

번식을 향상을 위한 무인 발정발현 관찰시스템 구현

김석준^{1*}, 지선호², 조현찬², 김춘수¹, 김현섭³

¹이노비스, ²한국기술교육대학교 전기전자통신공학부, ³농업진흥청 국립축산과학원

Implementation of unmanned cow estrus detection system for improving impregnation rate

Suc-June Kim^{1*}, Sun-Ho Jee², Hyun-Chan Cho², Chun-Su Kim¹, Hyeon-Shup Kim³

¹Innobis

²School of Electrical, Electronics and Communication Engineering, KOREATECH

³National Institute of Animal Science, Rural Development Administration

요약 본 논문에서는 무인 발정발현 관찰을 통해 다두 사육 시 발생하는 공태를 줄이고, 정확한 수정시기 판단을 통해 번식률을 향상하고자 하였다. 무리 생활을 하는 소의 특성상 운동량의 증가 유무만으로는 발정 발현의 판단이 어렵기 때문에, 소의 운동량 수집 센서와 개체 정보 종합 관리 프로그램을 개발하여 무인 발정발현 관찰시스템을 구축하고 운동량 정보와 번식 정보를 이용하여 발정 발현 관찰 알고리즘을 개발하였다. 시스템과 알고리즘에 대한 성능 검증은 수정 전 시스템을 통해 수정적기를 관찰하고, 수정하고 21일 후 재발정 여부를 확인, 다음 21일 후 초음파 진단을 통해 수태여부를 확인하여 적절하게 수정적기를 판단하였는지 검증하였고, 이를 규모가 유사한 실제 축산 농가 4곳에서 수행하였다. 각 농가의 총 사육 두수는 87, 81, 93, 82두이며 관찰된 발정 예정인 소는 14, 19, 15, 17두 이다. 이중 미약발정에 해당하는 3, 2, 1, 3두는 관찰에 실패하였으나 정상발정에 해당하는 11, 17, 14, 14두의 발정을 감지하였고, 인공 수정 후 10(91%), 17(100%), 13(93%), 14(100%)두의 소가 수태하여 제안된 무인 발정발현 관찰 시스템이 정상발정 시 수정시기 판단에 유효함을 보였다.

Abstract In the paper, we reduce non-pregnant conditions and improve impregnation rate by unmanned estrus detection and decide proper time for artificial insemination. It is too hard to detect estrus only by using activities, we develop unmanned estrus detection system that consist of RF activity sensors, cow management program and estrus detection algorithm that uses information of activities and breeding. We verify performance by experiments in four similar scale stockbreeding farmhouse. Each stockbreeding farmhouse breeds 87, 81, 93, 82 cows and expected estrus cows are 14, 19, 15, 17. In expected estrus cow, we fail in weak estrus detection - 3, 2, 1, 3 cows, but detect successfully normal estrus - 11, 17, 14, 14 cows. After artificial insemination, 10, 17, 13, 14 cows became pregnant successfully confirming that proposed unmanned estrus detection system is effective for deciding proper time for artificial insemination in normal estrus.

Keywords : artificial insemination, cow management, estrus detection, impregnation, stockbreeding farmhouse

1. 서론

다두 사육을 통해 소득을 얻는 축산 농가에서 번식관리는 중요한 이슈이다. 한우는 일 년 중 어느 시기라도

번식이 가능한 연중번식 또는 주년번식을 하는 동물이며, 송아지 육성에 편리한 계절에 분만을 하도록 번식 시기를 조절하거나 혹서기, 혹한기를 피해 번식하도록 유도하는 등 효율적인 번식관리가 필요하다[1].

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(PJ010183032015)의 지원을 받아 수행되었음.

*Corresponding Author : Suc-June Kim(Innobis)

Tel: +82-41-568-5679 email: sjkim2116@gmail.com

Received July 21, 2015

Revised (1st September 3, 2015, 2nd September 6, 2015)

Accepted September 11, 2015

Published September 30, 2015

이러한 번식 관리에 있어, 발정 발현 관찰 실패로 인해 수정적기를 놓쳐 발생하는 공태는 농가 수입에 영향을 미치는 중요한 문제이다. 공태 기간의 증가는 사료비용 증대, 송아지 생산량 감소 등 경제적 손실을 가져온다. 한우 번식우가 10두 이하의 농장에서 발정 발현 관찰은 육안으로 비교적 쉽게 가능하지만, 30두가 넘어서면 분만 간격이 늘어나고, 수태 당 중부횟수가 길어지는 등 번식관리가 어려워진다. 또한, 축사에 사람이 없거나 야간 및 새벽시간에는 발정 발현 관찰이 어렵다는 점 역시 공태를 발생시키는 요인이 된다. 현재, 60대 이상의 목장주가 2011년 16.6%에서 2013년 24.7%로 늘어 축산농가 인력의 감소 및 고령화되는 추세이고, 국제 곡물 가격 상승에 따른 원료사료 가격이 상승세를 그리고 있어 농가 부담이 더욱 늘어나고 있다. 이러한 상황을 해결하는 최상의 대책은 젊은 농업인을 육성하거나, 대규모 조사료 농지를 구성하는 것이지만, 단기간에는 해결하기 어려운 문제들이다[2].

이러한 문제를 해결하기 위하여, 계절 번식이나 일괄 수태, 배란동기화 또는 발정 동기화 기술을 적용시켜 분만간격을 최대한 단축시키고 공태우 발생을 최소화하도록 하고 있으나, 여전히 발생하는 공태로 인해 농가의 고민거리는 해결되지 않은 실정이다. 따라서, 개체 번식률을 향상시키기 위하여 축산 농가의 소 개체에 대한 번식 정보 즉, 최종 분만일, 분만 후 경과일수, 수정일, 수정 횟수, 산차 횟수, 분만 후 첫 발정일 등을 파악해서 해당 축산 농가의 문제점을 찾고 데이터화 하여 적절한 번식 관리를 실시해야 한다.

