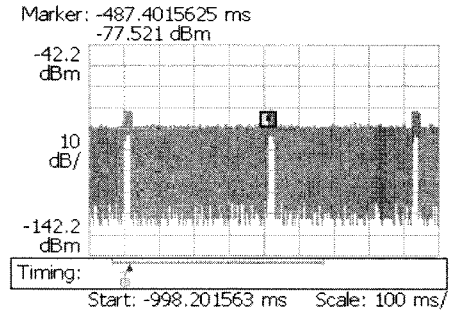


그림 1. 무선 온도 발신기 외관

[그림 2]는 두 가지 서로 다른 온도(25℃ 및 40.4℃)에 대한 150.292 MHz 발신기의 로-펄스 신호(raw pulse signal)를 Tektronix RS3408A 실시간 스펙트럼 분석기로 측정한 것이다. 이 그림에서 주목할 점은 온도가 높아질수록 발신기의 펄스 주기가 감소한다는 것이다. 신호의 형태는 연속파(CW, continuous wave)이며 주변에서 측정된 전력 밀도는 약 -70 dBm 정도이다.



a) 25°C (펄스 주기: 719 ms)



b) 40.4°C (펄스 주기: 410 ms)

그림 2. 두 가지 주위 온도에 대한 발신기의 로-펄스 신호(raw pulse signal) 파형

3.1.2 무선(RF) 수신기

본 연구에서는 3.1.1에서 설명한 무선 온도 발신기로부터 무선 신호를 수신하여 이 신호의 주기 값을 계수한 다음 직렬통신 포트를 통하여 출력하는 무선 수신기를 자체 설계하여 제작하였다. 제작된 150 MHz 대역 무선 수신기는 안테나, 수신부, 주파수 생성부, 제어부 및 전원으로 구성된다. 무선 환경의 변화가 없는 이상적인 경우에 무선 온도 센서의 방사 신호를 가장 정확하게 검출할 수 있으나 실제 환경에서 무선 온도 센서는 특정 지역 내에서 위치 이동이 가능하며, 무선 온도 센서 주위의 환경 역시 무선 수신에 적합하지 않을 수 있다. 따라서 무선 수신기의 무선 온도 센서 신호 검출 정확도와 수신율을 높이기 위해서 각각의 무선 온도 센서의 신호가 검출될 때까지 서로 다른 위치에 설치되는 4개의 안테나를 순차적으로 사용한다. 무선 온도 센서들은 주파수 분할 방식으로 구분되며, 데이터는 주기 변화를 통해서 감지한다. 각각의 무선 온도 센서들의 출력 주파수는 100 kHz 이격되어 있다. 수신기는 기저 대역에서의 여파 기능을 사용하지 않고 IF 대역에서 채널을 구분하며 2중 하향 변환방식을 사용한다. 주파수 생성부는 기준 주파수와 LO 신호 발생부로 구성되며, LO 주파수의 이동은 제어부에 의해서 조절된다. 무선 수신기의 주요 규격은 [표 2]와 같으며 개괄적인 구조의 블록 다이어그램은 [그림 3]과 같다.

표 2. 무선 수신기 규격

주파수 범위	150.5 ± 0.8 MHz
최소 식별 입력	-100 dBm
다이내믹 레인지	50 dBm +
채널 간격	100 kHz
중간 주파수	10.76 MHz
무선 입력 임피던스	50Ω nominal
채널 선택도	50 dBm +

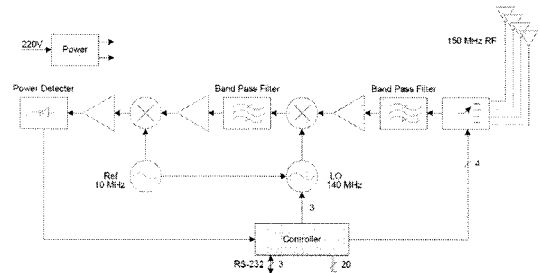


그림 3. 무선 수신기 블록 다이어그램

[그림 4]는 원격 DBT 측정 시스템의 실제 구성 상태를 보인 것이다. 그림에 나타난 무선 원격측정 시스템은 안테나, 무선 수신기 및 노트북 컴퓨터로 구성되어 있다. 무선 수신기는 본 연구에서 자체 제작한 것을 사용하였고 무선 수신기와 컴퓨터간의 연결은 RS-232를 사용한다.