번식률을 향상시키기 위한 연구 중 발정 동기화기술이나 배란동기화에 대한 연구는 젖소에서 배란동기화 프로그램 적용 후 임신율에 영향을 미치는 요인 분석 연구

[3], 유우목장에서 빠르고 정확한 발정탐지를 위한 수송 아지의 음경전위술[4], $PGF_{2\alpha}$ 투여에 의한 젖소의 발정 동기화 처리 시 발정 발현 및 수태에 영향을 미치는 요인[5] 등의 연구가 보고되고 있으나 현실적으로 농가에 적용은 어렵다. 또한, USN을 이용한 암소 발정감지 시스템[6], 젖소 번식관리를 위한 컴퓨터 소프트웨어 프로그램 개발[7], 상황 인식 기반의 한우 생체정보 모니터링 시스템[8], 젖소의 유성분석을 통한 우군건강관리프로그램[9] 등 개체 관리를 통한 번식관리 소프트웨어를 국내에서도 다양하게 개발하여 내놓고 있다. 그러나, 이러한 프로그램들은 그 적용분야가 한정적인 실정이며, 외국의 번식전문 프로그램을 구입하여 사용하거나 엑셀 등을 이용하여 제한된 범위 내에서만 데이터 관리를 하고 있다. 본 논문에서 제시된 시스템에서는 번식을 향상 위하여 발정발현 감시를 위한 하드웨어를 제작하고 이를 종합 개체 관리시스템과 연동하여 운동량과 번식정보를 이용하여 발정발현 판단의 정확성을 높이고자 하였다.

축사 환경에 따라 소들의 행동양식이 다르고, 축사의 관리 체계에 따라 번식관리 유형이 다르다. 이로 인해 각 축사마다 특화된 방법으로 번식 관리할 필요가 있다. 또한, 야간이나 축사에 사람이 없는 경우에도 발정 발현을 감시할 수 있는 시스템이 요구된다.

본 연구에서는 번식을 향상 위하여 소의 운동량을 측정하는 시스템을 만들고 이를 번식에 필요한 정보들과 함께 데이터베이스화하여 발정 발현을 예측하는 종합 개체 관리 시스템을 제안하고, 제안된 시스템을 구현하여 실제 농가에서 실험을 통해 그 성능을 검증해 보았다.

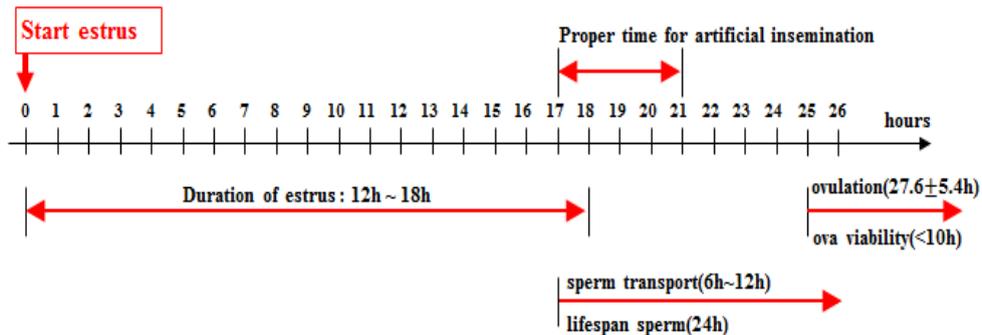


Fig. 1. Time of artificial insemination after estrus detection

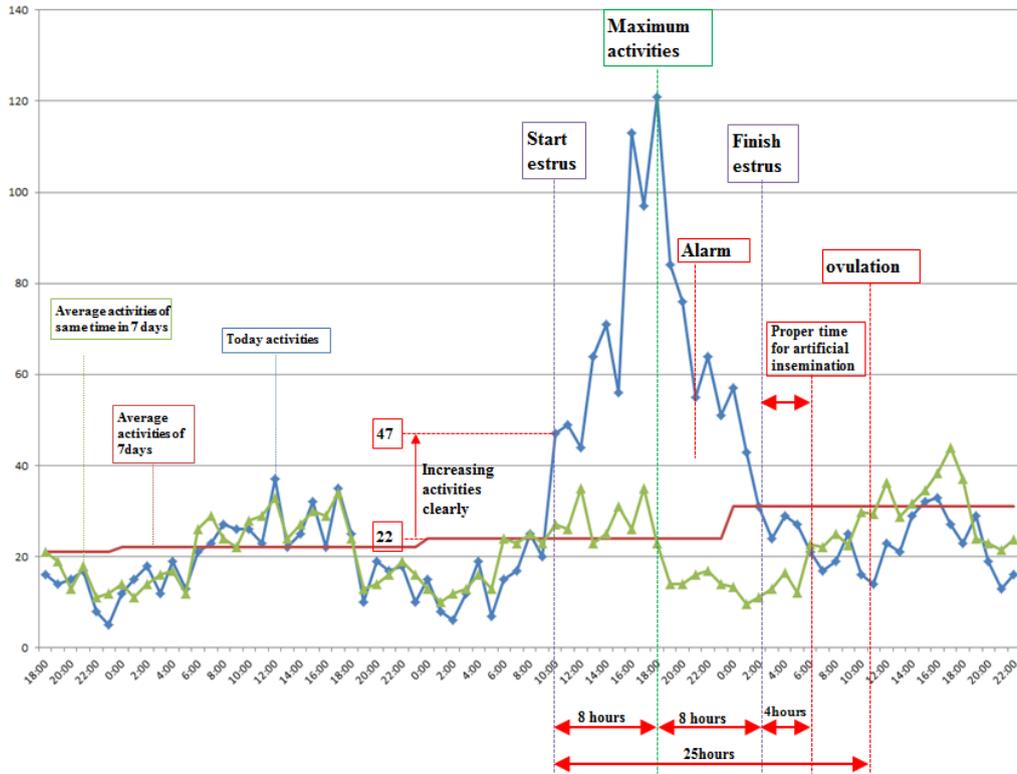


Fig. 2. Changing activities of estrus cow

2. 소의 발정 발현 특성

발정이 온 암소의 외관적 현상을 살펴보면 다음과 같다. 암소의 일반적인 발정 지속 시간은 약 12~18시간이며 이때 특징은 큰 소리로 울고, 다른 소의 냄새를 맡거나 핥는 행동을 보이며, 다른 소에 승가를 하거나 당하게 된다. 그리고 대음순이 부풀어 오르고 붉은빛을 띤다. 질 점액의 분비량은 발정 후기로 갈수록 줄어들게 된다. 또한, 자주 배뇨를 하고, 신경질적이 되며, 불안해하고, 식욕이 줄어드는 현상을 보인다. 마지막으로 보행 수가 평소보다 약 2배에서 4배 증가한다. 소의 수정 적기는 암소의 배란 시기와 난자의 수명 그리고 정자의 이동 시간과 수명으로 결정되어 진다. Fig. 1은 암소 발정 후 난자와 정자의 수명을 고려한 수정 적기 시간을 보여준다.

발정의 시작은 소가 최초 승가행위를 시작하면서 시작되며, 발정이 시작된 이후 12시간에서 18시간 동안 지속한다[10]. 난자는 평균적으로 발정 시작부터 약 27.6시간 후 배란되며, 수명은 약 10시간 정도로 관찰된다. 인공 수정 후 자궁으로 정자가 이동하는 시간은 6시간에

서 12시간 이며, 수명은 24시간으로 관찰된다[11]. 이에 따라 정자 이동 시간 및 수명과 난자의 수명 등을 고려하면 수정 적기는 발정이 끝난 직후 3시간에서 4시간 후가 된다[12].

그러나 최초 승가 활동을 이용한 수정 적기 판단은 관리 대상 소의 수가 많거나 야간 혹은 축사에 사람이 없는 경우 발정 발현의 판단 어렵다는 단점이 있다. 이러한 단점을 해결하기 위해 발정 시 또 다른 특징인 활동량 증가를 이용하는데, 승가활동 역시 움직임이므로 활동량 데이터에 누적되어 표현되며, 수정 적기 판단 시 활동량을 수집 및 분석하는 시스템을 제안하고자 한다.

3. 발정 발현 관찰 시스템

Fig. 2는 일반적인 암소 발정기의 행동량 변화를 그래프로 보여주고, 이를 발정 시 생체 정보에 따라 분석한 내용을 보여준다. 한 개체의 오늘 활동량, 일주일 평균 활동량, 일주일 시간 평균 활동량이다. 각각의 의미는 다

음과 같다.

- 오늘 활동량 : 당일 시간 별 활동량
- 평균 활동량(일주일) : 전날부터 7일 전까지의 시간당 평균 활동량
- 시간평균(일주일) : 전날부터 7일 전까지의 해당 시간의 평균

평균 활동량의 수치는 22이며, 오전 10시에는 47로 2배 이상 상승하였다. 이를 기점으로 발정이 시작되었음을 알 수 있고, 발정 시작 후 8시간 뒤에는 121, 평균 활동량의 약 5.5배로 최고 활동량을 보였다. 그 후 8시간 뒤인 다음 날 새벽 2시에는 활동량이 평균 수준으로 줄어 발정이 거의 종료되어 감을 알 수 있다. 이에 따라 수정 적기는 발정이 종료되어 가는 시점인 새벽 2~6시까지가 수정적기 임을 알 수 있다. 또한, 인공 수정을 미리 준비하기 위한 시간을 주기 위한 알람을 4시간 전에 할 수 있다.

3.1 시스템 구성

Fig. 3은 전체 시스템의 블록 다이어그램을 보여준다.

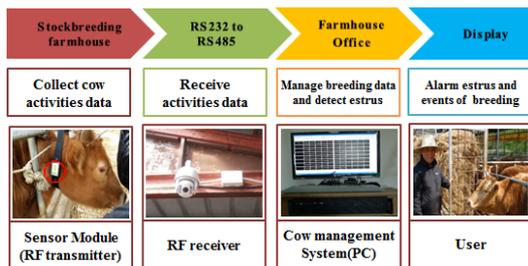


Fig. 3. Heat detection block diagram

Fig. 3에서 시스템은 소의 활동량을 수집하고 전송하는 센서 모듈과 전송된 활동량 데이터를 개체별로 데이터베이스에 저장하고 소의 번식 정보 및 혈통정보 등 번식관리를 위한 종합 개체 관리 프로그램으로 구성되어있다.

센서 모듈은 활동량을 수집하기 위해 틸트센서, 무선 데이터 송수신을 447.875Mhz 주파수 대역을 이용한 RF 모듈 및 MCU로 구성되어 목걸이형으로 제작되었다. 목걸이형으로 제작된 센서는 소의 접촉에 의한 파손과 축사의 오물, 이물질에 오염되는 것을 방지하기 위해 PCB 기판에 실리코너치 후 케이스를 초음파 용착으로 완전히

봉합하였다. 한번 용착한 센서 모듈의 배터리는 교체할 수 없기 때문에 수명을 최대한 보장할 필요가 있는데, 이를 위하여 저전력 소자이면서 틸트센서와 RF 모듈 사용을 위한 최소한의 기능을 갖춘 PIC16LF 계열의 MCU를 이용하였다. 센서 모듈의 동작 모드는 MCU, timer, RF 모듈의 동작 상태에 따라 4가지로 구분하며, 각 동작 모드에서의 측정 소비전류는 Table 1과 같다.