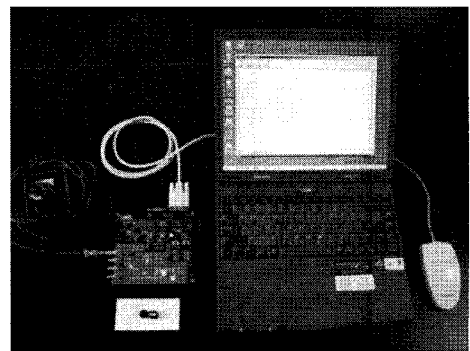


그림 4. 무선 수신기와 원격측정 시스템

3.1.3 무선(RF) 수신기의 소프트웨어 동작

3.1.2에서 설명한 무선(RF) 수신기는 수신된 무선 신호

호로부터 펄스의 주기를 계산하기 위한 프로그램을 내장하고 있다. [그림 5]는 이 내장 프로그램의 흐름도이며 채널 선택, 펄스 구간 계수, 초 단위의 펄스 주기 계산 등 세 가지 기능을 차례로 수행한다. 수신기의 전원이 켜지면 수신기는 무선 채널을 순서대로 스캐닝 한다. 이 과정에서 한 채널이 선택되면 미리 정해진 시간 동안 해당 채널의 신호를 기다리다가 신호를 수신하지 못하는 경우 다음 채널로 이동한다. 일단 경계치보다 높은 전압이 검출되고 4 ms 이상 지속되면 수신기는 펄스 구간을 측정하기 위하여 1 kHz 클럭율(clock rate)로 PW-1 주기의 카운트를 시작한다. 펄스의 하향 에지(falling edge)를 검출하면, 즉, 수신 전압이 경계치 이하로 떨어지면 수신기는 PW-1의 카운트를 멈추고 휴지(idle) 시간을 측정하기 위하여 PW-2의 카운트를 시작한다. 수신 전압이 다시 경계치 이상으로 올라가면 수신기는 PW-2의 카운트도 중단한 후 PW-1과 PW-2의 카운트 값을 더하여 펄스의 주기를 계산한다.

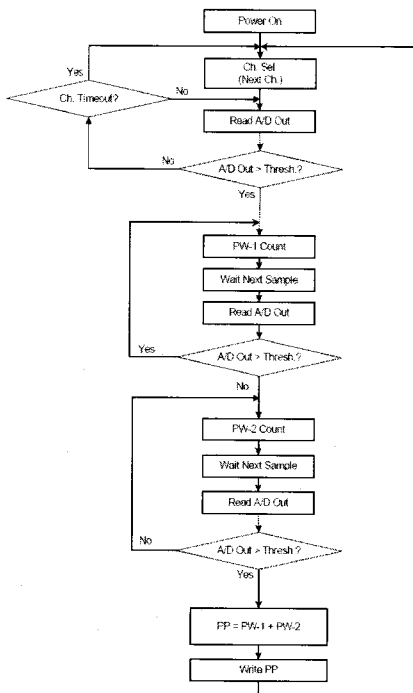


그림 5. 무선 수신기의 동작 흐름도

3.2 온도 발신기의 보정

온도 발신기를 이용하여 온도를 측정하기 위해서는 사전에 온도 신호를 실제 온도와 연관시키는 온도보정 단계를 수행하여야 한다. 이를 위하여 본 연구에서는 10개

의 온도 발신기를 온도 제어형 수조(한국, JEIO Tech사 제작)를 사용하여 온도 안정도 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 로 보정하였다. 수조의 온도 범위는 36°C 에서 46°C 로 설정하였고 온도 간격은 40°C 에서 44°C 범위에서는 0.2°C 간격으로 그 밖의 범위에서는 2°C 간격으로 설정하였다. 마이크로소프트 엑셀을 이용하여 각각의 발신기에 대하여 펄스 주기와 온도 사이의 2차 보정 방정식을 구하였다.

10개의 발신기에 대한 온도 보정 방정식은 다음과 같은 2차 회귀식으로 표현하였다.

$$T = a_0 + a_1x + a_2x^2 \quad (1)$$

여기서 T 는 실제 온도 값($^{\circ}\text{C}$)이며, x 는 펄스 주기(초), a_0 , a_1 및 a_2 는 보정 계수이다. 보정 계수는 온도발신기의 사용 주파수에 따라 다르며 보정 과정을 거쳐 도출된 각 발신기의 보정 계수는 [표 3]에 정리된 바와 같다. [그림 6]은 특별히 150.003 MHz 발신기에 대한 보정 데이터를 나타내고 있으며, 온도와 펄스 주기의 관계는 반비례함을 보여준다.

표 3. 발신기의 온도 보정 계수

Frequency (MHz)	Calibration constants			R^2 value
	a_0	a_1	a_2	
150.003	71.438	-76.846	37.127	1.0
150.093	71.452	-82.755	43.206	1.0
150.192	71.638	-80.775	40.941	1.0
150.292	67.202	-81.741	48.647	1.0
150.393	71.526	-81.769	42.213	1.0
150.493	71.286	-77.888	38.412	1.0
150.593	71.774	-84.902	45.195	1.0
150.692	67.062	-85.190	52.987	1.0
150.792	71.455	-83.531	44.049	1.0
150.892	67.014	-77.264	43.750	1.0

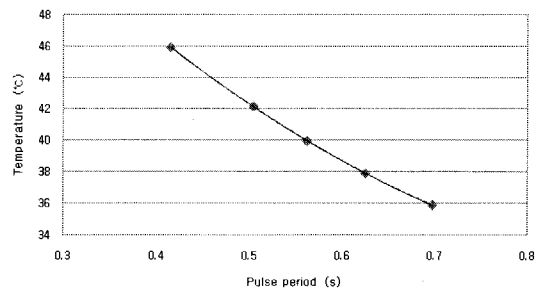


그림 6. 온도와 펄스 주기의 관계 (150.003 MHz)

4. 성능평가

4.1 실험 환경

육계의 체온 관찰을 위한 무선 원격측정 시스템을 구현하기 위하여 별도의 실험용 계사에서 사육 중인 40일령의 육계에 150.003 MHz의 동작 주파수를 갖는 온도 발신기를 이식하였다. 발신기를 이식하기 전에 육계에 4 mL의 케타민(ketamine)을 근육 내에 주사하여 마취하였다. 온도 발신기는 봉합 없이 2 cm 깊이의 복강에 정착시켰다. [그림 7]은 육계에 이식된 발신기의 X-선 사진이다.

위의 환경에서 두 가지의 실험을 하였다. 첫 번째 실험은 구현된 시스템을 사용하여 육계의 DBT를 측정하는 것이었고, 두 번째 실험은 사육실의 기온 변화에 따른 DBT의 변화를 측정하는 것이었다. 첫 번째 실험의 경우에는 10분간 무선 수신기로 입력되는 신호의 펄스 주기를 관찰하고 그 결과를 발신기의 보정 방정식을 이용하여 DBT로 변환하였다. 두 번째 실험의 경우에는 DBT의 일간 변화를 평가하기 위하여 DBT와 기온을 3일간 관찰하였다.