Table 1. Operation modes and current consumption

Mode	Stand by	Collect Data	Data Transmit	Data Receive
MCU	Sleep	Run	Run	Run
Timer	Run	Run	Run	Run
RF module	Sleep	Sleep	Tx Run	Rx Run
Peak current consumption	2.8uA	1.532mA	17.531mA	34.531mA

Table 1에서 소의 움직임이 감지되지 않을 시 센서 모듈은 데이터 수집 대기 모드이며, timer를 제외한 MCU와 RF 모듈은 sleep 모드로 대기한다. 소의 움직임이 감지되는 데이터 수집 모드는 MCU가 sleep 모드에서 깨어나고 데이터가 처리되는데 걸리는 시간은 약 11us로 약 1.6mA 전류를 소모한다. 수집된 데이터를 전송하기 위한 모드는 Tx, Rx 모드로 구분하며 각 모드에서 소모 전류는 17.531mA, 34.531mA이다. 각 모드에서 측정된 소모 전류를 기반으로 Microchip XLP Battery Estimator를 이용하여 Fig. 4와 같이 시뮬레이션 하였다.

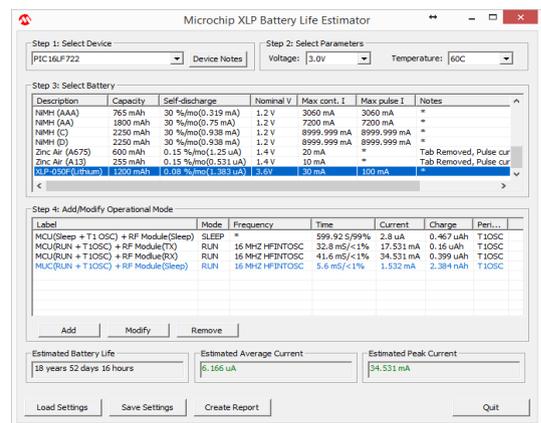


Fig. 4. Battery life simulation3

Fig. 4와 같이 시뮬레이션 시 사용 가능한 시간은 약 18년 52일 16시간이지만 시간에 따른 배터리 누수와 센

서 입력을 최대도 고려하더라도 약 5년 이상 사용이 가능하다.

센서 모듈에 의해 수집된 데이터를 RF 모듈 수신기에 수신 후 RS485 통신을 이용하여 종합 개체 관리 프로그램으로 전송된다. 종합 개체 관리 프로그램에서는 각 개체의 번식 정보, 혈통관리, 활동량 정보 등을 저장하고, 발정발현 관찰 알고리즘을 이용한 수정적기, 분만 예정일, 백신관리 등 번식에 필요한 이벤트들을 사용자에게 알려준다. 프로그램에 필요한 사용자 인터페이스는 이미지화하여 간단히 사용이 가능하도록 구성하였으며, 번식에 필요한 정보들은 확인이 용이하도록 전광판 형식으로 디스플레이 하였다. 입력된 주요 정보들의 예정일은 자동으로 계산되어 표시되며, 각종 예정일 및 이벤트들은 모두 메인창에서 쉽게 알람으로 확인할 수 있도록 구성하였다.

3.2 데이터 전송 알고리즘

측사는 규모에 따라 사육 두수가 수십에서 수백 두까지 다양하다. 또한, 각 개체마다 센서를 부착하여 활동량을 무선으로 전송해야 한다. 이러한 환경은 두 개 이상의 센서가 동시에 데이터를 전송할 경우, 무선 신호의 충돌에 의해 신호가 왜곡되는 문제를 발생시킨다.

수신기와 각 센서는 데이터 전송 주기를 동기화하기 위해 시간을 측정하는 모듈을 사용한다. 그러나 각 센서에서 사용된 시간 측정 모듈은 시간이 지남에 따라 미세한 시간 틀어짐이 발생한다. 이러한 틀어짐이 누적되면, 앞서 언급한 신호 충돌 문제와 암소의 발정 단계를 한 시간 단위로 측정하기 위한 데이터 수집에 문제를 발생시킨다. 이를 해결하기 위해 수신기에서 측정된 시간을 기준으로 각 센서의 시간을 동기화 하여, 각 센서가 자신의 시간을 보정하는 방법을 사용하였다. 다음은 다수의 송신 센서와 수신기 사이의 데이터 송수신 알고리즘이다.

- Step 1. 송신 센서에 전원이 인가되면 수신기에게 자신의 정보를 전송
- Step 2. 수신기는 Step 1의 응답으로 송신센서에게 현재 시간을 전송
- Step 3. 송신 센서는 수신기에서 전달 받은 현재 시간을 자신의 시간으로 동기화
- Step 4. 송신센서는 현재 시간을 사용하여, 자신이 전송할 시간을 계산

- Step 5. 송신 센서는 슬립모드로 동작하며, 활동량을 수집
- Step 6. Step 4에서 설정한 시간이 되면, 수집된 활동량을 수신기에 전송
- Step 7. 수신기는 전송된 활동량 정보를 저장하고, 현재 시간을 센서에 전송
- Step 8. Step 2부터 Step 7을 반복

Fig. 5는 데이터 송수신 주기를 보여준다. 제안된 시스템에서 적용 가능한 최대 센서 모듈 수는 200개이며, 데이터의 안정적인 송수신을 위하여 3초 간격으로 각 센서 모듈이 데이터를 전송한다. 최대 가용 센서 모듈 수와 데이터 전송 간격을 고려하면 한 센서 모듈이 데이터 전송 후 다시 데이터를 전송하는 시간은 10분의 주기를 가지게 된다.