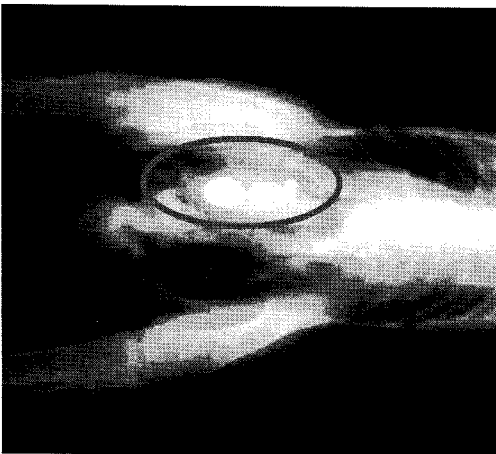


그림 7. 육계에 이식된 온도 발신기

4.2 DBT 측정

150.003 MHz 주파수의 발신기를 이식한 육계의 DBT를 10분간 관찰하였다. 이 기간 동안 총 876개의 펄스를 얻었고 결과를 [표 4]에 정리하였다. 측정 시점의 펄스 주기의 범위는 0.522에서 0.526 초였다. 이에 해당하는 DBT의 범위는 41.3℃에서 41.4℃이었으며 육계의 평균 DBT는 41.4℃이었다. 결과로 얻어진 수치는 육계의 정상적인 체온 값의 범위에 해당하며 이로써 구현된 시스템이 육계의 체온을 정확하게 측정할 수 있음을 확인하였다.

표 4. 150.003 MHz 발신기를 이식한 육계의 체온(DBT)

Pulse period (s)	DBT (°C)	No. of pulses
0.522	41.4	28 (3.2%)
0.523	41.4	309 (35.3%)
0.524	41.4	338 (38.6%)
0.525	41.3	194 (22.1%)
0.526	41.3	7 (0.8%)
Total		876 (100%)

4.3 사육실의 온도 변화에 따른 육계 DBT 변화 관찰

전 절의 육계 DBT 측정 결과를 근거로 두 번째 단계로 사육실의 기온 변화에 따른 DBT의 일간 변화를 관찰하였다. 이 과정에서 수신된 신호를 구현된 시스템을 통하여 펄스 주기로 변환하여 컴퓨터에 저장하고 이를 다시 식(1)을 적용하여 온도 값으로 환산한 후 그 추이를 관찰하였다. [그림 8]은 이 추이를 그래프로 나타낸 것이다. 관찰이 진행된 13시간 동안 사육실의 기온은 6.1℃에서 16.0℃의 범위에서 변화하였으며 같은 기간 동안 DBT의 범위는 40.0℃에서 41.6℃이었다. 실험 결과 육계의 체온 변화 추이는 대략적으로 사육실의 온도 변화와 유사하지만 일정한 범위 내에서 계속적으로 변화하며 사육실의 온도와의 상당한 차이가 있음을 알 수 있었다. 결론적으로 육계의 질병감시 및 정밀하고 효율적인 육계 사육환경의 제어를 위해서는 사육실의 기온보다는 육계의 체온을 기준으로 하는 관리가 필요함을 알 수 있다.

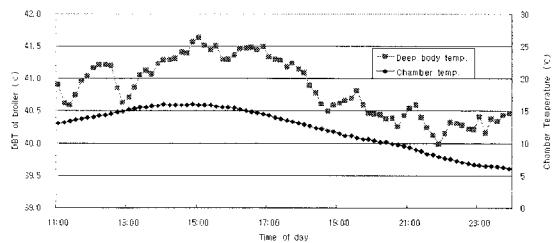


그림 8. 사육실의 기온 변화에 따른 육계의 일간 체온(DBT) 변화

5. 결론 및 향후 계획

본고에서는 육계의 체온(DBT)을 연속적으로 측정하는 이식형(implantable) 무선 원격측정 시스템(radio telemetry system)을 설계하고 구현하는 과정을 기술하였다. 실험 결과 온도 발신기가 충분히 보정된 상태에서 육계의 DBT는 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 정도의 비교적 높은 정확도로 측정

이 가능하였다. 하루 동안 사육실(chamber)의 실내 온도가 6.1℃에서 16.0℃까지 변할 때 육계의 DBT는 1.6℃ 정도 변화함을 알 수 있었다.

이 시스템은 기존의 양계 시설관리가 주로 시설 내의 온도를 측정하여 사육 환경을 제어하던 방식에 비하여 육계의 체온을 직접 감시하여 적절한 시설 제어를 할 수 있게 한다는 점에서 기존의 양계 시설 제어 시스템을 개선하는 데 사용될 수 있다. 또한, 발생 가능한 가금류의 질병을 관찰하기 위한 수단으로 사용될 수도 있으며 가축 생산의 최적화 및 동물 복지(animal welfare) 향상을 위한 동물 체온 관찰 방법으로도 사용될 수 있다.

가금류의 생리적 반응 특히 DBT의 변화로 다양한 질병의 발생을 판정하기 위해서는 데이터의 수집 및 적절한 분석이 필요하다. 또한, DBT 관찰 시스템의 유연성을 증대시키기 위하여 원격측정용 발신기를 지능형 센서 노드로 대체하는 것도 의미 있는 일이 될 것이다.

참고문헌

[1] Y. Kim, et al., "Software design for wireless in-field sensor-based irrigation management," ASABE Paper No. 063074, 2006.

[2] L. Gonda and C. E. Cugnasca, "A proposal of greenhouse control using wireless sensor networks," in Proc. of 4th World Congress Conference of Computers in Agriculture and Natural Resources, Orlando, Florida USA, 4-26 July 2006.

[3] T. Fukatsu, et al., "A distributed agent system for managing a web-based sensor network with field servers," in Proc. of 4th World Congress Conference of Computers in Agriculture and Natural Resources, Orlando, Florida USA, 4-26 July 2006.

[4] B. Lacey, et al., "Assessment of poultry deep body temperature responses to ambient temperature and relative humidity using an on-line telemetry system," Transactions of the ASAE. Vol. 43, No. 3, pp. 717-721, 2000.

[5] M. A. Mitchell, et al., "Remote physiological monitoring of livestock - an implantable radio-telemetry system," in Proc. of 6th International Symposium of Livestock Environment, Louisville, Kentucky USA, 21-23 May 2001.

[6] I. J. O. DaSilva, et al., "Evaluation of the migratory distance of passive transponders injected in different body sites of broilers using electronic identification," ASAE Paper No. 024224, 2002.

[7] T. M. Brown-Brandl, et al., "A new telemetry system for measuring core body temperature in livestock and poultry," Applied Engineering in Agriculture, Vol. 19, No. 5, pp.583-589, 2003.

양 현 호(Hyunho Yang)

[정회원]



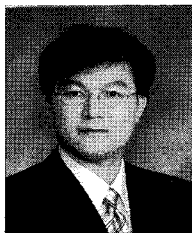
- 1986년 2월 : 광주대학교 전자공학과 (공학사)
- 1990년 8월 : 광주대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2003년 8월 : 광주과학기술원 정보통신공학과 (공학박사)
- 1989년 ~ 1990년 : 삼성 SDS 주식회사
- 1991년 ~ 1997년 : 포스데이터 주식회사
- 1997년 ~ 2005년 : 순천청암대학 조교수
- 2005년 ~ 현재 : 군산대학교 전자정보공학부 조교수

<관심분야>

무선데이터통신, Ad Hoc 네트워크, 무선 센서망

민 원 기(Wongi Min)

[정회원]



- 1987년 2월 : 충남대학교 수의학과 (수의학사)
- 1989년 2월 : 충남대학교 수의학과 (수의학석사)
- 1998년 2월 : 서울대학교 수의학과 (수의학박사)
- 2005년 9월 ~ 현재 : 경상대학교 수의학과 조교수

<관심분야>

조류질병학, 바이러스학

배 영 환(Yeonghwan Bae)

[정회원]



- 1980년 2월 : 서울대학교 농공학과 (농학사)
- 1982년 2월 : 서울대학교 농공학과 (농학석사)
- 1987년 12월 : Texas A&M University 농공학과 (Ph.D.)
- 1988년 10월 ~ 현재 : 순천대학교 산업기계공학과 교수

<관심분야>

농업기계 및 시설 제어, 농산물 선별기 개발