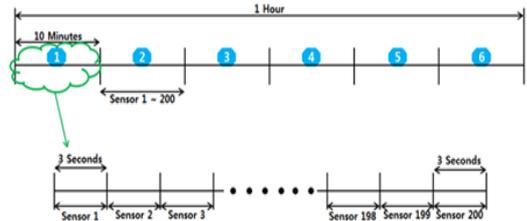


Fig. 5. Period of collecting and transmit data

3.3 개체 정보 종합 관리 프로그램

소는 일반적으로 여러 마리가 물려다니며 생활하는 습성이 있다. 이러한 습성에 따라 한 개체가 발정이 나면 주위의 다른 개체들도 역시 활동량이 많아지는 경우가 발생하므로 활동량만으로 소의 발정을 판단하기에는 무리가 있다. 따라서 소의 발정을 정확히 판단하기 위해서는 각 개체의 발정 주기 및 임신 여부 등 여러 가지 정보가 추가로 필요하다. 이러한 소의 생태 정보 및 활동 정보를 관리하기 위해 종합관리 프로그램을 개발하였다. 프로그램 개발을 위한 운영체제는 윈도우 8, 개발 도구는 QT-Designer 5.3, 데이터베이스는 MySQL 5.6을 사용하여 제작하였다. 발정 발현 판단과 개체 관리를 위한 필수적인 정보는 소의 개체 번호, 모 개체 번호, 부 정액 번호, 생년월일, 최종 분만일, 수정일, 임신 여부 등이 필요하다. 또한, 해당 개체에 부착한 센서의 번호를 입력하도록 하였다. Fig. 6은 개발된 개체 정보 종합 관리 프로그램의 메인 창이다.

No.	Gender	Birthdate	Fert. Day	Est. Due Date	Calf Due Date	Mother	Sensor Num	Pregnancy
1	M	2014.05.07	-	2015.06.23	-	0	0	No
8	M	2014.11.04	2014.04.22	-	2015.01.27	0	0	Yes
123	M	2015.04.29	2015.05.13	2015.06.03	-	0	0	No
443	M	2014.05.15	-	2015.05.15	-	0	0	No
99	M	2015.05.06	-	2016.05.05	-	0	0	No
2	M	2014.06.07	-	2015.06.07	-	0	0	No
4	M	2014.06.08	-	2015.06.08	-	0	0	No
6	M	2014.05.08	-	2015.06.07	-	0	0	No
7	M	2013.06.04	2014.09.01	-	2015.06.08	0	0	Yes
9	M	2013.06.04	2014.10.30	-	2015.08.06	0	0	Yes

Fig 6. Main window of cow management program

메인 창에서는 개체 관리 및 번식 관리에 필요한 주요 정보들을 표시하도록 했으며, 각종 예정일은 사용자가 입력한 데이터에 따라 자동으로 계산하여 표시하도록 했다. 또한, 축산 농가로부터 많이 확인하는 정보를 피드백 받아 윈도우를 구성하였으며, 메인 윈도우서 확인할 수 있는 정보 목록 및 순서를 수정할 수 있도록 구성하였다. 이때, 중요 데이터를 전광판 형식으로 디스플레이하면서 중요 이벤트에 대한 파악이 쉽도록 알람 하였다. 프로그램에서 각각의 예정일에 대한 계산은 다음과 같다.

- 최초발정예정일 : [생일] + 365일
- 재발정예정일 : [이전 수정일] + 21일
- 분만 후 발정예정일 : [최종 분만일] + 40일
- 분만예정일 : 수태확정 후 [수정일] + 280일

최초발정예정일은 수태 미경험 암소가 최초로 발정이나는 시기이며, 재발정예정일은 근래의 발정 발현 후 인공 수정하였으나 수태하지 못하고 다음 발정이 나타나는 시기이다. 분만 후 발정예정일은 분만 후 재임신이 가능한 발정 발현일이다. 이는 농가에서 적용하는 일반적인 기준을 기본으로 삼았으며, 농가마다 조금씩 적용 일자가 차이가 나므로 농가에서 이를 다시 설정할 수 있도록 하였다. 또한, 개체에 대한 혈통 정보, 활동량 그래프, 백신 정보 등 개체 관리에 필요한 상세 정보를 확인할 수 있도록 Fig. 8과 같이 개체 상세 정보 창을 제공하였다.

Fig. 7의 개체 상세 정보 창에서는 개체 관리를 위한 기본 정보와 발정 발현과 관련한 분만정보로 분리하여 보여준다. 그 외에도 소의 개체 번식에 있어 품질 유지와 근친 임신을 방지하기 위해 혈통 정보가 중요한데, 이를 위해 해당 개체로부터 2세대까지 모 개체 번호와 부 정액 번호를 자동으로 정렬하여 보여주도록 하였고, 건강 관리를 위한 백신 정보도 보여주도록 하였다.



Fig 7. Detailed information window of each cow

4. 발정 발현 관찰 알고리즘

활동량 수집 센서를 이용하여 활동량 정보를 감지하고 개체 종합 관리 프로그램에 의해 발정 예정일을 계산하여 얻은 두 데이터를 이용하여 발정 발현을 감시한다. 만약 이러한 조건이 충족하면, 이를 발정으로 판단하고 알람으로 알려준다.

소의 활동량은 일반적으로 발정일 경우 늘어나지만, 주위에 발정인 개체가 있을 때도 늘어날 수 있다. 또한, 발정 시기에 맞춰 발정이 일어났지만 발정이 미약할 경우, 활동량 증가량이 현저하게 떨어진다. 이러한 요인들로 인해 발정 발현을 판단하기 위해서는 활동량 외에 발정예정일, 임신 여부 등 여러 가지 소 개체에 대한 정보가 추가로 필요하다. Table 2는 발정 발현에 관련된 조건에 따라 알람이 가능한 예정일을 보여준다.

Table 2. Type of estrus about expected date

Data is written or not (1): artificial insemination date (2): final birth date (3): state of impregnation			Expected estrus date <1>: First estrus <2>: Estrus after artificial insemination <3>: Estrus after birth
(1)	(2)	(3)	
X	X	X	<1>
X	X	O	No expected date
X	O	X	<3>
X	O	O	No expected date
O	X	X	<2>
O	X	O	expected birth date
O	O	X	<2> or <3>
O	O	O	expected birth date

Table 2에서 수정일과 최종분만일의 기록 유무에 따라 나타나는 예정일이 다르다. 수정일과 최종분만일이 모두 없거나 하나만 있을 때는 정해진 예정일을 출력하

지만, 수정일과 최종분만일이 모두 존재할 경우에는 임신 여부에 따라 출력하는 예정일이 다르다. 만약 수정일과 최종분만일이 모두 기록되어 있고 임신 여부가 부로 표시되어 있다면, 수정일과 최종분만일을 현재 날짜와 비교하여 수정일이 현재 날짜와 가깝다면 재발정일을 출력하고, 최종분만일이 가깝다면 재제발정일을 출력한다. 그리고 임신을 한 경우에는 수정일을 기준으로 분만예정일을 출력한다. 이러한 조건에 따라 소의 발정 발현에 관련한 예정일들을 계산할 수 있다.

Fig. 8은 활동량을 통해 발정 발현 여부를 판단하는 알고리즘이다. 여기서 각 파라미터의 의미는 다음과 같다.

- receive_act : 1시간동안 수신된 개체 활동량
- present_time : 현재 시간
- heat_end : 발정 발현 종료 여부
- avg_act : 전날부터 7일간의 평균 활동량
- heat_time_cnt : 발정 발현 경과 시간
- max_act : 발정 발현 중 최대 활동량
- max_act_time : 최대 활동량의 해당 시간
- weak_heat : 미약발정
- normal_heat : 정상발정
- prepare_alarm : 인공 수정 준비 알람 플래그

발정 발현 관찰을 시작하는 기준은 현재 수신된 활동량이 평균 활동량의 2배 이상이 되는 시점이다. 관찰에 사용하는 데이터는 현재 수신된 시간부터 12시간 전까지의 메시간의 활동량을 읽어와 2배 이상 활동량이 증가한 시간을 카운트하여 발정 발현 시간을 체크한다. 이때, 최대 활동량이 평균 활동량의 4배 이상이고, 4시간 이상 유지한다면 발정 징후가 진정되는 추세로 판단하여 인공 수정을 준비하기 위한 알람을 한다. 그러나 미약 발정의 경우 활동량이 평소에 비해 증가하지만 정상 발정만큼 큰 폭으로 증가하지 않는다. 따라서 만약 2배 이상의 활동량을 9시간 이상 유지하였다면 미약 발정으로 확인이 필요하다는 알람을 표시한다. 인공 수정 준비 알람이나 미약 발정 확인 알람 이후, 현재 시간의 활동량이 평균 활동량의 2배 이하로 감소한다면, 개체의 발정이 종료되는 시점으로 판단하고, 발정에 관련된 모든 데이터를 초기화 한다. 이 후 앞서 계산한 발정 관련 예정일들과 비교하여 예정일 내에 발정을 감지하였다면, 사용자에게 발정 발현이 되었음을 알린다.

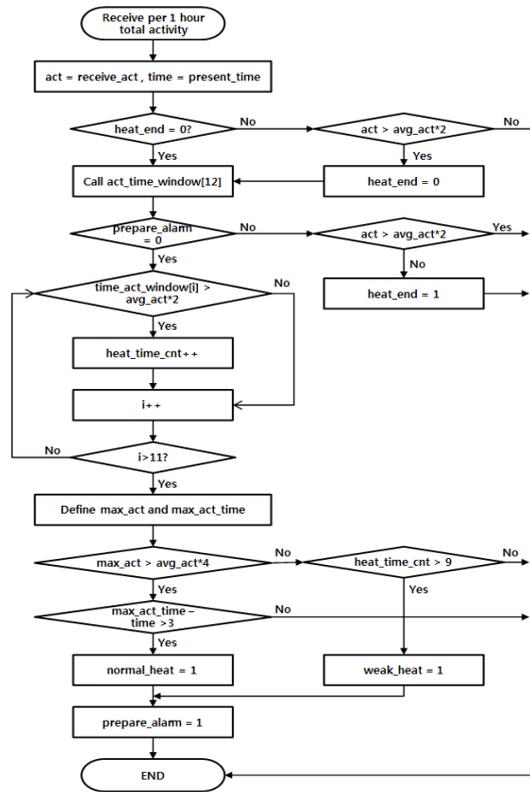


Fig. 8. Estrus detection algorithm using activities

5. 발정 발현 관찰 실험 및 결과

5.1 발정 발현 관찰을 위한 농가 실험 환경

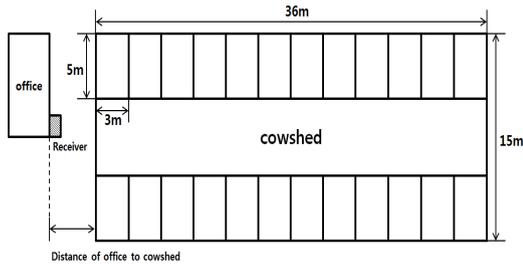
Fig. 9는 소의 목에 센서를 장착한 모습을 보여준다.



Fig. 9. Figure of wearing necklace type sensor

소의 발정기 특징은 운동량이 평소보다 많게는 7배까지 증가하여 발정이 나지 않은 상태의 운동량과 크게 차이를 보인다는 것이다. 이러한 특징에 의거하여 발정이 나지 않은 상황의 활동량과 발정 시 활동량의 차이를 이용하여 발정을 관찰하고자 하였다. 또한 센서를 장착 시 충격이나 스탠존을 활용하여 안전하게 소에 부착할 수 있도록 목걸이 형태로 센서를 제작하였으며, 무게 추를 달아 무게 추가 항상 아래쪽에 위치하도록 하여 센서의 위치를 고정하였다.

실험은 규모가 비슷한 4개의 농가에서 실시하였다. Fig. 10은 농가의 구조 및 수신기 설치 위치를 보여준다.



(a) Construct of cowshed used in experiments



(b) Installed location of receiver

Fig. 10. Experiments environment

수신기는 Fig. 10(b)처럼 농가나 사무실 외벽에 설치하였으며, 수신기와 축사까지의 거리는 농가마다 최단 55m부터 최장 104m까지 차이가 있다. 축사의 한 개의 동은 20칸에서 24칸으로 이루어져 있으며, 각 칸의 크기는 3*5m(가로*세로)이다. 각 칸에는 소가 3, 4마리 정도 배치되어 있다.

실험을 실행한 축산 농가는 사육 두수 및 축사의 구조 등을 고려하여 최대한 유사한 형태의 농가들을 선택하였으며, Table 3에서는 각 농가의 사육두수, 생후 12개월 미만의 송아지 두수, 수태 중인 두수, 사무실과 가장 먼

축사의 거리 등 실험 농가의 제원을 보여준다.

Table 3. Data of each stockbreeding farmhouse

Data	stockbreeding farmhouse			
	1	2	3	4
Maximum signal distance	84m	55m	104m	77m
number of cow	87	81	93	82
calves	26	24	31	23
impregnation cow	19	15	22	17
expected estrus	14	19	15	17

각 농가는 총 사육 두수가 각각 87, 81, 93, 82두로 비슷한 규모의 농가이며, 발정 발현이 없는 생후 12개월 미만과 이미 수태를 한 소의 수는 각각 45, 39, 53, 40두로 나타났다. 발정 발현 예정인 소는 각각 14, 19, 15, 17두로 나타났다. 그 외에는 이미 발정 발현 후 인공 수정을 했거나, 수태 후 재재발정 기간을 기다리는 소로 구성 되어 있다.

5.2 발정 발현 관찰 실험 결과

첫 번째 주기에서 발정 발현을 관찰할 소에 각각 활동량 수집 센서를 장착하고 관찰을 시작하였다. 관찰은 총 63일간(총 3주기) 이루어졌으며, 소들의 발정 종류별로 구분하면 Table 4와 같다.

Table 4. Type of estrus of observed cow

Type of estrus	stockbreeding farmhouse			
	1	2	3	4
First estrus	4	8	4	4
Estrus after artificial insemination	7	5	7	8
Estrus after birth	3	6	4	5

관찰을 시작한 모든 개체는 생애 상 반드시 발정이 발현되어야 하며, 관찰 순서는 다음과 같다.

- step 1. 발정 발현 감지
- step 2. 발정 발현한 개체 인공 수정
- step 3. 인공 수정한 21일 후 발정 발현 탐지
- step 4. 인공 수정한 40일 후 수태 확정

Table 5. Estrus detection results

Data	stockbreeding farmhouse			
	1	2	3	4
observed cow	14	19	15	17
estrus detection	11	17	14	14
impregnation cow	10	17	13	14
impregnation rate 1	70%	89.4%	86.7%	82.4%
impregnation rate 2	91%	100%	93%	100%

먼저 발정 발현을 정확하게 감지하였는지 판단한 후 발현 발현을 감지한 개체를 인공 수정한다. 인공 수정 21일 후 다시 발정이 온다면 수태에 실패한 것으로 판정하고 만약 발정이 오지 않는다면 다시 21일 후 최종 수태 여부를 확정하게 된다. 이렇게 관찰한 결과는 Table 5와 같다.

Table 5의 수태 비율 1은 총 관찰 두수와 실제로 수태한 두수의 비율을 의미하며, 수태 비율 2는 제안한 시스템에서 발정으로 감지한 두수와 실제로 수태한 두수의 비율이다. 농가별 총 관찰 두수는 14, 19, 15, 17두이고, 이중 11두(발정 감지 실패 : 3두), 17(2), 14(1), 14(3)의 발정을 감지하였다. 발정을 감지한 개체 중 인공 수정을 하여 수태에 성공한 두수는 각각 10두(발정 감지 두수 : 11두), 17(17), 13(14), 14(14)로, 발정 발현을 감지한 개체에 대해서는 높은 확률로 수태에 성공했음을 보여주고 있다. 이는 발정을 감지한 개체에 대해서는 적절한 수정 시기를 알려 주고 있음을 알 수 있다. Table 6에서는 감지한 발정 유형에 대해 보여준다.

Table 6. Type of observed estrus detection

stockbreeding farmhouse (observed cow)	Detection success		Detection fail	
	Normal estrus	weak estrus	Normal estrus	weak estrus
farmhouse 1 (14)	10	1	0	3
farmhouse 2 (19)	16	1	0	2
farmhouse 3 (15)	13	1	0	1
farmhouse 4 (17)	14	0	0	3

각 농가에서 발정 감지에 실패한 개체(3, 2, 1, 3두)는 모두 미약 발정으로 판단되었으며, 발정을 감지했으나 수태를 못한 개체(1, 0, 1, 0두)의 경우는 미약 발정을 감지한 경우로 수정시기 판단이 제대로 되지 않았음을 알 수 있었다.

6. 결론

본 연구에서는 번식을 향상을 위해 발정 발현 관찰에 실패하거나 수정 적기 판단을 제대로 하지 못해 발생하는 공태 기간을 줄일 수 있는 발정 발현 관찰 장치 및 소 개체 종합관리 시스템을 제안하였다. 틸트센서의 충격감지와 RF모듈을 이용한 데이터 무선 송수신, 저전력 프로세서로 구성된 센서모듈을 제작하고, 이를 목걸이형으로 만들어 소에 부착하였다. 수집된 활동량 데이터는 PC기반으로 개발된 개체 종합 관리 프로그램으로 전송되고, 소의 활동량 데이터와 입력된 번식데이터를 이용하여 발정을 관찰하는 알고리즘을 개발하였다. 개체 종합관리 프로그램은 번식에 필요한 정보들을 알아보기 쉽도록 진광판 형식으로 간결하게 디스플레이하고, 번식에 필요한 예정일 및 이벤트에 대한 알람을 표시하였다. 이렇게 구현된 시스템을 실제 축산 농가를 대상으로 실험을 통해 성능을 검증해 보았다.

총 사육두수가 87, 81, 93, 82두인 4개의 농가를 대상으로 실험을 진행하였고, 이미 수태중이거나 생후 12개월 미만인 소들을 제외한 14, 19, 15, 17두를 관찰하여 11, 17, 14, 14두의 발정을 감지하여 수태에 성공하였다.

그러나 실험 결과에서 볼 수 있듯이 제안된 시스템은 아직 미약 발정을 감지하는 데 미비하다는 것을 알 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 향후, 더 많은 표본 집단에 대해 실험을 하여 미약 발정에 대한 패턴 정보 수집이 필요하다. 이를 통해 미약 발정에 대한 알고리즘을 개선하여 정상 발정뿐 아니라 미약 발정에도 유효한 시스템을 구축해야할 필요가 있으며, 개발된 시스템에 대한 신뢰성을 향상시키기 위해 좀 더 많은 개체를 대상으로 실험을 할 필요가 있다.

References

- [1] Gyeong-Nam Kim, "Guide for raising Korean cow", pp.86-90, MAFRA, RDA, NH, 2002.
- [2] Kwang-Soo Baek, et al., "The Accuracy Analysis and Applied Field Research of a Newly Developed Automatic Heat Detector in Dairy Cow", Reproductive & Developmental Biology, Volume 39, Issue 2, pp. 395-398, 2011.
- [3] Jae-Kwan Jeong, et al., "Risk Factors for the Probability of Pregnancy Following Synchronization Protocols in

Dairy Cows", Journal of Veterinary Clinics, Volume 31, Issue 5, pp. 382-388, 2014.

DOI: <http://dx.doi.org/10.17555/ksvc.2014.10.31.5.382>

- [4] Sung-Ki Kim, et al., "Penile Translocation Surgery of a Calf for Exact and Quick Detection of Estrus on a Dairy Farm", Journal of Veterinary Clinics, Volume 26, Issue 4, pp. 376-378, 2009.
- [5] Ill-Hwa Kim, et al., "Factors Affecting Estrous Exhibition and Conception following a Single Administration of PGF_{2α} in Dairy Cows", Journal of Veterinary Clinics, Volume 23, Issue 4, pp. 453-457, 2006.
- [6] Jung-Tack Seo, et al, "Detection system of standing estrus in cattle using USN", Proceedings of The 36th KIISE Fall Conference, Volume 36, No. 2, pp. 181-186, 2009
- [7] Jin-san Moon, et al., "Development of Computerized Software Program for Reproductive Management in Dairy Cows", Journal of Veterinary Clinics, Volume 24, Issue 2, pp. 142-149, 2007.
- [8] Yun-jeong Kang et al., "Cattle Bio-information Monitoring System Based on Context Awareness", Journal of the Korea Entertainment Industry Association, Volume 6, Issue 2, pp. 92-100, 2012.
- [9] Jin-san Moon, et al., "Development of program for herd health management by milk components analysis of dairy cows", Journal of Veterinary science, Volume 42, Issue 4, pp. 485-493, 2002.
- [10] Trimberger, G.W., "Breeding efficiency in dairy cattle from artificial insemination at various intervals before and after ovulation", pp. 1-26, Lincoln, Neb. : University of Nebraska, College of Agriculture, Agricultural Experiment Station , 1948.
- [11] Hawk, H.W., "Transport and fate of spermatozoa after insemination of cattle", J. Anim. Sci., Volume 70, Issue 7, pp. 1487-1503, 1987.
DOI: [http://dx.doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(87\)80173-x](http://dx.doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(87)80173-x)
- [12] Saacke, R.G., et al., "Relationship of seminal traits and insemination time to fertilization rate and embryo quality", Anim. Reprod. Sci., Volumes 60-61, Issue 2, pp. 663-677, 2000.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0378-4320\(00\)00137-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-4320(00)00137-8)

김 석 준(Suc-June Kim)

[정회원]



- 2012년 2월 : 한국기술교육대학교 대학원 전기전자통신공학부(공학석사)
- 2012년 3월 ~ 현재 : 이노비스 R&D 책임연구원

<관심분야>

Communication, System Control, Embedded System

지 선 호(Sun-Ho Jee)

[준회원]



- 2011년 2월 : 한국기술교육대학교 전기전자통신공학부(공학석사)
- 2011년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 대학원 전기전자통신공학부 박사과정

<관심분야>

Fuzzy, Neural Networks, System Control, Robotics

조 현 찬(Hyun-Chan Cho)

[정회원]



- 1991년 2월 : 중앙대학교 전자공학과(공학박사)
- 1991년 9월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 전기전자통신공학부 교수

<관심분야>

Fuzzy, Neural Networks, System Control, Robotics

김 춘 수(Chun-Su Kim)

[정회원]



- 1992년 2월 : 호서대학교 전력전자 (공학석사)
- 2015년 2월 : 한국기술교육대학교 전자공학전공 기술연구원
- 2015년 3월 ~ 현재 : 이노비스 대표

<관심분야>

정보통신, 제어시스템, 전력전자, 축산 시스템

김 현 섭(Hyeon-Shup Kim)

[정회원]



- 1985년 2월 : 서울대학교 농학석사
- 1997년 2월 : 서울대학교 농학박사
- 1985년 2월 ~ 현재 : 농촌진흥청 국립축산과학원 연구사, 연구관

<관심분야>

가축영양, 행동습성